



กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน
DEPARTMENT OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

คู่มือ

การตรวจสอบ ติดตั้ง ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในพื้นที่อันตราย ที่มีพุน เสี่ยง ที่ติดไฟระเบิดได้



สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม WWW.DIW.GO.TH

คำนำ

ด้วยปัจจุบันการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมยังมีการเกิดอุบัติเหตุ อุบัติภัยตั้งแต่เล็กน้อยจนกระทั่งรุนแรง ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมมาเป็นระยะ ๆ นั้น พบว่าสาเหตุของอุบัติเหตุและอุบัติภัยดังกล่าว ในหลายครั้งมาจากระบบไฟฟ้าเป็นสำคัญ อีกทั้งจากการสำรวจตรวจสอบพบว่า การติดตั้ง การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายยังไม่ถูกต้อง เหมาะสมตามหลักวิชาการ และมาตรฐานทางวิศวกรรม ซึ่งส่วนหนึ่งจะมีสาเหตุมาจากบุคลากรภายในโรงงานขาดความรู้ความเข้าใจ และทักษะเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าที่ดี จึงเป็นเหตุให้โรงงานขาดวิธีการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย การขาดตรวจสอบ บำรุงรักษา และการพัฒนาด้านระบบไฟฟ้าในโรงงาน ดังนั้นการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ หรือมาตรฐานการติดตั้ง และการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะส่งเสริมให้การปฏิบัติงานด้านระบบไฟฟ้า และการพัฒนางานด้านความปลอดภัยของโรงงานได้เป็นอย่างดี อันจะส่งผลในการป้องกัน และลดการเกิดอุบัติเหตุ อุบัติภัยในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งลดผลกระทบต่อชุมชน และสิ่งแวดล้อมจากการประกอบกิจการโรงงานมากขึ้น

ด้วยความตระหนักถึงหน้าที่ความรับผิดชอบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในการกำกับดูแล ส่งเสริมสนับสนุนผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมให้สามารถแข่งขันได้ในเชิงธุรกิจ แล้วยังควบคู่ไปกับการประกอบการด้วยความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำคู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมในการประกอบกิจการที่มีการฟุ้งกระจาย หรือการสะสมของฝุ่น หรือเส้นใย ที่สามารถติดไฟและอาจเกิดระเบิดได้ ซึ่งนำเสนอเนื้อหาของมาตรฐานการติดตั้งระบบ และการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามหลักวิชาการทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศอย่างถูกต้องเหมาะสม หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการ และผู้สนใจทั่วไปที่จะสามารถนำไปปฏิบัติให้เกิดความปลอดภัยได้ในอนาคต

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
เมษายน 2549

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 หลักการและเหตุผลในการกำหนดพื้นที่อันตราย	1-1
1.2 ประวัติการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตราย	1-3
1.3 กรณีตัวอย่างการเกิดการระเบิดในพื้นที่อันตราย	1-5
บทที่ 2 อันตรายจากการระเบิดของฝุ่นสาร	2-1
2.1 การระเบิดของฝุ่นสาร (Dust Explosion)	2-1
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการจุดระเบิดของฝุ่นสาร	2-2
2.3 ปริมาณความเข้มข้นต่ำที่สุดในการจุดระเบิด	2-3
2.4 ค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิด	2-3
2.5 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เอง	2-5
2.6 ความรุนแรงของการระเบิด	2-6
2.7 การเกิดระเบิดชั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิ	2-9
2.8 กระบวนการทำงานที่อาจมีความเสี่ยงในการเกิดการระเบิดของหมอกฝุ่น	2-10
บทที่ 3 อันตรายจากเพลิงไหม้ของเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย	3-1
3.1 การลุกไหม้ของเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย	3-1
3.2 อุตสาหกรรมที่มีเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย	3-2
บทที่ 4 มาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับพื้นที่อันตราย	4-1
4.1 การกำหนดพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน NEC	4-1
4.2 การกำหนดพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน IEC	4-3
4.3 การกำหนดพื้นที่อันตรายตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย	4-4
4.4 เทคนิคการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด	4-5
4.5 มาตรฐานอุปกรณ์ป้องกันการระเบิด	4-5
4.6 ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์	4-13
4.7 ระดับอุณหภูมิการทำงานสูงสุดของอุปกรณ์ไฟฟ้า	4-16
บทที่ 5 มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2	5-1
5.1 การจัดแบ่งกลุ่มฝุ่นสาร	5-1
5.2 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2	5-3
5.3 ข้อกำหนดการใช้และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า	5-11
5.4 ระดับอุณหภูมิสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2	5-19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6	มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 6-1
6.1	ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า 6-1
6.2	ข้อกำหนดการใช้และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า สำหรับพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 6-2
6.3	ระดับอุณหภูมิสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 6-5
บทที่ 7	สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด 7-1
7.1	การแสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์แบบป้องกันการระเบิด 7-1
7.2	การรับรองมาตรฐานอุปกรณ์ป้องกันการระเบิด 7-5
บทที่ 8	การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าสถิตย์ 8-1
8.1	การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์จากการเสียดสี 8-1
8.2	การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์จากการเหนี่ยวนำ 8-3
8.3	การสปาร์กเนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์ 8-5
8.4	การป้องกันการเกิดสปาร์กจากไฟฟ้าสถิตย์ 8-7
บทที่ 9	ระบบการป้องกันฟ้าผ่า 9-1
9.1	หลักการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า 9-1
9.2	ขอบเขตการป้องกัน 9-2
9.3	อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จฟ้าผ่า 9-5
บทที่ 10	การป้องกันและลดความรุนแรงจากการระเบิดของฝุ่น 10-1
10.1	การใช้แก๊สเฉื่อย 10-1
10.2	การใช้ช่องเปิดระบายความอัดอากาศจากการระเบิด 10-2
10.3	ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ (Suppression System) 10-5
10.4	การใช้โครงสร้างทนแรงระเบิด (Containment System) 10-6
10.5	ระบบการแยกส่วน (Isolating System) 10-6

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2-1	แสดงตัวอย่างค่า MIE สำหรับฝุ่นสาร	2-4
ตารางที่ 2-2	แสดงตัวอย่างค่า Minimum Ignition Temperature (MIT)	2-5
ตารางที่ 2-3	แสดงตัวอย่างค่าความร้อนจากการเผาไหม้ฝุ่นสาร	2-6
ตารางที่ 2-4	การแบ่งกลุ่มฝุ่นระเบิดตามค่า Kst	2-8
ตารางที่ 2-5	แสดงตัวอย่างความรุนแรงของการระเบิดของฝุ่นสาร	2-9
ตารางที่ 4-1	แสดงการใช้อุปกรณ์แบบการป้องกันการระเบิดกับกลุ่มแก๊สหรือไอระเหย	4-12
ตารางที่ 4-2	แสดงการใช้อุปกรณ์แบบการป้องกันการระเบิดกับกลุ่มฝุ่นสารและเส้นใย	4-13
ตารางที่ 4-3	แสดงความหมายของรหัสการป้องกัน IP xy	4-14
ตารางที่ 4-4	แสดงความหมายของรหัสการป้องกันตามมาตรฐาน NEMA	4-15
ตารางที่ 4-5	ระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้า	4-17
ตารางที่ 4-6	แสดงตัวอย่างค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ จะลุกไหม้ได้เอง	4-18
ตารางที่ 4-7	แสดงตัวอย่างค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่หมอกฝุ่นหรือตะกอนจะลุกไหม้ได้เอง	4-18
ตารางที่ 5-1	แสดงตัวอย่างฝุ่นสารในกลุ่มต่าง ๆ	5-2
ตารางที่ 5-2	แสดงอุณหภูมิจุดติดไฟของฝุ่นสารที่ใช้สำหรับการรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามมาตรฐาน NEC	5-19
ตารางที่ 7-1	แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน NEC 500	7-1
ตารางที่ 7-2	แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน NEC 505	7-2
ตารางที่ 7-3	แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC และ CENELEC	7-3
ตารางที่ 7-4	แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน ATEX Directive	7-4
ตารางที่ 7-5	แสดงตัวอย่างของตัวแทนผู้มีอำนาจหน้าที่ทดสอบและรับรองมาตรฐาน	7-6
ตารางที่ 8-1	แสดงตัวอย่างของลำดับของวัสดุที่อาจจะรับหรือสูญเสียอิเล็กตรอน เมื่อมีการเสียดสีกัน	8-2
ตารางที่ 8-2	แสดงระดับพลังงานจากการสปาร์กของไฟฟ้าสถิตย์โดยประมาณ	8-7

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1 ภาพผลจากการระเบิดของโรงงานเบเกอรี่ ในประเทศอิตาลี ในปี ค.ศ. 1785	1-1
รูปที่ 1-2 ภาพผลจากการระเบิดใน Bucket Elevator ในสหรัฐอเมริกา	1-2
รูปที่ 1-3 ภาพผลจากการระเบิดในโรงงานที่ผลิตผงอลูมิเนียม เนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์	1-2
รูปที่ 1-4 แสดงการเกิดระเบิดในเหมืองถ่านหิน และตะเกียงแบบป้องกันการระเบิด	1-3
รูปที่ 1-5 แสดงภาพจำลองเหตุการณ์การระเบิดที่เครื่องบด	1-5
รูปที่ 1-6 แสดงภาพจำลองเหตุการณ์การระเบิดในไซโล	1-6
รูปที่ 1-7 แสดงภาพเหตุการณ์การระเบิดและไฟไหม้ในโรงงานข้าวโพด ในประเทศบราซิล ในปี ค.ศ.2001	1-7
รูปที่ 1-8 แสดงภาพทรงเพลิงกฏกระเด็นพลิกคว่า	1-7
รูปที่ 1-9 แสดงภาพเหตุการณ์ระเบิดในโรงงานถั่วเหลือง ในประเทศอเจนตินา ในปี ค.ศ. 2001	1-8
รูปที่ 2-1 แสดงอัตราเร็วหรือความรุนแรงของการเผาไหม้เมื่อเพิ่มผิวสัมผัส ของเชื้อเพลิงกับอากาศ	2-1
รูปที่ 2-2 แสดงตัวอย่างการทดสอบแรงอัดอากาศจากการระเบิดภายในทรงกลม ขนาด 20 ลิตร	2-7
รูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างการทดสอบแรงอัดอากาศจากการระเบิดภายในถังขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร	2-7
รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแรงอัดอากาศจากการระเบิด	2-8
รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการเกิดระเบิดชั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิ	2-9
รูปที่ 2-6 แสดงผลของการจุดระเบิดเริ่มขึ้น และทำให้ฝุ่นสารฟุ้งกระจายเพิ่มขึ้น	2-10
รูปที่ 2-7 แสดงการบรรจุฝุ่นสารใน Bin หรือ Silo ซึ่งมักจะทำให้เกิดหมอกฝุ่น	2-11
รูปที่ 2-8 แสดงเครื่องขนถ่าย(Bucket Elevator) เม็ดพันธุ์พืชในแนวดิ่ง	2-12
รูปที่ 2-9 แสดงการใช้ระบบสายพานขนถ่ายเมล็ดพันธุ์พืช	2-13
รูปที่ 2-10 แสดงลักษณะโครงสร้างของเครื่องบดถ่านหิน	2-14
รูปที่ 2-11 แสดงระบบการเก็บฝุ่นด้วย Cyclone Dust Collector และ Bag Filter	2-15
รูปที่ 2-12 แสดงเครื่องร่อนกรองฝุ่นผง	2-16
รูปที่ 3-1 แสดงภาพเหตุการณ์เพลิงไหม้โรงงานผลิตเสื้อผ้า ในประเทศสหรัฐอเมริกา	3-1
รูปที่ 3-2 แสดงภาพเหตุการณ์ไฟไหม้ในโรงงานแปรรูปไม้ ในประเทศออสเตรเลีย	3-2
รูปที่ 5-1 แสดงตัวอย่างพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2	5-1
รูปที่ 5-2 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่มีเครื่องหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof	5-3

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-3 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่น ชนิด Dust-ignitionproof	5-3
รูปที่ 5-4 แสดงตัวอย่างคอมไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่น ชนิด Dust-ignitionproof	5-4
รูปที่ 5-5 แสดงตัวอย่างคอมไฟที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof	5-4
รูปที่ 5-6 แสดงตัวอย่างสวิทช์ควบคุมที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof	5-4
รูปที่ 5-7 แสดงตัวอย่างเต้ารับที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof ใช้สำหรับกลุ่มฝุ่นสาร F และ G	5-5
รูปที่ 5-8 แสดงตัวอย่างตู้ควบคุมที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof	5-5
รูปที่ 5-9 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight	5-6
รูปที่ 5-10 แสดงตัวอย่างปลั๊กและเต้ารับไฟฟ้าที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight	5-6
รูปที่ 5-11 แสดงสายต่อเต้ารับชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight	5-7
รูปที่ 5-12 แสดงตัวอย่างตู้ควบคุมที่มีเครื่องห่อหุ้มแบบอัดอากาศ	5-8
รูปที่ 5-13 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่มีเครื่องห่อหุ้มแบบอัดอากาศ	5-8
รูปที่ 5-14 แสดง Ignition Curve ของแก๊สและไอระเหยของสารไวไฟ ซึ่งมีพลังงาน การจุดระเบิดต่ำกว่าหมอกฝุ่น	5-9
รูปที่ 5-15 แสดงตัวอย่างการติดตั้งวงจรไฟฟ้าแบบ Intrinsically Safe	5-10
รูปที่ 5-16 แสดงตัวอย่าง Barrier สำหรับจำกัดพลังงานไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้า แบบ Intrinsically Safe	5-10
รูปที่ 5-17 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบ Intrinsically Safe	5-11
รูปที่ 5-18 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟ ในแนวตั้งอุปกรณ์ชนิด Dust-ignitionproof อยู่สูงกว่าระยะ 5 ฟุต ไม่ต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก	5-14
รูปที่ 5-19 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวตั้ง อุปกรณ์ชนิด Dust-ignitionproof อยู่สูงไม่เกินระยะ 5 ฟุต จะต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก	5-14
รูปที่ 5-20 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวตั้ง อุปกรณ์ชนิด Dust-ignitionproof อยู่ต่ำกว่าในทุกระยะ จะต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก	5-15
รูปที่ 5-21 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวนอน อุปกรณ์ชนิด Dust-ignitionproof ห่างจาก อุปกรณ์แบบอื่นในระยะเกินกว่า 10 ฟุต ไม่ต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก	5-15
รูปที่ 5-22 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวนอน อุปกรณ์ชนิด Dust-ignitionproof ห่างจาก อุปกรณ์แบบอื่นในระยะน้อยกว่า 10 ฟุต จะต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก	5-16
รูปที่ 6-1 แสดงตัวอย่างพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3	6-1

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6-2 แสดงตัวอย่างลักษณะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3	6-2
รูปที่ 6-3 แสดงการเกิดเพลิงไหม้เมื่อมีการสะสมของเส้นใยบนโคมไพที่มีความร้อนสูง	6-5
รูปที่ 7-1 แสดงตัวอย่างป้ายแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์แบบป้องกันการระเบิด	7-5
รูปที่ 8-1 แสดงการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์เมื่อเดินบนพื้นผิวฉนวน	8-3
รูปที่ 8-2 แสดงการเกิดประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	8-4
รูปที่ 8-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้จุดติดไฟกับระดับความเข้มข้นของสารไวไฟที่ผสมอยู่ในบรรยากาศ	8-5
รูปที่ 8-4 แสดงการเกิด Propagating Brush Discharge	8-6
รูปที่ 8-5 แสดงการต่อฝากวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้สองชิ้น	8-8
รูปที่ 8-6 แสดงการต่อกราวด์วัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้เพื่อป้องกันประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมบนผิววัสดุ	8-8
รูปที่ 8-7 แสดงการต่อกราวด์เพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ากับวัสดุต่างๆ	8-9
รูปที่ 8-8 การต่อฝากและต่อลงดินของฐานรองรับภาชนะบรรจุ เพื่อทำให้ประจุไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้น ขณะทำการเก็บไหลลงสู่ดิน	8-10
รูปที่ 8-9 การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุ	8-10
รูปที่ 8-10 แสดง Heavy Duty Clamp with Tungsten Carbide Contact เหมาะที่จะใช้กับถังขนาดใหญ่	8-11
รูปที่ 8-11 แสดง Medium Duty Clamp เหมาะที่จะใช้กับถัง Stainless Steel	8-11
รูปที่ 8-12 แสดง Medium Duty Cast Aluminium Clamp เหมาะที่จะใช้กับถังโลหะเคลือบสี	8-11
รูปที่ 8-13 แสดง Clamp เหมาะที่จะใช้สำหรับคิบบถุง Type 'C' big bag	8-12
รูปที่ 8-14 แสดง C-Clamp เหมาะที่จะใช้ทำ Bonding ระหว่างถังบรรจุกับโครงโลหะแบบกึ่งถาวร	8-12
รูปที่ 8-15 แสดง Pipe Clamp เหมาะที่จะใช้กับท่อโลหะเพื่อทำ Bonding และ Grounding แบบกึ่งถาวร	8-13
รูปที่ 8-16 แสดง Screwdown Clamp เหมาะที่จะใช้ต่อกราวด์กับโครงโลหะในงานต่างๆแบบกึ่งถาวร	8-13
รูปที่ 8-17 แสดงอันตรายจากการไม่ต่อเชื่อมกันทางไฟฟ้าของ Hopper กับ Vessel ทำให้เกิดการสปาร์กได้	8-14
รูปที่ 8-18 แสดงตัวอย่างของถุงกระสอบชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์	8-16

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 9-1 แสดงปรากฏการณ์ฟ้าผ่าซึ่งสามารถเป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้	9-1
รูปที่ 9-2 แสดงการกำหนดขอบเขตการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC	9-2
รูปที่ 9-3 แสดงการใช้ Equipotential Plate ต่อประสาณศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ก่อนเข้าอาคาร	9-3
รูปที่ 9-4 แสดงการใช้วิธีทรงกลมกลิ้งเพื่อการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก	9-4
รูปที่ 9-5 แสดงการติดตั้งตัวนำสายล่อฟ้ากรณีหลังคาอาคารเป็นแบบแบนราบ	9-4
รูปที่ 9-6 แสดงการใช้เสาสูงซึ่งตัวนำล่อฟ้า ในกรณีอาคารที่อยู่ในพื้นที่โล่ง	9-5
รูปที่ 9-7 แสดงการใช้อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจร เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบไฟฟ้า	9-5
รูปที่ 10-1 แสดงแผนผังแสดงโอกาสของการจุดติดไฟได้เองของ Hydrocarbon Gas	10-1
รูปที่ 10-2 แสดง Pressure Curve ของการระเบิดภายในถังที่มีการป้องกันการระเบิด เทียบกับที่ไม่มีการป้องกัน	10-2
รูปที่ 10-3 แสดงการติดตั้งท่อสำหรับระบายแรงอัดอากาศเมื่อเกิดการระเบิด	10-3
รูปที่ 10-4 แสดงตัวอย่างของแผ่น Rupture Disk	10-4
รูปที่ 10-5 แสดงตัวอย่างการติดตั้งแผ่น Rupture Disk	10-4
รูปที่ 10-6 แสดงการทำงานของระบบดับเพลิงเมื่อเกิดการระเบิด	10-5
รูปที่ 10-7 แสดงการติดตั้งระบบดับเพลิงเมื่อเกิดการระเบิด	10-6
รูปที่ 10-8 แสดงการติดตั้งวาล์วปิดกั้นเปลวไฟเมื่อเกิดการระเบิด โดยโครงสร้างของถัง จะต้องทนแรงระเบิดได้	10-7
รูปที่ 10-9 แสดงการป้องกันการขยายขอบเขตของการระเบิด โดยใช้ Explosion Isolation Valve	10-7

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก การแบ่งประเภทฝุ่น	ก-1
ภาคผนวก ข การแบ่งพื้นที่อันตรายและหลักการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้า	ข-1
ภาคผนวก ค แบบฟอร์มตรวจสอบการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตราย	ค-1
เอกสารอ้างอิง	ง-1

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผลในการกำหนดพื้นที่อันตราย

ปัจจุบันการประกอบกิจการโรงงานยังมีการเกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสาเหตุต่างๆ และปัญหาส่วนหนึ่งเกิดจากการติดตั้งใช้งานและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าอย่างไม่เหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่อันตรายซึ่งมีการผลิต ไซ้ หรือจัดเก็บฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ หรือเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย จากการตรวจสอบโรงงานและรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโรงงานที่มี ฝุ่นที่เผาไหม้ได้ และเส้นใยที่ติดไฟได้ง่าย พบว่าไม่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด และ ผู้ปฏิบัติงานยังขาดความรู้ ความเข้าใจในการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย

สถานที่ใดก็ตามที่มีการผลิต ไซ้ หรือจัดเก็บฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ หรือวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย หากเกิดการรั่วไหลออกมา เมื่อผสมกับออกซิเจนในอากาศจะกลายเป็น Explosive Atmosphere สารไวไฟดังกล่าว เป็นได้ทั้ง Gas, Vapor, Mist, และ Dust การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า มักจะทำให้เกิดการอาร์ก สปาร์ก หรือความร้อนสูง ซึ่งจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากพอที่จะทำให้ฝุ่นสารหรือเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่ายเกิดการลุกไหม้ ผลก็คืออันตรายจากเพลิงไหม้ หรือการระเบิด

รูปที่ 1-1 ภาพผลจากการระเบิดของโรงงานเบเกอรี่ ในประเทศอิตาลี ในปี ค.ศ. 1785



อันตรายที่เกิดขึ้นจากเหตุดังกล่าว มีอยู่อย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่เราเริ่มใช้ถ่านหิน และน้ำมันเชื้อเพลิง การเรียนรู้วิธีการป้องกันการระเบิด เกิดขึ้นตั้งแต่ยุคที่มีการทำเหมืองถ่านหินในศตวรรษที่ 12 จริงๆแล้ว เราไม่มีวิธีการป้องกันการระเบิดได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่เราจำเป็นต้องเพิ่มระดับการป้องกันมากขึ้น เพื่อลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุ และลดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน การเพิ่มระดับการป้องกันการระเบิด ก็คือการเพิ่มค่าใช้จ่ายด้วย ดังนั้นระดับการป้องกันที่เหมาะสม ก็คือระดับที่ ผู้ประกอบการ หน่วยงานด้านความปลอดภัย และประชาสังคมรวมทั้งผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมนั้น ยอมรับว่าอยู่ในระดับที่เพียงพอ อุบัติเหตุร้ายแรงเกิดขึ้น และเป็นที่ยอมรับจากสื่อต่างๆอยู่บ่อยครั้ง ทำให้เราสามารถพิจารณาได้เองว่าระดับการป้องกันที่เราใช้กันอยู่นี้ ปลอดภัยเพียงพอหรือไม่



รูปที่ 1-2 ภาพผลจากการระเบิดใน Bucket Elevator ในสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 1-3 ภาพผลจากการระเบิดในโรงงานที่ผลิตผงอลูมิเนียม เนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์

1.2 ประวัติการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตราย

ในอดีตเมื่อกล่าวถึงพื้นที่อันตราย (Hazardous Area) เราจะนึกถึงเหมืองถ่านหินเป็นอันดับแรก ซึ่งในเหมืองถ่านหินจะมีแก๊สมีเทน (Methane) ที่ถูกขับไว้ในก้อนถ่านหิน (Coal) เมื่อทำการขุดถ่านหินจะทำให้แก๊สมีเทนลอยฟุ้งออกมาอยู่ส่วนบนของเพดานเหมือง เนื่องจากแก๊สมีเทนเป็นแก๊สที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ ในสมัยนั้นคนงานจะใช้เทียนไขเพื่อให้แสงสว่างภายในถ้ำ เมื่อคนงานจุดเทียนไขเพื่อทำให้เกิดแสงสว่างจะทำให้เกิดอันตรายจากการจุดติดไฟของแก๊สมีเทนและเปลวไฟยังลามไปจุดระเบิดฝุ่นถ่านหินที่ฟุ้งกระจายอยู่ภายในเหมืองอีกด้วย การแก้ปัญหาจากเหตุดังกล่าวในตอนแรกจะใช้วิธีการจ้างคนงานจุดไฟต่อกับไม้ยาวๆแล้วยื่นเข้าไปในเหมืองเพื่อจุดเผาแก๊สที่สะสมอยู่ในเหมืองในแต่ละวัน แต่อันตรายจากการระเบิดที่เกิดกับคนงานทำให้นานเข้าก็ไม่มีใครยอมรับงานเสี่ยงอันตรายนี้



รูปที่ 1-4 แสดงการเกิดระเบิดในเหมืองถ่านหิน และตะเกียงแบบป้องกันการระเบิด

ในปี ค.ศ.1815 นักประดิษฐ์ชื่อ Sir Humphrey Davy ได้ออกแบบสร้างตะเกียงกันระเบิดที่เรียกว่า Davy lamp ขึ้นมา เป็นตะเกียงที่ใช้น้ำมันก๊าด (kerosene) และได้ใช้เส้นทองเหลืองเส้นเล็กๆถูกเป็นแผ่นและนำมาปิดล้อมไส้ตะเกียงเพื่อป้องกันไม่ให้เปลวไฟผ่านออกไปจุดมีเทนที่อยู่รอบตะเกียง แต่ไม่สามารถป้องกันมีเทนผ่านเข้าไปในตะเกียงได้ ในเหมืองถ่านหินจะมี Methane ที่หนีออกจากถ่านหินและลอยอยู่ใกล้เพดานเหมือง เพราะมีเทนเบากว่าอากาศ (Relative Density = 0.55) คนงานจะสังเกตเห็นว่ามีแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นได้จากสีหรือลักษณะของเปลวไฟของตะเกียง เมื่อมีมีเทนเพิ่มมากขึ้น คนงานจะทำการจุดไฟเผามีเทนให้หมด ก่อนที่จะเริ่มทำงานในเหมืองต่อไป จึงนับได้ว่าตะเกียงของ Davy เป็นอุปกรณ์ป้องกันการระเบิด (Explosion proof) ชนิดแรก หลังจากนั้นก็เริ่มมีการใช้เครื่องกลระบายนอกอากาศภายในเหมือง ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนในบรรยากาศภายในเหมืองลดลงจนไม่เป็นอันตรายที่จะเกิดการจุดติดไฟได้ การทำงานในเหมืองจึงมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

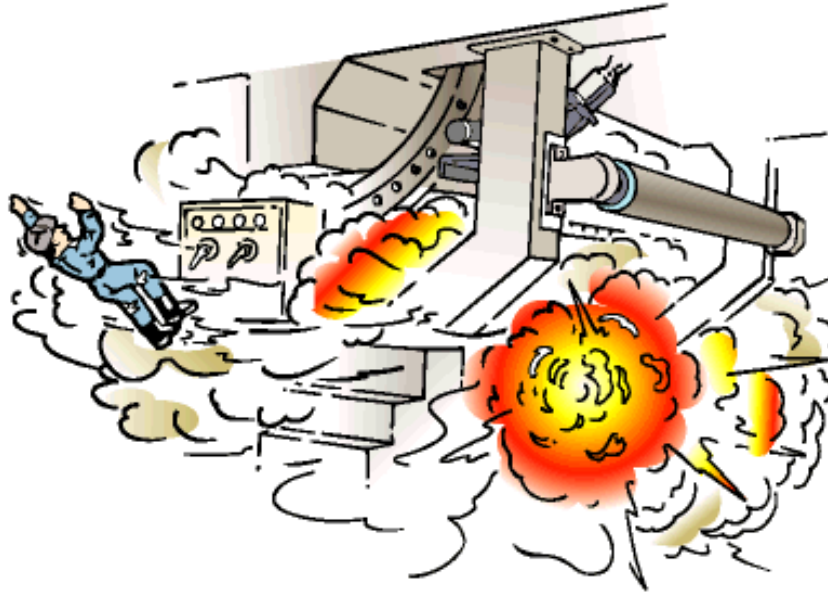
ในต้นศตวรรษ 1900 เป็นยุคที่อุตสาหกรรมขยายตัวอย่างมากและเริ่มมีการใช้มาตรฐานการออกแบบและการติดตั้งระบบไฟฟ้าของ North American Codes โดยที่มาตรฐาน NEC (National Electric Code) ใช้สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาและมาตรฐาน CEC (Canadian Electric Code) ใช้สำหรับประเทศแคนาดา ในช่วงเวลาเดียวกันสถาบันมาตรฐานของยุโรปคือ International Electrotechnical Commission (IEC) ก็ถูกก่อตั้งขึ้น เพื่อเป็นสถาบันด้านมาตรฐานการออกแบบติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับใช้ในประเทศต่างๆในยุโรป ต่อมาเมื่อประเทศในสหภาพยุโรปรวมตัวกัน และมีการค้าขายระหว่างกันมากขึ้น จึงได้ร่วมกันสร้างมาตรฐานเพื่อใช้ในประเทศสมาชิกโดยเฉพาะคือ CENELEC (European Electrotechnical Committee for Standardization) ซึ่งเนื้อหาโดยรวมแล้วเหมือนกับมาตรฐานของ IEC

การกำเนิดรถยนต์และเครื่องบินในต้นทศวรรษที่ 1920 สร้างความต้องการใช้เชื้อเพลิงคุณภาพดีอย่างมาก ไอระเหยจากแก๊สโซลีนมีคุณสมบัติที่จุดติดไฟได้ง่าย ทำให้ต้องป้องกันการสปาร์กจากระบบไฟฟ้าไม่ให้อยู่ในบริเวณที่มีไอระเหย พื้นที่ดังกล่าวจึงถูกกำหนดเป็น “Extra Hazardous Location” และภายหลังมาตรฐานของ NEC ก็กำหนดให้เป็นพื้นที่อันตรายใน “Division 1” ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมที่สร้างขึ้นใหม่จะต้องออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นประเภท Explosion proof ในพื้นที่ที่มีไอระเหยของสารไวไฟ ในปี ค.ศ.1931 มาตรฐาน NEC ก็แบ่งพื้นที่ใน Division 1 ออกเป็น Class I สำหรับแก๊สและไอระเหย Class II สำหรับฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ และ Class III สำหรับเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย ต่อมาในปี ค.ศ.1935 ก็มีการแบ่งกลุ่มแก๊สและไอระเหยใน Class I ออกเป็นกลุ่ม A, B, C และ D ตามคุณสมบัติ 3 ประการ คือ (1) ความดันจากการระเบิด (Explosive Pressure) (2) การขยายตัวของเปลวไฟ (Flame Transmission) และ (3) อุณหภูมิการจุดระเบิด (Ignition Temperature)

ในปี ค.ศ.1956 แนวคิดเรื่องความปลอดภัยโดยแท้จริง (Intrinsic Safety) เกิดขึ้นและกำหนดอยู่ตามมาตรฐานของ North American Codes และในช่วงเวลาเดียวกันอุตสาหกรรมของอเมริกาเหนือขยายตัวเพิ่มมากขึ้น การติดตั้งระบบไฟฟ้าแบบ Explosion proof ทั้งหมดในพื้นที่ที่มีสารอันตรายจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นมาตรฐานของ NEC จึงได้กำหนดพื้นที่อันตรายใน “Division 2” ซึ่งหมายถึงพื้นที่อันตรายที่ยอมให้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมาตรฐานการป้องกันการระเบิดที่ต่ำกว่าได้ โดยมีเงื่อนไข คือ เป็นบริเวณที่มีการจัดเก็บหรือใช้สารไวไฟซึ่งจะมีโอกาสรั่วไหลของสารไวไฟสู่บรรยากาศในสภาวะไม่ปกติเท่านั้น เช่น การเกิดอุบัติเหตุระหว่างการทำงาน การเกิดรอยแตกรั่วของถังบรรจุ และการเสื่อมสภาพของซีลกันรั่ว เป็นต้น

1.3 กรณีตัวอย่างการเกิดการระเบิดในพื้นที่อันตราย

กรณีที่ 1 เกิดการระเบิดที่เครื่องบดในโรงงานกระดาษ



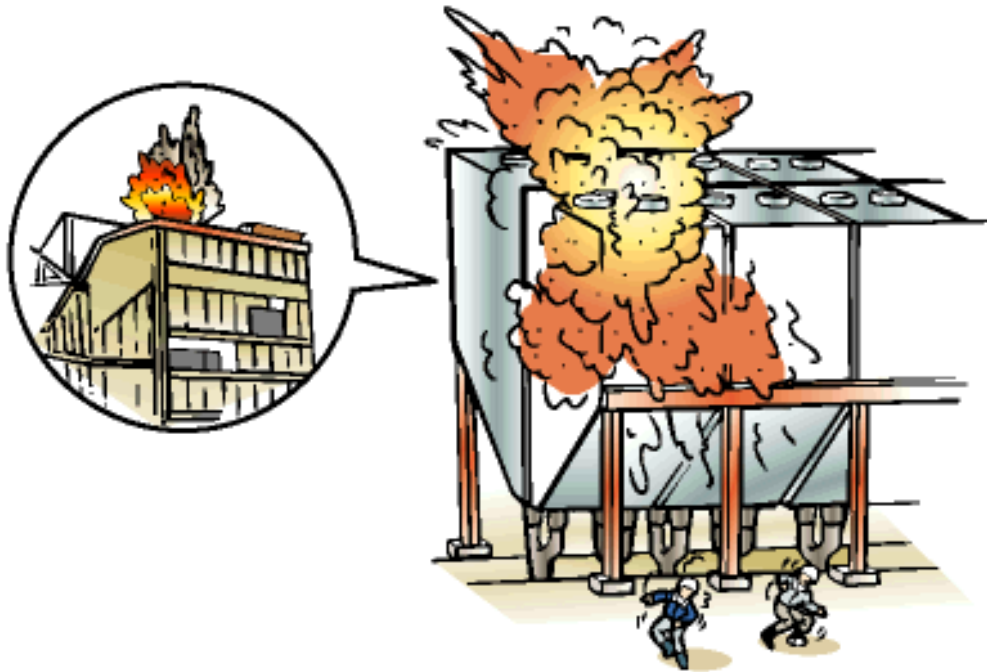
รูปที่ 1-5 แสดงภาพจำลองเหตุการณ์การระเบิดที่เครื่องบด

เหตุเกิดในโรงงานผลิตกระดาษทิชชู ในพื้นที่การตีเยื่อกระดาษ และม้วนเป็นกระดาษดิบ (Intermediate Product) หัวหน้าคนงานทำการเปลี่ยนใบตัดเพื่อลอกเยื่อกระดาษที่ผ่านการอบแห้ง (Paper Mill Dryer) ระหว่างเครื่องอบแห้งกับเครื่องตัดจะมีอุปกรณ์ดักเก็บฝุ่นกระดาษ (Dust-collecting system) ติดตั้งอยู่ ผู้ประสบเหตุทำการเปิดสวิตช์เพื่อให้ระบบอัดอากาศ (Compressed Air) ขับหมุนกระดาษผ่านใบตัด จากนั้นก็ทำการเปิดสวิตช์เพื่อให้ใบตัดทำงาน ทันใดนั้นก็เกิดการสปาร์ก และมีไฟลุกไหม้ที่กระดาษ และเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงจนผู้ประสบเหตุได้รับบาดเจ็บ

หลังจากเกิดเหตุได้มีการวิเคราะห์สาเหตุของการระเบิดที่อาจเป็นไปได้ไว้ ดังนี้

1. อาจเกิดประกายไฟจากการเสียดสี (Friction Spark) ของเครื่องดักเก็บฝุ่น หรือเกิดสปาร์กจากไฟฟ้าสถิตย์
2. ฝุ่นกระดาษมีอุณหภูมิการจุดติดไฟที่ค่อนข้างต่ำ
3. ระดับความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ทำงานคือ 15% ซึ่งถือว่าต่ำ (อากาศแห้งมาก)
4. เครื่องดักเก็บฝุ่นจะปล่อยลมออกมาจากเครื่องมากเมื่อผ่านเครื่องกรอง และขนาดเครื่องมีขนาดไม่เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นในพื้นที่

กรณีที่ 2 เกิดการระเบิดในไซโลในโรงงานผลิตแป้ง



รูปที่ 1-6 แสดงภาพจำลองเหตุการณ์การระเบิดในไซโล

ในวันเกิดเหตุคนงานในบริเวณไซโลบรรจุแป้งที่มีกรวยถ่ายบรรจุ (Hopper) ไปยังถังกระสอบแป้ง การบรรจุแป้งลงกระสอบเสร็จสิ้นเวลาบ่ายสามโมง จึงไม่มีแป้งเหลืออยู่ในไซโล คนงานได้หย่อนโคมไฟลงไปในไซโลจากบานเปิดด้านบน เพื่อตรวจสอบว่าแป้งถูกถ่ายเทจนหมดหรือยัง ขณะเดียวกันคนงานอีกคนหนึ่งได้เปิดเครื่องเพื่อส่งแป้งด้วยท่อลมเข้าไปในไซโล 30 นาทีต่อมา ผู้ประสบเหตุได้กลิ่นเหม็นไหม้จากภายในไซโล และทำการตรวจสอบหาสาเหตุ ทันใดนั้นก็เกิดการระเบิดที่ส่วนบนของไซโล

หลังจากเกิดเหตุได้มีการวิเคราะห์สาเหตุของการระเบิด ดังนี้

1. ฝุ่นแป้งมีขนาดประมาณ 50 ไมครอน เมื่อถูกถ่ายเทลงในไซโลด้วยท่อลม แป้งจึงเกิดการฟุ้งผสมอยู่ในอากาศทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ง่าย
2. ได้มีการใช้โคมที่ใช้หลอดไฟแบบ Incandescent ภายในไซโลและไม่ได้เอาออกมาหลังจากใช้ในงานตรวจสอบเสร็จแล้ว และน่าจะเป็นสาเหตุของการจุดระเบิด
3. คนงานไม่ได้รับการอบรมเรื่องการป้องกันการระเบิด และสาเหตุต่างๆที่จะทำให้เกิดการระเบิดได้
4. ไม่มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในโรงงานที่ประสบเหตุ
5. ผู้จัดการหรือผู้ควบคุมการผลิตไม่มีความรู้ที่เพียงพอในการป้องกันการระเบิด

กรณีที่ 3 เกิดการระเบิดใน Bucket Elevator ในโรงงานข้าวโพด



รูปที่ 1-7 แสดงภาพเหตุการณ์การระเบิดและไฟไหม้ในโรงงานข้าวโพด ในประเทศบราซิล ในปี ค.ศ. 2001

เหตุเกิดขึ้นขณะคนงานกำลังขนถ่ายเมล็ดข้าวโพดจากโรงงานลงในเรือในเวลากลางวัน คนงานส่วนใหญ่พักกลางวัน การระเบิดเกิดขึ้นบริเวณ Bucket Elevator แรงระเบิดทำให้ฝุ่นแป้งข้าวโพดฟุ้งกระจาย และมีการระเบิดต่อเนื่องไปทั่วบริเวณโรงงาน ทำให้มีผู้บาดเจ็บ 6 คน สภาพโรงงานพังเสียหายทั้งหมด ดังรูปที่ 1-8 การระเบิดมีความรุนแรงมากจนทำให้รถรางพลิกคว่ำ และโครงสร้างคอนกรีตที่มีน้ำหนักมากกว่า 5 ตัน กระเด็นไปไกลถึง 300 เมตร หลังจากการระเบิดก็เกิดไฟไหม้ทั้งโรงงานอีกด้วย ภายหลังจากการระเบิดได้มีการวิเคราะห์สาเหตุ และเชื่อว่าเกิดจากสายพานของ Bucket Elevator เกิดขัดกัน (Belt Misalignment) ทำให้เกิดการเสียดสีจนมีความร้อนสูง ทำให้ฝุ่นแป้งข้าวโพดที่ฟุ้งผสมกับอากาศถูกจุดระเบิดขึ้น



รูปที่ 1-8 แสดงภาพรถรางเหล็กถูกแรงระเบิดจนกระเด็นพลิกคว่ำ

กรณีศึกษาที่ 4 เกิดการระเบิดใน Bucket Elevator ในโรงงานถั่วเหลือง



รูปที่ 1-9 แสดงภาพเหตุการณ์การระเบิดในโรงงานถั่วเหลือง ในประเทศออสเตรเลีย ในปี ค.ศ. 2001

เหตุเกิดขึ้นคนงานกำลังขนถ่ายถั่วเหลืองลงเรือ ในช่วงกลางวัน คนงานส่วนใหญ่ไม่อยู่ในพื้นที่ โรงงานนี้มีอุโมงค์ (Tunnel) อยู่ใต้พื้นดิน และมีถังเหล็ก (Steel Bin) บรรจุถั่วเหลือง 5 ใบอยู่เหนืออุโมงค์ ถัดไปจากถังเหล็กจะเป็นกระบะไซโล (Horizontal Silo) ซึ่งไม่มีถั่วเหลืองเหลืออยู่เลย ในเวลานั้นมีคนงาน 5 คนกำลังทำงานซ่อมแซมตัวอาคารอยู่ในบริเวณใกล้เคียง การขนถ่ายถั่วเหลืองจากถังเหล็กและไซโลไปยัง Bucket Elevator จะใช้สายพานลำเลียง (Belt Conveyor) ซึ่งอยู่ภายในอุโมงค์

