รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว
Liquefied Natural Gas (LNG) Receiving Terminal Storage and Associated Facilities Design

นางสาววรัญญา ถาวรกชกร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

Liquefied Natural Gas (LNG) Receiving Terminal Storage and Associated Facilities Design

นางสาววรัญญา ถาวรกชกร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การออกแบบโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

ชื่อ-สกุล นักศึกษา น.ส.วรัญญา ถาวรกชกร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายศิรวิชย์ ดาเก็ง

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

นี่เป็นส่วนหนึ่งของรายงานสหกิจศึกษาสมบูรณ์ ทำการศึกษาเกี่ยวกับโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (LNG Terminal) องค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวจะประกอบไปด้วยมีเทน วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือ เพื่อศึกษาอันตรายที่ส่งผลกระทบกรณีเกิดการกระจายของสาร และกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Jet Fire โดยใช้โปรแกรม ALOHA ในการหาระยะผลกระทบ นอกจากนี้คำนวณขนาดวาล์วนิรภัยและท่อขาเข้า-ขาออกของวาล์วนิรภัย และหาขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายสารความดันสูง แล้วตรวจสอบขนาดวาล์วและท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยจากโปรแกรม Visual Flare ซึ่งผลลัพธ์จากการหาผลกระทบกรณีการกระจายของสารที่วาล์วนิรภัย ปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายสารความดันสูง พบว่าที่ระดับพื้นดินจะไม่พบการกระจายของสาร ยกเว้นพื้นที่กักเก็บที่มีการกระจายของสารเกินขอบเขต ส่วนการแผ่รังสีความร้อนที่หลังคาถังกักเก็บจะมีระยะผลกระทบที่ได้เกินขอบเขต ในกรณีที่ผลกระทบเกินขอบเขตจะต้องทำการวางแผนและติดตั้งระบบเพื่อลดระยะรัศมีของผลกระทบ

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว โปรแกรม ALOHA วาล์วนิรภัย ท่อทางขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย ขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ ปล่องระบายสารความดันสูง การแผ่รังสีความร้อน การกระจายของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operative Title : LNG Receiving Terminal Storage and Associated Facilities Design

Student Intern Name : *Ms. WarunyaThavornkochakorn*

Faculty : Engineering **Department :** Chemical Engineering

Advisor Name : Prof. Dr. Kriangsak Kraiwattanawong

Mentor Name : Mr. Siravich Dakeng

Company : TTCL Public Company Limited

ABSTRACT

In this cooperative report, we have studied about LNG Terminal which the major component is methane. The objective of this project to identify the hazardous effects from chemical leak and thermal radiation of Jet Fire in LNG terminal. Then, we designed the safety valve and inlet-outlet line size of safety valve. We also designed the dimension of cold vent stack and HP vent stack. Finally, we studied safety for LNG terminal and facilities, fire and explosion study, thermal radiation hazard and evaluation of gas dispersion. The valve size, line size and stack size are based on American Petroleum Institute (API). For the flammable dispersion from PSV, vapor return line, cold vent stack and HP vent stack, the results shown that there is no impact at ground level. The impoundment area is the only location that the impact distance of flammable dispersion exceeds the property line. For thermal radiation, the distance of thermal radiation from tank roof fire significantly exceeds the property line. In case of the effect is over standard, the use of high foam expansion, water curtain, firewater spray and vapor barrier walls for reducing distance of thermal radiation and flammable dispersion are considered.

Keywords : Liquefied Natural Gas, ALOHA Software, size safety valve, Inlet and Outlet of line safety valve, dimension of cold vent stack and HP vent stack, terminal radiation, flammable dispersion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้า น.ส.วรัญญา ถาวรกชกร ได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้ประสบการณ์ ความรู้ต่างๆมากมาย รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยได้รับการช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษาจาก นายศิรวิชย์ ดาเก็ง ที่ปรึกษานิเทศงานสหกิจศึกษา ที่คอยให้ความรู้ และให้คำปรึกษาต่างๆ

ขอขอบพี่ๆในบริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือให้คำอธิบาย สอนการทำงาน โครงงานนี้ไม่สามารถเสร็จ หากปราศจากพี่ๆทุกคน

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำแนะนำต่างๆในระหว่างการทำโครงการ เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงตรวจความถูกต้องของโครงการ ตลอดให้ความช่วยเหลือด้านวิชาการที่เกี่ยวข้อง

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า รวมถึงผู้ที่มีส่วนร่วมในโครงการที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดการปฏิบัติสหกิจศึกษาที่ข้าพเจ้าได้รับมอบหมายจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาว วรัญญา ถาวรกชกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ....1
1.2 วัตถุประสงค์....1
1.3 ขอบเขตของการทำงาน....2
1.4 ประโยชน์ของการทำงาน....2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....3
2.1 เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas)....3
2.2 เกณฑ์พื้นฐานในการออกแบบโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว....3
2.2.1 การขนส่งและการจัดส่งเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว....3
2.2.2 การเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวและการส่งก๊าซกลับเรือขนส่ง....3
2.2.3 ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว....5
2.2.4 เครื่องอัดก๊าซ (BOG Compressor)....6
2.2.5 ปั๊มสำหรับส่งออกเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวและ Re-condensor....6
2.2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Regasification Unit)....9
2.2.7 ระบบท่อขนส่ง (Pipeline)....11
2.2.8 หน่วย Utility....12
2.2.9 ปล่องและช่องระบายความดัน (Stack and Pressure Relief)....13
2.3 การออกแบบขนาดวาล์วนิรภัย....14
2.3.1 ประเภทของวาล์วนิรภัยตามลักษณะการทำงาน....14
2.3.2 หลักการคำนวณปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย....16
2.3.3 หลักการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของปล่อง....23
2.3.4 หลักการคำนวณหาขนาดวาล์วนิรภัยและขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย....29
2.4 การเกิดไฟไหม้และระเบิด....34
2.4.1 สามเหลี่ยมไฟ....34
2.4.2 คำนิยาม....35
2.4.3 คำศัพท์เกี่ยวกับไฟ....38
2.4.4 แหล่งกำเนิดของอันตรายของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว....40
2.4.5 ชนิดของแหล่งแพร่กระจายในโปรแกรม ALOHA....43
2.4.6 คำแนะนำการระบายออกและของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....45
3.1 แผนผังการหาผลกระทบจากโปรแกรม ALOHA และการหาขนาดวาล์วนิรภัย ขนาดปล่อง ขนาดท่อขาเข้า-ขาออก.....45
3.2 การใช้โปรแกรม ALOHA.....47
3.3 ขั้นตอนการหาขนาดวาล์วนิรภัยและท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย.....56
3.4 การใช้โปรแกรม Visual Flare.....57
บทที่4 ผลการวิจัย.....60
4.1 ปริมาณก๊าซที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัยแต่ละตัว.....60
4.2 ขนาดของวาล์วนิรภัย ขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย ขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ และปล่องระบายความดันสูง.....61
4.3 ผลการกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ ปล่องระบายความดันสูง รวมถึงบริเวณวาล์วนิรภัย Impoundment area และหลังคาถังกักเก็บ.....64
4.3.1 การกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ.....64
4.3.2 การกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณถังกักเก็บ.....65
4.3.3 การกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณปล่องระบายความดันสูง.....70
บทที่5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....72
5.1 สรุปผลการวิจัย.....72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....73
เอกสารอ้างอิง.....74
ภาคผนวก ก.....75
ภาคผนวก ข.....88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะชนิด Re-condensor ที่นำมาพิจารณา....8
ตารางที่ 2.2 ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม....17
ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสำหรับไฮโดรคาร์บอนเหลวและน้ำ....23
ตารางที่ 2.4 การแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟของก๊าซ....24
ตารางที่ 2.5 แนะนำค่าการออกแบบการแผ่รังสีความร้อนสำหรับบุคคลทั่วไป....29
ตารางที่ 2.6 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกขนาด และพื้นที่รูระบาย (Orifice) ของวาล์วนิรภัย....32
ตารางที่ 2.7 ค่าขีดจำกัดระดับพลังงานความร้อนไปยังขอบเขต....37
ตารางที่ 2.8 ระยะเวลาที่มนุษย์สามารถทนได้เมื่อสัมผัสกับความเข้มรังสีความร้อน....38
ตารางที่ 2.9 ระดับของเสียที่ระบายสู่สิ่งแวดล้อมจากโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว....44
ตารางที่ 4.1 ปริมาณที่ระบายออกบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ....60
ตารางที่ 4.2 ปริมาณที่ระบายออกบริเวณถังกักเก็บ....60
ตารางที่ 4.3 ปริมาณที่ระบายออกบริเวณปล่องระบายสารความดันสูง....61
ตารางที่ 4.4 ขนาดวาล์วนิรภัย และพื้นที่รูระบาย (Orifice area) 61
ตารางที่ 4.5 ขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยและชนิดวาล์วนิรภัย....62
ตารางที่ 4.6 ขนาดวาล์วนิรภัยจากโปรแกรม Visual Flare....62
ตารางที่ 4.7 ขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยจากโปรแกรม Visual Flare....62
ตารางที่ 4.8 ปริมาณที่ระบายออกแต่ละจุดรวมการระบายสารจากโปรแกรม Visual Flare....63
ตารางที่ 4.9 ขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายความดันสูง....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การขนถ่ายเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวผ่าน Liquid Unloading arm....4
รูปที่ 2.2 แผนภาพส่งก๊าซกลับเรือขนส่ง....4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว....5
รูปที่ 2.4 อัตราการไหลต่ำสุดของปั๊มโดยไม่ทำให้ปั๊มเกิดการเสียหาย....7
รูปที่ 2.5 เวลาที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนปั๊มความดันต่ำ....9
รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีสารตัวกลาง (IFV)....10
รูปที่ 2.7 แผนผังระบบท่อขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังโรงไฟฟ้า 25 km....11
รูปที่ 2.8 ตำแหน่งปล่องระบายก๊าซและบริเวณถังกักเก็บ....13
รูปที่ 2.9 วาล์วนิรภัยแบบทั่วไป....14
รูปที่ 2.10 วาล์วนิรภัยแบบทำงานเปิด-ปิด....15
รูปที่ 2.11 วาล์วนิรภัยแบบแผ่นประลัย (Rupture disk)....15
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างทางออกโดนกั้น....18
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างอุปกรณ์ล้มเหลวในการทำงาน....20
รูปที่ 2.14 ตำแหน่งล้มเหลวของวาล์วควบคุม....21
รูปที่ 2.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ....22
รูปที่ 2.16 ความสูงของเปลวไฟเมื่อเทียบกับความร้อนที่ระบายออกมา (หน่วย SI)....25
รูปที่ 2.17 ความสูงของเปลวไฟเมื่อเทียบกับความร้อนที่ปล่อยออกมา (หน่วย USC)....26
รูปที่ 2.18 ระยะเปลวไฟที่เอียงจากปล่องเมื่อมีลมมากระทำ....27
รูปที่ 2.19 ขนาดอ้างอิงสำหรับการคำนวณขนาดปล่อง....28
รูปที่ 2.20 กราฟเส้นโค้งสำหรับประมาณค่าสัมประสิทธิ์ในสมการการไหลจาก
อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ โดยสมมติว่าเป็นก๊าซในอุดมคติ....30
รูปที่ 2.21 ค่า F_2 สำหรับการไหลใต้วิกฤต (Subcritical flow)....31
รูปที่ 2.22 สามเหลี่ยมไฟ....34
รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของการติดไฟกับอุณหภูมิ....37
รูปที่ 2.24 Pool Fire....39
รูปที่ 2.25 Jet Fire....39
รูปที่ 2.26 Fireball....39
รูปที่ 2.27 Flash Fire....39
รูปที่ 2.28 การเกิดโรลโอเวอร์ (Rollover)....42
รูปที่ 2.29 Direct....43
รูปที่ 2.30 Pipe....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 Tank 43
รูปที่ 2.32 Puddle.....43
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาผลกระทบกรณีสารรั่วไหลและกรณีเกิดไฟไหม้.....45
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการหาขนาดวาล์วนิรภัย ขนาดปล่องและขนาดท่อขาเข้า-ออกวาล์วของนิรภัย.....46
รูปที่ 3.3 ข้อมูลสถานที่เมืองย่างกุ้ง 47
รูปที่ 3.4 ข้อมูลสถานที่ประเทศพม่าและเวลามาตรฐานสากล.....47
รูปที่ 3.5 หน้าต่างข้อมูลสถานที่.....48
รูปที่ 3.6 ข้อมูลวันและเวลาที่เกิดอุบัติเหตุ.....48
รูปที่ 3.7 ข้อมูลสารเคมีที่เกิดการรั่วไหล.....49
รูปที่ 3.8 ข้อมูลทางภูมิอากาศ เมืองย่างกุ้ง ประเทศพม่า.....49
รูปที่ 3.9 แหล่งกำเนิดของอุบัติเหตุ.....50
รูปที่ 3.10 อัตราการไหลผ่านวาล์วนิรภัย.....50
รูปที่ 3.11 วิเคราะห์ลักษณะอันตราย.....51
รูปที่ 3.12-3.13 ข้อมูล Puddle และอุณหภูมิเริ่มต้น Puddle.....51
รูปที่ 3.14-3.18 แหล่งการแพร่กระจายแบบถัง.....52
รูปที่ 3.19-3.20 แหล่งการแพร่กระจายแบบท่อ.....54
รูปที่ 3.21 ระดับพลังงานที่เกิดจากกรณีไฟไหม้แบบ Jet Fire.....55
รูปที่ 3.22 ระดับความเข้มข้น 25,000มิลลิกรัม/ลิตร ของสารที่รั่วไหล.....55
รูปที่ 3.23 หน้าต่างแสดงโมเดลจากโปรแกรม ALOHA.....56
รูปที่ 3.24 หน้าต่างสรุปผลจากโปรแกรม ALOHA.....56
รูปที่ 3.25 ภาพรวมระบบระบาย (Relief system).....57
รูปที่ 3.26 ข้อมูลองค์ประกอบของสาร.....58
รูปที่ 3.27-3.29 ข้อมูลแหล่งกำเนิดที่ระบายออก ข้อมูลวาล์วนิรภัยและข้อมูลจุดปลายทาง.....58
รูปที่ 4.1 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ.....64
รูปที่ 4.2 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากวาล์วนิรภัยบริเวณถังกักเก็บ.....65
รูปที่ 4.3-4.5 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจาก Impoundment area บริเวณถังกักเก็บ.....66
รูปที่ 4.6-4.7 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากหลังคาถังกักเก็บ.....68
รูปที่ 4.8- 4.10 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบบริเวณปล่องระบายสารความดันต่ำ.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศพม่ามีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น เกิดการขาดแคลนไฟฟ้า รัฐบาลได้กำหนดมาตราการให้ใช้ไฟฟ้าได้วันละ 10 h โรงงานผลิตไฟฟ้าที่พม่ามีกำลังไฟฟ้า 121 MW โดยใช้ก๊าซจากท่อส่ง เมื่อต้องการขยายกำลังการผลิต จึงสร้างโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตเป็น 256 MW แต่ใช้ก๊าซจากระบบท่อส่งไม่เพียงพอ ทำให้นำเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวเข้าสู่โรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (LNG Terminal) เพื่อส่งก๊าซธรรมชาติไปผลิตกระแสไฟฟ้า

เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวมีอุณหภูมิ -162 °C เป็นของเหลวเย็นยิ่งยวด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีระดับความไวไฟสูง ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติดังกล่าว สำหรับการออกแบบขนาดวาล์วนิรภัย (Safety valve) มีไว้เพื่อระบายแรงดันภายในระบบ โดยจะติดตามอุปกรณ์ที่สามารถเกิดแรงดัน โดยในโรงงานนี้จะติดวาล์วนิรภัยที่บริเวณต่างๆ ได้แก่ ถังกักเก็บ ท่อส่งก๊าซกลับ (Vapor return) ถังแยกก๊าซ (HP Booster suction pump drum) และท่อส่งก๊าซธรรมชาติ (Natural pipeline) เพื่อป้องกันไฟไหม้และการระเบิด ขนาดวาล์วแต่ละชนิดที่เลือกใช้ ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ต้องระบายออก นอกจากนี้การออกแบบขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย มีไว้เพื่อประเมินขนาดท่อที่พอเหมาะกับกับอุณหภูมิ ความดันสภาวะระบายออก และป้องกันไม่ให้วาล์วนิรภัยล้มเหลวในการทำงาน ส่วนการออกแบบปล่องระบายสาร มีไว้เพื่อให้ผลกระทบผ่านตามกฎหมายที่ถูกกำหนดไว้ และกรณีศึกษาผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนและการกระจายของสารที่เกิดการรั่วไหลที่บริเวณต่างๆ มีไว้เพื่อประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น และหาแนวทางวางแผนเพื่อลดผลกระทบที่อันตราย โดยติดตั้งระบบ เช่น ม่านน้ำ ระบบโฟมการขยายตัวสูง ระบบหัวกระจายดับเพลิง ผนังวัสดุกันความชื้น เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการประเมินอันตรายที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวภายในโรงกักเก็บ กรณีเกิดไฟไหม้และการรั่วไหลของสาร ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ภายในโรงงานและมนุษย์ เพื่อหามาตรการในการลดระยะผลกระทบที่เกิดขึ้น นอกจากนี้เพื่อศึกษาการออกแบบขนาดวาล์วนิรภัย ท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย รวมถึงการออกแบบปล่องระบายสารภายในโรงกักเก็บเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการทำงาน

ศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยเรื่องการเกิดไฟไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของสาร และอันตรายที่เกิดจากความร้อนภายในโรงกักเก็บ โดยการใช้โปรแกรม ALOHA รวมถึงการคำนวณขนาดท่อขาเข้า-ขาออกของวาล์วนิรภัย (Line sizing) ขนาดวาล์วนิรภัย (PSV sizing) และขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายสารความดันสูง และตรวจสอบขนาดวาล์วนิรภัย รวมถึงท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยจากโปรแกรม Visual Flare

1.4 ประโยชน์ของการทำงาน

เนื่องจากโครงงานนี้ ศึกษาเกี่ยวกับอันตรายของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวและการออกแบบเกี่ยวกับอุปกรณ์ เพื่อความปลอดภัยในโรงงาน เช่น การคำนวณขนาดวาล์วนิรภัย ขนาดปล่องระบายสาร (Stack) เป็นต้น ทำให้ได้รู้คุณสมบัติของสาร ความไวไฟของสาร รวมถึงความรู้เรื่องของการออกแบบอุปกรณ์จากมาตรฐาน API และมีการตรวจสอบโดยใช้โปรแกรม Visual Flare ซึ่งให้ค่าที่แม่นยำกว่า นอกจากนี้ปริมาณก๊าซที่ระบายออกจากขนาดวาล์วนิรภัยจริงจะมีค่ามากที่สุด และได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้โปรแกรม ALOHA เพื่อหากระจายของสารรั่วไหลและระยะผลกระทบของการแผ่รังสีความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas)

เป็นก๊าซธรรมชาติที่ถูกนำไปทำให้อยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งไม่สามารถติดไฟได้ วิธีทำให้ก๊าซธรรมชาติเป็นของเหลวจะทำได้โดยลดอุณหภูมิลง ส่งผลให้ปริมาตรลดลงเหลือประมาณ 1 ใน 600 เท่าของปริมาตรเดิม โดยใช้ความเย็นที่ -162 °C องค์ประกอบของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว ส่วนใหญ่ประกอบด้วยมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก เหตุที่ทำก๊าซธรรมชาติให้เป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนส่ง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวได้รับความร้อนจะทำให้เกิดก๊าซขึ้น (Boil-Off Gas; BOG) ภายใต้สถานการณ์ที่ควบคุมไม่ได้ เมื่อมีแหล่งจุดติดไฟ ก๊าซนี้เกิดรั่วไหลออกมา จะนำไปสู่การเกิดไฟแบบ Jet Fire และ Pool Fire

2.2 เกณฑ์พื้นฐานในการออกแบบโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว [8]

2.2.1 การขนส่งและการจัดส่งเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวถูกขนส่งผ่านทะเลโดยเรือขนส่ง ซึ่งโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวถูกตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำห่างจากโรงไฟฟ้าราวๆ 25 km เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวถูกส่งจากผู้จัดหาเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวในต่างประเทศ

2.2.2 การเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวและการส่งก๊าซกลับเรือขนส่ง

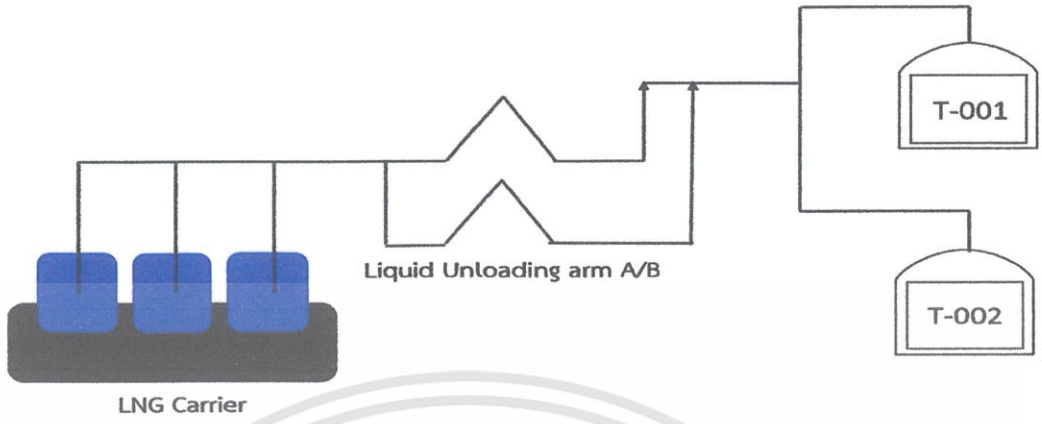
การขนถ่ายเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวผ่าน Unloading arm จะขนถ่ายเข้าสู่ถังกักเก็บเสร็จเป็นเวลา 12 h หรือ 24 h ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการทำงานและอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงที่คำนึงถึงการออกแบบขนาดท่อและปริมาณเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวที่ต้องการ ความสามารถในการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวที่อยู่ภายในเรือขนส่งมีค่าเท่ากับ 0.12 barg ในการออกแบบปั๊มภายในเรือขนส่ง 2 ลำ ปั๊มแต่ละตัวทำงานด้วยอัตรา 850 m^3/h และค่าเฮดปั๊ม 130 m และในการขนส่งเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

การจัดส่งเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวโดยยึดหลักการขนส่ง ได้ 2 แบบ ด้วยกันคือ

1. เรือขนส่งจะขนส่งเชื้อเพลิงในปริมาณมากที่สุดที่โรงไฟฟ้าต้องการ
2. เรือขนส่งจะขนส่งเชื้อเพลิงโดยกำหนดระยะเวลาในการขนส่งอย่างแน่ชัด

อุปกรณ์ Liquid Unloading arm ใช้สำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว มีอยู่ 2 ตัวด้วยกัน ทำงานตัวละ 50 % (ตัวละ 1,250 m^3) และ Vapor Unloading arm ใช้ส่งก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังกักเก็บสู่เรือขนส่ง ทำงาน 100 % ซึ่งท่อที่ใช้ส่งในถังเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวจะถูกหุ้มฉนวน เพื่อลดความร้อนจากบรรยากาศภายนอกที่เข้าสู่ถังกักเก็บให้มากที่สุด หมายถึงลดก๊าซที่เกิดจากการได้รับความร้อนภายในถังกักเก็บ (Boil off Gas)

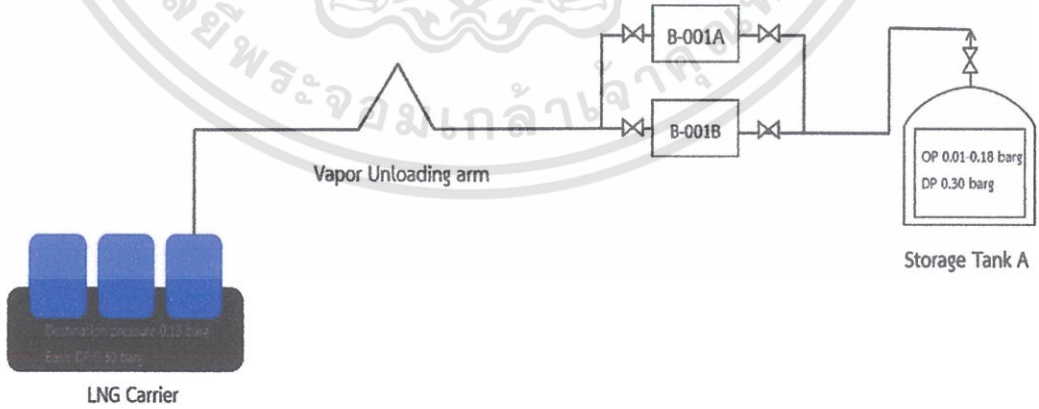
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การขนถ่ายเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวผ่าน Liquid Unloading arm

ท่อจากปั๊มภายในเรือที่ต่อกับถังกักเก็บจะถูกคำนวณขนาดท่อเพื่อดูความดันลดรวมที่เหมาะสมต่อความสามารถของปั๊มในการทำงาน โดยอุปกรณ์ภาวะฉุกเฉินที่ถูกนำมาพิจารณาใช้ได้แก่ วาล์วฉุกเฉิน และ QRV

นอกจากนี้ถังกักเก็บเชื้อธรรมชาติเหลวจะถูกควบคุมความดันโดยการใช้เครื่องอัดก๊าซ ซึ่งในการออกแบบเครื่องอัดก๊าซความดันต่ำ (Low Pressure BOG Compressor) วาล์ระบายแรงดันจะถูกตั้งค่าอยู่ที่ 0.28 barg ซึ่งในขณะการดำเนินงานอยู่ในช่วงปกติ วาล์วนี้ไม่ควรเปิดออก แต่เมื่อภายในถังกักเก็บเริ่มมีแรงดันเท่ากับ 0.28 barg วาล์วนี้จะเปิดออกเพื่อระบายแรงดันภายในระบบออก ส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นบางส่วนจะส่งกลับเรือขนส่งโดยผ่านเครื่องเป่า (Blower) ที่ทำงาน 1ตัว และเตรียมพร้อมใช้งานเผื่อตัวนึงเสีย 1 ตัว ซึ่งคำนวณความดันต่างไว้ 0.3 bar และปริมาณของเครื่องเป่าที่สามารถทำงานได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวที่ขนถ่ายเข้าสู่ถังกักเก็บ

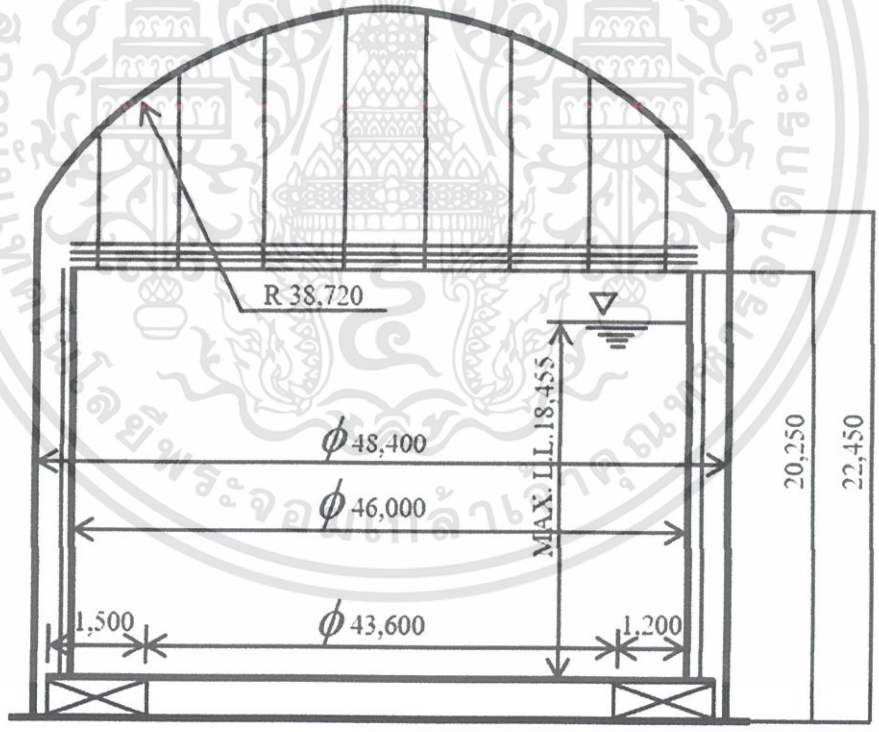


รูปที่ 2.2 แผนภาพส่งก๊าซกลับเรือขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

ถังกักเก็บถึงนึงใช้ในกรณีรับจากเรือขนส่ง (LNG carrier) ส่วนอีกถังหนึ่งจ่ายไปโรงไฟฟ้าด้วย โดยใช้ถังสำรองเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว เมื่ออีกถังถูกตรวจสอบและซ่อมแซม ซึ่งจะหยุดการดำเนินการส่งเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวไปสู่โรงไฟฟ้าด้วย ชนิดถังกักเก็บที่ใช้เป็นแบบหลังคาโดม ผนัง 2 ชั้น และสามารถทนของเหลวเย็นยิ่งยวดได้ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนถูกกำหนดให้ถังกักเก็บได้รับความร้อนแล้วเกิด Boil off gas ได้มากที่สุด 0.15 % wt/day โดยขั้นตอนในการใส่เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวเข้าสู่ถังกักเก็บ เริ่มแรกจะนำก๊าซไนโตรเจนที่เป็นก๊าซเฉื่อยไหลผ่านท่อและถังกักเก็บ ใช้ในการไล่ความชื้น ไล่อากาศ ไล่ออกซิเจน และใช้เมื่อทำการซ่อมแซม เพื่อป้องกันการระเบิดหรือการเผาไหม้จากการรวมตัวของออกซิเจนกับเชื้อเพลิง โดยหัวฉีดของเหลวทุกชนิดจะถูกจัดให้เข้าทางด้านบนของถัง นอกจากนี้วาล์วนิรภัยจะถูกจัดไว้เพื่อป้องกันการเกิดสภาพแรงดันเกิน (Overpressure) แล้วเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกจากวาล์วนิรภัยสู่บรรยากาศ ซึ่งอาจมีระบบไอน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดสุญญากาศ อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดควบคุมเหตุฉุกเฉิน จะทำขึ้นโดยผู้ผลิตถังกักเก็บ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เครื่องอัดก๊าซ (BOG Compressor)

แหล่งกำเหนิดของการเกิดก๊าซภายในถังกักเก็บมาจากสาเหตุดังนี้

1. ความร้อนที่เข้าสู่ผนังถังกักเก็บ
2. ความร้อนจากปั๊มภายในถังกักเก็บ
3. ความร้อนจากท่อรอบถังกักเก็บ
4. พลังงานจากปั๊มภายในเรือ
5. ความต่างค่าเอนทาลปีของเชื้อเพลิงภายในเรือขนส่งกับถังกักเก็บ
6. ก๊าซรั่วไหลอย่างรวดเร็ว (Rollover)
7. การเปลี่ยนแปลงของสภาพความกดอากาศ

ภายในโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวมีเครื่องอัดก๊าซความดันต่ำอยู่ 3 ตัว ซึ่งใช้งาน 2 ตัว เตรียมพร้อมใช้งานอีก 1 ตัว โดยวาล์วระบายแรงดันจะถูกตั้งค่าอยู่ที่ 0.28 barg ในการออกแบบปริมาณที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่เครื่องอัดก๊าซความดันต่ำสามารถทำได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดความร้อนในการเกิดก๊าซขึ้น องค์ประกอบของก๊าซที่ได้รับความร้อนจะสมดุลกับองค์ประกอบเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

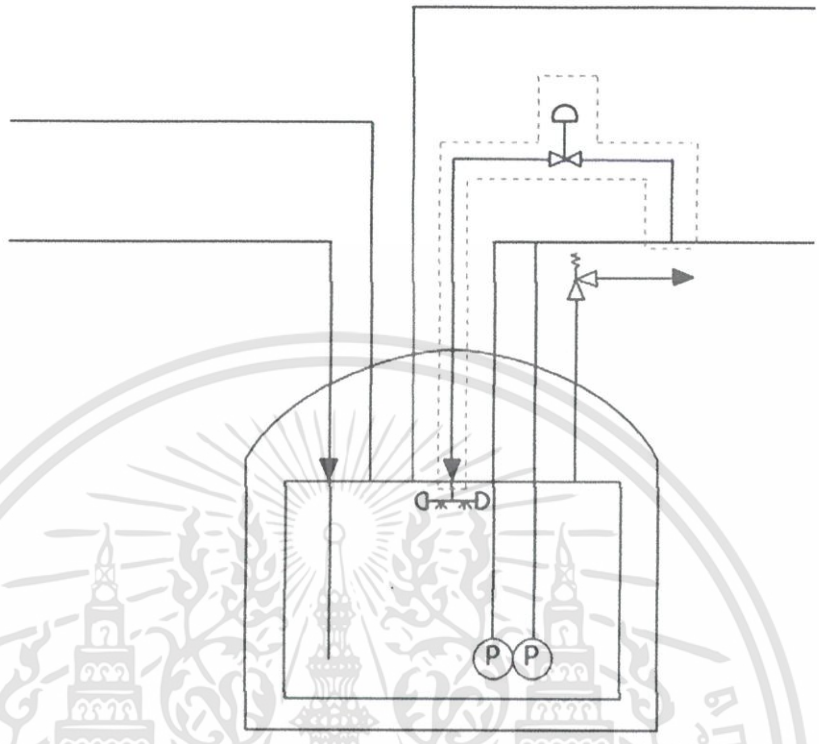
นอกจากนี้จะมีเครื่องอัดก๊าซความดันสูงอยู่ 2 ตัว ใช้งาน 1 ตัว เตรียมพร้อมใช้งานอีก 1 ตัว มีหน้าที่นำก๊าซธรรมชาติที่เหลือออกจาก HP Booster suction drum มาเพิ่มความดันนำไปผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงานและโรงไฟฟ้า

