

ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยสำหรับ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง



การระเบิด
ของฝุ่น



กรมโรงงานอุตสาหกรรม
Department of Occupational Safety and Health

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2555

ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ

: การจัดการความปลอดภัยโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ปี พ.ศ. 2555

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าจะรูปแบบใดทั้งสิ้น ต้องได้รับอนุญาต
เป็นลายลักษณ์อักษรจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

พิมพ์ครั้งที่ 1 :

กันยายน พ.ศ. 2555 จำนวน 100 เล่ม

พิมพ์ที่ :

บริษัท ธวิพัฒน์ จำกัด

904/92-93, 906/92 ซอยสุขุมวิท 101/1 แขวงบางนา เขตบางนา

กรุงเทพมหานคร 10260

โทรศัพท์ 0-2743-2234-5 แฟกซ์ 0-2393-2757

๘ คำนำ ๘

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง เป็นโรงงานที่มีการระเบิดของฝุ่นมากที่สุดในประเทศ แม้โรงงานจะมีมาตรการด้านความปลอดภัย แต่ก็ยังไม่เพียงพอ จึงยังคงเกิดฝุ่นแบริ่งมันสำปะหลังระเบิดในโรงงานทั้งชั้นรุนแรง เช่น ทรัพย์สินเสียหายจำนวนมาก หรือมีการบาดเจ็บและเสียชีวิต และไม่รุนแรง เช่น ประตูละบายการระเบิดทำงาน หรือทรัพย์สินเสียหายเล็กน้อย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้จัดทำโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ : การจัดการความปลอดภัยโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังปี พ.ศ. 2555 ซึ่งเน้นเรื่องความปลอดภัยจากการเกิดระเบิดของฝุ่น และได้จัดทำข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยสำหรับโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังและขอแนะนำสำหรับการระบายแรงดันการระเบิดแบบ deflagration vent สำหรับโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังโดยเฉพาะ โดยนำข้อมูลทางวิชาการมาจาก NFPA 68 การป้องกันการระเบิดด้วยวิธีการระบายการระเบิดแบบ deflagration ปี 2007 มาคำนวณหาขนาดและน้ำหนักของประตูละบายการระเบิดที่ไซโคลน พร้อมกันนี้ได้นำข้อกำหนด NFPA 654 การป้องกันเพลิงไหม้และการระเบิดของฝุ่นจากกระบวนการผลิต การแปรรูป และการเคลื่อนย้ายอนุภาคของแข็งสันดาปได้ ปี 2006 มาจัดทำเป็นข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการออกแบบโรงงาน

กรมโรงงานอุตสาหกรรมหวังเป็นอย่างยิ่งว่า “ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยสำหรับโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง” เล่มนี้ จะได้เป็นแนวทางให้โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังนำมาปรับใช้ให้เหมาะกับโรงงานของตน อันจะนำมาซึ่งความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน หากมีข้อคิดเห็นประการใด กรมโรงงานอุตสาหกรรมยินดีน้อมรับ เพื่อจะได้นำมาประกอบการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

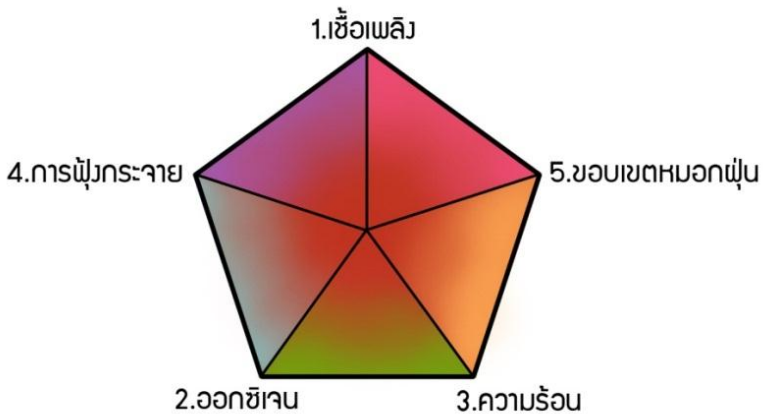
กันยายน 2555

๒๖ สารบัญ ๒๖

	หน้า
คำนำ	
ทฤษฎีการระเบิดของฝุ่น	1
กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	3
จุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย และข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย	5
1. รางป้อนแป้ง	5
2. บริเวณสลิงเกอร์	6
3. ท่ออบแป้ง	8
4. ไชโคลนร้อน Hopper และท่อระบายลมทางออก	9
5. โรตารีวาล์ว	11
6. ท่อส่งแป้งจากไชโคลนร้อนไปไชโคลนเย็น	13
7. ไชโคลนเย็น และไชโคลนดักฝุ่น หรือถุงกรองดักฝุ่น	14
8. ตะแกรงร่อนแป้ง ไชโลเก็บแป้ง และหัวบรรจุ	15
ข้อปฏิบัติในการออกแบบเกี่ยวกับความปลอดภัยในโรงงาน	17
ข้อปฏิบัติทั่วไปเกี่ยวกับความปลอดภัยในโรงงาน	20
ข้อแนะนำสำหรับประตुरะบายการระเบิด	22
- ตัวอย่างแบบฟอร์มการตรวจประตुरะบายการระเบิด	23
- การออกแบบประตुरะบายการระเบิด	24
- ตารางแสดงสัญลักษณ์ ความหมาย สัดส่วน และขนาดของไชโคลน	25
- ตารางแสดงขนาดไชโคลน ขนาด และน้ำหนักประตुरะบายการระเบิด	27
- ตัวอย่างการคำนวณและการใช้กราฟหาขนาดและน้ำหนักประตुरะบายการระเบิด	29
ระบายการระเบิด	
บรรณานุกรม	39

ทฤษฎีการระเบิดของฝุ่น

การเกิดการระเบิดของฝุ่น จะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบครบทั้ง 5 องค์ประกอบ จึงจะสามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นได้ ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานการเกิดไฟ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน แล้วยังต้องเพิ่มอีกสององค์ประกอบคือ การฟุ้งกระจาย และขอบเขตหมอกฝุ่น ซึ่งเรียกว่า ห้าเหลี่ยมการเกิดการระเบิดของฝุ่น โดยมีรายละเอียดดังนี้



1. เชื้อเพลิง

เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังสามารถติดไฟได้ ตัวแป้งเองจึงจัดเป็นเชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิตจะได้แป้งมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็กกว่า 420 ไมโครเมตร ซึ่งจัดว่าเป็นฝุ่นขนาดที่สามารถระเบิดได้ตามองค์การป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (NFPA)

2. ออกซิเจน

เนื่องจากในอากาศจะมีออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จะใช้อากาศลำเลียงแป้งตั้งแต่ขั้นตอนการอบแป้ง การส่งแป้งไปตามท่อ

การตากฝุ่นแป้ง การร่อนแป้ง การบรรจุ และการเก็บ จึงมีองค์ประกอบออกซิเจนอยู่ตลอดขั้นตอนดังกล่าว

3. ความร้อนหรือแหล่งจุดติดไฟ

ในการอบแป้งต้องใช้ความร้อนประมาณ 120-200 °ซ จากหม้อน้ำ หม้อต้ม น้ำมันร้อน หรือลมร้อน (hot air) เพื่อลดความชื้นแป้ง หรือเกิดจากไฟฟ้าสถิตจากแป้งที่วิ่งในท่อ เศษโลหะที่เคลื่อนไปตามท่อเกิดการเสียดสีทำให้เกิดความร้อน หรือแหล่งความร้อนอื่นๆ เช่น การเชื่อม การเจียร ฟาผ่า หรือผิววัสดุที่ร้อน การกองฝุ่นแป้งไว้สามารถจุดติดไฟได้ที่อุณหภูมิ 260°ซ แต่เมื่อเกิดเป็นหมอกฝุ่นจะเกิดระเบิดได้ที่อุณหภูมิ 460°ซ

4. การฟุ้งกระจาย

ขณะอบแป้งในท่ออบแป้งเพื่อไล่ความชื้นแป้งจาก 32-37% เหลือ 11% แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแล้วจะฟุ้งกระจายไปตามลมร้อนที่ส่งเข้ามา ทั้งนี้การฟุ้งกระจายของฝุ่นแป้งมันสำปะหลังจะมีความเข้มข้นเกิน 125 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (MEC) จะเกิดตั้งแต่ในท่ออบแป้ง ในไซโคลนร้อน ในท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ในไซโคลนเย็น ในตะแกรงร่อน ใน hopper เก็บแป้ง และบริเวณบรรจุแป้ง

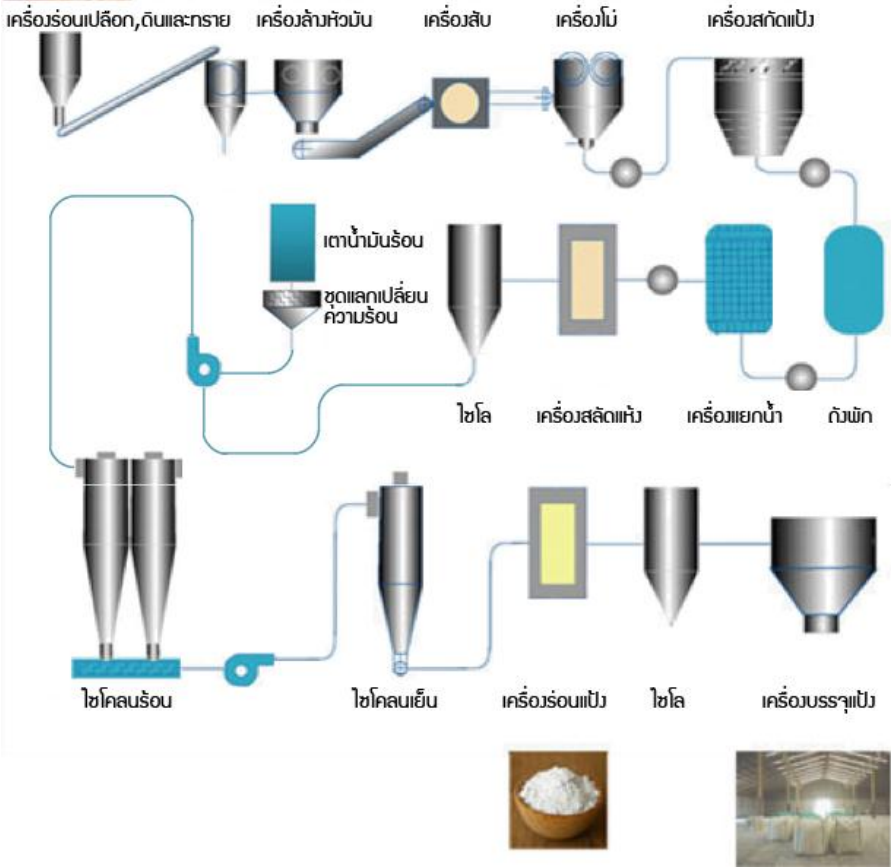
5. ขอบเขตหมอกฝุ่น

ขอบเขตหมอกฝุ่นมีโอกาสเกิดในที่จำกัด เช่น ในท่ออบแป้ง ในไซโคลนร้อน ในท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ในไซโคลนเย็น ในตะแกรงร่อน และใน hopper เก็บแป้ง และฝุ่นในที่โล่ง ได้แก่ การฟุ้งกระจายของแป้งที่ตกสะสมบนพื้นคาน เครื่องจักรต่างๆ เมื่อเกิดลมพัดหรือความดันจากการระเบิดครั้งแรก ทำให้ฝุ่นแป้งฟุ้งกระจายเป็นหมอกฝุ่น ซึ่งเรียกว่าขอบเขตหมอกฝุ่น

