

การจำลองเพลิงไหม้ และการอพยพหนีไฟบนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข A Numerical Simulation of Fire and Evacuation on Offshore Oil and Gas Processing Platform

วรมัน เฉลิมวัฒน์ และ ณัฐศักดิ์ บุญมี

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

Email: woraman@hotmail.com, fengnab@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แสดงผลการศึกษาการอพยพหนีไฟของพนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่บนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยอาศัยโปรแกรม Pyrosim2010 การจำลองใช้ข้อมูลของจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงานในช่วงเวลาปกติ 45 คน โดยอ้างอิงจากความสามารถในการบรรทุกของเรือปิด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) จำนวน 1 ลำที่ติดตั้งไว้ ณ ฐานผลิตฯ และพนักงานจำนวน 150 คน ที่ปฏิบัติงานในช่วงเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ฐานผลิตนอกชายฝั่งมีความสูง 5 ชั้น มีขนาด กว้าง 77 เมตร ยาว 94 เมตร และสูง 45 เมตร (เหนือระดับน้ำทะเล) การจำลองแบ่งออกเป็น 5 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้จำนวนตัวแทนทั้งสิ้น 45 คน เพื่อเปรียบเทียบเวลาการอพยพระหว่างการคำนวณเวลาอพยพของโปรแกรม Pyrosim2010 กับการจับเวลาจากการซ้อมแผนอพยพประจำปีกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ใช้จำนวนตัวแทนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติไม่มีเหตุเพลิงไหม้ และมีเพลิงไหม้โดยมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) เท่ากับ 1000 kW/m^2 กรณีที่ 4 และกรณีที่ 5 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ไม่มีเหตุเพลิงไหม้ และมีเพลิงไหม้

ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการอพยพหนีไฟไปยังจุดปลอดภัยคือกรณีที่ 1 ใช้เวลาในการอพยพ 3 นาที การซ้อมแผนอพยพฉุกเฉินใช้เวลา 5 นาที กรณีที่ 2 ใช้เวลา 4 นาที กรณีที่ 3 ใช้เวลา 4.5 นาที กรณีที่ 4 ใช้เวลา 4.7 นาที และกรณีที่ 5 ใช้เวลา 4.6 นาที จะเห็นได้ว่าในทุกกรณีตัวแทนสามารถเดินไปถึงจุดปลอดภัยได้ไม่เกิน 5 นาที ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายของประเทศไทยและมาตรฐานสากล

คำสำคัญ

การจำลองเพลิงไหม้ การจำลองการอพยพหนีไฟ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ฐานผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง

Abstract

This research presents a numerical simulation of fire evacuation on Offshore Oil and Gas Processing Platform by using computer program named Pyrosim2010. The simulation occupants

were stipulated to 45 POB (Personnel On Board) during normal operation with reference to the capacity of TEMPSC (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft) installed on the platform and 150 POB during plant shutdown for annual preventive maintenance. The platform consists of 5 decks having the dimensions of 77 meters wide, 94 meters long and 45 meters high (above sea level). The simulation was performed for 5 cases, namely 1) 45 POB for comparing the result with annual emergency exercise; 2) and 3) 45 POB (male) during normal operation without and with fire respectively; 4) and 5) 150 POB (male) during plant shutdown without and with fire respectively. The heat-release-rate of 1000 kW/m^2 was used for case 3 and 5.

The simulation results showed the evacuation times were 3 minutes, 4 minutes, 4.5 minutes, 4.7 minutes, and 4.6 minutes for cases 1, 2, 3, 4, and 5 respectively. The annual emergency exercise evacuation time is 5 minutes. The results showed that the evacuation times are complied with the Thai regulation and international standards.

Key words

fire simulation, fire evacuation simulation, numerical simulation, offshore oil and gas processing platform

1. บทนำ

การเกิดการรั่วไหลของไฮโดรคาร์บอนบนฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่งที่ส่งผลให้เกิดเพลิงไหม้ และการระเหิดนั้นมีความเป็นไปได้สูง และเมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิต และทรัพย์สิน เช่น เหตุการณ์เพลิงไหม้ฐานผลิตน้ำมันนอกชายฝั่ง ไพเพอร์ อัลฟา (Piper Alpha) เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 เป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 167 ราย ทรัพย์สินเสียหาย คิดเป็นมูลค่าสามพันสี่ร้อยล้านเหรียญสหรัฐ [1] และเมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2553 เกิดเหตุเพลิงไหม้ และระเบิดที่แท่นขุดเจาะนอกชายฝั่งดิพวอร์เตอร์ ฮอไรซอน (Deepwater Horizon Drilling Rigs) เป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิต 11 ราย บาดเจ็บ 17 ราย หลังจากนั้นแท่นขุดเจาะดังกล่าวได้จมลงสู่ก้นทะเลหลังเพลิงไหม้ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน [2]