2.2.5 ปั๊มสำหรับส่งออกเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวและ Re-condensor

ปั๊มความดันต่ำที่อยู่ภายในถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวทั้ง 2 ถัง จะใช้งาน 1 ตัว เตรียมพร้อมใช้งานอีก 1 ตัว ชนิดปั๊มที่ใช้เป็นปั๊มแบบจุ่มด้วยการทำงานของเพลา (Submersible Pump) ในการเลือกขนาดท่อและค่าเฮดปั๊มที่เหมาะสมค่าการสูญเสียความดันจะมีผลต่อขนาดของท่อ เมื่อทำการศึกษาค่าการสูญเสียความดันของเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 6 และ 8 in จึงทำการเลือกขนาดของท่อ 6 in ค่าเฮด 110 m เหตุที่เลือกท่อขนาด 6 in เพราะว่าค่าเฮดปั๊มที่ต้องการจะมีค่า 100-110 m เท่านั้น

ในการปั๊มเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวบางส่วนกลับสู่เรือขนส่ง มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันก๊าซรั่วไหลออกจากถังอย่างรวดเร็ว ก๊าซที่เกิดจากการได้รับความร้อน (BOG) ที่ออกจากเครื่องอัดก๊าซความดันต่ำจะถูกควบแน่นเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวในขณะที่เข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวที่มาจากปั๊มความดันต่ำโดยใช้ Re-condensor แล้วส่งต่อไปยังถังแยกก๊าซ (HP Booster pump suction drum) นอกจากนี้จะมีปริมาณก๊าซธรรมชาติเล็กน้อยที่ถูกอัดส่งกลับเข้าถังเพื่อรักษาความดันภายในถังกักเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

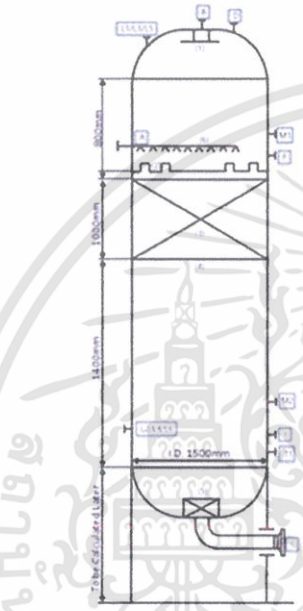
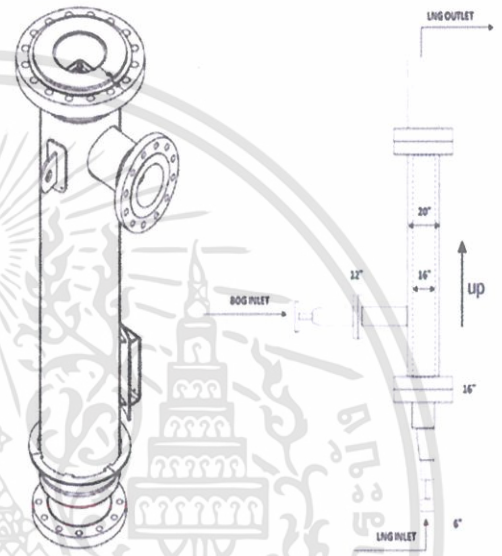
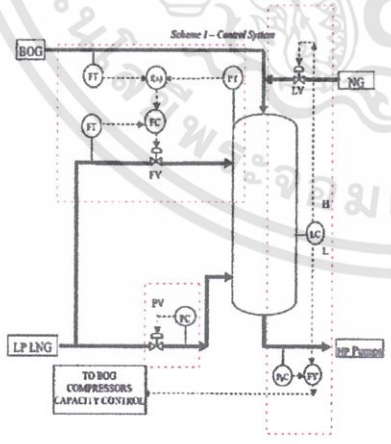
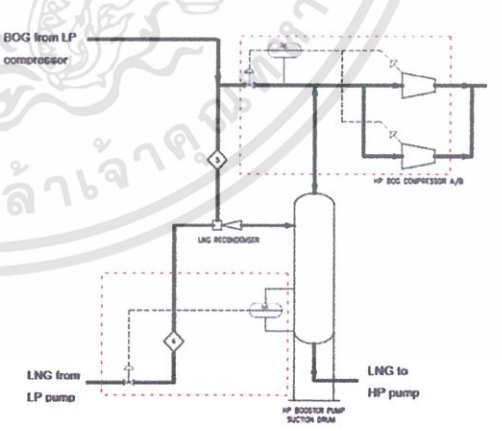


รูปที่2.4 อัตราการไหลต่ำสุดของปั๊มโดยไม่ทำให้ปั๊มเกิดการเสียหาย

ชนิดของ Re-condensor ที่ถูกนำมาพิจารณาภายในโรงงานมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดทั่วไป (Conventional) กับ ชนิดผสมคงที่ (Static mixer) ซึ่งชนิดทั่วไปจะนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ภายในจะมีหอบรรจุทำหน้าที่ผสมของเหลวกับก๊าซ จะได้ของเหลวทั้งหมดของเหลวอีกส่วนหนึ่งที่มาจากปั๊มความดันต่ำจะเข้าด้านล่างของ Re-condensor ชนิดทั่วไป โดยมีหน้าที่รักษาระดับของเหลว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโพรงอากาศภายในปั๊มความดันต่ำและสูง ชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่และราคาแพง ส่วนชนิดผสมคงที่ เป็นเหมือนท่อสองชั้นที่ท่อภายในจะมีรูไว้ให้ของเหลวที่อยู่ภายในท่อกับก๊าซที่อยู่ระหว่างท่อสองชั้นผสมกัน โดยชนิดนี้จะมีขนาดเล็กกว่าและราคาถูกกว่า แต่ก็ต้องมีการใช้ถังแยกก๊าซ (HP Booster pump suction drum) เพื่อป้องกันการเกิดโพรงอากาศภายในปั๊มเช่นเดียวกับ Re-condensor ชนิดทั่วไป แต่ภายในโรงกักเก็บ จะเลือกใช้ Re-condensor ชนิดผสมคงที่

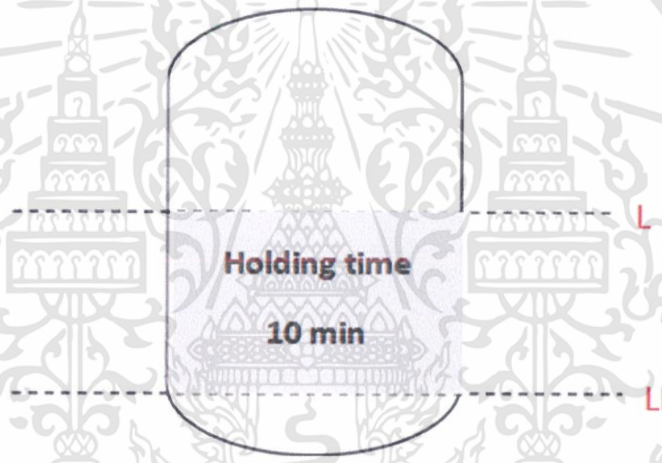
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะชนิด Re-condensor ที่นำมาพิจารณา

	Re-condensor แบบทั่วไป	Re-condensor แบบผสมคงที่
ขนาด	1,000 x 2,500 mm	500 x 2,500 mm
โครงร่างภายนอก		
ระบบควบคุม	ซับซ้อน 	อย่างง่าย 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซที่แยกออกจากเครื่องอัดก๊าซความดันต่ำจะถูกแยกไปผลิตไฟฟ้าให้กับโรงงานนี้ โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันหมุนก๊าซ (Gas Turbine Generator) นอกจากนี้ของเหลวที่อยู่ภายในถังแยกก๊าซ (HP Booster pump suction drum) จะอยู่ได้ประมาณ 10 mm ซึ่งเป็นเวลาที่เพียงพอในการเปลี่ยนมาใช้ปั๊มความดันต่ำที่เตรียมพร้อมใช้งาน หากปั๊มที่ใช้งานอยู่เกิดใช้งานไม่ได้ ซึ่งจากการใช้ถังแยกก๊าซนี้จะไม่ก่อให้เกิดปัญหากับปั๊มความดันสูง โดยภายในโรงงานนี้จะมีปั๊มความดันสูง ใช้งาน 2 ตัว และเตรียมพร้อมใช้งาน 1 ตัว ปั๊มที่ใช้จะเป็นแบบอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive; VSD) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่สามารถใช้กับปั๊ม มีหน้าที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต รวมถึงสามารถลดต้นทุนค่าดำเนินงานได้ โดยอุปกรณ์นี้สามารถปรับความเร็วรอบให้ได้ความเร็วรอบเหมาะสมตามความต้องการในการลักษณะงาน นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานตามความจำเป็นในการขนส่ง



รูปที่ 2.5 เวลาที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนปั๊มความดันต่ำ

2.2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Regasification Unit)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้ทั่วโลกสำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิด คือ

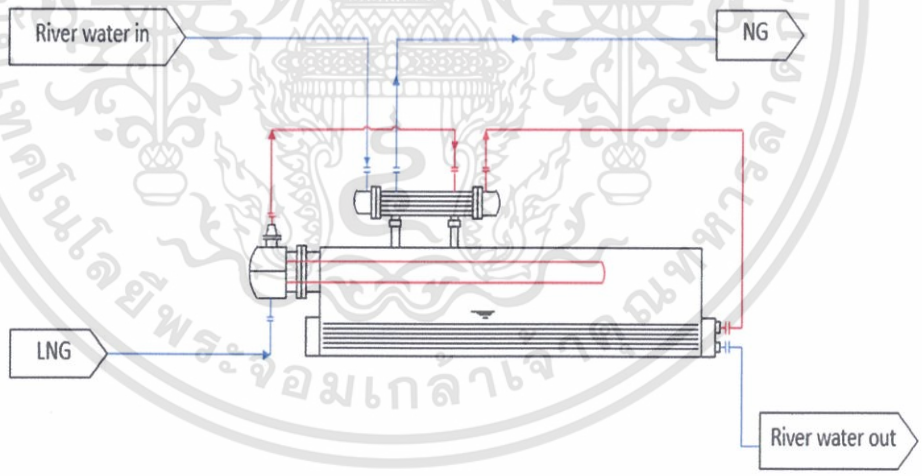
1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำทะเลกับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (Open Rack Vaporizers; ORV)
2. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีสารตัวกลาง (Intermediate Flid Vaporizers ;IFV)
3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศโดยรอบ (Ambient Air Vaporizers; AAV)
4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการเผาไหม้แบบจุ่ม (Submerged Combustion Vaporizers; SCV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในกรณีนี้ จะเปรียบเทียบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำทะเลกับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (Open Rack Vaporizers) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีสารตัวกลาง (Intermediate Fluid Vaporizers)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำทะเลกับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว จะมีข้อจำกัดเรื่องคุณภาพน้ำที่นำมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะต้องมีของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้อยกว่า 80 ppm มีไอออนคอปเปอร์น้อยกว่า 10 ppb มีคลอรีนในน้ำต้องน้อยกว่า 0.5 ppm เนื่องจากถ้ามีค่าต่างๆไม่ตรงตามข้อจำกัดที่กล่าวมาจะทำให้ตัวเคลือบบนท่อถูกกัดกร่อนเร็วขึ้น รวมถึงต้องมีหน่วยบำบัดน้ำเสียด้วย

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เลือกใช้เป็นแบบมีสารตัวกลาง ภายในโรงงานจะมีอยู่ 2 ตัว คือ ทำงาน 1 ตัว เตรียมพร้อมใช้งาน 1 ตัว ซึ่งสารตัวกลางที่ใช้จะใช้โพรเพนในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว โดยโพรเพนจะระเหยและตกกลับอยู่ภายในเครื่องระเหย ซึ่งน้ำที่ปั๊มมาจากแม่น้ำใกล้เคียง แต่เนื่องจากในแม่น้ำมีตะกอนสูงจึงมีเครื่องกรองตะกอนก่อน (Debris Filter) จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซธรรมชาติ เมื่อน้ำรับความร้อนมา จะนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับโพรเพน ทำให้โพรเพนมีการระเหยตลอดเวลา แล้วปล่อยน้ำกลับลงสู่แม่น้ำ ซึ่งเหตุผลในการเลือกขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน รวมถึงรายจ่ายการลงทุน (Capex) กับ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Opex)

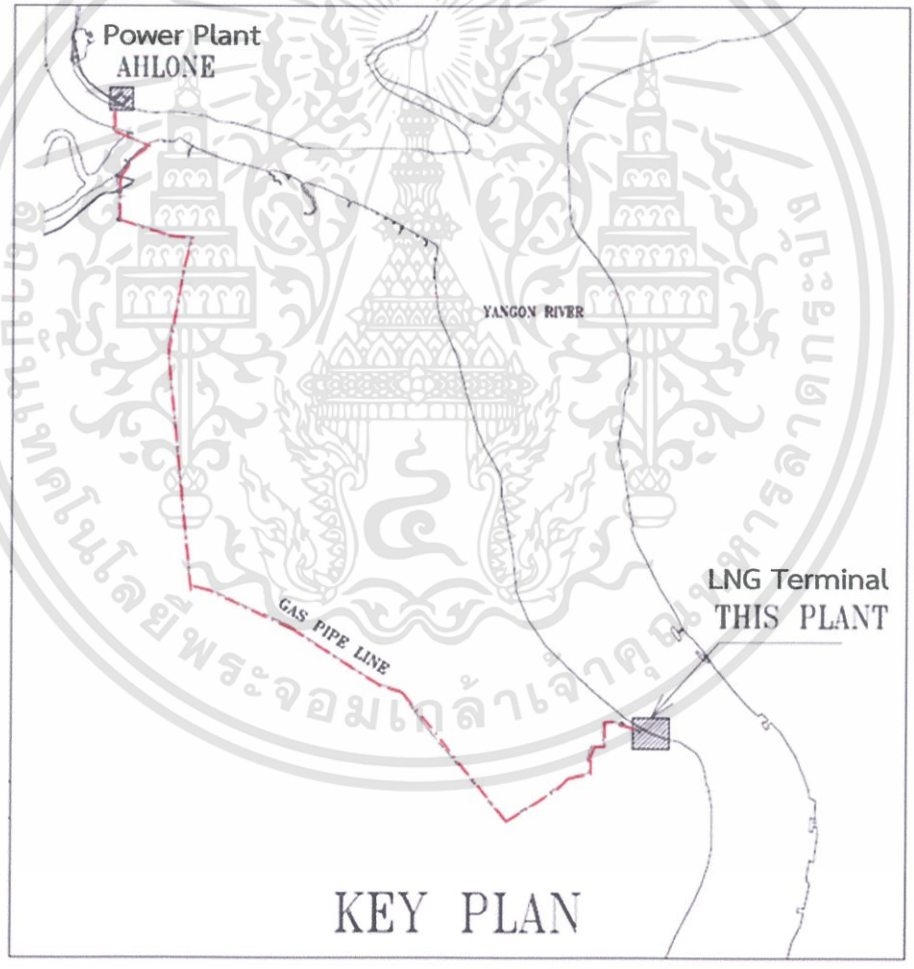


รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีสารตัวกลาง (IFV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 ระบบท่อขนส่ง (Pipeline)

ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติจะมีท่อยาว 1 ท่อ ที่ส่งก๊าซธรรมชาติไปยังโรงไฟฟ้าที่อยู่ห่างออกไปจากโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว 25 km ปริมาณที่ไหลผ่านท่อเผื่อการขยายขนาดโรงไฟฟ้าในอนาคตส่งได้ปริมาณ 132 tons/h แต่ปริมาณรวมที่โรงไฟฟ้าต้องการคือ 53.56 tons/h โดยท่อขนส่งจะถูกติดตั้งใต้พื้นดิน ความดันก๊าซธรรมชาติที่ปลายท่อขนส่งมีความดัน 31.2 barg ทั้งด้านในและด้านนอกท่อจะป้องกันการผุกร่อนของโลหะด้วยระบบแคโทดิก (Cathodic Protection) ซึ่งถือว่าเป็นระบบป้องกันเสริมที่ถูกออกแบบมาให้ปกป้องท่อในบริเวณที่ใช้เทคโนโลยีการเคลือบพื้นผิวชำรุด (Protective Coating) เพื่อป้องกันความผุกร่อนในกรณีที่ระบบหลักทำหน้าที่ไม่สมบูรณ์ ระบบแคโทดิกจึงเปรียบเสมือนระบบบำรุงรักษาและตรวจสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าระบบท่อจะจัดส่งก๊าซได้อย่างต่อเนื่องและปลอดภัย



รูปที่ 2.7 แผนผังระบบท่อขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังโรงไฟฟ้า 25 km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 หน่วย Utility

i) เครื่องอัดอากาศสำหรับอุปกรณ์ควบคุม (Instrument Air)

เครื่องอัดอากาศสำหรับอุปกรณ์ควบคุม มีเพื่อใช้ขับเคลื่อนหัวขับวาล์ว (Valve actuator) ที่เป็นการควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์วโดยอัตโนมัติภายในโรงงานนี้ชุดเครื่องอัดอากาศจะมีอยู่ 2 ตัว ใช้งาน 1ตัว เตรียมใช้งาน 1 ตัว และชุดเครื่องทำลมแห้ง มีอยู่ 2 ตัว ใช้งาน 1 ตัว เตรียมใช้งาน 1 ตัว ทั้งนี้การใช้ชุดเครื่องทำลมแห้งมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันอากาศถึงจุดอิ่มตัว ที่อาจเกิดความชื้นแล้วทำให้เกิดสนิมขึ้นภายในวาล์วได้

โดยปกติภายในโรงงานจะมีแหล่งพลังงานอยู่ 3 แหล่งด้วยกันคือ ไฟฟ้า ไอน้ำ และอากาศอัดความดัน ซึ่งปัจจุบันไฟฟ้านิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด แต่ถ้าเกิดไฟดับ โรงงานจะไม่สามารถควบคุมได้ และถึงแม้ว่าจะมีระบบสำรองไฟฟ้าที่เก็บในรูปของแบตเตอรี่ แต่พลังงานก็ไม่เพียงพอสำหรับขับเคลื่อนอุปกรณ์ควบคุม ในการควบคุมหัวขับวาล์วให้เปิด-ปิดหรืออยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ จะใช้เครื่องอัดอากาศเป็นตัวขับเคลื่อน ดังนั้นถ้าเกิดเหตุการณ์ไฟดับโรงงานก็ยังสามารถปรับตำแหน่งวาล์ว เพื่อให้ระบบการผลิตไปอยู่ในสภาพที่ปลอดภัยได้

ii) ระบบก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen system)

ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย จะถูกนำมาใช้ในการซ่อมบำรุง รวมถึงก่อนเริ่มการดำเนินงาน โดยจะนำก๊าซไนโตรเจนมาใช้ไล่ความชื้น ไล่อากาศ ไล่ออกซิเจน ใน loading arm ช่องระบายความดัน และในระหว่างการซ่อมบำรุง

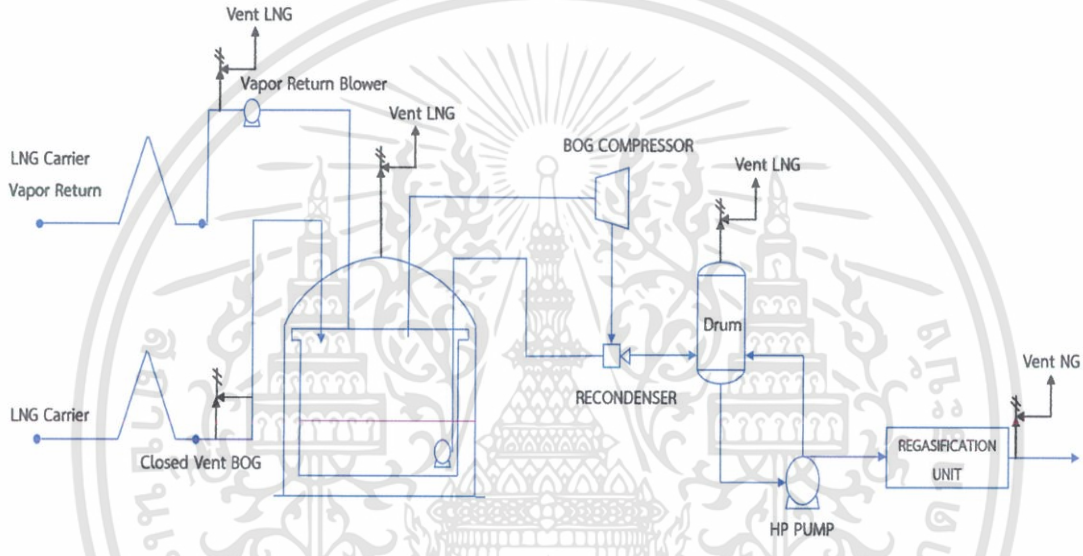
iii) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ จะใช้ก๊าซธรรมชาติกับก๊าซที่เกิดขึ้นจากการได้รับความร้อนภายในถังกักเก็บ (BOG) ในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้โรงงาน แหล่งกำเนิดก๊าซมาจากปลายสายเครื่องอัดก๊าซ ที่ใช้ในตอนเริ่มดำเนินงาน และมาจากปลายสายหน่วยแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในระหว่างการดำเนินงาน ค่าอุณหภูมิและความดันที่ต่ำที่สุดที่สามารถเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ คือ 5 °C และ 0.2 barg แต่อุณหภูมิก๊าซที่ออกจากทั้งสองแหล่งกำเนิดมีค่าติดลบ จึงต้องนำไปเพิ่มอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความร้อนก่อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.9 ปล่องและช่องระบายความดัน (Stack and Pressure Relief)

ปล่องระบายก๊าซออกมีอยู่ 2 ปล่องด้วยกัน คือปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำกับปล่องระบายสารความดันสูง โดยมีการออกแบบตำแหน่งในการวางปล่องอยู่ใกล้กัน ในขณะที่การดำเนินงานอยู่ในช่วงปกติ จะไม่มีการระบายก๊าซใดๆทั้งสิ้น การระบายบริเวณทางออกของเครื่องเป่า หรือบริเวณถังแยกก๊าซ จะรวมและระบายออกที่ปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ ส่วนการระบายออกบริเวณหลังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะระบายออกที่ปล่องระบายสารความดันสูง ซึ่งสารที่ปล่อยออกจะมีอุณหภูมิสูงและความดันสูงกว่า



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งปล่องระบายก๊าซและบริเวณถังกักเก็บ

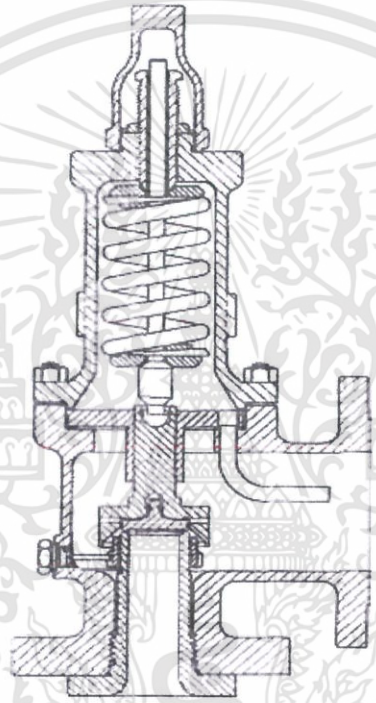
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบขนาดวาล์วนิรภัย

2.3.1 ประเภทของวาล์วนิรภัยตามลักษณะการทำงาน แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. วาล์วนิรภัยแบบทั่วไป (Conventional Safety Relief Valve)

ความดันที่จะทำให้เกิดการระบายผ่านวาล์วประเภทนี้ จะมีค่าสูงกว่าความดันที่ทำให้วาล์วกลับมาสู่ตำแหน่งเดิม



รูปที่ 2.9 วาล์วนิรภัยแบบทั่วไป

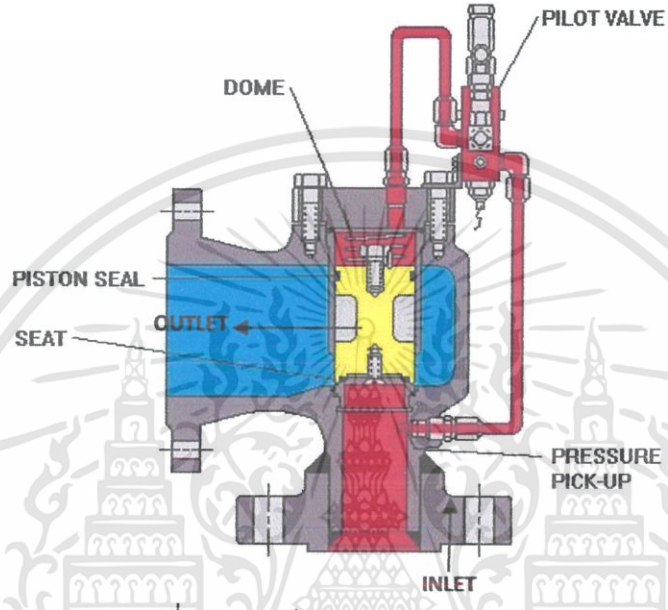
2. วาล์วนิรภัยแบบสมดุลความดัน (Balanced Bellow Safety Relief Valve)

วาล์วลักษณะนี้ถูกออกแบบเพื่อขจัดปัญหาในกรณีที่ความดันย้อนกลับ ในจุดที่ระบายออกมีค่าไม่คงที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วาล์วนิรภัยแบบทำงานเปิดปิด (Pilot-Operated Relief Valve)

โครงสร้างภายในจะเป็นลักษณะลูกสูบ และจะมีชุดเปิดปิด ที่ใช้ควบคุมการทำงาน โดยวาล์วลักษณะนี้จะใช้ในกรณีที่ความดันในระบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันที่ตั้งเอาไว้มากๆ



รูปที่ 2.10 วาล์วนิรภัยแบบทำงานเปิด-ปิด

4. แผ่นประลัย (Rupture Disk)

มีลักษณะแตกต่างจากวาล์วทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้นอย่างสิ้นเชิง ลักษณะจะเป็นแผ่นคล้ายกระทะ เมื่อความดันภายในมีค่ามากกว่าความดันที่กำหนดบนแผ่นประลัยนี้ จะทำให้แผ่นแตกออกและระบายความดันออกมาอย่างรวดเร็ว เมื่อแตกออกแล้วทำให้แผ่น ไม่สามารถปกป้องความดันอีกต่อไปได้ พบเห็นได้บ่อยในกรณีถังเก็บของเหลวที่มีความดันไอ

รูปที่ 2.11 วาล์วนิรภัยแบบแผ่นประลัย (Rupture disk)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการคำนวณปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย [1]

ในการคำนวณอัตราที่ปล่อยออกจากวาล์วนิรภัย จะต้องคำนึงถึงโอกาสที่ทำให้ความดันในบริเวณนั้นเกินค่าความดันที่กำหนดไว้ ซึ่งจะมีสูตรในการคำนวณหาปริมาณอัตราการระบายของก๊าซที่ต่างกันขึ้นอยู่กับกรณีที่อาจเกิดขึ้น โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจะอ้างอิงมาจากหลักมาตรฐาน API 521 แบ่งเป็นแต่กรณีแสดงดังต่อไปนี้

1). เกิดไฟไหม้ (External Fire)

การเกิดไฟไหม้นี้ อาจเกิดได้จากการที่มีเปลวไฟบริเวณอุปกรณ์ภายในโรงงาน ที่อาจส่งผลต่อของเหลวหรือก๊าซที่อยู่ภายในอุปกรณ์นั้น โดยในการคำนวณปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย จะถูกแบ่งเป็น 2 แบบด้วยกันคือ

กรณีส่งผลต่อของเหลว ความร้อนรวมที่ทำต่อพื้นที่ผิวของเหลว หาได้จากสมการ 2.4

$$Q = C_1 F_1 A_{ws}^{0.82} \tag{2.4}$$

และปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย สามารถหาได้จากสมการ 2.5

$$W = \frac{Q}{L} \tag{2.5}$$

สำหรับพื้นที่ผิวของเหลวที่สัมผัสกับผนังอุปกรณ์ที่เป็นแบบผิวถังทรงรี (Ellipse) และถังกักเก็บธรรมดาหาได้จากสมการ 2.6 และ 2.7

จาก พื้นที่ผิวของเหลวที่สัมผัสกับผนังอุปกรณ์ = พื้นที่ด้านข้าง + พื้นที่ส่วนโค้ง

$$A_{ws} = \pi DL + 2\left(1.084D^2\right) \tag{2.6}$$

จาก พื้นที่ผิวของเหลวที่สัมผัสกับผนังอุปกรณ์ = พื้นที่ด้านข้าง + พื้นที่ด้านล่าง

$$A_{ws} = \pi DL + \frac{\pi D^2}{4} \tag{2.7}$$

สำหรับพื้นที่ผิวของเหลวที่สัมผัสกับผนังท่อ หาได้จากสมการ 2.8

$$A_{ws} = \pi DL \tag{2.8}$$

ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ อาจต้องรวมฉนวนที่นำมาหุ้มท่อแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F_1 = ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

A_{ws} = พื้นที่ผิวของเหลวที่สัมผัสกับผนังอุปกรณ์, m^2

Q = ความร้อนที่ทำต่อพื้นที่ผิวของเหลว, W

C_1 = ค่าคงที่ที่ใช้ 43,200

L = ความร้อนแฝง, kJ/kg

W = ปริมาณอัตราที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย, kg/h

ตารางที่ 2.2 ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม [1]

ชนิดของอุปกรณ์		ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Environment factor; F)
ถังไม่มีฉนวนหุ้ม		1.0[e]
ถังมีฉนวนหุ้ม แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน W/m^2K ($Btu/hft^2°F$)	22.71 (4)	0.3
	11.36 (2)	0.15
	5.68 (1)	0.075
	3.80 (0.67)	0.05
	2.84 (0.5)	0.0376
	2.27 (0.4)	0.03
	1.87 (0.33)	0.026
ถังเก็บน้ำที่ไม่หุ้มฉนวน		1.0[e]
การเอาความดันออกจากระบบ		1.0[e]
ถังที่ปกคลุมด้วยดิน		0.03
ถังคุณภาพต่ำ		0.00

กรณีส่งผลต่อก๊าซ ปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย สามารถคำนวณได้จาก สมการ 2.9 หรือ สมการ 2.10

$$W = 0.2772\sqrt{M \cdot P_1}\left[\frac{A^{'}\left(T_w - T_1\right)^{1.25}}{T_1^{1.1506}}\right] \quad \text{เมื่อ F} \geq 182 \qquad (2.9)$$

$$W = 7.189A^{1}\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}\frac{MP_1}{T_1}} \quad \text{เมื่อ F} < 182 \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย F' และ T_1 สามารถหาได้จากสมการ 2.11 และ 2.12

$$F' = \frac{0.2772}{0.0395 K_D \sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}} \left(\frac{\left(T_w - T_1\right)^{1.26}}{T_1^{0.6506}} \right) \tag{2.11}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{P_n} T_n \tag{2.12}$$

เมื่อ W = ปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย, kg/h

M = มวลโมเลกุลของก๊าซที่ระบายออก, g/mol

P_1 = ความดันที่สภาวะระบายออก, kPa

T_w = อุณหภูมิผนังอุปกรณ์ที่มากที่สุด, K

T_1 = อุณหภูมิที่สภาวะระบายออก, K

A' = พื้นที่ผิวทั้งหมดของอุปกรณ์, m^2

K_D = ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายออก, K

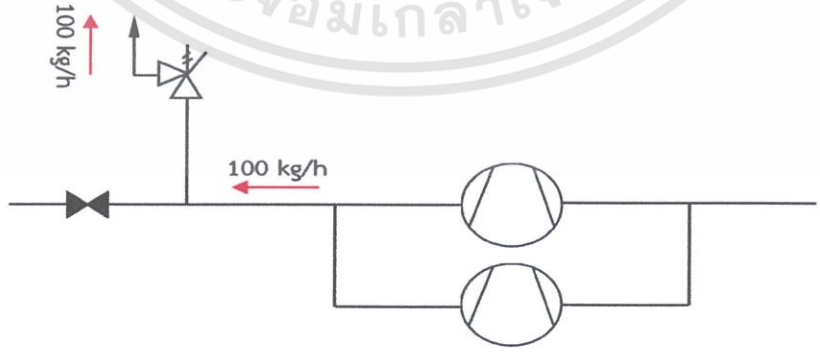
k = อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ

P_n = ความดันสัมบูรณ์ของก๊าซในสภาวะปกติ, kPa

T_n = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซในสภาวะปกติ, K

2). ทางออกถูกกั้น (Block Outlet)

เหตุการณ์นี้ จะเกิดได้เมื่อความดันทางขาเข้ามากกว่าความดันที่ระบายออก เช่น การที่วาล์วในระหว่างทางที่ของไหลไหลผ่านปิด จะส่งผลให้เกิดการอั้นของไหลที่บริเวณนั้น ทำให้วาล์วนิรภัยเปิดออกเพื่อระบายของไหลนั้นออก โดยในการคำนวณปริมาณที่ระบายจากวาล์วนิรภัย จะมีค่าเท่ากับปริมาณที่อุปกรณ์นั้นสามารถทำงานได้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างทางออกโดนกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3). การรั่วไหลของก๊าซอย่างรวดเร็ว (Roll-over)

เหตุการณ์นี้ เกิดจากการที่ภายในถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน โดยปกติภายในถังจะมีการเกิดก๊าซขึ้นอยู่แล้วเนื่องจากความร้อนต่างๆกระทำต่อถัง แต่เมื่อเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวมีความหนาแน่นต่างกัน ของเหลวด้านบนจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลวด้านล่าง ด้านล่างของถังจะมีความดันมากกว่า ทำให้ของเหลวด้านล่างพยายามระเหยขึ้นสู่ด้านบนถัง ส่วนของเหลวด้านบนจะมาแทนที่ที่ด้านล่างถัง เมื่อความดันที่บริเวณหลังคาสูงกว่าค่าที่ทนได้ จะทำให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซอย่างรวดเร็ว ซึ่งในการคำนวณหาปริมาณก๊าซที่ระบายออกของกรณีนี้สามารถคำนวณได้จากมาตรฐาน EN 1473 และ NFPA 59A

