



รัตนา รักษ์ตระกูล  
กลุ่มบริหารความปลอดภัย

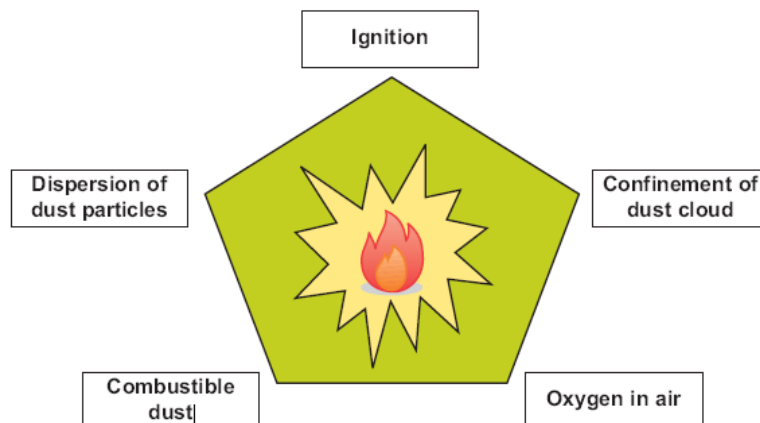
## การจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้

จากการศึกษาการรายงานการสอบสวนของ CSB (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board) เกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่น ในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๒๓ - พ.ศ. ๒๕๔๘ พบว่า มีการเกิดเหตุทั้งหมด ๒๘๑ ครั้ง เสียชีวิต ๑๑๙ ศพ บาดเจ็บ ๗๑๘ คน และทรัพย์สินเสียหายจำนวนมาก ส่วนใหญ่เกิดจากฝุ่นอาหาร ฝุ่นพลาสติก ฝุ่นไม้ ฝุ่นถ่านหิน ฝุ่นโลหะ ฝุ่นผ้า ฝุ่นสี และฝุ่นสารเคมี เป็นต้น และจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุในประเทศไทยที่รวบรวมไว้ จากสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๔๕ - พ.ศ. ๒๕๕๒ พบว่าการเกิดอุบัติเหตุฝุ่นระเบิด จำนวน ๕ ครั้ง เกิดจากฝุ่นแป้งมัน ฝุ่นไม้ ฝุ่นครีมเทียม ฝุ่นข้าวโพด อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากผู้ประกอบการโรงงานยังไม่ทราบเลยว่าฝุ่นก็สามารถเกิดระเบิดได้ เกิดขึ้นได้อย่างไร มาตรการในการป้องกันอันตรายจะเป็นเช่นไร สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ตระหนักถึงอันตรายในเรื่องดังกล่าว จึงได้ดำเนินการมาตรการในเชิงรุก โดยได้ศึกษาหาแนวทางในการป้องกันอันตราย และเผยแพร่ให้ผู้ประกอบการโรงงานและผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงาน

ก่อนอื่นเราต้องมาทำความรู้จักกับองค์ประกอบของการเกิดการระเบิดของฝุ่นก่อนว่าเป็นอย่างไร ลักษณะการเกิด ประเภทโรงงานที่มีความเสี่ยงในการเกิดการระเบิดของฝุ่น และมาตรการป้องกัน

### องค์ประกอบของการเกิดการระเบิดของฝุ่น

การเกิดการระเบิดของฝุ่นจะต้องมีองค์ประกอบครบทั้ง ๕ องค์ประกอบ ซึ่งเรียกว่าห้าเหลี่ยมของการเกิดการระเบิดของฝุ่น (The dust explosion pentagon) ดังนี้ ฝุ่นที่สันดาปได้ (Combustible Dust) แหล่งจุดติดไฟ (Ignition) ปริมาณออกซิเจนในอากาศ (Oxygen in Air) การกระจายตัวของฝุ่น (Dispersion of Dust Particles) และขอบเขตหมอกฝุ่น (Confinement of Dust Cloud) ดังแสดงในรูปที่ ๑



