



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การรั่วไหลของพาราไซลีนและกรดอะเซติก: การประเมินความเสี่ยงด้วย Fault Tree Analysis และ What If และการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นโดยโปรแกรมอโลฮาและพลศาสตร์ออคิกัย

The Leakage of p-Xylene and Acetic Acid: Risk Assessment Using Fault Tree and What If Analysis and the Investigation on Factors and Their Effects Using ALOHA and Fire Dynamic Simulator

นามผู้วิจัย นายประกิต ปุณณะวรกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทยา หาญสกุลลักษณ์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์พิริยทธิ์ ชาณเศรษฐิกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงทวิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การรั่วไหลของพาราไซลีนและกรดอะซิติก: การประเมินความเสี่ยงด้วย Fault Tree Analysis และ What If และการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยโปรแกรมอโลฮาและพลศาสตร์อัคคีภัย

The Leakage of p-Xylene and Acetic Acid: Risk Assessment Using Fault Tree and What If Analysis and the Investigation on Factors and Their Effects Using ALOHA and Fire Dynamic Simulator

โดย

นายประกิต ปุณณะวรกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2553

ประกิต ปุณณะวรกุล 2553: การรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติก: การประเมินความเสี่ยงด้วย Fault Tree Analysis และ What If และการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยโปรแกรมอโลฮาและพลศาสตร์อค์กีย์ ปรินญาวิศวกรรม ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย
โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทยา หาญสุกัลักษณ์, Ph.D. 135 หน้า

งานวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บ โดยการหาสาเหตุการรั่วไหลด้วยวิธี Fault Tree Analysis (FTA) และประเมินความเสี่ยงด้วย What If Analysis นอกจากนี้ได้ใช้โปรแกรมอโลฮาและ Fire Dynamic Simulator (FDS) ในการศึกษาบริเวณที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของสารนี้ออกจากถังเก็บของโรงงานแห่งหนึ่งที่ไม่มีการเก็บสารเคมีชนิดอื่น โดยสารพาราไซลีนถูกเก็บในถัง 2 ใบ ที่มีขนาด 2,300 และ 6,283 m³ ส่วนกรดอะเซติกถูกเก็บในถัง 2 ใบ ที่มีขนาดเท่ากันคือ 825 m³ ในงานนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การหาสาเหตุของการรั่วไหลด้วย FTA การประเมินความเสี่ยงด้วย What If Analysis การวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบด้วยโปรแกรมอโลฮาและ FDS จากผลการศึกษาพบว่าสาเหตุพื้นฐานที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารเคมีทั้ง 2 ชนิดเกิดจากอุปกรณ์บกพร่อง เมื่อนำสาเหตุพื้นฐานนี้ไปใช้ในการสร้างคำถาม What If เพื่อประเมินความเสี่ยง พบว่ามีเหตุการณ์ทั้งหมด 46 เหตุการณ์ที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ รวมถึงการลัดวงจรและอันตรายที่เกิดขึ้นจากไอกรด ทั้งนี้มี 6 เหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงระดับ 4 ซึ่งยอมรับไม่ได้ จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงซึ่งได้เสนอไว้ในงานวิทยานิพนธ์นี้

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมอโลฮาและ FDS พบว่าค่าฟลักซ์ความร้อนและก๊าซพิษจากการลัดวงจรของสารพาราไซลีนรวมถึงการแพร่กระจายของไอกรดที่รั่วไหลนี้มีผลกระทบกับพื้นที่ของโรงงานและโรงงานใกล้เคียงเท่านั้น (ไม่รวมชุมชน)

Prakit Pun naworakul 2010: The Leakage of p-Xylene and Acetic Acid: Risk Assessment Using Fault Tree and What If Analysis and the Investigation on Factors and Their Effects Using ALOHA and Fire Dynamic Simulator. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Nanthiya Hansupalak, Ph.D. 135 pages.

The purposes of this research were to study p-xylene and acetic acid leaking from storage tanks using Fault Tree Analysis (FTA) to find possible causes and What If Analysis to assess the risks. ALOHA and Fire Dynamic Simulator (FDS) were also used to study areas nearby that might be at risk from these chemicals leaking from storage tanks in a factory (no other chemicals were stored nearby). p-Xylene was kept in 2,300 and 6,283 m³ tanks while acetic acid in two tanks (825 m³). This work was divided into 4 parts: (1) using FTA to investigate the causes of leakage (2) using What If Analysis to assess the risks (3) using ALOHA to analyze areas that might be at risk and (4) using FDS to analyze areas that might be at risk. The basis causes leading to chemicals leaking were equipment failure. Basic causes were used to assess the risk using What If Analysis and found that 46 events leading to chemicals leaking (ignited and not ignited were included). The additional measures were proposed based on the existing measures to mitigate and control 6 events that show the highest risk level (level 4)

ALOHA and FDS simulation showed that the radiation due to p-xylene burning and gaseous products from the fire, including acid vapor threat zone covered only areas where the factory and other factories nearby (community was not affected) were located.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทิยา หาญสกุลกฤษณ์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือสนับสนุน ให้คำปรึกษา ดูแลเอาใจใส่ ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ของโครงการวิศวกรรมความปลอดภัยที่ให้โอกาสการศึกษาครั้งนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่โครงการ ตลอดจนเพื่อนนิสิตวิศวกรรมความปลอดภัยรุ่น 8 ทุกท่าน

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณความดีและประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา คณะอาจารย์และผู้ที่ทำให้การสนับสนุนตลอดมา

ประกิต ปุณณะวรกุล

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก ผลการประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นบริเวณ ถังเก็บสารพาราไซลินและกรดอะเซติก	72
ภาคผนวก ข มาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่มตามระดับ ความเสี่ยงเดิมที่ระดับ 2-3	123
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	135

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์	14
2	ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศที่คนสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดอันตราย	16
3	การเปรียบเทียบวิธีการชี้บ่งอันตรายด้วยเทคนิคต่างๆ	26
4	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ Fault Tree	28
5	การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ	32
6	การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อมและทรัพย์สิน	32
7	การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย	33
8	ค่าตัวแปรที่ใส่ในโปรแกรมโอโลฮา	38
9	ค่าตัวแปรที่ใส่ในโปรแกรม FDS	40
10	สาเหตุพื้นฐานที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของพาราไซลีนและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บ	45
11	สรุปผลการประเมินความเสี่ยงของถังเก็บสารพาราไซลีน และกรดอะเซติก	46
12	มาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่มตามระดับความเสี่ยงเดิมที่อยู่ในระดับ 4 ของถังเก็บสารพาราไซลีนและกรดอะเซติก	47
13	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากการลัดวงจรของสารพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บ 2 ขนาด	53
14	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นของไอกรดต่างๆซึ่งเกิดจากการรั่วไหลของกรดอะเซติกจากถังเก็บในช่วงเวลากลางวัน ^{1,2} และกลางคืน ^{1,2}	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ผลการชั่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บสาร พาราไซลีนขนาด 2,300 ลูกบาศก์เมตร ด้วยวิธี What If Analysis	77
ก2	ผลการชั่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บสาร พาราไซลีนขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยวิธี What If Analysis	90
ก3	ผลการชั่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บกรดอะเซติก ขนาด 825 ลูกบาศก์เมตร ถังที่ 1 ด้วยวิธี What If Analysis	102
ก4	ผลการชั่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บกรดอะเซติก ขนาด 825 ลูกบาศก์เมตร ถังที่ 2 ด้วยวิธี What If Analysis	115
ข1	มาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่มตามระดับความเสี่ยงเดิมของถัง เก็บสารพาราไซลีนและกรดอะเซติก	129

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพแบบจำลองไฟในอ่างไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง a) 1 เซนติเมตร b) 10 เซนติเมตร c) 30 เซนติเมตร และ d) 100 เซนติเมตร	5
2	แสดงลักษณะการแพร่กระจาย และความเข้มข้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของไอสารเคมี ที่เรียกว่า Threat Zone	17
3	แสดงลักษณะความดันจากแรงระเบิดที่ระยะต่างๆ จากการลุกติดไฟของสารเคมีที่รั่วไหล	19
4	ภาพแบบจำลองไฟไหม้ที่ส่วนบนของถังเก็บน้ำมัน ด้วยความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที คำนวณที่เกิดขึ้นจะไหลไปตามทิศทางลมที่ได้กำหนดไว้ สีของควันและเปลวไฟที่อยู่เหนือถัง (สีขาว) จะบ่งบอกถึงอุณหภูมิของเปลวไฟ	24
5	แสดงการเขียนแผนผัง Fault Tree Analysis (FTA)	27
6	ขั้นตอนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงจากแนวทางขั้นตอนการประเมินอันตราย (Guidelines for Hazards Evaluation Procedures)	31
7	อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการเก็บสารเคมีบริเวณถังเก็บสารพาราไซลีนที่ศึกษา	36
8	อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการเก็บสารเคมีบริเวณถังเก็บกรดอะเซติกที่ศึกษา	37
9	บริเวณจัดเก็บสารเคมีก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิตในโรงงานที่ศึกษา โดยถังเก็บอยู่ในเขื่อนกั้นสารเคมี (Dike) ขนาดกว้าง 38 เมตร และยาว 71 เมตร	38
10	การวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลีนออกจากถังเก็บขนาด 2,300 และ 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis	43
11	การวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บที่มีขนาดเท่ากัน 2 ถัง คือ 825 ลูกบาศก์เมตร ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis	44
12	ฟลูตปริ้นท์ของการแผ่รังสีความร้อน (ฟลักซ์, kW/m^2) ที่เกิดจากการลุกติดไฟของสารพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บขนาด (ก) 2,300 และ (ข) 6,283 m^3 เมื่อลมพัดมาจากทิศเหนือ	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
13	แผนที่จาก Google Earth แสดงบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนจากการลัดวงจรของสารพาราไซลินที่รั่วไหลออกจากถังเก็บขนาด (ก) 2,300 และ (ข) 6,283 m ³ (จุดศูนย์กลางวงกลม คือ บริเวณที่เกิดเหตุโดยพื้นที่วงกลมครอบคลุมโรงงานที่ศึกษาพื้นที่นอกเขตเป็นโรงงานข้างเคียง)	52
14	ฟุตพริ้นท์แสดงการกระจายความเข้มข้นของไอกรดที่เกิดจากการรั่วไหลของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บขนาด 825 m ³ ที่เกิดขึ้นในเวลา (ก) กลางวัน และ (ข) กลางคืนทั้งนี้ได้แบ่งระดับความเข้มข้นออกเป็น 3 ระดับตามผลกระทบต่อสุขภาพ	54
15	แผนที่จาก Google Earth แสดงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบของการกระจายความเข้มข้นของไอกรดที่เกิดจากการรั่วไหลของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บขนาด 825 m ³ ที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืนเท่านั้น (วงรีภายในวงกลมแสดงถึงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไอกรดเข้มข้น ≥ 5 พีพีเอ็ม ที่ทิศทางลมต่างๆ)	55
16	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจากการลัดวงจรของสารพาราไซลินในถังเก็บขนาด 6,283 m ³ ในช่วงเวลา 180 วินาที (ก) โดยการลัดวงจรของสารนี้เกิดขึ้นในวินาทีที่ (ข) 10 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 60 และ (ฉ) 120	58
17	อุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของถังเก็บสารพาราไซลินขนาด 6,283 m ³ โดยลัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว (ก) 0.26 (ข) 0.5 และ (ค) 1.18 m/s	59
18	อุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของถังเก็บสารพาราไซลินขนาด 6,283 m ³ ในนาทีที่ (ก) 20 (ข) 8 โดยลัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว 1.18 m/s	60
19	ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของถังเก็บสารพาราไซลินขนาด 6,283 m ³ โดยลัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว (ก) 0.26 (ข) 0.5 และ (ค) 1.18 m/s	62
20	ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรของถังเก็บสารพาราไซลินขนาด 6,283 m ³ โดยลัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว (ก) 0.26 (ข) 0.5 และ (ค) 1.18 m/s	64

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ALOHA	=	Areal Locations of Hazardous Atmospheres
CEI	=	Chemical Exposure Index
FDS	=	Fire Dynamic Simulator
F&EI	=	Fire and Explosion Index
FTA	=	Fault Tree Analysis
HAZOP	=	Hazard and Operability Study
LFL	=	Lower Flammable Limit
MIE	=	Minimum Ignition Energy
NIST	=	National Institute of Standards and Technology
NOAA	=	National Oceanic and Atmospheric Administration
UFL	=	Upper Flammable Limit

การรั่วไหลของพาราไซลีนและกรดอะเซติก: การประเมินความเสี่ยงด้วย Fault Tree Analysis และ What If และการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นโดยโปรแกรมอลฮาและพลศาสตร์อัคคีภัย

The Leakage of p-Xylene and Acetic Acid: Risk Assessment Using Fault Tree and What If Analysis and the Investigation on Factors and Their Effects Using ALOHA and Fire Dynamic Simulator

คำนำ

สารพาราไซลีนเป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟเท่ากับ 25 องศาเซลเซียสจึงเป็นสารเคมีไวไฟ (NFPA 30, 2000) โดยช่วงความเข้มข้นที่สามารถถูกติดไฟได้อยู่ระหว่าง 1.1 – 7% (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2544) และที่ความเข้มข้น > 900 พีพีเอ็ม ไอของสารจะก่อให้เกิดการเสียชีวิตภายใน 60 นาที (U.S. Department of Energy, 1992) สำหรับกรดอะเซติกเป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส จึงเป็นสารเคมีที่ติดไฟได้ โดยช่วงความเข้มข้นที่สามารถถูกติดไฟได้อยู่ระหว่าง 4 – 16% นอกจากนี้ที่ความเข้มข้น > 250 พีพีเอ็ม กรดอะเซติกยังมีฤทธิ์กัดกร่อนและทำอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ซึ่งมีโอกาสก่อให้เกิดการเสียชีวิตภายใน 60 นาที

การรั่วไหลของสารเคมีไวไฟภายในคลังเก็บสารก่อให้เกิดอุบัติเหตุที่รุนแรงได้ เช่น การเกิดไฟไหม้ การแพร่กระจายของก๊าซพิษ ซึ่งอุบัติเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยค่าใช้จ่ายทางตรงได้แก่ ค่ารักษาพยาบาล และค่าเบี้ยประกัน เป็นต้น ส่วนค่าใช้จ่ายทางอ้อมได้แก่ เวลาที่เสียไปกับการสอบสวนอุบัติเหตุ ค่าใช้จ่ายในการอบรมพนักงานใหม่ และการสูญเสียภาพลักษณ์ขององค์กร เป็นต้น (Bird, 1996) ตัวอย่างอุบัติเหตุการเกิดเพลิงไหม้คลังเก็บสารพาราไซลีนซึ่งเป็นสารเคมีไวไฟที่เคยเกิดขึ้นในต่างประเทศ เช่น วันที่ 5 มิถุนายน 2549 ได้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้คลังเก็บพาราไซลีนทำให้มีผู้เสียชีวิต 3 คน และบาดเจ็บ 1 คน ถึงเก็บสารเสียหาย 4 ถัง เหตุการณ์นี้เกิดจากทำงานเชื่อมบริเวณถังเก็บสารโดยไม่มีระบบการขออนุญาตทำงาน (Work Permit System) เพื่อเตรียมมาตรการด้านความปลอดภัยก่อนเริ่มงาน ทำให้เกิดการลุกติดไฟของสะเก็ดไฟจากงานเชื่อมที่กระเด็นไปโดนไอของสารพาราไซลีนที่ระบายออกจากถัง จนเป็นเหตุให้เกิดไฟไหม้ (CSB, 2007) และในวันที่ 6 มีนาคม 2548 เกิดอุบัติเหตุถังเก็บกรดอะเซติกที่ขนส่งทาง

รถไฟแตก ที่เกิดขึ้นในต่างประเทศ ทำให้ผู้โดยสารภัยใกล้ถึงต้องอพยพ 6,000 คน และถึงเก็บเสียหาย เหตุการณ์นี้เกิดจากการบรรจุกรดหลายชนิดผสมลงในถัง ซึ่งถังนี้ไม่ได้ถูกออกแบบให้สามารถบรรจุกรดได้หลายชนิด ทำให้ถึงเกิดการแตกและการรั่วไหลของกรดดังกล่าว สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการเก็บพาราไซลีนซึ่งเป็นสารเคมีไวไฟ จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงไหม้ โดยเฉพาะการเก็บสารเคมีไวไฟกับสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน เช่น กรดอะเซติก ไวไฟในพื้นที่เดียวกันจะทำให้เกิดความเสี่ยงมากขึ้น เนื่องจากกรดอะเซติกค่าพีเอช = 2.5 (ศูนย์ข้อมูลอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2544) เมื่อถึงเก็บกรดนี้รั่วไหลจะมีโอกาสทำให้ถึงเก็บพาราไซลีนเสียหาย เกิดการลุกติดไฟของพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บได้เมื่อสัมผัสกับประกายไฟ

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าสารพาราไซลีนเป็นสารเคมีไวไฟส่วนกรดอะเซติกเป็นสารเคมีที่ติดไฟได้ การรั่วไหลของสารทั้ง 2 ชนิดนี้ก่อให้เกิดการลุกติดไฟถ้าสัมผัสกับประกายไฟ แต่ถ้าไม่เกิดการลุกติดไฟการรั่วไหลของสารจะก่อให้เกิดความเข้มข้นที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจการเก็บพาราไซลีนและกรดอะเซติกในบริเวณเดียวกันซึ่งมักพบในโรงงานที่ผลิตสารพีทีเอ (Purified Terephthalic Acid: PTA) หรือโรงงานที่ใช้สารพาราไซลีนและกรดอะเซติกเป็นวัตถุดิบ โดยศึกษาวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis และการประเมินความเสี่ยงจากสาเหตุของการรั่วไหล รวมถึงการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหล โดยใช้โปรแกรมโอฮาภายใต้อิทธิพลของทิศทางลมและช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล ทั้งนี้ได้สนใจการลุกติดไฟจากสารพาราไซลีน และอันตรายจากไอกรดที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังใช้โปรแกรม Fire Dynamic Simulator (FDS) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิความร้อน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บพาราไซลีนด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลินและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บด้วย Fault Tree Analysis
2. เพื่อประเมินความเสี่ยงถึงเก็บสารพาราไซลินและกรดอะเซติกด้วย What If Analysis
3. เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของสารพาราไซลินและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บโดยใช้โปรแกรมอโรสกายได้อธิพลของทิศทางลมและช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล ทั้งนี้ได้สนใจการลุกติดไฟจากสารพาราไซลิน และอันตรายจากไอกรดที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ
4. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิความร้อน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บพาราไซลิน ด้วยโปรแกรม Fire Dynamic Simulator (FDS)

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจประเมินความเสี่ยงการรั่วไหลและผลกระทบที่เกิดจากการรั่วไหลในคลังเก็บสารพาราไซลินจำนวน 2 ถัง ซึ่งมีขนาด 6,283 และ 2,300 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และถังเก็บกรดอะเซติกจำนวน 2 ถัง ซึ่งแต่ละถังมีขนาด 825 ลูกบาศก์เมตร ภายในพื้นที่จัดเก็บ 2,700 ตารางเมตร ของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง

การตรวจเอกสาร

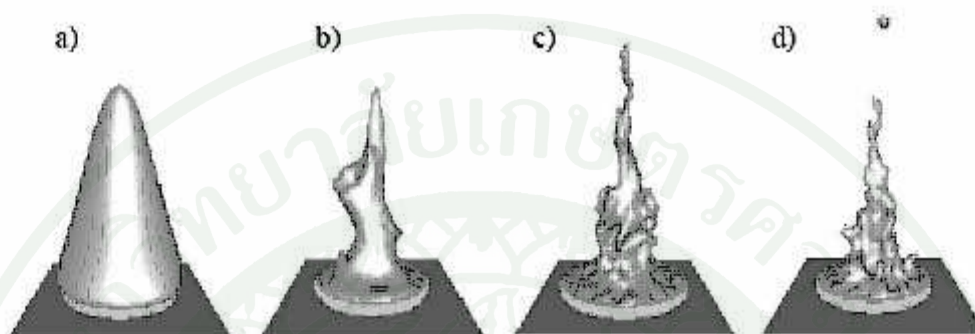
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทิพวรรณ (2550) ทำการศึกษาและประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวภายในคลังเก็บ โดยใช้โปรแกรมอโลฮาประเมินความรุนแรง ขอบเขตที่ได้รับผลกระทบพบว่าผลกระทบจากการรั่วไหลที่สำคัญคือ การเกิดระเบิดแบบ BLEVE ซึ่งทำอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต และได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับโปรแกรมอโลฮา ว่าควรเพิ่มประเภทของสภาพพื้นที่เกิดเหตุใกล้แหล่งน้ำ เพื่อประเมินความรุนแรงของเหตุการณ์ของสารเคมีที่มีพิษที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับน้ำ กรณีที่มีการรั่วไหลผสมกับน้ำ นอกจากนี้โปรแกรมยังมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถประเมินสภาวะรอบข้างได้ เช่น กรณีที่แหล่งกำเนิดมีอาคารปิดกั้นด้านข้าง ทำให้ผลจากความเป็จริงร้ายแรงกว่าผลจากการประเมินด้วยโปรแกรมเนื่องจากมีอาคารปิดกั้น

ณัฐพงษ์ (2550) ทำการประเมินผลกระทบของถังบรรจุก๊าซไฮโดรคาร์บอนเบา ได้แก่ Ethane, Ethylene, Propane และ Propylene ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยใช้โปรแกรมอโลฮา พบว่าในการกำหนดสถานการณ์การรั่วไหลในโปรแกรม กรณีเกิดรอยรั่วบริเวณหน้าแปลนกว้าง 1 มิลลิเมตร และความยาว 2 เซนติเมตรไม่สามารถแสดงแบบจำลองได้ เนื่องจากมีผลกระทบน้อยมาก เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะทางการรั่วไหล ของสารเคมีทั้ง 4 ชนิด พบว่า Propane มีการรั่วไหลเป็นระยะทางไกลที่สุด ซึ่งเป็นไปตามความเป็นจริงที่ว่าปัจจัยของระยะทางการรั่วไหลขึ้นอยู่กับแรงดันในถังเก็บ ซึ่ง Propane ถูกเก็บในถังที่มีความดันมากที่สุด เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ว่ารัศมีการระเบิดขึ้นอยู่กับปริมาณของวัตถุนตราย พบว่าผลที่ได้จากโปรแกรมอโลฮาสอดคล้องเนื่องจากโปรแกรมให้ผลรัศมีการระเบิดของ Propylene มากที่สุด ซึ่งสารเคมีดังกล่าวเก็บในปริมาณมากที่สุดด้วย

Hostikka (2003) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของอ่างไฟ (Pool Fire) ซึ่งทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic, CFD) ในการจำลองอ่างไฟเพื่อศึกษาการถ่ายเทรังสีความร้อน และพฤติกรรมของไฟโดยใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง การจำลองกำหนดให้เกิดเพลิงไหม้ในอ่างไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1, 10, 30 และ 100 เซนติเมตร ภายในโดเมนที่มีจำนวนกริด (Grid Number) 50 x 50 x 100 ผลการทดลองพบว่าอ่างไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เปลวไฟจะราบเรียบ และสมมาตร (Laminar and Symmetric)

อ่างไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เปลวไฟจะสั้น ใ่วเล็กน้อย และเริ่มไม่สมมาตร โดยที่อ่างไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 และ 100 เซนติเมตร เปลวไฟจะสั้น ใ่วมีลักษณะ คล้ายเปลวไฟที่เกิดขึ้นจริงดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพแบบจำลองไฟในอ่างไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง a) 1 เซนติเมตร b) 10 เซนติเมตร c) 30 เซนติเมตร และ d) 100 เซนติเมตร

ที่มา: Hostikka (2003)

เรืองรัตน์ (2551) ประยุกต์ใช้โปรแกรมพลศาสตร์อวกาศ (FDS) เพื่อใช้ในการออกแบบ การจัดเก็บสารเคมีไวไฟ จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม FDS สำหรับตู้คอนเทนเนอร์ จัดเก็บสารเคมีไวไฟ ที่ได้มีการปรับปรุงโดยลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถาดรองรับสารเคมี พบว่า อุณหภูมิและค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตู้คอนเทนเนอร์ลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากพื้นผิว ของเหลวมีขนาดเล็กลง จะเห็นว่าโปรแกรมให้ผลที่สอดคล้องกับทฤษฎีการเผาไหม้ แต่โปรแกรมมี ข้อจำกัดคือ ข้อมูลโครงสร้างหรือวัสดุที่มีให้มาในฐานข้อมูลมีอยู่จำกัด ดังนั้นถ้านำไปสร้าง แบบจำลองที่มีความหลากหลายของโครงสร้างหรือวัสดุ จะทำให้ผลจากการสร้างแบบจำลอง ไม่ได้ผลใกล้เคียงความเป็นจริง

Khan (2000) พัฒนา FTA ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการ ประเมินความเสี่ยงในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ทำให้การใช้ FTA ง่ายขึ้น รวดเร็วขึ้นและลด ค่าใช้จ่ายต่างๆลงได้

พฤษี (2548) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบดับเพลิงของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ Fault Tree Analysis (FTA) โดยมุ่งวิเคราะห์เปรียบเทียบ โอกาสการเกิดความบกพร่องของอุปกรณ์ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ ระหว่าง Water Spray System กับ Water Mist System การวิเคราะห์ด้วย FTA จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการเกิดความบกพร่องของระบบดับเพลิง โดยใช้สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ FTA มาแสดงการเชื่อมโยงของเหตุการณ์ต่างๆ และสามารถใช้ในการทางคณิตศาสตร์ ในการหาโอกาสการเกิดความบกพร่อง ของอุปกรณ์ระบบดับเพลิง ทั้งการคำนวณทางทฤษฎี และการคำนวณจากรายงานการซ่อมอุปกรณ์ซึ่งผลการคำนวณให้ผลอย่างเดียวกัน

สุกิตติ (2549) ได้ประเมินความเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากสถานีบริการก๊าซธรรมชาติรถยนต์ โดยใช้การวิเคราะห์แผนภูมิต้นไม้ (FTA) เพื่อประเมินหาระยะห่างที่ปลอดภัยจากจุดที่เกิดอันตราย และหาอัตราความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดอันตรายนั้น โดย FTA เป็นวิธีประเมินความเสี่ยงที่ให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจน คือให้ความน่าจะเป็นเปิดตัวเลขค่าอัตราการพังเสียหายต่อปี และการพิจารณาความรุนแรงในด้านผลกระทบ (Consequence) ซึ่งทำให้สามารถจัดลำดับและวางมาตรการแก้ไขได้ชัดเจน นอกจากนี้พบว่า การทวนสอบผลโดยใช้โปรแกรม RMP*Comp™ Ver. 1.07 มีข้อจำกัดคือไม่สามารถแสดงผลเป็นแผนภาพ (Graphic) ได้ และไม่สามารถผสมวัตถุไวไฟหลายชนิดเข้าด้วยกันได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. สารเคมี

1.1 สารพาราไซลีน

เป็นอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของออโทไซลีน และเมทาไซลีน เป็นของเหลวใสไม่มีสี ติดไฟได้ ละลายในแอลกอฮอล์ และอีเทอร์ แต่ไม่ละลายในน้ำ แยกจากของผสมของไซลีนด้วยวิธีแอบซอร์บชัน หรือกระบวนการพาร็อกซ์ ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เทอร์ฟทาติกแอซิด และไดเมทิลเทอร์ฟทาเลดใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามิน และยา และใช้เป็นตัวทำละลาย (Sigma, 2004) สำหรับคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของพาราไซลีนเป็น ดังนี้

1.1.1 คุณสมบัติทางเคมี

พาราไซลีนประกอบด้วยคาร์บอน 8 อะตอม และไฮโดรเจน 10 อะตอม อยู่ในรูปของวงของเบนซีน และหมู่เมทิล 2 หมู่ คำว่าพาราเป็นการบอกตำแหน่งของหมู่เมทิลที่เกาะอยู่ที่วงของเบนซีน พาราไซลีนเป็นไอโซเมอร์ของไซลีน ซึ่งประกอบด้วยอโทไซลีน (o-xylene), เมทาไซลีน (m-xylene) และพาราไซลีน (p-xylene)

1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

พาราไซลีนเป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่น ละลายได้ดีในเอทานอล และไดเอทิล อีเทอร์ ไม่ละลายน้ำ

จุดเดือด จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ไอและความดันไอ

พาราไซลีนมีจุดเดือด 137 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลว 13 องศาเซลเซียส มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ และความดันบรรยากาศ มีค่าความหนาแน่นของไอ (Vapor Density) 3.7 g/l ขณะที่อากาศมีความหนาแน่นของไอ 1 g/l ถ้าพาราไซลีนได้รับความร้อนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการคายไอของพาราไซลีน ซึ่งไอระเหยจะลอยสู่ที่ต่ำ

