ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2564

การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสำหรับประเมินความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ศราวุฒิ ไชยรัตน์* และอารุญ เกตุสาคร**

Received : August 22, 2020
Revised : October 17, 2020
Accepted: October 31, 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยแบบภาคตัดขวางนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงโดยบูรณาการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง การประเมินความเสี่ยงใช้เทคนิคชี้บ่งอันตรายด้วยวิธีการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและวิเคราะห์สาเหตุจนกระทั่งถึงสาเหตุพื้นฐานการเกิดเหตุการณ์และนำการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นมาประยุกต์เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญของสาเหตุพื้นฐาน ผลประเมินความเสี่ยงพบว่า เครื่องจักรและอุปกรณ์ควบคุมการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีความเสี่ยงสูง 6 เหตุการณ์คือ 1) สลิงเกอร์ใบตีแตก 2) แป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์ 3) มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์ 4) มอเตอร์ไหม้บริเวณสกรูปลั๊ก 5) น้ำมันเตารั่วบริเวณหม้อต้มความร้อน และ 6) แก๊สเชื้อเพลิงรั่วบริเวณหม้อต้มความร้อน และมี 6 เหตุการณ์ความเสี่ยงปานกลางคือ 1) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งล้มเหลว 2) แป้งไม่ลงถังฮอปเปอร์ 3) มอเตอร์ไหม้บริเวณพัดลมดูดอากาศ 4) แป้งบล็อกบริเวณสกรูปลั๊ก 5) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิหม้อต้มความร้อนล้มเหลว และ 6) มอเตอร์ไหม้บริเวณหม้อต้มความร้อน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงต่อการเกิดฝุ่นระเบิดจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องลดและควบคุมความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้เพื่อป้องกันการเกิดฝุ่นระเบิดอันจะส่งผลกระทบร้ายแรงต่อชีวิตและทรัพย์สิน

คำสำคัญ: *การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว / การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น / การประเมินความเสี่ยง / ฝุ่นระเบิด / กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง*

ผู้รับผิดชอบบทความ: *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารุญ เกตุสาคร คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121โทรศัพท์ 0954914564, E-mail: arroon.k@fph.tu.ac.th*

**สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121*

***Ph.D. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121*

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2564

Fault Tree Analysis (FTA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) for Assessing the Risk of Dust Explosion in the Process of Tapioca Starch Production

Sarawut Chaiyarat*and Arroon Ketsakorn**

Abstract

The objective of this cross-sectional research was to assess the risk by integrating fault tree analysis and analytic hierarchy process of dust explosion in the process of Tapioca starch production. Assessing the risk of dust explosion used the hazard identification technique by analyzing the fault tree and conducting the analysis of the cause of dust explosion until the basic event and taking analytic hierarchy process applied to determine the relative importance (weights) of these basic events. The risk assessment results showed that six events of machinery and control equipment were broken slinger, Tapioca starch stuck in the front of the slinger, motor burns in the slinger, motor burns in the screw plug, fuel oil leak at the burner, and motor burns at the burner had a high-risk level. There were six events of machinery and control equipment had the moderate risk level were temperature indicator controller for drying has failed, Tapioca starch stuck in the front of the hopper bin, motor burns at exhaust fan, Tapioca starch stuck at the screw plug, burner fail to temperature indicator controller, and motor burns at the burner. This research demonstrated the risk of dust explosion caused by the machinery and equipment that must be minimized and controlled to an acceptable level to prevent the occurrence of dust explosion which has a serious impact on both life and property.

Keywords: *Fault tree analysis (FTA) / Analytic hierarchy process (AHP) / Risk assessment / Dust explosion / Process of Tapioca starch production*

Corresponding Author: *Assistant Professor Dr. Arroon Ketsakorn, Faculty of Public Health, Thammasat University Rangsit Center, Pathum Thani, Thailand Tel.0954914564, E-mail: arroon.k@fph.tu.ac.th*

*Master of Public Health (Occupational and Safety Management), Faculty of Public Health, Thammasat University Rangsit Center, Pathum Thani, Thailand

**Ph.D., Assistant Professor, Faculty of Public Health, Thammasat University Rangsit Center, Pathum Thani, Thailand

1. บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีกำลังความสามารถในการผลิตมากกว่า 2 ล้านตันต่อปี มีเทคโนโลยีการผลิตแป้งมันสำปะหลังสูงที่สุดในบรรดาทุกประเทศ แป้งมันสำปะหลังจึงถือได้ว่าเป็น “แป้งไทย” เป็นแป้งที่มีคุณภาพสูงและราคาถูกที่สุด (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2562) สำหรับประเทศไทย ข้อมูลจากคู่มือความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้ สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมพบว่า การระเบิดของฝุ่นในประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2552 เกิดขึ้นจำนวน 5 ครั้ง โดยจำแนกตามประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่เกิดฝุ่นระเบิดได้คือ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง 2 ครั้ง โรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ โรงงานอาหาร และไซโลอบข้าวโพด ประเภทละ 1 ครั้ง ซึ่งสาเหตุในประเทศไทยยังไม่มีการรวบรวมสถิติฝุ่นระเบิดที่แน่ชัดเนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ไม่ทราบว่า สาเหตุจากการเกิดอุบัติเหตุเกิดจากการระเบิดของฝุ่น จึงมีรายงานข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่นค่อนข้างน้อย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) จากรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุของคณะกรรมการสอบสวนความปลอดภัยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (2019) แสดงอันตรายของฝุ่นสันดาป พ.ศ. 2561 เกิดการระเบิดของฝุ่นของประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2560 พบว่า มีการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 111 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 66 คน และมีผู้บาดเจ็บ 337 คน และจากข้อมูล พ.ศ. 2549 ประเภทของอุตสาหกรรมที่เกิดการระเบิดของฝุ่นบ่อยที่สุด ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมไม้ และสารเคมี คิดเป็น ร้อยละ 24 , 15 และร้อยละ 12 ตามลำดับ

ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังกลุ่มเครื่องจักรและอุปกรณ์ในส่วนของท่ออบแป้งและสลิงเกอร์มีจำนวนสถานการณ์สามารถก่อให้เกิดการระเบิดทั้งสิ้น 14 สถานการณ์ ซึ่งเป็นจำนวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น และมีสาเหตุพื้นฐานหลักที่มีความเสี่ยงในการระเบิดสูงสุดคือ งานเชื่อม/ตัดโลหะ ซึ่งก่อให้เกิดแหล่งประกายไฟและความร้อนในกระบวนการผลิต โดยมีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยง โดยใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายด้วยกระบวนการต้นไม้แห่งความล้มเหลว (สิริวิมล ชื่นบาล, และนันทิยา หาญศุภลักษณ์, 2555) ระหว่างที่มีการลำเลียงฝุ่นแป้งมันสำปะหลังด้วยลม อนุภาคแต่ละตัวจะเกิดประจุไฟฟ้าจากการชนกันเกิดการสะสมของไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดประกายไฟเป็นสาเหตุในการเกิดฝุ่นระเบิดระหว่างการโหลด เช่น การลำเลียงขนถ่ายเพื่อจัดเก็บสารเคมีไวไฟ การลำเลียงขนถ่ายเพื่อจัดเก็บอนุภาคที่เป็นฝุ่นแป้งในไซโล และกระบวนการผลิตพลาสติก เป็นต้น (Grosshans, H. and Papalexandris, M.V., 2016) เทคนิคการชี้บ่งอันตรายด้วยกระบวนการต้นไม้แห่งความล้มเหลวเป็นการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดปัญหาในกิจกรรมด้านความปลอดภัยและวิศวกรรมอย่างเป็นระบบโดยอาศัยหลักการทางตรรกะวิทยาในการหาเหตุและผล มีรูปแบบเป็นแผนภูมิจากบนลงล่างโดยเลือกเหตุการณ์ตั้งต้น (Top event) มาไว้ส่วนบนสุดของแผนภูมิและแตกกิ่งก้านด้วยเหตุการณ์ย่อย ๆ (intermediate event) จนถึงสาเหตุพื้นฐาน (basic event) เทคนิค FTA ถูกคิดค้นโดย Bell Telephone Laboratory เมื่อ ค.ศ. 1962 เพื่อให้หน่วยงาน US Air Force ใช้กับระบบ Minuteman ต่อมาถูกนำไปประยุกต์ใช้โดยบริษัท Boeing สำหรับการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดปัญหาอย่างเป็นระบบและตรรกะในกิจการด้านความปลอดภัยวิศวกรรม

อวกาศและนิวเคลียร์ (อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์, 2555) จุดแข็งของเทคนิค FTA คือ เป็นเครื่องมือที่ใช้หาต้นเหตุของปัญหาตั้งแต่การออกแบบระบบไปถึงกระบวนการทำงานได้ สามารถหาต้นเหตุที่มีความสลับซับซ้อนได้โดยผ่านเหตุผลทางตรรกะและอธิบายต้นเหตุความซับซ้อนโดยผ่านเมทริกซ์ได้ ช่วยให้การสอบสวนอุบัติเหตุมีประสิทธิผลมากขึ้น ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปสู่การวางแผนป้องกันอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง และสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อดำเนินการแก้ไขป้องกันก่อนหลังได้ แม้ว่าเทคนิค FTA จะถูกเริ่มต้นจากการนำมาใช้ในกิจการด้านความปลอดภัยวิศวกรรมอวกาศและนิวเคลียร์ แต่ต่อมาได้มีการนำมาประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยเพิ่มขึ้นมากเรื่อย ๆ เช่น การประเมินความเสี่ยงในท่ออบแป้งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (สิริวิมล ชื่นบาล, และนันทิยา หาญศุภลักษณ์, 2555) การศึกษาและประเมินการระเบิดของแก๊สและฝุ่นถ่านหิน (Shi, S., *et al*., 2018) การชี้บ่งอันตรายเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากงาน (อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์, 2555) การชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงกระบวนการปั๊มโลหะ (อรอุรา วิเชียร, และระพี กาญจนะ, 2556) การวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการจัดเก็บและการลำเลียงแป้งมันสำปะหลัง (สิริวิมล ชื่นบาล, และ นันทิยา หาญศุภลักษณ์, 2555) การวิเคราะห์ความเสี่ยงโดยบูรณาการกระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ของการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (พิมพ์พา บัวพิมพ์ และ อารุญ เกตุสาคร, 2562) การประเมินความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของส่วนประกอบของระบบของอุตสาหกรรมขุดเจาะ (Lavasani, S.M., *et al.,* 2015) การประเมินความเสี่ยงของการรั่วไหลของน้ำมันและแก๊สในกระบวนการผลิตใต้ทะเล (Cheliyan, A.S., and Bhattacharyya, S.K., 2018) เป็นต้น

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ หรือ AHP ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1980 โดย Thomas L. Saaty เป็นการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (multi-criteria decision marking; DCDM) เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาที่นิยมนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสมด้วยการนำทางเลือกที่ตรงตามหลักเกณฑ์มาเรียงลำดับมีกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เครื่องมือในการประเมินความเสี่ยงโดยการบูรณาการกระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวเพื่อให้ทราบสาเหตุพื้นฐานของเหตุการณ์และความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นในการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเหตุการณ์ที่ได้ เพื่อนำมาใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงและเลือกมาตรการจัดการปัญหาที่ดีที่สุด สามารถใช้เป็นต้นแบบในการลดและควบคุมความเสี่ยงจากการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังให้มีประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อประเมินความเสี่ยงของการเกิดระเบิดฝุ่นแป้งมันสำปะหลังของอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการเกิดระเบิดฝุ่นแป้งมันสำปะหลังของอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีรูปแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ช่วงเวลาในการศึกษาเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 ถึงเมษายน พ.ศ. 2563 เพื่อประเมินความเสี่ยงจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยบูรณาการการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ทำการประเมินและให้ค่าความสำคัญในเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่าน และคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานของสถานประกอบกิจการที่มีคุณสมบัติตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ผ่านผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความเสี่ยง กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เครื่องจักร/อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น โดยผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความคิดเห็นการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

