

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

บทคัดย่อ

ของ

ลำพอง ธรรมรักษ์เจริญ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2547

ลำพอง ธรรมรักษ์เจริญ (2547). การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิด
ไอน้ำ. ปรินซ์นิพนธ์ กศ.ม (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล, ผศ.ณอมสิน
ดิศภาพร.

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยนำเอาวิธีการลด
มลพิษแบบสัมผัสเปี่ยมมาใช้ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00
เมตร ความสูง 1.75 เมตร ความหนา 20 เซนติเมตร ภายในมีบ่อพักน้ำขนาดความกว้าง 0.65 เมตร
ความยาว 1.10 เมตร ความสูง 1.75 เมตร สำหรับบรรจุน้ำเพื่อใช้ในระบบ ส่วนภายในอุปกรณ์ประกอบด้วย
ท่อสแตนเลสเส้นตรงจำนวน 4 เส้น ติดตั้งอยู่ด้านบนของอุปกรณ์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ความ
ยาว 110 เซนติเมตร และท่อสแตนเลสวงกลมจำนวน 1 เส้น ติดตั้งด้านล่างของปล่องไอเสียออกความยาว
220 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร พร้อมทั้งเจาะรูของท่อสแตนเลสทั้งด้านข้างและด้านล่าง
ขนาดรูมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่างแต่ละรู 5 เซนติเมตร เพื่อให้น้ำเป็นละอองในระบบมาน้ำ
โดยนำไปใช้กับเครื่องกำเนิดไอน้ำ ยี่ห้อ กิวนี (Kewanee) ขนาด 500 แรงม้า รุ่น H3S – 500 – 06 ในการ
ทดสอบปฏิบัติตามเกณฑ์มาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) โดยวัดค่า
มลพิษที่สำคัญ 4 ประเภท คือ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของ
ไนโตรเจน ส่วนลักษณะทางกายภาพทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลของการวิจัยได้สอดคล้องกับสมมติฐานและมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำนั้น จากการทดลอง
ใช้งานแล้วไม่เกิดผลกระทบใด ๆ กับเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งในการออกแบบนี้ได้มุ่งเน้นในการเลือกวัสดุ อุปกรณ์
เครื่องมือ ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

2. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ที่สร้างขึ้นได้ตาม
มาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) คือ

2.1 ฝุ่นละออง มีมาตรฐาน 300 mg/m^3 อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
สามารถ ลดลงร้อยละ 50.90 คือมีฝุ่นละอองเข้า 305.5 mg/m^3 แล้ววัดค่ามลพิษมีฝุ่นละอองออกเฉลี่ยได้ 150 mg/m^3

2.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ มีมาตรฐาน 870 ppm อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่อง
กำเนิดไอน้ำสามารถ ลดลงร้อยละ 12.19 คือมีคาร์บอนมอนนอกไซด์ เข้า 8.2 ppm แล้ววัดค่ามลพิษมีคาร์บอน
มอนนอกไซด์ออกเฉลี่ยได้ 7.2 ppm

2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีมาตรฐาน 1,250 ppm อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่อง
กำเนิดไอน้ำสามารถ ลดลงร้อยละ 46.17 คือมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้า 849.4 ppm แล้ววัดค่ามลพิษมีซัลเฟอร์ได
ออกไซด์ออก เฉลี่ยได้ 481.4 ppm

2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน มีมาตรฐาน 250 ppm อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถ ลดลงร้อยละ 10.50 คือมีออกไซด์ของไนโตรเจนเข้า 221.9 ppm แล้ววัดค่ามลพิษมีออกไซด์ของไนโตรเจนออก เหลือได้ 198.6 ppm

3. ลักษณะทางกายภาพประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน สามารถสรุปผลโดยรวมอยู่ในระดับดี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ความประหัยด อยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00

3.2 ความแข็งแรง อยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.86

3.3 ความปลอดภัย อยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66

DESIGN AND CONSTRUCTION OF POLLUTION REDUCING EQUIPMENT FOR BOILERS

AN ABSTRACT

BY

LUMPHONG THUMARAKCHAROEN

Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
March 2004

Lumphong Thumarakcharoen. (2004). *Design and Construction of Pollution Reducing Equipment for Boilers*. Master thesis, M.Ed (Industrial Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Upawit Suwakantagul, Assist Prof. Thanomsin Distaporn.

The purpose of this study was to design and construction of pollution reducing equipment for boilers by using pollution reduced method scrubbers of wet collectors. The pollution reducing equipment was design as a concrete tank with 1.50 meters width, 6.00 meter, high, 1.75 meters length, and 20 centimeters thick. The inner was design as a water container for the system with 0.65 meter width, 1.10 meters length, and 1.75 meters high. On the top of the tank were 4 stainless pipes diameter 15 millimeter, length of 110 centimeters. At the below part, it was a pipe diameter of 70 centimeters and length of 220 centimeters. The pipe was drilled for both sides at upper and lower for sprayed the water. The hole size were 2 millimeters and interval rang were 5 centimeters. The brand of the boiler was Kewanee Model H3S – 500 – 06 the capacity of 500 hp was used in this studied. This experiment was used the Second Act. of ministry of industrial (1993) for testing the fourth pollution's were dust, carbon monoxide, dioxide, oxide of nitrogen.

The results of this studied were:

1. Design and construction of pollution reducing equipment by using pollution reduced method scrubbers of wet collectors. There was no side effect for boiler.

2. The efficiency of pollution reducing equipment for boilers were compared with the Second Act. of ministry of industrial (1993).

- 2.1 Dust the standardization was 300 mg/m^3 , the pollution reducing equipment for boilers able to reduced 50.90 %, or 305.5 mg/m^3 in and 150 mg/m^3 out.

- 2.2. Carbon monoxide the standardization was 870 ppm, the pollution reducing equipment for boilers able to reduced 12.19 % or 8.2 ppm in and 7.2ppm out.

- 2.3. Sulfur dioxide the standardization was 1,250 ppm, the pollution reducing equipment for boilers able to reduced 46.17 % or 894.4 ppm in and 481.4 ppm.

- 2.4. Oxide of Nitrogen the standardization was 250 ppm, the pollution reducing equipment for boilers able to reduced 10.50 % or 221.9 ppm in and 198.6 ppm out.

3. The physical assessment of the pollution reducing equipment for boilers were assessed by the three experts show the result as followed:

- 3.1 The economization was at the good level the average of 3.00.

- 3.2 The strange was at the good level the average of 2.86.

- 3.3 The Safety was at the good level the average of 2.66.

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ปริญญานิพนธ์

ของ

ลำพอง ธรรมรักษ์เจริญ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

มีนาคม 2547

ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ของ

นายลำพอง ธรรมรักษ์เจริญ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร ณะวานนท์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธาน

(อาจารย์ ดร.อุพิทย ์ สุวคันทกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ถนอมสิน ติสธภาพร)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ โสภาส ์ สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูง จากผู้บริหารของคณะ แพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาลทุกท่านที่ได้พิจารณาอนุมัติทุนการศึกษา จากทูลพระพรหมทูลนาครีราช สำหรับ ในการศึกษาครั้งนี้ และคุณภรรยา คุณภรรยา ไชยวาทน์ หัวหน้างานบริการผ้าที่ให้การสนับสนุนและ ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านอย่างดียิ่งอยู่เสมอ คุณจินตนาภรณ์ โภชนสมบุญ รองหัวหน้างาน บริการผ้าที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัฒนสิน ดิสภาพ เป็นประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และเป็นกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไข ดูแลให้กำลังใจ และให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร อาจารย์ โภศาส สุขหวาน และอาจารย์ สุดใจ เห่งสีไพร ให้คำแนะนำ แก้ไข ดูแลให้กำลังใจ และให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณมาณพัน ผดุงเจริญ ผู้จัดการบริษัท ผดุงเจริญ จำกัด ที่กรุณาให้ใช้เครื่องกำเนิด ใอน้ำที่ทางบริษัทเป็นผู้ติดตั้ง ณ. งานบริการผ้า โรงพยาบาลศิริราชและเครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ สำหรับการทดสอบ อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดใอน้ำ ที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536)

ขอขอบคุณ คุณภาณุพันธ์ ทรัพย์จรัสแสง วิศวกร ส่วนบริการเทคนิคตลาดพาณิชย์ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และ คุณกนกอร หันเจริญ ผู้จัดการบริษัท เอส เค วิทยาศาสตร์ แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด ที่ได้ เสียสละเวลา และให้ความช่วยเหลือในการวัดมลพิษประเภทต่าง ๆ สำหรับการทดสอบจนแล้วเสร็จ อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนิสิตรุ่นพี่ เพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นน้องปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหากรรม ศึกษาทุกท่านที่ให้กำลังใจ และบุคคลอื่นที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือและแนะนำ สนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณครู-อาจารย์ บุพการี และครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณ ณ. โอกาสนี้

ลำพอง ธรรมรักษ์เจริญ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานในการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
เครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	6
อุปกรณ์ประกอบของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	8
เชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	13
ระบบการเผาไหม้.....	22
มลพิษที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	27
การควบคุมและลดมลพิษทางอากาศ.....	28
การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคมลสาร.....	30
ห้องตกตะกอน.....	30
เครื่องแยกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง.....	31
เครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียก.....	31
เครื่องกรองใย.....	33
เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต.....	33
ประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคมลสาร.....	34
หลักการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	41
โครงสร้างและอุปกรณ์ประกอบ.....	42
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
3 วิธีดำเนินการวิจัย	45
เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษ จากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	45
ลำดับขั้นตอนการวิจัย	48

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	69
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองใช้อุปกรณ์	
ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ	69
ผลสรุปการประเมินลักษณะทางกายภาพ.....	72
5 สรุปผลอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	74
สรุปผลการวิจัย.....	75
อภิปรายผล.....	77
ข้อเสนอแนะ.....	78
บรรณานุกรม.....	80
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก หนังสือขอความร่วมมือเพื่อการวิจัย.....	84
ภาคผนวก ข เครื่องที่ใช้ในการทดสอบและค่ามาตรฐาน.....	90
ภาคผนวก ค วิธีการใช้งานเครื่องทดสอบวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	103
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้และบำรุงรักษาอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของ	
เครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	115
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	117

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงระยะที่เหมาะสมสำหรับหัวเทียน.....	13
2 การแบ่งน้ำมันเตาตามกรรมวิธีการผลิตและคุณสมบัติการเผาไหม้.....	16
3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงเหลว.....	19
4 ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2524) เรื่อง กำหนดคุณภาพของ น้ำมันเตา.....	20
5 ประเภทคุณสมบัติและการใช้งานของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ	21
6 สีของเปลวไฟจากการเผาไหม้กับปริมาณอากาศ.....	26
7 ประสิทธิภาพและปริมาณน้ำที่ความต้องการของเครื่องเก็บแบบเปียก.....	35
8 ผลการวัดประสิทธิภาพค่ามลพิษตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงานที่ปริมาตร อากาศส่วนเกินร้อยละ 20	69
9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ของกระทรวงอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536).....	71
10 ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย ของเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยผู้เชี่ยวชาญ	72
11 ผลสรุปจากการประเมินลักษณะทางกายภาพของผู้เชี่ยวชาญ	73

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ.....	7
2	แสดงการไหลวนของก๊าซร้อนในหม้อไอน้ำ.....	7
3	หม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ.....	8
4	รูปร่างกรวยน้ำมันที่พุ่งออกจากหัวฉีดทั้ง 3 แบบ.....	12
5	ระยะที่เหมาะสมสำหรับหัวเทียน.....	12
6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของน้ำมันเตากับอุณหภูมิ.....	18
7	หัวฉีดแบบใช้ลมหรือไอน้ำสเปรย์ให้เป็นฝอย.....	24
8	หัวฉีดแบบใช้ความดันของน้ำมันสเปรย์ให้เป็นฝอย.....	25
9	หัวฉีดแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	26
10	ห้องตกตะกอน.....	30
11	เครื่องเก็บแบบเปียก.....	32
12	แบบของ Baghouse และวิธีการแยกอนุภาคจากไอกรอง.....	33
13	การเก็บอนุภาคด้วยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยและการรับตรง.....	37
14	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเก็บด้วยการกระทบกับจำนวนการกระทบ.....	37
15	อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียที่เป็นระบบมาน้ำ.....	41
16	แสดงการขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	48
17	แบบแปลนของอุปกรณ์ลดมลพิษ.....	53
18	แปลนพื้นและตำแหน่งเสาเข็ม.....	54
19	รูปด้าน A B C D.....	55
20	แบบขยายรูปตัด A ของอุปกรณ์ลดมลพิษ.....	56
21	แบบแสดงการวางและติดตั้งท่อสเปรย์ของปล่องไอเสียออก.....	57
22	แบบแสดงการวางและติดตั้งท่อสเปรย์น้ำในอุปกรณ์ลดมลพิษ.....	58
23	แบบขยายปล่องและหน้าต่างัดแปลน.....	59
24	แบบขยายฝาบ่อพักน้ำ.....	60
25	แบบขยาย Man Hole.....	61
26	แบบขยายท่อน้ำทิ้งที่ใช้ระบบน้ำล้าง.....	62
27	แบบขยายจุดน้ำตะกอนออก.....	63
28	รูปตัดแสดงการเสริมเหล็ก.....	64
29	ผังการเดินท่อและตำแหน่งท่อ.....	65
30	เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ในการทดสอบ.....	91

31	เครื่องทดสอบวัดหาค่ามลพิษ.....	93
32	การทดสอบวัดประสิทธิภาพก่อนผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	94
33	การทดสอบวัดประสิทธิภาพภายหลังผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	94

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในปัจจุบันนี้ประชาชนที่อาศัยอยู่ทั่วทุกมุมโลก กำลังประสบปัญหาเรื่องมลพิษ ไม่ว่าจะเป็นมลพิษจากน้ำ มลพิษจากอากาศ และมลพิษจากเสียง ซึ่งมลพิษเหล่านี้เป็นตัวทำลายสภาพแวดล้อมของธรรมชาติให้เสื่อมสลายไป ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลกของเราได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีการคิดค้น และ นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในงานในโรงงานอุตสาหกรรม และสถานประกอบการต่าง ๆ ทั้งนี้ก็เพราะว่า เทคโนโลยีสมัยใหม่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้ ในขณะเดียวกันก็ช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ด้วย ประกอบกับ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกส่วนของโลก จึงทำให้ของเสียและของทิ้งมีมากขึ้น ตามไปด้วย ซึ่งของเสียเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว ก็จะทำให้สภาพแวดล้อม เปลี่ยนไปพร้อมกับทำให้เกิดเป็นมลพิษขึ้นในรูปต่าง ๆ กัน การป้องกันและลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมนั้น สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การรณรงค์ หรือสร้างอุปกรณ์ขึ้นมากำจัด และลดการใช้ทรัพยากรที่ทำให้เกิด มลพิษเป็นต้น โลกของเราซึ่งมีชั้นของบรรยากาศห่อหุ้มอยู่โดยรอบหนาประมาณ 15 กิโลเมตร ชั้นของ บรรยากาศดังกล่าวนี้ ประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน ออกซิเจน ฟลูออรีน ไอออนและเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ใน จำนวนก๊าซเหล่านี้ ก๊าซที่สำคัญที่สุดต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตในโลก คือ ก๊าซออกซิเจนและชั้นของบรรยากาศ ที่มีก๊าซออกซิเจนเพียงพอต่อการดำรงชีวิตมีความหนาเพียง 5 – 6 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งปกติจะมีส่วนประกอบ ของก๊าซต่าง ๆ ค่อนข้างคงที่ คือ ก๊าซไนโตรเจน ร้อยละ 78.09 ก๊าซออกซิเจน ร้อยละ 20.94 ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเฉื่อย ร้อยละ 0.97 ในปริมาณคงที่ของก๊าซดังกล่าวนี้ เราถือว่าเป็นอากาศบริสุทธิ์แต่ เมื่อใดก็ตามที่ส่วนประกอบของอากาศเปลี่ยนแปลงไปมีปริมาณของฟลูออรีน ก๊าซ กลิ่น หมอกควัน ไอ ไออนา เขม่าและกัมมันตภาพรังสีอยู่ในบรรยากาศมากเกินไป เราเรียกดังกล่าวกันว่า “อากาศเสีย” หรือ “มลพิษทาง อากาศ” ปัญหามลพิษทางอากาศได้ทำให้เกิดวิกฤตสิ่งแวดล้อมหรือภาวะมลพิษที่ร้ายแรงขึ้นหลายประการทั้งใน เขตชุมชนอันเกิดจากยานพาหนะและการจราจรที่ติดขัด และในเขตอุตสาหกรรมหรือโรงงานโดยเฉพาะที่มีการเผา ไหม้ของเชื้อเพลิง อากาศเป็นพิษโดยมีฟลูออรีน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซน รวมทั้งโลหะหนัก เช่น ตะกั่วทำให้มีผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ที่สูดอากาศพิษเข้าไปในชีวิตประจำวัน เกิดสภาวะอากาศเป็นพิษที่เรียกว่า สมอก (Smog) ซึ่งทำให้อากาศมัวไม่ แจ่มใส เพราะก๊าซต่าง ๆ ไอเสีย และฟลูออรีนสะสมในบรรยากาศเป็นปริมาณมาก โดยมี ปฏิกริยาจากแสงแดดเข้าช่วยทำให้เกิด แสบตา ระบบหายใจขัดข้อง อักเสบ ไอ ปวดหน้าอก เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดฝนกรด โดยเฉพาะ เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ละลายในฝน ทำให้เกิดการสึกกร่อน ของทรัพย์สินและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เป็นอันตรายต่อพืช และสิ่งมีชีวิต (ศิริกัลยา สุจิตตานนท์.

เครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งเป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับการผลิตไอน้ำไปใช้ให้เกิดพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีใช้ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมแทบทุกประเภท มักประสบปัญหาเรื่องก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตาชนิดที่ 1 ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศขึ้น คือ ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งก๊าซพิษเหล่านี้จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ได้ 2 ลักษณะ คือ

1. อาการเฉียบพลัน โดยที่ร่างกายรับเอาสารพิษที่รุนแรงเข้าไปหรือมีปริมาณมากพอที่จะก่อให้เกิดอันตรายถึงตายได้ทันที

2. อาการเรื้อรังสารพิษสะสมในร่างกายเป็นเวลานานทำให้เกิดโรคเรื้อรังต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ระบบทางเดินอาหาร และระบบเลือดต่อตาซึ่งมีผลทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย มีความต้านทานโรคต่ำ เมื่อเกิดโรคระบาดใด ๆ จะทำให้เป็นโรคต่าง ๆ ได้ง่าย (วินัย บำรุงกิจ. 2535 : 25)

นอกจากนี้สภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงจะเสียสมดุลย์ และสร้างความเดือดร้อนกับบุคคลในบริเวณนั้น โดยเฉพาะขณะที่เครื่องเริ่มทำงานทุกครั้งจะมีเขม่าและควันดำฟุ้งกระจายไปในอากาศและตกลงในบริเวณใกล้เคียงเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันนี้มีคุณภาพต่ำกว่าน้ำมันโดยทั่วไป ซึ่งมีความเข้มข้นมากมีความหนืดสูงทำให้การเผาไหม้แล้วเกิดเขม่าควันขึ้น แต่เนื่องจากมีราคาถูกกว่าน้ำมันประเภทอื่น จึงจำเป็นต้องใช้เป็นการลดต้นทุนอย่างหนึ่ง เมื่อเป็นเช่นนี้จึงต้องหาวิธีการลดมลพิษออกจากก๊าซไอเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ เพื่อช่วยลดปัญหาด้านมลพิษทางอากาศในการลดมลพิษทางอากาศนั้นจากการศึกษาทำให้พบว่า มีกระบวนการควบคุมและลดมลพิษจากก๊าซไอเสียกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งเงินลงทุนในการสร้างก็ไม่สูงจนเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของกระบวนการที่คาดว่าจะได้รับหลังจากใช้งาน นอกจากนี้ยังหวังไว้ว่ากระบวนการนี้จะสามารถนำไปใช้กับการลดมลพิษที่ปะปนกับก๊าซไอเสียของเครื่องจักรประเภทอื่น ๆ ที่มีความแตกต่างออกไปจากเครื่องกำเนิดไอน้ำอยู่บ้างก็ตาม ซึ่งกระบวนการนี้ได้นำหลักการของเครื่องสัณผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียกมาประยุกต์ใช้

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยใช้เป็นระบบม่านน้ำ เพราะน้ำเป็นตัวจับอนุภาคหรือฝุ่นและเพิ่มขนาดของละอองไอน้ำได้ดีทำให้แยกมลสารจากกระแสก๊าซง่ายขึ้น ซึ่งตัวโครงสร้างของอุปกรณ์นี้ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กมีต้นทุนต่ำและมีความแข็งแรง คงทนต่อการใช้งานในสภาวะต่าง ๆ พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) กำหนดไว้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย (ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x)) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S – 500 - 06

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการลดมลพิษคือ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S – 500 - 06

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้อุปกรณ์ลดมลพิษได้แก่ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
2. ทำให้สามารถลดฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำได้ ซึ่งเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม
3. ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและการพัฒนาการลดมลพิษได้แก่ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