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะเริ่มตั้งแต่การป้อนหัวมันสำปะหลังลงในสายพานลำเลียง ผ่านเครื่องร่อนเปลือก ดิน และทราย จากนั้นหัวมันสำปะหลังจะถูกป้อนเข้าเครื่องล้างหัวมัน ผ่านเครื่องสับ เครื่องโม้ เครื่องสกัดแป้ง เครื่องแยกน้ำ และเครื่องสไลด์แห้ง เมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้ว จะได้แป้งหมาดที่มีความชื้นประมาณ 36% ซึ่งกระบวนการที่กล่าวมานี้จะไม่เกิดอันตรายจากการระเบิดของฝุ่น

จากนั้น แป้งหมาดจะถูกป้อนเข้าสู่สลิ๊งเกอร์ ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ท่อส่งแป้ง ไซโคลนเย็น เครื่องร่อนแป้ง ไซโลและหัวบรรจุแป้ง แป้งจะแห้ง มีความชื้นเหลือประมาณ 11 - 12% ตั้งแต่ขั้นตอนดังกล่าวจึงมีโอกาสดเกิดการระเบิดของฝุ่นได้



รูปแสดงกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

จุดเสี่ยง ลักษณะการเกิดอันตราย และข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

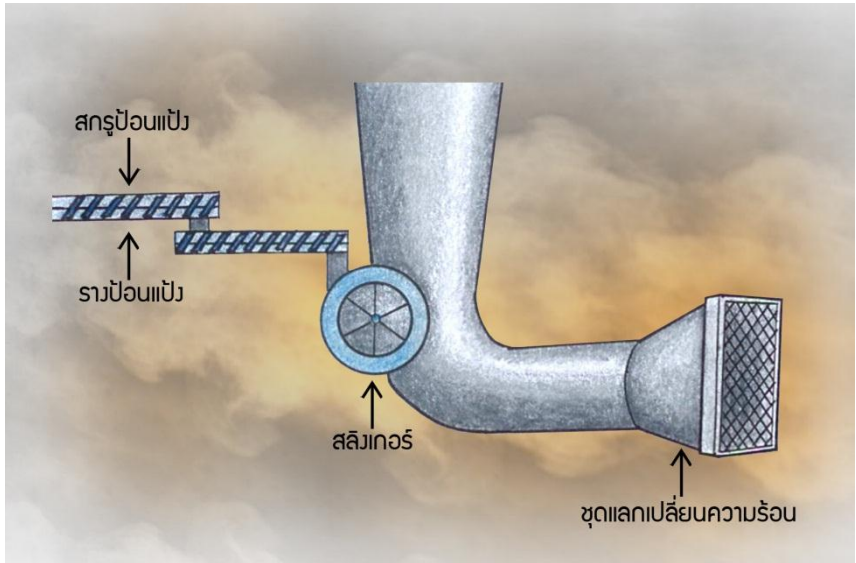
เมื่อพิจารณาในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่าในส่วนต้นของกระบวนการผลิตตั้งแต่การป้อนหัวมันสำปะหลังลงในสายพานลำเลียงมาจนถึงได้เป็นแป้งหมด จะไม่มีความเสี่ยงหรืออันตรายจากการระเบิดของฝุ่น แต่ในกระบวนการผลิตต่อไป จะมีความเสี่ยงที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่นแบบ deflagration (การลุกไหม้ของบริเวณที่เผาไหม้ด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วเสียงในตัวกลางที่ไม่ทำปฏิกิริยา) ซึ่งแต่ละจุดเสี่ยงจะมีลักษณะการเกิดอันตรายและข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ดังนี้

1. รางป้อนแป้ง

รางป้อนแป้งจะรับแป้งที่สไลด์แห้งแล้วป้อนเข้าสู่สลิ๊งเกอร์ ซึ่งแป้งจะมีความชื้นประมาณ 32 - 37% ลักษณะการเกิดอันตราย คือ เมื่อแป้งมีความชื้นสูงมากกว่า 38% ทำให้แป้งไม่อุกกลมดีขึ้นไปตามท่อ แป้งจะตกลงมาอยู่ที่สลิ๊งเกอร์ เมื่อได้รับความร้อนสูง แป้งที่กองอยู่จะลุกติดไฟ หรือหากมีเศษโลหะติดเข้ามากับแป้งหมด เมื่อเคลื่อนที่เข้ามาในสลิ๊งเกอร์ ท่ออบแป้ง ไซโคลน เศษโลหะก็สามารถทำให้เกิดประกายไฟได้

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- 1.1 วัดความชื้น เมื่อแป้งมีความชื้นเกิน 38% ให้หยุดป้อนแป้ง
- 1.2 ตรวจสอบเศษโลหะที่ติดมากับแป้งหมดด้วยสายตาเป็นระยะ



2. บริเวณสลึงเกอร์

สลึงเกอร์ทำหน้าที่ตีแป้งเพื่อให้แป้งแตกตัวคลุกเคล้ากับอากาศร้อน ลักษณะการเกิดอันตราย คือ แป้งที่มีความชื้นมาก ตกลงมากองใต้สลึงเกอร์ หรือติดกับผนังท่อหรือท่อส่งลมร้อน กรณีแป้งขาดรางจะทำให้แป้งที่กองใต้สลึงเกอร์ได้รับความร้อนสูง เกิดการลุกไหม้ เกิดเป็นลูกไฟวิ่งไปตามท่ออบแป้งและไซโคลนร้อน ทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่นในท่ออบแป้งหรือไซโคลนร้อน

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- 2.1 ออกแบบให้มีช่องว่างใต้สลึงเกอร์น้อย เพื่อลดการสะสมของแป้งใต้สลึงเกอร์
- 2.2 มีประตูเปิด-ปิดใต้สลึงเกอร์ เพื่อทำความสะอาด
- 2.3 มีประตูเปิด-ปิดด้านบนท่อส่งลมร้อน เพื่อตรวจสอบการสะสมของแป้งใต้สลึงเกอร์หรือท่อส่งลมร้อนเป็นระยะ

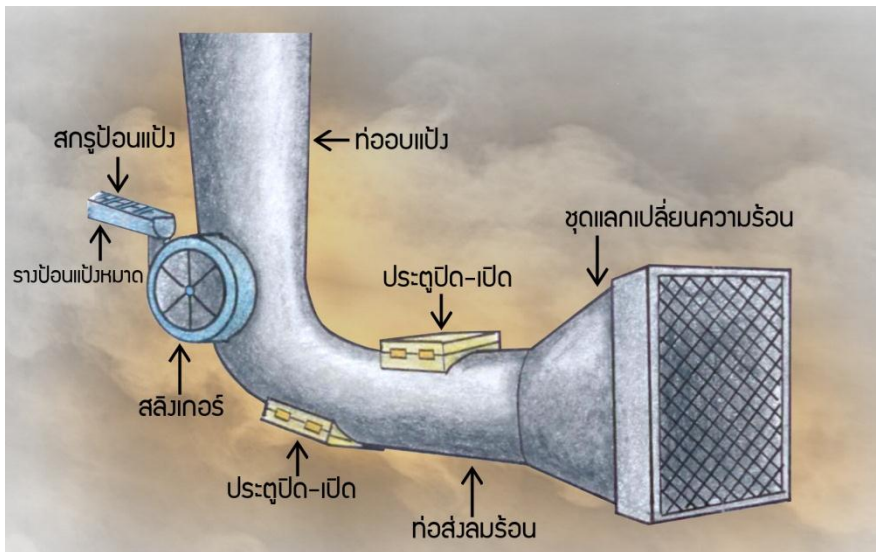
2.4 ออกแบบให้ท่อลมร้อนที่ทางเข้าหน้าสลิทเกอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าท่ออบแห้ง ทำให้ความเร็วลมร้อนสูง แปรตกลงมาสะสมได้ยาก

2.5 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ระบายลมทางออกของไซโคลนร้อน เพื่อป้องกันแบริ่งขาดราง เมื่ออุณหภูมิสูงเกินที่กำหนด จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ควบคุมเพื่อ

ก. ปรับความเร็วรอบของสกรูป้อนแบริ่งหมาด เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้งไว้ ความเร็วสกรูป้อนแบริ่งจะเร็วขึ้น ในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ความเร็วสกรูป้อนแบริ่งจะช้าลง

ข. ลดอุณหภูมิร้อนที่จะเข้าท่ออบแห้ง โดยการติดตั้งวาล์ว 3 ทาง กรณีใช้หม้อต้มน้ำมันร้อน ให้ป้อนน้ำมันร้อนเข้าชุดแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยลง หรือตัดการทำงานของ Burner

ค. ส่งสัญญาณเสียงและแสงเตือน กรณีที่อุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดคือประมาณ 90 – 95%



3. ท่ออบแป้ง

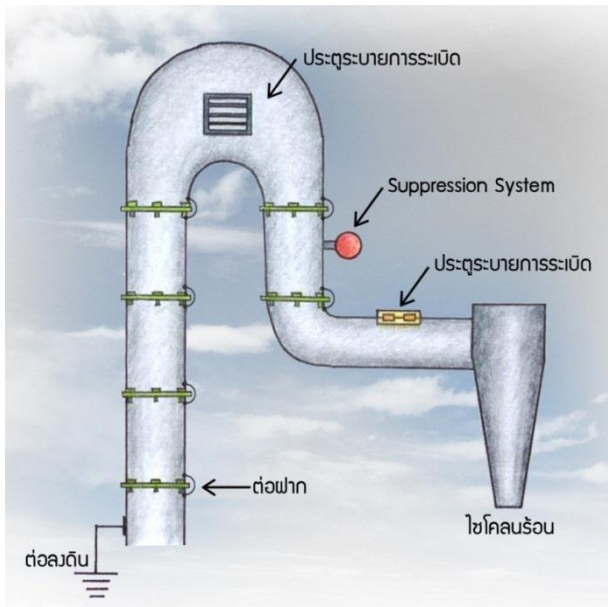
ท่ออบแป้งมีอุณหภูมิในการอบแป้ง 120-200^oซ ทำหน้าที่อบแป้งหมาดที่มีความชื้น 32-37% ให้มีความชื้นเหลือ 11-12% ลักษณะการเกิดอันตราย คือ ขณะแป้งเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสี ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต หรือมีเศษโลหะติดเข้ามาทำให้เสียดสีกับท่อเกิดความร้อน ทำให้แป้งมันสำปะหลังเกิดการลุกติดไฟหรือเกิดระเบิดในท่ออบแป้ง

