ส่วนที่ 1 : มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะที่จัดทำขึ้นนี้ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการจัดทำมาตรฐานสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปที่ระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

1.1 มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ

ข้อเสนอเกี่ยวกับมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับลักษณะสมบัติน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปร และโรงงานผลิตแป้งมันแปรรูปนี้ให้ใช้กับน้ำทิ้งของโรงงานเหล่านี้ที่ระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ตัวอย่างน้ำทิ้งที่จะเก็บมาวิเคราะห์ ให้เก็บ ณ จุดที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างให้เป็นไปตามวิธีการที่กำหนด (ตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตแป้งมันดัดแปร และโรงงานผลิตแป้งมันแปรรูปที่ระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ		
	โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	โรงงานผลิตทั้งแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป	โรงงานผลิตแป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป
บีโอดี (BOD_5)	> 60	> 60	> 30
ซีโอดี (COD)	> 400	> 400	> 250
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	> 120	> 120	> 50
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	> 100	> 100	> 100

1.2 วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์

วิธีมาตรฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ แสดงดังตารางที่ 1.2 สำหรับรายละเอียดของวิธีวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ฉ.

ตารางที่ 1.2 วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป

ดัชนีวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
1. บีโอดี (ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี) 2. ซีโอดี (ความต้องการออกซิเจนทางเคมี) 3. ของแข็งแขวนลอย 4. ทีเคเอ็น	ใช้วิธีวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์น้ำทิ้งของประเทศสหรัฐอเมริกา (APHA, AWWA, WPCF, 1989) (ภาคผนวก ฉ.)

1.3 คำอธิบายเกี่ยวกับมาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปที่ได้จัดทำขึ้นแตกต่างจากมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ เพราะน้ำเสียจากผลิตแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณมาก และเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง อีกทั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมในปัจจุบันยังเป็นระบบที่มีการใช้พื้นที่มาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสาหร่ายในน้ำทิ้งเป็นผลให้น้ำทิ้งมีปริมาณความสกปรกในด้านต่าง ๆ สูง-กว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโดยทั่วไป ในขณะที่น้ำเสียจากการผลิตแป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปนั้น แม้ว่าจะมีความสกปรกน้อยกว่าน้ำเสียจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่เมื่อพิจารณาจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงานเหล่านี้ที่มีบ่อผึ่ง (Polishing Pond) เป็นการบำบัดขั้นสุดท้าย ทำให้ของแข็งแขวนลอย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายเจือปนอยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยกว่าน้ำทิ้งหลังการบำบัดแล้วของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับ คำอธิบายศัพท์และเหตุผลสำหรับการเสนอมาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าวนี้ แสดงรายละเอียดในบทที่ 8

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทยมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศมาเป็นเวลาช้านาน แต่เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่กำเนิดน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกสูงที่ยากต่อการกำจัด ในขณะที่ปัจจุบันกฎหมายและมาตรฐานสำหรับการระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานอุตสาห-กรรมของหน่วยราชการมีความเข้มงวดมากขึ้น ดังนั้นการวางแผนด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ในกระบวนการผลิตจนถึงการจัดการวัสดุเศษเหลือและน้ำเสียจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยลดภาระของผู้ประกอบการต่อการกำจัดของเสียที่เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการของโรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังที่จัดทำขึ้นนี้จะมุ่งเน้นการนำวัสดุเศษเหลือ (ของเสียและน้ำเสีย) กลับมาใช้ประโยชน์หรือนำกลับมาใช้ใหม่ให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม การกำจัดหรือบำบัดน้ำเสียซึ่งยังคงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้นั้นก็ได้นำเสนอวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมประเภทนี้และทำให้น้ำทิ้งมีลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งด้วย

บทที่ 2

ขอบเขตของแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อม

แม้ว่าในปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch อุตสาหกรรมผลิตแป้งดัดแปร และอุตสาหกรรมผลิตแป้งแปรรูป แต่เนื่องจากความสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตแป้ง-มันสำปะหลังชนิด Native Starch ทั้งในด้านที่เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำสูงและกำเนิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก รวมทั้งในประเทศไทยโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 80) จะเป็นโรงงานผลิต Native Starch ตลอดจนแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ยังเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตแป้งดัดแปรและแป้งแปรรูปอีกด้วย ดังนั้น แนวทางการจัดการสิ่งแวด-ล้อมที่จัดทำขึ้นจึงมุ่งเน้นในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับมาตรการป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิตและวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch

อย่างไรก็ตาม โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch บางแห่งมีการผลิตแป้งดัดแปรและแป้งแปรรูปด้วยในแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังนี้จึงประกอบไปด้วยข้อมูลในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- รายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและแหล่งกำเนิดของเสียจากส่วนต่าง ๆ ของกระบวน-การผลิตอุตสาหกรรมทั้ง 3 ประเภท คือ แป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch, แป้งดัดแปร (Modified Starch) และแป้งแปรรูป (Starch Derivatives)
- รายละเอียดเกี่ยวกับทางเลือกและวิธีการลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต
- รายละเอียดเกี่ยวกับทางเลือกสำหรับการใช้ประโยชน์ของเสีย
- รายละเอียดเกี่ยวกับทางเลือกและวิธีการบำบัดของเสีย
- มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง รายละเอียดของวิธีการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์แต่ละประเภท

บทที่ 3

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย

มันสำปะหลังและอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยมาเป็นเวลาช้านาน ทั้งนี้เพราะมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย มีศัตรูพืชรบกวนน้อย เป็นพืชที่ทนทานต่อความไม่แน่นอนของสภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี ทั้งยังมีฤดูปลูกและเก็บเกี่ยวไม่จำกัด ทำให้การใช้แรงงานทำได้สะดวก จึงมีเกษตรกรปลูกกันแพร่หลายไปทั่วทุกภาคของประเทศไทย

ในช่วงปี พ.ศ. 2515 – 2517 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 2-3 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออก โดยเฉพาะในจังหวัดระยอง ชลบุรี ปราจีนบุรี และฉะเชิงเทรา โดยมีพื้นที่ปลูกรวมกันถึงประมาณร้อยละ 58.0 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย (ตารางที่ 3-1, 3-2 และรูปที่ 3-1) และมีจังหวัดชลบุรีเป็นศูนย์กลางการผลิตและค้ามันสำปะหลัง หัวมันสำปะหลังที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2516 มีประมาณ 5.67 ล้านตัน โดยร้อยละ 70.0 ใช้แปรรูปเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ คือมันสำปะหลังแท่ง มันสำปะหลังแท่ง มันสำปะหลังแห้ง และมันสำปะหลังป่น แล้วส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ อีกประมาณร้อยละ 27.0 จะใช้แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังเพื่อบริโภคและอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ทำแอลกอฮอล์ ผงชูรส สาคู กาว และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น

ในขณะที่ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังประมาณ 8.82 ล้านไร่ และพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่ได้เปลี่ยนไปอยู่ในภาคตะวันออกเฉพียงเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ อุดรธานี กาฬสินธุ์ ขอนแก่น และหนองคาย มีพื้นที่ปลูกรวมกันถึงประมาณร้อยละ 44.0 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังทั้งหมดในประเทศไทย (ตารางที่ 3-3 และ รูปที่ 3-2) ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดในปีนี้ซึ่งมีประมาณ 19.1 ล้านตัน นั้น ร้อยละ 70.0 (13.4 ล้านตัน) จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด และอีกประมาณร้อยละ 30.0 (5.7 ล้านตัน) จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3-1 เนื้อที่ปลูกและผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย

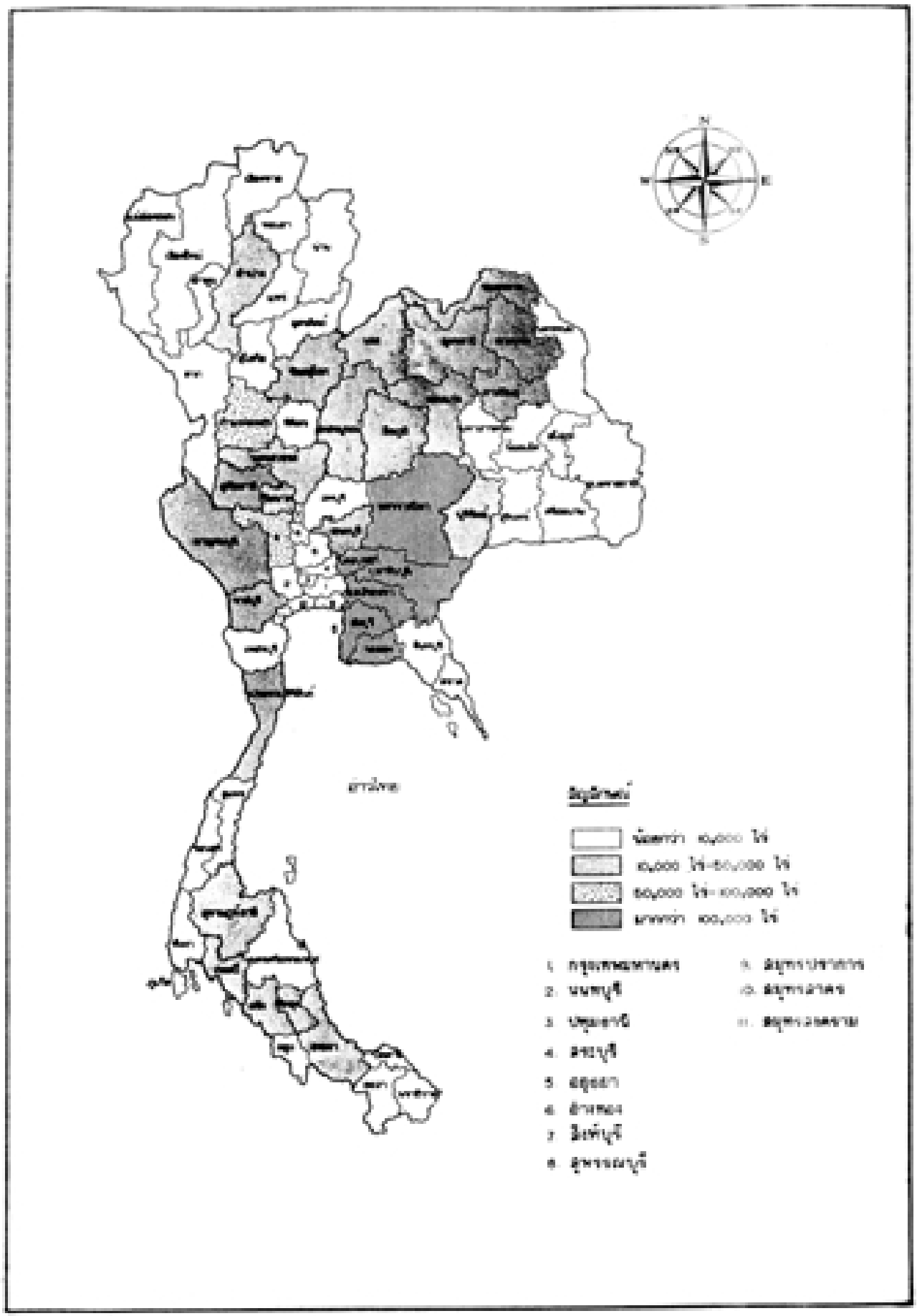
พ.ศ.	เนื้อที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)
2515	2,069	3,974
2516	2,725	5,668
2517	3,000	6,240
2534	9,323	19,705
2535	9,323	20,356
2536	9,100	20,203
2537	8,817	19,091

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร พ.ศ. 2518

ตารางที่ 3-2 แหล่งปลูกมันสำปะหลังในบางส่วนของภาคตะวันออกในประเทศไทย

จังหวัด	พื้นที่ปลูก (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่อปี (กก./ไร่-ปี)	
	พ.ศ. 2516	พ.ศ. 2536	พ.ศ. 2516	พ.ศ. 2536	พ.ศ. 2516	พ.ศ. 2536
1. ระยอง	639,740	319,312	1,605,974	859,269	2,650	2,691
2. ชลบุรี	563,395	292,035	1,239,649	659,999	2,200	2,260
3. ปราจีนบุรี	266,304	453,719	532,600	963,454	2,000	2,209
4. ฉะเชิงเทรา	127,843	470,562	383,529	1,025,355	3,000	2,216

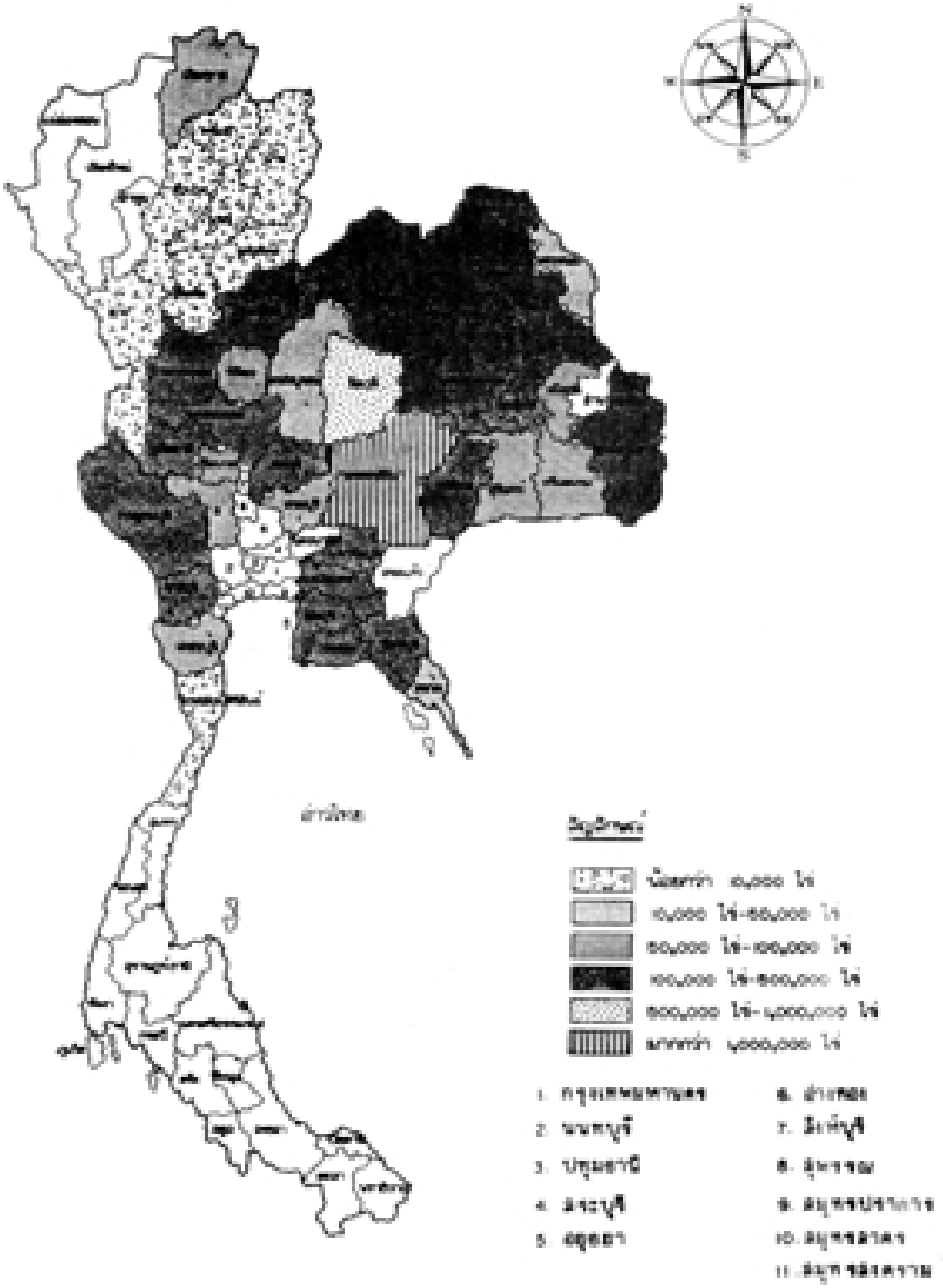
ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร พ.ศ. 2518



รูปที่ 3-1 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2516

ตารางที่ 3-3 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ข้าวเป็นรายจังหวัด (ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2534-2537)

จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) Planted area (rais)				เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่) Harvested area (rais)				ผลผลิต (ตัน) Production (tons)				ผลผลิตต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kgs.)			
	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	5,827,544	5,825,255	5,661,308	5,462,750	5,650,198	5,628,887	5,633,466	5,384,455	12,125,455	12,231,400	12,417,787	11,679,874	2,146	2,173	2,204	2,169
ภาคเหนือ	868,702	990,449	1,070,660	1,053,616	851,338	948,704	1,013,215	1,033,377	1,934,198	2,229,097	2,269,999	2,219,578	2,272	2,350	2,234	2,148
ภาคใต้	2,626,498	2,507,749	2,368,407	2,300,905	2,458,335	2,488,275	2,340,927	2,224,013	5,645,389	5,895,226	5,521,111	5,191,895	2,296	2,369	2,359	2,334
ไม่มี	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวมทั้งประเทศ	9,322,744	9,323,451	9,100,375	8,817,271	8,959,871	9,065,866	8,987,608	8,641,845	19,705,040	20,355,723	20,202,897	19,091,347	2,199	2,245	2,248	2,209

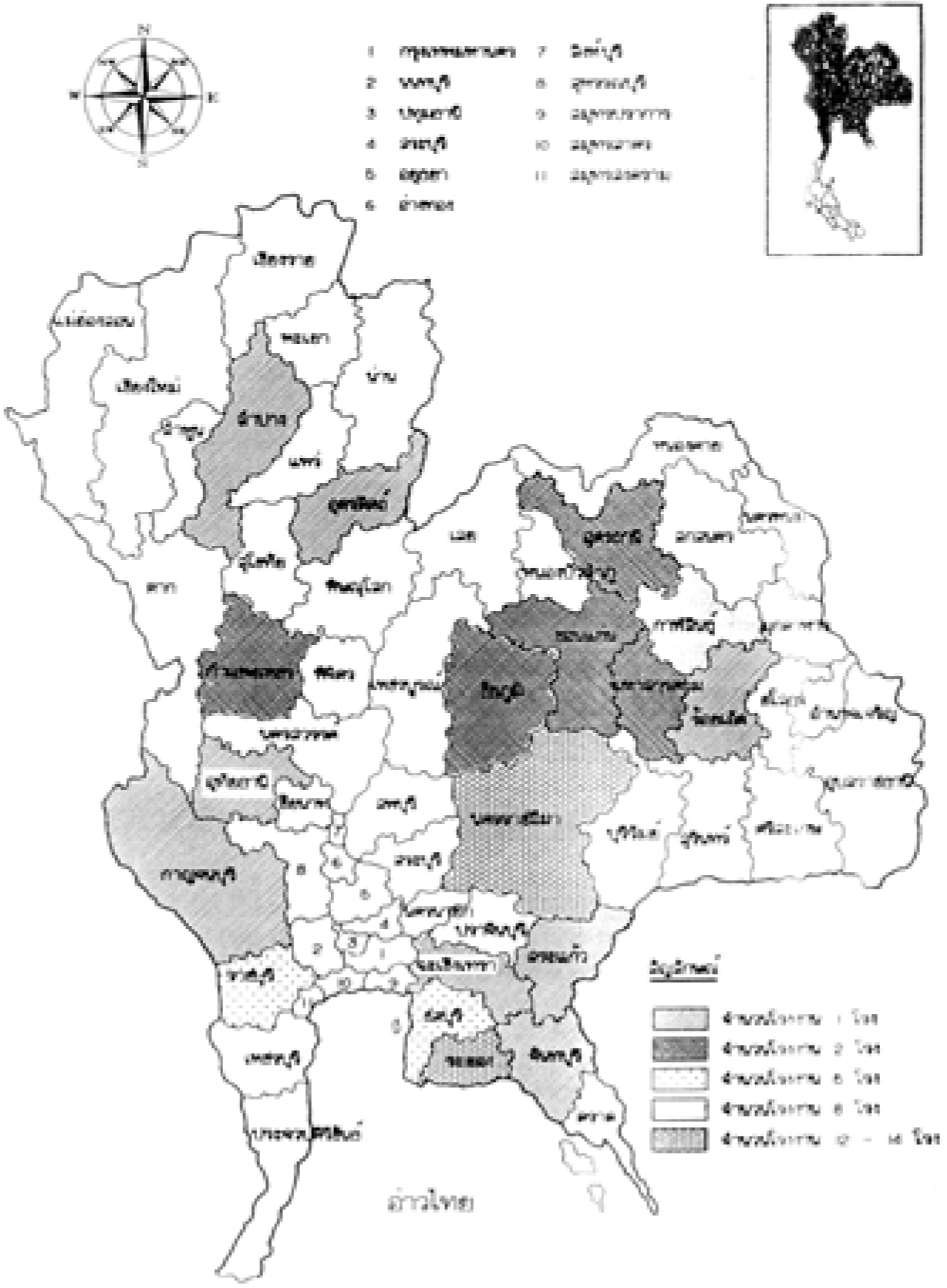


รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2537

สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch, อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันดัดแปร และอุตสาหกรรมผลิตแป้งแปรรูปนั้น จากข้อมูลทะเบียนโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลัง โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ที่ใช้กระบวนการผลิตแบบใหม่ที่ใช้ระบบเหวี่ยงแยกในการแยกแป้งออกจากน้ำ จำนวน 59 แห่ง มีกำลังการผลิตประมาณ 1.14 ล้านตัน/ปี ส่วนโรงงานผลิตแป้งดัดแปรมีจำนวน 10 แห่ง กำลังการผลิตประมาณ 0.26 ล้านตัน/ปี และโรงงานผลิตแห้งแปรรูป มีจำนวน 13 แห่ง ซึ่งมีกำลังการผลิตกลูโคส ซอร์บิตอล และฟรุคโตสประมาณ 0.06,0.02 และ 0.04 ล้านตัน/ ปี ตามลำดับ

โดยที่แป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch เป็นวัตถุดิบของการผลิตแห้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป โรงงานผลิตแห้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปส่วนใหญ่จึงทำการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ก่อน จึงมีรายชื่อโรงงานบางแห่งปรากฏทั้งในอุตสาหกรรมทั้ง 2 ประเภท (ภาคผนวก ก.) อุตสาหกรรมผลิต Native Starch เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากและกำเนิดน้ำสเยที่มีความสกปรกสูง โดยจากผลการศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ สรุปได้ว่า ในขณะที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้ได้จำนวน 1 ตัน จะเกิดน้ำเสียที่มีปริมาณ 10-20 ลูกบาศก์เมตร และมีค่าบีโอดีประมาณ 55-200 กิโลกรัม ซีโอดีประมาณ 130-400 กิโลกรัม ของแข็งแขวนลอย 40-140 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 0.2-0.6 กิโลกรัม และไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 3-10 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความสกปรกที่เกิดจากน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังน้ำจำนวน 1 ตันกับปริมาณความสกปรกจากประชากร พบว่าเท่ากับปริมาณความปกปรกจากประชากร 920-3,400 คน โรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch โดยทั่วไปจำนวน 1 แห่ง ที่มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 100-200 ตันแป้ง/วัน จึงให้กำเนิดน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกเทียบเท่ากับประชากรจำวน 92,000-680,000 คน (รูปที่ 3-3 เป็นแผนที่แสดงการกระจายของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ในประเทศไทย)

ดังนั้น จึงต้องมีการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตแห้งมันสำปะหลังเพื่อให้มีลักษณะสมบัติตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนที่จะระบายออกสู่ภายนอก ในขณะที่การควบคุมและป้องกันมลภาวะในการกระบวนการผลิต เช่น การปรับปรุงเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสีย และการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เป็นแนวทางที่ช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียและยังเป็นการป้องกันปัญหาสภาพแวดล้อมส่วนรวมที่จะเกิดขึ้นจากอตุสาหกรรมประเภทนี้อีกด้วย



รูปที่ 3-8 แผนที่แสดงการกระจายของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ในประเทศไทย

บทที่ 4

การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ความสัมพันธ์ระหว่างการเพาะปลูกมันสำปะหลังและกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลัง แสดงดังรูปที่ 4-1

4.1 การเพาะปลูกมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีชื่อภาษาอังกฤษว่า CASSAVA, MANIOC หรือ TAPIOCA เป็นพืชอยู่ในตระกูล **Euphorbiaceae** มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า **Manihot esculenta Crantz** เป็นไม้พุ่มยืนต้น สูงประมาณ 1-4 เมตร ลำต้นมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีเขียวหม่นถึงน้ำตาลแก่ขึ้นกับชนิดของพันธุ์ ใบของมันสำปะหลังจะมีลักษณะเป็นแฉก ๆ มีตั้งแต่ 5-9 แฉก สีของใบเป็นสีเขียวเข้ม ดอกเป็นแบบ Panicle มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนช่อเดียวกัน

ส่วนที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการนำมาสกัดเอาแป้งออกจากเซลล์ของพืช คือ รากของมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะเป็นรากฝอย (Fibrous root system) แต่รากมีจำนวนน้อยเส้นและแผ่กระจายไม่ลึกจากผิวดิน รวมทั้งมีการสะสมอาหารทำให้มีลักษณะโตกว่ารากธรรมดา

มันสำปะหลังมีทั้งหมดประมาณ 150 พันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกันไปทั้งลักษณะภายนอกและปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิกซึ่งเป็นส่วนประกอบทางสรีรวิทยาอยู่แล้ว จากการที่ปริมาณของกรดไฮโดรไซยานิกไม่เท่ากันนี้เอง จึงแบ่งมันสำปะหลังออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดขม (Bitter Type) และชนิดหวาน (Sweet Type) โดยชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังคือชนิดขม เนื่องจากในรากมีปริมาณแป้งสูงเนื้อหยาบไม่เหนียว รสขม เกิดจากกรดไฮโดรไซยานิกซึ่งมีอยู่ทุกส่วนของต้นมันสำปะหลัง ในรากมีประมาณ 40-60 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้คนตายได้ แต่ที่เปลือกจะมีปริมาณมากกว่าส่วนเนื้อ อย่างไรก็ตาม กรดนี้จะมีปริมาณลดลงเมื่อต้นมันสำปะหลังอายุมากขึ้น และจะสลายตัวหากได้รับความร้อน ดังนั้น กรดไฮโดรไซยานิกจึงสลายตัวไปในระหว่างกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย และจะมีอยู่ในปริมาณน้อยมากในวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากการผลิต

มันสำปะหลังจะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีเนื้อหยาบและร่วนซุย มีการระบายน้ำดี โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะเริ่มปลูกในระยะก่อนต้นฤดูฝน เนื่องจากต้นมันสำปะหลังจะงอกและแตกตาดี ให้ผลผลิตสูง เพราะจะได้รับน้ำสม่ำเสมอในฤดูฝน รวมทั้งระยะที่เก็บเกี่ยวได้จะเป็นระยะที่อากาศเริ่มแล้ง การขุดและการขนส่งรากมันสำปะหลังจากไร่ทำได้สะดวกและไม่เปลืองค่าใช้จ่ายมาก

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลูกมันสำปะหลังและอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังในปัจจุบัน

การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ลำต้นที่มีอายุประมาณ 1 ปี ตัดเป็นท่อนยาวประมาณท่อนละ 6-8 นิ้ว โดยระยะห่างของหลุมปลูกและแถวปลูกที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติมี 3 ระยะ คือ ระยะ 1.0×0.7 เมตร ระยะ 0.9×0.7 และระยะ 1.0×1.0 เมตร

กรมวิชาการเกษตรได้ทำการศึกษาผลผลิตของมันสำปะหลังที่อายุแตกต่างกัน พบว่ารากมันสำปะหลังที่มีอายุ 6 เดือน จนถึงอายุ 18 เดือน มีเปอร์เซ็นต์แป้งในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่ผลผลิตต่อไร่จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ตารางที่ 4-1) โดยเมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้นผลผลิตต่อไร่ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม กรมวิชาการเกษตรเสนออายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ 12 เดือน เพราะเปลือกของรากมันสำปะหลังยังไม่แข็งคุณภาพดี และเกษตรกรสามารถปลูกรุ่นต่อไปได้ทันทีในฤดูที่เหมาะสมอีกด้วย

โดยเฉลี่ยแล้วส่วนประกอบในรากมันสำปะหลัง มีดังนี้

- น้ำ 60-70%
- แป้ง 20-30%
- โปรตีน 1%
- เยื่อใย 2%
- ไขมันและน้ำมัน 1%
- เถ้า 0.9-2.4%
- กรดไฮโดรไซยานิก 0.02%

ในปัจจุบันน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการเพาะปลูกพืชไร่ต่าง ๆ ได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย และข้าวโพด เป็นต้น สำหรับความต้องการธาตุอาหารในการเจริญของพืชต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ปริมาณแป้งและผลผลิตรากมันสำปะหลังอายุต่าง ๆ กัน

อายุเก็บเกี่ยว เดือน	เปอร์เซ็นต์แป้ง	ผลผลิต ตัน/ไร่	ผลผลิตเมื่อเทียบกับอายุ 6 เดือน (%)
6	19.67	1.32	100.00
7	26.69	1.21	92.25
8	27.40	2.34	177.80
9	26.63	2.75	208.97
10	26.39	2.87	218.16
11	23.92	3.15	239.29
12	23.43	4.37	332.45
13	22.16	4.64	352.36
14	26.66	4.39	333.89
15	24.00	6.14	466.95
16	27.56	6.21	471.96
17	26.68	5.95	542.13
18	26.78	7.04	543.73

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2518

ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยที่นำไปจากพื้นที่หนึ่งไร่ของประเทศไทย โดยมันสำปะหลัง ข้าวโพด และอ้อย*

พืช	ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยที่นำไปจากพื้นที่หนึ่งไร่ของประเทศไทย			
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	โปตัสเซียม (K_2O)	แมกนีเซียม (Mg)
มันสำปะหลัง	4.83	2.21	11.84	11.36
ข้าวโพด	6.78	2.67	3.80	4.14
อ้อย	18.13	3.78	260.83	7.00

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร , 2523 และ 2524

* ผลผลิตเฉลี่ยมันสำปะหลังเท่ากับ 2.36 ตันต่อไร่ ข้าวโพด 317 กิโลกรัมต่อไร่ และอ้อย 6.9 ตันต่อไร่

4.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch แบบมาตรฐาน แหล่งของวัสดุเศษเหลือ และสมดุลมวลสาร

หลักการสำคัญในการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้ คือการสกัดแป้งออกจากเซลของรากมันสำปะหลัง โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด เพราะโปรตีน เกลือแร่ สิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ สามารถละลายน้ำได้ดี และใช้เครื่องกลเช่นการเหวี่ยงแยก (Centrifuge) ในอัตรารอบสูง ๆ (แรงแยกสูง) เนื่องจากโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกับแป้งมาก การสกัดแป้งให้มีความบริสุทธิ์สูง ๆ จะทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพคงที่

ขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch แบบมาตรฐาน(รูปที่ 4-2) มีดังนี้

4.2.1 <u>การกำจัดเศษรากมันสำปะหลัง</u>

ในระหว่างการเก็บเกี่ยวควรกำจัดเศษรากมันสำปะหลังที่ติดมาด้วยออกให้หมด เนื่องจากเศษของรากเหล่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปอกเปลือก การขูดและบดรากมันลดลง รวมถึงเป็นการเพิ่มปริมาณกากมันที่จะต้องกำจัดออกด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณของเศษรากมันที่เกิดขึ้นภายในโรงงานมีประมาณ 10 กิโลกรัม/ตันรากมันสำปะหลัง วัสดุเศษเหลือเหล่านี้อาจจะถูกนำไปขายเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือเผาทิ้งและฝังกลบภายในบริเวณโรงงาน

4.2.2 <u>การรับและตรวจสอบคุณภาพหัวมันสำปะหลัง</u>

หลังจากรากมันสำปะหลังถูกส่งมายังโรงงานและผ่านการชั่งน้ำหนัก รวมทั้งการทดสอบหาปริมาณแป้งโดยอาศัยหลักของการลอยตัว (Bouyancy) ของวัตถุในของเหลวเพื่อตีราคาในการซื้อขายแล้ว รากมันจะถูกนำมาเทรวมกันไว้บนลานวัตถุดิบ เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป โดยทั่วไปรากมันมักจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันมิให้ปริมาณแป้งในหัวมันลดต่ำลง

การเก็บรักษารากมันสดควรจะกระทำในที่ร่มเพื่อป้องกันแสงแดด นอกจากนี้ยังควรแบ่งรากมันสดเป็นส่วน ๆ ตามระยะเวลาที่ส่งถึงโรงงานที่แตกต่างกันอีกด้วย

4.2.3 การเตรียมรากมันสำปะหลัง

4.2.3.1 การกำจัดเศษดินทราย

รากมันสำปะหลังที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ตะแกรงร่อนดินและทราย (Sand Removal Drum) เพื่อกำจัดดินทรายที่ติดมากับรากมันและทำให้ผิวนอกของรากมันหลุดออก

ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงมีวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง ได้แก่ เศษดินและทรายโดยปริมาณที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและพื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก โดยทั่วไปมีประมาณ 20 กิโลกรัม/ตันรากมันสด

4.2.3.2 การปอกเปลือกและการล้างรากมันสำปะหลัง

รากมันสำปะหลังที่ผ่านจากตะแกรงร่อนดินทราย จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องปอกเปลือกและเครื่องล้างรากมันสำปะหลังซึ่งจะใช้วิธีฉีดน้ำพ่นเป็นฝอยเพื่อทำความสะอาดรากมันที่ถูกปอกเปลือกแล้ว เศษเปลือกมันสำปะหลังจะถูกเก็บรวบรวมไว้และขายให้แก่เกษตรกรที่จะนำไปใช้เพาะเห็ด

สำหรับสมดุลมวลสารที่พิจารณาเฉพาะมวลของสารที่เกิดขึ้นและมวลของสารที่เติมเข้าสู่กระบวนการล้างและปอกเปลือก ได้แก่

น้ำล้างรากมัน 1.6 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสำปะหลังสด
(ในกรณีที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่)

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง : เปลือกรากมันสำปะหลัง 0.03 ตัน/ตันรากมันสำปะหลังสด
เศษดินทราย 0.025 ตัน/ตันรากมันสำปะหลังสด

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว : น้ำทิ้งจากการล้างรากมันสำปะหลัง
1.6 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสำปะหลังสด
(ในกรณีที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่)

4.2.4 การบดรากมันสำปะหลัง

4.2.4.1 การสับและขูดรากมันสำปะหลัง

รากมันสำปะหลังที่สะอาดจะถูกส่งไปยังเครื่องสับหัวมันโดยใช้รางส่งซึ่งดึงด้วยโซ่ (Chain Conveyor) หรือบางโรงงานอาจใช้เครื่องตักยกรากมัน (Rasp Bucket Conveyor) เครื่องสับรากมันจะสับรากมันให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วชิ้นมันนี้จะตกเข้าสู่เครื่องขูดรากมัน (Root Rasper) ซึ่งอยู่ด้านล่างทำให้ได้มันสำปะหลังชิ้นละเอียดยิ่งขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแป้ง

กระบวนการบดและขูดรากมันสำปะหลังก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแยก fruit water ด้วยเครื่องดีแคนเตอร์ ประกอบด้วย

- ปริมาณน้ำใช้ 0.4 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสำปะหลังสด
- วัสดุเศษเหลือชนิดของแข็ง ไม่มี

ในขั้นตอนการผลิตนี้กรดไฮโดรไซยานิกจะละลายอยู่ใน fruit water ดังนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงทำด้วยโลหะชนิดดีเพื่อป้องกันการเกิดสารประกอบเฟอร์โรไซยานิก (Ferrocyanics) ซึ่งจะทำให้แป้งมีสีเหลือง

4.2.4.2 <u>การแยก Fruit water ด้วยดีแคนเตอร์ (Decanter)</u>

รากมันสำปะหลังสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากถึงประมาณ 60-70% และในน้ำ (Fruit water) ยังมีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ โพแทสเซียม (K) , สารประกอบไนโตรเจน(N) และสารประกอบฟอสฟอรัส(P)ในปริมาณสูง ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่ายทำให้เกิดสารประกอบอัลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ดังนั้นหากในการผลิตแป้งมันสำปะหลังไม่มีขั้นตอนแยก fruit water นี้ออกมาจากแป้งมันสำปะหลังจะทำให้คุณภาพแป้งที่ได้ต่ำลง

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังหลายแห่งจึงทำการแยก fruit water ออกมาก่อนโดยการใช้เครื่องดีแคนเตอร์ (ภาคผนวก ฉ) อย่างไรก็ตามความสามารถในการแยก fruit water ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ fruit water ที่แยกมานี้จะปนกับน้ำทิ้งจากขั้นตอนการสับและบดรากมันสำปะหลังสด ดังนั้นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการแยก fruit water ด้วยดีแคนเตอร์ ได้แก่ 1.0 ลบ.ม./ตันรากมันสด

4.2.5 <u>การสกัดแป้ง</u>

หลังจากที่ทำการแยก Fruit water ออกจากรากมันสำปะหลังแล้ว กากมันจะถูกเติมน้ำและถูกนำเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง (Extractor) เพื่อแยกเซลลูโลสออกจากแป้ง โดยทั่วไปจะเป็นการสกัดแบบหลายครั้ง (multi-stage extractor) โรงงานส่วนใหญ่จะใช้ชุดสกัด 3 ชุดแต่โรงงานขนาดใหญ่อาจใช้ชุดสกัดถึง 4 ชุดต่อเนื่องกัน โดยชุดแรกซึ่งเป็นการสกัดหยาบจะใช้ตะแกรงขนาด 60-80 เมช (mesh) และชุดสุดท้ายจะเป็นการสกัดละเอียดโดยใช้ผ้ากรองขนาด 90 เมช (ภาคผนวก ฉ)

การทำงานของเครื่องสกัดแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง (ดูภาคผนวก ฉ)ใช้หลักของแรงหนีศูนย์กลาง ในขณะที่เครื่องหมุนอยู่ก็จะมีมันสำปะหลังละเอียดส่งเข้ามาตลอดเวลา ในขณะเดียวกันก็จะมีการฉีดน้ำเข้ามาอย่างสม่ำเสมอในรูปแบบของ counter-current น้ำที่ใช้ในการสกัดแป้งนี้จะกลายเป็นน้ำทิ้งจากขั้นตอนการแยกแป้งซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

เพื่อยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งจะเปลี่ยนโมเลกุลของแป้งเป็นกรดแลคติคโดยเฉพาะในกรณีที่โรงงานไม่มีการแยก fruit water ออกก่อน หรือไม่สามารถแยก fruit water ออกได้หมดจึงมักจะมีการเติมน้ำกำมะถันลงไปในขั้นตอนของการสกัดแป้งด้วย

กากมันสำปะหลังจากขั้นตอนการสกัดแป้งจะมีน้ำอยู่ในปริมาณมากถึง 90-95% และมีปริมาณแป้งน้อยมาก กากมันสำปะหลังจะถูกแยกออกจากน้ำแป้งเพื่อนำเข้าสู่เครื่องอัดกากและนำไปตากแดดเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

น้ำแป้งจากกระบวนการสกัดแป้งจะมีความเข้มข้นประมาณ 3 Be' (54 กิโลกรัมแป้งแห้งในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร) สำหรับสิ่งเจือปนอื่น ๆ ทั้งที่ละลายน้ำเช่น โปรตีน ไขมัน น้ำตาลหรือ fruit water ที่เหลือ และสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น กากมัน และเยื่อใย จะถูกกำจัดออกในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

โดยสรุป กระบวนการสกัดแป้ง ประกอบด้วย

น้ำกำมะถัน		2.2 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสำปะหลังสด
วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง	:	กากมันสำปะหลัง 60 กิโลกรัม/ตันรากมันสำปะหลังสด
วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว	:	น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกาก 0.2 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสำปะหลังสด

4.2.6 <u>การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง</u>

เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาชีวเคมีจากจุลินทรีย์ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของแป้งลดลง การผลิตแป้งมันสำปะหลังจึงต้องกระทำภายในเวลาอันสั้นที่สุด ดังนั้น ในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจึงมักเป็นกระบวนการต่อเนื่องที่ไม่มีถังพักเช่นเดียวกับกระบวนการอื่น ๆ ข้างต้น

น้ำแป้งที่ถูกแยกออกจากกากมันสำปะหลังจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแยก (separators) ซึ่งอาจเป็นเครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separators) หรือ ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) โดยโรงงานส่วนใหญ่จะใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง และเพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณภาพดีจึงมักใช้เครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ชุดเพื่อแยกกากมันออกให้หมดและทำให้น้ำแป้งข้นขึ้น ภายหลังการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งจะได้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 22 Be'

น้ำที่ใช้ในการล้างแป้งที่เติมในเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยงนี้อาจจะเป็นน้ำหรือน้ำกำมะถันก็ได้

ในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งโดยใช้ centrifuge separator

ต้องการน้ำใช้	1.2	ลบ.ม./ตันรากมันสด
กำเนิดน้ำทิ้ง	2.0	ลบ.ม./ตันรากมันสด

4.2.7 <u>การทำให้แป้งแห้งและการบรรจุผลิตภัณฑ์</u>

น้ำแป้งจะถูกแยกน้ำออกจากแป้งโดยการใช้เครื่องเซนติฟิวจ์ (centrifuge) ซึ่งจะทำให้ได้แป้งที่มีความชื้น 32-38% ทางเลือกของการทำให้น้ำแป้งแห้งด้วยการใช้เครื่องกรองสูญญากาศที่จะทำให้

ได้แป้งมีความชื้น 40-45% นั้นไม่นิยมใช้ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทยเนื่องจากจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการอบแป้งแห้งเพิ่มขึ้น

แป้งที่ถูกแยกเอาน้ำออกแล้วจะถูกพ่นเข้าสู่ท่อไอร้อนซึ่งมีลมร้อนประมาณ 200°C จากเตาเผา (Burner) เป่าเข้ามาด้วยความดันสูง ความแรงของลมจะพัดเอาแป้งขึ้นไปตามที่ที่สร้างเป็นปล่องสูง แล้วตกมาสู่ไซโคลน (Cyclone) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้แป้งแห้งเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อป้องกันการรวมตัวของแป้งเป็นเม็ดและเพื่อป้องกันการสลายตัวของแป้งอีกทางหนึ่งด้วย

แป้งมันที่ได้จากไซโคลนจะเป็นแป้งที่แห้งและละเอียดแต่ยังร้อนอยู่ ซึ่งจะต้องทำให้เย็นโดยทันที ด้วยการใช้ไซโคลนเย็น (Cooling Cyclone) ทั้งไซโคลนร้อน และไซโคลนเย็นจะต้องมีประสิทธิภาพในการแยกแป้งจากอากาศได้สูงถึง 99.95% หลังจากนั้นแป้งมันจะมีความชื้นอยู่ระหว่าง 12 ถึง 13% ก่อนจะถูกปล่อยลงสู่เครื่องร่อนแป้ง (Sipter) และทำการบรรจุต่อไป อากาศเสียที่มีแป้งปนเปื้อนที่เกิดจากเครื่องเป่าลมร้อนและลมเย็นนี้จะถูกบำบัดและนำแป้งกลับมาสู่กระบวนการผลิตใหม่ด้วย Bagfilters หรือ Scrubbers (ภาคผนวก ฉ.)

ลมร้อนที่ใช้ในการทำให้แป้งแห้งเกิดจากการเผาน้ำมันเตา และผ่านการกรองก่อนจะถูกเป่าเข้าสู่เครื่องอบแห้งเพื่อป้องกันแป้งถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรก

เพื่อให้อนุภาคของแป้งมีความสม่ำเสมอ แป้งที่แห้งแล้วจะถูกร่อนผ่านตะแกรงก่อนที่จะบรรจุลงสู่ไซโล โดยส่วนใหญ่ไซโลจะมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะบรรจุแป้งที่เกิดจากการผลิตใน 24 ชั่วโมงได้ การบรรจุแป้งลงถุงของโรงงานที่มีขนาดเล็กจะใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติ ส่วนโรงงานที่มีขนาดใหญ่จะใช้ระบบอัตโนมัติในการเปิดถุงและบรรจุแป้งลงถุง

สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการทำให้น้ำแป้งแห้ง ประกอบด้วย

น้ำมันเตาเกรด C	6.5 ลิตร/ตันรากมันสำปะหลัง
อนุภาคแป้งมันที่ฟุ้งกระจายออกจากไซโคลน	3.0 กิโลกรัม/ตันรากมันสำปะหลัง
น้ำทิ้งจากกระบวนการทำให้แป้งแห้ง	1.0 ลบ.ม./ตันรากมันสำปะหลัง

4.2.8 <u>การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์</u>

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกนำไปใช้ในการป้องกันกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่จะเปลี่ยนโมเลกุลแป้งเป็นกรดแลคติค และป้องกันการเปลี่ยนสีของแป้งจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไซยานิกและออกซิเจน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ฟอกแป้งให้มีสีขาวด้วย

ในปัจจุบันโรงงานไม่จำเป็นต้องผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เอง โดยอาจซื้อจากผู้ผลิตตรงที่บรรจุในภาชนะแล้ว นอกจากนี้โรงงานยังอาจใช้โซเดียมไบซัลไฟท์แทนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้อีกด้วย

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มากเกินไปในน้ำล้างแป้งในขั้นตอนการสกัดแป้งจะทำให้ความหนืดของแป้งลดลง สำหรับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการสกัดแป้งคือ มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 0.05 % ในน้ำใช้ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดจะต้องน้อยที่สุดด้วย

การเตรียมสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือกรดซัลฟูรัส (Sulphurus acid) ใช้วิธีการเผากำมะถันแล้วผ่านก๊าซที่เกิดขึ้นลงในน้ำจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปใช้คือประมาณ 0.05% จึงเก็บกรดซัลฟูรัสที่เกิดขึ้นในถังไม้ หรือ ถังสเตนเลส (Stainless stell) เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

กำมะถัน 1 กิโลกรัม ต้องการอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ 35 ลูกบาศก์เมตร และได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2 กิโลกรัม ดังนั้นในการเตรียมกรดซัลฟูรัสเข้มข้น 0.05% จำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร จำเป็นต้องใช้กำมะถันประมาณ 0.25 กิโลกรัม นั่นคือในการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากรากมันสด 1 ตัน จึงต้องการกรดซัลฟูรัสเข้มข้น 0.05% จำนวน 0.3 ลูกบาศก์เมตรหรือคิดเป็นกำมะถัน 0.1 กิโลกรัม

ในการควบคุมให้ปฏิกิริยาเผาไหม้กำมะถันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ควรจะต้อง

1. ไม่ใช้อากาศในการทำปฏิกิริยามากเกินไป ทั้งนี้เพราะจะทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาลดลง เป็นผลให้การเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์
2. ควบคุมการผ่านของอากาศที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถัน
3. ควบคุมการผสมระหว่างอากาศกับกำมะถัน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4.2.9 <u>บทสรุปของการทำสมดุลมวลสาร</u>

ในการผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีดังกล่าวใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 1 ชั่วโมง สำหรับแผนผังแสดงกรรมวิธีผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีนี้ และข้อมูลสมดุลมวลสารทั้งกระบวนการผลิตที่ไม่มีการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตใหม่และที่มีการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่แสดงดังรูปที่ 4-2 ถึง 4-3 และตารางที่ 4-3 ถึง 4-4

4.3 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch

จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังดังกล่าวแล้วนั้น จะเห็นได้ว่านอกจากน้ำใช้ และลมร้อนที่จะต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตแล้ว มีเฉพาะสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่านั้นที่ใช้ในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ดังนั้น สารประกอบต่าง ๆ (ยกเว้นสารประกอบซัลเฟอร์) ที่ปรากฏในผลิตภัณฑ์แป้งผลพลอยได้จากการผลิต และวัสดุเศษเหลือต่าง ๆ จึงมีกำเนิดจากรากมันสำปะหลังที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตนั่นเอง

ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ประกอบด้วย

มวลสารที่นำเข้า

- รากมันสำปะหลังสด (รวมทั้งเศษดินและทราย) ที่ประกอบด้วย แป้ง, fruit water, สารที่ละลายน้ำได้, แร่ธาตุ และ โปรตีน
- น้ำใช้ในกระบวนการผลิต และน้ำกำมะถัน
- โรงงานบางแห่งใช้ปูนขาวในการปรับ pH ของน้ำทิ้งจากโรงงาน
- การกำจัดความกระด้างของน้ำใต้ดิน

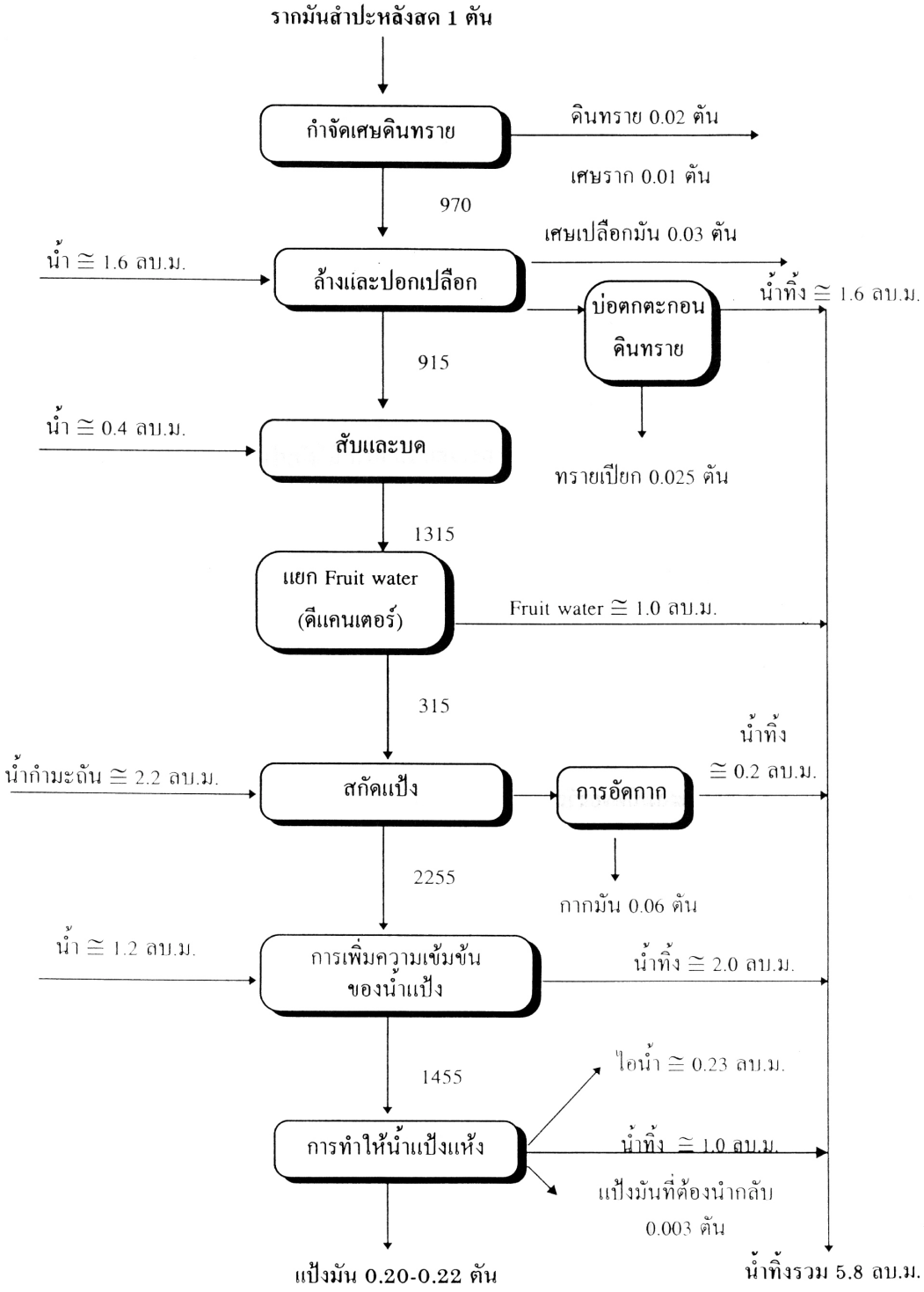
มวลสารที่เกิดขึ้น

- แป้งมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง
- น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต รวมทั้ง fruit water
- เศษดินทราย เศษรากมัน และเปลือกของรากมันสำปะหลัง
- ตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Primary sludge และ Secondary sludge)

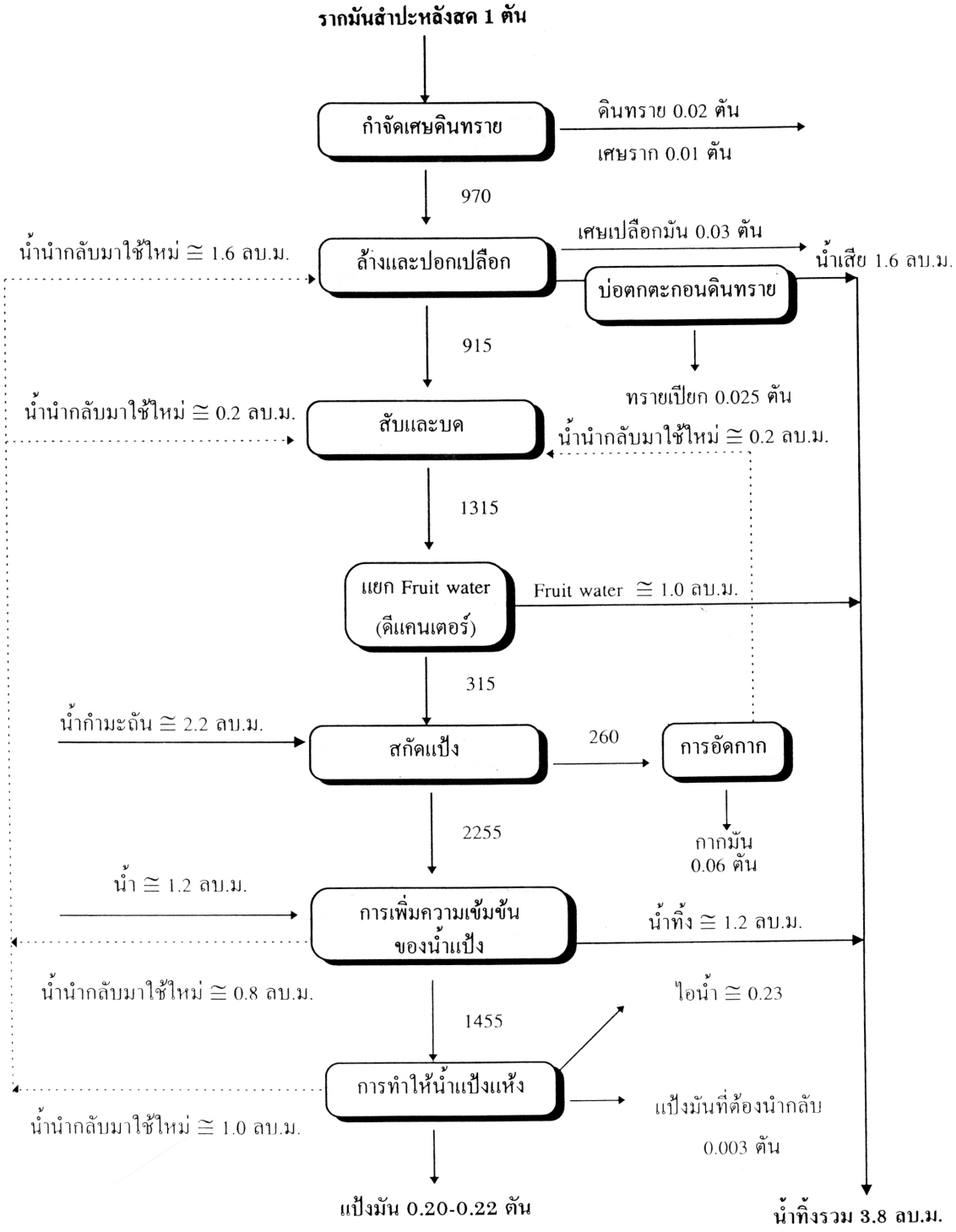
สำหรับลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแสดงดังตารางที่ 4-5 และ 4-6 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย

- สารประกอบคาร์บอน ในรูปของ BOD_5 และ COD
- ของแข็งแขวนลอยในรูปของ SS
- สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนและแร่ธาตุในรูปของ TKN
- ฟอสฟอรัส ในรูปของ P
- แมกนีเซียม ในรูปของ Mg
- โพแทสเซียม ในรูปของ K

ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม เป็นสารอาหารจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจากตารางที่ 4-5 และ 4-6 แสดงให้เห็นว่าสารอาหารเหล่านี้มีอยู่ในน้ำทิ้งในส่วนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต และมีปริมาณแตกต่างกันสูงมาก นอกจากนี้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังยังไม่สามารถกำจัดสารอาหารเหล่านี้ให้มีปริมาณลดลงได้



รูปที่ 4-2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 4-3 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ 4-3 สมดุลของการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน

(กระบวนการผลิตที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่)

สถานะ	ชนิดของวัสดุ	มวล	ปริมาณแป้งที่สูญเสีย
หน่วย น้ำหนักต่อรากมันสำปะหลังสด		(กก./ตัน)	(กก./ตัน)
ผลผลิตในรูปของแข็ง[+]	กากมันสำปะหลัง	60	5
	แป้งมันสำปะหลัง	200 ถึง 220	-
	รวม	**260 ถึง 280**	**5**
ของเสียที่เป็นของแข็ง[+]	เศษดินทราย	20	-
	เศษดินทรายจาก grit chamber	25.	-
	เศษรากมันสำปะหลัง	10	-
	เศษเปลือกมันสำปะหลัง	30	2
	รวม	**85**	**2**
ของเหลว	น้ำทิ้งจากการล้างรากมันสำปะหลัง	1,600	2
	fruit-water	1,000	20
	น้ำทิ้งจากการอัดกาก	200	2
	น้ำทิ้งจากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งและการทำให้น้ำแป้งแห้ง	3,000	6
	รวม	**5,800**	**30**
ไอน้ำ	ไอน้ำจากการอบแป้ง	230	3
	อากาศร้อน จากการเตรียม	-	-
	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	2.2	-
	รวม	**232.2**	**3**
	รวมทั้งหมด	**6,377.2-6,297.2**	**40**

[+] มวลสารแห้ง

ที่มา : 1) จารุรัตน์ วรนิสรากุล และพิศมัย เอี่ยมสกุลรัตน์, 2529

2) บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด, 2538

3) ภาวดี มีสรรพวงศ์, 2539

ตารางที่ 4-4 สมดุลของการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน

(กระบวนการผลิตที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่)