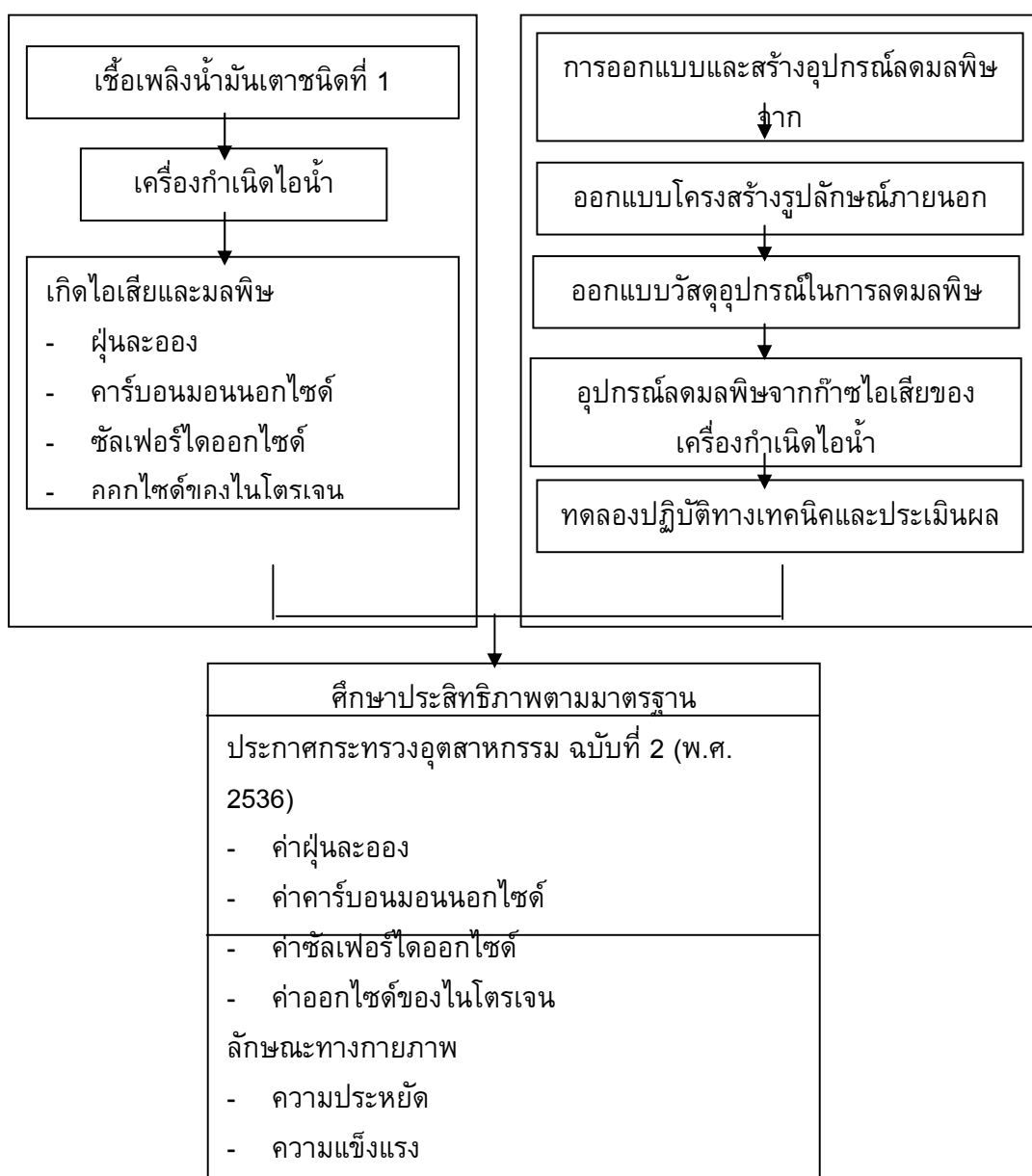
ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยในครั้งนี้กระทำกับเครื่องกำเนิดไอน้ำตั้งแต่ขณะเริ่มทำงานในระบบ Automatic ที่ใช้น้ำมันเตาชนิดที่ 1 เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป และสถานประกอบการต่าง ๆ เช่น โรงแรม โรงพยาบาล และอื่น ๆ
2. การทดลองนี้จะนำไปทดลองใช้กับเครื่องกำเนิดไอน้ำขนาด 500 แรงม้า ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S- 500 – 06 ซึ่งติดตั้งใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 สามารถผลิตไอน้ำได้ 7.6 ตัน/ชั่วโมง ของงานบริการผ้าโรงพยาบาลศิริราช คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งใช้น้ำมันเตาชนิดที่ 1 เป็นเชื้อเพลิง
3. ตัวแปรที่ศึกษาเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของอุปกรณ์ลดมลพิษคือ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ได้ประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536)
 - 3.1 ประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536)
 - 1.1.1 ฝุ่นละออง
 - 1.1.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO.)
 - 1.1.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂)
 - 1.1.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x.)
 - 3.2 ลักษณะทางด้านกายภาพ
 - 1.2.1 ความประหยัด
 - 1.2.2 ความแข็งแรง
 - 1.2.3 ความปลอดภัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การออกแบบ หมายถึง การกำหนดรูปแบบขนาด รูปร่าง และส่วนประกอบของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
2. การสร้าง หมายถึง การจัดทำโครงสร้างและนำอุปกรณ์ที่ได้จากการออกแบบมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำให้สามารถทำงานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด
3. เครื่องกำเนิดไอน้ำ หรือหม้อไอน้ำ (Boiler) หมายถึง ภาชนะปิดที่ใช้ผลิตไอน้ำที่มีความดันสูงกว่าบรรยากาศ โดยใช้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ประเภทน้ำมันเตาชนิดที่ 1
4. มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง สภาวะที่บรรยากาศกลางแจ้งมีสิ่งเจือปน
 - 4.1 ไอเสีย (Fume) หมายถึง อนุภาคที่เกิดจากการกลั่นตัว หรือปฏิกิริยาเคมี มีขนาด 0.1 – 1.0 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้
 - 4.2 ฝุ่นละออง (Dusts) หมายถึง อนุภาคของแข็ง (Solid Particles) เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเป็นระยะเวลาหนึ่ง
 - 4.3 คาร์บอนมอนนอกไซด์ หมายถึง ก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรส เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน เบากว่าอากาศเพียงเล็กน้อยและละลายน้ำได้บ้าง
 - 4.4 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หมายถึง ก๊าซไม่มีสีแต่มีรสที่ระคายเคืองความเข้มข้นสูงมากพอจะมีกลิ่นฉุนระคายจมูก ทำให้เกิดปฏิกิริยามีผลเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และกรดกำมะถันในที่สุด
 - 4.5 ออกไซด์ของไนโตรเจน หมายถึง ก๊าซไม่มีสีและกลิ่นเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิง
5. ประสิทธิภาพ หมายถึง การลดฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x) ให้ได้ตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536)
 - 5.1 ฝุ่นละออง ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 - 5.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 870 ส่วนในล้านส่วน
 - 5.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศไม่เกิน 1,250 ส่วนในล้านส่วน
 - 5.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศไม่เกิน 470 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 250 ส่วนในล้านส่วน
6. ลักษณะทางกายภาพ
 - 6.1 ความประหยัด หมายถึง ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าประเภทอื่น และคุณภาพของอุปกรณ์ลดฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x) จากก๊าซไอเสียได้ตามต้องการ
 - 6.2 ความแข็งแรง หมายถึง มีความคงทนต่อสภาวะต่าง ๆ ที่นำไปใช้งานและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานในสภาพการทำงานนั้น ๆ
 - 6.3 ความปลอดภัย หมายถึง ไม่มีอันตรายในทุกขั้นตอนในการใช้งาน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมติฐานในการวิจัย

อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ มีประสิทธิภาพสามารถลดฝุ่นละอองคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x) ตามที่มาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) กำหนดไว้ ทำการทดสอบตรวจวัดตั้งแต่ขณะที่เครื่องเริ่มต้นทำงาน (Start) ในระบบ Automatic

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เครื่องกำเนิดไอน้ำ
2. มลพิษที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ
3. การควบคุมและลดมลพิษทางอากาศ
4. การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคมลสาร
5. ประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคมลสาร
6. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องกำเนิดไอน้ำ

เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “หม้อไอน้ำ” คือภาชนะที่บรรจุน้ำแล้วให้ความร้อนกับน้ำนั้น น้ำในภาชนะจะมีอุณหภูมิสูงและมีความดันสูง เมื่อเดือดกลายเป็นไอน้ำแล้วนำไอน้ำนั้นมาใช้งานได้ จุดเริ่มต้นของหม้อไอน้ำตามหลักฐานที่ปรากฏเริ่มขึ้นเมื่อ 130 ปีก่อน คริสต์ศักราช คือหม้อไอน้ำของฮิโร นักคณิตศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ต่อมาก็มีหม้อไอน้ำของแบลงเคอร์ นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี แต่หม้อไอน้ำที่มีลักษณะใช้งานได้คือหม้อไอน้ำต้นแบบของปาปิน นักฟิสิกส์ชาวเยอรมนี หม้อไอน้ำแบบของปาปินเป็นเพียงต้นแบบที่จะนำไปพัฒนาและหม้อไอน้ำที่ใช้งานได้จริงเป็นของชะเบรี ซึ่งสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1698 แต่ประสิทธิภาพยังต่ำมาก ต่อมานิวคอมแมน ช่างเหล็กชาวอังกฤษสร้างหม้อไอน้ำและเครื่องจักรไอน้ำที่มีประสิทธิภาพดีกว่าของชะเบรี และในที่สุด ปี ค.ศ. 1765 เจมส์ วัตต์ ได้สร้างเครื่องจักรไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาใช้งานได้ เจมส์ วัตต์ จึงได้ชื่อว่าเป็นบิดาแห่งเครื่องจักรไอน้ำ (วิวัฒน์ ภัททิยธนี. 2544 : 159)

สำหรับโครงสร้างหม้อไอน้ำที่เริ่มตั้งแต่ดั้งเดิมคือ เป็นหม้อที่มีฝาปิดแล้วได้พัฒนาเปลี่ยนแปลงเป็นแบบต่าง ๆ จากหม้อไอน้ำหัวทรงกลมที่สร้างได้ง่ายมาเป็นแบบประหยัดเชื้อเพลิงโดยการเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น แล้วพัฒนามาเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟทรงกระบอก (Flue – Tube Boiler) ของคอร์นิชและแลงคาสเชียร์ ต่อมาพัฒนาจนเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อไฟเล็กจำนวนมาก (Fire Tube Boiler) ซึ่งก็คือการเอาท่อไฟทรงกระบอกที่มีขนาดใหญ่ (Flue Tube) มาแบ่งเป็นท่อไฟเล็ก ๆ จำนวนมากนั่นเอง และในทางตรงกันข้ามหม้อไอน้ำได้พัฒนาเป็นแบบท่อน้ำอีกหลายแบบ (Water Tube Boiler)

1.1 การแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1.1.1 หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ (Fire Tube Boiler) มีหลักการทำงานคือ เมื่อก๊าซร้อนไหลผ่านท่อไฟและรอบ ๆ ท่อไฟภายนอกมีน้ำหล่อเลี้ยง ความร้อนจากก๊าซร้อนจะถ่ายเทให้กับน้ำทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำไปใช้งานได้ โดยปกติหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟมีขนาดเล็ก ใช้งานที่ความดันไม่เกิน 20 บาร์ มีความสามารถในการผลิตไอน้ำได้ไม่เกิน 10 ตันต่อชั่วโมง ไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำแบบนี้จะเป็นไอน้ำอิ่มตัวเท่านั้น หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟแบ่งตามลักษณะโครงสร้างออกเป็น 2 แบบคือ หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟที่ห้องเผาไหม้อยู่ภายนอก

หม้อไอน้ำ และหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟที่มีห้องเผาไหม้อยู่ภายในหม้อไอน้ำ
 วิทยาลัย 2522 : 96) ดังภาพประกอบ 1

(ชัยสวัสดิ์ เทียน

ภาพประกอบ 1 หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ (วิวัฒน์ ภัททิยธนี.2544 : 165)

หม้อไอน้ำเป็นชุดสำเร็จรูป (Packaged Boiler) นอกจากหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟแบบต่าง ๆ หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟที่ทันสมัยในปัจจุบันนิยมสร้างเป็นแบบหม้อไอน้ำสำเร็จรูป และมีการออกแบบให้ก๊าซร้อนไหลวนเวียนภายในหม้อไอน้ำหลายกลับ ทำให้ก๊าซร้อนไหลวนเวียนได้นานขึ้น ซึ่งจะได้ความร้อนจากก๊าซมากเป็นการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำได้มาก การไหลของก๊าซร้อนหลายกลับที่นิยมสร้างกันไม่เกินจำนวน 4 กลับ ถ้ามากกว่านี้จะทำให้ ประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่ดีมีการสูญเสียความร้อนมาก ดังภาพประกอบ 2

ภาพประกอบ 2 แสดงการไหลวนของก๊าซร้อนในหม้อไอน้ำ (วิวัฒน์ ภัททิยธนี.2544 : 191)

1.1.2 หม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ (Water Tube Boiler) มีหลักการทำงานคือ บ่อน้ำเข้าไปในท่อขนาดเล็กที่จัดเรียงเป็นมัดหรือชุด จัดวางชุดท่อให้สัมผัสกับความร้อนจากเปลวไฟ หรือผนังห้องเผาไหม้ และฟลูแกสให้มากที่สุด เริ่มตั้งแต่ชุดท่อน้ำเดือดที่ฝังในผนังห้องเผาไหม้ (Primary Evaporator) ชุดท่อที่ฝังอยู่ในแผ่นจับสแลก (Boiler Screen หรือ Slag Screen) ชุดท่อที่ทำไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheater) ชุดท่อน้ำเดือดหรือหม้อไอน้ำ (Secondary Evaporator) ชุดท่อน้ำอุ่น (Economizer) ตามลำดับ และสุดท้ายไหลผ่านชุดท่อน้ำอุ่นอากาศ (Air Heater) ก่อนออกทางปล่องไฟ หรือผ่านเครื่องกำจัดฝุ่นต่อไป โดยให้ฟลูแกสไหลผ่านแทรกระหว่างช่องว่างของท่อเล็ก ๆ และระหว่างชุดท่อ ในแนวตั้งฉากกับความยาวท่อ (ยกเว้นชุดอุ่นอากาศ)

ภาพประกอบ 3 หม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ (วิวัฒน์ ภัททิยธนี.2544 : 165)

1.1 อุปกรณ์ประกอบของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เครื่องกำเนิดไอน้ำทุกแบบจะต้องประกอบด้วยโครงสร้างของหม้อไอน้ำ และอุปกรณ์ประกอบเพื่อความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

1.1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1.2.1.1 เปลือกหม้อไอน้ำ หมายถึง เปลือกเหล็กภายในหม้อไอน้ำที่ภายในบรรจุน้ำและไอน้ำที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ และไม่ได้หมายรวมถึงอิฐหรือฉนวนความร้อนที่หุ้มหม้อไอน้ำ เปลือกหม้อไอน้ำเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดที่ต้องรับความร้อนจากเชื้อเพลิงและความดันจากไอน้ำ เปลือกหม้อไอน้ำต้องได้รับการออกแบบและสร้างไว้อย่างแข็งแรง โดยปกติเปลือกหม้อไอน้ำมักจะทำด้วยเหล็กกล้าหรือเหล็กหล่อ แต่ที่

ทำด้วยเหล็กหล่อจะมีขนาดเล็ก ส่วนเปลือกหม้อไอน้ำที่ทำด้วยเหล็กกล้ามักจะมีขนาดใหญ่ และปกติจะใช้เหล็กแผ่นที่มีความหนาเท่ากันตลอดมาทำ หม้อไอน้ำขนาดเล็กจะทนความดันได้สูงกว่าหม้อไอน้ำที่มีขนาดใหญ่

1.2.1.2 ผืนหน้าและผืนหลังหม้อไอน้ำ คือ ส่วนที่ปิดหัวท้ายของเปลือกหม้อไอน้ำ ผืนหม้อไอน้ำมีทั้งที่ทำเป็นแผ่นเรียบและแผ่นโค้งผืนหม้อไอน้ำแบบแผ่นโค้งสามารถรับความดันไอน้ำได้ดี แต่ไม่เหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำที่ต้องเจาะรูเพื่อใส่ท่อไฟ

ผืนหม้อไอน้ำแบบแผ่นเรียบทำได้ง่ายกว่า เหมาะสำหรับเป็นผืนที่ต้องเจาะรูเพื่อใส่ท่อไฟ แต่ผืนแผ่นเรียบไม่ค่อยจะแข็งแรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเหล็กยึดโยงหรือสแตย์เพื่อเสริมความแข็งแรงของผืนและเปลือกหม้อไอน้ำ

ผืนหม้อไอน้ำส่วนใหญ่จะทำเป็นรอยโค้งที่ขอบเพื่อต่อกับเปลือกหม้อไอน้ำ ตรงแนวโค้งนี้จะเป็นจุดอ่อนของหม้อไอน้ำโดยมีโอกาสสึกกร่อนเป็นแนวยาวได้ง่าย และเคยเกิดอุบัติเหตุหม้อไอน้ำระเบิดตรงตำแหน่งนี้มามากแล้ว จึงควรระวังตรงจุดนี้ให้มาก

1.2.1.3 เหล็กยึดโยงหรือสแตย์ ความดันภายในหม้อไอน้ำพยายามดันให้หม้อไอน้ำบวมออก แต่เปลือกหม้อไอน้ำก็พยายามคงรูปเดิมไว้ ถ้าความดันภายในหม้อไอน้ำมากกว่าก็จะเกิดการบวมหรือระเบิดได้ ดังนั้นในการสร้างและออกแบบหม้อไอน้ำจึงต้องคำนึงถึงจุดนี้ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นเรียบจะต้องมีเหล็กยึดโยงหรือสแตย์ยึดเอาไว้ให้หม้อไอน้ำคงอยู่ในสภาพเดิมตลอดเวลาเมื่อได้รับความดัน

1.2.1.4 ส่วนที่เก็บน้ำ (Water Space) คือส่วนของหม้อไอน้ำที่เก็บน้ำไว้ในหม้อไอน้ำ หม้อไอน้ำที่มีส่วนที่เก็บน้ำน้อยจะผลิตไอน้ำออกมาใช้งานได้เร็วแต่โอกาสที่น้ำในหม้อไอน้ำแห้ง ก็มีมาก ส่วนหม้อไอน้ำที่มีส่วนที่เก็บน้ำมากจะผลิตไอน้ำออกมาใช้งานได้ช้า

1.2.1.5 ส่วนที่เก็บไอน้ำ (Steam Drum) คือ ส่วนที่สะสมไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ ส่วนที่เก็บไอน้ำปกติจะเป็นโดมอยู่ส่วนบนสุดของหม้อไอน้ำ และมีระยะห่างจากผิวหน้าในหม้อไอน้ำมากพอที่การเดือดของน้ำจะไม่สามารถดันฟองหรือน้ำ (Carry Over) ออกไปตามท่อไอน้ำที่จะนำไปใช้งาน และโดมไอน้ำมักมีแผ่นกั้นหรืออุปกรณ์แยกน้ำจากไอน้ำ ทั้งนี้เพื่อให้ไอน้ำอึดตัวออกไปใช้งานหรือเพื่อให้ไอน้ำอึดตัวก่อนเข้าอุปกรณ์ต่อไป

1.2.1.6 มาตรฐานความดัน ที่ตัวหม้อไอน้ำจะต้องติดตั้งมาตรฐานความดันซึ่งแสดงค่าความดันที่ถูกต้องเสมอ โดยทั่ว ๆ ไป มาตรฐานความดันนิยมใช้แบบโบรตัน

1.2.1.7 มาตรฐานความดันลม ใช้วัดความดันลมในเตา ในทางไฟหรือทางก๊าซร้อนและในปล่องควัน เนื่องจากบริเวณที่ต้องการวัดความดันนั้นมีความดันต่ำ ไม่สูงมากพอที่จะใช้มาตรวัดแบบโบรตัน ดังนั้นมาตรวัดความดันในบริเวณ ดังกล่าวนี้นิยมใช้ในรูปของความสูงของลำน้ำในหลอดแก้ว โดยใช้หลอดแก้วตัดเป็นรูป U มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 – 10 มิลลิเมตร ภายในหลอดแก้วบรรจุของเหลวปริมาณมากพอเหมาะที่ปลายข้างหนึ่งต่อกับท่ออย่างเพื่อที่จะใช้ต่อเข้ากับจุดที่ต้องการวัด

1.2.1.8 มาตรฐานปริมาณการไหล ใช้สำหรับวัดปริมาณการไหลของไอน้ำ ปริมาณน้ำดิบที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นต้น

1.2.1.9 มาตรฐานระดับน้ำ ระดับน้ำในหม้อไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่เสมอทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตไอน้ำและปริมาณการใช้ไอน้ำ ดังนั้นบนตัวหม้อไอน้ำจึงต้องติดตั้งมาตรวัดระดับน้ำที่

เหมาะสมเพื่อตรวจสอบและรักษาระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเสมอ ตามกำหนดของกฎกระทรวงเกี่ยวกับการใช้หม้อไอน้ำและอุปกรณ์ความดันทุกชนิด จะต้องมีการวัดระดับแบบแกว่งอย่างน้อย 2 ชุด ทั้งนี้ยกเว้นหม้อไอน้ำขนาดเล็กที่ไม่มีมาตรวัดระดับน้ำเพียงชุดเดียว

1.2.1.10 ลิ้นนิรภัยมีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น โปโลและเซฟตี้วาล์ว ลิ้นนิรภัยเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของหม้อไอน้ำ มีหน้าที่ป้องกันการระเบิดของหม้อไอน้ำเนื่องจากความดันเกินปกติลิ้นนิรภัยจะระบายไอน้ำออกในกรณีที่มีความดันมากเกินไป การระบายไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำทำให้หม้อไอน้ำมีความดันลดลงหม้อไอน้ำจะปลอดภัยต่อการใช้งาน

1.2.1.11 ปลั๊กหลอมละลายมีชื่อเรียกทั่ว ๆ ไปว่า สะดือหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับหม้อไอน้ำบางแบบ สะดือหม้อไอน้ำนี้ทำหน้าที่คล้ายกันกับลิ้นนิรภัยคือ เป็นตัวควบคุมและป้องกันอุบัติเหตุจากการระเบิดของหม้อไอน้ำเนื่องจากน้ำในหม้อไอน้ำแห้ง สะดือหม้อไอน้ำมีลักษณะเป็นสกรู โดยตรงกลางของสกรูจะเป็นเทเปอร์ แล้วใส่ด้วยสารหรือโลหะที่มีจุดหลอมละลายต่ำกว่าเหล็กมาก ในกรณีที่น้ำในหม้อไอน้ำแห้งแห้งด้วยเหตุอันใดก็ตาม โลหะที่บรรจุอยู่กลางสกรูของสะดือหม้อไอน้ำจะหลอมละลายก่อน และจะเปิดให้น้ำหรือความดันในหม้อไอน้ำลดลงเป็นการป้องกันการระเบิดของหม้อไอน้ำ

1.2.1.12 ชุดควบคุมระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำ อุปกรณ์ชุดนี้ทำหน้าที่ควบคุมการป้อนน้ำเลี้ยงเข้าสู่หม้อไอน้ำ ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำให้คงที่เสมอ โดยเหตุที่เมื่อหม้อไอน้ำทำงานน้ำภายในหม้อไอน้ำจะกลายเป็นไอน้ำแล้วถูกนำไปใช้งานทำให้ระดับน้ำในหม้อไอน้ำลดลง ชุดควบคุมระดับน้ำจะเป็นตัวสั่งให้ปั๊มน้ำเลี้ยงทำงานเพื่อป้อนน้ำเลี้ยงเข้าสู่หม้อไอน้ำ

1.2.1.13 ลิ้นปล่อยน้ำกันหม้อไอน้ำ (Blowoffs of Blowdown Valve) เป็นลิ้นที่ทำหน้าที่ปล่อยสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำออกทางด้านล่างหม้อไอน้ำ ลิ้นตัวนี้มีความจำเป็นที่หม้อไอน้ำที่ทันสมัยทุกชุดต้องมี ทั้งนี้เพราะว่าน้ำภายในหม้อไอน้ำไม่ใช่บริสุทธิ์ จะมีสารแขวนลอยที่ไม่ละลายน้ำหลายชนิดผสมอยู่ด้วย เมื่อใช้หม้อไอน้ำเป็นเวลานานไอน้ำที่ระเหยจากน้ำนำไปใช้งาน แต่สารแขวนลอยไม่ได้ระเหยออกไปด้วย ยังคงตกค้างในหม้อไอน้ำ เมื่อนาน ๆ เข้าจะเกิดการสะสมทำให้สารแขวนลอยเข้มข้นขึ้นและจะอยู่ตรงบริเวณส่วนล่างของหม้อไอน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระบายออกเป็นครั้งคราวตามที่กำหนด มิฉะนั้นสารแขวนลอยเหล่านี้จะจับผิวหรือท่อของหม้อไอน้ำสะสมหนาขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งก็จะเกิดตะกรัน และตะกรันนี้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำมากขึ้น

1.2.1.14 ปั๊มน้ำเลี้ยง มีหน้าที่ปั๊มน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ ในกรณีที่ระดับน้ำในหม้อไอน้ำลดระดับลง ชุดควบคุมระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำ จะเป็นตัวสั่งการให้ปั๊มน้ำเลี้ยงทำงานเพื่อป้อนน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ และเมื่อมีระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำพอเพียงแล้ว ชุดควบคุมระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำจะสั่งการให้ปั๊มน้ำเลี้ยงหยุดทำงาน แต่การทำงานของปั๊มอาจจะใช้ผู้ควบคุมหม้อไอน้ำเป็นผู้ทำการปั๊มด้วยมือก็ได้ ปั๊มน้ำเลี้ยงที่นิยมใช้มี 3 แบบ คือ ปั๊มแบบแรงเหวี่ยง ปั๊มแบบโรตารี ปั๊มแบบสูบชัก

1.2.1.15 ไฟ (Photo Cell) เป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ควบคุมการลุกไหม้ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ไฟจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณแสงไฟจากเปลวไฟในห้องเผาไหม้ เมื่อไฟจุดน้ำมันเชื้อเพลิงติดก็จะส่งสัญญาณไปเปิดโซลีนอยด์วาล์วของเชื้อเพลิงให้พ่นเชื้อเพลิงผ่านหัวฉีด ทำให้ไฟลุกไหม้ต่อไปได้ วัสดุที่ใช้ทำไฟเป็นสารที่มีความไวแสงมาก เมื่อมีแสงมากกระทบก็จะลดความต้านทานไฟฟ้าในตัววัสดุที่ใช้

ทำดาไฟนั้นลง และยอมให้กระแสไฟไหลผ่านได้มากขึ้น สัญญาณหรือกระแสที่ไหลผ่านมากขึ้นนี้จะถูกขยายด้วยชุดขยายสัญญาณให้มีการสะสมพอที่จะนำไปใช้ควบคุมชุดโซลินอยด์วาล์วเพื่อให้เปิดทางเชื้อเพลิงไหลผ่านไปยังหัวฉีด

1.2.1.16 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) คือ ลิ้นที่ควบคุมการปิดเปิดด้วยไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2,3,4, และ 5 ช่องทาง แต่ส่วนมากที่นิยมใช้งานอยู่กับระบบหม้อไอน้ำมักจะเป็น 2 หรือ 3 ช่องทางเท่านั้น ลิ้นประเภทนี้จะปิดหรือเปิดก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากชุดควบคุมอื่น เช่น เทอร์โมสตัทหรืออุปกรณ์ควบคุมความดัน หรือจากสัญญาณอื่น ๆ แล้วแต่ลักษณะการใช้งาน ลิ้นนี้จะปิดหรือเปิดเพื่อให้ของไหลผ่านไปตามช่องทางที่ต้องการ การเรียกชื่อลิ้นชนิดนี้แบ่งประเภทตามงานที่ใช้ เช่น ใช้กับก๊าซจะเรียกว่า ก๊าซโซลินอยด์ ใช้กับน้ำมันเรียกว่า โซลินอยด์น้ำมัน เป็นต้น