การระเบิดเกิดขึ้นใต้ถังเหล็ก ภายในอุโมงค์ ฝุ่นแป้งที่กองอยู่ตามพื้นถูกแรงอัดอากาศ (Shock Wave) จากการระเบิดพัดลอยฟุ้งขึ้น ทำให้เกิดการระเบิดครั้งต่อๆมาอีก ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อ โรงงานมากยิ่งขึ้น คนงานสองคนภายในอุโมงค์เสียชีวิต คนงานอีกคนซึ่งยืนอยู่เหนืออุโมงค์เสียชีวิตเนื่องจาก อุโมงค์พังลงมา หลังจากการระเบิดได้มีการวิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่า ก่อนเกิดการระเบิด สายพานลำเลียง หยุดทำงาน ไม่มีฝุ่นแป้งฟุ้งในบริเวณนั้น ไม่มีการสปาร์กที่รุนแรงพอจากอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือการเสียดสีของ เครื่องจักรกลใด ๆ จนทำให้ฝุ่นแป้งระเบิดได้ จึงไม่น่าเป็นไปได้ที่จะเกิดการระเบิดได้ แต่พบว่าอาจมีแก๊ส Hexane รั่วไหลมาจากโรงงานข้างเคียงเข้ามาภายในอุโมงค์ ซึ่งแก๊ส Hexane นี้เป็นสารไวไฟที่อาจถูกจุดติดไฟได้ง่าย

บทที่ 2 อันตรายจากการระเบิดของฝุ่นสาร

2.1 การระเบิดของฝุ่นสาร (Dust Explosion)

การระเบิดของหมอกแก๊ส ไอระเหย และฝุ่น นั้นมีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อมีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟรั่วไหลออกมาผสมกับอากาศ และถูกจุดติดไฟ และอาจมีการเผาไหม้อย่างรุนแรงจนกลายเป็นการระเบิด เปลวไฟอาจขยายวงไปจุดติดเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่อยู่บริเวณรอบๆ แต่ในกรณีการระเบิดของหมอกฝุ่น จะทำให้เกิดแรงอัดอากาศซึ่งขยายวงออกไป และทำให้ฝุ่นสารที่กองอยู่ตามพื้น ฟุ้งกระจายออกมาผสมกับอากาศเพิ่มขึ้นอีก และการขยายตัวของเปลวไฟจากการระเบิด (Flame Front) ก็จะทำให้เกิดการจุดระเบิดอย่างต่อเนื่อง (Chain Reaction)

วัตถุที่ถูกเผาไหม้ได้ในอากาศ จะมีอัตราการเผาไหม้รวดเร็วขึ้นเมื่อมีพื้นที่ผิว (Surface Area) ที่สัมผัสอากาศเพิ่มมากขึ้น ถ้าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สูงเพียงพอ จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง และขนาดของเปลวไฟก็ขยายตัวขึ้นด้วย การเผาไหม้อย่างรวดเร็วจะทำให้อากาศขยายตัวอย่างมาก จนกลายเป็นระเบิด (Explosion) และทำให้เกิดแรงอัดอากาศประมาณ 5 ถึง 12 bar



รูปที่ 2-1 แสดงอัตราเร็วหรือความรุนแรงของการเผาไหม้เมื่อเพิ่มผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงกับอากาศ

สาเหตุที่สำคัญในการจุดระเบิด

- เปลวไฟ (Open Flame)
- ความร้อนจากพื้นผิวสัมผัส (Hot Surfaces)
- การเสียดสี หรือกระแทกกันทางกล (Mechanical Sparks)
- การอาร์ก และสปาร์กของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical Arcs and Sparks)
- การสปาร์กจากไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Discharge)
- การเผาไหม้ตัวเองอย่างช้าๆ (Smoldering)

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการจุดระเบิดของฝุ่นสาร

การวิเคราะห์การระเบิดของฝุ่นสาร ในเบื้องต้นจะต้องทราบว่าฝุ่นสารชนิดใดที่ถูกเผาไหม้ได้ การระเบิดจะเกิดขึ้นได้ง่ายในกรณีที่ฝุ่นสามารถลอยฟุ้งในอากาศ โดยมีความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศมากพอให้เกิดการจุดระเบิดได้ ปรากฏไฟหรือความร้อนที่จะทำการจุดระเบิดต้องมีพลังงานมากเพียงพอในการจุดติด ส่วนผสมของฝุ่นสารกับอากาศ และเมื่อเกิดการลุกไหม้แล้วฝุ่นที่ลอยฟุ้งอยู่จะต้องมีปริมาณมาก และทำให้เปลวไฟขยายตัวออกไปได้ แต่ถ้ามีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในอากาศให้อยู่ในระดับต่ำการเผาไหม้ก็อาจไม่เกิดขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์และทดสอบการจุดระเบิดฝุ่นสาร สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการจุดระเบิด ดังนี้

- ขนาดของฝุ่นสาร 0.1 ถึง 1000 ไมครอน จะเสี่ยงต่อการระเบิด เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเผาไหม้ได้ง่ายและรวดเร็วกว่า
- องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นสาร จะเป็นตัวกำหนดพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ และความรุนแรงจากการระเบิด
- ความชื้นของฝุ่นยิ่งน้อย การเผาไหม้ยิ่งเกิดขึ้นได้ง่าย
- ปริมาณการฟุ้งกระจาย และแขวนลอยในอากาศจนกลายเป็นหมอก ยิ่งความเข้มข้นมาก จะยิ่งใช้พลังงานในการจุดระเบิดต่ำ
- การแผ่ความร้อนจากการเผาไหม้ฝุ่นสาร ยิ่งมาก การขยายตัวของกาเผาไหม้ก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- ความพลุ่งพล่านของหมอกฝุ่น ยิ่งฝุ่นสารถูกทำให้เคลื่อนที่เร็ว และกวนผสมกัน ยิ่งทำให้อัตราการเผาไหม้เร็วยิ่งขึ้น

ฝุ่นสารที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งสามารถแยกฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ ออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. ฝุ่นสารอินทรีย์ (Natural organic materials) เช่น แป้งข้าวโพด อาหารสัตว์ น้ำตาล และนมผง เป็นต้น
2. ฝุ่นถ่าน เช่น ถ่านหิน เป็นต้น
3. ฝุ่นโลหะ (Metal Dusts) เช่น อลูมิเนียม แมกนีเซียม สังกะสี เหล็ก และแทนทาลัม เป็นต้น
4. ฝุ่นสารสังเคราะห์ (Synthetic organic materials) เช่น พลาสติก เรซิน ยางฆ่าแมลง และกรดเบนโซอิก เป็นต้น

2.3 ปริมาณความเข้มข้นต่ำที่สุดในการจุดระเบิด

ฝุ่นสารที่ลอยฟุ้งอยู่ในอากาศจนมีสภาพเป็นหมอก (Dust Cloud) จะทำให้เกิดความเสี่ยงในการจุดระเบิดได้ ถ้ามีปริมาณของฝุ่นมากเพียงพอ ค่าปริมาณของฝุ่นสารน้อยที่สุดที่จะสามารถถูกจุดระเบิดเรียกว่า Minimum Explosion Concentration (MEC) โดยทั่วไป MEC จะมีค่าประมาณ 50-100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จนถึง 2-3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นว่าในสภาพการทำงานตามปกติจะไม่มีฝุ่นลอยฟุ้งมากเกินค่า MEC ในพื้นที่การทำงาน นอกจากถูกการรบกวนชั่วคราว

เราสามารถประมาณได้ว่า ปริมาณฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศจะมีค่าไม่เกิน 40 g/m^3 ถ้าเรามองผ่านหมอกฝุ่น และยังสามารถมองเห็นหลอดไฟฟ้าขนาด 25 วัตต์ ในระยะห่าง 2 เมตรได้ หมอกฝุ่นที่มีค่ามากกว่า MEC มักจะอยู่ภายในกระบวนการผลิตแบบปิด ดังนั้นพื้นที่อันตรายจึงมักจะเป็น เครื่องบด เครื่องผสม เครื่องร่อนกรอง ไซโล ท่อขนถ่ายด้วยลม เครื่องอบแห้ง เครื่องแยกฝุ่นแบบไซโคลน และ Bucket Elevator เป็นต้น

ฝุ่นสารที่สะสมจนเป็นชั้นหนา (Layer of Dust) ถ้าปกคลุมอยู่บนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะต้องมีการระบายความร้อน เช่น มอเตอร์ หรือโคมไฟ จะทำให้เกิดความร้อนสะสม ขณะที่ฝุ่นสารเหล่านั้นก็ค่อยๆ แห้ง (Dehydrate) และกลายเป็นถ่าน (Carbonize) ซึ่งจุดติดไฟได้ง่าย เมื่อความร้อนยังสะสมมากขึ้นอาจทำให้ฝุ่นถ่านลุกไหม้ได้เอง ถ้าเกิดมีหมอกฝุ่นเกินระดับ MEC ก็อาจทำให้เกิดการระเบิดที่รุนแรงเป็นลูกโซ่ได้ ดังนั้นการรักษาความสะอาด อย่าให้เกิดฝุ่นสะสมในพื้นที่ทำงานจึงเป็นวิธีป้องกันที่ดีที่สุด

2.4 ค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิด (Minimum Ignition Energy: MIE)

ค่าพลังงานน้อยที่สุดที่สามารถจุดระเบิดฝุ่นสาร (MIE) นี้ สามารถทดสอบหาค่าได้โดยการสปาร์กด้วยประจุไฟฟ้า (Capacitive Spark) ซึ่งจะมีค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกับการสปาร์กเนื่องจากการเสียดสีกันของเครื่องจักรกล (Frictional Spark)

- การทดสอบค่า MIE ของหมอกฝุ่น (Dust Cloud) โดยจะทำการสปาร์กกระหว่างอิเล็กโตรดภายในหลอดทดสอบขนาด 1.2 ลิตร ซึ่งมีการเป่าฝุ่นให้ฟุ้งเป็นหมอกฝุ่นภายในหลอดทดสอบโดยค่อยๆเพิ่มปริมาณของเนื้อแป้งที่ทำให้เกิดหมอกฝุ่นขึ้นทีละน้อย และทำการสปาร์กโดยจะค่อยๆเพิ่มค่าพลังงานในการสปาร์กขึ้นทีละน้อยจนเกิดการจุดระเบิดขึ้นภายในหลอดทดสอบ ทำการบันทึกค่าพลังงานในการสปาร์กที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการระเบิดเป็นค่า MIE ของหมอกฝุ่นชนิดนั้น
- การทดสอบค่า MIE ของชั้นฝุ่น (Dust Layer) โดยจะทำการสปาร์กผ่านอิเล็กโตรดไปบนชั้นฝุ่นซึ่งอยู่บนแผ่นตัวนำไฟฟ้าที่มีการต่อกราวด์ โดยค่อยๆเพิ่มค่าความหนาของชั้นฝุ่นขึ้นเรื่อยๆในการทดสอบการสปาร์กที่กำหนดค่าพลังงานไว้จนเกิดการจุดติดไฟขึ้นได้ ค่าพลังงานในการสปาร์กน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการลุกไหม้จะถูกบันทึกไว้เป็นค่า MIE ของชั้นฝุ่น

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า MIE

- Particle Size : ฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะสามารถถูกจุดติดไฟได้ง่ายกว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่
- Moisture Content : ระดับความชื้นของฝุ่นมากขึ้น จะทำให้การจุดติดไฟยากขึ้น และระดับอุณหภูมิที่หมอกฝุ่นจะลุกไหม้ได้เองก็เพิ่มขึ้นด้วย
- Makeup of Dust Cloud : ส่วนประกอบของหมอกฝุ่นที่มีฝุ่นชนิดที่เผาไหม้ไม่ได้ปนอยู่จะทำให้การจุดติดไฟได้ยากขึ้น

ตารางที่ 2-1 แสดงตัวอย่างค่า MIE สำหรับฝุ่นสาร

ชนิดฝุ่นสาร	MIE (Millijoules หรือ Milliwatt-Seconds)
Aluminum	15
Magnesium	40
Grain	240
Soft Coal	30
Hard Coal	60
Sulfur	15

ที่มา: Electrical Installation in Hazardous Locations, NFPA

2.5 ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เอง

การทดสอบค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้ตะกอนฝุ่น (Layer of Dust) เกิดจุดระเบิดได้เอง (Minimum Ignition Temperature : MIT) การทดสอบหาค่า MIT ของชั้นตะกอนฝุ่น จะใช้ตะกอนฝุ่นหนา 5 มม. บนแผ่นโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ซึ่งเป็นแผ่นความร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ นาน 30 นาที แล้วทำการทดสอบใหม่โดยเพิ่มระดับอุณหภูมิของแผ่นโลหะขึ้นไปเรื่อยๆ จนได้ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดการจุดระเบิดของฝุ่นสาร จะได้ค่า Minimum Dust-Layer Ignition Temperature

การทดสอบค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้หมอกฝุ่น (Dust Cloud) เกิดจุดระเบิดได้เอง เพื่อหาค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถทำให้หมอกฝุ่นสารเกิดลุกไหม้ได้เองโดยไม่ต้องมีประกายไฟ จะทดสอบโดยการสร้างหมอกฝุ่นขึ้นภายในพื้นที่ปิด ซึ่งมีแผ่นความร้อน (Hot Plate) อยู่ภายใน และทำการปรับเพิ่มค่าอุณหภูมิของแผ่นความร้อน (hot plate) ที่อยู่ท่ามกลางหมอกฝุ่น จนกระทั่งเกิดการระเบิดของฝุ่นสาร จะได้ค่า Minimum Dust-Cloud Ignition Temperature

ค่าอุณหภูมิจากการทดสอบค่าใดต่ำกว่า ก็ใช้ค่านั้นเพื่อเป็นข้อมูลเพื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิการทำงานสูงสุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักร เพื่อป้องกันฝุ่นสารมิให้ลุกติดไฟได้เองขณะมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามปกติ

ตารางที่ 2-2 แสดงตัวอย่างค่า Minimum Ignition Temperature (MIT)

ประเภท	กลุ่มสาร	ชื่อสารไวไฟ	MIT (°C)
หมอกฝุ่น	E	Aluminum	550
ชั้นตะกอนฝุ่น	E	Manganese	240
ชั้นตะกอนฝุ่น	F	Charcoal	180
ชั้นตะกอนฝุ่น	G	Milk	200
ชั้นตะกอนฝุ่น	G	Vitamin C	280
ชั้นตะกอนฝุ่น	G	Wood Flour	260

ที่มา: Cooper Crouse-Hinds Ex Digest

2.6 ความรุนแรงของการระเบิด (Explosion Severity)

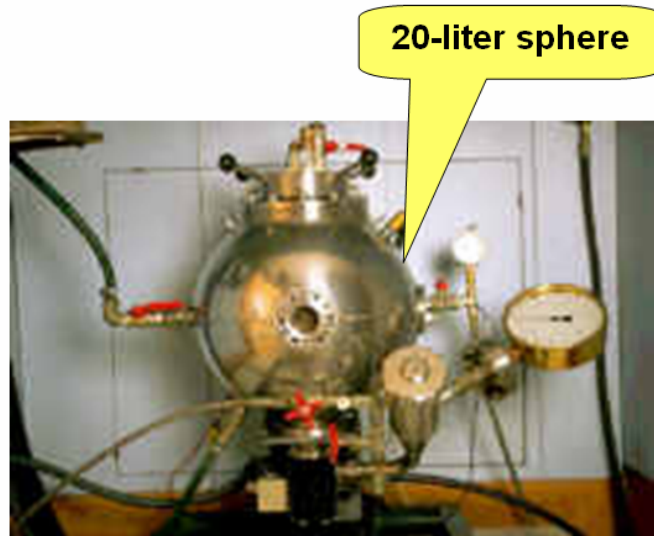
ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion) จะบ่งบอกถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นเมื่อฝุ่นสารเกิดการระเบิด เนื่องจากการเผาไหม้จะต้องใช้ออกซิเจน แต่ปริมาณออกซิเจนในอากาศจะมีอยู่จำกัด ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบค่าความร้อนของการเผาไหม้ของฝุ่นสารต่างๆในหน่วยกิโลจูล (KJ) ได้จากการปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยใช้ออกซิเจน 1 โมลเท่ากัน

ตารางที่ 2-3 แสดงตัวอย่างค่าความร้อนจากการเผาไหม้ฝุ่นสาร

ฝุ่นสาร	ออกไซด์ที่เกิดขึ้น	kJ/mole O ₂
Mg	MgO	1240
Al	Al ₂ O ₃	1100
Zn	ZnO	700
Fe	Fe ₂ O ₃	530
Sucrose	CO ₂ และ H ₂ O	470
Starch	CO ₂ และ H ₂ O	470
Polyethylene	CO ₂ และ H ₂ O	390
Carbon	CO ₂	400
Coal	CO ₂ และ H ₂ O	400

ที่มา : <http://www.chemeng.ed.ac.uk>

ค่าความอัดอากาศ (Pressure) ที่เกิดจากการระเบิดของหมอกฝุ่นภายในทรงกลมขนาด 20 ลิตร โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของหมอกฝุ่น เพื่อบันทึกค่าความอัดอากาศสูงสุด (Maximum Pressure: P_m) จากการระเบิด และคำนวณค่า Maximum Rate of Pressure Rise หรือค่า Deflagrate Index (K_{st}) เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาสำหรับการออกแบบระบบป้องกันการระเบิด

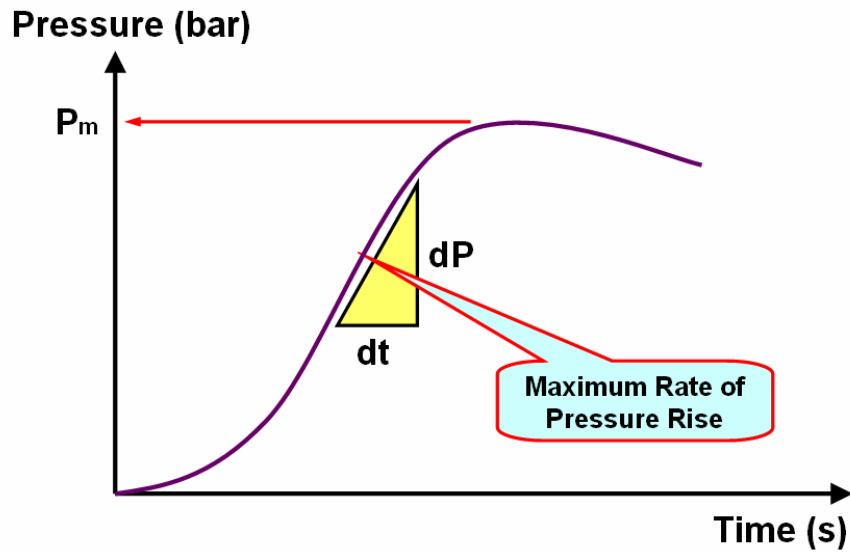


รูปที่ 2-2 แสดงตัวอย่างการทดสอบแรงอัดอากาศจากการระเบิดภายในทรงกลมขนาด 20 ลิตร



รูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างการทดสอบแรงอัดอากาศจากการระเบิดภายในถังขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร

ค่าความอัดอากาศ (Pressure) ที่เกิดจากการระเบิดของหมอกฝุ่นภายในทรงกลมขนาด 20 ลิตร โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของหมอกฝุ่น เพื่อบันทึกค่าความอัดอากาศสูงสุด (Maximum Pressure: Pm) จากการระเบิด และคำนวณค่า Maximum Rate of Pressure Rise หรือค่า Deflagrate Index (Kst) เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาสำหรับการออกแบบระบบป้องกันการระเบิด



รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแรงอัดอากาศจากการระเบิด

การคำนวณค่า Deflagrate Index (Kst)

$$Kst = \left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} \times V^{1/3}$$

เมื่อ ค่า $(dp/dt)_{\max}$ คือ อัตราการเพิ่มของความอัดอากาศสูงสุด
 ค่า V คือ ปริมาตรที่ทำการทดสอบ คือ 20 ลิตร หรือ 1 m³
 และหน่วยของ Kst คือ bar.m/s

ตารางที่ 2-4 การแบ่งกลุ่มฝุ่นระเบิดตามค่า Kst

Kst (bar.m/s)	Dust Explosion Class	ระดับอันตราย
Kst = 0	ST 0	ไม่เกิดการระเบิด
0 < Kst < 200	ST 1	ระเบิดไม่รุนแรง
200 < Kst < 300	ST 2	ระเบิดรุนแรง
Kst > 300	ST 3	ระเบิดรุนแรงมาก

ที่มา: Health & Safety Executive information sheet

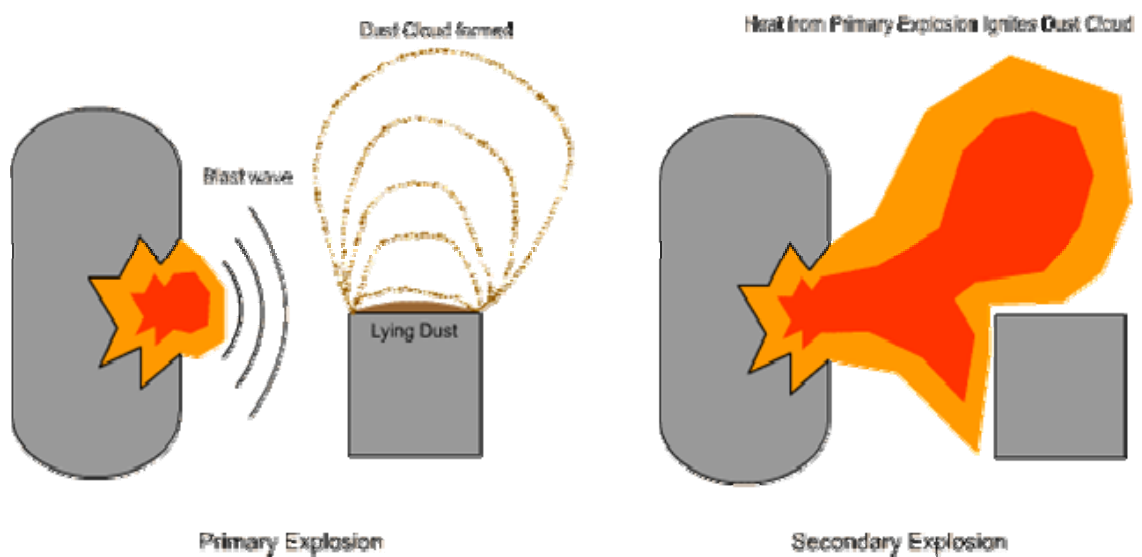
ตารางที่ 2-5 แสดงตัวอย่างความรุนแรงของการระเบิดของฝุ่นสาร

หมอกฝุ่นสาร	MIT (°C)	MEC (oz/ft ³)	Explosion Hazard
Aluminum	550	0.045	รุนแรงมาก
Al-Mg Alloy	430	0.02	รุนแรงมาก
Coal	610	0.055	รุนแรง
Epoxy Resin	540	0.02	รุนแรงมาก
Iron	420	0.1	รุนแรง
Magnesium	520	0.02	รุนแรงมาก
Tin	630	0.19	ปานกลาง

ที่มา: Electrical Installation in Hazardous Locations, NFPA

2.7 การเกิดระเบิดขั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิ (Primary and Secondary Explosions)

ความแตกต่างระหว่างการระเบิดแก๊ส/ไอระเหยของสารไวไฟ และการระเบิดของฝุ่นสาร ก็คือ แก๊สหรือไอระเหยมักจะไม่ได้ถูกจุดติดไฟภายในถังบรรจุ เนื่องจากมีออกซิเจนไม่เพียงพอให้เกิดการระเบิดได้ แต่การระเบิดของฝุ่นสารมักจะเกิดขึ้นในภาชนะปิด (Vessel) ซึ่งไม่สามารถทนแรงระเบิดได้ จึงทำให้เกิดความเสียหายจากแรงระเบิดมากกว่าความเสียหายจากการเกิดเพลิงไหม้



รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะการเกิดระเบิดขั้นปฐมภูมิและทุติยภูมิ



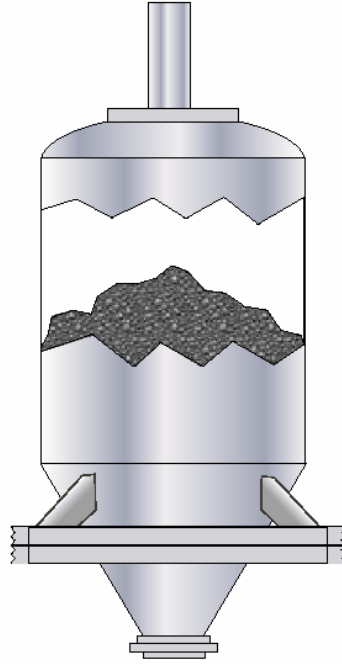
รูปที่ 2-6 แสดงผลของการจุดระเบิดเริ่มขึ้น และทำให้ฝุ่นสารฟุ้งกระจายเพิ่มขึ้น

ประเด็นที่สำคัญในการป้องกันการระเบิดของฝุ่นสาร คือ การป้องกันไม่ให้เกิด Primary Explosion แต่ประเด็นที่สำคัญกว่า ก็คือ การป้องกันไม่ให้เกิด Secondary Explosion โดยการควบคุมไม่ให้มีกองฝุ่น หรือเกิดชั้นฝุ่นสะสมในบริเวณที่อาจเกิดการระเบิด เพราะฝุ่นที่กองอยู่ตามที่สูงๆอาจถูกแรงอัดอากาศจากการระเบิดจนลอยฟุ้งและทำให้เกิดการระเบิดอย่างต่อเนื่องได้

2.8 กระบวนการทำงานที่อาจมีความเสี่ยงในเกิดการระเบิดของหมอกฝุ่น

- การเก็บบรรจุลงใน Silo หรือ Bin

เมล็ดพืช (Grain) และเมล็ดที่ใช้ทำน้ำมัน (Oilseeds) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ แป้ง (Starch) หรือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย (Fiber) และน้ำมันพืช (Vegetable Oil) ส่วนประกอบทั้งหมดสามารถเผาไหม้ได้ การจัดเก็บเมล็ดพืชที่มีความชื้นจะทำให้แบคทีเรียทำการย่อยสลายแป้งจนเมล็ดพืชเกิดเสีย และทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ตัวเอง (Spontaneous Combustion หรือ Smoldering) ดังนั้น การเก็บเมล็ดพืชเป็นเวลานานๆโดยไม่มีการเคลื่อนย้าย จึงควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และส่งสัญญาณแจ้งเตือนหากเกิดเผาไหม้ขึ้น หากมีการบดย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลงเท่าใด ความเสี่ยงของการเผาไหม้และการระเบิดก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2-7 แสดงการบรรจุฝุ่นสารใน Bin หรือ Silo ซึ่งมักจะเกิดหมอกฝุ่น

- **การใช้เครื่องขนถ่ายขึ้นที่สูงด้วย Bucket Elevator**

ระบบลำเลียงเมล็ดพืชหรือวัตถุดิบการเกษตรขึ้นในแนวตั้งเพื่อถ่ายเทลงในไซโลที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ Bucket Elevator เมล็ดพืชและวัตถุดิบเหล่านี้มักจะมีฝุ่นปนอยู่แล้ว ในระหว่างการขนถ่ายจะทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายมากพอให้เกิดความเสี่ยงจากการระเบิด หากสายพานเกิดขัดตัว หรือมีสิ่งต่างๆเข้าไปขัดเพลาหมุนจนทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อน สำหรับโรงงานที่เป็นโรงเก็บเมล็ดพันธุ์ หรือแปรรูปวัตถุดิบการเกษตร Bucket Elevator จัดเป็นเครื่องจักรกลที่มีความเสี่ยงอันตรายจากการระเบิดมากที่สุด และหากเกิดการระเบิดขึ้นใน Bucket Elevator ก็มักจะมีการระเบิดต่อเนื่องไปยังไซโล หรือระบบลำเลียงที่อยู่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 2-8 แสดงเครื่องขนถ่าย (Bucket Elevator) เมล็ดพันธุ์พืชในแนวตั้ง

- **การขนถ่ายแนวราบด้วย Belt Conveyor**

ระบบสายพานลำเลียงสำหรับขนถ่ายเมล็ดพืช (Grain) ในแนวราบ ส่วนใหญ่จะใช้ Belt Conveyor ซึ่งจะมีทั้งโครงสร้างแบบเปิดโล่ง หรือแบบปิดป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย ความกว้างและอัตราความเร็วของสายพานมีให้เลือกมากมาย เพื่อใช้ประโยชน์ในการลำเลียง ขณะทำการลำเลียงเมล็ดพันธุ์ มักจะมีฝุ่นเกิดขึ้น และฟุ้งกระจายจากการเคลื่อนที่ตามสายพาน สายพานซึ่งถูกหมุนขับโดยล้อสายพานที่เป็นโลหะจะทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อน และอาจมีการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ด้วย ยิ่งถ้าสายพานเกิดการติดขัด การเสียดสีที่ล้อสายพานยิ่งรุนแรงขึ้น วัสดุที่ใช้ทำสายพานส่วนใหญ่ผลิตจากยางซึ่งเผาไหม้ได้ ดังนั้นจึงทำให้มีโอกาส ที่จะเกิดความร้อนสูงหรือไฟไหม้สายพาน และเป็นสาเหตุของการจุดระเบิดหมอกฝุ่นขึ้นได้

- **การขนถ่ายแนวลาดชันด้วย Chain Conveyor**

ระบบสายพานลำเลียงสำหรับขนถ่ายเมล็ดพืช (Grain) ในแนวเอียง ส่วนใหญ่จะใช้ Chain Conveyor ซึ่งจะมีโครงสร้างแบบปิด เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย จึงมีขนาดการขนถ่ายปริมาณจำกัด สายพานแบบนี้มักใช้เพื่อการขนถ่ายขึ้นไปใช้ หรือถ่ายเทเข้าสู่ไซโล ขณะที่ทำการถ่ายเทออกจากสายพานมักเกิดหมอกฝุ่นขึ้น จึงจำเป็นต้องระวังการเกิดประกายไฟ หรือความร้อนสูง ที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดขึ้น



รูปที่ 2-9 แสดงการใช้ระบบสายพานขนถ่ายเมล็ดพันธุ์พืช

- **การขนถ่ายแนวราบด้วย Screw Conveyor**

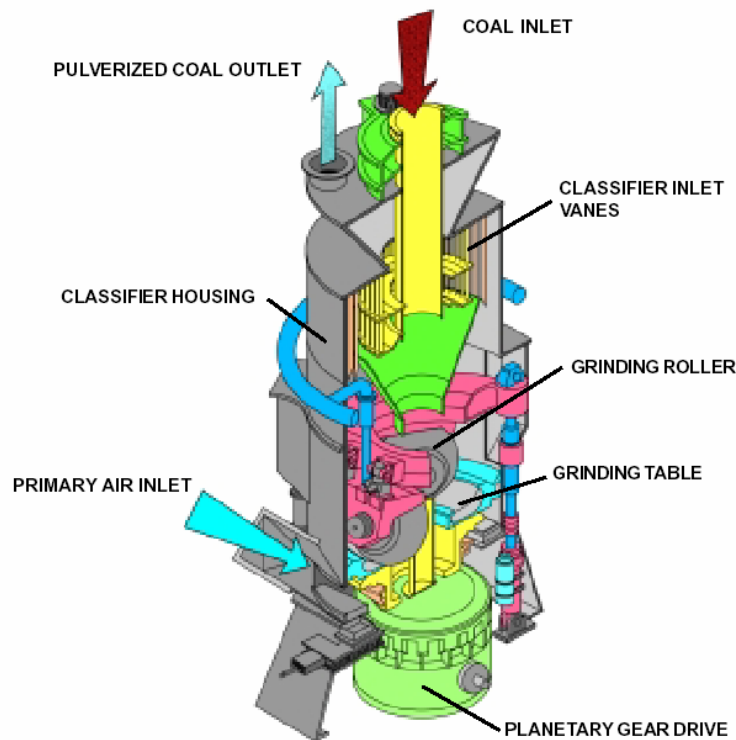
ระบบสายพานลำเลียงสำหรับขนถ่ายเมล็ดพืช (Grain) แบบ Screw Conveyor ซึ่งจะมีโครงสร้างแบบปิด เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย เช่นเดียวกัน แต่ปริมาณการขนถ่ายจะน้อย และระยะทางการขนถ่ายค่อนข้างสั้น และมักจะเกิดการบดอัดจนเมล็ดพันธุ์เกิดความเสียหายได้มาก และเกิดฝุ่นได้มาก แต่ข้อดีอย่างหนึ่งของระบบสายพานแบบนี้ก็คือ เมื่อเกิดการจุดระเบิดขึ้นภายในระบบปิดที่ต่อเนื่องกัน สายพานที่มีลักษณะเป็นสกรูจะทำหน้าที่ขวางกั้นไม่ให้เกิดประกายไฟขยายวง ต่อเนื่องไปยังระบบอื่นๆได้

- **การขนส่งด้วยท่อลม (Pneumatic Conveyor)**

เมื่อมีกระบวนการบดหรือโม่ จนได้ผงแป้งละเอียดแล้ว การขนถ่ายผงแป้งนี้มักจะใช้ระบบขนส่งด้วยท่อลม ผงแป้งจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูง ทำให้เกิดการเสียดสีกันเอง และเสียดสีกับผนังท่อด้วย จึงทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นที่ผนังท่อ ปลายทางของท่อนี้จะไปสิ้นสุดที่ไซโล ซึ่งผงแป้งจะถูกถ่ายเทเข้าไปเก็บไว้ ถ้าปลายท่อกับไซโลไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า (Bonding) ก็อาจเกิดการสปาร์กจากประจุไฟฟ้าสถิตย์ จนหมอกฝุ่นเกิดการจุดระเบิดขึ้นได้

- **การบดโม่ (Grinding หรือ Pulverizing)**

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อน โรงงานปูนซีเมนต์ หรือโรงงานที่มีหม้อสร้างไอน้ำขนาดใหญ่อื่นๆ จะต้องมีการบดย่อยถ่านหิน ซึ่งจะทำให้เกิดฝุ่นถ่านที่เผาไหม้ได้ง่าย พร้อมกับมีแก๊สมีเทนลอยออกมาจากถ่านหินด้วย ในขณะที่ทำการบดถ่านอาจจะใช้ลมร้อนเพื่ออบแห้งไปด้วย หลังจากบดถ่านจนเป็นผงแล้ว จะใช้การขนถ่ายผ่านท่อลมเป่าเข้าไปในเตาเผาด้วยความเร็วอย่างสม่ำเสมอ ถ้าแรงลมภายในท่อส่งถ่านหินลดลง ความร้อนหรือเปลวไฟจากเตาอาจย้อนเข้ามาและเกิดการเผาไหม้ในท่อลำเลียงและลามไปสู่เครื่องบดถ่านได้



รูปที่ 2-10 แสดงลักษณะโครงสร้างของเครื่องบดถ่านหิน

- **การกรองดักเก็บฝุ่น (Dust Collection System)**

การกรองดักเก็บฝุ่นที่ส่งมากับลม (Air Stream) โดยการใช้ถุงกรองผงฝุ่น (Bag Filter) ที่ติดตั้งภายในถังบรรจุ หรือการใช้ลมเหวี่ยงหมุน (Cyclone Separator) เพื่อแยกลมและผงฝุ่นออกจากกัน จะเกิดการเสียดสีระหว่างผงฝุ่นกับถุงกรอง ผันทอลม และถังบรรจุ ทำให้เกิดความเสียหายจากการจุดระเบิดขึ้น เนื่องจาก ภายในถังบรรจุมีหมอกฝุ่นมากกว่าค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่เกิดการจุดระเบิดได้ (Minimum Explosion Concentration) ขณะเดียวกัน ก็มีสาเหตุของการจุดระเบิด โดยอาจเกิดประกายไฟไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นจนเกิดการสปาร์ก และอาจมีผงฝุ่นที่เกาะติดตามขอบหรือมุมต่างๆเกิดการเผาไหม้ตัวเอง (Smoldering)



รูปที่ 2-11 แสดงระบบการเก็บฝุ่นด้วย Cyclone Dust Collector และ Bag Filter

- **การอบระเหยน้ำ (Spray Dryer)**

การผลิตยา นมผง และกาแฟ จะมีวิธีการแยกน้ำออกจากผงยา นม หรือกาแฟ โดยการใช้ลมร้อนเป่าเข้าไปในไซโลพร้อมกับพ่นน้ำยา น้ำนม หรือน้ำกาแฟ ลงมา ลมร้อนจะทำให้เกิดการระเหยออกไป ทำให้ผงยา นม หรือกาแฟ ถูกแยกออกจากน้ำและตกลงมาสู่ด้านล่าง ภายในถังหรือไซโลจะมีอุณหภูมิสูงมาก ขณะเดียวกันก็มีผงยา นม หรือกาแฟลอยผสมในอากาศขณะทำการอบแห้ง ส่วนผสมของฝุ่นผงเหล่านี้กับอากาศจะมีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดที่จะถูกจุดระเบิดได้ (MEC) จึงเกิดสภาพความเสี่ยงภายในไซโล หากเกิดประกายไฟ หรือมีอุณหภูมิสูงถึงระดับที่หมอกฝุ่นจะลุกติดไฟได้เอง ในกระบวนการอบแห้งนั้น ผงยา นม หรือกาแฟ อาจมีการสะสมเป็นชั้นหนาอยู่บนผนังด้านใน

ของไซโล ฝุ่นบางส่วนอาจมีการเผาไหม้ตัวเองอย่างช้าๆ (Smolder) และอาจเป็นสาเหตุของการจุดระเบิดหมอกฝุ่นภายในถังได้

- **การถ่ายเท และการร่อนกรอง (Screening)**

การผลิตผงโลหะจะต้องมีกระบวนการกรองแยกขนาดของผงโลหะ แต่เนื่องจากผงโลหะจะสามารถถูกติดไฟได้ง่ายแม้จะมีประกายไฟเพียงเล็กน้อยก็ตาม ขณะทำการถ่ายเท หรือการร่อนกรองจะทำให้เกิดการเสียดสีของผงโลหะกับเครื่องกรอง ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นได้ และถ้าเกิดการสปาร์กขึ้นขณะทำการถ่ายเทผงโลหะและมีสภาพเป็นหมอกฝุ่น อาจจะทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงขึ้นได้ นอกจากนี้ ฝุ่นโลหะมักจะมีความคม ถ้ามีฝุ่นโลหะแทรกอยู่ตามข้อต่อต่างๆของเครื่องจักร อาจทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนขึ้นจนเป็นสาเหตุให้เกิดการจุดระเบิดได้



รูปที่ 2-12 แสดงเครื่องร่อนกรองฝุ่นผง

บทที่ 3 อันตรายจากเพลิงไหม้ของเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย

3.1 การลุกไหม้ของเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย

เส้นใย (Fiber) ที่มาจาก ฝ้าย ป่าน กระดาษ หรือซีลื้อย จะมีขนาดใหญ่กว่าฝุ่นสาร และมักจะไม่วลอย ฟุ้งในอากาศจนเกิดส่วนผสมที่ทำให้เกิดการระเบิดได้ แต่การมีวัสดุประเภทเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่ายเหล่านี้ อยู่เป็นปริมาณมาก จะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้และลุกลามอย่างรวดเร็ว (Flash Fire) โดยเหตุของการจุดไฟมีสาเหตุจากความบกพร่องของอุปกรณ์ไฟฟ้า การเสียดสีอย่างรุนแรงของเครื่องจักร เปลวไฟจากเครื่องเชื่อมหรือเครื่องตัดเหล็ก และการสูบบุหรี่ เป็นต้น



รูปที่ 3-1 แสดงภาพเหตุการณ์เพลิงไหม้โรงงานผลิตเสื้อผ้า ในประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 3-2 แสดงภาพเหตุการณ์ไฟไหม้ในโรงงานแปรรูปไม้ ในประเทศออสเตรเลีย

