การศึกษาความรุนแรงของการระเบิดจากการเชื่อมโดยใช้แก๊ส

Pernicious Study of Explosion from Oxy-Fuel Gas Welding

อนิกูล สวนดอกไม้ ธงไชย ศรีนพคุณ และ เกียรติไกร อายุวัฒน์

Anikoon Suandokmai Thongchai Srinopphakhun and Kiatkrai Ayuwat

ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10900

E-mail: good.jorpor@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาความรุนแรงของการระเบิดของถังแก๊ส LPG และถังแก๊ส Acetylene ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเชื่อม โดยใช้โปรแกรม ALOHA จำลองรูปแบบการระเบิด เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากค่าความเข้มของรังสีความร้อนที่เกิดขึ้น และศึกษาเส้นทางไปยังที่เกิดเหตุ จากโรงพยาบาลและสถานีดับเพลิงใกล้เคียงเพื่อให้การช่วยเหลือ โดยใช้โปรแกรม Google Earth ซึ่งผลการจำลองการระเบิดของถังแก๊ส LPG และถังแก๊ส Acetylene พบว่าในระยะรัศมีไม่เกิน 35 เมตร ผู้ที่อาศัยในระยะรัศมีดังกล่าว จะได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต และผลกระทบจากรังสีความร้อนน้อยที่สุด มีระยะรัศมีไกลถึง 88 เมตร เส้นทางที่ใกล้ที่สุดจากโรงพยาบาลศาลายาถึงจุดเกิดเหตุ ใช้เวลาประมาณ 11 นาที และจากสถานีดับเพลิงตลิ่งชันถึงจุดเกิดเหตุใช้เวลาประมาณ 5 นาที

Abstract

This article studied of explosion from LPG tank and acetylene cylinder are determine by ALOHA program which simulate explosive pattern to analyze the impact from thermal radiation from explosion, study of rescue route from hospital and fire station is executed by Google Earth program. Result of explosive pattern from LPG tank and acetylene cylinder have 35 meters radius from explosive point have fatal impact and simulation result of explosive pattern from is the thermal radiation have minimum impact 88 meters radius from explosive point. The best rescue route from Salaya hospital to the explosive area about 11 minute approach and best rescue route from Taling-Chan fire station to the explosive area about 5 minute approach.

1. บทนำ

การเชื่อมด้วยแก๊สเป็นกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย แก๊สออกซิเจนและแก๊สอะเซทิลีนเป็นแก๊สพื้นฐานที่ใช้ในการเชื่อมมากที่สุด เพราะแก๊สอะเซทิลีนให้ความร้อนมากกว่าการเผาไหม้ของแก๊สชนิดอื่นๆ อุบัติเหตุที่เกิดจากการใช้แก๊สเชื่อมที่พบบ่อยคือ ถังแก๊สระเบิด ในประเทศไทยเคยมีอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทั้งในโรงงานและสถานประกอบการที่มีสาเหตุมาจากการระเบิดของถังแก๊สมาแล้วมากมายหลายครั้ง หลายๆ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นอุทาหรณ์ให้เจ้าของหรือผู้ใช้งานอุปกรณ์สำหรับเชื่อมโดยใช้แก๊สตระหนักถึงอันตรายและความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ (ศิริพงษ์, 2549) เนื่องจากส่วนใหญ่การใช้งานอุปกรณ์สำหรับเชื่อมโดยใช้แก๊สนั้น ผู้ใช้มักไม่ตระหนักถึงความปลอดภัยในการใช้ ทั้งในเรื่องของขั้นตอนการเชื่อม อุปกรณ์ประกอบต่างๆ อันตรายและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงมาตรการป้องกัน จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงมีความสนใจศึกษาความรุนแรงของการระเบิดจากการเชื่อมโดยใช้แก๊ส โดยใช้โปรแกรม ALOHA จำลองรูปแบบการระเบิดของถังเชื้อเพลิง ว่าจะมีรัศมีความเข้มของรังสีความร้อนไกลเพียงใด และศึกษาถึงเส้นทางที่ไปยังจุดเกิดเหตุของโรงพยาบาลและสถานีดับเพลิงใกล้เคียงว่าใช้เวลาเท่าใดด้วยเส้นทางที่ใกล้ที่สุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการ

RECEIVED 31 March, 2010

ACCEPTED 13 May, 2010

พิจารณา กำหนดแนวทาง มาตรการในการลดความเสี่ยงในงานเชื่อมแก๊สต่อไปในอนาคต

ทั้งนี้ ณัฏฐพงษ์ (2550) ได้ทำการประเมินผลกระทบกรณีการระเบิดของวัตถุอันตรายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยได้นำโปรแกรม ALOHA มาใช้ในการจำลองสถานการณ์เพื่อหาผลกระทบการเกิดเหตุดังกล่าวด้วย และทิพวรรณ (2550) กล่าวว่าความรุนแรงการระเบิดแบบ BLEVE จะทำให้เกิดอันตรายมากที่สุดจากการแผ่รังสีความร้อนและอันตรายจากชิ้นส่วนโครงสร้างที่เกิดจากแรงระเบิด และมีการนำแผนที่จากโปรแกรม Marplot และโปรแกรม Google Earth มาใช้ในการประเมินระยะที่ส่งผลกระทบด้วย เพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงแผนฉุกเฉิน

2. วิธีการ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel(R) Core(TM) Duo CPU T2500 @ 2.00GHz 997 MHz, 0.99 GB of RAM, 120 GB of Hard Disk ระบบ Microsoft Window XP Professional Version 2002 Service Pack 3

2) โปรแกรม ALOHA 5.4.1.2

3) โปรแกรม Marplot 4.1.1

4) โปรแกรม Google Earth

5) โปรแกรม Microsoft Office 2007

2.2 ขั้นตอนดำเนินการ

1) ศึกษา ค้นคว้าทฤษฎี หลักวิชาและการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) ศึกษาความรุนแรงและผลกระทบจากการระเบิดของถังแก๊ส LPG และถังแก๊ส Acetylene โดยใช้ โปรแกรม ALOHA และใช้โปรแกรม Marplot เพื่อแสดง Footprint

3) ใช้โปรแกรม Google Earth หาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างโรงพยาบาลกับจุดเกิดเหตุและระหว่างสถานีดับเพลิงกับจุดเกิดเหตุ

4) นำผลการศึกษาค้นคว้าที่ได้มาเรียบเรียง

5) สรุปผล และให้ข้อเสนอแนะ

2.3 ข้อจำกัด

1) การศึกษาความรุนแรงจากการระเบิด ไม่สามารถทำให้เกิดการระเบิดจริงได้ เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัยเป็นสำคัญ จึงต้องใช้การจำลองการระเบิดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2) โปรแกรม Google Earth ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่เดินทางนั้น ใช้ความเร็วเท่าไร สภาพการจราจรเป็นอย่างไร เป็นเพียงการประมาณเวลาให้สัมพันธ์กับระยะทาง

3) การใช้โปรแกรม Google Earth จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบ Internet

3. ผลและวิจารณ์

ผู้เขียนได้นำเหตุการณ์การระเบิดจากงานเชื่อม โดยไม่ได้เฉพาะเจาะจงว่าเป็นการระเบิดที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง นำมาทดลองในโปรแกรม ALOHA เพื่อจำลองดูความรุนแรงที่เกิดขึ้น

3.1 ผลกระทบจากการระเบิด แบบ BLEVE ที่แปรผลด้วยโปรแกรม ALOHA เป็นดังนี้

1. กรณีถังแก๊ส LPG ขนาด 15 kg

ผลจากโปรแกรม ALOHA พบว่า อันตรายที่เกิดจากการเกิดลูกไฟ จะเกิดปริมาณรังสีความร้อน ซึ่งพบว่าจากกรณีศึกษาหากเกิดการระเบิดแบบ BLEVE ขึ้นจะทำให้เกิดลูกไฟตามภาพที่ 5 ลูกไฟมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เมตร สำหรับระยะเวลาที่เกิดระเบิดแบบ BLEVE ใช้เวลาเผาไหม้ 2 วินาที

