กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

คู่มือการจัดการความปลอดภัย
โรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม

โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ
: การจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้

เจ้าของลิขสิทธิ์ :

กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

การผลิตและการลอกเลียนคู่มือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

พิมพ์ครั้งที่ 1 :

พฤศจิกายน พ.ศ.2553 จำนวน 200 เล่ม
ISBN 978-616-7148-75-5

พิมพ์ที่ :

บริษัท ธวิพัตน์ จำกัด
904/92-93, 906/92 ซอยสุขุมวิท 101/1 แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0-2743-2234-5 แฟ็กซ์ 0-2393-2757

คำนำ

จากสถิติการระเบิดของฝุ่นในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศในแต่ละครั้งก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอันประเมินค่ามิได้ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังไม่ทราบถึงสาเหตุการระเบิดของฝุ่น ลักษณะของอันตรายและวิธีการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้จัดทำคู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้ขึ้น เพื่อให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่มีฝุ่นระเบิดได้ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัย รวมทั้งให้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางในการกำกับดูแลและให้คำปรึกษาแก่โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ประกอบกิจการโรงงานด้วยความปลอดภัย คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้เล่มนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวกับ ชนิดของฝุ่นระเบิดได้ ทฤษฎีและสภาวะที่ทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่น รวมถึงมาตรการป้องกันการระเบิดของฝุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมฝุ่นและการกำจัดแหล่งจุดติดไฟ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม หวังเป็นอย่างยิ่งว่า “คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้” เล่มนี้ จะเป็นแนวทางให้โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีฝุ่นระเบิดได้ นำไปใช้ในการป้องกัน ลด หรือบรรเทา อันตรายจากการระเบิดของฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากมีข้อคิดเห็นประการใดกรมโรงงานอุตสาหกรรมยินดีน้อมรับ เพื่อจะได้นำไปประกอบการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

พ.ศ. 2553

กิตติกรรมประกาศ

กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอขอบคุณ บริษัท เชาวน์ดี สตาร์ช (2004) จำกัด บริษัท โชคยืนยง อุตสาหกรรม จำกัด บริษัท ชลเจริญ จำกัด บริษัท ยูเนี่ยน ฟอร์เรส จำกัด บริษัท ที.เค.เฟอร์เทค จำกัด บริษัท โตเกียวพาราวู้ด (1986) จำกัด บริษัท กระดาษสหไทย จำกัด (มหาชน) บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) และบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่าง ๆ พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการให้เจ้าหน้าที่ฝึกปฏิบัติในการนำคู่มือไปใช้ ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพื่อให้คู่มือฉบับนี้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนและเกิดประโยชน์สูงสุด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง ที่ช่วยประสานงานและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ อย่างดียิ่ง กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

พ.ศ. 2553

คณะทำงาน

ที่ปรึกษา

นายประพัฒน์	วนาพิทักษ์	อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม
นายอุฤทธิ์	ศรีหนองโคตร	รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม
นายประสงค์	นรจิตร์	ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน

นางสาวรัตนา	รักษ์ตระกูล	สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
นายประสาท	รักพาณิชสิริ	สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
นางสาวอิสราภรณ์	วิจิตรจรรยากุล	สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
นายศุภวัฒน์	ธาดาจารุมงคล	สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
นางสาวปิยะพร	เธียรเจริญ	สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

คณะผู้จัดทำ

รศ. วิชัย	พฤกษ์ธาราธิกูล	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ. ดร. เฉลิมชัย	ชัยกิตติภรณ์	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ. ดร. วันทนี	พันธุ์ประสิทธิ์	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
นางสาวสมรัก	อ่องศรี	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
นางสาวอินทิพร	ทิพย์เนตร	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
นางสาวพนิตนาฏ	จักรเพชร	ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
นายสิทธิพงษ์	พยุงเกียรติบวร	บริษัท ไทยสตีมเซอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 สถานการณ์การระเบิดของฝุ่น	**1**
1.1 สถานการณ์และสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศและต่างประเทศ	1
1.2 กรณีศึกษาการเกิดอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่น	3
กรณีที่ 1 โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เกิดการระเบิดจากฝุ่นแป้ง	3
กรณีที่ 2 โรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ เกิดการระเบิดจากฝุ่นไม้ที่ถุงกรองฝุ่น	8
บทที่ 2 ทฤษฎีการระเบิดของฝุ่น	**12**
2.1 คำจำกัดความ (Definitions)	12
2.2 องค์ประกอบและลักษณะการระเบิดของฝุ่น	15
2.3 ชนิดของฝุ่นระเบิดได้	24
2.4 ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจมีฝุ่นระเบิดได้	31
บทที่ 3 การประเมินอันตรายการระเบิดของฝุ่น	**34**
3.1 องค์ประกอบที่หนึ่ง เชื้อเพลิง (ฝุ่น)	36
3.2 องค์ประกอบที่สอง การฟุ้งกระจายของฝุ่น	39
3.3 องค์ประกอบที่สาม ขอบเขตหมอกฝุ่น	41
3.4 องค์ประกอบที่สี่ ออกซิเจน	42
3.5 องค์ประกอบที่ห้า แหล่งจุดติดไฟ	42
บทที่ 4 การจัดการความปลอดภัยโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	**45**
4.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	45
4.2 การประเมินจุดเสี่ยง	46
4.3 มาตรการความปลอดภัย	51
บทที่ 5 การจัดการความปลอดภัยโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้	**60**
5.1 กระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้	60
5.2 การประเมินจุดเสี่ยง	61
5.3 มาตรการความปลอดภัย	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 การจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง	**68**
6.1 กระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน	68
6.2 การประเมินจุดเสี่ยง	69
6.3 มาตรการความปลอดภัย	73
บทที่ 7 กฎหมายและมาตรฐานเกี่ยวกับฝุ่นระเบิด	**80**
7.1 กฎหมายในประเทศและต่างประเทศ	80
7.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	83
บรรณานุกรม	

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 – พ.ศ. 2548	1
ตารางที่ 1.2	แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศเยอรมนี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 – พ.ศ. 2523	2
ตารางที่ 1.3	แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2552	3
ตารางที่ 2.1	แสดงอุณหภูมิที่จุดติดไฟของฝุ่นชนิดต่าง ๆ แยกตามลักษณะว่าเป็นกองฝุ่นอยู่หรือเป็นหมอกฝุ่น	18
ตารางที่ 2.2	การจัดกลุ่มฝุ่นที่สามารถระเบิดได้	21
ตารางที่ 2.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดระหว่างฝุ่นแป้งชนิดต่าง ๆ และฝุ่นอะลูมิเนียม	22
ตารางที่ 2.4	แสดงชนิดฝุ่นระเบิดได้ และประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจมีฝุ่นระเบิดได้	32
ตารางที่ 3.1	แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุฝุ่นระเบิดที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในสหรัฐอเมริกา อังกฤษและเยอรมนี	41
ตารางที่ 4.1	แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมของการระเบิดในกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลัง	50
ตารางที่ 4.2	แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย	52
ตารางที่ 5.1	แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้	63
ตารางที่ 5.2	แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตรายและมาตรการความปลอดภัย	64
ตารางที่ 6.1	แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน	72
ตารางที่ 6.2	แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย	73

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดงกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลัง	5
รูปที่ 1.2	แสดงอาคารโรงงาน บริเวณไซโคลนเย็น และห้องบรรจุแป้งเสียหายจากการระเบิด	6
รูปที่ 1.3	แสดงจุดที่มีไฟไหม้ทั้งไส้กรองอากาศและท่อใต้ไซโคลนร้อน	7
รูปที่ 1.4	แสดงอุปกรณ์ที่เกิดการระเบิดครั้งที่ 2	8
รูปที่ 1.5	แสดงความเสียหายของไซโลเก็บฝุ่นไม้	9
รูปที่ 1.6	แสดงการปริแตกของไซโลเก็บฝุ่นไม้	9
รูปที่ 1.7	แสดงจุดติดตั้งมอเตอร์พัดลมเป่าถุงกรอง	10
รูปที่ 1.8	แสดงถุงกรองฝุ่นที่ถูกไฟไหม้	10
รูปที่ 1.9	แสดงรอยไหม้ท่อดูดฝุ่นจากเครื่อง Sander Machine	10
รูปที่ 1.10	แสดงรอยไหม้จากท่อดูดฝุ่นจาก Sander Machine	10
รูปที่ 2.1	แสดงห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่น	15
รูปที่ 2.2	แสดงการเปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นของฝุ่นแป้งข้าวโพด	17
รูปที่ 2.3	แสดงค่าความดันอากาศเมื่อเกิดการระเบิดภายในพื้นที่ปิดที่ความเข้มข้นของฝุ่นค่าหนึ่ง	21
รูปที่ 2.4	แสดงการเกิดระเบิดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	23
รูปที่ 2.5	แสดงปรากฏการณ์การระเบิดของฝุ่นที่กองอยู่ที่พื้น	23
รูปที่ 3.1	องค์ประกอบการระเบิดของฝุ่น	34
รูปที่ 3.2	แสดงการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่น	35
รูปที่ 3.3	แสดงแหล่งจุดติดไฟ	42
รูปที่ 4.1	แสดงกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดมาตรฐาน โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นได้	46
รูปที่ 4.2	แสดงกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลังโดยแถบสีส้มแสดงบริเวณความเข้มข้นฝุ่นอยู่ในช่วงระเบิดได้	48
รูปที่ 4.3	แสดงจุดติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration ที่ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ไซโล และ Bag House	56
รูปที่ 4.4	แสดงการติดตั้งเกทวาล์วความเร็วสูงพร้อมอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือแสง	57

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.1	แสดงกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นได้	61
รูปที่ 5.2	แสดงการติดตั้งเกทวาล์วความเร็วสูงพร้อมอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือแสง	65
รูปที่ 5.3	แสดงการติดตั้งแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration	65
รูปที่ 6.1	แสดงกระบวนการขนถ่าย การลำเลียง การเก็บ และการใช้ถ่านหิน โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดได้	69
รูปที่ 6.2	แสดงการติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration	76
รูปที่ 6.3	แสดงอุปกรณ์ระงับการระเบิด	76
รูปที่ 6.4	แสดงวาล์วความเร็วสูง	76

บทที่ 1
สถานการณ์การระเบิดของฝุ่น

1.1 สถานการณ์และสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศและต่างประเทศ

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2328 เป็นต้นมา มีรายงานสถิติการระเบิดของฝุ่นในต่างประเทศ ทั้งในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และแอฟริกา โดย Abbasi and Abbasi ได้ทำการรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากการระเบิดของฝุ่นในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2328 – พ.ศ. 2522 พบว่ามีการระเบิดจากฝุ่น จำนวน 42 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต จำนวน 411 คน ผู้บาดเจ็บ จำนวน 2,346 คน เป็นการระเบิดจากฝุ่นแป้งเป็นส่วนใหญ่ จำนวน 19 ครั้ง รองลงมาคือ การระเบิดจากฝุ่นกำมะถัน จำนวน 9 ครั้ง ที่เหลือเป็นการระเบิดของฝุ่นเรซิน ผงดำ (Black powder) ฝุ่นซิลิกอน และฝุ่นอะลูมิเนียม โดยโรงงานที่เกิดการระเบิดของฝุ่นจะเป็นโรงงานทำขนมปัง โรงงานผลิตแป้ง โรงงานผลิตอาหารสัตว์ โรงงานผลิตปูนซิเมนต์ โรงงานหล่อโลหะ โรงงานผลิตไฟฟ้า และเหมืองแร่ สำหรับจุดที่เกิดเหตุส่วนใหญ่ ได้แก่ ไซโล อุปกรณ์ลำเลียง ถังบรรจุ เครื่องบด เครื่องผสม เตาอบ และเตาเผา เป็นต้น

จากรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุของคณะกรรมการสอบสวนความปลอดภัยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (CSB: U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board) เกี่ยวกับอันตรายของฝุ่นสันดาปได้ ปี พ.ศ. 2549 ดังแสดงในตารางที่ 1.1 แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นใน 44 รัฐ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 – พ.ศ. 2548 พบว่า มีการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด จำนวน 281 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต จำนวน 119 คน ผู้บาดเจ็บ จำนวน 718 คน และทรัพย์สินเสียหายจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดการระเบิดของฝุ่น เช่น ฝุ่นจากอาหาร พลาสติก ไม้ ถ่านหิน โลหะ ผ้า สี และสารเคมี เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 – พ.ศ. 2548

ชนิดฝุ่นระเบิดได้	ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวน (ครั้ง)	เสียชีวิต (คน)	บาดเจ็บ (คน)
ไม้ (Wood)	- เฟอร์นิเจอร์ไม้ - โรงเลื่อยและแปรรูปไม้ - กระดาษ	66	17	131
อาหาร (Food)	- อาหาร - บรรจุและเก็บ	65	12	107
โลหะ (Metals)	- โรงเหล็กขั้นต้น - ประกอบชิ้นส่วนโลหะ - ผลิตอุปกรณ์	55	32	118

ตารางที่ 1.1 แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 – พ.ศ. 2548 (ต่อ)

ชนิดฝุ่นระเบิดได้	ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวน (ครั้ง)	เสียชีวิต (คน)	บาดเจ็บ (คน)
พลาสติก (Plastics)	- ผลิตยางและพลาสติก - ผลิตสารเคมี - ผลิตอุปกรณ์พลาสติก	40	29	204
ถ่านหิน (Coal)	- โรงไฟฟ้า - โรงเหล็กขั้นต้น - โรงงานผลิต Stone, Clay, Glass, Concrete	23	15	90
สารเคมี (Inorganic)	- ผลิตสารเคมี - บรรจุและเก็บสารเคมี	15	10	33
อื่น ๆ เช่น -ยา (Pharmaceutical) -ผ้า (Textile) -สารเคมี (Organic)	- ผลิตยา - ทอผ้า - ผลิตสารเคมี	17	4	35
รวมจำนวน		**281**	**119**	**718**

Beck (พ.ศ. 2525) ได้รวบรวมสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศเยอรมนี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2508 – พ.ศ. 2523 พบว่ามีการระเบิดของฝุ่นจำนวนมากกว่า 357 ครั้ง ส่วนใหญ่เกิดจากฝุ่นไม้ อาหาร โลหะ พลาสติก และถ่านหิน เช่นเดียวกับที่เกิดในประเทศสหรัฐอเมริกา รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศเยอรมนี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 – พ.ศ. 2523

ชนิดฝุ่นระเบิดได้	จำนวน (ครั้ง)	เสียชีวิต (คน)	บาดเจ็บ (คน)
ไม้ (Wood)	113	12	124
อาหาร (Food and Feed)	88	38	127
โลหะ (Metals)	47	18	91
พลาสติก (Plastics)	46	18	98
ถ่านหิน (Coal and Peat)	33	7	39
กระดาษ (Paper)	7	0	0
อื่น ๆ (Other)	23	10	13
รวมจำนวน	**357**	**103**	**492**

สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการรวบรวมสถิติการระเบิดของฝุ่นที่แน่ชัด เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ไม่ทราบว่าสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุเกิดจากการระเบิดของฝุ่น จึงมีรายงานข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่นค่อนข้างน้อย มีเพียงจำนวน 5 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1.3 เป็นรายงานการเกิดอุบัติเหตุของสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จำนวน 4 ครั้ง และรายงานจากหนังสือพิมพ์เดลินิวส์ ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน 2551 จำนวน 1 ครั้ง นอกจากนั้นยังมีข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุอย่างไม่เป็นทางการว่ามีการระเบิดของฝุ่นอีกหลายครั้ง จากฝุ่นอะลูมิเนียม ถ่านหิน และพลาสติก

ตารางที่ 1.3 แสดงสถิติการระเบิดของฝุ่นในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 – พ.ศ. 2552

ชนิดฝุ่นระเบิดได้	ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวน (ครั้ง)	เสียชีวิต (คน)	บาดเจ็บ (คน)	ทรัพย์สินเสียหาย (ล้านบาท)
แป้งมันสำปะหลัง	ผลิตแป้งมันสำปะหลัง	2	2	7	8
ไม้	ทำเฟอร์นิเจอร์ไม้	1	–	9	0.2
ครีมเทียม	อาหาร	1	–	–	16
ข้าวโพด	ไซโลอบข้าวโพด	1	–	–	10

1.2 กรณีศึกษาการเกิดอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่น

จากรายงานข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่นในประเทศไทย ที่สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้สอบสวนหาสาเหตุอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่น 2 กรณี โดยแต่ละกรณีมีรายละเอียดดังนี้

กรณีที่ 1 โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เกิดการระเบิดจากฝุ่นแป้ง

ข้อมูลทั่วไป

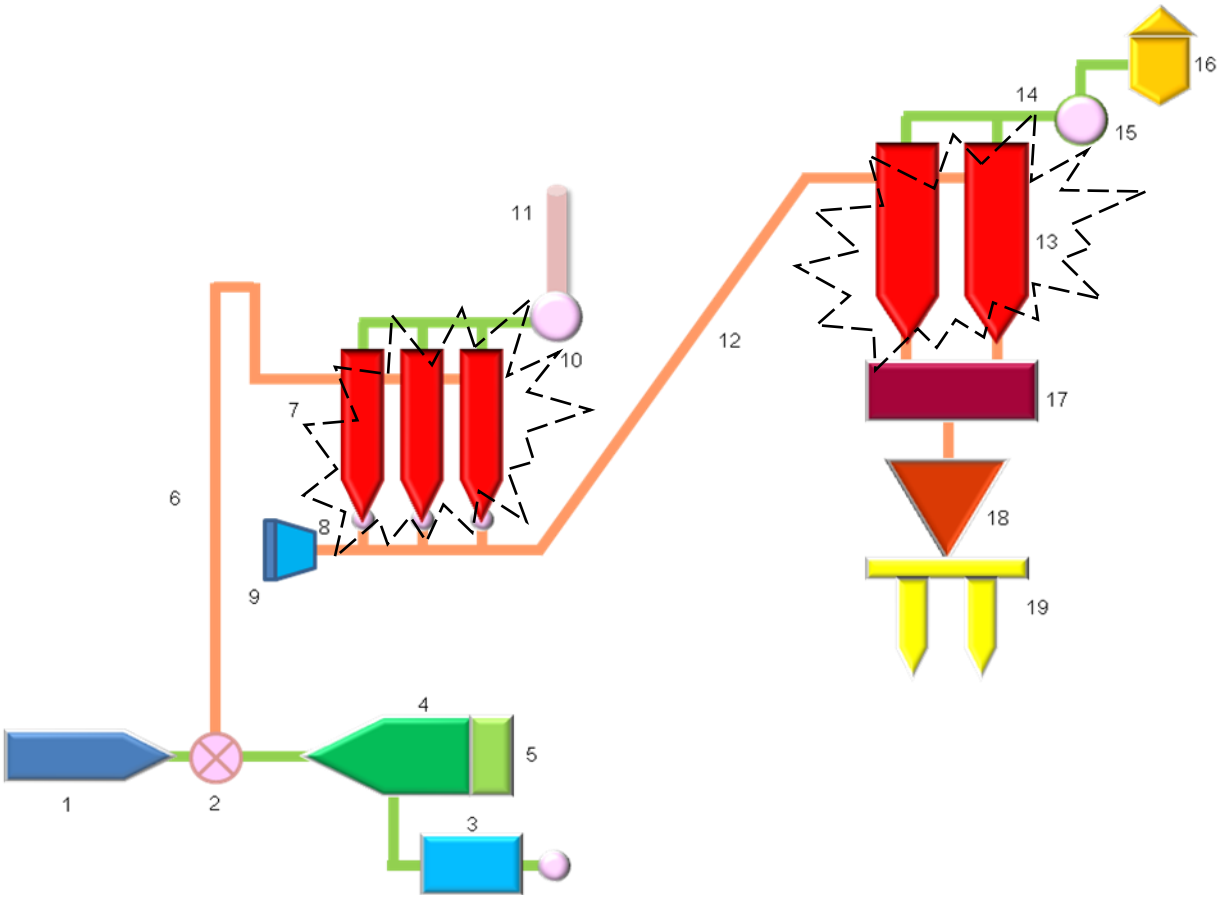
โรงงานที่เกิดอุบัติเหตุเป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดมาตรฐาน (Native Starch) มีกำลังการผลิต 250 ตันแป้งแห้ง/วัน โรงงานจะเดินเครื่องจักรต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง วัตถุดิบที่ใช้เป็นหัวมันสำปะหลังสด โดยกระบวนการผลิตจะเป็นการนำหัวมันสดมาบดหยาบ บดละเอียด แยกกากมันออกจากน้ำแป้ง ทำน้ำแป้งให้ข้น แยกแป้งออกจากน้ำด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง จากนั้นนำแป้งหมาดที่ได้มาทำการอบแห้ง แล้วบรรจุ

อาคารผลิตเป็นอาคารชั้นเดียวยกสูง ทำด้วยเหล็กและคอนกรีต หลังคามุงกระเบื้อง พื้นอาคารเทด้วยคอนกรีต ระบบท่อในกระบวนการลำเลียงแป้งทำด้วยสแตนเลส เครื่องจักรใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงาน สำหรับหม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot Oil) ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงหลักและใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงสำรอง กระบวนการผลิตส่วนใหญ่ทำงานอัตโนมัติ มีผู้ปฏิบัติงานคอยตรวจสอบและปรับแต่งเป็นจุด ๆ ยกเว้นตอนบรรจุแป้งลงถุง จะใช้แรงงานคนเป็นหลัก กรณีบรรจุถุงแป้งขนาดใหญ่ จะมีรถยกเข้ามาช่วยในการเคลื่อนย้าย

ข้อมูลเฉพาะ

แป้งมันสำปะหลัง องค์กรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (OSHA: Occupational Safety and Health Administration) สมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (NFPA: National Fire Protection Association) กำหนดให้เป็นฝุ่นสันดาปได้ และอาจเกิดการระเบิดได้ ถ้าเป็นฝุ่นแป้งมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็กกว่า 420 μm มีความเข้มข้นมากกว่า 125 g/m^3 (Echoff 2003) และมีอุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดไฟ เท่ากับ 290°C (กองฝุ่น) แต่ถ้าเป็นหมอกฝุ่น อุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดไฟ เท่ากับ 450°C (BARTEC)

จากรูปที่ 1.1 การอบแป้งจะเริ่มจากแป้งหมาดที่มีความชื้น 32–36% ถูกป้อนออกจากเครื่องสลัดแห้ง หมายเลข 1 แล้วส่งเข้าไปสลิงเกอร์ หมายเลข 2 ที่จะทำหน้าที่ตีแป้งให้แตกตัว จากนั้นความร้อนจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อน หมายเลข 4 ก็จะถูกส่งเข้ามายังสลิงเกอร์ เพื่อพัดพาเอาแป้งที่มีความชื้นสูงลอยขึ้นไปด้านบนตามท่ออบแป้ง หมายเลข 6 ที่ความสูงเหนือสลิงเกอร์ 2–4 เมตร จะมีความชื้นลดเหลือ 12–13% แป้งจะถูกส่งไปยังไซโคลนร้อน หมายเลข 7 จำนวน 6 ลูก โดยทางออกด้านบนของไซโคลนร้อนจะมีพัดลมดูดเอาความชื้นและฝุ่นแป้งบางส่วนออกไป ไซโคลนร้อน 2 ลูก ด้านล่างจะต่อรวมกัน แล้วมีโรตารี่วาล์ว หมายเลข 8 สำหรับส่งแป้งลงไปข้างล่าง ดังนั้น ไซโคลนร้อน 6 ลูกจึงมีโรตารี่วาล์ว 3 ชุด แป้งที่ตกลงมาจากโรตารี่วาล์วจะมาเข้าท่อส่งแป้ง หมายเลข 12 จากไซโคลนร้อนไปยังไซโคลนเย็น หมายเลข 13 โดยใช้พัดลมดูดอากาศ ชุดไซโคลนเย็น หมายเลข 15 โรงงานแห่งนี้มีไซโคลนเย็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เมตร จำนวน 4 ลูก ทางออกด้านล่างของไซโคลนเย็นทั้ง 2 ลูก จะต่อรวมกันแล้วส่งแป้งไปยังตะแกรงร่อน หมายเลข 17 ใต้ตะแกรงร่อนจะมีไซโลเก็บแป้ง หมายเลข 18 แล้วส่งไปยังหัวบรรจุแป้ง หมายเลข 19 ต่อไป



1. เครื่องสลัดแห้ง
2. สลิงเกอร์
3. หม้อต้มน้ำมันร้อน ฯ
4. ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
5. ชุดกรองอากาศ (Filter)
6. ท่ออบแป้ง (Flash Dryer)
7. ชุดไซโคลนร้อน
8. โรตารี่วาล์ว
9. ชุดกรองอากาศใต้ไซโคลนร้อน
10. พัดลมดูดอากาศชุดไซโคลนร้อน
11. ท่อระบายออกของไซโคลนร้อน
12. ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น
13. ชุดไซโคลนเย็น
14. ทางออกอากาศชุดไซโคลนเย็น
15. พัดลมดูดอากาศชุดไซโคลนเย็น
16. ชุดไซโคลนดักฝุ่น
17. เครื่องร่อนแป้ง
18. ไซโลเก็บแป้ง
19. หัวบรรจุแป้ง

รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลัง

การเกิดเหตุ

เมื่อวันที่ 8 พฤษภาคม 2552 เวลาประมาณ 00.45 น. กระบวนการผลิตทำงานปกติ หลังจากการเปลี่ยนกะได้ 45 นาที ผู้ปฏิบัติงานได้ยินเสียงระเบิดขึ้น 2 ครั้ง ห่างกันเล็กน้อย โดยครั้งแรกเกิดขึ้นที่ไส้กรองอากาศท่อลมเย็นที่อยู่ใต้ไซโคลนร้อน จากนั้นได้ยินเสียงระเบิดครั้งที่ 2 ที่ไซโคลนเย็นที่อยู่เหนือห้องบรรจุแป้ง

ความเสียหายที่เกิดขึ้น

ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บและหยุดงานเกิน 3 วัน จำนวน 3 คน โดยผู้ปฏิบัติงานที่ทำหน้าที่ควบคุมชุดอบแป้ง ได้รับบาดเจ็บจากไฟลวกใบหน้า แขนทั้งสองข้าง และหลัง ผู้ปฏิบัติงานที่ทำหน้าที่ปล่อยแป้งที่ทำงานในห้องบรรจุแป้ง ซึ่งอยู่ใต้ไซโคลนเย็น ได้รับบาดเจ็บจากไฟลวกบริเวณใบหน้า แขนทั้งสองข้างและด้านหลัง นอกจากนั้นยังตกจากที่สูง ทำให้ขาซ้ายหัก และผู้ปฏิบัติงานที่ทำหน้าที่บรรจุแป้ง ซึ่งทำงานในห้องบรรจุแป้ง ได้รับบาดเจ็บจากไฟลวกบริเวณแขนซ้าย

ทรัพย์สินเสียหายกว่า 8 ล้านบาท อาคารโรงงานส่วนที่เสียหาย ได้แก่ ผนัง หลังคา บริเวณชุดไซโคลนเย็น และห้องบรรจุแป้ง ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ส่วนเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เสียหายมาก ได้แก่ ไซโคลนเย็นทั้ง 4 ลูกขาดกลาง ท่อส่งแป้งระหว่างไซโคลนร้อนไปยังไซโคลนเย็น ขาดออกจากกัน ท่อระบายอากาศจากไซโคลนเย็นกับพัดลมดูดอากาศขาดออกจากกัน

รูปที่ 1.2 แสดงอาคารโรงงาน บริเวณไซโคลนเย็น และห้องบรรจุแป้งเสียหายจากการระเบิด

ข้อสันนิษฐานการเกิดเหตุ

การระเบิดของฝุ่นในครั้งนี้ มีการระเบิดต่อเนื่อง 2 ครั้ง ดังนี้

<u>การเกิดระเบิดครั้งที่ 1</u> ระเบิดที่ท่ออบแป้งหรือชุดไซโคลนร้อน ความเสียหายส่วนนี้ไม่มาก เนื่องจากความดันที่เกิดการระเบิดถูกระบายออกที่ประตูระบายการระเบิด (Deflagration Vent Door) ที่ติดตั้งไว้ที่ท่ออบแป้ง สาเหตุที่ทำให้เกิดการระเบิด สันนิษฐานไว้ 2 กรณี

กรณีที่ 1 ในกรณีแป้งขาดรางเนื่องจากแป้งหมาดมีความชื้นสูงหรือแป้งเปียกมาก แป้งจะจับตัวเป็นก้อน และตกค้างสะสมอยู่ใต้สลิงเกอร์ เมื่อแป้งกองสะสมอยู่ได้รับความร้อนจากลมร้อนที่มี

อุณหภูมิ 180 – 200 °C แป้งจะเกิดการคุตัว และมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่า 290 °C จึงเกิดการลุกไหม้ และเกิดสะเก็ดไฟลอยตามลมร้อนไปจุดระเบิดฝุ่นแป้งที่แห้งในท่อออบแป้ง

กรณีที่ 2 การอบแป้งเกิดขึ้นตามปกติ ไม่ได้ขาดรางเหมือนกรณีที่ 1 แต่โรตารี่วาล์วของ Hopper ตัวกลางของไซโคลนร้อนหยุดทำงาน เนื่องจากมอเตอร์ไหม้ ทำให้แป้งที่สะสมใน Hopper เกิดการคุติดไฟ เปลวไฟได้ลามขึ้นไปด้านบนของไซโคลนร้อน พบกับฝุ่นที่ออกจากท่ออบแป้งที่มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Minimum Explosible Concentration: MEC) จึงเกิดการระเบิดในท่ออบแป้งหรือที่ชุดไซโคลนร้อน เหตุผลสนับสนุนข้อสันนิษฐานเรื่องนี้คือ ผู้ปฏิบัติงานได้ยินเสียงการระเบิดครั้งแรกที่ไซโคลนร้อนก่อน สำหรับร่องรอยไฟไหม้ของแป้งในชุด Hopper ชุดกลาง สันนิษฐานว่าขณะเกิดระเบิด โรตารี่วาล์วของ Hopper ตัวกลางหยุด ทำให้แป้งสะสมจึงลุกไหม้ ส่วนโรตารี่วาล์วซ้าย–ขวาเปิดปิดปกติ ทำให้แป้งไหลลงไปยังท่อใต้ไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 จะเห็นร่องรอยไฟไหม้แป้งที่ท่อใต้ไซโคลนร้อน

แสดงไฟไหม้ไส้กรองอากาศใต้ไซโคลนร้อน

แสดงแป้งที่ลุกไหม้ในท่อใต้ไซโคลนร้อน

รูปที่ 1.3 แสดงจุดที่มีไฟไหม้ทั้งไส้กรองอากาศและท่อใต้ไซโคลนร้อน

<u>การระเบิดครั้งที่ 2</u> สันนิษฐานว่าการระเบิดครั้งที่สองเกิดที่ไซโคลนเย็น ขณะนั้นในไซโคลนเย็นมีฝุ่นแป้ง ซึ่งมีความเข้มข้นฝุ่นอยู่ในช่วง MEC และมีความร้อนหรือเปลวไฟที่น่าจะเกิดจากการเกิดระเบิดครั้งแรก ทำให้แป้งที่มีความร้อนหรือลุกไหม้ เคลื่อนที่มายังโรตารี่วาล์ว ความร้อนหรือเปลวไฟของแป้งก็จะถูกพัดลมดูดอากาศของชุดไซโคลนเย็นดูดเข้าไป ทำให้เกิดการลุกไหม้และระเบิดของแป้งในไซโคลนเย็น และด้วยการออกแบบทางออกของไซโคลนเย็นที่เป็นกรวยนั้น ประกอบกับมีการดูดอากาศของพัดลมดูดอากาศชุดไซโคลนเย็นเป็นตัวเสริม จึงทำให้กรวยทางออกของไซโคลนเย็นยุบตัวทั้ง 4 ลูก เมื่อเกิดระเบิดในไซโคลนเย็นแต่ไม่มีทางระบายออก จึงทำให้ความดันในไซโคลนเย็นสูงมาก ไซโคลนเย็นจึงขาดกลางทั้ง 4 ลูก ส่วน Hopper ใต้ไซโคลนเย็นบวมออกอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 1.4 นอกจากนั้น ความดันและเปลวไฟได้ดันออกทุกทิศทาง เช่น ย้อนกลับไปยังไส้กรองอากาศท่อลมเย็นใต้ไซโคลนร้อน เป็นเหตุให้