3.2 อุตสาหกรรมที่มีเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย

- โรงงานสิ่งทอ ผลิตสำลี และผลิตเครื่องนอน

อุตสาหกรรมที่มีการใช้หรือเก็บฝ้ายหรือนุ่น เป็นปริมาณมาก ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของ สำลี ด้ายดิบ เสื้อผ้า หรือเครื่องนอน ก็ตาม มักจะมีความเสี่ยงของการเกิดเพลิงไหม้และลุกลามได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจาก เส้นใยเหล่านี้จุดติดไฟได้ง่ายมาก ในระหว่างทำการผลิตมักจะมีเศษฝ้าย นุ่น หรือเส้นด้าย ตกหล่นกระจายอยู่ใกล้เครื่องจักรและเครื่องใช้ไฟฟ้า อย่างเช่น มอเตอร์ สวิตช์ไฟ หรือตู้ควบคุมไฟฟ้า เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้อาจจะทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีเท่าที่ควร และเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความบกพร่องหรือการลัดวงจร จะทำให้เกิดประกายไฟและความร้อนสูง จนเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ของเส้นใยที่สะสมอยู่ได้ นอกจากนี้เศษวัสดุเหล่านี้อาจเข้าไปอุดหรือขัดอยู่ในเครื่องจักรจนเกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนสูงได้เช่นกัน

- **โรงงานแปรรูปไม้ และผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้**

การแปรรูปไม้ จะทำให้เกิดขี้เลื่อยและผงฝุ่นไม้จากการขัดตกแต่งผิวไม้ ฝุ่นไม้ที่มีขนาดเล็กกว่า 1000 ไมครอน หากลอยฟุ้งผสมกับอากาศอาจจะถูกจุดระเบิดได้ แต่ขี้เลื่อยไม้จะจัดเป็นเส้นใยซึ่งจุดติดไฟได้ง่าย หากเกิดประกายไฟจากการทำงานอาจจะทำให้ขี้เลื่อยที่สะสมอยู่ตามสถานที่ทำงานลุกไหม้และเกิดไฟลามอย่างรวดเร็ว (Flash Fire) และหากปล่อยให้ขี้เลื่อยและฝุ่นไม้เหล่านี้สะสมอยู่บนอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ หรือคอมไฟ ขี้เลื่อยอาจเป็นอุปสรรคในการระบายความร้อนขณะมีการใช้งานอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าได้ การระบายความร้อนได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพนี้จะทำให้ ความร้อนสะสมเพิ่มขึ้น ขี้เลื่อยบนอุปกรณ์ไฟฟ้าอาจถูกความร้อนเป็นเวลานานจนเกิดแห้งลงเรื่อยๆจนกลายเป็นถ่านที่จุดติดไฟได้ง่ายยิ่งขึ้น และทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย

- **โรงงานทำกระดาษ และสิ่งพิมพ์**

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตกระดาษ จะมีเส้นใยจากไม้ที่เป็นวัตถุติดไฟในการผลิตกระดาษ เศษกระดาษที่เกิดจากการตัดแต่งขอบกระดาษ ฝุ่นผงของกระดาษจากการตัด หรือการเสียดสี รวมทั้ง ม้วนกระดาษขนาดใหญ่ที่เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ วัสดุซึ่งเป็นเส้นใยดังกล่าวมาจะมีคุณสมบัติในการถูกจุดติดไฟได้ง่าย และเมื่อมีรวมกันในปริมาณมาก หากเกิดเพลิงไหม้ขึ้น จะทำให้เกิดไฟลามอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่เกิดไฟไหม้ที่ม้วนกระดาษในคลังสินค้า ความร้อนจากการเผาไหม้จะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงมากจนอาจทำให้โครงสร้างอาคารที่เป็นเหล็กเสียหายได้ในเวลาเพียงไม่กี่นาที การขยายตัวของเปลวไฟจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษ กระดาษมีความหนาแน่นต่ำเช่นกระดาษทิชชู จะทำให้เกิดไฟไหม้ลุกลามอย่างรวดเร็ว ขณะที่กระดาษแข็งจะทำให้เกิดไฟลุกลามได้ช้ากว่า

เศษกระดาษ และเยื่อกระดาษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์ จะเกิดการสะสมบนเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งอยู่ใกล้ๆ เศษเยื่อกระดาษเหล่านี้อาจเป็นอุปสรรคในการระบายความร้อนขณะมีการใช้งานอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าได้ การระบายความร้อนได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพนี้จะทำให้ ความร้อนสะสมเพิ่มขึ้น เยื่อกระดาษบนอุปกรณ์ไฟฟ้าอาจถูกความร้อนเป็นเวลานานๆจนเกิดแห้งลงเรื่อยๆจนกลายเป็นถ่านที่จุดติดไฟได้ง่ายยิ่งขึ้น จนเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย

บทที่ 4 มาตรฐานการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับพื้นที่อันตราย

การกำหนดมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายเนื่องจากอาจมีการรั่วไหลหรือมีการใช้สารไวไฟนั้น ไม่ได้หมายความว่าการทำงานในพื้นที่ดังกล่าวจะมีความเสี่ยงอันตรายมากกว่าพื้นที่อื่นๆ หากเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้ว การเสียชีวิตจากสาเหตุอื่น ๆ อาจมีมากกว่าการเสียชีวิตจากการระเบิดของสารไวไฟเสียอีก อย่างไรก็ตาม มาตรฐานการป้องกันการเกิดไฟไหม้ มีการกำหนดพื้นที่อันตรายเพื่อให้ผู้ประกอบการทราบถึงระดับความเสี่ยงในการเกิดเพลิงไหม้หรือเกิดการระเบิด และมีการป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงขึ้น

4.1 การกำหนดพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน NEC

พื้นที่อันตรายถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของสารไวไฟ ประเภท แก๊ส ไอระเหย ฝุ่นสาร และเส้นใย ที่ปรากฏอยู่ในปริมาณมากเพียงพอให้เกิดการจุดติดไฟได้ สำหรับพื้นที่ที่มีฝุ่นสารประเภทที่จัดเป็นกลุ่มวัตถุระเบิด จะไม่จัดอยู่ในพื้นที่อันตรายตามมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้านี้

ในห้องขนาดเล็ก พื้นที่แคบ หรือบริเวณใดๆ ควรถูกกำหนดเป็นพื้นที่อันตรายเพียงแบบ (division) เดียว และควรทำการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ที่ปลอดภัยมากกว่า ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด ซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นมาก

4.1.1 Class I Location คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากมีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Gases and Vapors)

Class I, Division 1 : หมายถึงพื้นที่อันตรายตามเงื่อนไขดังนี้

- มีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟรั่วไหลออกมาผสมกับอากาศ ในปริมาณมากเพียงพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดติดไฟได้ (Flammable Mixture) ในกระบวนการทำงานตามปกติ
- การซ่อมบำรุงเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการผลิต อาจจะทำให้เกิดการรั่วไหลของสารไวไฟ
- เมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆเกิดความบกพร่อง หรือเสียหาย จะปล่อยให้แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟรั่วไหลออกมาผสมกับอากาศ ขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟซึ่งอาจเกิดจุดติดไฟขึ้นได้

Class I, Division 2 : หมายถึงพื้นที่อันตรายตามเงื่อนไขดังนี้

- มีการใช้ หรือจัดเก็บแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟภายในภาชนะปิดสนิท แต่อาจเกิดการรั่วไหลได้หากภาชนะบรรจุเกิดรอยแตกร้าว หรือมีความเสียหายของซีลกันรั่ว
- พื้นที่ที่ติดกับพื้นที่อันตรายใน Class I Division 1 และอากาศสามารถถ่ายเทผ่านเข้าออกได้
- พื้นที่ที่มีการป้องกันแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ ด้วยวิธีการระบายอากาศ Positive Mechanical Ventilation แต่ถ้าพัดลมระบายอากาศเกิดหยุดทำงาน แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟก็อาจมีการสะสมเพิ่มขึ้นได้

4.1.2 **Class II Location** คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากมีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible Dusts)

Class II, Division 1 : หมายถึงพื้นที่อันตรายตามเงื่อนไขดังนี้

- มีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ลอยผสมอยู่ในอากาศ ปริมาณมากเพียงพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ (Ignitable Concentration) ในขณะที่ทำงานตามปกติ
- เมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆเกิดบกพร่องหรือเสียหาย จะมีการปล่อยให้ฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ฟุ้งออกมาผสมกับอากาศ ในปริมาณมากเพียงพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ (Ignition Concentration) พร้อมทั้งทำให้เกิดความร้อนสูง หรือประกายไฟให้เกิดการจุดระเบิดได้
- มีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ประเภทที่นำไฟฟ้าได้ (Conductive Dust) ในปริมาณมากเพียงพอที่จะก่อให้เกิดสภาพอันตรายได้

Class II, Division 2 : หมายถึงพื้นที่อันตรายตามเงื่อนไขดังนี้

- มีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ลอยอยู่ในอากาศ ในปริมาณน้อยจนไม่เพียงพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ (Explosive Mixture) ในช่วงเวลาทำงานตามปกติ อย่างไรก็ตาม หากเกิดความผิดพลาดในกระบวนการทำงาน ก็อาจทำให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ในช่วงเวลาสั้นๆ
- มีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้สะสมอยู่บนอุปกรณ์ไฟฟ้าจนกลายเป็นชั้นฝุ่นหนา (Layer of Dust) ในช่วงเวลาทำงานตามปกติ จนทำให้การระบายความร้อนของอุปกรณ์นั้นลดประสิทธิภาพลง และถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดทำงานบกพร่องก็จะเป็นเหตุให้เกิดการจุดระเบิดฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้

4.1.3 Class III Location คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากมีเส้นใยที่ติดไฟได้ง่าย (Fibers and Flyings)

Class III, Division 1 : หมายถึงพื้นที่อันตรายตามเงื่อนไขดังนี้

- เป็นสถานที่ผลิต หรือมีการใช้ เส้นใยหรือวัสดุที่จุดติดไฟได้ง่าย (Easily Ignitable Fiber หรือ Material)

Class III, Division 2 : หมายถึงพื้นที่อันตรายตามเงื่อนไขดังนี้

- เป็นสถานที่จัดเก็บเส้นใยหรือวัสดุที่จุดติดไฟได้ง่าย (Easily Ignitable Fiber หรือ Material)

4.2 การกำหนดพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน IEC

Zone 0 คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากมีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Gases and Vapors) ผสมอยู่ในบรรยากาศจนเกิด Flammable Atmosphere อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน

Zone 1 คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากอาจมีการรั่วไหลของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Gases and Vapors) ออกมาผสมอยู่ในบรรยากาศจนเกิด Flammable Atmosphere อยู่บ่อยครั้งในกระบวนการทำงานตามปกติ

Zone 2 คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากอาจมีการรั่วไหลของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ (Gases and Vapors) ออกมาผสมอยู่ในบรรยากาศจนเกิด Flammable Atmosphere นานๆครั้ง เช่น เมื่อเกิดอุบัติเหตุในกระบวนการทำงาน แต่จะไม่ปล่อยให้เกิดการรั่วไหลเป็นเวลานาน

Zone 20 คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากมีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible Dusts) ผสมกับอากาศจนเกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ (Explosive Mixture) อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน

Zone 21 คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากอาจมีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible Dusts) ผสมกับอากาศจนเกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ (Explosive Mixture) อยู่บ่อยครั้งในกระบวนการทำงานตามปกติ

Zone 22 คือพื้นที่อันตรายเนื่องจากอาจมีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ (Combustible Dusts) ผสมกับอากาศจนเกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ (Explosive Mixture) นานๆครั้ง เช่น เมื่อเกิดอุบัติเหตุในกระบวนการทำงาน แต่ไม่ควรปล่อยให้เกิดการสะสมของกองฝุ่นสารเป็นเวลานาน

4.3 การกำหนดพื้นที่อันตรายตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

4.3.1 บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 คือบริเวณที่ซึ่งมีก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟผสมอยู่ในอากาศ ปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดได้

- 1) บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 คือบริเวณที่มีการใช้แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ ซึ่งสามารถรั่วไหลจากกระบวนการทำงานตามปกติ การซ่อมบำรุง รวมทั้งการรั่วไหลจาก เหตุที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรทำงานที่ผิดปกติ และยังสามารถทำให้เกิดประกายไฟหรือความร้อน ซึ่งทำให้สารไวไฟที่รั่วไหลจุดติดไฟได้
- 2) บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 2 คือบริเวณที่มีการใช้แก๊สหรือสารเหลวไวไฟในระบบ ปิดซึ่งไม่มีการรั่วไหล นอกจากเกิดความเสียหายของภาชนะบรรจุ และบริเวณที่อยู่ใกล้กับ พื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ซึ่งแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟอาจถ่ายเทถึงกันได้ นอกจากนี้ พื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 ซึ่งได้ติดตั้งระบบระบายอากาศ เพื่อช่วยลด ปริมาณสารไวไฟที่ผสมในอากาศอย่างเหมาะสม แต่อาจเกิดสภาพอันตรายได้เมื่อระบบ ระบายอากาศขัดข้อง ก็จัดเป็นพื้นที่อันตราย แบบที่ 2 ด้วย

4.3.2 บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 คือบริเวณที่ซึ่งมีฝุ่นที่เผาไหม้ได้ในปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการจุดระเบิดได้

- 1) บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 คือบริเวณที่มีฝุ่นที่ลุกไหม้ได้อยู่ในอากาศในปริมาณ เพียงพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ในกระบวนการทำงานปกติ และบริเวณที่มีฝุ่นที่มี คุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีในปริมาณที่อาจทำให้เกิดอันตรายจากการระเบิด รวมทั้งกรณี ที่ฝุ่นที่เผาไหม้ได้เกิดการรั่วไหลจากเหตุที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรทำงานที่ผิดปกติ และอาจ ทำให้เกิดประกายไฟหรือความร้อนซึ่งทำให้ฝุ่นที่รั่วไหลออกมาเกิดการจุดระเบิดได้
- 2) บริเวณอันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 คือบริเวณที่มีฝุ่นที่ลุกไหม้ได้อยู่ในอากาศในปริมาณ ไม่มากพอให้เกิดส่วนผสมที่จุดระเบิดได้ในกระบวนการทำงานปกติ และบริเวณที่มีฝุ่นซึ่ง อาจเกิดการสะสมอยู่บนอุปกรณ์ไฟฟ้า และอาจขัดขวางการระบายความร้อนของอุปกรณ์นั้น ประกายไฟจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือจากการลัดวงจรไฟฟ้า อาจทำให้ฝุ่นเหล่านี้ เกิดการจุดระเบิดได้

4.3.3 บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 คือบริเวณที่ซึ่งมีเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่ายมากเพียงพอที่จะทำให้เกิด อันตรายจากการจุดระเบิดได้

- 1) บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 คือบริเวณที่มีการผลิต การใช้ หรือการขนถ่ายเส้น ใยที่จุดติดไฟได้ง่าย ในปริมาณเพียงพอให้เกิดการจุดระเบิดได้
- 2) บริเวณอันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 2 คือบริเวณที่มีจัดเก็บหรือการขนถ่ายเส้นใยที่ทำให้ เกิดการลุกไหม้ได้ง่ายในปริมาณมาก

4.4 เทคนิคการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด

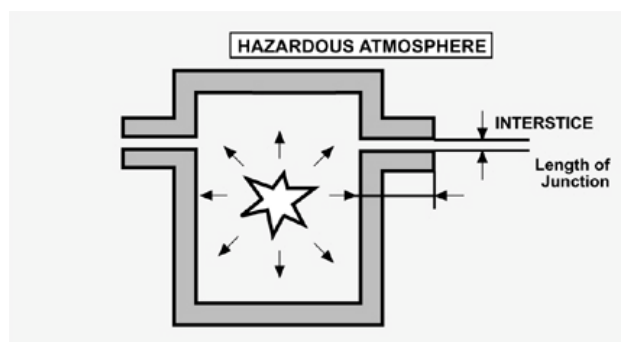
การออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันอันตรายจากการจุดระเบิดสารไวไฟที่มีอยู่ในพื้นที่ที่ทำการติดตั้งใช้งาน มีหลายวิธี แต่ทุกวิธีจะเกิดจากแนวความคิดหรือเทคนิคเพียง 3 แบบ คือ

1. **Segregation** : คือการแบ่งแยกเชื้อเพลิงและประกายไฟ โดยใช้เครื่องห่อหุ้มที่ปิดสนิท (Totally Enclose) เพื่อป้องกันสารไวไฟผ่านเข้าไปภายใน หรือใช้อากาศสะอาดหรือแก๊สเฉื่อย ชั้บไล่สารไวไฟออกจากเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ที่อาจเกิดการอาร์กหรือสปาร์ก เพื่อมิให้มีโอกาสเกิดการจุดติดไฟได้
2. **Explosion Containment** : คือการใช้เครื่องห่อหุ้มที่ทนแรงระเบิด (Explosionproof Enclosure) และสามารถกักเก็บเปลวไฟไม่ให้แทรกผ่านออกมาจุดระเบิดสารไวไฟที่อยู่ด้านนอกได้
3. **Prevention** : คือการเพิ่มส่วนประกอบบางอย่างเพื่อลดโอกาสของการอาร์ก การสปาร์ก หรือเกิดความร้อนสูงในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือจำกัดพลังงานไฟฟ้าไม่ให้มากพอให้เกิดการจุดระเบิดได้

4.5 มาตรฐานอุปกรณ์ป้องกันการระเบิด

วิธีการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าและส่วนประกอบในการติดตั้งระบบไฟฟ้าที่สามารถป้องกันการระเบิดเกิดจากแนวคิดพื้นฐานที่ว่า การเกิดเพลิงไหม้จะต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่างดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น ดังนั้นวิธีการป้องกันการระเบิดจึงใช้แนวคิดพื้นฐานในการป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสูงที่ผิวเครื่องห่อหุ้มหรือเกิดประกายไฟได้ แต่ถ้าเกิดมีประกายไฟขึ้นภายในเครื่องห่อหุ้มก็จะไม่ทำให้เกิดไฟไหม้ลุกลามออกสู่ภายนอกได้

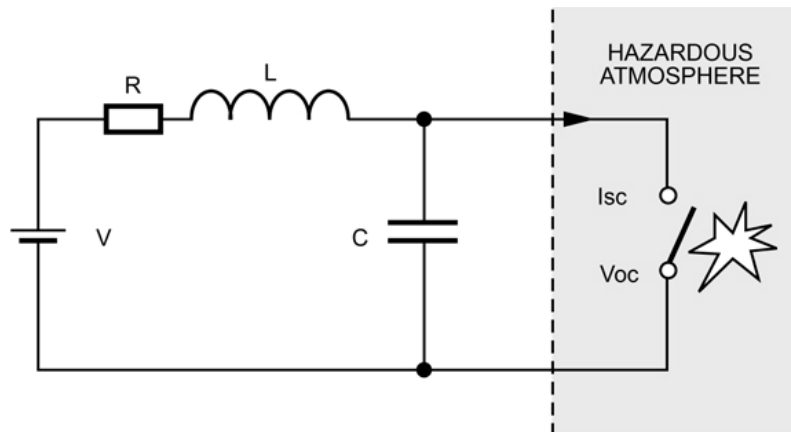
Flameproof Enclosure (Type “d” Protection)



อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้สามารถเกิดการจุดระเบิดภายในส่วนเปลือกของอุปกรณ์ได้ หากมีแก๊สหรือไอระเหยแทรกเข้าไปภายในและมีประกายไฟเกิดขึ้น แต่ความดันของเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการระเบิดจะไม่สามารถทำความเสียหายกับเปลือกหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า และเกิดมีเปลวไฟผ่านออกจาก Flame Path จนเกิดการจุดติดไฟไอระเหยของสารไวไฟที่อยู่ภายนอกได้ เทคนิคการป้องกันแบบนี้มักใช้กับ Induction Motor, Light Fixture, Control Station, Process Switch และ Junction Box เป็นต้น

Intrinsically Safe (Type “ia” Protection)

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะจำกัดพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไม่ให้อุปกรณ์เข้าไปสู่วงจรไฟฟ้าที่ใช้งานในพื้นที่อันตรายได้เกินค่าที่ออกแบบไว้ ทำให้ผลของการเกิดลัดวงจรไฟฟ้าภายในพื้นที่อันตราย 2 จุดในเวลาเดียวกันจะไม่ก่อให้เกิดประกายไฟหรือพลังงานความร้อนมากเพียงพอให้แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟจนเกิดจุดติดไฟได้



Intrinsically Safe (Type “ib” Protection)

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะจำกัดพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไม่ให้อุปกรณ์เข้าไปสู่วงจรไฟฟ้าที่ใช้งานในพื้นที่อันตรายได้เกินค่าที่ออกแบบไว้ ทำให้ผลของการเกิดลัดวงจรไฟฟ้าภายในพื้นที่อันตราย 1 จุดยังไม่ก่อให้เกิดประกายไฟหรือพลังงานความร้อนมากเพียงพอให้แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟจนเกิดจุดติดไฟได้

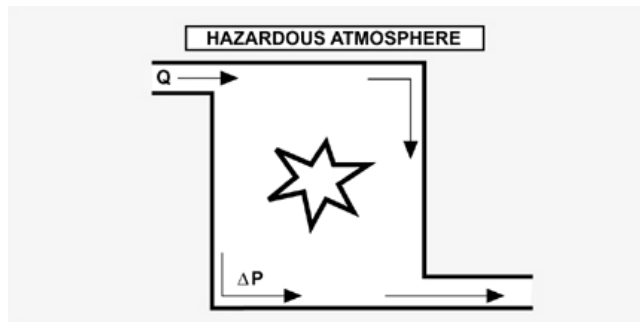
เทคนิคการป้องกันแบบ Intrinsic Safety มักจะใช้กับอุปกรณ์ตรวจวัดค่าและวงจรระบบควบคุมซึ่งต้องติดตั้งในพื้นที่โซน 0 หรือ โซน 1 เช่น Thermocouple, Transducer, Transmitter, Proximity Switch, Flow Detector, และ Level Sensor เป็นต้น วงจรไฟฟ้าที่เป็นแบบ Intrinsically Safe จะมีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ

- (1) อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ
- (2) อุปกรณ์จำกัดพลังงาน (Energy-limiting Device) บางครั้งเรียกว่า “Barrier”

- (3) ระบบเดินสายไฟฟ้าที่มีการป้องกันความเสียหายจากการกระแทกทางกลได้ดี และมีการป้องกันสนามไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าอื่นๆ

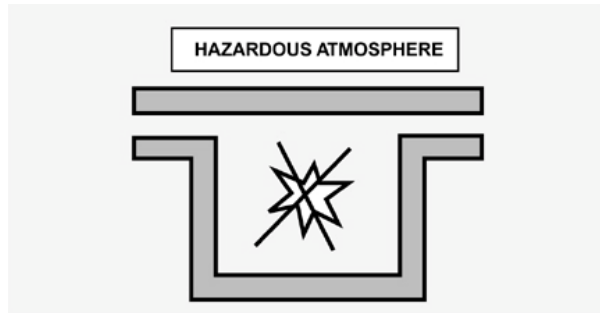
เครื่องมือที่ใช้เป็น Barrier นี้จะทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า ที่นิยมใช้กันทั่วไปมีหลายแบบ เช่น ใช้ Resistor ช่วยลดกระแสลัดวงจร, ใช้ขดลวดเพื่อป้องกัน Surge Current, ใช้คาปาซิเตอร์ช่วยป้องกัน Surge Voltage, ใช้ Zener Diode ช่วยจำกัดแรงดันไฟฟ้าเกิน และใช้ Fuse ช่วยตัดวงจรที่เกิดกระแสเกินในวงจรไฟฟ้าซึ่งอาจจะทำให้ Barrier เกิดความเสียหายได้

Pressurized Enclosure (Type “p” Protection)



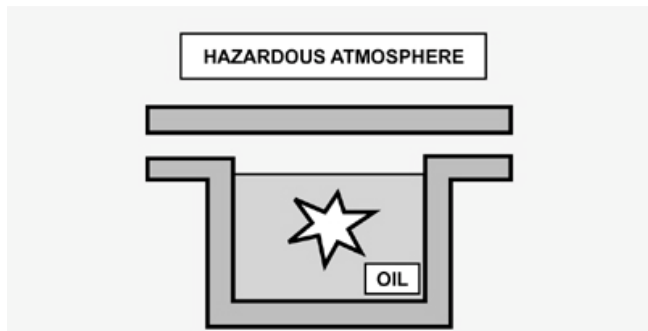
อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้วิธีการอัดอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในพื้นที่ปิดเพื่อไล่ไอระเหยของสารไวไฟออกนอกส่วนปิดนั้น พร้อมกับรักษาระดับความดันอากาศภายในนั้นให้สูงกว่าภายนอกเล็กน้อยเพื่อป้องกันไอระเหยของสารอันตรายจากภายนอกแพร่เข้ามาในพื้นที่ที่อาจเกิดการสปาร์กได้ โดยปกติจะออกแบบให้มีความดันอากาศแตกต่างกัน 0.5 mbar หรือ 50 Pa ในบางกรณีอาจจะใช้แก๊สเฉื่อยอัดเข้าไปในเปลือกหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าแทนที่จะใช้อากาศซึ่งมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณ 21% เพื่อป้องกันการระเบิดได้ดีมากขึ้น แก๊สเฉื่อยที่ใช้ เช่น แก๊สไนโตรเจน อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น เทคนิคการป้องกันแบบนี้นิยมใช้กันมากเพราะสามารถใช้ป้องกันพื้นที่ในบริเวณกว้างได้ เช่น ห้องทำงาน หรือ ห้องที่ติดตั้งอุปกรณ์สวิตเกียร์ เป็นต้น ทำให้ลดค่าใช้จ่ายการติดตั้งอุปกรณ์กันระเบิดชนิดอื่น ๆ ที่มีราคาแพง

Increased Safety Type “e” Protection



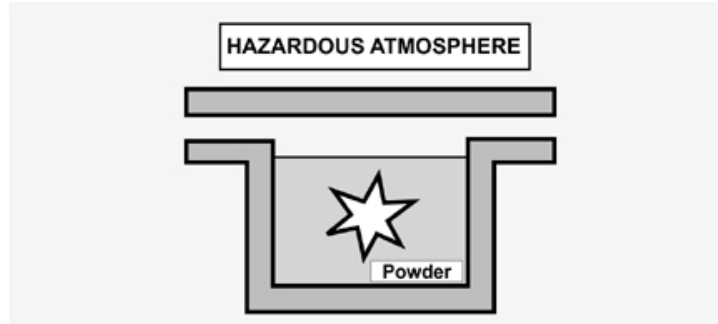
อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งตามปกติจะไม่มีเกิดการอาร์กหรือสปาร์กขึ้นได้ นอกจากนี้มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ดังนั้นการเพิ่มระบบป้องกันเหตุไม่ปกติที่อาจเกิดขึ้นได้จึงเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งจะไม่ปล่อยให้มีความร้อนสูงเกิดขึ้นที่อุปกรณ์นั้นๆ เทคนิคการป้องกันแบบนี้นิยมใช้กับอุปกรณ์การต่อสายไฟ, ระบบแสงสว่าง, มอเตอร์, และเครื่องมือวัด เป็นต้น ในกรณีของกล่องต่อสายไฟ แนวคิดของการป้องกันสามารถทำได้โดย ไม่ออกแบบให้มีการต่อสายหนาแน่นเกินไปภายในกล่องต่อสายเดียว, เลือกใช้อุปกรณ์ต่อสายที่มั่นคงไม่หลุดง่าย, ใช้ฉนวนไฟฟ้าที่ทนความร้อนสูงได้, และหลีกเลี่ยงการต่อสายไฟที่นำกระแสไฟฟ้ามากๆ มาไว้ในกล่องต่อสายเดียวกัน

Oil Immersion Type “o” Protection



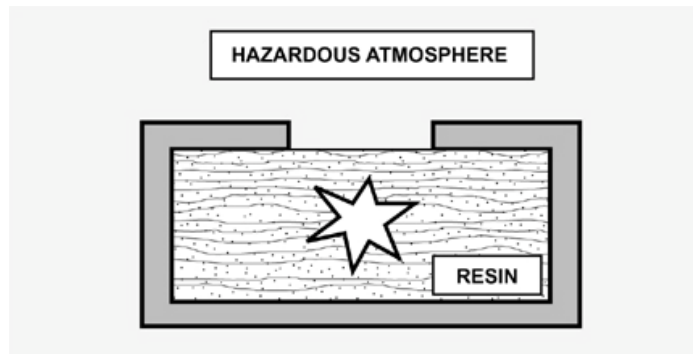
อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้วิธีจุ่มแช่อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนที่มีการอาร์กหรือสปาร์กบ่อยครั้งและอาจจะรุนแรงด้วย ลงไปใน Mineral Oil เพื่อไม่ให้ความร้อนที่เกิดจากประกายไฟสัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง นอกจากนี้น้ำมันที่ใช้แช่ซึ่งมีการหมุนเวียนยังช่วยทำหน้าที่ระบายความร้อนในบริเวณที่เกิดอาร์กด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการอาร์ก จะทำให้น้ำมันบางส่วนเกิดปฏิกิริยาเคมีและได้แก๊ส Hydrogen และ Acetylene ออกมา นอกจากนี้หากเกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรงน้ำมันนี้ก็อาจติดไฟและทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้ วิธีการป้องกันแบบนี้จึงไม่นิยมใช้ในพื้นที่อันตรายเพราะมีความเสี่ยงสูง เทคนิคการป้องกันแบบนี้นิยมใช้กับสวิตช์เกียร์ และหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ เป็นต้น

Powder Filled Type “q” Protection



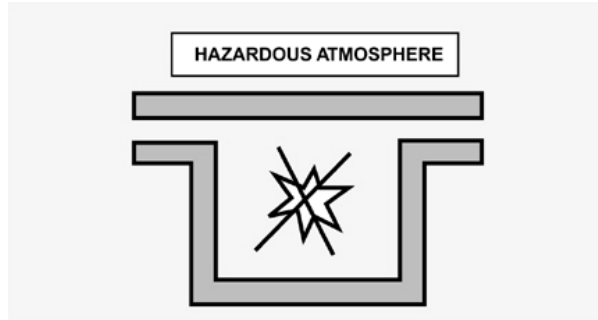
อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้วิธีเติมทรายหรือผงแก้วลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่เกิดจากประกายไฟสัมผัสกับไอระเหยของสารไวไฟได้โดยตรง เทคนิคการป้องกันแบบนี้นิยมใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น คาปาซิเตอร์ และหม้อแปลงขนาดเล็ก เป็นต้น

Encapsulation Type “m” Protection



อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้วิธีการเคลือบปิดส่วนที่อาจมีการอาร์กหรือสปาร์กไว้ด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันมิให้มีไอระเหยของสารไวไฟแทรกเข้าไปสัมผัสกับความร้อนที่เกิดขึ้นได้โดยตรง ฉนวนปิดกั้นการอาร์กที่นิยมใช้ คือ Epoxy Resin, Thermoplastic, thermosetting และ Elastrometic Material เป็นต้น เทคนิคการป้องกันแบบนี้มักใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น Solenoid Valve, Rapid Starter, Resistor, Capacitor, Optoisolator และ Diode เป็นต้น

Non-sparking (Nonincendive) Type “n” Protection



อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งตามปกติจะไม่มีเกิดการอาร์กหรือสปาร์กขึ้น รวมทั้งจะไม่เกิดความร้อนที่เปลือกหุ้มอุปกรณ์สูงจนสามารถทำให้เกิดการจุดติดไฟได้ แต่มีข้อแตกต่างจากจากอุปกรณ์ที่เป็น Intrinsic Safe Type คือ ถ้าเกิดการลัดวงจรขึ้นจะเกิดความร้อนสูงจนทำให้เกิดการจุดระเบิดไอระเหยของสารไวไฟได้ เทคนิคการป้องกันแบบนี้ยังอาจถูกแบ่งเป็นวิธีการป้องกันได้ อีก 3 ชนิด ดังนี้

- ◆ Non-Sparking “nA” คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่จะไม่มีการสปาร์กเกิดขึ้น
- ◆ Hermetically Sealed “nC” คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่มีเปลือกหุ้มปิดสนิทจนไม่มีอากาศเข้าได้เลย
- ◆ Restricted Breathing “nR” คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่จะจำกัดอากาศไม่ให้เข้าหรือออกจากเปลือกหุ้มได้ ทำให้ภายในเปลือกหุ้มส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อาจเกิดสปาร์กไม่มีไอระเหยมากพอที่จะเกิดติดไฟได้
- ◆ Energy Limit “nL” คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่จำกัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าเพื่อไม่ให้เกิดการอาร์กและเกิดความร้อนสูงจนจุดติดไฟไอระเหยของสารไวไฟได้

Special Type “s” Protection

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรหัสการป้องกันแบบนี้จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งมีการออกแบบเพื่อป้องกันการระเบิดด้วยวิธีการอื่นๆ

Hermetically Sealed

คือการเชื่อมประสานเครื่องหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าจนอากาศที่อยู่รอบๆไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ จัดว่าเป็นเทคนิคการป้องกันแบบ Nonincendive ซึ่งอนุญาตให้ใช้งานในพื้นที่อันตราย Class I&II, Division 2 และ Class III เทคนิคการป้องกันแบบนี้ไม่อนุญาตให้ใช้ใน Class I Division 1 ได้เนื่องจากไม่สามารถมั่นใจได้ว่าจะเกิดรอยรั่วหรือไม่ เมื่อใช้ไปนานๆแก๊สอาจซึมผ่านเข้าไปได้

Restricted breathing

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเครื่องห่อหุ้มอย่างมิดชิด (tight seal) หรือใช้ปะเก็น (gasket) เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกแทรกผ่านเข้าออกได้ มักถูกใช้เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มักทำให้เกิดความร้อนสูงขณะที่มีการใช้งานตามปกติ เช่น โคมไฟแสงสว่าง เนื่องจากความร้อนจากหลอดไฟจะทำให้อากาศขยายตัว และแทรกหนีออกจากโคม แต่เมื่อปิดไฟอากาศภายในเย็นลง จะทำให้เกิดสุญญากาศและดูดอากาศที่อยู่รอบๆเข้าไปในโคมไฟ

Non-sparking apparatus

คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เกิดการอาร์ก การสปาร์ก หรือความร้อนสูง ในขณะใช้งานตามปกติ เช่น Junction Box และ Squirrel-Cage Motor จึงไม่เป็นเหตุให้เกิดการจุดระเบิดสารไวไฟที่อยู่ในพื้นที่อันตราย

ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มักเกิดการอาร์ก การสปาร์ก หรือความร้อนสูง คือ relay, circuit breaker, servo-potentiometer, adjustable resistor, switch, non-latching type connector และ motor (brush, slip-ring, capacitor-started, commutator) เป็นต้น

Nonincendive Circuit

คือวงจรไฟฟ้าหรือวิธีการเดินสายไฟฟ้าที่ออกแบบไม่ให้เกิดการอาร์ก การสปาร์ก หรือความร้อนสูงทั้งในภาวะปกติหรือเกิดฟอลท์ภายในวงจร ก็จะไม่ทำให้เกิดการจุดระเบิดสารไวไฟขึ้นได้ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบ (Specified Test Condition) อนุญาตให้ใช้งานในพื้นที่อันตราย Class I&II, Division 2 และ Class III

Nonincendive Component

คือส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกออกแบบให้มีการทำงานโดยไม่สามารถทำให้เกิดการอาร์ก การสปาร์ก หรือความร้อนสูงจนเป็นสาเหตุให้เกิดการจุดระเบิดสารไวไฟขึ้นได้ เนื่องจากมีเครื่องห่อหุ้มป้องกันอย่างดี อนุญาตให้ใช้งานในพื้นที่อันตราย Class I&II, Division 2 และ Class III

Nonincendive Equipment

คือส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกออกแบบให้มีการทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ภายในตัว แต่ไม่สามารถจัดให้เป็น Intrinsically Safe เนื่องจากสามารถทำให้เกิดการอาร์ก การสปาร์ก หรือความร้อนสูงจนเป็นสาเหตุให้เกิดการจุดระเบิดสารไวไฟขึ้นได้กรณีที่มีอุบัติเหตุ

Nonincendive Field Wiring

คือวิธีการเดินสายไฟฟ้าเข้าหรือออกจากอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทำให้เกิดการอาร์ก การสปาร์ก หรือความร้อนสูงจนเป็นสาเหตุให้เกิดการจุดระเบิดสารไวไฟขึ้น แม้ว่าจะเกิดการเปิดวงจร (Opening Circuit) หรือลัดวงจรไฟฟ้า (Shorting Circuit) ก็ตาม

Factory Sealed device

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีโครงสร้างปิดสนิทไม่สามารถเปิดออกได้ สามารถป้องกันการอาร์กหรือสปาร์กจากภายในมิให้จุดติดสารไวไฟที่อยู่รอบๆได้ เนื่องจากมีเครื่องห่อหุ้มที่ปิดสนิทจนสามารถป้องกันอากาศเข้าออก จึงไม่จำเป็นต้องใช้ Sealing Fitting ในการต่อสายไฟ

Dust-Ignitionproof

คือเครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันมิให้ฝุ่นสารผ่านเข้าไปภายในได้เลย และการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะไม่ทำให้เกิดการอาร์ก สปาร์ก หรือความร้อนสูง แต่ถ้าเกิดขึ้นก็ต้องไม่สามารถทำให้เกิดการจุดระเบิดฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ที่อยู่รอบๆ อนุญาตให้ใช้งานในพื้นที่อันตราย Class II&III

Dusttight

เครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นผ่านเข้าไปได้ในการทดสอบ (Specified Test Condition) จัดว่าเป็นเทคนิคการป้องกันแบบ Nonincendive ซึ่งอนุญาตให้ใช้งานในพื้นที่อันตราย Class I&II, Division 2 และ Class III

ตารางที่ 4-1 แสดงการใช้อุปกรณ์แบบการป้องกันการระเบิดกับกลุ่มแก๊สหรือไอระเหย

Protection Types		Class (Division)	Zone
<i>d</i>	Flameproof Enclosure	I (1, 2)	1, 2
<i>e</i>	Increased Safety	I (2)	1, 2
<i>ia</i>	Intrinsic Safety (two faults)	I (1, 2)	0, 1, 2
<i>ib</i>	Intrinsic Safety (one fault)	I (2)	1, 2
<i>o</i>	Oil Immersion	I (2)	2
<i>p</i>	Purged or Pressurized	I (1, 2)	1, 2
<i>q</i>	Powder Filling (Sand Filling)	I (2)	2
<i>m</i>	Encapsulation	I (2)	1, 2
<i>n</i>	Nonsparking or Nonincendive	I (2)	2

ตารางที่ 4-2 แสดงการใช้อุปกรณ์แบบการป้องกันการระเบิดกับกลุ่มฝุ่นสารและเส้นใย

Protection Types	Class (Division)	Zone
Intrinsic Safety	II & III (1, 2)	20, 21, 22
Pressurized	II & III (1, 2)	20, 21, 22
Dust-ignitionproof (NEMA 9)	II & III (1, 2)	
Dusttight (IP 6x)		20, 21, 22
Dusttight	II (2) & III (1, 2)	
Dust Protection (IP 5x)		20, 21, 22
Hermetically Sealed	II (2) & III (1, 2)	20, 21, 22
Nonincendive	II & III (2)	20, 21, 22

4.6 ระดับการป้องกันของเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์

เครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า (Enclosure) ตามมาตรฐานของอเมริกาเหนือคือ NEMA (North American Electrical Manufacturers Association) จะต้องถูกออกแบบให้สามารถป้องกันความชื้น ฝุ่น หรือน้ำได้ ขณะที่มาตรฐานของ IEC มีการกำหนดเครื่องห่อหุ้มในลักษณะเดียวกันแต่เรียกว่า IP (Ingress Protection) classification การใช้รหัสการป้องกันของ IEC นี้จะบอกเป็น IP แล้วตามด้วยตัวเลขสองหลัก โดยหลักที่หนึ่งจะบอกถึงระดับการป้องกันของแข็งและฝุ่นไม่ให้ผ่านเข้าไปในเครื่องห่อหุ้ม และเลขหลักที่สองจะบอกถึงระดับการป้องกันน้ำไม่ให้ผ่านเข้าไปในเครื่องห่อหุ้ม ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 4-3 และเนื่องจากมาตรฐานของทางอเมริกาและยุโรปมีความแตกต่างกัน จึงจะต้องทำความเข้าใจความหมายของการป้องกันจากรหัสของทั้งสองมาตรฐาน

ตารางที่ 4-3 แสดงความหมายของรหัสการป้องกัน IP xy

เลขหลักที่ 1 (x)	ระดับการป้องกันฝุ่นและของแข็ง
0	ไม่มีการป้องกัน
1	วัตถุที่มีขนาด 50 มม. หรือมากกว่า
2	วัตถุที่มีขนาด 12 มม. หรือมากกว่า
3	วัตถุที่มีขนาด 2.5 มม. หรือมากกว่า
4	วัตถุที่มีขนาด 1.0 มม. หรือมากกว่า
5	ป้องกันฝุ่นได้ (Dust Protected)
6	ป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์ (Dust-tight)