รูปที่ ๑ แสดงห้าเหลี่ยมของการเกิดฝุ่นระเบิด

๑. **ฝุ่นที่สันดาปได้ (Combustible Dust)** ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดเชื้อเพลิง การที่ฝุ่นที่ติดไฟได้จะระเบิดได้ ส่วนใหญ่จะเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า ๔๒๐ ไมครอน (microns) และมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ ๒ โดยทั่วไปชนิดของฝุ่นที่ติดไฟจะแบ่งออกเป็น

- ฝุ่นอินทรีย์สาร เช่น ฝุ่นแป้ง ฝุ่นไม้ ผงน้ำตาล
- ฝุ่นอินทรีย์สารสังเคราะห์ เช่น ฝุ่นพลาสติก ฝุ่นยาหรือยาฆ่าแมลง
- ฝุ่นถ่านและถ่านหิน
- ฝุ่นโลหะ เช่น ผงอลูมิเนียม แมกนีเซียม สังกะสี



รูปที่ ๒ แสดงฝุ่นที่สันดาปได้

๒. **แหล่งจุดติดไฟ (Ignition)** ต้องมีพลังงานที่เพียงพอในการกระตุ้นการแพร่ขยายของเปลวไฟออกไปเป็นวงกว้างและสัมผัสกับฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ แหล่งกำเนิดความร้อนดังแสดงในรูปที่ ๓ ได้แก่

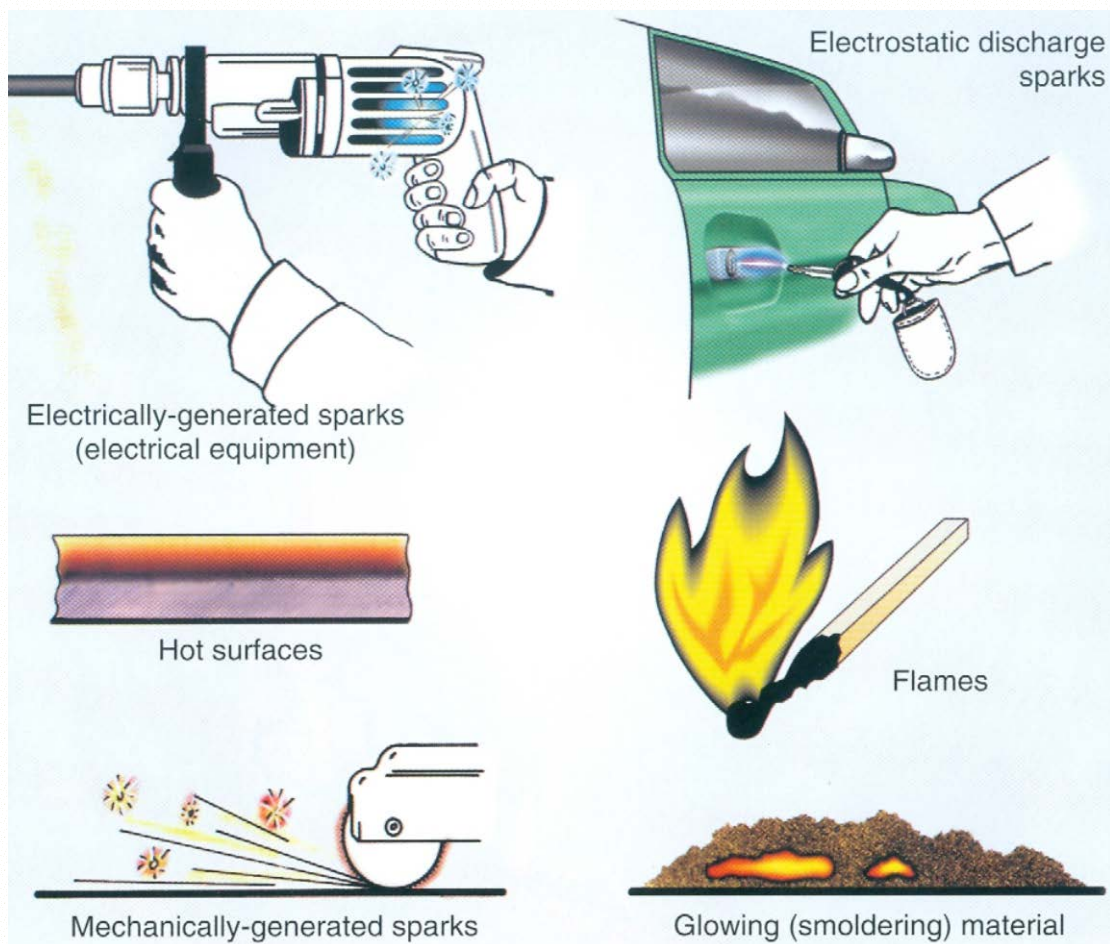
๒.๑ **เปลวไฟ (Flames)** ที่เกิดจากการเชื่อม การตัด การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และการสูบบุหรี่ เป็นต้น ประกายไฟหรือลูกไฟที่เกิดบางครั้งมีอุณหภูมิสูง หรือมีพลังงานสูง โดยเฉพาะที่เกิดจากการเชื่อม ตัด เจียร ทำให้เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้ แต่ถ้ามีอุณหภูมิไม่สูง เช่น จากลูกไฟจากท่อไอเสีย หรือการสูบบุหรี่ จะทำให้ฝุ่นเกิดการลุกไหม้ขนาดเล็ก แล้วขยายตัวจนมีอุณหภูมิสูงหรือพลังงาน เพียงพอที่จะทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่นได้