ดังนั้นหากสามารถจำลอง และประเมินสภาวะขณะเกิดเพลิงไหม้ พร้อมทั้งนำผลที่ได้จากการจำลองมาใช้ในการคำนวณระยะเวลา และเส้นทางในการอพยพ จะทำให้สามารถลดผลกระทบ และความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นจากการเกิดเพลิงไหม้ได้

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Pyrosim2010 [3] คำนวณระยะเวลาในการอพยพของพนักงานที่ปฏิบัติงาน ณ ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง เพื่อเปรียบเทียบเวลาการอพยพระหว่างการคำนวณเวลาอพยพด้วยโปรแกรมกับการจับเวลาจากการซ้อมแผนอพยพประจำปี รวมทั้งเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกฎหมายของประเทศไทยและมาตรฐานสากล

2. ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

กฎกระทรวงแรงงานเรื่องข้อกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัยฯ [4] ข้อ 8 ได้กำหนดให้นายจ้างจัดให้มีเส้นทางหนีไฟทุกชั้นของอาคารอย่างน้อยชั้นละสองเส้นทางซึ่งสามารถอพยพลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยได้โดยปลอดภัยภายในเวลาไม่เกินห้านาที เส้นทางหนีไฟจากจุดที่ลูกจ้างทำงานไปสู่จุดที่ปลอดภัยต้องปราศจากสิ่งกีดขวาง

Offshore Risk Assessment (Principles, Modelling and Applications of QRA Studies) [5] หัวข้อ 7.4.2 เรื่องการวิเคราะห์เวลาในการหลบหนี ระบุว่า เวลาในการหลบหนีเป็นช่วงเวลาทั้งหมดที่นับตั้งแต่สัญญาณเตือนภัยดังขึ้น จนกระทั่งพนักงานทุกคนมาถึงจุดรวมพล โดยปกติแล้ว “เวลาในการหลบหนี” จะรวมอยู่ใน “เวลาที่ใช้ในการรวมพล” และจะรวมถึงเวลาที่ใช้ระบุคนที่สูญหายด้วย ซึ่งจะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 15 นาที รวมทั้งการออกแบบทางเดินภายในฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เพื่อความปลอดภัย ได้กำหนดให้ทางเดินหลัก (Main Walkway) หมายถึงช่องทางเดินซึ่งใช้ในการสัญจรปกติ รวมถึงทางสัญจรสำหรับใช้ในการอพยพ และตอบสนองเหตุฉุกเฉิน โดยทางเดินหลักสำหรับการสัญจรภายในสถานประกอบการต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 48 นิ้ว (1219 มิลลิเมตร) รวมถึงบันได และทางเดินรอง ซึ่งเชื่อมต่อกับทางเดินหลักต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 36 นิ้ว (914 มิลลิเมตร) ในการออกแบบทางเดินหลัก และทางเดินรองนี้จะต้องพิจารณาถึงการอพยพในกรณีฉุกเฉิน และการเคลื่อนย้ายเปลผู้ป่วยด้วยเช่นกัน

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการอพยพภายในโปรแกรม Pyrosim2010 [3]

โปรแกรม Pyrosim2010 จะแสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของผู้อพยพแต่ละคน โดยตัวแทน (agent) ในโปรแกรม Pyrosim2010 แต่ละตัวแทนมีคุณลักษณะเฉพาะตัว และแผนการในการหลบหนีของแต่ละตัวแทน การเคลื่อนที่ของตัวแทนจะถูกจำลองการเคลื่อนที่ในระยะนาบ 2 มิติ ซึ่งแสดงถึงชั้นภายในอาคาร สมการอัลกอริธึมพื้นฐานในการคำนวณการเคลื่อนที่จะถูกนำมาใช้ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ของตัวแทนแต่ละตัวแทนในระยะนาบ 2 มิติ (พื้นที่ และเวลา) แบบต่อเนื่อง โดย Pyrosim2010 จะจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของตัวแทนแต่ละตัวแทนบนระยะนาบที่กำหนด

2.3 แบบจำลองการเคลื่อนที่ภายในโปรแกรม

แบบจำลองของ Helbing *et al.* (2000) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ประกอบชุดคำสั่งในการเคลื่อนที่ของตัวแทนในโปรแกรม Pyrosim2010 ซึ่งเป็นที่รู้จักในเรื่อง แรง