3.1.1 การประเมินความเสี่ยงกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว โดยเริ่มจากการเกิดอุบัติภัยร้ายแรงคือ การเกิดฝุ่นระเบิด เพื่อพิจารณาหาเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อน แล้วมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์ว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้าง และเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร แจกแจงลงไปเรื่อย ๆ เป็นลำดับ จนไม่สามารถแจกแจงเหตุการณ์ย่อยต่อไปได้อีก การสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อพบว่า สาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเป็นผลเนื่องจากความบกพร่องของเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน ซึ่งผ่านความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 ท่าน และคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานจำนวน 12 ท่าน สำหรับการวิจัยนี้ความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นถูกกำหนดระดับการประเมินแต่ละเหตุการณ์พื้นฐานที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มีประสบการณ์ในการทำงาน สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ได้จากสมการที่ (1) และ (2) (Hyun, K.C., *et al*., 2015)

$$\text{ANDgate} = F_1 \times F_2 \times F_n \qquad (1)$$

$$\text{ORgate} = 1\text{-}(1\text{-}F_1) \times (1\text{-}F_2) \times (1\text{-}F_n) \qquad (2)$$

โดยที่ ANDgate คือ ประตูทางตรรกะเพื่อสร้างความน่าจะเป็นหากมีปัจจัยอันตรายใด ๆ เกิดขึ้นพร้อมกันและส่งผลทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์

ORgate คือ ประตูทางตรรกะเพื่อสร้างความน่าจะเป็นหากมีปัจจัยอันตรายใด ๆ เกิดขึ้นเพียงปัจจัยอันตรายปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งและส่งผลทำให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ F_1, F_2, F_nคือ ความน่าจะเป็นของปัจจัยอันตราย

3.1.2 การเปรียบเทียบคู่ (pairwise comparisons) จัดทำเมทริกซ์การตัดสินใจ (decision matrix) เพื่อทำการเปรียบเทียบเป็นคู่ในตารางมาตราส่วนมูลฐาน AHP 1-9 ดังตารางมาตราส่วนมูลฐาน AHP 1-9 (Saaty, T., 1995)

3.1.3 คำนวณหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุและผลคือ การหาอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า CI (Consistency Index) จากสมการที่ (3)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

3.1.4 คำนวณหาอัตราค่าความสอดคล้อง (consistency ratio, CR) จากสมการ (4) โดยผลการคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องที่ได้หาก CR มีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่า ภายในชุดของดุลยพินิจนั้นจะมีความสอดคล้องอย่างสมบูรณ์ แต่หาก CR มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่า ความไม่สอดคล้องเทียบเท่ากับดุลยพินิจที่ได้จากการสุ่ม ถ้า CR มีค่ามาก (โดยทั่วไปค่าวิกฤตจะอยู่ที่ 0.1) แสดงว่า ดุลยพินิจนั้นไม่น่าเชื่อถือ โดยช่วงที่จะยอมรับได้ของค่า CR ขึ้นอยู่กับขนาดของเมตริกซ์ เช่น ถ้าเมตริกซ์ขนาด 3×3 CR ไม่ควรมีค่าเกิน 0.05 ถ้าเมตริกซ์ขนาด 4×4 CR ไม่ควรมีค่าเกิน 0.08 และสำหรับเมตริกซ์ที่มีขนาดมากกว่า 5×5 ขึ้นไป CR ไม่ควรมีค่าเกิน 0.1 (Saaty, T., 1995)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

3.1.5 วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์โอกาสของการเกิดเหตุการณ์พื้นฐานแต่ละเหตุการณ์จะแตกต่างกันออกไปตามปัจจัยต่าง ๆ

3.1.6 พิจารณาโอกาสของการเกิดเหตุการณ์อันตรายโดยพิจารณาจากสถิติของการเกิดเหตุการณ์ สิ่งที่เป็นความเสี่ยง และพิจารณาจากมาตรการป้องกันและการควบคุมอันตรายที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน กำหนดเกณฑ์ของหน่วยงานเป็นเกณฑ์ในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ 5 ระดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลสภาพแวดล้อมในหน่วยงานและดุลยพินิจการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543)

3.1.7 หาค่าน้ำหนักความสำคัญของการเกิดฝุ่นระเบิดโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นเป็นการให้ดุลยพินิจเชิงเปรียบเทียบเพื่อคำนวณลำดับความสำคัญ โดยการให้คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 14 ท่าน แสดงในตารางที่ 1 โดยมีข้อมูลประกอบคือ ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงจากกระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Expert Choice 11 ในการคำนวณค่าผลกระทบและค่าดัชนีแสดงความสอดคล้อง (Consistency Index; CI)

ตารางที่ 1 ค่าน้ำหนักความสำคัญของเหตุการณ์

คะแนนน้ำหนักความสำคัญ	ระดับค่าน้ำหนักความสำคัญ	น้ำหนักความสำคัญ
5	น้ำหนักความสำคัญมากที่สุด	>0.80
4	น้ำหนักความสำคัญมาก	0.51-0.80
3	น้ำหนักความสำคัญปานกลาง	0.31-0.50
2	น้ำหนักความสำคัญน้อย	0.11-0.30
1	น้ำหนักความสำคัญน้อยที่สุด	<0.10