ผู้ปฏิบัติงานควบคุมชุดอบแป้งได้รับบาดเจ็บจากไฟไหม้ นอกจากนั้นความดันจากการระเบิดยังไปถึงไซโลเก็บแป้งใต้เครื่องร่อนแป้ง และหัวบรรจุแป้ง ซึ่งจุดนี้ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บจากไฟไหม้อีก 2 คน

แสดงชุดไซโคลนเย็นทั้ง 4 ลูกขาดกลาง แยกเป็นส่วนบนกับส่วนล่าง

แสดงชุด Hopper ใต้ไซโคลนเย็นที่บวมออก

แสดงด้านล่างของไซโคลนเย็นที่ฉีกขาด

รูปที่ 1.4 แสดงอุปกรณ์ที่เกิดการระเบิดครั้งที่ 2

กรณีที่ 2 โรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ เกิดการระเบิดจากฝุ่นไม้ที่ถุงกรองฝุ่น

ข้อมูลทั่วไป

โรงงานที่เกิดเหตุเป็นโรงงานทำเครื่องเรือน เครื่องใช้ในบ้านเรือน ไม้ประสานและไม้พาเลท ตั้งอยู่ในจังหวัดชลบุรี การประกอบกิจการมีการใช้วัตถุดิบสำคัญคือ ไม้ยางพารา เครื่องจักรที่ใช้มีทั้งเลื่อยวงเดือน เลื่อยสายพาน เครื่องไสไม้ เครื่องซอยไม้และเครื่องขัดกระดาษทราย

ข้อมูลเฉพาะ

การทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ จะเริ่มจากการคัดขนาดไม้ แล้วนำไม้มาตัดซอยให้ได้ขนาด ไสไม้ให้มีความหนาตามต้องการ บางงานจะมีการตัดไม้ เจาะ – เซาะ ร่องไม้ ขัดกระดาษทรายเพื่อให้ผิวเรียบ ทุกขั้นตอนเหล่านี้จะก่อให้เกิดฝุ่น มีทั้งฝุ่นขนาดใหญ่และฝุ่นขนาดเล็ก ส่วนขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการทาหรือพ่นสี ทั้งสีรองพื้นและสีจริง จะมีปัญหาเกี่ยวกับสารเคมีโดยเฉพาะตัวทำละลาย จุดที่ก่อให้เกิดฝุ่นทางโรงงานจะมีระบบดูดอากาศแล้วมาผ่านระบบดักฝุ่นแบบถุงกรอง ด้านล่างจะมีไซโลเก็บฝุ่น ขนาดฝุ่นจะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำ จุดที่จะมีขนาดฝุ่นค่อนข้างเล็กคือ เครื่องขัดกระดาษทราย

ขนาดฝุ่นไม้ที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิดของฝุ่นคือ 420 μm หรือเล็กกว่า ตาม NFPA 654 ความเข้มข้นต่ำสุดที่จะทำให้ฝุ่นระเบิดได้คือ 60 g/m^3 (Echoff) และอุณหภูมิจุดติดไฟกรณีเป็นหมอกฝุ่น 400 ^{o}C หรือกองฝุ่นเท่ากับ 300 ^{o}C ตาม BARTEC 330GmbH เยอรมนี

ความเสียหายที่เกิดขึ้น

- ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บ 9 คน ลักษณะการบาดเจ็บคือ ถูกความร้อนจากเปลวไฟ
- ทรัพย์สินเสียหาย ประมาณ 200,000 บาท โดยเฉพาะที่ถุงกรองฝุ่นและไซโลเก็บฝุ่น เครื่องจักรในการผลิตไม่เสียหาย ท่อดูดอากาศเข้าถุงกรองและท่อดูดอากาศภายในโรงงานบางส่วนมีรอยไฟไหม้ แต่ไม่มากนัก ยังใช้งานได้ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6

รูปที่ 1.5 แสดงความเสียหายของไซโลเก็บฝุ่นไม้

รูปที่ 1.6 แสดงการปริแตกของไซโลเก็บฝุ่นไม้

การเกิดเหตุ

โรงงานแบ่งการทำงานเป็น 2 กะคือ เวลา 08.00 – 17.00 น. และเวลา 17.40 – 02.00 น. ขณะเกิดเหตุเวลา 17.40 น. หลังจากการเปลี่ยนกะเล็กน้อย ผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานในกระบวนการผลิต ได้แจ้งว่า

เห็นควันไฟออกจากไซโลเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อย จากนั้นหัวหน้าฝ่ายผลิตพร้อมผู้ปฏิบัติงานอีก 8 คน ได้นำเครื่องดับเพลิงแบบมือถือ เข้าไปที่บริเวณโดยรอบไซโลเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อยเพื่อช่วยกันดับไฟ ขณะนั้นเองได้เกิดการระเบิดในไซโลเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อย ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดได้รับบาดเจ็บจากการถูกความร้อนจากเปลวไฟ ไซโลเก็บฝุ่นปริแตก รายละเอียดดังในรูปที่ 1.7 – 1.10

รูปที่ 1.7 แสดงจุดติดตั้งมอเตอร์พัดลมเป่าถุงกรอง

รูปที่ 1.8 แสดงถุงกรองฝุ่นที่ถูกไฟไหม้

รูปที่ 1.9 แสดงรอยไหม้ท่อดูดฝุ่นจากเครื่อง Sander Machine

รูปที่ 1.10 แสดงรอยไหม้จากท่อดูดฝุ่นจาก Sander Machine

ข้อสันนิษฐานการเกิดเหตุ

เนื่องจากสภาพภายในห้องเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อย จะมีทั้งฝุ่นขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยที่ฝุ่นขนาดใหญ่จะตกลงมาข้างล่าง ส่วนฝุ่นขนาดเล็กจะลอยขึ้นไปข้างบน แต่มีถุงกรองฝุ่นดักไว้ เมื่อฝุ่นในถุงดักฝุ่นตันก็จะมีพัดลมเป่าให้ถุงสั่นเพื่อให้ฝุ่นตกลงมาโดยจะมีการสลับกันทำงานเป็นช่อง ๆ ไป ดังนั้นส่วนนี้อาจจะมีฝุ่นขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งอยู่ในช่วงความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (MEC) จากนั้นเมื่อมีความร้อนหรือประกายไฟที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 260°C เข้ามาก็จะทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่นไม้ได้ ข้อสันนิษฐานในการเกิดประกายไฟหรือความร้อน พอสรุปได้ดังนี้

1. เกิดจากความร้อนจากการขัดของเครื่องขัดกระดาษทราย (Sanding Machine) ทำให้มีอุณหภูมิสูง ซึ่งความร้อนจะถูกส่งไปยังฝุ่นที่ค้างในท่อ ทำให้ฝุ่นที่สะสมในท่อด้านบนเกิดการลุกไหม้ ความร้อนจากจุดนี้เองถูกพัดลมดูดเข้าไปยังไซโลเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อย จุดสังเกต ท่อดูดฝุ่นเหนือเครื่องขัดกระดาษทรายมีรอยไหม้ยาว 5 – 6 เมตร

2. เกิดจากไฟฟ้าสถิตขณะที่ฝุ่นไม้เคลื่อนที่ในท่อ ทำให้เกิดการลุกไหม้แล้วถูกพัดลมดูดอากาศดูดความร้อนหรือประกายไฟจากฝุ่นไม้ เข้าไปยังไซโลเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อย ข้อสังเกต ระบบท่อดูดฝุ่นไม่มีการต่อฝาก (Bonding) ระหว่างหน้าแปลนของท่อดูดอากาศ รวมทั้งทางโรงงานไม่มีการต่อลงดิน (Grounding)

3. เกิดจากความร้อนหรือประกายไฟของมอเตอร์พัดลมเป่าทำความสะอาดถุงกรอง ที่อยู่ในไซโลเก็บฝุ่นไม้และขี้เลื่อย เนื่องจากมอเตอร์ไม่ใช่เป็นชนิดทนการระเบิด (Explosion Proof) จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมสูงพอให้ฝุ่นลุกไหม้ แล้วมีฝุ่นละเอียดรั่วจากถุงกรองออกมาทำให้เกิดการระเบิดได้

บทที่ 2
ทฤษฎีการระเบิดของฝุ่น

2.1 คำจำกัดความ (Definitions)

เพื่อให้มีความเข้าใจที่ตรงกัน สำหรับคำแต่ละคำที่อาจตีความหมายที่แตกต่างกัน ทำให้มีความเข้าใจที่ไม่ตรงกัน จึงจำเป็นต้องมีคำจำกัดความของคำเหล่านี้ไว้ สำหรับคำที่ไม่ได้ให้คำจำกัดความไว้ จะมีความหมายเป็นที่ยอมรับทั่วไปอยู่แล้ว จึงไม่ได้นำมาเขียนไว้ คำจำกัดความที่สำคัญมีดังนี้

(1) **ประตูหรือแด๊มเปอร์ระบายทิ้ง (Abort Gate/Abort Damper)** คือ อุปกรณ์สำหรับระบายวัสดุหรืออากาศออกสู่ภายนอกอาคารหรือไปยังที่ปลอดภัยในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้

(2) **เครื่องแยกอากาศ–วัสดุ (Air–Material Separator: AMS)** คือ อุปกรณ์สำหรับแยกอากาศซึ่งใช้ในการลำเลียงออกจากวัสดุที่ถูกลำเลียง

(2.1) **เครื่องแยกอากาศ–วัสดุปฐมภูมิ (Primary Air–Material Separator)** คือ อุปกรณ์ที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์หรือวัสดุออกจากมวลอากาศที่เป็นตัวลำเลียง

(2.2) **เครื่องแยกอากาศ–วัสดุทุติยภูมิ (Secondary Air–Material Separator)** คือ อุปกรณ์ที่ใช้แยกฝุ่นตกค้างหรือผลิตภัณฑ์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในมวลอากาศหลังจากที่มวลอากาศได้ผ่านเครื่องแยกอากาศจากวัสดุปฐมภูมิแล้ว

(3) **อุปกรณ์ขับเคลื่อนอากาศ (Air–Moving Device: AMD)** คือ พัดลมหรือพัดลมเป่าอากาศหรืออุปกรณ์อื่นที่ทำให้เกิดกระแสลมทำการขับเคลื่อนอากาศในปริมาตรที่กำหนดต่อหน่วยเวลา

(4) **ฝุ่นสันดาปได้ (Combustible Dust)** คือ อนุภาคของแข็งสันดาปได้ ซึ่งก่อให้เกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดแบบ Deflagration เมื่อแขวนลอยอยู่ในอากาศ หรือในตัวกลางอื่นที่เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความเข้มข้นระดับหนึ่ง โดยไม่คำนึงถึงขนาดหรือรูปร่างของอนุภาค

(5) **อนุภาคของแข็งสันดาปได้ (Combustible Particulate Solid)** คือ วัสดุที่เป็นของแข็งที่ติดไฟได้ทุกชนิดที่มีลักษณะเป็นอนุภาคหรือชิ้น ไม่ว่าจะมีขนาด รูปร่าง หรือองค์ประกอบทางเคมีอย่างไร

(6) **การแยกส่วน (Compartmentation)** คือ การใช้สิ่งขวางกั้นซึ่งไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติทนไฟหรือทนการระเบิด เพื่อจำกัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งสันดาปได้และควบคุมขนาดของพื้นที่อันตราย

(7) **การระเบิด (Explosion)** คือ การแตกออกของสิ่งปิดคลุมหรือภาชนะบรรจุเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความดันภายในจากการระเบิดแบบ Deflagration

(8) **การระเบิดแบบ Deflagration** คือ การลุกลามของบริเวณที่เผาไหม้ด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วของเสียงในตัวกลางที่ไม่ทำปฏิกิริยา

(9) **การระเบิดแบบ Detonation** คือ การลุกลามของบริเวณเผาไหม้ด้วยความเร็วมากกว่าความเร็วของเสียงในตัวกลางที่ไม่ทำปฏิกิริยา

(10) **การแยกออก (Detachment)** คือ การติดตั้งกระบวนการผลิตที่มีอนุภาคของแข็งสันดาปได้ไว้ในที่แจ้งหรือในอาคารที่แยกออกต่างหาก

(11) **เครื่องอบแห้ง (Dryer)** คือ อุปกรณ์ที่ใช้อุณหภูมิหรือความดันในการลดความชื้นหรือสารระเหยได้ออกจากวัสดุ

(12) **เครื่องดักฝุ่น (Dust Collector)** ดูข้อ 2.1 (2) เครื่องแยกอากาศ–วัสดุ

(13) **ส่วนผสมไฮบริด (Hybrid Mixture)** คือ ส่วนผสมของก๊าซไวไฟกับฝุ่นสันดาปได้หรือละอองของเหลวสันดาปได้

(14) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่น (Flexible Intermediate Bulk Container: FIBC)**

(14.1) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่น แบบ A** คือ บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่นที่ไม่นำไฟฟ้า

(14.2) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่น แบบ B** คือ บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่นที่มีเยื่อหรือชั้นของเยื่อชั้นนอก สารเคลือบและวัสดุกรุชั้นในยอมให้แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 6,000 โวลท์

(14.3) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่นแบบ C** คือ บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่นซึ่งทำจากวัสดุที่ทอด้วยเส้นใยนำไฟฟ้าและมีจุดสำหรับเชื่อมต่อสายดิน

(14.4) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่นแบบ D** คือ บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดยืดหยุ่นที่ทำจากเส้นใยที่มีคุณสมบัติพิเศษทางไฟฟ้าสถิตเพื่อควบคุมการถ่ายประจุไฟฟ้าสถิตโดยไม่ต้องมีสายดิน

(15) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดแข็ง (Rigid Intermediate Bulk Container: RIBC)** คือ บรรจุภัณฑ์ IBC ที่สามารถปิดครอบหรือหุ้มให้มิดชิดด้วยตะแกรงเหล็ก แผ่นโลหะหรือพลาสติกชั้นเดียว หรือผนังโฟม 2 ชั้น หรือพลาสติกแข็ง

(16) **บรรจุภัณฑ์ IBC ชนิดแข็ง (RIBC) ที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulating RIBC)** คือ RIBC ที่ทำด้วยพลาสติกชนิดแข็งล้วน ๆ หรือพลาสติกผสมโฟมซึ่งไม่สามารถเชื่อมต่อลงดิน

(17) **ขีดจำกัดล่างของการติดไฟ (Lower Flammable Limit: LFL)** คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ติดไฟได้ เมื่อมีแหล่งจุดติดไฟและส่วนผสมระหว่างก๊าซไวไฟหรือฝุ่นสันดาปที่ฟุ้งกระจายกับก๊าซออกซิไดเซอร์

(18) **ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Minimum Explosible Concentration: MEC)** คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของฝุ่นสันดาปได้ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศซึ่งก่อให้เกิดการระเบิดแบบ Deflagration มีหน่วยเป็นมวลต่อปริมาตร

(19) **วัสดุที่ไม่สันดาป (Noncombustible Material)** คือ วัสดุในสภาวะการใช้งานปกติไม่ติดไฟหรือไม่ช่วยให้เกิดการสันดาป ไหม้ไฟ หรือเกิดไอไวไฟเมื่อถูกไฟหรือความร้อน

(20) **ระบบลำเลียงด้วยลม** (Pneumatic Conveying System) คือ เครื่องป้อนวัสดุ เครื่องแยกอากาศ–วัสดุ ระบบท่อปิด หรืออุปกรณ์ขับเคลื่อนอากาศ ซึ่งลำเลียงอนุภาคของแข็งสันดาปได้จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยอากาศหรือก๊าซอื่น

(20.1) **ระบบลำเลียงด้วยลมความดันลบ** (Negative–Pressure Pneumatic Conveying System) คือ ระบบลำเลียงด้วยลมที่ลำเลียงวัสดุโดยใช้ก๊าซที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

(20.2) **ระบบลำเลียงด้วยลมความดันบวก** (Positive–Pressure Pneumatic Conveying System) คือ ระบบลำเลียงด้วยลมที่ลำเลียงวัสดุโดยใช้ก๊าซที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ

(21) **การเปลี่ยนทดแทนที่เท่าเทียมกัน** (Replacement–in–kind) คือ การเปลี่ยนทดแทนที่มีคุณสมบัติตามที่ออกแบบ

(22) **การกั้นแยก** (Segregation) คือ การจัดวางสิ่งกีดขวางทนไฟและทนการระเบิดคั่นระหว่างกระบวนการที่มีอนุภาคของแข็งสันดาปได้และกระบวนการอื่น

(23) **การแยกห่าง** (Separation) คือ การแยกกระบวนการที่มีอนุภาคของแข็งสันดาปได้และกระบวนการอื่นที่อยู่ในห้องเดียวกันให้อยู่ห่างกัน

(24) **ประกายไฟ** (Spark) คือ อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่ซึ่งปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบการแผ่รังสีเนื่องจากอุณหภูมิหรือการสันดาปที่ผิวอนุภาคนั้น

(25) **ฝาปิดช่องระบาย** (Vent Closure) คือ ฝาปิดช่องระบายความดัน

(26) **ความดันของการระเบิดขณะมีการระบายออก** (Vented Explosion Pressure, P_{red}) คือ ความดันสูงสุดที่เกิดขณะมีการระบายการระเบิดแบบ Deflagration ในภาชนะปิด

(27) **ผนังกั้นไฟ** (Fire Barrier Wall) คือ ผนังที่มีอัตราการทนไฟในระดับหนึ่งแต่ไม่ใช่ผนังทนไฟ

(28) **ผนังทนไฟ** (Fire Wall) คือ ผนังทึบที่ใช้แบ่งพื้นที่ในอาคารออกเป็นส่วนเพื่อควบคุมการลามของไฟ โดยมีอัตราการทนไฟของผนังต่าง ๆ

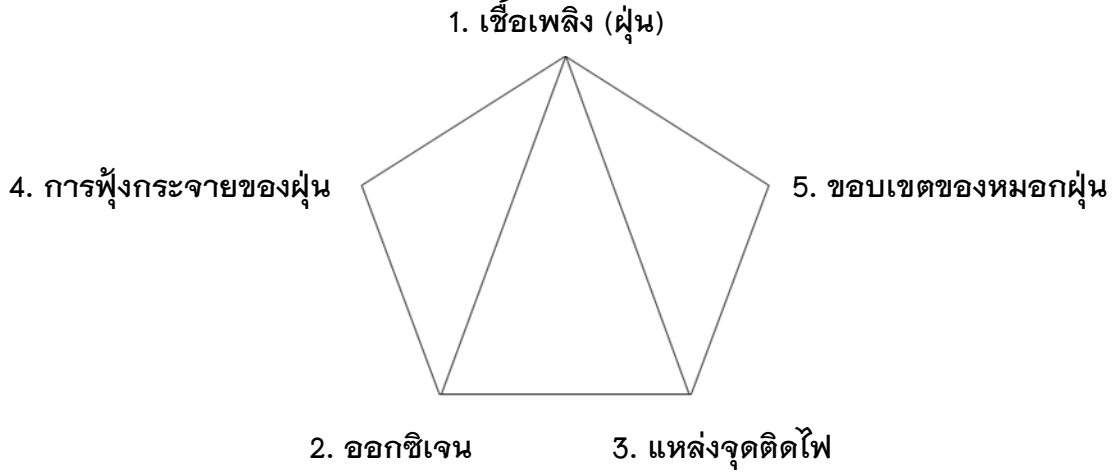
(29) **การเข้ากันได้กับน้ำ** (Water–Compatible) คือ วัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำหรือเข้ากันได้กับน้ำ คุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถใช้ระบบน้ำดับเพลิงกับวัสดุดังกล่าว

(30) **การเข้ากันไม่ได้กับน้ำ** (Water–Incompatible) คือ วัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ แต่เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือคุณลักษณะอย่างถาวร กลายเป็นวัสดุที่เข้ากันไม่ได้กับกระบวนการขั้นต่อไป

(31) **การทำปฏิกิริยากับน้ำ** (Water–Reactive) คือ วัสดุที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำและก่อให้เกิดสารประกอบอื่นซึ่งส่งผลต่อการป้องกันเพลิงไหม้

2.2 องค์ประกอบและลักษณะการระเบิดของฝุ่น

วัสดุที่มาจากสิ่งมีชีวิตที่เป็นของแข็ง โลหะ และวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ ซึ่งสามารถลุกไหม้ได้ถ้ามีขนาดเล็ก ๆ และฟุ้งกระจายในอากาศด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสม เมื่อเกิดความร้อนหรือประกายไฟก็สามารถเกิดการระเบิดได้ ทฤษฎีการระเบิดของฝุ่นมาจากทฤษฎีพื้นฐานของการเกิดไฟ ที่เราเรียกว่าทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟประกอบด้วยเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดความร้อนและออกซิเจน แต่เพิ่มการฟุ้งกระจายของเชื้อเพลิง (ฝุ่น) และขอบเขตของหมอกฝุ่น ดังนั้นองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่นมี 5 องค์ประกอบ เรียกว่า ห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่น (The Dust Explosion Pentagon) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่น

2.2.1 องค์ประกอบของการเกิดฝุ่นระเบิด ที่เรียกว่า ห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่น แต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1.1 เชื้อเพลิง (ในที่นี้ก็คือ ฝุ่นสันดาปได้) ที่สามารถเกิดการระเบิดได้นั้น ต้องสามารถติดไฟได้ มีขนาดเล็กกว่า 420 ไมโครเมตร (μm) ตาม NFPA 654 และมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยทั่วไปชนิดของฝุ่นที่ติดไฟจะแบ่งออกเป็น

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

2.2.1.2 ปริมาณออกซิเจนในอากาศ (Oxygen) มีผลต่อความเร็วในการเผาไหม้ ปริมาณออกซิเจนที่มากกว่า 20.9 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ฝุ่นลุกติดไฟได้อย่างรวดเร็ว ถ้าออกซิเจนมีปริมาณลดลงความเร็วในการเผาไหม้ก็จะลดลงตาม ออกซิเจนมีทั่วไปในอากาศ ดังนั้น การควบคุมออกซิเจนใน

บรรยากาศทั่วไป จะกระทำได้ยาก แต่ถ้าอยู่ภายในภาชนะปิด เช่น ท่อ ถัง และไซโล เป็นต้น จะสามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนได้

2.2.1.3 แหล่งจุดติดไฟ (Ignition Sources) ต้องมีพลังงานที่เพียงพอในการกระตุ้น การแพร่ขยายของเปลวไฟออกไปเป็นวงกว้างและสัมผัสกับฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ พลังงานต่ำสุดที่ใช้ในการจุดระเบิดจะลดลงตามขนาดและชนิดของอนุภาค เช่น ที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน ค่าพลังงานต่ำสุดที่ใช้ในการจุดระเบิดของโพลีเอทิลีนจะมีค่าสูงกว่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิดของอนุภาคอะลูมิเนียม แหล่งจุดติดไฟที่พบทั่วไป ได้แก่

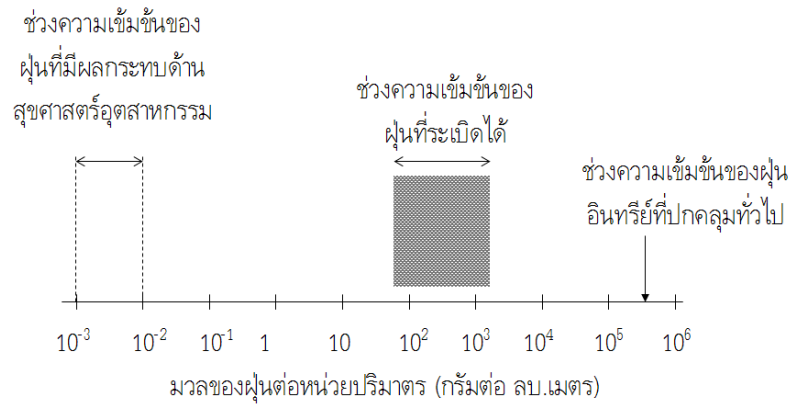
(1) เปลวไฟทั่วไป เช่น บุหรี่ เปลวไฟจากเตา สะเก็ดไฟที่เกิดจากการเชื่อมและตัดโลหะ เป็นต้น

(2) ประกายไฟและความร้อนจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ประกายไฟที่เกิดจากมอเตอร์ไฟฟ้า การเปิดปิดสวิตช์ไฟฟ้า การลัดวงจร ฟิวส์ สายไฟ และเต้าเสียบ สะเก็ดไฟที่เกิดจากการแตกระเบิดของหลอดไฟ ส่วนร้อนจัดของมอเตอร์และเครื่องมือให้แสงสว่าง และการลุกไหม้ของไอน้ำมันที่บรรจุอยู่ในหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น

(3) เกิดจากไฟฟ้าสถิต เนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับโลหะและระหว่างฝุ่นกับอากาศ กระบวนการผลิตที่มักก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้ คือ การบดย่อย การคัดแยกขนาด การลำเลียงด้วยลม ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าสถิต ต้องมีการต่อฝากระหว่างเครื่องจักรอุปกรณ์และบริเวณส่วนที่เป็นโลหะเข้าด้วยกันและมีการต่อลงดิน อุปกรณ์ที่มีโอกาสเกิดการสะสมประจุไฟฟ้าสถิตได้ง่าย เช่น ท่อขนส่ง สายพานลำเลียง เครื่องดักเก็บฝุ่น และถังบรรจุ เป็นต้น

(4) ความร้อนเฉพาะจุดของเครื่องจักรอุปกรณ์และประกายไฟที่เกิดจากการกระแทก หรือเสียดสี เช่น ความร้อนจัดของตลับลูกปืนโลหะ การหลุดเข้ามาของวัตถุหรือชิ้นส่วนแปลกปลอมในเครื่องผลิต เครื่องบดย่อยและเครื่องคัดขนาด การสัมผัสระหว่างใบพัดหรือชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรกับเครื่องป้องกันอันตราย หรือการใช้เครื่องมืออุปกรณ์จำพวกค้อนและไขควง เป็นต้น

2.2.1.4 การฟุ้งกระจายของฝุ่น (Dispersion of Dust Particles) ความเข้มข้นของฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศในช่วงที่ลุกไหม้หรือระเบิดได้ ต้องอยู่ในช่วงประมาณ 50–100 g/m^3 (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จนถึง 2 – 3 Kg/m^3 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะตัวของฝุ่นแต่ละชนิด และขนาดอนุภาค ความรุนแรงของการระเบิดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของฝุ่นจนถึงค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Concentration) จะให้ค่าความรุนแรงของการระเบิดของฝุ่นสูงสุด ช่วงความเข้มข้นของฝุ่นที่สามารถเกิดการระเบิดได้ในสภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติของแป้งข้าวโพด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ระเบิดได้จะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นฝุ่นที่มีผลกระทบด้านสุขภาพเป็นพันเท่า



รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นของฝุ่นแป้งข้าวโพด

วิวัฒน์และคณะ ได้ทดสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (MEC) ของแป้ง 4 ชนิด พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีค่า MEC ต่ำที่สุด รองลงมา คือ แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า แป้งมันสำปะหลังเฉื่อยที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งอีก 3 ชนิด พบว่าเปอร์เซ็นต์ของไขมันและโปรตีนมาก ค่า MEC ที่วัดได้ก็จะยิ่งต่ำ ความชื้นของฝุ่นแป้งมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิต่ำสุดที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่นแป้ง กล่าวคือฝุ่นแป้งที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดการระเบิดได้เท่ากับ 470 °C ถ้าความชื้นของฝุ่นแป้งลดลงเป็นศูนย์เปอร์เซ็นต์ ค่าอุณหภูมินี้จะลดลงเหลือเพียง 400 °C

2.2.1.5 ขอบเขตของหมอกฝุ่น (Confinement of the Dust Cloud) หมายถึง ขอบเขตที่เกิดหมอกฝุ่นปกคลุม อาจจะอยู่ในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เช่น เครื่องบด เครื่องผสม ตะแกรงคัดขนาด เครื่องอบแป้ง ไซโคลน สายพานลำเลียง ไซโล และท่อลำเลียงด้วยลม หรือการเกิดหมอกฝุ่นปกคลุมในห้องหรือพื้นที่เปิดโล่งก็ได้

2.2.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการระเบิดของฝุ่น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.2.1 ความไวในการจุดติดไฟ (Ignition Sensitivity) เป็นค่าความยากง่ายในการจุดติดไฟ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดในการจุดติดไฟ ค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิด และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดที่ยอมให้มีได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Minimum Explosible Concentration: MEC) หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศเป็นกลุ่มหมอกฝุ่น (Dust Cloud) ที่สามารถก่อให้เกิดการระเบิดได้ ถ้าค่าความเข้มข้นของฝุ่นต่ำกว่าค่า MEC ก็จะไม่เกิดการระเบิดของฝุ่น โดยทั่วไปค่า MEC มีค่าประมาณ 50 – 100 g/m^3 จนถึง 2 – 3 Kg/m^3 หมอกฝุ่นที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นมากกว่าค่า MEC มักพบในกระบวนการผลิตแบบปิด เช่น เครื่องบด เครื่องผสม เครื่องร่อน เครื่องกรอง ท่อลำเลียงด้วยลม เครื่องอบแห้ง และเครื่องแยกฝุ่น เป็นต้น

(2) ค่าอุณหภูมิต่ำสุดในการจุดติดไฟ (Minimum Ignition Temperature: MIT) คือ ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ฝุ่นสามารถติดไฟได้ ค่า MIT ใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการพิจารณาค่าอุณหภูมิการ

ทำงานสูงสุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักร เพื่อป้องกันมิให้ฝุ่นลุกติดไฟได้เอง ขณะที่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า

(3) ค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (Minimum Ignition Energy: MIE) คือ ค่าพลังงานน้อยที่สุดที่ฝุ่นสามารถจุดติดไฟได้ โดยต้องพิจารณาความชื้นของฝุ่น และส่วนประกอบของกลุ่มหมอกฝุ่นด้วย ฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะสามารถจุดติดไฟได้ง่าย ถ้าฝุ่นมีความชื้นมาก การจุดติดไฟจะยากขึ้นและค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟก็จะเพิ่มตามไปด้วย

(4) ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (Maximum Permissible Oxygen Concentration) คือ ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนสำหรับป้องกันการระเบิดของฝุ่นแต่ละชนิด

สำหรับความร้อนหรือประกายไฟที่เกิดขึ้นอาจไม่ถึงขั้นทำให้เกิดการระเบิด แต่ก่อให้เกิดการลุกติดไฟขึ้นมาแล้วลุกลามหรือรุนแรงขึ้น จนมีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะนำไปสู่การระเบิดของฝุ่นได้

ฝุ่นที่ฟุ้งกระจายแล้วตกมากองกับพื้นหรือผนังหรือพื้นผิวอื่น ต้องการอุณหภูมิที่ลุกติดไฟไม่เหมือนกันกับกรณีที่ฝุ่นฟุ้งกระจายเป็นหมอกฝุ่น ดังตารางที่ 2.1 แสดงค่าอุณหภูมิจุดติดไฟของฝุ่นชนิดต่าง ๆ แยกตามลักษณะว่าเป็นกองฝุ่นหรือเป็นหมอกฝุ่น