1.2.1.17 ลิ้นควบคุมชนิดต่าง ๆ ลิ้นควบคุมที่ใช้กับหม้อไอน้ำมีหลายชนิด ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสมกับงานที่ใช้ซึ่งแบ่งออกหลายชนิดดังนี้

1. โกลบวาล์ว (Globe Valve) ลิ้นแบบนี้เหมาะสำหรับใช้งานในลักษณะการปิดเปิดอย่างช้า ๆ ลิ้นชนิดนี้มีความเสียตายนสูง ส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นลิ้นจ่ายไอน้ำ

2. ปลั๊กวาล์ว (Plug Valve) เหมาะสำหรับใช้กับงานที่ต้องการปิดเปิดเร็ว เพราะลิ้นหมุนเพียง 1/4 รอบ ก็เปิดกว้างสุดแล้ว ลิ้นชนิดนี้มีความเสียตายนต่ำ มักใช้เป็นลิ้นในชุดหล่อดักแ้วแสดงระดับน้ำ และใช้เป็นลิ้นถ่ายน้ำทิ้งในหล่อดักแ้วระดับน้ำ

3. เกทวาล์ว (Gate Valve) เหมาะสำหรับใช้กับงานที่ต้องการปิดเปิดไม่เร็วเกินไป ทิศทางการไหลของของไหลจะผ่านตรงไปเลย ทำให้มีความเสียตายนต่ำ

4. บอลวาล์ว (Ball Valve) เหมาะสำหรับใช้กับงานที่ต้องการปิดเปิดเร็วโดยหมุนเพียง 1/4 รอบก็จะเปิดกว้างสุด การทำงานคล้ายกับปลั๊กวาล์วมาก แต่มีความเสียตายนต่ำกว่าปลั๊กวาล์ว มักจะใช้เป็นลิ้นถ่ายน้ำและลิ้นสำหรับท่อน้ำดิบเข้าหม้อไอน้ำ

5. เช็ควาล์วหรือลิ้นกั้นกลับ (Check Valve) ลิ้นกั้นกลับจะยอมให้ของไหลไหลไปได้ทางเดียวจะไม่ยอมให้มีการไหลย้อนกลับทาง โดยทั่วไปจะติดตั้งอยู่ที่ท่อน้ำดิบที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และอาจจะติดตั้งที่ท่อจ่ายไอน้ำกรณีที่โรงงานใช้หม้อไอน้ำตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป และติดตั้งที่ท่อรวมไอน้ำ ลิ้นกั้นกลับมีหลายแบบ เช่น แบบสวิงเหมาะสำหรับติดตั้งในแนวตั้งแบบลูกสูบเหมาะสำหรับติดตั้งในแนวนอน

6. ลิ้นลดความดัน (Pressure Reducing Valve) จะทำหน้าที่ลดความดันของไอน้ำที่หม้อไอน้ำจ่ายออกมาให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการใช้ การควบคุมความดันจะทำงานโดยอัตโนมัติ เช่น โรงงานที่หม้อไอน้ำผลิตไอน้ำด้วยความดัน 20 บาร์ แต่มีเครื่องจักรที่ต้องการใช้ไอน้ำที่มีความดันเพียง 5 บาร์กับ 15 บาร์ ถ้าเครื่องจักรทั้งสองทำงานโดยไม่มีลิ้นลดความดัน เครื่องจักรจะชำรุดเสียหายได้

1.2.2 อุปกรณ์ที่มีปัจจัยส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศ

1.2.2.1 เตา (Furnace) คือส่วนที่ร้อนที่สุดที่เชื้อเพลิงเผาไหม้เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้กับน้ำ ทำให้น้ำร้อนขึ้นจนกลายเป็นไอน้ำนั้นนำไปใช้งานได้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาจะเกิดความร้อน และมีอุณหภูมิสูงถึง 1,700 องศาเซลเซียส ซึ่งนับว่ามีอุณหภูมิสูงมาก เตาหม้อไอน้ำส่วนใหญ่จึงก่อด้วยอิฐทนไฟที่มีความหนาพอและไม่รั่ว ส่วนหลังเตาหรือส่วนหน้าเตาจะต่อกับปล่องควันหรือ

ปล่องไอเสียหม้อไอน้ำที่ใช้กับกิจการขนาดเล็กหรือขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เพราะน้ำมันเตามีราคาถูกที่สุด น้ำมันเตาเป็นน้ำมันหนัก มีความหนืดสูง ที่อุณหภูมิปกติจะไหลยาก ดังนั้นจึงต้องอุ่นน้ำมันเตาให้ร้อนก่อนซึ่งจะทำให้น้ำมันเตาไหลและไหลง่ายขึ้น การป้อนน้ำมันเตาเข้าสู่หม้อไอน้ำใช้วิธีการฉีดเข้าไปด้วยความดันสูง

12

1.2.2.2 ท่อไฟใหญ่หรือฟลู (Flue) คือ ท่อนำก๊าซร้อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 127 มิลลิเมตร ก๊าซร้อนที่ไหลผ่านท่อไฟใหญ่นี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส

1.2.2.3 ท่อไฟเล็กหรือหลอดไฟเล็ก คือ ท่อที่ให้ก๊าซร้อนไหลผ่าน ท่อไฟเล็กจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 127 มิลลิเมตร ก๊าซความร้อนไหลผ่านท่อไฟเล็กจะมีอุณหภูมิไม่เกิน 450 องศาเซลเซียส ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า ถ้าเกิดระดับน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่าตำแหน่งท่อไฟเล็ก ท่อนี้จะไม่ละลายเพราะอุณหภูมิที่เหล็กจะหลอมละลายมีสูงถึงประมาณ 1,370 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ไหลผ่านท่อไฟเล็กไม่สามารถทำให้เหล็กหลอมละลายได้ แต่เนื่องจากไม่มีน้ำหล่อเลี้ยงท่อไฟเล็ก ดังนั้นความร้อนจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านท่อไฟเล็กจะทำให้ไอน้ำ บริเวณนั้นเป็นไอร้อนยวดยิ่งซึ่งร้อนกว่าไอน้ำตัวปกติที่อุณหภูมิเดียวกัน

1.2.2.4 ชูตหัวพ่นไฟ (Burner) ที่ใช้ในหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พ่นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันหรือก๊าซ

1.2.2.5 บัมพ์น้ำมันเชื้อเพลิงใช้ในการบัมพ์เชื้อเพลิงจากถังพักเชื้อเพลิงให้มีความดันสูง แล้วฉีดเป็นฝอยโดยหัวฉีด ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้ง่ายและสมบูรณ์

1.2.2.6 หัวฉีดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นฝอย ทั้งนี้เพื่อให้เชื้อเพลิงรวมกับอากาศได้ดี ซึ่งจะทำให้การเผาไหม้เป็นไปโดยสมบูรณ์ ลักษณะของน้ำมันเชื้อเพลิงที่พ่นออกจากหัวฉีดมีหลายลักษณะ แต่ลักษณะที่สำคัญคือมุมของกรวยละอองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดจะมีมุมตั้งแต่ 30°, 45°, 60°, 80°, 90° และ 120° การเลือกมุมของกรวยน้ำมันที่พ่นโดยหัวฉีดจะขึ้นอยู่กับความโตและความยาวของห้องเผาไหม้เป็นเกณฑ์ ถ้ามุมกรวยน้ำมันเล็ก ห้องเผาไหม้จะยาว และถ้ามุมกรวยน้ำมันโต ห้องเผาไหม้จะโตแต่สั้น มิฉะนั้นแล้วเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้จะไม่เหมาะสมกับห้องเผาไหม้

ลักษณะของกรวยน้ำมันที่พ่นผ่านหัวฉีดแบ่งเป็น 3 ลักษณะ (ดังภาพประกอบ 4) คือ

1. แบบกรวยกลวง
2. แบบกรวยตัน
3. แบบระหว่างกรวยกลวงและกรวยตัน

ภาพประกอบ 4 รูปร่างกรวยน้ำมันที่พ่นออกจากหัวฉีดทั้ง 3 แบบ (วิวัฒน์ ภัททิยธนี.2544 : 288)

1.2.2.7 หัวเทียนทำหน้าที่เกิดประกายไฟเมื่อมีกระแสไฟฟ้าแรงสูงไหลผ่านจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่ง โดยจะเกิดประกายไฟแรงสูงที่ปลายเขี้ยวหัวเทียน และเมื่อก๊าซหรือน้ำมันเชื้อเพลิงพุ่งผ่านประกายไฟแรงสูงนี้จะทำให้เกิดการลุกไหม้ การตั้งเขี้ยวหัวเทียนนั้นสำคัญมากส่วนปลายเขี้ยวหัวเทียนจะห่างกันตั้งแต่ $1/8 - 1/4$ นิ้ว ดังภาพประกอบ 5

13

ภาพประกอบ 5 ระยะที่เหมาะสมสำหรับหัวเทียน (วิวัฒน์ ภัททิยธนี.2544 : 229)

ตาราง 1 แสดงระยะที่เหมาะสมสำหรับหัวเทียน

มุมกรวยน้ำมัน (องศา)	A (นิ้ว)	B (นิ้ว)	C (นิ้ว)
45	1/8-3/16	1/2	1/4
60	1/8-3/16	5/8	1/4
70	1/8-3/16	5/8	1/8
80	1/8-3/16	5/8	1/8
90	1/8-3/16	5/8	1/8
120	1/8-3/16	5/8	1/8

1.2.2.8 บีบอัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ (Blower) ส่วนใหญ่จะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และในกรณีของหม้อไอน้ำขนาดเล็กหรือขนาดกลาง แกนของมอเตอร์มักจะต่อร่วมกับแกนของปั๊มเชื้อเพลิง ส่วนหม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะแยกจากกันโดยใช้มอเตอร์ของแต่ละชุด บีบอัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้จะทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง และจะเกิดการลุกไหม้ในห้องเผาไหม้หรือเตา ถ้าบีบอัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้อยู่ก่อนห้องเผาไหม้คือ อัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้จะเรียกว่า บีบอัด (Forced Draft) ถ้าอยู่หลังห้องเผาไหม้จะเรียกว่า บีบดูด (Natural Draft หรือ Induced Draft) และส่วนใหญ่แล้วหม้อไอน้ำสมัยใหม่มักนิยมใช้บีบแบบอัด

1.2.2.9 ชุดมอเตอร์เร่ง – หรือเชื้อเพลิงและอากาศ (Modulator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเร่งหรือหรือเชื้อเพลิงและอากาศที่บีบอัดเข้าห้องเผาไหม้ ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์มักจะเป็นแบบหมุนไปกลับได้ การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ส่วนใหญ่จะควบคุมด้วยชุดควบคุมอัตโนมัติ แต่จะใช้บังคับด้วยมือก็ได้

1.3 เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เชื้อเพลิงให้พลังงานออกมาเมื่อเผาไหม้ คือ เปลี่ยนจากพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานความร้อน ความหมายของคำว่าเชื้อเพลิงคือ สารซึ่งเมื่อเผาไหม้(เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน)กับอากาศหรือออกซิเจนแล้ว ให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่สูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเกิดการเผาไหม้อยู่ในระดับที่ควบคุมได้ ในความหมายกว้าง ๆ เชื้อเพลิงเป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน หรือสารประกอบที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้(ออกซิเดชัน)แล้วได้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในธรรมชาติได้พิภพ หรือ เชื้อเพลิงได้พิภพ หรือเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil Fuels) ได้แก่ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงต้นกำเนิดเหล่านี้

เชื้อเพลิงจากได้พิภพอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้ความร้อนปริมาณมหาศาลออกมาเมื่อเกิดปฏิกิริยา แต่ต้องเป็นปฏิกิริยาจากการแตกสลาย หรือการหลอมรวมตัวภายในนิวเคลียสของอะตอมคือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น ปฏิกิริยาธาตุยูเรเนียม (Uranium) หรือทอเรียม (Thorium) เป็นต้น 14

เชื้อเพลิงจากธรรมชาติอีกกลุ่มหนึ่งได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์มนุษย์ และชุมชนเมือง รวมเรียกว่า เชื้อเพลิงจากชีวมวล (Biomass Fuels) ได้แก่ ไม้ฟืน แกลบ ชานอ้อย มูลสัตว์ ขยะ กากอุตสาหกรรมบางประเภท และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นธาตุหลัก เชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงที่มนุษย์ใช้กันมาแต่ดั้งเดิม ปัจจุบันยังคงมีความสำคัญอยู่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพภูมิศาสตร์ วัฒนธรรมชุมชน และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

เชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรม คือเชื้อเพลิงจากได้พิภพหรือเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ และเชื้อเพลิงจากชีวมวล ตลอดจนผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงต้นกำเนิดเหล่านี้ (กัญญา บุญเกียรติ 2542 :2)

1.3.1 การจำแนกเชื้อเพลิง อาจจำแนกได้ตามสถานะ ได้แก่ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ หรือจำแนกตามกระบวนการที่ผลิตขึ้น หรือจำแนกตามคุณค่า (ค่าความร้อน) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. 3.1.1 เชื้อเพลิงแข็ง

เชื้อเพลิงแข็ง ถึงแม้จะหาง่ายและมีราคาถูก แต่เชื้อเพลิงดังกล่าวต้องการเนื้อที่ในการเผาไหม้มาก ทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องใช้ห้องเผาไหม้ขนาดใหญ่ นอกจากนี้ องค์ประกอบยังมีเถ้าหรือกากในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการกักตุนของผงหม้อไอน้ำและเขม่าควัน ในการใช้เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงจะถูกบดเป็นก้อนเล็ก ๆ ก่อนถูกป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้ เพื่อให้อัตราการเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วและการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนเป็นไปอย่างทั่วถึง เชื้อเพลิงแข็งที่สำคัญมีดังนี้

1. ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยการทับถมของซากไม้และพืชภายใต้ความกดดันและอุณหภูมิใต้ผิวโลก ถ่านหินสามารถถูกจำแนกได้หลายประเภทตามระยะเวลาที่ถูกทับถมและตามองค์ประกอบที่มีอยู่ในระยะต้น ๆ ถ่านหินที่ได้จะอยู่ในรูปของพีท ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไอน้ำและเถ้าค่อนข้างสูง ต่อมาจะเป็นลิกไนท์ บิทูมินัส เซมิแอนทราไซต์ และแอนทราไซต์ ตามลำดับ เชื้อเพลิงดังกล่าวจะมี

ปริมาณของคาร์บอนอยู่ระหว่าง ร้อยละ 30 – ร้อยละ 80 และค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 20,000 – 30,000 กิโลจูล/กิโลกรัม ถ่านหินที่ขุดได้ในประเทศมีเฉพาะลิกไนท์เท่านั้น

2. ถ่านโค้ก เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาถ่านหินบิทูมินัสในที่มีอากาศน้อยมาก (คาร์บอนไนเซชัน) เพื่อลดปริมาณไอระเหยและเถ้า และเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอน ค่าความร้อนของโค้กประมาณ 28,000 กิโลจูล/กิโลกรัม ถ่านโค้กส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการถลุงแร่ หรือใช้ในอุปกรณ์ให้ความร้อนขนาดเล็ก ๆ

3. ถ่าน เป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากไม้โดยขบวนการคาร์บอนไนเซชัน ค่าความร้อนประมาณ 30,000 กิโลจูล/กิโลกรัม ถ่านจะใช้แทนถ่านโค้กในประเทศที่มีไม้มาก

นอกจากเชื้อเพลิงดังกล่าวแล้ว ยังมีวัตถุดิบชนิดซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้วัตถุเหล่านี้ถึงแม้ว่าจะหาได้ในราคาถูกก็ตาม เพราะส่วนใหญ่เป็นวัตถุเหลือใช้ในการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย ชีเลื้อย ชังข้าวโพด แต่เนื่องจากมีเถ้าในปริมาณที่สูงมาก และการสันดาปเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์จึงนิยมใช้อยู่ในเฉพาะพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกมาก ๆ เท่านั้น

1.3.1.2 เชื้อเพลิงเหลวมีหลายชนิดดังนี้

15

1. น้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ
2. หินน้ำมัน
3. น้ำมันถ่านหิน

เชื้อเพลิงเหลวส่วนใหญ่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบ สำหรับหินน้ำมันถึงแม้ว่าจะมีปริมาณมากในส่วนต่าง ๆ ของโลก แต่ขบวนการสกัดเอาน้ำมันออกมาใช้ ตลอดจนการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงชนิดนี้ยังอยู่ในขั้นการค้นคว้า คาดว่าในอนาคตหินน้ำมันจะเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่สำคัญมากแหล่งหนึ่ง สำหรับน้ำมันถ่านหินส่วนมากจะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ใกล้ ๆ เหมืองถ่านหิน

เนื่องจากเชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ในหม้อไอน้ำภายในประเทศขณะนี้ เป็นน้ำมันที่ได้จากน้ำมันดิบ ดังนั้นจะศึกษาเฉพาะเชื้อเพลิงน้ำมันปิโตรเลียม (น้ำมันดิบ)

องค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันปิโตรเลียม คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งรวมตัวกันทางเคมีในรูปของไฮโดรคาร์บอน วิธีรวมตัวมีหลายแบบซึ่งทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นน้ำมันดิบที่เจาะได้ตามแหล่งต่าง ๆ จึงถูกแบ่งตามชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบและตาม

กากที่เหลือหลังจากนำสารพวกไอระเหยออกไปแล้วดังต่อไปนี้

1. พาราฟิน เบส ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดพาราฟินิก (Paraffinics) เป็นส่วนมาก ซึ่งหลังจากขบวนการกลั่นแล้วกากเหลือเป็นพวกซีฟี่พาราฟิน (Paraffins) และให้น้ำมันหล่อลื่นคุณภาพสูง
2. แอสฟัลติก เบส ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดเนพทรานิก (Neptanics) เป็นส่วนมาก หลังจากผ่านการกลั่นแล้วจะทำให้กากเหลือในรูปของยางมะตอย
3. เบสผสม ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดรวมกัน เช่น ชนิดพาราฟินิก แอโรแมติก (Paraffinic Aromatics) และกากเหลือพวกโอลีฟินิก (Olefinics) ที่ได้จะเป็นของผสมระหว่างซีฟี่พาราฟินและแอสฟัลท์ ส่วนใหญ่ของน้ำมันดิบจะเป็นประเภทเบสผสม

น้ำมันดิบ เมื่อนำมาผ่านขบวนการกลั่น สามารถแยกเป็นก๊าซธรรมชาติ ก๊าซ LPG น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันเตา และยางมะตอย สำหรับหม้อไอน้ำ โดยทั่วไปจะใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเตา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

น้ำมันดีเซล แบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ 2 ชนิด ตามความเร็วของเครื่องยนต์ที่เราจะนำเอาเชื้อเพลิงชนิดนี้ไปใช้

1. น้ำมันโซล่าหรือดีเซลรอบช้า เป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับใช้กับเครื่องยนต์รอบเร็ว เช่น รถบรรทุก รถบัส และในหม้อไอน้ำ จุดเดือดอยู่ระหว่าง 180 องศาเซลเซียส – 360 องศาเซลเซียส. มีกำมะถันประกอบไม่เกิน ร้อยละ 1 (ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2523)
2. น้ำมันซีโลล์หรือดีเซลรอบช้า เหมาะสำหรับนำมาใช้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่มีความเร็วต่ำ เช่น เรือขนาดใหญ่ รถไฟดีเซล หม้อน้ำสำหรับโรงจักรไอน้ำขนาดใหญ่ เป็นต้น

น้ำมันเตาแบ่งออกได้ 5 เกรด (ASTM) ตามกรรมวิธีการผลิตและตามคุณสมบัติในการเผาไหม้ ดังตาราง 2

น้ำมันเตาชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 เป็นน้ำมันที่ได้จากการกลั่น สำหรับน้ำมันชนิดที่ 1 จะหนักกว่าน้ำมันก๊าดเล็กน้อย และจะถูกนำมาใช้สำหรับอุปกรณ์ให้ความร้อนภายในครอบครัวเป็นส่วนใหญ่ ส่วนน้ำมันชนิดที่ 2 หรือบางครั้งเรียกว่า ก๊าซออยล์นั้น จะถูกกลั่นตามน้ำมันชนิดที่ 1 แต่จะแยกชั้นสูงอยู่ทางด้านล่างและสามารถนำไปใช้ผลิตน้ำมันเบนซินได้

น้ำมันเตาชนิดที่ 5 และ ชนิดที่ 6 เป็นกากเหลือของน้ำมันเตา ซึ่งได้จากส่วนที่เหลือของน้ำมันดิบหลังจากน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่ได้กลั่นมาข้างต้นได้ถูกกลั่นออกมาหมดแล้ว น้ำมันชนิดนี้มีสีดำขุ่นมีกำมะถันและเก๊าปนอยู่ในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ แต่เนื่องจากราคาถูกจึงนิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

น้ำมันเตาชนิดที่ 4 ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันที่ได้จากการผสมน้ำมัน ชนิดที่ 2 และชนิดที่ 6 เข้าด้วยกัน โดยมีน้ำมันชนิดที่ 2 ประมาณ ร้อยละ 75 – ร้อยละ 80 ใช้สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็ก

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเตา

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงมีบทบาทสำคัญในการออกแบบอุปกรณ์เผาไหม้ คุณสมบัติที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. ค่าความร้อนหรือค่าแคลอรีฟิค จะเป็นตัวบอกปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สามารถหาได้โดยใส่เชื้อเพลิงเข้าไปในเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) แล้วตัดออกซิเจนลงไปภายใต้ความกดดัน หลังจากจุดไฟโดยลวดไฟฟ้าให้เชื้อเพลิงเผาไหม้กับออกซิเจน วัดอุณหภูมิของน้ำที่แช่อยู่ ล้อมรอบปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ มวล 1 หน่วยของเชื้อเพลิง นั่นคือ แคลอรีฟิค
2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เป็นคุณสมบัติที่ใช้วัดความหนัก หรือความเบาของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับของน้ำ กล่าวคือ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่ } 17^{\circ}\text{C}(60^{\circ}\text{F})}{\text{น้ำหนักรของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับน้ำมันที่ } 17^{\circ}\text{C}(60^{\circ}\text{F})}$$

3. ความหนืด เป็นการวัดความคล่องตัวในการไหลของน้ำมัน โดยการวัดเวลา(วินาที)ที่ให้ปริมาณของน้ำมันจำนวนหนึ่ง ๓ อุณหภูมิที่กำหนดไว้ ไหลผ่านออริฟิค ขนาดมาตรฐานของอุปกรณ์วัด หน่วยของความหนืดจะมีชื่อตามViscometerที่ใช้วัด เช่น Saybolt (Universal,Furol) และ Redwood ค่าความหนืดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความถ่วงจำเพาะ ดังภาพประกอบ 6 กล่าวคือถ้าอุณหภูมิหรือ API Gravity มีค่าต่ำ ความหนืดจะมีค่าสูงหรือน้ำมันมีความหนืดมาก ดังนั้นการที่ทราบค่าความหนืด จึงทำให้สามารถคำนวณขนาดของปั๊มที่จะใช้ส่งน้ำมันและออกแบบหัวเผาและห้องเผาไหม้ ให้มีประสิทธิภาพได้

ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของน้ำมันเตากับอุณหภูมิ
(กัญจนา บุญเกียรติ .2542 : 133)

4. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (Flash and Fire Points) เมื่อน้ำมันถูกทำให้ร้อนขึ้นจะกลายเป็นไอ และถ้าหากจุดไฟจะเกิดเปลวไฟแลบขึ้น อุณหภูมิของน้ำมันที่จุดไฟติดนี้เรียกว่า จุดวาบไฟถ้ายังคงให้ความร้อนเพิ่มขึ้นต่อไป ปริมาณไอน้ำมันระเหยจะมีมากพอที่จะทำให้การติดไฟเป็นไปอย่างต่อเนื่องหรือที่เรียกว่า เกิดการเผาไหม้ขึ้น อุณหภูมินี้เรียกว่าจุดติดไฟ ซึ่งมีความจำเป็นต้องทราบค่าของอุณหภูมิทั้งสอง เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายเนื่องจากเกิดติดไฟในเมื่อยังไม่ถึงเวลาที่ต้องการ น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 33 องศาเซลเซียส ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่อันตรายในทางตรงข้ามถ้ามีจุดวาบไฟและจุดติดไฟสูงเกินไป จะทำให้เกิดติดไฟยาก ในอุปกรณ์การเผาไหม้
5. จุดไหลเท (Pour Point) เป็นจุดที่ใช้วัดความสามารถของน้ำมันที่จะไหลได้ที่สภาวะมาตรฐานที่กำหนดไว้ คุณสมบัติชนิดนี้ของน้ำมันมีความเกี่ยวข้องกับค่าความหนืดเพราะนิยมใช้เป็นจุดวัดที่ว่า ถ้าอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำก่อนจะส่งน้ำมันไปตามท่อ จะต้องให้ความร้อนแก่น้ำมันเป็นจำนวนเท่าใด จึงจะป้องกันไม่ให้น้ำมันอุดตันอยู่ในท่อได้

19

ตาราง 3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงเหลว (กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2532 : 74)

Selected analyses and relative cost of fuel oils					
Grade of Fuel Oil	No.1	No.2	No.4	No.5	No.6
Weight,percent					
Sulfur	0.1	0.3	0.8	1.0	2.3
Hydrogen	13.8	12.5	-	-	9.7

Carbon	86.1	87.2	-	-	85.6
Nitrogen	-	0.02	-	-	
Oxygen	Nil	Nil	-	-	2.0
Ash	Nil	Nil	0.03	0.03	0.12
Gravity					
Deg API	42	32	20	19	-
Specific	0.185	0.865	0.934	0.940	-
Lb per gal	6.79	7.21	7.78	7.83	-
Four point,F	-35	-5	+20	+30	-
Viscosity					
Centistokes					
@ 100F	1.8	2.4	27.5	130	-
SUS @ 100F	-34	130	-	-	
SSF @ 122F	- -	-	30	-	
Water & sediment,vol %	Nil	Nil	0.2	0.3	0.74
Heating value					
Btu per lb, gross	19,810	19,430	18,860	18,760	18,300*
Relative cost per Btu	118	100	76	60	51

*Bomb calorimeter determination

1.3.1.3 เชื้อเพลิงก๊าซ

ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงที่อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือไอก็ได้ ก๊าซได้มาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ จากน้ำมันดิบ และจากหลุมก๊าซธรรมชาติ ก๊าซจะประกอบด้วย มีเทน (CH_4) อีเทน (C_2H_6) โพรเพน (C_3H_8) บิวเทน (C_4H_{10}) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น ก๊าซที่ใช้กับหม้อไอน้ำมี 2 อย่าง คือ

1. ก๊าซธรรมชาติ จะมีส่วนประกอบพวก มีเทน ประมาณร้อยละ 80 – ร้อยละ 90 และอีเทน ประมาณร้อยละ 5 – ร้อยละ 15 นอกจากนั้นเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ

6. ก๊าซแอล.พี.จี (L.P.G) จะมีส่วนประกอบพวกโพรเพนและบิวเทนเป็นส่วนใหญ่เหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือนหรือใช้อุปกรณ์การเผาไหม้ที่มีขนาดเล็ก ปัจจุบันนิยมใช้ในรถยนต์

ตาราง 5 ประเภท, คุณสมบัติและการใช้งานของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน กิโลแคลอรี/	การใช้งาน
เชื้อเพลิงแข็ง		
ถ่านหิน	4,500 – 7,500	หม้อไอน้ำ วัตถุประสงค์ ครัวเรือน อุตสาหกรรม
ลิกไนท์	3,000 – 5,000	หม้อไอน้ำ ครัวเรือน
ถ่านโค้ก	6,000 – 7,000	ผลิตเหล็ก อุตสาหกรรม
ถ่านไม้	6,700 – 7,500	ครัวเรือน
ฟืน	3,000 – 4,000	ครัวเรือน
ขานอ้อย	2,600	หม้อไอน้ำ
แกลบ	3,400	หม้อไอน้ำ
เชื้อเพลิงเหลว		
น้ำมันเบนซิน	10,000 –	เครื่องยนต์แก๊สโซลีน
น้ำมันปิโตรเลียม,	11,500	อุตสาหกรรม, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
น้ำมันดิบ	10,000 –	หุงต้ม, เครื่องไอน้ำ
น้ำมันก๊าด	10,500	อุตสาหกรรม, เครื่องยนต์ดีเซล, หม้อไอน้ำ
น้ำมันดีเซล	10,500 –	หม้อไอน้ำ, เครื่องยนต์ดีเซล, อุตสาหกรรม
น้ำมันเตา	11,000	

แหล่งเชื้อเพลิงสำคัญของโลกในปัจจุบันคือแหล่งเชื้อเพลิงใต้พิภพซึ่งหมายถึงน้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน รวมทั้งหินน้ำมัน ทราชน้ำมัน และแหล่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มประเทศที่ใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากที่สุดตามลำดับ คือกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แต่ก็ได้มีการ

ประมาณการว่า กลุ่มประเทศตะวันออกจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเร็วที่สุด ส่วนประเทศที่มีแหล่งเชื้อเพลิงใหญ่ที่สุด ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ตัวเลขปริมาณสำรองและประมาณการการบริโภคเชื้อเพลิงเหล่านี้ที่แสดงในเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ แตกต่างกันไปและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเนื่องจากการค้นพบแหล่งสำรองเพิ่มเติม และเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้น ตลอดจนสมมติฐานที่ใช้แตกต่างกัน (กัญญา บุญเกียรติ 2542 : 2)

ในการเผาไหม้บางอย่าง นอกจากจะมีก๊าซต่าง ๆ แล้วยังมีอนุภาคของแข็ง (Solid Particles) เกิดขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็น เชม่า หรือซีเถ้า มีน้ำหนักน้อย สามารถลอยขึ้นปะปนไปในอากาศ หรืออาจจะปลิวฟุ้งกระจายไปกับอากาศได้ชั่วระยะหนึ่งเรียกว่า Fly Ashes (ณรงค์ ณ เชียงใหม่.2531 : 96)

จากเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงพบว่า สารและก๊าซที่เป็นสาเหตุที่ทำให้อากาศสกปรกน้อยที่สุด แต่ถ้าหากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเตา ก็จะทำให้เกิดก๊าซ $\text{SO}_2, \text{SO}_3, \text{CO}, \text{CO}_2$ และได้ไอน้ำสำหรับพวก Solid Particle ก็อาจจะเกิดขึ้นได้เช่นกัน เช่นถ้าหากเรามีอากาศเข้าไปช่วยในการเผาไหม้ในเตาให้มากขึ้น แต่กลับทำให้อุณหภูมิ (Temperature Zone) ลดลงจะเป็นสาเหตุให้เกิดควัน และเชมามากขึ้น นอกจากนี้ถ้าหากเครื่องที่สำหรับปรับการผสม ระหว่างก๊าซและอากาศไม่ดี หรือไม่ได้อัตราส่วนผสม ที่จะไม่สัมพันธ์กับการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ในกรณีเช่นนี้ จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดก๊าซต่าง ๆ และอนุภาคของแข็ง ซึ่งจะทำให้อากาศเกิดการสกปรกขึ้นได้

เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ส่วนมากเป็นพวกน้ำมันเตาเกรดต่าง ๆ ในโมเลกุลของน้ำมันนี้ มักจะมีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งน้ำมันแต่ละชนิดมีจำนวนเปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์แตกต่างกันไป เมื่อเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขึ้น อาจเนื่องมาจากการปรับแต่งไม่ดีพอ จะเกิดก๊าซ SO_2 , Organic Gas และพวกอนุภาคของแข็งออกมาปะปนกับอากาศทำให้อากาศเกิดสกปรกได้อีกเช่นกัน

ส่วนการใช้เชื้อเพลิงแข็งอาจเป็นพวกไม้ ถ่านหิน ถ่านไม้ Antrocite, Bagasse และ Lingnite ซึ่งการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันไป สิ่งที่จะทำให้อากาศสกปรกคือ ควัน Dust, Ash, SO_3 , ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้

1.4 ระบบการเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้ที่ดีหรือการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ การเผาไหม้ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และผลที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ปริมาณของเชื้อเพลิงและออกซิเจนที่ใช้จะต้องได้อัตราส่วนที่พอเหมาะ ในการที่จะทราบว่าการเผาไหม้นั้นเป็นไปอย่างสมบูรณ์มากน้อยเพียงใดหรือไม่จำเป็นต้องใช้สมการเคมีเพื่อศึกษาถึงลักษณะของปฏิกิริยา ที่เกิดขึ้น ในสมการดังกล่าวทางด้านซ้ายมือจะเขียนเชื้อเพลิงและออกซิเจนรีแอคแตนต์ (Reactants) ไว้ ทางด้านขวามือจะเป็นผลิตภัณฑ์ (Products) ที่ได้ (คู่มือการควบคุมหม้อไอน้ำ 2532 : 77)

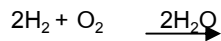
เนื่องจากส่วนประกอบสำคัญของเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H_2) หรือ ไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) จะศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อสารดังกล่าวทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

พิจารณาการเผาไหม้ระหว่าง C กับ O_2



ซึ่งหมายความว่า 1 โมเลกุลของ C ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับ 1 โมเลกุลของ O_2 แล้วให้ 1 โมเลกุลของ CO_2

ในทำนองเดียวกันสำหรับการเผาไหม้ระหว่าง H_2 กับ O_2 สมการที่ได้



2 โมเลกุล 1 โมเลกุล 2 โมเลกุล

2 (2kg) 32 kg, 2(18 kg)

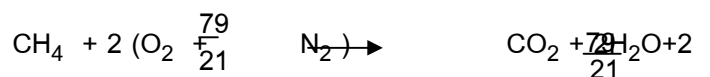
1.4.1 การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

ในอุปกรณ์เผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วน ๆ เพราะสิ้นเปลือง จะใช้อากาศซึ่งสามารถหาได้ในราคาถูก ในกรณีนี้ก่อนที่จะเขียนสมการเคมีได้ จำเป็นจะต้องทราบส่วนประกอบของอากาศว่ามีอะไรบ้าง

โดยน้ำหนักอากาศประกอบด้วย O_2 ร้อยละ 23 ไนโตรเจน ร้อยละ 77

โดยปริมาตรอากาศประกอบด้วย O_2 ร้อยละ 21 ไนโตรเจน ร้อยละ 79

ดังนั้นถ้าเราเผาไหม้ร่วมกับอากาศได้ 1 จะได้ดังสมการ



' 16 kg ' 2 (32 $\frac{79}{21}$ x 28) kg. 44kg 2(18kg) 2 ($\frac{79}{21}$ x 28) kg

1.4.2 อุปกรณ์การเผาไหม้

อุปกรณ์ที่ใช้ในขบวนการเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้และปริมาณของความร้อนที่ต้องการจากการเผาไหม้ ในการออกแบบอุปกรณ์ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีดังนี้

1. การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต้องเป็นไปอย่างทั่วถึง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
2. เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ต้องมีพอเพียง เพื่อที่จะไม่ให้มีเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้เสียออกไปจากห้องเผาไหม้ได้
3. ระหว่างเผาไหม้ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต้องสูงพอที่จะให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องกัน

ใน 3 ข้อข้างต้นนี้ ข้อ 3 สามารถถูกทำให้บรรลุผลได้ง่ายที่สุด เช่น โดยการปรับปริมาณและความเร็วของเชื้อเพลิงและอากาศที่ใช้เพื่อให้อุณหภูมิของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้สูงกว่าจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หรือโดยการจุดหัวเทียนไฟฟ้าตลอดเวลาที่มีการเผาไหม้ สำหรับข้อ 1 และข้อ 2 นั้น จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เผาไหม้ ในกรณีที่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตาหรือน้ำมันโซล่า อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดคือ หัวฉีด ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นฝอยเล็ก ๆ เพื่อจะได้พ่นเข้าไปผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ ขนาดของฝอยน้ำมันยิ่งเล็กลงเท่าใดก็จะใช้เวลาในการเผาไหม้ในห้องน้อยลงเท่านั้น ดังนั้นประโยชน์ของการทำให้น้ำมันเป็นฝอย นอกจากจะช่วยให้เกิดการผสมที่ดีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศแล้ว ยังทำให้สามารถใช้ห้องเผาไหม้ขนาดเล็กลงด้วย

1.4.2.1 หัวฉีด ที่ใช้ในห้องเผาไหม้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

หัวฉีดแบบไชล์มหรือไอน้ำสเปรย์ให้เป็นฝอย ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 7

ภาพประกอบ 7 หัวฉีดแบบใช้ลมหรือไอน้ำสเปรย์ให้เป็นฝอย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2532 : 79)

หัวฉีดแบบนี้บางครั้งเรียกว่า หัวฉีดแบบบลาสท์ (Blast Burner) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามความดันของของไหลที่ใช้ในการเป่ากระแทกให้น้ำมันเป็นฝอย ของไหลดังกล่าวอาจจะเป็นอากาศหรือไอน้ำก็ได้ หลักการทำงานของหัวฉีดทั้ง 3 ประเภทคล้ายคลึงกันคือ น้ำมันไหลผ่านในท่อขนาดเล็ก ซึ่งวางซ่อนอยู่ทางด้านในของท่อใหญ่ อากาศหรือไอน้ำภายใต้ความกดดันสูงไหลผ่านท่อด้านนอกที่ปลายท่อทั้งสอง น้ำมันและอากาศ(หรือไอน้ำ) จะถูกเป่ากระแทกกัน น้ำมันจะกลายเป็นฝอยเล็ก ๆ หัวฉีดทั้ง 3 ประเภทมีดังนี้

1. หัวฉีดแบบความดันต่ำ (Low-Pressure Burner) ใช้อากาศความดันประมาณ 1.08 bar ปริมาณของอากาศที่เป่ากระแทกเท่ากับ ร้อยละ 25 – ร้อยละ 40 ของอากาศที่ต้องการใช้เพื่อทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง
2. หัวฉีดแบบความดันปานกลาง (Medium Pressure Burner) ใช้อากาศความดันระหว่าง 1.25 – 2.0 bar ในการเป่ากระแทก ปริมาณที่ใช้ระหว่าง ร้อยละ 3 – ร้อยละ 5 ของอากาศทั้งหมดที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ ส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับเตาถลุงโลหะ
3. หัวฉีดแบบความดันสูง (High Pressure Burner) ความดันของอากาศที่ใช้ประมาณ 2.00 – 4.45 bar ปริมาณของอากาศที่ใช้จะคล้ายคลึงกับ 2

25

1.4.2.2 หัวฉีดแบบใช้ความดันของน้ำมันสเปรย์ให้เป็นฝอย มีลักษณะดังภาพประกอบ 8

ภาพประกอบ 8 หัวฉีดแบบใช้ความดันของน้ำมันสเปรย์ให้เป็นฝอย (Oil Pressure Burner)
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2532 : 80)

หัวฉีดแบบนี้บางครั้งเรียกว่าหัวฉีดแบบเจท (Fressure Jet Burner) เหมาะที่จะใช้สำหรับหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ เช่น ในเรือเดินสมุทรและในโรงจักรไฟฟ้า หัวฉีดชนิดนี้ทำงานโดยการบีมน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้ความดันสูง (70 – 300 psi) และความหนืดที่ต่ำประมาณ 50 –120 sec Redwood No.1 (ส่วนใหญ่จะต้องอุ่นน้ำมันให้ร้อนเพื่อลดความหนืดก่อนที่จะป้อนเข้าหัวฉีด) ผ่านไปยังรูเล็ก ๆ เพื่อที่จะให้ได้ผลดี น้ำมันจะถูกอัดผ่านช่องทางเล็ก ๆ ใน Swirl Chamber ซึ่งจะทำให้ฝอยน้ำมันที่ออกมา มีความเร็วทั้งที่พุ่งไปข้างหน้าและความเร็วหมุนรอบตัว (Rotational Velocity) การผสมกันระหว่างน้ำมันกับอากาศจะยิ่งดีขึ้น หัวฉีดแบบนี้ใช้งานสะดวก เพราะสามารถปรับความดันและอัตราการไหลของน้ำมันได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ รูของหัวฉีดจะมีฝุ่นผงหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ไปอุดตันบ่อย ทำให้ต้องทำความสะอาดบ่อย และจำเป็นต้องติดตั้งไส้กรองน้ำมันด้วย

1.4.2.3 หัวฉีดแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสเปรย์ให้เป็นฝอย มีลักษณะดังภาพประกอบ 9

ภาพประกอบ 9 หัวฉีดแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Rotary Cup)
(กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2532 : 81)

หัวฉีดแบบนี้บางครั้งเรียกว่า หัวฉีดแบบถ้วยหมุน (Rotary Cup Burner) การทำงานน้ำมันถูกป้อนทางขอบด้านในของกรวยที่กำลังหมุนรอบแกนด้วยแรงหนีศูนย์กลาง น้ำมันจะถูกเหวี่ยงไปอยู่ด้านริมกรวย และจะหลุดออกจากปลายกรวยในขณะที่อากาศก็เป่ามาพอดีทำให้น้ำมันที่ออกมาเป็นฝอยเล็ก ๆ หัวฉีดแบบนี้เหมาะที่จะใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดสูงได้

1.4.2.4 การควบคุมดูแลการเผาไหม้

การควบคุมดูแลการเผาไหม้ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ไอเสีย เช่น Orsat Apparatus และ Gas Chromatography หรือใช้วิธีการสังเกตดูสถานะของการเผาไหม้ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เป็นสิ่งจำเป็นและได้ผลแน่นอน แต่ในทางปฏิบัติแล้วอาจจะหาเครื่องมือไม่ได้ ดังนั้นการสังเกตดูเปลวไฟในห้องเผาไหม้จึงเป็นหนทางที่ช่วยให้สามารถค้นหาสถานะการเผาไหม้ที่ผิดปกติได้รวดเร็ว ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องเรียนรู้วิธีการสังเกตเปลวไฟ ดังตาราง 6

ตาราง 6 สีของเปลวไฟจากการเผาน้ำมันกับปริมาณอากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2532 : 82)

ปริมาณอากาศ	สภาวะภายในเตาเผา (สีของเปลวไฟ)	สีของควัน
ปริมาณพอดี	เปลวไฟมีสีแสดงและรูปร่างอยู่ตัวมองเห็นส่วนลึกของเตาเผาได้ล่าง ๆ	สีเทาอ่อนหรือไม่มีสี
มากเกินไป	เปลวไฟสีขาวสว่างจ้า และภายในเตาเผาสว่าง	สีขาวหรือไม่มีสี
ไม่พอ	ภายในเตาเผาทั้งหมดมีสีแดงคล้ำ	ควันดำ

27

2. มลพิษที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ

มลพิษที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาวะที่อากาศมีสิ่งปนเปื้อนเจือปนอยู่ในปริมาณมากทำให้คุณภาพของอากาศตามธรรมชาติเปลี่ยนแปลง และเสื่อมโทรมลง ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น มนุษย์ สัตว์ และพืช และทำให้เกิดผลเสียหลายต่อทรัพย์สิน สิ่งแปลกปลอมที่เจือปนในอากาศเหล่านี้ ได้แก่ ก๊าซชนิดต่าง ๆ ฝุ่นละออง เขม่าควัน สารพิษ และสารกัมมันตภาพรังสีต่าง ๆ เป็นต้น (เกรียงศักดิ์ อุทุมสินโรจน์ 2537 : 328) สำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เมื่อมีการเผาไหม้มักพบปัญหาต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าปรับแต่งไม่ดีการเผาไหม้เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ปัญหายิ่งทวีความรุนแรงขึ้นปัญหาต่าง ๆ ได้แก่

1. ปัญหาเกี่ยวกับเขม่า ควัน และก้อนถ่านโค้กสะสมอยู่ในเตา การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิง ถ้ามีอากาศไม่เพียงพอ คาร์บอนบางตัวในเชื้อเพลิงจะไปสิ้นสุดลงในลักษณะเขม่าคาร์บอน ถ้าคาร์บอนแตกตัวออกเป็นละอองละเอียดมาก เรียกว่าควัน แต่ถ้าละอองใหญ่พอที่จะเกาะตามหลอดหม้อน้ำ ตามผิวภายในปล่อง หรือปลิวออกจากปล่องตกลงบนหลังคาโรงงาน เสื้อผ้าที่ตากไว้หรือหลังคาารถที่จอดไว้ เราเรียกว่าเขม่า แม้ว่าจะป้อนอากาศเข้าเผาไหม้เพียงพอก็อาจมีควันและเขม่าได้ ถ้าการผสมของเมล็ดฟอยน้ำมันและอากาศไม่ดีหรือไม่ทั่วถึงกัน หรือถ้าเปลวไฟเย็นลงเร็วเกินไปก่อนที่จะน้ำมันจะเผาไหม้หมด การใช้อิฐทนไฟผนังภายในเตา ก็เพื่อป้องกันมิให้เปลวไฟเย็นลงอย่างรวดเร็ว การใช้อากาศที่เกินมากเกินไปก็มีส่วนที่ทำให้เปลวไฟเย็นลงอย่างรวดเร็ว ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดเขม่าได้ เขม่าที่ออกจากปล่องตกบนหลังคาสังกะสี กระเบื้อง บนผ้า หลังคาารถ ซึ่งมีกรดกำมะถันเจือปนอยู่ทำความรบกวนให้กับบริเวณใกล้เคียงมาก มักจะพบเสมอ ๆ ว่า อยู่ ๆ ก็เกิดมีก้อนถ่านสะสมบริเวณหน้าขอบปากเตา พื้นหน้าเตา ด้านข้างเตา บนแผ่นกระจายลม ถ้าทิ้งไว้นาน ๆ จะสะสมเป็นก้อนโตลูกแดงในเตามองเห็นได้ชัดเจน อาจสะสมมากจนปิดบังหน้าเตา เกิดไฟติดกลับลุกไหม้อุปกรณ์หัวเผาเสียหายได้ เมื่อแคะก้อนถ่านนี้ออกมาดูจะมีลักษณะพรุน เบา ถ้าสะสมอยู่ไม่นานหรือแข็งหนักถ้าสะสมอยู่นาน(บริษัท เอสโซ่ แสตนด์ดาร์ดประเทศไทย จำกัด.2525 : 13)

2. กำมะถันในน้ำมันเตา ปริมาณกำมะถันในน้ำมันเตาขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบ และเกรดของน้ำมันเตา ซึ่งน้ำมันเตาเกรดที่ชั้นหนักที่สุด อาจมีกำมะถัน ร้อยละ 3 – ร้อยละ 5 เมื่อเผาไหม้จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อรวมกับน้ำ (ความชื้น) กลายเป็นกรดกำมะถันกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะได้ และกรดกำมะถันยังมีคุณสมบัติเชื่อมเกาะติดในการรวมตัวกับเขม่าคาร์บอนและเกาะอยู่ภายในปล่อง เมื่อมีไหลดเปลี่ยนแปลงจะปลิวออกมา นอกจากนี้ยังมีมลพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ พืช และทรัพย์สินอีก คือ

2.1 ฝุ่นละออง ประเภทที่เป็นของแข็งลอยอยู่ในอากาศเกิดจากควัน เหมม่า ขี้เถ้า ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบการหายใจและโดยเฉพาะต่อเนื้อเยื่อปอดส่วนละอองโลหะบางชนิดเช่น ตะกั่ว เหล็ก อลูมิเนียม เป็นอันตรายต่อมนุษย์ทั้งในระยะเวลานั้น และสะสมเป็นพิษในเวลานาน

2.2 ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จัดว่าเป็นก๊าซพิษที่ร้ายแรงเป็นมาตรฐานเจียบ เพราะเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ยากที่ประสาทสัมผัสจะรู้สึกได้เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของคาร์บอนในเชื้อเพลิงเช่นเดียวกันกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนใหญ่จะมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ก๊าซนี้สามารถรวมตัวกับฮีโมโกลบินได้ดี และเกิดสารประกอบที่เรียกว่า คาร์บอกซีฮีโมโกลบิน ทำให้เลือดรับออกซิเจนได้น้อยลง ปอดและหัวใจจึงต้องทำงานหนักเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ออกซิเจนในปริมาณที่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายต้องการ อาการที่ปรากฏในระยะแรกของผู้ที่ได้รับก๊าซนี้จะมีการคลื่นไส้ อาเจียน มึนงง ถ้าได้รับก๊าซนี้นาน ๆ ทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย ความจำเสื่อม เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน การได้ยิน การเห็นเสื่อมไป และถ้าได้รับมาก ๆ ก็ถึงขั้นเสียชีวิตได้ ในสภาพอากาศที่สะอาดจะมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ประมาณ 0.01 – 1.00 พีพีเอ็ม (มานะ กลัดเข็มเพชร 2539 : 22)

2.3 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เป็นก๊าซพิษไม่มีสี กลิ่นฉุน (ถ้ามีอยู่ในปริมาตรที่เกิน 3 พีพีเอ็ม) เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันและไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ ก๊าซนี้เมื่อได้รับความชื้นจะรวมตัวกับน้ำเป็นกรดกำมะถัน เรียกทั่วไปว่าฝนกรด ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ทางด้านนิเวศวิทยา สำหรับประเทศในยุโรปเป็นอันตรายต่อป่าไม้ อันตรายต่อเนื้อเยื่อ ทำให้โลหะผุกร่อน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้เกิดการระคายเคืองของทางเดินหายใจ ถ้ามีการสูดดมเข้าไปเสมอ ๆ จะทำให้เกิดหลอดลมอักเสบ ถ้ามีมากเกินไปจนอาจทำให้กลัมนเนื้อฝาดปิดกั้นเสียงเกิดอาการกระตุกหืดเกร็งปิดทางเดินลมหายใจ ทำให้ตายทันทีเหมือนถูกบีบคอ

2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เกิดจากการเผาไหม้จำพวกถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ โดยเฉพาะถ่านหินจะมีก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ปล่อยออกมามากที่สุด และเชื้อเพลิงที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจะทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งมีผลทำให้ระคายเคืองเกี่ยวกับเยื่อทางเดินหายใจ จมูกและตา ถ้าหายใจเข้าไปในปริมาณเท่ากับหรือมากกว่า 100 พีพีเอ็มภายในเวลา 2 – 3 นาทีก็จะเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

2.5 ไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบอินทรีย์ ระหว่างไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ไฮโดรคาร์บอนนี้จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจนและออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นก๊าซต่าง ๆ ทำให้เกิดเป็นหมอกควันที่ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อเยื่อทางเดินลมหายใจตา นอกจากนี้ยังมีผลในการทำลายคลอโรฟิลล์ของพืชและทำให้เนื้อเยื่อของใบตาย เป็นจุด ๆ จนถึงทั้งใบ ทำให้อาการสีซีดและโลหะผุกร่อน

3. การควบคุมและลดมลพิษทางอากาศ

การควบคุมที่ดีที่สุดก็คือ การป้องกันมิให้มีมลสารเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ดีเมื่อมลสารเกิดขึ้นมาแล้วก็จำเป็นต้องหาวิธีลดให้มีปริมาณน้อยลง จนไม่เป็นอันตรายหรือไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้น การควบคุมมลสารจากแหล่งเกิด โรงงานหรือแหล่งเกิดที่อยู่กับที่นี้อาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. การควบคุมมลสารโดยการเฝ้าจางในบรรยากาศ
2. การควบคุมมลสารที่แหล่งเกิด

3.1 การควบคุมโดยการเจือจางในบรรยากาศ

วิธีลดความเข้มข้นของมลสารโดยการเจือจางที่ทำกันอยู่ก็คือ การใช้ปล่องไฟ มลสารที่ออกจากปล่องไฟ จะถูกความปั่นป่วนของบรรยากาศทำให้กระจายออกและเจือจางลง ความเข้มข้นเหลือน้อยกว่าขีดที่เป็นอันตราย ก่อนถึงระดับพื้นดิน

3.2 การควบคุมมลสารที่แหล่งเกิด

วิธีควบคุมมลสารที่แหล่งเกิดในโรงงาน อาจแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

29

1. การดัดแปลงกระบวนการผลิตพื้นฐานเพื่อให้การทำงานสะอาดขึ้น
2. ใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าในกระบวนการสันดาป
3. ทำความสะอาดอากาศเสียที่เกิดขึ้นก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ การเลือกวิธีการควบคุมที่เหมาะสมของแต่ละปัญหานั้นขึ้นอยู่กับชนิดของมลสารที่เกิดขึ้น กระบวนการที่ทำให้เกิดมลสาร และระดับการควบคุมที่ต้องการ

มลสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการสันดาปอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

1. มลสารที่เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ เช่น ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอนุภาคที่ยังเผาไหม้ได้อีก
2. มลสารที่เกิดจากสิ่งเจือปนที่ติดมากับเชื้อเพลิง เช่น ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) (จากเชื้อเพลิงที่มี S,N)
3. ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่เกิดจากการใช้อากาศในปฏิกิริยาที่มีความร้อนสูง

มลสารชนิดที่ 1 และ 3 นั้น อาจทำให้หมดไปหรือลดลงได้โดยการดัดแปลงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และโดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา ส่วนมลสารชนิดที่ 2 อาจลดลงหรือทำให้หมดไปได้โดยใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดกว่า สำหรับการทำความสะอาดอากาศเสียนั้นใช้ควบคุมมลสารได้ทั้งสามชนิด

การควบคุมอนุภาคมลสาร (Particulates) ทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับธรรมชาติและคุณสมบัติของอนุภาคมลสารนั้น กลไกพื้นฐาน (Basic Mechanisms) ที่ใช้สำหรับกำจัดหรือแยกอนุภาคจากอากาศเสียพอที่จะรวบรวมได้ดังนี้คือ

1. การแยกโดยใช้แรงถ่วงของโลก
2. การแยกโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง
3. การกระแทกเนื่องด้วยแรงเฉื่อย
4. การรับโดยตรง
5. การฟุ้งแบบบราวเนียน
6. การฟุ้งปั่นป่วน
7. การตกตะกอนด้วยความร้อน
8. การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตย์
9. การตกตะกอนด้วยแม่เหล็ก
10. การรวมตัวแบบบราวเนียน

11. การรวมตัวด้วยเสียง

การควบคุมมลสารที่เป็นก๊าซอาจทำได้ 2 วิธี วิธีแรกใช้ของเหลวหรือของแข็งดูดก๊าซ การใช้ของเหลวดูดกลืนก๊าซทำได้โดยผ่านอากาศที่มีมลสารก๊าซอยู่เข้าไปในเครื่องมือที่ทำให้ก๊าซสัมผัสอย่างทั่วถึงกับสารละลายที่สามารถละลายมลสารของก๊าซนั้นได้ การดูดกลืนนี้เป็นวิธีการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากอากาศเสีย นอกจากใช้ของเหลวแล้วเราอาจใช้ของแข็งดูดซับมลสารก๊าซนั้นเช่น ให้ก๊าซผ่าน Activated Charcoal เพื่อกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนที่มีความเข้มข้นน้อย ๆ วิธีที่สองคือการทำให้ก๊าซเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นโดยการเผาไหม้หรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

3.3 การควบคุมอนุภาคมลสาร

การควบคุมอนุภาคมลสารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งเกิดที่อยู่กับที่ อาจทำได้โดยใช้เชื้อเพลิงที่ให้อนุภาคมลสารน้อย และการทำความสะอาดอากาศเสียเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

4. การออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคมลสาร

เครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคนี้มีหลายแบบแต่ที่ใช้กันมากคือ

1. ห้องตกตะกอนที่ใช้แรงถ่วงของโลก (Settling Chambers)
2. เครื่องแยกที่ใช้แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Separators)
3. เครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Scrubbers)
4. เครื่องกรอง (Filters)
5. เครื่องตกตะกอนที่ใช้ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitators)

4.1 ห้องตกตะกอน

ห้องตกตะกอนมีรูปร่างดังที่แสดงไว้ในภาพประกอบ 10 เมื่ออากาศเสียไหลผ่านห้องนี้ อนุภาคมลสารในอากาศจะตกลงสู่พื้นห้องโดยแรงถ่วงของโลก ความเร็วของอากาศที่ผ่านห้องตกตะกอนนั้นจะต้องต่ำพอที่จะไม่กว่นตะกอนที่ตกแล้วให้ฟุ้งขึ้นมาอีก การลดความเร็วของอากาศเข้าทำได้โดยขยายขนาดท่อเข้าห้องตกตะกอนออกให้ความเร็วอากาศลดลงต่ำพอ

ภาพประกอบ 10 ห้องตกตะกอน (Settling Chambers)(วงพันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ .2543 : 223)

ในทางปฏิบัติห้องตกตะกอนนี้เหมาะที่จะใช้แยกอนุภาคมลสารที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอน. เนื่องจากขีดจำกัดเกี่ยวกับความยาวของห้อง เพราะอนุภาคที่เล็กกว่า 50 ไมครอน. ประสิทธิภาพการแยกจะต่ำจึงต้องการห้องที่ยาวมาก ห้องตกตะกอนนี้เหมาะที่จะใช้เป็นตัวทำความสะอาดขั้นแรก (Precleaners) เพื่อแยกอนุภาคมลสารที่มีขนาดใหญ่ ๆ ก่อนที่จะผ่านกระแสดำอากาศเข้าเครื่องเก็บฝุ่นชนิดอื่นที่มีความละเอียดกว่าเพื่อลดการสึกกร่อน

4.2 เครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงศูนย์กลาง (Centrifugal Separators)

เครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงศูนย์กลางหรือไซโคลน (Cyclone) ใช้การหมุนของก๊าซทำให้เกิดแรงเหวี่ยงศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากก๊าซ การหมุนของก๊าซทำให้ฝุ่นเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉื่อยเข้าหาผนังของเครื่องแยกแล้วตกลงสู่ที่รับฝุ่นไซโคลนมีหลายแบบ แบ่งตามลักษณะของการหมุนและการทำให้เกิดการหมุนของก๊าซได้ดังนี้

1. ไซโคลนแบบไหลกลับ (Reverse – Flow Cyclones) มีทางเข้าแบบสัมผัส (Tangen – Tial Inlet) และทางเข้าตามแนวแกน (Axial Inlet)
2. ไซโคลนแบบไหลตรง (Straight – Through Flow Cyclones)
3. เครื่องเก็บที่ใช้ใบพัด (Impeller Collectors)

4.3 เครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียก (Scrubbers or Wet Collectors)

ในเครื่องเก็บแบบเปียกใช้ของเหลวซึ่งโดยปกติแล้วเป็นน้ำเป็นตัวจับอนุภาคหรือฝุ่นและเพิ่มขนาดของละอองไอ (Aerosols) ในกรณีทั้งสองนี้จะทำให้ขนาดมลสารเพิ่มขึ้นและช่วยให้การแยกมลสารจากกระแสดำอากาศง่ายขึ้น ของเหลวหรือน้ำจะถูกฉีดให้เป็นละอองเพื่อช่วยให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับน้ำดีขึ้น สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ ๆ จะมีการแยกที่เกิดจากแรงถ่วงของโลกบ้าง ส่วนอนุภาคเล็ก ๆ ก็จะมีการแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตหรือแรงที่เกิดจากความร้อนด้วย เครื่องเก็บแบบเปียกนี้สามารถแยกอนุภาคเล็ก ๆ ที่เป็นของแข็งและของเหลวที่มีขนาดระหว่าง 0.1 ไมครอน. ถึง 20 ไมครอน. ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้งเพราะอนุภาคเล็ก ๆ จะรวมตัวใหญ่ขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำและในขณะเดียวกันการฟุ้งกลับของตะกอน (Reentrainment) จะมีน้อยเพราะอนุภาคจะเปียกและถูกกักไว้ในชั้นของของเหลว

แบบของเครื่องสัมผัสแบบเปียก

เครื่องสัมผัสแบบเปียกมีหลายแบบ ภาพประกอบ 11 แสดงเครื่องสัมผัสแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป 4 แบบ คือ (ก) Spray Tower (ข) Cyclone Spray Tower (ค) Impingement Scrubber (ง) Venturi Scrubber ใน 4 แบบนี้ Spray Tower เป็นแบบที่ง่ายที่สุดในเครื่องสัมผัสแบบนี้ น้ำจะถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดเป็นฝอยเพื่อให้ น้ำสัมผัส

กับอนุภาคที่ติดมากับก๊าซได้ดี ทิศทางการไหลของน้ำและก๊าซอาจเป็นแบบทวนกระแส (Counter - Current) ตามกระแส (Cocurrent) หรือตัดกระแส (Cross Flow) การไหลแบบทวนกระแสเป็นแบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

ภาพประกอบ 11 เครื่องเก็บแบบเปียก (Scrubbers or Wet Collectors)
(เกษม ไชยญา.2538 : 26)

33

4.4 เครื่องกรองใย (Fabric Filters)

เครื่องกรองใยที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมมักจะอยู่ในรูป Baghouse นี้จะมีถุงจำนวนหนึ่งแขวนอยู่ ก๊าซที่มีอนุภาคปะปนจะถูกบังคับให้ไหลผ่านถุงเหล่านั้น อนุภาคก็จะถูกเส้นใยและชั้นอนุภาคที่เกิดขึ้นกักไว้ จากนั้นอนุภาคที่ติดอยู่กับถุงจะถูกแยกออกจากถุงโดยวิธีต่าง ๆ ดังภาพประกอบ 12

ภาพประกอบ 12 แบบของ Baghouse และวิธีการแยกอนุภาคจากไยกรอง
(เกษม ไชยญา.2538 : 33)

4.5 เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators)

เครื่องตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้าสถิตปกติแล้ว ใช้ทำความสะอาดก๊าซที่มีปริมาตรการไหลสูง เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตนี้ใช้มากในการแยกขี้เถ้าจากก๊าซที่ปล่อยออกมาจากโรงจักรไฟฟ้าและใช้เก็บอนุภาคละอองกรดในอุตสาหกรรมสารเคมีและโลหะ ขั้นตอนในการแยกอนุภาคออกจากกระแสก๊าซโดยใช้ไฟฟ้าสถิตพอแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การเพิ่มประจุให้อนุภาค
2. การเก็บอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบนผิวเก็บที่มีศักย์ (Potential) เท่ากับพื้นดิน
4. การแยกอนุภาคที่ทับถมบนผิวเก็บ (Collecting Electrode)

34

5. ประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้แยกอนุภาคมลสาร

5.1 การเลือกเครื่องมือการเก็บอนุภาคมลสาร ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้คือ

1. ประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราที่ยอมให้ปล่อยอนุภาคมลสารออกสู่บรรยากาศ
2. คุณสมบัติของก๊าซที่อนุภาคมลสารอยู่ เช่น ชนิด อัตราการไหล อุณหภูมิ เป็นต้น
3. คุณสมบัติของอนุภาคมลสาร เช่น ลักษณะ ความเข้มข้น การกระจายขนาดและน้ำหนัก เป็นต้น
4. การทำงาน การก่อสร้าง และราคาของเครื่องมือ นั้น ๆ

ขั้นแรกของการเลือกระบบควบคุมอนุภาคที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของอนุภาคมลสารในกระแสก๊าซ (Gas Stream) ที่ต้องการทำความสะอาด
2. การกระจายขนาดของอนุภาคมลสารที่ต้องการแยกออก
3. อัตราการไหลของก๊าซ
4. อัตราที่ยอมให้ปล่อยอนุภาคมลสารออกสู่บรรยากาศ

จากข้อมูลนี้ทำให้สามารถเลือกระบบต่าง ๆ ที่สามารถแยกอนุภาคมลสารได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการที่อัตราไหลของก๊าซที่กำหนดให้ ขั้นสุดท้ายก็พิจารณาเปรียบเทียบค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบต่าง ๆ ที่คิดไว้ แล้วเลือกระบบที่ประหยัดที่สุด

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องมือได้แก่ ความดันที่หายไปในเครื่องมือ กำลังงานที่ต้องการและปริมาณของเหลวที่ต้องการ (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ 2543 : 217)

5.2 ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาคมลสาร

ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาควัดโดยเศษส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดที่แยกออกโดยคิดที่ขนาดต่าง ๆ รวมกันซึ่งเรียกว่า ประสิทธิภาพการเก็บรวม ใช้เป็นตัววัดระดับการทำงานของเครื่องมือทำความสะอาดก๊าซและอาจหาได้จากสมการ

$$\eta_o = 100 \frac{(C_i - C_f)}{C_i}$$

η_o = ประสิทธิภาพการเก็บรวมของเครื่องมือ

C_i = ปริมาณหรือความเข้มข้นของอนุภาคที่เข้าเครื่องมือ

C_f = ปริมาณหรือความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกจากเครื่องมือ

การหาประสิทธิภาพการเก็บรวมนี้จำเป็นต้องรวมน้ำหนักของฝุ่นที่แยกออกจากกระแสก๊าซซึ่งหาได้จากประสิทธิภาพการเก็บย่อยของฝุ่นหรืออนุภาคที่ขนาดต่าง ๆ และการกระจายน้ำหนักของอนุภาคขนาดนั้น ๆ ประสิทธิภาพการเก็บย่อยหรือประสิทธิภาพการเก็บสำหรับฝุ่นแต่ละขนาดนั้น โดยทั่วไปแล้วจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาค และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงขนาดอนุภาคสั้น ๆ

35

5.3 ประสิทธิภาพของเครื่องเก็บแบบเปียก

ประสิทธิภาพการเก็บของเครื่องเก็บแบบเปียกเกี่ยวข้องกับพลังงานที่หายไปทั้งหมดของเครื่องมือ ซึ่งอาจวัดได้จากความดันลดของก๊าซที่ผ่านเครื่องมือ ประสิทธิภาพและปริมาณน้ำที่ต้องการของเครื่องเก็บแบบเปียกแบบต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 7

ตาราง 7 ประสิทธิภาพและปริมาณน้ำที่ต้องการของเครื่องเก็บแบบเปียก

แบบ	ประสิทธิภาพที่อนุภาคขนาดต่าง ๆ (%)	ปริมาณน้ำที่ต้องการ ลิตร / 100 ม. ก๊าซ	ความดันลด ซม.ของน้ำ
Spray tower	High for 10 $\square$ m	20 - 75	2
Cyclonic spray tower	96 % for 2 to 3 $\square$ m	20	2 – 5
Impingement scrubber	98 % for 1 $\square$ m (per plate)	10 – 20	2 – 20 (per plate)

ประสิทธิภาพของเครื่องเก็บแบบเปียกที่ใช้การฉีดน้ำเป็นฝอย (เกษม ไชยญา. 2538 : 26-33)

แม้ว่ากลไกในการเก็บอนุภาคของเครื่องเก็บแบบเปียกจะมีอย่างเดียวหรือหลายอย่างก็ดี กลไกที่ดีที่สำคัญที่สุดของเครื่องมือนี้ก็คือ Impingement หรือ Interception ของอนุภาคด้วยหยดของเหลว ดังนั้นจึงเป็นที่ต้องหาคณะสมบัติของอนุภาค หยดของเหลว และเนื้อของเหลวที่มีอิทธิพลต่อ Impingement วิธีการที่ง่ายคือพิจารณาการที่อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาหยดของเหลวแล้วกระทบกันด้วยแรงเฉื่อย

อนุภาคจะแยกออกจากเส้นกระแส (Streamline) ของก๊าซที่ไหลแล้วเคลื่อนที่ตรงเข้าสู่หยดของเหลว ขณะนั้นอนุภาคจะอยู่ภายใต้การกระทำของแรงสองชนิด คือแรงเฉื่อยของตัวเองและแรงลากเนื่องจากก๊าซที่อยู่รอบ ๆ (แรงที่เกิดจากแรงถ่วงของโลก ไฟฟ้า แม่เหล็ก และความร้อนจะไม่พิจารณา) ผลจากแรงทั้งสองนี้จะทำให้อนุภาคเข้าสู่จุดหยุดเมื่อเทียบกับหยดของเหลว ถ้าระยะหยุด (X_s) มากกว่าระยะทางที่อนุภาคเริ่มแยกจากกระแสของก๊าซ ถึงหยดของเหลวก็จะเกิดการกระทบ (Impaction) ในที่นี้จะให้นิยามจำนวนการกระทบ (Impaction number, N_i) ว่าเป็นอัตราส่วนที่ไม่มีหน่วยของระยะหยุด (X_s) กับเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดของเหลว (D_d) หรือ

$$N_i = \frac{X_s}{D_d}$$

ประสิทธิภาพการชนระหว่างอนุภาคและหยดของเหลว ซึ่งทำให้อนุภาคแยกออกจากกระแสก๊าซพบว่า มีความสัมพันธ์กับจำนวนการกระทบ

ระยะหยุดอาจหาได้จากสมมูลของแรง (F) บนอนุภาค โดยสมมุติว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นไปตามกฎของสโตกส์ (Stokes' law)

$$F_{\text{inertial}} + F_{\text{drag}} = 0$$

$$\text{หรือ } m_p \frac{du_p}{dt} + 3 \mu_g u_p \frac{\pi D_p}{4} = 0$$

โดยที่	m_p	=	มวลของอนุภาค
	u_p	=	ความเร็วของอนุภาค
	t	=	เวลา
	μ_g	=	ความหนืดของก๊าซ
	D_p	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค

เพื่อให้ง่ายขึ้น แทนค่า u_p ในแรงลากด้วยความเร็วเฉลี่ย $\bar{u}_p$ ของช่วงที่ความเร็วลดลงและถือว่าเป็นค่าคงที่ แล้วทำ Integration

$$\int_{u_{p,0}}^0 - du_p = \int_0^t \frac{18 \bar{u}_p \mu_g}{D_p^2 \rho} dt$$

โดยที่ $u_{p,o}$ = ความเร็วสัมพัทธ์เริ่มต้นของอนุภาคในกระแสก๊าซ

$$u_{p,o} = \frac{18 \mu_p \mu_g t}{g X_s} = 18 \mu$$

$$\text{โดยที่ } u_{p,t} = \frac{1}{X_s}$$

เมื่อถอดสมการนี้จะได้ระยะหยุดสโตกส์ (Stokes Stopping Distance)

$$X_s = \frac{u_{p,o} D_p^2 \rho_p}{18 \mu_g}$$

โดยส่วนมากแล้ว $u_{p,o}$ จะเท่ากับความเร็วแรกของกระแสก๊าซเทียบกับหยดของเหลว

37

แทนค่า X_s ในสมการ $N_i = X_s$ หาค่าด้วย D_p ก็จะได้ค่าประมาณของ N_i

$$N_i = \frac{u_{p,o} D_p^2 \rho_p}{18 \mu_g}$$

สำหรับอนุภาคที่มีขนาดและความหนาแน่นที่กำหนดให้ จำนวนการกระทบ (N_i) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วสัมพัทธ์ $u_{p,o}$ และเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดของเหลว ดังนั้นถ้าความเร็วสัมพัทธ์ยิ่งมากและขนาดหยดของเหลวยิ่งเล็กก็จะให้จำนวนการกระทบมากซึ่งโดยทั่วไปแล้วก็จะให้ประสิทธิภาพการเก็บเนื่องจากแรงเฉื่อยหรือการกระทบมากขึ้น

ประสิทธิภาพการกระทบระหว่างอนุภาคฝุ่นกับหยดน้ำ () ซึ่งมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของก๊าซส่วนที่อนุภาคที่ถูกแยกออกอยู่ กับพื้นที่หน้าตัดของหยดน้ำ ในกรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็กกว่าประมาณ 5 μ_m จำนวนการกระทบที่คำนวณได้จากต้องคูณกับปัจจัยแก้ไขของคันทิงแฮม K_c ก่อน แล้วจึงนำมาอ่านค่า N_i ทางแกนนอน

ประสิทธิภาพการเก็บทั้งหมดของเครื่องเก็บแบบเปียกที่ใช้การฉีดน้ำเป็นฝอยพอจะประมาณได้ดังนี้

สมมติว่าหยดน้ำเคลื่อนผ่านระยะประสิทธิภาพ L_e (Effective length) ปริมาตรประสิทธิภาพ (effective Volume) ที่หยดน้ำหยดหนึ่งกวาดผ่าน

ภาพประกอบ 13 การเก็บอนุภาคด้วยการปะทะด้วยแรงเฉื่อยและการรับตรง
(Watk & wamenr.,1676 p 169.)

38

ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเก็บด้วยการกระทบกับจำนวนการกระทบ

(Watk & wamenr.,1676 p 169.)

$$\text{ปริมาตรประสิทธิภาพที่หยดน้ำหยดหนึ่งกวาดผ่าน} = i \frac{\pi D_w^2 L_e}{4}$$

$$\text{โดยที่ } D_w = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ}$$

$$\text{จำนวนหยดน้ำ} = \frac{Q_w}{(\pi D_w^3/6)}$$

โดยที่ Q_w ปริมาตรของน้ำที่ไหลต่ออากาศหนึ่งหน่วยปริมาตร
ดังนั้นปริมาตรทั้งหมดที่ถูกกวาดโดยหยดน้ำทั้งหมด

$$= \left(i \frac{\pi D_w^2 L_e}{4} \right) \left(\frac{Q_w}{\pi D_w^3/6} \right) = \frac{3 i L_e Q_w}{2 D_w}$$

อัตราการเก็บอนุภาคจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของอนุภาคและปริมาตรของก๊าซที่ถูกกวาดผ่าน ดังนั้นการเปลี่ยนความเข้มข้นของอนุภาคต่อระยะทางจะเท่ากับ

$$\frac{dC}{dL} = \left(\frac{-3 i Q_w}{2 D_w} \right) C$$

ที่ระยะทาง L อัตราส่วนของความเข้มข้นของอนุภาคที่ออกมาต่อความเข้มข้นที่เข้าเครื่องมีอาจหาได้โดยการจัดสมการ dC หารด้วย dL แล้วทำ Integration

$$\frac{3 i Q_w}{2 D_w}$$

$$\int_{c_0}^c \frac{dc}{c} = - \int_0^{Le} \frac{1}{D_w} dL$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{-(3/2) LeQ}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องสัมผัสแบบเปียก จะเท่ากับ

$$= 1 - \frac{C}{C_0} = 1 - e^{-(3/2) LeQ}$$

39

จะเห็นว่าประสิทธิภาพการเก็บ (Collection Efficiency) ของเครื่องเก็บแบบใช้ละอองน้ำจะเพิ่มขึ้นตามประสิทธิภาพการกระทบ η_i อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยอัตราไหลของอากาศ Q_w ระยะที่หยดน้ำเคลื่อนผ่าน Le จะลดลงเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของละอองน้ำ D_w เพิ่มขึ้นอนุภาคขนาดหนึ่งจะมีประสิทธิภาพการเก็บสูงสุดเมื่อละอองน้ำมีขนาดหนึ่ง เนื่องจากระยะเคลื่อนผ่านของละอองน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของมัน ดังนั้น ถ้าขนาดลดลงระยะเคลื่อนผ่านของละอองน้ำจะลดลงด้วย เนื่องจากความต้านทานของอากาศ

ถ้าประสิทธิภาพการกระทบของหยดน้ำ η_i และทางประสิทธิภาพ (Effective path) ที่หยดน้ำผ่านคงที่ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(1 - \eta_i)$ กับ Q_w จะเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามในกรณีทั่วไปประสิทธิภาพการกระทบและระยะทางที่หยดน้ำเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับขนาดของหยดน้ำและความเร็วของก๊าซ ดังนั้นเส้นที่เขียนมักจะไม่เป็นเส้นตรง

ประสิทธิภาพการเก็บของเครื่องสัมผัสแบบเวนจูรีนั้นยังไม่มีสมการที่เชื่อถือได้ใช้ในการประมาณโดยตรง แต่อาจแสดงโดยการหลุดลอดของอนุภาค ซึ่งมีนิยามว่า

$$\text{Penetration (} P_t \text{)} = 1 - \frac{\text{Efficiency}}{y}$$

Calvert et al. 1972 ได้วิเคราะห์การหลุดลอดของอนุภาคโดยพิจารณาถึงขนาดของหยดน้ำ ตัววัดการกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย (Inertial Impaction Parameter) ความเข้มข้นของหยดน้ำที่ผ่านคอคอดของเวนจูรี และการเปลี่ยนแปลงความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคและหยดน้ำแล้ว

สรุปว่า

$$P_t = e^{\frac{-6.1 \times 10^{-9} \rho_p K_c D_p^2 f^2 \Delta p}{\mu_g}}$$

โดยที่	Δp	=	ความดันลดผ่านเวนจูรี ชม.ของน้ำ
	Δp_g	=	ความหนืดของก๊าซ Poises
	ρ_L	=	ความหนาแน่นของของเหลว กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร
	ρ_P	=	ความหนาแน่นของอนุภาค กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
	K_c	=	ปัจจัยแก้คั่นนิ่งแฮม
	D_p	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค μm
	f	=	สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าแปรจาก 0.1 ถึง 0.4

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง Hesketh (1974) สรุปว่าเครื่องสัผัสแบบเวนจูรีนั้น สามารถเก็บอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 μm ได้ ร้อยละ 100 ดังนั้นการหลุดลอดจะมีเฉพาะกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 50 μm นี้อาจแสดงโดยค่าการหลุด (pt) ซึ่งอาจประมาณได้จากความดันลดผ่านเวนจูรีโดยสมการ

$$Pt = \frac{C_o}{C_i} = 3.47 \left[\frac{\Delta p}{2.54} \right] - 1.43$$

โดยที่	C_i	=	ความเข้มข้นโดยน้ำหนักของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 μm ที่เข้าเครื่องสัผัสเวนจูรี
	C_o	=	ความเข้มข้นโดยน้ำหนักของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 μm ที่ออกจากเครื่องสัผัสเวนจูรี
	Δp	=	ความดันลดเซนติเมตรของน้ำ

ความดันลด

ความดันลดของเครื่องเก็บแบบเปียกชนิดต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 8 ความดันลดจะมีค่าอยู่ในระหว่างประมาณ 2 ซม. ของน้ำสำหรับหอดูดน้ำถึง 150 ซม. ของน้ำ สำหรับเครื่องสัผัสแบบเวนจูรี เหตุที่ความดันลดในเครื่องสัผัสแบบเวนจูรี มีค่าสูงกว่าเครื่องแบบอื่นก็เพราะว่า เครื่องสัผัสแบบนี้ต้องการความเร็วของกระแสก๊าซสูง เพื่อให้ของเหลวกลายเป็นหยดเล็ก ๆ (Liquid Atomization) และเพื่อเร่งความเร็วของหยดของเหลวได้พัฒนาวิธีการประมาณความดันลดที่เกิดในเครื่องสัผัสแบบเวนจูรีโดยใช้แบบจำลอง ที่ว่าพลังงานที่หายไปทั้งหมดของกระแสก๊าซจะเข้าไปในการทำให้ความเร็วของหยดของเหลวเร่งขึ้นเป็นความเร็วของก๊าซในคอคอตของเวนจูรี ซึ่งอาจหาออกมาได้ว่า

	Δp	=	$1.03 \times 10^{-6} (u_{g,t})^2 Q_L$
โดยที่	Δp	=	ความดันลดของก๊าซผ่านเวนจูรี เซนติเมตรของน้ำ
	$u_{g,t}$	=	ความเร็วของก๊าซที่คอคอต เซนติเมตร / วินาที
	Q_L	=	อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างของเหลวกับก๊าซ ลิตร/ลูกบาศก์เมตร

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองเครื่องสัมผัสเวนจูรีแบบต่าง ๆ ได้สร้างสมการสำหรับหาความดันลดผ่านเครื่องสัมผัสเวนจูรี ดังนี้

$$P = (2.54) \frac{(u_{g,t}) \rho_g (A)^{0.133}}{507} (0.56 + 0.125 Q_L + 2.3 \times 10^{-3} Q_L^2)$$

โดยที่ □ p = ความดันลดผ่านเวนจูรี เซนติเมตรของน้ำ

$u_{g,t}$ = ความเร็วของก๊าซที่คอคอต ฟุต/วินาที

ρ_g = ความหนาแน่นของก๊าซทางด้านตามกระแสของเวนจูรี ปอนด์/ฟุต³

A = พื้นที่หน้าตัดของจุดคอคอตของเวนจูรี ตารางฟุต

Q_L = อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างของเหลวกับก๊าซ แกลลอน/พินูบาตส์ฟุต

41

6. หลักการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

6.1 หลักการสำหรับการออกแบบและสร้าง

โดยนำหลักการของการควบคุมมลสารที่ใช้แยกอนุภาคออกจากอากาศเสีย ชนิดเครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียก (Scrubbers or Wet Collectors) มาเป็นต้นแบบในการประยุกต์และออกแบบอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย ที่เป็นระบบมาน้ำ ตามภาพประกอบ 15

เครื่องเก็บแบบเปียก ชนิด Spay Tower

ภาพประกอบ 15 อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียที่เป็นระบบม่านน้ำ

6.2 โครงสร้างและอุปกรณ์ประกอบ

1. โครงสร้างของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียสร้างเป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กมีความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร และความสูง 1.75 เมตร มีความหนา 20 เซนติเมตร
2. ภายในบ่อด้านบนทำเป็นคอนกรีตต่างระดับ ระหว่างปล่องไอเสียเข้าและไอเสียออก เพื่อเป็นการแบ่งให้อิเสียมาปะทะในแต่ละชั้น
3. ในส่วนที่เป็นคอนกรีตต่างระดับนั้นจะมีท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (15 มม.) มีความยาว 1.10 เมตร จำนวน 4 เส้น พร้อมเจาะรูด้านข้างและด้านล่าง สำหรับให้น้ำฉีดเป็นฝอยละอองในลักษณะม่านน้ำ
4. บริเวณภายในรอบโคนปล่อง ใช้ท่อสแตนเลสขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (15 มม.) ม้วนเป็นวงกลมตามลักษณะของปล่อง โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.70 เมตร พร้อมเจาะรูด้านข้างและด้านล่าง สำหรับให้น้ำฉีดเป็นฝอยละออง
5. สร้างบ่อพักน้ำมีความกว้าง 0.65 เมตร ความยาว 1.10 เมตร ความสูง 1.75 เมตร สำหรับเก็บน้ำไว้ใช้เมื่อระบบทำงาน โดยมีลูกกลอยรักษาระดับน้ำให้คงที่
6. ติดตั้งมอเตอร์สำหรับปั้มน้ำ ขนาด 2 แรงม้า เพื่อส่งน้ำเข้าไปในระบบ
7. อุปกรณ์ท่อต่าง ๆ ใช้เป็นท่อสแตนเลสทั้งหมด
8. วาล์วที่ใช้เป็นชนิดบอลวาล์วขนาดตามขนาดท่อที่ใช้
9. ภายในอุปกรณ์ลดมลพิษบรรจุน้ำไว้มีปริมาตร $1.10 \times 4.80 \times 0.55$ ลูกบาศก์เมตร
10. การระบายน้ำทิ้งมีบ่อตกตะกอน เมื่อระบายน้ำออกแล้วจึงตกตะกอนทิ้ง

วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียในส่วนใหญ่มักจะทำมาจากสแตนเลส แต่จากการใช้งานจริงมักพบว่า เกิดปัญหาในการทำปฏิกิริยาของกรดกำมะถันจนได้รับความเสียหาย โดยเฉพาะโครงสร้างที่ต้องรองรับกับก๊าซพิษต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา จึงได้ดัดแปลงมาใช้เป็นแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

สิ่งที่สำคัญในการออกแบบอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำนั้นคือ เรื่องของสถานที่ติดตั้ง เพราะต้องใช้พื้นที่ที่มากแปรผันตามขนาดของเครื่อง เพราะปริมาตรภายในอุปกรณ์นี้ต้องมากกว่าปริมาตรในห้องเผาไหม้ของเครื่องกำเนิดไอน้ำและขนาดความโตของไอเสียออกต้องโตกว่า ปล่องไอเสียเข้า จึงจะไม่เกิดผลกระทบกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำนั้น ๆ

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยมีส่วนที่สำคัญต่อการพัฒนาอุปกรณ์ และเครื่องมือขึ้นมาใช้ ซึ่งมีผู้วิจัยและพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้วิจัยดังนี้

ภูวศิศิลป์ เกิดอินทร์ (2545 : 2-3) การออกแบบและสร้างหม้อกรองไอเสียชนิดใช้น้ำสำหรับรถเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อลดปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การคมนาคม การประกอบกิจการอุตสาหกรรม ซึ่งพบว่าอากาศเสียเกิดจากยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ โดยมีการเผาไหม้และปล่อยก๊าซพิษออกจากท่อไอเสีย ส่วนมลพิษที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยสิ่งเจือปนออกสูบรรยากาศทำให้อากาศเสีย ออกมาในรูปของ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของกำมะถัน ไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละออง เขม่า คาร์บอนไอของสารประกอบตะกั่ว ไอของกรด เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงได้ออกแบบและสร้างหม้อกรองไอเสีย ชนิดใช้น้ำ⁴³ เพื่อลดมลพิษ โดยประยุกต์มาจากเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียกหรือสครับเบอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ของเหลวแยกฝุ่น หรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กอย่างมีประสิทธิภาพ

เกษม ไชยญา (2538 : 24-25) เครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียก (Scrubbers or Wet Collectors) ในเครื่องเก็บแบบเปียกใช้ของเหลว ซึ่งโดยปกติแล้วใช้น้ำเป็นตัวจับอนุภาคหรือฝุ่นละอองและเพิ่มขนาดของละอองไอ ในกรณีทั้งสองนี้จะทำให้ขนาดมลสารจากกระแสน้ำพุ่งขึ้นของเหลวและน้ำจะฉีกให้เป็นละออง เพื่อช่วยให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับน้ำดี สำหรับอนุภาคนขนาดใหญ่ ๆ จะมีการแยกที่เกิดจากแรงถ่วงของโลกบ้าง ส่วนอนุภาคเล็ก ๆ ก็จะมีการแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต หรือแรงที่เกิดจากความร้อน ด้วยเครื่องเก็บแบบเปียกนี้สามารถแยกอนุภาคเล็ก ๆ ที่เป็นของแข็งและของเหลวที่มีขนาดระหว่าง 0.1 μm ถึง 20 μm ได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้งเพราะอนุภาคเล็ก ๆ จะรวมตัวใหญ่ขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำ ในขณะที่เดียวกันการฝุ่นกลับของตะกอน จะมีน้อยเพราะอนุภาคจะเปียกและถูกกักไว้ในชั้นของของเหลว (Liquid film)

เจิมศักดิ์ หอมหวาน (2538 : 36) แนวทางในการป้องกันและลดสารพิษทางอากาศจากรถยนต์ ปรับปรุงสภาพเครื่องยนต์ เจ้าของหรือผู้ครอบครองยานพาหนะนั้น ๆ ต้องหมั่นดูแลสภาพเครื่องยนต์ให้ดีเสมอ ควรสนใจบำรุงรักษาเครื่องยนต์เพื่อให้การทำงานของเครื่องยนต์เป็นไปโดยปกติ มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การจัดการระบบจราจร ปรับปรุงแก้ไขระบบจราจรให้มีความคล่องตัว ซึ่งจะช่วยลดสารมลพิษในอากาศได้มาก พื้นที่ผิวจราจรควรที่มากพอที่จะรับการขยายตัวของจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นทุกปี วางแผนการจัดระบบเดินรถทางเดียวและมีทางด่วนที่เหมาะสม ห้ามจอดรถริมทางอันทำให้เกิดการกีดขวางทางและลดผิวจราจร การจัดระบบขนส่งมวลชน ด้านกฎหมาย หน่วยงานฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ควรประสานงานร่วมมือกันทำการตรวจสอบยานพาหนะในความ

รับผิดชอบอย่างจริงจัง ควรเข้มงวดกวดขันตรวจสอบสภาพความเสื่อมของเครื่องยนต์ รถยนต์ที่หมดสภาพแล้ว ห้ามนำออกมาใช้อีก ควรตั้งสถานตรวจสอบไอเสียของรถยนต์ขึ้นตามจุดต่าง ๆ และทำการตรวจสอบเป็นประจำ การวางผังเมือง ควบคุมสิ่งก่อสร้างที่ประชาชนใช้บริการมาก เช่น โรงมหรสพ โรงเรียน โรงแรม ศูนย์การค้า ควรพิจารณาถึงภาวะการติดขัดของระบบจราจร ควรส่งเสริมการปลูกต้นไม้ในบริเวณที่เหมาะสม การให้การศึกษา มีความสำคัญสำหรับการป้องกันควบคุมและลดสารพิษทางอากาศ เพราะเป็นวิธีการที่ช่วยให้ได้ทราบ และเข้าใจ วิธีการปฏิบัติที่ถูกต้อง และเหมาะสม การให้การศึกษาแก่ประชาชนด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นสิ่งจำเป็นก่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการดำเนินงานป้องกันควบคุม และลดสารมลพิษทางอากาศ

สุริยา ต่ายหลี่ (2537 : 1) การตรวจสอบและการแก้ไขปัญหามลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่ โรงงานอุตสาหกรรมเป็นต้นเหตุหลักของการก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการที่โรงงานอุตสาหกรรม เป็นสาเหตุหลัก ก็มาจากวิศวกรทั้งหลายที่ซึ่งเป็นผู้คิดค้นประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ขึ้นมาจนทำให้เกิดปัญหา มลพิษต่อสิ่งแวดล้อมขึ้น ดังนั้น วิศวกรทั้งหลายควรที่จะร่วมมือกันรับผิดชอบหาทางป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น มาโดยต้องศึกษาถึงแหล่งกำเนิด ชนิดประเภท และมาตรฐานตลอดจนแนวทางการแก้ไข เมื่อมีความรู้แล้ว ก็ อาจจะก่อให้เกิดสามัญสำนึก ที่จะหาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาแก้ไข เพื่อช่วยลดปัญหามลพิษที่โลกต้องประสบอยู่ใน ปัจจุบัน

ลักษณะ อุ่นศรี (2536 : 2) เครื่องกำเนิดเขม่าควันและฝุ่นละอองระบบผสมฝุ่นละออง ฝุ่นละอองเป็นผงที่มีอนุภาคนขนาดเล็กละเอียดฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ มีขนาดตั้งแต่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในบรรยากาศที่มนุษย์หายใจเข้าไปมีฝุ่นขนาด 0.5 – 10 ไมครอน ซึ่งฝุ่นขนาดใหญ่ เช่น ฝุ่นดินทรายจากการก่อสร้างจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากนัก เพราะไม่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ฝุ่นที่มีผลต่อสุขภาพ คือ ฝุ่นที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก เช่น เขม่าควันจากกิจกรรม อุตสาหกรรม ควันบุหรี่ ฝุ่นที่ติดมากับล้อรถ ฯลฯ ผลของการหายใจเอาฝุ่นละอองเข้าไปนอกจากจะทำให้ปอดเสียหาย เช่น ถุงลมโป่งพองแล้ว ยังมีสารพิษอื่น ๆ ติดเข้าไปกับฝุ่นเหล่านี้ ซึ่งจะทำให้เกิดอาการเป็นพิษหรือโรคเมะเร็งขึ้นได้ หรืออาจจะทำให้หายใจไม่สะดวก เนื่องจากเกิดการอุดตันของฝุ่นละออง ประเภทเขม่าและผงแป้งในช่องทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองประเภทที่มีอนุภาคแหลมคมเช่น ทราย ผงแก้ว และผงใยหินจากงานด้านอุตสาหกรรมอาจจะอันตราย ต่อเนื้อเยื่อในหลอดลมทำให้ปอดเป็นแผล และอาจเป็นพาหะนำเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายได้ เครื่องกำเนิดฝุ่นละอองในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างสูงจึงได้จัดทำเครื่องกำเนิดเขม่าควัน และฝุ่นละออง ที่มีกำลังในการดูดอากาศเข้ามาทำความสะอาด หลักการทำงานของเครื่องจะอาศัยหลักการทางเครื่องกลและหลักการทางไฟฟ้าประกอบกัน เพื่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูงสุดเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไป

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ (2543 : 2) วิธีตรวจสอบมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม การตรวจสอบวัดมลพิษจะต้องมีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนและแน่นอน เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปใช้ประโยชน์ต่อไป เป้าหมายในการตรวจวัดมลพิษทางอากาศ คือ การตรวจวัดมลพิษในบรรยากาศทั่วไป เพื่อให้ทราบว่า ระดับคุณภาพอากาศปลอดภัยต่อสุขภาพประชาชนหรือไม่และการตรวจวัดมลพิษ อากาศ จากแหล่งกำเนิด เพื่อให้ทราบว่า ความเข้มข้นและปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเกินค่าที่ยอมรับได้ตามกำหนดหรือไม่ แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศมีมากมายหลายอย่างคือ ยานพาหนะ โรงไฟฟ้า โรงงาน

อุตสาหกรรม แหล่งกำเนิดจากการใช้เชื้อเพลิงในพาณิชยกรรม ที่พักอาศัย และอื่น ๆ แหล่งกำเนิดทั่วไป เช่น การก่อสร้างฝุ่นถนน กองวัสดุ การเผาหญ้า ฯลฯ

การตรวจวัดมลพิษอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

1. ให้ได้ข้อมูลความเข้มข้นและปริมาณการปล่อยมลพิษจากโรงงาน
12. นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยมลพิษที่ยอมได้ตามกฎหมายและหาหนทางลดปริมาณการปล่อยมลพิษ
3. ศึกษาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการของโรงงาน
4. ยืนยันประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ
5. รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ วางแผนจัดการคุณภาพอากาศ และกำหนดผังการใช้ประโยชน์ที่ดิน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ สำหรับการวิจัย

2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

- 2.1 ศึกษาปัญหาของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ทำให้เกิดมลพิษในก๊าซไอเสีย
- 2.2 ออกแบบอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย และวัสดุอุปกรณ์ในการลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 2.3 กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่าง ๆ ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 2.4 กำหนดเวลาและสถานที่ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 2.5 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 2.6 ทดลองการทำงานของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 2.7 หาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
- 2.8 ได้อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1. เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ สำหรับการวิจัย

1.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งมีเกณฑ์จากรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ขนาด 500 แรงม้า ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S – 500 – 06 ดังนี้

ขนาดของเตาที่มีการเผาไหม้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 เซนติเมตร ความยาว 383 เซนติเมตร

ขนาดของปล่องระบายไอเสีย มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร

จึงนำรายละเอียดนี้มาคำนวณหาปริมาตรและพื้นที่สำหรับสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษ

$$\text{คำนวณหาปริมาตรของเตาเผาไหม้โดยใช้สูตร} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$\text{แทนค่าสูตร} = \frac{3.14 \times 0.85 \times 0.85 \times 3.83}{4}$$

$$= 2.17 \quad \text{ลูกบาศก์เมตร}$$

ได้มีการทดลองใช้ระบบมาน้ำสำหรับลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยใช้ขนาด วัสดุ และอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้ แล้วผลการทดลองออกมาเป็นที่น่าสนใจเหตุที่ต้องใช้การทดลองเป็นฐานข้อมูลในการคิดคำนวณ เพราะอุปกรณ์นี้เริ่มสร้างเป็นต้นแบบโดยใช้ขนาดและวัสดุดังนี้

1.1.1 ท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร จำนวน

4 เส้น

1.1.2 ท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ความยาว 220 เซนติเมตร จำนวน 1 เส้น นำมาดัดโค้งให้เป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร

1.1.3 นำท่อสแตนเลส ทั้งหมดนี้มาเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่าง 5 เซนติเมตร ทั้งด้านล่างและด้านข้าง

1.1.4 แรงดันน้ำที่ใช้งาน 1.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.1.5 ปริมาตรน้ำที่ใช้ 0.005 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

1.1.6 ความสูงของม่านน้ำ 80 เซนติเมตร

1.1.7 ความยาวของท่อทั้งระบบ 20 เมตร

1.1.8 วาล์วที่ใช้เป็นชนิดบอลวาล์ว (Ball Valve) ขนาดตามขนาดของท่อที่ใช้

ด้วยขนาดและวัสดุอุปกรณ์ดังกล่าว ทำให้ระบบม่านน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการฟุ้งกระจายของฝอยละอองน้ำและสามารถดักมลพิษของก๊าซไอเสียได้ดี จึงนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ไปสร้างเป็นอุปกรณ์ลดมลพิษ โดยการนำปริมาตรของเตาเผาไหม้ และปริมาตรของม่านน้ำมารวมกัน

$$\text{คำนวณหาปริมาตรของม่านน้ำ โดยใช้สูตร } \frac{\square D^2 h}{4}$$

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางรวมของม่านน้ำทั้งหมด ซึ่งได้จากความยาวท่อทั้งหมด เจาะรูด้านล่างและด้านข้างระยะห่าง 5 เซนติเมตร ขนาดรูโต 2 มิลลิเมตร

$$\text{จะได้ } (110 \times 4) + 220 = \frac{660}{5} = 132 \times 2 = 264 \text{ รู}$$

$$\square D = 264 \times 2 = 528 \text{ มิลลิเมตร } \frac{528}{1,000} = 0.528 \text{ เมตร}$$

$$h = 80 \text{ เซนติเมตร } = \frac{80}{100} = 0.8 \text{ เมตร}$$

$$\square \text{ ปริมาตรของม่านน้ำ } = \frac{3.14 \times 0.528 \times 0.528 \times 0.8}{4}$$

$$= 0.17 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{ปริมาตรที่ต้องใช้ทั้งหมด } = 2.17 + 0.17 = 2.34 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{จึงนำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นอุปกรณ์ลดมลพิษที่มีปริมาตร} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ &= 1.1 \times 4.1 \times 0.8 \\ &= 3.6 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\square \text{ ปริมาตรของอุปกรณ์ } 3.6 > 2.34 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

การกำหนดขนาดปล่องไอเสียออกจากอุปกรณ์

คำนวณพื้นที่ปล่องไอเสียเข้าตามรายละเอียดของเครื่อง คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร

$$\text{จากสูตร } \square r^2 = 3.14 \times 0.3 \times 0.3$$

$$= 0.28 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{คำนวณพื้นที่ของม่านน้ำปล่องไอเสียออก } = 0.002 \times 0.8 = 0.0016 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{จำนวน 88 รู } = 0.0016 \times 88 = 0.14 \text{ ตารางเมตร}$$

□ พื้นที่ของปล่องไอเสียออกต้องมากกว่าพื้นที่ของปล่องไอเสียเข้ารวมกับพื้นที่ของมาน้ำ คือต้องมากกว่า $0.28 + 0.14 = 0.42$ ตารางเมตร

จึงต้องใช้เส้นผ่าศูนย์กลางปล่องไอเสียออกเท่ากับ 80 เซนติเมตร

เพราะคำนวณได้ $\square r^2 = 3.14 \times .04 \times 0.4 = 0.50$ ตารางเมตร

พื้นที่ปล่องไอเสียออก $= 0.50 > 0.42$ ตารางเมตร

การที่ต้องใช้ปริมาณน้ำ $0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$ กับอุปกรณ์ดังกล่าวจึงต้องใช้มอเตอร์ 2 H.P

