

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยที่เหมาะสมในการป้องกันอัคคีภัยเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท สำหรับภาชนะรับแรงดันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

Optimization of Deluge Water Application Rate for Protection of Pressure Vessel from Jet Fire in Petroleum Industry

ฉัตรดนัย อำภา^{1*} และ ประกอบ สุรวัดนานารณ²

Chatdanai Aumpa^{1*} and Prakob Surawattanawan²

¹นักศึกษานิพนธ์โท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Graduate student in Master of Engineering (Safety Engineering) of Engineering Faculty,
Kasetsart University, Ngam Wong Wan Rd, Ladyaow Chatuchak Bangkok 10900

²Lecturer in Master of Engineering (Safety Engineering) of Engineering Faculty, Kasetsart University,
Ngam Wong Wan Rd, Ladyaow Chatuchak Bangkok 10900

*Corresponding author, E-mail: chatdanaia@technip.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยที่เหมาะสมสำหรับป้องกันอัคคีภัยเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ทสำหรับภาชนะรับแรงดันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิงเนื่องจากการรั่วไหลของแก๊สมีเทน (Methane) จากอุปกรณ์คัดแยก (Separator) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) และวิธีการคำนวณของ DNV และ TNO โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โดยปราศจากการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ โดยงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนที่ 1 เป็นการหาอัตราการรั่วไหลและกำหนดความดันของ Separator ที่ใช้ในการวิจัยไว้ที่ 3 ลักษณะ (7 ความดัน) ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์พลังงานและขนาดของเปลวเพลิงจากอัตราการรั่วไหลและความดันจากผลที่ได้จากส่วนที่ 1 และกำหนดความเร็วลมที่ใช้ในการวิจัยไว้ที่ 8 ความเร็วลม และส่วนที่ 3 เป็นการหาปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยแบบการป้องกันแบบพ่นออกสู่เพลิงจากผลที่ได้จากส่วนที่ 2 และเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐาน NFPA 15 และ API RP 2030 ซึ่งพบว่าในกรณีที่เปลวเพลิงไม่สัมผัสภาชนะรับแรงดันและไม่คำนึงถึงความสูญเสียจากเปลวเพลิงเนื่องจากความเร็วลม ค่าที่ได้จากการวิจัยจะน้อยกว่าค่าของ NFPA 15 และ API RP 2030 แต่เมื่อพิจารณาความสูญเสียเนื่องจากความเร็วลมพบว่า ค่าที่ได้จากการวิจัยจะมากกว่าค่าของ NFPA 15 และ API RP 2030 ในกรณีที่เปลวเพลิงสัมผัสกับภาชนะรับแรงดันและไม่คำนึงถึงความสูญเสีย

ดับเพลิงเนื่องจากความเร็วลมค่าที่ได้จากการวิจัยจะมากกว่าของ NFPA 15 แต่น้อยกว่าค่าของ API RP 2030 แต่เมื่อชดเชยความเสี่ยงเนื่องจากความเร็วลมพบว่า ค่าที่ได้จากการวิจัยจะมากกว่า NFPA 15 และ API RP 2030 สำหรับกรณีที่เปลวเพลิงสัมผัสกับภาชนะรับแรงดันและมีโอกาสสูญเสียน้ำดับเพลิงเนื่องจากความเร็วลมควรใช้ปริมาณน้ำดับเพลิงเป็น 1.5 เท่า ของค่าที่แนะนำโดย API RP 2030 หรือ 3 เท่าของค่าที่แนะนำโดย NFPA 15

คำสำคัญ: เพลิงไหม้แบบเจ็ท ภาชนะรับแรงดัน น้ำดับเพลิงฝอย การป้องกันแบบเหยือกผู้เพลิง

Abstract

The objective of this research is to optimize deluge water application rate for protection of pressure vessel from jet fire in petroleum industry. This research determines the surface emissive power (SEP) and size of flame from leakage of methane gas from separator using mathematical model, methodology and calculation technique from DNV and TNO, without experimental research in laboratory. This research is separated into 3 parts: part 1 - determination of leak rate of methane gas and specification of operating pressure at 3 groups (7 pressures) of separator. Part 2 - modelling and analysis of SEP and size of jet flame by using leak rate results and operating pressure of separator from part 1. Part 3 - determination of the optimum deluge water application rate for exposure protection by using SEP and flame size results from part 2 and compare with figure from NFPA 15 and API RP 2030. The results from part 3 present the case where jet flame did not impinge pressure vessel and excluded loss of deluge water due to wind drift loss. The application rate from this research was less than both NFPA 15 and API RP 2030. However, in the case where jet flame did not impinge pressure vessel and included loss of deluge water due to wind drift loss, the application rate from this research was more than both NFPA 15 and API RP 2030. In the case where jet flame impinged pressure vessel and excluded loss of deluge water due to wind drift loss, the application rate from this research was more than NFPA 15, but less than API RP 2030. However, in the case where jet flame impinged pressure vessel and included loss of deluge water due to wind drift loss, the application rate from this research was more than both NFPA 15 and API RP 2030. In the case where jet flame impingement and there was potential of wind drift loss, the application rate was 1.5 times of recommended application rate by API RP 2030 or 3 times of recommended application rate by NFPA 15.

Keywords: jet fire, pressure vessel, deluge water, exposure protection

1. บทนำ

เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีหลายประเภท แต่เพลิงไหม้ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของอุปกรณ์ ที่เป็นภาชนะรับแรงดัน

(Pressure Vessel) มากที่สุดคือ เพลิงไหม้แบบเจ็ท (Jet Fire) เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเปลวเพลิงของเพลิงไหม้แบบเจ็ท จะเป็นพลังงานความร้อนที่สูงมากเนื่องจากการเผาไหม้

แบบต่อเนื่องของแก๊สติดไฟ (Flammable Gas) ที่มีการรั่วไหลของมาจากระบบหรืออุปกรณ์ที่มีความดันสูง เช่น อุปกรณ์คัดแยก (Separator)

งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการ เพื่อศึกษาพลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท เนื่องจากการรั่วไหลของแก๊ส Methane จาก Separator ที่มีความแตกต่างของความดันและความเร็วลม ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อเนื่องเพื่อหาปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย (Deluge Water) ที่เหมาะสมที่ใช้ป้องกันอันตรายเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท สำหรับภาชนะรับแรงดันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมด้วยวิธีการป้องกันแบบเผชิญออกสู่เพลิง (Exposure Protection) โดยเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวิจัยและค่าที่แนะนำโดยมาตรฐาน NFPA 15 และ API RP 2030 เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างและนำเสนอค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในงานวิศวกรรมความปลอดภัยและวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