สถานะ	ชนิดของวัสดุ	มวล	ปริมาณแป้งที่สูญเสีย
หน่วย	น้ำหนักต่อรากมันสำปะหลังสด	(กก./ตัน)	(กก./ตัน)
ผลผลิตในรูปของแข็ง[+]	กากมันสำปะหลัง	60	5
	แป้งมันสำปะหลัง	200 ถึง 220	-
	รวม	**260 ถึง 280**	**5**
ของเสียที่เป็นของแข็ง[+]	เศษดินทราย	20	-
	เศษดินทรายจาก grit chamber	25	-
	เศษรากมันสำปะหลัง	10	-
	เศษเปลือกมันสำปะหลัง	30	2
	รวม	**85**	**2**
ของเหลว	น้ำทิ้งจากการล้างรากมันสำปะหลัง	1,600	6
	fruit-water	1,000	20
	น้ำทิ้งจาก		
	การอัดกาก	-	-
	การอัดกากเพิ่มความเข้มข้นของน้ำ	1,200	2
	และการทำให้น้ำแป้งแห้ง		-
	รวม	**3,800**	**28**
ไอน้ำ	ไอน้ำจากการอบแป้ง	230	3
	อากาศร้อน จากการเตรียม	-	-
	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	2.2	-
	รวม	**232.2**	**3**
	รวมทั้งหมด	**4,377.2-4,397.2**	**38**

[+] มวลสารแห้ง

ที่มา : 1) จารุรัตน์ วรนิสรากุล และพิศมัย เอี่ยมสกุลรัตน์, 2529

2) บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด, 2538

3) ภาวดี มีสรรพวงศ์, 2539

ตารางที่ 4-5 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch เมื่อไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

สถานะ	วัสดุเศษเหลือ	มวลของวัสดุเศษเหลือ (หน่วยต่อตันรากมันสด)	บีโอดี		ซีโอดี		ของแข็งแขวนลอย		ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส		โพแทสเซียม		แมกนีเซียม	
			มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน
ของแข็ง กก./ตัน	เศษดินทราย	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	เศษเปลือกมันสำปะหลัง	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	กากมันสำปะหลัง	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ของเหลว (ลบ.ม./ตัน)	น้ำทิ้งจากการล้างรากมัน	1.6	2	3.2	5	8	4	6.4	0.1	0.16	0.04	0.064	1.0	1.6	0.5	0.8
	Fruit water*	1.0	20	20	40	40	6	6	0.6	0.6	0.09	0.09	2.0	2.0	1.5	1.5
	น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกาก	0.20	6	1.2	11.5	2.3	2.4	0.48	0.11	0.022	0.04	0.008	0.5	0.1	0.6	0.1
	น้ำทิ้งจาก Separator	3.0	5	15	11	33	1.5	4.5	0.01	0.03	0.04	0.12	2.0	6.0	0.5	1.5
	น้ำทิ้งรวม	5.8	6.8	39.44	14.4	83.52	3	17.4	0.15	0.87	0.05	0.29	1.6	9.3	0.7	4.1
	น้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย	5.8	0.01-0.10	0.058-0.58	0.18-0.60	1.04-3.36	0.04-0.52	0.23-3.02	~0.1	0.58	~0.02	0.116	~2.0	11.6	~1.5	8.7

* เมื่อแยก โดยใช้ดีแคนเตอร์

ที่มา : จารุรัตน์ วรนิสรากุล และพิศมัย เอี่ยมสกุลรัตน์, 2529

ตารางที่ 4-6 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch เมื่อมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)

สถานะ	วัสดุเศษเหลือ	มวลของวัสดุเศษเหลือ (หน่วยต่อตันรากมันสด)	บีโอดี		ซีโอดี		ของแข็งแขวนลอย		ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส		โพแทสเซียม		แมกนีเซียม	
			มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน	มก./ล.	กก./ตัน
ของแข็ง	เศษดินทราย	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
กก./ตัน	เศษเปลือกมันสำปะหลัง	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	กากมันสำปะหลัง	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	น้ำทิ้งจากการล้างรากมัน	1.6	5	8	11	17.6	4	6.4	0.12	0.192	0.05	0.08	1.0	1.6	0.5	0.8
	Fruit water*	1.0	20	20	40	40	6	6	0.6	0.6	0.09	0.09	2.0	2.0	1.5	1.5
	น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกาก	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ของเหลว	น้ำทิ้งจาก Separator	1.2	5	6	11	13.2	1.5	1.8	0.01	0.012	0.04	0.048	2.0	2.4	0.5	0.6
(ลบ.ม./ตัน)	น้ำทิ้งรวม	3.8	9.0	34.2	18.6	70.68	3.7	14.06	0.2	0.76	0.06	0.228	1.6	6.1	0.7	2.7
	น้ำทิ้งหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย	3.8	0.01-0.10	0.038-0.38	0.18-0.60	0.68-2.28	0.04-0.52	0.15-1.98	~0.1	0.38	~0.02	0.08	~2.0	7.6	~1.5	5.7

* เมื่อแยก โดยใช้ดีแคนเตอร์

ที่มา : จารุรัตน์ วรนิสรากุล และพิศมัย เอี่ยมสกุลรัตน์, 2529

4.4 กระบวนการผลิตแป้งมันดัดแปร (Modified Starch) แหล่งวัสดุเศษเหลือ และสมดุลมวลสาร

ความหมายของแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหารตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนลักษณะสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือ เอนไซม์ และ/หรือ สารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แป้งดัดแปรมีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวนวล หรือสีน้ำตาลอ่อน

วิธีการดัดแปรแป้งมีหลายวิธีซึ่งให้ผลต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะของแป้งที่ต้องการ โดยการเลือกใช้ชนิดของแป้งและวิธีการดัดแปร สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งดัดแปรส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะเป็นการดัดแปรโดยวิธีทางเคมี ซึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นกับปฏิกิริยาเคมีที่นำมาใช้ในแต่ละปฏิกิริยา เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเฉพาะตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรที่เกิดขึ้นจึงมีหลายประเภท ดังนี้

1. ทินบอยลิงสตาร์ช เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับกรดเกลือหรือกรดกำมะถันเจือจาง
2. ออกซิไดซ์สตาร์ช เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับโซเดียมไฮโปคลอไรท์
3. เดกซ์ทริน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการให้ความร้อนกับแป้ง
4. ซับสติทิวเตดสตาร์ช เกิดจากการเติมสารลงไปแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิลในแป้งดัดแปรที่ได้แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่
    - 4.1. แป้งอีเทอร์ เป็นการทำปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชั่น ระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่อีเทอร์ แบ่งเป็น ไฮดรอกซี-โพรพิลสตาร์ช คาร์บอกซีเททธิลสตาร์ช และแคทไอออนิกสตาร์ช
    - 4.2. สตาร์ชแอสเทอร์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่เอสเทอร์
    - 4.3. ไดสตาร์ช เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่

โดยหลักการกระบวนการผลิตแป้งดัดแปรทุกประเภทจะไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือ เป็นการนำแป้งมาทำปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งมีขั้นตอนทั่วไป ดังนี้

เริ่มจากการเตรียมสารละลายแป้งโดยชั่งแป้งและเติมน้ำผสมให้เข้ากัน ปรับพีเอชโดยการเติมสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด/ด่าง จากนั้นทิ้งให้ทำปฏิกิริยาจนได้เป็นแป้งดัดแปร นำสารละลายที่ได้เก็บไว้ในถังพักเพื่อทำให้เย็นลง แล้วนำไปแยกของแข็งและเกลือด้วยตะแกรงละเอียดหรือเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง ซึ่งจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นที่จุดนี้ สารละลายแป้งดัดแปรหลังจากผ่านการล้างแล้วจะนำไปทำให้เข้มข้นขึ้นด้วย

เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง น้ำเสียบางส่วนจะถูกนำกลับไปยังถังพักเพื่อใช้ในขั้นตอนการล้างสารละลายแป้งดัดแปรต่อไป จากนั้นทำสารละลายให้แห้งเป็นผงด้วยเครื่องเป่าลมร้อนแล้วผ่านเครื่องทำให้เย็น ซึ่งน้ำหล่อเย็นจะนำกลับไปใช้ในถังปฏิกิริยา แล้วเข้าเครื่องคัดขนาดบรรจุหีบห่อเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จต่อไป

สำหรับรายละเอียดกระบวนการผลิตแป้งมันดัดแปรชนิดออกซิไดซ์สตาร์ช มีดังนี้

4.4.1 การเตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันดัดแปรถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามแหล่งที่มาของวัตถุดิบ (แป้งมันสำปะหลัง) ดังนี้

- ประเภทที่ 1 : โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเอง ซึ่งกรณีนี้โรงงานจะกำเนิดน้ำเสียและวัสดุเศษเหลือปริมาณมากดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2
- ประเภทที่ 2 : โรงงานใช้แป้งมันสำปะหลังแห้งที่ผลิตจากโรงงานอื่น

สำหรับกระบวนการผลิตแป้งมันดัดแปรของโรงงานประเภทที่ 2 นี้ แป้งมันสำปะหลังจะถูกชั่งแล้วเติมน้ำจนได้ความเข้มข้นของแป้งประมาณ 17 % w/w นั่นคือ แป้งมันสำปะหลัง 1 ตันจะเติมน้ำปริมาณ 5-6 ลูกบาศก์เมตร แล้วปรับ pH ของสารละลายแป้งเป็น 9-10 ด้วย Na_2CO_3 และใส่ไวนิลอะซีเตดโมโนเมอร์ (VAM) ให้ทำปฏิกิริยา 30 นาที ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป

สำหรับสภาวะของการเตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง ประกอบด้วย

มวลสารนำเข้า : ปริมาณน้ำใช้ประมาณ 5.0 ลูกบาศก์เมตร/ตันแป้งมันสำปะหลัง
Na_2CO_3
ไวนิลอะซีเตดโมโนเมอร์ (VAM)

วัสดุเศษเหลือ : ไม่มี

4.4.2 การทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี

สารละลายแป้งที่ผ่านจากขั้นตอนที่ 1 แล้วจะถูกนำเข้าสู่ถังปฏิกิริยาในลักษณะของ batch reactor ซึ่งต้องควบคุมสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

- ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยา
- อุณหภูมิ และ pH
- เวลาในการเกิดปฏิกิริยา

การผลิตแป้งมันดัดแปรชนิดออกซิไดซ์สตาร์ช สารละลายแป้งมันสำปะหลังจะถูกนำมาปรับ pH ให้เท่ากับ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโปคลอไรท์(NaOCl) แล้วจึงปรับ pH ให้เท่ากับ 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และเติมโซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟท์ ($NaHSO_3$) แล้วทิ้งให้ทำปฏิกิริยาต่อจนได้แป้งดัดแปรและนำไปเก็บในถังพัก

สภาวะของขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการเติมกรดเพื่อปรับ pH และการเติมสารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่

กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl)

โซเดียมซัลไฟท์ ($NaHSO_3$)

ไม่มีวัสดุเศษเหลือทิ้งที่เป็นของแข็งและของเหลว

4.4.3 <u>การทำให้บริสุทธิ์</u>

สารละลายแป้งดัดแปรจากถังพักจะถูกนำไปล้างในถังแยก (Separate mixed tank) ซึ่งใช้น้ำในการล้างประมาณ 2-4 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง หลังจากนั้นจึงจะแยกน้ำที่ปนเปื้อนด้วยของแข็งและเกลือออกจากแป้งโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง (centrifugal sepanator) แป้งที่ผ่านการกำจัดของแข็งและเกลือออกแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ขั้นต่อไป

ดังนั้น สภาวะที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์นี้ ประกอบด้วย

มวลสารที่นำเข้า : น้ำใช้ ประมาณ 4.0 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง

วัสดุเศษเหลือ : น้ำทิ้งประมาณ 6.0 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง

4.4.4 <u>การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งดัดแปร</u>

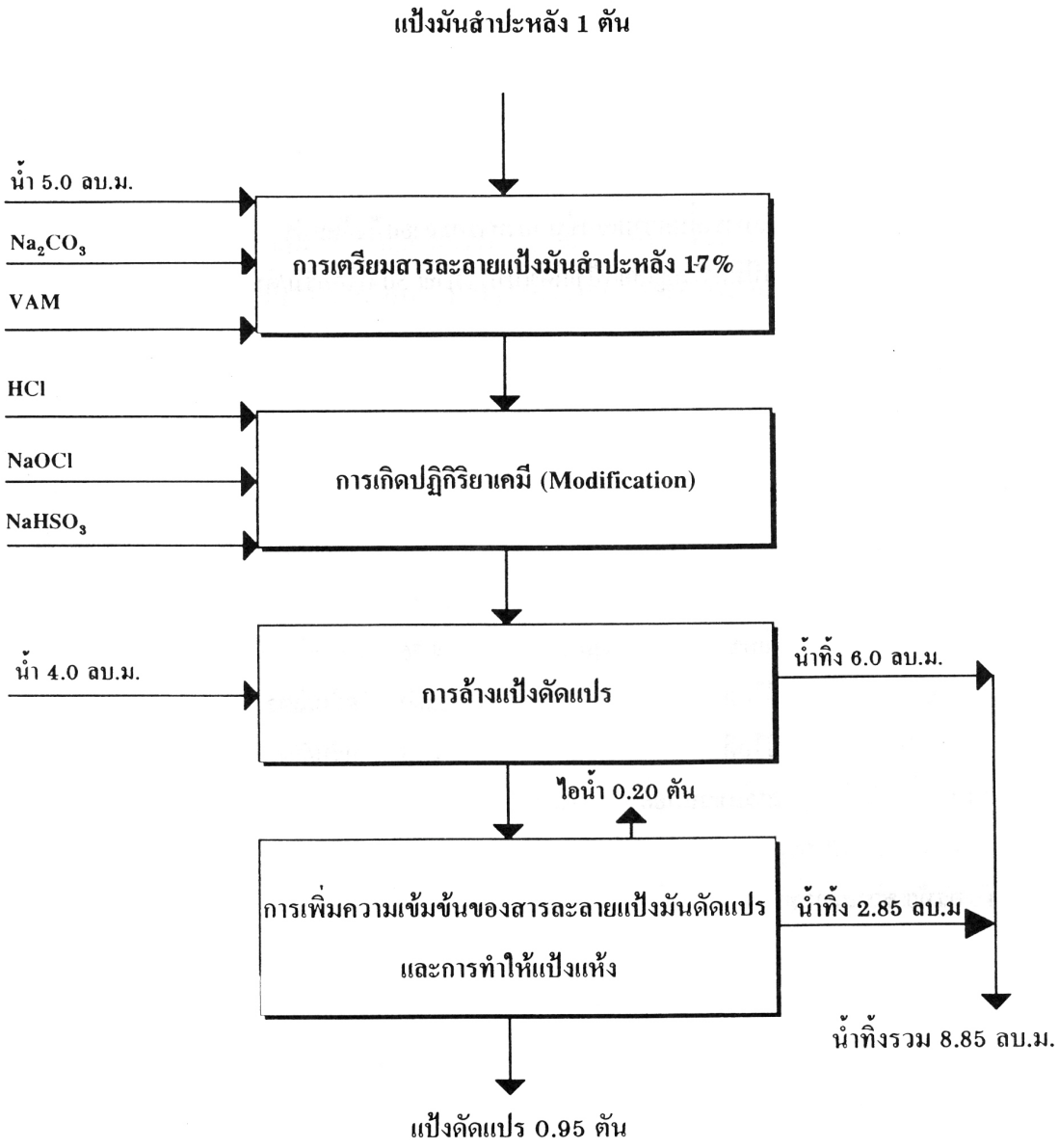
สารละลายแป้งดัดแปรจะถูกส่งเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่มีความเร็วรอบ 850 รอบ/นาทีเพื่อแยกน้ำออกทำให้สารละลายแป้งดัดแปรเข้มข้นขึ้น หลังจากนั้นทำสารละลายให้แห้งเป็นผงด้วยเครื่องเป่าลมร้อน แล้วผ่านเครื่องทำให้เย็นน้ำหล่อเย็นจะนำกลับไปใช้ในถังปฏิกิริยา แล้วคัดขนาดอนุภาคแป้งโดยใช้ตะแกรงขนาด 45 Mesh

ดังนั้นสภาวะที่ใช้ในกระบวนการนี้

กำเนิด น้ำทิ้ง 2.85 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลังจากเครื่องหมุนเหวี่ยงแยกน้ำ

4.4.5 <u>บทสรุปของการทำสมดุลมวลสาร</u>

การผลิตแป้งมันดัดแปรจะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 3 ชั่วโมง สำหรับแผนผังแสดงกรรมวิธีผลิตแป้งมันดัดแปรด้วยวิธีนี้ และข้อมูลสมดุลมวลสารที่พิจารณาเฉพาะส่วนที่สัมพันธ์กับการเกิดน้ำเสียแสดงดังรูปที่ 4-4



<u>รูปที่ 4-4</u> แผนผังขั้นตอนการผลิตแป้งมันดัดแปรชนิดออกซิไดซ์สตาร์ช

จากข้อมูลสมดุลมวลสารในกระบวนการผลิตแป้งดัดแปรในรูปที่ 4-4 จะเห็นได้ว่ามีวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเฉพาะในขั้นตอนการล้างแป้งดัดแปร 6.0 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งดัดแปร 2.85 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง และในขั้นตอนนี้มีการสูญเสียแป้งเกิดขึ้นประมาณ 50 กิโลกรัม/ตันแป้งมันสำปะหลัง

4.5 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตแป้งมันดัดแปร (Modified Starch)

ตัวอย่างของลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการล้างสารละลายแป้งดัดแปร และการทำให้แป้งดัดแปรแห้ง มีดังนี้

ปริมาณ	8.85	ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง
พีเอช	4.76	
ซีโอดี	2.80	กรัม/ลิตร
บีโอดี	1.35	กรัม/ลิตร
สารแขวนลอย	1.20	กรัม/ลิตร
อัตราส่วนของซีโอดีต่อบีโอดี	=	2.07

(ที่มา : อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ , 2538)

จากลักษณะสมบัติของน้ำเสียแสดงว่าในน้ำเสียจากการผลิตแป้งดัดแปรมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวะอยู่มาก ส่วนปริมาณสารแขวนลอยที่มีค่าสูงมากนั้นเนื่องจากมีแป้งและของแข็งพวกเกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาของสารเคมีที่ถูกแยกออกมาจากการล้าง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโรงงานผลิตแป้งดัดแปรจะทำการผลิตแป้งดัดแปรหลายชนิด ซึ่งจะต้องมีการล้างถังปฏิกิริยาทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์ และถึงแม้ว่าปริมาณน้ำเสียในส่วนนี้จะน้อยแต่มีปริมาณความสกปรกทั้งในรูปของซีโอดี บีโอดี และสารแขวนลอยสูง ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย อาจจะมีดังนี้ (ขึ้นกับวิธีการล้างและการจัดการด้านการผลิตของโรงงานแต่ละแห่ง)

ปริมาณน้ำเสียประมาณ	6.0	ลูกบาศก์เมตร/ครั้ง
พีเอช	6.96	
ซีโอดี	32.80	กรัม/ลิตร
บีโอดี	19.30	กรัม/ลิตร
สารแขวนลอย	14.60	กรัม/ลิตร
อัตราส่วนของซีโอดีต่อบีโอดี	=	1.70

(ที่มา : อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ , 2538)

4.6 กระบวนการผลิตกลูโคส (Glucose) แหล่งของวัสดุเศษเหลือ และสมดุลมวลสาร

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรมได้ให้คำนิยามของสารให้ความหวานจากแป้งมันสำปะหลังประเภทกลูโคสซีรัป (Glucose Syrup) หมายถึง “สารละลายแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยแป้ง ซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นแล้ว” ส่วนกลูโคสซีรัปผง (Dried Glucose Syrup) หมายถึง “กลูโคสซีรัปที่ทำให้แห้งเป็นผงทั้งนี้ให้รวมความถึงกลูโคสซีรัปที่ทำให้แห้งซึ่งมีลักษณะอย่างอื่นด้วย” ดังนั้นแบะแซก็จัดอยู่ในประเภทเดียวกันกับกลูโคสซีรัปได้

ในกระบวนการผลิตแป้งแปรรูปได้แก่กลูโคส, ฟรุคโตส และซอร์ปิตอล จำเป็นต้องใช้น้ำหล่อเย็นในเครื่องระเหยน้ำในขั้นตอนเหล่านี้

- ระหว่างการระเหยน้ำออกจากสารละลายแป้งแปรรูป
  (ในขั้นตอนนี้จะต้องการน้ำหล่อเย็นมากที่สุด)
- ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาในถังปฏิกิริยา

น้ำหล่อเย็นเหล่านี้จะไม่ถูกปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์หรือสิ่งเจือปนอื่น ๆ ดังนั้นน้ำในส่วนนี้จึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ได้โดยการนำไปลดอุณหภูมิลงที่หอลดอุณหภูมิ (cooling tower) อย่างไรก็ตาม จะต้องมีการเติมสารเคมีและทิ้งน้ำบางส่วน (< 10% ของปริมาณน้ำหมุนเวียน) เพื่อป้องกันการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือต่าง ๆ ที่จะก่อปัญหาการกัดกร่อนของท่อน้ำ

เนื่องจากกลูโคสเป็นวัตถุดิบของการผลิตฟรุคโตส และซอร์บิตอล ดังนั้น ในโรงงานที่มีการผลิตฟรุคโตสและซอร์บิตอลจึงมักจะมีหน่วยการผลิตกลูโคสด้วย

สำหรับขั้นตอนการผลิตกลูโคส ประกอบด้วย การเตรียมน้ำแป้ง การทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี, การทำให้สารละลายกลูโคสบริสุทธิ์ขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส โดยรายละเอียดของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

4.6.1 <u>การเตรียมน้ำแป้ง</u> (Conditioning)

นำแป้งมันสำปะหลังชนิดดี (Super Grade) ละลายน้ำสะอาด (Demin. Water) ในถังผสม (Mixing Tank) เพื่อให้มีความเข้มข้นของสารละลายแป้งประมาณ 35-40% และปรับความเป็นกรดด่างภายในถังด้วยกรดโฮโดรคลอริก 30% จนได้ pH 5.8-6.0 เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ที่จะเปลี่ยนโมเลกุลของแป้งเป็นเดกซ์ตริน โดยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อัลฟา-อมายเลส จะถูกเติมลงไปในระหว่างการส่งน้ำแป้งเข้าสู่ถังปฏิกิริยา

สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมน้ำแป้ง ประกอบด้วย

มวลสารที่นำเข้า : น้ำใช้ 1.5 ลูกบาศก์เมตร/ตันแป้งมันสำปะหลัง

กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 30%

วัสดุเศษเหลือ : ไม่มี

4.6.2 การทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี (Enzymatic Liquification)

ในกระบวนการนี้แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนย่อยคือ

4.6.2.1 ลิคิวแฟคชั่น (Liquefaction)

สารละลายแป้งที่ถูกเติมเอนไซม์อมายเลสแล้วจะถูกนำเข้าสู่ถังปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิในถังเท่ากับ 105-110 องศาเซลเซียส

4.6.2.2 เดกซตรินเนชั่น (Dextrination)

ถังปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นภายในถังปฏิกิริยาที่มีอยู่เป็นชุด โดยมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากขั้นตอนนี้แล้วสารละลายจะมีค่า DE (Dextrose Equivalent Value) เท่ากับ 10-20 ขึ้นกับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยา

4.6.2.3 แซคคาริฟิเคชั่น (Saccharification)

หลังจากขั้นตอนเดกซตรินเนชั่น พีเอชของสารละลายจะลดลงเหลือประมาณ 4-5 อุณหภูมิของสารละลายลดลงเหลือ 62 องศาเซลเซียส จะเติมเอนไซม์กลูโคสอมายเลส เวลาในการทำปฏิกิริยา 40-65 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ไอน้ำหล่อเลี้ยง

ในขั้นตอนนี้ค่า DE จะเพิ่มขึ้นเป็น 96-98 ในขณะที่อุณหภูมิของสารละลายจะลดลงอีก 2 องศาเซลเซียส สารละลายกลูโคสที่ได้จะขึ้นกับความเข้มข้นเอนไซม์ เวลาในการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสารละลายแป้งเริ่มต้น อุณหภูมิ พีเอช และค่า DE เริ่มต้น

สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนนี้ โดยรวมประกอบด้วย มวลสารนำเข้า :

ไอน้ำ

เอนไซม์อมายเลส และเอนไซม์กลูโคสอมายเลส

4.6.3 การทำให้สารละลายกลูโคสบริสุทธิ์ขึ้น

หลังจากเปลี่ยนแป้งเป็นกลูโคสแล้ว จะต้องแยกสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายน้ำและสีจากสารละลายกลูโคส รวมทั้งหยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ด้วย

ในขั้นตอนการทำให้สารละลายกลูโคสบริสุทธิ์ขึ้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย ได้แก่

4.6.3.1 <u>การกรองครั้งที่ 1</u>

หลังจากการทำให้เกิดปฏิกิริยาจนได้สารละลายกลูโคสแล้ว สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนโดยเฉพาะสีที่เกิดจากปฏิกิริยาจะถูกกำจัดออกด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon powder) ลงในถัง แล้วกรองสารละลายกลูโคสเพื่อแยกผงถ่านผ่านผ้ากรองที่เคลือบด้วยสารช่วยกรอง (Filter aid) เครื่องกรองอาจเป็นเครื่องอัดกรอง (Fitter press) หรือเป็นถังหมุน (Drum rotates) ซึ่งเป็นเครื่องกรองสูญญากาศ หลังจากกรองแล้วสารช่วยกรองบางส่วนจะนำกลับมาใช้ใหม่ ในขณะที่บางส่วนจะกลายเป็นของเสีย ผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วในเครื่องอัดกรองจะถูกนำกลับมาใช้ในการกรองครั้งที่ 1 อีกครั้ง ส่วนน้ำล้างถังกรองจะถูกทิ้งลงรางระบาย

4.6.3.2 <u>การกำจัดอิออนในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน</u>

สารละลายกลูโคสที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำไปกำจัดสารเจือปนที่ละลายน้ำได้ โดยกรองผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) จำนวน 2 ชุดเพื่อสลับการทำงานโดยที่แต่ละชุดของเครื่องแลกเปลี่ยนไอออนประกอบด้วยคอลัมน์ 2 ประเภท คือ คอลัมน์ที่ใส่เรซินประจุบวกและคอลัมน์ที่ใส่เรซินประจุลบ เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกจะจับไอออนบวกจากสารละลายกลูโคส เช่น Na^{+} Ca^{2+} Fe^{2+} Cu^{2+} ฯลฯ เครื่องแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบจะจับไอออนลบ เช่น Cl^{-} SO_4^{2-} PO_4^{3-} การล้างคอลัมน์ทำโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การล้างคอลัมน์ในระบบ counter-current จะช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้และลดปริมาณน้ำเสียด้วย

4.6.3.3 <u>การกรองครั้งที่ 2</u>

ในกรณีที่สารละลายกลูโคสที่ได้จะถูกนำไปใช้เพื่อการผลิตซอร์บิตอลอีกจำเป็นต้องทำให้สารละลายกลูโคสมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสีและกำจัดผงถ่านกัมมันต์ด้วยการกรองผ่านเครื่องอัดกรอง

ดังนั้น สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนนี้จึงประกอบด้วย

มวลสารนำเข้า	:	ผงถ่านกัมมันต์	3	กิโลกรัม/ตันแป้งมันสำปะหลัง
		สารช่วยกรอง	5	กิโลกรัม/ตันแป้งมันสำปะหลัง
		น้ำ demineral	0.50	ลูกบาศก์เมตร/ตันแป้งมันสำปะหลัง
		สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์		
		สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง		
วัสดุเศษเหลือชนิดของแข็ง	;	ผงถ่านกัมมันต์	3	กิโลกรัม/ตันแป้งมันสำปะหลัง
		สารช่วยกรอง	5	กิโลกรัม/ตันแป้งมันสำปะหลัง
วัสดุเศษเหลือชนิดของเหลว	;	น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน (regenerate wastewater) 0.50 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง		

4.6.4 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส

สารละลายกลูโคสถูกทำให้มีความเข้มข้นประมาณ 70% DS โดยผ่านสารละลายกลูโคสในเครื่องทำความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 60 องศาเซลเซียส ปล่อยให้น้ำค่อย ๆ ระเหยไป

การระเหยไอน้ำออกจากสารละลายกลูโคสจะต้องกระทำภายในระยะเวลาอันสั้นเพื่อป้องกันการสลายตัวของน้ำตาลไอน้ำที่ระเหยไปจะผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ในขั้นตอนนี้จึงมีปริมาณน้ำที่ระเหยไปประมาณ 1.35 ลูกบาศก์เมตร/ตันแป้งมันสำปะหลัง

4.6.5 บทสรุปของการทำสมดุลมวลสาร

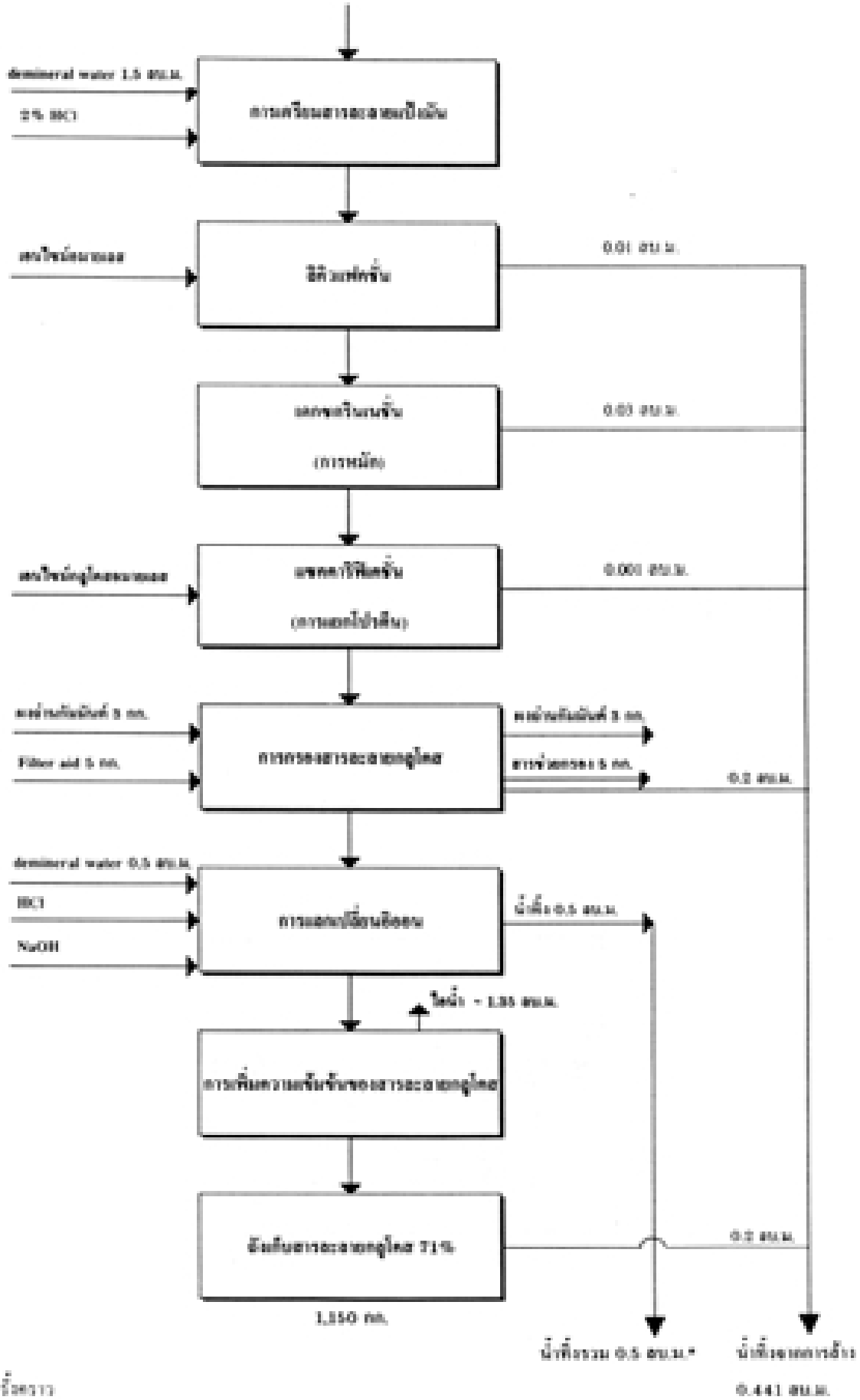
การผลิตกลูโคสตามกรรมวิธีดังกล่าวใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 45-70 ชั่วโมง สำหรับแผนผังแสดงกรรมวิธีผลิตสารละลายกลูโคสและข้อมูลสมดุลมวลสารจะพิจารณาเฉพาะส่วนที่สัมพันธ์กับการเกิดน้ำเสียเท่านั้นแสดงดังรูปที่ 4-5

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากกระบวนการผลิตกลูโคส มีประมาณ 8 กก./ตันรากมันสำปะหลังสดเป็นของผสมระหว่างผงถ่านกัมมันต์และสารช่วยกรองที่ใช้แล้ว

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว ทั้งหมดเป็นน้ำทิ้งจากการล้างคอลัมน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน ประมาณ 0.5 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีน้ำทิ้งที่เป็นน้ำล้างถังในกระบวนการผลิต ซึ่งปริมาณของน้ำส่วนนี้ขึ้นกับ แผนการผลิต และสภาวะของอุปกรณ์แต่ละชิ้น

4.7 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตกลูโคส

ลักษณะการเกิดของวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตกลูโคสทั้งหมดเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (ตารางที่ 4-7) โดยทั้งหมดเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการล้างคอลัมน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่มีค่า ซีโอดี บีโอดี และพีเอชสูงมาก นอกจากนี้ยังมีวัสดุเศษเหลือที่เป็นน้ำทิ้งจากการทำความสะอาดถังปฏิกิริยาและถังเก็บกักต่าง ๆ ซึ่งปริมาณน้ำทิ้งและปริมาณความสกปรกขึ้นกับวิธีการล้างและการจัดการด้านการผลิตของโรงงานแต่ละแห่งด้วย



* ปิดขึ้นเป็นครั้งคราว

รูปที่ 4.5 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตกลูโคส

ตารางที่ 4-7 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตกลูโคส

แหล่งกำเนิดวัสดุเศษเหลือ	ปริมาณวัสดุเศษเหลือ (ลบ.ม/ตันแป้งมันสำปะหลัง)	ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือ				หมายเหตุ
		พีเอช	ซีโอดี (กรัม/ลิตร)	บีโอดี (กรัม/ลิตร)	สารแขวนลอย (กรัม/ลิตร)	
1. น้ำทิ้งจากลิควีแฟคชั่น	0.01	6.74	1.0	0.8	1.0	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
2. น้ำทิ้งจากเดกซตรินเนชั่น	0.03	7.38	0.4	0.25	0.3	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
3. น้ำทิ้งจากแซคคาริฟิเคชั่น	0.001	7.91	16.0	9.2	0.1	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
3. น้ำทิ้งจากการกรองสารละลายกลูโคส	0.20	6.58	19.0	4.3	65.0	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
4. น้ำทิ้งจากการล้างคอลัมน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน	0.50	11.33	45.0	8.5	0.2	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
5. น้ำทิ้งจากการล้างถังเก็บสารละลายกลูโคส	0.20	7.26	7.7	4.6	0.2	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

ที่มา : อรทัย ชวาลภาคุชี และวงศ์พันธ์ อิมปะสนีย์, 2538

4.8 กระบวนการผลิตซอร์บิตอล (Sorbitol) แหล่งของวัสดุเศษเหลือ และสมดุลมวลสาร

ซอร์บิตอล (Sorbitol) หรือเรียกอีกชื่อว่าดี-กลูซิตอล หมายถึง สารอินทรีย์จำพวกเฮกซะไฮดริก-อัลกอฮอล์ (Hexahydric alcohol) มีสูตร $C_6H_8(OH)_6$ มีลักษณะคล้ายน้ำเชื่อม ใส ไม่มีกลิ่น มีรสหวาน และมีฤทธิ์เป็นกลางต่อลิตมัส มีความหวานน้อยกว่า น้ำตาล มีรสเย็นซ่าคล้ายเมนทอล ละลายน้ำได้ดี

เนื่องจากการผลิตซอร์บิตอลจะใช้สารละลายกลูโคสเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยทั่วไปโรงงานผลิตแป้งแปรรูปจึงมักจะมีการผลิตกลูโคสด้วย ดังนั้นในการคำนวณปริมาณน้ำใช้และวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตจึงอยู่ในรูปของน้ำหนักต่อตันสารละลายกลูโคสที่ใช้เป็นสารตั้งต้น กระบวนการผลิตโดยละเอียด มีดังนี้

4.8.1 <u>การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชั่น</u>

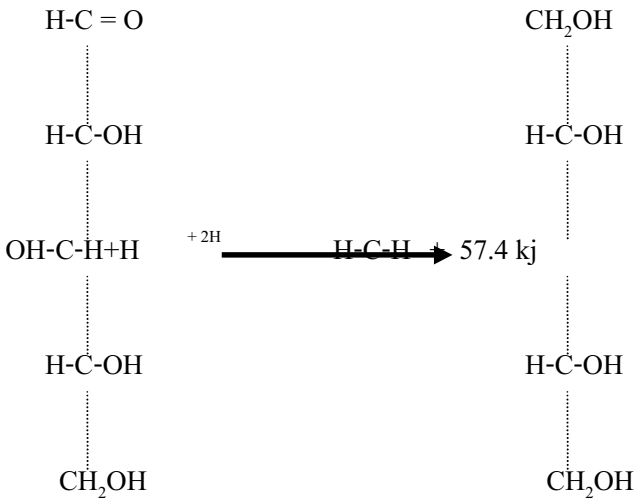
ซอร์บิตอลเกิดจากการนำกลูโคสมาทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชั่น ที่มีนิเกิล(Ni)เป็นสารเร่งปฏิกิริยา มีการผลิตเป็นแบบ batch จะได้ผลิตภัณฑ์ซอร์บิตอลที่มีความเข้มข้น 50%

สารละลายซอร์บิตอลที่ได้จะถูกทำให้มีความบริสุทธิ์ขึ้นใน 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกรองผ่านสารช่วยกรอง
2. การกำจัดอิออนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน

ในกระบวนการผลิตขั้นตอนสุดท้าย สารละลายซอร์บิตอลจะถูกทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยไอน้ำ

ในการเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นเพื่อเปลี่ยนกลูโคสเป็นซอร์บิตอล จะต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนความดันสูงช่วยในการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูป ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนนี้อาจได้จากหน่วยการผลิตก๊าซไฮโดรเจนภายในโรงงานเอง หรืออาจได้จากแหล่งอื่น



เพื่อเร่งปฏิกิริยา จะมีการเติมนิเกิล (Ni) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาลงในถังปฏิกิริยาในช่วงแรกของการผลิต กระบวนการผลิตซอร์บิตอลในลักษณะของ batch มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เติมสารละลายกลูโคสลงในถังปฏิกิริยา และเพิ่มอุณหภูมิของถังปฏิกิริยา
2. เติมก๊าซไฮโดรจีเนชั่น
3. ทำให้สารละลายเย็นลง
4. ตกตะกอนสารเร่งปฏิกิริยา (นิเกิล)
5. ลดความดันในถังปฏิกิริยา

สารละลายกลูโคสจะถูกใส่ลงในถังปฏิกิริยา (Autoclave) เติมสารละลายบัฟเฟอร์ (Na_2PO_3) โซดาไฟ นิเกิล และก๊าซไฮโดรเจน ปรับอุณหภูมิของถังเป็น 150 องศาเซลเซียส ความดัน 110-130 บาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายซอร์บิตอล แล้วลดอุณหภูมิสารละลายลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงทิ้งให้สารละลายซอร์บิตอลตกตะกอนนิเกิลในถังตกตะกอน และแยกนิเกิลไปล้างเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ ส่วนสารละลายซอร์บิตอลจะถูกนำไปลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนที่เหลืออยู่ในปริมาณน้อยจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ

สภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตในขั้นตอนนี้ ได้แก่

มวลสารนำเข้า : สารละลายบัฟเฟอร์ (Na_2PO_3)
สารละลายไฮดรอกไซด์ (NaOH)
นิเกิล (Ni) ประมาณ 0.35 กก./ตันสารละลายกลูโคส
ก๊าซไฮโดรเจน
Dernineral water ประมาณ 0.2 ลบ.ม./ตันสารละลายกลูโคส

วัสดุเศษเหลือจากการผลิต : น้ำทิ้งจากการล้างนิเกิล
0.2 ลบ.ม./ตันสารละลายกลูโคส

4.8.2 <u>การกรอง</u>

สารละลายซอร์บิตอลที่ยังคงมีนิเกิลปนเปื้อนอยู่ในปริมาณน้อยจะถูกนำไปผ่านการ กรอง เพื่อแยกเอาสารแขวนลอยต่าง ๆ ออก โดยการใช้สารช่วยกรอง

สภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตในขั้นตอนนี้ ได้แก่

มวลสารนำเข้า : สารช่วยกรองประมาณ 4.95 กก./ตันสารละลายกลูโคส

วัสดุเศษเหลือ : สารช่วยกรองและนิเกิลประมาณ 5.00 กก./ตันสารละลายกลูโคส

4.8.3 การทำให้สารละลายซอร์บิตอลบริสุทธิ์

สารละลายซอร์บิตอลจะไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนอิออนซึ่งมีจำนวน 2 ชุด เครื่องแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งจะจับอิออนประจุบวก ได้แก่ Ca^{2+}, Mg^{2+}, N^{a+},K^{+} และ Ni^{2+} หลังจากนั้นสารละลายจะไหลเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนประจุลบ สารละลายซอร์บิตอลที่ผ่านการแยกอิออนแล้วจะถูกนำเข้าสู่การระเหยน้ำเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายต่อไป

น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องแลกเปลี่ยนอิออนทั้ง 2 ชนิดจะถูกเก็บรวบรวมไว้ในถังปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง แล้วจึงนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอีกครั้ง

สภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตในขั้นตอนนี้ ได้แก่

มวลสารนำเข้า : demineral water ประมาณ 1.50 ลบ.ม./ตันสารละลายกลูโคส
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

วัสดุเศษเหลือ : regerated water 1.50 ลบ.ม./ตันสารละลายกลูโคส

4.8.4 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซอร์บิตอล

สารละลายซอร์บิตอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 49-51% จะถูกนำมาระเหยน้ำออกเพื่อทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 70% ในเครื่องระเหยน้ำที่อาจมี 1 หรือ 2 ขั้นตอนและควบคุมให้ระยะเวลาในการระเหยน้ำสั้นที่สุด แล้วสารละลายจึงถูกทำให้เย็นลงเหลืออุณหภูมิประมาณ 30-35 องศา-เซลเซียส

ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมีการระเหยของน้ำประมาณ 0.35 ลบ.ม./ตันสารละลายกลูโคส

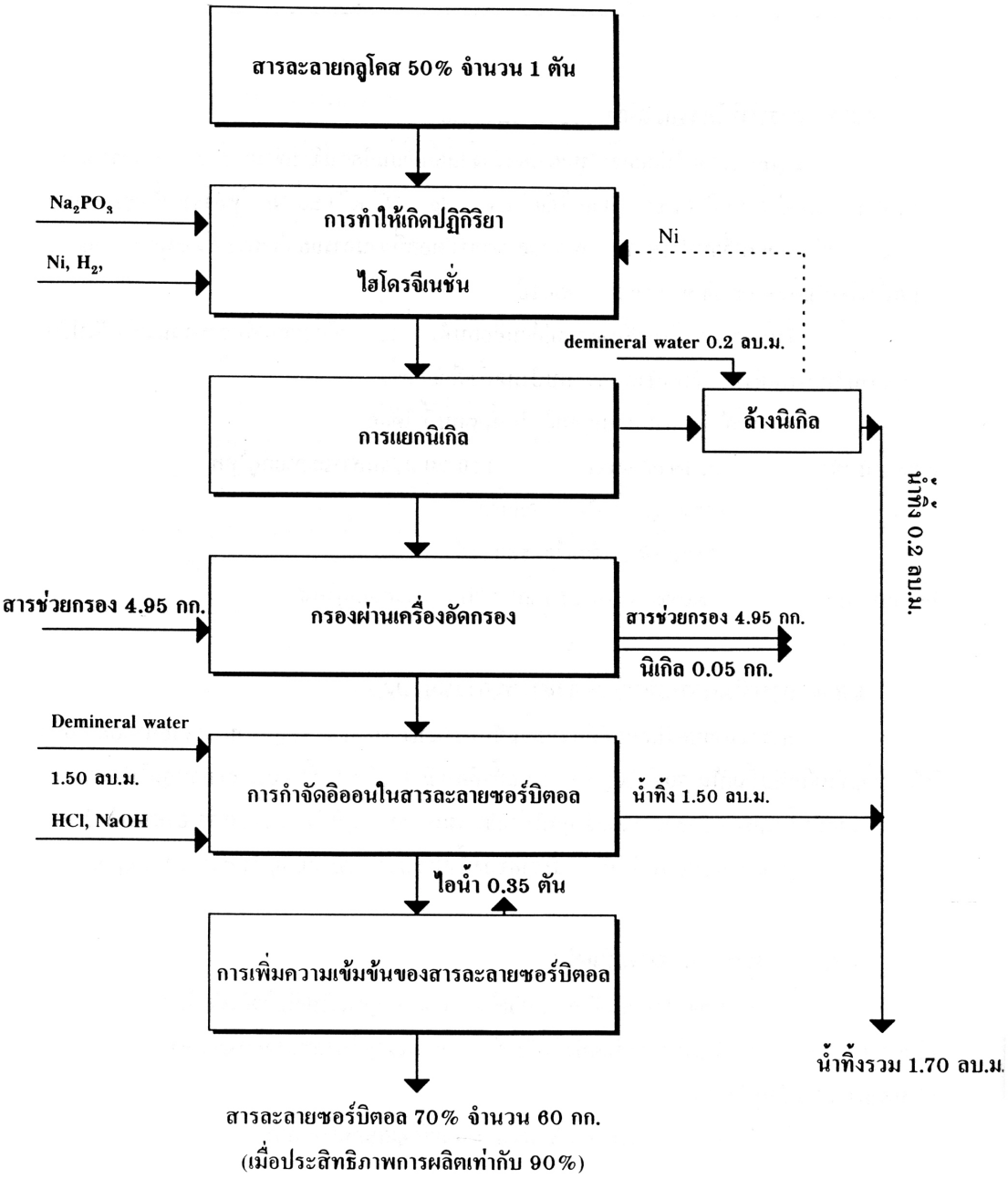
4.8.5 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

สารละลายซอร์บิตอลที่มีความเข้มข้น 70% จะถูกนำไปเก็บไว้ยังถังเก็บกัก ซึ่งในระยะเก็บกักนี้ จะต้องป้องกันน้ำแห้งเกาะติดผนังถังเก็บกักและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงต้องมีการ-หมุนเวียนอากาศร้อนเข้าสู่ถังตลอดเวลา

ในขั้นตอนการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะไม่มีวัสดุเศษเหลือเกิดขึ้น

4.8.6 บทสรุปของการทำสมดุลมวลสาร

จากข้อมูลสมดุลมวลสารในกระบวนการผลิตซอร์บิตอลในรูปที่ 4-6 ซึ่งแสดงเฉพาะส่วนที่สัมพันธ์กับการเกิดน้ำเสียเท่านั้น จะเห็นได้ว่าวัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นเป็นของเหลวทั้งหมด โดยเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างนิเกิล และน้ำทิ้งจากการล้างคอลัมน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน ซึ่งมีปริมาณรวม 1.70 ลูกบาศก์เมตร/ตันสารละลายกลูโคส



<u>รูปที่ 4-6</u> แผนผังขั้นตอนการผลิตซอร์บิตอล

4.9 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตซอร์บิตอล

วัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตซอร์บิตอลมีทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว โดยวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งมีประมาณ 5 กก./ตันสารละลายกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยสารช่วยกรองและนิเกิล ส่วนวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวจะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการล้างนิเกิลและน้ำทิ้งจากกาล้างคอลัมน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน เป็นน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นอย่างเป็นครั้งคราว แต่มีปริมาณความสกปรกทั้งในรูปของสารแขวนลอย บีโอดี และซีโอดีสูง (ตารางที่ 4-8)

ตารางที่ 4-8 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตซอร์บิตอล

แหล่งกำเนิดวัสดุเศษเหลือ	ปริมาณวัสดุเศษเหลือ (ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง)	ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือ					หมายเหตุ
		พีเอช	บีโอดี (กรัม/ลิตร)	ซีโอดี (กรัม/ลิตร)	สารแขวนลอย (กรัม/ลิตร)	นิเกิล (กรัม/ลิตร)	
1. น้ำทิ้งจากการล้างนิเกิล	0.2	9.90	7.8	10.0	2.50	1.20	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
2. น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน	1.50	5.50	3.8	11.0	0.40	0.05	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

4.10 กระบวนการผลิตฟรุคโตส แหล่งของวัสดุเศษเหลือ และสมดุลมวลสาร

สารละลายฟรุคโตส (High fructose syrup) หมายถึงสารละลายแซคคาไรด์ ที่ได้จากการย่อยแป้ง ซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นแล้ว โดยมีส่วนของกลูโคสถูกไอโซเมอร์ไรซเป็นฟรุคโตส

เนื่องจากโรงงานส่วนใหญ่ทำการผลิตฟรุคโตสต่อเนื่องจากการผลิตกลูโคส ซึ่งมีการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบของการผลิตตั้งต้น ดังนั้นในการคำนวณปริมาณน้ำใช้และวัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นจากการผลิตจึงอยู่ในรูปของน้ำหนักต่อตันสารละลายกลูโคส โดยรายละเอียดของกระบวนการผลิตฟรุคโตสดังนี้

4.10.1 <u>การทำให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน</u>

เติมเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส เพื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายกลูโคส แล้วเปลี่ยนให้เป็นฟรุคโตสจะได้สารละลายผสมระหว่างกลูโคสและฟรุคโตส ซึ่งมีความเข้มข้นฟรุคโตสร้อยละ 42 (HFS 42) แล้วนำสารละลายกรองผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนอิออนเพื่อกำจัดอิออนประจุบวกและลบ

สำหรับสภาวะที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ประกอบด้วย

มวลสารนำเข้า : เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเพื่อเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นฟรุคโตส

$Mg.SO_4$, 7 H_2O (สารเร่งปฏิกิริยา)

กรดไฮโดรคลอริก

โซเดียมไฮดรอกไซด์

Demineral water 0.6 ลูกบาศก์เมตร/ตันสารละลายกลูโคส

วัสดุเศษเหลือ : น้ำทิ้งจากการล้างถังแลกเปลี่ยนอิออน 0.6 ลูกบาศก์เมตร/สารละลายกลูโคส

4.10.2 <u>การแยกฟรุคโตส</u> (HFS-90)

นำสารละลายฟรุคโตสที่ผ่านการกำจัดอิออนบวกและลบแล้วมาผ่านเครื่องโครมาโต-กราฟเซพาเรชั่น (Chromatograph separation) เพื่อแยกฟรุคโตสจากสารละลายทำให้ได้สารละลายที่มีฟรุคโตสสูงถึงร้อยละ 90 ออกมา แล้วนำมาผสมกับสารละลาย HFS 42 ทำให้ได้สารละลายที่มีฟรุคโตสเข้มข้น 55% (HFS 55) สารละลายที่เหลือซึ่งมีกลูโคสสูงจะถูกนำกลับไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสอีกครั้งหนึ่ง

ในขั้นตอนนี้จึงไม่มีวัสดุเศษเหลือเกิดขึ้น

4.10.3 <u>การทำให้บริสุทธิ์</u>

สารละลาย HFS 55 จะถูกนำไปกำจัดอิออนในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออนแบบผสม แล้วจึงนำไปกำจัดสีในเครื่องกรองผงถ่านกัมมันต์

สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ประกอบด้วย

มวลสารนำเข้า : ผงถ่านกัมมันต์ 3 กก./ตันสารละลายกลูโคส
กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง
โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง
Demineral water 1.2 ลูกบาศก์เมตร/ตันสารละลายกลูโคส

วัสดุเศษเหลือ : น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน
0.8 ลูกบาศก์เมตร/ตันสารละลายกลูโคส
ผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วประมาณ 3 กก./ตันสารละลายกลูโคส

4.10.4 <u>การทำให้เข้มข้นขึ้น</u>

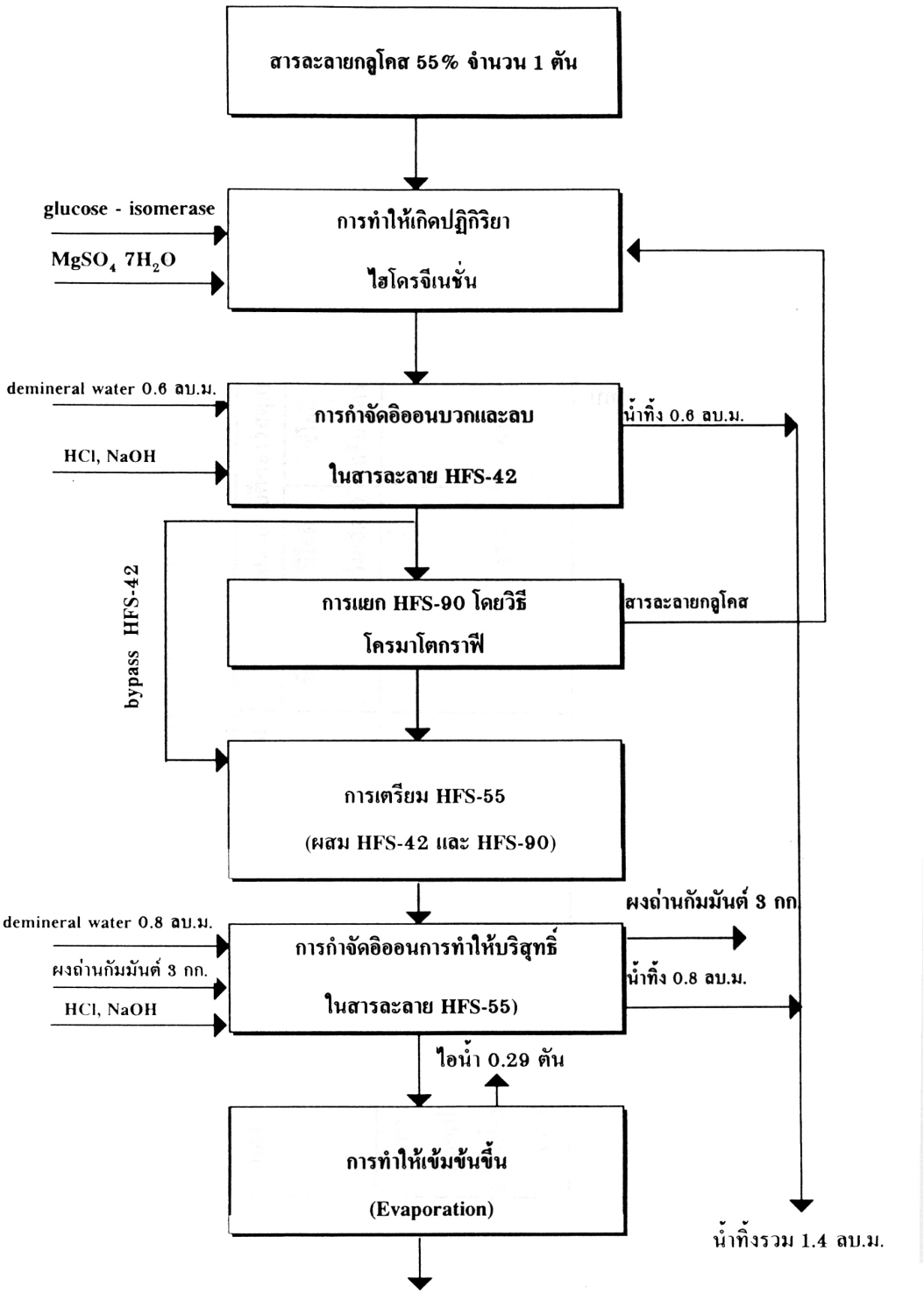
สารละลาย HFS 55 จะถูกนำเข้าสู่เครื่องระเหยไอน้ำจนได้สารละลาย HFS 55 ที่มีความเข้มข้นประมาณ 70% และเก็บไว้ในถังเก็บผลิตภัณฑ์ น้ำที่ได้จากการระเหยไอน้ำซึ่งมีประมาณ 0.29 กิโลกรัม/ตันสารละลายกลูโคสจะถูกนำกลับไปใช้ผสมแป้งเพื่อเตรียมสารละลายแป้งสำหรับโรงงานที่มีการผลิตกลูโคสด้วย

ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงไม่มีวัสดุเศษเหลือเกิดขึ้น

4.10.5 <u>บทสรุปของการทำสมดุลมวลสาร</u>

การผลิตฟรุคโตสตามกรรมวิธีดังกล่าวใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 15 ชั่วโมง สำหรับแผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตฟรุคโตสและข้อมูลสมดุลมวลสารที่พิจารณาเฉพาะส่วนที่สัมพันธ์กับการเกิดน้ำเสียเท่านั้นแสดงดังรูปที่ 4-7

จากข้อมูลสมดุลมวลสารในกระบวนการผลิตฟรุคโตส วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว เป็นน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากการล้างคอลัมน์ในถังแลกเปลี่ยนอิออนรวมทั้งสิ้นประมาณ 1.4 ลูกบาศก์เมตร/ตันสารละลายกลูโคส ส่วนวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งเป็นผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว ประมาณ 3 กก./ตันสารละลายกลูโคส



<u>รูปที่ 4-7</u> แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตฟรุคโตส

4.11 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือจากการผลิตฟรุคโตส

ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากแต่ละขั้นตอนการผลิตฟรุคโตส แสดงดังตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการเกิดวัสดุเศษเหลือทั้งหมดเป็นการเกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นน้ำทิ้งจากการล้างถังแลกเปลี่ยนอิออน โดยน้ำเสียจะมีค่าซีโอดี บีโอดี และสารแขวนลอยสูงมาก นอกจากนี้ยังมีความเป็นกรดและด่างสูง ซึ่งเกิดจากกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง และโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอิออน

ตารางที่ 4-9 ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตฟรุคโตส

แหล่งกำเนิดวัสดุเศษเหลือ	ปริมาณวัสดุเศษเหลือ (ลบ.ม./ตันแป้ง)	ลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือ				หมายเหตุ
		พีเอช	บีโอดี (กรัม/ลิตร)	ซีโอดี (กรัม/ลิตร)	สารแขวนลอย (กรัม/ลิตร)	
1. น้ำทิ้งจากการล้างถังแลกเปลี่ยนอิออน I	0.60	9.8	7.0	12.0	0.30	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว
2. น้ำทิ้งจากการล้างถังแลกเปลี่ยนอิออน II	0.80	1.4	47.5	63.0	0.20	เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

บทที่ 5

มาตรการป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิต

หลักการของมาตรการป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิต หรือ Process Integrated Pollution Prevention and Control Strategy (IPPCS) คือเพื่อจัดการกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการ ดังนี้

- ปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบ
- ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- ควบคุมผลพลอยได้ (by-product) และวัสดุเศษเหลือ (residues) จากการผลิต
- นำผลพลอยได้และวัสดุเศษเหลือจากการผลิตไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด
- ลดปริมาณของวัสดุเศษเหลือที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ และหาทางกำจัดอย่างเหมาะสม

ดังนั้นมาตรการป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิต (IPPCS) จึงช่วยป้องกันทรัพยากรธรรมชาติ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตทั้งในด้านการเพิ่มผลผลิต การลดพลังงานที่ใช้ในการผลิต และการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ข้อเสนอในการจัดการควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปต่อไปนี้เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการนำมาใช้แล้วในต่างประเทศ และในบางส่วนก็มีการนำมาใช้แล้วในประเทศไทยด้วย

5.1 การปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิต

5.1.1 <u>การจัดการไร่มันสำปะหลัง</u>

การใช้รากมันสำปะหลังที่มีเปอร์เซนต์ของแป้งสูง นอกจากจะช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นแล้วยังเป็นการช่วยลดปริมาณน้ำใช้ และลดปริมาณวัสดุเศษเหลือที่จะต้องจัดการอีกด้วย สำหรับพันธุ์มันสำปะหลังที่ให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงและมีคุณภาพแป้งดีที่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกเพื่อเป็นวัตถุดิบของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังได้แก่ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ระยอง 5 เนื่องจากทั้งสองสายพันธุ์ให้ผลผลิตต่อไร่สูงด้วย

สำหรับดินที่ทำการเพาะปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปีการใส่ปุ๋ยเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรักษาระดับผลผลิตในระยะยาว อีกทั้งส่วนของต้นมันสำปะหลังที่ไม่ใช้ เช่น ใบ กิ่ง ก้าน หรือลำต้นควรสับทิ้งไว้ในแปลงเพื่อเป็นปุ๋ยพืชสดในดิน

ศูนย์ลดต้นทุนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยได้จัดทำข้อแนะนำวิธีการปลูกมันสำปะหลังที่เหมาะสมในทุกขั้นตอนตั้งแต่การเตรียมดิน การเตรียมท่อนพันธุ์ การเพาะปลูก การกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ย จนถึงการเก็บเกี่ยวและบำรุงรักษา ขยายพันธุ์ ข้อแนะนำต่าง ๆ เหล่านี้ผู้ประกอบการผลิตแป้งมันสำปะหลังควรผลักดันและให้การสนับสนุนแก่เกษตรกรในการนำไปใช้ในการเพาะปลูก รวมถึงปลูกฝังแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือจากการเพาะปลูก เช่น ใบและลำต้นของมันสำปะหลัง และการนำวัสดุเศษเหลือจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ fruit water , กากมัน , เปลือกรากมัน และเศษราก และดินทรายกลับไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรม ด้วยการพัฒนากิจกรรมต่าง ๆ ที่เป็นความร่วมมือกันระหว่างเกษตรกรและผู้ประกอบการผลิตแป้งมันสำปะหลังในการนำวัสดุเศษเหลือเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์

ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากไร่ก่อนที่จะนำส่งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสิ่งที่ควรคำนึงถึง ได้แก่

- พยายามให้มีเศษของรากติดมาด้วยน้อยที่สุด
- พยายามให้มีเศษดินทรายปนเปื้อนมาด้วยน้อยที่สุด(ด้วยการเก็บเกี่ยวผลผลิตในขณะที่ดินแห้ง หรือการกำจัดเศษดินทรายขณะเก็บเกี่ยว)

5.1.2 <u>การรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ</u>

เกษตรกรควรจะทำการเก็บเกี่ยวรากมันสำปะหลังเมื่อมีอายุ 10-12 เดือน ซึ่งเป็นช่วงอายุที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งในรากสดสูงแล้ว (ตารางที่ 4-1) ยังควรนำรากสดส่งถึงโรงงานโดยเร็วที่สุด เนื่องจากรากมันสดที่ปล่อยทิ้งไว้นานเกินควรจะทำให้โมเลกุลของแป้งถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติค (Lactic acid) โดยจุลินทรีย์ เป็นการสูญเสียแป้งโดยตรง ในขณะเดียวกันการขนส่งวัตถุดิบเป็นระยะทางไกล ๆ ยังไม่คุ้มทุนอีกด้วย

5.1.3 <u>การป้องกันการสูญเสียแป้งในระหว่างการผลิตและการลดปริมาณของเสีย</u>

จากสมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ทั้งโดยวิธีการที่ไม่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ และที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ดังตารางที่ 4-3 และ4-4 นั้นจะเห็นได้ว่ามีการสูญเสียแป้งประมาณร้อยละ 16-17 (38-40 กิโลกรัมต่อตันรากมันสด) โดยร้อยละ 87 ของแป้งที่สูญเสียไปจะอยู่ในรูปของเหลวคือ น้ำเสียจากการล้างรากมัน น้ำเสียจากเครื่อง-ดีแคนเตอร์ น้ำเสียจากการสกัดแป้ง และน้ำเสียจากเครื่องแยก (Separator) และอีกประมาณร้อยละ 13 ของแป้งที่สูญเสียไปอยู่ในรูปวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง คือ กากมันสำปะหลัง เปลือกรากมันสด และการสูญเสียแป้งที่ไซโคลนของหน่วยอบแป้ง อย่างไรก็ตามปริมาณการสูญเสียแป้งดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับเครื่องมือและประ

สิทธิภาพการผลิตอีกด้วย โดยข้อเสนอในการป้องกันการสูญเสียแป้งที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต และการลดปริมาณของเสียจากการผลิต มีดังนี้

5.1.3.1 <u>การควบคุมและรักษากระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ</u>

1) การจัดการวัตถุดิบ :

- รากมันสำปะหลังที่มีขนาดใหญ่จะต้องถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน เพื่อให้เครื่องปอกเปลือกทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- รากมันสำปะหลังที่ส่งถึงโรงงานควรจะต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตทันที ในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บไว้รอการผลิตควรเก็บ-ไว้ในลังหรือถัง (bunker) เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อน ลังหรือถังเก็บรากมันควรมีความจุเท่ารถบรรทุก 1 คัน(625 กก./ลบ.ม.) เพื่อสะดวกในการนำเข้าสู่การผลิตตามลำดับเวลาที่รากมันสดมาถึงโรงงาน
- ควรเก็บรากมันสดไว้ในลังหรือถัง หรือเก็บในที่ร่ม และไม่ควรกองวัตถุดิบบนพื้นคอนกรีต เพื่อป้องกันการสูญเสียแป้ง

2) การควบคุมระยะเวลาการผลิต (เพื่อลดการสูญเสียแป้งโดยจุลินทรีย์)

- การผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native starch ใช้เวลาเฉลี่ยน้อยกว่า 1 ชั่วโมง
- หลีกเลี่ยงการนำน้ำแป้งกักเก็บในถังพักในระหว่างการผลิต
- ควบคุมให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลา

3) ป้องกันการทำงานของจุลินทรีย์ในระหว่างการผลิต

- หลีกเลี่ยงการปนเปื้อนสิ่งสกปรกในระหว่างการผลิต ด้วยการใช้ระบบปิดในทุกขั้นตอน
- แยก fruit water ออกจากรากมันสำปะหลังเนื่องจากมีสารอาหารที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
- ควบคุมการผลิตและการใช้น้ำกำมะถัน
- ใช้ผ้ากรองแป้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วในขณะทำการบรรจุ
- ป้องกันการรวมตัวของแป้งเป็นก้อนตามผนังของถัง หรือท่อด้วยการควบคุมอุณหภูมิของผลผลิต

4) ปรับปรุงวิธีการสกัดและแยกแป้ง (เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด)

- ตรวจสอบเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการสับและบดรากมัน - สำปะหลังเพื่อให้การสับและบดมีประสิทธิภาพสูงสุด
- ควบคุมการไหลของน้ำแป้งและน้ำแบบ counter-current
- ควบคุมประสิทธิภาพของการแยกเศษดินทรายออกจากรากมันสำปะหลังและกากมันออกจากแป้งมันสำปะหลังก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้แป้งบริสุทธิ์ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์
- รักษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกแป้ง เช่น ไซโคลนและเครื่องเซนตริฟิวจ์ด้วยการตรวจสอบ ล้าง ซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ

5) หลีกเลี่ยงการสูญเสียผลิตภัณฑ์ระหว่างการล้างในการผลิตแบบ batch
- ตรวจสอบว่านำผลิตภัณฑ์ออกจากถัง ท่อและปั๊มจนหมดแล้วเมื่อสิ้นสุดการผลิตและก่อนการล้าง

6) ตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดักแป้งที่ปลิวออกจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันดัดแปรในขั้นตอนการทำให้แห้ง
- บำรุงรักษาไซโคลน(cyclone) และ Scrubber และผ้ากรองใน Bag filter
- ควบคุมระบบอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของเครื่องเป่าลมร้อน (flash-dryer)
- ตัวอย่างของการนำแป้งที่สูญเสียจากอุปกรณ์ทำให้แป้งแห้งโดยการใช้ Venturi scrubber แสดงในภาคผนวก ช.)

7) ควบคุมประสิทธิภาพการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ควบคุมปริมาตรอากาศที่จะให้ทำปฏิกิริยากับไอของกำมะถันไม่ให้มากเกินไป เพราะจะทำให้อุณหภูมิขณะเผาไหม้ลดลงและปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์
- ควบคุมปริมาณของอากาศที่จะเข้าทำปฏิกิริยา
- การผสมระหว่างอากาศและไอของกำมะถันที่สม่ำเสมอจะทำให้ไม่มีปริมาณของก๊าซออกซิเจนเหลือพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นต่อจนเกิดเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

8) ควบคุมพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการผลิตแป้งดัดแปรและแป้งแปรรูป ได้แก่

- ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา และสารเร่งปฏิกิริยา
- อุณหภูมิ และพีเอชในการเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

9) ควบคุมและรักษาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนอิออนในการผลิตกลูโคส ฟรุคโตส และซอร์บิตอล

10) ควบคุมและรักษาประสิทธิภาพการผลิตน้ำ Demineral ที่ใช้ในการผลิตกลูโคส ฟรุคโตส และซอร์บิตอล

11) ตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตตามดัชนีวิเคราะห์

5.1.3.2 <u>การปรับปรุงกระบวนการผลิต</u>

การปรับปรุงเทคโนโลยีในการผลิตนอกจากจะส่งผลต่อคุณภาพของแป้งแล้วยังสามารถช่วยลดมลภาวะจากกระบวนการผลิตอีกด้วย

1) การทำความสะอาดราก และการขนส่งวัตถุดิบ
   - ปรับปรุงวิธีกำจัดเศษดินและทรายออกจากรากมันด้วยวิธีที่ไม่ใช้น้ำ (เพื่อลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียจากการผลิต)
     ในการขนส่งรากมันสดเข้าสู่กระบวนการผลิตควรจะมีการกำจัดเศษดินทรายอย่างต่อเนื่อง

2) การล้างรากมันสำปะหลัง
   - ใช้น้ำล้างโดยการฉีดพ่น
   - ฉีดพ่นน้ำไปยังรากมันสำปะหลังในทิศทางสวนกัน (counter-current)

3) การแยก Fruit water
   - อาจใช้ hydrocyclone แทนที่ดีแคนเตอร์ (decanter) เนื่องจาก
     - ได้รับ fruit water ที่มีความเข้มข้นสูงเนื่องจากไม่ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำเสีย
       ประสิทธิภาพการแยก fruit water ด้วยดีแคนเตอร์ 80%
       ประสิทธิภาพการแยก fruit water ด้วยไฮโดรไซโคลน 95%
     - ใช้น้ำกำมะถันในปริมาณน้อย (แยก fruit water ออกได้มาก)
     - ใช้น้ำในปริมาณต่ำกว่า
     - ระดับเสียงต่ำกว่า
     - ค่าบำรุงรักษาต่ำกว่า

- ไม่มีการใช้เครื่องสูบน้ำระหว่างหน่วยของไซโคลน

- เมื่อแยก fruit water ออกจากน้ำทิ้งรวมจากกระบวนการผลิต จะสามารถลดปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ที่จะต้องบำบัด
  - เมื่อใช้ดีแคนเตอร์แยก ประมาณ 34 กก.ซีโอดี/ตันรากสด (เท่ากับ 55%ของปริมาณความสกปรกในน้ำเสียรวม)
  - เมื่อใช้ไฮโดรไซโคลนแยก ประมาณ 40 กก.ซีโอดี/ตันรากสด (เท่ากับ 65%ของปริมาณความสกปรกในน้ำเสียรวม)

4) การสกัดแป้ง

- อาจใช้ separator decanter แทนที่เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sieves centrifugal) เนื่องจาก
  - ประสิทธิภาพในการแยกแป้งสูงกว่า
  - ความต้องการใช้น้ำสูงกว่า (ข้อเสีย)

5) การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง

- อาจใช้ไฮโดรไซโคลนจำนวน 6-12 ขั้นตอนแทนเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separator) เนื่องจาก
  - ประสิทธิภาพการล้างสูงกว่า
  - ต้องการน้ำใช้ในปริมาณน้อยกว่า
  - เสียงดังน้อยกว่า
  - ค่าบำรุงรักษาต่ำกว่า

5.1.3.3 <u>การลดปริมาณน้ำเสีย</u>

ในการลดปริมาณน้ำเสียด้วยการนำน้ำทิ้งจากแต่ละขั้นตอนกลับมาใช้ใหม่ มีข้อพิจารณาดังนี้

1) มีผลดีในด้านการลดการใช้ทรัพยากรน้ำ
2) เพิ่มการสะสมของสารแขวนลอยหรือเกลือในน้ำใช้มากขึ้น
3) เพิ่มการกัดกร่อนของระบบท่อส่งน้ำในกระบวนการผลิต
4) เป็นการสะสมของสารต่าง ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา

ในปัจจุบันโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ส่วนใหญ่จะนำน้ำเสียบางส่วนกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่ โดยเฉพาะนำน้ำเสียที่เกิดจากเครื่องแยก และเครื่องอัดกาก

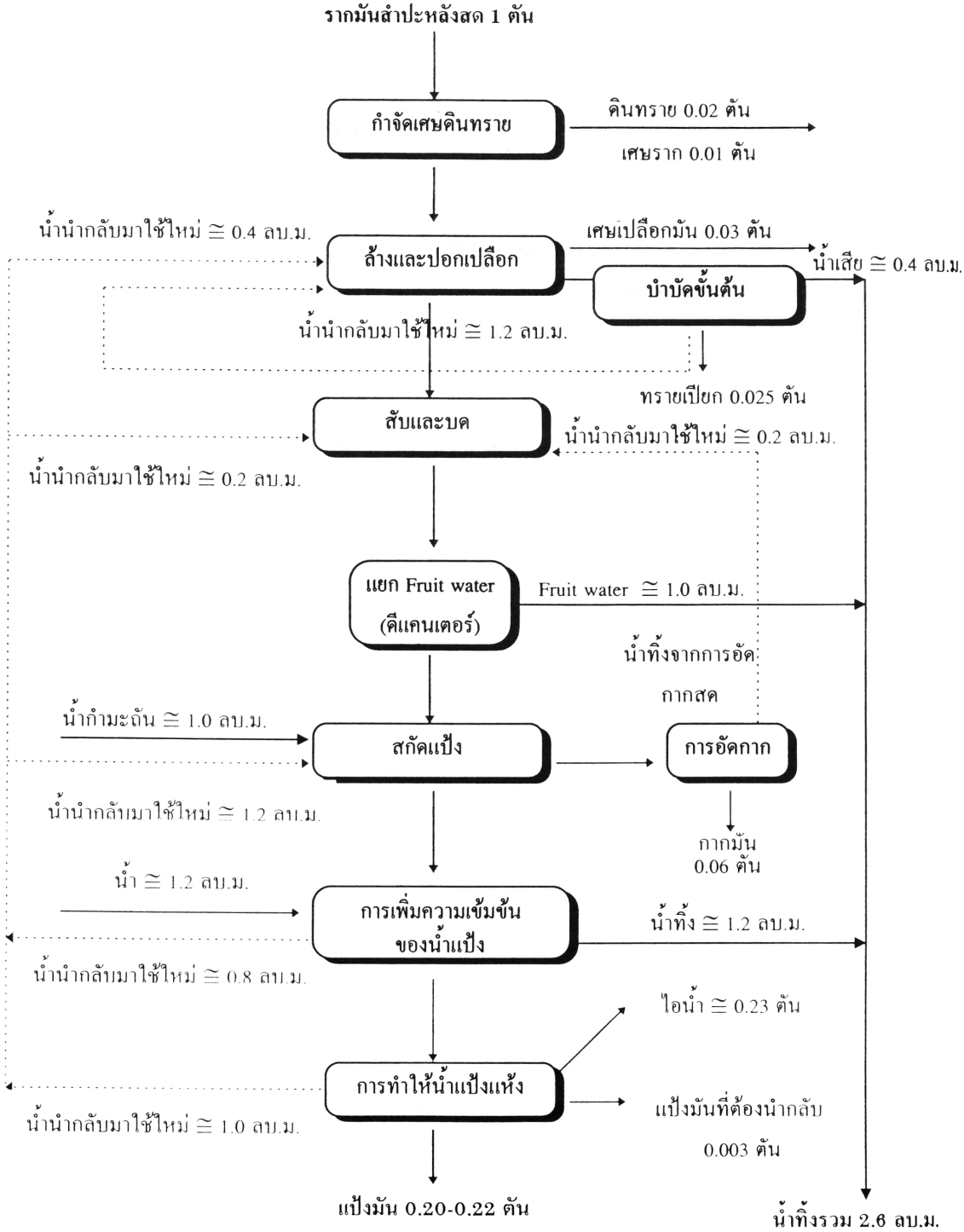
กลับไปใช้ในการล้างรากมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นขั้นตอนแรก โดยวิธีนี้จะสามารถลดปริมาณน้ำเสียลงไปเหลือปริมาณน้ำเสียที่ต้องบำบัดประมาณ 3.8 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสด หรือสามารถลดปริมาณน้ำเสียลงได้ประมาณร้อยละ 34 ในขณะที่โรงงานที่ไม่มีการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ จะกำเนิดน้ำเสียในปริมาณเฉลี่ยสูงถึง 5.8 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสด อย่างไรก็ตามโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูง ๆ (1,000-2,000 ตันรากสด/วัน) บางแห่งอาจสามารถลดการใช้น้ำลงเหลือเพียง 1.5-2.0 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสด

การนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตแป้งมันสำปะหลังและแป้งดัดแปร อาจทำได้โดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

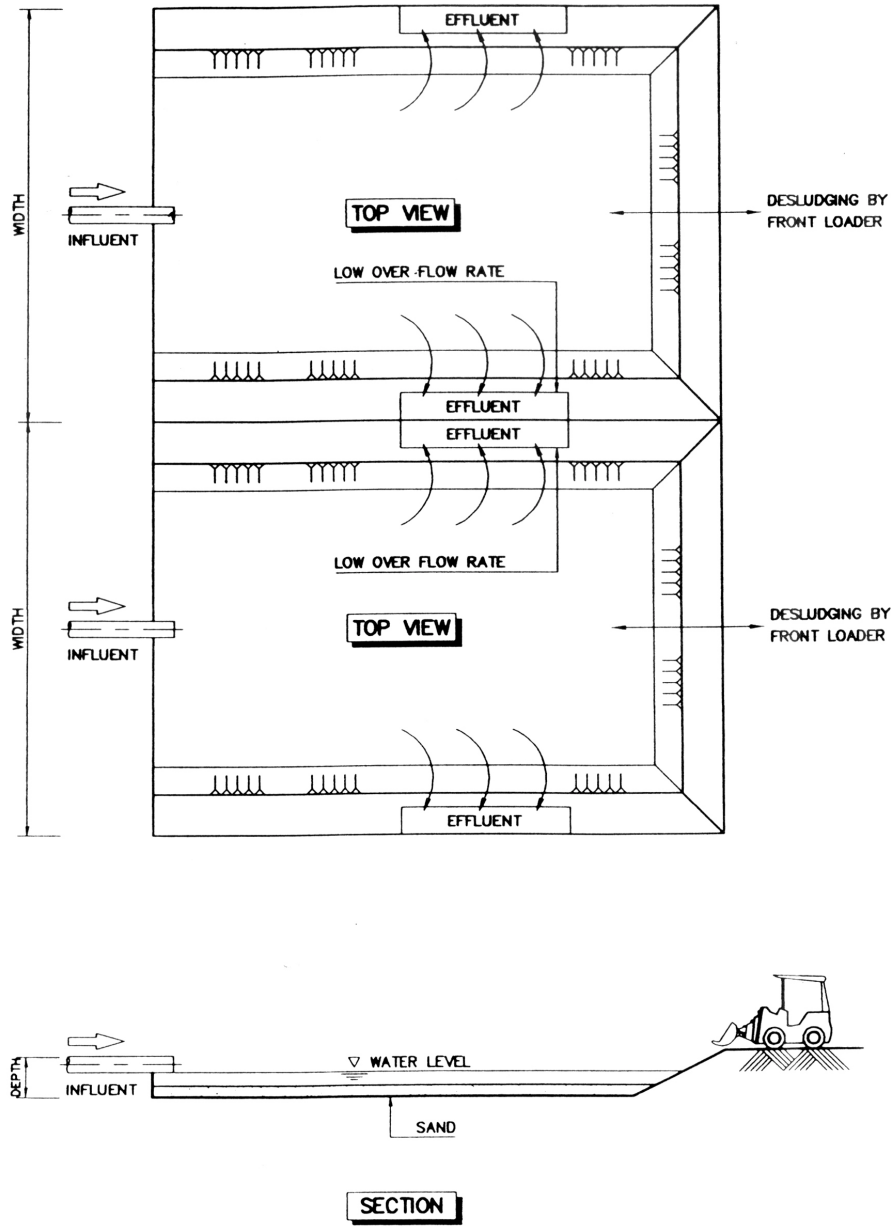
1) การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

- น้ำทิ้งจากการล้างรากมันสำปะหลังอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก หากมีการบำบัดขั้นต้นก่อน เนื่องจากน้ำทิ้งจากการล้างรากมันสดมีการปนเปื้อนของของแข็งแขวนลอยในปริมาณสูง ซึ่งคณะผู้ศึกษาเสนอรูปแบบของการบำบัดเป็นแบบบ่อตกตะกอนจำนวน 2 บ่อ เพื่อสลับการทำงานเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) เนื่องจากต้องมีการขุดลอกบ่อเพื่อนำตะกอนไปกำจัดทุกวัน โดยรูปแบบของบ่อแสดงดังรูปที่ 5-1 และ 5-2

  ตัวอย่างการคำนวณรายละเอียดของบ่อตกตะกอนแสดงในภาคผนวก ค
- ใช้น้ำในรูปแบบ Counter-current -ใช้น้ำดีเฉพาะในเครื่องแยกแป้งชุดสุดท้ายและนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่
  -ในระหว่างการสกัด(ในกรณีที่แยกfruit water)
- น้ำทิ้งจากเครื่องแยกชุดแรกนำกลับไปใช้ล้างรากมันสำปะหลัง
- น้ำทิ้งจากขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแป้งนำกลับไปใช้การสกัดแป้ง
- น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกากนำกลับไปใช้ในเครื่องบดรากมันสำปะหลัง เฉพาะในกรณีที่กากไม่ถูกทิ้งไว้นานจนเกิดการหมัก และเมื่อใช้เครื่องดีแคนเตอร์ในการแยก fruit water
- นำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม ดังรายละเอียดในหัวข้อ 5.2

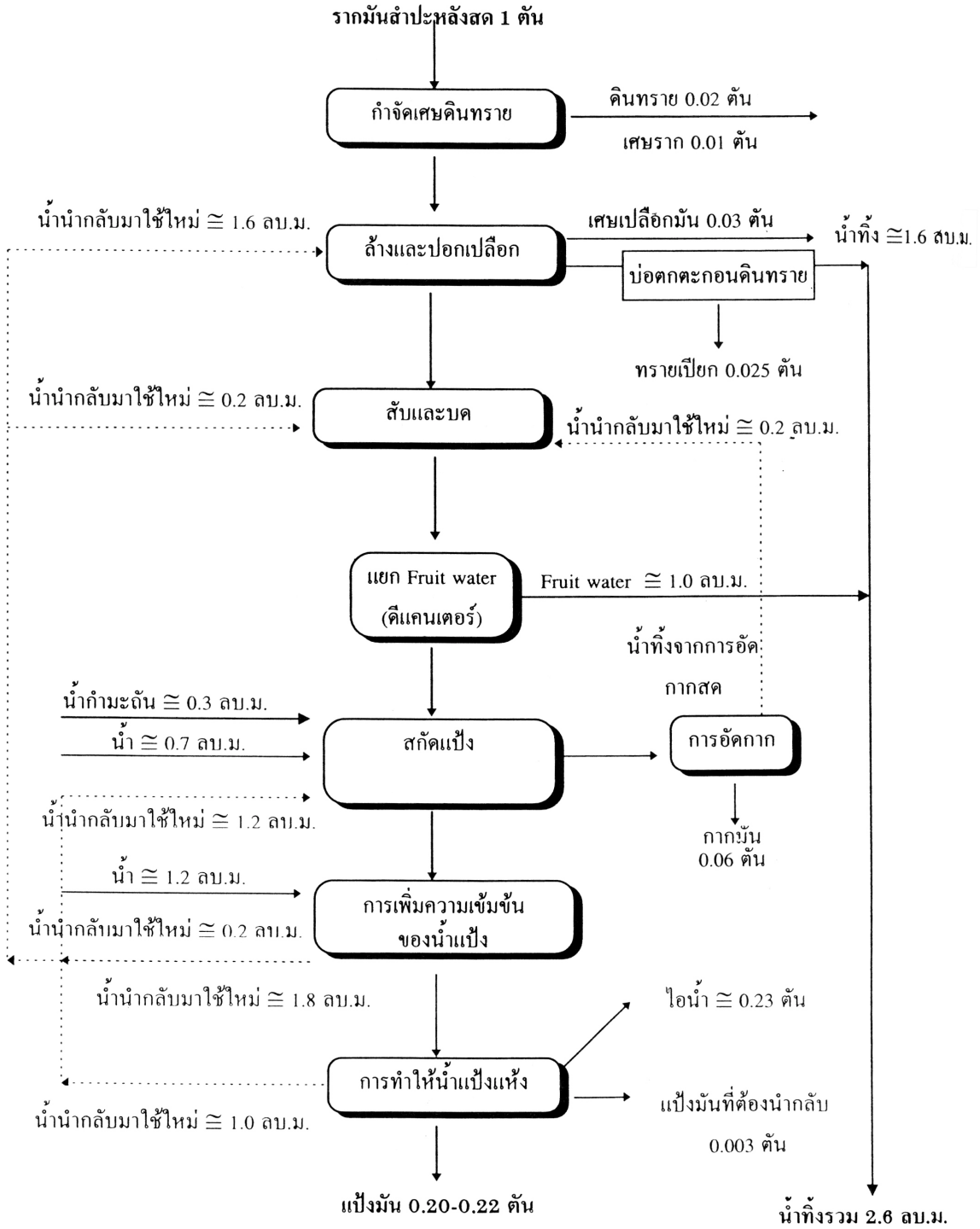


<u>รูปที่ 5-1</u> แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่มีการนำน้ำทิ้งจากการล้างรากมันกลับมาใช้ใหม่

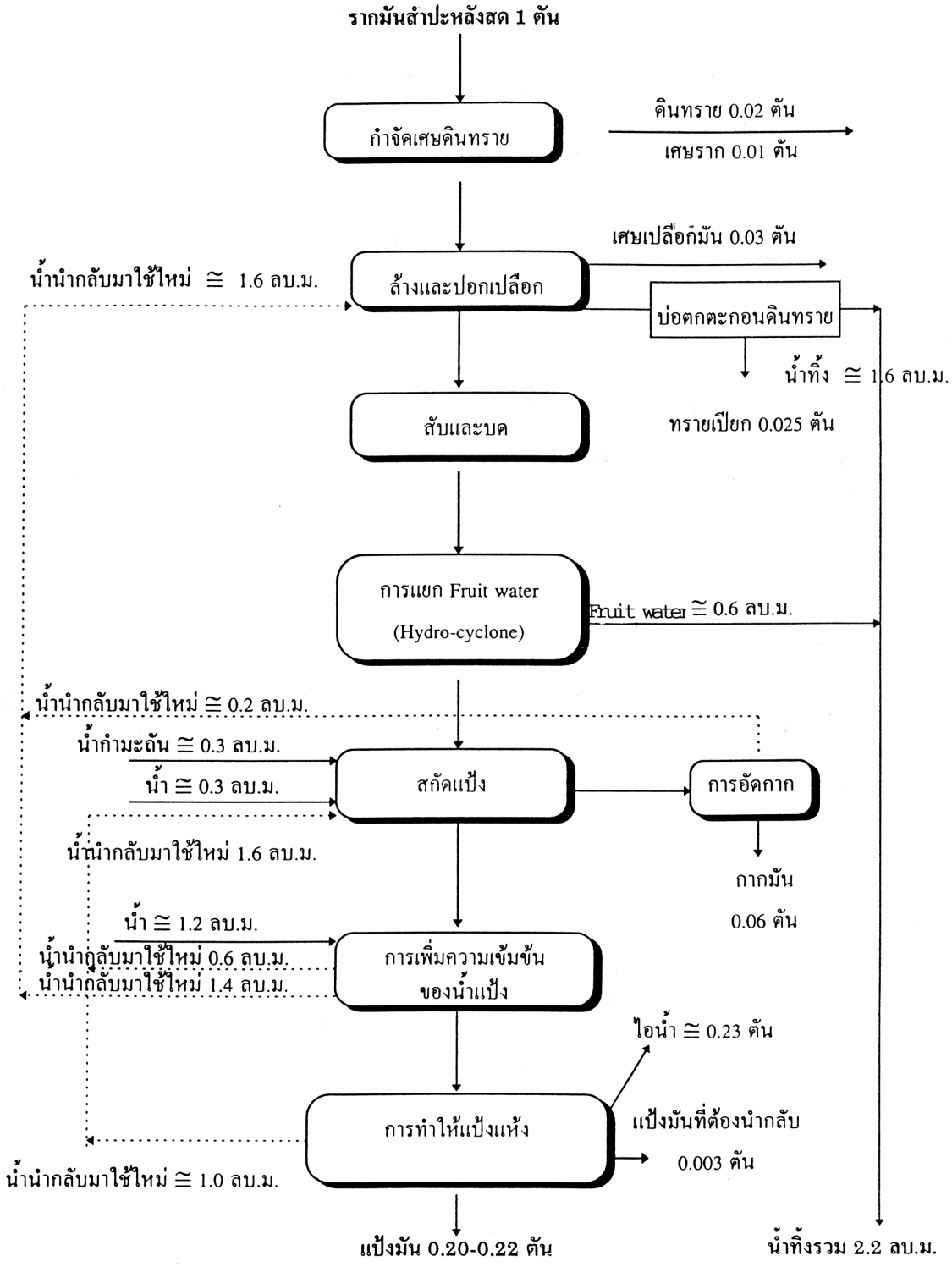


รูปที่ 5-2 ตัวอย่างบ่อตกตะกอนดินทราย (การบำบัดน้ำทิ้งจากการล้างรากมันขั้นต้น)

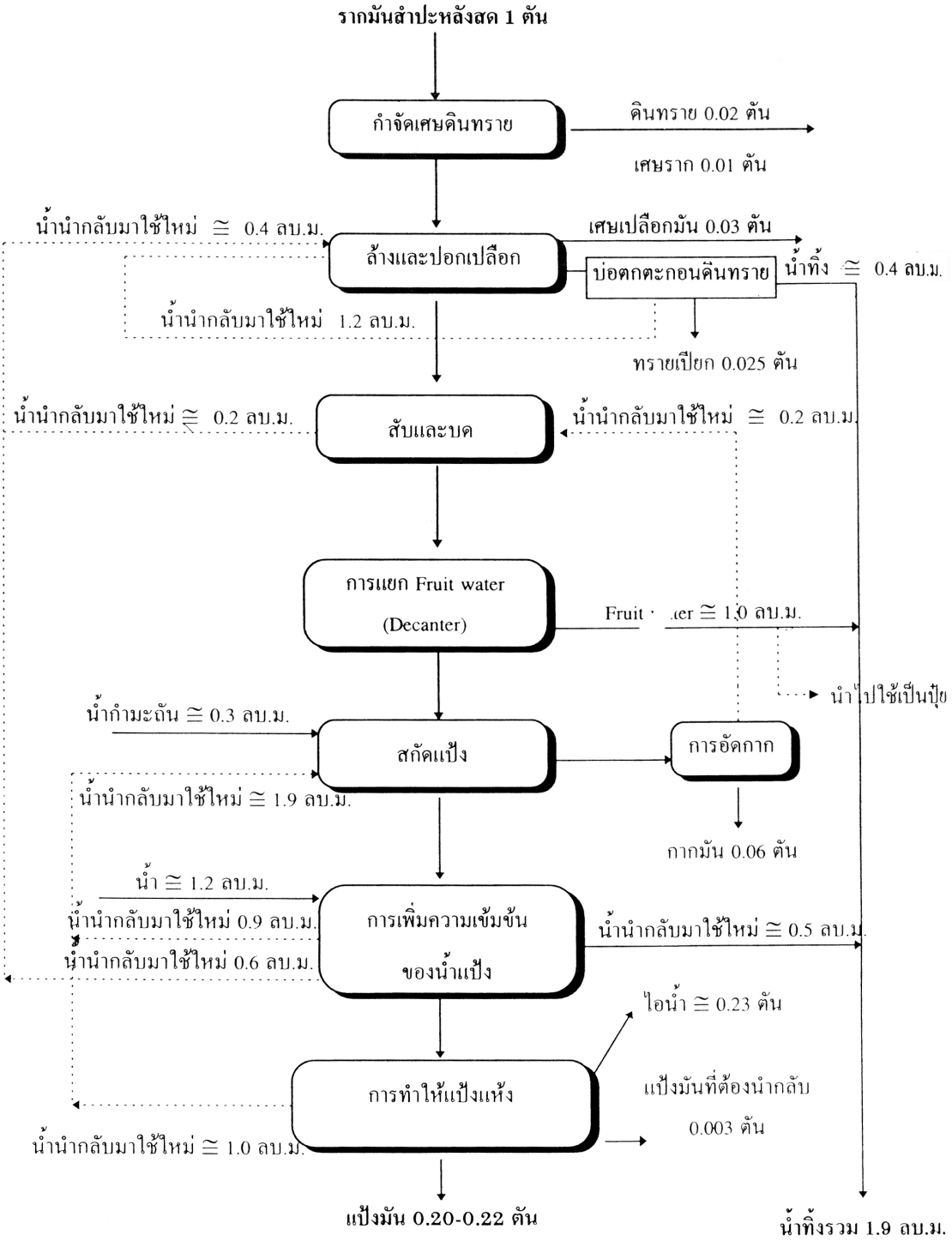
C:\APRIL\WD-7-S (WSL)



<u>รูปที่ 5-3 (ก)</u> **แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ตามข้อเสนอ**



รูปที่ 5-3 (ข) แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ Hydro-cyclone ในการแยก Fruit water แทนดีแคนเตอร์และนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ตามข้อเสนอ



<u>รูปที่ 5-4</u> แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐานที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่มากที่สุดตามข้อเสนอ

2) การผลิตแป้งดัดแปร และแป้งแปรรูป

- นำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ในกรณีที่โรงงานมีการผลิตแป้งมันสำปะหลังด้วย โดยสามารถนำน้ำทิ้งจากทุกส่วนในกระบวนการผลิตแป้งดัดแปรและแป้งแปรรูปกลับมาใช้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ยกเว้นเฉพาะในขั้นตอนการบดราก เนื่องจากปริมาณเกลือจะเข้าไปสะสมใน fruit water (ในกรณีที่มีการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม)
- น้ำทิ้งจากการล้างคอลัมน์ในเครื่องแลกเปลี่ยนอิออน (Regenerated) ไม่ควรนำกลับไปใช้ใหม่เนื่องจากมีปริมาณของเกลือต่าง ๆ สูง
- น้ำควบแน่นจากเครื่องระเหยน้ำสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตได้ หรืออาจนำไปใช้ในการล้างรากมันสดได้
- นำน้ำทิ้งจากการทำความสะอาดถังปฏิกิริยา กลับไปใช้ใหม่ได้ในกรณีที่ไม่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงมาก

5.2 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

วัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชนิด Native Starch ดังที่ได้กล่าวมาแล้วสรุปได้ดังนี้

1. <u>วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง</u> :

	กก./ตันรากมันสำปะหลังสด
• ดินทรายแห้ง	20
• ดินทรายเปียก	25
• เปลือกรากมันสำปะหลังสด	30
• กากมันสำปะหลัง	60

2. <u>วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว</u> :

- ในกรณีที่มีการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle) (รูปที่ 4-3)

	ลบ.ม./ตันรากมันสำปะหลังสด
- น้ำเสียจากการล้างรากมันสำปะหลังสด	1.6
- น้ำเสียจากดีแคนเตอร์ (Decanter)	1.0
- น้ำเสียจากเครื่องแยก (Separator)	1.2
- **รวมปริมาณน้ำเสียทั้งหมด**	**3.8**

- ในกรณีที่มีการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle) ตามที่ปรับปรุงตามข้อเสนอ (รูปที่ 5-4) (และมีการแยก Fruit water ไปใช้ประโยชน์)

	ลบ.ม./ตันรากมันสำปะหลังสด
- น้ำเสียจากการล้างรากมันสำปะหลังสด	0.4
- น้ำเสียจากเครื่องดีแคนเตอร์ (Decanter)	0.5
- **รวมปริมาณน้ำเสียทั้งหมด**	**0.9**

สำหรับแนวทางในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือประเภทต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch มีดังนี้

5.2.1 <u>การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง</u>

วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติทั้งหมด เช่น เศษรากและเปลือกของราก รวมทั้งกากมัน โดยที่วัสดุเหล่านี้มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ยกเว้นในบางกรณีที่มีการปนเปื้อนด้วยดินและทราย ส่วนการเติมน้ำกำมะถันในการผลิตแป้งมันสำปะหลังก็จะละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำเท่านั้น ดังนั้นวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปของปุ๋ย และอาหารสัตว์โดยไม่มีอันตรายแต่อย่างใด

สำหรับการลดปริมาณวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งเหล่านี้อาจทำได้โดยการทำความสะอาดราก และกำจัดเศษของรากตั้งแต่ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง

โรงงานส่วนใหญ่สามารถนำวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ด้วยการจำหน่ายให้แก่เกษตรกร และโรงงานผลิตอาหารสัตว์ เป็นต้น

ในการนำวัสดุเศษเหลือจากการเพาะปลูก เช่น ใบและลำต้นของมันสำปะหลังกลับไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพาะปลูกอีกครั้งมีข้อควรพิจารณาดังนี้

1) การนำใบและลำต้นมันสำปะหลังไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูก อาจเป็นได้ทั้งความสามารถในการเป็นปุ๋ย และความสามารถในการเป็นสารบำรุงดิน

2) การนำใบและลำต้นมันสำปะหลังไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูก อาจพิจารณาประโยชน์ที่เกิดขึ้นในด้านการเป็นวัสดุคลุมดิน ที่สามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดินและ การป้องกันการสูญเสียความชื้นในดิน โดยเฉพาะในกรณีของหน้าแล้งและในพื้นที่ปลูกที่มีความแห้งแล้ง

5.2.1.1 <u>เปลือกของรากมันสำปะหลัง</u> (Tapioca root pulp)

ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ใช้รากมันสำปะหลังสดจำนวน 1 ตัน จะมีเศษเปลือกมันสำปะหลังเกิดขึ้นประมาณ 30 กิโลกรัม เปลือกมันสำปะหลังเป็นส่วนที่มีปริมาณของไซยาไนด์สูงที่สุด ในการนำไปใช้ประโยชน์จึงต้องตากแดดก่อน ในปัจจุบันเศษเปลือกมันสำปะหลังจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับกากมันสำปะหลัง เช่น เพาะเห็ด และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น แต่ไม่มีการวิจัยที่จะนำเอาเศษเปลือกมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่นกากมัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนอกจากในกระบวนการผลิตมีเศษเปลือกมันเกิดขึ้นน้อยแล้ว ในเปลือกมันยังมีแป้งอยู่ในปริมาณน้อยอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม น่าจะได้มีการวิจัยความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากเปลือกของรากมันสำปะหลังสดมากขึ้น โดยเฉพาะปริมาณธาตุอาหารที่มีในเปลือกเพื่อการนำไปใช้เป็นสารปรับสภาพดิน (Soil Conditioner)

5.2.1.2 <u>กากมันสำปะหลัง</u> (Tapioca Pulp)

กากมันสำปะหลังจัดว่าเป็นวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งที่มีมากที่สุดคือประมาณ 60 กิโลกรัมต่อตันรากมันสำปะหลังสด หรือคิดเป็นร้อยละ 50 ของวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch องค์ประกอบทางเคมีของกากมัน (น้ำหนักแห้ง) ประกอบด้วยแป้ง 56% โปรตีน 5.3% ไขมัน 0.1% เถ้า 2.7% และเส้นใย 35.9% รวมถึง ไซยาไนด์ และแทนนินที่จะมีปริมาณลดลงเมื่อตากแดดหรือใช้สารเคมี ในอดีตโรงงานจะนำกากมันไปใช้ในการผลิตมันอัดเม็ดและขายไปเป็นอาหารสัตว์ แต่ในปัจจุบันความต้องการผลิตภัณฑ์มันอัดเม็ดลดลงจึงมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการใช้ประโยชน์กากมันมากขึ้น เช่น การนำไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง (Volvariella Volvacea) ซึ่งจากงานวิจัยของกำจร วิจิตรกำจร (2534) พบว่าการปลูกเห็ดฟางบนกากมันสำปะหลังที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 1 เดือนที่ผสมกับกากมันใหม่ในอัตราส่วน 3 : 7 และมีการปรับปรุงสารอาหารให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นด้วยการเติมธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชจะทำให้ดอกเห็ดเจริญได้ดีขึ้น ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยายามใช้ประโยชน์จากกากมันในด้านต่าง ๆ อีก โดยเฉพาะการพัฒนาวิธีการสกัดแป้งที่มีอยู่ในกากมัน ทั้งนี้เพราะกากมันมีแป้งอยู่สูงถึง 50-60% ของน้ำหนักแห้ง แต่อนุภาคของแป้งจะอยู่บริเวณ Lignocellulosic และ Pectic ของเซลซึ่งไม่สามารถสกัดออกมาได้ง่าย ๆ หรือการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการย่อยแป้งในกากมันให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น Balagopan และคณะ (1994) ได้ศึกษาการย่อยแป้งในกากมันให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ทั้งโดยวิธีการทางเคมี และการใช้เอนไซม์ (Enzyme) หรือสุนีย์ โชตินีรนาท (2538) ที่ศึกษาการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมันสำปะหลังโดยการใช้เอนไซม์และอัลตราฟิวเตรชั่น (Ultrafiltration)

นอกจากกากมันสำปะหลังจะมีแป้งอยู่สูงแล้วยังมีปริมาณเส้นใยอยู่มาก คือประมาณร้อยละ 35 จึงมีการวิจัยที่พยายามนำเอากากมันสำปะหลังไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารว่างเสริมเส้นใยรวมกับแป้งข้าวเจ้าอีกด้วย

ในปัจจุบันโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไปกำลังประสบปัญหาในเรื่องเปลือกของรากมันและกากมันสำปะหลังที่ตกค้างอยู่ในโรงงาน ซึ่งจะสร้างปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นในฤดูฝน ทั้งนี้เพราะความต้องการที่จะนำไปผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ลดลง อย่างไรก็ตาม ขณะนี้สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้มีงานวิจัยที่จะพัฒนาแนวทางในการนำเปลือกและกากมันสำปะหลังที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่อไป

5.2.2 การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว

เนื่องจากในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีการแยกน้ำทิ้งจากแต่ละขั้นตอนการผลิตและนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง ซึ่งในกรณีนี้เป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่จะต้องทำการบำบัด ดังนั้นการแยกวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวบางส่วนออกจากน้ำเสียรวมจึงน่าจะมีความเป็นไปได้สูง โดยวัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลวเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นอาหารสัตว์หรือปุ๋ยในพื้นที่การเกษตร ได้ โดยเฉพาะ fruit water ที่แยกออกจากรากมันสำปะหลังสดซึ่งอาจนำไปใช้ได้โดยตรง หรืออาจนำมาทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นด้วยการผ่านเมมเบรน หรือการให้ความร้อนเพื่อความสะดวกในการขนส่งที่มีระยะทางไกล โดยทั้งสองวิธีนี้จะไม่ทำให้คุณสมบัติของ fruit water เปลี่ยนแปลง

การระเหยน้ำออกจาก fruit water จะต้องใช้ไอน้ำประมาณ 0.2-0.4 ตัน/ตันfruit water ในกรณีที่มีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ และอาจต้องใช้ไอน้ำถึง ประมาณ 1 ตัน/ตันfruit water ในกรณีที่ไม่มีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นปริมาณความต้องการพลังงานจึงเท่ากับ 0.25-1.2 MW/ตันfruit water

ในกรณีที่เพิ่มความเข้มข้นของ fruit water เป็น 70 %DS ด้วยการผ่านเมมเบรน จำเป็นต้องใช้ Reverse osmosis ที่ใช้ความดัน 15-200 บาร์ ซึ่งต้องใช้พลังงานตั้งแต่ 0.001-0.01 MW/ตันfruit water

อย่างไรก็ตาม แนวทางที่เป็นไปได้มากที่สุดคือการนำ fruit water ไปใช้ประโยชน์โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านการทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเทคนิคต่าง ๆ เหล่านี้

เนื่องจาก ปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชที่มีอยู่ใน fruit water (เป็นปริมาณที่ถูกเจือจางด้วยน้ำทิ้งจากการผลิต)

- ไนโตรเจน 0.6 กก./ลบ.ม.
- ฟอสฟอรัส 0.1 กก./ลบ.ม.

- โพแทสเซียม 2.0 กก./ลบ.ม.
- แมกนีเซียม 1.5 กก./ลบ.ม.

ก่อนที่จะได้กล่าวต่อไปถึงการนำเอา fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ยนั้น จะต้องทำความเข้าใจว่าวิธีและปริมาณการใช้จะแตกต่างกับในกรณีที่นำไปใช้แบบการให้น้ำแก่ต้นไม้ ทั้งนี้เพราะวัตถุประสงค์ของการให้น้ำแก่พืชจะไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณของแร่ธาตุหรือสารอาหารที่มีอยู่ใน fruit water ดังนั้นการนำไปใช้เพื่อเป็นการให้น้ำมีโอกาสที่จะก่อปัญหาแก่คุณภาพน้ำใต้ดิน และการสะสมสารอินทรีย์ในดินและสารอาหารต่าง ๆ มากเกินไป

ส่วนการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม จะต้องคำนึงถึงปริมาณสารอาหารที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโตตลอดฤดูกาลเพาะปลูกในพื้นที่ปลูก 1 ไร่ และตรวจสอบปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชที่มีอยู่ใน fruit water เพื่อหาปริมาณ fruit water ที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม หากพิจารณาผลประโยชน์จากการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ยซึ่งนอกจากจะเป็นการรักษาคุณภาพของดินแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพงอีกด้วย

สำหรับประโยชน์อื่น ๆ ของการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่

1) ลดปริมาณความสกปรกในน้ำเสียที่จะต้องทำการบำบัดลง
2) ลดปริมาณกากตะกอนในระบบบำบัดที่จะต้องกำจัด 55-65%
3) ลดปริมาณเกลือและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (เกือบ 100% ในกรณีของน้ำทิ้งรวมจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง)
4) ลดปริมาณความต้องการพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย (ในกรณีระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแบบตะกอนเร่ง)

สำหรับปัญหาที่อาจเกิดจากการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ย มีดังนี้

1) ปัญหาด้านการจัดการ (ควรมีการติดตามตรวจสอบ และปรับปรุงแก้ไขตลอดเวลา)
   - การขนส่งไปยังพื้นที่เกษตรกรรมโดยใช้รถบรรทุกพิเศษ (ค่าใช้จ่าย)
   - การกระจายในพื้นที่ในปริมาณน้อย ๆ (ค่าใช้จ่าย)
   - การเก็บรักษา fruit water ในระหว่างฤดูฝน ซึ่งโดยปกติมักไม่เกิดปัญหาเนื่องจากโรงงานส่วนใหญ่จะหยุดการผลิตในฤดูฝนเนื่องจากการขาดวัตถุดิบ

2) ปัญหาด้านกลิ่นเหม็น

- fruit water จะเกิดการหมักขึ้นภายในระยะเวลาอันสั้นภายหลังจากที่แยกออกจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังแล้ว เนื่องจากมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายสูงมาก
- ปัญหาที่สำคัญคือการเกิดกรดบิวทิริกภายหลังเกิดการหมัก
- สามารถป้องกันการเกิดการหมักโดยการลด pH ด้วยกรดให้อยู่ประมาณ 4

สิ่งจำเป็นที่ต้องกระทำในการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ย

1) เทคนิคและมาตรการต่าง ๆ ทั้งหมดที่กล่าวแล้ว

2) การควบคุมการขนส่งและการกระจาย fruit water อย่างเหมาะสม

กระบวนการทางชีวเคมีที่สำคัญที่เกิดขึ้นในดินเมื่อนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ย ได้แก่ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจน เป็นแอมโมเนียในขั้นแรก และภายในดินที่มีการถ่ายเทอากาศที่ดี แบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท ทั้งแอมโมเนียและไนเตรทเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช สารอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกดูดซับไว้ในดินทำให้สารเหล่านี้ไม่สามารถปนเปื้อนลงสู่น้ำใต้ดินได้ ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะขึ้นกับชนิดของดิน และชนิดของรากพืชด้วย

การติดตามตรวจสอบการนำน้ำทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มกลับไปใช้เป็นปุ๋ยในไร่ผลปาล์มในประเทศมาเลเซียพบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นถึง 13% โดยไม่ต้องเติมปุ๋ยเคมี

เทคนิคและวิธีการในการขนส่ง fruit water จากโรงงานไปยังพื้นที่การเกษตร และวิธีการกระจาย fruit water ลงสู่ดินอย่างเหมาะสม ขึ้นกับสภาวะในแต่ละพื้นที่ ซึ่งได้แก่ ระยะทาง สภาพถนน ชนิดของดิน ชนิดของพืช และอื่น ๆ ตัวอย่างเช่นการใช้ Sprinkler จัดเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากการกระจาย fruit water กระทำได้ช้ามาก ในขณะที่การกระจายด้วยร่องดินจะทำให้การกระจายไม่ทั่วถึงและบางบริเวณมีการสะสมสารอาหารต่าง ๆ มากเกินไป ดังนั้น การหาวิธีการขนส่งและการกระจาย fruit water ลงสู่ดินควรจะต้องมีการทดลองทางเทคนิคเป็นเวลานาน

5.2.2.1 <u>การนำ Fruit water ไปใช้ประโยชน์</u>

จากปริมาณและลักษณะสมบัติน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ดังแสดงในตารางที่ 4-5 จะเห็นได้ว่า fruit water มีความสกปรกทั้งในรูปของค่าบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากส่วนอื่น ๆ ดังนั้น หากนำไป

ใช้ประโยชน์ในส่วนอื่นได้โดยไม่ต้องนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจะเป็นการลดภาระในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างยิ่ง

เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของ fruit water จะเห็นได้ว่า fruit water มีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมถึงธาตุอาหารโดยเฉพาะแมกนีเซียมในปริมาณสูง อย่างไรก็ตาม ในการนำ fruit water ไปใช้จะต้องคำนึงถึงปริมาณของสารอาหารที่พืชต้องการด้วย เพื่อป้องกันอันตรายต่อพืช และปัญหาการสะสมตกค้างในดิน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการป้องกันไม่ให้มากเกินกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Hydraulic load) ของดิน และการรั่วซึมของน้ำเสียไปยังน้ำใต้ดินหรือผิวดิน รวมถึงต้องคำนึงถึงสภาพดินฟ้าอากาศในฤดูฝนด้วย

สำหรับ การคำนวณหาอัตราการนำ fruit water เพื่อเป็นปุ๋ยในพื้นที่การเกษตรโดยเฉพาะไร่มันสำปะหลัง ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงสุดนั้น มีรายละเอียดดังนี้

จากตารางที่ 4-2 ซึ่งแสดงปริมาณธาตุอาหารที่มันสำปะหลังนำไปจากพื้นที่หนึ่งไร่ สรุปได้ดังนี้ ไนโตรเจน (N) 4.84 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P_2O_5) 2.22 กิโลกรัม และโพแทสเซียม (K_2O) 11.85 กิโลกรัม โดยที่ผลผลิตรากมันสำปะหลังเท่ากับ 2.36 ตัน/ไร่ หรือความต้องการไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมของมันสำปะหลัง เท่ากับ 2.05, 0.41 และ 4.18 กิโลกรัม/ตันรากมันสำปะหลังสด ส่วนความต้องการแมกนีเซียมเท่ากับ 11.36 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 4.81 กิโลกรัม/ตันรากมัน-สำปะหลังสด

ในขณะที่จากตารางที่ 4-5 fruit water มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม และแมกนีเซียมเท่ากับ 0.6, 0.10, 2.0 และ 1.5 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร แสดงว่าการนำ fruit water ไปใช้ประโยชน์จะขึ้นกับปริมาณของฟอสฟอรัส ดังนั้น ปริมาณ fruit water ที่นำไปใช้ได้จึงมีปริมาณเพียง 5.0 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี เพราะหากใช้ในปริมาณมากเกินกว่านี้จะก่อให้เกิดผลเสียกับดิน สำหรับผลการคำนวณปริมาณ fruit water สำหรับการปลูกมันสำปะหลัง อ้อยและข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 5-1

สำหรับการจัดการนำ fruit water จากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังไปยังพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังหรือพืชไร่อื่น ๆ ได้แก่ อ้อยและข้าวโพด ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงจนถึงในระยะรัศมีประมาณ 100 กิโลเมตรรอบโรงงานนั้น โรงงานอาจดำเนินการในระบบให้เปล่าแก่เกษตรกรที่นำรากมันสำปะหลังมาขายให้แก่โรงงาน ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันผู้ประกอบการโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังหลายแห่งได้ดำเนินนโยบายในด้านการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกมันสำปะหลังโดยใช้พันธุ์ส่งเสริมที่ให้ปริมาณแป้งสูงและมีคุณภาพดีในลักษณะการแจกจ่ายกิ่งพันธุ์ให้ ดังนั้นในกรณีของการนำ fruit water ไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่การเกษตรนั้นผู้ประกอบการควรชี้แจงให้เกษตรกรเห็นความสำคัญของการบำรุงดินด้วยการใส่ปุ๋ยแก่พืชและส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ fruit water เป็นปุ๋ยแทนการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งมีราคาแพง สำหรับการคำนวณปริมาณ fruit water ที่สามารถนำไปใช้ได้ในแต่ละแห่งจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของดิน ชนิดของพืช สภาพอากาศ และปุ๋ยอื่น ๆ ที่มีการใช้

5.2.2.2 <u>การใช้ประโยชน์น้ำทิ้ง</u>

ปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะแตกต่างกันในกรณีที่มีการแยก fruit water และในกรณีที่ไม่มีการแยก fruit water

ในกรณีที่ไม่มีการแยก fruit water ไปใช้ประโยชน์ สภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีรายละเอียด ดังนี้

จากตารางที่ 4-6 น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศที่ติดตามด้วยบ่อกึ่งไร้อากาศและบ่อผึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 3.8 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสด มีปริมาณความสกปรกในรูปค่าบีโอดี ซีโอดี และสารแขวนลอยประมาณ 0.01-0.10 กรัม/ลิตร, 0.18-0.60 กรัม/ลิตร และ 0.04-0.52 กรัม/ลิตร ในขณะที่มีปริมาณธาตุอาหารประเภทไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมประมาณ 0.01-0.04 กรัม/ลิตร 0.03-0.04 กรัม/ลิตร 1.0-2.0 กรัม/ลิตร และ 0.1-1.5 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังนั้น ปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียที่นำไปใช้ได้จึงมีปริมาณ 5.0 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี โดยปริมาณน้ำทิ้งที่นำไปใช้ได้นี้จะขึ้นกับปริมาณของโพแทสเซียม

สำหรับผลการคำนวณปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง อ้อย และ ข้าวโพด แสดงดังตารางที่ 5-3

ในกรณีที่มีการแยก fruit water ไปใช้ประโยชน์ ปริมาณของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะมีประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี แสดงดังตารางที่ 5-3

จากผลการคำนวณข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการนำน้ำทิ้งรวมที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ในการให้น้ำแก่พืชเช่นที่โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่กระทำอยู่ในปัจจุบันอาจก่อให้เกิดปัญหาการสะสมของโพแทสเซียม และ แมกนีเซียมมากเกินไปในดิน แต่การนำน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดไปใช้แบบให้น้ำแก่พืชจะส่งผลกระทบดังกล่าวน้อยลงหากปริมาณของแร่ธาตุเหล่านี้ลดลงด้วยมาตรการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้น

ตารางที่ 5-1 ผลการคำนวณปริมาณน้ำเสียจากดีแคนเตอร์สำหรับการปลูกมันสำปะหลัง อ้อย และข้าวโพด

ข้อมูล	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P)	โพแทสเซียม (K)	แมกนีเซียม (Mg)
1. ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากดีแคนเตอร์ (กก./ลบ.ม.)	0.6	0.1	2.0	1.5
2. ความต้องการธาตุอาหาร (กก./ตันผลผลิต)				
2.1 มันสำปะหลัง	2.05	0.41	4.17	4.81
2.2 อ้อย	4.34	0.24	2.06	0.21
2.3 ข้าวโพด	21.40	3.69	9.96	1.93
3. ความต้องการธาตุอาหาร (กก./ไร่)				
3.1 มันสำปะหลัง	4.84	0.98	9.84	11.36
3.2 อ้อย	30.16	1.67	14.32	1.46
3.3 ข้าวโพด	6.85	1.18	3.19	0.36
4. ปริมาณน้ำเสียจากดีแคนเตอร์สำหรับการปลูกพืช (ลบ.ม./ไร่/ฤดูเพาะปลูก)				
4.1 มันสำปะหลัง	8.07	9.80	4.92	7.57
4.2 อ้อย	50.27	16.70	7.16	0.97
4.3 ข้าวโพด	11.42	11.80	1.60	0.24

ตารางที่ 5-2 ความต้องการน้ำเสียจากดีแคนเตอร์เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง อ้อยและข้าวโพด

ชนิดของพืช	ความต้องการน้ำเสียจากดีแคนเตอร์ (ลบ.ม./ไร่/ฤดูเพาะปลูก)			
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P)	โพแทสเซียม (K)	แมกนีเซียม (Mg)
มันสำปะหลัง	8.07	9.80	4.92	7.57
อ้อย	30.27	16.70	7.16	0.97
ข้าวโพด	11.42	11.80	1.60	0.24

<u>ตารางที่ 5-3</u> ผลการคำนวณปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการปลูกมันสำปะหลัง อ้อย และ ข้าวโพด