เลขหลักที่ 2 (y)	ระดับการป้องกันของเหลว
0	ไม่มีการป้องกัน
1	ป้องกันน้ำหยดใส่
2	ป้องกันน้ำหยดทำมุมเอียง 75° - 105°
3	ป้องกันน้ำแบบพ่นฝอยใส่ (Spraying)
4	ป้องกันน้ำแบบสาดใส่ (Splashing)
5	ป้องกันน้ำแบบฉีดใส่ (Water Jets)
6	ป้องกันน้ำฉีดใส่อย่างแรง (Powerful Water Jets)
7	ป้องกันผลของการจมน้ำ (Effect of Immersion)
8	ป้องกันผลของการแช่อยู่ในน้ำ (Definite Immersion)

ตารางที่ 4-4 แสดงความหมายของรหัสการป้องกันตามมาตรฐาน NEMA

Type	NEMA ออกแบบเพื่อใช้สำหรับ
1	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันการสัมผัส
2	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันน้ำและสิ่งสกปรกตกใส่ ในปริมาณจำกัด
3	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, น้ำฝนและหิมะตกใส่ แต่ไม่กันกระแทกจากลูกเห็บ
3R	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, น้ำฝน และหิมะ สามารถทนการกระแทกจากลูกเห็บตกใส่
3S	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, น้ำฝน หิมะและลูกเห็บตกใส่ กลไกภายนอกยังทำงานได้เมื่อมีน้ำแข็งเกาะ
4	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันน้ำสะอาด
4X	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันน้ำสะอาด และไม่เกิดความเสียหายเมื่อมีน้ำแข็งเกาะ
5	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, สิ่งสกปรก และของเหลวที่ไม่กัดกร่อน (Non-Corrosive Liquids) หยดใส่
6	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันน้ำเข้ากรณีจมน้ำชั่วคราว ระดับไม่ลึกมาก
6P	ใช้ทั้งภายในและนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันน้ำเข้ากรณีจมน้ำเป็นเวลานานๆ ระดับไม่ลึกมาก
7	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันไอระเหยของสารไวไฟในพื้นที่อันตราย Class I, Groups A, B, C, และ D ตามมาตรฐาน NEC
8	ใช้ภายในอาคารหรือนอกอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันไอระเหยของสารไวไฟในพื้นที่อันตราย Class I, Groups A, B, C, และ D ตามมาตรฐาน NEC โดยวิธีจุ่มน้ำมัน (Oil Immersed)
9	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่นที่จุดติดไฟได้ในพื้นที่อันตราย Class II, Groups E, F และ G ตามมาตรฐาน NEC
10	มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันสารไวไฟสำหรับใช้งานในเหมืองถ่านหินได้
11	ใช้ภายในอาคาร ป้องกันโดยวิธีจุ่มน้ำมัน (Oil Immersed) สามารถป้องกันสารกัดกร่อนที่เป็นของเหลวหรือแก๊สได้ (Corrosive Liquids and Gases)
12	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, สิ่งสกปรกตกใส่ และของเหลวที่ไม่สามารถกัดกร่อนได้ (Non-Corrosive Liquids)
12K	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, สิ่งสกปรกตกใส่อย่างรุนแรง (knockouts) และของเหลวที่ไม่สามารถกัดกร่อนได้ (Non-Corrosive Liquids)
13	ใช้ภายในอาคาร มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่น, เส้นใย, น้ำซึมเข้า, น้ำฝนใส่, น้ำมัน และน้ำหล่อเย็นที่ไม่กัดกร่อน (Non-Corrosive Coolant)

4.7 ระดับอุณหภูมิการทำงานสูงสุดของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Temperature Classification)

สารชนิดต่างๆที่สามารถเผาไหม้ได้เมื่อได้สัมผัสกับความร้อนสูงถึงค่าหนึ่งจะสามารถลุกไหม้ได้เองโดยไม่ต้องใช้ประกายไฟหรือเปลวไฟช่วย ค่าอุณหภูมิระดับต่ำที่สุดที่สารชนิดหนึ่งจะสามารถลุกไหม้ได้เองนี้เรียกว่า Auto-Ignition Temperature (AIT) ซึ่งค่า AIT ของสารไวไฟแต่ละชนิดจะเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของสารไวไฟที่ผสมกับอากาศ, รูปร่างและขนาดของผิวสัมผัสที่มีความร้อนสูง, ช่วงเวลาที่สัมผัสกับความร้อนสูง, อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน, และความเข้มข้นของออกซิเจน เป็นต้น

ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่สารไวไฟจะสามารถลุกไหม้ได้ จะเป็นเครื่องบ่งชี้ว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทที่มักจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นขณะใช้งาน เช่น โคมไฟ มอเตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องทำความร้อน เป็นต้น จะเหมาะสมที่จะใช้งานในพื้นที่ที่มีสารไวไฟหรือไม่

มาตรฐาน IEC และ NEC ได้มีการแบ่งช่วงระดับอุณหภูมิการทำงานสูงสุดสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และมีรหัสแสดงระดับอุณหภูมิ (T code) ตามที่แสดงในตารางที่ 4-5 โดยก่อนที่จะเลือกรหัสอุณหภูมิสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากผู้ออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายจะต้องทราบว่าในพื้นที่นั้นอาจจะมีสารไวไฟชนิดใดบ้างที่มีอยู่และอาจเกิดการรั่วไหลในปริมาณมากพอให้เกิดการจุดติดไฟได้ เช่น แก๊ส/ไอระเหย/ละอองของสารไวไฟ หมอกฝุ่นและตะกอนฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ เป็นต้น จากนั้นจะต้องพิจารณาว่าสารไวไฟชนิดใด มีค่าอุณหภูมิการลุกไหม้ได้เองต่ำที่สุดและมีค่าเท่าไร ค่าระดับอุณหภูมิตั้งกล่าวจะต้องสูงกว่าค่าอุณหภูมิตามรหัส T code ที่ต้องการ

ตารางที่ 4-5 ระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ผิวหน้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า
(Classification of Maximum Surface Temperature)

NEC 500 : T Code	IEC : T Code	ระดับอุณหภูมิสูงสุด
T1	T1	$\leq 450^{\circ}\text{C}$
T2	T2	$\leq 300^{\circ}\text{C}$
T2A		$\leq 280^{\circ}\text{C}$
T2B		$\leq 260^{\circ}\text{C}$
T2C		$\leq 230^{\circ}\text{C}$
T2D		$\leq 215^{\circ}\text{C}$
T3	T3	$\leq 200^{\circ}\text{C}$
T3A		$\leq 180^{\circ}\text{C}$
T3B		$\leq 165^{\circ}\text{C}$
T3C		$\leq 160^{\circ}\text{C}$
T4	T4	$\leq 135^{\circ}\text{C}$
T4A		$\leq 120^{\circ}\text{C}$
T5	T5	$\leq 100^{\circ}\text{C}$
T6	T6	$\leq 85^{\circ}\text{C}$

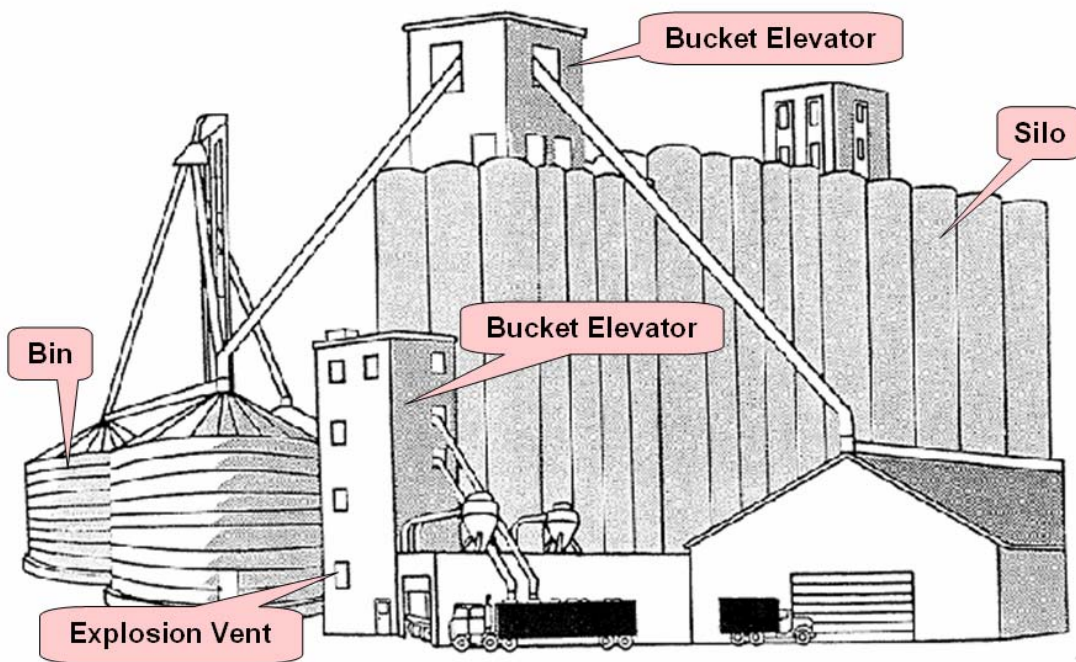
ตารางที่ 4-6 แสดงตัวอย่างค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟจะลุกไหม้ได้เอง

ประเภท	กลุ่มสาร	ชื่อสารไวไฟ	Ignition Temperature (°C)
แก๊ส	A	Acetylene	305
แก๊ส	B	Hydrogen	520
ไอระเหย	C	Acetaldehyde	175
แก๊ส	C	Hydrogen Sulfide	260
ไอระเหย	D	Toluene	480
แก๊ส	D	Propane	450

ตารางที่ 4-7 แสดงตัวอย่างค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่หมอกฝุ่นหรือตะกอนฝุ่นจะลุกไหม้ได้เอง

ประเภท	กลุ่มสาร	ชื่อสารไวไฟ	Ignition Temperature (°C)
หมอกฝุ่น	E	Aluminum	550
ชั้นตะกอนฝุ่น	E	Manganese	240
ชั้นตะกอนฝุ่น	F	Charcoal	180
ชั้นตะกอนฝุ่น	G	Milk	200
ชั้นตะกอนฝุ่น	G	Vitamin C	280
ชั้นตะกอนฝุ่น	G	Wood Flour	260

บทที่ 5 มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2



รูปที่ 5-1 แสดงตัวอย่างพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2

5.1 การจัดแบ่งกลุ่มฝุ่นสาร (Dust Grouping)

ฝุ่นสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการจุดระเบิดที่แตกต่างกัน เราจึงต้องออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อให้มีระดับการป้องกันสำหรับฝุ่นสารแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน มาตรฐานการออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบ ป้องกันการระเบิดของฝุ่นสารจึงมีการแบ่งฝุ่นสารออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. **กลุ่ม E คือ กลุ่ม ฝุ่นโลหะ (Metal Dust)** ถูกกำหนดให้เป็นกลุ่มฝุ่นสารที่อันตรายที่สุด เนื่องจากเหตุผลสองประการ คือ
 - ฝุ่นโลหะมีความคม (abrasive) ถ้าฝุ่นเข้าไปแทรกตามข้อต่อหรือสายพานของเครื่องจักรจะทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนสูงจนเกิดการจุดระเบิดขึ้นได้
 - ฝุ่นโลหะสามารถนำไฟฟ้าได้ (Electrically Conductive) เพราะมีค่าความต้านทานต่ำกว่า 102 ohm-centimeter ดังนั้นฝุ่นที่แทรกผ่านเข้าไปในเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า และเป็นเหตุให้เกิดการจุดระเบิดได้

2. **กลุ่ม F คือ ฝุ่นคาร์บอนหรือถ่าน (Carbonaceous Dust)** ถูกจัดเป็นกลุ่มฝุ่นสารที่มีอันตรายระดับปานกลางเนื่องจากเหตุผลสองประการ คือ

- ฝุ่นถ่านมีความคมไม่มากนัก ถ้าฝุ่นเข้าไปแทรกตามข้อต่อหรือสายพานของเครื่องจักร อาจจะทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนสูงขึ้นได้
- ฝุ่นถ่านสามารถนำไฟฟ้าได้ปานกลาง เพราะมีค่าความต้านทานระหว่าง 102 ถึง 108 ohm-centimeter ดังนั้นฝุ่นที่แทรกผ่านเข้าไปในเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า อาจจะทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า และเป็นเหตุให้เกิดการจุดระเบิดได้

3. **กลุ่ม G คือ ฝุ่นที่ไม่นำไฟฟ้า (Nonconductive Dust)** ถูกจัดเป็นกลุ่มฝุ่นสารที่มีอันตรายน้อยกว่ากลุ่ม E และ F เนื่องจากเหตุผลสองประการ คือ

- ฝุ่นแป้ง สารเคมี หรือพลาสติกจะมีความอ่อนนุ่ม ถ้าฝุ่นเหล่านี้เข้าไปแทรกตามข้อต่อหรือสายพานของเครื่องจักร จะไม่ทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนสูงขึ้นได้
- ฝุ่นสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจะมีค่าความต้านทานมากกว่า 108 ohm-centimeter ดังนั้นฝุ่นที่แทรกผ่านเข้าไปในเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้า จะไม่ทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า และเป็นเหตุให้เกิดการจุดระเบิดได้

Pyrophoric และ High Explosive Materials

ฝุ่นสารชนิด Pyrophoric Material คือฝุ่นสารซึ่งสามารถจุดระเบิดได้เองเมื่อสัมผัสกับอากาศ แม้จะมีอุณหภูมิเพียง 20°C ตัวอย่างเช่น Phosphorous Compound, Zirconium Powder, Thorium และ Aluminum Alkyl Solution ส่วนฝุ่นสารที่เป็น High Explosive Material คือฝุ่นสารที่ทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงได้ เช่น ดินระเบิด

สถานที่ที่มีฝุ่นสารอันตรายเหล่านี้จะมีความเสี่ยงที่จะเกิดการระเบิดมากกว่าพื้นที่ที่มีฝุ่นสารทั่วไป สาเหตุของการจุดระเบิดเกิดขึ้นได้จากสาเหตุอื่น ๆ ได้มากกว่า ที่จะเกิดการจุดระเบิดจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากนี้การระเบิดจากวัตถุระเบิดจะมีความรุนแรงมากกว่าการระเบิดของฝุ่นสารที่มีอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปอีกด้วย ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและมาตรฐานความปลอดภัยอื่น ๆ ในสถานที่เหล่านี้จึงจำเป็นต้องใช้มาตรฐานการป้องกันที่สูงขึ้นกว่าระดับปกติ

ตารางที่ 5-1 แสดงตัวอย่างฝุ่นสารในกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม E	กลุ่ม F	กลุ่ม G
Aluminum	Carbon black	Flour
Magnesium	Coal	Cellulose Acetate
Manganese	Coke Dust	Aspirin
Tantalum	Charcoal	Epoxy

5.2 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2

วิธีการป้องกันสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 จะแตกต่างจากที่ใช้ติดตั้งในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 ดังนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองให้ใช้ได้ในพื้นที่ที่มีแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ จึงอาจจะไม่ได้รับรองให้ใช้ในพื้นที่ที่มีฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ไฟฟ้าบางส่วนได้รับการทดสอบ และพบว่าสามารถป้องกันการระเบิดได้ในพื้นที่อันตรายทั้งสองประเภท วิธีการป้องกันที่ได้รับการรับรองให้ใช้ได้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 ตามมาตรฐาน NFPA มี 4 วิธี ดังนี้

- 5.2.1 **Dust-ignitionproof Equipment** คือ อุปกรณ์ที่มีเครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นไม่ให้เข้าไปภายในอุปกรณ์ จนทำให้การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เกิดความบกพร่อง ผิดพลาด หรือลดประสิทธิภาพลง ตามมาตรฐาน National Electrical Manufacturers Association (NEMA) เครื่องห่อหุ้มชนิด Dust-ignitionproof Enclosure คือ NEMA 9



รูปที่ 5-2 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof



รูปที่ 5-3 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof



รูปที่ 5-4 แสดงตัวอย่างโคมไฟลูออเรสเซนต์ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof



รูปที่ 5-5 แสดงตัวอย่างโคมไฟที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof



รูปที่ 5-6 แสดงตัวอย่างสวิตช์ควบคุมที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof



รูปที่ 5-7 แสดงตัวอย่างตัวรับที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof
ใช้สำหรับกลุ่มฝุ่นสาร F และ G

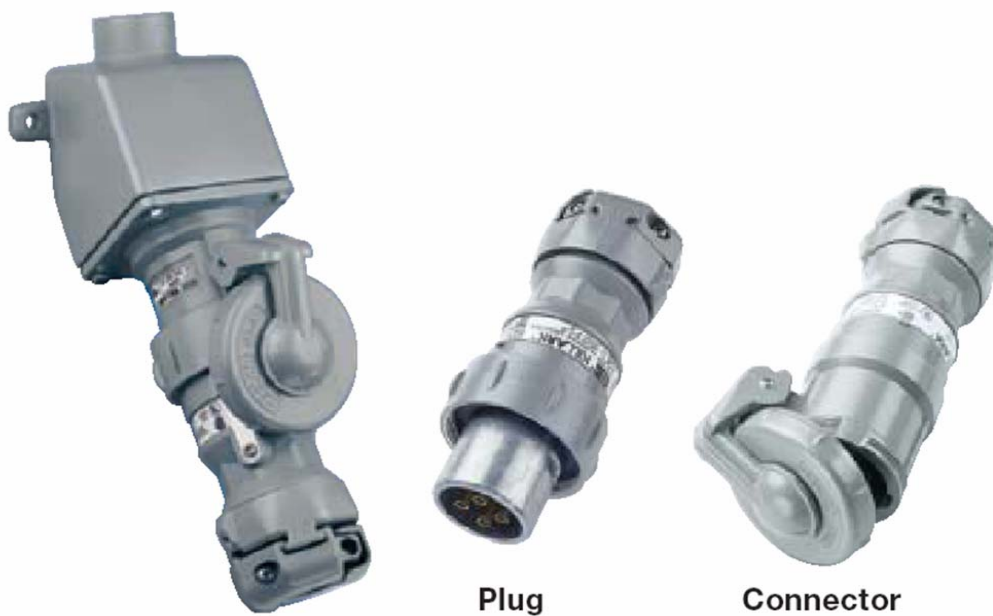


รูปที่ 5-8 แสดงตัวอย่างตู้ควบคุมที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof

5.2.2 **Dusttight Equipment** คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นได้ ตามสภาวะที่ทำการทดสอบ ตามมาตรฐาน National Electrical Manufacturers Association (NEMA) เครื่องห่อหุ้มชนิด Dusttight Enclosure คือ NEMA 3, 3S, 4, 4X, 6, 6P, 12, 12K, และ 13



รูปที่ 5-9 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight



รูปที่ 5-10 แสดงตัวอย่างปลั๊กและตัวรับไฟฟ้าที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight

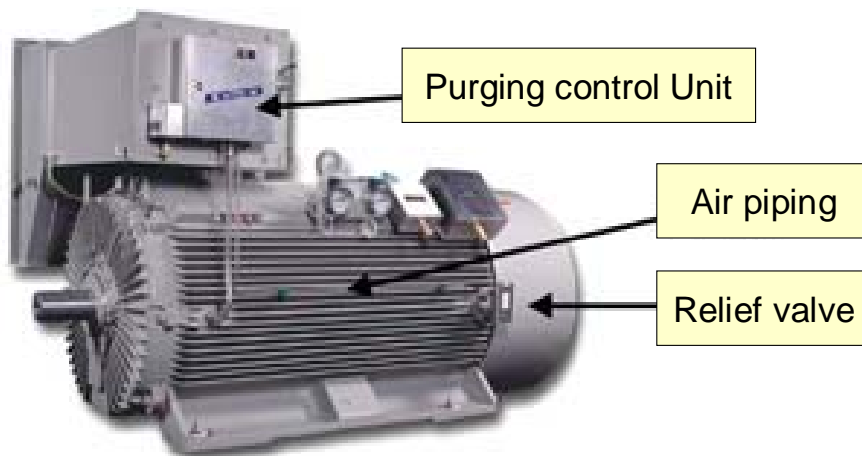


รูปที่ 5-11 แสดงสายต่อตัวรับชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่มีเครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight

- 5.2.3 **Pressurized Equipment** คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีระบบอัดอากาศสะอาดหรือแก๊สเฉื่อยเข้าไปภายในเครื่องห่อหุ้มของอุปกรณ์ และพยายามรักษาระดับความดันอากาศภายในเครื่องห่อหุ้ม ให้สูงกว่าความดันอากาศภายนอก เพื่อป้องกันมิให้ฝุ่นสารที่อยู่รอบๆ ผ่านเข้าไปได้

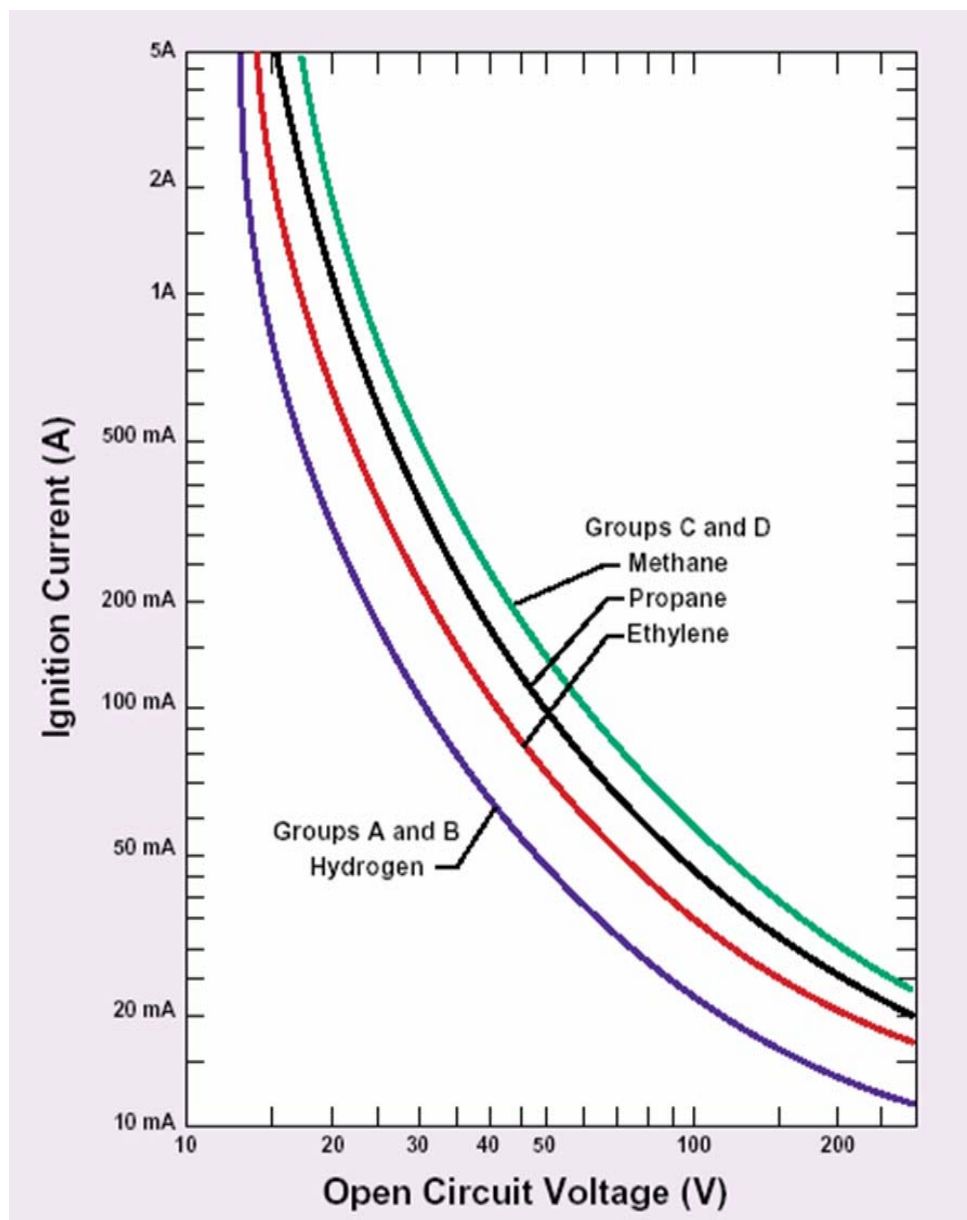


รูปที่ 5-12 แสดงตัวอย่างตู้ควบคุมที่มีเครื่องห่อหุ้มแบบอัดอากาศ (Pressurized Enclosure)

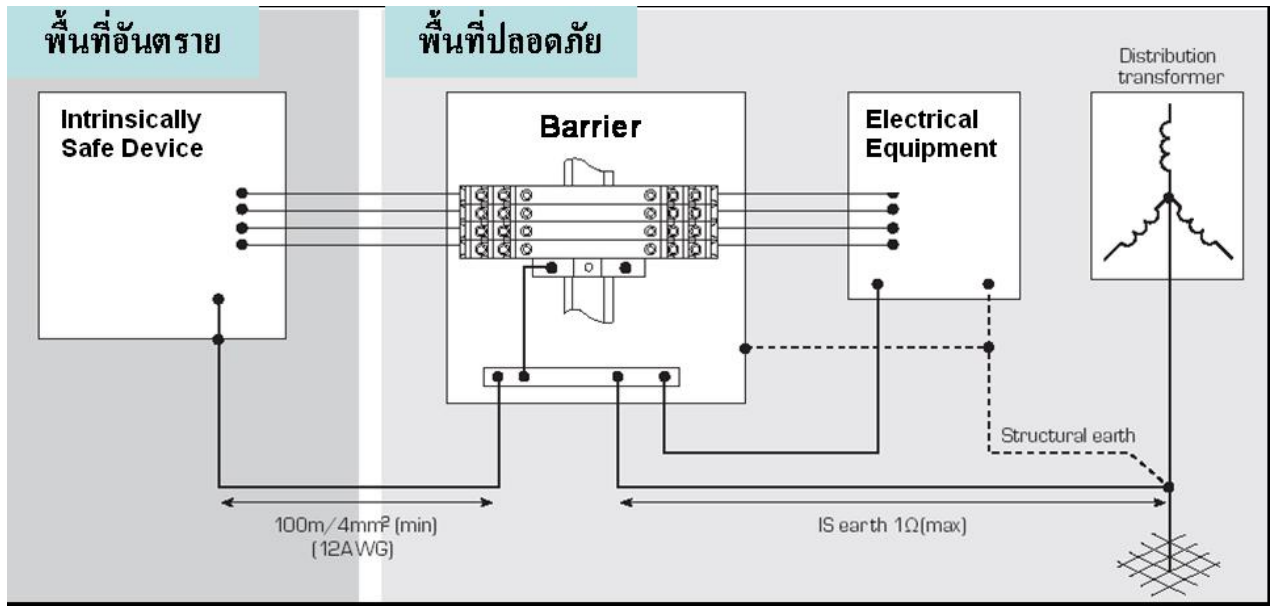


รูปที่ 5-13 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่มีเครื่องห่อหุ้มแบบอัดอากาศ (Pressurized Enclosure)

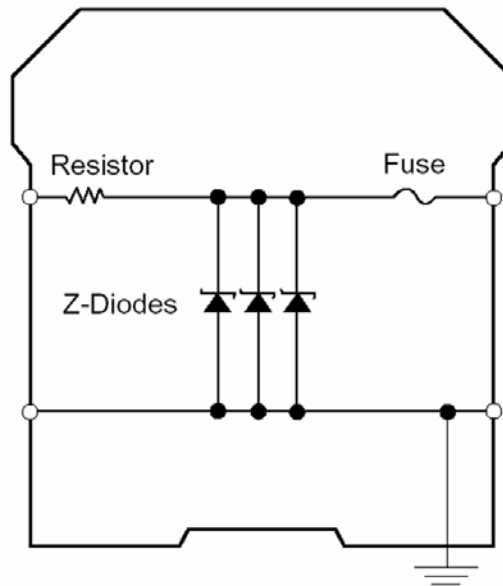
5.2.4 **Intrinsically Safe Apparatus** คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการใช้และเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าต่ำมาก การเกิดสปาร์ก การลัดวงจร หรือความร้อนจากการใช้งาน จะไม่สามารถเป็นเหตุให้หมอกฝุ่นเกิดการจุดระเบิดขึ้นได้ นอกจากนี้ วงจรไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องมีอุปกรณ์จำกัดพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า Barrier และมีการเดินสายไฟฟ้าแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่นๆ เพื่อป้องกันการลัดขั้ววงจรหรือการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า



รูปที่ 5-14 แสดง Ignition Curve ของแก๊สและไอระเหยของสารไวไฟ ซึ่งมีพลังงานการจุดระเบิดต่ำกว่าหมอกฝุ่น



รูปที่ 5-15 แสดงตัวอย่างการติดตั้งวงจรไฟฟ้าแบบ Intrinsically Safe



รูปที่ 5-16 แสดงตัวอย่าง Barrier สำหรับจำกัดพลังงานไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าแบบ Intrinsically safe



รูปที่ 5-17 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบ Intrinsically Safe

5.3 ข้อกำหนดการใช้และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า

5.3.1 พื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 (Class II, Division 1 Location)

- **คาปาซิเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง**

ไม่อนุญาตให้ติดตั้งคาปาซิเตอร์หรือหม้อแปลงไฟฟ้าภายในพื้นที่อันตรายที่มี ฝุ่นสารโลหะ

- **คาปาซิเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่บรรจุของเหลวที่ติดไฟได้**

หม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ชนิดจุ่มในน้ำมัน (Oil-Insulated type) จะต้องติดตั้งภายในห้องที่มีผนังปิดล้อมมิดชิด (Vault) ผนัง พื้น และเพดานของห้องหม้อแปลงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว สามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ช่องเปิดหรือประตูทนไฟที่ต่อเนื่องไปยังพื้นที่อันตราย จะต้องมิดชิดกันอากาศและฝุ่น และปิดได้เอง เพื่อลดโอกาสที่ฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้จะลอยผ่านเข้ามาได้ พร้อมทั้งมีระบบระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอย่างเพียงพอตลอดเวลา หม้อแปลงขนาดพิกัดมากกว่า 100 kVA จะต้องมียंत्रระบายน้ำมันหรือน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการนองขังภายในห้อง และต้องไม่มีวัสดุอื่นเก็บอยู่ภายในห้อง

- **คาปาซิเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่ไม่มีของเหลวที่ติดไฟได้**

หม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ชนิดแห้ง (Dry type) จะต้องติดตั้งภายในห้องที่มีผนังปิดล้อมมิดชิด (Vault) ผนัง พื้น และเพดานของห้องหม้อแปลงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว สามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งมีระบบระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอย่างเพียงพอตลอดเวลา โดยไม่ปล่อยให้ถึงความชื้นสูงภายในห้อง
- **มอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**

มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะติดตั้งใช้งาน จะต้องมียูนิทหุ้มปิดสนิท (Totally Enclosed) หรือมีระบบการระบายอากาศโดยใช้ท่อลม (Ventilating Pipe) และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 และจะต้องมีระดับอุณหภูมิการใช้งานไม่เกินค่าที่แสดงในตารางที่ 5-2
- **โคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนย้ายได้**

โคมไฟแสงสว่างที่อนุญาตให้ใช้ในพื้นที่ยานยนต์ จะต้องมียูนิทกั้น (Guard) เพื่อป้องกันการกระแทกครอบแก้ว และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 ถ้าพื้นที่อันตรายมีฝุ่นโลหะ โคมไฟแสงสว่างที่จะใช้ต้องได้รับการรับรองว่าสามารถใช้ได้ในพื้นที่อันตรายที่มีฝุ่นสารกลุ่ม E

โคมไฟชนิดแขวน (Pendant Fixture) โดยจะถูกแขวนยึดด้วยท่อร้อยสายไฟแบบตีเกลียว หรือโซ่ ก็ได้ ในกรณีที่ยึดโคมด้วยท่อร้อยสายไฟ และมีความยาวมากกว่า 12 นิ้ว จะต้องทำการยึดค้ำปลายท่อแบบถาวรเพื่อไม่ให้ตัวโคมเกิดการแกว่ง
- **ปลั๊ก และเต้ารับไฟฟ้า**

ปลั๊กและเต้ารับไฟฟ้าจะต้อง เป็นชนิดที่มีขั้วต่อกราวด์ และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้ในพื้นที่ยานยนต์ประเภทที่ 2
- **อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเปิด-ปิดวงจร เช่น สวิตช์ เบรกเกอร์ และฟิวส์**

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการอาร์กหรือสปาร์กในขณะที่ใช้งานตามปกติ จะต้องมียูนิทหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้ในพื้นที่ยานยนต์ประเภทที่ 2 ในบริเวณที่มีฝุ่นโลหะหรือฝุ่นสารที่นำไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะใช้ ต้องได้รับการรับรองว่าสามารถใช้ได้ในพื้นที่ยานยนต์ที่มีฝุ่นสารกลุ่ม E
- **ตัวต้านทานไฟฟ้า ขดลวดไฟฟ้า รีเลย์ และหม้อแปลงสำหรับระบบควบคุม**

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความร้อนในขณะที่ใช้งานตามปกติ หรือมีกลไกการตัดต่อวงจร จะต้องมียูนิทหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้ในพื้นที่ยานยนต์ประเภทที่ 2 ในบริเวณที่มีฝุ่นโลหะหรือฝุ่นสารที่นำไฟฟ้าได้ จะต้องได้รับการรับรองว่าสามารถใช้ได้ในพื้นที่ยานยนต์ที่มีฝุ่นสารกลุ่ม E

- **กล่องต่อสายไฟ และเครื่องประกอบ**

อุปกรณ์ต่อสายไฟและเครื่องประกอบจะต้องมีเครื่องห่อหุ้มชนิดกันฝุ่น (Dusttight) ถ้าจะใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่มีฝุ่นสารในกลุ่ม E จะต้องได้รับการรับรองว่าใช้ได้สำหรับ Class II Location

- **การเดินสายไฟ**

การเดินสายไฟในพื้นที่อันตรายจะต้องใช้ท่อร้อยสายไฟชนิด Threaded Rigid Metal Conduit (RMC), Threaded Steel Intermediate Metal Conduit (IMC) หรือใช้สายไฟชนิด Mineral Insulated Cable (MI) และ Metal Clad-Cable (MC) พร้อมเครื่องประกอบการเข้าสายไฟชนิดกันฝุ่น

- **การเข้าสายด้วยท่ออ่อน(Flexible Connection)**

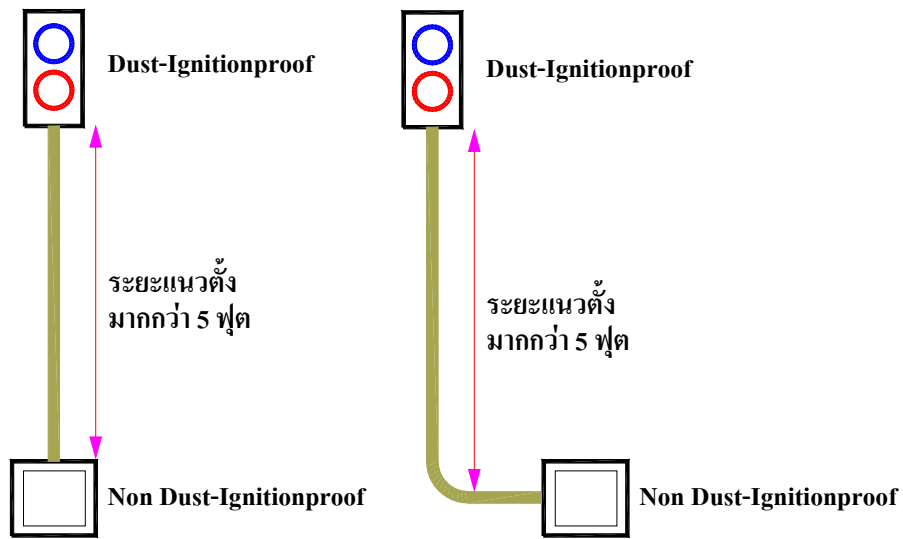
หากจำเป็นจะต้องทำการเข้าสายอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ท่ออ่อน จะต้องใช้ท่อพร้อมทั้งเครื่องประกอบที่มีความแข็งแรง ชนิดกันฝุ่น (Dusttight) และกันน้ำ (Liquidtight) แต่ถ้าจะเข้าสายโดยใช้สายไฟหุ้มฉนวน (Flexible Cord) เปลือกหุ้มสายไฟจะต้องมีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดกร่อน และการกระแทก โดยการเข้าสายไฟต้องมีเครื่องป้องกันฝุ่นผ่านเข้าไปภายในอุปกรณ์ได้

- **การใช้สายไฟอ่อน(Flexible Cord)**

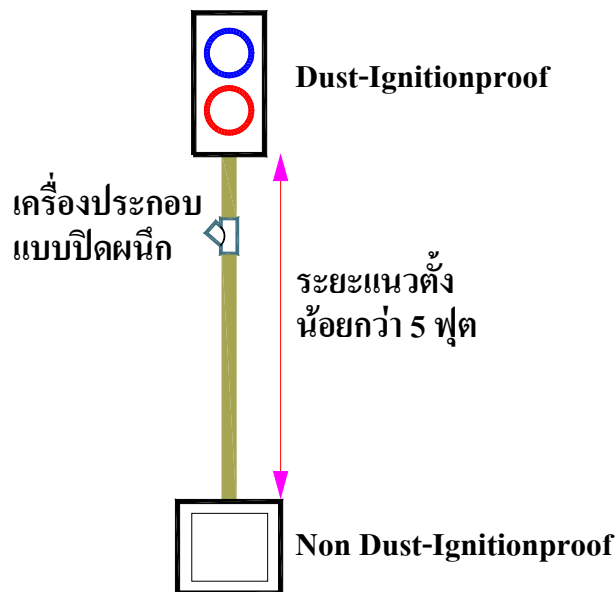
หากจำเป็นจะต้องเดินสายไฟโดยใช้สายไฟอ่อนโดยไม่ผ่านท่อร้อยสาย จะต้องใช้สายไฟที่มีฉนวนและเปลือกหุ้มสายไฟที่มีความแข็งแรง และสามารถกันการกระแทก หรือบิดทับได้ และจะต้องเป็นชนิดที่มีตัวนำกราวด์ (Grounding Conductor) เมื่อทำการเข้าสายไฟกับอุปกรณ์ จะต้องทำการใช้อุปกรณ์เข้าสายแบบป้องกันฝุ่นระดับเดียวกับเครื่องห่อหุ้มของอุปกรณ์นั้น ในกรณีที่ใช้ติดตั้งแบบถาวร จะต้องมีการยึดสายไฟ เพื่อป้องกันการเกิดการดึงรั้งสายไฟจากอุปกรณ์ที่เข้าสาย

- **เครื่องประกอบปิดผนึก(Sealing Fitting)**

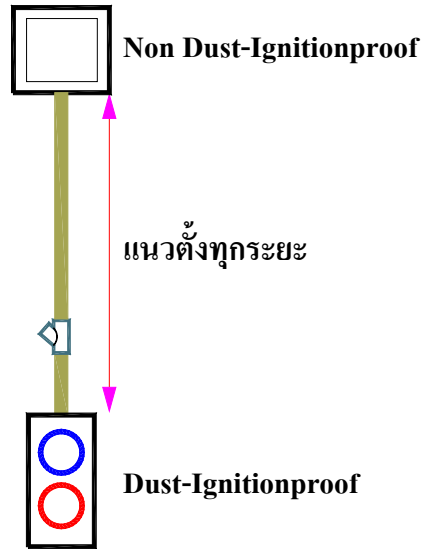
การเดินท่อร้อยสายไฟเข้าเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ อาจเป็นช่องทางให้ฝุ่นสารผ่านเข้าไปภายในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่นแบบ Dust-Ignitionproof จะไม่อนุญาตให้มีฝุ่นผ่านเข้าไปได้เลย ดังนั้นการเดินสายไฟร้อยท่อระหว่างอุปกรณ์ที่มีการป้องกันฝุ่นแบบ Dust-Ignitionproof กับอุปกรณ์ที่มีการป้องกันฝุ่นแบบอื่นๆ (Non Dust-Ignitionproof) จึงจะต้องมีเครื่องประกอบปิดผนึกเพื่อช่วยป้องกันฝุ่น ตามข้อกำหนดตามรูปที่ 5-18 ถึง 5-22



