ขอแจ้งชี้การส่งบทความปรับแก้ไข รอบ Final ดังนี้

1. ท่านจะได้รับข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง ผ่านระบบ http://www.conference.ssru.ac.th/IRD-Conference2021 ตั้งแต่วันจันทร์ที่ 21 มิถุนายน 2564 เป็นต้นไป

2. ขอให้ผู้นำเสนอปรับแก้ตามผู้ทรงประจำห้อง และส่งปรับแก้เข้ามาที่ระบบ http://www.conference.ssru.ac.th/IRD-Conference2021 ภายในวันอาทิตย์ที่ 27 มิถุนายน 2564

ทั้งนี้ หากบทความใดได้เฉพาะเอกสารแจ้งชี้การส่งบทความปรับแก้ไข รอบ Final นั้น ขอให้ปรับแก้จากผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้องให้ข้อเสนอแนะในวันนำเสนอ และส่งกลับมายังในระบบให้ทันระยะเวลาที่กำหนด และขอความอนุเคราะห์ส่งไฟล์ที่แก้ไขกลับมาเป็นไฟล์ word เพื่อออกเล่ม Proceeding Online

ขอบพระคุณค่ะ

แบบฟอร์มข้อเสนอแนะของคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความ/งานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ การประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโล

ชื่อผู้นำเสนอ คุณภัทรภร จิตต์แก้ว

รหัสบทความ IRD_Conference2021_P_57

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

การประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโล

ภัทรภร จิตต์แก้ว, เอกไท วิโรจน์สกุลชัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
email: Pattarapon.ji@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การเกิดปรากฏการณ์การระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโล เป็นเหตุการณ์ที่จะทำให้เกิดความเสียหายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน รวมไปถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาโอกาสและความเสี่ยง รวมถึงพิจารณาความพร้อมของระบบการจัดการความปลอดภัยสำหรับปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินความเสี่ยงของฝุ่นโดยใช้วิธีการวิเคราะห์อันตรายของฝุ่น (Dust Hazard Analysis) โดยพิจารณาถึงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลที่มีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่นทั้งหมด 8 สถานการณ์ โดยจากการศึกษาพบว่าทั้ง 8 สถานการณ์มีความเสี่ยงที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่นหากมีองค์ประกอบของการเกิดระเบิดของฝุ่นครบ 5 องค์ประกอบ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการระเบิดของฝุ่นมากที่สุด คือ แหล่งกำเนิดความร้อน โดยหากมีแหล่งความร้อนก่อให้การระเบิดของฝุ่นครั้งที่ 1 ก็จะมีความน่าจะเป็นสูงที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่นครั้งที่ 2 หากมีการสะสมของฝุ่นที่สันดาปได้ตามอุปกรณ์หรือพื้นที่การทำงาน แผนการจัดการความเสี่ยงและมาตรการการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายจากการเกิดฝุ่นระเบิดจึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงดังกล่าว

คำสำคัญ: การระเบิดของฝุ่น, การประเมินความเสี่ยง

Risk assessment of dust explosion on process of inputting petrochemical product to silo

Pattarapon Jittkaew, Ekathai Wirojsakunchai

Faculty of Engineering, Kasetsart University

email: Pattarapon.ji@ku.ac.th

Abstract

A dust explosion phenomenon in the process of inputting petrochemical product to silo can cause both of life and property damage, as well as tremendous environment impact. It is imperative to study the opportunities and risks, including the availability of the safety management system. This study was aimed to identify risk assessment of dust explosion events by using dust hazard analysis. A total of eight situations on the process of inputting petrochemicals into silos that is at risk of dust explosion were considered. The result showed that all eight situations could possibly cause the dust explosion if there were 5 elements of dust explosion. The factors contributing to the most dust explosion is an ignition source. If there was an ignition source causing 1st dust explosion, there is a high probability that a 2rd dust explosion could occur when the combustible dusts were accumulated in the equipment or working area. A risk management plan and precautionary measures were developed to avoid the danger of dust explosion.

Keywords: Dust Explosion, Risk Assessment

บทนำ

การเกิดระเบิดของฝุ่นเป็นอุบัติเหตุที่ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอันประเมินค่าไม่ได้และมีแนวโน้มมีการเกิดอุบัติเหตุจากฝุ่นเพิ่มขึ้น โดยปัจจุบันจากรายงานอุบัติเหตุจากฝุ่นที่สันดาปได้ (Combustible dust incident report) Cloney Chris (2021) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากไฟไหม้และการระเบิดของฝุ่นที่สันดาปได้ในช่วงปี พ.ศ. 2560 – 2563 พบว่ามีการเกิดไฟไหม้จากฝุ่นสันดาปได้ จำนวนทั้งหมด 797 ครั้ง เกิดระเบิดของฝุ่นทั้งหมด 271 ครั้ง โดยจากอุบัติเหตุในปีดังกล่าวมีจำนวนผู้บาดเจ็บถึง 483 คน เสียชีวิต 54 คน โดยความสูญเสียจากการเกิดระเบิดของฝุ่นทั้งหมด 271 ครั้งนั้นมีต้นเหตุมาจากอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์จัดเก็บประเภทไซโล เครื่องดักเก็บฝุ่น (dust collector) ลิฟท์หรือสายลำเลียง เป็นต้น โดยสถิติอุปกรณ์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการระเบิดของฝุ่นสูงสุดในปี พ.ศ. 2562 – 2563 คือ อุปกรณ์จัดเก็บประเภทไซโล (Silo) ซึ่งมีสถิติการเกิดระเบิดของฝุ่นเฉลี่ยถึง 19% เมื่อเทียบกับสถิติอุปกรณ์อื่นๆที่เป็นสาเหตุให้เกิดการระเบิดของฝุ่นที่มีข้อมูลทั้งหมด

องค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่นนั้นมีทฤษฎีพื้นฐานมาจาก ทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟ (Fire triangle) ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ อันได้แก่ เชื้อเพลิง (Fuel) ปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่เหมาะสม (Oxygen) และแหล่งกำเนิดความร้อน (Ignition source)โดยองค์ประกอบของการระเบิดของฝุ่นนั้นจะต้องมีอีก 2 องค์ประกอบ คือ การฟุ้งกระจายของฝุ่น (Dispersed airborne dust) และการกำจัดพื้นที่ของฝุ่นที่เกิดการกระจายตัว หรือ ขอบเขตของหมอกฝุ่น (Confinement of the dust could) ซึ่งทั้งห้าองค์ประกอบ เรียกว่า ห้าเหลี่ยมของการระเบิดของฝุ่น (The dust explosion pentagon) โดยการระเบิดของฝุ่นนั้นสามารถเกิดได้ทั้งแบบการระเบิดแบบปฐมภูมิ (Primary explosions) และการระเบิดแบบทุติยภูมิ (Secondary explosions) การระเบิดแบบปฐมภูมิ (Primary explosions) เป็นการเกิดระเบิดครั้งที่ 1 โดยเกิดขึ้นเมื่อฝุ่นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในภาชนะบรรจุ ห้อง หรือในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ไซโล (Silo) มีความเข้มข้นเหมาะสมที่จะเกิดการลุกไหม้และเกิดระเบิด โดยเมื่อเกิดการระเบิดครั้งที่ 1 ขึ้นแล้ว จะส่งผลให้เกิดการระเบิดครั้งที่ 2 หรือ การระเบิดแบบทุติยภูมิ (Secondary explosions) โดยจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นระเบิด (Blast wave) และเปลวไฟจากการระเบิดครั้งแรก ไปสัมผัสกับฝุ่นที่สะสมอยู่ที่พื้นหรือชั้นของฝุ่นที่สะสมอยู่ในบริเวณใกล้เคียงทำให้เกิดการระเบิดขึ้นอีกครั้งซึ่งการระเบิดแบบทุติยภูมิจะมีความรุนแรงกว่าเกิดระเบิดแบบปฐมภูมิเป็นอย่างมาก และสามารถเกิดการระเบิดของฝุ่นในลักษณะนี้ต่อไปเรื่อย ๆ ซึ่งเกิดเป็นผลกระทบแบบโดมิโน (Domino effect)

การวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Dust Hazard Analysis) หรือ DHA มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับภาคอุตสาหกรรมที่มีฝุ่นที่สันดาปได้ (Combustible Dust) โดย DHA นั้นเป็นข้อกำหนดที่ต้องทำ (Mandatory Standard) ของมาตรฐาน NFPA 652 ที่กำหนดให้โรงงานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีความเสี่ยงจากฝุ่นระเบิดต้องดำเนินการประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นให้แล้วเสร็จภายในเดือนกันยายนพ.ศ. 2563 และต้องทำการทบทวนทุก ๆ 5 ปี โดย DHA ถือเป็นแม่แบบในการวิเคราะห์ความเสี่ยงสำหรับในโรงงานที่มีฝุ่นสันดาปได้ (Combustible Dust) เพื่อนำไปสู่การหาแนวทาง หรือมาตรการในการป้องกันการระเบิดของฝุ่นเชิงวิศวกรรมและการบริหารจัดการ โดย Center for Chemical Process Safety (2017) ได้ระบุวิธีการจัดทำการวิเคราะห์อันตรายของฝุ่น (DHA) นั้นมี 2 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์อันตรายของฝุ่นแบบดั้งเดิม (Traditional DHA) และการวิเคราะห์อันตรายของฝุ่นที่ขึ้นอยู่กับความเสี่ยง (Risk-based DHA) โดย Risk-based DHA มีความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นบนพื้นฐานของการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) สามารถประเมินความเสี่ยงของฝุ่นระเบิดได้ โดยการทำตามขั้นตอนที่กำหนดชัดเจน ทำให้สามารถตรวจประเมินในโรงงานได้โดยไม่ต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญโดยตรง อีกทั้งยังสามารถพิจารณาระดับชั้นของการป้องกัน (Layer of Protection) ที่มีอยู่เทียบกับระดับความเบี่ยงเบนจากระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ที่กำหนดไว้ ทำให้สามารถดำเนินการบริหารความเสี่ยงของเหตุการณ์การเกิดระเบิดของฝุ่นภายในโรงงานอุตสาหกรรมให้อยู่ภายในระดับที่ยอมรับได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

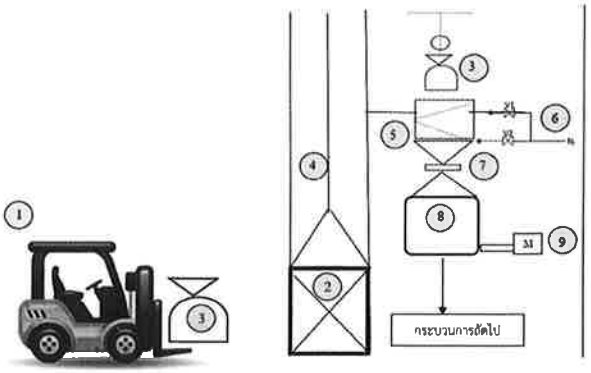
1. เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Risk-based Dust Hazard Analysis) ในการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโล

2. เพื่อนำไปสู่การจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยงและมาตรการการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายจากการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโล

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้จะดำเนินการศึกษาความเสี่ยงของการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโล โดยใช้กรณีศึกษาการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นที่ขึ้นอยู่กับความเสี่ยง (Risk-based Dust hazard Analysis) ในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของสารบิสฟีนอล เอ ในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ณ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีแห่งหนึ่ง

ฝุ่นบิสฟีนอล เอ เป็นฝุ่นที่สามารถสันดาปได้ (Combustible Dust) ในกระบวนการผลิตสารบิสฟีนอล เอ (Bisphenol a : BPA) นั้นจะมีผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นจะถูกนำกลับไปผลิตใหม่ โดยกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพเข้าสู่ระบบเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Rework) เริ่มจากการตรวจสอบปริมาณน้ำหนัก ของถุงปิโตรเคมีภัณฑ์และนำเอาปิโตรเคมีภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในถุงบิ๊กแบ็ค (Big bag) ขึ้นไปยังอาคาร Rework โดยการใช้งารถโฟล์คลิฟท์ขึ้นยกหูถุงบิ๊กแบ๊กขึ้นกระเช้าเพื่อยกถุงขึ้นไปบน Hopper บนถัง Rework vessel โดยใช้รอก (Hoist) ยกขึ้นอย่างระมัดระวัง โดยมีการส่งสัญญาณมือและฟังเสียงจากวิทยุสื่อสารจากคนข้างล่างตลอดการยกถุงขึ้นเผื่อในกรณีที่เกิดถุงขาดจะได้นำถุงลงได้ทัน โดยทางผู้ปฏิบัติงานจะตรวจสอบสถานะของวาล์วนั้นต้องปิด และ ตรวจสอบค่าออกซิเจน ในถังหลอมปิโตรเคมีภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ (Rework Vessel) โดยกำหนดค่าออกซิเจนต้องน้อยกว่า 7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในขั้นตอนการเทถุงนั้นต้องมีการคีบสายกราวด์ กับถุงปิโตรเคมีภัณฑ์เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตและทำการเปิดถุงเพื่อให้ปิโตรเคมีภัณฑ์ ไหลลง Hopper จนหมด นำถุงออกจากปาก Hopper และปิดฝาด้านบนของ Hopper เปิดเกทวาล์ว (gate valve) ที่ใต้ถังรวบรวบปิโตรเคมีภัณฑ์ เพื่อทำการถ่ายปิโตรเคมีภัณฑ์ไปที่ ถัง Rework Vessel และเปิดไนโตรเจนเข้าที่ด้านล่างถังรวบรวบผงปิโตรเคมีภัณฑ์เพื่อช่วยส่งลงไปที่ ถัง Rework Vessel หลังจากเทแล้วจะนำกระเช้าและถุงเปล่าลงมาด้านล่าง และดำเนินการตามด้านต้นจนครบจำนวนถุงที่ต้องการ Rework หลังจากนั้นจะทำความสะอาดพื้นที่บริเวณ Hopper และจัดเก็บอุปกรณ์ให้เป็นระเบียบ โดยภาพจำลองขั้นตอนและกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ระบบเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Rework) แสดงดังภาพที่ 1



หมายเลขที่ 1 รถโฟล์คลิฟท์
หมายเลขที่ 2 กระเช้าลำเลียง
หมายเลขที่ 3 ถุง Big Bag บรรจุปิโตรเคมีภัณฑ์
หมายเลขที่ 4 ระบบรอกลำเลียง
หมายเลขที่ 5 Hopper
หมายเลขที่ 6 ระบบไนโตรเจน
หมายเลขที่ 7 ระบบวาล์วเปิด ปิด
หมายเลขที่ 8 ถังไซโล (Rework Vessel)
หมายเลขที่ 9 ระบบมอเตอร์

ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ระบบเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Rework)

โดยขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลจะทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นที่ขึ้นอยู่กับความเสี่ยง (Risk-based Dust hazard Analysis) ทั้ง 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนแรกของการวิธีการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Dust Hazard Analysis) เริ่มจากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการผลิต อุปกรณ์ วิธีการดำเนินงาน หรือ อันตรายที่มีอยู่ ตัวอย่างเช่น แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการผลิตต่างๆ ภาพวาดอุปกรณ์ คู่มือการปฏิบัติงาน ข้อมูลกระบวนการผลิต เป็นต้น โดยการรวบรวมเพียงเอกสารเพียงอย่างเดียวนั้นเป็นเรื่องยากที่จะได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันครบถ้วนที่สุด จะต้องมีการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานจริง เพื่อรวมรวบข้อมูลต่างๆที่ไม่ได้เป็นเอกสาร

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบภาคสนาม

การตรวจสอบภาสนาม หรือ สถานที่จริงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลเอกสารครบถ้วนแต่ก็มีความเป็นไปได้ที่ข้อมูลเอกสารนั้นจะขาดการอัพเดต หรือ ไม่เป็นจริงตามปัจจุบัน จึงต้องมีการตรวจสอบข้อมูลที่ภาคสนาม การปฏิบัติงานจริง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องครบถ้วนในการนำมาใช้วิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 การจัดตั้งทีมงานเพื่อวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (DHA Team)

การวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นนั้นจะต้องมีทีมงานที่มีความรู้และประสบการณ์ โดยหากเป็นกระบวนการผลิตที่เล็กและไม่ซับซ้อนอาจมีดีเอชเอทีมเพียง 2 คน โดยหากมีกระบวนการผลิตที่ใหญ่และซับซ้อนมากขึ้นอาจต้องการทีมมากกว่า 2 คน ดีเอชเอทีมต้องประกอบไปด้วยบุคคลที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการผลิต การซ่อมบำรุง เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ คุณสมบัติของวัตถุดิบ ระบบความปลอดภัยและการตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน โดยดีเอชเอทีมอาจจะประกอบไปด้วยผู้จัดการ

โรงงาน วิศวกรความปลอดภัย วิศวกรการผลิต วิศวกรซ่อมบำรุง ผู้ปฏิบัติงานที่มีความคุ้นเคยกับกระบวนการผลิตและที่ปรึกษา

ขั้นตอนที่ 4 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้อง

การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องเป็นหัวใจที่สำคัญในการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น โดยหลายอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากฝุ่นระเบิดนั้นเจ้าของกิจการ หรือผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบว่ามีอันตรายนั้นอยู่ การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องมีหลายรูปแบบแต่มีเป้าหมายเดียวกันคือต้องต้องพิจารณาทุกจุดในกระบวนการผลิตเพื่อระบุอันตรายและกำหนดมาตรการลดความเสี่ยงให้น้อยที่สุด โดย Risk-based DHA สามารถทำการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงที่ทนได้ (Risk Tolerance) โดยการประยุกต์ใช้ตารางเมทริกซ์ความเสี่ยงในการพิจารณาเกณฑ์การยอมรับความเสี่ยง แสดงดังภาพที่ 2 ในส่วนของขนาดของผลกระทบสำหรับประเมินเมทริกซ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้และประเภทความถี่สำหรับเมทริกซ์ความเสี่ยง แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยสองมาตราส่วนบนเมทริกซ์นั้นอธิบายระดับที่เพิ่มขึ้นของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น (Consequence) และความถี่ (frequency) ซึ่งเซลล์ของเมทริกซ์จะกำหนดผลที่จะเกิดขึ้นและความถี่เป็นคู่แสดงระดับสัมพัทธ์ของความเสี่ยง โดยความเสี่ยงของสถานการณ์นั้นจะเพิ่มขึ้นไปทางขวาบนและลดลงไปทางซ้ายล่าง โดยหากเมื่อพิจารณาพบว่าความเสี่ยงเพิ่มขึ้นไปทางขวาบน (สีเทา) ควรแนะนำให้มีมาตรการลดความเสี่ยง หากเมื่อพิจารณาพบว่าความเสี่ยงลดลงไปทางด้านซ้าย (สีขาว) ไม่ต้องมีมาตรการใดเพิ่มเติมแล้วและเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าความเสี่ยงอยู่ในช่วงกลาง (สีเทาอ่อน) ต้องวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อหาทางลดความเสี่ยงเว้นแต่จะแสดงให้เห็นว่าเป็นความเสี่ยงต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้แล้ว

โดยการระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องจะต้องมีการพิจารณาระดับชั้นของการป้องกันชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection) ของสถานการณ์และพิจารณาตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers) ที่เกี่ยวข้องเพื่อประเมินขนาดความเป็นไปได้ของความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลองเพื่อนำไปสู่การให้คำแนะนำของทีมดีเอชเอในการเพิ่มระดับชั้นของการป้องกันเพื่อให้ความเสี่ยงดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลอง	สถานการณ์ขนาดความเสี่ยง				
0	1	2	3	4	5
-1	0	1	2	3	4
-2	-1	0	1	2	3
-3	-2	-1	0	1	2
-4	-3	-2	-1	0	1
-5	-4	-3	-2	-1	0
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
	ขนาดของผลกระทบ				

ภาพที่ 2 เมทริกซ์ความเสี่ยงเกณฑ์ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้

ที่มา : Center for Chemical Process Safety (2017)

ตารางที่ 1 ขนาดของผลกระทบสำหรับประเมินเมทริกซ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้

ประเภทของผลกระทบ	ขนาดของผลกระทบ				
	1	2	3	4	5
ผลกระทบด้านสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ทำงาน	อุบัติเหตุถึงขั้นบันทึก (Recordable Injury)	อุบัติเหตุถึงขั้นหยุดงาน (Loss time Injury)	มีผู้บาดเจ็บหลายคน หรือการบาดเจ็บที่รุนแรง	การทุพพลภาพถาวรสิ้นเชิง	การเสียชีวิต
ผลกระทบต่อชุมชน	ได้รับกลิ่นหรือมีการรับสัมผัสต่ำกว่าค่าควบคุม	มีการได้รับสัมผัสสูงกว่าค่าควบคุม	การบาดเจ็บ	การรักษาในโรงพยาบาลหรือการบาดเจ็บจำนวนมาก	การบาดเจ็บที่รุนแรงหรือผลกระทบที่ถาวร
ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	มีการรายงานการปลดปล่อย	ในพื้นที่หรือผลกระทบระยะสั้น	ผลกระทบระยะปานกลาง	แพร่หลายเป็นวงกว้างหรือผลกระทบระยะยาว	แพร่หลายเป็นวงกว้างหรือผลกระทบระยะยาว
ความรับผิดชอบ, ความสนใจ, ข้อห่วงกังวล, การตอบสนอง	โรงงานอุตสาหกรรม	หน่วยงานกำกับดูแล	องค์กร, หน่วยงานต่างๆในพื้นที่	ระดับพื้นที่และระดับจังหวัด	ระดับจังหวัดและระดับประเทศ

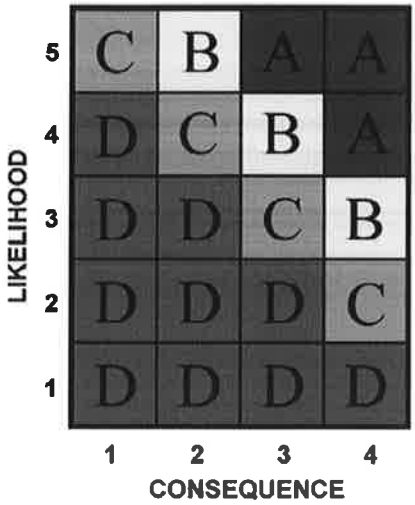
ตารางที่ 2 ประเภทความถี่สำหรับเมทริกซ์ความเสี่ยง