ข้อมูล	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P)	โพแทสเซียม (K)	แมกนีเซียม (Mg)
1. ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว (กก./ลบ.ม)	0.4* 0.04**	0.04* <0.04**	2.0* 1.0**	1.5* 0.5**
2. ความต้องการธาตุอาหาร (กก./ตันผลผลิต)				
2.1 มันสำปะหลัง	2.05	0.41	4.17	4.81
2.2 อ้อย	4.34	0.24	2.06	0.21
2.3 ข้าวโพด	21.40	3.96	9.96	1.93
3. ความต้องการธาตุอาหาร (กก./ไร่)				
3.1 มันสำปะหลัง	4.83	0.98	9.84	11.36
3.2 อ้อย	30.16	1.67	14.32	1.46
3.3 ข้าวโพด	6.85	1.18	3.19	0.36
4. ปริมาณน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดสำหรับการปลูกพืช (ลบ.ม./ไร่/ฤดูเพาะปลูก)				
4.1 มันสำปะหลัง	12.08* 120.80**	24.50* >24.50**	4.92* 9.84**	7.57* 22.72**
4.2 อ้อย	75.40* 754.00**	41.75* 41.75**	7.16* 14.32**	0.97* 2.92**
4.3 ข้าวโพด	17.12* 171.25**	29.5* 29.5**	1.6* 3.19**	0.24* 0.72**

* ในกรณีที่ไม่ได้แยก fruit water

** ในกรณีที่แยก fruit water ไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 5-4 ความต้องการน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการปลูกมัน สำปะหลัง อ้อย และข้าวโพด

ชนิดของพืช	ความต้องการน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ลบ.ม./ไร่/ฤดูเพาะปลูก)			
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสฟอรัส (P)	โพแทสเซียม (K)	แมกนีเซียม (Mg)
มันสำปะหลัง	12.08*	24.50*	4.92*	7.57*
	120.80**	>24.50**	9.84**	22.72**
อ้อย	75.40*	41.75*	7.16*	0.97*
	754.00**	>41.75**	14.32**	2.92**
ข้าวโพด	117.12*	29.5*	1.6*	0.24*
	171.25**	>29.5**	3.19**	0.72**

* ในกรณีที่ไม่ได้แยก fruit water

** ในกรณีที่แยก fruit water ไปใช้ประโยชน์

บทที่6

วิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

แม้ว่าลักษณะสมบัติน้ำเสียจากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปจะคล้ายคลึงกัน คือมีความสกปรกในรูปบีโอดีและซีโอดีสูง แต่ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมากกว่าปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำเสียของโรงงานทั้ง 3 ประเภทจึงคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันในด้านขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปจะมีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้อุปกรณ์บางชนิดที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เช่น บ่อตกตะกอนดินและทราย และตะแกรงกรองละเอียด ยังไม่มีความจำเป็นสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูปอีกด้วย

6.1 การรวบรวมน้ำเสีย

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังมีความจำเป็นที่จะต้องแยกน้ำทิ้งที่เกิดจากการล้างและปอกเปลือกรากมันสำปะหลังเพื่อนำมาทำการบำบัดขั้นต้นก่อน หลังจากนั้นจึงสามารถนำน้ำทิ้งจากส่วนต่างๆ มารวมกันเพื่อทำการบำบัดได้ ในบางกรณีอาจพบว่าหากโรงงานมีการตรวจสอบความเหมาะสมของระบบรวบรวมน้ำเสียจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียลงได้อย่างมาก เช่น เมื่อโรงงานมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบบ่อตามธรรมชาติเป็นระบบที่มีการใช้เทคโนโลยีสูงขึ้น เช่น ระบบถังกรองไร้อากาศ และ/หรือ ระบบตะกอนเร่ง การพิจารณาแยกชนิดของน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูงแต่มีปริมาณน้อย ออกจากน้ำเสียที่ค่าความสกปรกต่ำแต่มีปริมาณมาก หรือการแยกน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนตะกอนอินทรีย์ที่แขวนลอยออกมากำจัดตะกอนเหล่านี้ก่อน จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมาก

6.2 การบำบัดน้ำเสีย

ในปัจจุบัน น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะถูกนำไปใช้เพื่อให้น้ำแก่ต้นไม้ในพื้นที่เกษตรทั้งภายในบริเวณโรงงานและนอกโรงงาน ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจึงมี 2 ประเด็น ดังนี้

1. การบำบัดน้ำเสียเพื่อให้คุณภาพน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดเป็นไปตามข้อกำหนดของการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2. การบำบัดน้ำเสียเพื่อให้มีลักษณะสมบัติให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อใช้ในพื้นที่การเกษตร

อย่างไรก็ตาม ในการนำน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์ในด้านการให้น้ำแก่พืชในพื้นที่การเกษตรจะต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อป้องกันผลกระทบทางด้านลบต่อดินและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งในการตรวจสอบนี้จะต้องรวมถึงรายละเอียดในด้านการจัดระบบการให้น้ำในพื้นที่แต่ละแห่งด้วย

สำหรับสภาพปัญหาในด้านการบำบัดน้ำเสียที่โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch ส่วนใหญ่ประสบอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ปัญหากลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic process) ซึ่งโดยทั่วไปโรงงานจะใช้ระบบบำบัดแบบบ่อเปิดหรือระบบบ่อหมักเนื่องจากการเดินระบบบำบัดน้ำเสียไม่เหมาะสม

2. ปัญหาลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกสู่ภายนอกของราชการ เนื่องจากขาดการดูแลรักษาระบบบำบัดน้ำเสียหรือการเดินระบบบำบัดน้ำเสียผิดพลาด

ปัญหาทั้ง 2 ประการนี้ไม่ได้เกิดจากการใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้น แต่สาเหตุหลักเกิดจากการขาดการดูแลรักษาระบบบำบัดน้ำเสียหรือการเดินระบบบำบัดน้ำเสียไม่ถูกต้อง แม้ว่าในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเปิดจะไม่มีความจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้สูงและความเชี่ยวชาญสูง แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดความสกปรกในน้ำเสียของระบบบำบัดประเภทนี้จะสูงขึ้นหากมีการควบคุมการทำงาน

ของระบบอย่างถูกต้อง ในขณะเดียวกันหากใช้ระบบบำบัดชั้นสูงที่สามารถกำจัดปริมาณความสกปรกในน้ำเสียได้มาก แต่ขาดผู้ควบคุมระบบที่มีความรู้ความชำนาญก็ไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน ดังนั้นการเปลี่ยนชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบบ่อเปิดเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงก็ไม่ได้หมายความว่าจะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้เสมอไป

ในบทนี้จะได้เสนอแนวทางทั่วๆไปที่เกี่ยวข้องกับวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้มากที่สุดสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง รวมทั้งการเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันและข้อเสนอแนะวิธีการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยในส่วนรายละเอียดของวิธีการบำบัด และวิธีการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับโรงงานแต่ละแห่งจะต้องเป็นความรับผิดชอบของแต่ละโรงงาน โดยจะขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสีย เช่น อัตราไหลปละปริมาณความสกปรกในน้ำเสีย, วัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสีย, ค่าใช้จ่ายคงที่ ปละค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ รวมทั้งวิธีการบำบัดและประสบการณ์ของผู้ควบคุมระบบ

6.2.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น

เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch โดยเฉพาะน้ำเสียจากขั้นตอนการล้างรากมันสำปะหลังมีปริมาณของตะกอนหนัก (Settable solids) และของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) สูง ซึ่งหากน้ำเสียนี้ไหลรวมกับน้ำเสียจากส่วนอื่นๆ ลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจะทำให้ถังหรือบ่อปฏิกิริยาจะตื้นเขินอย่างรวดเร็ว เช่นในส่วนที่เป็นระบบบ่อหมักเลย ของแข็งเหล่านี้จะตกตะกอนในบ่อหมักบ่อแรก ทำให้บ่อหมักนี้ตื้นเขินอย่างรวดเร็วอีกทั้งการขุดลอกบ่อไม่สามารถกระทำได้ทั่วถึงโดยตลอด เป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของบ่อลดลง ทั้งนี้เพราะระยะเวลาเก็บกักน้ำในบ่อลดลง

ในอีกด้านหนึ่ง การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นยังเป็นการกำจัดกากตะกอนซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่จะเกิดการย่อยสลายโดยง่าย ดังนั้นระบบบำบัดขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพสูงและกำจัดกากตะกอนออกโดยง่ายจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญในการจัดการน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง สำหรับการออกแบบระบบบำบัดขั้นต้นที่กำหนดให้ความหนาแน่นของดินทราย

มากกว่า 2 กรัม/มิลิลิตร และ surface loading rate มากกว่า 4 ลบ.ม./(ตร.ม.*ชม.) เมื่อประมาณกากตะกอนอินทรีย์มีความหนาแน่นประมาณ1.05 กรัม/มิลิลิตร surface loading rate ต่ำหว่า 0.5 ลบ.ม./(ตร.ม.*ชม.) หรืออาจแบ่งการทำงานเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรก บ่อต้องรองรับความสกปรกสูงมาก บ่อที่สองรองรับความสกปรกต่ำลงมา หรือควรเป็นระบบบ่อตะกอนจำนวน 2 บ่อ ในลักษณะการทำงานเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) ดังได้กล่าวถึงรูปแบบลักษณะการทำงานและขนาดตลอดจนค่าลงทุน-ค่าดำเนินการแล้วในหัวข้อ 5.1.3.3 และหากระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งออกจากน้ำทิ้งจากการล้างรากมันสูงแล้ว สามารถหมุนเวียนนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก

ของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นอีกประเภทหนึ่งจากกระบวนการสกัดและเพิ่มความมเข้มข้นของน้ำแป้งได้แก่ กากมัน และเส้นไยต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปของแข็งแขวนลอยเหล่านี้จะถูกกำจัดในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพในหน่วยตกตะกอน โดยในการออกแบบต้องคำนึงถึงความหนาแน่นของมวลสารที่แตกต่างกันระหว่างน้ำและของแข็งนั้น ในบางกรณีอาจจำเป็นที่ต้องออกแบบโดยใช้ค่า surface loading rate ต่ำๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารช่วยตกตะกอน (Floculants) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะหนัก

6.2.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด จำเป็นจะต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพ โดยโรงงานส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดแบบบ่อเปิด ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเปิดมีหลายประเภท ได้แก่ บ่อไร้อากาศหรือบ่อหมัก บ่อกึ่งไร้อากาศหรือบ่อหมัก บ่อปรักเสถียรภาพ และบ่อเติมอากาศ ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกันในด้านชนิดของแบคทีเรีย โปรโตซัว และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่มีในระบบ ระบบบำบัดเหล่านี้ล้วนมีความเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ด้วยเหตุผลต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น คาร์โบไฮเดรท โปรตีน ฟอสฟอรัส และสารอาหารที่จำเป็นต่างๆ

- ❑ อัตราส่วนระหว่างซีโอดี/บีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้ว (ประมาณ 1.6) ในขณะที่อัตราส่วนระหว่าง ซีโอดี/บีโอดีของน้ำเสียผสมรวมมากกว่า 2 แสดงว่าใน

น้ำเสียมีการปนเปื้อนด้วยของแข็งแขวนลอยที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก เช่น เส้นใย ซึ่งไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ภายใน 5 วัน แต่จะถูกย่อยสลายได้ในบ่อ โดยใช้เวลามากกว่า 50 วัน

❑ อัตราส่วนระหว่าง บีโอดี/ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัส สำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ/แบบใช้อากาศประมาณ 100:2:0.3

+ ในน้ำเสียไม่มีการปนเปื้อนของสารที่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่ทำงานในระบบ

+ ลักษณะสมบัติของน้ำเสียทางด้านกายภาพมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นกับสภาวะการผลิต เช่น อุณหภูมิ และ พีเอช

- เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานมาก ยกเว้นในกรณีที่มีการใช้เครื่องสูบน้ำและการกำจัดกากตะกอนส่วนเกิน

ข้อด้อยของระบบบำบัดแบบบ่อเปิด ได้แก่

- ไม่สามารถเก็บกักก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้

- มักมีปัญหากลิ่นเหม็น แต่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้

- เมื่อมีการเริ่มต้นผลิตแป้งมันสำปะหลังในแต่ละครั้ง (โดยส่วนใหญ่โรงงานจะทำการผลิตปีละ 10 เดือน) จะทำให้เกิดน้ำเสียที่ต้องกำจัดโดยทันทีจำนวนมากในขณะที่ระบบบำบัดประเภทนี้มีประสิทธิภาพการบำบัดช้า

- ในกรณีของการผลิตที่เป็นแบบ batch (แป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป) อาจจะก่อให้เกิดปัญหา shock-load เนื่องจากระบบต้องรับภาระสารอินทรีย์และสารประกอบเกลือต่างๆ ที่มีปริมาณมากในทันทีทันใด ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยปรับสภาพสมดุลน้ำเสียก่อนนำเข้าระบบ

- ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพไม่สามารถกำจัดแร่ธาตุต่างๆ เช่น โพแทสเซียม แมกนีเซียมจากน้ำเสีย และแร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้จะถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำภายหลังบำบัดแล้ว แต่แร่ธาตุเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้

6.2.2.1 ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic system)

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นการเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียไปเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30% และอื่นๆอีเล็กน้อย โดยเฉพาะก๊าซไฮโดรเจน

ซัลไฟด์ (H_2S) โดยที่มีแบคทีเรียที่อยู่ในระบบจำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ (Organic acids) กลุ่มที่ 2 เป็นแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) จากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนแรก

เมื่อเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศกับระบบมีอากาศ ระบบไร้อากาศมีข้อดีหลายประการ ได้แก่

- ❑ ไม่ต้องใช้พลังงานในการดำเนินการสูง
- ❑ สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูงได้
- ❑ มีตะกอนเกิดเพิ่มขึ้นน้อยมาก (น้อยกว่า 0.3 กิโลกรัม ของแข็งทั้งหมดต่อกิโลกรัมบีโอดีที่ถูกกำจัด)

ในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไร้อากาศ จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะแตกต่างกันกับข้อกำหนดขั้นต่ำสุดที่นำเสนอเนื่องจากจำเป็นต้องเผื่อค่าความปลอดภัยเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งตากมาตรฐานของราชการ)

1) ค่าบีโอดี

- ❑ ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีมากกว่า 3,000 มิลิกรัม/ลิตร
- ❑ ระบบจะต้องมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีต่ำกว่า 70% เพื่อควบคุมอัตราส่วนของ คาร์บอน/ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัสที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ
- ❑ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไม่สามารถทำให้คุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้

2) ทีเคเอ็น

- ❑ ระบบไม่สามารถลดปริมาณของไนโตรเจนได้

3) ฟอสฟอรัส

- ❑ ระบบไม่สามารถลดปริมาณของฟอสฟอรัสได้

4) ซัลเฟอร์

- ❑ ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีการใช้น้ำกำมะถันซึ่งเมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียซัลเฟตจะเป็นแหล่งที่ให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์และ

กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ ดังนั้นหากมีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้จะต้องกำจัดซัลเฟอร์ออกก่อน

5) พีเอช

- ❑ ค่า pH ต่ำกว่า 6.0 จะทำให้เกิดก๊าซ H_2S มากกว่าปกติ และจะเกิดกลิ่นเหม็นพร้อมๆกับมีฝ้าตะกอนลอยเกิดขึ้นมามาก
- ❑ ในระบบบำบัดแบบถังไร้อากาศที่เป็นระบบปิดหาก pH มากกว่า 7 จะทำให้เกิดตะกอนของแมกนีเซียมแอมโมเนีย-ฟอสฟอรัส (MAP) และจะอุดตันในระบบ

6) อุณหภูมิ

- ❑ อุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 35-40^{0}C ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทยมาก แต่ไม่ควรจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (ยกเว้นเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

7) เกลือต่างๆ

- ❑ หากมีปริมาณของ Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ จะมีผลต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

8) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

- ❑ ค่าที่เหมาะสมของ Alkalinity จะอยู่ในช่วง 2,000-3,000 มก./ลิตรของ $CaCO_3$
- ❑ ค่า Volatile acids ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-500 มก./ลิตรของ acetic acid

9) ก๊าซ

- ❑ ปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นประมาณ 0.4 ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด
- ❑ เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30% และก๊าซอื่นๆในปริมาณน้อย

10) ตัวอย่างของการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์

- ❑ ในกรณีของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่กำเนิดน้ำเสียประมาณ 4.0 ลบ.ม./ตันรากสด และมีค่าซีโอดีประมาณ 60 กก./ตันรากสด จะเกิดก๊าซ

ชีวภาพประมาณ 24 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ/ตันรากสด หรือเท่ากับ 500 เมกกะจูล (MJ)

- ❑ ในกรณีของ Fruit water ประมาณ 0.7 ลบ.ม./ตันรากสด และมีค่า ซีโอดีประมาณ 42 กก./ตันรากสด จะเกิดก๊าซชีวภาพประมาณ 17 ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ/ตันรากสด หรือเท่ากับ 340 เมกกะจูล (MJ)

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และมีความเหมาะสมมีหลายชนิด ดังนี้

6.2.1.1.1 บ่อไร้อากาศแบบเปิด (Open-type anaerobic Pond)

เป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศชนิดที่โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ใช้กัน ซึ่งจะเป็นระบบบ่อเปิดต่อกันหลายๆบ่อ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียดังแสดงในตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อไร้อากาศแบบเปิด

ข้อดี	ข้อเสีย
1.การก่อสร้างระบบทำได้ง่าย 2. การดำเนินการไม่ซับซ้อน	1. ต้องใช้พื้นที่มาก (ภาระบรรทุกเชิงปริมาตรของซีโอดีที่สามารถรับได้มีค่า 0.25 กก./ลบ.ม. วัน 2. ประสิทธิภาพของระบบควรจำกัดเพียง 60-70% ของบีโอดีที่เข้า เพื่อให้มีอัตราส่วนของสารอาหารให้เพียงพอ (C:N:P) ต่อการบำบัดแบบมีอากาศก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ 3. ไม่สามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้ 4. มีกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ถ้าภาระบรรทุกมากเกินไป 5. การทิ้งตะกอนออกไปทำได้ไม่ต่อเนื่อง

ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในบ่อไร้อากาศแบบเปิดของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง คือการเกิดกลิ่นเหม็นเนื่องจากก๊าซไฮไดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ในบ่อหมักแรก ในกรณีดังกล่าวนี้มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากเกินไปในบ่อแรกทำให้ค่า พีเอชลดลง ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากการตื้นเขินของบ่ออย่างรวดเร็วเนื่องจากการตกตะกอนของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) และ Settleable Solids ที่มีอยู่ในน้ำเสียมากโดยเฉพาะน้ำเสียจากการล้างรากมันสำปะหลังจากดีแคนเตอร์ ทำให้ระยะเวลาการกักเก็บลดลง และค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตรของซีโอดีที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดต่ำลง สาเหตุอีกส่วนหนึ่งคือการที่บ่อแรกมีพื้นที่มาก และไม่มีการกระจายน้ำเสีย ทำให้เฉพาะในส่วนแรกของบ่อที่ต้องรองรับน้ำเสียนั้นต้องรองรับบรรทุกสารอินทรีย์มากเกินไป

ดังนั้น ข้อเสนอแนวทางการป้องกันปัญหาการเกิดกลิ่นเหม็นจากบ่อแรก ดังนี้

1. บำบัดน้ำเสียขั้นต้น โดยแยกเฉพาะน้ำเสียจากการล้างรากมันสำปะหลังสดเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งที่ตกตะกอนง่ายออกก่อนที่จะถูกบำบัดในบ่อแรกซึ่งรายละเอียดของบ่อตกตะกอนนี้แสดงในหัวข้องเรื่องการลดปริมาณน้ำเสียแล้ว

2. ปรับปรุงการกระจายภาระบรรทุกอินทรีย์ให้ทั่วทั้งบ่อ

- ❑ โดยการปรับปรุงโครงสร้างของการนำน้ำเข้าและออกจากบ่อ
- ❑ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้กระจายสารอินทรีย์ให้ทั่วบ่อ เช่น การติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ควรจำกัดตะกอนขั้นต้นก่อน (ภาคผนวก ค.)

3. การแบ่งภาระบรรทุกอินทรีย์ในน้ำเสียลงสู่บ่อหมักที่ 2 และบ่อหมักที่ 3 เพื่อเป็นการลดภาระบรรทุกอินทรีย์ในบ่อไร้อากาศบ่อแรก

4. เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีค่าพีเอชประมาณ 4-6 ดังนั้น การนำน้ำจากบ่อไร้อากาศบ่อสุดท้ายที่มีตะกอนชีวภาพปนอยู่ด้วย ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 8-9 กลับสู่บ่อที่ 1 เพื่อปรับพีเอชของนำเสียจึงเป็นการลดการใช้สารเคมีในระบบบำบัดได้

สำหรับวิธีการคำนวณเพื่อหาแนวทางป้องกันปัญหาตามข้อเสนอที่ 2 และ 3 มีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค.

6.2.2.1.2 ถังไร้อากาศแบบปิด (Closed-type anaerobic reactor)

แม้ว่าโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อไร้อากาศเปิดเนื่องจากต้นทุนต่ำ (หากราคาที่ดินไม่สูง) การควบคุมทำได้ไม่ยากนักแต่โรงงานบางแห่งก็มีความจำเป็นที่ต้องใช้ระบบบ่อไร้อากาศแบบปิดด้วยสาเหตุหลายประการ เช่น

ราคาที่ดินสูงหรืออยู่ใกล้ชุมชน เป็นต้น เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างสูงและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่สูง แต่หากโรงงานเลือกใช้วิธีการแยกเฉพาะ Fruit water ซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 60 กรัม/ลิตร และปริมาณ 0.6 ลบ.ม./ตันรากมันสดมาทำการบำบัดแบบถังไร้อากาศแบบปิด ซึ่งจะทำให้ขนาดถังเล็กลงและมีประสิทธิภาพสูง หลังจากนั้นอาจนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากถังไร้อากาศและจากระบบไร้อากาศแบบบ่อเปิดมาบำบัดรวมกันอีกครั้งในระบบบำบัดแบบใช้อากาศ

สำหรับข้อดี-ข้อเสีย ของการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังไร้อากาศแบบปิดเปรียบเทียบกับบ่อไร้อากาศแบบเปิด แสดงดังตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังไร้อากาศแบบปิด เปรียบเทียบบ่อไร้อากาศแบบเปิด

ข้อดี	ข้อเสีย
1 ประสิทธิภาพสูงขึ้นอยู่กับภาระบรรทุกซีโอดีเชิงปริมาตร ถ้ามีซีโอดี 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สามารถกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 50 ถ้ามีซีโอดี 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันสามารถกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 90 (ควรจำกัดประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้มีอาหารเพียงพอ (C:N:P))	1. มีราคาสูง
2. ใช้พื้นที่ขนาดเล็ก	2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง ต้องมีการฝึกผู้ที่จะควบคุมระบบและค่าซ่อมบำรุงระบบ
3. สามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ได้ (การเกิดก๊าซโดยเฉลี่ย 0.4 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด) ค่าพลังงานความร้อน 20-25 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร)	3. ต้องมีระบบดูแลความปลอดภัยเป็นพิเศษเพื่อป้องกันการระเบิด
4. มีปัญหาเรื่องกลิ่นเล็กน้อย	4. ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับการนำกลับและเก็บก๊าซไว้เพื่อใช้ประโยชน์
5. ไม่มีการสะสมของตะกอนในระบบเพราะมีการนำตะกอนออกอย่างต่อเนื่อง	

ระบบกังไร้อากาศแบบปิดมีหลายชนิด เช่น

- ถังไร้อากาศที่มีขั้นตอนเดียว (ปฏิกิริยาการเกิดกรดอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีเทนเกิดขึ้นภายในถังเดียวกัน

- ถังไร้อากาศที่มีสองขั้นตอน โดยที่ขั้นแรกจะเกิดปฏิกิริยาที่มีการผลิตกรดอินทรีย์และขั้นตอนที่สองเป็นการผลิตก๊าซมีเทน)

- Methane-reactors ที่มีการใช้มากได้แก่

+ completely mixed reactors

+ fixed bed reactors

+ upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB-reactors)

สำหรับในกรณีของ completely mixed reactors ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจาก มีความสามารถในการรองรับน้ำเสียที่มีความสกปรกต่ำ (ประมาณ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.*วัน) ส่งผลให้ต้องใช้ถังขนาดใหญ่ และในปัจจุบันก็ไม่มีการใช้งานถึงประเภทนี้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

เนื่องจากแอมโมเนีย แมกนีเซียม และฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง จึงอาจเกิดการรวมตัวเป็นตะกอนของสารประกอบ แอมโมเนีย-แมกนีเซียม-ฟอสฟอรัสภายในถังปฏิกิริยาที่ผลิตก๊าซมีเทน (หาก pH มีค่ามากกว่า 7) ซึ่งหากใช้ถังปฏิกิริยาแบบ fixed bed reactors จะทำให้เกิดการอุดตันขึ้น

ส่วนในกรณีของระบบ UASB-reactors ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียจะต้องไม่มากกว่า 6 กรัม/ลิตร เนื่องจากจะเกิดก๊าซในปริมาณมากและจะทำให้ตะกอนชีวภาพหลุดออกจากถังและทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง (ภาคผนวก ค.) สำหรับระบบบำบัดแบบ UASB ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยต้องรองรับน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงถึง 12 กรัม/ลิตร ซีโอดี จึงอาจจะประสบปัญหาดังกล่าวนี้ได้

โดยทั่วไปถังบำบัดน้ำเสียแบบปิดจะต้องควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดีเข้าสู่ถังมากเกินไป ซึ่งทำได้โดยการใช้บ่อปรับสภาพสมดุลที่มีขนาดใหญ่เพียงพอ เพื่อควบคุมการนำน้ำเสียเข้าสู่ถังบำบัดให้มีความสม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง

ตะแกรงกรองที่ใช้ในการกำจัดของแข็งที่มีขนาดใหญ่ก็เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันการเกิดฟองในถังบำบัด ส่วนวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องทนต่อการกัดกร่อนของกรด ที่เกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมี (ในรูปของก๊าซต่างๆ)

6.2.2.2 <u>ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ</u> (Aerobic System)

ระบบบำบัดแบบใช้อากาศจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้ (ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ จะแตกต่างกันกับข้อกำหนดขั้นต่ำสุดที่นำเสนอ เนื่องจากจำเป็นต้องเผื่อค่าความปลอดภัยเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งตามมาตรฐานของทางราชการ)

1) ค่าบีโอดี:	ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำกว่า 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ระบบจะต้องมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีมากกว่า 95% เมื่อควบคุมอัตราส่วนของคาร์บอน/ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัสเหมาะสม ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนสามารถทำให้คุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้
2) ทีเคเอ็น	ระบบสามารถลดปริมาณของไนโตรเจนได้
3) ฟอสฟอรัส	ระบบสามารถลดปริมาณของฟอสฟอรัสได้
4) ซัลเฟอร์	ปริมารของซัลเฟตจะไม่ส่งผลต่อการทำงานของระบบ
5) พีเอช	ระบบนี้สามารถปรับ pH ได้ด้วยตัวเองในกรณีที่มีกรดอินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงการทิ้งน้ำจากการทำความสะอาดกระบวนการผลิตในโรงงานทันทีทันใด เนื่องจากน้ำทิ้งในส่วนนี้มีค่า pH > 9 หรือ < 5
6) อุณหภูมิ	อุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 35-40 °C ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทยมาก
7) เกลือต่างๆ	ปริมาณของ Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ จะไม่มีผลต่อระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
8) มวลชีวภาพ	ปริมาณตะกอนส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับปริมาณความสกปรกในน้ำเสีย โดยประมาณ 0.2-0.8 กก./บีโอดีที่ถูกกำจัด
9) ก๊าซออกซิเจน	มีออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 0 กรัม/ลิตร

ในระบบบำบัดที่ใช้อากาศปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ต้องการอยู่ระหว่าง 1-3.5 กก. ออกซิเจน/กก.บีโอดี

6.2.2.1 <u>ระบบบ่อแบบมีอากาศ</u> (Aerobic ponding system)

ระบบบ่อแบบมีอากาศนี้ การบำบัดขึ้นอยู่กับการให้ออกซิเจนและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งมีความแตกต่างกันระหว่างบ่อกึ่งไร้อากาศ (faculative ponds) บ่อธรรมชาติ (oxidation ponds) บ่อเติมอากาศ (aerated lagoons) และบ่อพัก (polishing ponds) การให้ออกซิเจนของบ่อกึ่งไร้อากาศ บ่อแบบธรรมชาติ และบ่อพัก ได้มาจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและพืช และจากการดูดซับอากาศ ในระบบบ่อเติมอากาศนั้นจะมีการใช้เครื่องเติมอากาศ สภาวะที่บ่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาทางจลศาสตร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าการละลายของออกซิเจนจะมีค่าต่ำ

<u>บ่อกึ่งไร้อากาศ</u>ออกซิเจนส่วนใหญ่ได้มาจากสังเคราะห์แสงของสาหร่าย โดยระบบบนของบ่อจะเป็นแบบมีอากาศ และระดับล่างของบ่อจะเป็นแบบไร้อากาศ ความลึกทั้งสองเขตจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกลางวันและกลางคืน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ ความลึกของพื้นผิวจนถึงระดับตะกอนส่วนล่างควรลึกในระดับที่เป็นเขตที่มีอากาศ (aerobic zone) ในช่วงกลางวัน (โดยทั่วไปจะลึกประมาร 1.5-2.5 เมตร) ในทางปฏิบัติพบว่าโรงงานส่วนใหญ่จะใช้เป็นระบบที่บำบัดน้ำเสียต่อจากระบบแบบไร้อากาศ

<u>บ่อธรรมชาติ</u> จะมีความลึกน้อยกว่าบ่อกึ่งไร้อากาศ มีการให้ออกซิเจนโดยการดูดซับจากอากาศ วัน (โดยทั่วไปจะลึกประมาร 1-1.5 เมตร) เนื่องจากความสามารถในการให้ออกซิเจนของระบบนี้มีจำกัด ทำให้ต้องใช้อัตราบรรทุกเชิงปริมาณค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 0.01 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จึงต้องใช้พื้นที่ 6.5-100 ตารางเมตรต่อกิโลกรัมบีโอดีต่อวัน และระยะเวลากักเก็บมากกว่า 40 วัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย)

<u>บ่อเติมอากาศ</u> ออกซิเจนในบ่อนี้ได้จากการเติมอากาศโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างการให้ออกซิเจน กับภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่ามากกว่า 1.5 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมบีโอดี ซึ่งทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 1.1 กิโลวัตต์ต่อกิโลกรัมบีโอดี อัตราภาระบรรทุกเชิงปริมาตรของสารอินทรีย์จะอยู่ในช่วง 200 กรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้ระบบเติมอากาศมีการใช้พื้นที่น้อยกว่าบ่อแบบอื่น (น้อยกว่า 3 ตารางเมตรต่อกิโลกรัมบีโอดีต่อวัน) และมีระยะเวลากักเก็บสั้น (1-10 วัน) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย

บ่ออาจจะมีความลึกของน้ำได้ถึง 6 เมตร นอกจากเหตุผลเชิงเศรษฐศาสตร์แล้ว ความลึกของบ่อยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของคันกั้นบ่อ และประสิทธิภาพของเครื่องเติมอากาศ โดยทั่วไปแล้วความลึกไม่ควรเกิน 4 เมตร

ในทางปฏิบัติการดำเนินงานของระบบบ่อเติมอากาศทำได้ 2 แบบ แบบแรกเป็นแบบที่มีการผสมอย่างสมบูรณ์ ตะกอนจะออกจากบ่อพร้อมกับน้ำเสียโดยไม่มีการสะสมของตะกอนภายในบ่อ และตะกอนจะตกจมในบ่อตกจมหรือบ่อตกตะกอนในขั้นตอนสุดท้าย ในแบบที่สองขอระบบเติมอากาศ จะแบ่งแยกเป็นเขตเติมอากาศกับเขตน้ำนิ่ง ดังนั้นตะกอนจะสะสมอยู่ภายในบ่อ ควรมีการกำจัดตะกอนประมาณ 5 ปีต่อครั้ง

<u>บ่อพัก</u> (polishing ponds) เป็นบ่อแบบมีอากาศ ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพของน้ำในขั้นตอนสุดท้ายเท่านั้น เพื่อให้บ่อทำงานอย่างมีประสิทธิภาพควรมีภาระบรรทุกเชิงปริมาตรของสารอินทรีย์ 0.05 กิโลกรัมบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีความลึกสูงสุด 1.5 เมตร ต้องใช้พื้นที่ประมาณ 0.03 ตารางเมตรต่อกิโลกรัมบีโอดีต่อวัน ออกซิเจนในบ่อได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในบ่อ จึงเป็นเหตุให้ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งสุดท้ายมีค่าสูง การลดของแข็งแขวนลอยอาจทำโดยให้น้ำทิ้งไหลผ่านชั้นหินซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ซึ่งติดตั้งในส่วนสุดท้ายของบ่อพัก

6.2.2.2.2 <u>ระบบตะกอนเร่ง</u> (Activated sludge process)

ระบบตะกอนเร่งเป็นระบบที่มีการใช้งานมากกว่า 50 ปีมาแล้ว โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบนี้คือ แบคทีเรีย เชื้อรา สาหร่าย และโปรโตซัว แบคทีเรียเป็นจุลินรีย์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการบำบัดน้ำเสียโดยตะกอนเร่ง ในระบบตะกอนเร่งกระบวนการทางชีวภาพของบ่อเติมอากาศเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการเข้มข้นของมวลทางชีวภาพ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (3-7 กรัมต่อลิตร) โดยการย้อนกลับมวลชีวภาพที่ตะกอนในถังตกตะกอนสูงกว่าบ่อเติมอากาศแบบชีวภาพ เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดต่ำสุด เพื่อให้เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วต้องมีอากาศที่เพียงพอ

ค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตรของบีโอดี ไม่ควรเกิน 0.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ ในการบำบัดที่เหมาะสม คือ 4 กรัมต่อลิตร ความลึกของถังเติมอากาศอยู่ในช่วง 2.5-5 เมตร (โดยปกติใช้ 4 เมตร) จากค่าของตัวเลขที่แสดงเหล่านี้ เป็นผลทำให้ความต้องการพื้นที่น้อยกว่า 1 ตารางเมตรต่อกิโลกรัมบีโอดีต่อวัน ความสัมพันธ์ของออกซิเจนและภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่ามากกว่า 2 กิโลกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมบีโอดี ทำ

ให้ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 1.5 กิโลวัตต์ต่อกิโลกรัมบีโอดี โดยปริมาณออกซิเจนที่นำมาใช้ในระบบอาจได้มาจากอุปกรณ์หลายประเภท เช่น เครื่องเติมอากาศ และเครื่องอัดอากาศ เป็นต้น

ตะกอนที่ถูกแยกในถังตะกอน บางส่วนจะมีการปล่อยทิ้งและบางส่วนจะป้อนกลับบ่อเติมอากาศ เพื่อรักษามวลชีวภาพในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) ขึ้นอยู่กับภาระบรรทุกตะกอน หรือภาระบรรทุกเชิงปริมาตรของบีโอดี และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ย่อยสลายอย่างช้าๆ ที่มีในน้ำเสีย เนื่องจากลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก จึงควรจะต้องควบคุมอัตราส่วนของ บีโอดี/ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัส ให้เหมาะสม เนื่องจาก ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge bulking) ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ระบบ plug-flow ในถังเติมอากาศแทนที่ระบบ completely-mixed ภายในถังเดียว

6.2.2.3 การกำจัดไนโตรเจน

ในการระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จำเป็นต้องมีการกำจัดไนโตรเจนก่อน

ตัวอย่างการคำนวณมีดังนี้

ปริมาณความสกปรกขอน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ค่าบีโอดี 30 กรัม/ลิตร

ทีเคเอ็น 1 กรัม/ลิตร

บีโอดี/ไนโตรเจน 100: 3

ในกรณีที่ความสามารถในการกำจัดบีโอดีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ 60% ปริมาณความสกปรกในน้ำเสียหลังการบำบัดแบบไร้อากาศ

ค่าบีโอดี 10 กรัม/ลิตร

ทีเคเอ็น 1 กรัม/ลิตร

บีโอดี/ไนโตรเจน* 100: 10

ภายใต้อัตราส่วนของ บีโอดี/ไนโตรเจน* จะเห็นได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่จะถูกดูดซับโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดแบบใช้อากาศได้หมด แต่ในระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศที่มีระยะเวลาเก็บกักนาน ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีอาจสูงถึง 98% น้ำเสียที่

ผ่านการบำบัดจากบ่อไร้อากาศ อัตราส่วนของบีโอดี/ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นเป็น 100 :> 10 ซึ่งจะกำจัดได้ยากขึ้น

6.3 การกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสีย

จากรายละเอียดเรื่องวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในหัวข้อ 6.1 และ 6.2 นั้น จะเห็นได้ว่ามีตะกอนส่วนเกินเกิดขึ้นทั้งในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบแบบไร้อากาศและแบบใช้อากาศ ซึ่งตะกอนส่วนเกินจะมีมากหรือน้อยนั้น ผลส่วนหนึ่งมาจากของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเสียเริ่มต้นที่ไม่สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์และจะตกจมลงสู่ด้านล่าง

ในระบบบ่อหมัก การกำจัดตะกอนส่วนเกินควรดำเนินการเป็นช่วงๆ ขึ้นอยู่กับสภาวะของแต่ละโรงงาน โดยส่วนใหญ่โรงงานผลิตแป้งมีนสำปะหลังจะขุดลอกบ่อหมักบ่อแรกทุกๆ 3-5 ปี ส่วนตะกอนส่วนเกินที่อยู่ในถังตกตะกอนขั้นสุดท้ายจะถูกกำจัดออกไปอย่างต่อเนื่อง

กากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิ จะประกอบด้วยมวลชีวภาพของจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ และมีของแข็งแขวนลอยที่ยากต่อการกำจัดปนเปื้อนในปริมาณน้อย เป็นที่ทราบกันดีว่าแร่ธาตุและโลหะหนักในน้ำทิ้งสามารถถูกดูดซับ (adsorbed) โดยจุลินทรีย์ในระบบบำบัดได้ ดังนั้น ตะกอนส่วนเกินในบ่อบำบัดน้ำเสียจึงมีการสะสมโลหะหนัก แต่เนื่องจากสารเหล่านี้ มีกำเนิดมาจากรากมันสำปะหลังสดและดินที่ใช้ปลูก ดังนั้นการนำกากตะกอนส่วนเกินเหล่านี้ กลับไปใช้ในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจะไม่ส่งผลต่อสมดุลมวลสารในวัฏจักรขอการปลูกมันสำปะหลังแต่อย่างใด

เนื่องจากในกากตะกอนมีปริมาณของน้ำอยู่สูง ดังนั้นจำเป็นต้องทำให้กากตะกอนมีความเข้มข้นขึ้นด้วยอุปกรณ์ต่างๆ กากตะกอนที่แห้งแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่การเกษตรได้

6.4 ตัวอย่างการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch นี้มีความสกปรกสูง ประกอบกับสภาพโดยทั่วไปของโรงงานประเภทนี้ในประเทศไทย เช่น ที่ตั้ง สภาพเศรษฐกิจ ความรู้ความสามารถของผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย และอื่นๆ คณะผู้ศึกษาจึงได้ทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย 3 ประเภท ซึ่งพิจารณาว่าน่าจะมีความเป็นไปได้มากที่สุดภายใต้ปัจจัยต่างๆ ของโรงงานประเภทนี้ ซึ่งได้แก่

1) ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้พื้นที่มาก ได้แก่ ระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic pond) ติดตามด้วยบ่อกึ่งไร้อากาศ (Facultative pond) และบ่อธรรมชาติ (Polishing pond)

2) ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้พื้นที่ปานกลาง ได้แก่ ระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศติดตามด้วยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง

3) ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้พื้นที่น้อย ได้แก่ ระบบบำบัดแบบถังกรองไร้อากาศติดตามด้วยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง

โดยข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ (ตัวอย่างโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ใช้รากมันสด 800 ตัน/วัน) ได้แก่

- ปริมาณน้ำเสีย= 2,700 ลบ.ม./วัน
- ค่าบีโอดีน้ำเสีย = 7,400 มก./ลิตร
- ค่าบีโอดีน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด > 60 มก./ลิตร

รูปแบบการบำบัดน้ำเสียในหัวข้อนี้ เป็นรูปแบบโดยทั่วไป ไม่ได้นำข้อเสนอในการปรับปรุงที่กล่าวไปแล้วมาพิจารณาในหัวข้อนี้ เพื่อให้ง่ายในการเปรียบเทียบ

หลังจากนั้น จึงได้ทำการเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ประเภทเพื่อหาระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมต่อไป สำหรับรายละเอียดของแต่ละระบบบำบัดน้ำเสีย มีดังนี้

6.4.1 <u>ระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศติดตามด้วยบ่อกึ่งไร้อากาศและบ่อพัก</u>

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับกรณีที่ทางโรงงานมีพื้นที่มาก พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมคือระบบบ่อไร้อากาศ ติดตามด้วยบ่อกึ่งไร้อากาศและบ่อพักซึ่ง

รูปแบบขึ้นตอนการทำงานของระบบบำบัดชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 6-3 และจากการคำนวณพบว่า พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 59.23 ไร่ โดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสียประมาณ 87 วัน พื้นที่ 1 ไร่ สามารถรับน้ำเสียได้ในปริมาณ 45.6 ลบ.ม./วัน หรือสามารถรับภาระบรรทุกอินทรีย์ได้ 337.3 กก./วัน ดังแสดงในตารางที่ 6-3 (รายการคำนวณโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

6.4.2 <u>ระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศติดตามด้วยระบบตะกอนเร่ง</u>

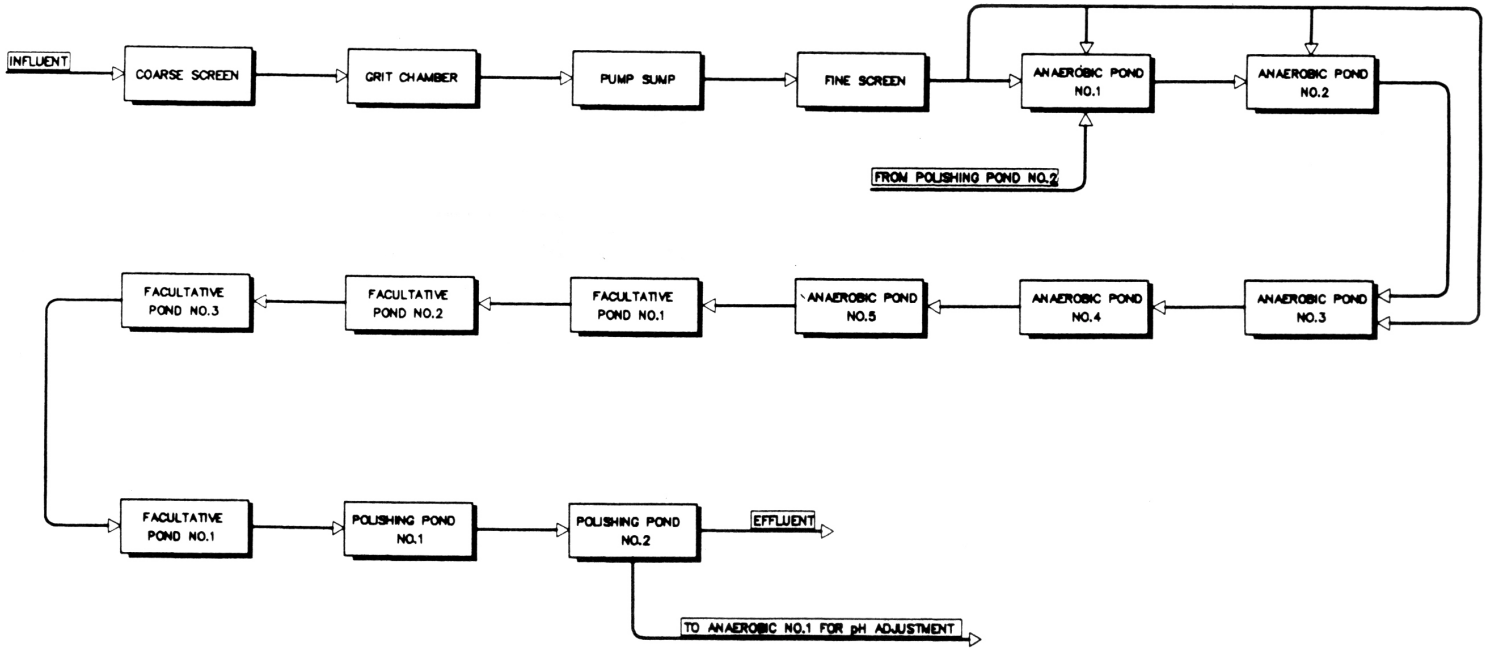
การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีที่โรงงานมีพื้นที่ขนาดปานกลาง ได้เลือกใช้ระบบบ่อไร้อากาศ ติดตามด้วยระบบตะกอนเร่งที่ประกอบด้วยถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation tank) รูปแบบขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 6-4 และจากการคำนวณพบว่า พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 31.6 ไร่ พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย 1 ไร่ สามารถรับน้ำเสียได้ 85.4 ลบ.ม./วัน หรือสามารถรับภาระบรรทุกอินทรีย์ได้ 632.2 กก./วัน ดังแสดงในตารางที่ 6-4 (รายการคำนวณโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

6.4.3 <u>ระบบบำบัดแบบถึงกรองไร้อากาศติดตามด้วยระบบตะกอนเร่ง</u>

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีที่โรงงานมีพื้นที่น้อย โดยเลือกใช้ระบบถังกรองไร้อากาศติดตามด้วยระบบตะกอนเร่ง โดยขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 6-5 และจากการคำนวณพบว่า พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 3.4 ไร่ พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย 1 ไร่ สามารถรับน้ำเสียได้ 785.1 ลบ.ม./วัน หรือสามารถรับภาระบรรทุกอินทรีย์ได้ 5,809.8 กก./วัน ดังแสดงในตารางที่ 6-5 (รายการคำนวณ โดยละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.)

จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มากใช้พื้นที่ปานกลาง และใช้พื้นที่น้อย ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง สามารถสรุปได้ดังนี้

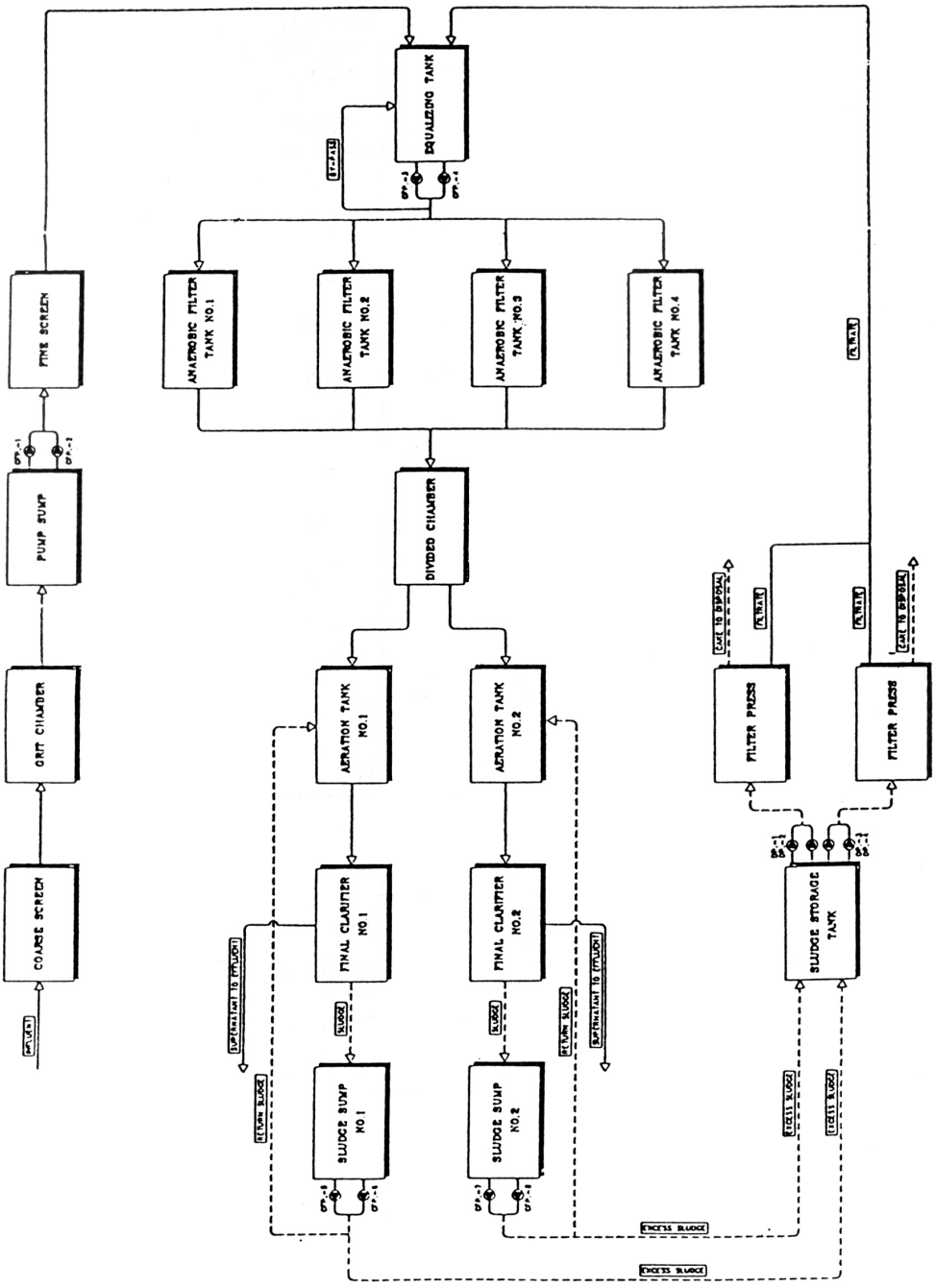
1. จากรูปที่ 6-6 พบว่า สัดส่วนของพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก : พื้นที่ ปานกลาง : พื้นที่น้อย = 59.2 ไร่ : 31.6 ไร่ : 3.4 ไร่



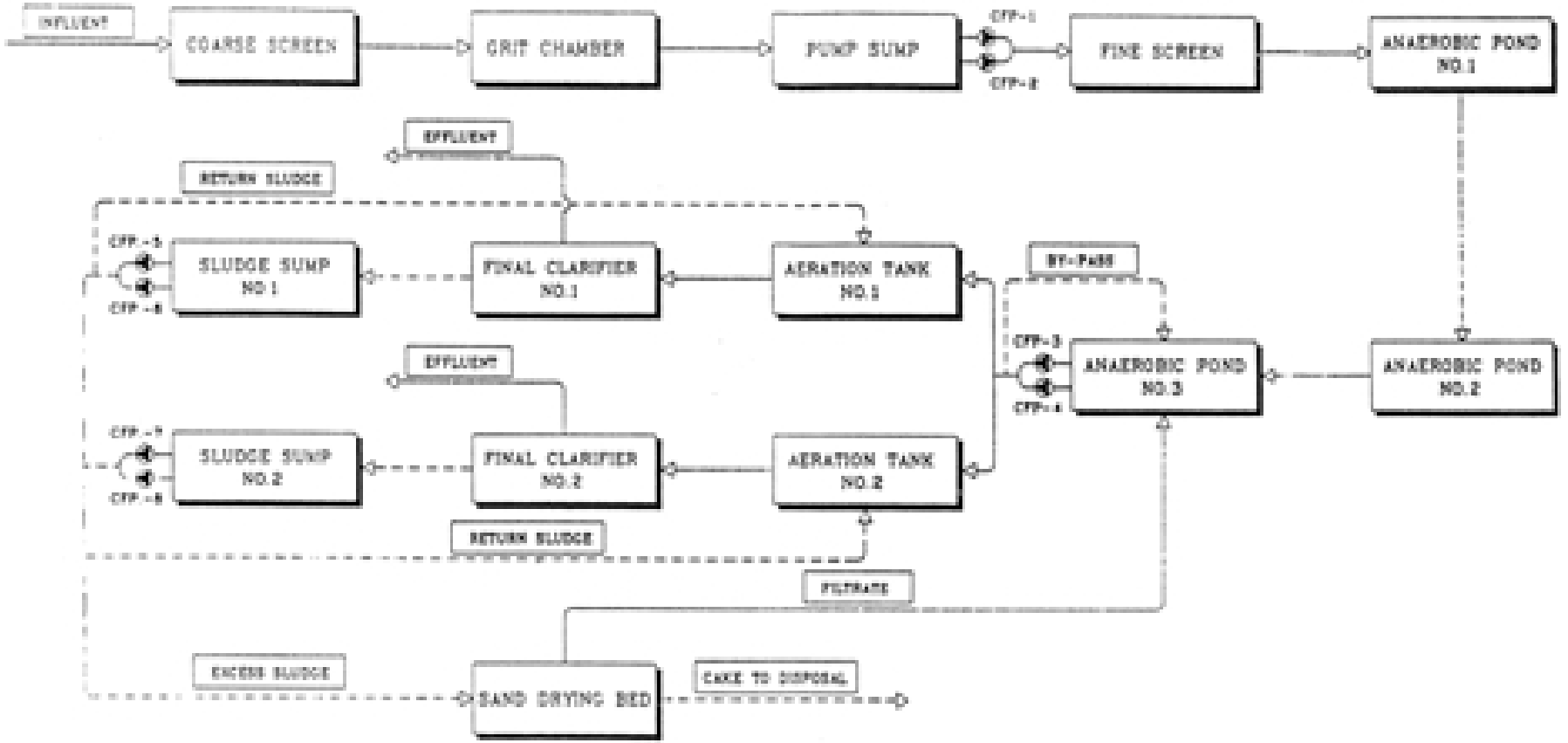
รูปที่ 6-3 Flow Diagram ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มากของ
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง

<u>ตาราง 6-3</u> สรุปผลการคำนวณระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มากของโรงงานผลิตแป้งมัน สำปะหลัง ตัวอย่าง

อัตราไหลของน้ำเสีย	2,700 ลบ.ม./วัน 19,980 กก.บีโอดี/วัน				
ปริมาณความสกปรก	จำนวน (ชุด)	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	ลึก (เมตร)	Volumetric Loading Rate (Kg BOD/m^3 d)
บ่อไร้อากาศบ่อที่ 1	1	95	190	4.3	0.31
บ่อไร้อากาศบ่อที่ 2	1	95	190	4.35	0.12
บ่อไร้อากาศบ่อที่ 3	1	60	120	4.4	0.17
บ่อไร้อากาศบ่อที่ 4	1	60	120	3.45	0.11
บ่อไร้อากาศบ่อที่ 5	1	60	120	3.5	0.05
บ่อกึ่งไร้อากาศบ่อที่ 1	1	40	80	3.05	0.08
บ่อกึ่งไร้อากาศบ่อที่ 2	1	40	80	3.1	0.04
บ่อกึ่งไร้อากาศบ่อที่ 3	1	40	80	3.15	0.02
บ่อกึ่งไร้อากาศบ่อที่ 4	1	40	80	3.2	0.01
บ่อพักบ่อที่ 1	1	60	120	1.75	
บ่อพักบ่อที่ 2	1	60	120	1.8	
พื้นที่บำบัดน้ำเสีย			53.84	ไร่	
พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย			59.23	ไร่	
ปริมาตรของระบบบำบัดทั้งหมด			232,518.86	ลบ.ม.	
ระยะเวลาเก็บกัก			86.12	วัน	
อัตราไหล : พื้นที่			45.59	ลบ.ม./วัน : 1 ไร่	
ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี : พื้นที่			337.34	กก. บีโอดี/วัน : ไร่	
อัตราไหล : ระยะเวลากักเก็บ			31.35	ลบ.ม. : 1 วัน	
ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี : ระยะเวลาเก็บกัก			232.01	กก. บีโอดี / วัน : 1 ไร่	



รูปที่ 6-5 Flow Diagram ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อยของ
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง



รูปที่ 6-4 Flow Diagram ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่ปานกลางของ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง

<u>ตาราง 6.5</u> สรุปผลการคำนวณระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อยของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง

อัตราไหลของน้ำเสีย ปริมาณความสกปรก	2,700 ลบ.ม./วัน 19,980 กก.บีโอดี/วัน				
	จำนวน (ชุด)	กว้าง (เมตร)	ยาว (เมตร)	ลึก (เมตร)	Volumetric Loading Rate (Kg BOD/m^3 d)
Equalizing Tank	1	30	30	3.5	900
ถังกรองไร้อากาศ	4	20	28	5.0	2,240
ถังเติมอากาศ	2	20	40	3.5	1,600
ถังตกตะกอน	2	12	12	4.0	226
ถังเก็บตะกอน	1	10	10	3.5	100
ห้องอัดตะกอน	1	-	-	-	-
พื้นที่บำบัดน้ำเสีย				3.13	ไร่
พื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย				3.44	ไร่
อัตราไหล : พื้นที่				785.11	ลบ.ม./วัน : 1 ไร่
ปริมาณความสกปรกในรูปบีโอดี				5,8093.82	กก. บีโอดี/วัน : ไร่

จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก ใช้พื้นที่ปานกลาง และใช้พื้นที่น้อย ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากรูปที่ 6-6 พบว่า สัดส่วนของพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก : พื้นที่ ปานกลาง : พื้นที่น้อย = 59.2 ไร่ : 31.6 ไร่ : 3.4 ไร่
2. จากรูปที่ 6-7 พบว่า สัดส่วนของอัตราไหลของน้ำเสียต่อพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัด

น้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก : ใช้พื้นที่ปานกลาง : ใช้พื้นที่น้อย = 45.6 ลบ.ม./วันต่อไร่ : 85.4 ลบ/./วันต่อไร่ : 785.1 ลบ.ม./วันต่อไร่

3. จากรูปที่ 6-8 พบว่า สัดส่วนของค่าภาระบรรทุกอินทรีย์ของน้ำเสียต่อพื้นที่ก่อสร้าง

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก : ใช้พื้นที่ปานกลาง : ใช้พื้นที่น้อย = 337.3 กก./วันต่อไร่ : 632.2 กก./วันต่อไร่ : 5,810.00/วันต่อไร่

ในการประมาณค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ประเภท ได้แบ่งออกเป็น 2