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิที่จุดติดไฟของฝุ่นชนิดต่าง ๆ แยกตามลักษณะว่าเป็นกองฝุ่นอยู่หรือเป็นหมอกฝุ่น

ชนิดของฝุ่น	**อุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดไฟ (MIT) (°C)**		**อุณหภูมิที่ยอมให้มีได้ (°C)**									
	กองฝุ่น	**หมอกฝุ่น**	**450.. >300**	**300.. >280**	**280.. >260**	**260.. >230**	**230.. >215**	**215.. >200**	**200.. >180**	**180.. >165**	**165.. >160**	**160.. >135**
Cotton	350	560			275							
Brown coal	225	380										150
Cellulose	370	500		295								
Cereals	290	420						215				
Wood resin	290	500						215				
Sawdust (wood)	300	400					225					
Cocoa	460	580	385									
Copra	290	470						215				
Cork	300	470					225					
Fodder concentrate	295	525					220					

ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิที่จุดติดไฟของฝุ่นชนิดต่าง ๆ แยกตามลักษณะว่าเป็นกองฝุ่นอยู่หรือเป็นหมอกฝุ่น (ต่อ)

ชนิดของฝุ่น	อุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดไฟ (MIT) (°C)		อุณหภูมิที่ยอมให้มีได้ (°C)									
	กองฝุ่น	หมอกฝุ่น	450.. >300	300.. >280	280.. >260	260.. >230	230.. >215	215.. >200	200.. >180	180.. >165	165.. >160	160.. >135
Linen	230	440										155
Milk powder	340	440			265							
Paper	300	540					225					
Pectin sugar	380	410			273*							
Soya	245	500								170		
Starch	290	440						215				
Hard coal	245	590								170		
Tobacco	300	450					225					
Tapioca	290	450						215				
Tea	300	510					225					
Peat	295	360					220					
Wheat flour	450	480	320*									
Sugar beet	290	460						215				
Cellulose ether	275	330							200			
Isosorbide dinitrate	240	220										146*
Unvulcanised rubber	220	460										145
Petroleum coke	280	690						205				
Polysaccharide derive	270	580							195			

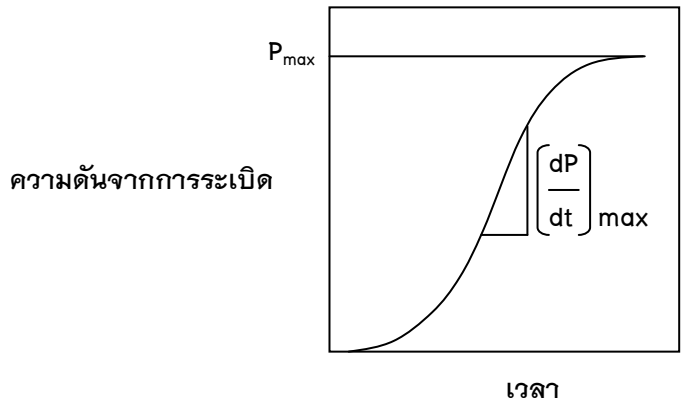
ตารางที่ 2.1 แสดงอุณหภูมิที่จุดติดไฟของฝุ่นชนิดต่าง ๆ แยกตามลักษณะว่าเป็นกองฝุ่นอยู่หรือเป็นหมอกฝุ่น (ต่อ)

ชนิดของฝุ่น	อุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดไฟ (MIT) (°C)		อุณหภูมิที่ยอมให้มีได้ (°C)									
	กองฝุ่น	หมอกฝุ่น	450.. >300	300.. >280	280.. >260	260.. >230	230.. >215	215.. >200	200.. >180	180.. >165	165.. >160	160.. >135
Polyvinyl acetate	340	500			265							
Polyvinyl chloride	380	530	305									
Soot	385	620	310									
Laminated plastic	330	510				255						
Sulphur	280	280							186*			
Aluminium	280	530						205				
Bronze	260	390							185			
Iron	300	310						206*				
Copper silicon alloy	305	690					230					
Magnesium	410	610	335									
Manganese	285	330						210				
Zinc	440	570	365									

หมายเหตุ ข้อมูลจาก BARTEC 330GmbH เยอรมนี

* อุณหภูมิที่ยอมให้มีได้ของหมอกฝุ่น คือ ค่าอุณหภูมิ 2/3 ของอุณหภูมิจุดติดไฟของหมอกฝุ่น ส่วนอุณหภูมิที่ยอมให้มีได้ของกองฝุ่น คือ ค่าอุณหภูมิจุดติดไฟของกองฝุ่น ลบด้วย 75

2.2.2.2 ค่าความรุนแรงของการระเบิด (Explosion Severity) จะเกี่ยวข้องกับ 2 ปัจจัย คือ ค่าความดันสูงสุดจากการระเบิดภายในพื้นที่ปิด (Maximum Explosion Pressure: P_{max}) และอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของความดันเทียบกับเวลา $(dP/dT)_{max}$ หรืออาจเรียกว่าค่าความรุนแรงของการระเบิด (Explosion Violence) ค่าทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 เมื่อกำหนดให้แกน X คือ เวลา แกน Y คือ ความดันที่เกิดจากการระเบิด โดยปกติค่าทั้งสองนี้จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของฝุ่น



รูปที่ 2.3 แสดงค่าความดันอากาศเมื่อเกิดการระเบิดภายในพื้นที่ปิดที่ความเข้มข้นของฝุ่นค่าหนึ่ง

Abbasi and Abbasi ได้อธิบายการคำนวณค่าความรุนแรงของการระเบิด (Deflagrate Index, K_{st}) จากสมการที่ 1

$$K_{st} = (dP/dT)_{max} \times V^{1/3} \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ $(dP/dT)_{max}$ คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูงสุดเทียบกับเวลา

V คือ ค่าปริมาตรที่ทำการทดสอบ คือ 20 ลิตร หรือ 1 ลบ.ม.

K_{st} คือ ค่าความรุนแรงของการระเบิด (bar.m/s)

เราสามารถแบ่งระดับอันตรายของฝุ่นที่สามารถระเบิดได้จากค่า K_{st} ตารางที่ 2.2 Ebadat (2006) อธิบายไว้ว่าแรงดันสูงสุดที่เกิดจากการระเบิดของฝุ่นมีค่าอยู่ระหว่าง 8 – 12 barg (Bar gage) โดยค่าแรงดันสูงสุดที่เกิดจากการระเบิดของฝุ่นแป้งเท่ากับ 8.4 barg ค่าความรุนแรงของการระเบิดเท่ากับ 150 K_{st} จัดอยู่ในกลุ่ม ST1 คือ จะเกิดการระเบิดไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับฝุ่นชนิดอื่นที่เกิดการระเบิดได้ แต่สามารถสร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างของอาคารและเครื่องจักรขนาดใหญ่ได้

ตารางที่ 2.2 การจัดกลุ่มฝุ่นที่สามารถระเบิดได้

ค่า Kst (bar.m/s)	**กลุ่มของฝุ่นที่เกิดการระเบิด**	**ระดับอันตราย**
0	ST 0	ไม่เกิดการระเบิด
0 – 200	ST 1	เกิดการระเบิดไม่รุนแรง
200 – 300	ST 2	เกิดการระเบิดรุนแรง
> 300	ST 3	เกิดการระเบิดรุนแรงมาก

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดระหว่างฝุ่นแป้งชนิดต่างๆ และฝุ่นอะลูมิเนียม โดยค่าที่แสดงในตารางนี้จะเป็นค่าที่ได้จากการทดลองว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (MEC) ของฝุ่นแป้งมันสำปะหลังมีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับฝุ่นแป้งชนิดอื่น แสดงว่าแป้งมันสำปะหลังมีความไวในการเกิดการระเบิดต่ำที่สุด ส่วนค่าความดันสูงสุดเมื่อเกิดการระเบิดของฝุ่นแป้งทั้งหมดนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 9.5–10 barg ซึ่งต่ำกว่าฝุ่นอะลูมิเนียมที่มีค่าสูงถึง 12.4 barg นอกจากนี้ค่า K_{st} ของแป้งมันสำปะหลังยังมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้น ความรุนแรงของการเกิดการระเบิดมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับฝุ่นแป้งชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดระหว่างฝุ่นแป้งชนิดต่าง ๆ และฝุ่นอะลูมิเนียม

ชนิดของฝุ่น	ความไวในการจุดติดไฟ			ความรุนแรงของการระเบิด	
	MEC (g/m^3)	MIT (^oC)	MIE (mJ)	P_{max} (barg)	K_{st} (bar.m/s)
แป้งสาลี	60	500	540	9.8	132
แป้งข้าวโพด	60	520	300	9.7	158
แป้งข้าว	60	530	> 100	10.0	190
แป้งมันสำปะหลัง	125	450	–	9.5	53
อะลูมิเนียม	30	710	> 1,800	12.4	415

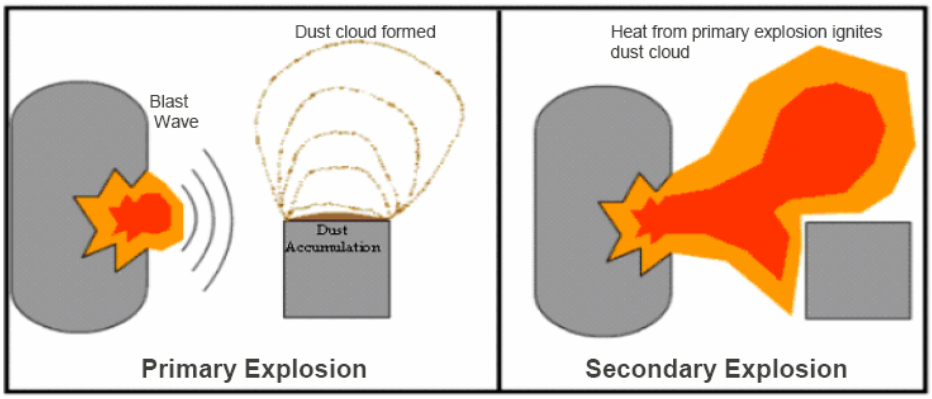
2.2.3 ลักษณะการระเบิดของฝุ่น

การระเบิดของฝุ่นมีโอกาสเกิดทั้งในพื้นที่จำกัดและพื้นที่ไม่จำกัด นอกจากนั้น เมื่อมีการระเบิดของฝุ่นแล้วอาจมีการเกิดการระเบิดครั้งที่สอง หรือครั้งต่อ ๆ ไปได้อีก

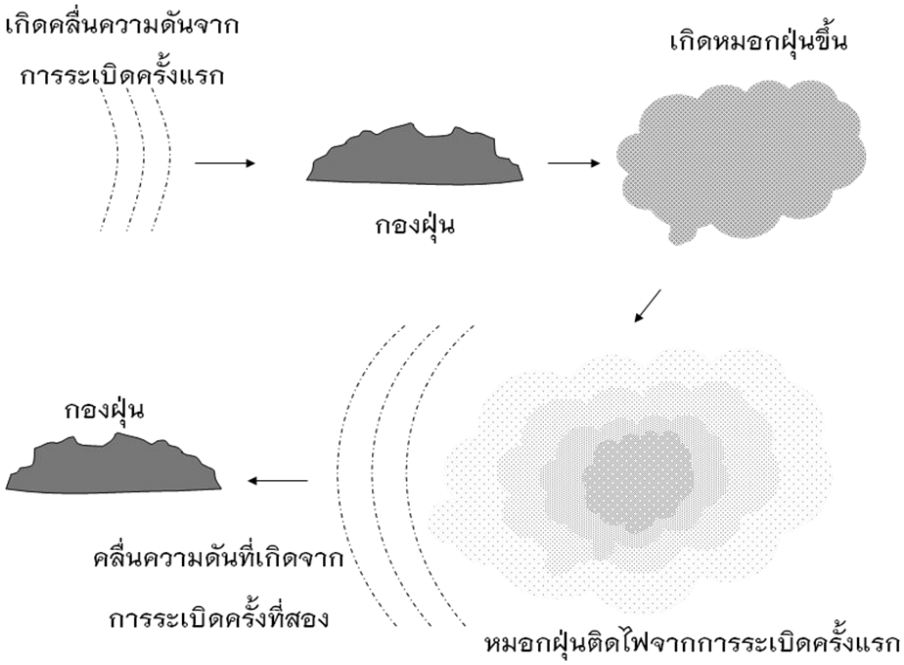
การระเบิดทั้งของก๊าซและฝุ่นในที่จำกัด จะรุนแรงมากกว่าการระเบิดในที่โล่ง เช่น การระเบิดในท่อ ในภาชนะ หรือในอาคาร จะทำให้มีความดันสูงถึง 100 KPa แต่ถ้าเป็นที่โล่งจะเกิดความดันเพียง 2–3 KPa

การระเบิดของฝุ่นเกิดได้กับอนุภาคขนาดเล็กที่ติดไฟได้ จากรายงานของ Echoff ได้แสดงการเพิ่มขึ้นของอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับเวลาของแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพด จาก 200 เป็น 500 bar.m/s เมื่อพื้นที่ผิวของแป้งเพิ่มขึ้น หรือขนาดอนุภาคเล็กลง Bartdnecht ได้แสดงการลดขนาดของอนุภาคของโพลีเอทิลีนจาก 300 เป็น 100 μm ก่อให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับเวลาจาก 10 เป็น 170 bar.m/s ขนาดของอนุภาคกับความรุนแรงของการระเบิดจะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของอนุภาคด้วย

ลักษณะการระเบิดของฝุ่นจะมี 2 ลักษณะ คือ การระเบิดแบบปฐมภูมิ (Primary Explosion) เป็นการระเบิดครั้งแรก และหากไม่มีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่เพียงพอ อาจทำให้เกิดการแตกเสียหายของภาชนะบรรจุได้ ส่งผลให้เกิดกลุ่มหรือหมอกฝุ่นขึ้น และรับพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมา ก่อให้เกิดการระเบิดครั้งที่ 2 เรียกว่า การระเบิดแบบทุติยภูมิ (Secondary Explosion) ซึ่งจะมีความรุนแรงกว่าการระเบิดแบบปฐมภูมิมาก และสามารถเกิดลักษณะนี้ต่อไปเรื่อย ๆ เรียกว่า ผลกระทบแบบโดมิโน (Domino Effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อเกิดฝุ่นระเบิดในภาชนะ ทำให้ภาชนะแตกเกิดคลื่นความดันแพร่ขยายตัวออกไป ทำให้ฝุ่นที่ตกสะสมตามพื้นโรงงาน พื้นเครื่องจักร และจุดอื่น ๆ เกิดการฟุ้งกระจายกลายเป็นหมอกฝุ่น จากนั้นความร้อนจากการระเบิดครั้งแรก จะทำให้หมอกฝุ่นเหล่านี้เกิดการระเบิดครั้งที่ 2 รูปที่ 2.5 แสดงปรากฏการณ์การระเบิดของฝุ่นที่กองอยู่ที่พื้น ทำให้เกิดการระเบิดครั้งที่ 2 และครั้งต่อ ๆ ไปได้



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดระเบิดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2



รูปที่ 2.5 แสดงปรากฏการณ์การระเบิดของฝุ่นที่กองอยู่ที่พื้น

2.3 ชนิดของฝุ่นระเบิดได้

จากการศึกษาชนิดของฝุ่นระเบิดได้ทั้งในสหรัฐอเมริกา โดย OSHA (Occupational Safety and Health Administration), NFPA (National Fire Protection Association), CSB (The US Chemical Safety and Hazard Investigation Board) และ U.S. Department of Agriculture และการศึกษาในเยอรมนี โดย Beck พบว่าการกำหนดถึงลักษณะหรือสมบัติของฝุ่นระเบิดได้ ของ OSHA และ NFPA ค่อนข้างละเอียด ซึ่งอาจมีข้อมูลบางส่วนซ้ำกันบ้าง แต่ไม่มากนัก การกำหนดถึงลักษณะหรือสมบัติของฝุ่นระเบิดได้ของแต่ละหน่วยงานมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ชนิดฝุ่นระเบิดได้ แบ่งตาม OSHA

OSHA เป็นหน่วยงานของรัฐที่ดูแลกฎหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยของสหรัฐอเมริกา ได้แบ่งฝุ่นระเบิดออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (Agricultural Products) มี 13 ชนิด คือ		
- Egg white	-Starch, rice	- Tapioca
- Milk, powdered	-Starch, wheat	- Whey
- Milk, nonfat, dry	-Sugar	- Wood flour
- Soy flour	-Sugar, milk	
- Starch, corn	-Sugar, beet	

2) ฝุ่นจากผลผลิตทางการเกษตร (Agricultural Dusts) มี 54 ชนิด คือ		
- Alfalfa	- Lemon peel dust	- Rice flour
- Apple	- Lemon pulp	- Rice starch
- Beet root	- Linseed	- Rye flour
- Carrageen	- Locust bean gum	- Semolina
- Carrot	- Malt	- Soybean dust
- Cocoa bean dust	- Oat flour	- Spice dust
- Cocoa powder	- Oat grain dust	- Spice powder
- Coconut shell dust	- Olive pellets	- Sugar (10x)
- Coffee dust	- Onion powder	- Sunflower
- Corn meal	- Parsley (dehydrated)	- Sunflower seed dust
- Cornstarch	- Peach	- Tea

2) ฝุ่นจากผลผลิตทางการเกษตร (Agricultural Dusts) มี 54 ชนิด (ต่อ) คือ		
- Cotton	- Peanut meal and skins	- Tobacco blend
- Cottonseed	- Peat	- Tomato
- Garlic powder	- Potato	- Walnut dust
- Gluten	- Potato flour	- Wheat flour
- Grass dust	- Potato starch	- Wheat grain dust
- Green coffee	- Raw yucca seed dust	- Wheat starch
- Hops (malted)	- Rice dust	- Xanthan gum

3) ฝุ่นถ่าน (Carbonaceous Dusts) มี 12 ชนิด คือ		
- Charcoal, activated	- Lampblack	- Cellulose
- Charcoal, wood	- Lignite	- Cellulose pulp
- Coal, bituminous	- Peat, 22%H_2O	- Cork
- Coke, petroleum	- Soot, pine	- Corn

4) ฝุ่นสารเคมี (Chemical Dusts) มี 14 ชนิด คือ		
- Adipic acid	- Carboxy–methylcellulose	- Paraformaldehyde
- Anthraquinone	- Dextrin	- Sodium ascorbate
- Ascorbic acid	- Lactose	- Sodium stearate
- Calcium acetate	- Lead stearate	- Sulfur
- Calcium stearate	- Methyl–cellulose	

5) ฝุ่นโลหะ (Metal Dusts) มี 5 ชนิด คือ		
- Aluminum	- Iron carbonyl	- Zinc
- Bronze	- Magnesium	

6) ฝุ่นพลาสติก (Plastic Dusts) มี 18 ชนิด คือ		
- (Poly) Acrylamide	- Melamine, molded (wood flour and mineral filled phenol–formaldehyde)	- (poly) Vinyl acetate/ ethylene copolymer
- (Poly) Acrylonitrile		- (poly) Vinyl alcohol
- (poly) Methyl acrylate		

6) ฝุ่นพลาสติก (Plastic Dusts) มี 18 ชนิด (ต่อ) คือ		
- (Poly) Ethylene (low–pressure process) - Epoxy resin - Melamine resin - Melamine, molded (phenol–cellulose)	- (poly) Methyl acrylate, emulsion polymer - Phenolic resin - Urea–formaldehyde/ cellulose, molded - (poly) Propylene - Tarpene–phenol resin	- (poly) Vinyl butyral - (poly) Vinyl chloride/ ethylene/ vinyl acetylene suspension copolymer - (poly) Vinyl chloride/ vinyl acetylene emulsion copolymer

2.3.2 ชนิดฝุ่นระเบิดได้ แบ่งตาม NFPA

NFPA เป็นสมาคมวิชาชีพด้านการป้องกันการเกิดอัคคีภัยระดับชาติของสหรัฐอเมริกา ได้จำแนกฝุ่นระเบิดออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม E กลุ่ม F และกลุ่ม G ตาม NFPA 499 ดังนี้

กลุ่ม E วัสดุ (Material) มี 26 ชนิด คือ		
- Aluminum, atomized collector fines - Aluminum, A422 flake - Aluminum – cobalt alloy (60–40) - Aluminum – copper alloy (50–50) - Aluminum – lithium alloy (15% Li) - Aluminum – magnesium alloy (Dowmetal) - Aluminum – nickel alloy (58–42) - Zirconium Hydride, (93.6% Zr, 2.1% H_2)	- Aluminum – silicon alloy (12% Si) - Boron, commercial–amorphous (85% B) - Calcium Silicide - Chromium, (97%) electrolytic, milled - Ferronmanganese, medium carbon - Ferrosilicon (88%,9%Fe) - Ferrotitanium (19% Ti, 74.1% Fe, 0.06% C) - Iron, 98%, H_2 reduced - Magnesium, Grade B, milled	- Iron, 99%, Carbonyl - Manganese - Silicon, 96%, milled - Tantalum - Thorium, 1.2%, O_2 - Tin, 96%, atomized (2% Pb) - Titanium, 99% - Titanium Hydride, (95% Ti, 3.8% H_2) - Vanadium, 86.4%

กลุ่ม F ฝุ่นถ่าน (Carbonaceous dusts) มี 10 ชนิด คือ		
- Asphalt, (Blown Petroleum Resin) - Charcoal - Coal, Kentucky Bituminous	- Coal, Pittsburgh Experimental - Coal, Wyoming - Gilsonite	- Pitch, Coal Tar - Pitch, Petroleum - Shale, Oil - Lignite,California

กลุ่ม G ฝุ่นที่ไม่จัดในกลุ่ม E หรือ F โดยแบ่งเป็น 8 กลุ่มย่อยได้ดังนี้		
1) ฝุ่นจากผลผลิตทางการเกษตร (Agricultural Dusts) มี 56 ชนิด คือ		
- Alfalfa Meal - Almond Shell - Apricot Pit - Cellulose - Cherry Pit - Cinnamon - Citrus Peel - Cocoa Bean Shell - Cocoa, natural, 19% fat - Coconut Shell - Corn - Corncob Grit - Corn Dextrine - Cornstarch, commercial - Cornstarch, modified - Cork - Cottonseed Meal - Cube Root, South Amer. - Flax Shive	- Garlic, dehydrated - Guar Seed - Gum, Arabic - Gum, Karaya - Gum, Manila (copal) - Gum, Tragacanth - Hemp Hurd - Lycopodium - Malt Barley - Milk, Skimmed - Pea Flour - Peach Pit Shell - Peanut Hull - Peat, Sphagnum - Pecan Nut Shell - Pectin - Potato Starch, Dextrinate - Pyrethrum - Rauwolfia Vomitoria Root	- Rice - Rice Bran - Rice Hull - Safflower Meal - Soy Flour - Soy Protein - Sucrose - Sugar, Powdered - Tung, Kernels, Oil–Free - Walnut Shell, Black - Wheat - Wheat Flour - Wheat Gluten, gum - Wheat Starch - Wheat Straw - Woodbark, Ground - Wood Flour - Yeast,Torula

2) สารเคมี (Chemicals) มี 41 ชนิด คือ		
- Acetoacetanilide - Acetoacet–p–phenetidide	- Dicyclopentadiene Dioxide - Dihydroacetic Acid	- Nitrosoamine - Para–oxy–benzaldehyde

2) สารเคมี (Chemicals) มี 41 ชนิด (ต่อ) คือ		
- Adipic Acid - Anthranilic Acid - Aryl–nitrosomethylamide - Azelaic Acid - 2,2–Azo–bis–butyronitrile - Benzoic Acid - Benzotriazole - Bisphenol–A - Chloroacetoacetanilide - Diallyl Phthalate - Dicumyl Peroxide (suspended on $CaCO_3$), 40–60	- Dimethyl Isophthalate - Dimethyl Terephthalate - 3,5–Dinitrobenzoic Acid - Dinitrotoluamide - Diphenyl - Ditertiary Butyl Paracresol - Ethyl Hydroxyethyl Cellulose - Fumaric Acid - Hexamethylene Tetramine - Hydroxyethyl Cellulose - Isotoic Anhydride - Methionine	- Paraphenylene Diamine - Paratertiary Butyl Benzoic Acid - Pentaerythritol - Phenylbetanaphthylamine - Phthalic Anydride - Phthalimide - Salicylanilide - Sorbic Acid - Stearic Acid, Aluminum Salt - Stearic Acid, Zinc Salt - Sulfur - Terephthalic Acid

3) ยา (Drugs) มี 9 ชนิด คือ		
-2–Acetylamino–5–nitrothiazole -2–Amino–5–nitrothiazole -Aspirin	-Gulasonic Acid, Diacetone -Mannitol -Nitropyridone -1–Sorbose	-Vitamin B1, mononitrate -Vitamin C (Ascorbic Acid)

4) Dyes, Pigments และ Intermediates มี 4 ชนิด คือ		
- Beta–naphthalene–azo–Dimethylaniline	- Green Base Harmon Dye - Red Dye Intermediate	- Violet 200 Dye

5) ยากำจัดศัตรูพืช (Pesticides) มี 10 ชนิด คือ		
- Benzethonium Chloride - Bis(2–Hydroxy–5–chlorophenyl) methane - Crag No.974 - Dieldrin (20%)	- 2,6–Ditertiary–butyl–paracresol - Dithane - Ferbam - Sevin	- α, α – Trithiobis(N,N–Dimethylthio–formamide) - Manganese Vancide

6) Thermoplastic resins and molding compounds แบ่งเป็น 12 กลุ่มย่อย คือ		
6.1) Acetal resin มี 1 ชนิด คือ Acetal, Linear (Polyformaldehyde)		
6.2) Acrylic resins มี 9 ชนิด คือ		
- Acrylamide Polymer - Acrylonitrile Polymer - Acrylonitrile–Vinyl Pyridine Copolymer - Acrylonitrile–Vinyl Chloride–Vinylidene Chloride Copolymer (70–20–10)	- Methyl Methacrylate Polymer - Methyl Methacrylate–Ethyl Acrylate Copolymer - Methyl Methacrylate–Ethly Acrylate–Styrene Copolymer - Methacrylic Acid Polymer	- Methyl Methacrylate–Styrene–Butadiene–Acrylonitrile Copolymer
6.3) Cellulosic resins มี 8 ชนิด คือ		
-Cellulose Acetate -Cellulose Triacetate -Cellulose Acetate Butyrate	-Cellulose Propionate -Ethyl Cellulose -Methyl Cellulose	-Carboxymethyl Cellulose -Hydroxyethyl Cellulose
6.4) Chlorinated polyether resin มี 1 ชนิด คือ Chlorinated Polyether Alcohol		
6.5) Nylon (Polyamide) resin มี 1 ชนิด คือ Nylon Polymer (Polyhexa–methylene Adipamide)		
6.6) Polycarbonate resin มี 1 ชนิด คือ Polycarbonate		
6.7) Polyethylene resins มี 3 ชนิด คือ		
-Polyethylene, High Pressure Process	-Polyethylene, Low Pressure Process	-Polyethylene Wax
6.8) Polymethylene resin มี 1 ชนิด คือ Carboxypolymethylene		
6.9) Polypropylene resin มี 1 ชนิด คือ Polypropylene (No Antioxidant)		
6.10) Rayon resin มี 1 ชนิด คือ Rayon (Viscose) Flock		
6.11) Styrene resins มี 4 ชนิด คือ		
- Polystyrene Molding Cmpd. - Polystyrene Latex	- Styrene–Acrylonitrile (70–30)	- Styrene–Butadiene Latex (>75% Styrene; Alum Coagulated)

6.12) Vinyl resins มี 6 ชนิด คือ		
- Polyvinyl Acetate - Polyvinyl Acetate/Alcohol - Polyvinyl Butyral	- Vinyl Chloride–Acrylonitrile Copolymer - Polyvinyl Chloride–Dioctyl Phthalate Mixture	- Vinyl Toluene–Acrylonitrile Butadiene Copolymer

7) Thermosetting resins and molding compounds แบ่งเป็น 6 กลุ่มย่อย คือ		
7.1) Allyl resin มี 1 ชนิด คือ Allyl Alcohol Derivative (CR–39)		
7.2) Amino resins มี 2 ชนิด คือ		
- Urea Formaldehyde Molding Compound	- Urea Formaldehyde–Phenol Formaldehyde Molding compound (Wood Flour Filter)	
7.3) Epoxy resins มี 3 ชนิด คือ		
- Epoxy	- Epoxy–Bisphenol A	- Phenol Furfural
7.4) Phenolic resins มี 3 ชนิด คือ		
- Phenol Formaldehyde	- Phenol Formaldehyde Molding Cmpd. (Wood Flour Filter)	- Phenol Formaldehyde, Polyalkylene–Polyamine Modified
7.5) Polyester resins มี 2 ชนิด คือ		
- Polyethylene Terephthalate	- Styrene Modified Polyester–Glass Fiber Mixture	
7.6) Polyurethane resins มี 2 ชนิด คือ		
- Polyurethane Foam, No Fire Retardant	- Polyurethane Foam, Fire Retardant	

8) Special resins and molding compounds มี 15 ชนิด คือ		
- Alkyl Ketone Dimer Sizing Compound - Cashew Oil, Phenolic, Hard - Chlorinated Phenol - Coumarone–Indene, Hard - Ethylene Oxide Polymer	- Ethylene–Maleic Anhydride Copolymer - Lignin, Hydrolized, Wood–Type, Fines - Petrin Acrylate Monomer - Rosin, DK	- Rubber, Crude, Hard - Rubber, Synthetic, Hard (33%S) - Shellac - Sodium Resinate

8) Special resins and molding compounds มี 15 ชนิด (ต่อ) คือ		
- Petroleum Resin (Blown Asphalt	- Styrene – Maleic Anhydride Copolymer	

2.3.3 ชนิดฝุ่นระเบิด แบ่งตาม U.S. Department of Agriculture

U.S. Department of Agriculture เป็นหน่วยงานของรัฐที่รับผิดชอบด้านเกษตรกรรมของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดฝุ่นที่มีศักยภาพในการระเบิดได้เป็น 8 ชนิด คือ

1) Carbon เช่น Coal, Peat, Charcoal, Coke, Lampblack

2) Fertilizers เช่น Bone meal, Fish meal, Blood flour

3) Food Products and by Products เช่น Starches, Sugars, Flour, Cocoa, Powdered milk, Grain dust

4) Metal Powders เช่น Aluminum, Magnesium, Zinc, Iron

5) Resins, Waxes and Soaps เช่น Shellac, Rosin, Gum–Sodium resinate, Soap powder, waxes

6) Spices, Drugs and Insecticides เช่น Cinnamon, Pepper, Gentian, Pyrethrum, Tea fluff

7) Wood, Paper, Tanning materials เช่น Wood flour, Wood dust, Cellulose, Cork, Bark

8) Miscellaneous เช่น Hard Rubber, Sulfur, Tobacco, Many Plastics

2.4 ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจมีฝุ่นระเบิดได้

จากการศึกษาข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่นทั้งในประเทศและต่างประเทศ และการศึกษาชนิดของฝุ่นระเบิดได้ในสหรัฐอเมริกา เช่น OSHA NFPA CSB และ U.S. Department of Agriculture รวมถึงการสอบถามจากผู้มีประสบการณ์ เช่น พนักงานเจ้าหน้าที่ที่เคยตรวจสอบโรงงานที่มีการระเบิดของฝุ่น และผู้ประกอบกิจการโรงงาน มาประกอบการพิจารณา จึงสามารถแบ่งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ภายในประเทศที่อาจมีฝุ่นระเบิดได้ โดยแบ่งตามลำดับที่ ประเภทหรือชนิดของโรงงานตามบัญชีท้ายกฎกระทรวง พ.ศ. 2535 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดฝุ่นระเบิดได้ และประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจมีฝุ่นระเบิดได้

ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ชนิดฝุ่นระเบิดได้
9 9(2)	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับเมล็ดพืช หรือหัวพืช อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้ โรงงานผลิตแป้ง	แป้ง
 50(3) 102 –	<u>เฉพาะโรงงานที่ผลิตหรือใช้ถ่านหิน</u> การทำเชื้อเพลิงก้อนหรือสำเร็จรูปจากถ่านหินหรือลิกไนต์ที่แต่งแล้ว โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตหรือจ่ายไอน้ำ เฉพาะที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง	ถ่านหิน
 2(5) 7(1) 15(1) 15(2) 19(1) 19(2)	<u>เฉพาะที่มีการเก็บในไซโล</u> การเก็บรักษาหรือลำเลียงพืช เมล็ดพืช หรือผลิตผลจากพืชในไซโล โกดัง หรือคลังสินค้า การสกัดน้ำมันจากพืช ฯ การทำอาหารผสมหรืออาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์ การป่นหรือบดพืช เมล็ดพืช ฯ การทำ ป่น หรือบดมอลต์ การทำเบียร์	ธัญพืช
34(1) 34(2) 34(3) 37	การเลื่อย ไส ซอย เซาะร่องหรือการแปรรูปไม้ ฯ การทำวงกบ ขอบประตู ฯ การทำไม้วีเนียร์ หรือไม้อัดทุกชนิด โรงงานผลิตเครื่องเรือนหรือเครื่องตบแต่งภายในอาคารจากไม้ ฯ	ไม้
11(3) 11(4) 11(5)	การทำน้ำตาลทรายดิบหรือน้ำตาลทรายขาว การทำน้ำตาลทรายดิบหรือน้ำตาลทรายขาวให้บริสุทธิ์ การทำน้ำตาลก้อนหรือน้ำตาลผง	น้ำตาลทราย
7(5)	การทำเนยเทียม ครีมเทียม หรือน้ำมันผสมสำหรับปรุงอาหาร	อาหาร
59 –	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการถลุง หลอม หล่อ รีด ดึง หรือผลิตเหล็กหรือเหล็กกล้าขั้นต้น (Iron and Steel Basic Industries) โรงงานที่มีการใช้โลหะที่มีลักษณะเป็นผง เช่น Aluminium, Chromium, Iron, Magnesium, Manganese, Tantalum, Tin, Titanium และ Vanadium	โลหะ

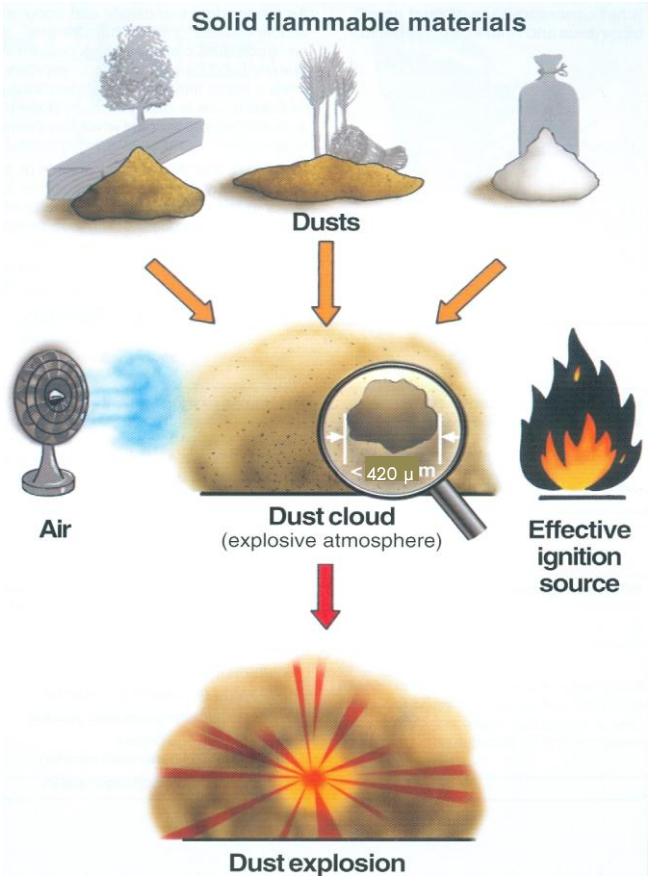
ตารางที่ 2.4 แสดงชนิดฝุ่นระเบิดได้ และประเภทโรงงานอุตสาหกรรมที่อาจมีฝุ่นระเบิดได้ (ต่อ)

ลำดับที่	ประเภทหรือชนิดของโรงงาน	ชนิดฝุ่นระเบิดได้
44 53(5) –	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตยางเรซินสังเคราะห์ ยางอีลาสโตเมอร์ พลาสติกหรือเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งมิใช่ใยแก้ว การทำพลาสติกเป็นเม็ด แท่ง ท่อ หลอด แผ่น ชิ้น ผง หรือรูปทรงต่าง ๆ โรงงานทำพลาสติกหรือเรซินที่เป็นผง เช่น Acrylic resins, Cellulosic resins, Nylon resins, Polycarbonate resins, Polyethylene resins, Polymethylene resins, Polypropylene resins, Rayon resins, Styrene resins, Vinyl resins, Epoxy resins, Phenolic resins, Polyester resins และ Polyurethane resins เป็นต้น	พลาสติก
22(2) 24	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับสิ่งทอ ด้าย หรือเส้นใยฯ การทอหรือการเตรียมเส้นด้ายยืนสำหรับการทอ โรงงานถักผ้า ผ้าลูกไม้หรือเครื่องนุ่งห่มด้วยด้ายหรือเส้นใยฯ	ฝุ่น, เส้นใยผ้า
38(2)	โรงงานผลิตเยื่อหรือกระดาษ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ได้แก่ การทำกระดาษ กระดาษแข็ง หรือกระดาษที่ใช้ในการก่อสร้างชนิดที่ทำจากเส้นใย (Fiber) หรือแผ่นกระดาษไฟเบอร์	กระดาษ
46	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับยา อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง (เฉพาะที่มีการบดหรือทำยาให้เป็นผง)	ยา
48(6)	โรงงานผลิตคาร์บอนดำ	คาร์บอนดำ
51	โรงงานผลิต ซ่อม หล่อหรือหล่อดอกยางนอกหรือยางในสำหรับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยเครื่องกล คนหรือสัตว์ (เฉพาะโรงงานผลิตยางรถยนต์ และผลิตยาง)	ยาง
106 –	โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ใช้แล้วหรือของเสียจากโรงงาน มาผลิตเป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยผ่านกรรมวิธีการผลิตทางอุตสาหกรรม เฉพาะโรงงานที่นำโลหะ, กระดาษและพลาสติกเก่ากลับมาใช้ใหม่	โลหะ, กระดาษ และพลาสติกเก่า

หมายเหตุ ลำดับที่ ประเภทหรือชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม ตามกฎกระทรวง พ.ศ. 2535

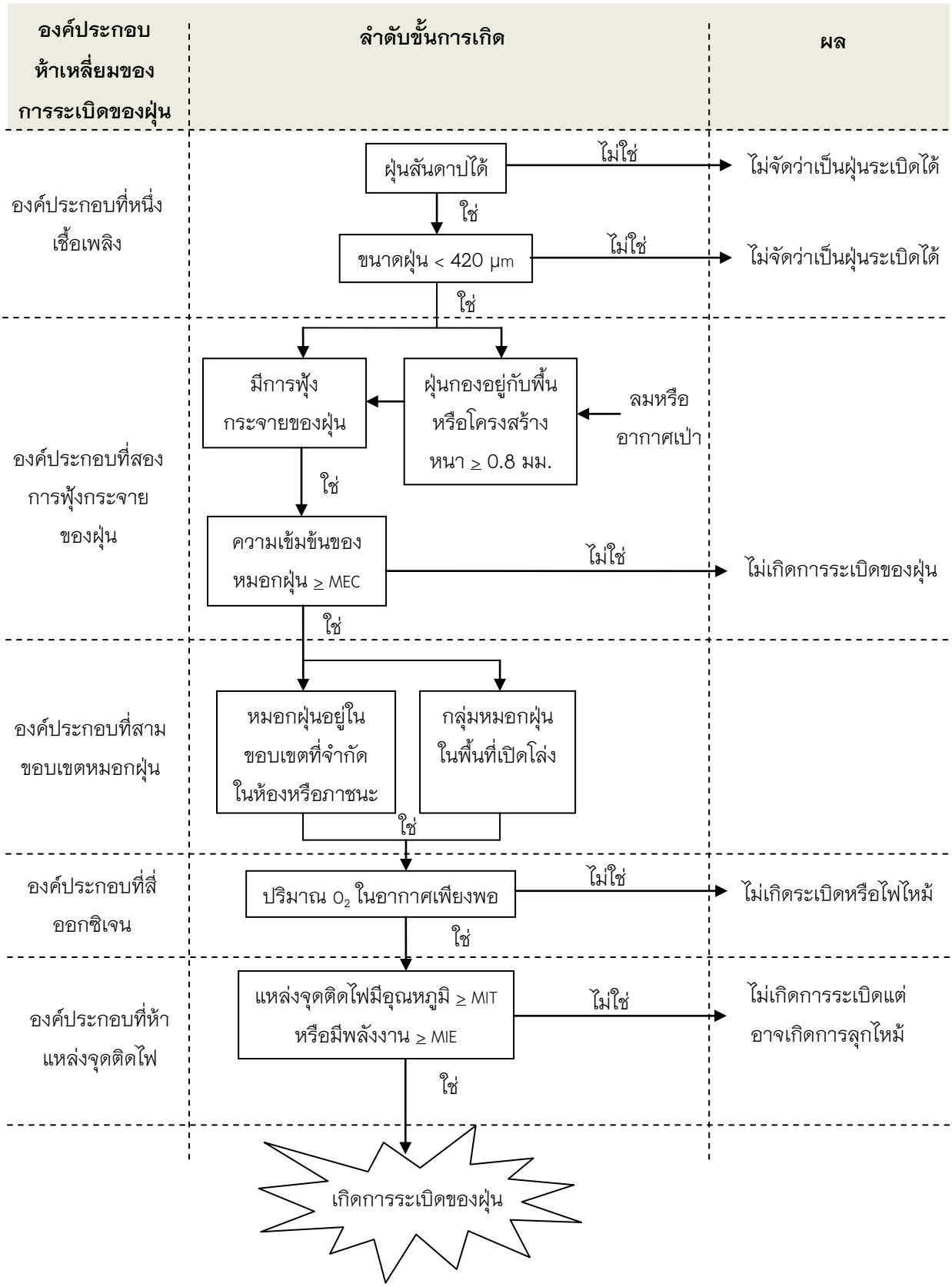
บทที่ 3
การประเมินอันตรายการระเบิดของฝุ่น
(Dust Explosion Hazard Assessment)

การประเมินอันตรายการระเบิดของฝุ่น สามารถทำได้โดยอาศัยทฤษฎีห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่นมาเป็นแนวทางในการประเมิน โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่**องค์ประกอบที่หนึ่ง**คือ ชนิดของฝุ่นกับขนาดของฝุ่น เพราะถ้าวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่ไม่สันดาป ฝุ่นที่ได้ก็ไม่สามารถเกิดเป็นฝุ่นระเบิดได้ นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงขนาดของฝุ่นด้วย ส่วน**องค์ประกอบที่สอง** เกี่ยวข้องกับการฟุ้งกระจายของฝุ่นกับความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ ถ้าฝุ่นไม่ฟุ้งกระจายก็จะเกิดเพียงการลุกไหม้แต่ไม่ระเบิด เช่นเดียวกับความเข้มข้นของฝุ่น ถ้าไม่ถึงค่า MEC ก็จะเกิดเพียงแต่การลุกไหม้ แต่ไม่เกิดการระเบิด **องค์ประกอบที่สาม** เกี่ยวกับขอบเขตของหมอกฝุ่น ซึ่งอาจอยู่ในที่จำกัดหรือภาชนะหรือห้องในอาคารก็ได้หรืออยู่ในที่โล่ง ถ้าขอบเขตของหมอกฝุ่นอยู่ในที่จำกัด จะเกิดความรุนแรงของความดันขณะเกิดการระเบิดของฝุ่นมากกว่าการเกิดการระเบิดในที่โล่ง นอกจากนั้นขอบเขตของหมอกฝุ่นจะทำให้รู้ขอบเขตของความร้อนที่จะแพร่ขยายออกไปด้วย **องค์ประกอบที่สี่** ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ควบคุมได้ยาก เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ ก็เพียงพอที่จะก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่นได้ สำหรับ**องค์ประกอบที่ห้า** แหล่งจุดติดไฟนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากของการระเบิดของฝุ่น ถ้าควบคุมได้ ก็ไม่เกิดการระเบิดของฝุ่น เช่น ถ้าเราสามารถควบคุมไม่ให้มีความร้อนหรือพลังงานถึงจุดที่ลุกติดไฟได้ของฝุ่น ก็จะไม่เกิดการระเบิด แต่อาจเกิดลุกไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบการระเบิดของฝุ่น

อย่างไรก็ตาม หากสามารถควบคุมองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น ได้แก่ เชื้อเพลิง (ชนิดของฝุ่น) ออกซิเจน และแหล่งจุดติดไฟอย่างใดอย่างหนึ่ง จะสามารถป้องกันได้ทั้งการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดของฝุ่น แต่ถ้าควบคุมองค์ประกอบเกี่ยวกับการฟุ้งกระจายของฝุ่นหรือขอบเขตของหมอกฝุ่นจะสามารถป้องกันได้เฉพาะการระเบิดแต่การเกิดเพลิงไหม้ยังคงมีอยู่ ขั้นตอนการประเมินอันตรายการระเบิดของฝุ่นแต่ละองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่น

3.1 องค์ประกอบที่หนึ่ง เชื้อเพลิง (ฝุ่น)

เชื้อเพลิง เพื่อให้ครบองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น ต้องพิจารณาองค์ประกอบของฝุ่น ดังนี้

3.1.1 ต้องเป็นฝุ่นสันดาปได้ โดยพิจารณาจากรายงานการเกิดอุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้นทั้งในและต่างประเทศ หรือดูจากรายชื่อชนิดของฝุ่นระเบิดได้ที่อยู่ในบทที่ 2 ข้อ 2.3

3.1.2 ต้องเป็นฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 420 ไมโครเมตร (สามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน US No.40) อนุภาคของแข็งสันดาปได้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 420 ไมโครเมตร จะจัดเป็นฝุ่นผงสันดาปได้ อย่างไรก็ดี อนุภาคที่มีรูปทรงแบน รูปทรงเหลี่ยม หรือเส้นใยที่มีความยาวมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมาก ซึ่งไม่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 420 ไมโครเมตร ได้ ก็มีอันตรายของการระเบิด ยิ่งกว่านั้นอนุภาคหลายชนิดสามารถสะสมประจุไฟฟ้าสถิตในขณะใช้หรือผลิตซึ่งจะดึงดูดรวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น แต่เมื่อถูกกระจายออกเป็นขนาดเล็กจะมีอันตรายของการระเบิด ดังนั้น จึงอนุมานว่า อนุภาคที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอนุภาคทรงกลมขนาด 420 ไมโครเมตร จัดเป็นฝุ่นสันดาปได้ การคำนวณหาขนาดของฝุ่นที่มีรูปทรงต่าง ๆ สามารถทำได้ดังนี้

การหาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของฝุ่นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 420 μm

1. สูตรหาพื้นที่ผิวทรงกลม $= 4\pi r^2$

   คำนวณหาพื้นที่ผิวทรงกระบอก $= 4\pi (210)^2 = 544{,}176.94\ (\mu m)^2$

2. สูตรหาปริมาตรทรงกลม $= \frac{4}{3}\pi r^3$

   คำนวณหาปริมาตรทรงกระบอก $= \frac{4}{3}\pi (210)^3$

   $= 38{,}792{,}386.08\ (\mu m)^3$

3. สัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร $= 554{,}176.94 : 38{,}792{,}386.08$

   $= 1 : 70$

   $= 0.0143$

แสดงว่า ถ้าสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของฝุ่นทรงแบนหรือเป็นเส้นใยยาว มีค่ามากกว่า 1 : 70 (0.0143) จะจัดว่าเป็นฝุ่นที่ระเบิดได้

ตัวอย่างที่ 1 ฝุ่นไม้ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 μm ยาว 820 μm จัดว่าเป็นฝุ่นระเบิดได้หรือไม่

1. สูตรหาพื้นที่ผิวทรงกระบอก $= 2\pi r\, h + 2(\pi r^2)$

   คำนวณหาพื้นที่ผิวทรงกระบอก $= 2\pi (175)\, 820 + 2[\pi (175)^2]$

   $= 901{,}637.09 + 192{,}422.55$

= 1,094,059.64 $(\mu m)^2$

2. สูตรหาปริมาตรทรงกระบอก = $\pi r^2 h$

คำนวณหาปริมาตรทรงกระบอก = π $(175)^2$ 820

= 78,893,245.51 $(\mu m)^3$

3. สัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร = 1,094,059.64 : 78,893,245.51

= 1 : 72

= 0.0138 **แสดงว่าไม่จัดเป็นฝุ่นระเบิดได้**

ตัวอย่างที่ 2 ฝุ่นไม้ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 µm ยาว 650 µm จัดเป็นฝุ่นระเบิดได้หรือไม่

1. สูตรหาพื้นที่ผิวทรงกระบอก = 2 πrh + 2 (πr^2)

คำนวณหาพื้นที่ผิวทรงกระบอก = 2 π (175) 650 + 2 [π $(175)^2$]

= 714,712.32 + 192,422.55

= 907,134.87 $(\mu m)^2$

2. สูตรหาปริมาตรทรงกระบอก = $\pi r^2 h$

คำนวณหาปริมาตรทรงกระบอก = π $(175)^2$ 650

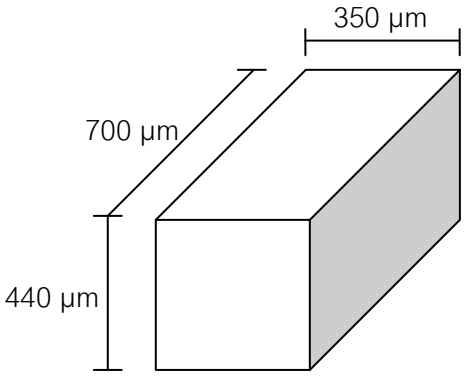
= 62,537,328.76 $(\mu m)^3$

3. สัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร = 907,134.87 : 62,537,328.76

= 1 : 68

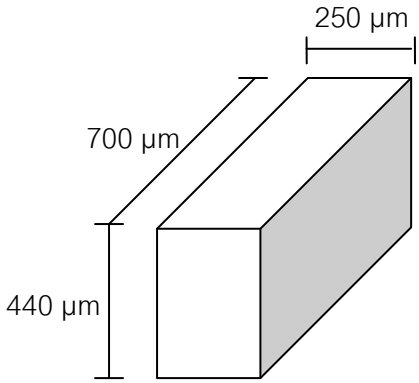
= 0.0147 **แสดงว่าเป็นฝุ่นระเบิดได้**

ตัวอย่างที่ 3 ฝุ่น Cellulose ที่สามารถลุกไหม้ได้ มีขนาดดังรูป จัดว่าเป็นฝุ่นระเบิดได้หรือไม่



1. คำนวณหาพื้นที่ผิว = 2 (กว้าง x ยาว) + 2 (กว้าง x หนา) + 2 (ยาว x หนา)
   = 2 (350 x 700) + 2 (350 x 440) + 2 (700 x 440)
   = 490,000 + 308,000 + 616,000
   = 1,414,000 $(\mu m)^2$
2. คำนวณหาปริมาตร = กว้าง x ยาว x หนา
   = 350 x 700 x 440
   = 107,800,000 $(\mu m)^3$
3. หาพื้นที่ผิวต่อปริมาตร = 1,414,000 : 107,800,000
   = 1 : 76
   = 0.0132 **แสดงว่าไม่จัดเป็นฝุ่นระเบิดได้**

<u>ตัวอย่างที่ 4</u> ฝุ่น Cellulose ที่สามารถลุกไหม้ได้ มีขนาดดังรูป จัดว่าเป็นฝุ่นระเบิดได้หรือไม่



1. คำนวณหาพื้นที่ผิว = 2 (กว้าง x ยาว) + 2 (กว้าง x หนา) + 2 (ยาว x หนา)
   = 2 (250 x 700) + 2 (250 x 440) + 2 (700 x 440)
   = 350,000 + 220,000 + 616,000
   = 1,186,000 $(\mu m)^2$
2. คำนวณหาปริมาตร = กว้าง x ยาว x หนา
   = 250 x 700 x 440
   = 77,000,000 $(\mu m)^3$
3. หาพื้นที่ผิวต่อปริมาตร = 1,186,000 : 77,800,000
   = 1 : 64
   = 0.0156 **แสดงว่าจัดเป็นฝุ่นระเบิดได้**

3.2 องค์ประกอบที่สอง การฟุ้งกระจายของฝุ่น

3.2.1 ต้องมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในอากาศ หรือในสารให้ออกซิเจน ในปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าความเข้มข้นต่ำสุดของการระเบิดได้ (MEC) โดยฝุ่นต้องอาศัยออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ เพื่อช่วยในการลุกไหม้หรือระเบิด สำหรับฝุ่นที่กองอยู่กับพื้น โครงสร้างหรืออุปกรณ์ ถ้าไม่มีการฟุ้งกระจายในอากาศก็จะเกิดเพียงการลุกไหม้เท่านั้น แต่เมื่อมีลมหรืออากาศเป่าจะทำให้ฝุ่นที่กองอยู่ฟุ้งกระจายขึ้นมาในอากาศได้ ก็อาจทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้

กรณีความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าน้อยกว่า MEC ก็จะไม่เกิดการระเบิดขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของฝุ่นน้อย ช่องว่างระหว่างฝุ่นก็จะมากตามไปด้วย ความร้อนที่เกิดจากการลุกไหม้ของฝุ่นไม่สามารถส่งผ่านไปยังฝุ่นข้าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง จึงเกิดเพียงการลุกไหม้ของฝุ่นในอากาศเท่านั้น แต่ถ้าความเข้มข้นของฝุ่นยิ่งมากฝุ่นที่ลุกไหม้ก็จะลุกลามไปยังฝุ่นข้าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นการระเบิดของฝุ่น

ค่า MEC ขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด รวมถึงการกระจายของขนาดอนุภาค สมบัติทางเคมี ปริมาณความชื้น และรูปร่าง ซึ่งค่า MEC ส่วนใหญ่ได้จากการทดสอบเท่านั้น

กรณีไม่ทราบปริมาณความเข้มข้นฝุ่น ในบางพื้นที่อาจจะต้องมีการตรวจวัด (Sampling) แต่ต้องกระทำด้วยวิธีการที่เหมาะสมและต้องมีความปลอดภัยเพราะบริเวณดังกล่าวอาจมีหมอกฝุ่นที่พร้อมจะลุกไหม้หรือระเบิดได้ โดยเฉพาะจุดที่สำคัญ เช่น ห้องขัดหรือถาดรองฝุ่น บนเพดาน บนคาน พื้นที่และเครื่องจักรที่มีฝุ่นสะสมภายใน อุปกรณ์ดักฝุ่น ถุงกรอง ถังเก็บและภายในท่อดูดฝุ่น เป็นต้น แต่หลายจุดก็ไม่จำเป็นต้องตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่น เพราะอาจใช้วิธีการคำนวณหรือเป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่ามีความเข้มข้นอยู่ในช่วง MEC หรือจากประสบการณ์เกิดการระเบิดตามตารางที่ 3.1

ถ้าค่าความหนาแน่นของฝุ่นเท่ากับ 75 ปอนด์ต่อ ลบ.ฟุต (1,200 กก.ต่อ ลบ.เมตร) และสมมติให้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.35 ออนซ์ต่อ ลบ.ฟุต (350 กรัมต่อ ลบ.เมตร) ผลการคำนวณพบว่า กองฝุ่นที่มีความหนาเฉลี่ย 1/32 นิ้ว (0.8 มม.) ที่ปกคลุมพื้นของอาคารสามารถก่อตัวเป็นหมอกฝุ่นในความเข้มข้นที่เหมาะสมสูง 10 ฟุต (3 เมตร) ได้ทั่วทั้งอาคาร สภาวะเช่นนี้เป็นการคำนวณในทางอุดมคติ มีปัจจัยที่ควรพิจารณาคือ

ประการแรก มีความเป็นไปได้น้อยที่จะเกิดกองฝุ่นที่สม่ำเสมอหรือปกคลุมพื้นผิวทั้งหมด และ ประการที่สอง ความปั่นป่วนของอากาศที่เกิดจากแรงดันของการระเบิดขั้นต้นอาจจะทำให้กองฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจายได้ไม่ทั่วถึง อย่างไรก็ดี แม้จะมีปริมาณเพียงร้อยละ 50 ของกองฝุ่นหนา 1/32 นิ้ว (0.8 มม.) ถูกทำให้ฟุ้งกระจาย ก็สามารถเกิดสภาพบรรยากาศที่ระเบิดได้ของฝุ่นชนิดต่าง ๆ

ควรคำนึงถึงสัดส่วนของอาคารที่จะถูกปกคลุมโดยฝุ่นสันดาปได้ การพิจารณาอันตรายสามารถดูได้จากสัดส่วนของพื้นที่ซึ่งมีฝุ่นปกคลุม ตัวอย่างเช่น ห้องขนาด 10 x 10 ฟุต (3 x 3 เมตร) มีฝุ่นบนพื้นหนา 1/32 นิ้ว (0.8 มม.) มีอันตรายอย่างชัดเจนและควรทำความสะอาด แต่พื้นที่ 100 ตารางฟุตที่

เท่ากันนี้ (9.3 ตารางเมตร) ถ้าไปอยู่ในอาคารที่มีพื้นที่ 2,025 ตารางฟุต (188 ตารางเมตร) จะมีอันตรายในระดับปานกลาง พื้นที่อันตรายดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่ของพื้นอาคาร ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ในโรงงานชนิดต่าง ๆ เพื่อความถูกต้องมากขึ้น ควรจะรวมพื้นที่ผิวของคานและพื้นระนาบเหนือศีรษะด้วย การคำนวณโดยคร่าว ๆ แสดงให้เห็นว่า คานมีพื้นที่ผิวประมาณร้อยละ 5 ของพื้นอาคาร ถ้าเป็นคานเหล็กจะมีพื้นที่ผิวได้ถึงร้อยละ 10

เกณฑ์ในการกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดคือ

(1) พื้นที่ที่มีกองฝุ่นหนา 1/32 นิ้ว (0.8 มม.) ต้องทำความสะอาดทันที (ความหนา 1/32 นิ้ว หรือ 0.8 มม. เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดหนีบกระดาษ หรือเท่ากับขนาดไส้ดินสอกด)

(2) กองฝุ่นหนา 1/32 นิ้ว (0.8 มม.) สามารถก่อให้เกิดสภาพอันตรายถ้าครอบคลุมพื้นที่เกินร้อยละ 5 ของพื้นอาคาร

(3) ฝุ่นที่สะสมอยู่บนคานและข้อต่อเหนือศีรษะมีพื้นที่เทียบเท่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดหมอกฝุ่นซึ่งทำให้เกิดระเบิดครั้งที่สอง พื้นผิวอื่น ๆ เช่น ส่วนบนของท่อและเครื่องจักรอุปกรณ์ขนาดใหญ่เป็นแหล่งสำคัญของการเกิดหมอกฝุ่นได้

(4) สัดส่วนร้อยละ 5 ดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดเกิน 20,000 ตารางฟุต (1,860 ตารางเมตร) ในกรณีพื้นที่มากเช่นนี้ ตัวเลขที่ใช้คือ ไม่เกิน 1,000 ตารางฟุต (93 ตารางเมตร)

(5) ควรจะคำนึงถึงฝุ่นที่เกาะติดกับผนังต่าง ๆ เพราะฝุ่นเหล่านี้หลุดตัวออกง่าย

(6) ควรคำนึงถึงสิ่งอื่น ๆ ที่ยื่นออกมา เช่น โคมไฟ ซึ่งมีพื้นผิวให้ฝุ่นสะสมได้

(7) ควรตรวจสอบอุปกรณ์ดักฝุ่นให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น ถุงกรองฝุ่นจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความดันสูญเสีย (Pressure Drop) 3– 5 นิ้วน้ำ (0.74 kPa – 1.24 kPa) หากความดันมากเกินไป หรือน้อยไปแสดงว่าการเคลือบถุงกรองไม่เหมาะสมในการดักฝุ่น

การใช้ลมในการลำเลียงอนุภาคของแข็งสันดาปได้ในท่อจะทำให้อนุภาคของแข็งมีการฟุ้งกระจายไปตลอดท่อที่ใช้ในการลำเลียง แต่ความเข้มข้นจะมากหรือน้อยขึ้นกับว่ามีการป้อนอนุภาคของแข็งสันดาปได้เข้ามาปริมาณมากขนาดไหน

ตารางที่ 3.1 แสดงสถิติการเกิดอุบัติเหตุฝุ่นระเบิดที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในสหรัฐอเมริกา อังกฤษและเยอรมนี

เครื่องจักร/อุปกรณ์	สหรัฐอเมริกา (ปี 2528–2544)		อังกฤษ (ปี 2522–2531)		เยอรมนี (ปี 2508–2528)	
	จำนวน (ครั้ง)	เปอร์เซ็นต์	จำนวน (ครั้ง)	เปอร์เซ็นต์	จำนวน (ครั้ง)	เปอร์เซ็นต์
เครื่องดักฝุ่น (Dust Collectors)	156	42	55	18	73	17
เครื่องขัด/บด (Grinders/Pulverizers)	35	9	51	17	56	13
ไซโล/ที่ใส่ถ่านหิน (Silos/Bunkers)	27	7	19	6	80	19
ระบบลำเลียง (Conveying System)	32	9	33	11	43	10
เครื่องทำให้แห้ง/เครื่องอบ (Dryer/Oven)	22	6	43	14	34	8
เครื่องผสม (Mixers/Blenders)	16	4	7	2	20	5
อื่นๆ	84	23	95	31	114	28
รวม	**372**	**100**	**303**	**100**	**426**	**100**

โดย Robert Zalosh และคณะ

หมายเหตุ ระบบลำเลียงได้แก่ สายพาน ท่อ และลิฟต์กะพ้อลำเลียง

3.3 องค์ประกอบที่สาม ขอบเขตหมอกฝุ่น

ต้องมีขอบเขตหมอกฝุ่นฟุ้งกระจาย ที่มีความเข้มข้นในช่วง MEC ซึ่งขอบเขตของหมอกฝุ่นมี 2 ลักษณะดังนี้

3.3.1 ขอบเขตของหมอกฝุ่นในที่เปิดหรือที่โล่ง เมื่อเกิดการระเบิดความรุนแรงจะไม่มาก เนื่องจากความร้อนหรือความดันจะออกทุกทิศทาง ดังนั้นอันตรายจะอยู่โดยรอบของกลุ่มหมอกฝุ่น แต่จะกินพื้นที่ไม่ไกล