ขนาด 10^X / ปี	เทียบเท่ากับความถี่หรือโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยง (likelihood) ขึ้นต่อปีในกระบวนการผลิต	เทียบเคียงช่วงระดับโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยง (likelihood Range)
0	หนึ่งครั้งต่อปี	ระดับที่ 5
-1	1 ใน 10 (10% likelihood)	ระดับที่ 4
-2	1 ใน 100 (1% likelihood)	ระดับที่ 3
-3	1 ใน 1,000	ระดับที่ 2
-4	1 ใน 10,000	
-5	1 ใน 100,000	ระดับที่ 1

ขั้นตอนที่ 5 การจัดลำดับความสำคัญของอันตราย

เมื่อสามารถระบุอันตรายได้แล้วจะต้องมีการจัดลำดับความสำคัญเพื่อให้อันตรายที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดได้รับการแก้ไขก่อน โดยนิยมใช้การจัดลำดับความสำคัญความเสี่ยง (Risk Matrix) โดยประเมินได้จากโอกาสที่จะเกิดขึ้น (Likelihood) และผลกระทบ (Impact) เพื่อพิจารณาถึงความรุนแรงที่อาจจะเกิดขึ้น โดยบางอันตรายอาจต้องดำเนินการแก้ไขโดยทันที ในขณะที่บางอันตรายสามารถกำหนดเวลาให้มีการปรับปรุงแก้ไขในอนาคตได้

สถานะของความเสี่ยงได้จากประเมินโอกาสและผลกระทบของแต่ละปัจจัยเสี่ยง สามารถประเมินเป็นระดับของความเสี่ยง (Degree of Risk) โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ ระดับสูงมาก ระดับสูง ระดับปานกลาง และระดับต่ำ แสดงดังภาพที่ 3 โดยสามารถประเมินได้จากโอกาสที่จะเกิดขึ้น (Likelihood) และผลกระทบ (Consequence) โอกาสที่จะเกิดขึ้นและผลกระทบแสดงดังตารางที่ 3 และ 4ตามลำดับ และการจัดระดับความเสี่ยง (Risk Rating) แสดงดังตาราง ที่ 5



ภาพที่ 3 ระดับของความเสี่ยง (Degree of Risk)

ที่มา : Center for Chemical Process Safety (2017)

ตารางที่ 3 ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง (Likelihood)

ช่วงความถี่หรือโอกาส ที่จะเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยง	คำอธิบาย
ระดับ 5	เกิดขึ้น 1 ครั้งต่อปี หรือมากกว่า (≥1 ครั้ง/ปี)
ระดับ 4	เกิดขึ้นระหว่าง 1 ครั้งต่อปี ถึง 1 ครั้งใน 10 ปี (1 ครั้ง/ปี – 10^{-1} ครั้ง/ปี)
ระดับ 3	เกิดขึ้นการะหว่าง 1 ครั้งใน 10 ถึง 1 ครั้งใน 100 ปี (10^{-1} ครั้ง/ปี – 10^{-2} ครั้ง/ปี)
ระดับ 2	เกิดขึ้นระหว่าง 1 ครั้งใน 100 ถึง 1 ครั้งใน 1,000 ปี (10^{-2} ครั้ง/ปี – 10^{-3} ครั้ง/ปี)
ระดับ 1	เกิดขึ้นระหว่าง 1 ครั้งใน 1,000 ถึง 1 ครั้งใน 10,000 ปี ($<10^{-4}$ ครั้ง/ปี)

ตารางที่ 4 ระดับความรุนแรงของผลกระทบ (Consequence)

ระดับผลที่ตามมา	คำอธิบาย	เกณฑ์ผลกระทบด้านความปลอดภัย
ระดับ 4	ระดับสูงมาก	ผู้ปฏิบัติงาน 1 หรือมากกว่า 1 คนเสียชีวิต
ระดับ 3	ระดับสูง	ผู้ปฏิบัติงานการทุพพลภาพถาวรสิ้นเชิง
ระดับ 2	ระดับปานกลาง	ผู้ปฏิบัติงานเกิดอุบัติเหตุถึงขั้นหยุดงาน
ระดับ 1	ระดับต่ำ	ผู้ปฏิบัติงานบาดเจ็บเล็กน้อย

ตารางที่ 5 การจัดระดับความเสี่ยง (Risk Rating)

ระดับความเสี่ยง	คำอธิบาย	ความหมาย
A	ระดับที่ยอมรับไม่ได้	ระดับความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ จำเป็นต้องเร่งจัดการความเสี่ยงเพื่อให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทันที
B	ระดับสูง	ระดับความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ โดยต้องมีการจัดการความเสี่ยงเพื่อให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไป โดยต้องมีมาตรการภายใน 6 เดือน
C	ระดับปานกลาง	ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ โดยต้องมีการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้ โดยต้องมีมาตรการภายใน 12 เดือน
D	ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้	ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องมีการควบคุมความเสี่ยง ไม่ต้องมีการจัดการเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 6 การจัดทำเอกสารรายงาน

ขั้นแรกของการจัดทำรายงาน คือ ต้องจัดทำรายงานให้สมบูรณ์ที่สุดเพื่อให้สามารถให้หน่วยงานต่างๆไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานภายในหรือหน่วยงานภายนอกสามารถตรวจสอบได้ง่าย โดยต้องมีที่เก็บเอกสารายงานที่เหมาะสมสามารถเข้าถึงเอกสารได้ง่าย ส่วนขั้นที่สองของการจัดทำรายงานคือรายงานการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Dust Hazard Analysis Report) ต้องใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงสำหรับการทำการบริหารการเปลี่ยนแปลง (Management of Change; MOCs) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตใดๆหรือในกรณีที่จะมีการปรับปรุงหรือการขยายโรงงาน

ขั้นตอนที่ 7 การทบทวน

รายงานการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (DHA Report) ต้องมีการทบทวนปรับปรุงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น มีการเพิ่มวัตถุดิบส่วนประกอบใหม่ ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เป็นต้น ซึ่งการทบทวนอาจจะมีการทบทวนมากกว่า 1 ครั้งต่อปี โดย NFPA 652 ระบุว่าต้องมีการทบทวนและปรับปรุงข้อมูลอย่างน้อยทุกๆ 5 ปี