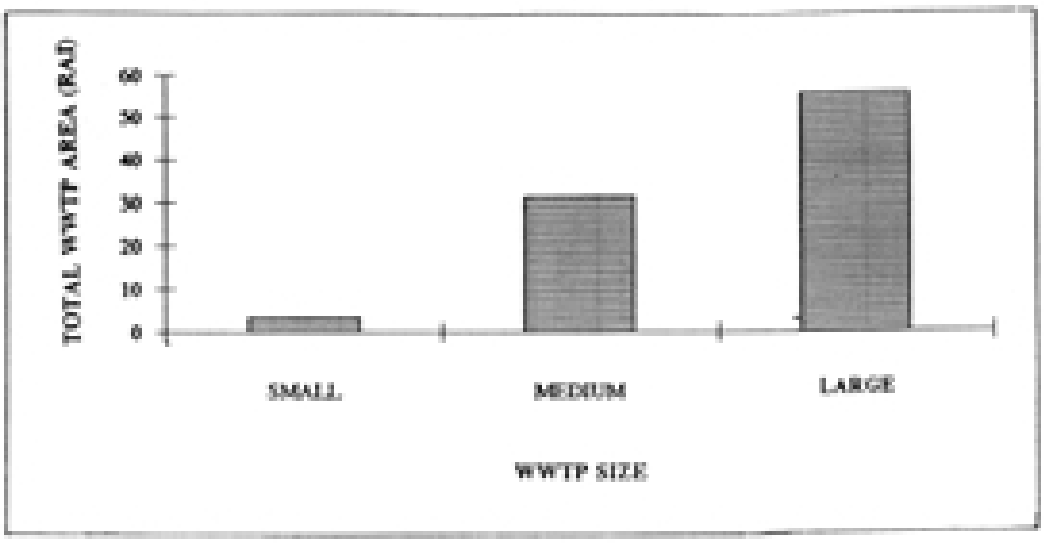
ส่วน หลัก ๆ คือ

- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบบำบัด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างหน่วยบำบัดและค่าอุปกรณ์เครื่องจักรกล รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ระบบงานไฟฟ้า งานท่อ การปรับพื้นที่ ฯลฯ
- ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายในเรื่องกระแสไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในเรื่องสารเคมี และค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับบุคลากร โดยผลการประเมินค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียในกรณีที่ไม่คิดราคาที่ดินแสดงดังตารางที่ 6-6 ซึ่งสรุปว่าค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พื้นที่มากเท่ากับ 54.75 ล้านบาท แบบใช้พื้นที่ปานกล่าวเท่ากับ 80.66 ล้านบาท และแบบใช้พื้นที่น้อยเท่ากับ 112.23 ล้านบาท ส่วนกรณีที่มีการคิดราคาที่ดินค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดน้ำเสียจะเพิ่มขึ้นทั้ง 3 แบบ

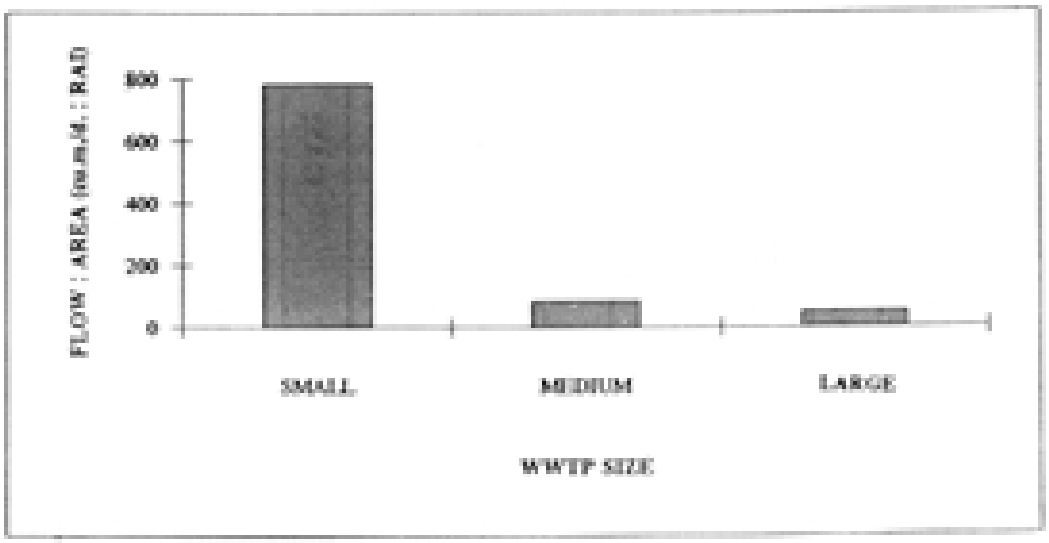
6.4.4 <u>การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสีย 3 ประเภทเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระบบบำบัดน้ำ</u>

ในการเปรียบเทียบระบบน้ำเสีย 3 ประเภททางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมนั้น ได้พิจารณาจากราคาของที่ดินที่จะใช้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6-7 และรูปที่ 6-9

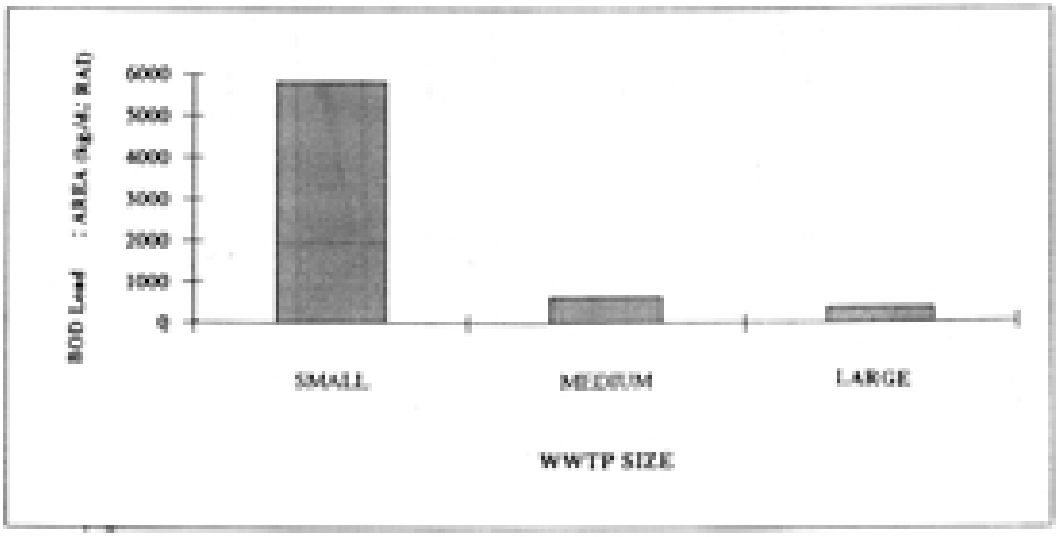
ดังนั้นสรุปได้ว่าหากราคาที่ดินใช้ในการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังน้อยกว่า 1,050,000 บาท/ไร่ ควรเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อไร้อากาศติดตามด้วยบ่อกึ่งไร้อากาศและบ่อพัก แต่หากราคาที่ดินอยู่ระหว่าง 1,050,000 บาท/ไร่ ถึง1,200,000 บาท/ไร่ ควรใช้ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อไร้อากาศติดตามด้วยระบบตะกอนเร่ง และหากราคาที่ดินมากกว่า 1,200,000 บาท/ไร่ ควรใช้ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดถังกรองไร้อากาศติดตามด้วยระบบตะกอนเร่ง



รูปที่ ค-๑ เปรียบเทียบพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดต่าง ๆ ของโรงงานตัวอย่าง



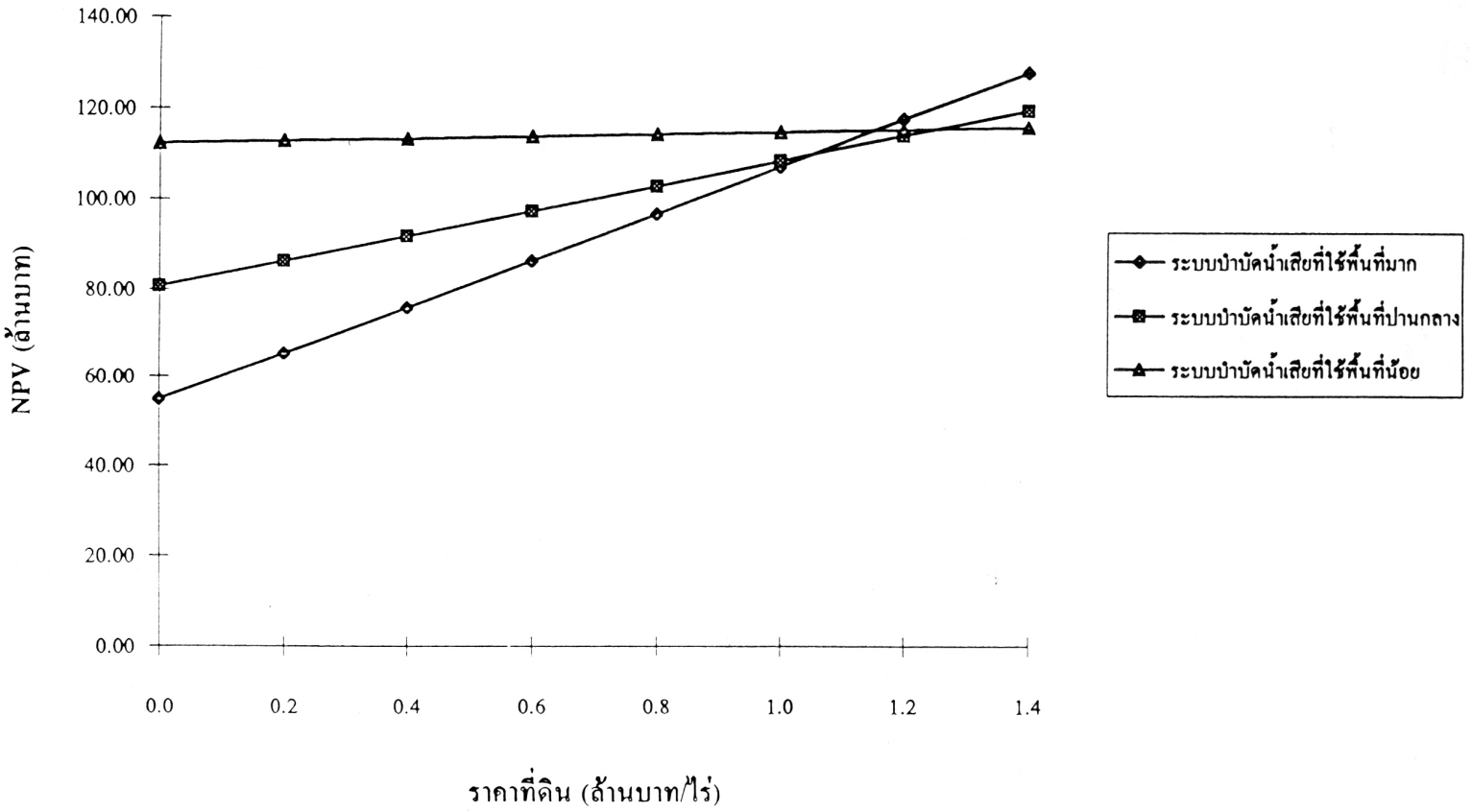
รูปที่ ค-๒ เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของน้ำเสียต่อพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ ของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ ค-๓ เปรียบเทียบค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของน้ำเสียต่อพื้นที่ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการของ โรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 6-6 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างราคาที่ดินกับค่า NET PRESENT VALUE ของระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ใช้พื้นที่ต่าง ๆ กัน ของโรงงานผลิตแป้งมัน

ราคาที่ดิน (ล้านบาท/ไร่)	ค่า NET PRESENT VALUE (ล้านบาท)		
	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่ปานกลาง	ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อย
0.0	54.75	80.66	112.23
0.2	65.33	86.31	112.83
0.4	75.91	91.95	113.44
0.6	86.49	97.59	114.05
0.8	97.06	103.23	114.65
1.0	107.64	108.88	115.26
1.2	118.22	114.52	115.87
1.4	128.79	120.16	116.48



รูปที่ 6-9 แสดงค่าเงินลงทุนที่ใช้ตามทางเลือกต่าง ๆ เปรียบเทียบกับราคาที่ดินของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

บทที่ 7

การติดตามและควบคุม

การจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตามข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ได้กล่าวแล้วนั้น จะประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้หากผู้ประกอบการให้ความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับเจ้าหน้าที่ของรัฐที่กำกับดูแลในการติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตและระบบบำบัดน้ำเสีย

7.1 การควบคุมกระบวนการผลิต

การสูญเสียแป้งในระหว่างกระบวนการผลิตนั้น นอกจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นแล้วยังทำให้ต้นทุนของการกำจัดของเสียเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่ควบคุมกระบวนการผลิตควรจะต้องมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตทั้งหมดและความสัมพันธ์ของแต่ละขั้นตอนการผลิตเพื่อที่จะสามารถดำเนินการผลิตตามวิธีการที่กำหนดอย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะเดียวกัน ผู้ประกอบการควรจะมีการติดตามตรวจสอบในเรื่องต่าง ๆ ต่อไปนี้เป็นพิเศษคือ

1) การติดตามความสม่ำเสมอของการผลิตและการปรับปรุงการผลิต ได้แก่
   - การพัฒนากระบวนการผลิต
   - การเพิ่มประสบการณ์และทักษะของเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต
   - การปรับปรุงระบบติดตามและควบคุม
   - การตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการผลิต
2) การระมัดระวังเกี่ยวกับเหตุการณ์ผิดปกติในการผลิต ได้แก่
   - การติดตั้งสัญญาณเตือนภัยเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติ
   - การฝึกเจ้าหน้าที่เตรียมรับสถานการณ์ต่าง ๆ
3) การทำสมดุลมวลสารของโรงงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ
   - ตรวจสอบปริมาณและลักษณะสมบัติของวัสดุเศษเหลือในแต่ละขั้นตอนการผลิตเพื่อวางแผนการจัดการวัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้น
   - ตรวจสอบตำแหน่งของรอยรั่วต่าง ๆ ที่มีผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลง
4) การจัดทำแผนการจัดการในการใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ ได้แก่
   - การตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่มีในวัสดุเศษเหลือ และความต้องการธาตุอาหารของพืชในพื้นที่ที่จะนำวัสดุเศษเหลือไปใช้เป็นปุ๋ย

- ให้คำแนะนำเรื่องพืชในแผนการจัดการใช้ปุ๋ยให้กับเกษตรกร
- มีระบบรองรับวัสดุเศษเหลือที่ใช้ประโยชน์ให้มีอยู่อย่างสม่ำเสมอ

อย่างไรก็ตาม การป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิตจะประสบผลสำเร็จต้องมีการบันทึกการทำงานต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตและติดตามประสิทธิภาพของระบบอย่างต่อเนื่องดังนี้

- ประสิทธิภาพของการผลิต ในรูปของผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณวัตถุดิบ
- ปริมาณของวัสดุเศษเหลือทั้งในรูปของแข็งและของเหลว
- ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย
- ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการผลิต เช่น ปริมาณน้ำใช้ ปริมาณของกำมะถันและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ฯลฯ
- ลักษณะการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย
- ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแล้ว

แผนป้องกันและควบคุมวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป แสดงดังตารางที่ 7-1 การติดตามตรวจสอบการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 7-2

7.2 การติดตามและควบคุมมลภาวะจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป โดยเจ้าหน้าที่ของรัฐ

เจ้าหน้าที่ของรัฐที่ควบคุมในเรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเทคโนโลยีของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเป็นอย่างดีเพื่อที่จะได้สามารถให้คำแนะนำแก่ผู้ประกอบการได้เมื่อกระบวนการผลิตมีปัญหาหรือระบบบำบัดน้ำเสียผิดปกติ

ในการติดตามและควบคุมให้ผู้ประกอบการปฏิบัติตามแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยเฉพาะในด้านการจัดการวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของแข็งและของเหลวนั้น เจ้าหน้าที่ของรัฐควรทำรายละเอียดของกิจกรรมที่จะต้องติดตามและควบคุมสำหรับแต่ละโรงงาน ซึ่งอย่างน้อยควรประกอบไปด้วย

- สภาพการทำงานโดยทั่วไปของโรงงาน
- กระบวนการผลิตที่ใช้ รวมถึงวิธีการป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิต
- การจัดการวัสดุเศษเหลือที่เกิดจากการผลิต
- ข้อมูลเกี่ยวกับความถี่และสภาวะการเก็บตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

ตัวอย่างของแบบฟอร์มในการติดตามและควบคุมมลภาวะจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป สำหรับเจ้าหน้าที่ของรัฐ แสดงในตารางที่ 7-3

ส่วนความถี่การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป ควรอยู่ระหว่าง 3-4 ครั้ง/ปี ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานแต่ละแห่งด้วย

ตารางที่ 7-1 แผนการป้องกันและควบคุมวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป

Activities	Frequency	Indicator
1. Production data checking	everyday	Quantity of raw material/day Quantity of product/day water and chemical consumption/day production/day
2. Solid residues management checking	everyday	Total quantity of each solid residues Quantity of each solid residues to reuse Quantity of each solid residues to deposit
3. Liquid residues management checking	everyday	Total quantity of each liquid residues Quantity of each residues to reuse Quantity of each residues to wastewater treatment plant
4. Wastewater treatment efficiency checking	once a week	Characteristic of influent and effluent (eg. BOD_5, COD, SS, TKN)
5. Excess sludge	once a month	% height of sludge in pond
6. BOD loading distribution to pond system checking	everyday	Total flow rate Flow rate to pond NO.1 Flow rate to pond NO.2 Flow rate to pond NO.3

ตารางที่ 7-2 พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามตรวจสอบการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

Operational step	Parameter	Unit
In the anaerobic ponds	sludge horizont/level	% of depth
End of anaerobic part of treatment	COD	mg/L
	BOD5	mg/L
	SS	mg/L
	settleable solids	mL/L
	temperature	^{o}C
	pH	
Settling pond for anaerobic excess sludge		
Excess sludge removed	volume	m^3/month
	solid content	g/L
In the aerated reactor (pond, activated, sludge etc.,)	VSS	g/L
	settleable solids	mL/L
	sludge volume index	mL/g
	O_2	mg/L
	power consumption	kW/d
	temperature	^{o}C
If recycling	flow rate	m^3/d
Settling pond for aerobic excess sludge	sludge horizont/level	% of depth
Excess sludge removed	volume	m^3/month
	solid content	g/L
Result of treatment	COD (regularly)	mg/L
	BOD (occasionally)	mg/L
	SS	mg/L
	temperature	^{o}C
	pH	

ตารางที่ 7-3 แบบฟอร์มในการติดตามและควบคุมมลภาวะจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป

NO.	Description		Value		
1	**General data**				
1.1	Name of factory :				
1.2	Factory location :				
1.3	Total employees :				
1.4	Worker : (native starch)				
	(modified/derivative starch)				
1.5	Native starch or modified or derivative starch				
2	**Production data**		**average**	**maximum**	**minimum**
2.1	Capacity roots input (t/d) or				
	Starch input (t/d)				
	Output (t/d)				
2.2	Production time : hour/day				
	: month/year				
2.3	Machinery : decanter				
	separator				
2.4	Starch content in roots (%)				
3	**Ingredients**		**kg/day**		**kg/t raw materials**
3.1	Sulphur				
3.2	Chemicals for process water treatment				
	Chemicals pH-adjustment				
	Activated carbon				
	Filter aid				
	Catalyst				
4	**Solid wastes**	**t/d to reuse**	**t/d to deposit**	**t/t raw materials**	**used as**
4.1	Pulp				
4.2	Dry sand and peel				
4.3	Wet peel				
4.4	Tails				
4.5	Sludge from sedimentation tank				
4.6	Sludge from ponds				
4.7	Activated carbon + filter aid				
4.8	Catalyst				
	Total				
	Tolal (t/t raw materials)				
5	**Liquid wastes quantity**	**m^3/d to reuse**	**m^3/d to deposit**	**m^3/t raw materials**	**used as**
5.1	Total mixed influent				
5.2	Native starch unit				
	- root washing				
	- decanter				
	- separator				
	- pulp pressing				

ตารางที่ 7-3 (ต่อ)

NO.	Description		Value		
5.3	Starch derivative unit				
5.4	Modified starch unit				
6	**Liquid waste characteristics**	**COD**	**BOD**	**TKN**	**pH**
6.1	Total mixed influent				
	- Native starch unit				
	- Derivative starch unit				
	- Modified starch unit				
6.2	Total mixed effluent				
	- Native starch unit				
	- Starch derivative unit				
	- Modified starch unit				
7	**Wastewater treatment plant**	**NO.**	**area (rai)**	**general condition**	
7.1	Sedimentation tank				
7.2	Fine screen				
7.3	Biogas system				
7.4	Activated sludge				
7.5	Anaerobic pond				
7.6	Facultative pond				
7.7	Aerated pond				
7.8	Aerobic pond				
7.9	Polishing pond				
7.10	Final destination				
8	**Freshwater supply (source and quantity)**				
9	**Emissions into air**			**kg/d**	**kg/t raw materials**
9.1	Surphur (heavy oil) (35% burnt in the boiler house)				
9.2	Particulates(mg/Nm^3)				
10	**Transport**	**average distance (km)**		**maximum distance (km)**	
10.1	Raw material				
10.2	Wastes				
10.3	Products				
11	**Energy consumption**	**l/t raw materials**	**KWh/d**	**KWh/t raw materials**	
11.1	Heavy oil				
11.2	Electrical energy				
12	**Others :**				

บทที่ 8

คำอธิบายศัพท์และเหตุผลสำหรับการเสนอมาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ได้กำหนดขึ้นนั้น ได้พิจารณาข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ร่วมกัน ซึ่งได้แก่

- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
- ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับใช้ในปัจจุบัน
- ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วและความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่มีในมาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ

สำหรับดัชนีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่สำคัญ ได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจนทั้งหมดนั้นเป็นดัชนีวิเคราะห์น้ำทิ้งทั่วไป

8.1 คำอธิบายศัพท์

1) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดีเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ยังมีสารประกอบชนิดอื่นที่ต้องคำนึงถึง เช่น ไนโตรเจน (โปรตีน) และฟอสฟอรัส (ฟอสโฟลิปิด) การย่อยสลายสารประกอบเหล่านี้ นอกจากจะปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้วยังทำให้ค่าบีโอดีเพิ่มด้วย (ดูในเรื่องของแข็งแขวนลอย)

2) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่าซีโอดี เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ โดยใช้โปแตสเซียมไดโครเมทในสารละลายที่เป็นกรด

อัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อบีโอดีในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด และน้ำทิ้งหลังการบำบัดโดยวิธีชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 2-4 และ 5-26 ตามลำดับ ซึ่งการที่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีอัตราส่วนซีโอดีต่อบีโอดีแตกต่างกันสูงมากนี้ แสดงว่าในน้ำเสียมีของแข็งแขวนลอยเกิดขึ้นใหม่ในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งที่กรองเอาสาหร่ายออกแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 3-26 จึงแสดงว่าสาหร่ายที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดมีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพน้ำทิ้ง

3) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่กรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) แล้วอบให้แห้งในน้ำเสียหรือน้ำทิ้งที่ไม่ได้กรอง ของแข็งแขวนลอยมีผลทำให้ค่าบีโอดีและซีโอดีสูงขึ้นด้วย ในกรณีของน้ำเสียของแข็งแขวนลอยมีทั้งสารอินทรีย์ เช่น กากมันสำปะหลัง เศษแป้ง และเศษรากมันสด ผงทราย แต่น้ำทิ้งหลังการบำบัดของแข็งแขวนลอยเป็นสารอินทรีย์พวกมวลชีวภาพจากเซลล์จุลินทรีย์

4) ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)

ทีเคเอ็น หมายถึง ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสามารถทำได้โดยย่อยให้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย แล้วจึงนำน้ำตัวอย่างที่ถูกย่อยแล้วไปวิเคราะห์หาค่าของแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด โดยการเพิ่ม pH และกลั่นให้แอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำออกไปพร้อม ๆ กับไอน้ำแล้วเคี่ยวไอน้ำที่มีแอมโมเนียอยู่จนเป็นของเหลวอีกครั้ง จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยการไตเตรท หรือใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) วัดความเข้มข้นของสี ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ดังนั้น หากมีการระบายน้ำทิ้งที่มีไนโตรเจนในปริมาณสูง จะทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก (Algaeblooms) ในแม่น้ำลำคลองที่รองรับน้ำทิ้งนั้น ๆ

8.2 เหตุผลในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง

วิธีการสกัดแป้งมันสำปะหลังจะมีน้ำเสียออกจากกระบวนการผลิตมาก และเป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยสูง ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นแบบใช้พื้นที่มากคือเป็นระบบบ่อหมักติดตามด้วยบ่อกึ่งหมักและบ่อผึ่ง ซึ่งในบ่อผึ่งมักจะมีการเติบโตของสาหร่ายจำนวนมาก และสาหร่ายเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของน้ำทิ้งโดยทั่วไป และยังส่งผลให้ค่าบีโอดี และซีโอดีสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามหากกรองสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งแล้ว น้ำทิ้งจะมีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจึงได้

นำผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่เป็นจริงของโรงงานต่าง ๆ มาพิจารณาร่วมด้วย (ตารางที่ 8-1) และค่าที่เสนอจำเป็นต้องมีช่วงปลอดภัยเมื่อมีการผลิตสูงสุด นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวิเคราะห์ต่าง ๆ ร่วมด้วย

8.2.1 ของแข็งแขวนลอย

ค่าของแข็งแขวนลอยที่กำหนดพิจารณาจากน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อพักก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ในระบบบำบัดที่ใช้เวลายาวนานของแข็งแขวนลอยจะเป็นพวกแบคทีเรียโปรโตซัวและสาหร่าย การเกิดสาหร่ายในบ่อพักนอกจากจะเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้แล้ว ยังเป็นสิ่งที่ต้องการให้เกิดขึ้นเพื่อเป็นแหล่งที่จะให้ออกซิเจนและบำบัดในขั้นสุดท้าย นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของสาหร่ายยังถูกกำจัดด้วยวิธีทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวน 18 แห่ง ที่มีค่าบีโอดีต่ำกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 8-1) แล้วนำค่าของแข็งแขวนลอยมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเลือกค่าที่มีโอกาสที่จะยอมรับ 75% ของข้อมูลทั้งหมด พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 120 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นจึงกำหนดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีค่าไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัม/ลิตร

8.2.2 บีโอดี (BOD)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ค่าบีโอดีจะต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด หากได้กรองสาหร่ายออกก่อนนั้น ในทางปฏิบัติการกรองน้ำทิ้งด้วยชั้นทรายหยาบก่อนระบายออกสู่ลำน้ำสาธารณะอาจจะช่วยแก้ไขปัญหาได้บ้าง แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของสาหร่ายจะถูกจำกัดด้วยวิธีทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

ค่าบีโอดีที่กำหนดได้มาจาก		
ค่าบีโอดีของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่	≒	10 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าบีโอดีของของแข็งแขวนลอย : 0.3* [SS]	=	36 มิลลิกรัม/ลิตร
รวม	≒	46 มิลลิกรัม/ลิตร
ดังนั้น จึงกำหนดให้ใช้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งเป็น	≒	60 มิลลิกรัม/ลิตร

* เป็นค่าที่จำกัดมากจากการย่อยสลายโดยกระบวนการชีวภาพ (Firk, et al., 1991)

ตารางที่ 8-1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

Name of Factories	BOD_5		COD		SS		COD/BOD_5	
	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
A	-	(14)	-	261 (116)	-	181	-	(8.2)
	-	33.5	-	194	-	164	-	5.79
B	9,900	(4.5)	23,238	349 (14.2)	6,936	176	2.35	(3.2)
	7,200	16	18,187	234	3,306	124	2.52	14.6
	5,600	10.3	16,470	288	2,741	117	2.94	28
C	3,690	120	8,732	569	3,141	515	2.37	4.74
D	12,900	(11.4)	32,374	509 (134)	6,975	381	2.51	(11.75)
	16,875	(5.95)	36,837	574 (154)	13,277	517	2.18	(25.9)
E	5,250	(9.3)	11,674	341 (78.2)	3,608	93	2.23	(8.4)
F	4,350	16.5	7,958	74	3,455	135	1.83	4.48
	3,500	29	8,994	172	2,447	87	2.57	5.93
G	2,575	(4.1)	6,152	170 (97.2)	1,843	38	2.39	(23.7)
	3,870	42.2	9,409	184	999	100	2.43	4.36
H	2,750	(9.3)	6,046	419 (43)	4,732	177	2.20	(4.63)
	4,820	35.7	15,854	500	3,571	262	3.29	14
I	19,500	(12.8)	52,399	(102)	15,710	-	2.69	(9.97)
	-	(13.6)	37,962	(108)	13,512	77	8.67	(7.94)
J	8,254	30.5	18,027	206	6,432	148	2.18	6.75
K	5,541	22.2	14,760	118	4,464	59	2.66	5.32
L	8,500	15	-	-	5,000	76	-	-
	14,500	57	-	-	5,060	135	-	-
M	-	55.5	-	-	-	156	-	-
N	-	38.7	-	-	-	112	-	-
O	-	28	-	-	-	78	-	-
P	-	33	-	-	-	128	-	-
Q	-	28.5	-	-	-	110	-	-
R	-	10 - 21	-	-	-	53-116	-	-

หมายเหตุ : ( ) = กรองตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์

8.2.3 ซีโอดี (COD)

ค่าซีโอดีคำนวณจากค่าบีโอดีดังนี้

ค่าซีโอดีของสารละลาย*	≈	150 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าซีโอดีของของแข็งแขวนลอย**	≈	192 มิลลิกรัม/ลิตร
รวม	≈	342 มิลลิกรัม/ลิตร
ดังนั้น จึงกำหนดให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งเป็น	≈	400 มิลลิกรัม/ลิตร

* ประมาณการจากอัตราส่วนของซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งที่กรองเอาสาหร่ายออกแล้ว ≈ 15

** ประมาณการซีโอดีของแข็งแขวนลอย = 1.6 [SS]

(Firk, et.at., 1991 กำหนดของแข็งแขวนลอย 1 มิลลิกรัม/ลิตร = ซีโอดี 0.8-1.6 มิลลิกรัม/ลิตร)

8.2.4 ทีเคเอ็น (TKN)

ในน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าความสัมพันธ์ของสารอาหารในรูปบีโอดีต่อไนโตรเจนเป็น 36 ต่อ 1 หรือ 100 ต่อ 3 แต่ในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้อากาศมีค่านี้เป็น 100 ต่อ 10

ดังนั้น หากเลือกระบบบำบัดแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศอย่างเหมาะสมก็จะกำจัดไนโตรเจนเกือบทั้งหมดในน้ำเสียออกไปอยู่ในรูปของมวลชีวภาพได้และที่เหลือก็จะถูกออกซิไดซ์ เมื่อระบบบำบัดมีความจุของบ่อเติมอากาศและบ่อพักเพียงพอ การที่น้ำทิ้งมีค่าไนโตรเจนสูงเนื่องมาจากไนโตรเจนของมวลชีวภาพ (ประมาณร้อยละ 30) รวมอยู่ในของแข็งแขวนลอย

ค่าทีเคเอ็นประมาณ 0.3[SS] = 36 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้น จึงกำหนดให้ค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งเป็น ≯ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

8.3 เหตุผลในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูปที่มีการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ แม้ว่าจะกำเนิดน้ำเสียที่มีความสกปรกทั้งในรูปของบีโอดีและของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่ก็ยังว่ามีความสกปรกสูงและลักษณะการกำเนิดน้ำเสียยังเป็นแบบไม่ต่อเนื่องและเมื่อพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูปในปัจจุบันพบว่ายังมี

การใช้ระบบบ่อผึ่งเพื่อบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนสุดท้าย ทำให้ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดแล้วของโรงงานประเภทนี้จะมีของแข็งแขวนลอยปนเปื้อนอันเนื่องมาจากสาหร่ายในบ่อผึ่ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งที่เป็นจริงของโรงงาน (ตารางที่ 8-2) พบว่าเมื่อกรองสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งแล้ว น้ำทิ้งจะมีค่าบีโอดีและซีโอดีต่ำลง ดังนั้นในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูปที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่เผื่อค่าปลอดภัยเมื่อมีการผลิตสูงสุดปรากฏรายละเอียดดังนี้

8.3.1 ของแข็งแขวนลอย

ในปัจจุบันมาตรฐานน้ำทิ้งทั่วไปของทางราชการกำหนดค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจากผลวิเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูปพบว่าโรงงานส่วนใหญ่สามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยได้ตามกำหนด แม้ว่าในบ่อพักน้ำทิ้งสุดท้ายจะมีสาหร่ายปนเปื้อนอยู่ แต่ค่าของแข็งแขวนลอยก็ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้นจึงกำหนดค่าของแข็งแขวนลอยไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งอาจเกิดปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวในบ่อตกตะกอนได้

8.3.2 บีโอดี (BOD_5)

ค่าบีโอดีที่กำหนดได้มาจาก

ค่าบีโอดีของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่	>	10	มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าบีโอดีของของแข็งแขวนลอย : 0.3 [SS]	=	15	มิลลิกรัม/ลิตร
รวม	>	25	มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้น จึงกำหนดให้ใช้ค่าบีโอดีของน้ำทิ้งเป็น > 30 มิลลิกรัม/ลิตร

* เป็นค่าที่จำกัดมากจากการย่อยสลายโดยกระบวนการชีวภาพ (Firk, et al., 1991)

8.3.3 ซีโอดี (COD)

ค่าซีโอดีคำนวณจากค่าบีโอดี ดังนี้

ค่าซีโอดีของสารละลาย*	>	170	มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าซีโอดีของของแข็งแขวนลอย**	>	80	มิลลิกรัม/ลิตร
รวม	>	250	มิลลิกรัม/ลิตร
ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งเป็น	>	250	มิลลิกรัม/ลิตร

* ประมาณการจากอัตราส่วนของซีโอดีต่อบีโอดีของน้ำทิ้งที่กรองเอาสาหร่ายออกแล้ว = 17

** ประมาณการซีโอดีของของแข็งแขวนลอย = 1.6 [SS]

(Firk, et.al., 1991 กำหนดค่าของแข็งแขวนลอย 1 มิลลิกรัม/ลิตร = ซีโอดี 0.8-1.6 มิลลิกรัม/ลิตร)

8.3.4 ทีเคเอ็น (TKN)

ในน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าความสัมพันธ์ของสารอาหารในรูปบีโอดีต่อไนโตรเจนเป็น 36 ต่อ 1 หรือ 100 ต่อ 3 แต่ในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้อากาศมีค่านี้เป็น 100 ต่อ 10

ดังนั้น หากเลือกระบบบำบัดแบบไร้อากาศและแบบมีอากาศอย่างเหมาะสมก็จะกำจัดไนโตรเจนเกือบทั้งหมดในน้ำเสียออกไปอยู่ในรูปของมวลชีวภาพได้และที่เหลือก็จะถูกออกซิไดซ์ เมื่อระบบบำบัดมีความจุของบ่อเติมอากาศและบ่อพักเพียงพอ การที่น้ำทิ้งมีค่าไนโตรเจนสูงเนื่องมาจากไนโตรเจนของมวลชีวภาพ (ประมาณร้อยละ 30) รวมอยู่ในของแข็งแขวนลอย

ค่าทีเคเอ็นประมาณ 0.3 [SS] = 36 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้น จึงกำหนดให้ค่าทีเคเอ็นในน้ำทิ้งเป็น ≯ 100 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 8-2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปรและแป้งมันแปรรูป

Name of	BOD_5		COD		SS		COD/BOD_5	
Factories	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
AA	1,005	5.4	1,548	151	155	25	1.5	28.0
	-	(1.0)	-	(134)	-	-	-	(134)
BB	862	4.7	1,161	224	168	16	1.3	47.7
	-	(4.1)	-	(35)	-	-	-	(8.5)
CC	1,566	28	1,619	234	90	89	1.0	8.4
	-	(7.5)	-	(169)	-	-	-	(22.5)
DD	1,601	12	3,503	353	83	22	2.2	29.4
	-	6.0	-	(104)	-	-	-	(17.3)
EE	8,000	20.7	-	-	100	28	-	-
FF	1,386	9.2	-	-	78	16	-	-
GG	956	7.7	-	-	138	8	-	-
HH	3,000	6.9	-	-	92	14	-	-

หมายเหตุ ( ) กรองตัวอย่างน้ำก่อนวิเคราะห์

ภาคผนวก ก.

- รายชื่อโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร และแป้งมันแปรรูป
- และพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2534-2537

file : Namapp.exe
(App1)

ตารางที่ ก-1 รายชื่อโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
1	บริษัท ชอไชยวัฒน์อุตสาหกรรม จำกัด 198 อ.ชากแง้ว ต.ห้วยใหญ่ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	10,150	23
2	ห้างหุ้นส่วนจำกัด สหมิตรแป้งมัน 101 ซ.ทางเข้าหัว อ.สุขุมวิท ม.4 ต.บางละมุง อ.บางละมุง จ.ชลบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	5,800	32
3	ห้างหุ้นส่วนจำกัด แป้งมันโค้วชั่งเอี๊ยะ 101 ถ.ชัยพรวิถี ม.1 ต.หนองปรือ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	4,500	36
4	บริษัท ชลเจริญ จำกัด 204 ม.3 ต.หนองชาก อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	16,560	74
5	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชลบุรีเลี่ยงเซ 321 ต.ห้วยใหญ่ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	9,000	47
6	ห้างหุ้นส่วนจำกัด นันท์สุรกิจ 12 ถ.เข้าวัดมาบชลูด ม.4 ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	60,000	40
7	บริษัท สยามสตาร์ช (1966) จำกัด 28 อ.สุขุมวิท ม.6 ต.ชากโดน อ.แกลง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร	แป้งมันสำปะหลัง 10,000 Oxidized Starch 3,000 Acetelate Starch 6,000 Cross-link Starch 2,400	76
8	หจก. โรงงานแป้งมันทรงเจริญ 4/6 อ.สุขุมวิท ม.3 ต.กะเฉด อ.เมือง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	7,500	54
9	บริษัท แป้งมันไทยรัตน์ จำกัด 420/1 ม.5 ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	4,500	56
10	บริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) 122 อ.สุขุมวิท ม.4 ต.สำนักท้อน อ.บ้านฉาง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	19,449	37

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
11	บริษัท ไทยวา จำกัด (สาขา 6) 77 ถ.สุขุมวิท ม.6 ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	18,784	120
12	บริษัท เพียรเกียรติอุตสาหกรรม จำกัด 189/1 ถ.นิคมสร้างตนเอง ต.มาบข่า อ.บ้านค่าย จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	30,000	70
13	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ตั้งซ่งจั๊ว 2 ถ.ห้วยโป่ง-หนองบอ ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	5,500	41
14	ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงแป้งกิจรุ่ง 208 ม.3 ต.ห้วยโป่ง อ.เมือง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	12,500	45
15	สหสินวัฒนา 129 ถ.สายจันทบุรี-สระบุรี ม.1 ต.ทับไทร อ.โป่งน้ำร้อน จ.จันทบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	7,300	35
16	บริษัท เกษตรรุ่งเรืองอุตสาหกรรม 20485 ถ.กบินทร์บุรี-ฉะเชิงเทรา ม.3 ต.เขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	แป้งมันสำปะหลัง	72,000	88
17	สระแก้วเจริญ 40 ถ.สุวรรณศร ม.4 ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว	แป้งมันสำปะหลัง	24,000	106
18	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เหลืองภิรมย์ 110 ซ.บ้านน้ำเมา ถ.มิตรภาพ ม.6 ต.ลาดบัวขาว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	7,200	29
19	บริษัท แป้งมันอิสาน จำกัด 35 ถ.นครราชสีมา-โชคชัย ม.1 ต.หัวทะเล อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	36,000	150
20	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด 61 ถ.นครราชสีมา ม.3 ต.หนองจะบก อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	30,000	136

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
21	บริษัท ชัยภูมิพืชผล จำกัด 144 ถ.มิตรภาพ ม.4 ต.มิตรภาพ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	30,000	79
22	บริษัท โรงงานแป้งมันอุดมชัย จำกัด 76 ถ.นครราชสีมา-โชคชัย ม.4 ต.หนองบัวศาลา อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	47,550	73
23	บริษัท ที เอช แพลเล็ท จำกัด 36-37 ถ.สีคิ้ว-ชัยภูมิ ม.3 ต.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	30,000	75
24	บริษัท เจ้าพระยาพืชไร่ จำกัด 269 ถ.มิตรภาพ ม.1 ต.โคกกรวด อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	50,000	113
25	บริษัท ไทยวา จำกัด 301 ถ.พิมาย-ห้วยแกลง ม.8 ต.ในเมือง อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	21,600	139
26	โรงงานแป้งมันอามาด้าส 43/1 ถ.สีคิ้ว-ชัยภูมิ ม.3 ต.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	12,000	114
27	บริษัท แป้งตะวันออก (1987) จำกัด 67 ถ.นครราชสีมา-โชคชัย ม.8 ต.หัวทะเล จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	36,000	120
28	บริษัท แป้งมันเอี่ยมแสงอุตสาหกรรม จำกัด 15 ซ.บ้านดอนไร่ อ.เสิงสาง-ปะคำ ม.2 ต.กุดโบสถ์ อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	21,600	90
29	บริษัท ไทยคอนดิเนนตัลฟีด จำกัด ถ.โชคชัย-เดชอุดม ม.3 ต.หนองหัวแรด อ.หนองบุญนาก จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง	10,560	254

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
30	บริษัท ตะวันรุ่งเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด ถ.บุรีรัมย์-สุรินทร์ ม.2 ต.หนองเต็ง อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์	แป้งมันสำปะหลัง	7,300	44
31	บริษัท บางนาแป้งมัน จำกัด 50 ถ.ชัยภูมิ-สีคิ้ว ม.1 ต.ละหาน อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ	แป้งมันสำปะหลัง	30,000	192
32	บริษัท แป้งมันแสงเพชร จำกัด 84 ม.5 ต.หนองบัวระเหว อ.หนองบัวระเหว จ.ชัยภูมิ	แป้งมันสำปะหลัง	18,000	86
33	บริษัท โรงแป้งมันขอนแก่นพืชผล จำกัด อ.มิตรภาพ ม.7 ต.สำราญ อ.เมือง จ.ขอนแก่น	แป้งมันสำปะหลัง	14,400	64
34	บริษัท แก่นเจริญ จำกัด 261 ช.บ้านดำครี่ ม.4 ต.ห้วยยาง อ.กระนวน จ.ขอนแก่น	แป้งมันสำปะหลัง	60,310	83
35	บริษัท ไทยน้ำมันสำปะหลัง จำกัด 173 ถ.สายอุดร-วังสะพุง ม.1 ต.นิคมสงเคราะห์ อ.เมือง จ.อุดรธานี	แป้งมันสำปะหลัง	37,800	150
36	บริษัท อุดรเพิ่มผล จำกัด กม.13 ถ.หนองวัวซอ-กุดจับ ม.1 ต.น้ำพ่น อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี	แป้งมันสำปะหลัง	5,900	60
37	โรงงานแป้งมันชัยเจริญ 82 ม.7 ต.กำพี้ อ.บรบือ จ.มหาสารคาม	แป้งมันสำปะหลัง	3,400	232
38	บริษัท โรงงานแป้งมันตระกูลเล็ก ช.บ้านปทุมทอ ถ.แจ้งสนิท ม.13 ต.นาโพธิ์ อ.กิ่งอำเภอกุดรัง จ.มหาสารคาม	แป้งมันสำปะหลัง	3,400	166
39	บริษัท แป้งมันร้อยเอ็ด จำกัด 227 ถ.โพนทอง-กุฉินารา ม.3 ต.หนองใหญ่ อ.โพนทอง ร้อยเอ็ด	แป้งมันสำปะหลัง	39,900	299

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
40	บริษัท บางนาแป้งมัน จำกัด 45 ถ.ฉินานนท์ ม.2 ต.อุ่มเม่า อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	43,200	100
41	บริษัท โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ต.บึงวิชัย อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	30,000	108
42	บริษัท เอเชียเนทีฟสตาร์ชแมนูแฟคเตอริ่ง 190 ถ.ฉินานนท์ ม.7 ต.เหนือ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	43,200	70
43	บริษัท ไทยวา จำกัด (มหาชน) 136 ถ.ท่าคันโท-หนองกุ ม.2 ต.นาตาล อ.ท่าคันโท จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	76,500	132
44	บริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์ จำกัด 188 ถ.สมเด็จ-กุฉินารา ม.1 ต.คำบง อ.ห้วยผึ้ง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	16,000	200
45	บริษัท แป้งมันสมเด็จ จำกัด 99 ถ.สมเด็จ-กุฉินารา ต.คำบง อ.ห้วยผึ้ง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	18,000	210
46	บริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด 39 ถ.กาฬสินธุ์-สหัส ม.4 ต.ภูดิน อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง	48,000	130
47	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันกาญจนชัย ถ.บ้านแก่ง-น้ำอ่าง ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	แป้งมันสำปะหลัง	360	22
48	บริษัท ไทยประสิทธิสตาร์ช จำกัด 154 ถ.บ้านไร่-ด่านช้าง ม.2 ต.พับหลวง อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี	แป้งมันสำปะหลัง	43,200	100
49	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ธนวัฒน์พืชผล ถ.สายสลกบาตร-บ่อถ้ำ ม.2 ต.บ่อถ้ำ อ.ขาณุวรลักษบุรี จ.กำแพงเพชร	แป้งมันสำปะหลัง	6,000	40

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
50	บริษัท ดีไอ จำกัด 771 ถ.พหลโยธิน ม.1 ต.สลกบาตร อ.ขาณุวรลักษบุรี จ.กำแพงเพชร	แป้งมันสำปะหลัง	14,000	85
51	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันบ้านไร่ง 109 ถ.เขางู-เบิกไพร ม.4 ต.เบิกไพร อ.บ้านไร่ง จ.ราชบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	24,000	72
52	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันกาญจนบุรี 199 ถ.แสงชูโต ม.4 ต.วังศาลา อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	แป้งมันสำปะหลัง	2,774	30
53	ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงงานแป้งมัน 197/1 ถ.สุขุมวิท ม.1 ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง	15,750	52
54	บริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด 77 ถ.สุขุมวิท ม.6 ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป แป้งมันดัดแปร	แป้งมันสำปะหลัง 18,784 แป้งมันแปรรูป 6,047 แป้งมันดัดแปร 35,700	120
55	บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด 120 ถ.นครราชสีมา-โชคชัย ม.4 ต.หัวทะเล อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป แป้งมันดัดแปร อัด และ อบแห้ง กากมัน	แป้งมันสำปะหลัง 12,000 กลูโคส 12,000 แป้งมันดัดแปร 30,000	230
56	บริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เค จำกัด 41 ถ.จินานนท์ ม.3 ต.ไผ่ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป	แป้งมันสำปะหลัง 18,000 แป้งมันแปรรูป 30,000	54
57	บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด 99 ถ.โชคชัย-ครบุรี ม.6 ต.อรพิมพ์ อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร	แป้งมันสำปะหลัง 16,000 แป้งมันดัดแปร 8,000	100
58	โรงงานแบะแซแป้งข่องแรง 589 ถ.พหลโยธิน ม.1 ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง	แป้งมันสำปะหลัง แบะแซ	47,000 41,600	4
59	บริษัทสยามควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด 222 ถ.สุรนารายณ์ ต.โคกเริงรมย์ อ.บำเหน็จณรงค์ จ.ชัยภูมิ	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร	28,000 28,000	76

ตารางที่ ก-2 รายชื่อโรงงานผลิตแป้งมันดัดแปร (Modified Starch)

File : Nameapp.exe
< APP ก >

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
1	บริษัท ไทยวิสคอสเคมี จำกัด 77 ถ.สุขุมวิท ม.6 ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง จ.ระยอง	แป้งมันดัดแปร	36,000	9
2	บริษัท โชนิส สตาร์ช เทคโนโลยี จำกัด ม.3 ต.เขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา	แป้งมันดัดแปร	Acetylated Starch 6,000 Cat-ionic Starch 12,000 Oxidized Starch 3,000	35
3	บริษัท เอ็น.ไอ.ซี แป้งมันสำเร็จรูป 144 ถ.มิตรภาพ ต.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	แป้งมันดัดแปร	Starch Ester 7,934 Oxidized Starch 3,000 Starch Ether 883	112
4	บริษัท เอเชียโมดิไฟด์สตาร์ช จำกัด 61 ม.5 ต.หนองจะบก อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันดัดแปร	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล
5	บริษัท สยามมอดิฟายด์สตาร์ช จำกัด (ยุโรป) 38/6 ถ.ปทุมธานี-อาดหลุมแก้ว ม.11 ต.คูบางหลวง จ.ปทุมธานี	แป้งมันดัดแปร	42,598	230
6	บ.ไทยวาย้อฟ้าสตาร์ช จำกัด 301 ถ.พิมาย-ห้วยแถลง ต.ในเมือง อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	แป้งย้อฟ้าสุพีเรีย แป้งย้อฟ้าเอกซตร้า แป้งพรีเจลาติไนซ์	4,320 15,120 57,600	30
7	บริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด 77 ถ.สุขุมวิท ม.6 ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป แป้งมันดัดแปร	แป้งมันสำปะหลัง 18,784 แป้งมันแปรรูป 6,047 แป้งมันดัดแปร 35,700	120
8	บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด 120 ถ.นครราชสีมา-โชคชัย ม.4 ต.หัวทะเล อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป แป้งมันดัดแปร อัด และ อบแห้ง กากมัน	แป้งมันสำปะหลัง 12,000 กลูโคส 12,000 แป้งมันดัดแปร 30,000	230
9	บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด 99 ถ.โชคชัย-ครบุรี ม.6 ต.อรพิมพ์ อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร	แป้งมันสำปะหลัง 16,000 แป้งมันดัดแปร 8,000	100
10	บริษัทสยามควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด 222 ถ.สุรนารายณ์ ต.โคกเริงรมย์ อ.บำเหน็จณรงค์ จ.ชัยภูมิ	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันดัดแปร	28,000 28,000	76

file : Nameapp3 <APP3>

ตารางที่ ก-3 รายชื่อโรงงานผลิตแป้งมันแปรรูป (Starch Derivatives)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
1	บริษัท ฟาร์สเปิค จำกัด 9/38 ซ.ลาดพร้าว 7 ม.8 แขวงวังทองหลาง เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร	Glucose + Dextrose	4,560	5
2	บริษัท ประเสริฐชัย จำกัด 299 ซ.บางฉมวกขาว ถ.สุขุมวิท ม.4 ต.ท้ายบ้าน อ.เมือง จ.สมุทรปราการ	Dextrose-monohydrate Liquid-glucose Dextrose-anhydrous Liquid-dextrose D-Sorbitol	1,200 4,000 200 900 2,700	68
3	บริษัท เอเชียฟรุคโตส จำกัด 99/9 ถ.หนองคะโก-เขาปู่ ม.2 ต.รางสาลี่ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	น้ำเชื่อมไฮฟรุคโตส-55	68,000	200
4	บริษัท นครหลวงกลูโคช จำกัด 67 ซ.วัดเทียนดัด ถ.เพชรเกษม ม.1 ต.บ้านใหม่ อ.สามพราน จ.นครปฐม	แบะแช + กลูโคช	2,400	26
5	บริษัท ไทยกลูโคช จำกัด 32/8 ซ.วัดเทียนดัด ถ.เพชรเกษม ม.1 ต.บ้านใหม่ อ.สามพราน จ.นครปฐม	กลูโคสผง กลูโคสไซรับ ฟรุคโตสไซรับ	955 7,299 2,500	89
6	บริษัท ไทยเยอรมันกลูโคส จำกัด ถ.บางนา-ตราด ต.บางแก้ว อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	Glucose + Dextrose	18	8
7	บริษัท ผลิตภัณฑ์น้ำตาลไทย จำกัด 75/5 ถ.เทพารักษ์ ม.1 ต.บางปลา อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ	Glucose Syrup	1,140	27
8	บริษัท ไทยวัฒนาฟาร์มาซูติคัลเด็กซโทรส จำกัด 112 ถ.บางละมุง-ระยอง ม.8 ต.หนองปลาไหล อ.บางละมุง จ.ชลบุรี	Dextrose Hydrox	6,000 100	72
9	บริษัท ไทยวาแอลจีเคมีคอล จำกัด 45/7 ถ.พิมาย-ห้วยแถลง ม.8 ต.ในเมือง อ.พิมาย จ.นครราชสีมา	Sorbitol	500	60

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ/ที่อยู่	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (เมตริกตัน/ปี)	แรงงาน (คน)
10	บริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด 77 ถ.สุขุมวิท ม.6 ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง จ.ระยอง	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป แป้งมันดัดแปร	แป้งมันสำปะหลัง 18,784 แป้งมันแปรรูป 6,047 แป้งมันดัดแปร 35,700	120
11	บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด 120 ถ.นครราชสีมา-โชคชัย ม.4 ต.หัวทะเล อ.เมือง จ.นครราชสีมา	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป แป้งมันดัดแปร อัด และ อบแห้ง กากมัน	แป้งมันสำปะหลัง 12,000 กลูโคส 12,000 แป้งมันดัดแปร 30,000	230
12	บริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เค จำกัด 41 ถ.ถินานนท์ ม.3 ต.ไผ่ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์	แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันแปรรูป	แป้งมันสำปะหลัง 18,000 แป้งมันแปรรูป 30,000	54

file : Nawapol 2 552 /

ตารางที่ ก-4 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของมันสำปะหลัง เป็นรายภาค พ.ศ. 2534-2537

ภาค	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) Planted area (rais)				เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่) Harvested area (rais)				ผลผลิต (ตัน) Production (tons)				ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kgs.)			
	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994
รวมทั้งประเทศ	9,322,744	9,323,451	9,100,375	8,817,271	8,959,871	9,066,866	8,987,608	8,641,845	19,705,040	20,355,723	20,202,897	19,091,347	2,199	2,245	2,246	2,209
นครพนม	71,606	50,724	46,145	45,621	69,641	47,646	46,145	45,621	133,688	98,354	87,906	86,817	1,920	2,064	1,903	1,903
สกลนคร	157,197	161,427	149,413	161,612	142,407	149,651	149,413	152,569	289,941	293,166	328,410	324,032	2,036	1,959	2,198	2,124
หนองคาย	422,290	441,438	412,257	402,195	412,579	429,270	412,257	402,195	823,930	889,056	838,943	814,043	1,997	2,071	2,035	2,024
อุดรธานี	511,575	507,971	481,217	458,627	508,514	497,540	481,217	428,183	1,094,322	1,179,667	1,146,259	994,762	2,152	2,371	2,382	2,323
เลย	66,815	74,133	139,528	147,387	63,904	72,938	139,528	146,165	139,109	211,279	357,192	344,738	2,177	2,897	2,560	2,359
มุกดาหาร	98,349	116,973	113,087	108,676	96,414	110,072	113,087	102,604	197,070	232,362	240,875	212,679	2,044	2,111	2,130	2,073
ยโสธร	48,901	66,992	61,841	62,076	46,184	66,453	61,841	62,076	97,516	167,547	143,718	145,568	2,111	2,521	2,324	2,345
อุบลราชธานี	127,943	128,722	131,793	122,857	122,631	128,677	131,793	114,385	265,916	308,289	291,263	246,451	2,168	2,396	2,210	2,155
กาฬสินธุ์	455,442	442,200	408,254	385,085	454,081	419,282	408,254	385,085	924,963	902,530	881,829	812,914	2,037	2,153	2,160	2,111
ขอนแก่น	424,084	454,126	400,902	381,289	412,634	426,468	400,902	381,289	849,201	862,839	849,912	817,484	2,058	2,023	2,120	2,144
มหาสารคาม	283,240	233,704	204,729	188,003	271,982	219,033	204,729	188,003	558,923	456,246	425,836	380,706	2,055	2,083	2,080	2,025
ร้อยเอ็ด	216,147	218,042	219,570	180,058	184,741	206,391	219,570	180,058	362,092	416,460	436,944	357,235	1,960	2,018	1,990	1,984
บุรีรัมย์	299,498	274,439	260,717	255,084	294,752	273,338	260,717	247,478	643,921	618,311	599,388	552,512	2,185	2,262	2,299	2,233
ศรีสะเกษ	70,806	80,405	75,580	68,168	68,484	79,129	75,580	62,168	151,281	183,565	166,881	137,018	2,209	2,320	2,208	2,204

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

ภาค	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) Planted area (rais)				เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่) Harvested area (rais)				ผลผลิต (ตัน) Production (tons)				ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kgs.)			
	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994
เชียงใหม่	-	369	-	-	-	369	-	-	-	945	-	-	-	-	2,561	-
เชียงราย	42,296	28,724	23,312	22,638	42,222	28,724	23,312	217 54	93,395	60,780	51,147	46,838	2,212	2,116	2,194	2,153
พะเยา	3,751	3,573	2,475	1,683	3,708	3,529	2,475	1,683	8,521	8,561	5,742	4,056	2,298	2,426	2,320	2,410
ลพบุรี	85,611	89,377	107,548	106,181	83,628	88,256	107,548	102,986	2,014,209	213,790	258,115	244,535	2,406	2,422	2,400	2,374
สระบุรี	21,054	18,675	15,718	14,070	20,998	18,675	15,718	13,675	51,067	46,239	38,368	33,754	2,432	2,476	2,441	2,468
ชัยนาท	58,266	65,420	80,872	84,756	53,105	62,332	80,872	84,756	116,565	136,270	173,632	188,497	2,195	2,186	2,147	2,224
สุพรรณบุรี	58,977	43,090	33,000	37,422	57,161	43,029	33,000	37,422	134,614	103,804	81,246	91,235	2,355	2,412	2,462	2,438
กาญจนบุรี	202,120	202,426	215,162	219,263	197,028	200,047	215,162	21 0338	476,611	477,321	533,817	510,883	2,419	2,386	2,481	2,429
ประจวบคีรีขันธ์	31,408	18,398	11,609	7,409	27,352	17,780	9,652	7,409	67,423	47,522	23,079	15,640	2,465	2,673	2,391	2,111
เพชรบุรี	21,986	15,602	14,450	14,056	19,050	15,429	14,450	13,222	41,015	33,638	30,244	27,985	2,153	2,180	2,093	2,117
ราชบุรี	164,353	169,029	165,883	160,539	137,856	164,159	165,883	157,099	303,283	403,472	442,078	380,477	2,200	2,458	2,665	2,422
ฉะเชิงเทรา	459,158	487,524	470,562	464,842	404,493	486,730	462,703	453,565	891,907	1,129,106	1,025,355	987,789	2,205	2,320	2,216	2,178
ปราจีนบุรี	442,456	457,422	453,719	444,962	397,994	452,996	436,055	434,523	844,649	1,024,168	963,454	994,045	2,122	2,261	2,209	2,288
ชลบุรี	384,008	351,692	292,035	293,075	381,045	351,172	292,035	277,876	884,754	852,501	659,999	634,800	2,322	2,428	2,260	2,284
ระยอง	475,443	374,962	319,312	265,240	457,890	374,575	319,312	250,964	11,071,178	902,908	859,269	653,551	2,418	2,410	2,691	2,604
จันทบุรี	183,652	183,517	175,167	176,011	182,729	183,255	175,167	167,510	430,529	464,482	403,410	401,657	2,407	2,535	2,303	2,398
ตราด	38,006	30,615	13,370	13,079	38,006	29,840	1,337	12,668	85,285	60,005	29,254	27,047	2,244	2,011	2,188	2,135

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

ภาค	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) Planted area (rais)				เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่) Harvested area (rais)				ผลผลิต (ตัน) Production (tons)				ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kgs.)			
	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994	2534 1991	2535 1992	2536 1993	2537 1994
สุรินทร์	56,584	52,083	61,012	60,072	55,896	52,063	61,012	60,072	111,680	109,583	131,847	134,321	1,998	2,105	2,161	2,236
ชัยภูมิ	536,137	536,939	569,877	530,634	516,075	481,567	542,035	530,634	1,096,659	1,046,445	1,179,645	1,111,678	2,125	2,173	2,176	2,095
นครราชสีมา	1,980,930	1,984,935	1,925,386	1,905,306	1,929,279	1,969,369	1,925,386	1,895,870	4,385,251	4,255,701	4,310,939	4,206,916	2,273	2,161	2,239	2,219
นครสวรรค์	109,942	137,781	145,367	140,139	101,387	107,328	145,367	140,139	229,439	261,922	310,795	290,788	2,263	2,440	2,138	2,075
เพชรบูรณ์	18,136	16,120	25,052	30,670	17,558	15,468	25,052	28,077	37,837	36,125	58,496	66,186	2,155	2,335	2,335	2,357
อุทัยธานี	122,960	159,394	161,665	181,289	120,128	153,790	153,377	175,683	288,307	380,314	394,139	420,047	2,400	2,473	2,570	2,391
กำแพงเพชร	323,049	357,382	407,282	383,028	318,883	353,854	358,715	377,864	730,242	856,287	819,829	804,357	2,290	2,420	2,286	2,129
ตาก	2,182	2,427	3,145	1,846	1,829	2,414	2,801	1,846	3,929	5,786	6,605	4,329	2,148	2,397	2,358	2,345
พิจิตร	14,741	12,192	11,120	10,228	14,445	12,017	11,120	10,023	31,418	29,261	26,621	23,944	2,175	2,435	2,394	2,389
พิษณุโลก	222,911	262,659	274,682	266,870	222,471	262,383	274,682	261,636	491,752	566,555	552,111	525,200	2,210	2,159	2,010	2,007
น่าน	2,569	2,855	4,602	3,682	2,569	2,855	4,602	3,632	5,788	6,609	9,811	7,902	2,253	2,315	2,132	2,176
แพร่	-	-	3,094	3,089	-	-	3,094	2,849	-	-	6,683	5,986	-	-	2,160	2,101
ลำปาง	5,010	5,954	3,303	2,433	4,983	5,954	3,303	2,139	11,142	13,355	9,278	5,418	2,236	2,243	2,809	2,498
สุโขทัย	-	-	974	1,334	-	-	728	1,334	-	-	2,285	3,459	-	-	3,139	2,593
อุตรดิตถ์	1,155	1,388	4,218	4,688	1,155	1,388	4,218	4,688	2,438	3,542	9,482	11,068	2,111	2,552	2,248	2,361

วิธีการเพาะปลูกมันสำปะหลังที่เหมาะสม

การเตรียมดิน

หากดินที่ทำการเพาะปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันหลายปีควรปรับปรุงบำรุงดิน เพื่อรักษาระดับผลผลิตในระยะยาวด้วยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก (เปลือกมันชนิดเก่าค้างปีจากโรงแป้งทั่วไป) ที่หาได้ในท้องถิ่น หรือปลูกพืชตระกูลถั่วต่าง ๆ หมุนเวียนบำรุงดิน

ในกรณีที่พื้นที่มีวัชพืชประเภทหญ้าคา ควรใช้ยาราวด์อัพ ประเภทเครือเถาต่าง ๆ ควรใช้ยาสตาร์เรนฉีดพ่นกำจัดเสียก่อนการไถ 10-15 วัน จากนั้นไถครั้งแรกโดยไถกลบวัชพืชก่อนปลูกด้วยผาน 3 (อย่าเผาทำลายวัชพืช) ให้ลึกประมาณ 20-30 ซ.ม. แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20-30 วัน เพื่อหมักวัชพืชเป็นปุ๋ยในดินต่อไป

ไถพรวนด้วยผาน 7 อีก 1-2 ครั้ง (ตามความเหมาะสม) และรีบปลูกโดยเร็ว ในขณะที่ดินยังมีความชื้นอยู่

การเตรียมท่อนพันธุ์

ใช้ท่อนพันธุ์มันที่สด อายุ 10-12 เดือน ตัดทิ้งไว้ไม่เกิน 15 วัน โดยตัดให้มีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีตาไม้น้อยกว่า 5 ตา

เพื่อป้องกันเชื้อราและแมลงควรจุ่มท่อนพันธุ์ในยาแคปแทน 1.6 ขีด (160 กรัม) ผสมร่วมกับมาลาไธออน 20 ซีซี ในน้ำ 20 ลิตร ประมาณ 5 นาที ก่อนปลูก

สำหรับพื้นที่ที่มีปลวก ควรจุ่มท่อนพันธุ์ในยาคลอไดร์ท 72% อีซี จำนวน 125 ซีซี ผสมร่วมกับแคปแทน 1.6 ขีด (160 กรัม) ในน้ำ 20 ลิตร ประมาณ 10 นาที นำขึ้นมาผึ่งให้แห้งก่อนปลูก

การเพาะปลูก

ปลูกเป็นแถวแนวตรง เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษาและกำจัดวัชพืช โดยใช้ระยะระหว่างแถว 1.20 เมตร ระยะระหว่างต้น 80 เซ็นติเมตร หรือ 1x1 เมตร ปักท่อนพันธุ์ให้ตั้งตรงลึกลงในดินประมาณ 10 เซ็นติเมตร

การฉีดยาคุมเมล็ดวัชพืชก่อนต้นมันงอก
(ในกรณีที่คาดว่าจะกำจัดวัชพืชไม่ทัน)

สำหรับการปลูกในช่วงฤดูฝนสภาพดินชื้น ควรฉีดยาคุมเมล็ดวัชพืชด้วยยาไดยูรอน (คาแม็กซ์) หลังจากการปลูกทันทีไม่เกิน 3 วัน หรือก่อนต้นมันงอก หากฉีดหลังต้นมันงอกอาจทำให้ต้นมันเสียหายได้ ใช้ยาในอัตราตามข้อแนะนำในสลากยา หรือไม่เกิน 3 ขีด (300 กรัม) ผสมน้ำ 100 ลิตร ฉีดพ่นในพื้นที่ 1 ไร่

การกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ย

กำจัดวัชพืชครั้งที่ 1 ประมาณ 30-45 วัน หลังการปลูก โดยใช้จอบ หรือเครื่องจักรกลช่วย เช่น รถไถเล็กเดินตามจานพรวนกำจัดวัชพืชติดท้ายรถไถใหญ่ พร้อมทั้งใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 25-50 กก./ไร่ ห่างจากต้นมัน 1 คืบ (20 เซ็นติเมตร) จากนั้นใช้จอบกำจัดวัชพืชส่วนที่เหลือพร้อมกับกลบปุ๋ยไปด้วย หรือใส่ปุ๋ยโดยการขุดหลุมห่างจากโคนต้น 1 คืบ แล้วกลบดินตามก็ได้ข้อสำคัญควรใส่ปุ๋ยขณะที่ดินมีความชื้นอยู่

กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 2 ประมาณ 60-70 วัน หลังจากปลูกโดยปฏิบัติเช่นเดียวกันกับครั้งแรก

กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 3 ตามความจำเป็น โดยใช้จอบถากหรือฉีดพ่นด้วยยากรัมม็อกโซน (ควรใช้ฝาครอบหัวฉีดเพื่อป้องกันไม่ให้ยาโดนตาและลำต้นมัน)

การเก็บเกี่ยว และบำรุงรักษาขยายพันธุ์

ทำการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในช่วงอายุที่เหมาะสม คือ ประมาณ 10-12 เดือน พร้อมทั้งวางแผนการเตรียมต้นพันธุ์มันสำปะหลัง เพื่อการปลูกในคราวต่อไป

ส่วนของต้นมันสำปะหลังที่ไม่ใช้ เช่น ใบ กิ่ง ก้าน หรือ ลำต้น ควรสับทิ้งไว้ในแปลง เพื่อเป็นปุ๋ยพืชสดในดิน

ภาคผนวก ค.