สำหรับมาตรฐาน EN 1473 การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่ปล่อยออก

$$V_B = 100 \times V_T \tag{2.14}$$

เมื่อ V_T = ปริมาณที่มากที่สุดของก๊าซที่เกิดขึ้นในถังกักเก็บ, kg/h

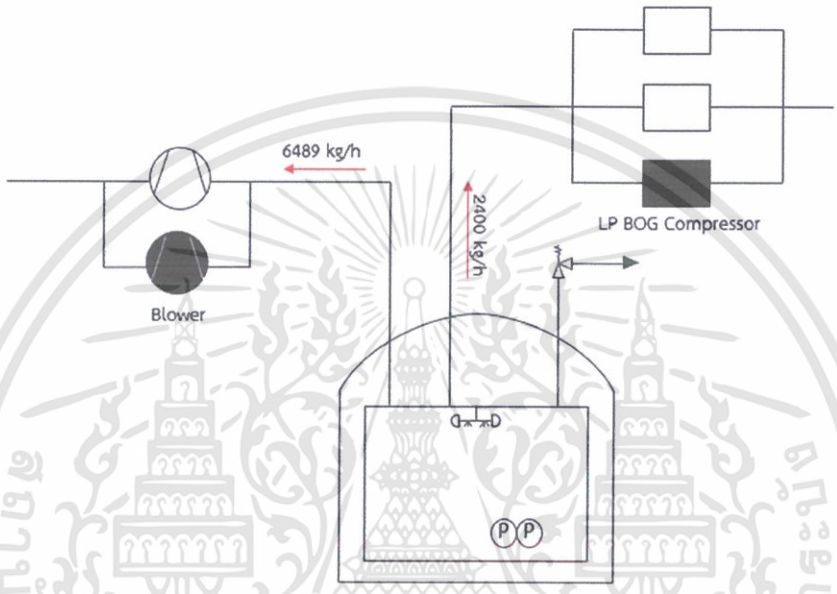
V_B = ปริมาณการรั่วไหลของก๊าซอย่างรวดเร็ว, kg/h

สำหรับมาตรฐาน NFPA 59A การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่ระบายออกจะเป็น 3 %ของปริมาณของเหลวภายในถังกักเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4). อุปกรณ์ล้มเหลวในการทำงาน (Equipment Failure)

สำหรับเหตุการณ์นี้ เมื่ออุปกรณ์ปลายทางล้มเหลวในการทำงาน ทำให้ความดันที่อุปกรณ์ต้นทางเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความดันมีค่าสูงเกินค่าความดันวาล์วนิรภัยที่กำหนดไว้ วาล์วนิรภัยจะระบายความดันออก โดยการคำนวณขนาดวาล์วนิรภัยจะยึดปริมาณของอุปกรณ์ที่มากกว่า

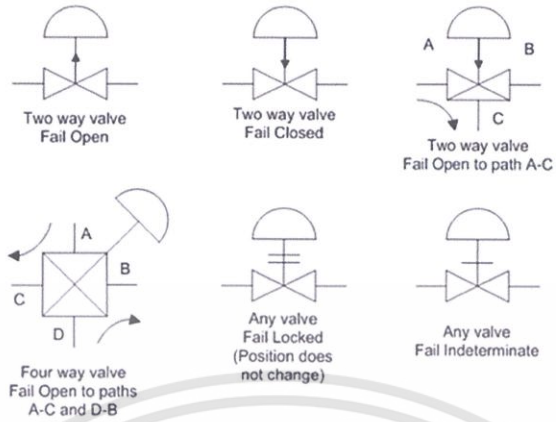


รูปที่ 2.13 ตัวอย่างอุปกรณ์ล้มเหลวในการทำงาน

5). วาล์วควบคุมล้มเหลวในการทำงาน (Control Valve Failure)

วาล์วควบคุมอาจเกิดความล้มเหลวในการทำงานและเคลื่อนที่ไปอยู่ในหลายตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งวาล์วเปิด ตำแหน่งวาล์วปิด ล็อคอยู่กับที่ และไม่ได้กำหนด ตำแหน่งของวาล์วควบคุม อาจมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับความล้มเหลวในการทำงานของวาล์วควบคุม จะเกี่ยวข้องกับคำว่า “พลังงาน” หมายถึงสื่อที่จะทำให้หัวขับวาล์วเคลื่อนที่ พลังงานที่พบมากที่สุดสำหรับใช้กับวาล์วควบคุมจะเป็นความดันอากาศสำหรับงานเครื่องมือวัดและควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตำแหน่งล้มเหลวของวาล์วควบคุม

การคำนวณปริมาณเมื่อวาล์วล้มเหลวเคลื่อนไปตำแหน่งเปิด ปริมาณที่ระบายออกจะมีค่าเท่าที่วาล์วควบคุมสามารถทำได้ (rated C_v) ซึ่งโดยปกติวาล์วควบคุมจะทำงาน 25 %ของอัตราการไหลที่คำนวณได้จากวาล์วควบคุม ในตอนเลือกค่าความสามารถในการไหลผ่านของวาล์ว

6). การขยายตัวของท่อเนื่องจากได้รับความร้อน (Thermal Expansion)

ของเหลวหรือก๊าซจะเกิดการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดด และเนื่องจากถ้าของไหลที่อยู่ในท่อนั้นเป็นของเหลว เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวรุนแรงมาก แต่ถ้าของไหลนั้นเป็นก๊าซ จะอันตรายน้อยกว่าเพราะขยายตัวไม่รุนแรง ซึ่งกรณีนี้อาจเกิดพร้อมกับกรณีเกิดไฟไหม้ได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณที่ระบายออกสามารถหาได้จากสมการ 2.15

$$W = qr \tag{2.15}$$

ซึ่ง q หาได้จากสมการ 2.16

$$q = 3,600\alpha v\Phi/(1,000dc) \tag{2.16}$$

เมื่อ r = ความหนาแน่นที่สภาวะระบายออก, kg/ m^3

αv = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสำหรับของเหลว, 1/°C

d = ความถ่วงจำเพาะ

c = ความจุความร้อนของของไหล, J/kgK

q = อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m^3/h

Φ = ปริมาณอัตราที่ถ่ายโอน, W

W = ปริมาณที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัย, kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสำหรับไฮโดรคาร์บอนเหลวและน้ำ [1]

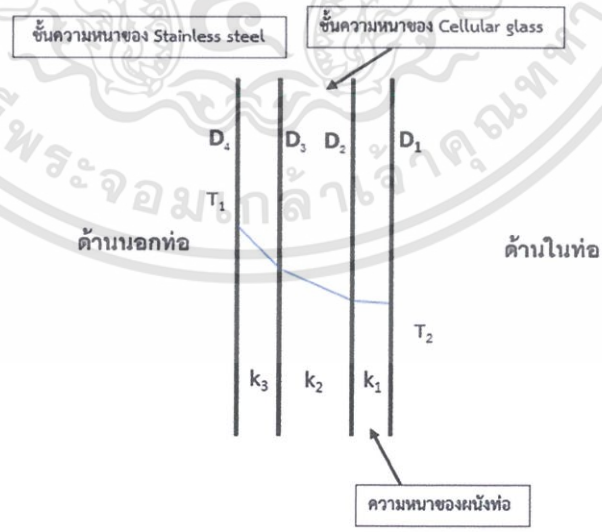
ความถ่วงจำเพาะของเหลว (°API)	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน[a] 1/°C (1/°F)
3 - 34.9	0.00072 (0.0004)
35 - 50.9	0.0009 (0.0005)
51 – 63.9	0.00108 (0.0006)
64 – 78.9	0.00126 (0.0007)
79 – 88.9	0.00144 (0.0008)
89 – 93.9	0.00153 (0.0085)
94 ขึ้นไป	0.00162 (0.0009)
น้ำ	0.00018 (0.0001)
[a] สำหรับที่อุณหภูมิ 15.6 °C ที่อุณหภูมิอื่นสามารถใช้สมการที่ 4 ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	

ค่าความถ่วงจำเพาะของเหลวหาได้จากสมการ 2.17

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของเหลว} = \frac{141.5}{SG} - 131.5 \tag{2.17}$$

ค่า Φ หาได้จากผลรวมการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่คิดจากสมการ 2.18

$$Q = \frac{2\pi L(T_1 - T_2)}{2.3}\left[\frac{1}{\frac{\log(D_2/D_1)}{k_1} + \frac{\log(D_3/D_2)}{k_2} + \frac{\log(D_4/D_3)}{k_3}}\right] \tag{2.18}$$



รูปที่ 2.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 หลักการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของปล่อง [1]

โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง จะขึ้นอยู่กับความเร็ว ค่ามัคจะอยู่ระหว่าง 0.2–0.5 ซึ่งค่ามัค 0.2 สำหรับที่สภาวะปกติหรือที่ความดันต่ำ ส่วน 0.5 สำหรับที่ความดันสูงหรือไหลไม่สม่ำเสมอ ซึ่งบริเวณปลายปล่อง ความดันลดจะใช้ได้มากถึง 14 kPa สมการหาเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง สามารถหาได้จากสมการ 2.19

$$Ma = 3.23\times10^{-5}\left(\frac{q_m}{p_2 d^2}\right)\left(\frac{ZT}{M}\right)^{0.5} \tag{2.19}$$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง, m
M = มวลโมเลกุลของก๊าซ, g/mol
q_m = อัตราการไหลเชิงมวล, kg/h
T = อุณหภูมิก๊าซภายในปล่อง, K
p_2 = ความดันสัมบูรณ์ที่ด้านปลายปล่อง, kPa
Z = ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว

ความร้อนที่ปล่อยออกจากปล่อง สามารถหาได้จากสมการ 2.20

$$Q = q_m H \tag{2.20}$$

เมื่อ H = ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้, kJ/kg
q_m = อัตราการไหลเชิงมวล, kg/h
Q = ความร้อนที่ระบายออกจากปล่อง, kW

ระยะที่คนต้องยืนห่างจากปล่อง สามารถหาได้จากสมการ 2.21

$$D = \sqrt{\frac{\tau \cdot F \cdot Q}{4\pi \cdot K}} \tag{2.21}$$

เมื่อ F = อัตราส่วนความร้อนที่แผ่กระจายออกไป
D = ระยะที่คนต้องยืนห่างจากปล่อง, m
Q = ความร้อนที่ระบายออกจากปล่อง, kW
τ = อัตราส่วนความร้อนที่แผ่รังสีผ่านบรรยากาศไปสู่ที่อื่น
K = ระดับพลังงานที่อนุญาต, kW/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปร F เป็นข้อมูลที่มาจากสหรัฐอเมริกาเหมืองแร่สำหรับการแผ่รังสีจากการแพร่ความร้อนจากเปลวไฟของก๊าซ จะแสดงค่าดังตาราง 2.4 โดยข้อมูลนี้ สามารถใช้ได้กับการแผ่รังสีจากเปลวไฟของปล่องที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียง ซึ่งถ้าเป็นหยดไฮโดรคาร์บอนเหลว จะมีขนาดใหญ่กว่า 150 μm

ตารางที่ 2.4 การแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟของก๊าซ [1]

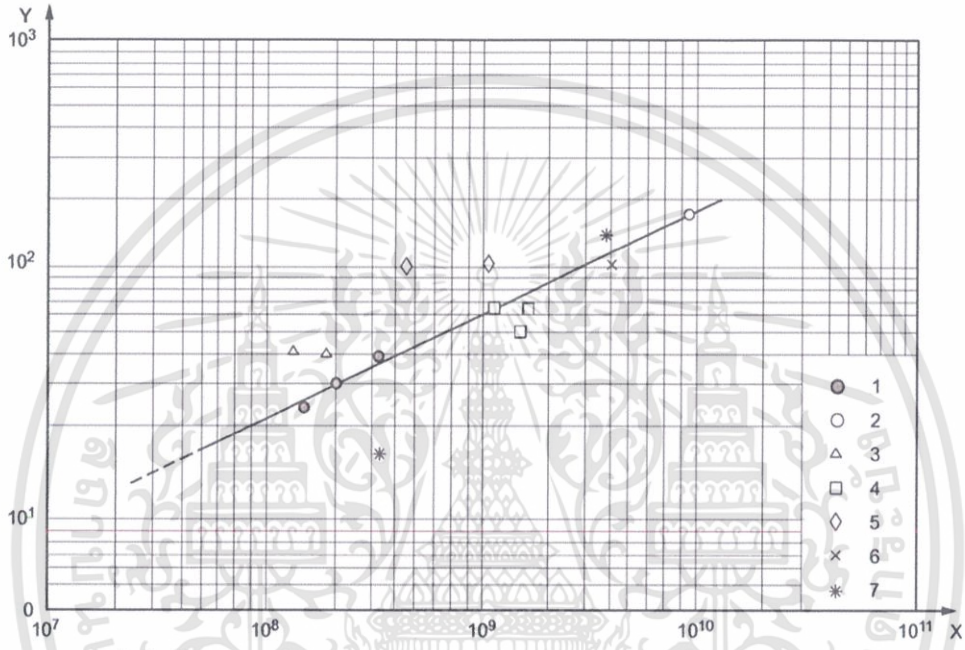
ก๊าซ	เส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง (cm)	อัตราส่วนความร้อนที่แผ่กระจายออกไป
ไฮโดรคาร์บอน	0.51	0.095
	0.91	0.091
	1.90	0.097
	4.10	0.111
	8.40	0.156
	20.30	0.154
	40.60	0.169
บิวเทน	0.51	0.215
	0.91	0.253
	1.90	0.286
	4.10	0.285
	8.40	0.291
	20.30	0.280
	40.60	0.299
มีเทน	0.51	0.103
	0.91	0.116
	1.90	0.160
	4.10	0.161
	8.40	0.147
ก๊าซธรรมชาติ (มีเทน 95 %)	20.30	0.192
	40.60	0.232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ Brzustowski และ Sommer

$$\tau = 0.79\left(\frac{100}{R_H}\right)^{1/16}\left(\frac{30}{D}\right)^{1/16} \tag{2.22}$$

โดย R_H คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)



คำสำคัญ

X = ความร้อนที่ระบายออก, W

Y = ความยาวของเปลวไฟ, m

1 = ก๊าซเชื้อเพลิง, 508 mm

2 = ก๊าซแอลจีเรียน

3 = ปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา- การนำก๊าซมาใช้ใหม่, 610 mm

4 = ปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา- ก๊าซออกจากเครื่องปฏิกรณ์, 610 mm

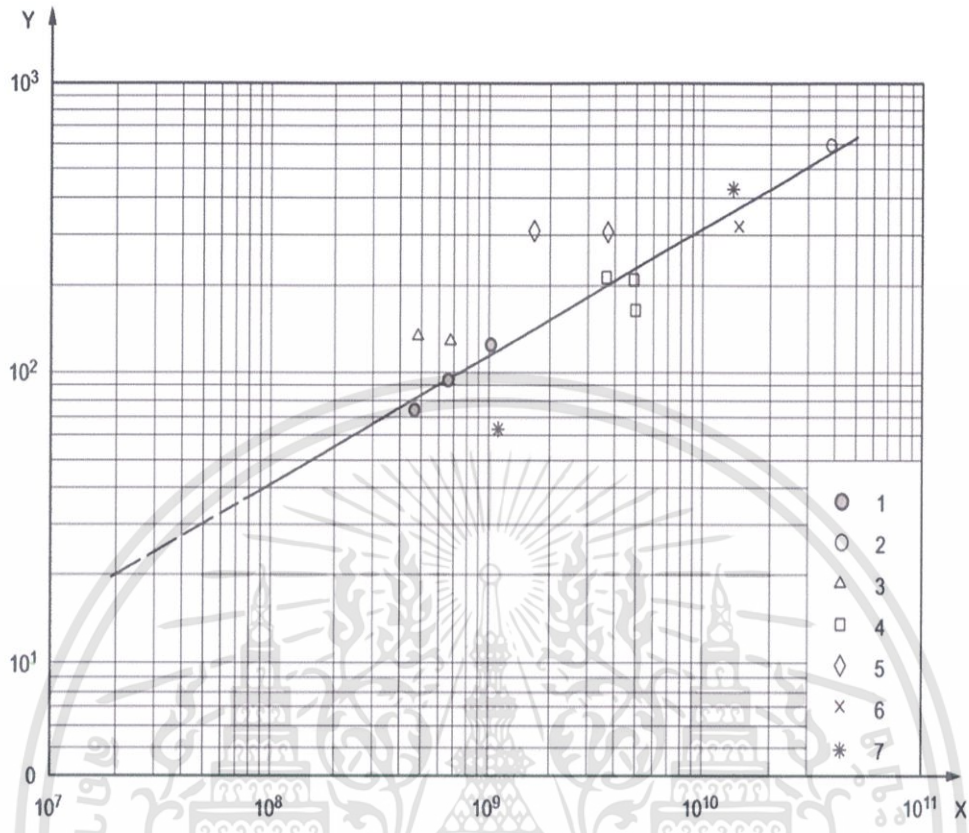
5 = หน่วยกำจัดไฮโดรเจน, 305 mm

6 = ไฮโดรเจน, 787 mm

7 = ไฮโดรเจน, 762 mm

รูปที่ 2.16 ความสูงของเปลวไฟเมื่อเทียบกับความร้อนที่ระบายออกมา (หน่วย SI)
(American Petroleum Institute 521,2014: 109)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำสำคัญ

X = ความร้อนที่ปล่อยออก, Btu/h

Y = ความยาวของเปลวไฟ, ft

1 = ก๊าซเชื้อเพลิง, 20 in

2 = ก๊าซแอลจีเรียน

3 = ปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา- การนำก๊าซมาใช้ใหม่, 24 in

4 = ปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา- ก๊าซออกจากเครื่องปฏิกรณ์, 24 in

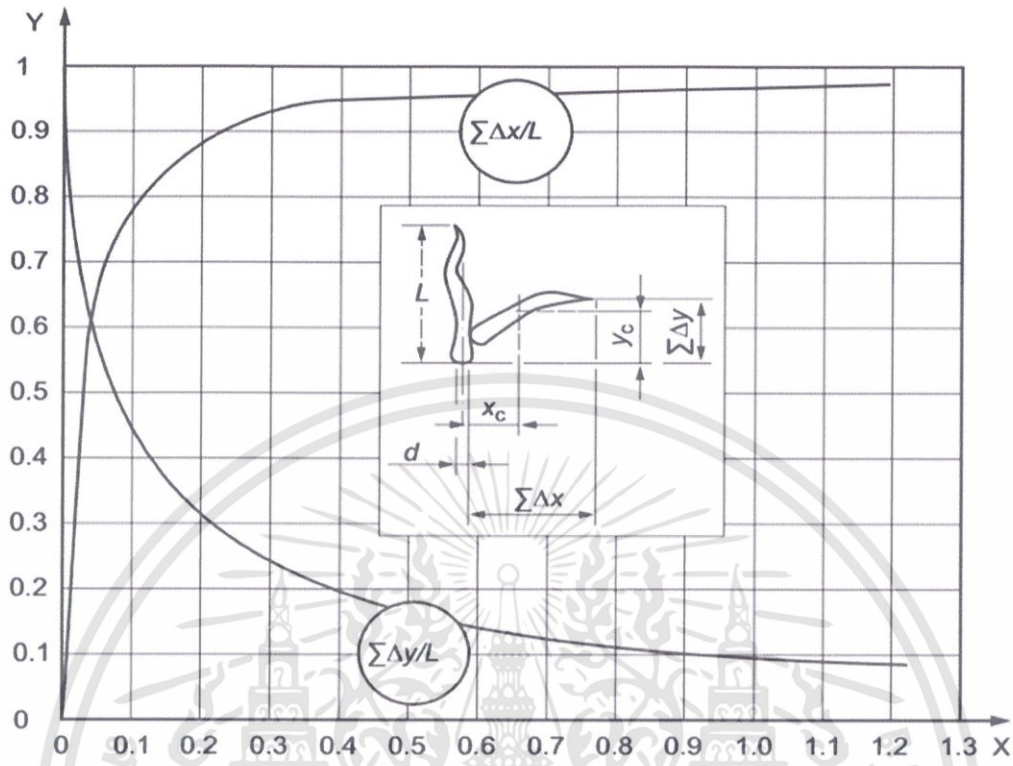
5 = หน่วยกำจัดไฮโดรเจน, 12 in

6 = ไฮโดรเจน, 31 in

7 = ไฮโดรเจน, 30 in

รูปที่ 2.17 ความสูงของเปลวไฟเมื่อเทียบกับความร้อนที่ปล่อยออกมา (หน่วย USC)
(American Petroleum Institute 521,2014: 110)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำสำคัญ

$X = \sum\left(u_{\infty} / u_j\right)$

$Y = \sum \Delta y / L$ หรือ $\sum \Delta x / L$

u_{∞} = ความเร็วลมด้านข้าง

u_j = ความเร็วขาออกด้านบนปล่อง

รูปที่ 2.18 ระยะเปลวไฟที่เอียงจากปล่องเมื่อมีลมมากระทำ
(American Petroleum Institute 521,2014: 111)

อัตราการไหลเชิงปริมาณของก๊าซสามารถหาได้จากสมการ 2.23 และ 2.24

หน่วย SI

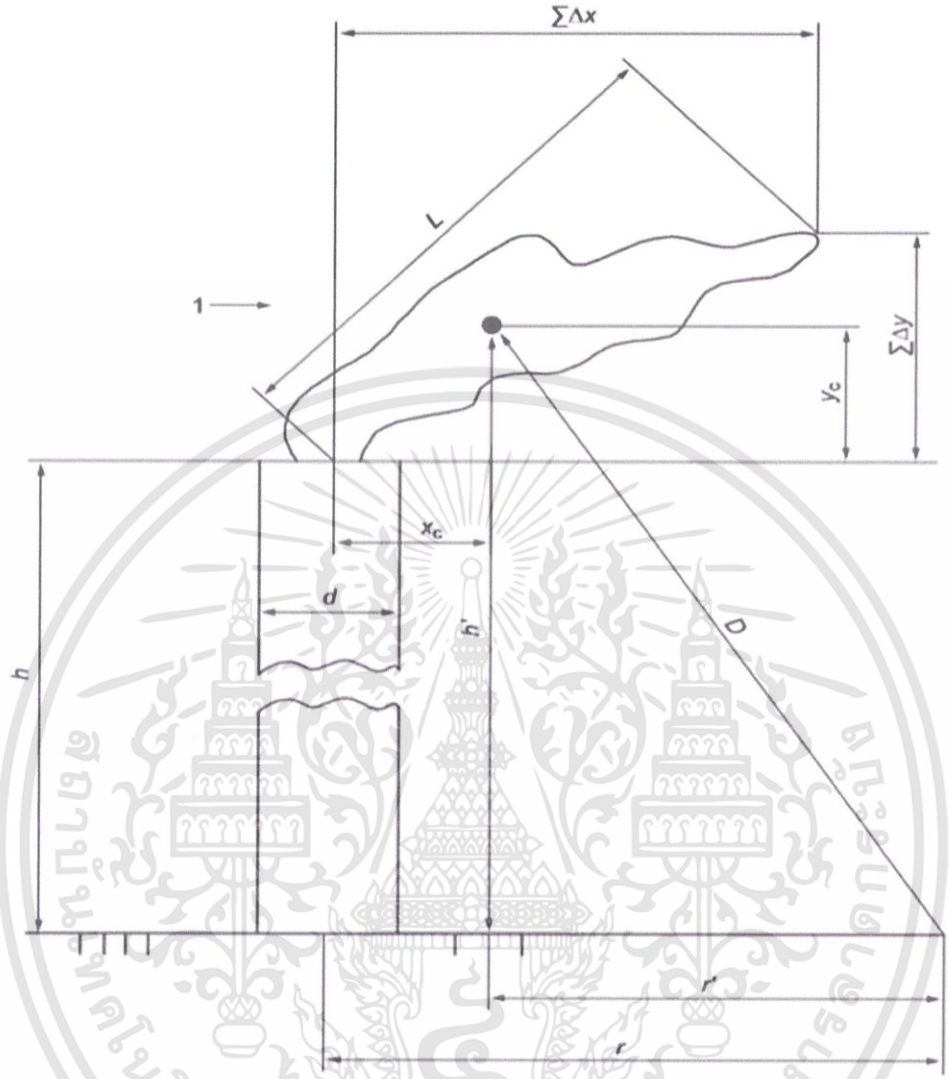
$$q_{vap} = \left(\frac{q_m}{3,600}\right)\left(\frac{22.4}{M}\right)\left(\frac{T}{273.15}\right)\left(\frac{101.3}{P}\right) \qquad (2.23)$$

หน่วย USC

$$q_{vap} = \left(\frac{q_m}{3,600}\right)\left(\frac{379.1}{M}\right)\left(\frac{T}{520}\right)\left(\frac{14.7}{P}\right) \qquad (2.24)$$

$$u_j = \frac{q_{vap}}{\pi D^2 / 4} \qquad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คำสำคัญ

1. ทิศทางลม

รูปที่ 2.19 ขนาดอ้างอิงสำหรับการคำนวณขนาดปล่อง

(American Petroleum Institute 521,2014: 190)

$$h' = h + \left(0.5 \sum \Delta y\right) \tag{2.26}$$

$$r' = r - \left(0.5 \sum \Delta x\right) \tag{2.27}$$

จากสมการ 2.28 จะสามารถคำนวณหาความสูงของปล่อง

$$D^2 = h'^2 + r'^2 \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แนะนำค่าการออกแบบการแผ่รังสีความร้อนสำหรับบุคคลทั่วไป [1]

ระดับรังสีความร้อนที่อนุญาต K kW/m^2 (Btu/hr · ft)	เงื่อนไข
9.46 (3000)	ค่าความเข้มรังสีความร้อนที่มากที่สุดที่สถานที่อื่นที่มีการกระทำเหตุฉุกเฉินเมื่อบุคคลเข้าไปทำงานในพื้นที่นั้นที่มีระดับพลังงานมากกว่า 9.46 kW/m^2 จะต้องใส่เครื่องแต่งกายป้องกัน
6.31 (2000)	ค่าความเข้มการแผ่รังสีความร้อนที่มากที่สุดสามารถดำเนินงานกรณีฉุกเฉินได้นานถึง 30 s โดยบุคคลากรปราศจากอุปกรณ์ป้องกันแต่ควรใส่เครื่องแต่งกายให้เหมาะสม
4.73 (1500)	ค่าความเข้มการแผ่รังสีความร้อนที่มากที่สุดสามารถดำเนินงานกรณีฉุกเฉินได้นานถึง 2 ถึง 3 min โดยบุคคลากรปราศจากอุปกรณ์ป้องกันแต่ควรใส่เครื่องแต่งกายให้เหมาะสม
1.58 (500)	ค่าความเข้มการแผ่รังสีความร้อนที่สามารถใส่เครื่องแต่งกายแล้วสามารถสัมผัสได้เรื่อยๆ
เครื่องแต่งกายที่เหมาะสมจะประกอบด้วย หมวกเซฟตี้ เสื้อเชิ้ตยาว ถุงมือทำงาน รองเท้าสำหรับทำงาน ใส่เพื่อลดผลกระทบความร้อนที่ส่งผลต่อผิวหนัง	

2.3.4 หลักการคำนวณหาขนาดวาล์วนิรภัยและขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย [2]

หากก๊าซที่อัดตัวได้ขยายตัวผ่านหัวฉีด แผ่นออริฟิส หรือปลายท่อ ความเร็วและปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันปลายลดลง สำหรับสภาวะต้นทาง อัตราการไหลเชิงมวลที่ผ่านหัวฉีดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วค่าหนึ่ง ซึ่งความเร็วจำกัดคือความเร็วเสียงที่อยู่ ณ ตำแหน่งนั้น อัตราการไหลที่สอดคล้องกับความเร็วจำกัด จะถูกเรียกว่าอัตราการไหลเชิงวิกฤต อุปกรณ์ระบายแรงดันในก๊าซหรือไอจะทำงานที่สภาวะการไหลเชิงวิกฤต (Critical flow)

หน่วย SI

$$A = \frac{13{,}160 \times W}{CK_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \tag{2.29}$$

หน่วย USC

$$A = \frac{W}{CK_d P_1 K_b K_c} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \tag{2.30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A = พื้นที่ที่ใช้ได้จริงด้านขาออกของวาล์วนิรภัย, mm^2

W = ปริมาณอัตราที่ไหลผ่านวาล์วนิรภัย, kg/h

C = ค่าสัมประสิทธิ์ C , $\sqrt{lb_m lb_{mole} °R} / lb_f h$

K_d = สัมประสิทธิ์จริงด้านขาออก สำหรับขั้นต้นในการหาขนาด จะใช้ 0.975

P_1 = ความดันที่ระบายออกฝั่งท่อขาเข้า, kPa

K_b = ตัวประกอบแก้ไขความดันย้อนกลับสำหรับก๊าซและไอ

Z = ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว

M = มวลโมเลกุล, g/mol

T = อุณหภูมิที่สภาวะระบายออก, K

K_c = ตัวประกอบแก้ไขการผสมผสานสำหรับติดตั้งแผ่นประลัยด้านท่อขาเข้าวาล์วนิรภัย ใช้ค่า 1 เมื่อแผ่นประลัยไม่ถูกติดตั้ง

จากสมการ 2.29 และ 2.30 จะสามารถหาพื้นที่ที่ใช้ได้จริงด้านขาออกของวาล์วนิรภัย ซึ่งพื้นที่นี้จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับที่คำนวณในมาตรฐาน API 526 [4]

ข้อความ :

1. สมการสำหรับเส้นโค้ง คือ $C = 520\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$

2. หน่วยของสัมประสิทธิ์ C คือ $\sqrt{lb_m lb_{mole} °R} / lb_f h$

รูปที่ 2.20 กราฟเส้นโค้งสำหรับประมาณค่าสัมประสิทธิ์ในสมการการไหลจากอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ โดยสมมติว่าเป็นก๊าซในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(American Petroleum Institute 520 Part1,2000: 44)

เมื่ออัตราส่วนของความดันย้อนกลับทางท่อขาเข้ามีค่ามากกว่าอัตราส่วนความดันวิกฤต อุปกรณ์ระบายแรงดันในก๊าซหรือไอจะทำงานที่สภาวะการไหลต่ำกว่าจุดวิกฤต (Subcritical flow)

หน่วย SI

$$A = \frac{17.9 \times W}{F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZT}{MP_1\left(P_1 - P_2\right)}} \tag{2.31}$$

หน่วย USC

$$A = \frac{W}{735 \times F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZT}{MP_1\left(P_1 - P_2\right)}} \tag{2.32}$$

โดย A = พื้นที่ที่ใช้ได้จริงด้านขาออกของวาล์วนิรภัย, mm2

W = ปริมาณที่ไหลผ่านวาล์ว, kg/h

K_d = สัมประสิทธิ์จริงด้านขาออก สำหรับขั้นต้นในการหาขนาด จะใช้ 0.975

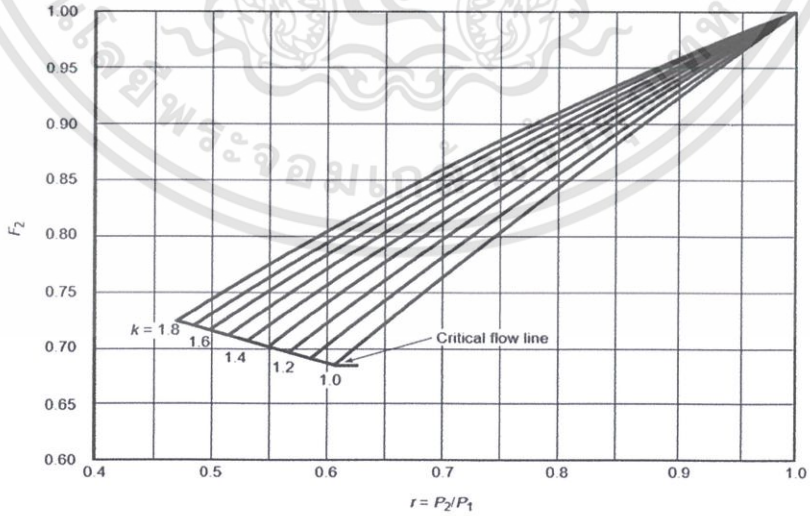
K_c = ตัวประกอบแก้ไขการผสมผสานสำหรับติดตั้งแผ่นประลัยด้านท่อขาเข้าวาล์วนิรภัย ใช้ค่า 1 เมื่อแผ่นประลัยไม่ถูกติดตั้ง

Z = ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว

M = มวลโมเลกุล, g/mol

T = อุณหภูมิที่สภาวะระบายออก, K

F_2 = สัมประสิทธิ์ของการไหลใต้วิกฤต



รูปที่ 2.21 ค่า F_2 สำหรับการไหลใต้วิกฤต (Subcritical flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(American Petroleum Institute 520 Part1,2000: 48)

ในการเลือกขนาดวาล์วนิรภัย ปริมาณอัตราที่ระบายออกของวาล์วนิรภัยจะจำกัดโดยพื้นที่เปิดของวาล์ว (Orifice area) ขนาดมาตรฐาน และสัญลักษณ์ที่ใช้เรียกขนาดของวาล์ว

ตารางที่ 2.6 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกขนาด และพื้นที่รูระบาย (Orifice) ของวาล์วนิรภัย [4]

สัญลักษณ์ขนาดของวาล์ว (Letter Designation)	พื้นที่รูระบาย (Effective Orifice Area)	
	mm^2	in^2
D	71	0.110
E	125	0.196
F	198	0.307
G	325	0.503
H	506	0.785
J	830	1.287
K	1186	1.838
L	1841	2.853
M	2323	3.60
N	2800	4.34
P	4116	6.38
Q	7129	11.05
R	10323	16.0
T	16774	26.0

ในการหาขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย ต้องคำนึงถึงความดันลดขาเข้าที่ต้องน้อยกว่า 3 %ของความดันที่กำหนดไว้ และด้านขาออกวาล์วนิรภัย ต้องคำนึงถึงค่ามัคให้อยู่ในช่วง 0.2-0.5 และค่าความดันย้อนกลับ

ความขรุขระของท่อ (ε) สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน มีค่าเท่ากับ 0.0015 mm และสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม มีค่าเท่ากับ 0.04572 mm

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

ก. เมื่อผนังท่อเรียบ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(\frac{\mathrm{Re}\sqrt{f}}{2.51}\right) \tag{2.33}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. เมื่อผนังขรุขระมากจนทำให้การไหลเป็นแบบปั่นอย่างแท้จริง

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log\left(2.7\frac{D}{\varepsilon}\right) \tag{2.34}$$

ค. ในกรณีที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วน แต่ความขรุขระของผนังท่ออยู่ระหว่างผนังท่อเรียบและผนังท่อขรุขระมากจนทำให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วนอย่างแท้จริง ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะขึ้นอยู่กับ Re กับอัตราส่วน ε / D

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{1.26}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right) \tag{2.35}$$

ในการคำนวณความดันลดต่อ 100 เมตร สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.36

$$\frac{\Delta P}{100m} = 4f\frac{v^2}{2g}\left(\frac{\rho}{D\times 100}\right) \tag{2.36}$$

ท่อขาเข้าของอุปกรณ์ระบายแรงดันเมื่อมีความดันสูญเสียมากเกิน วาล์วนิรภัยจะเปิดออกเพื่อระบายแรงดันและปิดเปิดอย่างกระแทก (Chattering) ซึ่งความดันสูญเสียมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของวาล์ว โดยมีเกณฑ์กำหนดว่าความดันลดท่อขาเข้าต้องน้อยกว่า 3 %ค่าความดันที่กำหนดของวาล์วนิรภัย เมื่อมีการติดตั้งวาล์วนิรภัยบนท่อที่ต่อกับอุปกรณ์ ซึ่งขนาดของท่อจะต้องมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดวาล์วนิรภัย

ท่อขาออกของอุปกรณ์ระบายแรงดัน วัสดุที่ใช้จะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิ ซึ่งในการออกแบบท่อจะพิจารณาถึงผลกระทบของ Superimposed และ Built-up back pressure โดยค่าความดันย้อนกลับจะมีค่าไม่เกินขีดจำกัดของวาล์วนิรภัยแต่ละชนิด เมื่อใช้แผ่นประลัย (rupture disk) พร้อมกับอุปกรณ์ระบายแรงดัน ผลกระทบของ Superimposed back pressure จะทำให้แผ่นประลัยแตกออกได้ ซึ่งมีเกณฑ์กำหนดไว้ว่า ถ้ามีค่า % Built-up back pressure มากกว่า 10 % ชนิดของวาล์วที่ใช้จะเป็น Balanced Bellow ถ้าน้อยกว่า 10 % จะใช้ชนิด Conventional แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

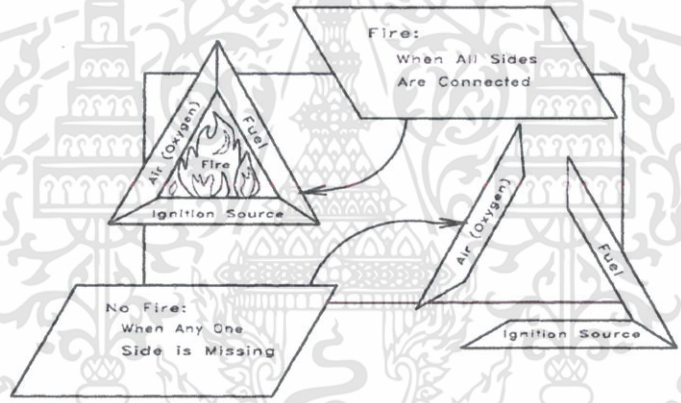
2.4 การเกิดไฟไหม้และระเบิด [5]

สารเคมีทำให้เกิดอันตรายต่างๆมากมายในรูปของการเกิดไฟไหม้และการระเบิด อุบัติเหตุในโรงงานเคมีโดยทั่วไปหลักๆ มี 3 ประเภทด้วยกันคือ การเกิดไฟไหม้ การระเบิดและการรั่วไหลของสารพิษ การสูญเสียที่เกิดจากไฟไหม้และการระเบิดมีขึ้นมากมาย รวมถึงการสูญเสียชีวิตและธุรกิจหยุดชะงัก เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากการเกิดไฟไหม้และการระเบิด วิศวกรต้องรู้จักกับ

- คุณสมบัติการเกิดไฟไหม้และการระเบิดของวัตถุ
- ลักษณะของกระบวนการเกิดไฟไหม้และการระเบิด
- วิธีการลดอันตรายจากการเกิดไฟไหม้และการระเบิด

2.4.1 สามเหลี่ยมไฟ

องค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการเกิการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง สารออกซิไดซ์ และแหล่งจุดติดไฟ ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.22 สามเหลี่ยมไฟ

(Daniel A. Crowl and Joseph F. Louvar,2011: 263)

การเกิดไฟไหม้ คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่คายความร้อนอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของเหลวและก๊าซจะสามารถติดไฟได้ง่ายกว่า การเผาไหม้จะเกิดในสถานะก๊าซเสมอ

เมื่อเชื้อเพลิง สารออกซิไดซ์ และแหล่งติดไฟอยู่ในระดับที่เหมาะสมจะเกิดการเผาไหม้ จึงหมายความว่าไฟไหม้จะไม่เกิดขึ้นถ้าหาก

(1) เชื้อเพลิงมีในปริมาณไม่เพียงพอ

(2) สารออกซิไดซ์มีในปริมาณไม่เพียงพอ

(3) แหล่งติดไฟมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คำนิยาม

1. การเผาไหม้ (combustion) การเกิดไฟไหม้หรือการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีรูปแบบหนึ่ง โดยสารจะเข้ามาผสมกับสารที่สลายตัวแล้วให้ออกซิเจนและทำการปลดปล่อยพลังงานออกมา ในส่วนพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจะนำกลับมาเข้าปฏิกิริยา

2. การติดไฟ (Ignition) การติดไฟของสารผสมไวไฟ อาจจะมีสาเหตุมาจากการสัมผัสหรือการทำปฏิกิริยากับแหล่งติดไฟที่มีพลังงานเพียงพอ หรือก๊าซที่อุณหภูมิสูงมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟอัตโนมัติ

3.อุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการติดไฟอัตโนมัติ (Auto-Ignition Temperature; AIT) อุณหภูมิที่ทำให้พลังงานที่มีเพียงพออยู่ในสภาพแวดล้อมเปลี่ยนสภาพกลายเป็นแหล่งจุดติดไฟ

4.จุดวาบไฟ (Flash point) จุดวาบไฟของของเหลว คือ จุดที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดไอที่มากเพียงพอที่ทำให้เกิดการผสมสารไวไฟกับอากาศ ที่จุดวาบไฟ ก๊าซจะถูกเผาออกไปบางส่วนเท่านั้น ซึ่งทำให้ก๊าซมีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการรักษากระบวนการเผาไหม้ โดยทั่วไปเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น จุดวาบไฟก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

5. ขีดจำกัดความไวไฟ (Flammable Limits) สารผสมไอและของเหลวจะติดไฟและเผาไหม้ก็ต่อเมื่อองค์ประกอบของสารผสม อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้เท่านั้น เมื่อองค์ประกอบของสารผสมมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดล่างของการติดไฟ (Lower Flammable Limits : LFL) คือสารผสมมีปริมาณน้อยเกินไปในการเผาไหม้ และเมื่อมีองค์ประกอบของสารผสมมากเกินไป (Upper Flammable Limits UFL) สารจะไม่เผาไหม้ ซึ่งสารผสมจะติดไฟเมื่อองค์ประกอบของสารอยู่ในช่วงขีดจำกัดล่างและขีดจำกัดบนของการติดไฟ โดยมีหน่วยเป็น%โดยปริมาตรเชื้อเพลิง (%เชื้อเพลิงกับอากาศ)

6. การระเบิด (Explosion) การระเบิด คือการขยายตัวของก๊าซอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความดันหรือคลื่นกระแทกเคลื่อนที่ไปอย่างรวดเร็ว การขยายตัว สามารถขยายได้แบบวิธีทางกลหรือมาจากผลของการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็ว ความเสียหายจากการระเบิดมีสาเหตุมาจากความดันหรือคลื่นกระแทก

7.การไหม้ปะทุ (Deflagration) คือ การระเบิดที่ทำให้ปฏิกิริยาเคลื่อนไปข้างหน้าด้วยความเร็วน้อยกว่าความเร็วเสียงในตัวกลางที่ไม่มีการทำปฏิกิริยากัน

8. การระเบิด (Detonation) คือ การระเบิดที่ทำให้ปฏิกิริยาเคลื่อนไปข้างหน้าด้วยความเร็วมากกว่าความเร็วเสียงในตัวกลางที่ไม่มีการทำปฏิกิริยากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

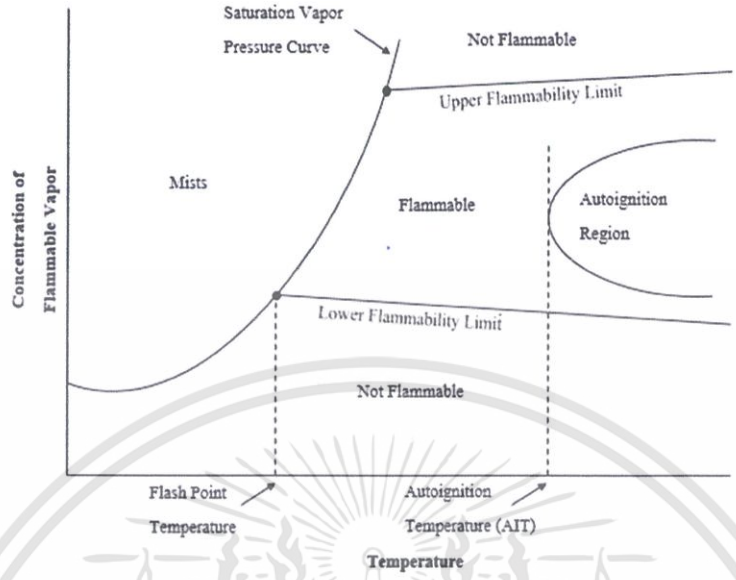
9.การระเบิดในพื้นที่ปิด (Confined explosion) การระเบิดที่เกิดขึ้นภายในถังและอาคาร ซึ่งเป็นการระเบิดที่พบมากที่สุดที่ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บและก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก

10. การระเบิดในพื้นที่เปิด (Unconfined explosion) การระเบิดประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะเกิดจากก๊าซไวไฟที่รั่วไหล ก๊าซจะกระจายตัวเข้าไปผสมกับอากาศจนกระทั่งไปสัมผัสกับแหล่งติดไฟ การระเบิดประเภทนี้จะเกิดได้ยากกว่าการระเบิดในพื้นที่ปิด เพราะวัตถุที่ระเบิดได้ จะถูกเจือจางลงให้มีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดล่างของการติดไฟ (LFL) โดยการแพร่กระจายของลม

11. การระเบิดของของเหลวที่ขยายตัวเป็นไอเมื่อถึงจุดเดือด (Boiling-liquid expanding-vapor explosion : BLEVE) เกิดขึ้นเมื่อภาชนะที่บรรจุของเหลวมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของความดันบรรยากาศแตกออกมา ผลที่ตามมาคือ เกิดไอที่ระเบิดได้ในสัดส่วนจำนวนมากของภาชนะบรรจุ และอาจตามไปด้วยการระเบิดของไอที่สามารถเผาไหม้ได้ การระเบิดประเภทนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อมีไฟจากภายนอกให้ความร้อนเข้าไปในถังที่บรรจุสารระเหยง่าย และเมื่อถังมีความร้อนสะสม ความดันไอของของเหลวที่อยู่ในถังจะเพิ่มขึ้น และทำให้ความสมบูรณ์ของถังมีค่าลดลง ทำให้ถังเกิดการฉีกแตก ของเหลวร้อนจะระเหยออกมาแล้วเกิดระเบิดขึ้น

12. ความดันมากเกินไป (Overpressure) คือ ความดันบนวัตถุที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นกระแทก รูป2.21 คือการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับอุณหภูมิ และแสดงให้เห็นว่าค่านิยามที่ได้กล่าวมานั้น มีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร เส้นโค้งเอ็กซ์โพแนนเชียลในรูปที่ 2.21 แสดงถึงเส้นโค้งความดันไออิ่มตัวของสารที่เป็นของเหลว โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าขีดจากัดบนของการติดไฟ (UFL) จะมีค่า เพิ่มขึ้น ส่วนค่าขีดจากัดล่างของการติดไฟ (Lower flammable limit : LFL) จะมีค่าลดลง ในทางทฤษฎี ค่า ขีดจากัดล่างของการติดไฟ (LFL) จะตัดกับเส้นโค้งความดันไออิ่มตัวของสารที่จุดวาบไฟ (Flash point) แต่ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป อุณหภูมิที่ทาให้เกิดการติดไฟอัตโนมัติ (Auto-ignition temperature) เป็นจุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่อยู่ในช่วงของการติดไฟอัตโนมัติอุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะไม่ทราบ ลักษณะของช่วงการติดไฟอัตโนมัติและค่าขีดจำกัดการติดไฟ จุดวาบไฟและขีดจำกัดการติดไฟต่างไม่ใช่สมบัติพื้นฐานของสาร แต่เป็นค่าที่ถูกนิยามขึ้นมาเพื่อใช้เฉพาะกับอุปกรณ์การทดลองและกระบวนการทดลองเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของการติดไฟกับอุณหภูมิ

13. LOC (Level of concern) ความเข้มข้นของสาร/ ก๊าซพิษ ที่อันตรายอย่างยิ่งยวด (Extremely Hazardous Substance) ในอากาศ ซึ่งถ้าสูงกว่านี้อาจเกิดอันตราย ต่อสุขภาพ ซึ่งไม่อาจกลับเป็นปกติ หรือตายเลย ในช่วงเวลาสั้นๆ สำหรับความเข้มข้นของมีเทนในอากาศ ถูกกำหนดให้มีค่าเข้มข้นเป็นครึ่งหนึ่งของค่าขีดจำกัดค่าต่ำสุดที่สามารถติดไฟได้ (1/2LFL) เกณฑ์ที่ใช้ดูพื้นที่รัศมีการกระจายของก๊าซและระยะทางการแผ่รังสี

ตารางที่ 2.7 ค่าขีดจำกัดระดับพลังงานความร้อนไปยังขอบเขต [6]

ระดับการแผ่รังสีความร้อน	บริเวณที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบ
30 kW/m^2	พื้นที่ที่สร้างขึ้นกักเก็บของเหลวที่เกิดการรั่วไหล
9 kW/m^2	จุดที่ใกล้สิ่งก่อสร้างที่สุด เช่น จุดรวมพล
5 kW/m^2	ขอบเขตที่กั้นสารรั่วไหลบริเวณพื้นดิน

ผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนต่อผิวหนังของมนุษย์ จากการตรวจสอบเกี่ยวกับการกำหนดค่าการแผ่รังสีความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์ ค้นพบโดย Stoll และ Greene เขาทั้งสองพบว่าที่ระดับพลังงาน 6.3 kW/m^2 จะรู้สึกเจ็บปวดเมื่อสัมผัสเป็นเวลา 8 s และแผลพุพองจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสเป็นเวลานานถึง 20 s โดยตารางด้านล่างจะแสดงระยะเวลาที่เริ่มนำไปสู่ความเจ็บปวดที่ระดับพลังงานต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ระยะเวลาที่มนุษย์สามารถทนได้เมื่อสัมผัสกับความเข้มรังสีความร้อน [1]

ความเข้มรังสีความร้อน kW/m^2 ($Btu/hr \cdot ft^2$)	เวลาที่มนุษย์สัมผัสแล้วทนได้ (s)
1.74 (550)	60
2.33 (740)	40
2.90 (920)	30
4.73 (1500)	16
6.94 (2200)	9
9.46 (3000)	6
11.67 (3700)	4
19.87 (6300)	2

พื้นฐานของการเปรียบเทียบระดับความเข้มรังสีความร้อนจะกำหนดอยู่ในช่วง 0.79 ถึง 1.04 kW/m^2 จะขึ้นอยู่กับสถานที่ทางภูมิศาสตร์ และช่วงเวลาของปี ซึ่งความเข้มรังสีความร้อนจะสามารถเป็นตัวแปรสำหรับบางสถานที่ได้ แต่การแผ่รังสีความร้อนที่ปล่องมีผลกระทบน้อยมากต่อเวลาที่ทนต่อการสัมผัส

ความเป็นไปได้ของระยะที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าใกล้ปล่องในช่วงที่เปลวไฟเกิดการแผ่รังสีความร้อนมากที่สุด บุคคลทั่วไปจะสามารถหลีกเลี่ยงและออกจากบริเวณที่ได้รับการสัมผัสรังสีความร้อนได้ ซึ่งเปลวไฟและแสงแดดจากดวงอาทิตย์ จะจัดอยู่ในลักษณะที่เพิ่มความเข้มรังสีความร้อน

2.4.3 คำศัพท์เกี่ยวกับไฟ

1. Pool Fire

เกิดจากของเหลวที่มีจุดเดือดในบรรยากาศสูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศขณะที่เกิดการรั่วไหลไปตามพื้น เมื่อได้รับความร้อนจนติดไฟ

2. Flash Fire

หลังจากที่สารเกิดการรั่วไหลออกสู่บรรยากาศ กลายเป็นกลุ่มหมอกก๊าซ กลุ่มหมอกนี้จะแพร่กระจายไปตามทิศทางของลม ซึ่งจะเจือจางลงเมื่ออากาศเข้ามารวมกับกลุ่มหมอกนี้ ซึ่งการเกิด Flash Fire จะเกิดจากการจุดระเบิดขึ้นอย่างเฉียบพลัน ผู้ที่อยู่บริเวณดังกล่าวจึงไม่สามารถหลบหนีได้ทัน ส่งผลให้มีอัตราผู้เสียชีวิตสูงขึ้น แต่เนื่องจากลักษณะการเกิดไฟแบบนี้เกิดขึ้นอย่างฉับพลันทำให้ความเข้มข้นของรังสีความร้อนไม่สูงมากนัก ผู้ที่อยู่รอบนอก จะไม่ได้รับอันตรายจนถึงขั้นเสียชีวิต ปริมาณของสารและความเร็วของไฟไม่มากพอที่จะเกิดแรงดันหรือระเบิดได้ภายหลังเกิดการรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Jet Fire

เกิดจากสารเคมีที่เก็บไว้ภายใต้ความดันสูงที่เกิดการรั่วไหล จึงฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศ แล้วเกิดการจุดระเบิดทันทีและเกิดการลุกไหม้ในลักษณะคล้ายคบเพลิง ทั้งนี้ระยะการกระจายจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของรูรั่ว และความดันในท่อ ความร้อนที่แผ่กระจายออกมาจากเปลวไฟ จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่รั่วไหลออกมา แต่เนื่องจาก Jet Fire มีปริมาณความร้อนสูง จึงทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์หรือโครงสร้างที่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง แต่เนื่องจาก Fireball จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ส่วน Jet Fire จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นเมื่อเกิดรอยแตกขึ้นแล้ว ความเสียหายที่เกิดจาก Jet Fire จะรุนแรงกว่า Fireball

4.Fireball

เกิดจากการรั่วไหลของสารติดไฟอย่างรวดเร็วมากในตอนแรก หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากถังเกิดการฉีกขาด จึงทำให้สารพุ่งกระจายสู่บรรยากาศและหากมีการจุดระเบิดจากประกายไฟ จะทำให้เกิดลูกบอลไฟขนาดใหญ่แล้วอาจตามด้วยการเกิด Jet Fire

รูปที่ 2.24 Pool Fire

รูปที่ 2.25 Jet Fire

รูปที่ 2.26 Fireball

รูปที่ 2.27 Flash Fire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 แหล่งกำเนิดของอันตรายของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว [6]

1.ของเหลวรั่วไหล

ถ้าเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวรั่วไหลออกจากถังกักเก็บ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นหมอกก๊าซเย็นติดไฟได้ (Vapor Cloud) การมีรอยแตกบริเวณท่อหรือมีรอยแตกบริเวณข้างถังกักเก็บอาจจะทำให้รั่วไหลจนมีของเหลวเดือดนอง (Pool Fire)

ในการคำนวณการกระจายของแหล่งกำเนิดสำหรับก๊าซหนัก (Heavy Gas) จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ของเหลวเกิดการนองและอัตราการระเหยของของเหลว ซึ่งมีอยู่ 2 โหมดด้วยกัน คือ

การเดือด : อุณหภูมิของของเหลวอยู่ที่จุดเดือด และอัตราการระเหยจะถูกควบคุมโดยอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปยังความร้อนที่ใช้ในการระเหย ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีค่าเป็น 100 % ที่บริเวณเหนือผิวของเหลวนอง

การระเหย : อุณหภูมิของของเหลวอยู่ต่ำกว่าจุดเดือด และอัตราการระเหยซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศเหนือของเหลวนอง ซึ่งสามารถพาไอไปได้ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนบริเวณเหนือผิวของเหลวนองจะอยู่ภายใต้การควบคุมของความดันย่อย (Partial pressure) และมีนัยสำคัญน้อยกว่า 100 %

ในความเป็นจริง การระเหยจะเป็นการผสมของ 2 โหมดเข้าด้วยกัน สมดุลความร้อนจะถูกควบคุมโดยสมการของรูปแบบ

$$\frac{dT}{dt} = Q_{in} - Q_{vap} \tag{2.37}$$

เมื่อ Q_{in} สัดส่วนอัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อของเหลวนอง

Q_{vap} สัดส่วนความร้อนของการระเหยคูณด้วยอัตราการที่ทำให้เกิดการระเหย

ในเหตุการณ์ที่อุณหภูมิคงที่ $Q_{in} = Q_{vap}$ ที่จุดเดือด และเมื่อความร้อนจากสิ่งแวดล้อมถูกกำจัดออกได้เร็วกว่าความร้อนที่ทำให้เกิดการระเหย ที่จุดนี้ $Q_{in} < Q_{vap}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณการกระจายของแหล่งกำเนิดแบบ Gaussian กรณีที่กลุ่มก๊าซมีความหนาแน่นเบากว่าอากาศ แบบจำลองการฟุ้งกระจายแบบ Gaussian จะต้องจำลองลักษณะของพลูมที่ออกจากปล่อง ถ้าปล่องสูง h พลูมจะลอยตัวสูงจากปล่องไปอีก Δh เนื่องจากแรงลอยตัวของพลูมและโมเมนตัมของพลูม แบบจำลองนี้ มีสมมติฐานว่า " มลภาวะทางอากาศมีการกระจายในแนวราบและแนวระดับอย่างสม่ำเสมอ" มีการคำนวณมลพิษทางอากาศ ณ จุดต่างๆ ดังสมการ 2.38 [9]

$$C(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi u\sigma_y\sigma_z}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left\{\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_x^2}\right)+\exp\left(\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right\} \qquad (2.38)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นมลพิษทางอากาศที่พิกัด (x,y,z), $\mu g/m^3$

Q = ปริมาณการระบายสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด, μg /s

σ_y = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารมลพิษในแนวแกน y , m

σ_z = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารมลพิษในแนวแกน Z , m

u = ความเร็วลมที่ระดับความสูงปลายปล่องเหนือระดับพื้นดิน, m/s

H = ความสูงสุทธิของพลูมมีค่าเท่ากับ $h_s+\Delta h$, m

h_s = ความสูงของแหล่งกำเนิด, m

Δh = ความสูงพลูมที่ลอยขึ้นออกจากแหล่งกำเนิด, m

x = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดในแนวระนาบตามทิศทางลม, m

y = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดในแนวตั้งฉากกับทิศทางลม, m

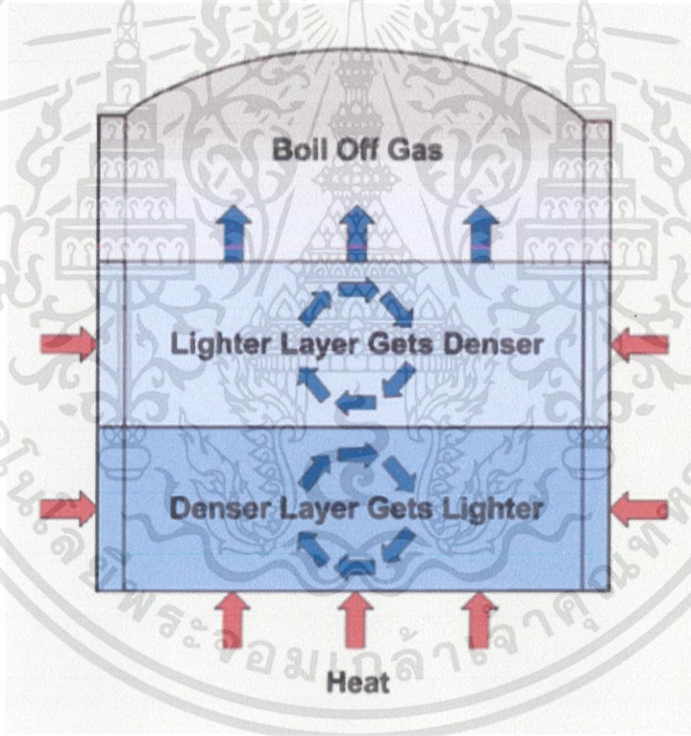
Z = ความสูงของจุดสังเกตจากพื้น, m

ซึ่งโปรแกรม ALOHA จะใช้แบบจำลองของ Gaussian ในการหาผลกระทบจากการรั่วไหลและผลกระทบจากการเกิดไฟไหม้แบบ Jet Fire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ก๊าซรั่วไหลอย่างรวดเร็ว (Roll-over) [7]

เป็นอีกอันตรายหนึ่งที่เกิดจากถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว ซึ่งคือเหตุการณ์ที่ก๊าซเกิดการรั่วไหลออกจากบริเวณหลังคาของถังอย่างรวดเร็ว เหตุการณ์แบบนี้จะถูกเรียกว่า โรลโอเวอร์ ตัวอย่างหนึ่งที่พิจารณา คือเมื่อของเหลวที่ด้านบนของถังมีความดัน 1 bar แล้วของเหลวชนิดเดียวกันนี้ที่บริเวณด้านล่างของถัง มีความดันประมาณ 2 bar โดยจากประสบการณ์แรงกดที่มาจากของเหลวด้านบน จะทำให้ของเหลวที่ด้านล่างของถังมีความดันมากกว่า ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นนิดหน่อย แล้วเริ่มเกิดการระเหยขึ้น ทำให้ของเหลวด้านล่างพยายามระเหยขึ้นสู่ด้านบนถัง ส่วนของเหลวด้านบนจะมาแทนที่ที่ด้านล่างถัง เมื่อเกิดการระเหยของเชื้อเพลิงเหลวมากขึ้น ทำให้ความดันที่บริเวณหลังคาสูงขึ้น ซึ่งถ้าความดันของกลุ่มก๊าซมากกว่าความดันที่หลังคาถังสามารถทนได้ จะทำให้กลุ่มหมอกก๊าซที่รั่วไหลเห็นได้ชัดเจน ซึ่งปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่าความจุความร้อนจำเพาะ



รูปที่ 2.28 การเกิดโรลโอเวอร์ (Rollover)
(GIIGNL, 2012-2015: 11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ชนิดของแหล่งแพร่กระจายในโปรแกรม ALOHA

เหตุการณ์สารเคมีรั่วไหลสาเหตุมาได้จาก 4 แหล่งแพร่กระจายด้วยกัน คือ

1. การกระจายโดยตรง (Direct) จะใช้เมื่อรู้ปริมาณของสารที่มีการกระจายอย่างแน่ชัด
2. พัดเดิล (Puddle) เป็นการกระจายของสารเคมีในแบบไหลนองกับพื้น
3. ถังกักเก็บ (Tank) เป็นการกระจายจากถังแบบทรงกระบอกหรือแบบทรงกลม
4. ท่อ (Pipe) เป็นการรั่วไหลออกจากท่อ ไม่ว่าท่อนั้นจะออกจากถังหรือเป็นท่อตัน

รูปที่ 2.29 Direct

รูปที่ 2.30 Pipe

รูปที่ 2.31 Tank

รูปที่ 2.32 Puddle

2.4.6 คำแนะนำการระบายออกและของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม [11]

อากาศที่ระบายออกจากโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวควรประยุกต์ใช้เทคนิค ตารางที่ 2.9 เป็นค่าแนะนำสำหรับกระบวนการระบายของเสีย ซึ่งเป็นหลักปฏิบัติสากลที่ดีของภาคอุตสาหกรรม แล้วยังสะท้อนถึงมาตรฐานของเมืองที่เกี่ยวกับข้อบังคับของขอบข่ายงาน การระบายของแหล่งการเผาไหม้จะเกี่ยวข้องกับการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ไอน้ำ และการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดด้วยปริมาณเท่ากับหรือน้อยกว่า 50 MW ที่กำหนดในเอกสารแนะนำทั่วไปสำหรับสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และความปลอดภัย (General EHS Guidelines)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ระดับของเสียที่ระบายสู่สิ่งแวดล้อมจากโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

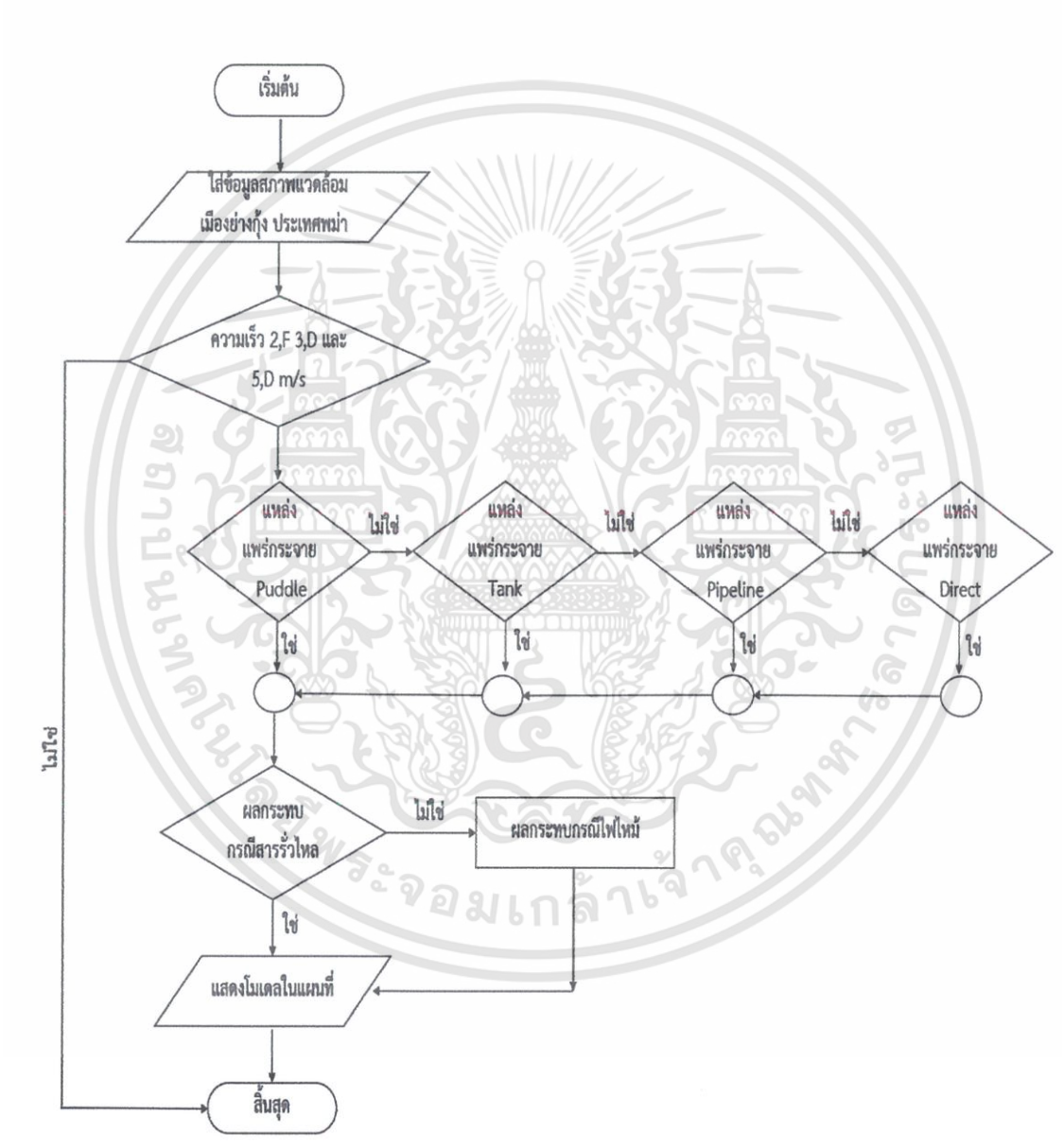
ตัวแปร	คำแนะนำ
การทดสอบด้วยแรงดันน้ำ (Hydrotest water)	สำหรับการบำบัดและการกำจัดทิ้งสู่แหล่งน้ำและพื้นดินจะมีเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ◦สารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวม 10 ppm ◦ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 6-9 ◦ค่า BOD 25 ppm ◦ค่า COD 125 ppm ◦ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด 35 ppm ◦ฟีนอล 0.5 ppm ◦ซัลไฟด์ 1 ppm ◦โลหะหนัก [a] 5 ppm ค่าเฉลี่ยและค่ามากที่สุดของคลอไรด์ [b] 600 และ 1,200 ppm
สารปนเปื้อนของน้ำเสีย (Contaminated storm water drainage)	การปนเปื้อนของน้ำจากท่อระบายน้ำควรจะบำบัดผ่านระบบการแยกน้ำมันและน้ำ โดยสามารถทำให้ความเข้มข้นของน้ำมันและไขไม่เกิน 10 ppm
น้ำหล่อเย็น (Cooling or cold water)	ของเสียที่ระบายออกควรมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่เกิน 3 °C ที่บริเวณการผสม ซึ่งคำนึงถึงคุณภาพน้ำโดยรอบ แหล่งน้ำรองรับ ขีดความสามารถของแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับได้ การระบายความเข้มข้นของคลอรีนในน้ำหล่อเย็น ควรรักษาให้มีค่าต่ำกว่า 0.2 มิ ppm
น้ำเสียหรือสิ่งปฏิกูล (Sewage)	การบำบัดจะแสดงอยู่ในเอกสารแนะนำทั่วไปสำหรับสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และความปลอดภัย รวมถึงปริมาณที่ต้องการระบายออกจะถูกกำหนดอยู่ในเอกสารนี้
[a] คือสารพวก ทองแดง ปรอท นิกเกิล สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว ซีลีเนียม เบริลเลียม เงิน โครเมียม พลวง แทลเลียม สารหนู [b] สำหรับการระบายน้ำออกสู่แหล่งน้ำสะอาด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

