วิทยานิพนธ์

การประเมินความเสี่ยงกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่รถยก ของคลังสินค้า

RISK ASSESSMENT OF TRACTION BATTERY CHARGING SYSTEM IN A WAREHOUSE

นายประพันธ์ เทพสง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินความเสี่ยงกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยกของคลังสินค้า

Risk Assessment of Traction Battery Charging System in a Warehouse

นามผู้วิจัย นายประพันธ์ เทพสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทิยา หาญศุภลักษณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ เจริญไชยตระกูล, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความเสี่ยงกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยกของคลังสินค้า

Risk Assessment of Traction Battery Charging System in a Warehouse

โดย

นายประพันธ์ เทพสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2551

ประพันธ์ เทพสง 2551: การประเมินความเสี่ยงกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยกของคลังสินค้า ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทิยา หาญสุภลักษณ์, Ph.D. 130 หน้า

งานวิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเมินความเสี่ยงของกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่สำหรับรถยกไฟฟ้า โดยใช้หลักการประเมินความเสี่ยงวิธี What If Analysis และ Fault Tree Analysis โดยเป็นไปตามกฎหมายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน และระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 จากผลการศึกษาพบว่าจาก 8 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการประจุแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้า กระบวนการที่ก่อให้เกิดอันตรายโดยมีระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้คือกระบวนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่เพราะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา เมื่อสมมติให้สถานการณ์รุนแรงคือการระบายอากาศในห้องประจุแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้าไม่ดี ก่อให้เกิดการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่เกินค่าขีดจำกัดล่างของการระเบิดได้ (LEL 4%) และเมื่อมีประกายไฟการระเบิดสามารถเกิดได้ โดยการเปรียบเทียบกับการระเบิดของ TNT (TNT Equivalent) พบว่าที่ระยะ 1 เมตร จากจุดที่เกิดเหตุจะมีแรงดันขนาด 216 ปอนด์/ตารางนิ้ว ส่งผลให้พนักงานเสียชีวิตโดยมีสาเหตุมาจากการเกิดจุดเลือดภายในปอดและแก้วหูทะลุ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดโครงสร้างอาคารเสียหายและกระจกแตกร้าวอย่างสมบูรณ์ มาตรการลดความเสี่ยงจึงได้กำหนดขึ้นมา เพื่อป้องกันเหตุการณ์นี้

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Prapan Tapsong 2008: Risk Assessment of Traction Battery Charging System in a Warehouse. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Nanthiya Hansupalak, Ph.D. 130 pages.

This study aimed to evaluate risk assessment of the traction battery charging system in a warehouse using two methods: "What If Analysis" and "Fault Tree Analysis". The risk assessment was conducted according to the law of the Ministry of Industry (2542) entitled of the Strategy of Factory's Safety and the Indicator of Dangerous and the Regulation of the Department of Industrial Work. Of 8 processes involving in the traction battery charging system, there was 1 process, battery charging, which resulted in the highest and the most unacceptable risk due to the hydrogen gas release. Assuming that ventilation in the working area was very poor, the accumulation of hydrogen would thus be greater than the minimal level (LEL 4%). Comparing with TNT explosion, at 1 meter distance from the source the peak overpressure was estimated to be 216 psig which could cause a death of exposures resulting from lung hemorrhage and eardrum ruptures. In addition, this pressure could destroy structure and building as well as building glass. Thus, the strategy of risk reduction was established to control and prevent the occurrence of an accident.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทิยา หาญศุภลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าชี้แนวทางในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เจริญไชยตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร. อภิชาติ แจ้งบำรุง ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิชัย พฤกษ์ธาราธิกูล มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ถ่ายทอดความรู้และสนับสนุนข้อมูลต่างๆ เรื่องการประเมินความเสี่ยง ประกอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณความดีและประโยชน์ทั้งหมดอันเกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และพี่ชาย ซึ่งให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา รวมถึงเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ประพันธ์ เทพสง

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	53
สรุป	53
ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	58
ภาคผนวก ข การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	65
ภาคผนวก ค ทะเบียนความเสี่ยง	86
ภาคผนวก ง แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง	91
ภาคผนวก จ รายละเอียดการคำนวณ	116
ภาคผนวก ฉ มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	120
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	130

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงองค์ประกอบที่มีนัยสำคัญต่อผลในการเกิดลักษณะการระเบิด	13
2	แสดงตัวอย่างของค่าพลังงาน Overpressure และความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม	15
3	ความสัมพันธ์ Probits สำหรับอุบัติเหตุต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้	20
4	การแปลงจาก Percentages เป็น Probits	21
5	สรุปการเลือกใช้วิธีการชี้บ่งอันตราย	22
6	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis	26
7	แสดงช่วงเวลาของการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายการดำเนินการของสถานประกอบการ	27
8	ระดับของโอกาสการเกิดเหตุการณ์อันตรายตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม	30
9	ระดับความรุนแรงของอันตรายตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม	31
10	ระดับความเสี่ยงตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม	32
11	แผนที่ต้องดำเนินการสำหรับความเสี่ยงในแต่ละระดับ	34
12	สรุปกระบวนการและวิธีการชี้บ่งอันตราย	41
13	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงสำหรับกระบวนการนำแบตเตอรี่เข้าประจุด้วยวิธี What If Analysis	43
14	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงสำหรับกระบวนการประจุแบตเตอรี่วิธี Fault Tree Analysis	46
15	ทะเบียนความเสี่ยง	47
16	แสดงปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่	49
17	แสดงผลการประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่ระยะ 1 เมตร โดยใช้ Probit Analysis	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	59
ข1	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	66
ข2	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	72
ข3	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	77
ข4	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	78
ข5	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	79
ข6	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	80
ข7	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	82
ข8	การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง	85
ค1	ทะเบียนความเสี่ยง	87
ง1	แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รถยกไฟฟ้ากับพาเลท	3
2	ตัวอย่างรถยกไฟฟ้าขนาดกลางที่ใช้ภายในคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ (ก) Hand pallet truck, (ข) Power pallet trucks, (ค) Power stacker, (ง) Reach truck, (จ) Order picking truck และ (ฉ) Counterbalance truck	4
3	ความเสียหายที่เกิดเนื่องจากการระเบิดในห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่	5
4	(ก) ภาพสามมิติ และ (ข) ภาพตัดขวางของแบตเตอรี่แบบ Traction โดย (1), (2), (3), (4) และ (5) คือ โครงพลาสติก, แท่งตะกั่ว, แผ่นกั้น, อิเล็กโทรไลต์, และขั้วตะกั่วตามลำดับ	6
5	(ก) กระบวนการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ และ (ข) การประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่มากกว่าหนึ่งลูกพร้อมกัน	7
6	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่	9
7	แสดงลักษณะทางกายภาพของการเกิด Detonation สำหรับปฏิกิริยาเผาไหม้สารระเบิด	14
8	แสดงลักษณะทางกายภาพของการเกิด Deflagration สำหรับปฏิกิริยาเผาไหม้สารระเบิด	14
9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Scale distance (Z_s) กับ Scale overpressure (P_s)	17
10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Percentage และ Probits	19
11	การจัดทำแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย	34
12	ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง	39
13	แผนผังของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์	40
14	ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุการเกิดไฟไหม้และการระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธี Fault Tree Analysis	45
15	แผนผังห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ในคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุการเกิดไฟไหม้และการระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธี Fault Tree Analysis	73
ข2	ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าระเบิดด้วยวิธี Fault Tree Analysis	75
ข3	ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายจากงานควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยวิธี Fault Tree Analysis	83

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

E_{TNT}	=	ค่า Heat of explosion ของ TNT (พลังงาน/น้ำหนัก)
ETA	=	Event Tree Analysis
FMEA	=	Failure Mode and Effect Analysis
FTA	=	Fault Tree Analysis
GSDP	=	กฎการจัดเก็บและการกระจายสินค้าที่ดี
H_2	=	สูตรทางเคมีของก๊าซไฮโดรเจน
HAZOP	=	Hazard and Operability Study
H_2O	=	สูตรทางเคมีของน้ำ
H_2SO_4	=	สูตรทางเคมีของกรดซัลฟูริก
JSA	=	การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย
k	=	ค่าคงที่ของสมการโอกาส
LEL	=	Lower Explosive Limit
LFL	=	Lower Flammable Limit
m_{TNT}	=	น้ำหนักของสารที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักของ TNT (น้ำหนัก)
$m^{1/3}_{TNT}$	=	น้ำหนักของไอของสารเคมีที่รั่วไหล เปรียบเทียบกับค่า TNT ($kg^{1/3}$)
n	=	จำนวนโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ทั้งหมด
O_2	=	สูตรทางเคมีของก๊าซออกซิเจน
OHSAS	=	Occupational Health and Safety Assessment Series
OSHA	=	Occupational Safety and Health Administration
P	=	โอกาสของการเกิดเหตุการณ์
P_a	=	ความดันบรรยากาศ (psig)
P_i	=	โอกาสของความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นกับทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
P_o	=	Overpressure (psig)
P_s	=	ค่า Scaled overpressure (ไม่มีหน่วย)
Pb	=	สูตรทางเคมีของตะกั่ว
PbO_2	=	สูตรทางเคมีของตะกั่วออกไซด์
$PbSO_4$	=	สูตรทางเคมีของตะกั่วซัลเฟต
r	=	ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ (m)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

TNT	=	Trinitrotoluene
UEL	=	Upper Explosive Limit
UFL	=	Upper Flammable Limit
V	=	ตัวแปรของสาเหตุการเกิดของเหตุการณ์
Y	=	ค่าโอกาสของเหตุการณ์
Z_e	=	ค่า Scale distance ($m/kg^{1/3}$)
ΔH	=	พลังงานจากการระเบิดของไอก๊าซ (kJ/mol)
η	=	ค่า empirical ของประสิทธิภาพในการระเบิด (ไม่มีหน่วย)

การประเมินความเสี่ยงกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่รถยกของคลังสินค้า

Risk Assessment of Traction Battery Charging System in a Warehouse

คำนำ

คลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ (Pharmaceutical warehouse) เป็นสถานที่สำหรับจัดวาง จัดเก็บ พักกระจายสินค้าประเภทยาและเวชภัณฑ์ จึงต้องมีเครนหรือรถยกเพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าที่วางอยู่บนพาเลท (Pallet) (Logistic Digest, 2007) รถยกไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Electric forklift) หรือมีอีกชื่อว่าแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้า (Traction หรือ Motive power battery) เป็นอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ทำงานในคลังสินค้าตามกฎหมายสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยและอาชีวอนามัยในการทำงานเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดมลพิษอากาศ (Air pollution) รถยกไฟฟ้ามีรูปร่างแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และความต้องการใช้แต่ละประเภท โดยจะมีงาที่ใช้เคลื่อนย้ายสินค้าไปตามที่ต่างๆ ได้ รถยกไฟฟ้านี้ทำงานได้โดยอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ ซึ่งในกระบวนการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่นั้น จะให้ไอกรดซัลฟูริกและก๊าซไฮโดรเจนออกมา ไอกรดทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงานใกล้เคียง กล่าวคือ เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ เจ็บคอ ไอ หายใจติดขัดและถี่รัว อาจเสียชีวิตได้ถ้าหายใจเอาไอกรดที่มีความเข้มข้นสูง สำหรับก๊าซไฮโดรเจนนั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อทรัพย์สินและชีวิตได้ โดยสามารถทำให้เกิดการระเบิดหากมีประกายไฟและปริมาณอากาศที่เหมาะสม (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2550)

คลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ที่สนใจนี้ได้ปฏิบัติตามรายละเอียดขั้นตอนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ในหมวด 1917.157 ของ OSHA ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มุ่งประเมินความเสี่ยงที่เกิดในกระบวนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ให้แก่รถยกไฟฟ้า โดยหาความน่าจะเป็นและความรุนแรงของอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และสร้างแนวทางป้องกันหรือลดอุบัติเหตุให้ผู้ประกอบการคลังสินค้าได้

วัตถุประสงค์

1. ประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในกระบวนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ให้แก่รถยกไฟฟ้า

2. สร้างแนวทางการป้องกันแก้ไขและจัดทำแนวปฏิบัติด้านความปลอดภัยให้ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรถยกไฟฟ้า

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจห้องที่ใช้สำหรับกระบวนการประจุไฟฟ้าให้แก่รถยกไฟฟ้าที่อยู่ในอาคารคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ ซึ่งมีพนักงานทำงานและยาที่รอจำหน่าย

การตรวจเอกสาร

1. รถยกไฟฟ้า (Electric forklift)

คลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ (Pharmaceutical warehouse) เป็นสถานที่ที่จัดเก็บสินค้าประเภทยาและเวชภัณฑ์ ลักษณะของอาคารคลังสินค้าเป็นอาคารปิดและภายในอาคารคลังสินค้ามีการควบคุมอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส มีพนักงานปฏิบัติงานในการขนส่งยาและเวชภัณฑ์พาเลท (Pallet) ดังแสดงในภาพที่ 1 ใช้เป็นฐานรองสินค้า ซึ่งตามกฎการจัดเก็บและการกระจายสินค้าที่ดี (Good Storage and Distribution Practice: GSDP) ได้กำหนดให้สินค้ายาและเวชภัณฑ์ที่จัดเก็บต้องวางบนพาเลทเท่านั้น กิจกรรมที่เกิดขึ้นในคลังสินค้านั้นจะครอบคลุมการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งการใช้คนในการทำกิจกรรมเหล่านี้จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงและประสิทธิภาพในการทำงานที่ด้อยกว่า (Logistic Digest, 2007)

ภาพที่ 1 รถยกไฟฟ้ากับพาเลท

ที่มา: BT Midland Thailand (2007)

รถยกไฟฟ้า (Electric forklift) ดังภาพที่ 1 เป็นรถยกไฟฟ้าประเภทที่ใช้ในคลังสินค้าได้เพราะไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้า และการจัดเก็บตลอดจนการจัดสินค้าตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ขนาดของรถยกไฟฟ้าที่นิยมใช้ในคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์คือขนาดกลางซึ่งมีหลากหลายดังภาพที่ 2 (ก) – (ฉ)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างรถยกไฟฟ้าขนาดกลางที่ใช้ภายในคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ (ก) Hand pallet truck, (ข) Power pallet trucks, (ค) Power stacker, (ง) Reach truck, (จ) Order picking truck และ (ฉ) Counterbalance truck

ที่มา: BT Midland Thailand (2007)

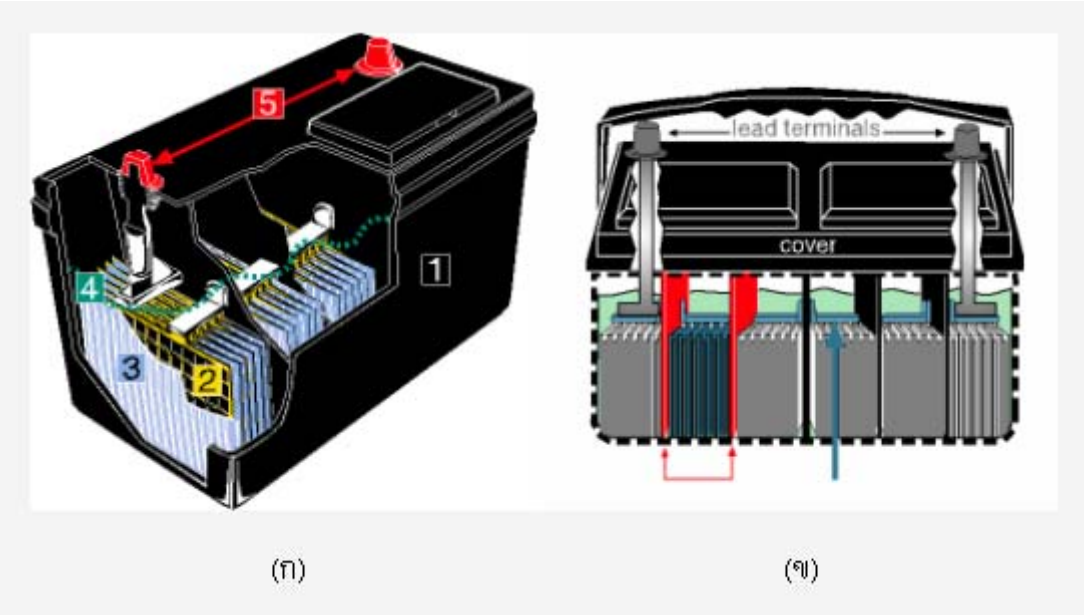
อุบัติเหตุขนาดใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับรถยกไฟฟ้าที่เคยเกิดขึ้นคือการระเบิด ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและคนได้ โดยมีสาเหตุมาจากก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากกระบวนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ เช่น เหตุการณ์ที่ United Parcel Service ในปี 2001 (Sacramento Fire Department, 2007) ได้เกิดการระเบิดที่ห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ ความเสียหายต่ออาคารทั้งใน (ห้องที่มีกระบวนการถ่ายประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่) และนอกอาคาร แสดงในภาพที่ 3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ สาเหตุของการระเบิดมาจากการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ การระเบิดทำให้เกิดความเสียหายต่อตึกคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 36 ตารางเมตร โดยรอบ แต่ไม่มีรายงานของการเสียชีวิตเพราะช่วงเวลาที่เกิดเหตุไม่มีคนปฏิบัติงาน

ภาพที่ 3 ความเสียหายที่เกิดเนื่องจากการระเบิดในห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

ที่มา: Sacramento Fire Department (2007)

2. แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่มีหลายประเภท แต่สำหรับรถยกไฟฟ้าจะใช้แบตเตอรี่แบบ Traction ดังภาพที่ 4 เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง (Battery Council International, 2007) โครงภายนอกของแบตเตอรี่ทำด้วยพลาสติก ภายในเซลล์แบตเตอรี่มีเซลล์ย่อยหลายๆ เซลล์ต่อเข้าด้วยกันเป็นชุด แต่ละเซลล์ย่อยมีแผ่นตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) เป็นขั้วบวก (Cathode) และมีแผ่นตะกั่ว (Pb) เป็นขั้วลบ (Anode) ใช้สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เป็นอิเล็กโทรไลต์ การทำงานของแบตเตอรี่ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ การประจุไฟฟ้าและการจ่ายกระแสไฟฟ้า (ชัยวัฒน์, 2536) ดังนี้



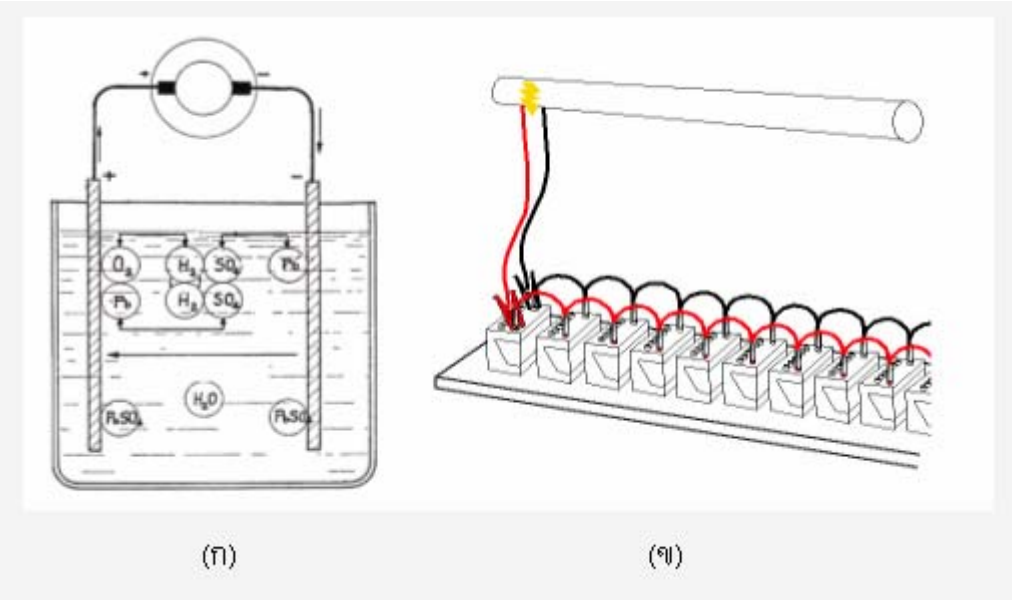
ภาพที่ 4 (ก) ภาพสามมิติ และ (ข) ภาพตัดขวาง ของแบตเตอรี่แบบ Traction โดย (1), (2), (3), (4) และ (5) คือ โครงพลาสติก, แท่งตะกั่ว, แผ่นกั้น, อิเล็กโทรไลต์ และขั้วตะกั่ว ตามลำดับ

ที่มา: Battery Council International (2007)

2.1 การประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ (Battery charging process)

หลังจากนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน กระแสไฟฟ้าที่สะสมในเซลล์จะลดลง จึงต้องทำการประจุไฟฟ้า โดยต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจรไฟฟ้าดังภาพที่ 5 (ก) และ (ข) สำหรับเซลล์เดี่ยวและชุดตามลำดับ ซึ่งในขณะนี้ทั้งขั้วบวกและขั้วลบมีตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ซึ่งเป็นของแข็งสีขาวเกาะอยู่ และของเหลวคือน้ำ (H_2O) เมื่อเริ่มให้กระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกเข้าไป ตะกั่วซัลเฟตที่เกาะขั้วลบจะกลายเป็นตะกั่วบริสุทธิ์ (Pb) ในขณะที่ตะกั่วซัลเฟตที่เกาะขั้วบวกจะเปลี่ยนเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) และเกิดกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ละลายในน้ำด้วยการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วบวกแสดงได้ดังสมการที่ (1) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วซัลเฟตและน้ำให้ผลิตภัณฑ์คือ ตะกั่วออกไซด์และกรดซัลฟูริกและก๊าซไฮโดรเจน (H_2)

ปฏิกิริยาที่ขั้วบวก (Cathode) $PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + H_2SO_4 + H_2$ (1)



ภาพที่ 5 (ก) กระบวนการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ และ (ข) การประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่มากกว่าหนึ่งลูกพร้อมกัน

ที่มา: Battery Council International (2007) และ Power Stream Technology (2007)

การเปลี่ยนแปลงที่ขั้วลบแสดงได้ดังสมการที่ (2) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วซัลเฟตและน้ำให้ตะกั่วบริสุทธิ์ กรดซัลฟูริก และออกซิเจน (O_2)

ปฏิกิริยาที่ขั้วลบ (Anode) $PbSO_4 + H_2O = Pb + H_2SO_4 + O_2$ (2)

ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (สมการที่ 1) รวมตัวกับออกซิเจนที่ขั้วลบ (สมการที่ 2) เกิดเป็นน้ำ ดังแสดงในสมการที่ 3 และสามารถจัดรูปสมการให้สั้นลงได้ดังแสดงในสมการที่ 4

ปฏิกิริยารวม $2PbSO_4 + 3H_2O = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 + H_2O$ (3)

ปฏิกิริยารวม $2PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4$ (4)

สมการที่ 4 นี้แสดงถึงปฏิกิริยาระหว่างตะกั่วซัลเฟตและน้ำซึ่งเกิดจากกระบวนการจ่ายประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า (สมการที่ 3) นั่นคือสำหรับแบตเตอรี่ที่ได้จ่ายไฟฟ้าไปหมดแล้ว สามารถรับถ่ายประจุจากวงจรภายนอกได้เมื่อแช่ขั้วในน้ำ แทนการแช่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นในการประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่นี้จึงควรเทสารละลายกรดออกไปจากเซลล์และเติมน้ำกลั่นเข้าไปแทน กรดที่เหลืออยู่ตามแผ่นกั้นและขั้วเพียงพอที่จะทำให้น้ำนำไฟฟ้าได้ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟฟ้าอย่างเต็มที่แล้ว แต่วงจรภายนอกยังคงให้กระแสไฟฟ้า พลังงานนี้จะทำให้น้ำแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน แต่เนื่องจากตะกั่วซัลเฟตได้ถูกใช้ไปจนหมด ดังนั้นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถรวมตัวเป็นผลิตภัณฑ์ข้างต้นได้ แต่จะเคลื่อนที่ออกจากสารละลายในรูปของก๊าซได้ ดังนั้นการเกิดก๊าซนี้จึงเป็นสัญญาณบอกถึงการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้เกิดอย่างสมบูรณ์

2.2 การจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (Battery discharging process)

เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟฟ้าอย่างเต็มที่แล้ว ในเซลล์ขั้วบวก (Cathode) ที่เดิมเป็นตะกั่วจะกลายเป็นตะกั่วออกไซด์ ในขณะที่ขั้วลบ (Anode) ซึ่งเดิมเป็นตะกั่วก็จะมีตะกั่วบริสุทธิ์ที่อยู่ในลักษณะคล้ายฟองน้ำ (Spongy form) เกาะอยู่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกและขั้วลบเป็นดังสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ปฏิกิริยาที่ขั้วบวก (Cathode) $PbO_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O + O_2$ (5)

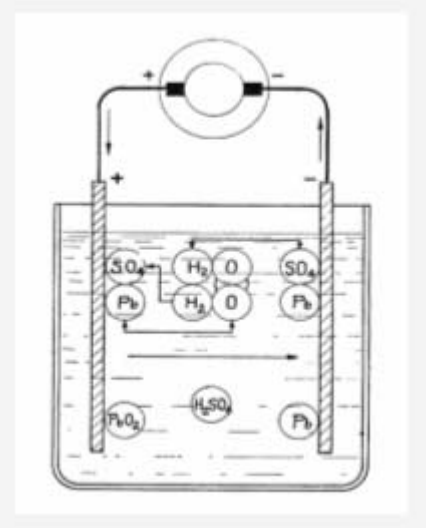
ปฏิกิริยาที่ขั้วลบ (Anode) $Pb + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2$ (6)

ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในสมการที่ 5 จะรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในสมการที่ 6 ได้น้ำดังแสดงในสมการที่ 7

ปฏิกิริยารวม $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O$ (7)

จากปฏิกิริยารวม (ปฏิกิริยารีดอกซ์) นี้ ได้ว่าปฏิกิริยาเริ่มต้นจากตะกั่วออกไซด์เป็นขั้วบวก ตะกั่วเป็นขั้วลบ และสารละลายกรดซัลฟูริกเป็นอิเล็กโทรไลต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา (หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการถ่ายประจุไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า) คือ ตะกั่วซัลเฟต

และน้ำ เมื่อพิจารณาปฏิกิริยานี้จะเห็นว่ากรดซัลฟูริกได้ถูกใช้ไปจนหมดในการเกิดตะกั่วซัลเฟตบนขั้วบวกและลบ ดังนั้นของเหลวจึงมีแต่น้ำเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ที่มา: Battery Council International (2007) และ Power Stream Technology (2007)

2.3 กรดซัลฟูริกและก๊าซไฮโดรเจน

จากปฏิกิริยาในส่วนของการจ่ายและการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่จะเห็นได้ว่ามีไอกรดซัลฟูริกและก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้น ซึ่งถ้าระบบทำงานได้ดี ไม่รั่ว ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนเป็นน้ำ แต่ถ้ามีการรั่วออกมาจะทำให้เกิดอันตรายได้ สำหรับไอกรดซัลฟูริกรั่วนั้นมาจากการประจุจะมีอุณหภูมิสูง ไอกรดซัลฟูริกหลุดออกมาตามรอยแตกของอุปกรณ์

ไอกรดซัลฟูริกมีคุณสมบัติทางกายภาพคือไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ โดยมีฤทธิ์กัดกร่อนและก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ OSHA (2007) ได้กล่าวถึงอันตรายของไอกรดซัลฟูริก เมื่อเข้าสู่ดวงตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง เมื่อสูดดมจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ หากมีปริมาณไอกรดซัลฟูริก อยู่ในสถานที่ทำงานในปริมาณที่น้อย บางครั้งพนักงานอาจไม่สามารถรับรู้ได้เนื่องจากเกิดอาการเคยชินแต่อาจส่งผลได้ในระยะยาว ทั้งนี้ OSHA ได้กำหนดรายละเอียดขั้นตอนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery

charging and charging related terminal operations and equipment) ไว้ในหมวด 1917.157 แต่ไม่มีการกำหนดค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่อนุญาตให้มีได้ในสถานที่ทำงาน นอกจากนี้ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 ได้กำหนดค่าไอกรดซัลฟูริกมีค่าไม่เกิน 25 ppm เมื่อทำการวัดที่ปล่องระบายอากาศออกสู่ภายนอก หรือบริเวณที่เห็นว่าน่าจะมีความเข้มข้นของไอกรดซัลฟูริกมากที่สุด