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

3.1 ข้อต่อ หน้าแปลนของท่ออบแป้งมีการต่อฝากและต่อลงดิน

3.2 ติดตั้งประตูละบายการระเบิดที่ท่ออบแป้ง กรณีประตูละบายการระเบิดอยู่ภายในอาคารต้องต่อท่อระบายการระเบิดไปภายนอกอาคาร

3.3 ติดตั้งระบบ suppression (ระบบการตรวจจับความดัน และการฉีดสารเคมีเพื่อระงับการระเบิด) ซึ่งทำหน้าที่ดับเปลวไฟจากการระเบิดกรณีเกิดระเบิดในไซโคลนร้อนไม่ให้เปลวไฟย้อนกลับมายังท่ออบแป้ง



4. ไชโคลอนร้อน hopper และท่อระบายลมทางออก

ไชโคลอนร้อนทำหน้าที่ลดอุณหภูมิแ่งพร้อมคัดแยกฝุ่นแ่งออกจากลมร้อน ส่วน hopper ทำหน้าที่เก็บฝุ่นแ่งที่ตกไว้ได้ ลักษณะการเกิดอันตราย คือ ขณะที่แ่งเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันเองหรือเสียดสีกับไชโคลอนร้อน ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต เศษโลหะที่ติดมาจากท่ออบแ่งทำให้เสียดสีในไชโคลอนร้อน หรือมีการตัดหรือเชื่อม ซึ่งทำให้เกิดประกายไฟ ทำให้เกิดการระเบิดในไชโคลอน แ่งอุดตันด้านล่างของ hopper ทำให้ฝุ่นแ่งสะสมมากใน hopper และในไชโคลอนร้อน ทำให้ฝุ่นแ่งสะสมระบายออกด้านบนไชโคลอนร้อนเกิดความสูญเสีย แล้วยังทำให้ท่อระบายลมทางออกไชโคลอนร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ แสดงว่าแ่งหมาดมีปริมาณน้อย หรือเกิดการลู่ไหม้ของแ่งในท่ออบแ่ง

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

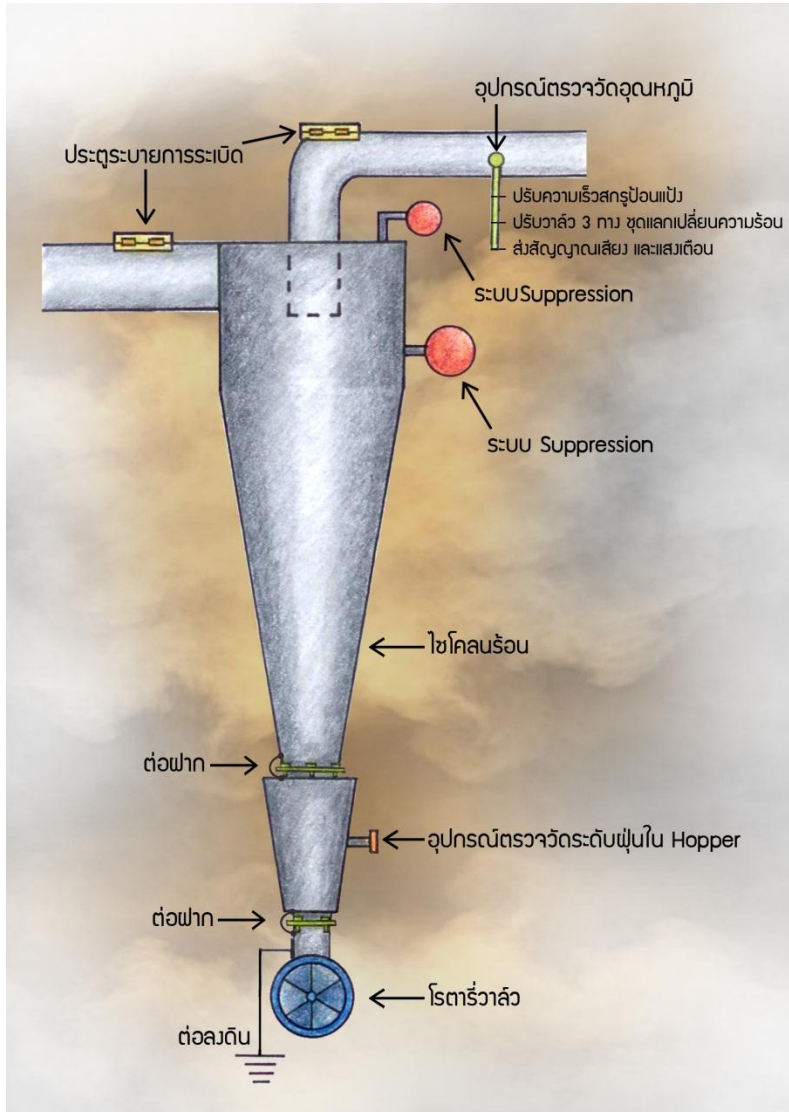
- 4.1 ติดตั้งประตูระบายการระเบิดที่ทางเข้าและทางออกไชโคลอนร้อน
- 4.2 ติดตั้งระบบ suppression ที่ไชโคลอนร้อน
- 4.3 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นใน hopper
- 4.4 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิท่อระบายลมทางออกของไชโคลอนร้อน เพื่อป้องกันแ่งขาดราง เมื่ออุณหภูมิสูงเกินที่กำหนด จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ควบคุมเพื่อ

ก. ปรับความเร็วรอบของสกรูป้อนแ่งหมาด เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้งไว้ ความเร็วสกรูป้อนแ่งจะเร็วขึ้น ในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ความเร็วสกรูป้อนแ่งจะช้าลง

ข. ลดอุณหภูมิร้อนที่จะเข้าท่ออบแ่ง โดยการติดตั้งวาล์ว 3 ทาง กรณีใช้หม้อต้มน้ำมันร้อน ให้ป้อนน้ำมันร้อนเข้าสู่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยลง หรือตัดการทำงานของ Burner

ค. ส่งสัญญาณเสียงและแสงเตือน กรณีที่อุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดคือ
ประมาณ 90 – 95%

4.5 ต่อฝาอกและต่อลงดินทุกหน้าแปลนของไซโคลนร้อนกับ hopper

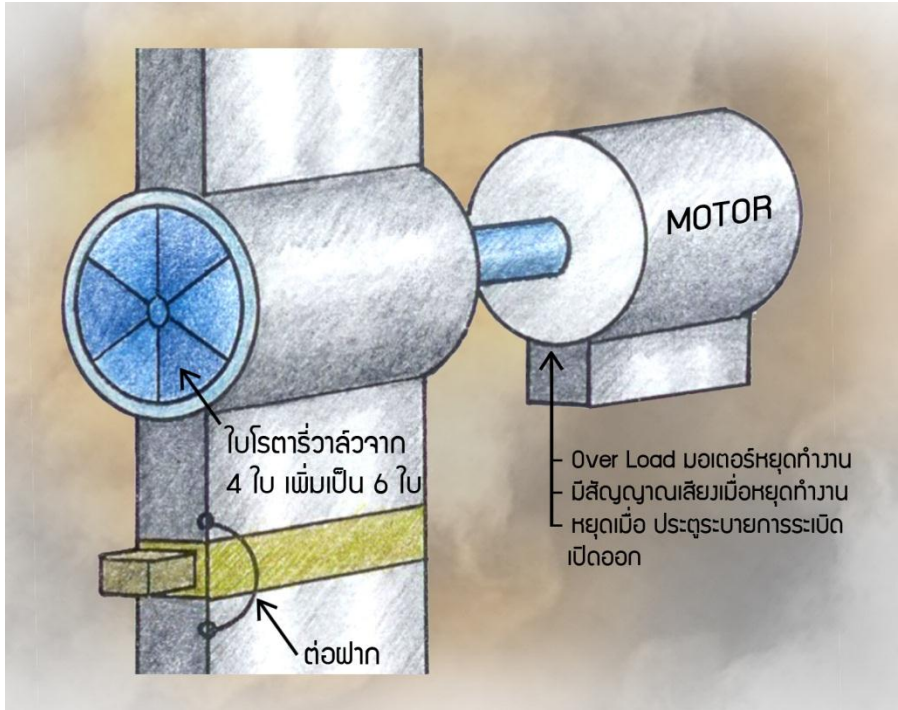


5. โรตารีวาล์ว

โรตารีวาล์วทำหน้าที่เป็น air lock ติดตั้งอยู่ที่ hopper หน้าที่สำคัญคือ ป้อนแป้งจาก hopper ลงมายังท่อส่งแป้งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น ลักษณะการเกิดอันตราย คือ มีเศษวัสดุ เช่น เศษเหล็ก นี้อต สกรู หรือฝ้ายตะแกรง หลุดเข้ามาทำให้ใบของโรตารีวาล์วติดขัด มอเตอร์ทำงาน overload เกิดความร้อนสูง มอเตอร์ไหม้ หยุดทำงาน ทำให้แป้งใน hopper และไซโคลน ร้อนมากจนระบายออกทางด้านบนไปไซโคลนร้อน กรณีที่รุนแรงฝุ่นที่ค้างบนมอเตอร์เกิดการลุกไหม้ ทำให้เกิดไฟไหม้ต่อเนื่องไปยังส่วนอื่นของโรงงานได้

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- 5.1 ติดตั้ง over load tip ที่มอเตอร์ เมื่อมีภาระมากเกินไป
- 5.2 ติดตั้งสัญญาณเตือน เมื่อโรตารีวาล์วหยุดหมุน
- 5.3 ใบพัดของโรตารีวาล์วควรเป็นแบบ 6-8 ใบ จะช่วยลดปัญหาเมื่อเกิดระเบิดในไซโคลนร้อนแล้วความดันและเปลวไฟจะผ่านลงมาด้านล่างได้ยากขึ้น ลดการระเบิดที่ไซโคลนเย็น
- 5.4 เมื่อประตูระบายการระเบิดทำงาน มีระบบ interlock ให้โรตารีวาล์วหยุดการทำงาน