พาราไซลีนมีความดันไอ (Vapor Pressure) 9 mmHg ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าความดันไอ เป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหยของสาร กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว และเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสูงค่าความดันไอก็สูงขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าเกิดไฟไหม้บริเวณถังเก็บพาราไซลีน อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความดันไอสูงขึ้น สามารถระเหยกลายเป็นไอเร็วขึ้น

ความหนาแน่น

ความหนาแน่นคือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร พาราไซลีนมีความหนาแน่น 0.86 g/cm³ ขณะที่น้ำมีความหนาแน่น 1 g/cm³ ดังนั้นเมื่อพาราไซลีนผสมกับน้ำ พาราไซลีนจะลอยอยู่บนผิวน้ำ เพราะพาราไซลีนมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ

นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีความหนาแน่น คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนาแน่นของสารเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะลดลง

จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟหมายถึง อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของของเหลวที่ทำให้เกิดไอระเหยของเหลวผสมกับอากาศใกล้กับผิวของเหลวซึ่งสามารถเกิดการติดไฟได้เมื่อมีประกายไฟ (NFPA 30, 2000) พาราไซลีนมีจุดวาบไฟเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของพาราไซลีนมีค่าตั้งแต่ 25 องศาเซลเซียสขึ้นไปและมีประกายไฟเกิดขึ้นบริเวณหน้าผิว ของพาราไซลีนจะทำให้เกิดวาบไฟขึ้น

อุณหภูมิลุกติดไฟได้ด้วยตนเอง (Autoignition Temperature)

เมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้ได้เอง แม้จะไม่มีประกายไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ได้เองตามธรรมชาตินี้เรียกว่า อุณหภูมิลุกติดไฟได้ด้วยตนเอง (Autoignition Temperature) พาราไซลีนจะลุกติดไฟได้ด้วยตนเองที่อุณหภูมิ 529 องศาเซลเซียส โดยไม่จำเป็นต้องมีประกายไฟ

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของพาราไซลีน หมายถึง ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำพาราไซลีนหนึ่งหน่วยน้ำหนัก มาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

ช่วงของการติดไฟ

ไอของสารเคมีจะติดไฟได้ จะต้องมีส่วนผสมระหว่างไอของสารเคมีและอากาศในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม ส่วนผสมจะไม่ติดไฟถ้าอยู่ต่ำกว่า ขีดจำกัดล่างของการติดไฟ (Lower Flammable Limit: LFL) และเมื่อไอของสารเคมีมีความเข้มข้นมาก หรือส่วนผสมมีความ

เข้มข้นมากกว่าขีดจำกัดบนของการติดไฟ (Upper Flammable Limit: UFL) ส่วนผสมนั้นจะไม่ติดไฟ ดังนั้นส่วนผสมจะติดไฟได้ต่อเมื่อมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง LFL ถึง UFL

พาราไซลีนมีค่า LFL เท่ากับ 1.1% และมีค่า UFL เท่ากับ 9% ดังนั้นพาราไซลีนจะติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีไอระเหยของพาราไซลีนที่ผสมอยู่ในอากาศ 1.1-9% กล่าวคือ ถ้ามีไอระเหยของพาราไซลีนต่ำกว่า 1.1 ส่วนหรือสูงกว่า 9 ส่วน ในส่วนผสมของไอระเหยกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นจะไม่ติดไฟ

พลังงานการจุดติดไฟ (Ignition Energy)

พลังงานที่น้อยที่สุดในการจุดติดไฟ (Minimum Ignition Energy: MIE) คือพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใส่เข้าไปในส่วนผสมที่สามารถติดไฟได้ แล้วทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้น ค่า MIE ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความดันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า MIE ต่ำลง การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนทำให้ MIE สูงขึ้น โดยทั่วไปสารเคมีประเภทไฮโดรคาร์บอนจะมีค่า MIE ประมาณ 0.25 มิลลิจูล ซึ่งเป็นพลังงานที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจากการเดินบนพรมจะมีค่าประมาณ 25 มิลลิจูล สำหรับพาราไซลีนมีค่า MIE เท่ากับ 0.2 มิลลิจูล (Babrauskas, 2003) ซึ่งการไหลของของเหลวในท่อโดยทั่วไปสามารถทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ที่มีพลังงานมากกว่า MIE ดังนั้นถ้าเกิดไฟฟ้าสถิตบริเวณที่มีส่วนผสมของพาราไซลีนในความเข้มข้นที่เหมาะสม อาจทำให้เกิดการติดไฟหรือระเบิดได้

1.1.3 ความเป็นอันตรายต่อชีวิต

การรั่วไหลของพาราไซลีนก่อให้เกิดความเข้มข้นที่เป็นอันตรายต่อชีวิตโดย U.S. Department of Energy ได้กำหนดค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่ที่เกิดการรั่วไหล (TEEL: Temporary Exposure Limits) ของพาราไซลีนไว้ 3 ระดับดังนี้ TEEL-1 (150 พีพีเอ็ม) อาจก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย TEEL-2 (200 พีพีเอ็ม) อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพที่ทำให้ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาเหมือนเดิมได้ และ TEEL-3 (900 พีพีเอ็ม) อาจเกิดผลกระทบรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ โดยคิดระยะเวลาที่สัมผัสสารเคมีนาน 60 นาที

1.2 กรดอะเซติก

กรดน้ำส้มหรือกรดอะเซติกเป็นสารประกอบเคมีอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในน้ำส้มสายชู ให้รสเปรี้ยวและกลิ่นฉุนกรดชนิดหนึ่ง เป็นของเหลวใสไม่มีสี ผลิตจากเมทานอล ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอซีเตตต่างๆ ที่สำคัญที่สุดคือ ไวนิลเอซีเตต และใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิต เทเรฟทาติกแอซิด (Sigma, 2004) สำหรับคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของกรดอะเซติกเป็น ดังนี้

1.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

กรดอะเซติกประกอบด้วยคาร์บอน 2 อะตอม ออกซิเจน 2 อะตอมและไฮโดรเจน 4 อะตอม เป็นกรดที่อยู่ในกลุ่มของคาร์บอกซิล โดยมีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n}O_2$ สารที่อยู่ในกลุ่มของคาร์บอกซิลได้แก่ กรดฟอร์มิก (Formic Acid), กรดอะเซติก (Acetic Acid) และกรดบิวทิริก (Butyric Acid) เป็นต้น

1.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

กรดอะเซติกเป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน แสบจมูก ละลายได้ดีในน้ำ เพราะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป

จุดเดือด จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ไอและความดันไอ

กรดอะเซติกมีจุดเดือด 118 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลว 16.2 องศาเซลเซียส มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ และความดันบรรยากาศ มีค่าความหนาแน่นของไอ (Vapor Density) 2.07 g/l ขณะที่อากาศมีความหนาแน่นของไอ 1 g/l ดังนั้นถ้ากรดอะเซติกได้รับความร้อนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการคายไอของกรดอะเซติก ซึ่งไอระเหยจะลอยลงสู่ที่ต่ำ

กรดอะเซติกมีความดันไอ (Vapor Pressure) 11 mmHg ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าความดันไอ เป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหยของสาร กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว และเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยตรง

กล่าวคือถ้าอุณหภูมิสูงค่าความดันไอก็สูงขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าเกิดไฟไหม้บริเวณถังเก็บกรดอะเซติก อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความดันไอสุงขึ้น สามารถระเหยกลายเป็นไอเร็วขึ้น

ความหนาแน่น

ความหนาแน่นคือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร กรดอะเซติก มีความหนาแน่น 1.06 g/cm³ ขณะที่น้ำมีความหนาแน่น 1 g/cm³ เมื่อกรดอะเซติกผสมกับน้ำ กรดอะเซติกจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำเนื่องจากจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ

จุดวาบไฟ (Flash Point)

กรดอะเซติกมีจุดวาบไฟเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของกรดอะเซติกมีค่าตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียสขึ้นไปและมีประกายไฟเกิดขึ้นบริเวณหน้าผิว ของกรดอะเซติก จะทำให้เกิดวาบไฟขึ้น

อุณหภูมิลุกติดไฟได้ด้วยตนเอง (Autoignition Temperature)

เมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้ได้เอง แม้จะไม่มีประกายไฟ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ได้เองตามธรรมชาตินี้ เรียกว่า อุณหภูมิลุกติดไฟได้ด้วยตนเอง (Autoignition Temperature) กรดอะเซติกจะลุกติดไฟได้ด้วยตนเองที่อุณหภูมิ 427 องศาเซลเซียส โดยไม่จำเป็นต้องมีประกายไฟ

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของกรดอะเซติก หมายถึง ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำพาราไซลินหนึ่งหน่วยน้ำหนัก มาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

ช่วงของการติดไฟ

ไอของสารเคมีจะติดไฟได้ จะต้องมีส่วนผสมระหว่างไอของสารเคมีและอากาศในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม ส่วนผสมจะไม่ติดไฟถ้าอยู่ต่ำกว่า ขีดจำกัดล่างของการติดไฟ (Lower Flammable Limit: LFL) และเมื่อไอของสารเคมีมีความเข้มข้นมาก หรือส่วนผสมมีความเข้มข้นมากกว่าขีดจำกัดบนของการติดไฟ (Upper Flammable Limit: UFL) ส่วนผสมนั้นจะไม่ติดไฟ ดังนั้นส่วนผสมจะติดไฟได้ต่อเมื่อมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง LFL ถึง UFL

กรดอะเซติกมีค่า LFL เท่ากับ 4% และมีค่า UFL เท่ากับ 19.9% ดังนั้นกรดอะเซติกจะติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีไอระเหยของกรดที่ผสมอยู่ในอากาศ 4-19.9% กล่าวคือ ถ้ามีไอระเหยของกรดต่ำกว่า 4 ส่วนหรือสูงกว่า 19.9 ส่วน ในส่วนผสมของไกรดกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นจะไม่ติดไฟ

1.2.3 ความเป็นอันตรายต่อชีวิต

การรั่วไหลของกรดอะเซติกก่อให้เกิดความเข้มข้นที่เป็นอันตรายต่อชีวิตโดย U.S. Department of Energy ได้กำหนดค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่ที่เกิดการรั่วไหล (TEEL: Temporary Exposure Limits) ของกรดอะเซติกไว้ 3 ระดับดังนี้ TEEL-1 (5 พีพีเอ็ม) อาจก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย TEEL-2 (35 พีพีเอ็ม) อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพที่ทำให้ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาเหมือนเดิมได้ และ TEEL-3 (250 พีพีเอ็ม) อาจเกิดผลกระทบรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ โดยคิดระยะเวลาที่สัมผัสสารเคมีนาน 60 นาที

2. ทฤษฎีการเผาไหม้

เพลิงไหม้ คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เราไม่สามารถควบคุมได้ จนก่อให้เกิดความเสียหายกับชีวิตและทรัพย์สินจากการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจน อย่างรวดเร็ว และก่อให้เกิดความร้อน และแสงสว่างเป็นปริมาณมาก องค์ประกอบของการเผาไหม้นั้นต้องมีองค์ประกอบด้วยกัน 3 องค์ประกอบ ที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ คือ เชื้อเพลิง (Fuel), ความร้อน (Heat) และออกซิเจน (มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยในประเทศญี่ปุ่น, 2546) นอกจากนี้องค์ประกอบที่ทำให้เกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องคือ ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ที่

เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งสามารถทำให้เพลิงไหม้ลุกลามอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีแหล่งความร้อนจากภายนอก โดยจะต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงและออกซิเจนอย่างเหมาะสมและทำปฏิกิริยากันในอัตราที่สามารถให้พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากระตุ้นปฏิกิริยาของตัวมันเองอย่างต่อเนื่อง ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดความเข้มข้นของออกซิเจน (Limiting Oxygen Concentration: LOC) การเผาไหม้จะไม่เกิดขึ้น ดังนั้นในโรงงานที่มีถังเก็บสารเคมีไวไฟจะมีการใส่ก๊าซเฉื่อย เพื่อป้องกันการเกิดการเผาไหม้ เช่น ก๊าซไนโตรเจน เพื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนให้น้อยกว่าค่า LOC โดยทั่วไปค่าความเข้มข้นของ LOC ที่ไม่ทำให้ไอของสารไวไฟติดไฟได้มีค่าไม่เกิน 10% โดยปริมาตร ในการออกแบบจะควบคุมค่าความเข้มข้นของ LOC อยู่ในช่วง 6%-8% โดยปริมาตร

3. อันตรายที่เกิดจากไฟไหม้

3.1 การแผ่รังสีความร้อนจากการเผาไหม้ (Thermal Radiation from Fires)

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ที่ไอของเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนสูงสู่สิ่งก่อสร้างผู้คนโดยรอบ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง ความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะไหลผ่านโดยไม่ต้องใช้ตัวกลาง ซึ่งจะเคลื่อนไปในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) โดยผลของการแผ่รังสีความร้อนจะเทียบเท่ากับ ความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนไปยังตัวรับมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตารางเมตร แสดงดังตารางที่ 1

3.2 การระเบิด (Explosions)

นอกจากอันตรายจากการแผ่รังสีความร้อนแล้ว พลังงานที่เกิดขึ้นจากการระเบิดสามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างและทำอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ การระเบิดโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิง และก๊าซออกซิเจนได้รับกับผสมไว้มาก่อนเกิดการจุดติดส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการชะลอตัว หากสารอยู่ในภาชนะปิด ความรุนแรงของการขยายตัวหรือการเผาไหม้อาจทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหรือเกิดการระเบิดนั่นเอง ปรากฏการณ์นี้จะตรงข้ามกับการเผาไหม้ โดยที่การเผาไหม้เมื่อแรกเริ่มนั้นตัวเชื้อเพลิงกับก๊าซออกซิเจนจะแยกกันอยู่และอัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราส่วนการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและก๊าซออกซิเจน

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

ความเข้มของการแผ่รังสีความร้อน (kW/m ²)	ระยะเวลาที่ทำให้เกิดการปวดแสบปวดร้อนของผิวหนัง (วินาที)	ระยะเวลาที่ทำให้เกิดแผลไฟไหม้ระดับ 2 (วินาที)
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	18	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20

ที่มา: ALOHA Manual (2007)

การระเบิดเป็นผลจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาอย่างรวดเร็ว และมากพอที่จะทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในบริเวณที่เกิดการระเบิด พลังงานนี้เองจะแพร่ออกไปในหลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นคลื่นความดัน การแผ่รังสีความร้อน และพลังงานเสียงสะท้อน (Acoustic Energy) ความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดจากการแพร่กระจายของพลังงานเหล่านี้เอง โดยลักษณะของการระเบิดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) Detonation เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก มีค่ามากกว่าความเร็วเสียง
- 2) Deflagration เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก มีค่าน้อยกว่าความเร็วเสียง

การเกิดระเบิด Detonation และ Deflagration ต้องการเวลาในการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ประมาณ 1/10,000 วินาที และ 1/1,000 วินาที ตามลำดับ ความดันที่เกิดขึ้นในกรณีของ Detonation จะมีค่ามากกว่าความดันที่เกิดขึ้นในกรณีของ Deflagration โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมเคมี จะมีการระเบิดแบบ Deflagration มากกว่า Detonation สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดมี 7 ปัจจัยคือ อุณหภูมิบรรยากาศ ความดันบรรยากาศ ส่วนประกอบของสารที่ก่อให้เกิดการระเบิด คุณสมบัติทางกายภาพของสารที่ก่อให้เกิดการระเบิด ลักษณะของสิ่งแวดล้อมว่าเป็นบริเวณ

จำกัด (Confined) หรือบริเวณโล่งแจ้ง (Unconfined) ปริมาณของสารที่ก่อให้เกิดการระเบิด และ อัตราการปล่อยพลังงานของสารที่ก่อให้เกิดการระเบิด

3.3 อัตราการปล่อยพลังงาน (Heat Release Rate Theory) จากการเกิดไฟไหม้

อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate, $\dot{Q}$) คือ อัตราที่พลังงาน ความร้อนถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้โดยพลังงานความร้อนถูกวัดในรูปของกิโลวัตต์ (kW) ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงได้จาก

$$\dot{Q} = \dot{m} A \Delta H_c \quad (1)$$

เมื่อ

$\dot{Q}$	=	อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน (kW)
$\dot{m}$	=	ฟลักซ์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ($\text{g/m}^2\text{s}$)
A	=	พื้นที่ของการเผาไหม้ (m^2)
ΔH_c	=	ความร้อนของการเผาไหม้ (kJ/g)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of combustion) เป็นพลังงานความร้อนที่เชื้อเพลิง ปล่อยออกมาต่อมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้

3.4 อันตรายของผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้

ผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงชนิดไฮโดรคาร์บอน นั้นจะประกอบไปด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ส่วนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้ คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นมาด้วย (Quintiere, 2006) ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์และ คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซพิษ ถ้าได้รับเข้าสู่ร่างกายจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้น กระทรวงมหาดไทย (2520) ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศของ การทำงานโดยเฉลี่ยที่คนสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดอันตรายดังตารางที่ 2

นอกจากนี้อุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดเพลิงไหม้ยังเป็นอันตรายอีกอย่าง หนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของถังเก็บสารเคมี อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความ

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศที่
คนสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดอันตราย

ชื่อสารเคมี	ความเข้มข้นของสารเคมี	
	พีพีเอ็มโดยปริมาตร	มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร
คาร์บอนไดออกไซด์	5,000	9,000
คาร์บอนมอนอกไซด์	50	55

ที่มา: กระทรวงมหาดไทย (2520)

เสียหายต่อโครงสร้างของถังเก็บจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการสร้างถัง โดยอุณหภูมิที่ทำให้เกิด
ความเสียหายต่อโครงสร้างของถังที่สร้างด้วยคาร์บอนสตีล (Carbon Steel) คือ 330 องศาเซลเซียส
สำหรับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของถังที่สร้างด้วยสแตนเลสสตีล (Stainless
Steel) คือ 100 องศาเซลเซียส (ESDEP, 1993)

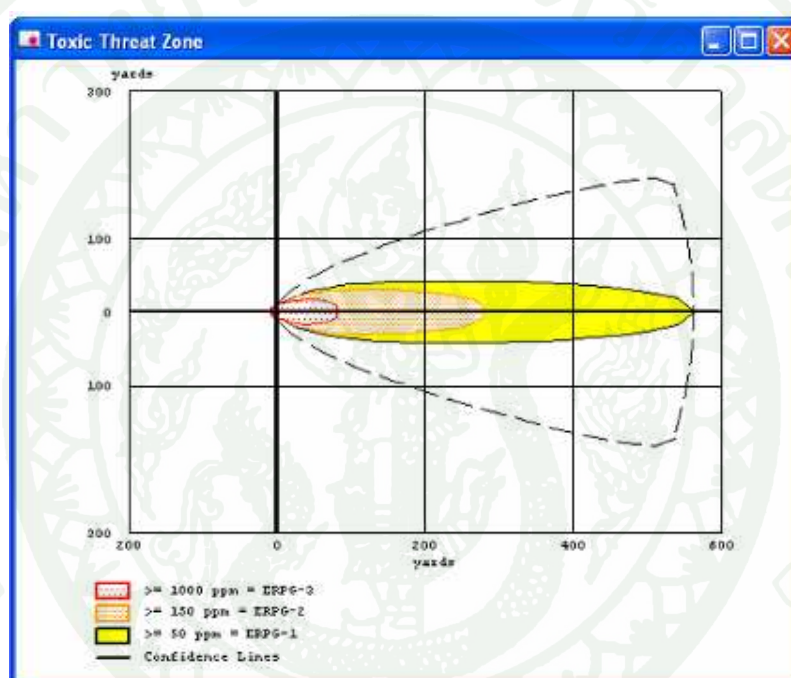
4. โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง

4.1 โปรแกรมอโลฮา

โปรแกรมอโลฮา (Areal Locations of Hazardous Atmospheres: ALOHA) เป็น
โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ทำนายการกระจายตัวของสารเคมีในบรรยากาศ รวมทั้งระดับที่จะเกิด
อันตราย ดังนั้นสารเคมีที่โปรแกรมอโลฮารู้จักมักเป็นก๊าซหรือสารเคมีที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย
โปรแกรมอโลฮาเป็นโปรแกรมการคำนวณการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย มีฐานข้อมูล
เส้นรุ้งเส้นแวงของเมืองต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นถ้าต้องการจำลองสถานการณ์การ
รั่วไหลที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ผู้ใช้ต้องกรอกข้อมูลเส้นรุ้งเส้นแวงเพิ่มเข้าไป เพราะอโลฮา
จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการคำนวณความหนาแน่นของอากาศ ความสูงของพื้นที่ ซึ่งสิ่งเหล่านี้
มีผลต่อการแพร่กระจายของสารเคมีในบรรยากาศ

โปรแกรมอโลฮาเป็นโปรแกรมใช้คำนวณการแพร่กระจายของสารเคมีระเหยง่าย
โดยใช้สมการการคิดแบบ Guassian Dispersion Model พัฒนาขึ้นโดย National Oceanic and

Atmospheric Administration (NOAA) อีโอสตาต้องใช้ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา มาใช้ในการคำนวณ เช่น สามารถคำนวณความแตกต่างระหว่างวันที่มีฝนตกกับวันที่มีแดดจ้า สามารถแสดงความแตกต่างระหว่างสถานที่โล่งแจ้งกับสถานที่ปิดล้อม การแพร่กระจายของสารเคมีที่รั่วไหลไปในอากาศ ตามสภาพภูมิอากาศและลักษณะเฉพาะของสารเคมี เมื่อใส่ข้อมูลเฉพาะของสารเคมีแล้ว อีโอสตาสามารถแสดงผลลักษณะการแพร่กระจาย และความเข้มข้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของไอสารเคมีที่เรียกว่า Threat Zone ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยสมการที่ใช้ในการทำนายการแพร่กระจายของสารเคมีคือ สมการ Gaussian Dispersion ดังแสดงในสมการที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการแพร่กระจาย และความเข้มข้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของไอสารเคมี ที่เรียกว่า Threat Zone

ที่มา: ALOHA Manual (2007)

$$(C)(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2)$$

เมื่อ

(x, y, z) = ตำแหน่งที่ต้องการทราบความเข้มข้นของสารเคมีในแนวกแกน
x, y, z (m)

C = ความเข้มข้นของสารเคมีที่ต้องการทราบ (g/m³)

Q_m = อัตราการระบายสารเคมีจากแหล่งกำเนิด (g/s)

H_r = ความสูงของแหล่งกำเนิดที่ปล่อยสารเคมี (m)

u = ความเร็วลม (m/s)

σ_y = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารเคมีในแนวกแกน y (m)

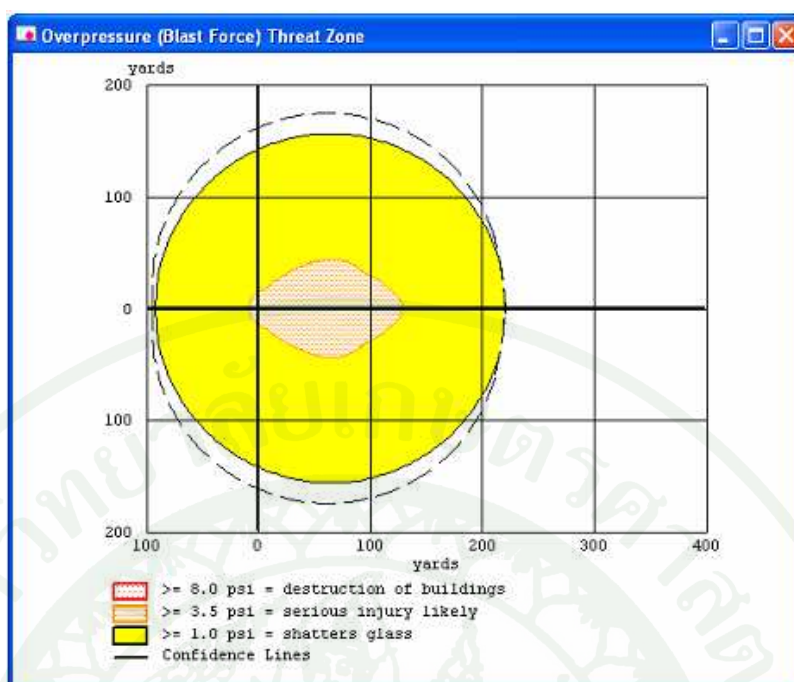
σ_z = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารเคมีในแนวกแกน z (m)

นอกจากนี้โปรแกรมโอโลฮาสามารถทำนายการรั่วไหลของสารเคมีในกรณีลูกติดไฟและก่อให้เกิดการระเบิด โดยเมื่อใส่ข้อมูลเฉพาะของสารเคมีและข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาแล้วโอโลฮาจะแสดงผลลักษณะของความดันจากแรงระเบิดที่ระยะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3

ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าไปในโปรแกรมโอโลฮาทั้งหมด 5 ประเภทคือ สารเคมี การตั้งค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศ การกำหนดรูปแบบการบรรจุสารเคมี การกำหนดสาเหตุและลักษณะการรั่วไหล และการกำหนดสถานการณ์จำลอง โดยรายละเอียดของแต่ละข้อมูลมีดังนี้

สารเคมี

โปรแกรมโอโลฮาให้รายการสารเคมีให้เลือกเพื่อให้โปรแกรมคำนวณ ในกรณีที่โอโลฮาไม่รู้จักสารเคมีที่ต้องการคำนวณ ต้องทำการกำหนดคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแล้วเพิ่มเข้าไปในโอโลฮา



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะความดันจากแรงระเบิดที่ระยะต่างๆ จากการลุกติดไฟของสารเคมีที่รั่วไหล

ที่มา: ALOHA Manual (2007)

การตั้งค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศ

ตัวแปรทางด้านบรรยากาศมีผลในการคำนวณและผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้น การกำหนดค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศ จำเป็นต้องกำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด ค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศที่สำคัญได้แก่ ทิศทางลม ความเร็วลม ระดับเมฆที่ปกคลุม เสถียรภาพของบรรยากาศ และสภาพความชื้น เป็นต้น

การกำหนดรูปแบบการบรรจूसารเคมี

ลักษณะภาชนะที่บรรจุและสถานะของสารเคมีที่บรรจุ มีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของสารเคมี เช่น การเก็บสารเคมีในรูปของก๊าซทำให้อัตราการแพร่กระจายสูงกว่าของเหลว รูปแบบการบรรจूसารเคมีที่โปรแกรมอโลฮาให้กำหนด ได้แก่ รูปแบบภาชนะ (ทรงกลม ทรงกระบอก) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และสถานะของสารเคมีที่บรรจุ เป็นต้น

การกำหนดสาเหตุและลักษณะการรั่วไหล

การกำหนดสาเหตุและลักษณะการรั่วไหล ควรกำหนดให้ใกล้เคียงสถานการณ์จริง และมีความเป็นไปได้มากที่สุด เพื่อจะได้้นำผลการคำนวณไปใช้ได้เหมาะสม เพราะโปรแกรม ALOHA ไม่สามารถกำหนดสาเหตุและลักษณะการรั่วไหลได้

การกำหนดสถานการณ์จำลอง

โปรแกรม ALOHA สามารถประเมินสถานการณ์จากสถานการณ์จำลองได้ 5 สถานการณ์ คือ

1) การรั่วไหลของสารเคมี และไม่ลุกติดไฟ

สำหรับการประเมินลักษณะนี้ เป็นการประเมินเพื่อพิจารณาด้านความเป็นพิษของสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงสถานที่เกิดเหตุ รวมทั้งความปลอดภัยของผู้ที่จะเข้าไประงับเหตุ โดยพิจารณาจากระดับการแพร่กระจายของสารเคมี ซึ่งโปรแกรม ALOHA ทำนายจากการใช้สมการ Heavy Dispersion โดยแสดงผลการคำนวณในรูปของค่ามาตรฐาน TEEL (Temporary Exposure Limits) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นอันตราย ซึ่งกำหนดโดย U.S. Department of Energy, 1992 โดยโปรแกรม ALOHA จะประมวลผลค่า TEEL ใน 3 ระดับจากระดับความเข้มข้นของสารเคมี ดังนี้ TEEL-1 อาจก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย TEEL-2 อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพที่ทำให้ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาเหมือนเดิมได้ และ TEEL-3 อาจเกิดผลกระทบรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ เนื่องจาก TEEL ได้มาจากการทดลองในสัตว์ โดยคิดที่ระยะเวลาที่ได้รับสารเคมีนาน 60 นาที

2) การรั่วไหลแบบหมอกไอของสารเคมีที่พร้อมติดไฟ (Flammable Vapor Cloud)

การประเมินกรณีนี้เป็นการประเมินการรั่วไหลของสารเคมีโดยพิจารณาความเข้มข้นของสารเคมีที่แพร่กระจายออกมาจากภาชนะบรรจุ เพื่อกำหนดระยะปลอดภัยต่อการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้ โดยพิจารณาที่ค่าขีดจำกัดบนของการระเบิด และค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิด ซึ่งโปรแกรม ALOHA สามารถทำนายการกระจายของสารได้ตามความเข้มข้น และประเมินการรั่วไหลแบบกลุ่มหมอกไอของสารเคมีได้