ก๊าซไฮโดรเจนมีลักษณะทางกายภาพไม่มีสี และไม่มีกลิ่น สามารถก่อให้เกิดการระเบิดได้ถ้ามีประกายไฟเกิดขึ้น หรือปริมาณออกซิเจนในอากาศที่เหมาะสม โดยมีจุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) ที่ -240 และ 571 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และช่วงค่าความเข้มข้นของไอก๊าซไฮโดรเจนที่สามารถติดไฟ (LFL-UFL) และเกิดระเบิด (LEL-UEL) ได้เมื่อมีแหล่งกำเนิดไฟ คือช่วง 4-75 % (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2550)

3. การจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย (Risk management)

การจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย (Risk management) เป็นการดำเนินงานจัดการความเสี่ยงและการประเมินความเสี่ยงในสถานประกอบกิจการ โดยครอบคลุมถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับคนงาน รวมทั้งประชาชนและสิ่งแวดล้อมโดยรอบสถานประกอบการ การประเมินความเสี่ยงในสถานประกอบกิจการจึงสามารถดำเนินการได้สองด้าน ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของคนงานซึ่งเป็นผลจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในสถานประกอบกิจการและการประเมินความเสี่ยงเกี่ยวกับอุบัติเหตุหรือความปลอดภัยในสถานประกอบกิจการ

ดังนั้นสถานประกอบกิจการต่างๆ ที่มีความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ จำเป็นที่จะต้องดำเนินการจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย โดยมีหลักการสำคัญในการดำเนินการ 3 ประการ ดังนี้

ประการที่ 1 การชี้บ่งอันตราย (Hazard identification) ต้องทำการแจกแจงความเสี่ยงต่างๆ ที่แอบแฝงอยู่ในแต่ละขั้นตอนการประกอบกิจการ ตั้งแต่การเก็บ การขนถ่ายหรือขนย้าย การใช้ การขนส่งวัตถุดิบ เชื้อเพลิงที่มีอยู่ กระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติงาน เครื่องจักรอุปกรณ์ โดยใช้เครื่องมือทางเทคนิค อันได้แก่ วิธี Checklist วิธี What-if Analysis วิธี Hazard and Operability

Studies (HAZOP) วิธี Fault Tree Analysis (FTA) วิธี Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) วิธี Event Tree Analysis (ETA) วิธี Job Safety Analysis (JSA) วิธี Task Analysis เป็นต้น

ประการที่ 2 การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ต้องทำการวิเคราะห์ปัจจัยหรือสภาพการณ์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อันตรายที่แอบแฝงอยู่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตราย เป็นต้น โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของเหตุอันตรายเหล่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายแก่ชีวิต ทรัพย์สิน ชุมชน และสิ่งแวดล้อม การประเมินความเสี่ยงที่นิยมใช้ในบ้านเราได้แก่ วิธีระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม วิธี มอก. 18001 วิธี OHSAS 18001

ประการที่ 3 การจัดทำแผนงานจัดการความเสี่ยง (Risk management) ต้องจัดทำแผนการดำเนินงานในการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการจัดการความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นรวมทั้งการจัดหาสิ่งอำนวยความสะดวก เครื่องมืออุปกรณ์และบุคลากรเพื่อป้องกันและควบคุม บรรเทา หรือลดความเสี่ยงจากอันตรายนั้นๆ มาตรการป้องกันได้แก่ การออกแบบการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีมาตรฐาน การทำงานถูกต้องตามขั้นตอนการบำรุงรักษาเครื่องจักร การทดสอบ การตรวจสอบ การฝึกอบรม เป็นต้น ส่วนมาตรการระงับและฟื้นฟู ได้แก่ การซ้อมแผนฉุกเฉิน การสอบสวนอุบัติเหตุ

3.1 ความหมายของความเสี่ยง (Risk)

ความเสี่ยง (Risk) หมายถึง ความน่าจะเป็น (Probability) ของการเจ็บป่วย บาดเจ็บหรือสูญเสียอันเนื่องจากอุบัติเหตุจากการทำงานในสถานประกอบกิจการ การคำนวณค่าความเสี่ยงทำได้โดยการนำเอาความน่าจะเป็นหรือโอกาสของการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ (Probability of action occurring) คูณกับความรุนแรงที่จะเกิดเหตุการณ์ (Severity of consequence) นั้นมาพิจารณา ดังนั้นความเสี่ยงจึงอาจหมายถึงผลลัพธ์ของความน่าจะเกิดอันตรายและผลจากอันตรายนั้น

ความเสี่ยง = โอกาสของการเกิดเหตุการณ์ **X** ความรุนแรงที่เกิดจากเหตุการณ์ (8)
(Risk) (Likelihood) (Severity of consequence)

3.1.1 การประเมินค่าโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ (Probability)

สมการโอกาสของการเกิดเหตุการณ์

$$P = \prod_{i=1}^{n} P_i \qquad (9)$$

โดย n = จำนวนโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ทั้งหมด

P_i = โอกาสของความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 การประเมินระดับความรุนแรง (Consequence)

การประเมินระดับความรุนแรงเป็นกระบวนการที่จะพยายามประเมินถึงระดับปัญหาหรือผลกระทบ ที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินการในกระบวนการประจุแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้า

การระเบิดเป็นผลจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาอย่างรวดเร็วและด้วยความดันสูงอย่างรุนแรงโดยมีการกระจายตัวออกมาในหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบของคลื่นความดัน การเคลื่อนที่ในแนวโค้ง การแผ่รังสี และพลังงานเสียง ซึ่งการกระจายตัวเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายหากเป็นการระเบิดที่เกิดจากสารประเภทก๊าซ และความดันที่เกิดจากจุดระเบิด สิ่งเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานเป็นผลให้เกิดการทำลายแก่พื้นที่รอบๆ ลักษณะของการระเบิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง องค์ประกอบที่สำคัญสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบที่มีนัยสำคัญต่อผลในการเกิดลักษณะการระเบิด

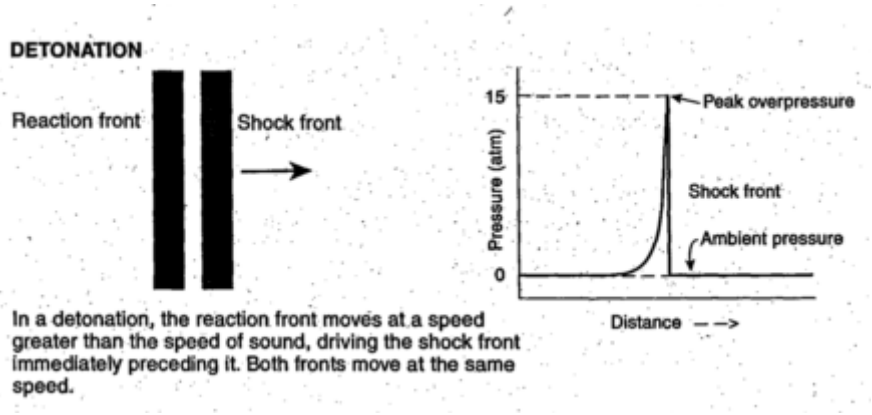
องค์ประกอบที่มีนัยสำคัญต่อผลในการเกิดลักษณะการระเบิด
อุณหภูมิโดยรอบ (Ambient temperature)
ความดันโดยรอบ (Ambient pressure)
ส่วนประกอบของวัตถุระเบิด (Composition of explosive material)
คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุระเบิด (Physical properties of explosive material)
ธรรมชาติของการจุดระเบิด: ชนิด, พลังงาน และช่วงเวลา (Nature of ignition source: type, energy, and duration)
รูปแบบของสภาพแวดล้อมโดยรอบ: มีขอบเขต หรือไม่มีขอบเขต (Geometry of surroundings: confined or unconfined)
จำนวนของวัสดุติดไฟ (Amount of combustible material)
ความแปรปรวนของวัตถุติดไฟ (Turbulence of combustible material)
ช่วงเวลาก่อนติดไฟ (Time before ignition)
สิ่งที่เกี่ยวข้องกับวัสดุติดไฟ (Fate at which combustible material is related)

ที่มา: Crowl (2001)

3.1.2.1 Detonation and Deflagration

โดยทั่วไปลักษณะผลของการระเบิดจะแบ่งได้เป็น Detonation หรือ Deflagration ความแตกต่างของทั้งสองลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาก่อนการเพิ่มขึ้นของความดัน

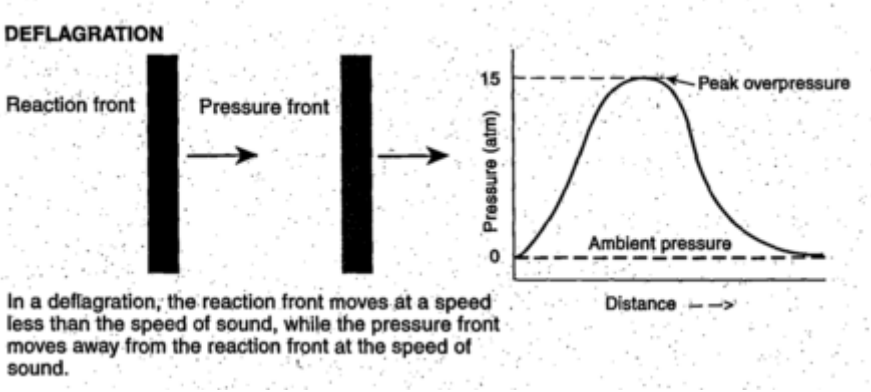
และพลังงาน มีความเร็วสูงหรือต่ำกว่าความเร็วเสียงในก๊าซซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยา (Unreacted gases) Detonation เป็นการระเบิดที่มีความเร็วของคลื่นกระแทก (Shock wave) มีค่ามากกว่าความเร็วเสียง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงลักษณะทางกายภาพการเกิด Detonation สำหรับปฏิกิริยาเผาไหม้สภาวะเปิด

ที่มา: Crowl (2001)

ส่วน Deflagration เป็นการระเบิดที่ความเร็วของคลื่นกระแทก (Shock wave) มีค่าน้อยกว่าความเร็วเสียง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะทางกายภาพการเกิด Deflagration สำหรับปฏิกิริยาเผาไหม้ในสภาวะเปิด

ที่มา: Crowl (2001)

การเกิด Detonation และ Deflagration ต้องการเวลาในการเปิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ประมาณ 1/10,000 วินาที และ 1/3,000 วินาที ตามลำดับ

3.1.2.2 ความเสียหายจากแรงดันจากการระเบิด (Blast damage resulting from overpressure)

ความเสียหายจากการระเบิดขึ้นอยู่กับความดันสูงสุด (Peak side-on overpressure) ซึ่งจะส่งผลกระทบกับโครงสร้างต่างๆ โดยปกติความเสียหายที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอันตราที่เพิ่มขึ้นของความดันและระยะเวลาของ Blast wave ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างของค่าพลังงาน Overpressure และความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

ความดัน		ความเสียหาย
psig	kPa	
0.02	0.14	เสียงที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (137 dB ที่ความถี่ระดับต่ำ (10 – 15 Hz))
0.03	0.21	มีโอกาสทำให้เกิดการแตกหักของกระจกขนาดใหญ่ภายใต้ความเครียด
0.04	0.28	เสียงดัง (143 dB), เสียงดังคำราม, กระจกแตก
0.1	0.69	เกิดการแตกหักของหน้าต่างขนาดเล็กภายที่อยู่ในสภาวะตึงเครียด
0.15	1.03	เป็นรูปแบบของความดันที่ทำให้เกิดการแตกหักของแก้ว
0.3	2.07	“ระยะความปลอดภัย” (ความน่าจะเป็น 95% ที่จะไม่เกิดความเสียหายภายใต้ค่านี้); จำกัดการขับเคลื่อนแบบ Projectile; มีความเสียหายบางส่วนของเพดานบ้าน; มีการแตกร้าวของแก้ว 10%
0.4	2.76	มีผลทำให้เกิดความเสียหายของโครงสร้างขนาดย่อย
0.5 – 1.0	3.4 – 6.9	หน้าต่างขนาดใหญ่และเล็กเกิดการแตกกระจาย มีโอกาสทำลายวงกบหน้าต่าง
0.7	4.8	มีผลทำลายโครงสร้างของบ้านเล็กน้อย
1.0	6.9	บ้านเกิดการเสียหายบางส่วน ทำให้ไม่สามารถอาศัยอยู่ได้
1 – 2	6.9 – 13.8	ทำให้เกิดการย่นของ Asbestos; เกิดการย่นของโลหะหรืออลูมิเนียม, ทำให้เกิดการย่น, ตามด้วยการโค้งงอ; แผ่นไม้ (มาตรฐานบ้าน), ม้วนเข้า, บิดเข้า

ตารางที่ 2 (ต่อ)

1.3	9.0	วงกบโลหะของตึกเกิดการผิดรูปเล็กน้อย
2	13.8	มีการพังทลายบางส่วนของกำแพงและหลังคาบ้าน
2 – 3	13.8 – 20.7	คอนกรีตหรือกำแพงอิฐไม่แข็งแรง มีการแตก
2.3	15.8	มีความเสียหายของโครงสร้างสำคัญ
2.5	17.2	มีการทำลาย 50% ของอิฐที่ใช้ก่อสร้างบ้าน
3	20.7	เครื่องจักรหนักในโรงงานอุตสาหกรรมได้รับความเสียหายเล็กน้อย วงกบโลหะของตึกผิดรูปและถูกดึงออกจากฐาน
3 – 4	20.7 – 27.6	ไม่มีวงกบ, มีการทำลายวงกบโลหะของตึก, การแตกของถังน้ำมัน
4	27.6	มีการแตกร้าวของตึกที่เคลือบด้วยโลหะ
5	34.5	มีการหักของปลายไม้; เครื่องขับไฮโดรลิค (40,000 lb) ในอาคารเสียหายเล็กน้อย
5 – 7	34.5 – 48.2	บ้านเกิดการพังเกือบสมบูรณ์แบบ
7	48.2	เกิดการคว่ำของรถบรรทุก
7 – 8	48.2 – 55.1	ก้อนอิฐที่มีความหนา 8 – 12 นิ้ว, ไม่มีความแข็งแรง, เกิดการแตกหักหรือโค้งงอ
9	62.0	รถบรรทุกถูกทำลายโดยสมบูรณ์
10	68.9	ตึกโดนทำลายทั้งหมด; อุปกรณ์เครื่องจักรหนัก (7,000 lb) เคลื่อนและเสียหายอย่างมาก, อุปกรณ์เครื่องจักรขนาดหนักมาก (12,000 lb) ยังสามารถใช้งานได้
300	2068	มีการจำกัดของปากปล่องควัน

ที่มา: Crowl (2001)

จากการทดลองการระเบิดพบว่า Overpressure สามารถประเมินได้โดยใช้การคำนวณเปรียบเทียบกับมวลของ TNT (m_{TNT}) และระยะห่างจากจุดเริ่มต้น (Ground-zero) โดยสมการต่อไปนี้

$$Z_e = \frac{r}{m^{1/3}_{TNT}} \qquad (10)$$

โดย Z_e = ค่า Scale distance ($m/kg^{1/3}$)

r = ระยะจากจุดที่เกิดการระเบิดไปยังจุดที่สนใจ (m) ($r \neq 0$)

$m^{1/3}_{TNT}$ = น้ำหนักของไอสารเคมีที่รั่วไหล เปรียบเทียบกับค่า TNT ($kg^{1/3}$)

ค่า Scale overpressure (P_s) หาได้จากสมการ

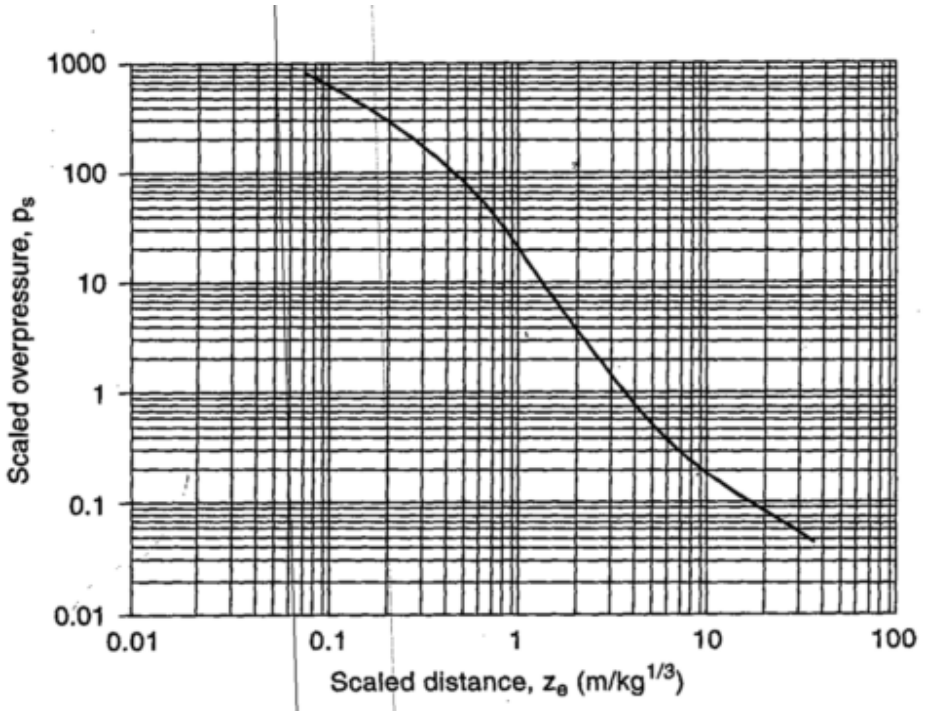
$$P_s = \frac{P_o}{P_a} \tag{11}$$

โดย P_s = ค่า Scale overpressure (ไม่มีหน่วย)

P_o = Overpressure (psig)

P_a = ความดันบรรยากาศ (psig)

ค่า P_s สามารถหาได้จากภาพที่ 9 หรือสมการที่ 12



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Scaled distance (Z_e) กับ Scaled overpressure (P_s)

ที่มา: Crowl (2001)

$$\frac{P_o}{P_a} = \frac{1{,}616P_a\left(1+\left(\frac{Z_e}{4.5}\right)^2\right)}{Z_e\left[1+\left(\frac{Z_e}{0.048}\right)^2\right]^{0.5}\left[1+\left(\frac{Z_e}{1.32}\right)^2\right]^{0.5}\left[1+\left(\frac{Z_e}{1.35}\right)^2\right]^{0.5}} \quad (12)$$

การประเมินแรงระเบิดซึ่งเกิดจากไอสารเคมีที่รั่วไหลออกมายังพื้นที่เปิดโล่ง จะสามารถใช้สมการคำนวณค่าแรงดันที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งที่น่าสนใจ โดยวิธีเปรียบเทียบกับค่าแรงระเบิดของ TNT (TNT equivalent method) ดังสมการต่อไปนี้

การประเมินปริมาณเทียบเท่ากับการระเบิดของ TNT

$$m_{TNT} = \frac{\eta m \Delta H}{E_{TNT}} \quad (13)$$

โดย m_{TNT} = น้ำหนักของสารที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักของ TNT (น้ำหนัก)

η = ค่า empirical ของประสิทธิภาพในการระเบิด (ไม่มีหน่วย)

m = น้ำหนักของไอสารเคมีที่รั่วไหล (น้ำหนัก)

ΔH = ค่า Heat explosion ของสารเคมีที่รั่วไหล (พลังงาน/น้ำหนัก)

E_{TNT} = ค่า Heat of explosion ของ TNT (พลังงาน/น้ำหนัก)

3.1.2.3 การประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

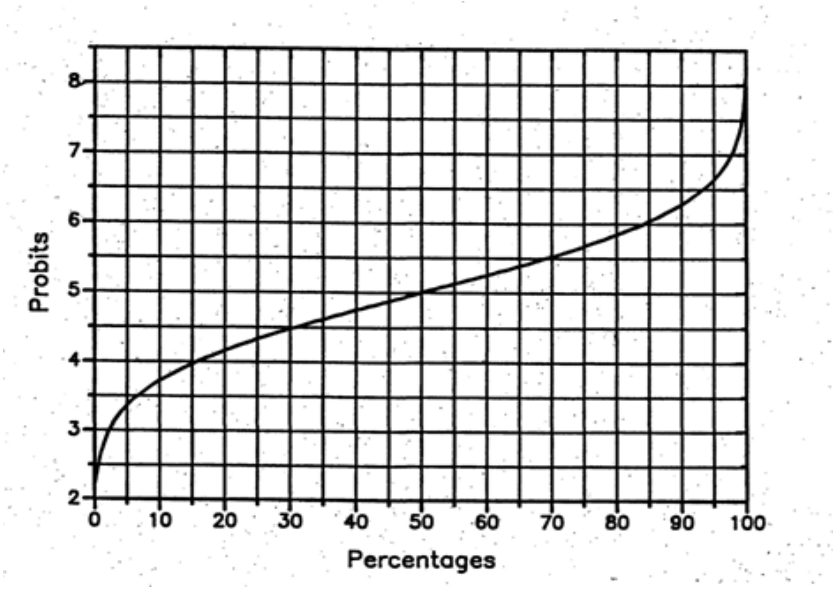
ผู้ประสบภัยอาจได้รับบาดเจ็บโดยการระเบิดจากผลการทำลายโดยตรง (รวมถึงแรงดันที่มากเกินไปและการแผ่รังสีความร้อน) หรือการทำลายโดยทางอ้อม (อาวุธทำลายล้าง) ผลการทำลายสามารถประมาณการได้โดยใช้ Probit Analysis

กราฟการตอบสนองต่อขนาดสามารถใช้ได้กับผู้ที่ได้รับการสัมผัสในรูปแบบต่างๆ รวมไปถึงการสัมผัสกับความร้อน ความดัน รังสี การกระแทก และเสียง

มีหลายวิธีการที่ใช้เป็นตัวแสดงถึงกราฟตอบสนองต่อขนาด สำหรับการสัมผัสเพียงหนึ่งครั้ง Probit Method เป็นวิธีการเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะได้เป็นกราฟเส้นตรง สมการที่ 14 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Probit Variable (Y) กับ Probit Probability (P) หรือ

โอกาส ซึ่งค่า P มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ดังกราฟในภาพที่ 10 ส่วนค่า Y สามารถหาได้จากสมการที่ 15 ค่า V นั้นเป็นตัวแปรของแต่ละเหตุการณ์ k_1 และ k_2 เป็น Probit พารามิเตอร์ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3 และสามารถแปลงค่า Y ที่ได้จากการคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การสัมผัสดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

$$P = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(\frac{u^2}{2}\right) du. \qquad (14)$$



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Percentages และ Probits

ที่มา: Crowl (2001)

ตารางที่ 3 แสดง Probit Equation ของรูปแบบต่างๆ สำหรับผู้ที่ได้รับการสัมผัสที่มีรูปแบบแตกต่างกันไปรวมทั้ง V ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Y = k_1 + k_2 \ln V \qquad (15)$$

โดย Y = ค่าโอกาสของเหตุการณ์

V = ตัวแปรของสาเหตุการเกิดของเหตุการณ์
(แรงดัน = N/m^2), (แรงกระแทก = $N\ sec/m^2$)

k_1, k_2 = Probit พารามิเตอร์

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ Probit สำหรับอุบัติเหตุต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้

ประเภทของอุบัติเหตุหรือความเสียหาย	V*	Probit พารามิเตอร์	
		k_1	k_2
ไฟ (Fire)			
โดนเปลวไฟเผาถึงแก่ความตาย	$t_e I_e^{4/3}/10^4$	-14.9	2.56
โดนไฟครอกถึงแก่ความตาย	$tI^{4/3}/10^4$	-14.9	2.56
ระเบิด (Explosion)			
เสียชีวิตจากจุดเลือดออกในปอด	p^o	-77.1	6.91
แก้วหูทะลุ	p^o	-15.6	1.93
เสียชีวิตจากแรงกระแทก	J	-46.5	4.82
บาดเจ็บจากแรงกระแทก	J	-39.1	4.45
บาดเจ็บจากวัสดุปลิวร่อน	J	-27.1	4.26
โครงสร้างเสียหาย	p^o	-23.8	2.92
กระจกแตก	p^o	-18.1	2.79
สารพิษรั่วไหล (Toxic release)			
เสียชีวิตจากแอมโมเนีย	$\sum C^{2.0}T$	-35.9	1.85
เสียชีวิตจากคาร์บอนมอนอกไซด์	$\sum C^{1.0}T$	-37.98	3.7
เสียชีวิตจากคลอรีน	$\sum C^{2.0}T$	-8.29	0.92
เสียชีวิตจากเอทธิลีนออกไซด์	$\sum C^{1.0}T$	-6.19	1.0
เสียชีวิตจากไฮโดรเจนคลอไรด์	$\sum C^{1.0}T$	-16.85	2.0
เสียชีวิตจากไนโตรเจนออกไซด์	$\sum C^{2.0}T$	-13.79	1.4
เสียชีวิตจากฟอสจีน	$\sum C^{1.0}T$	-19.27	3.69
เสียชีวิตจากโพรพิลีนออกไซด์	$\sum C^{2.0}T$	-7.42	0.51
เสียชีวิตจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์	$\sum C^{1.0}T$	-15.67	1.0
โทลูอีน	$\sum C^{2.5}T$	-6.79	0.41

*ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง (Causative variable) บ่งบอกถึงความรุนแรงของอุบัติเหตุนั้นได้

t_e = effective time duration (s)

I_e = effective radiation intensity (W/m^2)

t = time duration of pool burning (s)

I = radiation intensity from pool burning (W/m^2)

p^o = overpressure (N/m^2)

J = impulse (Ns/m^2)

C = concentration (ppm)

T = time interval (min)

ที่มา: Crowl (2001)

ตารางที่ 4 การแปลงจาก Percentages เป็น Probits

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

ที่มา: Crowl (2001)

4. การชี้บ่งอันตราย (Hazard identification)

เครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ชี้บ่งอันตรายมีหลายชนิดและได้มีการพัฒนามาโดยตลอด ปัจจุบันมีเครื่องมือหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับแต่ละประเภท เครื่องมือแต่ละชนิดมีจุดเด่นและจุดด้อยต่างกัน ขึ้นกับว่าจะใช้ในการชี้บ่งอันตรายในกระบวนการผลิตประเภทใดและทีมประเมินความเสี่ยงที่จะเป็นผู้นำไปใช้มีประสบการณ์เกี่ยวกับเครื่องมือชนิดนั้นๆ และกระบวนการผลิตประเภทนั้นอย่างไร หรือมากน้อยเพียงไร เครื่องมือหรือเทคนิคการชี้บ่งอันตรายที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพสูงเพียงพอในการชี้บ่งอันตราย มีขั้นตอนและวิธีการประเมินความเสี่ยงที่ครอบคลุมการบวนการผลิตทั้งหมด และสามารถชี้บ่งหรือระบุอันตรายร้ายแรงได้ แม้ว่าอุบัติภัยร้ายแรงนั้นจะเกิดได้น้อยครั้งมากๆ หรือยังไม่เกิดเลยก็ตาม

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ในข้อ 3.3 ของระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 ซึ่งการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงมีขั้นตอนในการดำเนินการ 4 ขั้นตอน คือ การชี้บ่งอันตราย การพิจารณาโอกาสของการเกิดอันตราย การพิจารณาความรุนแรงของอันตราย และการประเมินความเสี่ยง

สำหรับขั้นตอนนี้สิ่งสำคัญที่สุดคือการเลือกวิธีการชี้บ่งอันตรายให้เหมาะสมกับชนิดของอุปกรณ์และกิจกรรมที่ต้องการชี้บ่งอันตราย ดังนั้นจึงควรทำความรู้จักกับวิธีการชี้บ่งอันตรายที่กำหนดไว้ในกฎหมายเพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีคำแนะนำสำหรับการเลือกดังนี้

ตารางที่ 5 สรุปการเลือกใช้วิธีการชี้บ่งอันตราย

ระบบ/ เครื่องจักรอุปกรณ์/ ขั้นตอน	วิธีการชี้บ่งอันตราย			
	HAZOP	FMEA	What If Analysis	Checklist
อุปกรณ์ในการผลิต	เหมาะสมมากที่สุด	เหมาะสม	เหมาะสม	ใช้ได้หากมีการดำเนินการมาแล้วในอดีต
ท่อส่ง ท่อที่แยกออกจากอุปกรณ์ต่างๆ	เหมาะสมมากที่สุด	เหมาะสม	เหมาะสม	ไม่แนะนำ
เครื่องมือระบบควบคุม	ไม่แนะนำ	เหมาะสมมากที่สุด	เหมาะสม	ไม่แนะนำ
ระบบความปลอดภัย	ไม่แนะนำ	เหมาะสม	เหมาะสมมากที่สุด	ไม่แนะนำ
ระบบสาธารณูปโภค	เหมาะสมมากที่สุด	เหมาะสม	เหมาะสม	ไม่แนะนำ
บ่อน้ำมัน หลุมก๊าซ	เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสมมากที่สุด	ไม่แนะนำ
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ไม่เหมาะสม	ไม่แนะนำ	เหมาะสมมากที่สุด	ไม่แนะนำ
โครงสร้างและสิ่งปลูกสร้าง	ไม่แนะนำ	เหมาะสม	เหมาะสมมากที่สุด	ไม่แนะนำ