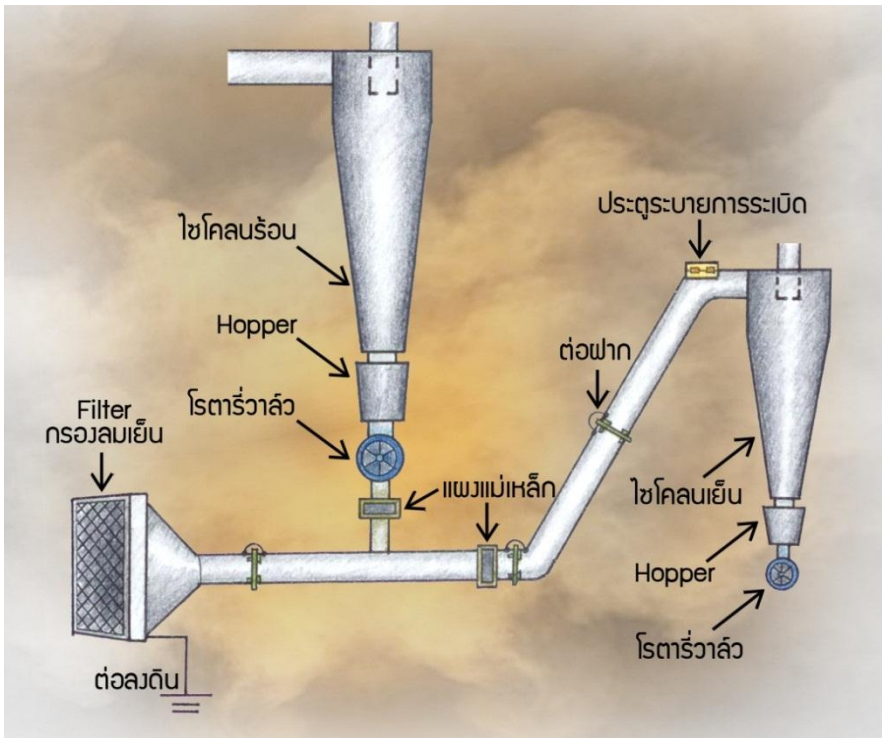


6. ท่อส่งแบ่งจากไซโคลนร้อนไปไซโคลนเย็น

ทำหน้าที่ส่งแบ่งได้ไซโคลนร้อนไปยังไซโคลนเย็น พร้อมกับลดอุณหภูมิของแบ่ง ลักษณะการเกิดอันตราย คือ ขณะแบ่งเคลื่อนที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต มีเศษโลหะมากับแบ่งทำให้เกิดเสียดสีกับท่อ ก่อให้เกิดประกายไฟ ทำให้เกิดระเบิดในท่อส่งแบ่ง

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- 6.1 ตรวจสอบการฉีกขาดของ filter กรองลมเย็น
- 6.2 ต่อฝาอกและต่อลงดินทุกหน้าแปลน
- 6.3 ติดตั้งประตูละบายการระเบิดที่ท่ออบแบ่ง กรณีท่ออบแบ่งยาวเกิน 6 เมตร
- 6.4 ติดตั้งแผงแม่เหล็กที่ท่อส่งแบ่งที่ได้โรตารีวาล์วหรือท่อส่งแบ่ง



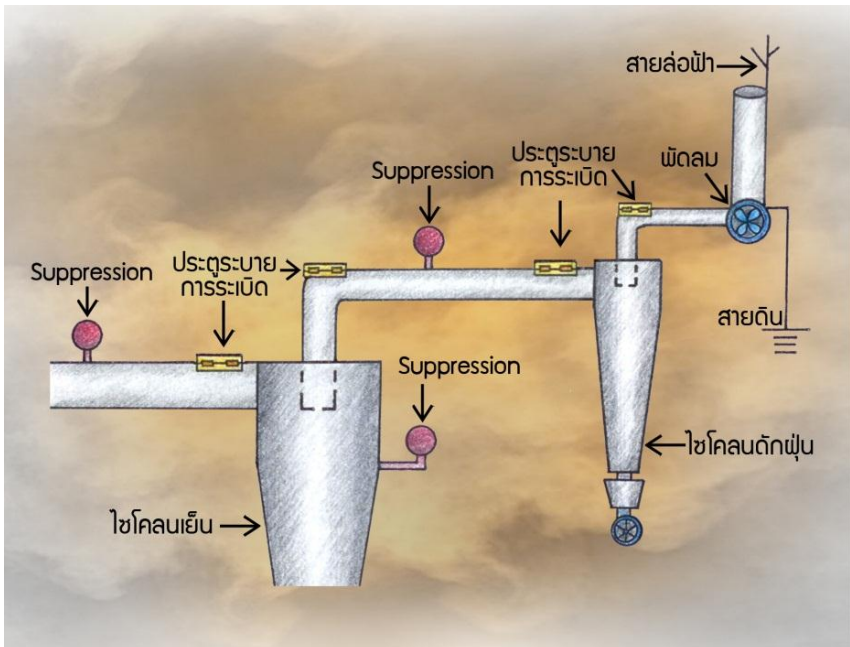
7. ไฮโคลนเย็น และไฮโคลนดักฝุ่น หรืออุกรณ์ดักฝุ่น

ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิแป้งและดักฝุ่นแป้งมันสำปะหลัง ลักษณะการเกิดอันตราย คือ ขณะแป้งเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกับไฮโคลนร้อน ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต เศษโลหะติดมากับฝุ่นแป้ง ทำให้เสียดสีเกิดเป็นประกายไฟ ทำให้เกิดระเบิดจากไฮโคลนร้อน จากนั้นแรงดันและเปลวไฟวิ่งมาไฮโคลนเย็น ทำให้เกิดระเบิดแบบ deflagration ที่ไฮโคลนเย็นและไฮโคลนดักฝุ่น

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

- 7.1 ต่อฝากและต่อลงดินทุกจุดที่มีหน้าแปลนของไฮโคลนเย็นและไฮโคลนดักฝุ่น
- 7.2 ตรวจสอบการฉีกขาดของ filter กรองลมเย็น
- 7.3 ติดตั้งประตูละบายการระเบิดที่ทางเข้าหรือทางออกไฮโคลนเย็นและไฮโคลน

ดักฝุ่น



7.4 ติดตั้งระบบ suppression ที่ไซโคลนเย็น

7.5 ติดตั้งระบบ suppression ที่ท่อทางเข้า - ท่อทางออกไซโคลนเย็น เพื่อกันแยกไม่ให้เปลวไฟและความดันการระเบิดในไซโคลนเย็นไปท่อส่งแป้งและไซโคลนดักฝุ่นหรือถุงกรองดักฝุ่น

8. ตะแกรงร่อนแป้ง ไซโลเก็บแป้ง และหัวบรรจุ

ตะแกรงร่อนแป้งทำหน้าที่คัดขนาดและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ติดมากับแป้ง ไซโลทำหน้าที่เก็บสะสมแป้ง ส่วนหัวบรรจุแป้งทำหน้าที่บรรจุแป้งเข้ากับถุงขนาดต่างๆ ลักษณะการเกิดอันตราย คือ ขณะที่แป้งมีการเคลื่อนที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต มอเตอร์ของตะแกรงร่อนแป้งมีความร้อน

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

8.1 มอเตอร์ตะแกรงร่อนแป้ง ควรอยู่ภายนอกห้องตะแกรงร่อนแป้งหรือมีสิ่งปิดคลุม

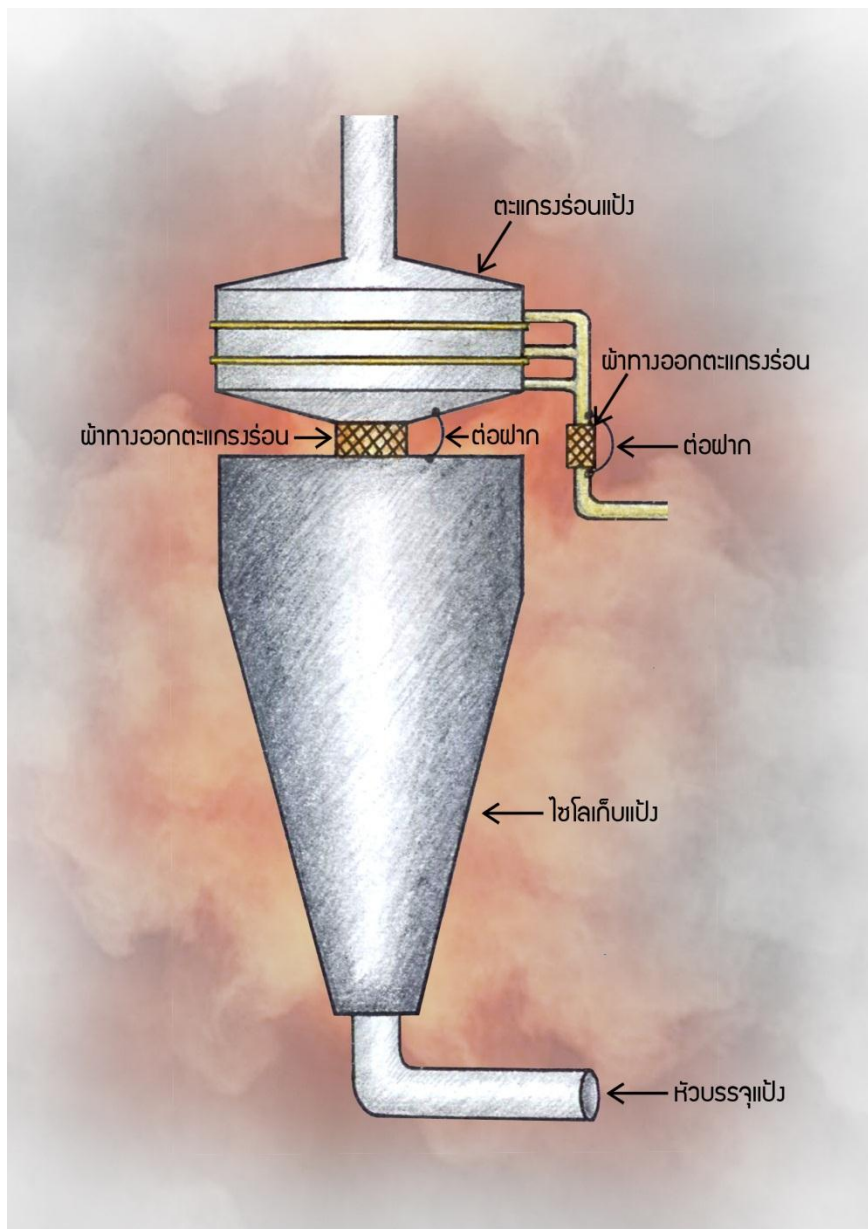
8.2 ต่อฝาครอบต่อทุกจุด และต่อลงดิน โดยเฉพาะทางออกของตะแกรงร่อนแป้ง