๒.๒ **ประกายไฟจากไฟฟ้า (Electric Sparks)** ที่เกิดจาก มอเตอร์ สวิตช์ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ และโทรศัพท์ เนื่องจากในขณะที่มีการเปิด - ปิด วงจรไฟฟ้าจะเกิดประกายไฟ การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร การใช้ฟิวส์หรือสายไฟผิดขนาด หลอดไฟแตก การสวมหรือถอดปลั๊กไฟ สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดประกายไฟจนทำให้เกิดการลุกไหม้ของฝุ่นและนำไปสู่การระเบิดของฝุ่นได้

๒.๓ **ประกายไฟจากเครื่องจักร / ความร้อนเฉพาะจุด (Mechanic Sparks / Hotspot)** เกิดจากการใช้ค้อน การขัดด้วยทราย (Sandblasting) ความเสียดทานที่เกิดจากตลับลูกปืน สายพาน ไบพัต หรือส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรที่เสียดสีกันมีอุณหภูมิสูง เศษโลหะ กระเด็นเข้าไปในท่อ เกิดการเสียดสีทำให้เกิดประกายไฟ

๒.๔ ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic/Spark) เกิดจากความเสียดทาน การสัมผัส การเคลื่อนที่ของฝุ่นในท่อของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ การไหลของฝุ่นในราง การเคลื่อนที่ของฝุ่นในท่อหรือในอากาศก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตนำไปสู่การลุกติดไฟของฝุ่นจนอุณหภูมิสูง แล้วเกิดการระเบิดของฝุ่นได้

๒.๕ การจุดติดไฟตัวเอง (Auto - Ignition) เกิดจากฝุ่นสัมผัสพื้นผิวที่ร้อนของท่อไอน้ำ หรือท่อไอเสีย หรือเครื่องจักร หรืออาจเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนจากการจุดติดไฟตัวเองของฝุ่น เช่น ฝุ่น ถ่านหินสามารถจุดติดไฟตัวเอง เมื่อมีลมหรืออากาศผ่านก็จะลุกไหม้ จนอุณหภูมิสูงพอที่จะก่อให้เกิดฝุ่นระเบิดได้