2. วัตถุประสงค์

1 เพื่อวิเคราะห์พลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท และผลกระทบจากความดันและความเร็วลมเนื่องจากการรั่วไหลของแก๊ส Methane จาก Separator

2 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยที่เหมาะสมที่ใช้ป้องกันผลกระทบเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท สำหรับภาชนะรับแรงดันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวิจัยและค่าที่แนะนำโดยมาตรฐาน NFPA 15 และ API RP 2030

3. วิธีดำเนินการวิจัย

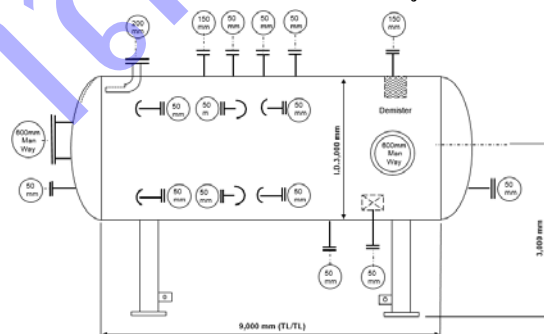
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โดยปราศจากการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ โดยใช้โปรแกรม Spread Sheet (MS Excel 2013) ในการคำนวณผลของการวิจัย

วิธีการวิจัยจะดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดค่าความดันที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อหาอัตราการรั่วไหลของแก๊ส Methane จาก Separator

แก๊ส Methane เป็นแก๊สที่มีการใช้งาน ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และแท่นขุดเจาะและสำรวจปิโตรเลียมทั้งในและนอกชายฝั่ง สำหรับอุปกรณ์ที่มีการใช้งานเกี่ยวกับแก๊ส Methane ที่พบทั่วไปจะเป็น อุปกรณ์คัดแยก (Separator) ซึ่งมีความดันที่ใช้งานตั้งแต่ความดันต่ำไปจนถึงความดันสูงและสูงมาก Separator จะมีลักษณะโดยทั่วไปดังรูปที่ 1



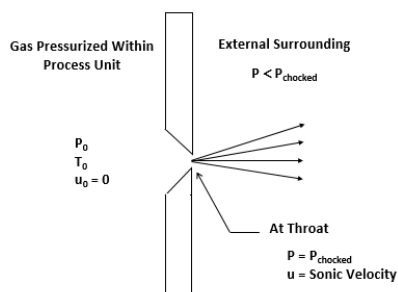
รูปที่ 1 อุปกรณ์คัดแยก (Separator)

ความดันของ Separator ที่เป็นต้นกำเนิดของเพลิงไหม้แบบเจ็ทในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความดันของ Separator ที่ใช้ในงานวิจัย

ลักษณะของความดัน	ความดัน (barG)
ความดันต่ำ	5
ความดันปานกลาง (ค่อนข้างต่ำ)	10
ความดันปานกลาง	20
ความดันปานกลาง (ค่อนข้างสูง)	50
ความดันสูง	100
ความดันสูง (ปานกลาง)	150
ความดันสูงมาก	200

เมื่อกำหนดความดันของ Separator เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราการรั่วไหลของแก๊ส Methane ได้ตามตารางที่ 1 อัตราการรั่วไหลที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จาก ทฤษฎีการไหลของแก๊สผ่านรูแบบ Choked Flow ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่มีค่าสูงสุดที่แก๊สจากระบบจะสามารถไหลผ่านรู เนื่องจากความเร็วของแก๊สขณะที่ไหลผ่านรู จะมีค่าเท่ากับความเร็วของเสียงในแก๊สนั้น (Sonic Velocity) ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 การไหลของแก๊สผ่านรู (Orifice) แบบ Choked Flow

ที่มา: Daniel A. C., & Joseph F. L., (2011)

การประเมินเพื่อยืนยันว่าการไหลของแก๊ส Methane ที่เกิดขึ้นเนื่องจากรั่ว Separator เป็นการไหลแบบ Choked Flow สามารถประเมินได้ถ้าหาก $P_{choked} > P_{Air}$ อย่างมีนัยสำคัญ (ไม่น้อยกว่า 100%) ซึ่งค่าของ P_{choked} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\frac{P_{choked}}{P_0} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (1)$$

P_{choked} = ความดัน choked (PaA)

P_0 = ความดันของ Separator (PaA)

P_{Air} = ความดันบรรยากาศ (101,325 PaA)

γ = สัดส่วนของความจุความร้อนจำเพาะของแก๊ส Methane (1.32)

ที่มา: Daniel A. C., & Joseph F. L., (2011)

เมื่อสามารถยืนยันได้ว่าการไหลของแก๊ส Methane ผ่านรูรั่ว เป็นการไหลแบบ Choked Flow ดังนั้นอัตราการไหลผ่านรูรั่วของแก๊ส Methane สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Q_m = C_0 A \sqrt{\frac{P_0 \rho_0}{\gamma}} \times \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} \quad (2)$$

Q_m = อัตราการไหลของแก๊ส Methane แบบ choked (kg/s)

C_0 = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านรูแบบ (1.0)

A = พื้นที่หน้าตัดของรู (0.018 m², 150 mm)

T_0 = อุณหภูมิของอุปกรณ์ Separator (303.15 K)

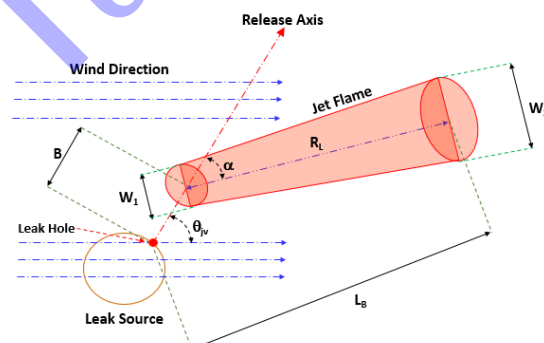
$M_{W\text{Methane}}$ = มวลโมเลกุลของ Methane (16 kg/kg-mole)

R_g = ค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ (8,314.47 PaA.m³/kg-mole.K)

g_c = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง (1 kg.m/s²)/N

ที่มา: Daniel A. C., & Joseph F. L., (2011)

3.2 การวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิงเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ต (Jet Fire)



