สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงและฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ

T119506

ธนวัฒน์ นนท์ธนสิน
ธัญญพร ชาติกำแหง
นภสินธุ์ เทวะเส

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119506
วัน,เดือน,ปี - 8 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISSIPATIVE SILENCER AND DATABASE OF FLAMMABLE LIQUIDS

THANAWAT NONTHANASIN

THANYAPORN CHARTGUMHANG

NAPASIN THEVASE

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	อุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงและฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ
โดย	นายธนวัฒน์ นนท์ธนสิน นางสาวธัญญพร ชาติกำแหง นายนภสินธุ์ เทวะเส
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณพรจันทร์ เกษจุฬาศรีโรจน์ ผู้จัดการทั่วไปฝ่ายวิศวกรรม คุณโสพส ชูเวทย์ หัวหน้าส่วนกระบวนการ บริษัท โตโย-ไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)
ปริญญานิพนธ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

..... กรรมการ
(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	อุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงและฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ
โดย	นายธนวัฒน์ นนท์ธนสิน
	นางสาวธัญญพร ชาติกำแหง
	นายนภสินธุ์ เทวะเส
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณพรจันทร์ เกษจุฬาศรีโรจน์ ผู้จัดการทั่วไปฝ่ายวิศวกรรม
	คุณโสพส ชูเวทย์ หัวหน้าส่วนกระบวนการ
	บริษัท โตโย-ไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

การทำความสะอาดระบบท่อโดยทั่วไปใช้ไอน้ำอิ่มตัวหรือไอน้ำร้อนยิ่งยวดความดันสูง เมื่อไอน้ำนั้นถูกปล่อยจากท่อสู่บรรยากาศจะขยายตัวอย่างเร็วและเกิดเสียงดังเกินระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด ในการทำความสะอาดท่อขนาด 2", 2.5", 3", 3.5", 4" และ 5" ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ระดับเสียงต้องไม่เกิน 110 dB(A) และสำหรับท่อขนาด 6", 8", 10" และ 12" จะใช้เวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง ระดับเสียงต้องไม่เกิน 90 dB(A) อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อโดยใช้ใยแก้วความหนาแน่น 24 kg/m^3 เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่ได้ออกแบบในโครงการนี้ใช้ได้กับไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดตั้งแต่อุณหภูมิอิ่มตัวจนถึง 450 °C อัตราการไหลตั้งแต่ 5 – 40 ton/h ความดัน 1-3, 3-14, 14-20 และ 20-40 barg สามารถลดเสียงให้อยู่ภายใต้กฎหมายกำหนด

นอกจากนี้เพื่อความปลอดภัยในการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่น จำเป็นต้องป้องกันอันตรายจากการเกิดอัคคีภัยและการระเบิดของของเหลวไวไฟด้วยการออกแบบอุปกรณ์และโครงสร้างแบบการป้องกันเชิงรับ จึงต้องรวบรวมฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟส่วนใหญ่ที่พบการใช้อยู่ในโรงงาน เพื่อระบุความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับตามมาตรฐาน API RP 2218 ที่พิจารณาจากความเข้มข้นเฉลี่ยของของเหลวไวไฟที่บรรจุอยู่หรือใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ ในแต่ละพื้นที่กระบวนการผลิตที่คำนวณได้กับขีดจำกัดความไวไฟของของเหลวไวไฟนั้น โครงการนี้รวบรวมชนิดของของเหลวไวไฟ 166 สาร ที่จำเป็นต้องมีระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Dissipative silencer and database of flammable liquids
By	Mr. Thanawat Nonthanasin
	Ms. Thanyaporn Chartgumhang
	Mr. Napasin Thevase
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2010
Advisor	Assoc. Prof. Anchaleeporn Wasitswat Lothongkum
Co-Advisor	Ms. Pornchan Katejulasriroj, General Manager
	Mr. Solos Chuwet, Section Chiefs
	Toyo-Thai Corporation Public Company Limited

ABSTRACT

In steam flushing for piping system, saturated steam or high pressure superheated steam is generally used. The discharged steam rapidly expands and generates a loud noise exceeding sound pressure level legislation. The steam flushings of 2", 2.5", 3", 3.5", 4" and 5" nominal pipe sizes take approximately 30 minutes and sound pressure level must not exceed 110 dB(A). For 6", 8", 10" and 12" nominal pipe sizes, they take approximately 6-8 hours and sound pressure level must not exceed 90 dB(A). The dissipative silencers designed in this project using fiberglass of 24 kg/m^3 density as a sound absorber could be applied to saturated steam and superheated steam from saturated temperature to 450 $^{\circ}C$ at a mass flow rate of 40-50 ton/h and 1-3, 3-14, 14-20 and 20-40 barg, resulting in lower noise than the legislation.

For safety regulation in petrochemical plants and refineries, it is necessary to concern fire and explosion hazards from flammable liquids by using passive fire protection equipment and structures. Therefore, a database of flammable liquids requiring passive fire protection in accordance with API RP 2218 was collected by considering the calculated average concentrations of those flammable liquids, which were applied with various equipment at different process areas, and their flammable limits. This project presented 166 flammable liquids which need passive fire protection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของ บมจ. โตโย-ไทย คอร์ปอเรชั่น ที่ให้โอกาสและสนับสนุนทุนทำโครงการนี้ คุณทิวา จารึก รองประธานฝ่ายวิศวกรรมและประมูลงาน คุณพรจันทร์ เกษจุฬาศรีโรจน์ ผู้จัดการทั่วไปฝ่ายวิศวกรรม คุณโสพส ชูเวทย์ หัวหน้าส่วนกระบวนการ และพี่ๆ วิศวกรแผนกกระบวนการทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาในการทำงานและตรวจแก้ไขรายงาน ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และอาจารย์ทุกท่านที่อบรม สั่งสอน ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะทำงานขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นายธนวัฒน์ นนท์ธนสิน
นางสาวธัญญพร ชาติกำแหง
นายนภสินธุ์ เทวะเส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป XII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงาน 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 4
1.1 เสียง 4
1.2 กฎหมายการควบคุมระดับความดังของเสียง 6
1.3 หลักการควบคุมเสียง 7
1.4 ระดับเสียงที่เกิดจากการไหลของของไหลในท่อ 8
1.5 การดูดซับเสียง 9
1.5.1 กลไกการดูดซับเสียง 9
1.5.2 วัสดุดูดซับเสียง 10
1.6 อุปกรณ์ลดเสียง 14
1.7 สมการการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ
ที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 20

2.1 การป้องกันอัคคีภัย 20

2.2 การแบ่งประเภทของของเหลวไวไฟ 20

2.3 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 22

2.4 การประเมินอัตราการระเหยของของเหลวและความเข้มข้นเฉลี่ยของไอของของเหลว 27

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 การดำเนินงาน 30

ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 30

1.1 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 30

1.2 การคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้น 31

1.3 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ 31

1.4 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 32

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 34

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 36

ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 36

1.1 เปรียบเทียบการคำนวณขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงและระดับเสียงกรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียงของโครงการนี้กับนพคุณ และคณะ 36

1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกจากท่อสู่บรรยากาศและขนาดของอุปกรณ์ลดเสียง 39

1.3 การออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว 47

1.4 การประเมินราคาอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว 52

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 52

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 60
ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว 60
1.1 สรุปผลการดำเนินงาน 60
1.2 ข้อเสนอแนะ 60
ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 61
2.1 สรุปผลการดำเนินงาน 61
2.2 ข้อเสนอแนะ 61
เอกสารอ้างอิง 62
ภาคผนวก ก ข้อมูลการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้และไม่ใช้วัสดุดูดซับเสียง 65
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับอุปกรณ์ลดเสียง 126
ภาคผนวก ค ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 143
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (A-weighting network corrections)	6
2.2	ระดับความดังของเสียงกับระยะเวลาที่อนุญาตให้สัมผัส	7
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของพอลิยูรีเทนโฟม (ชนิดเซลล์เปิด) กับความหนา และความถี่ตรงกลางของเสียง	12
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วกับความหนาแน่น ความหนา และความถี่ตรงกลางของเสียง	13
2.5	การแยกประเภทของของเหลวไวไฟตามมาตรฐาน NFPA 30	21
2.6	มิติของขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ	25
2.7	ระดับของการป้องกันไฟในขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ	25
2.8	ข้อมูลการระบายไอสำหรับการควบคุมของเหลวไวไฟ	28
4.1	ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงสำหรับระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัว 40 barg ทำความสะอาด	37
4.2	ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 2-5 นิ้ว เมื่อทำความสะอาดด้วยไออิ่มตัว	48
4.3	ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 6-12 นิ้ว เมื่อทำความสะอาดด้วยไออิ่มตัว	49
4.4	ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วและระดับเสียงที่เกิดขึ้น จากการปล่อยไอน้ำภาวะต่างๆ	51
4.5	การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บโทลูอีน ที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการผลิตต่างๆ	55
ก.1	ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้	66
ก.2	ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.3 ระดับ เสียงจากท่อขนาด 2.5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของ/Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 70

ก.4 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2.5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 72

ก.5 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 74

ก.6 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 76

ก.7 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3.5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 78

ก.8 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3.5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 80

ก.9 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 82

ก.10 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 84

ก.11 ระดับเสียงจากท่อขนาด 5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 86

ก.12 ระดับเสียงจากท่อขนาด 5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 88

ก.13 ระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 90

ก.14 ระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.15 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 94

ก.16 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 96

ก.17 ระดับเสียงจากท่อขนาด 10 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 98

ก.18 ระดับเสียงจากท่อขนาด 10 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 100

ก.19 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 102

ก.20 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 104

ก.21 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 106

ก.22 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด300) °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 108

ก.23 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 110

ก.24 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 112

ก.25 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 114

ก.26 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ 116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก.27 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C).....118

ก.28 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C).....120

ก.29 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C).....122

ก.30 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C).....124

ข.1 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียง เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40.....128

ข.2 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40.....129

ข.3 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียง เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 5 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40.....131

ข.4 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 5 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40.....132

ข.5 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 กรณีระดับเสียงเกิน 90 dB(A).....134

ข.6 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A ที่เกิน 90 dB(A) สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 135

ข.7 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 กรณีระดับเสียงไม่เกิน 90 dB(A) 136

ข.8 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A ที่ไม่เกิน 90 dB(A) สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.9 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 139

ข 10. ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 140

ข.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของระดับเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วและสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ 141

ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ 144

ค.2 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บโทลูอีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ 156

ค.3 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บเฮกเซนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ 158

ค.4 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บคลอโรเบนซีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ 160

ง.1 การคำนวณพื้นที่กระบวนการและพื้นที่ในการถ่ายโอนมวล 163

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านอากาศ	4
2.2	ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงประเภทพอลิยูรีเทนโฟม	11
2.3	ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงประเภทใยหิน	12
2.4	ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงประเภทใยแก้ว	13
2.5	ลักษณะของคลื่นเสียงภายในอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ	14
2.6	ลักษณะของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง	14
2.7	ตำแหน่งอ้างอิงของไอน้ำที่ไหลผ่านท่อที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง	15
2.8	ตำแหน่งอ้างอิงของไอน้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ	17
2.9	ตำแหน่งอ้างอิงของไอน้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง	19
2.10	ตัวอย่างโครงสร้างที่รองรับอุปกรณ์ที่มีและไม่มีความเสี่ยงและอันตราย จากการติดไฟในขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ	26
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง	30
3.2	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ	34
4.1	ระดับเสียงที่เกิดเมื่อปล่อยไอน้ำอิ่มตัว 40 barg ออกจากท่อไอน้ำ 6 นิ้ว Sch. No. 40 ที่อัตราการไหลต่างๆ กรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง	37
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงกับ อัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg	38
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุปกรณ์ลดเสียงกับ อัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg	38
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวความดัน40 barg กับขนาดท่อและอัตราการไหลของไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง	40
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด ความดัน 40 barg กับอัตราการไหล กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ กับอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดความดัน 40 barg 42

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวอัตราการไหล 40 ton/h กับขนาดท่อไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง 43

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด อัตราการไหล 40 ton/h จากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 กับความดันของไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง.....44

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ กับความดันของไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดอัตราการไหล 40 ton/h 44

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด อัตราการไหล 40 ton/h ความดัน 40 barg กับขนาดท่อไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ ลดเสียง.....45

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวอัตราการไหล 40 ton/h จากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 และ 80 กับความดันของไอน้ำต่างๆ 46

4.12 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 2-5 นิ้ว 50

4.13 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 6-12 นิ้ว.....50

4.14 ถังเก็บของเหลวไวไฟ.....52

4.15 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนที่พื้นที่กระบวนการผลิต :
อุณหภูมิ ก) 50 °C ข) 60 °C ค) 70 °C และ ง) 80 °C.....57

4.16 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนที่พื้นที่กระบวนการผลิต :
อุณหภูมิ ก) 50 °C ข) 60 °C ค) 70 °C และ ง) 80 °C.....58

4.17 ความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรเบนซีนที่พื้นที่กระบวนการผลิต :
อุณหภูมิ ก) 50 °C ข) 60 °C ค) 70 °C และ ง) 80 °C.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

การทำความสะอาดระบบท่อโดยใช้ไอน้ำ (Steam flushing) เพื่อไล่สิ่งสกปรก เมื่อไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงหรือไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ใช้ถูกปล่อยออกจากท่อสู่บรรยากาศจะขยายตัวอย่างเร็วและเกิดเสียงดังมากกว่า 150 dB(A) ซึ่งเกินระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนดคือ 110 dB(A) ในเวลา 30 นาที หรือ 90 dB(A) ในเวลา 8 ชั่วโมง [1] การทำความสะอาดท่อขนาดเล็ก เช่น 2-4 นิ้ว จะใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที สำหรับท่อขนาดใหญ่ เช่น 10-12 นิ้ว จะทำ 3 รอบ รอบละประมาณ 8 ชั่วโมง นอกจากนี้ในการถ่ายของเหลวไวไฟที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำระหว่างภาชนะบรรจุในโรงงานอุตสาหกรรม หรือเมื่อของเหลวไหลผ่านท่อและอุปกรณ์อาจมีไฟฟ้าสถิตสะสม และมีความเสี่ยงจากการระเบิดและเกิดไฟไหม้ โครงการก่อนนี้โดยนพคุณ ตั้งพานิชวงศ์ และคณะ (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2551) ได้ออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (Reactive silencer) ที่ใช้สำหรับการทำความสะอาดท่อด้วยไอน้ำอิ่มตัวความดัน 1.5, 3, 14, 20, 38 และ 40 barg อัตราการไหล 1, 3, 5 และ 10 kg/s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อไอน้ำ 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 และ 16 นิ้ว และทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่จำเป็นต้องมีอิเล็กทริคอลบอนดิ้ง (Electrical bonding) เพื่อถ่ายประจุไฟฟ้าสถิตลงดิน โดยพิจารณาจากชนิดและอัตราการไหลของของเหลวไวไฟ ข้อมูลเฉพาะของของเหลวไวไฟ ได้แก่ ค่าความนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific conductivity) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (Relative dielectric constant) และค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิด (Minimum ignition energy) รวมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อที่ของเหลวไวไฟนั้นไหลผ่าน

โครงการที่จะทำต่อนี้ต้องการพัฒนาอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อโดยเพิ่มวัสดุดูดซับเสียง (Dissipative silencer) สำหรับการทำความสะอาดท่อไอน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้อยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดความดัน 1.5, 3, 14, 20, 38 และ 40 barg ที่อัตราการไหล 5, 10, 20 และ 40 ton/h ให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อและลดระดับเสียงเพื่อสภาพการทำงานที่ปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้เพื่อการออกแบบและการใช้งานท่อ อุปกรณ์ และโครงสร้างของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นที่ใช้กับของเหลวไวไฟที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ต้องรวบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟสำหรับลดความเสี่ยงและป้องกันอันตรายที่จะเกิดการระเบิดและเกิดอัคคีภัย (Explosion and fire protection) แบบการป้องกันเชิงรับ (Passive fire protection) ให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับใช้กับขนาดท่อและระดับความดันของไอน้ำร้อนยิ่งยวดและไอน้ำอิ่มตัวที่ต้องการ
2. สร้างฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เพื่อการออกแบบและใช้งานท่อ อุปกรณ์ และโครงสร้างของในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นแบบการป้องกันเชิงรับ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

การออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ลดเสียงและการทำอิเล็กทริคอลบอนดิ้ง
2. คำนวณระดับเสียงที่เกิดจากการไหลผ่านท่อของไอน้ำ ชนิดของวัสดุดูดซับเสียงในการทำความสะอาดระบบท่อโดยใช้ไอน้ำที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง
3. ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง และเลือกชนิดวัสดุดูดซับเสียง
4. คำนวณและออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่มีวัสดุดูดซับเสียง

การทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องทำการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

1. ศึกษาลักษณะการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่น และวิธีการป้องกันอัคคีภัยแบบต่างๆ
2. ศึกษาสมบัติของของเหลวไวไฟ เช่น จุดวาบไฟ จุดเดือด ความดันไอ ค่าความนำไฟฟ้าจำเพาะ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ และค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิด เป็นต้น
3. ทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟชนิดต่างๆ ที่ใช้กับอุปกรณ์ เช่น ปั๊ม อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำออกจากท่อสู่บรรยากาศ
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ลดเสียง และหลักการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง
3. ศึกษาชนิดของวัสดุดูดซับเสียงและเลือกวัสดุดูดซับเสียง
4. คำนวณระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำออกจากท่อสู่บรรยากาศที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง และเปรียบเทียบกับกฎหมาย
5. คำนวณขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่เลือกใช้ได้กับไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ขนาดท่อและระดับความดันต่างๆ
6. คำนวณขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงที่เลือกใช้ได้กับไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ขนาดท่อและระดับความดันต่างๆ
7. สร้างตารางขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงที่สามารถนำไปเลือกใช้ได้กับขนาดของท่อและระดับความดันของไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ต้องการ

ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องทำการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

1. ศึกษาลักษณะการเกิดอัคคีภัยและวิธีการป้องกันอัคคีภัยแบบต่างๆ
2. ศึกษาสมบัติของของเหลวไวไฟ
3. ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับของเหลวไวไฟและการป้องกันอัคคีภัย
4. ทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่นที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงาน

1. แบบของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงที่สามารถลดระดับเสียงไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนด
2. ได้ฐานข้อมูลของของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

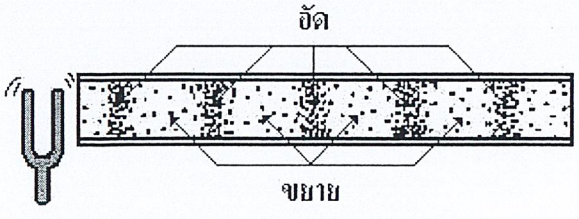
1.1 เสียง [1-3]

เสียงเป็นพลังงานในรูปคลื่นที่เรียกว่าคลื่นกล เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือนจะเกิดการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียงแล้วส่งผ่านตัวกลางไปยังหู เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศ นอกจากนี้เสียงยังเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal wave) เพราะการสั่นของโมเลกุลขณะเสียงเคลื่อนที่มีลักษณะสั่นกลับไปมาในแนวเดียวกับที่เสียงเคลื่อนที่ และเสียงสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นๆ ได้ เช่น เปลี่ยนจากพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน เป็นต้น

เสียงดัง หมายถึง เสียงที่ไม่พึงปรารถนาหรือก่อให้เกิดการรบกวน โดยทั่วไปหูคนจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงและความถี่กลาง การได้ยินที่ความถี่สูงจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้นหรือทำงานในที่มีเสียงดังเป็นระยะเวลานาน สำหรับความถี่ของเสียงที่พูดหรือสนทนากันอยู่ระหว่าง 300-3,000 Hz

การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านอากาศ [2]

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่นจะถ่ายทอดการสั่นให้แก่โมเลกุลของตัวกลางที่อยู่ใกล้ และโมเลกุลนั้นจะสั่นกลับไปมาพร้อมกับถ่ายทอดการสั่นให้แก่โมเลกุลต่อๆ ไป ดังรูปที่ 2.1 ทำให้พลังงานของเสียงแผ่กระจาย โดยจะเกิดช่วงอัดที่โมเลกุลเคลื่อนที่อัดกันหนาแน่นสลับไปกับช่วงขยายที่โมเลกุลเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน ทำให้โมเลกุลหนาแน่นน้อยกว่าปกติ ระยะห่างระหว่างช่วงอัด เรียกว่า ความยาวคลื่น (λ) ซึ่งจะเท่ากับระยะห่างระหว่างช่วงขยายด้วย



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านอากาศ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดังของเสียง [4]

วัดจากพลังงานเสียงที่ตกลงบนพื้นที่รับเสียง ความดังของเสียงพิจารณาจาก

1. ความเข้มของเสียง วัดจากพลังงานเสียงที่ตกตั้งฉากบนพื้นที่รับเสียง 1 ตารางหน่วย ในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร เสียงที่มนุษย์ได้ยินมีค่าความเข้มของเสียง ระหว่าง 10^{-12}-1 วัตต์/ตารางเมตร

2. ระดับความเข้มเสียง เป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างความเข้มเสียงที่วัดได้กับค่าความเข้มเสียงต่ำสุดที่หูมนุษย์ได้ยิน นิยมใช้หน่วยเดซิเบล

$$L = 10log\frac{I}{I_0} \tag{2.1}$$

โดยที่ I = ความเข้มเสียง (W/m^2)

I_0 = ความเข้มของเสียงต่ำสุดที่มนุษย์จะได้ยิน คือ 10^{-12} W/m^2

เดซิเบลเป็นสเกลที่มาจากการแปลงความดันเสียงที่หูของมนุษย์สามารถได้ยินคือ ช่วง 20 μPa ถึง 100 Pa ให้เป็นสเกลที่แคบลงและให้ง่ายต่อการเข้าใจ เมื่อเปลี่ยนเป็นเดซิเบลแล้วจะมีช่วงระหว่าง 0-140 dB สำหรับหูของมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่ระดับความเข้มเสียง 0-120 dB หรือในช่วงความถี่ 20-20,000 Hz การแปลงเป็นเดซิเบลเอ (dB(A)) จะให้ผลการตรวจวัดเสียงเหมือนลักษณะของเสียงที่มนุษย์ได้ยินมากที่สุด ซึ่งต้องปรับแก้ระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ต่างๆ ด้วยค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A [5-6] ดังตารางที่ 2.1 การคำนวณระดับความเข้มเสียงในหน่วยเดซิเบลเอ (dB(A)) ดังสมการ

$$L_{pt} = 10log_{10}\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \ldots + 10^{L_N/10}\right) \tag{2.2}$$

โดยที่ L_{pt} = ระดับความเข้มเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (dB(A))

$L_1, L_2, \ldots, L_N$ = ระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ต่างๆ (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (A-weighting network corrections) [6]

Frequency (Hz)	A-weighting correction (dB)	Frequency (Hz)	A-weighting correction (dB)
10	-70.4	500	-3.2
12.5	-63.4	630	-1.9
16	-56.7	800	-0.8
20	-50.5	1,000	0.0
25	-44.7	1,250	0.6
31.5	-39.4	1,600	1.0
40	-34.6	2,000	1.2
50	-30.2	2,500	1.3
63	-26.2	3,150	1.2
80	-22.5	4,000	1.0
100	-19.1	5,000	0.5
125	-16.1	6,300	-0.1
160	-13.4	8,000	-1.1
200	-10.9	10,000	-2.5
250	-8.6	12,500	-4.3
315	-6.6	16,000	-6.6
400	-4.8	20,000	-9.3

1.2 กฎหมายการควบคุมระดับความดังของเสียง [7]

การทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงดัง จะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงานที่สำคัญ คือ อาจทำให้เกิดประสาทหูเสื่อมจนถึงขั้นสูญเสียการได้ยินแบบถาวร ดังนั้นจึงต้องกำหนดมาตรฐานของเสียงในสถานประกอบการ เพื่อป้องกันอันตรายจากเสียงต่อผู้ปฏิบัติงาน OSHA (Occupational Safety and Health Act) และกรมควบคุมมลพิษ กำหนดมาตรฐานระยะเวลาที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับระดับความดังเสียงหนึ่งๆ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ระดับความดังของเสียงกับระยะเวลาที่อนุญาตให้สัมผัส [7]

ระดับความดังของเสียง (เดซิเบล เอ)	ระยะเวลาที่อนุญาตให้สัมผัสได้ (ชั่วโมง)
120	1/8 (7 นาที 30 วินาที)
115	1/4 (15 นาที)
110	1/2 (30 นาที)
105	1
100	2
95	4
90	8
85	16
80	32

1.3 หลักการควบคุมเสียง [8-10]

การควบคุมเสียง หมายถึง การลดการปล่อยพลังงานเสียง แนวทางการควบคุมเสียงต้องชี้บ่งแหล่งกำเนิดเสียง ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง รวมถึงเส้นทางเดินของเสียงจากแหล่งกำเนิด เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงเดินทางด้วย 3 เส้นทาง คือ

1. เส้นทางโดยตรงจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังผู้สัมผัสเสียง เรียกว่า เสียงตรง (Direct noise) หรือ เสียงผ่านอากาศ (Air-borne noise)

2. เส้นทางที่เสียงเดินทางผ่านโครงสร้างต่างๆ (Structure-borne noise) หรือผ่านพื้น (Ground-borne noise)

3. เส้นทางที่มาจากการสะท้อนของเสียงผ่านผนัง พื้น หรือเพดาน แล้วเดินทางผ่านอากาศไปยังผู้สัมผัสเสียง เรียกว่า เสียงสะท้อน (Reverberant or reflected noise)

ดังนั้นสามารถควบคุมเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียง (Control at source) ควบคุมที่ทางผ่านของเสียง (Control along sound transmission path) และควบคุมที่ผู้สัมผัสเสียง (Control at receiver) การควบคุมเสียงทางวิศวกรรมจะใช้วัสดุหรืออุปกรณ์ควบคุมเสียง สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ

1. แผ่นกั้นเสียง เป็นวัสดุที่นำมากั้นไม่ให้เสียงผ่านไปได้ จึงต้องมีความหนาแน่นสูง ไม่มีรูพรุน กลไกการทำงานของแผ่นกั้นเสียงคือสะท้อนเสียงกลับไปยังทิศทางเดิมของเสียง พลังงานเสียงที่ลดลงไปวัดจากค่าความสูญเสียของการส่งผ่าน (Transmission loss) หรือนิยมวัดเป็นค่าสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการส่งผ่าน ซึ่งแปรผกผันกับค่าความสูญเสียของการส่งผ่าน แผ่นกั้นเสียงที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านเท่ากับศูนย์ แสดงว่าสามารถกั้นเสียงหรือสะท้อนเสียงได้ดีมาก

2. วัสดุดูดซับเสียง เป็นวัสดุมีรูพรุนซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับให้เป็นพลังงานความร้อน ส่งผลให้ระดับเสียงลดลง ส่วนใหญ่วัสดุที่นิยมใช้ในการดูดซับเสียง ได้แก่ โฟม และใยแก้ว (Fiberglass) เป็นต้น วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงถือว่ามีสมบัติการดูดซับเสียงดี

3. วัสดุลดการสั่นสะเทือน เป็นวัสดุที่สามารถลดเสียงลงได้เนื่องจากการติดตั้งไว้กับแหล่งกำเนิดเสียงที่สั่นสะเทือน เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน (Vibration damping) เมื่อการสั่นสะเทือนลดลง จะส่งผลทำให้ระดับเสียงลดลงด้วย

4. วัสดุหรืออุปกรณ์กันสะเทือน อาจเป็นสปริง หรือแผ่นยาง หรือวัสดุอื่นใดที่ใช้ลดการส่งต่อหรือส่งผ่านของพลังงานเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดเสียงไปตามโครงสร้างของอาคาร เพื่อแยกการสั่นสะเทือน (Vibration isolation)

5. อุปกรณ์ลดเสียง ใช้ลดพลังงานเสียงจากระบบปรับอากาศ ท่อไอเสียรถยนต์ คอมเพรสเซอร์ หรือระบบท่อ ความสามารถในการลดเสียงเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงหรือค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนตัวของคลื่นเสียง (Acoustic impedance) นอกจากนี้ยังสามารถติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงควบคู่ไปด้วยได้

1.4 ระดับเสียงที่เกิดจากการไหลของของไหลในท่อ [11]

ระดับเสียง (Sound pressure level: SPL) จากการไหลของของไหลผ่านท่อที่ระยะทางห่างจากท่อ 1 เมตรสำหรับความถี่ตรงกลางของเสียง (Octave band center frequency: f_c) ค่าหนึ่ง คำนวณได้จากสมการ

$$SPL = -3.5 + 40\log U + 20\log\rho + 20\log K - 10\log\left[\frac{t}{D}\left(1+\frac{1.83}{D}\right)\right] - 5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right] + \Delta L(f_c) \quad (2.3)$$

โดยที่ U = ความเร็วของของไหลในท่อ (m/s)

ρ = ความหนาแน่นของของไหลในท่อ (kg/m^3)

t = ความหนาของผนังท่อ (m)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

f_c = ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_r = Ring frequency ของท่อ (Hz) สำหรับท่อเหล็กคาร์บอน $f_r = 1{,}608/D$

K = Total loss factor สำหรับการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดอย่างรวดเร็ว K = 1

$\Delta L(f_c)$ = Spectral correction ขึ้นกับอัตราส่วนของความถี่ตรงกลางของเสียงกับ Strouhal frequency ของท่อ (f_p) ซึ่ง $f_p = 0.2U/D$ ดังนั้น

$$\Delta L = 10.4 + 11.4 \log \frac{f_c}{f_p} \quad \text{สำหรับ } \frac{f_c}{f_p} < 0.5 \tag{2.4}$$

$$\Delta L = 7 \quad \text{สำหรับ } 0.5 \le \frac{f_c}{f_p} < 5 \tag{2.5}$$

$$\Delta L = 14 - 10 \log \frac{f_c}{f_p} \quad \text{สำหรับ } 5 \le \frac{f_c}{f_p} < 12 \tag{2.6}$$

$$\Delta L = 41.9 - 36.1 \log \frac{f_c}{f_p} \quad \text{สำหรับ } \frac{f_c}{f_p} \ge 0.5 \tag{2.7}$$

1.5 การดูดซับเสียง (Sound absorption)

1.5.1 กลไกการดูดซับเสียง [12-15]

เมื่อเสียงกระทบกับพื้นผิวของวัสดุดูดซับที่มีรูพรุน พลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับและบางส่วนจะผ่านเข้าไปในวัสดุดูดซับ พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับเข้าไปจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับแสดงในรูปของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound absorption coefficient) พิจารณาได้ 2 ลักษณะ คือ

1. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound absorption coefficient, SAC) หมายถึง สัดส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับเทียบกับพลังงานเสียงจากแหล่งกำเนิด คำนวณได้จากสมการ

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i} \tag{2.8}$$

โดยที่ α = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

W_a = พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับโดยพื้นผิวของวัสดุดูดซับเสียง

W_i = พลังงานเสียงจากแหล่งกำเนิด

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และแตกต่างกันตามความถี่ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 0 หมายความว่า วัสดุนั้นไม่สามารถดูดซับเสียงได้เลย เสียงจะสะท้อนกลับหมด วัสดุนี้จึงไม่เหมาะจะนำมาใช้ดูดซับเสียง แต่เหมาะจะนำไปใช้ทำเป็นแผ่นกั้นเสียงเพื่อสะท้อนเสียงกลับไปให้หมด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 1 หมายความว่า วัสดุนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถดูดซับเสียงได้ทั้งหมด ไม่มีเสียงสะท้อนกลับเลย ซึ่งในความเป็นจริงไม่มีวัสดุใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 0 หรือ 1 ถ้าวัสดุใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงน้อยกว่า 0.15 ถือว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียง ถ้ามากกว่า 0.4 ขึ้นไปถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง การเลือกวัสดุเพื่อใช้ดูดซับเสียงจึงควรเลือกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงๆ ในช่วงความถี่ที่สนใจจะทำการควบคุม ค่าการดูดซับเสียงของทุกวัสดุจะแปรผันกับความถี่ของเสียงที่เข้าไปกระทบ ดังนั้นค่าการดูดซับเสียงจะวัดที่หลายความถี่ ได้แก่ 125, 250, 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 Hz ซึ่งเป็นความถี่ตรงกลางของเสียง

2. สัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise reduction coefficient, NRC) คือ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่วัดที่ความถี่ตรงกลางของเสียง 250, 500, 1,000 และ 2,000 Hz เป็นค่าที่บอกความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยทั่วไปต้องมีค่ามากกว่า 0.40 จึงถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง สัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงคำนวณได้จากสมการ

$$NRC = \frac{\alpha_{(250)}+\alpha_{(500)}+\alpha_{(1,000)}+\alpha_{(2,000)}}{4} \qquad (2.9)$$

โดยที่ $\alpha_{(f)}$ = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่วัดที่ความถี่ตรงกลางของเสียง

NRC = สัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง

1.5.2 วัสดุดูดซับเสียง (Sound absorptive materials) [11, 16-18]

วัสดุดูดซับเสียงทำหน้าที่ควบคุมเสียงด้วยการเปลี่ยนพลังงานเสียงที่มาตกกระทบให้เป็นพลังงานความร้อน วัสดุดูดซับเสียงที่ดีควรมีลักษณะเป็นรูพรุน ความสามารถในการดูดซับขึ้นกับความยาวคลื่นของเสียง การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำจะไม่ดีเท่าความถี่สูง และเนื่องจากลักษณะสมบัติของการดูดซับที่เปลี่ยนแปลงอย่างมากตามความถี่ของเสียง เมื่อนำวัสดุดูดซับเสียงไปใช้งาน จะต้องพิจารณาว่าเสียงที่จะทำการควบคุมนั้นมีระดับความดังสูงในช่วงความถี่ใด แล้วจึงเลือกวัสดุดูดซับเสียงที่สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่ช่วงความถี่นั้นๆ วัสดุดูดซับเสียงแบ่งได้ 3 แบบ ดังนี้

1. แบบเส้นใย (Fibrous material) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ จำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้อาจทำมาจากวัสดุอินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติ เช่น ใยพืชต่างๆ หรืออาจทำจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยแร่ (Mineral fiber) เป็นต้น การใช้งานวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นเส้นใยกับอุปกรณ์ลดเสียงจะต้องมีสิ่งหุ้มป้องกัน ซึ่งส่วนใหญ่คือโลหะที่เจาะให้เป็นรู

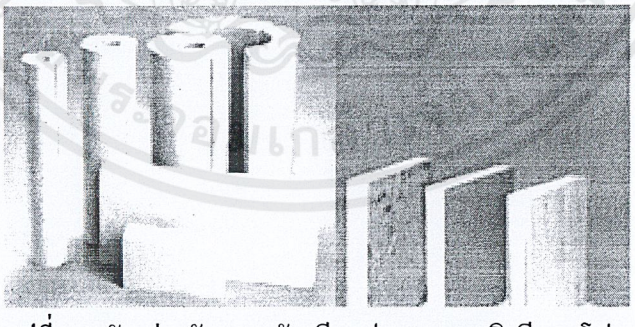
2. แบบเซลล์ (Cellular material) ประกอบด้วยเซลล์เล็กๆ ที่ผนึกติดกับเซลล์อื่นๆ ฉนวนแบบเซลล์ผลิตจากแก้ว พลาสติก และยาง เช่น เซลลูลาร์กลาส โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบแกรนูลาร์ (Granular material) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กกลวงซึ่งสามารถถ่ายเทอากาศระหว่างกันได้ จึงแตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็นแคลเซียมซิลิเกต ดิน ไดอะตอม หรือไม้ก๊อก

สมบัติที่สำคัญของวัสดุดูดซับเสียงที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง คือ ความหนา ความหนาแน่น ความเป็นรูพรุน (Porosity) ความต้านทานการไหล (Flow resistance) สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Coefficient of elasticity) ค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียง และสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง โดยทั่วไปวัสดุดูดซับเสียงที่นิยมใช้กันมาก คือ ฉนวนพอลิยูรีเทนโฟม ฉนวนใยแร่ และฉนวนใยแก้ว ซึ่งมีสมบัติที่ต่างกัน ดังนั้นต้องเลือกนำไปใช้งานในภาวะต่างๆ ให้เหมาะสม