8.3 ฝาทางออกของตะแกรงร่อน ควรเลือกผ้าที่ทำจากวัสดุด้านการเกิดไฟฟ้าสถิต

8.4 ทำความสะอาดพื้นทุกวัน ส่วนคาน ผนัง ท่อ และด้านบนเครื่องจักร ทำความสะอาดทุกสัปดาห์ เพื่อลดการสะสมของฝุ่นแป้ง

8.5 ห้ามใช้หัวลมเป่าทำความสะอาดบริเวณที่แป้งกองสะสม เพราะจะทำให้ฝุ่นแป้งฟุ้งกระจาย เมื่อพบความร้อนทำให้เกิดระเบิดได้

8.6 แผงควบคุมไฟฟ้าปิดสนิท ป้องกันไม่ให้ฝุ่นเข้ามาสะสม หรือออกแบบให้เป็นระบบปิดสนิทและมีความดันลบภายใน 2 - 3 นิ้วน้ำ



ข้อปฏิบัติในการออกแบบเกี่ยวกับความปลอดภัยในโรงงาน

ข้อปฏิบัติในการออกแบบความปลอดภัยในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ควรเริ่มตั้งแต่การออกแบบกระบวนการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อรองรับหรือป้องกันไว้ตั้งแต่เริ่มต้น ด้วยการวิเคราะห์อันตรายของกระบวนการผลิต อีกทั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ก็ต้องคำนึงถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นตามมา สิ่งสำคัญต้องคำนึงถึง คือ ความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน โดยมีละเอียดดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการออกแบบ

1.1 โครงสร้าง อุปกรณ์ต้องแข็งแรง ออกแบบให้จำกัดการลุกลามของการเกิดเพลิงไหม้หรือระเบิด มิให้กระทบต่อชีวิตและทรัพย์สิน

1.2 ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง เครื่องจักร อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวก ต้องมั่นคงแข็งแรง แม้จะได้รับผลกระทบจากการเกิดเพลิงไหม้หรือระเบิด เพื่อให้พนักงานมีเวลาเพียงพอที่จะอพยพได้อย่างปลอดภัยในกรณีเกิดอุบัติเหตุ

1.3 สิ่งอำนวยความสะดวกและเครื่องจักรสำคัญ เช่น หม้อน้ำ หม้อต้มน้ำมันร้อน แผงสวิทช์ไฟฟ้า ท่ออบแป้ง ไซโคลน ต้องได้รับการปกป้องเป็นพิเศษ ที่จะจำกัดความเสียหาย เพื่อให้ดำเนินธุรกิจต่อไป

1.4 ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ไซโลเก็บแป้ง สลิงเกอร์ อาคารเก็บแป้งมันสำปะหลัง ต้องออกแบบให้สามารถป้องกันเพลิงไหม้และการระเบิด เพื่อลดการลุกลามของเพลิงไหม้และการระเบิด และควรติดตั้งให้เหมาะสมโดยเฉพาะทิศทางการระบายการระเบิดควรอยู่นอกอาคาร

2. สถานการณ์จำลองสำหรับการออกแบบ ในการออกแบบต้องให้ครอบคลุมสถานการณ์จำลองดังต่อไปนี้

2.1 สถานการณ์เพลิงไหม้ แป้งมันสำปะหลัง เชื้อเพลิงที่ใช้มีทั้ง ไบโอดีเซล น้ำมันเตา ก๊าซ LPG แก๊บลบ และอื่นๆ สามารถลุกติดไฟได้หรือคุติดไฟ ขณะทดลองเครื่อง ระหว่างการผลิต หยุดการผลิต หรือเพิ่งเริ่มการผลิต โดยออกแบบให้เกิดความปลอดภัยในทุกกรณีดังกล่าว

2.2 สถานการณ์การระเบิด จุดที่สามารถระเบิดได้ เช่น ที่ท่ออบแป้ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น ท่อส่งแป้ง เครื่องร่อนแป้ง ไซโลอบแป้ง ห้องบรรจุแป้งและอาคารเก็บแป้ง ต้องมีการออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนหรือประกายไฟ

3. การออกแบบกระบวนการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก ต้องออกแบบให้เหมาะสมกับอนุภาคของแข็งที่สันดาปได้ในที่นี้คือ แป้งมันสำปะหลัง โดยพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งมันสำปะหลังว่าจะก่อให้เกิดอันตรายกับวัสดุที่นำมาใช้ สำหรับฝุ่นแป้งมันสำปะหลัง ไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยากับวัสดุที่เป็นโลหะ แต่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านอาหาร วัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จึงทำจากสแตนเลสไม่ควรใช้พลาสติกหรือเหล็ก ข้อมูลและเอกสารการออกแบบต้องเก็บไว้ที่โรงงาน

4. การวิเคราะห์อันตรายของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยเฉพาะ การเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดที่เกิดที่จุดใดของสิ่งอำนวยความสะดวกหรือกระบวนการผลิต เพื่อออกแบบระบบให้เกิดความปลอดภัย และจัดทำมาตรการความปลอดภัยเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุที่จุดนั้นๆ และต้องมีการทบทวนทุกปี

5. การจัดการการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุ เทคโนโลยี อุปกรณ์ ขั้นตอนการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก ต้องพิจารณาเกี่ยวกับเทคนิคที่เปลี่ยนแปลง ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ความปลอดภัย และการเกิด

อุบัติเหตุ โดยทบทวนการวิเคราะห์อันตราย ขั้นตอนการดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน ก่อนทำการเปลี่ยนแปลงใดๆ

6. การออกแบบระบบลำเลียงด้วยลมของแป้งมันสำปะหลัง ควรได้รับการออกแบบและติดตั้งโดยวิศวกรที่มีความรู้และประสบการณ์โดยตรง

ข้อปฏิบัติทั่วไปเกี่ยวกับความปลอดภัยในโรงงาน

เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ควรดำเนินการตามข้อปฏิบัติทั่วไปดังนี้

1. การควบคุมฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย การรักษาความสะอาด และความเป็นระเบียบเรียบร้อย

บริเวณบรรจุและบริเวณเก็บแป้งมันสำปะหลัง ควรติดตั้งอุปกรณ์ดูดฝุ่นเพื่อลดการฟุ้งกระจาย มีการทำความสะอาดพื้น ผนังและเพดาน หรือส่วนบนของโครงสร้าง เครื่องจักร อาคาร ทุกวันหรือทุกสัปดาห์ เพื่อลดการสะสมของฝุ่น มิให้หนาเกิน 1.5 มิลลิเมตร

2. การควบคุมแหล่งจุดติดไฟ ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีแหล่งจุดติดไฟอยู่หลายแหล่ง จึงควรมีข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในแต่ละจุด ดังนี้

2.1 เศษวัสดุที่ติดมากับแป้งหมาดเข้าสลิ้งเกอร์และท่ออบแป้ง ทำให้เศษวัสดุที่เป็นโลหะเสียดสีกับท่อก่อให้เกิดประกายไฟ จึงควรมีการตรวจสอบโดยพนักงาน

2.2 แป้งสะสมในสลิ้งเกอร์ หรือท่อลมร้อน เมื่อแป้งขาดราง ทำให้แป้งที่สะสมเกิดความร้อนสูงจนลุกติดไฟ จึงควรออกแบบให้สลิ้งเกอร์ มีประตูใต้ สลิ้งเกอร์ มีช่องตรวจสอบท่อลมร้อน และตรวจสอบการสะสมของแป้งเป็นระยะ

2.3 สายพานขับเคลื่อนทำให้เสียดสีเกิดความร้อน ควรมีการตรวจสอบความตึงสายพานทุกสัปดาห์เพื่อปรับแต่งให้ไม่ตึง สำหรับพัดลมดูดอากาศ หั้วของชุดไซโคลนร้อน ชุดไซโคลนเย็น มีฝาครอบปิดมิดชิดเพื่อความปลอดภัย

2.4 ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น ขณะที่แป้งเคลื่อนที่ในท่ออบ ไซโคลน ท่อส่งแป้ง และจุดอื่นๆ ควรมีการต่อฝากหน้าแปลนต่างๆ ให้ถึงกันแล้วต่อลงดิน

2.5 การเชื่อมก๊าซหรือไฟฟ้า บริเวณท่อส่งแก๊ส ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจน ห้องบรรจุ บริเวณเก็บแก๊สและจุดที่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นแก๊ส ห้ามทำการเชื่อม ยกเว้นมีการป้องกันหรือควบคุมอันตราย

2.6 รถยก ขณะทำงานจะมีความร้อนที่เครื่องยนต์ และประกายไฟจากท่อไอเสีย ควรมีการทำความสะอาดบริเวณเครื่องยนต์ทุกสัปดาห์ ส่วนที่ท่อไอเสียมีที่ครอบป้องกันลูกไฟกระเด็นออกมา

3. การป้องกันอัคคีภัย

3.1 มีเครื่องดับเพลิงแบบมือถือระดับ 2A ในทุกอาคาร ทุกพื้นที่ และห่างกันไม่เกิน 20 เมตร

3.2 ฝึกอบรมพนักงานให้ใช้เครื่องดับเพลิงในลักษณะไม่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นแก๊สสำหรับน้ำมันสำหรับรถ

3.3 จัดเตรียมน้ำสำหรับดับเพลิงปริมาณเพียงพอในการดับเพลิงได้ต่อเนื่อง ไม่น้อยกว่า 30 นาที

3.4 จัดให้มีแผนระงับอัคคีภัยและแผนอพยพพร้อมกับการซ้อมทุกปี

3.5 จัดเส้นทางหนีไฟสำหรับอพยพพนักงานออกจากพื้นที่ภายใน 5 นาที

4. การฝึกอบรมและขั้นตอนการปฏิบัติงาน

4.1 การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการเกิดระเบิดของฝุ่นแก๊สสำหรับรถและมาตรการความปลอดภัย