3.1.8 นำค่าโอกาสการเกิดเหตุการณ์ หรือความน่าจะเป็นที่ได้จากกระบวนการบูรณาการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นมาจัดลำดับความเสี่ยงโดยการใช้แผนผังประเมินความเสี่ยง (risk assessment matrix) และแปลความหมายของระดับความเสี่ยง สถานะความเสี่ยงที่ได้จากการประเมิน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543)

3.2 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ โดยนำมันสำปะหลังเข้ามาทำความสะอาด (root preparation) มาผ่านเข้าโม่สับละเอียด (extraction) เข้าสู่กระบวนการสกัดเอาน้ำแป้ง (refining) ผ่านการทำปฏิกิริยาทางเคมีตามสูตรการผลิต (reaction) และทำการล้างสารเคมีออกจากน้ำแป้ง (washing) เมื่อได้น้ำแป้งแล้วนำมาแยกน้ำออก (de-watering) หลังจากนั้นนำมาอบแห้ง (drying) เพื่อให้ได้แป้งผง นำไปเก็บที่ไซโล (silo storage) เพื่อบรรจุ (packing) จัดเก็บเพื่อรอการจำหน่าย (warehousing) และการจัดส่งเพื่อจำหน่ายและส่งออก (logistic)

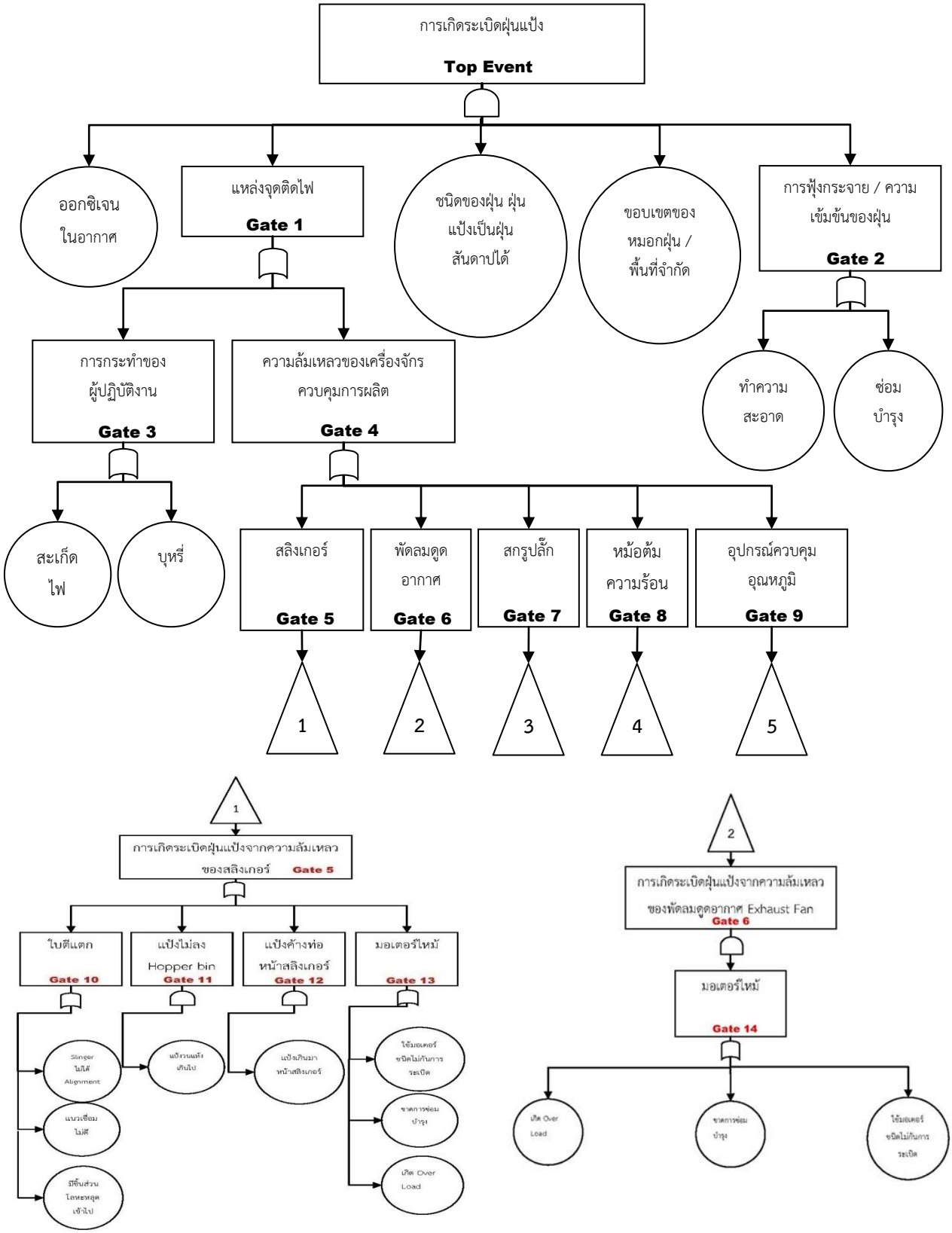
เครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต 5 เครื่องคือ สลิงเกอร์ (slinger) ทำหน้าที่ในการตีแป้งให้กระจายตัวและเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของแป้งในการรับความร้อนจากลมร้อนในการอบแห้ง พัดลมดูดอากาศ (exhaust fan) เป็นพัดลมที่ใช้ในการดูดอากาศจากภายนอกเพื่อใช้พาอนุภาคของแป้งให้เข้าสู่ระบบทำให้แห้งโดยใช้ลมเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันร้อนกับแป้ง สกรูปลั๊ก (screw plug) ทำหน้าที่ในการกำหนดปริมาณแป้งที่จะผ่านเข้าสู่ระบบและยังเป็นระบบป้องกันอากาศจากภายนอกรั่วไหลเข้าในระบบทำให้แห้ง หม้อต้มความร้อน (burner) เป็นเครื่องจักรในการทำความร้อนโดยการเผาน้ำมันเตาให้เกิดความร้อนขึ้นในเตาโดยด้านในจะมีท่อคอยล์น้ำมันร้อนวนอยู่เพื่อรับความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันเตาซึ่งจะถ่ายเทให้กับน้ำมันร้อนและนำความร้อนถ่ายเทให้กับลมเพื่อใช้ในการอบแป้งให้แห้งต่อไป และระบบควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้ง (temperature indicator controller) เป็นระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้หลักการทำงานของการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ระบบทำให้แห้ง และอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านการถ่ายเทความร้อนให้กับแป้งแล้วเพื่อเป็นการควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมที่จะจ่ายน้ำมันร้อนเข้าคอยล์ร้อนของระบบทำให้แห้ง