รูปที่ ๓ แสดงแหล่งจุดติดไฟ

๓. ปริมาณออกซิเจนในอากาศ (Oxygen in Air) ตามปกติในอากาศจะมีออกซิเจนประมาณ ๒๐.๙ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งเพียงพอที่จะก่อให้เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรือเกิดการระเบิดของฝุ่นได้ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนมากขึ้น ทำให้เกิดการลุกติดไฟรวดเร็วขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าออกซิเจนน้อยลงความเร็วในการลุกไหม้ก็จะลดลง ถ้าสามารถควบคุมออกซิเจนให้น้อยลงถึงจุดหนึ่งก็จะไม่เพียงพอที่จะลุกติดไฟได้ ดังนั้นการป้องกันออกซิเจนทำได้โดยลดปริมาณของออกซิเจนให้ มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Oxygen

Concentration) ทั้งนี้ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนสำหรับป้องกันการระเบิดของฝุ่นแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน การควบคุมออกซิเจนให้น้อยกว่า ๑๒ เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสำหรับฝุ่นทั่วไป ก็เป็นที่ยอมรับได้ แต่ไม่ใช่กับฝุ่นทุกชนิด ซึ่งวิธีการลดออกซิเจนที่นิยมใช้ คือ การใช้ก๊าซไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) หรือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

**๔. การกระจายตัวของฝุ่น (Dispersion of Dust Particles)** ฝุ่นที่ฟุ้งกระจายต้องมีความเข้มข้นในช่วงที่ลุกไหม้หรือระเบิดได้ คืออยู่ในช่วงประมาณ ๕๐-๑๐๐ g/m<sup>๓</sup> และสูงสุดไม่เกิน ๒-๓ Kg/m<sup>๓</sup> ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะตัวฝุ่นแต่ละชนิด และขนาดอนุภาค ความรุนแรงของการระเบิดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของฝุ่นจนถึงค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด (an optimum concentration) จะให้ค่าความรุนแรงของการเกิดฝุ่นระเบิดสูงสุด

**๕. ขอบเขตหมอกฝุ่น (Confinement of Dust Cloud)** ต้องมีขอบเขตหมอกฝุ่นฟุ้งกระจาย ที่มีความเข้มข้นในช่วง MEC ซึ่งขอบเขตของหมอกฝุ่นมี ๒ ลักษณะดังนี้

๕.๑ ขอบเขตของหมอกฝุ่นในที่เปิดหรือที่โล่ง เมื่อเกิดการระเบิดความรุนแรงจะไม่มากเนื่องจากความร้อนหรือความดันจะออกทุกทิศทาง ดังนั้นอันตรายจะอยู่โดยรอบของกลุ่มหมอกฝุ่น แต่จะกินพื้นที่ไม่ไกล

๕.๒ ขอบเขตของหมอกฝุ่นในที่ปิด เป็นการเกิดหมอกฝุ่นในพื้นที่จำกัดภายในภาชนะ เช่น เครื่องจักร ลิฟต์กะพ้อ เครื่องอบแป้ง เครื่องผสม เป็นต้น เมื่อเกิดการระเบิดของฝุ่นจะมีความรุนแรงมากกว่าการระเบิดในที่โล่งหลายเท่า ความร้อน และแรงดัน จะพุ่งออกไปจากภาชนะที่แตกหรือขาด เกิดเป็นลำของเปลวไฟออกไปไกลหลายสิบลเมตร

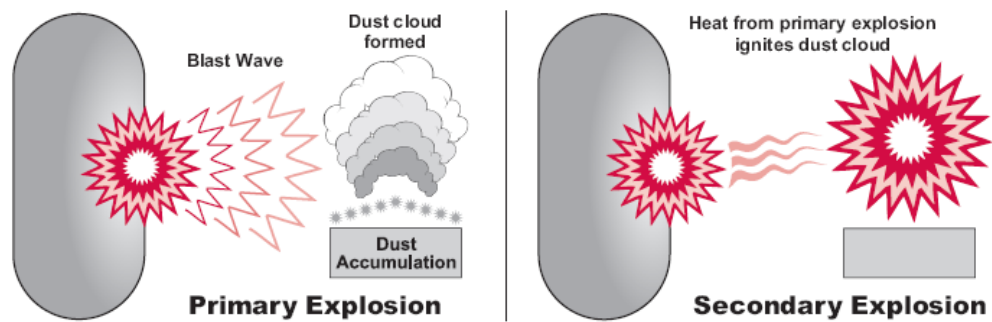
### ประเภทโรงงานที่มีความเสี่ยงในการเกิดการระเบิดของฝุ่น