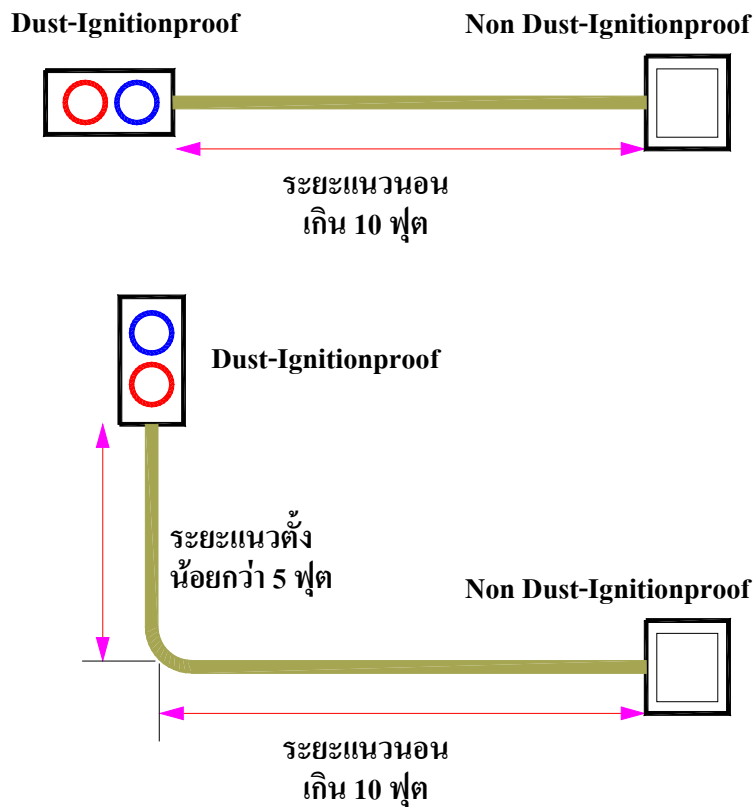
รูปที่ 5-18 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟ ในแนวตั้งอุปกรณ์ชนิด Dust-Ignitionproof อยู่สูงกว่าระยะ 5 ฟุต
ไม่ต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก



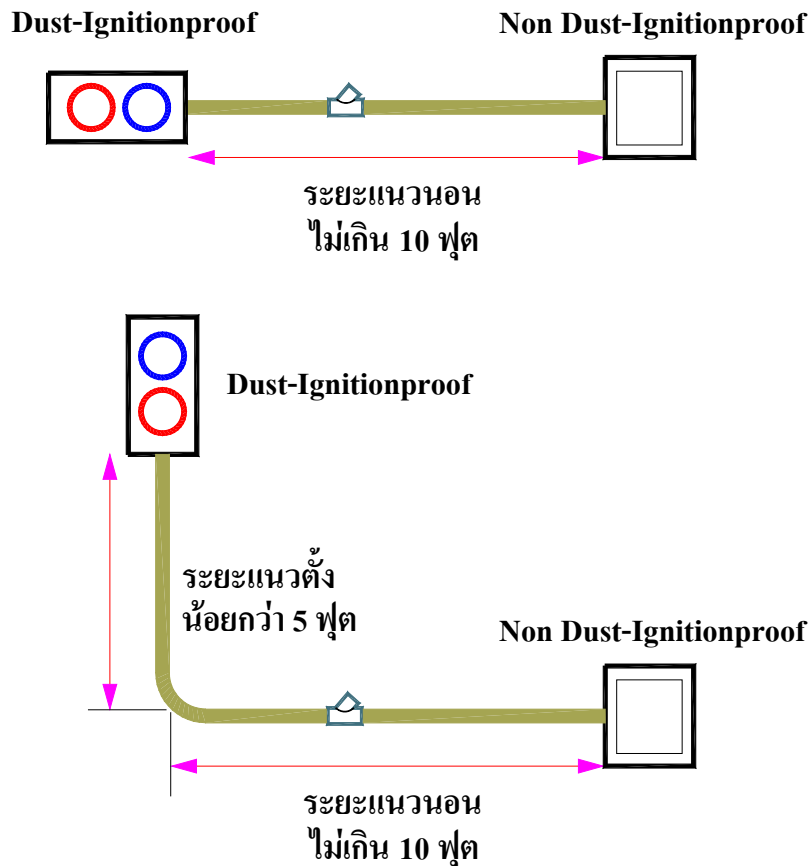
รูปที่ 5-19 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวตั้ง อุปกรณ์ชนิด Dust-Ignitionproof อยู่สูงไม่เกินระยะ 5 ฟุต
จะต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก



รูปที่ 5-20 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวตั้ง อุปกรณ์ชนิด Dust-Ignitionproof อยู่ต่ำกว่าในทุกระยะ จะต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก



รูปที่ 5-21 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวนอน อุปกรณ์ชนิด Dust-Ignitionproof ห่างจากอุปกรณ์แบบอื่นในระยะเกินกว่า 10 ฟุต ไม่ต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก



รูปที่ 5-22 แสดงการติดตั้งท่อร้อยสายไฟในแนวนอน อุปกรณ์ชนิด Dust-Ignitionproof ห่างจากอุปกรณ์แบบอื่นในระยะน้อยกว่า 10 ฟุต จะต้องใช้เครื่องประกอบปิดผนึก

5.3.2 พื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 2 (Class II, Division 2 Location)

- คาปาซิเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่บรรจุของเหลวที่ติดไฟได้
หม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ชนิดจุ่มในน้ำมัน (Oil-Insulated type) จะต้องติดตั้งภายในห้องที่มีผนังปิดล้อมมิดชิด (Vault) ผนัง พื้น และเพดานของห้องหม้อแปลงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว สามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งมีระบบระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอย่างเพียงพอตลอดเวลา หม้อแปลงขนาดพิกัดมากกว่า 100 kVA จะต้องมียंत्रระบายน้ำมันหรือน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการนองขังภายในห้อง และต้องไม่มีวัสดุอื่นเก็บอยู่ภายในห้อง

- **หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่ไม่มีของเหลวที่ติดไฟได้**

หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer) จะต้องติดตั้งภายในห้องที่มีผนังปิดล้อมมิดชิด (Vault) ผนัง พื้น และเพดานของห้องหม้อแปลงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว สามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งมีระบบระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอย่างเพียงพอตลอดเวลา โดยไม่ปล่อยให้ถึงความชื้นสูงภายในห้อง

หม้อแปลงขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 600 V และมีโครงสร้างโลหะปิดล้อมชั่วคราวต่อสายไฟของหม้อแปลง โดยไม่มีช่องเปิดระบายอากาศ สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องอยู่ในห้องหม้อแปลง

- **มอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**

มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะติดตั้งใช้งาน จะต้องมีการห่อหุ้มปิดสนิท (Totally Enclosed) หรือมีระบบการระบายอากาศโดยใช้ท่อลม (Ventilating Pipe) และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 และจะต้องมีระดับอนุกรมการใช้น้ำมันไม่เกินค่าที่แสดงในตารางที่ 5-2

- **โคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนย้ายได้**

โคมไฟแสงสว่างที่อนุญาตให้ใช้ในพื้นที่อันตราย จะต้องมีการกักบัง (Guard) เพื่อป้องกันการกระแทกครอบแก้ว และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 แบบที่ 1 โคมไฟชนิดแขวน (Pendant Fixture) โดยจะถูกแขวนยึดด้วยท่อร้อยสายไฟแบบทีเกลียว หรือโซ่ก็ได้ ในกรณีที่ยึดโคมด้วยท่อร้อยสายไฟ และมีความยาวมากกว่า 12 นิ้ว จะต้องทำการยึดค้ำปลายท่อแบบถาวรเพื่อไม่ให้ตัวโคมเกิดการแกว่ง

- **ปลั๊ก และเต้ารับไฟฟ้า**

ปลั๊กและเต้ารับไฟฟ้าจะต้อง เป็นชนิดที่มีขั้วต่อกราวด์ และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2

- **อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเปิด-ปิดวงจร เช่น สวิตช์ เบรกเกอร์ และฟิวส์**

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการอาร์กหรือสปาร์กในขณะที่ใช้งานตามปกติ จะต้องมีการห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight และได้รับการรับรองว่าเหมาะสมที่จะใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2

- **ตัวต้านทานไฟฟ้า**

ตัวต้านทานไฟฟ้า ที่ทำให้เกิดความร้อนในขณะที่ใช้งานตามปกติ จะต้องมีการห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dust-ignitionproof เว้นแต่จะมีอนุกรมการใช้น้ำมันไม่เกิน 120°C ซึ่งจะต้องบรรจุภายในเครื่องห่อหุ้มโลหะ โดยไม่มีช่องเปิดเพื่อระบายอากาศ

- **ขดลวดไฟฟ้า และหม้อแปลงสำหรับระบบควบคุม**

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบเป็น ขดลวดไฟฟ้า (Coil หรือ Winding) ที่ทำให้เกิดความร้อนในขณะที่ใช้งานตามปกติ จะต้องบรรจุภายในเครื่องห่อหุ้มโลหะ โดยไม่มีช่องเปิดเพื่อระบายอากาศ

- **รีเลย์**

รีเลย์สำหรับวงจรควบคุมหรือป้องกัน ซึ่งจะมีกลไกการตัดต่อวงจร จะต้องมีการห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight

- **กล่องต่อสายไฟ และเครื่องประกอบ**

อุปกรณ์ต่อสายไฟและเครื่องประกอบจะต้องมีเครื่องห่อหุ้มชนิดกันฝุ่น แต่ไม่จำเป็นต้องได้รับการรับรองว่าใช้สำหรับพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 ในกรณีที่มีช่องเปิดสำหรับเข้าสายไฟ หรือช่องใส่สกรู จะต้องทำการปิดช่องทั้งหมด เพื่อไม่ให้ฝุ่นผ่านเข้าไปได้

- **การเดินสายไฟ**

การเดินสายไฟในพื้นที่อันตรายจะต้องใช้ท่อร้อยสายไฟชนิด Rigid Metal Conduit (RMC), Steel Intermediate Metal Conduit (IMC), Electrical Metallic Tubing (EMT), Dust-tight Wireway หรือใช้สายไฟชนิด Mineral Insulated Cable (MI), Metal-Clad Cable (MC) และ Shielded Nonmetallic Sheathed Cable (SNM) พร้อมเครื่องประกอบการเข้าสายไฟชนิดกันฝุ่น

- **การเข้าสายด้วยท่ออ่อน (Flexible Connection)**

หากจำเป็นจะต้องทำการเข้าสายอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ท่ออ่อน จะต้องใช้ท่อพร้อมทั้งเครื่องประกอบที่มีความแข็งแรง ชนิดกันฝุ่น (Dusttight) และกันน้ำ (Liquidtight) แต่ถ้าจะเข้าสายโดยใช้สายไฟหุ้มฉนวน (Flexible Cord) เปลือกหุ้มสายไฟจะต้องมีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดกร่อน และการกระแทก โดยการเข้าสายไฟต้องมีเครื่องป้องกันฝุ่นผ่านเข้าไปภายในอุปกรณ์ได้

- **การใช้สายไฟอ่อน (Flexible Cord)**

หากจำเป็นจะต้องเดินสายไฟโดยใช้สายไฟอ่อนโดยไม่ผ่านท่อร้อยสาย จะต้องใช้สายไฟที่มีฉนวนและเปลือกหุ้มสายไฟที่มีความแข็งแรง และสามารถกันการกระแทก หรือบดทับได้ และจะต้องเป็นชนิดที่มีตัวนำกราวด์ (Grounding Conductor) เมื่อทำการเข้าสายไฟกับอุปกรณ์ จะต้องทำการใช้อุปกรณ์เข้าสายแบบป้องกันฝุ่นระดับเดียวกับเครื่องห่อหุ้มของอุปกรณ์นั้น ในกรณีที่ใช้ติดตั้งแบบถาวร จะต้องมีการยึดสายไฟ เพื่อป้องกันการเกิดการดึงรั้งสายไฟจากอุปกรณ์ที่เข้าสาย

- **เครื่องประกอบปิดผนึก (Sealing Fitting)**

การเดินท่อร้อยสายไฟเข้าเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ อาจเป็นช่องทางให้ฝุ่นสารผ่านเข้าไปภายในอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นได้ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเครื่องห่อหุ้มกันฝุ่นแบบ Dust-Ignitionproof จะไม่อนุญาตให้มีฝุ่นผ่านเข้าไปได้เลย ดังนั้นการเดินสายไฟร้อยท่อระหว่างอุปกรณ์ที่มีการป้องกันฝุ่นแบบ Dust-Ignitionproof กับอุปกรณ์ที่มีการป้องกันฝุ่นแบบอื่นๆ (Non Dust-Ignitionproof) จึงต้องมีเครื่องประกอบปิดผนึกเพื่อช่วยป้องกันฝุ่น ตามข้อกำหนดตามรูปที่ 5-18 ถึง 5-22

5.4 ระดับอุณหภูมิสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2

ระดับอุณหภูมิสูงสุดเมื่อใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่ฝุ่นสารทุกชนิดที่มีอยู่ในบริเวณใกล้เคียง จะสามารถลุกติดไฟได้เอง สำหรับฝุ่นสารอินทรีย์ (Organic Dust) ซึ่งอาจจะแห้งลง (Dehydrate) และเปลี่ยนสภาพเป็นถ่าน (Carbonize) เมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานานๆ ระดับอุณหภูมิสูงสุดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจะต้องต่ำกว่า 165°C และอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งสามารถรับภาระทางไฟฟ้าได้เกินพิกัด (Overload) เช่น มอเตอร์ และ หม้อแปลงไฟฟ้า จะต้องมียุณหภูมิสูงสุดจากการใช้งานต่ำกว่า 120°C

ตารางที่ 5-2 แสดงอุณหภูมิจุดติดไฟของฝุ่นสารที่ใช้สำหรับการรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามมาตรฐาน NEC

Class II Group	อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้ถูก ออกแบบให้ใช้งานเกินพิกัด (°C)	อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ออกแบบให้สามารถงานใช้เกินพิกัดได้	
		ใช้งานตามปกติ (°C)	มีการทำงานผิดปกติ (°C)
E	200	200	200
F	200	150	200
G	165	120	165

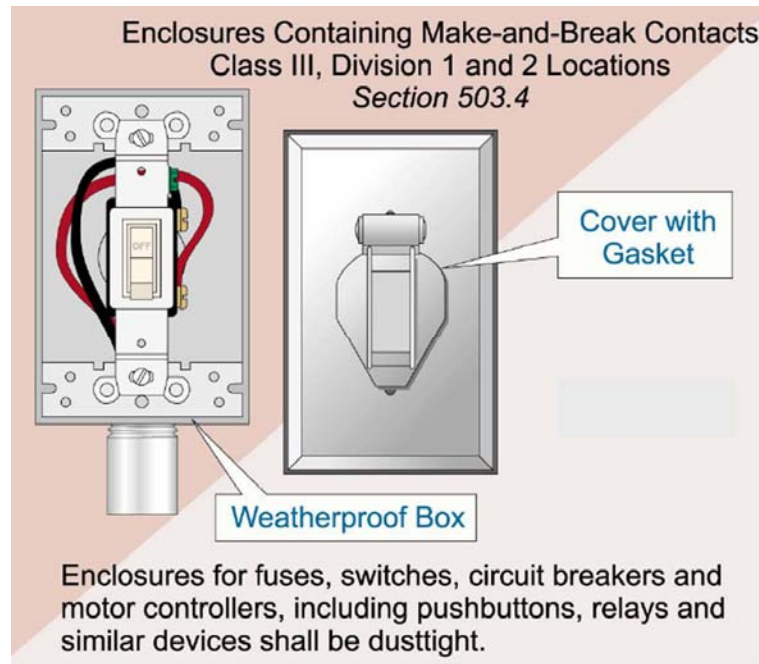
บทที่ 6 มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3



รูปที่ 6-1 แสดงตัวอย่างพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3

6.1 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า

การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 และ 2 ตามมาตรฐาน NEC โดยหลักการจะกำหนดให้มีการป้องกันการอาร์ก สปาร์ก หรือความร้อนสูงจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นเหตุให้เกิดการจุดติดไฟเส้นใยที่สะสมอยู่บนอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 6-2 แสดงตัวอย่างลักษณะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3

วิธีการป้องกันสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 ทั้งหมด สามารถใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 ได้ด้วยเช่นกัน แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการรับรองให้ใช้ได้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 บางส่วนก็อาจใช้ได้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 ด้วย เนื่องจากฝุ่นจะมีขนาดเล็กกว่าเส้นใย แต่ฝุ่นของสารอินทรีย์และเส้นใยจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน คือ การแห้ง (Dehydration) และกลายเป็นถ่าน (Carbonization) ได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานานๆ ดังนั้น วิธีการป้องกันที่ได้รับการรับรองให้ใช้ได้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 ก็คือการใช้เครื่องห่อหุ้มป้องกันฝุ่น และมีการจำกัดอุณหภูมิของโครงสร้างภายนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้า

6.2 ข้อกำหนดการใช้และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า สำหรับพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 แบบที่ 1 และ แบบที่ 2 ตามมาตรฐานของ NEC จะไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิดที่สามารถใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ก็จะสามารถใช้ได้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 แต่ถ้าเลือกใช้อุปกรณ์ดังกล่าว จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมากโดยไม่จำเป็น อุปกรณ์ที่สามารถใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 จะมีรายละเอียด ดังนี้

- **คาปาซิเตอร์และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่บรรจุของเหลวที่ติดไฟได้**

หม้อแปลงและคาปาซิเตอร์ชนิดจุ่มในน้ำมัน (Oil-Insulated type) จะต้องติดตั้งภายในห้องที่มีผนังปิดล้อมมิดชิด (Vault) ผนัง พื้น และเพดานของห้องหม้อแปลงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว สามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งมีระบบระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอย่างเพียงพอตลอดเวลา หม้อแปลงขนาดพิกัดมากกว่า 100 kVA จะต้องมียังระบบระบายน้ำมันหรือน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการนองขังภายในห้อง และต้องไม่มีวัสดุอื่นเก็บอยู่ภายในห้อง
- **หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ที่ไม่มีของเหลวที่ติดไฟได้**

หม้อแปลงชนิดแห้ง (Dry-type Transformer) จะต้องติดตั้งภายในห้องที่มีผนังปิดล้อมมิดชิด (Vault) ผนัง พื้น และเพดานของห้องหม้อแปลงเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว สามารถทนไฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งมีระบบระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอย่างเพียงพอตลอดเวลา โดยไม่ปล่อยให้ถึงความชื้นสูงภายในห้อง หม้อแปลงขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 600 V และมีโครงสร้างโลหะปิดล้อมขั้วต่อสายไฟของหม้อแปลง โดยไม่มีช่องเปิดระบายอากาศ สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องอยู่ในห้องหม้อแปลง
- **อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเปิด-ปิดวงจร เช่น สวิตช์ เบรกเกอร์ และฟิวส์**

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการอาร์กหรือสปาร์กในขณะใช้งานตามปกติ จะต้องมียังเครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight
- **ขดลวดไฟฟ้า และหม้อแปลงสำหรับระบบควบคุม**

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบเป็น ขดลวดไฟฟ้า (Coil หรือ Winding) ที่ทำให้เกิดความร้อนในขณะใช้งานตามปกติ จะต้องมียังเครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight โดยไม่ทำให้เกิดความร้อนสูงจนมีอุณหภูมิการทำงานมากกว่า 165°C
- **ตัวต้านทานไฟฟ้า**

ตัวต้านทานไฟฟ้า ที่ทำให้เกิดความร้อนในขณะใช้งานตามปกติ จะต้องมียังเครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight โดยไม่ทำให้เกิดความร้อนสูงจนมีอุณหภูมิของโครงสร้างภายนอกเมื่อมีการทำงานมากกว่า 165°C
- **มอเตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**

มอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะติดตั้งใช้งาน จะต้องมียังเครื่องห่อหุ้มปิดสนิท (Totally Enclosed) หรือมีระบบการระบายอากาศโดยใช้ท่อลม (Ventilating Pipe) และมีระดับอุณหภูมิของโครงสร้างภายนอกเมื่อมีการทำงานปกติไม่เกิน 165°C แต่ถ้ามีการใช้งานเกินพิกัด จะต้องมียังระดับอุณหภูมิเมื่อมีการทำงานปกติไม่เกิน 120°C

- **โคมไฟแสงสว่างแบบติดตั้งอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนย้ายได้**

โคมไฟแสงสว่างที่อนุญาตให้ใช้ในพื้นที่ยานอันตราย จะต้องมีการกักบัง (Guard) เพื่อป้องกันการกระแทกครอบแก้ว และดวงโคมจะต้องไม่มีช่องเปิดให้เส้นใยผ่านเข้าไป หรือประกายไฟจากการสปาร์กเล็ดลอดออกมาจุดติดเส้นใยที่อยู่ภายนอกได้ ระดับอุณหภูมิของโครงสร้างภายนอกเมื่อมีการทำงานปกติไม่เกิน 165°C

โคมไฟชนิดแขวน (Pendant Fixture) โดยจะถูกแขวนยึดด้วยท่อร้อยสายไฟแบบตีเกลียว หรือโซ่ ก็ได้ ในกรณีที่ยึดโคมด้วยท่อร้อยสายไฟ และมีความยาวมากกว่า 12 นิ้ว จะต้องทำการยึดค้ำปลายท่อแบบถาวรเพื่อไม่ให้ตัวโคมเกิดการแกว่ง

- **ปลั๊ก และเต้ารับไฟฟ้า**

ปลั๊กและเต้ารับไฟฟ้าจะต้องมีเครื่องห่อหุ้มที่สามารถป้องกันฝุ่นชนิด Dusttight เพื่อให้สามารถป้องกันเส้นใยเข้าไปภายใน หรือประกายไฟจากการสปาร์กเล็ดลอดออกมาภายนอกได้

- **การเดินสายไฟ**

การเดินสายไฟในพื้นที่อันตรายจะต้องใช้ท่อร้อยสายไฟชนิด Rigid Metal Conduit (RMC), Steel Intermediate Metal Conduit (IMC), Electrical Metallic Tubing (EMT), Dust-tight Wireway หรือใช้สายไฟชนิด Mineral Insulated Cable (MI), Metal-Clad Cable (MC) และ Shielded Nonmetallic Sheathed Cable (SNM) พร้อมเครื่องประกอบการเข้าสายไฟที่สามารถป้องกันฝุ่นได้

- **กล่องต่อสายไฟ และเครื่องประกอบ**

อุปกรณ์ต่อสายไฟและเครื่องประกอบจะต้องมีเครื่องห่อหุ้มชนิดกันฝุ่น แต่ไม่จำเป็นต้องได้รับการรับรองว่าใช้สำหรับพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 ในกรณีที่มีช่องเปิดสำหรับเข้าสายไฟ หรือช่องใส่สกรู จะต้องทำการปิดช่องทั้งหมด เพื่อไม่ให้ฝุ่นผ่านเข้าไปได้

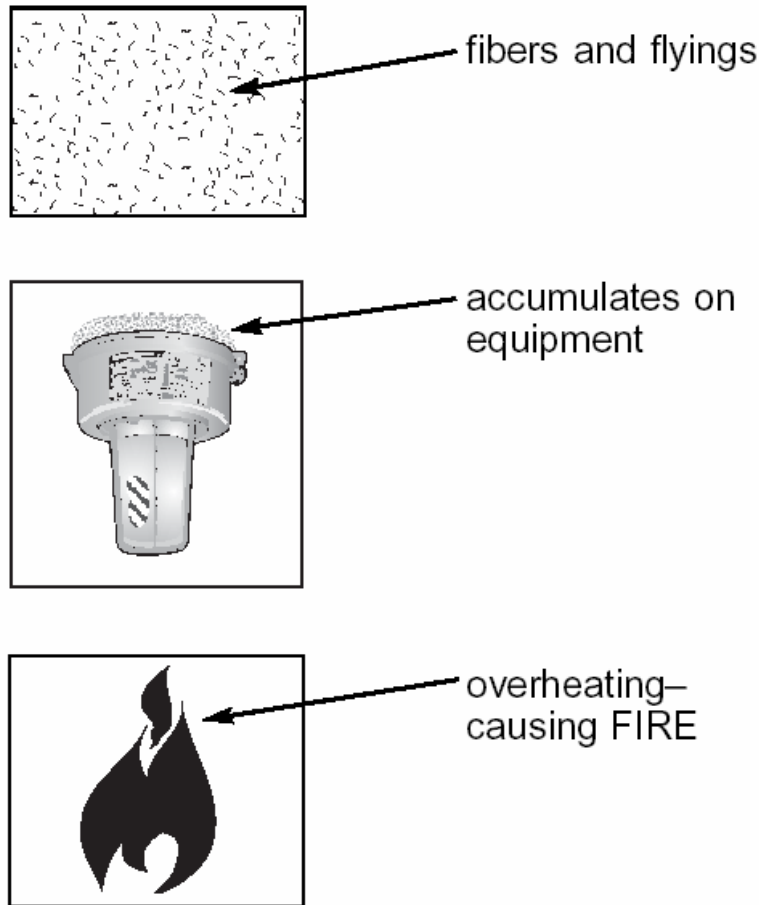
- **การเข้าสายด้วยท่ออ่อน (Flexible Connection)**

หากจำเป็นจะต้องทำการเข้าสายอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ท่ออ่อน จะต้องใช้ท่อโลหะหรือไม่ใช่โลหะก็ได้ พร้อมทั้งเครื่องประกอบที่มีความแข็งแรง ชนิดกันฝุ่น (Dusttight) หรือกันน้ำ (Liquidtight) แต่ถ้าจะเข้าสายโดยใช้สายไฟหุ้มฉนวน (Flexible Cord) เปลือกหุ้มสายไฟจะต้องมีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดกร่อน และการกระแทก โดยการเข้าสายไฟต้องมีเครื่องป้องกันเส้นใยผ่านเข้าไปภายในอุปกรณ์ได้

- **การใช้สายไฟอ่อน (Flexible Cord)**

หากจำเป็นจะต้องเดินสายไฟโดยใช้สายไฟอ่อนโดยไม่ผ่านท่อร้อยสาย จะต้องใช้สายไฟที่มีฉนวนและเปลือกหุ้มสายไฟที่มีความแข็งแรง และสามารถกันการกระแทก หรือบิดทับได้ และจะต้องเป็นชนิดที่มีตัวนำกราวด์ (Grounding Conductor) เมื่อทำการเข้าสายไฟกับอุปกรณ์ จะต้องทำการใช้อุปกรณ์เข้าสายแบบป้องกันเส้นใยระดับเดียวกับเครื่องห่อหุ้มของอุปกรณ์นั้น ในกรณีที่ใช้ติดตั้งแบบถาวร จะต้องมีการยึดสายไฟ เพื่อป้องกันการเกิดการดึงรั้งสายไฟจากอุปกรณ์ที่เข้าสาย

6.3 ระดับอุณหภูมิสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3



รูปที่ 6-3 แสดงการเกิดเพลิงไหม้เมื่อมีการสะสมของเส้นใยบนคอมโพสิตที่มีความร้อนสูง

เส้นใยหรือพอลิเมอร์อินทรีย์สาร (Organic Material) อาจจะแห้งลง (Dehydrate) และเปลี่ยนสภาพเป็นถ่าน (Carbonize) เมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานานๆ จนทำให้สามารถลุกติดไฟได้ง่าย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 3 ซึ่งอาจจะมีเส้นใยหรือพอลิเมอร์อยู่จนทำให้การระบายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร จึงจะต้องมีระดับอุณหภูมิสูงสุดจากการใช้งานปกติต่ำกว่า 165°C แต่ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นอาจมีการรับภาระทางไฟฟ้าได้เกินพิกัด (Overload) เช่น มอเตอร์ และ หม้อแปลงไฟฟ้า จะต้องมียุณหภูมิสูงสุดจากการใช้งานต่ำกว่า 120°C

บทที่ 7 สัญญาณของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิด

7.1 การแสดงสัญญาณของอุปกรณ์แบบป้องกันการระเบิด

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถใช้ในงานติดตั้งในพื้นที่อันตรายจะต้องถูกออกแบบให้เหมาะสมในการใช้งานในแต่ละประเภทของพื้นที่อันตราย ซึ่งผู้ผลิตจะแสดงสัญญาณที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานการออกแบบเพื่อป้องกันคุณสมบัติต่างๆ ในด้านการป้องกันการระเบิดตามตารางที่ 7-1 ถึง 7-4 และจะต้องมีสัญญาณแสดงการรับรองจากสถาบันที่มีอำนาจหน้าที่ในการทดสอบและให้ใบรับรองคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้วย

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ติดตั้งในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 และ 2 จะต้องมีเครื่องหมายแสดงรหัสของระดับอุณหภูมิ (T Code) การใช้งานสูงสุดของผิวด้านนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้า และค่าระดับอุณหภูมิดังกล่าวจะต้องต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่ทำให้สารไวไฟลุกติดไฟได้เอง (Auto-Ignition Temperature หรือ Minimum Ignition Temperature)

ตารางที่ 7-1 แสดงสัญญาณสำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน NEC 500

ตัวอย่างสัญญาณ : Class I, Div 1, Group B, C, D, T3			
ชนิดของสารไวไฟที่สามารถป้องกันได้	พื้นที่อันตรายที่สามารถใช้งานได้	กลุ่มของสารไวไฟที่มีอยู่ในพื้นที่ติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระดับอุณหภูมิของเครื่องห่อหุ้มสูงสุดในการใช้งานปกติ
Class I : แก๊สหรือไอระเหยสารไวไฟ	Div 1 : บรรยากาศที่มีสารไวไฟปนอยู่ในระดับที่จุดติดไฟได้ในสภาวะปกติ	Group A : Acetylene	T1 : ไม่เกิน 450 °C
		Group B : Hydrogen	T2 : ไม่เกิน 300 °C
Class II : ฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้	Div 2 : บรรยากาศที่มีสารไวไฟปนอยู่ในระดับที่จุดติดไฟได้ในสภาวะไม่ปกติ	Group C : Ethylene	T2A : ไม่เกิน 280 °C
		Group D : Propane	T2B : ไม่เกิน 260 °C
Class III : เส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย		Group E : Metal dust	T2C : ไม่เกิน 230 °C
		Group F : Coal	T2D : ไม่เกิน 215 °C
		Group G : Flour	T3 : ไม่เกิน 200 °C
			T3A : ไม่เกิน 180 °C
			T3B : ไม่เกิน 165 °C
			T3C : ไม่เกิน 160 °C
	T4 : ไม่เกิน 135 °C		
	T4A : ไม่เกิน 120 °C		
	T5 : ไม่เกิน 100 °C		
	T6 : ไม่เกิน 85 °C		

ตารางที่ 7-2 แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน NEC 505

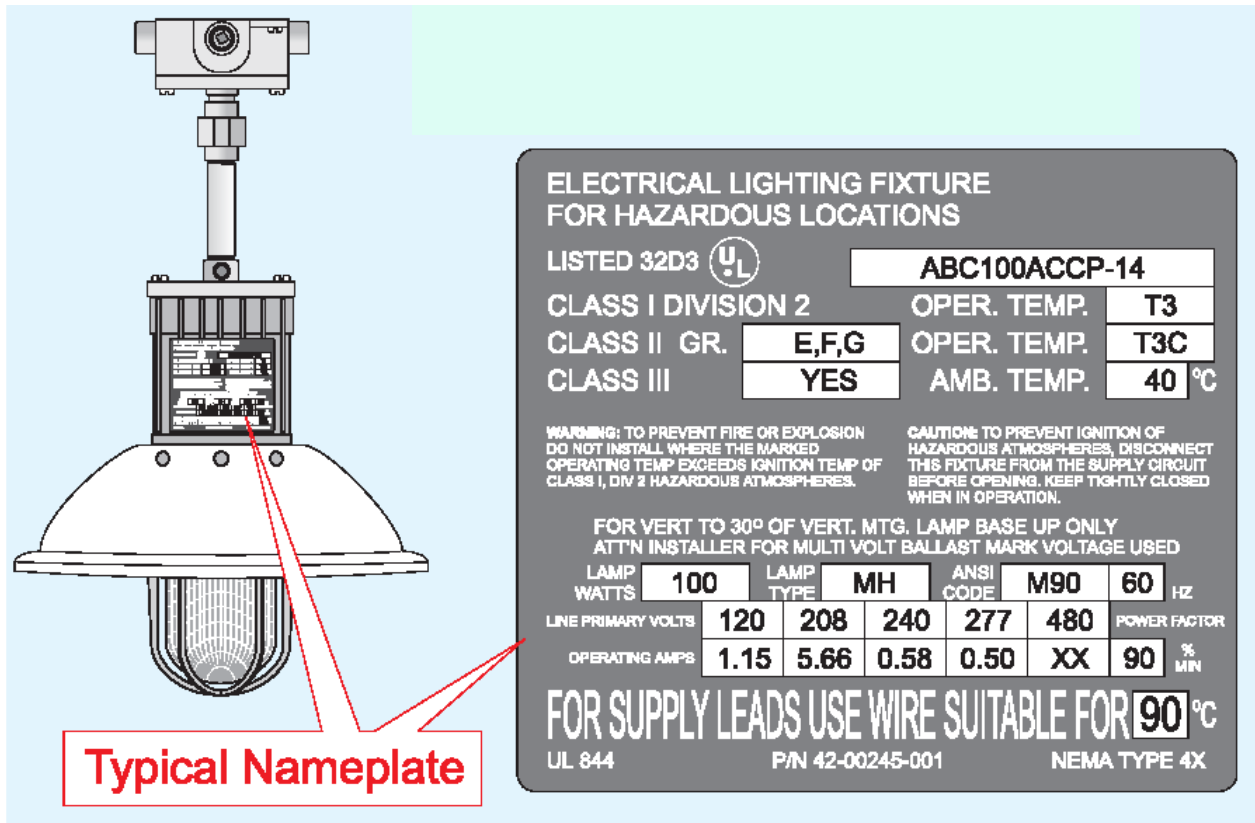
ตัวอย่างสัญลักษณ์ : Class I, Zone 1, AEx d [ia] IIB T3					
ชนิดของสารไวไฟที่สามารถป้องกันได้	พื้นที่อันตรายที่สามารถใช้งานได้	มาตรฐาน NEC 505	หลักการป้องกันการระเบิดตามมาตรฐาน	กลุ่มของสารไวไฟที่มีอยู่ในพื้นที่ติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระดับอุณหภูมิของเครื่องห่อหุ้มสูงสุดในการใช้งานปกติ
Class I : แก๊สหรือไอระเหยสารไวไฟ	Zone 0 : บรรยากาศที่มีสารไวไฟปนอยู่ในระดับที่จุดติดไฟได้ เกิดขึ้นเสมอและเป็นช่วงเวลายาวนาน	AEx	e : Increased Safety เพิ่มความปลอดภัย	Group IIC : Acetylene Group IIB : Ethylene Group IIA : Propane	T1 : ไม่เกิน 450 °C
	Zone 1 : บรรยากาศที่มีสารไวไฟปนอยู่ในระดับที่จุดติดไฟได้ เกิดขึ้นบ่อยๆ ในขณะที่ทำงานตามปกติ		d : Flameproof ทนการระเบิดจากภายใน		T2 : ไม่เกิน 300 °C
	Zone 2 : บรรยากาศที่มีสารไวไฟปนอยู่ในระดับที่จุดติดไฟได้ ไม่ได้เกิดขึ้นตามปกติวิสัย และถ้าเกิดขึ้นก็จะอยู่ไม่นาน		p : Pressurized ใช้ความดันอากาศสูง		T3 : ไม่เกิน 200 °C
			q : Powder-Filled เติมผงของสารที่เป็นฉนวนและไม่ซึมซับสารไวไฟ		T4 : ไม่เกิน 135 °C
			m : Encapsulation ปิดกั้นแหล่งเกิดประกายไฟ		T5 : ไม่เกิน 100 °C
			nA : Nonsparking ไม่เกิดประกายไฟขณะใช้งาน		T6 : ไม่เกิน 85 °C
			nR : Restricted Breathing เครื่องห่อหุ้มป้องกันอากาศ		
			nC : Hermetically Seal เครื่องห่อหุ้มป้องกันอากาศโดยสมบูรณ์		
			[ia] : Intrinsically Safe ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำจนไม่สามารถจุดระเบิดได้		
			[ib] : Intrinsically Safe ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำจนไม่สามารถจุดระเบิดได้		

ตารางที่ 7-3 แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC และ CENELEC

ตัวอย่างสัญลักษณ์ ของ IEC : Ex d IIC T5			
ตัวอย่างสัญลักษณ์ ของ CENELEC : EEx d IIC T5			
มาตรฐาน	หลักการป้องกันการระเบิดตามมาตรฐาน	กลุ่มของสารไวไฟที่มีอยู่ในพื้นที่ติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระดับอุณหภูมิของเครื่องห่อหุ้มสูงสุดในการใช้งานปกติ
Ex : IEC EEx : CENELEC	e : Increased Safety เพิ่มความปลอดภัย d : Flameproof ทนการระเบิดจากภายใน m : Encapsulation ปิดกันแหล่งเกิดประกายไฟ p : Pressurized ใช้ความดันอากาศสูง q : Powder-Filled เติมผงของสารที่เป็นฉนวนและไม่ซึมซับสารไวไฟ o : Oil Immersion จุ่มในน้ำมัน n : Nonincendive ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟในขณะที่ทำงานตามปกติ ia : Intrinsically Safe ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำจนไม่สามารถจุดระเบิดได้ ib : Intrinsically Safe ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำจนไม่สามารถจุดระเบิดได้ s : Special Protection ใช้เทคนิคพิเศษอื่นๆ	Group IIC : Acetylene Group IIB : Ethylene Group IIA : Propane	T1 : ไม่เกิน 450 °C T2 : ไม่เกิน 300 °C T3 : ไม่เกิน 200 °C T4 : ไม่เกิน 135 °C T5 : ไม่เกิน 100 °C T6 : ไม่เกิน 85 °C

ตารางที่ 7-4 แสดงสัญลักษณ์สำหรับมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน ATEX Directive

ตัวอย่างสัญลักษณ์ ของ ATEX Directive :  II 2 GD			
เครื่องหมาย อุปกรณ์ชนิด ป้องกันการ ระเบิด	ประเภทการใช้งาน ของอุปกรณ์ไฟฟ้า	ระดับการป้องกันของอุปกรณ์	ประเภทของสารไวไฟ
	<p>I : Mining (ใช้กับงานเหมืองใต้ดิน)</p> <p>II : Industrial (ใช้กับงานอุตสาหกรรมทั่วไป)</p>	<p>M1 : Very high protection (สามารถป้องกันการระเบิดภายในเหมืองใต้ดินได้ดีมาก)</p> <p>M2 : High protection (สามารถป้องกันการระเบิดภายในเหมืองใต้ดินได้ดี)</p> <p>1 : Very high protection (สามารถป้องกันการระเบิดภายในพื้นที่อุตสาหกรรมได้ดีมาก)</p> <p>2 : High protection (สามารถป้องกันการระเบิดภายในพื้นที่อุตสาหกรรมได้ดี)</p> <p>3 : Normal protection (สามารถป้องกันการระเบิดภายในพื้นที่อุตสาหกรรมได้)</p>	<p>G : ใช้กับพื้นที่ที่มีสารไวไฟประเภทแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟมากพอที่จะเกิดการจุดติดไฟได้</p> <p>D : ใช้กับพื้นที่ที่มีฝุ่นสารไวไฟมากพอที่จะเกิดการจุดติดไฟได้</p>



รูปที่ 7-1 แสดงตัวอย่างป้ายแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์แบบป้องกันการระเบิด


7.2 การรับรองมาตรฐานอุปกรณ์ป้องกันการระเบิด

อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทป้องกันการระเบิดจะต้องผ่านการทดสอบและได้รับการรับรองมาตรฐานว่าได้มีการออกแบบเพื่อป้องกันการระเบิดด้วยเทคนิคต่างๆ ตามมาตรฐานได้อย่างถูกต้องและมีคุณสมบัติการป้องกันที่ดี ซึ่งผู้ที่จะสามารถให้บริการทดสอบและให้การรับรองผลิตภัณฑ์ที่สำคัญดูได้จากตารางที่ 7-5 ซึ่งผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าหรือผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าควรจะต้องสังเกตรวมถึงเครื่องหมายมาตรฐานเหล่านี้หรือไม่

ตารางที่ 7-5 แสดงตัวอย่างของตัวแทนผู้มีอำนาจหน้าที่ทดสอบและรับรองมาตรฐาน(Standard Agencies)