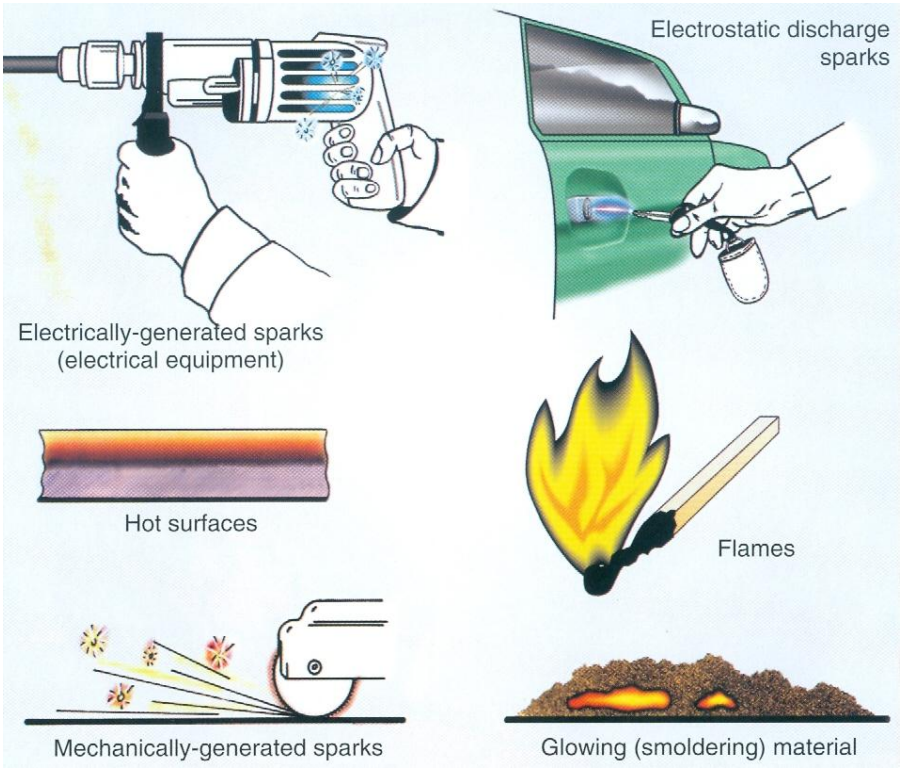
3.3.2 ขอบเขตของหมอกฝุ่นในที่ปิด เป็นการเกิดหมอกฝุ่นในพื้นที่จำกัดภายในภาชนะ เช่น เครื่องจักร ลิฟต์กะพ้อ เครื่องอบแป้ง เครื่องผสม เป็นต้น เมื่อเกิดการระเบิดของฝุ่นจะมีความรุนแรงมากกว่าการระเบิดในที่โล่งหลายเท่า ความร้อน และแรงดัน จะพุ่งออกไปจากภาชนะที่แตกหรือขาด เกิดเป็นลำของเปลวไฟออกไปไกลหลายสิบเมตร

3.4 องค์ประกอบที่สี่ ออกซิเจน

ต้องมีออกซิเจนช่วยให้เกิดการลุกติดไฟ ตามปกติในอากาศจะมีออกซิเจนประมาณ 20.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งเพียงพอที่ก่อให้เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงหรือเกิดการระเบิดของฝุ่นได้ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนมากขึ้น ทำให้เกิดการลุกติดไฟรวดเร็วขึ้น ในทางกลับกันถ้าออกซิเจนน้อยลงความเร็วในการลุกไหม้ก็จะลดลง ถ้าสามารถควบคุมออกซิเจนให้น้อยลงถึงจุดหนึ่งก็จะไม่เพียงพอที่จะลุกติดไฟได้ ดังนั้นการป้องกันองค์ประกอบที่สี่คือ ออกซิเจน ทำได้โดยลดปริมาณของออกซิเจนให้มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Oxygen Concentration) ทั้งนี้ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนสำหรับป้องกันการระเบิดของฝุ่นแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน การควบคุมออกซิเจนให้น้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสำหรับฝุ่นทั่วไป ก็เป็นที่ยอมรับได้ แต่ไม่ใช่กับฝุ่นทุกชนิด ซึ่งวิธีการลดออกซิเจนที่นิยมใช้ คือ การใช้ก๊าซไนโตรเจน (N_2) หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

3.5 องค์ประกอบที่ห้า แหล่งจุดติดไฟ

ต้องมีแหล่งจุดติดไฟ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก ทั้งการเกิดเพลิงไหม้ และการระเบิดของฝุ่น ถ้าไม่สามารถควบคุมองค์ประกอบที่หนึ่งถึงสี่ได้ องค์ประกอบที่ห้าจะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด ดังรูปที่ 3.3 แสดงแหล่งจุดติดไฟ



รูปที่ 3.3 แสดงแหล่งจุดติดไฟ

สำหรับแหล่งจุดติดไฟที่สำคัญมีดังนี้

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

3.5.2 ประกายไฟจากไฟฟ้า (Electric Sparks) ที่เกิดจาก มอเตอร์ สวิตซ์ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่กับที่หรือเคลื่อนที่ และโทรศัพท์ เนื่องจากในขณะที่มีการเปิด – ปิด วงจรไฟฟ้าจะเกิดประกายไฟ การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร การใช้ฟิวส์หรือสายไฟผิดขนาด หลอดไฟแตก การสวมหรือถอดปลั๊กไฟ สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดประกายไฟจนทำให้เกิดการลุกไหม้ของฝุ่นและนำไปสู่การระเบิดของฝุ่นได้

3.5.3 ประกายไฟจากเครื่องจักร / ความร้อนเฉพาะจุด (Mechanic Sparks / Hotspot) เกิดจากการใช้ค้อน การขัดด้วยทราย (Sandblasting) ความเสียดทานที่เกิดจากตลับลูกปืน สายพาน ใบพัด หรือส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรที่เสียดสีจนมีอุณหภูมิสูง เศษโลหะกระเด็นเข้าไปในท่อ เกิดการเสียดสีทำให้เกิดประกายไฟ

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

3.5.5 การจุดติดไฟได้เอง (Auto – Ignition) เกิดจากฝุ่นสัมผัสพื้นผิวที่ร้อนของท่อไอน้ำ หรือท่อไอเสีย หรือเครื่องจักร หรืออาจเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนจากการจุดติดไฟได้เองของฝุ่น เช่น ฝุ่นถ่านหินสามารถจุดติดไฟได้เอง เมื่อมีลมหรืออากาศผ่านก็จะลุกไหม้ จนอุณหภูมิสูงพอที่จะก่อให้เกิดฝุ่นระเบิดได้

เมื่อครบห้าองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น ก็จะมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่น ซึ่งสามารถประเมินได้ดังนี้

(1) ความเสี่ยงสูงสุด พิจารณาจากจุดหรือพื้นที่ใดมีฝุ่นสันดาปได้ขนาดเล็กกว่า 420 µm มีการฟุ้งกระจายในอากาศ ความเข้มข้นอยู่ในช่วง MEC อยู่ในที่จำกัดหรือที่โล่งก็ได้และมีออกซิเจน 20.9 เปอร์เซ็นต์ ตลอดเวลาการทำงาน รอเพียงความร้อนหรือประกายไฟก็จะเกิดการระเบิดได้

(2) ความเสี่ยงสูง ก. พิจารณาจากจุดหรือพื้นที่ใดมีฝุ่นสันดาปได้ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 420 µm มีการฟุ้งกระจายในอากาศ ความเข้มข้นอยู่ในช่วง MEC ตลอดเวลา เมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

ทำงานผิดพลาด อยู่ในที่จำกัดหรือที่โล่งก็ได้และมีออกซิเจน 20.9 เปอร์เซ็นต์ ตลอดเวลาที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาด รอเพียงความร้อนหรือประกายไฟก็จะเกิดการระเบิดได้

ความเสี่ยงสูง ข. พิจารณาจากจุดหรือพื้นที่ใดมีฝุ่นสันดาปได้ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 420 μm มีการฟุ้งกระจายในอากาศ ความเข้มข้นของฝุ่นน้อยในเวลาปกติ แต่ถ้าเกิดความผิดพลาด ฝุ่นจะอยู่ในช่วง MEC เป็นช่วง ๆ อยู่ในที่จำกัดหรือที่โล่งก็ได้และมีออกซิเจน 20.9 เปอร์เซ็นต์ รอเพียงความร้อนหรือประกายไฟที่เกิดถูกจังหวะก็จะเกิดการระเบิดได้

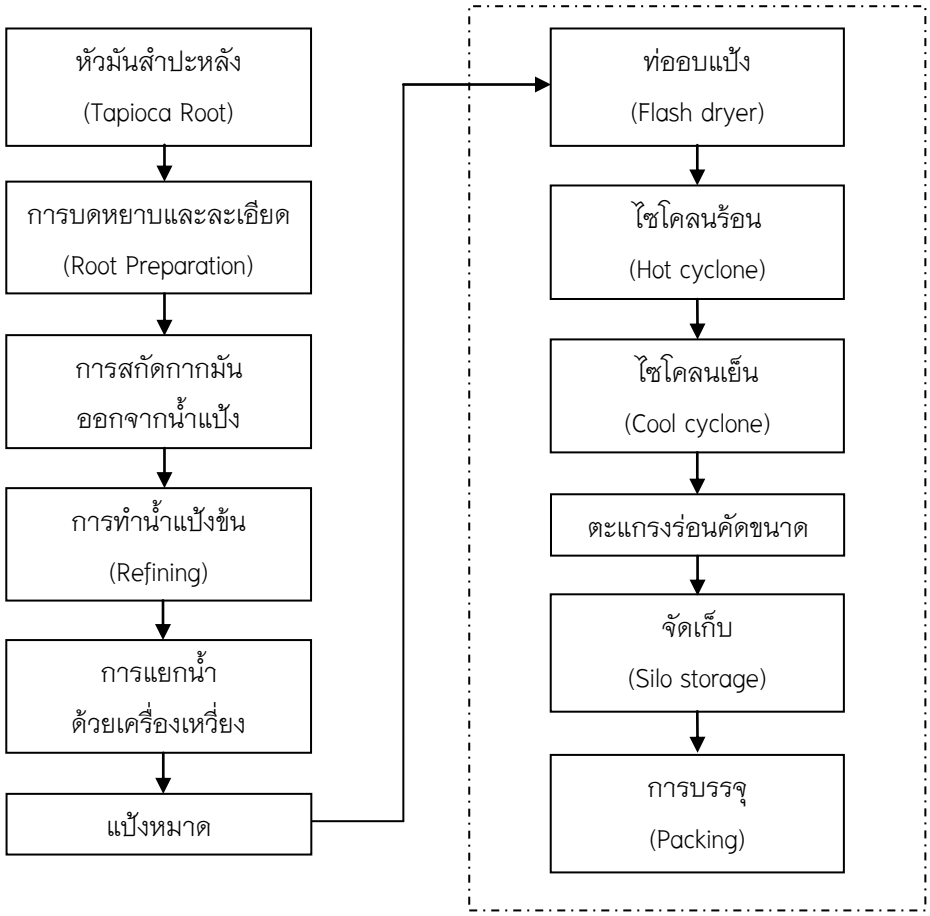
(3) ความเสี่ยงปานกลาง พิจารณาจากจุดหรือพื้นที่ใดมีฝุ่นสันดาปได้ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 420 μm ฝุ่นกองอยู่ที่พื้นหนามากกว่า 0.8 มม. เมื่อมีลมหรือความร้อนทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายอยู่ในช่วง MEC อยู่ในที่โล่ง ในบรรยากาศปกติ รอเพียงความร้อนหรือประกายไฟก็จะเกิดการระเบิดได้

บทที่ 4
การจัดการความปลอดภัยโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีสถิติการระเบิดของฝุ่นทั้งในประเทศและต่างประเทศบ่อยครั้ง จากฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2553 พบว่ามีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังทั่วประเทศจำนวน 86 โรงงาน ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก จึงต้องมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และประเมินจุดเสี่ยง เพื่อจัดทำมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมให้โรงงานสามารถประกอบกิจการได้อย่างปลอดภัยและมีการจัดการความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เริ่มจากการรับหัวมันสำปะหลังสดเข้ามา จากนั้นทำการบดหยาบและบดละเอียด แล้วทำการสกัดกากมันออกจากน้ำแป้ง นำน้ำแป้งมาทำให้ข้น แล้วเข้าสู่เครื่องแยกน้ำด้วยแรงเหวี่ยง จะได้แป้งหมาดที่มีความชื้นของแป้งประมาณ 34 – 36 % ป้อนเข้าสลิงเกอร์พร้อมกับมีลมร้อนจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนของ Hot Oil ที่มีอุณหภูมิ 180 – 200 °C เข้ามาร่วมด้วย ทั้งแป้งหมาดและลมร้อนจะถูกส่งเข้าท่ออบแป้งที่ความสูงจาก สลิงเกอร์ 2 – 4 เมตร ความร้อนจะทำให้แป้งมันสำปะหลังมีความชื้นลดลงเหลือ 12 – 13% กลายเป็นฝุ่นแป้ง ที่ทางออกไซโคลนร้อนอุณหภูมิจะลดลงเหลือ 58 – 62 °C ส่วนที่ใต้ไซโคลนร้อนแป้งมันสำปะหลังจะมีอุณหภูมิ 25 – 30 °C ขึ้นกับอุณหภูมิภายนอก จากนี้แป้งมันสำปะหลังจะถูกส่งตามท่อไปยังไซโคลนเย็น ขณะนี้แป้งมันสำปะหลังยังมีความชื้น 12 – 13% อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ที่ใต้ไซโคลนเย็นแป้งมันสำปะหลังจะตกลงมาผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด แล้วส่งเข้าจัดเก็บในไซโล ก่อนส่งเข้าบรรจุต่อไป เนื่องจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับอาหาร จำเป็นต้องรักษาความสะอาด ดังนั้นเครื่องจักรต่าง ๆ ทั้งไซโคลน ท่ออบแป้ง ตะแกรงร่อน และไซโล จึงต้องทำจากสแตนเลท



รูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดมาตรฐาน โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นได้

4.2 การประเมินจุดเสี่ยง

การประเมินจุดเสี่ยงต้องประเมินทุกขั้นตอนการผลิต โดยพิจารณาจากห้าองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น สำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่ามีจุดเสี่ยงตั้งแต่ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ตะแกรงร่อนคัดขนาด การจัดเก็บ และการบรรจุ โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

4.2.1 องค์ประกอบที่หนึ่ง เชื้อเพลิง (ฝุ่น)

จากการศึกษาและจากข้อมูลผลการทดลองของต่างประเทศพบว่า ฝุ่นแป้งมันสำปะหลังจัดเป็นฝุ่นสันดาปได้ และจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นแป้งมันมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 40 (U.S.No.40) พบว่าแป้งหมาดเมื่อนำมาร่อนคัดขนาดจะมีขนาดใหญ่กว่า 420 μm ถึง 99.16 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีความชื้นสูงจึงเกิดการเกาะตัวกัน แต่เมื่อแป้งหมาดผ่านสลิงเกอร์ขึ้นไป 2-4 เมตร แป้งจะแห้ง ประกอบกับเกิดการปะทะกันของแป้งเข้าด้วยกันหรือปะทะกับท่ออบแป้ง ทำให้แป้งที่เกาะตัวกันแยกออกจากกัน ทำให้แป้งมีขนาดเล็กลง พบว่าแป้งตั้งแต่จุดนี้เป็นต้นไป คือที่ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ตะแกรงร่อน

คัดขนาด ในไซโล และบริเวณบรรจุ แป้งจะมีขนาดเล็กกว่า 420 μm มากกว่า 97.96 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าฝุ่นแป้งมันสำปะหลังเป็นฝุ่นสันดาปได้ และมีขนาดฝุ่นเล็กกว่า 420 μm

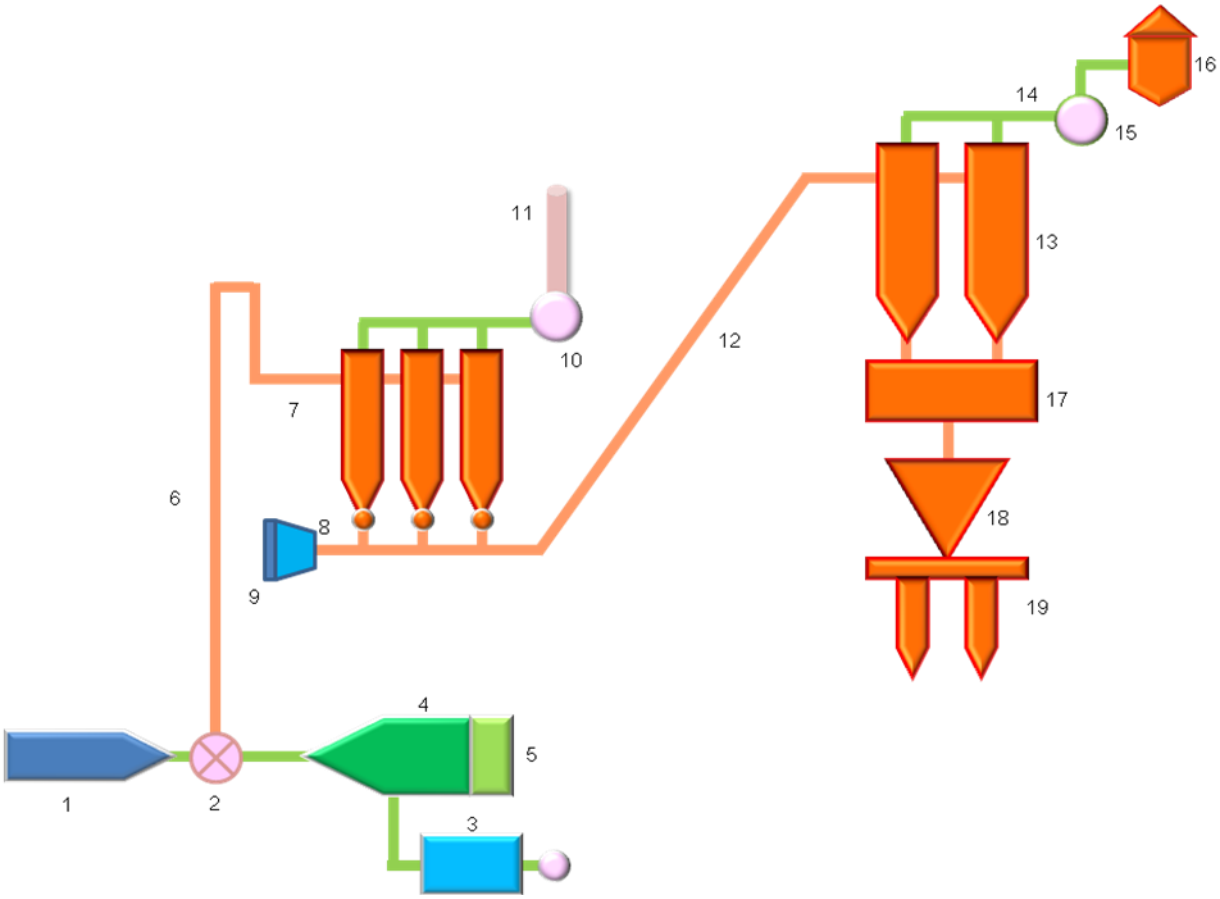
4.2.2 องค์ประกอบที่สอง การฟุ้งกระจายของฝุ่น

เนื่องจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังใช้ระบบลำเลียงแป้งด้วยลม จึงมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในอากาศตั้งแต่ท่ออบแป้ง ชุดไซโคลนร้อน ท่อทางออกไซโคลนร้อนด้านบน พัดลมดูดอากาศไซโคลนร้อน ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ชุดไซโคลนเย็น ท่อทางออกด้านบนไซโคลนเย็น พัดลมดูดอากาศไซโคลนเย็น ชุดไซโคลนดักฝุ่น เครื่องร่อนแป้ง และไซโลเก็บแป้ง

และในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะพบกองฝุ่นแป้งมันสำปะหลังบริเวณบรรจุแป้งทั้งที่พื้น โครงสร้างอาคารหรือเครื่องจักร และพื้นโกดังเก็บแป้ง ที่สะสมหนาตั้งแต่ 0.80 mm. ขึ้นไป เมื่อมีการกวาดพื้น การใช้ลมเป่าที่พื้น หรือลมพัด ก็จะทำให้ฝุ่นแป้งมันสำปะหลังที่กองอยู่ฟุ้งกระจายขึ้นมาอยู่ในอากาศเป็นหมอกฝุ่นได้

จากการศึกษาของ Echoff (2003) พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ของฝุ่นแป้งมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 125 g/m^3 และจากผลการตรวจวัดและการคำนวณ พบว่าในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีจุดเสี่ยงที่ฝุ่นแป้งมีความเข้มข้นตั้งแต่ 125 g/m^3 ขึ้นไปที่เหนือสลิงเกอร์ 2–4 เมตร ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ท่อใต้ไซโคลนร้อน ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ไซโคลนเย็น ท่อใต้ไซโคลนเย็น ภายในตะแกรงร่อนแป้ง ไซโลบรรจุแป้งใต้ตะแกรงร่อน ไซโคลนดักฝุ่นหรือ Bag house เก็บฝุ่นแป้งที่ทางออกของไซโคลนเย็น มีความเข้มข้นของหมอกฝุ่นอยู่ในช่วง MEC ดังแสดงในรูปที่ 4.2 บริเวณที่แสดงแถบสีส้ม หรือตารางที่ 4.1 แสดงจุดเสี่ยงที่มีความเข้มข้นฝุ่นแป้งมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 125 g/m^3

กรณีโรตาริ่วาล์วไม่ทำงาน เกิดการอุดตันใต้โรตาริ่วาล์ว หรือขณะหยุดและเริ่มเดินเครื่องอาจทำให้ความเข้มข้นฝุ่นอยู่ในช่วง MEC ดังนั้นทำให้มีจุดเสี่ยงเพิ่มขึ้น เช่น ทางออกของไซโคลนร้อน พัดลมไซโคลนร้อน ทางออกไซโคลนเย็น และพัดลมไซโคลนเย็น



1. เครื่องสลัดแห้ง
2. สลิงเกอร์
3. หม้อต้มน้ำมันร้อน ฯ
4. ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
5. ชุดกรองอากาศ (Filter)
6. ท่ออบแป้ง (Flash Dryer)
7. ชุดไซโคลนร้อน
8. โรตารี่วาล์ว
9. ชุดกรองอากาศใต้ไซโคลนร้อน
10. พัดลมดูดอากาศชุดไซโคลนร้อน
11. ท่อระบายออกของไซโคลนร้อน
12. ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น
13. ชุดไซโคลนเย็น
14. ทางออกอากาศชุดไซโคลนเย็น
15. พัดลมดูดอากาศชุดไซโคลนเย็น
16. ชุดไซโคลนดักฝุ่น
17. เครื่องร่อนแป้ง
18. ไซโลเก็บแป้ง
19. หัวบรรจุแป้ง

รูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลังโดยแถบสีส้มแสดงบริเวณความเข้มข้นฝุ่นอยู่ในช่วงระเบิดได้

4.2.3 องค์ประกอบที่สาม ขอบเขตหมอกฝุ่น

จากการศึกษาโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่า หมอกฝุ่นจะอยู่ในขอบเขตที่จำกัดเกือบทั้งหมดเนื่องจากเป็นการผลิตในระบบปิด ได้แก่ บริเวณท่อออบแป้ง ไซโคลนร้อน Hopperใต้ไซโคลนร้อน ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ไซโคลนเย็น Hopperใต้ไซโคลนเย็น ในตะแกรงร่อนแป้ง ไซโลบรรจุแป้ง ไซโคลนดักฝุ่นหรือ Bag house เก็บฝุ่นแป้ง

และโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีโอกาสเกิดกลุ่มหมอกฝุ่นในพื้นที่เปิดโล่ง จากกองฝุ่นแป้ง ดังได้อธิบายไว้ในองค์ประกอบที่สองแล้ว

4.2.4 องค์ประกอบที่สี่ ออกซิเจน

เนื่องจากการลำเลียงแป้งมันสำปะหลังตั้งแต่แป้งหมาดเป็นต้นไปจนถึงการบรรจุ จะใช้ลมเป็นตัวลำเลียง ซึ่งลมที่เกิดขึ้นมาจาการบรรยากาศทั่วไปภายนอก มีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณ 20.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จึงมีปริมาณออกซิเจนในอากาศเพียงพอที่จะช่วยในการลุกติดไฟ นั่นแสดงว่าองค์ประกอบที่สี่นั้นมีอยู่ตลอดเวลาที่ทำงาน

4.2.5 องค์ประกอบที่ห้า แหล่งจุดติดไฟ

จากผลการศึกษาของ BARTEC พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้กองฝุ่นแป้งมันสำปะหลังลุกติดไฟคือ 290 °C แต่ถ้าเป็นหมอกฝุ่นแป้งมันสำปะหลังจะมีอุณหภูมิจุดติดไฟเท่ากับ 450 °C แต่จากการศึกษากระบวนการผลิต ไม่พบว่ามีจุดใดที่อุณหภูมิสูงถึง 220 °C นั่นแสดงว่า ขณะทำงานตามปกติจะไม่เกิดการระเบิดของฝุ่นแป้งมันสำปะหลังได้ จึงน่าจะเกิดจากการคุติดไฟของแป้งมันสำปะหลังในกรณีที่เกิดความผิดปกติในกระบวนการผลิต แล้วทำให้อุณหภูมิค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 290 °C หรือ 450 °C แล้วแต่กรณี

แหล่งจุดติดไฟ นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือเกิดการระเบิดของฝุ่นขึ้น โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะมีครบทั้งสี่องค์ประกอบ รอเพียงองค์ประกอบที่ห้า คือ แหล่งจุดติดไฟ เมื่อครบก็จะเกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้ทันที แหล่งจุดติดไฟที่มีโอกาสเกิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีรายละเอียดดังนี้

- เปลวไฟที่เกิดจากการเชื่อม หรือการตัดด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า หรือเชื่อมแก๊ส เมื่อทำการซ่อมท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน Hopper ใต้ไซโคลนร้อน ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ไซโคลนเย็น Hopper ใต้ไซโคลนเย็น ตะแกรงร่อนแป้ง ไซโลบรรจุแป้ง ไซโคลนดักฝุ่นหรือ Bag house เก็บฝุ่นแป้ง
- ประกายไฟจากเครื่องจักรหรือความร้อนเฉพาะจุด อาจมีชิ้นส่วนของโลหะจากกระบวนการผลิตแป้ง หรือสกรูลำเลียงแป้งหมาดเสียดสีกัน ทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุด แป้งที่ตกใต้สลิงเกอร์เมื่อได้รับความร้อนสูงก็จะเกิดการลุกไหม้ การเสียดสีของวาล์วชนิดโรตารี่ทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุด

- ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต เกิดขึ้นได้ตั้งแต่สลิงเกอร์เป็นต้นมา เพราะแป้งมันสำปะหลังจะเคลื่อนที่เสียดสีกันเอง หรือเสียดสีกับท่อในไซโคลนทั้งร้อนและเย็น จึงทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตขึ้นในท่อส่งแป้ง
- เปลวไฟจากการเกิดระเบิดครั้งแรก เช่น เกิดระเบิดครั้งแรกที่ท่ออบแป้ง เปลวไฟทำให้เกิดความร้อนมาที่ไซโคลนร้อน หรือเกิดการระเบิดครั้งแรกที่ไซโคลนเย็น ทำให้เกิดเปลวไฟมายังตะแกรงร่อน หรือบริเวณบรรจุแป้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมของการระเบิดในกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลัง

จุดเสี่ยง	5 องค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น				
	ความเข้มข้นฝุ่น $\geq$ 125 g/m^3	การฟุ้งกระจาย	ขอบเขตหมอกฝุ่น	ออกซิเจน	แหล่งจุดติดไฟ
เหนือสลิงเกอร์ 2–4 m.	201.75–222.47	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ภายในท่อ	20.9 %	– การคุติดไฟจากแป้งที่ค้างใต้สลิงเกอร์เกิดลุกไหม้ – ท่อน้ำมันร้อนของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนรั่ว
ท่ออบแป้ง	201.75–222.47	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ภายในท่อ	20.9 %	– เศษโลหะถูกดูดเข้ามา
ไซโคลนร้อน	174.64–196.57	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในไซโคลน	20.9 %	–โรตารี่วาล์วหยุด ทำให้แป้งร้อนที่สะสมมีอุณหภูมิสูงเกิน 80 $^{\circ}$C
ท่อใต้ไซโคลนร้อน	782.94–1,034.86	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ภายในท่อ	20.9 %	–เศษโลหะถูกดูดเข้ามา
ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น	782.94–1,034.86	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ภายในท่อ	20.9 %	–เศษโลหะถูกดูดเข้ามา
ไซโคลนเย็น	782.94–1,034.86	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในไซโคลน	20.9 %	–แป้งที่ตกสะสมแล้วคุตัว
ท่อใต้ไซโคลนเย็น	782.94–1,034.86	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ภายในท่อ	20.9 %	–ความร้อนจากการระเบิดครั้งแรก
ภายในตะแกรงร่อนแป้ง	782.94–1,034.86	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในตะแกรงร่อน	20.9 %	–ไฟฟ้าสถิต –ความร้อนจากการระเบิดครั้งที่แรก
ไซโลบรรจุแป้งใต้ตะแกรงร่อน	782.94–1,034.86	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในไซโล	20.9 %	–ไฟฟ้าสถิต –ความร้อนจากการระเบิดครั้งแรก

ตารางที่ 4.1 แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมของการระเบิดในกระบวนการอบแป้งมันสำปะหลัง (ต่อ)

จุดเสี่ยง	5 องค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น				
	ความเข้มข้นฝุ่น ≥ 125 g/m^3	**การฟุ้งกระจาย**	**ขอบเขตหมอกฝุ่น**	**ออกซิเจน**	**แหล่งจุดติดไฟ**
Bag house เก็บฝุ่นแป้งหรือไซโคลนดักฝุ่น	> 125	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ใน Bag house	20.9 %	-ไฟฟ้าสถิต -ความร้อนจากการระเบิดครั้งแรก
ฝุ่นแป้งสะสมที่พื้น	หนาเกิน 0.80 มม.	มีการฟุ้งกระจาย	เมื่อเกิดความดันทำให้ฟุ้งกระจายในอาคารหรือในอากาศ	20.9 %	-ความร้อนจากการระเบิดครั้งแรก

4.3 มาตรการความปลอดภัย

เมื่อได้ประเมินจุดเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการผลิตแล้ว ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดทั้งเพลิงไหม้และการระเบิดแบบ Deflagration ต้องนำมาวิเคราะห์ลักษณะการเกิดอันตรายและหาสาเหตุการเกิดอันตราย เพื่อจัดทำมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมในการป้องกันและควบคุมอันตรายตามจุดเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งมาตรการด้านการบริหารจัดการและมาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 มาตรการความปลอดภัยตามจุดเสี่ยง

เป็นการนำจุดเสี่ยงที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาพิจารณาถึงลักษณะการเกิดอันตราย ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ โดยแต่ละลักษณะการเกิดอันตราย มาจากสาเหตุหลายกรณี แล้วจึงมากำหนดเป็นมาตรการความปลอดภัย ดังมีรายละเอียดในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย

จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
1. บริเวณสลิงเกอร์	– แป้งสะสมใต้สลิงเกอร์หรือแป้งคุติดไฟ เกิดการระเบิดของฝุ่นแป้งเหนือสลิงเกอร์	– จากการออกแบบ ทำให้มีช่องว่างใต้สลิงเกอร์ ลมร้อนที่เข้ามาไม่สามารถทำให้แป้งลอยขึ้นไปได้	– การออกแบบไม่ให้เกิดช่องว่างใต้สลิงเกอร์เป็นที่สะสมของแป้งได้ – ตรวจสอบความชื้นของแป้งใต้สลิงเกอร์ ถ้าเปียกมากต้องหยุดป้อนแป้งเข้าระบบ
		– ท่อน้ำมันร้อนในชุดแลกเปลี่ยนความร้อนรั่ว ทำให้น้ำมันร้อนรั่วเข้ามา	– เปลี่ยนท่อน้ำมันร้อนตามระยะเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด – มีการตรวจสอบและซ่อมบำรุง
		– แป้งขาดราง ทำให้อุณหภูมิในท่อทางเข้าสลิงเกอร์ร้อน	– ติดตั้ง Thermostat ที่ท่อทางออกของลมของไซโคลนร้อน ถ้าอุณหภูมิในท่อสูงเกิน 80 ^{o}C เพื่อควบคุมปริมาณน้ำมันร้อนที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
2. ท่ออบแป้ง	– เกิดประกายไฟในท่ออบแป้ง	– มีเศษโลหะเข้ามาในท่ออบแป้ง ทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อ	– ติดตั้งแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กไฟฟ้าที่รางป้อนแป้งหมาด – ต้องตรวจสอบการทำงานของแม่เหล็ก
		– ไฟฟ้าสถิต	– ต้องมีการต่อฝากและการต่อลงดินตลอดท่อ
	– ความร้อนจากการเชื่อม ตัด เจียร	– การเชื่อม ตัด เจียร ขณะภายในท่อมีฝุ่นแป้ง	– หยุดกระบวนการผลิตและระบายฝุ่นแป้งที่ตกค้างก่อนทำการเชื่อม ตัด เจียร