4. ผลการวิจัย

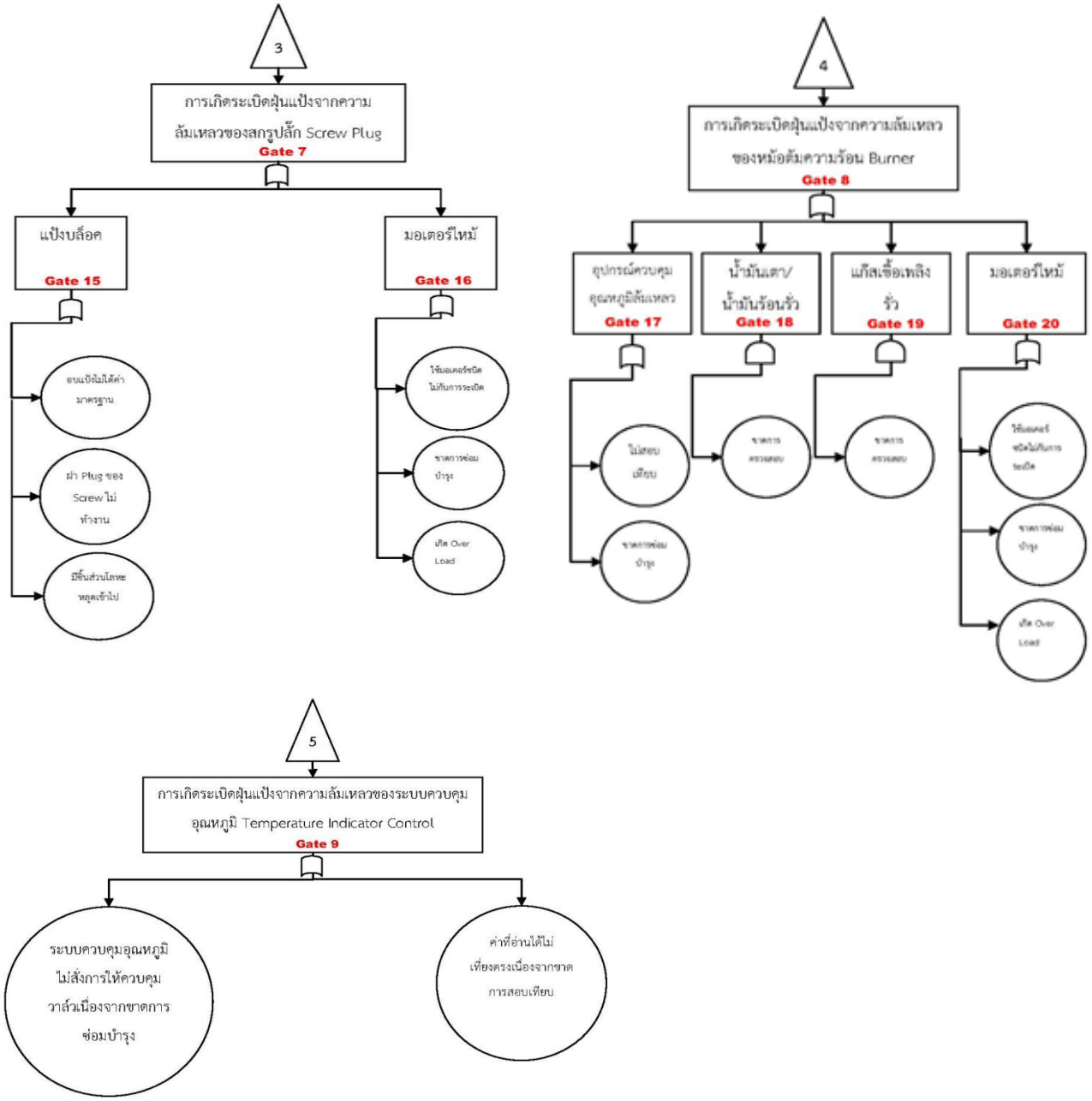
4.1 กระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว

จากภาพที่ 1 เป็นกระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว (Fault Tree Analysis) จากการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต 5 เครื่องคือ สลิงเกอร์ พัดลมดูดอากาศ สกรูปลั๊ก หม้อต้มความร้อน และระบบควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้ง ซึ่งโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ของการเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แสดงไว้ในตารางที่ 2

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2564



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุของอันตรายด้วยวิธีการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว สำหรับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุของอันตรายด้วยวิธีการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว สำหรับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (ต่อ)

ตารางที่ 2 น้ำหนักและความสำคัญของการเกิดเหตุการณ์และโอกาสในการเกิดเหตุการณ์การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในขั้นตอนการอบแป้งให้แห้ง

สาเหตุ (Event)	**น้ำหนักความสำคัญของการเกิดเหตุการณ์**	**โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ (%)**
Gate1 แหล่งจุดติดไฟ	0.429	77.80
Gate2 การฟุ้งกระจาย/ ความเข้มข้นของฝุ่น	0.252	87.40
Gate3 การกระทำของผู้ปฏิบัติงาน	0.333	90.10
Gate4 ความล้มเหลวของเครื่องจักรควบคุมการผลิต	0.667	71.50
Gate5 สลิงเกอร์	0.051	70.80
Gate6 พัดลมดูดอากาศ	0.056	73.70
Gate7 สกรูปลั๊ก	0.128	81.20
Gate8 หม้อต้มความร้อน	0.280	70.80
Gate9 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	0.035	77.80
Gate10 ใบตีแตก	0.442	79.60
Gate11 แป้งไม่ลงถังฮอปเปอร์	0.090	100.00
Gate12 แป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์	0.123	100.00
Gate13 มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์	0.345	73.70
Gate14 มอเตอร์ไหม้บริเวณพัดลมดูดอากาศ	0.056	73.70
Gate15 แป้งบล็อกบริเวณสกรูปลั๊ก	0.250	71.90
Gate16 มอเตอร์ไหม้บริเวณสกรูปลั๊ก	0.750	73.70
Gate17 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิหม้อต้มความร้อนล้มเหลว	0.183	77.80
Gate18 น้ำมันเตา / น้ำมันร้อนรั่ว	0.105	100.00
Gate19 แก๊สเชื้อเพลิงรั่ว	0.483	100.00
Gate20 มอเตอร์ไหม้บริเวณหม้อต้มความร้อน	0.229	73.70

3.2 กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

การเปรียบเทียบคู่ของสาเหตุของการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Expert Choice 11 ในการหาค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio; CR) พิจารณาตามภาพที่ 2 จากนั้นนำมาหาค่าผลกระทบ (impact) และโอกาสการเกิดเหตุการณ์ (probability) ของการเกิดฝุ่นระเบิด ได้ค่าน้ำหนักของเหตุการณ์ (GATE) จากนั้นทำการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของ

การเกิดเหตุการณ์ย่อย (EVENT) โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นทำการเปรียบเทียบรายคู่เหมือนกับการหาค่าน้ำหนักของเหตุการณ์ เมื่อได้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้วนำมาเข้าสมการวิเคราะห์หาค่าโอกาสการเกิดเหตุการณ์ ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2)โดยผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 3

ใบตีแตกบริเวณสลิงเกอร์

มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์

มอเตอร์ไหม้บริเวณพัดลมดูดอากาศ

แป้งบล็อกบริเวณสกรูปลั๊ก

มอเตอร์ไหม้บริเวณสกรูปลั๊ก

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิล้มเหลวบริเวณหม้อต้มความร้อน

มอเตอร์ไหม้บริเวณหม้อต้มความร้อน

ความล้มเหลวของระบบควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้ง

ภาพที่ 2 น้ำหนักความสำคัญที่คำนวณได้จากการใช้ Expert Choice 11 ของแต่ละเหตุการณ์

3.3 การจัดลำดับความเสี่ยง

การจัดลำดับความเสี่ยงของการเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในขั้นตอนการอบแป้งให้แห้งสรุปได้ ดังนี้

3.3.1 การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของสลิงเกอร์ประกอบไปด้วย 4 เหตุการณ์ของความล้มเหลว เหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง จำเป็นต้องเร่งจัดการความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไปคือ ใบตีแตก แป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์ และ มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์ เหตุการณ์ที่มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้คือ แป้งไม่ลงถังฮอปเปอร์ (hopper bin)

3.3.2 การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของพัดลมดูดอากาศ มีเหตุการณ์ที่มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้คือ มอเตอร์ไหม้บริเวณพัดลมดูดอากาศ

3.3.3 การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของสกรูปลั๊ก มีเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูงจำเป็นต้องเร่งจัดการความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไปคือ มอเตอร์ไหม้บริเวณสกรูปลั๊ก มีเหตุการณ์ที่มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้ คือ แป้งบล็อกบริเวณสกรูปลั๊ก

3.3.4 การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของหม้อต้มความร้อน มีเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง จำเป็นต้องเร่งจัดการความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อไปคือ น้ำมันเตา / น้ำมันร้อนรั่ว แก๊สเชื้อเพลิงรั่ว มีเหตุการณ์ที่มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้คือ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของหม้อต้มความร้อนล้มเหลว และมอเตอร์ไหม้บริเวณหม้อต้มความร้อน

3.3.5 การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิในการการอบแป้งให้แห้งมีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้ความเสี่ยงเคลื่อนย้ายไปยังระดับที่ยอมรับไม่ได้

ตารางที่ 3 ระดับความเสี่ยงของการเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในขั้นตอนการอบแป้งให้แห้ง

สาเหตุ Event	ผลกระทบในการเกิดเหตุการณ์	ระดับผลกระทบ	โอกาสในการเกิดเหตุการณ์	ระดับโอกาส	คะแนนความเสี่ยง	ระดับความเสี่ยง
Gate1 แหล่งจุดติดไฟ	0.429	3	77.80	4	12	สูง
Gate2 การฟุ้งกระจาย/ ความเข้มข้นของฝุ่น	0.252	2	87.40	5	10	สูง
Gate3 การกระทำของผู้ปฏิบัติงาน	0.333	3	90.10	5	15	สูง
Gate4 ความล้มเหลวของเครื่องจักรควบคุมการผลิต	0.667	4	71.50	4	16	สูง
Gate5 สลิงเกอร์	0.051	1	70.80	4	4	ปานกลาง
Gate6 พัดลมดูดอากาศ	0.056	1	73.70	4	4	ปานกลาง
Gate7 สกรูปลั๊ก	0.128	2	81.20	5	10	สูง
Gate8 หม้อต้มความร้อน	0.280	2	70.80	4	8	ปานกลาง
Gate9 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	0.035	1	77.80	4	4	ปานกลาง
Gate10 ใบตีแตก	0.442	3	79.60	4	12	สูง
Gate11 แป้งไม่ลงถังฮอปเปอร์	0.090	1	100.00	5	5	ปานกลาง
Gate12 แป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์	0.123	2	100.00	5	10	สูง
Gate13 มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์	0.345	3	73.70	4	12	สูง
Gate14 มอเตอร์ไหม้บริเวณพัดลมดูดอากาศ	0.056	1	73.70	4	4	ปานกลาง
Gate15 แป้งบล็อกบริเวณสกรูปลั๊ก	0.250	2	71.90	4	8	ปานกลาง

สาเหตุ Event	ผลกระทบในการเกิดเหตุการณ์	ระดับผลกระทบ	โอกาสในการเกิดเหตุการณ์	ระดับโอกาส	คะแนนความเสี่ยง	ระดับความเสี่ยง
Gate16 มอเตอร์ไหม้บริเวณสกรูปล๊ัก	0.750	4	73.70	4	16	สูง
Gate17 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิหม้อต้มความร้อนล้มเหลว	0.183	2	77.80	4	8	ปานกลาง
Gate18 น้ำมันเตา/ น้ำมันร้อนรั่ว	0.105	2	100.00	5	10	สูง
Gate19 แก๊สเชื้อเพลิงรั่ว	0.483	3	100.00	5	15	สูง
Gate20 มอเตอร์ไหม้บริเวณหม้อต้มความร้อน	0.229	2	73.70	4	8	ปานกลาง

5. อภิปรายผล

เทคนิค FTA สามารถวิเคราะห์สาเหตุของความล้มเหลว ทำให้ทราบถึงสาเหตุพื้นฐานของความล้มเหลวของเหตุการณ์ตั้งต้นที่จะเกิดขึ้นได้ จากแผนภูมิวิเคราะห์สาเหตุของอันตรายจากเหตุการณ์ความล้มเหลวสูงสุดคือ การเกิดฝุ่นระเบิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และการนำเทคนิค AHP มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ FTA โดยใช้โปรแกรม Expert Choice 11 ในการคำนวณค่าผลกระทบ และค่าดัชนีความสอดคล้อง โดยการเปรียบเทียบคู่สามารถหาค่าน้ำหนักความสำคัญของการเกิดเหตุการณ์ และค่าโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ได้ ระดับความเสี่ยงของการเกิดเหตุการณ์การเกิดฝุ่นระเบิดจากความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ในขั้นตอนการอบแป้งมันสำปะหลังให้แห้งพบว่า มีระดับความเสี่ยงของเหตุการณ์ทั้งหมดที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูงทั้งสิ้น 11 เหตุการณ์คือ 1) แหล่งจุดติดไฟ 2) การฟุ้งกระจาย/ความเข้มข้นของฝุ่น 3) การกระทำของผู้ปฏิบัติงาน 4) ความล้มเหลวของเครื่องจักรควบคุมกระบวนการผลิต 5) ความล้มเหลวของสกรูปล๊ัก 6) สลิงเกอร์ใบตีแตก 7) แป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์ 8) มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์ 9) มอเตอร์ไหม้บริเวณสกรูปล๊ัก 10) น้ำมันเตา/น้ำมันร้อนรั่ว และ 11) แก๊สเชื้อเพลิงรั่ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริวิมล ชื่นบาน และนันทิยา หาญศุภลักษณ์ (2555) พบว่า สาเหตุพื้นฐานที่ทำให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดฝุ่นระเบิดสูงสุด (ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้) คือ การปฏิบัติงานเชื่อม/ตัดโลหะ ซึ่งก่อให้เกิดประกายไฟหรือความร้อนในกระบวนการผลิตและไม่มีมาตรการในการควบคุมประกายไฟดังกล่าวอย่างเพียงพอ (สิริวิมล ชื่นบาล และนันทิยา หาญศุภลักษณ์, 2555) ซึ่งในงานวิจัยนี้สาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นระเบิดที่สอดคล้องกันคือ การมีแหล่งจุดติดไฟ และการกระทำของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งรวมถึงงานที่ทำให้เกิดความร้อนและประกายไฟ และสอดคล้องกับคู่มือของสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2555) แสดงให้เห็นว่า รางป้อนแป้งจะรับแป้งที่สลัดแห้งแล้วเข้าสลิงเกอร์ ซึ่งแป้งจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 32-37 ลักษณะการเกิดอันตรายคือ เมื่อแป้งมีความชื้นสูงมากกว่าร้อยละ 38 ทำให้แป้งไม่ถูกดึงขึ้นไปตามท่อ แป้งจะตกลงมาอยู่ใต้สลิงเกอร์เมื่อได้รับความร้อนสูงแป้งที่กองอยู่จะลุกติดไฟ หากหรือมีเศษโลหะติดเข้ามากับแป้งหมาดเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาในสลิงเกอร์ ท่ออบแป้ง ไซโคลน เศษโลหะจะสามารถทำให้เกิดประกายไฟได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ซึ่งในงานวิจัยนี้สาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นระเบิดที่สอดคล้องกันคือ สาเหตุมีแป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์ซึ่งเป็นผลมาจากการที่แป้งมีความชื้นสูงมากกว่าค่าที่กำหนดแป้งจะไม่ถูกดึงขึ้นไปตามท่อ แป้งจะตกลงมาอยู่ใต้สลิงเกอร์ สาเหตุมอเตอร์ไหม้บริเวณส