กระทำรอบข้าง (Social Force) โดยมีพื้นฐานจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเปรียบตัวแทนเหมือนวัตถุมาทำปฏิกิริยากัน แสดงโดยสมการการเคลื่อนที่

$$m_i \frac{d^2 X_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \zeta_i(t)$$

โดยที่

$X_i(t)$ = ตำแหน่งของตัวแทน i ที่

เวลา t

$f_i(t)$ = แรงรอบข้างที่กระทำลงบนตัวแทน

m_i = มวล

$\zeta_i(t)$ = ค่าความผันผวนของแรง

dX_i/dt = ความเร็วของตัวแทน i , $V_i(t)$ V

3. วิธีดำเนินการ

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง

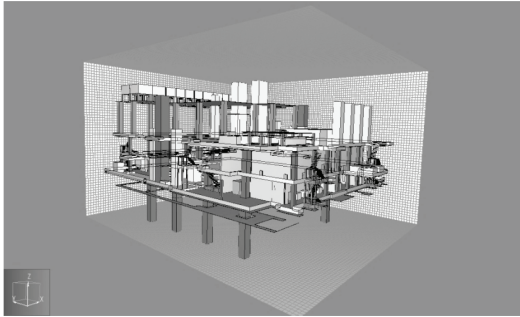
ฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง ที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ มีทั้งหมด 6 ชั้น ดังแสดงในดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระดับความสูงของชั้นต่างๆ ของฐานผลิตฯ

3.2 การสร้างแบบจำลอง

การใช้งาน Pyrosim2010 ต้องป้อนชุดคำสั่งตั้งแต่โครงข่ายที่ใช้ในการอพยพ (Evacuation Mesh) กำหนดสิ่งกีดขวาง กำหนดประเภทของบุคคล ความเร็ว ตำแหน่งที่เริ่มอพยพ ระยะเวลาในการตรวจจบบริเวณเวลาเริ่มที่จะอพยพ



ภาพที่ 2 แบบจำลอง และโดเมนในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Pyrosim2010

การสร้างชุดคำสั่งสำหรับการอพยพทำ โดยกำหนดขนาดโครงข่ายของการอพยพ (Evacuation Mesh) ของแบบจำลองแต่ละชั้นโดยใช้หลักการเดียวกันกับการกำหนดขนาดโครงข่ายของเพลิง (Fire Mesh) ของแบบจำลอง

กรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 5 กรณี ประกอบด้วย

กรณีที่ 1 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด โดยอ้างอิงจากความสามารถในการบรรทุกของเรือบด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) จำนวน 1 ลำที่ถูกติดตั้งไว้บนชั้น Cellar Deck ของฐานผลิตน้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง โดยกำหนดจุดรวมพลบริเวณเรือบด เพื่อเปรียบเทียบเวลาการอพยพระหว่างการคำนวณเวลาอพยพของโปรแกรม Pyrosim2010 กับการจับเวลาจากการซ้อมแผนอพยพประจำปี

กรณีที่ 2 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติ ไม่มีเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

กรณีที่ 3 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 45 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาปฏิบัติงานปกติ มีเพลิงไหม้บริเวณ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

กรณีที่ 4 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมดในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ไม่มีเหตุเพลิงไหม้โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

กรณีที่ 5 ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 150 คน เป็นเพศชายทั้งหมด ในเวลาที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี ปกติ มีเพลิงไหม้บริเวณ Inlet Separator ซึ่งตั้งอยู่บนชั้น Cellar Deck โดยกำหนดจุดรวมพลคือสะพานเชื่อมระหว่างแท่นผลิต