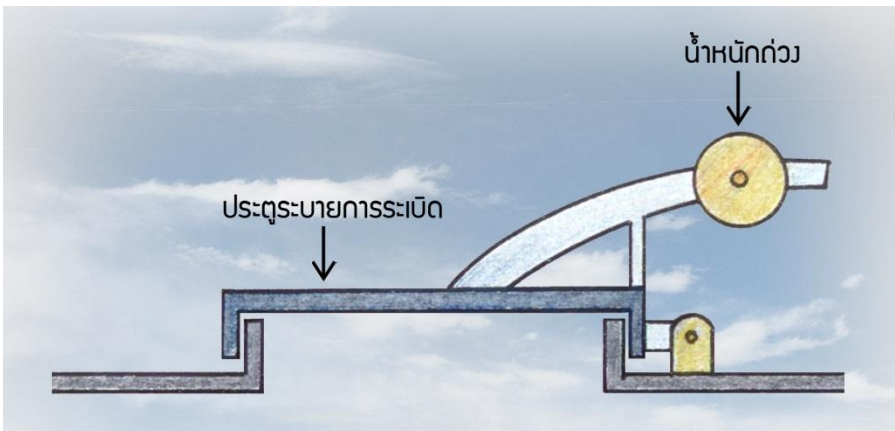
4.2 จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อให้พนักงานปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย โดยเฉพาะงานที่มีอันตราย เช่น งานเชื่อมด้วยก๊าซหรือไฟฟ้า งานตัดหรือเจียร งานตรวจสอบฝุ่นแก๊สในสลิงเกอร์ งานทำความสะอาดพื้นบรรจุแก๊สและการทำงานบนที่สูง รวมถึงการซ่อมบำรุงบริเวณที่มีฝุ่นแก๊ส

ข้อเสนอแนะสำหรับประตูระบายการระเบิด

โรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลัง มีการติดตั้งประตูระบายการระเบิดไว้หลายจุด เช่น ที่ท่ออบแ่ง ไซโคลนร้อน ไซโคลนเย็น เพื่อทำหน้าที่ระบายความดันและเปลวไฟจากการระเบิดออกไปภายนอก เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างของไซโคลนหรือท่ออบแ่งชำรุด ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย ควรดำเนินการตามข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ดังนี้

ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

1. ประตูระบายการระเบิด มีน้ำหนักไม่เกิน 40 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร กรณีประตูระบายการระเบิดหนักเกินเกณฑ์ดังกล่าว ให้ทำน้ำหนักถ่วงช่วย
2. บานพับประตูระบายการระเบิดทำจากสแตนเลส
3. ทิศทางระบาย เมื่อประตูระบายการระเบิดทำงาน ต้องไม่ทำอันตรายต่อบุคคลหรือทรัพย์สิน
4. มีการโยกหรือยกประตูระบายการระเบิดอย่างน้อยปีละครั้ง
5. ไม่มีผิวนูนหุ้มประตูระบายการระเบิด
6. ไม่มีอุปกรณ์ล็อกประตูระบายการระเบิด



7. กรณีติดตั้งประตูระบายการระเบิดในอาคาร ควรต่อท่อระบายออกไปภายนอกอาคารไปยังสถานที่ปลอดภัย

8. มีการตรวจประตูระบายการระเบิดตามตัวอย่างแบบฟอร์ม

**ตัวอย่างแบบฟอร์ม การตรวจประตูระบายการระเบิด
(Deflagration vent door or Safety door)**

หมายเลขประตูระบายการระเบิด

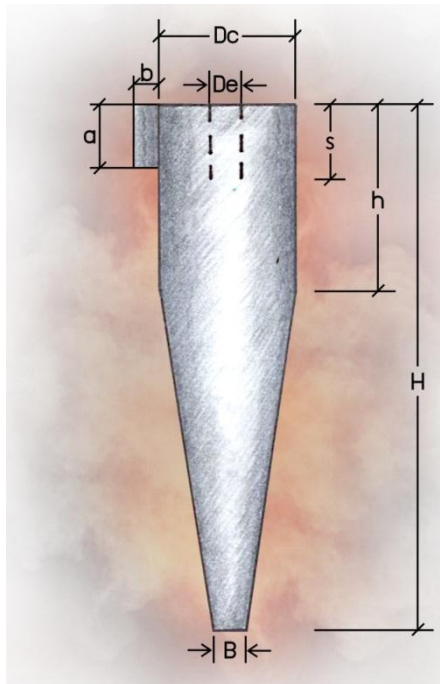
ตำแหน่งที่ติดตั้ง

สิ่งที่ต้องตรวจสอบประตูระบายการระเบิด

- | | | |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| 1. ปราศจากสิ่งกีดขวาง | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 2. ไม่พบการสึกหรอ/กัดกร่อน | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 3. ไม่พบการบิดงอหรือเสียรูป | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 4. กรอบประตูระบายการระเบิดไม่เสียหาย | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 5. สะอาดและปราศจากสิ่งปนเปื้อน | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 6. มีบานพับที่หล่อลื่นและทำงานไม่ติดขัด | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 7. ประตูระบายการระเบิดสามารถเปิด-ปิดได้ | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 8. กรณีมีเซ็นเซอร์ทำงานได้ตามปกติ | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 9. กรณีมีท่อต่อเพื่อระบายการระเบิดไปภายนอกไม่มี
สิ่งกีดขวาง | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |
| 10. มีบันไดหรือทางเดินเพื่อเข้าถึงประตูระบายการ
ระเบิดได้อย่างปลอดภัย | <input type="checkbox"/> ใช่ | <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ |

การออกแบบประตูระบายการระเบิด

ก่อนอื่นต้องมากำหนดขนาดไซโคลนและสัดส่วนของไซโคลน เนื่องจาก สัดส่วนของไซโคลนมีการศึกษาของบุคคลต่างๆ หลายคน และมักเรียกตามชื่อผู้ศึกษา เช่น สัดส่วนไซโคลนของ Stairmand สัดส่วนไซโคลนของ Swift และสัดส่วนไซโคลนของ Lapple เป็นต้น แต่เมื่อทดลองเอาสัดส่วนของไซโคลนของโรงงานแป้งมันสำปะหลังแห่งหนึ่งมาทำสัดส่วนพบว่าสอดคล้องกับสัดส่วนไซโคลนของ Swift จึงทำ สัดส่วนไซโคลนของ Swift เป็นต้นแบบ พร้อมกันนี้ได้ทำรูปแสดงสัญลักษณ์ของ ไซโคลน พร้อมตารางแสดงสัญลักษณ์ ความหมาย สัดส่วน และขนาดของไซโคลน ดังรูปและตารางดังนี้



รูปแสดงสัญลักษณ์ของไซโคลน

ตารางแสดงสัญลักษณ์ ความหมาย สัดส่วน และขนาดของไซโคลน

สัญลักษณ์	ความหมาย	สัดส่วน Swift	ขนาดไซโคลน (เมตร)						
			0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
D _c	เส้นผ่านศูนย์กลาง ไซโคลน	1.0	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
D _e	เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกอากาศ	0.4	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72
B	เส้นผ่านศูนย์กลาง ทางออกฝุ่น	0.4	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72
a	ความสูงช่องทางเข้า	0.44	0.26	0.35	0.44	5.28	0.62	0.70	0.79
b	ความกว้างช่อง ทางเข้า	0.21	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.34	0.38
s	ความลึกท่อ ทางออกอากาศ	0.50	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
h	ความสูง ทรงกระบอก	1.40	0.84	1.12	1.40	1.68	1.96	2.24	2.52
H	ความสูงไซโคลน	3.90	2.34	3.12	3.90	4.68	5.46	6.24	7.02

เมื่อได้ขนาดของไซโคลนแล้ว นำข้อมูลมาคำนวณหาขนาดและน้ำหนักระบาย การระบายการระเบิด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณขนาดและน้ำหนักระบายการระเบิดของไซโคลนที่มีขนาด 0.6 – 1.8 เมตร โดยใช้แนวทางในการคำนวณหาขนาดและน้ำหนักระบาย การระเบิด ตาม NFPA 68 มาตรฐานสำหรับการป้องกันการระเบิดด้วยวิธีการระบาย การระเบิดแบบ Deflagration ปี 2007 โดยมีการกำหนดข้อมูลพื้นฐาน ขนาด และน้ำหนักระบายการระเบิดตามขนาดของไซโคลนดังตาราง

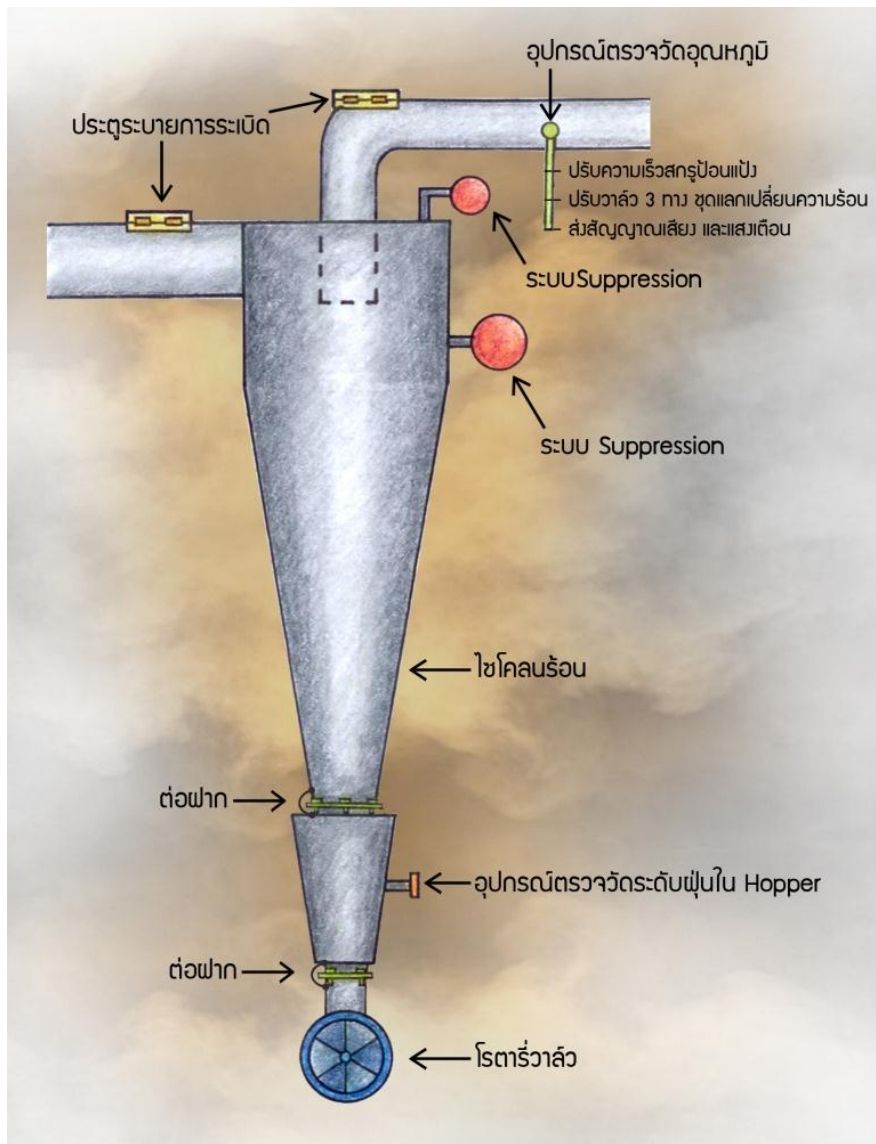
ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณขนาดระบายการระเบิด

1. ฝุ่นแป้งมันสำปะหลัง
2. ดัชนีการระเบิด (K_{st}) = 62 bar-m/s
3. ความดันสูงสุด (P_{max}) = 9.8 bar
4. ความดันกระตุ้นคงที่ (P_{stat}) = 0.10 bar
5. ความดันลดหลังทำการระบาย (P_{red}) = 1.0 bar
6. คำนึงถึงผลจากความเฉื่อยของประทุระบายการระเบิด
7. จุดติดตั้งระบายการระเบิดสามารถติดตั้งได้ที่ทางเข้าหรือทางออกไซโคลน

ตารางแสดงขนาดไซโคลน ขนาดและน้ำหนักประตูละบายการระเบิด

ขนาด \varnothing ไซโคลน Dc (ม.)	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ประตูละบายการระเบิด		น้ำหนักประตู รวมอุปกรณ์ (กก.)
			พื้นที่ระบาย ความดัน (ตร.ม.)	น้ำหนัก ประตู (กก.)	
0.6	สแตนเลส	8	0.0191	1.22	2.2
0.8	สแตนเลส	8	0.0367	2.34	4.1
1.0	สแตนเลส	8	0.0599	3.83	6.7
1.2	สแตนเลส	8	0.0911	5.82	12.0
1.4	สแตนเลส	8	0.1289	8.25	14.4
1.6	สแตนเลส	8	0.1739	11.13	19.5
1.8	สแตนเลส	8	0.2269	17.22	30.0

- หมายเหตุ** - ประตูละบายการระเบิด คัดต่อไซโคลน 1 ใบ ถ้าจำนวนไซโคลนเพิ่มขึ้น ต้องเพิ่มจำนวนประตูละบายการระเบิด หรือเพิ่มขนาดของพื้นที่
- กรณีไซโคลนมีขนาดไม่เป็นไปตามที่กำหนดให้ปรับขึ้นตามขนาดไซโคลน
 - กรณีน้ำหนักประตูละบายการระเบิดน้อยกว่าที่กำหนด ประตูจะระบายความดันได้เร็วขึ้น แต่ถ้าน้ำหนักประตูมากกว่าที่กำหนดก็จะระบายที่ความดันช้าลง



รูปแสดงจุดติดตั้งประตูระบายการระเบิดที่ทางเข้าและทางออกไซโคลน

ตัวอย่างการคำนวณและการใช้กราฟหาขนาดและน้ำหนักประตुरะบายการระเบิด

1. โดยวิธีการคำนวณหาขนาดประตुरะบายการระเบิด

1.1 ข้อมูลพื้นฐานฝุ่นที่ระเบิดได้ ในที่นี้คือแป้งมันสำปะหลังชนิดมาตรฐาน ซึ่ง

มี

(1) ดัชนีการระเบิด (K_{st}) = 62 bar-m/s

(2) ความดันสูงสุด (P_{max}) = 9.8 bar

1.2 ข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ ในที่นี้ ผู้ออกแบบกำหนดขึ้นมา คือ

(1) ความดันกระตุ้นคงที่ (P_{stat}) = 1.0 bar

(2) ความดันลดหลังทำการระบาย (P_{red}) = 1.0 bar เพราะไซโคลนสามารถทนความดันมากกว่า 2.0 bar

1.3 ขนาดและรูปร่างของสิ่งปิดครอบ ในที่นี้คือไซโคลน ดูรูปหน้า 23 และตารางหน้า 24 ประกอบ

เมื่อกำหนดให้

D_c = เส้นผ่านศูนย์กลางไซโคลน = 0.60 เมตร

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกอากาศ = 0.24 เมตร

B = เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกฝุ่น = 0.24 เมตร

a = ความสูงช่องทางเข้า = 0.26 เมตร

b = ความกว้างช่องทางเข้า = 0.13 เมตร

S = ความลึกท่อทางออกอากาศ = 0.30 เมตร

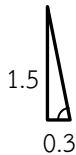
h = ความสูงทรงกระบอก = 0.84 เมตร

H = ความสูงไซโคลน = 2.34 เมตร

1.4 หาพื้นที่ภายในสิ่งปิดครอบ ในที่นี้คือไซโคลน

$$(1) \text{พื้นที่ทรงกระบอก} = \pi dl$$
$$= \pi (0.6) (0.84) = 1.58 \text{ ตารางเมตร}$$

$$(2) \text{พื้นที่ทรงกรวย} = \pi rl \text{ เมื่อ } l = \text{สูงเอียง}$$



$$\text{Tan}\theta = \frac{1.5}{0.3}$$

$$\theta = 78.6 \text{ องศา}$$

$$l = \frac{1.5}{\sin\theta} = 1.53 \text{ เมตร}$$

$$= \pi (0.3) (1.53) = 1.44 \text{ ตารางเมตร}$$

$$(3) \text{พื้นที่วงแหวน} = \frac{\pi D_c^2}{4} - \frac{\pi D_e^2}{4}$$
$$= \frac{\pi(0.6)^2}{4} - \frac{\pi(0.24)^2}{4} = 0.24 \text{ ตารางเมตร}$$

$$(4) \text{พื้นที่ท่อทางออก} = \pi D_e l \text{ (เมื่อ } l \text{ คือ } S = 0.30 \text{ เมตร)}$$
$$= \pi (0.24)(0.30) = 0.23 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{พื้นที่ภายในไซโคลน (A}_c) &= 1.4(1) + 1.4(2) + 1.4(3) + 1.4(4) \\ &= 1.58 + 1.44 + 0.24 + 0.23 \\ &= 3.49 \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

1.5 หาค่า L/D หรือ H/D_{he}

(1) เมื่อให้ H = ความสูงแนวตั้งของไซโคลน = 2.34 เมตร

(2) หาปริมาตรของไซโคลน (V_{eff})

ก. ปริมาตรส่วนที่เป็นทรงกระบอกของไซโคลน

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi D_c^2}{4} \times h \\ &= \frac{\pi(0.6)^2}{4} \times 0.84 \\ &= 0.24 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ข. ปริมาตรทรงกรวย = $\frac{1}{3} \pi r^2 h_{\text{กรวย}}$

เมื่อ $h = 2.34 - 0.84 = 1.5$ เมตร

$r = D_c / 2 = 0.3$ เมตร

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{3} \pi (0.3)^2 (1.5) \\ &= 0.14 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{\text{eff}} &= 0.24 + 0.14 \\ &= 0.38 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

(3) พื้นที่ได้ผลแท้จริง (A_{eff}) = $\frac{V_{\text{eff}}}{H}$

$$\begin{aligned} &= \frac{0.38}{2.34} = 0.16 \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

(4) เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกได้ผลแท้จริง (D_{he})

$$= \left(\frac{4 A_{eff}}{\pi} \right)^{0.5}$$

เมื่อสิ่งปิดครอบในที่นี้คือไซโคลนที่ขยายออกเป็นรูปทรงกระบอก

$$= \left(\frac{4 (0.16)}{\pi} \right)^{0.5} = 0.45$$

(5) ดังนั้น $\frac{H}{D_{he}} = \frac{2.34}{0.45} = 5.20$

1.6 หาพื้นที่ประตुरะบายการระเบิด

เมื่อพื้นที่ประตुरะบายการระเบิดต่ำสุดที่จำเป็น (A_{vo})

$$A_{vo} = 1 \times 10^{-4} (1 + 1.54 P_{stat}^{4/3}) K_{st} \cdot V^{3/4} \cdot \sqrt{\frac{P_{max}}{P_{red}} - 1}$$

เมื่อกำหนดให้

$$A_{vo} = \text{พื้นที่ประตुरะบายการระเบิดต่ำสุดที่จำเป็น}$$

หน่วยตารางเมตร

$$P_{stat} = 0.10 \text{ bar}$$

$$P_{max} = 9.8 \text{ bar}$$

$$P_{red} = 1.00 \text{ bar}$$

$$K_{st} = 62 \text{ bar-m / s}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned}A_{v0} &= 1 \times 10^{-4} (1 + 1.54(0.10)^{4/3}) \times 62 \times (0.38)^{3/4} \cdot \sqrt{\frac{9.80}{1.00} - 1} \\ &= 1 \times 10^{-4} (95.43) \\ &= 0.0095 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

เมื่อ L/D ไม่เกิน 6 ในที่นี้คือ 5.20 ให้ใช้ค่า A_{v1}

$$A_{v1} = A_{v0} \left[1 + 0.6 \left(\frac{L}{D} - 2 \right)^{0.75} \cdot \exp(-0.95P_{red}^2) \right]$$

แทนค่า

$$\begin{aligned}A_{v1} &= 0.0095 [1 + 0.6 (5.2 - 2)^{0.75} \cdot \exp(-0.95(1)^2)] \\ &= 0.0095 [1 + 1.44 \cdot \exp -0.95] \\ &= 0.0148 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

2. การหาขนาดประตูระบายการระเบิดโดยใช้กราฟจาก NFPA 68 Annex H

2.1 เมื่อฝุ่นเป็นฝุ่นแป้งมันสำปะหลัง มีค่า $P_{max} = 9.8 \text{ bar}$, $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$,
 $P_{red} = 1.0 \text{ bar}$ และ $K_{st} = 62 \text{ bar-m/s}$

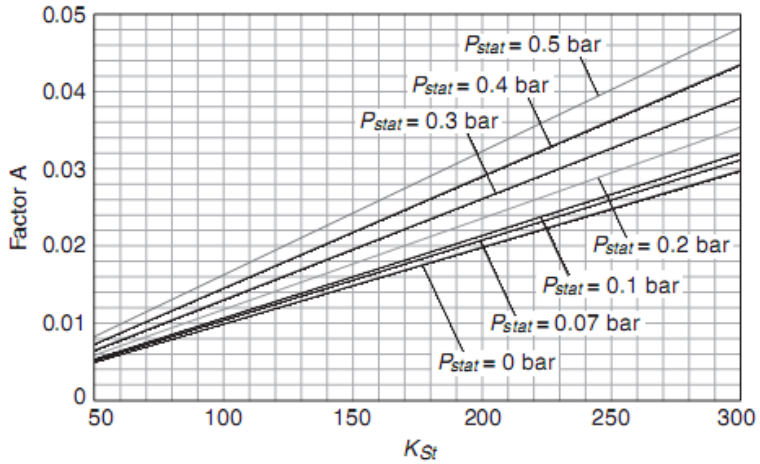
2.2 ปริมาตรสิ่งปิดครอบในที่นี้คือไซโคลน = $V_{eff} = 0.38 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$ และ
ค่า L/D หรือ H/D_{he} = 5.20