จากสูตร $Wp = \square Qh$

แทนค่าสูตร $= 9.81 \text{ N/m}^3 \times 0.005 \text{ m}^3/\text{sec} \times 20 \text{ m}$

$= 0.981 \text{ N.m} \square \text{ sec (Kw)}$

$\text{H.P} = \frac{0.981 \times 1,000}{746} = 1.31 \text{ H.P}$

เพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน จึงใช้ $2 \text{ H.P} > 1.3 \text{ H.P}$

จากผลการคำนวณและการทดลองแล้วเมื่อต้องการใช้น้ำ $0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$ ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ใช้งานเป็นเวลาครั้งละ 5 นาทีจึงต้องสร้างอุปกรณ์ที่มีความจุน้ำได้ไม่น้อยกว่า $1.5 \text{ m}^3 / 5 \text{ minute}$ แต่เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานที่มีความพร้อมอยู่ตลอดเวลาทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอไปส่วนหนึ่ง จึงต้องสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยให้มีบ่อพักน้ำสำหรับน้ำนำไปใช้ในระบบมาน้ำ ขนาดความกว้าง 0.65 เมตร ความยาว 1.10 เมตร ความสูง 1.75 เมตร โดยสามารถบรรจุน้ำได้ $0.65 \times 1.10 \times 1.75 = 1.25$ ลูกบาศก์เมตร แต่ในบ่อพักนี้มีน้ำไหลเข้าตลอดเวลา

ขนาดของส่วนที่รองรับน้ำเมื่อผ่านระบบมาน้ำแล้วในอุปกรณ์ลดมลพิษ คือ ขนาดความกว้าง 1.10 เมตร ความยาว 4.80 เมตร ความสูง 0.55 เมตร ซึ่งสามารถจุน้ำได้ 2.9 ลูกบาศก์เมตรเมื่อคำนวณปริมาตรต่าง ๆ ทั้งหมดแล้ว จึงได้ขนาดของอุปกรณ์ลดมลพิษที่มีความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร ความสูง 1.75 เมตร และความหนา 20 เซนติเมตร

1.2 เครื่องกำเนิดไอน้ำ ขนาด 500 แรงม้า ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S – 500 – 06 กำลังการผลิตไอน้ำ 7.6 ตัน/ชั่วโมง

1.3 การทดสอบใช้วิธีตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) โดยปรับเครื่องให้ทำงานที่ Midium Fire ส่วนลักษณะทางกายภาพทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ

1.4 ตัวแปรที่ศึกษา

1.4.1 ประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536)

1.4.1.1 ค่าฝุ่นละออง

1.4.1.2 ค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์

1.4.1.3 ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.4.1.4 ค่าออกไซด์ของไนโตรเจน

1.4.2 ลักษณะทางกายภาพ

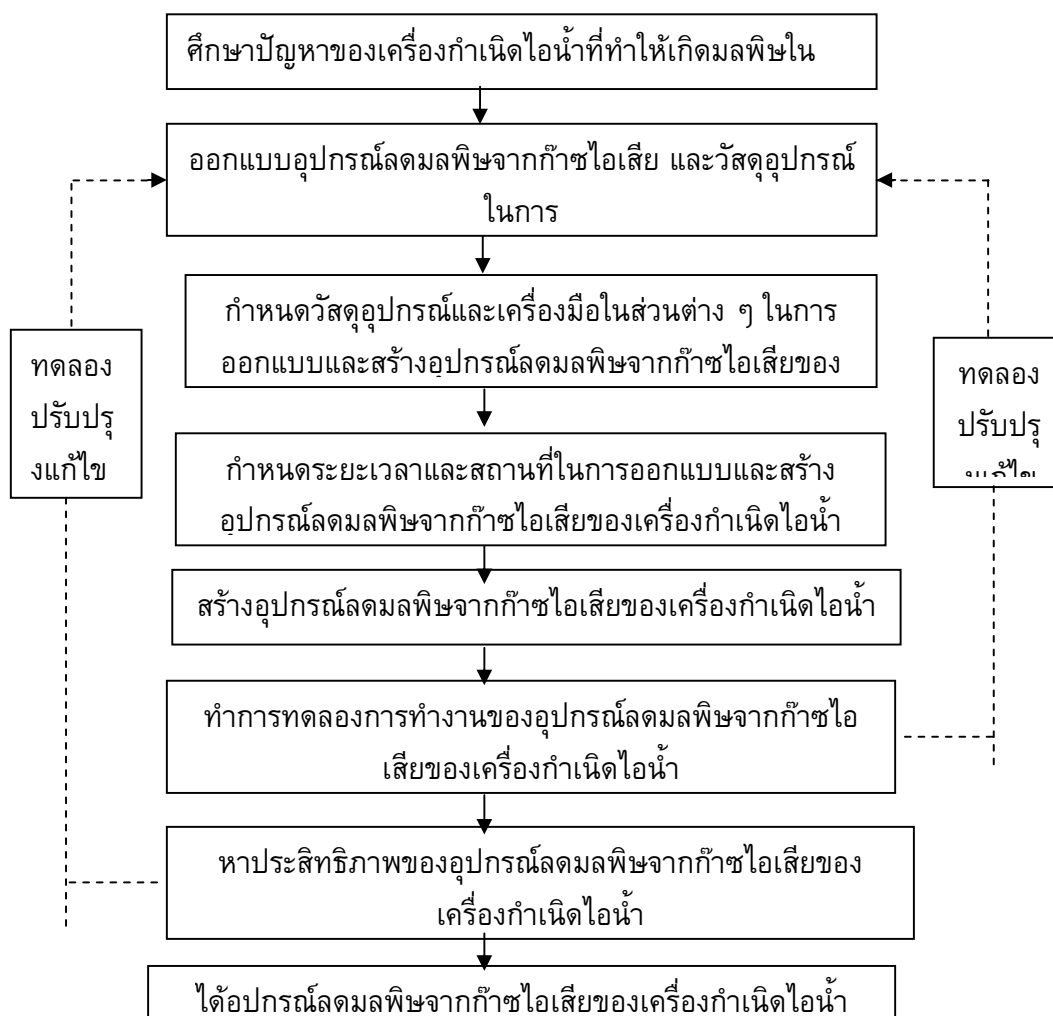
1.4.2.1 ความประหยัด

1.4.2.2 ความแข็งแรง

1.4.2.3 ความปลอดภัย

2. ลำดับขั้นตอนในการวิจัย

ในการวิจัยผู้วิจัยจะดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 16 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาปัญหาของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ทำให้เกิดมลพิษในก๊าซไอเสีย

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้อยู่ในสถานประกอบการต่าง ๆ ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เพราะมีราคาไม่แพงนัก ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันเตาจะมีกำมะถันเจือปน และมีความหนืดสูงทำให้การเผาไหม้มักไม่สมบูรณ์ หรือผู้ใช้ปรับแตงน้ำมันและอากาศไม่สมดุลย์กัน และอาจเกิดจากคุณภาพของเครื่องในระบบการเผาไหม้จากปัจจัยหลายประการดังกล่าวจึงทำให้เครื่องกำเนิดไอน้ำมีมลพิษออกมามากกว่ามาตรฐานกำหนด โดยเฉพาะในขณะที่เครื่องเริ่มทำงานทุกครั้ง

ดังนั้นผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะแก้ไขปัญหของฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ไนโตรเจน ให้ลดลงเหลือปริมาณน้อยที่สุด จึงได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการนำวิธีการของเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียกมาประยุกต์ใช้

2.2 ออกแบบอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย และวัสดุอุปกรณ์ในการลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยใช้การคำนวณจากเกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบ

2.2.1 ออกแบบโดยใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นตัวโครงสร้างมีความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร และความสูง 1.75 เมตร ความหนา 20 เซนติเมตร ภายในมีบ่อพักน้ำขนาดความกว้าง 0.60 เมตร ความยาว 1.10 เมตร ความสูง 1.75 เมตร สำหรับบรรจุน้ำเพื่อใช้ในระบบ

2.2.2 นำท่อสแตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (15 มม.) จำนวน 4 เส้น ความยาว 1.10 เมตร และท่อสแตนเลสเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (15 มม.) นำมาตัดโค้งให้เป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.70 เมตร เพื่อประกอบภายในปล่องไอเสียออก แล้วเจาะรูทั้งด้านข้างและด้านล่าง ขนาดรูมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่างแต่ละรู 5 เซนติเมตร เพื่อให้ให้น้ำฉีดเป็นฝอยละอองในระบบมานาน้ำ

2.2.3 อุปกรณ์นี้มีช่องคนเข้า (MAN HOLE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เมตร ทำด้วย สแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อเข้าไปตรวจสอบการทำงานของระบบและซ่อมบำรุงรักษา

2.2.4 บ่อดักตะกอนสำหรับกักตะกอนไว้ไม่ให้ไหลไปกับน้ำขณะล้างทำความสะอาด

2.3 กำหนดวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในส่วนต่าง ๆ ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยใช้การคำนวณจากเกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบ

2.3.1 วัสดุเป็นการกำหนดวัสดุที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2.3.1.1 เสาค้ำ คสล. ขนาด  0.15 x 5.00 เมตร จำนวน 52 ต้น

2.3.1.2 ทราดยาบ จำนวน 2 ลูกบาศก์เมตร

2.3.1.3 ไม้แบบ จำนวน 60.18 ลูกบาศก์เมตร

2.3.1.4 เหล็กเส้น ขนาด ϕ 20 มม. จำนวน 81 เส้น

2.3.1.5 ลวดผูกเหล็ก จำนวน 5 กิโลกรัม

2.3.1.6 ตะปู จำนวน 1 กิโลกรัม

2.3.1.7 คอนกรีต จำนวน 14 ลูกบาศก์เมตร

2.3.1.8 นํ้ายากันซึม จำนวน 1 แกลลอน

2.3.1.9 ข้อต่อปล่องไอเสียเข้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ใช้สแตนเลส
หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชุด

2.3.1.10 ข้อต่อปล่องไอเสียออกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ใช้สแตนเลส
หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชุด

2.3.1.11 ฝาปิด – เปิดบ่อพักน้ำ ขนาด 0.65 x 0.50 เมตร ใช้สแตนเลสหนา 5
มิลลิเมตร จำนวน 1 ฝา

2.3.1.12 ช่องคนเข้า (MAN HOLE) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เมตร
ใช้สแตนเลส หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชุด

2.3.1.13 ชุดยึดท่อสแตนเลสสำหรับสปริงน้ำ ขนาด 0.50 x 1.00 เมตร

ใช้สแตนเลส หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชุด

2.3.1.14 ท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว (15 มม.) ความยาว

1.10 เมตร จำนวน 4 เส้น และท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

½ นิ้ว (15 มม.) นำมาดัดโค้งให้เป็นวงกลม. มีเส้นผ่าศูนย์กลาง

0.70 เมตร จำนวน 1 เส้น

2.3.1.15 อุปกรณ์ป้องกันน้ำรั่ว (Water Stop) ขนาดกว้าง 8 นิ้ว (180 มม.)

จำนวน 1 ชุด

2.3.1.16 ปัมพ์น้ำ ซึ่งใช้มอเตอร์ ขนาด 2 แรงม้า จำนวน 1 ชุด

2.3.1.17 ท่อน้ำประปา โดยใช้ท่อสแตนเลสทั้งหมด

2.3.1.18 บอลวาล์วใช้ตามขนาดของขนาดท่อ จำนวน 11 ชุด

2.3.1.19 บันไดสแตนเลส สำหรับขึ้นบนบ่อพักน้ำ จำนวน 1 ชุด

2.3.1.20 บานเลื่อนกรอบอลูมิเนียม กระดาษหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชุด

2.3.2 เครื่องมือเป็นกรณกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2.3.2.1 บันจันทอกเสาเข็ม 1 ชุด

2.3.2.2 เครื่องตัดเหล็กไฟฟ้า 1 ชุด

2.3.2.3 เครื่องตัดเหล็ก 1 ชุด

2.3.2.4 คีม 2 ตัว

2.3.2.5 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า 1 ชุด

2.3.2.6 สว่านไฟฟ้า 1 เครื่อง

2.3.2.7 ดอกสว่านชนิดมิล 1 ชุด

2.3.2.8 ประแจปากตายกึ่งแหวนชนิดมิล 1 ชุด

2.3.2.9 ประแจล็อก 1 ตัว

2.3.2.10 ค้อน 1 อัน

2.4 ระยะเวลาและสถานที่ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1.1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2546 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2546

1.1.2 สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ณ งานบริการผ้า โรงพยาบาลศิริราช

1.1.3 สถานที่ทำการทดลองอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ คือ ที่งานบริการผ้า โรงพยาบาลศิริราช เลขที่ 2 ถ.พรมานก บางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

2.5 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

- 2.5.1 จากเกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบจึงได้นำมาสร้างเป็นแบบแปลนอุปกรณ์ลดมลพิษ ดังภาพประกอบ 17
- 2.5.2 เตรียมพื้นที่และกำหนดขนาดของพื้นที่ ซึ่งมีความกว้าง 1.90 เมตร และความยาว 6.40 เมตร สำหรับสร้างบ่อดักมลพิษที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร ความสูง 1.75 เมตร ความหนา 20 เซนติเมตร และใช้บันจันตอกเสาเข็มหกเหลี่ยมกลวงขนาด  0.15 x 5.00 เมตร ระยะห่าง 0.50 เมตร ต่อดัน รวม 52 ดัน ดังภาพประกอบ 18
- 2.5.3 ทำแบบแล้วเทคอนกรีต เมื่อเสร็จแล้วจะได้ ด้านขวา (รูป A) ด้านซ้าย (รูป B) ด้านหลัง (รูป C) ด้านหน้า (รูป D) ดังภาพประกอบ 19
- 2.5.4 แสดงแบบขยายรูปตัด A ให้เห็นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ลดมลพิษ ดังภาพประกอบ 20
- 2.5.5 ติดตั้งท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (15 มม.) โดยนำมาดัดโค้งให้เป็นวงกลม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.70 เมตร และเจาะรูที่ทั้งด้านล่างและด้านข้างขนาดของรูที่เจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตรระยะห่าง 5 เซนติเมตร โดยติดตั้งด้านล่างสุดภายในปล่องไอเสียออก ดังภาพประกอบ 21
- 2.5.6 ติดตั้งท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว (15 มม.) จำนวน 4 เส้น โดยเจาะรูที่ทั้งด้านล่างและด้านข้าง ขนาดของรูที่เจาะเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ระยะห่าง 5 เซนติเมตร เพื่อทำให้น้ำที่ฉีดออกมาเป็นสเปรย์ในระบบมาน้ำ ซึ่งท่อน้ำจะยึดติดอยู่กับฝาปิดที่ทำด้วยสแตนเลส ดังภาพประกอบ 22
- 2.5.7 ประกอบชุดหน้าแปลน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ที่อุปกรณ์ลดมลพิษ สำหรับนำปล่องไอเสียที่ออกจากเครื่องกำเนิดไอน้ำมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อนำไอเสียเข้าไปลดมลพิษ ดังภาพประกอบ 23
- 2.5.8 สร้างบ่อดักน้ำภายในอุปกรณ์ลดมลพิษ ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดความกว้าง 0.65 เมตร ความยาว 1.10 เมตร ความสูง 1.75 เมตร มีฝาปิดทำด้วย สแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 24
- 2.5.9 ติดตั้งช่องคนเข้า (MAN HOLE) ซึ่งทำด้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เมตร มีฝาปิด หนา 5 มิลลิเมตรทางรูปด้าน A ซึ่งมีหลอดแก้วดูระดับน้ำในบ่อดักน้ำ ดังภาพประกอบ 25
- 2.5.10 สร้างบ่อดักตะกอน เพื่อให้ น้ำล้นผ่านออกไปยังท่อระบายน้ำทั้งในขณะที่ต้องการทำความสะอาดภายในอุปกรณ์ลดมลพิษนี้ เมื่อเปิดวาล์วให้น้ำล้นออกไปหมดแล้ว จะเหลือตะกอนไว้จึงทำการดักตะกอนออกจนหมดแล้วจึงเลื่อนแผ่น สแตนเลสขึ้นเพื่อทำการล้างภายในอุปกรณ์ต่อไป ดังภาพประกอบ 26
- 2.5.11 สร้างช่องด้านหน้าสำหรับเป็นจุดนำตะกอนออก พร้อมทั้งบานเลื่อนกรอบอลูมิเนียม ติดตั้งกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ดูว่าในอุปกรณ์มีน้ำอยู่ปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังภาพประกอบ 27
- 2.5.12 โครงสร้างเสริมเหล็ก โดยใช้เหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ระยะห่าง 0.20 เมตร ดังภาพประกอบ 28

- 2.5.13 ทำการติดตั้งระบบท่อต่าง ๆ ซึ่งใช้ท่อชนิดสแตนเลสพร้อมทั้งติดตั้งบอวลาล์วตามขนาดของท่อ ดังภาพประกอบ 29 มีดังนี้
- 2.5.13.1 ท่อน้ำประปาเข้าบ่อพักน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว (25 มม.) 62 มติดตั้งระบบกลอยควบคุมระดับน้ำ
- 2.5.13.2 ท่อล้างบ่อพักน้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว (25 มม.)
- 2.5.13.3 ท่อดูดน้ำจากบ่อพักไปยังปั้มน้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว (50 มม.)
- 2.5.13.4 ติดตั้งปั้มน้ำ ขนาดมอเตอร์ 2 แรงม้า
- 2.5.13.5 ท่อส่งน้ำไปยังระบบฆ่าเชื้อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว (50 มม.)
- 2.5.13.6 ท่อสเปร์น้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว (15 มม.) จำนวน 5 เส้น
- 2.5.13.7 ท่อล้างบ่อดักตะกอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว (50 มม.)
- 2.5.13.8 ท่อน้ำล้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว (180 มม.)
- 2.5.13.9 ท่อระบายน้ำทิ้งลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสีย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว (180 มม.)

2.6 ทดลองการทำงานของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2.6.1 การทดลองหาประสิทธิภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดำเนินการดังนี้

เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเตาชนิดที่ 1 เป็นเชื้อเพลิง จะมีปั๊มสำหรับดูดน้ำมันจากถังเก็บน้ำมันและส่งน้ำมันเตาไปยังชุดอุ่นน้ำมัน (Heater) เพื่อให้ให้น้ำมันใสขึ้นและมีอุณหภูมิเพียงพอกับการจุดระเบิด โดยน้ำมันนั้นจะถูกส่งต่อไปยังหัวฉีดและผ่านออกจากหัวฉีดพร้อมกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้การปรับแรงดันอากาศ และแรงดันน้ำมันนั้นมีทั้งระบบ Manul และ Auto

ปัญหามลพิษจะพบมากที่สุดคือ ช่วงขั้นตอนที่เครื่องเริ่ม Start ซึ่งมีการ Ignition ขั้นตอนนี้ Blower จะส่งแรงดันลมเข้าไปยังห้องเผาไหม้ทำให้เกิดฝุ่นละอองเขม่าควันขึ้นมากหากอัตราส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศไม่เหมาะสมกัน หรืออุณหภูมิของน้ำมันยังไม่สูงเพียงพอทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ดังนั้นการทดสอบหาประสิทธิภาพจึงต้องทำในระบบ Automatic เพราะเป็นการใช้งานจริงตลอดเวลา เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ตรวจวัดค่ามลพิษของก๊าซไอเสียที่ออกจากปล่องไอเสียเครื่องกำเนิดไอน้ำ ก่อนเข้าอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียที่สร้างไว้ โดยวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งต้องตรวจวัดตั้งแต่ขณะที่เครื่องเริ่มทำงาน (Start) ช่วงจุดระเบิด (Ignition) ในระบบ Automatic เดินเครื่องที่ Midium Fire แล้วบันทึกค่าไว้

ขั้นตอนที่ 2

ตรวจวัดค่ามลพิษของก๊าซไอเสียที่ออกจากปล่องไอเสียเครื่องกำเนิดไอน้ำ หลังออกจากอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียที่สร้างไว้ โดยวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งต้องตรวจวัดตั้งแต่ขณะที่เครื่องเริ่มทำงาน (Start) ช่วงจุดระเบิด (Ignition) ในระบบ Automatic เดินเครื่องที่ Midium Fire แล้วบันทึกค่าไว้

ขั้นตอนที่ 3

นำค่ามลพิษจากก๊าซไอเสีย คือ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่วัดได้ทั้งก่อนเข้าอุปกรณ์ลดมลพิษ และหลังจากออกจากอุปกรณ์ลดมลพิษแล้วนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำว่ามีประสิทธิภาพเพียงใด

2.6.3 การประเมินลักษณะทางกายภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการทางด้านเครื่องกำเนิดไอน้ำจำนวน 3 ท่าน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.6.3.1 ผู้เชี่ยวชาญทางด้าน การประเมินผลลักษณะทางกายภาพ

นายณรงค์ชัย ทองรัตน์แก้ว คุณวุฒิ คอ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ตำแหน่ง หัวหน้างานวิศวกรรมสุขาภิบาล ฝ่ายวิศวกรรมบริการ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ประสพการณ์ 15 ปี

2.6.3.2 ผู้ชำนาญการทางมลพิษของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

นายอำนาจ สุวรรณรักษ์ คุณวุฒิ ศศ.ม สาขาสิ่งแวดล้อมศึกษา ตำแหน่ง วิศวกร 7 ประจำฝ่ายโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนนทบุรี กระทรวงอุตสาหกรรม ประสบการณ์ 15 ปี

นายครรชิต จามิกร คุณวุฒิ ปริญญาโท MASTER OF ENGINEERING (CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEER) ตำแหน่ง หัวหน้างานบำบัดน้ำเสีย และวิศวกรที่ปรึกษานายแพทย์ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลศิริราช ประสบการณ์ 13 ปี

2.6.4 ลักษณะทางกายภาพ โดยประเมินไว้ 3 ด้าน คือ

- ความประหยัด
- ความแข็งแรง
- ความปลอดภัย

2.7 สรุปผลการทดลอง

2.7.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2.7.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2.7.2.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพจะแสดงผลค่าฝุ่นละอองจากตัวแปรต้นที่กำหนด

2.7.2.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพจะแสดงผลค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์จากตัวแปรต้นที่กำหนด

2.7.2.3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพจะแสดงผลค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากตัวแปรต้นที่กำหนด

2.7.2.4 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพจะแสดงผลค่าออกไซด์ของไนโตรเจนจากตัวแปรต้นที่กำหนด

2.7.3 ลักษณะทางกายภาพ ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ด้านดังต่อไปนี้

2.7.3.1 ความประหยัด

2.7.3.2 ความแข็งแรง

2.7.3.3 ความปลอดภัย

แบบประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ผู้วิจัยได้กำหนดมาตราส่วนการให้คะแนนไว้ 3 ระดับ คือ

3	หมายถึง	ดี
2	หมายถึง	พอใช้
1	หมายถึง	ปรับปรุง

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแบบประเมินลักษณะทางกายภาพ ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ในการแปลผลมีความหมายดังนี้

2.50 - 3.00	หมายถึง	ดี
1.50 - 2.49	หมายถึง	พอใช้

1.00 – 1.49 หมายถึง ปรับปรุง

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานคือ ค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ย
$\sum X$	แทน	ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม
N	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการออกแบบกำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ ที่ใช้ในการสร้างตามรายละเอียดที่ได้ศึกษาค้นคว้าไว้ และกำหนดระยะเวลาในการสร้างทดสอบปรับปรุงแก้ไขการทำงานของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ตามแบบที่ได้กำหนดไว้ จากการทดลองใช้โดยการทดสอบประสิทธิภาพเป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัย

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองใช้อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1. ผลของการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ จากการคำนวณและการทดลอง เพื่อให้อุปกรณ์นี้สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพจึงได้โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้คอนกรีตเสริมเหล็กขนาดความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร ความสูง 1.75 เมตร และความหนา 20 เซนติเมตร เพื่อรองรับปริมาณของน้ำที่ใช้ในระบบทั้งหมดและภายในอุปกรณ์นี้ยังมีบ่อพักน้ำขนาดความกว้าง 0.65 เมตร ความยาว 1.10 เมตร ความสูง 1.75 เมตร ประกอบอยู่ด้วย จากขนาดของอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งสามารถบรรจุน้ำได้ตามต้องการและไม่เกิดผลกระทบใด ๆ กับเครื่องกำเนิดไอน้ำ

2. การทดสอบหาประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งตรวจวัดตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงาน (Start) จนเครื่องทำงานตามปกติที่ Medium Fire โดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยี่ห้อ Kane May รุ่น KM 900 และยี่ห้อ Testo รุ่น 350 (ภาคผนวก ค.) และผู้วิจัยได้ทำหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัย เพื่อแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญในการตรวจแบบประเมินผลและแสดงความคิดเห็นต่ออุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้น (ภาคผนวก ก.) มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 8. ผลการวัดประสิทธิภาพค่ามลพิษตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงานที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ร้อยละ 20