3) การเกิดระเบิดจากหมอกไอของสารเคมี (Vapor Cloud Explosion)

การพิจารณาการเกิดระเบิดแบบ Vapor Cloud จะพิจารณาแรงดันที่เกิดขึ้นแล้วส่งผลกระทบต่อคนและโครงสร้างอาคารตามระยะของความเข้มรังสีความร้อน โปรแกรมจะทำนายระยะทางที่เกิดความเข้มรังสีที่ระดับต่าง ๆ

4) การเกิดเพลิงไหม้แบบ Jet Fire

เป็นเพลิงไหม้ที่มีลักษณะเปลวไฟแคบพุ่งแรง ซึ่งเกิดจากสารเคมีที่รั่วไหลออกจากถัง แล้วเกิดการจุดระเบิดขึ้นในทันที ทำให้เกิดการลุกไหม้ ในลักษณะคล้ายคบเพลิง เมื่อพิจารณาผลกระทบจากเปลวเพลิงและความเข้มของการแผ่รังสี

5) การเกิดระเบิดแบบ BLEVE (Boiling-liquid expanding-vapor explosion)

การระเบิดแบบ BLEVE จะเกิดขึ้นถ้าถังที่บรรจุของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของของเหลวนั้น (ความดันของของเหลวมากกว่าความดันบรรยากาศ) ผลที่ตามมาคือหมอกไอของของเหลวที่สามารถติดได้จะแพร่กระจาย ซึ่งอาจเกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดถ้าสัมผัสกับประกายไฟ การระเบิดแบบ BLEVE สามารถเกิดขึ้นได้ถ้า เกิดไฟไหม้ภายนอกถัง ทำให้ผนังของถังได้รับความร้อนและส่งถ่ายความร้อนไปยังของเหลวที่อยู่ในถัง ทำให้ความดันไอของของเหลวสูงขึ้น และโครงสร้างของถังเสียหาย ถังแตกจะทำให้เกิดไอระเหยของของเหลวที่แพร่กระจายออกไปแล้วพร้อมที่จะเกิดการระเบิด (Crowl, 2002)

การเกิด BLEVE มีลำดับขั้นตอน ดังนี้

- 1) เกิดเพลิงไหม้ข้างๆถังที่บรรจุของเหลว
- 2) เพลิงไหม้ส่งถ่ายความร้อนมาที่ผนังของถัง
- 3) ของเหลวภายในถังได้รับความร้อนผ่านทางผนังของถัง ทำให้อุณหภูมิของเหลวและความดันในถังสูงขึ้น

4) ถ้าเปลวของเพลิงไหม้ส่งถ่ายความร้อนไปที่ผนังของถัง ในส่วนที่เป็นไอหรือบริเวณหลังคาของถัง จะทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างของถังสูญเสีย

5) ความแข็งแรงของโครงสร้างถังที่สูญเสียเนื่องจากความร้อน ทำให้ถังแตกและทำให้ไอของของเหลวที่อยู่ในถังแพร่กระจายออกไป

ถ้าของเหลวที่บรรจุอยู่ในถังเป็นของเหลวไวไฟ เมื่อเกิด BLEVE และไอของของเหลวไปสัมผัสกับประกายไฟ จะทำให้เกิดระเบิดซึ่งของเหลวที่ยังไหม้อยู่จะแพร่กระจายออกไปได้ไกลจากถัง แต่ถังไอของของเหลวไม่สัมผัสกับประกายไฟ อาจจะทำให้เกิดกลุ่มหมอกไอ (Vapor cloud) ซึ่งกลุ่มหมอกไอนี้ อาจทำให้เกิดอันตรายต่อคน โดยอาจทำให้ความเป็นพิษหรือผิวหนังไหม้ได้ เช่น ของเหลวที่เป็นกรด

ข้อจำกัดของโปรแกรมโอโลฮา

โปรแกรมโอโลฮาเป็นโปรแกรมที่นิยมมากและเป็นที่ยอมรับในการทำนายการแพร่กระจายและความเข้มข้นของสารเคมีที่รั่วไหลออกจากถังเก็บ นอกจากนี้ยังสามารถทำนายความเข้มข้นจากการแผ่รังสีความร้อนของสารเคมีที่รั่วไหลและถูกคิดไฟ แต่โอโลฮามีข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถทำนายสถานการณ์ทั้ง 5 สถานการณ์นี้ คือ ผลพลอยได้จากการเกิดไฟไหม้หรือปฏิกิริยาเคมี กระบวนการที่มีผลกระทบหรือปั่นป่วนต่อการแพร่กระจาย การผสมกันของสารเคมีที่รั่วไหล พื้นที่ลาดเอียง และอันตรายจากชิ้นส่วนที่กระเด็นออกมาเนื่องจากแรงระเบิด (ALOHA User's Manual, 2007)

4.2 โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamic Simulator)

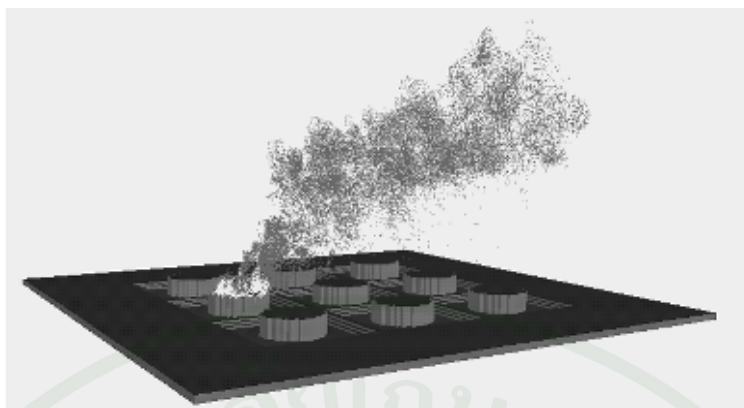
โปรแกรมแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator: FDS) เป็นโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ที่ถูกพัฒนาโดยสถาบัน NIST (The National Institute of Standard and Technology) ของประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับจำลองการเคลื่อนที่ของไฟ การเคลื่อนที่ของควัน หรือการไหลของอากาศร้อนที่เกิดจากเพลิงไหม้ FDS จำเป็นต้องใช้โปรแกรม Smoke View เข้ามาช่วยในการแสดงผลของ FDS

FDS มีหลักการในการทำงานโดยแบ่งห้อง อาคาร หรือพื้นที่ที่ต้องการจำลองออกเป็น ส่วนเล็กๆ เรียกว่า Computational cell เพื่อใช้คำนวณความหนาแน่น ความเร็วลม อุณหภูมิ ความดัน และความเข้มข้นของสารเคมีในแต่ละช่อง โดยใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน ใช้คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น วัสดุตกแต่ง ผ้าม่าน พื่นห้อง และเพดานในการจำลองเหตุการณ์การเกิดไฟไหม้ ความสามารถในการแสดงผลของแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบจำนวน Cell ดังนั้น ผู้ใช้งานต้องตัดสินใจว่าต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากน้อยเพียงใด โดยระยะเวลาในการประมวลผลอาจอยู่ในช่วงของนาที่ถึงสัปดาห์

ในการจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor) มีลักษณะไม่แตกต่างกับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร (Indoor) เนื่องจากมีหลายตัวแปร (Parameters) ที่คล้ายกัน แต่ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคาร สามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นไปตามสภาพความจริงที่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วของลมจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยตัวแปรของการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคารที่แตกต่างจากตัวแปรภายในอาคารคือ อัตราการลดลงของอุณหภูมิบรรยากาศ โดยทั่วไปทุกๆ ความสูงที่เพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะลดลง ดังนั้นอุณหภูมิของควันที่ลอยขึ้นไปจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (McGrattan, 2008)

จากภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างในการจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยแบบจำลองถึงน้ำมันเป็นการกำหนดจากวัตถุสี่เหลี่ยมหลายชิ้นประกอบกัน จนมีลักษณะเป็นทรงกระบอก กำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้นที่ด้านบนของถังน้ำมัน และมีลมเคลื่อนที่ผ่านการแก้ปัญหาคาการเกิดเพลิงไหม้ในลักษณะนี้ ต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ โดยสมการที่ 5 จะถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหาอัตราการปล่อยพลังงานจากการลุกติดไฟของถังน้ำมัน

Smoke View สามารถแสดงผลจากแบบจำลอง FDS ได้ทั้งในลักษณะ 2 มิติ และ 3 มิติ โดย Smoke view จะแสดงผลของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นๆ เช่น animated flow vectors, particle animations for simulating smoke or water droplets โดยแต่ละเทคนิคจะถูกเลือกนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ หรือลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการป้อนข้อมูล และการกำหนดค่าของผู้ใช้งาน Smoke View ในลักษณะ 2 มิติ สามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวโดยแบ่งตามเจดสีทั้งในแนวแกนนอน และแกนตั้งของแต่ละระนาบในการแสดงผล นอกจากนี้ Smoke View ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบข้อมูลที่เป็น 3 มิติ ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ว่างของฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากระบบนี้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดเวลาการคำนวณ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงต้องกำหนดข้อมูลที่ต้องการเก็บก่อนเริ่มการคำนวณ



ภาพที่ 4 ภาพแบบจำลองไฟไหม้ที่ส่วนบนของถังเก็บน้ำมัน ด้วยความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที คิว้นที่เกิดขึ้นจะไหลไปตามทิศทางลมที่ได้กำหนดไว้ สีของควันและเปลวไฟที่อยู่เหนือถัง (สีขาว) จะบ่งบอกถึงอุณหภูมิของเปลวไฟ

ที่มา: Baum (1999)

5. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงตามกฎหมายนั้นจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยง โดยพิจารณาถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใด และพิจารณาถึงความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อบุคคล ชุมชน ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543) โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

5.1 การชี้บ่งอันตราย

การชี้บ่งอันตราย หมายถึง การแจกแจงอันตรายต่าง ๆ ที่มีและที่แอบแฝงอยู่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการทุกขั้นตอนตั้งแต่การรับจ่าย การเก็บ การขนถ่ายหรือขนย้าย การใช้ การขนส่ง วัตถุดิบ เชื้อเพลิง สารเคมีหรือวัตถุอันตราย ผลิตภัณฑ์และวัตถุพลอยได้กระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติงาน เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และกิจกรรมหรือสภาพการณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงาน เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543)

วิธีการชี้บ่งอันตรายมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีมีด้วยกัน 5 วิธี ดังนี้ (Crowl, 2002)

- 1) Process hazards checklists เป็นวิธีที่ง่ายโดยการรวบรวมปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และพื้นที่ที่ต้องถูกตรวจสอบ โดยรายการอันตรายดังกล่าวเป็นการย้ำเตือนให้ผู้ทำการตรวจสอบทราบถึงปัญหาที่มีโอกาสเกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ
- 2) Hazards surveys เป็นวิธีการชี้บ่งอันตรายโดยมุ่งเน้นที่วัตถุอันตราย และการสัมผัสสารเคมีอันตราย โดยวิธีการที่เป็นที่รู้จักคือ F&EI (Fire and Explosion Index) และ CEI (Chemical Exposure Index)
- 3) Hazard and Operability Studies (HAZOP) เป็นวิธีการที่มีรูปแบบ เพื่อชี้ให้เห็นถึงอันตรายที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต โดยระบุว่าเหตุการณ์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้อย่างไร และเหตุการณ์นั้นทำให้เกิดความเสี่ยงได้อย่างไร วิธีนี้เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมเคมี
- 4) Safety review เป็นวิธีการที่ใช้ในการชี้บ่งอันตรายในห้องปฏิบัติการ และกระบวนการผลิตเพื่อหาวิธีการแก้ไข
- 5) Fault Tree Analysis (FTA) เป็นวิธีการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุร้ายแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ โดยอาศัยหลักการทางตรรกวิทยา ซึ่งเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมเคมี

วิธีการชี้บ่งอันตรายทั้ง 5 วิธีนี้ มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การเลือกใช้วิธีการชี้บ่งอันตรายขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิตและช่วงเวลาของโครงการที่จะทำการชี้บ่ง โดยการเปรียบเทียบวิธีการชี้บ่งอันตรายทั้ง 5 วิธีนี้ ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3 สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิค Fault Tree Analysis (FTA) ในการชี้บ่งอันตรายและหาสาเหตุพื้นฐานของการเกิดอุบัติเหตุ เพราะเป็นวิธีที่มีขั้นตอนชัดเจนไม่ซับซ้อนเหมือนวิธีอื่น และนิยมใช้ในการหาสาเหตุที่นำไปสู่อุบัติเหตุร้ายแรง โดยขั้นตอนการชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี FTA มีรายละเอียดดังนี้

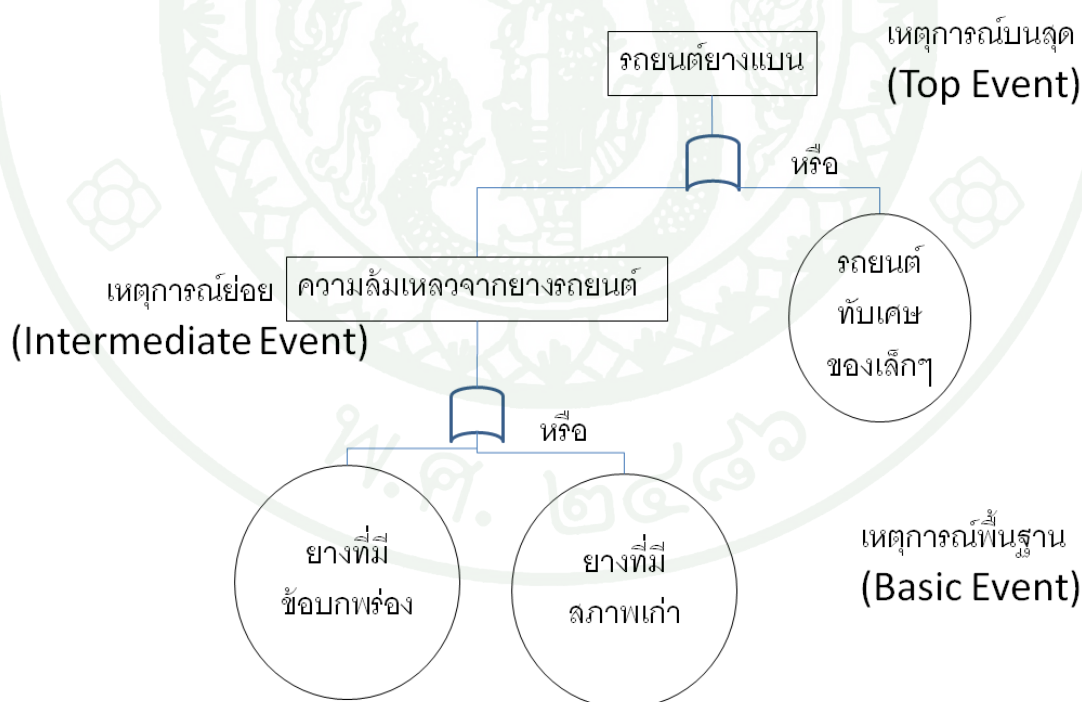
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบวิธีการชี้บ่งอันตรายด้วยเทคนิคต่างๆ

วิธีการชี้บ่งอันตราย	ช่วงเวลาที่เหมาะสม	ความซับซ้อนของวิธีการ	ผลลัพธ์ที่ได้
Process hazard checklist	ช่วงการออกแบบระบบ และก่อนเริ่มการผลิต	เป็นวิธีที่ง่าย ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีทักษะ	ขึ้นอยู่กับตัว checklist ถ้าออกแบบไม่ดี จะไม่สามารถชี้บ่งอันตรายที่สำคัญได้
Hazards surveys	ช่วงการออกแบบโรงงาน	เป็นวิธีการที่มีขั้นตอนมาก ผู้ใช้งานต้องมีความรู้เกี่ยวกับสารเคมี	ให้ผลลัพธ์ที่ดีสำหรับการออกแบบอุปกรณ์, การวางแผนผัง และการเก็บสารเคมี
HAZOP	ช่วงการออกแบบโรงงาน และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง กระบวนการผลิต	เป็นวิธีการที่มีรูปแบบ ต้องทำในรูปแบบของ คณะกรรมการ โดยมี HAZOP leader เป็นประธาน	สามารถชี้บ่งอันตรายได้สมบูรณ์ รวมถึงอธิบายกลไก การเกิดอันตรายที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการผลิตได้
Safety review	ก่อนเริ่มใช้กระบวนการใหม่	เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย มีรูปแบบไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับ HAZOP	ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำการ ทบทวน
FTA	ช่วงการออกแบบ และก่อนเริ่มกระบวนการใหม่	เป็นวิธีที่ขั้นตอนชัดเจน ต้องการข้อมูลความผิดพลาดของอุปกรณ์	รู้เหตุการณ์พื้นฐาน ซึ่งนำไปสู่อุบัติเหตุ

Fault Tree Analysis (FTA) คือ เทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ ซึ่งเป็นเทคนิคในการคิดย้อนกลับ ที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการเหตุและผล เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง โดยเริ่มวิเคราะห์จากอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง

ที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาหาเหตุการณ์บนสุดที่เกิดขึ้นก่อน แล้วนำมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์บนสุดว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยอะไรได้บ้าง และเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร การสิ้นสุดการวิเคราะห์เมื่อพบว่าสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเป็นผลเนื่องจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน วิธีนี้เป็นที่นิยมมากขึ้นในอุตสาหกรรมเคมี

ยกตัวอย่างเช่น รถยนต์ยางแบนเป็นเหตุการณ์บนสุด ผลลัพธ์ของเหตุการณ์สองเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ คือเหตุการณ์ขับรถยนต์ทับบนเศษของเล็กๆ เช่น ตะปู และจากเหตุการณ์ความล้มเหลวจากยางรถยนต์ ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนภาพดังภาพที่ 5 OR Gate คือสัญลักษณ์ซึ่งหมายถึง เหตุการณ์ความผิดพลาดของยางรถยนต์ (Immediate event) ซึ่งอาจมาจากเหตุการณ์ยางที่มีข้อบกพร่อง หรือเหตุการณ์ยางที่มีสภาพเก่า เหตุการณ์พื้นฐาน (Basic event) ทั้ง 3 เหตุการณ์ ได้แก่ เหตุการณ์ยางที่มีข้อบกพร่อง, เหตุการณ์ยางที่มีสภาพเก่า และเหตุการณ์ขับรถยนต์ทับเศษตะปู เหตุการณ์พื้นฐานเหล่านี้คือ สาเหตุพื้นฐาน (Basic cause) ที่ทำให้รถยนต์ยางแบน



ภาพที่ 5 แสดงการเขียนแผนผัง Fault Tree Analysis (FTA)

ที่มา: Crowl (2002)

การเขียนแผนผัง FTA ในกระบวนการทางเคมีจำเป็นต้องใช้ สัญลักษณ์ทางตรรกะ นอกเหนือจาก OR Gate ที่ยกตัวอย่างไว้ข้างต้น ในที่นี้ได้ให้สัญลักษณ์ทางตรรกะไว้ในตารางที่ 4 อย่างไรก็ตามก่อนที่จะเขียนแผนผัง FTA ต้องมีขั้นตอนเบื้องต้น ดังนี้

ตารางที่ 4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ Fault Tree

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	Or Gate สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ย่อย
	Basic Event เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งทราบถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจนโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดอุบัติเหตุ
	Fault Tree Event เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ
	Undeveloped Event เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

1) กำหนดเหตุการณ์บนสุด เช่น เหตุการณ์ “ปฏิกิริยาอุณหภูมิสูง” หรือ “ระดับของเหลวสูง” การกำหนดเหตุการณ์ เช่น การระเบิด หรือไฟในกระบวนการผลิต จะเหมาะสมกว่าการกำหนดเหตุการณ์ว่าวาล์วรั่ว เนื่องจากจะเจาะจงมากเกิดไป

2) กำหนดเหตุการณ์ที่เป็นจริง เมื่อเหตุการณ์บนสุดเกิดขึ้น

3) กำหนดเหตุการณ์ที่ไม่นำมาพิจารณาหรือไม่นำไปได้เช่น ไฟฟ้า น้ำท่วม ความผิดพลาดจากการเดินสายไฟ และพายุทอร์นาโด เป็นต้น

4) กำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ Fault tree อุปกรณ์ตัวไหนที่อยู่ในขอบเขตบ้าง

5) กำหนดเงื่อนไข และสภาพของอุปกรณ์ที่วิเคราะห์ เช่น วาล์วตัวไหนเปิดตัวไหนปิด ระดับของเหลวในถังมีปริมาตรเท่าไร เป็นต้น

6) กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์อุปกรณ์ประกอบระบบ เช่น จะวิเคราะห์เฉพาะตัววาล์ว หรือจะวิเคราะห์ส่วนประกอบของวาล์วด้วย

ขั้นตอนถัดไปคือ การวาดแผนผัง FTA ซึ่งเริ่มต้นด้วยเหตุการณ์บนสุดโดยควรเขียนคำว่า “เหตุการณ์บนสุด” ไว้ด้วยเพื่อหลีกเลี่ยงความสับสน จากนั้นกำหนดเหตุการณ์ย่อย และเหตุการณ์พื้นฐานทั้งหมดซึ่งนำไปสู่เหตุการณ์บนสุด เชื่อมเหตุการณ์ด้วย AND Gate เมื่อเหตุการณ์ต้องเกิดขึ้นพร้อมกันจึงนำไปสู่เหตุการณ์บนสุด เชื่อมเหตุการณ์ด้วย OR Gate เมื่อเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้นก็สามารถนำไปสู่เหตุการณ์บนสุด การวิเคราะห์จะสิ้นสุดเมื่อถึงเหตุการณ์พื้นฐาน หรือเป็นเหตุการณ์ภายนอก

การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis กับการประเมินความเสี่ยงด้วย What If Analysis นั้นจะประยุกต์ใช้ร่วมกันได้ เพื่อให้การตั้งคำถาม What If ที่เกี่ยวข้องกับอันตรายหรืออุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้นมีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น โดยสาเหตุสุดท้ายที่วิเคราะห์ได้จาก FTA (สาเหตุพื้นฐาน) จะถูกนำไปใช้ในการสร้างคำถาม What If เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อไป

5.2 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยหรือสภาพการณ์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อันตรายที่มีและที่แอบแฝงอยู่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ และอาจก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตราย เป็นต้น

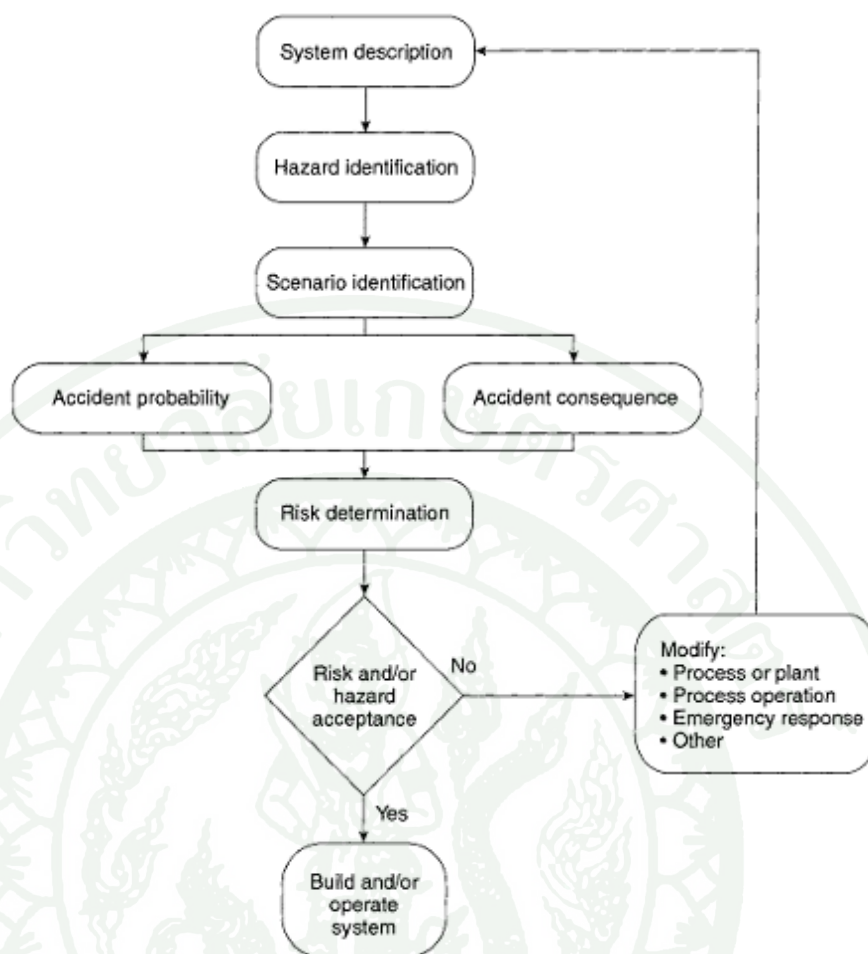
โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของเหตุการณ์เหล่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายหรือความเสียหาย ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปการประเมินความเสี่ยงรวมถึงการชี้บ่งอันตราย และการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยการชี้บ่งอันตรายจะเป็นการอธิบายว่าอุบัติเหตุเกิดขึ้นได้อย่างไร ในขณะที่การวิเคราะห์ผลกระทบจะเป็นการอธิบายความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เช่น ความเสียหายต่อชีวิต, สิ่งแวดล้อม, ทรัพย์สิน และเวลาการทำงานที่เสียไป เป็นต้น (Crowl, 2002)

ภาพที่ 6 เป็นขั้นตอนโดยทั่วไปของการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง การชี้บ่งอันตรายจะทำหลังจากการอธิบายกระบวนการผลิต จากนั้นกำหนดเหตุการณ์หลายๆ เหตุการณ์ที่นำไปสู่อุบัติเหตุ โดยพิจารณาทั้งโอกาสและความรุนแรงของอุบัติเหตุ การพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยนี้ร่วมกันคือ การประเมินความเสี่ยงนั่นเอง เมื่อความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต แต่ถ้าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ ต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต

What If Analysis คือ วิธีการประเมินความเสี่ยงที่กฎหมายยอมรับ โดยการรวบรวมรายการคำถามที่เกี่ยวข้องกับอันตรายที่เฉพาะเจาะจงจากอุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้นจากผู้ที่มีประสบการณ์ โดยไม่ได้ชี้เฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของเครื่องมือหรือกระบวนการเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ผลจากการทำ What If Analysis คือ รายการคำถามและคำตอบที่เกี่ยวข้อง หลังจากนั้นคำถามที่ได้จะถูกนำไปประเมินความเสี่ยงโดยพิจารณาถึงมาตรการป้องกันที่มีอยู่ และมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่ม ถือได้ว่า What If Analysis เป็นวิธีที่เหมาะสมนำมาใช้ในขั้นตอนการออกแบบและการปรับปรุงแก้ไขระบบเก่า จึงมีประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงแก้ไขระบบต่างๆ ได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบ

ตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตรายการประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความปลอดภัย พ.ศ. 2543 ได้อธิบายถึงหลักเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงไว้โดยให้พิจารณาถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับโอกาสเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 และพิจารณาถึงความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ ว่าจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อม หรือทรัพย์สินมากน้อยเพียงใด โดยจัดระดับความรุนแรงเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงจากแนวทางขั้นตอนการประเมินอันตราย (Guidelines for Hazards Evaluation Procedures)

ที่มา: American Institute of Chemical Engineers (1985)

ในการจัดระดับความเสี่ยง โดยพิจารณาถึงผลลัพธ์ของระดับโอกาสคูณกับระดับความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน หากระดับความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน มีค่าแตกต่างกันให้เลือกระดับความเสี่ยงที่มีค่าสูงกว่าเป็นผลของการประเมินความเสี่ยงในเรื่องนั้นๆ ระดับความเสี่ยงจัดเป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 5 การจัดระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาในการเกิดยาก เช่น ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
2	มีโอกาในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 5-10 ปี
3	มีโอกาในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1-5 ปี
4	มีโอกาในการเกิดสูง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดมากกว่า 1 ครั้ง ใน 1 ปี

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ตารางที่ 6 การจัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อมและทรัพย์สิน

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
ความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อบุคคล		
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง
4	สูงมาก	ทุพพลภาพหรือเสียชีวิต
ความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อชุมชน ¹		
1	เล็กน้อย	ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน หรือมีผลกระทบเล็กน้อย
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และแก้ไขได้ในระยะเวลาด่วน
3	สูง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน และต้องใช้เวลาในการแก้ไข
4	สูงมาก	มีผลกระทบรุนแรงต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไข
ความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ²		
1	เล็กน้อย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้
2	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลาง สามารถแก้ไขได้ในระยะเวลาด่วน
3	สูง	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไข

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด
4	สูงมาก	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลานานในการแก้ไข
ความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อทรัพย์สิน ³		
1	เล็กน้อย	ทรัพย์สินเสียหายน้อยมากหรือไม่เสียหายเลย
2	ปานกลาง	ทรัพย์สินเสียหายปานกลางและสามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้
3	สูง	ทรัพย์สินเสียหายมากและต้องหยุดการผลิตในบางส่วน
4	สูงมาก	ทรัพย์สินเสียหายมากและต้องหยุดการผลิตทั้งหมด

หมายเหตุ ¹ผลกระทบต่อชุมชน หมายถึงเหตุรำคาญต่อชุมชน การบาดเจ็บ เจ็บป่วยของประชาชน ความเสียหายต่อทรัพย์สินของชุมชนและประชาชน

²ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หมายถึง การเสื่อมโทรมและเสียหายของ สิ่งแวดล้อม เช่น อากาศ ดิน แหล่งน้ำ เป็นต้น

³ความเสียหายของทรัพย์สินในแต่ละระดับโรงงานสามารถกำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสม ซึ่งโรงงานที่ทำการศึกษากำหนดให้ ระดับ 1 มูลค่าความเสียหายไม่เกิน 50,000 บาท ระดับ 2 มูลค่าความเสียหาย 50,001-100,000 บาท ระดับ 3 มูลค่าความเสียหาย 100,001-1,000,000 บาท และระดับ 4 มูลค่าความเสียหายมากกว่า 1,000,000 บาทขึ้นไป

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ตารางที่ 7 การจัดระดับความเสี่ยงอันตราย

ระดับความเสี่ยง	ผลลัพธ์	ความหมาย
1	1-2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
2	3-6	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม
3	8-9	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินงานเพื่อลดความเสี่ยง

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ระดับความ เสี่ยง	ผลลัพธ์	ความหมาย
4	12-16	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการและปรับปรุง แก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)



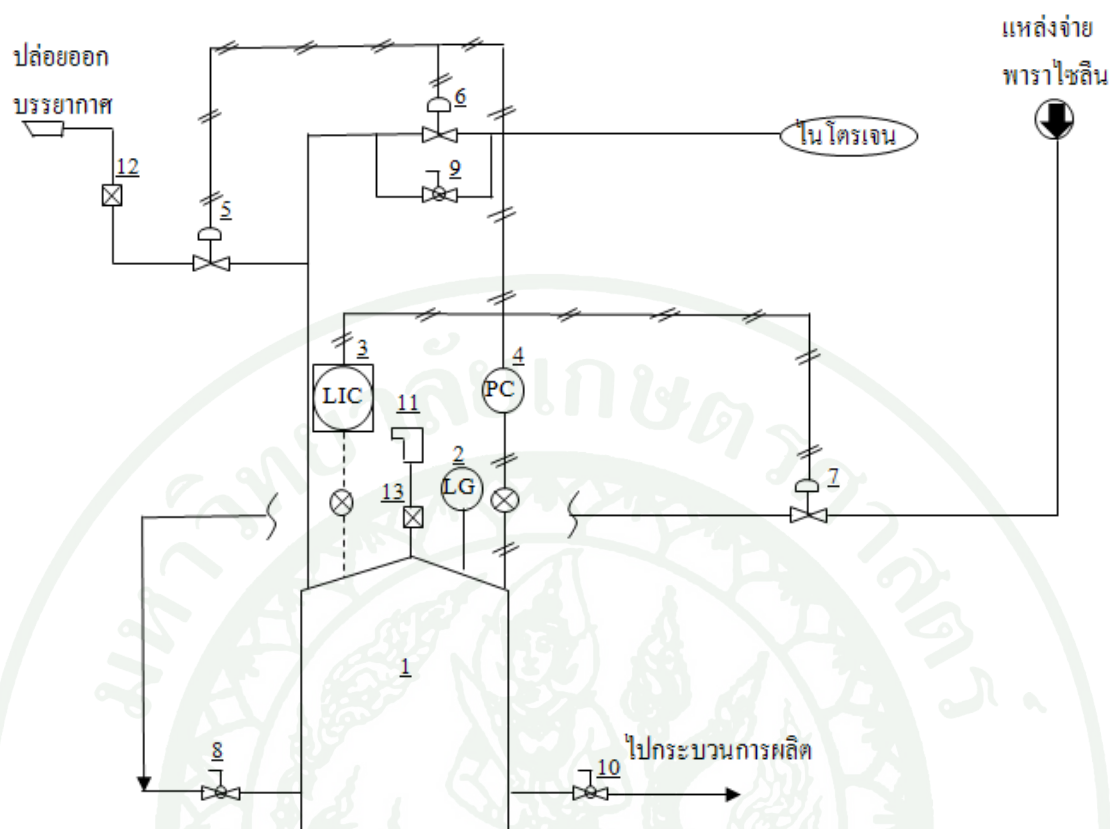
วิธีการ

1. การประเมินความเสี่ยง

ผู้วิจัยร่วมกับวิศวกรผลิตพิจารณาอุปกรณ์ต่างๆในบริเวณถังเก็บสารพาราไซลีน (ภาพที่ 7) และกรดอะเซติก (ภาพที่ 8) ที่มีโอกาสทำให้เกิดการรั่วไหลของสารเคมี โดยสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ ถูกเก็บไว้ในถังเก็บสารเคมีจำนวน 4 ถัง แบ่งเป็นถังเก็บสารพาราไซลีนที่มีขนาดต่างกัน 2 ถัง คือ 2,300 และ 6,283 ลูกบาศก์เมตร ส่วนกรดอะเซติกถูกเก็บในถังที่มีขนาดเท่ากัน 2 ถัง คือ 825 ลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 9) โดยกระบวนการจัดเก็บสารเคมีได้ใช้เทคนิค Fault Tree Analysis เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของสารเคมีออกจากถังเก็บ จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ (สาเหตุพื้นฐาน) ไปใช้ในการสร้างคำถาม What If เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้วย What If โดยใช้หลักการตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 ทั้งนี้ผลการประเมินความเสี่ยงที่ได้จะถูกนำมาพิจารณาโดยคำนึงถึงมาตรการที่มีอยู่เดิม เพื่อกำหนดมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เหมาะสมเพิ่มเติม

2. การประเมินผลกระทบของอันตรายที่เกิดจากการรั่วไหล

ประเมินผลกระทบของอันตรายที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลโดยใช้โปรแกรมอโลฮาเวอร์ชัน 5.4.1 เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บ ภายใต้อิทธิพลของทิศทางลมและช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล ทั้งนี้ได้สนใจการลุกติดไฟจากสารพาราไซลีนและอันตรายจากไอกรดที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ โดยตารางที่ 8 แสดงค่าตัวแปรที่ต้องป้อนให้แก่โปรแกรมอโลฮาสำหรับถังเก็บสารพาราไซลีน โดยถังเก็บกรดอะเซติกค่าตัวแปรที่ใช้เหมือนกับสารพาราไซลีนทุกประการ ยกเว้นขนาดของถังเก็บสาร



หมายเลข 1 ถังเก็บสารพาราไซลีน

หมายเลข 2 อุปกรณ์วัดระดับของเหลว

หมายเลข 3 อุปกรณ์ควบคุมและวัดระดับของเหลว

หมายเลข 4 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

หมายเลข 5 วาล์วควบคุม ตัวที่ 1

หมายเลข 6 วาล์วควบคุม ตัวที่ 2

หมายเลข 7 วาล์วควบคุม ตัวที่ 3

หมายเลข 8 วาล์วทำงานด้วยมือ ตัวที่ 1

หมายเลข 9 วาล์วทำงานด้วยมือ ตัวที่ 2

หมายเลข 10 วาล์วทำงานด้วยมือ ตัวที่ 3

หมายเลข 11 วาล์วหายใจ

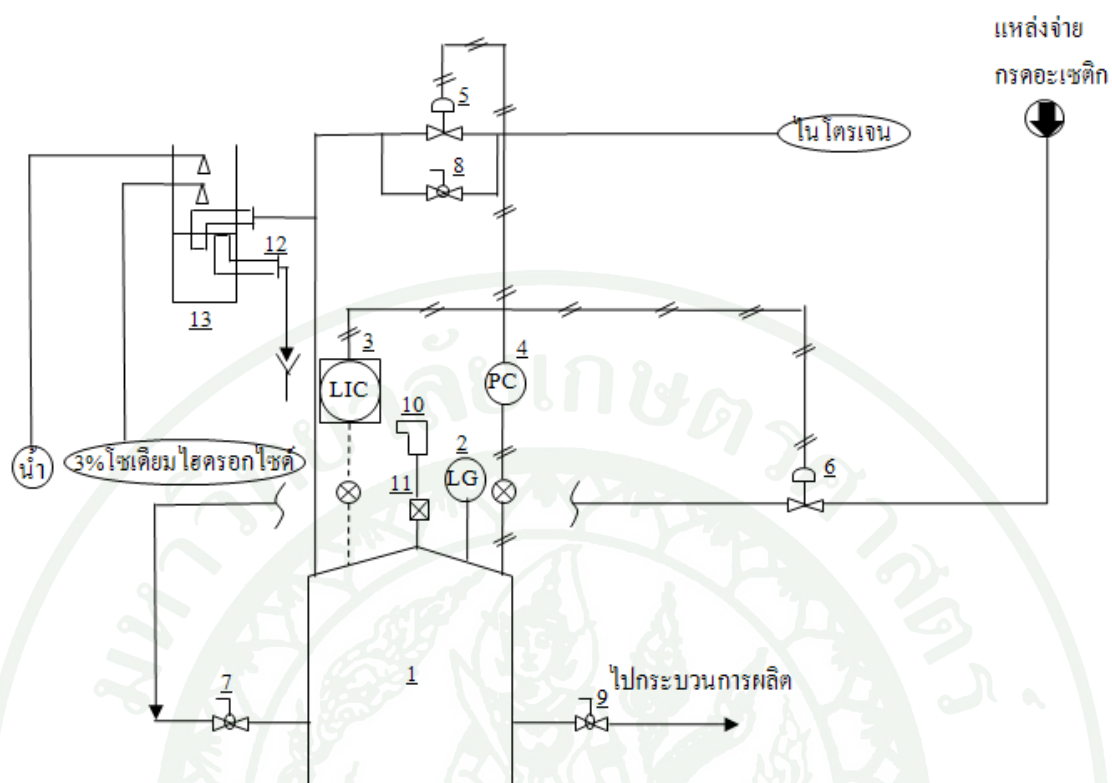
หมายเลข 12 อุปกรณ์ดักจับเปลวไฟตัวที่ 1 ชนิด

ติดระหว่างหน้าแปลน (In-Line) ขนาด 4 นิ้ว

หมายเลข 13 อุปกรณ์ดักจับเปลวไฟตัวที่ 2 ชนิด

ติดระหว่างหน้าแปลน (In-Line) ขนาด 8 นิ้ว

ภาพที่ 7 อุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการเก็บสารเคมีบริเวณถังเก็บสารพาราไซลีนที่ศึกษา



หมายเลข 1 ถังเก็บกรดอะเซติก

หมายเลข 2 อุปกรณ์วัดระดับของเหลว

หมายเลข 3 อุปกรณ์ควบคุมและวัดระดับของเหลว

หมายเลข 4 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน

หมายเลข 5 วาล์วควบคุม ตัวที่ 1

หมายเลข 6 วาล์วควบคุม ตัวที่ 2

หมายเลข 7 วาล์วทำงานด้วยมือ ตัวที่ 1

หมายเลข 8 วาล์วทำงานด้วยมือ ตัวที่ 2

หมายเลข 9 วาล์วทำงานด้วยมือ ตัวที่ 3

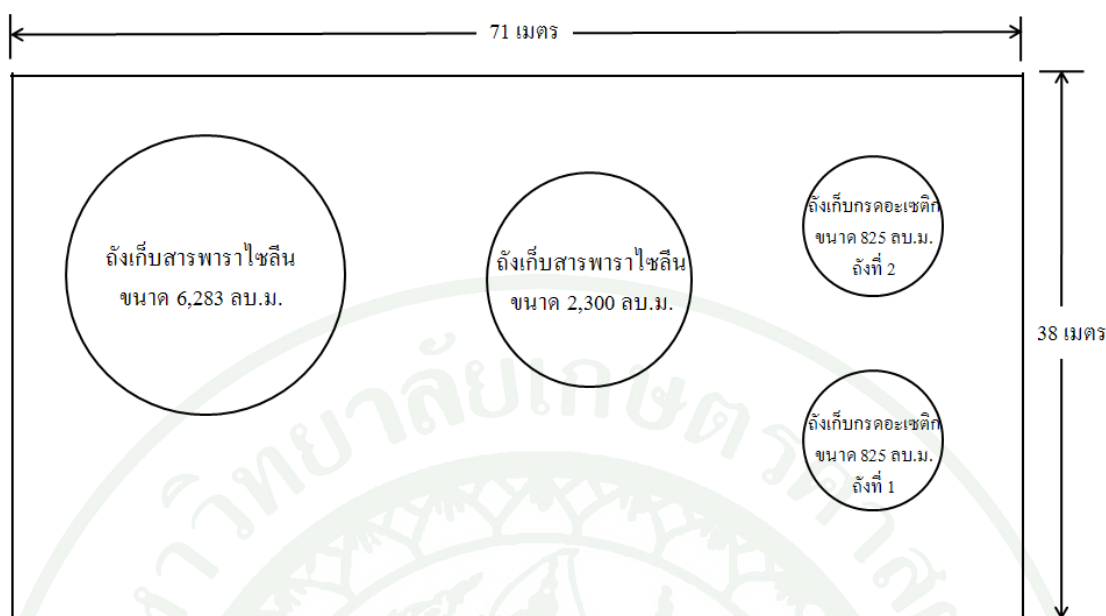
หมายเลข 10 วาล์วบายไจ

หมายเลข 11 อุปกรณ์ตัดจับเปลี่ยนไฟตัวที่ 1 ชนิด
ดิครระหว่างหน้าแปลน (In-Line) ขนาด 6 นิ้ว

หมายเลข 12 ท่อระบายของเหลว

หมายเลข 13 ถังดักจับไอของกรดอะเซติก

ภาพที่ 8 อุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการเก็บสารเคมีบริเวณถังเก็บกรดอะเซติกที่ศึกษา



ภาพที่ 9 บริเวณจัดเก็บสารเคมีก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิตในโรงงานที่ศึกษา โดยถังเก็บอยู่ในเขื่อนกั้นสารเคมี (Dike) ขนาดกว้าง 38 เมตร และยาว 71 เมตร

ตารางที่ 8 ค่าตัวแปรที่ใส่ในโปรแกรมอโลฮา

ตัวแปร	สารพาราไซลีน	กรดอะเซติก
ชนิดของสารเคมี	- พาราไซลีน	- กรดอะเซติก
สภาพบรรยากาศ	- ความเร็วลม 0.26 เมตรต่อวินาที ^{1,2} - ทิศทางลม (เหนือ ได้ ตะวันออก ตะวันตก ตะออกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้) - สภาพผิวของพื้นที่เป็นพื้นที่โรงงาน (urban or forest) - อุณหภูมิ 38.7 องศาเซลเซียส ¹ - เสถียรภาพของบรรยากาศเป็นเอ (A) สำหรับกลางวัน เป็นเฟส (F) สำหรับกลางคืน - สภาพความชื้นระดับกลางหรือ 50%	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ตัวแปร	สารพาราไซลีน	กรดอะเซติก
สภาพภาชนะ	- ถังทรงกระบอกแนวดิ่ง	
บรรจุสารเคมี	- เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตร ความสูง 13 เมตร สำหรับถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด $2,300 \text{ m}^3$ และเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5 เมตร ความสูง 18.24 เมตร สำหรับถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด $6,283 \text{ m}^3$	- เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เมตร ความสูง 10.5 เมตร
สาเหตุการรั่วไหล	- สถานะของเหลว - ท่อจ่ายสารเคมีไปที่กระบวนการผลิตที่อยู่สูงจากพื้น 50 เซนติเมตร เกิดรูรั่วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	

หมายเหตุ ¹ค่าของความเร็วลมที่ใส่ให้โปรแกรมเป็นความเร็วลมน้อยที่สุด ส่วนค่าของอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิของวันที่ร้อนที่สุด ซึ่งทั้งสองค่านี้ได้มาจากสถิติการเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาระหว่างปี 2549 - 2551

²แม้ว่าค่าของความเร็วลมที่ใส่ให้โปรแกรมเป็น 0.26 เมตรต่อวินาที แต่โอโลสาจะเปลี่ยนตัวเลขนี้เป็น 0.46 เมตรต่อวินาทีโดยอัตโนมัติเพราะค่าความเร็วลมขั้นต่ำที่โปรแกรมนี้สามารถวิเคราะห์ได้คือ 0.46 เมตรต่อวินาที

3. การประเมินผลกระทบของอันตรายที่เกิดจากการลัดวงจรไฟ

ประเมินผลกระทบของอันตรายที่เกิดจากการลัดวงจรไฟโดยใช้โปรแกรม FDS เวอร์ชัน 5 (Trial Version) เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการลัดวงจรไฟของสารพาราไซลีนในถังเก็บภายใต้อิทธิพลของทิศทางลมและความเร็วลม ทั้งนี้ได้สนใจการลัดวงจรไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนจำนวน 2 ถัง ขนาด $6,283$ และ $2,300$ ลูกบาศก์เมตร โดยตารางที่ 9 แสดงค่าตัวแปรที่ต้องป้อนให้แก่โปรแกรม FDS

ตารางที่ 9 ค่าตัวแปรที่ใส่ในโปรแกรม FDS

ตัวแปร	ค่าที่ใส่ในโปรแกรม
ขนาดของถังเก็บ	- เส้นผ่านศูนย์กลาง 19.5 เมตร ความสูง 18.24 สำหรับถังเก็บ สารพาราไซลินขนาด 6,283 m ³
สภาพบรรยากาศ	- ความเร็วลม (1) น้อยที่สุด = 0.26 เมตรต่อวินาที (2) เฉลี่ย = 0.5 เมตรต่อวินาที (3) มากที่สุด = 1.18 เมตรต่อวินาที - ทิศทางลมคือ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก - อุณหภูมิ 38.7 องศาเซลเซียส ¹
ขนาดของโดเมน	- กว้าง × ยาว × สูง = 80 × 100 × 100 เมตร
จำนวนกริด	- 40 × 50 × 50 โดยแต่ละกริดมีขนาดกว้าง × ยาว × สูง = 2 × 2 × 2 เมตร
ค่าคุณสมบัติของพาราไซลิน	- ความหนาแน่น = 860 kg/m ³ - ความร้อนจำเพาะ = 1.72 kJ/kg.K - ความร้อนจากการเผาไหม้ = 4.08 × 10 ⁴ kJ/kg - จุดเดือด 138 °C
ระยะเวลาของการลุกติดไฟ	- 180 วินาที

หมายเหตุ ¹ ค่าของอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิของวันที่ร้อนที่สุดซึ่งได้มาจากสถิติการเก็บข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาระหว่างปี 2549 - 2551

ผลและวิจารณ์

การรั่วไหลของสารเคมีและเกิดการลัดวงจรไฟบริเวณถังเก็บสารเคมีในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้นถือว่าเป็นอุบัติเหตุร้ายแรง (Major Accident) ที่สำคัญประเภทหนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน ชุมชน และสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงของการรั่วไหลของสารเคมีและเกิดการลัดวงจรไฟรวมถึงผลกระทบทางด้านสุขภาพ บริเวณถังเก็บสารเคมีของโรงงานปิโตรเคมีแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษออกเป็น 4 ส่วน คือ การหาสาเหตุของการรั่วไหลด้วย Fault Tree Analysis การประเมินความเสี่ยงด้วยเทคนิค What If Analysis การวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบโดยใช้โปรแกรมโอโลฮา และการวิเคราะห์ผลกระทบของการลัดวงจรไฟโดยใช้โปรแกรม FDS

1. ผลการหาสาเหตุของการรั่วไหลด้วย Fault Tree Analysis

ในกระบวนการจัดเก็บสารเคมีของโรงงานที่ทำการศึกษานั้น สารพาราไซลีนและกรดอะเซติกถูกใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตซึ่งสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้มีกระบวนการจัดเก็บเหมือนกัน โดยสารเคมีจะถูกลำเลียงเข้าสู่โรงงานผ่านทางท่อส่งเข้าสู่ถังเก็บทรงกระบอกปิดทึบเพื่อป้องกันการรั่วไหลของไอออกสู่บรรยากาศ สารพาราไซลีนและกรดอะเซติกถูกเก็บไว้ในถังเก็บที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีการควบคุมระดับของเหลวในถังไม่ให้เกิน 85% ของความจุถัง ซึ่งระหว่างการส่งเข้าสู่ถังเก็บต้องคอยตรวจสอบระดับของเหลวโดยดูจากอุปกรณ์วัดระดับของเหลว เพื่อป้องกันการล้นออกมาของสารเคมี ทั้งนี้ในแต่ละขั้นตอนการเก็บสาร มีโอกาสที่จะเกิดการรั่วไหลของสารเคมีออกจากถังเก็บ โดยอันตรายที่ตามมาจากการรั่วไหลนี้ คือ การลัดวงจรไฟและไอของสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

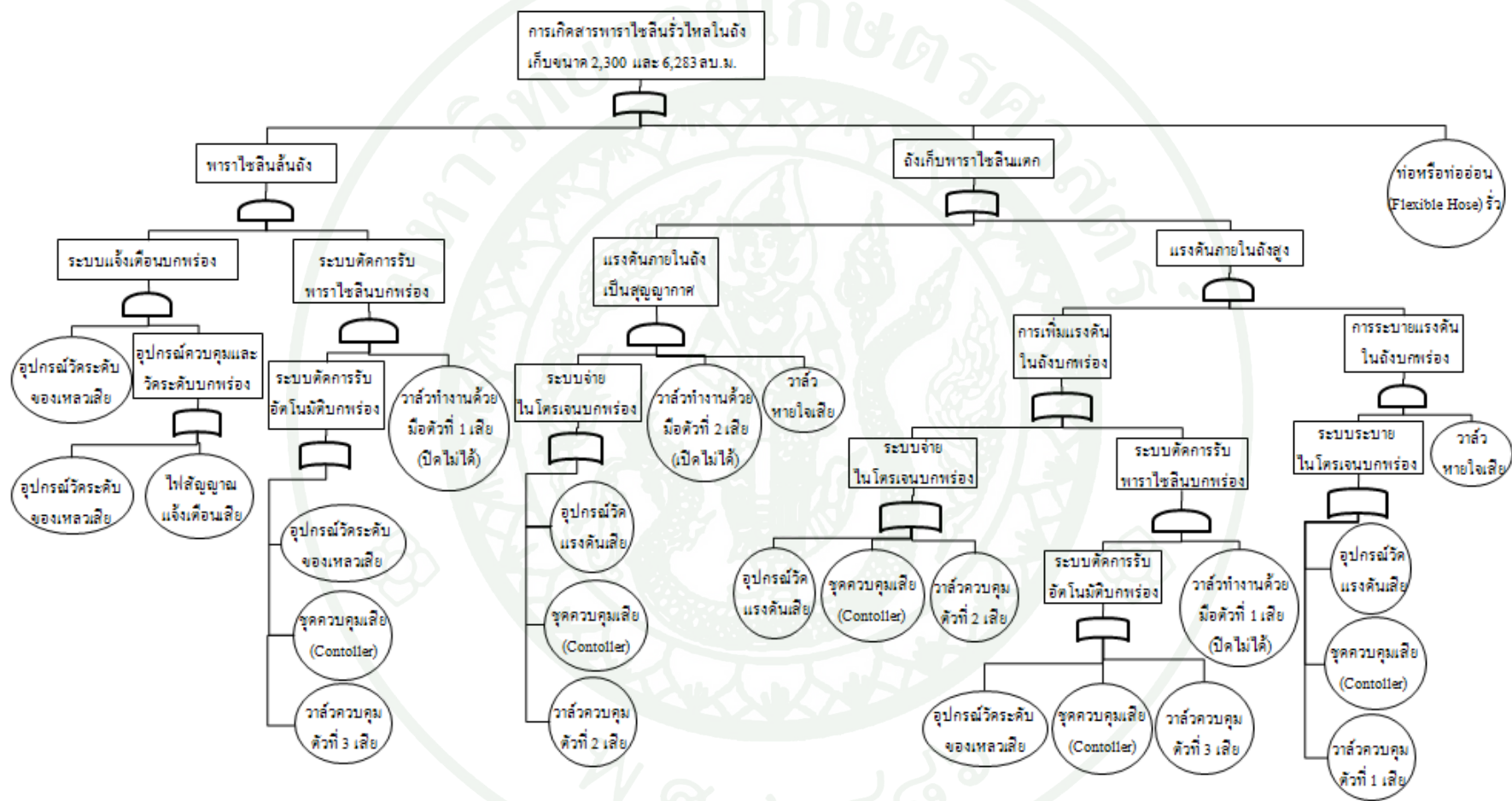
การหาสาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บนี้ ได้ใช้เทคนิค Fault Tree Analysis โดยจากภาพที่ 10 พบว่าสาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลีนเกิดจากการล้นถัง ถังเก็บสารแตก หรือการรั่วของท่ออ่อน (Flexible Hose) ก็ได้ (การรั่วของท่ออ่อนเป็นสาเหตุพื้นฐานจึงไม่ต้องวิเคราะห์ต่อ) ซึ่งการล้นถังนี้เกิดจากการเติมสารเข้าสู่ถังเก็บโดยที่ระบบ

แจ้งเตือนการลั่นถัน และระบบตัดการรับสารพาราไซลีนเข้าถังเก็บบกพร่องที่ต้องเกิดขึ้นพร้อมกัน เมื่อวิเคราะห์ต่อไปพบว่าเกิดจากสาเหตุพื้นฐาน 2 สาเหตุ คือ อุปกรณ์วัดระดับของเหลวเสีย และ วาล์วทำงานด้วยมือตัวที่ 1 เสีย (ทั้ง 2 สาเหตุนี้เป็นสาเหตุพื้นฐานจึงไม่ต้องวิเคราะห์ต่อ) ส่วนสาเหตุที่ทำให้ถังเก็บสารแตกนั้น เกิดจากการที่แรงดันภายในถังเป็นสุญญากาศหรือแรงดันภายในถังสูงก็ได้ เมื่อวิเคราะห์ต่อไปพบว่าเกิดจากสาเหตุพื้นฐาน 2 สาเหตุ คือ วาล์วทำงานด้วยมือตัวที่ 2 เสีย และวาล์วหายใจเสีย สำหรับสาเหตุพื้นฐานอื่นๆที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารพาราไซลีนนี้ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 10

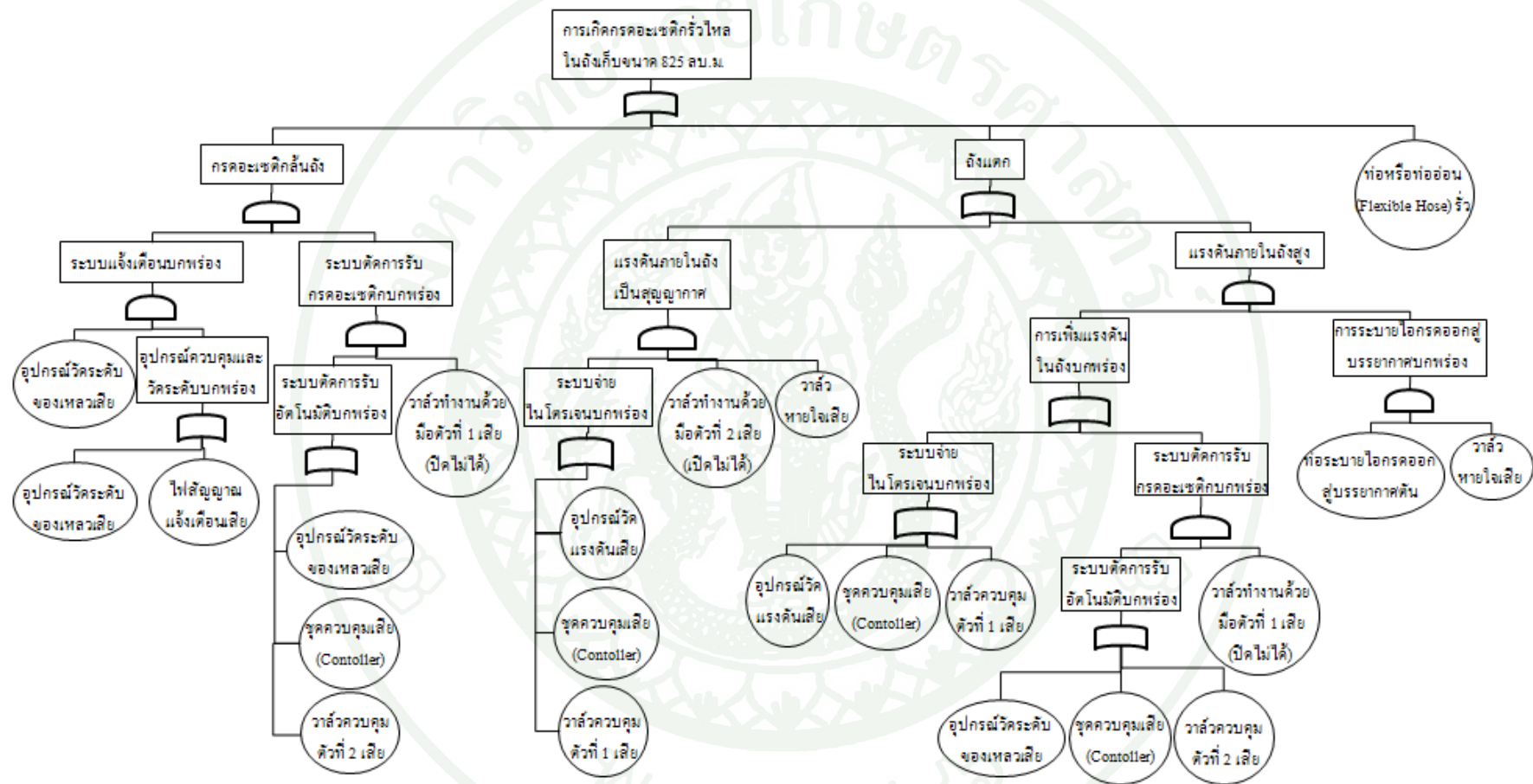
สำหรับถังเก็บกรดอะเซติกได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลด้วยวิธีเดียวกันนี้ พบว่าสาเหตุการรั่วไหลของกรดเหมือนกับสารพาราไซลีนทุกประการ ยกเว้นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันภายในถังสูง ที่เกิดจากการระบายไอกรดออกสู่บรรยากาศสกปรกพร่อง โดยมีสาเหตุพื้นฐาน คือ ท่อระบายไอกรดออกสู่บรรยากาศตัน ซึ่งแตกต่างจากสารพาราไซลีน ดังแสดงในภาพที่ 11 จากการวิเคราะห์สาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกพบว่าสาเหตุพื้นฐานที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดจากอุปกรณ์บกพร่อง ทั้งนี้การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis นั้น สาเหตุสุดท้ายที่วิเคราะห์ได้ จะแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมและอยู่ที่ส่วนล่างสุดของทุกๆสาเหตุย่อยเสมอ เรียกว่า สาเหตุพื้นฐาน โดยสาเหตุพื้นฐานของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกนี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างคำถาม What If เพื่อใช้ในการประเมินอันตรายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อไป

