คู่มือออกแบบ
ระบบดับเพลิงก๊าซไนโตรเจน N_2
สำหรับวิศวกร
Design Manual for N_2 Fire Suppression System for Engineers

• ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์

ความนำ

สารประกอบฮาลอนเป็นสารประกอบซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุจากอนุกรมฮาลอน (Halogen Series) ตั้งแต่หนึ่งอะตอมขึ้นไป ธาตุเหล่านี้ได้แก่ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน และไอโอดีน คำว่าฮาลอนนี้เป็นคำย่อมาจาก Haloginated hydrocarbon สารประกอบที่เคยนำมาใช้เป็นสารดับเพลิงกันมากในอดีตมีอยู่ 5 ชนิด คือ

Halon 1011 (Bromochloromethane CH_2BrCl)
Halon 1211 (Bromochlorodifluoromethane $CBrClF_2$)
Halon 1202 (Dibromodifluoromethane CBr_2F_2)
Halon 1301 (Bromotrifluoromethane $CBrF_3$)
Halon 2402 (Dibromotetrafluoroethane $CBrF_2CBrF_2$)

สารประกอบฮาลอนจัดเป็นก๊าซดับเพลิงที่ "สะอาด" โดยปรกติจะเก็บไว้ในถังอัดความดันซึ่งจะทำให้อยู่ในสภาวะของเหลว เมื่อฉีดเข้าไปในห้องก็จะแปรสภาพไปเป็นก๊าซ หลังจากไฟดับแล้วจะไม่ทิ้งร่องรอยใดๆ หรือทำความเสียหายให้กับบริเวณนั้นดังเช่นการใช้น้ำหรือโฟมเป็นสารดับเพลิง ในอดีตก๊าซฮาลอน 1301 ถูกนำมาใช้เป็นสารดับเพลิงสะอาดกันมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเป็นก๊าซที่มีอันตรายต่อมนุษย์น้อยมาก แต่เนื่องจากฮาลอน 1301 เป็นสารเคมีอยู่ในกลุ่มประเภท CFC (Chlorofluorocarbon) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่สูงมาก ศักยภาพในการทำลายโอโซนของฮาลอน 1301 มีค่าเท่ากับ 10 (เปรียบเทียบกับสารทำความเย็น R-12 มีศักยภาพในการทำลายโอโซนเท่ากับ 1) อันจะมีผลให้พื้นผิวโลกได้รับรังสีอุลตราไวโอเล็ตบีจากแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมมากได้ การประชุมนานาชาติซึ่งจัดขึ้นโดยองค์การสหประชาชาติได้มีการพิจารณาถึงพิษภัยของสารประเภท CFC และได้มีการเซ็นสนธิสัญญาเพื่อค่อยๆ ลดการใช้สารประเภท CFC ต่างๆ ลง จนกระทั่งเลิกใช้ในที่สุด สำหรับก๊าซฮาลอน 1301 นั้นได้มีการตกลงที่จะลดเลิกการใช้งานตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2537 เป็นต้นไป สำหรับสารดับเพลิงสะอาดซึ่งใช้ทดแทนได้ชนิดอื่นๆ สามารถดูได้จากรายการของ NFPA 2001

ชนิดของไฟซึ่งเกิดจากเชื้อเพลิงที่สารสะอาดเหล่านี้ดับได้ สามารถแบ่งออกตาม NFPA ได้มีอยู่ 3 Class คือ

- เพลิง Class A: เกิดจากการเผาไหม้บริเวณผิวของสารที่มีคาร์บอนทั่วไป เช่น ไม้ กระดาษ ผ้า
- เพลิง Class B: เกิดจากการเผาไหม้ของของเหลวที่ติดไฟได้ เช่น น้ำมัน ทินเนอร์ ก๊าซไวไฟ
- เพลิง Class C: เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ไฟลัดวงจร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของศูนย์โทรคมนาคม ห้องคอมพิวเตอร์ และใช้สารดับเพลิงที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า

ในคู่มือนี้กล่าวถึงสารดับเพลิงสะอาด N_2 ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนสารฮาลอน 1301 ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ตลอดจนบรรยายถึงวิธีการคำนวณออกแบบระบบดับเพลิง N_2

เหตุผลในการเลือกใช้ระบบดับเพลิงก๊าซ N_2

1. ระบบดับเพลิง N2 ใช้ก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศโลก แทนสารสังเคราะห์ Halon 1301

2. N_2 เป็นก๊าซที่มีประสิทธิภาพสูงในการดับเพลิง นอกจากนี้ยังไม่มีผลกระทบทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming) และไม่ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศของโลก จึงช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของโลกด้วย

3. ระบบดับเพลิง N_2 นี้เป็นระบบที่ได้รับการยอมรับในการประเมินของศูนย์ความปลอดภัยของอุปกรณ์ดับเพลิงญี่ปุ่น

4. ก๊าซ N_2 ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดสารประกอบที่ดูดความร้อน มีความปลอดภัยสูงต่อร่ายกายมนุษย์ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารในระบบดับเพลิงซึ่งใช้พ่นทั่วบริเวณปิด

5. ก๊าซ N_2 เป็นก๊าซเฉื่อยที่มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงสูงสุดในประเภทก๊าซเฉื่อยด้วยกัน นั่นคือ ใช้ความเข้มข้นต่ำสุดในการดับเพลิง

6. ก๊าซ N_2 ไม่ทำให้โลหะผุกร่อน

7. ไม่ทำให้เกิดหมอกในขณะฉีดพ่นก๊าซ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยขณะขยายตัว

8. ต้นทุนต่ำและจัดหาได้ง่าย

9. สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ของระบบดับเพลิงก๊าซ CO_2 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาจนมีความน่าเชื่อถือสูงแล้ว

10. ง่ายต่อการบำรุงรักษา สามารถตรวจสอบปริมาณก๊าซที่บรรจุโดยใช้อุปกรณ์วัดความดัน

11. สามารถเพิ่มความดันได้ถึง 23.5 MPa (240 kgf/cm^2) ทำให้ลดจำนวนถังที่ใช้บรรจุลงได้

12. ถ้าใช้ความเข้มข้น N_2 ไม่เกิน 43% (คล้องจองกับความเข้มข้นของ O_2 ในอากาศเท่ากับ 12%) แล้ว คนสามารถอยู่ในห้องได้นาน 5 นาที ความเข้มข้น N_2 ที่ออกแบบทั่วไปเท่ากับ 40.3% เมื่อเผื่อค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.2 แล้ว

13. ถ้าใช้ความเข้มข้นของ N_2 ระหว่าง 43% ถึง 52% (คล้องจองกับความเข้มข้นของ O_2 ในอากาศจาก 12% ถึง 10%) แล้ว คนจะสามารถอยู่ในห้องได้นาน 3 นาที

ระบบดับเพลิงก๊าซ N2 สามารถใช้งานดับเพลิง Class A B C ได้อย่างกว้างขวางดังตัวอย่างรายการในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 *ตัวอย่างสถานที่สำหรับการใช้ระบบดับเพลิงสารสะอาด N_2*

บริเวณที่ติดตั้ง	ตัวอย่างของบริเวณที่ติดตั้ง
ห้องติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารและโทรคมนาคม	ห้องปฏิบัติการเครื่องสื่อสารดาวเทียม ห้องเครื่องสื่อสารไร้สาย ห้องชุมสายโทรศัพท์ ห้องดิสแม่เหล็ก ห้องคอมพิวเตอร์ ห้องเทเล็ก (telex)
ห้องควบคุมต่างๆ	ห้องควบคุมกำลังไฟ ห้องควบคุมการผลิตไฟฟ้า ห้องควบคุมส่วนกลาง
ห้องไฟฟ้าต่างๆ	ห้องเครื่องแปลงไฟ ห้องแผงจ่ายไฟ ห้อง UPS ห้องแบตเตอรี่
ห้องกำเนิดไฟต่างๆ	ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ห้องสายไฟต่างๆ	EPS ห้อง MDF
ห้องเก็บฟิล์ม	ห้องเก็บฟิล์ม ห้อง VTR ห้องเก็บเทป ห้องล้างฟิล์ม ห้อง MT
ลาดจอดรถต่างๆ	ลานจอดรถใต้ดิน บริเวณซ่อมรถแบบปิด
ห้องเครื่องต่างๆ	ห้องเครื่องจักรกล ห้องเครื่องของบันไดเลื่อน ห้องเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ ห้องเครื่องสูบน้ำ ห้องหม้อผลิตไอน้ำ
ห้องเก็บหนังสือต่างๆ	ห้องหนังสือ ห้องเอกสาร ห้องสมุด ห้องเก็บแฟ้มประวัติคนไข้
ห้องศิลปกรรมต่างๆ	ห้องเก็บสมบัติทางวัฒนธรรมที่สำคัญ พิพิธภัณฑ์ หอแสดงงานศิลปกรรม
ห้องปิดมิดชิดอื่นๆ	Cleanroom ห้องสตูดิโอ ห้องแช่แข็ง ห้องเก็บของมีค่า

คุณสมบัติของก๊าซ N_2

ในอากาศประกอบด้วยก๊าซต่างๆ ตามสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับก๊าซ N_2 ซึ่งใช้เป็นสารดับเพลิงสะอาดมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 *ส่วนประกอบของอากาศ (%)*

ส่วนประกอบ		%
ไนโตรเจน	N_2	78.030
ออกซิเจน	O_2	20.990
อาร์กอน	Ar	0.933
คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	0.030
อื่นๆ		0.017

ตารางที่ 3 *คุณสมบัติของก๊าซ N_2*

สารดับเพลิง	ก๊าซไนโตรเจน
สัญลักษณ์ตาม NFPA 2001	IG-100
สูตรโมเลกุล	N_2
น้ำหนักโมเลกุล	28
ความหนาแน่นในสภาวะปกติ kg/m^3	1.2507
จุดเดือด °C	-195.82
Critical Temperature °C	-147.2
ค่า ODP (ค่าสัมประสิทธิ์การทำลายโอโซน)	0
ค่า GWP (ค่าสัมประสิทธิ์การทำให้โลกร้อนขึ้น)	0
สภาพการเก็บบรรจุ	ก๊าซความดันสูง
NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)	43%
LOAEL (Lowest Observable Adverse Effect Level)	52%
หลักการในการดับไฟ	ทำให้ก๊าซ O_2 มีความเข้มข้นลดลง
สภาพการมองเห็นในขณะที่ฉีดพ่น	ดี
ความปลอดภัยต่อชีวิต	ความปลอดภัยสูง

ความเข้มข้นของ N_2 ในการดับเพลิง

จากการทดสอบดับเพลิงกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ด้วยก๊าซ N_2 ในอุปกรณ์ Cup Burner ตามวิธีการของ NFPA 2001 ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 *ความเข้มข้นของ N_2 ที่ใช้ในการดับเพลิงสารต่างๆ*