1. ฉนวนพอลิยูรีเทนโฟม (รูปที่ 2.2) เป็นพลาสติกพอลิเมอร์ประเภทหนึ่ง มีลักษณะเป็นโฟมแข็ง หรือ หล่อเป็นแผ่นสำเร็จ นำไปใช้เพื่อป้องกันความร้อนใต้หลังคา หรือเพื่อหุ้มท่อ โฟมพอลิยูรีเทนจัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด เซลล์ภายในจะบรรจุด้วยแก๊สฟลูออโรคาร์บอน โฟมชนิดนี้มีข้อดี คือ สภาพนำความร้อนต่ำสุด สมบัติการดูดซับเสียงปานกลาง ทนต่อการซึมของไอน้ำและการดูดซึมน้ำต่ำเนื่องจากมีความจุของเซลล์ที่ชิดกันสูงมาก น้ำหนักเบา แข็งแรง ยืดหยุ่นได้ ติดตั้งง่าย และมีช่วงอุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -70 °C ถึง 100 °C แต่มีข้อเสีย คือ สามารถลุกไหม้ได้ ซึ่งเมื่อถูกเผาไหม้จะผลิตแก๊สพิษขึ้น ดังนั้นต้องหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟไหม้หรือผสมสารยับยั้งการติดไฟ ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของพอลิยูรีเทนโฟม (ชนิดเซลล์เปิด) กับความหนาและความถี่ตรงกลางของเสียง แสดงดังตารางที่ 2.3



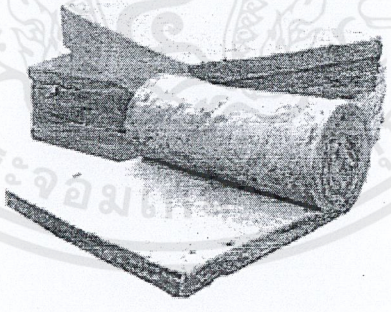
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงประเภทพอลิยูรีเทนโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของพอลิยูรีเทนโฟม (ชนิดเซลล์เปิด) กับความหนาและความถี่ตรงกลางของเสียง [14]

สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง						
ความหนา (in)	ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)					
	125	250	500	1,000	2,000	4,000
1	0.14	0.30	0.63	0.91	0.98	0.91
2	0.35	0.51	0.82	0.98	0.97	0.95

2. ฉนวนใยแร่ (รูปที่ 2.3) ทำมาจากแร่ใยหินหรือที่รู้จักกันในชื่อ แอสเบสตอส (Asbestos) เป็นแร่ที่ประกอบด้วยธาตุแมกนีเซียม เหล็ก ซิลิเกต และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย มีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ไม่ติดไฟ สภาพนำความร้อนต่ำ สมบัติการดูดซับเสียงดี และมีช่วงอุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -240 °C ถึง 820 °C จึงมีการใช้อย่างกว้างขวางในเชิงอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามการปฏิบัติงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการใช้แอสเบสตอสในรูปแบบที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายได้ จะมีความเสี่ยงสูงในการหายใจอากาศที่มีแอสเบสตอสปนเปื้อนเข้าสู่ปอด ซึ่งจะทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้แอสเบสตอส โดยใช้วัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันแทน เช่น ใยแก้ว เป็นต้น



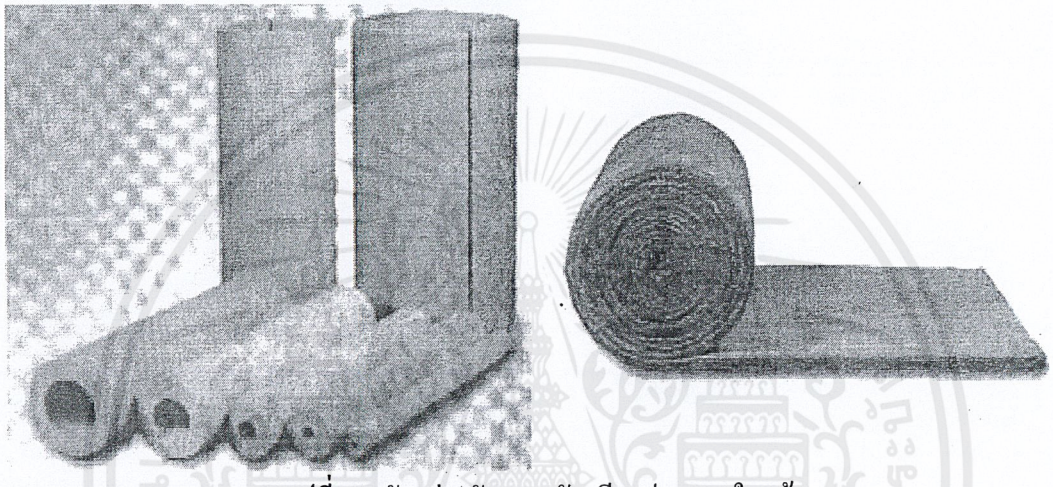
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงประเภทใยหิน

3. ฉนวนใยแก้ว (รูปที่ 2.4) ใยแก้วแบ่งตามรูปร่างเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous fibers) ที่ใช้ทำเส้นใยสิ่งทอ และเส้นใยไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous or short fibers) ที่ใช้ทำผ้าห่ม และแผ่นบอร์ดทำแผ่นกรอง หรือฉนวนความร้อนและฉนวนดูดซับเสียง ฉนวนใยแก้วผลิตจากการปั่นแก้วจนเป็นเส้นเกลียวบาง มีข้อดี คือ สภาพนำความร้อนต่ำ สมบัติการดูดซับเสียงดี ไม่ติดไฟ ทนสารเคมีและไอของสารเคมีได้สูง ไม่ดูดซับสาร ไม่กัดกร่อนวัสดุที่หุ้ม ไม่เป็นพิษ เสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น และมีช่วงอุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -18 °C ถึง 450 °C ดังนั้นสามารถนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนหรือฉนวนกันความเย็นสำหรับหุ้มท่อในงานอุตสาหกรรมได้ การติดตั้งต้องมีตัวยึดและมีสิ่งหุ้มป้องกัน เช่น อะลูมิเนียมเจาะรู

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วกับความหนาแน่น ความหนา และความถี่ตรงกลางของเสียง



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงประเภทใยแก้ว

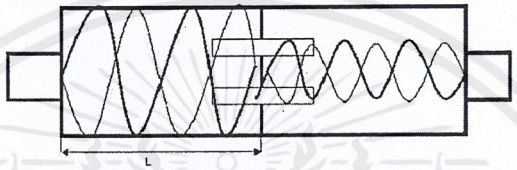
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วกับความหนาแน่น ความหนา และความถี่ตรงกลางของเสียง [14]

สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง								
ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนา (mm)	ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	NRC
24	25	0.17	0.33	0.64	0.83	0.90	0.92	0.70
	50	0.22	0.87	0.98	1.02	0.98	1.00	0.90
48	25	0.11	0.28	0.68	0.90	0.93	0.96	0.70
	50	0.17	0.86	1.14	1.07	1.02	0.98	1.00
96	25	0.02	0.27	0.63	0.85	0.93	0.95	0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

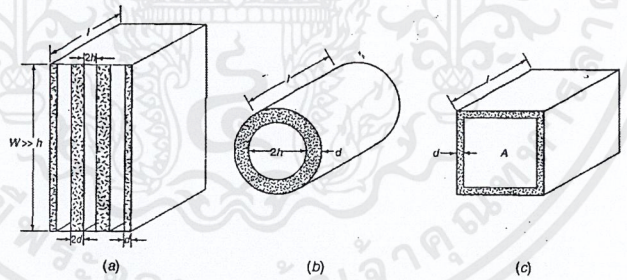
1.6 อุปกรณ์ลดเสียง (Silencer) แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้ [11, 18-19]

1. อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (Reactive silencer) มีหลักการทำงานโดยการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของท่ออย่างกะทันหัน เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงหรือค่าความต้านทานต่อการเคลื่อนตัวของคลื่นเสียง และเกิดการสะท้อนของคลื่นเสียงภายในท่อ ทำให้ระดับเสียงลดลง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของคลื่นเสียงภายในอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ [11]

2. อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง (Dissipative silencer) เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้มากที่สุดในงานท่อที่มีของไหลเป็นแก๊ส มีหลักการทำงานโดยให้เสียงกระทบกับพื้นผิวของวัสดุดูดซับเสียง พลังงานเสียงบางส่วนจะถูกดูดซับและที่เหลือจะสะท้อนออกไป พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ดังรูปที่ 2.6

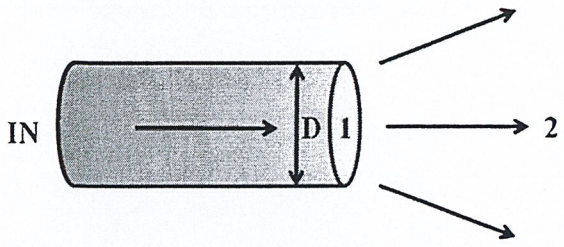


รูปที่ 2.6 ลักษณะของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง
(a) Parallel baffle (b) Round (c) Line ducts [11]

1.7 สมการการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

ในการทำความสะอาดระบบท่อด้วยไอน้ำ ระดับเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อไอน้ำถูกปล่อยออกจากท่อสู่บรรยากาศ ขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อไอน้ำ ความเร็วของไอน้ำที่ปล่อย และปริมาตรจำเพาะของไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันของไอน้ำ ซึ่งมีตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้คำนวณ ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งอ้างอิงของไอน้ำที่ไหลผ่านท่อที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

ถ้าให้ไอน้ำประพฤติตัวแบบแก๊สอุดมคติและเป็นของไหลที่ยุบตัวตามแรงอัด (Compressible fluid) การไหลของไอน้ำผ่านท่อเป็นแบบคงตัว (Steady state) ดังนั้นอัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำจะคงที่ และเมื่อพื้นที่หน้าตัดของท่อคงที่ อุณหภูมิและความดันของไอน้ำที่ทางเข้าและทางออกของท่อไม่เปลี่ยนแปลง ระดับเสียงสูงสุดที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณจากสมการที่ (2.3) และจัดรูปใหม่ได้ดังสมการ

$$SPL=-3.5+40\log v_2+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D}\left(1+\frac{1.83}{D}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c) \quad (2.10)$$

เมื่อ v_2 = ความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (m/s)

V_g = ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (m^3/kg)

จากกฎของแก๊สอุดมคติ

$$PV = nRT = \frac{m}{MW}RT \quad (2.11)$$

เมื่อ P = ความดันของไอน้ำ (bar)

V = ปริมาตรของไอน้ำ (m^3)

n = จำนวนโมลของไอน้ำ (mol)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส ($m^3 \cdot bar \cdot K^{-1} \cdot kmol^{-1}$) = 8.314472×10^{-2} $m^3 \cdot bar \cdot K^{-1} \cdot kmol^{-1}$

T = อุณหภูมิของไอน้ำ (K)

m = มวลของไอน้ำ (kg)

MW = น้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ = 18 kg/kmol

จากสมการที่ (2.11) จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PQ = \frac{\dot{m}}{MW}RT \tag{2.12}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอน้ำ (m^3/s)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ (kg/s)

จากความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเชิงปริมาตรกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ (A) และความเร็วของไอน้ำ (v)

$$Q = Av \tag{2.13}$$

แทนค่าสมการที่ (2.13) ลงในสมการที่ (2.12) จะได้

$$PAv = \frac{\dot{m}}{MW}RT \tag{2.14}$$

จัดรูปสมการที่ (2.14) ใหม่ได้

$$v = \frac{\dot{m}RT}{PA\,MW} \tag{2.15}$$

ดังนั้นความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) คำนวณได้จาก

$$v_1 = \frac{\dot{m}_1 RT_1}{P_1 A_1\,MW} = \frac{\dot{m}RT_{in}}{P_{in}A_1\,MW} \tag{2.16}$$

เมื่อ P_{in} = ความดันของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (bar)

T_{in} = อุณหภูมิของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (K)

จัดรูปสมการที่ (2.16) ใหม่ได้

$$A_1 = \frac{\dot{m}RT_{in}}{P_{in}v_1\,MW} \tag{2.17}$$

คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยออกบรรยากาศ (v_2) จาก

$$v_2 = \frac{\dot{m}_2 RT_2}{P_2 A_2\,MW} = \frac{\dot{m}RT_{atm}}{P_{atm}A_1 MW} \tag{2.18}$$

เมื่อ P_{atm} = ความดันของบรรยากาศ (bar)

T_{atm} = อุณหภูมิของบรรยากาศ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แทนค่าสมการที่ (2.17) ลงในสมการที่ (2.18) จะได้

$$v_2 = \frac{\dot{m}RT_{atm}}{P_{atm}\,MW} \cdot \frac{P_{in}v_1\,MW}{\dot{m}RT_{in}} = \frac{P_{in}T_{atm}\,v_1}{P_{atm}T_{in}} \tag{2.19}$$

จากสมการที่ (2.13)

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1} \tag{2.20}$$

พื้นที่หน้าตัดของท่อ (A) คำนวณจาก

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \tag{2.21}$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

แทนค่าสมการที่ (2.20) และ (2.21) ลงในสมการที่ (2.19) จะได้

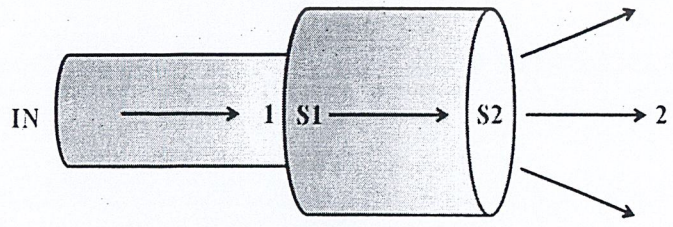
$$v_2 = \frac{4\,P_{in}T_{atm}Q_1}{\pi P_{atm}T_{in}D_1^2} \tag{2.22}$$

แทนค่าสมการที่ (2.22) ลงในสมการที่ (2.10) จะได้

$$SPL=-3.5+40\log\left(\frac{4\,P_{in}T_{atm}Q_1}{\pi P_{atm}T_{in}D_1^2}\right)+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D_1}\left(1+\frac{1.83}{D_1}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c) \tag{2.23}$$

กรณีระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศมีค่าเกินกฎหมายกำหนด ต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียงให้ระดับเสียงลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ยังไม่ได้ติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งอ้างอิงของไอน้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ

ความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากอุปกรณ์ลดเสียง (v_{s2}) คำนวณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119506

$$v_{s2} = \frac{\dot{m}RT_{s2}}{P_{s2}A_{s2}MW} \tag{2.24}$$

ให้อุณหภูมิคงที่ $T_2 = T_{s2} = T_{in}$ และความดันเปลี่ยนแปลงน้อยมาก $P_2 = P_{s2} = P_{in}$ รวมสมการที่ (2.16) และ (2.24) ได้

$$v_{s2}A_{s2} = v_1A_1 \tag{2.25}$$

$$v_{s2} = \frac{v_1D_1^2}{D_{s2}^2} \tag{2.26}$$

รวมสมการที่ (2.18) และ (2.24) จะได้

$$\frac{v_{s2}P_{s2}}{T_{s2}} = \frac{v_2P_{atm}}{T_{atm}} \tag{2.27}$$

$$v_2 = \frac{v_{s2}P_{s2}T_{atm}}{T_{s2}P_{atm}} \tag{2.28}$$

แทนค่าสมการที่ (2.26) ลงในสมการที่ (2.28) จะได้

$$v_2 = \frac{v_1D_1^2P_{in}T_{atm}}{D_{s2}^2T_{in}P_{atm}} \tag{2.29}$$

แทนค่าสมการที่ (2.29) ลงในสมการที่ (2.10) จะได้

$$SPL=-3.5+40\log\left(\frac{v_1D_1^2P_{in}T_{atm}}{D_{s2}^2T_{in}P_{atm}}\right)+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D_{s2}}\left(1+\frac{1.83}{D_{s2}}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c) \tag{2.30}$$

ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial & error) ในการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อจนได้ระดับเสียงไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนด จากนั้นคิดเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงด้วยแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Safety factor) ที่ 5%

สำหรับการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง [20] การลดลงของระดับเสียง (Attenuation) สำหรับท่อที่มีการบุภายในด้วยวัสดุดูดซับเสียงที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 2.9 สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta L_w = \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e} \qquad \text{สำหรับ } 63 \text{ Hz} \le f_c \le 2{,}000 \text{ Hz} \tag{2.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta L_w = \frac{1}{2}\left[10 + \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}\right] \qquad \text{สำหรับ } 2{,}000 \text{ Hz} < f_c < 8{,}000 \text{ Hz} \qquad (2.32)$$

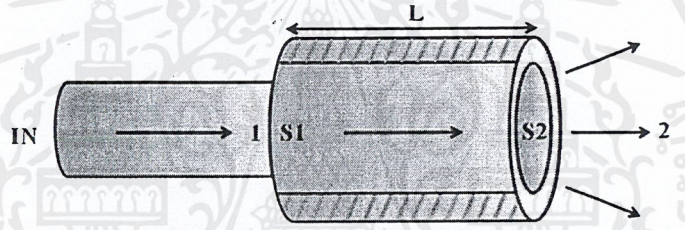
$$\Delta L_w = 10 \qquad \text{สำหรับ } f_c > 8{,}000 \text{ Hz} \qquad (2.33)$$

เมื่อ ΔL_w = การลดลงของระดับเสียง (dB)

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียง

L = ความยาวของอุปกรณ์ลดเสียง (m)

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของอุปกรณ์ลดเสียง (m) สำหรับอุปกรณ์ลดเสียงแบบกลม $D_e = D_{s2}$



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งอ้างอิงของไอน้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

2.1 การป้องกันอัคคีภัย

การป้องกันอัคคีภัยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การป้องกันอัคคีภัยเชิงรุก (Active fire protection) เป็นการวางระบบป้องกันอัคคีภัยที่จะทำงานเมื่อเกิดอัคคีภัย ซึ่งได้แก่ ระบบเตือนภัย ระบบน้ำดับเพลิงหรือสเปรย์น้ำดับเพลิง ระบบระบายอากาศหรือควันไฟ เป็นต้น

2. การป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ (Passive fire protection) เป็นการวางระบบการป้องกันอัคคีภัยในขั้นตอนการออกแบบ โดยต้องการให้อุปกรณ์หรือโครงสร้างนั้นๆ มีความสามารถที่จะรองรับสถานการณ์เมื่อเกิดอัคคีภัย ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อความร้อนเพื่อยืดระยะเวลาและลดความเสียหาย การวางแผนผังเพื่อแยกอุปกรณ์หรือโครงสร้างที่ทำงานร่วมกับสารไวไฟให้โดดเดี่ยวเพื่อป้องกันการลุกลาม เป็นต้น

2.2 การแบ่งประเภทของของเหลวไวไฟ [21-22]

ในการวิเคราะห์อันตรายและผลกระทบจากการเกิดอัคคีภัยเพื่อระบุความจำเป็นในการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบอุปกรณ์หรือโครงสร้างแบบการป้องกันเชิงรับ ต้องวิเคราะห์จากสมบัติในด้านการติดไฟที่บ่งบอกสภาพลุกไหม้ได้ (Flammability) ของสารเคมี ได้แก่

1. จุดวาบไฟ (Flash point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นไอเพียงพอต่อการเริ่มต้นลุกไหม้ขึ้นเมื่อมีแหล่งจุดติดไฟ แต่มีไม่เพียงพอที่จะลุกติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง จุดวาบไฟเป็นประโยชน์ในการแบ่งประเภทของสารเคมีที่ไวไฟ (Flammable) ที่ติดไฟได้ (Combustible) และที่ไม่ติดไฟ (Non combustible) ตามมาตรฐาน NFPA 30

2. ขีดจำกัดของความไวไฟ (Flammable limits) โดยทั่วไปขอบเขตที่สารไวไฟจะติดไฟหรือระเบิดได้จะอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดของการติดไฟ (Lower flammable limit: LFL) หรือค่าต่ำสุดของการระเบิด (Lower explosion limit: LEL) และค่าสูงสุดของการติดไฟ (Upper flammable limit: UFL) หรือค่าสูงสุดของการระเบิด (Upper explosion limit: UEL) ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นต่ำสุดหรือสูงสุดของแก๊สหรือไอของสารไวไฟทั้งแก๊สและของเหลวในหน่วยเปอร์เซนต์ต่อปริมาตรในอากาศ ที่จะทำให้เกิดการไหม้ลุกลามขึ้นได้เมื่อมีแหล่งจุดติดไฟ หากความเข้มข้นของสารไวไฟในอากาศต่ำกว่าค่าต่ำสุด หรือสูงกว่าค่าสูงสุดของการติดไฟหรือการระเบิดแล้ว จะไม่เกิดการติดไฟหรือการระเบิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่าจะมีองค์ประกอบของการติดไฟครบทั้ง 3 องค์ประกอบ ดังนั้นขอบเขตของการติดไฟหรือการระเบิด คือ ขอบเขตที่ค่าความเข้มข้นไอของสารไวไฟอยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของการติดไฟหรือการระเบิด

3. อุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (Autoignition temperature: AIT) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้สารเคมีลุกติดไฟได้เองจากแหล่งความร้อนในตัวหรือสัมผัสกับวัสดุผิวร้อน โดยปราศจากการจุดติดไฟจากแหล่งภายนอก

การกำหนดประเภทของของเหลวไวไฟจะแบ่งตามช่วงของจุดวาบไฟและจุดเดือดเป็น 3 ประเภท คือ ของเหลวที่ไม่ติดไฟ (Non-combustible liquid) ของเหลวติดไฟ (Combustible liquid) และของเหลวไวไฟ (Flammable liquid) โดยมาตรฐาน NFPA 30 ได้กำหนดนิยามของของเหลวติดไฟและของเหลวไวไฟแต่ละระดับ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การแยกประเภทของของเหลวไวไฟตามมาตรฐาน NFPA 30 [22]

ประเภท	อุณหภูมิ (°C)	
	จุดวาบไฟ	จุดเดือด
ของเหลวไวไฟ	< 37.8	-
- Class IA	< 22.8	< 37.8
- Class IB	< 22.8	≥ 37.8
- Class IC	≥ 22.8	< 37.8
ของเหลวติดไฟ	≥ 37.8	-
- Class II	≥ 37.8	< 60
- Class III A	≥ 60	< 93
- Class III B	≥ 93	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ [22]

มาตรฐาน API RP 2218 ว่าด้วยเรื่อง Fireproofing practices in petroleum and petrochemical processing plants กำหนดขั้นตอนในการชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ 4 ขั้นตอนได้แก่

1. การประเมินระดับของอันตราย (Hazard evaluation)

เพื่อระบุขอบเขตและชนิดของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟไหม้ ปัจจัยที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ปริมาณ ความดัน อุณหภูมิ และส่วนประกอบของสารเคมีที่เป็นเชื้อเพลิง จากมาตรฐานได้แบ่งอุปกรณ์บางชนิดที่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟ (Fire-potential equipment) เป็น 4 ระดับ ได้แก่

1.1 อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟสูง (High fire-potential equipment) ได้แก่

ก. เตาให้ความร้อน (Fire heater) ที่ใช้สารไฮโดรคาร์บอนภายใต้เงื่อนไขภาวะต่อไปนี้

1. ดำเนินการที่อัตราการไหลและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเขม่าภายในท่อ
2. ดำเนินการที่ความดันและอัตราการไหลสูงพอที่ทำให้เกิดการล้นหรือกระจายเป็นวงกว้าง
3. ของไหลเป็นสารกัดกร่อน

ข. ปั๊มความจุมากกว่า 45 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ที่ใช้กับของเหลวไวไฟหรือของเหลวติดไฟอุณหภูมิเท่ากับจุดวาบไฟหรืออยู่ในช่วงอุณหภูมิ 8 °C เหนือจุดวาบไฟ

ค. ปั๊มที่เคยเกิดความเสียหายของลูกปืนหรือเกิดการรั่วของรองรั่ว (Seal)

ง. ปั๊มที่ใช้กับท่อขนาดเล็กที่มีปัญหาจากความล้า

จ. เครื่องปฏิกรณ์ที่ดำเนินการที่ความดันสูง หรือเครื่องปฏิกรณ์ที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนที่ไม่สามารถควบคุมได้

ฉ. เครื่องอัดอากาศที่ใช้กับระบบน้ำมันหล่อลื่น

ช. ระบบท่อที่ใช้งานกับของเหลวหรือแก๊สไวไฟในรูปของของผสมที่อาจทำให้ท่อเกิดความเสียหายเนื่องจากการสึกกร่อน การกัดกร่อน หรือการแตก เช่น ไฮโดรคาร์บอนผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ด่าง กรด ไฮโดรเจน หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีสมบัติที่ทำให้เกิดความเสียหายที่กล่าวมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ. ถังเก็บสาร (Vessels) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้เก็บของเหลวไวไฟหรือของเหลวติดไฟ ณ อุณหภูมิสูงกว่า 315 °C หรือสูงกว่าอุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง ขึ้นกับว่าค่าใดน้อยกว่า

ฌ. หน่วยกระบวนการซับซ้อนที่มีอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟสูง เช่น หน่วยแคทาลิติก แคร็กเกอร์ (Catalytic crackers), หน่วยไฮโดรแคร็กเกอร์ (Hydrocrackers), หน่วยผลิตเอทิลีน (Ethylene unit), หน่วยไฮโดรทรีทเตอร์ (Hydrotreaters) และหอกลั่นน้ำมันขนาดใหญ่ เป็นต้น

1.2 อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟปานกลาง (Medium fire-potential equipment) ได้แก่

ก. ถังพัก (Accumulators) ถังเก็บสารป้อน (Feed drums) และภาชนะเก็บสารอื่นๆ อาจเกิดการรั่วไหลเนื่องจากปะเก็นแตก หรือความเสียหายจากเครื่องมือตรวจวัดหรือเครื่องมืออื่นๆ

ข. หอสูงที่อาจเกิดการรั่วไหลเนื่องจากมาตรวัดคอลัมน์หรือปะเก็นเสียบริเวณจุดเชื่อมต่อของท่อและส่วนล่างของหม้อต้มซ้ำ (Reboilers)

ค. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบพัดลม (Air-cooled fin fan exchangers) ที่ใช้กับของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ

ง. อุปกรณ์ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์ที่มีความซับซ้อนและทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ

1.3 อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟต่ำ (Low fire-potential equipment) ได้แก่

ก. ปั๊มที่ใช้งานกับของเหลวติดไฟ Class IIIB ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดวาบไฟของมัน

ข. ระบบท่อภายในพื้นที่กระบวนการผลิตของโรงงาน (Battery limits) ที่มีการใช้ข้อต่อ วาล์ว และการต่อด้วยหน้าแปลนจำนวนมาก

ค. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่อาจเกิดการรั่วบริเวณหน้าแปลน

1.4 อุปกรณ์ที่ไม่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟ (Nonfire-potential equipment) คือ อุปกรณ์ที่มีโอกาสปล่อยของเหลวไวไฟหรือของเหลวติดไฟน้อยหรือไม่มีโอกาสปล่อยเลย นอกจากนี้ระบบท่อหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานกับของเหลวที่ไม่ติดไฟก็จัดเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การประเมินการพัฒนาเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ (Fire-scenario development)

จะใช้ข้อมูลจากการประเมินความเสี่ยง เพื่อชี้บ่งว่าจะเกิดอะไรขึ้นถ้าเกิดไฟไหม้ ซึ่งสามารถนำไปกำหนดลำดับของเหตุการณ์ที่อาจปล่อยสารที่เป็นเชื้อเพลิงในการเกิดไฟไหม้ จากนั้นกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อธรรมชาติของไฟ ทำให้สามารถพิจารณาว่าสถานการณ์อะไรจะเกิดขึ้นบ้างถ้าไม่มีการทำให้เบาบางลง

3. การวิเคราะห์ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ (Fire-scenario envelope) เพื่อชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัย

ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ คือ พื้นที่ที่สามารถเกิดการเผาไหม้ที่นาน (เพราะอันตรายจากอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงซึ่งสามารถปล่อยของเหลวไวไฟ/ของเหลวติดไฟออกมา และ/หรือ อันตรายจากการติดไฟของของเหลวไวไฟ) และมีความรุนแรงเพียงพอที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และโครงสร้าง ในการระบุขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ สิ่งสำคัญคือการทราบขอบเขตของพื้นที่กระบวนการผลิต (Process area) ที่จำเป็นต้องวางแผนและติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

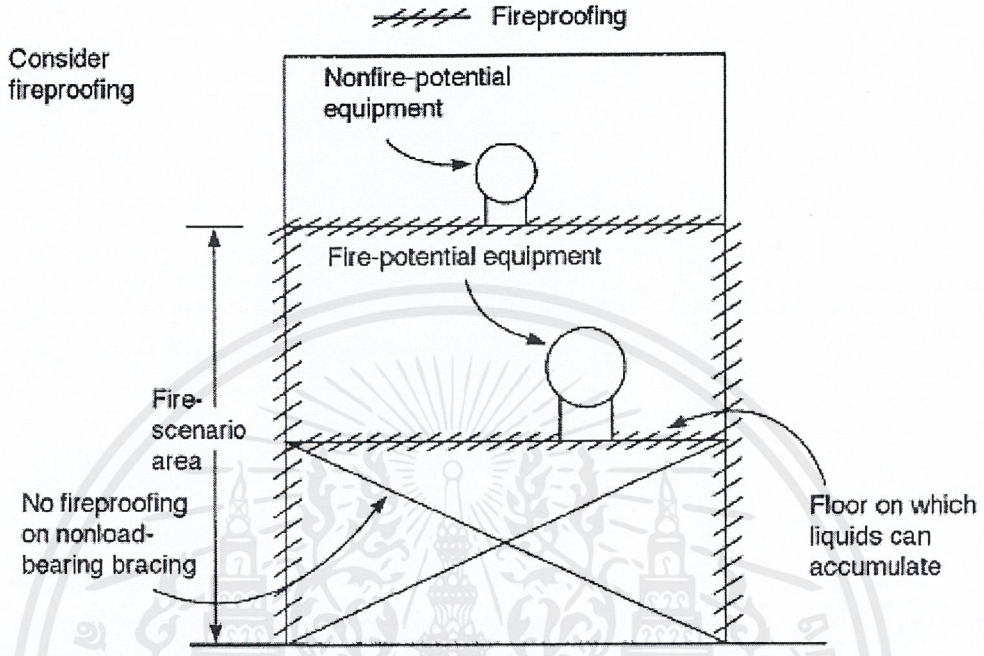
ตารางที่ 2.6 มิติของขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ [22]

ความเกี่ยวข้องกับอันตราย	แนวนอน	แนวตั้ง
กรณีทั่วไปของแหล่งกำเนิดที่ปล่อยเชื้อเพลิงเหลว	6 – 12 เมตร	จากพื้น 6 – 12 เมตร
อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงและมีอันตรายจากการติดไฟ	6 – 12 เมตร	จากพื้นจนถึงระดับสูงสุดของส่วนรองรับอุปกรณ์
อุปกรณ์ที่ไม่มีความเสี่ยงและไม่มีอันตรายจากการติดไฟที่อยู่เหนืออุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงและมีอันตรายจากการติดไฟ	6 – 12 เมตร	จากพื้นจนถึงระดับที่ใกล้ 9 เมตรที่สุด
ถังเก็บ LPG	ระยะของส่วนรองรับท่อ (ภายใน 15 เมตร) หรือภายในบริเวณที่ LPG รั่วไหล	จากพื้นจนถึงระดับที่ใกล้ 9 เมตรที่สุด
อุปกรณ์หล่อเย็นชนิด Fin-fan บนชั้นวางท่อที่อยู่ภายในขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ	6 – 12 เมตร	ระยะของส่วนรองรับทั้งหมดจนถึงอุปกรณ์หล่อเย็น
อุปกรณ์ที่หมุนได้	6 – 12 เมตร จากตำแหน่งที่เกิดการรั่วไหล	6 – 12 เมตร
แท็งก์ ถังเก็บทรงกลม ถังเก็บทรงกลมรีที่เก็บของเหลวไวไฟอื่นนอกเหนือจาก LPG	พื้นที่จะขยายออกไปถึงพนังกั้น หรือ 6 เมตรจากถังเก็บ และขึ้นกับว่าระดับใดมากกว่ากัน	6 – 12 เมตร หรือกำหนดเฉพาะอุปกรณ์
ท่าเรือที่มีสารไวไฟ	30 เมตร จากตำแหน่งขนถ่ายสาร	จากผิวน้ำถึงพื้นของท่าเรือ

ตารางที่ 2.7 ระดับของการป้องกันไฟในขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ [22]

อุปกรณ์	ระดับการป้องกันไฟ
ถังเก็บ LPG ถ้าไม่มีการป้องกันด้วยระบบสเปรย์น้ำ	ป้องกันไฟได้ 1 ชั่วโมงครึ่ง (UL 1709)
ระยะของส่วนรองรับท่อ (ภายใน 15 เมตร) หรือภายในบริเวณที่ LPG รั่วไหล (เลือกกรณีที่มากกว่า)	ป้องกันไฟได้ 1 ชั่วโมงครึ่ง (UL 1709)
สายไฟและระบบควบคุมที่วิกฤต	ป้องกันไฟได้ 15 – 30 นาที (UL 1709)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโครงสร้างที่รองรับอุปกรณ์ที่มีและไม่มีความเสี่ยงและอันตรายจากการติดไฟในขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ [22]

4. การเลือกระดับการป้องกันโดยใช้การวิเคราะห์ความจำเป็นในการป้องกันอัคคีภัย (Needs analysis)

การวิเคราะห์ความจำเป็นในการป้องกันไฟเป็นการกำหนดระดับของการป้องกันไฟที่อุปกรณ์นั้นๆ โดยจะเริ่มวิเคราะห์จากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความรุนแรงและระยะเวลาของการสัมผัสในพื้นที่ที่มีการวิเคราะห์ หลังจากนั้นจะต้องพิจารณาว่าอุปกรณ์ใดที่อาจสัมผัสไฟ ความไม่มั่นคงของอุปกรณ์เมื่อมีการสัมผัสไฟ และผลกระทบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ช่วงที่ทำการวิเคราะห์ความต้องการนั้นจะต้องพิจารณาผลของการแทรกแซงของตัวแปรอื่นด้วย และสุดท้ายการวิเคราะห์ความต้องการจะสามารถตรวจสอบความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การประเมินอัตราการระเหยของของเหลวและความเข้มข้นเฉลี่ยของไอของของเหลว [23]

ของเหลวที่มีความดันไอสูงจะระเหยเร็ว ดังนั้นอัตราการระเหยจะเป็นฟังก์ชันของความดันไอ อัตราการระเหยจะเป็นสัดส่วนกับผลต่างระหว่างความดันไอ (P^{sat}) และความดันย่อย (p) ของไอในอากาศนิ่ง ดังสมการ

$$Q_m = \frac{MKA(P^{sat} - p)}{R_g T_L} \tag{2.34}$$

เมื่อ Q_m = อัตราการระเหย (มวล/เวลา)

M = น้ำหนักโมเลกุลของของเหลว

K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (ความยาว/เวลา)

A = พื้นที่ในการถ่ายโอนมวล

R_g = ค่าคงที่ของแก๊ส

T_L = อุณหภูมิสมบูรณ์ของของเหลว

ส่วนใหญ่ $P^{sat} \gg p$ ดังนั้นสมการที่ (2.34) สามารถจัดรูปใหม่ได้

$$Q_m = \frac{MKAP^{sat}}{R_g T_L} \tag{2.35}$$

สมการที่ (2.35) ใช้เพื่อประเมินอัตราการระเหยของไอของของเหลวจากถังเปิดหรือของเหลวที่หก ความเข้มข้นเฉลี่ยของไอของของเหลวในบริเวณพื้นที่ปิดล้อมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_{ppm} = \frac{Q_m R_g T}{kQ_v PM} \times 10^6 \tag{2.36}$$

เมื่อ C_{ppm} = ความเข้มข้นเฉลี่ยของไอของของเหลว (ppm)

P = ความดันสมบูรณ์

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อม

k = Nonideal mixing factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_v = อัตราการระบายไอเชิงปริมาตร มีเกณฑ์ในการออกแบบระบบระบายไอสำหรับของเหลวไวไฟภายในพื้นที่เก็บของเหลวไวไฟและพื้นที่กระบวนการผลิต ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ข้อมูลการระบายไอสำหรับการควบคุมของเหลวไวไฟ

ประเภทของพื้นที่	อัตราการระบายไอ	เงื่อนไข
การระบายไอภายในพื้นที่เก็บของเหลวไวไฟ	1 $ft^3/min/ft^2$ of floor area	(ก) ระบบอินเตอร์ล็อกที่ทำให้เกิดเสียงเมื่อการระบายไอล้มเหลว (ข) ตั้งทางเข้าและทางออกเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านพื้นที่ทั้งหมด (ค) อนุญาตให้หมุนเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ต้องหยุดเมื่อความเข้มข้นของอากาศมีค่า มากกว่า 25% ของ LFL
การระบายไอภายในพื้นที่กระบวนการผลิต	1 $ft^3/min/ft^2$ of floor area หรือมากกว่า ดูข้อ (ง)	(ก) ถึง (ค) เหมือนกับการระบายไอภายในพื้นที่เก็บของเหลวไวไฟ (ง) ออกแบบระบบระบายไอเพื่อให้ความเข้มข้นที่รัศมี 1.5 เมตร จากทุกแหล่งกำเนิดยังคงต่ำกว่า 25% ของ LFL

สมการที่ (2.36) อยู่บนสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นที่คำนวณได้เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่ปิดล้อม ซึ่งก่อให้เกิดความเข้มข้นที่สูง เช่น คนงานที่อยู่เหนือถังเปิดโดยตรงจะได้รับความเข้มข้นที่สูงกว่า
2. สมมติให้เป็นภาวะคงตัว
3. ในทางปฏิบัติ ค่า Nonideal mixing factor (k) จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 สำหรับการผสมการผสมกันอย่างสมบูรณ์ k =1

แทนอัตราการระเหยจากสมการที่ (2.35) ลงในสมการที่ (2.36) จะได้ความเข้มข้นของไอของของเหลวในบริเวณพื้นที่ปิดล้อมที่เกิดจากการระเหยของของเหลว

$$C_{ppm} = \frac{KATP^{sat}}{kQ_v PT_L} \times 10^6 \qquad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่ $T = T_L$ ดังนั้นสมการที่ (2.37) สามารถจัดรูปใหม่ได้

$$C_{ppm} = \frac{KAP^{sat}}{kQ_v P} \times 10^6 \tag{2.38}$$

โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K = K_0 \left(\frac{M_0}{M} \right)^{1/3} \tag{2.39}$$

เมื่อ K_0 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารอ้างอิง

M_0 = น้ำหนักโมเลกุลของสารอ้างอิง

ส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นสารอ้างอิง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของน้ำ เท่ากับ 0.83 cm/s

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Massimo Garai และ Francesco Pompoli [24] ได้พัฒนาแบบจำลองแบบเอมไพริกัลเพื่อทำนายค่าความต้านทานของการไหลของอากาศ (Flow resistivity) ค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียง และสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุที่ทำจากเส้นใยโพลิเอสเตอร์

Narang PP [25] ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ เช่น มวลต่อพื้นที่ ชนิดของเส้นใย ความหยิกฟู และส่วนประกอบของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ใช้ในระบบ Sound transmission loss และศึกษาค่าความต้านทานการไหลของเส้นใยพอลิเอสเทอร์โดยใช้สมการของไฟเบอร์กลาสมาประยุกต์

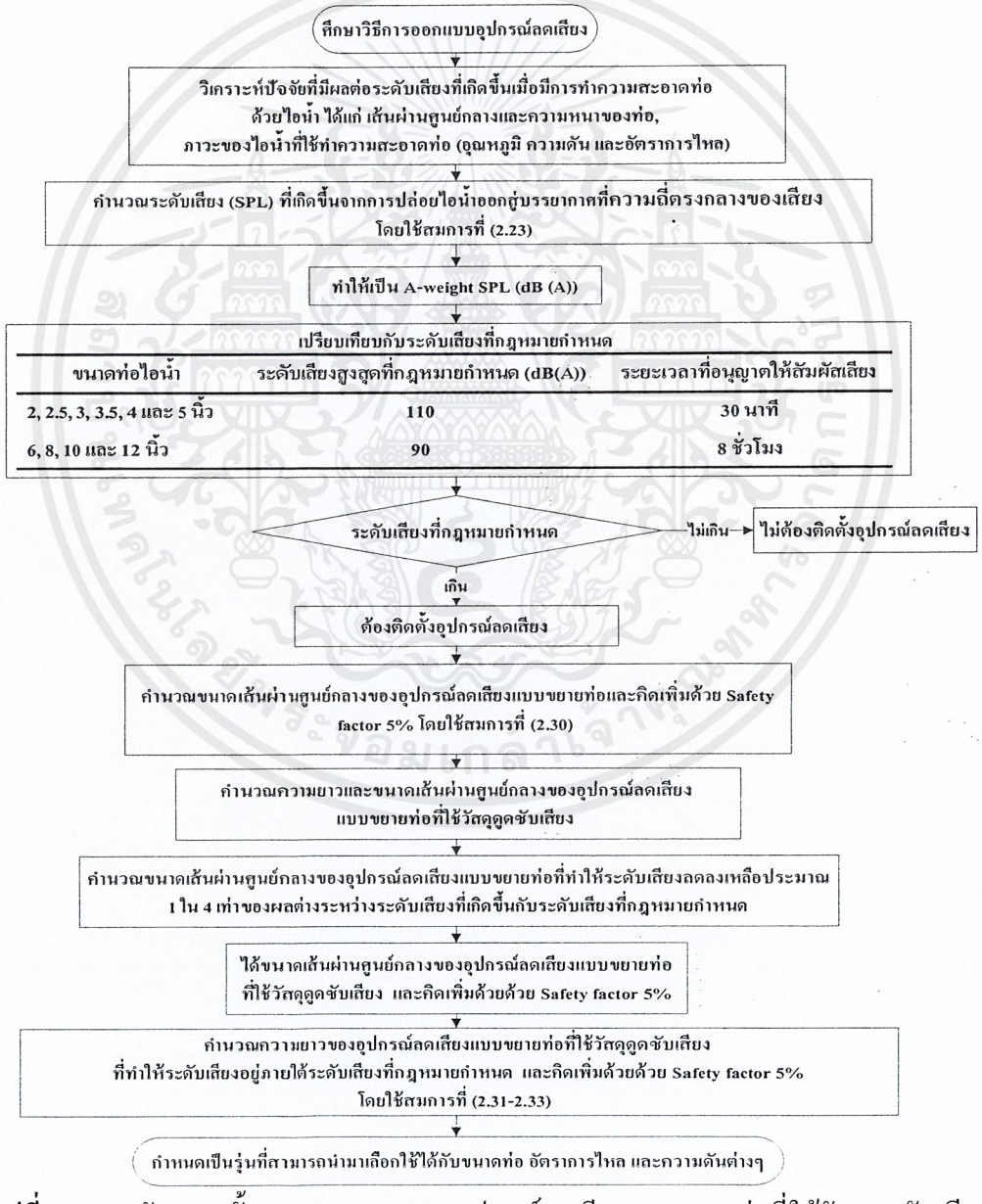
Chao-Nan Wang และ Jiunn-Hwan Torng [26] หาค่าความต้านทานการไหลและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียง เช่น ใยแก้ว และใยหิน ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับเสียงที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงาน

ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

1.1 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้น

ในการทำความสะอาดระบบท่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดันสูงหรือไอน้ำร้อนยิ่งยวด เมื่อไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจะขยายตัวอย่างเร็วและเกิดเสียงดังเกินค่าที่กฎหมายกำหนด ปัจจัยที่มีผลต่อระดับเสียงที่เกิดขึ้น ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของท่อไอน้ำ ภาวะของไอน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดท่อ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหล เป็นต้น โดยอุณหภูมิและความดันของไอน้ำจะมีผลต่อปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้น มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดภาวะในการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงเพื่อใช้กับการทำความสะอาดระบบท่อด้วยไอน้ำสำหรับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว Schedule number 40 และ 80 ที่ใช้กับไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดอุณหภูมิ 300 ℃ และ 450 ℃ ความดัน 1.5, 3, 14, 20, 38 และ 40 barg อัตราการไหลของไอน้ำ 5, 10, 20 และ 40 ton/h

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.22)

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) ของท่อเหล็กจาก $f_r = 1{,}608/D$ และ Strouhal frequency (f_p) จาก $f_p = 0.2v_2/D$ [11]

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7)

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณระดับเสียง (Sound pressure level, SPL) ที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.23)

ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณเป็น A-weigh SPL จากสมการที่ (2.2)

1.3 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ

เปรียบเทียบระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศกับมาตรฐานของระดับเสียงที่กำหนดโดย OSHA และกรมควบคุมมลพิษ โดยการทำความสะอาดท่อขนาด 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 นิ้ว จะใช้เวลาประมาณ 15-30 นาที ระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้สัมผัสได้ คือ ไม่เกิน 110 dB(A) [7] และการทำความสะอาดท่อขนาด 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว จะใช้เวลาทำความสะอาดท่อประมาณ 6-8 ชั่วโมง ระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนดให้สัมผัสได้ คือ ไม่เกิน 90 dB(A) [7] ถ้าระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศที่คำนวณได้มีค่าไม่เกินค่าที่กฎหมายกำหนดไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง แต่ถ้าระดับเสียงที่คำนวณได้มีค่าเกินระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด จะต้องติดอุปกรณ์ลดเสียง ขั้นตอนการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) จากสมการที่ (2.16)

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.29) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2})

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) และ Strouhal frequency (f_p) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2})

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2})

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2}) ที่ทำให้ระดับเสียงที่เกิดขึ้นไม่เกิน 110 dB(A) สำหรับท่อขนาด 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 นิ้ว และไม่เกิน 90 dB(A) สำหรับท่อขนาด 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว โดยใช้สมการที่ (2.30) ด้วยวิธีลองผิดลองถูก

ขั้นตอนที่ 6 : คิดเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คำนวณได้ด้วยค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Safety factor) 5%

1.4 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง จะต้องคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ ที่ทำให้ระดับเสียงลดลงเหลือ 1 ใน 4 เท่าของผลต่างระหว่างระดับเสียงที่เกิดขึ้นกับระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด เนื่องจากผลของการลดลงของระดับเสียงจากการขยายท่อมากกว่าผลจากการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง เพราะการขยายขนาดท่อจะทำให้ความเร็วของไอน้ำลดลงอย่างรวดเร็วขณะปล่อยสู่บรรยากาศ หากคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ทำให้ระดับเสียงลดลงเหลือมากกว่า 1 ใน 4 เท่าของผลต่างระหว่างระดับเสียงที่เกิดขึ้นกับระดับเสียงที่กฎหมายกำหนดแล้ว จะต้องใช้อุปกรณ์ลดเสียงและวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับเสียงที่ยาวมากที่จะทำให้ระดับเสียงลดลงจนถึงระดับที่กฎหมายกำหนด ขั้นตอนการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) จากสมการที่ (2.16)

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.29) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2})

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) และ Strouhal frequency (f_p) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2})

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2})

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2}) ที่ทำให้ระดับเสียงลดลงเหลือ 1 ใน 4 เท่าของของผลต่างระหว่างระดับเสียงที่เกิดขึ้นกับระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด โดยใช้สมการที่ (2.30) ด้วยวิธีลองผิดลองถูก (สำหรับท่อขนาด 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 นิ้ว ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด คือ 110 dB(A) และสำหรับท่อขนาด 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด คือ 90 dB(A))

ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณการลดลงของระดับเสียง (Attenuation) ของอุปกรณ์ลดเสียงที่บุด้วยวัสดุดูดซับเสียงที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.31) ถึง (2.33) ที่เป็นฟังก์ชันของความยาวของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง (L) จากนั้นทำเป็น A-weigh attenuation จากสมการที่ (2.2)

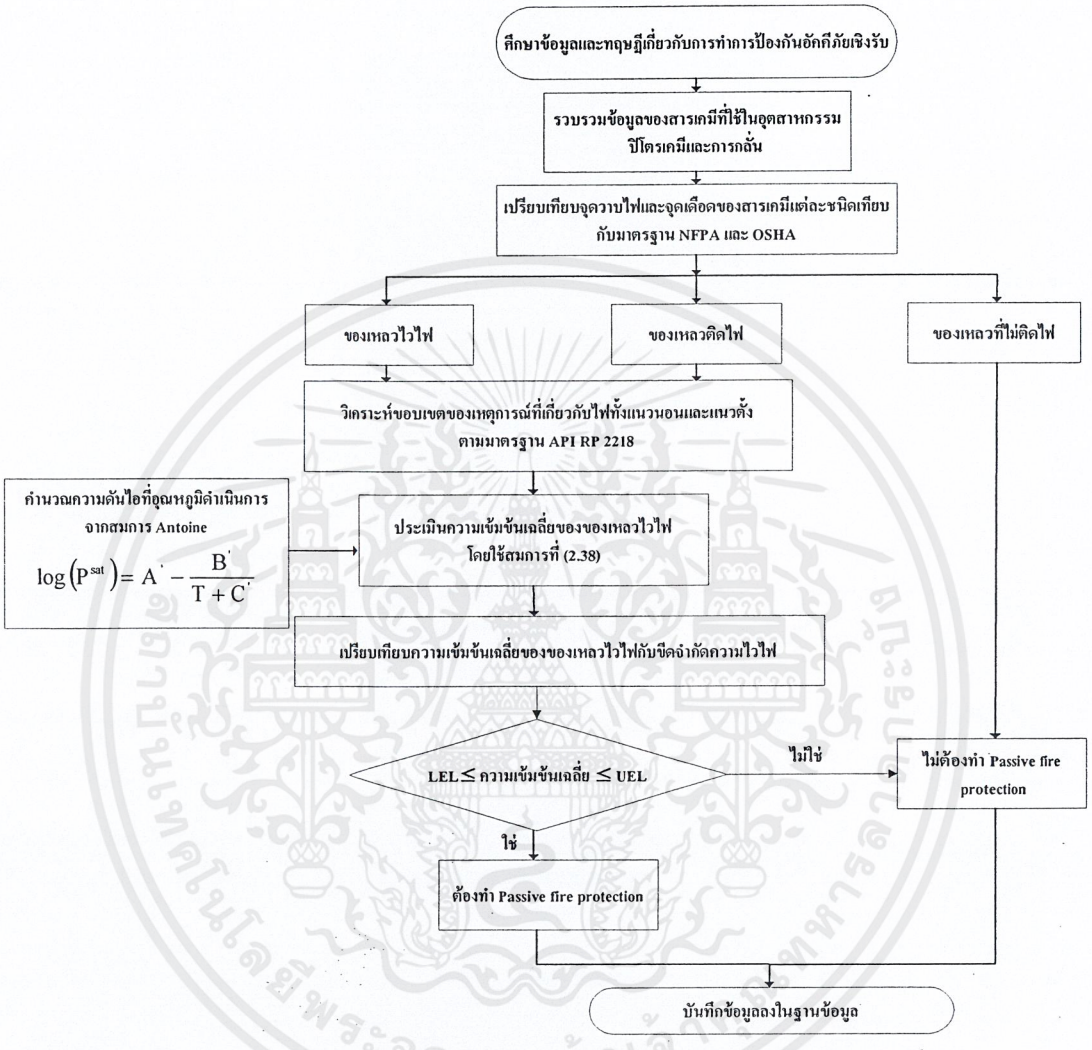
ขั้นตอนที่ 7 : คำนวณความยาวของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง ด้วยวิธีการลองผิดลองถูก โดยนำระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำจากอุปกรณ์ลดเสียงออกสู่บรรยากาศที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 5 ลบด้วย A-weigh attenuation จากขั้นตอนที่ 6 จนระดับเสียงที่เกิดขึ้นไม่เกินกฎหมายกำหนด

ขั้นตอนที่ 8 : คิดเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่คำนวณได้ด้วยค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Safety factor) 5%

ขั้นตอนที่ 9 : กำหนดเป็นแบบที่สามารถเลือกใช้ได้กับขนาดท่อ อัตราการไหลและความดันของไอน้ำที่ระดับต่างๆ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ

ขั้นตอนที่ 1 : ศึกษาทฤษฎีการป้องกันอัคคีภัย การแบ่งประเภทของของเหลวไวไฟ การวิเคราะห์ความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับสำหรับอุปกรณ์และโครงสร้าง

ขั้นตอนที่ 2 : รวบรวมข้อมูลของสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่น ได้แก่ จุดเดือด จุดวาบไฟ ความดันไอ ขีดจำกัดความไวไฟทั้งค่าต่ำสุดของการระเบิดและค่าสูงสุดของการระเบิด

ขั้นตอนที่ 3 : เปรียบเทียบจุดวาบไฟและจุดเดือดของสารเคมีแต่ละชนิดกับมาตรฐาน NFPA 30 เพื่อจำแนกประเภทของสารเคมีเป็นของเหลวที่ไม่ติดไฟ ของเหลวติดไฟ และของเหลวไวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 : สำหรับของเหลวติดไฟ และของเหลวไวไฟ จะต้องวิเคราะห์ความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ โดยใช้เงื่อนไขตามมาตรฐาน API RP 2218

ขั้นตอนที่ 5 : กำหนดขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟของอุปกรณ์ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง

ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณความดันไอของของเหลวติดไฟหรือของเหลวไวไฟที่อุณหภูมิดำเนินการของอุปกรณ์ จากสมการ Antoine

ขั้นตอนที่ 7 : ประเมินความเข้มข้นเฉลี่ยของไอของเหลวติดไฟหรือของเหลวไวไฟที่เกิดการระเหย ณ อุณหภูมิดำเนินการของอุปกรณ์ จากสมการที่ (2.38) และแปลงเป็นหน่วยเดียวกับขีดจำกัดความไวไฟ นั่นคือ เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

ขั้นตอนที่ 8 : เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของไอของของเหลวติดไฟหรือของเหลวไวไฟที่เกิดการระเหย ณ อุณหภูมิดำเนินการของอุปกรณ์ กับขีดจำกัดความไวไฟ ถ้าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำกว่าค่าต่ำสุดหรือสูงกว่าค่าสูงสุดของการระเบิด ไม่ต้องติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ แต่ถ้าความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงของขีดจำกัดความไวไฟแล้ว ต้องติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

ขั้นตอนที่ 9 : บันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

1.1 เปรียบเทียบการคำนวณขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงและระดับเสียงกรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียงของโครงการนี้กับนพคุณ และคณะ [27]

ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระดับเสียง (SPL) ที่เกิดขึ้นเมื่อปล่อยไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อุณหภูมิ 250.33 °C ที่อัตราการไหล 3.6, 10.8, 18, 36 ton/h ออกจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 ตามสมการที่ (4.1) จากนพคุณ และคณะ [27] และสมการที่ (2.3) จากโครงการนี้ พบว่าระดับเสียงที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.3) จะสูงกว่าจากสมการที่ (4.1) เนื่องจากสมการที่ (2.3) เพิ่มอีก 2 ตัวแปร คือ ความถี่ตรงกลางของเสียง และความหนาของท่อ จากระดับเสียงที่สูงกว่าช่วยให้สามารถออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงที่มีความปลอดภัยได้มากกว่า

ข้อมูลการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก และตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

ฐานการคำนวณและสมมติฐาน

1. ไอน้ำประพฤติตัวแบบแก๊สอุดมคติ และเป็นของไหลที่อัดตัวได้ (Compressible fluid)
2. การไหลของไอน้ำผ่านท่อเป็นแบบคงตัว (Steady state)
3. พื้นที่หน้าตัดของท่อคงที่
4. อุณหภูมิและความดันของไอน้ำที่ทางเข้าและทางออกของท่อคงที่
5. แบ่งท่อไอน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ท่อขนาด 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 นิ้ว ซึ่งมีระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนด 110 dB(A) ในระยะเวลาที่ให้สัมผัสเสียงได้ 30 นาที และท่อขนาด 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว ซึ่งมีระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนด คือ 90 dB(A) ในระยะเวลาที่ให้สัมผัสเสียงได้ 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

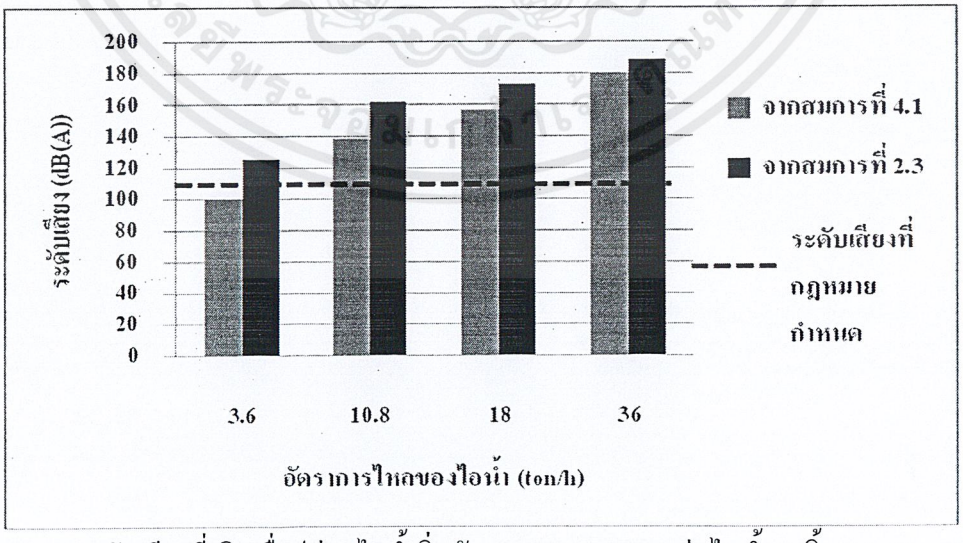
ตารางที่ 4.1 ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงสำหรับระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัว 40 barg ทำความสะอาด (ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด ไม่เกิน 110 dB(A))

Steam			นพคุณ และคณะ [27]*			โครงการนี้**				
P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer diameter (mm)		A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer diameter (mm)		Dissipative silencer diameter (mm)	
				I.D.	O.D.		I.D.	O.D.	I.D.	O.D.
40	250.33	3.6	100.65	0	0	125.73	217	232	207	271
		10.8	138.82	245	259	162.04	351	365	295	359
		18	156.57	328	342	173.51	438	452	355	419
		36	180.65	487	501	189.14	592	606	457	521

หมายเหตุ * ใช้สมการ $SPL = 20\log(10^{-3}D_A) - 10\log V_g + 80\log v - 53$ (4.1)

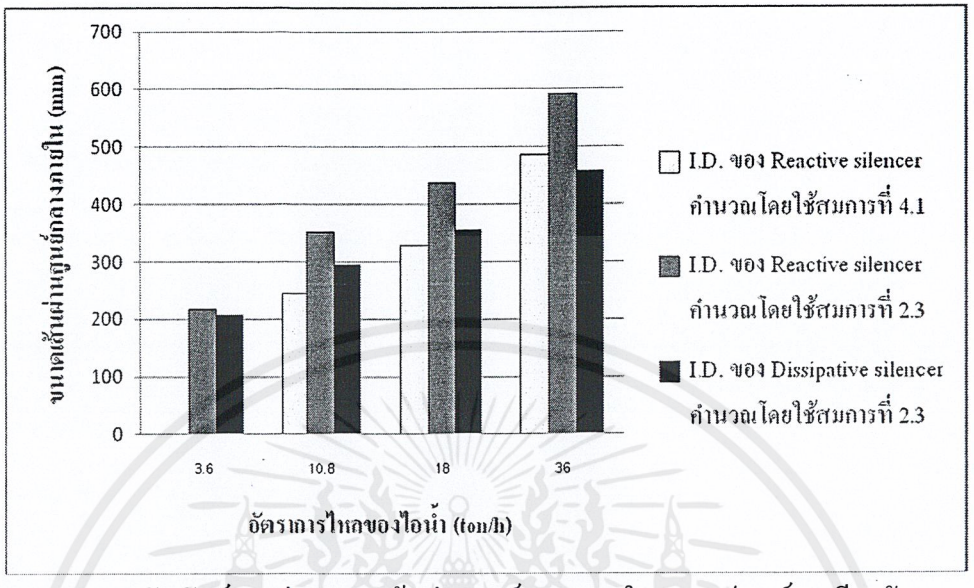
** ใช้สมการ

$$SPL = -3.5 + 40\log U + 20\log\rho + 20\log K - 10\log\left[\frac{t}{D}\left(1+\frac{1.83}{D}\right)\right] - 5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right] + \Delta L\left(f_c\right) \quad (2.3)$$

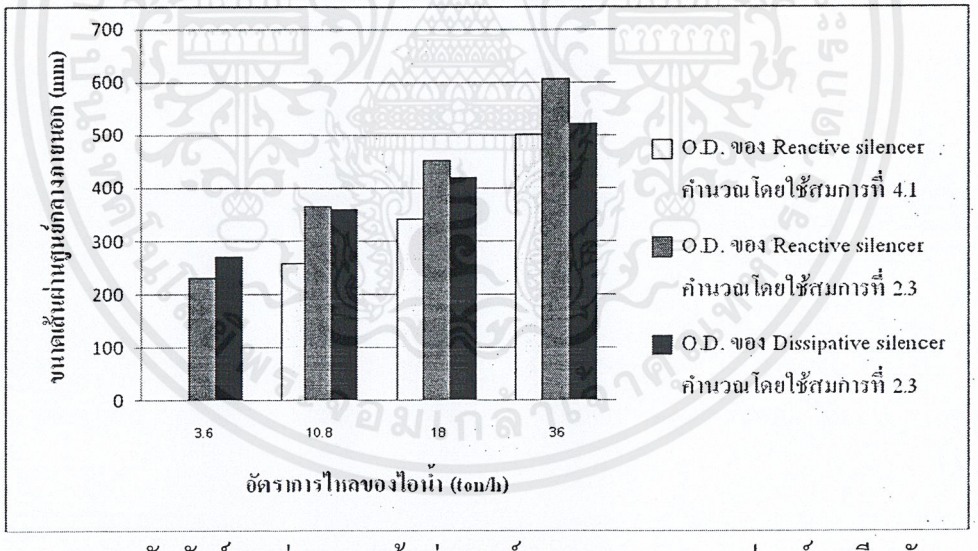


รูปที่ 4.1 ระดับเสียงที่เกิดเมื่อปล่อยไอน้ำอิ่มตัว 40 barg ออกจากท่อไอน้ำ 6 นิ้ว Sch. No. 40 ที่อัตราการไหลต่างๆ กรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงกับอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุปกรณ์ลดเสียงกับอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่คำนวณจากสมการที่ (4.1) และอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่คำนวณจากสมการที่ (2.3) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุปกรณ์ลดเสียงที่คิดรวมความหนาของท่อและวัสดุดูดซับเสียงดังรูปที่ 4.3 เช่น ที่ความดันของไอน้ำอิ่มตัว 40 barg และอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัว 36 ton/h จะเห็นว่าการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงจะช่วยลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุปกรณ์ลดเสียงลงได้ประมาณ 14 % เมื่อเทียบกับกรณีอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่คำนวณจากสมการที่ (2.3)

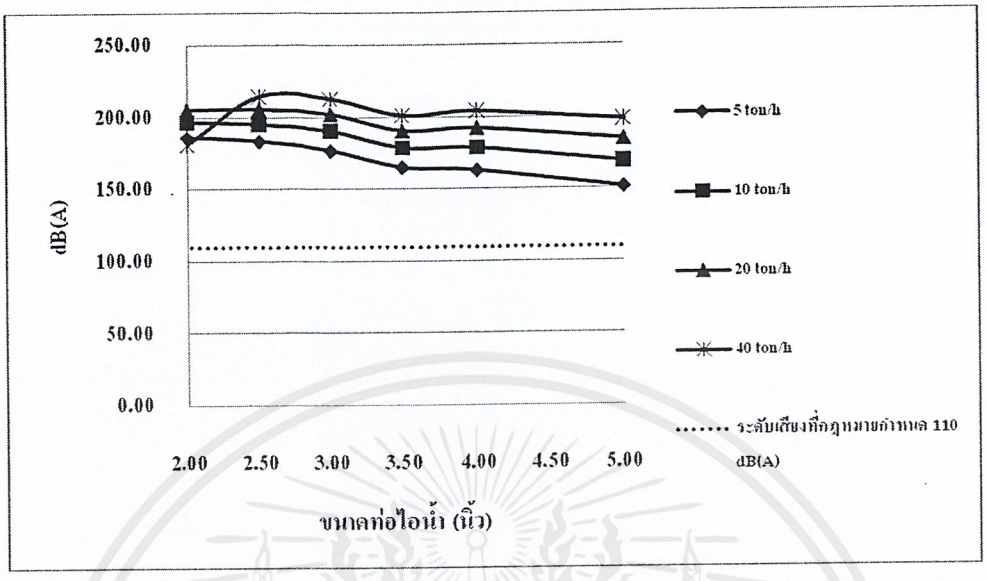
ในทางตรงข้ามที่อัตราการไหลต่ำๆ เช่น 3.6 ton/h เมื่อคำนวณจากสมการที่ (2.3) พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงจะใหญ่กว่าแบบที่ไม่ใช้วัสดุดูดซับเสียง ประมาณ 17 % เพราะต้องรวมความหนาของฉนวน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ไม่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใกล้เคียงกับแบบที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง)

1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกจากท่อสู่บรรยากาศและขนาดของอุปกรณ์ลดเสียง

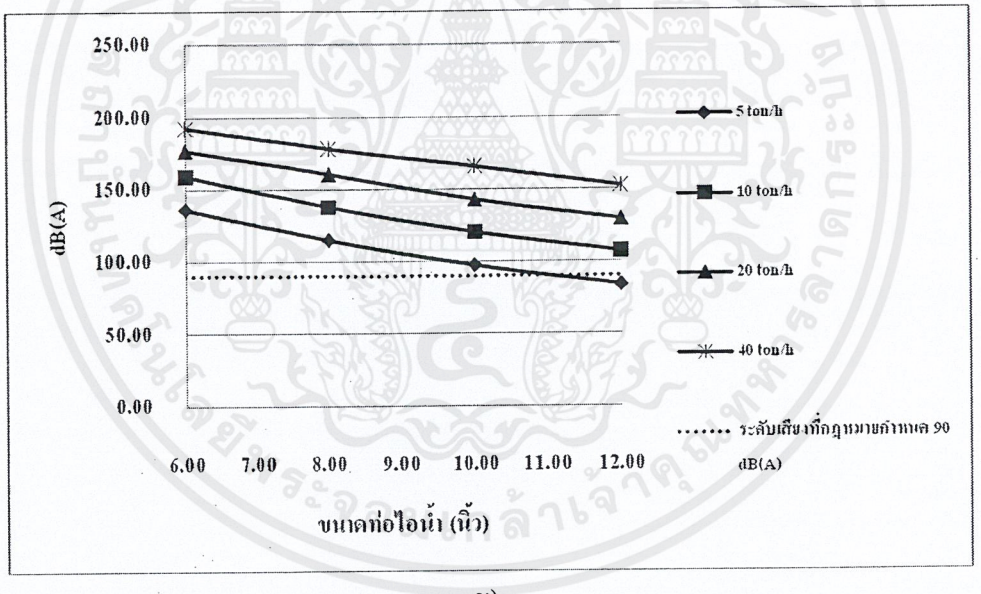
1) อัตราการไหลของไอน้ำ

แนวโน้มของระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อจะมีค่ามากขึ้น เมื่ออัตราการไหลของไอน้ำเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.4 - 4.6 แต่สำหรับท่อขนาด 2 นิ้ว เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นระดับเสียงสูงสุดที่อัตราการไหลประมาณ 18 ton/h จากนั้นจะลดลง ในกรณีนี้ยังหาอธิบายเหตุผลไม่ได้ แต่สามารถเชื่อถือสมการที่ใช้คำนวณได้ เพราะเกิดขึ้นเฉพาะกับท่อขนาด 2 นิ้ว ทั้งกับไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด แต่สำหรับท่อขนาดใหญ่กว่า 2 นิ้ว ผลที่คำนวณได้สอดคล้องกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



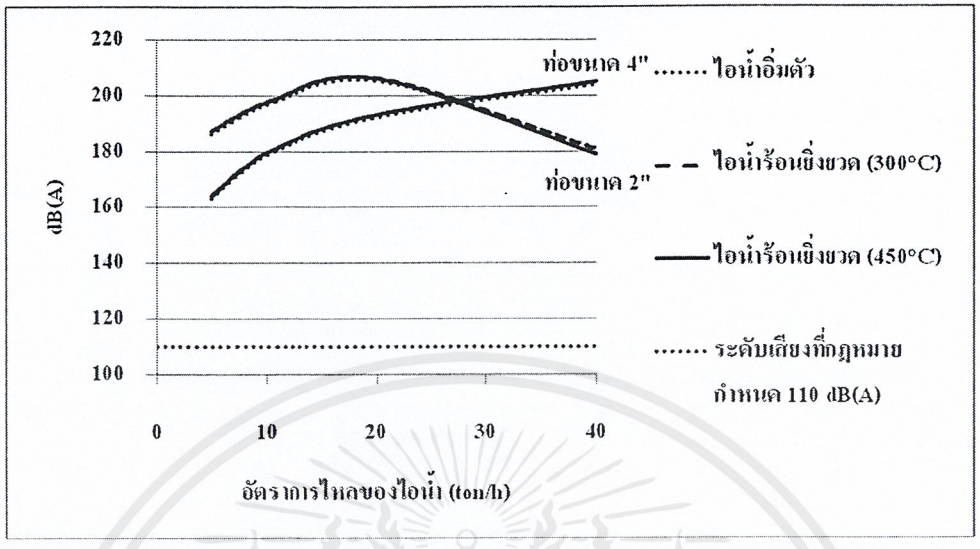
ก)



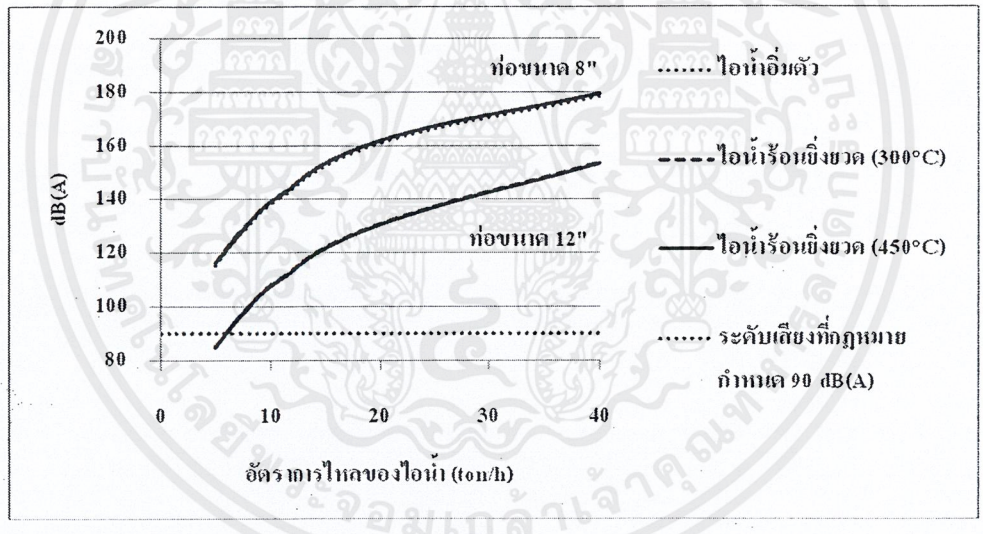
ข)

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg กับขนาดท่อและอัตราการไหลของไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง
ก) ท่อไอน้ำขนาด 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 นิ้ว ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 110 dB (A)
ข) ท่อไอน้ำขนาด 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 90 dB (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก)



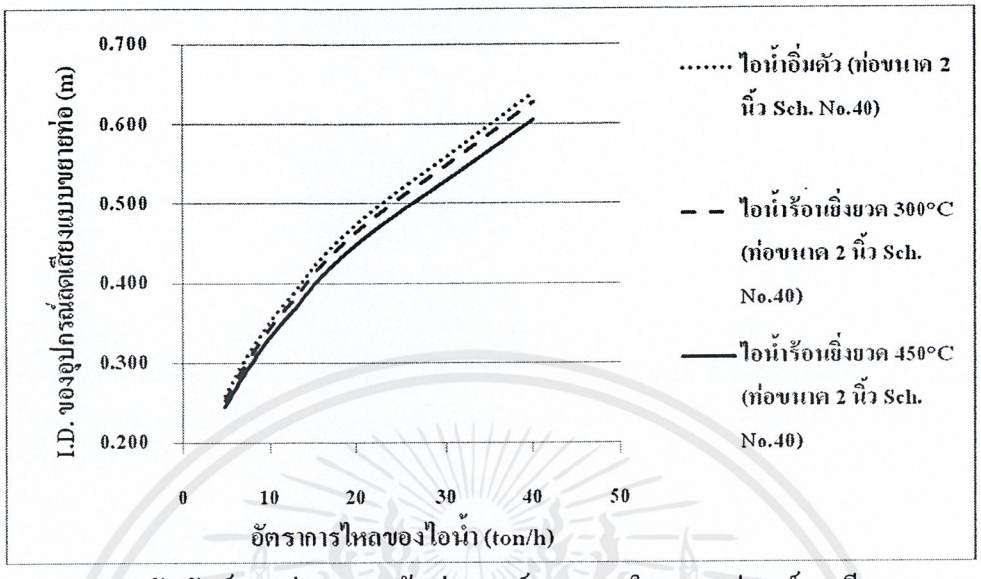
ข)

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด ความดัน 40 barg กับอัตราการไหล กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

ก) ท่อไอน้ำขนาด 2 และ 4 นิ้ว Sch. No. 40 ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 110 dB (A)

ข) ท่อไอน้ำขนาด 8 และ 12 นิ้ว Sch. No. 40 ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 90 dB (A)

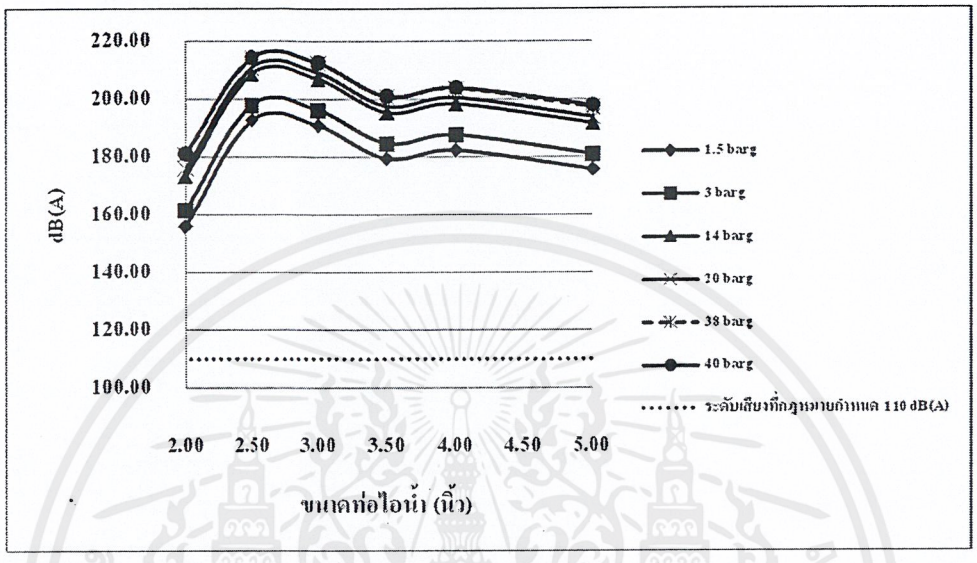
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



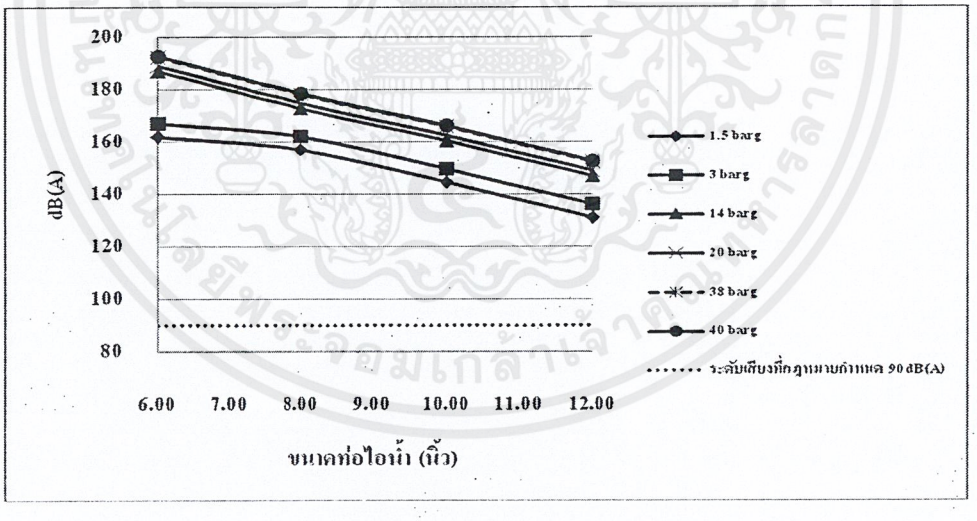
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อกับอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดความดัน 40 barg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความดันของไอน้ำ



ก)



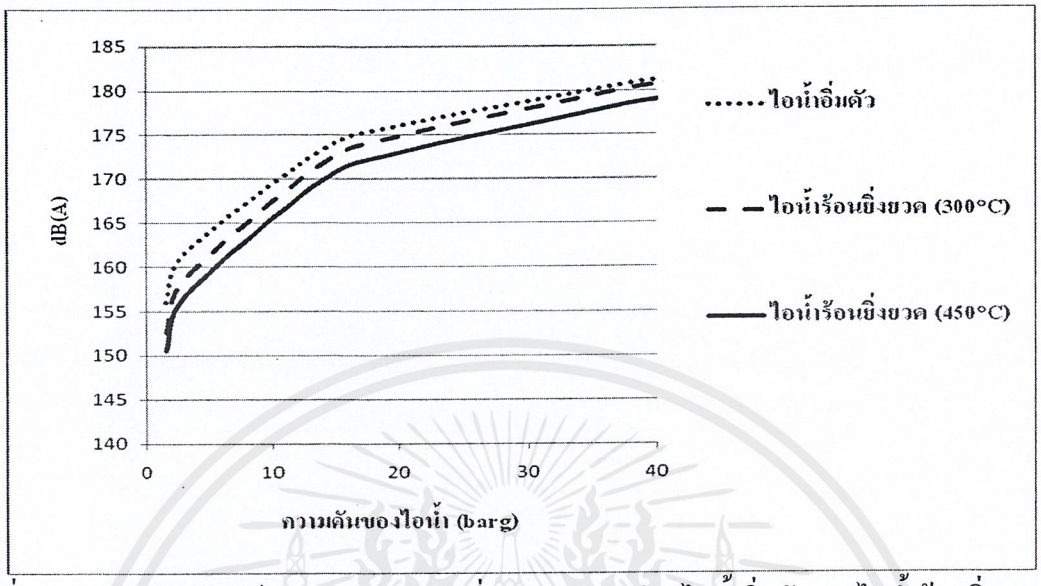
ข)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวอัตราการไหล 40 ton/h กับขนาดท่อไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

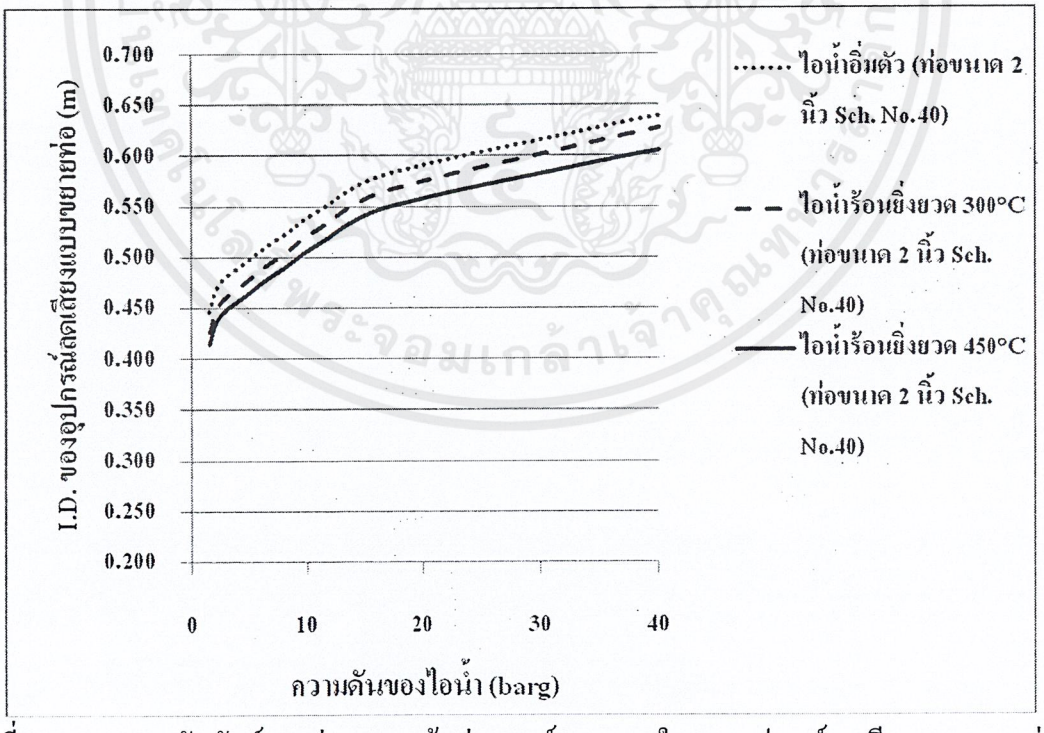
ก) ท่อไอน้ำขนาด 2, 2.5, 3, 3.5, 4 และ 5 นิ้ว ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 110 dB (A)

ข) ท่อไอน้ำขนาด 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 90 dB (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด อัตราการไหล 40 ton/h จากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 กับความดันของไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

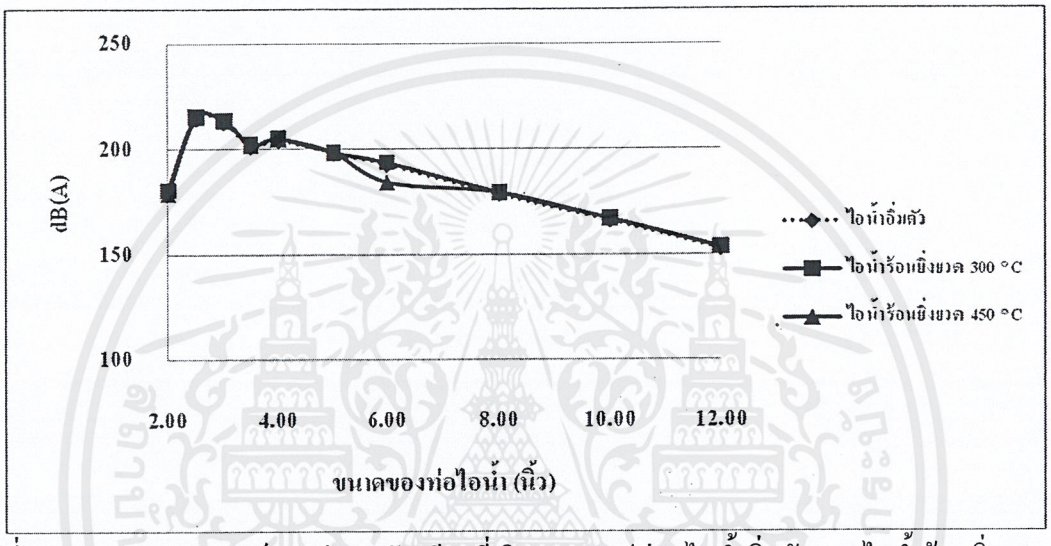


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อกับความดันของไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดอัตราการไหล 40 ton/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มของระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อจะมีค่ามากขึ้น เมื่อความดันของไอน้ำเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.7 - 4.9

3) อุณหภูมิของไอน้ำ



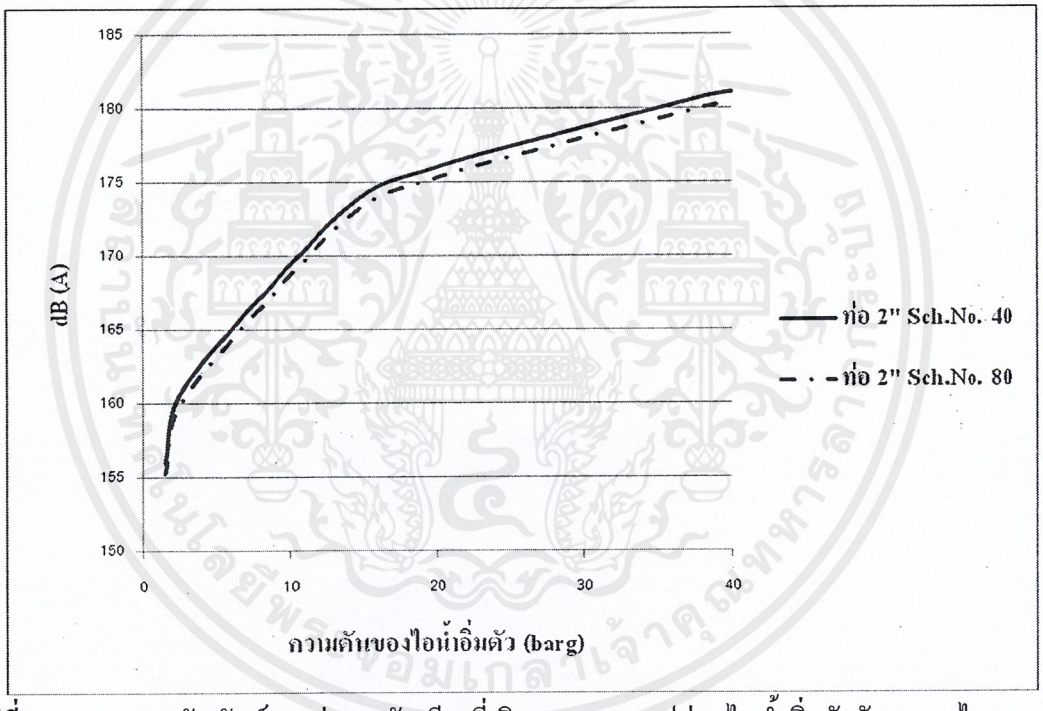
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด อัตราการไหล 40 ton/h ความดัน 40 barg กับขนาดท่อไอน้ำ กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

พิจารณารูปที่ 4.5 ที่ได้กล่าวมาเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลง พบว่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวมีค่าไม่แตกต่างจากการปล่อยไอน้ำร้อนยิ่งยวด 300 °C และ 450 °C และเมื่อความดันของไอน้ำเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 4.8) ระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวสูงกว่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำร้อนยิ่งยวด 300 °C และ 450 °C เล็กน้อย สำหรับขนาดท่อที่ต่างกัน ดังรูปที่ 4.10 เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัว ไอน้ำร้อนยิ่งยวด 300 °C และไอน้ำร้อนยิ่งยวด 450 °C ระดับเสียงที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว จึงใช้ภาวะไอน้ำอิ่มตัว เพราะมีระดับเสียงที่สูงกว่าช่วยให้สามารถออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงที่มีความปลอดภัยได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ขนาดและความหนาของท่อไอน้ำ

ที่อัตราการไหล ความดัน และคุณภาพของไอน้ำเดียวกัน ดังรูปที่ 4.4, 4.7 และ 4.10 ระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากท่อไอน้ำขนาดใหญ่จะต่ำกว่าจากท่อไอน้ำขนาดเล็ก เพราะความเร็วของไอน้ำที่ออกจากท่อขนาดใหญ่จะต่ำกว่าท่อขนาดเล็ก และสำหรับกรณีท่อ Sch. No. ต่างกัน ระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวออกจากท่อใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.11 แต่จะเลือกท่อ Sch. No. 40 สำหรับออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงที่เกิดจากจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวอัตราการไหล 40 ton/h จากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 และ 80 กับความดันของไอน้ำต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว (Dissipative silencer)

จากการวิเคราะห์ผลของอัตราการไหล ความดัน อุณหภูมิของไอน้ำ และขนาดของท่อไอน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความหนา) ต่อระดับเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวทำความสะอาดระบบท่อ จะใช้ภาวะของไอน้ำอิ่มตัว และท่อ Sch. No. 40 ออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เพื่อให้สามารถใช้ได้กับทั้งไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ และใช้ได้กับท่อ Sch. No. 40 และ 80

เหตุผลที่เลือกใช้ฉนวนใยแก้วเป็นวัสดุดูดซับเสียง เพราะสามารถดูดซับเสียงได้ดี ไม่ติดไฟ ทนสารเคมีและไอของสารเคมี ไม่กัดกร่อนวัสดุที่หุ้ม ไม่เป็นพิษ มีความเสถียรภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น และมีช่วงอุณหภูมิการใช้งานกว้าง ความหนาแน่นของฉนวนใยแก้วที่ใช้เท่ากับ 24 kg/m^3 เนื่องจากระดับเสียงที่เกิดจากการทำความสะอาดท่อไอน้ำส่วนใหญ่สูงกว่า 150 dB(A) แต่ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนดสำหรับการทำความสะอาดท่อไอน้ำขนาด 2-5 นิ้ว ในเวลา 30 นาที เท่ากับ 110 dB(A) และสำหรับท่อไอน้ำขนาด 6-12 นิ้ว ในเวลา 8 ชม. ต้องลดเสียงลงให้ได้มากกว่า คือไม่เกิน 90 dB(A) ดังนั้นจึงเลือกใช้ฉนวนใยแก้ว ความหนา 25 mm สำหรับท่อไอน้ำขนาด 2-5 นิ้ว สำหรับท่อไอน้ำขนาด 6-12 นิ้ว ใช้ฉนวนใยแก้วที่หนากว่า คือ 50 mm (ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแปรตามความหนาของวัสดุดูดซับเสียง) ตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เมื่อใช้ไออิ่มตัวทำความสะอาดท่อไอน้ำขนาด 2-5 นิ้ว และขนาด 6-12 นิ้ว ตามลำดับ

รูปที่ 4.12 , 4.13 และตารางที่ 4.4 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความยาวที่มากสุดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วตามค่าการออกแบบ (ท่อ Sch. No. 40 และไอน้ำอิ่มตัว) สำหรับใช้กับอัตราการไหลของไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด (5 – 40 ton/h) และความดันในงานทำความสะอาดท่อทั่วไป ดังนี้

1. กลุ่ม A ใช้กับความดันของไอน้ำไม่เกิน 3 barg
2. กลุ่ม B ใช้กับความดันของไอน้ำ 3 – 14 barg
3. กลุ่ม C ใช้กับความดันของไอน้ำ 14 – 20 barg
4. กลุ่ม D ใช้กับความดันของไอน้ำ 20 – 40 barg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 2-5 นิ้ว เมื่อทำความสะอาดด้วยไออิ่มตัว

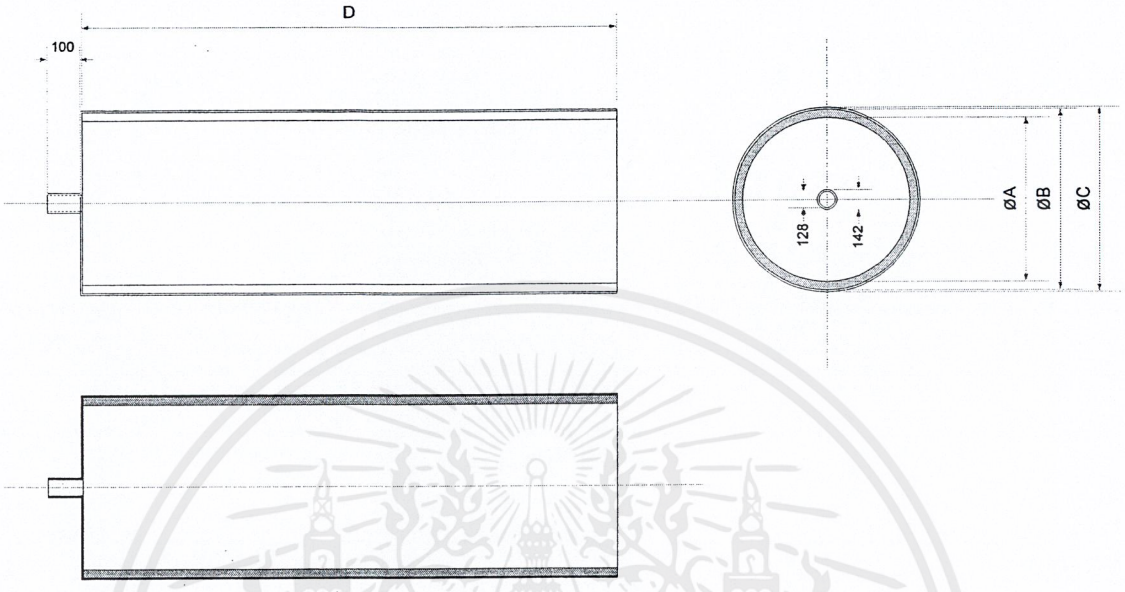
Steam conditions			Size of dissipative silencer (mm)											
			Nom. pipe size (in)											
P (barg)	T (°C)	Q (ton/h)	2		2.5		3		3.5		4		5	
			I.D.	L	I.D.	L	I.D.	L	I.D.	L	I.D.	L	I.D.	L
1.5	111.37	5	151	126	150	129	153	-	158	-	159	-	164	-
		10	197	504	195	476	198	395	204	-	204	-	209	-
		20	259	924	255	933	259	874	265	520	264	563	269	186
		40	384	-	336	1,523	338	1,447	347	1,109	343	1,201	348	969
3	133.54	5	160	347	160	198	163	-	167	-	167	-	173	-
		10	209	662	207	633	210	564	215	186	215	186	222	-
		20	274	1,134	271	1,111	274	1,029	280	740	279	775	285	468
		40	410	-	356	1,775	358	1,703	366	1,388	363	1,470	368	1,257
14	195.04	5	183	578	183	486	186	410	190	26	191	-	197	-
		10	238	1,050	236	1,008	240	870	246	617	246	618	252	234
		20	313	1,617	309	1,601	312	1,512	320	1,213	318	1,266	324	999
		40	461	1,134	408	2,323	408	2,344	418	2,011	415	2,081	420	1,861
20	212.37	5	188	662	188	609	192	433	196	126	197	54	192	264
		10	246	1,113	244	1,074	248	969	254	698	254	697	248	819
		20	323	1,733	319	1,685	322	1,619	331	1,325	329	1,379	320	1,497
		40	476	1,349	419	2,534	421	2,493	433	2,141	428	2,231	417	2,371
38	247.31	5	201	788	200	735	204	576	209	273	210	217	217	-
		10	261	1,271	259	1,222	264	1,124	271	835	271	835	277	512
		20	347	1,869	339	1,925	343	1,840	352	1,533	350	1,581	357	1,302
		40	504	1,659	446	2,811	448	2,772	460	2,424	456	2,511	462	2,271
40	250.33	5	202	767	201	714	205	587	210	286	211	231	218	-
		10	264	1,263	261	1,218	266	1,118	272	858	272	858	279	497
		20	347	1,943	341	1,914	345	1,828	354	1,541	352	1,591	359	1,313
		40	506	1,701	448	2,857	450	2,800	462	2,453	458	2,539	464	2,300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

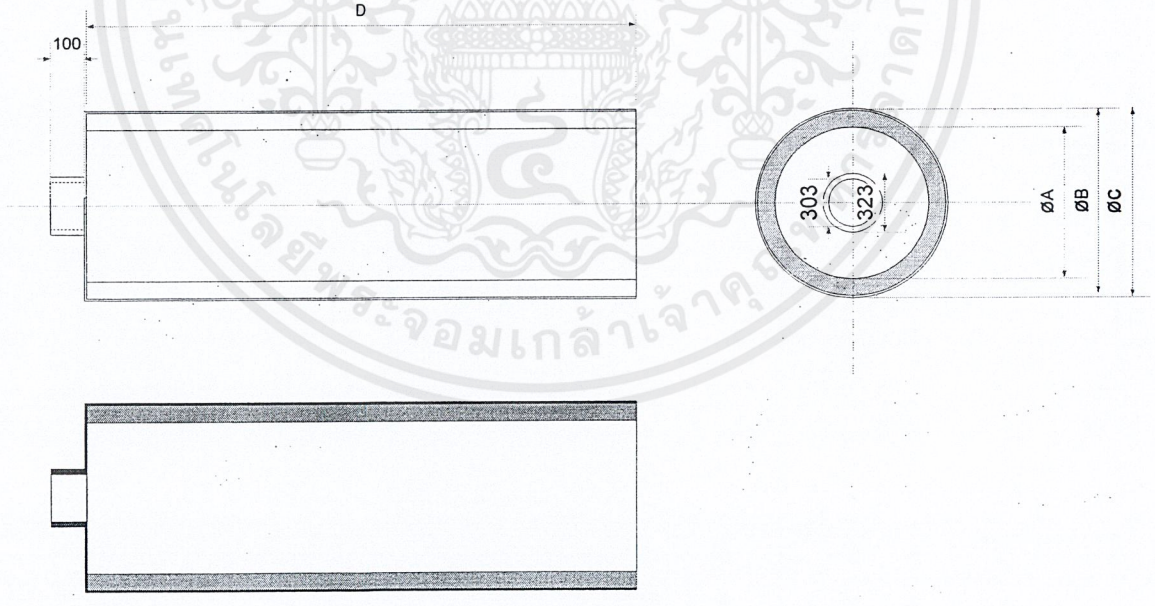
ตารางที่ 4.3 ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 6-12 นิ้ว เมื่อทำความสะอาดด้วยไออิ่มตัว

Steam conditions			Size of dissipative silencer (mm)							
			Nom. pipe size (in)							
P (barg)	T (°C)	Q (ton/h)	6		8		10		12	
			I.D	L	I.D	L	I.D	L	I.D	L
1.5	111.37	5	209	-	224	-	-	-	-	-
		10	234	784	280	-	295	-	-	-
		20	343	426	351	-	370	-	384	-
		40	444	1,117	448	928	464	331	482	-
3	133.54	5	222	-	236	-	-	-	-	-
		10	284	-	296	-	312	-	324	-
		20	363	655	372	286	392	-	407	-
		40	470	1,372	475	1,196	490	694	510	-
14	195.04	5	222	716	270	-	285	-	-	-
		10	317	582	338	-	356	-	371	-
		20	405	1,316	424	819	446	-	464	-
		40	520	2,269	541	1,821	560	1,342	582	618
20	212.37	5	261	-	278	-	294	-	-	-
		10	328	667	350	-	368	-	382	-
		20	419	1,421	439	915	461	16	480	-
		40	538	2,411	559	1,968	579	1,479	601	797
38	247.31	5	278	-	297	-	313	-	-	-
		10	349	815	372	-	392	-	407	-
		20	446	1,612	466	1,130	491	249	510	-
		40	572	2,690	595	2,219	615	1,745	639	1,062
40	250.33	5	246	880	298	-	314	-	-	-
		10	668	820	374	-	394	-	410	-
		20	448	1,633	468	1,154	494	290	513	-
		40	575	2,711	532	2,240	618	1,768	643	1,089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 2-5 นิ้ว



รูปที่ 4.13 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงสำหรับท่อขนาด 6-12 นิ้ว

หมายเหตุ ค่า ØA, ØB, ØC, และ D สำหรับแต่ละภาวะแสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ขนาดของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วและระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำภาวะต่างๆ

Silencer group	Steam conditions			Size of dissipative silencer (mm)									
				Nom. pipe size (in)									
	P	T	M	2" - 5" *					6" - 12" **				
	(barg)	(°C)	(ton/h)	ØA	ØB	ØC	D	SPL(dB(A))	ØA	ØB	ØC	D	SPL(dB(A))
A	1 to 3	133.5 to 450	5	173	223	237	347	100	-	-	-	-	-
			10	222	272	286	662	102	-	-	-	-	-
			20	285	335	349	1,134	104	407	507	527	655	78
			40	368	418	432	1,775	105	510	610	630	1,372	81
B	3 to 14	195 to 450	5	197	247	261	578	101	-	-	-	-	-
			10	252	302	316	1,050	102	-	-	-	-	-
			20	324	374	388	1,617	104	464	564	584	1,316	77
			40	461	511	525	2,344	100	582	682	702	2,269	79
C	14 to 20	212.4 to 450	5	192	242	256	662	105	-	-	-	-	-
			10	254	304	318	1,113	104	382	482	502	667	75
			20	331	381	395	1,733	105	480	580	600	1,421	77
			40	476	526	540	2,534	101	601	701	721	2,411	80
D	20 to 40	250.3 to 450	5	218	268	282	767	101	-	-	-	-	-
			10	279	329	343	1,263	103	410	510	530	820	75
			20	359	409	423	1,943	104	513	613	633	1,633	78
			40	506	556	570	2,857	100	643	743	763	2,711	80

หมายเหตุ - คือ ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ลดเสียง

* อุปกรณ์ลดเสียงที่บุด้วยใยแก้วความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนา 25 mm สำหรับทำความสะอาดท่อขนาด 2"-5" ด้วยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด 30 นาที ระดับเสียงไม่เกิน 110 dB(A)

** อุปกรณ์ลดเสียงที่บุด้วยใยแก้วความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนา 50 mm สำหรับทำความสะอาดท่อขนาด 6"-12" ด้วยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด 8 ชั่วโมง ระดับเสียงไม่เกิน 90 dB(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การประเมินราคาอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว

อุปกรณ์ลดเสียงสำหรับทำความสะอาดท่อด้วยไอน้ำที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ ราคาประมาณ 1-2 ล้านบาท โครงการนี้ประเมินราคาอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อขนาดใหญ่ที่สุด (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 643 mm ความยาว 2,711 mm) ที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว ความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนา 50 mm สำหรับไอน้ำอิ่มตัวความดัน 20-40 barg อัตราการไหล 40 ton/h ที่คิดแฟกเตอร์ความปลอดภัย 5% มีราคาประมาณ 94,000 บาท

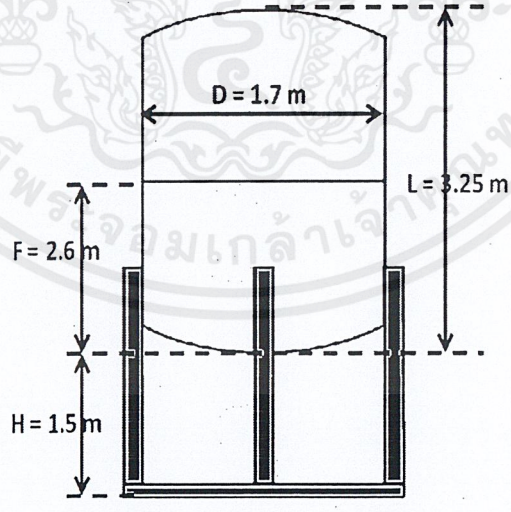
หมายเหตุ 1. เหล็กของท่อเหล็กคาร์บอนขนาด 24 นิ้ว Sch. No. 40 ราคา 20,000 บาท/เมตร

2. ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนา 50 mm ราคา 7,200 บาท/ตารางเมตร

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

ข้อมูลของเหลวไวไฟที่รวบรวมไว้ในภาคผนวก ค เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

กรณีศึกษา ถังเก็บของเหลวไวไฟ



รูปที่ 4.14 ถังเก็บของเหลวไวไฟ

พิจารณาถังเก็บของเหลวไวไฟทรงกระบอกแนวตั้งปริมาตร 1 m^3 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 m ความสูงของถังที่รวมฐานรองรับ 4.75 m บรรจุของเหลวไวไฟสูง 2.6 m เก็บของเหลวไวไฟ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮกเซน (Hexane) โทลูอีน (Toluene) และคลอโรเบนซีน (Chlorobenzene) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 °C ความดัน 2.90 atm

จากตารางที่ 2.6 ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟของถังเก็บของเหลวไวไฟในแนวนอน พื้นที่ขอบเขตจะขยายออกไปถึงพนังกั้น หรือ 6 เมตร จากถังเก็บ ขึ้นกับว่าระดับใดมากกว่ากัน และขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟในแนวตั้ง 6 – 12 เมตร ขึ้นกับการประเมินความเสี่ยงและการประเมินการพัฒนาเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ

ฐานการคำนวณและสมมติฐาน

1. ความเข้มข้นที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.38) เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่ปิดล้อม
2. สมมติให้การระเหยของของเหลวไวไฟเป็นแบบภาวะคงตัว
3. ค่า Nonideal mixing factor (k) จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 และสำหรับระบบที่มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ k =1

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

1) ผลของพื้นที่กระบวนการผลิต

จากตารางที่ 4.5 ที่คำนวณความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนที่อุณหภูมิดำเนินการ และพื้นที่กระบวนการผลิตต่างๆ ของถังบรรจุโทลูอีน และสร้างกราฟในรูปที่ 4.15 ก) ข) ค) และ ง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนกับพื้นที่กระบวนการผลิตที่อุณหภูมิดำเนินการ 50-80 °C พบว่าเมื่อขนาดพื้นที่กระบวนการผลิตน้อย ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนจะสูง ในขณะที่เมื่อพื้นที่กระบวนการผลิตมากขึ้น ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนจะต่ำ รูปที่ 4.15 ข) และ ค) แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิดำเนินการ 60 และ 70 °C มีความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนบางช่วงที่อยู่ในช่วงขีดจำกัดความไวไฟ ดังนั้นความเข้มข้นเฉลี่ยจะขึ้นกับการวิเคราะห์ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ หากพื้นที่กระบวนการผลิตน้อยจะก่อให้เกิดความเข้มข้นเฉลี่ยสูงในบริเวณพื้นที่กระบวนการผลิต ซึ่งถูกพิจารณาเป็นพื้นที่ปิดล้อม จึงมีความเสี่ยงที่จะระเบิดและเกิดอัคคีภัยสูง ดังนั้นต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ จากรูปที่ 4.15 ง) พบว่าที่อุณหภูมิดำเนินการ 80 °C ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนทั้งหมดอยู่ในช่วงขีดจำกัดความไวไฟ ดังนั้นต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับทุกพื้นที่กระบวนการผลิต เช่น ในบริเวณพื้นที่กระบวนการผลิตนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ประเภท Explosion-proof equipment และต้องเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันไฟได้นานขึ้น เป็นต้น [22] สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยของเฮกเซนและคลอโรเบนซีนกับพื้นที่กระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิดำเนินการต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

2) ผลของอุณหภูมิดำเนินการ

ช่วงของความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนที่อุณหภูมิดำเนินการ 50 °C ดังรูปที่ 4.15 ก) อยู่ต่ำกว่าค่าต่ำสุดของการระเบิดของโทลูอีน แสดงว่าไม่ต้องเตรียมการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับเมื่อเก็บโทลูอีนภายใต้อุณหภูมิดำเนินการนี้ สำหรับที่อุณหภูมิดำเนินการ 60 และ 70 °C และความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนอยู่ในช่วงขีดจำกัดความไวไฟ ดังรูปที่ 4.15 ข) และ ค) จำเป็นต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ และที่อุณหภูมิดำเนินการ 80 °C ดังรูปที่ 4.15 ง) ดังที่ได้กล่าวแล้วต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับทุกพื้นที่กระบวนการผลิต

มีข้อสังเกตว่าเมื่ออุณหภูมิดำเนินการสูงขึ้น ช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนจะกว้างขึ้น จึงมีแนวโน้มที่จะต้องเตรียมการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับมากขึ้น เพราะโทลูอีนจะระเหยเป็นไอมากขึ้น ดังรูปที่ 4.15 สำหรับเฮกเซนที่ทุกอุณหภูมิดำเนินการ ความเข้มข้นเฉลี่ยกว้างมาก แสดงว่าพื้นที่กระบวนการผลิตที่มีความเสี่ยงกว้าง จึงต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับทุกอุณหภูมิดำเนินการและทุกพื้นที่กระบวนการผลิต ดังรูปที่ 4.16 สำหรับคลอโรเบนซีน ที่อุณหภูมิดำเนินการ 50, 60 และ 70 °C ความเข้มข้นเฉลี่ยแคบและไม่อยู่ในช่วงขีดจำกัดความไวไฟ จึงไม่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ แต่ที่อุณหภูมิดำเนินการ 80 °C ที่พื้นที่กระบวนการผลิตบางส่วนที่จะต้องเตรียมการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ เพราะมีความเข้มข้นเฉลี่ยบางค่าอยู่ในช่วงขีดจำกัดความไวไฟ ดังรูปที่ 4.17 ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บโทลูอีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการผลิตต่างๆ

Substance	Phase	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	M (g/mol)	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A (m^2)	Pool A (m^2)	C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
										Horizontal (m)	Vertical (m)			k = 0.5	k = 0.1			
Toluene	Liquid	4.40	110.50	Flammable	IB	92.13	2.90	80.00	291.22	13.70	6	82.20	2.27	0.69	3.46	1.40	6.70	O
											7	95.90		0.59	2.97			O
											8	109.60		0.52	2.59			O
											9	123.30		0.46	2.31			O
											10	137.00		0.42	2.08			O
											11	150.70		0.38	1.89			O
											12	164.40		0.35	1.73			O
								70.00	203.75	13.70	6	82.20		0.48	2.42			O
											7	95.90		0.41	2.07			O
											8	109.60		0.36	1.82			O
											9	123.30		0.32	1.61			O
											10	137.00		0.29	1.45			O
											11	150.70		0.26	1.32			X
											12	164.40		0.24	1.21			X

หมายเหตุ O หมายถึง จำเป็นต้องติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

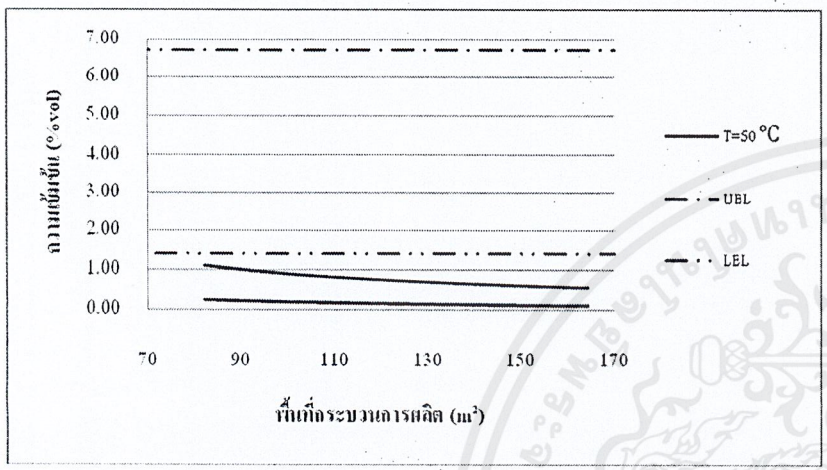
X หมายถึง ไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

ตารางที่ 4.5 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บโทลูอีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการผลิตต่างๆ (ต่อ)

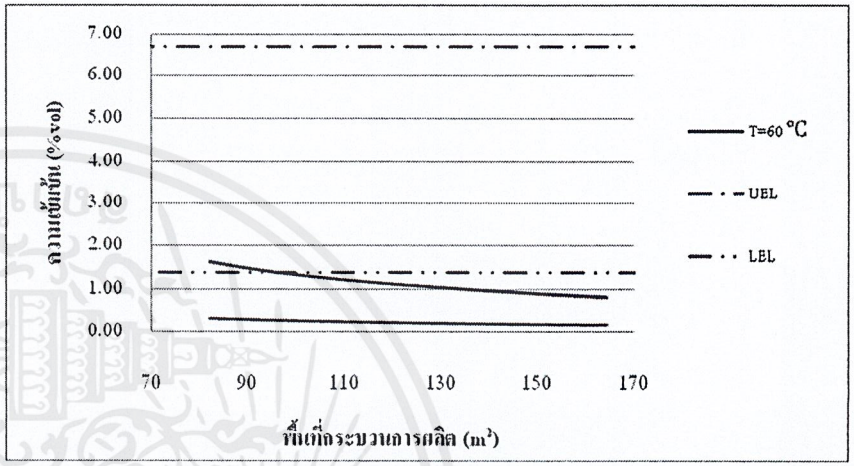
Substance	Phase	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	M (g/mol)	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A (m^2)	Pool A (m^2)	C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
										Horizontal (m)	Vertical (m)			k = 0.5	k = 0.1			
Toluene	Liquid	4.40	110.50	Flammable	IB	92.13	2.90	60.00	138.96	13.70	6	82.20	2.27	0.33	1.65	1.40	6.70	O
											7	95.90		0.28	1.41			O
											8	109.60		0.25	1.24			X
											9	123.30		0.22	1.10			X
											10	137.00		0.20	0.99			X
											11	150.70		0.18	0.90			X
											12	164.40		0.17	0.83			X
								50.00	92.11	13.70	6	82.20		0.22	1.09			X
											7	95.90		0.19	0.94			X
											8	109.60		0.16	0.82			X
											9	123.30		0.15	0.73			X
											10	137.00		0.13	0.66			X
											11	150.70		0.12	0.60			X
											12	164.40		0.11	0.55			X

หมายเหตุ O หมายถึง จำเป็นต้องติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

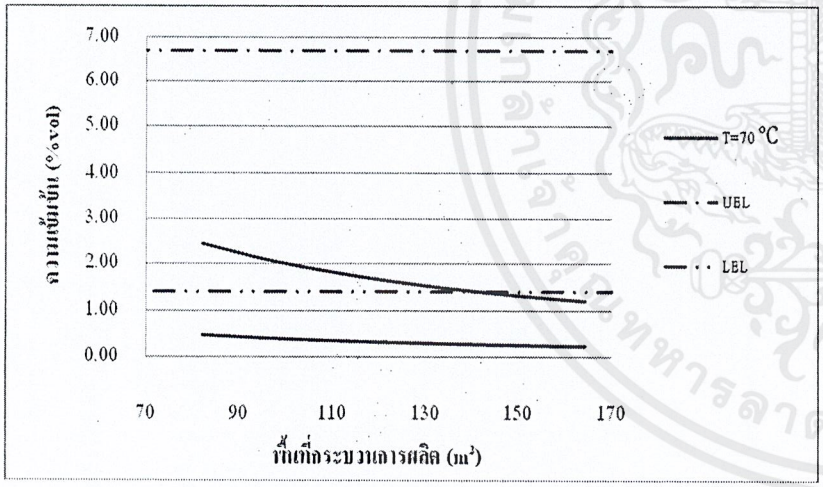
X หมายถึง ไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ



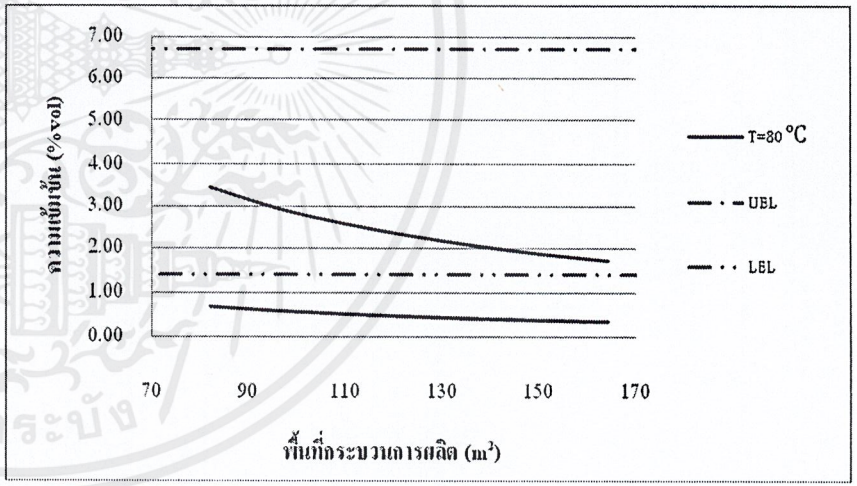
ก)



ข)

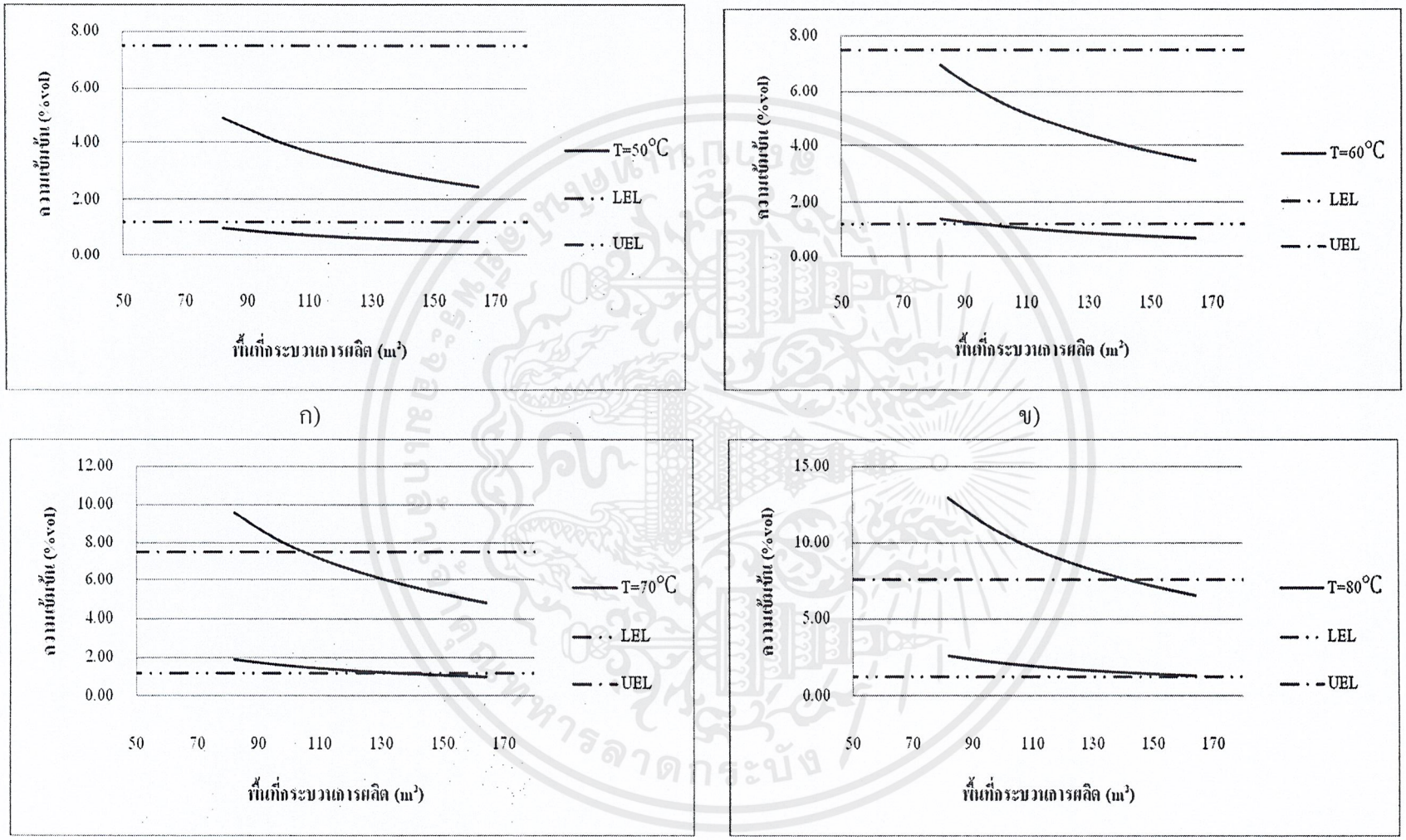


ค)

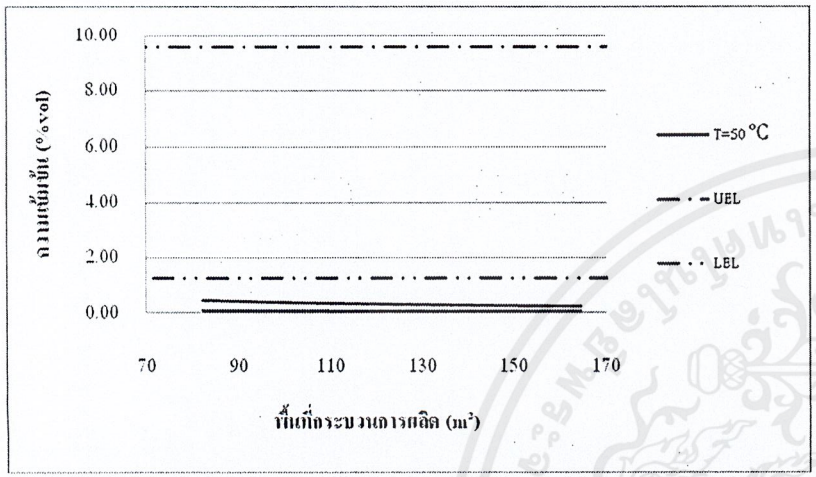


ง)

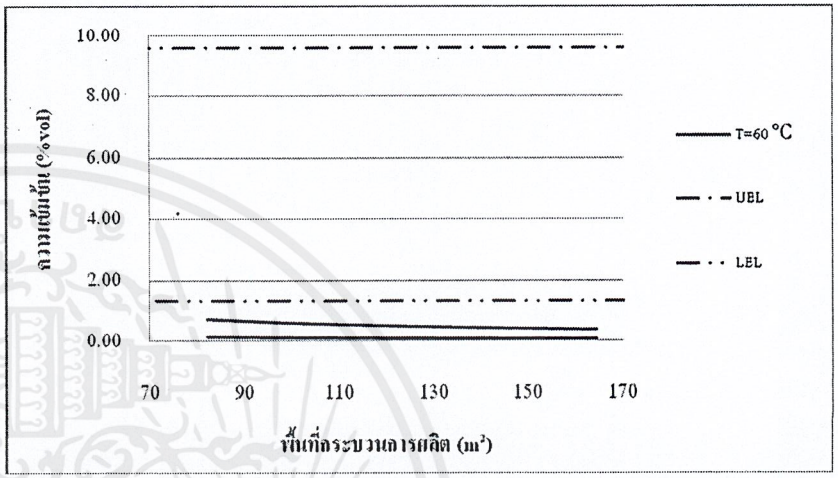
รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโทลูอีนที่พื้นที่กระบวนการผลิต : อุณหภูมิ ก) 50 °C ข) 60 °C ค) 70 °C และ ง) 80 °C



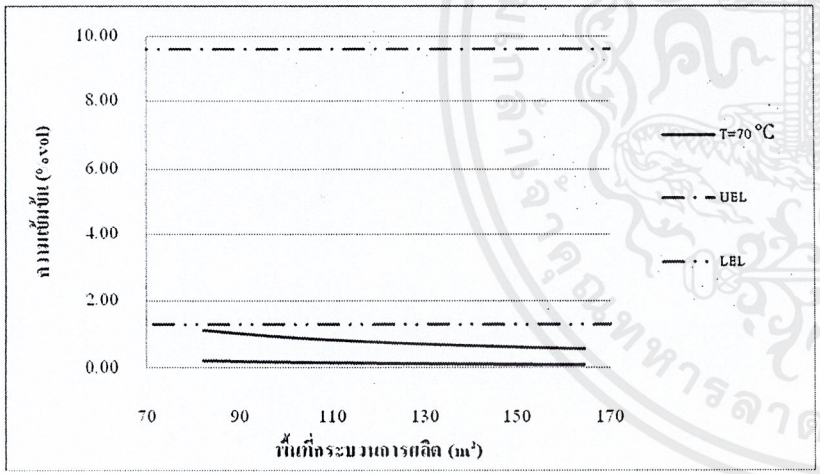
รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนที่พื้นที่กระบวนการผลิต : อุณหภูมิ ก) 50 °C ข) 60 °C ค) 70 °C และ ง) 80 °C



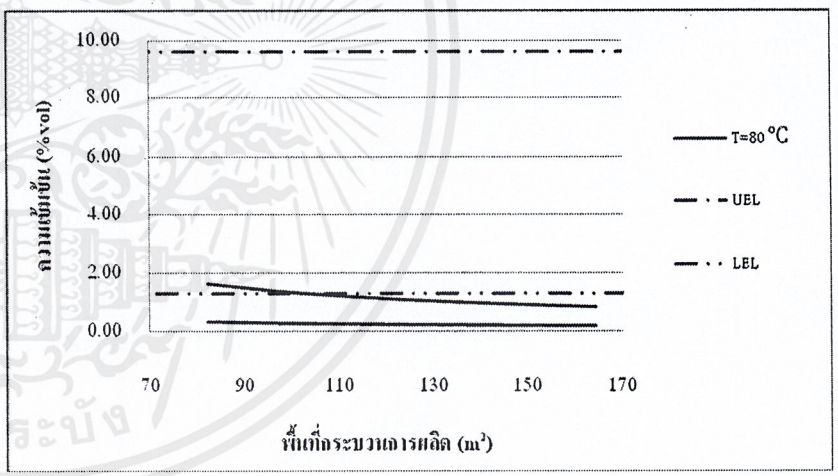
ก)



ข)



ค)



ง)

รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรเบนซีนที่พื้นที่กระบวนการผลิต : อุณหภูมิ ก) 50 °C ข) 60 °C ค) 70 °C และ ง) 80 °C

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ตอนที่ 1 อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว

1.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. ระดับเสียงที่เกิดจากการทำความสะอาดท่อด้วยไอน้ำ (Steam flushing) โดยใช้ไอน้ำอิ่มตัวหรือไอน้ำร้อนยิ่งยวดความดันสูง ขึ้นกับภาวะของไอน้ำที่ใช้ (อุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหล) และขนาดของท่อไอน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความหนา)

2. ในการทำความสะอาดท่อด้วยไอน้ำอิ่มตัวและไอน้ำร้อนยิ่งยวด ตั้งแต่อุณหภูมิอิ่มตัวจนถึง 450 °C ความดัน 1-3, 3-14, 14-20 และ 20-40 barg อัตราการไหล 5 – 40 ton/h การใช้อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนา 25 mm และ 50 mm กับท่อ 2 – 5 นิ้ว และ 6 – 12 นิ้ว (Sch. No. 40 และ 80) ตามลำดับ สามารถลดระดับเสียงได้ภายใต้กฎหมายกำหนด ซึ่งลดลงประมาณ 40-50% เทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ลดเสียง ทั้งนี้เมื่อความดัน 40 barg และอัตราการไหลของไอน้ำสูง 36 ton/h การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงใยแก้วจะทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วลดลงได้จาก 592 mm ในกรณีของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงเป็น457 mm (ประมาณ 14 %)

3. อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วที่มีความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนาของใยแก้ว 50 mm สามารถใช้ได้กับไอน้ำอิ่มตัวความดัน 20-40 barg อัตราการไหล 40 ton/h ซึ่งเมื่อคิดแฟกเตอร์ความปลอดภัย 5% จะได้อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 643 mm ความยาว 2,711 mm มีต้นทุนค่าวัสดุที่ไม่รวมค่าสร้างประมาณ 94,000 บาท เทียบกับที่สั่งซื้อจากต่างประเทศประมาณ 1-2 ล้านบาท

1.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากบริษัทเป็นธุรกิจที่ทำครบวงจร ควรสร้างอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วที่ได้ออกแบบในโครงการนี้จากวัสดุที่เหลือจากงานก่อสร้างหลัก เพื่อทดลองใช้ทำความสะอาดท่อด้วยไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บริษัทควรวัดระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำสู่บรรยากาศเมื่อใช้อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง และหากไม่สามารถลดระดับเสียงลงได้จนถึงระดับที่กฎหมายกำหนดในระยะเวลาที่ให้สัมผัสเสียงได้ ควรพัฒนาให้สามารถใช้ได้ต่อไป

3. สามารถประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณจากโครงการนี้ในการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อและแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงที่ภาวะอื่น และคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้นได้

ตอนที่ 2 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

2.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. ความจำเป็นในการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับตามมาตรฐาน API RP 2218 ต้องพิจารณา
   - ชนิดของของเหลวไวไฟ (จุดเดือด และจุดวาบไฟ)
   - ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ
   - อุณหภูมิและความดันดำเนินการของอุปกรณ์

2. ถ้าขนาดพื้นที่กระบวนการผลิตน้อย แต่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของของเหลวไวไฟสูง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิดำเนินการสูง ช่วงความเข้มข้นเฉลี่ยจะกว้างขึ้น และมีแนวโน้มที่จะต้องเตรียมป้องกันอัคคีภัยเชิงรับมากขึ้น

3. โครงการนี้รวบรวมชนิดของของเหลวไวไฟ 166 สาร ที่จำเป็นต้องมีระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ แสดงในภาคผนวก ค

2.2 ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนวิเคราะห์ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟของแต่ละอุปกรณ์ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน API RP 2218 ต้องประเมินระดับของอันตราย และประเมินการพัฒนาเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ [22]

2. ควรศึกษาการป้องกันอันตรายจากการระเบิดของฝุ่นผง (Dust explosion) โดยเฉพาะถ้าบริเวณใกล้พื้นที่กระบวนการผลิตที่จะต้องเตรียมป้องกันอัคคีภัยเชิงรับมีความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่นผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **เสียง (Sound)**

Available: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%87 (17/06/2553)

[2] **เสียง (Sound)**

Available: http://www.sopon.ac.th/science/jongkol1/Index/Index.htm (19/06/2553)

[3] รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ, **เอกสารประกอบการสอนวิชาความปลอดภัยในงานวิศวกรรมเคมี (Safety in chemical engineering) บทที่ 5**, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2553

[4] **ความดังของเสียง**

Available: http://www.sopon.ac.th/science/jongkol1/Index/Index.htm (17/06/2553)

[5] **เดซิเบลเอ**

Available: http://aqnis.pcd.go.th/noise/noise/dB.pdf (17/06/2553)

[6] Colin Hansen, **Noise control from concept to application**, Taylor&Francis, 2005

[7] **เสียงและกฎหมาย**

Available: http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/3468/7/222663_ch1.pdf (06/08/2553)

[8] **กฎหมายเกี่ยวกับมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน**

Available: http://www.pcd.go.th/count/airdl.cfm?FileName=Noise_law.pdf (17/06/2553)

[9] **Noise control**

Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Noise_control (22/06/2553)

[10] **การควบคุมเสียง**

Available: http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114%20unit%2010.pdf (22/06/2553)

[11] Istvan L. Ver and Leo L. Beranek, **Noise and vibration control engineering principles and Applications, 2nd ed.**, Jonh Wiley & Sons, Inc., 2006

[12] William W. Seto, **Schaum's outline of theory and problems of acoustic**, McGraw-Hill, Inc., 1971

[13] Reynolds, Douglas D., **Engineering principles of acoustics**, Allyn and Bacon, Inc., 1981

[14] **TOP Insulation**

Available: http://www.topinsulation.com (06/08/2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Lyle F. Yerges, **Sound noise and vibration control, 2nd ed.**, Litton Educational Publishing, Inc., 1978

[16] **เส้นใยแก้ว (Fiberglass)**

Available: http://www.answers.com/topic/fiberglass (06/08/2553)

[17] นาวาอากาศตรี ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน**, บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2537

[18] David A. Harris, **Noise Control manual: Guidelines for problem-solving in the industrial/commercial acoustical enviranment**, Van Nostrand Reinhold, 1991

[19] **Manufacturing of a silencer**

Available: http://kazuli.com/UW/3A/ME%20340/silencer1.htm (21/06/2553)

[20] Randall F. Barron, **Industrial noise control and acoustics**, Marcel Dekker, New York, 2003

[21] **ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์**

Available: http://msds.pcd.go.th/definition.html (12/09/2553)

[22] American petroleum institute, **Fireproofing practice in petroleum and petrochemical processing plants**, API Publication 2218, 1999

[23] Danial A. Crow, Joseph F. Louvar, **Chemical process safety**, 2nd ed., Prentice Hall, Inc., 2002

[24] Massimo Garai, Francesco Pompoli. **A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications.** Appl Acoustics 2005; 66:1383-1398.

[25] Narang PP. **Material parameter selection in polyester fibre insulation for sound transmission and absorption**. Appl Acoustics 1995; 45:335-358.

[26] Chao-Nan Wang, Jiunn-Hwan Torng, **Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials**, Applied Acoustics 2001; 62:447-459.

[27] นพคุณ ตั้งพานิชวงศ์ พิพัฒน์ สะสีสังข์ และ ภาคภูมิ พึ่งสุข. **การออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงและทำฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องใช้อิเล็กทริคอลบอนดิ้ง.** ปริญญานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551

[28] **Pipe list**

Available: http://www.udomkit.com/Products/Pipes.html (19/02/2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ และแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	40	53	4	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	843.055	164.65	172	181	144	151	120	126	O
						10	1.1590	3.219	1,686.109	175.06	233	245	188	197	480	504	O
						20	1.1590	6.439	3,372.219	183.69	315	331	247	259	880	924	O
						40	1.1590	12.878	6,744.437	155.97	425	446	366	384	0	0	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	832.980	169.89	185	194	152	160	330	347	O
						10	0.6056	1.682	1,665.959	180.30	251	264	199	209	630	662	O
						20	0.6056	3.364	3,331.918	188.93	339	356	261	274	1,080	1,134	O
						40	0.6056	6.729	6,663.837	161.46	458	481	390	410	0	0	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	784.458	180.59	219	230	174	183	550	578	O
						10	0.1407	0.391	1,568.916	190.99	296	311	227	238	1,000	1,050	O
						20	0.1407	0.782	3,137.832	199.62	400	420	298	313	1,540	1,617	O
						40	0.1407	1.563	6,275.664	173.39	541	568	439	461	1,080	1,134	O

หมายเหตุ O หมายถึง ต้องใช้อุปกรณ์ลดเสียง X หมายถึง ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ลดเสียง

ตารางที่ ก.1 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	40	53	4	20	212.37	5	0.0995	0.138	764	182.73	228	239	179	188	630	662	O
						10	0.0995	0.276	1,528	193.14	308	323	234	246	1,060	1,113	O
						20	0.0995	0.553	3,057	201.77	416	437	308	323	1,650	1,733	O
						40	0.0995	1.106	6,114	176.08	563	591	453	476	1,285	1,349	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	713	186.02	245	257	191	201	750	788	O
						10	0.0524	0.146	1,427	196.43	332	349	249	261	1,210	1,271	O
						20	0.0524	0.291	2,853	205.06	448	470	330	347	1,780	1,869	O
						40	0.0524	0.586	5,707	180.79	605	635	480	504	1,580	1,659	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	708	186.24	247	259	192	202	730	767	O
						10	0.0497	0.138	1,416	196.65	334	351	251	502	1,203	1,263	O
						20	0.0497	0.276	2,832	205.28	451	474	330	347	1,850	1,943	O
						40	0.0497	0.552	5,664	181.16	609	639	482	506	1,620	1,701	O

ตารางที่ ก.2 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	80	49	6	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	986	156.28	168	176	144	151	0	0	O
						10	1.1590	3.219	1,973	164.88	227	238	190	200	180	189	O
						20	1.1590	6.439	3,945	146.63	307	322	272	286	0	0	O
						40	1.1590	12.878	7,891	155.24	416	437	359	377	0	0	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	975	174.03	181	190	147	154	340	357	O
						10	0.6056	1.682	1,949	184.43	245	257	192	202	711	747	O
						20	0.6056	3.364	3,898	193.02	331	348	252	265	1,150	1,208	O
						40	0.6056	6.729	7,796	160.73	447	469	379	398	2,000	2,100	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	918	184.73	214	225	167	175	620	651	O
						10	0.1407	0.391	1,836	195.12	289	303	219	230	1,040	1,092	O
						20	0.1407	0.782	3,671	203.72	391	411	287	301	1,580	1,659	O
						40	0.1407	1.563	7,342	172.66	529	555	430	452	1,010	1,061	O

ตารางที่ ก.2 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	80	49	6	20	212.37	5	0.0995	0.138	894	186.87	223	234	173	182	663	696	O
						10	0.0995	0.276	1,788	197.27	301	316	226	237	1,120	1,176	O
						20	0.0995	0.553	3,576	205.86	407	427	297	312	1,690	1,775	O
						40	0.0995	1.106	7,153	175.35	550	578	444	466	1,310	1,376	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	835	190.16	240	252	184	193	770	809	O
						10	0.0524	0.146	1,669	200.56	324	340	240	252	1,250	1,313	O
						20	0.0524	0.291	3,338	209.16	438	460	316	332	1,890	1,985	O
						40	0.0524	0.582	6,676	180.06	592	622	470	494	1,550	1,628	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	828	190.38	241	253	185	194	778	817	O
						10	0.0497	0.138	1,657	200.78	326	342	242	254	1,245	1,307	O
						20	0.0497	0.276	3,314	209.37	441	463	318	334	1,875	1,969	O
						40	0.0497	0.552	6,627	180.43	595	625	472	496	1,548	1,625	O

ตารางที่ ก.3 ระดับ เสียงจากท่อขนาด 2.5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2.5	40	63	5	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	597	161.85	170	179	143	150	123	129	O
						10	1.1590	3.219	1,193	173.59	230	242	186	195	453	476	O
						20	1.1590	6.439	2,387	184.03	311	327	243	255	889	933	O
						40	1.1590	12.878	4,773	192.75	420	441	320	336	1,450	1,523	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	590	167.09	183	192	152	160	189	198	O
						10	0.6056	1.682	1,179	178.83	247	259	197	207	603	633	O
						20	0.6056	3.364	2,358	189.27	335	352	258	271	1,058	1,111	O
						40	0.6056	6.729	4,716	197.99	452	475	339	356	1,690	1,775	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	555	177.79	216	227	174	183	463	486	O
						10	0.1407	0.391	1,110	189.52	292	307	225	236	960	1,008	O
						20	0.1407	0.782	2,221	199.97	395	415	294	309	1,525	1,601	O
						40	0.1407	1.563	4,442	208.68	534	561	389	408	2,212	2,323	O

ตารางที่ ก.3 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2.5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2.5	40	63	5	20	212.37	5	0.0995	0.138	541	179.93	225	236	179	188	580	609	O
						10	0.0995	0.276	1,082	191.67	304	319	232	244	1,023	1,074	O
						20	0.0995	0.553	2,163	202.11	411	432	304	319	1,605	1,685	O
						40	0.0995	1.106	4,327	210.83	556	584	399	419	2,413	2,534	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	505	183.23	242	254	190	200	700	735	O
						10	0.0524	0.146	1,010	194.96	327	343	247	259	1,164	1,222	O
						20	0.0524	0.291	2,019	205.41	442	464	323	339	1,833	1,925	O
						40	0.0524	0.582	4,039	214.12	598	628	425	446	2,677	2,811	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	501	183.44	244	256	191	201	680	714	O
						10	0.0497	0.138	1,002	195.18	329	345	249	498	1,160	1,218	O
						20	0.0497	0.276	2,004	205.62	445	467	325	341	1,823	1,914	O
						40	0.0497	0.552	4,009	214.34	601	631	427	448	2,721	2,857	O

ตารางที่ ก.4 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2.5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2.5	80	59	7	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	680	154.15	167	175	144	151	0	0	O
						10	1.1590	3.219	1,361	164.58	225	236	188	197	250	263	O
						20	1.1590	6.439	2,721	173.26	305	320	247	259	636	668	O
						40	1.1590	12.878	5,442	152.14	412	433	359	377	0	0	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	672	159.39	179	188	152	160	0	0	O
						10	0.6056	1.682	1,344	169.83	243	255	199	209	383	402	O
						20	0.6056	3.364	2,689	178.51	328	344	262	275	785	824	O
						40	0.6056	6.729	5,377	157.63	444	466	379	398	0	0	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	633	170.09	212	223	174	183	368	386	O
						10	0.1407	0.391	1,266	180.52	287	301	227	238	773	812	O
						20	0.1407	0.782	2,532	189.20	388	407	299	314	1,255	1,318	O
						40	0.1407	1.563	5,064	169.56	524	550	431	453	852	895	O

ตารางที่ ก.4 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2.5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2.5	80	59	7	20	212.37	5	0.0995	0.138	617	172.23	221	232	180	189	423	444	O
						10	0.0995	0.276	1,233	182.67	298	313	235	247	809	849	O
						20	0.0995	0.553	2,467	191.35	403	423	309	324	1,356	1,424	O
						40	0.0995	1.106	4,933	172.25	545	572	444	466	1,020	1,071	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	576	186.71	237	249	184	193	722	758	O
						10	0.0524	0.146	1,151	198.43	321	337	240	252	1,214	1,275	O
						20	0.0524	0.291	2,302	208.86	434	456	314	330	1,853	1,946	O
						40	0.0524	0.582	4,605	217.54	586	615	412	433	2,714	2,850	O
				40	250.33	5	0.0497	0.062	517	184.48	242	254	185	194	730	767	O
						10	0.0497	0.125	1,034	196.21	327	343	241	253	1,210	1,271	O
						20	0.0497	0.250	2,068	206.64	442	464	315	331	1,881	1,975	O
						40	0.0497	0.500	4,136	215.32	597	627	414	435	2,757	2,895	O

ตารางที่ ก.5 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3	40	78	5	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	389	155.08	170	179	146	153	0	0	O
						10	1.1590	3.219	778	168.68	230	242	189	198	376	395	O
						20	1.1590	6.439	1,557	180.44	311	327	247	259	832	874	O
						40	1.1590	12.878	3,114	190.94	420	441	322	338	1,378	1,447	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	385	160.32	183	192	155	163	0	0	O
						10	0.6056	1.682	769	173.92	247	259	200	210	537	564	O
						20	0.6056	3.364	1,538	185.68	335	352	261	274	980	1029	O
						40	0.6056	6.729	3,077	196.18	452	475	341	358	1,622	1,703	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	362	171.02	216	227	177	186	390	410	O
						10	0.1407	0.391	724	184.61	292	307	229	240	829	870	O
						20	0.1407	0.782	1,449	196.37	395	415	297	312	1,440	1,512	O
						40	0.1407	1.563	2,897	206.87	534	561	389	408	2,232	2,344	O

ตารางที่ ก.5 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3	40	78	5	20	212.37	5	0.0995	0.138	353	173.16	225	236	183	192	412	433	O
						10	0.0995	0.276	706	186.76	304	319	236	248	923	969	O
						20	0.0995	0.553	1,411	198.52	411	432	307	322	1,542	1,619	O
						40	0.0995	1.106	2,823	209.02	556	584	401	421	2,374	2,493	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	329	176.45	242	254	194	204	549	576	O
						10	0.0524	0.146	659	190.05	327	343	251	264	1,070	1,124	O
						20	0.0524	0.291	1,317	201.81	442	464	327	343	1,752	1,840	O
						40	0.0524	0.582	2,635	212.31	598	628	427	448	2,640	2,772	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	327	176.67	244	256	195	205	559	587	O
						10	0.0497	0.138	654	190.26	329	345	253	506	1,065	1,118	O
						20	0.0497	0.276	1,308	202.02	445	467	329	345	1,741	1,828	O
						40	0.0497	0.552	2,615	212.52	601	631	429	450	2,667	2,800	O

ตารางที่ ก.6 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3	80	74	8	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	432	147.69	165	173	146	153	0	0	O
						10	1.1590	3.219	865	159.45	224	235	190	200	39	41	O
						20	1.1590	6.439	1,730	169.93	302	317	248	260	523	549	O
						40	1.1590	12.878	3,460	178.75	409	429	326	342	996	1,046	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	427	152.93	178	187	155	163	0	0	O
						10	0.6056	1.682	854,58	164.69	241	253	201	211	211	222	O
						20	0.6056	3.364	1,709	175.17	326	342	263	276	679	713	O
						40	0.6056	6.729	3,418	183.99	440	462	345	362	1,281	1,345	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	402	163.63	210	221	176	185	160	168	O
						10	0.1407	0.391	805	175.38	285	299	229	240	620	651	O
						20	0.1407	0.782	1,610	185.87	385	404	300	315	1,135	1,192	O
						40	0.1407	1.563	3,219	194.69	520	546	394	414	1,827	1,918	O

ตารางที่ ก.6 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3	80	74	8	20	212.37	5	0.0995	0.138	392	165.77	219	230	182	191	229	240	O
						10	0.0995	0.276	784	177.53	296	311	237	249	688	722	O
						20	0.0995	0.553	1,568	188.01	400	420	310	326	1,263	1,326	O
						40	0.0995	1.106	3,146	196.83	541	568	407	427	1,990	2,090	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	193	157.17	236	248	188	197	562	590	O
						10	0.0524	0.146	385	170.76	319	335	243	255	1,073	1,127	O
						20	0.0524	0.291	770	182.51	431	453	316	332	1,733	1,820	O
						40	0.0524	0.582	1,550	193.00	582	611	413	434	2,620	2,751	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	363	178.59	237	249	189	198	570	599	O
						10	0.0497	0.138	726	192.19	321	337	245	257	1,091	1,146	O
						20	0.0497	0.276	1,453	203.94	433	455	318	334	1,742	1,829	O
						40	0.0497	0.552	2,906	214.43	585	614	415	436	644	676	O

ตารางที่ ก.7 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3.5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3.5	40	90	6	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	292	143.50	168	176	150	158	0	0	O
						10	1.1590	3.219	585	157.11	227	238	194	204	0	0	O
						20	1.1590	6.439	1,169	168.89	307	322	252	265	495	520	O
						40	1.1590	12.878	2,339	179.44	416	437	330	347	1,056	1,109	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	289	148.74	181	190	159	167	0	0	O
						10	0.6056	1.682	578	162.35	245	257	205	215	177	186	O
						20	0.6056	3.364	155	174.13	331	348	267	280	705	740	O
						40	0.6056	6.729	2,311	184.68	447	469	349	366	1,322	1,388	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	272	159.44	214	225	181	190	25	26	O
						10	0.1407	0.391	544	173.04	289	303	234	246	588	617	O
						20	0.1407	0.782	1,088	184.82	391	411	305	320	1,155	1,213	O
						40	0.1407	1.563	2,176	195.37	529	555	398	418	1,915	2,011	O

ตารางที่ ก.7 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3.5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3.5	40	90	6	20	212.37	5	0.0995	0.138	265	161.58	223	234	187	196	120	126	O
						10	0.0995	0.276	530	175.19	301	316	242	254	665	698	O
						20	0.0995	0.553	1,060	186.97	407	427	315	331	1,262	1,325	O
						40	0.0995	1.106	2,120	197.52	550	578	412	433	2,039	2,141	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	247	164.87	240	252	199	209	260	273	O
						10	0.0524	0.146	495	178.48	324	340	258	271	795	835	O
						20	0.0524	0.291	989	190.26	438	460	335	352	1,460	1,533	O
						40	0.0524	0.582	1,979	200.81	592	622	438	460	2,309	2,424	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	246	165.09	241	253	200	210	272	286	O
						10	0.0497	0.138	491	178.69	326	342	259	272	817	858	O
						20	0.0497	0.276	982	190.48'	441	463	337	354	1,468	1,541	O
						40	0.0497	0.552	1,964	201.02	595	625	440	462	2,336	2,453	O

ตารางที่ ก.8 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3.5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3.5	80	85	8	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	328	146.56	165	173	146	153	0	0	O
						10	1.1590	3.219	656	160.16	224	235	189	198	39	41	O
						20	1.1590	6.439	1,311	171.93	302	317	246	258	562	590	O
						40	1.1590	12.878	2,622	182.46	409	429	321	337	1,144	1,201	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	324	151.80	178	187	154	162	0	0	O
						10	0.6056	1.682	648	165.40	241	253	200	210	264	277	O
						20	0.6056	3.364	1,295	177.17	326	342	260	273	779	818	O
						40	0.6056	6.729	2,591	187.70	440	462	340	357	1,386	1,455	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	305	162.50	210	221	176	185	160	168	O
						10	0.1407	0.391	610	176.10	285	299	228	239	653	686	O
						20	0.1407	0.782	1,220	187.87	385	404	297	312	1,213	1,274	O
						40	0.1407	1.563	2,440	198.40	520	546	388	407	1,961	2,059	O

ตารางที่ ก.8 ระดับเสียงจากท่อขนาด 3.5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
3.5	80	85	8	20	212.37	5	0.0995	0.138	297	164.64	219	230	182	191	229	240	O
						10	0.0995	0.276	594	178.24	296	311	236	248	720	756	O
						20	0.0995	0.553	1,188	190.01	400	420	307	322	1,313	1,379	O
						40	0.0995	1.106	2,377	200.54	541	568	400	420	2,119	2,225	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	277	167.93	236	248	194	204	338	355	O
						10	0.0524	0.146	555	181.54	319	335	251	264	865	908	O
						20	0.0524	0.291	1,109	193.31	431	453	327	343	1,494	1,569	O
						40	0.0524	0.582	2,219	203.84	582	611	427	448	2,350	2,468	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	275	168.15	237	249	195	205	348	365	O
						10	0.0497	0.138	551	181.75	321	337	252	265	885	929	O
						20	0.0497	0.276	1,101	193.52	433	455	328	344	1,526	1602	O
						40	0.0497	0.552	2,202	204.05	585	614	429	450	2,377	2,496	O

ตารางที่ ก.9 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	40	102	6	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	228	141.35	168	176	151	159	0	0	O
						10	1.1590	3.219	455	156.97	227	238	194	204	0	0	O
						20	1.1590	6.439	910	170.59	307	322	251	264	536	563	O
						40	1.1590	12.878	1,821	182.39	416	437	327	343	1,144	1,201	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	225	146.59	181	190	159	167	0	0	O
						10	0.6056	1.682	450	162.21	245	257	205	215	177	186	O
						20	0.6056	3.364	900	175.83	331	348	266	279	738	775	O
						40	0.6056	6.729	1,799	187.63	447	469	346	363	1,400	1,470	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	212	157.29	214	225	182	191	0	0	O
						10	0.1407	0.391	424	172.91	289	303	234	246	589	618	O
						20	0.1407	0.078	847	186.52	391	411	303	318	1,206	1,266	O
						40	0.1407	1.563	1,694	198.32	529	555	395	415	1,982	2,081	O

ตารางที่ ก.9 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	40	102	6	20	212.37	5	0.0995	0.138	206	159.43	223	234	188	197	51	54	O
						10	0.0995	0.276	413	175.05	301	316	242	254	664	697	O
						20	0.0995	0.553	825	188.67	407	427	313	329	1,313	1,379	O
						40	0.0995	1.106	1,651	200.47	550	578	408	428	2,125	2,231	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	193	162.73	240	252	200	210	207	217	O
						10	0.0524	0.146	385	178.34	324	340	258	271	795	835	O
						20	0.0524	0.291	770	191.96	438	460	333	350	1,506	1,581	O
						40	0.0524	0.582	1,541	203.76	592	622	434	456	2,391	2,511	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	191	162.94	241	253	201	211	220	231	O
						10	0.0497	0.138	382	178.56	326	342	259	518	817	858	O
						20	0.0497	0.276	765	192.17	441	463	335	352	1,515	1,591	O
						40	0.0497	0.552	1,529	203.98	595	625	436	458	2,418	2,539	O

ตารางที่ ก.10 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	80	97	9	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	252	136.09	164	172	150	158	0	0	O
						10	1.1590	3.219	503	149.70	222	233	194	204	0	0	O
						20	1.1590	6.439	1,007	161.50	300	315	253	266	130	137	O
						40	1.1590	12.878	2,014	172.08	406	426	330	347	778	817	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	249	141.33	177	186	159	167	0	0	O
						10	0.6056	1.682	497	154.95	239	251	205	215	0	0	O
						20	0.6056	3.364	995	166.74	323	339	267	280	445	467	O
						40	0.6056	6.729	1,989	177.32	437	459	349	366	1,059	1,112	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	234	159.32	209	219	177	186	10	11	O
						10	0.1407	0.391	468	174.94	283	297	227	238	631	663	O
						20	0.1407	0.782	937	188.55	382	401	294	309	1,230	1,292	O
						40	0.1407	1.563	1,874	200.34	517	543	383	402	1,999	2,099	O

ตารางที่ ก.10 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	80	97	9	20	212.37	5	0.0995	0.138	228	161.46	217	228	183	192	97	102	O
						10	0.0995	0.276	456	177.08	294	309	235	247	696	731	O
						20	0.0995	0.553	913	190.69	398	418	304	319	1,327	1,393	O
						40	0.0995	1.106	1,825	202.48	537	564	396	416	2,132	2,239	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	213	164.76	234	246	194	204	275	289	O
						10	0.0524	0.146	426	180.37	317	333	250	263	839	881	O
						20	0.0524	0.291	852	193.98	428	449	324	340	1,503	1,578	O
						40	0.0524	0.582	1,704	205.78	578	607	421	442	2,397	2,517	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	211	164.97	235	247	196	206	235	247	O
						10	0.0497	0.138	423	180.59	318	334	251	264	859	902	O
						20	0.0497	0.276	846	194.20	430	452	326	342	1,511	1,587	O
						40	0.0497	0.552	1,691	205.99	582	611	423	444	2,423	2,544	O

ตารางที่ ก.11 ระดับเสียงจากท่อขนาด 5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
5	40	128	7	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	145	128.97	167	175	156	164	0	0	O
						10	1.1590	3.219	289	146.46	225	236	199	209	0	0	O
						20	1.1590	6.439	578	162.08	305	320	256	269	177	186	O
						40	1.1590	12.878	1,156	175.72	412	433	331	348	923	969	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	143	134.21	179	188	165	173	0	0	O
						10	0.6056	1.682	286	151.70	243	255	211	222	0	0	O
						20	0.6056	3.364	571	167.33	328	344	271	285	446	468	O
						40	0.6056	6.729	1,143	180.96	444	466	350	368	1,197	1,257	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	134	144.90	212	223	188	197	0	0	O
						10	0.1407	0.391	269	162.39	287	301	240	252	223	234	O
						20	0.1407	0.078	538	178.02	388	407	309	324	951	999	O
						40	0.1407	1.563	1,076	191.66	524	550	400	420	1,772	1,861	O

ตารางที่ ก.11 ระดับเสียงจากท่อขนาด 5 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
5	40	128	7	20	212.37	5	0.0995	0.138	131	147.05	221	232	183	192	251	264	O
						10	0.0995	0.276	262	164.54	298	313	236	248	780	819	O
						20	0.0995	0.553	524	180.16	403	423	305	320	1,426	1,497	O
						40	0.0995	1.106	1,048	193.80	545	572	397	417	2,258	2,371	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	122	150.34	237	249	207	217	0	0	O
						10	0.0524	0.146	245	167.83	321	337	264	277	488	512	O
						20	0.0524	0.291	489	183.46	434	456	340	357	1,240	1,302	O
						40	0.0524	0.582	978	197.09	586	615	440	462	2,163	2,271	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	124	151.19	239	251	208	218	0	0	O
						10	0.0497	0.138	248	168.68	323	339	266	532	473	497	O
						20	0.0497	0.276	495	184.31	437	459	342	359	1,250	1,313	O
						40	0.0497	0.552	990	197.95	590	620	442	464	2,190	2,300	O

ตารางที่ ก.12 ระดับเสียงจากท่อขนาด 5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
5	80	122	10	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	159	125.62	163	171	154	162	0	0	O
						10	1.1590	3.219	318	141.25	221	232	198	208	0	0	O
						20	1.1590	6.439	636	154.88	299	314	257	270	0	0	O
						40	1.1590	12.878	1,273	166.72	404	424	334	351	523	549	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	157	130.86	176	185	163	171	0	0	O
						10	0.6056	1.682	314	146.49	238	250	209	219	0	0	O
						20	0.6056	3.364	629	160.12	322	338	272	286	61	64	O
						40	0.6056	6.729	1,258	171.96	435	457	354	372	807	847	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	148	146.98	208	218	183	192	0	0	O
						10	0.1407	0.391	296	164.47	281	295	234	246	281	295	O
						20	0.1407	0.782	592	180.09	380	399	301	316	985	1,034	O
						40	0.1407	1.563	1,184	193.72	513	539	389	408	1,804	1,894	O

ตารางที่ ก.12 ระดับเสียงจากท่อขนาด 5 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
5	80	122	10	20	212.37	5	0.0995	0.138	144	149.12	216	227	189	198	0	0	O
						10	0.0995	0.276	288	166.61	292	307	242	254	367	385	O
						20	0.0995	0.553	577	182.24	395	415	311	327	1,089	1,143	O
						40	0.0995	1.106	1,154	195.87	534	561	402	422	1,939	2,036	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	135	152.42	233	245	201	211	0	0	O
						10	0.0524	0.146	269	169.90	315	331	257	270	546	573	O
						20	0.0524	0.291	538	185.53	425	446	331	348	1,273	1,337	O
						40	0.0524	0.582	1,077	199.16	575	604	428	449	2,187	2,296	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	134	152.63	234	246	202	212	0	0	O
						10	0.0497	0.138	267	170.12	317	333	259	272	532	559	O
						20	0.0497	0.276	535	185.74	428	449	333	350	1,281	1,345	O
						40	0.0497	0.552	1,069	199.38	578	607	43	45	2,213	2,324	O

ตารางที่ ก.13 ระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
6	40	154	7	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	100	115.00	217	228	199	209	0	0	O
						10	1.1590	3.219	200	132.49	293	308	223	234	747	784	O
						20	1.1590	6.439	399	148.13	396	416	327	343	406	426	O
						40	1.1590	12.878	799	161.79	536	563	423	444	1,064	1,117	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	99	120.24	234	246	211	222	0	0	O
						10	0.6056	1.682	197	137.73	316	332	270	284	0	0	O
						20	0.6056	3.364	395	153.37	427	448	346	363	624	655	O
						40	0.6056	6.729	789	167.03	577	606	448	470	1,307	1,372	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	93	130.94	276	290	211	222	682	716	O
						10	0.1407	0.391	186	153.84	373	392	302	317	554	582	O
						20	0.1407	0.078	372	171.34	504	529	386	405	1,253	1,316	O
						40	0.1407	1.563	743	186.97	681	715	495	520	2,161	2,269	O

ตารางที่ ก.13 ระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
6	40	154	7	20	212.37	5	0.0995	0.138	91	133.08	287	301	249	261	0	0	O
						10	0.0995	0.276	181	155.99	388	407	312	328	635	667	O
						20	0.0995	0.553	362	173.48	525	551	399	419	1,353	1,421	O
						40	0.0995	1.106	724	189.12	709	744	512	538	2,296	2,411	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	84	136.37	309	324	265	278	0	0	O
						10	0.0524	0.146	169	159.28	418	439	332	349	776	815	O
						20	0.0524	0.291	338	176.77	564	592	425	446	1,535	1,612	O
						40	0.0524	0.582	676	192.41	762	800	545	572	2,562	2,690	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	84	136.59	311	327	234	246	838	880	O
						10	0.0497	0.138	168	159.50	420	441	334	668	781	820	O
						20	0.0497	0.276	335	176.99	568	596	427	448	1,555	1,633	O
						40	0.0497	0.552	671	192.63	767	805	548	575	2,582	2,711	O

ตารางที่ ก.14 ระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
6	80	146	11	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	111	117.07	211	222	193	203	0	0	O
						10	1.1590	3.219	222	134.56	286	300	247	259	0	0	O
						20	1.1590	6.439	444	150.19	386	405	317	333	448	470	O
						40	1.1590	12.878	889	163.84	522	548	410	431	1,085	1,139	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	110	122.31	228	239	204	0	0	0	O
						10	0.6056	1.682	220	139.80	308	323	261	274	4	4	O
						20	0.6056	3.364	439	155.43	416	437	416	437	665	698	O
						40	0.6056	6.729	878	169.09	562	590	433	455	1,346	1,413	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	103	133.00	269	282	230	242	0	0	O
						10	0.1407	0.391	207	150.49	364	382	293	308	574	603	O
						20	0.1407	0.782	414	166.13	491	516	377	396	1,204	1,264	O
						40	0.1407	1.563	827	179.78	664	697	487	511	2,031	2,133	O

ตารางที่ ก.14 ระดับเสียงจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
6	80	146	11	20	212.37	5	0.0995	0.138	91	133.08	287	301	249	261	0	0	O
						10	0.0995	0.276	181	155.99	388	407	312	328	635	667	O
						20	0.0995	0.553	362	173.48	525	551	399	419	1,353	1,421	O
						40	0.0995	1.106	724	189.12	709	744	512	538	2,296	2,411	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	84	136.37	309	324	265	278	0	0	O
						10	0.0524	0.146	169	159.28	418	439	332	349	776	815	O
						20	0.0524	0.291	338	176.77	564	592	425	446	1,535	1,612	O
						40	0.0524	0.582	676	192.41	762	800	545	572	2,562	2,690	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	84	136.59	311	327	234	246	838	880	O
						10	0.0497	0.138	168	159.50	420	441	334	668	781	820	O
						20	0.0497	0.276	335	176.99	568	596	427	448	1,555	1,633	O
						40	0.0497	0.552	671	192.63	767	805	548	575	2,582	2,711	O

ตารางที่ ก.15 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
8	40	203	8	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	57	93.53	215	226	213	224	0	0	O
						10	1.1590	3.219	115	116.44	291	306	267	280	0	0	O
						20	1.1590	6.439	230	139.35	393	413	334	351	0	0	O
						40	1.1590	12.878	460	156.85	532	559	427	448	884	928	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	57	98.78	232	244	225	236	0	0	O
						10	0.6056	1.682	114	121.68	313	329	282	296	0	0	O
						20	0.6056	3.364	227	144.59	424	445	354	372	272	286	O
						40	0.6056	6.729	454	162.09	572	601	452	475	1,139	1,196	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	53	109.47	274	288	257	270	0	0	O
						10	0.1407	0.391	107	132.38	370	389	322	338	0	0	O
						20	0.1407	0.782	214	155.29	500	525	404	424	780	819	O
						40	0.1407	1.563	428	172.79	676	710	515	541	1,734	1,821	O

ตารางที่ ก.15 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
8	40	203	8	20	212.37	5	0.0995	0.138	52	111.61	285	299	265	278	0	0	O
						10	0.0995	0.276	104	134.52	385	404	333	350	0	0	O
						20	0.0995	0.553	208	157.43	521	547	418	439	871	915	O
						40	0.0995	1.106	417	174.93	703	738	532	559	1,874	1,968	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	49	114.91	307	322	283	297	0	0	O
						10	0.0524	0.146	97	137.82	415	436	354	372	0	0	O
						20	0.0524	0.291	194	160.72	560	588	444	466	1,076	1,130	O
						40	0.0524	0.582	389	178.23	756	794	567	595	2,113	2,219	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	48	115.12	309	324	284	298	0	0	O
						10	0.0497	0.138	97	138.03	417	438	356	374	0	0	O
						20	0.0497	0.276	193	160.94	564	592	446	468	1,099	1,154	O
						40	0.0497	0.552	386	178.44	761	799	507	532	2,133	2,240	O

ตารางที่ ก.16 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
8	80	194	13	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	63	94.86	209	219	206	216	0	0	O
						10	1.1590	3.219	126	117.76	283	297	258	271	0	0	O
						20	1.1590	6.439	252	135.27	383	402	330	347	0	0	O
						40	1.1590	12.878	503	150.92	517	543	425	446	650	683	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	62	100.10	225	236	218	0	0	0	O
						10	0.6056	1.682	124	123.01	305	320	273	287	0	0	O
						20	0.6056	3.364	249	140.51	412	433	349	366	46	48	O
						40	0.6056	6.729	497	156.16	557	585	443	465	1,031	1,083	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	59	110.79	266	279	249	261	0	0	O
						10	0.1407	0.391	117	133.70	360	378	312	328	0	0	O
						20	0.1407	0.782	234	156.61	487	511	391	411	808	848	O
						40	0.1407	1.563	468	174.11	658	691	499	524	1,722	1,808	O

ตารางที่ ก.16 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
8	80	194	13	20	212.37	5	0.0995	0.138	57	112.94	277	291	257	270	0	0	O
						10	0.0995	0.276	114	135.84	375	394	322	338	0	0	O
						20	0.0995	0.553	228	158.75	506	531	404	424	910	956	O
						40	0.0995	1.106	456	176.25	684	718	516	542	1,849	1,941	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	53	116.23	298	313	274	288	0	0	O
						10	0.0524	0.146	106	139.14	403	423	343	360	0	0	O
						20	0.0524	0.291	213	162.05	545	572	430	452	1,089	1,143	O
						40	0.0524	0.582	426	179.55	736	773	549	576	2,099	2,204	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	53	116.44	300	315	275	289	0	0	O
						10	0.0497	0.138	106	139.35	406	426	345	362	0	0	O
						20	0.0497	0.276	211	162.26	548	575	432	454	1,109	1,164	O
						40	0.0497	0.552	423	179.76	740	777	552	580	2,117	2,223	O

ตารางที่ ก.17 ระดับเสียงจากท่อขนาด 10 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
10	40	255	9	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	36	75.76	-	-	-	-	-	-	X
						10	1.1590	3.219	73	98.67	289	303	281	295	0	0	O
						20	1.1590	6.439	146	121.58	391	411	352	370	0	0	O
						40	1.1590	12.878	291	144.49	528	554	442	464	315	331	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	36	81.00	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.6056	1.682	72	103.91	311	327	297	312	0	0	O
						20	0.6056	3.364	144	126.82	421	442	373	392	0	0	O
						40	0.6056	6.729	288	149.73	569	597	467	490	661	694	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	34	91.70	272	286	271	285	0	0	O
						10	0.1407	0.391	68	114.61	368	386	339	356	0	0	O
						20	0.1407	0.782	136	137.51	497	522	425	446	0	0	O
						40	0.1407	1.563	271	160.42	680	714	533	560	1,278	1,342	O

ตารางที่ ก.17 ระดับเสียงจากท่อขนาด 10 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
10	40	255	9	20	212.37	5	0.0995	0.138	33	93.84	283	297	280	294	0	0	O
						10	0.0995	0.276	66	116.75	383	402	350	368	0	0	O
						20	0.0995	0.553	132	139.66	517	543	439	461	15	16	O
						40	0.0995	1.106	264	162.57	698	733	551	579	1,409	1,479	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	31	97.13	305	320	298	313	0	0	O
						10	0.0524	0.146	62	120.04	412	433	373	392	0	0	O
						20	0.0524	0.291	123	142.95	556	584	468	491	237	249	O
						40	0.0524	0.582	247	165.86	751	789	586	615	1,662	1,745	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	31	97.35	306	321	299	314	0	0	O
						10	0.0497	0.138	61	120.26	414	435	375	394	0	0	O
						20	0.0497	0.276	122	143.17	560	588	470	494	276	290	O
						40	0.0497	0.552	245	166.07	756	794	589	618	1,684	1,768	O

ตารางที่ ก.18 ระดับเสียงจากท่อขนาด 10 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam							Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)	A-weigh SPL (dB(A))	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
10	80	243	15	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	40	77.19	-	-	-	-	-	-	X
						10	1.1590	3.219	80	100.10	281	295	272	286	0	0	O
						20	1.1590	6.439	160	123.01	380	399	340	357	0	0	O
						40	1.1590	12.878	321	140.52	513	539	434	456	88	92	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	40	82.43	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.6056	1.682	79	105.34	302	317	287	301	0	0	O
						20	0.6056	3.364	159	128.25	409	429	360	378	0	0	O
						40	0.6056	6.729	317	145.76	552	580	460	483	422	443	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	37	93.13	264	277	262	275	0	0	O
						10	0.1407	0.391	75	116.04	357	375	328	344	0	0	O
						20	0.1407	0.782	149	138.95	483	507	411	432	0	0	O
						40	0.1407	1.563	299	161.85	652	685	515	541	1,302	1,367	O

ตารางที่ ก.18 ระดับเสียงจากท่อขนาด 10 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
10	80	243	15	20	212.37	5	0.0995	0.138	36	95.27	275	289	270	284	0	0	O
						10	0.0995	0.276	73	118.18	372	391	339	356	0	0	O
						20	0.0995	0.553	145	141.09	502	527	425	446	89	93	O
						40	0.0995	1.106	291	164.00	678	712	532	559	1,438	1,510	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	34	98.57	296	311	288	302	0	0	O
						10	0.0524	0.146	68	121.47	400	420	361	379	0	0	O
						20	0.0524	0.291	136	144.38	540	567	452	475	339	356	O
						40	0.0524	0.582	271	167.29	730	767	567	595	1,660	1,743	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	34	98.78	298	313	289	303	0	0	O
						10	0.0497	0.138	67	121.69	402	422	363	381	0	0	O
						20	0.0497	0.276	135	144.60	544	571	454	477	370	389	O
						40	0.0497	0.552	269	167.51	734	771	569	597	1,699	1,784	O

ตารางที่ ก.19 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
12	40	303	10	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	26	62.24	-	-	-	-	-	-	X
						10	1.1590	3.219	52	85.15	-	-	-	-	-	-	X
						20	1.1590	6.439	103	108.05	388	407	366	384	0	0	O
						40	1.1590	12.878	206	130.96	525	551	459	482	0	0	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	25	67.48	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.6056	1.682	51	90.39	309	324	309	324	0	0	O
						20	0.6056	3.364	102	113.29	418	439	388	407	0	0	O
						40	0.6056	6.729	204	136.20	565	593	486	510	0	0	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	24	78.17	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.1407	0.391	48	101.08	366	384	353	371	0	0	O
						20	0.1407	0.782	96	123.99	494	519	442	464	0	0	O
						40	0.1407	1.563	192	146.90	667	700	554	582	589	618	O

ตารางที่ ก.19 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
12	40	303	10	20	212.37	5	0.0995	0.138	23	80.32	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.0995	0.276	47	103.23	380	399	364	382	0	0	O
						20	0.0995	0.553	94	126.13	514	540	457	480	0	0	O
						40	0.0995	1.106	187	149.04	694	729	572	601	759	797	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	22	83.61	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.0524	0.146	44	106.52	409	429	388	407	0	0	O
						20	0.0524	0.291	87	129.43	553	581	486	510	0	0	O
						40	0.0524	0.582	175	152.33	747	784	609	639	1,011	1,062	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	22	83.82	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.0497	0.138	43	106.73	412	433	390	410	0	0	O
						20	0.0497	0.276	87	129.64	556	584	489	513	0	0	O
						40	0.0497	0.552	173	152.55	751	789	612	643	1,037	1,089	O

ตารางที่ ก.20 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
12	80	289	17	1.5	111.37	5	1.1590	1.610	28	63.52	-	-	-	-	-	-	X
						10	1.1590	3.219	57	86.43	-	-	-	-	-	-	X
						20	1.1590	6.439	113	109.34	377	396	354	372	0	0	O
						40	1.1590	12.878	227	132.24	509	534	443	465	0	0	O
				3	133.54	5	0.6056	0.841	28	68.76	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.6056	1.682	56	91.67	300	315	299	314	0	0	O
						20	0.6056	3.364	112	114.58	406	426	374	393	0	0	O
						40	0.6056	6.729	224	137.48	548	575	469	492	0	0	O
				14	195.04	5	0.1407	0.195	26	79.45	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.1407	0.391	53	102.36	355	373	341	358	0	0	O
						20	0.1407	0.782	106	125.27	479	503	427	448	0	0	O
						40	0.1407	1.563	211	148.18	648	680	535	562	657	690	O

ตารางที่ ก.20 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำอิ่มตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 50 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
12	80	289	17	20	212.37	5	0.0995	0.138	26	81.60	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.0995	0.276	51	104.51	369	387	352	370	0	0	O
						20	0.0995	0.553	103	127.41	499	524	441	463	0	0	O
						40	0.0995	1.106	206	150.32	674	708	553	581	798	838	O
				38	247.31	5	0.0524	0.073	24	84.89	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.0524	0.146	48	107.80	397	417	375	394	0	0	O
						20	0.0524	0.291	96	130.71	537	564	469	492	0	0	O
						40	0.0524	0.582	192	153.62	725	761	589	618	1,034	1,086	O
				40	250.33	5	0.0497	0.069	24	85.11	-	-	-	-	-	-	X
						10	0.0497	0.138	48	108.01	400	420	377	396	0	0	O
						20	0.0497	0.276	95	130.92	540	567	472	496	0	0	O
						40	0.0497	0.552	191	153.83	729	765	591	621	1,083	1,137	O

ตารางที่ ก.21 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
	40	53	4	1.5	300	5	1.7570	2.440	857	161.59	164	172	138	145	125	131	O
						10	1.7570	4.881	1,715	172.00	222	233	181	190	384	403	O
						20	1.7570	9.761	3,429	180.63	300	315	238	250	762	800	O
						40	1.7570	19.522	6,858	152.57	406	426	353	371	0	0	O
				3	300	5	0.8753	1.216	854	167.52	178	187	147	154	212	223	O
						10	0.8753	2.431	1,708	177.93	240	252	192	202	562	590	O
						20	0.8753	4.863	3,417	186.56	325	341	252	265	988	1,037	O
						40	0.8753	9.726	6,834	158.57	439	461	374	393	0	0	O
				14	300	5	0.1823	0.253	830	180.21	213	224	169	177	553	581	O
						10	0.1823	0.506	1,660	190.62	287	301	220	231	972	1,021	O
						20	0.1823	1.013	3,321	199.25	389	408	290	305	1,460	1,533	O
						40	0.1823	2.026	6,642	171.85	525	551	429	450	976	1,025	O

ตารางที่ ก.21 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	40	53	4	20	300	5	0.1255	0.174	816	182.90	222	233	174	183	617	648	O
						10	0.1255	0.349	1,633	193.31	300	315	228	239	1,051	1,104	O
						20	0.1255	0.697	3,266	201.94	406	426	300	315	1,600	1,680	O
						40	0.1255	1.394	6,532	174.88	548	575	443	465	1,152	1,210	O
				38	300	5	0.0624	0.087	771	187.09	240	252	186	195	737	774	O
						10	0.0624	0.173	1,543	197.50	325	341	244	256	1,183	1,242	O
						20	0.0624	0.347	3,085	206.13	439	461	320	336	1,813	1,904	O
						40	0.0624	0.693	6,171	180.25	593	623	471	495	1,533	1,610	O
				40	300	5	0.0588	0.082	765	187.34	242	254	186	195	749	786	O
						10	0.0588	0.163	1,530	197.75	327	343	245	490	1,228	1,289	O
						20	0.0588	0.327	3,060	206.38	442	464	322	338	1,829	1,920	O
						40	0.0588	0.653	6,121	180.66	598	628	474	498	1,580	1,659	O

ตารางที่ ก.22 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
	80	49	6	1.5	300	5	1.7570	2.440	1,003	153.22	160	168	139	146	0	0	O
						10	1.7570	4.881	2,006	161.82	214	225	183	192	51	54	O
						20	1.7570	9.761	4,012	143.22	293	308	263	276	0	0	O
						40	1.7570	19.522	8,024	151.83	396	416	345	362	0	0	O
				3	300	5	0.8753	1.216	999	159.15	174	183	148	155	0	0	O
						10	0.8753	2.431	1,999	167.75	235	247	194	204	302	317	O
						20	0.8753	4.863	3,997	149.23	317	333	279	293	0	0	O
						40	0.8753	9.726	7,995	157.84	429	450	429	450	367	385	O
				14	300	5	0.1823	0.253	971	184.35	208	218	163	171	601	631	O
						10	0.1823	0.506	1,943	194.75	281	295	212	223	995	1,045	O
						20	0.1823	1.013	3,885	203.34	380	399	279	293	1,517	1,593	O
						40	0.1823	2.026	7,770	171.12	513	539	420	441	921	967	O

ตารางที่ ก.22 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	80	49	6	20	300	5	0.1255	0.174	955	187.04	217	228	168	176	682	716	O
						10	0.1255	0.349	1,910	197.44	293	308	220	231	1,090	1,145	O
						20	0.1255	0.697	3,821	206.03	396	416	289	303	1,647	1,729	O
						40	0.1255	1.394	7,642	174.15	536	563	434	456	1,085	1,139	O
				38	300	5	0.0624	0.087	902	191.23	235	247	180	189	787	826	O
						10	0.0624	0.173	1,805	201.63	318	334	235	247	1,250	1,313	O
						20	0.0624	0.347	3,610	210.22	429	450	309	324	1,861	1,954	O
						40	0.0624	0.693	7,219	179.51	580	609	462	485	1,475	1,549	O
				40	300	5	0.0588	0.082	895	191.48	236	248	181	190	774	813	O
						10	0.0588	0.163	1,790	201.87	320	336	236	248	1,271	1,335	O
						20	0.0588	0.327	3,580	210.47	432	454	311	327	1,857	1,950	O
						40	0.0588	0.653	7,161	179.93	584	613	464	487	1,489	1,563	O

ตารางที่ ก.23 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	40	53	4	1.5	450	5	2.2215	3.085	859	159.62	160	168	136	143	0	0	O
						10	2.2215	6.171	1,718	170.03	216	227	177	186	341	358	O
						20	2.2215	12.342	3,436	178.66	292	307	233	245	701	736	O
						40	2.2215	24.683	6,873	150.55	395	415	345	362	0	0	O
				3	450	5	1.1090	1.540	858	165.60	173	182	144	151	157	165	O
						10	1.1090	3.081	1,715	176.01	234	246	188	197	510	536	O
						20	1.1090	6.161	3,431	184.64	316	332	247	259	915	961	O
						40	1.1090	12.322	6,862	156.57	427	448	367	385	0	0	O
				14	450	5	0.2349	0.326	848	178.70	206	216	165	173	0	0	O
						10	0.2349	0.653	1,696	189.11	279	293	215	226	858	901	O
						20	0.2349	1.305	3,391	197.74	378	397	283	297	1,340	1,407	O
						40	0.2349	2.610	6,783	169.91	510	536	419	440	3,135	3,292	O

ตารางที่ ก.23 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	40	53	4	20	450	5	0.1634	0.227	843	181.65	215	226	170	179	546	573	O
						10	0.1634	0.454	1,685	192.05	291	306	222	233	945	992	O
						20	0.1634	0.908	3,370	200.68	394	414	292	307	1,458	1,531	O
						40	0.1634	1.816	6,740	172.98	532	559	432	454	1,010	1,061	O
				38	450	5	0.0844	0.117	827	186.76	232	244	180	189	679	713	O
						10	0.0844	0.234	1,654	197.17	314	330	236	248	1,095	1,150	O
						20	0.0844	0.469	3,307	205.80	424	445	310	326	1,670	1,754	O
						40	0.0844	0.938	6,615	178.49	573	602	458	481	1,346	1,413	O
				40	450	5	0.0800	0.111	825	187.15	234	246	181	190	686	720	O
						10	0.0800	0.222	1,650	197.56	316	332	237	474	1,112	1,168	O
						20	0.0800	0.444	3,300	206.19	427	448	311	327	1,697	1,782	O
						40	0.0800	0.889	6,600	178.92	577	606	460	483	1,408	1,478	O

ตารางที่ ก.24 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	80	49	6	1.5	450	5	2.2215	3.085	1,005	151.25	156	164	136	143	0	0	O
						10	2.2215	6.171	2,010	159.85	211	222	179	188	0	0	O
						20	2.2215	12.342	4,020	141.21	285	299	257	270	0	0	O
						40	2.2215	24.683	8,040	149.82	386	405	338	355	0	0	O
				3	450	5	1.1090	1.540	1,003	157.23	169	177	145	152	0	0	O
						10	1.1090	3.081	2,007	165.83	228	239	190	200	229	240	O
						20	1.1090	6.161	4,014	147.23	309	324	273	287	0	0	O
						40	1.1090	12.322	8,028	155.84	418	439	359	377	0	0	O
				14	450	5	0.2349	0.326	992	170.33	202	212	165	173	323	339	O
						10	0.2349	0.653	1,984	178.93	273	287	217	228	654	687	O
						20	0.2349	1.305	3,968	160.56	369	387	312	328	85	89	O
						40	0.2349	2.610	7,935	169.17	499	524	410	431	751	789	O

ตารางที่ ก.24 ระดับเสียงจากท่อขนาด 2 นิ้ว Sch. No. 80 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
2	80	49	6	20	450	5	0.1634	0.227	986	173.28	210	221	171	180	376	395	O
						10	0.1634	0.454	1,971	181.88	284	298	224	235	745	782	O
						20	0.1634	0.908	3,943	163.64	385	404	322	338	294	309	O
						40	0.1634	1.816	7,885	172.25	520	546	424	445	917	963	O
				38	450	5	0.0844	0.117	967	190.91	227	238	173	182	732	769	O
						10	0.0844	0.234	1,935	201.30	307	322	227	238	1,144	1,201	O
						20	0.0844	0.469	3,869	209.90	415	436	299	314	1,705	1,790	O
						40	0.0844	0.938	7,739	177.75	560	588	449	471	1,238	1,300	O
				40	450	5	0.0800	0.111	965	191.30	228	239	175	184	715	751	O
						10	0.0800	0.222	1,930	201.69	309	324	228	239	1,159	1,217	O
						20	0.0800	0.444	3,861	210.29	417	438	300	315	1,729	1,815	O
						40	0.0800	0.889	7,721	178.19	564	592	451	474	1,301	1,366	O

ตารางที่ ก.25 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	40	102	6	1.5	300	5	1.7570	2.440	231	138.29	160	168	145	152	0	0	O
						10	1.7570	4.881	463	153.91	217	228	187	196	0	0	O
						20	1.7570	9.761	926	167.53	293	308	242	254	397	417	O
						40	1.7570	19.522	1,852	179.33	396	416	314	330	1,026	1,077	O
				3	300	5	0.8753	1.216	231	144.23	174	183	154	162	0	0	O
						10	0.8753	2.431	461	159.84	235	247	198	208	74	78	O
						20	0.8753	4.863	922	173.46	317	333	257	270	638	670	O
						40	0.8753	9.726	1,845	185.26	429	450	334	351	1,283	1,347	O
				14	300	5	0.1823	0.253	224	156.91	208	218	177	186	0	0	O
						10	0.1823	0.506	448	172.53	281	295	228	239	540	567	O
						20	0.1823	1.013	897	186.15	380	399	295	310	1,149	1,206	O
						40	0.1823	2.026	1,793	197.95	513	539	384	403	1,912	2,008	O

ตารางที่ ก.25 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	40	102	6	20	300	5	0.1255	0.174	220	159.60	217	228	183	192	53	56	O
						10	0.1255	0.349	441	175.22	293	308	236	248	634	666	O
						20	0.1255	0.697	882	188.84	396	416	305	320	1,273	1,337	O
						40	0.1255	1.394	1,764	200.64	536	563	397	417	208	218	O
				38	300	5	0.0624	0.087	208	163.79	235	247	196	206	204	214	O
						10	0.0624	0.173	417	179.41	318	334	252	265	806	846	O
						20	0.0624	0.347	833	193.03	429	450	326	342	1,485	1,559	O
						40	0.0624	0.693	1,666	204.83	580	609	424	445	2,372	2,491	O
				40	300	5	0.0588	0.082	207	164.04	236	248	197	207	224	235	O
						10	0.0588	0.163	413	179.66	320	336	253	506	833	875	O
						20	0.0588	0.327	826	193.27	432	454	328	344	1,501	1,576	O
						40	0.0588	0.653	1,653	205.08	584	613	426	447	241	253	O

ตารางที่ ก.26 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	40	102	6	1.5	450	5	2.2215	3.085	232	136.32	156	164	143	150	0	0	O
						10	2.2215	6.171	464	151.94	211	222	184	193	0	0	O
						20	2.2215	12.342	928	165.56	285	299	237	249	317	333	O
						40	2.2215	24.683	1,856	177.36	386	405	309	324	896	941	O
				3	450	5	1.1090	1.540	232	142.31	169	177	151	159	0	0	O
						10	1.1090	3.081	463	157.92	228	239	195	205	0	0	O
						20	1.1090	6.161	926	171.54	309	324	252	265	550	578	O
						40	1.1090	12.322	1,853	183.34	418	439	327	343	1,196	1,256	O
				14	450	5	0.2349	0.326	229	155.40	202	212	173	182	0	0	O
						10	0.2349	0.653	458	171.02	273	287	223	234	465	488	O
						20	0.2349	1.305	916	184.64	369	387	288	302	1,077	1,131	O
						40	0.2349	2.610	1,831	196.44	499	524	375	394	1,813	1,904	O

ตารางที่ ก.26 ระดับเสียงจากท่อขนาด 4 นิ้ว Sch. No. 40 ที่ใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน/ความยาวของ Dissipative silencer ที่ต้องใช้ (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	Reactive silencer		Dissipative silencer (Insulator thickness 25 mm)				หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	I.D. (mm)	With 5% safety factor (mm)	L (mm)	With 5% safety factor (mm)	
4	40	102	6	20	450	5	0.1634	0.227	227	158.35	210	221	179	188	0	0	O
						10	0.1634	0.454	455	173.97	284	298	230	242	579	608	O
						20	0.1634	0.908	910	187.58	385	404	297	312	1,208	1,268	O
						40	0.1634	1.816	1,820	199.38	520	546	388	407	195	205	O
				38	450	5	0.0844	0.117	223	163.47	227	238	190	200	158	166	O
						10	0.0844	0.234	446	179.08	307	322	244	256	761	799	O
						20	0.0844	0.469	893	192.70	415	436	316	332	1,409	1,479	O
						40	0.0844	0.938	1,786	204.50	560	588	410	431	2,284	2,398	O
				40	450	5	0.0800	0.111	223	163.86	228	239	191	201	169	177	O
						10	0.0800	0.222	445	179.48	309	324	248	496	685	719	O
						20	0.0800	0.444	891	193.09	417	438	319	335	1,393	1,463	O
						40	0.0800	0.889	1,782	204.89	564	592	413	434	2,288	2,402	O

ตารางที่ ก.27 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
8	40	203	8	1.5	300	5	1.7570	2.440	58	90.48	X
						10	1.7570	4.881	117	113.38	O
						20	1.7570	9.761	234	136.29	O
						40	1.7570	19.522	468	153.79	O
				3	300	5	0.8753	1.216	58	96.41	X
						10	0.8753	2.431	116	119.32	O
						20	0.8753	4.863	233	142.22	O
						40	0.8753	9.726	466	159.73	O
				14	300	5	0.1823	0.253	57	109.09	X
						10	0.1823	0.506	113	132.00	O
						20	0.1823	1.013	226	154.91	O
						40	0.1823	2.026	453	172.41	O

ตารางที่ ก.27 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
8	40	203	8	20	300	5	0.1255	0.174	56	111.79	O
						10	0.1255	0.349	111	134.69	O
						20	0.1255	0.697	223	157.60	O
						40	0.1255	1.394	445	175.10	O
				38	300	5	0.0624	0.087	53	115.97	O
						10	0.0624	0.173	105	138.88	O
						20	0.0624	0.347	210	161.79	O
						40	0.0624	0.693	421	179.29	O
				40	300	5	0.0588	0.082	52	116.22	O
						10	0.0588	0.163	104	139.13	O
						20	0.0588	0.327	209	162.04	O
						40	0.0588	0.653	417	179.54	O

ตารางที่ ก.28 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
8	40	203	8	1.5	450	5	2.2215	3.085	59	88.51	X
						10	2.2215	6.171	117	111.41	O
						20	2.2215	12.342	234	134.32	O
						40	2.2215	24.683	468	151.82	O
				3	450	5	1.1090	1.540	58	94.49	X
						10	1.1090	3.081	117	117.40	O
						20	1.1090	6.161	234	140.30	O
						40	1.1090	12.322	468	157.81	O
				14	450	5	0.2349	0.326	58	107.58	X
						10	0.2349	0.653	116	130.49	O
						20	0.2349	1.305	231	153.40	O
						40	0.2349	2.610	462	170.90	O

ตารางที่ ก.28 ระดับเสียงจากท่อขนาด 8 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
8	40	203	8	20	450	5	0.1634	0.227	57	110.53	O
						10	0.1634	0.454	115	133.44	O
						20	0.1634	0.908	230	156.35	O
						40	0.1634	1.816	459	173.85	O
				38	450	5	0.0844	0.117	56	115.65	O
						10	0.0844	0.234	113	138.56	O
						20	0.0844	0.469	225	161.46	O
						40	0.0844	0.938	451	178.97	O
				40	450	5	0.0800	0.111	56	116.04	O
						10	0.0800	0.222	112	138.95	O
						20	0.0800	0.444	225	161.85	O
						40	0.0800	0.889	450	179.36	O

ตารางที่ ก.29 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
12	40	303	10	1.5	300	5	1.7570	2.440	26	59.18	X
						10	1.7570	4.881	52	82.09	X
						20	1.7570	9.761	105	104.99	X
						40	1.7570	19.522	210	127.90	O
				3	300	5	0.8753	1.216	26	65.11	X
						10	0.8753	2.431	52	88.02	X
						20	0.8753	4.863	105	110.93	O
						40	0.8753	9.726	209	133.83	O
				14	300	5	0.1823	0.253	25	77.80	X
						10	0.1823	0.506	51	100.70	X
						20	0.1823	1.013	102	123.61	O
						40	0.1823	2.026	203	146.52	O

ตารางที่ ก.29 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (300 °C) (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
12	40	303	10	20	300	5	0.1255	0.174	25	80.49	X
						10	0.1255	0.349	50	103.40	X
						20	0.1255	0.697	100	126.30	O
						40	0.1255	1.394	200	149.21	O
				38	300	5	0.0624	0.087	24	84.68	X
						10	0.0624	0.173	47	107.59	X
						20	0.0624	0.347	94	130.49	O
						40	0.0624	0.693	189	153.40	O
				40	300	5	0.0588	0.082	23	84.92	X
						10	0.0588	0.163	47	107.83	X
						20	0.0588	0.327	94	130.74	O
						40	0.0588	0.653	187	153.65	O

ตารางที่ ก.30 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
12	40	303	10	1.5	450	5	2.2215	3.085	26.284	57.21	X
						10	2.2215	6.171	52.569	80.12	X
						20	2.2215	12.342	105.137	103.02	X
						40	2.2215	24.683	210.274	125.93	O
				3	450	5	1.1090	1.540	26.243	63.19	X
						10	1.1090	3.081	52.486	86.10	X
						20	1.1090	6.161	104.972	109.01	X
						40	1.1090	12.322	209.943	131.92	O
				14	450	5	0.2349	0.326	25.940	76.29	X
						10	0.2349	0.653	51.880	99.20	X
						20	0.2349	1.305	103.760	122.10	O
						40	0.2349	2.610	207.520	145.01	O

ตารางที่ ก.30 ระดับเสียงจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 เมื่อใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (450 °C) (ต่อ)

Pipe				Steam						A-weigh SPL (dB(A))	หมายเหตุ
Nom. pipe size (in)	Sch. No.	I.D. (mm)	t (mm)	P (barg)	T (°C)	Mass flow rate (ton/h)	Specific volume (m^3/kg)	Volumetric flow rate (m^3/s)	Velocity (m/s)		
12	40	303	10	20	450	5	0.1634	0.227	25.777	79.23	X
						10	0.1634	0.454	51.555	102.14	X
						20	0.1634	0.908	103.110	125.05	O
						40	0.1634	1.816	206.220	147.96	O
				38	450	5	0.0844	0.117	25.298	84.35	X
						10	0.0844	0.234	50.596	107.26	X
						20	0.0844	0.469	101.192	130.17	O
						40	0.0844	0.938	202.383	153.08	O
				40	450	5	0.0800	0.111	25.241	84.74	X
						10	0.0800	0.222	50.482	107.65	X
						20	0.0800	0.444	100.964	130.56	O
						40	0.0800	0.889	201.929	153.47	O

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับอุปกรณ์ลดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้น

ตัวอย่าง กรณีต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

ขั้นตอนที่ 1 : ภาวะที่ใช้ในการคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ทำความสะอาดระบบท่อ ดังนี้

ขนาดท่อไอน้ำ 6 นิ้ว Sch. No. 40 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (D_1) เท่ากับ 0.154 m ความหนา (t) เท่ากับ 0.007 m

ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหลเชิงมวล 40 ton/h (11.11 kg/s) จากตารางไอน้ำ อุณหภูมิเท่ากับ 250.33 °C ปริมาตรจำเพาะ (V_g) เท่ากับ 0.0497 m^3/kg (ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 20.1207 kg/m^3)

ดังนั้นอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q_1) เท่ากับ 0.552 m^3/s

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.22)

$$V_2 = \frac{4\,P_{in}T_{atm}Q_1}{\pi P_{atm}T_{in}D_1^2}$$

เมื่อ T_{in} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (K) = 523.33 K

P_{in} = ความดันของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (bar) = 40 bar

T_{atm} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของบรรยากาศ (K) = 300 K

P_{atm} = ความดันของบรรยากาศ (bar) = 1.01325 bar

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$V_2 = \frac{4(40\text{ bar})(300\text{ K})(0.552\text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1.01325\text{ bar})(523.33\text{ K})(0.154\text{ m})^2}$$

ดังนั้นความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (v_2) เท่ากับ 670.921 m/s

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) ของท่อเหล็กจากสูตร

$$f_r = \frac{1{,}680}{D_i} = \frac{1{,}680}{0.154\text{ m}} = 10{,}442\text{ Hz}$$

และคำนวณ Strouhal frequency (f_p) จากสูตร

$$f_p = \frac{0.2v_2}{D_i} = \frac{0.2(670.921\text{ m/s})}{0.154\text{ m}} = 871\text{ Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียง (f_c) ต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) แสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียง เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	$\frac{f_c}{f_p}$	สูตรที่ใช้คำนวณจากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7)	Spectral correction ($\Delta L(f_c)$)
125	0.1435	$\Delta L = 10.4 + 11.4\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} < 0.5$	0.787
250	0.2869	$\Delta L = 10.4 + 11.4\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} < 0.5$	4.218
500	0.5738	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	50.608
1,000	1.1477	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	39.741
2,000	2.2954	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	28.873
4,000	4.5907	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	18.006
8,000	9.1814	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	7.139

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณระดับเสียง (Sound pressure level : SPL) ที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.23) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SPL=-3.5+40\log\left(\frac{4\,P_{in}\,T_{atm}\,Q_1}{\pi P_{atm}\,T_{in}\,D_1^2}\right)+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D_1}\left(1+\frac{1.83}{D_1}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c)$$

จากนั้นคำนวณเป็น A-weigh SPL จากสมการที่ (2.2) แสดงดังตารางที่ ข.2

$$A-\text{weighht SPL}=10\log_{10}\left(10^{SPL_1/10}+10^{SPL_2/10}\ldots+10^{SPL_N/10}\right)$$

โดยที่ A-weight SPL = ระดับความเข้มเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (dB(A))

$SPL_1, SPL_2, \ldots, SPL_N$ = ระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ (dB)

ตารางที่ ข.2 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	Sound pressure level, SPL (dB)	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A	A-weight sound pressure level (dB(A))
125	148.39	-16.1	192.63
250	150.34	-8.6	
500	195.28	-3.2	
1,000	183.02	0.0	
2,000	170.89	1.2	
4,000	159.10	1.0	
8,000	148.84	-1.1	

ดังนั้นระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวออกจากท่อขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 สู่บรรยากาศ เท่ากับ 192.63 dB(A) ซึ่งมากกว่าระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนด คือ 90 dB(A) ภายใน 30 นาที ดังนั้น สรุปว่าจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ลดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง กรณีไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

ขั้นตอนที่ 1 : ภาวะที่ใช้ในการคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ทำความสะอาดระบบท่อ ดังนี้

ขนาดท่อไอน้ำ 12 นิ้ว Sch. No. 40 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (D_i) เท่ากับ 0.303 m ความหนา (t) เท่ากับ 0.010 m

ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหลเชิงมวล 5 ton/h (1.389 kg/s) จากตารางไอน้ำ อุณหภูมิเท่ากับ 250.33 °C ปริมาตรจำเพาะ (V_g) เท่ากับ 0.0497 m^3/kg (ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 20.1207 kg/m^3)

ดังนั้นอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Q_1) เท่ากับ 0.069 m^3/s

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.22)

$$V_2 = \frac{4\,P_{in}T_{atm}Q_1}{\pi P_{atm}T_{in}D_i^2}$$

เมื่อ T_{in} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (K) = 523.33 K

P_{in} = ความดันของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (bar) = 40 bar

T_{atm} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของบรรยากาศ (K) = 300 K

P_{atm} = ความดันของบรรยากาศ (bar) = 1.01325 bar

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$V_2 = \frac{4(40\text{ bar})(300\text{ K})(0.069\text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1.01325\text{ bar})(523.33\text{ K})(0.303\text{ m})^2}$$

ดังนั้นความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยสู่บรรยากาศ (v_2) เท่ากับ 21.664 m/s

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) ของท่อเหล็กจากสูตร

$$f_r = \frac{1{,}680}{D_i} = \frac{1{,}680}{0.303\text{ m}} = 5{,}307\text{ Hz}$$

และคำนวณ Strouhal frequency (f_p) จากสูตร

$$f_p = \frac{0.2v_2}{D_i} = \frac{0.2(21.664\text{ m/s})}{0.303\text{ m}} = 14.3\text{ Hz}$$

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียง (f_c) ต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) แสดงดังตารางที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียง เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 5 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	$\frac{f_c}{f_p}$	สูตรที่ใช้คำนวณจากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7)	Spectral correction ($\Delta L(f_c)$)
125	8.7415	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	7.909
250	17.4830	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-2.958
500	34.9659	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-13.826
1,000	69.9318	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-24.693
2,000	139.8637	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-35.560
4,000	279.7273	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-46.427
8,000	559.4546	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-57.294

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณระดับเสียง (Sound pressure level : SPL) ที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกสู่บรรยากาศที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.23) ดังนี้

$$SPL=-3.5+40\log\left(\frac{4\,P_{in}\,T_{atm}\,Q_1}{\pi P_{atm}\,T_{in}\,D_1^2}\right)+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D_1}\left(1+\frac{1.83}{D_1}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c)$$

จากนั้นคำนวณเป็น A-weigh SPL จากสมการที่ (2.2) แสดงดังตารางที่ ข.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A-weighht\ SPL = 10\log_{10}\left(10^{SPL_1/10} + 10^{SPL_2/10} \ldots + 10^{SPL_N/10}\right)$$

โดยที่ A-weight SPL = ระดับความเข้มเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (dB(A))

$SPL_1, SPL_2, \ldots, SPL_N$ = ระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ (dB)

ตารางที่ ข.4 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 5 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	Sound pressure level, SPL (dB)	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A	A-weight sound pressure level (dB(A))
125	98.44	-16.1	
250	86.12	-8.6	
500	73.86	-3.2	
1,000	61.73	0.0	83.82
2,000	49.93	1.2	
4,000	39.57	1.0	
8,000	N/A	-1.1	

ดังนั้นระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวออกจากท่อขนาด 12 นิ้ว Sch. No. 40 สู่บรรยากาศ เท่ากับ 83.82 dB(A) ซึ่งต่ำกว่าระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนด คือ 90 dB(A) ภายใน 30 นาที ดังนั้น สรุปว่าไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ลดเสียง

ข.2 ตัวอย่างการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ

ใช้ภาวะของไอน้ำอิ่มตัวและขนาดของท่อไอน้ำจากตัวอย่างการคำนวณระดับเสียง กรณีต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) จากสมการที่ (2.16)

$$v_1 = \frac{\dot{m}RT_{in}}{P_{in}A_1\ MW} = \frac{4\dot{m}RT_{in}}{\pi P_{in}\ D_1^2 MW}$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ (kg/s) = 11.11 kg/s

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = $8.314472\times10^{-2}\ m^3\cdot bar\cdot K^{-1}\cdot kmol^{-1}$

T_{in} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (K) = 523.33 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{in} = ความดันของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (bar) = 40 bar

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m) = 0.154 m

MW = น้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ = 18 kg/kmol

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$v_1 = \frac{4(11.11\ \text{kg/s})(8.314472\times10^{-2}\ \text{m}^3\cdot\text{bar}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kmol}^{-1})(523.33\ \text{K})}{\pi(40\ \text{bar})\,(0.154\ \text{m})^2(18\ \text{kg/kmol})}$$

ดังนั้นความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) เท่ากับ 36.050 m/s

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.29)

$$v_2 = \frac{v_1 D_1^2 P_{in} T_{atm}}{D_{s2}^2 T_{in} P_{atm}}$$

เมื่อ T_{atm} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของบรรยากาศ (K) = 300 K

P_{atm} = ความดันของบรรยากาศ (bar) = 1.01325 bar

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$v_2 = \frac{(36.050\ \text{m/s})(0.154\ \text{m})^2(40\ \text{bar})(300\ \text{K})}{D_{s2}^2(523.33\ \text{K})(1.01325\ \text{bar})} = \frac{19.8641}{D_{s2}^2}$$

จะได้สมการความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ (v_2) ที่เป็นฟังก์ชันของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2}) ใช้วิธีลองผิดลองถูกคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2}) โดยสมมติค่าเริ่มต้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เท่ากับ 0.500 m ดังนั้น ความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ เท่ากับ 77.392 m/s

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) ของท่อเหล็กจากสูตร

$$f_r = \frac{1,680}{D_{s2}} = \frac{1,680}{0.5\ \text{m}} = 3,216\ \text{Hz}$$

และคำนวณ Strouhal frequency (f_p) จากสูตร

$$f_p = \frac{0.2v_2}{D_{s2}} = \frac{0.2(77.392\ \text{m/s})}{0.5\ \text{m}} = 31\ \text{Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) ดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 กรณีระดับเสียงเกิน 90 dB(A)

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	$\frac{f_c}{f_p}$	สูตรที่ใช้คำนวณจากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7)	Spectral correction ($\Delta L(f_c)$)
125	4.0379	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	20.018
250	8.0758	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	9.151
500	16.1516	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-1.717
1,000	32.3032	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-12.584
2,000	64.6064	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-23.451
4,000	129.2128	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-34.318
8,000	258.4256	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-45.185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2}) ที่ทำให้ระดับเสียงที่เกิดขึ้นไม่เกิน 90 dB(A) สำหรับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 โดยคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.30) จนกระทั่งระดับเสียงไม่เกิน 90 dB(A)

$$SPL=-3.5+40\log\left(\frac{v_1 D_1^2 P_{in} T_{atm}}{D_{s2}^2 T_{in} P_{atm}}\right)+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D_{s2}}\left(1+\frac{1.83}{D_{s2}}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c)$$

จากนั้นคำนวณเป็น A-weigh SPL จากสมการที่ (2.2) แสดงดังตารางที่ ข.6

$$A-\text{weighht SPL}=10\log_{10}\left(10^{SPL_1/10}+10^{SPL_2/10}\ldots+10^{SPL_N/10}\right)$$

โดยที่ A-weight SPL = ระดับความเข้มเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (dB(A))

$SPL_1, SPL_2, \ldots, SPL_N$ = ระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ (dB)

ตารางที่ ข.6 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A ที่เกิน 90 dB(A) สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	Sound pressure level, SPL (dB)	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A	A-weight sound pressure level (dB(A))
125	137.13	-16.1	122.53
250	124.85	-8.6	
500	112.67	-3.2	
1,000	100.74	0.0	
2,000	89.67	1.2	
4,000	N/A	1.0	
8,000	N/A	-1.1	

เนื่องจากระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวออกจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เท่ากับ 122.53 dB(A) ยังคงมากกว่าระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนด คือ 90 dB(A) ดังนั้นต้องสมมติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อใหม่ เท่ากับ 0.767 m

ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณซ้ำสำหรับความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศเท่ากับ 32.888 m/s จากนั้นคำนวณ Ring frequency (f_r) และ Strouhal frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(f_p) ได้เท่ากับ 2,096 Hz และ 8.576 Hz ตามลำดับ สำหรับ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) และระดับเสียงที่เกิดขึ้นที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ ข.7 และ ข.8

ตารางที่ ข.7 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40 กรณีระดับเสียงไม่เกิน 90 dB(A)

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	$\frac{f_c}{f_p}$	สูตรที่ใช้คำนวณจากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7)	Spectral correction ($\Delta L(f_c)$)
125	14.5758	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-0.107
250	29.1516	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-10.974
500	58.3031	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-21.841
1,000	116.6062	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-32.709
2,000	233.2124	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-43.576
4,000	466.4248	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-54.443
8,000	932.8497	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-65.310

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A ที่ไม่เกิน 90 dB(A) สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	Sound pressure level, SPL (dB)	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A	A-weight sound pressure level (dB(A))
125	104.50	-16.1	89.93
250	92.27	-8.6	
500	80.22	-3.2	
1,000	68.66	0.0	
2,000	61.57	1.2	
4,000	N/A	1.0	
8,000	N/A	-1.1	

ระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำอิ่มตัวออกจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เท่ากับ 89.93 dB(A) ซึ่งไม่เกินระดับเสียงสูงสุดที่กฎหมายกำหนด 90 dB(A) ภายใน 30 นาที

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เท่ากับ 0.767 m คิดเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คำนวณได้ด้วยค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Safety factor) 5% จะได้ 0.805 m

ข.3 ตัวอย่างการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว

ใช้ภาวะของไอน้ำและขนาดของท่อไอน้ำจากตัวอย่างการคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้น กรณีต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) จากสมการที่ (2.16)

$$v_1 = \frac{\dot{m}RT_{in}}{P_{in}A_1\ MW} = \frac{4\dot{m}RT_{in}}{\pi P_{in}\ D_1^2 MW}$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ (kg/s) = 11.11 kg/s

R = ค่าคงที่ของแก๊ส = $8.314472\times10^{-2}\ m^3\cdot bar\cdot K^{-1}\cdot kmol^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_{in} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (K) = 523.33 K

P_{in} = ความดันของไอน้ำที่ทางเข้าของท่อ (bar) = 40 bar

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m) = 0.154 m

MW = น้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ = 18 kg/kmol

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$v_1 = \frac{4(11.11\ \text{kg/s})(8.314472\times10^{-2}\ \text{m}^3\cdot\text{bar}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kmol}^{-1})(523.33\ \text{K})}{\pi(40\ \text{bar})\,(0.154\ \text{m})^2(18\ \text{kg/kmol})}$$

ดังนั้นความเร็วของไอน้ำก่อนออกจากท่อ (v_1) เท่ากับ 36.050 m/s

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ (v_2) จากสมการที่ (2.29)

$$v_2 = \frac{v_1 D_1^2 P_{in} T_{atm}}{D_{s2}^2 T_{in} P_{atm}}$$

เมื่อ T_{atm} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของบรรยากาศ (K) = 300 K

P_{atm} = ความดันของบรรยากาศ (bar) = 1.01325 bar

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$v_2 = \frac{(36.050\ \text{m/s})(0.154\ \text{m})^2(40\ \text{bar})(300\ \text{K})}{D_{s2}^2(523.33\ \text{K})(1.01325\ \text{bar})} = \frac{19.8641}{D_{s2}^2}$$

ใช้วิธีลองผิดลองถูกเพื่อคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ (D_{s2}) โดยสมมติค่าเริ่มต้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อ เท่ากับ 0.548 m ดังนั้น ความเร็วของไอน้ำที่ปล่อยจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อสู่บรรยากาศ เท่ากับ 64.428 m/s

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณ Ring frequency (f_r) ของท่อเหล็กจากสูตร

$$f_r = \frac{1,680}{D_{s2}} = \frac{1,680}{0.548\ \text{m}} = 2,934\ \text{Hz}$$

และคำนวณ Strouhal frequency (f_p) จากสูตร

$$f_p = \frac{0.2v_2}{D_{s2}} = \frac{0.2(64.428\ \text{m/s})}{0.548\ \text{m}} = 24\ \text{Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณ Spectral correction ($\Delta L(f_c)$) ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7) ดังตารางที่ ข.9

ตารางที่ ข.9 Spectral correction ที่ความถี่ตรงกลางของเสียงสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	$\frac{f_c}{f_p}$	สูตรที่ใช้คำนวณจากสมการที่ (2.4) ถึง (2.7)	Spectral correction ($\Delta L(f_c)$)
125	5.3160	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	15.706
250	10.6321	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	4.839
500	21.2641	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-6.028
1,000	42.5282	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-16.895
2,000	85.0565	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-27.762
4,000	170.1129	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-38.630
8,000	340.2258	$\Delta L = 41.9 - 36.1\log\frac{f_c}{f_p}$ สำหรับ $\frac{f_c}{f_p} \geq 0.5$	-49.497

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว (D_{s2}) ที่ทำให้ระดับเสียงลดลงเหลือ 1 ใน 4 เท่าของของผลต่างระหว่างระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงที่เกิดขึ้น 192.63 dB(A) กับระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 90 dB(A) เท่ากับ 115.66 dB(A) โดยคำนวณระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากการปล่อยไอน้ำออกจากอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วสู่บรรยากาศที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ จากสมการที่ (2.30) จนกระทั่งระดับเสียงประมาณ 115.66 dB(A)

$$SPL=-3.5+40\log\left(\frac{v_1 D_1^2 P_{in} T_{atm}}{D_{s2}^2 T_{in} P_{atm}}\right)+20\log\frac{1}{V_g}+20\log K-10\log\left[\frac{t}{D_{s2}}\left(1+\frac{1.83}{D_{s2}}\right)\right]-5\log\left[\frac{f_c}{f_r}\left(1-\frac{f_c}{f_r}\right)\right]+\Delta L(f_c)$$

จากนั้นคำนวณเป็น A-weigh SPL จากสมการที่ (2.2) แสดงดังตารางที่ ข.10

$$A-weighht\ SPL = 10\log_{10}\left(10^{SPL_1/10}+10^{SPL_2/10}\ldots+10^{SPL_N/10}\right)$$

โดยที่ A-weight SPL = ระดับความเข้มเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A (dB(A))

$SPL_1, SPL_2, \ldots, SPL_N$ = ระดับความเข้มเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ (dB)

ตารางที่ ข.10 ระดับเสียงของวงจรถ่วงน้ำหนัก A สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เมื่อใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 40 barg อัตราการไหล 40 ton/h กับท่อไอน้ำขนาด 6 นิ้ว Sch. No. 40

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	Sound pressure level, SPL (dB)	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A	A-weight sound pressure level (dB(A))
125	130.15	-16.1	115.56
250	117.88	-8.6	
500	105.72	-3.2	
1,000	93.85	0.0	
2,000	83.05	1.2	
4,000	N/A	1.0	
8,000	N/A	-1.1	

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียง เท่ากับ 0.548 m

ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณการลดลงของระดับเสียง (Attenuation, ΔL_w) ของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วที่ความถี่ตรงกลางของเสียง จากสมการที่ (2.31) ถึง (2.33) สำหรับอุปกรณ์ลดเสียงแบบกลม เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของอุปกรณ์ลดเสียงใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(D_e) เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว (D_{s2}) ซึ่งเท่ากับ 0.548 m และใช้วิธีลองผิดลองถูกเพื่อคำนวณความยาวของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว (L) โดยสมมติความยาวของอุปกรณ์ลดเสียง เท่ากับ 2.582 m การลดลงของระดับเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ แสดงดังตารางที่ ข.11

ตารางที่ ข.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของระดับเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วและสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ตรงกลางของเสียงต่างๆ

ความถี่ตรงกลางของเสียง (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	สูตรที่ใช้คำนวณจากสมการที่ (2.31) ถึง (2.33)	Attenuation (dB)	ค่าปรับแก้ของวงจรถ่วงน้ำหนัก A	A-weight Attenuation (dB(A))
125	0.22	$\Delta L_w = \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}$ สำหรับ 63 Hz$\leq f_c \leq$2,000 Hz	2.376	-16.1	25.56
250	0.87	$\Delta L_w = \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}$ สำหรับ 63 Hz$\leq f_c \leq$2,000 Hz	16.284	-8.6	
500	0.98	$\Delta L_w = \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}$ สำหรับ 63 Hz$\leq f_c \leq$2,000 Hz	19.237	-3.2	
1,000	1.02	$\Delta L_w = \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}$ สำหรับ 63 Hz$\leq f_c \leq$2,000 Hz	20.345	0.0	
2,000	0.98	$\Delta L_w = \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}$ สำหรับ 63 Hz$\leq f_c \leq$2,000 Hz	19.237	1.2	
4,000	1.00	$\Delta L_w = \frac{1}{2}\left[10 + \frac{4.2\alpha^{1.4}L}{D_e}\right]$ สำหรับ 2,000 Hz< f_c<8,000 Hz	14.895	1.0	
8,000	N/A	$\Delta L_w = 10$ สำหรับ f_c>8,000 Hz	10.000	-1.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 : นำระดับเสียงที่เกิดจากการปล่อยไอน้ำจากอุปกรณ์ลดเสียงออกสู่บรรยากาศที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 5 115.56 dB(A) ลบด้วย A-weigh attenuation 25.56 dB(A) จากขั้นตอนที่ 6 จะได้ระดับเสียงที่กฎหมายกำหนด 90 dB(A) ภายใน 30 นาที ดังนั้น ความยาวของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วเท่ากับ 2.582 m

ขั้นตอนที่ 8 : คิดเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่คำนวณได้ด้วยค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Safety factor) 5% จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว เท่ากับ 0.575 m และ 2.711 m ตามลำดับ

ข.4 การประเมินราคาอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้ว

อุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายท่อที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วขนาดใหญ่ที่สุดที่ได้ออกแบบในโครงการนี้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 643 mm (0.643 m) ยาว 2,711 mm (2.711 m) ใช้ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 24 kg/m^3 ความหนา 50 mm ราคาประมาณ 7,200 บาท/ตารางเมตร [14]

ราคาเหล็กจากท่อเหล็กคาร์บอนขนาด 24 นิ้ว (I.D. = 593 mm) Sch. No. 40 ซึ่งเป็นท่อขนาดใหญ่ที่สุดจำหน่ายทั่วไป ประมาณ 20,000 บาท/เมตร [28]

ราคาท่อที่ใช้ในการทำอุปกรณ์ลดเสียง = 20,000 x 2.711

= 54,220 บาท

ขนาดของฉนวนที่ต้องใช้ หาจากพื้นที่ของผนังด้านในของอุปกรณ์ลดเสียง

$= \pi DL$

$= \pi$ x (0.643) x (2.711)

= 5.479 m^2

ราคาวัสดุดูดซับเสียงใยแก้วที่ใช้ในการทำอุปกรณ์ลดเสียง

= 7,200 x 5.479

= 39,446 บาท

ดังนั้น ราคาของอุปกรณ์ลดเสียงแบบขยายที่ใช้วัสดุดูดซับเสียงใยแก้วขนาดใหญ่ที่สุดที่ได้ออกแบบคือ

= 54,220 + 39,446

= 93,666 บาท ประมาณ 94,000 บาท

อุปกรณ์ลดเสียงที่สั่งซื้อจากต่างประเทศมีราคาประมาณ 1-2 ล้านบาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ [21]

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					A'	B'	C'			
1,1,2,2-tetrachloroethane	-30	146	Flammable	IB	6.6317	1,228.1	179.9	167.90	8.10	17.40
1,1,2-trichloroethane	-17	114	Flammable	IB	6.9653	1,351	217	133.40	6.00	15.50
1,1-dichloroethane	-6	57	Flammable	IB	6.9853	1,171.42	228.13	99.00	5.60	11.40
1,1-dichloroethene	-25	32	Flammable	IA	6.9722	1,099.4	237.2	97.00	5.60	16.00
1,2,3-trichloropropane	73	156	Combustible	IIIA	7.0028	1,484.1	204.01	147.40	3.20	12.60
1,2,4-trimethylbenzene	44	169	Combustible	II	7.04383	1,573.267	208.564	120.20	0.90	6.40
1,2-dibromoethane	104	131	Flammable	IB	6.72148	1,280.82	201.75	187.90	N/A	N/A
1,2-dichloroethane	13	83.5	Flammable	IB	7.0253	1,271.25	222.94	98.96	6.20	16.00
1,2-dichloropropane	16	96	Flammable	IB	6.9654	1,296.4	221	113.00	3.40	14.50
1,3-butadiene	-76	-4	Flammable	IA	6.84999	930.546	238.854	54.10	1.10	16.30
1,3-pentadiene,cis	-28	42	Flammable	IB	6.91089	1,101.923	229.367	68.10	2.00	8.30
1,3-pentadiene,trans	-28	42	Flammable	IB	6.91317	1,103.84	231.724	68.10	2.00	8.30
112trichlorotrifluoroethane	N/A	48	N/A	N/A	6.8803	1,099.9	227.5	187.40	N/A	N/A
12dichlorotetrafluoroethane	N/A	4.1	N/A	N/A	6.87084	942.336	232.632	170.92	N/A	N/A

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
1-bromopropane	-10	71	Flammable	IB	7.03766	1,259.836	232.042	123.00	N/A	N/A
1-butanethiol	2	98	Flammable	IB	6.92754	1,281.018	218.1	90.20	1.40	10.20
1-butene	N/A	-6	N/A	N/A	6.8429	926.1	240	56.10	1.60	10.00
1-chlorobutane	-12	79	Flammable	IB	6.9379	1,227.43	224.11	92.60	1.80	10.10
1-decanethiol	98	241	Combustible	IIIB	6.9981	1,713.6	177	174.30	N/A	N/A
1-decene	46	172	Combustible	II	6.96034	1,501.872	197.578	140.26	0.50	5.40
1-dodecanethiol	88	285	Combustible	IIIA	7.0244	1,817.8	164.1	202.40	N/A	N/A
1-dodecene	77	241	Combustible	IIIA	6.97522	1,619.862	182.271	168.30	N/A	N/A
1-hexadecanethiol	135	N/A	N/A	N/A	7.075	1,990	140	258.50	N/A	N/A
1-hexene	-26	63	Flammable	IB	6.86572	1,152.971	225.849	84.20	1.20	6.90
1-methylnaphthalene	82	245	Combustible	IIIA	7.03592	1,826.948	195.002	142.20	N/A	N/A
1-nitropropane	36	132	Flammable	IC	7.1146	1,467.45	215.23	89.10	2.20	N/A
1-nonanethiol	78	220	Combustible	IIIA	6.9839	1,655.6	183.7	160.30	N/A	N/A
1-octadecanethiol	185	366	Combustible	IIIB	7.096	2,061	129	286.60	N/A	N/A

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
1-octadecanol	170	336	Combustible	IIIB	6.814	1,632	80.06	270.50	1.00	8.00
1-octanethiol	69	199	Combustible	IIIA	6.96909	1,593	190.61	146.30	0.80	N/A
1-octene	10	123	Flammable	IB	6.93263	1,353.486	212.764	112.20	0.70	3.90
1-pentanethiol	18	126.6	Flammable	IB	6.93311	1,369.479	211.314	104.20	N/A	N/A
1-phenyldodecane	140.6	290	Combustible	IIIB	7.0693	1,981.6	145.5	246.40	N/A	N/A
1-propanethiol	-20	68	Flammable	IB	6.92846	1,183.307	224.624	76.20	N/A	N/A
1-tetradecene	107	252	Combustible	IIIB	7.02005	1,745.001	170.475	196.40	0.30	4.30
1-tridecanol	121	152	Combustible	IIIB	7.41181	2,003.29	168.13	200.40	N/A	N/A
1-undecanethiol	109	258	Combustible	IIIB	7.0122	1,767.4	170.4	188.40	0.60	N/A
2,2,4-trimethylpentane	4.5	99	Flammable	IB	6.81189	1,257.84	220.735	114.30	1.10	6.00
2,2,5-trimethylhexane	31	150.8	Flammable	IC	6.83531	1,324.049	210.737	128.20	0.80	2.90
2-butanone	-9	80	Flammable	IB	7.2087	1,368.21	236.51	72.10	1.80	11.50
2-butene,cis	N/A	4	N/A	N/A	6.86926	960.1	237	56.10	1.70	9.00
2-butene,trans	N/A	1	N/A	N/A	6.86952	960.8	240	56.10	1.80	9.70

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
2-methylbutane(isopentane)	-51	28	Flammable	IA	6.83315	1,040.73	235.445	72.20	1.40	7.60
2-methylheptane	4.4	116	Flammable	IB	6.91735	1,337.468	213.693	114.20	1.00	N/A
2-methylhexane	-18	90	Flammable	IB	6.87318	1,236.026	219.545	100.20	1.00	6.00
2-methylnaphthalene	N/A	241	N/A	N/A	7.0685	1,840.268	198.395	142.20	N/A	N/A
2-methylpentane	-32	60	Flammable	IB	6.8391	1,135.41	226.572	86.20	1.00	7.00
2-methylpropane(isobutane)	N/A	12	N/A	N/A	6.91048	946.35	246.68	58.10	1.80	8.40
2-methylpropene	-76.1	6.9	Flammable	IA	6.84134	923.2	240	56.10	1.80	9.60
2-nitropropane	24	120	Flammable	IC	7.48654	1,664.036	240.995	89.10	2.60	11.00
2-pentanone	7	102	Flammable	IB	6.95	1,274.6	210.91	86.10	1.50	8.20
2-picoline	26	128	Flammable	IC	7.0324	1,415.73	211.58	93.10	1.40	8.60
3-methylpentane	-20	63.3	Flammable	IB	6.81887	1,152.368	227.129	86.20	1.20	7.00
3-picoline	38	144	Combustible	II	7.0502	1,481.77	211.21	93.10	1.30	8.70
acetaldehyde	-38.8	20	Flammable	IA	7.0565	1,070.6	236.01	44.10	4.00	60.00
acetic-acid	39.4	118.3	Combustible	II	7.2996	1,479.02	216.82	60.10	5.40	16.00

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
acetic-anhydride	48.8	140	Combustible	II	7.1216	1,427.77	198.05	102.10	2.70	10.30
acetone	-17.7	56.1	Flammable	IB	7.2316	1,277.03	237.23	58.10	2.20	13.00
acetonitrile	5.5	81.6	Flammable	IB	7.0735	1,279.2	224.01	41.10	3.00	16.00
acetyl-chloride	4.4	51.1	Flammable	IB	6.8407	1,062.86	217.63	78.50	7.30	19.00
acetylene	N/A	-83.3	N/A	N/A	9.1402	1,232.6	280.9	26.00	2.50	100.00
acrylic-acid	50	141.6	Combustible	II	7.1926	1,441.5	193.01	72.07	2.40	8.00
acrylonitrile	0	77.2	Flammable	IB	6.9163	1,208.3	222.01	53.10	3.00	17.00
allyl-alcohol	21.1	96.6	Flammable	IB	7.3424	1,271.7	188.01	58.10	2.50	18.00
aniline	70	184	Combustible	IIIA	7.2418	1,675.3	200.01	93.10	1.20	11.00
benzene	-11.1	80	Flammable	IB	6.90565	1,211.033	220.79	78.10	1.20	8.00
benzenethiol	55	168	Combustible	II	6.99019	1,529.454	203.048	110.20	1.20	N/A
benzoic-acid	121	249	Combustible	IIIB	7.454	1,820	147.96	122.10	N/A	N/A
benzonitrile	75	191.1	Combustible	IIIA	7.72911	2,110.572	244.819	103.10	1.40	7.20
biphenyl	113	256	Combustible	IIIB	7.2454	1,998.72	202.74	154.20	0.60	5.80

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
bromobenzene	51	156.2	Combustible	II	6.8606	1,438.82	205.45	157.02	6.00	36.50
bromoethane	-20	38.4	Flammable	IB	6.92	1,090.81	231.72	109.00	6.80	11.00
bromoethylene	N/A	15.6	N/A	N/A	7.24379	1,219.308	264.021	106.96	9.00	15.00
bromomethane	N/A	4	N/A	N/A	6.9597	986.59	238.33	94.90	10.00	16.00
butane	-73.3	-0.5	Flammable	IA	6.80896	935.86	238.73	58.10	1.80	8.40
butyraldehyde	-12	74.8	Flammable	IB	7.0212	1,233	223.01	72.10	1.90	12.50
carbon-dioxide	N/A	N/A	N/A	N/A	9.8106	1,347.79	273	44.00	N/A	N/A
carbon-disulfide	-30	46.1	Flammable	IB	6.9419	1,168.62	241.54	76.10	1.00	50.00
carbon-monoxide	N/A	-192	N/A	N/A	6.2402	230.27	260.01	28.00	12.50	74.20
carbon-tetrachloride	N/A	76.5	N/A	N/A	6.8941	1,219.58	227.17	153.80	N/A	N/A
carbon-tetrafluoride	N/A	-127.8	N/A	N/A	6.9723	540.5	260.1	88.01	N/A	N/A
chlorobenzene	29	132.2	Flammable	IC	6.9781	1,431.05	217.56	112.60	1.30	11.00
chlorodifluoromethane	N/A	-41	N/A	N/A	6.7577	740.39	231.86	86.50	N/A	N/A
chloroform	N/A	62	N/A	N/A	6.9371	1,171.2	227	119.40	N/A	N/A

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
chloromethane	N/A	24.2	N/A	N/A	6.9944	902.45	243.61	50.50	8.10	17.40
chloropentafluoroethane	N/A	-39	N/A	N/A	6.8333	802.97	242.28	154.50	N/A	N/A
chlorotrifluoromethane	N/A	-81.4	N/A	N/A	6.35109	522.061	231.677	104.50	N/A	N/A
cumene	35.5	152.2	Flammable	IC	6.93666	1,460.793	207.777	120.20	0.90	6.50
cyanogen	N/A	21.2	N/A	N/A	6.43629	576.579	182.308	52.04	6.60	42.60
cyclohexane	-20	81.6	Flammable	IB	6.8413	1,201.531	222.647	84.20	1.30	8.40
cyclohexanol	71.1	161.1	Combustible	IIIA	6.2553	912.87	109.13	100.20	2.40	12.00
cyclohexanone	43.8	156.1	Combustible	II	6.97851	1,495.58	209.559	98.14	1.10	9.40
cyclohexene	-6	83	Flammable	IB	6.8724	1,221.9	223.18	82.14	N/A	N/A
cyclopentane	-28.8	43.8	Flammable	IB	6.88676	1,124.162	231.361	70.10	1.10	8.70
decahydronaphthalene,cis	56.67	195	Combustible	II	6.87529	1,594.46	203.392	138.25	0.70	5.40
decahydronaphthalene,trans	N/A	N/A	N/A	N/A	6.85681	1,564.683	206.259	N/A	N/A	N/A
decane	46	174.2	Combustible	II	6.96375	1,508.75	195.374	142.30	0.80	5.40
decyl-alcohol	82.2	230	Combustible	IIIA	6.9224	1,472.01	134.16	158.28	0.70	5.50

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
dichlorodifluoromethane	N/A	-30	N/A	N/A	6.68619	782.072	235.377	120.90	N/A	N/A
dichloromethane	N/A	40	N/A	N/A	7.0803	1,138.91	231.46	84.90	12.00	25.00
diethylamine	-22.7	56.6	Flammable	IB	6.9724	1,127	220.01	73.10	1.80	10.10
dimethylamine	-6.6	6.6	Flammable	IA	7.0639	1,024.4	238.01	45.10	2.80	14.40
ethanethiol	-48.3	35	Flammable	IA	6.95206	1,084.531	231.385	62.10	2.80	18.20
ethyl-acetate	-4.4	77.2	Flammable	IB	7.0146	1,211.9	216.01	88.10	2.20	11.50
ethyl-alcohol	12.7	78.3	Flammable	IB	8.2133	1,652.05	231.48	46.10	3.30	19.00
ethylamine	-17.7	16.6	Flammable	IA	7.3862	1,137.3	235.86	45.10	3.50	14.00
ethylbenzene	-6.6	136.1	Flammable	IB	6.95719	1,424.255	213.206	106.20	1.00	6.70
ethylene-glycol	111	198	Combustible	IIIB	8.7945	2,615.4	244.91	62.10	3.20	15.30
ethylene-oxide	-17.7	10.5	Flammable	IA	7.2701	1,115.1	244.15	44.10	3.00	100.00
ethyl-ether	-45	35	Flammable	IA	6.92032	1,064.07	228.8	74.10	1.70	48.00
formaldehyde	83.3	161.1	Combustible	IIIA	7.1561	957.24	243.01	30.00	7.00	73.00
formic-acid	69	101	Combustible	IIIA	7.3779	1,563.28	247.07	46.00	18.00	51.00

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
furan	-35	31.3	Flammable	IA	6.9753	1,060.85	227.75	68.10	2.30	14.30
heptane	-3.8	98.3	Flammable	IB	6.89385	1,264.37	216.636	100.20	1.10	6.70
hexachlorobenzene	242	323	Combustible	IIIB	9.78602	4,597.57	355.961	284.80	N/A	N/A
hexachloroethane	N/A	N/A	N/A	N/A	7.08633	1,626.945	197.048	236.70	N/A	N/A
hexane	-21.6	68.8	Flammable	IB	6.87024	1,168.72	224.21	86.20	1.10	7.50
hexyl-alcohol	63	157	Combustible	IIIA	7.8604	1,761.26	196.67	102.20	1.20	7.70
iodoethane	61	72	Combustible	IIIA	6.959	1,232	229	155.97	N/A	N/A
iodomethane	N/A	42.5	N/A	N/A	6.988	1,146.34	236.66	142.00	N/A	N/A
isobutyronitrile	N/A	N/A	N/A	N/A	7.21591	1,390.7	217	164.20	N/A	N/A
isopropyl-alcohol	11.6	82.7	Flammable	IB	8.1182	1,580.92	219.62	60.10	2.00	12.00
isopropyl-ether	-27.7	68.8	Flammable	IB	7.0971	1,257.6	230.01	102.18	1.40	7.90
ketene	N/A	56	N/A	N/A	6.9573	803.1	238.01	42.00	N/A	N/A
mesitylene	50	165	Combustible	II	7.07436	1,569.622	209.578	120.20	N/A	N/A
methane	N/A	-162	N/A	N/A	6.69561	405.42	267.777	16.00	5.00	15.00

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
methanethiol	N/A	6	N/A	N/A	7.03163	1,015.547	238.706	48.10	3.90	21.80
methanol	12	64	Flammable	IB	8.0724	1,574.99	238.87	32.00	5.50	44.00
methylamine	0	-6.1	Flammable	IA	7.4969	1,079.15	240.24	31.10	4.90	20.70
methylcyclohexane	-6	101	Flammable	IB	6.823	1,270.763	221.416	98.21	1.20	6.70
methyl-disulfide	24	110	Flammable	IC	6.97792	1,346.342	218.863	94.20	1.10	16.00
methyl-ether	N/A	-23.6	N/A	N/A	7.3164	1,025.56	256.06	46.08	3.40	26.70
methyl-formate	-18.8	32.2	Flammable	IA	7.1704	1,125.2	230.56	60.10	5.00	23.00
methyl-tert-butyl-ether	-28	55	Flammable	IB	5.896	708.69	179.9	88.20	1.60	15.10
m-xylene	27	139	Flammable	IC	7.00908	1,462.266	215.105	106.20	1.10	7.00
naphthalene	80	218	Combustible	IIIA	7.01065	1,733.71	201.859	128.18	0.90	5.90
nitroethane	27.7	113.8	Flammable	IC	7.58777	1,671.266	241.187	75.10	4.00	N/A
nitromethane	35	101.1	Flammable	IC	7.044	1,291	209.01	61.04	7.30	63.00
nonane	31.1	151.1	Flammable	IC	6.9344	1,429.46	201.82	128.20	0.80	2.90
o-cresol	81	191	Combustible	IIIA	6.9117	1,435.5	165.16	108.10	1.30	N/A

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
octane	13.3	125.5	Flammable	IB	6.9094	1,349.82	209.385	114.22	1.00	6.50
o-dichlorobenzene	66	180-183	Combustible	IIIA	7.0703	1,649.55	213.32	147.00	2.20	9.20
o-diethylbenzene	55	184	Combustible	II	6.9878	1,576.94	200.51	134.20	N/A	N/A
o-xylene	32	144	Flammable	IC	6.99891	1,474.679	213.686	106.20	0.90	6.70
p-cresol	86	202	Combustible	IIIA	7.0351	1,511.08	161.86	108.10	1.00	N/A
p-dichlorobenzene	66	174	Combustible	IIIA	6.998	1,575.11	208.52	147.00	6.20	16.00
pentachloroethane	N/A	162	N/A	N/A	6.74	1,378	197	202.30	N/A	N/A
propionaldehyde	-30	48.8	Flammable	IB	7.0493	1,154.8	229.01	58.10	2.60	17.00
propyl-alcohol	23.3	97.2	Flammable	IC	7.6192	1,375.14	193.01	60.10	2.10	13.50
propylamine	-37.2	48.8	Flammable	IB	6.9468	1,108.2	224.01	59.10	2.00	10.40
propylene-oxide	-37.2	34.4	Flammable	IA	6.6546	915.31	208.29	58.10	2.00	38.50
propyne(methylacetylene)	N/A	23.2	N/A	N/A	6.78485	803.73	229.08	40.07	2.40	11.70
p-xylene	27	138	Flammable	IC	6.99052	1,453.43	215.307	106.20	1.10	7.00
pyridine	20	115	Flammable	IB	6.9882	1,344.2	212.01	79.10	1.80	12.40

ตารางที่ ค.1 ฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟ (ต่อ)

Substance	Flash point (°C)	Boiling point (°C)	Type	Class	Antoine coefficient			MW	LEL (% vol)	UEL (% vol)
					Antoine A'	Antoine B'	Antoine C'			
pyrrolidine	3	89	Flammable	IB	6.9246	1,179.99	205.26	71.00	2.90	13.00
styrene	31.1	146.1	Flammable	IC	6.9571	1,445.58	209.44	104.20	0.90	6.80
tert-butyl-alcohol	11	83	Flammable	IB	7.3199	1,154.48	177.66	74.10	1.70	8.00
thiophene	-1	84	Flammable	IB	6.95926	1,246.02	221.35	84.10	1.50	12.50
toluene	4.4	110.5	Flammable	IB	6.95464	1,344.8	219.482	92.00	1.40	6.70
trans-1,2-dichloroethene	13	83.5	Flammable	IB	6.9651	1,141.9	231.9	98.96	6.20	16.00
trichlorofluoromethane	N/A	24	N/A	N/A	6.8843	1,043.01	236.86	137.40	N/A	N/A
triethylamine	-8.8	89.4	Flammable	IB	6.8989	1,251.8	222.01	101.20	1.20	8.00
trifluoromethane	N/A	84.4	N/A	N/A	7.0886	705.33	249.78	70.00	N/A	N/A
trimethylamine	N/A	3	N/A	N/A	6.9704	968.7	234.01	59.10	2.00	11.60
undecyl-alcohol	113	245	Combustible	IIIB	6.5271	1,250	100	172.30	N/A	N/A
valeraldehyde	12.2	102.7	Flammable	IB	7.0192	1,316	215.01	86.10	1.40	7.20

ตารางที่ ค.2 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บโทลูอีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ

Substance	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A		Pool A		Qv (ft^3/min)	K (ft/min)	kCppm (ppm)	Cppm (ppm)		C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
				Horizontal (m)	Vertical (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2				k = 0.5	k = 0.1	k = 0.5	k = 0.1			
Toluene (l)	2.90	80	291.22	13.7	6	82.20	884.79	2.27	24.43	884.79	0.95	3,459.40	6,918.80	34,593.98	0.69	3.46	1.40	6.70	O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		2,965.20	5,930.40	29,651.98	0.59	2.97			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		2,594.55	5,189.10	25,945.48	0.52	2.59			O
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		2,306.27	4,612.53	23,062.65	0.46	2.31			O
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		2,075.64	4,151.28	20,756.39	0.42	2.08			O
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		1,886.94	3,773.89	18,869.44	0.38	1.89			O
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		1,729.70	3,459.40	17,296.99	0.35	1.73			O
		70	203.75	13.7	6	82.20	884.79			884.79		2,420.37	4,840.74	24,203.68	0.48	2.42			O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		2,074.60	4,149.20	20,746.01	0.41	2.07			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		1,815.28	3,630.55	18,152.76	0.36	1.82			O
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		1,613.58	3,227.16	16,135.79	0.32	1.61			O
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		1,452.22	2,904.44	14,522.21	0.29	1.45			O
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		1,320.20	2,640.40	13,202.01	0.26	1.32			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		1,210.18	2,420.37	12,101.84	0.24	1.21			X

หมายเหตุ สำหรับโทลูอีน Flash point = 4.4 °C Boiling point = 110.5 °C มวลโมเลกุล 92.13 g/mol

ตารางที่ ค.2 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บโทลูอีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ (ต่อ)

Substance	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A		Pool A		Qv (ft^3/min)	K (ft/min)	kCppm (ppm)	Cppm (ppm)		C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
				Horizontal (m)	Vertical (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2				k = 0.5	k = 0.1	k = 0.5	k = 0.1			
Toluene (l)	2.90	60	138.96	13.7	6	82.20	884.79	2.27	24.43	884.79	0.95	1,650.68	3,301.35	16,506.76	0.33	1.65	1.40	6.70	O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		1,414.86	2,829.73	14,148.65	0.28	1.41			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		1,238.01	2,476.01	12,380.07	0.25	1.24			X
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		1,100.45	2,200.90	11,004.50	0.22	1.10			X
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		990.41	1,980.81	9,904.05	0.20	0.99			X
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		900.37	1,800.74	9,003.69	0.18	0.90			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		825.34	1,650.68	8,253.38	0.17	0.83			X
		50	92.11	13.7	6	82.20	884.79			884.79		1,094.22	2,188.45	10,942.23	0.22	1.09			X
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		937.91	1,875.81	9,379.06	0.19	0.94			X
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		820.67	1,641.33	8,206.67	0.16	0.82			X
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		729.48	1,458.96	7,294.82	0.15	0.73			X
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		656.53	1,313.07	6,565.34	0.13	0.66			X
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		596.85	1,193.70	5,968.49	0.12	0.60			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		547.11	1,094.22	5,471.12	0.11	0.55			X

หมายเหตุ สำหรับโทลูอีน Flash point = 4.4 °C Boiling point = 110.5 °C มวลโมเลกุล 92.13 g/mol

ตารางที่ ค.3 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บเฮกเซนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการผลิตต่างๆ

Substance	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A		Pool A		Qv (ft^3/min)	K (ft/min)	kCppm (ppm)	Cppm (ppm)		C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
				Horizontal (m)	Vertical (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2				k = 0.5	k = 0.1	k = 0.5	k = 0.1			
Hexane (l)	2.90	80	1,067.63	13.7	6	82.20	884.79	2.27	24.43	884.79	0.97	12,967.78	25,935.56	129,677.82	2.59	12.97	1.20	7.50	O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		11,115.24	22,230.48	111,152.42	2.22	11.12			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		9,725.84	19,451.67	97,258.37	1.95	9.73			O
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		8,645.19	17,290.38	86,451.88	1.73	8.65			O
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		7,780.67	15,561.34	77,806.69	1.56	7.78			O
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		7,073.34	14,146.67	70,733.36	1.41	7.07			O
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		6,483.89	12,967.78	64,838.91	1.30	6.48			O
		70	790.39	13.7	6	82.20	884.79			884.79		9,600.30	19,200.60	96,003.01	1.92	9.60			O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		8,228.83	16,457.66	82,288.29	1.65	8.23			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		7,200.23	14,400.45	72,002.26	1.44	7.20			O
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		6,400.20	12,800.40	64,002.00	1.28	6.40			O
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		5,760.18	11,520.36	57,601.80	1.15	5.76			O
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		5,236.53	10,473.06	52,365.28	1.05	5.24			O
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		4,800.15	9,600.30	48,001.50	0.96	4.80			O

หมายเหตุ สำหรับเฮกเซน Flash point = -21.6 °C Boiling point = 68.8 °C มวลโมเลกุล 86.18 g/mol

ตารางที่ ค.3 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บเฮกเซนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ (ต่อ)

Substance	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A		Pool A		Qv (ft^3/min)	K (ft/min)	kCppm (ppm)	Cppm (ppm)		C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
				Horizontal (m)	Vertical (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2				k = 0.5	k = 0.1	k = 0.5	k = 0.1			
Hexane (l)	2.90	60	572.89	13.7	6	82.20	884.79	2.27	24.43	884.79	0.97	6,958.49	13,916.98	69,584.89	1.39	6.96	1.20	7.50	O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		5,964.42	11,928.84	59,644.19	1.19	5.96			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		5,218.87	10,437.73	52,188.66	1.04	5.22			O
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		4,638.99	9,277.98	46,389.92	0.93	4.64			O
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		4,175.09	8,350.19	41,750.93	0.84	4.18			O
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		3,795.54	7,591.08	37,955.39	0.76	3.80			O
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		3,479.24	6,958.49	34,792.44	0.70	3.48			O
		50	405.61	13.7	6	82.20	884.79			884.79		4,926.64	9,853.28	49,266.38	0.99	4.93			O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		4,222.83	8,445.66	42,228.32	0.84	4.22			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		3,694.98	7,389.96	36,949.78	0.74	3.69			O
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		3,284.43	6,568.85	32,844.25	0.66	3.28			O
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		2,955.98	5,911.97	29,559.83	0.59	2.96			O
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		2,687.26	5,374.51	26,872.57	0.54	2.69			O
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		2,463.32	4,926.64	24,633.19	0.49	2.46			O

หมายเหตุ สำหรับเฮกเซน Flash point = -21.6 °C Boiling point = 68.8 °C มวลโมเลกุล 86.18 g/mol

ตารางที่ ค.4 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บคลอโรเบนซีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ

Substance	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A		Pool A		Qv (ft^3/min)	K (ft/min)	kCppm (ppm)	Cppm (ppm)		C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
				Horizontal (m)	Vertical (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2				k = 0.5	k = 0.1	k = 0.5	k = 0.1			
Chlorobenzene (l)	2.90	80	147.51	13.7	6	82.20	884.79	2.27	24.43	884.79	0.89	1,639.10	3,278.19	16,390.95	0.33	1.64	1.30	9.60	O
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		1,404.94	2,809.88	14,049.39	0.28	1.40			O
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		1,229.32	2,458.64	12,293.21	0.25	1.23			X
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		1,092.73	2,185.46	10,927.30	0.22	1.09			X
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		983.46	1,966.91	9,834.57	0.20	0.98			X
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		894.05	1,788.10	8,940.52	0.18	0.89			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		819.55	1,639.10	8,195.48	0.16	0.82			X
		70	100.36	13.7	6	82.20	884.79			884.79		1,115.22	2,230.44	11,152.18	0.22	1.12			X
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		955.90	1,911.80	9,559.01	0.19	0.96			X
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		836.41	1,672.83	8,364.13	0.17	0.84			X
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		743.48	1,486.96	7,434.78	0.15	0.74			X
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		669.13	1,338.26	6,691.31	0.13	0.67			X
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		608.30	1,216.60	6,083.01	0.12	0.61			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		557.61	1,115.22	5,576.09	0.11	0.56			X

หมายเหตุ สำหรับคลอโรเบนซีน Flash point = 29 °C Boiling point = 132.2 °C, มวลโมเลกุล 112.56 g/mol

ตารางที่ ค.4 การชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัยเชิงรับของถังเก็บคลอโรเบนซีนที่อุณหภูมิและพื้นที่กระบวนการต่างๆ (ต่อ)

Substance	P (atm)	T (°C)	P_{sat} (mmHg)	Fire-scenario envelope		Process A		Pool A		Qv (ft^3/min)	K (ft/min)	kCppm (ppm)	Cppm (ppm)		C (% vol)		LEL (% vol)	UEL (% vol)	Passive fire protection
				Horizontal (m)	Vertical (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2				k = 0.5	k = 0.1	k = 0.5	k = 0.1			
Chlorobenzene (l)	2.90	60	66.42	13.7	6	82.20	884.79	2.27	24.43	884.79	0.89	738.01	1,476.03	7,380.13	0.15	0.74	1.30	9.60	X
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		632.58	1,265.17	6,325.83	0.13	0.63			X
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		553.51	1,107.02	5,535.10	0.11	0.55			X
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		492.01	984.02	4,920.09	0.10	0.49			X
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		442.81	885.62	4,428.08	0.09	0.44			X
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		402.55	805.11	4,025.53	0.08	0.40			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		369.01	738.01	3,690.07	0.07	0.37			X
		50	42.62	13.7	6	82.20	884.79			884.79		473.55	947.10	4,735.51	0.09	0.47			X
					7	95.90	1,032.26			1,032.26		405.90	811.80	4,059.00	0.08	0.41			X
					8	109.60	1,179.72			1,179.72		355.16	710.33	3,551.63	0.07	0.36			X
					9	123.30	1,327.19			1,327.19		315.70	631.40	3,157.00	0.06	0.32			X
					10	137.00	1,474.66			1,474.66		284.13	568.26	2,841.30	0.06	0.28			X
					11	150.70	1,622.12			1,622.12		258.30	516.60	2,583.00	0.05	0.26			X
					12	164.40	1,769.59			1,769.59		236.78	473.55	2,367.75	0.05	0.24			X

หมายเหตุ สำหรับคลอโรเบนซีน Flash point = 29 °C Boiling point = 132.2 °C มวลโมเลกุล 112.56 g/mol

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับของเหลวไวไฟที่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 ถังเก็บของเหลวไวไฟมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 m ความสูงของถังที่รวมฐานรองรับ 4.75 m บรรจุเฮกเซนเหลวสูง 2.6 m จุดวาบไฟของเฮกเซน -21.60 °C จุดเดือด 68.8 °C เฮกเซนเป็นของเหลวไวไฟ Class IB เก็บที่อุณหภูมิและความดันดำเนินการ เท่ากับ 80 °C และ 2.9 atm ตามลำดับ [21]

จากนั้นกำหนดขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟของถังเก็บเฮกเซนนี้ทั้งแนวนอนและแนวตั้งตามมาตรฐาน API RP 2218 เนื่องจากเป็นถังเก็บที่บรรจุของเหลวไวไฟที่นอกเหนือจาก LPG ดังนั้น ขอบเขตในแนวนอนจะขยายออกไปถึงพนังกั้น หรือ 6 เมตร จากถังเก็บสาร เท่ากับ (2 x 6 m) + 1.7 m = 13.70 m สำหรับขอบเขตในแนวตั้งเท่ากับ 6 – 12 เมตร พื้นที่กระบวนการผลิต (Process area) และพื้นที่ในการถ่ายโอนมวล (Pool Area) ที่คำนวณได้แสดงดังตารางที่ ง.1 โดยพื้นที่ในการถ่ายโอนมวล คือ พื้นที่ที่เฮกเซนสามารถระเหยได้ ในกรณีศึกษานี้ คือ พื้นที่หน้าตัดของถังเก็บ

ตารางที่ ง.1 การคำนวณพื้นที่กระบวนการผลิตและพื้นที่ในการถ่ายโอนมวล

ขอบเขตของเหตุการณ์ที่เกี่ยวกับไฟ		พื้นที่กระบวนการผลิต		พื้นที่ในการถ่ายโอนมวล	
แนวนอน (m)	แนวตั้ง (m)	m^2	ft^2	m^2	ft^2
13.70	6.00	82.20	884.79	2.27	24.43
	7.00	95.90	1,032.26		
	8.00	109.60	1,179.72		
	9.00	123.30	1,327.19		
	10.00	137.00	1,474.66		
	11.00	150.70	1,622.12		
	12.00	164.40	1,769.59		

ง.1 ตัวอย่างการคำนวณความดันไอของเฮกเซน

ความดันไอของเฮกเซนสามารถคำนวณได้จากสมการ Antione

$$\log\left(P^{sat}\right) = A' - \frac{B'}{T + C'}$$

เมื่อ P^{sat} = ความดันไอของเฮกเซน (mmHg)

T = อุณหภูมิดำเนินการของอุปกรณ์ (°C) = 80 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A', B' และ C' = สัมประสิทธิ์ของ Antoine สำหรับเฮกเซน เท่ากับ 6.87, 1,168.72 และ 224.21 ตามลำดับ

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$\log\left(P^{sat}\right) = 6.87 - \frac{1{,}168.72}{80 + 224.21}$$

ดังนั้น ความดันไอของเฮกเซนที่อุณหภูมิ 80 °C เท่ากับ 1,067.63 mmHg

ง.2 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซน และการชี้บ่งความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

กรณีจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

ความเข้มข้นเฉลี่ยของของเฮกเซน คำนวณได้จากสมการที่ (2.38)

$$C_{ppm} = \frac{KAP^{sat}}{kQ_v P} \times 10^6$$

เมื่อ C_{ppm} = ความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซน (ppm)

P = ความดันสัมบูรณ์ (atm) = 2.90 atm

Q_v = อัตราการระบายไอเชิงปริมาตร หาจากผลคูณของอัตราการระบายไอต่อพื้นที่ (1 $ft^3/min/ft^2$) กับพื้นที่ในการถ่ายโอนมวล จะได้ 884.79 ft^3/min

K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของเฮกเซนสามารถคำนวณจากสมการ

$$K = K_0\left(\frac{M_0}{M}\right)^{1/3}$$

เมื่อ K_0 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของน้ำ = 0.83 cm/s

M_0 = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ = 18 g/mol

M = น้ำหนักโมเลกุลของเฮกเซน = 86.18 g/gmol

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$K = (0.83\ cm/s)\left(\frac{18\ g/mol}{86.18\ g/mol}\right)^{1/3}$$

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของเฮกเซน เท่ากับ 0.4925 cm/s หรือ 0.97 ft/min แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการที่ (2.38) เพื่อหาความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$kC_{ppm} = \frac{(0.97\ \text{ft/min})(24.43\ \text{ft}^2)(\frac{1,067.63}{760}\ \text{atm})}{(884.79\ \text{ft}^3/\text{min})(2.90\ \text{atm})} \times 10^6 = 12,967.78\ \text{ppm}$$

แทนค่า Nonideal mixing factor (k) เท่ากับ 0.1 และ 0.5 จะได้ C_{ppm} ที่ k = 0.1 (ค่าต่ำสุด) และ k = 0.5 (ค่าสูงสุด) เท่ากับ 129,677.82 ppm และ 25,935.56 ppm ตามลำดับ

จากนั้นแปลงเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตร เพื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความไวไฟ ดังนั้น ความเข้มข้นเฉลี่ยของของเฮกเซน (C) ที่ k = 0.1 และ k = 0.5 เท่ากับ 12.97 และ 2.59 %โดยปริมาตร ตามลำดับ จากฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟในตารางที่ ค.1 LEL ของเฮกเซนเท่ากับ 1.20 %โดยปริมาตร และ UEL ของเฮกเซนเท่ากับ 7.50 %โดยปริมาตร ความเข้มข้นเฉลี่ยของเฮกเซนที่คำนวณได้อยู่ในช่วง 2.59 ถึง 12.97 %โดยปริมาตร ซึ่งอยู่ในช่วงของขีดจำกัดความไวไฟ จึงต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

กรณีไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

ความเข้มข้นเฉลี่ยของของคลอโรเบนซีน คำนวณได้จากสมการที่ (2.38)

$$C_{ppm} = \frac{KAP^{sat}}{kQ_vP} \times 10^6$$

เมื่อ C_{ppm} = ความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรเบนซีน (ppm)

P = ความดันสมบูรณ์ (atm) = 2.90 atm

Q_v = อัตราการระบายไอเชิงปริมาตร หาจากผลคูณของอัตราการระบายไอต่อพื้นที่ (1 $ft^3/min/ft^2$) กับพื้นที่ในการถ่ายโอนมวล จะได้ 1,769.59 ft^3/min

K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของคลอโรเบนซีน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K = K_0\left(\frac{M_0}{M}\right)^{1/3}$$

เมื่อ K_0 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของน้ำ = 0.83 cm/s

M_0 = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ = 18 g/mol

M = น้ำหนักโมเลกุลของคลอโรเบนซีน = 112.56 g/gmol

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ

$$K = (0.83\ \text{cm/s})\left(\frac{18\ \text{g/mol}}{112.56\ \text{g/mol}}\right)^{1/3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของคลอโรเบนซีน เท่ากับ 0.1327 cm/s หรือ 0.89 ft/min จากนั้น แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการที่ (2.38) เพื่อหาความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรเบนซีน

$$kC_{ppm} = \frac{(0.89\ \text{ft/min})(24.43\ \text{ft}^2)(\frac{42.62}{760}\ \text{atm})}{(1{,}769.59\ \text{ft}^3/\text{min})(2.90\ \text{atm})} \times 10^6 = 236.78\ \text{ppm}$$

แทนค่า Nonideal mixing factor (k) เท่ากับ 0.1 และ 0.5 จะได้ C_{ppm} ที่ k = 0.1 และ k = 0.5 เท่ากับ 2,367.75 ppm และ 473.55 ppm ตามลำดับ จากนั้นแปลงเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตร เพื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดความไวไฟ ดังนั้นความเข้มข้นเฉลี่ยของของคลอโรเบนซีน (C) ที่ k = 0.1 และ k = 0.5 เท่ากับ 0.24 และ 0.05 %โดยปริมาตร ตามลำดับ จากฐานข้อมูลของของเหลวไวไฟในตารางที่ ค.1 LEL ของคลอโรเบนซีนเท่ากับ 1.30 %โดยปริมาตร และ UEL ของคลอโรเบนซีนเท่ากับ 9.60 %โดยปริมาตร ความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนที่คำนวณได้มีค่า 0.05 ถึง 0.24 %โดยปริมาตร ซึ่งต่ำกว่า LEL ของคลอโรเบนซีน ดังนั้น ไม่ต้องป้องกันอัคคีภัยเชิงรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้