สัญลักษณ์	สถาบันทดสอบและรับรอง
	<p>Conformité Européenne บังคับใช้ในประเทศสมาชิกของ European Union (EU) สัญลักษณ์ CE ไม่ได้แสดงการรับรองคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่แสดงให้เห็น ทราบว่าสินค้านี้ผลิตตามมาตรฐานความปลอดภัยของยุโรปสำหรับผลิตภัณฑ์ ประเภทนั้นๆ และสามารถจำหน่ายหรือใช้งานได้ในประเทศสมาชิกสหภาพ ยุโรป</p>
	<p>Canadian Standards Association สถาบันมาตรฐานของประเทศแคนาดาไม่ได้ถูกก่อตั้งเพื่อผลประโยชน์ทาง การค้า แต่ให้บริการแก่หน่วยงานรัฐบาล อุตสาหกรรม หรือธุรกิจการค้าใน ประเทศแคนาดา CSA ใช้เพื่อสนองความต้องการด้านความปลอดภัยต่อ สุขภาพอนามัย คุณภาพชีวิต และสิ่งแวดล้อม</p>
	<p>DEMKO มาตรฐาน DEMKO ก่อตั้งขึ้นมาโดยการสนับสนุนของ Underwriters Laboratories Inc.'s (UL's) และเป็นองค์กรของรัฐบาลเดนมาร์กสำหรับการ ทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้สามารถให้การรับรองการใช้งานได้ตาม มาตรฐานความปลอดภัยของยุโรป อเมริกา และแคนาดา</p>
	<p>Factory Mutual Research Corporation สถาบันวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ได้หวังผลกำไร และช่วยทำการทดสอบและ ให้การรับรองผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานความปลอดภัยของอเมริกา</p>
	<p>International Electrotechnical Commission ตั้งอยู่ในเมืองเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ มาตรฐาน IEC ได้ถูกใช้กันแพร่หลายทั่วโลกมานานแล้ว สถาบันนี้จะมีการ เผยแพร่ความรู้หรือเทคโนโลยี และการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างปลอดภัย ตามมาตรฐานอยู่เสมอ และมักจะถูกใช้อ้างอิงเมื่อมีการทำสัญญาหรือข้อเสนอ ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าทั่วโลก</p>
	<p>Australia (AU) สถาบันทดสอบและให้การรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทป้องกันการระเบิดใน ประเทศออสเตรเลีย</p>

สัญลักษณ์	สถาบันทดสอบและรับรอง
	<p>Germany (DE) TÜV NORD CERT GmbH & Co. KG สถาบันทดสอบและให้การรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทป้องกันการระเบิดในประเทศเยอรมัน</p>
	<p>United Kingdom (GB) Baseefa (2001) Limited สถาบันทดสอบและให้การรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทป้องกันการระเบิดในประเทศอังกฤษ</p>
	<p>United Kingdom (GB) SIRA Certification Service (SCS) สถาบันทดสอบและให้การรับรองอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทป้องกันการระเบิดในประเทศอังกฤษ</p>
	<p>National Supervision & Inspection Center for Explosion Protection & Safety of Instrumentation ชื่อย่อ “NEPSI” บังคับใช้ในประเทศจีน NEPSI คือสถาบันที่มีอำนาจตรวจสอบ ทดสอบ และให้การรับรองอุปกรณ์ประเภทป้องกันการระเบิด โดยการกำกับดูแลของกระทรวงแรงงาน และกระทรวงอุตสาหกรรม ของประเทศจีน</p>
	<p>Physikalisch- Technische Bundesanstalt ชื่อย่อ “PTB” PTB เป็นองค์กรด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ระดับชาติของประเทศเยอรมัน สามารถทดสอบและให้การรับรองมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าได้</p>
	<p>Standard Association of Australia ชื่อย่อ “SAA” SAA เป็นสมาคมที่ให้บริการทางธุรกิจเป็นหลัก ตั้งอยู่ในประเทศออสเตรเลีย โดยทำหน้าที่ให้คำปรึกษาทางเทคนิค ช่วยฝึกอบรม ให้บริการด้านการศึกษาระบบมืออาชีพ พัฒนามาตรฐานของตัวเอง และสามารถทำการทดสอบรับรองมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าได้</p>

สัญลักษณ์	สถาบันทดสอบและรับรอง
	<p>Underwriters Laboratories ชื่อย่อ "UL"</p> <p>UL เป็นสัญลักษณ์ที่ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าจะได้พบเห็นได้บ่อยมากพอกๆกับสัญลักษณ์ CE, FM และ CSA เพราะผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วโลกพยายามจะได้รับการรับรองจากมาตรฐานที่น่าเชื่อถือและรู้จักกันทั่วโลก เนื่องจากเหตุผลทางการค้า</p> <p>โดยที่ UL เป็นองค์กรอิสระที่ไม่มีจุดประสงค์เพื่อการค้าในประเทศสหรัฐอเมริกา งานของ UL คือการทดสอบและให้การรับรองมาตรฐานสินค้าและบริการ เพื่อช่วยให้ผู้ผลิตสินค้าในประเทศอเมริกาได้รับการยอมรับในคุณภาพทั่วโลก ทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบคุณภาพการผลิต และกระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐาน</p>

บทที่ 8 การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าสถิตย์

ไฟฟ้าสถิตย์ คือประจุไฟฟ้าที่ไม่สมดุลซึ่งเกิดบนผิวของวัสดุ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electric Field) ที่จะส่งผลกระทบต่อวัตถุที่อยู่ใกล้เคียงกัน เมื่อเกิดมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัตถุทั้งสองมากพอ จะทำให้อิเล็กตรอนสามารถถ่ายเทข้ามผ่านอากาศ จนเกิดการสปาร์ก ซึ่งเรียกว่า “Electrostatic Discharge (ESD)” การสปาร์กนี้อาจมีพลังงานมากพอที่จะจุดระเบิดสารไวไฟในอากาศได้

8.1 การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์จากการเสียดสี (Triboelectric-Charging)

เมื่อวัตถุสองชิ้นเข้ามาสัมผัสกันแล้วแยกออกจากกันจะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัส วัสดุนิดหนึ่งจะดึงอิเล็กตรอนออกจากวัตถุอีกชนิดหนึ่ง วัตถุที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ส่วนวัตถุที่รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Triboelectric Charging”

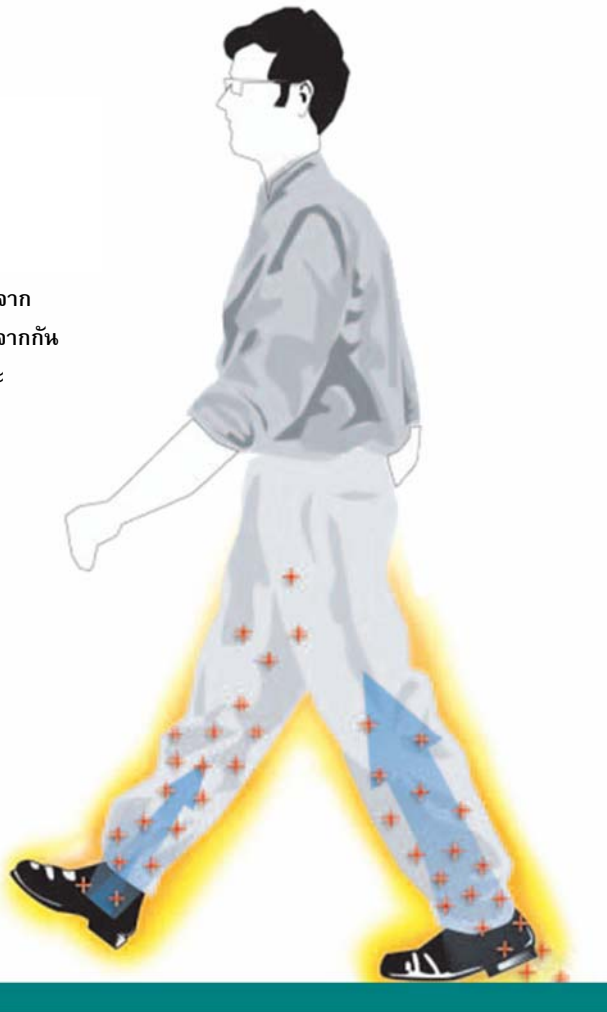
วัสดุบางชนิดสามารถทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมบนพื้นผิวได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น เนื่องจากอะตอมของวัสดุนั้นมีแรงพันธะมากกว่าจึงสามารถดึงดูอิเล็กตรอนมาจากอะตอมของวัสดุชนิดอื่นที่เข้ามาสัมผัสกัน การจัดลำดับชนิดของวัสดุที่มีแนวโน้มในการดึงดูอิเล็กตรอน หรือสูญเสียอิเล็กตรอนให้กับวัสดุอื่น เรียกว่า “Triboelectric Series” วัสดุที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ส่วนวัสดุที่สูญเสียอิเล็กตรอนจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก

ประจุไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นจาก Triboelectric Charging บนผิววัสดุฉนวนจะไม่สามารถกระจายตัวออกไปได้ แต่เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะทำให้เกิดฟิล์มบางๆของน้ำ (microscopic film of moisture) เคลือบอยู่ที่วัสดุ ซึ่งฟิล์มน้ำนี้จะช่วยให้ผิววัสดุฉนวนสามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ดังนั้นปัญหาของการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์บนผิววัสดุฉนวนจึงลดลงเมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 8-1 แสดงตัวอย่างของลำดับของวัสดุที่อาจจะรับหรือสูญเสียอิเล็กตรอนเมื่อมีการเสียดสีกัน (Triboelectric Series)

วัสดุ	โอกาสการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้า
Human Hand	(สูญเสียอิเล็กตรอน) Positive  (รับอิเล็กตรอน) Negative
Rabbit Fur	
Glass	
Mica	
Human Hair	
Nylon	
Wool	
Fur	
Lead	
Silk	
Aluminium	
Paper	
Cotton	
Steel	
Wood	
Amber	
Hard Rubber	
Silver	
Rayon	
Polyester	
Acrylic	
Polyurethane	
Polypropylene	
Silicon	
Teflon	

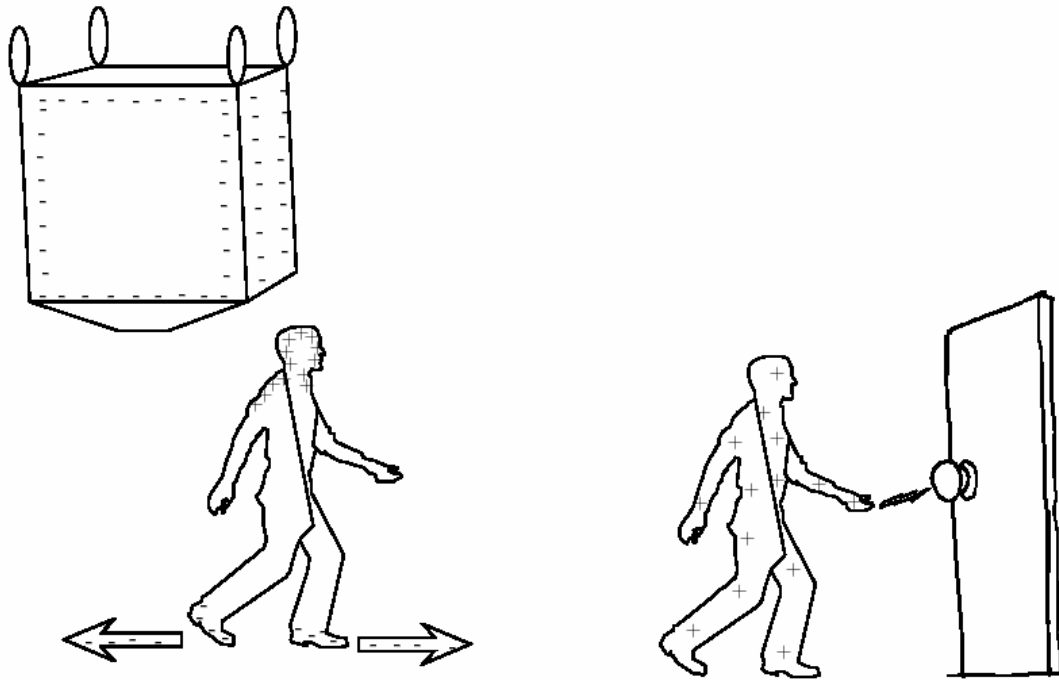
การเดินไปบนพื้น จะทำให้เกิด Tribo-charging จาก การที่รองเท้าสัมผัส เสียดสีกับพื้นแล้วแยกออกจากกัน ประจุไฟฟ้าสถิตย์จะสะสมมากขึ้นบนเสื้อผ้า และ ร่างกายคน



รูปที่ 8-1 แสดงการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์เมื่อเดินบนพื้นผิวฉนวน

8.2 การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์จากการเหนี่ยวนำ (Induction Charging)

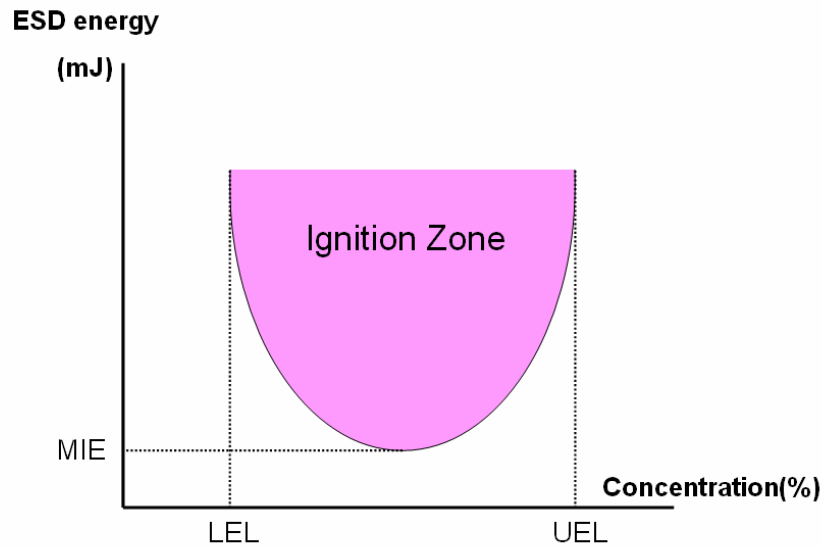
วัสดุส่วนใหญ่ที่นำไฟฟ้าได้มักจะเกิดประจุไฟฟ้า (Charging) โดยการเหนี่ยวนำ (Induction) เมื่อเข้าไปอยู่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามแหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้าจะถูกดึงดูดเข้ามาใกล้ และ ประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะถูกผลักรออกไป ถ้าวัตถุที่นั้นมีการต่อกราวด์ ประจุไฟฟ้านั้นจะไหลลงสู่ดิน จากรูปที่ 8-1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์ที่ตัวคน การเข้าใกล้วัสดุที่นำไฟฟ้าได้อาจจะทำให้เกิดการสปาร์กขึ้นได้



รูปที่ 8-2 แสดงการเกิดประจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ประจุของไฟฟ้าสถิตย์สามารถวัดได้ในหน่วย Coulomb เมื่อมีประจุไฟฟ้าปริมาณ q สะสมอยู่บนพื้นผิววัสดุหนึ่ง จะทำให้พื้นผิววัสดุนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเทียบกับพื้นดิน (Ground) เท่ากับ V และมีค่าคาปาซิแตนซ์ C โดยค่าทั้งสามมีความสัมพันธ์กันตามสมการ $q = C \times V$

เมื่อเกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นที่ผิวหนังหรือเสื้อผ้าของคนเรา การยื่นมือไปสัมผัสกับวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะทำให้เกิดการถ่ายเทประจุขึ้นได้ และผลของการสปาร์กนั้นจะขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าของเรานั่นเอง โดยเราจะรู้สึกได้ถึงสปาร์กเมื่อมีศักย์ไฟฟ้าบนตัวเราประมาณ 3.6 กิโลโวลต์ขึ้นไป และเกิดพลังงานของการสปาร์กประมาณ 1 มิลลิจูลขึ้นไป และจะเกิดความเจ็บปวดมากเมื่อมีศักย์ไฟฟ้าบนตัวเราประมาณ 11.5 กิโลโวลต์ขึ้นไป และเกิดพลังงานของการสปาร์กมากกว่า 10 มิลลิจูล



รูปที่ 8-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้จุดติดไฟกับระดับความเข้มข้นของสารไวไฟที่ผสมอยู่ในบรรยากาศ

พลังงานที่ใช้เพื่อการจุดติดไฟสารไวไฟแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน และพลังงานที่ใช้จุดติดสารไวไฟชนิดหนึ่ง ๆ ก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารไวไฟที่อยู่ในบรรยากาศอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 8-3 การปล่อยให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมอาจจะทำให้เกิดอันตรายหรือความสูญเสียในกระบวนการผลิตขึ้นได้ พลังงานที่เกิดจากการสปาร์ก (Energy of The Spark) เพื่อทำให้เกิดการจุดติดไฟของสารไวไฟ ที่เกิดจากการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์สามารถคำนวณได้คร่าว ๆ จากหลักการเช่นเดียวกับการสปาร์กจากพลังงานสะสมของคาปาซิเตอร์ โดยใช้สมการ

$$Energy (Joules) = \frac{C \times (V)^2}{2}$$

โดย

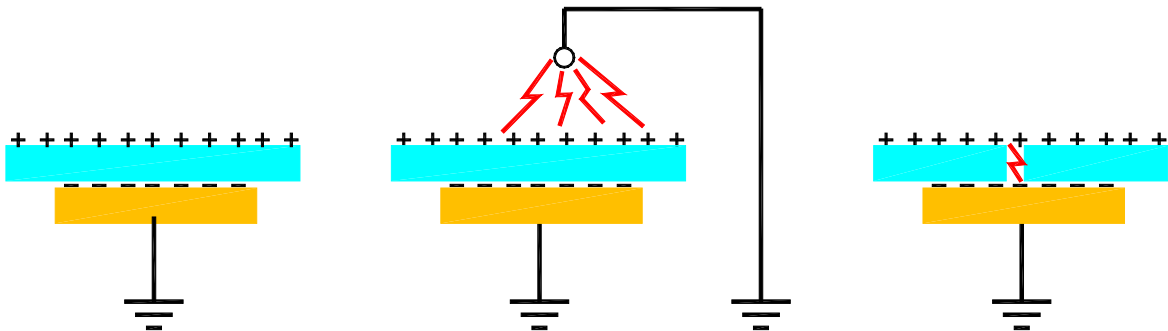
C = Capacitance (farads)

V = Potential Difference (volts)

8.3 การสปาร์กเนื่องจากไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Discharge : EDS)

- **Spark Discharge** คือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Electrical Conductor) เนื่องจากวัตถุทั้งสองมีความต่างศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้า จนโมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) และลดสภาพความเป็นฉนวนไฟฟ้าลง ประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) บนตัวนำไฟฟ้าหนึ่งจึงสามารถถ่ายเทข้ามผ่านไปยังอีกตัวนำไฟฟ้าหนึ่งได้ Spark Discharge จะเกิดขึ้นที่ช่องแคบ (gap) ระหว่างตัวนำไฟฟ้าที่วางอยู่ใกล้กันมาก และมีศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันมากพอ

- **Brush Discharge** คือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Electrical Conductor) กับ วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulator) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมอยู่ เมื่อวัตถุทั้งสองมีความต่าง ศักย์ไฟฟ้ามากพอที่จะทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้า จนโมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) และลดสภาพความเป็นฉนวนไฟฟ้าลง ประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) บนตัวนำไฟฟ้าสามารถ ถ่ายเทข้ามผ่านไปยังวัตถุที่เป็นฉนวนได้ Brush discharge จะเกิดขึ้นที่ช่องแคบ (gap) ระหว่างตัวนำ ไฟฟ้าที่มีขนาดมากกว่า 10 มม. และวัสดุฉนวน ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันมาก เนื่องจากเกิดไฟฟ้า สถิตย์บนตัวนำไฟฟ้าหรือฉนวนไฟฟ้า
- **Propagating Brush Discharge** จะเกิดขึ้นได้จากแผ่นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าเมื่อมีการเสียดสีกับวัสดุ อื่นก็อาจทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมบนผิววัสดุฉนวนได้ ถ้าแผ่นฉนวนนั้นวางอยู่บนตัวนำไฟฟ้าที่ มีการต่อกราวด์ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าชนิดตรงข้ามมาสะสมบนตัวนำไฟฟ้า และทำให้ เกิดสภาวะเช่นเดียวกับคาปาซิเตอร์ ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิววัตถุทั้งสองมากพอจะทำให้เกิด การเบรกดาวน์ผ่านแผ่นฉนวน แต่การเบรกดาวน์จะเกิดขึ้นได้ยากถ้าแผ่นฉนวนมีความหนามากกว่า 8 มม.



รูปที่ 8-4 แสดงการเกิด Propagating Brush Discharge

- **Bulk Surface** หรือ **Cone discharge** เกิดขึ้นได้จากฝุ่นสารที่ถูกอบแห้งด้วยลมหมุน หรือถูกปั่นกววน ผสม และจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมบนฝุ่นแต่ละเม็ด และเมื่อฝุ่นสารเหล่านี้ถูกเทกองรวมกัน ประจุไฟฟ้าซึ่งรวมกันอยู่อย่างหนาแน่นไม่สามารถกระจายตัวไปไหนได้เพราะฝุ่นสารมีคุณสมบัติเป็น ฉนวนไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างกองฝุ่นกับตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ๆอาจจะมีมากพอที่จะทำให้เกิด ความเครียดสนามไฟฟ้า จนโมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) และลดสภาพความเป็น ฉนวนไฟฟ้าลง จนกระทั่งมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) จากตัวนำไฟฟ้าผ่านอากาศไปยังกอง ฝุ่น

ตารางที่ 8-2 แสดงระดับพลังงานจากการสปาร์กของไฟฟ้าสถิตย์โดยประมาณ

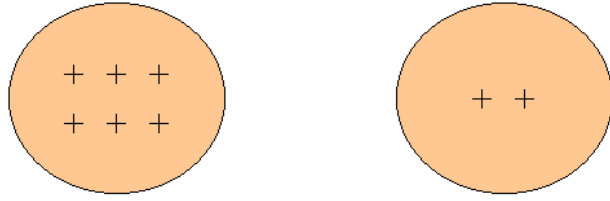
ชนิดของการถ่ายเท ประจุไฟฟ้าสถิตย์	ระดับพลังงาน (mJ)
Spark Discharge	All Levels
Brush Discharge	≤ 4
Propagating Brush Discharge	500 to 3000
Cone Discharge	≤ 20

8.4 การป้องกันการเกิดสปาร์กจากไฟฟ้าสถิตย์

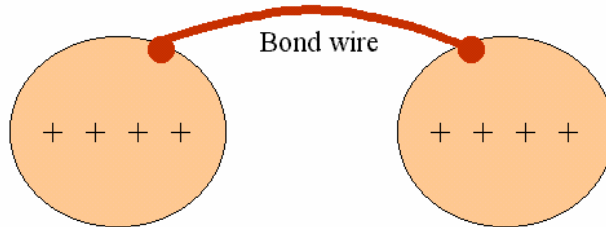
ไฟฟ้าสถิตย์สามารถเกิดได้ตลอดเวลาจากกิจกรรมการทำงานตามปกติโดยที่คนส่วนใหญ่ไม่รู้ตัวเลย ในบางกรณี เมื่อวัตถุมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างกันแล้วแยกออกจากกันวัตถุหนึ่งจะมีประจุไฟฟ้าลบ (Negative Charge) จำนวนมาก ในขณะที่อีกวัตถุหนึ่งสูญเสียประจุไฟฟ้าลบ (Negative Charge) ไปจำนวนมาก ทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัตถุทั้งสองดังกล่าวเทียบกับพื้นดินสูงเป็นพันหรือเป็นหมื่น โวลท์ก็ได้

การต่อฝาก (Bonding) และการกราวด์ (Grounding)

วิธีการต่อฝากคือการเชื่อมต่อสิ่งต่างๆที่ผลิตจากวัสดุนำไฟฟ้าได้โดยใช้สายไฟหรือตัวนำไฟฟ้าอื่น การต่อฝากไม่สามารถทำให้ประจุไฟฟ้าสถิตย์หายไปได้ แต่จะช่วยให้ประจุไฟฟ้าบนผิววัสดุที่นำไฟฟ้าได้ กระจายไปยังผิววัสดุอื่นๆ ที่นำไฟฟ้าได้เพื่อมิให้มีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัสดุทั้งสอง



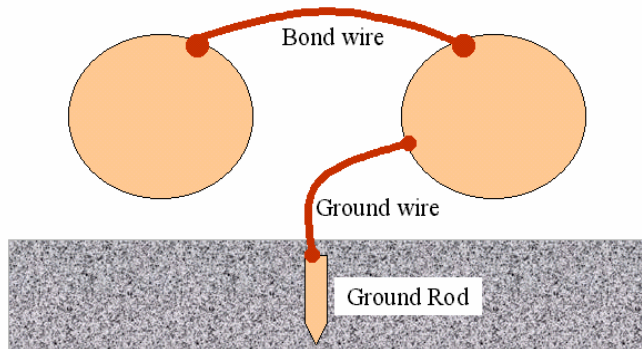
(ก) เกิดประจุไฟฟ้าสถิตบนผิววัสดุของวัตถุสองชิ้นที่ไม่มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า



(ข) การเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าทำให้ประจุไฟฟ้ากระจายตัวจนไม่มีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า

รูปที่ 8-5 แสดงการต่อฝากวัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้สองชิ้น

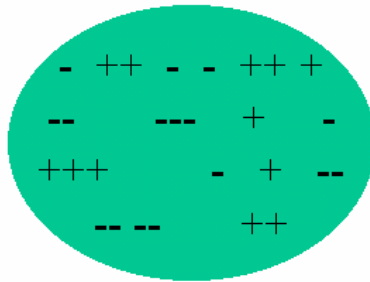
วิธีการต่อกราวด์คือการเชื่อมต่อวัตถุที่ผลิตจากวัสดุที่นำไฟฟ้าได้โดยใช้สายตัวนำไฟฟ้าต่อโดยตรงกับแท่งตัวนำกราวด์, ท่อประปาชนิดโลหะ (ฝังอยู่ในดิน) หรือโครงสร้างเหล็กของอาคารก็ได้ การกราวด์จะช่วยถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างพื้นดินแล้วพื้นผิววัสดุทำให้เกิดความสมดุลของประจุไฟฟ้า (Electrically Neutral) บนผิววัสดุนั้น แต่ความสมดุลประจุไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของผิววัสดุและค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสของแคลมป์ (Clamps) ที่ใช้เพื่อต่อสายกราวด์กับวัสดุนั้น



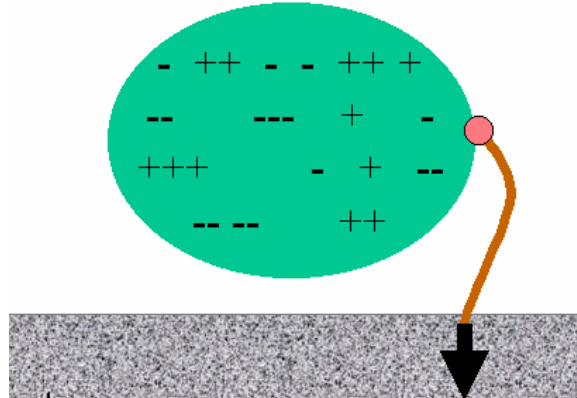
รูปที่ 8-6 แสดงการต่อกราวด์วัตถุที่สามารถนำไฟฟ้าได้เพื่อป้องกันประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมบนผิววัสดุ

วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าสะสมหรือสูญเสียประจุไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ เราก็จะสามารถทำให้กลับไปมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า (Neutral) ได้โดยการต่อสายตัวนำไฟฟ้าจากวัตถุนั้นกับพื้นดิน แต่ถ้าวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าสะสมเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าเราก็ไม่สามารถทำให้กลับไปมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า (Neutral) ได้ เนื่องจากประจุไฟฟ้าบวก และลบสามารถสะสมอยู่บนพื้นผิววัสดุที่เป็นฉนวนได้ในบริเวณต่างๆ ในเวลาเดียวกัน

มีประจุไฟฟ้าสถิตย์กระจายอยู่ไม่สม่ำเสมอ

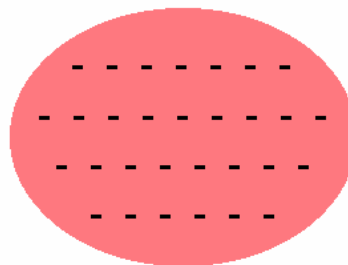


ไม่สามารถถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตย์ผ่านตัวนำไฟฟ้าได้

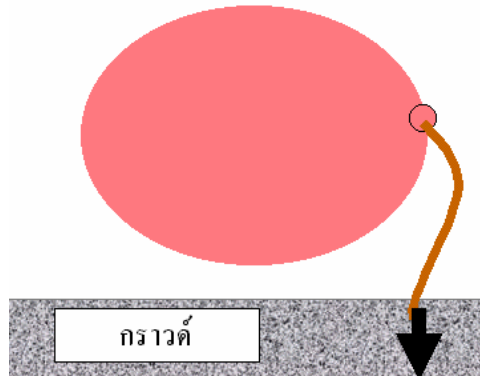


(ก) วัสดุที่เป็นฉนวน ประจุไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระ

มีประจุไฟฟ้าสถิตย์กระจายอย่างสม่ำเสมอ



สามารถถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตย์ผ่านตัวนำไฟฟ้าได้



(ข) วัสดุที่เป็นตัวนำ ประจุไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระ

รูปที่ 8-7 แสดงการต่อกราวด์เพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ากับวัสดุต่างๆ

การป้องกันการสปาร์กจากประจุไฟฟ้าสถิตย์สามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อตัวนำไฟฟ้าใช้ถึงบรรจุไซโล ท่อ และโครงสร้างอื่นๆซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ และการป้องกันการเกิดประจุไฟฟ้าสะสมบนพื้นผิววัสดุตัวนำดังกล่าวโดยการต่อฝากและต่อลงดิน (Bonding and Grounding) ซึ่งเป็นมาตรการป้องกันอันตรายไฟฟ้าสถิตย์ที่สำคัญ

ตัวอย่างการใช้แคลมป์ (Clamp) ในการต่อฝากและต่อลงดิน



รูปที่ 8-8 การต่อฝากและต่อลงดินของฐานรองรับภาชนะบรรจุ เพื่อให้ประจุไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นขณะทำการเก็บไหลลงสู่ดิน



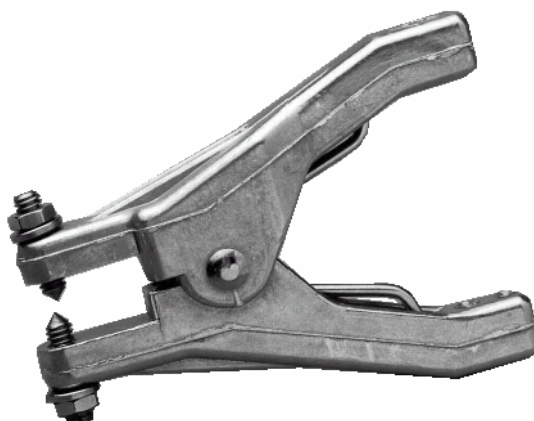
รูปที่ 8-9 การต่อฝากระหว่างภาชนะบรรจุ



รูปที่ 8-10 แสดง Heavy Duty Clamp with Tungsten Carbide Contact เหมาะที่จะใช้กับ
ถึงขนาดใหญ่



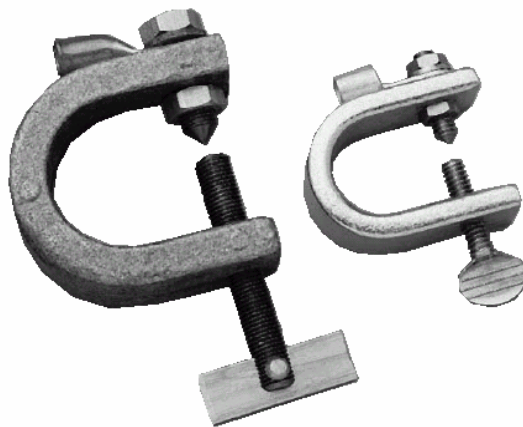
รูปที่ 8-11 แสดง Medium Duty Clamp เหมาะที่จะใช้กับถึง Stainless Steel



รูปที่ 8-12 แสดง Medium Duty Cast Aluminium Clamp เหมาะที่จะใช้กับถึงโลหะเคลือบสี



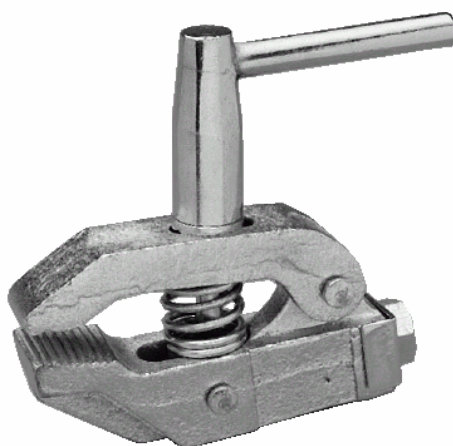
รูปที่ 8-13 แสดง Clamp เหมาะที่จะใช้สำหรับคีบถุง Type 'C' big bag



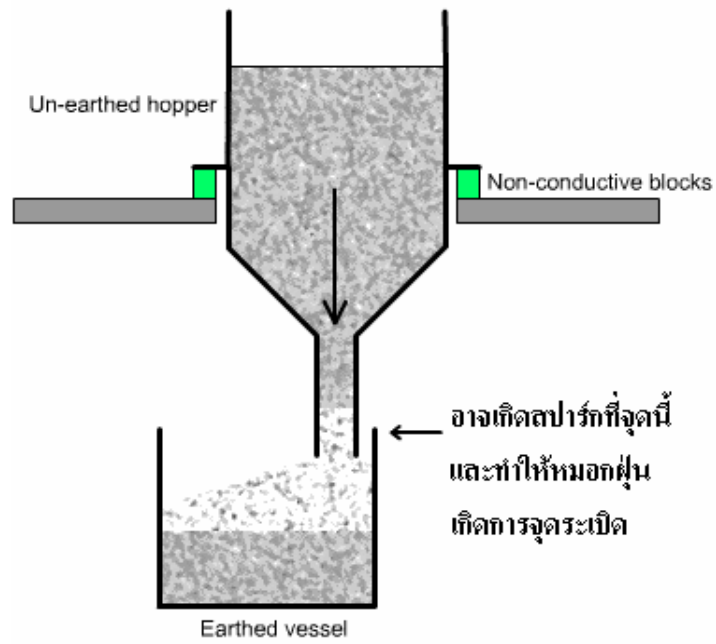
รูปที่ 8.14 แสดง C-Clamp เหมาะที่จะใช้ทำ Bonding ระหว่างถังบรรจุกับโครงโลหะแบบ
กึ่งถาวร



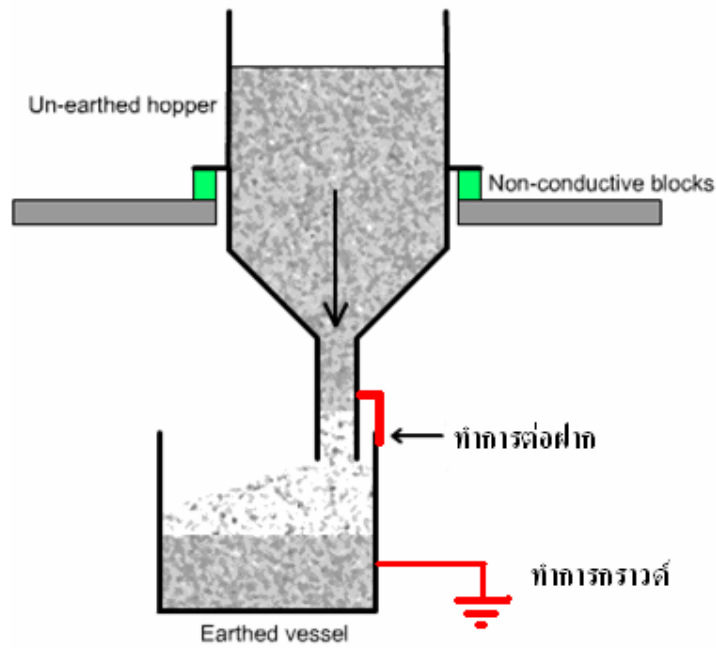
รูปที่ 8-15 แสดง Pipe Clamp เหมาะที่จะใช้กับท่อโลหะเพื่อทำ Bonding และ Grounding แบบ กิ่งถาวร



รูปที่ 8-16 แสดง Screwdown Clamp เหมาะที่จะใช้ต่อกราวด์กับโครงโลหะในงานต่างๆ แบบ กิ่งถาวร



(ก) อันตรายจากไฟฟ้าสถิตย์เมื่อไม่มีการต่อฝาก



(ข) ทำการป้องกันไฟฟ้าสถิตย์โดยการต่อฝากและกราวด์

รูปที่ 8-17 แสดงอันตรายจากการไม่ต่อเชื่อมกันทางไฟฟ้าของ Hopper กับ Vessel ทำให้เกิดการสปาร์กได้

การต่อฝาก คือการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้า 2 ส่วนเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า ขนาดของตัวนำไฟฟ้าไม่ใช่ประเด็นสำคัญ แต่ความแข็งแรงของวัสดุตัวนำและความแน่นของหน้าสัมผัสของจุดต่อเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญมากกว่า การต่อฝากไม่สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์ได้ แต่จะช่วยกระจายการสะสมของประจุไฟฟ้าบนโครงสร้างหนึ่งๆ เมื่อมีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าแล้วศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างทั้งสองจะเท่ากัน เป็นการกำจัดความเสี่ยงของการถ่ายเทประจุระหว่างวัตถุ

การต่อกราวด์ คือการการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าลงสู่พื้นดินโดยใช้ตัวนำไฟฟ้า การต่อกราวด์สามารถแก้ปัญหาการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตย์บนวัสดุตัวนำได้ เพราะการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าจะช่วยถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงสู่พื้นดิน ทำให้ศักย์ไฟฟ้าบนโครงสร้างนั้นเท่ากับพื้นดิน

การใช้ถุงประเภทป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (Flexible Intermediate Bulk Container: FIBC)

FIBC คือถุงบรรจุขนาดใหญ่ (Bulk Bag หรือ Super Sack) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม การถ่ายบรรจุสารต่างๆ อาจทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์ และถ้าปริมาณประจุไฟฟ้านั้นมากพอ ก็อาจทำให้เกิดการสปาร์กไปยังตัวนำไฟฟ้าที่เข้ามาใกล้ได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการแบ่ง FIBC ออกเป็น

- Type A : ถุงพลาสติกธรรมดา มีคุณสมบัติเป็นฉนวน
- Type B : ถุงพลาสติก ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ซึ่งสามารถทนความต่างไฟฟ้าที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตย์ไม่เกิน 4,000 โวลท์
- Type C : ถุงที่ทอจากวัสดุนำไฟฟ้า หรือเคลือบด้วยสารที่ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ได้ ก่อนใช้งานจะต้องทำการต่อกราวด์ เพื่อป้องกันการสปาร์ก
- Type D : ถุงที่สามารถกระจายประจุไฟฟ้าสถิตย์ และกระจายประจุไฟฟ้าไปในอากาศ (Corona Discharge) จึงไม่จำเป็นต้องทำการกราวด์เพื่อป้องกันการสปาร์ก



รูปที่ 8-18 แสดงตัวอย่างของถุงกระสอบชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิตย์

การถ่ายบรรจุผงแป้งหรือฝุ่นสารลงในถุงขนาดใหญ่ จะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมบนถุง และทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electric Field) จนโมเลกุลของอากาศเกิดแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) และเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามบนวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าซึ่งอยู่ใกล้ๆ ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีมากพอ ก็อาจเกิดการสปาร์กขึ้นได้

ถ้าผงฝุ่นปริมาณมากซึ่งมีประจุไฟฟ้าสถิตย์สะสมอยู่ถูกถ่ายเทลงในถุง โดยถุงนั้นทำจากวัสดุฉนวนที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 4 กิโลโวลต์ หรือมากกว่า และถุงถูกวางบนวัสดุตัวนำไฟฟ้าที่มีการต่อลงกราวด์ อาจจะทำให้เกิด Propagating Brush Discharge และจะมีความเสี่ยงต่อการเบรกดาวนอย่างรุนแรง จนทำให้เกิดการจุดระเบิดหมอกฝุ่นได้

บทที่ 9 ระบบการป้องกันฟ้าผ่า

9.1 หลักการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า

อาคารที่อยู่ในพื้นที่ที่อาจเกิดอันตรายจากฟ้าผ่า จะต้องมียระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยตรง (Direct Lightning Stroke) ลงส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารหรือสิ่งต่างๆที่ติดตั้งบนอาคาร ระบบป้องกันฟ้าผ่าจะประกอบด้วย ตัวนำล่อฟ้า (Air Terminal) กระแสฟ้าผ่าจากตัวนำล่อฟ้าจะต้องผ่านตัวนำลงดิน (Down Conductor) ลงสู่รากสายดิน (Earth Electrode) เพื่อป้องกันความบกพร่องหรือขาดประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่า ตัวนำล่อฟ้าทั้งหมดควรมีการเชื่อมต่อกัน (Bonding) โดยกระแสฟ้าผ่าจากแต่ละตัวนำล่อฟ้าจะต้องมีเส้นทางผ่านตัวนำลงดินได้อย่างน้อยสองแนวทาง และค่าความต้านทานดินจากการวัดทดสอบที่รากสายดิน จะต้องไม่เกิน 5 โอห์ม