รายละเอียด	หน่วย	ประสิทธิภาพค่ามลพิษ / ครั้ง					ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ก่อนผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษ							
1. ฝุ่นละออง	mg/m ³	361.1	333.3	277.7	305.5	250	305.5
2. คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	ppm	7	9	8	8	9	8.2
3. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	ppm	933	906.1	902	891.4	839.9	894.4
4. ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	ppm	245.8	219.4	218.3	214.2	211.8	221.9

ตาราง 8 ต่อ

รายละเอียด หลังผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษ	หน่วย	ประสิทธิภาพค่ามลพิษ / ครั้ง					ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
1. ฝุ่นละออง	mg/m ³	277.7	222.2	83.5	111.1	55.5	150
2. คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	ppm	8	6	7	7	8	7.2
3. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	ppm	407.6	383.4	486.8	571.3	558.3	481.4
4. ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	ppm	191.8	190	197.9	206.3	207.3	198.6

จากตาราง 8. สามารถวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษของอุปกรณ์ ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำตั้งแต่เครื่องเริ่มทำงานนั้นเป็นไปตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ฝุ่นละอองวัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 305.5 mg/m³ โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทฝุ่นละอองหลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้วได้ค่าเฉลี่ย 150 mg/m³

2.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 8.2 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทคาร์บอนมอนนอกไซด์ หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้วได้ค่าเฉลี่ย 7.2 ppm

2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 894.4 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้วได้ค่าเฉลี่ย 481.4 ppm

2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 221.9 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทออกไซด์ของไนโตรเจน หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้ว ได้ค่าเฉลี่ย 198.6 ppm

3. การเปรียบเทียบวัดค่ามลพิษ ของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) ทางด้านปล่อยไอเสียออกจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ด้วยเครื่องมือตรวจวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Analyzer) ยี่ห้อ Kane May รุ่น KM 900 และยี่ห้อ Testo รุ่น 350 มีรายละเอียด ดังนี้

ตาราง 9. ผลการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536)

ลำดับ	รายละเอียด	หน่วย	ประสิทธิภาพค่ามลพิษ			
			เข้าก่อนผ่านอุปกรณ์		ออกหลังผ่านอุปกรณ์	
			ค่าเฉลี่ย		ค่าเฉลี่ย	ลดลงร้อยละ
1	ฝุ่นละออง	mg/ m ³	305.5	300	150	50.90
2	คาร์บอนมอนนอกไซด์	ppm	8.2	870	7.2	12.19
3	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ppm	894.4	1,250	481.4	46.17
4	ออกไซด์ของไนโตรเจน	ppm	221.9	250	198.6	40.50

จากตาราง 9 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) ของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นนั้นเป็นไปตามมาตรฐาน มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ฝุ่นละออง วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 305.5 mg/m³ โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษของเครื่องกำเนิดไอน้ำจากปล่องไอเสีย ตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงาน วัดค่ามลพิษประเภทฝุ่นละอองได้ค่าเฉลี่ย 150 mg/m³ โดยผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นและในส่วนของคุณค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) กำหนดไว้ไม่เกิน 300 mg/m³

3.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ วัดค่ามลพิษค่าเฉลี่ย 8.2 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษของเครื่องกำเนิดไอน้ำจากปล่องไอเสีย ตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงาน วัดค่ามลพิษประเภทคาร์บอนมอนนอกไซด์ ได้ค่าเฉลี่ย 7.2 ppm โดยผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้น และในส่วนของคุณค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) กำหนดไว้ไม่เกิน 870 ppm

3.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 894.4 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษของเครื่องกำเนิดไอน้ำจากปล่องไอเสีย ตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงาน วัดค่ามลพิษประเภทซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้ค่าเฉลี่ย 481.4 ppm โดยผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้น และในส่วนของคุณค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) กำหนดไว้ไม่เกิน 1,250 ppm

3.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 221.9 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษของเครื่องกำเนิดไอน้ำจากปล่องไอเสีย ตั้งแต่ขณะเครื่องเริ่มทำงาน วัดค่ามลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน ได้ค่าเฉลี่ย 198.6 ppm โดยผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้น และในส่วนของค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ 2536) กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 250 ppm

3. การประเมินลักษณะทางกายภาพ อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 10. ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยผู้เชี่ยวชาญ N = 3

หัวข้อที่ประเมิน	$\bar{X}$	ความหมาย
1. ความประหยัด		
1.1 วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหาง่าย	3.00	ดี
1.2 วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างราคาถูก	3.00	ดี
1.3 ใช้น้ำเป็นส่วนประกอบในการลดมลพิษ	3.00	ดี
1.4 น้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถบำบัดได้ง่ายมีต้นทุนต่ำ	3.00	ดี
1.5 อุปกรณ์นี้ควบคุมดูแลรักษาได้ง่าย	3.00	ดี
รวม	3.00	ดี
2. ความแข็งแรง		
2.1 โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักวัสดุและอุปกรณ์ได้	3.00	ดี
2.2 โครงสร้างทำจากวัสดุทนต่อการกัดกร่อนได้	2.33	พอใช้
2.3 โครงสร้างสามารถรับแรงดันได้	3.00	ดี
2.4 อุปกรณ์ภายในทนต่อการกัดกร่อนได้	3.00	ดี
2.5 อุปกรณ์ภายในทนต่อความร้อนได้	3.00	ดี
รวม	2.86	ดี
3. ความปลอดภัย		
3.1 ชั้นส่วนทุกชั้นออกแบบและสร้างให้มีความปลอดภัยขณะใช้งาน	2.66	ดี
3.2 ขณะใช้งานไม่เกิดผลกระทบกับเครื่องกำเนิดไอน้ำในทุกขั้นตอน	2.33	พอใช้
3.3 ชั้นส่วนภายในอุปกรณ์ออกแบบให้สามารถแยกชิ้นส่วนประกอบได้		

เพื่อความปลอดภัยในการซ่อมบำรุงรักษา	2.66	ดี
3.4 ขณะใช้งานไม่มีมลพิษรั่วซึมออกมาจากอุปกรณ์	3.00	ดี
3.5 ระบบควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ	2.66	ดี
รวม	2.66	ดี

73

จากตาราง 10 แสดงให้เห็นว่า การประเมินผลทางกายภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน มีความประหยัมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี รองลงมาคือ ด้านความแข็งแรง ซึ่งด้านความแข็งแรงนั้น ในส่วนของวัสดุโครงสร้างทำจากวัสดุทนการกัดกร่อนได้มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 2.33 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้ และด้านความปลอดภัยในส่วนของคุณลักษณะใช้งานไม่เกิดผลกระทบกับเครื่องกำเนิดไอน้ำทุกขั้นตอนมีค่าเฉลี่ย 2.33 อยู่ในเกณฑ์พอใช้

ตาราง 11 ผลสรุปการประเมินลักษณะทางกายภาพของผู้เชี่ยวชาญ N = 3

หัวข้อที่ประเมิน	$\bar{X}$	ความหมาย
ความประหยั	3.00	ดี
ความแข็งแรง	2.86	ดี
ความปลอดภัย	2.66	ดี

จากตาราง 11 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้น โดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมินทางกายภาพของความประหยัอยู่ในระดับดีซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ความแข็งแรงอยู่ในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.86 และความปลอดภัยอยู่ในระดับดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 จากการประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ที่สร้างขึ้นโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษ คือ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S – 500 – 06 โดยประเมินลักษณะทางกายภาพ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการลดมลพิษคือ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ยี่ห้อ KEWANEE รุ่น H3S – 500 – 06

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้อุปกรณ์ลดมลพิษได้แก่ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
2. ทำให้สามารถลดฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำได้ ซึ่งเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม
3. ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและการพัฒนาการลดมลพิษได้แก่ ฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ออกจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

สมมติฐานในการวิจัย

อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ มีประสิทธิภาพสามารถลดฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ตามที่มาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) กำหนดไว้ ทำการทดสอบตรวจวัดตั้งแต่ขณะที่เครื่องเริ่มทำงาน (Start) ในระบบ อัตโนมัติ (Automatic)

การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
ครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารตำราและงานวิจัยต่าง ๆ ในส่วนของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ที่ทำให้เกิดมลพิษในก๊าซไอเสีย
2. ทำการออกแบบอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย และวัสดุอุปกรณ์ในการลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
3. กำหนดวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในส่วนต่าง ๆ ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
4. กำหนดเวลาและสถานที่ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ
 - 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสีย เริ่มตั้งแต่ วันที่ 1 ตุลาคม 2546 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2546
 - 4.2 สถานที่ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ณ งานบริการผ้า โรงพยาบาลศิริราช
5. สร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสร้างตามแบบที่กำหนด
6. ทดสอบ ปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่งานบริการผ้า โรงพยาบาลศิริราช เลขที่ 2 ถ. พรานนก บางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร
7. ทดสอบหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ตามค่ามาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพที่งานบริการผ้า โรงพยาบาลศิริราช เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพที่เป็นไปตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) ของการทดลองใช้อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เป็นไปตามขอบเขตของการวิจัยซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยใช้หลักการของการควบคุมมลสารที่ใช้แยกอนุภาคออกจากอากาศเสีย ชนิดเครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บแบบเปียก (Scrubber or Collectors) ซึ่งไอเสียจะผ่านระบบสเปรย์หรือมาน้ำ ทำให้มลพิษต่างๆ ถูกน้ำกั้นไว้ หรือละลายรวมตัวกับน้ำ โดยโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กมีความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร ความสูง 1.75

เมตร ความหนา 20 เซนติเมตร ส่วนภายในอุปกรณ์นี้ ด้านบนทำเป็นคอนกรีตต่างระดับ เพื่อให้เป็นที่
ปะทะของก๊าซ ไอเสียในแต่ละชั้น อุปกรณ์ต่างๆ ใช้สแตนเลสเพื่อป้องกันการผุกร่อน การประเมินลักษณะทาง
กายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมินทั้ง 3
ท่าน คือ

- 1.1 ความประหยัด ผลการประเมินอยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00
- 1.2 ความแข็งแรง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.86
- 1.3 ความปลอดภัย ผลการประเมินอยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66

จากการประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้าง
ขึ้นโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี

2. การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำนี้
โดยใช้มาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) ซึ่งมีค่าต่างๆ ที่กำหนดไว้ไม่ให้เกิน ถึงแม้
จะมีค่าของมลพิษบางประเภทที่ไม่เกินอยู่ก็ควรที่จะทำให้อัตราลดลงถ้ามีความเป็นไปได้ ในการทดสอบ
ประสิทธิภาพโดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยี่ห้อ Kane May รุ่น KM 900 และยี่ห้อ Testo
รุ่น 350 สำหรับมลพิษทั้ง 4 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ฝุ่นละอองวัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 305.5 mg/m³ โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอ
เสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทฝุ่นละออง

หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ที่สร้างขึ้นแล้วได้ค่าเฉลี่ย 150 mg/m³
เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) ที่กำหนดไว้

2.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 8.2 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ ลด
มลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภท
คาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้วได้
ค่าเฉลี่ย 7.2 ppm เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536)
ที่กำหนดไว้

2.3 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 894.4 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลด
มลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทซัลเฟอร์ได
ออกไซด์ หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้วได้ค่าเฉลี่ย 481.4
ppm เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) ที่กำหนดไว้

2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) วัดค่ามลพิษได้ค่าเฉลี่ย 221.9 ppm โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ลด
มลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษซิงไนโตรเจน
หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นแล้ว ได้ค่าเฉลี่ย 198.6 ppm
เป็นไปตามค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) ที่กำหนดไว้

2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัดค่ามลพิษประเภทต่าง ๆ คือ ฝุ่นละออง
คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของ

เครื่องกำเนิดไอน้ำ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) โดยค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับฝุ่นละอองไม่เกิน 300 mg/m^3 การตรวจวัดได้ค่าฝุ่นละอองหลังจาก 77 ผ่าน อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำแล้วมีค่าเฉลี่ย 150 mg/m^3 ค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ กำหนดไว้ไม่เกิน 870 ppm ตรวจวัดได้หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำแล้วมีค่าเฉลี่ย 7.2 ppm ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์กำหนดไว้ไม่เกิน $1,250 \text{ ppm}$ ตรวจวัดได้หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำแล้วค่าเฉลี่ย 481.4 ppm ค่าออกไซด์ของไนโตรเจนกำหนดไว้ไม่เกิน 250 ppm ตรวจวัดได้หลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำแล้ว ได้ค่าเฉลี่ย 198.9 ppm จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดมลพิษทั้ง 4 ประเภท มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้อยู่มาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นนี้ มีประสิทธิภาพดี

3. การประเมินลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน ความประหยัดอยู่ในระดับดี โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ความแข็งแรงอยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.86 ความปลอดภัยอยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 จากการประเมิน ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ที่สร้างขึ้นโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี

อภิปรายผล

จากสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำมีประสิทธิภาพสามารถลดฝุ่นละออง คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Co) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) กำหนดไว้ โดยทำการทดสอบตรวจวัดตั้งแต่ที่เครื่องเริ่มต้นทำงาน (Start) ในระบบอัตโนมัติ ปรากฏผลการศึกษาค้นคว้าสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ จึงอภิปรายผลได้ดังนี้

1. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่สร้างขึ้นโดยมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดความกว้าง 1.50 เมตร ความยาว 6.00 เมตร ความสูง 1.75 เมตรและความหนา 20 เซนติเมตร โดยมีส่วนประกอบที่เป็นโลหะใช้สแตนเลสแท่งทั้งสิ้น จากการทดลองใช้งานแล้วไม่เกิดผลกระทบใดใดในเชิงลบกับเครื่องกำเนิดไอน้ำ การควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติการออกแบบได้มุ่งเน้นในการเลือกวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2. การศึกษาประสิทธิภาพอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) การลดมลพิษประเภทต่าง ๆ คือ ฝุ่นละอองจากการวัดได้ค่าเฉลี่ย 150 mg/m^3 คาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ค่าเฉลี่ย 7.2 ppm ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ค่าเฉลี่ย 481.4 ppm และออกไซด์ของไนโตรเจน ได้ค่าเฉลี่ย 198.6 ppm โดยวัดหลังจากผ่านอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งเป็นไปตามค่ามาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2536) ที่กำหนดไว้ เนื่องจากผู้วิจัยใช้หลักการภูมิปัญญาท้องถิ่นด้วยการใช้น้ำในการลดมลพิษเพราะหาง่าย ราคาถูก เป็นตัวทำลายได้ดี และบำบัดได้ง่ายจึงนำมาประยุกต์เข้ากับเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียกหรือสครับเบอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ของเหลวแยกฝุ่นหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็ก ในกรณีนี้จะทำให้น้ำของมลสารเพิ่มขึ้นและช่วย

ให้การแยกมลสารจากกระแสก๊าซยวขึ้นของเหลวหรือน้ำจะถูกจัดให้เป็นละออง เพื่อช่วยให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคนาขนาดเล็ก ๆ จะมีการแยกจากแรงโน้มถ่วงของโลกบ้าง ส่วนอนุภาคนาเล็ก ๆ ก็จะมีการแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตหรือแรงที่เกิดจากความร้อนด้วยเครื่องเก็บแบบเปียกนี้สามารถแยกอนุภาคนาเล็ก ๆ ที่เป็นของแข็งและของเหลวที่มีขนาดระหว่าง 0.1 μm ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้งเพราะอนุภาคนาเล็ก ๆ จะรวมตัวใหญ่ขึ้น เมื่อสัมผัสกับน้ำในขณะเดียวกัน การฟุ้งกลับของตะกอน จะมีน้อยเพราะอนุภาคนาจะเปียกและถูกกักไว้ในชั้นของเหลว (Liquid Film) (เกษม ไชยญา.2538 : 24 - 25) ซึ่งตามหลักการของเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียกนี้มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองได้ร้อยละ 90 ส่วนอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นเป็นการประยุกต์จากการใช้สเปรย์น้ำให้เป็นฝอยละอองผ่านฝุ่นละอองเขม่าควัน โดยมีชั้นคอนกรีตต่างระดับเป็นกำแพงปะทะแล้วจึงให้น้ำสเปรย์ฉีดเป็นระบบมาน้ำ แต่เนื่องจากไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำมีแรงดันสูงมีผลทำให้สเปรย์น้ำสัมผัสกับฝุ่นละออง เขม่า ควัน ได้ไม่ทั่วถึงจึงทำให้ไม่ได้ผลตามหลักการของเครื่องเก็บแบบเปียกแต่โดยภาพรวมสามารถลดมลพิษประเภทต่าง ๆ โดยเฉลี่ยคือ ฝุ่นละอองลงได้ร้อยละ 50.90 ลดคาร์บอนมอนนอกไซด์ลงได้ร้อยละ 12.19 ลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลงได้ร้อยละ 46.17 ลดออกไซด์ของไนโตรเจนลงได้ร้อยละ 10.50 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างและทดลองนี้สามารถลดมลพิษประเภทต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะการลดมลพิษจากก๊าซนั้นทำได้ยากและมีต้นทุนสูงมากถ้าเปรียบเทียบกับประเภทอื่น ๆ

3. ผลการประเมินทางด้านกายภาพของอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน แบ่งออกเป็น 3 ด้าน และมีผลการประเมินดังนี้คือ

3.1 ด้านความประหยัด จากแบบประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน พบว่าความประหยัดอยู่ในระดับดี ทุกข้อโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ผู้วิจัยได้ใช้โครงสร้างของอุปกรณ์ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก ทำให้ต้นทุนต่ำ และดูแลรักษาง่าย

3.2 ด้านความแข็งแรง อยู่ในระดับดีจากผู้เชี่ยวชาญโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.86 เพราะรับน้ำหนักได้ตามที่กำหนด ทนต่อการกัดกร่อนได้ ทนแรงดัน และ ความร้อนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรวุฒิ จิตตโสภณ.(2542 : 28) เรื่องการออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ดดยมีการสร้างห้องเผาไหม้ที่ใช้อิฐทนไฟในลักษณะเช่นเดียวกับคอนกรีต และอีกเหตุผลหนึ่งคือ อัตราการเกิดการกัดกร่อนและปริมาณการกัดกร่อนที่สามารถยอมรับได้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ในโครงสร้างบางอย่างอาจยอมให้เกิดการกัดกร่อน หรือออกซิเดชันอย่างสม่ำเสมอได้ในระดับหนึ่ง ในขณะที่วัสดุและอุปกรณ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาอาหารนั้นจะไม่ยอมให้เกิดการกัดกร่อน แม้แต่เพียงเล็กน้อย (บัญชา ธนบุญสมบัติ.2543:31)

3.3 ด้านความปลอดภัย อยู่ในระดับดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 เพราะวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ได้ออกแบบขึ้นมาเองซึ่งมีความปลอดภัยอยู่แล้ว และได้ทดลองใช้งานตรงกับเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยไม่เกิดผลกระทบใด ๆ ในทุกขั้นตอน แต่มีข้อสังเกตว่า ยังไม่มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำหลังจากติดตั้งอุปกรณ์นี้แล้ว และการทำความสะอาดต้องใช้คนเข้าไปภายในอุปกรณ์ ซึ่งอาจเกิดความปลอดภัยได้

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาค้นคว้านี้สมบูรณ์ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าในอนาคตดังนี้

1. การทำความสะอาดภายในอุปกรณ์ควรติดตั้งท่อน้ำประปาโดยตรงจากปั๊มน้ำที่ใช้สเปรย์น้ำในระบบพร้อมทั้งมีวาล์วปิด - เปิดเมื่อถึงกำหนดเวลาทำความสะอาดให้ปิดวาล์วน้ำที่จะไปสเปรย์ในระบบแล้วเปิดวาล์วของท่อน้ำที่ต่อไว้สำหรับทำความสะอาด
2. ควรมีการจัดทำส่วนที่กั้นสารแขวนลอยที่ไม่เจมน้ำซึ่งลอยอยู่เหนือผิวน้ำเมื่อมีแรงดันจากไอเสียของเครื่องจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำลอยตามออกไปด้วย

79

3. ควรมีตะแกรงกรองเพื่อดักน้ำที่ปนออกไปกับไอเสียที่ปลายปล่องไอเสีย
4. ควรสร้างปล่องไอเสียให้มีความสูงมากกว่าอาคารสูงที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อป้องกันไอเสียฟุ้งกระจายและถูกแรงลมพาเข้าไปสร้างความเสียหายเดือดร้อนให้กับบุคคลที่อยู่ในบริเวณนั้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้อุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียร่วมด้วย
2. การศึกษามลพิษที่ออกจากอุปกรณ์ลดมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำและวิธีบำบัด
3. ควรศึกษาว่าอุปกรณ์ลดมลพิษนี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประเภทอื่น ๆ อีก

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.(2536). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : อินทิเกรตเต็ดโปรโมชันเทคโนโลยี.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2532). คู่มือการควบคุมหม้อไอน้ำ.ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ฝ่ายหม้อน้ำและถังมีความดัน กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- การปิโตรเลียม แห่งประเทศไทย จำกัด.(2546). ความรู้เกี่ยวกับปิโตรเลียม. ฉบับปี 2003. กรุงเทพฯ : ส่วนบริการเทคนิคตลาดพาณิชย์.
- กัญญา บุญเกียรติ.(2544). เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์.(2537). วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- เกษม ไชยญา. (2538). การออกแบบสร้างและศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์กำจัดสิ่งปนเปื้อนและมลพิษออกจากก๊าซไอเสีย : กรณีศึกษากระบวนการเผาคาร์บอนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ในโรงงานผลิตผงชูรส. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.ถ่ายเอกสาร.
- จิรภูมิ จิตโตโสภณ. (2542). การออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.ถ่ายเอกสาร.
- ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2522). เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพฯ : ศึกษาสัมพันธ์.
- ชาญ ถนัดงาน. (2525). กลศาสตร์ของไหล.กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ.
- เชียวเวทย์ ยัมศิริกุลและคณะ. (2522). หม้อไอน้ำ 1. กรุงเทพฯ : สีทองกิจไพศาล.
- ณรงค์ ณ.เชียงใหม่. (2531). มลพิษสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ธำรง โชตะมังสะ และสุจิตต์ สอนองคุณ. (2521). เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : พิกัดอักษร.
- บริษัท เอสโซ่แอสเตนดาร์ด ประเทศไทย จำกัด.(2525). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันเตา. กรุงเทพฯ : ธุรกิจอุตสาหกรรมและการพาณิชย์
- บัญชา ธนบุญสมบัติ. (2543). การออกแบบทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : ส.เอเชียเพรส.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2535). การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ.(2519). เครื่องต้นกำลัง 1. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.
- ภูศิลป์ เกิดอินทร์.(2545). การออกแบบและสร้างหม้อกรองไอเสียชนิดใช้น้ำ สำหรับรถเครื่องยนต์ดีเซล. วิทยานิพนธ์ กศ.ม(อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- มานะ กลัดเข็มเพชร.(2539). ความรู้และความตระหนักต่อมลพิษทางอากาศของเจ้าหน้าที่ตำรวจชั้นประทวน ประจำสถานีตำรวจภูธร อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ ศศ.ม สาขาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ไมตรี สุทธิจิตต์.(2531). สารพิษรอบตัวเรา. กรุงเทพฯ : ดาวคอมพิวเตอร์กราฟฟิค.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์,นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต.(2536). มลภาวะอากาศ.ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ :

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิวัฒน์ ภัททิยธนี.(2544).เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์,พัฒนา มุลพฤษ และธารรัตน์ มุ่งเจริญ.(2535). การป้องกันและควบคุมมลพิษ.

กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาติ วิทยารุ่งเรืองศรี.(2524). หม้อน้ำ. กรุงเทพฯ : ฟีนีพับลิชชิง.

สุชัย ศศิวิมลพันธ์.(2526). เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.

Calvert et, at.(1972). *Foundamentals of Air Pollution*.

Addison – Wesley,Massachusetts.

Carl D. Shields,(1961). *Boilers : Types, Characteristics, and Functions*, McGraw – Hill Book

Company, New York.

Hesketh, H.E.(1974). *Understanding & Controlling Air Pollution*.

Ann Arbor Science, Michigan.

Parker, H.W (1977). *Air Pollution*. Prentice – Hill, Inc.,

Perkins, H.C. (1974). *Air Pollution*. McGraw – Hill Book Company,

Severns, William H.(1962). *Air and Gas Power*, Harlew E. Tuttle Company,Toley.

Wark,K.& Wamer,C.F.(1976). *Air Pollution*. Harper & Row, Publisher.

Williams J.N., (1960). *Boiler House Practice*, George Allen and Unwin Ltd. London.