2. การประเมินความเสี่ยงด้วย What If

สาเหตุพื้นฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis ถูกนำมาสร้างคำถาม What If เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยง โดยการประเมินในแต่ละข้อจะต้องพิจารณา 4 ด้าน ต่อไปนี้ (1) การตั้งคำถาม What If (2) อันตรายหรือผลที่จะเกิดขึ้นตามมา (3) มาตรการป้องกันและควบคุมอันตรายที่มีอยู่เดิมและ (4) ข้อเสนอแนะ ซึ่งผลการประเมินนี้เป็นดังตารางผนวกที่ ก1-ก4 ในภาคผนวก ก จากผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าคำถามที่เกิดขึ้นมีทั้งสิ้น 46 คำถาม แบ่งเป็น 22 คำถามที่เกิดจากถังเก็บพาราไซลีน และ 24 คำถามที่เกิดจากถังเก็บกรดอะเซติก โดยคำถามของถังเก็บกรดอะเซติกเหมือนกับสารพาราไซลีนทุกประการ ยกเว้นถังเก็บกรดอะเซติกซึ่งมีท่อระบายและระบบดักจับไอกรดออกสู่บรรยากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้คำถามของถังเก็บกรดอะเซติกมากกว่าสารพาราไซลีน



ภาพที่ 10 การวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของสารพาราไซลินออกจากถังเก็บขนาด 2,300 และ 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis



ภาพที่ 11 การวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บที่มีขนาดเท่ากัน 2 ถัง คือ 825 ลูกบาศก์เมตร ด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis

ตารางที่ 10 สาเหตุพื้นฐานที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของพาราไซลินและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บ

สาเหตุที่ทำให้ เกิดการรั่วไหล	สาเหตุพื้นฐาน	
	สารพาราไซลิน	กรดอะเซติก
สารเคมีล้นถัง	- อุปกรณ์วัดระดับของเหลวเสีย - ไฟสัญญาณแจ้งเตือนเสีย - ชุดควบคุมเสีย - วาล์วควบคุมตัวที่ 3 เสีย - วาล์วทำงานด้วยมือตัวที่ 1 เสีย (ปิดไม่ได้)	
ถังเก็บสารเคมีแตก	- อุปกรณ์วัดแรงดันเสีย - ชุดควบคุมเสีย - วาล์วควบคุมตัวที่ 2 เสีย - วาล์วทำงานด้วยมือตัวที่ 2 เสีย (เปิดไม่ได้) - วาล์วหายใจเสีย - อุปกรณ์วัดระดับของเหลวเสีย - ชุดควบคุมเสีย - วาล์วควบคุมตัวที่ 3 เสีย - วาล์วทำงานด้วยมือตัวที่ 1 เสีย (ปิดไม่ได้) - วาล์วควบคุมตัวที่ 1 เสีย - วาล์วหายใจเสีย	- ท่อระบายไอกรดออกสู่บรรยากาศตัน
ท่อหรือท่ออ่อน (Flexible Hose)	- ท่อหรือท่ออ่อน (Flexible Hose) รั่ว	

ตารางที่ 11 ได้สรุปจำนวนคำถาม What If หรือในที่นี้เรียกว่าเหตุการณ์ ของแต่ละบริเวณ ถังเก็บสารเคมีโดยแบ่งตามระดับความเสี่ยง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 บริเวณไม่พบเหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงเล็กน้อย (ความเสี่ยงระดับที่ 1) ทั้งนี้ 46 เหตุการณ์ ที่พิจารณานั้นล้วนนำไปสู่การเกิดไฟไหม้ การระเบิดและการรั่วไหลของสารเคมีซึ่งมีผลกระทบร้ายแรงต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน ส่วนใหญ่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมีความเสี่ยงระดับ 2 รองลงมาคือ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยความเสี่ยงระดับ 4 มีทั้งสิ้น 6 เหตุการณ์ ซึ่งจากระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

พ.ศ. 2543 กำหนดให้โรงงานต้องหยุดดำเนินการจนกว่าจะมีมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า โดยตารางที่ 12 ได้เสนอมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงของแต่ละบริเวณถึงเก็บสารเคมีที่มีความเสี่ยงระดับ 4 จะเห็นว่าคำถามที่ 1 และ 2 เกิดขึ้นในบริเวณถึงเก็บสารพาราไซลินทั้ง 2 ถึง ทำให้เกิด 4 เหตุการณ์ที่เป็นความเสี่ยงระดับ 4 ซึ่งนำไปสู่การลุดคิดไฟจากการรั่วไหลของสาร เมื่อเพิ่มมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงให้กับถึงเก็บนี้ พบว่าความเสี่ยงลดลงเหลือ 2 เนื่องจากมาตรการที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ลดลงจาก 3 เหลือ 1 ในขณะที่ความรุนแรงยังคงเท่าเดิม สำหรับคำถามที่ 3 เกิดขึ้นในบริเวณถึงเก็บกรดอะเซติกทั้ง 2 ถึง ทำให้เกิด 2 เหตุการณ์ที่เป็นความเสี่ยงระดับ 4 ซึ่งนำไปสู่อันตรายของไอกรดที่เกิดจากการรั่วไหล เมื่อเพิ่มมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยง พบว่าความเสี่ยงลดลงเหลือ 2 เนื่องจากมาตรการที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ลดลงจาก 3 เหลือ 1 ในขณะที่ความรุนแรงยังคงเท่าเดิม จะเห็นว่ามาตรการเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบันของทั้ง 6 เหตุการณ์นี้ยังไม่เพียงพอ ดังนั้นผู้วิจัยได้เพิ่มมาตรการลดความเสี่ยง คือ กำหนดแผนการตรวจสอบการรั่วไหลของสารพาราไซลินตามแนวท่อ ระหว่างหน้าแปลน และสภาพพื้นที่บริเวณถึงเก็บกรดอะเซติก สำหรับมาตรการควบคุมที่เพิ่ม คือ กำหนดแผนการตรวจสอบระดับของเหลวในถึงเก็บสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ และณรงค์ให้พนักงานใส่หน้ากากป้องกันไอสารเคมีบริเวณที่มีป้ายเตือน ซึ่งมาตรการที่เพิ่มนี้ทำให้ความเสี่ยงลดลงเหลือระดับ 2 ซึ่งยอมรับได้ สำหรับระดับความเสี่ยงอื่นๆ ได้เสนอมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงดังสรุปไว้ในตารางผนวกที่ ข1 ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 11 สรุปผลการประเมินความเสี่ยงของถึงเก็บสารพาราไซลิน และกรดอะเซติก

บริเวณ	คำถาม What If (จำนวน)	ระดับความเสี่ยง			
		1	2	3	4
1. ถึงเก็บพาราไซลินขนาด 2,300 ลบ.ม.	11	0	7	2	2
2. ถึงเก็บพาราไซลินขนาด 6,283 ลบ.ม.	11	0	7	2	2
3. ถึงเก็บกรดอะเซติกขนาด 825 ลบ.ม. ถึงที่ 1	12	0	6	5	1
4. ถึงเก็บกรดอะเซติกขนาด 825 ลบ.ม. ถึงที่ 2	12	0	6	5	1
รวม	46	0	26	14	6

ตารางที่ 12 มาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่มตามระดับความเสี่ยงเดิมที่อยู่ในระดับ 4 ของถังเก็บสารพาราไซลีนและกรดอะเซติก

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาสเดิม	ความรุนแรงเดิม	ระดับความเสี่ยงเดิม	มาตรการใหม่		โอกาสใหม่	ความรุนแรงใหม่	ระดับความเสี่ยงใหม่
						ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง			
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามีงานเชื่อมหรืองานตัดภายใน เขื่อนกั้นสารเคมี (Dike)	ถังเก็บพาราไซลีนทั้ง 2 ถัง	- มีระบบการขออนุญาตเข้าทำงานสำหรับงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟ และมีการตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนและหลังให้ทำงาน - มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสารเคมีรั่วและแจ้งเตือนไปที่ห้องควบคุม (Control Room) โดยที่มีการตรวจสอบอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ	3	4	4	กำหนดแผนการตรวจสอบการรั่วไหลของสารพาราไซลีนตามแนวท่อ	กำหนดแผนการตรวจสอบระดับของเหลวในถังอย่างสม่ำเสมอ	1	4	2

ตารางที่ 12 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง	ความเสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรงใหม่	ความเสี่ยงใหม่
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าขณะทำการส่งสารพาราไซลินไปกระบวนการผลิตมีการรั่วไหลของพาราไซลินเกิดขึ้นระหว่างหน้าแปลนโดยที่ระบบสายดินและการต่อฝากของถังเก็บสารพาราไซลินบกพร่อง	ถังเก็บพาราไซลินทั้ง 2 ถัง	- มีแผนการตรวจสอบระบบสายดินและการต่อฝากให้มีความต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	3	4	4	กำหนดแผนการตรวจสอบการรั่วไหลของสารพาราไซลินระหว่างหน้าแปลน	กำหนดแผนการตรวจสอบระดับของเหลวในถังอย่างสม่ำเสมอ	1	4	2

ตารางที่ 12 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ากรดอะเซติกรั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากวาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) และพนักงานสูดดมกรดอะเซติก	ถังเก็บกรดอะเซติกทั้ง 2 ถัง	- มีป้ายเตือนให้พนักงานใส่หน้ากากป้องกันไอสารเคมี - ขั้นตอนการปฏิบัติงานในการตรวจหน้างานกำหนดให้ต้องสวมใส่หน้ากากป้องกันไอสารเคมี	3	4	4	กำหนดแผนการตรวจสอบสภาพพื้นที่บริเวณถังเก็บกรดอะเซติก	รณรงค์ให้พนักงานใส่หน้ากากป้องกันไอสารเคมีบริเวณที่มีป้ายเตือน	1	4	2

3. การประเมินพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของสารเคมี

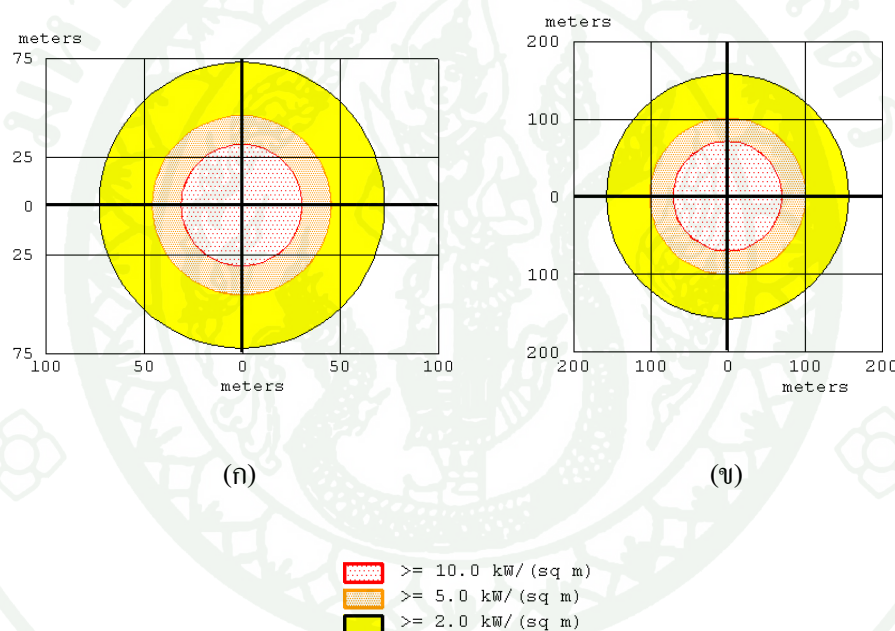
จากผลการประเมินความเสี่ยงด้วย What If Analysis ในบริเวณถังเก็บสารพาราไซลินและกรดอะเซติกพบว่ามีเหตุการณ์ทั้งหมด 46 เหตุการณ์ ที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ ทั้งนี้ 6 เหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงระดับ 4 ซึ่งระดับโอกาสและความรุนแรงมีค่าสูง โดยอันตรายที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหล คือ การเกิดระเบิดแบบบลิ้ว การลุกติดไฟและไม่ลุกติดไฟ อย่างไรก็ตามการเกิดระเบิดแบบบลิ้วที่เกิดจากการรั่วไหลของสารทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นอันตรายที่เกิดจากเหตุการณ์ที่มีโอกาสในการเกิดยากมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของอันตรายนี้ สำหรับการรั่วไหลของสารพาราไซลินนั้น พบว่าโลฮาให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้เฉพาะการรั่วไหลแบบลุกติดไฟเท่านั้น แต่ให้ข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือสำหรับการรั่วไหลแบบไม่ลุกติดไฟเพราะพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมีขนาดเล็กเกิน (Dandrieux, 2002) ซึ่งเกิดเนื่องจากสารพาราไซลินหนักกว่าอากาศ ส่วนการรั่วไหลของกรดอะเซติกนั้น พบว่าโลฮาสามารถวิเคราะห์เฉพาะแบบที่ไม่ลุกติดไฟได้เท่านั้น เพราะความเข้มข้นของไอกรดในบรรยากาศนี้มีค่าไม่สูงมากพอจะทำให้เกิดการลุกติดไฟได้ ผลกระทบที่เกิดจากการรั่วไหลของสารทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถเกิดแก่โรงงานที่เป็นเจ้าของถังเก็บสารเคมีที่รั่วไหล โรงงานข้างเคียงและชุมชนได้เพราะอิทธิพลของลม สภาพอากาศ และสภาพพื้นดิน โดยพบว่าสภาพที่เอื้อให้เกิดผลกระทบเป็นวงกว้างมากคือ ความเร็วลมที่ต่ำ และสภาพอากาศที่มีเสถียรภาพ (Crowl, 2002)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของสารพาราไซลินและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บของโรงงานแห่งหนึ่ง โดยใช้โปรแกรมโลฮาภายใต้อิทธิพลของทิศทางลมและช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล ทั้งนี้ได้สนใจการลุกติดไฟจากสารพาราไซลิน และอันตรายจากไอกรดที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ดังนี้

3.1 การรั่วไหลของสารพาราไซลิน

จากตัวแปรที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมโลฮา โปรแกรมดังกล่าวได้ระบุว่ามีอันตราย 3 กรณีที่อาจเกิดขึ้นได้ คือ การรั่วไหลที่ไม่ลุกติดไฟ การเกิดระเบิดแบบบลิ้วและการรั่วไหลที่ลุกติดไฟโดยกรณีการรั่วไหลที่ไม่ลุกติดไฟและการเกิดระเบิดแบบบลิ้วจะไม่ทำการวิเคราะห์ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามเฉพาะกรณีการรั่วไหลที่ลุกติดไฟเท่านั้นที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโลฮา

จากการวิเคราะห์การลุกติดไฟของสารพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บ 2 ขนาด ด้วยโปรแกรมโอฮาโดยทิศทางลมที่ใช้คือทิศเหนือ พบว่าเกิดการแพร่กระจายของฟลักซ์ความร้อนที่ระยะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 12 โดยที่ค่าฟลักซ์ความร้อนหนึ่งๆ ขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเคมีในถังเก็บที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในฟุตพริ้นท์จะแบ่งบริเวณผลกระทบตามฟลักซ์ความร้อนที่ได้รับเป็น 3 บริเวณ คือ 10 kW/m^2 ที่ทำให้มีโอกาสเสียชีวิตภายใน 60 วินาที 5 kW/m^2 ที่ทำให้เกิดแผลไฟไหม้ระดับ 2 ภายใน 60 วินาที และ 2 kW/m^2 ที่ก่อให้เกิดอาการปวดแสบปวดร้อนของผิวหนังภายใน 60 วินาที (Federal Emergency Management Agency, 1988) สำหรับในทิศทางลมอื่นๆ และช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล ฟุตพริ้นท์ที่ได้มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ



ภาพที่ 12 ฟุตพริ้นท์ของการแผ่รังสีความร้อน (ฟลักซ์, kW/m^2) ที่เกิดจากการลุกติดไฟของสารพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บขนาด (ก) 2,300 และ (ข) 6,283 m^3 เมื่อลมนพัดมาจากทิศเหนือ

เมื่อนำภาพฟุตพริ้นท์การแผ่รังสีความร้อนนี้ มาวางบนแผนที่ของโรงงานที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 13) ทำให้ทราบถึงประเภทพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์ความร้อนต่างๆ โดยพื้นที่ภายในวงกลมสีแดงหมายถึง พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์ความร้อน 10 kW/m^2 พื้นที่ระหว่างวงกลมสีแดงกับสีส้มหมายถึง พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์ความร้อน 5 kW/m^2 และพื้นที่ระหว่างวงกลมสีส้มกับสีเหลืองหมายถึง พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์

ความร้อน 2 kW/m^2 โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์ความร้อนต่าง ๆ นี้ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 13 แล้ว เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์ความร้อน 2 kW/m^2 หรือสูงกว่าที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ที่ไม่สามารถฟื้นฟูได้พบว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากค่าฟลักซ์ความร้อนคือ พื้นที่บริเวณจัดเก็บสารเคมีก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิตและพื้นที่อื่นๆของโรงงานที่ศึกษาและโรงงานข้างเคียงเท่านั้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชน ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำให้ทราบว่าโรงงานที่เก็บสารพาราไซลีนนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้มงวดกับมาตรการที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่



(ก)



(ข)

ภาพที่ 13 แผนที่จาก Google Earth แสดงบริเวณพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนจากการลุกติดไฟของสารพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บขนาด (ก) 2,300 และ (ข) 6,283 m^3 (จุดศูนย์กลางวงกลม คือ บริเวณที่เกิดเหตุโดยพื้นที่วงกลมครอบคลุมโรงงานที่ศึกษา พื้นที่นอกเขตเป็นโรงงานข้างเคียง)

ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อลดระดับความเสี่ยง และปกป้องพนักงานของโรงงานตนเองและใกล้เคียง ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับอันตรายจากการรั่วไหลนี้มากที่สุด

ตารางที่ 13 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากการลุกติดไฟของสารพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บ 2 ขนาด

ความเข้มของการแผ่รังสีความร้อน (กิโลวัตต์ต่อตร.ม.)	ถังเก็บพาราไซลีนขนาด (ลบ.ม.)	รัศมี (เมตร)	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ¹
10	2,300	31	พื้นที่เก็บสารเคมี
	6,283	70	พื้นที่เก็บสารเคมี และรั้วของโรงงานข้างเคียง
5	2,300	46	พื้นที่รั้วกระบวนการผลิตของโรงงานที่ศึกษา
	6,283	101	พื้นที่กระบวนการผลิตของโรงงานที่ศึกษา และรั้วของโรงงานข้างเคียง
2	2,300	73	พื้นที่กระบวนการผลิตของโรงงานที่ศึกษา และรั้วของโรงงานข้างเคียง
	6,283	153	พื้นที่กระบวนการผลิตของโรงงานที่ศึกษา และบริเวณโรงงานข้างเคียง

หมายเหตุ ¹ ค่าตัวแปรและสภาวะที่กำหนดในโปรแกรมอโลฮาเป็นดังตารางที่ 8

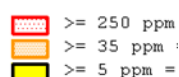
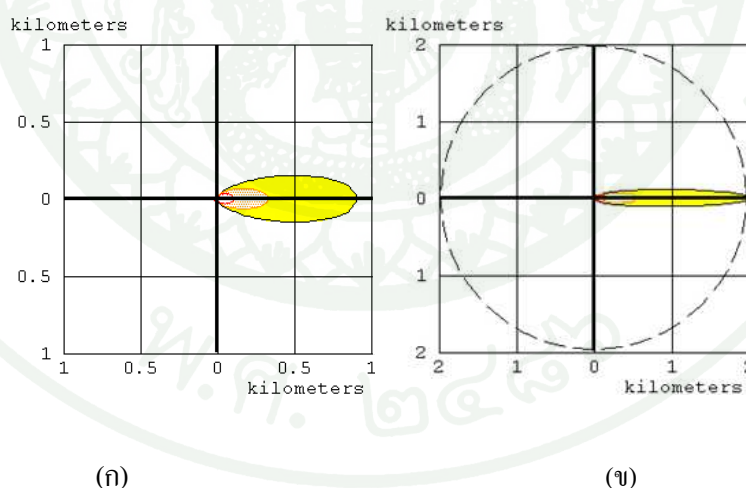
3.2 การรั่วไหลของกรดอะเซติก

จากตัวแปรที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมอโลฮา โปรแกรมดังกล่าวได้ระบุว่ามียอันตราย 3 กรณีที่อาจเกิดขึ้นได้ คือ การรั่วไหลที่ไม่ลุกติดไฟ การเกิดระเบิดแบบบลิ้วและการรั่วไหลที่ลุกติดไฟ โดยกรณีการรั่วไหลที่ลุกติดไฟ และการเกิดระเบิดแบบบลิ้ว จะไม่ทำการวิเคราะห์ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามเฉพาะกรณีการรั่วไหลที่ไม่ลุกติดไฟเท่านั้นที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมอโลฮา

สำหรับการรั่วไหลที่ไม่ถูกติดไฟนี้ พบว่าทั้งช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล (กลางวันและกลางคืน) และทิศทางลมมีผลต่อการแพร่กระจายของไอกรดทั้งสิ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

จากการวิเคราะห์การรั่วไหลที่ไม่ถูกติดไฟของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ด้วยโปรแกรมอโรฮา ผลที่ได้คือฟุตพริ้นท์ที่แสดงในภาพที่ 14 ซึ่งได้แบ่งบริเวณผลกระทบตามความเข้มข้นของไอกรดที่ได้รับออกเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณที่ได้รับความเข้มข้นของไอกรด (1) 250 พีพีเอ็มหรือสูงกว่าซึ่งเกิดผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาพหรือเสียชีวิตได้ (2) 35 พีพีเอ็มที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพที่ทำให้ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาเหมือนเดิมได้ และ (3) 5 พีพีเอ็มที่ทำให้ร่างกายระคายเคืองเล็กน้อย (U.S. Department of Energy, 1992)

ภาพที่ 14 นี้ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการรั่วไหลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนจะทำให้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบต่อไอกรดที่แต่ละความเข้มข้นกว้างมากกว่ากลางวัน เนื่องจากเสถียรภาพของบรรยากาศในเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน ดังนั้นเพื่อให้เห็นถึงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไอกรดได้ครอบคลุม ในการศึกษาอิทธิพลที่เกิดจากทิศทางลมที่จะกล่าวถึงต่อไป จึงได้กำหนดให้ช่วงเวลาที่เกิดเหตุเป็นเวลากลางคืนเท่านั้น



ภาพที่ 14 ฟุตพริ้นท์แสดงการกระจายความเข้มข้นของไอกรดที่เกิดจากการรั่วไหลของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บขนาด 825 m³ ที่เกิดขึ้นในเวลา (ก) กลางวัน และ (ข) กลางคืน ทั้งนี้ได้แบ่งระดับความเข้มข้นออกเป็น 3 ระดับตามผลกระทบต่อสุขภาพ

นอกจากช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหลซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของไอรกดแล้ว ทิศทางลมที่พัดผ่านจุดเกิดเหตุยังมีผลด้วยดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งเป็นการรั่วไหลของกรดอะเซติก ออกจากถังเก็บ ภายใต้อิทธิพลของทิศทางลมทั้ง 8 ทิศ แสดงให้เห็นว่าไม่มีพื้นที่ใดที่ได้รับอิทธิพลของลมมากกว่า 1 ทิศ อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่อยู่ในวงกลมนี้ล้วนเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับอันตรายจากไอรกดนี้ที่ความเชื่อมั่น 95% และพื้นที่ที่อยู่ในบริเวณของวงรีของทิศทางลมหนึ่งๆ คือ พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไอรกดอย่างแน่นอน นอกจากนี้จะเห็นว่าในทุกทิศทางลมที่ศึกษานี้ เฉพาะโรงงานที่ศึกษาและโรงงานใกล้เคียงเท่านั้นที่ได้รับความเข้มข้นของไอรกดในระดับที่เป็นอันตราย ทำให้ถึงตายหรือร่างกายไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ (≥ 35 พีพีเอ็ม) ในขณะที่ชุมชนที่อยู่ห่างออกไประดับอันตรายต่อสุขภาพที่ได้รับเป็นระดับต่ำที่ร่างกายสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้โดยไม่ต้องมีการรักษา (5 – 34 พีพีเอ็ม) สำหรับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นต่างๆของไอรกดแสดงดังตารางที่ 14



ภาพที่ 15 แผนที่จาก Google Earth แสดงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบของการกระจายความเข้มข้นของไอรกดที่เกิดจากการรั่วไหลของกรดอะเซติกออกจากถังเก็บขนาด 825 m^3 ที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืนเท่านั้น (วงรีภายในวงกลมแสดงถึงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากไอรกดเข้มข้น ≥ 5 พีพีเอ็ม ที่ทิศทางลมต่างๆ)

ตารางที่ 14 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นของไอกรดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการรั่วไหลของกรดอะเซติกจากถังเก็บในช่วงเวลากลางวัน^{1,2} และกลางคืน^{1,2}

ความเข้มข้นของ กรดอะเซติก (พีพีเอ็ม)	ช่วงเวลา	ระยะทาง (เมตร)	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ³
250	กลางวัน	108	พื้นที่ของโรงงานที่ศึกษาและโรงงานข้างเคียง
	กลางคืน	140	พื้นที่ของโรงงานที่ศึกษาและโรงงานข้างเคียง
35	กลางวัน	331	พื้นที่ของโรงงานที่ศึกษาและโรงงานข้างเคียง
	กลางคืน	526	พื้นที่ของโรงงานที่ศึกษาและโรงงานข้างเคียง
5	กลางวัน	919	พื้นที่ของโรงงานข้างเคียง
	กลางคืน	2,000	พื้นที่ของโรงงานข้างเคียงและชุมชน

หมายเหตุ ¹ ช่วงเวลากลางวันคือ ช่วงเวลา 1 ชั่วโมงหลังพระอาทิตย์ขึ้นถึง 1 ชั่วโมงก่อนพระอาทิตย์ตกดิน ช่วงเวลากลางคืนคือ ช่วงเวลา 1 ชั่วโมงก่อนพระอาทิตย์ตกดินถึง 1 ชั่วโมงหลังพระอาทิตย์ขึ้น

² ค่าความเร็วลมที่ใส่ให้โปรแกรมคือ 0.26 เมตรต่อวินาที ทั้ง 2 ช่วงเวลา โดยช่วงเวลากลางวันเสถียรภาพของบรรยากาศเป็นเอ (A) ส่วนช่วงเวลากลางคืนเสถียรภาพบรรยากาศเป็นเฟส (F)