เชื้อเพลิง	ความเข้มข้น (% โดยปริมาตร)
Benzene	30.9
Toluene	25.7
n-Heptane	**33.6**
แอลกอฮอล์ Ethanol	36.8
แอลกอฮอล์ Methanol	43.5

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นในการดับเพลิงของของเหลวไวไฟ n-Heptane เป็นเกณฑ์ การออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซ N_2 ในห้องปิดจะต้องใช้ค่าความเข้มข้นของ N_2 ที่ 33.6% โดยปริมาตร ถ้าให้เผื่อความเข้มข้นของ N_2 อีก 20.% (Safety Factor เท่ากับ 1.2) จะทำให้ค่าความเข้มข้นในการออกแบบของ ก๊าซ N_2 เท่ากับ 40.3%

รายการต่อไปนี้แสดงถึงตัวอย่างของวัสดุติดไฟที่ได้ผ่านการตรวจสอบความสามารถในการดับเพลิงด้วยก๊าซ N_2 ความเข้มข้น 40.3% อย่างได้ผลดีมาแล้ว คือ

วัสดุที่เป็นของเหลวติดไฟ : น้ำมันเตา น้ำมันเบา น้ำมันหนักเกรด A น้ำมันหล่อลื่น ชิคุโระเฮกเซน เมทิลเอทิลเคตอน สารละลายถ่านลิทเทียม

วัสดุที่เป็นของแข็ง : ไม้ เคเบิล สายไฟ กระดาษ เอกสาร นิตยสาร เสื้อผ้าเก่า เทปแม่เหล็ก ตัวดูดคลื่นไฟฟ้า

เปรียบเทียบระบบดับเพลิงประเภทก๊าซเฉื่อยด้วยกัน

มาตรฐาน NFPA 2001 ได้แบ่งประเภทของก๊าซเฉื่อยที่ยอมรับให้ใช้ในการดับเพลิงได้ 4 ประเภทดังแสดงอยู่ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 *ก๊าซเฉื่อย 4 ประเภทตาม NFPA 2001*

ประเภทก๊าซเฉื่อย	ส่วนประกอบ		ชื่อทางการค้า	
IG-100	Nitrogen 100%	N_2	NITTAN	ผ่านการประเมินของศูนย์ความปลอดภัยอุปกรณ์ดับเพลิงประเทศญี่ปุ่น
IG-541	Nitrogen 52% Argon 40% CO_2 8%		INERGEN	
IG-55	Nitrogen 50% Argon 50%		Argonite ใช้ในแถบประเทศยุโรปและอเมริกา	
IG-01	Argon 100%	Ar	Argon ใช้ในแถบประเทศยุโรปและอเมริกา	

ผลการตรวจวัดเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซเฉื่อยประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการดับเพลิงอันเกิดจากของเหลวไวไฟ n-Heptane ด้วยเครื่องมือ Glass Cup Burner ของศูนย์วิจัยการดับเพลิง ประเทศญี่ปุ่นได้ผลดังตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นว่าก๊าซ N_2 มีประสิทธิภาพสูงสุดเพราะใช้ค่าความเข้มข้นในการดับเพลิงอันเกิดจาก n-Heptane ต่ำสุด และยังคงสัดส่วน ของ O_2 ภายในห้องได้สูงสุด

ตารางที่ 6 *เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารดับเพลิงประเภทก๊าซเฉื่อย*

สารดับเพลิง		ความเข้มข้นในการดับ n-Heptane (%)	ความเข้มข้นของออกซิเจน (%) ภายในห้อง
สัญลักษณ์	ส่วนผสม		
IG-100	**N_2**	**33.6**	**13.9**
IG-541	N_2+Ar+CO_2	35.6	13.5
IG-55	N_2+Ar	37.8	13.1
IG-01	Ar	43.3	11.9

เปรียบเทียบระบบดับเพลิง N_2 กับระบบดับเพลิงประเภทก๊าซอื่นๆ

ตารางที่ 7 *เปรียบเทียบกับระบบดับเพลิงประเภทก๊าซอื่นๆ*

ชนิดสารดับเพลิง	ไนโตรเจน	IG-541	HFC-23	HFC-227ea	FC-3-1-10	Halon 1301	CO_2
ชื่อผลิตภัณฑ์	IG-100	INERGEN	FE-13	FM-200	CEA-410	FE-13B1	
บริษัท	ANSUL	DUPONT	GLCC	3M	DUPONT		
สูตรเคมี	N_2	N_2+Ar+CO_2 52%+40%+8%	CHF_3 .CF_3	CF_3.CHF	C_4F_{10}	CF_3Br	CO_2
น้ำหนักโมเลกุล	28	34	70.01	170.03	238.03	148.93	44.01
จุดเดือด °C	-195.8		-82.0	-16.3	-2.0	-57.8	-78.5
Critical temp °C	-147.1		25.9	101.7	113.2	67.0	31.1
ความร้อนแฝงในการระเหย kJ/kg			239.4	132.7	96.3	118.9	573.6
ความเข้มข้นในการดับเพลิง	33.6%	35.5%	12.4%	6.4%	5.2%	3.5%	20.0%
ความเข้มข้นที่ออกแบบ	40.3%	37.5%	14.9%	7.7%	6.8%	5.0%	34.0%
ปริมาณสารเคมี (kg/m^3)	0.52 m^3/m^3	0.47 m^3/m^3	(0.52)	(0.59)	(0.69)	(0.32)	(0.75)
ความเข้มข้นสูงสุดที่ออกแบบได้	52.0%	43.0%	23.8%	10.5%	23.8%	10.0%	
ความเข้มข้นของ O_2*	10.0%	12.0%	16.0%	18.8%	16.0%	18.9%	
ค่า ODP	0	0	0	0	0	10.0	0
NOAEL**	43	43	50	9	40	5	
LOAEL***	52	52	>50	>10.5	>40	7.5	
LC50			>65%	>80%	>80%	>80%	
ความดันสูงสุดขณะใช้งาน ณ 40 °C	10.8 MPa	16.7 MPa	10.2 MPa	4.8 MPa	5.1 MPa	5.2 MPa	10.8 MPa
(Kgf/cm^2)	(110)	(170)	(104)	49 +N_2	52 +N_2	53 +N_2	(110)
เวลาในการฉีดพ่น (วินาที)	60	60	10	10	10	10-30	60
อัตราส่วนในการบรรจุ****	23.5 MPa (240 kgf/cm^2)	16.7 MPa (170 kgf/cm^2)	1.2 ~ 1.5	0.9 ~ 1.6	0.8 ~ 1.5	0.9 ~ 1.6	1.5 ~ 1.9
เปรียบเทียบจำนวนถังบรรจุ [ถังขนาดความจุ 68 ลิตร]	4.9	5.6	1.6	1.7	2.0	1.0	2.6
ความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์	ความปลอดภัยสูง	ความปลอดภัยสูง	ความปลอดภัยสูง	ความปลอดภัยสูง	ความปลอดภัยสูง	ความปลอดภัยสูง	อันตราย

หมายเหตุ

* ความเข้มข้นของ O_2 : ค่าความเข้มข้นของ O_2 ในกรณีที่ใช้ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารดับเพลิงในการออกแบบ

- ข้อกำหนดในการใช้ EPA SNAP LIST
  - (1) ในสถานที่ที่ไม่สามารถหลบออกจากสถานที่ได้ภายใน 1 นาที จะไม่ใช้ค่าความเข้มข้นเกิน NOAEL
  - (2) ในกรณีที่สามารถหลบหนีออกจากสถานที่นั้นได้ในเวลา 30 วินาที ถึง 1 นาที ก็ไม่ให้ใช้ค่าความเข้มข้นเกินค่า LOAEL
  - (3) ค่าที่สูงกว่า ค่า LOAEL ให้ใช้กับสถานที่ไม่มีคนหรือสามารถหลบหนีได้ภายใน 30 วินาที
  - (4) กรณีของก๊าซ HFC ให้ออกแบบค่าความเข้มข้นของ O_2 ไม่ต่ำกว่า 16% ในกรณีของ N_2 ค่าความเข้มข้นของ O_2 ไม่ต่ำกว่า 10% และในกรณีของ IG-541 ค่าความเข้มข้นของ O_2 ไม่ต่ำกว่า 12%

**NOAEL : ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยังไม่สังเกตเห็นผลร้ายทางด้านกายภาพหรือความเป็นพิษได้

**LOAEL : ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สังเกตเห็นผลร้ายทางด้านกายภาพหรือความเป็นพิษได้

**** ในกรณีของ N_2 และ INERGEN อัตราส่วนในการบรรจุในตารางแสดงถึงค่าความดันที่ใช้ในการบรรจุก๊าซ

ในตาราง ความดันสูงสุดขณะใช้งาน [+N_2] หมายถึง การใช้ N_2 ช่วยเพิ่มความดัน (Superpressurization)

แล้วระบบดับเพลิงก๊าซ CO_2 จะไปใช้ที่ไหน

อุบัติเหตุต่อร่างกายมนุษย์ของก๊าซ CO_2 ไม่ได้มีสาเหตุมาจากการที่มีความเข้มข้นของ O_2 ต่ำภายในห้องเป็นหลัก แต่ก๊าซ CO_2 ในปริมาณสูงเป็นก๊าซมีพิษ ซึ่งได้มีการทดสอบความเป็นพิษของ ก๊าซ CO_2 แล้วได้ผลดังนี้

ความเข้มข้นที่ทนได้ในระยะสั้น: ที่ 3% 15 นาที
ความเข้มข้นที่สามารถหลบหนีได้: ที่ 4% 30 นาที
ความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เสียชีวิต: ที่ 9% 10 นาที
ที่ 10% 1 นาที

จากอันตรายที่อาจเกิดแก่มนุษย์ตามผลการทดลองที่กล่าวมานี้ ฉะนั้นการใช้ระบบดับเพลิงก๊าซ CO_2 จึงควรจำกัดการใช้กับสถานที่ที่ไม่มีคนอยู่ หรือที่ซึ่งสามารถหลบหนีออกมาได้ภายใน 30 วินาที

ผลกระทบต่อมนุษย์ของก๊าซ N_2

ก๊าซ N_2 เป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์เมื่อใช้ในปริมาณที่ไม่สูงเกินไป และได้รับการรับรองจากสมาคมตรวจสอบผลิตภัณฑ์เคมีของประเทศญี่ปุ่นว่ามีปลอดภัยในการใช้งานที่มีความเข้มข้นสูง โดยได้มีการทดลองฉีดพ่นก๊าซในขณะหลบหนี พบว่าไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ นอกจากนี้จากข้อมูลของ EPA (องค์กรปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา) ได้กำหนดระดับความเข้มข้นต่ำสุดของก๊าซออกซิเจนที่ปลอดภัยต่อมนุษย์ไว้ที่ 10 % หลังจากมีการพ่นสารดับเพลิงแล้ว ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 7 ซึ่งมาตรฐานการออกแบบระดับเพลิง N_2 นี้ยังคงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในห้องไว้สูงถึง 12.5 % หลังจากการฉีดพ่น N_2 ด้วยความเข้มข้น 40.3 % แล้ว ดังนั้น การใช้ก๊าซ N_2 ในการฉีดพ่นดับเพลิงทั่วบริเวณห้องปิดจึงไม่มีอันตรายต่อมนุษย์

มาตรฐานการออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซ N_2

ข้อมูลการออกแบบเบื้องต้นแสดงอยู่ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 *ข้อมูลการออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซ N_2 เบื้องต้น*

รายการ	ระบบดับเพลิง N_2	หมายเหตุ
ปริมาณ N_2 ในการออกแบบ (Flooding Quantity) (ความเข้มข้นออกแบบ)	0.52 (m^3/m^3) (40.3%)	ใช้ความเข้มข้น 1.2x33.6=40.3% (ค่าความปลอดภัย 1.2) และค่าความเข้มข้นของ O_2 หลังการฉีดพ่นเท่ากับ 12.5%
ความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาต ปริมาณ N_2	52% 0.73 (m^3/m^3)	ทำให้ออกซิเจนหลังการฉีดพ่นมีความเข้มข้นเท่ากับ 10%
ปริมาณจุของหัวฉีด (Nozzle)	3.5 (m^3/m^2ของรูหัวฉีด)	ควรตรวจสอบความสามารถในการฉีดพ่นจากคู่มือของผู้ผลิตต่างๆ
ความดันในการบรรจุก๊าซในถัง	23.5 MPa (240 kgf/cm^2)	
เวลาในการฉีดพ่น	60 วินาที	ใน 60 วินาทีต้องสามารถฉีดพ่นได้มากกว่า 90% ของปริมาณที่ต้องการ
ท่อส่ง	ท่อเหล็กอาบสังกะสี Sch 80	ใช้ท่อที่ใช้ในการส่งของระบบ CO_2 ได้
การควบคุมความดันในห้อง	ต้องมีช่องเปิดเพื่อลดความดันภายในห้อง	เปิดอัตโนมัติโดยใช้ Pressure Sensor
มาตรการด้านความปลอดภัย	ต้องมีการป้องกันการฉีดพ่นผิดเนื่องจากการลัดวงจรหรือลัดลงดิน	สามารถใช้ร่วมกับลิ้นสำหรับการปิดการฉีดพ่นด้วยมือได้

การคำนวณเกี่ยวกับปริมาณก๊าซ N_2 ในระบบ

(1) สูตรคำนวณปริมาณก๊าซที่ใช้

$G = X \times V + K \quad S$

G : ปริมาณก๊าซที่ต้องใช้ (m^3)

X : ปริมาณที่ใช้ออกแบบ (Flooding Quantity) (0.52 m^3/m^3)

K : ปริมาตรจุของหัวฉีด โดยประมาณ (3.5 m^3/m^2)

V : ปริมาตรของห้อง (m^3)

S : พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด (m^2)

โดยปกติจะเราไม่ทราบจำนวนและขนาดของหัวฉีดที่จะใช้ก่อนการคำนวณออกแบบและปริมาตรความจุของหัวฉีดทั้งหมดรวมกันจะน้อยกว่าปริมาตรห้องมาก นั่นคือ $K \times S << X \times V$ ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณก๊าซที่ใช้จึงให้ละทิ้งค่า $K \times S$ เสียได้ เพราะฉะนั้น ปริมาณก๊าซที่ใช้คือ

$$W = X \times V \qquad (1)$$

W = ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ฉีดพ่น m^3

(2) จำนวนถังบรรจุ ในกรณีที่ใช้ถังขนาด 82.5 ลิตร บรรจุก๊าซ N_2 ที่ความดัน 23.5 MPa อุณหภูมิ 35 °C ซึ่งจะบรรจุก๊าซ N_2 อยู่ 16.8 m^3 ณ ความดันบรรยากาศ (ถ้าถังจุ 68 ลิตรจะบรรจุก๊าซ N_2 อยู่ 13.8 m^3) จำนวนถังจะคำนวณได้จากสูตรที่ (2)

$$N = W/16.8 \qquad (2)$$

N : จำนวนถัง

(3) การคำนวณตรวจสอบความเข้มข้นของ N_2 ในบริเวณห้องหลังการฉีดพ่นตามสูตรที่ (3)

$$C = \left\{1 - \exp\left(-\frac{W}{V}\right)\right\} X\ 100 \qquad (3)$$

C : ความเข้มข้นของ N_2 ในบริเวณห้อง (%)

(4) การคำนวณขนาดของช่องระบายความดัน

เพื่อควบคุมความดันในห้องขณะที่ฉีดพ่นก๊าซ N_2 มิให้สูงเกินความสามารถของโครงสร้างห้องที่จะรับแรงได้ จึงต้องติดตั้งช่องระบายอัตโนมัติ ซึ่งปรกติจะปิดอยู่และจะเปิดขณะมีการฉีดพ่นเท่านั้น การคำนวณพื้นที่ของช่องระบายสำหรับกรณีที่เปิดสู่ภายนอกโดยตรงโดยไม่ผ่านท่อลมใดๆ (ไม่มีความเสียดทานจากท่อลม) ทำได้ตามสูตรที่ (4)

$$A = 134 \times \frac{Q}{\sqrt{P}} \qquad (4)$$

$Q = N \times 16.8 \times 1.6 = W \times 1.6$

Q: อัตราการไหลของสารดับเพลิง (m^3/min) , ค่าอัตราการไหลสูงสุดของสารดับเพลิงขณะฉีดพ่น

A: พื้นที่หน้าตัดของช่องระบาย (cm2)

P: ความดันในห้องที่ยอมรับได้ (MPa)

ให้สังเกตว่า สูตรที่ (4) ได้สมมติให้การฉีดพ่นใช้เวลา 1 นาที และยังให้เผื่ออัตราการระบายสูงสุดในการคำนวณอีก 1.6 เท่าของค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล ในกรณีที่การฉีดพ่นใช้เวลามากกว่า 1 นาที ก็ต้องใช้เวลานั้นหารในสูตรที่ (4) อีก

ความเข้มข้นของ N_2 และปริมาณที่ออกแบบ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบมีความประสงที่จะออกแบบให้ห้องที่ป้องกันมีความเข้มข้นของ N_2 แตกต่างไปจาก 40.3% ก็สามารถอ่านปริมาณ N_2 ที่ต้องการ X (Flooding Quantity) ได้จากตารางที่ 9 ซึ่งเป็นค่ากำหนดที่อุณหภูมิ 21 °C ณ ความดันบรรยากาศ 1.013 บาร์ ซึ่งแสดงเป็นกราฟอยู่ในรูปที่ 1 หรือคำนวณได้จากสูตรที่ (5) คือ

$$W/V = X = \ln\{100/(100-C)\} \qquad (5)$$

X: Flooding Quantity (m^3/m^3)

C: ความเข้มข้นของ N_2 ที่ออกแบบ %

สำหรับ Flooding Quantity ที่อุณหภูมิ t °C อื่นๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 10 หรือคำนวณได้จากสูตรที่ (6)

$$X = (V_S/s) \times \ln\{100/(100-C)\} \qquad (6)$$

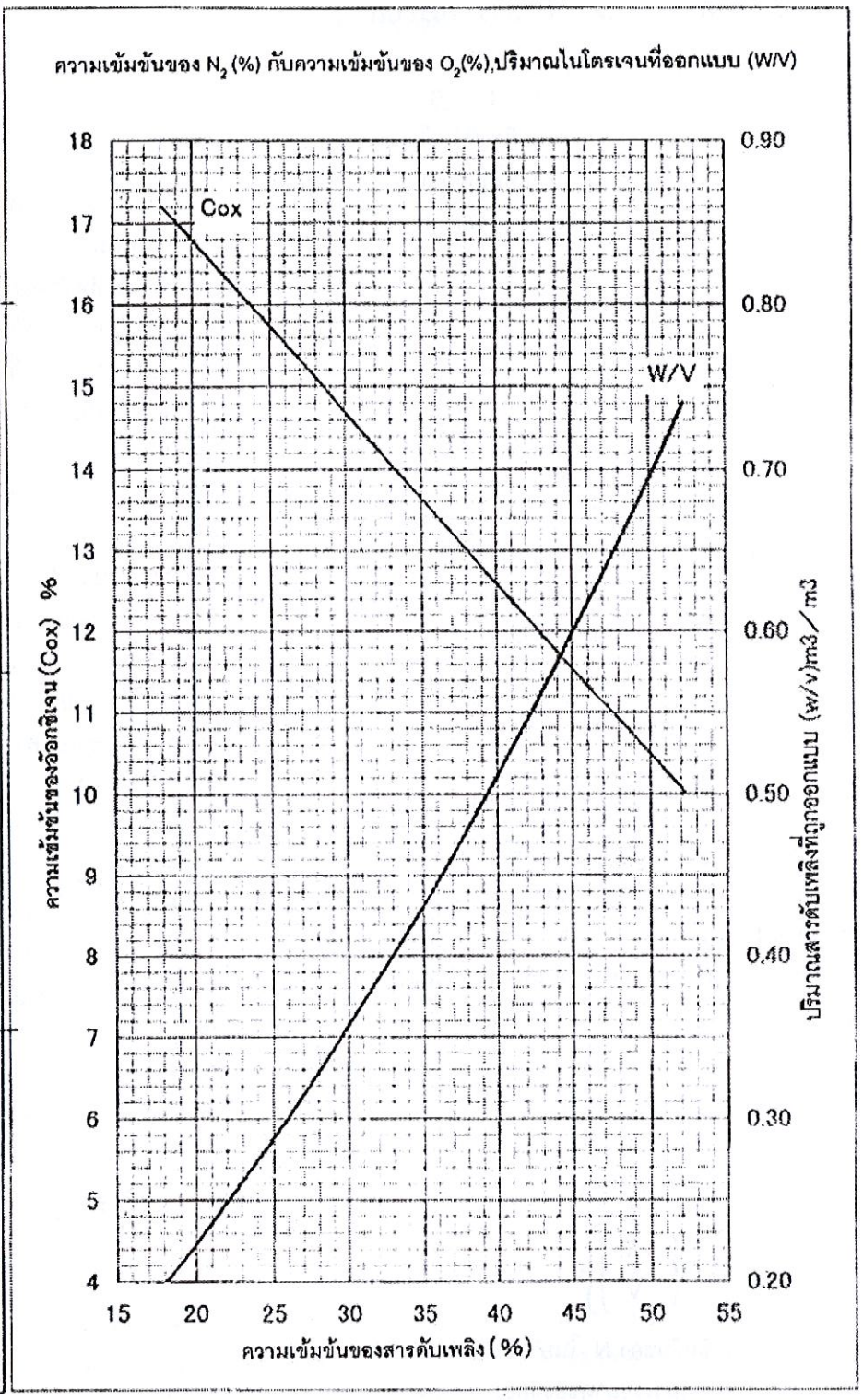
$s = 0.7997+0.00293t$

s: Specific volume ของ superheated IG-100 vapor m^3/kg

V_S: Specific volume ของ N_2 ที่ 21 °C ณ ความดัน 1.013 บาร์ = 0.8582 m^3/kg

ค่า X ในสูตรที่ (5) และ (6) ได้คำนวณเผื่อการรั่วออกจากห้องที่ปิดมิดชิด 'tight' ที่ได้มาตรฐานตามการสร้างปกติแล้ว