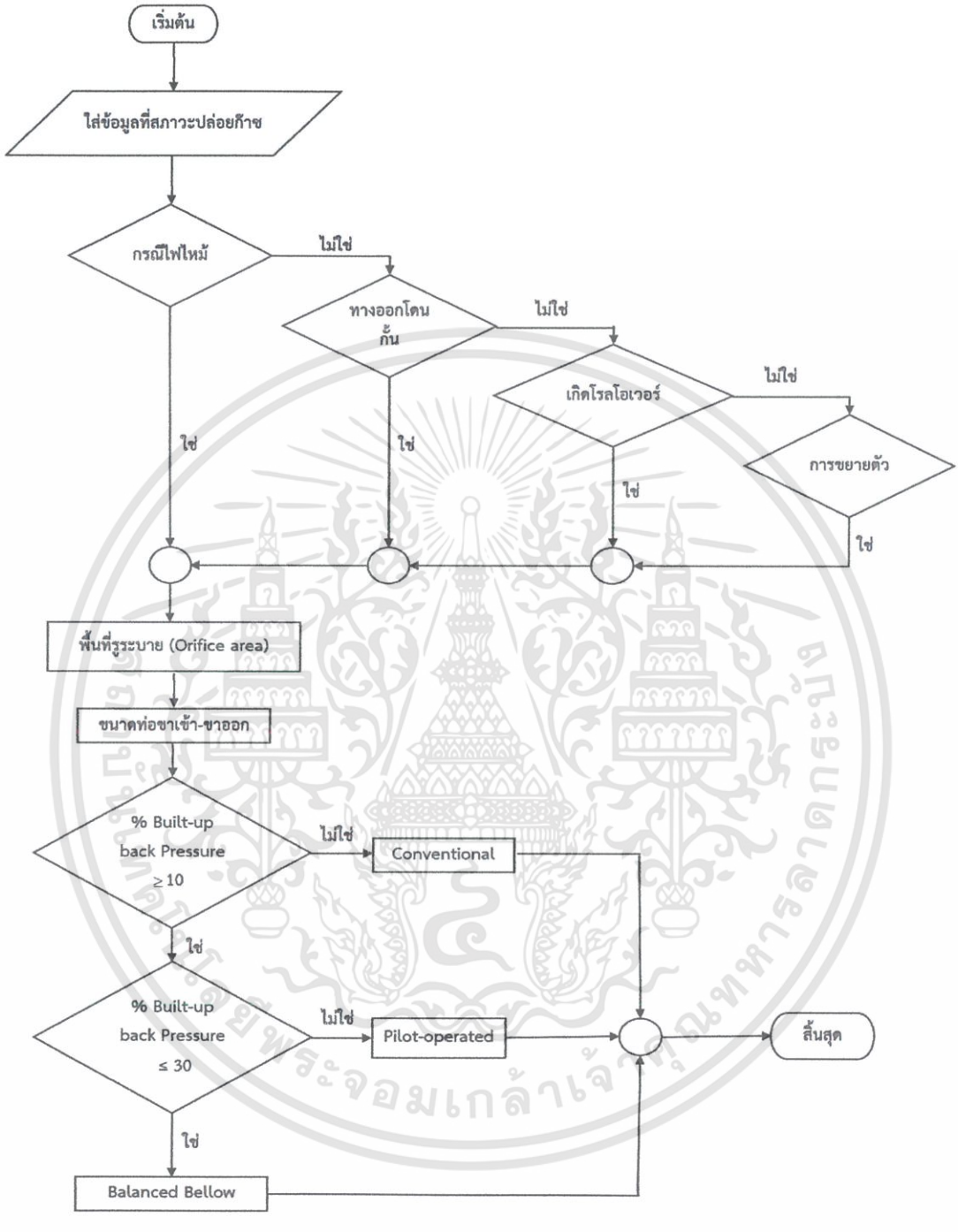
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนผังการหาผลกระทบจากโปรแกรม ALOHA และการหาขนาดวาล์วนิรภัย ขนาดปล่อง ขนาดท่อขาเข้า-ขาออก



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาผลกระทบกรณีสารรั่วไหลและกรณีเกิดไฟไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการหาขนาดวาล์วนิรภัยและขนาดท่อขาเข้า-ออกวาล์วของนิรภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

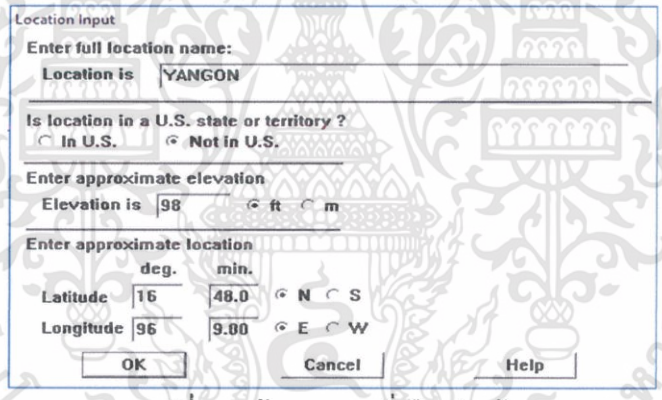
3.2 การใช้โปรแกรม ALOHA

โปรแกรม ALOHA เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ทำนายการกระจายของสารเคมีในอากาศที่สามารถเกิดอันตรายได้ ข้อดีของ ALOHA คือ มีข้อมูลทางภูมิประเทศของสถานที่เกิดเหตุ เพราะมีฐานข้อมูลละติจูด ลองจิจูด ของเมืองในสหรัฐอยู่ในตัวโปรแกรม แต่ถ้าเป็นสถานที่ในประเทศไทยหรือเอเชีย จะต้องเพิ่มเข้าไปขณะกรอกข้อมูลของสถานที่

ข้อมูลละติจูด ลองจิจูด ทำให้ ALOHA คำนวณความหนาแน่นของอากาศ ความสูงของพื้นที่ และแสงอาทิตย์ที่ทำมุมต่อพื้นที่ สิ่งเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อการกระจายของสารเคมีในอากาศ โดยเฉพาะในกรณีที่สารเคมีรั่วไหลลงพื้นดินเป็นแอ่ง (Puddle)

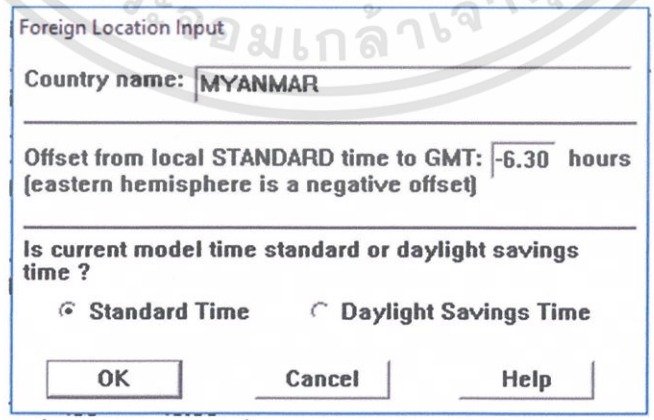
1. ตั้งค่าโปรแกรม ALOHA

ใส่ข้อมูลสถานที่เกิดเหตุและเวลาที่อาจเกิดการรั่วไหล แต่เนื่องจากโปรแกรม ALOHA ไม่มีข้อมูลของประเทศพม่า จึงต้องเพิ่มข้อมูลเข้าไป โดยกรอกค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล ละติจูด ลองจิจูด แล้วกดตกลง



รูปที่ 3.3 ข้อมูลสถานที่เมืองย่างกุ้ง

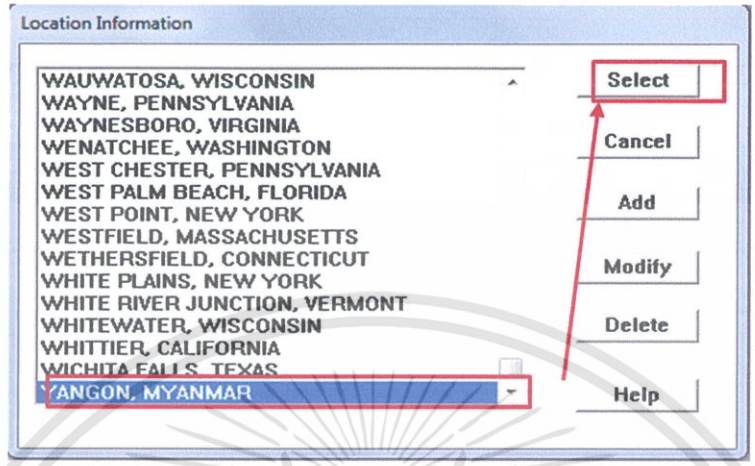
ต่อมาใส่ชื่อประเทศรวมถึงใส่เวลาที่ออกจากเวลามาตรฐานสากล -6.30 h



รูปที่ 3.4 ข้อมูลสถานที่ประเทศพม่าและเวลามาตรฐานสากล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

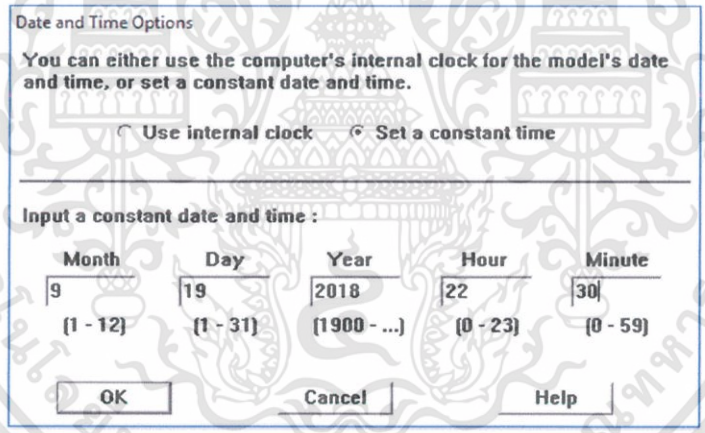
เมื่อเพิ่มข้อมูลสถานที่ที่ต้องการศึกษาเสร็จ ให้เลือกสถานที่นั้น



รูปที่ 3.5 หน้าต่างข้อมูลสถานที่

2. การตั้งวันและเวลา

เป็นการเลือกใช้เวลาเครื่องหรือตั้งเวลาเอง ซึ่งเป็นเวลาคงที่

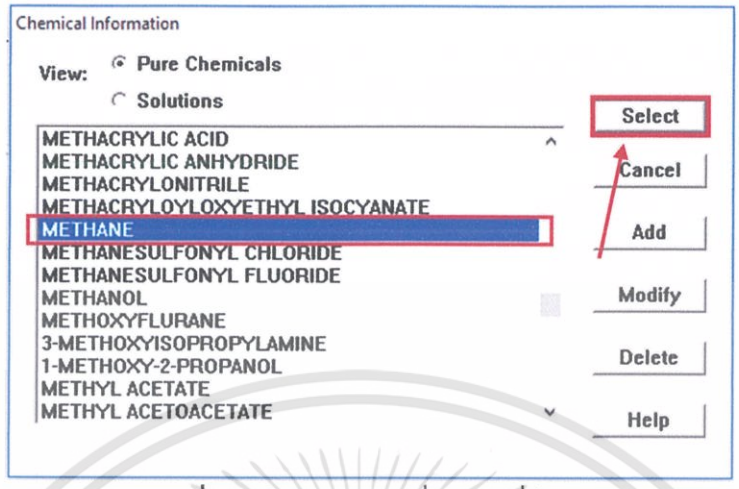


รูปที่ 3.6 ข้อมูลวันและเวลาที่เกิดอุบัติเหตุ

3. สารเคมี

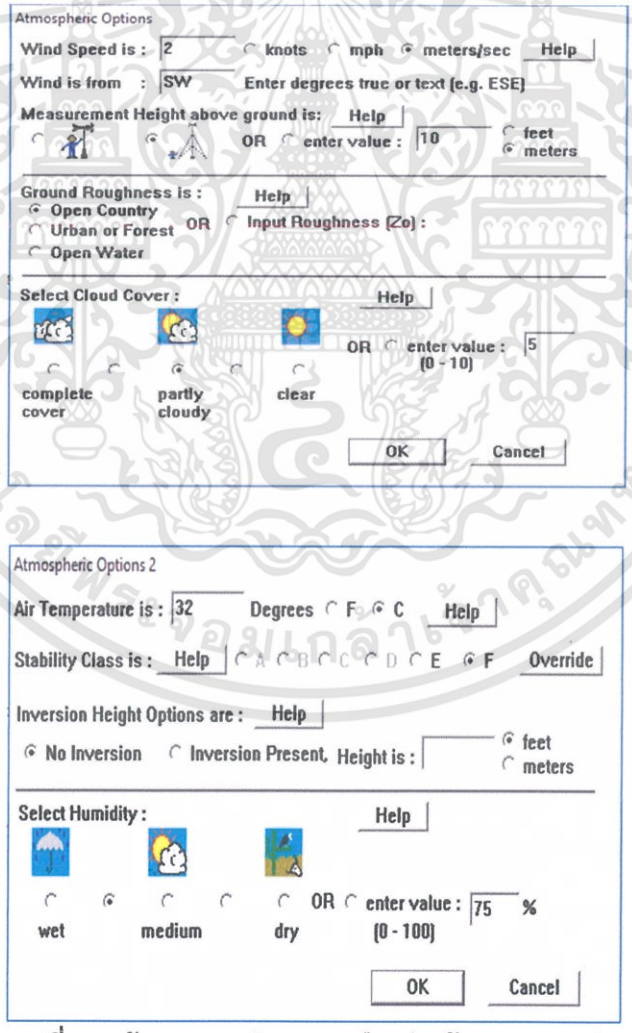
เลือก Pure Chemicals เนื่องจากเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวที่รับมามีองค์ประกอบของมีเทนเป็นส่วนมาก จึงสามารถใช้มีเทนเป็นสารเคมีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ข้อมูลสารเคมีที่เกิดการรั่วไหล

4. ตั้งค่าตัวแปรทางด้านบรรยากาศ (ภาคผนวก ก.)

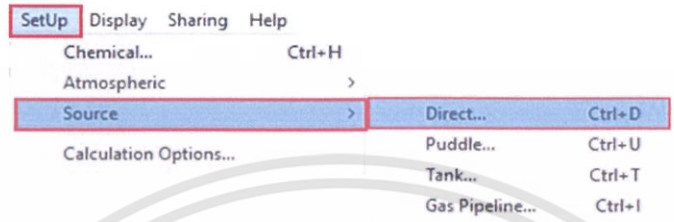


รูปที่ 3.8 ข้อมูลทางภูมิอากาศ เมืองย่างกุ้ง ประเทศพม่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

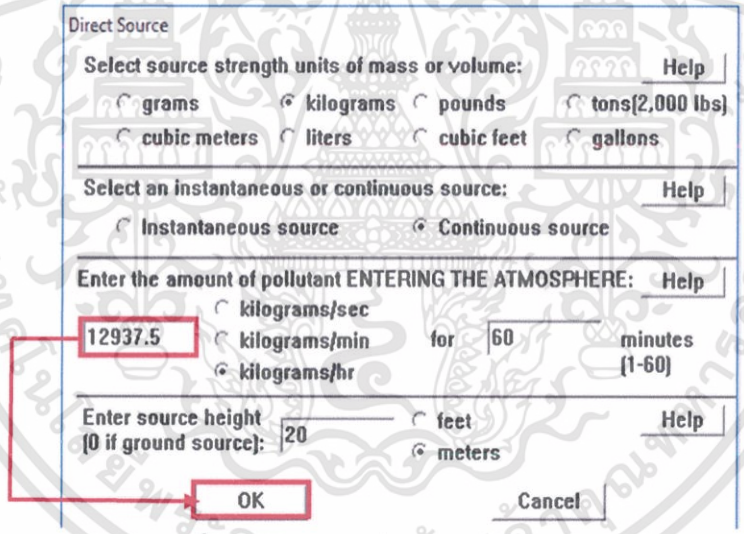
5. การเลือกแหล่งรั่วไหล

เลือกเมนูตั้งค่า → แหล่งกำเนิด เป็นการใส่ข้อมูลของแหล่งที่เกิดการรั่วไหล โดยเลือกชนิดของแหล่งแพร่กระจาย



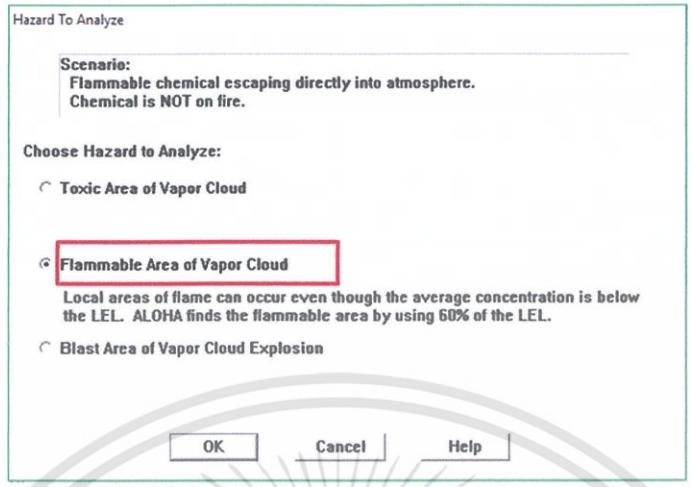
รูปที่ 3.9 แหล่งกำเนิดของอุบัติเหตุ

เมื่อเปิดหน้าต่างเข้ามาต้องระบุว่าการเกิดเหตุนั้น เกิดเป็นเวลานานกว่า 1 min หรือ ต่ำกว่า 1 min และระบุจำนวนสารที่กระจายสู่บรรยากาศ รวมถึงเลือกระดับความสูงของบริเวณที่เกิดการรั่วไหลเมื่อวัดจากระดับพื้น



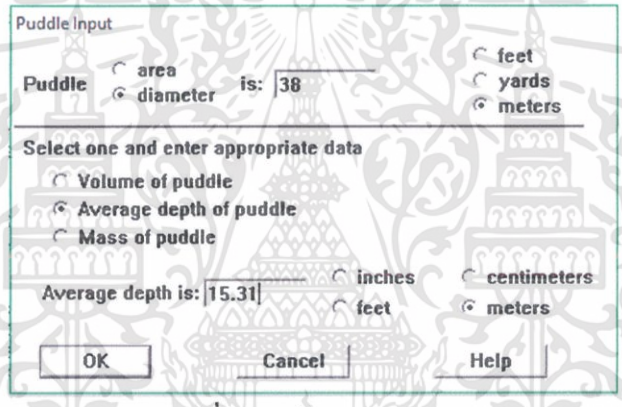
รูปที่ 3.10 อัตราการไหลผ่านวาล์วนิรภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

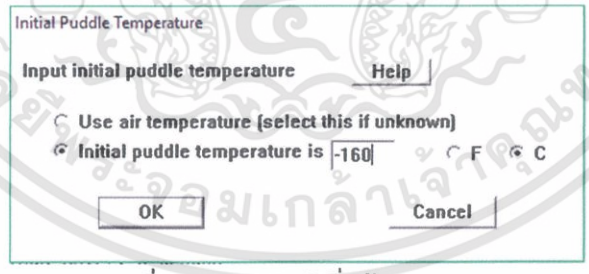


รูปที่ 3.11 วิเคราะห์ลักษณะอันตราย

แหล่งการแพร่กระจายแบบ Puddle



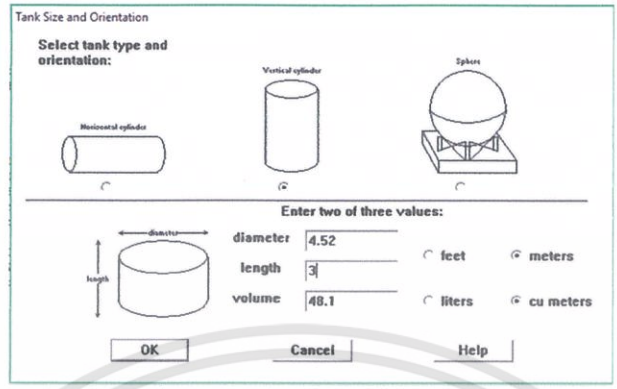
รูปที่ 3.12 ข้อมูล Puddle



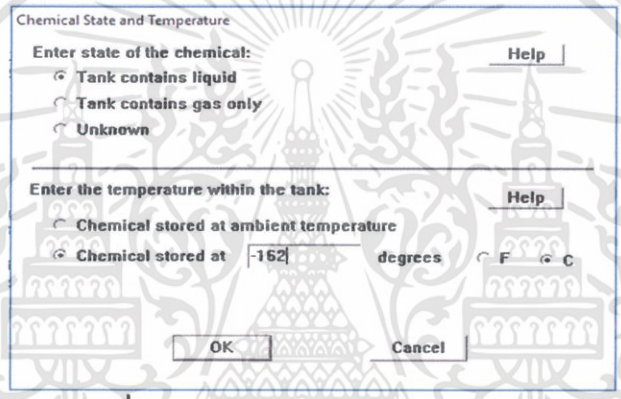
รูปที่ 3.13 อุณหภูมิเริ่มต้น Puddle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

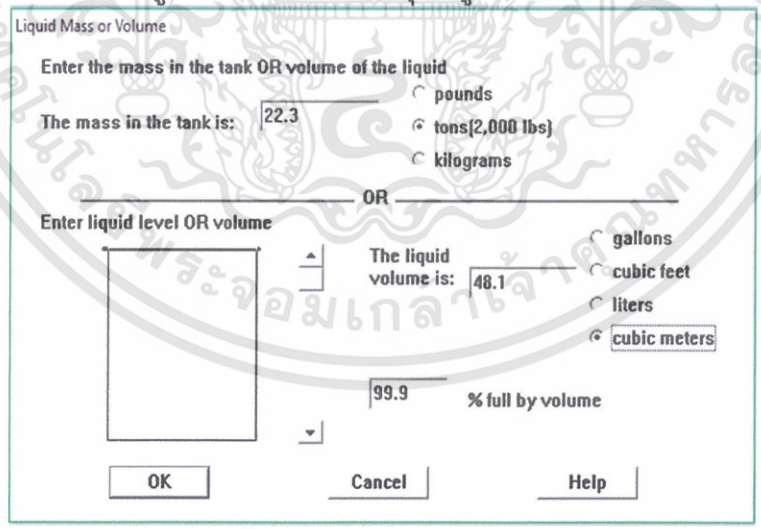
แหล่งการแพร่กระจายแบบถัง



รูปที่ 3.14 ลักษณะและขนาดของถัง

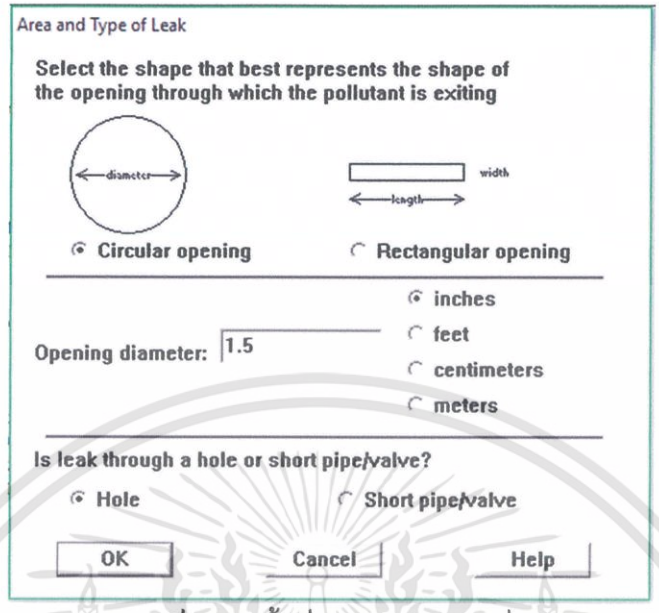


รูปที่ 3.15 สถานะและอุณหภูมิของสารเคมี

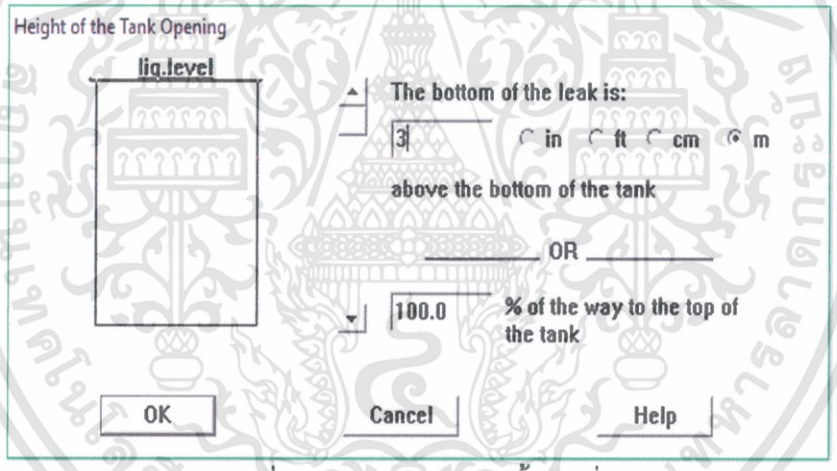


รูปที่ 3.16 ปริมาตรของของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



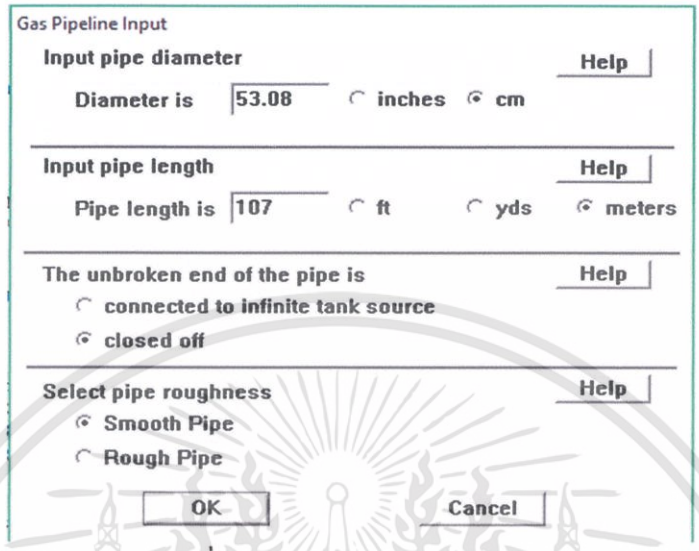
รูปที่ 3.17 พื้นที่และรูปแบบของรูรั่ว



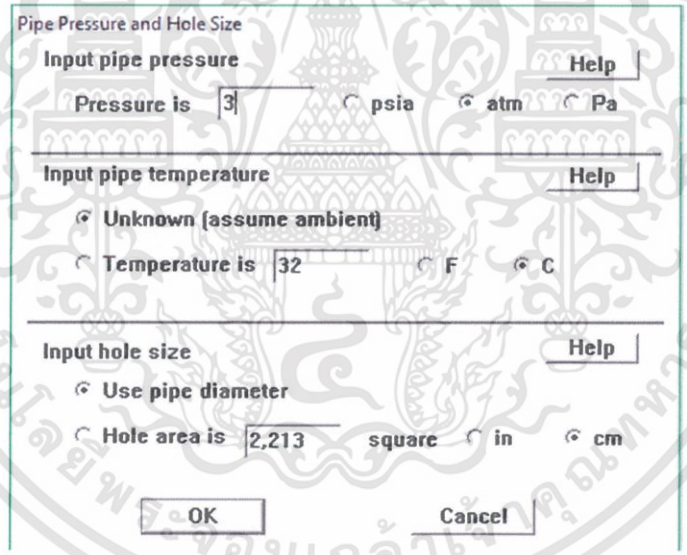
รูปที่ 3.18 ความสูงถังจากพื้นถึงรูรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งการแพร่กระจายแบบ Gas Pipeline



รูปที่ 3.19 ใส่ข้อมูล Gas Pipeline

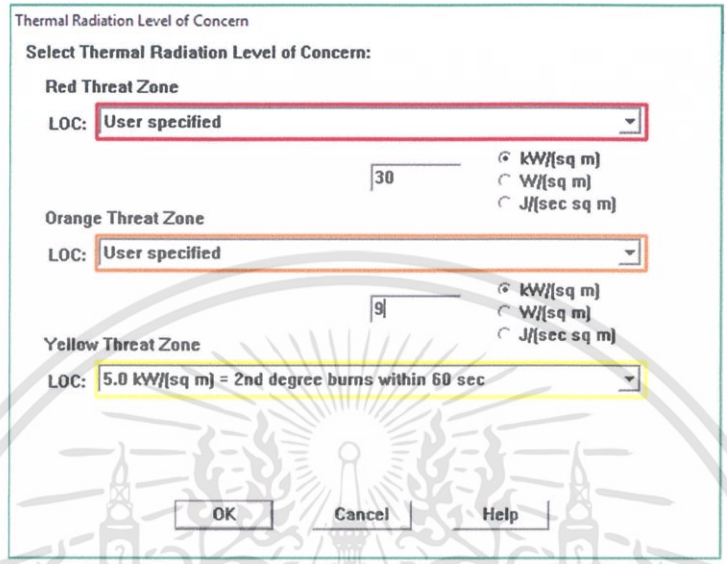


รูปที่ 3.20 ความดันภายในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

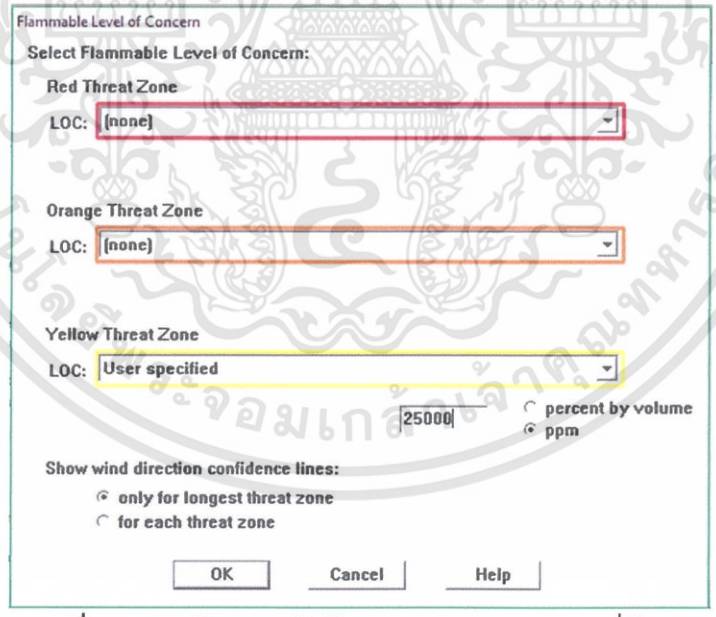
6. การแสดงผลจากโปรแกรม ALOHA

เลือก Threat zone→ ใส่ระดับพลังงาน 30 9 และ 5 kW/m^2



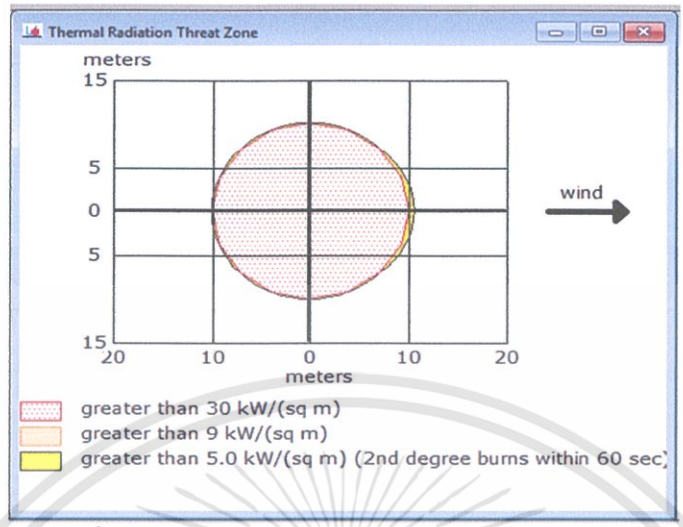
รูปที่ 3.21 ระดับพลังงานที่เกิดจากกรณีไฟไหม้แบบ Jet Fire