ที่มา: คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (2550)

ส่วนวิธีการชี้บ่งอันตรายด้วยเทคนิค Fault Tree Analysis (FTA) และ Event Tree Analysis (ETA) สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ทุกชนิดและกิจกรรมทุกประเภท เช่น ท่อและระบบท่อ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่บนท่อ ระบบควบคุม ระบบสื่อสาร ระบบไฟฟ้า และกิจกรรมต่างๆ โดยเทคนิค Fault Tree Analysis (FTA) จะชี้บ่งอันตรายที่เน้นถึงอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุ ส่วนเทคนิค Event Tree Analysis (ETA) คือจะใช้จุดตั้งต้นของเหตุการณ์ที่สนใจ มาวิเคราะห์ว่าเหตุการณ์จะพัฒนาไปอย่างไร โดยพิจารณามาจากมาตรการป้องกันและควบคุมที่มีอยู่ว่าสำเร็จหรือล้มเหลว อันจะนำไปสู่อุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงหรือไม่

4.1 Checklist

เทคนิค Checklist เป็นวิธีการชี้บ่งอันตราย โดยการนำแบบตรวจสอบ Checklist ไปใช้ในการตรวจสอบการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของโรงงาน เพื่อค้นหาอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมเหล่านั้น แบบตรวจสอบประด้วยหัวข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการต่างๆ เพื่อตรวจสอบว่าได้ปฏิบัติตามมาตรฐานการออกแบบ มาตรฐานการปฏิบัติงาน หรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องหรือไม่ เพื่อนำผลจากการตรวจสอบมาทำการวิเคราะห์เพื่อชี้บ่งอันตรายในโรงงานต่อไป

โดยทั่วไปอาจแบ่ง Checklist ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ General Checklist ซึ่งหมายถึงแบบตรวจที่เป็นมาตรฐานทั่วไปแบบไม่เฉพาะเจาะจง เช่น แบบตรวจตามกฎหมาย มาตรฐานผู้ผลิต มาตรฐานจากบริษัทแม่ เป็นต้น และประเภทที่สอง Specific Checklist ซึ่งเป็นแบบตรวจสอบที่ออกแบบขึ้นใช้เอง เพื่อให้เหมาะสมกับโรงงานของตน โดยพิจารณาถึงขั้นตอนการปฏิบัติตามข้อกฎหมายด้านความปลอดภัย และอาชีวอนามัย และมาตรฐานความปลอดภัย หลังจากการออกแบบแบบตรวจสอบประเภทนี้แล้ว จะต้องตรวจสอบให้ครอบคลุมประเด็นปัญหาความปลอดภัยที่เป็นอยู่ให้ครบถ้วนก่อนนำไปใช้

ผลการตรวจสอบด้วย Checklist จะนำมาใช้ในการชี้บ่งอันตรายเพื่อหาแนวโน้มของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากพื้นที่ ลักษณะการทำงาน เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ และกิจกรรมต่างๆ จากนั้นจึงนำผลการชี้บ่งอันตรายมาประเมินความเสี่ยงและจัดลำดับความเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถนำผลการชี้บ่งอันตรายไปเสนอต่อที่ประชุมของฝ่ายบริหารได้ทันที เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการป้องกันและแก้ไขอันตรายที่ตรวจสอบโดยเร่งด่วนต่อไป

4.2 What If Analysis

เทคนิค What If Analysis เป็นเทคนิคที่ใช้วิธีการระดมสมองของกลุ่มคนมีประสบการณ์ โดยการจัดระเบียบรายการคำถามที่เกี่ยวข้องกับอันตรายที่เฉพาะเจาะจง อันตรายจากสภาพการณ์ หรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้น แล้วอาจส่งผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ คำถามจะต้องถามลึกลงไปถึงพื้นที่ หรือตำแหน่งที่สนใจศึกษา เช่น ด้านการปฏิบัติการด้านเทคนิค ด้านการบำรุงรักษา หรือคำถามด้านการตรวจสอบ แต่ละกลุ่มของคำถามต้องมีผู้มีประสบการณ์ของบุคลากรในทีมประเมินความเสี่ยง คำถามอาจจะเป็นคำถามทั่วไปหรือคำถามเฉพาะเจาะจง โดยทั่วไปไม่มีรูปแบบของลำดับของคำถามตายตัว สามารถกำหนดคำถามขึ้นตามสภาวะต่างๆ ของโรงงานได้โดยไม่จำเป็นต้องชี้เฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ ผลที่ได้รับจากการทำ What If Analysis ก็คือทะเบียนรายการคำนวณ ซึ่งชี้บ่งอันตรายที่เกี่ยวข้องหรือสถานการณ์ที่เป็นอันตรายหรืออุบัติเหตุมีอยู่หรืออาจเกิดขึ้นได้ หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้รับมาประชุมเพื่อตัดสินใจร่วมกัน ทีมประเมินความเสี่ยงก็จะบรรลุถึงการยอมรับอันตรายที่มีอยู่ร่วมกันรวมทั้งร่วมกันจัดทำข้อเสนอแนะที่ต้องการแก้ไขปัญหาต่อไป

4.3 Hazard and Operability Study (HAZOP)

เทคนิค Hazard and Operability Study หรือ HAZOP เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยอุตสาหกรรมเคมี เพื่อชี้บ่งอันตรายและประเมินความปลอดภัยของกระบวนการผลิตของโรงงานและอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมควบคู่กับปัญหาของกระบวนการผลิต ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการผลิต เป็นการชี้บ่งอันตรายแฝง และปัญหาที่อาจเกิดจากปฏิบัติการและการบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ คณะทำงานจะต้องช่วยกันระดมสมอง เพื่อพิจารณาแบบของโรงงานหรือกระบวนการผลิตที่มีอยู่โดยใช้ประสบการณ์และความรู้พื้นฐานจากวิชาชีพต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ว่ามีความเบี่ยงเบนออกไปจากที่ออกแบบไว้มากน้อยอย่างไร เทคนิค HAZOP เป็นวิธีการที่ต้องใช้เวลาและความตั้งใจสูงในการดำเนินการ ต้องพิจารณาถึงโอกาสที่กระบวนการผลิตจะเบี่ยงเบนออกไปจากที่ออกแบบไว้ ในการดำเนินการจะต้องใช้ข้อมูลที่ทันสมัยและความเชี่ยวชาญของหัวหน้าทีม เพื่อให้การชี้แนะทีมเป็นไปอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้จะพิจารณากระบวนการผลิตทีละหน่วยสั้นๆ (Node) ไปจนตลอดกระบวนการผลิตของโรงงาน ถ้าทีมประเมินความเสี่ยงพิจารณาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่ผลลัพธ์ที่ตามมาจะมีผลเสียมาก และพบว่ามาตรการป้องกันไม่เพียงพอ ทีมจะต้องให้ข้อเสนอแนะ เพื่อป้องกันอันตรายนั้นและนำเสนอต่อฝ่ายบริหารต่อไป

4.4 Event Tree Analysis (ETA)

เทคนิค Event Tree Analysis (ETA) เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลลัพธ์หรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อความบกพร่องของระบบการผลิตซึ่งเป็นเหตุการณ์แรก (Initiating Event) ขึ้น หรือเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าเพื่อวิเคราะห์หาผลสืบเนื่องที่จะเกิดขึ้น จากการที่เครื่องจักรอุปกรณ์เสียหายหรือคนทำงานผิดพลาดเพื่อให้ทราบว่าจะมีเหตุการณ์อะไรเกิดขึ้นต่อเนื่องจากเหตุการณ์แรกบ้าง และจะเกิดขึ้นได้อย่างไร มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด รวมทั้งเป็นการตรวจสอบระบบความปลอดภัยที่มีอยู่ว่ามีปัญหาหรือไม่อย่างไร เป็นวิธีการประเมินอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์ผิดพลาดหรือกระบวนการผิดพลาดโดยขั้นตอนการดำเนินการมี 6 ขั้นตอน คือ ชี้บ่งเหตุการณ์ตั้งต้นที่สนใจ ชี้อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ด้านความปลอดภัย สร้าง Event Tree อธิบายผลจากอุบัติเหตุ พิจารณาวิธีลดผล และจัดทำรายงาน

4.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

เทคนิค Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์จากความล้มเหลวที่พบได้บ่อยในระบบกระบวนการผลิตของโรงงาน เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาจากการประเมินความเสี่ยงในอุตสาหกรรมอากาศยานที่ต้องการพิจารณาหาความล้มเหลวที่เกิดจากอุปกรณ์แต่ละตัวและประเมินผลที่เกิดจากความผิดพลาดนั้น ความล้มเหลวของเครื่องมืออาจเป็นจุดเริ่มต้นหรือเหตุการณ์ที่ส่งผลทำให้เกิดอุบัติเหตุก็ได้ FMEA เหมาะสำหรับการประเมินความเสี่ยงอันเนื่องจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ และความล้มเหลวของมันจะส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุ วิธีนี้ใช้ไม่ค่อยได้ผลนักสำหรับการวิเคราะห์อุปกรณ์ที่มีผลเกี่ยวเนื่องกัน กล่าวคือ ความล้มเหลวของอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่ง เนื่องจากมีอุปกรณ์อื่นๆ ล้มเหลวมาก่อน และไม่เหมาะสมกับการประเมินความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของคน เทคนิค FMEA เหมาะที่จะใช้ในช่วงระหว่างและหลังการออกแบบโรงงาน ดังนั้น ในการใช้เทคนิค FMEA จึงต้องการรายละเอียดของข้อมูลการออกแบบโรงงานด้วย

4.6 Fault Tree Analysis (FTA)

เทคนิค Fault Tree Analysis เป็นเทคนิคการชี้บ่งอันตรายจากอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอันตรายนั้นๆ เป็นเทคนิคของคิดย้อนกลับที่อาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้เหตุและผล เพื่อวิเคราะห์หา

สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรง โดยเริ่มวิเคราะห์จากอุบัติเหตุหรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น เพื่อพิจารณาหาสาเหตุโดยเริ่มที่อุบัติเหตุหรืออุบัติภัยในเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นก่อนแล้วนำมาแจกแจงขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์แรกว่ามาจากเหตุการณ์ย่อยได้อะไรบ้าง โดยพิจารณาว่าเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร มีสาเหตุจากอะไร ถ้าหากพบว่าสาเหตุหรือเหตุการณ์ย่อยอีกระดับหนึ่งก็จะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป การวิเคราะห์จะสิ้นสุดลงเมื่อพบสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยนั้นๆ ว่าเป็นผลเนื่องมาจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานของคนงาน หลังจากนั้นก็จะทำการวางแผนเพื่อป้องกันหรือแก้ไขความบกพร่องหรือผิดพลาดดังกล่าวต่อไป

ตารางที่ 6 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	And Gate สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	Or Gate สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องมาจากสาเหตุใดสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	Basic Event เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยปกติ	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งทราบถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจนโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดอุบัติภัย
	Fault Tree Event เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ
	Undeveloped Event เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปเนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ

ที่มา: ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

ในการเลือกใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายนั้น นอกจากจะต้องพิจารณาถึงลักษณะของเครื่องมือและกระบวนการผลิตแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงช่วงของการดำเนินการในระยะเวลาต่างๆ ของโรงงานด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6 แสดงช่วงเวลาของการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายการดำเนินการของสถานประกอบกิจการจะเห็นได้ว่าเทคนิค What – if เหมาะสำหรับทุกช่วงเวลา แต่ในการดำเนินการต้องใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์สูง เทคนิค HAZOP FMEA FTA และ ETA เหมาะสำหรับช่วงดำเนินการโรงงานต้นแบบ (Plot Plant Operation) และการออกแบบรายละเอียดทางวิศวกรรม (Engineering Design) และไม่เหมาะสมสำหรับช่วงก่อสร้างและเริ่มดำเนินการ (Construction and Start up) จะเหมาะสมอีกในขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการตามปกติ (Routine Operation) การขยายตัวหรือดัดแปลงปรับปรุงโรงงาน (Expansion or Modification) และการสอบสวนเหตุการณ์ผิดปกติต่างๆ (Incident Investigation) เป็นต้น

ตารางที่ 7 แสดงช่วงเวลาของการพิจารณาใช้เทคนิคการชี้บ่งอันตรายการดำเนินการของสถานประกอบการ

เทคนิค/ ช่วงเวลาการดำเนินการ	Checklist	What-if	HAZOP	FMEA	FTA	ETA
การวิจัยและพัฒนา	ไม่นิยมใช้	นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้
การออกแบบ	นิยมใช้	นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้
โรงงานต้นแบบ	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้
ออกแบบรายละเอียดทางวิศวกรรม	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้
ก่อสร้างและเริ่มดำเนินการ	นิยมใช้	นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้	ไม่นิยมใช้
การดำเนินการตามปกติ	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้
ขยายหรือปรับปรุงโรงงาน	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้
การสอบสวนอุบัติเหตุ	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้	นิยมใช้

ที่มา: คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (2550)

การชี้บ่งอันตรายถ้าจะใช้คำอธิบายง่ายๆ ก็คือ การไปค้นหาว่ากิจกรรมหรือเครื่องจักรอุปกรณ์นั้นมีอันตรายอะไรบ้างหรือสามารถก่อให้เกิดอันตรายด้วยวิธีใดบ้าง เมื่อทำการชี้บ่งอันตรายเสร็จเรียบร้อยแล้ว หมายถึงทราบว่ากิจกรรมนั้นๆ เครื่องจักรอุปกรณ์นั้นๆ มีอันตรายอะไร อันตรายเกิดขึ้นได้อย่างไร ใครหรืออะไรที่ได้รับอันตรายแล้ว ก็นำเอาข้อมูลที่ได้ไปทำการพิจารณาโอกาสของการเกิดอันตราย การพิจารณาความรุนแรงของอันตราย และการประมาณระดับความเสี่ยงต่อไป

5. การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment)

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง เครื่องมือหรือเทคนิคที่จะใช้ดำเนินการเพื่อทำให้ผู้ประเมินเกิดความรู้และความเข้าใจถึงผลจากมลพิษ อุบัติเหตุ หรืออุบัติภัยร้ายแรงที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม หรืออาจจะหมายถึงกระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยหรือสภาพการณ์ต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของอันตรายที่มีและแอบแฝงอยู่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตราย เป็นต้น โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแงของเหตุการณ์เหล่านั้นซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เทคนิคหรือวิธีการที่ใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงมีมากมายหลายเทคนิค หรือหลายวิธี แต่ละเทคนิคหรือแต่ละวิธีจะมีความเหมาะสมต่อสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

5.1 ความสำคัญของการประเมินความเสี่ยง

โดยทั่วไปแล้ว คนงานในสถานประกอบกิจการอาจทำงานภายใต้ความเสี่ยงได้ สาเหตุของความเสี่ยงอาจจะเป็นสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น สภาพของแสง เสียง ความร้อน ความสั่นสะเทือน สารเคมีที่ไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หรือลักษณะการปฏิบัติงานที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (Sub standard act) หรือสภาพของสถานที่หรือสภาพการทำงานที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (Sub standard condition) เป็นต้น การประเมินความเสี่ยงทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจว่าคนงานที่ปฏิบัติงานภายใต้สภาพเหล่านั้นมีความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในระดับใด ความรู้ความเข้าใจที่ได้รับจากการประเมินความเสี่ยงจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับประกอบการพิจารณาในการกำหนดแนวทางเลือกในการกจัดการความเสี่ยงและการตัดสินใจในการดำเนินการตามทางเลือกที่เหมาะสม เพื่อที่จะลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่

ยอมรับได้ต่อไป ซึ่งจะส่งผลให้อันตรายหรือความเสียหายลดลง และการประเมินความเสี่ยงใช้ช่วยในการตัดสินใจว่าควรจะทำการควบคุมความเสี่ยงใดก่อน-หลัง และจะจัดสรรงบประมาณอย่างไร โดยการจัดลำดับของความเสี่ยงที่มีอยู่ทั้งหมด

5.2 วิธีการประเมินความเสี่ยง

ในการประเมินความเสี่ยงนี้ไม่มีสูตรสำเร็จในการประเมินว่าความเสี่ยงไหนสำคัญกว่า โดยทั่วไปแล้วผู้ประเมินจะจัดลำดับให้ความเสี่ยงที่ทำให้เกิดความรุนแรงมากมีความสำคัญกว่าปัจจัยอื่น แต่ก็ไม่ควรละเลยที่จะนำโอกาสที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ มาร่วมพิจารณาซึ่งโอกาสเกิดเหตุการณ์นั้นก็คงจะรวมถึงความถี่ของการที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นๆ ด้วย มีวิธีการหลายวิธีการในการประเมินความเสี่ยงทั้งแบบเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ วิธีการประเมินความเสี่ยงอย่างง่ายๆ ก็คือ การพิจารณาความรุนแรงและโอกาส วิธีนี้อยู่บนพื้นฐานว่า ความเสี่ยงเท่ากับความรุนแรงของอันตรายที่จะเกิดคูณด้วยโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์นั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการประเมินความเสี่ยงแบบนี้เป็นวิธีการประเมินความเสี่ยงแบบสัมพันธ์ การที่ความเสี่ยงจะสูงขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าเนื่องจากอันตรายมีมากและมีโอกาสเกิดเหตุการณ์นั้นมาก และความเสี่ยงอาจจะน้อย ถ้าทั้งความรุนแรงของอันตรายและหรือโอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อย

ในการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจะต้องมีการพิจารณาโอกาสของอันตรายและระดับความรุนแรงจากอันตรายของเหตุการณ์ใดๆ ประกอบกัน ในการวิเคราะห์โอกาสหรือความน่าจะเป็นของการเกิดอันตราย มักแบ่งออกเป็นระดับกว้างๆ ได้ 3 – 5 ระดับ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของใคร เช่น ในกรณีของการแบ่งออกเป็น 4 ระดับ อาจแบ่งเป็นโอกาสเกิดขึ้นได้บ่อย โอกาสเกิดขึ้นได้ปานกลาง โอกาสเกิดขึ้นได้น้อย และโอกาสเกิดขึ้นได้ยากหรือไม่เคยเกิดขึ้นเลย เป็นต้น ระดับความรุนแรงของเหตุการณ์อาจแบ่งออกเป็น 3 – 5 ระดับขึ้นอยู่กับมาตรฐานของใคร เช่น กรณีแบ่งเป็น 3 ระดับ อาจแบ่งเป็น ความรุนแรงเล็กน้อย ความรุนแรงปานกลาง ความรุนแรงสูง เป็นต้น จากนั้นนำระดับความรุนแรงและระดับของโอกาสมาเข้าตาราง Matrix เพื่อจัดระดับความเสี่ยงโดยกำหนดระดับความเสี่ยงต่างๆ เป็นระดับ อาจแบ่งเป็น 3 – 5 ระดับ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของใคร เช่น ระดับความเสี่ยงเล็กน้อย ปานกลาง สูง เป็นต้น

ตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 ได้แบ่งระดับการพิจารณาโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ไว้ 4 ระดับ ดังตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 8 ระดับของโอกาสการเกิดเหตุการณ์อันตรายตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ระดับ	รายละเอียด
1	มีโอกาสในการเกิดยาก เช่น ไม่เคยเกิดเลยในช่วง 10 ปีขึ้นไป
2	มีโอกาสในการเกิดน้อย เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 5 – 10 ปี
3	มีโอกาสในการเกิดปานกลาง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1 – 5 ปี
4	มีโอกาสในการเกิดสูง เช่น ความถี่ในการเกิด เกิดมากกว่า 1 ครั้ง ใน 1 ปี

ที่มา: ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

สำหรับการพิจารณาถึงความรุนแรงของผลที่เกิดจากอันตรายต่อสุขภาพนั้นโดยทั่วไปจะกำหนดให้ความรุนแรงสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น คือ อันตรายถึงตาย และกำหนดระดับความรุนแรงต่ำที่สุดที่ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บ ขณะเดียวกัน ก็จะพิจารณาระดับความรุนแรงจากผลกระทบอื่นประกอบด้วย เช่น ผลกระทบต่อทรัพย์สิน ผลกระทบต่อชุมชน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ส่วนระดับความรุนแรงแบ่งออกเป็น 4 ระดับ โดยพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดต่อบุคคล ชุมชน สิ่งแวดล้อม หรือทรัพย์สินมากน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ระดับความรุนแรงของอันตรายตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ระดับ	ความรุนแรง	กระทบต่อบุคคล	กระทบต่อชุมชน	กระทบต่อสิ่งแวดล้อม	กระทบต่อทรัพย์สิน
1	เล็กน้อย	มีการบาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล	ไม่มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงานหรือมีผลกระทบเล็กน้อย	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้	เสียหายน้อยมากหรือไม่เสียหายเลย
2	ปานกลาง	มีการบาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงานและแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น	ปานกลาง สามารถแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น	เสียหายปานกลางและสามารถดำเนินการผลิตต่อไปไม่ได้
3	สูง	มีการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง	มีผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงานและต้องใช้เวลาในการแก้ไข	รุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไข	เสียหายมากและต้องหยุดการผลิตในบางส่วน
4	สูงมาก	ทุพพลภาพหรือเสียชีวิต	มีผลกระทบรุนแรงต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้างหรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไข	รุนแรงมากต้องใช้ทรัพยากรและเวลานานในการแก้ไข	เสียหายมากและต้องหยุดการผลิตทั้งหมด

ที่มา: ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

เมื่อวิเคราะห์โอกาสของการเกิดอันตรายและระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ใดๆ แล้วนำมาจัดทำเป็นตาราง Matrix เพื่อทำการประเมินความเสี่ยง ตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย และกาจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ.2543 ซึ่งแบ่งระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ เช่นกัน คือ ความเสี่ยงเล็กน้อย ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ความเสี่ยงสูง และความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ระดับความเสี่ยงตามระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม

โอกาส/ ความรุนแรง	เกิดได้ยาก (1)	เกิดได้น้อย (2)	เกิดได้ปานกลาง (3)	เกิดได้สูง (4)
เล็กน้อย (1)	เล็กน้อย (1)	เล็กน้อย (2)	ยอมรับได้ (3)	ยอมรับได้ (4)
ปานกลาง (2)	เล็กน้อย (2)	ยอมรับได้ (4)	ยอมรับได้ (6)	สูง (8)
สูง (3)	ยอมรับได้ (3)	ยอมรับได้ (6)	สูง (9)	ยอมรับไม่ได้ (12)
สูงมาก (4)	ยอมรับได้ (4)	สูง (8)	ยอมรับไม่ได้ (12)	ยอมรับไม่ได้ (16)

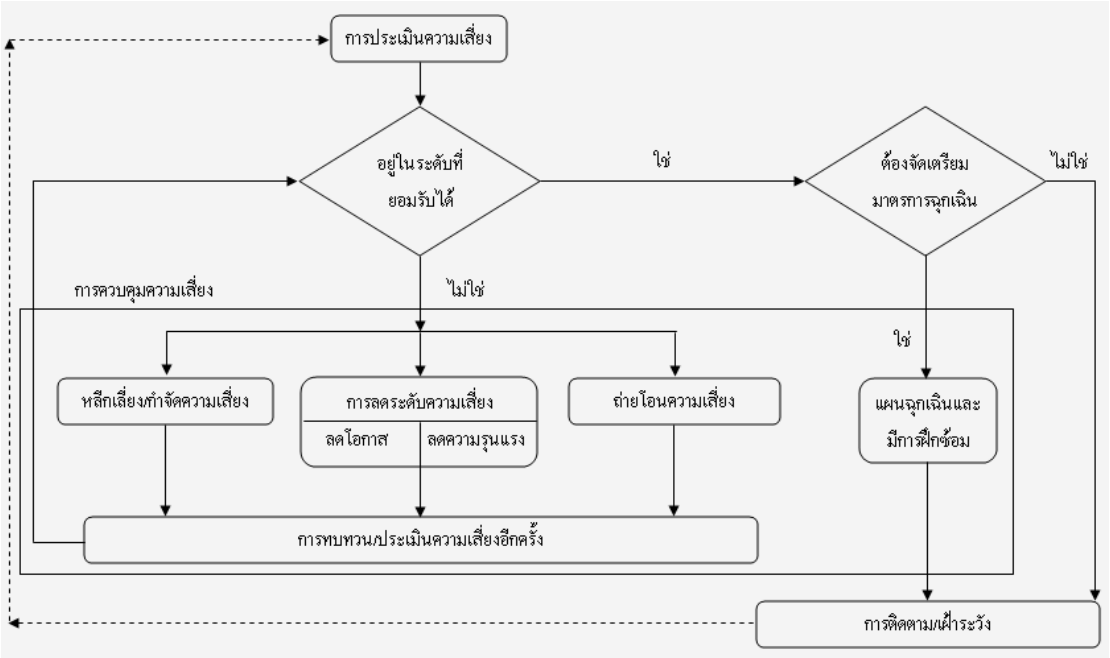
ที่มา: ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2543)

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อวิเคราะห์เหตุการณ์ใดๆ พบว่ามีโอกาสเกิดขึ้นในระดับใด และมีระดับความรุนแรงอยู่ในระดับใด ก็จะนำมาเปรียบเทียบกับตารางเพื่อประเมินความเสี่ยง ตัวอย่างเช่น ถ้าเหตุการณ์หนึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นปานกลาง (3) และมีระดับความรุนแรงสูงมาก (4) นำมาเข้า Matrix 3 x 4 = 12 ก็พบว่าจะมีระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการนำตารางที่ 1 และ 2 มาจัดทำเป็น Matrix จะได้ค่าระดับความเสี่ยงตามตารางที่ 10 ดังนี้

ค่า 1 – 2 จัดเป็นระดับความเสี่ยง เล็กน้อย
ค่า 3 – 6 จัดเป็นระดับความเสี่ยง ยอมรับได้
ค่า 8 – 9 จัดเป็นระดับความเสี่ยง สูง
ค่า 12 – 16 จัดเป็นระดับความเสี่ยง ยอมรับไม่ได้

6. การจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง (Risk management)

กระบวนการจัดการความเสี่ยงพิจารณาได้จากแผนภูมิด้านล่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่า เริ่มต้นจากการประเมินความเสี่ยงเพื่อวิเคราะห์ว่าความเสี่ยงนั้นๆ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ ถ้าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ก็จะพิจารณาต่อว่า ต้องมีการเตรียมมาตรการฉุกเฉิน เพื่อรองรับผลที่อาจเกิดจากความเสี่ยงนั้นหรือไม่ และเมื่อความเสี่ยงได้รับการควบคุมอยู่ในระดับที่ยอมรับได้แล้ว ก็จะต้องมีการติดตามดูแลและเฝ้าระวังอยู่เป็นประจำ หากพบว่ามีระดับความเสี่ยงสูง หรือยอมรับไม่ได้ ก็จะต้องมีมาตรการเพื่อป้องกันและควบคุมความเสี่ยงต่อไป



ภาพที่ 11 การจัดทำแผนงานการจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

ที่มา: คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (2550)

ในกรณีที่ความเสี่ยงจากการประเมินอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ ต้องทำการควบคุมความเสี่ยงด้วย 1 ใน 4 วิธี ซึ่งได้แก่ การหลีกเลี่ยงหรือกำจัดความเสี่ยง การลดระดับความเสี่ยง หรือการถ่ายโอนความเสี่ยง จนกว่าจะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสุดท้ายก็คือวิธีการคงความเสี่ยง

จากระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง ได้แบ่งระดับความเสี่ยงเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับความเสี่ยงเล็กน้อย ยอมรับได้สูง และยอมรับไม่ได้ ซึ่งในแต่ละระดับความเสี่ยง กำหนดให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน ดำเนินการจัดทำแผนงานเพื่อกำหนดมาตรการควบคุมความปลอดภัยที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการลดและควบคุมความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ ดังนี้

ตารางที่ 11 แผนที่ต้องดำเนินการสำหรับความเสี่ยงในแต่ละระดับ

ระดับความเสี่ยง	ความหมาย	การจัดทำแผนงานการควบคุมความเสี่ยง
1	ความเสี่ยงเล็กน้อย	ไม่ต้องทำแผน
2	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม	แผนงานควบคุมความเสี่ยง
3	ความเสี่ยงสูง ต้องมีการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยง	แผนงานลดความเสี่ยง แผนงานควบคุมความเสี่ยง
4	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการ และปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงลงทันที	แผนงานลดความเสี่ยง แผนงานควบคุมความเสี่ยง

ที่มา: คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (2550)