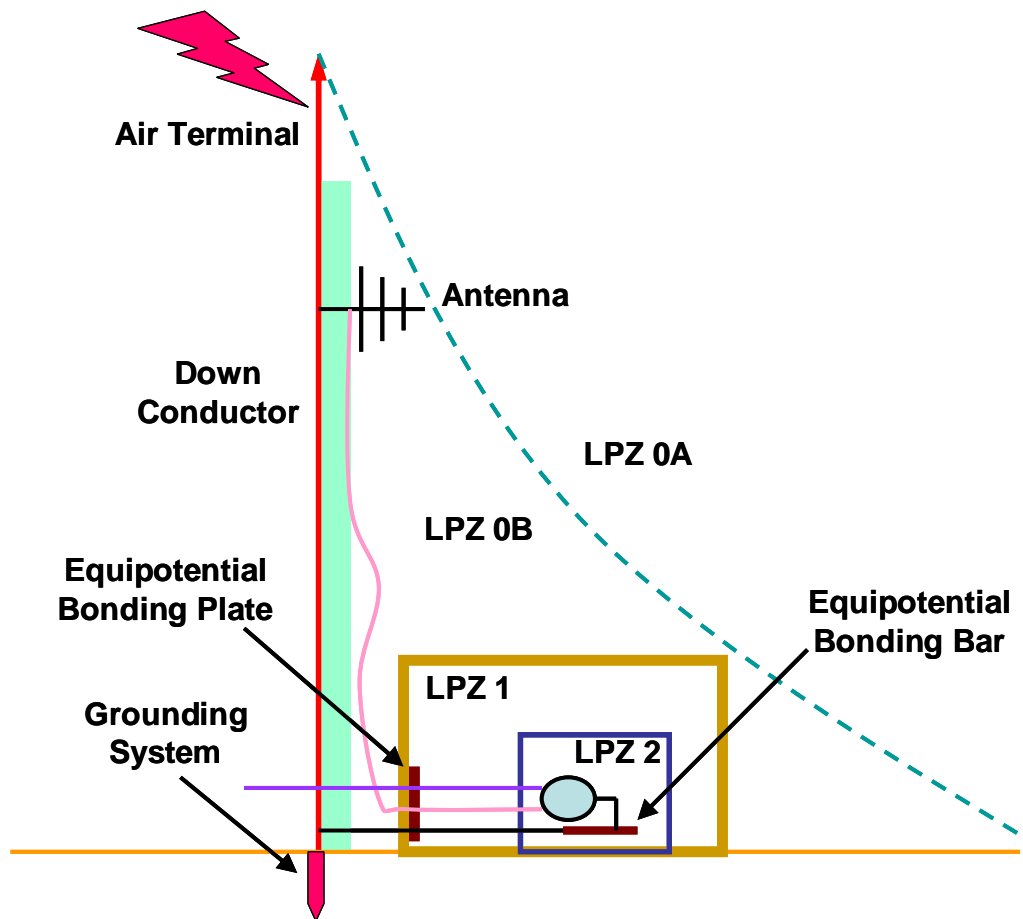
รูปที่ 9-1 แสดงปรากฏการณ์ฟ้าผ่าซึ่งสามารถเป็นสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้

ฟ้าผ่าในบริเวณพื้นที่อันตรายอาจทำให้เกิดประกายไฟ หรือความร้อนของตัวนำไฟฟ้าของระบบป้องกันฟ้าผ่า และกระแสลัด (Surge) ที่อาจเข้ามาในระบบไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารอาจทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นเหตุให้สารไวไฟจุดติดไฟหรือเกิดการระเบิดได้ ดังนั้น ควรมีการออกแบบติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคาร (External Lightning protection System) ที่เหมาะสมแล้ว ควรมีการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าภายในอาคาร (Internal Lightning Protection System) ซึ่งประกอบด้วย การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน (Surge Protection Device: SPD) การกำบัง

สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Shielding) การต่อประสานศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential Bonding) การต่อลงดิน (Grounding) อย่างเหมาะสม และการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในระยะที่ปลอดภัย (Safety Distance) จากระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

9.2 ขอบเขตการป้องกัน (Protection Zone)

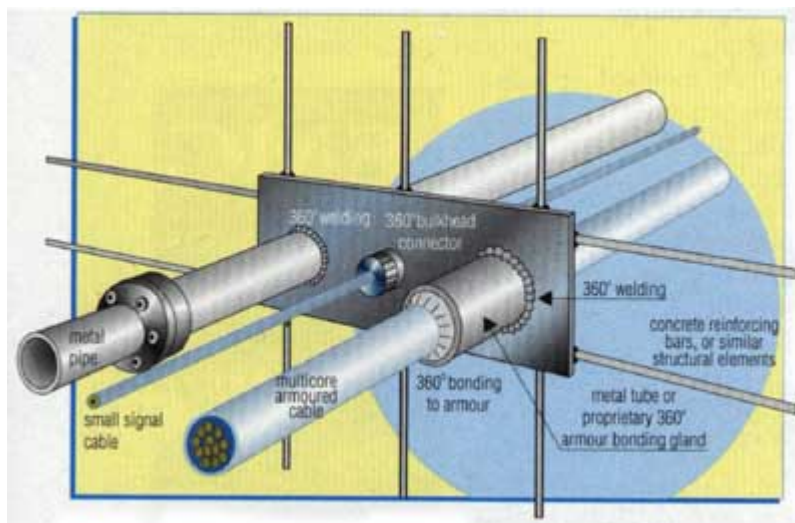
การกำหนดขอบเขตการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC จะพิจารณาจากอันตรายของฟ้าผ่า (Lightning Stroke) และอันตรายจากผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า (Electromagnetic Field) โดยมีการกำหนดขอบเขตออกเป็น 4 ส่วน คือ



รูปที่ 9-2 แสดงการกำหนดขอบเขตการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC

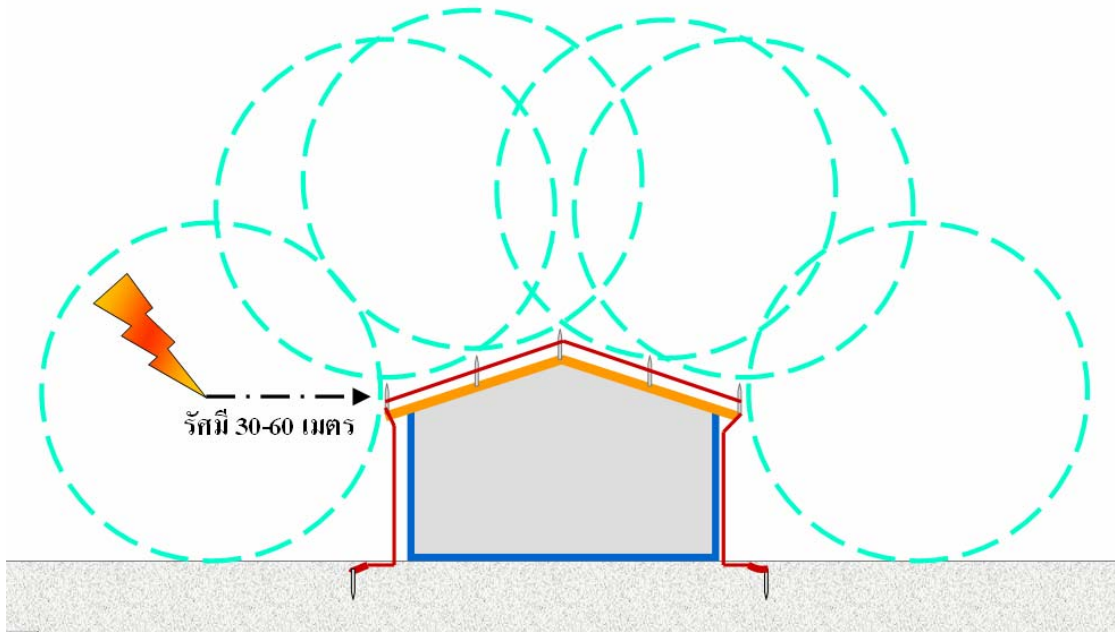
- LPZ 0A คือขอบเขตที่มีโอกาสถูกฟ้าผ่าโดยตรง ไม่ควรติดตั้งอุปกรณ์ใดๆ เนื่องจากไม่มีการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า

- LPZ 0B คือขอบเขตที่ถูกป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงจากตัวนำล่อฟ้า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรัศมีการป้องกันตามที่ผู้ออกแบบกำหนด ภายในขอบเขตนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่อาจจะได้รับผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสฟ้าผ่า เนื่องจากไม่มีเครื่องกำบังหรือลดทอนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- LPZ 1 คือขอบเขตที่อยู่ภายในอาคารจึงไม่มีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าโดยตรง และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกลดทอนไปอย่างมาก สายนำสัญญาณสื่อสาร (Signal Cable) สายตัวนำไฟฟ้า(Power Cable) รวมทั้งท่อโลหะอื่นๆที่ผ่านเข้าไปในอาคารจะต้องมีการต่อประสานให้เกิดศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน และควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน (SPD) ในระบบไฟฟ้าด้วย เพื่อป้องกันเสิร์จจากกระแสฟ้าผ่าผ่านเข้ามาในอาคารได้
- LPZ 2 คือขอบเขตการป้องกันที่ผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกลดทอนลงไปมาก แต่เนื่องจากระบบกราวด์อาจมีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นมาในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าลงระบบป้องกันฟ้าผ่าและความต้านทานดินค่อนข้างมาก อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า (Rate of Change of the Charge Current) ในตัวนำลงสู่ดินที่สูงมาก ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดเสิร์จแรงดันไฟฟ้าในวงจรระบบสื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ยังสามารถทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ในวงจรได้ จึงควรมีการใช้สายไฟฟ้าและสายนำสัญญาณสื่อสารที่มีเครื่องกำบัง (Shield) ซึ่งมีการต่อกราวด์ และอาจใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จ สำหรับพื้นที่อันตรายที่มีการใช้สารไวไฟในปริมาณมาก



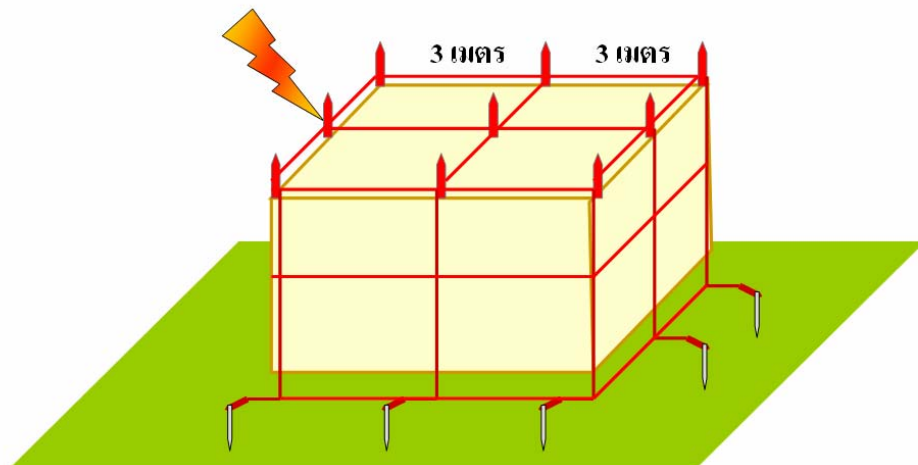
รูปที่ 9-3 แสดงการใช้ Equipotential Plate ต่อประสานศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ก่อนเข้าอาคาร

อาคารที่มีความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าโดยตรง จะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าครอบคลุมส่วนต่างๆที่อาจถูกฟ้าผ่า โดยใช้วิธีทรงกลมกลิ้งตรวจสอบระยะห่างของการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแต่ละจุด ค่ารัศมีของทรงกลมจะขึ้นอยู่กับระดับความปลอดภัยตามต้องการ



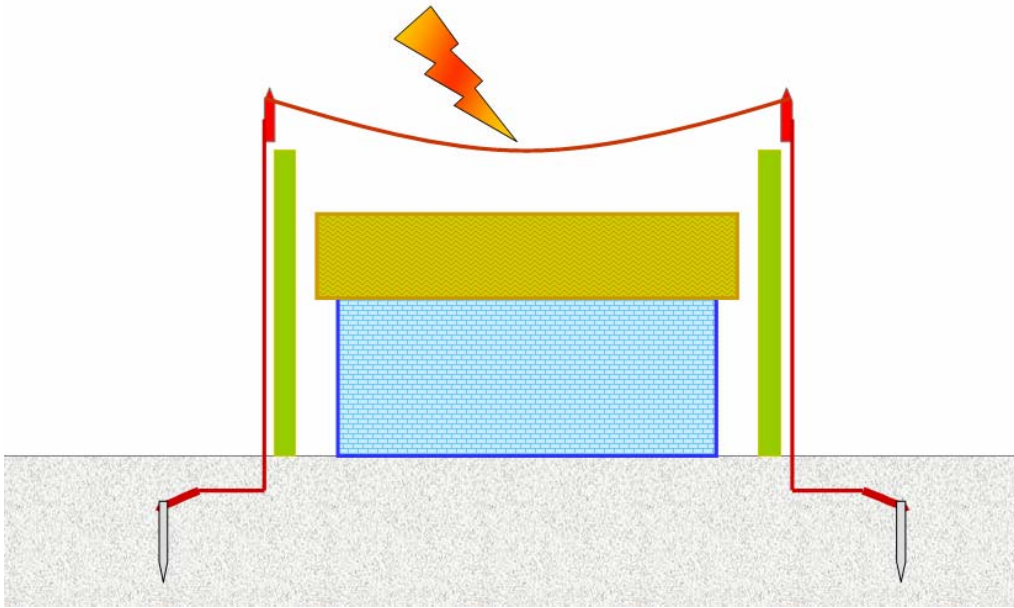
รูปที่ 9-4 แสดงการใช้วิธีทรงกลมกลิ้งเพื่อการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

สำหรับอาคารที่มีพื้นที่หลังคาในแนวราบเป็นบริเวณกว้าง จะต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าห่างกันไม่เกิน 3 เมตร เพื่อครอบคลุมพื้นที่ป้องกันทั้งหมด



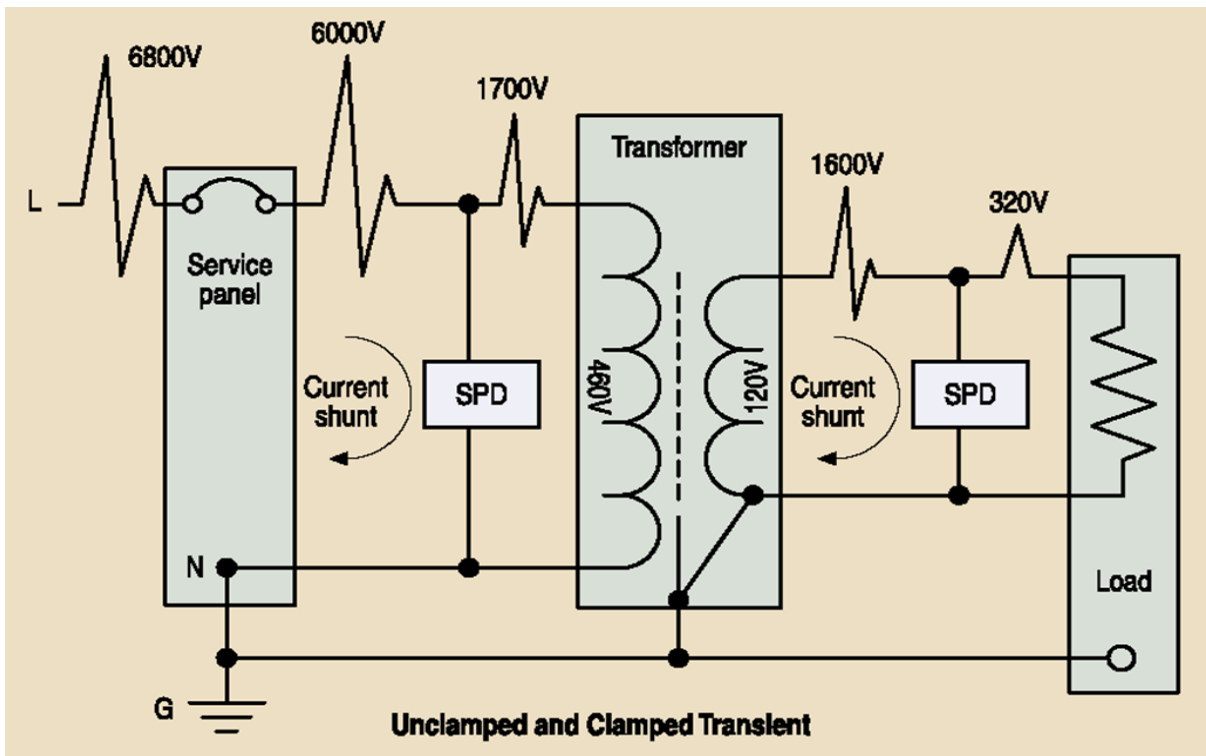
รูปที่ 9-5 แสดงการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากรณีหลังคาอาคารเป็นแบบแบนราบ

สำหรับอาคารชั้นเดียวที่อยู่ในพื้นที่โล่ง อาจใช้การติดตั้งเสาล่อฟ้า พร้อมทั้งขึงตัวนำดิน (Ground Wire) ระหว่างปลายตัวนำล่อฟ้าระหว่างเสา โดยให้มีมุมป้องกันครอบคลุมทุกส่วนของอาคาร



รูปที่ 9-6 แสดงการใช้เสาสูงซึ่งตัวนำล่อฟ้า ในกรณีอาคารที่อยู่ในพื้นที่โล่ง

9.3 อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จฟ้าผ่า



รูปที่ 9-7 แสดงการใช้อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบไฟฟ้า

ในเขตพื้นที่ที่อาจเกิดปัญหาจากการเกิดฟ้าผ่า จะต้องติดตั้งกับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) เพื่อดักคลื่นฟ้าผ่าที่มาจากสายส่งไฟฟ้าและถ่ายเทกระแสเสิร์จลงสู่พื้นดิน เสิร์จจากฟ้าผ่า (Lightning Surge) ที่ผ่านเข้ามาในระบบไฟฟ้าภายในอาคาร และเสิร์จจากการตัดต่อวงจรไฟฟ้า (Switching Surge) จะทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน (Overvoltage) จนอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความเสียหายได้ จึงควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ

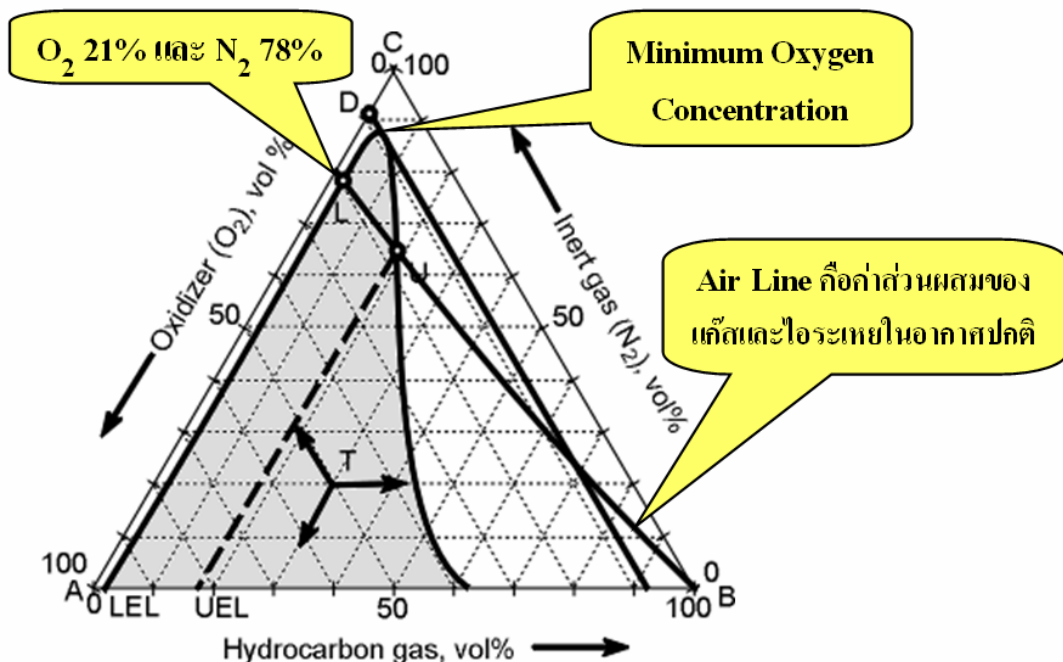
1. Air Spark Gap เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเสิร์จฟ้าผ่า (Lightning Current Arrester) ที่จะติดตั้งก่อนที่ตัวนำไฟฟ้า (Power Cable) จะเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าของอาคารซึ่งอยู่ในเขตป้องกัน LSP 0B และ LSP 1 และสามารถช่วยลดอันตรายจากกระแสฟ้าผ่าได้บางส่วน (Partial Lightning Current)
2. Metal-Oxide Varistor (MOV) เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจากกระแสฟ้าผ่า และกระแสฟ้าผ่าบางส่วนที่ผ่าน Air Spark Gap มาได้ MOV จะผลิตจาก Zinc-Oxide Varistor ซึ่งจะทำหน้าที่จำกัดแรงดันไฟฟ้า (Clamping Voltage) ในวงจร อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบนี้จะถูกติดตั้งในตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือแผงวงจรย่อยก่อนเข้าพื้นที่อันตรายในเขตป้องกัน LPZ 1 และ LPZ 2
3. Hybrid Solid Stage Device ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จสำหรับวงจรสื่อสารและวงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบนี้มักจะเป็น Zener Diode, Capacitor หรือ Gas Tube และอาจมีวงจรกรองสัญญาณ (Filter) ร่วมด้วย โดยจะติดตั้งอยู่ตู้ควบคุมอุปกรณ์ที่อยู่ในเขตป้องกัน LPZ 1 และ LPZ 2

บทที่ 10 การป้องกันและลดความรุนแรงจากการระเบิดของฝุ่น

การป้องกันอันตรายจากการระเบิด และการป้องกันความรุนแรงจากการระเบิด จะมีวิธีการที่สำคัญอยู่ 5 วิธี คือ

10.1 การใช้แก๊สเฉื่อย (Inerting หรือ Blanketing)

โอกาสหรือความเป็นไปได้ของการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดใดๆ จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าส่วนผสมของไอระเหยของสารไวไฟ ออกซิเจน และไนโตรเจน ตามแผนผังแสดงโอกาสของการจุดติดไฟได้ (Flammability Diagram) เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิและความดันอากาศค่าหนึ่ง จะเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิง ออกซิเจน และแก๊สเฉื่อยที่มีอยู่ในอากาศ มีการเปลี่ยนค่าไป ตามรูปที่ 10-1 จะสังเกตได้ว่า เมื่อพิจารณาจาก Air Line ถ้ามีไอระเหยของสารไวไฟเพิ่มมากขึ้นในอากาศ จะทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจน และไนโตรเจน ในอากาศลดสัดส่วนลงไป เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงจนต่ำกว่าค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดเพื่อการสันดาป (Minimum Oxygen Concentration) ก็จะไม่มีโอกาสที่สารไวไฟในอากาศจุดติดไฟได้ ดังนั้น ถ้าต้องการควบคุมไม่ให้เกิดส่วนผสมของสารไวไฟในอากาศที่ทำให้เกิด Flammable Mixture โดยมีการควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ ด้วยวิธีการเติมแก๊สไนโตรเจนซึ่งเป็นแก๊สเฉื่อย (Inert Gas) เพื่อไปลดสัดส่วนของออกซิเจน จะช่วยป้องกันปัญหาจากการเกิดเพลิงไหม้ได้

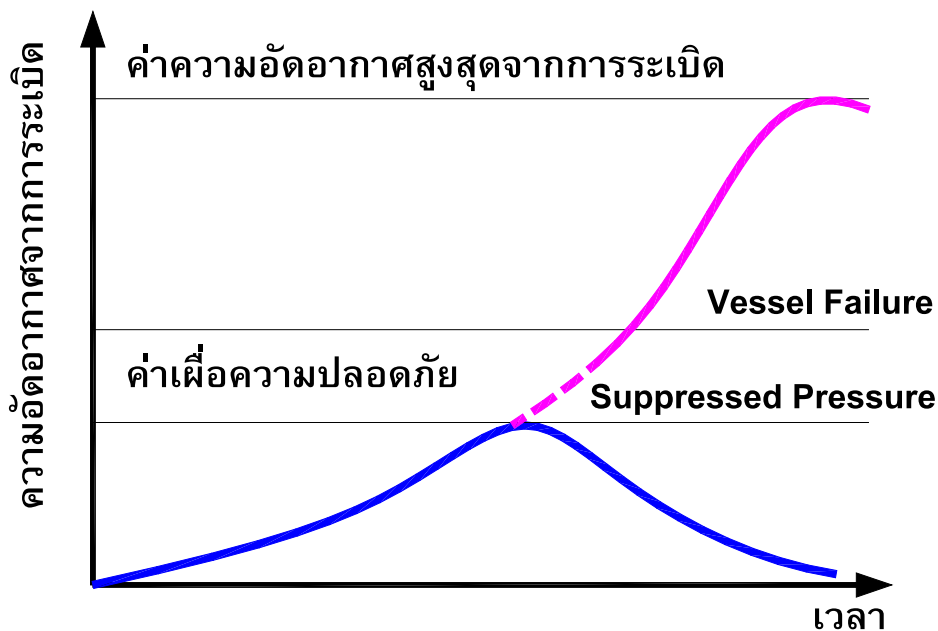


รูปที่ 10-1 แสดงแผนผังแสดงโอกาสของการจุดติดไฟได้ของ Hydrocarbon Gas

ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำสุด (Minimum Oxygen Concentration: MOC) ซึ่งยังทำให้หมอกฝุ่นถูกจุดระเบิดได้ จะทำการทดสอบโดยทำให้เกิดหมอกฝุ่นภายในทรงกลมขนาด 20 ลิตร บันทึกราค่าปริมาณออกซิเจนในทรงกลม แล้วทำการจุดระเบิด จากนั้น ก็ทำการทดสอบซ้ำโดยเพิ่มแก๊สไนโตรเจนเข้าไปเพื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจน จนกระทั่งไม่สามารถจุดระเบิดหมอกฝุ่นได้ และทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยที่สุดที่ยังคงสามารถจุดระเบิดได้ เมื่อเราทราบค่า MOC แล้ว เราจะสามารถออกแบบ Inerting System โดยควบคุมปริมาณแก๊สเฉื่อยในอากาศที่คลุกอยู่เหนือฝุ่นสารที่ลุกไหม้ได้ง่าย ซึ่งจะทำให้ไม่มีโอกาสที่จะเกิดการเผาไหม้ได้

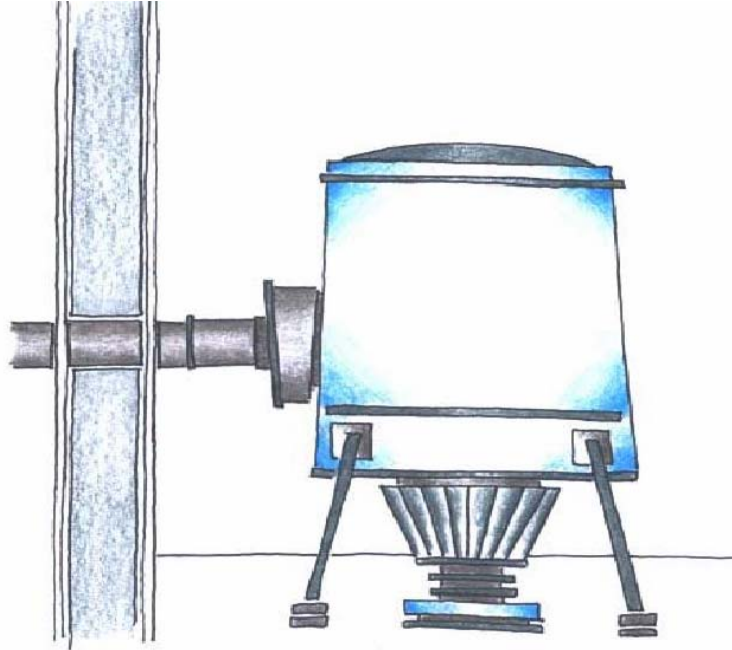
10.2 การใช้ช่องเปิดระบายความอัดอากาศจากการระเบิด (Explosion Relief Venting)

การเกิดระเบิดอย่างรุนแรงภายในพื้นที่ปิด เช่น ภายในไซโล ท่อ และ Bucket Elevator จะทำให้เกิดความอัดอากาศเพิ่มขึ้นสูงมาก ถ้าไม่มีการสร้างช่องเปิดไว้ ความอัดอากาศจากการระเบิดอาจจะทำให้ผนังที่ปิดกั้นไว้แตกออก (Vessel Failure) ได้ ในรูปที่ 10-2 จะเห็นว่าค่าความอัดอากาศสูงสุดจากการระเบิดมีค่ามากกว่าค่าที่ผนังปิดล้อมจะสามารถทนได้ การสร้างช่องเปิดระบายอากาศจะช่วยป้องกันความดันที่สูงเกิน (Overpressure Protection) ในโครงสร้างที่ถูกปิดล้อมอยู่ ยิ่งช่องเปิดกว้าง หรือมีจำนวนมาก ค่า Suppressed Pressure ก็จะมีค่าต่ำลง



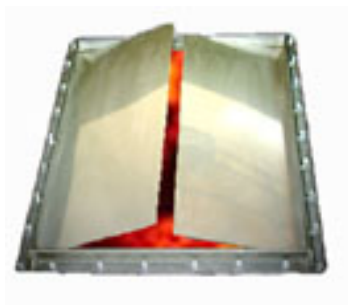
รูปที่ 10-2 แสดง Pressure Curve ของการระเบิดภายในถังที่มีการป้องกันการระเบิดเทียบกับที่ไม่มีการป้องกัน

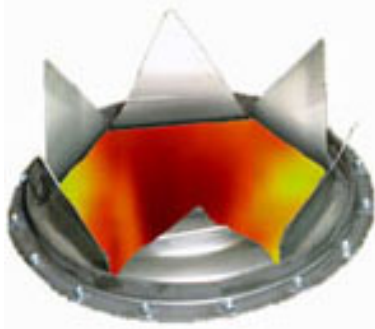
การใช้วิธีระบายความอัดอากาศสามารถทำได้ในสองลักษณะ คือ การต่อท่อ (Duct) จากผนังปิดล้อม เพื่อระบายแรงอัดอากาศไปสู่ภายนอกอาคาร ซึ่งเปลวไฟและคลื่นแรงอัดอากาศ (Shock Wave) ที่เกิดขึ้นจะถูกระบายออกไปในพื้นที่ปลอดภัย ตามตัวอย่างในรูปที่ 10-3



รูปที่ 10-3 แสดงการติดตั้งท่อสำหรับระบายแรงอัดอากาศเมื่อเกิดการระเบิด

การใช้วิธีระบายความอัดอากาศอีกวิธีหนึ่งคือการติดตั้งแผ่น Rupture Disk ไว้บนผนังปิดล้อม เมื่อเกิดการระเบิดแผ่น Rupture Disk จะแตกออกกลายเป็นช่องเปิดเพื่อระบายแรงอัดอากาศไปสู่ภายนอก ซึ่งเปลวไฟและคลื่นแรงอัดอากาศ (Shock Wave) ที่เกิดขึ้นจะถูกระบายออกไปในพื้นที่ใกล้เคียง ตามตัวอย่างในรูปที่ 10-4 และ 10-5 การสร้างช่องเปิดโดยใช้วัสดุต่างๆเพื่อความประหยัด แต่ขาดความรอบคอบ อาจทำให้เกิดชิ้นส่วนที่ติดตั้งนั้นหลุดกระเด็นออกมาจากแรงระเบิด ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่อยู่บริเวณใกล้เคียง





รูปที่ 10-4 แสดงตัวอย่างของแผ่น Rupture Disk

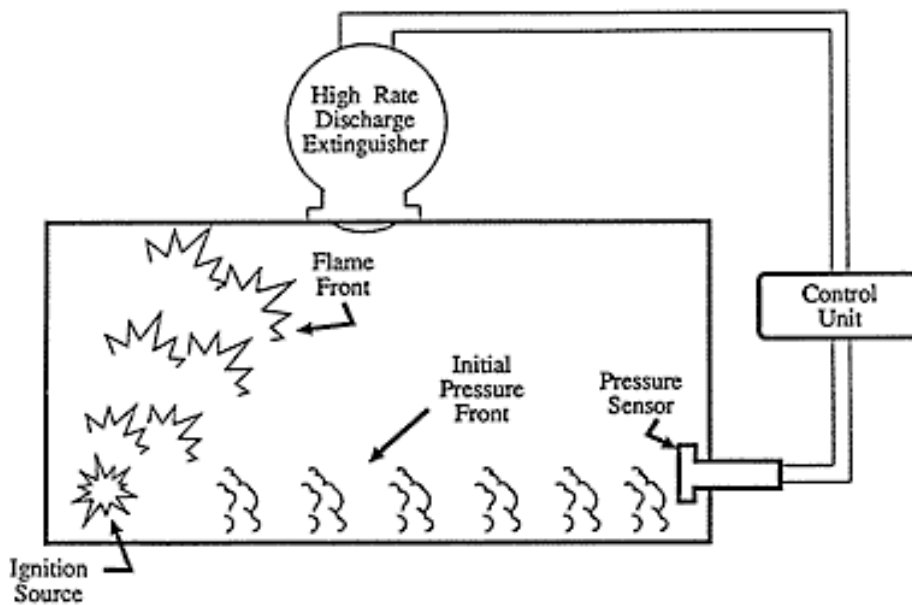


รูปที่ 10-5 แสดงตัวอย่างการติดตั้งแผ่น Rupture Disk

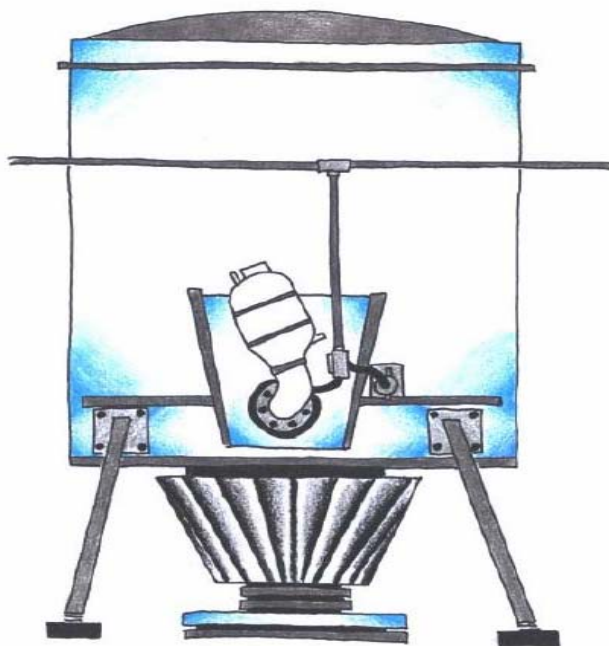
10.3 ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ (Suppression System)

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมหลายๆประเภท ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสภาพที่ทำให้เกิดความเสียหายจากการระเบิดของฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ เช่น การอบแห้งนม หรือกาแฟ เนื่องจากการอบแห้ง (Spray Drying) จะทำให้เกิดสภาพของหมอกฝุ่นที่มีความแห้งมาก และมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จึงเสี่ยงที่จะเกิดการจุดระเบิดได้ง่าย ระบบดับเพลิงอัตโนมัติหรือระบบยับยั้งการระเบิด (Explosion Suppression) จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ส่วนคือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการระเบิดหรือการเผาไหม้ (Sensor) ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Control Unit) และอุปกรณ์ดับเพลิง (Extinguisher)

ตามตัวอย่างในรูปที่ 10-6 และ 10-7 เมื่อเกิดการจุดระเบิดขึ้นในไซโล อากาศจะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดแรงอัดอากาศขยายตัวออกจากจุดที่เกิดการระเบิด อุปกรณ์ตรวจจับค่าความดันอากาศจะตรวจพบว่ามีค่าความดันอากาศสูงกว่าระดับปกติ และส่งสัญญาณแจ้งให้กับชุดควบคุมเพื่อทำการปล่อยสารดับเพลิง ซึ่งระบบการป้องกันแบบนี้จะช่วยยับยั้งการระเบิดอย่างรวดเร็วก่อนที่จะเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงและสร้างความเสียหายที่มากขึ้น



รูปที่ 10-6 แสดงการทำงานของระบบดับเพลิงเมื่อเกิดการระเบิด



รูปที่ 10-7 แสดงการติดตั้งระบบดับเพลิงเมื่อเกิดการระเบิด

10.4 การใช้โครงสร้างทนแรงระเบิด (Containment System)

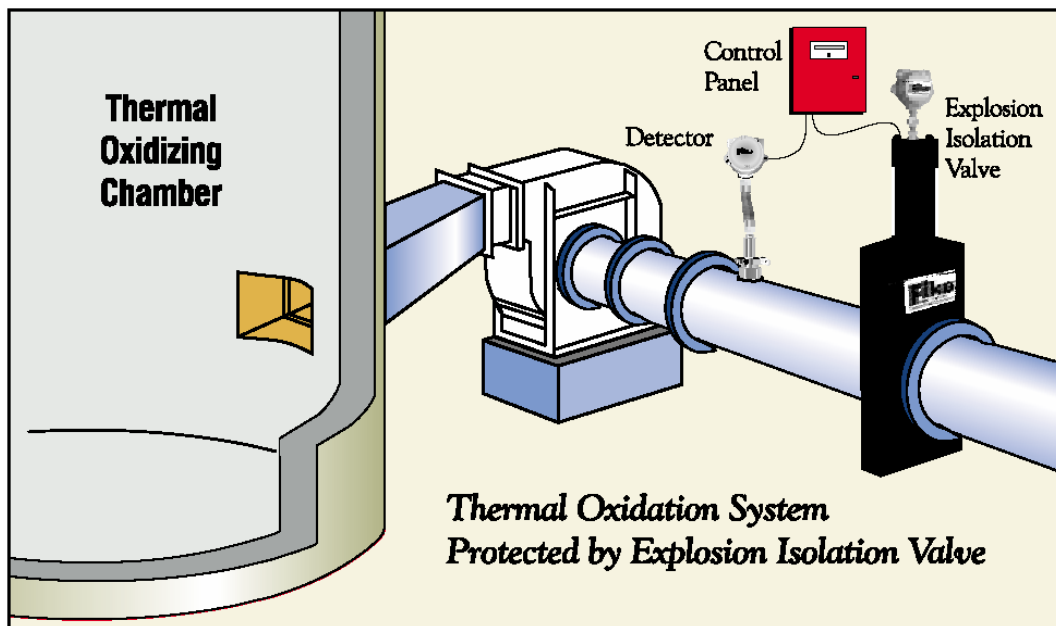
วิธีการป้องกันอันตรายจากการระเบิดโดยใช้โครงสร้างผนังปิดล้อมที่สามารถทนความอัดอากาศสูงสุดจากการระเบิดได้ ซึ่งมักใช้ร่วมกับวิธีการปิดกั้นแยกจากโครงสร้างส่วนอื่นๆ เพื่อไม่ให้เปลวไฟและแรงอัดอากาศจากการระเบิดหนีออกจากโครงสร้างนั้น

10.5 ระบบการแยกส่วน (Isolating System)

สำหรับโครงสร้างที่มีความแข็งแรง และสามารถทนแรงระเบิดที่เกิดขึ้นภายในได้ และไม่มีวิธีการป้องกันในแบบอื่นๆ ดังที่กล่าวมา ควรจะมีการปิดกั้นหรือแบ่งแยกส่วนที่เกิดการระเบิดออกจากระบบอื่นทันทีที่ตรวจจับพบแรงดันจากการระเบิด โดยใช้กลไกทางกลหรือใช้สารช่วยดับเพลิง (Mechanical or Chemical Barrier) ก็ได้ ตามตัวอย่างในรูปที่ 10-8 และ 10-9 การป้องกันโดยวิธีแยกส่วนจะช่วยลดขอบเขตความเสียหายเมื่อเกิดการระเบิดขึ้นในส่วนต่างๆ ไม่ให้มีผลกระทบต่อส่วนอื่นที่มีโครงสร้างต่อเนื่องกัน