³ ค่าตัวแปรและสถานะที่กำหนดในโปรแกรมโอโลฮาเป็นดังตารางที่ 8

จากตารางที่ 14 นี้ทำให้ทราบว่าโรงงานที่เก็บกรดอะเซติกนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้มงวดกับมาตรการที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อลดระดับความเสี่ยง และปกป้องพนักงานของโรงงานตนเองและโรงงานใกล้เคียง ซึ่งเป็นผู้ที่จะได้รับอันตรายจากการรั่วไหลนี้มากที่สุด

4. การประเมินผลกระทบจากการลุดติไฟฟ้าของถังเก็บสารพาราไซลีน

จากผลการประเมินความเสี่ยงด้วย What If Analysis ในบริเวณถังเก็บสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกพบว่ามี 4 เหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงระดับ 4 ซึ่งยอมรับไม่ได้ และนำไปสู่การรั่วไหลของ

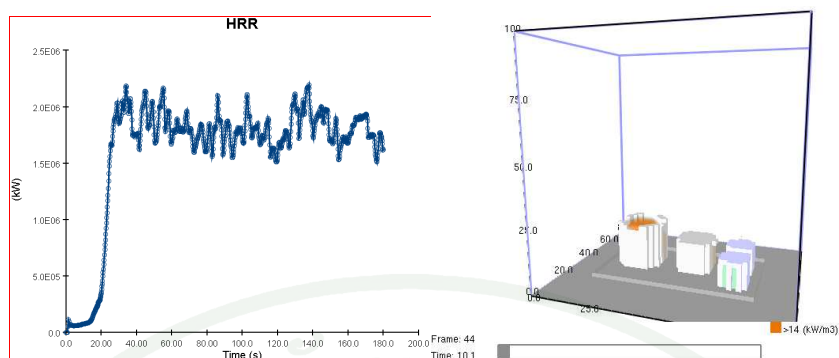
พาราไซลีนนี้รวมถึงการลุกติดไฟ ทั้งนี้ไม่มีเหตุการณ์ที่นำไปสู่การลุกติดไฟของกรดอะเซติก นอกจากนี้โปรแกรมโกลาได้แสดงให้เห็นทราบว่าเฉพาะการรั่วไหลของกรดอะเซติกเป็นแบบไม่ลุกติดไฟเท่านั้น เพราะความเข้มข้นของไฮโดรเจนในบรรยากาศนี้มีค่าไม่สูงมากพอจะทำให้เกิดการลุกติดไฟได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บพาราไซลีนเท่านั้น โดยใช้โปรแกรม FDS ภายใต้อิทธิพลของทิศทางและความเร็วลมต่างๆ ซึ่งผลกระทบนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ผลกระทบจากความร้อน คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการลุกติดไฟของพาราไซลีนโดยผลที่ได้เป็นดังนี้

4.1 ผลกระทบจากความร้อนที่เกิดจากการลุกติดไฟของพาราไซลีน

จากวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม FDS พบว่าอันตรายที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนทั้ง 2 ถัง คือ อุณหภูมิความร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยอันตรายที่เกิดขึ้นของถังเก็บทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะเหมือนกัน แต่การลุกติดไฟของถังเก็บขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตร ทำให้เกิดอันตรายที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่าถังเก็บขนาด 2,300 ลูกบาศก์เมตร เนื่องจากพื้นที่ด้านบนถังเก็บที่ลุกติดไฟมีขนาดมากกว่า ดังนั้นเพื่อให้เห็นผลกระทบจากการลุกติดไฟได้มากที่สุด ในการศึกษาอันตรายที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟที่จะกล่าวถึงต่อไปจึงกำหนดให้เกิดการลุกติดไฟที่ถังเก็บขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตรเท่านั้น

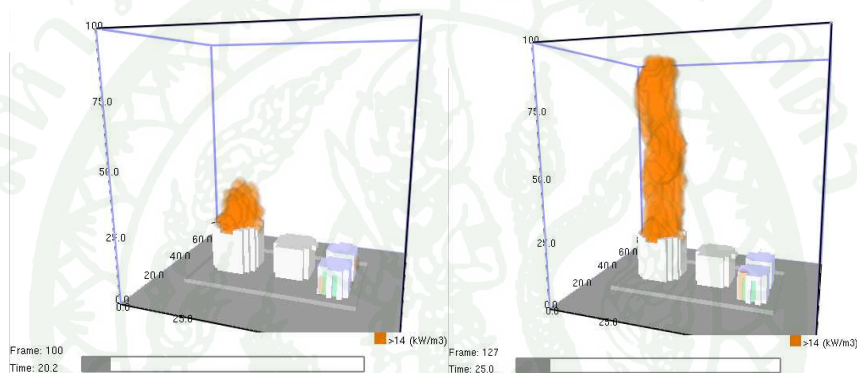
จากตัวแปรที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรม FDS โดยกำหนดระยะเวลาในการคำนวณ 180 วินาที ความเร็วและทิศทางลมต่างๆ พบว่าโปรแกรมหาคำนวณได้ให้ผลการคำนวณตามช่วงเวลาที่กำหนดดังภาพที่ 16 ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการลุกติดไฟของสารพาราไซลีนในถังเก็บจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ตั้งแต่วันที่ 25 เป็นต้นไป ในการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บพาราไซลีน ภายใต้อิทธิพลของทิศทางและความเร็วลมที่จะกล่าวถึงต่อไป ได้แสดงระยะเวลาการลุกติดไฟในวินาทีที่ 25 เท่านั้น เพราะการเข้าสู่สภาวะคงตัวทำให้อิทธิพลของไฟที่เกิดขึ้นไม่เปลี่ยนแปลง

จากการวิเคราะห์การลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยโปรแกรม FDS โดยกำหนดทิศทางลมให้พัดไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็ว 0.26 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมน้อยที่สุด) พบว่าความร้อนที่เกิดจะลอยขึ้นด้านบนของถังเก็บสาร เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมเป็น 0.5 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมเฉลี่ย) พบว่าความร้อนที่เกิดจะลอยขึ้นด้านบน



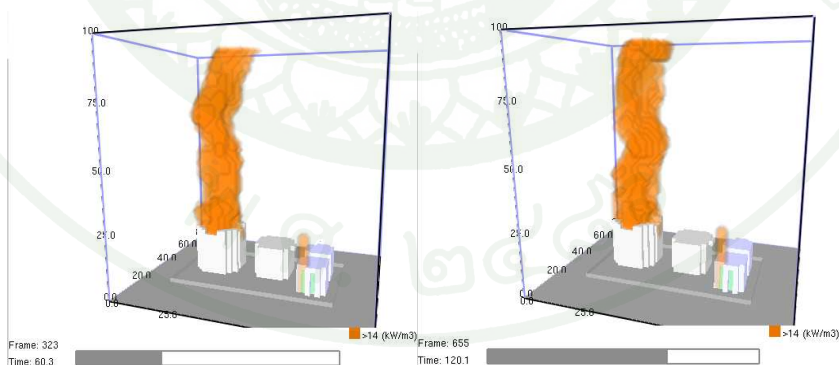
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

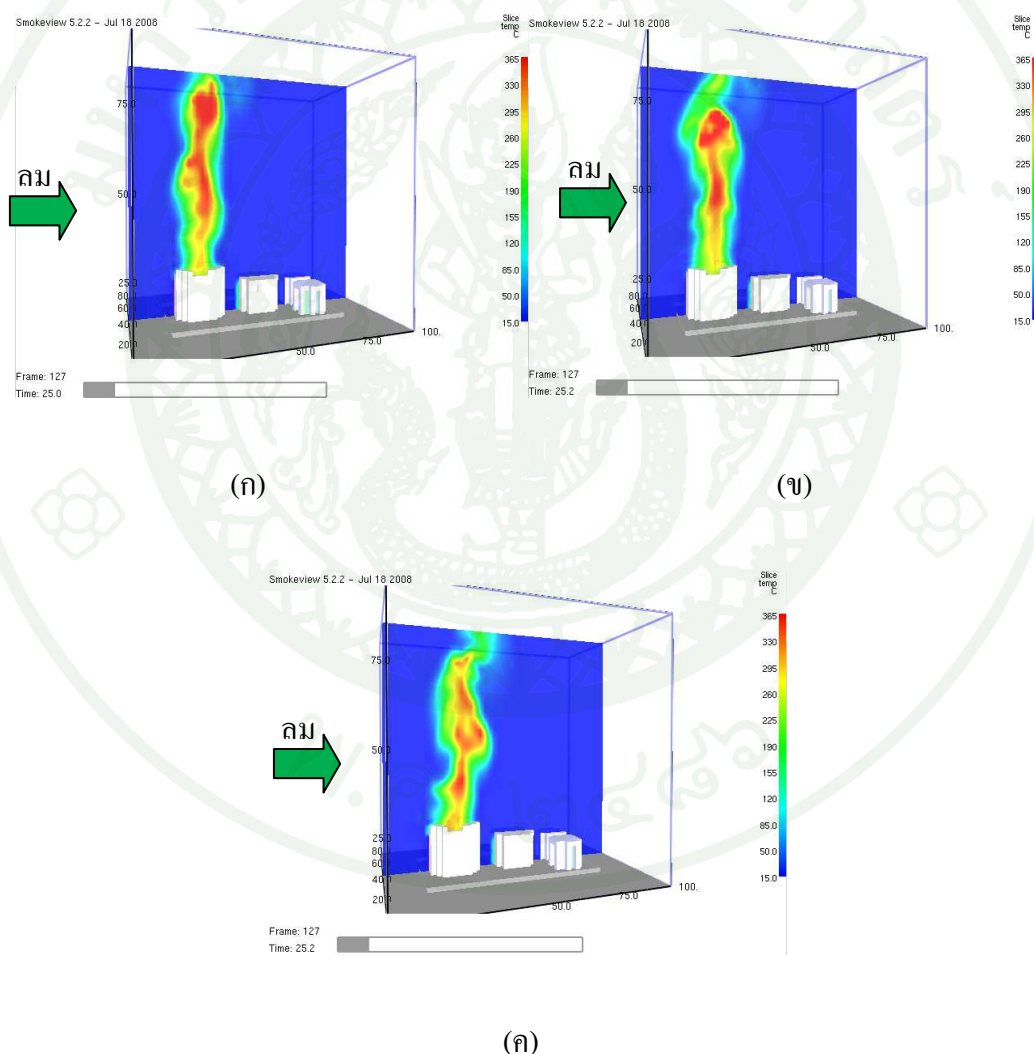


(จ)

(ฉ)

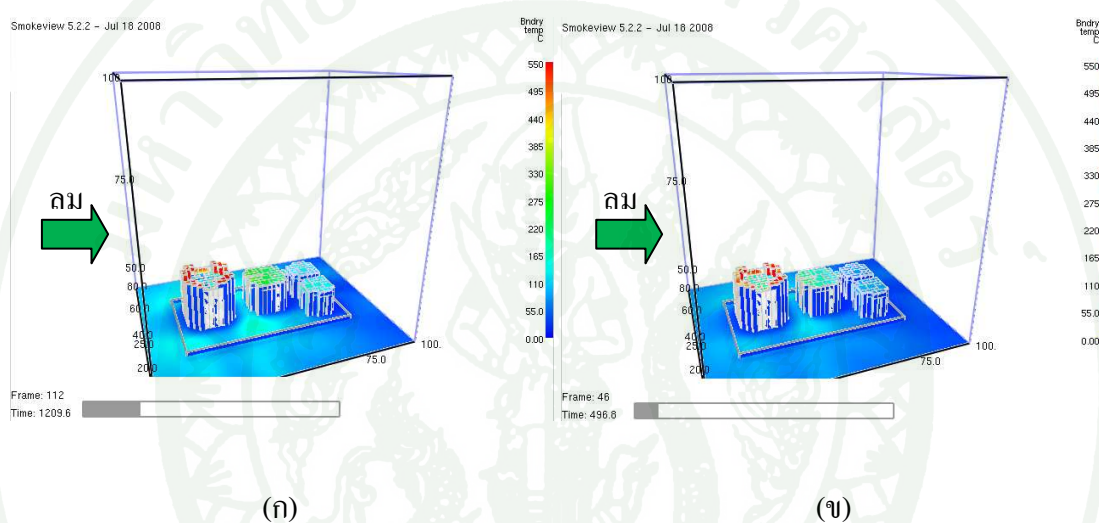
ภาพที่ 16 อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจากการลุกติดไฟของสารพาราไซคลีนในถังเก็บขนาด $6,283 \text{ m}^3$ ในช่วงเวลา 180 วินาที (ก) โดยการลุกติดไฟของสารนี้เกิดขึ้นในวินาทีที่ (ข) 10 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 60 และ (ฉ) 120

เช่นเดียวกัน แต่เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมเป็น 1.18 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมมากที่สุด) พบว่าความร้อนจะถูกพาไปตามทิศทางของลมแต่ยังไม่ออกห่างจากจุดกึ่งกลางของถัง ดังแสดงในภาพที่ 17 จะเห็นว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีน มีอุณหภูมิสูงในบริเวณใกล้ถังเก็บสาร และจะลดลงเมื่อมีระยะห่างออกไป นอกจากนี้พบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นถูกพัดพาไปตามทิศทางลมที่กำหนดอีกด้วย เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากความร้อนที่เกิดขึ้นจะเห็นว่าความร้อนมีผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณถังเก็บสารเคมีก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยไม่มีผลกระทบต่อโรงงานข้างเคียงและชุมชน สำหรับในทิศทางและความเร็วลมอื่นๆ ได้ให้ผลการคำนวณเหมือนกับที่กล่าวมาข้างต้น



ภาพที่ 17 อุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด $6,283 \text{ m}^3$ โดยลมพัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว (ก) 0.26 (ข) 0.5 และ (ค) 1.18 m/s

เมื่อถึงเก็บสารพาราไซลินขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตรถูกติดไฟที่ทิศทางและความเร็วลมต่างๆ พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บนี้ทำให้ถังเก็บสารพาราไซลินขนาด 2,300 ลูกบาศก์เมตร ที่ทำจากคาร์บอนสตีลที่ตั้งอยู่ถัดไปเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างถึงตั้งแต่ 20 เป็นต้นไป เพราะอุณหภูมิที่เวลาดังกล่าวมีค่า 330 องศาเซลเซียส¹ และทำให้ถังเก็บกรดอะเซติกทั้ง 2 ถัง ที่ทำจากสแตนเลสสตีลและตั้งอยู่ห่างมากขึ้นเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของถังตั้งแต่ 8 เป็นต้นไป เพราะอุณหภูมิที่เวลาดังกล่าวมีค่า 100 องศาเซลเซียส¹ ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 อุณหภูมิของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลินขนาด 6,283 m^3 ในนาที่ที่ (ก) 20 (ข) 8 โดยลมพัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว 1.18 m/s

จากการศึกษาผลกระทบจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลินนี้ ทำให้ทราบว่าโรงงานที่มีการเก็บสารนี้จำเป็นต้องเข้มงวดกับมาตรการที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อลดระดับความเสี่ยง และปกป้องพนักงานของโรงงานตนเอง ซึ่งเป็นผู้ที่จะได้รับผลกระทบจากการลุกติดไฟนี้โดยตรง

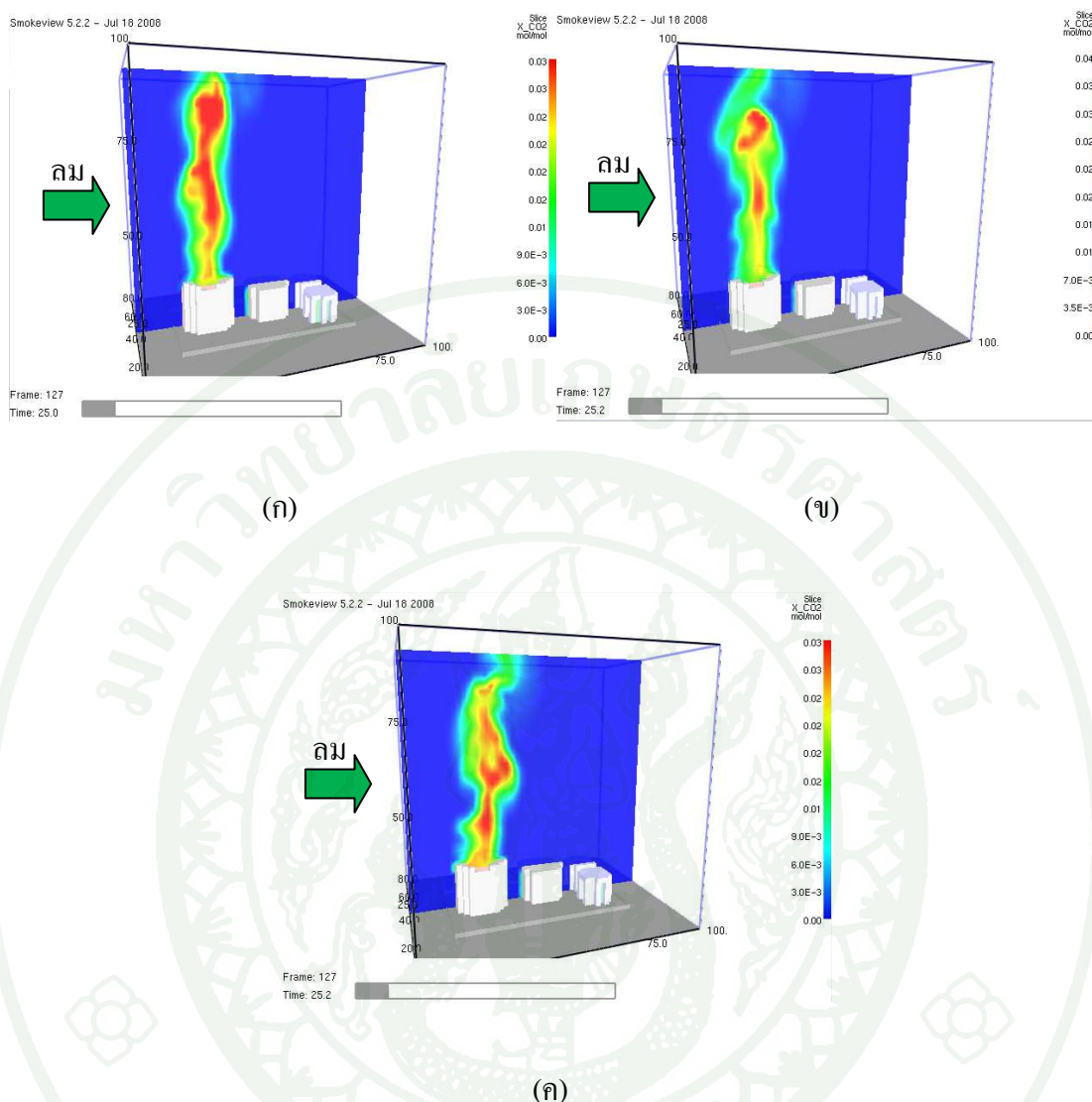
¹ สำหรับถังที่ทำจากคาร์บอนสตีล (Carbon Steel) อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างคือ 330 องศาเซลเซียส สำหรับถังที่ทำจากสแตนเลสสตีล (Stainless Steel) อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างคือ 100 องศาเซลเซียส ในที่นี้อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างลดลง 20% (ESDEP, 1993)

4.2 ผลกระทบจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการลัดไฟของพาราโซลิน

จากการวิเคราะห์การลัดไฟของถังเก็บสารพาราโซลินขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยโปรแกรม FDS โดยกำหนดทิศทางลมให้ลมพัดไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็ว 0.26 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมน้อยที่สุด) พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นด้านบนของถังเก็บสาร เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมเป็น 0.5 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมเฉลี่ย) พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นด้านบนเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมเป็น 1.18 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมมากที่สุด) พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกพาไปตามทิศทางของลมแต่ยังไม่ออกห่างจากจุดกึ่งกลางของถัง ดังแสดงในภาพที่ 19 จะเห็นว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลัดไฟของถังเก็บสารพาราโซลินนี้ มีความเข้มข้นสูงบริเวณใกล้ถังเก็บสาร และจะลดลงเมื่อมีระยะห่างออกไป

ตามที่กระทรวงมหาดไทยได้กำหนดมาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่คนทำงานให้ไม่เกิน 5,000 พีพีเอ็ม หรือ 0.005 โมลต่อโมล นั้น พบว่าในสถานการณ์ที่ทิศทางลมพัดไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็วลมน้อยที่สุด เฉลี่ย และสูงสุดนั้น ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณเหนือถังเก็บสารมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 7,000 – 30,000 พีพีเอ็ม ซึ่งเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด แต่ความเข้มข้นดังกล่าวไม่แพร่กระจายไปที่บริเวณอื่นที่อยู่รอบๆถังเก็บสาร ดังนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณเหนือถังเก็บพาราโซลินที่ลัดไฟ โดยไม่มีผลกระทบต่อโรงงานข้างเคียงและชุมชน สำหรับในทิศทางและความเร็วลมอื่นๆ ได้ให้ผลการคำนวณเหมือนกับที่กล่าวมาข้างต้น

จากการศึกษาผลกระทบจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการลัดไฟของถังเก็บสารพาราโซลินนี้ ทำให้ทราบว่าโรงงานที่มีการเก็บสารนี้จำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ต้องเข้มงวดกับมาตรการที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อลดระดับความเสี่ยง และปกป้องพนักงานของโรงงานตนเอง ซึ่งเป็นผู้ที่มีโอกาสจะได้รับผลกระทบจากการลัดไฟนี้โดยตรง



ภาพที่ 19 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด $6,283 \text{ m}^3$ โดยลมพัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว (ก) 0.26 (ข) 0.5 และ (ค) 1.18 m/s

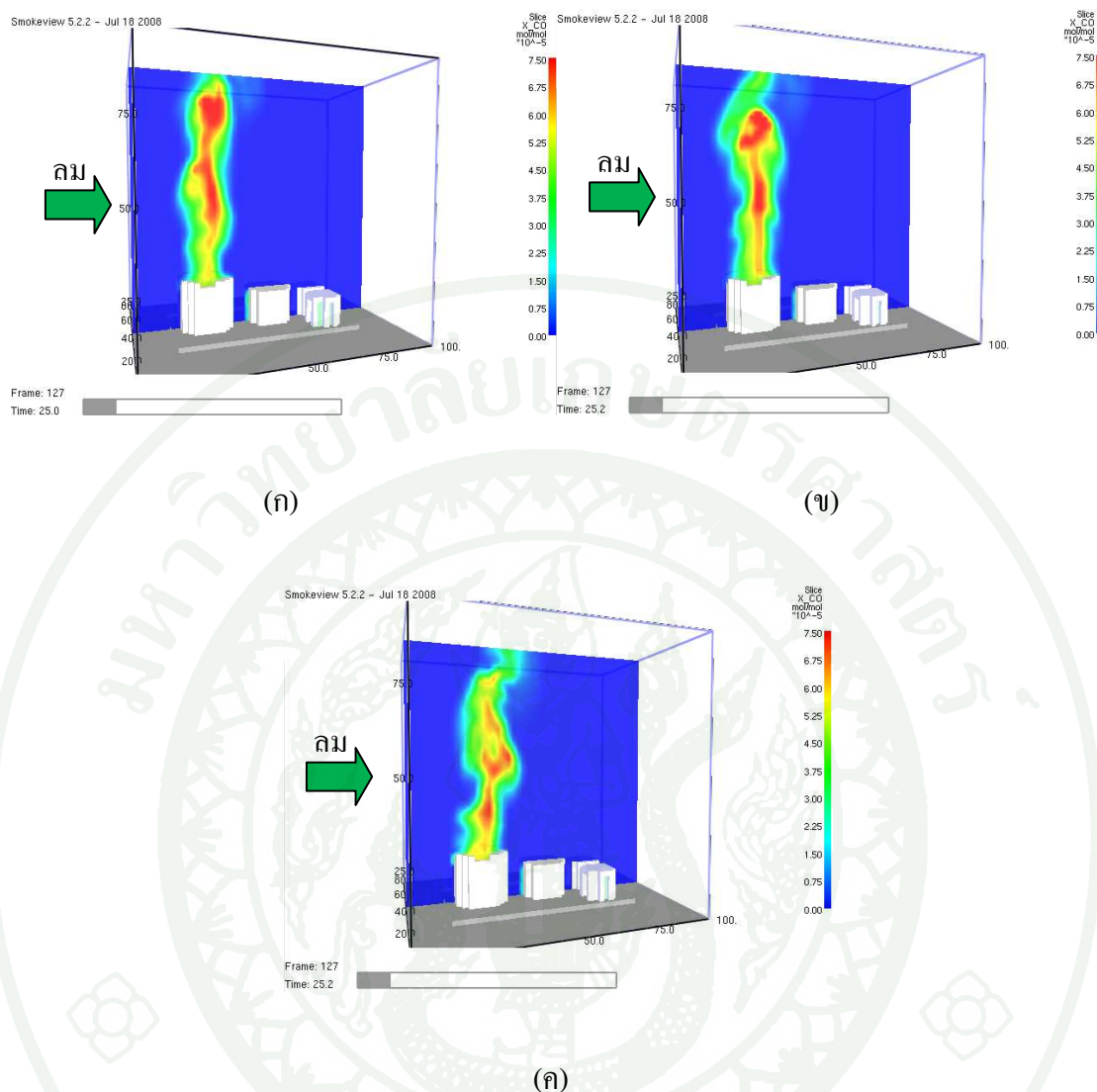
4.3 ผลกระทบจากคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของพาราไซลีน

จากการวิเคราะห์การลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยโปรแกรม FDS โดยกำหนดทิศทางลมให้ลมพัดไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็ว 0.26 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมน้อยที่สุด) พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นด้านบนของถังเก็บสาร เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมเป็น 0.5 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมเฉลี่ย) พบว่า

ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นด้านบนเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเปลี่ยนความเร็วลมเป็น 1.18 เมตรต่อวินาที (ความเร็วลมมากที่สุด) พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกพาไปตามทิศทางของลมแต่ยังไม่ออกห่างจากจุดกึ่งกลางของถัง ดังแสดงในภาพที่ 20 จะเห็นว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนนี้ มีความเข้มข้นสูงบริเวณใกล้ถังเก็บสาร และจะลดลงเมื่อมีระยะห่างออกไป

ตามที่กระทรวงมหาดไทยได้กำหนดมาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศที่คนทำงานให้ไม่เกิน 50 พีพีเอ็ม หรือ 5×10^{-5} โมลต่อโมล นั้น พบว่าในสถานการณ์ที่ทิศทางลมพัดไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็วลมน้อยที่สุด เฉลี่ย และสูงสุดนั้น ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณเหนือถังเก็บสารมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 17.5 – 75 พีพีเอ็ม ซึ่งมีช่วงที่ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด แต่ความเข้มข้นดังกล่าวไม่แพร่กระจายไปที่บริเวณอื่นที่อยู่รอบๆถังเก็บสาร ดังนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อพื้นที่บริเวณเหนือถังเก็บพาราไซลีนที่ลุกติดไฟ โดยไม่มีผลกระทบต่อโรงงานข้างเคียงและชุมชน สำหรับในทิศทางและความเร็วลมอื่นๆ ได้ให้ผลการคำนวณเหมือนกับที่กล่าวมาข้างต้น

จากการศึกษาผลกระทบจากคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการลุกติดไฟของถังเก็บสารพาราไซลีนนี้ ทำให้ทราบว่าโรงงานที่มีการเก็บสารนี้จำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ต้องเข้มงวดกับมาตรการที่มีอยู่ในปัจจุบันและที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อลดระดับความเสี่ยง และปกป้องพนักงานของโรงงานตนเอง ซึ่งเป็นผู้ที่มีโอกาสจะได้รับผลกระทบจากการลุกติดไฟนี้โดยตรง



ภาพที่ 20 ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการลุกติดไฟของถังเก็บสาร
พาราไซซีนขนาด $6,283 \text{ m}^3$ โดยลมพัดไปทางทิศตะวันออกที่ความเร็ว (ก) 0.26 (ข) 0.5
และ (ค) 1.18 m/s

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการเก็บสารพาราไซลินและกรดอะเซติกที่ไม่มีการเก็บสารเคมีชนิดอื่นนั้น สามารถเกิดอันตรายจากการรั่วไหลของสารเคมีออกจากถังเก็บ โดยสารพาราไซลินถูกเก็บในถังเก็บ 2 ใบ ที่มีขนาด 2,300 และ 6,283 ลูกบาศก์เมตร ส่วนกรดอะเซติกถูกเก็บในถัง 2 ใบ ที่มีขนาดเท่ากันคือ 825 ลูกบาศก์เมตร ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของแต่ละถังเก็บด้วยวิธี Fault Tree Analysis พบว่าสาเหตุพื้นฐานที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารพาราไซลินและกรดอะเซติกเหมือนกันทุกประการ คือ เกิดจากอุปกรณ์บกพร่อง ยกเว้นสาเหตุพื้นฐานของกรดอะเซติก คือ ท่อระบายไอรกดออกสู่บรรยากาศดัน ที่แตกต่างจากสารพาราไซลิน เมื่อนำสาเหตุพื้นฐานของสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ไปใช้ในการสร้างคำถาม What If เพื่อประเมินความเสี่ยง พบว่ามีเหตุการณ์ทั้งหมด 46 เหตุการณ์ที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารเคมีทั้ง 2 ชนิด รวมถึงการลุดคิดไฟและอันตรายที่เกิดขึ้นจากไอรกด ทั้งนี้ 6 เหตุการณ์ที่มีความเสี่ยงระดับ 4 ซึ่งยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการจนกว่าจะมีมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงให้อยู่ในระดับ 2 ซึ่งยอมรับได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้เพิ่มมาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงเพื่อลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้แล้ว