2.3 จาก NFPA68 Annex H

(1) หาค่า Factor A จากรูปที่ 1 ได้ค่า Factor A = 0.008

เมื่อ $K_{st} = 62 \text{ bar-m/s}$

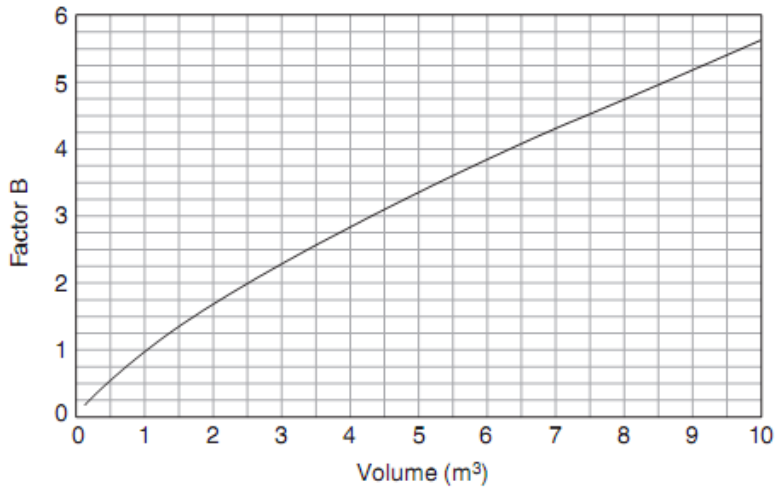
$P_{stat} = 0.10 \text{ bar}$



รูปที่ 1 แสดงขนาดการขยาย เมื่อ $50 \leq K_{st} < 300$

(2) หาค่า Factor B จากรูปที่ 2 ได้ค่า Factor B = 0.38

เมื่อปริมาตรไซโคลน = 0.38 ลูกบาศก์เมตร



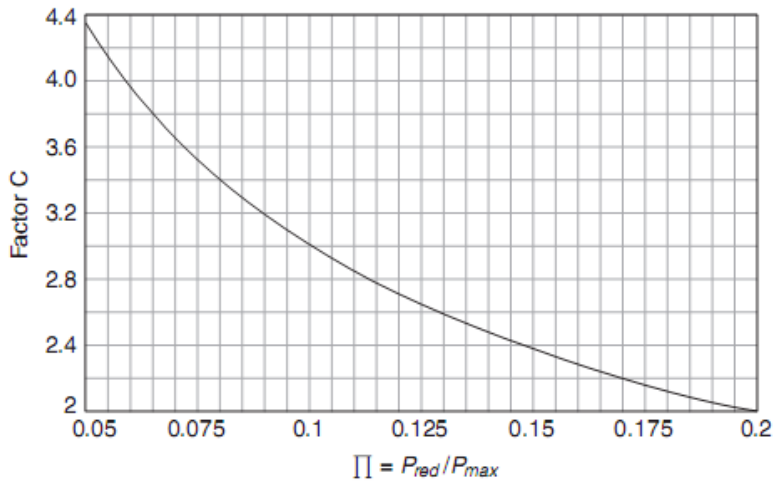
รูปที่ 2 แสดงขนาดปริมาตรสิ่งปิดครอบ

(3) หาค่า Π เมื่อ

$$\Pi = P_{\text{red}} / P_{\text{max}} = 1.0/9.8 = 0.1020$$

(4) หา Factor C จากรูปที่ 3 ได้ Factor C = 3

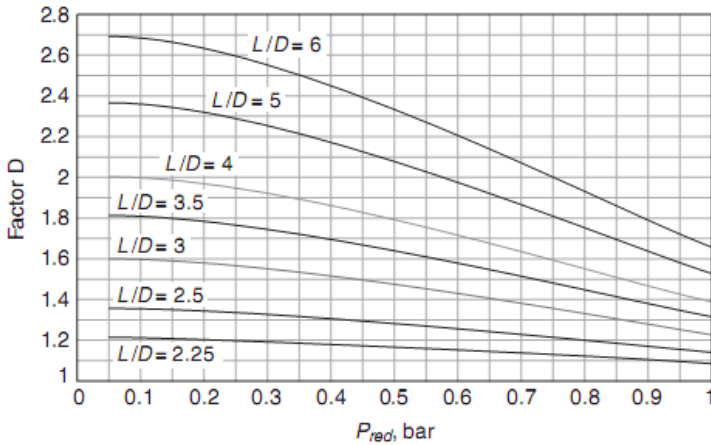
$$\text{เมื่อ } \Pi = 0.1020$$



รูปที่ 3 แสดงขนาดประตูละบาย เมื่อ $0.05 \leq \Pi < 0.20$

(5) หา Factor D จากรูปที่ 4 ได้ Factor D = 1.52

$$\text{เมื่อ } L/D = 5.20 \text{ และ } P_{\text{red}} = 1.0 \text{ bar}$$



รูปที่ 4 แสดงขนาดประตูลอยเมื่อ

$$\begin{aligned}
 \text{ประตูลอยการระเบิดมีพื้นที่} &= \text{Factor A} \times \text{Factor B} \times \text{Factor C} \times \text{Factor D} \\
 &= 0.008 \times 0.38 \times 3 \times 1.52 \\
 &= 0.0139
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า พื้นที่ประตูลอยการระเบิดที่คำนวณได้ตามข้อ 1 มีค่า 0.0148 ตารางเมตร กับที่หาจากกราฟตามข้อ 2 มีค่า 0.0139 ตารางเมตร แนะนำให้เลือกค่าที่ได้จากการคำนวณมาใช้ในการสร้างประตู เพราะพื้นที่การระบายมากกว่า

3. ผลกระทบของความเฉื่อยของแผ่นช่องระบาย

3.1 มวลของแผ่นช่องระบาย(ประตู) ไม่เกิน 40 กิโลกรัม/ตารางเมตร และค่า K_{st} ไม่เกิน 250 bar-m/s ใช้สมการข้างล่างคำนวณว่าต้องเพิ่มพื้นที่ช่องระบายหรือไม่

$$M_T = \left[6.67 P_{red}^{0.2} \cdot n^{0.3} \left(\frac{V}{K_{st}^{0.5}} \right) \right]^{1.67}$$

M_T = มวลเริ่มต้น หน่วยกิโลกรัม/ตารางเมตร

P_{red} = ความดันลดหลังทำการระบาย = 1.0 bar

n = จำนวนประตูหรือแผ่นช่องระบาย = 1 บาน

V = ปริมาตรของสิ่งปิดครอบ = 0.38 ลูกบาศก์เมตร

K_{st} = ดัชนีการระเบิดของฝุ่นแป้งมันสำปะหลัง = 62 bar-m/s

$$\begin{aligned} M_T &= \left[6.67 (0.1)^{0.2} \cdot (1)^{0.3} \left(\frac{0.38}{62^{0.5}} \right) \right]^{1.67} \\ &= 0.15 \text{ กิโลกรัม/ตารางเมตร} \end{aligned}$$

3.2 เมื่อกำหนดให้ประตูระบายการระเบิดทำด้วยสแตนเลสหนา 8 มิลลิเมตร จากค่า Density ของสแตนเลส 8,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

- มวลประตูระบายการระเบิดมากกว่ามวลเริ่มต้น = 64 กิโลกรัม/ตารางเมตร มากกว่า 0.15 กิโลกรัม/ตารางเมตร
- ต้องหา $A_{v\text{ใหม่}}$

$$A_{v\text{ใหม่}} = \left[1 + (0.0075) M^{0.6} \left(\frac{K_{st}^{0.5}}{n^{0.3}} \right) \cdot V \cdot P_{red}^{0.2} \right] A_{v1}$$

เมื่อ

$$M = 64 \text{ กิโลกรัม/ตารางเมตร}$$

$$K_{st} = 75 \text{ bar-m/s} \text{ เมื่อ } K_{st} \text{ เดิม น้อยกว่า } 75$$

$$A_{ทใหม่} = \left[1 + (0.0075)(64)^{0.6} \left(\frac{75^{0.5}}{1^{0.3}} \right) \cdot 0.38 \cdot (1)^{0.2} \right] 0.0148$$
$$= 0.01921 \text{ ตารางเมตร}$$

∴ ประสิทธิภาพการระเบิดจะมีน้ำหนัก

$$= \text{พื้นที่ประสิทธิภาพ} \times \text{มวลวัสดุทำประทุ}$$

$$= 0.01921 \times 64$$

$$= 1.22 \text{ กิโลกรัม}$$

3.3 เมื่อให้มีอุปกรณ์เสริมความแข็งแรงประทุ มีน้ำหนัก 75% ของน้ำหนัก
ประทุที่คำนวณได้ ดังนั้นน้ำหนักประสิทธิภาพการระเบิดรวมอุปกรณ์เสริมมีค่าประมาณ
2.20 กิโลกรัม

๒๒ บรรณานุกรม ๒๒

National Fire Protection Association; NFPA 68 Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting, 2007. Edition

National Fire Protection Association; NFPA 654 Standard for Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids, 2006 Edition

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้, บริษัท ธีรพัฒน์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2553

๒) คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน ๒

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

นายประสงค์	นรจิตร์	ผู้อำนวยการสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย
นางสาวรัตนา	รักษ์ตระกูล	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
นายประสาท	รักพานิชสิริ	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
นางสาวอิสราภรณ์	วิจิตรจรรยากุล	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
นายศุภวัฒน์	ธาดารุ่งมงคล	วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ
นางสาวปิยะพร	เจียรเจริญ	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
นางสาวณัฐธำภา	อุไรกุล	วิศวกรชำนาญการ

ที่ปรึกษาดำเนินโครงการ

ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์วิชัย	พฤกษ์ธาราธิกุล	ผู้จัดการโครงการ
รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย	ชัยกิตติภรณ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัย
นางสาวอินทิพร	ทิพย์เนตร	นักวิชาการด้านความปลอดภัย
นางสาวสมรค์	อ่องศรี	นักวิชาการด้านความปลอดภัย
นางสาวพนิตนาฏ	จักรเพชร	ผู้ประสานงานโครงการ

บริษัท ไทยสตีมเซอร์วิส แอนด์ ซัพพลาย จำกัด

นายสิทธิพงษ์	พยุงเกียรติบวร	ผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์
--------------	----------------	--------------------------------------



สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

www.diw.go.th