- รายการคำนวณบ่อตกตะกอนดินทรายจากน้ำล้างรากมันสำปะหลัง เพื่อนำน้ำกลับไป ใช้ใหม่
- ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ เมื่อมีการกระจายน้ำเสียใน บ่อที่ 1 และแบ่งน้ำเสียลงสู่บ่อไร้อากาศอื่น ๆ ตามทางเลือกที่ 2 และ 3 (หัวข้อ 6.2.2.1.1)
- การประมาณราคาการลงทุนก่อสร้าง & ค่าดำเนินการระบบบำบัดน้ำเสีย
- ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB สำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันดัดแปร

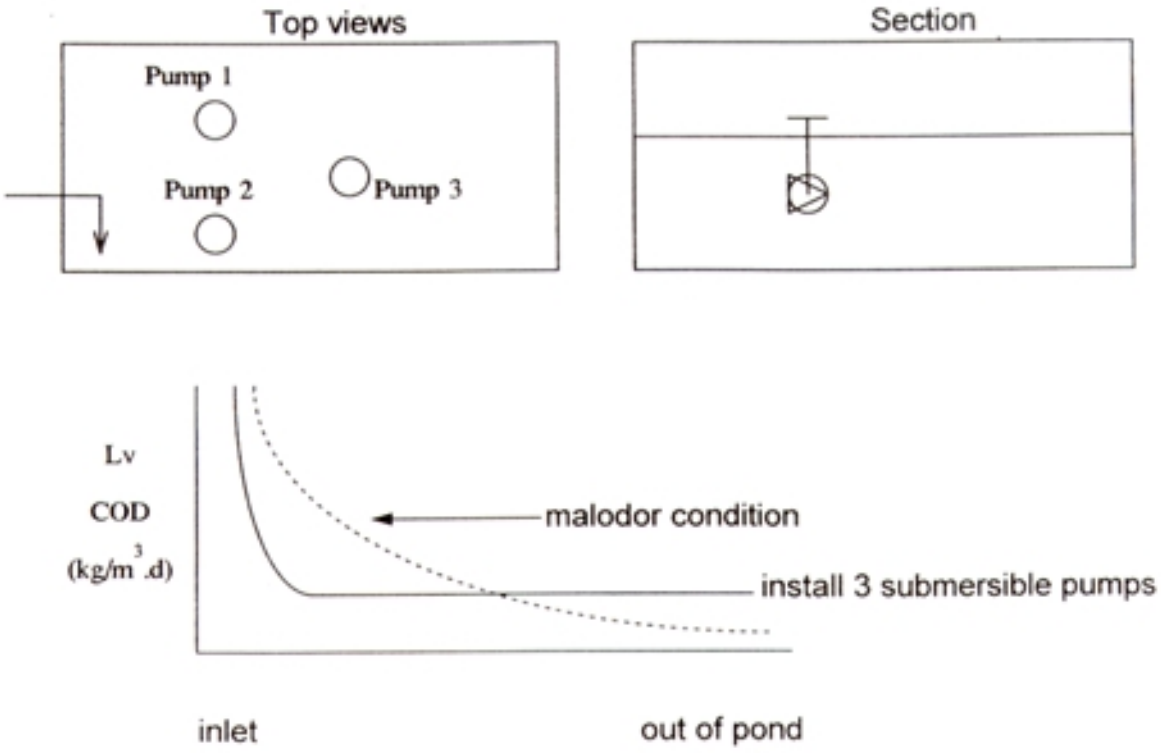
ภาคผนวกที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 การคำนวณขนาดและมูลค่าก่อสร้างบ่อตกตะกอนของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียจากการล้างรากมันสำปะหลังเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่

ข้อมูล	หน่วย	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 6
1. ขนาดบ่อตกตะกอน							
1.1 กำลังการผลิต	ตันรากมันสด/วัน	200	400	600	800	1,000	2,000
	ตันแป้ง/วัน	40	80	120	160	200	400
1.2 น้ำเสียจากการล้างรากมัน สำปะหลัง	ลบ.ม./ตันรากสด	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	ลบ.ม./วัน	320	640	960	1,280	1,600	3,200
	ลบ.ม./ชม. (ผลิต 24 ชม./วัน)	14	28	40	54	67	134
1.3 Surface Loading Rate	ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
1.4 Effective Surface	ตร.ม.	28	56	80	110	134	268
1.5 ของแข็งแขวนลอยในน้ำล้างรากมันสำปะหลังสด	มก./ล.	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
1.6 ประสิทธิภาพการตกตะกอน	%	80	80	80	80	80	80
1.7 ปริมาตรของแข็งที่ตกตะกอน	ลบ.ม./วัน	1.28	2.56	3.84	5.12	6.4	12.8
1.8 ปริมาณน้ำในตะกอน	%	40	40	40	40	40	40
1.9 ปริมาตรของตะกอน	ลบ.ม./วัน	3.20	6.40	9.60	12.80	16.00	32.00
1.10 ความสูงของตะกอนในบ่อ	เมตร/วัน	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
1.11 เผื่อความสูงของตะกอน	เมตร	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88
1.12 ความลึกของบ่อในระยะปลอดภัย	เมตร	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.13 ปริมาตรของบ่อตกตะกอน	ลบ.ม.	28	56	80	110	134	268

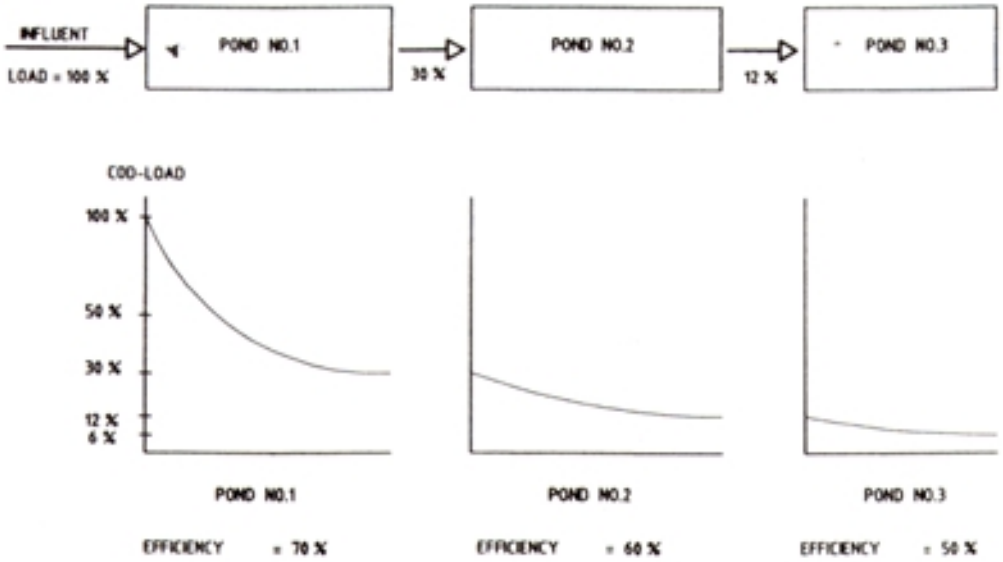
ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

ข้อมูล	หน่วย	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 6
1.14 ของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	มก./ล.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2. มูลค่าก่อสร้าง							
2.1 ค่าก่อสร้างบ่อคอนกรีต	บาท/ลบ.ม.	5,000	5,000	5,000	4,500	4,500	4,500
	บาท/บ่อ	140,000	280,000	400,000	495,000	603,000	1,206,000
2.2 ค่าท่อและทางระบายน้ำ	% ของค่าบ่อ	25	25	25	25	25	25
	บาท/บ่อ	35,000	70,000	100,000	123,750	150,750	301,500
2.3 ค่าก่อสร้างบ่อรวมต่อ	บาท/บ่อ	175,000	350,000	500,000	618,750	753,750	1,507,500
2.4 เผื่อขาดเหลือ	%	10	10	10	10	10	10
	บาท/บ่อ	17,500	35,000	50,000	61,875	75,375	150,750
2.5 ค่าก่อสร้างที่รวมเผื่อขาดเหลือ	บาท/บ่อ	192,500	385,000	550,000	680,625	829,125	1,658,250
2.6 ค่าก่อสร้างจำนวน 2 บ่อ	บาท	385,000	770,000	1,100,000	1,361,250	1,658,250	3,316,500
3. มูลค่าการลงทุน							
3.1 ค่าเสื่อมราคาคิดอายุการใช้งาน 20 ปี	บาท/ปี	19,250	38,500	55,000	68,063	82,913	165,825
3.2 ดอกเบี้ย 15%	บาท/ปี	57,750	115,500	165,000	204,188	248,738	497,475
3.3 รวมมูลค่าการลงทุน	บาท/ปี	77,000	154,000	220,000	272,251	331,651	663,300
4. ค่าดำเนินการ							
4.1 ค่าจ้างแรงงาน	บาท/วัน	200	200	400	400	600	800
4.2 ค่าเช่ารถ Bulldozer	บาท/วัน	300	300	600	600	900	1,200
4.3 รวมค่าดำเนินการ	บาท/วัน	500	500	1,000	1,000	1,500	2,000

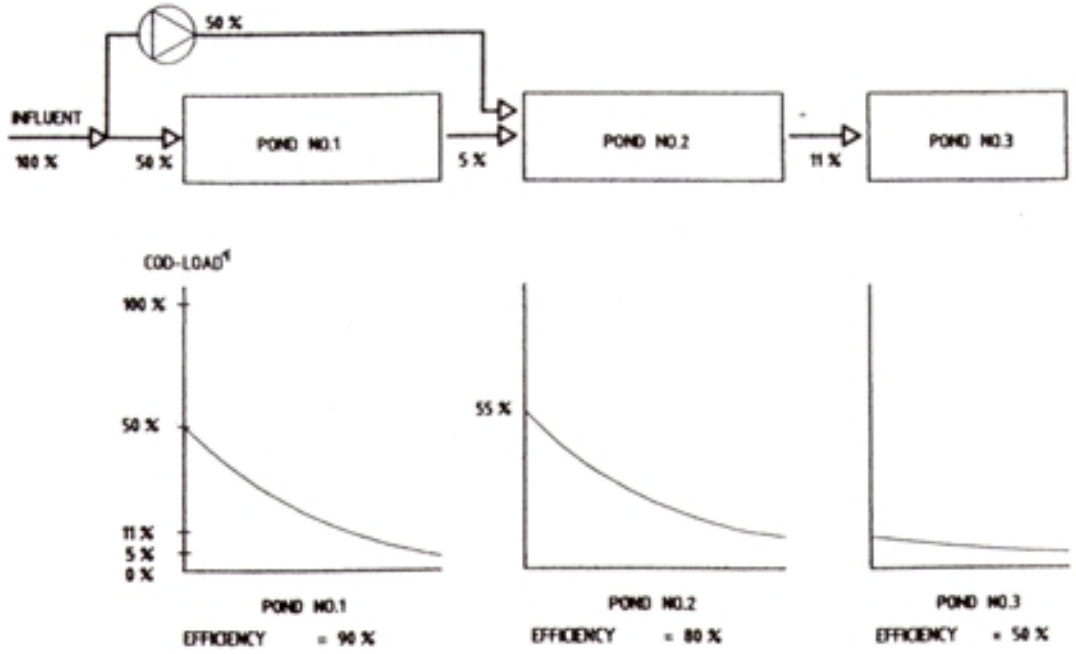


รูปที่ ค-1 การเปลี่ยนแปลง COD-LOAD ในบ่อบำบัดแบบไร้อากาศที่ 1 ที่มีการกระจายน้ำเสียทั่วบ่อ

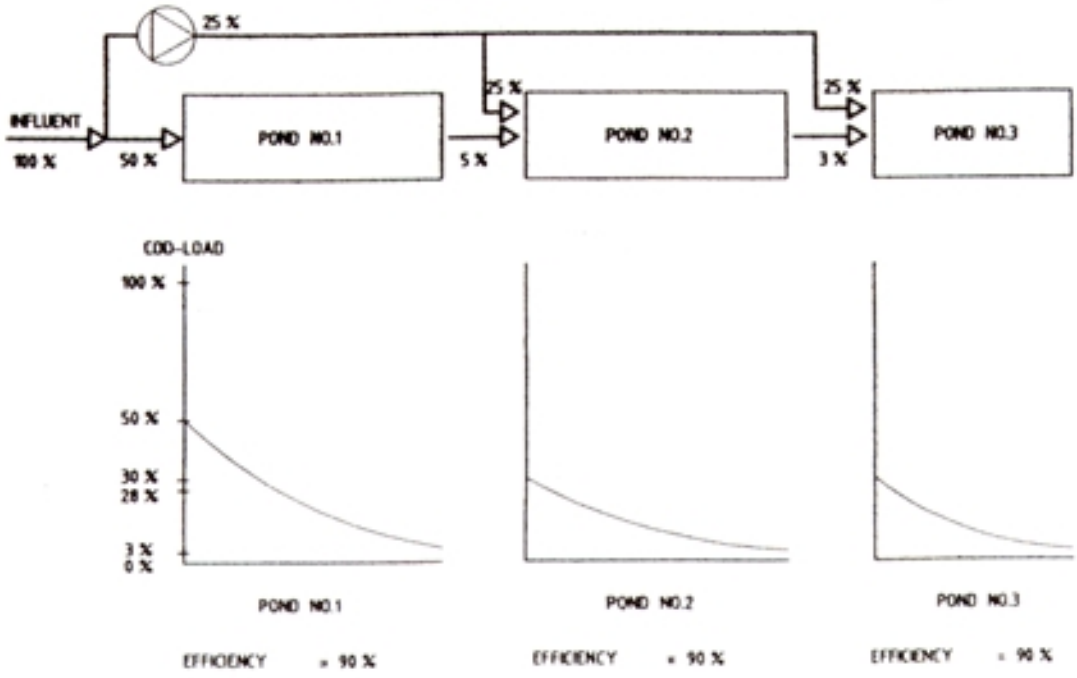
รูปที่ ค-2 การเปลี่ยนแปลง COD-LOAD ที่เกิดจากการแบ่งน้ำเสียลงสู่บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ ที่ 2 และ 3



(ก) การเปลี่ยนแปลง COD-LOAD ในแต่ละบ่อในสภาวะปกติ



(ข) การเปลี่ยนแปลง COD-LOAD ในแต่ละบ่อเมื่อมีการแบ่งน้ำเสีย ครึ่งหนึ่งลงสู่บ่อที่ 2



(ค) การเปลี่ยนแปลง COD- LOAD ในแต่ละบ่อเมื่อมีการแบ่งน้ำเสีย ลงสู่บ่อที่ 2 และ 3 บ่อละ 25 %

รายการคำนวณระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มากของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

Grit Chamber

Use Velocity-controlled Grit Chamber	=	2 units	
Detention time	=	60	sec.
Volume Required	=	$\frac{0.072}{4.02 \times 0.06 \times 6} \times 6$	
	=	1.9	m^3
Design horizontal velocity	=	0.3	m/s.
Area Required	=	$\frac{0.072}{4.02 \times 0.06 \times 6}$	
	=	0.1	m^2
Use depth of water	=	0.3	m.
Width of Chamber	=	0.5	m.
Chamber Length	=	15	m.

Pump Sump

Use dimension	=	5.0^{W} X 5.0^{L} X 4.0^{D} (4.5^{H})	m.

Fine Screen

ออกแบบให้รับน้ำเสียได้ไม่ต่ำกว่า 2.5 เท่าของอัตราการไหลเฉลี่ย (หน่วย เมตร/วินาที)

Anaerobic Pond No.1

Flow	=	2,700	m^3/d.
BOD	=	7,400	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 7,400}{1,000}$	
	=	19,980	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.3		kg BOD/m^3 d.
Thus, Volume required	=	$\frac{19,980}{0.3}$	
	=	66,600	m^3
Use dimension of pond	=	95.0^{W} X 190.0^{L} X 4.0^{D} (4.3^{H})	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.3	m.
Effective Depth	=	4.0	m.
Water Surface Area	=	(95.0-0.9)(190.0-0.9)	
	=	17,794	m^2
Bottom Area	=	(95.0-12.9)(190.0-12.9)	
	=	14,539	m^2
Mid. Depth Area	=	(17,794+14,539)/2	
	=	16,167	m^2
Thus, Effective volume	=	16,167×4	
	=	64,668	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{64,668}{2,700}$	
	=	24.0	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{19,980}{64,668}$	
	=	0.31	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	60 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	7,400 × 0.4	
	=	2,960	mg./l.

Anaerobic Pond NO.2

Flow	=	2,700	m^3/d
BOD	=	2,960	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 2,960}{1000}$	
	=	7,992	kg.BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.15		$kg.BOD/m^3.d$
Thus, Volume required	=	$\frac{7,992}{0.15}$	
	=	53,280	m^3
Use dimension of pond	=	$95.0^{W} \times 190.0^{L} \times 4.0^{D}$ (4.35^{H}) m.	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.35	m.
Effective Depth	=	4.0	m.
Water Surface Area	=	(95.0-1.05)(190.0-1.05)	
	=	17,752	m^2
Bottom Area	=	(95.0-13.05)(190.0-13.05)	
	=	14,501	m^2
Mid. Depth Area	=	(17,752+14,501)/2	
	=	16,126	m^2
Thus, Effective volume	=	16,126 × 4	
	=	64,505	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{64,505}{2,700}$	
	=	23.9	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{7,992}{64,505}$	
	=	0.12	$kg\ BOD/m^3.d$
Expected BOD removal efficiency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	2,960 × 0.5	
	=	1,480	mg./l.

Anaerobic Pond NO.3

Flow	=	2,700	m^3/d
BOD	=	1,480	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 1,480}{1,000}$	
	=	3,996	kg.BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.15		$kg.BOD/m^3.d$
Thus, Volume required	=	$\frac{3,996}{0.15}$	
	=	26,640	m^3
Use dimension of pond	=	$60.0^{W} \times 120.0^{L} \times 4.0^{D}$ (4.40^{H}) m.	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.4	m.
Effective Depth	=	4.0	m.
Water Surface Area	=	(60.0-1.2)(120.0-1.2)	
	=	6,985	m^2
Bottom Area	=	(60.0-13.2)(120.0-13.2)	
	=	4,998	m^2
Mid. Depth Area	=	(6,985+4,998)/2	
	=	5,992	m^2
Thus, Effective volume	=	5,992 × 4	
	=	23,967	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{23,967}{2,700}$	
	=	8.9	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{3,996}{23,967}$	
	=	0.17	$kg\ BOD/m^3.d$
Expected BOD removal efficiency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	1,480 × 0.5	
	=	740	mg./l.

Aanerobic Pond No.4

Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	740	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 740}{1,000}$	
	=	1,998	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.1		kg BOD/m^3d.
Thus, Volume required	=	$\frac{1,998}{0.1}$	
	=	19,980	m^3
Use dimension of pond	=	$60.0^{W} \times 120.0^{L} \times 3.0^{D}$ (3.45^{H}) m.	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.45	m.
Effective Depth	=	3.0	m.
Water Surface Area	=	(60.0-1.35)(120.0-1.35)	
	=	6,959	m^2
Bottom Area	=	(60.0-10.35)(120.0-10.35)	
	=	5,444	m^2
Mid. Depth Area	=	(6,959+5,444)/2	
	=	6,201	m^2
Thus, Effective volume	=	6,201 ×3	
	=	18,604	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{18,604}{2,700}$	
	=	6.9	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{1,998}{18.604}$	
	=	0.11	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD,	=	740 X 0.5	
	=	370	mg./l.

Anaerobic Pond No. 5

Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	370	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 370}{1,000}$	
	=	999	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.05		kg BOD/m^3d.
Thus, Volume required	=	$\frac{999}{0.05}$	
	=	19,980	m^3
Use dimension of pond	=	60.0^{W} X 120.0^{L} X 3.0^{D} (3.5^{H})	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.5	m.
Effective Depth	=	3.0	m.
Water Surface Area	=	(60.0-1.5)(120.0-1.5)	
	=	6,932	m^2
Bottom Area	=	(60.0-10.5)(120.0-10.5)	
	=	5,420	m^2
Mid. Depth Area	=	(6,932+5,420)/2	
	=	6,176	m^2
Thus, Effective volume	=	6,176 ×3	
	=	18,528	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{18,528}{2,700}$	
	=	6.9	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{999}{18,528}$	
	=	0.05	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD,	=	370 × 0.5	
	=	185	mg./l.

Facultative Pond No. 1

Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	185	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 185}{1,000}$	
	=	500	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.05		kg BOD/m^3 d.
Thus, Volume required	=	$\frac{500}{0.05}$	
	=	10,000	m^3
Use dimension of pond	=	40.0^{W} X 80.0^{L} X 2.5^{D} (3.05^{H})	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.55	m.
Effective Depth	=	2.5	m.
Water Surface Area	=	(40.0-1.65)(80.0-1.65)	
	=	3,005	m^2
Bottom Area	=	(40.0-9.15)(80.0-9.15)	
	=	2,186	m^2
Mid. Depth Area	=	(3,005+2,186)/2	
	=	2,595	m^2
Thus, Effective volume	=	2,595×2.5	
	=	6,488	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{6,488}{2,700}$	
	=	2.4	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{500}{6,488}$	
	=	0.08	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	185 × 0.5	
	=	93	mg./l.

Facultative Pond No.2

Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	93	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 93}{1,000}$	
	=	251	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.04		kg BOD/m^3 d.
Thus, Volume required	=	$\frac{251}{0.04}$	
	=	6,275	m^3
Use dimension of pond	=	$40.0^{W} \times 80.0^{L} \times 2.5^{D}$ (3.10^{H})	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.60	m.
Effective Depth	=	2.5	m.
Water Surface Area	=	(40.0-1.8)(80.0-1.8)	
	=	2,987	m^2
Bottom Area	=	(40.0-9.3)(80.0-9.3)	
	=	2,170	m^2
Mid. Depth Area	=	(2,987+2,170)/2	
	=	2,579	m^2
Thus, Effective volume	=	2,579 × 2.5	
	=	6,447	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{6,447}{2,700}$	
	=	2.4	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{251}{6,447}$	
	=	0.04	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	40 %	
Thus, Effluent BOD,	=	93 × 0.6	
	=	56	mg./l.

Facultative Pond No. 3

Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	56	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 56}{1,000}$	
	=	151	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.03		kg BOD/m^3d.
Thus, Volume required	=	$\frac{151}{0.03}$	
	=	5,033	m^3
Use dimension of pond	=	40.0^{W} X 80.0^{L} X 2.5^{D} (3.15^{H})	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.65	m.
Effective Depth	=	2.5	m.
Water Surface Area	=	(40.0-1.95)(80.0-1.95)	
	=	2,970	m^2
Bottom Area	=	(40.0-9.45)(80.0-9.45)	
	=	2,155	m^2
Mid. Depth Area	=	(2,970+2,155)/2	
	=	2,562	m^2
Thus, Effective volume	=	2,562 × 2.5	
	=	6,406	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{6,406}{2,700}$	
	=	2.4	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{151}{6,406}$	
	=	0.02	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	40 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	56 × 0.6	
	=	34	mg./l.

Facultative Pond No. 4

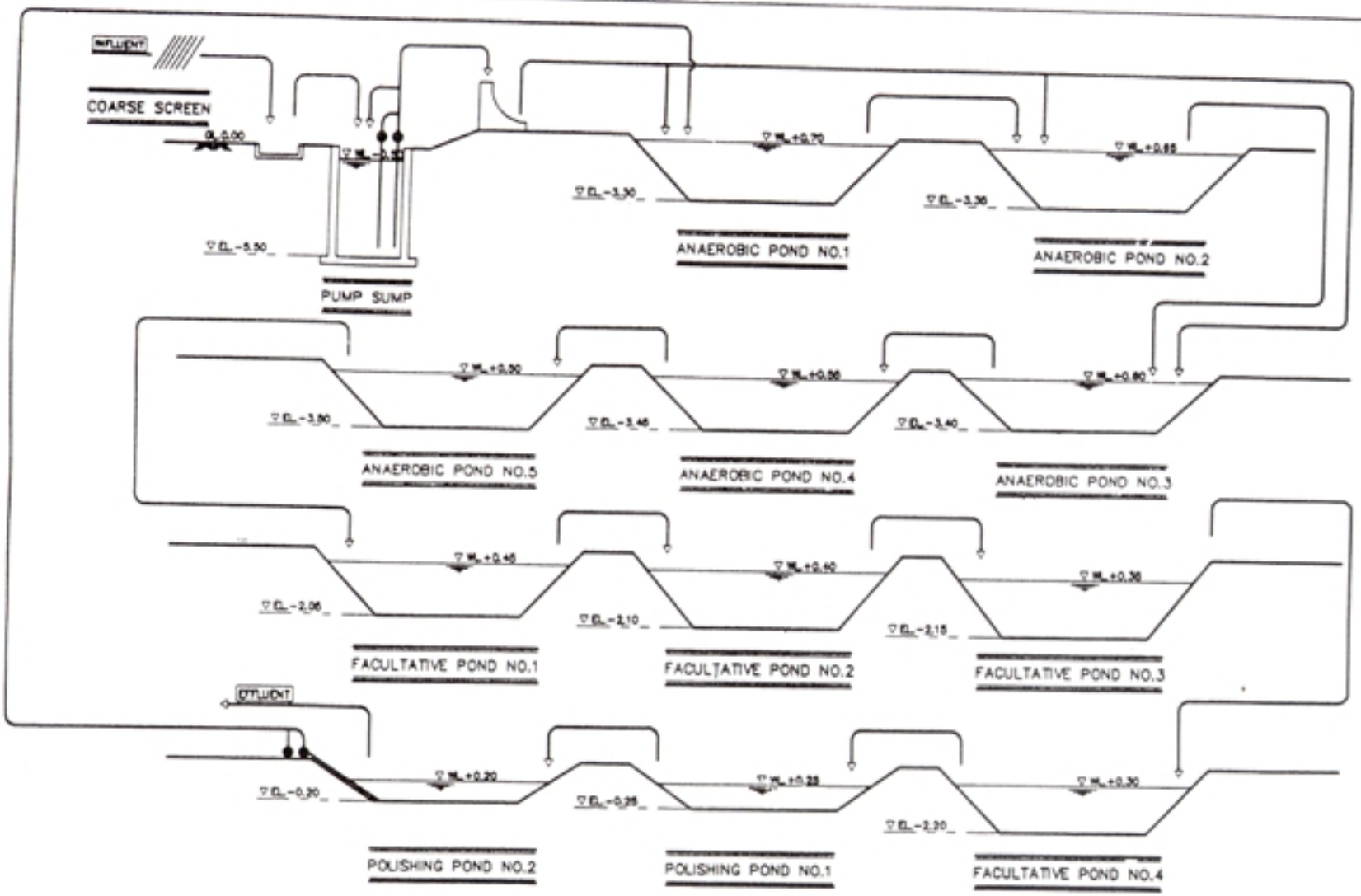
Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	34	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 34}{1,000}$	
	=	92	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.02		kg BOD/m^3d.
Thus, Volume required	=	$\frac{92}{0.02}$	
	=	4,600	m^3
Use dimension of pond	=	40.0^{W} X 80.0^{L} X 2.5^{D} (3.20^{H})	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.70	m.
Effective Depth	=	2.5	m.
Water Surface Area	=	(40.0-2.1)(80.0-2.1)	
	=	2,962	m^2
Bottom Area	=	(40.0-9.6)(80.0-9.6)	
	=	2,140	m^2
Mid. Depth Area	=	(2,962+2,140)/2	
	=	2,546	m^2
Thus, Effective volume	=	2,546 × 2.5	
	=	6,366	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{6,366}{2,700}$	
	=	2.4	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{92}{6,366}$	
	=	0.01	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	30 %	
Thus, Effluent BOD,	=	34 × 0.7	
	=	23	mg./l.

Polishing Pond No. 1

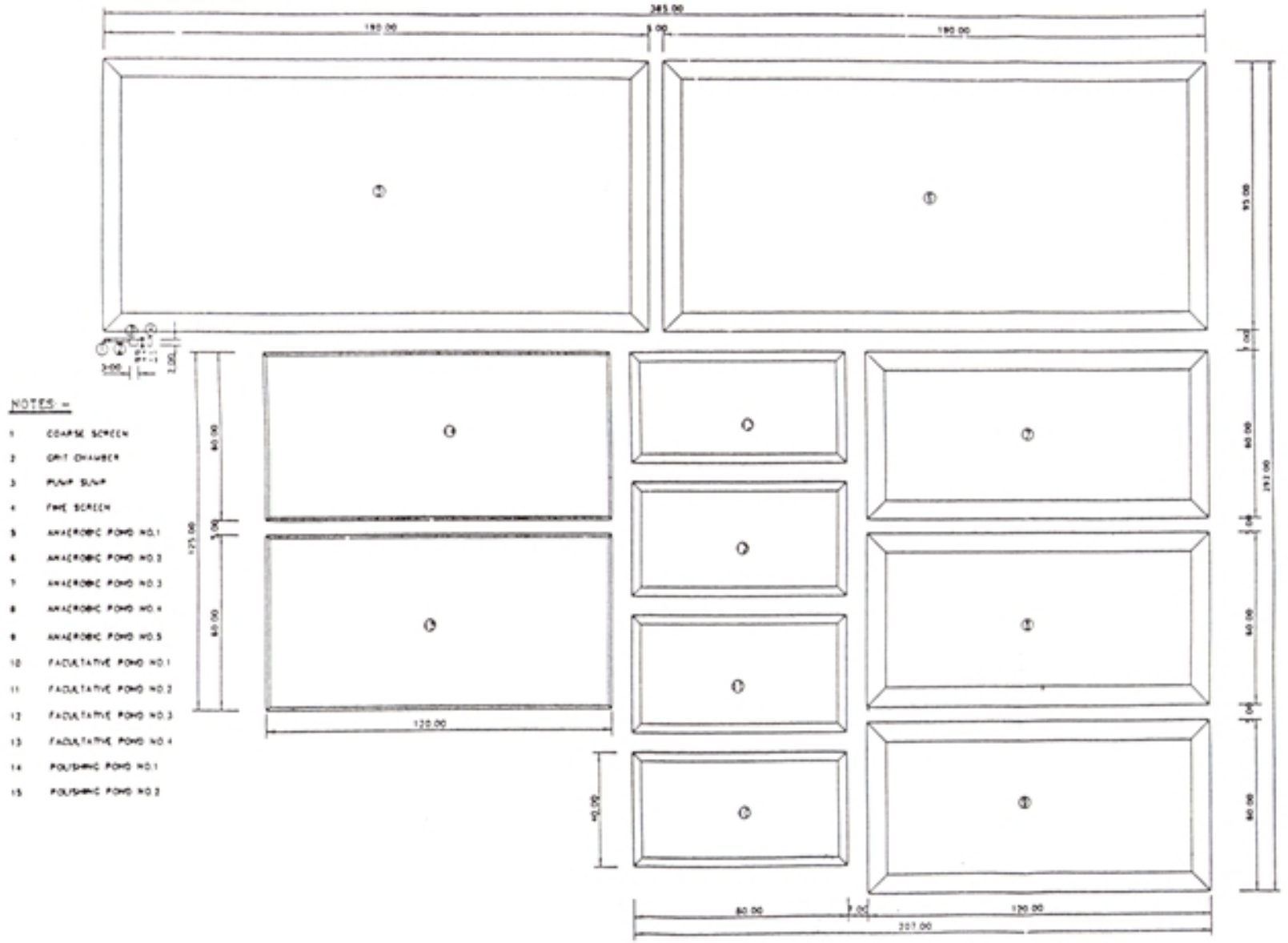
Influent BOD	=	23	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 23}{1,000}$	
	=	63	kg BOD/d.
Design Aerial Loading Rate	=	0.01	kg BOD/m^2d.
Thus, Surface Araea required	=	$\frac{63}{0.01}$	
	=	6,300	m^2
Use dimension of pond	=	60.0^{W} X 120.0^{L} X 1.0^{D} (1.75^{H}) m.	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.75	m.
Effective Depth	=	1.0	m.
Water Surface Area	=	(60.0-2.25)(120.0-2.25)	
	=	6,800	m^2
Bottom Area	=	(60.0-5.25)(120.0-5.25)	
	=	6,282	m^2
Mid. Depth Area	=	(6,800+6,282)/2	
	=	6,541	m^2
Thus, Effective volume	=	6,541 × 1	
	=	6,541	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{6,541}{2,700}$	
	=	2.4	d.
Expected BOD removal efficiency	=	20 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	23 × 0.8	
	=	18	mg./l.

Polishing Pond No. 2

Influent BOD	=	18	mg/l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 18}{1,000}$	
	=	49	kg BOD/d.
Design Aerial Loading Rate	=	0.01	kg BOD/m^2 d.
Thus, Surface Area required	=	$\frac{49}{0.01}$	
	=	4,900	m^2
Use dimension of pond	=	$60.0^{W} \times 120.0^{L} \times 1.0^{D} (1.80^{H})$	m.
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.80	m.
Effective Depth	=	1.0	m.
Water Surface Area	=	(60.0-2.4)(120.0-2.4)	
	=	6,774	m^2
Bottom Area	=	(60.0-5.4)(120.0-5.4)	
	=	6,257	m^2
Mid. Depth Area	=	(6,774+6,257)/2	
	=	6,515	m^2
Thus, Effective volume	=	6,515 × 1	
	=	6,515	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{6,515}{2,700}$	
	=	2.4	d.
Expected BOD removal efficiency	=	10 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	18 × 0.9	
	=	16	mg./l.



รูปที่ ก-3(1) Hydraulic profile of tapioca starch wastewater treatment plant which require large area



รูปที่ ก-3(2) Plant Lay-out of tapioca starch wastewater treatment plant which require large area

รายการคำนวณระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่ปานกลางของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

Grit Chamber

Use Velocity-controlled Grit Chamber	-	2 units	
Detention time	=	60	sec.
Volume Required	= 0	$6 \times \frac{0072}{4 \quad 02 \times 06 \times 6}$	
	=	1.9	m^3
Design horizontal velocity	=	0.3	m/s.
Area Required	=	$\frac{0 \ 02,7}{4 \quad 02 \times 06 \times 6 \times}$	
	=	0.1	m^2
Use depth of water	=	0.3	m.
Width of Chamber	=	0.5	m.
Chamber Length	=	15	m.

Pump Sump

Use dimension	=	$5.0^{W} \times 5.0^{L} \times 4.0^{D}$ (4.5^{H})	

Fine Srceen

ออกแบบให้รับน้ำเสียได้ไม่ต่ำกว่า 2.5 เท่าของอัตราการไหลเฉลี่ย (หน่วย เมตร/วินาที)

Aanerobic Pond No.1

Flow	=	2,700	$m^3/d.$
BOD	=	7,400	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 7,400}{1,000}$	
	=	19,980	kg BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.3		kg BOD/m^3d.
Thus, Volume required	=	$\frac{19,980}{0.3}$	
	=	66,600	m^3
Use dimension of pond	=	$95.0^{W} \times 190.0^{L} \times 4.0^{D} (4.5^{H})$	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.5	m.
Effective Depth	=	4.0	m.
Water Surface Area	=	(95.0-1.5)(190.0-1.5)	
	=	17,625	m^2
Bottom Area	=	(95.0-13.5)(190.0-13.5)	
	=	14,385	m^2
Mid. Depth Area	=	(17,625+14,385)/2	
	=	16,005	m^2
Thus, Effective volume	=	16,005 × 4	
	=	64,020	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{64,020}{2,700}$	
	=	23.7	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{19,980}{64,020}$	
	=	0.31	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficiency	=	60 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	7,400 × 0.4	

	=	2,960	mg./l.

Anaerobic Pond NO.2

Flow	=	2,700	m^3/d
BOD	=	2,960	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 2,960}{1000}$	
	=	7,992	kg.BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate	=	0.15	$kg.BOD/m^3.d$
Thus, Volume required	=	$\frac{7,992}{0.15}$	
	=	53,280	m^3
Use dimension of pond	=	$95.0^{W} \times 190.0^{L} \times 4.0^{D}\ 4^{H}$	
		4.6	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.6	m.
Effective Depth	=	4.0	m.
Water Surface Area	=	(95.0-1.8)(190.0-1.8)	
	=	17,540	m^2
Bottom Area	=	(95.0-13.8)(190.0-13.8)	
	=	14,307	m^2
Mid. Depth Area	=	(17,540+14,307)/2	
	=	15,924	m^2
Thus, Effective volume	=	15,924 × 4	
	=	63,695	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{63,695}{2,700}$	
	=	23.6	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{7,992}{63,695}$	
	=	0.12	$kg\ BOD/m^3.d$

Expected BOD removal efficiency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	2,960 × 0.5	
	=	1,480	mg./l.

Anaerobic Pond NO.3

Flow	=	2,700	m^3/d
BOD	=	1,480	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 1,480}{1,000}$	
	=	3,996	kg.BOD/d.
Design Volumetric Loading Rate =	0.15		kg.BOD/m^3.d
Thus, Volume required	=	$\frac{3,996}{0.15}$	
	=	26,640	m^3
Use dimension of pond	=	$60.0^{W} \times 120.0^{L} \times 4.0^{D}$ (4.7^{H})	
Side Slope	=	1:1.5	
Free Board	=	0.7	m.
Effective Depth	=	4.0	m.
Water Surgace Area	=	(60.0-2.1)(120.0-2.1)	
	=	6,826	m^2
Bottom Area	=	(60.0-14.1)(120.0-14.1)	
	=	4,861	m^2
Mid. Depth Area	=	(6,826+4,861)/2	
	=	5,844	m^2
Thus, Effective volume	=	5,844 × 4	
	=	23,376	m^3
Check Detention Time	=	$\frac{23,376}{2,700}$	
	=	8.6	d.
Check Volumetric Loading Rate	=	$\frac{3,996}{23,376}$	

	=	0.17	kg BOD/m^3.d
Expected BOD removal efficrency	=	50 %	
Thus, Effluent BOD_5	=	1,480 × 0.5	
	=	740	mg./l.

Activated Sludge

Flow	=	2,700	m^3/d.
BOD	=	740	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 740}{1,000}$	

Aeration Tank

Design F/M	=	0.2	
MLSS	=	2,400	mg./l.
Thus, Volume required	=	$\frac{2,700 \times 740}{0.2 \times 2,400}$	
	=	4,163	m^3
Use Depth of Tank	=	3.5	m.
Free Board	=	0.5	m.
Thus, Effective Depth	=	3.0	m.
Surface Area required	=	$\frac{4,163}{3}$	
	=	1,388	m^2
Use dimension of Tank	=	$20.0^{W} \times 40.0^{L} \times 3.0^{D}$ (3.5^{H}) - 2 Units	
Total Surface Area	=	1,600	m^2

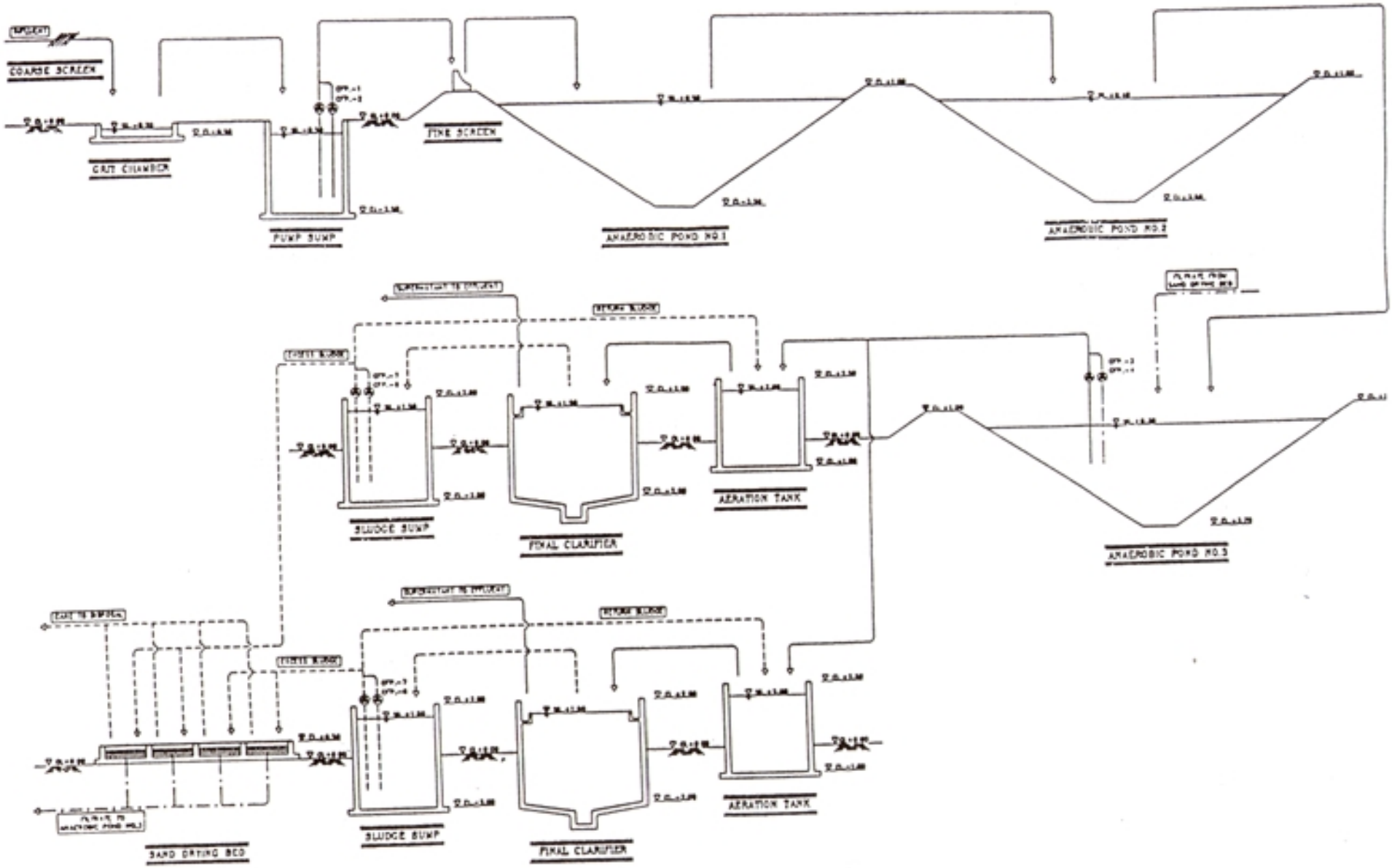
Final Clarifier

Design Surface Loading Rate	=	12	m^3/m^2.d
Thus, Surface Area required	=	$\frac{2,700}{12}$	
	=	225	m^2
Use Diameter of Tank	=	12 m. - 2 Units	

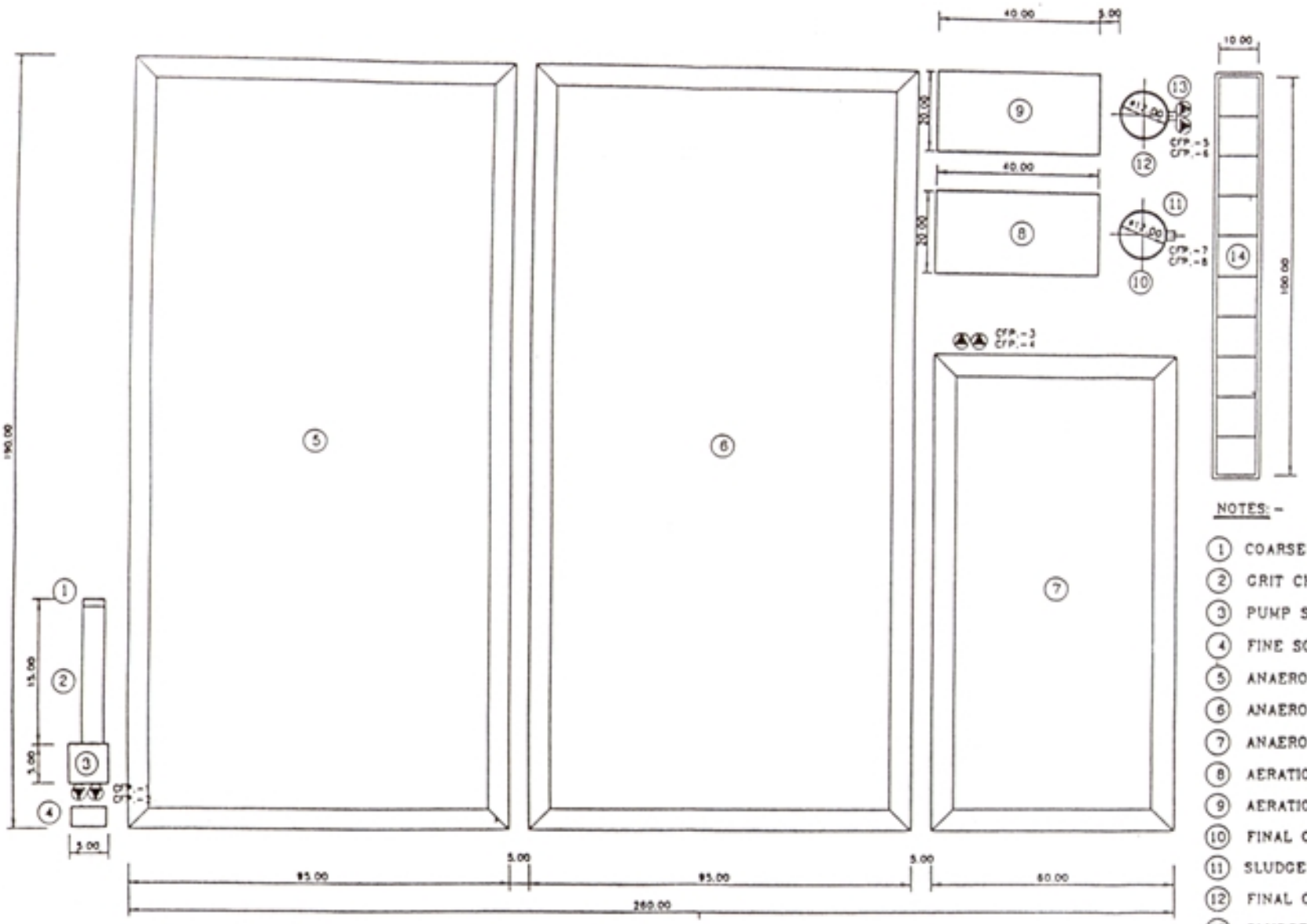
Thus, Total Effective Area	=	$\left(\frac{\pi \times 12^2}{4}\right) \times 2$	
	=	226	m^2
Use Depth of Tank	=	4.0	m.
Free Board	=	0.5	m.
Effective Depth	=	3.5	m.

Sand Drying Bed

Excess Sludge	=	0.3 × BOD Loading	
	=	0.3 × 1998	
	=	600	kg/d.
Assume Sludge Concentration	=	1 %	
Thus, Volume Sludge	=	$\frac{600}{10}$	
	=	60	m^3/d.
Use Drying Time	=	5	days
Design sludge depth	=	0.3	m.
Area required	=	$\frac{60 \times 5}{0.3}$	
	=	1000	m^2
Use Sand Drying Bed	=	$10.0^{W} \times 10.0^{L}$ - 10 Units	



รูปที่ ก-4(1) Hydraulic profile of tapioca starch wastewater treatment plant which require medium area



รูปที่ ก-4(2) Plant Lay-out of tapioca starch wastewater treatment plant which require medium area

รายการคำนวณระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อยของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

Grit Chamber

Use Velocity-controlled Grit Chamber	-	2 units	
Detention time	=	60	sec.
Volume Required	=	$\frac{0072}{6 \times 4 \quad 02 \times 06 \times 6}$	
	=	1.9	m^3
Design horizontal velocity	=	0.3	m/s.
Area Required	=	$\frac{0\ 12.7}{4 \quad 02 \times 06 \times 6 \times}$	
	=	0.1	m^2
Use depth of water	=	0.3	m.
Width of Chamber	=	0.5	m.
Chamber Length	=	15	m.

Pump Sump

Use dimension	=	$5.0^{W} \times 5.0^{L} \times 4.0^{D}\ (4.5^{H})$	m.

Fine Screen

ออกแบบให้รับน้ำเสียได้ไม่ต่ำกว่า 2.5 เท่าของอัตราการไหลเฉลี่ย (หน่วย เมตร/วินาที)

Equalization Tank

Design detention time	=	24	hrs.
Volume required	=	$\frac{0\ 12.7}{4 \quad 4} \times 2$	
	=	2,700	m^3
Select tank dimension	=	$30.0^{W} \times 30.0^{L} \times 3.0^{D}\ (3.5^{H})$	m.
Effective volume	=	2,700	m^3

Check detention time	=	$\frac{2,700}{2,700} = 1$	d.

Anaerobic Filter Tank

Flow	=	2,700	m^3/d.
Bod	=	7,400	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 7,400}{1,000}$	
	=	19,980	kg /d.
Design Volumetric Loading Rate =	2		kg BOD/m^3 d.
Thus, Volume required	=	$\frac{19,980}{2}$	
	=	9,990	m^3
Use dimension of tank	=	20.0^{W} X 28.0^{L} X 4.5^{D} (5.0^{H}) m. - 4 Units	
Total Effective Volume	=	10,080	m^3
Detention Time	=	$\frac{10,080}{2,700}$	
	=	3.7	d.
Design Filter Media Depth	=	0.8	m.
Thus, Filter Media Volume	=	0.8 x 20 x 28	
	=	448	m^3/Tank
Expected BOD removal efficiency	=	90 %	
Thus, Effluent BOD	=	7,400 x 0.1	
	=	740	mg./l.

Activated Sludge

Flow	=	2,700	m^3/d.
BOD	=	740	mg./l.
BOD Loading	=	$\frac{2,700 \times 740}{1,000}$	
	=	1,998	kg BOD/d.

Aeration Tank

Design F/M	=	0.2	
MLSS	=	2,400	mg./l.
Thus, Volume required	=	$\frac{2,700 \times 740}{0.2 \times 2,400}$	
	=	4,163	m^3
Use Depth of Tank	=	3.5	m.
Free Board	=	0.5	m.
Effective Depth	=	3.0	m.
Surface Area required	=	$\frac{4,163}{3}$	
	=	1,388	m^2
Use dimension of Tank	=	$20.0^{W} \times 40.0^{L} \times 3.0^{D}$ (3.5^{H})	m. - 2 Units
Total Surface Area	=	1,600	m^2

Final Clarifier

Design Surface Loading Rate	=	12	$m^3/m^2.d$
Thus, Surface Area required	=	$\frac{2,700}{12}$	
	=	225	m^2
Use Diameter of Tank	=	12	m. - 2 Units
Thus, Total Effective Area	=	$\left(\frac{\pi \times 12^2}{4}\right) \times 2$	
	=	226	m^2
Use Depth of Tank	=	4.0	m.
Free Board	=	0.5	m.
Effective Depth	=	3.5	m.