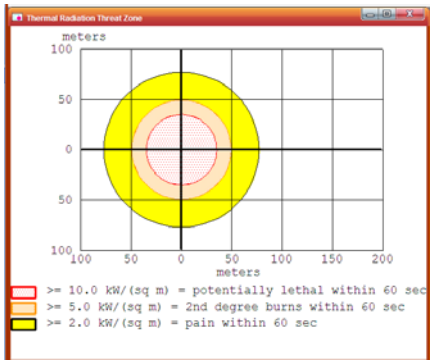
โปรแกรม ALOHA มีข้อจำกัดในการประเมินความเสียหายด้านโครงสร้างอาคารแต่ความสามารถของโปรแกรม ALOHA มีความสามารถในการประเมิน กรณีเกิดการระเบิดแบบ BLEVE และประเมินผลกระทบจากการเกิดรังสีความร้อนได้ ซึ่งผลปรากฏ ดังนี้

- ที่ความเข้มของรังสีความร้อน 10 kW/m^2 จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีไม่เกิน 35 เมตรได้รับอันตรายร้ายแรง โดยในรัศมีดังกล่าว พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ก่อสร้างโล่งๆ ทำให้เป็นพื้นที่ประชากรเบาบาง ซึ่งมีคนงานรับเหมาประมาณ 20 คน

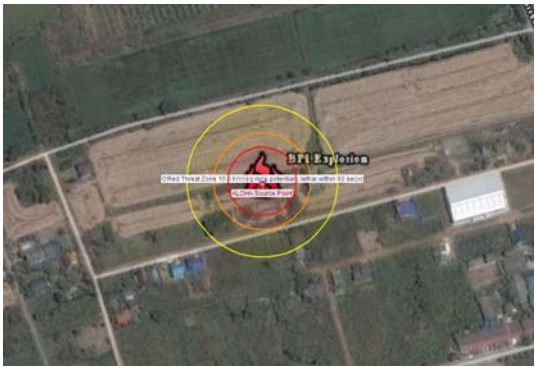
อาจได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต หลังได้รับสัมผัสรังสีความร้อนนาน 60 วินาที

- ที่ความเข้มของรังสีความร้อน 5 kW/m^2 จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมี 35-49 เมตร เกิดแผลไหม้ลึกระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสรังสีความร้อนนาน 60 วินาที

- ที่ความเข้มของรังสีความร้อน 2 kW/m^2 จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีระหว่าง 49-77 เมตร เกิดแผลไหม้ผุพองได้รับความเจ็บปวด หลังได้รับสัมผัสรังสีความร้อนนาน 60 วินาที



รูปที่ 1 ระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเกิด Fireball กรณีถังแก๊ส LPG ระเบิด



รูปที่ 2 บริเวณที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจาก Fireball กรณีถังแก๊ส LPG ระเบิด

พิจารณาจากรูปที่ 2 จะเห็นว่าความรุนแรงจากการเกิดระเบิดแบบ BLEVE ไม่ส่งผลกระทบต่อเขตที่อยู่อาศัย เนื่องจากจุดเกิดเหตุเป็นพื้นที่กำลังก่อสร้าง ห่างจากชุมชนซึ่งรัศมีใกล้ที่สุดจากจุดเกิดเหตุประมาณ 100 เมตร แต่ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ก่อสร้างนี้ประมาณ 20 คน จะได้รับบาดเจ็บดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลกระทบจากการเกิดการระเบิดของแก๊ส LPG แบบ BLEVE ที่ระยะต่าง ๆ

ค่าความเข้มรังสีความร้อน (kW/m^2)	ระยะทาง (เมตร)	ผลกระทบ
≥ 2	77	รู้สึกอึดอัดไม่สบายตัวเมื่อต้องสัมผัสเป็นระยะเวลานาน
≥ 5	49	ทำให้เกิดความเจ็บปวดหลังได้รับสัมผัสเป็นเวลามากกว่า 20 วินาที
≥ 10	35	ทำให้เกิดความเจ็บปวดหลังได้สัมผัสเป็นเวลามากกว่า 8 วินาที เป็นแผลไหม้ในระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสนาน 20 วินาที