เลือก Threat zone→ ใส่ระดับความเข้มข้น 25,000 ppm จากการรั่วไหล

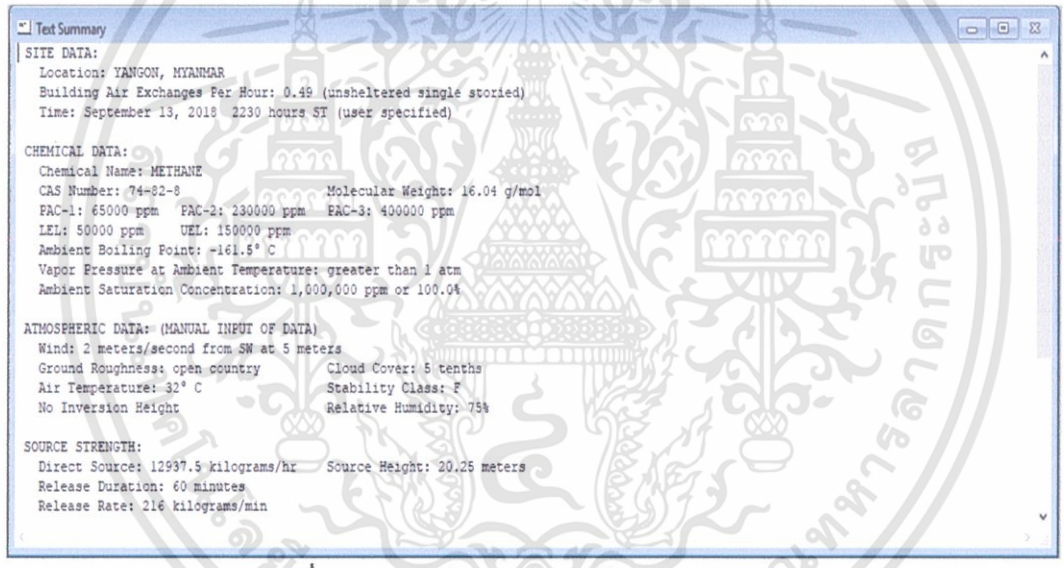


รูปที่ 3.22 ระดับความเข้มข้น 25,000 ppm จากการรั่วไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 หน้าต่างแสดงโมเดลจากโปรแกรม ALOHA



รูปที่ 3.24 หน้าต่างสรุปผลจากโปรแกรม ALOHA

3.3 ขั้นตอนการหาขนาดวาล์วนิรภัยและท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย

1. คำนวณหาปริมาณที่ระบาย [1] แสดงวิธีคำนวณในภาคผนวก ก.
2. คำนวณพื้นที่รูระบายของวาล์วนิรภัย [2] แสดงวิธีคำนวณในภาคผนวก ก.
3. เลือกขนาดวาล์วนิรภัยจากพื้นที่รูระบายจริงของวาล์วนิรภัย [4]
4. คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงปล่อง [1]
5. หาความดันสูญเสียภายในปล่องจากความดันลดต่อ 100 m แสดงวิธีคำนวณในภาคผนวก ก.
6. สมมติขนาดท่อขาเข้า-ขาออกให้เท่ากับขนาดวาล์วนิรภัย แลวค่อยปรับขนาดท่อจนกว่าจะผ่านเกณฑ์ที่กำหนด [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การใช้โปรแกรม Visual Flare [10]

โปรแกรม Visual Flare เป็นโปรแกรมคำนวณการไหลของของไหลที่ช่วยวิศวกรในเรื่องการออกแบบ การสร้างแบบจำลอง นอกจากนี้โปรแกรม Visual Flare ยังเป็นโปรแกรมที่รวดเร็ว ได้รับความเชื่อถือ และให้ผลที่แม่นยำ

การใช้งานหาขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย รวมถึงใช้หาความดันถังที่สามารถทนได้ต่อระบบการระบายที่ซับซ้อน วิศวกรกระบวนการและวิศวกรความปลอดภัยจะสามารถออกแบบปริมาณอัตราและสามารถวิเคราะห์กระบวนการได้อย่างแม่นยำ

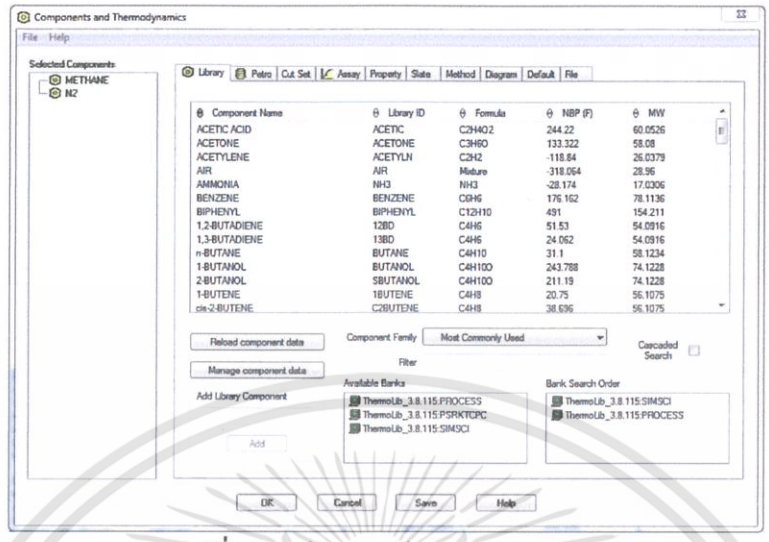
1. วางแหล่งกำเนิด วาล์วนิรภัยและจุดปลายทาง (source-PSV-sink)

รูปที่ 3.25 ภาพรวมระบบระบาย (Relief system)

2. เลือกใส่องค์ประกอบของสารที่พิจารณา (Composition)

เนื่องจากสิ่งที่ระบายออกคือก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังหรือ Boil-off Gas องค์ประกอบที่ใช้ จึงเป็นของก๊าซที่เกิดขึ้น เลือก slate ลากองค์ประกอบที่เลือกลงไป กด Method เลือกเป็น SRK หรือ Soave-Redlich Kwong

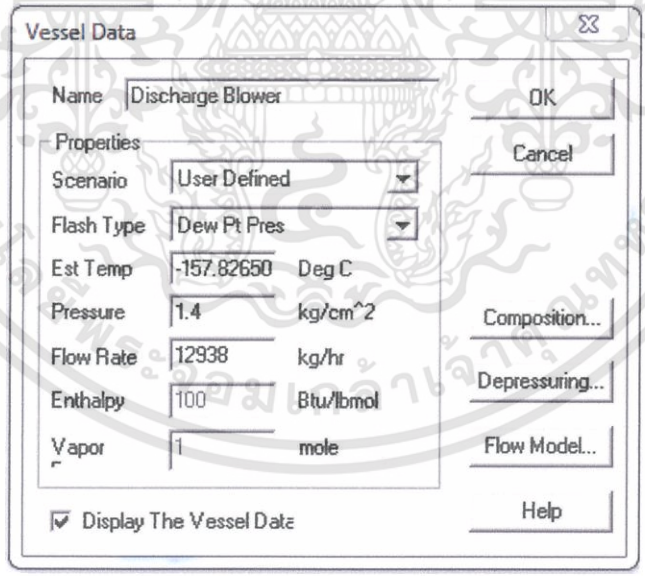
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ข้อมูลองค์ประกอบของสาร

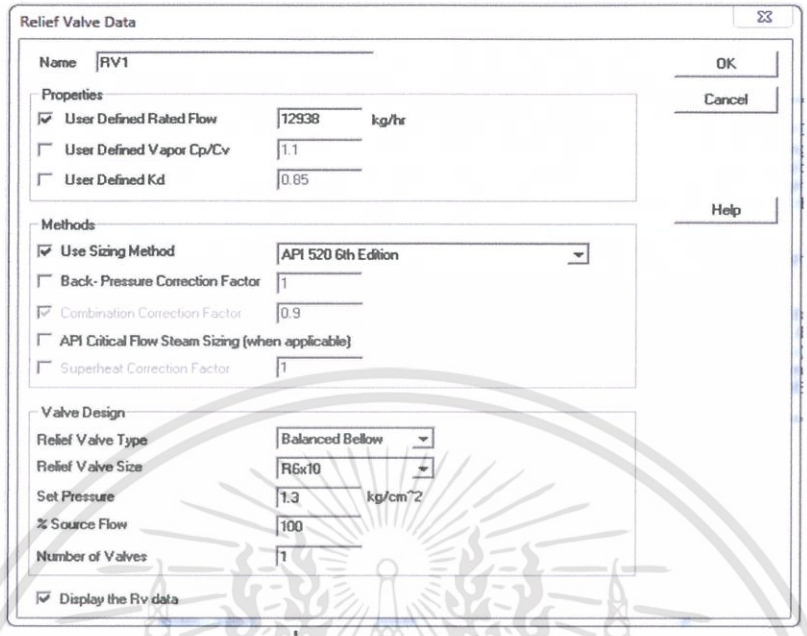
3.ใส่ข้อมูลความดันและอุณหภูมิของแหล่งกำเนิด วาล์วนิรภัยและจุดปลายทาง

ความดันและอุณหภูมิที่แหล่งกำเนิดจะต้องใส่ค่าที่สภาวะการระบาย (Relieving Condition) ส่วนชนิดและขนาดวาล์วนิรภัยจะใส่ตามที่เปิดค่าได้จากมาตรฐานสากล API 526 และความดันจุดปลายทางที่ระบายออก

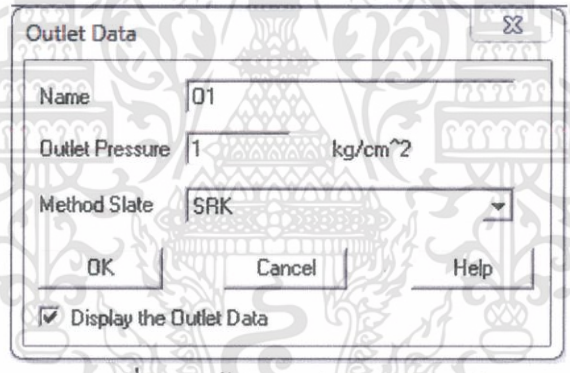


รูปที่ 3.27 ข้อมูลแหล่งกำเนิดที่ระบายออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ข้อมูลวาล์วนิรภัย



รูปที่ 3.29 ข้อมูลจุดปลายทาง (sink)

4. สร้างเส้นเชื่อมระหว่างอุปกรณ์

ลากเชื่อมท่อระหว่างแหล่งกำเนิดกับวาล์วนิรภัยและ วาล์วนิรภัยกับจุดปลายทาง โดยต้องวาดตามเส้นทางท่อจริง (Isometric Drawing) พร้อมใส่ขนาดท่อ โดยแสดงเส้นทางท่อจริงไว้ใน ภาคผนวก ข.

5. กด run โปรแกรม Visual Flare

เมื่อกด run แล้วถ้าหน้าต่างเด้งเตือนขึ้นมาเรื่องความดันลดเกิน 3 %ความดันที่กำหนด หรือค่า % Built-up back pressure มากเกินค่ามาตรฐาน รวมถึงกด R เพื่อหาปริมาณที่มากที่สุดที่สามารถผ่านวาล์วนิรภัยได้ ถ้าเป็นสีแดงแสดงว่าจะมีค่าอะไรก็ตามที่ไม่ผ่าน ถ้าเป็นสีเขียวแสดงว่าผ่าน

6. หน้าต่างที่แสดงผลสรุป (Summary) ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการวิจัย

โครงงานสหกิจศึกษานี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของผลกระทบที่เกิดจากการรั่วไหล การเกิดไฟไหม้และการระเบิดภายในโรงงาน โดยทำการวัดค่าการกระจายของก๊าซและการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟ ที่สามารถส่งผลรุนแรงต่อชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม จากบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ (Cold vent stack) และปล่องระบายสารความดันสูง (HP vent stack) รวมถึงบริเวณวาล์วนิรภัย พื้นที่กักเก็บ (Impoundment Area) และหลังคาถังกักเก็บ (Tank roof) โดยใช้โปรแกรม ALOHA นอกจากนี้มีการคำนวณปริมาณสารที่ระบายออกจากอุปกรณ์ และระบบท่อต่างๆในโรงงาน การคำนวณขนาดของปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ ปล่องระบายสารความดันสูง ขนาดวาล์วนิรภัย ท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย เพื่อความปลอดภัยในโรงงาน ซึ่งการคำนวณเหล่านี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน American Petroleum Institute (API) ในการควบคุมการออกแบบ และใช้โปรแกรม Visual Flare ในการตรวจสอบความดันลด ค่ามัคและค่า % Built-up back pressure ของท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยและวาล์วนิรภัยที่ได้จากการเลือกตามมาตรฐาน API

4.1 ปริมาณก๊าซที่ระบายออกจากวาล์วนิรภัยแต่ละตัว

ปริมาณที่บันทึกจะถูกแบ่งตามจุดรวมระบายก๊าซที่ออกจากมาจากวาล์วนิรภัยบริเวณอุปกรณ์นั้นๆ จากมาตรฐาน API 521 [1]

ตารางที่ 4.1 ปริมาณที่ระบายออกบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ (Cold vent stack)

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ	
	ไฟไหม้ (kg/h)	ทางออกโดนกั้น (kg/h)
ท่อส่งก๊าซกลับ	-	12,938
ถังแยกก๊าซ (Drum)	9,528	-

ตารางที่ 4.2 ปริมาณที่ระบายออกบริเวณถังกักเก็บ (Tank vent)

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ถังกักเก็บ		
	ไฟไหม้ (kg/h)	ทางออกโดนกั้น (kg/h)	โรลโอเวอร์ (kg/h)
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว	4,586	6,469	12,938

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณที่ระบายออกบริเวณปล่องระบายสารความดันสูง (HP vent stack)

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ปล่องระบายสารความดันสูง		
	ไฟไหม้ (kg/h)	ทางออกโดนกั้น (kg/h)	ท่อขยายตัว (kg/h)
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	2,761.3	56,900	178.42

จากตารางที่ 4.1-4.3 แสดงปริมาณที่ระบายออกของบริเวณต่างๆในกรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยกรณีไฟไหม้สามารถหาได้จากสมการ 2.5 และ 2.9 กรณีเกิดโรลโอเวอร์หาได้จาก 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของเหลวภายในถัง กรณีทางออกโดนกั้นคิดจากปริมาณที่อุปกรณ์ต้นทางทำงานได้ กรณีท่อขยายตัวหาได้จากสมการ 2.15 แล้วทำการเลือกกรณีที่ให้ปริมาณที่มากที่สุดที่ระบายออกในบริเวณนั้น เพื่อเลือกขนาดวาล์วที่ใหญ่ที่สุด สำหรับการคำนวณปริมาณที่ระบายของโครงงานนี้ เป็นเพียงการคำนวณขั้นต้นเท่านั้น

จากนั้นปริมาณที่ระบายออกในแต่ละกรณี จะนำไปใช้คำนวณหาพื้นที่รูระบายตามสมการ 2.29 และ 2.31 เพื่อเลือกขนาดวาล์วนิรภัย โดยผลจะแสดงในตารางที่ 4.4

4.2 ขนาดของวาล์วนิรภัย ขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย ขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายความดันสูง

ตารางที่ 4.4 ขนาดวาล์วนิรภัย และพื้นที่รูระบาย (Orifice area)

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ขนาดวาล์วนิรภัย (in) [4]	พื้นที่รูระบาย (mm^2) [2]
ท่อส่งก๊าซกลับ	8 T 10	16,6774.19
ถังแยกก๊าซ	3 K 4	11,985.80
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว กรณีเกิดโรลโอเวอร์	8 T 10	16,6774.19
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว กรณีอุปกรณ์ล้มเหลวในการทำงาน	6 Q 8	7,127.25
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว กรณีเกิดไฟไหม้	6 Q 8	7,129.02
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ กรณีการขยายตัวของก๊าซ	1 D 2	70.97
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ กรณีทางออกโดนกั้น	4 L 6	1,840.64
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ กรณีเกิดไฟไหม้	1 D 2	70.97

จากตารางที่ 4.4 แสดงขนาดวาล์วนิรภัยและพื้นที่รูระบาย โดยสามารถเลือกขนาดวาล์วนิรภัยได้จากมาตรฐาน API 526 [4] ซึ่งขนาดวาล์วนิรภัยในแต่ละบริเวณจะเลือกมาจากกรณีที่ให้ขนาดที่ใหญ่ที่สุดสำหรับการออกแบบขั้นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยและชนิดวาล์วนิรภัย

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ขาเข้า (in)	ขาออก (in)	% Built-up back pressure	ชนิดวาล์วนิรภัย
ท่อส่งก๊าซกลับ	8	10	177.8	Balanced Bellow
ถังแยกก๊าซ	3	4	8.1	Conventional
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว	8	10	0.4	Conventional
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	4	14	0.6	Conventional

ตารางที่ 4.5 แสดงขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยโดยพิจารณาจากความดันลดต่อท่อ 100 m ($\Delta P/100m$) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.36 ส่วนชนิดวาล์วนิรภัยจะพิจารณาจากค่า % Built-up back pressure ของวาล์วแต่ละชนิดตามมาตรฐาน API 520 Part 2 [3]

ตารางที่ 4.6 ขนาดวาล์วนิรภัยจากโปรแกรม Visual Flare

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ขนาดของวาล์วนิรภัย (in) [4]
ท่อส่งก๊าซกลับ	8 T 10
ถังแยกก๊าซ	3 K 4
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว กรณีเกิดโรลโอเวอร์	8 T 10
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ กรณีทางออกโดนกั้น	4 L 14

ตารางที่ 4.7 ขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยจากโปรแกรม Visual Flare

ตำแหน่งวาล์วนิรภัย	ขาเข้า (in)	ขาออก (in)	ชนิดวาล์วนิรภัย
ท่อส่งก๊าซกลับ	12	10	Balanced Bellow
ถังแยกก๊าซ	3	6	Conventional
ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว	8	10	Conventional
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	6	16	Conventional

ตารางที่ 4.6 - 4.7 แสดงขนาดวาล์วนิรภัยและท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยจะแตกต่างจากตาราง 4.4 - 4.5 เล็กน้อย เนื่องมาจากเลือกขนาดวาล์วนิรภัยจากการคำนวณพื้นที่รูระบายในมาตรฐาน API 520 Part1 [2] ซึ่งคิดพื้นที่จากองค์ประกอบของสารที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Steady State) แต่ผลจากโปรแกรม Visual Flare องค์ประกอบของสารจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic) ทำให้ขนาดวาล์วนิรภัย ท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งค่าจากโปรแกรม Visual Flare จะแม่นยำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดวาล์วนิรภัยที่ได้จากโปรแกรม Visual Flare จะให้ปริมาณที่มากที่สุดในการระบายออกในแต่ละจุดรวมสาร ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณที่ระบายออกแต่ละจุดรวมการระบายสารจากโปรแกรม Visual Flare

ปริมาณสารที่ระบายออกบริเวณจุดรวมของการระบายสาร	ท่อส่งก๊าซกลับ (kg/h)	ถังแยกก๊าซ (kg/h)	ถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว (kg/h)	ท่อส่งก๊าซธรรมชาติ (kg/h)
ปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ	13,305.21	11,768.96	-	-
ถังกักเก็บ	-	-	15,538.80	-
ปล่องระบายสารความดันสูง	-	-	-	83,756.20

จากตารางที่ 4.8 ปริมาณที่ระบายออกแต่ละบริเวณที่ได้จากโปรแกรม Visual Flare เริ่มต้นจะใช้ขนาดวาล์วนิรภัย ท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยจากการเลือกตามมาตรฐาน API แล้วค่อยปรับขนาดวาล์วนิรภัย ท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ว่าด้วยความดันลดท่อขาเข้าต้องไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ของค่าความดันที่กำหนดไว้ ส่วนท่อขาออกจะพิจารณาจากค่ามัคและค่า % Built-up back pressure

ตารางที่ 4.9 ขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายความดันสูง

ชนิดของปล่อง	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความสูงปล่อง (m)
ปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ	0.30	13.82
ปล่องระบายความดันสูง	0.39	25.42

ตารางที่ 4.9 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายความดันสูง ซึ่งหาได้จากสมการ 2.19 และ 2.26 ตามมาตรฐาน API 521 [1] วิธีการคำนวณทั้งหมดจะแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.

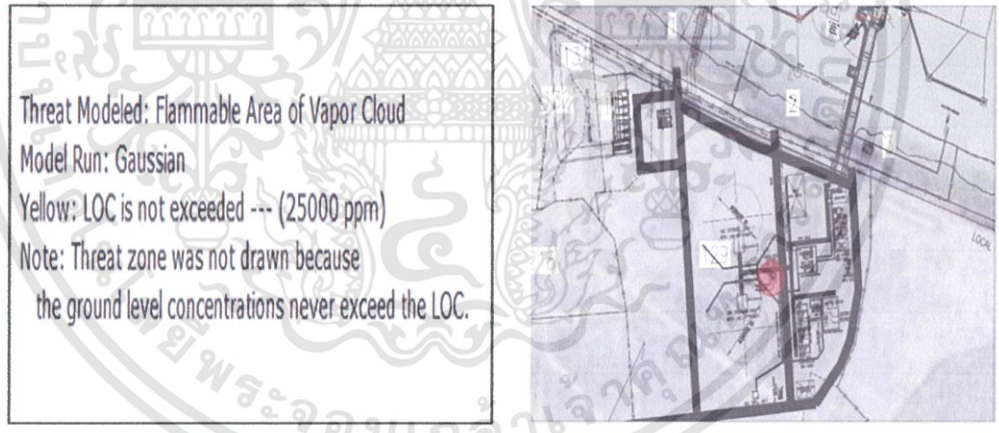
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายความดันสูง รวมถึงบริเวณวาล์วนิรภัย Impoundment area และหลังคาถังกักเก็บ

1) การกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ

บริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ จะเกิดจากการรวมของสารที่ระบายออกมาจากสองแหล่ง ได้แก่ ทางออกของเครื่องเป่า (Blower) และที่ถังแยกก๊าซ โดยแบบจำลองที่ใช้อ้างอิงจะใช้การกระจายแบบ Gaussian สำหรับกรณีที่กลุ่มก๊าซมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอากาศ และมีสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างโมเดลในโปรแกรม ALOHA ดังนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง 0.3 m ความยาวท่อ 160 m ความสูงปล่อง 13.82 m และปริมาณที่ระบายออกกรณีทางออกโดนกั้น 22,466 kg/h

โครงงานนี้จะศึกษาการกระจายและการแผ่รังสีความร้อนโดยใช้ความเร็วลมที่ 2 3 และ 5 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศเป็น (Stability Class) F D และ D ตามลำดับ ซึ่งผลจากการประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 25,000 ppm ซึ่งคิดเป็น 50% LEL จะไม่ส่งผลกระทบที่พื้นดิน และทำนายผลกระทบกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Jet Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 10 m แสดงดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบบริเวณปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ

ซึ่งระยะผลกระทบในรัศมี 10 m ถือว่าอยู่ในระยะที่ไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นในบริเวณข้างเคียง ซึ่งอาจไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เพื่อลดระยะผลกระทบที่เกิดขึ้น

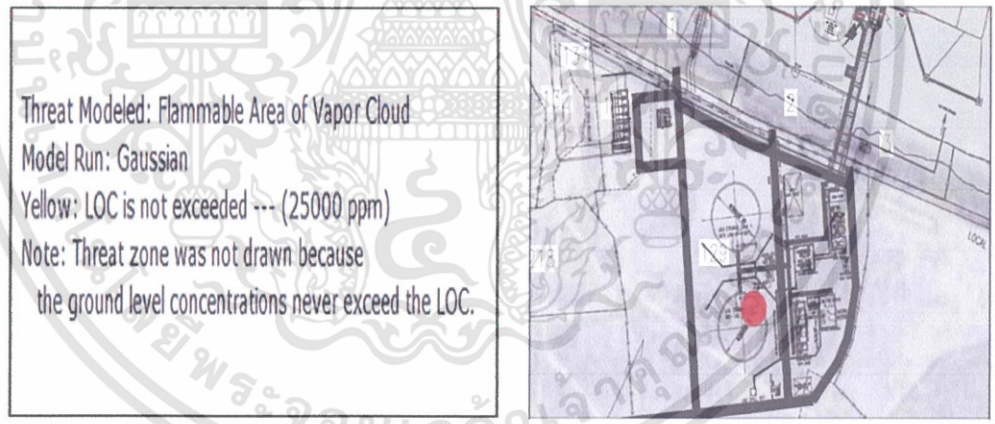
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณถังกักเก็บ

i. วาล์วนิรภัยบริเวณถังกักเก็บ

เนื่องจากความดันต่างระหว่างบรรยากาศกับถังทำให้ก๊าซที่ระบายออกสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเอง จึงพิจารณาการกระจายของก๊าซเป็นแบบการรั่วไหลโดยตรงจากแหล่งกำเนิด และเกิดการแผ่รังสีความร้อนโดยมองแหล่งกำเนิดเป็นการรั่วไหลออกจากท่อในโปรแกรม ALOHA สำหรับสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างโมเดลโดยโปรแกรม ALOHA ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางจุดที่รั่ว 53.08 cm ความยาวท่อ 107 m ความสูง 20.25 m และปริมาณที่รั่วกรณีเกิดโรลโอเวอร์ 12,937.5 kg/h

โครงงานนี้จะศึกษาการกระจายและการแผ่รังสีความร้อนโดยใช้ความเร็วลมที่ 2 3 และ 5 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศเป็น (Stability Class) F D และ D ตามลำดับ ซึ่งผลจากการประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 25,000 ppm ซึ่งคิดเป็น 50% LEL ไม่ส่งผลกระทบบนพื้นดิน เนื่องจากเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวมีมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งมีเทนมีมวลโมเลกุลเบากว่าอากาศ สารที่ระบายออกจึงไม่ตกสู่พื้นดิน และทำนายกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Jet Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 10 m แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากวาล์วนิรภัยบริเวณถังกักเก็บ

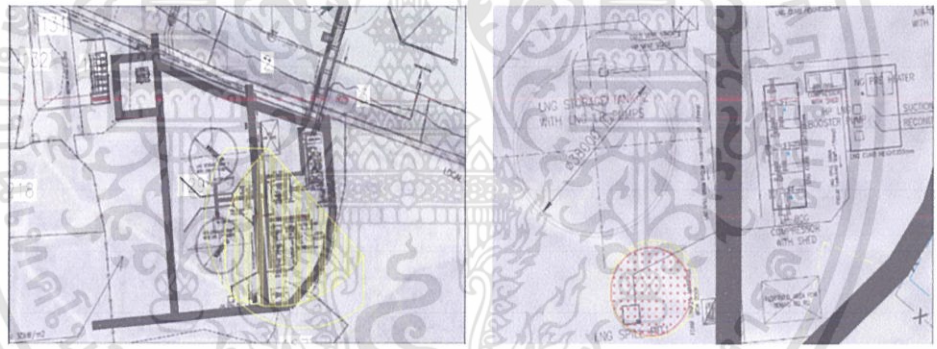
จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกรณีเกิดไฟไหม้โดยใช้โปรแกรม ALOHA มีระยะผลกระทบน้อยกว่าขอบเขต (54 m) ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์บริเวณข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

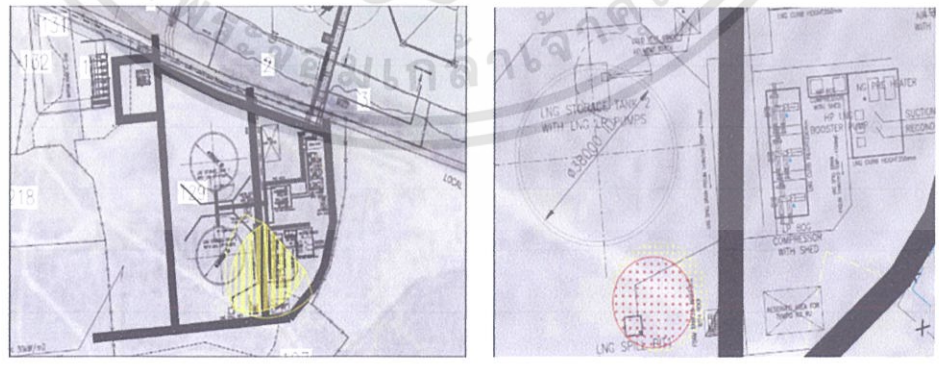
ii. พื้นที่กักเก็บ (Impoundment Area)

บริเวณถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว 2 ชั้น (Full containment) ถังด้านนอกเป็นคอนกรีตเสริมแรงดึง ส่วนถังภายในเป็นโลหะนิกเกิล ทำให้มีโอกาสในการรั่วไหลน้อยมาก จึงสร้างพื้นที่กักเก็บขึ้นมาแทนเขื่อนดิน (Dike) อันตรายที่เกิดจากการกระจายของก๊าซ รวมถึงการแผ่รังสีความร้อน จึงเกิดบริเวณพื้นที่กักเก็บ สำหรับสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างโมเดลในโปรแกรม ALOHA ได้แก่ ขนาดพื้นที่กักเก็บ 16 m^2 ความสูง 3 m และเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.52 m

โครงงานนี้จะศึกษาการกระจายและการแผ่รังสีความร้อนโดยใช้ความเร็วลมที่ 2 3 และ 5 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศเป็น (Stability Class) F D และ D ตามลำดับ ผลจากการประเมินผลกระทบจากการรั่วไหลพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 25,000 ppm ซึ่งคิดเป็น 50% LEL มีผลกระทบในระยะรัศมี 90 56 และ 45 m และทำนายกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Jet fire โดยที่ระดับพลังงาน 30 และ 9 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 10 m ส่วนที่ระดับพลังงาน 5 kW/m^2 จะมีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 11 12 และ 14 m ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.3-4.5

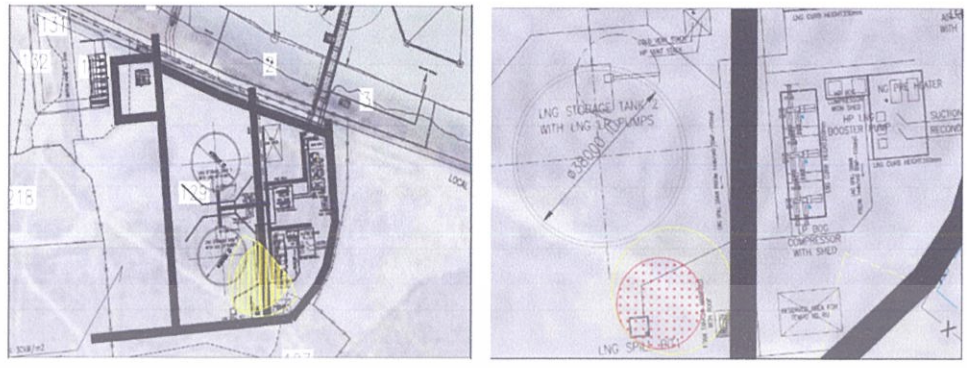


รูปที่ 4.3 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 2 m/s จาก Impoundment area



รูปที่ 4.4 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 3 m/s จาก Impoundment area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 5 m/s จาก Impoundment area

จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลที่ได้จากโปรแกรม ALOHA นั้นมีค่ามากกว่าขอบเขต (45 m) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์บริเวณข้างเคียง และถึงแม้ผลกระทบจากกรณีไฟไหม้แบบ Jet Fire ที่ได้จากโปรแกรม ALOHA นั้นมีค่าไม่เกินขอบเขต แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีผลกระทบที่เกินขอบเขตที่ยอมรับได้ จึงมีการติดตั้งระบบป้องกัน เช่น ม่านน้ำ หรือผนังวัสดุกันความชื้น มาใช้เพื่อลดผลกระทบจากการกระจายของสารบริเวณ Impoundment area

จากระยะผลกระทบจากการรั่วไหล เสถียรภาพบรรยากาศระดับ A จะถือว่ามีแดดจัด อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวดินจะสูง ทำให้เกิดกระแสลมบริเวณเหนือผิวดินขึ้น ทำให้อากาศมีระดับเสถียรภาพต่ำ ในกรณีนี้ การกระจายของสารจะเพิ่มขึ้น แต่ระยะการแพร่กระจายจะลดลง ในกรณีที่ศึกษาเสถียรภาพของบรรยากาศ D กับ F เนื่องจาก D มีเสถียรภาพต่ำกว่า ระยะการแพร่กระจายจะลดลง และที่ระดับความเร็วเพิ่มขึ้น สารจะกระจายมากขึ้น แต่ระยะการกระจายจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

iii. หลังคาถังกักเก็บ (Tank roof)

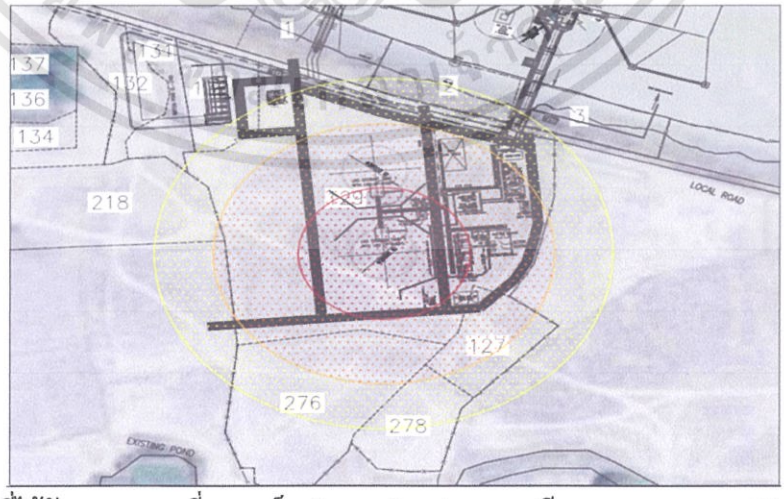
สาเหตุที่นำมาพิจารณาผลกระทบจากการเกิดไฟไหม้แบบ Jet Fire มีหลายประการด้วยกัน คือ

1. เกิดการรั่วบริเวณ rim seal แต่ถังที่ใช้ในโรงกักเก็บต้องเป็นแบบหลังคาเคลื่อนที่ โดยหาปริมาณที่รั่วออกผ่านตัว rim seal

2. เกิดการเติมของเหลวจนล้นบริเวณข้อต่อท่อกับถังกักเก็บ (Overfill) ส่งผลให้ของเหลวอาจค้างอยู่บริเวณหลังคา แต่ถังกักเก็บนั้นจะต้องไม่เป็นแบบโดม เนื่องจากโอกาสที่ของเหลวจะค้างนั้นไม่มีทางเป็นไปได้ หรือแม้แต่เมื่อล้นแล้วจะเกิดการติดไฟทันทีก็เป็นไปไม่ได้ เนื่องจากความสามารถในการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวไม่สามารถทำให้ติดไฟได้ทันที