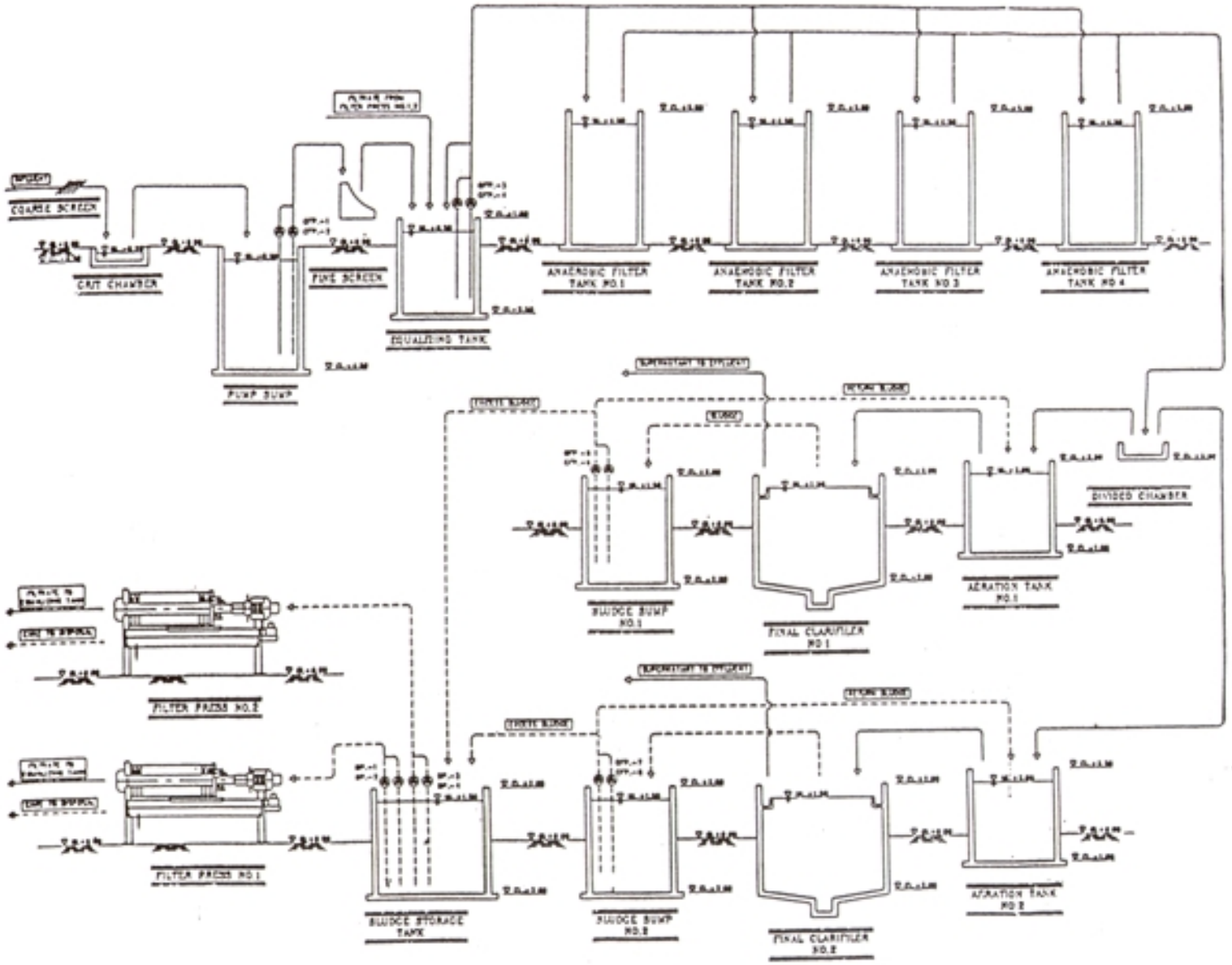
Sludge Storage Tank

Excess Sludge	=	0.3 x BOD Loading

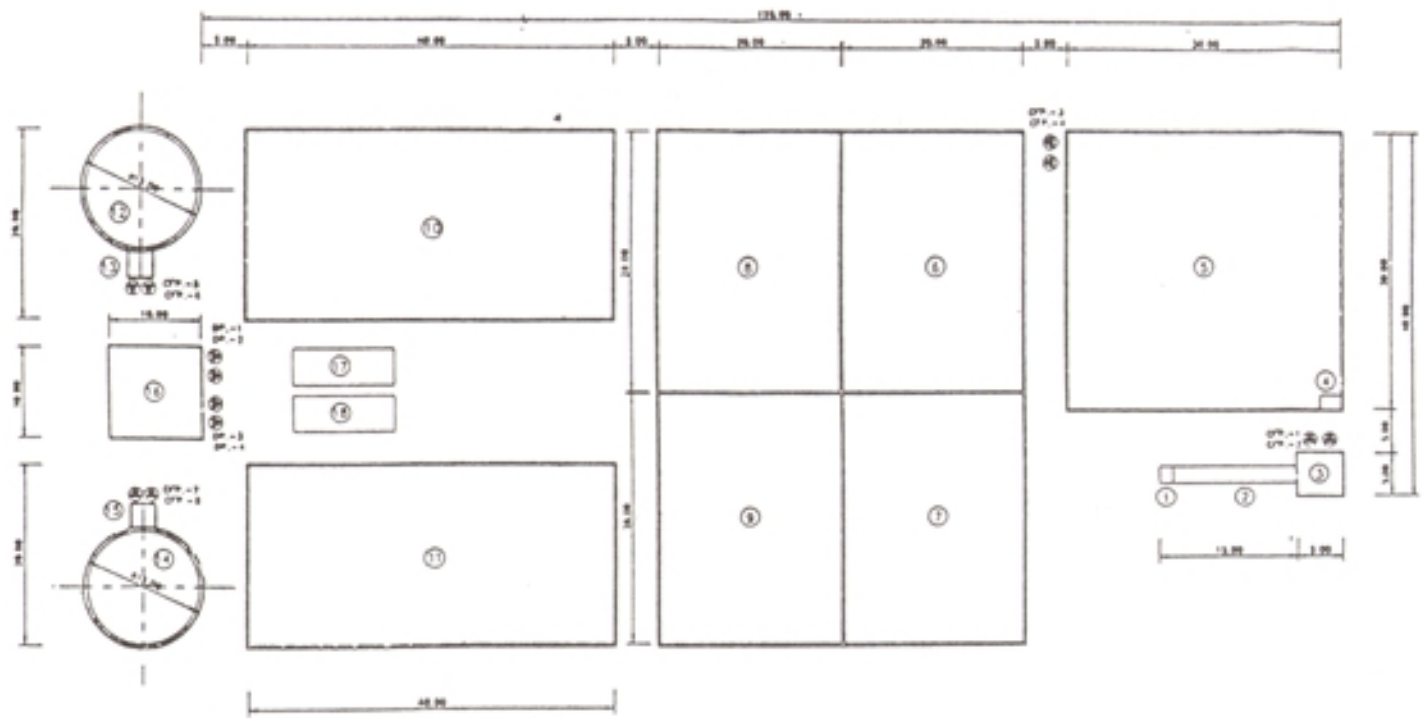
	=	0.3 x 1998	
	=	599.4	kg/d.
Expected Sludge concentration	=	1 % (10 kg/m^3)	
Thus, Volume Sludge Vol.	=	$\frac{599.4}{10}$	
	=	60	m^3/d.
Use Tank dimension	=	$10.0^{W} \times 10.0^{L} \times 3.0^{D}$ (3.5^{H}) m. .	
Effective Volume	=	300	m^3
Check detention time	=	$\frac{300}{60}$	
	=	5	d.

Filter Press

Excess Sludge	=	599.4	kg/d.
Assume Solid Content	=	15 %	
Volume of cake	=	$\frac{599.4}{150}$	
	=	4	m^3
	=	4,000	litre



รูปที่ ก-5(1) Hydraulic profile of tapioca starch wastewater treatment plant which require small area



รูปที่ ก-5(2)	Plant Lay-out of tapioca starch wastewater treatment plant which require small area

ตารางที่ ค-6 (1) ประมาณราคาการลงทุนก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มาก

หน่วยบำบัด	อุปกรณ์เครื่องจักร	ราคา (บาท)	Hp/เครื่อง	Hp รวม	Hp ที่ใช้จริง	หมายเหตุ
Coarse Screen	Coarse Screen	10,000 บาท	-	-	-	
Fine Screen	Automatic Fine Screen	700,000 บาท	5 Hp	5	5	
Pump Sump $5.0^{W} \times 5.0^{L} \times 4.0^{D} (4.5^{H})$ - 1 Unit	Centrifugal Pump 2 m^3/min, 8 mH - 2 Units	140,000/ตัว = 280,000 บาท	10 Hp	20	10	
				รวม	15 Hp	

ตารางที่ ค-6 (2) ประมาณราคาการลงทุนก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่ปานกลาง

หน่วยบำบัด	อุปกรณ์เครื่องจักร	ราคา (บาท)	Hp/เครื่อง	Hp รวม	Hp ที่ใช้จริง	หมายเหตุ
Coarse Screen	Coarse Screen	10,000 บาท	-	-	-	
Fine Screen	Automatic Fine Screen	700,000 บาท	5 Hp	5	5	
Pump Sump $5.0^{W} \times 5.0^{L} \times 4.0^{D} (4.5^{H})$ - 1 Unit	Centrifugal Pump 2 m^3/min, 8 mH - 2 Units	140,000/ตัว = 280,000 บาท	10 Hp	20	10	
Anaerobic Pond No. 3 $60.0^{W} \times 120.0^{L} \times 4.0^{D} (4.7^{H})$	Centrifugal Pump 2 m^3/min, 8 mH - 2 Units	140,000/ตัว = 280,000 บาท	10 Hp	20	10	
Aerotion Tank $20.0^{W} \times 40.0^{L} \times 3.0^{D} (3.5^{H})$ - 1 Unit	Surface Aerator 25 Hp - 8 Units	500,000/ตัว = 4,000,000 บาท	25 Hp	200	200	
Final Clarifier ϕ 12 m - 2 Units	Two arms scraper ϕ 12 m - 2 Units	450,000/ตัว 900,000 บาท	1 Hp	2 Hp	2	
Sludge Sump - 2 Uints	Centrifugal Pump 3 m^3/hr, 8 mH - 4 Units	25,000/ตัว = 100,000 บาท	1 Hp	4 Hp	2	
				รวม	229 Hp	

ตารางที่ ก-6 (3) ประมาณราคาการลงทุนก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อย

หน่วยบำบัด	อุปกรณ์เครื่องจักร	ราคา (บาท)	Hp/เครื่อง	Hp รวม	Hp ที่ใช้จริง	หมายเหตุ
Coarse Screen	Coarse Screen	10,000 บาท	-	-	-	
Fine Screen	Curve Fine Screen	700,000 บาท	5 Hp	5	5	
Equalizing Tank $30.0^{W} \times 30.0^{L} \times 3.0^{D} (3.5^{H})$ - 1 Unit	Centrifugal Pump 2 m^3/min, 8 mH - 2 Units	140,000/ตัว = 280,000 บาท	10 Hp	20	10	
Pump Sump $5.0^{W} \times 5.0^{L} \times 4.0^{D} (4.5^{H})$ - 1 Unit	Centrifugal Pump 2 m^3/min, 8 mH - 2 Units	140,000/ตัว = 280,000 บาท	10 Hp	20	10	
Aeration Tank $20.0^{W} \times 40.0^{L} \times 3.0^{D} (3.5^{H})$ - 2 Units	Surface Aerator 25 Hp - 8 Units	500,000/ตัว = 4,000,000 บาท	25 Hp	200	200	
Final Clarifier ϕ 12 m - 2 Units	Two arms scraper ϕ 12 m - 2 Units	450,000/ตัว 900,000 บาท	1 Hp	2 Hp	2	
	Surface Aerator 10 Hp - 4 Units	200,000/ตัว = 800,000 บาท	10 Hp	40	40	
Anaerobic Filter Tank $20.0^{W} \times 28.0^{L} \times 4.5^{D} (5.0^{H})$ - 4 Units	Plastic Midia 1,792 m^3	8,000/ตัว = 14,336,000 บาท	-	-	-	
				รวม	267 Hp	

ตารางที่ ก-6 (4) ประมาณการค่าสารเคมี ที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่มากของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง

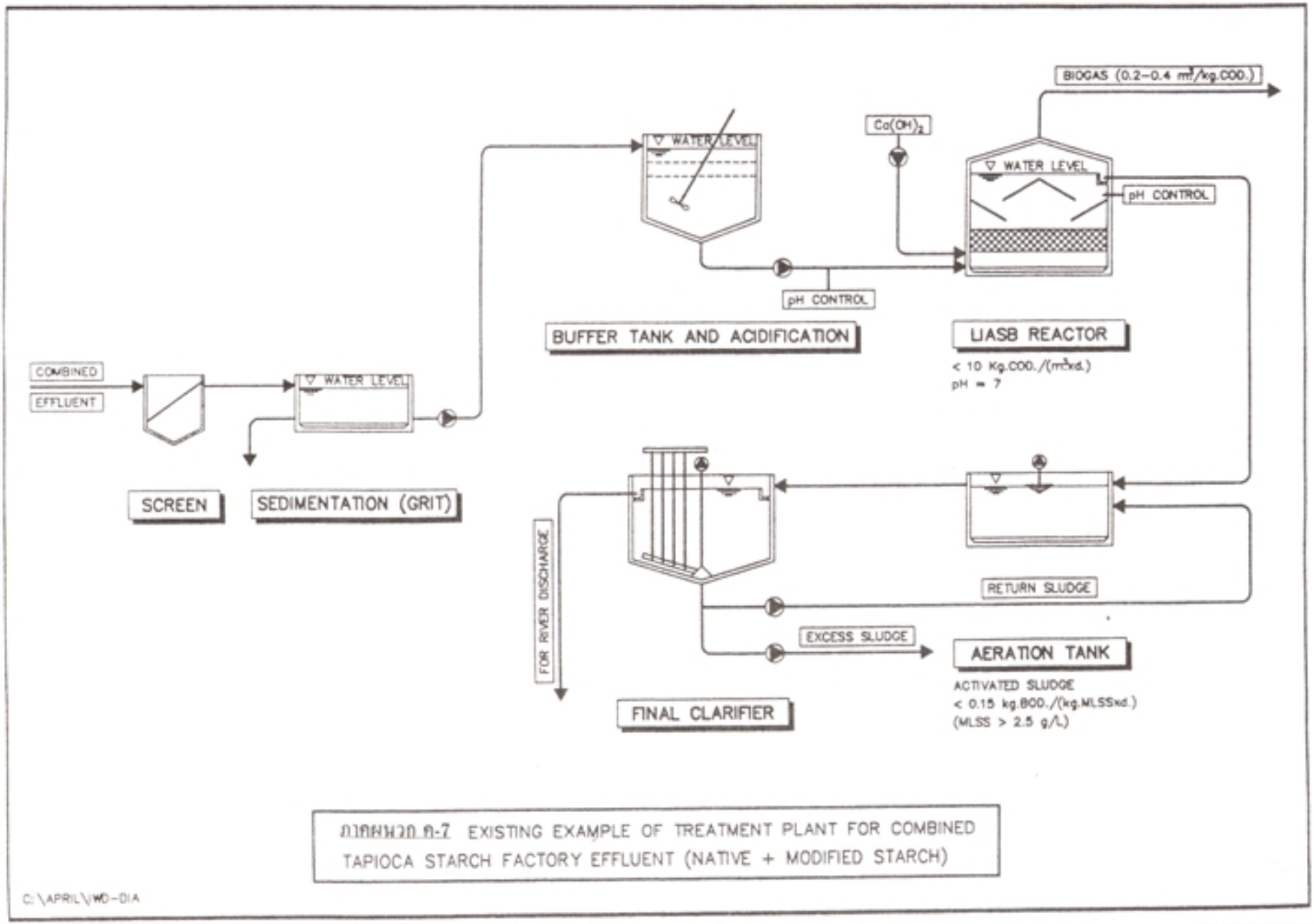
สารเคมีที่ใช้	วัตถุประสงค์	ปริมาณที่ใช้ (กก./วัน)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่ายต่อวัน, บาท	ค่าใช้จ่ายต่อเดือน, บาท
$Ca(OH)_2$	ปรับค่า pH	800	10	8,000	240,000
				รวม	240,000

ตารางที่ ก-6 (5) ประมาณการค่าสารเคมี ที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่ปานกลางของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง

สารเคมีที่ใช้	วัตถุประสงค์	ปริมาณที่ใช้ (กก./วัน)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่ายต่อวัน, บาท	ค่าใช้จ่ายต่อเดือน, บาท
$Ca(OH)_2$	ปรับค่า pH	800	10	8,000	240,000
				รวม	240,000

ตารางที่ ก-6 (6) ประมาณการค่าสารเคมี ที่ใช้ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อยของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังตัวอย่าง

สารเคมีที่ใช้	วัตถุประสงค์	ปริมาณที่ใช้ (กก./วัน)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กก.)	ค่าใช้จ่ายต่อวัน, บาท	ค่าใช้จ่ายต่อเดือน, บาท
$Ca(OH)_2$	- ปรับค่า pH	800	10	8,000	240,000
PE	- ให้ตะกอนสลัดจ์จับตัวได้ดี (≃ 10 ppm)	0.6	250	150	4,500
				รวม	244,500



ภาพที่ ก-7 EXISTING EXAMPLE OF TREATMENT PLANT FOR COMBINED TAPIOCA STARCH FACTORY EFFLUENT (NATIVE + MODIFIED STARCH)

ภาคผนวก จ.

สรุปค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่าย
ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย 3 ประเภท

ตารางที่ 4-1 Summary of construction cost and operation cost of wastewater treatment plant

(If no land cost)

Detailed	Large area	medium area	small area
Wastewater Flow Rate	2,700.00	2,700.00	2,700.00
Land (Rai)	59.23	31.60	3.40
Land Cost	0.000	0.000	0.000
Construction cost (Baht)			
Construction a	26,421,120.00	30,340,320.00	28,010,460.00
Machine b	990,000.00	6,270,000.00	26,006,000.00
Electricity and pipe c	1,370,556.00	3,697,432.00	10,803,288.00
Price @	28,781,676.00	40,707,752.00	64,819,728.00
OVERHEAD+PROFIT 10%	2,878,167.60	4,070,775.20	6,481,972.80
Contingency 10%	3,165,984.36	4,477,852.72	7,130,170.08
Total construction cost	34,825,827.96	49,256,379.92	78,431,870.88
Total cost (incl. Land cost)	34,825,827.96	49,256,379.92	78,431,870.88
Construction Cost (Baht/m^3)	12,898.45	18,243.10	29,048.84
Operation and maintenance cost : million Baht			
Maintenance cost/ month	0.037	0.055	0.096
electricity cost/ month	0.012	0.186	0.221
chemical cost/ month	0.240	0.240	0.245
personnel cost/month	0.060	0.060	0.060
total O&M/month	0.349	0.541	0.622
O&M/year	4.188	6.492	7.468
O&M/ m^3	4.25	6.59	7.58
NPV (Million Baht)	54.75	80.66	112.23

Remark * Maintenance cost / year 1.5% (a) and 2% (b+c)

** Electricity 1.50 Baht / KW. hr

Project time 10 years

Interest 12%

ตารางที่ 4-2 **Summary of construction cost and operation cost of wastewater treatment plant**

(If land cost = 200,000 Baht/Rai)

Detailed	Large area	medium area	small area
Wastewater Flow Rate	2,700.00	2,700.00	2,700.00
Land (Rai)	59.23	31.60	3.40
Land Cost (million baht)	11.846	6.320	0.680
Construction cost (Baht)			
Construction a	26,421,120.00	30,740,320.00	28,010,440.00
Machine b	990,000.00	6,270,000.00	26,006,000.00
Electricity and pipe c	1,370,556.00	3,697,432.00	10,803,288.00
Price @	28,781,676.00	40,707,752.00	64,819,728.00
OVERHEAD+PROFIT 10%	2,878,167.60	4,070,775.20	6,481,972.80
Contingency 10%	3,165,984.36	4,477,852.72	7,130,170.08
Total construction cost	34,825,827.96	49,256,379.92	78,431,870.88
Total cost (incl. Land cost)	46,671,827.96	55,576,379.92	79,111,870.88
Construction Cost (Baht/m^3)	17,285.86	20,583.84	29,300.69
Operation and maintenance cost : million Baht			
Maintenance cost/ month	0.037	0.055	0.036
electricity cost/ month	0.012	0.186	0.221
chemical cost/ month	0.240	0.240	0.245
personnel cost/month	0.060	0.060	0.060
total O&M/month	0.349	0.541	0.672
O&M/year	4.188	6.492	7.958
O&M/ m^3	4.25	6.59	7.58
NPV (Million Baht)	65.33	86.31	112.83

Remark * Maintenance cost / year 1.5% (a) and 2% (b+c)

** Electricity 1.50 Baht / KW. hr

Project time 10 years

Interest 12%

ตารางที่ 3-2 **Summary of construction cost and operation cost of wastewater treatment plant**

(If land cost = 400,000 Baht/Rai)

Detailed	Large area	medium area	small area
Wastewater Flow Rate	2,700.00	2,700.00	2,700.00
Land (Rai)	59.23	31.60	3.40
Land Cost (million baht)	23.692	12.640	1.360
Construction cost (Baht)			
Construction a	26,421,120.00	30,740,320.00	28,010,440.00
Machine b	990,000.00	6,270,000.00	26,006,000.00
Electricity and pipe c	1,370,556.00	3,697,432.00	10,803,288.00
Price d	28,781,676.00	40,707,752.00	64,819,728.00
OVERHEAD+PROFIT 10%	2,878,167.60	4,070,775.20	6,481,972.80
Contingency 10%	3,165,984.36	4,477,852.72	7,130,170.08
Total construction cost	34,825,827.96	49,256,379.92	78,431,870.88
Total cost (incl. Land cost)	58,517,827.96	61,896,379.92	79,791,870.88
Construction Cost (Baht/m^3)	21,673.27	22,924.59	29,552.54
Operation and maintenance cost : million Baht			
Maintenance cost/ month	0.033	0.055	0.096
electricity cost/ month	0.012	0.186	0.221
chemical cost/ month	0.240	0.240	0.245
personnel cost/month	0.060	0.060	0.060
total O&M/month	0.349	0.541	0.622
O&M/year	4.188	6.492	7.468
O&M/ m^3	4.25	6.59	7.58
NPV (Million Baht)	75.91	91.95	113.44

Remark * Maintenance cost / year 1.5% (a) and 2% (b+c)

** Electricity 1.50 Baht / KW. hr

Project time 10 years

Interest 12%

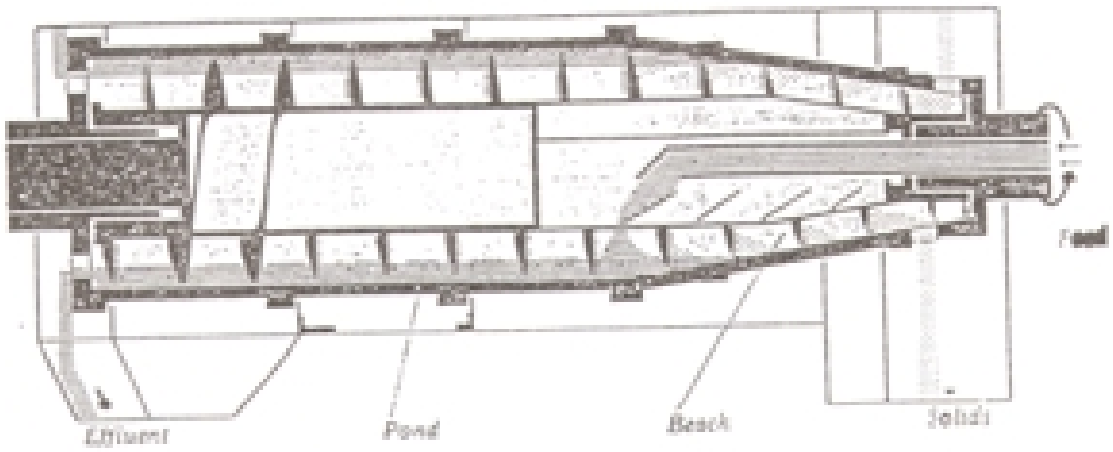
ภาคผนวก จ.

อุปกรณ์ที่สำคัญในการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบมาตรฐาน

9-1 ดีแคนเตอร์ (Decanter)

เป็นเครื่องมือแยกน้ำออกจากเนื้อแป้ง โดยใช้หลักของแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ความเร็วรอบของการหมุนต่ำและมีแกนหมุนอยู่ในแนวนอน รูปร่างเป็นรูปกรวยหรือรูปทรงกระบอก ที่แกนกลางมีเกลียวติดอยู่โดยรอบ เกลียวนี้มีไว้เพื่อการส่งผ่านของแข็งที่ปนอยู่ในน้ำ (9-1)

ดีแคนเตอร์ มักอยู่เป็นหน่วยแรกถัดจากเครื่องไม่ เพื่อแยกน้ำทิ้ง (Effluent) ที่มีไขมันและโปรตีน ออกจากเนื้อแป้ง ซึ่งเป็นสารไม่ละลายขนาดใหญ่ รวมทั้งพวกเส้นใยและกาก โดยส่วนเนื้อแป้งจะถูกแรงเหวี่ยงแยกออกเป็นน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูงและไหลตามเกลียวออกจากเครื่องที่ด้านหน่วงตรงกันข้ามกับที่น้ำทิ้งออก เพื่อเข้าสู่หน่วยสกัดและแยกกากต่อไป



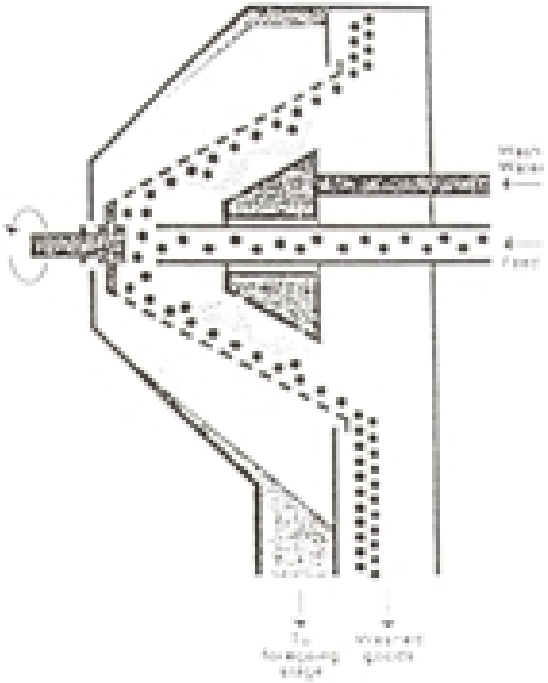
Separation in the decanter bowl

รูปที่ 9-1 ดีแคนเตอร์ (Decanter)

๑-2 เครื่องแยกกากแบบ Conical Rotating Screen Extractor

การเลือกสิ่ง ๆ ว่าเครื่องสกัด (Extractor) เป็นเครื่องมือที่ใช้แยกน้ำแป้งออกจากส่วนใยและกาก โดยใช้หลักแรงหนีศูนย์กลางและการกรองเครื่องมือนี้ใช้งานเป็นชุดต่ออนุกรมกัน ประมาณ 3-5 ชุด แต่ละชุดมี 3-5 เครื่อง หรือมากกว่าตามความเหมาะสม โดยเครื่องทุกตัวที่อยู่ภายในชุดเดียวกันจะรับน้ำแป้งเข้าพร้อมกัน ชุดของเครื่องสกัดที่เรียงอนุกรมกันนี้ ส่วนมากจะแบ่งตามหน้าที่การกรองเป็น 2 ชุด คือชุดแยกหยาบ และชุดแยกละเอียด น้ำแป้งจะถูกส่งเข้าชุดแยกหยาบเพื่อแยกกากหยาบ และส่วนใยขนาดใหญ่ออกจากน้ำแป้ง ก่อนเข้าชุดแยกละเอียด

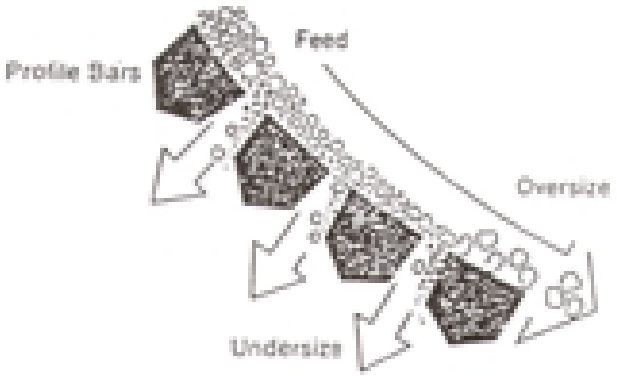
พิจารณารูปที่ ๑-2 น้ำแป้งจะถูกฉีดเข้าทางด้านบนของเครื่อง ภายในเครื่องมีแผ่นกรองเป็นตะกร้าทรงกรวยตะแกรง และหมุนอยู่ตลอดเวลา ในขณะเดียวกันจะมีการฉีดน้ำสะอาดเข้าอย่างสม่ำเสมอ แรงหมุนเหวี่ยงจะทำให้น้ำแป้งที่มีขนาดเล็กกว่ากากและเส้นใยผ่านแผ่นกรองลงไปด้านล่างเข้าสู่หน่วยถัดไป ส่วนกากและเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า จะติดอยู่บนแผ่นกรองและถูกปาดออกทางด้านข้างลงไปยังเครื่องถัดกาก

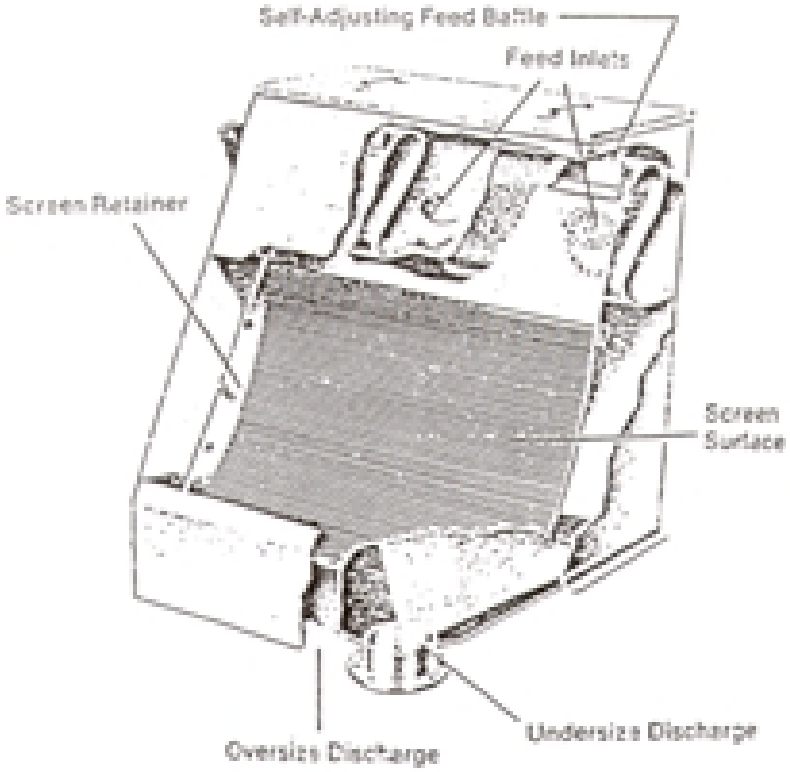


รูปที่ ๑-2 เครื่องแยกกากแบบ Conical Rotating Screen Extractor)

๑-๓ เครื่องแยกกากแบบ DSM Screens

เป็นเครื่องมือที่ใช้แยกน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก หลักการทำงานคล้าย Conical Rotating Screen Extractor แต่แผ่นกรองเป็นแผ่นโค้งติดตั้งในแนวดิ่ง ดังรูปที่ ๑-๓ รูบนแผ่นกรองทำมุมรับกับน้ำแป้งที่ฉีดเข้ามา ลักษณะเช่นนี้ทำให้เส้นใยและกากที่ไม่สามารถผ่านแผ่นกรอง ไหลลงสู่ด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงโดยไม่อุดตันน้ำแป้งจึงผ่านแผ่นกรองได้สะดวก





รูปที่ ๑-๓ เครื่องแยกกากแบบ DSM Screens (บริษัท ศรียชั่นเซนเตอร์ จำกัด)

๑-๔ เครื่องแยกแป้ง (Separator)

ใช้แยกแป้งในรูปสารละลายคอลลอยด์ออกจากน้ำแป้ง โดยอาศัยหลักการเหวี่ยงแยก เครื่องมือแสดงดังรูปที่ ๑-๔ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

a. สปีลกลุ่ม (Shell)

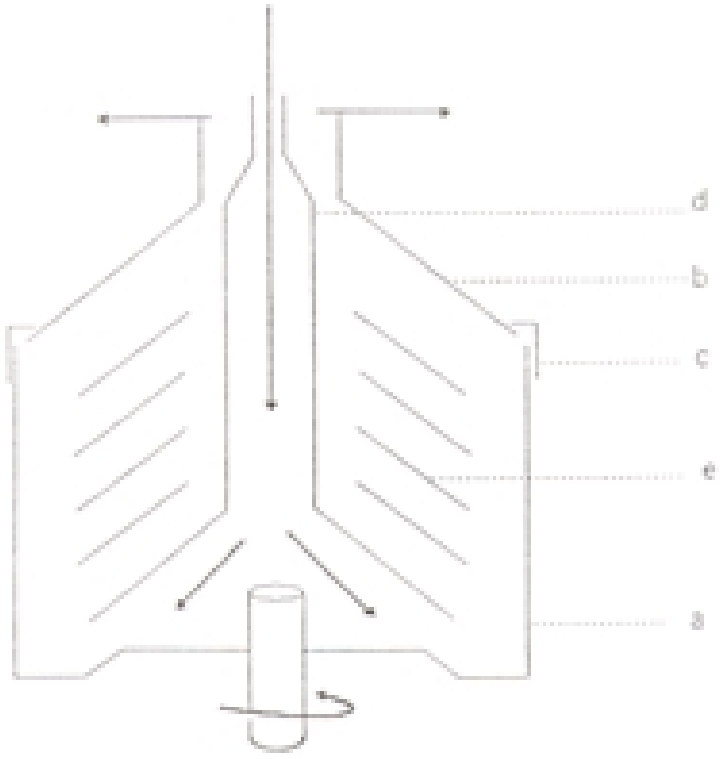
b. ฝาครอบ (Hood)

c. วงแหวนล็อก (Lock Ring)

d. ตัวกระจาย (Distributor) จะดีดกันแยกมวลน้ำแป้งที่แยกตากออกแล้วจากด้านบนกระจายลงไปยังฐาน

e. แผ่นจานรูปกรวย (Disc) ครั้งกลางซ้อนกัน เป็นชั้น 25-125 แผ่น ช่องว่างระหว่างแผ่น 0.4-1.0 มิลลิเมตร

จากรูปกรวยจะแยกแป้งออกจากน้ำ โดยน้ำจะไหลผ่านขึ้นไปทางด้านบนของเครื่อง และน้ำแป้งที่ข้นขึ้นกว่าจะไหลออกทางด้านล่าง เข้าสู่เครื่องแยกแป้งเครื่องถัดไป จนน้ำแป้งข้นขึ้นสูงพอที่จะเข้าหน่วยสลัดแห้งต่อไป



รูปที่ ๑-๔ เครื่องแยกแป้ง (Separator)

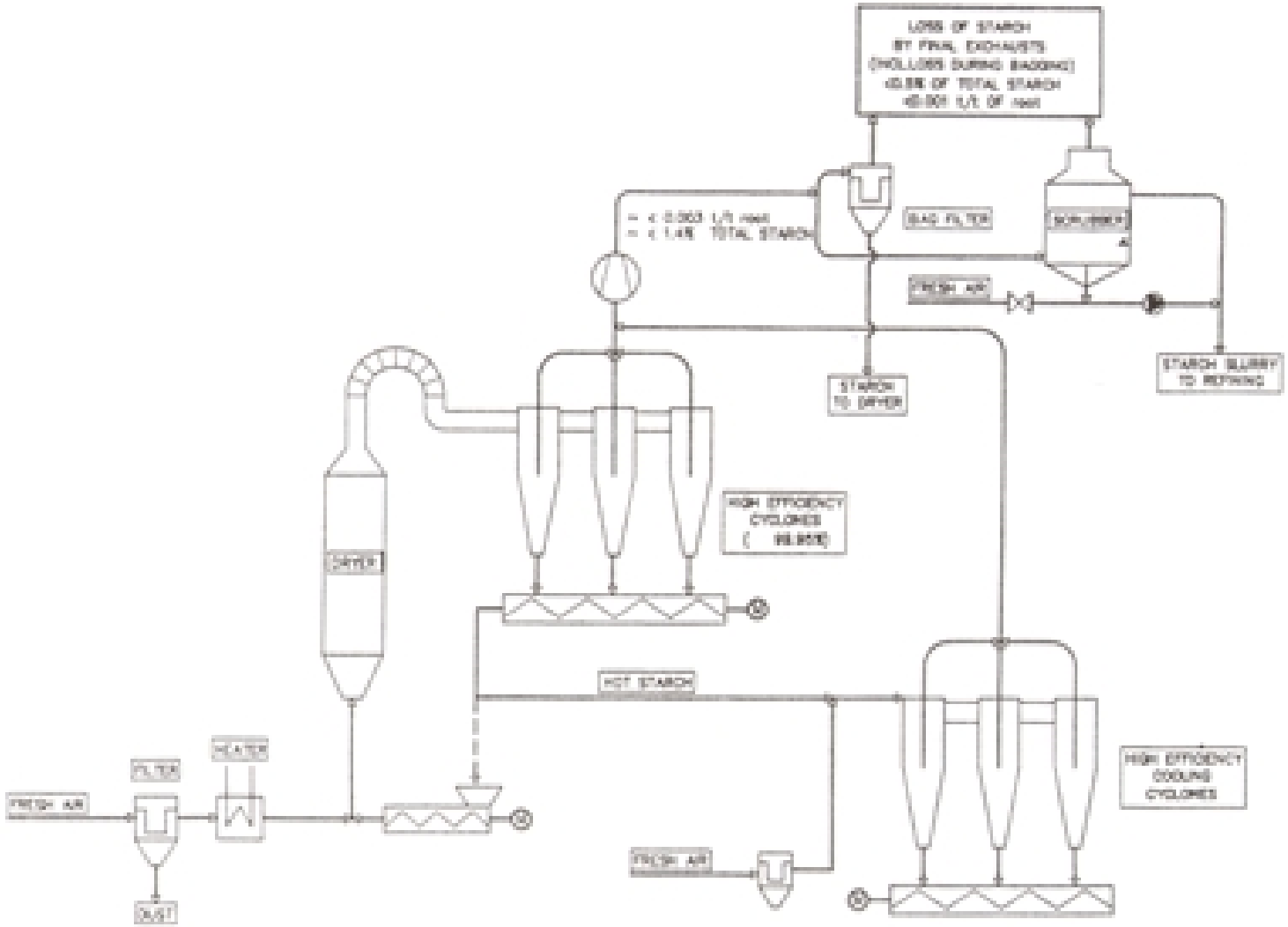
๑-๕ เครื่องเหวี่ยงแห้ง (Centrifuge)

ใช้เหวี่ยงน้ำออกจากน้ำแป้งข้นข้นที่ได้จากหน่วยแยกแป้งเพื่อให้ได้แป้งชื้นส่งเข้าหน่วยอบแห้ง

๑-๖ เครื่องอบแห้งชนิด Pneumatic Dryer และเครื่องแป้งลมเย็น

ใช้อบแป้งชื้นที่ถูกลำเลียงด้วยลมเสียวเข้าสู่ปล่องอบแห้ง แป้งจะถูกลมร้อนอุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส เป่าขึ้นไปในปล่องอบแห้งเข้าสู่ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น เครื่องร่อนแป้ง (Sieve) เพื่อคัดแป้งหยาบแป้งละเอียดสำหรับบรรจุ ตามลำดับ

ในส่วนของไซโคลนอาจมีการติดตั้ง Wet Scrubber เพื่อสเปรย์ (Spray) น้ำดักแป้งไม่ให้ปลิวออกนอกระบบ ดังรูปที่ ๑-๕

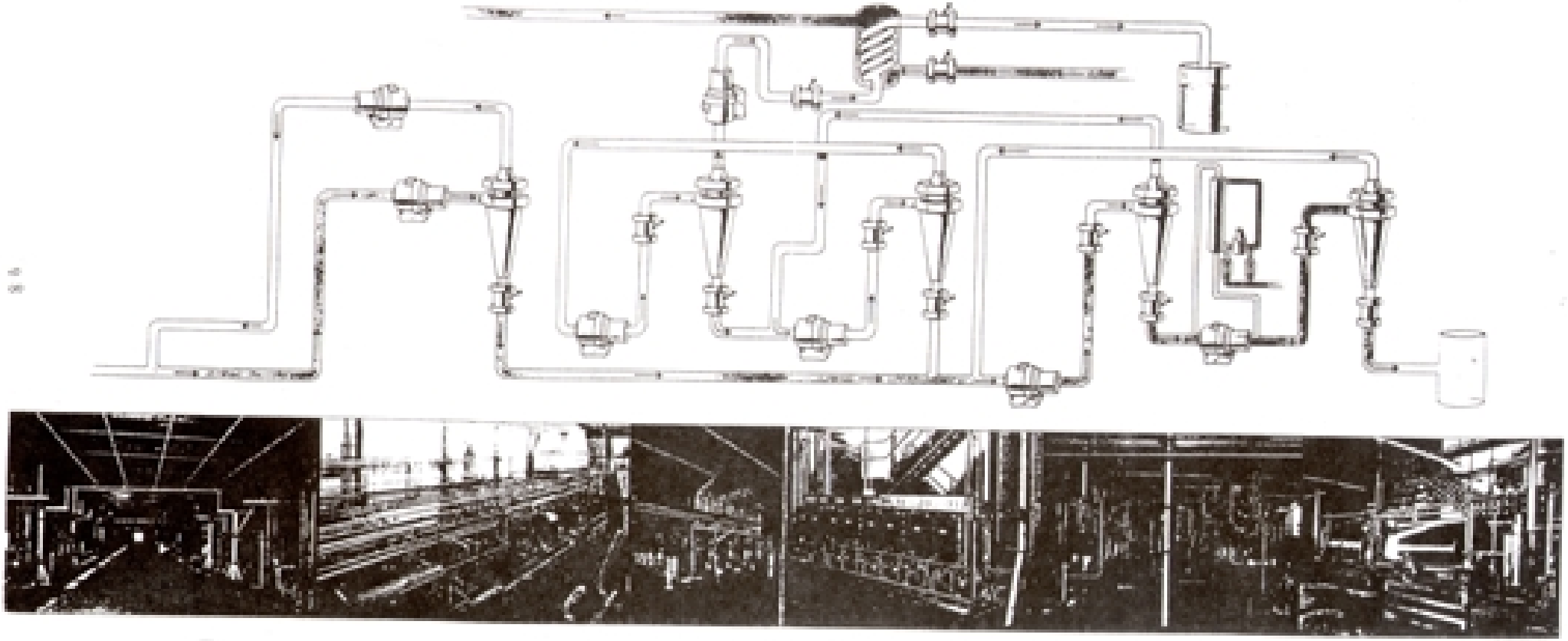


รูปที่ ข-5 หน่วยของแป้ง

C:\AFRL\MD-DA

๑-๑ ไฮโดรไซโคลน

ไฮโดรไซโคลนเป็นเครื่องมือที่ใช้แยกของแข็ง โดยในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง สามารถนำมาใช้แยก Fruit water ออกจากกากมันสำปะหลังที่บดแล้วได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงถึง 94-96% ทำให้ได้ Fruit water ที่ไม่มีเยื่อขางตัวน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในขั้นตอนการทำให้สารละลายเป็นเข้มข้นขึ้น ซึ่งไฮโดรไซโคลนมีความสามารถในการแยกอนุภาคขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่มีความต้องการใช้น้ำในการล้างน้อยมาก



รูปที่ ๑-๑ ไฮโดรไซโคลน

ภาคผนวก ฉ.

- วิธีเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้ง
- วิธีเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้ง
- วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ

Sampling Method

Take grab samples : 1 liter per grab sample.
: 1 sample every 1 hour from 8.00-17.00 o' clock.
: collect and mix the samples in a clean bucket ; after each period have got 1 bucket with 5 liters sample.
: take from the well mixed bucket the nomogenized sample with 2 liters for analysis.

But in practive,

Keep the sample collected in the factory at about +4°C until transport. During transport. During transport the sampling bottles stay in insulated ice container.

Preservation Method

Usually sample preservation before analysis are :

Parameter	Preservation Method	Preservation time
pH	On-site measurement	-
BOD	4°C	6 hours
COD	2 cm^3-H_2SO_4/Liter	7 days
Phosphorus	40 mg.$HgCl_2$/Liter at 4°C	7 days
Total Kjeldahl Nitrogen	40 mg.$HgCl_2$/Liter at 4°C	7 days

1. Total suspended solids

1.1 Procedure

a. Preparation of glass-fiber filter disk

Insert disk with wrinkled side up in filtration apparatus. Apply vacuum and wash disk with three successive 20-mL portions of distilled water. Continue suction to remove all traces of water, and discard washings. Remove filter from filtration apparatus and transfer to an aluminum or stainless steel planchet as a support. Alternatively remove crucible and filter combination if a Gooch crucible is used. Dry in an oven at 103 to 105°C for 1 h if volatile solids are to be measured, ignite at 550 ± 50°C for 15 min in a muffle furnace. Cool in desiccator to balance temperature and weigh. Repeat cycle of drying or igniting, cooling, desiccating, and weighing until a constant weight is obtained or until weight loss is less than 0.5 mg between successive weightings. Store in desiccator until needed. Weigh immediately before use.

b. Selection of filter and sample sizes

Choose sample volume to yield between 2.5 and 200 mg dried residue. If more than 10 min are required to complete filtration, increase filter size or decrease sample volume but do not produce less than 2.5 mg residue.

c. Sample analysis

Assemble filtering apparatus and filter and begin suction. Wet filter with a small volume of distilled water to seat it. Filter a measured volume of wellmixed sample through the glass fiber filter. Wash with three successive 10-mL volumes of distilled water, allowing complete drainage between washings and continue suction for about 3 min after filtration is complete. Carefully remove filter from filtration apparatus and transfer to an aluminum or stainless steel planchet as a support. Alternatively, remove the crucible and filter combination from the crucible adapter if a Gooch crucible is used. Dry for at least 1 h at 103 to 105°C

in an oven, cool in a desiccator to balance temperature, and weigh. Repeat the cycle of drying, cooling, desiccating, and weighing until a constant weight is obtained or until the weight loss is less than 4% of the previous weight or 0.5, whichever is less.

1.2 Calculation

$$\text{mg total suspended solids/L} = \frac{(A - B) \times 1{,}000}{\text{sample volume, mL}}$$

where :

A = weight of filter + dried residue, mg, and

B = weight of filter, mg.

1.3 Precision and accuracy

The standard deviation was 5.2 mg/L (coefficient of variation 33%) at 15 mg/L, 24 mg/L (10%) at 242 mg/L and 13 mg/L (0.76%) at 1707 mg/L in studies by two analysts of four sets of 10 determinations each.

Single-laboratory duplicate analyses of 50 samples of water and wastewater were made with a standard deviation of differences of 2.8 mg/L.

2. Nitrogen (Organic)

1. Selection of method

The major factor that influences the selection of a macro or semi-micro-kjeldahl method to determine organic nitrogen is the concentration of organic nitrogen. The macro-kjeldahl method is applicable for samples containing either low or high concentrations of organic nitrogen but requires a relatively large sample volume for low concentrations. In the semi-micro-kjeldahl method, which is applicable to samples containing high concentrations of organic nitrogen, the sample volume should be chosen to contain organic plus ammonia nitrogen (kjeldahl nitrogen) in the range of 0.2 to 2 mg.

2. Storage of samples

The most reliable results are obtained on fresh samples. If an immediate analysis is not possible, preserve samples by acidifying to pH 1.5 to 2.0 with concentrated H_2SO_4 and storing at 4°C. Do not use $HgCl_2$ because it will interfere with ammonia removal.

3. Interferences

a. Nitrate : During digestion, nitrate in excess of 10 mg/L can oxidize a portion of the ammonia released from the digested organic nitrogen, producing N_2O and resulting in a negative interference. When sufficient organic matter in a low state of oxidation is present, nitrate can be reduced to ammonia, resulting in a positive interference. The conditions under which significant interferences occur are not well defined and there is no proven way to eliminate the interference in conjunction with the methods described herein.

b. Inorganic salts and solids : The acid and salt content of the digestion reagent is intended to produce a digestion temperature of about 360 to 370°C. If the sample contains a very large quantity of salt or inorganic solids that dissolve during digestion, the temperature may rise above 400°C, at which point pyrolytic loss of nitrogen begins to occur. To prevent an excessive digestion temperature, add more H_2SO_4 to maintain the acid-salt balance. Not all salts cause precisely the same temperature rise, but adding of 1 mL H_2SO_4/g salt in the sample gives reasonable results. Add the extra acid and the digestion reagent to both sample and reagent blank. Too much acid will lower the digestion temperature below 360°C and result in incomplete digestion and recovery. If necessary, add more sodium hydroxide-sodium thiosulfate before the final distillation step to neutralize the excess acid.

Large amounts of salt or solids also may cause bumping during distillation. If this occurs, add more dilution water to the samples after digestion.

c. Organic matter : During digestion, H_2SO_4 oxidizes organic matter to CO_2 and H_2O. If a large amount of organic matter is present, a large amount of acid will be consumed, the ratio of salt to acid will increase and the digestion temperature will increase. If enough organic matter is present, the temperature will rise above 400°C, resulting in pyrolytic loss of nitrogen. To prevent this, add to the digestion flask 10 mL conc H_2SO_4/3 g COD. (For most organic substances, 3 g COD equals about 1 g organic matter). Alternately, add 50 mL more of digestion reagent/g COD. Additional sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent may be necessary to keep the distillation pH high. Because reagents may contain traces of ammonia, treat the reagent blank identically with the samples.

4. Use of a Catalyst

Although it generally is desirable to avoid using mercury because of its toxicity and the problems associated with disposal of residues, mercury is the catalyst of choice. Only selenium is as effective as mercury, but selenium is highly toxic and there are potential interferences associated with its use. Digestion of some samples may be complete or nearly complete without the use of a catalyst or with the use of a less toxic catalyst, such as copper. If copper is substituted for mercury, add 10 mL of a solution containing 25.115 g $CuSO_4$/L to each macro-kjeldahl digestion flask with 50 mL digestion reagent from which the HgO has been omitted. Use 2 mL of $CuSO_4$ solution for the semi-micro method. If the mercury catalyst is omitted, report this deviation and indicate, if possible, the percentage recovery relative to the results for similar samples analyzed using the mercury catalyst.

2.1 Macro-Kjeldahl Method

2.1.1 General Discussion

The kjeldahl method determines nitrogen in the trinegative state. It fails to account for nitrogen in the form of azide, azine, azo, hydrazone, nitrate, nitrite, nitrile, nitro, nitroso, oxime and semi-car-bazone. If ammonia nitrogen is not removed in the initial phase (= 4b below) of the procedure, the term "kjeldahl nitrogen" is applied to the result. Should kjeldahl nitrogen and ammonia nitrogen be determined individually, "organic nitrogen" can be obtained by difference.

a. Principle : In the presence of H_2SO_4, potassium sulfate (K_2SO_4) and mercuric sulfate ($HgSO_4$) catalyst, amino nitrogen of many organic materials is converted to ammonium sulfate [$(NH_4)_2SO_4$]. Free ammonia and ammonium-nitrogen also are convert to $(NH_4)_2SO_4$. During sample digestion, a mercury ammonium complex is formed and then decomposed by sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$). After decomposition the ammonia is determined colorimetrically or by titration with a standard mineral acid.

b. Selection of amonia measurement method : The sensitivity of colorimetric methods makes them particularly useful for determining organic nitrogen levels below 5 mg/L. The titrimetric and selective electrode methods of measuring ammonia in the distillate are suitable for determining a wide range of organic nitrogen concentrations.

2.1.2 Apparatus

a. Digestion apparatus : Kjeldahl flasks with a total capacity of 800 mL yield the best results. Digest over a heating device adjusted so that 250 mL water at an initial temperature of 25°C can be heated to a rolling boil in approximately 5 min. For testing, preheat heaters for 10 min if gas or 30 min if electric. A heating device meeting this specification should provide the temperature range of 365 to 370°C for effective digestion.

b. Distillation apparatus : Arrange a borosilicate glass flask of 800 to 2,000 - mL capacity attached to a vertical condenser so that the outlet fip may be submerged below the surface of the receiving acid solution. Use an all-borosilicate-glass apparatus or one with condensing units constructed of block tin or aluminium tubes.

c. Apparatus for ammonia determination

1) Colorimetric equipment : One of the following is required :

- Spectrophotometer, for use at 400 to 500 nm and providing a light path of 1 cm or longer.
- Filter photometer, providing a light path of 1 cm or longer and equipped with a violet filter having maximum transmitance at 400 to 425 nm. A blue filter can be used for higher NH_3-N concentrations.
- Nessler tubes, matched, 50-mL, tall form.

2) pH meter, equipped with a high-pH electrode

2.1.3 Reagents

Prepare all reagents and dilutions in ammonia-free water.

a. Zinc sulfate solution : Dissolve 100 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ and dilute to 1 L with water.

b. Stabilizer reagent : Use either EDTA or Rochelle salt to prevent calcium or magnesium precipitation in undistilled samples after addition of alkaline nessler reagent.

1) EDTA reagent : Dissolve 50 g disodium ethylenediamine tetraacetate dihydrate in 60 mL water containing 10 g NaOH. If necessary, apply gentle heat to complete dissolution. Cool to room temperature and dilute to 100 mL.

2) Rochelle salt solution : Dissolve 50 g potassium sodium tartrate tetrahydrate, $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$, in 100 mL water. Remove ammonia usually present in the salt by boiling off 30 mL of solution. After cooling, dilute to 100 mL.

c. Nessler reagent : Dissolve 100 g HgI_2 and 70 g KI in a small quantity of water and add this mixture slowly, with stirring, to a cool solution of 160 g NaOH dissolved in 500 mL water. Dilute to 1 L. Store in rubber-stoppered borosilicate glassware and out of sunlight to maintain reagent stability for up to a year under normal laboratory conditions. Check regent to make sure that it yields the characteristic color with 0.1 mg NH_3-N/L within 10 min after addition and does not produce a precipitate with small amounts of ammonia within 1 h. (CAUTION : Toxic-take care to avoid ingestion.)

d. Stock ammonium solution : Dissolve 3.819 g anhydrous NH_4Cl, dried at 100°C, in water and dilute to 1000 ml ; 1.00 mL = 1.00 mg N = 1.22 mg NH_3.

e. Standard ammonium solution : Dilute 10.00 mL stock ammonium solution to 1000 mL with water ; 1.00 mL = 10.00 μg N = 12.2 μg NH_3.

f. Permanent color solutions :

1) Potassium chloroplatinate solution : Dissolve 2.0 g K_2PtCl_6 in 300 to 400 mL water ; add 100 mL conc HCl and dilute to 1 L.

2) Cobaltous chloride solution : Dissolve 12.0 g $CoCl_2 6 H_2O$ in 20 mL water. Add 100 mL conc HCl and dilute to 1 L.

g. Mercuric sulfate solution : Dissolve 8 g red mercuric oxide, HgO, in 100 mL 6N H_2SO_4.

h. Digestion reagent : Dissolve 134 g K_2SO_4 in 650 mL water and 200 mL conc H_2SO_4. Add, with stirring, 25 mL mercuric sulfate solution. Dilute the combined solution to 1 L with water. Keep at a temperature close to 20 °C to prevent crystallization.

i. Sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent : Dissolve 500 g NaOH and 25 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ in water and dilute to 1 L.

j. Borate buffer solution : Add 88 mL 0.1N NaOH solution to 500 mL approximately 0.025M sodium tetraborate ($Na_2B_4O_7$) solution (9.5 g $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$/L) and dilute to 1 L.

k. Sodium hydroxide, NaOH, 6N.

2.1.4 Procedure

a. Selection of sample volume and sample preparation : Place a measured volume of sample in an 800-mL kjeldahl flask. Select sample size from the following tabulation :

Organic Nitrogen in Sample mg/L	Sample Size mL
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50.0
50-100	25.0

b. Ammonia removal : Add 25 mL borate buffer and then 6N NaOH until pH 9.5 is reached. Add a few glass beads or boiling chips and boil off 300 mL. If desired, distill this fraction and determine ammonia nitrogen. Alternately, if ammonia has been determined by the distillation method, use residue in distilling flask for organic nitrogen determination.

For sludge and sediment samples, weigh wet sample in a crucible or weighing bottle, transfer contents to a kjeldahl flask, and determine kjeldahl nitrogen. Follow a similar procedure for ammonia nitrogen and organic nitrogen determined by difference. Determinations of organic and kjeldahl nitrogen on dried sludge and sediment samples are not accurate because drying results in loss of ammonium salts. Measure dry weight of sample on a separate portion.

c. Digestion : Cool and add carefully 50 mL digestion reagent (or substitute 10 mL conc H_2SO_4, 6.7 g K_2SO_4 and 1.25 mL $HgSO_4$ solution) to distillation flask. Add a few glass beads and after mixing, heat under a hood or with suitable ejection equipment to remove acid fumes. Boil briskly until the volume is greatly reduced (to about 25 to 50 mL) and copious white fumes are observed (fumes may be dark for samples high in organic matter). Then continue to digest for an additional 30 min. As digestion continues, colored or tubid samples will turn clear or straw-colored.

After digestion, let flask and contents cool, dilute to 300 mL with water and mix. Tilt flask and carefully add 50 mL hydroxide-thiosulfate reagent to form an alkaline layer at flask bottom. Connect flask to steamed out distillation apparatus and shake flask to insure complete mixing. A black precipitate, HgS, will form and the pH should exceed 11.0.

d. Distillation : Distill and collect 200 mL distillate below surface of 50 mL absorbent solution. Use plain boric acid solution when ammonia is to be determined by nesslerization and use indicating boric acid for a titrimetric finish. Use 50 mL 0.04N H_2SO_4 solution for collecting distillate for manual phenate, nesslerization or electrode methods. Extend tip of condenser well below level of

absorbent solution and do not let temperature in condense rise above 29°C. Lower collected distillate free of contact with delivery tube and continue distillation during last 1 or 2 min to cleanse condenser.

e. Final ammonia measurement :

Neutralize the boric acid used for absorbing the ammonia distillate by adding either 2 mL nessler reagent, an excess that raises the pH to the desired high level, or alternatively, neutralizing the boric acid with NaOH before adding 1 mL nessler reagent.

Mix samples by capping nessler tubes with clean rubber stoppers (washed thoroughly with water) and then inverting tubes at least six times. Keep such conditions as temperature and reaction time the same in blank, samples and standards. Let reaction proceed for at least 10 min after adding nessler reagent. Measure color in sample and standards. If NH_3-N is very low, use a 30-min contact time for sample, blank and standards. Measure color either photometrically or visually as directed in ¤s f or g below.

f. Photometric measurement :

Measure absorbance or transmittance with a spectro-photometer or filter photometer. Prepare calibration curve at the same temperature and reaction time used for samples. Measure transmittance readings against a reagent blank and run parallel checks requently against standards in the nitrogen range of the samples. Redetermine complete calibration curve for each new batch of nessler reagent.

For distilled samples, prepare standard curve under the same conditions as the samples. Distil reagent blank and appropriate standards, each diluted to 500 mL, in the same manner as the samples. Dilute 300 mL distillate plus 50 mL boric acid absorbent to 500 mL with water and take a 50-mL portion for nesslerization.

g. Visual comparison :

Compare colors produced in sample against those of ammonia standards. Prepare temporary or permanent standards as follows :

1) Temporary standards - Prepare a series of visual standards in nessler tubes by adding the following volumes of standard NH_4Cl solution and diluting to 50 mL with water : 0, 0.2, 0.4, 0.7, 1.0 1.4, 1.7, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0,4.5, 5.0 and 6.0 mL. Nesslerize standards and portions of distillate by adding 1.0 mL nessler reagent to each tube and mixing well.