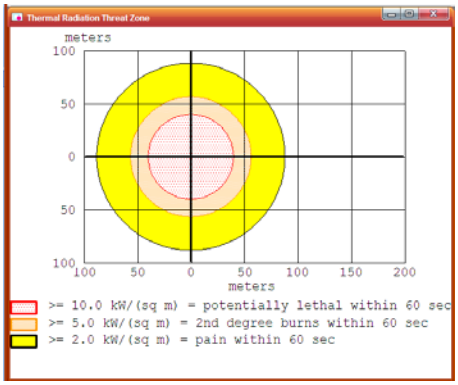
2. กรณีถังแก๊ส Acetylene ขนาด 275 ft^3

ผลจากโปรแกรม ALOHA พบว่า อันตรายที่เกิดจากการเกิดลูกไฟ จะเกิดปริมาณรังสีความร้อน ซึ่งพบว่าจากกรณีศึกษาหากเกิดการระเบิดแบบ BLEVE ขึ้นจะทำให้เกิดลูกไฟตามรูปที่ 3 ลูกไฟมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เมตร สำหรับระยะเวลาที่เกิดระเบิดแบบ BLEVE ใช้เวลาเผาไหม้ 2 วินาที ซึ่งผลปรากฏ ดังนี้

- ที่ความเข้มของรังสีความร้อน 10 kW/m^2 จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีไม่เกิน 40 เมตรได้รับอันตรายร้ายแรง โดยในรัศมีดังกล่าว พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ก่อสร้างโล่งๆ ทำให้เป็นพื้นที่ประชากรเบาบาง ซึ่งมีคนงานรับเหมาประมาณ 20 คน อาจได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต หลังได้รับสัมผัสรังสีความร้อนนาน 60 วินาที

- ที่ความเข้มของรังสีความร้อน 5 kW/m^2 จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีระหว่าง 40-57 เมตร นี้ เกิดแผลไหม้ลึกระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสรังสีความร้อนนาน 60 วินาที

- ที่ความเข้มของรังสีความร้อน 2 kW/m^2 จะทำให้ผู้ที่อยู่ในรัศมีระหว่าง 57-88 เมตร นี้ เกิดแผลไหม้ผุพองได้รับความเจ็บปวด หลังได้รับสัมผัสรังสีความร้อนนาน 60 วินาที



รูปที่ 3 ระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเกิด Fireball กรณีถังแก๊ส Acetylene ระเบิด

รูปที่ 4 บริเวณที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับอันตรายจาก Fireball กรณีถังแก๊ส Acetylene ระเบิด

พิจารณาจากรูปที่ 4 จะเห็นว่าความรุนแรงจากการเกิดระเบิดแบบ BLEVE ไม่ส่งผลกระทบต่อเขตที่อยู่อาศัย เนื่องจากจุดเกิดเหตุเป็นพื้นที่กำลังก่อสร้าง ห่างจากชุมชนซึ่งรัศมีใกล้ที่สุดจากจุดเกิดเหตุประมาณ 100 เมตรแต่ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ก่อสร้างนี้ประมาณ 20 คน จะได้รับบาดเจ็บดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลกระทบจากการเกิดการระเบิดของแก๊สอะเซทิลีน แบบ BLEVE ที่ระยะต่าง ๆ

ค่าความเข้มรังสีความร้อน (kW/m^2)	ระยะทาง (เมตร)	ผลกระทบ
≥ 2	88	รู้สึกอึดอัดไม่สบายตัวเมื่อต้องสัมผัสเป็นระยะเวลานาน
≥ 5	57	ทำให้เกิดความเจ็บปวดหลังได้รับสัมผัสเป็นเวลามากกว่า 20 วินาที
≥ 10	40	ทำให้เกิดความเจ็บปวดหลังได้สัมผัสเป็นเวลามากกว่า 8 วินาที เป็นแผลไหม้ในระดับ 2 หลังได้รับสัมผัสนาน 20 วินาที