ผลการวิจัย

การวิธีการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Risk-based Dust Hazard Analysis) ในกระบวนการนำบีพีเอเข้าสู่ไซโลในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นด้วยวิธี Risk-based Dust Hazard Analysis ทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่น ได้ทั้งสิ้น 8 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 1 เกิดอุบัติเหตุจากรถโฟล์คลิฟต์จนทำให้ให้เกิดประกายไฟขณะยกถุงปิโตรเคมีภัณฑ์ สถานการณ์ที่ 2 เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศหรือฝุ่นกับโลหะขณะลำเลียงถุงบิ๊กแบ๊กบนกระเช้าลำเลียงขึ้นไปยังอาคาร Rework ด้วยความเร็วแล้วข้อเกี่ยวชำรุด หรือโซ่ขาดทำให้ถุงตกลงมาด้านล่าง สถานการณ์ที่ 3 เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศหรือฝุ่นกับฝุ่นขณะเทบีพีเอจากถุงบิ๊กแบ๊คลง Hopper แล้วมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในบรรยากาศปริมาณมาก สถานการณ์ที่ 4 การจุดติดระเบิดภายในอุปกรณ์ Hopper เนื่องจากการเกิดไฟฟ้าสถิตสะสมระหว่างการเท สถานการณ์ที่ 5 เกิดไฟฟ้าสถิตสะสมเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับฝุ่นหรือระหว่างฝุ่นกับโลหะขณะที่ผลิตภัณฑ์ลงไซโล (Rework vessel) สถานการณ์ที่ 6 เกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับโลหะและระหว่างฝุ่นกับอากาศขณะกวาดพื้นด้วยไม้กวาด สถานการณ์ที่ 7 เกิดการระเบิดของฝุ่นเนื่องจากการจุดระเบิดจากการสะสมของฝุ่นบนพื้นผิวอุปกรณ์ที่ร้อนและสถานการณ์ที่ 8 เกิดการระเบิดแบบปฐมภูมิจากไซโล (Rework vessel)และจุดระเบิดชั้นฝุ่นที่สะสมในพื้นที่ทำให้เกิดการระเบิดแบบทุติยภูมิ โดยผลการประเมินทั้ง 8 สถานการณ์ตามขั้นตอนที่ 4 แสดงดังตารางที่ 6 -13 ตามลำดับสถานการณ์ โดยสรุปผลการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลทั้ง 8 สถานการณ์จากวิธีการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Risk-based Dust Hazard Analysis) ตามขั้นตอนที่ 4 และ 5 แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 6 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่น สถานการณ์ที่ 1

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 1	
อุปกรณ์ (Equipment)	รถโฟล์คลิฟต์	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดอุบัติเหตุจากรถโฟล์คลิฟต์จนทำให้ให้เกิดประกายไฟขณะยกถุงปิโตรเคมีภัณฑ์	
ผลที่ตามมา (Consequences)	เกิดการระเบิดของฝุ่นอาจจะทำให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	อุบัติเหตุรถโฟล์คลิฟต์ (พิจารณาจาก Human Error โดยความถี่ของงานที่ทำ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ถึงหนึ่งครั้งต่อเดือน)	-1
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
อุปกรณ์การป้องกันประกายไฟ	รถโฟล์คลิฟท์มีการครอบท่อไอเสียด้วยอุปกรณ์ป้องกันการเกิดประกายไฟ	-1
การตอบโต้เหตุการณ์ผิดปกติ	รถโฟล์คลิฟท์มีถังดับเพลิงและพนักงานได้รับการอบรมการจัดการเมื่อเกิดอุบัติเหตุ	-1
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	มีพนักงานอยู่ที่หน้างานตลอดระยะเวลาที่มีการทำงาน	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	มีบรรยากาศที่ติดไฟได้	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	โอกาสที่จะเกิดการจุดติดไฟของฝุ่นพิจารณาจากค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (MIE) โดยค่า MIE ของฝุ่นที่ทำการศึกษา คือ 11 มิลลิจูล $10 < MIE < 100$ มิลลิจูล ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด = 0.1	-1

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	โอกาสที่จะเกิดการจุดติดไฟของฝุ่นพิจารณาจากค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (MIE) โดยค่า MIE ของฝุ่นที่ทำการศึกษา คือ 11 มิลลิจูล	-1
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-4
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
โปรแกรมความพร้อมใช้ของอุปกรณ์ (Mechanical Integrity Programe)	มีการพิจารณาความพร้อมการใช้งานของรถไฟล์ค-ลิฟท์ และมีการอบรมขั้นตอนการดำเนินงาน	-1
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5
คำแนะนำเพิ่มเติม	- ขับโฟล์คลิฟท์ในความเร็วที่กำหนดเพื่อลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ	

ตารางที่ 7 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่น สถานการณ์ที่ 2

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 2	
อุปกรณ์ (Equipment)	กระเช้าลำเลียง	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศหรือฝุ่นกับโลหะขณะลำเลียง ถุงบิ๊กแบ๊กบนกระเช้าลำเลียงขึ้นไปยังอาคาร Rework ด้วยความเร็วแล้วข้อเกี่ยวชำรุด หรือโซ่ขาดทำให้ถุงตกลงมาด้านล่าง	
ผลที่ตามมา (Consequences)	เกิดการระเบิดของฝุ่นอาจจะทำให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	ความล้มเหลวของระบบการเชื่อมต่อของกระเช้าลำเลียง (ข้อเกี่ยวชำรุด,โซ่ขาด) หรือ ถุงขาดชำรุด (ความถี่ที่อาจจะเกิดขึ้น 1 ครั้งใน 10 ปี = 0.1 ต่อปี)	-1
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
ระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	มีระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	-1

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
การใช้ถุง Type B	ถุงบรรจุนั้นป้องกันไฟฟ้าสถิตย์สามารถกำจัดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้อย่างรวดเร็วทำให้ไม่ให้สามารถเก็บไฟฟ้าสถิตย์ได้ในถุงบรรจุ	-1
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	มีพนักงานอยู่ที่หน้างานตลอดระยะเวลาที่มีการทำการลำเลียง	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	Combustible cloud จากเหตุการณ์เริ่มต้น	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	โอกาสที่จะเกิดการจุดติดไฟของฝุ่นพิจารณาจากค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (MIE) โดยค่า MIE ของฝุ่นที่ทำการศึกษา คือ 11 มิลลิจูล (10 < MIE < 100 มิลลิจูล ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด = 0.1)	-1
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-4
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
โปรแกรมความพร้อมใช้ของอุปกรณ์ (Mechanical Integrity Programe)	มีการพิจารณาความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์และมีการอบรมขั้นตอนการดำเนินงาน	-1
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5
คำแนะนำเพิ่มเติม	- การลำเลียงถุงบิ๊กแบ๊กควรมีการลำเลียงขึ้นไปด้วยความเร็วที่เหมาะสม - ดูแลรักษาตลับลูกปืนทั้งหมดตามคำแนะนำของผู้ผลิตและดูแลให้ปราศจากการสะสมของฝุ่น	

ตารางที่ 8 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่นสถานการณ์ที่ 3

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 3	
อุปกรณ์ (Equipment)	Hopper	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศหรือฝุ่นกับฝุ่นขณะเทบีพีเอจากถุงบิ๊กแบ็คลง Hopper แล้วมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในบรรยากาศปริมาณมาก	
ผลที่ตามมา (Consequences)	เกิดการระเบิดของฝุ่นอาจจะทำให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	ไฟฟ้าสถิตอันเนื่องมาจาก combustible cloud	-1
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
-	-	-
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	มีพนักงานอยู่ที่หน้างานตลอดระยะเวลาที่ทำการ Rework	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	Combustible cloud จากเหตุการณ์เริ่มต้น	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	โอกาสที่จะเกิดการจุดติดไฟของฝุ่นพิจารณาจากค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (MIE) โดยค่า MIE ของฝุ่นที่ทำการศึกษา คือ 11 มิลลิจูล (10 < MIE < 100 มิลลิจูล ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด = 0.1)	-1
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-2
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
ระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control)	ติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายโดยการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย	-1
ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ	ติดตั้งระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว	-1
การจัดการเมื่อเกิดสถานการณ์ผิดปกติ	อบรมให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงอันตรายดังกล่าวและการจัดการเมื่อเกิดสถานการณ์ผิดปกติ	-1
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5