รูปที่ 3 ลักษณะเปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ต

3.2.1 Det Norske Veritas (DNV, 2012) ได้แนะนำถึงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ต ในรูปแบบของพลังงานความร้อนจากพื้นผิวของเปลวเพลิง (Surface Emissive Power, SEP) ในหน่วยของพลังงานต่อพื้นที่ (W/m²) ตามสมการที่ 3

$$W_{Surface} = \frac{Q_{Total} \times Q_{Total}}{A} \quad (3)$$

$W_{Surface}$ = พลังงานความร้อนจากพื้นผิวของเปลวเพลิง (SEP, kW/m²)

F_s = สัดส่วนการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวของเปลวเพลิง (-)

H_{COMB} = ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊ส Methane (50,144 kJ/kg)

A = พื้นที่ผิวของเปลวเพลิง (m^2)
ค่าของ F_s สามารถคำนวณได้จาก v_j และ R_L ตามสมการที่ 4

$$\alpha_0 = (1 - \alpha^{-0.4\alpha_0}) \times (0.21\alpha^{-0.00323\alpha_0} + 0.14) \quad (4)$$

v_j = ความเร็วของแก๊ส Methane ที่ไหลผ่านรูรั่วแบบเจ็ท (m/s)

R_L = ความยาวจำเพาะของเปลวเพลิงจากฐานถึงยอด (m)

ที่มา: DNV Jet Fire Theory Document (2012)

The Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) ได้ให้คำแนะนำถึงคำนวณค่าของ v_j ได้จาก T_j , M_{WMethne} , γ , R_g และ M_j ตามสมการที่ 5

$$\alpha_0 = \alpha_0 \times \sqrt{\frac{\alpha \times \alpha_0 \times \alpha_0}{\alpha_0 \alpha_0 \alpha_0 \alpha_0}} \quad (5)$$

M_j = Mach Number ของของแก๊สที่ไหลผ่านรูรั่วแบบเจ็ท (-)

ค่าของ M_j สามารถคำนวณได้จาก P_{choked} , P_{Air} และ γ ตามสมการที่ 6

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{(\alpha+1) \times \left(\left(\frac{\alpha_0 \alpha_0 \alpha_0 \alpha_0}{\alpha_0 \alpha_0} \right)^{\frac{(\alpha-1)}{\alpha}} - 2 \right)}{(\alpha-1)}} \quad (6)$$

ค่าของ R_L สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$\alpha_0 = \sqrt{\alpha_0^2 - \alpha_0^2 \alpha_0 \alpha_0^2 (\alpha)} - \alpha \times \alpha_0 \alpha_0 (\alpha) \quad (7)$$

L_B = ความยาวของเปลวเพลิงวัดจากส่วนยอดถึงรูรั่ว (m)

B = ระยะห่างจากรูรั่วถึงฐานของเปลวเพลิง (m)

α = มุมระหว่างรูรั่วและเปลวเพลิง ($^\circ$)

ค่าของ L_B สามารถคำนวณได้จาก L_{B0} , U_w และ θ_{jv} ตามสมการที่ 8

$$\alpha_0 = \alpha_0 \times [0.51 \times \alpha^{-0.4 \times \alpha_0} + 0.49] \times [1 - 0.000607 \times (\alpha_0 - 90^\circ)] \quad (8)$$

L_{B0} = ความยาวของเปลวเพลิงที่อยู่ในอากาศ (m)

U_w = ความเร็วลม (m/s)

θ_{jv} = มุมระหว่างรูรั่วกับทิศทางของลม (45°)

ค่าของ L_{B0} สามารถคำนวณได้จาก D_s ตามสมการที่ 9

$$\alpha_0 = \alpha \times \alpha_0 \quad (9)$$

Y = ค่าแปรผันเนื่องจากลักษณะของแก๊สที่ไหลผ่านรูรั่วแบบเจ็ทที่ออกมาในบรรยากาศ (-)
ค่าของ Y สามารถคำนวณได้จาก D_s , g , v_j , W_{ST} และ β ตามสมการที่ 10

$$\alpha_0 \times \alpha^{\left(\frac{5}{3}\right)} + \alpha_0 \times \alpha^{\left(\frac{2}{3}\right)} - \alpha_0 \quad (10)$$

$$C_a = 0.24 \times \left(\frac{\alpha \times \alpha_0}{\alpha_0^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

$$C_b = 0.2$$

$$C_c = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0 \alpha_0} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (12)$$

β = ค่าคงที่ของเปลวเพลิงของ Becker and Liang (-)

W_{ST} = ค่า Stoichiometric mass fraction

ค่าของ B สามารถคำนวณได้จาก α ตามสมการที่ 13

$$\alpha = \alpha_0 \times \left(\frac{\sin(\alpha_0)}{\sin \alpha} \right) \quad (13)$$

ค่าของ K และ α สามารถคำนวณได้จาก R_w , θ_{jv} และ $Ri(L_{B0})$ ตามสมการที่ 14 และ 15 โดยลำดับ

$$\alpha = 0.185 \times \alpha^{-20 \times \alpha_0} + 0.015 \quad (14)$$

$$\alpha = (\alpha_0 - 90^\circ) \times (1 - \alpha^{-25.6 \times \alpha_0}) + \frac{(8,000 + \alpha_0)}{\alpha_0(\alpha_0)} \quad (15)$$

R_w = สัดส่วนของความเร็วลมต่อความเร็วของแก๊ส Methane ที่ไหลผ่านรูรั่ว (-)

$Ri(L_{B0})$ = Richardson number ที่อ้างอิงจากค่า L_{B0} (-)

ค่าของ R_w สามารถคำนวณได้จาก v_j และ U_w ตามสมการที่ 16

$$U_w \text{ ตามสมการที่ 16}$$

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_0}{\alpha_0} \quad (16)$$

ค่าของ $Ri(L_{B0})$ สามารถคำนวณได้จาก D_s , g , v_j และ L_{B0} ตามสมการที่ 17

$$\rho(\rho_{B0}) = \left(\frac{\rho}{\rho_{B0}^2 \times \rho_{B0}^2}\right)^{\frac{1}{3}} \times \rho_{B0} \quad (17)$$

ที่มา: TNO Yellow Book CPR 14E (2005)

TNO ได้เสนอวิธีการคำนวณค่า A แบบทรงกระบอก (Cylinder) ตามสมการที่ 18

$$\rho = \frac{\rho}{2} \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2}\right)^2 + \pi \times \rho_0 \times \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2}\right) \quad (18)$$