เมื่อทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของสารพาราไซลินออกจากถังเก็บแบบที่ลุดคิดไฟ พบว่าโปรแกรมอโลฮาได้ให้ค่าพลั๊กความร้อนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของทิศทางลมและช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล สำหรับการรั่วไหลของกรดอะเซติกแบบที่ไม่ลุดคิดไฟ โปรแกรมได้ให้ค่าความเข้มข้นของไอรกดที่เปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของทิศทางลมและช่วงเวลาที่เกิดการรั่วไหล โดยการรั่วไหลที่เกิดในช่วงเวลากลางคืนทำให้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมีขนาดกว้างมากกว่ามาก และทิศทางลมที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อพื้นที่ที่ต่างกันที่จะได้รับผลกระทบ อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ไม่ได้อยู่ในแนวของลมนั้นก็ยังมีโอกาส 95% ที่จะได้รับผลเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า การรั่วไหลของสารพาราไซลินแบบลุดคิดไฟ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นนั้นที่ก่อให้เกิดแผลไฟไหม้ระดับ 2 จนถึงเสียชีวิตภายใน 1 นาที ส่งผลกระทบต่อโรงงานที่เกิดเหตุและใกล้เคียงเท่านั้น (ไม่รวมแหล่งชุมชน) สำหรับการรั่วไหลของกรดอะเซติกแบบไม่ลุดคิดไฟนี้พบว่าเฉพาะโรงงานที่ทำการศึกษาและโรงงานข้างเคียงเท่านั้นที่จะได้รับอันตรายจากไอรกดที่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพที่ทำให้ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาเหมือนเดิมจนถึงเสียชีวิตได้ ในขณะที่ชุมชนนั้นจะได้รับไอรกดในระดับความเข้มข้นที่ทำให้ร่างกายระคายเคืองเล็กน้อย ซึ่งร่างกายสามารถกลับคืนสู่สภาวะปกติ

ได้ดังนั้นจากการวิเคราะห์การรั่วไหลของพาราไซลินและกรดนี้ พบว่าโรงงานที่ทำการศึกษาดัง
ดำเนินการตามมาตรการอย่างเข้มงวดเพื่อปกป้องพนักงานของตนและโรงงานข้างเคียง

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลุดิตไฟของถังเก็บสารพาราไซลินขนาด
6,283 ลูกบาศก์เมตร พบว่าโปรแกรม FDS ได้ให้ผลการคำนวณของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลุดิต
ไฟของสารนี้ คือ อุณหภูมิของความร้อน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และความเข้มข้น
ของคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยขนาดของความเร็วลมในช่วง 0.26 – 1.18 เมตรต่อวินาทีที่มีผลต่อการ
เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิความร้อนและความเข้มข้นของก๊าซตามทิศทางลมเล็กน้อย นอกจากนี้ยัง
พบว่าบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิความร้อน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และ
ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตที่ทำให้ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมา
เหมือนเดิมได้คือ บริเวณโรงงานที่ทำการศึกษานั้น และโรงงานต้องดับไฟให้ได้ภายใน 8 นาที
เพื่อป้องกันการลุดิตไฟไปยังถังข้างเคียงซึ่งจะเกิดจากโครงสร้างของถังบรรจุที่ถูกทำลายด้วยความ
ร้อนจากไฟที่เกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาได้พบข้อบกพร่องในหลายกรณี ซึ่งมีผลทำให้การศึกษาในครั้งนี้มี
ข้อจำกัดเกิดขึ้น ดังนั้นข้อเสนอแนะในที่นี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต
โดยข้อเสนอแนะมีทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้

1. ควรพัฒนาระบบการรวบรวมและบันทึกข้อมูลการรายงานสาเหตุพื้นฐานการเกิดความ
บกพร่องของอุปกรณ์ในกระบวนการจัดเก็บสารพาราไซลินและกรดอะเซติกที่เคยเกิดขึ้นในอดีต
เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทวนสอบกับผลการวิเคราะห์หาสาเหตุการรั่วไหลของสารเคมีที่
ทำการศึกษา

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมการทำ Fault Tree Analysis สำหรับการประเมินโอกาสในการล้มเหลวของอุปกรณ์ควบคุมในระบบจัดเก็บสารพาราไซลีนและกรดอะเซติก เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินความเสี่ยงการลุกติดไฟและการเกิดความเข้มข้นของไอกรดที่มีผลร้ายต่อสุขภาพจากการรั่วไหลของสารพาราไซลีนและกรดอะเซติกออกจากถังเก็บ

3. ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของค่าฟลักซ์ความร้อนจากการลุกติดไฟของพาราไซลีนที่รั่วไหลออกจากถังเก็บ โดยมีผลกระทบต่อถังเก็บสารเคมีของโรงงานข้างเคียงที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารเคมีหลายชนิดซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงกว่าการรั่วไหลของสารชนิดเดียว

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2543. ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้
ป่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง
พ.ศ. 2543. กรุงเทพฯ.

กระทรวงมหาดไทย. 2520. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงาน
เกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520. กรุงเทพฯ.

กิตติสันต์ ศิวรานนท์. 2550. การศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้ของถังเก็บน้ำมันดีเซลขนาด
ใหญ่ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทิพวรรณ อังศิริ. 2550. การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของก๊าซปิโตรเลียมเหลวภายใน
คลังเก็บ: กรณีศึกษาถังเก็บทรงกระบอกแนวนอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. 2544. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์. กรม
ควบคุมมลพิษ. แหล่งที่มา: <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=1369>, 27
กุมภาพันธ์ 2553.

สุกิตติ เจริญวุฒิ. 2549. การประเมินความเสี่ยงจากอันตรายของสถานีบริการก๊าซธรรมชาติ
รถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Baum, H.R. and K.B. McGrattan. 1999. **Simulation of Oil Tank Fire**. National Institute of
Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. Available Source:
<http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire99/PDF/f99111.pdf>, October 16, 2009.

Bird, F.E. and G.L. Germain. 1996. **Loss Control Management: Practical Loss Control
Leadership**. 4 ed. Det Norske Veritas, USA.

Crowl, D.A. and J.F. Louvar. 2002. **Chemical Process Safety**. 2 ed. Prentice Hall PTR, USA.

Dandrieux, A. 2002. **Small Scale Field Experiments of Chlorine Dispersion**. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Available Source: <http://www.sciencedirect.com>, February 27, 2010.

European Steel Design Education Programme. 1993. **Structural Behaviour and Design**. Available Source: <http://www.esdep.org/members/master/wg18/10200.htm>, May 15, 2010.

Hostikka, S., K.B. McGrattan, and A. Hamins. 2003. **Numerical Modeling of Pool Fires Using LES and Finite Volume Method for Radiation**. National Institute of Standards and Technology. Available Source: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire03/PDF/f03041.pdf>, September 9, 2009.

Louvar, J.F. and B.D. Louvar. 1998. **Health and Environmental Risk Analysis: Fundamentals with Applications**. Prentice Hall PTR, USA.

McGrattan, K. and B. Klein. 2008. **Fire Dynamics Simulator (Version5) User's Guide**. National Institute of Standards and Technology, USA.

National Fire Protection Association. 2002. **NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code**. 1 ed. NFPA, USA.

National Institute for Occupational Safety and Health. 1994. **Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH)**. Available Source: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/idlhintr.html>, May 15, 2010.

Quintiere, J.G. 2006. **Fundamentals of Fire Phenomena**. John Wiley and Sons, USA.

U.S. Environmental Protection Agency and National Oceanic and Atmospheric Administration.

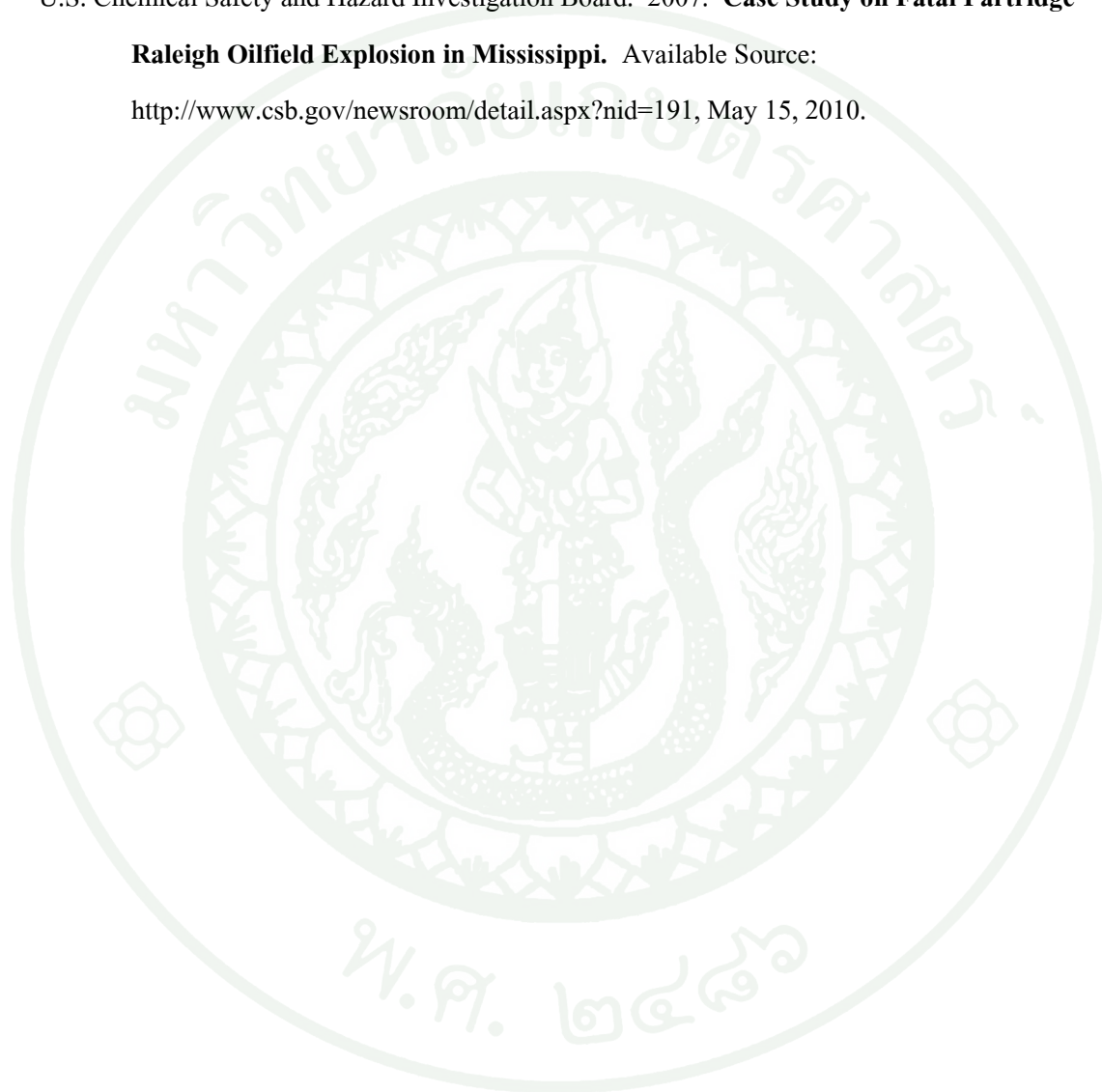
2007. **ALOHA user's manual**. Available Source:

<http://www.epa.gov/oem/docs/cameo/ALOHAManual.pdf>, September 9, 2009.

U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. 2007. **Case Study on Fatal Partridge-**

Raleigh Oilfield Explosion in Mississippi. Available Source:

<http://www.csb.gov/newsroom/detail.aspx?nid=191>, May 15, 2010.







ภาคผนวก ก

ผลการประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นบริเวณ
ถังเก็บสารพาราไซตินและกรดอะเซติก

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด 2,300 ลูกบาศก์เมตร ด้วยวิธี What If Analysis

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						
				ความรุนแรง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	ผลิตภัณฑ์	
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงเก็บพาราไซลีนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด ขณะที่มีการส่งสารพาราไซลีนไปที่กระบวนการผลิต	- ออกซิเจนในบรรยากาศเข้าสู่ถังทางวาล์วหายใจ (Breather Valve) ทำให้ออกซิเจนในถังสูงขึ้น ถ้ามีประกายไฟ จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยังส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียงด้วย	- กรณีระบบจ่ายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 9 (ภาพที่ 7) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถึง	- ควรมีการตรวจสอบระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงเก็บพาราไซลีนที่ทำงานอัตโนมัติเป็นประจำ	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ระบบการจ่าย ไนโตรเจนเข้าถึงที่ ทำงานอัตโนมัติ และวาล์วหายใจ (Breather Valve) ชำรุดขณะที่มีการ ส่งสารพาราไซลีน ไปที่กระบวนการ ผลิต	- แรงดันภายในถังเป็น สูญญากาศ ทำให้ถังยุบ เกิดการรั่วไหลของสาร พาราไซลีนภายใน เชื้อ กันสารเคมี (Dike) ซึ่ง เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ของพนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ ได้	- กรณีระบบจ่าย ไนโตรเจนที่ทำงาน อัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำ ห้องควบคุม (Boardman) ให้ พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์ว ทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 9 (ภาพที่ 7) เพื่อให้ ไนโตรเจนเข้าถึง	- ควรมีการ ตรวจสอบวาล์ว หายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	3	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
What If										ความเสี่ยง
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ								

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบระบายไนโตรเจนออกจากถังที่ทำงานอัตโนมัติและวาล์วหายใจ (Breather Valve) ขำรุดพร้อมกันขณะที่มีการรับสารพาราไซลีนเข้าถัง	- แรงดันภายในถังที่สูงที่เกิดจากการไหลเข้ามาของพาราไซลีนทำให้ถังแตก เกิดการรั่วไหลของสารพาราไซลีนภายในเขื่อนกั้นสารเคมี (Dike) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานและถ้ามีประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ได้	- กรณีระบบระบายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) ปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 7) เพื่อหยุดการรับสารพาราไซลีน	- ควรมีการตรวจสอบวาล์วหายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	3	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ								

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
4. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ฟ้าผ่าลงที่ถังเก็บ สารพาราไซลิน และระบบสายดิน ชำรุด	- ถ้ามีออกซิเจนเข้ามาในถัง จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหาย นอกจากนั้นควัน ไฟยังส่งผลกระทบต่อ ชุมชนใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	-	1	2	3	2	4	4	2
5. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า มีพนักงานหรือ ผู้รับเหมาสูบบุหรี่ ภายใน เชื้อนก้น สารเคมี (Dike)	- ถ้ามีการรั่วไหลของสาร พาราไซลิน อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถังเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีกฎความปลอดภัย บ้าย เตือนห้ามนำอุปกรณ์จุด ไฟ และบุหรี่เข้ามาใน กระบวนการผลิต โดย มีการตรวจค้นจากรปภ.	-	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
6. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า มีงานเชื่อมหรือ งานตัดภายใน เขื่อนกันสารเคมี (Dike)	- ถ้ามีการรั่วไหลของสาร พาราไซลีน อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงแก่ชีวิตและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีระบบการขออนุญาต เข้าทำงานสำหรับงานที่ ก่อให้เกิดประกายไฟ และมีการตรวจสอบความ เรียบร้อยก่อนและหลัง ให้ทำงาน - มีการติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจจับสารเคมีรั่ว และแจ้งเตือนไปที่ ห้องควบคุม (Control Room) โดยที่มีการ ตรวจสอบอุปกรณ์อย่าง สม่ำเสมอ	- ควรมีการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของสาร พาราไซลีนตาม แนวท่อ และระดับ ของเหลวในถัง อย่างสม่ำเสมอ	3	2	3	2	4	12	4

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลลัพธ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน			
7. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า สารพาราไซลิน รั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากกาวล์ ท่ออ่อน (Flexible Hose) และ พนักงานสูดดม สารพาราไซลิน	- เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และ หมดสติถ้าสูดดมที่ความ เข้มข้นมาก	- พื้นที่ถังเก็บสารพาราไซ ลินมีป้ายเตือนให้ พนักงานใส่หน้ากาก ป้องกันไอสารเคมี - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ในการตรวจหน้างาน กำหนดให้ต้องสวมใส่ หน้ากากป้องกันไอ สารเคมี - มีรถพยาบาลและ พยาบาลเตรียมพร้อม ตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อ ปฐมพยาบาลและนำ ผู้ป่วยส่งโรงพยาบาล	- รมรงค์ให้ พนักงานใส่ หน้ากากป้องกัน ไอสารเคมีบริเวณ ที่มีป้ายเตือน - ควรมีแผนการ ตรวจสอบสภาพ พื้นที่บริเวณถังเก็บ สารพาราไซลิน	3	2	2	1	1	6	2	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						
				โอกาส	ความรุนแรง					ระดับ ความเสี่ยง
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	ผลลัพธ์	
8. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะทำการส่งสาร พาราไซลินไป กระบวนการผลิต มีการรั่วไหลของ พาราไซลินเกิดขึ้น ระหว่างหน้า แปลนโดยที่ระบบ สายดินและการต่อ ฝากของถังเก็บ สารพาราไซลินบก พร่อง	- เกิดไฟฟ้าสถิตย์ทำให้เกิด ไฟไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถังเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินและการ ต่อฝากให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	- ควรมีแผนการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของสาร พาราไซลิน ระหว่างหน้า แปลน และระดับ ของเหลวในถัง อย่างสม่ำเสมอ	3	2	3	2	4	12	4

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
9. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะเดิมสารพารา ไซลินอุปกรณ์วัด ระดับของเหลว ชำรุด	- พาราไซลินล้นถังและ รั่วไหลภายในเขื่อนกัน สารเคมี (Dike) ซึ่งเป็น อันตรายต่อสุขภาพของ พนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟ ไหม้ได้	- มีแผนฉุกเฉินการส่งสาร พาราไซลินที่หกรั่วไหล ภายในเขื่อนกันสารเคมี (Dike) ผ่านทางราง ระบายเพื่อส่งไปกำจัดที่ ระบบบำบัดน้ำเสีย - มีแผนการบำรุงรักษา เชิงป้องกันกับอุปกรณ์ วัดระดับของเหลว	- ควรมีการตรวจสอบ รางระบายที่ส่งสาร พาราไซลินไป ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุด ตัน - ควรมีการพิจารณา นำสารพาราไซลินที่ หกรั่วไหลส่งไป บริษัทที่รับรีไซเคิล และมีการวิเคราะห์ ความคุ้มทุนเมื่อ เทียบกับการบำบัด เองที่ระบบบำบัดน้ำ เสีย	2	3	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
10. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า สารพาราไซลีน รั่วไหลออกจาก ถัง เช่น ออกจาก วาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) โดยที่ระบบแจ้ง เตือนการรั่วไหล เสีย	- ถ้าพนักงานสูดดมสาร พาราไซลีนจะเป็น อันตรายต่อสุขภาพ และ ถ้ามีประกายไฟจะเกิดไฟ ไหม้ได้	- พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) มีการตรวจ หน้างานทุก 6 ชั่วโมง - มีการตรวจสอบระบบ แจ้งเตือนสารเคมี รั่วไหลอย่างสม่ำเสมอ	-	2	2	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
11. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ถังเก็บสารพารา ไซลีนได้รับการ แผ้วถางความร้อน จากไฟไหม้ บริเวณใกล้เคียง	- ถังได้รับความร้อนซึ่งถ้า มากจะก่อให้เกิดความ เสียหายต่อโครงสร้าง ของถัง ทำให้ถังแตก และ อาจเกิดบลีว (BLEVE) ทำให้พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงและอุปกรณ์ ต่างๆเสียหาย ชุมชนและ สิ่งแวดล้อมได้รับ ผลกระทบจากแรงระเบิด	- มีหัวฉีดน้ำดับเพลิงชนิด อยู่กับที่ (Fire Fixed Type Monitor) และท่อ ส่งน้ำดับเพลิงพร้อม สายฉีดสำหรับลดความ ร้อน และมีการ ตรวจสอบเดือนละ 1 ครั้ง - มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน กรณีเกิดการรั่วไหล ของสารพาราไซลีน และลูกติดไฟปีละ 4 ครั้ง	-	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บสารพาราไซลีนขนาด 6,283 ลูกบาศก์เมตร ด้วยวิธี What If Analysis

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	ระดับ ความเสี่ยง
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ระบบการจ่าย ไนโตรเจนเข้าถึง ถังเก็บพาราไซลีนที่ ทำงานอัตโนมัติ ชำรุด ขณะที่มีการ ส่งสารพาราไซลีน ไปที่กระบวนการ ผลิต	- ออกซิเจนในบรรยากาศ เข้าสู่ถังทางวาล์วหายใจ (Breather Valve) ทำให้ ออกซิเจนในถังสูงขึ้น ถ้า มีประกายไฟ จะทำให้ถัง เกิดไฟไหม้ พนักงาน ได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บ และอุปกรณ์ต่างๆ เสียหาย นอกจากนั้นควัน ไฟยังส่งผลกระทบต่อ ชุมชนใกล้เคียงด้วย	- กรณีระบบจ่าย ไนโตรเจนที่ทำงาน อัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำ ห้องควบคุม (Boardman) ให้ พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิด วาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 9 (ภาพที่ 7) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถึง	- ควรมีการ ตรวจสอบระบบ การจ่ายไนโตรเจน เข้าถึงถังเก็บพาราไซ ลีนที่ทำงาน อัตโนมัติเป็น ประจำ	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลลัพธ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	ผลิตภัณฑ์		
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ระบบการจ่าย ไนโตรเจนเข้าถึงที่ ทำงานอัตโนมัติ และวาล์วหายใจ (Breather Valve) ชำรุดขณะที่มีการ ส่งสารพาราไซลีน ไปที่กระบวนการ ผลิต	- แรงดันภายในถังเป็น สุญญากาศ ทำให้ถังยุบ เกิดการรั่วไหลของสาร พาราไซลีนภายใน เชื้อ กันสารเคมี (Dike) ซึ่ง เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ของพนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ ได้	- กรณีระบบจ่าย ไนโตรเจนที่ทำงาน อัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำ ห้องควบคุม (Boardman) ให้ พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์ว ทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 9 (ภาพที่ 7) เพื่อให้ ไนโตรเจนเข้าถึง	- ควรมีการ ตรวจสอบวาล์ว หายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	3	3	2	4	4	2	

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
What If										
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ								

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบระบายไนโตรเจนออกจากถังที่ทำงานอัตโนมัติและวาล์วหายใจ (Breather Valve) ขำรุดพร้อมกันขณะที่มีการรับสารพาราไซลีนเข้าถัง	- แรงดันภายในถังที่สูงที่เกิดจากการไหลเข้ามาของพาราไซลีนทำให้ถังแตก เกิดการรั่วไหลของสารพาราไซลีนภายใน เชื้อกันสารเคมี (Dike) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน และถ้ามีประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ได้	- กรณีระบบระบายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) ปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 7) เพื่อหยุดการรับสารพาราไซลีน	- ควรมีการตรวจสอบวาล์วหายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	3	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ								

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
4. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ฟ้าผ่าลงที่ถังเก็บ สารพาราไซลิน และระบบสายดิน ชำรุด	- ถ้ามีออกซิเจนเข้ามาในถัง จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหาย นอกจากนั้นควัน ไฟยังส่งผลกระทบต่อ ชุมชนใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	-	1	2	3	2	4	4	2
5. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า มีพนักงานหรือ ผู้รับเหมาสูบบุหรี่ ภายใน เชื้อนก้น สารเคมี (Dike)	- ถ้ามีการรั่วไหลของสาร พาราไซลิน อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถังเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีกฎความปลอดภัย บ้าย เตือนห้ามนำอุปกรณ์จุด ไฟ และบุหรี่เข้ามาใน กระบวนการผลิต โดย มีการตรวจค้นจากรปภ.	-	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
6. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า มีงานเชื่อมหรือ งานตัดภายใน เขื่อนกันสารเคมี (Dike)	- ถ้ามีการรั่วไหลของสาร พาราไซลีน อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงแก่ชีวิตและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีระบบการขออนุญาต เข้าทำงานสำหรับงานที่ ก่อให้เกิดประกายไฟ และมีการตรวจสอบความ เรียบร้อยก่อนและหลัง ให้ทำงาน - มีการติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจจับสารเคมีรั่ว และแจ้งเตือนไปที่ ห้องควบคุม (Control Room) โดยที่มีการ ตรวจสอบอุปกรณ์อย่าง สม่ำเสมอ	- ควรมีการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของสาร พาราไซลีนตาม แนวท่อ และระดับ ของเหลวในถัง อย่างสม่ำเสมอ	3	2	3	2	4	12	4

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลลัพธ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน			
7. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า สารพาราไซลิน รั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากวาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) และ พนักงานสูดดม สารพาราไซลิน	- เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และ หมดสติถ้าสูดดมที่ความ เข้มข้นมาก	- พื้นที่ถังเก็บสารพาราไซ ลีนมีป้ายเตือนให้ พนักงานใส่หน้ากาก ป้องกันไอสารเคมี - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ในการตรวจหน้างาน กำหนดให้ต้องสวมใส่ หน้ากากป้องกันไอ สารเคมี - มีรถพยาบาลและ พยาบาลเตรียมพร้อม ตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อ ปฐมพยาบาลและนำ ผู้ป่วยส่งโรงพยาบาล	- รมรงค์ให้ พนักงานใส่ หน้ากากป้องกัน ไอสารเคมีบริเวณ ที่มีป้ายเตือน - ควรมีแผนการ ตรวจสอบสภาพ พื้นที่บริเวณถังเก็บ สารพาราไซลิน	3	2	2	1	1	6	2	

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
8. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะทำการส่งสาร พาราไซลินไป กระบวนการผลิต มีการรั่วไหลของ พาราไซลินเกิดขึ้น ระหว่างหน้า แปลนโดยที่ระบบ สายดินและการต่อ ฝากของถังเก็บ สารพาราไซลินบก พร่อง	- เกิดไฟฟ้าสถิตย์ทำให้เกิด ไฟไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถังเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินและการ ต่อฝากให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	- ควรมีแผนการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของสาร พาราไซลิน ระหว่างหน้า แปลน และระดับ ของเหลวในถัง อย่างสม่ำเสมอ	3	2	3	2	4	12	4

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
9. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะเดิมสารพารา ไซลีนอุปกรณ์วัด ระดับของเหลว ชำรุด	- พาราไซลีนล้นถังและ รั่วไหลภายในเขื่อนกัน สารเคมี (Dike) ซึ่งเป็น อันตรายต่อสุขภาพของ พนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟ ไหม้ได้	- มีแผนฉุกเฉินการส่ง สารพาราไซลีนที่หก รั่วไหลภายในเขื่อน กันสารเคมี (Dike) ผ่านทางรางระบาย เพื่อส่งไปกำจัดที่ ระบบบำบัดน้ำเสีย - มีแผนการบำรุงรักษา เชิงป้องกันกับอุปกรณ์ วัดระดับของเหลว	- ควรมีการตรวจสอบ รางระบายที่ส่งสาร พาราไซลีนไป ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุด ตัน - ควรมีการพิจารณา นำสารพาราไซลีน ที่หกรั่วไหลส่งไป บริษัทที่รับรีไซเคิล และมีการวิเคราะห์ ความคุ้มค่าเมื่อ เทียบกับการบำบัด เองที่ระบบบำบัดน้ำ เสีย	2	3	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
10. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า สารพาราไซลีน รั่วไหลออกจาก ถัง เช่น ออกจาก วาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) โดยที่ระบบแจ้ง เตือนการรั่วไหล เสีย	- ถ้าพนักงานสูดดมสาร พาราไซลีนจะเป็น อันตรายต่อสุขภาพ และ ถ้ามีประกายไฟจะเกิดไฟ ไหม้ได้	- พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) มีการตรวจ หน้างานทุก 6 ชั่วโมง - มีการตรวจสอบระบบ แจ้งเตือนสารเคมี รั่วไหลอย่างสม่ำเสมอ	-	2	2	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
11. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ถังเก็บสารพารา ไซลีนได้รับการ แผ้วถางความร้อน จากไฟไหม้ บริเวณใกล้เคียง	- ถังได้รับความร้อนซึ่งถ้า มากจะก่อให้เกิดความ เสียหายต่อโครงสร้าง ของถัง ทำให้ถังแตก และ อาจเกิดบลีว (BLEVE) ทำให้พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงและอุปกรณ์ ต่างๆเสียหาย ชุมชนและ สิ่งแวดล้อมได้รับ ผลกระทบจากแรงระเบิด	- มีหัวฉีดน้ำดับเพลิงชนิด อยู่กับที่ (Fire Fixed Type Monitor) และท่อ ส่งน้ำดับเพลิงพร้อม สายฉีดสำหรับลดความ ร้อน และมีการ ตรวจสอบเดือนละ 1 ครั้ง - มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน กรณีเกิดการรั่วไหล ของสารพาราไซลีน และลูกติดไฟปีละ 4 ครั้ง	-	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บกรดอะเซติกขนาด 825 ลูกบาศก์เมตร ดังที่ 1 ด้วยวิธี What If Analysis