การทำให้การประเมินความเสี่ยงสอดคล้องกับความเป็นจริงอยู่เสมอ จะเกิดขึ้นเมื่อระบบและข้อมูลการประเมินความเสี่ยงในสถานประกอบกิจการได้รับการบำรุงรักษาและพัฒนา ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงาน ขั้นตอนการทำงานหรือกิจกรรมใหม่ๆ จะต้องได้รับการประเมินความเสี่ยงทั้งสิ้น หากพบว่ามีอันตรายในกิจกรรมใดก็ต้องมีการประเมินความเสี่ยง การที่จะได้ข้อมูลใหม่ๆ เพื่อการประเมินความเสี่ยงนั้น อาจได้จากกิจกรรม ดังต่อไปนี้ คือ การตรวจสอบเชิงป้องกัน การตรวจสอบความปลอดภัย การสำรวจอาชีวอนามัย การศึกษารายงานอุบัติเหตุและอุบัติการณ์ หรือเหตุการณ์ผิดปกติต่างๆ และการศึกษารายงานความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ

การจัดการความเสี่ยง เมื่อได้มีการจัดลำดับความเสี่ยงของกิจกรรมขององค์กรแล้ว สิ่งจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติการ คือ การจัดการความเสี่ยงเหล่านั้น โดยพิจารณาปัจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้ คือ นโยบายอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของบริษัทฯ กฎหมายหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง ความสูญเสียที่เกิดจากความเสี่ยงนั้น และทรัพยากรที่ต้องใช้ในการจัดการความเสี่ยง เช่น บุคลากร เทคโนโลยี และงบประมาณ หากพิจารณาแล้วว่าความเสี่ยงนั้นยอมรับได้ ก็ยังคงให้มีการบันทึกเป็นเอกสารและติดตามเป็นระยะ ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาแล้วว่าความเสี่ยงนั้นยอมรับไม่ได้ จำเป็นต้องนำมาตรการการจัดการความเสี่ยงมาใช้ ซึ่งมาตรการการจัดการความเสี่ยง มีดังต่อไปนี้

6.1 การหลีกเลี่ยงความเสี่ยงหรือการกำจัดความเสี่ยง (Risk Avoidance or Risk Elimination) คือ การลดระดับความเสี่ยงให้เหลือเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่ดำเนินกิจกรรมใดๆ ให้เกิดความเสี่ยงเลย หรือการเลือกดำเนินกิจกรรมอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยง อย่างไรก็ตาม สถานประกอบกิจการมักไม่เลือกใช้วิธีการหลีกเลี่ยงหรือการกำจัดความเสี่ยง เนื่องจากการยกเลิกการดำเนินกิจกรรมทางการผลิตใดๆ นั้น อาจก่อให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการแสวงหากำไรได้ ยกเว้นในกรณีที่ความเสี่ยงนั้นมีระดับที่สูงมาก และไม่สามารถควบคุมด้วยวิธีอื่นได้ นอกจากนี้ การหลีกเลี่ยงความเสี่ยงใดๆ ด้วยการเปลี่ยนไปทำอีกกิจกรรมหนึ่ง อาจพบว่าความเสี่ยงในกิจกรรมใหม่นั้นได้

6.2 การลดระดับความเสี่ยง (Risk Reduction) วิธีนี้เป็นวิธีที่สถานประกอบกิจการนิยมเลือกใช้เป็นลำดับแรก การลดระดับความเสี่ยงนั้นสามารถกระทำได้โดยการลดโอกาสที่จะเกิดความสูญเสีย (likelihood) หรือการลดผลกระทบจากความสูญเสีย (Consequence) อย่างไรก็ตาม การลดระดับความเสี่ยงไม่ใช่การกำจัดความเสี่ยงให้มีระดับเป็นศูนย์ ทำให้มีความเสี่ยงเหลืออยู่ ซึ่งต้องควบคุมให้เหลือในระดับที่ยอมรับได้

6.3 การถ่ายโอนความเสี่ยง (Risk Transfer) หมายถึง การที่สถานประกอบกิจการมีบุคคลหรือหน่วยงานเป็นผู้รับผิดชอบความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความเสี่ยงนั้นๆ ตัวอย่างของการถ่ายโอนความเสี่ยง คือ การทำประกันภัยต่างๆ รวมถึงการประกันอัคคีภัย หรือการเขียนสัญญารับเหมาช่วง เช่น ให้ผู้รับเหมาช่วงเป็นผู้รับผิดชอบ อย่างไรก็ตามสถานประกอบกิจการไม่สามารถถ่ายโอนความเสี่ยงทุกอย่างได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การประกันภัยไม่สามารถครอบคลุมความเสียหายทุกชนิด สถานประกอบกิจการจึงต้องตระหนักว่า แม้จะทำการถ่ายโอนความเสี่ยงใดๆ แล้ว ก็จะต้องมีการควบคุมความเสี่ยงอื่นที่หลงเหลือให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

6.4 การคงความเสี่ยง (Risk Retention) เป็นการควบคุมความเสี่ยงวิธีสุดท้าย กล่าวคือ หลังจากการกำจัดความเสี่ยงและการลดระดับความเสี่ยงแล้วนั้น ความเสี่ยงบางส่วนที่เหลืออาจถูกถ่ายโอนไปยังหน่วยงานอื่นที่รับผิดชอบ ดังนั้นความเสี่ยงที่เหลือสุดท้ายต้องมีการคงไว้ นั่นคือการยอมรับว่าอาจมีความสูญเสียเกิดขึ้นได้ และสถานประกอบกิจการได้มีการเตรียมการในการจัดการกับความสูญเสียนั้นให้มีความสูญเสียให้น้อยที่สุด เช่น การจัดทำและฝึกซ้อมแผนป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบกิจการ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

แบตเตอรี่ยี่ห้อ TUDOR รุ่น URO มี 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กที่ประกอบด้วย 12 เซลล์ และขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วย 24 เซลล์

วิธีการ

1. จัดตั้งคณะทำงานอันประกอบด้วย หัวหน้างาน ผู้ปฏิบัติงาน และวิศวกรซ่อมบำรุง

2. เก็บรวบรวมข้อมูลเอกสารรายละเอียดของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ แผนที่แสดงที่ตั้ง แผนผังขั้นตอนการผลิต จำนวนพนักงาน และข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี

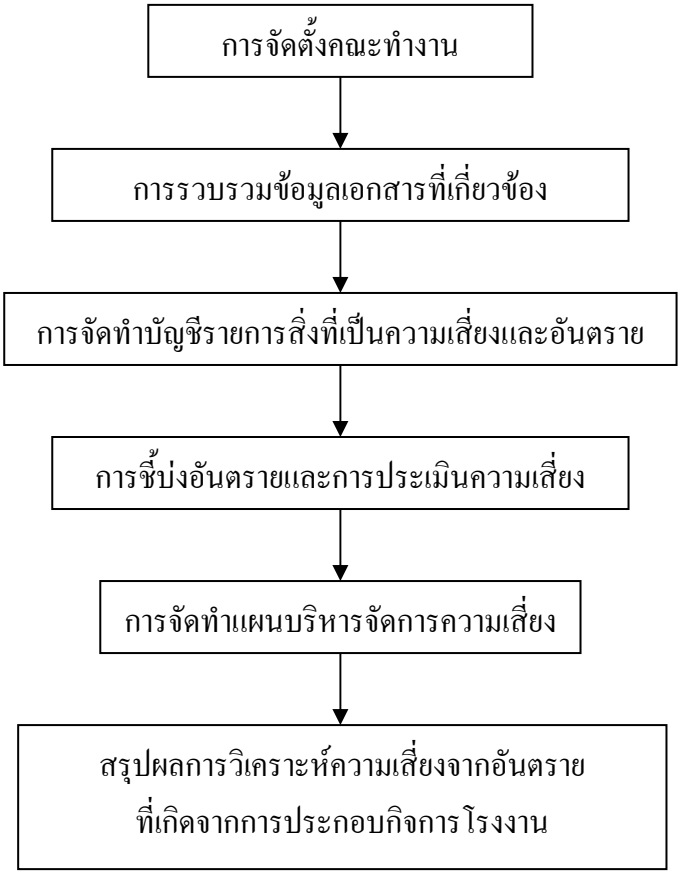
3. จัดทำบัญชีสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย ชี้บ่งอันตราย ประเมินความเสี่ยง จัดระดับความเสี่ยง และแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง บนพื้นฐานของกฎหมายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน และระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543

ผลและวิจารณ์

1. การประเมินความเสี่ยง

จากการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่สำหรับรถยกไฟฟ้าของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ ดังนั้นพบว่าวิธีการประเมินความเสี่ยงที่เหมาะสม คือ วิธี What If Analysis เพราะว่าเป็นวิธีการชี้บ่งอันตรายที่ใช้งานได้ง่ายและสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ทุกชนิดและกิจกรรมทุกประเภท แล้วยังสามารถใช้ได้กับทุกขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน และวิธี Fault Tree Analysis ซึ่งเป็นวิธีการชี้บ่งอันตรายที่ใช้เหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่เราสนใจหรือเป็นอันตรายที่ซับซ้อน เช่น ไฟไหม้ ระเบิด สารเคมีรั่วไหล สามารถที่จะทำให้พนักงานได้รับอันตรายมาเป็นจุดตั้งต้น (Top Event) ในการวิเคราะห์หาสาเหตุและมาตรการป้องกันและควบคุมที่มีอยู่ กรณีพบว่ามาตรการที่มีอยู่ไม่เพียงพอ ก็จะเสนอให้มีการกำหนดมาตรการป้องกัน ควบคุมเพิ่มเติมได้ ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงสามารถเขียนเป็นแผนผังดังแสดงในภาพที่ 12 โดยจะเริ่มต้นจากการจัดตั้งคณะทำงาน ซึ่งประกอบได้ด้วยผู้ซึ่งมีความรู้ความชำนาญในกระบวนการ ซึ่งประกอบไปด้วยหัวหน้างาน ผู้ปฏิบัติงาน และวิศวกรซ่อมบำรุง โดยผู้ทำการวิจัยได้ทำการฝึกอบรมเทคนิคและวิธีการประเมินความเสี่ยง จากนั้นคณะทำงานจะทำการรวบรวมข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนที่แสดงที่ตั้ง แผนผังรวมที่แสดงตำแหน่งที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง ขั้นตอนกระบวนการผลิตพร้อมแผนภูมิการผลิต จำนวนผู้ปฏิบัติงาน และรายงานการตรวจประเมินความปลอดภัย ข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี เป็นต้น แล้วจึงเริ่มจัดทำบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย เมื่อทำครบแล้วจะเริ่มทำการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงตามกฎหมายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) เรื่อง มาตรการและคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน และระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543 แล้วนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำแผนงานบริหารจัดความเสี่ยง สุดท้ายจัดทำผลสรุปการวิเคราะห์ความเสี่ยง

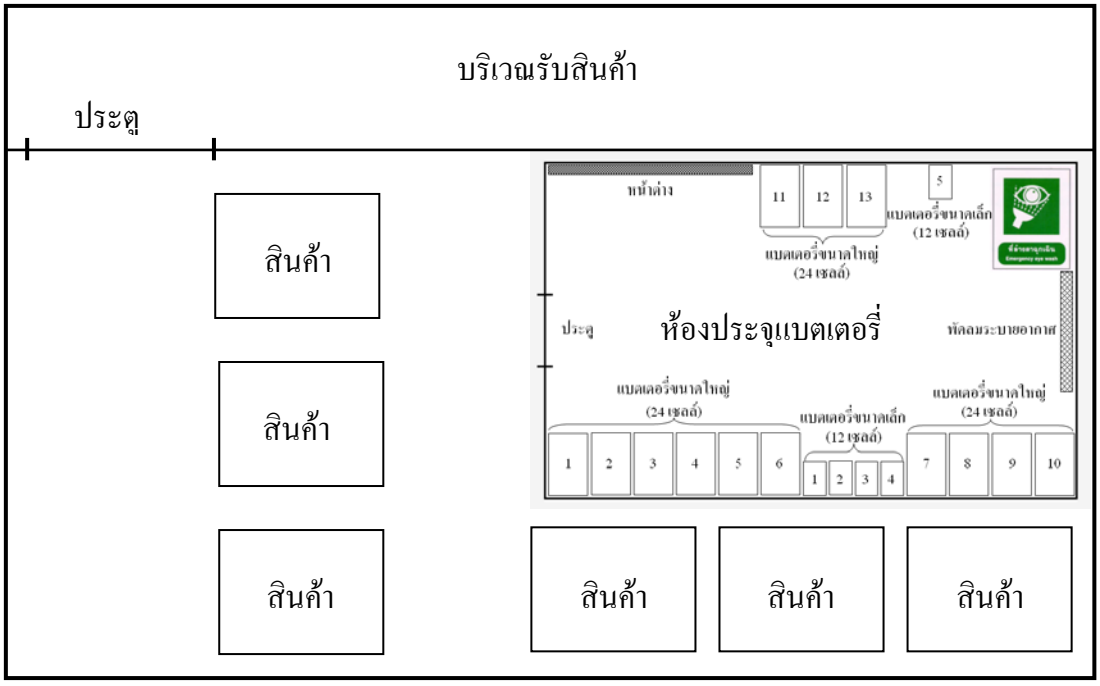
คณะทำงานประกอบด้วย หัวหน้างาน ผู้ปฏิบัติงาน วิศวกรซ่อมบำรุง และผู้ทำการวิจัย ซึ่งบุคคลเหล่านี้มีความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ ได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จัดทำบัญชีสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง และอื่นๆ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

1.1 บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย

เมื่อได้คณะทำงานที่มีประสบการณ์และเข้าใจในขั้นตอนและหลักการแล้ว จึงได้ดำเนินการตามขั้นตอนของงานวิจัยต่อไป คือ การจัดทำบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย โดยจะต้องนำรายการวัตถุดิบ เครื่องจักร กระบวนการผลิต พื้นที่ และกิจกรรมทุกประเภทที่เป็นการดำเนินการภายในห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 13 มาหาสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย ซึ่งผลที่ได้รับจะทำให้ทราบถึงอันตรายจากแหล่งต่างๆ ซึ่งจะประกอบได้ด้วยอันตรายตั้งแต่เล็กน้อย เช่น พนักงานได้รับบาดเจ็บเล็กน้อยจนกระทั่งอันตรายขนาดรุนแรงเป็น Major Hazard ได้แก่ อุบัติเหตุไฟไหม้ อุบัติเหตุระเบิด และการรั่วไหลของสารเคมี โดยการชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยงจะนำเอาสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายที่เป็น Major Hazard มาประเมินโดยวิธีประเมินความเสี่ยงตามที่กฎหมายกำหนด



ภาพที่ 13 แผนผังของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์

โดยจากการศึกษาพบว่าการดำเนินการในโรงงานมีทั้งสิ้น 8 กระบวนการ คือ (1) การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ (2) การประจุแบตเตอรี่ (3) การเติมน้ำกลั่น (4) การเตรียมแบตเตอรี่เพื่อใช้งาน (5) เครื่องประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ (6) ห้องประจุแบตเตอรี่ (7) งานจ่ายระบบไฟฟ้า และ (8) งานซ่อมบำรุง ดังแสดงในตารางที่ 12 และภาคผนวก ก ซึ่งแสดงบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ซึ่งข้อมูลในตารางผนวก ก นี้จะประกอบไปด้วย 3 คอลัมน์ ในแต่ละกระบวนการได้มีการพิจารณาถึงสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย รวมถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการด้วย ซึ่งได้มาจากการจัดทำและรวบรวมข้อมูลของคณะทำงาน

ตารางที่ 12 สรุปกระบวนการและวิธีการชี้บ่งอันตราย

กระบวนการ	วิธีการชี้บ่งอันตราย	หมายเลขตาราง ในภาคผนวกที่แสดงถึง ผลการชี้บ่งอันตรายและ การประเมินความเสี่ยง
1. การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ	What If Analysis	ข1
2. การประจุแบตเตอรี่	What If Analysis	ข2
2.1 การเกิดก๊าซไฮโดรเจนขณะประจุ	Fault Tree Analysis	
2.2 อุปกรณ์ไฟฟ้า	Fault Tree Analysis	
3. การเติมน้ำกลั่น	What If Analysis	ข3
4. การเตรียมแบตเตอรี่เพื่อใช้งาน	What If Analysis	ข4
5. เครื่องประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่	What If Analysis	ข5
6. ห้องประจุแบตเตอรี่	What If Analysis	ข6
7. งานจ่ายระบบไฟฟ้า	What If Analysis	ข7
7.1 หม้อแปลงไฟฟ้า	Fault Tree Analysis	
8. งานซ่อมบำรุง	What If Analysis	ข8

1.2 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

เมื่อได้จัดทำบัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตรายครบถ้วนแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือดำเนินการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง โดยเลือกวิธีชี้บ่งอันตรายที่เหมาะสมตามที่ระบุไว้ตามกฎหมาย วิธีการชี้บ่งอันตรายที่เลือกใช้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 12 โดยที่ผลของการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงได้แสดงไว้ในตารางผนวก ข1 – ข8

สำหรับกระบวนการที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 12 เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ ซึ่งมีกิจกรรมต่างๆ เช่น การใช้งานเกี่ยวกับสารเคมี การใช้งานรถยกไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนแบตเตอรี่ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้อาจเกิดความผิดพลาดของการปฏิบัติงานของพนักงาน หรือเครื่องมืออุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้หรือมาตรการการปฏิบัติงานยังไม่ดีพอ อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ จึงควรใช้วิธี What If Analysis ในการชี้บ่งอันตราย โดยผลของ

การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงแสดงในตารางที่ 13 ทั้งนี้ได้แสดงไว้รวมกับกระบวนการอื่นๆ ในภาคผนวกแล้ว (ข1 – ข8)

ตารางที่ 13 แสดงให้เห็นได้ว่าคำถาม What If จะมีทั้งสิ้น 3 คำถาม เมื่อตั้งคำถามแล้ว คณะทำงานจะพิจารณาหาคำตอบ ซึ่งก็คือ อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา, มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย รวมทั้งข้อเสนอแนะ จากนั้นคณะทำงานจะประเมินความเสี่ยง ซึ่งหมายถึง การประเมินโอกาสและความรุนแรง ซึ่งผลคูณของโอกาสและความรุนแรงนี้จะให้ระดับความเสี่ยงออกมา ตัวอย่างเช่น คำถาม What If ข้อที่ 1 “จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีและไม่มีการฝึกอบรมให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ” คำตอบที่ได้เป็นดังนี้ อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา คือ กรณีสารเคมีหกรั่วไหลก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่มีผลเฉียบพลันและเรื้อรัง มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย คือ มีแผนควบคุมภาวะฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล และคณะกรรมการได้เสนอว่าควรจัดเตรียม MSDS และฝึกอบรมให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ ส่วนในการประเมินความเสี่ยงนั้น เนื่องจากเหตุการณ์นี้มีความถี่ในการเกิดน้อย เช่น 1 ครั้ง ในช่วง 5 – 10 ปี ซึ่งตารางที่ 8 ได้ระบุว่าระดับโอกาสมีค่าเป็นระดับ 2 และเนื่องจากถ้าเหตุการณ์นี้เกิดขึ้น เช่น เกิดการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนอาจทำให้มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน ทรัพย์สิน ชุมชน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งตารางที่ 9 ได้ระบุว่าความรุนแรงมีค่าเป็นระดับ 4 ผลคูณของโอกาสและความรุนแรงจึงมีค่าเป็น 2 x 4 = 8 ซึ่งเป็นระดับความเสี่ยงสูง (8) ดังระบุในตารางที่ 10 ดังนั้นสำหรับกระบวนการอื่นๆ ก็ได้แสดงไว้ที่ตารางผนวก ข1 – ข8 และสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

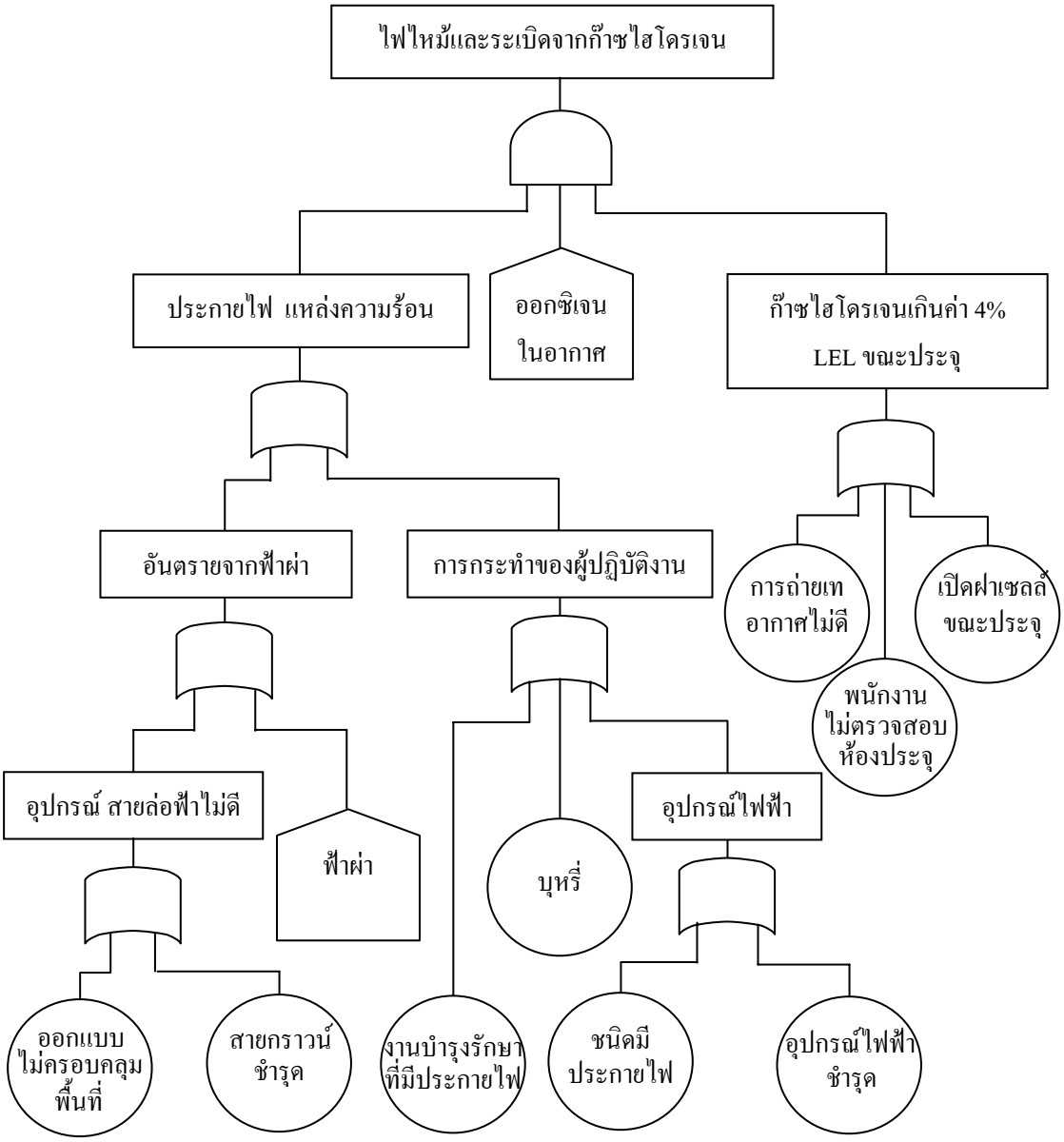
ตารางที่ 13 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงสำหรับกระบวนการนำแบตเตอรี่เข้าประจุ ด้วยวิธี What If Analysis

คำถาม What If	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี และไม่มีการฝึกอบรมให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ	- กรณีหกรั่วไหลก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่มีผลเฉียบพลันและเรื้อรัง	- มีแผนควบคุมภาวะฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล	- จัดเตรียม MSDS และฝึกอบรมผู้เกี่ยวข้อง	2	4	8	3
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีการจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลประเภท แว่นตานิรภัย หน้ากากกรองสารเคมี และถุงมือ	- อันตรายต่อสุขภาพ กรณีสัมผัสกับสารเคมี	-	- จัดเตรียมและใช้งาน PPE ได้แก่ แว่นตานิรภัย หน้ากากกรองสารเคมี และถุงมือขณะปฏิบัติงาน	2	3	6	2
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่ได้จัดทำคันกั้นรอบห้องประจุแบตเตอรี่	- กรณีน้ำท่วมอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย - กรณีเกิดเพลิงไหม้น้ำเสียจากการเก็บเพลิงจะไหลออกสู่ภายนอกเกิดการปนเปื้อนได้	-	- จัดทำคันกั้นรอบห้องประจุแบตเตอรี่ - ตรวจสอบไม่ให้มีสารไวไฟหรือเชื้อเพลิงอยู่ใกล้เคียงกับห้องประจุแบตเตอรี่	2	4	8	3

สำหรับกระบวนการที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 12 นั้นเป็นกระบวนการประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากเป็นกระบวนการซึ่งมีกิจกรรมที่พนักงานคุ้นเคยจึงเป็นการง่ายต่อการตั้งคำถาม ดังนั้น จึงเลือกใช้วิธี What If Analysis และจากคำถาม What If พบว่ามี 2 กิจกรรมที่สามารถทำให้เกิดเหตุการณ์อันตรายร้ายแรงได้ คือ เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้และการระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจนและเกิดอุบัติเหตุอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าระเบิด จึงเลือกใช้วิธี Fault Tree Analysis เพื่อที่จะให้สามารถหาสาเหตุของอันตรายที่แท้จริงเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มาหามาตรการในการควบคุมและป้องกันต่อไป

ภาพที่ 14 แสดงการวิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis สำหรับกิจกรรมการเกิดก๊าซไฮโดรเจนขณะประจุโดยอธิบายได้ว่าอันตรายที่จะเกิดได้ถ้ามีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นคือการเกิดไฟไหม้และระเบิดโดยสาเหตุของเหตุการณ์นี้เกิดจากการมีสถานการณ์ 3 อย่างต่อไปนี้พร้อมกัน (ดังนั้นจึงใช้ And Gate) คือ (1) ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นขณะประจุสูงเกิน 4% (2) มีปริมาณก๊าซออกซิเจนในห้องประจุเหมาะสม และ (3) เกิดประกายไฟหรือแหล่งความร้อน จากนั้นได้วิเคราะห์ต่อไปถึงสาเหตุที่จะทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนสูงเกิน 4% นั่นคือ การถ่ายเทอากาศที่ไม่ดี หรือพนักงานที่ได้รับมอบหมายไม่ตรวจสอบห้องประจุ หรือเปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่ขณะประจุ (ใช้ Or Gate) นอกจากนี้ในการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ก่อให้เกิดประกายไฟหรือความร้อนบริเวณห้องประจุพบว่ามีสาเหตุมาจากอันตรายจากฟ้าผ่า หรือการกระทำของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งในเหตุการณ์อันตรายจากฟ้าผ่าก็มีความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ คือ อุปกรณ์สายล่อฟ้าไม่ดีซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการออกแบบไม่ครอบคลุมพื้นที่หรือสายกราวน์ชำรุด ส่วนเหตุการณ์การกระทำของผู้ปฏิบัติงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟหรือแหล่งกำเนิดความร้อนนั้นมีความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ คือ มีงานซ่อมบำรุงที่มีประกายไฟ หรือมีการสูบบุหรี่ของพนักงาน หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นชนิดมีประกายไฟหรือเกิดการชำรุดจากเหตุการณ์ดังกล่าวถ้าเกิดเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งก็สามารถทำให้เกิดประกายไฟได้ สำหรับกิจกรรมอื่นๆ ก็ได้วิเคราะห์ในลักษณะที่คล้ายกันนี้ ส่วนในการประเมินความเสี่ยงนั้นเนื่องจากเหตุการณ์นี้มีความถี่ในการเกิดปานกลาง เช่น เกิดขึ้น 1 ครั้ง ในช่วง 1 – 5 ปี ระดับโอกาสจึงมีค่าเป็นระดับ 3 ดังระบุไว้ในตารางที่ 8 และเนื่องจากถ้าเหตุการณ์นี้เกิดขึ้น เช่น เกิดการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนอาจทำให้มีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน ทรัพย์สิน ชุมชน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งความรุนแรงจึงมีค่าเป็นระดับ 4 ดังระบุไว้ในตารางที่ 9 ผลคูณของโอกาสและความรุนแรงมีค่า 3 x 4 = 12 ซึ่งเป็นระดับความเสี่ยงยอมรับไม่ได้ ดังระบุไว้ในตารางที่ 10 สำหรับเหตุการณ์การเกิด

อุบัติเหตุอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าระเบิดสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน สำหรับกระบวนการอื่นๆ ก็ได้แสดงไว้ที่ตารางผนวก ข



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุการเกิดไฟไหม้และการระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธี Fault Tree Analysis

ตารางที่ 14 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง สำหรับกระบวนการประจุแบตเตอรี่ ด้วยวิธี Fault Tree Analysis
สถานการณ์จำลองของเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง เกิดไฟไหม้และระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจน

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. การถ่ายเทอากาศไม่ดีเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL ขณะประจุเจอประกายไฟจากฟ้าผ่าเนื่องจากสายกราวน์ชำรุด	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บและอุปกรณ์เสียหาย	- บำรุงรักษาเชิงป้องกัน	-	1	4	4	2
2. เปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่และการถ่ายเทอากาศไม่ดีเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกิน 4% LEL ขณะประจุและมีงานบำรุงรักษาที่มีประกายไฟ พนักงานสูบบุหรี่	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บ และอุปกรณ์เสียหาย	- กำหนดป้ายห้ามสูบบุหรี่หรือทำให้เกิดประกายไฟ - กำหนดระเบียบปฏิบัติงานการขออนุญาตเข้าทำงานประเภทที่มีประกายไฟ	-	3	4	12	4
3. พนักงานไม่ตรวจสอบห้องขณะประจุเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL และอุปกรณ์ไฟฟ้ามีประกายไฟ	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บ และอุปกรณ์เสียหาย	- มีการตรวจสอบห้องประจุแบตเตอรี่เป็นระยะๆ	-	1	4	4	2

1.3 ทะเบียนความเสี่ยงและแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

ทะเบียนความเสี่ยงและแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงของทั้ง 8 กระบวนการได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค โดยแยกตามระดับความเสี่ยง โดยในตารางนี้จะแสดงถึงสถานการณ์หรือความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้นได้รวมทั้งความเสี่ยงและแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงที่ควรจะเป็นและสามารถสรุปโดยย่อได้ดังตารางที่ 15

จากตารางที่ 15 พบว่าจากทั้ง 8 กระบวนการนั้น กระบวนการที่ 2 คือการประจุแบตเตอรี่มีช่วงระดับความเสี่ยงเป็น 2 – 4 โดยมีหนึ่งกิจกรรมที่มีระดับความเสี่ยงเป็น 4 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับไม่ได้ คือ การเกิดก๊าซไฮโดรเจนขณะประจุ ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาต่อในเรื่องความรุนแรงของการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนถ้าเกิดเหตุการณ์นี้จริง

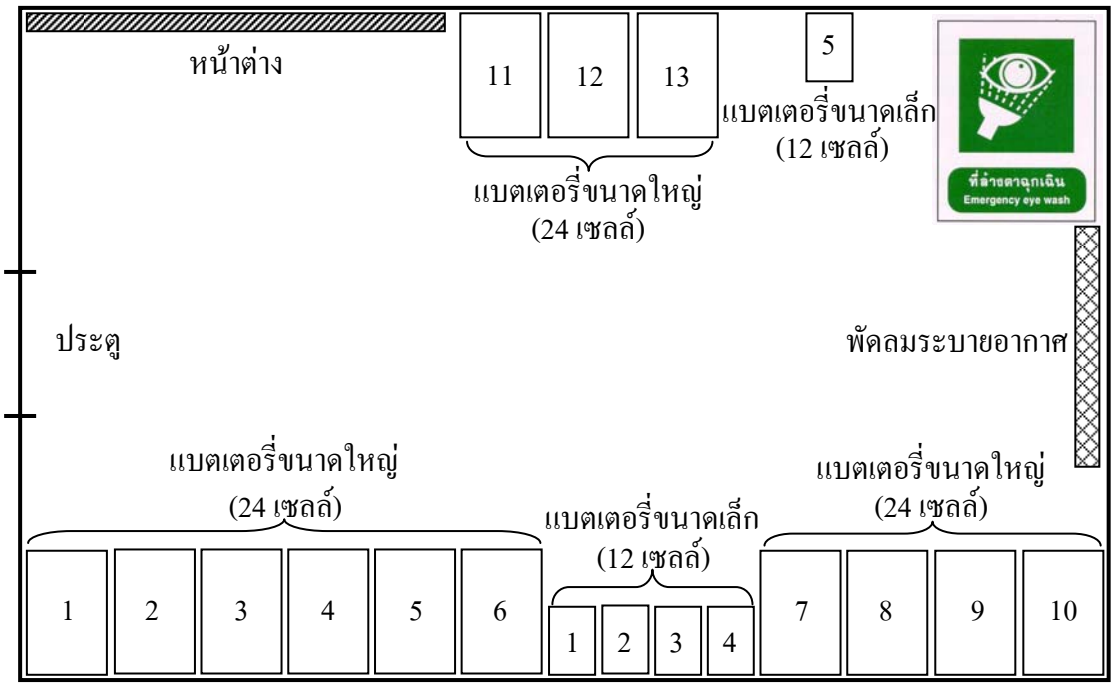
ตารางที่ 15 ทะเบียนความเสี่ยง

กระบวนการ	จำนวนกิจกรรม	ช่วงระดับความเสี่ยง
1. การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ	18	2 – 3
2. การประจุแบตเตอรี่	8	2 – 4
3. การเติมน้ำกลั่น	2	2
4. การเตรียมแบตเตอรี่เพื่อใช้งาน	1	2
5. เครื่องประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่	2	2
6. ห้องประจุแบตเตอรี่	5	1 – 2
7. งานจ่ายระบบไฟฟ้า	4	2
8. งานซ่อมบำรุง	2	2

1.3.1 การประเมินความรุนแรงของการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจน

จากผลการประเมินความเสี่ยงนั้นพบว่าการเกิดไฟไหม้และระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนจัดเป็นระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ (ระดับ 4) ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาต่อในเรื่องความรุนแรงของการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนถ้าเกิดเหตุการณ์ขึ้นจริง จากสมการการคำนวณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างการประจุแบตเตอรี่ โดยในห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ตามภาพที่ 15

นั้นจะมีเครื่องประจุไฟฟ้าสำหรับประจุแบตเตอรี่อยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (12 เซลล์) จำนวน 5 ลูก และขนาดใหญ่ (24 เซลล์) จำนวน 13 ลูก สำหรับห้องนี้มีความกว้าง 19.68 ฟุต ความยาว 39.36 ฟุต และความสูง 19.68 ฟุต จะมีปริมาตรอากาศภายในห้องเท่ากับ 15,244.22 ลูกบาศก์ฟุต



ภาพที่ 15 แผนผังห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ในคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์

1.3.1.1 อัตราการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างประจุ

จากข้อมูลของผู้ผลิต (BT Midland Thailand, 2007) พบว่าแบตเตอรี่จะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างการประจุเป็นเรื่องปกติอยู่แล้ว โดยผู้ผลิตได้รายงานว่าการรั่วไหลจะเกิดขึ้นประมาณ 0.01474 ft^3/เซลล์ ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (25^{o}C, 1 atm) โดยปริมาณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างประจุ (H) ของแบตเตอรี่ 1 ลูก สามารถหาได้จากสมการของผู้ผลิตดังนี้

$$H\ (ft^3/battery) = C \times \frac{O}{100} \times G \times A \qquad (16)$$

โดยที่ C = จำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่ 1 ลูก (เซลล์)

O = เปอร์เซ็นการประจุเกินระหว่างการประจุโดยประมาณ (ไม่มีหน่วย) = 20%

G = ปริมาตรก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกโดยหนึ่งแอมแปร์ชั่วโมงการประจุ (ft^3/เซลล์) = 0.01474 ft^3/เซลล์

A = ค่าความจุของแบตเตอรี่ภายใน 6 ชั่วโมง (แอมแปร์-ชั่วโมง)
= 450 แอมแปร์-ชั่วโมง ตามมาตรฐานแบตเตอรี่ (BT Midland Thailand, 2007)

เมื่อทำการคำนวณตามพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ค่าการปริมาณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนทั้งหมดเป็นดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนจากแบตเตอรี่

ชนิดของแบตเตอรี่	ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมา (ft^3)
ขนาดเล็ก (12 เซลล์) จำนวน 5 ลูก	79.60
ขนาดใหญ่ (24 เซลล์) จำนวน 13 ลูก	413.90
รวมการปล่อยปริมาณก๊าซไฮโดรเจนทั้งหมด	493.50

จากตารางที่ 16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมาทั้งหมดจากการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 18 ลูก จำนวน 1 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 493.50 ft^3 หรือเท่ากับ 1.44 kg (ใช้ความหนาแน่นของก๊าซไฮโดรเจนที่ 25°C คือ 0.08342 kg/m^3)

ดังนั้นถ้าไม่มีการระบายอากาศหรือระบบไม่ทำงาน ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากการประจุแบตเตอรี่ 18 ลูก จำนวน 1 ครั้ง (ปริมาตรอากาศภายในห้องเท่ากับปริมาตรของห้องประจุซึ่งเท่ากับ 15,244.22 ft^3) ในห้องนี้มีค่าเป็น

$$\frac{493.5\ ft^3}{15{,}244.22\ ft^3} \times 100 = 3.24\ \%$$

เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์แบตเตอรี่ที่ใช้จะมีจำนวน 2 ชุดๆ ละ 18 ลูก เพื่อให้สามารถใช้งานรถยกไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ถ้าสมมติว่าขณะที่มีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ในห้องนี้ การระบายอากาศเกิดขึ้นน้อย จะได้ว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจน

ที่เกิดจากการประจุ 2 ครั้งติดต่อกันมีค่าสูงถึง 493.50 x 2 = 987.00 ft^3 หรือความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนที่สะสมในห้องนี้มีค่าเป็น 6.48% ซึ่งสูงกว่าค่า LEL ที่ระบุเพียง 4% (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2550) ดังนั้นจะเห็นว่าการระบายอากาศมีความจำเป็นอย่างมาก จากที่กล่าวเบื้องต้น เนื่องจากมีการเดินเข้า-ออกของพนักงานเพื่อเปลี่ยนชุดแบตเตอรี่ที่ห้องประจุทุกๆ 8 ชั่วโมง จึงสามารถกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนในห้องนี้มีโอกาสที่จะมีค่าเท่ากับ 4% หรือมากกว่าได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งคำนวณอย่างหยาบเกี่ยวกับแรงดันที่จะเกิดจากการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนที่ความเข้มข้น 4% นี้ เพื่อย้ำถึงความจำเป็นของการระบายอากาศ

1.3.1.2 การประเมินปริมาณเทียบเท่ากับการระเบิดของ TNT

การประเมินแรงดันที่เกิดจากการระเบิดก๊าซไฮโดรเจนในบริเวณห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ สามารถคำนวณโดยเปรียบเทียบกับมวลของ TNT (TNT Equivalence) แล้วจึงนำไปหาแรงดันที่ระยะห่างจากจุดเกิดเหตุต่างๆ

ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณตามสมการ (13) ประกอบด้วย

$\eta = 0.02$

$m = 1.44\ kg$

$\Delta H = 237.4\ kJ/mol$

$E_{TNT} = 4{,}686\ kJ/kg$

ดังนั้นจะได้ $$m_{TNT} = \frac{(0.02)(1.44\ kg)\left(\frac{1\ mol}{0.002\ kg}\right)\left(237.4\ \frac{kJ}{mol}\right)}{\left(4{,}686\ \frac{kJ}{kg}\right)} = 0.73\ kg$$

เนื่องจากแรงดันที่เกิดจากการระเบิดไม่สามารถหาได้จากจุดที่ระเบิด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้คำนวณแรงดันการระเบิดที่ระยะ 1 เมตร (r = 1) โดยการคำนวณจะเริ่มต้นจากการหาค่า Z_e (Scaled distance) ที่ระยะ 1 เมตร ตามสมการที่ (10) ดังนั้นจะได้ว่า

$$Z_e = \frac{1\ m}{(0.73\ kg_{TNT})^{1/3}} = 1.11\ m/kg^{1/3}$$

จากภาพที่ 9 ได้ P_s (Scaled overpressure) มีค่าเป็น 15 และ P_o (Overpressure) หรือแรงดันที่เกิดจากการระเบิดหาได้จากผลคูณของ P_s และความดันบรรยากาศ (สมการที่ 11) ดังนั้นจะได้ว่าแรงดันที่เกิดจากการระเบิดมีค่าเป็น 15 x 14.4 = 216 psig

ตารางที่ 2 ได้ระบุว่าที่แรงดันนี้ตึกโดนทำลายทั้งหมด อุปกรณ์เครื่องจักรหนัก (7,000 lb) เคลื่อนและเสียหายอย่างมาก อุปกรณ์เครื่องจักรขนาดหนักมาก (12,000 lb) ยังสามารถใช้งานได้

1.3.1.3 การประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

พนักงานที่ปฏิบัติงาน อาคารคลังสินค้า บ้านเรือนราษฎร และสิ่งปลูกสร้างข้างเคียง อาจได้รับความเสียหายได้ซึ่งสามารถประเมินค่าโอกาสของเหตุจากสมการที่ 15 โดยเลือกประเภทของอุบัติเหตุหรือความเสียหายจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ P_o (Overpressure) จากตารางที่ 3 ซึ่งได้แก่ เสียชีวิตจากจุดเลือดออกในปอด แก้วหูทะลุ โครงสร้างเสียหาย และกระจกแตก ผลการประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นดังตารางที่ 17 โอกาสของเหตุการณ์ (P) สามารถหาได้จากตารางที่ 4 โดยค่าคงที่ k_1, k_2 สามารถหาได้จากตารางที่ 3 (รายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก จ) จากการคำนวณพบว่าที่ระยะ 1 เมตรนี้ อุบัติเหตุทั้งสี่นั้นมีโอกาสเกิน 100% ที่จะเกิด

ตารางที่ 17 แสดงผลการประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่ระยะ 1 เมตร โดยใช้ Probit Analysis

อุบัติเหตุหรือความเสียหาย	k_1	k_2	V	Y	P (%)
เสียชีวิตจากจุดเลือดออกในปอด	-77.1	6.91	1,448,857.14	20.95	> 100
แก้วหูทะลุ	-15.6	1.93	1,448,857.14	11.79	> 100
โครงสร้างเสียหาย	-23.8	2.92	1,448,857.14	17.64	> 100
กระจกแตก	-18.1	2.79	1,448,857.14	21.49	> 100

หมายเหตุ k_1, k_2 = Probit พารามิเตอร์

V = ตัวแปรของสาเหตุการเกิดของเหตุการณ์

Y = ค่าโอกาสของเหตุการณ์

P = โอกาสของเหตุการณ์ (%)

1.4 แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

การจัดทำแผนงานลดความเสี่ยงและแผนงานควบคุมความเสี่ยง โดยจากระดับความเสี่ยงที่กำหนดไว้ 4 ระดับ มีเพียงสามระดับที่กฎหมายกำหนดไว้ที่ต้องการให้สถานประกอบการเข้าไปดำเนินการควบคุมความเสี่ยงหรือลดระดับความเสี่ยงลง ระดับความเสี่ยงเหล่านี้ ได้แก่ ระดับความเสี่ยงยอมรับได้ (ระดับ 2) ต้องมีทบทวนมาตรการการควบคุมและจัดทำแผนควบคุมความเสี่ยง ส่วนระดับความเสี่ยงสูง (ระดับ 3) และระดับความเสี่ยงยอมรับไม่ได้ (ระดับ 4) ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุมและลดความเสี่ยง โดยจะต้องจัดทำแผนงานควบคุมความเสี่ยงและแผนงานลดความเสี่ยง สำหรับระดับความเสี่ยงเล็กน้อย (ระดับ 1) ถึงแม้ว่ากฎหมายจะไม่ได้กำหนดให้มีการดำเนินการแต่อย่างใด แต่ก็แนะนำว่ามีความเสี่ยงเล็กน้อยที่เกิดจากการที่มาตรการความปลอดภัยต่างๆ เข้าไปควบคุมดูแลแล้วทำให้ค่าความเสี่ยงนั้นลดลง สิ่งสำคัญที่ควรทำคือแผนควบคุมความเสี่ยงเพื่อให้มั่นใจว่ามาตรการทั้งหลายจะได้รับการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ซึ่งมีรายละเอียดดังที่ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษานี้พบว่ากระบวนการและกิจกรรมที่เกิดขึ้นที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงมีทั้งหมด 8 กระบวนการ โดยพบว่ากระบวนการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่เป็นกระบวนการเดียวที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูงสุด คือ ระดับ 4 โดยในกระบวนการนี้มีกิจกรรมที่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสุดก็เกิดมาจากการเกิดก๊าซไฮโดรเจนขณะประจุ ซึ่งถ้ามีเหตุการณ์รุนแรงเกิดขึ้นคือการระบายอากาศที่ไม่ดีตลอดระยะเวลาการประจุ โดยจะทำให้เกิดการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนได้มากกว่า 4% และเมื่อมีประกายไฟในบริเวณห้องประจุจะก่อให้เกิดการระเบิดได้ จากการคำนวณการระเบิด ซึ่งผลพบว่าที่ระยะที่ 1 เมตร จากจุดที่เกิดเหตุจะมีแรงดันขนาด 216 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งเป็นระยะที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่แรงดันจะส่งผลให้เสียชีวิตซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดจุดเลือดภายในปอดและแก้วหูทะลุ และแรงดันจะก่อให้เกิดโครงสร้างอาคารเสียหายและกระจกแตกร้าวอย่างสมบูรณ์

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาได้พบข้อบกพร่องในหลายๆ กรณี ซึ่งมีผลทำให้การศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในบางประการ ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าวน่าจะมีประโยชน์ต่อผู้ที่จะทำการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตดังนี้

1. ขาดข้อมูลการบันทึกและสถิติการเกิดอุบัติเหตุเล็กๆ น้อยๆ ที่เกิดจากกิจกรรมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้าทำให้ขาดข้อมูลเพื่อทวนสอบกับผลการประเมินที่ได้ดำเนินการศึกษาในครั้งนี้

2. การเพิ่มมาตรการเกี่ยวกับข้อกำหนดในการจัดทำสถานที่ประจุแบตเตอรี่ไฟฟ้ารถยกไฟฟ้าที่ใช้ในคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ ซึ่งเมื่อดูจากการศึกษาการระเบิดของก๊าซไฮโดรเจนจะพบว่ารัศมีในการระเบิดส่งผลกระทบต่อพื้นที่ในรัศมีกว้าง ดังนั้นในการจัดทำข้อกำหนดต้องพิจารณาถึงผลกระทบดังกล่าวด้วย ได้แก่

2.1 ลักษณะของห้องประจุแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้าที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าจุดวาบไฟของก๊าซ มีการระบายอากาศที่ดี เพื่อป้องกันการสะสมความร้อนของก๊าซ และมีการจัดตั้งในสถานที่ที่มีระยะห่างจากแหล่งสะสมความร้อน แหล่งที่ก่อให้เกิดประกายไฟ และบริเวณพื้นที่เขตชุมชน

2.2 ปริมาณของการจัดเก็บแบตเตอรี่ที่กำลังประจุและรอการใช้งาน ซึ่งมีผลต่อการเกิดเหตุระเบิดและโอกาสที่จะเกิดเหตุได้ เนื่องจากมีการจัดเก็บในปริมาณมาก หรือในกรณีที่ต้องจัดเก็บในปริมาณมากควรแบ่งจัดเก็บเป็นส่วนๆ

3. การออกแบบสถานการณ์ หรือจำลองเหตุการณ์เกิดเหตุ เพื่อจัดแนวทางในการอพยพ ซึ่งจากการศึกษาจะพบว่า กรณีที่เกิดการระเบิดจะส่งผลกระทบรุนแรง ดังนั้นการป้องกันไม่ให้เกิดปัจจัยเสี่ยงต่อการระเบิดจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จึงควรมีการกำหนดแนวทางในการอพยพผู้คนในบริเวณใกล้เคียง

4. จัดทำมาตรการเฝ้าระวังในสถานที่จัดเก็บ เช่น การตรวจเช็คอุณหภูมิทุกวัน หรือการเพิ่มการระบายความร้อนในช่วงหน้าร้อน เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. 2550. **คู่มือฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ.** สวัสดิการกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, กรุงเทพฯ.

ชัยวัฒน์ เจนวานิช. 2536. **หลักเคมี 2.** โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน

ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543

ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. 2550. **เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์**. แหล่งที่มา: http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=594

Battery Council International. 2007. **All about Lead-Acid Batteries.** Available Source: http://www.batterycouncil.org/batteries.html, January 22, 2005

BT Midland Thailand. 2007. **Products BT Trucks.** Available Source: http://www.bt-midland.com/p_btframe.html, January 22, 2005

Daniel A. Crowl and F.L. Joseph. 2001. **Chemical Process Safety Second Edition.** Prentice Hall PTR Prentice Hall Inc, New York.

Logistics Digest. 2007. **เครื่องมือทันสมัยช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงาน.** Available Source: http://www.logisticsdigest.com/index.php?option=com_content&task=view&id=407&Itemid=30, January 22, 2005

Occupational Safety & Health Administration. 2007. Battery Charging and Changing. **Regulation (Standard-29 CFR).** Available Source: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10421, January 22, 2005

Power Stream Technology. 2007. **Chemical Changes in the Battery**. Available Source: http://www.powerstream.com/1922/battery_1922_WITTE/batteryfiles/chapter04.htm, January 22, 2005

Sacramento Fire Department. 2007. **Battery Explosion.** Available Source: http://www.detrick.army.mil/bulletin/safety/work/batteryexplosion.cfm?select=safety, January 22, 2005

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย

ตารางผนวกที่ ก1 บัญชีรายการสิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย

การดำเนินงานในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
1. การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ	- รถไฟฟ้า/รถเข็นเฉี่ยวชน	- เฉี่ยวชน/กระแทกทำให้พนักงานบาดเจ็บ - ทรัพย์สินเสียหาย	- ฝึกอบรมพนักงานเรื่องการขนย้ายและการใช้เครื่องมือ
	- พนักงานผู้ไม่มีใบอนุญาตขับขี่ไปทดลองขับรถยกไฟฟ้า	- เฉี่ยวชน/กระแทกทำให้แบตเตอรี่เสียหาย หรือเกิดการรั่วไหลของสารละลายกรดซัลฟูริกทำให้เกิดการกัดกร่อนหรือเกิดเพลิงไหม้	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า/รถเข็นอย่างปลอดภัย - มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล - มีป้ายเตือนอันตราย
	- ไม่มีเส้นทางขับรถยกไฟฟ้าที่แน่นอน		- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า/รถเข็นอย่างปลอดภัย
	- ระบบไฮโดรลิคของรถยกไฟฟ้ารั่ว	- ทรัพย์สินเสียหาย เช่น พาเลท กล่องยา ที่วางบริเวณใกล้เส้นทาง - รถยกไฟฟ้าชำรุด	- การตรวจสอบ/การบำรุงรักษา
	- อุบัติเหตุแบตเตอรี่หนีบ/ทับนิ้ว	- พื้นลื่นทำให้พนักงานหกล้ม - พนักงานได้รับบาดเจ็บ	- มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล - มีป้ายเตือนอันตราย
	- แบตเตอรี่	- รถยกไฟฟ้าเฉี่ยวชนแบตเตอรี่บริเวณจุดขนถ่ายทำให้แบตเตอรี่ชำรุดเสียหายและสารละลายกรดรั่วไหล - ไอสารละลายกรดซัลฟูริกฟุ้งกระจายเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ - ทรัพย์สินเสียหาย (แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ) - เกิดประกายไฟ	- กำหนดให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันในเขตพื้นที่อันตราย - มีแผนควบคุมภาวะฉุกเฉิน - การตรวจสอบและบันทึกผล - มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล - มีป้ายเตือนอันตราย - การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

การดำเนินงานในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
2. การประจุแบตเตอรี่	- การรั่วไหลของสารละลายกรดซัลฟูริกเนื่องจากแบตเตอรี่ชำรุด	- ไอสารละลายกรดซัลฟูริกฟุ้งกระจายเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ - ทรัพย์สินเสียหาย - ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม	- มีเอกสารวิธีปฏิบัติงานกรณีสารเคมีรั่วไหล - มีการควบคุมการปฏิบัติงาน โดย จป. วิชาชีพ และหัวหน้างาน
	- การรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนขณะประจุแบตเตอรี่	- กรณีมีประกายไฟทำให้เกิดไฟไหม้และการระเบิด - อุบัติเหตุพนักงานบาดเจ็บ/เสียชีวิต - สูญเสียทรัพย์สินและอุปกรณ์ - ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม	- มีเอกสารวิธีการปฏิบัติกรณีสารเคมีรั่วไหล - มีการควบคุมการปฏิบัติงานโดย จป.วิชาชีพ และหัวหน้างาน - การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 2 และ Fault Tree Analysis 1
	- การเสียดสีของแบตเตอรี่กับอุปกรณ์ทำให้เกิดประกายไฟ	- หากมีการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนอาจเกิดไฟไหม้/ระเบิดเป็นอันตรายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และชุมชน	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงโดย What If Analysis 2
	- แบตเตอรี่มีสภาพที่ชำรุด มีสนิมกัดกร่อน	- หากมีการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนอาจเกิดไฟไหม้/ระเบิดเป็นอันตรายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และชุมชน	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงโดย What If Analysis 2
	- ฟ้าผ่า	- เกิดอันตรายจากฟ้าผ่าเนื่องจากระบบล่อฟ้าชำรุดหรือใช้งานไม่ได้อาจทำให้เกิดไฟไหม้และการระเบิดทรัพย์สินเสียหาย	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงโดย What If Analysis 2

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

การดำเนินงานในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
2. การประจุแบตเตอรี่ (ต่อ)	- ไฟฟ้าสถิต	- เกิดไฟฟ้าสถิตขณะประจุแบตเตอรี่	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงโดย What If Analysis 2
	- อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชำรุดหรือไม่ป้องกันประกายไฟ	- หากมีการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนจะทำให้เกิดไฟไหม้หรือระเบิด	- การชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 2 และ Fault Tree Analysis 2
3. การเติมน้ำกลั่น	- ไอระเหยของสารละลายกรดซัลฟูริก	- พนักงานมีอาการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ	- มีวิธีการปฏิบัติงานควบคุมการจัดเก็บสารเคมี
	- สารละลายกรดซัลฟูริกหกรั่วไหล	- พนักงานมีได้รับอันตรายระคายเคืองต่อผิวหนัง	- มีป้ายเตือนอันตราย
		- เกิดปฏิกิริยาสัมผัสความร้อนทำให้เกิดไฟไหม้หรือการระเบิดได้	- มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล
			- มีแผนควบคุมาวะฉุกเฉิน
			- มีอุปกรณ์เป็นวัสดุทนกรด
		- อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 3
		- พนักงานได้รับบาดเจ็บ	
4. การเตรียมแบตเตอรี่เพื่อใช้งาน	- รถยกไฟฟ้า/ รถเข็นเฉี่ยวชน	- ทรัพย์สินเสียหาย	- มีระเบียบปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า
	- พนักงานไม่ระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายทำให้ได้รับบาดเจ็บ	- พนักงานบาดเจ็บ/ เสียชีวิต	- ตรวจสอบสภาพรถก่อนการใช้งาน
		- ทรัพย์สินเสียหาย	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 4
5. เครื่องประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่	- หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดระเบิดเนื่องจากเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าหรือในตัวหม้อแปลงแต่ระบบรีเลย์ไม่ทำงาน	- ทำให้เกิดไฟไหม้และทำให้อุปกรณ์ในกระบวนการประจุแบตเตอรี่หยุดทำงาน	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 5

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

การดำเนินงานในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
	- การช๊อตระหว่างขั้ว	- ไม่มีการจ่ายในระบบอื่น	- การตรวจสอบและบันทึกผล
		- ประกายไฟ	- แผนการบำรุงรักษา
		- แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความ
		- ทรัพย์สินเสียหาย	เสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 5
	- การรั่วไหลของน้ำกลั่น	- พนักงานได้รับอันตรายต่อสุขภาพมี	- วิธีการปฏิบัติงานควบคุมการจัดเก็บสารเคมี
		อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ	
6. ห้องประจุแบตเตอรี่			
6.1 กล่องกระดาษ	- เป็นเชื้อเพลิง	- มีโอกาสเกิดเพลิงไหม้ ทรัพย์สินเสียหาย	- กำหนดเป็นเขตห้ามทำให้เกิดประกายไฟ
			- มีแผนฉุกเฉิน
			- ติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติ
			- การตรวจสอบและบันทึกผล
6.2 ระบบไฟฟ้า	- ฟิวส์ขาด	- วงจรไม่สมบูรณ์	- แผนการบำรุงรักษา
(จุดรวมระบบควบคุมห้อง	- แรงดันสูงเกินพิกัด	- มอเตอร์ไม่ทำงาน	
ประจุ)	- จุดต่อหลวมหลุด สายวงจรขาด	- ทรัพย์สินเสียหาย	
	- สายรั่วลงโครงตู้	- อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชำรุดหรือไฟฟ้าสถิตอาจทำ	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความ
		ให้เกิดความร้อนและเกิดไฟไหม้ได้	เสี่ยงด้วยเทคนิค What If Analysis 6
	- ไอระเหยกรดซัลฟูริกรั่วออกสู่ภายนอก	- อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม	- มีแผนการตรวจวัดค่ามลพิษ
6.3 ระบบระบายอากาศ	- ก๊าซไฮโดรเจนรั่วออกสู่ภายนอก	- อันตรายต่อสุขภาพ/สิ่งแวดล้อม	- จัดให้มีพนักงานดูแลตัดหญ้าเป็นประจำ
	- รอบๆ อาคารมีหญ้าขึ้นปกคลุมทั่ว หากมี	- ทรัพย์สินได้รับความเสียหาย	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความ
	คนมาจุดไฟใกล้ๆ ทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้	- ชุมชนได้รับความเสียหาย	เสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 6