วิเคราะห์จากจากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สรุประยะที่ได้รับอันตรายจากการเกิดเหตุการณ์แก๊ส LPG และ แก๊ส Acetylene ระเบิด ซึ่งจะบอกเป็นระยะทาง แต่เพื่อให้การประเมินผลกระทบที่ชุมชนและอาคารใกล้เคียงที่อยู่ในเขตที่จะได้รับอันตรายพิจารณาได้สะดวกขึ้น ผู้เขียนจึงนำโปรแกรม Google Earth มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม Marplot เพื่อให้สามารถประเมินสถานการณ์ได้ทันที ซึ่งหลังจากที่โปรแกรมประมวลผลเรียบร้อยแล้ว จะปรากฏผลในรูปแบบของภาพ Footprint ที่สามารถประเมินได้ว่าความรุนแรงมีมากน้อย และมีรัศมีผลกระทบไกลเพียงใด จะเห็นได้ว่าภาพจากแผนที่ Google Earth ทำให้ประเมินความรุนแรงของเหตุการณ์ได้ชัดเจนขึ้น

3.2 ผลการหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างโรงพยาบาลและจุดเกิดเหตุ

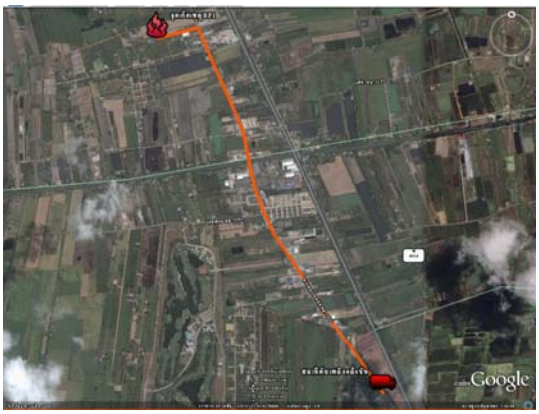
ผู้เขียนใช้โปรแกรม Google Earth ช่วยในการหาระยะทางระหว่างจุดเกิดเหตุกับโรงพยาบาลใกล้เคียงที่ใกล้ที่สุด พบว่า โรงพยาบาลศาลายากับจุดเกิดเหตุห่างกัน 6 กิโลเมตร

ใช้ระยะเวลาเดินทางประมาณ 11 นาที ด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 เส้นทางระหว่างโรงพยาบาลศาลายากับจุดเกิดเหตุ

3.3 ผลการหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างสถานีดับเพลิงและจุดเกิดเหตุ

ผู้เขียนใช้โปรแกรม Google Earth ช่วยในการหาระยะทางระหว่างจุดเกิดเหตุกับสถานีดับเพลิงใกล้เคียงที่ใกล้ที่สุด พบว่า ระยะทางระหว่างสถานีดับเพลิงตลิ่งชันกับจุดเกิดเหตุห่างกัน 3.6 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาเดินทางประมาณ 5 นาที ด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เส้นทางระหว่างสถานีดับเพลิงตลิ่งชันกับจุดเกิดเหตุ

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลการจำลองการระเบิดโดยโปรแกรม ALOHA ทำให้ทราบว่า ถ้าเกิดการระเบิดของถังแก๊ส LPG และถังแก๊ส Acetylene สามารถทำให้เกิดผลเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่โดยรอบเพียงใด และผลจากการใช้โปรแกรม Google Earth ในหาเส้นทางระหว่างจุดเกิดเหตุกับโรงพยาบาลและสถานีดับเพลิงมีเส้นทางอย่างไร และใช้เวลาเท่าไรในการเข้าถึงสถานที่เกิดเหตุเพื่อให้ความช่วยเหลือและระงับเหตุฉุกเฉิน