W_1 = ความกว้างของฐานเปลวเพลิง (m)

W_2 = ความกว้างของยอดเปลวเพลิง (m)

ที่มา: TNO Yellow Book CPR 14E (2005)

3.2. DNV และ TNO ได้ให้คำแนะนำถึงสมการที่ใช้ในการหาค่าของ W_1 และ W_2 ไว้ดังนี้

3.2.2.1 TNO ได้ให้คำแนะนำถึงการคำนวณค่าของ W_1 ไว้ตามสมการที่ 19

$$\rho_1 = [\rho_0 \times (13.5\rho_0^{(-6 \times \rho_0)} + 1.5)] \times \left[1 - \left(1 - \left(\frac{1}{15}\right) \sqrt{\frac{\rho_{000}}{\rho_0}}\right) \times \rho_0^{(-70 \times \rho_0(\rho_0) \times \rho_0 \times \rho_0)}\right] \quad (19)$$

D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของรูรั่ว (m)

ρ_{Air} = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ρ_j = ความหนาแน่นของแก๊ส Methane ที่ไหลผ่านรูรั่วแบบเจ็ท (kg/m^3)

$Ri(D_s)$ = Richardson number ที่อ้างอิงจากค่า D_s (-)

C = ค่า factor (-)

ค่าของ C สามารถคำนวณได้จาก R_w ตามสมการที่ 20

$$C = 1,000 \times \rho^{-100 \times \rho_0} + 0.8 \quad (20)$$

ที่มา: TNO Yellow Book CPR 14E (2005)

ค่าของ $Ri(D_s)$ สามารถคำนวณได้จาก D_s , v_j และ g ตามสมการที่ 21

$$\rho(\rho_0) = \left(\frac{\rho}{\rho_0^2 \times \rho_0^2}\right)^{\frac{1}{3}} \times \rho_0 \quad (21)$$

g = ค่าความเร่งของแรงโน้มถ่วง ($9.81 m/s^2$)

ค่าของ D_s สามารถคำนวณได้จาก ρ_{Air} , ρ_j และ r_j ตามสมการที่ 22

$$\rho_0 = 2\rho_0 \times \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_{000}}} \quad (22)$$

r_j = รัศมีการขยายตัวของแก๊ส Methane ที่ไหลผ่านรูรั่วแบบเจ็ท (m)

ค่าของ r_j สามารถคำนวณได้จาก ρ_j , Q_m และ v_j ตามสมการที่ 23

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho \times \rho_0 \times \rho_0}} \quad (23)$$

ที่มา: DNV Jet Fire Theory Document (2012)

3.2.2.2 TNO ได้ให้คำแนะนำถึงการคำนวณค่าของ W_2 ไว้ตามสมการที่ 24

$$\rho_2 = \rho_0 \times (0.18 \times \rho^{(-1.5 \times \rho_0)} + 0.31) \times (1 - 0.47 \times \rho^{(-25 \times \rho_0)}) \quad (24)$$

3.2.3 การกำหนดความเร็วลม
ความเร็วลมที่ใช้ในการวิจัยนี้แสดงไว้ใน

ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมที่ใช้ในงานวิจัย

ความเร็วลม	
m/s	km/hour
0.5	1.8
3	10.8
5	18.0
9	32.2
10	36.0
15	54.0
20	72.0
25	90.0

3.3 การหาปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยที่เหมาะสมสำหรับสถานะรับแรงดัน ในการป้องกันเพลิงไหม้แบบเจ็ท

จากคำแนะนำของ SHELL DEP 80.47.10.30 (2011) และ API RP 2030 (2014) การป้องกันเพลิงไหม้สำหรับสถานะรับแรงดัน จะเป็นการป้องกันแบบแยกออกสู่เพลิง ซึ่งจะเป็นการฉีดน้ำดับเพลิงให้เป็นฝอยปก

กลุ่มพื้นที่ผิวของภาชนะรับแรงดันเพื่อสร้างชั้นฟิล์มของน้ำดับเพลิงให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการป้องกันของภาชนะรับแรงดัน เพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของภาชนะรับแรงดันไม่เกิน 100 °C

จากทฤษฎีของ Thermodynamic (กัทรพรรณ ประสานสารกิจ, 2552) และวิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ประมุข ลิปิยมงคล, 2547) ปริมาณน้ำดับเพลิงฟอยที่น้อยที่สุดที่สามารถดูดซับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท (SEP) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 25

$$Q = \frac{Q_{\text{water}}}{Q_{\text{water}} \times [\Delta T_{\text{water}} + (Q_{\text{water}} \times (100 - Q_{\text{water}}))]} \times 60,000 \quad (25)$$

d = ปริมาณน้ำดับเพลิงฟอย Lpm/m²

W_{Surface} = พลังงานความร้อนจากพื้นผิวของเปลวเพลิง (SEP, kW/m²)

ρ_{water} = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C (958 kg/m³)

ΔH_{water} = ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C (2,257 kJ/kg)

C_{p,water} = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C (4.22 kJ/kg.°C)

T_{WATER} = อุณหภูมิของน้ำที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)

API RP 2030 (2014) ได้แบ่งปริมาณ น้ำดับเพลิงฟอยสำหรับการป้องกันแบบแยกออกสู่เพลิง ที่ใช้ในการป้องกันเพลิงไหม้แบบเจ็ท ไว้เป็น 2 ลักษณะ (1) เปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ทไม่สัมผัสกับภาชนะรับแรงดัน (2) เปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ทสัมผัสกับภาชนะรับแรงดันโดยตรง

API RP 2030 (2014) ได้กำหนดปริมาณ น้ำดับเพลิงฟอยลักษณะที่ (1) ไว้ที่ 10.2 Lpm/m² ซึ่งเป็นค่าเดียวกับ NFPA 15 (2012) ได้แนะนำไว้ ส่วนปริมาณน้ำ

ดับเพลิงฟอยลักษณะที่ (2) นั้น API RP 2030 (2014) ได้แนะนำไว้อย่างน้อยที่ 20.4 Lpm/m² ซึ่งเป็น 2 เท่าของปริมาณ น้ำดับเพลิงฟอยสำหรับลักษณะที่ (1) เพื่อชดเชยความเสี่ยงของน้ำดับเพลิงเนื่องจากเปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ทสัมผัสกับภาชนะรับแรงดัน

SHELL DEP 80.47.10.30 (2011) ได้ให้คำแนะนำถึงความเสี่ยงของน้ำดับเพลิงเนื่องจากความเร็วลมไว้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