ตารางที่ 4.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย (ต่อ)

จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
3. ไซโคลนร้อนและ Hopper	– ความร้อนจากการเสียดสีที่โรตารี่วาล์วทำให้แป้งที่สะสมบนโรตารี่วาล์วเกิดการคุติดไฟ – การอุดตันที่โรตารี่วาล์วจากเศษผ้าสลัดแห้งที่หลุดเข้ามา ทำให้แป้งร้อน	– มอเตอร์ของโรตารี่วาล์วไหม้ ทำให้โรตารี่วาล์วร้อน	– ติดตั้ง Overload tip ที่มอเตอร์โรตารี่วาล์ว
		– มีวัสดุไปขัดการหมุนของโรตารี่วาล์ว ทำให้มอเตอร์ไหม้ เกิดความร้อน	– ติดตั้งสัญญาณเตือนเมื่อโรตารี่วาล์วหยุดทำงาน – ติดตั้ง Overload tip ที่มอเตอร์โรตารี่วาล์ว
		– ความร้อนหรือประกายไฟจากการเชื่อม ตัด เจียร – แป้งขาดราง ในลักษณะป้อนแป้งน้อยเกินไป ทำให้แป้งที่ผ่านท่อออบแป้งมีอุณหภูมิสูงเกิน 80°C ถ้ามีการสะสมที่ Hopper ใต้ไซโคลนร้อน จะเกิดการคุติดไฟ	– ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration (Deflagration Venting) ที่ทางออกของไซโคลนร้อน – ติดตั้ง Thermostat ที่ท่อทางออกของลมของไซโคลนร้อน ถ้าอุณหภูมิในท่อสูงเกิน 80°C เพื่อควบคุมปริมาณน้ำมันร้อนที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน – หยุดกระบวนการผลิตและระบายฝุ่นแป้งที่ตกค้างก่อนการเชื่อม ตัด เจียร
		– มีเศษโลหะเข้ามาในแผ่นกรอง ทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อ	– ต้องตรวจสอบโครงแผ่นกรองให้อยู่ในสภาพดี ไม่มีแตก ร้าว ฉีกขาด ชำรุด
		– ไฟฟ้าสถิต	– ต้องมีการต่อฝากและการต่อลงดินตลอดท่อ

ตารางที่ 4.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย (ต่อ)

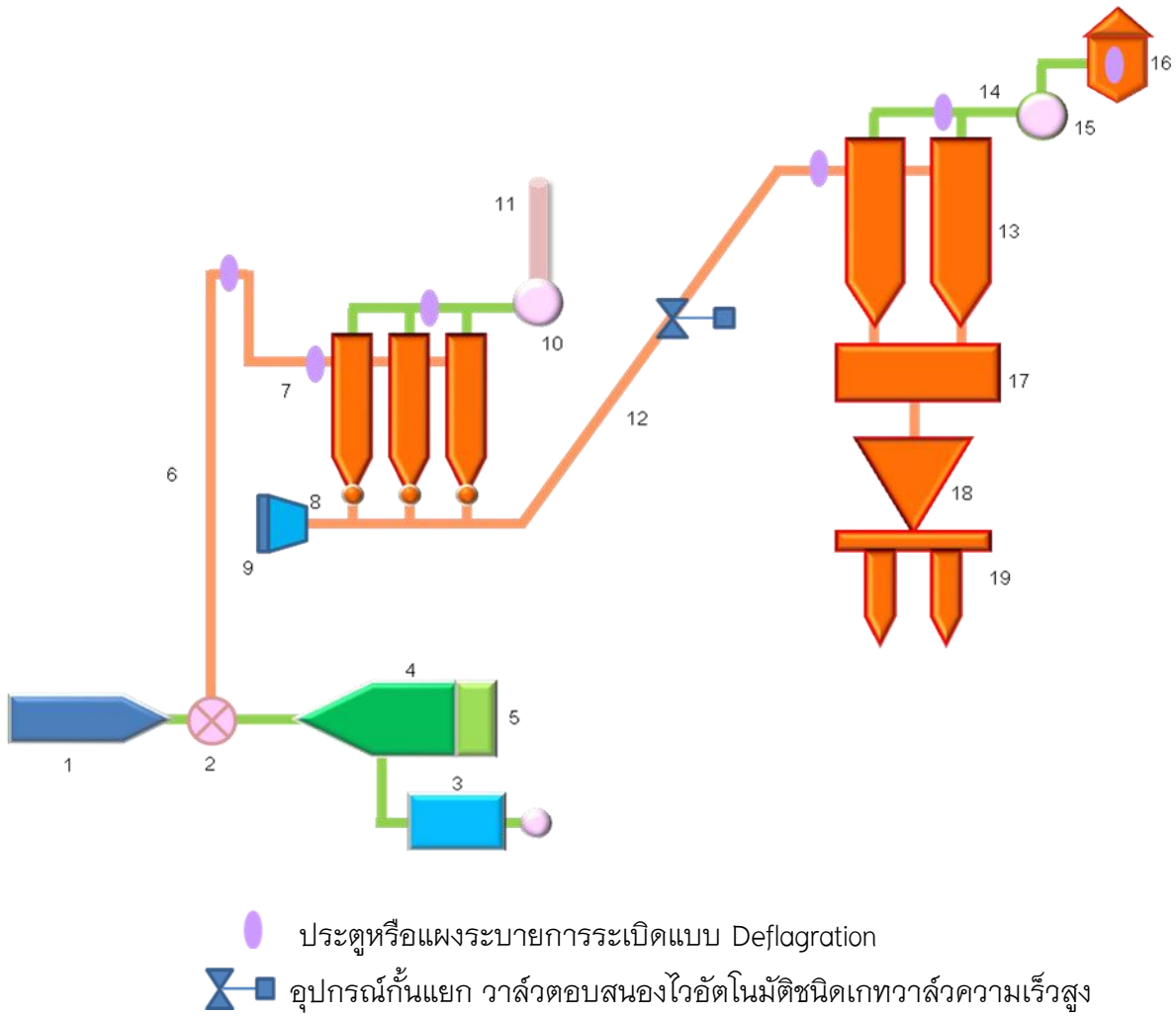
จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
4. ท่อใต้ไซโคลนร้อนหรือท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น	เกิดประกายไฟในท่อใต้ไซโคลนร้อนหรือท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ทำให้ฝุ่นแป้งในท่อเกิดระเบิด	– มีเศษโลหะเข้ามาในแผ่นกรอง ทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อ	– ต้องตรวจสอบโครงแผ่นกรองให้อยู่ในสภาพดี ไม่มีแตกร้าว ฉีกขาด ชำรุด
		– ไฟฟ้าสถิต	– ต้องมีการต่อฝากและการต่อลงดิน
	ท่อใต้ไซโคลนร้อนหรือท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็นระเบิด	– เกิดระเบิดที่ไซโคลนร้อน	– ติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยก วาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติชนิดเกทวาล์วความเร็วสูงที่ท่อใต้ไซโคลนร้อนก่อนเข้าไซโคลนเย็น – ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration
5. ไซโคลนเย็น	– เกิดประกายไฟทำให้ฝุ่นแป้งระเบิด	– มีเศษโลหะเข้ามาในแผ่นกรอง ทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อ	– ต้องตรวจสอบโครงแผ่นกรองให้อยู่ในสภาพดี ไม่มีแตกร้าว ฉีกขาด ชำรุด
		– ไฟฟ้าสถิต	– ต้องมีการต่อฝากและการต่อลงดิน
	– เกิดการระเบิดที่ไซโคลนเย็น	– เกิดการระเบิดที่ไซโคลนร้อนทำให้เกิดการระเบิดต่อเนื่องมาที่ไซโคลนเย็น	– ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration
6. ท่อใต้ไซโคลนเย็นหรือตะแกรงร่อนแป้งหรือไซโลบรรจุแป้งใต้ตะแกรงร่อน	เกิดการระเบิดที่ท่อใต้ไซโคลนเย็นหรือตะแกรงร่อนแป้งหรือไซโลบรรจุแป้งใต้ตะแกรงร่อน	– เกิดการระเบิดที่ไซโคลนร้อนทำให้เกิดการระเบิดต่อเนื่องมาที่ท่อใต้ไซโคลนเย็น	– ติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยกวาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติชนิดเกทวาล์วความเร็วสูงที่ท่อใต้ไซโคลนร้อนก่อนเข้าไซโคลนเย็น

ตารางที่ 4.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย (ต่อ)

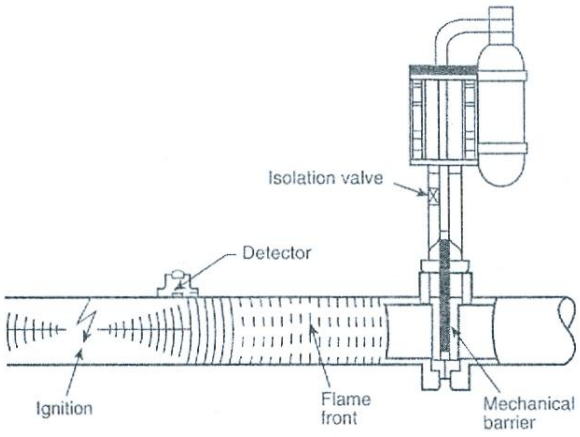
จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
7. เครื่องแยกอากาศออกจากฝุ่นแป้งที่ไซโคลนเย็น 7.1 แบบ Bag house	เกิดการระเบิดภายในถุงกรอง	– เกิดการระเบิดที่ไซโคลนร้อนทำให้เกิดการระเบิดต่อเนื่องมาที่เครื่องแยกอากาศออกจากฝุ่นแป้งที่ไซโคลนเย็น	– ติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยกวาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติชนิดเกทวาล์วความเร็วสูง – ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration
	เกิดการระเบิดภายนอกถุงกรอง	– เกิดการสะสมของฝุ่นแป้งมากเกินไปทำให้ถุงกรองรั่วแตก หรือหลุด เมื่อมีความร้อนประกายไฟทำให้เกิดการระเบิดได้	– ต้องมีประตูหรือช่องเปิดสำหรับการเข้าไปตรวจสอบทำความสะอาดและการบำรุงรักษา ซึ่งประตูนี้ออกแบบให้ใช้เป็นประตูระบายการระเบิดได้
		– ฟ้าผ่า	– ติดตั้งสายล่อฟ้า
7.2 แบบไซโคลน	เกิดประกายไฟทำให้ฝุ่นแป้งระเบิด	– ไฟฟ้าสถิต	– ต้องมีการต่อฝากและการต่อลงดิน
		– ฟ้าผ่า	– ติดตั้งสายล่อฟ้า
8. ฝุ่นแป้งสะสมหนาเกิน 0.8 มม. ที่พื้น คาน ผนัง และเครื่องจักร	ฝุ่นที่สะสมบนพื้นเกิดการฟุ้งกระจายเมื่อมีความร้อนประกายไฟทำให้เกิดการระเบิดต่อเนื่อง	– ทำความสะอาดไม่เพียงพอ	– ทำความสะอาดเป็นประจำทุกวัน – ออกแบบคานหรือด้านบนของเครื่องจักรให้มีความลาดเอียงที่ฝุ่นไม่สามารถสะสมอยู่ได้

การระบายการระเบิดแบบ Deflagration ส่วนใหญ่จะติดตั้งที่ด้านบนของท่อออบแป้ง มีบางแห่งติดตั้งที่ท่อออบแป้งตรงทางเข้าไซโคลนร้อน ทางเข้าไซโคลนเย็น เพียงแต่ยังติดตั้งไม่ครบถ้วน ดังนั้นเพื่อให้มีความปลอดภัย โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังควรติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration เพิ่มเติมที่ทางออกไซโคลนร้อน ทางออกไซโคลนเย็น ไซโลเก็บแป้ง และ Bag house ทุกจุด

ติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยกไว้ที่ท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิดครั้งที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 หรือเกิดการลุกลามของไฟจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น สำหรับอุปกรณ์กั้นแยกที่แนะนำ คือ วาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติ (Automatic Fast-acting Valve System) โดยใช้เกทวาล์วความเร็วสูง (High Speed Knife Valve) ซึ่งตัววาล์วชนิดนี้จะทนแรงดันได้ถึง 150 Psi (1,035 KPa) ควบคู่กับอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือแสง ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงจุดติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration ที่ท่อออบแป้ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ไซโล และ Bag house



รูปที่ 4.4 แสดงการติดตั้งเกทวาล์วความเร็วสูงพร้อมอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือแสง

4.3.2 มาตรการด้านการบริหารจัดการ

4.3.2.1 การควบคุมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายและการรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยโดยเฉพาะบริเวณบรรจุ มักมีฝุ่นฟุ้งกระจาย จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบดูดอากาศเฉพาะจุดเพื่อรวบรวมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายแล้วดูดไปยังอุปกรณ์รวบรวมฝุ่น บริเวณตะแกรงร่อน หัวบรรจุแป้ง รถยก เครื่องชั่ง พื้น ผนังอาคาร ต้องทำความสะอาดทุกวัน เพื่อลดการสะสมของฝุ่น

ขณะทำความสะอาดพื้น ต้องทำให้เกิดหมอกฝุ่นน้อยที่สุด จึงหลีกเลี่ยงที่จะใช้วิธีการกวาด ใช้ไอน้ำหรือลมเป่า วิธีที่ดีควรจะใช้เครื่องดูดฝุ่น แต่ต้องเป็นเครื่องดูดฝุ่นที่ออกแบบมาให้ใช้กับพื้นที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้เท่านั้น

4.3.2.2 การฝึกอบรมและขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Training and Procedures)

(1) ต้องจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานและการซ่อมบำรุง และแผนฉุกเฉิน

(2) ต้องทำการทบทวนแผนฉุกเฉินและขั้นตอนการปฏิบัติงานทุกปี และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต

(3) ต้องฝึกอบรมทบทวนให้กับผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานอยู่บริเวณไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ห้องบรรจุ โกดังเก็บแป้งมันสำปะหลัง งานซ่อมบำรุง ต้องเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานกับฝุ่นสันดาปได้ ให้มีความรู้เกี่ยวกับเรื่องต่อไปนี้

ก. อันตรายที่มีอยู่ในสถานที่ทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

ข. การปฐมนิเทศทั่วไปให้รวมถึงกฎความปลอดภัยของโรงงาน

ค. รายละเอียดกระบวนการผลิต

ง. การใช้อุปกรณ์ การเดินเครื่องและปิดเครื่องที่ปลอดภัย และการปฏิบัติเมื่อเกิดสภาวะผิดปกติ

จ. การทำงานที่เหมาะสมของระบบป้องกันอัคคีภัยและการระเบิดที่เกี่ยวข้อง

ฉ. กฎ ระเบียบ ข้อบังคับต่าง ๆ เช่น การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ การดูแลความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย เป็นต้น

ซ. แผนตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน บุคลากรทุกคนของโรงงานรวมทั้งผู้บริหาร ผู้ควบคุม ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ทำหน้าที่ซ่อมบำรุง ควรได้รับการอบรมให้มีส่วนร่วมในแผนการควบคุมเหตุฉุกเฉิน ควรให้มีการอบรมทบทวนของหน่วยดับเพลิงหรือทีมดับเพลิง

แผนฉุกเฉินควรมีองค์ประกอบดังนี้

- ระบบสัญญาณแจ้งเหตุ
- วิธีการอพยพสู่ภายนอก
- การลดผลกระทบต่อบุคลากรและชุมชนให้น้อยที่สุด
- การลดผลกระทบของการสูญเสียต่อทรัพย์สินและเครื่องมืออุปกรณ์
- การประสานงานระหว่างแผนกและระหว่างโรงงาน
- การประสานงานกับหน่วยงานภายนอก
- การให้ข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องต่อสาธารณะ

บุคลากรของโรงงานควรมีการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี ควรมีการจำลองสถานการณ์ผิดปกติของกระบวนการผลิตและปฏิบัติตามแผนฉุกเฉิน ควรมีการฝึกซ้อมอุบัติภัยร้ายแรงซึ่งจำลองสถานการณ์เป็นครั้งคราวโดยประสานงานและร่วมกับหน่วยงานบรรเทาสาธารณภัย สถานีตำรวจ และหน่วยงานฉุกเฉินอื่น ๆ ในท้องที่และโรงงานที่อยู่ใกล้เคียง

4.3.2.3 การตรวจสอบและการซ่อมบำรุง (Inspection and Maintenance)

(1) ต้องจัดทำและปฏิบัติตามแผนการตรวจสอบ ทดสอบ และซ่อมบำรุงเพื่อให้แน่ใจว่าระบบการป้องกันอัคคีภัยและการระเบิด รวมถึงการควบคุมการผลิตและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีการทำงานตามที่ได้ถูกออกแบบ

(2) แผนการตรวจสอบ ทดสอบ และซ่อมบำรุงต้องรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

ก. อุปกรณ์ป้องกันและระงับอัคคีภัยและการระเบิด

ข. อุปกรณ์ควบคุมฝุ่น

ค. การรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย

ง. แหล่งที่มีศักยภาพก่อให้เกิดการติดไฟ

จ. อุปกรณ์ไฟฟ้า กระบวนการผลิต และเครื่องจักรกล รวมถึงอุปกรณ์เชื่อมต่อของกระบวนการผลิต

ฉ. การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต

ช. การหล่อลื่นตลับลูกปืน

(3) ต้องมีการเก็บบันทึกการซ่อมบำรุงและการซ่อมแซมที่ได้ดำเนินการแล้ว

4.3.3 มาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย

4.3.3.1 ต้องจัดให้มีเครื่องดับเพลิงแบบมือถือที่มีความสามารถในการดับเพลิงอย่างน้อยระดับ 2A ในทุกอาคาร ให้เหมาะสมเพียงพอทุกพื้นที่ โดยต้องมีระยะห่างกันไม่เกิน 20 เมตร

4.3.3.2 ต้องทำการฝึกอบรมบุคลากรในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ในลักษณะที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นน้อยที่สุด

ควรระมัดระวังอย่างยิ่งในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในสถานที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้ แรงฉีดพ่นที่รวดเร็วไปยังจุดที่มีฝุ่นจะสามารถทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเกิดเป็นหมอกฝุ่น เมื่อเกิดหมอกฝุ่นจะมีอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration เสมอ ในกรณีที่เกิดหมอกฝุ่นเนื่องจากการดับเพลิง หมอกฝุ่นจะเกิดการจุดติดไฟและเกิดการระเบิดแบบ Deflagration ขึ้นได้อย่างแน่นอน

ดังนั้น เมื่อใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในบริเวณที่มีการสะสมของฝุ่น ควรระมัดระวังการฉีดสารดับเพลิงไม่ให้ถูกฝุ่นที่สะสมอยู่หรือไม่ให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจาย โดยทั่วไปเครื่องดับเพลิงจะถูกออกแบบให้ฉีดพ่นสารดับเพลิงในอัตราที่สูงสุด ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการพิเศษในการใช้เครื่องดับเพลิงเพื่อป้องกันอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration

4.3.3.3 ต้องจัดเตรียมน้ำสำหรับดับเพลิงในปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งจ่ายน้ำให้กับอุปกรณ์ฉีดน้ำดับเพลิงได้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 30 นาที

4.3.3.4 ต้องจัดให้มีแผนระงับอัคคีภัยในโรงงาน ประกอบด้วย แผนการตรวจสอบด้านความปลอดภัยอัคคีภัย แผนการอบรมเรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัย แผนการดับเพลิง และแผนการอพยพหนีไฟ โดยเก็บแผนนี้ไว้ที่โรงงาน พร้อมให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ และต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามแผน

4.3.3.5 การทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟที่อันตราย ต้องจัดให้มีการขออนุญาต

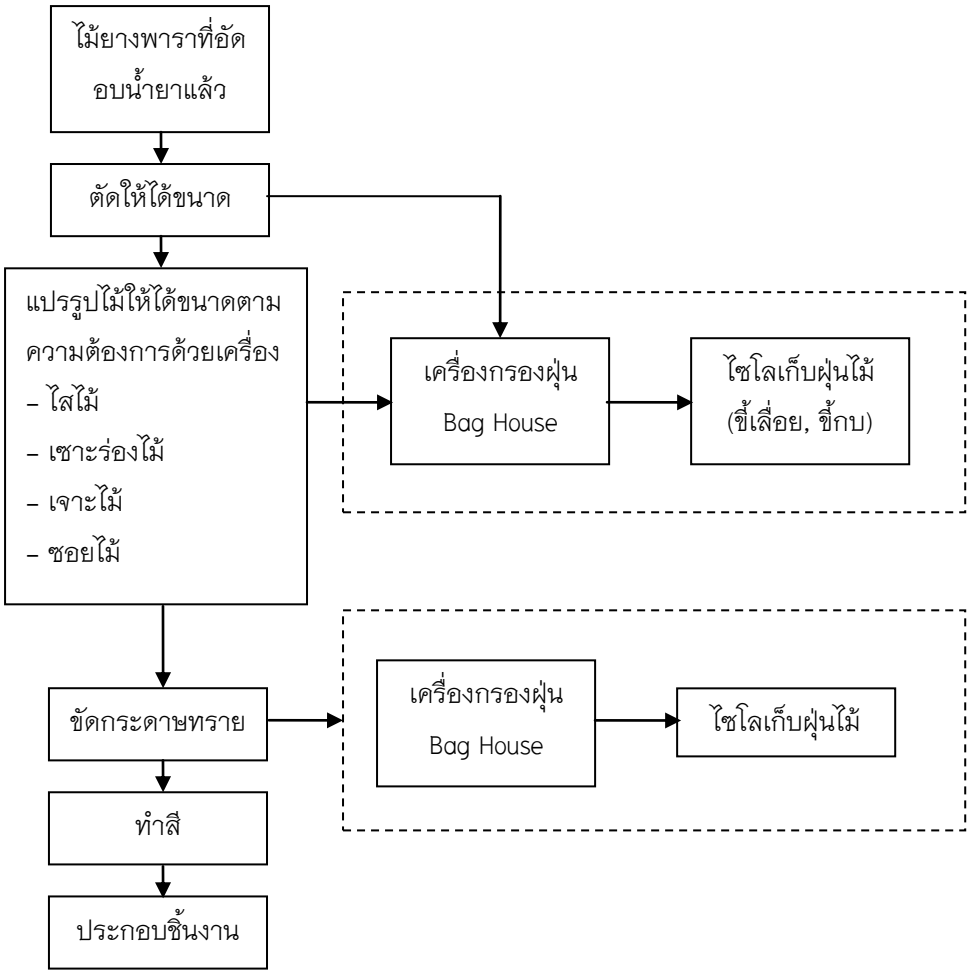
4.3.3.6 จัดเส้นทางหนีไฟสำหรับอพยพผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดออกจากพื้นที่อันตรายสู่ที่ปลอดภัย เช่น ถนนหรือสนามนอกอาคารโรงงานได้ภายใน 5 นาที

บทที่ 5
การจัดการความปลอดภัยโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้

โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ มีสถิติการระเบิดของฝุ่นไม้ที่ Bag house ทั้งในประเทศและต่างประเทศบ่อยครั้ง จากฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2553 พบว่ามีโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ทั่วประเทศจำนวนกว่า 4,000 โรงงาน กระจายอยู่ทั่วประเทศ สำหรับโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา จะอยู่ภาคตะวันออกและภาคใต้เป็นหลัก ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก จึงต้องมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ และประเมินจุดเสี่ยง เพื่อจัดทำมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสม ให้โรงงานสามารถประกอบกิจการได้อย่างปลอดภัยและมีการจัดการความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 กระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้

กระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ เริ่มจากนำไม้ยางพาราที่อัด อบน้ำยาแล้ว มาทำการตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการในการทำเฟอร์นิเจอร์แต่ละชนิด จากนั้นทำการแปรรูปไม้อีกครั้งด้วยเครื่องไสไม้ เซาะร่องไม้ เจาะไม้ หรือซอยไม้ และนำมาขัดกระดาษทรายเพื่อให้ไม้มีความเรียบ ไม้ที่ผ่านการขัดกระดาษทรายจะนำไปทำสี แล้วประกอบเป็นชิ้นงานเพื่อส่งขายต่อไป สำหรับโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้บางแห่งหลังจากทำสีแล้วจะไม่ประกอบชิ้นงาน แต่จะบรรจุชิ้นงานในกล่องเพื่อให้ผู้ซื้อประกอบเอง จากกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ พบว่ากิจกรรมที่จะก่อให้เกิดฝุ่น มีตั้งแต่การตัด การแปรรูปไม้และการขัดกระดาษทราย โดยฝุ่นที่เกิดขึ้นจะถูกดูดไปเก็บไว้ที่ Bag house และด้านล่างจะเป็นไซโลเก็บ ส่วนใหญ่จะมีการแยกเก็บเป็นสายการผลิต เช่น การขัดกระดาษทราย จะมี Bag house และไซโล 1 ชุด การไสไม้จะมี Bag house และไซโล 1 ชุด การตัดจะมี Bag house และไซโล 1 ชุด แต่ก็พบว่าถ้าเป็นโรงงานขนาดเล็ก จะใช้วิธีการรวมสายการผลิตการตัดกับการไสไม้เข้าด้วยกัน โดยใช้ Bag house กับไซโลชุดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 แสดงกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดได้



รูปที่ 5.1 แสดงกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นได้

5.2 การประเมินจุดเสี่ยง

การประเมินจุดเสี่ยงต้องประเมินทุกขั้นตอนการผลิต โดยพิจารณาจากห้าองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น สำหรับโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้พบว่ามีจุดเสี่ยงที่เครื่องกรองฝุ่น (Bag House) และไซโลเก็บฝุ่นไม้ (ขี้เลื่อย ขี้กบ) โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

5.2.1 องค์ประกอบที่หนึ่ง เชื้อเพลิง (ฝุ่น)

จากการศึกษาและจากข้อมูลผลการทดลองของต่างประเทศพบว่า ฝุ่นไม้จัดเป็นฝุ่นสันดาปได้และลุกไหม้ได้อย่างรวดเร็ว จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นไม้มาร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 40 (U.S.No.40) พบว่าฝุ่นจากเครื่องขัดกระดาษทราย จะมีขนาดเล็กกว่า 420 μm ถึง 90.41 – 98.68% ขึ้นอยู่กับเบอร์ของกระดาษทราย แต่ถ้าเป็นฝุ่นจากเครื่องไส เครื่องซอยไม้ เลื่อยวงเดือน จะมีขนาดของฝุ่นไม้ใหญ่กว่า 420 μm

เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องไส เครื่องซอย และใบเลื่อยวงเดือน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ จะมีขนาดฝุ่นเล็กกว่า 420 μm

5.2.2 องค์ประกอบที่สอง การฟุ้งกระจายของฝุ่น

โรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้มีการซอยไม้ ไสไม้ เลื่อยไม้ หรือขัดไม้ จึงมีการฟุ้งกระจายของฝุ่น โรงงานส่วนใหญ่จะมีที่ครอบดูดอากาศ ทำให้ฝุ่นถูกดูดและฟุ้งกระจายอยู่ในท่อดูดอากาศ

และในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้จะพบกองฝุ่นไม้บริเวณใต้เครื่องซอยไม้ ไสไม้ เลื่อยไม้ หรือขัดไม้ แต่จะเป็นการกองเฉพาะจุด มีพื้นที่ไม่กว้าง และมีการเก็บหรือกวาดทุกกะ จึงทำให้ลดการกองสะสมของฝุ่นไม้ได้

จากการศึกษาของ Echoff (2003) พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ของฝุ่นไม้มีค่า 60 g/m^3 จากผลการตรวจวัดและคำนวนกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้พบว่า บริเวณที่มีความเข้มข้นฝุ่นไม้อยู่ในช่วง MEC คือที่ Bag house และที่ไซโลเก็บฝุ่นไม้ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

5.2.3 องค์ประกอบที่สาม ขอบเขตหมอกฝุ่น

จากการศึกษาโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราพบว่า หมอกฝุ่นจะอยู่ในขอบเขตจำกัด ได้แก่ ที่ครอบดูดฝุ่น ท่อดูดอากาศ Bag house ไซโลฝุ่นไม้ ในไซโคลนหรือในฝาท่อดูดฝุ่นเครื่องขัดกระดาษทราย

และโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ มีโอกาสเกิดกลุ่มหมอกฝุ่นในพื้นที่เปิดโล่งจากกองฝุ่นไม้ ดังได้อธิบายไว้ในองค์ประกอบที่สอง

5.2.4 องค์ประกอบที่สี่ ออกซิเจน

ในระบบดูดอากาศเพื่อดูดฝุ่นที่เกิดขณะซอยไม้ ไสไม้ เลื่อยไม้หรือขัดกระดาษทราย จะใช้อากาศบริเวณที่ทำงาน ซึ่งมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณ 20.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จึงมีปริมาณออกซิเจนในอากาศเพียงพอที่จะช่วยในการลุกติดไฟ นั่นแสดงว่า องค์ประกอบที่สี่นั้นมีอยู่ตลอดเวลาที่ทำงาน

5.2.5 องค์ประกอบที่ห้า แหล่งจุดติดไฟ

จากผลการศึกษาของ BARTEC พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้กองฝุ่นไหม้ลุกติดไฟคือ 300 °C แต่ถ้าเป็นหมอกฝุ่นไม้จะมีอุณหภูมิจุดติดไฟเท่ากับ 400 °C แต่จากการศึกษากระบวนการผลิต ไม่พบว่ามีจุดใดที่อุณหภูมิสูงถึงจุดติดไฟ นั่นแสดงว่า ขณะทำงานตามปกติจะไม่เกิดการระเบิดของฝุ่นไม้ได้ จึงน่าจะเกิดจากการคุติดไฟของฝุ่นไม้ในไซโลเก็บฝุ่น แล้วทำให้อุณหภูมิค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 300 °C หรือ 400 °C แล้วแต่กรณี

แหล่งจุดติดไฟ นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือเกิดการระเบิดของฝุ่นไม้ขึ้น เนื่องจากไม้เป็นเชื้อเพลิงที่ดีอยู่แล้ว แต่ถึงขั้นระเบิดในประเทศไทยมีน้อย แต่ในต่างประเทศมักพบบ่อย แหล่งจุดติดไฟที่สำคัญที่มีโอกาสเกิดในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ มีรายละเอียดดังนี้

- เปลวไฟจากการเชื่อม หรือตัดด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า หรือแก๊ส เกิดขึ้นเมื่อมีการซ่อมครอบดูดอากาศ ท่อดูดอากาศ โครงของ Bag house โครงไซโลเก็บฝุ่นไม้
- ประกายไฟจากเครื่องจักรหรือความร้อนเฉพาะจุด ขณะที่ระบบดูดอากาศทำงานอาจมีชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของเครื่องไส เลื่อยวงเดือน หรือตะปู ถูกดูดเข้ามาในท่อดูดฝุ่น ทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อ เกิดความร้อน ทำให้เกิดการลุกไหม้ของฝุ่นที่ค้างในท่อ หรือไหม้ใน Bag house หรือในไซโลเก็บฝุ่น การใช้เครื่องขัดกระดาษทรายแล้วป้อนให้ขัดด้วยความหนามากเกินไปก่อให้เกิดสะเก็ดไฟถูกดูดเข้าไปในท่อดูดฝุ่น เป็นเหตุการณ์ที่พบได้เสมอ ๆ