4. สรุป

บทความฉบับนี้เป็นการนำความเสี่ยงที่รุนแรงที่สุดจากงานเชื่อม คือ การระเบิด มาศึกษาความรุนแรงและผลกระทบ โดยนำโปรแกรม ALOHA และโปรแกรม Marplot มาใช้งานร่วมกับโปรแกรม Google Earth เพื่อประเมินผลกระทบจากการระเบิด การแผ่รังสีความร้อนของแก๊ส LPG และแก๊ส Acetylene และหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางระหว่างสถานที่เกิดเหตุกับโรงพยาบาลและสถานีดับเพลิงที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อเข้าช่วยเหลือและนำส่งผู้ที่อาจบาดเจ็บในบริเวณพื้นที่เกิดเหตุไปยังโรงพยาบาลใกล้เคียง โดยโปรแกรมประมวลผลตามสถานการณ์ที่กำหนดซึ่งสรุปได้ดังนี้

ผลการกระทบจากการเกิดระเบิดแบบ BLEVE มีทั้งเกิดอันตรายจากการพุ่งกระจายของชิ้นส่วนของภาชนะบรรจุ เนื่องจากมีแรงดันจากการระเบิดซึ่งโปรแกรมไม่สามารถประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ แต่โปรแกรม ALOHA สามารถที่จะประเมินผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนได้ จะทำให้ทราบว่าผู้ที่อยู่ในรัศมีนั้นจะได้รับอันตรายอย่างไร

สำหรับการหาเส้นทางโดยโปรแกรม Google Earth นั้น นับว่ามีความสะดวก ง่าย และรวดเร็ว มีวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เพราะบางครั้งการที่จะหาเส้นทางในตำแหน่งใหม่ ซึ่งแผนที่ในโปรแกรม Google Earth ไม่ได้ระบุไว้ โปรแกรมจะไม่สามารถหาเส้นทางให้ได้ จึงต้องเพิ่มข้อมูลพิกัด ของตำแหน่งที่เราต้องการลงไปก่อนจึงจะหาเส้นทางระหว่าง 2 ตำแหน่งได้

ในการใช้งานอุปกรณ์การเชื่อมแก๊สนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือขั้นตอน การปฏิบัติที่ปลอดภัยเช่น การประกอบ

อุปกรณ์ การตรวจสอบก่อนและหลังการใช้งาน ตลอดจนการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บ อันตรายสูงสุดคือการระเบิดของถังแก๊ส ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ซึ่งส่วนใหญ่ผู้ที่ใช้งานเครื่องตัด เชื่อมแก๊สยังคงไม่ทราบถึงอันตรายของงานเชื่อมแก๊สและความสำคัญของอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ของชุดเชื่อม และยังคงละเลยขั้นตอนการปฏิบัติที่ปลอดภัย ดังนั้นผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการรณรงค์ ส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานทุกระดับ ทุกภาคส่วน จึงควรเน้นให้ความสำคัญเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ตัด เชื่อมแก๊สให้เกิดความปลอดภัยอย่างแท้จริง และควรแสดงให้ผู้เกี่ยวข้องกับงานการทำงานเชื่อมแก๊สนี้ เห็นถึงผลกระทบจากการระเบิด ซึ่งส่วนหนึ่งได้แสดงไว้ในงานวิจัยนี้ ว่ามีความรุนแรงเพียงใด เพื่อให้เกิดความตระหนักถึงอันตรายของการใช้เครื่องเชื่อมแก๊ส และใช้งานอย่างปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา วิศวกรรมความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริพงษ์ สุงสุวรรณ. 2549. มาตรการป้องกันอันตรายไฟย้อนกลับ (Flashback) จากการเชื่อมโดยใช้แก๊ส. สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

[2] ณัฏฐพงษ์ จุลาเกตุโพธิชัย. 2550. การประเมินผลกระทบกรณีการรั่วไหลและการระเบิดของวัตถุอันตรายเพื่อสร้างแผนรองรับเหตุฉุกเฉิน: กรณีศึกษาถังบรรจุแก๊สไฮโดรคาร์บอนเบาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] ทิพวรรณ อังศิริ. 2550. การประเมินความรุนแรงการรั่วไหลของแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายในคลังเก็บ: กรณีศึกษาถังเก็บทรงกระบอกแนวนอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.