รูปที่ 10-8 แสดงการติดตั้งวาล์วปิดกั้นเปลวไฟเมื่อเกิดการระเบิด โดยโครงสร้างของถังจะต้องทนแรงระเบิดได้



รูปที่ 10-9 แสดงการป้องกันการขยายขอบเขตของการระเบิด โดยใช้ Explosion Isolation Valve

ภาคผนวก ก

การแบ่งประเภทฝุ่น

ภาคผนวก ข

การแบ่งพื้นที่อันตรายและหลักการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้า

ภาคผนวก ค

แบบฟอร์มตรวจสอบการป้องกันการระเบิด
ในพื้นที่อันตราย

เอกสารอ้างอิง

การแบ่งประเภทฝุ่น

DUSTS – HAZARDOUS SUBSTANCES USED IN BUSINESS & INDUSTRY

Class II, Group E Material ²	Minimum Cloud or Layer Ignition Temp. ¹		Class II, Group G (cont'd)	Minimum Cloud or Layer Ignition Temp.	
	°F	°C		°F	°C
Aluminum, atomized collector fines	1022	CI 550	Pectin	392	200
Aluminum, A422 flake	608	320	Potato Starch, Dextrinated	824	NL 440
Aluminum — cobalt alloy (60-40)	1058	570	Pyrethrum	410	210
Aluminum — copper alloy (50-50)	1526	830	Rauwolfia Vomitoria Root	446	230
Aluminum — lithium alloy (15% Li)	752	400	Rice	428	220
Aluminum — magnesium alloy (Dowmetal)	806	CI 430	Rice Bran	914	NL 490
Aluminum — nickel alloy (58-42)	1004	540	Rice Hull	428	220
Aluminum — silicon alloy (12% Si)	1238	NL 670	Safflower Meal	410	210
Boron, commercial-amorphous (85% B)	752	400	Soy Flour	374	190
Calcium Silicide	1004	540	Soy Protein	500	260
Chromium, (97%) electrolytic, milled	752	400	Sucrose	662	CI 350
Ferromanganese, medium carbon	554	290	Sugar, Powdered	698	CI 370
Ferrosilicon (88%, 9% Fe)	1472	800	Tung, Kernels, Oil-Free	464	240
Ferrotitanium (19% Ti, 74.1% Fe, 0.06% C)	698	CI 370	Walnut Shell, Black	428	220
Iron, 98%, H2 reduced	554	290	Wheat	428	220
Iron, 99%, Carbonyl	590	310	Wheat Flour	680	360
Magnesium, Grade B, milled	806	430	Wheat Gluten, gum	968	NL 520
Manganese	464	240	Wheat Starch	716	NL 380
Silicon, 96%, milled	1436	CI 780	Wheat Straw	428	220
Tantalum	572	300	Woodbark, Ground	482	250
Thorium, 1.2%, O ₂	518	CI 270	Wood Flour	500	260
Tin, 96%, atomized (2% Pb)	806	430	Yeast, Torula	500	260
Titanium, 99%	626	CI 330	CHEMICALS		
Titanium Hydride, (95% Ti, 3.8% H ₂)	896	CI 480	Acetoacetanilide	824	M 440
Vanadium, 86.4%	914	490	Acetoacet-p-phenetidine	1040	NL 560
Zirconium Hydride, (93.6% Zr, 2.1% H ₂)	518	270	Adipic Acid	1022	M 550
			Anthranilic Acid	1076	M 580
Class II, Group F			Aryl-nitrosomethylamide	914	NL 490
CARBONACEOUS DUSTS			Azelaic Acid	1130	M 610
Asphalt, (Blown Petroleum Resin)	950	CI 510	2,2-Azo-bis-butyronitrile	662	350
Charcoal	356	180	Benzoic Acid	824	M 440
Coal, Kentucky Bituminous	356	180	Benzotriazole	824	M 440
Coal, Pittsburgh Experimental	338	170	Bisphenol-A	1058	M 570
Coal, Wyoming	—	—	Chloroacetoacetanilide	1184	M 640
Gilsonite	932	500	Diallyl Phthalate	896	M 480
Lignite, California	356	180	Dicumyl Peroxide (suspended on CaCO ₃), 40-60	356	180
Pitch, Coal Tar	1310	NL 710	Dicyclopentadiene Dioxide	788	NL 420
Pitch, Petroleum	1166	NL 630	Dihydroacetic Acid	806	NL 430
Shale, Oil	—	—	Dimethyl Isophthalate	1076	M 580
			Dimethyl Terephthalate	1058	M 570
Class II, Group G			3,5 - Dinitrobenzoic Acid	860	NL 460
AGRICULTURAL DUSTS			Dinitrotoluamide	932	NL 500
Alfalfa Meal	392	200	Diphenyl	1166	M 630
Almond Shell	392	200	Ditertiary Butyl Paracresol	878	NL 470
Apricot Pit	446	230	Ethyl Hydroxyethyl Cellulose	734	NL 390
Cellulose	500	260	Fumaric Acid	968	M 520
Cherry Pit	428	220	Hexamethylene Tetramine	770	S 410
Cinnamon	446	230	Hydroxyethyl Cellulose	770	NL 410
Citrus Peel	518	270	Isotoic Anhydride	1292	NL 700
Cocoa Bean Shell	698	370	Methionine	680	360
Cocoa, natural, 19% fat	464	240	Nitrosoamine	518	NL 270
Coconut Shell	428	220	Para-oxy-benzaldehyde	716	CI 380
Corn	482	250	Paraphenylene Diamine	1148	M 620
Corncob Grit	464	240	Paratertiary Butyl Benzoic Acid	1040	M 560
Corn Dextrine	698	370	Pentaerythritol	752	M 400
Cornstarch, commercial	626	330	Phenylbetanaphthylamine	1256	NL 680
Cornstarch, modified	392	200	Phthalic Anhydride	1202	M 650
Cork	410	210	Phthalimide	1166	M 630
Cottonseed Meal	392	200	Salicylanilide	1130	M 610
Cube Root, South Amer.	446	230	Sorbic Acid	860	460
Flax Shive	446	230	Stearic Acid, Aluminum Salt	572	300
Garlic, dehydrated	680	NL 360	Stearic Acid, Zinc Salt	950	M 510
Guar Seed	932	NL 500	Sulfur	428	220
Gum, Arabic	500	260	Terephthalic Acid	1256	NL 680
Gum, Karaya	464	240	DRUGS		
Gum, Manila (copal)	680	CI 360	2-Acetylamino-5-nitrothiazole	842	450
Gum, Tragacanth	500	260	2-Amino-5-nitrothiazole	860	460
Hemp Hurd	428	220	Aspirin	1220	M 660
Lycopodium	590	310	Gulasonic Acid, Diacetone	788	NL 420
Malt Barley	482	250	Mannitol	860	M 460
Milk, Skimmed	392	200	Nitropyridone	806	M 430
Pea Flour	500	260	1-Sorbose	698	M 370
Peach Pit Shell	410	210	Vitamin B1, mononitrate	680	NL 360
Peanut Hull	410	210	Vitamin C (Ascorbic Acid)	536	280
Peat, Sphagnum	464	240			
Pecan Nut Shell	410	210			

DUSTS – HAZARDOUS SUBSTANCES USED IN BUSINESS & INDUSTRY

Class II, Group G (cont'd)	Minimum Cloud or Layer Ignition Temp. ¹	
	°F	°C
DYES, PIGMENTS, INTERMEDIATES		
Beta-naphthalene-azo-Dimethylaniline	347	175
Green Base Harmon Dye	347	175
Red Dye Intermediate	347	175
Violet 200 Dye	347	175
PESTICIDES		
Benzethonium Chloride	716	CI 380
Bis(2-Hydroxy-5-chlorophenyl) methane	1058	NL 570
Crag No. 974	590	CI 310
Dieldrin (20%)	1022	NL 550
2, 6-Ditertiary-butyl-paracresol	788	NL 420
Dithane	356	180
Ferbam	302	150
Manganese Vancide	248	120
Sevin	284	140
∞ ∞ - Trithiobis (N,N-Dimethylthio-formamide) ²	446	230
THERMOPLASTIC RESINS AND MOLDING COMPOUNDS		
<u>Acetal Resins</u>		
Acetal, Linear (Polyformaldehyde)	824	NL 440
<u>Acrylic Resins</u>		
Acrylamide Polymer	464	240
Acrylonitrile Polymer	860	460
Acrylonitrile-Vinyl Pyridine Copolymer	464	240
Acrylonitrile-Vinyl Chloride-		
Vinylidene Chloride Copolymer (70-20-10)	410	210
Methyl Methacrylate Polymer	824	NL 440
Methyl Methacrylate-Ethyl Acrylate Copolymer	896	NL 480
Methyl Methacrylate-Ethyl Acrylate-Styrene Copolymer	824	NL 440
Methyl Methacrylate-Styrene-Butadiene-Acrylonitrile Copolymer	896	NL 480
Methacrylic Acid Polymer	554	290
<u>Cellulosic Resins</u>		
Cellulose Acetate	644	340
Cellulose Triacetate	806	NL 430
Cellulose Acetate Butyrate	698	NL 370
Cellulose Propionate	860	NL 460
Ethyl Cellulose	608	CI 320
Methyl Cellulose	644	340
Carboxymethyl Cellulose	554	290
Hydroxyethyl Cellulose	644	340
<u>Chlorinated Polyether Resins</u>		
Chlorinated Polyether Alcohol	860	460
<u>Nylon (Polyamide) Resins</u>		
Nylon Polymer (Polyhexa-methylene Adipamide)	806	430
<u>Polycarbonate Resins</u>		
Polycarbonate	1310	NL 710
<u>Polyethylene Resins</u>		
Polyethylene, High Pressure Process	716	380
Polyethylene, Low Pressure Process	788	NL 420
Polyethylene Wax	752	NL 400
<u>Polymethylene Resins</u>		
Carboxypolymethylene	968	NL 520

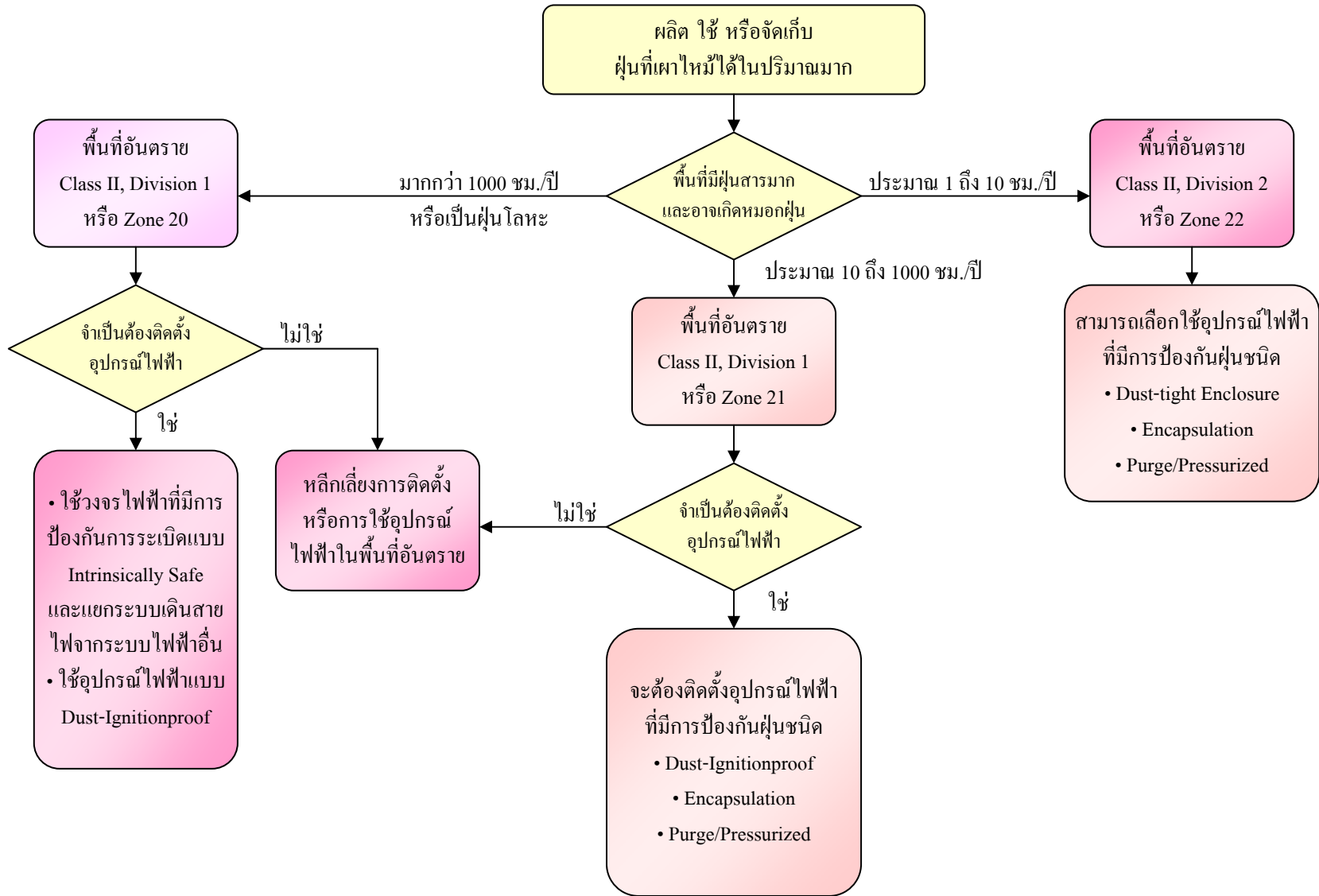
¹ Normally, the minimum ignition temperature of a layer of a specific dust is lower than the minimum ignition temperature of a cloud of that dust. Since this is not universally true, the lower of the two minimum ignition temperatures is listed. If no symbol appears between the two temperature columns, then the layer ignition temperature is shown. "CI" means the cloud ignition temperature is shown. "NL" means that no layer ignition temperature is available and the cloud ignition temperature is shown. "M" signifies that the dust layer melts before it ignites; the cloud ignition temperature is shown. "S" signifies that the dust layer sublimates before it ignites; the cloud ignition temperature is shown.

² Certain metal dusts may have characteristics that require safeguards beyond those required for atmospheres containing the dusts of aluminum, magnesium, and their commercial alloys. For example, zirconium, thorium, and uranium dusts have extremely low ignition

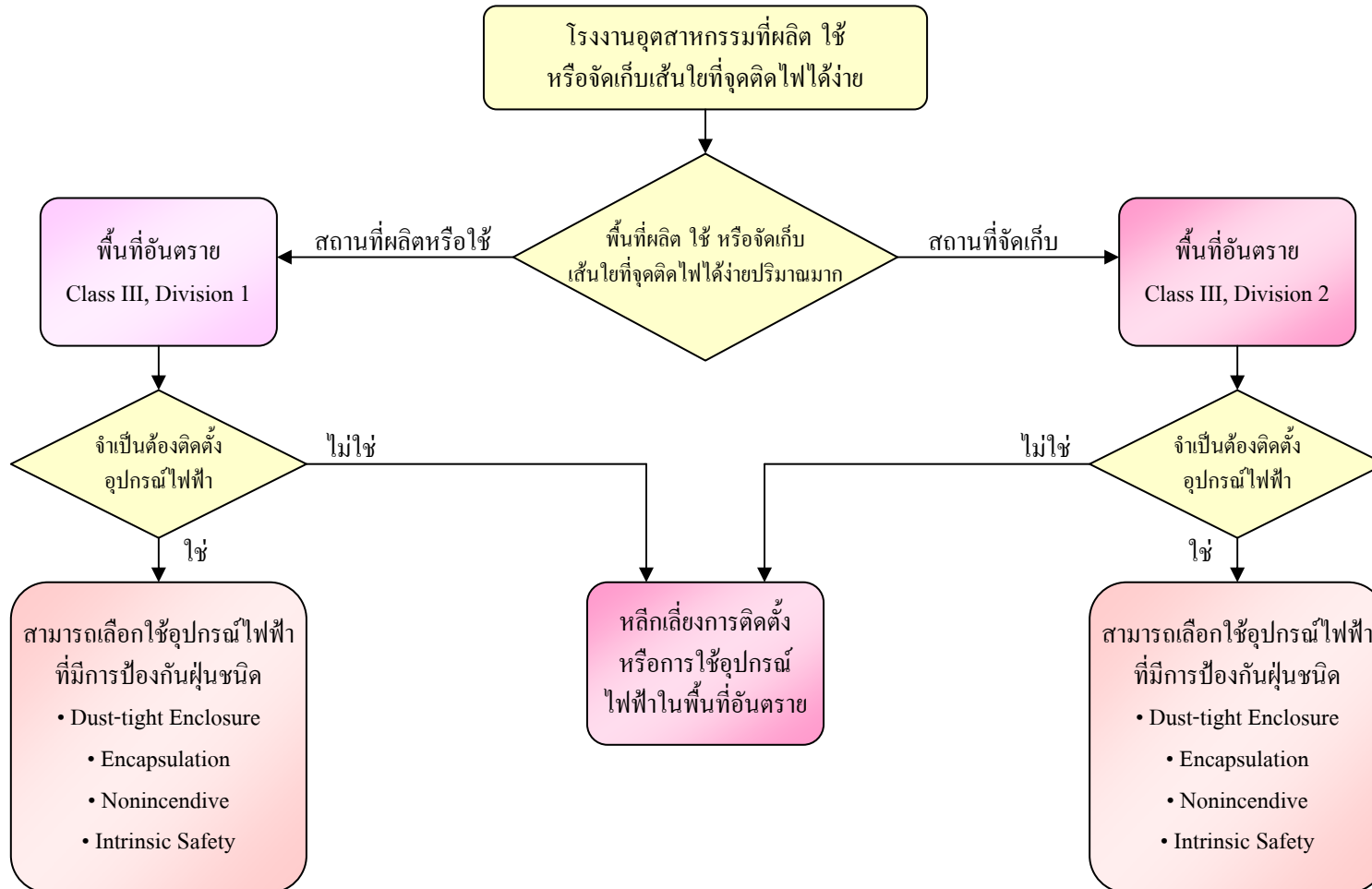
temperatures (as low as 20°C) and minimum ignition energies lower than any material classified in any of the Class I or Class II groups.

Class II, Group G (cont'd)	Minimum Cloud or Layer Ignition Temp.	
	°F	°C
<u>Polypropylene Resins</u>		
Polypropylene (No Antioxidant)	788	NL 420
<u>Rayon Resins</u>		
Rayon (Viscose) Flock	482	250
<u>Styrene Resins</u>		
Polystyrene Molding Cmpd.	1040	NL 560
Polystyrene Latex	932	500
Styrene-Acrylonitrile (70-30)	932	NL 500
Styrene-Butadiene Latex (>75% Styrene; Alum Coagulated)	824	NL 440
<u>Vinyl Resins</u>		
Polyvinyl Acetate	1022	NL 550
Polyvinyl Acetate/Alcohol	824	440
Polyvinyl Butyral	734	NL 390
Vinyl Chloride-Acrylonitrile Copolymer	878	470
Polyvinyl Chloride-Dioctyl Phthalate Mixture	608	NL 320
Vinyl Toluene-Acrylonitrile Butadiene Copolymer	936	NL 530
THERMOSETTING RESINS AND MOLDING COMPOUNDS		
<u>Allyl Resins</u>		
Allyl Alcohol Derivative (CR-39)	932	NL 500
<u>Amino Resins</u>		
Urea Formaldehyde Molding Compound	860	NL 460
Urea Formaldehyde-Phenol Formaldehyde Molding Compound (Wood Flour Filler)	464	240
<u>Epoxy Resins</u>		
Epoxy	1004	NL 540
Epoxy - Bisphenol A	950	NL 510
Phenol Furfural	590	310
<u>Phenolic Resins</u>		
Phenol Formaldehyde	1076	NL 580
Phenol Formaldehyde Molding Cmpd. (Wood Flour Filler)	932	NL 500
Phenol Formaldehyde, Polyalkylene-Polyamine Modified	554	290
<u>Polyester Resins</u>		
Polyethylene Terephthalate	932	NL 500
Styrene Modified Polyester-Glass Fiber Mixture	680	360
<u>Polyurethane Resins</u>		
Polyurethane Foam, No Fire Retardant	824	440
Polyurethane Foam, Fire Retardant	734	390
SPECIAL RESINS AND MOLDING COMPOUNDS		
Alkyl Ketone Dimer Sizing Compound	320	160
Cashew Oil, Phenolic, Hard	356	180
Chlorinated Phenol	1058	NL 570
Coumarone-Indene, Hard	968	NL 520
Ethylene Oxide Polymer	662	NL 350
Ethylene-Maleic Anhydride Copolymer	1004	NL 540
Lignin, Hydrolized, Wood-Type, Fines	842	NL 450
Petrin Acrylate Monomer	428	NL 220
Petroleum Resin (Blown Asphalt)	932	500
Rosin, DK	734	NL 390
Rubber, Crude, Hard	662	NL 350
Rubber, Synthetic, Hard (33% S)	608	NL 320
Shellac	752	NL 400
Sodium Resinate	428	220
Styrene — Maleic Anhydride Copolymer	878	CI 470

พื้นที่อันตรายประเภท 2



พื้นที่อันตรายประเภท 3



Electrical Installations in Hazardous Locations

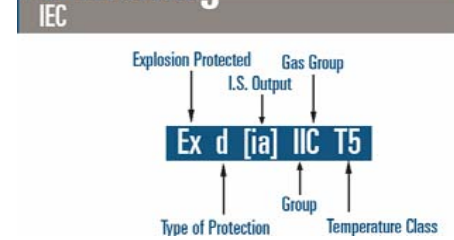
Explosive Atmosphere	Continuous	Intermittent	Occasional
IEC, CENELEC	Zone O (Gas)	Zone 1 (Gas)	Zone 2 (Gas)
	Zone 20 (Dust)	Zone 21 (Dust)	Zone 22 (Dust)
NEC 500	Class I, Division 1 (Gas)		Class I, Division 2 (Gas)
	Class II, Division 1 (Dust)		Class II, Division 2 (Dust)
	Class III, Division 1 (Fiber)		Class III, Division 2 (Fiber)
NEC 505	Class I, Zone 0 (Gas)	Class I, Zone 1 (Gas)	Class I, Zone 2 (Gas)

NEC 500	NEC 505	IEC, CENELEC	Protection Techniques	Symbol
Class I, Division 1	Class I, Zone 0	Zone 0	Intrinsically Safe (2 faults)	Ex ia
	Class I, Zone 1	Zone 1	Explosionproof	Ex d
			Purged/Pressurized (Type X or Y)	Ex px, py
Class I, Division 2	Class I, Zone 2	Zone 2	Intrinsically Safe (1 faults)	Ex ib
			Increased Safety	Ex e
			Powder Filling	Ex q
			Encapsulation	Ex m
			Oil Immersion	Ex o
	Purged/Pressurized (Type Z)	Ex pz		
	Non-incendive, Non-sparking	Ex n		

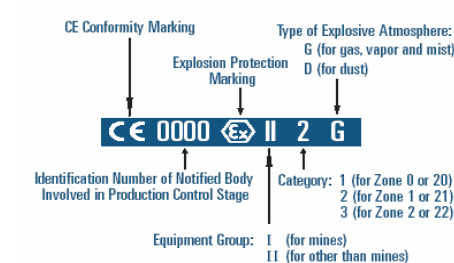
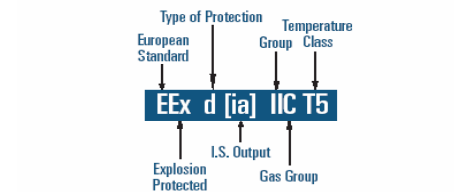
NEC 500	Protection Techniques
Class II, Division 1	Dust-Ignitionproof Enclosure
	Intrinsically Safe
	Purged/Pressurized
Class II, Division 2	Dusttight Enclosure
	Nonincendive Circuits
	Nonincendive Components
	Nonincendive Equipment
	Purged/Pressurized
Any Class II Division 1 technique	
Class III, Division 1 & Division 2	Dusttight Enclosure
	Intrinsically Safe
	Any Class II, Division 2 technique

IEC, CENELEC	Protection Techniques
Zone 20	Dust tight (IP 6x) 'tD' Encapsulation 'mD' Intrinsic Safety 'iD'
Zone 21	Pressurisation 'pD' Any Zone 20 technique
Zone 22	Dust Protected (IP 5x) 'tD' Any Zone 21 technique
Conductive Dust	Dust-tight (IP 6x) 'tD'

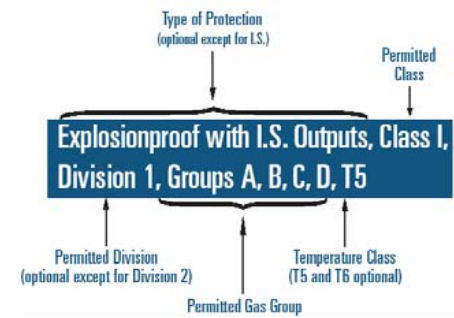
Ex Marking



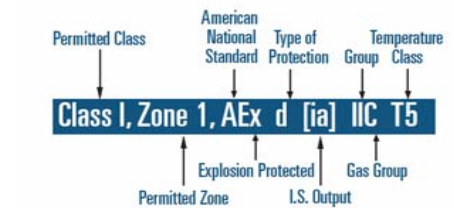
EU (Directive 94/9/EC) — ATEX (from July 1, 2003)



U.S. (NEC® 500)



U.S. (NEC® 505)



Apparatus Grouping

Typical Gas/Dust/Fiber	U.S. (NEC® 505) IEC EU	U.S. (NEC® 500)
Acetylene	Group IIC	Class I/Group A
Hydrogen	(Group IIB + H ₂)	Class I/Group B
Ethylene	Group IIB	Class I/Group C
Propane	Group IIA	Class I/Group D
Methane	Group I*	Mining*
Metal Dust	None	Class II/Group E
Coal Dust	None	Class II/Group F
Grain Dust	None	Class II/Group G
Fibers	None	Class III

*Not within scope of NEC® Under jurisdiction of MSHA.

Temperature Class

Maximum Surface Temperature	U.S. (NEC® 505) IEC EU	U.S. (NEC® 500)
450° C	T1	T1
300° C	T2	T2
280° C		T2A
260° C		T2B
230° C		T2C
215° C		T2D
200° C	T3	T3
180° C		T3A
165° C		T3B
160° C		T3C
135° C	T4	T4
120° C		T4A
100° C	T5	T5
85° C	T6	T6

Acronyms

- ATEX - Atmosphère Explosible
- CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardization
- EU - European Union
- IEC - International Electrotechnical Commission
- I.S. - Intrinsically Safe
- MSHA - Mine Safety and Health Administration
- NEC® - National Electric Code®

แบบฟอร์มตรวจสอบการป้องกันการระเบิดในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1, 2 และ 3

ผู้มีอำนาจตรวจสอบ : _____ วันที่ตรวจสอบ : _____

รายละเอียดสถานที่ทำการตรวจสอบ		
ชื่อโรงงาน :		
เลขทะเบียนโรงงาน :		
ประกอบกิจการ :		
ชื่อผู้จัดการ :		
ที่อยู่ :		
		เบอร์โทร :
จังหวัด :	รหัสไปรษณีย์	เบอร์แฟกซ์ :

การได้รับรองมาตรฐานการจัดการด้านความปลอดภัย
1.
2.
3.
4.
5.

สรุปความคิดเห็นหลังการตรวจสอบ :
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

รายการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในพื้นที่อันตราย

(Inspection Checklist for Electrical System in Hazardous Locations)

วิธีใช้ Checklist

ตอบคำถามโดยการใส่เครื่องหมายถูก(✓) ในช่องว่าคำว่า 'ใช่' หรือ 'ไม่ใช่' หรือ 'ไม่มีข้อมูล' ถ้าคำถามใดตอบว่าทั้ง 'ใช่' และ 'ไม่ใช่' แสดงว่ามีการปฏิบัติอย่างเหมาะสมบางส่วนและควรดำเนินการปรับปรุงให้เหมาะสมในบางส่วน สำหรับหัวข้อที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับพื้นที่อันตรายที่ทำการตรวจสอบ ควรทำเครื่องหมาย 'X' ในหัวข้อนั้น

ข้อที่	รายละเอียด	ใช่	ไม่ใช่	ไม่มีข้อมูล
1.	สภาพการทำงานโดยทั่วไป	-	-	-
1.1	สถานที่ทำงาน สะอาด และเป็นระเบียบดี			
1.2	ระดับแสงสว่างในพื้นที่ทำงานเหมาะสมดี			
1.3	มีเครื่องหมาย สัญลักษณ์ และป้ายอธิบายขั้นตอนการทำงานอย่างปลอดภัย ตามความเหมาะสม			
1.4	มีพื้นที่สำหรับการบำรุงรักษาและการเข้าถึงอุปกรณ์ตัดตอนการทำงานเครื่องจักรกล/อุปกรณ์ไฟฟ้า ในกรณีฉุกเฉิน โดยไม่มีอุปสรรคกีดขวาง			
2.	การป้องกันและควบคุมเพลิง	-	-	-
2.1	มีอุปกรณ์ดับเพลิงติดตั้งในตำแหน่งที่จำเป็น และเข้าถึงได้ง่าย กรณีเกิดเพลิงไหม้			
2.2	มีการใช้สารดับเพลิง เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในพื้นที่			
2.3	มีการฝึกอบรมการผจญเพลิง และ มีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ดับเพลิงตามวาระ			
2.4	มีการติดตั้งระบบตรวจจับสัญญาณเตือนการเกิดเพลิงไหม้ และการฝึกซ้อมหนีไฟอย่างเหมาะสม			
3.	ความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรายของสารไวไฟ/ฝุ่นระเบิด/เส้นใยที่ติดไฟได้ง่าย	-	-	-
3.1	ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าในโรงงานมี แก๊ส/ไอระเหย/ละอองของสารไวไฟ ที่อาจผสมกับอากาศ(ในประมาณที่มากกว่าค่า Lower Explosive Limit) และจะสามารถลุกติดไฟได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟเพียงเล็กน้อย และความร้อนสูงที่ภายในพื้นที่การทำงาน			
3.2	ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าในโรงงานมี ฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ ที่อาจผสมกับอากาศ(ในประมาณที่มากกว่าค่า Minimum Explosible Concentration) และจะสามารถเกิดการระเบิดได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟ และความร้อนสูงที่ภายในพื้นที่การทำงาน			
3.3	ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าในโรงงานมี เส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่าย ซึ่งสามารถลุกติดไฟได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟ และความร้อนสูงที่ภายในพื้นที่การทำงาน			

4.	การเลือกใช้และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า	-	-	-
4.1	ผู้รับผิดชอบการติดตั้งระบบไฟฟ้าของโรงงานมีความเข้าใจสัญลักษณ์แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการระเบิดอย่างเพียงพอ			
4.2	มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองว่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันการระเบิดแบบ Ex d, Ex p, หรือ Ex i ในพื้นที่อันตรายที่มี แก๊ส/ไอระเหย/ละอองของสารไวไฟ รั่วไหลบ่อยครั้ง ในขณะที่ทำงานและการบำรุงรักษา			
4.3	มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองว่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันการระเบิดแบบ Ex d, Ex p, Ex i, Ex e, Ex o, Ex m, Ex n หรือ Ex q ในพื้นที่อันตรายที่อาจมี แก๊ส/ไอระเหย/ละอองของสารไวไฟ รั่วไหลและผสมกับอากาศ หากเกิดเหตุผิดปกติ			
4.4	มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองว่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันการระเบิดแบบ Ex tD, Ex pD, หรือ Ex i ในพื้นที่อันตรายที่มี หมอกฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ ผสมกับอากาศ จากกระบวนการทำงานตามปกติ			
4.5	มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองว่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันการระเบิดแบบ Ex tD, Ex pD, Ex i, หรือ Ex mD ในพื้นที่อันตรายที่อาจมี หมอกฝุ่นสารที่เผาไหม้ได้ เมื่อมีเหตุผิดปกติ			
4.6	มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองว่าเป็นแบบ Dust-Ignitionproof ซึ่งมีเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันฝุ่นที่ได้รับการรับรองเป็น NEMA 9 หรือ IP65, IP66, IP67 สำหรับพื้นที่ที่มีฝุ่นโลหะในปริมาณมาก			
4.7	มีการใช้เครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันฝุ่น(IP54, IP55, IP56, IP64, IP65) สำหรับพื้นที่ที่มีเส้นใยที่จุดติดไฟได้ง่ายในปริมาณมาก			
4.8	อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 1 มีระดับอุณหภูมิการทำงานต่ำกว่าค่า Ignition Temperature ของแก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ			
4.9	อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานในพื้นที่อันตรายประเภทที่ 2 และ 3 มีระดับอุณหภูมิการทำงานไม่เกินค่าที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน NEC			
4.10	การเดินสายไฟเข้า/ออกจากอุปกรณ์ในข้อ 4.2-4.7 มีความเหมาะสมตามมาตรฐานการป้องกันการระเบิดของอุปกรณ์นั้นๆ			
4.11	กรณีที่ใช้การป้องกันแบบ Intrinsic Safety พบว่ามีการเดินระบบไฟฟ้าแยกออกจากระบบไฟฟ้าอื่น และมีการใช้/ติดตั้งอุปกรณ์ Barrier อย่างเหมาะสม			
4.12	กรณีที่มีการใช้งาน Sealing Fitting, Flameproof Cable Gland, Increased Safety Cable Gland, Factory Sealed Connector พบว่าลักษณะการติดตั้งใช้งานเหมาะสม			
5.	การป้องกันการจุดระเบิดจากไฟฟ้าสถิตย์			
5.1	ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจกระบวนการเกิดไฟฟ้าสถิตย์อย่างเพียงพอ			
5.2	ผู้ปฏิบัติงานทราบขั้นตอนปฏิบัติสำหรับการถ่ายเทสารไวไฟอย่างปลอดภัย โดยทำการต่อฝากก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการสปาร์กจากไฟฟ้าสถิตย์			
5.3	มีการต่อฝาก และการกราวด์ เพื่อป้องกันปัญหาจากไฟฟ้าสถิตย์ อย่างเหมาะสม			

6.	การป้องกันการสปาร์กจากการเกิดลัดวงจรไฟฟ้า			
6.1	มีการติดตั้งระบบล่อฟ้าในตำแหน่งและความสูง ที่เหมาะสม			
6.2	มีการติดตั้งอุปกรณ์ดักลัดวงจรไฟฟ้า สำหรับสายป้อนไฟฟ้าก่อนที่จะผ่านเข้าไปในพื้นที่อันตราย			
6.3	แท่งตัวนำล่อฟ้า (Air Terminal) แต่ละแท่งจะมีการติดตั้งตัวนำกระแสฟ้าผ่า (Down Comer) อย่างน้อย 2 เส้นทางเพื่อลงสู่แท่งตัวนำกราวด์			
6.4	มีการฝังแท่งตัวนำกราวด์สำหรับระบบฟ้าผ่าอย่างเหมาะสม และมีค่าความต้านทานกราวด์ต่ำเพียงพอ (ไม่เกิน 5 โอห์ม)			
7.	การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบเดินสายไฟ			
7.1	เครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบป้องกันการจุดระเบิด (Explosion Protection) และเครื่องประกอบการเข้าสายไฟ มีสภาพการใช้งานที่ดี และสามารถป้องกัน ฝุ่น น้ำ และอากาศ ได้ดีเพียงพอ			
7.2	ไม่มีฝุ่นหรือคราบสิ่งสกปรกปกคลุมบนอุปกรณ์ไฟฟ้า ก่อผลต่อสายไฟ ผู้ควบคุมรวมทั้งสายไฟ จนอาจเป็นเหตุให้การระบายความร้อนของอุปกรณ์นั้นเกิดบกพร่องหรือลดประสิทธิภาพการทำงานลง			
7.3	เครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบ Flameproof Enclosure ไม่มีความเสียหายจากการใช้งานและเชื่อได้ว่ายังสามารถทำการป้องกันเปลวไฟจากการระเบิดภายใน ได้ดีเพียงพอ			
7.4	กรณีที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการป้องกันแบบ Purge & Pressurized Enclosure จะทำการอัดอากาศเพื่อไล่แก๊สหรือไอระเหยของสารไวไฟ และได้ทำการป้องกันฝุ่นสารสะสมในอุปกรณ์ขณะทำการบำรุงรักษา ก่อนที่จะมีการใช้งานต่อไป			
7.5	กรณีที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการป้องกันแบบ Encapsulation หรือ Factory Seal จะทำการตรวจสอบสภาพรอยแตกร้าวของซีล ตามระยะเวลาอย่างเหมาะสม			
7.6	สภาพฉนวนสายไฟ และท่อร้อยสายไฟ ยังคงมีสภาพดีเพียงพอ			
7.7	การต่อกราวด์และการต่อฝาก มีความมั่นคง และแน่นหนาเพียงพอ			

เอกสารอ้างอิง

1. การออกแบบระบบแสงสว่าง รวมทั้งระบบไฟฟ้า ระบบสัญญาณเตือนภัย และระบบการติดต่อสื่อสาร, ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
2. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545, คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2545
3. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง, คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 1 ตุลาคม 2543
4. Industrial Fire Hazardous Handbook, Arthur E. Cote, National Fire Protection Association, Third Edition, April 1990
5. Electrical Installation in Hazardous Locations, Peter J. Schram and Mark W. Earley, National Fire Protection Association, June 1993
6. National Electrical Codes (NEC), NFPA Battery March Park, Quincy MA, 1990 Edition
7. NFPA Handbook of the National Electrical Code (Fourth Edition), Wilford I. Summers
8. National Electrical Codes Handbook Twenty-fourth Edition Conforms to the 2000 NEC, Joseph F. Mc Partland and Brian J. Mc Partland, Mc Graw Hill's
9. Basics of Explosion Protection, R. Stahl Schaltgerate GMBH, A Company of the R. STAHL Technology Group
10. Ex-Magazine 2003 (Magazine for the installers and operators of explosion protected electrical installations), R.STAHL Schaltgerate GmbH
11. Recent Major Explosions in Argentina and Brazil,
<http://www.geaps.com/proceedings/2004/Hajnal.cfm>
12. Electrical Equipment Design for Use in Hazardous Locations, Mark C. Ode (Staff Engineering Associate Underwriters Laboratories Inc., December 1999
13. Explosion Protection (Process Automation), SIEMENS, October 2003
14. Ex Digest 2004, Cooper Crouse-Hinds, <http://www.crouse-hinds.com>
15. Hazardous Location Wiring Methods Simplified, <http://www.summit.com>
16. Fundamentals of ESD, <http://www.esda.org>
17. Electrostatics and Flexible Intermediate Bulk Containers, Ian Pavey of Chilworth Technology Ltd:
Paper published in Chemical Processing Technology International, 1996
18. Paper dust ignited during repair work in milling room of a paper manufacturing plant,
<http://www.jicosh.gr.jp/english/cases/cases/case2.htm>

19. Dust explosion when flour was fed into a storage hopper by air pressure,
<http://www.jicosh.gr.jp/english/cases/cases/case39.htm>
20. Static Protection Through Bonding and Grounding, Micheal J. Johnston, IAEI News: The Magazine
May/June 2004
21. Static Electricity as a Hazard in Industry, Ir. G. F. M. Van Laar: Stuvex International, Belgium,
<http://www.edpsciences.org>
22. Triboelectric Generation: Getting Charged, Ryne C. Allen, <http://www.esdjournal.com>

ชื่อหนังสือ : คู่มือการตรวจสอบ ติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในพื้นที่อันตรายที่มี
ฝุ่น เส้นใย ที่ติดไฟระเบิดได้

เจ้าของลิขสิทธิ์ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอสงวนสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำส่วนหนึ่งส่วนใด
หรือตอนหนึ่งตอนใดของเนื้อเรื่อง และอื่นๆ ที่ประกอบในคู่มือนี้ ไปคัดลอก
โดยวิธีพิมพ์ดีด เรียงตัว คัดสำเนา ถ่ายฟิล์ม ถ่ายเอกสาร พิมพ์โดย
เครื่องจักรหรือวิธีการอื่นใด เพื่อนำไปแจก จำหน่าย เว้นแต่ได้รับอนุญาต
จากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นลายลักษณ์อักษร

พิมพ์เมื่อ : เมษายน 2549 จำนวน 200 เล่ม

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน : กรมโรงงานอุตสาหกรรม

นายศิริพงษ์ สุงสุวรรณ ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
นายทศพล ยันตรีสิงห์
นายศุภกิจ บุญศิริ
นายวชิระ นวโกคิน
นายวิศิษฐ์ศักดิ์ กฤษณพันธ์

ที่ปรึกษาโครงการ : บริษัทอินเตอร์เนชั่นแนล บิซิเนส สแตนดาร์ด คอนเซิร์ทแทนส์ จำกัด