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

การดำเนินงานในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
6. ห้องประจุแบตเตอรี่ (ต่อ)			
6.4 สถานที่	- ไม่มีทางออกฉุกเฉิน กรณีเกิดเหตุฉุกเฉินอาจเกิดอันตรายต่อพนักงานที่เข้าไปทำงาน	- พนักงานอาจได้รับอันตรายกรณีเข้าไปทำงานในขณะนั้น - ทรัพย์สินเสียหาย	- เนื่องจากเป็นห้องประจุขนาดเล็กจึงใช้ประตูฉุกเฉินกับประตูเข้าออกทางเดียวกัน
	- อุณหภูมิภายในห้องประจุมากเกินไฟเพราะระบบควบคุมอุณหภูมิแบบศูนย์กระจายไม่ถึงห้องประจุอาจทำให้ไฟไหม้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรเจนกับความร้อน	- ทำให้ทรัพย์สินเสียหาย	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 6
	- ฟ้าผ่าทำให้เกิดไฟไหม้ห้องประจุเนื่องจากไม่ติดตั้งสายล่อฟ้า	- พนักงานได้รับบาดเจ็บ/ เสียชีวิต	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 6
6.5 ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้	- การทำงานของอุปกรณ์ในระบบ	- การทำงานผิดพลาดหรือไม่ทำงาน ทำให้ไม่ทราบเหตุการณ์ในเวลาที่เหมาะสม	-
6.6 ระบบไฟฉุกเฉิน	- การทำงานของอุปกรณ์ในระบบ	- มองไม่เห็นเส้นทาง/ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ในกรณีระบบไฟฟ้าดับเวลากลางคืน/ห้องปิด	-
6.7 ถังดับเพลิง	- สารเคมี/ อุปกรณ์เสื่อม	- อุปกรณ์ดับเพลิงไม่พร้อมทำงาน	-

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

การดำเนินงานในโรงงาน	สิ่งที่เป็นความเสี่ยงและอันตราย	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	หมายเหตุ
7. งานจ่ายระบบไฟฟ้า	- หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดระเบิดเนื่องจากเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า หรือในตัวหม้อแปลงแต่ระบบรีเลย์ป้องกันไม่ทำงาน	- พนักงานได้รับบาดเจ็บ/ เสียชีวิต - ทรัพย์สินเสียหาย	- วิธีชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 7
	- เกิดประกายไฟและหม้อแปลงไฟฟ้าระเบิด	- พนักงานได้รับบาดเจ็บ/ เสียชีวิต - ทรัพย์สินเสียหาย	- วิธีชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Fault Tree Analysis 3
8. งานซ่อมบำรุงในห้องประจุและบริเวณใกล้ๆ ห้องประจุ	- งานซ่อมบำรุงที่ไม่มีการตัดแยกอุปกรณ์ เช่น ไฟฟ้า	- ไฟฟ้าดูด ไฟไหม้/ ระเบิด	- มีแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
	- งานอับอากาศที่ไม่ปฏิบัติตามระเบียบอนุญาตปฏิบัติงานในสถานที่อับอากาศ	- ไฟไหม้/ ระเบิด	- มีการควบคุมการปฏิบัติงานโดย จป.วิชาชีพและหัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
	- การทำงานบนที่สูง เช่น นั่งร้าน	- ตกจากที่ต่างระดับ บาดเจ็บ	
	- ก๊าซไฮโดรเจนและไอกรดซัลฟูริก	- กรณีเกิดการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนทำให้เกิดไฟไหม้/ระเบิดทำให้เป็นอันตรายต่อพนักงาน ทรัพย์สิน และชุมชน	- การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 8
	- เกิดประกายไฟจากงานเชื่อม เจียร์โดยไม่ป้องกันบริเวณพื้นที่		

ภาคผนวก ข

แบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ตารางผนวกที่ ข1 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

คำถาม What If	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีและไม่มีการฝึกอบรมให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ	- กรณีหกรั่วไหลก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่มีผลเฉียบพลันและเรื้อรัง	- มีแผนควบคุมภาวะฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล	- จัดเตรียม MSDS และฝึกอบรมผู้เกี่ยวข้อง	2	4	8	3
			- จัดเตรียมและใช้งาน PPE ได้แก่ แว่นตานิรภัย หน้ากากกรองสารเคมี และถุงมือขณะปฏิบัติงาน	2	3	6	2
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีการจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลประเภท แว่นตานิรภัย หน้ากากกรองสารเคมี และถุงมือ	- อันตรายต่อสุขภาพ กรณีสัมผัสกับสารเคมี	-					
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่ได้จัดทำคันกั้นรอบห้องประจุแบตเตอรี่	- กรณีน้ำท่วมอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย - กรณีเกิดเพลิงไหม้น้ำเสียจากการเก็บเพลิงจะไหลออกสู่ภายนอกเกิดการปนเปื้อนได้	-	- จัดทำคันกั้นรอบห้องประจุแบตเตอรี่ - ตรวจสอบไม่ให้มีสารไวไฟหรือเชื้อเพลิงอยู่ใกล้เคียงกับห้องประจุแบตเตอรี่	2	4	8	3

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1 (ต่อ)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
4. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีการจัดทำ Bund เพื่อรองรับสารเคมีหกรั่วไหล	- สารเคมีหกรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม	-	- จัดทำถาดรองรับ	2	3	6	2
5. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าอุณหภูมิในห้องประจุแบตเตอรี่สูงมาก เนื่องจากการระบายอากาศไม่ดีพอ	- อาจเกิดไฟไหม้ได้อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีและความร้อน	- จัดเก็บแบตเตอรี่ตามปริมาณที่กำหนด - ตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่เป็นระยะๆ	-	2	3	6	2
6. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ารอบห้องประจุแบตเตอรี่มีหญ้าขึ้นปกคลุมและเศษไม้	- หญ้าจะเป็นเชื้อเพลิงได้หากมีประกายไฟมาติดทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้	- มีพนักงานรักษาความปลอดภัยดูแล 24 ชั่วโมง	- หมั่นดูแลรักษาสภาพบริเวณรอบห้องประจุแบตเตอรี่ให้สะอาดอยู่เสมอ	3	1	3	2
7. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ารถยกไฟฟ้าเฉี่ยวชนพนักงานและแบตเตอรี่	- แบตเตอรี่ชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจายสู่ทางเดินหายใจ	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- จัดเตรียม MSDS - ฝึกอบรม MSDS - จัดเตรียม PPE	2	3	6	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1 (ต่อ)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

คำถาม What If	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
8. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าพนักงานผู้ไม่มีใบอนุญาตขับขี่ไปทดลองขับรถยกไฟฟ้า	- แบตเตอรี่ชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจายสู่ทางเดินหายใจของผู้ปฏิบัติงาน	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	-	2	3	6	2
9. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าการจัดว่างแบตเตอรี่ไม่มั่นคงขณะเคลื่อนย้าย	- แบตเตอรี่กระแทกผู้ปฏิบัติงานหรือแตกชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจายสู่ทางเดินหายใจของผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	-	2	2	4	2
10. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าพนักงานขับรถยกไฟฟ้าด้วยความเร็วสูง	- แบตเตอรี่กระแทกผู้ปฏิบัติงานหรือแตกชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจายสู่ทางเดินหายใจของผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- กำหนดมาตรการควบคุมดูแลโดยหัวหน้างาน	3	3	9	3

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1 (ต่อ)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
11. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าแบตเตอรี่ตกหล่นขณะเคลื่อนย้ายเข้าห้องประจุ	- แบตเตอรี่กระแทกผู้ปฏิบัติงานหรือแตกชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจายสู่ทางเดินหายใจของผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม และอาจเกิดไฟไหม้ได้	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	-	2	2	4	2
12. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเส้นทางวิ่งของรถยกไฟฟ้าไม่ชัดเจน	- เกิดการเฉี่ยวชน กระแทกแบตเตอรี่ชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหล	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- ทาสีเส้นทางเดินรถใหม่	2	3	6	2
13. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าแบตเตอรี่ไม่ได้ป้องกันการถูกชน/กระแทก	- แบตเตอรี่แตกชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซกระจาย	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- ติดตั้ง Stopper บริเวณแบตเตอรี่ทั้งหมด	2	3	6	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1 (ต่อ)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
14. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเกิดไฟฟ้าลัดวงจรในบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	- ประกายไฟจากการลัดวงจรตกใส่แบตเตอรี่และอาจทำให้เกิดไฟไหม้	- ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าตามแผน - ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าระบบป้องกันการเกิดประกายไฟ - ติดตั้งสวิตช์ตัดตอนเพื่อห้องกันการลัดวงจร	-	2	3	6	2
15. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ารถยกไฟฟ้าที่ใช้มีสภาพไม่สมบูรณ์	- อาจเกิดประกายไฟจากท่อไอเสียทำให้เกิดไฟไหม้ได้	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัยโดยตรวจสอบการรั่วซึมของสารไวไฟจากแบตเตอรี่ก่อนการใช้งาน - ตรวจสภาพและซ่อมบำรุงรถยกไฟฟ้าตามแผน	-	2	2	4	2

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 1 (ต่อ)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
16. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีการควบคุมการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงที่มีความร้อนหรือประกายไฟบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	- สะเก็ดไฟอาจทำให้เกิดการลุกไหม้เมื่อสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนทำให้เกิดไฟไหม้ได้	- ปฏิบัติตามระบบขออนุญาตทำงานที่มีความร้อนหรือประกายไฟ	-	1	3	3	2
17. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าหัวหน้างานขาดการดูแลผู้ปฏิบัติงานในความรับผิดชอบ ทำให้ละเลยกฎระเบียบของคลังสินค้ายาและเวชภัณฑ์ เช่น ใช้ความเร็วเกิน 20 กม./ชม. ไม่ปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย	- อาจเกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินจากรถยกไฟฟ้าเฉี่ยวชน	- มีวิธีการใช้งานรถยกไฟฟ้าและรถเข็น	- เพิ่มมาตรการควบคุมดูแลโดยหัวหน้างาน โดยจัดทำเป็นแผนงาน สังเกตการณ์ทำงาน	2	3	6	2
18. จะเกิดอะไรขึ้นเส้นทางเดินรถที่กำหนดโดยการทาสีไม่ชัดเจน	- อันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	- มีวิธีการใช้งานรถยกไฟฟ้าและรถเข็น	- ทาสีเส้นทางเดินรถใหม่	2	3	6	2

ตารางผนวกที่ ข2 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 2

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การประจุแบตเตอรี่

คำถาม What If	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าแบตเตอรี่ชำรุดหรือแตกหัก	- ก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL ถ้ามีประกายไฟอาจเกิดไฟไหม้หรือระเบิด	- มีการกำหนดป้ายห้ามสูบบุหรี่หรือทำให้เกิดประกายไฟ	-	1	4	4	2
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าลืมปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำการประจุแบตเตอรี่	- เกิดการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจน ถ้ามีประกายไฟอาจเกิดไฟไหม้หรือระเบิด	- มีการตรวจสอบบำรุงรักษาเป็นประจำ	-	3	4	12	4
3. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเกิดฟ้าผ่าและสายล่อฟ้าชำรุด	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ และอุปกรณ์เสียหาย	- บำรุงรักษาสายล่อฟ้าเป็นระยะๆ ตามแผน	-	1	4	4	2
4. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามีการรั่วไหลของก๊าซไฮโดรเจนและมีประกายไฟ เช่น งานความร้อน พนักงานสูบบุหรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เป็นชนิดป้องกันการระเบิดหรือสายกราวด์ชำรุด	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ และอุปกรณ์เสียหาย	- กำหนดระเบียบปฏิบัติงานขออนุญาตเข้าทำงานที่มีประกายไฟ - มีกฎคำสั่งห้ามสูบบุหรี่ในพื้นที่ควบคุม	-	3	4	12	4

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Fault Tree Analysis 1 (ภาพผนวกที่ ข1)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การประจุแบตเตอรี่

สถานการณ์จำลองของเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง เกิดไฟไหม้และระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจน

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. การถ่ายเทอากาศไม่ดีเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL ขณะประจุเจอประกายไฟจากฟ้าผ่าเนื่องจากสายกราวน์ชำรุด	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บและอุปกรณ์เสียหาย	- บำรุงรักษาเชิงป้องกัน	-	1	4	4	2
2. เปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่และการถ่ายเทอากาศไม่ดีเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกิน 4% LEL ขณะประจุและมีงานบำรุงรักษาที่มีประกายไฟ พนักงานสูบบุหรี่	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บ และอุปกรณ์เสียหาย	- กำหนดป้ายห้ามสูบบุหรี่หรือทำให้เกิดประกายไฟ - กำหนดระเบียบปฏิบัติงานการขออนุญาตเข้าทำงานประเภทที่มีประกายไฟ	-	3	4	12	4
3. พนักงานไม่ตรวจสอบห้องขณะประจุเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL และอุปกรณ์ไฟฟ้ามีประกายไฟ	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บ และอุปกรณ์เสียหาย	- มีการตรวจสอบห้องประจุแบตเตอรี่เป็นระยะๆ	-	1	4	4	2

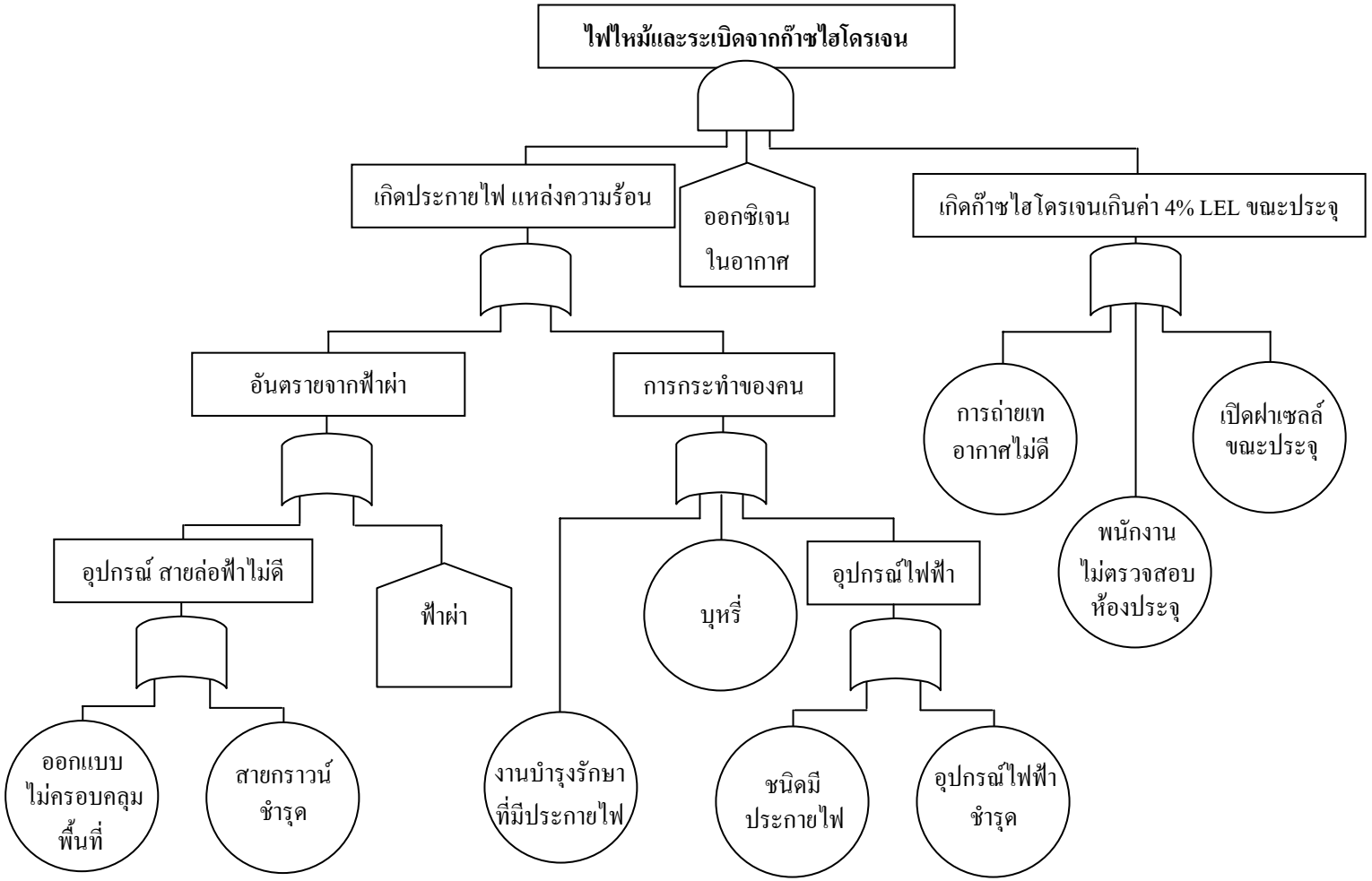
ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Fault Tree Analysis 2 (ภาพผนวกที่ ข2)

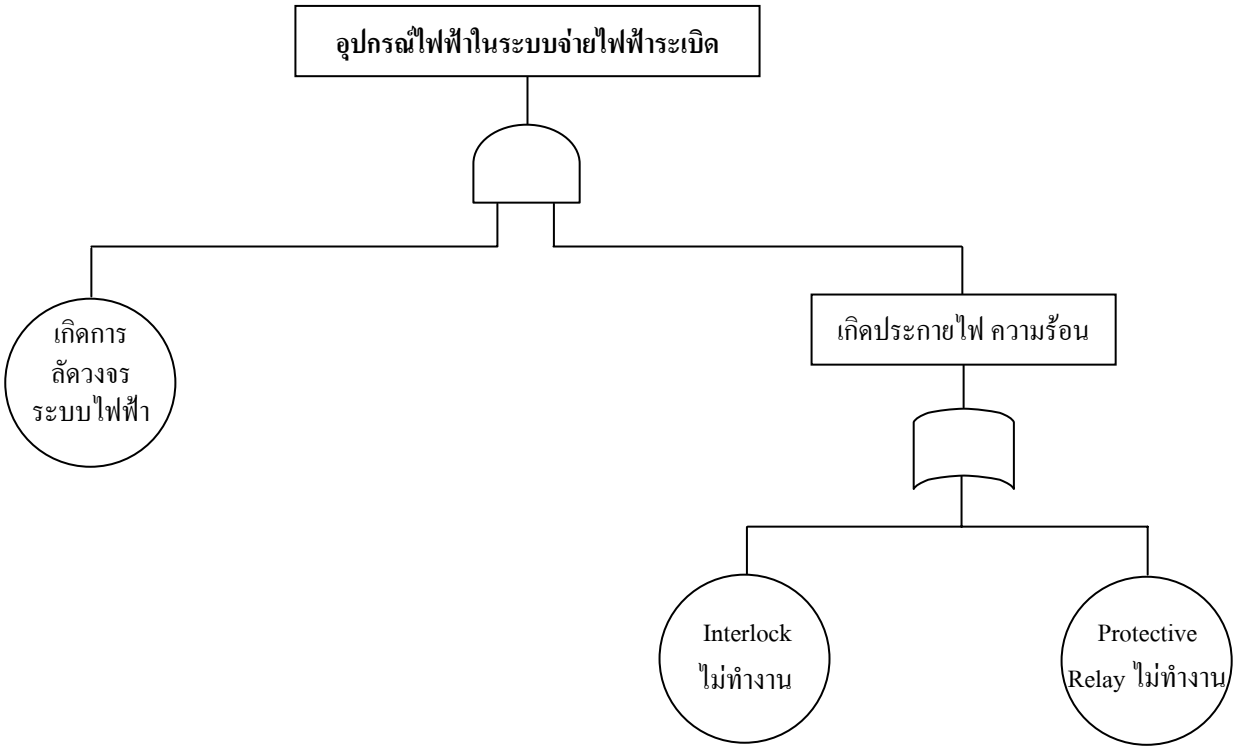
พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การประจุแบตเตอรี่

สถานการณ์จำลองของเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าระเบิด

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
3.เกิดการลัดวงจรภายในระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันไม่ทำงาน	- หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดระเบิดไฟไหม้	- มีกำหนดการตรวจสภาพอุปกรณ์ภายในระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า - ตรวจสอบและทดสอบการทำงานของระบบป้องกัน	-	1	4	4	2
4.เกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าและ/หรือเนื่องจากรีเลย์ของระบบป้องกันไม่ทำงาน	- หม้อแปลงไฟฟ้าเกิดระเบิดเกิดไฟไหม้	- มีกำหนดการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ภายในระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า - ตรวจสอบและทดสอบการทำงานของระบบป้องกัน	-	1	4	4	2



ภาพผนวกที่ ข1 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากไฟไหม้และการระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธี Fault Tree Analysis



ภาพผนวกที่ ข2 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าระเบิดด้วยวิธี Fault Tree Analysis

ตารางผนวกที่ ข3 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 3

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การเติมน้ำกลั่น

	คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเติมน้ำกลั่นล้นเซลล์แบตเตอรี่	- น้ำกลั่นรั่วสู่สิ่งแวดล้อม - พนักงานได้รับบาดเจ็บ	- มีระเบียบปฏิบัติงานการเติมน้ำกลั่น - มีกำหนดให้พนักงานเฝ้าดูอยู่ที่จุดปฏิบัติงานตลอดเวลาเติม - ตรวจสอบลูกลอยวัดปริมาณน้ำกลั่นในเซลล์แบตเตอรี่ขณะเติม	-	1	4	4	2
2.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าน้ำกลั่นและน้ำกรดกระเด็นเข้าตาและสัมผัสผิวหนัง	- พนักงานได้รับบาดเจ็บ	- กำหนดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	-	3	1	3	2

ตารางผนวกที่ ข4 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 4

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม การเตรียมแบตเตอรี่เพื่อใช้งาน

	คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้ารถยกไฟฟ้าเฉี่ยวชนพนักงานและแบตเตอรี่	- แบตเตอรี่ชำรุดสารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจายสู่ระบบทางเดินหายใจ	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- จัดเตรียม MSDS - ฝึกอบรม MSDS - จัดเตรียม PPE	2	3	6	2

ตารางผนวกที่ ข5 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 5

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม เครื่องประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่

	คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเครื่องประจุแบตเตอรี่เกิดรั่วไหลและมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นชนิดป้องกันการระเบิดหรือมีโอกาสเกิดประกายไฟ	- เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่ พนักงานได้รับบาดเจ็บ ไฟไหม้และระเบิด อุปกรณ์เสียหาย	- อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นแบบป้องกันระเบิดในห้องประจุแบตเตอรี่ - บำรุงรักษาเชิงป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องประจุแบตเตอรี่	-	1	4	4	2
2.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าเกิดการช๊อตระหว่างขั้วเซลล์แบตเตอรี่ เกิดการรั่วไหลของน้ำกลั่น	- ไม่มีการจ่ายในระบบอื่น - ประกายไฟ - แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ - ทรัพย์สินเสียหาย	- แผนการบำรุงรักษา	-	2	3	6	2

ตารางผนวกที่ ข6 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 6

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม ห้องประจุแบตเตอรี่

	คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าห้องประจุแบตเตอรี่ไม่ได้ทำคันกั้นรอบห้อง	- กรณีเกิดน้ำท่วมแบตเตอรี่ได้รับความเสียหาย - กรณีเกิดเพลิงไหม้ น้ำดับเพลิงปนเปื้อนสารละลายกรดจะไหลออกสู่ภายนอกเกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม	- มีมาตรการจัดเก็บแบตเตอรี่ - มีแผนฉุกเฉิน - มีอุปกรณ์ดับเพลิง - มีบ่อพักน้ำของคลังสินค้าสำหรับรองรับน้ำ	- จัดทำคันกั้นรอบอาคาร - ตรวจสอบไม่ให้มีสารไวไฟหรือเชื้อเพลิงอยู่ใกล้เคียงกับห้องประจุแบตเตอรี่ - ปรับปรุงบ่อพักน้ำไม่ให้น้ำที่กักเก็บไว้ไหลออกสู่ภายนอกหากเกิดกรณีน้ำปนเปื้อน	1	4	4	2
2.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าพนักงานนำยาและเวชภัณฑ์หลายชนิดมาเก็บไว้ในบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	- ยาและเวชภัณฑ์ที่จัดเก็บรวมกันอาจเกิดปฏิกิริยาต่อกันทำให้เกิดความเสียหาย	- มีมาตรการจัดเก็บยาและเวชภัณฑ์ - พนักงานได้รับการฝึกอบรมให้จัดเก็บยาและเวชภัณฑ์ที่ถูกต้อง	-	1	2	2	1

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 6 (ต่อ)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม ห้องประจุแบตเตอรี่

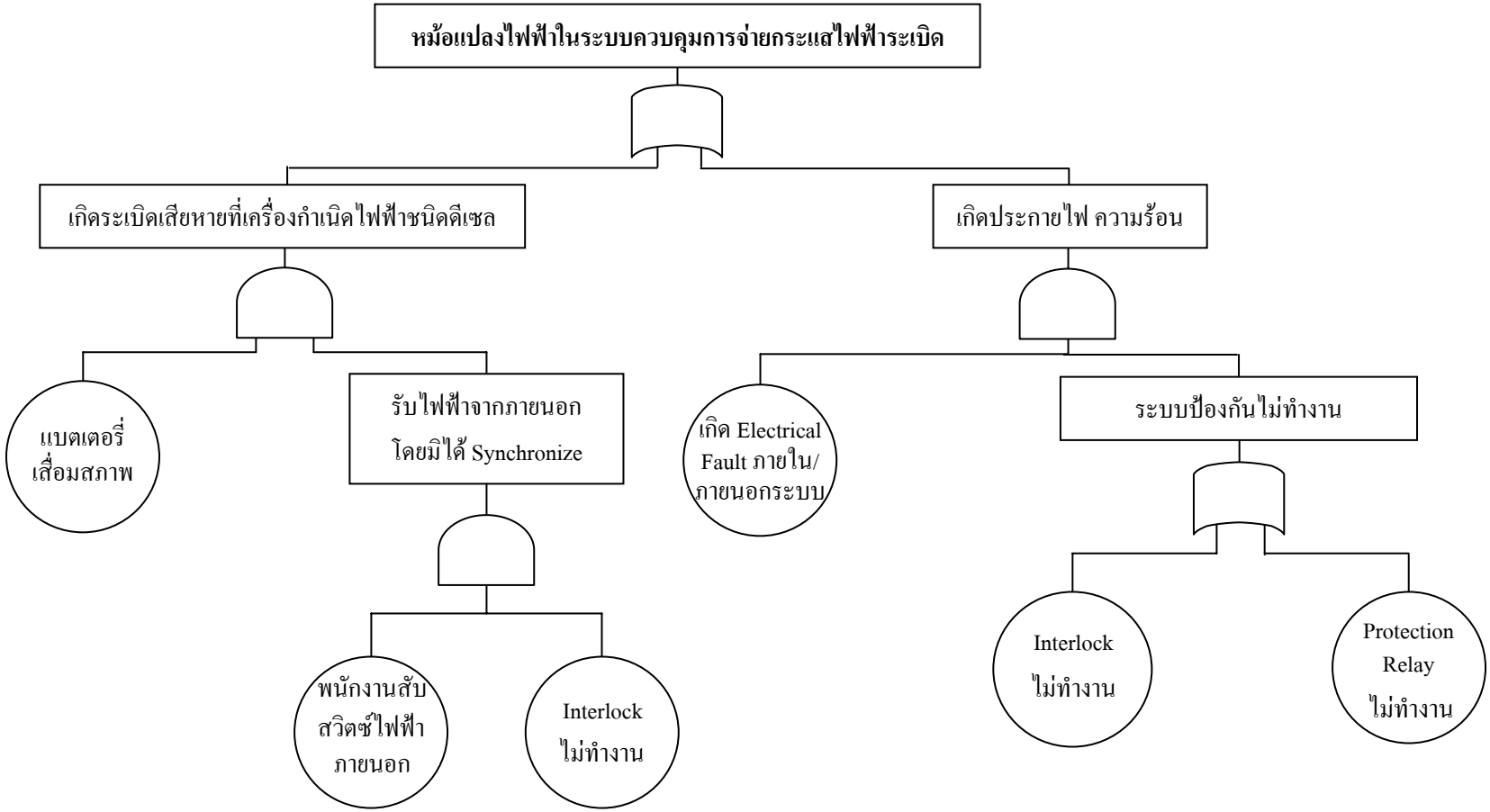
	คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
3.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าอุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่สูงมากเกิน	- อาจเกิดไฟไหม้เนื่องจากองค์ประกอบของไฟครบทั้ง 3 องค์ประกอบ	- ตรวจวัดอุณหภูมิภายในอาคารเป็นระยะ - จัดเก็บแบตเตอรี่ตามปริมาณที่กำหนด	-	1	4	4	2
4.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าห้องประจุแบตเตอรี่ไม่ได้ติดตั้งสายล่อฟ้า	- อาจเกิดไฟไหม้จากเหตุการณ์ฟ้าผ่า (ไฟธรรมชาติ)	- มีแผนฉุกเฉิน - มีอุปกรณ์ดับเพลิง	- ติดตั้งสายล่อฟ้า - PM ระบบสายล่อฟ้า	1	4	4	2
5.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้ารอบห้องประจุแบตเตอรี่มีหญ้าขึ้นปกคลุม	- อาจเกิดเพลิงไหม้ได้หากมีประกายไฟมาติด	- มียามรักษาการณ์ดูแล 24 ชั่วโมง - มีแผนฉุกเฉิน - มีอุปกรณ์ดับเพลิง - มีป้ายเตือน ห้ามให้เกิดประกายไฟบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	- ดูแลสภาพบริเวณรอบห้องประจุแบตเตอรี่	1	4	4	2