ตารางที่ 9 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่นสถานการณ์ที่ 4

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 4	
อุปกรณ์ (Equipment)	Hopper	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	การจุดติดระเบิดภายในอุปกรณ์ Hopper เนื่องจากการเกิดไฟฟ้าสถิตสะสมระหว่างการเท	
ผลที่ตามมา (Consequences)	การระเบิดของอุปกรณ์อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการระเบิดใน Hopper = 1 ครั้งใน 100 ปี	-2
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
ระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	มีระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	-1
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	มีพนักงานอยู่ที่หน้างานตลอดระยะเวลาที่มีการทำการ Rework	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	มีบรรยากาศที่ติดไฟได้ในระหว่างการเท	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	จากเหตุการณ์เริ่มต้น	0
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-3
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
การมีการบำรุงรักษาระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding) อยู่เสมอ	การตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีโปรแกรมพร้อมสำหรับการบำรุงรักษาระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	-1
จัดให้มีการป้องกันการระเบิด	จัดให้การป้องกันการระเบิด เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิดแบบ Deflagration (Deflagration Venting)	-2
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5
คำแนะนำเพิ่มเติม	การเทลง Hopper นั้นต้องทำการเทอย่างช้าๆ เพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นภายใน Hopper	

ตารางที่ 10 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่น สถานการณ์ที่ 5

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 5	
อุปกรณ์ (Equipment)	ไซโลถังหลอมเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดไฟฟ้าสถิตสะสมเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับฝุ่น หรือระหว่างฝุ่นกับโลหะ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ลงไซโล (Rework vessel)	
ผลที่ตามมา (Consequences)	ไซโล (Rework Vessel) เกิดการระเบิดทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	Static ignition ขณะการเติม (ความถี่ที่อาจจะเกิดขึ้น 1 ครั้งใน 10 ปี = 0.1 ต่อปี)	-1
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
ระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	มีระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding)	-1
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	โอกาสที่จะมีพนักงานอยู่ที่บริเวณดังกล่าว 10%	-1
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	มีบรรยากาศที่ติดไฟได้ในระหว่างการเติม	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด(Probability of Ignition)	จากเหตุการณ์เริ่มต้น	0
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-3
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
การมีการบำรุงรักษาระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Gruonding) อยู่เสมอ	การตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีโปรแกรมพร้อมสำหรับการบำรุงรักษาระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน(Gruonding)	-1
จัดให้มีการป้องกันการระเบิด	จัดให้การป้องกันการระเบิด เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิดแบบ Deflagration	-2
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5
คำแนะนำเพิ่มเติม	ประเมินความพร้อมใช้งานของระบบการเติมก๊าซเฉื่อยเพื่อควบคุมไม่ให้ปริมาณออกซิเจนเกินค่าที่กำหนดและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับออกซิเจน ถ้าในกรณีที่มีออกซิเจนสูงเกินให้มีการแจ้งเตือน	

ตารางที่ 11 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่น สถานการณ์ที่ 6

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 6	
อุปกรณ์ (Equipment)	พื้นที่การทำงาน	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับโลหะและระหว่างฝุ่นกับอากาศขณะกวาดพื้นด้วยไม้กวาด	
ผลที่ตามมา (Consequences)	เกิดการระเบิดทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	การเกิดไฟฟ้าสถิตและการสะสมของชั้นของฝุ่น (combustible dust layer)	-2
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
-	-	-
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	มีพนักงานอยู่ที่หน้างานตลอดระยะเวลาที่มีการทำงาน	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	มีบรรยากาศที่ติดไฟได้	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	โอกาสที่จะเกิดการจุดติดไฟของฝุ่นพิจารณาจากค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดติดไฟ (MIE) โดยค่า MIE ของฝุ่นที่ทำการศึกษา คือ 11 มิลลิจูล (10 < MIE < 100 มิลลิจูล ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด = 0.1)	-1
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-3
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
ระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control)	ติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายโดยการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย	-1
การทำความสะอาด (Housekeeping)	ต้องมีการจัดทำขั้นตอนและรายการตรวจสอบสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่ เป็นลายลักษณ์อักษร และพื้นที่การทำงานต้องปราศจากชั้นของฝุ่น (dust layers)	-1
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5
คำแนะนำเพิ่มเติม	- การทำความสะอาดต้องทำให้เกิดหมอกฝุ่นน้อยที่สุด	

ตารางที่ 12 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่นสถานการณ์ที่ 7

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 7	
อุปกรณ์ (Equipment)	อุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่การทำงาน	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดการระเบิดของฝุ่นเนื่องจากการจุดระเบิดจากการสะสมของฝุ่นบนพื้นผิวอุปกรณ์ที่ร้อน	
ผลที่ตามมา (Consequences)	เกิดการระเบิดทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	มีการสะสมของชั้นของฝุ่น (combustible dust layer)	0
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
การจัดประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ (Electrical area classification)	มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าวเป็นแบบป้องกันการระเบิด	-1
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	โอกาสที่จะมีพนักงานอยู่ที่บริเวณดังกล่าว 10%	-1
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	มีบรรยากาศที่ติดไฟได้	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	ฝุ่นมีอุณหภูมิที่สามารถติดไฟได้เองสูง	-2
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-4
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
ระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control)	ติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายโดยการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย	-1
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5

ตารางที่ 13 การระบุอันตรายและการประเมินความสอดคล้องในการประเมินอันตรายจากฝุ่นสถานการณ์ที่ 8

หัวข้อ	สถานการณ์ที่ 8	
อุปกรณ์ (Equipment)	พื้นที่การทำงาน	
สถานการณ์ความล้มเหลว (Failure Scenario)	เกิดการระเบิดแบบปฐมภูมิจากไซโล (Rework vessel) และจุดระเบิดชั้นฝุ่นที่สะสมในพื้นที่ทำให้เกิดการระเบิดแบบทุติยภูมิ	
ผลที่ตามมา (Consequences)	เกิดการระเบิดทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต	5
เกณฑ์ความถี่สำหรับผลที่ตามมา (Frequency Criteria for Consequence)	**สูงสุด (Maximum)**	-5
	เล็กน้อยมาก (Negligible)	-6
เหตุการณ์เริ่มต้น (Initiating Event)	การเกิดระเบิดครั้งแรกและการสะสมของชั้นของฝุ่น (combustible dust layer)	-1
ชั้นความปลอดภัยที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Layer Protection)		
-	-	-
ตัวปรับเงื่อนไข (Conditional Modifiers)		
ความน่าจะเป็นของการที่มีคนอยู่ในพื้นที่ (Probability of Occupancy)	โอกาสที่จะมีพนักงานอยู่ที่บริเวณดังกล่าว 10%	-1
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดติดไฟในอากาศ (Probability of Combustible Atmosphere)	Combustible cloud ที่เกิดจากเหตุการณ์เริ่มต้น	0
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการจุดระเบิด (Probability of Ignition)	การระเบิดครั้งแรกทำให้เกิดแหล่งจุดติดไฟที่รุนแรง	0
ความน่าจะเป็นที่จะได้รับบาดเจ็บ (Probability of Injury)	การระเบิดมีโอกาสที่จะมีการได้รับการบาดเจ็บ = 100%	0
ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์		-2
คำแนะนำจาก DHA Team	**คำอธิบาย/ผลที่จะเกิดขึ้น**	
ระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control)	ติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายโดยการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย	-1
การทำความสะอาด (Housekeeping)	ต้องมีการจัดทำขั้นตอนและรายการตรวจสอบสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่ เป็นลายลักษณ์อักษร และพื้นที่การทำงานต้องปราศจากชั้นของฝุ่น (dust layers)	-1
ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ	พิจารณาการติดตั้งระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว	-1
การลดขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์ที่คาดการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ		-5