2) Permanent standards - Measure into 50-mL nessler tubes the volumes of K_2PtCl_6 and $CoCl_2$ solutions indicated in Table I, dilute to mark and mix thoroughly. The values given in the table are approximate ; actual equivalents of the ammonium standards will differ with the quality of nessler reagent, the kind of illumination used and the color sensitivity of the analyst's eye. Therefore, compare color standards with nesslerized temporary ammonia standards and modify the tints as necessary. Make such comparisons for each newly prepared nessler reagent and satisfy each analyst as to the aptness of the color match. Protect standards from dust to extend their usefulness for several months. Compare either 10 or 30 min after nesslerization, depending on reaction time used in preparing nesslerized ammonium standards against which they were matched.

Table I. Preparation of Permanent Color Standards for Visual Determination of Ammonia Nitrogen

Value in Ammonia Nitrogen μg	Approximate Volume of Platinum Solution mL*	Approximate Volume of Cobalt Solution mL*
0	1.2	0.0
2	2.8	0.0
4	4.7	0.1
7	5.9	0.2
10	4.4	0.5
14	9.9	1.1
17	11.4	1.7
20	12.7	2.2
25	15.0	3.3
30	17.3	4.5
35	19.0	5.7
40	19.7	7.1
45	19.9	8.7
50	20.0	10.4
60	20.0	15.0

* In matched 50-mL nessler tubes.

h. Blank : Carry a reagent blank through all steps of the procedure and apply necessary corrections to the results.

2.1.5 Calculation

a. Deduct acount of NH_3-N in water used for diluting original sample before computing final nitrogen value.

b. Deduct also reagent blank for volume of borate buffer and 6N NaOH solutions used with sample.

c. Compute total NH_3-N by the following equation :

2.1.6 Precision and Accuracy

Three synthetic samples containing various organic nitrogen concentrations and other constituents were analyzed by thre procedural modifications of the macro-kjeldahl method : kjeldahl-nessler finish, kjeldahl-titrimetric finish and calculation of the difference between kjeldahl nitrogen and ammonia nitrogen, both determined by a nessler finish. The results obtained by participating laboratories are summarized in Table II.

Table II. Precision and Accuracy Data For Organic Nitrogen, Macro-Kjeldahl Procedure

			Relative Standard Deviation			Relative Error		
Sample	No. of Labora-tories	Organic Nitrogen Concen-tration µg/L	Nessler Finish %	Titri-metric Finish %	Calculation of Total Kjeldahl N Minus NH_3-N %	Nessler Finish %	Titri-metric Finish %	Calculation of Total Kjeldahl N Minus NH_3-N %
1	26	200	94.8	-	-	55.0	-	-
	29	200	-	104.4	-	-	70.0	-
	15	200	-	-	68.8	-	-	70.0
2	26	800	52.1	-	-	12.5	-	-
	31	800	-	44.8	-	-	3.7	-
	16	800	-	-	52.6	-	-	8.7
3	26	1500	43.1	-	-	9.3	-	-
	30	1500	-	54.7	-	-	22.6	-
	16	1500	-	-	45.9	-	-	4.0

2.2 Semi-Micro-Kjeldahl Method

2.2.1 Apparatus

a. Digestion apparatus : Use kjeldahl flasks with a capacity of 100 mL in a semi-micro-kjeldahl digestion apparatus equipped with heating elements to accomodate kjeldahl flasks and a suction outlet to vent fumes. The heating elements should provide the temperature range of 365 to 380°C for effective digestion.

b. Distillation apparatus : Use an all-glass unit equipped with a steam-generating vessel containing an immersion heater.

c. pH meter.

2.2.2 Reagents

All of the reagents listed for the determination of Nitrogen (Ammonia) and Nitrogen (Organic) macro-kjeldahl are required. Prepare all reagents and dilutions with ammonia-free water.

2.2.3 Procedure

a. Selection of sample volume : Determine the sample size from the following tabulation :

Organic Nitrogen in Sample mg/L	Sample Size mL
4-40	50
8-80	25
20-200	10
40-400	5

For sludge and sediment samples weigh a portion of wet sample containing between 0.2 and 2 mg organic nitrogen in a crucible or weighing bottle. Transfer sample quantitatively to a 100-mL beaker by diluting it and rinsing the weighing dish several times with small quantities of water. Make the transfer using as small a quantity of water as possible and do not exceed a total volume of 50 mL. Measure dry weight of sample on a separate portion.

b. Ammonia removal : Pipet 50 mL sample or an appropriate volume diluted to 50 mL with water into a 100-mL beaker. Add 3 mL borate buffer and adjust to pH 9.5 with 6N NaOH, using a pH meter. Quantitatively transfer sample to a 100-mL kjeldahl flask and boil off 30 mL.

Alternatively, if ammonia removal is not required, digest samples directly as described in π c below. Distillation following this direct digestion yields kjeldahl nitrogen concentration rather than organic nitrogen.

c. Digestion : Carefully add 10 mL digestion reagent to kjeldahl flask containing sample. Add 5 or 6 glass beads (3- to 4-mm size) to prevent bumping during digestion. Set each heating unit on the micro-kjeldahl digestion apparatus to its medium setting and heat flasks under a hood or with suitable ejection equipment to remove fumes of SO_3. Continue to boil briskly until solution clears (becomes colorless or a pale straw color) and copious fumes are observed. Then turn each heating unit up to its maximum setting and digest for an additional 30 min. Cool. Quantitatively transfer digested sample by diluting and rinsing several times into micro-kjeldahl distillation apparatus so that total volume in distillation apparatus does not exceed 30 mL. Add 10 mL hydroxide-thiosulfate reagent and turn on steam.

d. Distillation : Control rate of steam generation to boil contents in distillation unit so that neither escape of steam from tip of condenser nor bubbling of contents in receiving flask occurs. Distill and collect 30 to 40 mL distillate below surface of 10 mL boric acid solution contained in a 125-mL erlenmeyer flask. Use plain boric acid solution when ammonia is to be

determined by nesslerization and use indicating boric acid for a titrimetric finish. Use 10 mL 0.04N H_2SO_4 solution for collecting distillate for the phenate, nessler, or electrode methods. Extend tip of condenser well below level of boric acid solution and do not let temperature in condenser rise above 29°C. Lower collected distillate free of contact with delivery tube and continue distillation during last 1 or 2 min to cleanse condenser.

e. Blank : Carry a reagent blank through all steps of procedure and apply necessary correction to results.

f. Final ammonia measurement : Determine ammonia by nesslerization, manual phenate, titration, or ammonia-selective electrode method.

2.2.4 Calculation

See Section 2.2.5.

2.2.5 Precision and Accuracy

No data on the precision and accuracy of the semi-micro-kjeldahl method are available.

3. BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND

3.1 Sampling and Storage

Samples for BOD analysis may degrade significantly during storage between collection and analysis, resulting in low BOD values. Minimize reduction of BOD by analyzing the sample promptly or by cooling it to near-freezing temperature during storage. However, even at low temperature, keep the holding

time to a minimum. Warm the chilled samples to 20°C before analysis ; some storage time can be used to accomplish this conveniently.

a. Grab amples : If analysis is begun within 2 h of collection, cooling is unnecessary. if analysis is not started within 2 h of sample collection, keep sample at or below 4°C from the time of collection. Begin analysis within 6 h of collection ; when this is not possible because the sampling site is distant from the laboratory, store at or below 4°C and report length and temperature of storage with the results. In no case start analysis more than 24 h after grab sample collection. When samples are to be used for regulatory purposes make every effort to deliver samples for analysis within 6 h of collection.

b. Composite samples (not relevant to the minimum requirements of Thai tapioca starch effluent) : Keep samples at or below 4°C during compositing. Limit compositing period to 24 h. Use the same criteria as for storage of grab samples, starting the measurement of holding time from the end of the compositing period. State storage time and conditions as part of the results.

3.2 Apparatus

a. Incubation bottles : 250- to 300-mL capacity, with ground-glass stoppers. Clean bottles with a detergent, rinse thoroughly and drain before use. As a precaution against drawing air into the dilution bottle during incubation, use a water-seal. Obtain satisfactory water seals by inverting bottles in a water bath or adding water to the flared mouth of special BOD bottles. Place a paper or plastic cup or foil cap over the flared mouth of the bottle to reduce evaporation of the water seal during incubation.

3.4 Procedure

a. Preparation of dilution water : Place desired volume of water in a suitable bottle and add 1 mL each of phosphate buffer, $MgSO_4$, $CaCl_2$ and $FeCl_3$ solutions/L of water. Seed dilution water, if desired, as described in 5d. Test and store dilution water as described in 3.4b and 3.4c so that water of assured quality always is on hand.

b. Dilution water check : Use this procedure as a rough check on quality of dilution water. If dilution water has not been stored for quality improvement, add sufficient seeding material to produce a DO uptake of 0.05 to 0.1 mg/L in 5 d at 20°C. Do not seed dilution water that has been stored for quality improvement. Incubate a BOD bottle full of dilution water for 5 d at 20°C. Determine initial and final DO as in 3.4g and 3.4j. The DO uptake in 5 d at 20°C should not be more than 0.2 mg/L and preferably not more than 0.1 mg/L.

If the oxygen depletion of a candidate water exceeds 0.2 mg/L obtain a satisfactory water by improving purification of from another source. Alternatively, if nitrification inhibition is used, store the seeded dilution water at 20°C until the oxygen uptake is sufficiently reduced to meet the dilution water check criteria. Storage is not recommended when BOD_5 are to be determined without nitrification may develop during storage. Check stored dilution water to determine whether sufficient ammonia remains after storage.

Before use bring dilution water temperature to 20°C. Saturate with DO by shaking in a partially filled bottle or by aerating with filtered air. Alternatively, store in cotton-plugged bottles long enough for water to become saturated with DO. Protect water quality by using clean glassware, tubing and bottles.

c. Glucose-glutamic acid check : Because the BOD test is a bioassay the results can be influenced greatly by the presence of toxicants or by use of a poor seeding material. Distilled waters frequently are contaminated with copper ;

some sewage seeds are relatively inactive. Low results always are obtained with such seeds and waters. Periodically check dilution water quality, seed effectiveness, and analytical technique by making BOD measurements on pure organic compounds. In general, for BOD determinations not requiring an adapted seed, use a mixture of 150 mg glucose/L and 150 mg glutamic acid/L as a "Standard" check solution. Glucose has an exceptionally high and variable oxidation rate but [4] when it is used with glutamic acid, the oxidation rate is stabilized and is similar to that obtained with many municipal wastes. Alternatively, if a particular wastewater contains an identifiable major constituent that contributes to the BOD, use this compound in place of the glucose-glutamic acid.

Determine the 5-d 20°C BOD of a 2% dilution of the glucose-glutamic acid standard check solution using the techniques outlined in 3.4d-j. If the 5-d 20°C BOD value of the check is outside the range of 200 ± 37 mg/L, reject any BOD determinations made with the seed and dilution water and seek the cause of the problem.

d. Seeding : It is necessary to have present a population of microorganisms capable of oxidizing the biodegradable organic matter in the sample. Domestic wastewater, unchlorinated or otherwise-undisinfected effluents from biological waste treatment plants and surface waters receiving wastewater discharges contain satisfactory microbial populations. Some samples do not contain a sufficient microbial population (for example some untreated industrial wastes, disinfected wastes, high-temperature wastes, or wastes with extreme pH values). For such wastes seed the dilution water by adding a population of microorganisms. The preferred seed is effluent from a biological treatment system processing the waste. Where this is not available, use supernatant from domestic wastewater after settling at 20°C for at least 1 but no longer than 36 h.

Some samples may contain materials not degraded at normal rates by the microorganisms in settled domestic wastewater. Seed such samples with an adapted microbial population obtained from the undisinfected effluent of a biological process treating the waste. In the absence of such a facility, obtain

seed from the receiving water below (preferably 3 to 8 km) the point of discharge. When such seed sources also are not available, develop an adapted seed in the laboratory by contiuously aerating a sample of settled domestic wastewater and adding small daily increments of waste. Optionally use a soil suspension or activated sludge to obtain the initial microbial population. Determine the existence of a satisfactory population by testing the performance of the seed in BOD tests on the sample. BOD values that increase with time of adaptation to a steady high value indicate successful seed adaptation. In making tests, use enough seed to assure satisfactory numbers of microorganisms but not so much that the oxygen demand of the seed itself is a major part of the oxygen used during incubation.

Determine BOD of the seeding material as for any other sample. This is the seed control. From the value of the seed control and a knowledge of the seeding material dilution (in the dilution water) determine seed DO uptake. To determine a sample DO uptake subtract the seed DO uptake from the total DO uptake. The do uptake of the seeded dilution water should be between 0.6 and 1.0 mg/L.

Techniques for adding seeding material to dilution water are described for two sample dilution methods (¤ 3.4f).

e. Sample pretreatment :

1) Samples containing caustic alkalinity or acidity-Neutralize samples to pH 6.5 to 7.5 with a solution of sulfuric acid (H_2SO_4) or sodium hydroxide (NaOH) of such strength that the quantity of reagent does not dilute the sample by more than 0.5%. The pH of seeded dilution water should not be affected by the lowest sample dilution.

2) Samples containing residual chlorine compounds-If possible, avoid samples containing residual chlorine by sampling ahead of chlorination processes. if the sample has been chlorinated but no detectable chlorine residual is present, seed the dilution water. If residual chlorine is present, dechlorinate and seed the dilution water (3.4f). Do not test chlorinated/dechlorinated samples without seeding the dilution water. In some samples chlorine will dissipate within

1 to 2 h of standing in the light. This often occurs during sample transport and handling. For samples in which chlorine residual dose not dissipate in a reasonably short time, destroy chlorine residual by adding Na_2SO_3 solution. Determine required volume of Na_2SO_3 solution on a 100- to 1000-mL portion of neutralized sample by adding 10 mL of 1 + 1 acetic acid or 1 + 50 H_2SO_4, 10 mL potassium iodide (KI) solution (10 g/100 mL) and titrating with 0.025 N Na_2SO_3 solution to the starch-iodine end point. Add to the neutralized sample the volume of Na_2SO_3 solution determined by the above test, mix and after 10 to 20 min check sample for residual chlorine.

3) Samples containing other toxic substances-Certain industrial wastes, for example, plating wastes, contain toxic metals. Such samples often require special study and treatment.

4) Samples supersaturated with DO-Samples containing more than 9 mg DO/L at 20°C may be encountered in cold waters or in water where photosynthesis occurs. To prevent loss of oxygen during incubation of such samples, reduce DO to saturation at 20°C by bringing sample to about 20°C in partially filled bottle while agitating by vigorous shaking or by aerating with compressed air.

5) Sample temperature adjustment-Bring samples to 20 ± 1°C before making dilutions.

6) Nitrification inhibition-If nitrification inhibition is desired add 3.33 mg 2-chloro-6 (trichloro methyl) pyridine to each bottle before capping or add sufficient amounts to the dilution water to make a final concentration of 10 mg/L. Samples that may require nitrification inhibition include, but are not limited to, biologically treated effluents, samples seeded with biologically treated effluents and river waters. Note the use of nitrogen inhibition in reporting results.

f. Dilution technique : Dilutions that result in a residual DO of at least 1 mg/L and a DO uptake of at least 2 mg/L after 5 d incubation produce the most reliable results. Make several dilutions of prepared sample to obtain DO uptake in this range. Experience with a particular sample will permit use of a smaller number of dilutions. A more rapid analysis, such as COD, may be correlated

approximately with BOD and serve as a guide in selecting dilutions. In the absence of prior knowledge, use the following dilutions : 0.0 to 1.0% for strong industrial wastes, 1 to 5% for raw and settled wastewater, 5 to 25% for biologically treated effluent and 25 to 100% for polluted river waters. ,

Prepare dilutions either in graduated cylinders and then transfer to BOD bottles or prepare directly in BOD bottles. Either dilution method can be combined with any DO measurement technique. The number of bottles to be prepared for each dilution depends on the DO technique and the number of replicates desired.

When using graduated cylinders to prepare dilutions, and when seeding is necessary, either add seed directly to dilution water or to individual cylinders before dilution. Seeding of individual cylinders avoids a declining ratio of seed to sample as increasing dilutions are made. When dilutions are prepared directly in BOD bottles and when seeding is necessary, add seed directly to dilution water.

1) Dilutions prepared in graduated cylinders-If the azide modification of the titrimetric iodometric method (Section 5.1) is used, carefully siphon dilution water, seeded if necessary, into a 1- to 2-L-capacity graduated cylinder. Fill cylinder half full without entraining air. Add desired quantity of carefully mixed sample and dilute to appropriate level with dilution water. Mix well with a plunger-type mixing rod ; avoidng entraing air. Siphon mixed dilution into two BOD bottles. Determine initial DO on one of these bottles. Stopper the second bottle tightly, water-seal and incubate for 5 d at 20°C. If the membrane electrode method is used for DO measurement, siphon dilution mixture into one BOD bottle. Determine initial DO on this bottle an replace any displaced contents with sample dilution to fill the bottle. Stopper tightly, water-seal and incubate for 5 d at 20°C.

2) Dilutions prepared directly in BOD bottles-Using a wide-tip volumetric pipet, add the desired sample volume to individual BOD bottles of known capacity. Fill bottles with enough dilution water, seeded if necessary, so that insertion of stopper will displace all air, leaving no bubbles. For dilutions greater than 1:100 make a primary dilution in a graduated cylinder before making

final dilution in the bottle. When using titrimetric iodometric methods for DO measurement, prepare two bottles at each dilution. Determine initial DO on one bottle. Stopper second bottle tightly, water-seal and incubate for 5 d at 20°C. If the membrane electrode method is used for DO measurement, prepare only one BOD bottle for ach dilution. Determine initial DO on one bottle. Stopper second bottle tightly, water-seal incubate for 5 d at 20°C. If the membrane electrode method is used for DO measurement, prepare only one BOD bottle for each dilution. Determine initial DO on this bottle and replace any displaced contents with dilution water to fill the bottle. Stopper tightly, water-seal, and incubate for 5 d at 20°C.

g. Determination of initial DO : If the sample contains materials that react rapidly with DO, determine initial DO immediately after filling BOD bottle with diluted sample. If rapid initial DO uptake is insignificant, the time period between preparing dilution and measuring initial DO is not critical.

Use the azide modification of the iodometric method (Section 5.1) or the membrane electrode method (Section 5.4) to determine initial DO on all sample dilutions, dilution water blanks and where appropriate, seed controls.

For activated sludge samples use either the membrane electrode method or the $CuSO_4$-sulfamic acid modification of the iodometric method (Section 5.3). For muds use either the membane electrode method or the alum flocculation modification of the iodometric method (Section 5.2).

h. Dilution water blank : Use a dilution water blank as a rough check on the quality of unseeded dilution water and cleanliness of incubation bottles. Together with each batch of samples incubate a bottle of unseeded dilution water. Determine initial and final DO as in 3.4g and 3.4j. The DO uptake should not be more than 0.2 mg/L and preferably not more than 0.1 mg/L.

I. Incubation : Incubate at 20°C ± 1°C BOD bottles containing desired dilutions, seed controls, dilution water blanks, and glucose-glutamic acid checks. Water-seal bottles as described in 3.4f.

j Determination of final DO : After 5 d incubation determine DO in sample dilutions, blanks and checks as in 3.4g.

3.5 Calculation

When dilution water is not seeded :

$$\text{BOD, mg/L} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

When dilution water is seeded :

$$\text{BOD, mg/L} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

where :

D_1 = DO of diluted sample immediately after preparation, mg/L,

D_2 = DO of diluted sample after 5 d incubation at 20 °C, mg/L,

P = decimal volumetric fraction of sample used,

B_1 = DO of seed control before incubation, mg/L,

B_2 = DO of seed control after incubation, mg/L and

f = ratio of seed in sample to seed in control = (% seed in D1)/(% seed in B1).

If more than one sample dilution meets the criteria of a residual DO of at least 1 mg/L and a DO depletion of at least 2 mg/L and there is no evidence of toxicity at higher sample concentrations or the existence of an obvious anomaly, average results in the acceptable range.

In these calculations, corrections are not made for DO uptake by the dilution water blank criteria stipulated above. If the dilution water does not meet these criteria, proper corrections are difficult and results become questionable.

3.6 Precision and Accuracy

In a series of interlaboratory studies, each involving 86 to 102 laboratories (and as many river water and wastewater seeds), 5-d BOD measurements were made on synthetic water samples containing a 1 : 1 mixture of glucose and glutamic acid in the total concentration range of 5 to 340 mg/L. The regression equations for mean value, $\overline{X}$, and standard deviation, S, from these studies were :

$$\overline{X} = 0.665 \text{ (added level, mg/L)} - 0.149$$

$$S = 0.120 \text{ (added level, mg/L)} + 1.04$$

For the 300-mg/L mixed primary standard, the average 5-d BOD was 199.4 mg/L with a standard deviation of 37.0 mg/L.

4. CHEMICAL OXYGEN DEMAND

The chemical oxygen demand (COD) is used as a measure of the oxygen equivalent of the organic matter content of a sample that is susceptible to oxidation by a strong chemical oxidant. For samples from a specific source, COD can be related empirically to BOD, organic carbon, or organic matter. The test is useful for monitoring and control after correlation has been established. [The dichromate reflux method shall be used over procedures using other oxidants

because of superior oxidizing ability, applicability to a wide variety of samples, and ease of manipulation. Oxidation of most organic compounds is 95 to 100% of the theoretical value. Pyridine and related compounds resist oxidation and volatile organic compounds are oxidized only to the extent that they remain in contact with the oxidant. Ammonia, present either in the waste or liberated from nitrogen containing organic matter, is not oxidized in the absence of significant concentration of free chloride ions.]*

1. Selection of method

The open reflux method (A) is suitable for analysis of starch wastewater. [The closed reflux methods (B and C) are more economical in the use of metallic salt reagents, but require homogenization of samples containing suspended solids to obtain reproducible results. Ampules and culture tubes with premeasured reagents are available commercially. follow instructions furnished by the manufacturer.

Determine COD values of > 50 mg O_2/L by using procedures 4.1 (4a,) 4.2 (4,) or 4.3. Use procedure 4.4 to determine, with lesser accuracy, COD values from 5 to 50 mg O_2/L.]*

[ ]* = not relevant to minimum requirements of Thai tapioca starch effluent.

2. Interferences and Limitations

Volatile straight-chain aliphatic compounds are not oxidized to any appreciable extent. this failure occurs partly because volatile organics are present in the vapor space and do not come in contact with the oxidizing liquid. Straight-chain aliphatic compounds are oxidized more effectively when silver sulfate (Ag_2SO_4) is added as a catalyst. However, Ag_2SO_4 reacts with chloride, bromide and iodide to produce precipitates that are oxidized only partially. The difficulties caused by the presence of the halides can be overcome largely, though not completely, by complexing with mercuric sulfate ($HgSO_4$) before the refluxing procedure. Although 1 g $HgSO_4$ is specified for 50 mL sample, a lesser amount

may be used where sample chloride concentration is known to be less than 2000 mg/L, as long as a 10 : 1 ratio of $HgSO_4$: Cl^- is maintained. Do not use the test for samples containing more than 2000 mg Cl/L. Techniques designed to measure COD insaline waters are available.

Nitrite (NO_2^-) exerts a COD of 1.1 mg O_2/mg NO_2^--N. Because concentrations of NO_2^- in waters rarely exceed 1 or 2 mg NO_2-N/L, the interference is considered insignificant and usually is ignored. to eliinate a significant interference due to NO_2^-, add 10 mg sulfamic acid for each mg NO_2^--N present in the sample volume used ; add the same amount of sulfamic acid to the reflux vessel containing the distilled water blank.

Reduced inorganic species such as ferrous iron, sulfide, manganous manganese, etc., are oxidized quantitatively under the test conditions. For samples containing significant levels of these species, stoichiometric oxidation can be assumed from known initial concentration of the inter fering species and corrections can be made to the COD value obtained.

3. Sampling and Storage

Preferably collect samples in glass bottles. Test unstable samples without delay. If delay before analysis is unavoidable, preserve sample by acidification to pH < 2 using conc H_2SO_4. Blend samples containing settleable solids with a homogenizer to permit representative sampling. Make preliminary dilutions for wastes containing a high COD to reduce the error inherent in measuring small sample volumes.

4.1 Open Reflux Method

4.1.1 General Discussion

a. Principle : Most types of organic mater are oxidized by a boiling mixture of chromic and sulfuric acids. A sample is refluxed in strongly acid solution with a known excess of potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$). After digestion,

the remaining unreduced $K_2Cr_2O_7$ is titrated with ferrous ammonium sulfate to determine the amount of $K_2Cr_2O_7$ consumed and the oxidizable organic matter is calculated in terms of oxygen equivalent. Keep ratios of reagent weights, volumes, and strengths constant when sample volumes other than 50 mL are used. the standard 2-h relflux time may be reduced if it has been shown that a shorter period yields the same results.

4.1.2 Apparatus

Reflux apparatus, consisting of 500- or 250-mL erlenmeyer flasks with ground-glass 24/40 neck and 300-mm jacket Liebig, West, or equivalent condenser with 24/40 ground-glass joint and a hot plate having sufficient power to produce at least 1.4 W/cm^2 of heating surface, or equivalent.

4.1.3 Reagents

a. Standard potassium dichromate solution, 0.0417 M : Dissolve 12.259 g $K_2Cr_2O_7$, primary standard grade, previously dried at 103°C for 2 h, in distilled water and dilute to 1000 mL.

b. Sulfuric acid reagent : Add Ag_2SO_4, reagent or technical grade, crystals or powder, to conc H_2SO_4 at the rate of 5.5 g Ag_2SO_4/kg H_2SO_4. Let stand 1 to 2 d to dissolve Ag_2SO_4.

c. Ferroin indicator solution : Dissolve 1.485 g 1,10-phenanthroline monohydrate and 695 mg $FeSO_4 7H_2O$ in distilled water and dilute to 100 mL. This indicator solution may be purchased already prepared.

d. Standard ferrous ammonium sulfate (FAS) titrant, approximately 0.25M : Dissolve 98 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 6H_2O$ in distilled water. Add 20 mL conc H_2SO_4, cool and dilute to 1000 mL. Standardize this solution daily against standard $K_2Cr_2O_7$ solution as follows :

Dilute 10.0 mL standard $K_2Cr_2O_7$ to about 100 mL. Add 30 mL conc H_2SO_4 and cool. Titrate with FAS titrant using 0.10 to 0.15 mL (2 to 3 drops) ferroin indicator.

Molarity of FAS solution

$$= \frac{\text{Volume 0.0417M } K_2Cr_2O_7 \text{ solution titrated, mL}}{\text{Volume FAS used in titration, mL}} \times 0.25$$

e. Mercuric sulfate, $HgSO_4$, crystals or powder.

f. Sulfamic acid : Required only if the interference of nitrites is to be eliminated.

g. Potassium hydrogen phthalate (KHP) standard : Lightly crush and then dry potassium hydrogen phthalate ($HOOCC_6H_4COOK$) to constant weight at 120°C. Dissolve 425 mg in distilled water and dilute to 1000 mL. KHP has a theoretical COD of 1.176 mg O_2/mg and this solution has a theoretical COD of 500 μg O_2/mL. This solution is stable when refrigerated for up to 3 months in the absence of visible biological growth.

4.1.4 Procedure

a. Treatment of samples with COD of > 50 mg O_2/L : Place 50.0 mL sample (for samples with COD of > 900 mg O_2/L, use smaller sample portion diluted to 50.0 mL) in a 500-mL refluxing flask. Add 1 g $HgSO_4$, several glass beads and very slowly add 5.0 mL sulfuric acid reagent, with mixing to dissolve $HgSO_4$. Cool while mixing to avoid possible loss of volatile materials. Add 25.0 mL 0.0417 M $K_2Cr_2O_7$ solution and mix. Attach flask to condenser and turn on cooling water. Add remaining sulfuric acid reagent (70 mL) through open end of condenser. Continue swirling and mixing while adding the sulfuric acid reagent. CAUTION : Mix reflux mixture thoroughly before applying heat to prevent local heating of flask bottom and a possible blowout of flask contents.

Cover open end of condenser with a small beaker to prevent foreign material from entering refluxing mixture and reflux for 2 h. Cool and wash down condenser with distilled water. Disconnect reflux condenser and dilute mixture to about twice its volume with distilled water. Cool to room temperature

and titrate excess $K_2Cr_2O_7$ with FAS, using 0.10 to 0.15 mL (2 to 3 drops) ferroin indicator. Although the quantity of ferroin indicator is not critical, use the same volume for all titrations. Take as the end point of the titration the first sharp color change from blue-green to reddish grown. The blue-green may reappear. In the same manner, reflux and titrate a blank containing the reagents and a volume of distilled water equal to that of sample.

b. Alternate procedure for low-COD asamples : Follow procedure of ± 4.1.4a, with two exceptions : (I) use standard 0.00417M $K_2Cr_2O_7$ and (II) titrate with 0.025M FAS. Exercise extreme care with this procedure because even a trace of organic matter on the glassware or from the atmosphere may cause gross errors. If a further increase in sensitivity is required, concentrate a larger volume of sample before digesting under reflux as follows : Add all reagents to a sample larger than 50 mL and reduce total volume to 150 mL by boiling in the refluxing flask open to the atmosphere without the condenser attached. Compute amount of $HgSO_4$ to be added (before concentration) on the basis of a weight ratio of 10 : 1, $HgSO_4$: Cl^-, using the amount of Cl^- present in the original volume of sample. Carry a blank reagent through the same procedure. This technique has the advantage of concentrating the sample without significant losses of easily digested volatile materials. hard-to-digest volatile materials such as volatile acids are lost, but an improvement is gained over ordinary evaporative concentration methods.

c. Determination of standard solution : Evaluate the technique and quality of reagents by conducting the test on a standard potassium hydrogen phthalate solution.

4.1.5 Calculation

$$\text{COD as mg } O_2/L = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{mL sample}}$$

where :

A = mL FAS used for blan,

B = mL FAS used for sample, and

M = molarity of FAS.

4.1.6 Precision and Accuracy

A set of synthetic samples containing potassium hydrogen phthalate and NaCl was tested by 74 laboratories. At a COD of 200 mg O_2/L in the absence of chloride, the standard deviation was ± 13 mg/L (coefficient of variation, 6.5%). At COD of 160 mg O_2/L and 100 mg Cl^-/L, the standard deviation was ± 14 mg/L (coefficient of variation, 10.8%).

4.2 Closed Reflux, Titrimetric Method

(not relevant to minimum requirement of Thai tapioca starch effluent)

4.2.1 General Discussion

a. Principle : See 4.1.1a.

b. Interferences and limitations : Volatile organic compounds are more completely oxidized in the closed system because of longer contact with the oxidant. Before each use inspect culture-tube caps for breaks in the TFE liner. Select culture-tube size for the degree of sensitivity desired. Use the 25- × 150-mm tube for samples with low COD content because a larger volume sample can be treated.

4.2.2 Apparatus

a. Digestion vessels : Preferably use borosilicate culture tubes, 16- × 100-mm, 20- × 150-mm, or 25- × 150-mm, with TFE-lined screw caps. Alternatively, use borosilicate ampules, 10-mL capacity, 19- to 20-mm diam.

b. Heating block, cast aluminum, 45 to 50 mm deep, with holes sized for close fit of culture tubes or ampules.

c. Block heater or oven, to operate at 150 ± 2°C. NOTE : Severe damage of most culture tube closures from oven digestion introduces a potential source of contamination and increases the probability of leakage. Use an oven for culture-tube digestion only when it has been determined that 2 h exposure at 150°C will not damage the caps.

d. Ampule sealer : Use only a mechanical sealer to insure strong, consistent seak.

4.2.3 Reagents

a. Standard potassium dichromate digestion solution, 0.0167M : Add to about 500 mL distilled water 4.913 g $K_2Cr_2O_7$ primary standard grade, previously dried at 103°C for 2 h, 167 mL conc H_2SO_4 and 33.3 g $HgSO_4$. Dissolve, cool to room temperature and dilute to 1000 mL.

b. Sulfuric acid reagent : See Section 4.1.3b.

c. Ferroin indicator solution : See Section 4.1.3c.

d. Standard ferrous ammonium sulfate titrant (FAS), approximately 0.10M : Dissolve 39.2 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2{\cdot}6H_2O$ in distilled water. Add 20 mL conc H_2SO_4, cool, and dilute to 1000 mL. Standardize solution daily against standard $K_2Cr_2O_7$ digestion solution as follows :

Add reagents according to Table III to a culture tube containing the correct volume of distilled water substituted for sample. Cool tube to room temperature and add 0.05 to 0.10 mL (1 to 2 drops) ferroin indicator and titrate with FAS titrant.

Molarity of FAS solution

$$= \frac{\text{Volume 0.0167M } K_2Cr_2O_7 \text{ solution titrated, mL}}{\text{Volume FAS used in titration, mL}} \times 0.10$$

e. Sulfamic acid : See Section 4.1.3f.

f. Potassium hydrogen phthalate standard : See Section 4.1.3g

4.2.4 Procedure

Wash culture tubes and caps with 20% H_2SO_4 before first use to prevent contamination. Refer to Table III for proper sample and reagent volumes. Place sample in culture tube or ampule and add digestion solution. Carefully run sulfuric acid reagent down inside of vessel so an acid layer is formed under the sample-digestion solution layer. Tightly cap tubes or seal ampules and invert each several times to mix completely. CAUTION : Wear face shield and protect hands from heat produced when contents of vessels are mixed. Mix thoroughly before applying heat to prevent local heating of vessel bottom and possible explosive reaction.

Place tubes or ampules in block digester or oven preheated to 150°C and reflux for 2 h. Cool to room temperature and place vessels in test tube rack. Remove culture tube caps and add small TFE-covered magnetic stirring bar. If ampules are used, transfer contents to a larger container for titrating. Add 0.05 to 0.10 mL (1 to 2 drops) ferroin indicator and stir rapidly on magnetic stirrer while titrating with 0.10M FAS. The end point is a sharp color change fro blue-green may reappear within minutes. In the same manner reflux and titrate a blank containing the reagents and a volume of distilled water equal to that of the sample.

Table III. Sample and Reagent Quantities for Various Digestion Vessels

Digestion Vessel	Sample mL	Digestion Solution mL	Sulfuric Acid Reagent mL	Total Final Volume mL
Culture tubes :				
16 × 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150 mm	10.0	6.0	14.0	30.0
Standard 10-mL ampules	2.5	1.5	3.5	7.5

4.2.5 Calculation

$$\text{COD as mg } O_2/L = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{mL sample}}$$

Where :

A = mL FAS used for blank,

B = mL FAS used for sample, and

M = molarity of FAS.

4.2.6 Precision and Accuracy

Sixty synthetic samples containing potassium hydrogen phthalate and NaCl were tested by six laboratories. At an average COD of 195 mg O_2/L in the absence of chloride, the standard deviation was ± 11 mg O_2/L (coefficient of variation, 5.6%). At an average COD of 208 mg O_2/L and 100 mg Cl/L, the standard deviation was ± 10 mg O_2/L (coefficient of variation, 4.8%).

4.3 Closed Reflux, Colorimetric Method

(not relevant to minimum requirement of Thai tapioca starch effluent)

4.3.1 Apparatus

a. See Section 4.2.

b. Spectrophotometer, for use at 600 nm with access opening adapter for ampule or 16-, 20-, or 25-mm tubes.

4.3.2 Reagents

a. Digestion solution : Add to about 500 mL distilled water 10.216 g $K_2Cr_2O_7$, primary standard grade, previously dried at 103°C for 2 h, 167 mL conc H_2SO_4 and 33.3 g $HgSO_4$. Dissolve, cool to room temperature and dilute to 1000 mL.

b. Sulfuric acid reagent : See 4.1.3b.

c. Sulfamic acid : See Section 4.1.3f.

d. Potassium hydrogen phthalate standard : See Section 4.1.

4.3.3 Procedure

a. Treatment of samples : Measure suitable volume of sample and reagents into tube or ampule as indicated in Table III. Prepare, digest and cool samples, blank and one or more standards as directed in Section 4.2.

b. Measurement of dichromate reduction : Invert cooled samples, blank and standards several times and allow solids to settle before measuring absorbance. Dislodge solids that adhere to container wall by gentle tapping and settling. Insert unopened tube or ampule through access door into light path of spectrophotometer set at 600 nm. Read absorbance and compare to calibration curve. Use optically matched culture tubes or ampules for greater sensitivity ; discard scratched or blemished glassware.

c. Preparation of calibration curve : Prepare at least five standards from potassium hydrogen phthalate solution with COD equivalents from 20 to 900 μg O_2/L. Make up to volume with distilled water ; use same reagent volumes, tube, or ampule size and digestion procedure as for samples. Prepare calibration curve for each new lot of tubes or ampules or when standards prepared in ¤ 4.3.3a differ by ≥ 5% from calibration curve.

4.3.4 Calculation

$$\text{COD as mg } O_2\text{/L} = \frac{\text{mg } O_2 \text{ in final volume} \times 1000}{\text{mL sample}}$$

4.3.5 Precision and Accuracy

Forty-eight synthetic samples containing potassium hydrogen phthalate and NaCl were tested by five laboratories. At an average COD of 193 mg O_2/L in the absence of chloride, the standard deviation was ± 17 mg O_2/L (coefficient of variation 8.7%). At an average COD of 212 mg O_2/L and 100 mg Cl/L, the standard deviation was ± 20 mg O_2/L (coefficient of variation, 9.6%).

5. DISSOLVED OXYGEN

Use method no. 5.4, method 5.1, 5.2 and 5.3 are not used in this case.

5.1 Azide Modification

5.1.1 General Discussion

Use the azide modification for most sewage, effluent and stream samples, especially if samples contain more than 50 μg NO_2^--N/L and not more than 1 mg ferrous iron/L. Other reducing or oxidizing materials should be absent. If 1 mL KF solution is added before the sample is acidified and there is no delay in titration, the method is applicable in the presence of 100 to 200 mg ferric iron/L.

5.1.2 Reagents

a. Manganous sulfate solution : Dissolve 480 g $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 400 g $MnSO_4 \cdot 2H_2O$, or 364 g $MnSO_4 \cdot H_2O$ in distilled water, filter and dilute to 1 L. The $MnSO_4$ solution should not give a color with starch when added to an acidified potassium iodide (KI) solution.

b. Alkali-iodide-azide reagent :

1) For saturated or less-than-saturated samples-Dissolved 500 g NaOH (or 700 g KOH) and 135 g NaI (or 150 g KI) in distilled water and dilute to 1 L. Add 10 g NaN_3 dissolved in 40 mL distilled water. Potassium and sodium sals may be used interchangeably. This reagent should not give a color with starch solution when diluted and acidified.

2) For supersaturated samples-Dissolve 10 g NaN_3 in 500 mL distilled water. Add 480 g sodium hydroxide (NaOH) and 750 g sodium iodide (NaI) and stir until dissolved. There will be a white turbidity due to sodium carbonate (Na_2CO_3), but this will do no harm. CAUTION-Do not acidify this solution because toxic hydrazoic acid fumes may be produced.

c. Sulfuric acid, H_2SO_4, conc : One milliliter is equivalent to about 3 mL alkali-iodide-azide reagent.

d. Starch : Use either an aqueous solution or soluble starch powder mixtures.

To prepare an aqueous solution, dissolve 2 g laboratory-grade soluble starch and 0.2 g salicylic acid, as a preservative, in 100 mL hot distilled water.

e. Standard sodium thiosulfate titrant : Dissolve 6.205 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ in distilled water. Add 1.5 mL 6N NaOH or 0.4 g solid NaOH and dilute to 1000 mL. Standardize with bi-iodate solution.

f. Standard potassium bi-iodate solution, 0.0021M : Dissolve 812.4 mg $KH(IO_3)_2$ in distilled water and dilute to w000 mL.

Standardization-Dissolve approximately 2 g KI, free from iodate, in an erlenmeyer flask with 100 to 150 mL distilled water. Add 1 mL 6N H_2SO_4 or a few drops of conc H_2SO_4 and 20.00 mL standard bi-iodate solution. Dilute to 200 mL and titrate liberated iodine with thiosulfate titrant, adding starch toward end of titration, when a pale straw color is reached. When the solutions are of equal strength, 20.00 mL 0.0021M $Na_2S_2O_3$ should be required. If not, adjust the $Na_2S_2O_3$ solution to 0.0021M.

g. Potassium fluoride solution : Dissolve 40 g $KF \cdot 2H_2O$ in distilled water and dilute to 100 mL.

5.1.3 Procedure

a. To the sample collected in a 250- to 300-mL bottle, add 1 mL $MnSO_4$ solution, followed by 1 mL alkali-iodide-azide reagent. If pipets are dipped into sample, rinse them before returning them to reagent bottles. Alternatively, hold pipet tips just above liquid surface when adding reagents. Stopper carefully

and alkali-iodide-azide reagents in a 300-mL bottle, titrate 200 × 300/(300-2) = 201 mL.

b. Titrate with 0.0021M $Na_2S_2O_3$ solution to a pale straw color. Add a few drops of starch solution and continue titration to first disappearance of blue color. If end point is overrun, back-titrate with 0.0021M bi-iodate solution added dropwise, or by adding a measured volume of trated sample. Correct for amount of bi-iodate solution or sample. Disregard subsequent recolorations due to the catalytic effect of nitrite or to traces of ferric salts that have not been complexed with fluoride.

5.1.4 Calculation

a. For titration of 200 mL sample, 1 mL 0.0021M $Na_2S_2O_3$ = 1 mg DO/L.

b. To express results as percent saturation at 101.3 kPa, use the solubility data in Table IV. Equations for correcting solubilities to barometric pressure other than mean sea level and for various chlorinities are given below the table.

5.1.5 Precision and Accuracy

DO can be determined with a precision expressed as a standard deviation, of about 20 µg/L in distilled water and about 60 µg/L in wastewater and secondary effluents. In the presence of appreciable interference, even with proper modifications the standard deviation may be as high as 100 µg/L. Still greater errors may occur in testing waters having organic suspended solids or heavy pollution. Avoid errors due to carelessness in collecting samples, prolonging the completion of test, or selecting an unsuitable modification.

5.2 Alum Flocculation Modification

5.2.1 General Discussion

Samples high in suspended solids may consume appreciable quantities of iodine in acid solution. The interference due to solids may be removed by alum flocculation.

5.2.2 Reagents

All the reagents required for the azide modification (Section 5.1.2) and in addition :

a. Alum solution : Dissolve 10 g aluminum potassium sulfate, AlK(SO4)2·12H2O, in distilled water and dilute to 100 mL.

b. Ammonium hydroxide, NH4OH, conc.

5.2.3 Procedure

Collect sample in a glass-stoppered bottle of 500 to 1000 mL capacity, using the sam precautions as for regular DO samples. Add 10 mL alum solution and 1 to 2 mL conc NH_4OH. Stopper and invert gently for about 1 min. Let sample settle for about 10 min and siphon clear supernate into a 250- to 300-mL DO bottle until it overflows. Avoid sample aeration and keep siphon submerged at all times. Continue sample treatment as in Section 5.1.3 or an appropriate modification.

5.3 Copper Sulfate-Sulfamic Acid Flocculation Modification

5.3.1 General Discussion

This modification is used for biological flocs such as activated sludge mixtures, which have high oxygen utilization rates.

5.3.2 Reagents

All the reagents required for the azide modification (Section 5.1.2) and, in addition :

Copper sulfate-sulfamic acid inhibitor solution : Dissolve 32 g technical-grade NH_2SO_3OH without heat in 475 mL distilled water. Dissolve 50 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ in 500 mL distilled water. Mix the two solutions and add 25 mL conc acetic acid.

5.3.3 Procedure

Add 10 mL $CuSO_4$-NH_2SO_3OH inhibitor to a 1-L glass-stoppered bottle. Insert bottle in a special sampler designed so that bottle fills from a tube near bottom and overflows only 25 to 50% of bottle capacity. Collect sample, stopper, and mix by inverting. Let suspended solids settle and siphon relatively clear supernatant liquor into a 250- to 300-mL DO bottle. Continue sample treatment as rapidly as possible by the azide (Section 5.1.3) or other appropriate modification.

5.4 Membrane Electrode Method

5.4.1 General Discussion

Various modifications of the iodometric method have been developed to eliminate or minimize effects of interferences ; nevertheless, the method still is inapplicable to avariety of industrial and domestic wastewaters. Moreover, the iodometric method is not suited for field testing and cannot be adapted easily for continuous monitoring or for DO determinations in situ.

Polarographic methods using the dropping mercury electrode or the rotating platinum electrode have not been reliable always for the DO analysis in domestic and industrial wastewaters because impurities in the test solution can cause electrode poisoning or other interferences. With membrane-covered electrode systems these problems are minimized, because the sensing element is protected by an oxygen permeable plastic membrane that serves as a diffusion barrier against impurities. Under steady-state conditions the current is directly proportional to the DO concentration.

Membrane electrodes of the polarographic as well as the galvanic type have been used for DO measurements in lakes and reservoirs, for stream survey and control of industrial effluents, for continuous monitoring of DO in activated sludge units and for estuarine and oceanographic studies. Being completely submersible, membrane electrodes are suited for anylysis situ. Their portability and ease of operation and maintenance make them particularly convenient for field applications. In laboratory and maintenance make them particularly convenient for field applications. In laboratory investigations, membrane electrodes have been used for continuous DO analysis in bacterial cultures, including the BOD test.

Membrane electrodes provide an excellent method for DO analysis in polluted waters, highly colored waters and strong waste effluents. They are recommended for use especially under conditions that are unfavorable for use of the iodometric method, or when that test and its modifications are subject to serious errors caused by interferences.

a. Principle : Oxygen-sensitive membrane electrodes of the polarographic or galvanic type are composed of two solid metal electrodes in contact with supporting electrolyte separated from the test solution by a selective membrane. The basic difference between the galvanic and the polarograpic systems is that in the former the electrode reaction is spontaneous (similar to that in a fuel cell), while in the latter an external source of applied voltage is needed to polarize the indicator electrode. Polyethylene and fluorocarbon membranes are used commonly because they are permeable to molecular oxygen and are relatively rugged.

Membrane electrode are commercially available in some variety. In all these instruments the "diffusion current" is linearly proportional to the concentration of molecular oxygen. The current can be converted easily to concentration units (e.g., milligrams per liter) by a number of calibration procedures.

Membrane electrodes exhibit a relatively high temperature coefficient largel due to changes in the membrane permeability. The effect of temperature on the electrode sensitivity, ϕ (microamperes per milligram per liter), can be expressed by the following simplified relationship,

$$\log \phi = 0.43\, mt + b$$

m = constant that depends on the membrane material, and

b = constant that largely depends on membrane thickness.

If values of ϕ and m are determined for one temperature (ϕ_0 and t_0), it is posible to calculate the sensitivity at any desired temperature (ϕ and t) as follows :

$$\log \phi = \log \phi_0 + 0.43\, m\, (t - t_0)$$

Nomographic charts for temperature correction can be constructed easily and are available from some manufacturers. Check one or two points frequently to confirm original calibration. If calibration changes, the new calibration should be parallel to the original, provided that the same membrane material is used.

Temperature compensation also can be made automatically by using thermistors in the electrode circuit. However, thermistors amy not compensate fully over a wide temperature rang. For certain applications where high accuracy is required, use calibrated nomographic charts to correct for temperature effect.

To use the DO membrane electrode in estuarine waters or in wastewaters with varying ionic strength, correct for effect of salting-out on electrode sensitivity. This effect is particularly significant for large changes in salt content. Electrode sensitivity avries with sal concentration according to the following relationship :

$$\log \phi_s = 0.43\, m_s C_s + \log \phi_0$$

where :

ϕ_s, ϕ_0 = sensitivities in salt solution and distilled water, respectively,

C_s = salt concentration (preferably ionic stregth), and

m_s = constant (salting-out coefficient).

If ϕ_0 and ms are determined, it is possible to calculate sensitivity for any value of C_s. Conductivity measurements can be used to approximate salt concentration (C_s). This is particularly applicable to estuarine waters.

b. Interference : Plastic films used with membrane electrode systems are permeable to a variety of gases besides oxygen, although none is depolarized easily at the indicator electrode. Prolonged use of membrane electrodes in waters containing such gases as hydrogen sulfide (H_2S) tends to lower cell sensitivity. Eliminate this interference by frequently changing and calibrating the membrane electrode.

c. Sampling : Because membrane electrodes offer the advantage of analysis in situ they eliminate errors caused by sample handling and storage. If sampling is required, use the same precautions suggested for the iodometric method.

5.4.2 Apparatus

Oxygen-sensitive membrane electrode, polarographic or galvanic, with appropriate meter.

5.4.3 Procedure

a. Calibration : Follow manufacturer's calibration procedure exactly to obtain guaranteed precision and accuracy. Generally, calibrate membrane electrode by reading against air or a sample of known DO concentration (determined by iodometric method) as well as in a sample with zero DO. (Add excess sodium sulfite, Na_2SO_3, and a trace of cobalt chloride, $CoCl_2$, to bring DO to zero.) Preferably calibrate with samples of water under test. Avoid

an iodometric calibration where interfering substances are suspected. The following illustrate the recommended procedures :

1) Fresh water - For unpolluted samples where interfering substances are absent, calibrate in the test solution or distilled water, whichever is more convenient.

2) Salt water - Calibrate directly with samples of seawater or wates having a constant salt concentration in excess of 1000 mg/L.

3) Fresh water containing pollutants or interfering substances - Calibrate with distilled water because erroneous results occur with the sample.

4) Salt water containing pollutants or interfering substances - Calibrate with a sample of clean water containing the same salt content as the sample. Add a concentrated potassium chloride (Kcl) solution to distilled water to produce the same specific conductance as that in the sample. For pollutied ocean wates, calibrate with a sample of unpolluted seawater.

5) Estuary water containing varying quantities of salt - Calibrate with a sample of uncontaminated seawater or distilled or tap water. Determine sample chloride or salt concentration and revise calibration to account for change of oxygen solubility in the estuary water.

b. Sample measurement : Follow all precautions recommended by manufacturer to insure acceptable results. Take care in changing membrane to avoid contamination of sensing element and aoso trapping of minute air bubbles under the membrane, which can lead to lowered response and high residual current. Provide sufficient sample flow across membrane surface to overcome erratic response

c. Validation of temperature effect : Check frequently one or two points to verify temperature correction data.

5.4.4 Precision and Accuracy

With most commercially available membrane electrode systems an accuracy of ± 0.1 mg DO/L and a procision of ± 0.05 mg DO/L can be obtained.

ภาคผนวก ช.

ตัวอย่างการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ ในการลดการสูญเสียแป้งในหน่วยอบแป้ง โดยการใช้ Venturi Scrubber

การสูญเสียแป้งในหน่วยอบแห้ง ได้แก่ ไซโคลนลมร้อนและลมเย็น ประมาณว่ามีปริมาณ 0.003 ตัน/ตันรากมันสด โดยเกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาคแป้งที่มีขนาดเล็กมากคือประมาณ 7-8 ไมโครเมตร และการติดตั้งเครื่องมือดักอนุภาคชนิด Venturi scrubber จะสามารถลดการสูญเสียแป้งในส่วนนี้ได้ประมาณ 90% ซึ่งจะนำแป้งเหล่านี้กลับเข้าสู่ขั้นตอนของการเพิ่มความข้นข้นของน้ำแป้งต่อไป (ภาวดี, 2538)

ตัวอย่างการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้ง venturi scrubber เพิ่มเติมในหน่วยไซโคลน สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 200 ตันแป้ง/วัน หรือมีการใช้รากมันสำปะหลังสดประมาณ 1,000 ตัน/วัน มีดังนี้

ปริมาณแป้งที่สูญเสียไป = 0.003 ตัน/ตันรากมันสด x 1,000 ตันรากมันสด/วัน

= 3 ตัน/วัน

โรงงานผลิต 8 เดือน/ปี วันละ 24 ชั่วโมง ทุกวัน

จะมีการสูญเสียแป้งในหน่วยไซโคลน = 3 ตัน/วัน x 240 วัน

= 720 ตัน/ปี

มูลค่าแป้งที่สูญหายไปในไซโคลน = 720 ตัน/ปี x 1,500 บาท/ตัน

= 1.08 ล้านบาท/ปี

(เมื่อ ราคาขายแป้งมัน/ตัน - ต้นทุนการผลิตแป้งมัน/ตัน = 1,500 บาท)

มูลค่าแป้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ = 1.08 ล้านบาท/ปี x 0.90

= 0.97 ล้านบาท/ปี

(เมื่อประสิทธิภาพของ Venturi scrubber = 90%)

มูลค่าของน้ำใช้ใน venturi scrubber = 1.70 บาท/ลบ.ม. x 0.1 ลบ.ม./ตันแป้ง x 48,000 ตันแป้ง/ปี

= 0.008 ล้านบาท/ปี

ราคาของ venturi scrubber รวมค่าติดตั้ง

= 1.2 ล้านบาท

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้ง venturi scrubber ในหน่วยไซโคลนเพื่อลดการสูญเสียแป้ง

= 1.2 ล้านบาท
(0.97 - 0.008) ล้านบาท/ปี

= 1.25 ปี

ที่มา : ภาวดี มีสรรพวงศ์, 2539

ความหมายของศัพท์บางคำในคู่มือเล่มนี้

กำจัด	–	การนำไปทิ้งหรือทำให้พ้นไป
กากของเสีย	–	ของเสียที่อยู่ในรูปของแข็งทุกชนิด เช่น ดินทราย เปลือกรากมัน และกากมัน
ก๊าซไข่เน่า	–	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เหม็นเหมือนไข่เน่า เกิดจากการย่อยสลายของซัลเฟต มักจะเกิดขึ้นมากในระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นบ่อหมักของโรงงานผลิตแป้งมัน สำปะหลังที่การจัดการไม่ดี
ของแข็ง	–	ของที่ไม่ใช่ของเหลว (ปกติคือน้ำ) หรือก๊าซ (ปกติคืออากาศ)
ของเสีย	–	ของที่ไม่ใช้แล้วหรือชำรุดแล้ว และทิ้งออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก
ซัลเฟต	–	สารประกอบอย่างหนึ่งของกำมะถัน (ซัลเฟอร์) อาจเปลี่ยนรูปเป็นซัลไฟด์ได้, ดู “ซัลไฟด์” และ “ก๊าซไข่เน่า”
ซัลไฟด์	–	เป็นสารประกอบอย่างหนึ่งของกำมะถัน อาจเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟต หรือเป็นไฮไดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า) มีกลิ่นเหม็นได้, ดู “ซัลเฟต”
ซีโอดี	–	หน่วยวัดความสกปรกของน้ำเสีย ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์บางประเภท ค่านี้มีความสัมพันธ์กับบีโอดีปกติมีค่ามากกว่าบีโอดีหลายเท่าถ้ามีมากน้ำจะเน่า
ทีดีเอส	–	หรือ TDS ย่อมาจาก Total Dissolved Solids หมายถึง สารหรือเกลือแร่หรือแร่ธาตุที่ละลายน้ำอยู่ และกรองไม่ออกด้วยวิธีการกรองธรรมดา
บำบัด	–	ทำให้ดีขึ้น
บีโอดี	–	หน่วยวัดความสกปรกของน้ำเสียในรูปของสารอินทรีย์ ถ้ามีมากน้ำจะเน่าได้, ดู “ซีโอดี”
มลพิษ	–	มีการปนเปื้อนด้วยของเสีย (อาจเป็นของแข็ง, ของเหลว หรือก๊าซ) เช่น เศษเปลือกของรากมัน, กากมัน, น้ำเสีย, ก๊าซไข่เน่า, ก๊าซแอมโมเนีย ฯลฯ ในระดับที่มากพอจนเกิดเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
รีดน้ำ	–	การทำให้ปริมาณน้ำในสิ่งหนึ่ง ๆลดลงอาจจะโดยการบีบ,อัด,รีดหรือ เหวี่ยง
สลัดจ์	–	ขี้เลนของตะกอนที่จมลงสู่เบื้องล่าง
สารแขวนลอยไ	–	สารใด ๆ (ที่เน่าก็ได้ไม่เน่าก็ได้) ซึ่งลอยอยู่ในน้ำ ถ้าทิ้งไว้นานพอก็จะจมตัวด
สารมลพิษ	–	สารที่เป็นมลพิษ หรือสารที่มีของปนเปื้อนมากจนเกิดเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
แอมโมเนีย	–	ก๊าซชนิดหนึ่ง ระคายจมูก ถ้ามีมากทำให้ทางเดินหายใจอักเสบได้

สารอินทรีย์ระเหยง่าย – VOC (Volatile organic compound) ส่วนใหญ่เป็นสารทำละลาย เช่น น้ำยาขัดเบาะ น้ำยาล้างเครื่องยนต์ สารพวกนี้ระเหยง่ายจึงเข้าสู่ปอดได้ง่ายทำให้เป็นมะเร็งได้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมการเกษตร, 2538. เอกสารเผยแพร่เรื่อง "พันธุ์มันสำปะหลังและลักษณะประจำพันธุ์

2. จารุรัตน์ วรนิสรากุล และ พิศมัย เอี่ยมสกุลรัตน์, 2529. คุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

3. ชูรีรัตน์ พุดคาลเล็ก, 2529. การศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมาทำให้เข้มข้นโดยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ เพื่อใช้เป็นอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

4. นพดล เจียมสวัสดิ์, 2529. คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

5. นฤมล ศุภจรรยา, บุษยา บุนนาค และพิศมัย ภูมิสินสิทธิ์, 2529. การผลิตสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

6. บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียร์ริ่ง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด, 2538. การศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลพิษสูงเพื่อลดมลพิษ 3 ประเภท : โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม

7. ภาวดี มีสรรพวงศ์, 2539. การประยุกต์ใช้แผนภาพต้นทุนในการปรับปรุงโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

8. มรกต ตันติเจริญ, ศักรินทร์ ภูมิรัตน, สุกาญี เอิศไตรรักษ์, ละเอียด เพ็งไสกา, วีระ โลหะ, นพพร เจตนชัย, เบญจมาศ ทิพย์มณเฑียร และ มารศรี เรืองจิตชัชวาลย์, 2533. การบำบัดและผลิตพลังงานจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังในถังปฏิกรณ์แบบครึ่งชอล. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

9. ศักรินทร์ ภูมิวัฒน, พิศมัย ภูวิสิทธิศักดิ์ นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์, สุวพล สายพานิช, ชยร เจริญศิริ และไชยยุทธ กลั่นสุคนธ์, 2538 สถานภาพการบำบัดและใช้ประโยชน์น้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย, ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

10. ศูนย์ตัดต้นทุนการผลิตมันสำปะหลัง มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2537, เอกสารสนเทศเรื่อง "ข้อแนะนำวิธีการปลูกมันสำปะหลังที่เหมาะสม"

11. สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2537, "อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย" เอกสารครบรอบ 18 ปีสมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

12. สุณี ชวเลข และ อัคคี ไสยเกิดดี, 2529, การวิเคราะห์ความเหมาะสมระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง, ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

13. อรพัช ชวาลกานุพงศ์ และวงศ์พันธ์ อินทสนีย์, 2538, การศึกษาและสำรวจข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตกลูโคส เดกซโตรส ซอร์บิตอล, สำนักงานพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม

14. อรพัช ชวาลกานุพงศ์ และวงศ์พันธ์ อินทสนีย์, 2538, การศึกษาและสำรวจข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตแป้งดัดแปร, สำนักงานพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม

15. A.Carama, Amsterdam, 1980, Simplified Economical Cassava StarchProcess, Starch/Stake 32