ตารางผนวกที่ ข7 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 7

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม งานจ่ายระบบไฟฟ้า

คำถาม What If	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. จะเกิดอะไรขึ้นถ้าหลอดไฟฟ้าแสดง Synchronize ขาดโดยไม่รู้	- ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าใจว่า Phase ไฟฟ้าตรงกันแล้ว ถ้าสับไฟฟ้าเข้าหากันทำให้เกิดระเบิดขึ้นได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า - อุปกรณ์เสียหายหยุดการปฏิบัติการ - พนักงานบาดเจ็บ	- มีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า - มีแผนการตรวจสอบระบบ Interlock	-	1	3	3	2
2. จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามีการจ่ายไฟฟ้าสำรองโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดดีเซลและต่อเชื่อมระบบไฟฟ้าภายนอกโดยมิได้ Synchronize	- ขณะเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Phase ของไฟฟ้ายังไม่คงที่ จะทำให้ไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าต่าง Phase กัน อาจจะระเบิดขึ้นได้	- มีเอกสารการปฏิบัติการจ่ายไฟฟ้า - ตรวจสอบการทำงานของ Relay ป้องกัน - แผนการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าประจำวัน - แผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	-	1	3	3	2



ภาพผนวกที่ ข3 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าระเบิดด้วยวิธี Fault Tree Analysis

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี Fault Tree Analysis 3 (ภาพผนวกที่ 3)

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม งานจ่ายระบบไฟฟ้า

สถานการณ์จำลองของเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าระเบิด

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดอุบัติภัยร้ายแรง	อันตรายหรือผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกันและควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
				โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1. ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดดีเซลจ่าย Load อยู่และสับเบรคเกอร์ไฟฟ้าภายนอกเข้ามาร่วมโดยไม่ได้ Synchronize	- เกิดการระเบิด/ไฟไหม้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดดีเซล, หม้อแปลงไฟฟ้าเสียหาย	- มีระเบียบปฏิบัติงานการผลิตไฟฟ้าสำรองระบบ Interlock - บำรุงรักษาเชิงป้องกัน	-	1	3	3	2
2. เกิด Electrical Fault ในระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันไม่ทำงาน	- เกิดการระเบิด/ไฟไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าเสียหายหรือห้องไฟฟ้า	- พนักงานตรวจสอบสภาพทั่วไปในห้องไฟฟ้าและจด Log Sheet ทุกวัน - ตรวจสอบระบบ Interlock เป็นระยะ - ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยเฉพาะระบบแรงดันสูง เช่น หม้อแปลง CT PT - ตรวจสอบระบบการทำงานของ Relay	-	1	3	3	2

ตารางผนวกที่ ข8 การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนการดำเนินงานในโรงงานเพื่อการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What If Analysis 8

พื้นที่/เครื่องจักร/กระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติ/กิจกรรม งานซ่อมบำรุงในห้องประจุแบตเตอรี่

	คำถาม What If	อันตรายหรือ ผลที่เกิดขึ้นตามมา	มาตรการป้องกัน และควบคุมอันตราย	ข้อเสนอแนะ	การประเมินความเสี่ยง			
					โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยง
1.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าระบบไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารชนิดป้องกันการระเบิด ชำรุดหรือมีการซ่อมแซมแก้ไขโดยผู้ไม่มีหน้าที่	- ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่เป็นชนิดป้องกันการระเบิด กรณีมีการรั่วไหลของก๊าซ อาจทำให้เกิดไฟไหม้หรือระเบิดได้	- มีการตรวจสอบและบำรุงรักษาเป็นระยะ	-	1	4	4	2
2.	จะเกิดอะไรขึ้นถ้าการซ่อมบำรุงหรือการติดตั้งอุปกรณ์แล้วเกิดประกายไฟในบริเวณประจุแบตเตอรี่	- ถ้ามีการรั่วไหลของก๊าซทำให้เกิดไฟไหม้หรือระเบิดได้	- มีการควบคุมโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานในการซ่อมบำรุงที่มีประกายไฟ - มีเครื่องตรวจสอบก๊าซก่อนเริ่มปฏิบัติงานที่มีประกายไฟ	-	1	4	4	2

ภาคผนวก ค

ทะเบียนความเสี่ยง

ตารางผนวกที่ ค1 ทะเบียนความเสี่ยง

ลำดับที่	กิจกรรม/อุปกรณ์	สถานการณ์/ความล้มเหลว	ความเสี่ยง	แผนบริหารจัดการความเสี่ยง	
				แผนลดความเสี่ยง	แผนควบคุมความเสี่ยง
	ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้				
1	การประจุแบตเตอรี่	- เปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่ขณะประจุเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL และเจอประกายไฟ	4	1	7
	ระดับความเสี่ยงสูง				
1	การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ	- การหกรั่วไหลของสารละลายกรดและไอก๊าซ	3	2	1
		- ไม่มีการจัดทำ Bund เพื่อรองรับสารเคมีหกรั่วไหล	3	3	1
		- พนักงานขับรถยกไฟฟ้าด้วยความเร็วสูง	3	2	1
	ระดับความเสี่ยงยอมรับได้				
1	การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ	- แบตเตอรี่ไม่ได้ออกแบบเพื่อการป้องกันการเฉี่ยวชน/กระแทก	2	-	1
		- หัวหน้างานขาดการดูแลผู้ปฏิบัติงานในความรับผิดชอบ	2	-	1
		- เส้นทางเดินรถยกไฟฟ้าที่กำหนดโดยการทาสีไม่ชัดเจน	2	-	1
		- รถยกไฟฟ้าเฉี่ยวชนพนักงานและแบตเตอรี่	2	-	1
		- ขาดการจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	2	-	1
		- แบตเตอรี่ชำรุด สารละลายกรดหกรั่วไหลและไอก๊าซฟุ้งกระจาย	2	-	5
		- วางแบตเตอรี่ไม่มั่นคงขณะเคลื่อนย้าย	2	-	5

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ลำดับที่	กิจกรรม/อุปกรณ์	สถานการณ์/ความล้มเหลว	ความเสี่ยง	แผนบริหารจัดการความเสี่ยง	
				แผนลดความเสี่ยง	แผนควบคุมความเสี่ยง
	<u>ระดับความเสี่ยงยอมรับได้ (ต่อ)</u>				
1	การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ (ต่อ)	- แบตเตอรี่ตกหล่นขณะเคลื่อนย้าย	2	-	6
		- ไฟฟ้าลัดวงจรในบริเวณห้องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่	2	-	6
		- รถยกไฟฟ้าที่ใช้มีสภาพไม่สมบูรณ์	2	-	7
		- ไม่มีการควบคุมการปฏิบัติงานซ่อมบำรุงที่มีความร้อนหรือประกายไฟ	2	-	7
		- สารละลายกรดและไอก๊าซ กรณีหกรั่วไหลก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน	2	-	1
		- ไม่ได้จัดทำคันกั้นรอบห้องประจุแบตเตอรี่	2	-	2
		- ขาดการจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	2	-	1
		- อุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่สูงมากเนื่องจากการระบายอากาศไม่ดีพอ	2	-	3
		- รอบห้องประจุมีหญ้าขึ้นปกคลุมและเศษไม้	2	-	4
2	การประจุแบตเตอรี่	- ลืมปิดฝาเซลล์แบตเตอรี่ขณะทำการประจุ	2	-	8
		- เกิดฟ้าผ่าและสายล่อฟ้าชำรุด	2	-	9
		- มีการรั่วไหลของก๊าซและไฮโดรเจนและมีประกายไฟ	2	-	9

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ลำดับที่	กิจกรรม/อุปกรณ์	สถานการณ์/ความล้มเหลว	ความเสี่ยง	แผนบริหารจัดการความเสี่ยง	
				แผนลดความเสี่ยง	แผนควบคุมความเสี่ยง
	ระดับความเสี่ยงยอมรับได้				
2	การประจุแบตเตอรี่	- การถ่ายเทอากาศไม่ดีเกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL ขณะประจุ และเจอประกายไฟจากฟ้าผ่าเนื่องจากสายกราวน์ชำรุด	2	-	9
		- พนักงานไม่ตรวจสอบห้องประจุแบตเตอรี่ขณะประจุทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนเกินค่า 4% LEL และอุปกรณ์ไฟฟ้ามีประกายไฟ	2	-	10
		- การลัดวงจรภายในระบบไฟฟ้า และระบบป้องกันไม่ทำงาน	2	-	11
		- การลัดวงจรภายในระบบไฟฟ้าและ/หรือเนื่องจากระบบรีเลย์ของระบบป้องกันไม่ทำงาน	2	-	11
3	การเติมน้ำกลั่น	- เติมน้ำกลั่นล้นเซลล์แบตเตอรี่	2	-	12
		- น้ำกลั่นและน้ำกรดกระเด็นเข้าตา	2	-	12
4	การเตรียมแบตเตอรี่เพื่อใช้งาน	- รถยกไฟฟ้าเฉี่ยวชนพนักงานและแบตเตอรี่	2	-	9
5	เครื่องประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่	- เครื่องประจุแบตเตอรี่ไฟฟ้ารั่วไหลและมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นชนิดป้องกันการระเบิดหรือมีโอกาสเกิดประกายไฟ	2	-	9
		- เกิดการช๊อตระหว่างขั้วแบตเตอรี่อาจเสื่อมสภาพ	2	-	9

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ลำดับที่	กิจกรรม/อุปกรณ์	สถานการณ์/ความล้มเหลว	ความเสี่ยง	แผนบริหารจัดการความเสี่ยง	
				แผนลดความเสี่ยง	แผนควบคุมความเสี่ยง
	<u>ระดับความเสี่ยงยอมรับได้</u>				
6	ห้องประจุแบตเตอรี่	- ไม่ได้จัดทำคันกั้นรอบห้องประจุแบตเตอรี่	2	-	2
		- เกิดไฟไหม้จากเหตุการณ์ฟ้าผ่า (ไฟธรรมชาติ)	2	-	13
		- อุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่สูงมากเกิน	2	-	3
		- รอบห้องประจุแบตเตอรี่มีหญ้าขึ้นปกคลุม	2	-	4
7	งานจ่ายระบบไฟฟ้า	- หลอดไฟฟ้าแสดง Synchronize ขาดโดยไม่รู้	2	-	14
		- มีการจ่ายไฟฟ้าสำรองโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดดีเซลและต่อเชื่อมระบบไฟฟ้าภายนอกโดยมิได้ Synchronize	2	-	14
		- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดดีเซลจ่าย Load อยู่และสับเบรคเกอร์ไฟฟ้าภายนอกเข้ามาร่วมโดยไม่ได้ Synchronize	2	-	15
		- เกิด Electrical Fault ในระบบไฟฟ้าและไม่ทำงาน	2	-	15
8	งานซ่อมบำรุงในห้องประจุแบตเตอรี่	- ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในห้องประจุแบตเตอรี่ชนิดป้องกันการระเบิดชำรุดหรือมีการซ่อมแซมแก้ไขโดยผู้ไม่มีหน้าที่	2	-	16
		- การซ่อมบำรุงหรือติดตั้งอุปกรณ์แล้วเกิดประกายไฟในบริเวณประจุแบตเตอรี่	2	-	16
	<u>ระดับความเสี่ยงเล็กน้อย</u>				
1	ห้องประจุแบตเตอรี่	- ยาจัดเก็บรวมกันเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดความเสียหาย	1	-	-

ภาคผนวก ง

แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

ตารางผนวกที่ ง1 แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง

แผนงานลดความเสี่ยง 1 – กระบวนการประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อลดความเสี่ยงในการประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ไม่มีอัคคีภัยและการระเบิดเกิดขึ้นในการประจุแบตเตอรี่รถยกไฟฟ้า

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลาดำเนินการ	ผู้ตรวจติดตาม
1	ตรวจสอบพนักงานให้มีการใช้รถยกไฟฟ้าตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า	พนักงานขับรถยกไฟฟ้า	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
2	จัดให้มีการฝึกอบรมการใช้รถยกไฟฟ้า	ฝ่ายบุคคล	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
3	ตรวจสอบสภาพแวดล้อมในห้องประจุแบตเตอรี่	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย หัวหน้างาน	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
4	ตรวจสอบการควบคุมความร้อนและประกายไฟ	แผนกซ่อมบำรุง	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
5	ตรวจสอบสภาพรถยกไฟฟ้า	วิศวกรมซ่อมบำรุง	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
6	ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า	วิศวกรซ่อมบำรุง		เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานลดความเสี่ยง 2 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

วัตถุประสงค์ เพื่อลดความเสี่ยงในการนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ

เป้าหมาย ไม่มีอุบัติเหตุขณะนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลาดำเนินการ	ผู้ตรวจติดตาม
1	กำหนดให้ Supplier ที่จำหน่ายแบตเตอรี่จัดส่งข้อมูลความปลอดภัยสารเคมี (Material Safety Data Sheet: MSDS)	ฝ่ายจัดซื้อ	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
2	ฝึกอบรมสารเคมีอันตรายให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง	ฝ่ายบุคคล	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
3	จัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
4	กำหนดมาตรฐานและแผนงานควบคุมดูแลงานโดยหัวหน้างาน	หัวหน้างาน	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
5	สำรวจและทาสีเส้นทางเดินรถใหม่	หัวหน้างาน	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
6	ติดตั้ง Stopper เพื่อป้องกันการเฉี่ยวชน/กระแทก	หัวหน้างาน	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
7	จัดสร้าง Bund รองรับสารเคมีรอบห้องประจุแบตเตอรี่	หัวหน้างาน	1 เดือน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 1 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมความเสี่ยงในการนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ

เป้าหมาย ไม่มีอุบัติเหตุขณะนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	วิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า และความปลอดภัยในการยกเคลื่อนย้าย	ผู้ปฏิบัติงานขับรถยกไฟฟ้า	- วิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- ความเร็ว - การบรรทุกสิ่งของ - การใช้สัญญาณเตือน	หัวหน้างาน
2	การตรวจสอบสภาพรถยกไฟฟ้าก่อนการใช้งาน	ผู้ปฏิบัติงานขับรถยกไฟฟ้า	- แบบฟอร์มการตรวจสอบ	- การจอดรถ - การตรวจสอบและการบำรุงรักษา	หัวหน้างาน
3	วิธีการปฏิบัติงานการนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ	ผู้ปฏิบัติงานขับรถยกไฟฟ้า	- วิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า - การนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ		หัวห้างาน
4	การฝึกอบรมตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้าในการนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ	เจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคล	- วิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า	- ผ่านการอบรมทุกคน	หัวหน้างาน
5	ปฏิบัติตามแผนควบคุมภาวะฉุกเฉิน	พนักงานส่วนปฏิบัติการ	- ปฏิบัติตามแผน	- ปฏิบัติตามแผนครบถ้วน	ผู้จัดการคลังสินค้า

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 2 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของของเสียกรณีเกิดน้ำท่วมหรือไฟไหม้

เป้าหมาย ไม่มีการแพร่กระจายของของเสียจากห้องประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ตรวจสอบคันกั้นรอบอาคารทุกๆ 6 เดือน	แผนกซ่อมบำรุง	- ความคงทนของโครงสร้างรอยรั่วหรือรอยแตกร้าว	- โครงสร้างอยู่ในสภาพปกติไม่แตกร้าว	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
2	ตรวจสอบระบบการระบายน้ำและบ่อพักน้ำทุกๆ 3 เดือน	แผนกซ่อมบำรุง	- การอุดตันของรางระบายน้ำ - ประตูน้ำหรือที่ปิดกั้นน้ำจากบ่อพักน้ำคลังสินค้าสู่แหล่งน้ำภายนอก	- ไม่มีสิ่งของหรือวัสดุใดๆ อยู่ในรางระบายน้ำที่จะทำให้เกิดการอุดตันได้ - ประตูน้ำหรือที่ปิดกั้นต้องปิดอยู่เสมอเพื่อป้องกันน้ำไหล	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
3	ตรวจสอบรอบบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	แผนกซ่อมบำรุง	- การจัดเก็บวัสดุรอบห้องประจุแบตเตอรี่	- แผนการตรวจสอบรอบห้องประจุแบตเตอรี่	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 3 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ, ห้องประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อไม่ให้อุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่สูงเกินจนทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือเกิดอุบัติเหตุเพลิงไหม้

เป้าหมาย อุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่ต้องไม่สูงเกินจนทำให้แบตเตอรี่เสียหาย

ลำดับที่	มาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ตรวจสอบการจัดเก็บแบตเตอรี่ตามปริมาณที่กำหนดของห้องประจุแบตเตอรี่	พนักงานขับรถยกไฟฟ้า	- การสำรองแบตเตอรี่ - ปริมาณแบตเตอรี่ที่จัดเก็บ - ลักษณะการจัดวางของแบตเตอรี่	- แผนการสำรองแบตเตอรี่ของคลังสินค้า - จัดเก็บแบตเตอรี่ตามปริมาณที่กำหนด	หัวหน้าแผนก
2	ตรวจสอบอุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่ทุกๆ 1 เดือน	พนักงานขับรถยกไฟฟ้า	- ค่าอุณหภูมิภายในห้องประจุแบตเตอรี่	- อุณหภูมิต้องไม่สูงเกินจนทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ	หัวหน้าแผนก

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 4 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุ

วัตถุประสงค์ เพื่อรักษาความสะอาดและป้องกันไม่ให้เกิดเพลิงไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ไม่ให้เกิดไฟไหม้บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ตรวจสอบสภาพบริเวณรอบห้องประจุแบตเตอรี่	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	- ความสะอาด - การจัดเก็บวัตถุไวไฟ - การจัดเก็บแบตเตอรี่ในห้องประจุแบตเตอรี่	- แผนการตรวจสอบรอบห้องประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 5 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ

วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมการใช้รถยกไฟฟ้าให้เกิดความปลอดภัย

เป้าหมาย ไม่มีอุบัติเหตุขณะใช้รถยกไฟฟ้า

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	วิธีการขนย้ายด้วยรถยกไฟฟ้า	หัวหน้าแผนก	- การใช้รถยกไฟฟ้า	- ตามวิธีมาตรฐาน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
2	การทดสอบและอนุญาตให้ขับรถยกไฟฟ้า	หัวหน้าแผนก	- ใบอนุญาต/บัตรของพนักงานขับรถยกไฟฟ้า	- ผ่านการอบรม/ทดสอบ	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
3	กำหนดเส้นทางวิ่งของรถยกไฟฟ้า	หัวหน้าแผนก	- เส้นทางขับรถยกไฟฟ้า	- เส้นทางรถ ห้ามวิ่งออกนอกเส้นทางที่กำหนด	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
4	กำหนดให้หัวหน้างานเป็นผู้จ่ายงานก่อน พร้อมกุญแจรถยกไฟฟ้า	หัวหน้าแผนก	- การใช้รถยกไฟฟ้า	- ทะเบียนใบจ่ายงาน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 6 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ

วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมความเสี่ยงในการขนย้ายแบตเตอรี่

เป้าหมาย ไม่มีอุบัติเหตุขณะขนย้ายแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	วิธีการปฏิบัติงานใช้รถยกไฟฟ้าและความปลอดภัยในการเคลื่อนย้าย	ผู้ปฏิบัติงานขับรถยกไฟฟ้า	- ข้อปฏิบัติการใช้รถยกไฟฟ้า	- ความเร็ว - การบรรทุกสิ่งของ - การใช้สัญญาณเตือน - การจอดรถ - การตรวจสอบและการบำรุงรักษา	หัวหน้างาน
		ผู้ปฏิบัติงานขับรถยกไฟฟ้า	- แบตเตอรี่	- สภาพแบตเตอรี่ดี	หัวหน้างาน
2	ตรวจสอบสภาพรถก่อนการใช้งาน	ผู้ปฏิบัติงานขับรถยกไฟฟ้า	- ข้อปฏิบัติการใช้รถยกไฟฟ้า	- แบบฟอร์มการตรวจสอบ	หัวหน้างาน
3	การฝึกอบรมตามข้อปฏิบัติการใช้รถยกไฟฟ้า	เจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคล	- ข้อปฏิบัติการใช้รถยกไฟฟ้า	- ผ่านการอบรมทุกคน	หัวหน้าแผนก
4	การตรวจสอบการปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงาน/กฎความปลอดภัย	หัวหน้าแผนก	- การปฏิบัติตามการใช้รถยกไฟฟ้า/กฎระเบียบ	- ปฏิบัติตามครบถ้วน	ผู้จัดการคลังสินค้า

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 6 – การนำแบตเตอรี่เข้าประจุในห้องสำหรับประจุ (ต่อ)

วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมความเสี่ยงในการขนย้ายแบตเตอรี่

เป้าหมาย ไม่มีอุบัติเหตุขณะขนย้ายแบตเตอรี่

ลำดับที่	มาตรการหรือกิจกรรมหรือการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
5	อุปกรณ์ไฟฟ้า	วิศวกรไฟฟ้า	- อุปกรณ์ไฟฟ้า - สภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า - อุปกรณ์ตัดตอนเพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร	- ต้องเป็นระบบป้องกันการเกิดประกายไฟ - สภาพดี/ไม่ชำรุด - ใช้งานได้ตามที่กำหนด	ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง
6	ปฏิบัติตามแผนควบคุมภาวะฉุกเฉินจากสารเคมีหกรั่วไหล	ผู้ปฏิบัติงาน	- การปฏิบัติตามแผน	- ปฏิบัติตามแผนครบถ้วน	หัวหน้างาน

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 7 – การประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้และระเบิดบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ปฏิบัติตามมาตรฐานการควบคุมความเสี่ยงครบถ้วน 100%

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ตรวจสอบพนักงานให้มีการใช้รถยกไฟฟ้าตามวิธีการปฏิบัติงานการใช้รถยกไฟฟ้า	พนักงานขับรถยกไฟฟ้า	- การขับขี่ - ความเร็ว - สภาพรถ - การควบคุมของที่จะยก	- ปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยในการใช้รถยกไฟฟ้า - ใช้ความเร็วไม่เกิน 20 กม./ชม. - ตรวจสอบสภาพรถให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน - ตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยก่อนทำการยก	หัวหน้าแผนก
2	จัดให้มีการฝึกอบรมการใช้รถยกไฟฟ้า	หัวหน้าแผนก	- การฝึกอบรมการใช้รถยกไฟฟ้าอย่างปลอดภัย	- พนักงานขับรถยกไฟฟ้าผ่านการอบรม	ผู้จัดการคลังสินค้า

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 7 – การประจุแบตเตอรี่ (ต่อ)

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้และระเบิดบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ปฏิบัติตามมาตรฐานการควบคุมความเสี่ยงครบถ้วน 100%

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
3	ตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในห้องปะจุแบตเตอรี่	หัวหน้าแผนก	- การระบายอากาศ - อุปกรณ์ไฟฟ้า	- เป็นห้องที่มีการระบายอากาศดี - ต้องไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริเวณจัดเก็บแบตเตอรี่	ผู้จัดการคลังสินค้า
4	การตรวจสอบการควบคุมความร้อนและประกายไฟ	วิศวกรไฟฟ้า	- ระบบขออนุญาตทำงานที่มีความร้อนและประกายไฟ - การสูบบุหรี่ - ป้ายเตือน	- ปฏิบัติตามวิธีการปฏิบัติงาน - ปฏิบัติตามกฎหมายความปลอดภัย - ติดตั้งป้ายเตือนห้ามสูบบุหรี่บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	หัวหน้าแผนก

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 7 – การประจุแบตเตอรี่ (ต่อ)

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้และระเบิดบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ปฏิบัติตามมาตรฐานการควบคุมความเสี่ยงครบถ้วน 100%

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
5	ตรวจสอบสภาพรถยกไฟฟ้า	พนักงานขับรถยกไฟฟ้า วิศวกรซ่อมบำรุง	- การตรวจสบประจำวันโดยพนักงานขับรถยกไฟฟ้า - การตรวจสอบตามแผนบำรุงรักษา	- ตรวจสอบตามรายการตรวจสอบครบถ้วน - ตรวจสอบครบถ้วนตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
6	ตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า	วิศวกรไฟฟ้า	- การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า - สวิตซ์ตัดตอน	- ปฏิบัติตามแผนบำรุงรักษา - ใช้งานได้ตามเงื่อนไขที่ออกแบบ	ผู้จัดการคลังสินค้า

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 8 – การประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมป้องกันการเกิดอัคคีภัยในห้องประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ไม่ให้เกิดการรั่วไหลของสารไวไฟและเกิดอัคคีภัย

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	การบำรุงรักษาแบตเตอรี่	พนักงานขับรถยกไฟฟ้า	- สภาพการรั่วไหลของสารละลายกรดของแบตเตอรี่	- ไม่มีการรั่วไหลของสารละลายกรดในห้องประจุแบตเตอรี่	หัวหน้าแผนก
2	กำหนดพื้นที่จัดเก็บแบตเตอรี่	หัวหน้าแผนก	- สภาพความปลอดภัยของแบตเตอรี่ในห้องประจุแบตเตอรี่	- แบตเตอรี่มีการจัดเก็บในพื้นที่กำหนดมีการยึดมั่นคงไม่ล้ม	ผู้จัดการคลังสินค้า
3	กำหนดป้ายเตือนอันตรายและพื้นที่ห้ามสูบบุหรี่	ผู้ปฏิบัติงานทุกคน	- ห้ามสูบบุหรี่และทำให้เกิดประกายไฟ	- ไม่มีการสูบบุหรี่หรือทำให้เกิดประกายไฟ	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 9 – การประจุแบตเตอรี่, เครื่องประจุแบตเตอรี่, แบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันและควบคุมความสูญเสียจากสารละลายกรดรั่วไหล/ไฟไหม้และระเบิด

เป้าหมาย ไม่ให้มีอุบัติเหตุการหกรั่วไหล ไฟไหม้ ระเบิด บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	กำหนดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	ผู้ปฏิบัติงานซ่อมบำรุง	- อุปกรณ์ได้รับการบำรุงรักษาตามแผน	- อุปกรณ์มีสภาพสมบูรณ์ปลอดภัย	ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง
2	กำหนดป้ายเตือนอันตราและควบคุมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ผู้ปฏิบัติงานทุกคน	- การสวมรองเท้านิรภัยแว่นตานิรภัย และอื่นๆ ตามลักษณะงาน	- สวมใส่ตลอดเวลาที่ปฏิบัติงาน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
3	กำหนดพื้นที่งดสูบบุหรี่โดยเฉพาะพื้นที่ควบคุม	ผู้ปฏิบัติงานทุกคน	- ห้ามสูบบุหรี่ในพื้นที่ที่กำหนด	- ไม่มีการสูบบุหรี่ในพื้นที่ที่กำหนด	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
4	ควบคุมการปฏิบัติงานสำหรับงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟ	ผู้ปฏิบัติงาน	- การขออนุญาตทำงาน - การตัดแยกอุปกรณ์	- ผู้ปฏิบัติงานขออนุญาตเจ้าของพื้นที่ทุกครั้ง - มีป้าย Lock Out/ Tag Out	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
5	กำหนดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	วิศวกร	- ทำนบกั้น	- ไม่มีรอยแตก/รั่วของทำนบกั้น	ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 9 – การประจุแบตเตอรี่, เครื่องประจุแบตเตอรี่, แบตเตอรี่ (ต่อ)