ตารางที่ 14 สรุปการประเมินจาการระเบิดของฝุ่น (Risk-based DHA) ทั้ง 8 สถานการณ์

สถานการณ์ความล้มเหลว	การวิเคราะห์ความเสี่ยงสถานการณ์ความล้มเหลว				การวิเคราะห์ความเสี่ยงเมื่อปฏิบัติตามคำแนะนำของ DHA Team			
	ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลอง	ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ	ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับความเสี่ยงเมื่อดำเนินการลดความเสี่ยง
สถานการณ์ที่ 1 เกิดอุบัติเหตุจากรถโฟล์คลิฟต์จนทำให้ให้เกิดประกายไฟขณะยกถุงปิโตรเคมีภัณฑ์	-4	ระดับ 2	ระดับ 4	ระดับ C /ระดับปานกลาง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้
สถานการณ์ที่ 2 เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศหรือฝุ่นกับโลหะขณะลำเลียงถุงบิ๊กแบ๊กบนกระเช้าลำเลียงขึ้นไปยังอาคาร Rework ด้วยความเร็วแล้วข้อเกี่ยวชำรุด หรือโซ่ขาดทำให้ถุงตกลงมาด้านล่าง	-4	ระดับ 2	ระดับ 4	ระดับ C /ระดับปานกลาง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้
สถานการณ์ที่ 3 เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศ/ฝุ่นกับฝุ่นขณะเทบีพีเอจากถุงบิ๊กแบ๊คลง Hopper แล้วมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในบรรยากาศปริมาณมาก	-2	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ B /ระดับสูง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 14 (ต่อ)

สถานการณ์ความล้มเหลว	การวิเคราะห์ความเสี่ยงสถานการณ์ความล้มเหลว				การวิเคราะห์ความเสี่ยงเมื่อปฏิบัติตามคำแนะนำของ DHA Team			
	ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลอง	ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ	ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับความเสี่ยงเมื่อดำเนินการลดความเสี่ยง
สถานการณ์ที่ 4 การจุดติดระเบิดภายในอุปกรณ์ Hopper เนื่องจากการเกิดไฟฟ้าสถิตสะสมระหว่างการเท	-3	ระดับ 2	ระดับ 4	ระดับ C /ระดับปานกลาง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้
สถานการณ์ที่ 5 เกิดไฟฟ้าสถิตสะสมเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับฝุ่นหรือระหว่างฝุ่นกับโลหะ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ลงไซโล (Rework vessel)	-3	ระดับ 2	ระดับ 4	ระดับ C /ระดับปานกลาง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 14 (ต่อ)

สถานการณ์ความล้มเหลว	การวิเคราะห์ความเสี่ยงสถานการณ์ความล้มเหลว				การวิเคราะห์ความเสี่ยงเมื่อปฏิบัติตามคำแนะนำของ DHA Team			
	ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์จำลอง	ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับความเสี่ยง	ขนาดความเป็นไปได้ของสถานการณ์เมื่อปฏิบัติตามข้อแนะนำ	ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ	ระดับความเสี่ยงเมื่อดำเนินการลดความเสี่ยง
สถานการณ์ที่ 6 เกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับโลหะและระหว่างฝุ่นกับอากาศขณะกวาดพื้นด้วยไม้กวาด	-3	ระดับ 2	ระดับ 4	ระดับ C /ระดับปานกลาง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้
สถานการณ์ที่ 7 เกิดการระเบิดของฝุ่นเนื่องจากการจุดระเบิดจากการสะสมของฝุ่นบนพื้นผิวอุปกรณ์ที่ร้อน	-4	ระดับ 2	ระดับ 4	ระดับ C /ระดับปานกลาง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้
สถานการณ์ที่ 8 เกิดการระเบิดแบบปฐมภูมิจากไซโล (Rework vessel)และจุดระเบิดชั้นฝุ่นที่สะสมในพื้นที่ทำให้เกิดการระเบิดแบบทุติยภูมิ	-2	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ B /ระดับสูง	-5	ระดับ 1	ระดับ 4	ระดับ D ระดับต่ำ/ระดับที่ยอมรับได้

จากการประเมินจาการระเบิดของฝุ่น (Risk-based DHA) ทั้ง 8 สถานการณ์นั้น จากการศึกษาพบว่ากระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลมีระดับความเสี่ยงระดับสูงอยู่ 2 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 3 การเกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศ หรือ ฝุ่นกับฝุ่นขณะเทบีพีเอจากถุงบิ๊กแบ็คลง Hopper แล้วมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในบรรยากาศปริมาณมากและสถานการณ์ที่ 8 การเกิดการระเบิดแบบปฐมภูมิจากไซโล (Rework vessel) และจุดระเบิดชั้นฝุ่นที่สะสมในพื้นที่ทำให้เกิดการระเบิดแบบทุติยภูมิ โดยอีก 6 สถานการณ์ที่เหลือเป็นความเสี่ยงระดับปานกลาง

ความเสี่ยงระดับสูงทั้ง 2 สถานการณ์ เป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องมีการทำแผนการจัดการความเสี่ยงและมาตรการการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายจากการเกิดฝุ่นระเบิดเพื่อให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไป โดยต้องมีมาตรการภายใน 6 เดือน ส่วนระดับความเสี่ยงปานกลางเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ แต่ต้องมีการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้ โดยต้องมีมาตรการภายใน 12 เดือน

จากการพิจารณาของ DHA Team ได้ให้ข้อแนะนำเพื่อลดความเสี่ยงลงเพื่อให้ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้โดยอ้างอิงจากข้อกำหนดและมาตรฐานต่างๆ โดยสามารถสรุปได้ แสดงดังตารางที่ 15 โดยดำเนินการตามมาตรการแก้ไขสามารถทำตามขั้นตอนที่ 5 คือเริ่มจากการจัดลำดับความสำคัญของอันตรายตามการประเมินและดำเนินการตามระดับความเสี่ยงและดำเนินการทำตามขั้นตอนที่ 6 และ 7 การจัดทำเอกสารรายงานและทำการทบทวนหากมีกระบวนการใดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเพื่อให้การวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่นเสร็จสมบูรณ์

ตารางที่ 15 ข้อแนะนำจากจากการประเมินจาการระเบิดของฝุ่น (Risk-based DHA)

สถานการณ์ความล้มเหลว	คำแนะนำเพื่อนำไปสู่การจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยงและมาตรการการป้องกัน	ระยะเวลาการดำเนินการ
<u>สถานการณ์ที่ 1</u> เกิดอุบัติเหตุจากรถโฟล์คลิฟต์จนทำให้เกิดประกายไฟขณะยกถุงปิโตรเคมีภัณฑ์	- จัดให้มีโปรแกรมตรวจสอบความพร้อมใช้ของอุปกรณ์ (Mechanical Integrity Program) โดยมีการมีการพิจารณาความพร้อมการใช้งานของรถโฟล์คลิฟท์และมีการอบรมขั้นตอนการดำเนินงาน	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 12 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 2</u> เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศหรือฝุ่นกับโลหะขณะลำเลียงถุงบิ๊กแบ็กบนกระเช้าลำเลียงขึ้นไปยังอาคาร Rework ด้วยความเร็วแล้วข้อเกี่ยวชำรุด หรือโซ่ขาดทำให้ถุงตกลงมาด้านล่าง	- จัดให้โปรแกรมตรวจสอบความพร้อมใช้ของอุปกรณ์ (Mechanical Integrity Program) มีการพิจารณาความพร้อมใช้งานของกระเช้าลำเลียงและมีการอบรมขั้นตอนการดำเนินงาน	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 12 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 3</u> เกิดไฟฟ้าสถิตระหว่างฝุ่นกับอากาศ หรือฝุ่นกับฝุ่นขณะเทบีพีเอจากถุงบิ๊กแบ็คลง Hopper แล้วมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นในบรรยากาศปริมาณมาก	- พิจารณาเพิ่มเติมระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust control) ในพื้นที่การทำงาน โดยการติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย - พิจารณาติดตั้งระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว - จัดให้มีการอบรมให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงอันตรายดังกล่าวเพื่อให้สามารถจัดการเมื่อเกิดสถานการณ์ผิดปกติได้	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 6 เดือน