ตารางที่ 5.1 แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้

จุดเสี่ยง	5 องค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น				
	ความเข้มข้นฝุ่น $\geq$ 60 g/m^3	การฟุ้งกระจาย	ขอบเขตหมอกฝุ่น	ออกซิเจน	แหล่งจุดติดไฟ
Bag house/ ไซโลฝุ่นไม้	> 60	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในถุงกรองหรือใน Bag house	20.9%	– เครื่องขัดกระดาษทรายที่กินเนื้อไม้มากเกินไป – การเชื่อมหรือตัดท่อดูดอากาศ หรือที่ Bag house ขณะ Bag house กำลังทำงาน

5.3 มาตรการความปลอดภัย

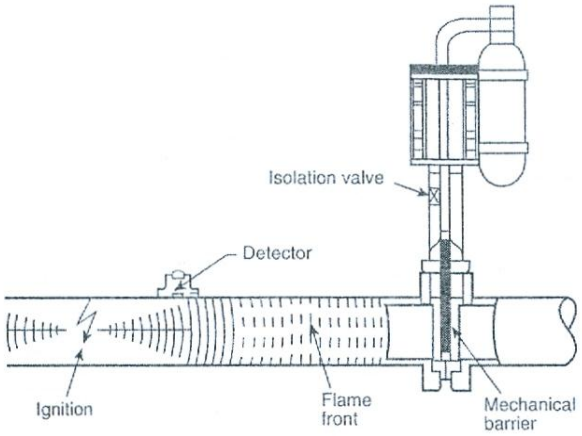
เมื่อได้ประเมินจุดเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการผลิตแล้ว ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดทั้งเพลิงไหม้และการระเบิดแบบ Deflagration ต้องนำมาวิเคราะห์ลักษณะการเกิดอันตรายและหาสาเหตุการเกิดอันตราย เพื่อจัดทำมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมในการป้องกันและควบคุมอันตรายตามจุดเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งมาตรการด้านการบริหารจัดการและมาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 มาตรการความปลอดภัยตามจุดเสี่ยง

เป็นการนำจุดเสี่ยงที่ได้จากตารางที่ 5.1 มาพิจารณาถึงลักษณะการเกิดอันตราย ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ โดยแต่ละลักษณะการเกิดอันตราย มาจากสาเหตุหลายกรณี แล้วจึงมากำหนดเป็นมาตรการความปลอดภัย ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.2

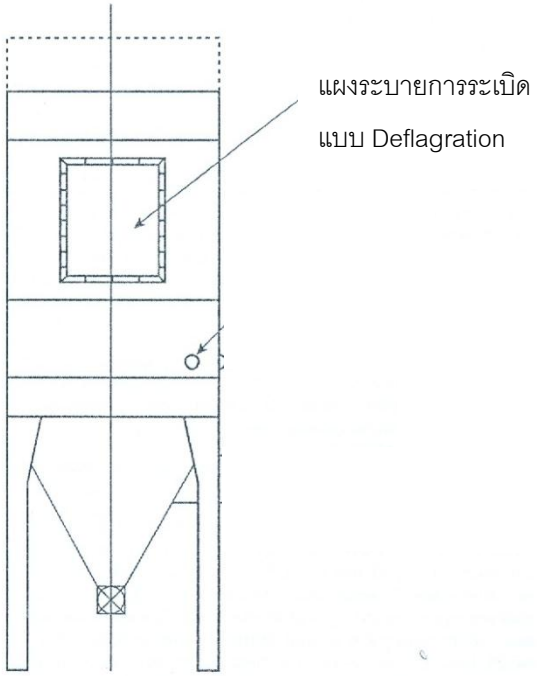
ตารางที่ 5.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย

จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการป้องกัน
Bag house หรือไซโลฝุ่นไม้	มีการฟุ้งกระจายหรือการสะสมฝุ่นไม้ เมื่อมีแหล่งจุดติดไฟที่ทำให้มีอุณหภูมิสูงถึงค่า MIT หรือมีพลังงานถึงค่า MIE จะทำให้เกิดไฟไหม้หรือระเบิดได้	– เครื่องขัดกระดาษทรายป้อนให้กินเนื้อไม้มาก จึงเสียดสีเกิดความร้อนหรือประกายไฟ – มีการเชื่อมหรือตัด ท่อดูดฝุ่น หรือใน Bag house หรือไซโลฝุ่นไม้ – ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต	– กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานป้อนไม้เข้าเครื่องขัดกระดาษทรายไม่ให้กินเนื้อไม้จนเกิดประกายไฟ – กำหนดให้ต้องมีการขออนุญาตก่อนทำงานที่ทำให้เกิดความร้อน – เมื่องานเสร็จ ต้องตรวจสอบว่าไม่พบการติดไฟ จึงทำงานต่อ – ติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยกวาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติชนิดเกทวาล์วความเร็วสูงที่ท่อดูดฝุ่น ดังแสดงในรูปที่ 5.2 – ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration ที่ Bag house หรือที่ไซโลฝุ่นไม้กรณีต่อถึงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 – ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ CO ในไซโลฝุ่นไม้ เพื่อแจ้งเตือนว่าเกิดการลุกไหม้ในไซโลฝุ่นไม้



รูปที่ 5.2 แสดงการติดตั้งเกทวาล์วความเร็วสูงพร้อมอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือแสง

การติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยก ที่ท่อดูดอากาศก่อนเข้า Bag house เพื่อป้องกันการระเบิดใน Bag house หรือไซโลฝุ่นไม้ เป็นการป้องกันไม่ให้เปลวไฟพุ่งย้อนกลับเข้าไปบริเวณการทำงาน อุปกรณ์กั้นแยกที่แนะนำ คือวาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติ โดยใช้เกทวาล์วความเร็วสูง ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.3 แสดงการติดตั้งแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration

รูปที่ 5.3 แสดงการติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration โดยแนะนำให้ติดที่ Bag house โดยที่ทางระบายต้องไม่พุ่งไปยังผู้ปฏิบัติงาน

5.3.2 มาตรการด้านการบริหารจัดการ

5.3.2.1 การควบคุมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายและการรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยโดยเฉพาะบริเวณเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น เครื่องขัดกระดาษทราย เลื่อยสายพาน และเลื่อยวงเดือน

เป็นต้น มักมีฝุ่นฟุ้งกระจาย จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบดูดอากาศเฉพาะจุด เพื่อรวบรวมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายแล้วดูดไปยังอุปกรณ์รวบรวมฝุ่น บริเวณใต้เครื่องขัดกระดาษทราย เลื่อยสายพาน เลื่อยวงเดือน และต้องทำความสะอาดทุกวัน เพื่อลดการสะสมของฝุ่น

ขณะทำความสะอาดพื้น ต้องทำให้เกิดหมอกฝุ่นน้อยที่สุด จึงหลีกเลี่ยงที่จะใช้วิธีการกวาด ใช้ไอน้ำหรือลมเป่า วิธีที่ดีควรจะใช้เครื่องดูดฝุ่น แต่ต้องเป็นเครื่องดูดฝุ่นที่ออกแบบมาให้ใช้กับพื้นที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้เท่านั้น

5.3.2.2 การฝึกอบรมและขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Training and Procedures)

(1) ต้องจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานและการซ่อมบำรุง และแผนฉุกเฉิน

(2) ต้องทำการทบทวนแผนฉุกเฉินและขั้นตอนการปฏิบัติงานทุกปี และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต

(3) ต้องฝึกอบรมทบทวนให้กับผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานอยู่บริเวณเครื่องขัดกระดาษทราย เลื่อยสายพาน เลื่อยวงเดือน กระบวนการผลิตข้างเคียง หรืองานซ่อมบำรุง ต้องเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานกับฝุ่นสันดาปได้ ให้มีความรู้เกี่ยวกับเรื่องต่อไปนี้

ก. อันตรายที่มีอยู่ในสถานที่ทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

ข. การปฐมนิเทศทั่วไปให้รวมถึงกฎความปลอดภัยของโรงงาน

ค. รายละเอียดกระบวนการผลิต

ง. การใช้อุปกรณ์ การเดินเครื่องและปิดเครื่องที่ปลอดภัย และการปฏิบัติเมื่อเกิดสภาวะผิดปกติ

จ. การทำงานที่เหมาะสมของระบบป้องกันอัคคีภัยและการระเบิดที่เกี่ยวข้อง

ฉ. กฎ ระเบียบ ข้อบังคับต่าง ๆ เช่น การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ การดูแลความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย เป็นต้น

ซ. แผนตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน บุคลากรทุกคนของโรงงานรวมทั้งผู้บริหาร ผู้ควบคุม ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ทำหน้าที่ซ่อมบำรุง ควรได้รับการอบรมให้มีส่วนร่วมในแผนการควบคุมเหตุฉุกเฉิน ควรให้มีการอบรมทบทวนของหน่วยดับเพลิงหรือทีมดับเพลิง

แผนฉุกเฉินควรมีองค์ประกอบดังนี้

- ระบบสัญญาณแจ้งเหตุ
- วิธีการอพยพสู่ภายนอก
- การลดผลกระทบต่อบุคลากรและชุมชนให้น้อยที่สุด
- การลดผลกระทบของการสูญเสียต่อทรัพย์สินและเครื่องมืออุปกรณ์
- การประสานงานระหว่างแผนกและระหว่างโรงงาน
- การประสานงานกับหน่วยงานภายนอก
- การให้ข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องต่อสาธารณะ

บุคลากรของโรงงานควรมีการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี ควรมีการจำลองสถานการณ์ผิดปกติของกระบวนการผลิตและปฏิบัติตามแผนฉุกเฉิน ควรมีการฝึกซ้อมอุบัติภัยร้ายแรงซึ่งจำลองสถานการณ์เป็นครั้งคราวโดยประสานงานและร่วมกับหน่วยงานบรรเทาสาธารณภัย สถานีตำรวจ และหน่วยงานฉุกเฉินอื่น ๆ ในท้องที่และโรงงานที่อยู่ใกล้เคียง

5.3.3 มาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย

5.3.3.1 ต้องจัดให้มีเครื่องดับเพลิงแบบมือถือที่มีความสามารถในการดับเพลิงอย่างน้อยระดับ 4A ในทุกอาคาร ให้เหมาะสมเพียงพอทุกพื้นที่ โดยต้องมีระยะห่างกันไม่เกิน 20 เมตร

5.3.3.2 ต้องทำการฝึกอบรมบุคลากรในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ในลักษณะที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นน้อยที่สุด

ควรระมัดระวังอย่างยิ่งในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในสถานที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้ แรงฉีดพ่นที่รวดเร็วไปยังจุดที่มีฝุ่นจะสามารถทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเกิดเป็นหมอกฝุ่น เมื่อเกิดหมอกฝุ่น จะมีอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration ในกรณีที่เกิดหมอกฝุ่นเนื่องจากการดับเพลิง หมอกฝุ่นจะเกิดการจุดติดไฟและเกิดการระเบิดแบบ Deflagration ขึ้นได้อย่างแน่นอน

ดังนั้น เมื่อใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในบริเวณที่มีการสะสมของฝุ่น ควรระมัดระวังการฉีดสารดับเพลิงไม่ให้ถูกฝุ่นที่สะสมอยู่หรือไม่ให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจาย โดยทั่วไป เครื่องดับเพลิงจะถูกออกแบบให้ฉีดพ่นสารดับเพลิงในอัตราที่สูงสุด ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการพิเศษในการใช้เครื่องดับเพลิงเพื่อป้องกันอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration

5.3.3.3 ต้องจัดเตรียมน้ำสำหรับดับเพลิงในปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งจ่ายน้ำให้กับอุปกรณ์ฉีดน้ำดับเพลิงได้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 30 นาที

5.3.3.4 ต้องจัดให้มีแผนระงับอัคคีภัยในโรงงาน ประกอบด้วย แผนการตรวจสอบด้านความปลอดภัยอัคคีภัย แผนการอบรมเรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัย แผนการดับเพลิง และแผนการอพยพหนีไฟ โดยเก็บแผนนี้ไว้ที่โรงงาน พร้อมให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ และต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามแผน

5.3.3.5 อาคารหรือโกดังเก็บไม้หรือฝุ่นไม้ ต้องกั้นแยกจากพื้นที่ส่วนอื่นของอาคาร ด้วยวัสดุที่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

5.3.3.6 โกดังหรืออาคารชั้นเดียว เก็บไม้หรือฝุ่นไม้ ทำด้วยโครงเหล็ก ต้องปิดหุ้มโครงเหล็กด้วยวัสดุทนไฟหรือวิธีอื่นทำให้สามารถทนไฟได้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง

5.3.3.7 การทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟที่อันตราย ต้องจัดให้มีการขออนุญาต

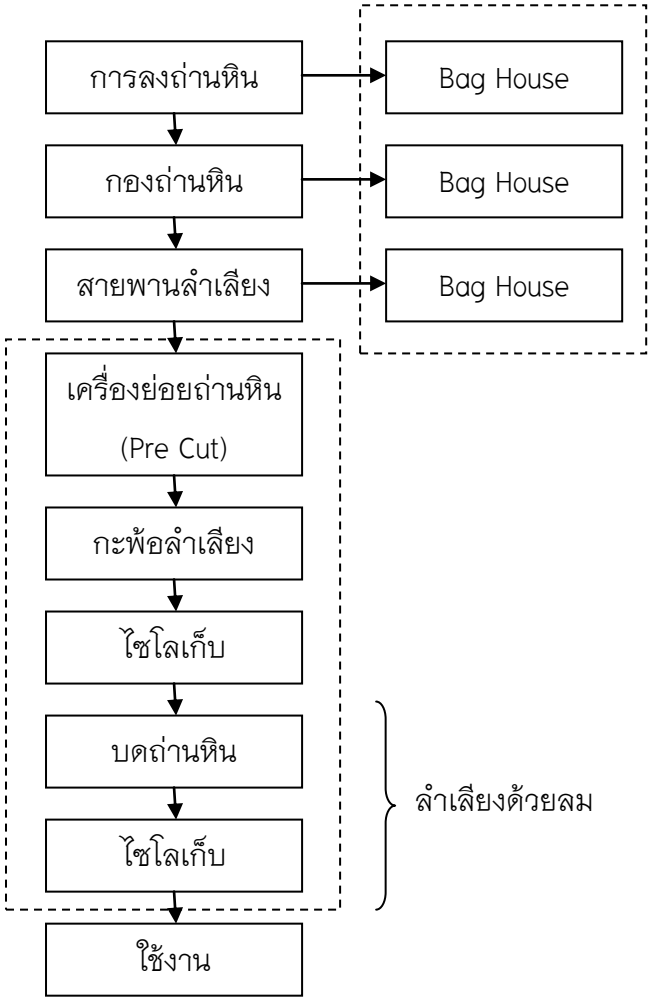
5.3.3.8 จัดเส้นทางหนีไฟสำหรับอพยพผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดออกจากพื้นที่สู่ที่ปลอดภัย เช่น ถนนหรือสนามนอกอาคารโรงงานได้ภายใน 5 นาที

บทที่ 6
การจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

โรงงานที่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง มีสถิติการระเบิดของฝุ่นทั้งในประเทศและต่างประเทศบ่อยครั้ง แต่ไม่มีข้อมูลรายละเอียดเพียงพอ จากฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2553 พบว่ามีโรงงานที่ใช้ถ่านหินทำเป็นเชื้อเพลิงก้อนหรือสำเร็จรูป ลำดับที่ 50(3) จำนวน 27 โรงงาน โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตหรือจ่ายไอน้ำ ลำดับที่ 102 เฉพาะที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง จำนวน 44 โรงงาน นอกจากนั้นยังพบว่ามีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานหลอมโลหะ โรงงานกระดาษ โรงงานเยื่อกระดาษ โรงงานแก้ว และโรงงานที่ใช้หม้อน้ำโดยมีถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงอีกจำนวนมาก ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก จึงต้องมีการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน และประเมินจุดเสี่ยง เพื่อจัดทำมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสม ให้โรงงานสามารถประกอบกิจการได้อย่างปลอดภัยและมีการจัดการความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 กระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน

กระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 6.1 เริ่มตั้งแต่การนำถ่านหินเข้ามาในโรงงานแล้วทำการลงถ่านหินด้วยรถบรรทุก ซึ่งส่วนใหญ่ถ่านหินจะมีขนาด 50 มม. โดยเทลงที่พื้นหรือรางในอาคารหรือนอกอาคาร แล้วแต่โรงงานแต่ละแห่งจัดเตรียมไว้ กองถ่านหินเป็นจุดที่อาจใช้เป็นที่มีการผสมถ่านหินชนิดต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสมกับค่าความร้อนที่ต้องการหรือการกองเพื่อรอการนำไปใช้ สายพานลำเลียงใช้ลำเลียงถ่านหินแนวราบหรือเอียงเล็กน้อย มีแบบเปิดโล่งกับมีครอบป้องกันลม ใช้ในการลำเลียงถ่านหินไปใช้งานตามจุดต่าง ๆ กะพ้อลำเลียงใช้ลำเลียงถ่านหินขึ้นข้างบนในแนวดิ่ง ปกติจะออกแบบเป็นช่องคล้ายกับช่องลิฟต์จึงเรียกว่า ลิฟต์กะพ้อลำเลียง ไซโลเก็บจะทำหน้าที่เก็บถ่านหินเพื่อรอการส่งไปใช้งานหรือส่งไปกระบวนการอื่น ๆ ในลำดับถัดมา การบดถ่านหินใช้กับกระบวนการเผาไหม้ที่ต้องการถ่านหินขนาดเล็ก ถ่านหินที่บดแล้วจะถูกส่งไปเก็บในไซโลถ่านหิน ก่อนถูกป้อนไปใช้งาน ระบบลำเลียงถ่านหินที่บดแล้วมักจะใช้ลมในการลำเลียง สำหรับจุดที่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นถ่านหิน โรงงานจะใช้วิธีการทำเป็นกำแพงกั้นล้อมรอบ แล้วมีการดูดอากาศ เพื่อนำฝุ่นถ่านหินที่ฟุ้งกระจายเข้าสู่ Bag house



รูปที่ 6.1 แสดงกระบวนการขนถ่าย การลำเลียง การเก็บ และการใช้ถ่านหิน โดยเส้นประแสดงถึงกระบวนการที่สามารถเกิดฝุ่นระเบิดได้

6.2 การประเมินจุดเสี่ยง

การประเมินจุดเสี่ยงต้องประเมินตั้งแต่กระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน โดยพิจารณาจากห้าองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่น โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

6.2.1 องค์ประกอบที่หนึ่ง เชื้อเพลิง (ฝุ่น)

จากการศึกษาและจากข้อมูลผลการทดลองของต่างประเทศและจากผู้ใช้งานพบว่าฝุ่นถ่านหินจัดเป็นฝุ่นสันดาปได้ ไม่ว่าจะเป็นถ่านหินชนิดลิกไนต์ Sub bituminous หรือ Bituminous จากกระบวนการขนถ่านหินจากภายนอกโรงงานเข้ามา ถ่านหินจะมีขนาดใหญ่ แต่ระหว่างการขนส่งจะมีการแตกหักจึงมีขนาดเล็กลง ขณะเทถ่านหินลงจากรถขนส่ง ก็จะมีการแตกหักหรือกระแทกกัน ทำให้ขนาดถ่านหินลดลงจากเดิม กรณีที่ถ่านหินแห้งก็จะเปราะแตกได้ง่าย มีขนาดเล็กลง นอกจากนั้นบางกระบวนการผลิตต้องการ

ถ่านหินขนาดเล็กจึงมีการบดถ่านหินทำให้ถ่านหินมีขนาดเล็กลง จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นถ่านหินชนิด Sub bituminous มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (U.S.No.40) พบว่าฝุ่นถ่านหินที่พื้นโกดังมีขนาดเล็กกว่า 420 µm ถึง 83.69 เปอร์เซ็นต์ ฝุ่นถ่านหินใน Bag House มีขนาดเล็กกว่า 420 µm ถึง 99.09 เปอร์เซ็นต์ และฝุ่นถ่านหินก่อนเข้าเครื่องบดมีขนาดเล็กกว่า 420 µm ประมาณ 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อผ่านเครื่องบดแล้วจะมีขนาดเล็กกว่า 420 µm ถึง 99.93 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าฝุ่นถ่านหินเป็นฝุ่นสันดาปได้ และมีขนาดเล็กกว่า 420 µm

6.2.2 องค์ประกอบที่สอง การฟุ้งกระจายของฝุ่น

ขณะมีการเทถ่านหินลงจากรถบรรทุก จะเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นถ่านหิน โดยเฉพาะฤดูร้อนและฤดูหนาวจะมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นมาก สำหรับฤดูฝนจะมีการฟุ้งกระจายค่อนข้างน้อยเนื่องจากถ่านหินเปียกชื้นเพราะส่วนใหญ่เก็บถ่านหินไว้ในที่โล่ง นอกจากนี้การเทถ่านหินลงในรางที่อยู่ต่ำก็ทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายมาก รวมถึงด้านบนและด้านล่างของลิฟต์กะพ้อจัดเป็นจุดที่เกิดการฟุ้งกระจายของถ่านหินได้มากเช่นกัน

และในอาคารจะพบกองฝุ่นถ่านหินฟุ้งกระจายมาตกลงพื้นอาคารหรือโครงสร้างอาคารหรือเครื่องจักร ที่สะสมหนาตั้งแต่ 0.80 mm. เมื่อมีการกวาดพื้น การใช้ลมเป่าที่พื้น หรือลมพัด ก็จะทำให้ฝุ่นถ่านหินที่กองอยู่ฟุ้งกระจายขึ้นมาอยู่ในอากาศเป็นหมอกฝุ่นได้

จากการศึกษาของ Echoff (2003) พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ของฝุ่นถ่านหินมีค่า 60 g/m^3 จากผลการตรวจวัดและการคำนวณ พบว่าในกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน มีจุดเสี่ยงที่ฝุ่นถ่านหินมีค่ามากกว่า MEC หลายจุด คือ ใน Bag house ที่ดูดอากาศขณะลงถ่านหินที่กองถ่านหิน หรือที่สายพานลำเลียง เครื่องย่อยถ่านหิน ลิฟต์กะพ้อ ไซโลเก็บถ่านหิน เครื่องบดถ่านหิน ท่อลำเลียงถ่านหินด้วยลม ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.1

6.2.3 องค์ประกอบที่สาม ขอบเขตหมอกฝุ่น

จากการศึกษากระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหินพบว่า หมอกฝุ่นถ่านหินอยู่ในขอบเขตที่จำกัดหลายแห่ง เช่น ที่ Bag house, Electrostatic Precipitator (E.P) เก็บฝุ่นถ่านหิน ไซโลเก็บถ่านหิน เครื่องบดถ่านหิน ไซโคลนแยกขนาดฝุ่นและท่อลำเลียงฝุ่นถ่านหินด้วยลม

และโรงงานที่มีกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหินจะมีโอกาสเกิดกลุ่มหมอกฝุ่นในพื้นที่เปิดโล่ง เกิดขึ้นขณะเทถ่านหินลงพื้น กองถ่านหินที่ถูกลมพัดฟุ้งกระจายในอาคารหรือลานเก็บถ่านหิน ดังได้อธิบายไว้ในองค์ประกอบที่สองแล้ว

6.2.4 องค์ประกอบที่สี่ ออกซิเจน

ขณะลำเลียงถ่านหินด้วยสายพานหรือลิฟต์กะพ้อลำเลียง จะมีอากาศที่มีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณ 20.9 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จึงมีปริมาณออกซิเจนในอากาศเพียงพอที่จะช่วยในการลุกติดไฟ

นั่นแสดงว่า องค์ประกอบที่สี่นั้นมีอยู่ตลอดเวลาที่ทำงาน แต่กระบวนการบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กลงและการลำเลียงถ่านหินที่บดแล้วจะใช้อากาศปกติไม่ได้ ต้องใช้อากาศที่มีออกซิเจนต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์

6.2.5 องค์ประกอบที่ห้า แหล่งจุดติดไฟ

จากผลการศึกษาของ BARTEC พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้กองฝุ่นถ่านหิน (Brown Coal) ลุกติดไฟคือ 225 °C แต่ถ้าเป็นหมอกฝุ่นถ่านหิน (Brown Coal) จะมีอุณหภูมิจุดติดไฟ 380 °C แต่จากการศึกษากระบวนการใช้ การขนถ่าน การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน ไม่พบว่ามีจุดใดที่อุณหภูมิสูงถึงจุดติดไฟ แต่ถ้ากองเก็บไม่ดี ก็จะเกิดการลุกไหม้ได้ด้วยตัวเอง จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการเก็บและการใช้ถ่านหิน แหล่งจุดติดไฟที่มีโอกาสเกิดในกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน มีรายละเอียดดังนี้

- เปลวไฟที่เกิดจากการเชื่อมหรือตัด ด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าหรือเชื่อมแก๊ส เกิดขึ้นเมื่อทำการซ่อมท่อลำเลียงฝุ่นถ่านหิน ลิฟต์กะพ้อลำเลียง ไซโลเก็บถ่านหิน เครื่องบดถ่านหิน ไซโคลนแยกขนาด Bag house หรือ Electrostatic Precipitator (E.P) เป็นต้น เพราะจุดเหล่านี้มีถ่านหินอยู่แล้ว จึงทำให้เกิดลุกไหม้หรือการระเบิดแบบ Deflagration ได้
- ประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต เกิดขึ้นขณะลำเลียงฝุ่นถ่านหินด้วยลม ทำให้ฝุ่นถ่านหินเสียดสีกันหรือเสียดสีกับท่อ ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต
- ประกายไฟจากเครื่องจักรหรือความร้อนเฉพาะจุด อาจมีชิ้นส่วนโลหะติดเข้ามากับถ่านหิน ทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อส่ง เกิดความร้อนหรือประกายไฟ ความเสียดทานของตลับลูกปืนสายพานลื่นทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุด ส่วนเคลื่อนไหวของเครื่องจักรเสียดสีกันเกิดความร้อน
- ประกายไฟจากการระเบิดครั้งแรก เช่น การระเบิดในลิฟต์กะพ้อลำเลียง ทำให้เกิดความดันและความร้อนหรือเปลวไฟ กลับมาที่กองฝุ่นหรืออุปกรณ์ข้างเคียง

ตารางที่ 6.1 แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน

จุดเสี่ยง	5 องค์ประกอบของการเกิดการระเบิดของฝุ่น				
	ความเข้มข้นฝุ่น ≥ 60 g/m^3	การฟุ้งกระจาย	ขอบเขตหมอกฝุ่น	ออกซิเจน	แหล่งจุดติดไฟ
ขณะเทถ่านหินลงในราง/พื้นอาคาร	≥ 60 g/m^3 ช่วงสั้น ๆ ขณะเท	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในราง	20.9 %	- การเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส
เครื่องย่อยถ่านหิน	≥ 60 g/m^3 ขณะย่อยถ่านหิน	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในเครื่องย่อย	20.9 %	- การเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส
ลิฟต์กะพ้อลำเลียง	≥ 60 g/m^3 ขณะลำเลียง	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในช่องลิฟต์	20.9 %	- การเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส

ตารางที่ 6.1 แสดงจุดเสี่ยงและองค์ประกอบของห้าเหลี่ยมการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหิน (ต่อ)

จุดเสี่ยง	5 องค์ประกอบของการเกิดการระเบิดของฝุ่น				
	ความเข้มข้นฝุ่น ≥ 60 g/m^3	**การฟุ้งกระจาย**	**ขอบเขตหมอกฝุ่น**	**ออกซิเจน**	**แหล่งจุดติดไฟ**
ไซโลเก็บถ่านหิน	≥ 60 g/m^3 ขณะถ่านหินตกลงในไซโล	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในไซโล	20.9% กรณีถ่านหินยังไม่บด	- การเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส - เศษโลหะติดเข้ามาเกิดการเสียดสี - ลูกไฟจากการลุกไหม้ในลิฟต์กะพ้อลำเลียง
				14% กรณีถ่านหินบดแล้ว	- ความร้อนของถ่านหินที่บดแล้ว
เครื่องบดถ่านหิน (Pulverizer หรือ Ball mill)	≥ 60 g/m^3	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในเครื่องบด	> 14%	- ความร้อนของถ่านหินขณะบด - ไฟฟ้าสถิต - เศษโลหะติดเข้ามา
ไซโคลนแยกขนาดฝุ่น	≥ 60 g/m^3	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในไซโคลน	> 14%	- ความร้อนของถ่านหิน - ไฟฟ้าสถิต
ท่อลำเลียงฝุ่นถ่านหินที่บดแล้วด้วยลม	≥ 60 g/m^3	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ในท่อ	> 14%	- การเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส - ความร้อนของถ่านหินที่เสียดสีกับท่อ
Bag house หรือ E.P	≥ 60 g/m^3	มีการฟุ้งกระจาย	อยู่ใน Bag house หรือ E.P	> 14%	- การเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส - ความร้อนของถ่านหิน
กองฝุ่นถ่านหินในอาคาร	หนาเกิน 0.80 mm.	มีการฟุ้งกระจาย	เกิดความดันทำให้ฟุ้งกระจายในอาคารหรือในอากาศ	20.9%	- ความร้อนจากการระเบิดครั้งแรก

6.3 มาตรการความปลอดภัย

เมื่อได้ประเมินจุดเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการใช้ การขนถ่าย การเก็บ และการลำเลียงถ่านหินแล้ว ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดทั้งเพลิงไหม้และการระเบิดแบบ Deflagration ต้องนำมาวิเคราะห์ลักษณะการเกิดอันตราย และหาสาเหตุการเกิดอันตราย เพื่อจัดทำมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมในการป้องกัน ควบคุมอันตรายตามจุดเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งมาตรการด้านการบริหารจัดการและมาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย มีรายละเอียดดังนี้

6.3.1 มาตรการความปลอดภัยตามจุดเสี่ยง

เป็นการนำจุดเสี่ยงที่ได้จากตารางที่ 6.1 มาพิจารณาถึงลักษณะการเกิดอันตราย ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ โดยแต่ละลักษณะการเกิดอันตราย มาจากสาเหตุหลายกรณี แล้วจึงมากำหนดเป็นมาตรการความปลอดภัย ดังรายละเอียดในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย

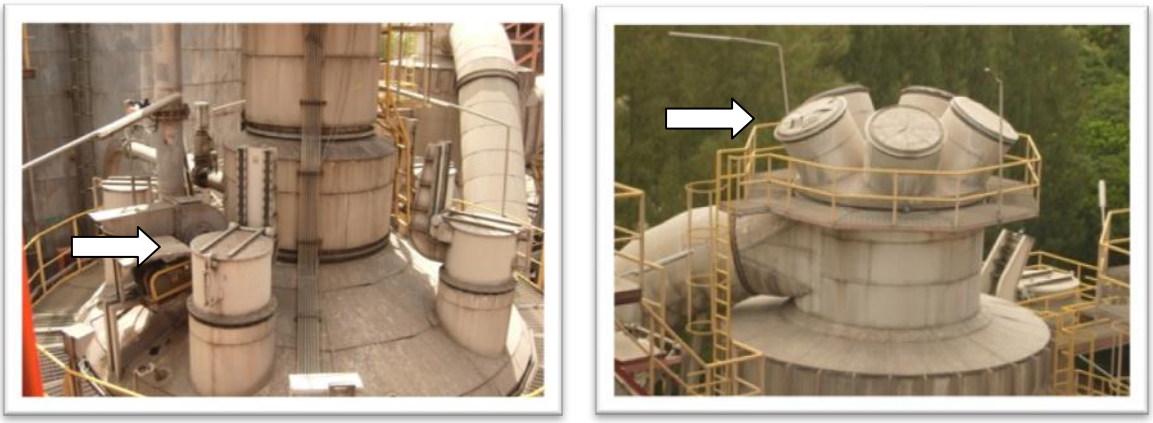
จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
ขณะเทถ่านหินลงในราง/พื้นอาคาร	– ฝุ่นถ่านหินฟุ้งกระจายเมื่อมีความร้อนหรือประกายไฟทำให้ –เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้	– เทถ่านหินในพื้นที่โล่งหรือไม่มีภาชนะรองรับกับเทถ่านหินในรางลำเลียง	– จุดที่เทถ่านหินต้องมีกำแพงกั้น 3 ด้าน มีภาชนะรองรับและมีระบบดูดฝุ่น – กำจัดแหล่งจุดติดไฟที่อยู่ข้างเคียง เช่น ห้ามเชื่อมหรือตัดบริเวณจุดเท
เครื่องย่อยถ่านหิน	– ฝุ่นถ่านหินฟุ้งกระจายขณะย่อยแล้วมีแหล่งจุดติดไฟทำให้เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้	–เกิดการกระแทกของเครื่องย่อยทำให้ถ่านหินแตกมีฝุ่นฟุ้งกระจายหรือมีขนาดเล็กลง	– ติดตั้งระบบดูดฝุ่นถ่านหินแล้วผ่านไปยัง Bag house – ขณะเครื่องย่อยถ่านหินทำงาน ห้ามตัดหรือเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส

ตารางที่ 6.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย (ต่อ)

จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
ลิฟต์กะพ้อลำเลียง	– เกิดระเบิดในลิฟต์กะพ้อลำเลียง	– เกิดการเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส	– ห้ามเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊สที่ลิฟต์กะพ้อลำเลียงขณะทำงาน
		– เกิดไฟฟ้าสถิต	–โครงของลิฟต์กะพ้อลำเลียงมีการต่อฝากและต่อลงดิน
		–ความร้อนจากลูกปืนหรือการเสียดสีของสายพานเนื่องจากการลื่น	–จัดให้มีการตรวจสอบการลื่นของสายพานหรือการชำรุดของลูกปืน
		– เศษโลหะติดเข้ามากับถ่านหินเกิดการเสียดสีก่อให้เกิดความร้อน ประกายไฟในลิฟต์กะพ้อลำเลียง	– ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration ดังแสดงในรูป 6.2 – ติดตั้งแม่เหล็กถาวรหรือไฟฟ้าสำหรับจับเศษโลหะที่สายพานลำเลียงถ่านหินก่อนเข้าลิฟต์กะพ้อลำเลียง
ไซโลเก็บถ่านหิน	เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดในไซโล	– เกิดการเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊ส	– ห้ามเชื่อมหรือตัดด้วยไฟฟ้าหรือแก๊สที่ไซโลเก็บถ่านหิน
		– เกิดจากการระเบิดครั้งแรกที่ลิฟต์กะพ้อลำเลียงหรือเครื่องบด	– ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration – ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ CO – ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ถ้าพบผิดปกติให้ฉีด CO_2 เพื่อดับ
		– ออกซิเจนสูงกว่า 14%	– มีการ Seal ด้านบนของไซโลด้วย N_2 – มีอุปกรณ์ตรวจจับ O_2 ถ้าสูงเกิน 14% ให้ส่งเสียงเตือน

ตารางที่ 6.2 แสดงจุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย สาเหตุการเกิดอันตราย และมาตรการความปลอดภัย (ต่อ)

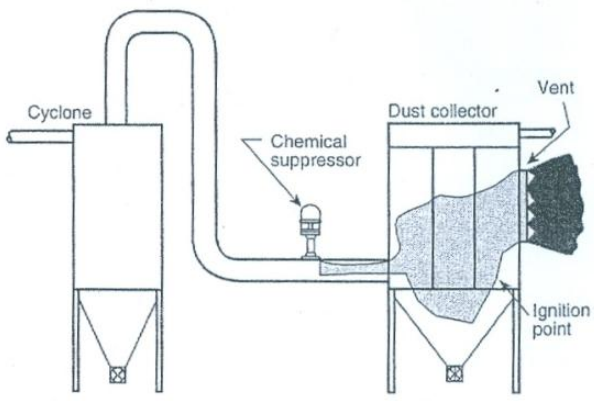
จุดเสี่ยง	ลักษณะการเกิดอันตราย	สาเหตุการเกิดอันตราย	มาตรการความปลอดภัย
เครื่องบดถ่านหิน	เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดในเครื่องบด	– ออกซิเจนสูงกว่า 14%	– ควบคุมให้ออกซิเจนต่ำกว่า 14%ตลอดเวลา ถ้าออกซิเจนสูงให้มีอุปกรณ์เตือน – ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิด โดยใช้ CO_2 เมื่อตรวจพบอุณหภูมิสูง ดังแสดงในรูป 6.3 – ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration
ท่อลำเลียงฝุ่นถ่านหินที่บดแล้วด้วยลม	เกิดการลุกไหม้หรือระเบิดในท่อลำเลียง	– ออกซิเจนสูงกว่า 14%	– ติดตั้งอุปกรณ์กั้นแยกวาล์วตอบสนองไวอัตโนมัติชนิดเกทวาล์วความเร็วสูง ดังแสดงในรูป 6.4 – ติดตั้งอุปกรณ์เบี่ยงเบนเปลวไฟ ไปภายนอกท่อ
ไซโคลนแยกขนาดฝุ่น Bag house หรือ E.P	เกิดการลุกไหม้หรือระเบิด	– ออกซิเจนสูงกว่า 14%	– ควบคุมให้ออกซิเจนต่ำกว่า 14% ตลอดเวลา ถ้าสูงให้มีอุปกรณ์เตือน – ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิด โดยใช้ CO_2 เมื่อตรวจพบอุณหภูมิสูง – ติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration
ผงฝุ่นถ่านหินในอาคารหรือที่โล่งหนาเกิน 0.80 มม.	ฝุ่นที่สะสมบนพื้นเกิดฟุ้งกระจายเมื่อมีความร้อนประกายไฟทำให้เกิดระเบิดต่อเนื่อง	– ทำความสะอาดไม่เพียงพอ	– ทำความสะอาดเป็นประจำทุกวัน – ออกแบบด้านบนของเครื่องจักรให้ลาดเอียงลดการสะสมของฝุ่น



Deflagration vent door Deflagration vent panel

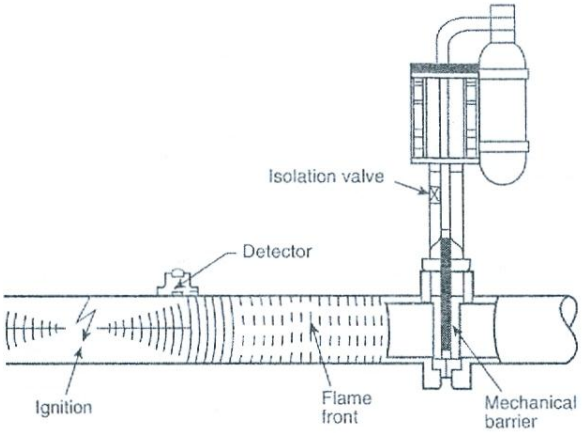
รูปที่ 6.2 แสดงการติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration

การติดตั้งประตูหรือแผงระบายการระเบิดแบบ Deflagration ที่ลิฟต์กะพ้อลำเลียง ไซโลเก็บฝุ่นถ่านหิน เครื่องบดถ่านหิน ไซโคลนหรือ Bag house หรือ E.P ทุกจุดมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.3 แสดงอุปกรณ์ระงับการระเบิด

ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิดแบบ Deflagration ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือตรวจจับอุณหภูมิ อุปกรณ์ดับไฟและการดับเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 6.3 ที่เครื่องบด ไซโลเก็บฝุ่นถ่านหิน และ Bag house



รูปที่ 6.4 แสดงวาล์วความเร็วสูง

ติดตั้งเกทวาล์วความเร็วสูงพร้อมอุปกรณ์ตรวจจับความดันหรือแสง ดังแสดงในรูป 6.4 ที่ท่อลำเลียงฝุ่นถ่านหินทุกท่อ เพื่อป้องกันเปลวไฟและความดันจากการระเบิดครั้งแรกไปส่วนอื่น ๆ ของระบบ

6.3.2 มาตรการด้านการบริหารจัดการ

6.3.2.1 การควบคุมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายและมีการรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยโดยเฉพาะบริเวณจุดลงถ่านหิน มักมีฝุ่นฟุ้งกระจาย จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบดูดอากาศเฉพาะจุด เพื่อรวบรวมฝุ่นที่ฟุ้งกระจายไปยังอุปกรณ์รวบรวมฝุ่น โดยบริเวณพื้นผิวที่กองถ่านหิน โกดังเก็บถ่านหิน สายพานลำเลียง เครื่องย่อยถ่านหิน ลิฟต์กะพ้อลำเลียง และผนังอาคาร ต้องมีการทำความสะอาดทุกวัน เพื่อลดการสะสมของฝุ่น

ขณะทำความสะอาดพื้น ต้องทำให้เกิดหมอกฝุ่นน้อยที่สุด จึงไม่ควรใช้วิธีการกวาด หรือใช้ไอน้ำหรือลมเป่า วิธีที่ดีควรจะใช้เครื่องดูดฝุ่น แต่ต้องเป็นเครื่องดูดฝุ่นที่ออกแบบมาให้ใช้กับพื้นที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้เท่านั้น

6.3.2.2 การฝึกอบรมและขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Training and Procedures)

(1) ต้องจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงานและการซ่อมบำรุง และแผนฉุกเฉิน

(2) ต้องทำการทบทวนแผนฉุกเฉินและขั้นตอนการปฏิบัติงานทุกปี และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต

(3) ต้องฝึกอบรมทบทวนให้กับผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานอยู่ที่โกดังเก็บถ่านหิน กองถ่านหิน สายพานลำเลียง เครื่องย่อยถ่านหิน ลิฟต์กะพ้อลำเลียง ไซโลเก็บถ่านหิน เครื่องบดถ่านหิน งานซ่อมบำรุง โดยต้องเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานกับฝุ่นสันดาปได้ ให้มีความรู้เกี่ยวกับเรื่องต่อไปนี้

ก. อันตรายที่มีอยู่ในสถานที่ทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

ข. การปฐมนิเทศทั่วไปให้รวมถึงกฎความปลอดภัยของโรงงาน

ค. รายละเอียดกระบวนการผลิต

ง. การใช้อุปกรณ์ การเดินเครื่องและปิดเครื่องที่ปลอดภัย และการปฏิบัติเมื่อเกิดสภาวะผิดปกติ

จ. การทำงานที่เหมาะสมของระบบป้องกันอัคคีภัยและการระเบิดที่เกี่ยวข้อง

ฉ. กฎ ระเบียบ ข้อบังคับต่าง ๆ เช่น การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ การดูแลความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย เป็นต้น

ซ. แผนตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน บุคลากรทุกคนของโรงงานรวมทั้งผู้บริหาร ผู้ควบคุม ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ทำหน้าที่ซ่อมบำรุง ควรได้รับการอบรมให้มีส่วนร่วมในแผนการควบคุมเหตุฉุกเฉิน ควรให้มีการอบรมทบทวนของหน่วยดับเพลิงหรือทีมดับเพลิง

แผนฉุกเฉินควรมีองค์ประกอบดังนี้

- ระบบสัญญาณแจ้งเหตุ
- วิธีการอพยพสู่ภายนอก
- การลดผลกระทบต่อบุคลากรและชุมชนให้น้อยที่สุด
- การลดผลกระทบของการสูญเสียต่อทรัพย์สินและเครื่องมืออุปกรณ์
- การประสานงานระหว่างแผนกและระหว่างโรงงาน
- การประสานงานกับหน่วยงานภายนอก
- การให้ข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องต่อสาธารณะ

บุคลากรของโรงงานควรมีการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี ควรมีการจำลองสถานการณ์ผิดปกติของกระบวนการผลิตและปฏิบัติตามแผนฉุกเฉิน ควรมีการฝึกซ้อมอุบัติภัยร้ายแรงซึ่งจำลองสถานการณ์เป็นครั้งคราวโดยประสานงานและร่วมกับหน่วยงานบรรเทาสาธารณภัย สถานีตำรวจ และหน่วยงานฉุกเฉินอื่น ๆ ในท้องที่และโรงงานที่อยู่ใกล้เคียง

6.3.2.3 การตรวจสอบและการซ่อมบำรุง (Inspection and Maintenance)

(1) ต้องจัดทำและปฏิบัติตามแผนการตรวจสอบ ทดสอบ และซ่อมบำรุงเพื่อให้แน่ใจว่าระบบการป้องกันอัคคีภัยและการระเบิด รวมถึงการควบคุมการผลิตและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีการทำงานตามที่ได้ถูกออกแบบ

(2) แผนการตรวจสอบ ทดสอบ และซ่อมบำรุงต้องรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

ก. อุปกรณ์ป้องกันและระงับอัคคีภัยและการระเบิด

ข. อุปกรณ์ควบคุมฝุ่น

ค. การรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย

ง. แหล่งที่มีศักยภาพก่อให้เกิดการติดไฟ

จ. อุปกรณ์ไฟฟ้า กระบวนการผลิต และเครื่องจักรกล รวมถึงอุปกรณ์เชื่อมต่อของกระบวนการผลิต

ฉ. การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต

ช. การหล่อลื่นตลับลูกปืน

(3) ต้องมีการเก็บบันทึกการซ่อมบำรุงและการซ่อมแซมที่ได้ดำเนินการแล้ว

6.3.3 มาตรการด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย

6.3.3.1 ต้องจัดให้มีเครื่องดับเพลิงแบบมือถือที่มีความสามารถในการดับเพลิงอย่างน้อยระดับ 4A ในทุกอาคาร ให้เหมาะสมเพียงพอทุกพื้นที่ โดยต้องมีระยะห่างกันไม่เกิน 20 เมตร

6.3.3.2 ต้องทำการฝึกอบรมบุคลากรในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ในลักษณะที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นน้อยที่สุด

ควรระมัดระวังอย่างยิ่งในการใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในสถานที่ที่มีฝุ่นสันดาปได้ แรงฉีดพ่นที่รวดเร็วไปยังจุดที่มีฝุ่นจะสามารถทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเกิดเป็นหมอกฝุ่น เมื่อเกิดหมอกฝุ่น จะมีอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration เสมอ ในกรณีที่เกิดหมอกฝุ่นเนื่องจากการดับเพลิง หมอกฝุ่นจะเกิดการจุดติดไฟและเกิดการระเบิดแบบ Deflagration ขึ้นได้อย่างแน่นอน

ดังนั้น เมื่อใช้เครื่องดับเพลิงแบบมือถือในบริเวณที่มีการสะสมของฝุ่น ควรจะระวังการฉีดสารดับเพลิงไม่ให้ถูกฝุ่นที่สะสมอยู่หรือไม่ให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจาย โดยทั่วไป เครื่องดับเพลิงจะถูกออกแบบให้ฉีดพ่นสารดับเพลิงในอัตราที่สูงสุด ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการพิเศษในการใช้เครื่องดับเพลิงเพื่อป้องกันอันตรายของการระเบิดแบบ Deflagration

6.3.3.3 ต้องจัดเตรียมน้ำสำหรับดับเพลิงในปริมาณที่เพียงพอที่จะส่งจ่ายน้ำให้กับอุปกรณ์ฉีดน้ำดับเพลิงได้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 30 นาที

6.3.3.4 ต้องจัดให้มีแผนระงับอัคคีภัยในโรงงาน ประกอบด้วย แผนการตรวจสอบด้านความปลอดภัยอัคคีภัย แผนการอบรมเรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัย แผนการดับเพลิง และแผนการอพยพหนีไฟ โดยเก็บแผนนี้ไว้ที่โรงงาน พร้อมให้พนักงานเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ และต้องปฏิบัติให้เป็นไปตามแผน

6.3.3.5 บริเวณที่มีการเก็บถ่านหิน มีพื้นที่ตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติ เช่น ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler System) หรือระบบอื่นที่เทียบเท่า

6.3.3.6 ต้องตรวจสอบ ทดสอบ และบำรุงรักษาระบบและอุปกรณ์สำหรับการป้องกันและระงับอัคคีภัยให้สามารถพร้อมทำงานได้ตลอดเวลา

6.3.3.7 โกดังหรืออาคารเก็บถ่านหิน ต้องกั้นแยกจากพื้นที่ส่วนอื่นของอาคารด้วยวัสดุที่มีอัตราการทนไฟไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

6.3.3.8 โกดังหรืออาคารชั้นเดียวเก็บถ่านหินที่ทำด้วยโครงเหล็ก ต้องปิดหุ้มโครงเหล็กด้วยวัสดุทนไฟหรือวิธีอื่นที่ทำให้สามารถทนไฟได้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง

6.3.3.9 การทำงานที่ก่อให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟที่อันตราย ต้องจัดให้มีการขออนุญาต

6.3.3.10 จัดเส้นทางหนีไฟสำหรับอพยพผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดออกจากพื้นที่อันตรายสู่ที่ปลอดภัย เช่น ถนนหรือสนามนอกอาคารโรงงานได้ภายใน 5 นาที

บทที่ 7
กฎหมายและมาตรฐานเกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่น

7.1 กฎหมายในประเทศและต่างประเทศ

ในประเทศไทยขณะนี้ยังไม่พบว่าหน่วยงานใด มีการออกกฎหมายเกี่ยวข้องกับการระเบิดของฝุ่น สำหรับในต่างประเทศโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาไม่มีกฎหมายบังคับโดยตรงเกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่น แต่การบังคับใช้กฎหมายความปลอดภัยและอาชีวอนามัยเกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่น ในหลายรัฐได้ใช้มาตรฐานขององค์การป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Protection Fire Association) หรือ NFPA ส่วนกฎหมายความปลอดภัยและอาชีวอนามัยที่เป็นกฎหมายหลักของ OSHA ที่บังคับใช้สำหรับสถานประกอบการ อยู่ในข้อกำหนดทั่วไปที่นายจ้างต้องปฏิบัติ คือ General Duty Clause Section 5(a)(1) ได้กำหนดให้นายจ้างต้องรักษาสถานที่ทำงานให้ปราศจากอันตราย (Recognized Hazards) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเสียชีวิตหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง (Death or Serious Physical Harm)

OSHA 29CFR: Part 1910 มาตรฐานสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน (Occupational Safety and Health Standard) เกี่ยวข้องกับสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานโดยเฉพาะ มีการแบ่งย่อยเป็น Subpart ตั้งแต่ A – Z โดยจะกล่าวถึงเรื่องความปลอดภัยเกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่น เช่น การจัดระเบียบรักษาความสะอาด แผนปฏิบัติการฉุกเฉิน การระบายอากาศ การพ่นชิ้นงานโดยใช้สารไวไฟและสันดาปได้ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล อุปกรณ์ดับเพลิง และรถบรรทุกอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดแต่ละ Subpart ดังนี้

Subpart D: 1910.22 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการจัดระเบียบรักษาความสะอาด (General Requirements: Housekeeping)

Subpart E: 1910.38 แผนปฏิบัติการฉุกเฉิน (Emergency Action Plans)

Subpart G: 1910.94 การระบายอากาศ (Ventilation)

Subpart H: 1910.107 การพ่นชิ้นงานโดยใช้สารไวไฟและสันดาปได้ (Spray Finishing Using Flammable and Combustible Materials)

Subpart I: 1910.132 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment)

Subpart J: 1910.145 ข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องหมายและป้ายสำหรับการป้องกันอุบัติเหตุ (Specifications for Accident Prevention Signs and Tags)

Subpart J: 1910.146 ข้อกำหนดให้ขออนุญาตการทำงานในที่อับอากาศ (Permit–Required Confined Spaces (references combustible dust))

Subpart L: 1910.157 อุปกรณ์ดับเพลิง (Fire Extinguishers)

Subpart N: 1910.176 การดำเนินการเกี่ยวกับวัสดุ (Material Handling)

Subpart N: 1910.178 รถบรรทุกอุตสาหกรรม (Powered Industrial Truck)

Subpart R: 1910.269 การผลิต การส่ง และการจ่ายกำลังไฟฟ้า สำหรับการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินและการกระจาย (Electric Power Generation, Transmission and Distribution (Coal Handling))

Subpart R: 1910.272 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการเกี่ยวกับเมล็ดพืช (Grain Handling Facilities)

Subpart S: 1910.307 การจำแนกพื้นที่อันตรายสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า (Hazardous (classified) Locations (for electric equipment))

Subpart Z: 1910.1200 การสื่อสารความเป็นอันตราย (Hazard Communication)

สำหรับกฎหมายเกี่ยวกับการระเบิดของฝุ่นในประเทศยุโรป มีดังนี้

โดยรัฐสภาและสหภาพยุโรป ได้ออกคำสั่งที่ 94/9/EC ลงวันที่ 23 มีนาคม 1994 กับคำสั่งที่ 1999/92/EC ลงวันที่ 16 ธันวาคม 1999 เกี่ยวข้องกับการออกกฎเกณฑ์กลางและระเบียบเกี่ยวกับบรรยากาศที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด ทั้งนี้ได้บังคับใช้เฉพาะฝุ่นอย่างเดียวแต่รวมถึงสารไวไฟอื่น ๆ เช่น ก๊าซ ไอ หรือละอองด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

คำสั่ง (Directive) ที่ 94/9/EC ของรัฐสภาและสหภาพยุโรป ลงวันที่ 23 มีนาคม 1994 กฎหมายเกี่ยวกับอุปกรณ์และระบบป้องกัน เพื่อใช้สำหรับบรรยากาศที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด มีรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

มาตรา 1 ใช้บังคับกับอุปกรณ์และระบบป้องกันที่ใช้สำหรับบรรยากาศที่เสี่ยงต่อการระเบิด อุปกรณ์ด้านความปลอดภัย อุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้นอกพื้นที่ที่มีบรรยากาศการระเบิด

อุปกรณ์ (Equipment) หมายถึง อุปกรณ์ใดก็ตามที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดแหล่งกำเนิดประกายไฟได้

ระบบป้องกัน (Protective System) หมายถึง อุปกรณ์ที่ออกแบบหยุดยั้งการเกิดการระเบิดได้ทันทีทันใด และหรือจำกัดผลของการเกิดเปลวไฟจากการระเบิดและความดันจากการระเบิดได้

บรรยากาศการระเบิด (Explosive Atmospheres) หมายถึง พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดบรรยากาศการระเบิด

มาตรา 2 กำหนดให้ประเทศสมาชิกที่จะนำอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในมาตรา 1 มาจำหน่ายและใช้งานในประเทศ ต้องไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัยต่อคน สัตว์ และทรัพย์สิน

มาตรา 3 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในมาตรา 1 ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด

มาตรา 4 ประเทศสมาชิกต้องไม่ห้าม จำกัด หรือยับยั้งการวางจำหน่ายและการนำมาใช้งานในประเทศของตน ถ้าอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามมาตรา 1 เป็นไปตามกฎเกณฑ์กลางนี้

มาตรา 7 หากประเทศสมาชิกประเทศใดประเทศหนึ่งพบว่า อุปกรณ์ ระบบป้องกัน หรือชิ้นส่วนใด ๆ ตามที่กล่าวในมาตรา 1 ซึ่งมีเครื่องหมาย CE อาจมีความเสี่ยงต่อความปลอดภัยต่อคน สัตว์ และทรัพย์สิน ต้องนำอุปกรณ์ ระบบ หรือชิ้นส่วนนั้นออกจากตลาดหรือการใช้งาน และแจ้งให้คณะกรรมาธิการยุโรปทราบ

มาตรา 15 ให้ประเทศสมาชิก นำคำสั่งไปบังคับใช้แต่ละประเทศตามความเหมาะสม

คำสั่ง (Directive) ที่ 1999/92/EC ของสหภาพยุโรป ลงวันที่ 16 ธันวาคม 1999 ข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงความปลอดภัยและคุ้มครองสุขภาพของพนักงาน ที่ทำงานกับงานที่มีความเสี่ยงจากบรรยากาศการระเบิด มีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังนี้

มาตรา 2 บรรยากาศการระเบิด (Explosive Atmosphere) หมายถึง การที่สารไวไฟซึ่งอยู่ในสถานะก๊าซ ไอ ละอองไอ หรือฝุ่น ผสมกับอากาศภายใต้บรรยากาศปกติ โดยที่หลังจากการเกิดประกายไฟหรือจุดระเบิดขึ้น จะเกิดการลุกไหม้ของส่วนผสมจนหมด

มาตรา 3 การป้องกันและปกป้องการเกิดการระเบิด

ต้องใช้มาตรการทางเทคนิค และหรือการจัดการที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน เพื่อ

- ป้องกันการเกิดบรรยากาศที่สามารถเกิดการระเบิดได้
- หลีกเลี่ยงการเกิดประกายไฟในบรรยากาศที่สามารถเกิดระเบิดได้
- บรรเทาผลที่อาจเกิดอันตรายจากการระเบิด เพื่อความปลอดภัยและสุขภาพของพนักงาน

ต้องดำเนินการตามมาตรการดังกล่าวและเสริมด้วยมาตรการยับยั้งไม่ให้มีการลุกลามของการระเบิด ต้องมีการทบทวนหรือปรับปรุงมาตรการสม่ำเสมอ โดยเฉพาะกรณีมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในระบบ

มาตรา 4 การประเมินความเสี่ยงของการระเบิด

ต้องมีการประเมินความเสี่ยงที่เกิดจากการเกิดบรรยากาศ ที่มีความเสี่ยงจากการระเบิดอย่างน้อยต้องพิจารณาประเด็นต่อไปนี้

- โอกาสที่บรรยากาศเกิดการระเบิดจะเกิดขึ้นและการคงอยู่
- โอกาสที่จะมีแหล่งกำเนิดประกายไฟ/การจุดระเบิด รวมถึงการเกิดไฟฟ้าสถิต
- ระดับของผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

การประเมินความเสี่ยงในภาพรวมทั้งหมด ต้องมีการนำเอาสถานที่ใกล้เคียงซึ่งอาจได้รับผลกระทบกรณีเกิดการระเบิดมาพิจารณาความเสี่ยงด้วย

มาตรา 13 ให้แต่ละประเทศสมาชิกต้องนำเอาระเบียบนี้ไปบังคับใช้เป็นกฎหมาย กฎระเบียบและข้อกำหนดในการบริหารจัดการที่เหมาะสมตามระยะเวลาที่กำหนด พร้อมสื่อสารมายังคณะกรรมาธิการ เกี่ยวกับการดำเนินการตามระเบียบนี้ โดยรวมถึงความเห็นชอบของพนักงานและนายจ้าง

7.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นระเบิดได้ มี 2 หน่วยงาน คือ NFPA และ ASTM มีรายละเอียด ดังนี้

7.2.1 องค์การป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (NFPA) ของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฝุ่นระเบิดไว้ประมาณ 21 ฉบับ ตัวอย่างเช่น มีการออกมาตรฐานในการป้องกันการเกิดไฟไหม้และการเกิดระเบิดของฝุ่นในกระบวนการผลิตการเกษตร ในอุตสาหกรรมอาหาร ไม้และโลหะ นอกจากนั้นยังมีมาตรฐานเกี่ยวกับการผลิต การเคลื่อนย้ายและการเก็บโลหะจำพวกแมกนีเซียม ไททาเนียม เซอร์โครเนียม และลิเทียม เป็นต้น มีมาตรฐานเกี่ยวกับการจำแนกฝุ่นลุกไหม้ได้ และการกำหนดพื้นที่ที่ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ มาตรฐานการป้องกันการระเบิดในระบบและมีข้อแนะนำในการระบายการระเบิดอีกด้วย มีรายละเอียดดังนี้

NFPA 61, Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions in Agricultural and Food Processing Facilities

NFPA 68, Guide for Venting of Deflagrations

NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems

NFPA 70, National Electrical Code

NFPA 91, Standard for Exhaust Systems for Air Conveying of Vapors, Gases, Mists, and Noncombustible Particulate Solids

NFPA 120, Standard for Fire Prevention and Control in Metal/Nonmetal Mining and Metal Mineral Processing Facilities

NFPA 432, Code for the Storage of Organic Peroxide Formulations

NFPA 480, Standard for the Storage, Handling, and Processing of Magnesium Solids and Powders

NFPA 481, Standard for the Production, Processing, Handling, and Storage of Titanium

NFPA 482, Standard for the Production, Processing, Handling, and Storage of Zirconium

NFPA 484, Standard for Combustible Metals, Metal Powders, and Metal Dusts

NFPA 485, Standard for the Storage, Handling, Processing, and Use of Lithium Metal

NFPA 495, Explosive Materials Code

NFPA 499, Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas

NFPA 505, Fire Safety Standard for Powered Industrial Trucks Including Type Designations, Areas of Use, Conversions, Maintenance, and Operation

NFPA 560, Standard for the Storage, Handling, and Use of Ethylene Oxide for Sterilization and Fumigat

NFPA 654, Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids

NFPA 655, Standard for Prevention of Sulfur Fires and Explosions

NFPA 664, Standard for the Prevention of Fires and Explosions in Wood Processing and Woodworking Facilities

NFPA 1124, Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles

NFPA 1125, Code for the Manufacture of Model Rocket and High Power Rocket Motors

7.2.2 ASTM (American Standard Testing Material) ได้มีการกำหนดมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฝุ่นระเบิดได้ โดยเน้นไปที่มาตรฐานการทดสอบการระเบิดของฝุ่น อุณหภูมิต่ำสุดที่จุดติดไฟได้เองในหมอกฝุ่น ค่าความเข้มข้นฝุ่นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (MEC) และอุณหภูมิที่ทำให้กองฝุ่นลุกไหม้ได้ แต่ละมาตรฐานมีดังนี้

E789–95: Standard Test Method for Dust Explosions in a 1.2–Litre Closed Cylindrical Vessel

E1226–00e1: Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise for Combustible Dusts

E1491–97: Standard Test Method for Minimum Autoignition Temperature of Dust Clouds

E1515–03a: Standard Test Method for Minimum Explosible Concentration of Combustible Dusts.

E2021–01: Standard Test Method for Hot–Surface Ignition Temperature of Dust Layers

บรรณานุกรม

Abbasi, T. and S.A. Abbasi; Dust explosion – case, cause, consequences, and control, Hazardous materials, 2007

Clete R. Stephan; Coal Dust Explosion Hazard, Mine Safety and Health Administration Pittsburgh, Pennsylania

Ebadat, V.; Dust Explosion analysis prevention and control, source: http://www.schc.org/schcnewsite/events/2006/spring/october, 2007

Eckhoff, R.K.; Dust explosion in the Process Industries, 3 rd Gult Professional Publishing, USA. 2003.

International Social Security Association (ISSA); Static Electricity: Ignition hazards and protection measures, Prevention Series No.2017 (E), Germany, 1996

International Social Security Association (ISSA); Dust Explosions: Protection against explosions due to flammable dusts, Prevention Series No.2044 (E), Germany, 2003

International Social Security Association (ISSA); Dust Explosion Incidents: Their Causes, Effects and Prevention, Prevention Series No.2051 (E), Germany, 2005

National Fire Protection Association; NFPA 654 Standard for the prevention of fire and dust explosions from the manufacturing processing, and handling of combustible particulate solids, 2006 edition

U.S.Chemical safety and Hazard Investigation Board (CSB); Investigation Report Combustible Dust Hazard Study., 2006

Zeeuwen Pieter, Dust Explosions: What is the Risk? What are the statistics?, Paper Presented at Euroforum Conference, Paris March 1997.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
www.diw.go.th