4. ผลการศึกษา

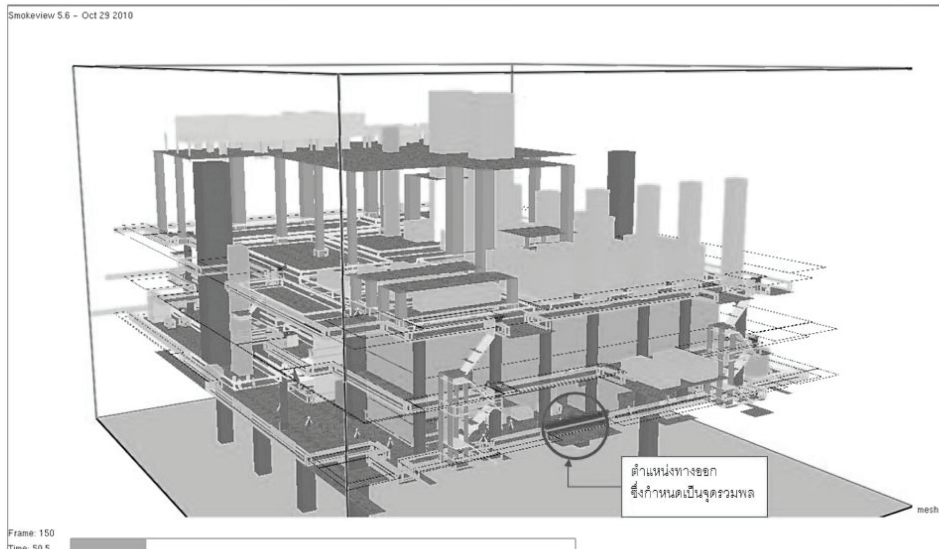
จากการศึกษาผลการจำลองด้วยแบบจำลองทั้ง 5 กรณี พบว่าเมื่อมีการอพยพตัวแทนจะวิ่งไปยังบันไดที่อยู่ใกล้ที่สุด เพื่อไปยังจุดปลอดภัยที่กำหนดไว้

เมื่อเปรียบเทียบการจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Pyrosim2010 ในกรณีที่ 1 และการจับเวลาจากการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปี จากแบบจำลองพบว่าตัวแทนคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดปลอดภัยใช้เวลา 184 วินาที หรือ 3 นาที ซึ่งในกรณีนี้จุดปลอดภัยที่ถูกกำหนดไว้คือบริเวณเรือบด (Totally Enclosed Motor Propelled Survival Craft : TEMPSC) โดยทางออกสุดท้ายที่กำหนดให้เป็นจุดปลอดภัยมีความกว้างเท่ากับ 10 เมตร ทำให้ตัวแทนสามารถผ่านทางออกสุดท้ายไปได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 3 ในขณะที่การซ้อมแผนฉุกเฉินพบว่าพนักงานคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 5 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 1 สรุปผลการจำลองแสดงเวลาที่ใช้ในการอพยพไปยังจุดรวมพล

กรณีที่	เวลาที่ใช้ในการอพยพวินาที (นาที)
1	184 (3)
2	240 (4)
3	207 (3.5)
4	283 (4.7)
5	280 (4.6)

หมายเหตุ : การจับเวลาจากการซ้อมแผนฉุกเฉินประจำปีฉุกเฉิน พบว่าพนักงานคนสุดท้ายอพยพไปยังจุดรวมพลใช้เวลา 5 นาที



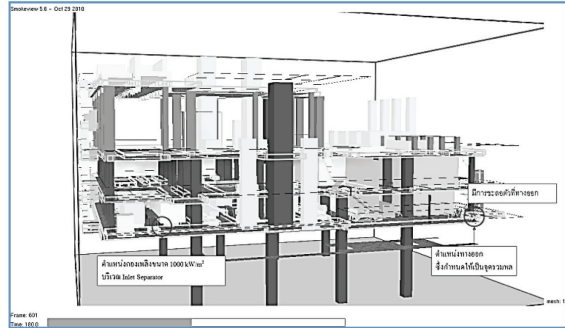
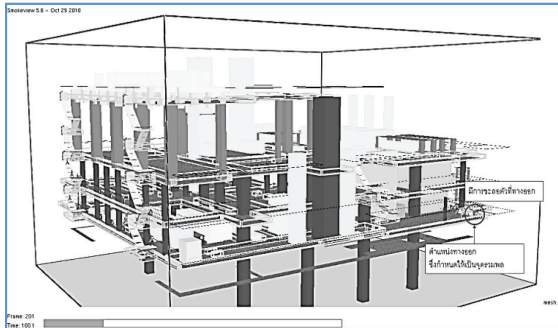
ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ไปยังทางออกของตัวแทนในแบบจำลองในกรณีที่ 1



ภาพที่ 4 การปฏิบัติตัว และการเข้าแถวเพื่อนับจำนวนคน บริเวณจุดรวมพลระหว่างการซ้อมแผนฉุกเฉิน

เมื่อพิจารณากรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ซึ่งกำหนดให้เป็นสภาพการทำงานปกติเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 มีพนักงานจำนวน 45 คน แต่จุดปลอดภัยกำหนดให้เป็นสะพานที่เชื่อมต่อระหว่างแท่นผลิต ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ 1.5 เมตร ซึ่งทำให้เกิดคอขวดบริเวณทางออก ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอพยพในกรณีที่ 2 ซึ่งใช้เวลา 240 วินาที (4 นาที) และกรณีที่ 3 ใช้เวลา 207 วินาที (3.5 นาที) ซึ่งมากกว่ากรณีที่ 1 แต่ในทุกกรณีที่กล่าวมาข้างต้น ตัวแทนสามารถอพยพไปสู่จุดปลอดภัยได้ภายใน 5 นาที ซึ่งสอดคล้องกับกฎกระทรวงแรงงาน และมาตรฐานสากล

จากการจำลองกรณีที่ 4 และกรณีที่ 5 ซึ่งกำหนดให้เป็นสภาพการทำงานในช่วงที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี พบว่าในกรณีที่ 4 ตัวแทนจะวิ่งไปยังจุดปลอดภัย โดยใช้เวลาในการอพยพ 283 วินาที (4.7 นาที) และในกรณีที่ 5 ตัวแทนจะวิ่งไปยังจุดปลอดภัย โดยใช้เวลาในการอพยพ 280 วินาที (4.6 นาที) โดยทั้งสองกรณีนี้ ตัวแทนสามารถอพยพไปสู่จุดปลอดภัยได้ภายใน 5 นาที ซึ่งสอดคล้องกับกฎกระทรวงแรงงาน และมาตรฐานสากลเช่นกัน ถึงแม้ว่าในบางช่วงเวลาจะมีการชะลอตัวที่บริเวณทางออกดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเคลื่อนที่ไปยังทางออกของตัวแท่นในแบบจำลองในกรณีที่ 4 และกรณีที่ 5

5. สรุป

เมื่อพิจารณาจากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Pyrosim2010 และการซ้อมแผนฉุกเฉิน พบว่า ในทุกกรณีพนักงานทั้งหมดสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในระยะเวลา 5 นาที แต่เพื่อให้การจัดการจตุรวมผลฉุกเฉินในขณะหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี มีความเป็นระเบียบ และรวดเร็ว ควรมีการแบ่งจำนวนพนักงาน และกำหนดจตุรวมพลให้มีความเหมาะสมกับจำนวนพนักงาน เพื่อจะสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็วขึ้น รวมทั้งเมื่อมีการแบ่งจำนวนพนักงาน และกำหนดจตุรวมพลให้พนักงานแล้ว ควรจะมีการซ้อมแผนฉุกเฉินเพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจ และทราบตำแหน่งของจตุรวมพลของตนเอง เพื่อความรวดเร็วในกรณีที่ต้องมีการอพยพ

ในกรณีที่มีการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงประจำปี จะมีวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ซึ่งบางชิ้นจะมีขนาดใหญ่มาตั้งบริเวณที่ปฏิบัติงาน รวมทั้งในบางครั้งยังต้องการปิดกั้นพื้นที่สำหรับปฏิบัติงาน ส่งผลให้เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ต้องมีการอพยพ พนักงานมีความจำเป็นจะต้องเดินอ้อมไปอีกทางหนึ่ง เพื่อไปยังจุดปลอดภัยที่กำหนดไว้ซึ่งทำให้ระยะเวลาที่จะไปยังจุดปลอดภัยนานกว่าเวลาที่แสดงในแบบจำลอง ดังนั้นในช่วงการวางแผนการทำงานควรระบุตำแหน่งในการจัดวางสิ่งของที่จำเป็นสำหรับการทำงานซ่อมบำรุง และมีป้ายสัญลักษณ์ชั่วคราวแสดงเส้นทางอพยพที่ชัดเจน เพื่อให้พนักงานสามารถอพยพไปยังจุดปลอดภัยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และแนะนำ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Paté-Cornell M.E. 1993. Learning from the Piper Alpha Accident: A Postmortem Analysis of Technical and Organization Factors. **Risk Analysis** 13 (2): 215-232.

[2] Wikipedia. 2010. **Deepwater Horizon explosion**. Available source: http://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon_explosion/, November 3, 2010.

[3] Thunderhead Engineering. **PyroSim User Manual 2010**. Available Source : <http://thunderheadeng.com/pyrosim/>, December 10, 2012.

[4] กระทรวงแรงงาน. 2555. กฎกระทรวงแรงงาน เรื่องข้อกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2555. กรุงเทพมหานคร.

[5] Vinnem J.E. 2007. **Offshore Risk Assessment: Principles, Modelling, and Application of QRA Studies 2nd Edition**. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.