อุตสาหกรรมที่มีความเสี่ยงในการเกิดการระเบิดของฝุ่น มีหลายประเภท ได้แก่

ประเภทโรงงานที่มีความเสี่ยงในการเกิดการระเบิดของฝุ่น	
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมทางการเกษตร	<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง	<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมพลาสติก
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมยาสูบ	<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมไม้
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมยา	<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรม เฟอร์นิเจอร์
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมเคมี	<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมสิ่งทอ
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมปุ๋ย	<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมที่มีการใช้ถ่านหิน
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมยาง	
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมที่มีการจัดเก็บ การลำเลียง เมล็ดพืชในไซโล โกดัง หรือคลังสินค้า	
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมที่มีการผลิตหรือจัดเก็บ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แมกนีเซียม และอลูมิเนียม	
<input type="checkbox"/> อุตสาหกรรมอาหาร เช่น ลูกกวาด น้ำตาล แป้ง ข้าวสาลี อาหารสัตว์	

### ลักษณะการเกิดการระเบิดของฝุ่น (Combustible Dust Explosion)

การเกิดการระเบิดของฝุ่น มี ๒ แบบ คือ การระเบิดขั้นปฐมภูมิ (Primary Explosion) เป็นการระเบิดครั้งแรก และหากไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่เพียงพอ อาจทำให้เกิดการแตกเสียหายของภาชนะบรรจุได้ ส่งผลให้เกิดกลุ่มหรือหมอกฝุ่นขึ้น และรับพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา ก่อให้เกิดการระเบิดครั้งที่สอง เรียกว่า การระเบิดขั้นทุติยภูมิได้ (Secondary Explosion) ซึ่งจะมีความรุนแรงกว่าการระเบิดขั้นปฐมภูมิมาก และเกิดลักษณะนี้ต่อไปเรื่อยๆ เรียกว่า ผลกระทบแบบโดมิโน (Domino Effect) เช่น เมื่อเกิดฝุ่นระเบิดในภาชนะ ทำให้ภาชนะแตกเกิดคลื่นความดันแพร่ขยายตัวออกไป ทำให้ฝุ่นที่ตกสะสมตามพื้นโรงงาน พื้นเครื่องจักร และจุดอื่น เกิดการฟุ้งกระจายกลายเป็นหมอกฝุ่น จากนั้น ความร้อนจากการระเบิดครั้งแรกจะทำให้หมอกฝุ่นเหล่านี้เกิดระเบิดครั้งที่สอง ดังแสดงในรูปที่ ๔



รูปที่ ๔ แสดงการเกิดฝุ่นระเบิดที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่กองอยู่กับพื้น ทำให้เกิดการระเบิดครั้งที่ ๒ และครั้งต่อ ๆ ไปได้

## มาตรการในการป้องกันและควบคุมอันตราย

### ๑. การควบคุมฝุ่น

- มีระบบระบายอากาศและควบคุมฝุ่นให้ออกจากระบบน้อยที่สุด
- ทำความสะอาดพื้นที่ทำงานเพื่อลดปริมาณการสะสมของฝุ่นอย่างสม่ำเสมอ
- ควบคุมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายและรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย

โดยเฉพาะบริเวณเครื่องจักรต่าง ๆ ที่มักมีฝุ่นฟุ้งกระจาย โดยอาจมีการติดตั้งระบบดูดอากาศเฉพาะจุด เพื่อรวบรวมฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย

- การทำความสะอาดพื้น ต้องทำให้เกิดหมอกฝุ่นน้อยที่สุด จึงหลีกเลี่ยงที่จะใช้วิธีการกวาด ใช้น้ำ หรือลมเป่า วิธีที่ดีควรจะใช้เครื่องดูดฝุ่น แต่ต้องเป็นเครื่องดูดฝุ่นที่ออกแบบมาให้ใช้กับพื้นที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้เท่านั้น

## ๒. การควบคุมแหล่งจุดติดไฟ

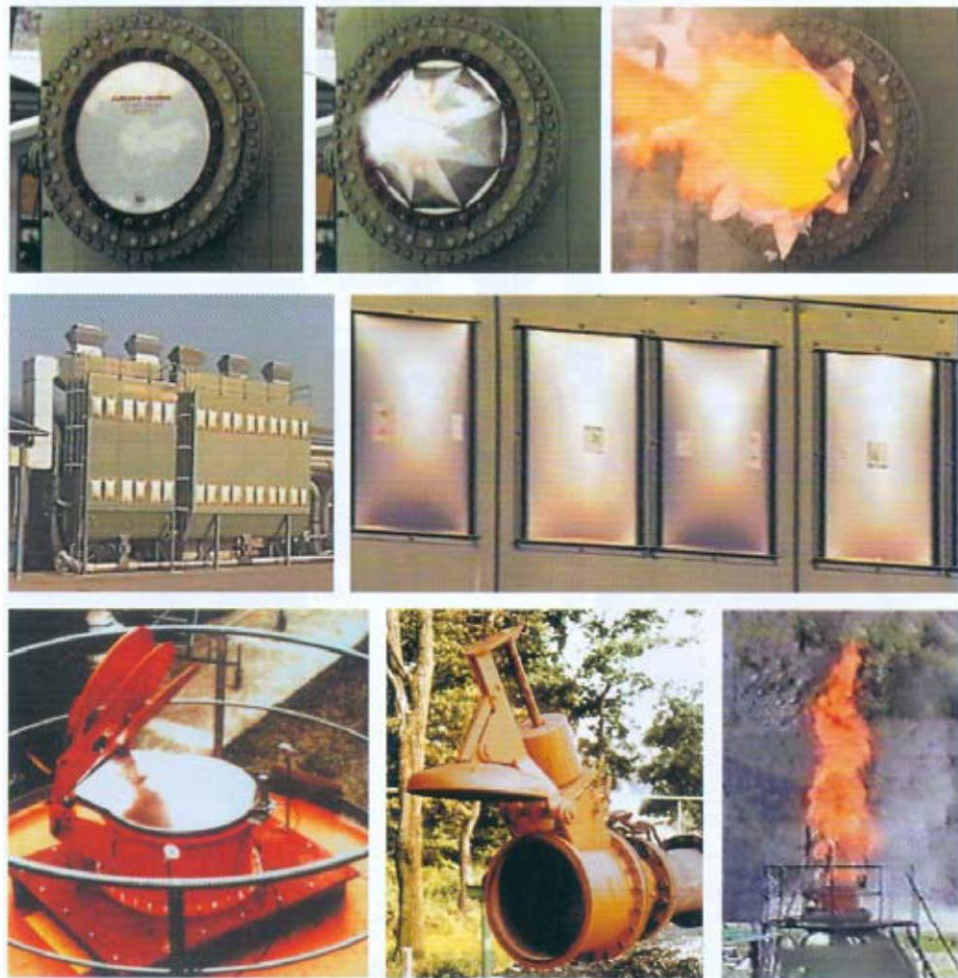
- อุปกรณ์ไฟฟ้าและการติดตั้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานของ NFPA 70 ข้อกำหนดไฟฟ้าแห่งชาติ หรือ NFPA 496 มาตรฐานสำหรับห้องที่มีการไล่และอัดความดันสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า

- ควบคุมการเกิดไฟฟ้าสถิต โดยให้มีการต่อสายดินและการต่อฝาก
- ควบคุมไม่ให้เกิดการสูบบุหรี่ การทำให้เกิดเปลวไฟ และสะเก็ดไฟ
- ควบคุมไม่ให้เกิดการเสียดสี ความร้อน ประกายไฟ และสปาร์คจากเครื่องจักร
- แยกพื้นผิวที่ร้อนและระบบที่ร้อนห่างจากฝุ่น

## ๓. การควบคุมความเสียหาย

- การแบ่งแยกหรือการแยกออกจากกันของขั้นตอน และพื้นที่ที่อาจเกิดฝุ่นที่ลุกไหม้ได้ เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิด

- จัดให้มีการระบายการระเบิด (Deflagration Venting) สำหรับห้องหรืออาคารที่มีอันตรายจากฝุ่นระเบิด



- ติดตั้งระบบตรวจจับความร้อน เปลวไฟ และมีอุปกรณ์ดับเพลิงที่เหมาะสม และมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติตามความเหมาะสม
- ติดตั้งอุปกรณ์ระบายความดัน (Pressure Relief Devices) เพื่อระบายความดันที่สูงเกินค่าที่กำหนด

#### ๔. การฝึกอบรม

- อบรมให้พนักงานทราบถึงชนิดของฝุ่นที่ระเบิดได้ ลักษณะการเกิดอันตราย และมาตรการป้องกัน และระงับอัคคีภัย รวมถึงแผนฉุกเฉิน และการฝึกซ้อมตามแผนสม่ำเสมอ

#### ๕. มาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย

- ต้องจัดให้มีเครื่องดับเพลิงแบบมือถือที่มีความสามารถในการดับเพลิงอย่างน้อยระดับ ๔A ในทุกอาคาร ให้เหมาะสมเพียงพอทุกพื้นที่ โดยต้องมีระยะห่างกันไม่เกิน ๒๐ เมตร
- ต้องทำการฝึกอบรมบุคลากรในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ในลักษณะที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นน้อยที่สุด ควรระมัดระวังอย่างยิ่งในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในสถานที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้ แรงฉีดยานที่รวดเร็วไปยังจุดที่มีฝุ่นจะทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเกิดเป็นหมอกฝุ่น เมื่อเกิดหมอกฝุ่น จะมีอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration ในกรณีที่เกิดหมอกฝุ่นเนื่องจากการดับเพลิง หมอกฝุ่นจะเกิดการจุดติดไฟ และเกิดการระเบิดแบบ Deflagration ขึ้นได้อย่างแน่นอน ดังนั้น เมื่อใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในบริเวณที่มีการสะสมของฝุ่น ควรระมัดระวังการฉีดสารดับเพลิงไม่ให้ถูกฝุ่นที่สะสมอยู่หรือไม่ให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจาย โดยทั่วไป เครื่องดับเพลิงจะถูกออกแบบให้ฉีดพ่นสารดับเพลิงในอัตราที่สูงที่สุด ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการพิเศษในการใช้เครื่องดับเพลิงเพื่อป้องกันอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration
- ต้องจัดเตรียมน้ำสำหรับดับเพลิงในปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งจ่ายน้ำให้กับอุปกรณ์ฉีดน้ำดับเพลิงได้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า ๓๐ นาที
- ต้องจัดให้มีแผนระงับอัคคีภัยในโรงงาน ประกอบด้วย แผนการตรวจสอบด้านความปลอดภัยอัคคีภัย แผนการอบรมเรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัย แผนการดับเพลิง และแผนการอพยพหนีไฟ โดยเก็บแผนนี้ไว้ที่โรงงาน พร้อมให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ และต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามแผน
- การทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟที่อันตราย ต้องจัดให้มีการขออนุญาต
- จัดเส้นทางหนีไฟสำหรับอพยพผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดออกจากพื้นที่ที่ปลอดภัย เช่น ถนนหรือสนามนอกอาคารโรงงานได้ภายใน ๕ นาที

ทั้งนี้หากต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถศึกษาได้จาก “คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้” สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม