ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | วิศวกรรมศาสตร์

สาขา | **คณะ**

เรื่อง การวิเคราะห์ความเสี่ยงกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท

Risk Analysis for Loss of Containment of Hydrocarbon Gas at Natural Gas Production Platform by Bow-Tie Analysis

นามผู้วิจัย นางสาววรรณพธิดา เที่ยงตรง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ความเสี่ยงกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท

Risk Analysis for Loss of Containment of Hydrocarbon Gas at Natural GasProduction Platform by Bow-Tie Analysis

โดย

นางสาววรรณพธิดา เที่ยงตรง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรรณพธิดา เที่ยงตรง 2557: การวิเคราะห์ความเสี่ยงกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล, Ph.D. 87 หน้า

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยวิธีการจัดทำแผนภาพแสดงมาตรการป้องกันและลดผลกระทบทางด้านความปลอดภัยที่เรียกว่าวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มุ่งเน้นในเรื่องของการเกิดอุบัติภัยร้ายแรงและมาตรการป้องกันที่สำคัญ วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การป้องกันเหตุการณ์อันตรายและมาตรการลดผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อม ทรัพย์สินและชื่อเสียงขององค์กร การวิจัยนี้ได้อธิบายถึงปัจจัยเสี่ยงและผลกระทบที่เกิดจากการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติในทะเล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดมาตรการป้องกันและลดผลกระทบทางด้านความปลอดภัย ซึ่งมาตรการดังกล่าวจะช่วยในการป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนได้ ซึ่งหากมาตรการที่กำหนดเกิดความบกพร่องหรือไม่เพียงพอ สิ่งเหล่านี้อาจนำไปสู่การเกิดอุบัติภัยร้ายแรงได้ ดังนั้น ผลจากงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมและลดความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน

งานวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการผ่านการประชุมเชิงปฏิบัติการร่วมกับบุคลากรจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการประเมินความเพียงพอของมาตรการป้องกันและลดผลกระทบผลการวิเคราะห์พบว่า ควรมีมาตรการป้องกันเพิ่มเติมสำหรับ 2 สาเหตุของอันตรายที่พบว่า มีจำนวนมาตรการไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าระดับชั้นการป้องกัน เพื่อหาค่าความเสี่ยงของอันตรายดังกล่าวพบว่า มีค่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และได้นำเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไขแก่โครงการอาทิตย์ ซึ่งได้มีการนำไปหารือในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและมีการติดตามการแก้ไขต่อไป

_____ _____ ____/ ____/ ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wannoptida Tiengtrong 2014: Risk Analysis for Loss of Containment of Hydrocarbon Gas at Natural Gas Production Platform by Bow-Tie Analysis. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Peerayuth Charnsethikul, Ph.D. 87 pages.

The primary focus of this thesis is to analyze the risk based on safety barrier diagrams, called Bow-Tie methodology. It directly focuses on major accidents and barrier functions. This methodology is used predominantly in many industry sectors to perform an analysis of hazardous events protection and mitigate the consequences to humans, the environment, assets and organization's reputation. This thesis describes the risk factors and consequences of the hydrocarbon release on offshore oil and gas production platforms based on approaches for determination of safety barriers. The safety barrier systems introduced are to prevent hydrocarbon releases and with the failure of such barriers could lead to major accident consequences. Thus, the results are primarily useful for the process industry in their effort to control and reduce the risk of hydrocarbon releases.

This thesis was carried out via a workshop with the safety, maintenance and operation personnel to assess the adequacy of preventive and mitigative barriers of hydrocarbon gas under pressure hazard. The result of barrier analysis shows that existing barriers are not sufficiently effective. The barrier diagram appears to offer additional focus on remedial actions during operations for 2 threats that did not meet the barriers adequacy acceptance criteria. The author's use of the Layer of Protection Analysis (LOPA) for calculating the probability that the unsafe consequence will occur with these 2 threats, the results show its risk level were within the acceptable region. The remedial actions have been raised to Arthit project as a result of this thesis. It is imperative that all items that have been raised in the remedial actions and will be followed up by the assigned parties.

_____ _____ ____/ ____/ ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักรองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกไท วิโรจน์สกุลชัย และรองศาสตราจารย์วิชัย พฤกษ์ธาราธิกุล ที่ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณนายณรงค์ฤทธิ์ อภิญโญวิเชียร ผู้จัดการหน่วยงานความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม และนายวิโรจน์ แก้วกาญ เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ประจำโครงการอาทิตย์ ตลอดจนทีมงานทุกท่านที่ให้ความสะดวก และให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานและรวบรวมข้อมูลในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาท่านบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

วรรณพธิดา เที่ยงตรง

มีนาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	31
ผล	31
วิจารณ์	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	82
ภาคผนวก ก เกณฑ์การจัดลำดับความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)	83
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis)	85
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงความถี่ของเหตุการณ์ที่ยอมรับได้	22
2	ตารางค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level, SIL)	24
3	ผลการประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันกรณีรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ	33
4	ตารางแสดงสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threats) จากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ	34
5	ตารางแสดงผลของอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น (Consequences) เมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ	35
6	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 1	37
7	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 2	38
8	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 3	39
9	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 4	40
10	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 5	41
11	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 6	42
12	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 7	43
13	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 8	44
14	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 9	44
15	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 10	45
16	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 11	46
17	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่1	47
18	ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 2	49
19	สรุปจำนวนพารามิเตอร์ตามผลการจัดทำแผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram)	51
20	หลักเกณฑ์ในการกำหนดจำนวนมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ	52
21	ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ	53
22	ตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนของแต่ละมาตรการ	69

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข1 ผลการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis) 86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงรูปแบบวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท	10
2	ภาพแสดงความเชื่อมโยงระหว่างแผนภาพโบว์ไทและกระบวนการประเมินความเสี่ยง	14
3	ภาพแสดงระดับชั้นการป้องกันอันตราย	19
4	ภาพแสดงแผนผังระดับชั้นการป้องกัน	21
5	ภาพแสดงไดอะแกรมของการเกิดเหตุการณ์อันตราย	21
6	ภาพแสดงแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ โครงการอาทิตย์ (Arthit Processing Platform, APP)	28
7	แผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram)	36
8	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 1	37
9	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 2	38
10	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 3	39
11	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 4	40
12	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 5	41
13	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 6	42
14	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 7	43
15	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 8	43
16	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 9	44
17	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 10	45
18	แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 11	45
19	แผนภาพโบว์ไทสำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 1	47
20	แผนภาพโบว์ไทสำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 2	49
21	ภาพแสดงระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 8	55
22	ภาพแสดงระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 9	56
23	ภาพแสดงแผนผังระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 8	57
24	ภาพแสดงแผนผังระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 9	58
25	ภาพแสดงผลการประเมินความเสี่ยง	71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

26 ภาพแสดงการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุด้วยระเบียบวิธีไตรพอดเบต้าทรี 77

27 ภาพแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทและระเบียบวิธีไตรพอดเบต้าทรี 78

ภาพผนวกที่

ก1 เกณฑ์การจัดลำดับความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix) 84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ALARP	=	As Low As Reasonably Practicable
BCR	=	Benefit-Cost Ratio
HVAC	=	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IEC	=	International Electrotechnical Commission
LOPA	=	Layer of Protection Analysis
OGP	=	International Association of Oil & Gas Producers
PCV	=	Pressure Control Valve
PFD	=	Probability of Failure on Demand
PFD_{avg}	=	Average Probability of Failure on Demand
PM	=	Preventive Maintenance
PSE	=	Pressure Sensitive Element
PSV	=	Pressure Safety Valve
TMEL	=	Target Mitigated Event Likelihood
SIL	=	Safety Integrity Level
SIS	=	Safety Instrumented System

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ความเสี่ยงกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท

Risk Analysis for Loss of Containment of Hydrocarbon Gas at Natural Gas Production Platform by Bow-Tie Analysis

คำนำ

ความเสี่ยงของการเกิดไฟไหม้และการระเบิดจากกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลเป็นหนึ่งในความเสี่ยงหลักของโครงการผลิตก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากการผลิตก๊าซธรรมชาติสามารถติดไฟได้ง่ายเหตุไฟไหม้และการระเบิดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (คุณภาพอากาศ) สุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของพนักงาน ผู้รับเหมาและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการเกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างต่างๆ ในอดีตที่ผ่านมามีตัวอย่างของการเกิดอุบัติภัยร้ายแรงในอุตสาหกรรมสำรวจและผลิตปิโตรเลียมที่เคยเกิดขึ้นหลายครั้ง เช่น ในปีค.ศ. 1988 เกิดการรั่วไหลของก๊าซธรรมชาติบนแท่นผลิตไปเปอร์อัลฟ่า (Piper Alpha) ต่อมาเกิดการติดไฟจึงทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรง เป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิตถึง 167 คน และในปี ค.ศ. 2010 เกิดการรั่วไหลของก๊าซธรรมชาติเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันการรั่วไหลขณะทำการขุดเจาะ (Blowout Preventer, BOP) ทำงานบกพร่องและก่อให้เกิดไฟไหม้และการระเบิดรุนแรงบนแท่นขุดเจาะดีพวอเทอร์ฮอริซอนทอล (Deepwater Horizon oil rig) ซึ่งทำให้มีผู้เสียชีวิต 11 คน จากเหตุการณ์ดังกล่าวทั้งสองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ล้วนเกิดจากมาตรการในการป้องกันและรับมือกับเหตุฉุกเฉินบกพร่องหรือไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

Health and Safety Executive (2014) ได้รวบรวมสถิติของการเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มอุตสาหกรรมสำรวจและผลิตปิโตรเลียม พบว่าในปี พ.ศ.2555 ที่ผ่านมามีรายงานการรั่วไหลถึง 132 ครั้ง ซึ่งถือว่ามีการเกิดขึ้นหลายครั้งในกลุ่มอุตสาหกรรม และร้อยละ 1 ของเหตุการณ์รั่วไหลทั้งหมดเป็นเหตุการณ์รั่วไหลที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยขั้นร้ายแรง จึงเป็นสาเหตุให้สนใจในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของอันตรายจากกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลและหาแนวทางป้องกันเพื่อลดความเสี่ยงและป้องกันความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความบกพร่องในระบบการป้องกันและมาตรการควบคุมไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหล การเตือนภัยและการปฏิบัติตามแผนป้องกันและระงับเหตุฉุกเฉินที่ไม่มีประสิทธิภาพจะมีผลกระทบต่อความปลอดภัย อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือการเสียชีวิต เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคนในท้องถิ่น เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน และการเสียชื่อเสียงของบริษัทต่อนานาประเทศ การค้นหาอันตรายและสาเหตุที่จะก่อให้เกิดอันตรายกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหล รวมทั้งการประเมินระดับความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นโดยพิจารณาร่วมกับระบบการป้องกันและมาตรการควบคุมที่มีอยู่จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อทำให้สามารถนำข้อมูลจากการชี้บ่งอันตราย (Hazard) สาเหตุของการเกิดอันตราย (Threats) และระดับความเสี่ยง (Risk level) มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินว่าระบบการป้องกันและมาตรการควบคุม (Barriers) ที่มีอยู่นั้นครอบคลุมทุกๆ สาเหตุของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นและมีเพียงพอเหมาะสมหรือไม่

การบ่งชี้อันตรายนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งต่างก็มีเจตนารมณ์เดียวกันแต่วิธีการแตกต่างกันในการค้นหาอันตราย ซึ่งการเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงนั้นควรเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับขนาดและลักษณะขององค์กร รวมทั้งความเหมาะสมของลักษณะของผลลัพธ์ที่ต้องการนำไปใช้งาน

ปัจจุบันได้มีการนำวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis) มาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงอย่างแพร่หลายในแต่ละกลุ่มธุรกิจทั่วโลก ซึ่งวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทสามารถนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพได้ดี เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำให้เห็นภาพที่แสดงถึงสาเหตุและอันตรายของการเกิดเหตุการณ์ โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นๆ รวมทั้งมาตรการควบคุมป้องกันและลดความเสี่ยง

วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงคุณภาพที่มีลักษณะเด่น ดังต่อไปนี้

ก. การประเมินความเสี่ยง: วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทเป็นวิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับการประเมินความเสี่ยง

ข. การจัดการความเสี่ยง: วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทเป็นการจัดการความเสี่ยงโดยไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการควบคุมความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการแสดงให้เห็นถึงระบบควบคุมป้องกันที่มีอยู่ในปัจจุบัน แต่ยังมุ่งเน้นในการดำเนินการว่าจะทำอย่างไรให้ระบบควบคุมนั้นๆ จะยังคงอยู่ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค. การสื่อสารความเสี่ยง: แผนภาพรูปโบว์ไท (Bow-Tie) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอันตราย (Hazard) เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดจากอันตรายนั้น (Top event) สาเหตุของการเกิดอันตราย (Threat) มาตรการการควบคุมป้องกัน (Control in place) และมาตรการลดผลกระทบจากอันตรายที่เกิดขึ้น (Recovery) ทำให้ผู้ประเมินสามารถเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงและปัจจัยต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจและนำไปสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ง. การตรวจติดตามความเสี่ยง: การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงโดยประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทนั้น เป็นวิธีการที่ง่ายต่อการตรวจสอบติดตามและได้รับการยอมรับในระดับสากล

สาเหตุสำคัญที่ทำให้วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทนี้เป็นที่นิยมเพราะมีรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจ แม้ผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญก็สามารถเข้าใจได้ง่าย วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทจึงเป็นวิธีที่มีประโยชน์ต่อผู้ที่ปฏิบัติงานในด้านความปลอดภัย เพื่อนำไปเผยแพร่และประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการความเสี่ยงภายในองค์กรได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดัน ที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของไฮโดรคาร์บอนก๊าซและระดับความรุนแรงของการเกิดอุบัติภัยบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ

2. เพื่อศึกษาและชี้บ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมทั้งชี้บ่งมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ ตลอดจนปัจจัยที่ทำให้มาตรการควบคุมดังกล่าวบกพร่องซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติภัยจากกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis)

3. เพื่อประเมินความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ กรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่ว่ามีเพียงพอหรือไม่ (Hazards Barrier Adequacy)

4. เพื่อวิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis, LOPA)

5. เพื่อให้ข้อเสนอแนะในการลดความเสี่ยงและแนวทางแก้ไขกรณีพบว่ามาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบที่มีอยู่ไม่เหมาะสมเพียงพอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การวิเคราะห์ความเสี่ยงกรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis) ของแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ โครงการอาทิตย์ เกี่ยวข้องกับทฤษฎีและข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การประเมินความเสี่ยง

จิรพร (2556) ได้กล่าวถึงการประเมินความเสี่ยงว่า เป็นขั้นตอนที่ระบุลำดับความเสี่ยงของอันตรายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของงานที่ครอบคลุมสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ บุคลากร และขั้นตอนการทำงาน ที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม หรือสิ่งต่าง ๆ รวมกัน หลักการของการประเมินความเสี่ยง เป็นการประมาณระดับความเสี่ยงโดยคำนึงถึง ความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดอันตราย เพื่อนำมาพิจารณาว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หรือยอมรับไม่ได้ และทำการวางแผนควบคุมความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ให้หมดไป

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลักการและแนวทางบริหารความเสี่ยง มาตรฐานเลขที่ มอก. 31000-2555 ได้ระบุถึงรายละเอียดในการประเมินความเสี่ยง ซึ่งกระบวนการในการทำการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ประกอบด้วย

ขั้นที่ 1 การชี้บ่งความเสี่ยง
ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง
ขั้นที่ 3 การประเมินผลความเสี่ยง

การดำเนินการทั้ง 3 ขั้นตอนนี้อยู่ภายใต้กรอบของบริบทและวัตถุประสงค์ของการบริหารความเสี่ยง และวิธีการและเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการประเมินความเสี่ยง

ขั้นที่ 1 การชี้บ่งความเสี่ยง

ขั้นตอนนี้เป็นการระบุสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้น หรือสถานการณ์ หรือเหตุการณ์ใดๆ ที่มีอยู่แล้วแต่อาจจะส่งผลต่อการไม่บรรลุวัตถุประสงค์ หรือเป้าหมายของกิจการ หลังจากระบุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานการณ์หรือเหตุการณ์ความเสี่ยงได้แล้ว ก็จะสามารถค้นหาต่อไปได้ว่าปัจจุบันได้มีระบบมาตรการ หรือกลไกการควบคุมภายใน และการบริหารจัดการใดอยู่แล้วบ้างการชี้บ่งความเสี่ยงหรือการค้นหาและระบุเหตุการณ์ความเสี่ยงจึงควรจะครอบคลุมดังต่อไปนี้

1. สาเหตุหรือปัจจัยที่ก่อให้เกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงแต่ละเหตุการณ์

2. แหล่งที่มาของความเสี่ยงมาจากภายในกิจการหรือภายนอกกิจการ เป็นสิ่งที่เกิดจากการกระทำของคนหรือเป็นภัยธรรมชาติ

3. คำอธิบายสถานการณ์ทางกายภาพที่จะเกิดหากเหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นเกิดขึ้น

การที่จะค้นหาและระบุความเสี่ยงได้อย่างถูกต้องจะต้องอาศัยวิธีการและเทคนิคที่สามารถช่วยให้ได้หลักฐานมาประกอบการระบุความเสี่ยงช่วยให้ผู้ดำเนินการทำงานอย่างเป็นระบบ ไม่ใช่ทำงานโดยไร้รูปแบบและมีความสมเหตุผล

องค์กรควรชี้บ่งแหล่งความเสี่ยง ส่วนที่ได้รับผลกระทบ เหตุการณ์ (รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพการณ์) สาเหตุของการเกิด และศักยภาพของผลสืบเนื่องที่อาจเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือการจัดทำบัญชีความเสี่ยงที่ครอบคลุมเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจส่งเสริม ขัดขวาง ลด เร่ง หรือชะลอ การบรรลุวัตถุประสงค์ การชี้บ่งความเสี่ยงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องดำเนินการ โดยไม่ต้องอ้างถึงโอกาสที่จะเกิด การชี้บ่งอย่างครอบคลุมเป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะความเสี่ยงที่ไม่ได้ถูกชี้บ่งในขั้นตอนนี้จะไม่ถูกนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง

การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) หมายถึง กระบวนการเข้าใจธรรมชาติของความเสี่ยงและกำหนดระดับความเสี่ยงโดยการวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นการพัฒนาความเข้าใจและการรับรู้ความเสี่ยงต่อยอดขึ้นมาจากการระบุความเสี่ยง เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

1. การกำหนดคำอธิบายว่าเหตุการณ์ความเสี่ยงส่งผลต่อการดำเนินงานของกิจการอย่างไร เป็นผลกระทบที่รุนแรงมากน้อยเพียงใดในแต่ละเหตุการณ์ความเสี่ยง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ความเป็นไปได้ที่เหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นจะเข้ามีผลกระทบต่อการดำเนินงานของกิจการในแต่ละเหตุการณ์ความเสี่ยง

3. การควบคุมภายในที่มีอยู่และประสิทธิภาพของการควบคุมปัจจุบัน

4. การนำเอาระดับความรุนแรงของผลกระทบ และความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงมาพิจารณาร่วมกันเพื่อกำหนดระดับความเสี่ยง (Level of Risk)

วิธีการที่อาจจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงสามารถใช้วิธีการ (ก) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (ข) การวิเคราะห์กึ่งเชิงปริมาณ (ค) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ ก็ได้โดยรายละเอียดของการวิเคราะห์จะต้องมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับประเด็นที่ยกขึ้นมาพิจารณา ตลอดจนความเพียงพอและมีอยู่ของข้อมูล และความต้องการของผู้บริหารที่อยู่ในระดับการตัดสินใจของกิจการเอง หรือบางกรณีหน่วยงานภาครัฐที่ทำหน้าที่กำกับอาจจะกำหนดเงื่อนไขของการวิเคราะห์มาให้ ซึ่งจะส่งผลการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ได้เพียงบางวิธีเท่านั้น

ก. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จะอธิบายผลที่จะเกิดกับการดำเนินงานและความน่าจะเป็นที่จะมีโอกาสเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นๆ ว่า สูง ปานกลาง หรือต่ำ นอกจากนั้นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพยังใช้การประเมินความเสี่ยงเพื่อกำหนดระดับความเสี่ยงจากเงื่อนไขในเชิงคุณภาพเป็นหลัก

ข. การวิเคราะห์กึ่งเชิงปริมาณ ใช้การกำหนดค่าคะแนนเป็นตัวเลข (Numerical Rating Scales) ทั้งการวิเคราะห์ผลที่เกิดกับการดำเนินงานของกิจการและความน่าจะเป็นโอกาสหรือความถี่ที่จะเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นๆ และกำหนดระดับความเสี่ยงรวมจะพิจารณาถึงความสัมพันธ์กันของผลที่เกิดกับการดำเนินงานและความน่าจะเป็นที่จะเกิด

ค. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ เป็นการประมาณมูลค่าของความเสียหาย หรือความสูญเสียที่เกิดจากการที่ความเสี่ยงนั้น และนำไปพิจารณาร่วมกันเพื่อกำหนดระดับความเสี่ยงต่อไป ซึ่งการที่จะใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณได้เต็มรูปแบบเป็นเรื่องยาก เพราะต้องมีความเพียงพอ ครบถ้วน และถูกต้องของข้อมูลเชิงปริมาณด้วย และผลกระทบต่อการดำเนินงานบางอย่างอาจจะไม่เกี่ยวข้องกับตัวเลข เช่น ผลต่อขวัญกำลังใจของบุคลากร ต่อเชื่อเสียงภาพลักษณ์ขององค์กร ต่อความไว้วางใจในการดำเนินงานของผู้ถือหุ้น ต่อการยอมรับและการขอความสนับสนุนจากชุมชนหรือจากสังคม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับการทำความเข้าใจความเสี่ยง ซึ่งจะได้ข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินผลความเสี่ยงและการตัดสินใจจัดการความเสี่ยงด้วยวิธีการและกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุด การวิเคราะห์ความเสี่ยงยังสามารถให้ข้อมูลนำเข้าสำหรับตัดสินใจทางเลือกในการจัดการความเสี่ยงในประเภทและระดับความเสี่ยงที่แตกต่างกันด้วย

การวิเคราะห์ความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับการพิจารณาถึงสาเหตุและแหล่งความเสี่ยง ผลสืบเนื่องทั้งทางบวกและทางลบรวมถึงโอกาสที่ผลสืบเนื่องเหล่านั้นจะเกิดขึ้น นอกจากนี้ควรทำการชี้บ่งปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสและผลสืบเนื่อง ความเสี่ยงเป็นผลจากการพิจารณาผลสืบเนื่องและโอกาสรวมถึงปัจจัยร่วมอื่น ๆที่มีผลต่อความเสี่ยง สำหรับเหตุการณ์ที่มีผลสืบเนื่องหลายอย่างที่สามารถส่งผลต่อหลายวัตถุประสงค์นั้นต้องพิจารณาถึงประสิทธิผลและประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมที่มีอยู่

ขั้นที่ 3 การประเมินผลความเสี่ยง

จุดมุ่งหมายของการประเมินผลความเสี่ยง เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าความเสี่ยงใดต้องมีการจัดการและจัดลำดับความสำคัญเพื่อดำเนินการจัดการความเสี่ยงบนพื้นฐานของผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความเสี่ยงการประเมินผลความเสี่ยง เป็นการเปรียบเทียบระดับความเสี่ยงที่พบระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ความเสี่ยงกับเกณฑ์ความเสี่ยงที่กำหนดขึ้นเมื่อบริบทได้รับการพิจารณา โดยผลจากการเปรียบเทียบนี้ทำให้เห็นความจำเป็นในการจัดการความเสี่ยง

การตัดสินใจควรพิจารณาถึงบริบทของความเสี่ยงในภาพกว้าง รวมถึงการพิจารณาที่จะยอมรับความเสี่ยงที่เกิดจากภาคส่วนอื่น ๆ นอกเหนือจากองค์กรที่ได้ประโยชน์จากความเสี่ยงนั้น การตัดสินใจควรเป็นไปตามกฎหมาย ข้อบังคับและข้อกำหนดอื่น ๆ

ในบางสภาพการณ์ การประเมินผลความเสี่ยงสามารถนำไปสู่การตัดสินใจเพื่อการวิเคราะห์ที่จะมีต่อไปการประเมินผลความเสี่ยงยังคงสามารถนำไปสู่การตัดสินใจที่จะไม่จัดการความเสี่ยงด้วยวิธีการอื่นใดนอกเหนือจากการรักษามาตรการควบคุมที่มีอยู่เดิม การตัดสินใจจะได้รับอิทธิพลจากทัศนคติเรื่องความเสี่ยงในองค์กรและเกณฑ์ความเสี่ยงที่กำหนดขึ้น

การกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยง (Risk Criteria) หมายถึง การระบุเงื่อนไขของการอ้างอิงเพื่อใช้ประเมินเทียบหาความเสี่ยงที่มีนัยสำคัญองค์กรควรกำหนดเกณฑ์ที่จะใช้ในการประเมินความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เสี่ยงที่สำคัญ โดยเกณฑ์ควรสะท้อนคุณค่า วัตถุประสงค์และทรัพยากรขององค์กร เกณฑ์บางเกณฑ์สามารถกำหนดโดยองค์กรหรือได้รับจากกฎหมายและกฎระเบียบหรือข้อกำหนดอื่นๆ ที่องค์กรเป็นสมาชิก ทั้งนี้การกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยง มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาควรรวมถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะขององค์กร และประเภทของสาเหตุและผลสืบเนื่องที่สามารถเกิดขึ้นและวิธีการที่จะวัด

2. วิธีการกำหนดโอกาส

3. ช่วงเวลาของโอกาสและ/หรือผลสืบเนื่อง

4. วิธีการกำหนดระดับความเสี่ยง

5. มุมมองของผู้มีส่วนได้เสีย

6. ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้

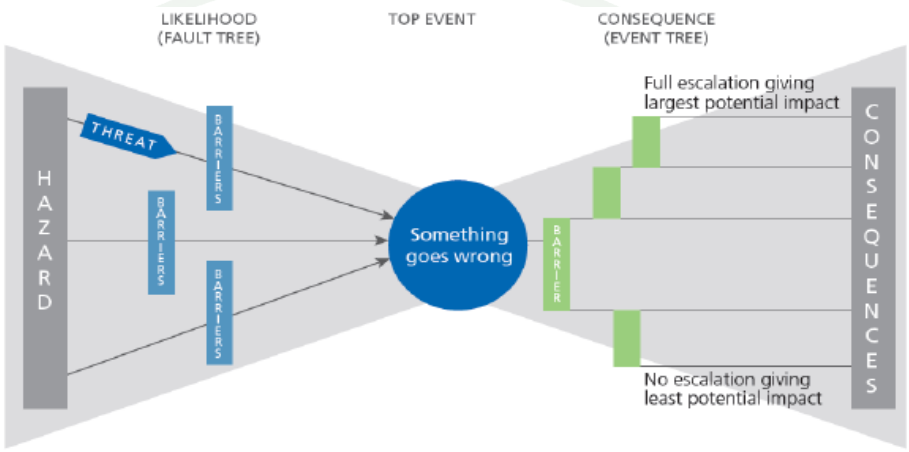
7. เมื่อใดก็ตามที่มีหลาย ๆ ความเสี่ยงเกิดขึ้นร่วมกัน ควรมีการพิจารณาจัดการความเสี่ยงที่อาจสูงขึ้น และพิจารณาว่าความเสี่ยงเหล่านั้นเกิดขึ้นร่วมกันได้อย่างไร

2. วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis)

วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงคุณภาพเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพซึ่งใช้ในการชี้บ่งอันตรายและจัดการความเสี่ยง โดยการค้นหาอันตราย (Hazards) ซึ่งสัมพันธ์กับอุบัติภัยหรือเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Top event), ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น (Consequences), สาเหตุของอันตราย (Threats) และมาตรการควบคุมและลดผลกระทบ (Control and Mitigation) เพื่อให้ผู้ประเมินสามารถเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงและปัจจัยต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้อย่างเป็นระบบ และนำไปใช้ในการบริหารจัดการความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แนวคิดของวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทนั้นเรียบง่าย โดยวิเคราะห์ออกมาในรูปของแผนผังแสดงความเชื่อมโยงระหว่างสาเหตุ (Fault Tree) และผลของอุบัติภัย (Event Tree) โดยแสดงกลุ่มของสาเหตุไว้ด้านซ้ายมือ และกลุ่มของผลแห่งอุบัติเหตุไว้ทางขวามือ ในขณะที่อันตรายนั้นแสดงเป็นเสมือนปมไว้ตรงกลางดูเหมือนรูปโบว์ไท (Bow-Tie) จึงเป็นที่มาของการเรียกว่าวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทนั่นเอง



ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท

ที่มา: OGP 116901 (2013)

ศุภชัย (2552) ได้กล่าวถึงวิธีการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว (Fault Tree และ Event Tree) ไว้ดังนี้

ก. วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวจากสาเหตุ (Fault Tree Analysis, FTA)

วิธีวิเคราะห์แบบ Fault Tree เป็นการเขียนโครงร่าง ในการแสดงความสัมพันธ์ของความผิดพลาดส่วนบนสุด (Top Event) เป็นความผิดพลาดที่สนใจ ส่วนล่างใช้ Boolean Logic คือ And Gate และ Or Gate และเป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ ซึ่งเป็นเทคนิคในการคิดย้อนกลับที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการเหตุและผล โดยเริ่มวิเคราะห์จากอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาหาเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วนำมาแจกแจกขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์แรกว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้าง และเหตุการณ์ย่อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร การสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อพบว่าสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเป็นผลเนื่องจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน

1. เลือกเหตุการณ์จำลองที่จะเกิดขึ้นได้เป็นเหตุการณ์เริ่มต้น (Top Event)

2. พิจารณาโอกาสเกิดปัญหาดังกล่าว ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ย่อยเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งเท่านั้น จะใช้สัญลักษณ์ “หรือ (Or)”

3. กรณีเกิดจากเหตุการณ์ย่อยหลายเหตุการณ์พร้อมกัน ถึงจะเกิดเหตุจำลองจะใช้สัญลักษณ์ “และ (And)”

4. ในระดับเหตุการณ์ย่อยดังกล่าว ก็อาจเกิดเหตุการณ์ย่อยไปอีกซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้จากแต่ละเหตุการณ์หรือเหตุการณ์ย่อยหลายเหตุการณ์พร้อมกันก็จะใช้สัญลักษณ์ “และ (And) หรือ (Or)” แล้วแต่ละกรณี

5. ท้ายที่สุดเมื่อแตกเหตุการณ์ย่อยเช่นนี้ลงไปอีกก็จะพบว่าสุดท้ายของเหตุการณ์ย่อยระดับล่างสุดจะเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นปกติทั่วไปเหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้ อาจเนื่องจากไม่ทราบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากภายนอก เช่น จากธรรมชาติ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า

ข. วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลวจากผลลัพธ์ (Event Tree Analysis, ETA)

เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพื่อวิเคราะห์และประเมินหาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อเกิดเหตุการณ์แรกขึ้น (Initiating Event) ซึ่งเป็นการคิดเพื่อคาดการณ์ล่วงหน้า เพื่อวิเคราะห์หาผลสืบเนื่องที่อาจเกิดขึ้น เมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์เสียหายหรือคนทำงานผิดพลาด เพื่อให้ทราบสาเหตุว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีโอกาสเกิดมากน้อยเพียงใด รวมทั้งเป็นการตรวจสอบว่า ระบบความปลอดภัยที่มีอยู่มีปัญหาหรือไม่อย่างไร

ขั้นตอนการศึกษาวิเคราะห์และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Event Tree Analysis ให้ปฏิบัติดังนี้

1. พิจารณาสถานการณ์จำลองของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นหรือที่เกิดขึ้นแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. แจกแจงรายละเอียดของระบบความปลอดภัยทั้งหมดที่มีอยู่และวิธีการปฏิบัติงานของคนงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดหรือที่เกิดขึ้นแล้ว

3. สร้างแผนภูมิ Event Tree Analysis โดยวิเคราะห์ระบบความปลอดภัยและ/หรือผู้ปฏิบัติงาน โดยพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ เมื่อระบบความปลอดภัยทำงานปกติหรือผู้ปฏิบัติงานทำงานถูกต้อง และระบบความปลอดภัยหรือคนปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง

4. อธิบายขั้นตอนและผลที่เกิดขึ้นจากการเกิดเหตุตามลำดับ

5. สรุปผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายด้วย Event Tree Analysisและประเมินความเสี่ยงลงในแบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

6. จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงตามระดับความเสี่ยงที่ประเมินไว้

รูปแบบแผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram) ประกอบไปด้วยข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ของอันตราย สาเหตุของการเกิดอุบัติภัยและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยมีองค์ประกอบดังนี้

1. อันตราย (Hazard)

2. อุบัติภัย หรือเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Top Event)

3. ผลลัพธ์จากอุบัติภัย (Consequences)

4. สาเหตุของการเกิดอันตราย (Threat)

5. การควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ (Barrier: Control and Mitigation)

6. ปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยง หรือลดประสิทธิภาพของระบบควบคุมป้องกัน (Escalation Factors)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาเหตุของอันตรายและผลลัพธ์ของอุบัติภัยที่เกิดขึ้นต้องมีระบบควบคุมป้องกันเพื่อดูแลและจัดการความเสี่ยงที่มี ซึ่งระบบควบคุมป้องกันและลดผลกระทบที่มีคือประตูที่ขวางกั้น (Barrier) เพื่อกำจัดและลดโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงหรือป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายได้ แต่เมื่อใดที่ระบบควบคุมป้องกันทุกระบบล้มเหลวพร้อมๆ กัน จะเป็นผลให้อันตรายหรืออุบัติภัยต่างๆ เกิดขึ้นได้

หัวใจสำคัญของระบบการจัดการด้านความปลอดภัยคือกระบวนการประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย

1. การชี้บ่งอันตราย (Identify) เพื่อชี้บ่งว่าอันตรายอะไรที่ส่งผลต่อคนทำงาน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน

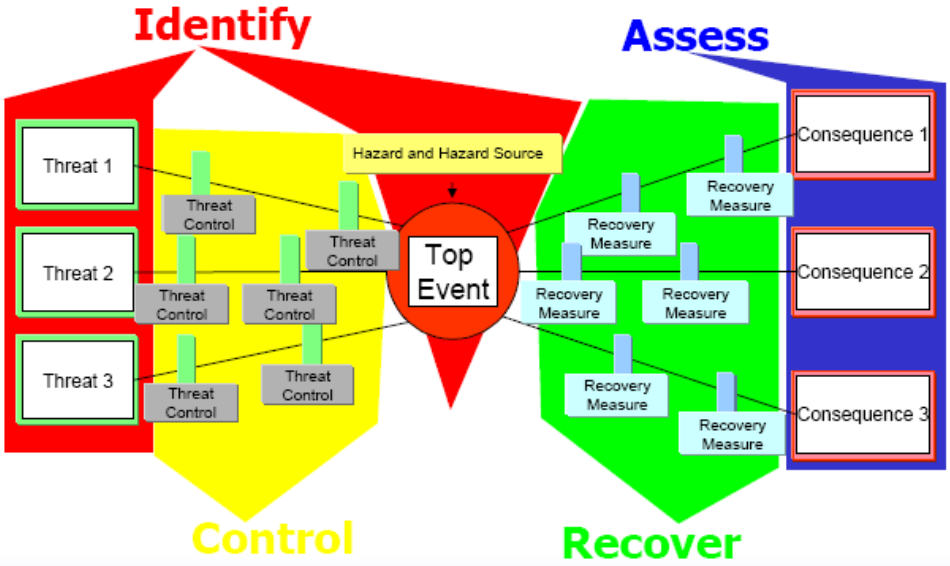
2. การประเมินความเสี่ยง (Assess) เพื่อหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย และกำหนดมาตรการควบคุมอย่างไรเพื่อให้ระดับความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. การควบคุมและป้องกัน (Control) เพื่อวิเคราะห์ว่าสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดอันตรายนั้นสามารถกำจัดไปได้อย่างไร มีระบบควบคุมป้องกันใดบ้างที่จำเป็น และระบบป้องกันนั้นมีประสิทธิภาพเพียงใด

4. การลดผลกระทบ (Recovery or Mitigation) ผลลัพธ์ของอุบัติภัยที่เกิดขึ้นสามารป้องกันได้หรือไม่ มีระบบในการบรรเทาความรุนแรงอะไรบ้างที่จำเป็น

ทั้งนี้ จากแผนภาพโบว์ไทจะพบว่ารายละเอียดในกระบวนการประเมินความเสี่ยงได้ปรากฏอยู่ในแผนภาพของวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทแล้ว โดยการชี้บ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตราย (Threat) จะอยู่ทางซ้ายของแผนภาพ ในขณะที่ส่วนของการประเมินผลลกระทบที่เกิดขึ้น (Consequence) ของการเกิดอันตรายจะถูกประเมินไว้ทางด้านขวาของแผนภาพ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยงภายในองค์กร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 ภาพแสดงความเชื่อมโยงระหว่างแผนภาพโบว์ไทและกระบวนการประเมินความเสี่ยง

ที่มา: Risktec Solutions Ltd. (2007)

Yaneira *et al.* (2014) ได้ศึกษาการนำแผนภาพโบว์ไทไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตปิโตรเลียม เพื่อนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพของการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการ และสามารถแสดงให้เห็นถึงข้อดีและประโยชน์สูงสุดจากการใช้แผนภาพโบว์ไทที่ทำให้ผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าใจได้ง่ายและนำผลลัพธ์ไปใช้ในการจัดการความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพบว่าการใช้แผนภาพโบว์ไทสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการป้องกัน (Safety Barrier) และยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้มาตรการเฉพาะ (Specific Barrier) ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติบกพร่อง เพื่อหาแนวทางควบคุมป้องกันที่เหมาะสมได้ นอกจากนั้น การประเมินความเสี่ยงเชิงกึ่งปริมาณ (Semi-quantitative Risk Assessment) เช่น การวิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis, LOPA) ก็สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพิ่มเติมได้เพื่อให้ทราบถึงระดับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

Silvianita *et al.* (2011) ได้รวบรวมข้อมูลจากผู้ที่เคยศึกษาการนำวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงสำหรับชี้บ่งอุบัติภัยร้ายแรงและมาตรการควบคุมป้องกัน ซึ่ง ในอดีต แผนภาพโบว์ไทมักถูกนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ แต่ปัจจุบันได้มีการนำการคำนวณหรือการประเมินความเสี่ยงเชิงกึ่งปริมาณ (Semi-quantitative Risk Assessment)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับแผนภาพโบว์ไท ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงระดับความเสี่ยงที่แท้จริงว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

Robin and William (2013) ได้ศึกษาถึงความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการป้องกันและลดผลกระทบ (Safety Barrier)ในอุตสาหกรรมการสำรวจและผลิตปิโตรเลียมกลางทะเล ซึ่งพบว่าการขาดการดูแลและควบคุมมาตรการจนเกิดความบกพร่องของมาตรการดังกล่าว เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง (Major Accident)ได้โดยเฉพาะการควบคุมมาตรการที่ดำเนินการโดยผู้ปฏิบัติงานนั้นสามารถเกิดความบกพร่องได้ง่าย หากไม่มีการให้ความรู้หรือทักษะในการปฏิบัติงานที่เพียงพอ สิ่งสำคัญในการป้องกันการเกิดอุบัติภัยร้ายแรงคือการประเมินสถานะและประสิทธิภาพของมาตรการอย่างสม่ำเสมอ และทำการสอบสวนหาสาเหตุที่ทำให้มาตรการเกิดความบกพร่องกรณีเกิดอุบัติการณ์ต่างๆ ขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นในส่วนของการชี้บ่งมาตรการที่มีอยู่และประเมินความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการ เพื่อศึกษาว่ามาตรการดังกล่าวนั้นสามารถป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงของการเกิดอันตรายให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ (ALARP Level) โดยทำการชี้บ่งมาตรการที่ดำเนินการโดยผู้ปฏิบัติงาน (Liveware Barrier)เพื่อนำมาพิจารณาในการประเมินระดับความเสี่ยงร่วมกับมาตรการชนิดอื่นๆ ด้วย

3. การวิเคราะห์ความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ (Hazards Barrier Analysis)ไม่มีการกำหนดที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับการพิจารณาตามความเหมาะสมของแต่ละองค์กร รวมทั้งขึ้นอยู่กับประสิทธิของระบบควบคุมนั้นๆ ว่าอยู่ในระดับใด

เกณฑ์ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบจะพิจารณาโดยอ้างอิงจากหลักเกณฑ์การวิเคราะห์ (Barrier Acceptance Criteria) ของบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ประยุกต์ตามแนวปฏิบัติเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสมาคมผู้ผลิตน้ำมันและก๊าซนานาชาติ (International Oil and Gas Producers Association หรือ OGP) โดยมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดจำนวนมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบเพื่อป้องกันและลดผลกระทบจากอันตรายตามระดับของความเสี่ยง (Risk Level) ที่ได้ประเมินไว้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทั้งนี้ ระบบควบคุมป้องกันและลดผลกระทบที่มีอยู่แต่ละระบบจะต้องเป็นอิสระต่อกัน โดยเมื่อระบบใดระบบหนึ่งล้มเหลว ระบบที่เหลือจะต้องยังคงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การจัดการความเสี่ยง

ในการจัดการความเสี่ยงเป็นการเลือกทางเลือกหนึ่งหรือมากกว่าเพื่อเปลี่ยนแปลงความเสี่ยงและการนำทางเลือกไปปฏิบัติ การจัดการความเสี่ยงทำให้เกิดหรือเปลี่ยนแปลงมาตรการควบคุมต่างๆโดยการจัดการความเสี่ยงเกี่ยวกับกระบวนการที่เป็นวงจรต่อไปนี้

1. การประเมินการจัดการความเสี่ยง
2. การตัดสินใจว่า จะยอมรับระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ได้หรือไม่
3. ถ้ายอมรับไม่ได้ ให้กำหนดการจัดการความเสี่ยงใหม่
4. การประเมินประสิทธิผลการจัดการความเสี่ยงนั้น

การพิจารณาเลือกใช้มาตรการควบคุมที่เหมาะสมในการจัดการความเสี่ยง (Deciding on Control Measures) หลังจากประเมินระดับความเสี่ยงของแต่ละชนิดอันตรายที่เกี่ยวข้องแล้ว สิ่งที่ต้องทำต่อไปก็คือ การจัดลำดับความสำคัญในการดำเนินการกับความเสี่ยงต่าง ๆจากนั้นก็พิจารณาเลือกใช้มาตรการควบคุมที่เหมาะสม อันตรายที่มีความเสี่ยงสูง ๆ ก็ต้องถูกขจัดออกไป หากไม่สามารถขจัดได้ ก็ต้องพยายามลดความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุด หรืออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย

โดยปกติ การเลือกมาตรการควบคุม ควรจะเลือกใช้วิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไล่ลงไปจนถึงน้อยที่สุด หรือที่เรียกว่า พิจารณาตามลำดับชั้นของมาตรการควบคุม (The Hierarchy of Control Measures) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว มี 2 วิธีหลัก ดังนี้

ก. ขจัดอันตรายหรือป้องกันความเสี่ยง (Eliminate the Hazard or Prevent the Risk) และหากไม่สามารถกระทำได้ ก็ต้องลดความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุดโดยใช้มาตรการควบคุม

ข. มาตรการควบคุม (Control Measures) ดังนี้ คือ

1) การแทนที่ด้วยอันตรายที่มีความเสี่ยงน้อยกว่า (Substitution)
2) แยกส่วนอันตรายให้ห่างจากผู้ใดก็ตามที่อาจเผชิญกับความเสี่ยงนั้น (Isolation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) ลดความเสี่ยงให้เหลือน้อยที่สุดโดยใช้วิธีการทางวิศวกรรม (Engineering Means)
4) ประยุกต์ใช้มาตรการทางการบริหารจัดการ (Administrative Measures) และ
5) ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Measures)

Health and Safety Executive (n.d.) ได้กล่าวถึงลำดับชั้นของมาตรการควบคุมอันตราย (The Hierarchy of Control Measures) มีรายละเอียด ดังนี้ คือ

การขจัด (Elimination) เป็นวิธีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และควรใช้เป็นลำดับแรกเสมอ เช่น การยกเลิกวิธีการทำงานที่อันตราย เคลื่อนย้ายหรือกำจัดอุปกรณ์ที่อันตราย เป็นต้น

การแทนที่ (Substitution) เป็นการปรับเปลี่ยนวัสดุหรือกระบวนการที่เชื่อมโยงกับเครื่องจักรด้วยสิ่งที่มีอันตรายน้อยกว่า เช่น เปลี่ยนพัดลมจากแบบตั้งพื้นที่ไม่มั่นคง ไปใช้พัดลมแบบติดผนังหรือเพดาน หรือใช้กระบวนการที่มีอันตรายน้อยกว่า เช่น ใช้กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแทนการปั๊มชิ้นส่วนจากแม่พิมพ์โลหะ เป็นต้น

การแยกส่วน (Isolation) เป็นการแยกกระบวนการหรือเครื่องจักรออกจากผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งสามารถทำได้ทั้งการติดตั้งเครื่องจักรให้อยู่ห่างจากบริเวณส่วนที่เหลือของสถานที่ปฏิบัติงาน หรือใช้เครื่องกั้นทางกายภาพระหว่างกระบวนการหรือเครื่องจักรกับผู้ปฏิบัติงาน เช่น ติดตั้งฉากกั้นที่สามารถป้องกันเสียงสะท้อนรอบ ๆ อุปกรณ์ที่มีเสียงดัง หรือใช้อุปกรณ์ช่วยแบบมีระยะห่าง เช่น แท่งผลักวัตถุดิบหรือชิ้นงาน (Push–stick) เป็นต้น

วิธีทางวิศวกรรม (Engineering) โดยการออกแบบใหม่ หรือทบทวนแบบเดิม และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อลดอันตราย เช่น การติดตั้งระบบระบายอากาศ (Exhaust Ventilation System) เพื่อนำฝุ่นอันตรายออกไป หรือการออกแบบระบบไฟฟ้าใหม่ เพื่อติดตั้งปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Stop Buttons) ให้อยู่ในระยะที่ง่ายต่อการเข้าถึงของผู้ควบคุมเครื่องจักร เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตาม มาตรการควบคุมทั้งหมดที่กล่าวมา อาจจะไม่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงในบางสถานการณ์ และแม้แต่ในที่ที่ใช้มากกว่าหนึ่งมาตรการควบคุม ก็อาจจะไม่สามารถลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุได้ตามที่ตั้งใจไว้ ฉะนั้นจึงควรพิจารณามาตรการควบคุมอื่น ๆ เสริมด้วย ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

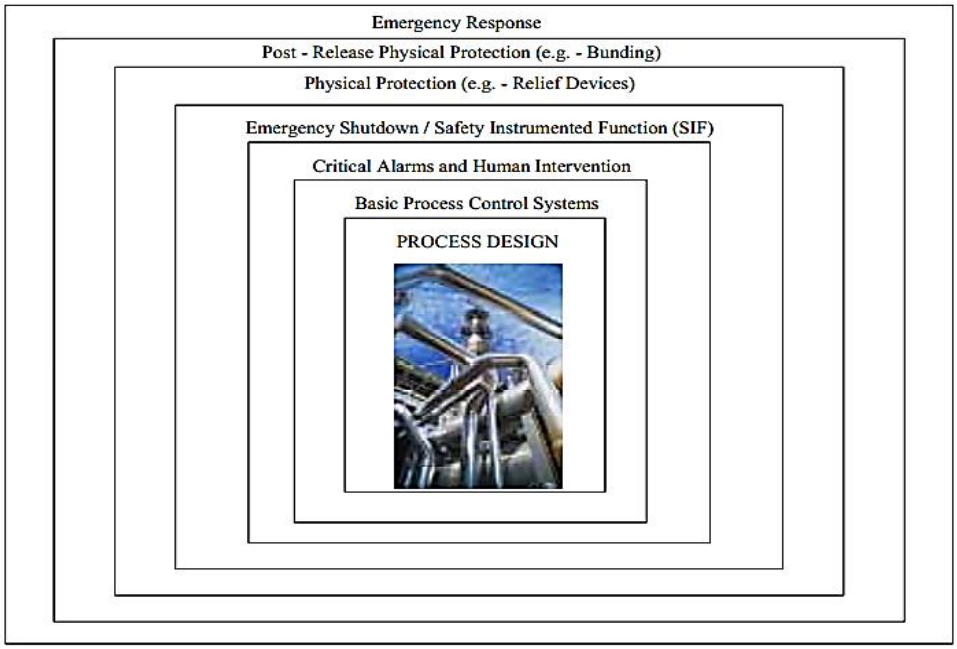
การบริหารจัดการ (Administration) มักใช้เสริมกับมาตรการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อช่วยลดการสัมผัสกับความเสี่ยง ซึ่งการควบคุมด้านบริหารจัดการ สามารถทำได้โดยการกำหนดช่วงเวลา หรือจำนวนชั่วโมงในการทำงานที่มีความเสี่ยง ระบุคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่สามารถเข้าถึงพื้นที่งานหรือเครื่องจักรนั้น ๆ รวมถึง การฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานให้ทราบถึงอันตราย ความเสี่ยงของงาน ตลอดจนขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและปลอดภัย เป็นต้น

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment) หมายความถึงเครื่องแต่งกาย อุปกรณ์ หรือวัตถุใด ๆ ที่เมื่อสวมใส่อย่างถูกต้องแล้ว จะสามารถปกป้องส่วนหนึ่งส่วนใดหรือทั้งหมดของร่างกาย จากความเสี่ยงที่จะได้รับบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยจากงานที่ทำหรือสภาพแวดล้อมในการทำงาน ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ป้องกันดวงตา อุปกรณ์ป้องกันเสียง ถุงมือที่แข็งแรงทนทาน หรือถุงมือตาข่ายเหล็กเพื่อป้องกันของแหลมคมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายฯ ถือว่าเป็นมาตรการควบคุมที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด ซึ่งโดยปกติแล้วจะนำมาใช้เสริมกับมาตรการควบคุมอื่น ๆ มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร แต่ อย่างไรก็ตาม แม้ว่ายุทธศาสตร์ในการควบคุมระยะยาวจะเป็นการใช้มาตรการอื่น ๆ แต่ในระยะสั้นอาจจะจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายฯ เข้ามาช่วยเพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการลดความเสี่ยง เช่น เราอาจตัดสินใจที่จะเปลี่ยนเครื่องจักรที่มีเสียงดัง ด้วยเครื่องจักรตัวใหม่ที่มีเสียงเบากว่า แต่ในช่วงระยะเวลาที่รอคอยเครื่องจักรใหม่ ก็อาจให้ผู้ปฏิบัติงานใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียงเป็นการชั่วคราวไปก่อน เป็นต้น

5. วิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis, LOPA)

นัสรุณ (2550) ได้กล่าวถึงวิเคราะห์ชั้นการป้องกันอันตรายไว้ว่า ในอุตสาหกรรมระบวนการผลิตที่อันตรายและมีผลกระทบที่รุนแรงจะใช้หลักการป้องกันหลายชั้น การวิเคราะห์ชั้นการป้องกันอันตรายนั้นเป็นการประเมินความเสี่ยงอันตรายของกระบวนการผลิตเพื่อหาทางป้องกันให้ความเสี่ยงลดลงโดยเพิ่มระดับชั้นการป้องกัน ซึ่งการแบ่งระดับชั้นการป้องกันอันตราย (Layer of Protection) ดังแสดงในภาพที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 ภาพแสดงระดับชั้นการป้องกันอันตราย

ที่มา: Health and Safety Executive (n.d.)

1. การป้องกันโดยการออกแบบกระบวนการผลิต (Process Design) ให้มีความปลอดภัยที่ฝังอยู่ในตัวของมันเอง (Inherently Safer) โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น ออกแบบให้ถังทนความดันได้สูงกว่าความดันของกระบวนการ

2. การป้องกันโดยระบบควบคุมพื้นฐาน (Basic Process Control System, BPCS) เป็นการควบคุมกระบวนการผลิตให้ดำเนินไปอย่างราบรื่นโดยมีการวัดและควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น การไหล (Flow), ระดับของเหลว (level), ความดัน (Pressure), อุณหภูมิ (Temperature)

3. การป้องกันโดยระบบแจ้งเตือน (Critical Alarm) และให้ทรัพยากรบุคคลเข้าไปจัดการ (HumanIntervention) กับกระบวนการผลิตที่ระบบควบคุมพื้นฐานไม่สามารถควบคุมตัวแปรได้ตามวัตถุประสงค์

4. การป้องกันโดยใช้ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented Functions, SIF) ของระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System, SIS) ซึ่งระบบนี้จะทำงานแยกอิสระจากระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ควบคุมพื้นฐาน (BPCS) ความน่าเชื่อถือของระบบวัดคุมนิรภัยจะหาได้โดยอยู่ในรูปของค่าความผิดพลาดอันตราย (Probability of failure on demand, PFD) และ ค่าระดับความปลอดภัย (SafetyIntegrity Level, SIL)

5. การป้องกันทางกายภาพ (Physical Protection) ได้แก่ การติดตั้งวาล์วนิรภัยทางกล (Safety Relief Valve) และอุปกรณ์ปล่อยความดันฉุกเฉิน (Rupture disc) เป็นต้น

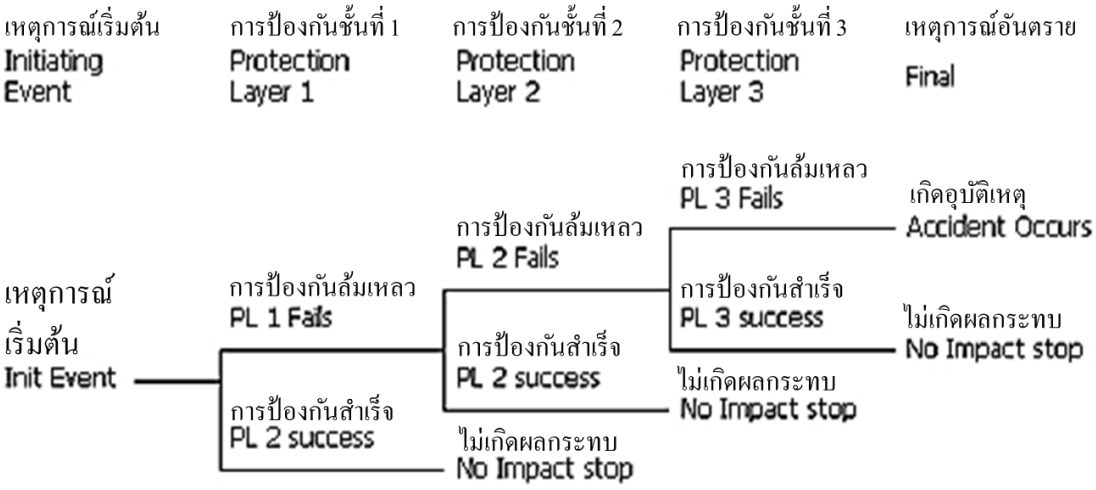
6. การป้องกันทางกายภาพ หลังจากสารหรือพลังงานถูกปล่อยออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว (Post-release Physical Protection) ได้แก่ การสร้างกำแพงกั้นและผนังทนระเบิด เป็นต้น

7. การป้องกันโดยกำหนดภาวะฉุกเฉิน (Emergency Response) ซึ่งต้องครอบคลุมทั้งการเกิดภาวะฉุกเฉินภายในสถานประกอบการและชุมชนที่อาจได้รับผลกระทบ

กาญจนากร (2548) ได้กล่าวถึงกระบวนการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกันไว้ว่า Layer of Protection Analysis หรือ LOPA เป็นการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงกึ่งปริมาณซึ่งรวบรวมกระบวนการอย่างง่ายที่ทำการระบุและประมาณค่าความรุนแรงและความถี่ในการเกิดอุบัติเหตุของเหตุการณ์อันตราย เพื่อใช้ในการพิจารณาลดความเสี่ยงให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ LOPA ยังช่วยในการพิจารณาตัดสินใจว่าระบบการควบคุมป้องกันที่มีอยู่ในกระบวนการนั้น ๆ มีเพียงพอหรือไม่ ซึ่งในแต่ละสถานการณ์หรือกระบวนการอาจต้องการ Layer of Protection เพียงแค่หนึ่งชั้นหรือมากกว่า ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและความเป็นอันตรายหรือความรุนแรงที่เป็นไปได้ของกระบวนการนั้น

ทวิช (2554) กล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน หรือ LOPA (Layer of Protection Analysis) ไว้ว่าวิธีการวิเคราะห์ควบเสี่ยงด้วย LOPA เป็นการแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยการแสดงต้นเหตุของเหตุการณ์อันตราย จากนั้น แสดงระบบการป้องกันในแต่ละชั้น และแสดงผลกระทบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อระบบการป้องกันมีความผิดพลาดในการทำงาน สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4

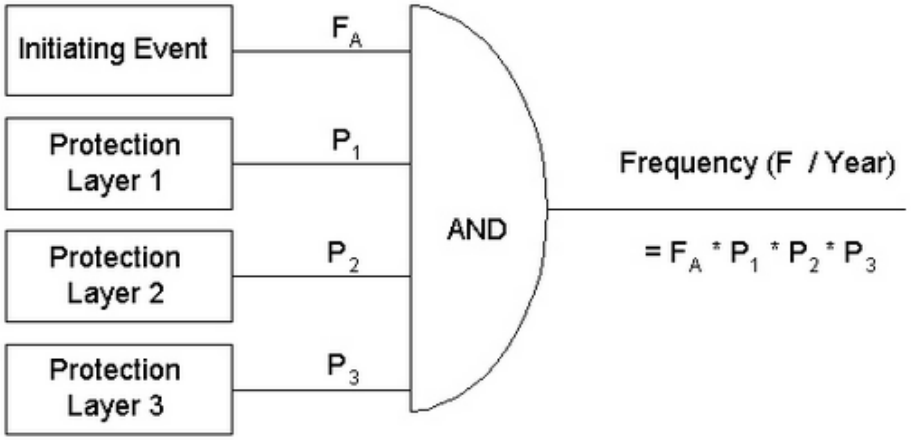
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ภาพแสดงแผนผังระดับชั้นการป้องกัน

ที่มา: ทวิช (2554)

ในการหาค่าความเป็นไปได้ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายจะสามารถหาได้โดยการใช้ไดอะแกรมของการเกิดเหตุการณ์อันตรายดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพแสดงไดอะแกรมของการเกิดเหตุการณ์อันตราย

ที่มา: ทวิช (2554)

จากภาพที่ 5 จะได้สมการค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายได้เป็นดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$F = F_A \times P_1 \times P_2 \times P_3 \quad (1)$$

เมื่อ

F = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน

F_A = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีก่อนการป้องกัน

P_1 = ความผิดพลาดในการทำงานของการป้องกันชั้นที่ 1

P_2 = ความผิดพลาดในการทำงานของการป้องกันชั้นที่ 2

P_3 = ความผิดพลาดในการทำงานของการป้องกันชั้นที่ 3

หลังจากได้ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันจากสมการที่ 1 แล้ว จะทำการเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คำนวณได้กับค่าความถี่ของเหตุการณ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งได้ทำการกำหนดอัตราความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการที่สามารถยอมรับได้อยู่บนพื้นฐานผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความถี่ของเหตุการณ์ที่ยอมรับได้

ระดับความรุนแรง	ผลกระทบที่เกิดขึ้น			TMEL
	ความปลอดภัย	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	
ไม่มีนัยสำคัญ	ปฐมพยาบาล	-	USD <10k	1.0E-01
ต่ำ	บาดเจ็บเล็กน้อย	1 barrel	USD 10k – 100k	1.0E-02
ปานกลาง	บาดเจ็บรุนแรง	10 barrels	USD 100k – 1M	1.0E-03
มาก	เสียชีวิต 1 คน	100 barrels	USD 1M-20M	1.0E-04
วิกฤติ	เสียชีวิตหลายคน	1000 barrels	> USD 20M	1.0E-05

ที่มา: Lloyd's Register (2011)

หากผลการหาค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ได้จากสมการน้อยกว่าค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ยอมรับได้ (Target Mitigated Event Likelihood, TMEL) จะถือว่าระดับชั้นการป้องกันที่มีอยู่นั้นเพียงพอและไม่ต้องพิจารณาติดตั้งการป้องกันเพิ่มเติม แต่ถ้าผลการหาค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ได้มีค่ามากกว่าค่า TMEL ที่กำหนด มาตรการควบคุมป้องกันเพิ่มเติมจะต้องถูกนำมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิจารณา ดังนั้นจึงต้องการจัดเตรียมระบบอุปกรณ์นิรภัย (Safety Instrumented Systems, SIS) เพื่อใช้สำหรับในการทำให้ความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายมีค่าลดลง โดยค่าความปลอดภัยของอุปกรณ์นิรภัยที่ต้องการติดตั้งเพิ่มเติมจะสามารถหาได้จากค่า Risk Reduction Factor (RRF) ที่ได้จากการทำ LOPA นั่นเอง

Lloyd's Register (2011) ได้กล่าวถึงการหาค่า Risk Reduction Factor (RRF) โดยสามารถหาได้จากการคำนวณค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์นิรภัยที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการพิจารณาค่าระดับความปลอดภัยของอุปกรณ์นิรภัยที่จะใช้สำหรับลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่กำหนดซึ่งค่า RRF สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$PFD = TMEL/F \quad (2)$$

$$RRF = 1/PFD \quad (3)$$

เมื่อ

F = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน

PFD = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์นิรภัย

RRF = ค่าปัจจัยที่ใช้ในการลดความเสี่ยง

จากระดับชั้นการป้องกันอันตราย (Protection Layer) ข้างต้นเป็นการแสดงให้เห็นว่ามีการป้องกันกระบวนการผลิตเป็นระดับชั้นซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละกระบวนการผลิตว่ามีความเสี่ยงเท่าใดและจะต้องมีระดับชั้นการป้องกันอยู่ในระดับใด โดยตัวแปรที่นำมากำหนดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าระดับความปลอดภัย หรือค่า SIL (Safety Integrity Level) ซึ่งจะใช้แสดงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันนิรภัย หรือค่า PFD_{avg} (Average Probability of Failure on Demand) หรืออีกในความหมายหนึ่งจะเป็นค่าความเป็นไปได้เพียงใดที่ฟังก์ชันนิรภัยไม่สามารถทำงานได้ในเวลาที่ต้องการ

สุนทร (2552) ได้กล่าวไว้ว่าระบบวัดคุมนิรภัยจะถูกใช้งานในการทำหน้าที่ป้องกันหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายของกระบวนการอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการ ความผิดพลาดที่เกิดจากฟังก์ชันการควบคุมหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบนิรภัยเอง ดังนั้นมาตรฐาน IEC61508 และ IEC61511(International Electrotechnical Commission) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการรับรองจากนานาประเทศและมีผู้ใช้อย่างแพร่หลายจนกลายเป็นมาตรสากล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของระบบวัดคุมนิรภัย สำหรับ “ฟังก์ชันนิรภัย” ของอุปกรณ์ไฟฟ้า/อิเล็คทรอนิคส์/โปรแกรมอิเล็คทรอนิคส์ได้มีการแนะนำค่าระดับความปลอดภัยเป็น 4 ระดับ (SIL Level 1-4) โดย ค่าระดับความปลอดภัย 4 จะมีผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายต่ำที่สุดและค่าระดับความปลอดภัย 1 จะมีผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสูงที่สุด โดยค่าระดับความปลอดภัยได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับตามมาตรฐาน IEC 61508 ดังแสดงได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level, SIL)

Safety Integrity Level (SIL)	Probability of Failure on Demand (PFD)	Risk Reduction Factor (RRF)
4	10^{-4} to 10^{-5}	10,000 to 100,000
3	10^{-3} to 10^{-4}	1,000 to 10,000
2	10^{-2} to 10^{-3}	100 to 1,000
1	10^{-1} to 10^{-2}	10 to 100

ที่มา: IEC 61508 (2010)

จะเห็นว่าค่าระดับความปลอดภัยระดับ 4 จะมีผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายต่ำที่สุดและค่าระดับความปลอดภัยที่ระดับ 1 จะมีผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสูงที่สุด สำหรับฟังก์ชันควบคุมจะมีผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสูงกว่าค่าระดับความปลอดภัย 1 หรืออาจเรียกว่า SIL 0 โดยสามารถจัดเตรียมฟังก์ชันเหล่านี้ได้ในระบบควบคุมพื้นฐาน (Basic Plant Control System, BPCS) ทั่วไป ซึ่งในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตทั่วไปจะทำงานในโหมดนี้ ดังนั้น เมื่อค่าระดับความปลอดภัยได้ถูกกำหนดให้กับฟังก์ชันนิรภัย โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามมาตรฐานแล้วการออกแบบหรือการเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในฟังก์ชันนิรภัยจะต้องมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายอยู่ในขอบเขตของแต่ละค่าระดับความปลอดภัยที่กำหนด

6. การวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR)

หลังทำการวิเคราะห์ความเสี่ยง และความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบแล้ว หากพบว่ามีสาเหตุของอันตรายหรือผลกระทบใดๆ ที่มีระบบหรือมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ (Barrier) ไม่ผ่านตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดและผลการหาค่าความถี่ของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ได้มีค่ามากกว่าค่า TMEL ที่กำหนด ซึ่งต้องทำการพิจารณาเลือกใช้มาตรการควบคุมที่เหมาะสมเพิ่มเติมในการจัดการความเสี่ยงนั้นๆ โดยในการพิจารณาเลือกใช้ระบบมาตรการควบคุมเพิ่มเติม หรือดำเนินโครงการใดๆในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ย่อมต้องมีค่าใช้จ่ายเป็นต้นทุนในการจัดการความเสี่ยงเพื่อให้เกิดความปลอดภัย

ทั้งนี้ การที่โครงการหนึ่งเป็นที่ยอมรับว่าเหมาะสมและคุ้มค่าแก่การลงทุนในด้านความปลอดภัยนั้น มูลค่าของผลประโยชน์ที่ได้ควรจะมากกว่ามูลค่าของค่าใช้จ่าย โดยพิจารณาจากสูตรในการวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR) ดังสมการต่อไปนี้

$$BCR = \frac{\text{ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการจัดการความเสี่ยง } (R_B)}{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}} \quad (4)$$

R_B หาได้จาก

$$R_B = \sum(R_{iBefore}) - \sum(R_{iAfter}) \quad (5)$$

โดย

$$R_i = \text{ความถี่การเกิดอันตราย} \times \text{มูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น} \quad (6)$$

เมื่อ

BCR = อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

R_B = ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการจัดการความเสี่ยง (บาทต่อปี)

$R_{iBefore}$ = ผลประโยชน์ที่ได้รับก่อนการดำเนินโครงการ (บาทต่อปี)

R_{iAfter} = ผลประโยชน์ที่ได้รับหลังการดำเนินโครงการ (บาทต่อปี)

สำหรับหลักการในการตัดสินใจเพื่อลงทุนทางด้านความปลอดภัยโดยใช้การวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR) คือ

ถ้า BCR > 1 : ยอมรับข้อเสนอโครงการ

BCR < 1 : ปฏิเสธข้อเสนอโครงการ

BCR = 1 : จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ไม่ว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธข้อเสนอโครงการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ค่าความเป็นไปได้ของความผิดพลาดของอุปกรณ์ (Probability of Failure on Demand, PFD)

ขั้นตอนหนึ่งของการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันในการวิเคราะห์ค่ารับดับชั้นการป้องกัน (LOPA) ต้องมีการกำหนดค่าความเป็นไปได้ของความผิดพลาดของอุปกรณ์ (Probability of Failure on Demand หรือ ค่า PFD) ของแต่ละระดับชั้นการป้องกันที่ทำการออกแบบ เพื่อใช้ในการคำนวณว่าค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันมีค่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้หรือไม่

ดังนั้น เมื่อเลือกใช้มาตรการป้องกันหรืออุปกรณ์ป้องกันประเภทใดในการคำนวณค่าความเป็นไปได้ของความผิดพลาดของอุปกรณ์ จึงต้องถูกจัดเตรียมให้มีความเหมาะสมตามประเภทของมาตรการและอุปกรณ์ที่นำไปใช้งาน ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยอ้างอิงค่าความเป็นไปได้ของความผิดพลาดของอุปกรณ์ รวมทั้งอัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่างๆ (Failure Rate) จากคู่มือต่างๆ เช่น The Layer of Protection Analysis (LOPA) method เขียนโดย Anton A. Frederickson และLoss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control เขียนโดย Frank P. Lee ซึ่งผู้เขียนได้มีการรวบรวมค่าความเป็นไปได้ของความผิดพลาดของอุปกรณ์และอัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์จากหลายแหล่งที่มีการศึกษาไว้และเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ เช่น

- OREDA (Offshore Reliability Data)
- Exida database for instruments
- CCPS Process Equipment Reliability
- Loss Prevention in the Process
- E&P Forum
- UK Health and Safety Executive

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. เครื่องพิมพ์เอกสาร
3. เครื่องถ่ายเอกสาร
4. ตารางจัดลำดับความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)

วิธีการ

1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิต มาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ และระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ (Arthit Processing Platform) โครงการอาทิตย์และประสานขอความร่วมมือเพื่อขอตัวแทนผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบด้วย ตัวแทนจากฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง และฝ่ายความปลอดภัย ความมั่นคง อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม ของโครงการอาทิตย์ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ในกระบวนการผลิต และระบบควบคุมป้องกันและลดผลกระทบด้านความปลอดภัยและมีประสบการณ์ในการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis) เพื่อร่วมเป็นคณะกรรมการในการทบทวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง รวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยขอบเขตของการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของอันตรายจากกรณีก๊าซธรรมชาติรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติกลางทะเล ของโครงการอาทิตย์ ซึ่งดำเนินโครงการโดย บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 6 ภาพแสดงแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ โครงการอาทิตย์ (Arthit Processing Platform, APP)

ที่มา: บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2554)

2. ประเมินระดับความเสี่ยง

ทำการประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันกรณีรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติโดยใช้เกณฑ์ในการประเมินตามหลักเกณฑ์ของบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อนำผลการประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการควบคุม ป้องกัน และลดผลกระทบ (Barriers Adequacy Analysis)

3. การวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis)

3.1 ชี้บ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threats) จากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ โดยพิจารณาสาเหตุหลักที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดอันตราย ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ส่วน ได้แก่

ก. สาเหตุที่เกิดจากคนหรือผู้ปฏิบัติงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข. สาเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์

ค. สาเหตุที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ง. สาเหตุที่เกิดจากการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยไม่มีเพียงพอ

3.2 พิจารณาอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น (Consequences) เมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน โดยพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น 4 ด้าน ได้แก่

ก. ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน (People)

ข. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment)

ค. ผลกระทบต่อการผลิตและทรัพย์สิน (Asset)

ง. ผลกระทบต่อชื่อเสียงขององค์กร (Reputation)

3.3 ระบุมาตรการควบคุม และระบบป้องกันที่มีอยู่ (Preventive Barriers) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Top Event) รวมทั้งระบุมาตรการควบคุมและลดผลกระทบที่มีอยู่ (Mitigating Barriers) เพื่อยับยั้งหรือบรรเทาความรุนแรงของอุบัติภัยที่เกิดขึ้นต่อผู้ปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อม ทรัพย์สิน และชื่อเสียงขององค์กร

3.4 ชี้บ่งปัจจัย (Escalation Factor) ที่ทำให้มาตรการควบคุม ระบบป้องกัน และมาตรการลดผลกระทบทางด้านความปลอดภัยเกิดความบกพร่องจนเป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนรวมทั้งระบบควบคุมที่ป้องกันปัจจัยดังกล่าว

3.5 จัดทำแผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram) เพื่อแสดงภาพความสัมพันธ์ของสิ่งที่ชี้บ่งไว้ในข้อ 3.1-3.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. วิเคราะห์ความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ (Barriers Adequacy Analysis)

นำผลการชี้บ่งมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ รวมทั้งระบบควบคุมปัจจัยที่ทำให้มาตรการดังกล่าวบกพร่อง ของแต่ละสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threats) และอุบัติภัยที่เกิดขึ้น (Consequences) มาวิเคราะห์ว่ามีเพียงพอและเหมาะสมหรือไม่ด้วยหลักเกณฑ์ (Barrier Acceptance Criteria) ของ บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ประยุกต์ตามแนวปฏิบัติเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสมาคมผู้ผลิตน้ำมันและก๊าซนานาชาติ (OGP) และสรุปผลการวิเคราะห์

5. วิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis, LOPA)

ทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน (F) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ยอมรับได้ (Target Mitigated Event Likelihood, TMEL) หากค่า F ที่ได้น้อยกว่า TMEL จะถือว่าระดับชั้นการป้องกันที่มีอยู่นั้นเพียงพอและไม่ต้องพิจารณาติดตั้งการป้องกันเพิ่มเติม แต่ถ้าค่า F ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า TMEL ที่กำหนด มาตรการควบคุมป้องกันเพิ่มเติมจะต้องถูกนำมาพิจารณา

6. ประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

6.1 ให้ข้อเสนอแนะ กรณีพบว่าผลการประเมินความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบไม่เพียงพอต่อการป้องกันและลดความเสี่ยงจากสาเหตุของอันตรายหรืออุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น โดยพิจารณามาตรการควบคุมป้องกันที่เหมาะสมเพิ่มเติม

6.2 กรณีที่ต้องพิจารณาติดตั้งระบบควบคุมป้องกันและลดผลกระทบเพิ่มเติมสำหรับ Threat หรือ Consequence ที่มีมาตรการไม่เพียงพอตามเกณฑ์ที่กำหนด เช่น การเพิ่มทรัพยากรบุคคล หรือติดตั้งระบบนิรภัย (Safety Instrumented System, SIS) จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนในการลดความเสี่ยง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดัน ที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของไฮโดรคาร์บอนก๊าซและระดับความรุนแรงของการเกิดอุบัติภัยบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ

ความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันกรณีรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติถือเป็นอันตรายหลัก (Major Hazard) ที่สามารถก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง (Major Accident) ต่อคน สิ่งแวดล้อม ทรัพย์สิน และชื่อเสียงของบริษัท ซึ่งการประเมินระดับความเสี่ยงได้ทำการประเมินโดยใช้ Risk Assessment Matrix ตามหลักเกณฑ์ ของ บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยเป็นหลักเกณฑ์ที่ประยุกต์ตามแนวปฏิบัติเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสมาคมผู้ผลิตน้ำมันและก๊าซนานาชาติ (OGP) ซึ่งเป็นการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ

ระดับของความเสี่ยง ได้จากการพิจารณาความรุนแรงของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น (Severity) กับโอกาสหรือความถี่ที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้ (Frequency) ซึ่งระดับความรุนแรงของเหตุการณ์และโอกาสที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้กำหนดให้พิจารณาโดยปราศจากระบบควบคุมป้องกันและมาตรการลดผลกระทบต่างๆ เพื่อบ่งชี้ว่าอันตรายที่ทำการวิเคราะห์นั้น ที่ความรุนแรงและโอกาสเกิดสูงสุด จะมีความเสี่ยงอยู่ในระดับใด

ก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ บรรจุอยู่ในถัง Vessel และท่อต่างๆในกระบวนการผลิตที่ชั้นบนสุดของ Arthit Production Platform (APP)โดยความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายคือ เกิดขึ้นหลายครั้งในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (อุบัติการณ์ Release of Hydrocarbon ในปี 2012 เกิดขึ้น 132 ครั้ง) อ้างอิงจาก Health & Safety Executive (2014) โดยมีแหล่งกำเนิดอันตรายบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ ได้แก่

1) Production Separation (21 barg)
2) NGL Extraction System (93 barg)
3) Gas Mercury Removal System (31 barg)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) Export Gas Compression System (140 barg)

5) Feed Gas Compression System (70 barg)

6) Fuel Gas System (42 barg)

7) CO2 Removal Pre-Treatment and Membrane System (93.1 barg)

8) VRU Gas Compression System (22.7 barg)

ผลการประเมินความเสี่ยงกรณีเกิดอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติด้วย Risk Assessment Matrix โดยทำการประเมินโอกาสเกิดอันตรายหรือความถี่และความรุนแรงของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อม ทรัพย์สิน และชื่อเสียงขององค์กร บนพื้นฐานของการเกิดผลกระทบแบบร้ายแรงสุดหากไม่มีมาตรการป้องกันและลดกระทบ สรุปผลการประเมินได้ดังนี้

โอกาสเกิดอันตราย = C (เกิดขึ้นหลายครั้งในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม)

ความรุนแรงของผลกระทบแต่ละด้าน

ต่อผู้ปฏิบัติงาน = 5 (ผลกระทบรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตมากกว่า 1 คน)

ต่อสิ่งแวดล้อม = 1 (เกิดผลกระทบเล็กน้อย)

ต่อทรัพย์สิน = 5 (สูญเสียมากกว่า 150 ล้านบาท)

ต่อชื่อเสียง = 5 (ได้รับผลกระทบระดับนานาชาติ)

ความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน (P) ทรัพย์สิน (A) และชื่อเสียงขององค์กร (R) มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับรุนแรง (C5) ในขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (E) อยู่ในระดับปานกลาง (C1) ทั้งนี้ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่า อันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลนั้นมีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรงสูงสุดถึงระดับวินาศภัย (Catastrophic, ระดับ 5) ได้รายละเอียดการประเมินความเสี่ยงดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ผลการประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันกรณีรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ

อันตราย (Hazard)	เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ (Top Event)	F	ผลการประเมินระดับความเสี่ยง							
			P		A		E		R	
			S	FS	S	FS	S	FS	S	FS
ก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดัน	ก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลจากท่อหรืออุปกรณ์ต่างๆบนแท่นผลิต	C	5	C5 HR	5	C5 HR	1	C1 MR	5	C5 HR

หมายเหตุ F หมายถึง โอกาสหรือความถี่ของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น (Frequency)
P หมายถึง ระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่อคน (People)
E หมายถึง ระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่อสิ่งแวดล้อม (Environment)
A หมายถึง ระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่อทรัพย์สิน/โครงสร้าง (Asset)
R หมายถึง ระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่อชื่อเสียงขององค์กร (Reputation)
S หมายถึง ระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ (Severity)
FS หมายถึง ผลการประเมินระดับความเสี่ยง (Risk Ranking)
HR หมายถึง ระดับความเสี่ยงสูง (High Risk)
MR หมายถึง ระดับความเสี่ยงปานกลาง (Medium Risk)

2. การศึกษาและชี้บ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมทั้งชี้บ่งมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ ตลอดจนปัจจัยที่ทำให้มาตรการควบคุมดังกล่าวบกพร่อง ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis)

ทำการชี้บ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threat) จากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติโดยพิจารณาสาเหตุหลักที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดอันตราย ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ส่วน ได้แก่

1) สาเหตุที่เกิดจากคนหรือผู้ปฏิบัติงาน
2) สาเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์
3) สาเหตุที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) สาเหตุที่เกิดจากการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยไม่มีเพียงพอ

จากการหารือร่วมกับตัวแทนผู้ปฏิบัติงานซึ่งประกอบด้วย ตัวแทนจากฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง และฝ่ายความปลอดภัย ความมั่นคง อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม ของโครงการอาทิตย์ สรุปสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threats) จากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลได้จำนวน 11 รายการ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threats) จากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ

สาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threat)	ที่มาของสาเหตุ (Source of Threat)			
	ผู้ปฏิบัติงาน	เครื่องจักร/อุปกรณ์	สภาพแวดล้อม	การบริหารจัดการ
1. การสึกกร่อนภายในอุปกรณ์(Internal Corrosion)		✓		✓
2. การสึกกร่อนภายนอกอุปกรณ์ (External Corrosion)		✓	✓	✓
3. ความดันในระบบเกิน (Overpressure)	✓	✓		
4. ก๊าซรั่วไหลจากหน้าแปลน/วาล์ว (Leakage)		✓		✓
5. ความผิดพลาดของอุปกรณ์เชิงกล (Moving part-Mechanical Failure)		✓		✓
6. การกัดกร่อนภายใน (Internal Erosion)		✓		✓
7. ความผิดพลาดจากการผลิต/ซ่อมบำรุง/การก่อสร้าง (Operational/ Maintenance/ Construction Error)	✓			✓
8. การสั่นสะเทือน (Vibration)		✓		
9. ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress)	✓	✓		
10. เฮลิคอปเตอร์ชนแท่น (Helicopter Crash)	✓	✓		
11. เรือชนแท่น (Ship Collision)	✓	✓		

จากนั้น ทำการพิจารณาอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น (Consequences) เมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน โดยพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น 4 ด้าน ได้แก่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน (People)
2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment)
3. ผลกระทบต่อการผลิตและทรัพย์สิน (Asset)
4. ผลกระทบต่อชื่อเสียงขององค์กร (Reputation)

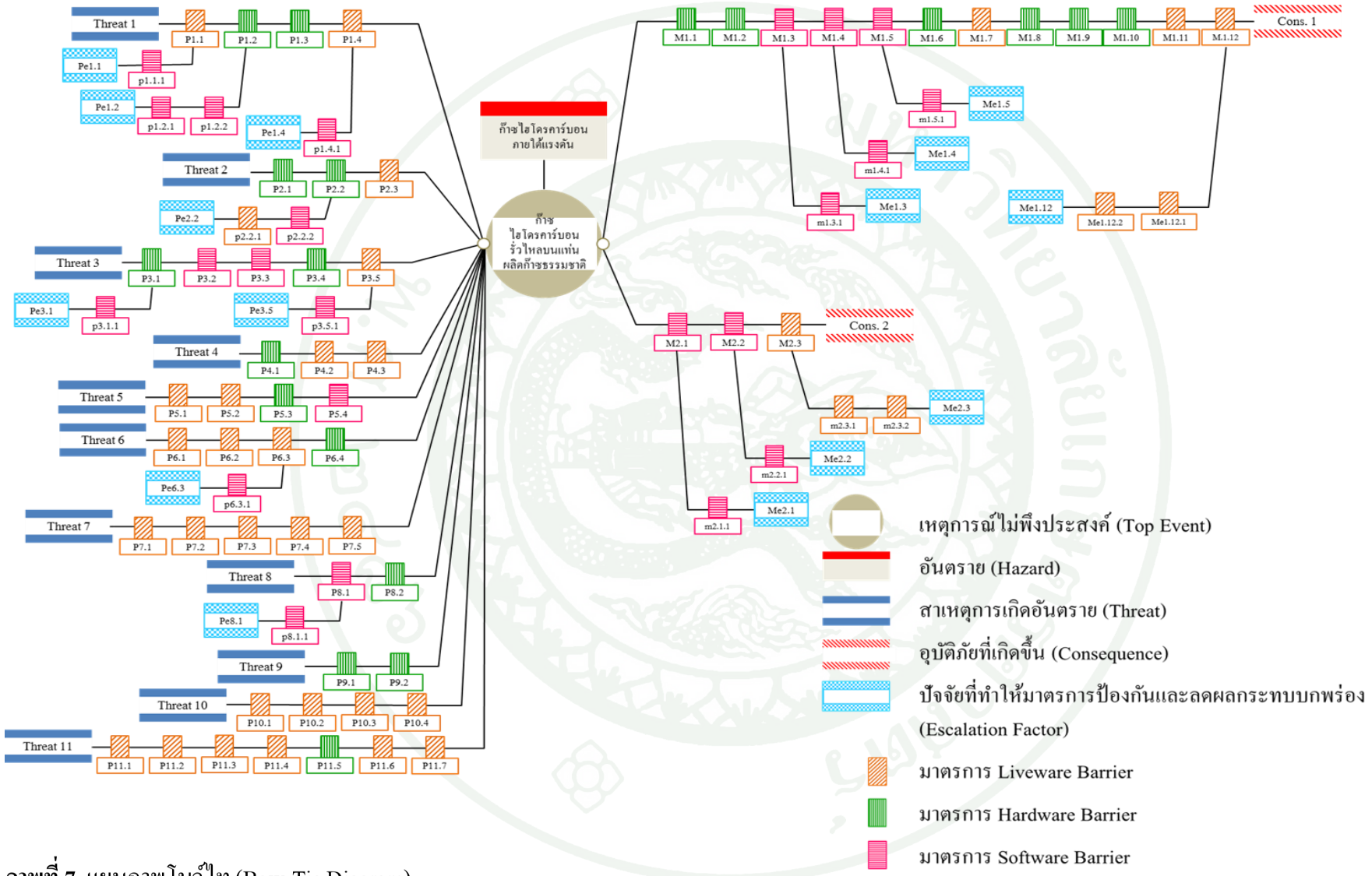
ได้ผลการวิเคราะห์เหตุการณ์อุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นหลักๆ จำนวน 2 รายการ ดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางแสดงผลของอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น (Consequences) เมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ

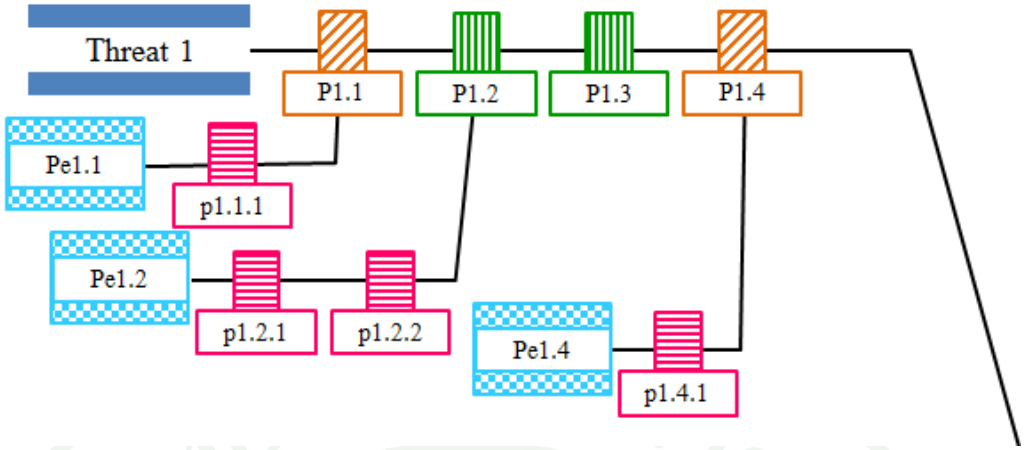
อุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น (Consequences)	ผลกระทบแต่ละด้าน			
	ผู้ปฏิบัติงาน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	ชื่อเสียง
1. เกิดไฟไหม้และการระเบิด กรณีมีการติดไฟ (Fire or Explosion if ignited)	เกิดการบาดเจ็บ หรือเสียชีวิต	มลพิษจากการเผาไหม้	การผลิตและโครงสร้างของแท่นผลิตเสียหาย	ชื่อเสียงได้รับผลกระทบในระดับนานาชาติ
2. ก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลกรณีไม่มีการติดไฟ (Unignited Hydrocarbon Gas Release)	ได้รับผลกระทบต่อสุขภาพ หรือเสียชีวิต	มลพิษทางอากาศจากก๊าซรั่วไหล	การผลิตหยุดชะงัก	เสียความน่าเชื่อถือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

เมื่อทำการชี้บ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย (Threats) และพิจารณาผลของอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น (Consequences) เมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนแล้ว จะทำการระบุมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบที่มีอยู่ (Existing Preventive & Mitigating Barriers) พร้อมทั้งชี้บ่งปัจจัย (Escalation Factor) ที่เพิ่มความเสี่ยงทำให้มาตรการควบคุม ระบบป้องกัน และมาตรการลดผลกระทบทางด้านความปลอดภัยเกิดความบกพร่องจนเป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Top Event) รวมถึงระบุระบบควบคุมที่ป้องกันปัจจัยดังกล่าวแล้วนำไปสรุปโดยการจัดทำเป็นแผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram) เพื่อแสดงภาพความสัมพันธ์ของสิ่งที่ชี้บ่งไว้ทั้งหมด ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 7 และแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์และรายละเอียดตามแผนภาพโบว์ไท แสดงไว้ดังตารางที่ 6 – 18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 แผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram)



ภาพที่ 8 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 1

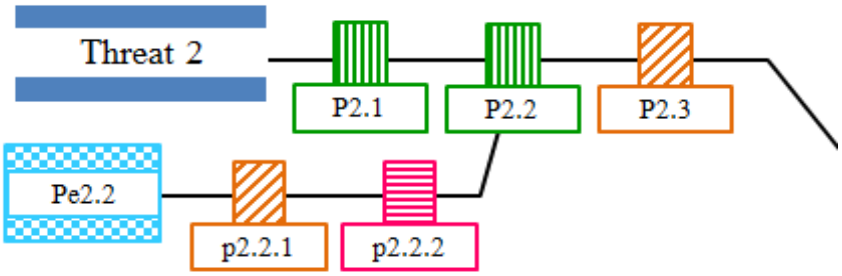
ตารางที่ 6 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 1

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 1	สาเหตุของอันตราย				การสึกกร่อนภายในอุปกรณ์ (Internal Corrosion)
P1.1	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			การตรวจสอบแนวท่อและถังในกระบวนการผลิต
Pe1.1	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
p1.1.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
P1.2	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		เติมสารยับยั้งการกัดกร่อนในท่อส่งวัตถุดิบที่มาจากแท่นขุดเจาะ
Pe1.2	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบเติมสารทำงานผิดพลาดเนื่องจากสารยับยั้งที่มีไม่เพียงพอในการฉีดเข้าระบบ
p1.2.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง		HB		กำหนดระยะเวลาในการตรวจสอบและบำรุงรักษา Injection Pump ผ่านโปรแกรม Maximo
p1.2.2	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง		HB		ระบบควบคุมปริมาณสารเคมี (Chemical Inventory Control)
P1.3	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของท่อและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
P1.4	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			การตรวจสอบการสึกกร่อนและรอยฉีกขาดของพื้นผิวท่อและอุปกรณ์ต่างๆ
Pe1.4	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
P1.4.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo



ภาพที่ 9 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 2

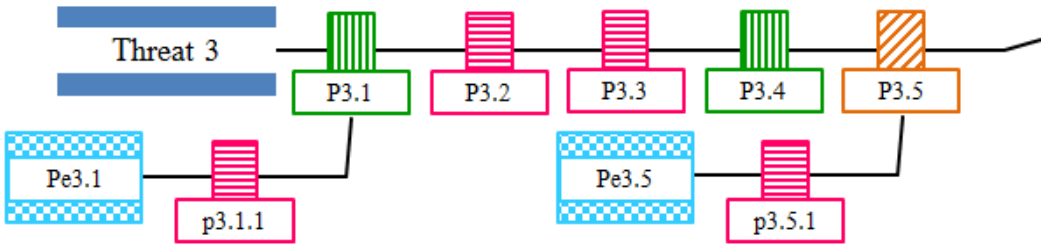
ตารางที่ 7 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 2

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 2	สาเหตุของอันตราย				การสึกกร่อนภายนอกอุปกรณ์ (External Corrosion)
P2.1	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของท่อและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน
P2.2	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		ทาสีเคลือบผนังท่อและอุปกรณ์ภายนอกเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Pe2.2	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การทาสีเคลือบวัสดุไม่สมบูรณ์
p2.2.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง	LB			ทำการตรวจสอบและบำรุงซ่อมแซมงานสีที่ไม่สมบูรณ์เป็นระยะ
p2.2.2	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	กำหนดระเบียบปฏิบัติและขั้นตอนในการทาสีเคลือบวัสดุของท่อและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต
P2.3	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			การตรวจสอบสภาพท่อและอุปกรณ์ด้วยตาจากด้านบนของแท่นเป็นเป็นประจำ (Visual Check)



ภาพที่ 10 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 3

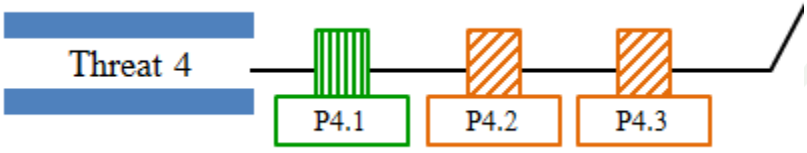
ตารางที่ 8 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 3

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 3	สาเหตุของอันตราย				ความดันในระบบเกิน (Overpressure)
P3.1	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		ติดตั้งระบบระบายแรงดัน ได้แก่ วาล์วนิรภัย อุปกรณ์ตรวจจับแรงดันและวาล์วควบคุมความดัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Pe3.1	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
p3.1.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
P3.2	มาตรการเชิงป้องกัน			SB	ระบบตรวจสอบความดัน
P3.3	มาตรการเชิงป้องกัน			SB	ระบบตรวจสอบความดันตกในระบบ
P3.4	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน
P3.5	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			สั่งการระบบระบายความดันด้วยผู้ปฏิบัติงาน
Pe3.5	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบระบายความดันทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
p3.5.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo



ภาพที่ 11 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 4

ตารางที่ 9 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 4

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 4	สาเหตุของอันตราย				ก๊าซรั่วไหลจากหน้าแปลน/วาล์ว (Leakage)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
P4.1	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน
P4.2	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตามข้อกำหนดอย่างถูกต้อง
P4.3	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทำการทดสอบความดัน (Pneumatic pressure) ทุกครั้งหลังถอดประกอบหน้าแปลน/วาล์ว

ภาพที่ 12 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 5

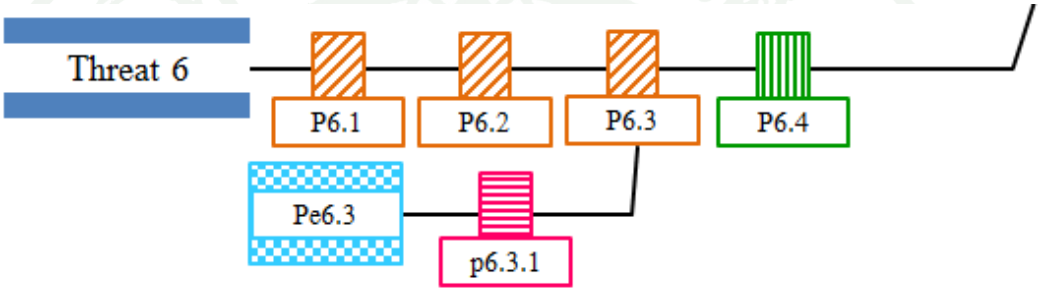
ตารางที่ 10 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 5

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 5	สาเหตุของอันตราย				ความผิดพลาดของอุปกรณ์เชิงกล (Moving part-Mechanical Failure)
P5.1	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ปฏิบัติตามระเบียบปฏิบัติในการผลิตและซ่อมบำรุงรวมทั้งบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามระยะเวลาที่กำหนด
P5.2	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นและความเสียหายที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนของอุปกรณ์เป็นระยะ
P5.3	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
P5.4	มาตรการเชิงป้องกัน			SB	ติดตั้งระบบตรวจสอบแนวกันรั่ว (Seal) ของอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ

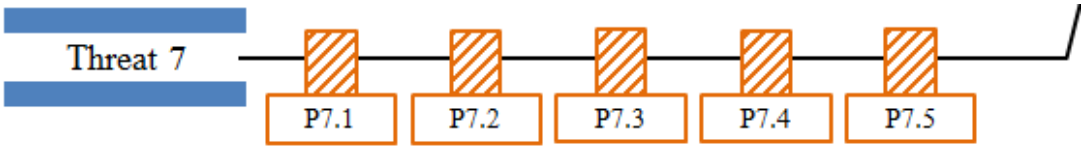


ภาพที่ 13 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 6

ตารางที่ 11 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 6

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 6	สาเหตุของอันตราย				การกัดกร่อนภายใน (Internal Erosion)
P6.1	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทำการตรวจสอบปริมาณทรายในระบบ
P6.2	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ควบคุมความเร็วของการไหลภายในระบบ
P6.3	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			การตรวจสอบแนวท่อและถังในกระบวนการผลิต
Pe6.3	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
p6.3.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
P6.4	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน

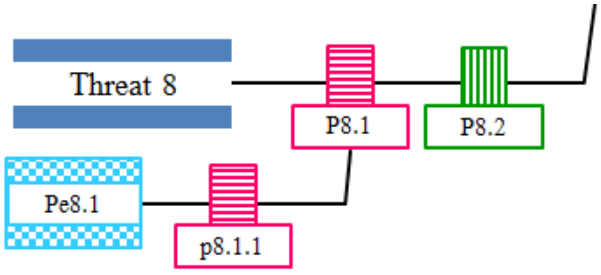
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 7

ตารางที่ 12 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 7

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 7	สาเหตุของอันตราย				ความผิดพลาดจากดำเนินการผลิต/ซ่อมบำรุง/การก่อสร้าง (Operational/ Maintenance/ Construction Error)
P7.1	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			คัดเลือกบุคลากรและบริษัทจ้างเหมาที่มีคุณภาพได้รับการรองและผ่านการตรวจประเมินคุณภาพ
P7.2	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทำการตรวจสอบขณะดำเนินการเป็นระยะ
P7.3	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทำการทดสอบด้วยแรงดันน้ำรวมทั้งตรวจสอบหารอยรั่วของอุปกรณ์ที่ปรับปรุง
P7.4	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ตรวจสอบด้านความปลอดภัยและปฏิบัติตามข้อกำหนดเรื่อง Management of Change
P7.5	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทดสอบระบบ (Commissioning) ก่อนเริ่มดำเนินการผลิตหลังทำการปรับปรุงระบบทุกครั้ง

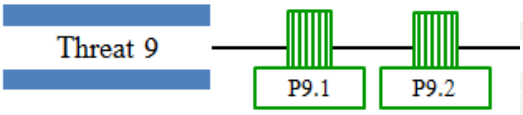


ภาพที่ 15 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 8

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 8	สาเหตุของอันตราย				การสั่นสะเทือน (Vibration)
P8.1	มาตรการเชิงป้องกัน			SB	ติดตั้ง Vibration Control เพื่อตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ
Pe8.1	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				อุปกรณ์ชำรุดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
p8.1.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
P8.2	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		ศึกษาค่าการสั่นสะเทือนและออกแบบเพื่อป้องกันผลกระทบตั้งแต่ช่วงการออกแบบกระบวนการ



ภาพที่ 16 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 9

ตารางที่ 14 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 9

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 9	สาเหตุของอันตราย				วัสดุอุปกรณ์เสียหายจากความเค้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระบบ (Thermal Stress)
P9.1	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน
P9.2	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		การออกแบบคุณลักษณะของกระบวนการผลิตตามมาตรฐานที่กำหนด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 17 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 10

ตารางที่ 15 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 10

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 10	สาเหตุของอันตราย				เฮลิคอปเตอร์ชนแท่น (Helicopter Crash) เนื่องจากความผิดพลาดของนักบิน/ผู้ควบคุมลานจอด/เจ้าหน้าที่สื่อสารขณะทำการจอด
P10.1	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ควบคุมระบบการสื่อสารระหว่างนักบินและเจ้าหน้าที่วิทยุการบิน
P10.2	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ตรวจสอบและบริหารจัดการการบินตามข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง
P10.3	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องต้องได้รับการฝึกอบรมให้ความรู้ตามที่กำหนด
P10.4	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			นักบินต้องได้รับใบอนุญาตและมีคุณสมบัติตามที่กำหนด

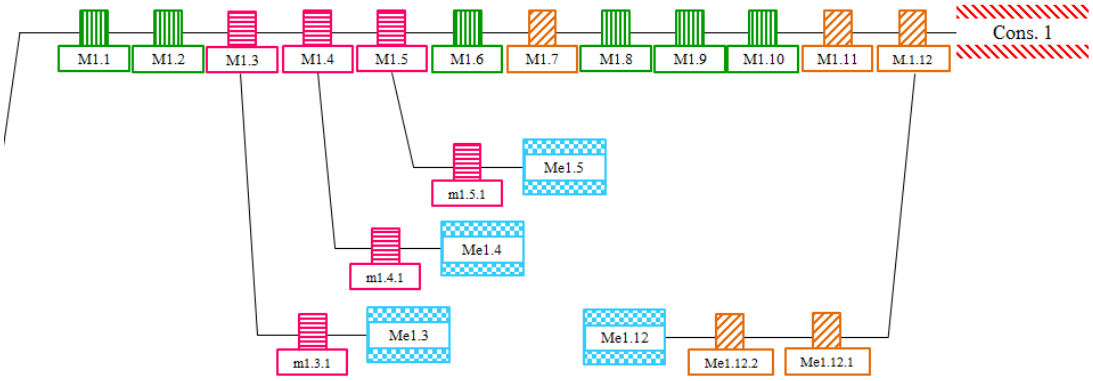
ภาพที่ 18 แผนภาพโบว์ไทสำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับสาเหตุของอันตรายที่ 11

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Threat 11	สาเหตุของอันตราย				เรือชนแท่น (Ship Collision)
P11.1	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			เรือทุกลำที่จะทำสัญญาเช่าต้องผ่านการตรวจสอบและได้รับการรับรอง รวมทั้งคัดเลือกลูกเรือที่มีทักษะความสามารถตามข้อกำหนด
P11.2	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ควบคุมระบบการสื่อสารระหว่างผู้บังคับเรือและเจ้าหน้าที่สื่อสาร
P11.3	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			เรือที่จะเข้ามาในบริเวณแท่นการผลิตเกินระยะปลอดภัยที่กำหนด (500 เมตร) จะต้องได้รับอนุญาตก่อนทุกครั้ง
P11.4	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			จัดทำระบบการตรวจสอบความปลอดภัยและสภาพของเรือ (checklist) ที่จะเข้ามาในบริเวณแท่นการผลิตเกินระยะปลอดภัยที่กำหนด
P11.5	มาตรการเชิงป้องกัน		HB		เรือที่ใช้งานในบริเวณแท่นการผลิตต้องเป็นเรือที่มี 2 ระบบขับเคลื่อนและใช้เครื่องผลักดันหัวเรือ (Bow Thruster) 1 ตัวเป็นอย่างน้อย
P11.6	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ตรวจสอบและบำรุงรักษาเรือที่ใช้งานในบริเวณแท่นการผลิตเป็นระยะ
P11.7	มาตรการเชิงป้องกัน	LB			ทำการตรวจประเมินระบบการจัดการทุกๆไตรมาส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 แผนภาพโบว์ไทสำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 1

ตารางที่ 17 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 1

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Cons. 1	อุบัติภัยที่เกิดขึ้น				เกิดไฟไหม้และการระเบิด กรณีมีการติดไฟ (Fire or Explosion if ignited)
M1.1	มาตรการลดผลกระทบ		HB		การออกแบบแท่นผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านผลิตภัณฑ์จากหลุมผลิตมายังแท่นและลดโอกาสเกิดความดันเกินในระบบ
M1.2	มาตรการลดผลกระทบ		HB		ติดตั้งระบบ HVAC System ปรับความดันอากาศในระบบให้เป็นบวกเพื่อป้องกันก๊าซและควันจากการเผาไหม้เข้าสู่ส่วนพื้นที่ด้านในอาคาร
M1.3	มาตรการลดผลกระทบ			SB	ติดตั้งระบบตรวจจับก๊าซและสัญญาณเตือนอัคคีภัยในพื้นที่
Me1.3	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
m1.3.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
M1.4	มาตรการลดผลกระทบ			SB	ติดตั้งระบบหยุดการทำงานฉุกเฉิน (Emergency Shutdown System)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

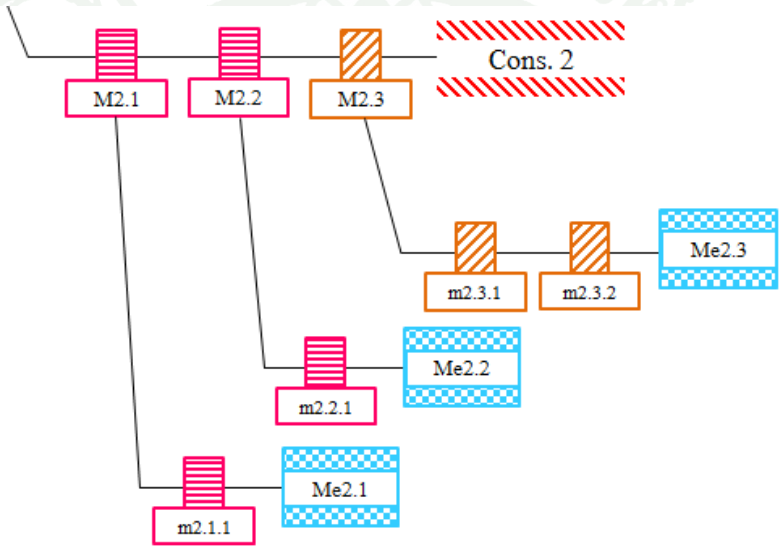
ตารางที่ 17 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Me1.4	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
m1.4.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
M1.5	มาตรการลดผลกระทบ			SB	ติดตั้งระบบ Emergency Blowdown System
Me1.5	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
m1.5.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
M1.6	มาตรการลดผลกระทบ		HB		ติดตั้งผนังกันไฟ (Fire/Blast rated wall)
M1.7	มาตรการลดผลกระทบ	LB			ตรวจสอบแหล่งกำเนิดประกายไฟ เช่น สายดินของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น
M1.8	มาตรการลดผลกระทบ		HB		ออกแบบแท่นผลิตและแท่นอยู่อาศัยเป็นแบบการป้องกันอัคคีภัยแบบเชิงรับ โดยใช้โครงสร้างเป็นวัสดุแบบทนไฟ
M1.9	มาตรการลดผลกระทบ		HB		ติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยในพื้นที่ตามข้อกำหนด
M1.10	มาตรการลดผลกระทบ		HB		ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยชีวิตและเรือช่วยชีวิต
M1.11	มาตรการลดผลกระทบ	LB			ทำการตรวจสอบการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนเป็นระยะ
M1.12	มาตรการลดผลกระทบ	LB			ปฏิบัติตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉิน
Me1.12	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การปฏิบัติตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉินไม่มีประสิทธิภาพ
m1.12.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง	LB			จัดการฝึกอบรมให้กับผู้เกี่ยวข้องตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
m1.12.2	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง	LB			จัดการฝึกซ้อมตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉินเป็นระยะ



ภาพที่ 20 แผนภาพโบว์ไทสำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 2

ตารางที่ 18 ตารางแสดงคำอธิบายรหัสสัญลักษณ์สำหรับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นลำดับที่ 2

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Cons. 2	อุบัติภัยที่เกิดขึ้น				ก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหล กรณีไม่มีการติดไฟ (Unignited Hydrocarbon Gas Release)
M2.1	มาตรการลดผลกระทบ			SB	ติดตั้งระบบหยุดการทำงานฉุกเฉิน (Emergency Shutdown System)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 (ต่อ)

รหัส	ประเภทสัญลักษณ์	ชนิดของมาตรการ			คำอธิบาย
		LB	HB	SB	
Me2.1	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
m2.1.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
M2.2	มาตรการลดผลกระทบ			SB	ติดตั้งระบบ Emergency Blowdown System
Me2.2	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				ระบบทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา
m2.2.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง			SB	ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรม Maximo
M2.3	มาตรการลดผลกระทบ	LB			ปฏิบัติตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉิน
Me2.3	ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง				การปฏิบัติตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉินไม่มีประสิทธิภาพ
m2.3.1	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง	LB			จัดการฝึกอบรมให้กับผู้เกี่ยวข้องตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉิน
m2.3.2	มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง	LB			จัดการฝึกซ้อมตามแผนระงับและตอบสนองเหตุฉุกเฉินเป็นระยะ