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันและควบคุมความสูญเสียจากสารละลายกรดรั่วไหล/ไฟไหม้และระเบิด

เป้าหมาย ไม่ให้มีอุบัติเหตุการหกรั่วไหล ไฟไหม้ ระเบิด บริเวณห้องประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
6	การตรวจสอบโครงสร้าง	วิศวกร	- โครงสร้างของห้องประจุแบตเตอรี่	- โครงสร้างไม่ทรุดเอียง	ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง
7	ตรวจสอบการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าป้องกันการระเบิด	ผู้ปฏิบัติงานซ่อมบำรุง	- สภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า	- อุปกรณ์ไฟฟ้ามีสภาพที่ไม่มีการดัดแปลง	ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 10 – การประจุแบตเตอรี่, เครื่องประจุแบตเตอรี่, แบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้ในห้องประจุแบตเตอรี่

เป้าหมาย ไม่ให้เกิดการรั่วไหลของสารละลายกรดและไอก๊าซและไฟไหม้

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	การบำรุงรักษาแบตเตอรี่	ผู้ปฏิบัติงานซ่อมบำรุง	- สภาพการรั่วไหลของขั้วแบตเตอรี่	- ไม่มีการรั่วไหลของขั้วแบตเตอรี่ในห้องประจุแบตเตอรี่	ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง
2	กำหนดพื้นที่จัดเก็บแบตเตอรี่	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ผู้ปฏิบัติงานทุกคน	- สภาพความปลอดภัยของการจัดเก็บ	- แบตเตอรี่มีการจัดเก็บในพื้นที่กำหนดมีการยึดมั่นคงไม่ล้ม	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
3	กำหนดป้ายเตือนอันตรายและพื้นที่ห้ามสูบบุหรี่	ผู้ปฏิบัติงานทุกคน	- ห้ามสูบบุหรี่และทำให้เกิดประกายไฟ	- ไม่มีการสูบบุหรี่หรือทำให้เกิดประกายไฟ	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 11 – การประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการระเบิดของระบบไฟฟ้า

เป้าหมาย ระบบป้องกันของหม้อแปลงและระบบไฟฟ้าทำงานทุกครั้งที่เกิดลัดวงจร

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ทดสอบการทำงานของระบบป้องกันของหม้อแปลงไฟฟ้า	เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุง	- การทำงานของระบบป้องกัน - การทำงานของ Temperature Control ของหม้อแปลง - การทำงานของ Over Current Relay ของระบบไฟฟ้า	- ทำการตัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน Normal Temperature $10^{o}C$ - Over Current Relay ทำงานเมื่อกระแสสูงเกิน 10% ของ Rating Current	ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 12 – การเติมน้ำกลั่น

วัตถุประสงค์ เพื่อลดความเสี่ยงจากการหกรั่วไหลของสารละลายกรด

เป้าหมาย ควบคุมความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการหกรั่วไหลของสารละลายกรดขณะประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ฝึกอบรมข้อมูล MSDS	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	- ข้อมูลสารเคมีอันตราย	- พนักงานที่ทำงานกับสารเคมีต้องรู้อันตรายของสารเคมีนั้นๆ	คณะกรรมการความปลอดภัย
2	จัดหาอุปกรณ์ฉุกเฉินและอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล - ที่ล้างตาฉุกเฉิน - หน้ากากป้องกันสารเคมี - แว่นตานิรภัย - ถุงมือ	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย หัวหน้าแผนก	- อุปกรณ์ฉุกเฉิน - อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	- พร้อมใช้งานตลอดเวลา - ใช้งานตลอดเวลาขณะทำงานกับสารเคมี	คณะกรรมการความปลอดภัย หัวหน้างาน
3	ปฏิบัติตามระเบียบปฏิบัติการขนย้ายแบตเตอรี่	พนักงานคลังสินค้า	- รายละเอียดในระเบียบปฏิบัติงาน	- พนักงานปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ในระเบียบกำหนด	หัวหน้างาน
4	การตรวจสอบสภาพรถยกไฟฟ้า	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	- สภาพความปลอดภัยของรถยกไฟฟ้า	- รถยกไฟฟ้าอยู่ในสภาพที่ปลอดภัย	คณะกรรมการความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 12 – การเติมน้ำกลั่น (ต่อ)

วัตถุประสงค์ เพื่อลดความเสี่ยงจากการหกรั่วไหลของสารละลายกรด

เป้าหมาย ควบคุมความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการหกรั่วไหลของสารละลายกรดขณะประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
5	การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	- การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล - หมวก - รองเท้า - แว่นตานิรภัย - หน้ากากกันสารเคมี	- ต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะทำงานตามที่พื้นที่กำหนด	คณะกรรมการความปลอดภัย
6	ระเบียบปฏิบัติงานการควบคุมผู้รับเหมา	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัย	- รายละเอียดในการปฏิบัติงาน	- ผู้รับเหมาปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ในระเบียบกำหนด	คณะกรรมการความปลอดภัย

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 13 – ห้องประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดไฟไหม้ห้องประจุแบตเตอรี่จากฟ้าผ่า

เป้าหมาย ไม่ให้เกิดไฟไหม้กับห้องประจุแบตเตอรี่

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยคลังสินค้า	แผนกซ่อมบำรุง	- บำรุงรักษาเชิงป้องกัน - สายล่อฟ้า - สายดิน	- ตามแผนบำรุงรักษาระบบป้องกันฟ้าผ่า	ผู้จัดการคลังสินค้า
2	แผนการบำรุงรักษาและทดสอบระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยบุคคลภายนอก	แผนกซ่อมบำรุง	- บำรุงรักษาและทดสอบตามแผน - ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบป้องกันฟ้าผ่า - ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์	- ตามแผนที่วางไว้	ผู้จัดการคลังสินค้า
3	ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ดับเพลิง	แผนกซ่อมบำรุง	- ตรวจสอบอุปกรณ์ เช่น - ถังดับเพลิง - สายดับเพลิง	- ตามมาตรฐานของอุปกรณ์ตามที่กฎหมายกำหนด	ผู้จัดการคลังสินค้า

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 14 – งานจ่ายระบบไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ ลด/ป้องกันอันตราย/และความเสี่ยงจากงานจ่ายกระแสไฟฟ้า

เป้าหมาย อันตรายและความเสี่ยงจากงานจ่ายกระแสไฟฟ้า = 0

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	บำรุงรักษาเชิงป้องกัน (เบรกเกอร์, สวิตช์ตัดตอน, ฟิวส์, ตู้ไฟฟ้ารีเลย์ป้องกัน, สายดิน, หม้อแปลง)	แผนกซ่อมบำรุง	- สภาพการทำงานของอุปกรณ์	- สภาพอุปกรณ์พร้อมใช้งานตลอดเวลา	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
2	ตรวจสอบการทำงานของ Interlock ของ Relay ป้องกัน	แผนกซ่อมบำรุง	- การทำงานของ Interlock	- Interlock ทำงานได้ตามที่ออกแบบ	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
3	แผนการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าประจำวัน	พนักงานห้องไฟฟ้า	- สภาพทั่วไปของอุปกรณ์ไฟฟ้า	- สภาพอุปกรณ์พร้อมใช้งานตลอดเวลา	หัวหน้าแผนก
4	ระเบียบปฏิบัติงานการจ่ายไฟฟ้า	พนักงานห้องไฟฟ้า	- รายละเอียดในระเบียบปฏิบัติงาน	- ปฏิบัติตามระเบียบทุกขั้นตอน	หัวหน้าแผนก

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 15 – งานจ่ายระบบไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ ป้องกันการระเบิดของระบบไฟฟ้า

เป้าหมาย ระบบป้องกันของหม้อแปลงและระบบไฟฟ้าทำงานทุกครั้งที่เกิดลัดวงจร

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ทดสอบการทำงานของระบบป้องกันของหม้อแปลงไฟฟ้า	เจ้าหน้าที่แผนกซ่อมบำรุง	- การทำงานของระบบป้องกัน - การทำงานของ Temperature Control ของหม้อแปลง - การทำงานของ Over Current Relay ของระบบไฟฟ้า	- ทำการตัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน Normal Temperature $10^{o}C$ - Over Current Relay ทำงานเกินกระแสสูงเกิน 10% ของ Rating Current	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 16 – งานซ่อมบำรุงในห้องประจุแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์ ป้องกันการเกิดไฟไหม้เนื่องจากงานซ่อมบำรุง

เป้าหมาย ไม่เกิดไฟไหม้เนื่องจากงานซ่อมบำรุง

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
1	ฝึกอบรมการปฏิบัติตามขั้นตอนการบำรุงรักษาและการซ่อมบำรุงภายในบริเวณห้องประจุแบตเตอรี่	แผนกซ่อมบำรุง	- การฝึกอบรมพนักงานซ่อมบำรุง	- ผู้ฝึกอบรมผ่านเกณฑ์การประเมินไม่ต่ำกว่า 80%	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
2	การจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันและระงับอัคคีภัย	เจ้าหน้าที่แผนกซ่อมบำรุง	- ความพร้อมของอุปกรณ์ป้องกันและระงับอัคคีภัย	- งานบำรุงรักษาที่มีประกายไฟต้องมีผ้ากันไฟและเครื่องดับเพลิงพร้อมก่อนเริ่มงานทุกครั้ง	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
3	การตรวจสอบงานซ่อมบำรุง	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง	- การปฏิบัติตามขั้นตอนการบำรุงรักษา	- การซ่อมบำรุงมีการปฏิบัติตามมาตรการควบคุมการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ และมีอุปกรณ์ดับเพลิงพร้อม	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

แผนงานควบคุมความเสี่ยง 16 – งานซ่อมบำรุงในห้องประจุแบตเตอรี่ (ต่อ)

วัตถุประสงค์ ป้องกันการเกิดไฟไหม้เนื่องจากงานซ่อมบำรุง

เป้าหมาย ไม่เกิดไฟไหม้เนื่องจากงานซ่อมบำรุง

ลำดับที่	การดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่เป็นความเสี่ยง	ผู้รับผิดชอบ	หัวข้อเรื่องที่ควบคุม	หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ควบคุม	ผู้ตรวจติดตาม
4	กำหนดแผนการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าภายในคลังสินค้าและห้องประจุแบตเตอรี่	แผนกซ่อมบำรุง	- มีการตรวจสอบระบบไฟฟ้าตามแผน	- ทำการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของคลังสินค้าและอาคารบรรจุก๊าซตามแผนที่กำหนดทุกครั้ง	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง
5	ตรวจสอบบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าของคลังสินค้าและห้องประจุแบตเตอรี่	แผนกซ่อมบำรุง	- ตรวจสอบระบบไฟฟ้าของคลังสินค้าและห้องประจุไฟฟ้า	- ระบบไฟฟ้าของคลังสินค้าและห้องประจุแบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่ไม่มีการดัดแปลงแก้ไข มีความแน่นหนาสามารถป้องกันการระเบิด	หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง

ภาคผนวก จ

รายละเอียดการคำนวณ

รายละเอียดการคำนวณ

1. การคำนวณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างการประจุแบตเตอรี่ ดังการแทนค่าลงในสมการ

$$H\ (ft^3/battery) = C \times \frac{O}{100} \times G \times A \qquad (16)$$

โดยที่ C = จำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่ 1 ลูก (เซลล์)

O = เปอร์เซ็นการประจุเกินระหว่างการประจุโดยประมาณ (ไม่มีหน่วย) = 20%

G = ปริมาตรก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกโดยหนึ่งแอมแปร์ชั่วโมงการประจุ (ft^3/เซลล์) = 0.01474 ft^3/เซลล์

A = ค่าความจุของแบตเตอรี่ภายใน 6 ชั่วโมง (แอมแปร์-ชั่วโมง)
= 450 แอมแปร์-ชั่วโมง ตามมาตรฐานแบตเตอรี่ (BT Midland Thailand, 2007)

1.1 คำนวณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างการประจุแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ขนาดเล็กแบบ 12 เซลล์ จำนวน 5 ลูก

โดย C = 12, O = 20, G = 0.0147, A = 450

ดังนั้น $H = 12 \times \frac{20}{100} \times 0.01474 \times 450 = 15.92\ ft^3/battery$

จะได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่จำนวน 5 ลูก มีค่า 15.92 x 5 = 79.60 ft^3

1.2 คำนวณการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนระหว่างการประจุแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่ขนาดใหญ่แบบ 24 เซลล์ จำนวน 13 ลูก

โดย C = 24, O = 20, G = 0.0147, A = 450

ดังนั้น $H = 24 \times \frac{20}{100} \times 0.01474 \times 450 = 31.84\ ft^3/battery$

จะได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่จำนวน 13 ลูก มีค่า 31.84 x 13 = 413.90 ft^3

ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมาทั้งหมดจากการประจุแบตเตอรี่ทั้ง 18 ลูก จำนวน 1 ครั้ง มีค่า 79.60 + 413.90 = 493.52 ft^3 หรือเท่ากับ 1.44 kg (ใช้ความหนาแน่นของก๊าซไฮโดรเจนที่ 25°C คือ 0.08342 kg/m^3)

3. แรงดันที่เกิดจากการระเบิดหรือ P_o (Overpressure) ดังการแทนค่าลงในสมการ

$$P_s = \frac{P_o}{P_a} \qquad (11)$$

โดย P_s = ค่า Scale overpressure (ไม่มีหน่วย)

P_o = Overpressure (psig)

P_a = ความดันบรรยากาศ (psig)

ดังนั้นจะได้ว่าแรงดันที่เกิดจากการระเบิดมีค่าเป็น 15 x 14.4 = 216 psig

4. อันตรายต่อสุขภาพและทรัพย์สินของผู้ประสบภัย ดังการแทนค่าลงในสมการ

$$Y = k_1 + k_2 \ln V \qquad (15)$$

โดย Y = ค่าโอกาสของเหตุการณ์

V = ตัวแปรของสาเหตุการเกิดของเหตุการณ์

(แรงดัน = N/m^2), (แรงกระแทก = $N\ sec/m^2$)

k_1, k_2 = Probit พารามิเตอร์

ที่ระยะห่าง 1 เมตร การเปลี่ยนหน่วยของแรงดันสูงสุด (P_o) ที่เกิดจากการระเบิดให้เป็นหน่วย SI ทำได้ดังนี้

แทนค่า $P_o = \dfrac{(216 \text{ psig}) \left(101{,}325 \dfrac{\text{N/m}^2}{\text{atm}}\right)}{\left(14.7 \dfrac{\text{psig}}{\text{atm}}\right)}$

จะได้ค่า P_o เท่ากับ 1,448,857.14 N/m^2

4.1 เสียชีวิตเนื่องจากมีจุดเลือดออกในปอด

$Y = (-77.1) + 6.91 \ln (1{,}448{,}857.14)$

จะได้ค่า Y เท่ากับ 20.95 (P > 100%)

4.2 แก้วหูทะลุ

$Y = (-15.6) + 1.93 \ln (1{,}448{,}857.14)$

จะได้ค่า Y เท่ากับ 11.79 (P > 100%)

4.3 โครงสร้างเสียหาย

$Y = (-23.8) + 2.92 \ln (1{,}448{,}857.14)$

จะได้ค่า Y เท่ากับ 17.64 (P > 100%)

4.4 กระจกแตก

$Y = (-18.1) + 2.79 \ln (1{,}448{,}857.14)$

จะได้ค่า Y เท่ากับ 21.49 (P > 100%)

จากการคำนวณพบว่าที่ระยะที่ 1 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่แรงดันจะส่งผลให้เสียชีวิตซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดจุดเลือดภายในปอดและแก้วหูทะลุ และแรงดันจะก่อให้เกิดโครงสร้างอาคารเสียหายและกระจกแตกร้าวอย่างสมบูรณ์

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS): ไฮโดรเจน

1. การชี้บ่งเคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อ IUPAC: Hydrogen gas.
ชื่อเคมีทั่วไป: Protium
ชื่อพ้องอื่นๆ: Water gas
สูตรโมเลกุล: H_2 สูตรโครงสร้าง: H-H

รหัส IMO:

รหัส UN/ID NO.: 1049, 1966
รหัส EC NO.: 001-001-00-9
รหัส CAS NO.: 1333-74-0
รหัส RTECS: MW 8900005
รหัส EUEINECS/ELINCS: 215-605-7 ชื่อวงศ์: -

2. ชื่อผู้ผลิต/จำหน่าย (Manufacturer and Distributor)

ชื่อผู้ผลิต/นำเข้า: -
แหล่งข้อมูลอื่นๆ: - CHEMINFO

3. การใช้ประโยชน์ (Uses)

สารนี้ใช้ในการไฮโดรจีเนชั่นของผัก และไขมันสัตว์ ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นของโลหะ, PETROLUME REFINING, การผลิตแอมโมเนีย

4. ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

LD_{50} (มก./กก.): - (-)	LC_{50} (มก./$ม^3$): - / -	ชั่วโมง (-)
IDLH (ppm): -	ADI (ppm): -	MAC (ppm): -
PEL-TWA (ppm): -	PEL-STEL (ppm): -	PEL-C (ppm): -
TLV-TWA (ppm): -	TLV-STEL (ppm): -	TLV-C (ppm): -

พรบ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 (ppm): -

พรบ. โรงงาน พ.ศ. 2535 (ppm): -

พรบ. ควบคุมยุทธภัณฑ์ พ.ศ. 2530: ☐ ชนิดที่ 1 ☐ ชนิดที่ 2 ☐ ชนิดที่ 3

พรบ. คุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 (ppm):

เฉลี่ย 8 ชั่วโมง - ระยะสั้น - ค่าสูงสุด - สารเคมีอันตราย: ☐

พรบ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535:

☐ ชนิดที่ 1 ☐ ชนิดที่ 2 ☐ ชนิดที่ 3 ☐ ชนิดที่ 4

หน่วยงานที่รับผิดชอบ:

5. คุณสมบัติทางกายภายและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ: ก๊าซ สี: ไม่มีสี

กลิ่น: ไม่มีกลิ่น นน. โมเลกุล: 2.02

จุดเดือด (^{o}C): -252.8 จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (^{o}C): -259.2

ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1): 1.0 ความหนืด (mPa.sec): -

ความดันไอ (มม.ปรอท): 0.067 ที่ 20^{o}C ความหนาแน่นไอ (อากาศ = 1): 0.0

ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัม/100 มล.): 1.8 ที่ - ^{o}C

ความเป็นกรด-ด่าง (pH): - ที่ -

แฟคเตอร์การแปลงหน่วย 1 ppm = 0.082 มก./ม^{3} หรือ 1 มก./ม^{3} = 12.2 ppm ที่ 25^{o}C

ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ: -

6. อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

6.1 การสัมผัสทางหายใจ: การหายใจเข้าไป ไม่เป็นพิษที่อุณหภูมิและความดันปกติ สามารถแทนที่ออกซิเจน ซึ่งทำให้ออกซิเจนไม่เพียงพอ ส่วนประกอบของออกซิเจนในบรรยากาศจะต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 18 ผลกระทบเมื่อออกซิเจนไม่เพียงพอ ถ้าร้อยละ 12 – 16 จะทำให้อัตราการหายใจและการเต้นของชีพจรเพิ่มขึ้น

6.2 สัมผัสทางผิวหนัง: การสัมผัสถูกทางผิวหนัง ไม่ทราบผลกระทบ

6.3 กินหรือกลืนเข้าไป: การกลืนหรือกินเข้าไป ไม่น่าจะเป็นไปได้

6.4 สัมผัสถูกตา: การสัมผัสถูกตา ไม่ทราบผลกระทบ

6.5 การก่อมะเร็ง: ผลของการสัมผัสเป็นเวลานานๆ (เรื้อรัง) การสัมผัสกับสารนานๆ จะไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ แต่ถ้าขาดออกซิเจน (เมื่อออกซิเจนในอากาศต่ำกว่า 18%) อาจมีผลต่อหัวใจและระบบประสาท

6.6 ความผิดปกติอื่นๆ: -

7. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

7.1 ความคงตัว: สารนี้มีความเสถียร

7.2 อันตรายจากการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชั่น: ไม่เกิดขึ้น

7.3 สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง: สารประกอบฮาโลเจน เช่น โบรไมด์ คลอรีน ฟลูโอไรด์ ทำปฏิกิริยาจะเกิดการระเบิดได้, แพลตินัม และสารอื่นที่ทำให้ไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดการระเบิดขึ้นมาได้, ลิเธียมเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจน, ไนโตรเจนฟลูออไรด์ ทำปฏิกิริยาเกิดการระเบิดได้ เมื่อมีการลุกติดไฟขึ้น, ออกซิเจนไดฟลูออไรด์จะทำปฏิกิริยาเกิดการระเบิดได้เมื่อมีการจุดติดไฟขึ้น

8. การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

จุดวาบไฟ (°C): -240

จุดลุกติดไฟเอง (°C): 571.2

ค่า LEL %: 4

NFPA Code:

ค่า UEL %: 75

ค่า LFL %: 4

ค่า UFL %: 75

8.1 เป็นก๊าซไวไฟ สามารถเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิห้องทั่วไป

8.2 เกิดไฟไหม้หรือการระเบิดเมื่อผสมกับอากาศ, ออกซิเจน, คลอรีน

8.3 สารดับเพลิง: ให้ใช้ผงเคมีแห้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำฉีดเป็นฝอย โฟม

8.4 ใช้น้ำฉีดหล่อเย็นภาชนะบรรจุที่สัมผัสถูกเพลิงไหม้

8.5 ไม่มีก๊าซอันตรายจากการเผาไหม้ และการสลายตัวเนื่องจากความร้อน

8.6 หยุดการรั่วของก๊าซ และเคลื่อนย้ายภาชนะบรรจุออกจากบริเวณที่ลุกติดไฟ ถ้าทำได้โดยปราศจากความเสี่ยงอันตราย

8.7 หยุดฉีดน้ำดับเพลิงก๊าซที่กำลังรั่วไหลอยู่นอกจากว่าสามารถหยุดการรั่วไหลได้แล้ว

8.8 สำหรับเพลิงไหม้รุนแรงในบริเวณกว้างให้ใช้สายฉีดน้ำที่ไม่ต้องควบคุมแรงดัน ถ้าไม่สามารถควบคุมเพลิงได้ ให้ถอยห่างจากบริเวณนั้น และปล่อยให้เพลิงลุกไหม้ต่อไป

8.9 อยู่ห่างจากด้านหัว – ท้ายของถังบรรจุ ถอยออกทันทีในกรณีที่มีเสียงจากอุปกรณ์ระบายนิรภัย ระเบิด หรือถังบรรจุเปลี่ยนสีเมื่อถูกเพลิงไหม้

9. การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

9.1 เก็บในระดับที่สูงกว่าพื้นดิน, เก็บในที่เย็น แห้ง มีการระบายอากาศที่ดี

9.2 เก็บให้ห่างจากการสัมผัสแสงอาทิตย์โดยตรง และห่างจากความร้อน และแหล่งจุดติดไฟ สารไวไฟ สารติดไฟ

9.3 ใช้ระบบระบายอากาศและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ ซึ่งไม่ทำให้เป็นแหล่งจุดติดไฟ

9.4 อย่าเคลื่อนย้ายถังบรรจุด้วยมือที่เปื้อนน้ำมัน

9.5 ชื่อทางการขนส่ง: HYDROGEN

9.6 ประเภทอันตราย: 2.1 ก๊าซไวไฟ

10. การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

10.1 ดับเพลิงหรือเคลื่อนย้ายแหล่งจุดติดไฟออกทั้งหมด

10.2 หยุดการรั่วไหลถ้าทำได้โดยปราศจากความเสี่ยงอันตราย

10.3 ควบคุมการเข้าออกบริเวณที่มีการหกรั่วไหลจนกว่าจะทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว

10.4 มั่นใจว่าการเก็บ ทำความสะอาดดำเนินการโดยบุคคลที่ผ่านการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ

10.5 ระบายอากาศในพื้นที่ที่หกรั่วไหล

11. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPD/PPE)

แว่นตานิรภัย

หน้ากากป้องกันการหายใจ

ถุงมือ

ข้อแนะนำการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPD/PPE):

12. การปฐมพยาบาล (First Aid)

12.1 หายใจเข้าไป: ถ้าหายใจเข้าไป ผู้ป่วยหมดสติหรือไม่มีอาการตอบสนอง ช่วยเหลือด้วยความระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยของตนเองก่อนการพยายามเข้าไปช่วยชีวิต, สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่เหมาะสมใช้ระบบ “คู่หู (BUDDY)”, เคลื่อนย้ายแหล่งปนเปื้อนหรือย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์, ถ้าหยุดหายใจ ให้ช่วยผายปอดโดยผู้ที่ได้รับการฝึกอบรม, ถ้าหัวใจหยุดเต้น ช่วยผายปอด (CPR) ทันที ออกซิเจนอาจเป็นประโยชน์ถ้าใช้โดยผู้ที่ได้รับการฝึกอบรมในการใช้ นำส่งโรงพยาบาลทันที

12.2 กินหรือกลืนเข้าไป: ถ้ากลืนหรือกินเข้าไป (ไม่มี)

12.3 สัมผัสถูกผิวหนัง: ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง (ไม่มี)

12.4 สัมผัสถูกตา: ถ้าสัมผัสถูกตา (ไม่มี)

12.5 อื่นๆ: การปฐมพยาบาลเบื้องต้น คือ ทำให้ร่างกายอบอุ่นและอยู่นิ่ง ข้อแนะนำข้างต้นอาจจะถูกพิจารณาให้เป็นพระราชบัญญัติสาธารณสุขในบางข้อของกฎหมาย ข้อแนะนำเหล่านี้ควรพิจารณาโดยแพทย์และผู้แทนโดยชอบตามที่ต้องการ ขั้นตอนการปฏิบัติในการปฐมพยาบาลควรถูกทบทวนเป็นประจำ โดยแพทย์ที่คุ้นเคยกับวัสดุนั้นๆ และเงื่อนไขในการใช้งาน

13. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts)

จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์หากมีการใช้และจัดการกับสารอย่างเหมาะสม

14. การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ (Sampling and Analytical)

NMAM NO.: -		OSHA NO.: -
วิธีการเก็บตัวอย่าง:	☐ กระดาษกรอง	☐ หลอดเก็บตัวอย่าง
	☐ อิมพินเจอร์	
วิธีการวิเคราะห์:	☐ ชั่งน้ำหนัก	☐ สเปคโตรโฟโตเมิเตอร์
	☐ แก๊สโครมาโตกราฟฟี	☐ อะตอมมิกแอบซอปชั่น

ข้อมูลอื่นๆ:

15. การปฏิบัติกรณีฉุกเฉิน (Emergency Response)

AVERS Guide: 04 DOT Guide: 115

15.1 กรณีฉุกเฉินโปรดใช้บริการระบบให้บริการข้อมูลการระงับอุบัติภัยจากสารเคมีทางโทรศัพท์หรือสายด่วน AVERS ที่หมายเลขโทรศัพท์ 1650

15.2 ต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติมโปรดติดต่อ กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ โทร 0 2298 24470, 0 2298 2457

Occupational Safety & Health Administration Standard

Regulations (Standards - 29 CFR)

Battery charging and changing. - 1917.157

• Part Number:	1917
• Part Title:	Marine Terminals
• Subpart:	G
• Subpart Title:	Related Terminal Operations and Equipment
• Standard Number:	1917.157
• Title:	Battery charging and changing.

1917.157(a)

Only designated persons shall change or charge batteries.

1917.157(b)

Battery charging and changing shall be performed only in areas designated by the employer.

1917.157(c)

Smoking and other ignition sources are prohibited in charging areas.

1917.157(d)

Filler caps shall be in place when batteries are being moved.

1917.157(e)

Parking brakes shall be applied before batteries are charged or changed.

1917.157(f)

When a jumper battery is connected to a battery in a vehicle, the ground lead shall connect to ground away from the vehicle's battery. Ignition, lights and accessories on the vehicle shall be turned off before connections are made.

1917.157(g)

Batteries shall be free of corrosion buildup and cap vent holes shall be open.

1917.157(h)

Adequate ventilation shall be provided during charging.

..1917.157(i)

1917.157(i)

Facilities for flushing the eyes, body and work area with water shall be provided wherever electrolyte is handled, except that this requirement does not apply when employees are only checking battery electrolyte levels or adding water.

1917.157(j)

Carboy tilters or siphons shall be used to handle electrolyte in large containers.

1917.157(k)

Battery handling equipment which could contact battery terminals or cell connectors shall be insulated or otherwise protected.

1917.157(l)

Metallic objects shall not be placed on uncovered batteries.

1917.157(m)

When batteries are being charged, the vent caps shall be in place.

1917.157(n)

Chargers shall be turned off when leads are being connected or disconnected.

1917.157(o)

Installed batteries shall be secured to avoid physical or electrical contact with compartment walls or components.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายประพันธ์ เทพสง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	24 มีนาคม 2524
สถานที่เกิด	อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	วทบ. (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