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						
				ความรุนแรง					ผลลัพธ์	ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถังเก็บกรดอะเซติกที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด ขณะที่มีการส่งกรดอะเซติกไปที่กระบวนการผลิต	- ออกซิเจนในบรรยากาศเข้าสู่ถังทางวาล์วหายใจ (Breather Valve) ทำให้ออกซิเจนในถังสูงขึ้น ถ้ามีประกายไฟ จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยังส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียงด้วย	- กรณีระบบจ่ายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 8) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถัง	- ควรมีการตรวจสอบระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถังเก็บกรดอะเซติกที่ทำงานอัตโนมัติเป็นประจำ	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ระบบการจ่าย ไนโตรเจนเข้าถัง ที่ทำงานอัตโนมัติ และวาล์วหายใจ (Breather Valve) ชำรุดขณะที่มีการ ส่งกรดอะเซติก ไปที่กระบวนการ ผลิต	- แรงดันภายในถังเป็น สุญญากาศ ทำให้ถังยุบ เกิดการรั่วไหลของ กรดอะเซติกภายใน เชื้อน กันสารเคมี (Dike) ซึ่ง เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ของพนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ ได้	- กรณีระบบจ่าย ไนโตรเจนที่ทำงาน อัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำ ห้องควบคุม (Boardman) ให้ พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิด วาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 8) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถัง	- ควรมีการ ตรวจสอบวาล์ว หายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลลัพธ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน			
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ									

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ระบบระบาย ไนโตรเจนออก จากถังที่ทำงาน อัดโน้มนัติและวาล์ว หายใจ(Breather Valve) ชำรุด ขณะที่มีการรับ กรดอะเซติกเข้าถัง	- แรงดันภายในถังที่สูงที่ เกิดจากการไหลเข้ามา ของกรดอะเซติกทำให้ถัง แตก เกิดการรั่วไหลของ กรดอะเซติกภายใน เชื้อ ก้นสารเคมี (Dike) ซึ่ง เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ของพนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟ ไหม้ได้	- กรณีระบบระบาย ไนโตรเจนที่ทำงาน อัดโน้มนัติชำรุด พนักงานประจำ ห้องควบคุม (Boardman) ให้ พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) ปิด วาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 7 (ภาพที่ 8) เพื่อหยุดการรับกรดอะ เซติก	- ควรมีการ ตรวจสอบวาล์ว หายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ								

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลิตภัณฑ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน			
4. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ฟ้าผ่าลงที่ถังเก็บ กรดอะเซติก และ ระบบสายดินชำรุด	- ถ้ามียอกซิเจนเข้ามาในถัง จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหาย นอกจากนั้นควัน ไฟยังส่งผลกระทบต่อ ชุมชนใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	-	1	2	3	2	4	4	2	
5. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามี พนักงานหรือ ผู้รับเหมาสูบบุหรี่ ภายใน เชื้อนกั้ง สารเคมี (Dike)	- ถ้ามียการรั่วไหลของ กรดอะเซติก อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถังเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีกฎความปลอดภัย ป้าย เตือนห้ามนำอุปกรณ์จุด ไฟ และบุหรี่เข้ามาใน กระบวนการผลิต โดยมี การตรวจค้นจากรปภ.	-	1	2	3	2	4	4	2	

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลลัพธ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน			
6. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามี งานเชื่อมหรืองานตัด ภายใน เขื่อนกัน สารเคมี (Dike)	- ถ้ามีการรั่วไหลของ กรดอะเซติก อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีระบบการขออนุญาต เข้าทำงานสำหรับงานที่ ก่อให้เกิดประกายไฟ และมีการตรวจสอบความ เรียบร้อยก่อนและหลัง ให้ทำงาน - มีการติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจจับสารเคมีรั่ว และแจ้งเตือนไปที่ ห้องควบคุม (Control Room) โดยที่มีการ ตรวจสอบอุปกรณ์ อย่างสม่ำเสมอ	- ควรมีการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของกรดอะ เซติกตามแนวท่อ และระดับ ของเหลวในถัง อย่างสม่ำเสมอ	2	2	3	2	4	8	3	

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
7. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า กรดอะเซติก รั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากกาวลว ท่ออ่อน (Flexible Hose) และ พนักงานสูดดม กรดอะเซติก	- เกิดการแสบไหม้จมูก คอ และตา หายใจติดขัด แน่นหน้าอก และ เสียชีวิตถ้าสูดดมที่ความ เข้มข้นมากเป็นเวลานาน	- พื้นที่ถังเก็บกรดอะเซ ติกมีป้ายเตือนให้ พนักงานใส่หน้ากาก ป้องกันไอสารเคมี - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ในการตรวจหน้างาน กำหนดให้ต้องสวมใส่ หน้ากากป้องกันไอ สารเคมี - มีรถพยาบาลและ พยาบาลเตรียมพร้อม ตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อ ปฐมพยาบาลและนำ ผู้ป่วยส่งโรงพยาบาล	- รมรงค์ให้ พนักงานใส่ หน้ากากป้องกัน ไอสารเคมีบริเวณ ที่มีป้ายเตือน - ควรมีแผนการ ตรวจสอบสภาพ พื้นที่บริเวณถังเก็บ กรดอะเซติก	3	4	3	1	1	12	4

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
8. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะทำการส่ง กรดอะเซติกไปก กระบวนการผลิตมี ระบบการผลิตมี การรั่วไหลของ กรดอะเซติก เกิดขึ้นระหว่าง หน้าแปลนโดยที่ ระบบสายดินและ การต่อฝากของถัง เก็บกรดอะเซติ กบกพร่อง	- เกิดไฟฟ้าสถิตย์ทำให้เกิด ไฟไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินและการ ต่อฝากให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	- ควรมีแผนการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของกรดอะ เซติระหว่างหน้า แปลน	2	2	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
9. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะเดิมกรดอะเซ ติกอุปกรณ์วัด ระดับของเหลว ชำรุด	- กรดอะเซติกล้นถัง และ รั่วไหลภายในเขื่อนกัน สารเคมี (Dike) ซึ่งเป็น อันตรายต่อสุขภาพของ พนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟ ไหม้ได้	- มีแผนฉุกเฉินการส่ง กรดอะเซติกที่หก รั่วไหลภายในเขื่อน กันสารเคมี (Dike) ผ่านทางรางระบาย เพื่อส่งไปกำจัดที่ ระบบบำบัดน้ำเสีย - มีแผนการบำรุงรักษา เชิงป้องกันกับอุปกรณ์ วัดระดับของเหลว	- ควรมีการตรวจสอบ รางระบายที่ส่ง กรดอะเซติกไป ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุด ตัน - ควรมีการพิจารณา นำกรดอะเซติกที่ หกรั่วไหลส่งไป บริษัทที่รับรีไซเคิล และมีการวิเคราะห์ ความคุ้มค่าเมื่อ เทียบกับการบำบัด เองที่ระบบบำบัดน้ำ เสีย	2	4	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
10. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า กรดอะเซติก รั่วไหลออกจาก ถัง เช่น ออกจาก วาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) โดยที่ระบบแจ้ง เตือนการรั่วไหล เสีย	- ถ้าพนักงานสูดดมกรดอะ เซติกจะเป็นอันตรายต่อ สุขภาพ และถ้ามีประกาย ไฟจะเกิดไฟไหม้ได้	- พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) มีการตรวจ หน้างานทุก 6 ชั่วโมง - มีการตรวจสอบระบบ แจ้งเตือนสารเคมี รั่วไหลอย่างสม่ำเสมอ	-	2	4	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
11. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ถังเก็บกรดอะเซติก ได้รับการแผ้ว รังสีความร้อน จากไฟไหม้ บริเวณใกล้เคียง	- ถังได้รับความร้อนซึ่งถ้า มากจะก่อให้เกิดความ เสียหายต่อโครงสร้าง ของถัง ทำให้ถังแตก และ อาจเกิดบลีว (BLEVE) ทำให้พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงและอุปกรณ์ ต่างๆเสียหาย ชุมชนและ สิ่งแวดล้อมได้รับ ผลกระทบจากแรงระเบิด	- มีหัวฉีดน้ำดับเพลิงชนิด อยู่กับที่ (Fire Fixed Type Monitor) และท่อ ส่งน้ำดับเพลิงพร้อม สายฉีดสำหรับลดความ ร้อน และมีการ ตรวจสอบเดือนละ 1 ครั้ง - มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน กรณีเกิดการรั่วไหล ของกรดอะเซติกและ ลุดติดไฟปีละ 4 ครั้ง	-	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
12. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ท่อสเปรย์น้ำ และ ท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ดักจับไอ ของกรดอะเซติก ก่อนปล่อยสู่ บรรยากาศต้น	- ไม่มีการดักจับไอของ กรดอะเซติก ก่อนระบาย สู่บรรยากาศ ทำให้เกิด กลิ่นเปรี้ยวฟุ้งกระจายไป บริเวณโรงงาน โรงงาน ข้างเคียง และชุมชน ซึ่ง กลิ่นนี้ถ้ามีมากเป็น อันตรายต่อสุขภาพของ คน	- มีการติดตั้งอุปกรณ์วัด อัตราการไหล (Flow Meter) ของน้ำและ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ บริเวณดักจับไอของ กรดอะเซติก เพื่อยืนยัน การไหลของท่อสเปรย์ น้ำ และท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ - มีแผนการตรวจสอบ สภาพท่อสเปรย์น้ำ และ ท่อสเปรย์โซเดียมไฮดร อกไซด์ เป็นประจำ	-	3	3	3	1	1	9	3

ตารางผนวกที่ 4 ผลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงบริเวณถังเก็บกรดอะเซติกขนาด 825 ลูกบาศก์เมตร ดังที่ 2 ด้วยวิธี What If Analysis

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						
				โอกาส	ความรุนแรง					ระดับ ความเสี่ยง
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน	ผลลัพธ์	
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงเก็บกรดอะเซติกที่ทำงานอัตโนมัติ ชำรุด ขณะที่มีการส่งกรดอะเซติกไปที่กระบวนการผลิต	- ออกซิเจนในบรรยากาศเข้าสู่ถังทางวาล์วหายใจ (Breather Valve) ทำให้ ออกซิเจนในถังสูงขึ้น ถังมีประกายไฟ จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยังส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียงด้วย	- กรณีระบบจ่ายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 8) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถึง	- ควรมีการตรวจสอบระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงเก็บกรดอะเซติกที่ทำงานอัตโนมัติเป็นประจำ	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ระบบการจ่าย ไนโตรเจนเข้าถัง ที่ทำงานอัตโนมัติ และวาล์วหายใจ (Breather Valve) ชำรุดขณะที่มีการ ส่งกรดอะเซติก ไปที่กระบวนการ ผลิต	- แรงดันภายในถังเป็น สุญญากาศ ทำให้ถังยุบ เกิดการรั่วไหลของ กรดอะเซติกภายใน เชื้อน กันสารเคมี (Dike) ซึ่ง เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ของพนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ ได้	- กรณีระบบจ่าย ไนโตรเจนที่ทำงาน อัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำ ห้องควบคุม (Boardman) ให้ พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิด วาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 8) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถัง	- ควรมีการ ตรวจสอบวาล์ว หายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง	
				โอกาส	ความรุนแรง						ผลลัพธ์
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน			
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ									

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบระบายไนโตรเจนออกจากถังที่ทำงานอัดโนมัติและวาล์วหายใจ(Breather Valve) ชำรุด ขณะที่มีการรับกรดอะเซติกเข้าถัง	- แรงดันภายในถังที่สูงที่เกิดจากการไหลเข้ามาของกรดอะเซติกทำให้ถังแตก เกิดการรั่วไหลของกรดอะเซติกภายใน เชื้อก้นสารเคมี (Dike) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน และถ้ามีประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ได้	- กรณีระบบระบายไนโตรเจนที่ทำงานอัดโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) ปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 7 (ภาพที่ 8) เพื่อหยุดการรับกรดอะเซติก	- ควรมีการตรวจสอบวาล์วหายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
		- มีการติดตั้งเกจวัดแรงดัน (Pressure Gauge) เหนือของเหลวในถังและมีการแจ้งเตือนพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ถ้าแรงดันในถังผิดปกติ และมีแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ								

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
4.จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ฟ้าผ่าลงที่ถังเก็บ กรดอะเซติก และ ระบบสายดินชำรุด	- ถ้ามือออกซิเจนเข้ามาในถัง จะทำให้ถังเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถังเก็บและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหาย นอกจากนั้นควัน ไฟยังส่งผลกระทบต่อ ชุมชนใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	-	1	2	3	2	4	4	2
5. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามี พนักงานหรือ ผู้รับเหมาสูบบุหรี่ ภายใน เขื่อนกัน สารเคมี (Dike)	- ถ้ามมีการรั่วไหลของ กรดอะเซติก อาจเกิดไฟ ไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถังเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีกฎความปลอดภัย ป้าย เตือนห้ามนำอุปกรณ์จุด ไฟ และบุหรี่เข้ามาใน กระบวนการผลิต โดยมี การตรวจค้นจากรปภ.	-	1	2	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
6. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามีงานเชื่อมหรืองานตัดภายใน เขื่อนกันสารเคมี (Dike)	- ถ้ามีการรั่วไหลของกรดอะเซติก อาจเกิดไฟไหม้ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ถึงเก็บและอุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยังส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียงด้วย	- มีระบบการขออนุญาตเข้าทำงานสำหรับงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟ และมีการตรวจสอบความพร้อมก่อนและหลังให้ทำงาน - มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสารเคมีรั่วและแจ้งเตือนไปที่ห้องควบคุม (Control Room) โดยที่มีการตรวจสอบอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ	- ควรมีการตรวจสอบการรั่วไหลของกรดอะเซติกตามแนวท่อและระดับของเหลวในถังอย่างสม่ำเสมอ	2	2	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
7. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า กรดอะเซติก รั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากวาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) และ พนักงานสูดดม กรดอะเซติก	- เกิดการแสบไหม้จมูก คอ และตา หายใจติดขัด แน่นหน้าอก และ เสียชีวิตถ้าสูดดมที่ความ เข้มข้นมากเป็นเวลานาน	- พื้นที่ถังเก็บกรดอะเซ ติกมีป้ายเตือนให้ พนักงานใส่หน้ากาก ป้องกันไอสารเคมี - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ในการตรวจหน้างาน กำหนดให้ต้องสวมใส่ หน้ากากป้องกันไอ สารเคมี - มีรถพยาบาลและ พยาบาลเตรียมพร้อม ตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อ ปฐมพยาบาลและนำ ผู้ป่วยส่งโรงพยาบาล	- รมรงค์ให้ พนักงานใส่ หน้ากากป้องกัน ไอสารเคมีบริเวณ ที่มีป้ายเตือน - ควรมีแผนการ ตรวจสอบสภาพ พื้นที่บริเวณถังเก็บ กรดอะเซติก	3	4	3	1	1	12	4

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
8. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะทำการส่ง กรดอะเซติกไปก กระบวนการผลิตมี ระบบการผลิตมี การรั่วไหลของ กรดอะเซติก เกิดขึ้นระหว่าง หน้าแปลนโดยที่ ระบบสายดินและ การต่อฝากของถัง เก็บกรดอะเซติ กบกพร่อง	- เกิดไฟฟ้าสถิตย์ทำให้เกิด ไฟไหม้ พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงเก็บและ อุปกรณ์ต่างๆเสียหาย นอกจากนั้นควันไฟยัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ใกล้เคียงด้วย	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินและการ ต่อฝากให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	- ควรมีแผนการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของกรดอะ เซติกระหว่างหน้า แปลน	2	2	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
9. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะเดิมกรดอะเซ ติกอุปกรณ์วัด ระดับของเหลว ชำรุด	- กรดอะเซติกล้นถัง และ รั่วไหลภายในเขื่อนกัน สารเคมี (Dike) ซึ่งเป็น อันตรายต่อสุขภาพของ พนักงาน และถ้ามี ประกายไฟจะเกิดไฟไหม้ ได้	- มีแผนฉุกเฉินการส่ง กรดอะเซติกที่หก รั่วไหลภายในเขื่อนกัน สารเคมี (Dike) ผ่าน ทางรางระบายเพื่อ ส่งไปกำจัดที่ระบบ บำบัดน้ำเสีย - มีแผนการบำรุงรักษา เชิงป้องกันกับอุปกรณ์ วัดระดับของเหลว	- ควรมีการ ตรวจสอบราง ระบายที่ส่งกรดอะ เซติกไประบบ บำบัดน้ำเสียเพื่อ ป้องกันการอุดตัน - ควรมีการพิจารณา นำกรดอะเซติกที่ หกรั่วไหลส่งไป บริษัทที่รับรี ไซเคิล และมีการ วิเคราะห์ความคุ้ม ทุนเมื่อเทียบกับ การบำบัดเองที่ ระบบบำบัดน้ำเสีย	2	4	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
10. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า กรดอะเซติก รั่วไหลออกจาก ถัง เช่น ออกจาก วาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) โดยที่ระบบแจ้ง เตือนการรั่วไหล เสีย	- ถ้าพนักงานสูดดมกรดอะ เซติกจะเป็นอันตรายต่อ สุขภาพ และถ้ามีประกาย ไฟจะเกิดไฟไหม้ได้	- พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) มีการตรวจ หน้างานทุก 6 ชั่วโมง - มีการตรวจสอบระบบ แจ้งเตือนสารเคมี รั่วไหลอย่างสม่ำเสมอ	-	2	4	3	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
11. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ถังเก็บกรดอะเซติกได้รับการแผ้ว รังสีความร้อนจากไฟไหม้ บริเวณใกล้เคียง	- ถังได้รับความร้อนซึ่งถ้า มากจะก่อให้เกิดความ เสียหายต่อโครงสร้าง ของถัง ทำให้ถังแตก และ อาจเกิดบลีวี (BLEVE) ทำให้พนักงานได้รับ บาดเจ็บ ถึงและอุปกรณ์ ต่างๆเสียหาย ชุมชนและ สิ่งแวดล้อมได้รับ ผลกระทบจากแรงระเบิด	- มีหัวฉีดน้ำดับเพลิงชนิด อยู่กับที่ (Fire Fixed Type Monitor) และท่อ ส่งน้ำดับเพลิงพร้อม สายฉีดสำหรับลดความ ร้อน และมีการ ตรวจสอบเดือนละ 1 ครั้ง - มีการซ้อมแผนฉุกเฉิน กรณีเกิดการรั่วไหล ของกรดอะเซติกและ ลุดติดไฟปีละ 4 ครั้ง	-	1	4	3	2	4	4	2

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง						ระดับ ความเสี่ยง
				โอกาส	ความรุนแรง				ผลลัพธ์	
					บุคคล	ชุมชน	สิ่งแวดล้อม	ทรัพย์สิน		
12. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ท่อสเปรย์น้ำ และ ท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอก ไซด์ที่ใช้ดักจับไอ ของกรดอะเซติก ก่อนปล่อยสู่ บรรยากาศต้น	- ไม่มีการดักจับไอของ กรดอะเซติก ก่อนระบาย สู่บรรยากาศ ทำให้เกิด กลิ่นเปรี้ยวฟุ้งกระจายไป บริเวณโรงงาน โรงงาน ข้างเคียง และชุมชน ซึ่ง กลิ่นนี้ถ้ามีมากเป็น อันตรายต่อสุขภาพของ คน	- มีการติดตั้งอุปกรณ์วัด อัตราการไหล (Flow Meter) ของน้ำและ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ บริเวณดักจับไอของ กรดอะเซติก เพื่อยืนยัน การไหลของท่อสเปรย์ น้ำ และท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ - มีแผนการตรวจสอบ สภาพท่อสเปรย์น้ำ และ ท่อสเปรย์โซเดียมไฮดร อกไซด์ เป็นประจำ	-	3	3	3	1	1	9	3



ภาคผนวก ข

มาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่มตามระดับความเสี่ยงเดิมที่ระดับ 2-3

ตารางผนวกที่ ข1 มาตรการลดและควบคุมความเสี่ยงที่เสนอเพิ่มตามระดับความเสี่ยงเดิมของถังเก็บสารพาราไซลินและกรดอะเซติก

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าขณะเติมสารเคมีอุปกรณ์วัดระดับของเหลวชำรุด	ถังเก็บสารเคมีทั้ง 4 ถัง	- มีแผนฉุกเฉินการส่งสารพาราไซลินที่หกรั่วไหลภายในเขื่อนกั้นสารเคมี (Dike) ผ่านทางรางระบายเพื่อส่งไปกำจัดที่ระบบบำบัดน้ำเสีย - มีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันกับอุปกรณ์วัดระดับของเหลว	2	4	3	กำหนดแผนการตรวจสอบรางระบายที่ส่งสารเคมีที่หกรั่วไหลไปกักเก็บเพื่อป้องกันการอุดตัน	พิจารณานำสารเคมีที่หกรั่วไหลส่งไปบริษัทที่รับรีไซเคิล และวิเคราะห์ความคุ้มทุนเมื่อเทียบกับการบำบัดเองที่ระบบบำบัดน้ำเสีย	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าสารพาราไซคลินรั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากวาล์วท่ออ่อน (Flexible Hose) โดยที่ระบบแจ้งเตือนการรั่วไหลเสีย	ถังเก็บสารเคมี ทั้ง 4 ถัง	- พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) มีการตรวจหน้างานทุก 6 ชั่วโมง - มีการตรวจสอบระบบแจ้งเตือนสารเคมีรั่วไหลอย่างสม่ำเสมอ	2	4	3	-	-	2	4	3

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความ เสี่ยงใหม่
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามีงานเชื่อมหรืองานตัดภายใน เขื่อนกันสารเคมี (Dike)	ถังเก็บกรดอะเซติกทั้ง 2 ถัง	- มีระบบการขออนุญาตเข้าทำงานสำหรับงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟและมีการตรวจสอบความพร้อมก่อนและหลังให้ทำงาน - มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสารเคมีรั่วและแจ้งเตือนไปที่ห้องควบคุม (Control Room) โดยที่มีการตรวจสอบอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ	2	4	3	กำหนดแผนการตรวจสอบการรั่วไหลของกรดอะเซติกตามแนวท่อ	กำหนดแผนการตรวจสอบระดับของเหลวในถังอย่างสม่ำเสมอ	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง	ความเสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรงใหม่	ความเสี่ยงใหม่
4. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ขณะทำการส่ง กรดอะเซติกไปกระ บวนการผลิตมีการ รั่วไหลของกรดอะ เซติกเกิดขึ้น ระหว่างหน้าแปลน โดยที่ระบบสายดิน และการต่อฝากของ ถังเก็บกรดอะเซติ บกพร่อง	ถังเก็บกรดอะ เซติกทั้ง 2 ถัง	- มีแผนการ ตรวจสอบระบบ สายดินและการ ต่อฝากให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	2	4	3	กำหนดแผนการ ตรวจสอบการ รั่วไหลของ กรดอะเซติ ระหว่างหน้า แปลน	กำหนดแผนการ ตรวจสอบระดับ ของเหลวในถัง อย่างสม่ำเสมอ	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
5. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ท่อสเปรย์น้ำ และ ท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอก ไซด์ที่ใช้ดักจับไอ ของกรดอะเซติก ก่อนปล่อยสู่ บรรยากาศ	ถังเก็บกรดอะ เซติกทั้ง 2 ถัง	- มีการติดตั้งอุปกรณ์ วัดอัตราการไหล (Flow Meter) ของน้ำ และโซเดียมไฮดรอก ไซด์ที่บริเวณดักจับ ไอของกรดอะเซติก เพื่อยืนยันการไหล ของท่อสเปรย์น้ำ และท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ - มีแผนการตรวจสอบ สภาพท่อสเปรย์น้ำ และท่อสเปรย์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นประจำ	3	3	3	-	-	3	3	3

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง	ความเสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรงใหม่	ความเสี่ยงใหม่
6. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงเก็บสารเคมีที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด ขณะที่มีการส่งสารเคมีไปที่กระบวนการผลิต	ถังเก็บสารเคมีทั้ง 4 ถัง	- กรณีระบบจ่ายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุด พนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 2) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถึง	1	4	2	-	กำหนดแผนการตรวจสอบระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงเก็บสารเคมีที่ทำงานอัตโนมัติเป็นประจำ	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความ เสี่ยงใหม่
7. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบการจ่ายไนโตรเจนเข้าถึงที่ทำงานอัตโนมัติและวาล์วหายใจ (Breather Valve) ชำรุดขณะที่มีการส่งสารเคมีไปที่กระบวนการผลิต	ถังเก็บสารเคมีทั้ง 4 ถัง	- กรณีระบบจ่ายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุดพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) เปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 8 (ภาพที่ 2) เพื่อให้ไนโตรเจนเข้าถึง	1	4	2	-	ตรวจสอบวาล์วหายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
8. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบระบายไนโตรเจนออกจากถังที่ทำงานอัตโนมัติและวาล์วหายใจ (Breather Valve) ชำรุดพร้อมกันขณะที่มีการรับสารเคมีเข้าถัง	ถังเก็บสารเคมีทั้ง 4 ถัง	- กรณีระบบระบายไนโตรเจนที่ทำงานอัตโนมัติชำรุดพนักงานประจำห้องควบคุม (Boardman) ให้พนักงานฝ่ายผลิต (Field Operator) ปิดวาล์วทำงานด้วยมือ (Manual Valve) หมายเลข 7 (ภาพที่ 2) เพื่อหยุดการรับกรดอะเซติก	1	4	2	-	ตรวจสอบวาล์วหายใจ (Breather Valve) เป็นประจำ	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
9. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า ฟ้าผ่าลงที่ถังเก็บ สารเคมี และระบบ สายดินชำรุด	ถังเก็บสารเคมี ทั้ง 4 ถัง	- มีแผนการตรวจสอบ ระบบสายดินและ การต่อฝากให้ความ ต้านทานไม่เกิน 5 โอห์ม	1	4	2	-	-	1	4	2
10. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า มีพนักงานหรือ ผู้รับเหมาสูบบุหรี่ ภายใน เชื้อนกั้ง สารเคมี (Dike)	ถังเก็บสารเคมี ทั้ง 4 ถัง	- มีกฎความปลอดภัย ป้ายเตือนห้ามนำ อุปกรณ์จุดไฟ และ บุหรี่เข้ามาใน กระบวนการผลิต โดยมีการตรวจค้น จาก รปภ.	1	4	2	-	-	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาส	ความ	ระดับ	มาตรการใหม่		โอกาส	ความ	ระดับ
			เดิม	รุนแรง เดิม	ความ เสี่ยงเดิม	ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง	ใหม่	รุนแรง ใหม่	ความเสี่ยง ใหม่
11. จะเกิดอะไรขึ้นถ้า สารพาราไซลีน รั่วไหลออกจากถัง เช่น ออกจากวาล์ว ท่ออ่อน (Flexible Hose) และพนักงาน สูดดมสารพาราไซ ลีน	ถังเก็บพารา ไซลีนทั้ง 2 ถัง	- มีป้ายเตือนให้ พนักงานใส่หน้ากาก ป้องกันไอสารเคมี - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ในการตรวจหน้างาน กำหนดให้ต้องสวม ใส่หน้ากากป้องกันไอ สารเคมี	3	2	2	-	รณรงค์ให้ พนักงานใส่ หน้ากากป้องกัน ไอสารเคมีบริเวณ ที่มีป้ายเตือน	3	2	2
12. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าถัง เก็บสารเคมีได้รับ การแผ่รังสีความร้อน จากไฟไหม้บริเวณ ใกล้เคียง	ถังเก็บสารเคมี ทั้ง 4 ถัง	- มีหัวฉีดน้ำดับเพลิง ชนิดอยู่กับที่ (Fire Fixed Type Monitor) และท่อส่งน้ำดับเพลิง พร้อมสายฉีดสำหรับ ลดความร้อน และมี การตรวจสอบเดือน ละ 1 ครั้ง	1	4	2	-	-	1	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

คำถาม What If ที่	บริเวณที่ได้รับผลกระทบ	มาตรการเดิม	โอกาสเดิม	ความรุนแรงเดิม	ระดับความเสี่ยงเดิม	มาตรการใหม่		โอกาสใหม่	ความรุนแรงใหม่	ระดับความเสี่ยงใหม่
						ลดความเสี่ยง	ควบคุมความเสี่ยง			
		- มีการซ่อมแผน ฉุกเฉินกรณีเกิดการ รั่วไหลของสาร พาราไซลีนและถูก ติดไฟปีละ 4 ครั้ง								

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายประกิต ปุณณะวรกุล
เกิดวันที่ 28 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา วท.บ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรความปลอดภัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท สยาม มิตซูบิชิ จำกัด
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ -