การคำนวณออกแบบเชิงวิศวกรรมและการประเมินต้นทุนของระบบบำบัดก๊าซทิ้งจากเมรุเผาศพ

นาย นพดล อนุจารีอาภา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-608-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18559670

ENGINEERING DESIGN AND COST EVALUATION OF THE TREATMENT SYSTEM FOR GAS EMISSION FROM A CREMATORY

Mr. Noppadol Anujareearpa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-608-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณออกแบบเชิงวิศวกรรมและการประเมินต้นทุนของระบบบำบัดก๊าซทิ้งจากเมรุเผาศพ
โดย	นาย นพดล อนุจารีอาภา
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
ที่ปรึกษาร่วม	คุณพรจันทร์ เกษจุฬาศรีโรจน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

_____ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

_____ กรรมการ
(คุณพรจันทร์ เกษจุฬาศรีโรจน์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เท่านั้น

นพดล อนุจารีอาภา : การคำนวณออกแบบเชิงวิศวกรรมและการประเมินต้นทุนของระบบบำบัดก๊าซทิ้งจากเมรุเผาศพ (ENGINEERING DESIGN AND COST EVALUATION OF THE TREATMENT SYSTEM FOR GAS EMISSION FROM A CREMATORY) อ.ที่ปรึกษา: ศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม คุณพรจันทร์ เกษจุฬาศรีโรจน์ ; 206 หน้า. ISBN 974-331-608-6.

การคำนวณออกแบบเชิงวิศวกรรมและการประเมินต้นทุนของระบบบำบัดก๊าซทิ้งจากเมรุเผาศพ จะทำการคำนวณออกแบบเชิงวิศวกรรมข้างต้นและประเมินต้นทุนของระบบบำบัดก๊าซทิ้งจากเมรุเผาศพของระบบ 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดก๊าซทิ้งแบบ Electron Attachment และระบบเตาเผาซ้ำ การประเมินเปรียบเทียบต้นทุนของระบบทั้งสองจะใช้ Net Present Value (NPV) เป็นเกณฑ์ตัดสินในการเลือกระบบที่จะลงทุน

ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซกลิ่นเหม็นและก๊าซมลพิษในก๊าซทิ้งที่จะบำบัดนั้นอ้างอิงจากข้อมูลของการเผาศพของประเทศญี่ปุ่น ปริมาณก๊าซเฉลี่ยที่ต้องทำการบำบัดคำนวณได้จากปริมาณความต้องการอากาศจากการเผาไหม้สิ่งต่างๆ ภายในเตาเผา ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและช่วงเวลา ความเข้มข้นของก๊าซกลิ่นเหม็นและก๊าซมลพิษที่บำบัดแล้วจะต้องไม่เกินมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงจากการออกแบบพบว่าระบบ Electron Attachment ประกอบด้วยหอทำความเย็นแบบสัมผัสตรง ระบบหมุนเวียนน้ำ ถังปฏิกรณ์และพัดลม ส่วนระบบเตาเผาซ้ำประกอบด้วย ไซโคลน เตาเผาซ้ำชนิดใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงและพัดลม

การประเมินต้นทุนของระบบบำบัดข้างต้น ที่สมมติฐานในการคำนวณคือ อายุของโครงการ 20 ปี อัตราดอกเบี้ยเงินฝากเฉลี่ยที่ 8% อัตราแลกเปลี่ยนค่าเงิน 40 บาท ต่อดอลลาร์ และอัตราภาษีสาธารณูปโภค 10% พบว่า ระบบ Electron Attachment มี Capital Cost เท่ากับ 4,006,344 บาท และ Annual Cash Flow เท่ากับ 201,919 บาท NPV เท่ากับ –2,023,894 บาท และระบบเตาเผาซ้ำมี Capital Cost เท่ากับ 4,725,850 บาท และ Annual Cash Flow เท่ากับ 98,371 บาท NPV เท่ากับ –3,760,039 บาท พบว่าระบบแรกให้ค่า NPV ที่สูงกว่า และต้นทุนทั้งสองก็มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นระบบบำบัดนี้จึงมีความเป็นไปได้ในการเลือกเป็นระบบที่ใช้บำบัดจริง และน่าจะทำการศึกษาวิจัยปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัด หรือศึกษารูปแบบโครงสร้างอื่นเพื่อเป็นการลดต้นทุนของระบบให้มีค่าเหมาะสมมากขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C817550 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: ELECTRON ATTACHMENT / AFTER BURNER / TREATMENT SYSTEM / COST EVALUATION

NOPPADOL ANUJAREEARPA : ENGINEERING DESIGN AND COST EVALUATION OF THE TREATMENT SYSTEM FOR GAS EMISSION FROM A CREMATORY. THESIS ADVISOR: PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D. ;THESIS CO-ADVISOR MISS PORNCHAN KATECHULASRIROJ, 206 PP. ISBN 974-331-608-6

Engineering design and cost evaluation of treatment system for gas emission from a crematory is to be designed 2 kinds of different gas treatment system and evaluated total cost of each system and compared total cost between each other by using Net present value as the judgement of selection system as the criteria. The former treatment system is called Electron Attachment system and the latter system is called After Burning System.

The concentration of malodorous gasses and gas pollutants are based on Japanese observation data. The capacity of gas to be treated is calculated from the air consumption of all type of fuels inside a crematory furnace which relating to the variation of rate of combustion, temperature against the operating time. The configuration of the former system consists of Direct contact gas cooler, Water circulation system, Electron attachment reactor and Blower. The latter system consists of Cyclone, LPG fuel gas Thermal Oxidizer and Blower.

Basis of cost evaluation are 20 years project lifetime, 8% the average project opportunity cost of capital, 40 Baht/Dollar currency exchange rate and 10% facility tax rate. Capital cost, annual cash flow and NPV of the former system is 4,006,344 , 201,919 and –2,023,894 Baht, respectively and 4,725,850 , 98,371 and –3,760,039 Baht for the other system. Because the former system has higher NPV so it has the possibility to be selected as the applied gas treatment system. However this system should be studied in more detail i.e. Structure of system, improving destruction efficiency. So it will have cost reduction and become more realistic system to be applied.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ดัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนแก้ปัญหาต่าง ๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล และคุณพรจันทร์ เกษจุพาศรีโรจน์อาจารย์กรรมการ ที่กรุณาสละเวลา และให้ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคุณจันจิรา วงศ์ไพฑูรย์ปิยะ คุณพรรณี อัศวพิษยนต์ คุณสุกัญญา ทันเจริญ คุณชัชวาลย์ วานิชผล คุณรณศักดิ์ โมมินทร์ คุณอารี ตันทวีวงศ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือในด้านการจัดเตรียมข้อมูลเอกสารที่ใช้ในการประกอบในวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งให้คำแนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้ ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่ๆ ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแกผู้วิจัยเสมอมา

ประโยชน์อันใดอันเกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลจากกความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฏ
สารบัญรูป.....ฑ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ด

บทที่

1. บทนำ.....1
   1.1 มูลเหตุจูงใจ.....1
   1.2 วัตถุประสงค์วิทยานิพนธ์..... 3
   1.3 แนวทางและขอบเขตวิทยานิพนธ์.....3
   1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
   1.5 งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องในอดีต.....4
2. เอกสารข้อมูลพื้นฐาน.....9
   2.1 หลักการทำงานและองค์ประกอบของเตาเผาศพที่ใช้อ้างอิง..... 9
      2.1.1 ส่วนประกอบของเตาเผาที่ใช้ในการศึกษา.....9
      2.1.2 วิธีปฏิบัติการเผาศพด้วยเตาเผาที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....14
      2.1.3 วิธีการเผาศพด้วยเตาเผาศพด้วยน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
      แบบประหยัด.....17
   2.2 ข้อมูลก๊าซทิ้งจากเตาเผาศพที่ใช้ออกแบบ.....18
   2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Electron Attachment Reactor.....23
      2.3.1 หลักการทำให้ก๊าซบริสุทธิ์.....24
      2.3.2 การทดลองหาประสิทธิภาพการกำจัดของมลพิษแต่ละชนิด.....25
      2.3.3 ผลของโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....29

2.3.4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองทั้งหมด.....34
2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบบำบัดก๊าซทิ้งจาก
เตาเผาศพด้วย Electron Attachment Reactor.....35
2.4.1 หอหล่อเย็นแบบสัมผัสตรง.....35
2.4.2 อุปกรณ์ดักจับของเหลว.....38
2.4.3 การคำนวณหาประสิทธิภาพการจับฝุ่น.....39
2.4.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....40
2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบเตาเผาซ้ำ.....42
2.5.1 ระบบเตาเผาซ้ำ 42
2.5.2 การคำนวณหา Bulk-Residence-Time.....50
3. การคำนวณออกแบบระบบบำบัดก๊าซทิ้งด้วย Electron Attachment Reactor.....53
3.1 คำอธิบายกระบวนการของระบบบำบัด.....53
3.2 แผนผังการไหลของระบบบำบัด.....54
3.3 สมดุลมวลสาร.....55
3.4 การคำนวณออกแบบอุปกรณ์ในระบบ.....72
3.4.1 การคำนวณออกแบบหอสัมผัสตรง.....72
3.4.2 การคำนวณหาขนาดของปั๊มป์.....76
3.4.3 การคำนวณหาขนาดของถังน้ำ.....77
3.4.4 การคำนวณหาขนาดของถังปฏิกรณ์.....77
3.4.5 การคำนวณเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....77
3.4.6 การคำนวณขนาดของพัดลม.....78
4. การคำนวณออกแบบระบบเตาเผาซ้ำ.....79
4.1 คำอธิบายกระบวนการของระบบบำบัด.....79
4.2 แผนผังการไหลของระบบบำบัด.....80
4.3 สมดุลมวลสาร.....81
4.4 การคำนวณออกแบบอุปกรณ์ในระบบ.....82
4.4.1 การคำนวณออกแบบขนาดเตาเผาซ้ำ.....82
4.4.2 การคำนวณหาขนาดของไซโคลน.....83
4.4.3 การคำนวณขนาดของพัดลม.....85
5. การประเมินต้นทุน.....86

5.1 การประเมินต้นทุนของระบบบำบัดก๊าซทิ้ง.....89
5.1.1 การประเมินต้นทุน Capital Cost.....89
5.1.2 การประเมินต้นทุน Annual Cash Flow.....90
5.2 การประเมินต้นทุนของระบบเตาเผาซ้ำ.....90
5.2.1การประเมินต้นทุน Capital Cost.....90
5.2.2 การประเมินต้นทุน Annual Cash Flow.....91
5.3 การประเมินเปรียบเทียบ.....91
6. วิธีการปฏิบัติงานของระบบ.....105
6.1 วิธีการปฏิบัติงานของระบบ Electron Attachment.....105
6.2 วิธีการปฏิบัติงานของระบบ After Burning.....109
7. สรุป.....112
7.1 ข้อสรุปหลัก.....112
7.2 แนวทางการดำเนินงานต่อ.....113

รายการอ้างอิง.....115
ภาคผนวก.....117
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษด้วย Electron Attachment.....117
ภาคผนวก ข ข้อมูลการหาความดันลดแบบแพค ภายในหอสัมผัสตรง.....129
ภาคผนวก ค ค่าพารามิเตอร์ในการทำนายประสิทธิภาพการจับฝุ่น.....130
ภาคผนวก ง สรุปการคำนวณหาความสามารถในการละลายของก๊าซต่างๆ ในน้ำของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment.....131
ภาคผนวก จ สรุปการคำนวณออกแบบหอทำความเย็นแบบสัมผัสตรง.....136
ภาคผนวก ฉ สรุปการทำนายประสิทธิภาพการจับฝุ่น และการออกแบบขนาดของ Demister.....139
ภาคผนวก ช สรุปการคำนวณออกแบบแพคเบดของหอสัมผัสตรง ของระบบ Electron Attachment.....140
ภาคผนวก ซ สรุปการคำนวณออกแบบขนาดของปั๊มป์ ของระบบ Electron Attachment.....141
ภาคผนวก ฌ สรุปการคำนวณหาความดันสูญเสีย ของระบบ

Electron Attachment เพื่อกำหนดขนาดของพัดลม.....142
ภาคผนวก ญ แบบต่างๆ ของระบบElectron Attachment.....152
ภาคผนวก ฏ สรุปการคำนวณสมการการเผาไหม้ ของก๊าซเชื้อเพลิง
ของระบบ After Burning.....170
ภาคผนวก ฏ สมดุลมวลสารขององค์ประกอบของก๊าซทิ้งหลังปฏิกิริยา
การเผาไหม้ของระบบ After Burning.....173
ภาคผนวก ฐ สรุปการคำนวณออกแบบเตาเผาซ้ำของระบบ After Burning.....175
ภาคผนวก ฑ สรุปการคำนวณออกแบบไซโคลนของระบบ After Burning.....178
ภาคผนวก ฒ สรุปการคำนวณหาความดันสูญเสียของระบบ After Burning
เพื่อกำหนดขนาดของพัดลม.....180
ภาคผนวก ณ แบบต่างๆ ของระบบAfter Burning.....187
ภาคผนวก ด รูปร่างลักษณะและแบบแสดงการจัดเรียงภายในของเครื่องดักจับฝุ่นแบบ
ไฟฟ้าสถิตย์.....198
ประวัติผู้วิจัย.....206

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.2.1 ค่าการปฏิบัติการของการเผาศพของเมรุเผาศพที่ใช้อ้างอิง....19

2.2.2 องค์ประกอบของน้ำมันดีเซล....20

2.2.3 องค์ประกอบของร่างกาย (ชายน้ำหนัก 70 กิโลกรัม)....21

2.2.4 ธาตุในร่างกาย (ชายน้ำหนัก 70 กิโลกรัม)....22

3.3.1 อัตราการใช้น้ำมันดีเซลของหัวเผาใหญ่ในการเผาศพ....60

3.3.2 อัตราการใช้น้ำมันดีเซลของหัวเผากลิ่นและควันของการเผาศพ(ก่อนทำการยกเลิก)....60

3.3.3 อัตราการเผาไหม้ของโลงไม้ต่อช่วงเวลา....61

3.3.4 อัตราการเผาไหม้ของศพต่อช่วงเวลา....61

3.3.5 อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ศพต่อช่วงเวลา....62

3.3.6 อัตราการป้อนอากาศในการเผาไหม้ศพปรกติต่อช่วงเวลา....62

3.3.7 อัตราการป้อนอากาศในการเผาไหม้ตามทฤษฎีและค่าในการออกแบบ....63

3.3.8 อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาเผาใหญ่และเตาเผากลิ่นและควันตามช่วงเวลา....63

3.3.9 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของก๊าซจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลตามช่วงเวลาต่างๆ....64

3.3.10 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของก๊าซจากการเผาไหม้ถ่านไม้ตามช่วงเวลาต่างๆ....65

3.3.11 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของก๊าซจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมนุษย์ตามช่วงเวลาต่างๆ....66

5.1.1 ราคาอุปกรณ์ประเภทถัง ท่ออากาศ รวมค่าขนส่งติดตั้งของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....92

5.1.2 ราคาอุปกรณ์ประเภทRotating Machineรวมค่าขนส่งติดตั้งของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....93

5.1.3 ราคาค่าวัสดุและค่าแรงของค่าทาสีของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....93

5.1.4 ราคาค่าวัสดุและค่าแรงของฉนวนกันความร้อนของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....94

5.1.5 ราคาค่าวัสดุและค่าแรงของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์วัดคุมของระบบบำบัด Electron Attachment....94

5.1.6 สรุป Capital Cost ของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....95

5.1.7 ค่าน้ำประปาต่อปีของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....95

5.1.8 ค่าไฟฟ้าต่อปีของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment....96

5.1.9 ค่า Operating Cost ต่อปีของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment.....96
5.1.10 ค่าแรงและวัสดุในการบำรุงรักษาต่อปีของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment.....97
5.1.11 รายรับต่อปีของระบบบำบัดแบบ Electron Attachment.....97
5.2.1 ราคาเตาเผาชั้นรวมค่าติดตั้ง.....98
5.2.2 ราคาอุปกรณ์ประเภทถัง ท่ออากาศรวมค่าขนส่งติดตั้งของระบบบำบัดแบบ After Burning..99
5.2.3 ราคาอุปกรณ์ประเภท Rotary Machineรวมค่าขนส่งติดตั้งของระบบบำบัดแบบ After Burning 100
5.2.4 ราคาค่าวัสดุและค่าแรงของค่าทาสีของระบบบำบัดแบบ After Burning.....100
5.2.5 ราคาค่าวัสดุและค่าแรงของฉนวนกันความร้อนของระบบบำบัดแบบ After Burning.....101
5.2.6 ราคาค่าวัสดุและค่าแรงของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์วัดคุมของระบบบำบัดแบบ After Burning.....101
5.2.7 สรุป Capital Cost ของระบบบำบัดแบบ After Burning.....102
5.2.8 ค่าไฟฟ้าต่อปีของระบบบำบัดแบบ After Burning.....102
5.2.9 ค่าเชื้อเพลิงต่อปีของระบบบำบัดแบบ After Burning.....103
5.2.10 ค่า Operating Cost ต่อปีของระบบบำบัดแบบ After Burning 103
5.2.11 ค่าแรงและค่าวัสดุในการบำรุงรักษาต่อปีของระบบบำบัดแบบ After Burning.....104
5.2.12 รายรับต่อปีของระบบบำบัดแบบ After Burning.....104
ก.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของก๊าซต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....126
ก.2 อิทธิพลของค่า SV ต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....126
ก.3 อิทธิพลของการมีอยู่ร่วมของ O_2 และ By-Product ต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....127
ก.4 อิทธิพลของการมีอยู่ร่วมของ ไอน้ำ และ By-Product ต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....127
ก.5 อิทธิพลของการมีอยู่ร่วมของ ไอน้ำ และ O_2 และ By-Product ต่อประสิทธิภาพการกำจัด.....128
ค.1 ค่าพารามิเตอร์ในการทำนายประสิทธิภาพในการจับฝุ่น.....130
ง.1 การคำนวณหา Activity Coefficient ขององค์ประกอบก๊าซต่างๆ.....132
ง.2 ค่าคงที่ของเฮนรี่ขององค์ประกอบก๊าซต่างๆ.....132
ง.3 ค่าความดันไอขององค์ประกอบก๊าซทิ้งที่อุณหภูมิ 40 C.....133
ง.4 ความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซทิ้งซึ่งละลายในน้ำ.....134
ง.5 ความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซทิ้งในกระแสก๊าซขาออกจากหอสัมผัสตรง.....135
จ.1 ค่าเริ่มต้นและค่าสมมติฐานในการคำนวณ.....136
จ.2 การคำนวณสภาวะของก๊าซทิ้งและน้ำภายในหอ.....137

จ.3 สรุปการคำนวณของแต่ละช่วงภายในหอ....137
จ.4 การออกแบบขนาดของหอ....138
ฉ.1 การทำนายประสิทธิภาพการจับฝุ่น....139
ฉ.2 การออกแบบขนาดของ Demister....139
ช.1 การคำนวณหาความดันจากแพคเบดภายในหอสัมผัสตรง....140
ช.2 การตรวจสอบ Flooding Point ของแพคเบด....140
ฌ.1 สรุปการคำนวณความดันสูญเสียของระบบ Electron Attachment....143
ฌ.2 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 1 ของระบบ Electron Attachment....144
ฌ.3 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 2 ของระบบ Electron Attachment....145
ฌ.4 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 4 ของระบบ Electron Attachment....146
ฌ.5 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 5 ของระบบ Electron Attachment....147
ฌ.6 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 6 ของระบบ Electron Attachment....148
ฌ.7 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 7 ของระบบ Electron Attachment....149
ฌ.8 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 8 ของระบบ Electron Attachment....150
ฌ.9 การคำนวณความดันสูญเสียภายในถังปฏิกรณ์ของระบบ Electron Attachment....151
ฏ.1 เอนธาลปีจากการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง....171
ฏ.2 สมดุลพลังงานของการเผาไหม้ก๊าซเชื้อเพลิง....172
ฏ.1 สมดุลมวลสารขององค์ประกอบของก๊าซทิ้งหลังปฏิกิริยาการเผาไหม้ของระบบ After Burning....174
ฐ.1 ข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณออกแบบเตาเผาซ้ำ....176
ฐ.2 การคำนวณออกแบบขนาดเตาเผาซ้ำ....176
ฑ.1 สรุปพารามิเตอร์ในการคำนวณ....179
ฑ.2 การคำนวณความดันลดภายในไซโคลน....179
ฑ.3 การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของไซโคลน....179
ฒ.1 สรุปการคำนวณความดันสูญเสียของระบบ After Burner....181
ฒ.2 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 1 ของระบบ After Burning....182
ฒ.3 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 3 ของระบบ After Burning....183
ฒ.4 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 6 ของระบบ After Burning....184
ฒ.5 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 7 ของระบบ After Burning....185
ฒ.6 การคำนวณความดันสูญเสียของสายการไหลที่ 8 ของระบบ After Burning....186

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1.1 ส่วนประกอบต่างๆของเตาเผาศพชนิดใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....9
2.1.2 ชุดปั๊มป์น้ำมันและหัวฉีดของหัวเผา.....12
2.3.1 หลักการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของระบบ Electron Attachment.....12
2.3.2 ไดอะแกรมของอุปกรณ์กำจัดก๊าซมลพิษด้วย Electron Attachment.....27
2.4.1 อิทธิพลของค่า Dew Point ต่อการถ่ายเทมวล.....36
2.4.2 ขั้นตอนการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างน้ำกับก๊าซ.....36
2.4.3 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....41
2.4.4 วงจร Cockroft-Walton.....42
2.5.1 ลักษณะทั่วไปของเตาเผาซ้ำ.....43
2.5.2 ผังการไหลของเตาเผาซ้ำ.....44
2.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผาไหม้ต่อช่วงเวลา.....44
2.5.4 ผลกระทบของอัตราส่วนของอากาศ-เชื้อเพลิงและคุณภาพการผสม.....49
3.3.1 อัตราการใช้น้ำมันดีเซลของหัวเผาใหญ่ในการเผาศพ.....67
3.3.2 อัตราการใช้น้ำมันดีเซลของหัวเผากลิ่นและควันของการเผาศพปกติ (ก่อนทำการยกเลิก).....67
3.3.3 อัตราการเผาไหม้โลงไม้ต่อเวลา.....68
3.3.4 อัตราการเผาไหม้ศพต่อเวลา.....68
3.3.5 อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ต่อช่วงเวลา.....69
3.3.6 อัตราการป้อนอากาศในการเผาไหม้ศพตามปกติต่อช่วงเวลา.....69
3.3.7 อัตราการป้อนอากาศเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาเผาศพ.....70
3.3.8 อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาเผาใหญ่และเตาเผากลิ่นและควัน.....70
ก.1 ประสิทธิภาพการกำจัด SF_6 ที่กระแสค่าต่างๆ.....117
ก.2 ประสิทธิภาพการกำจัด SF_6 ที่ Space Velocity ค่าต่างๆ.....117
ก.3 ประสิทธิภาพการกำจัด CS_2 ในกระแสก๊าซที่มี O_2 อยู่ร่วม.....118
ก.4 ประสิทธิภาพการกำจัด COS ในกระแสก๊าซที่มี H_2O อยู่ร่วม.....118
ก.5 ประสิทธิภาพการกำจัด SO_2 ในกระแสก๊าซที่มี O_2และ H_2O อยู่ร่วม.....119
ก.6 ภาคตัดขวางของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดคาโธดเดี่ยวและคาโธด 5 เส้น.....119

ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าในการกำจัด CH_3I.....120
ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง E/P กับกระแสไฟฟ้าในการกำจัด CH_3I.....120
ก.9 ประสิทธิภาพการกำจัด CH_3I ที่กระแสไฟฟ้าและคาโธดขนาดต่าง ๆ.....121
ก.10 ประสิทธิภาพการกำจัด CH_3I ที่กำลังไฟฟ้าและคาโธดขนาดต่าง ๆ.....121
ก.11 ประสิทธิภาพการกำจัด CH_3I ที่กำลังไฟฟ้าและและขนาดของคาโธดค่าต่าง ๆ.....122
ก.12 ประสิทธิภาพการกำจัด CH_3CHO จากอากาศและจาก N_2 ที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....122
ก.13 ประสิทธิภาพการกำจัด $C_2Cl_3F_3$ ที่กระแสไฟฟ้าและคาโธดรูปร่างต่าง ๆ.....123
ก.14 ประสิทธิภาพการกำจัด $C_2Cl_3F_3$ ที่กำลังไฟฟ้าและคาโธดรูปร่างต่าง ๆ.....123
ก.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าในการกำจัด $C_2Cl_3F_3$ 124
ก.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและ (E/P) ในการกำจัด $C_2Cl_3F_3$ 124
ก.17 ประสิทธิภาพการกำจัด CH_3CHO ที่กระแสไฟฟ้าต่าง ๆ ด้วยจำนวนคาโธด 1 เส้น และ 5 เส้น.....125
ก.18 ประสิทธิภาพการกำจัด CH_3CHO ที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ด้วยจำนวนคาโธด 1 เส้น และ 5 เส้น.....125
ด.1 รูปร่างลักษณะทั่วไปของเครื่องกำจัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์.....199
ด.2 รูปร่างลักษณะภายในของเครื่องกำจัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์.....200
ด.3 แสดงการจัดวางขั้วคาโธด.....201
ด.4 แสดงการจัดวางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์.....202
ด.5 แสดงการจัดวางภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิตย์.....203
ด.6 แสดงการไหลของก๊าซผ่านเครื่องกำจัดฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์.....204
ด.7 แสดง Support ของขั้วคาโธดภายใน.....205