หมายเหตุ LB หมายถึง มาตรการที่ดำเนินการโดยผู้ปฏิบัติงาน (Liveware Barrier)
HB หมายถึง มาตรการที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร (Hardware Barrier)
SB หมายถึง มาตรการที่มีการติดตั้งโปรแกรม หรือระบบควบคุม (Software Barrier)

ผลการจัดทำโบว์ไทไดอะแกรมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุของอันตราย อุบัติภัย และมาตรการป้องกันและลดผลกระทบดังภาพที่ 7 สรุปจำนวนพารามิเตอร์ที่ชี้บ่งตามแผนภาพดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 สรุปจำนวนพารามิเตอร์ตามผลการจัดทำแผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie Diagram)

ลำดับที่	ชนิดของพารามิเตอร์	จำนวนมาตรการทั้งหมด	จำนวนมาตรการแต่ละประเภท		
			LB	HB	SB
1	Threat 1	4	2	2	0
2	Threat 2	3	1	2	0
3	Threat 3	5	1	2	2
4	Threat 4	3	2	1	0
5	Threat 5	4	2	1	1
6	Threat 6	4	3	1	0
7	Threat 7	5	5	0	0
8	Threat 8	2	0	1	1
9	Threat 9	2	0	2	0
10	Threat 10	4	4	0	0
11	Threat 11	7	6	1	0
12	Cons. 1	12	3	6	3
13	Cons. 2	3	1	0	2
14	Pe1.1	1	0	0	1
15	Pe1.2	2	0	0	2
16	Pe1.4	1	0	0	1
17	Pe2.2	2	1	0	1
18	Pe3.1	1	0	0	1
19	Pe3.5	1	0	0	1
20	Pe6.3	1	0	0	1
21	Pe8.1	1	0	0	1
22	Me1.3	1	0	0	1
23	Me1.4	1	0	0	1
24	Me1.5	1	0	0	1
25	Me1.12	2	2	0	0
26	Me2.1	1	0	0	1
27	Me2.2	1	0	0	1
28	Me2.3	2	2	0	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ประเมินความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ กรณีไฮโดรคาร์บอนก๊าซรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่ว่ามีเพียงพอหรือไม่ (Hazards Barrier Adequacy)

จากการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความเสี่ยง กรณีก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหล แผนภาพโบว์ไท (Bow-Tie) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอันตราย เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ สาเหตุของอันตราย และอุบัติภัยที่เกิดขึ้น รวมทั้งมาตรการป้องกันและลดผลกระทบต่างๆ ที่มีอยู่ โดยข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเพียงพอของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบต่อไป (Barriers Adequacy Analysis)

เกณฑ์ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบจะพิจารณาโดยอ้างอิงจากหลักเกณฑ์การวิเคราะห์ (Barrier Acceptance Criteria) ของบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ประยุกต์ตามแนวปฏิบัติเรื่องการประเมินความเสี่ยงของ OGP โดยมีหลักเกณฑ์ในการกำหนดจำนวนมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบเพื่อป้องกันและลดผลกระทบจากอันตรายตามระดับของความเสี่ยง (Risk Level) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 20 หลักเกณฑ์ในการกำหนดจำนวนมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ

ชนิดของมาตรการ	ระดับความเสี่ยง		
	ระดับรุนแรง	ระดับปานกลาง	ระดับต่ำ
มาตรการควบคุมป้องกันสำหรับสาเหตุของอันตราย (Prevention Barrier)	อย่างน้อย 3 รายการ	อย่างน้อย 2 รายการ	อย่างน้อย 1 รายการ
มาตรการลดผลกระทบจากอุบัติภัยที่เกิดขึ้น (Mitigative Barrier)	อย่างน้อย 3 รายการ	อย่างน้อย 2 รายการ	อย่างน้อย 1 รายการ
มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง (Escalation Factor Control)	อย่างน้อย 2 รายการ	อย่างน้อย 1 รายการ	อย่างน้อย 1 รายการ

ที่มา: Bow-Tie Analysis Guideline บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2555)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการประเมินระดับความเสี่ยงของอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันกรณีรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติดังข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า อันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลนั้น มีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรงสูงสุดได้ถึงระดับวินาศภัย (Catastrophic, ระดับ 5) โดยระดับความเสี่ยงของอันตรายมีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับรุนแรงทั้ง 3 ด้าน คือ ผลกระทบต่อคน ทรัพย์สิน และชื่อเสียงขององค์กร ถึงแม้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะมีความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด การประเมินความเพียงพอในการกำหนดจำนวนมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบจะใช้หลักเกณฑ์ตามระดับผลการประเมินที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด นั่นคือระดับรุนแรงมาใช้ในการวิเคราะห์ความเพียงพอของมาตรการ (Barriers Adequacy Analysis) ดังนี้

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ

ลำดับที่	รหัส	ชนิดของมาตรการ	จำนวนมาตรการ		ผลการประเมิน	หมายเหตุ
			หลักเกณฑ์	ที่มีอยู่		
1	Threat 1	PB	3	4	ผ่านเกณฑ์	
2	Threat 2	PB	3	3	ผ่านเกณฑ์	
3	Threat 3	PB	3	5	ผ่านเกณฑ์	
4	Threat 4	PB	3	3	ผ่านเกณฑ์	
5	Threat 5	PB	3	4	ผ่านเกณฑ์	
6	Threat 6	PB	3	4	ผ่านเกณฑ์	
7	Threat 7	PB	3	5	ผ่านเกณฑ์	
8	Threat 8	PB	3	2	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
9	Threat 9	PB	3	2	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
10	Threat 10	PB	3	4	ผ่านเกณฑ์	
11	Threat 11	PB	3	7	ผ่านเกณฑ์	
12	Cons. 1	MB	3	12	ผ่านเกณฑ์	
13	Cons. 2	MB	3	3	ผ่านเกณฑ์	
14	Pe1.1	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
15	Pe1.2	EC	2	2	ผ่านเกณฑ์	
16	Pe1.4	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
17	Pe2.2	EC	2	2	ผ่านเกณฑ์	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส	ชนิดของมาตรการ	จำนวนมาตรการ		ผลการประเมิน	หมายเหตุ
			หลักเกณฑ์	ที่มีอยู่		
18	Pe3.1	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
19	Pe3.5	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
20	Pe6.3	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
21	Pe8.1	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
22	Me1.3	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
23	Me1.4	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
24	Me1.5	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
25	Me1.12	EC	2	2	ผ่านเกณฑ์	
26	Me2.1	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
27	Me2.2	EC	2	1	ไม่ผ่านเกณฑ์	ขาด 1 มาตรการ
28	Me2.3	EC	2	2	ผ่านเกณฑ์	

หมายเหตุ PB หมายถึง มาตรการควบคุมป้องกันสำหรับสาเหตุของอันตราย (Preventive Barrier)
MB หมายถึง มาตรการลดผลกระทบจากอุบัติภัยที่เกิดขึ้น (Mitigative Barrier)
EC หมายถึง มาตรการป้องกันของปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง (Escalation Factor Control)

4. วิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis, LOPA)

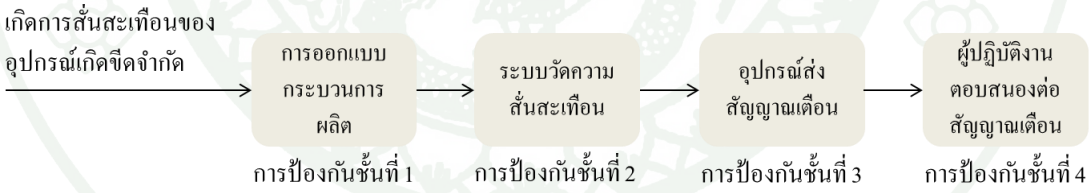
หลังจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท และประเมินความพอเพียงของมาตรการป้องกันและลดผลกระทบมาแล้ว ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าสาเหตุของการเกิดอันตรายและปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงใดที่ควรพิจารณาให้มีมาตรการควบคุมป้องกัน (Safety Barrier) เพิ่มเติมเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายทั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำการวิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis, LOPA) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกันของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของการเกิดอันตรายที่จะศึกษาเพื่อตรวจสอบว่าถึงแม้สาเหตุดังกล่าวจะมีมาตรการป้องกันไม่ผ่านตามเงื่อนไข แต่มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับที่เกินค่าที่ยอมรับได้หรือไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1) วิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกันของ Threat 8 และ Threat 9

สำหรับสาเหตุของการเกิดอันตรายที่มีมาตรการควบคุมป้องกันไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด ได้แก่ Threat 8: การสั่นสะเทือน (Vibration) และ Threat 9: ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) สาเหตุของอันตรายทั้ง 2 รายการ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ เครื่องจักร และโครงสร้างของแท่นการผลิต และส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนได้หากมาตรการที่มีนั้นบกพร่อง

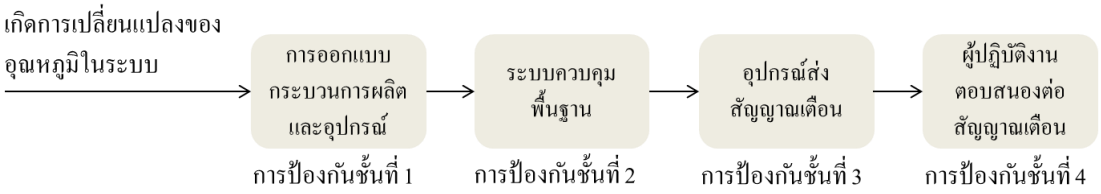
การสั่นสะเทือน (Vibration) ที่เกิดขึ้นสาเหตุหลักมาจากการทำงานของหน่วยรีเจน (Regeneration Gas Blower) ในกระบวนการดึงความชื้นออกจากก๊าซซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความดันก๊าซก่อนส่งเข้าสู่ส่วนบำบัดขั้นต้นเพื่อทำการแยกเอาละอองน้ำ ละอองน้ำมัน สารเคมีที่ใช้ในหลุมเจาะ สารป้องกันการกัดกร่อน และสารไฮโดรคาร์บอนเหลวออกจากก๊าซ ซึ่งในการทำงานของใบพัด (Blower) สาเหตุหลักที่ทำให้การทำงานเกิดความผิดปกติ จะเป็นผลมาจากตัวแบริ่ง (Bearing Support) มีปัญหาหรือชำรุด จนเป็นสาเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือนรุนแรงจนเกินขีดจำกัดอย่างต่อเนื่องและทำให้อุปกรณ์ป้องกันการรั่ว (Mechanical Seal) เกิดการรั่วและมีการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนในที่สุด



ภาพที่ 21 ภาพแสดงระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 8

ในส่วนของอันตรายที่เกิดจากความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) สาเหตุหลักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วในกระบวนการก๊าซพรีทรีตเม้นต์ (Gas Pretreatment) เพื่อกำจัดน้ำออกจากก๊าซก่อนจะส่งไปยังหน่วยกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอาจสูงขึ้นมากจนทำให้เกิดความเค้นเนื่องจากความร้อน และมีค่าสูงกว่าความแข็งแรงของวัสดุ ทำให้ท่อในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหายจนเป็นสาเหตุให้มีการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ภาพแสดงระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 9

ทำการกำหนดไดอะแกรม (LOPA) ในการแสดงรายละเอียดและจำแนกความถี่ของเหตุการณ์อันตรายที่ไม่ต้องการที่ทำการศึกษาทั้ง 2 รายการ และแสดงการคำนวณได้ดังนี้

Threat 8

Frank P. Lee (1996) ความถี่ของการเกิดความเสียหายของ Bearing ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ส่งผลให้ Mechanical Seal และอุปกรณ์ต่างๆชำรุดเสียหายและเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน 5 ครั้ง/10^6 ชั่วโมง หรือเท่ากับ 0.0438 ครั้ง/ปี

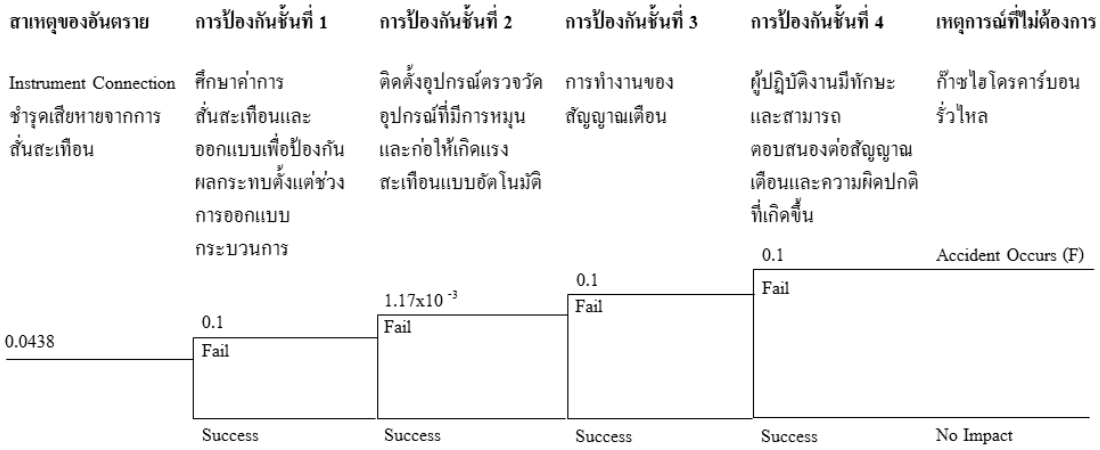
Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่ 1 หรือการออกแบบกระบวนการผลิต (PFD for good plant designs) เท่ากับ 0.1

กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่ 2 หรือการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือนอัตโนมัติตามที่กำหนดโดยผู้ผลิต เท่ากับ 1.17×10^{-3} (สำหรับการทดสอบทุก 2 ปี)

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่ 3 หรือการทำงานของสัญญาณเตือน (PFD for Alarm) เท่ากับ 0.1

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่4หรือการตอบสนองต่อสัญญาณหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นของผู้ปฏิบัติงาน (PFD for Operator Response to Alarms) เท่ากับ 0.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 ภาพแสดงแผนผังระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 8

จากภาพที่ 23 เมื่อคำนวณด้วยสมการที่ 1 จะได้ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการป้องกัน (F) สำหรับ Threat 8 ได้ดังนี้

$$F = 0.0438 \times 0.1 \times (1.17\times10^{-3}) \times 0.1 \times 0.1$$
$$= 5.125 \times 10^{-8} \text{ ครั้ง/ปี}$$

ดังนั้น ความถี่ของการเกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลหลังการป้องกัน กรณีเกิดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันการรั่ว (Mechanical Seal) และชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักรชำรุดเสียหายจะเกิดขึ้นเท่ากับ 5.125×10^{-8} ครั้ง/ปี

จากการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมกับทีมประเมินความเสี่ยงของโครงการอาทิตย์ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อเครื่องจักร (ยังไม่รวมมูลค่าการสูญเสียในการผลิต) นำไปสู่การรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนและทำให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงหรือเสียชีวิต 1 คนเมื่อเทียบกับตารางที่ 1 ความรุนแรงของเหตุการณ์จะอยู่ในระดับ Major ซึ่งมีค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปี หลังการป้องกันที่ยอมรับได้ (Target Mitigated Event Likelihood, TMEL) เท่ากับ 1.0×10^{-4} จะพบว่าเหตุการณ์อันตรายที่ศึกษามีค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการป้องกัน (F) อยู่ในเกณฑ์ค่าที่ยอมรับได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Threat 9

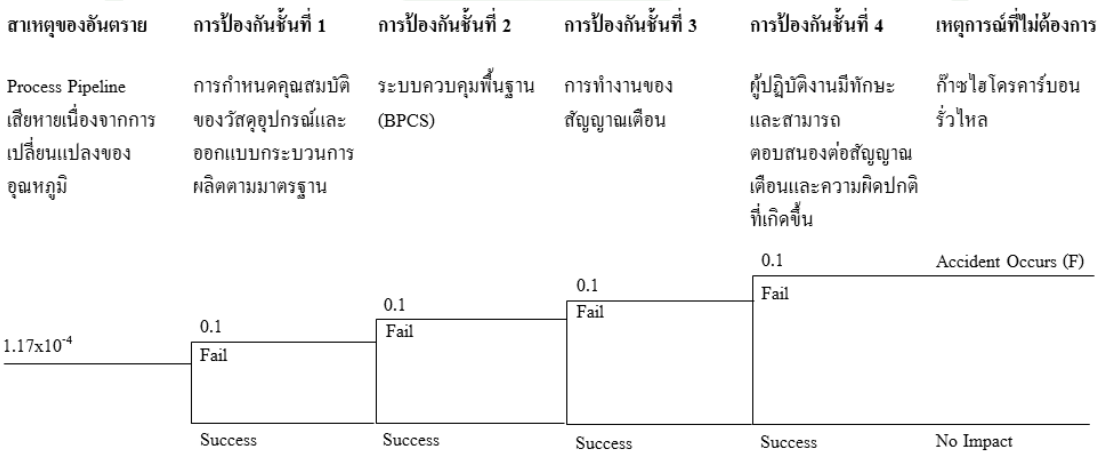
OGP 434-01 (2010) ความถี่ในการเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการชำรุดเสียหายของท่อในกระบวนการผลิต (Release Frequency of Process Pipeline Failure) เท่ากับ $1.17x10^{-4}$ ครั้ง/ปี

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่ 1 หรือการกำหนดวัสดุและการออกแบบกระบวนการผลิต (PFD for Proper Materials and Good Plant Designs) เท่ากับ 0.1

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่ 2 หรือระบบควบคุมพื้นฐาน (PFD for Basic Process Control System) เท่ากับ 0.1

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่ 3 หรือการทำงานของสัญญาณเตือน (PFD for Alarm) เท่ากับ 0.1

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดของสำหรับการป้องกันชั้นที่4หรือการตอบสนองต่อสัญญาณหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้น (PFD for Operator Response to Alarms) เท่ากับ 0.1



ภาพที่ 24 ภาพแสดงแผนผังระดับชั้นการป้องกันของสาเหตุของอันตรายที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 24 เมื่อคำนวณด้วยสมการที่ 1 จะได้ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการป้องกัน (F) สำหรับ Threat 9 ได้ดังนี้

$F = 1.17x10^{-4} \times 0.1 \times 0.1 \times 0.1 \times 0.1$

$= 1.17 \times 10^{-8}$ ครั้ง/ปี

ดังนั้น ความถี่ของการเกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลหลังการป้องกันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอาจที่ส่งผลให้ท่อในกระบวนการผลิตชำรุดเสียหายจะเกิดขึ้นเท่ากับ 1.17×10^{-8} ครั้ง/ปี

จากการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมกับทีมประเมินความเสี่ยงของโครงการอาทิตย์ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อท่อในกระบวนการผลิต (ยังไม่รวมมูลค่าการสูญเสียในการผลิต) นำไปสู่การรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนและทำให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงหรือเสียชีวิต 1 คน เมื่อเทียบกับตารางที่ 1 ความรุนแรงของเหตุการณ์จะอยู่ในระดับ Major ซึ่งมีค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ยอมรับได้ (Target Mitigated Event Likelihood, TMEL) เท่ากับ 1.0×10^{-4} จะพบว่าเหตุการณ์อันตรายที่ศึกษามีค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการป้องกัน (F) อยู่ในเกณฑ์ค่าที่ยอมรับได้

4.2) วิเคราะห์มาตรการป้องกันสำหรับปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง (Escalation Factor) ที่มีมาตรการควบคุมป้องกันไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการวิเคราะห์ความเพียงพอของมาตรการป้องกันในส่วนที่ 3 พบ Escalation Factor รายการที่ Pe1.1 Pe1.4 Pe3.1 Pe3.5 Pe6.3 Pe8.1 Me1.3 Me1.4 Me1.5 Me2.1 และ Me2.2 ขาดมาตรการป้องกันอีก 1 มาตรการ (หลักเกณฑ์กำหนดให้มี 2 มาตรการสำหรับปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง) โดยทั้ง 11 ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงที่มีมาตรการควบคุมป้องกันไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเป็นปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงที่ทำให้ระบบควบคุมป้องกันที่มีอยู่นั้นทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลาซึ่งมีมาตรการควบคุมปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงเดียวเท่านั้นคือการใช้ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษา (Maintenance Schedule Alert) ตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรมแม็กซิโม่ (Maximo)

จากการหารือร่วมกับทีมประเมินความเสี่ยงของโครงการอาทิตย์เพื่อหามาตรการควบคุมป้องกันปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงดังกล่าวพบว่าสามารถเพิ่มมาตรการในการติดตามตรวจสอบ (Audit)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ปฏิบัติงานและหน่วยงานที่รับผิดชอบ มีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆตามเวลาที่กำหนด ถึงแม้จะมีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่านโปรแกรม Maximo อยู่แล้วก็ตาม ทั้งนี้การติดตามตรวจสอบสามารถดำเนินการผ่านการทำการตรวจประเมินภายในของบริษัท (Internal Audit) หรือตรวจสอบระหว่างการทำ Operations Technical Review (OTR) ซึ่งจะมีการดำเนินการเป็นประจำทุกๆ 6 เดือน เป็นต้น

5. เพื่อให้ข้อเสนอแนะในการลดความเสี่ยงและแนวทางแก้ไขกรณีพบว่ามาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบที่มีอยู่ไม่เหมาะสมเพียงพอด้วยการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

สำหรับการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน ผู้วิจัยจะทำการประเมินในส่วนของสาเหตุของการเกิดอันตรายที่มีมาตรการควบคุมป้องกันไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด ได้แก่ Threat 8: การสั่นสะเทือน (Vibration) และ Threat 9: ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) ถึงแม้การวิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงของระดับชั้นการป้องกันสำหรับ จะพบว่ามีความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่เพื่อให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์จำนวนมาตรการป้องกันที่กำหนด (Barrier Acceptance Criteria) และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยง ผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นทางเลือกในการปรับปรุงและลดความเสี่ยงไว้ดังนี้

Threat 8

ทางเลือกในการเพิ่มมาตรการป้องกันและลดโอกาสเกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหล กรณีเกิดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันการรั่ว (Mechanical Seal) และชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักรชำรุดเสียหายได้แก่

1) เพิ่มการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์เป็นระยะโดยผู้ปฏิบัติงาน และจัดซื้อ Vibration Meter 1 เครื่อง เพื่อใช้ในการตรวจวัด

2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ด้วยการตรวจสอบอุปกรณ์ที่มีส่วนหมุนและก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งนอกจากจะทำการบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามกำหนดระยะเวลาปกติแล้ว จะทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่อาจมีผลทำให้เกิดความผิดปกติต่างๆเพิ่มเติม เช่นการเสียสมดุลย์ของเพลาหมุน การเยื้องศูนย์แนวเพลา สภาพการหลวมคลอน ความเสียหายภายในตลับลูกปืน สภาพการหล่อลื่น เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางเลือกที่ 1

คำนวณค่าใช้จ่ายและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน กรณีเพิ่มการตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยผู้ปฏิบัติงานและจัดซื้อเครื่องวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter)

ความถี่ของการเกิดอันตราย เท่ากับ 5.125×10^{-8} ครั้ง/ปี

มูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น เท่ากับ 368.4 ล้านบาท (ประมาณการจากค่าซ่อมแซมอุปกรณ์และกระบวนการผลิต 30 ล้านบาท และค่าการสูญเสียการผลิตวันละ 84.6 ล้านบาท ใช้เวลาในการทำให้ระบบกลับมาทำงานได้ตามปกติ 4 วัน)

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนจัดซื้อ Vibration Meter เท่ากับ 12,500 บาท (อายุการใช้งานเฉลี่ยของอุปกรณ์ประมาณ 5 ปี) ดังนั้น ค่าใช้จ่ายต่อปีจะเท่ากับ 2,500 บาท

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดสำหรับการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติงาน (PFD for Human performance, trained and no stress) เท่ากับ 0.01

คำนวณค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการเพิ่มมาตรการ จะได้

ค่าใช้จ่ายหากเกิดเหตุการณ์อันตรายก่อนการเพิ่มมาตรการเท่ากับ
$368.4 \times 10^{6} \times 5.125 \times 10^{-8} = 18.88$ บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายหากเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการเท่ากับ
$368.4 \times 10^{6} \times 5.125 \times 10^{-8} \times 0.01 = 0.188$ บาท/ปี

คำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR)

ผลประโยชน์ที่ได้รับ = 18.88 – 0.188

= 18.692 บาท

ค่าใช้จ่ายคาดหวังเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เท่ากับ = (18.692/18.88) x 100

= 99 % (ลดลงร้อยละ 99 ของค่าใช้จ่ายก่อนเพิ่มมาตรการ)

BCR = 18.692/2,500

= 7.48×10^{-3}

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนเท่ากับ 7.48×10^{-3} มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายจะไม่คุ้มค่าในการจัดซื้อเครื่อง Vibration Meter เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานใช้ในการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ ทั้งนี้ การเพิ่มมาตรการสามารถลดค่าใช้จ่ายคาดหวังเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการได้ถึงร้อยละ 99 ของค่าใช้จ่ายก่อนเพิ่มมาตรการ

ทางเลือกที่ 2

คำนวณค่าใช้จ่ายและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน กรณีเพิ่มการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM)

ความถี่ของการเกิดอันตราย เท่ากับ 5.125×10^{-8}ครั้ง/ปี

มูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น เท่ากับ 368.4 ล้านบาท (ประมาณการจากค่าซ่อมแซมอุปกรณ์และกระบวนการผลิต 30 ล้านบาท และค่าการสูญเสียการผลิตวันละ 84.6 ล้านบาท ใช้เวลาในการทำให้ระบบกลับมาทำงานได้ตามปกติ 4 วัน)

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) เท่ากับ 375 บาท (ประมาณการจากค่าแรงสำหรับ Skill Technician ใช้ระยะเวลาในการ PM 1 ชั่วโมง)

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดสำหรับการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติงาน (PFD for Human performance, trained and no stress) เท่ากับ0.01

คำนวณค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการเพิ่มมาตรการ จะได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าใช้จ่ายหากเกิดเหตุการณ์อันตรายก่อนการเพิ่มมาตรการเท่ากับ
$368.4x10^{6}$ x 5.125 x 10^{-8}= 18.88 บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายหากเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการเท่ากับ
$368.4x10^{6}$ x 5.125 x 10^{-8}x 0.01 = 0.188 บาท/ปี

คำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR)

ผลประโยชน์ที่ได้รับ = 18.88 – 0.188
= 18.692 บาท

ค่าใช้จ่ายคาดหวังเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการลดลง
เท่ากับ = (18.692/18.88) x 100
= 99 %(ลดลงร้อยละ 99 ของค่าใช้จ่ายก่อนเพิ่มมาตรการ)

BCR = 18.692/375
= 0.049

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนเท่ากับ 0.049 มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายจะไม่คุ้มค่าในการเพิ่มการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ทั้งนี้ การเพิ่มมาตรการสามารถลดค่าใช้จ่ายคาดหวังเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการได้ถึงร้อยละ 99 ของค่าใช้จ่ายก่อนเพิ่มมาตรการ

เปรียบเทียบอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนทั้ง 2 ทางเลือกพบว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ให้ผลประโยชน์ตอบแทนสูงกว่าการจัดซื้อเครื่อง Vibration Meter เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานใช้ในการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์

Threat 9

จากการหารือร่วมกับทีมประเมินของโครงการอาทิตย์ พบว่าในการเพิ่มมาตรการป้องกันและลดโอกาสเกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลจากท่อในกระบวนการผลิตที่เกิดความเสียหาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากเกิด Thermal Stress สามารถทำได้โดยทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ในส่วนของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีอยู่ในระบบ (Temperature Measurement Elements) เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ดังกล่าวจะสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

คำนวณค่าใช้จ่ายและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน สำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM)

ความถี่ของการเกิดอันตราย เท่ากับ 1.17×10^{-8} ครั้ง/ปี

มูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น เท่ากับ 1,569 ล้านบาท (ประมาณการจากค่าซ่อมแซมอุปกรณ์และกระบวนการผลิต 300 ล้านบาท และค่าการสูญเสียการผลิตวันละ 84.6 ล้านบาท ใช้เวลาในการทำให้ระบบกลับมาทำงานได้ตามปกติ 15วัน)

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) เท่ากับ 375 บาท (ประมาณการจากค่าแรงสำหรับ Skill Technician ใช้ระยะเวลาในการ PM 1 ชั่วโมง)

Anton A. Frederickson (2002) กำหนดค่าความผิดพลาดสำหรับการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติงาน (PFD for Human performance, trained and no stress) เท่ากับ0.01

คำนวณค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการเพิ่มมาตรการ จะได้

ค่าใช้จ่ายหากเกิดเหตุการณ์อันตรายก่อนการเพิ่มมาตรการเท่ากับ
$1{,}569 \times 10^{6} \times 1.17 \times 10^{-8} = 18.36$ บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายหากเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการเท่ากับ
$1{,}569 \times 10^{6} \times 1.17 \times 10^{-8} \times 0.01 = 0.1836$ บาท/ปี

คำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (Benefit- Cost Ratio, BCR)

ผลประโยชน์ที่ได้รับ = 18.36 – 0.184

= 18.176บาท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าใช้จ่ายคาดหวังเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการลดลง

เท่ากับ = (18.176/18.36) x 100

= 99 % (ลดลงร้อยละ 99 ของค่าใช้จ่ายก่อนเพิ่มมาตรการ)

BCR = 18.176/375

= 0.048

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนเท่ากับ 0.048 มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายจะไม่คุ้มค่าในการเพิ่มการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ทั้งนี้ การเพิ่มมาตรการสามารถลดค่าใช้จ่ายคาดหวังเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการเพิ่มมาตรการได้ถึงร้อยละ 99 ของค่าใช้จ่ายก่อนเพิ่มมาตรการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

1. การวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis)

วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท เป็นวิธีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยงภายในองค์กร ซึ่งออกแบบมาเพื่อทำให้สามารถมองเห็นภาพรวมของสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงได้ดียิ่งขึ้น และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงและอุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้นจากความเสี่ยงนั้นๆ รวมทั้งมาตรการต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อป้องกันและลดผลกระทบ

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโบว์ไทไดอะแกรม เป็นผลจากการหารือร่วมกับตัวแทนจากฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง และฝ่ายความปลอดภัย ความมั่นคง อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม ของโครงการอาทิตย์ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ในกระบวนการผลิต และระบบควบคุมป้องกันและลดผลกระทบด้านความปลอดภัยและมีประสบการณ์ในการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท ดังนั้น การจะเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงนั้นก็ควรเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับลักษณะขององค์กร รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้งาน โดยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทนั้นเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงคุณภาพ ที่มีข้อดีและข้อจำกัดของการนำไปใช้งาน ดังนี้

ข้อดี

1. ง่ายต่อการสื่อสารและทำความเข้าใจ พนักงานทุกระดับแม้จะไม่ใช่ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงก็สามารถเข้าใจได้ง่าย

2. ลดการใช้ทรัพยากรและเวลาในการทำงานเอกสาร

3. จัดการความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นในการวิเคราะห์หาว่าอะไรคือมาตรการควบคุมป้องกันที่จำเป็นสำหรับการป้องกันและลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. นำมาใช้ในระบบการจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถเชื่อมโยงในการวิเคราะห์หามาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายได้กับทุกๆ ขั้นตอนในระบบการจัดการด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

5. นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้

ข้อจำกัด

1. การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท จำเป็นต้องใช้ทีมงานเฉพาะ ที่มีความรู้ความสามารถและมีความเชี่ยวชาญในกระบวนการที่นำมาวิเคราะห์เป็นอย่างดี

2. มาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบที่ระบุในการวิเคราะห์แบบโบว์ไท ต้องมั่นใจว่าแต่ละระบบที่มีจะต้องเป็นอิสระต่อกัน (Independent Barrier) โดยเมื่อระบบใดระบบหนึ่งล้มเหลว ระบบที่เหลือจะต้องยังคงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มิเช่นนั้นจะทำให้ผลการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอาจผิดพลาดได้

2. การวิเคราะห์ความเพียงพอของมาตรการป้องกันและลดผลกระทบ (Barrier Adequacy) และการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis)

จากผลการวิเคราะห์ความเพียงพอของมาตรการป้องกันและลดผลกระทบ สำหรับอันตรายที่เกิดจากการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ จะพบว่า 82% (9 Threats) ของสาเหตุของอันตรายที่เกิดขึ้น และ 100% ของอุบัติภัยที่ได้ทำการประเมิน (2 Consequences) มีมาตรการป้องกันและลดผลกระทบผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นมาตรการที่ถูกออกแบบและติดตั้งไว้ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างโครงการ และมีความพร้อมในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่อาจเกิดขึ้น และสำหรับ 18% (2 Threats) ของสาเหตุของอันตรายที่พบว่ามีมาตรการป้องกันไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดนั้นถึงแม้ว่าทั้ง 2 สาเหตุของอันตรายจะมีจำนวนมาตรการไม่ครบตามจำนวน แต่จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยระดับชั้นการป้องกันที่มีอยู่ กลับพบว่าความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากทั้ง 2 สาเหตุนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับกรณีปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง (Escalation Factor) 11 รายการที่มีมาตรการควบคุมป้องกันไม่ครบจำนวนตามที่หลักเกณฑ์กำหนด โดยทุกรายการเป็นปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงที่ทำให้ระบบควบคุมป้องกันที่มีอยู่นั้นทำงานผิดพลาดเนื่องจากการบำรุงรักษาล่าช้าเกินกำหนดเวลา ซึ่งมีมาตรการควบคุมปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงเดียวกันคือการใช้ระบบแจ้งเตือนการบำรุงรักษา (Maintenance Schedule Alert) ตามเวลาที่กำหนดผ่านโปรแกรมแม็กซิโม (Maximo) ทั้งนี้มาตรการเพิ่มเติมสำหรับปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงดังกล่าวสามารถใช้การจัดการความเสี่ยงโดยใช้การบริหารจัดการด้านความปลอดภัย (Administrative Control) ในเรื่องของการตรวจติดตาม (Internal Audit) เข้ามาเสริม เพื่อทำให้มั่นใจว่าระบบควบคุมที่มีอยู่ จะมีการนำมาปฏิบัติได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งการจัดให้มีการตรวจติดตามการทำงานเป็นระยะถือเป็นมาตรการหนึ่งในการจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงทั้ง 11 รายการ

จะเห็นได้ว่าในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตปิโตรเลียมนั้น ถือเป็นกระบวนการผลิตที่มีความเสี่ยงสูงและก่อให้เกิดอุบัติภัยถึงขั้นร้ายแรงได้ จึงทำให้ผู้ประกอบการและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องให้ความสำคัญในเรื่องความปลอดภัยอย่างมาก และมุ่งเน้นการจัดการความปลอดภัยกระบวนการผลิต (Process Safety Management) โดยใช้มาตรการทางการจัดการและเทคโนโลยีความปลอดภัยในการออกแบบกระบวนการผลิตครอบคลุมถึง การเก็บ การใช้และการผลิตเพื่อป้องกันควบคุมและลดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดความสูญเสียจากอุบัติภัยร้ายแรงให้มากที่สุด

3. การเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความเสี่ยง

จากการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อเพิ่มมาตรการในการลดความเสี่ยงในการเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอน สำหรับสาเหตุของอันตรายที่มีจำนวนมาตรการไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ Threat 8: การสั่นสะเทือน (Vibration) และ Threat 9: ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) ผู้วิจัยได้นำมาตรการที่ได้หารือร่วมกับทีมประเมินความเสี่ยงของโครงการอาทิตย์มาทำการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาทางเลือกในการปรับปรุงและลดความเสี่ยงเปรียบเทียบผลลัพธ์ ดังตารางที่ 22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 22 ตารางแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนของแต่ละมาตรการ

สาเหตุของอันตราย	ความถี่ของการเกิดอันตราย	มูลค่าความเสียหาย	มาตรการป้องกัน	มูลค่าการลงทุน	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน
Threat 8: การสั่นสะเทือน	5.125×10^{-8} ครั้ง/ปี	368.4 ล้านบาท	ทางเลือก 1: ผู้ปฏิบัติงานตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์โดยใช้ Vibration Meter	2,500 บาท/ปี	7.48×10^{-3}
			ทางเลือก 2: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)	375 บาท/ปี	0.049
Threat 9: Thermal Stress	1.17×10^{-8} ครั้ง/ปี	1,569 ล้านบาท	การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)	375 บาท/ปี	0.048

ผลการประเมินพบว่า อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนทุกรายการ สำหรับ Threat 8 และ Threat 9 นั้นมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายจะไม่คุ้มค่าในการลงทุนในการเพิ่มมาตรการป้องกันดังกล่าว

ถึงแม้มูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเกิดอันตรายทั้ง 2 กรณีจะมีมูลค่าสูง แต่เนื่องจากผลการคำนวณโอกาสหรือค่าความถี่ของการของการเกิดอันตรายที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกันด้วย LOPA Diagram ของทั้ง 2 สาเหตุนั้น มีความเสี่ยงในระดับต่ำมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุอุปกรณ์และการออกแบบกระบวนการผลิตที่คำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสำคัญตั้งแต่ก่อนเริ่มก่อสร้างโครงการ ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะความคุ้มค่าในแง่ของค่าใช้จ่ายจึงอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงนั้นมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น ควรต้องมีการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน กรณีเกิดเหตุการณ์อันตรายที่รุนแรงจน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บถึงขั้นพิการหรือสูญเสียชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งความสูญเสียในส่วนนี้ไม่สามารถประเมินมูลค่าได้ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมที่อยู่บริเวณโดยรอบอีกด้วย

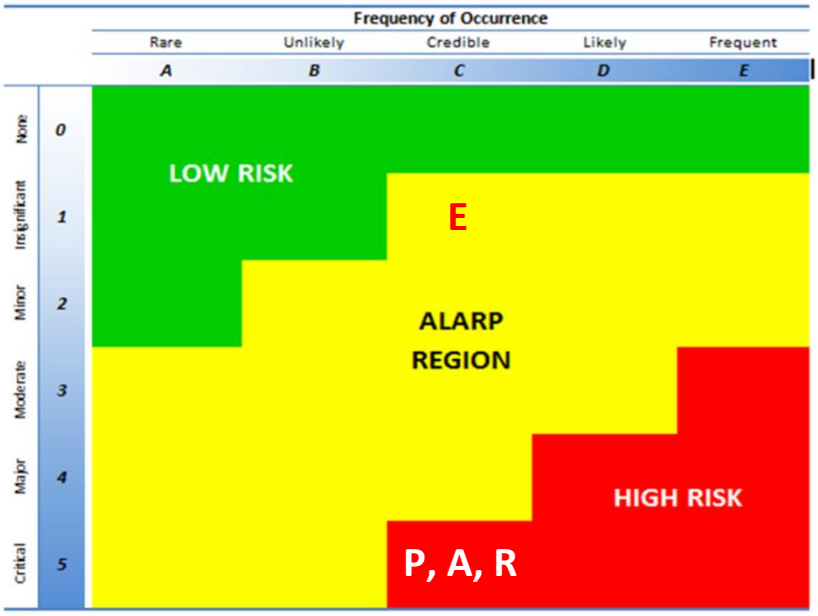
ดังนั้น ในการพิจารณาลงทุนด้านความปลอดภัย บางครั้งผู้ประกอบการจึงควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ หากสามารถลงทุนเพื่อเพิ่มการป้องกันและลดความเสี่ยงได้มากขึ้น ก็จะสามารถเพิ่มศักยภาพด้านการผลิต เพิ่มขวัญกำลังใจให้กับพนักงาน เพิ่มความเชื่อมั่นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่มีต่อองค์กร ตลอดจนสร้างภาพลักษณ์ที่ดีต่อองค์กรอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการวิจัยที่ได้ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงกรณีเกิดอันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ โดยทำการวิเคราะห์และจัดทำเป็นไดอะแกรม เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ก่อให้เกิดอันตราย อุบัติภัยที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งมาตรการป้องกันและลดผลกระทบที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท แล้วนำมาตรการต่างๆ ที่ได้ระบุไว้มาประเมินความเพียงพอเพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความเสี่ยง โดยคำนึงอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนที่คุ้มค่าที่สุดและมีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ผลการประเมินระดับความเสี่ยงเชิงคุณภาพของอันตรายกรณีก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลบนแท่นผลิตก๊าซธรรมชาติ โดยไม่พิจารณามาตรการป้องกันและลดผลกระทบที่มีอยู่ พบว่าความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน (P) ทรัพย์สิน (A) และชื่อเสียงขององค์กร (R) มีระดับความเสี่ยงอยู่ในระดับรุนแรง (C5) ในขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (E) อยู่ในระดับปานกลาง (C1) ทั้งนี้ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่า อันตรายจากก๊าซไฮโดรคาร์บอนภายใต้แรงดันรั่วไหลนั้นมีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรงสูงสุดถึงระดับวินาศภัย (Catastrophic, ระดับ 5) ได้



ภาพที่ 25 ภาพแสดงผลการประเมินความเสี่ยง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และจากการชี้บ่งสาเหตุของอันตรายและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมทั้งชี้บ่งมาตรการป้องกันและลดผลกระทบที่มีอยู่เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบ โดยผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมเพียงพอของมาตรการควบคุมป้องกันและลดผลกระทบพบว่าจากจำนวนพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 28 รายการ ประกอบด้วย

1) สาเหตุหลักของอันตราย (Threat) 11 รายการ พบ 2 รายการที่มีมาตรการเชิงป้องกัน (Preventive Barrier) ไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดได้แก่ Threat 8: การสั่นสะเทือน (Vibration)และ Threat 9: ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) ซึ่งคิดเป็น 18% ของจำนวนสาเหตุหลักของอันตรายทั้งหมด

2) อุบัติภัยที่เกิดขึ้น (Consequence) มีมาตรการบรรเทาและลดผลกระทบ (Mitigative Barrier) ผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดทั้ง 2 รายการ

3) ปัจจัยเพิ่มความเสี่ยง (Escalation Factor) 15 รายการ พบ 11รายการที่มีมาตรการป้องกัน (Escalation Factor Control) ไม่ผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดซึ่งคิดเป็น 74% ของจำนวนสาเหตุหลักของอันตรายทั้งหมด

และเมื่อทำการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกันของมาตรการควบคุมป้องกันสำหรับสาเหตุของอันตราย (Threat) 2 รายการที่มีมาตรการไม่ผ่านเกณฑ์โดยการค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันเพื่อนำไปเทียบกับค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ยอมรับได้ (Target Mitigated Event Likelihood, TMEL) พบว่า

Threat 8: โอกาสหรือความถี่ของการเกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลหลังการป้องกัน กรณีเกิดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันการรั่ว (Mechanical Seal) และชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักรชำรุดเสียหายจะเกิดขึ้นเท่ากับ 5.125×10^{-8} ครั้ง/ปี

Threat 9: โอกาสหรือความถี่ของการเกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลหลังการป้องกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอาจที่ส่งผลให้ท่อในกระบวนการผลิตชำรุดเสียหายจะเกิดขึ้นเท่ากับ 1.17×10^{-8} ครั้ง/ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยทั้ง 2 สาเหตุของการเกิดอันตราย จะก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่ออุปกรณ์ในกระบวนการผลิต และนำไปสู่การรั่วไหลของก๊าซไฮโดรคาร์บอนและทำให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงหรือเสียชีวิต 1 คน(Single Fatality) เมื่อเทียบกับตารางที่ 1 ค่าความรุนแรงของเหตุการณ์จะอยู่ในระดับรุนแรงมาก ซึ่งมีค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกันที่ยอมรับได้ (Target Mitigated Event Likelihood, TMEL) เท่ากับ 1.0×10^{-4} ดังนั้น เหตุการณ์อันตรายที่ศึกษามีค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายหลังการป้องกัน (F) อยู่ในเกณฑ์ค่าที่ยอมรับได้

ผลการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis) สรุปไว้ดังแสดงในภาคผนวก ข

จากการนำเสนอทางเลือกในการจัดการความเสี่ยงสำหรับสาเหตุของการเกิดอันตรายที่มีมาตรการควบคุมป้องกันไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด ได้แก่Threat 8: การสั่นสะเทือน (Vibration) และ Threat 9: ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) โดยใช้การคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของแต่ละทางเลือกที่ได้นำเสนอ โดยแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดความเสี่ยง จะเลือกแนวทางที่ให้ค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนสูงสุด พบว่า

Threat 8

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนของทั้ง 2 ทางเลือกมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายจะไม่คุ้มค่าในการเพิ่มมาตรการสำหรับลดความเสี่ยง

หากเปรียบเทียบอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนทั้ง 2 ทางเลือกพบว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance, PM) ให้ผลประโยชน์ตอบแทนสูงกว่าการจัดซื้อเครื่อง Vibration Meter เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานใช้ในการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์

Threat 9

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายจะไม่คุ้มค่าในการเพิ่มมาตรการสำหรับลดความเสี่ยง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการคำนวณค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนข้างต้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าหากบริษัทสามารถดำเนินการเพิ่มมาตรการตามที่เสนอแนะได้นั้นผู้บริหารควรตัดสินใจเลือกแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดความเสี่ยงของแต่ละสาเหตุการเกิดอันตราย ตามลำดับ ดังนี้

มาตรการเพิ่มเติมสำหรับการป้องกันก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลเนื่องจากการสั่นสะเทือนของ Blower ที่ส่งผลให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ชำรุดเสียหาย

ลำดับที่ 1: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)

ลำดับที่ 2: เพิ่มการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์โดยผู้ปฏิบัติงานด้วยเครื่อง Vibration Meter

มาตรการเพิ่มเติมสำหรับการป้องกันก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลเนื่องจากการสั่นสะเทือนของ Blower ที่ส่งผลให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ชำรุดเสียหาย ควรใช้วิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งข้อเสนอแนะออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย และการนำผลการวิจัยไปปรับใช้ในด้านอื่นๆ ดังนี้

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์อันตรายและความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไท (Bow-Tie Analysis Method) นั้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการเข้าใจ แต่ทั้งนี้ ขั้นตอนในการดำเนินการและการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้ทีมงานเฉพาะ ที่มีความรู้ความสามารถและมีความเชี่ยวชาญในกระบวนการที่นำมาวิเคราะห์เป็นอย่างดี จึงจะทำให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและสร้าง Bow-Tie Diagram ได้อย่างสมบูรณ์

2. การประเมินความเพียงพอของมาตรการป้องกันและลดผลกระทบ (Hazard Barrier Analysis) สำหรับเกณฑ์การประเมิน (Barrier Adequacy Criteria) นั้น สามารถกำหนดจำนวนที่แตกต่างกันได้ ตามลักษณะของอันตราย ความเสี่ยงและความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นของแต่ละองค์กร ซึ่งจำนวนมาตรการอาจน้อยกว่าที่กำหนดได้หากมาตรการดังกล่าวเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพสูงและเชื่อถือได้

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้มาตรการนั้นจะมีประสิทธิภาพเพียงใด แต่สำหรับเหตุการณ์อันตราย ที่มีโอกาสเกิดอันตรายในระดับสูงและก่อให้เกิดผลกระทบถึงขั้นอุบัติภัยร้ายแรง (Major Accident Event) ควรมีจำนวนมาตรการมากกว่า 2 ตัว สำหรับแต่ละสาเหตุของการเกิดอันตราย และต้องมีเพียงพอที่จะลดโอกาสของการเกิดอันตราย (Preventive Barrier) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การควบคุมและป้องกันความเสี่ยงจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากหัวหน้างานหรือบุคคลที่เกี่ยวข้องมีการสื่อสารผลการประเมินการประเมินต่อไปยังผู้ปฏิบัติงาน เพื่อสร้างความตระหนักและเน้นย้ำถึงการตรวจสอบมาตรการป้องกันและลดผลกระทบให้มีความพร้อมก่อนเริ่มปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยทุกครั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability Data) ของอุปกรณ์ เครื่องจักร และการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติงานที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงและค่าระดับชั้นการป้องกันต่างๆ ถึงแม้ในปัจจุบัน จะมีฐานข้อมูลของหน่วยงานหรือนักวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาไว้ เช่น OREDA หรือ Exida database for instruments เป็นต้น

ในส่วนของบริษัท หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น หน่วยผลิต หน่วยซ่อมบำรุง หรือหน่วยงานความปลอดภัย ควรมีการจัดเก็บข้อมูลเชิงสถิติและวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดความเสียหายของอุปกรณ์ เครื่องจักร รวมทั้งระบบฟังก์ชันนิรภัยต่างๆในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะส่วนของกระบวนการที่มีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลของบริษัทเองในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของกระบวนการต่อไป

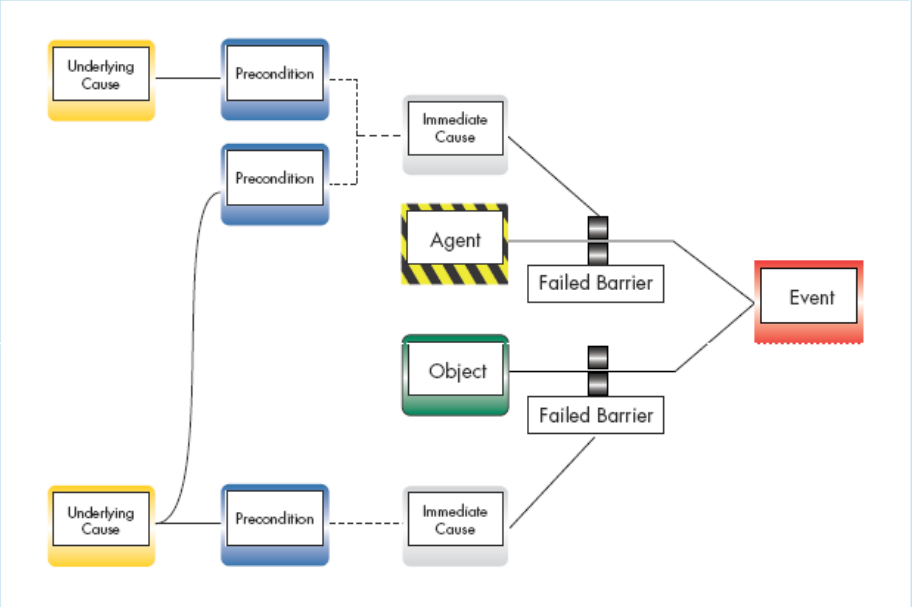
การนำผลการวิจัยไปปรับใช้ในด้านอื่นๆ

เนื่องจากแนวคิดของวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทนั้น เป็นการวิเคราะห์ออกมาในรูปของแผนผังแสดงความเชื่อมโยงระหว่างสาเหตุ (Fault Tree) และผลของอุบัติภัย (Event Tree) โดยแสดงกลุ่มของสาเหตุไว้ด้านซ้ายมือ และกลุ่มของผลของอุบัติเหตุไว้ทางขวามือ พร้อมทั้งระบุมาตรการป้องกันที่เกี่ยวข้องและปัจจัยเพิ่มความเสี่ยงของสาเหตุและผลของอุบัติภัยไว้ ด้วยรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย จึงสามารถทำให้ผู้ที่จะนำไปใช้งานสามารถเห็นถึงภาพความสัมพันธ์ของสาเหตุเหตุการณ์อันตราย และผลของอุบัติภัยที่จะเกิดขึ้นหากมาตรการป้องกันมีความบกพร่อง

ด้วยหลักการดังกล่าววิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสอบสวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิผลมากขึ้นเพื่อมุ่งเน้นในการวิเคราะห์หาว่าระบบควบคุมป้องกัน หรือมาตรการป้องกันใดที่ขาดไป หรือมีปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุให้มาตรการป้องกันล้มเหลวจนก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้น

วิธีการที่มีการนำแนวทางการวิเคราะห์แบบโบว์ไท เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุพื้นฐาน (Root Cause) ของการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งผู้วิจัยจะยกตัวอย่างไว้ในที่นี่ คือวิธีที่เรียกว่าไตรพอดเบต้าทรี “Tripod Beta Tree Methodology” ซึ่งเป็นวิธีที่มีการนำแผนภาพโบว์ไทมาวิเคราะห์หาสาเหตุของอุบัติเหตุ/อุบัติการณ์ และกำหนดมาตรการแก้ไขและป้องกันการเกิดซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

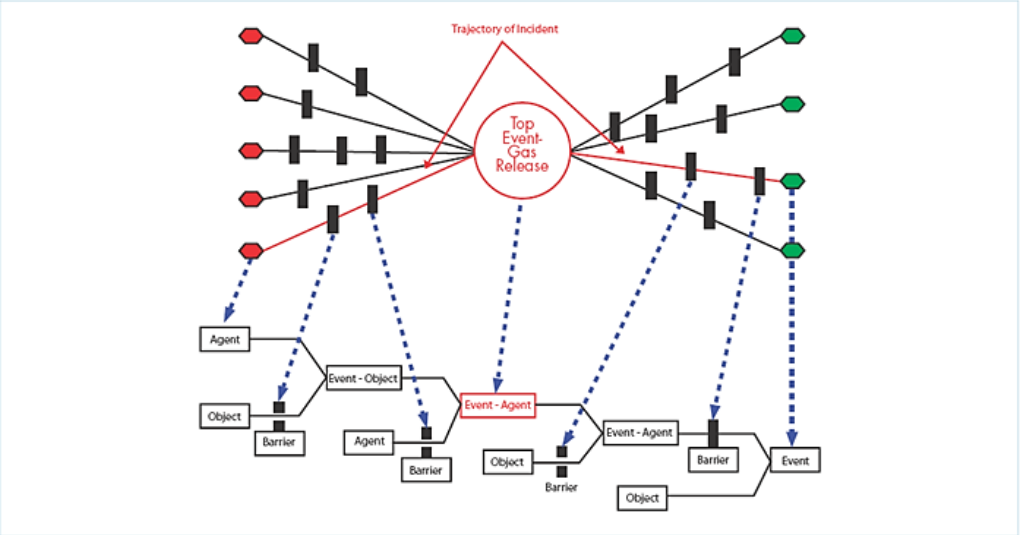


ภาพที่ 26 ภาพแสดงการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุด้วยระเบียบวิธีไตรพอดเบต้าทรี

ที่มา: Tripodsolution (2007)

ดังภาพที่ 26 สัญลักษณ์ “Event” หมายถึงเหตุการณ์อันตรายที่เกิดขึ้น (Top Event) ในขณะที่ “Agent” หมายถึงสาเหตุของอันตราย (Threat) และ “Object” หมายถึงสิ่งที่ได้รับผลกระทบจากอันตราย (Consequence) เช่น ผู้ปฏิบัติงาน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์ด้วยแผนภาพโบว์ไทและระเบียบวิธีไตรพอดเบต้าทรีสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 ภาพแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์แบบโบว์ไทและระเบียบวิธีไตรพอดเบต้าทรี

ที่มา: Tripodsolution (2007)

ด้วยวิธีการนี้ ผู้สอบสวนอุบัติเหตุจะสามารถหาสาเหตุและปัจจัยต่างที่ทำให้ระบบควบคุมป้องกันที่ควรจะมีเพื่อป้องกันอุบัติเหตุหรือลดผลกระทบในแต่ละลำดับชั้นล้มเหลวได้ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปสู่การวางแผนป้องกันอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง และสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อดำเนินการแก้ไขป้องกันก่อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กาญจนากร เกศางาม. 2548. **ระบบความปลอดภัยของหน่วยผสมในโรงงานนำร่องเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ด้านเส้นผม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรพร สุเมธีประสิทธิ์. 2556. **ศูนย์ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับ การบริหารจัดการความเสี่ยง**. แหล่งที่มา: http://chirapon.wordpress.com/category/iso-31000/, 28 กันยายน 2556.

ทวิช ชูเมือง. 2554. **การลดค่าใช้จ่ายความเสี่ยงด้วยระบบวัดคุมนิรภัย.** แหล่งที่มา: http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=14964&section=9, 10 มีนาคม 2557.

นัสรุณ อัศววิริยะกุล. 2550. **การประเมินความเสี่ยงและออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยของระบบผลิตไอน้ำที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน). 2555. **Bow-Tie Analysis Guideline.** บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

_____. 2554. **SSHE Risk Management Standard.** บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ศุภชัย อ่อนคำผาง. 2552. **การประเมินความเสี่ยงด้วยเทคนิค What If ในการเก็บตัวอย่างของก๊าซไฮโดรเจนและกำหนดมาตรการป้องกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทร แสงแก้ว. 2552. **การประยุกต์ใช้ Human Machine Interface เพื่อวิเคราะห์ระบบวัดคุมนิรภัย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2555. **หลักการและแนวทางบริหารความเสี่ยง.** มอก. 31000-2555. ราชกิจจานุเบกษา. 2555. เล่ม 129 ตอนพิเศษ 129 ง, หน้า 19-23.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Anton, A.F. 2002. **The Layer of Protection Analysis (LOPA) Method**. n.p., California.

BS EN ISO 17776. 2002. **Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment: Hazard Checklist.** British Standards Institution, London.

CGE Risk Management Solutions. 2013. **The history of Bowtie**. Available Source: http://www.cgerisk.com/knowledge-base/risk-assessment/the-bowtie-methodology, September 28, 2013.

Health and Safety Executive. n.d. **Lines of Defence/Layers of Protection Analysis in the COMAH Context**. Available Source: http://www.hse.gov.uk/research/misc/vectra300-2017-r02.pdf, March 10, 2014.

_____. 2014. **Offshore Injury, Ill Health and Incident Statistics 2012/2013.** Available Source: http://www.hse.gov.uk/offshore/statistics/hsr1213.pdf, March 10, 2014.

IEC 61508. 2010. **Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems**. Edition 2**,** International Electrical Commission, Switzerland.

Frank, P.L. 1996. **Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control.** Volumn 3, Loughborough University, United Kingdom.

Lloyd's Register. 2011. **Layer of Protection Analysis**. Lloyd's Register Group Limited, Sydney. (Mimeographed)

OGP 116901. 2013. **Guidance on performing risk assessment in the design of onshore LNG installations including the ship/shore interface.** The International Association of Oil & Gas producers, London.

OGP 434-1. 2010. **Risk Assessment Data Directory**, The International Association of Oil & Gas producers, London.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Risktec Solutions Ltd. 2007. **Solutions Practical HSE Risk Management: An Introduction to the Bow-tie Method**. The International Conference for Achieving Health & Safety Best Practice in Construction, Dubai.

Robin, P. and W.R. Nelson. 2013. Advanced Safety Barrier Management with Inclusion of Human and Organizational Aspects. **Journal of Chemical Engineering Transaction** 13: 331-336.

Silvianita, M.F. and K.V. John. 2011. Critical Review of a Risk Assessment Method and its Applications. **Journal of International Proceedings of Economics Development and Research (IPEDR)** 11: 83-87.

Tripod Solution. 2007. **Tripod Beta User Guide.** Tripod Solutions, USA.

Yaneira, E.S., K.C. Israni and J. Goddard. 2014. Bow-Tie Diagrams in Downstream Hazard Identification and Risk Assessment. **Journal of Process Safety Progress** 33 (1): 26-35.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

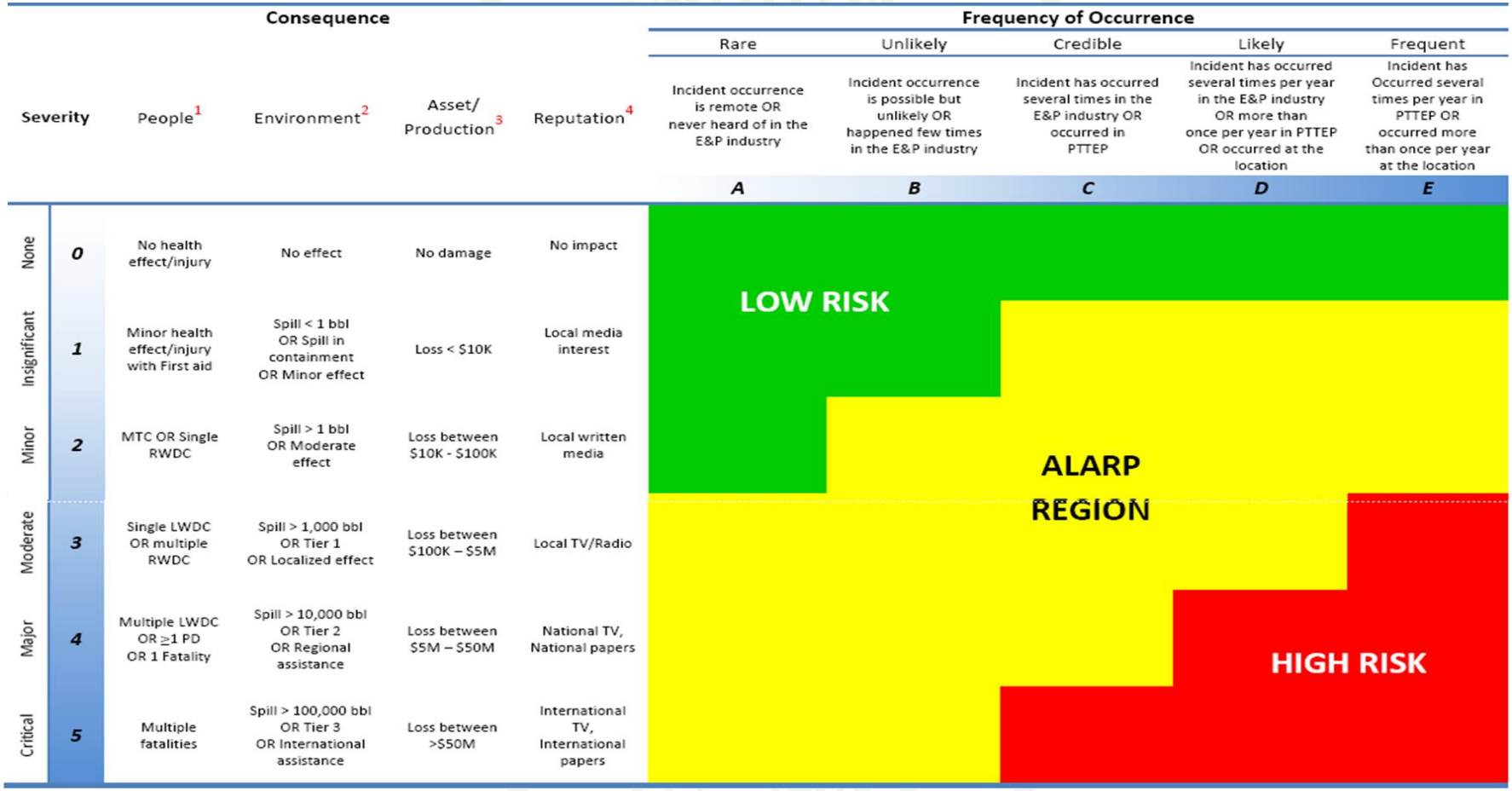
ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

เกณฑ์การจัดลำดับความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ก1 เกณฑ์การจัดลำดับความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)

ที่มา: บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2554)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการวิเคราะห์ระดับชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis)

เหตุการณ์อันตราย	ระดับความรุนแรง	สาเหตุของอันตราย	ความถี่ของเหตุการณ์ (ครั้ง/ปี)	ค่าความผิดพลาดของการป้องกัน (PFD)			ค่าความถี่ของเหตุการณ์หลังการป้องกัน (F)	TMEL	ผลการประเมิน
				ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3			
ก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลเนื่องจากการสั่นสะเทือนที่ส่งผลให้อุปกรณ์กันรั่วหรือชิ้นส่วนต่างๆของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตเสียหาย	Major	Threat 8: การสั่นสะเทือน (Vibration)	0.0438	0.1 Plant designs	1.17×10^{-3} Vibration control	0.1 Human response to alarm	5.125×10^{-8} ครั้ง/ปี	1.0×10^{-4} ครั้ง/ปี	อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้
ก๊าซไฮโดรคาร์บอนรั่วไหลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอาจ ที่ส่งผลให้ท่อในกระบวนการผลิตชำรุดเสียหาย	Major	Threat 9: ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress)	1.17×10^{-4}	0.1 Proper materials and plant designs	0.1 BPCS	0.1 Human response to alarm	1.17×10^{-8} ครั้ง/ปี	1.0×10^{-4} ครั้ง/ปี	อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาววรรณพธิดา เที่ยงตรง
เกิดวันที่	24 ธันวาคม 2524
สถานที่เกิด	อำเภอพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ศูนย์เอนเนอร์ยี่คอมเพล็กซ์ อาคาร A ชั้น 25 เลขที่ 555/1 ถนนวิภาวดีรังสิต เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์