(I) ความเร็วลมต่ำ (ไม่เกิน 10 m/s) ความเสี่ยงของน้ำดับเพลิงเนื่องจากกระแสลมเท่ากับ 25%

(II) ความเร็วลมสูง (ตั้งแต่ 10 m/s ขึ้นไป) ความเสี่ยงของน้ำดับเพลิงเนื่องจากกระแสลมเท่ากับ 50%

จากหัวข้อ 3.2.3 ความเสี่ยงเนื่องจากความเร็วลมจะถูกชดเชยเพิ่มเข้าไปจากค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 25 ตามคำแนะนำของ SHELL DEP 80.47.10.30 (2011) ที่ +50%

4. ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะการรั่วไหลของแก๊ส Methane

การรั่วไหลของแก๊ส Methane ผ่านรูรั่วของ Separator เป็นการไหลแบบ Choked ตั้งแต่ความดัน 5 barG ขึ้นไป ตามผลที่จากการวิจัยในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า P_{choked} ของ Separator เปรียบเทียบกับค่า P_{Air}

P ₀ ของ Separator (barG)	P (PaA)	P _{choked} (PaA)	P _{Air} (PaA)	P _{choked} > P _{Air} (%)
5	601325	326005	101325	222%
10	1101325	597074	101325	489%
20	2101325	1139213	101325	1024%
50	5101325	2765631	101325	2629%
100	10101325	5476327	101325	5305%
150	15101325	8187023	101325	7980%
200	20101325	10897719	101325	10655%

4.2 พลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิง

4.2.1 พลังงานความร้อน (SEP) ที่เกิดขึ้นที่ความเร็วลมเท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันของ Separator เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันที่ความดันเท่ากันค่า SEP เพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ 10 m/s และลดลงเมื่อความเร็วลมมากกว่า 10 m/s ตามผลที่จากการวิจัยในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า Surface Emissive Power (SEP) ที่คำนวณได้จากความเร็วลมและความดันของ Separator ที่ต่างกัน

ความเร็วลม (m/s)	ค่า Surface Emissive Power (kW/m ²) ต่อความดันของ Separator (barG)						
	5	10	20	50	100	150	200
0.5	99	108	118	132	145	152	158
3	172	189	207	233	255	268	278
5	211	232	255	288	315	332	344
9	233	258	285	323	354	373	387
10	233	258	285	323	355	374	388
15	221	246	272	310	341	360	374
20	207	231	257	294	323	342	355
25	197	220	245	280	308	326	339

4.2.2 ความยาวของเปลวเพลิง (L_B) ที่ความเร็วลมเท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันของ Separator เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันที่ความดันเท่ากันความยาวของเปลวเพลิง ลดลงเมื่อความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ที่ 15 m/s ตามผลที่จากการวิจัยในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าความยาวเปลวเพลิง ที่คำนวณได้จากความเร็วลมและความดันของ Separator ที่ต่างกัน

ความเร็วลม (m/s)	ความยาวเปลวเพลิง (m) ต่อความดันของ Separator (barG)						
	5	10	20	50	100	150	200
0.5	59	76	99	144	192	228	258
3	42	54	70	102	136	162	183
5	36	47	61	88	118	140	159
9	33	42	55	80	107	127	143
10	33	42	54	79	106	125	142
15	32	41	53	78	104	123	139

ความเร็วลม (m/s)	ความยาวเปลวเพลิง (m) ต่อความดันของ Separator (barG)						
	5	10	20	50	100	150	200
20	32	41	53	78	104	123	139
25	32	41	53	77	104	123	139

4.2.3 ความกว้างของฐานเปลวเพลิง (W_1) ที่ความเร็วลมเท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันของ Separator เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันที่ความดันเท่ากัน W_1 ลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ตามผลจากการวิจัยในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความกว้างของฐานเปลวเพลิง ที่คำนวณได้จากความเร็วลมและความดันของ Separator ที่ต่างกัน

ความเร็วลม (m/s)	ความกว้างของฐาน เปลวเพลิง (m) ต่อความดันของ Separator (barG)						
	5	10	20	50	100	150	200
0.5	2.5	3.3	4.3	6.5	8.9	10.7	12.3
3	2.5	3.2	4.2	6.4	8.8	10.6	12.1
5	2.5	3.2	4.2	6.3	8.7	10.5	12.0
9	2.4	3.1	4.1	6.1	8.5	10.2	11.7
10	2.4	3.0	4.1	6.1	8.4	10.2	11.7
15	2.3	2.9	3.9	5.9	8.2	9.9	11.4
20	2.2	2.8	3.8	5.7	7.9	9.6	11.0
25	2.1	2.7	3.7	5.6	7.7	9.4	10.7

4.2.4 ความกว้างของยอดเปลวเพลิง (W_2) ที่ความเร็วลมเท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความดันของ Separator เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันที่ความดันเท่ากัน W_2 ลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจนถึงค่าต่ำสุดที่ 9 m/s และเพิ่มเมื่อความเร็วลมมากกว่า 9 m/s ตามผลจากการวิจัยในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความกว้างของยอดเปลวเพลิง ที่คำนวณได้จากความเร็วลมและความดันของ Separator ที่ต่างกัน

ความเร็วลม (m/s)	ความกว้างของยอดเปลวเพลิง (m) ต่อความดันของ Separator (barG)						
	5	10	20	50	100	150	200
0.5	15.6	19.9	26.0	37.7	50.4	59.9	67.7
3	11.9	15.0	19.5	28.3	37.7	44.7	50.5

5	10.8	13.7	17.7	25.5	34.0	40.3	45.5
9	10.6	13.3	17.1	24.6	32.8	38.8	43.8
10	10.7	13.4	17.3	24.8	33.0	39.0	44.0
15	11.3	14.2	18.2	26.1	34.6	40.9	46.2
20	12.0	14.9	19.2	27.4	36.4	43.0	48.5
25	12.5	15.6	20.0	28.7	38.0	44.9	50.7

4.3 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย สำหรับการป้องกันแบบแยก
ออกสู่เพลิงที่ใช้ในการป้องกันเพลิงไหม้แบบเจ็ท

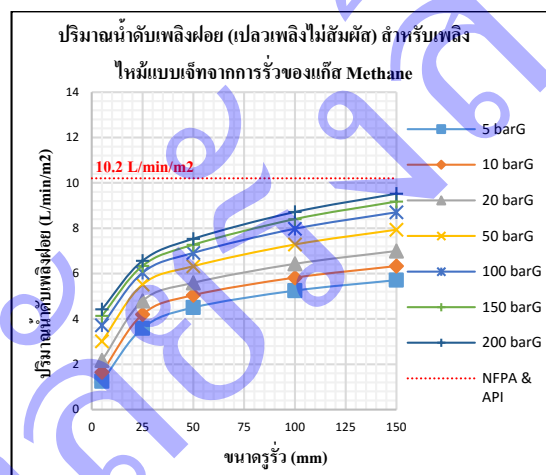
จากผลการวิจัยที่ได้ในหัวข้อ 4.2 ค่า SEP
สูงสุดอยู่ที่ 388 kW/m^2 ที่ความดันของ Separator
เท่ากับ 200 barG และความเร็วลม 10 m/s ซึ่งได้ถูก
นำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยโดยมี
ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.3.1 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยในลักษณะเปลวเพลิงไม่
สัมผัสภาชนะรับแรงดันจากการวิจัยพบว่าไม่น้อยกว่า
ค่าของ API RP 2030 และ NFPA 15 (10.2 Lpm/m^2) ใน
ทุกช่วงความดันของ Separator (ตั้งแต่ 5 จนถึง 200
barG) แต่เมื่อชดเชยความสูญเสียเนื่องลมตาม SHELL
DEP 80.47.10.30 (+50%) พบว่าที่ความดันของ
Separator ตั้งแต่ 20 จนถึง 200 barG ปริมาณ น้ำ
ดับเพลิงฝอยมีค่ามากกว่าค่าของ API RP 2030 และ
NFPA 15 (10.2 Lpm/m^2) โดยค่าสูงสุดที่ความดัน 200
barG จะมากกว่าค่าของ API RP 2030 และ NFPA 15
ประมาณ 40% ดังผลจากการวิจัยในตารางที่ 8 และรูปที่
4 และ 5

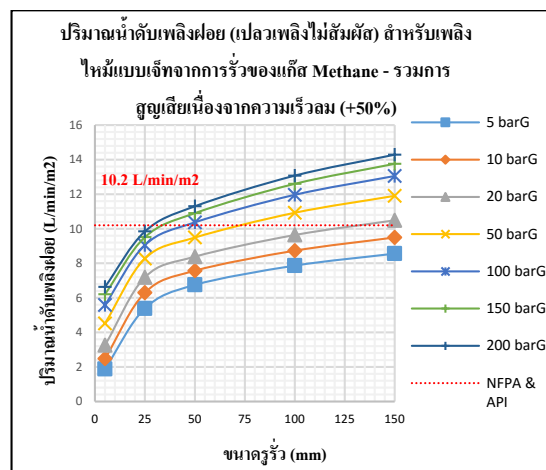
ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย – เปลวเพลิงไม่สัมผัสภาชนะ
รับแรงดัน

ความดัน ของ Separator (barG)	ปริมาณน้ำ ดับเพลิงฝอย – เปลวเพลิงไม่ สัมผัส (Lpm)/ m^2	ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย – เปลวเพลิงไม่สัมผัสและ ชดเชยความสูญเสีย เนื่องลม (+50%) (Lpm)/ m^2
5	5.71	8.56
10	6.33	9.49
20	6.99	10.49

50	7.94	11.91
100	8.70	13.05
150	9.18	13.76
200	9.80	14.28



รูปที่ 4 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย – เปลวเพลิงไม่สัมผัสภาชนะรับ
แรงดัน



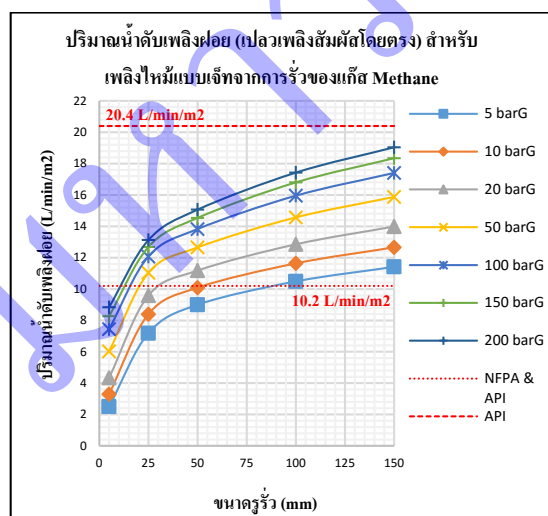
รูปที่ 5 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย – เปลวเพลิงไม่สัมผัสภาชนะรับ
แรงดัน (รวมการสูญเสียเนื่องจากความเร็วลม)

4.3.2 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยในลักษณะเปลว
เพลิงสัมผัสภาชนะรับแรงดัน จากการวิจัยพบว่ามีค่า
มากกว่า NFPA 15 (10.2 Lpm/m^2) แต่น้อยกว่าค่าของ

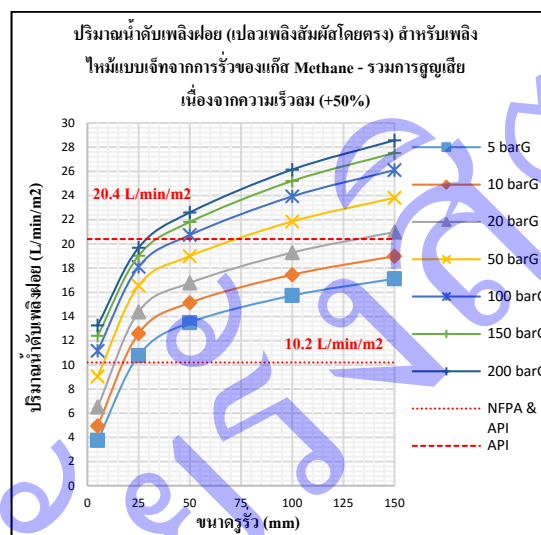
API RP 2030 (20.4 Lpm/m^2) ในทุกช่วงความดันของ Separator แต่เมื่อชดเชยความสูญเสียเนื่องมาจาก SHELL DEP 80.47.10.30 (+50%) พบว่าความดันของ Separator ตั้งแต่ 20 จนถึง 200 barG ปริมาณ น้ำ คัดเบิ้ลปล่อยมีค่ามากกว่าค่าของ NFPA 15 ประมาณ 280% และมากกว่าค่าของ API RP 2030 ประมาณ 140% ดังผลจากการวิจัยในตารางที่ 9 และรูปที่ 6 และ 7