3. หลังคาถังมีรูรั่วเล็กน้อยทำให้อากาศเข้าไปสัมผัสกับเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวพร้อมกับเกิดฟ้าผ่า ทำให้ที่ผิวของเหลวเกิดการติดไฟ แล้วลามไปยังหลังคา ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน จะถูกนำมาคิดเท่านั้น เนื่องจาก เชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวที่อยู่ภายในถังกักเก็บไม่ได้รั่วไหลออกมา จึงไม่มีผลกระทบจากการกระจายของก๊าซ สำหรับสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างโมเดลในโปรแกรม ALOHA ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 46 m และความสูงของของเหลวภายในถัง 15.31 m

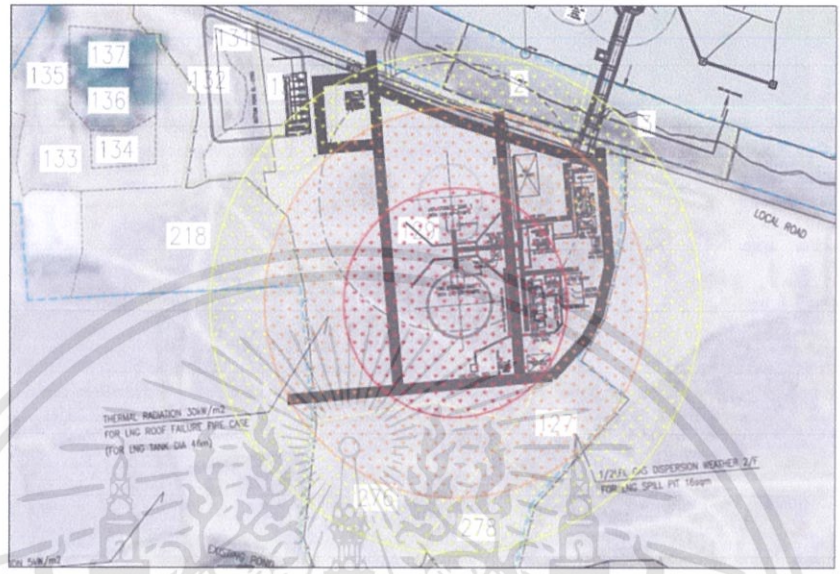
ซึ่งจากโอกาสที่มีความเป็นไปได้ตรงกับประเภทของถังกักเก็บมากที่สุด จะเป็นกรณีที่ 3 คือหลังคาถังมีรูรั่วเล็กน้อย ดังนั้น ในโครงงานนี้จะศึกษาการกระจายและการแผ่รังสีความร้อน โดยใช้ความเร็วลมที่ 2 3 และ 5 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศเป็น (Stability Class) F D และ D ตามลำดับ ผลจากการประเมินผลกระทบกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Pool Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี



รูปที่ 4.6 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 2 และ 3 m/s และเสถียรภาพบรรยากาศ F และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการประเมินผลกระทบกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Pool Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 51 101 และ 136 m



รูปที่ 4.7 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 5 m/s และเสถียรภาพบรรยากาศ D

ผลจากการประเมินผลกระทบกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Pool Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 68 116 และ 149 m

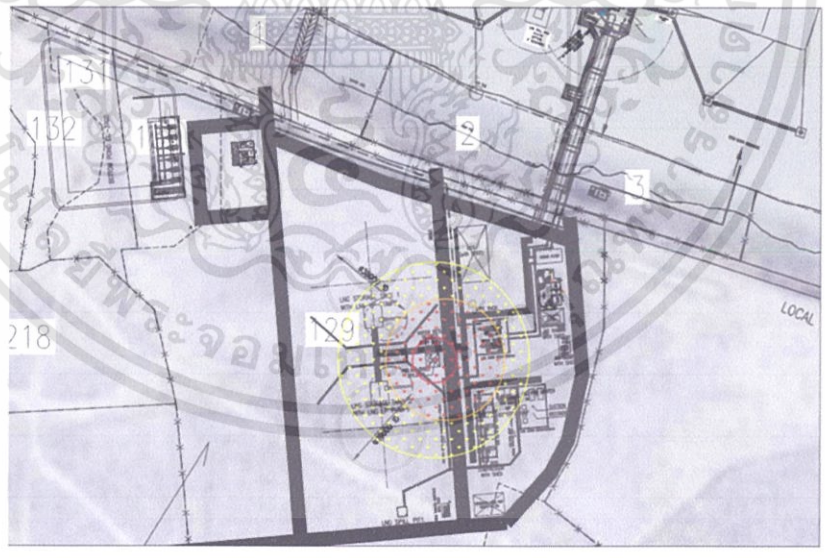
จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากกรณีไฟไหม้แบบ Pool Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 kW/m^2 ทั้ง 3 ความเร็ว จะไม่เกินเส้นขอบเขต หรือ น้อยกว่า 80 m แต่ที่ระดับพลังงานความร้อน 9 และ 5 kW/m^2 นั้นเกินเส้นขอบเขต จึงต้องใช้ระบบหัวฉีดดับเพลิงหรือใช้ระบบโฟมที่มีการขยายตัวสูงเพื่อลดผลกระทบจากการแผ่รังสีของไฟไหม้ นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างถังกักเก็บทั้งสองถังอยู่ห่างกันเพียง 24 m ทำให้แต่ละถังกักเก็บต้องติดระบบหัวฉีดน้ำไว้ที่หลังคาและข้างถังเพื่อลดระยะที่ได้รับพลังงานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การกระจายและการแผ่รังสีความร้อนบริเวณปล่องระบายความดันสูง

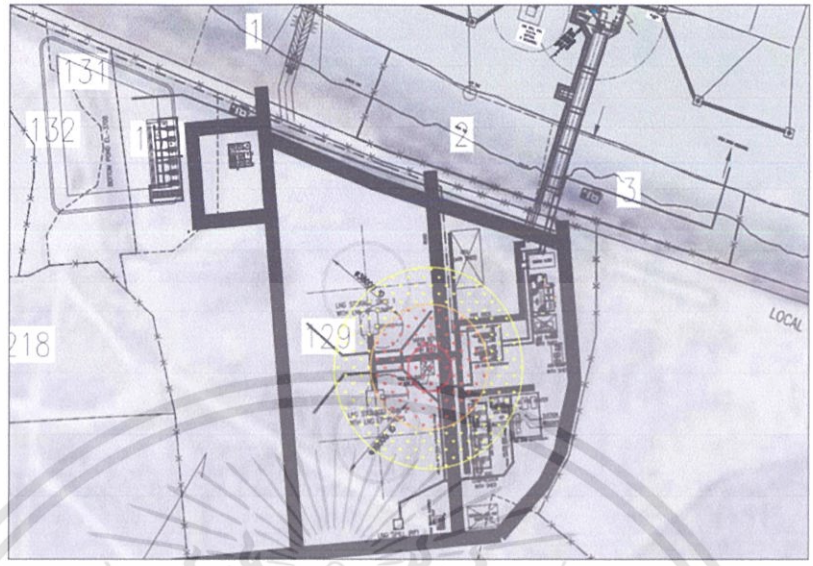
ก๊าซธรรมชาติที่ระบายออกสู่บรรยากาศบริเวณปล่องระบายความดันสูง จะไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์และสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น เนื่องจากก๊าซธรรมชาติจะมีมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม ALOHA จะใช้แบบจำลองของ Gaussian เนื่องจากมีเทนมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ สำหรับสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างโมเดลในโปรแกรม ALOHA จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง 0.39 m ความยาวท่อ 89.21 m ความสูงปล่อง 25.42 m และปริมาณที่ระบายออกกรณีท่อส่งก๊าซธรรมชาติโดนกั้น 56,900 kg/h

โครงงานนี้จะศึกษาการกระจายและการแผ่รังสีความร้อนโดยใช้ความเร็วลมที่ 2 3 และ 5 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศเป็น (Stability Class) F D และ D ตามลำดับ กรณีที่ศึกษาผลกระทบการกระจายของก๊าซธรรมชาติออกจากปล่องสู่บรรยากาศที่ระดับความเข้มข้น 25,000 ppm ซึ่งคิดเป็น 50% LEL จะไม่ถูกตรวจพบที่พื้นดิน เนื่องจากเมื่อก๊าซธรรมชาติกระจายออกมาก็จะลอยขึ้นโดยไม่ตกกลับสู่พื้นดิน แต่เมื่อลอยขึ้นไปเรื่อยๆ และเกิดการสะสมมากขึ้น จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก และทำนายกรณีเกิดไฟไหม้แบบ Jet Fire ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี แสดงดังรูป 4.8-4.10

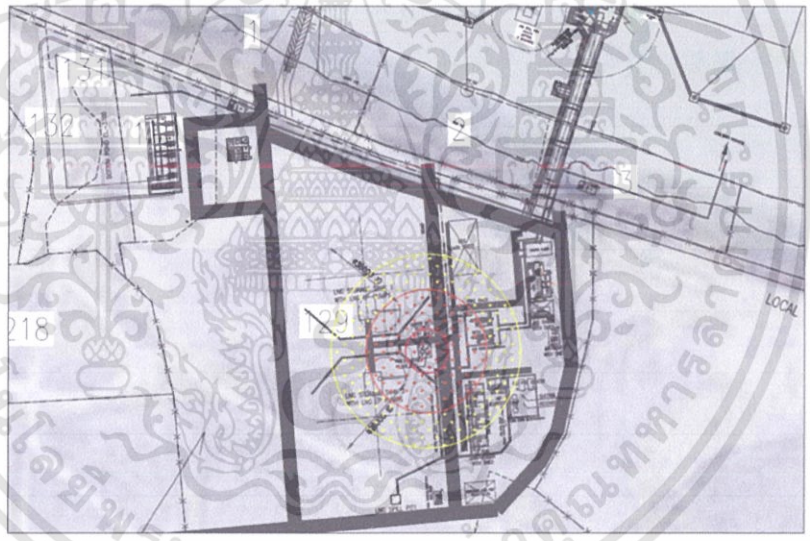


รูปที่ 4.8 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 2 m/s และเสถียรภาพบรรยากาศ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 3 m/s และเสถียรภาพบรรยากาศ D



รูปที่ 4.10 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบที่ความเร็ว 5 m/s และเสถียรภาพบรรยากาศ D

ที่ความเร็ว 2 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ F ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 10 32 และ 47 m ส่วนที่ความเร็ว 3 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ D ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 10 34 และ 48 m และที่ความเร็ว 5 m/s ระดับเสถียรภาพของบรรยากาศ D ที่ระดับพลังงานความร้อน 30 9 และ 5 kW/m^2 มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบภายในรัศมี 10 36 และ 50 m ซึ่งผลจากทั้ง 3 ความเร็ว จะมีระยะผลกระทบแต่ระดับพลังงานไม่เกินขอบเขตโรงงาน จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการออกแบบโรงกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบขนาดวาล์วนิรภัย ท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย ปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายสารความดันสูงจากมาตรฐาน API ขนาดวาล์วนิรภัยที่บริเวณท่อส่งก๊าซกลับ ถังกักเก็บ ถังแยกก๊าซ และท่อส่งก๊าซธรรมชาติ จะมีขนาดวาล์วนิรภัยเป็น 8"x12" 8"x10" 3"x4" และ 4"x14" ตามลำดับ และสำหรับขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยที่บริเวณดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 12"x10" 8"x10" 3"x6" และ 3"x16" ตามลำดับ โดยขนาดวาล์วนิรภัยและท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นขนาดที่ได้จากการตรวจสอบจากโปรแกรม Visual Flare ผลที่ได้จากโปรแกรมบางกรณีมีการปรับขนาดวาล์วเนื่องจากการคำนวณในมาตรฐาน API องค์ประกอบสารไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Steady State) ส่วนโปรแกรม Visual Flare องค์ประกอบของสารจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic)

การออกแบบขนาดปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำและปล่องระบายสารความดันสูงจาก API 521 เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 0.3 และ 0.39 m ตามลำดับ และความสูงมีค่าเท่ากับ 13.82 และ 25.42 m ตามลำดับ

การศึกษาระยะผลกระทบจากแบบจำลองภายในโปรแกรม ALOHA โดยยึดค่าความเข้มข้นของสสารในอากาศตามมาตราฐานสากล NFPA 59A ซึ่งทำการศึกษากรณีการเกิดไฟไหม้แบบ Jet fire และการแพร่กระจายของสารรั่วไหลบริเวณวาล์วนิรภัย (Tank PSV) พื้นที่กักเก็บสารรั่วไหล (Impoundment area) บริเวณหลังคาของถังกักเก็บ และบริเวณปล่องระบายสาร พบว่าบริเวณปล่องระบายสารทั้งสองปล่อง ที่ประเมินออกแบบเบื้องต้น ระยะผลกระทบมีค่าไม่เกินขอบเขตโรงงาน จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบเพื่อลดผลกระทบ ส่วนที่บริเวณวาล์วนิรภัยของถังกักเก็บ พบว่าระยะผลกระทบมีค่าไม่เกินขอบเขต จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบเพื่อลดผลกระทบ สำหรับพื้นที่กักเก็บสารรั่วไหล พบว่าระยะการกระจายของสารที่รั่วไหลที่ความเร็ว 2 และ 3 m/s เสถียรภาพบรรยากาศ F และ D ตามลำดับ มีค่าเกินขอบเขต (45 m) จึงติดตั้งผนังวัสดุกันความชื้น (Vapor barriers wall) หรือม่านน้ำ (Water curtain) และบริเวณหลังคาถังกักเก็บ ระยะผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อนมีค่าเกินขอบเขต (80 m) จึงติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงหรือระบบโฟมการขยายตัวสูง (High expansion Foam System) เพื่อลดระยะผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

i. การใช้โปรแกรม ALOHA ในการประเมินอันตรายภายในโรงงาน

จากโปรแกรม ALOHA ในการประเมินระยะผลกระทบจากการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) และกรณีสารเคมีรั่วไหล โมเดลที่ได้จากโปรแกรม ALOHA เป็นเพียงผลคร่าวๆเท่านั้น สามารถใช้ประเมินเบื้องต้นได้ เนื่องจากเป็นโปรแกรมฟรีจึงมีข้อเสีย เช่น การวัดการกระจายของสารที่ไม่ตกสู่พื้นดิน โปรแกรมนี้สามารถบอกได้แค่ว่าระดับความเข้มข้นบริเวณพื้นดินไม่ตรวจพบการกระจายของสาร ซึ่งเป็นการระบุกว้างๆ โดยแนะนำให้ใช้โปรแกรม PHAST เพราะสามารถวัดระยะการกระจายของสารได้ที่ระดับความสูงต่างๆ ซึ่งให้ผลที่ละเอียดมากกว่าโปรแกรม ALOHA

ii. การเลือกขนาดวาล์วนิรภัยและท่อขาเข้า-ขาออกของวาล์วนิรภัย

การคำนวณหาขนาดพื้นที่รูระบายจากสมการในมาตรฐาน API 520 Part 1 จากนั้นเลือกขนาดวาล์วนิรภัยจากตารางของมาตรฐาน API 526 เมื่อนำขนาดวาล์วนิรภัยไปใส่ในโปรแกรม Visual Flare พบว่าบางกรณีขนาดวาล์วนิรภัยที่เลือกมาจากมาตรฐาน API 526 มีขนาดเล็กไป บางกรณีมีขนาดใหญ่ไป เนื่องจากสูตรที่คำนวณเป็นการคิดแบบสภาวะคงตัว (Steady State) ส่วนโปรแกรม Visual Flare จะเป็นแบบเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ทำให้ค่าความดันลดหรือค่าความดันย้อนกลับมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อการเลือกขนาดวาล์ว และขนาดท่อขาเข้า-ขาออกของวาล์วนิรภัย ดังนั้นควรเลือกใช้ขนาดที่ได้จากโปรแกรม Visual Flare มากกว่า เพราะให้ความแม่นยำมากกว่า ปัจจุบันบริษัทแต่ละบริษัทนิยมใช้โปรแกรมนี้ในการหาขนาดวาล์วและขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] American Petroleum Institute Standard 521, " **Pressure- relieving and Depressuring Systems**", pp. 102-123, 2014.

[2] American Petroleum Institute Recommended Practice 520, " **Sizing & Selection-Part I**", pp. 42-48, 2000.

[3] American Petroleum Institute Recommended Practice 520, " **Sizing, Selection, Installation-Part II**", pp. 1-12, 2003.

[4] American Petroleum Institute Standard 526, "**Flanged Steel Pressure Relief Valve**", pp. 2-31, 2002.

[5] Daniel A. Crowl & Joseph F. Louva, "**Chemical Process Safety**", pp. 234-239, 2011.

[6] National Fire Protection Association(NFPA) 59A, " **Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas**", pp. 12-16, 2016.

[7] GINIIL, "**Rollover in LNG Storage Tanks**", pp. 4-11, 2012-2015.

[8] TTCL, "**Conceptual of design**", 2018.

[9] Gifford F.A., "**Used of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmosphere Dispersion**", pp. 609-617, 1975.

[10] Visual Flare software.

[11] World Bank Group, IFC, MIGA, " **Environmental, Health and Safety Guidelines Liquefied Natural Gas Facilities**", pp. 16, 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

1. ข้อมูลดิบ

ตัวแปรพื้นฐาน	ข้อมูล
ชื่อเมือง และประเทศ	เมืองย่างกุ้ง ประเทศพม่า
เมืองในสหรัฐอเมริกา	ไม่อยู่
ละติจูด ลองจิจูด	16 ° 48 min ทิศเหนือ 96 ° 9 min ทิศตะวันออก
เวลาที่ต่างจาก GMT	-6.3 h
ความสูงจากระดับน้ำทะเล	9 m หรือ 30 ft
รูปแบบเวลา	เวลามาตรฐาน
สารเคมี	มีเทน
ความเร็วลม	2, 3, 5 m/s
เสถียรภาพของบรรยากาศ	F, D, D
ทิศทางลม	ทิศตะวันตกเฉียงใต้
ความระเกะระกะของพื้นที่	พื้นที่โล่ง มีเฉพาะต้นไม้เตี้ย
ปริมาณเมฆ	Partly Cloudy
อุณหภูมิอากาศ	32 °C
inversion height	ไม่มี
สภาพความชื้น	75 %

แหล่งกำเนิดแบบการกระจายโดยตรง	ข้อมูล
ลักษณะการกระจาย	เกิดขึ้นเกินกว่า 1 min
ปริมาณสารระบายออกสู่บรรยากาศ	12,937.5 kg/h
ความสูงบริเวณที่เกิดการรั่วไหล	20.25 m

แหล่งกำเนิดแบบ Puddle	ข้อมูล
พื้นที่และเส้นผ่านศูนย์กลางของการไหลนอง	38 m
น้ำหนักของเหลวหรือความหนาของการไหลนอง	15.31 m
ชนิดของพื้น	คอนกรีต
อุณหภูมิเริ่มแรกตอนที่การไหลนองเริ่มเกิด	-160 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแบบถัง (Tank)	ข้อมูล
ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง	3 และ 4.52 m
สถานะของสารเคมี	ถังบรรจุด้วยของเหลว
อุณหภูมิของสารเคมีที่เก็บภายในถัง	-160 °C
ระดับของเหลวในถัง	3 m
รูปแบบรอยรั่วและเส้นผ่านศูนย์กลางรู	วงกลม และ 1.5 in
ระดับของเหลวจากด้านล่างถังถึงรูรั่ว	3 m

แหล่งกำเนิดแบบ Gas Pipeline	ข้อมูล
ลักษณะไฟ	Jet Fire
ความยาวของท่อ	107 m
ท่อด้านที่ดีต่ออยู่กับอะไร	ปิดอยู่
ความขรุขระของผิวถัง	เรียบ
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ	53.08 cm

2. หาปริมาณกรณีทางออกโดนกั้นด้านขาออกเครื่องเป่า

จากปริมาณก๊าซธรรมชาติที่เครื่องเป่า 1 ตัว ทำงานได้ คือ 7,900 Nm^3/h

จากสมการ $$PV = nRT$$

$$PV = \frac{m}{M}RT$$

แทนค่า $P = 100kPa$ $R = 8.314Pa \cdot m^3/(mol \cdot K)$ $T = 273K$ ที่สภาวะมาตรฐาน

จะได้ $$m(kg/h) = 0.044M \times V\left(Nm^3/h\right)$$

จากตารางแสดงคุณสมบัติเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว มวลโมเลกุลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 18.61 g/mol

แทนค่า $$m = 0.044 \times 18.04 \times 7900$$

$$m = 6,468.8\ kg/h$$

∴ ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่เครื่องเป่า 1 ตัว ทำงานได้ คือ 6,468.8 kg/h แต่เนื่องจากถ้าเกิดก๊าซธรรมชาติที่ถังเป็นจำนวนมาก อาจทำให้เครื่องเป่าทำงาน 2 ตัว มีค่าเท่ากับ 12,937.7 kg/h

3. หาปริมาณกรณีเครื่องเป่าหรือคอมเพลสเซอร์ความดันต่ำล้มเหลวในการทำงาน

ปริมาณที่คอมเพลสเซอร์ความดันต่ำ 2 ตัว สามารถดูดก๊าซจากถังกักเก็บ คือ 2,490 kg/h จากข้อที่ 1 จึงรู้ว่าปริมาณที่เครื่องเป่า 1 ตัว ทำงานในสภาวะปกติ สามารถดูดก๊าซที่เกิดขึ้นจากถังกักเก็บ คือ 6,468.8 kg/h

∴ ปริมาณที่เลือกใช้ในการคำนวณหาขนาดวาล์วนิรภัยบริเวณถังกักเก็บคือ 6,468.8 kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาปริมาณกรณีไฟไหม้บริเวณถังกักเก็บเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว

จากสมการ $$Q = C_1 F_1 A_{ws}^{0.82}$$

ระดับของเหลวภายในถังกักเก็บที่โดนเปลวไฟ 7.6 m คือ 4.4 m

A_{ws} หาได้จากสมการ $$A_{ws} = \pi DL + \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_{ws} = 635.86 + 1,661.9$$

$$A_{ws} = 2,297.76 \ m^2$$

ค่า C_1 คือค่าคงที่ 43,200

F_1 สามารถดูได้จากตารางที่ 2.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในมาตรฐานสากล API 521

ตารางที่ 2.2 ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

ชนิดของอุปกรณ์		ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Environment factor; F)
ถังไม่มีฉนวนหุ้ม		1.0[e]
ถังมีฉนวนหุ้ม แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน W/m^{2}K (Btu/hft^2°F)	22.71 (4)	0.3
	11.36 (2)	0.15
	5.68 (1)	0.075
	3.80 (0.67)	0.05
	2.84 (0.5)	0.0376
	2.27 (0.4)	0.03
	1.87 (0.33)	0.026
ถังเก็บน้ำที่ไม่หุ้มฉนวน		1.0[e]
การเอาความดันออกจากระบบ		1.0[e]
ถังที่ปกคลุมด้วยดิน		0.03
ถังคุณภาพต่ำ		0.00

จะได้ $$Q = 43,200 \times 0.026 \times 2,297.76^{0.82}$$

$$Q = 640,807 \ \text{W}$$

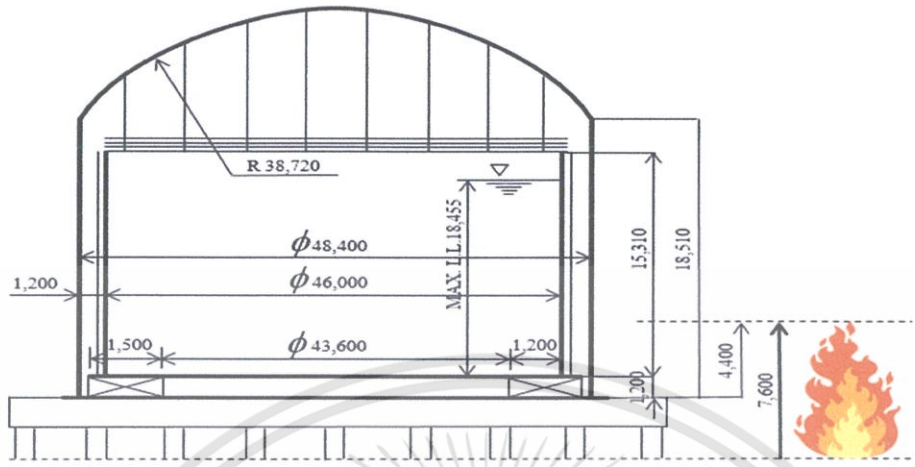
จากสมการ $$W = \frac{Q}{L}$$

จากตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว ค่าความร้อนแฝงมีค่าเท่ากับ 503 kJ/kg

ดังนั้น $$W = \frac{640,807}{503} \times \frac{3,600}{1,000}$$

$$W = 4,586 \ kg/h$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. หาปริมาณกรณีก๊าซรั่วไหลย่างรวดเร็ว

มาตรฐานสากล EN 1473

จากสมการ $V_B = 100 \times V_T$

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น (BOG) ที่มากที่สุดในขณะขนส่งเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลวเข้าสู่ถังกักเก็บ จะขึ้นอยู่กับ

ความร้อนของปั๊มในเรือ	5,131	kg/h
ความร้อนผนังถังกักเก็บ	1,302	kg/h
ความร้อนของท่อขนส่ง	296	kg/h
การเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศ	929	kg/h
ความแตกต่างของเอนทาลปีภายในเรือกับถังกักเก็บ	16,933	kg/h
การส่งก๊าซที่เกิดขึ้นกลับเรือ	6,397	kg/h

จะได้ $V_T = 5,131+1,302+296+929+16,933+6,397$

$= 30,988$ kg/h

แทนค่า $V_B = 100 \times 30,988$

$= 3,098,800$ kg/h

∴ ปริมาณก๊าซที่รั่วไหลอย่างรวดเร็ว (Roll-over) จะมีค่าเท่ากับ 3,098,800 kg/h ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะทำให้ขนาดวาล์วนิรภัยที่คำนวณได้ใหญ่กว่าความเป็นจริง

มาตรฐานสากล NFPA 59A กำหนดว่า ระบบการระบายก๊าซจะสามารถระบายออกได้ 3 % ของปริมาณของเหลวภายในถังกักเก็บในเวลา 24 h

ปริมาตรของเหลวภายในถังกักเก็บ = 23,000 m^3

ปริมาณของเหลวภายในถังกักเก็บ = 10,350 tons/tank

3 %ของปริมาณของเหลวภายในถังกักเก็บ = 310.5 tons/24 h

∴ ปริมาณกรณีก๊าซรั่วไหลย่างรวดเร็ว จะมีค่าเท่ากับ 12,938 kg/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หาปริมาณกรณีไฟไหม้บริเวณ HP Booster suction pump drum

จากสมการ $$Q = C_1 F_1 A_{ws}^{0.82}$$

ระดับของเหลวภายในถังกักเก็บที่โดนเปลวไฟ 7.6 m คือ 4.9 m

A_{ws} หาได้จากสมการ $$A_{ws} = \pi DL + 2\left(1.084D^2\right)$$

$$A_{ws} = \left(\pi \times 2.5 \times 4.9\right) + 2\left(1.084 \times 2.5^2\right)$$

$$A_{ws} = 52.03 \ m^2$$

ค่า C_1 คือค่าคงที่ 43,200

ตารางที่ 2.2 ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

ชนิดของอุปกรณ์		ค่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Environment factor; F)
ถังไม่มีฉนวนหุ้ม		1.0^e
ถังมีฉนวนหุ้ม แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน W/m^{2}K (Btu/hft^2°F)	22.71 (4)	0.3
	11.36 (2)	0.15
	5.68 (1)	0.075
	3.80 (0.67)	0.05
	2.84 (0.5)	0.0376
	2.27 (0.4)	0.03
	1.87 (0.33)	0.026
ถังเก็บน้ำที่ไม่หุ้มฉนวน		1.0^e
การเอาความดันออกจากระบบ		1.0^e
ถังที่ปกคลุมด้วยดิน		0.03
ถังคุณภาพต่ำ		0.00

จะได้ $$Q = 43,200 \times 1 \times 52.03^{0.82}$$

$$Q = 1,103,679 \ W$$

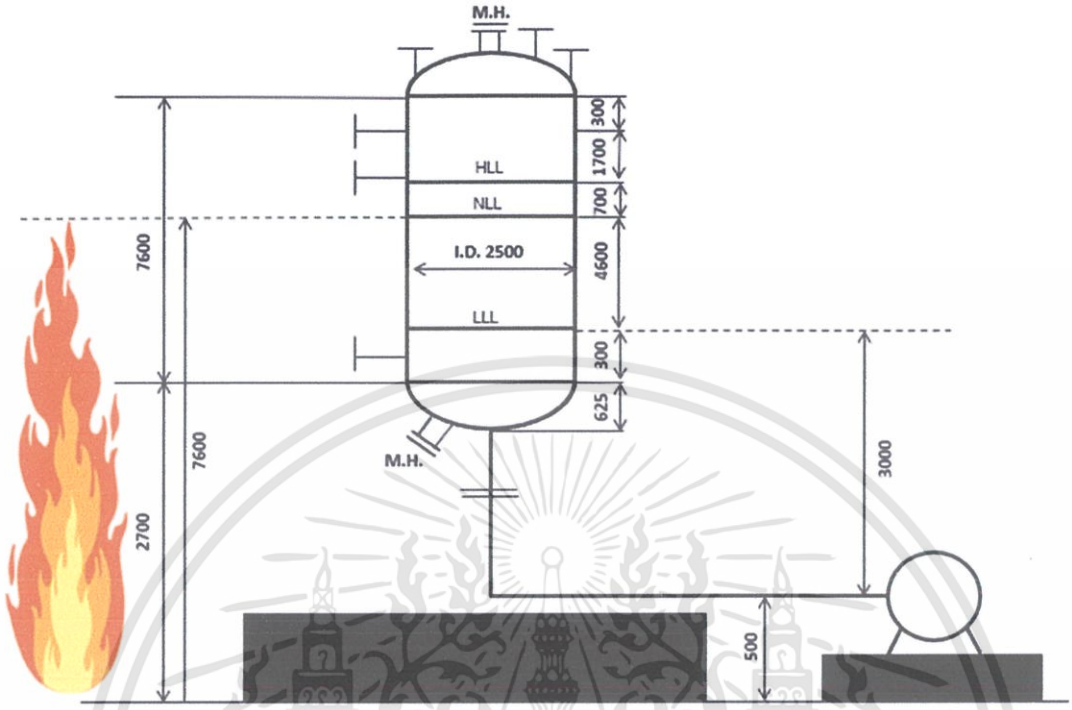
จากสมการ $$W = \frac{Q}{L}$$

จากตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว ค่าความร้อนแฝงที่สภาวะการปล่อย มีค่าเท่ากับ 417.4 kJ/kg

ดังนั้น $$W = \frac{1,103,679}{417.4} \times \frac{3,600}{1,000}$$

$$W = 9,519 \ kg/h$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7. หาปริมาณกรณีไฟไหม้บริเวณท่อขนส่งก๊าซธรรมชาติ

ค่าความดันที่ทำให้วาล์วนิรภัยเปิดออก (Set Pressure) มีค่าเท่ากับ 60 kPa/cm^{2}G

ความดันที่ระบายก๊าซออก = ค่าความดันที่ตั้งไว้+(100+ค่าความดันเกิน) %

จากมาตรฐาน API 520 กำหนดค่าความดันเกินในกรณีเกิดไฟไหม้ 25 %

จะได้ ความดันที่ระบายก๊าซออก = 60+(100+25) %

= 75 kPa/cm^2

= 7,350 kPa

จากสมการ $$T_1 = \frac{P_1}{P_n} T_n$$

แทนค่า $T_n = 283K$ $P_n = 3,850kPa$ และ $P_1 = 7,350kPa$ ลงในสมการด้านบน

จะได้ $$T_1 = \frac{7,350}{3,850} \times 283$$

$$T_1 = 540\ K$$

วัสดุที่ใช้ทำผนังของถัง จะใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่สามารถทนอุณหภูมิได้มากที่สุดถึง 593 °C อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ เท่ากับ 1.39 และเนื่องจากเป็นการหาขนาดวาล์วเบื้องต้น ค่า $K_D = 0.975$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ท่อได้รับความร้อนจากกรณีไฟไหม้มากสุดไม่เกิน 15 m จึงสมมติใช้ค่านี้
เนื่องจากท่อบริเวณนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 in Sch 80

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก = 0.3556 m

ความหนาของผนังท่อ = 0.1905 m

จะได้ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน = 0.3556-2(0.1905)

= 0.3175 m

ฉนวนชนิด cellular glass มีความหนา = 0.11 m

ฉนวนชนิด stainless steel มีความหนา = 0.000016 m

ดังนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางท่อทั้งหมด = 0.3175+2(0.11)+2(0.000016)

= 0.5756 m

A_{ws} หาได้จากสมการ $A' = \pi DL$

$A' = 3.14 \times 0.5756 \times 15$

$A' = 27.13\ m$

จากสมการ $$F' = \frac{0.2772}{0.0395 K_D \sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}} \left(\frac{(T_w - T_1)^{1.26}}{T_1^{0.6506}} \right)$$

แทนค่า $$F' = \frac{0.2772}{0.0395 \times 0.975 \sqrt{1.39\left(\frac{2}{1.39+1}\right)^{\frac{1.39+1}{1.39-1}}}} \left(\frac{(866-540)^{1.26}}{540^{0.6506}} \right)$$

จะได้ $F' = 243.2$

เนื่องจาก $F' \geq 182$ จึงเลือกใช้สมการหาปริมาณระบายก๊าซออกดังสมการข้างล่าง

$$W = 0.2772 \sqrt{M \cdot P_1} \left[\frac{A' (T_w - T_1)^{1.25}}{T_1^{1.1506}} \right]$$

$$W = 0.2772 \sqrt{18.61 \times 7,350} \left[\frac{27.13 (866-540)^{1.25}}{540^{0.6506}} \right]$$

$$W = 2,761.3\ \ kg/h$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หาปริมาณกรณีทางออกโดนกั้นขณะส่งไปยังโรงไฟฟ้า

จากปริมาณที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีสารตัวกลาง 1 ตัว จะสามารถส่งก๊าซธรรมชาติผ่านท่อได้มากที่สุด 56.9 tons/h

$\therefore$ ปริมาณกรณีทางออกโดนกั้นขณะส่งไปยังโรงไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 56,900 kg/h

9. หาปริมาณกรณีท่อขยายตัว

จากสมการ $$q = \alpha v \Phi / (1000 dc)$$

ความหนาแน่นที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงธรรมชาติเหลว 466 kg/m^3

d คือความหนาแน่นสัมพัทธ์เทียบกับน้ำ 1000 kg/m^3 ที่ 15.6 °C

จะได้ $$d = \frac{466}{1000} = 0.466$$

ค่าความร้อนจำเพาะ (c) เท่ากับ 3,150 J/(kg.K)

ค่า αv หาได้จากตาราง 2 ของมาตรฐานสากล API 521

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวสำหรับไฮโดรคาร์บอนเหลวและน้ำ

ความถ่วงจำเพาะของเหลว (°API)	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน[a] 1/°C (1/°F)
3 - 34.9	0.00072 (0.0004)
35 - 50.9	0.0009 (0.0005)
51 – 63.9	0.00108 (0.0006)
64 – 78.9	0.00126 (0.0007)
79 – 88.9	0.00144 (0.0008)
89 – 93.9	0.00153 (0.0085)
94 ขึ้นไป	0.00162 (0.0009)
น้ำ	0.00018 (0.0001)
[a] สำหรับที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิอื่นสามารถใช้สมการที่ 4 ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	

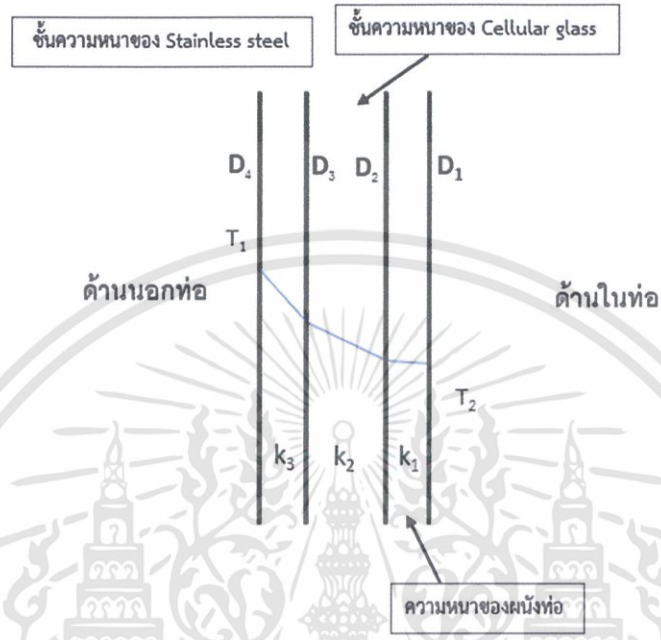
จากสมการ $$\text{ความถ่วงจำเพาะของเหลว} = \frac{141.5}{SG} - 131.5$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของเหลว} = \frac{141.5}{0.466} - 131.5$$

จะได้ ความถ่วงจำเพาะของเหลว = 172.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Φ) สามารถหาได้จากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากรูปในบทที่ 2



จากสมการการพาความร้อน

$$Q=\frac{2\pi L(T_1-T_2)}{2.3}\left[\frac{1}{\frac{\log(D_2/D_1)}{k_1}+\frac{\log(D_3/D_2)}{k_2}+\frac{\log(D_4/D_3)}{k_3}}\right]$$

แทน T_1 =38.5 °C , T_2 =-160 °C , D_1 =0.3302 m , D_2 =0.3556 m , D_3 = 0.6556 m , k_1 =54 W/mK , k_2 =0.037 W/mK , k_3 =20 W/mK , D_4 =0.655632 m , L =15 m

จะได้

$$Q=\frac{2\pi\times15(38.5+160)}{2.3}\left[\frac{1}{\frac{\log(0.3556/0.3302)}{54}+\frac{\log(0.6556/0.3556)}{0.037}+\frac{\log(0.655632/0.6556)}{20}}\right]$$

$$Q=1{,}132.7\ W$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแผ่รังสีความร้อนสมการที่ใช้จะใช้สมการเดียวกับการพาความร้อน แต่อุณหภูมิที่ผิววัสดุ จะมีค่าเท่ากับ 48.5 °C

จะได้

$$Q=\frac{2\pi\times15(48.5+160)}{2.3}\left[\frac{1}{\frac{\log(0.3556/0.3302)}{54}+\frac{\log(0.6556/0.3556)}{0.037}+\frac{\log(0.655632/0.6556)}{20}}\right]$$

$$Q=1{,}189.8\ W$$

ดังนั้น $$\Phi=1{,}132.7+1{,}189.8$$

$$\Phi=2{,}322.5\ W$$

จะได้ $$q=3{,}600\alpha v\Phi/(1{,}000dc)$$

$$q=\frac{0.00162\times2{,}322.5\times3600}{1{,}000\times0.466\times3{,}150}$$

$$q=0.01\ m^3/h$$

จากสมการ $$W=qr$$

จะได้ $$W=466\times0.01$$

$$W=4.66\ kg/h$$

10. ตัวอย่างการหาเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงปล่อง (Cold vent stack)

จากสมการ $$Ma=3.23\times10^{-5}\left(\frac{q_m}{p_2d^2}\right)\left(\frac{ZT}{M}\right)^{0.5}$$

ที่ Cold vent stack มีความดันต่ำ $Ma=0.2\ q_m=12{,}938kg/hr\ Z=1\ M=16.04$
$T=116.15K\ p_2=101.3kPa$

จะได้ $$0.2=3.23\times10^{-5}\left(\frac{12{,}938}{101.3\times d^2}\right)\left(\frac{116.15}{16.04}\right)^{0.5}$$

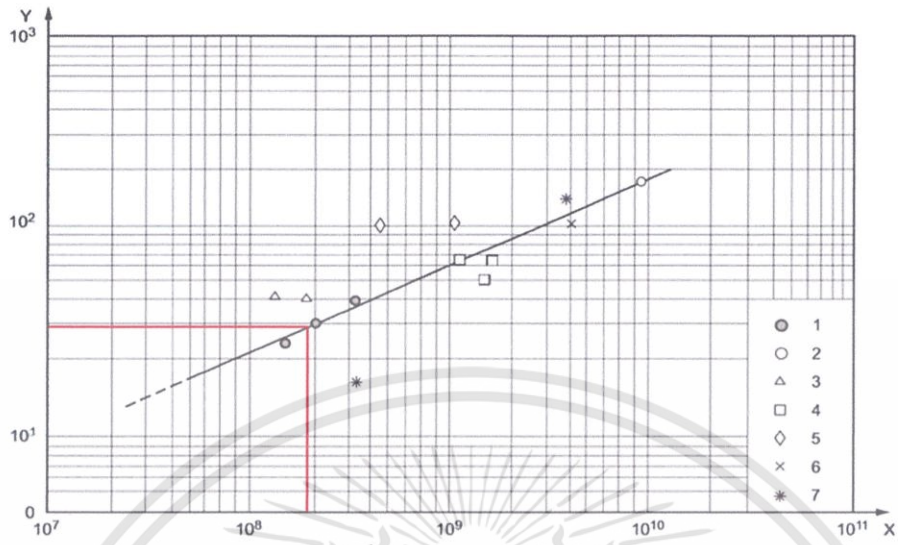
$$d=0.2356\ m$$

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซและไอ สามารถหาได้จาก

$$q_{vap}=\frac{12938}{3600}\times\frac{22.4}{16.04}\times\frac{116.15}{273.15}$$

$$q_{vap}=2.13\ m^3/\mathrm{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การคำนวณความยาวเปลวไฟหาได้จากรูปที่ 2.16 $Q = 1.93 \times 10^8 W$ ความยาวของเปลวไฟ 29 m

ความเร็วขาออก Flare trip $u_j = \dfrac{q_{vap}}{\pi D^2 / 4}$

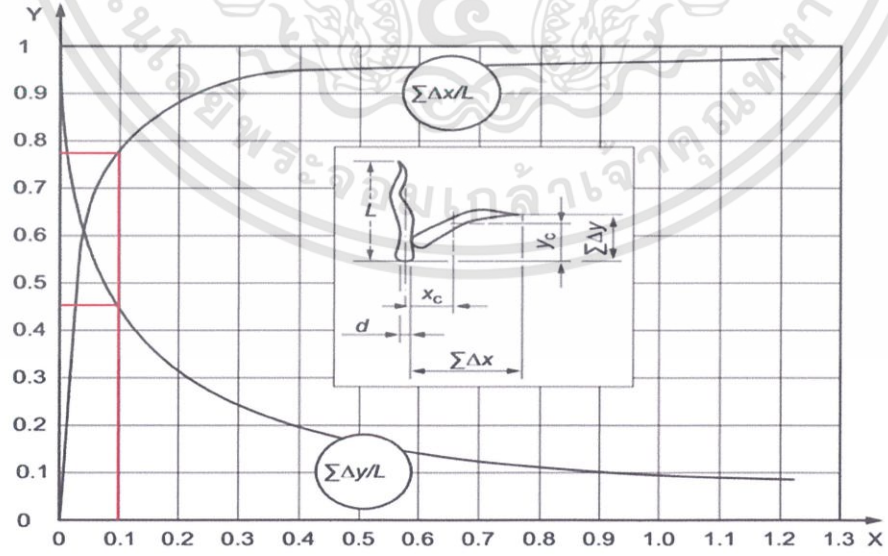
$$u_j = \frac{2.13}{\pi (0.2356)^2 / 4}$$

$$u_j = 49\ m/s$$

ความเร็ว ณ บริเวณนั้น มีค่าเท่ากับ 5.14 m/s

$\therefore$ เปลวไฟที่เอียงเมื่อลมพัดจะหาได้จาก $\sum \dfrac{u_\infty}{u_j}$ มีค่าเท่ากับ 0.1

จากรูป 2.18 สามารถหา $\sum \Delta y / L$ และ $\sum \Delta x / L$ มีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.80



$\therefore \sum \Delta y$ และ $\sum \Delta x$ มีค่าเท่ากับ 12.18 และ 23.06 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ $$D = \sqrt{\frac{\tau \cdot F \cdot Q}{4\pi \cdot K}}$$

กำหนด $K = 6.3 kW/m^2$ $\tau = 1$ $Q = 1.93 \times 10^5 kW$ และ $F = 0.192$ จากตารางที่ 2.2

จากสมการ $$D = \sqrt{\frac{1 \times 0.192 \times 1.93 \times 10^5}{4\pi \times 6.3}}$$

จะได้ $$D = 21.64\ m$$

∴ ระยะที่บุคคลทั่วไปต้องยืนห่างจากปล่องอย่างน้อย 21.64 m

ความสูงของปล่องได้จาก $$D^2 = h'^2 + r'^2$$

คำนวณ r' จาก $$r' = r - \left(0.5 \sum \Delta x\right)$$

คำนวณ h' จาก $$h' = h + \left(0.5 \sum \Delta y\right)$$

จะได้ $$r' = 47.5 - \left(0.5 \times 23.06\right)$$

$$r' = 8.47\ m$$

และ $$21.64^2 = h'^2 + 8.47^2$$

$$h' = 19.91\ m$$

ดังนั้น h จะมีค่าเท่ากับ $$19.91 = h + \left(0.5 \times 12.18\right)$$

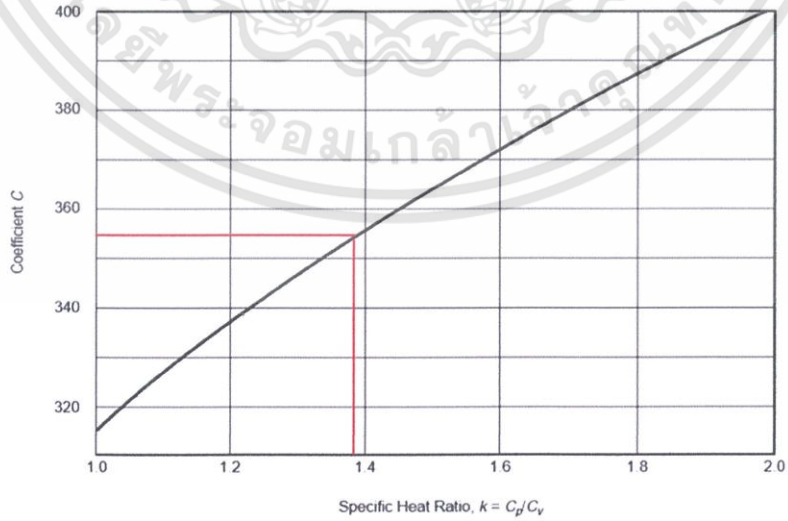
$$h = 13.82\ m$$

11. ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดวาล์วนิรภัยและขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย

จากสมการ $$A = \frac{17.9 \times W}{F_2 K_d K_c} \sqrt{\frac{ZT}{MP_1\left(P_1 - P_2\right)}}$$

กำหนด $T = 115.15K$ $W = 12,938 kg/hr$ $K_d = 0.975$ $K_b = 1$ $K_c = 0.9$ $M = 18.61$

$Z = 1$ $C = 355$ หาได้จากรูป 2.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_1 หาได้จาก $P_1 = \left[\left(P_s \times (100 + overpressure)\%\right) + P_{atm}\right]$

$P_s = 0.22B\arg$ ค่า $overpressure$ กรณีของไหลถูกกั้น ใช้เป็น 10% $P_{atm} = 101.3kPa$

ดังนั้น $P_1 = \left[\left(22 \times (100+10)\%\right) + 101.3\right]$

$P_1 = 125.53 \ kPa$

$P_2 = 0.006B\arg$ จะได้ $A = \dfrac{17.9 \times 12,938}{F_2 \times 0.975 \times 0.9}\sqrt{\dfrac{115.15}{18.61 \times 125.53(125.53 - 104.33)}}$

$A = 13,3773.27 \ mm^2$

เลือกขนาดรูระบายของวาล์วนิรภัยจากตารางที่ 2.6 ใน API 526 จะได้ สัญลักษณ์ขนาดของวาล์ว T พื้นที่รูระบาย 16,774 mm^2 หรือ 26 in^2

สัญลักษณ์ขนาดของวาล์ว (Letter Designation)	พื้นที่รูระบาย (Effective Orifice Area)	
	mm^2	in^2
D	71	0.110
E	125	0.196
F	198	0.307
G	325	0.503
H	506	0.785
J	830	1.287
K	1,186	1.838
L	1,841	2.853
M	2,323	3.60
N	2,800	4.34
P	4,116	6.38
Q	7,129	11.05
R	10,323	16.0
T	16,774	26.0

เนื่องจากวัสดุของท่อบริเวณนั้นทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เปิดดูตาราง พบว่าขนาดวาล์วนิรภัย คือ 8"x10"

จากนั้น เลือกขนาดท่อขาเข้า-ขาออกวาล์วนิรภัย โดยเลือกขนาดเป็น 8"x10"ก่อน ต่อมาดูที่ความดันลดท่อขาเข้ามากกว่า 3 % ความดันที่กำหนด ถ้ามากกว่าต้องเพิ่มขนาดท่อขาเข้า แต่ถ้าไม่ จะสามารถใช้ ท่อขนาด 8 in ได้เลย ส่วนท่อขาออก เนื่องจากค่า Built-up back pressure มากกว่า 50 % จะเพิ่มขนาดท่อขาออกเป็น 10 in แล้วเลือกชนิดวาล์วนิรภัยเป็น Balanced Bellow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

1. เส้นทางท่อวาล์วนิรภัยบริเวณถังกักเก็บไปยังบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

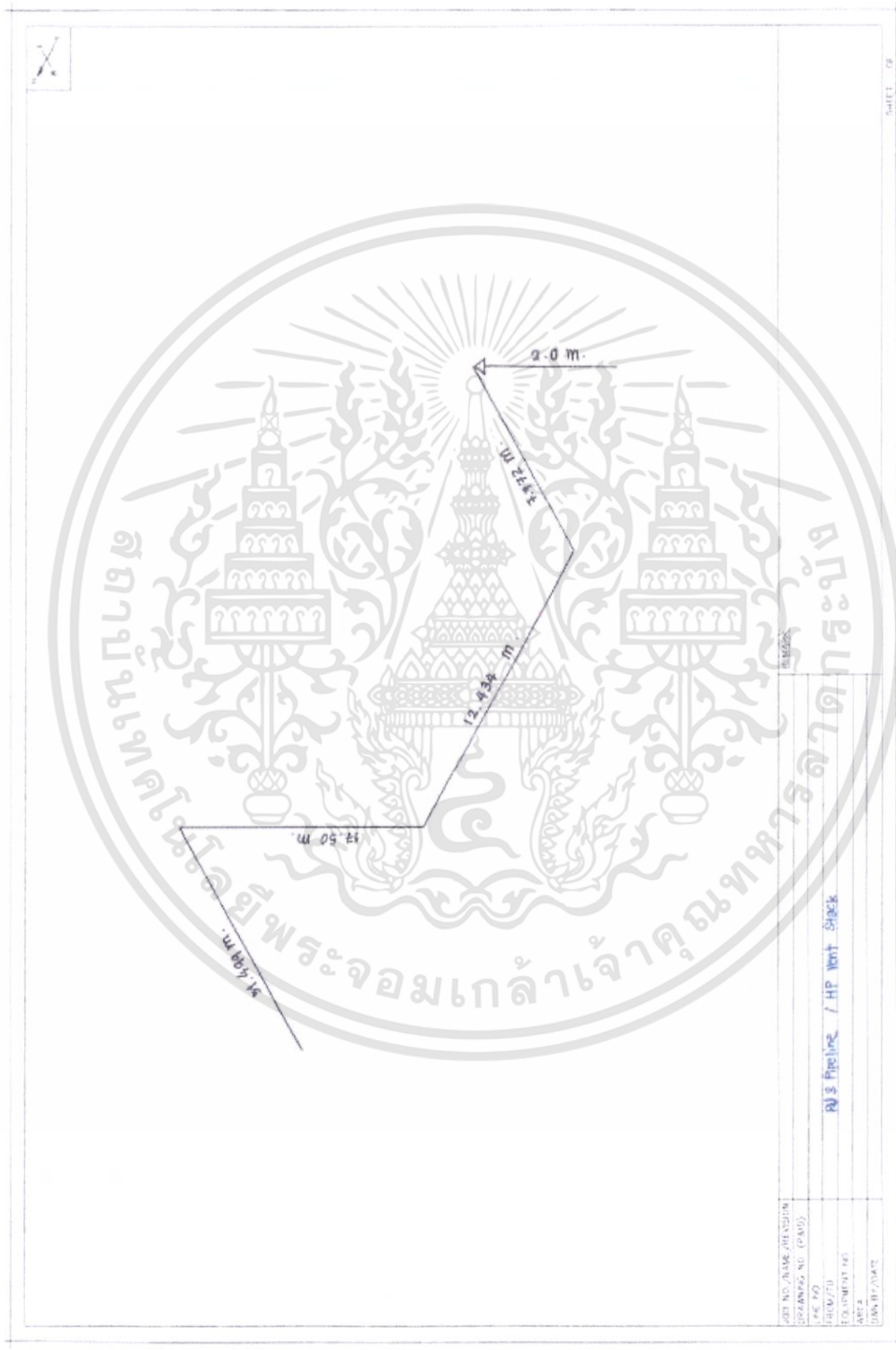
2. เส้นทางท่อวาล์วนิรภัยบริเวณถังแยกก๊าซไปยังปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เส้นทางท่อวาล์วนิรภัยบริเวณท่อส่งก๊าซกลับไปยังปล่องระบายสารอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

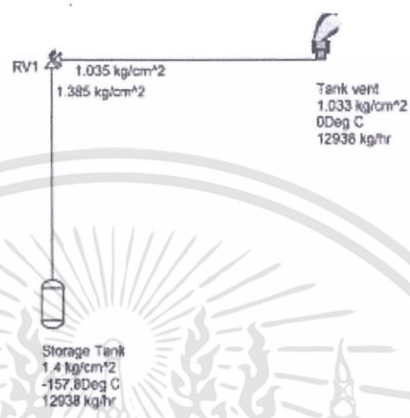
4. เส้นทางท่อวาล์วนิรภัยบริเวณท่อส่งก๊าซธรรมชาติไปยังปล่องระบายสารความดันสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ภาพรวมจากโปรแกรม Visual Flare บริเวณถังกักเก็บ

-



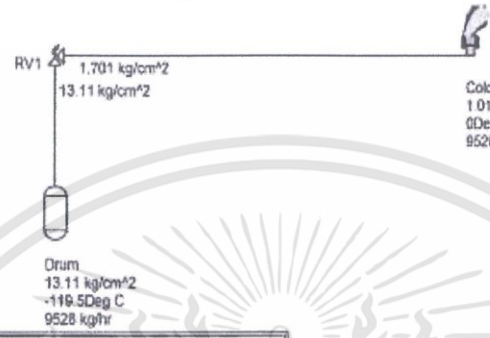
Name	Storage Tank		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	-157.8265		
Pres (kg/cm^2)	1.4		
Rate (kg/hr)	12938		
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.5499		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	12938	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.9608746	0	0
Density (Kg/m^3)	2.453075	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.5499	0	0
Viscosity (cP)	0.004673836	0	0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	Tank vent		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	-158.5823		
Pres (kg/cm^2)	1.033139		
Rate (kg/hr)	12938		
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.5695		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	12938	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.9709093	0	0
Density (Kg/m^3)	1.803372	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.5695	0	0
Viscosity (cP)	0.004641424	0	0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	RV1
Relief Valve Type	Conventional
Diameter	
Inlet (in)	8.000
Outlet (in)	10.000
Avail Area (sqin)	26.000
Set Pres (kPa)	127.497
3% Pressure Drop (kPa)	0.548
Kd Liquid	0.650
Kd Vapor	0.975
Sizing Method	API 2Phase 6th ed.
DIERS Omega	NA
Pressure:	
Inlet (kg/cm^2)	1.385
Back (kg/cm^2)	1.035
Req Area (sqin)	16.505
Req Area Per Valve (sqin)	16.505
Number of Valves	1
API Vapor C	NA
API Vapor Kb	1.000
API Liquid Kv	1.000
Depr. Req Area (sqin)	NA
Choke Pressure (psia)	NA
Choke Temperature (Deg C)	NA
Choke Quality	NA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ภาพรวมจากโปรแกรม Visual Flare บริเวณถังแยกก๊าซ



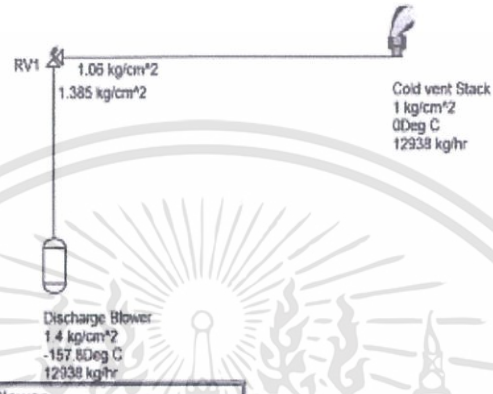
Name	Drum		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	-119.4991		
Pres (kg/cm^2)	13.112		
Rate (kg/hr)	9528		
Enthalpy (KJ/Kg)	-114.2082		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	9528	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.799753	0	0
Density (Kg/m^3)	20.71787	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	-114.2082	0	0
Viscosity (cP)	0.0062675260		0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	Cold vent Stack		
STREAM DATA:			
Temp (Deg F)	-218.1794		
Pres (psia)	14.49026		
Rate (lbmol/hr)	1276.12		
Enthalpy (Btu/lbmol)	-808.3206		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (lbmol/hr)	1276.12	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.9809917	0	0
Density (lb/ft^3)	0.09381842	0	0
Enthalpy (Btu/lbmol)	-808.3206	0	0
Viscosity (cP)	0.005469422	0	0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	RV1
Relief Valve Type	Conventional
Diameter:	
Inlet (in)	3.000
Outlet (in)	4.000
Avail Area (sqin)	1.838
Set Pres (psia)	156.656
3% Pressure Drop (psi)	0.002
Kd Liquid	0.650
Kd Vapor	0.975
Sizing Method	API 2Phase 6th ed.
DIERS Omega	NA
Pressure:	
Inlet (psia)	186.448
Back (psia)	24.191
Req Area (sqin)	1.246
Req Area Per Valve (sqin)	1.246
Number of Valves	1
API Vapor C	350.222
API Vapor Kb	1.000
API Liquid Kv	1.000
Depr. Req Area (sqin)	NA
Choke Pressure (psia)	NA
Choke Temperature (Deg F)	NA
Choke Quality	NA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ภาพรวมจากโปรแกรม Visual Flare บริเวณท่อส่งก๊าซกลับ



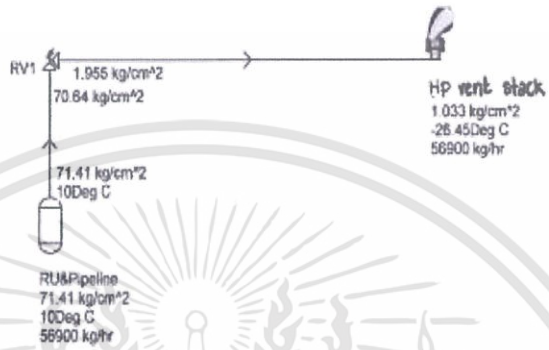
Name	Discharge Blower		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	-157.8265		
Pres (kg/cm^2)	1.4		
Rate (kg/hr)	12938		
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.5499		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	12938	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.9608746	0	0
Density (Kg/m^3)	2.453075	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.5499	0	0
Viscosity (cP)	0.004673836	0	0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	Cold vent Stack		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	-158.6838		
Pres (kg/cm^2)	1		
Rate (kg/hr)	12938		
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.6399		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	12938	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.9718023	0	0
Density (Kg/m^3)	1.745469	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	-154.6399	0	0
Viscosity (cP)	0.004637071	0	0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	RV1
Relief Valve Type	Balanced Bellow
Diameter:	
Inlet (in)	8.000
Outlet (in)	10.000
Avail Area (sqin)	26.000
Set Pres (kPa)	127.497
3% Pressure Drop (kPa)	0.548
Kd Liquid	0.650
Kd Vapor	0.975
Sizing Method	API 2Phase 6th ed.
DIERS Omega	NA
Pressure:	
Inlet (kg/cm^2)	1.385
Back (kg/cm^2)	1.060
Req Area (sqin)	14.762
Req Area Per Valve (sqin)	14.762
Number of Valves	1
API Vapor C	350.226
API Vapor Kb	1.000
API Liquid Kv	1.000
Depr. Req Area (sqin)	NA
Choke Pressure (psia)	NA
Choke Temperature (Deg C)	NA
Choke Quality	NA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ภาพรวมจากโปรแกรม Visual Flare บริเวณท่อส่งก๊าซธรรมชาติ



Name	RU&Pipeline		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	10		
Pres (kg/cm^2)	71.41		
Rate (kg/hr)	56900		
Enthalpy (KJ/Kg)	115.9663		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	56900	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.8761921	0	0
Density (Kg/m^3)	55.88694	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	115.9663	0	0
Viscosity (cP)	0.01099479	0	0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	HP vent stack		
STREAM DATA:			
Temp (Deg C)	-26.45309		
Pres (kg/cm^2)	1.033139		
Rate (kg/hr)	56900		
Enthalpy (KJ/Kg)	115.9467		
Mw	16.46054		
	Vapor	Liquid	Liquid2
Rate (kg/hr)	56900	0	0
Mw	16.46054	0	0
Z	0.9967177	0	0
Density (Kg/m^3)	0.8158121	0	0
Enthalpy (KJ/Kg)	115.9467	0	0
Viscosity (cP)	0.0097539250		0
Component Mole Fractions			
METHANE	0.9651	0	0
N2	0.0349	0	0

Name	RV1
Relief Valve Type	Conventional
Diameter:	
Inlet (in)	3.000
Outlet (in)	4.000
Avail Area (sqin)	2.853
Set Pres (kPa)	6376.143
3% Pressure Drop (kPa)	34.187
Kd Liquid	0.650
Kd Vapor	0.975
Sizing Method	API Vapor 6th ed.
DIERS Omega	NA
Pressure:	
Inlet (kg/cm^2)	70.635
Back (kg/cm^2)	1.955
Req Area (sqin)	1.914
Req Area Per Valve (sqin)	1.914
Number of Valves	1
API Vapor C	348.165
API Vapor Kb	1.000
API Liquid Kv	1.000
Depr. Req Area (sqin)	NA
Choke Pressure (psia)	546.031
Choke Temperature (Deg C)	-28.514
Choke Quality	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual Flare บริเวณถังกักเก็บ

Relief Valve Data Sheet

Nov 30, 2018

Name: RVI
Type: Conventional

Converged: False

Liquid&d

Inlet Diameter	(mm)	203.45
Outlet Diameter	(mm)	254.00
Available Area	mm²	16,774.160
Set Pressure	kPag	26.17
Number of Valves		1

Case Name	Sizing Method	Required Area	Per Valve Area	Temp	Inlet Pressure	Outlet Pressure	% Built Up Pres	Liquid Flow Rate	Vapor Flow Rate	Kd Liquid	Kd Vapor	Kd User Defined	Kb Vapor	Kv / Liquid	Rupture Disk Kc	Kv Method	C Vapor	Max. Cap
		mm²	mm²	(K)	kPa	kPa		(kg/hr)	(kg/hr)									(kg/hr)
Rating Case	Api 2Ph 6th ed	10,648.30	10,648.30	115.19	135.86	101.50	0.68	4.09	12,933.92	0.65	0.98	N.A.	1.000	1.000	N.A.	API Kv	N.A.	15,199.58

Remarks
% Built-up Back Pressure = Outlet Pressure (kPag) / Set Pressure (kPag)
File Name: Tank_backup_bkp_bkp File Date: Nov 30, 2018 All Cases Converged: True

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual Flare บริเวณถังแยกก๊าซ

Relief Valve Data Sheet

Nov 30, 2018

Name RV1
Type Conventional

Converged False

Inlet Diameter	(mm)	76.20
Outlet Diameter	(mm)	101.60
Available Area	mm²	1,185.804
Set Pressure	kPag	978.78
Number of Valves		1

Liquid Kd

Case Name	Sizing Method	Required Area	Per Valve Area	Temp	Inlet Pressure	Outlet Pressure	% Built Up Pres	Liquid Flow Rate	Vapor Flow Rate	Kd Liquid	Kd Vapor	Kd User Defined	Kb Vapor	Kv Liquid	Rupture Disk Ks	Kv Method	C Vapor	Max. Cap.
		mm²	mm²	(K)	kPa	kPa		(kg/hr)	(kg/hr)									(kg/hr)
Ruling Case	Api 2Ph 6th ed	803.695	803.695	153.64	1,285.50	166.79	6.69	0.42	9,527.59	0.65	0.98	N.A.	1.000	1.000	N.A.	API Kv	350.22	11,768.97

Remarks
% Built-up Back Pressure = Outlet Pressure (kPag) / Set Pressure (kPag)
File Name Drum_backup_bkp_bkp File Date Nov 30, 2018 All Cases Converged True

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ภาพรวมจากโปรแกรม Visual Flare บริเวณท่อส่งก๊าซกลับ

Relief Valve Data Sheet

Nov 30, 2018

Name RV1 Converged: False
Type Balanced Bellow

Inlet Diameter	(mm)	203.45
Outlet Diameter	(mm)	254.00
Available Area	mm²	16,774.160
Set Pressure	kPag	26.17
Number of Valves		1

Liquid Kd

Case Name	Sizing Method	Required Area	Per Valve Area	Temp	Inlet Pressure	Outlet Pressure	% Built Up Pres	Liquid Flow Rate	Vapor Flow Rate	Kd Liquid	Kd Vapor	Kd User Defined	Kb Vapor	Kv Liquid	Rupture Disk Kc	Kv Method	C Vapor	Max. Cap.
		mm²	mm²	(K)	kPa	kPa		(kg/hr)	(kg/hr)									(kg/hr)
Rating Case	Api 2Ph 6th ed	9,523.536	9,523.536	115.19	135.86	103.95	10.01	4.09	12,933.922	0.65	0.98	N.A.	1.000	1.000	N.A.	API Kv	350.23	17,392.61

Remarks
% Built-up Back Pressure = Outlet Pressure (kPag) / Set Pressure (kPag)
File Name Discharge Blower_backup File Date: Nov 30, 2018 All Cases Converged: True

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ผลลัพธ์จากโปรแกรม Visual Flare บริเวณท่อส่งก๊าซธรรมชาติ

Relief Valve Data Sheet

Nov 30, 2018

Name: RVI
Type: Conventional

Converged: True

Liquid Kd

Inlet Diameter (mm) 76.20
Outlet Diameter (mm) 101.60
Available Area mm² 1,840.641
Set Pressure kPag 6,274.82
Number of Valves 1

Case Name	Sizing Method	Required Area	Per Valve Area	Temp	Inlet Pressure	Outlet Pressure	% Built Up Pres	Liquid Flow Rate	Vapor Flow Rate	Kd Liquid	Kd Vapor	Kd User Defined	Kb Vapor	Kv Liquid	Rupture Disk Kr	Kv Method	C Vapor	Max. Cap
		mm²	mm²	(K)	kPa	kPa		(kg/hr)	(kg/hr)									(kg/hr)
Base Case	Api Vap 6th ed	1,234.585	1,234.584	282.56	6,927.52	191.73	1.44	0.00	56,899.83	0.65	0.98	N.A.	1.000	1.000	N.A.	API Kv	348.17	83,756.38

Remarks:
% Built-up Back Pressure = Outlet Pressure (kPag) / Set Pressure (kPag)
File Name: RU&Pipeline_backup_bkp File Date: Nov 30, 2018 All Cases Converged: True

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้