C	W/V	C_{ox}
%	m^3/m^3	%
18.13	0.20	17.19
18.94	0.21	17.02
19.75	0.22	16.85
20.55	0.23	16.69
21.34	0.24	16.52
22.12	0.25	16.35
22.89	0.26	16.19
23.66	0.27	16.03
24.42	0.28	15.87
25.17	0.29	15.71
25.92	0.30	15.56
26.66	0.31	15.40
27.39	0.32	15.25
28.11	0.33	15.10
28.82	0.34	14.95
29.53	0.35	14.80
30.23	0.36	14.65
30.93	0.37	14.51
31.61	0.38	14.36
32.29	0.39	14.22
32.97	0.40	14.08
33.63	0.41	13.94
34.30	0.42	13.80
34.95	0.43	13.66
35.60	0.44	13.52
36.24	0.45	13.39
36.87	0.46	13.26
37.50	0.47	13.13
38.12	0.48	12.99
38.74	0.49	12.87
39.35	0.50	12.74
39.95	0.51	12.61
40.55	0.52	12.48
41.14	0.53	12.36
41.73	0.54	12.24
42.31	0.55	12.12
42.88	0.56	12.00
43.45	0.57	11.88
44.01	0.58	11.76
44.57	0.59	11.64
45.12	0.60	11.53
45.66	0.61	11.41
46.21	0.62	11.30
46.74	0.63	11.18
47.27	0.64	11.07
47.80	0.65	10.96
48.31	0.66	10.85
48.83	0.67	10.75
49.34	0.68	10.64
49.84	0.69	10.53
50.34	0.70	10.43
50.84	0.71	10.32
51.32	0.72	10.22
51.81	0.73	10.12
52.29	0.74	10.02



รูปที่ 1 *กราฟแสดงถึงความเข้มข้นของ N_2, O_2 และปริมาณออกแบบ W/V*

ตารางที่ 9 *ความเข้มข้น ปริมาณ N_2 (Flooding Quantity) และ O_2 ที่ อุณหภูมิ 21 °C*

$\%N_2$	25.9	26.7	27.4	28.1	28.8	29.5	30.2	30.9	31.6	32.3	33.0	33.6	34.3	35.0	35.6
W/V (m^3/m^3)	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44
$\%O^2$	15.6	15.4	15.3	15.1	15	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.1	13.9	13.8	13.7	13.5
$\%N_2$	36.2	36.9	37.5	38.1	38.7	39.4	40	40.3	41.1	41.7	42.3	42.9	43.5	44	44.6
W/V (m^3/m^3)	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59
$\%O_2$	13.4	13.3	13.1	13	12.9	12.7	12.6	12.5	12.4	12.2	12.1	12	11.9	11.8	11.6
$\%N_2$	45.1	45.7	46.2	46.7	47.3	47.8	48.3	48.8	49.3	49.8	50.3	50.8	51.3	51.8	52.3
W/V (m^3/m^3)	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74
$\%O_2$	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	11	10.9	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10

ตารางที่ 10 *ความเข้มข้นและปริมาณ N_2 (Flooding Quantity) ที่อุณหภูมิต่างๆ*

อุณหภูมิ	% N_2							
°C	34	37	40	42	47	49	58	62
-40	0.5225	0.5809	0.6423	0.6849	0.7983	0.8466	1.0908	1.2166
-30	0.5009	0.5570	0.6159	0.6567	0.7654	0.8118	1.0459	1.1665
-20	0.4811	0.5350	0.5915	0.6308	0.7352	0.7797	1.0045	1.1204
-10	0.4629	0.5147	0.5691	0.6069	0.7073	0.7501	0.9664	1.0779
0	0.4459	0.4959	0.5482	0.5846	0.6814	0.7227	0.9310	1.0384
10	0.4302	0.4783	0.5289	0.5640	0.6573	0.6971	0.8981	1.0017
20	0.4155	0.4621	0.5109	0.5448	0.6349	0.6734	0.8676	0.9677
30	0.4018	0.4468	0.4940	0.5268	0.6140	0.6512	0.8389	0.9357
40	0.3890	0.4325	0.4782	0.5100	0.5943	0.6304	0.8182	0.9058
50	0.3769	0.4191	0.4634	0.4942	0.5759	0.6108	0.7870	0.8778
60	0.3657	0.4066	0.4495	0.4794	0.5587	0.5925	0.7634	0.8515
70	0.3550	0.3947	0.4364	0.4654	0.5424	0.5753	0.7411	0.8266
80	0.3449	0.3835	0.4241	0.4522	0.5270	0.5590	0.7201	0.8032
90	0.3355	0.3730	0.4124	0.4398	0.5126	0.5436	0.7004	0.7812
100	0.3265	0.3630	0.4013	0.4280	0.4988	0.5290	0.6816	0.7602

ค่าแก้ไขเนื่องจากความสูง

เนื่องจากว่าก๊าซเมื่ออยู่สูงจากระดับน้ำทะเลก็จะยิ่งขยายตัวได้ปริมาตรมากขึ้น ดังนั้นในการคำนวณปริมาณของ N_2 สำหรับใช้ในที่สูงหรือต่ำกว่าระดับน้ำทะเลมากๆ จึงจำเป็นต้องใช้ตัวประกอบแก้ไขคูณกับปริมาณ N_2 ทั้งหมดที่คำนวณได้ด้วย ดังนี้

ระดับความสูง (เมตร)	ความดันอากาศ (mm Hg)	ตัวประกอบแก้ไข
-920	840	1.11
-610	812	1.07
-300	787	1.04
ระดับน้ำทะเล	760	1.00
300	733	0.96
610	705	0.93
910	677	0.89
1,220	650	0.86
1,520	622	0.82
1,830	596	0.78
2,130	570	0.75
2,450	550	0.72
2,740	528	0.69
3,050	505	0.66

มาตรฐานการติดตั้งระบบดับเพลิงก๊าซ N_2

มาตรฐานการติดตั้งเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ทั้งนี้เพื่อความมั่นใจในการทำงานของระบบและความปลอดภัยของผู้อยู่ในห้องนั้น ข้อปฏิบัติที่พึงพิจารณาคือ

(1) ให้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนระหว่างระบบอัตโนมัติ (Auto) กับทำงานด้วยมือ (Manual) ในอุปกรณ์การเปิดระบบ โดยปกติจะตั้งเป็น (Auto) แต่เมื่อมีคนเข้าไปในห้องให้เปลี่ยนเป็น (Manual)

(2) ติดตั้งอุปกรณ์แสดงสัญญาณไฟไหม้ และอุปกรณ์แสดงสัญญาณการฉีดพ่นก๊าซ

(3) มีการสาธิตการป้องการเล่นชนโดยบุคคลอื่น เช่น ใช้ตะกั่วปิดผนึกที่อุปกรณ์ในการเปิดระบบ

(4) สถานที่ตั้งถังก๊าซไนโตรเจนเป็นดังนี้

- มีอุณหภูมิต่ำกว่า 40°C และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อย
- เป็นบริเวณที่ไม่โดนแดดและห่างไกลน้ำฝน
- ไม่ตั้งในบริเวณที่จะปล่อยก๊าซไนโตรเจน
- เป็นบริเวณที่เข้าออกได้โดยไม่ต้องผ่านห้องปิด
- ประตูและห้องต้องทำด้วยวัสดุทนไฟ

(5) ใช้อุปกรณ์สัญญาณเตือนภัยด้วยเสียง

(6) ติดตั้งอุปกรณ์ Time Delay ตั้งแต่ 20 วินาทีขึ้นไปที่อุปกรณ์เริ่มการทำงาน

(7) อบรมวิธีการระบายอากาศและกำจัดก๊าซที่ถูกวิธี

(8) เตรียบอุปกรณ์ช่วยหายใจไว้ที่นอกบริเวณที่ปล่อยก๊าซ

(9) อุปกรณ์ตรวจเพลิงอัตโนมัติต้องใช้แบบควบคุมที่เป็นวงจร AND

(10) อื่นๆ ให้ใช้ตามเงื่อนไขในการติดตั้งตามเอกสารของแต่ละประเทศ

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพทั่วไปของระบบดับเพลิงก๊าซไนโตรเจน ส่วนรูปที่ 3 แสดงถึงขั้นตอนการทำงานของระบบดับเพลิง

ข้อคำนึงในการวางระบบท่อ

การออกแบบระบบท่อที่ดีจะต้องให้อัตราการไหลของก๊าซ N_2 ในระบบท่อได้ดุลย์กัน การที่จะเป็นเช่นนี้ได้มีข้อคำนึงในการวางแบบแปลนระบบท่อดังนี้คือ

(1) จำนวนหัวฉีดก๊าซในระบบจะต้องเป็นจำนวนคู่

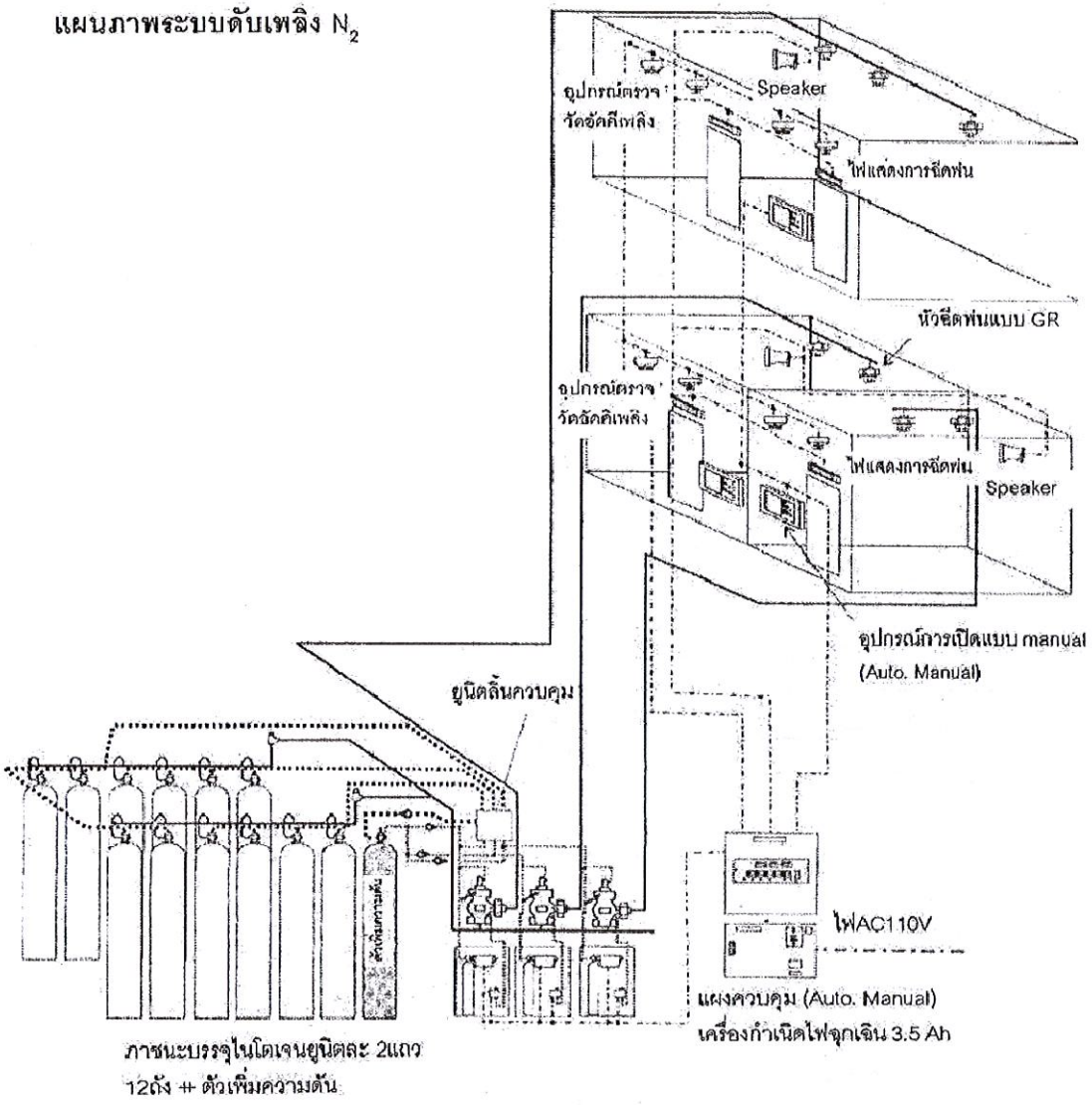
(2) หัวฉีดแต่ละหัวควรมีอัตราการฉีดเท่ากัน

(3) ท่อจ่ายจากถังเก็บ N_2 ไปยังแต่ละหัวจ่ายควรมีขนาดและความยาวใกล้เคียงกัน

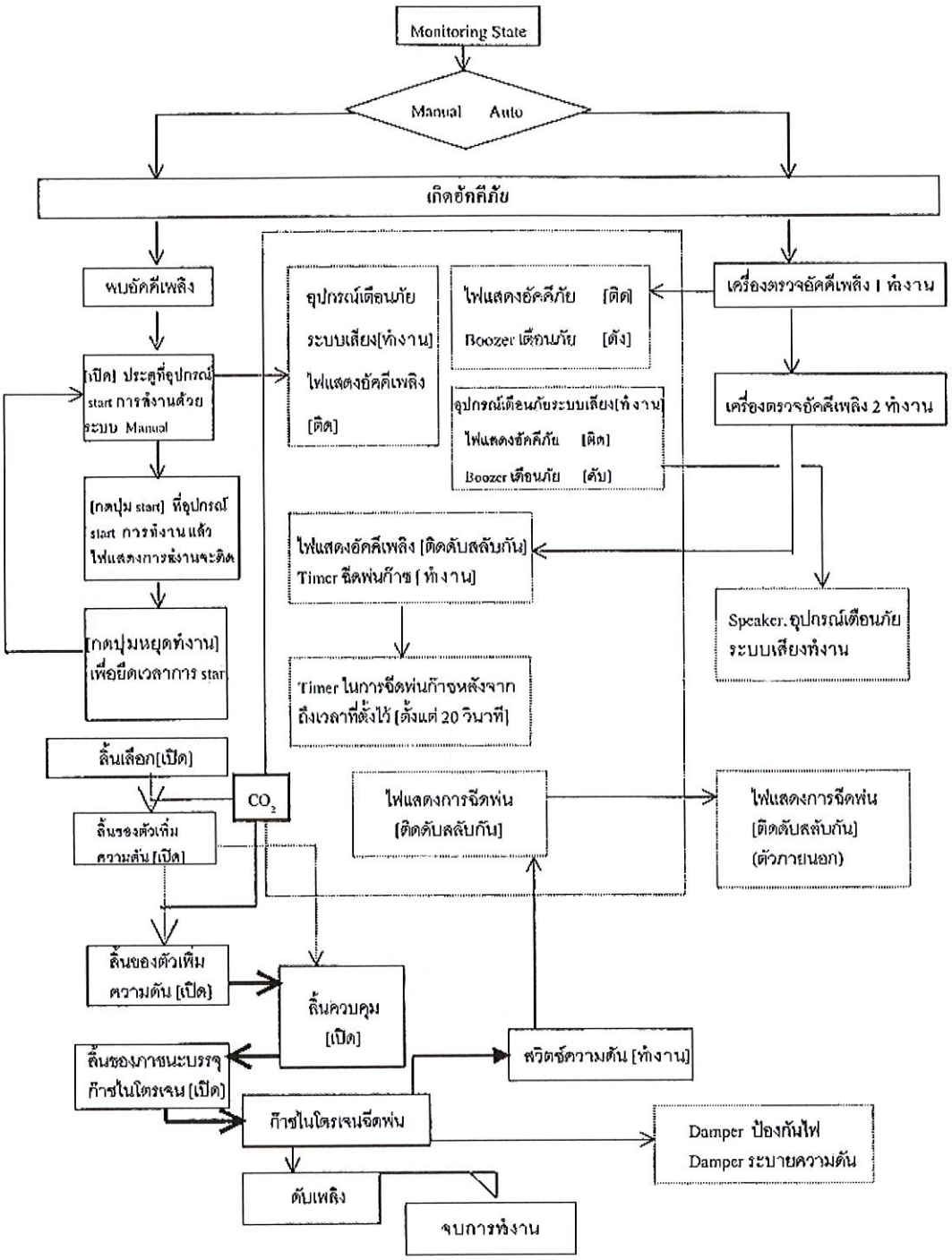
(4) การต่อท่อแยกใดๆ จะต้องไม่กระทำในระนาบดิ่ง เพราะภายในท่อมีทั้งส่วนที่เป็นของเหลวและก๊าซปนกันอยู่

(5) ในการต่อท่อแยกควรใช้ 3 ตา ชนิด Bullhead tee ซึ่งต่อเข้ากับท่อประธานตรงกลาง และมีท่อแยกทั้ง 2 ตั้งฉากกับท่อประธาน ไม่ควรใช้ 3 ตาชนิดที่มีท่อแยกท่อหนึ่งซึ่งส่งก๊าซอยู่ในแนวเดียวกันกับท่อประธาน

แผนภาพระบบดับเพลิง N_2



รูปที่ 2 แผนภาพของระบบดับเพลิง



รูปที่ 3 *ขั้นตอนควบคุมการทำงานของระบบดับเพลิง*

ขั้นตอนการออกแบบระบบดับเพลิงก๊าซ N_2

1. การคำนวณปริมาณสารดับเพลิง

1.1 การคำนวณปริมาณก๊าซที่ใช้

ให้ใช้สูตรที่ (1) คำนวณปริมาณก๊าซที่ต้องใช้ ในกรณีที่มีการติดตั้งโครงสร้างที่ไม่ติดไฟอยู่ในบริเวณห้องปิด ให้นำปริมาตรของโครงสร้างนี้หักออกจากปริมาตรทั้งหมดก่อน แล้วจึงคิดเป็นปริมาตรของช่องว่างในบริเวณห้องปิด ตามปรกติก่อนการฉีดพ่นสารดับเพลิงช่องระบายจะปิดอยู่ ห้องที่สร้างได้มาตรฐานจะมีส่วนที่ไม่สามารถปิดสนิทได้อยู่น้อยกว่า 0.1% ของพื้นที่ผนังโดยรอบ

1.2 จำนวนถังบรรจุที่ใช้ ให้คำนวณจากสูตรที่ (2)

1.3 การตรวจสอบความเข้มข้นที่ปลอดภัย

1.3.1 ตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซ N_2 ที่ฉีดพ่นเข้าไปในบริเวณห้องโดยใช้ สูตรที่ (3) ความเข้มข้น C ที่ได้จะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 40.3% ถึง 52%

1.3.2 ต่อไปให้ตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซ O_2 (C_{ox}) ในห้องปิดหลังจากฉีดพ่นสารดับเพลิงแล้วตามสูตรที่ (7)

$$C_{ox} = 21 \times \left(\frac{100 - C}{100} \right) \qquad (7)$$

ค่าความเข้มข้นของ ก๊าซ O_2 ในห้องที่ออกแบบนี้ต้องไม่ต่ำกว่า10%

1.4 การคำนวณปริมาตรห้องปิด

1.4.1 ปริมาตรของห้องปิดที่ใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารดับเพลิงหาได้โดยการนำปริมาตรของโครงสร้างส่วนที่ไม่ติดไฟหักออกจากปริมาตรช่องว่างทั้งหมดในบริเวณห้องปิด

1.4.2 ในการคำนวณ ให้แยกคำนวณตามแต่ละห้องปิด

1.4.3 ในกรณีที่ไม่ทราบข้อมูลชัดเจน ให้ใช้ตารางที่ 11 เป็นค่าประมาณในการกำหนดปริมาตรของห้องปิดที่ลดลง หลังจากทราบค่าที่แท้จริงแล้วจึงให้ทำการคำนวณตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารดับเพลิงอีกครั้ง

ตารางที่ 11 *ค่าโดยประมาณของปริมาตรห้องปิดที่ลดลง*

ชนิดของห้องปิด	ปริมาตรห้องที่ลดลง
ห้องเครื่องกำเนิดไฟ ห้องที่มีถังเก็บต่างๆ ห้องที่มีปริมาตรลดลงมากๆ	10% ของปริมาตรห้องปิด
ห้องอื่นๆ	5% ของปริมาตรห้องปิด
ที่จอดรถรถยนต์	3 m^3 ต่อรถยนต์ 1 คัน

2. การเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อส่งและหัวฉีด

2.1 การเลือกท่อส่ง

(1) ขนาดของท่อส่ง ให้เลือกโดยคำนึงถึงความดันลดแล้วยังคงสามารถรักษาความดันในการฉีดพ่นที่หัวฉีดปลายทางได้ไม่น้อยกว่า 1.96 MPa (20 kgf/cm^2)

(2) ตารางที่ (12) และ (13) แสดงค่าประมาณในการเลือกท่อส่งหลักและท่อส่งย่อย

ตารางที่ 12 *อัตราการส่ง N_2 ของท่อส่งหลัก (m^3/min)*

ความยาวของท่อส่ง / เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	25 m	50 m	75 m	100 m	125 m	150 m
25	70	55	45	35	25	15
32	120	105	90	70	55	40
40	190	160	135	110	90	65
50	350	285	230	195	1,665	140
65	630	525	440	355	295	245
80	645	750	645	550	460	350
100	1,565	1,320	1,145	970	845	730
125	2,650	2,195	1,905	1,670	1,455	1,280
150	3,535	2,945	2,590	2,310	2,070	1,840

ตารางที่ 13 *การเลือกขนาดท่อส่งย่อย*

เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	อัตราการไหล (m^3/min)
20	20
65	320
25	40
80	490
32	70
100	950
40	125
125	1,600
50	180

2.2 การเลือกหัวฉีด

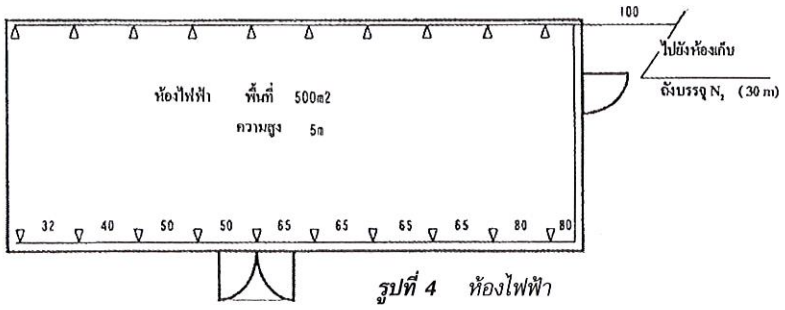
ให้หัวฉีด 1 หัวครอบคลุมบริเวณได้ดังแสดงในตารางที่ 14 อย่างไรก็ตาม ให้ผู้ออกแบบตรวจสอบจากคู่มือผู้ผลิตหัวฉีดต่างๆ ประกอบกับการเลือกด้วย

ตาราง 14 *อัตราการไหลต่อหัวฉีด 1 หัว*

ชนิดหัวฉีด	อัตราการไหล (m^3/min)	ชนิดหัวฉีด	อัตราการไหล (m^3/min)
GM-20	40	GR-20	30
GM-25	70	GR-25	60
GM-32	125	GR-32	90
GM-40	180	GR-40	125
ให้ GM เป็นหัวฉีดประเภทที่ฉีดจากด้านหนึ่งของห้องปิดไปยังอีกด้านหนึ่ง และให้ติดตั้ง 1 หัว ทุกๆ ความสูง 8 m ให้ GR เป็นหัวฉีดประเภทติดตั้งที่เพดาน และให้ติดตั้ง 1 หัว ทุกๆ พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว 8 เมตร ในการเลือกหัวฉีดให้ตรวจสอบข้อมูลจากผู้ผลิต			

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบ

1. ตัวอย่างห้องปิดเป็นห้องไฟฟ้า ขนาด 12.5 x 40 x สูง 5.0 m ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 *ห้องไฟฟ้า*

2. การคำนวณออกแบบให้ใช้ความเข้มข้นของ N_2 ที่ 40.3% Flooding quantity W/V = 0.52

(1) ปริมาตรห้อง = 500 m^2 x 5m = 2,500 m^3

(2) ปริมาตรก๊าซ N_2 = 2500 m^3 x 0.52 m^3/m^3 = 1,300 m^3

(3) จำนวนถัง N_2 = 1300 m^3 ÷ 16.8 m^3 = 77.38 = ให้ใช้ 78 ถัง

ดังนั้นปริมาณก๊าซทั้งหมด = 16.8 x 78 = 1,310 m^3

(4) สมมติให้ฉีดพ่นภายในเวลา 1 นาที ดังนั้นอัตราการไหลรวม คือ 1,310 m^3/min จากตารางที่ 14 สมมติว่าเลือกหัวฉีด GM-25 ซึ่งมีอัตราการไหล 70 m^3/min

- จำนวนหัวฉีดพ่นที่ใช้ = 1310 ÷ 70 = 18.71 นั่นคือ จำนวน 19 หัว แต่เพื่อให้การติดตั้งมีสมมาตร จึงเลือกใช้ 20 หัว

(5) อัตราการไหลต่อ 1 หัวฉีด = 1,310 m^3/min ÷ 20 หัว = 65.5 m^3/min

(6) การหาขนาดท่อ

- ท่อส่งรวมมีอัตราการไหล 1,310 m^3/min ความยาว 30 m จากตารางที่ 12 เลือกขนาด 100 mm

- ท่อรวมย่อยให้เลือกจากตารางที่ 12 เช่นกัน ท่อรวมย่อยแรกมีอัตราการไหลครึ่งหนึ่ง หรือเท่ากับ 655 m^3/min ยาว 40-50 m จากตารางที่ 12 เลือกขนาด 80 mm

- ท่อส่งย่อยสำหรับแต่ละหัวฉีดมีอัตราการไหล 65.5 m^3/min จากตารางที่ 13 เลือกขนาด 32 mm

(7) คำนวณตรวจสอบความเข้มข้นของ N_2 ในบริเวณห้องหลังการฉีดพ่นตามสูตร

$$C = \left\{1 - \exp\left(-\frac{W}{V}\right)\right\} \times 100$$

$$C = \left\{1 - \exp\left(-\frac{1,310}{2,500}\right)\right\} \times 100$$

= 40.7 %

การคำนวณพื้นที่หน้าตัดของช่องระบายความดัน

เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มความดันภายในบริเวณห้องปิดในขณะฉีดพ่นสารดับเพลิงจึงต้องมีช่องระบายความดันที่เหมาะสมออกสู่ภายนอก โดยปรกติช่องระบายจะต้องปิดอยู่และจะเปิดออกเมื่อมีการฉีดพ่นสารดับเพลิงจนความดันในห้องสูงถึงพิกัดที่กำหนดไว้ วิธีการระบายความดันอาจทำได้หลายวิธี หลักการ คือ

- ระบายอากาศผ่านช่องระบายความดันออกสู่ภายนอกผ่านทางท่อลม หรือถ้าบริเวณห้องปิดอยู่ติดกับภายนอก ก็ให้ระบายออกภายนอกได้โดยตรง
- ที่ช่องระบาย จะติดตั้ง Relief Damper ชนิดที่มีโครงสร้างให้บานพับเปิดออกเนื่องจากความดันภายในที่เพิ่มขึ้น
- ในกรณีที่ Damper ไม่เปิดออกเช่นไฟไหม้ อุปกรณ์ของ Damper ให้มีการติดตั้งท่อ by-pass เชื่อมต่อกับท่อลมเพื่อให้ระบายความดันได้
- การคำนวณพื้นที่ของช่องระบายความดันของห้องซึ่งต่ออยู่กับท่อลม ก็จะต้องคิดถึงความดันที่สูญเสียภายในท่อลมด้วยโดยใช้สูตรที่ (8)

$$A = 134 \times \frac{Q}{\sqrt{P - \Delta P}} \qquad (8)$$

$Q = N \times 16.8 \times 1.6 = W \times 1.6$

A: พื้นที่หน้าตัดของช่องระบายความดัน (cm^2)

P: ความดันภายในห้องที่ยอมรับได้ (Pa)

ΔP: ความดันที่สูญเสียภายในท่อลม (Pa)

Q: อัตราการไหลของสารดับเพลิง (m^3/min) อัตราไหลสูงสุดขณะฉีดพ่นสารดับเพลิง

(1) ในการกำหนด Relief Damper ให้คิดว่าพื้นที่เปิดของ Relief Damper เป็นพื้นที่ระบายความดันและมีขนาดเท่ากับท่อลม

(2) การประเมินอัตราการไหลสูงสุด ให้คูณ 1.6 เข้ากับอัตราการไหลเฉลี่ยของสารดับเพลิงในการคำนวณพื้นที่ของช่องระบาย

(3) การคำนวณความดันที่สูญเสียภายในท่อลมให้ใช้สูตรที่ (9)

$$\Delta P = \frac{10.64 \times W^2 \times L}{a^5} \times 10^{-6} \qquad (9)$$

a : ความยาวด้านจัตุรัสของท่อลมสี่เหลี่ยม (m)

W: ปริมาตรฉีดพ่น N_2 (m^3)

L : ความยาวของท่อลม (m)

(4) ถ้าไม่ทราบค่าความดันที่ยอมรับได้ตามแต่ละชนิดของห้องปิด ให้คำนวณโดยใช้ค่าตามตารางที่ 15

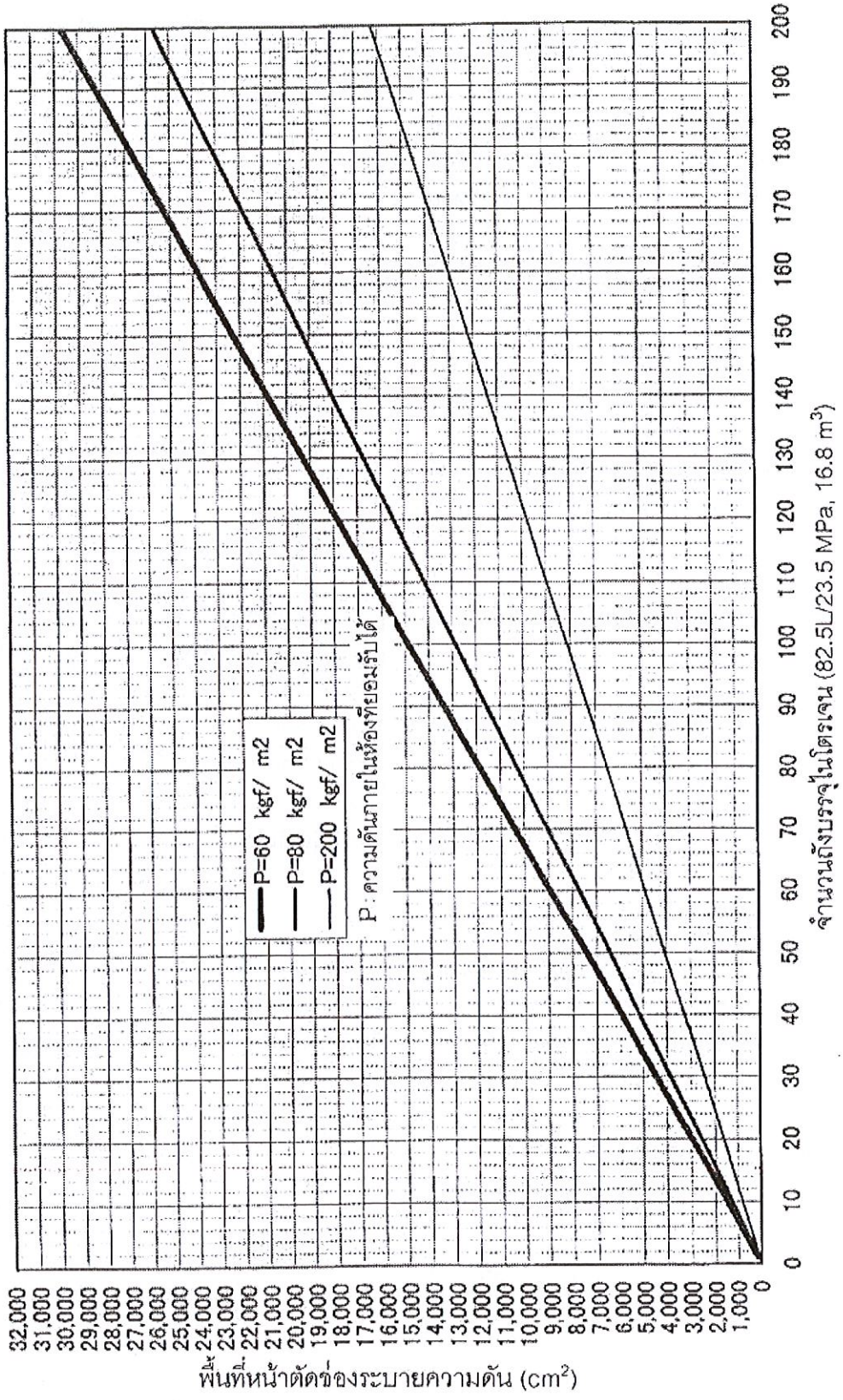
(5) โดยปกติเราจะไม่รู้ขนาดของท่อลมล่วงหน้า ดังนั้นในการคำนวณเบื้องต้น ให้สมมติว่า $\Delta P=0$ แล้วให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แถวบนของตารางที่ 16 คูณกับพื้นที่ช่องระบายที่คำนวณได้ ส่วนเลขแถวล่างในตารางนี้แสดงค่าโดยประมาณของพื้นที่ช่องระบายเป็น m^2

(6) กรณีที่จำนวนถังไม่มีอยู่ในตารางที่ 16 เช่น 50 ถัง ให้ใช้ค่าของ 40 ถังกับ 60 ถัง ประมาณตามสัดส่วนสำหรับการหาสัมประสิทธิ์ได้

ตารางที่ 15 *ความดันที่ห้องควรรับได้*

โครงสร้างของห้องปิดต่างๆ	ค่าสมมติของความดันที่ยอมรับได้
โครงสร้างทั่วๆ ไปเช่น คอนกรีต ประตูเหล็กกล้า กระจกนิรภัย	1,960 Pa (200 kgf/m^2)
เพดาน 2 ชั้น ที่มีความแข็งแรงปกติ ผนังกั้นระหว่างห้อง	780 Pa (80 kgf/m^2)
ประตูป้องกันไฟ	590 Pa (60 kgf/m^2)

อย่างไรก็ตามถ้าเราใช้ถังบรรจุไนโตรเจนขนาด 82.5 ลิตร ที่ความดัน 23.5 MPa แล้ว เราสามารถที่จะอ่านค่าพื้นที่หน้าตัดสำหรับระบายความดันออกสู่อากาศภายนอกโดยตรงได้จากรูปที่ 5



รูปที่ 5 *พื้นที่หน้าตัดของช่องระบายความดัน*

ตารางที่ 16 *ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นที่ท่อระบายลม*

จำนวนถังบรรจุ (ถัง)	ความดันที่ยอมรับได้ในห้องปิด								
	590 Pa (60 kgf/m^2)			780 Pa (80 kgf/m^2)			1,960 Pa (200 kgf/m^2)		
	ความยาวท่อ			ความยาวท่อ			ความยาวท่อ		
	10m	30m	50m	10m	30m	50m	10m	30m	50m
2	1.56 0.046	1.97 0.058	2.26 0.067	1.57 0.040	2.01 0.054	2.43 0.062	1.61 0.026	2.19 0.035	2.51 0.041
4	1.42 0.084	1.85 0.109	2.10 0.124	1.44 0.073	1.85 0.094	2.13 0.109	1.53 0.049	1.95 0.063	2.27 0.073
6	1.42 0.125	1.74 0.154	1.97 0.174	1.44 0.110	1.80 0.138	2.01 0.154	1.49 0.072	1.88 0.091	2.18 0.106
8	1.42 0.167	1.74 0.205	1.97 0.232	1.38 0.141	1.72 0.175	2.01 0.205	1.45 0.093	1.83 0.118	2.10 0.135
10	1.36 0.200	1.65 0.242	1.95 0.287	1.38 0.176	1.72 0.219	1.90 0.242	1.41 0.114	1.77 0.143	2.02 0.163
20	1.36 0.399	1.56 0.460	1.85 0.544	1.33 0.339	1.64 0.417	1.80 0.460	1.37 0.221	1.66 0.268	1.89 0.304
40	1.30 0.764	1.56 0.919	1.74 1.024	1.33 0.676	1.57 0.798	1.72 0.876	1.34 0.432	1.57 0.505	1.77 0.570
60	1.30 1.144	1.49 1.313	1.66 1.461	1.33 1.015	1.50 1.144	1.72 1313	1.31 0.633	1.57 0.757	1.77 0.584
80	1.30 1.526	1.49 1.748	1.65 1.938	1.28 1.305	1.50 1.526	1.72 1.751	1.31 0.845	1.53 0.983	1.71 1.103
100	1.30 1.906	1.49 2.188	1.65 2.422	1.28 1.631	1.50 1.906	1.64 2.084	1.31 1.055	1.53 1.229	1.71 1.379
150	130 2.862	1.49 3.281	1.65 3.634	1.28 2.444	1.50 2.862	1.64 3.126	1.31 1.581	1.48 1.793	1.66 2.008

หมายเหตุ

(1) จำนวนถังคือจำนวนถังติดตั้งซึ่งมีปริมาตรบรรจุ 82.5 L (มีไนโตรเจน 16.8m^3) ที่ 23.5 MPa 35 °C

(2) เลขแถวบนคือค่าสัมประสิทธิ์ เลขแถวล่างแสดงค่าประมาณของพื้นที่ช่องระบายในกรณีที่ระบายผ่านท่อลมเป็น m^2

(3) เมื่อทราบรายละเอียดของลมแน่นอนแล้วให้คำนวณพื้นที่ช่องระบายอีกครั้ง

ตัวอย่างการคำนวณช่องระบายความดัน

ให้ใช้ตัวอย่างการคำนวณช่องระบายของห้องปิดของตัวอย่างห้องไฟฟ้าดังนี้

1. จำนวนถังบรรจุที่ใช้ : N = 78 ถัง
2. อัตราการไหลสูงสุดของสารดับเพลิง :
   $Q = 16.8 \times 78 \times 1.6 = 2{,}096\ m^3/min$
3. ความดันที่ยอมรับได้ : P = 1960 Pa
4. สมมติว่าความยาวของท่อลมเท่ากับ 30 m
5. กรณีที่ไม่มีท่อลม พื้นที่ของช่องระบาย A' คือ
   $A' = 134 \times 2{,}096 \div \sqrt{1{,}960} = 6{,}344\ cm^2$
6. จากตารางที่ 16 ในกรณีที่จำนวนถังบรรจุก๊าซ N_2 80 ถัง ความดันภายในห้องปิดที่ยอมรับได้เท่ากับ 1,960 Pa ท่อลมยาว 30 m ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นที่ช่องระบายประมาณ 1.53 ดังนั้นพื้นที่ช่องระบายและพื้นที่หน้าตัดของท่อลมโดยประมาณ คือ

   $A = A' \times 1.53 = 6{,}344 \times 1.53 = 9{,}706\ cm_2$

   หรือ 0.97 m^2 ใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 16 ซึ่งเท่ากับ 0.983 m^2 ดังนั้นให้ใช้ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้างประมาณด้านละ a = 0.985 m
7. คำนวณความดันที่สูญเสียภายในท่อลมจากสูตรที่ (9)

$$\Delta_P = \frac{10.64 \times W^2 \times L}{a^5} \times 10^{-6}$$

$$\Delta_P = \frac{10.64 \times 1{,}310^2 \times 30}{0.985^5} \times 10^{-6}$$

$$= 591\ Pa$$

8. ให้คำนวณขนาดท่อลมจริงใช้สูตรที่ (8) โดยที่ **Q = 2,096 P = 1,960 ΔP = 591 ซึ่งได้พื้นที่ท่อลมเท่ากับ 7591 cm^2**

วิธีการระบายก๊าซ

<u>วิธีการระบายด้วยอุปกรณ์ระบาย</u>

(1) ต้องเป็นอุปกรณ์ที่สามารถระบายได้ภายใน 1 ชม.

(2) มีแบตเตอรี่ฉุกเฉินสำรองอยู่เสมอ

(3) พัดลมระบายอากาศสามารถระบายได้อย่างน้อย 2 เท่าปริมาตรห้องต่อชั่วโมง (2 air change ต่อชั่วโมง)

(4) การเปิดการทำงานอุปกรณ์ระบาย และการช่วยให้ Damper ของท่อลมระบายกลับคืนที่สามารถทำได้จากภายนอกห้องปิด

(5) บริเวณที่ระบายอากาศได้ยาก เช่น โพรงใต้ดินในโรงจอดรถ จำเป็นต้องมีช่องถ่ายเทอากาศด้วย

<u>วิธีการระบายตามธรรมชาติ</u>

(1) เพื่อไม่ให้มีสารดับเพลิงค้างอยู่ในบริเวณต่างๆ ดังนั้นจึงให้มีพื้นที่รวมของช่องระบายมากกว่า 10% ของพื้นที่ห้อง

(2) เนื่องจากช่องระบายติดตั้งที่ผนังภายนอก ดังนั้นตำแหน่งของช่องระบายต้องอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 2/3 ของความสูงเมื่อวัดจากระดับพื้นห้อง

(3) ช่องระบายสามารถเปิดออกได้ง่ายจากด้านนอกของห้องปิด

การคำนวณความหนาของท่อรับความดันก๊าซ N_2

โดยปรกติสารดับเพลิงจะถูกเก็บอยู่ภายในถังในลักษณะเป็นของเหลวด้วยความดันสูงเพียงพอสำหรับจ่ายสารดับเพลิงเหลวไปตามระบบท่อ ซึ่งต้องเอาชนะทั้งความดันลดเนื่องจากความเสียดทานและความสูงของระบบท่อ สำหรับก๊าซไนโตรเจนมักจะอัดเก็บเป็นของเหลวอยู่ในถังขนาด 82.5 ลิตร ด้วยความดัน 23.5 MPa (240 kgf/cm^2) ที่ 35 °C ซึ่งจะบรรจุก๊าซ N_2 อยู่ 16.8 m^3 ณ ความดันบรรยากาศ NFPA 2001 ได้กำหนดให้ใช้ความดันออกแบบขั้นต่ำของท่อและข้อต่อไว้ดังนี้

ให้ใช้ 22.3 MPa (3236 psi) สำหรับท่อที่อยู่ก่อนวาล์วลดความดัน และเท่ากับ 6.9 MPa (1,000 psi) สำหรับท่อส่วนที่อยู่หลังวาล์วลดความดัน

ในการคำนวณหาความหนาต่ำสุดของผนังท่อ NFPA 2001 ให้ใช้การคำนวณตามมาตรฐาน ANSI B31.1 "Power Piping Code" ซึ่งได้กำหนดสูตรคำนวณความหนาของผนังท่อไว้ดังนี้คือ

$$t = \frac{PD}{2SE} + A \qquad (10)$$

t = ความหนาผนังท่อ
P = ความดันสูงสุดที่อนุญาต
D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ
SE = ความเค้นสูงสุดที่อนุญาตซึ่งรวมประสิทธิภาพรอยต่อของท่อด้วย
A = ค่าความเผื่อขึ้นกับชนิดของรอยต่อท่อ คือ
- ให้เท่ากับความลึกของเกลียวสำหรับรอยต่อแบบเกลียว
- ให้เท่ากับความลึกของร่องสำหรับรอยต่อที่มีร่อง

สำหรับรอยต่อแบบเชื่อมและรอยต่อท่อทองแดงแบบบานปลายแล้วเชื่อมไม่จำเป็นต้องใช้ค่าความเผื่อ A ส่วนค่า SE ให้ใช้ค่า 1/4 ของ ความต้านแรงดึงต่ำสุดหรือ 2/3 ของความต้านแรงดึงครากโดยให้นำค่าที่น้อยกว่ามาใช้ และให้คูณค่านี้ด้วยประสิทธิภาพของรอยต่อดังนี้คือ

η = 1 สำหรับท่อไร้ตะเข็บ

= 0.85 สำหรับท่อมีตะเข็บเชื่อมแบบความต้านทานไฟฟ้า (ERW)

= 0.60 สำหรับท่อแบบ Furnace Butt Weld (Class F)

ค่า SE สำหรับวัสดุท่อต่างๆ กัน แสดงอยู่ในช่องที่ 3 ของ ตารางที่ 17 แต่เนื่องจากในมาตรฐาน Power Piping Code ได้มีข้อยกเว้นว่า ถ้าความดันที่กระทำต่อท่อมีระยะเวลาไม่เกินร้อยละหนึ่งใน 24 ชั่วโมงแล้วก็อนุญาตให้ใช้ค่า SE ในการคำนวณเพิ่มขึ้นได้อีก 20% เนื่องจากระบบท่อดับเพลิงด้วยก๊าซโดยปรกติจะไม่ได้รับความดัน และระยะเวลาฉีดก็กำหนดไว้ไม่เกิน 60 วินาที ดังนั้นการคำนวณความหนาของผนังท่อจึงคล้องจองกับข้อยกเว้นดังกล่าวนี้ ฉะนั้นค่าความเค้นสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้กับสมการที่ (10) จึงเป็นค่า SE ที่ปรับใหม่ขึ้นอีก 20% ซึ่งแสดงอยู่ในช่องที่ 4 ของตารางที่ 17

ตารางที่ 17 *ค่าความเค้นสูงสุดที่อนุญาตสำหรับท่อวัสดุต่างๆ*

วัสดุ	เกรดท่อ	SE ก่อนปรับค่า MPa (psi)	SE หลังปรับค่า MPa (psi)
ASTM A-106	เกรด C ไร้ตะเข็บ	120 (17,500)	145 (21,000)
ASTM A-53	เกรด B ไร้ตะเข็บ	103 (15,000)	124 (18,000)
ASTM A-106	เกรด B ไร้ตะเข็บ	103 (15,000)	124 (18,000)
ASTM A-53	เกรด A ไร้ตะเข็บ	83 (12,000)	99 (14,400)
ASTM A-106	เกรด A ไร้ตะเข็บ	83 (12,000)	99 (14,400)
ASTM A-53	เกรด B ERW	88 (12,800)	106 (15,360)
ASTM A-53	เกรด A ERW	70 (10,200)	84 (12,240)
ASTM A-53	เกรด F Furnace Welded	47 (6,800)	56 (8,160)
ASTM B-88	ทองแดงไร้ตะเข็บ (Annealed)	35 (5,100)	42 (6,120)
ASTM B-88	ทองแดงไร้ตะเข็บ (Drawn)	62 (9,000)	75 (10,800)

เพื่อความสะดวกในการเลือกชนิดและความหนาของท่อขนาดต่างๆ กัน ณ ความดันต่างๆ ของสารดับเพลิง สมการที่ (10) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$P = \frac{2SE(t - A)}{D} \qquad (11)$$

แล้วทำการคำนวณหาค่าความดันสูงสุดที่อนุญาตสำหรับวัสดุท่อและการต่อแบบต่างๆกันจากสมการที่ (11) เก็บเป็นตารางไว้ ซึ่งจะทำให้สามารถเลือกใช้ท่อเกรดต่างๆได้ง่ายขึ้น ในการคำนวณนี้จำเป็นที่จะต้องใช้ตารางมาตรฐานการผลิตท่อมาประกอบในการหาเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและความหนาท่อด้วย ผลที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 16 และ 19

ตารางที่ 18 *ความดันสูงสุดที่อนุญาต (MPa) ข้อต่อชนิดเกลียว*

Schedule 40 Steel Pipe							
			A-53B		A-53A		
	Grade:	A-106C	A-106B	A-53B	A-106A	A-53A	A-53F
	Type:	Seamless	Seamless	ERW	Seamless	ERW	Furnace
ขนาดท่อ	SE:MPa	145	124	106	99	88	56
15		17.9	15.3	13.1	12.3	10.4	7.0
20		15.4	13.2	11.3	10.6	9.0	6.0
25		14.0	12.0	10.2	9.6	8.1	5.4
32		12.3	10.5	9.0	8.4	7.2	4.8
40		11.5	9.9	8.4	7.9	6.7	4.5
50		10.3	8.8	7.5	7.1	6.0	4.0
65		10.4	8.9	7.6	7.1	6.0	4.0
80		9.6	8.2	7.0	6.6	5.6	3.7
100		8.8	7.6	6.4	6.0	5.1	3.4
125		8.2	7.0	6.0	5.6	4.8	3.2
150		7.9	6.7	5.8	5.4	4.6	3.1
200		7.5	6.4	5.4	5.1	4.3	2.9
Schedule 80 Steel Pipe							
			A-53B		A-53A		
	Grade:	A-106C	A-106B	A-53B	A-106A	A-53A	A-53F
	Type:	Seamless	Seamless	ERW	Seamless	ERW	Furnace
ขนาดท่อ	SE:MPa	145	124	106	99	88	56
15		31.0	26.5	22.7	21.2	18.1	12.0
20		26.7	22.9	19.5	18.3	15.6	10.4
25		24.1	20.7	17.6	16.5	14.0	9.4
32		21.2	18.2	15.5	14.5	12.4	8.2
40		19.9	17.0	14.5	13.6	11.6	7.7
50		18.1	15.5	13.2	12.4	10.5	7.0
65		17.7	15.2	13.0	12.2	10.3	6.9
80		16.5	14.2	12.1	11.3	9.6	6.4
100		15.3	13.1	11.2	10.5	8.9	5.9
125		14.3	12.3	10.5	9.8	8.3	5.6
150		14.5	12.4	10.6	9.9	8.5	5.6
200		13.4	11.5	9.8	9.2	7.8	5.2

ตารางที่ 19 *ความดันสูงสุดที่อนุญาต (MPa) ข้อต่อชนิดมีร่องม้วน (rolled groove) หรือชนิดเชื่อมSchedule 40 Steel Pipe*

Schedule 40 Steel Pipe							
			A-53B		A-53A		
	Grade:	A-106C	A-106B	A-53B	A-106A	A-53A	A-53F
	Type:	Seamless	Seamless	ERW	Seamless	ERW	Furnace
ขนาดท่อ	SE:MPa	145	124	106	99	88	56
15		37.6	32.2	27.4	25.8	21.9	14.6
20		37.4	26.7	22.8	21.4	18.2	12.1
25		29.3	25.1	21.4	20.1	17.1	11.4
32		24.4	20.9	17.9	16.7	14.2	9.5
40		22.1	17.1	16.2	15.1	12.9	8.6
50		18.8	16.1	13.7	12.9	10.9	7.3
65		20.4	17.5	14.9	14.0	11.9	7.9
80		17.9	15.3	13.8	12.3	10.4	6.9
100		15.3	13.1	11.2	10.5	8.9	5.9
125		13.4	11.5	9.8	9.2	7.8	5.2
150		12.2	10.5	8.9	8.4	7.1	4.8
200		10.8	9.3	7.9	7.4	6.3	4.2
Schedule 80 Steel Pipe							
			A-53B		A-53A		
	Grade:	A-106C	A-106B	A-53B	A-106A	A-53A	A-53F
	Type:	Seamless	Seamless	ERW	Seamless	ERW	Furnace
ขนาดท่อ	SE:MPa	145	124	106	99	88	56
15		50.7	43.4	37.1	34.8	29.5	19.7
20		42.5	36.4	31.1	29.1	24.8	16.5
25		39.4	33.8	28.8	27.0	23.0	15.3
32		33.3	28.6	24.4	22.9	19.4	12.9
40		30.5	26.1	22.3	20.9	17.8	11.8
50		26.6	22.8	19.4	18.2	15.5	10.3
65		27.8	23.7	20.3	19.1	16.2	10.8
80		24.8	21.3	18.2	17.0	14.5	9.2
100		21.7	18.6	15.9	14.9	12.6	8.4
125		19.5	16.7	14.3	13.4	11.4	7.6
150		18.9	16.2	14.0	12.9	11.0	7.3
200		16.8	14.4	12.3	11.5	9.8	6.5

บรรณานุกรม

1. American National Standard Institute: Power Piping B31.1
2. NFPA 2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems
3. NITTAN: คู่มือระบบดับเพลิงก๊าซไนโตรเจน
4. www.epa.gov/ozone: Carbon Dioxide as a Fire Suppressant : Examining the Risks, EPA430-R-00-002, Feb. 2000