ตารางที่ 15 (ต่อ)

สถานการณ์ความล้มเหลว	คำแนะนำเพื่อนำไปสู่การจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยงและมาตรการการป้องกัน	ระยะเวลาการดำเนินการ
<u>สถานการณ์ที่ 4</u> การจุดติดระเบิดภายในอุปกรณ์ Hopper เนื่องจากการเกิดไฟฟ้าสถิตสะสมระหว่างการเท	- มีการบำรุงรักษาระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Grounding) อยู่เสมอ - พิจารณาการติดตั้งระบบป้องกันการระเบิด เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิดแบบ Deflagration (Deflagration Venting) เป็นต้น	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 12 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 5</u> เกิดไฟฟ้าสถิตสะสมเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับฝุ่นหรือระหว่างฝุ่นกับโลหะ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ลงไซโล (Rework vessel)	- มีการบำรุงรักษาระบบการต่อฝาก (Bonding) และระบบสายดิน (Grounding) อยู่เสมอ - พิจารณาการติดตั้งระบบป้องกันการระเบิด เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ระงับการระเบิดแบบ Deflagration (Deflagration Venting) เป็นต้น	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 12 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 6</u> เกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากการเสียดสีระหว่างฝุ่นกับโลหะและระหว่างฝุ่นกับอากาศขณะกวาดพื้นด้วยไม้กวาด	- พิจารณาเพิ่มเติมระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control) โดยการติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย - การทำความสะอาด (Housekeeping) ต้องทำความสะอาดด้วยวิธีที่เหมาะสม มีการจัดทำขั้นตอนและรายการตรวจสอบสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่เป็นลายลักษณ์อักษร และพื้นที่การทำงานต้องปราศจากชั้นของฝุ่น (dust layers)	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 12 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 7</u> เกิดการระเบิดของฝุ่นเนื่องจากการจุดระเบิดจากการสะสมของฝุ่นบนพื้นผิวอุปกรณ์ที่ร้อน	- พิจารณาเพิ่มเติมระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control) โดยการติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 12 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 8</u> เกิดการระเบิดแบบปฐมภูมิจากไซโล (Rework vessel)และจุดระเบิดชั้นฝุ่นที่สะสมในพื้นที่ทำให้เกิดการระเบิดแบบทุติยภูมิ	- พิจารณาเพิ่มเติมระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control) ในพื้นที่การทำงาน โดยการติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย - การทำความสะอาด (Housekeeping) ต้องมีการจัดทำขั้นตอนและรายการตรวจสอบสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่เป็นลายลักษณ์อักษรและพื้นที่การทำงานต้องปราศจากชั้นของฝุ่น (dust layers) - พิจารณาการติดตั้งระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว	ต้องมีมาตรการฯ ภายใน 6 เดือน

สรุปและอภิปรายผล

จากการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลโดยการใช้วิธีการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Risk-based Dust Hazard Analysis) ทั้ง 8 สถานการณ์ ได้ผลการประเมินที่มีระดับความเสี่ยงระดับสูงอยู่ 2 สถานการณ์และระดับปานกลางอยู่ 6 สถานการณ์ โดยระดับสูงทั้ง 2 สถานการณ์ เป็นความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องมีการจัดการความเสี่ยงเพื่อให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไป โดยต้องมีมาตรการภายใน 6 เดือน ส่วนระดับความเสี่ยงปานกลางเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้แต่ต้องมีการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้ โดยต้องมีมาตรการภายใน 12 เดือน โดยคำแนะนำจะให้พิจารณาเพิ่มเติมระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจาย (Fugitive dust Control) ในพื้นที่การทำงาน โดยการติดตั้งระบบควบคุมฝุ่นฟุ้งกระจายต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณฝุ่นที่ฟุ้งกระจายและพิจารณาการติดตั้งระบบดับเพลิงแบบอัตโนมัติที่เหมาะสมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ในส่วนของการทำความสะอาด (Housekeeping) ต้องมีการจัดทำขั้นตอนและรายการตรวจสอบสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่เป็นลายลักษณ์อักษรและพื้นที่การทำงานต้องปราศจากชั้นของฝุ่น (dust layers) ตามข้อกำหนด NFPA652 โดยจากการศึกษาพบว่าปัจจัยการระเบิดของฝุ่นที่ต้องทำการควบคุมในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลคือแหล่งกำเนิดความร้อนและการฟุ้งกระจายของฝุ่นในพื้นที่กระบวนการผลิต โดยหากมีแหล่งความร้อนก่อให้เกิดการระเบิดของฝุ่นครั้งที่ 1 ก็จะมีความน่าจะเป็นสูงที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่นครั้งที่ 2 หากมีการสะสมของฝุ่นที่สันดาปได้ตามอุปกรณ์หรือพื้นที่การทำงาน โดยจากการศึกษาทดลองของ Y. Xingqing, L. Di, Y. Jianliang (2021). ได้ทำการศึกษาการระเบิดทุติยภูมิในท่อระบายระหว่างการระบายการระเบิดของฝุ่นอะลูมิเนียม พบว่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการระเบิดของฝุ่นครั้งที่ 2 มีตั้งแต่ 17% ถึง 50% หากมีการสะสมของฝุ่นในท่อ ดังนั้นการปรับปรุงตามข้อแนะนำเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดระเบิดของฝุ่นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ข้อเสนอแนะ

การประเมินความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่นระเบิดนั้น ทำให้ทราบถึงความเสี่ยงของการเกิดระเบิดของฝุ่นนำไปสู่การจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยงและมาตรการการป้องกันได้ โดยจากการใช้วิธีการวิเคราะห์อันตรายจากฝุ่น (Risk-based Dust Hazard Analysis) ในการประเมินความเสี่ยงการระเบิดของฝุ่นในกระบวนการนำปิโตรเคมีภัณฑ์เข้าสู่ไซโลสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยการผลิตอื่นๆ ที่มีฝุ่นที่สันดาปไฟ (Combustible Dust) ได้

อ้างอิง

Boreneb, M. R. M. a. a. M. J. (2018). **How to conduct a dust hazards analysis.** Process Safety Progress 38 (2).

Cloney, Chris (2021). **2020 Combustible Dust Incident Report** 1Th.Ed., DustEx Research Ltd. Retrieved from http://dustsafetyscience.com/2020-Report

Center for Chemical Process Safety (2017). **Guidelines for Combustible dust hazard Analysis**. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York

NFPA (2019), **NFPA 652, Standard on the Fundamentals of Combustible Dust**, National Fire Protection Associations, Quincy, MA

Y. Xingqing, L. Di, Y. Jianliang (2021). **Secondary explosions in relief duct during aluminum dust explosion venting,** Procedia Engineering, vol. 45

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). **คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้**: สำนักงานเทคโนโลยีความปลอดภัย.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2555). **หลักการและแนวทางการบริหารความเสี่ยง มอก. 31000-2555** ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 129(ตอนพิเศษ 129 ง): หน้า 19-23.