ลิงเกอร์ และสลิงเกอร์ใบตีแตกจากการที่มีชิ้นส่วนโลหะหลุดเข้าไปในสลิงเกอร์ ฯลฯ และสอดคล้องกับคู่มือของสำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2553) แสดงให้เห็นว่าลักษณะการเกิดอันตรายจุดเสี่ยงบริเวณสลิงเกอร์ แป้งสะสมใต้สลิงเกอร์หรือแป้งลุกติดไฟ เกิดการระเบิดของฝุ่นแป้งเหนือสลิงเกอร์ สาเหตุจากท่อน้ำมันร้อนในชุดแลกเปลี่ยนความร้อนรั่วทำให้น้ำมันร้อนรั่วเข้ามา แป้งขาดรางทำให้อุณหภูมิในท่อทางเข้าสลิงเกอร์ร้อน มีเศษโลหะหลุดเข้ามาในท่อออบแป้งทำให้เกิดการเสียดสีกับท่อ การเชื่อม ตัด เจียร ขณะภายในท่อมีฝุ่นแป้ง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ซึ่งในงานวิจัยนี้สาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นระเบิดที่สอดคล้องกันคือ แป้งค้างท่อหน้าสลิงเกอร์ มอเตอร์ไหม้บริเวณสลิงเกอร์ สลิงเกอร์ใบตีแตกจากการที่มีชิ้นส่วนโลหะหลุดเข้าไป น้ำมันเตา/น้ำมันร้อนรั่ว และแก๊สเชื้อเพลิงรั่ว ฯลฯ โดยผลการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงเหตุการณ์ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ควบคุมในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังว่ามีระดับความเสี่ยงมากหรือน้อยเพียงใดเมื่อเกิดความล้มเหลวขึ้น อันจะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไข และเพิ่มเติมมาตรการที่มีอยู่ให้เกิดความปลอดภัยจากการเกิดฝุ่นระเบิด และปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต เครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ให้มีประสิทธิภาพควบคู่ไปกับความปลอดภัยในการใช้งานต่อไป

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำผลการศึกษาไปพิจารณาเพื่อจัดทำแผนเฝ้าระวังและแผนป้องกันการเกิดฝุ่นระเบิดในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

6.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเสี่ยงระหว่างกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ และกระบวนการประเมินความเสี่ยงแบบอื่น ๆ เพื่อหาวิธีการประเมินความเสี่ยงที่ช่วยลดความคลุมเครือของผู้ประเมินในการตัดสินใจ มีความยืดหยุ่น เพื่อให้สถานประกอบการได้เฝ้าระวังและจัดทำแผนป้องกันการเกิดฝุ่นระเบิดที่เหมาะสมต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณบริษัทสยาม ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด กลุ่มบริษัทเอสเอ็มเอสที่ได้ให้ทุนในการศึกษา และสนับสนุนข้อมูลกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ผู้เชี่ยวชาญ 2 ท่านจากบริษัทสยาม ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัดคือ นายสมาน ริรักชาติ ผู้ช่วยผู้จัดการแผนกผลิต และนายสิทธิโชค แก่นชนบท วิศวกรเครื่องกลอาวุโส และคณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานของสถานประกอบการในการตรวจสอบเครื่องมือ และการให้ค่าความสำคัญในเหตุการณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำหลังของงานวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

กรมประชาสัมพันธ์จังหวัดชัยภูมิ. (2554). *เสียชีวิตเพิ่มอีก 2 รวม 7 ศพ แล้ว เหยื่อเหตุบ่อแก๊สมีเทน โรงงานแป้งมันระเบิดที่ชัยภูมิ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2563, จาก https://pr.prd.go.th/chaiyaphum/ewt_news.php?nid=712

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2543). *ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ.2543.* สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2563, จาก https://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=laws&tabid=1&secid=4

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). *คู่มือการจัดการความปลอดภัยโรงงานที่มีฝุ่นระเบิดได้.* กรุงเทพมหานคร: บริษัท ธวิพัฒน์ จำกัด.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). *ข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง.* กรุงเทพฯ : บริษัท ธวิพัฒน์ จำกัด.

พิมพ์พา บัวพิมพ์ และอารุณ เกตุสาคร. (2562). การประเมินความเสี่ยงโดยกระบวนการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวและกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นของการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, หน้า 1-16.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (2562). *อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง*, สืบค้นวันที่ 23 เมษายน 2562, จาก https://www.tapiocathai.org/E4.html

สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน (ประเทศไทย) ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2554). *โรงงานแป้งมันระเบิดที่ จ. ชัยภูมิ.* สืบค้นเมื่อวันที่ 3มกราคม 2563, จาก http://www.shawpat.or.th/index.php?option=com

สิริวิมล ชื่นบาล และนันทิยา หาญศุภลักษณ์. (2555). การชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis และการประเมินความเสี่ยงภายในท่ออบแห้งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง. *วารสารวิศวกรรมสาร มก.* ปีที่ 25 ฉบับที่ 80 (เมษายน - มิถุนายน 2555), หน้า 39-50.

อรอุรา วิเชียร และระพี กาญจนะ. (2556). การประยุกต์ใช้เทคนิค Fault Tree Analysis (FTA) กรณีศึกษากระบวนการปั๊มโลหะ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี.* ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2556), หน้า 1-11.

อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์ (2555). การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว: เทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากงาน. *วารสาร มฉก.วิชาการ* 167 ปีที่ 15 ฉบับที่ 30, มกราคม - มิถุนายน 2555.

Cheliyan, A.S., & Bhattacharyya, S.K., 2018, Fuzzy fault tree analysis of oil and gas leakage in subsea production systems, *Journal of Ocean Engineering and Science* 3, pp. 38-48.

Grosshans, H., & Papalexandris, M.V., 2016, Evaluation of the parameters influencing electrostatic chargingof powder in pipe flow, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 43, pp. 83-91.

Hyun, K.C., Min, S., Choi, H., Park, J., & Lee, I.M., 2015, Risk Analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 49, pp.121-129

Lavasani, S.M., Ramzali, N., Sabzalipour, F. and Akyuz, E., 2015, Utilisation of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) for quantified risk analysis of leakage in abandoned oil and natural-gas wells, *Ocean engineering*, 108, pp. 729-737.

Saaty, T., 1995, *Decision Making with Dependence and Feedback*: The Analytic Network Process, USA: RWS Publications, Pittsburgh

U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board., 2019, *Combustible dust safety*, Available Source: https://www.csb.gov/recommendations/mostwanted/combustibledust/ July 16, 2019.