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำดับเพลิงปล่อย – เปลวเพลิงสัมผัสสัมผัส ภาชนะรับแรงดัน

ความดัน ของ Separator	ปริมาณน้ำ ดับเพลิงปล่อย – เปลวเพลิงสัมผัส และ	ปริมาณน้ำดับเพลิงปล่อย – เปลวเพลิงสัมผัส และ ชดเชยความสูญเสีย เนื่องมาจาก (+50%)
(barG)	(Lpm)/m ²	(Lpm)/m ²
5	11.41	17.12
10	12.66	18.99
20	13.99	20.98
50	15.87	23.81
100	17.41	26.11
150	18.35	27.53
200	19.04	28.57



รูปที่ 6 ปริมาณน้ำดับเพลิงปล่อย – เปลวเพลิงสัมผัสสัมผัสภาชนะรับแรงดัน



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำดับเพลิงปล่อย – เปลวเพลิงสัมผัสสัมผัสภาชนะรับแรงดัน (รวมการสูญเสียเนื่องจากความเร็วลม)

5. การอภิปรายผล

5.1 พลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิง เนื่องจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท

5.1.1 ความดันของ Separator มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า SEP เมื่อพิจารณาจาก สมการที่ 2 พบว่าค่า Q_m แปรผันตรงกับความดันที่เพิ่มขึ้น และผลจากความสับสนขึ้นนี้ เมื่อวิเคราะห์ค่า SEP ในสมการที่ 3 พบว่าค่า Q_m แปรผันตรงกับค่า SEP เช่นกัน

5.1.2 ความดันของ Separator มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดของเปลวเพลิงทั้งในส่วนของคุณภาพ (L_B) ความกว้างของฐาน (W_1) และความกว้างของยอด (W_2) เปลวเพลิง เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 8, 19 และ 24 พบว่าขนาดของเปลวเพลิงทั้ง 3 ส่วนแปรผันตรงกับความเร็วของแก๊ส Methane ที่รั่วไหล (v_j) ซึ่งจากสมการที่ 5 และ 6 พบว่าค่า v_j แปรผันตรงกับความดันของ Separator เช่นกัน

5.1.3 ความเร็วลมมีผลอย่างมีนัยสำคัญขนาดของเปลวเพลิงทั้ง 3 ส่วนของ (L_B , W_1 และ W_2) ดังนี้

5.1.3.1 จากผลการวิจัยข้อ 4.2.1 ค่า L_B ถูกครอบงำด้วยความเร็วลมทำให้ค่า L_B ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นแต่เมื่อถึงความเร็วค่าหนึ่ง (ในงานวิจัยนี้ที่ 15 m/s) ค่า L_B มีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นจุดที่ความดัน มีค่าที่เพียงพอในการเอาชนะการครอบงำของความเร็วลมได้

5.1.3.2 จากผลการวิจัยข้อ 4.2.2 เนื่องจากค่า W_1 ถูกครอบงำด้วยความเร็วลมทำให้ค่า W_1 ลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ซึ่งสันนิษฐานว่าความดัน ไม่สามารถเอาชนะการครอบงำของความเร็วลมได้แต่สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นกับ W_1 ได้

5.1.3.2 จากผลการวิจัยข้อ 4.2.3 เนื่องจากค่า W_2 ถูกครอบงำด้วยความเร็วลมทำให้ค่า W_2 ลดลงเช่นเดียวกับ W_1 แต่เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น (ในงานวิจัยนี้ที่ 9 m/s) ค่า W_2 กลับเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ซึ่งสันนิษฐานว่าในช่วงที่ความเร็วลมน้อยกว่า 9 m/s ค่า W_2 มีลักษณะเดียวกับ ค่า W_1 แต่เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น จากการที่ตำแหน่ง W_2 อยู่ห่างจากรูรั่วมากที่สุด ซึ่งทำให้ความเร็วลมมีผลต่อขนาดของเปลวเพลิงมากกว่าความดัน ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้พบว่าค่า W_2 จะถูกครอบงำให้เล็กลงเมื่อ ความเร็วลมน้อยกว่า 9 m/s และความเร็วลมจะทำให้ W_2 ทำให้ใหญ่เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น

5.1.4 เมื่อพิจารณาจาก สมการที่ 19 พบว่าพื้นที่ผิวของเปลวเพลิง (A) จะวิเคราะห์ได้จากขนาดของเปลวเพลิงทั้ง 3 ส่วน และค่า SEP ในสมการที่ 2 จะแปรผกผันตามค่า A ซึ่งถ้าหากค่าตัวแปรใดของค่า A มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า SEP แล้วค่าของ SEP จะมีความเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกับตัวแปรนั้น ซึ่งจากการวิจัยในหัวข้อ 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 และ 4.2.4 พบว่าค่าของ SEP มีความเปลี่ยนแปลงไปลักษณะเดียวกับ W_2 โดยที่เพิ่มขึ้นไปยังค่าสูงสุด (SEP) และลดลงไปยังค่าต่ำสุด (W_2) ที่ความเร็วลม 10 m/s และเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้ามเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น

5.2 ปริมาณน้ำดับเพลิงสำหรับการป้องกันแบบแยกออกสู่เพลิง ที่ใช้ในการป้องกันเพลิงไหม้แบบเจ็ท

5.2.1 เมื่อวิเคราะห์จากพลังงานความร้อน (SEP) ที่ได้จากการวิเคราะห์เพลิงไหม้แบบเจ็ท ในลักษณะที่ไม่คำนึงถึงความสูญเสียระดับเพลิงฝอยจากลมและฟิล์มของน้ำมันภาชนะรับแรงดันจากเปลวเพลิง ค่าที่ได้จากการวิจัยจะน้อยกว่าค่าของ API RP 2030 และ NFPA 15 แต่เมื่อชดเชยความสูญเสียระดับเพลิงฝอยจากความเร็วลมพบว่า ค่าที่ได้จากการวิจัยจะมากกว่าค่าของ API RP 2030 และ NFPA 15 ซึ่งในข้อเท็จจริงแล้วระดับเพลิงฝอยที่มีหยดน้ำขนาดเล็กสามารถถูกพัดพาด้วยความเร็วลมได้ (API RP 2030, 2014) ดังนั้นในการกำหนดค่าของปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยที่เหมาะสมจึงควรที่จะต้องชดเชยความสูญเสียระดับเพลิงฝอยจากความเร็วลม ซึ่งค่าที่ได้จากการวิจัยนี้อยู่ที่ 1.5 เท่าของค่าจาก API RP 2030 และ NFPA 15 (ประมาณ 15.3 Lpm/m²)

5.2.2 ในกรณีที่ภาชนะรับแรงดันสัมผัสเปลวเพลิงทำให้ชั้นฟิล์มของน้ำเกิดความสูญเสียโดยเปลวเพลิง การกำหนดค่าปริมาณน้ำดับเพลิงฝอยที่เหมาะสมจึงควรที่จะต้องชดเชยทั้งความสูญเสียระดับเพลิงฝอยจากความเร็วลมและเปลวเพลิง ซึ่งค่าที่ได้จากการวิจัยนี้อยู่ที่ 3 เท่าของ NFPA 15 หรือ 1.5 เท่าของ API RP 2030 ที่ประมาณ 30.6 Lpm/m²

6. บทสรุป

6.1 พลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิง

6.1.1 ความดันของ Separator เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อพลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิงของเพลิงไหม้แบบเจ็ท โดยที่ความดันแปรผันตรงกับพลังงานความร้อนและขนาดของเปลวเพลิง

6.1.2 ความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดของเปลวเพลิง เช่นเดียวความดัน

ของ Separator แต่ความเร็วลมจะมีผลโดยทางอ้อมต่อพลังงานความร้อนผ่านทางขนาดของเปลวเพลิง

6.1.3 ขนาดของเปลวเพลิงจะเป็นผลสุทธจากการหักล้างระหว่างผลจากความดันของ Separator และผลจากความเร็วลมซึ่งความเร็วลมมีผลกระทบต่อขนาดของเปลวเพลิงมากกว่าความดันของ Separator

6.1.4 ความเร็วลมที่เป็นจุดวิกฤติของพลังงานความร้อนอยู่ที่ 10 m/s ซึ่งในการวิเคราะห์ผลกระทบจากเพลิงไหม้แบบเจ็ทจำเป็นต้องพิจารณาที่ความเร็วลมดังกล่าวนี้

6.2 ปริมาณน้ำดับเพลิงฝอย สำหรับการป้องกันแบบแยกออกสู่เพลิงที่ใช้ในการเพลิงไหม้แบบเจ็ท

6.2.1 ค่าของ NFPA 15 ไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการป้องกันเพลิงไหม้แบบเจ็ท ดังนั้นเมื่อทำการประเมินความเสี่ยงของเพลิงไหม้แล้วพบว่า มีโอกาสเกิดเพลิงไหม้แบบเจ็ท จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้ค่าจาก NFPA 15

6.2.2 ค่าของ API RP 2030 สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการป้องกันเพลิงไหม้แบบเจ็ทในเฉพาะกรณีที่ เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงของเพลิงไหม้แล้วพบว่า เปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท ไม่สามารถสัมผัสกับภาชนะรับแรงดันได้เท่านั้น

6.2.3 ในกรณีที่ภาชนะรับแรงดันที่เป็นอุปกรณ์ที่มีอันตรายสูงมาก เช่น บรรจุน้ำมันไวไฟภายใต้แรงดันสูงเป็นปริมาณมาก หรือ บรรจุน้ำมันที่เป็นพิษภายใต้แรงดันสูงเป็นปริมาณมากเช่นกัน การติดตั้งระบบน้ำดับเพลิงฝอย อาจไม่เพียงพอต่อการป้องกันอันตรายจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท ดังนั้นการติดตั้งระบบป้องกันเพลิงไหม้เชิงรับ (Passive Fire Protection) เช่น การหุ้มภาชนะรับแรงดันด้วยวัสดุทนไฟ (Fireproofing) หรือ การสร้างกำแพงกันไฟ (Firewall) หรือการกลบฝังภาชนะรับแรงดัน (Buried Vessel) ด้วยดิน หรือ

คอนกรีต ควรได้รับการพิจารณาแทนการติดตั้งเพื่อสนับสนุนหรือทดแทนระบบน้ำดับเพลิงฝอย

6.2.4 ในกรณีที่เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงของเพลิงไหม้แล้วพบว่า เปลวเพลิงจากเพลิงไหม้แบบเจ็ท มีโอกาสสัมผัสกับภาชนะรับแรงดันได้ และไม่สามารถใช้ทางเลือกในการติดตั้งระบบป้องกันเพลิงไหม้เชิงรับได้ ค่าที่ได้จากการวิจัยนี้ที่ 1.5 เท่าของ API RP 2030 ที่ประมาณ 30.6 Lpm/m² สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ แต่ผู้วิจัยแนะนำให้ประยุกต์ใช้เฉพาะกรณีที่ความดันของต้นกำเนิดเพลิงไหม้แบบเจ็ท เช่น Separator มีความดันน้อยกว่า 100 barG เพื่อเป็นค่าความปลอดภัย (Safety Factor) สำหรับการใช้งาน

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการปริญญาโทสาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่มอบทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้เป็นจำนวน 10,000 บาท ประจำปีงบประมาณ 2555 และขอขอบคุณ บ.เทคนิค เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเอกสารและคำปรึกษาและมาตรฐานสากล

8. เอกสารอ้างอิง

- ประมุข ลิปิยมงคล. (2547). *การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสม ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ในบริเวณที่ตั้งถังเชื้อเพลิง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ. (2552). *เทอร์โมไดนามิกส์วิศวกรรมเคมี*. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

- American Institute of Petroleum. (2014) . *API Recommendation Practice 2030 Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries*. 4th Edition. API Publishing Service. Washington DC, USA
- Daniel A. Crowl, Joseph F. Louvar. (2011). *Chemical Process Safety Fundamentals with Applications*. 3rd Edition. Pearson Education, Inc. New Jersey, USA
- Det Norske Veritas. (2012). *JFSH (Jet Fire Theory) Document*. 4th Revision. DNV Software. London, UK
- National Fire Protection Association. (2012). *NFPA 15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection*. 2012 Edition. Massachusetts, USA
- SHELL Design and Engineering Practice. (2011) . *DEP 80. 47. 10. 30-Assessment of the Fire Safety of Onshore Installation*. 2011 Edition. The Hague, Netherland
- The Netherlands Organization for Applied Scientific Research. (2005) . *Yellow Book CPR 14E Methods for the Calculation of Physical Effects – due to release of Hazardous Material (Liquid and Gases) .* TNO, 3rd Edition. The Hague, Netherland