คำอธิบายคำย่อและสัญลักษณ์

A	:	ค่าคงที่ของอาร์รีเนียส (-), พื้นที่หน้าตัดของเดาเผา (ft^2)
a	:	พื้นที่ผิวของแพ็ค (ft^2/ft^3)
C	:	ความเข้มข้นของสาร (mol/m^3)
C in	:	ความเข้มข้นของสารตั้งต้นขาเข้า (mol/m^3)
C out	:	ความเข้มข้นของสารตั้งต้นขาออก (mol/m^3)
C_A	:	ความเข้มข้นของสาร A (mol/m^3)
CF	:	Cash Flow
CF_0	:	Capital Cost
CF_t	:	Annual Cash Flow
c	:	ค่าความจุความร้นเฉพาะ (KJ/Kg.°C)
DP	:	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (^oC)
E	:	ความเข้มของสนามไฟฟ้า , ค่าคงที่ของอาร์รีเนียส (-)
G	:	อัตราการไหลของก๊าซต่อพื้นที่ ($kg/h.m^2$), $lb/h.ft^2$)
H	:	เอนธาลปี (KJ/h)
h	:	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (KJ/h)
I	:	กระแสไฟฟ้า (mA)
K_x	:	สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทมวล ($lb/h.(ft^2).(lb/lb)$)
K	:	ปริมาณสารสัมพันธ์ (-), ตัวแปรความจุ (m/s)
k	:	ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกริยา (-), the opportunity cost of capital
L	:	อัตราการไหลของของเหลว ($Kg/h.m^2$, $lb/h.ft^2$)
Le	:	ค่าคงที่ของ Lewis (-)
NPV	:	Net Present Value
Nt	:	number of transfer unit (-)
n	:	อันดับของปฏิกิริยา, อายุของโครงการ
n_d	:	number of diffusion unit (-)
P	:	กำลังไฟฟ้า (kW)
P_T	:	พลังงานสัมผัสรวม (hp/1000 ACFM)
P_L	:	พลังงานสัมผัสของของเหลว (hp/1000 ACFM)
P_G	:	พลังงานสัมผัสของของเหลว (hp/1000 ACFM)
$\Delta P'$	:	ความดันลดภายในหอ (in H_2O, mmH_2O)

p	:	ความดันก๊าซรวม (barg)
pL	:	ความดันของของเหลว (psi)
Q	:	อัตราการไหลของก๊าซ (SCFM)
Q'	:	อัตราการไหลจริงของก๊าซเชิงปริมาตร (CFM)
Q_L	:	อัตราการไหลของของเหลว (gal/min)
Q_G	:	อัตราการไหลของก๊าซ (ft^3/min)
q	:	การถ่ายเทความร้อนรวม (KJ/h)
q_c	:	การถ่ายเทความร้อนแบบพา (KJ/h)
q_d	:	การถ่ายเทความร้อนแบบแพร่ (KJ/h)
R	:	ค่าคงที่ของก๊าซ (atm.L/mol.K), รัศมีของขั้วคาโธด (mm)
Ro	:	รัศมีของขั้วคาโธด (mm)
r	:	อัตราการเกิดปฏิกริยา (mol/s)
S	:	พื้นที่หน้าตัดของหอ (ft^2)
T	:	อุณหภูมิของก๊าซ (^oC, ^oR)
Te	:	อุณหภูมิของก๊าซขาออกจากเตา (^oF)
Tm	:	อุณหภูมิของก๊าซเฉลี่ย (^oF)
ΔT	:	ความแตกต่างของอุณหภูมิของก๊าซ (^oC)
t	:	อุณหภูมิของน้ำ (^oC), เวลาสัมผัสเฉลี่ย (sec)
Δt	:	ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำ (^oC)
X	:	อัตราส่วนความชื้นในอากาศ (-) , ระยะทางจากจุดเริ่มต้น (ft)
X'	:	อัตราส่วนความชื้นอิ่มตัวในอากาศ (-)
x_e	:	ระยะทางจากทางเข้าถึงทางออกของเตาเผา (ft)
x_m	:	ระยะทางจากอุณหภูมิสูงสุด (ft)
V	:	ความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Volt),ปริมาตรรวมของเตาเผา (ft^3)
Z	:	ความสูงของแพคแบด (m, ft)
α	:	พารามิเตอร์ของการจับฝุ่น (-), ค่าคงที่ในการคำนวณความดันลด (-)
β	:	พารามิเตอร์ของการจับฝุ่น (-), ค่าคงที่ในการคำนวณความดันลด (-)
ρ_L	:	ความหนาแน่นของของเหลว (Kg/m^3, lb/ft^3)
ρ_G	:	ความหนาแน่นของก๊าซ (Kg/m^3, lb/ft^3)
τ	:	fast path residence time (sec)
ψ	:	ประสิทธิภาพการกำจัดสารของ Electron Attachment (-)

ψ^s : ประสิทธิภาพการกำจัดสารของ Electron Attachment (-)

λ : ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (KJ/Kg)

η : ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น