มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการผลิตเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ

A TECHNICAL FEASIBILITY STUDY ON ODOROUS ELIMINATOR

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2551

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสิ่งประดิษฐ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความกรุณาจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีปทุม ดร. รัชนีพร พุคยาภรณ์ พุกกะมาน ที่ได้กรุณาอนุมัติทุนอุดหนุนงานวิจัยสิ่งประดิษฐ์สำหรับบุคลากรภายใน รองศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ วรรธนัจฉริยา ที่ให้คำปรึกษา แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัย และรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย ที่เป็นผู้ให้ความรู้ความเข้าใจในด้านการปรับปรุงถ่านกัมมันต์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับสิ่งประดิษฐ์นี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

พร้อมนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัย อาจารย์มณเฑียร แก่นสน คุณสุรชิต อิศรางกูร ณ อยุธยา และนักศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ช่วยออกแบบและสร้างเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ คุณสุรธันย์ ลิมปิพุฒิพงศ์ และคุณณิชา แสนอิว ที่ช่วยออกแบบและประดิษฐ์ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักวิจัย ดร.ปิยากร หวังมหาพร รวมถึงบุคลากรทุกท่านที่มีส่วนให้การสนับสนุนในการดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์

ธันวาคม 2552

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการผลิตเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ
ผู้วิจัย : นายสมเกียรติ กรวยสวัสดิ์
หน่วยงาน : หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2552

บทคัดย่อ

เครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยคือ 1. ระบบการออกซิไดส์โดยใช้แก๊สโอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จเป็นตัวออกซิไดส์ สามารถผลิตแก๊สโอโซนได้ในปริมาณ 76.33 มิลลิกรัมโอโซนต่อลิตรของออกซิเจน ซึ่งเป็นความเข้มข้นเพียงพอสำหรับกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษโดยเฉพาะไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีความเข้มข้นมากเกินพอในการฆ่าเชื้อโรคโดยการผ่านแก๊สโอโซนเข้าไปในถุง ที่มีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค 2. ระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคโดยใช้กรดหรือเบสและน้ำ เพื่อฆ่าเชื้อโรคซึ่งปนอยู่กับอากาศที่เหลือจากการออกซิไดส์ก่อนผ่านต่อไปยังระบบดูดซับ 3. ระบบการดูดซับซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ โดยงานวิจัยนี้เน้นศึกษาวิธีการเพิ่มความจุในการดูดซับของไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกะลามะพร้าวนำมาปรับปรุงโดยเทคนิคการออกซิไดส์และเติมโลหะ ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วยกรดไนตริกและเติมโลหะเพิ่มขึ้นร้อยละ 230 (24.72 มิลลิกรัม-ไฮโดรเจนซัลไฟด์/กรัม-ตัวดูดซับ) ซึ่งมากกว่าปริมาณการดูดซับของถ่านตัวอย่างที่ยังไม่ได้ปรับปรุง ณ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่วนถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะ พบว่ามีการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดถึงร้อยละ180 (19.24 มิลลิกรัม-ไฮโดรเจนซัลไฟด์/กรัม-ตัวดูดซับ) ทำให้สามารถดูดซับกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากระบบการออกซิไดส์และดักกลิ่น ก่อนปล่อยอากาศปลอดมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : การดูดซับ ถ่านกัมมันต์ การออกซิไดส์ โอโซน ไฮโดรเจนซัลไฟด์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Research Title : A Technical Feasibility Study on Odorous Eliminator

Name of Researcher : Mr.Somkiat Kruaysawat

Name of Institution : Applied Science Department: General Education Office, Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2552

ABSTRACT

An odorous eliminator consists of the three subsystems: Firstly, an oxidation system by ozone gas obtained from an ozone generator, type corona discharge was used as an oxidizing agent. It could produce ozone gas amount 76.33 mg $(O_3)/L(O_2)$. This gas has got enough concentration to eliminate malodor and poisonous gas especially H_2S. Alternatively, the excess concentration of ozone gas could be used for disinfection into an oxidized bag. Secondly, the odorous trap and disinfection system by acid or base and water for disinfection air pollution from incomplete oxidation before transfer to an adsorption system. Finally, the adsorption system which is contained high efficiency activated carbon was used as an adsorbent. This research was undertaken to study the method of improving the adsorption capacity of coconut shell-based activated carbon for H_2S by surface oxidation and metal addition techniques. The carbon sample treated with 6.0 M HNO_3 and Zn impregnation gave the highest adsorption capacity for H_2S, with increased adsorption efficiency of 230% (24.72 mg H_2S/g adsorbent) over that of the untreated sample at 45° C. The maximum increase of 180% (19.24 mg H_2S/g adsorbent) adsorption efficiency over that of untreated sample was observed for the O_3 oxidized sample impregnated with Zn. Thus, they could adsorb malodor and poisonous gas obtain from incomplete oxidation system before release the fresh air to an environment.

Keywords : Adsorption, Activated carbon, Oxidation, Ozone, Hydrogen sulfide

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ

บทที่ หน้า

1 บทนำ.. 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์.. 3

สมมุติฐานของการศึกษา.. 3

ขอบเขตของการศึกษา 3

ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3

สัญลักษณ์.. 4

2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ....

2.1 การดูดซับ.. 5

2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ.. 5

2.1.2 การดูดซับทางเคมี.. 6

2.2 พื้นที่ผิวและความจุของตัวดูดซับ 7

2.2.1 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับLangmuir Isotherm........ 7

2.2.2 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับFreundlich Isotherm….. 7

2.2.3 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Brunauer-Emmett-
Teller (BET) Isotherm…………………………………………….. 9

2.2.4 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Dubinin -
Radushkevich (DR)Isotherm………………………………….. 10

2.2.5 ระบบดูดซับในเบด………………………………………………. 11

2.2.5.1 กราฟเบรคทรู... 12

2.2.5.2 ความจุในการดูดซับของถ่าน……………………………. 13

2.2.5.3 ความจุของการดูดซับเบรคทรู.. 14

2.2.5.4 ความลึกของเบดดูดซับ.. 15

2.3 ถ่านกัมมันต์.. 15

2.3.1 การแยกประเภทของถ่านกัมมันต์………………………………. 16

2.3.1.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง.. 16

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ | หน้า

2.3.1.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด........ 16
2.3.2 รูพรุนไมโครและพื้นที่ผิว........ 17
2.4 การปรับปรุงพื้นผิวของถ่านโดยการออกซิไดส์........ 18
2.5 โอโซน........ 19
2.5.1 สมบัติทั่วไปของโอโซน........ 20
2.5.2 เครื่องกำเนิดโอโซน........ 22
2.5.3 การวิเคราะห์หาโอโซน........ 23

3 ระเบียบวิธีการวิจัย 25
3.1วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล........ 25
3.2 วัตถุดิบที่ใช้และวิธีทดลอง........ 25
3.2.1 วิธีการปรับปรุงพื้นผิว........ 27
3.2.1.1 การออกซิไดส์ด้วยอากาศ........ 27
3.2.1.2 การออกซิไดส์ด้วยกรดไนตริก........ 27
3.2.1.3 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน........ 28
3.2.1.4 วิธีไอโอโดเมตริก........ 30
3.2.1.5 การเติมโลหะโดยการแลกเปลี่ยนไอออน........ 32
3.2.2 เทคนิคการหาลักษณะเฉพาะ........ 32
3.2.2 เทคนิคการหาลักษณะเฉพาะ........ 32
3.2.2.1 การวิเคราะห์โดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)........ 32
3.2.2.2 การหาปริมาณออกซิเจน........ 34
3.2.2.3 การวิเคราะห์โดยวิธี Boehm's Titration........ 34
3.2.2.4 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือAtomic Absorption Spectroscopy :AAs........ 35
3.2.2.5 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุนไมโคร........ 36
3.2.2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด........ 37
3.2.3 การทดสอบการดูดซับ........ 37

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

3.2.3.1 เครื่องมือวิเคราะห์ electrochemical sensors........................ 38
3.2.3.2 การเตรียมไฮโดรเจนซัลไฟด์... 40
3.3 การสร้างเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ.. 41
3.4 การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์.. 41

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 46
4.1 สมบัติของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง.. 46
4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR Spectroscopy.................... 47
4.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Boehm's Titration.. 51
4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน... 51
4.5 การวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrometry 54
4.6 ไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจน... 57
4.7 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน... 59
4.8 การดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยถ่านกัมมันต์เบด.................................... 61
4.8.1 ความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากโรงงาน................................. 61
4.8.2 ความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3......... 67
4.8.3 การดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยการออกซิไดส์และเติมโลหะ (HNO_3+Zn)... 71
4.8.4 การดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยการออกซิไดส์และเติมโลหะ (O_3+Zn).. 77
4.8.5 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ.. 86
4.8.6 การเพิ่มปริมาณของ H_2Sที่ถูกบำบัด... 88

5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 92
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 93
ข้อเสนอแนะ.. 94

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

บรรณานุกรม 96

ภาคผนวก 99

ภาคผนวก ก รายละเอียดคำขอรับสิทธิบัตร"ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ" 100

ภาคผนวก ข รายละเอียดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์"ถุงฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นศพ"... 110

ประวัติย่อผู้วิจัย 116

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

2.1	เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Langmuir adsorption isotherm...........	8
2.2	เส้นแสดงการดูดซับสำหรับ Freundlich isotherm..	9
2.3	เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ BET isotherm..	10
2.4	เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Dubinin-Radushkevich (DR) isotherm..	11
2.5	กราฟเบรคทรูแสดงการดูดซับ..	13
2.6	ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์..	14
2.7	การสกัดกั้นโมเลกุลในรูพรุนของถ่านกัมมันต์..	17
2.8	แสดงแผนภาพของส่วนประกอบของอนุภาคถ่านกัมมันต์...	18
2.9	โครงสร้างเรโซแนนซ์ในโมเลกุลโอโซน..	21
2.10	แผนภาพของโคโรนาดิสชาร์จ..	23
2.11	เครื่องกำเนิดโอโซนชนิด Lowther–type air–cooled plate..	23
3.1	วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับตัวอย่างถ่านจากโรงงาน..................................	26
3.2	วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับตัวอย่างถ่านที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3.......................	26
3.3	วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับตัวอย่างถ่านที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3............................	27
3.4	ไดอะแกรมของการออกซิไดส์ถ่านตัวอย่างด้วย HNO_3 ใน reflux column............	28
3.5	ผังไดอะแกรม ของการออกซิไดส์ถ่านตัวอย่างด้วยโอโซนใน fluidized-bed reactor.	29
3.6	เครื่องกำเนิดโอโซน (Model OZ-7501) ชนิดโคโรนาดิสชาร์จ...................................	29
3.7	การออกซิไดส์โอโซนใน reflux column..	30
3.8	เครื่องมือวิเคราะห์ Fourier transform infrared spectroscopy............................	33
3.9	เครื่องอัดแรงดันสูงในการเตรียมแผ่น KBr..	33
3.10	เครื่องมือวิเคราะห์ elements analyzer CHNS/O..	34
3.11	เครื่องมือวิเคราะห์ atomic absorption spectrophotometer.............................	36
3.12	เครื่องมือวิเคราะห์ automatic surface analyzer...	37
3.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด..	37
3.14	แผนผังขั้นตอนการทดลองการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง..................................	38
3.15	แผนผังของอิเล็กโทรดที่ใช้เซนเซอร์แก๊ส...	39
3.16	เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดแก๊สQ-RAE PLUS monitor...	39

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

3.17 ถังบรรจุแก๊สผสมพร้อมอุปกรณ์Valve connection and regulator........................ 40
3.18 ภาพแยกชิ้นส่วนเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ.. 43
3.19 ภาพโดยรวมของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ.. 43
3.20 ภาพการนำเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษไปใช้ร่วมกับถุงกำจัดกลิ่นศพ................ 44
3.21 แผนผังการทำงานของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษที่ใช้ร่วมกับถุงกำจัดกลิ่นศพ.... 45
4.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จากโรงงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.. 47
4.2 สเปคตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน... 50
4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ของถ่านโดยออกซิไดส์ด้วย HNO_3 แล้วเติม Zn ที่ 77 เคลวิน.. 58
4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ของถ่านโดยออกซิไดส์ด้วย O_3 แล้วเติม Zn ที่ 77 เคลวิน... 58
4.5 ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ของถ่านที่ทำการปรับปรุงด้วยวิธีแตกต่างกันที่ 77 เคลวิน.. 59
4.6 breakthrough curve ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน (1.01% H_2S, balance N_2 T = 10°C, P = 1.0 bar).. 64
4.7 breakthrough curve ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน (1.01% H_2S, balance N_2 ,T = 30°C, P = 1.0 bar).. 64
4.8 breakthrough curve ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน (1.01% H_2S, balance N_2 ,T = 45°C, P = 1.0 bar).. 65
4.9 การเปรียบเทียบ breakthrough curvesของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน.. 65
4.10 breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานและเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar).. 66
4.11 breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานและเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar).. 66
4.12 การเปรียบเทียบ breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานและถ่านกัมมันต์จากโรงงานด้วยการเติมโลหะสังกะสีที่อุณหภูมิแตกต่างกัน......... 67

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

4.13 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 T = 10°C ,P = 1.0 bar.. 68

4.14 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 2.0 M HNO_3T = 30°C , P = 1.0 bar.................................... 68

4.15 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 T = 30°C , P = 1.0 bar.................................. 69

4.16 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย10.0 M HNO_3 T = 30°C , P = 1.0 bar................................. 69

4.17 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 T = 45°C , P = 1.0 bar... 70

4.18 เปรียบเทียบ breakthrough curvesของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน... 70

4.19 เปรียบเทียบ breakthrough curves ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 ณ อุณหภูมิ 30°C ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน............... 71

4.20 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)............................... 72

4.21 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar)............................... 73

4.22 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar).......................... 73

4.23 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar)............................... 74

4.24 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar).......................... 74

4.25 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 10, 30 และ 45°C, P = 1.0 bar) 75

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ | หน้า

4.26 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 อย่างเดียว และเติมโลหะสังกะสี (T = 10, 30 และ 45°C, P = 1.0 bar)........ 75

4.27 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ได้จากโรงงานและจากการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 10, 30 และ 45°C, P = 1.0 bar)........ 76

4.28 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ได้จากโรงงานและจากการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3, 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 30 และ 45°C, P = 1.0 bar)........ 76

4.29 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ในฟลูอิไดส์เบด(210°C, 90 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar).... 77

4.30 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 60 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)... 78

4.31 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 120 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar).. 78

4.32 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 180 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar).. 79

4.33 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (210°C, 90 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar).. 79

4.34 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 60 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar)... 80

4.35 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 120 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar).. 80

4.36 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 180 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar).. 81

4.37 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ในฟลูอิไดส์เบด(210°C, 90 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar).... 81

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

4.38 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 60 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar)... 82

4.39 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 120 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar).. 82

4.40 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 180 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar).. 83

4.41 การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3และเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน(T = 10°C, P = 1.0 bar).. 83

4.42 การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน(T = 30°C, P = 1.0 bar). 84

4.43 การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3และเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน(T = 45°C, P = 1.0 bar).. 84

4.44 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับโดยถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับ(10°C, P=1.0 bar)........... 85

4.45 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับโดยถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับ(30°C, P=1.0 bar)............ 85

4.46 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับโดยถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับ(45°C, P=1.0 bar)................ 86

4.47 รูปทรงทางเรขาคณิต tetrahedral ของสารประกอบเชิงซ้อน$[Zn(H_2S)_4]^{2+}$................ 87

4.48 ออร์บิทัลของ Zn^{2+} 87

4.49 ออร์บิทัลของ Zn^{2+} และไฮบริดออร์บิทัล sp^3 87

4.50 ออร์บิทัลของไอออนเชิงซ้อน $[Zn(H_2S)_4]^{2+}$ 88

4.51 การเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ใช้ดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส...... 90

4.52 การเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ใช้ดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส...... 91

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

4.53 การเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ใช้ดูดซับที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส...... 91

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 สมบัติเฉพาะตัวของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานที่ใช้ในการศึกษา..................... 46

4.2 ความเป็นไปได้ของ FT-IR peak ที่ได้จากถ่านตัวอย่างโดย FT-IR spectroscopy....... 48

4.3 พื้นที่พีครวมของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาโดย FT-IR spectroscopy….. 50

4.4 ผลของ Boehm’s Titration.. 51

4.5 องค์ประกอบออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3......................... 52

4.6 องค์ประกอบออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3 แล้วตามด้วย O_3... 53

4.7 องค์ประกอบออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3..................... 53

4.8 ผลของความเข้มข้นของสังกะสีแอซิเทตและเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน ของสังกะสีในถ่านกัมมันต์จากโรงงานโดยใช้ AAs.. 55

4.9 ปริมาณโลหะสังกะสีที่เติมเข้าไปในถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง... 56

4.10 พื้นที่ผิวเฉพาะและรูพรุนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างโดยการดูดซับไนโตรเจน............. 60

4.11 Breakthrough times ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และการเติมโลหะสังกะสี สำหรับขีดจำกัดในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของแก๊ส H_2S……… 62

4.12 Breakthrough times ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3 และการเติมโลหะสังกะสี สำหรับขีดจำกัดในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของแก๊ส H_2S……… 63

4.13 การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ทำการปรับปรุงเทียบกับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน.. 89

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาที่สร้างความรำคาญและน่ารังเกียจกับผู้ที่มาร่วมในพิธีการศพก็คือ กลิ่นจากศพและหรือกลิ่นจากน้ำยาดับกลิ่น โดยเฉพาะศพที่เป็นศพคนไทยและนับถือศาสนาพุทธที่ต้องตั้งศพบำเพ็ญกุศลตามประเพณีไว้เป็นเวลาหลายวัน รวมถึงกลิ่นจากศพที่ไม่สามารถฉีดยากันเน่าหรือฟอร์มาลีนได้ทันเวลาที่เหมาะสม อาทิ ศพที่เกิดจากอุบัติเหตุต่างๆ เกิดจากอาชญากรรม เกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว คลื่นยักษ์สึนามิ ดินโคลนถล่ม หรือน้ำท่วมเป็นต้น ซึ่งสภาพที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดังกล่าวอาจจะไม่สามารถจัดการกับศพได้ทันท่วงที ทำให้ศพเน่า ขึ้นอืด เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็น เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และทำให้มีเชื้อโรคเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีศพที่เสียชีวิตจากโรคติดต่อร้ายแรง เช่นโรคเอดส์ โรคไข้หวัดนก โรคไข้หวัดใหญ่ 2009 และเสียชีวิตจากการได้รับสารเคมีหรือสารพิษเข้าไปในร่างกายเป็นต้น

แม้ว่าจะมีการแก้ปัญหาโดยการใช้น้ำยาฉีดศพหรือใช้โลงเย็นด้วยก็ตาม แต่ปัญหาเรื่องกลิ่นและการติดเชื้อโรคจากศพก็อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคเพื่อไม่ให้เกิดความรำคาญและน่ารังเกียจต่อผู้ที่มาร่วมในพิธีการศพจึงมีความจำเป็นที่ต้องกระทำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจและเพิ่มความปลอดภัยกับญาติพี่น้องของผู้เสียชีวิตไม่ให้ติดเชื้อโรคและได้รับกลิ่นจากน้ำยาฉีดศพส่วนเกินคือแก๊สฟอร์แมลดีไฮด์ หรือกลิ่นจากศพโดยตรงในขณะประกอบพิธีทางศาสนาก่อนทำการฌาปนกิจ เพราะโดยทั่วไปก่อนนำศพเข้าเตาเผาต้องทำการเปิดฝาโลงศพเพื่อให้ญาติพี่น้องได้ดูผู้เสียชีวิตเป็นครั้งสุดท้าย ดังนั้นระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และโรคที่อาจติดต่อจากศพ

กลิ่นเหม็นหรือกลิ่นเน่าเสียจากสาเหตุต่างๆเป็นปัญหาที่ก่อความรำคาญและยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพเพราะกลิ่นดังกล่าวเกิดจากไอพิษของสารเคมีทั้งประเภทสารระเหยอินทรีย์และสารระเหยอนินทรีย์ทั้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยเฉพาะกลิ่นหรือแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น ซึ่งแก๊สเหล่านี้ถึงแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ก็มีความจำเป็นต้องบำบัดไม่ปล่อยให้เข้าสู่สิ่งแวดล้อม เพราะนอกจากจะก่อให้เกิดความรำคาญแล้วยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพตั้งแต่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจไปจนถึงทำให้เสียชีวิตได้(Chou, 2000) จึงได้คิดประดิษฐ์ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ เพื่อกำจัดกลิ่นที่เกิดจากศพโดยตรงและหรือกลิ่นจากน้ำยาดับกลิ่น โดยมี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการกำจัดกลิ่นเหม็นและเชื้อโรคไม่ให้ฟุ้งกระจายในระหว่างการขนย้ายศพหรือการเก็บรักษาศพเพื่อรอขั้นตอนในการชันสูตรหรือรอนำศพไปประกอบพิธีทางศาสนาต่อไป

แนวทางที่จะแก้ปัญหาเรื่องดังกล่าวได้ก็คือการออกแบบระบบการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ 1. ระบบการกำจัดกลิ่น 2. ถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่น ซึ่งในส่วนที่เป็นระบบการกำจัดกลิ่นประกอบด้วยระบบย่อยคือ 1.1 ระบบการดูดซับโดยมีถ่านกัมมันต์ ที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นที่เป็นแก๊สน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ 1.2 การออกซิไดส์ โดยมีโอโซน(O_3) เป็นตัวออกซิไดส์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จ 1.3 ระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคที่ใช้กรดหรือเบสและน้ำ นอกจากนี้ส่วนที่เป็นถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจะต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบกำจัดกลิ่นเสมอ สำหรับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบการกำจัดกลิ่นโดยสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ไปใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นจากศพที่เกิดจากแก๊สโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอร์แมลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน ฯลฯโดยการผ่านแก๊สโอโซนเข้าไปในถุงบรรจุศพ เพื่อให้เกิดการออกซิไดส์ด้วยโอโซนประมาณ 20 – 30 นาที จากนั้นจึงทำให้ในถุงบรรจุศพมีบรรยากาศใกล้เคียงสุญญากาศมากที่สุดเพื่อทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตหยุดการเจริญเติบโต อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ศพเกิดการเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น จากนั้นจึงทำการดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการถูกออกซิไดส์กลับเข้าสู่ระบบการกำจัดกลิ่นก่อนปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์เพื่อ ใช้กำจัดกลิ่นเหม็น เช่น จากศพที่เสียชีวิตแบบไม่ปกติจากอุบัติเหตุต่างๆมาเป็นเวลานานจนสภาพศพเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็นโดยใช้ระบบการกำจัดกลิ่นที่สามารถกำจัดกลิ่นเหม็นไม่ให้ฟุ้งกระจายในระหว่างการขนย้ายศพหรือการเก็บรักษาศพเพื่อรอขั้นตอนในการชันสูตรหรือรอนำศพไปประกอบพิธีทางศาสนา และสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ในส่วนที่เป็นระบบการออกซิไดส์ด้วยโอโซนไปประยุกต์ใช้ในสถานที่ต่างๆเพื่อฆ่าเชื้อโรค เช่น ห้องปลอดเชื้อในโรงพยาบาลและสามารถนำไปใช้กำจัดกลิ่นอับในสถานที่ที่เป็นระบบปิด เช่น ห้องนอน ห้องทำงาน ภายในรถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับถุงฆ่าเชื้อ เพื่อกำจัดกลิ่นจากผ้าอ้อมเด็ก เสื้อผ้า รองเท้าได้เป็นต้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์

1.2.1 เพื่อการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคโดยระบบการออกสิไดส์ด้วยแก๊สโอโซน

1.2.2 เพื่อการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษโดยใช้ถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงเป็นตัวดูดซับ

1.2.3 เพื่อการฆ่าเชื้อโรคโดยระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดหรือเบสและน้ำ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษซึ่งประกอบไปด้วย ระบบการออกสิไดส์ด้วยแก๊สโอโซน ระบบการดูดซับที่ใช้ถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงเป็นตัวดูดซับ และระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดหรือเบสและน้ำสามารถฆ่าเชื้อโรครวมถึงกำจัดกลิ่นจากศพ และหรือกลิ่นจากน้ำยาฉีดศพส่วนเกินที่เป็นแก๊สโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอร์แมลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน ฯลฯได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการทำงานของระบบการออกสิไดส์ด้วยแก๊สโอโซนที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จ

1.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพของแก๊สโอโซนในการออกซิไดส์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษและมีกลิ่นเหม็น โดยใช้เป็นตัวแทนของแก๊สน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

1.4.3 แก๊สผสมระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์กับไนโตรเจนโดยมีแก๊สไนโตรเจนเป็นตัวทำละลาย ได้สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ศึกษาในกระบวนการออกซิไดส์ด้วยโอโซน

1.4.4 นำผลการวิจัยการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงเพื่อมาประยุกต์ใช้กับระบบการดูดซับกลิ่นและแก๊สพิษที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

1.4.5 ศึกษาการใช้งานร่วมกันระหว่างเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษกับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำสิ่งประดิษฐ์ในส่วนที่เป็นระบบการออกซิไดส์ด้วยแก๊สโอโซนไปประยุกต์ใช้ในสถานที่ต่างๆเพื่อฆ่าเชื้อโรค เช่น ห้องปลอดเชื้อในโรงพยาบาล และสามารถนำไปใช้กำจัดกลิ่นอับในสถานที่ที่เป็นระบบปิด เช่น ห้องนอน ห้องทำงาน ภายในรถยนต์เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับถุงฆ่าเชื้อเพื่อกำจัดกลิ่นจากผ้าอ้อมเด็ก เสื้อผ้า รองเท้าได้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

1.5.2 สามารถนำเครื่องกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคมาใช้ร่วมกับถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นศพ เพื่อกำจัดกลิ่นเหม็นและเชื้อโรคไม่ให้ฟุ้งกระจายในระหว่างการขนย้ายศพหรือการเก็บรักษาศพเพื่อรอขั้นตอนในการชันสูตรหรือรอนำศพไปประกอบพิธีทางศาสนา

1.5.3 สามารถนำผลงานไปจดสิทธิบัตรได้ในระดับประเทศ

1.5.4 พร้อมนำไปใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม

1.6 สัญลักษณ์

A	=	Surface area (m^2g^{-1})
cm^{-1}	=	Wavenunber
^oC	=	Degree Celcius
BET	=	Brunauer-Emmett-Teller
g	=	Gram
K	=	Kelvin
L	=	Liter
M	=	Molar, concentration of solution (mol/dm^3)
min	=	Minute
mg	=	Milligram
nm	=	Nanometer
P	=	Pressure
s	=	Second
T	=	Temperature
wt	=	Weight
µm	=	Micrometer
u_{mf}	=	Minimum fluidization velocity

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของของเหลวหรือแก๊สโดยให้สารละลายดังกล่าวสัมผัสกับตัวดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ตัวดูดซับชนิดหนึ่งๆมีความสามารถดูดซับองค์ประกอบต่างๆในสารละลายได้แตกต่างกันจึงสามารถแยกองค์ประกอบต่างๆออกจากกันได้ การแยกองค์ประกอบใดๆออกจากสารละลายต้องเลือกชนิดตัวดูดซับให้เหมาะสม การดูดซับเป็นกระบวนการที่โมเลกุลที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือของเหลว(สารละลาย) ถูกทำให้เข้มข้นและควบแน่นอยู่ในชั้นบนพื้นที่ผิวของของแข็งหรือของเหลว โมเลกุลที่ถูกดูดติดบนพื้นผิวเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate or sorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะตัวถูกดูดซับไว้เรียกว่าตัวดูดซับ(adsorbent) ในทางตรงกันข้ามสำหรับการเคลื่อนย้ายโมเลกุลที่ถูกดูดซับออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับเรียกว่าการคาย(desorption) โดยพื้นฐานทั่วไปการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบคือ การดูดซับแบบกายภาพ(physical adsorption) ซึ่งเป็นแรงดูดซับอย่างอ่อนๆ และการดูดซับแบบเคมี (chemical adsorption) ซึ่งมีลักษณะพิเศษโดยการฟอร์มตัวเป็นพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ

2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption)

การที่โมเลกุลของแก๊สถูกดูดซับหรือยึดเกาะบนพื้นผิวที่ดูดซับได้เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแก๊สกับโมเลกุลหรืออะตอมของแข็งหรือตัวดูดซับ พิจารณาจากแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกการดูดซับได้ 2 ประเภทคือการดูดซับทางฟิสิกส์ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) ประเภทที่สองคือการดูดซับทางเคมี แรงดึงดูดที่เกี่ยวข้องจะเกิดจากพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลแก๊สกับอะตอมของของแข็งเกิดขึ้นเมื่อมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน (electron) หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างสารถูกดูดซับ และผิวของสารดูดซับ เกิดเป็นพันธะเคมี (chemical bonding) ซึ่งทำให้มีการดูดซับหรือแรงดึงดูดแข็งแรงกว่าการดูดซับทางฟิสิกส์

การดูดซับทางกายภาพมักเกิดขึ้นบนพื้นผิวของของแข็งไม่มีขั้ว(non-polar) โดยมีแรงกระทำภายในระหว่างพื้นผิวของของแข็งและโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ สำหรับสารระเหยง่ายส่วนใหญ่จะดูดซับได้ดีในสารอนินทรีย์ที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิไม่สูงมากเกินจุดเดือดของสารระเหยเหล่านั้น นอกจากนี้ยังมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล(intermolecular

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

attractive forces) มีผลทำให้สามารถดูดซับสารระเหยง่าย และมีความเด่นชัดอีกอย่างหนึ่งคือแรงแผ่กระจายหรือแรงลอนดอน (London dispersion forces) ซึ่งเป็นการดึงดูดกันอันเนื่องมาจาก กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนของอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกัน การดูดซับทางกายภาพไม่ได้เกิดเฉพาะที่ใดที่หนึ่ง และไม่มีพันธะโคเวเลนต์เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ปริมาณความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่เกิดการดูดซับเมื่อนำมาเปรียบเทียบพบว่า ระหว่างปริมาณความร้อนที่เกิดจากการดูดซับทางกายภาพ (15-20 kcal/mol) จะน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่เกิดจากการดูดซับทางเคมี (20-30 kcal/mol) แต่การดูดซับทางกายภาพอาจจะมีปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเกิน 20 kcal/mol ในกรณีที่ตัวดูดซับที่มีรูพรุนแคบมากๆ(Noll et al., 1992)

2.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption)

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระในวงโคจรนอกสุด (valence electron) มีไม่ครบ 8 ตัวตามกฎออกเตต (octet rule) จึงพยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆที่อยู่ในสารตั้งต้นกระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะกันของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นๆกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรงมักเกิดกับอะตอมที่อยู่ที่ขอบของวงหกเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบเคมีกับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียสและกลายสภาพเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งจะไม่หลุดออกแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ทั้งสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนีย (NH_3) ดึงอะตอมซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือแก๊สไข่เน่าที่เป็นเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นและดึงอะตอมกลุ่มแฮโลเจน (halogen) ออกจากโมเลกุลของแฮโลเจนทั้งที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้ ทำให้เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆบนผิวของถ่านกัมมันต์

การดูดซับทางเคมีมีความเกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดของพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและอะตอมของของแข็งโดยการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของทั้งสองอะตอม ดังนั้นจึงมีแรงดึงดูดแข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ เพราะฉะนั้นการดูดซับทางเคมีจึงเกิดขึ้นได้เฉพาะที่ โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคมีก็ถูกจับติดไว้เฉพาะที่เช่นเดียวกัน พลังงานก่อกัมมันต์(activated energy)ซึ่งเป็นพลังงานน้อยที่สุดที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้ระบบมีพลังงานจลน์สูงขึ้นปฏิกิริยาเคมีจึงเกิดขึ้นได้เร็ว เพราะฉะนั้นการดูดซับทางเคมีในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำจึงเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่ากับในระบบที่มีอุณหภูมิสูง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

2.2 พื้นที่ผิวและความจุของตัวดูดซับ (Surface Area and Capacity of the Adsorbent)

เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (adsorption isotherm) บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับและปริมาณของตัวถูกดูดซับ ณ อุณหภูมิที่กำหนดให้ จนกระทั่งการดูดซับดำเนินถึงสมดุลบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ตัวอย่างของไอโซเทอม เช่น Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ซึ่งมีความเหมาะสมและนิยมนำไปใช้แพร่หลาย นอกเหนือจากนี้ยังมีการนำเอาไอโซเทอมชนิดอื่นเพื่อไปใช้งานกับตัวดูดซับที่เป็นถ่านกัมมันต์ ได้แก่ BET isotherm และ Dubinin-Radushkevich isotherm (Spengler et al., 2000)

2.2.1 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับLangmuir Isotherm

แบบจำลองที่นิยมใช้ในการอธิบายการดูดซับอย่างหนึ่งก็คือ Langmuir Isotherm เมื่อพิจารณาค่าความเบี่ยงเบน Langmuir’s derivation ของเส้นแสดงการดูดซับ พบว่าการเกาะเรียงตัวของโมเลกุลแก๊สที่เป็นตัวถูกดูดซับนั้นได้มีการจัดเรียงตัวแบบชั้นเดียว(unimolecular layer) เท่านั้น (Karl and Charles, 2002) ค่าความเบี่ยงเบน Langmuir ของ Langmuir adsorption isotherm สำหรับแก๊สเดี่ยวประกอบไปด้วยข้อสันนิษฐานดังนี้

1. แก๊สที่ถูกดูดซับมีพฤติกรรมเป็นแก๊สในอุดมคติเมื่ออยู่ในสถานะแก๊ส
2. การดูดซับแก๊สได้ถูกจำกัดอยู่ที่การเรียงตัวแบบชั้นเดียว(monomolecular layer)
3. บนพื้นผิวที่เป็นเอกพันธ์(homogeneous surface) พบว่าค่า affinity ของบริเวณที่ถูกจับติดผิวสำหรับโมเลกุลแก๊สมีค่าเหมือนกัน
4. ไม่มีการอันตรกิริยา(interaction)โดยรอบข้างระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ

สำหรับรายละเอียดของ Langmuir adsorption isotherm ได้แสดงในสมการ(2.1) และ(2.2)

$$(V/V_m) = [bP/(1+bP)] \quad (2.1)$$

สมการ (2.1) สามารถแสดงในรูปของกราฟเส้นตรงดังนี้

$$(P/V) = (1/bV_m) + (P/V_m) \quad (2.2)$$

เมื่อ V = ปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ

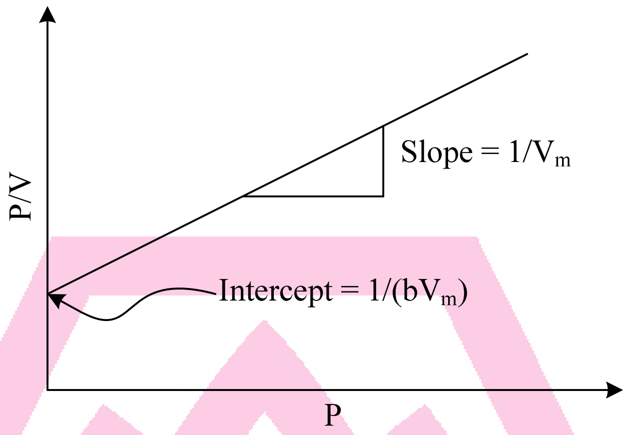
V_m = ปริมาณของ monolayer coverage

b = ค่าคงที่ affinity หรือค่าคงที่ Langmuir

P = ความดันสมดุลของการดูดซับ

การหาค่า P และ V โดยการพลอต P/V กับ P ได้ค่า slope เป็น $1/V_m$ และได้จุดตัดคือ $1/(bV_m)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 2.1 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Langmuir adsorption isotherm

2.2.2 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับFreundlich Isotherm

สำหรับFreundlich isotherm ใช้อธิบายลักษณะเฉพาะของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งโดยส่วนมากมักใช้ในน้ำและการบำบัดน้ำเสีย (Tchobanoglous et al., 2003) นอกจากนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้ในระบบที่อยู่ในสถานะแก๊สที่มีพื้นผิววิวิธพันธ์(heterogeneous surface)โดยมีช่วงความดันที่ไม่กว้างเกินไป สมการนี้จะมีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามกฎเฮนรี่(Henry law)ที่ความดันต่ำ และไม่มีขีดจำกัดเมื่อความดันสูงมากๆ (Do, 1998) ดังแสดงในสมการ(2.3)

$$x/m = K_f C_e^{(1/n)} \qquad (2.3)$$

เมื่อ x/m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ (carbon)

K_f,n = ค่าคงที่เอมพิริคัล

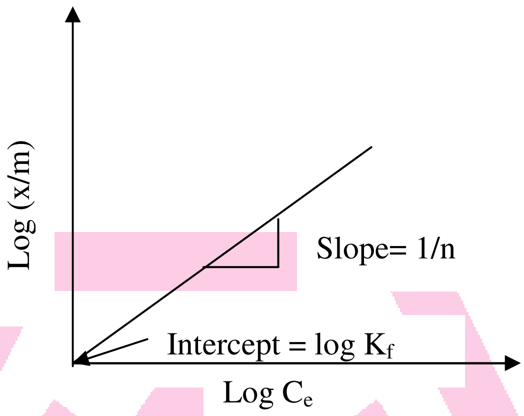
C_e = ความเข้มข้นสมดุลของตัวถูกดูดซับหลังจากผ่านการดูดซับ

จากสมการ (2.3) สามารถแสดงในรูปของกราฟเส้นตรงดังสมการ(2.4)

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K_f + \frac{1}{n}\log C_e \qquad (2.4)$$

ค่าคงที่ Freundlich isotherm สามารถหาได้โดยการพลอตระหว่าง (x/m) กับ C_e ดังแสดงรูปที่ 2.2 จากสมการ Freundlich isotherm ปริมาณของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้นไม่จำกัดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นหรือความดัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 2.2 เส้นแสดงการดูดซับสำหรับ Freundlich isotherm

2.2.3 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Brunauer-Emmett-Teller (BET) Isotherm

สำหรับ BET isotherm เป็นเส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ซึ่งมีประโยชน์มากในการใช้อธิบายการดูดซับของแก๊สโมเลกุลเบา โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำๆ เช่น ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (77 K) เส้นไอโซเทอมดังกล่าวแสดงอยู่ในสมการ (2.5) และพลอตกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.3 (Spengler et al., 2000)

$$\frac{X}{V(1-X)} = \frac{(C-1)X}{V_m C} + \frac{1}{V_m C} \quad (2.5)$$

X = ความดันสัมพัทธ์ (P/P^o)

P^o = ความดันไอของตัวถูกดูดซับ

V = ปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับที่สมดุล

V_m = ปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับที่ต้องการจับติดผิวของตัวดูดซับในชั้น monolayer

C = ค่าคงที่

BET isotherm มีความสำคัญมากเพราะสามารถนำไปใช้คำนวณหาพื้นที่ผิวของตัวดูดซับได้ ถ้านำข้อมูลด้านซ้ายของสมการ (2.5) มาพลอตกับ x ได้เป็นกราฟเส้นตรงที่แสดงในรูปที่ 2.3 ส่วน slope ที่ได้คือ $(C-1)/V_mC$ และได้จุดตัด(intercept) $1/(V_mC)$ ดังนั้นค่า V_m และพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจึงสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการ(2.6)

$$A = V_m N_{AV} \sigma_{N_2} \quad (2.6)$$

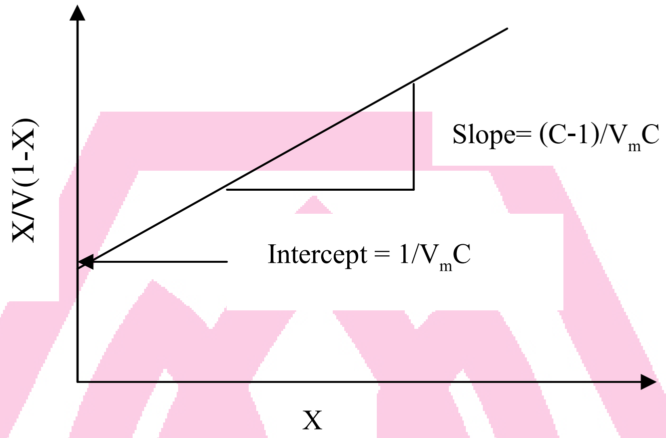
เมื่อ A = พื้นที่ผิว (m^2g^{-1})

V_m = ปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของโมเลกุลตัวดูดซับในชั้น monolayer ($molg^{-1}$)

N_{AV} = เลขอาโวกาโด (6.02×10^{23} mol^{-1})

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

σ_{N_2} = พื้นที่ถูกครอบคลุมโดยโมเลกุลของไนโตรเจน (0.162 nm^2)



รูปที่ 2.3 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ BET isotherm

2.2.4 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Dubinin-Radushkevich Isotherm (DR)

ส่วนที่เป็น Dubinin-Radushkevich isotherm ที่แสดงในสมการ(2.7)นั้น พบว่านำไปใช้ได้ผลดีในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Spengler et al., 2000) เบื้องต้นของสมการนี้ได้ข้อสมมุติว่าถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนไมโครอยู่ภายในสามารถทำให้สารอินทรีย์ระเหยควบแน่นเป็นของเหลวได้ (Spengler et al., 2000)

$$\ln(w) = \ln(w_0) - \left(\frac{A}{\beta E_0}\right)^2 \quad (2.7)$$

จากสมการ(2.7)สามารถเขียนเป็นสมการ(2.8)ได้ดังนี้

$$\ln(w) = \ln(w_0) - \left[\left(\frac{1}{E_0}\right)^2\left(\frac{A}{\beta}\right)^2\right] \quad (2.8)$$

w_o = ปริมาตรรวมของรูพรุนไมโครในระบบ (cm^3g^{-1})

A = งานเป็นโมลาร์เชิงอนุพันธ์ หรือการเปลี่ยนแปลงพลังงานเสรีของกิบบส์ Gibbs free energy (ΔG, kJ mol^{-1}) หรือค่าศักย์การดูดซับ {A= -RT (P/P^o), kJ mol^{-1}}

E_o = พลังงานการดูดซับลักษณะเฉพาะ (kJ mol^{-1})

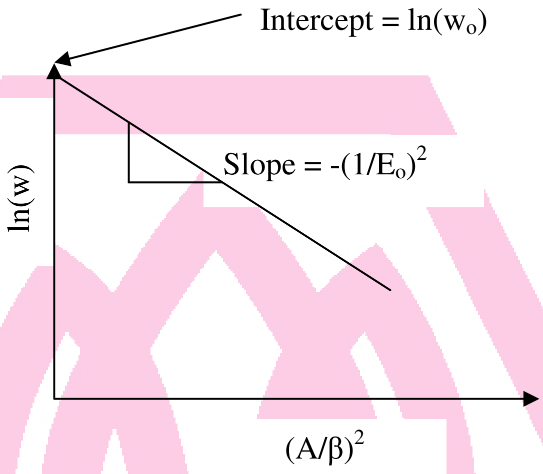
β = ค่าaffinity coefficient (NH_3 = 0.315, H_2S = 0.484)

w = ปริมาตรของแก๊สที่ถูกดูดซับ

ถ้าพลอตค่า $(A/\beta)^2$ และ ln(w) จากสมการ (2.8) จะได้เป็นสมการเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2.4 ได้ slope เป็น $(1/E_o)^2$ และจุดตัด(intercept) คือ ln(w_o) ค่าเฉลี่ยของขนาดรูพรุนไมโคร (L)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สามารถคำนวณได้จากค่า $L=K/E_o$ เมื่อ K ถูกกำหนดเป็น 17.25 kJ nm mol^{-1} ดังนั้น Dubinin-Radushkevich isotherm จึงสามารถใช้ในการหาค่า E_o และ w_o ได้ (Lee Reucroft, 1999b)



รูปที่ 2.4 เส้นแสดงการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่สำหรับ Dubinin-Radushkevich (DR) isotherm

2.2.5 ระบบดูดซับในเบด(Fixed-Bed Adsorption Systems)

การนำระบบการดูดซับมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมมลพิษทางอากาศซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับระบบไดนามิกส์ ตัวดูดซับทั่วไปที่นำมาใช้ในเบด(fixed-bed)เพื่อใช้ในการดูดซับอากาศที่มีสารปนเปื้อนผ่านเข้าไปในเบดนั้นต้องมีข้อพิจารณาในการเลือก ทั้งนี้ขึ้นอยู่ที่ว่าความเข้มข้นของสารที่แปดเปื้อนว่าต้องการนำกลับมาใช้คืนอีก หรือจะปลดปล่อยทิ้งเมื่อภาระบรรทุกของตัวดูดซับต้องการฟื้นสภาพ (regeneration) แม้ว่าไอโซเทอมเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตัวดูดซับสำหรับการบำบัดมลพิษโดยเฉพาะ แต่ก็ไม่สามารถให้ข้อมูลเพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้สัมผัส(contact time) หรือปริมาณของตัวดูดซับที่ต้องการใช้ลดความเข้มข้นของสารแปดเปื้อนต่ำกว่าขีดจำกัดที่ต้องการได้(Cheremisinoff, 1993) ผลของการดูดซับไดนามิกส์สามารถแสดงในเทอมของความจุไดนามิกส์ (dynamic capacity) หรือความจุเบรคทรู (breakthrough capacity) ที่ได้จากเงื่อนไขต่างๆได้แก่ความเข้มข้นที่เข้ามา อุณหภูมิ และอัตราการไหลของเบด รวมถึงขนาดของเบดด้วย สิ่งสำคัญสำหรับเบดดูดซับจะต้องมีความยาวอย่างน้อยที่สุดเท่ากับความยาวของ mass transfer zone (MTZ) อันเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการถูกดูดซับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบความลึกของ mass transfer zone นี้ด้วย

2.2.5.1 กราฟเบรคทรู (Breakthrough Curve)

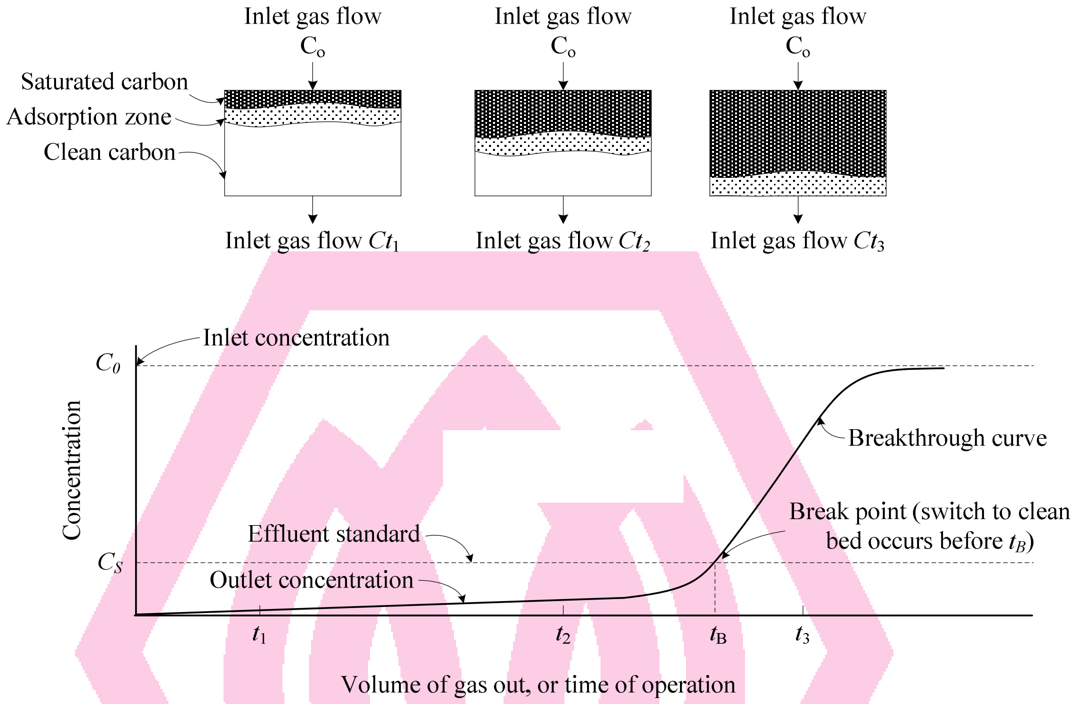
ความสามารถในการดูดซับของตัวกลางจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดถ้ามีการจัดเรียงชั้นของสารดูดซับหรือตัวกลางแล้วให้อากาศที่ปนเปื้อนมลพิษไหลผ่านชั้นตัวกลาง ในขณะที่อากาศปนเปื้อนสารมลพิษไหลผ่านตัวกลางไปจะเกิดการดูดซับขึ้นอากาศที่สะอาดจึงไหลออกจากคอลัมน์ในรูปที่ 2.5 ด้านบนของรูป ที่ตำแหน่งทางเข้าคอลัมน์สารดูดซับบริเวณนั้นจะสัมผัสกับอากาศเสียที่มีสารมลพิษปนเปื้อนอยู่ซ้ำๆจนทำให้บริเวณดังกล่าวดูดซับสารมลพิษจนอิ่มตัวก่อนแล้วขยายอาณาเขตการอิ่มตัวเรื่อยไปจนในทิศทางด้านขวาเลื่อนไปในทิศทางออกจากคอลัมน์ ส่วนตัวกลางที่แสดงให้เห็นความแตกต่างของสารดูดซับในชั้นสารดูดซับตั้งแต่อิ่มตัว(สีเข้ม) จนกระทั่งไม่มีการดูดซับเลย(สีขาว) ส่วนของสารดูดซับนี้เรียกว่า mass transfer zone (MTZ)เมื่อตัวกลางเกิดการอิ่มตัวการดูดซับจะลดลง MTZ จะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางการไหล และในที่สุดอากาศจะหลุดออกจากชั้นของสารดูดซับซึ่งจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ออกจากตัวกลางกับเวลาซึ่งเรียกว่ากราฟเบรคทรูbreakthrough curve (นพภาพร พานิชและคณะ. 2547)

แก๊สจำนวนมากที่ผ่านเข้าไปในระบบและการดูดซับก็ได้ดำเนินต่อไปโซนที่เกิดการอิ่มตัวก็เคลื่อนต่อไปจนกระทั่งถึงจุดที่เรียกว่า breakthrough point ที่ซึ่งเป็นเวลาที่ความเข้มข้นที่ออกมาจากระบบเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามขีดจำกัดที่พึงประสงค์คือการดูดสารมลพิษจากของไหลได้ในระดับสูงสุด ถ้ามีการผ่านของไหลอย่างต่อเนื่องต่อไปอีก ความเข้มข้นที่ออกมาก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งมีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นตอนเข้าระบบ กราฟที่พอลตในส่วนครึ่งล่างของรูปที่ 2.5 นี้แสดงความเข้มข้นออกมาจากเบดซึ่งเป็นฟังก์ชันของปริมาตรของของไหลที่ออกมาหรือเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ กราฟที่พลอตนี้เรียกว่ากราฟเบรคทรู (breakthrough curve) ที่ช่วงเบรคทรูนี้พบว่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ออกมาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนในที่สุดจะเท่ากับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เข้ามา (Cooper and Alley, 2002) จากรูปที่2.5 มีศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับเพิ่มเติม(นพภาพร พานิชและคณะ. 2547) ได้แก่

1. Breakthrough Capacity หมายถึงความสามารถสูงสุดของตัวกลางที่ดูดซับไอสารปนเปื้อนหากเกินกว่าค่านี้ไอสารปนเปื้อนจะหลุดออกจากตัวกลาง

2. Saturation Capacity หมายถึงปริมาณสารไอสารที่คาร์บอนสามารถดูดซับได้มากที่สุดต่อหน่วยน้ำหนักคาร์บอนซึ่งอ่านค่าได้จากกราฟ Adsorption Isotherm

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

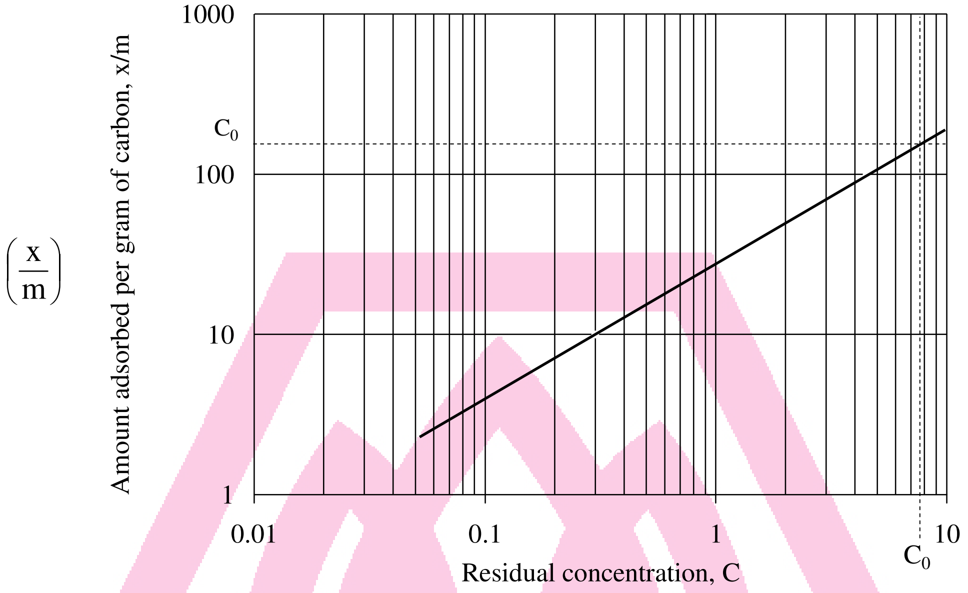


รูปที่ 2.5 กราฟเบรคทรูแสดงการดูดซับ (Cooper and Alley, 2002)

2.2.5.2 ความจุในการดูดซับของถ่าน (Carbon Adsorption Capacity)

ความจุในการดูดซับของถ่านที่คำนวณได้จากข้อมูลไอโซเทอมในการพลอตกราฟในรูปที่ 2.6 สามารถคำนวณหาได้โดยการลากต่อเส้นในแนวตั้งจากจุดบนแกนนอนต่อไปถึงความเข้มข้นเริ่มต้น C_o และลากต่อเส้นไอโซเทอมไปตัดเส้นตรงดังกล่าวได้ค่า $q_e = (x/m)_{Co}$ ที่จุดตัดสามารถอ่านได้จากแกนตั้ง สำหรับค่า$(q_e)_{Co}$ นั้นแสดงถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอนเมื่อคาร์บอนอยู่ที่สภาวะสมดุลกับความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวถูกดูดซับ ดังนั้นจึงเป็นการแสดงถึงการดูดซับได้สูงสุดของคาร์บอนสำหรับของเสียเป็นการเฉพาะ (Tchobanoglous et al., 2003)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Tchobanoglous et al., 2003)

2.2.5.3 ความจุของการดูดซับเบรคทรู (Breakthrough Adsorption Capacity)

ความจุของการดูดซับเบรคทรู$(x/m)_b$ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดที่บรรจุเต็มในคอลัมน์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุของการดูดซับตามทฤษฎีหาได้จากไอโซเทอม ค่า$(x/m)_b$ ของคอลัมน์เดี่ยวที่ยอมรับได้นั้นประมาณร้อยละ 25 ถึง 50 ของความจุตามทฤษฎี และค่านี้สามารถหาได้โดยการทดสอบในคอลัมน์ที่มีสเกลเล็กๆ เวลาที่ใช้จนถึงเบรคทรู (t_b) สามารถประมาณค่าได้โดยการใช้สมการ (2.9) มาพิจารณา(Tchobanoglous et al., 2003)

$$(x/m) = x_b/m_{GAC} = Q(\,C_o - C_b/2\,)\,t_b/m_{GAC} \qquad (2.9)$$

เมื่อ $(x/m)_b$ = ความจุของการดูดซับเบรคทรู g/g

x_b = มวลของสารอินทรีที่ถูกดูดซับใน GAC column ที่เบรคทรู g

m_{GAC} = มวลของคาร์บอนในคอลัมน์ g

Q = อัตราการไหล m^3/d

C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เข้า g/m^3

C_b = ความเข้มข้นที่เบรคทรู g/m^3

t_b = เวลาที่ใช้จนถึงเบรคทรูd

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

2.2.5.4 ความลึกของเบดดูดซับ(Adsorbent Bed Depth)

ความลึกของเบดมีผลต่อการดูดซับที่มีการถ่ายโอนมวลอยู่สองประการคือ ประการแรกเป็นความสำคัญที่เบดมีความลึกกว่าความยาวของโซนถ่ายโอนที่ยังไม่อิ่มตัว ประการที่สองเป็นการเพิ่มความลึกของเบดต่ำสุดให้มีค่ามากกว่าสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของความจุ โดยปกติข้อดีในการกำหนดขนาดของเบดตัวดูดซับให้ได้ความยาวมากที่สุดต้องพิจารณาจากค่า pressure drop การคำนวณความยาวของ MTZ หรือความลึกของเบดที่ยังไม่อิ่มตัวอาจหาได้ด้วยการทดลองโดยใช้สมการ (2.10) เพื่อนำไปคำนวณหา(Cheremisinoff, 1993)

$$MTZ = D_1/(1-X)\,[1-(C_1/C_s)] \qquad (2.10)$$

เมื่อ D_1 = ความลึกของเบด

C_1 = ความจุเบรคทรูของเบด D_1

C_s = ความจุของการอิ่มตัว

X = ดีกรีของการอิ่มตัวใน MTZ

ค่า C_s จากสมการดังกล่าวหาได้จากการวัดความจุเบรคทรูของทั้งสองเบดโดยใช้สมการ (2.11)

$$C_s = (C_2D_2 - C_1D_1)/(D_2 - D_1) \qquad (2.11)$$

เมื่อ C_1 = ความจุเบรคทรู สำหรับความยาวเบดของ D_1

C_2 = ความจุเบรคทรู สำหรับความยาวเบดของ D_2

2.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีความพิเศษสามารถใช้ประโยชน์ได้สารพัดเพราะมีพื้นที่ผิวมาก มีโครงสร้างรูพรุนไมโคร มีความจุการดูดซับสูง และมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง จึงนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดสี กลิ่น รส และสิ่งไม่พึงประสงค์ที่มีมลพิษสารอินทรีย์ปะปนออกจากน้ำดื่ม โดยสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 45 จะถูกดูดซับได้ดี นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน น้ำเสียอุตสาหกรรม การกู้คืนสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตต่างๆในอุตสาหกรรมเคมีที่มีการใช้สารเคมีระเหยง่าย เช่นการผลิตเชื้อเพลิง ผลิตปุ๋ยและยา การควบคุมมลพิษทางอากาศ และกระบวนการผลิตอาหารเป็นต้น สารดูดซับอื่นๆที่ใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากถ่านกัมมันต์คือ ซิลิกาเจล อะลูมินากัมมันต์ และซีโอไลต์

คุณสมบัติของสารดูดซับแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีตามธรรมชาติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ รูปร่างโครงสร้างรูพรุนภายใน ปริมาตรของโพรงรูพรุน และขนาดของสารดูดซับ ซึ่งถ่านกัมมันต์นั้นผลิตขึ้นจากวัตถุดิบใดๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

หลักมีราคาถูก เช่น กะลามะพร้าว ไม้ ถ่านหิน ถ่านพีท และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ส่วนรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุดิบที่เลือกใช้ และกระบวนการผลิตจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

2.4.1 การแยกประเภทของถ่านกัมมันต์ (Classification of Activated Carbons)

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีความยากต่อการแยกประเภทบนพื้นฐานของพฤติกรรม ลักษณะเฉพาะของพื้นผิว และสมบัติของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการแยกประเภทจึงพิจารณาเกี่ยวกับลักษณะที่มองเห็นได้ภายนอกอันได้แก่ ขนาดของอนุภาค(particle size) และรูปร่างของอนุภาค (particle shapes) โดยแบ่งถ่านกัมมันต์ได้เป็นชนิดผง ชนิดเม็ด หรือเกล็ด

2.4.1.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbons)

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะมีลักษณะของที่มีความเม็ดละเอียดซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดถ่านน้อยกว่า 100 μm (ไมครอน) โดยเฉลี่ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 15 ถึง 25 μm ดังนั้นจึงให้พื้นผิวภายนอกใหญ่และระยะการแพร่กระจายน้อย พบว่าอัตราการดูดซับสูงมากแต่การถ่ายโอนมวลเกิดขึ้นช้ามาก ซึ่งสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดีแต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนใหญ่ถ่านกัมมันต์ชนิดผงผลิตจากขี้เลื่อย โดยนำไปใช้ในสารละลายหรือของเหลวเพราะอัตราการแพร่กระจายต่ำมาก จึงนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารละลายหรือของเหลว ได้แก่อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล โดยใช้ในการฟอกสี และทำให้น้ำตาลบริสุทธิ์ขึ้น อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค ใช้ในการฟอกสี และทำให้มีรสดีขึ้น อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการฟอกสี และดูดกลิ่นอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและแฮลกอฮอล์ เช่น วิสกี้ ไวน์ น้ำอัดลม ใช้ในการดูดกลิ่น และทำให้รสชาติดีขึ้น อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา

2.4.1.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granulated Activated Carbons)

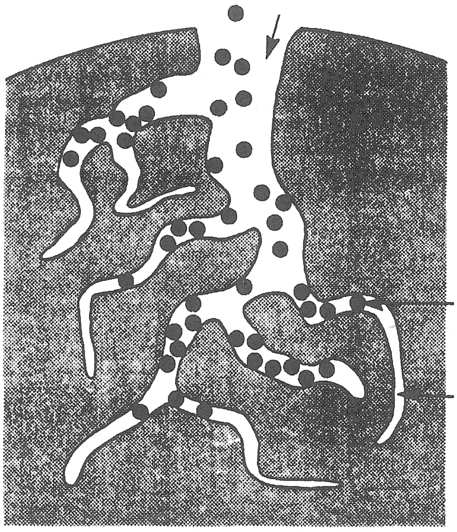
ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดมีขนาดของอนุภาคคาร์บอนในเม็ดถ่านใหญ่กว่าถ่านชนิดผงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน และมีพื้นที่ผิวภายนอกน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดหรือเกล็ด ซึ่งจะสามารถนำกลับมาเพื่อใช้ในครั้งต่อไปได้ โดยถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มีขนาด 4×8 mesh size สำหรับถ่านที่นำมาใช้ในการดูดซับสารปนเปื้อนในสถานะแก๊สมีขนาดอยู่ระหว่าง 4×6 ถึง 4×10 mesh size สามารถนำมาใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไปในหลายอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้ อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศใช้เพื่อดูดซับแก๊สต่างๆที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย อุตสาหกรรมการทำหน้ากากป้องกันแก๊สพิษทั้งที่ใช้กันโดยทั่วๆไปและในด้านการทหาร เพื่อการดูดซับแก๊สพิษและไอของสารพิษ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และคายออกที่ความดันของ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

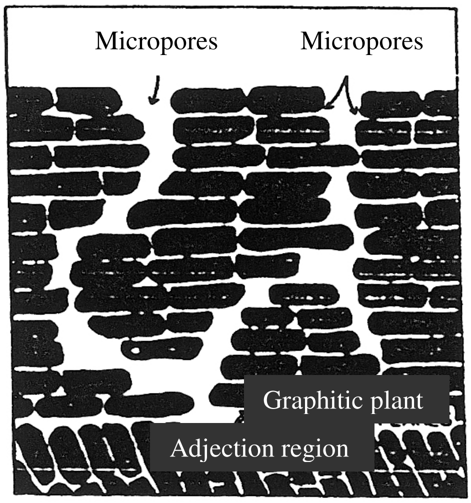
ไอระเหยต่ำๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมการพิมพ์เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตบุหรี่บางยี่ห้อ เพื่อกรองแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และน้ำมันดิน(tar) โดยนำถ่านกัมมันต์มาไว้ที่ก้นกรอง

2.4.2 รูพรุนไมโครและพื้นที่ผิว (Micropores and Surface Area)

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีลักษณะเหมือนกับฟองน้ำในธรรมชาติที่มีโครงข่ายแผ่ขยายออกไปทั่วทั้งก้อนของวัตถุนั้น ดังนั้นฟองน้ำธรรมชาติจึงมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนขนาดต่างๆ ถ้าน้อยกว่า 2 nm เรียกว่า micropores รูพรุนขนาดระหว่าง 2 และ 50 nm เรียกว่า mesopores และขนาดใหญ่กว่า 50 nm เรียกว่า macropores ซึ่งรูพรุนทุกขนาดไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้โดยปราศจากการใช้กล้องจุลทรรศน์ รูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 5 nm เป็นตัวบอกถึงความจุในการดูดซับในปริมาณมากที่สุด พื้นผิวภายในของถ่านกัมมันต์คุณภาพดีคือ 1100 to 1200 m^2/g ประมาณครึ่งหนึ่งของอะตอมคาร์บอนในตัวดูดซับอยู่บนพื้นผิวภายในของรูพรุนและใช้ดูดซับสารปนเปื้อน (Spengler et al., 2000) รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารปนเปื้อนในรูพรุน สำหรับรูพรุนขนาดใหญ่สามารถจับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้เพียงเล็กน้อย ที่ความดันไอของตัวถูกดูดซับในรูพรุนขนาดใหญ่มีค่าความดันไอต่ำมากมีผลทำให้การบำบัดมลพิษได้น้อย (Mycock, McKenna, and Theodore) รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพส่วนประกอบของอนุภาคถ่านกัมมันต์เมื่อ macropores มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 ถึง 1000 nm และ micropores มีขนาดเพียง 1 ถึง 2 nm เท่านั้น



รูปที่ 2.7 การสกัดกั้นโมเลกุลในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Mycock et al., 1995)



รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพของส่วนประกอบของอนุภาคถ่านกัมมันต์ (Noll et al., 1992)

2.5 การปรับปรุงพื้นผิวของถ่านโดยการออกซิไดส์(Carbon Surface Modification by Oxidation)

หมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของคาร์บอนสามารถนำไปปรับปรุงได้โดยใช้อากาศร้อน ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซิเจน ซึ่งปริมาณของออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวด้วยฟอร์มตัวจากการนำไปปรับปรุงด้วยออกซิเจนนั้น ขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือชนิดของคาร์บอนที่เป็นวัตถุดิบ พื้นที่ผิวและอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนนั้นเป็นไปได้หลาย ทางขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ให้เข้าไปในระบบดังนี้

$$C + O \longrightarrow C(O) \qquad (2.12)$$

$$C + O \longrightarrow CO + CO_2 \qquad (2.13)$$

$$C(O) \longrightarrow CO + CO_2 \qquad (2.14)$$

ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส การดูดซับทางเคมีของออกซิเจนและการฟอร์มเป็นสารประกอบ คาร์บอน - ออกซิเจน ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโดดเด่นขึ้นมา ดังแสดงในสมการที่ (2.12) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส การสลายตัวของสารประกอบที่พื้นผิวกลายเป็นแก๊สของคาร์บอนที่มีปฏิกิริยาดังแสดงในสมการ (2.13) และ (2.14) ในกรณีของการปรับปรุงโดยการออกซิไดส์ในสารละลายปฏิกิริยาหลักคือการฟอร์มเป็นสารประกอบบนพื้นผิว แม้ว่าการสลายตัวเป็นแก๊สอาจเกิดขึ้นได้เสมอขึ้นอยู่กับความแรงของการออกซิไดส์ในการปรับปรุงและเงื่อนไขอื่นๆที่ดำเนินการ (Bansal et al., 1988)

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุง(activated carbon impregnation) คือปฏิกิริยารีดอกซ์(redox reaction) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันนั้น มีชื่อเรียกทั่วๆไปว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวจะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกัน สำหรับกลุ่มของอะตอมหรือโมเลกุลที่ต้องเสีย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

อิเล็กตรอนไปเรียกว่าถูกออกซิไดส์หรือเป็นตัวรีดิวซ์(reducing agent) ส่วนกลุ่มที่รับอิเล็กตรอนไปเรียกว่าถูกรีดิวซ์หรือเป็นตัวออกซิไดส์(oxidizing agegent) เมื่อพิจารณาการรวมตัวของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมกับออกซิเจนดังแสดงในสมการ (2.15)

$$2Ca(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CaO(s) \qquad (2.15)$$

แคลเซียมออกไซด์ เป็นสารประกอบไอออนิกที่เกิดจากไอออนของ Ca^{2+} และ O^{2-} ในปฏิกิริยานี้2 อะตอมของ Ca จะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจำนวน 4 อนุภาคไปยัง 2 อะตอม O ในโมเลกุล O_2 ที่อยู่ในสถานะแก๊ส เมื่อพิจารณากระบวนการต่อไปนี้สามารถแยกเป็นสองขั้นตอน คือขั้นตอนที่อะตอมของแคลเซียมได้สูญเสียอิเล็กตรอนจำนวน 4 อนุภาค และอีกขั้นตอนเป็นการรับอิเล็กตรอนที่ได้จากอะตอมของแคลเซียมโดยโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนดังสมการ (2.16) และ (2.17)

$$2Ca \longrightarrow 2Ca^{2+} + 4e^- \qquad (2.16)$$

$$O_2 + 4e^- \longrightarrow 2O^{2-} \qquad (2.17)$$

ในแต่ละขั้นตอนเรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา(half-reaction) ซึ่งได้แสดงอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจนในสมการ(2.18)-(2.19) ได้รวมครึ่งปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยารวมดังนี้

$$2Ca + O_2 + 4e^- \longrightarrow 2Ca^{2+} + 2O^{2-} + 4e^- \qquad (2.18)$$

กำจัดอิเล็กตรอนทั้งสองข้างของสมการจะได้เป็น

$$2Ca + O_2 \longrightarrow 2Ca^{2+} + 2O^{2-} \qquad (2.19)$$

ขั้นตอนสุดท้ายไอออน Ca^{2+} และ O^{2-} รวมตัวกันเป็น CaO ในสมการ (2.20)

$$2Ca^{2+} + 2O^{2-} \longrightarrow 2CaO \qquad (2.20)$$

โดยทั่วไปเราไม่นิยมแสดงประจุในสูตรโมเลกุลของสารประกอบไอออนิกตัวอย่างเช่นเรามักแสดงแคลเซียมออกไซด์ที่เป็น CaO มากกว่า $2Ca^{2+}$ O^{2-} ครึ่งปฏิกิริยาที่เสียอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยาที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยารีดักชัน ในตัวอย่างนี้แคลเซียมเป็นตัวที่ถูกออกซิไดส์หรือเรียกว่าเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ส่วนออกซิเจนเป็นตัวถูกรีดิวซ์หรือเรียกว่าเป็นตัวออกซิไดส์(oxidizing agent)

2.6 โอโซน(Ozone)

แก๊สโอโซนคืออะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมรวมกันเป็น 1 โมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปรกติออกซิเจนจะประกอบกันในลักษณะ 2 อะตอม เป็น 1 โมเลกุล (O_2) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันมากคือ O_2 จะสามารถคงสภาพอยู่ได้หลายสภาวะ หรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียรนั่นเอง แต่แก๊สโอโซนจะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร เนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดันและการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานศักย์ต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างปฏิกิริยา

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ที่เกิดขึ้นเช่น การทำปฏิกิริยาสลายกลิ่นแอมโมเนีย การทำปฏิกิริยาสลายพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (บริษัท โอโซนิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. 2552)

แก๊สโอโซนบริสุทธิ์จะมีสีน้ำเงินแก่ มีกลิ่นคล้ายคลอรีนจางๆ ถ้าดมเข้าไปมากๆจะปวดศีรษะ โอโซนละลายน้ำได้มากกว่าแก๊สออกซิเจน เมื่ออยู่ในสภาวะเป็นแก๊สบริสุทธิ์มีจะเสถียรภาพดีพอสมควร แต่ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่ในน้ำแล้วโอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจนได้ง่าย ถ้าผสมอยู่กับอากาศจะค่อยๆกลายเป็นออกซิเจน เมื่ออุณหภูมิถึง 300 องศาเซลเซียส จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว แหล่งที่เกิดตามธรรมชาติ เกิดจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน โดยมีรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดพลังงานที่จะดึงเอาโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนให้แตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม และเมื่ออะตอมของออกซิเจน 1 อะตอมพบกับโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนจะเกิดการรวมตัวกลายเป็นโอโซน

โอโซนที่เกิดขึ้นนี้สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตแล้วแตกตัวกลายเป็นแก๊สออกซิเจนและรวมตัวกับอะตอมของออกซิจน กลายเป็นโอโซนได้อีก โดยมีรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะเกิดเช่นนี้ไปได้เรื่อยๆโดยไม่มีที่สิ้นสุดแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ นอกจากนี้โอโซนยังสามารถเกิดได้เองในอากาศจากพายุฝนฟ้าคะนองหรือจากฟ้าแลบได้อีกด้วย กระบวนการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เรียกว่าขบวนการโฟโตเคมีคอล (Photochamical process) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดแก๊สโอโซนและสลายตัวพร้อมกัน และในที่สุดปฏิกิริยาของแก๊สโอโซนก็จะอยู่ในภาวะสมดุลโดยที่อัตราการเกิดและสลายตัวเท่ากัน (Yahoo รู้รอบประเทศไทย. 2552)

2.6.1 สมบัติทั่วไปของโอโซน(General Properties of Ozone)

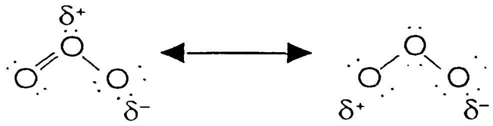
การฟอร์มตัวของโครงสร้างเรโซแนนซ์ในโมเลกุลโอโซนสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 2.9

สมบัติทางกายภาพ:

น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)	=	48.00
จุดหลอมเหลว (Melting point)	=	-193 องศาเซลเซียส
จุดเดือด (Boiling Point)	=	-111.9 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น (Density at 0^{o}C, gas)	=	2.14 g/L
การละลาย (Solubility)	=	0.1-0.3% โดยน้ำหนักในตัวทำละลาย

ไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิ - 80 ถึง – 100 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 2.9 โครงสร้างเรโซแนนซ์ในโมเลกุลโอโซน(Langlais et al.,1991)

สมบัติทางเคมี:

โอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงสามารถออกซิไดส์ได้ทั้งโลหะกลายเป็นโลหะออกไซด์ (ยกเว้น ทอง แพลททินัม เออริเดียม) และอะโลหะ ทั้งที่อยู่ในสถานะสารละลายหรือแก๊สดัง ตัวอย่างที่เกี่ยวกับอะโลหะต่อไปนี้

โอโซนมักทำให้ค่าเลขออกซิเดชัน (oxidation number) ของออกไซด์เพิ่มขึ้นเสมอ เช่น การออกซิไดส์ไนตริกออกไซด์ไปเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังสมการ (2.21)

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 \qquad (2.21)$$

ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดขึ้นโดยการเปล่งแสงทางเคมี(chemiluminescence) ซึ่ง NO_2 สามารถที่จะกลายเป็นออกไซด์ ดังสมการ(2.2)

$$NO_2 + O_3 \longrightarrow NO_3 + O_2 \qquad (2.22)$$

NO_3 สามารถทำปฏิกิริยากับ NO_2 แล้วฟอร์มตัวเป็น N_2O_5 ดังสมการ(2.23)

$$NO_2 + NO_3 \longrightarrow N_2O_5 \qquad (2.23)$$

โอโซนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิห้อง ดังสมการ(2.24)

$$C + 2\,O_3 \longrightarrow CO_2 + 2\,O_2 \qquad (2.24)$$

โอโซนไม่ทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียมแต่ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเป็นแอมโมเนียมไนเตรท ดังสมการ(2.25)

$$2\,NH_3 + 4\,O_3 \longrightarrow NH_4NO_3 + 4\,O_2 + H_2O \qquad (2.25)$$

โอโซนทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ได้เป็นซัลเฟต ตัวอย่าง เช่น lead(II) sulfide ถูกออกซิไดส์เป็น lead(II) sulfate ดังสมการ(2.26)

$$PbS + 4\,O_3 \longrightarrow PbSO_4 + 4\,O_2 \qquad (2.26)$$

กรดซัลฟิวริกสามารถผลิตได้จากโอโซน ดังสมการ(2.27) และ(2.28)

$$S + H_2O + O_3 \longrightarrow H_2SO_4 \qquad (2.27)$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

$$3\ SO_2 + 3\ H_2O + O_3 \longrightarrow 3\ H_2SO_4 \quad (2.28)$$

ทั้งสองอะตอมของโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาได้เสมอเช่นในปฏิกิริยาของ tin(II) chloride กับ hydrochloric acid ดังสมการ(2.29)

$$3\ SnCl_2 + 6\ HCl + O_3 \longrightarrow 3\ SnCl_4 + 3\ H_2O \quad (2.29)$$

เมื่ออยู่ในวัฏภาคแก๊สโอโซนจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังสมการ(2.30)

$$H_2S + O_3 \longrightarrow SO_2 + H_2O \quad (2.30)$$

ในสถานะที่เป็นสารละลาย จะมีการแข่งขันของสองปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นพร้อมกัน โดยได้ผลิตภัณฑ์เป็นธาตุซัลเฟอร์และอีกผลิตภัณฑ์เป็นกรดซัลฟิวริก ดังสมการ(2.31) และ(2.32)

$$H_2S + O_3 \longrightarrow S + O_2 + H_2O \quad (2.31)$$

$$3\ H_2S + 4\ O_3 \longrightarrow 3\ H_2SO_4 \quad (2.32)$$

ไอโอดีนเปอร์คลอเรตสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากปฏิกิริยาของสารละลายไอโอดีนใน anhydrous perchloric acid กับโอโซน ดังสมการ(2.33)

$$I_2 + 6\ HClO_4 + O_3 \longrightarrow 2\ I(ClO_4)_3 + 3\ H_2O \quad (2.33)$$

2.6.2 เครื่องกำเนิดโอโซน (Ozone Generator)

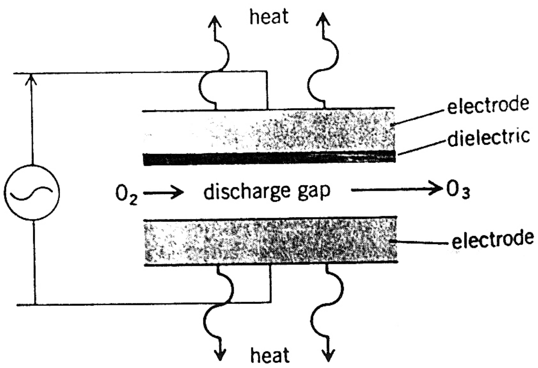
การเตรียมโอโซนในห้องปฏิบัติการทั่วไปกระทำได้โดยการผ่านอากาศที่แห้งหรือแก๊สออกซิเจนไปยังขั้วไฟฟ้า(electrodes) 2 ขั้วที่ต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันหลายพันโวลต์ ซึ่งเมื่อผ่านอากาศเข้าไปในเครื่องกำเนิดก็จะได้โอโซนที่มีความเข้มข้น 1-2%, และ 3-4% เมื่อใช้แก๊สออกซิเจนผ่านเข้าไป โดยในขั้นตอนแรกโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมดังสมการ (2.34) บางอะตอมของออกซิเจนมีการรวมตัวกันเองกลายเป็นโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน ดังสมการ (2.35) พลังงานที่มากพอที่เกิดจากการฟอร์มตัวเป็นโอโซนถูกคายออกมาโดยโมเลกุลของแก๊สโอโซน (M) ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของโอโซนเกิดความเสถียร(Parker, 1993)

$$O_2 \longrightarrow 2O \quad (2.34)$$

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M \quad (2.35)$$

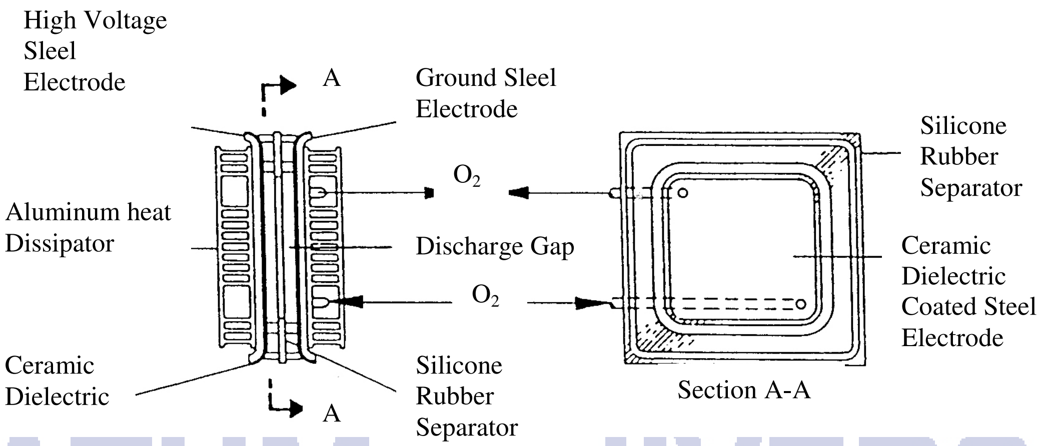
เครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จ(corona discharge) มีความเกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง(high–voltage alternating current) ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วที่ถูกแยกโดยชั้นของไดอิเล็กตริก และช่องแคบที่ให้แก๊สออกซิเจนหรืออากาศผ่าน (รูปที่ 2.10)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 2.10 แผนภาพของโคโรนาดิสชาร์จ (Parker, 1993)

เครื่องกำเนิดโอโซน Lowther-type air-cooled plate เป็นเครื่องกำเนิดที่มีการใช้อย่างกว้างขวางสำหรับผลิตแก๊สโอโซน เครื่องกำเนิดโอโซนชนิดนี้ใช้งานโดยมีไดอิเล็กตริกเป็นส่วนประกอบของแก้วหรือเซรามิกที่ครอบขั้วไฟฟ้าทำจากเหล็กกล้าแยกจากขั้วไฟฟ้าที่สองโดยซิลิคอนที่เตรียมไว้เพื่อเป็นช่องว่างระหว่างประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งแต่ละขั้วไฟฟ้าจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยเครื่องระบายอากาศอลูมิเนียม ออกแบบมาเพื่อใช้หล่อเย็นแก๊สโอโซนด้วยอากาศโดยรอบ ความดันอากาศที่ใช้ประมาณ 1 บาร์ เครื่องกำเนิดโอโซนชนิดนี้ใช้กระแสไฟฟ้า 9 kV ความถี่ 2000 Hz.



รูปที่ 2.11 เครื่องกำเนิดโอโซนชนิด Lowther–type air–cooled plate (Langlais et al., 1991)

2.6.3 การวิเคราะห์หาโอโซน (Ozone Analysis)

ปริมาณของโอโซนที่ผลิตขึ้นมาได้สามารถคำนวณหาได้จากปฏิกิริยาของไอโอดีนที่ถูกปลดปล่อยจากสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ดังแสดงอยู่ในสมการ(2.36) ตามด้วยการไทเทรตด้วยไทโอซัลเฟต เพื่อคำนวณหาปริมาณไอโอดีน ดังแสดงในสมการ (2.37) นอกจากนี้

วิธีโฟโตเมตริกดีเทคเตอร์ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกในการคำนวณหาความเข้มข้นของโอโซนในการไหลของแก๊ส (Burke and Danheiser, 1999).

$$O_3 + 2I + H_2O \longrightarrow I_2 + O_2 + 2OH \qquad (2.36)$$

$$I_2 + 2S_2O_3^{2-} \longrightarrow 2I + S_4O_6^{2-} \qquad (2.37)$$

โอโซนมีความเป็นพิษสูงเมื่อความเข้มข้นมีมากกว่า 0.1 ppm โดยปริมาตร มีกลิ่นเฉพาะที่สามารถตรวจวัดได้ที่ความเข้มข้นต่ำถึงขนาด 0.01 ppm สำหรับระบบที่ใช้ในการดักจับโอโซนส่วนมากใช้สารละลายไธโอซัลเฟตเพื่อเปลี่ยนโอโซนให้เป็นสารประกอบซัลเฟต ดังแสดงในสมการ (2.38)

$$2Na^{+} + S_2O_3^{2-} + O_3 \longrightarrow Na_2SO_4 + O_2 + S \qquad (2.38)$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ขั้นตอนการวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. ปฏิบัติการทดลองในห้องปฏิบัติการ
2. ปฏิบัติการทดลองจากสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบ

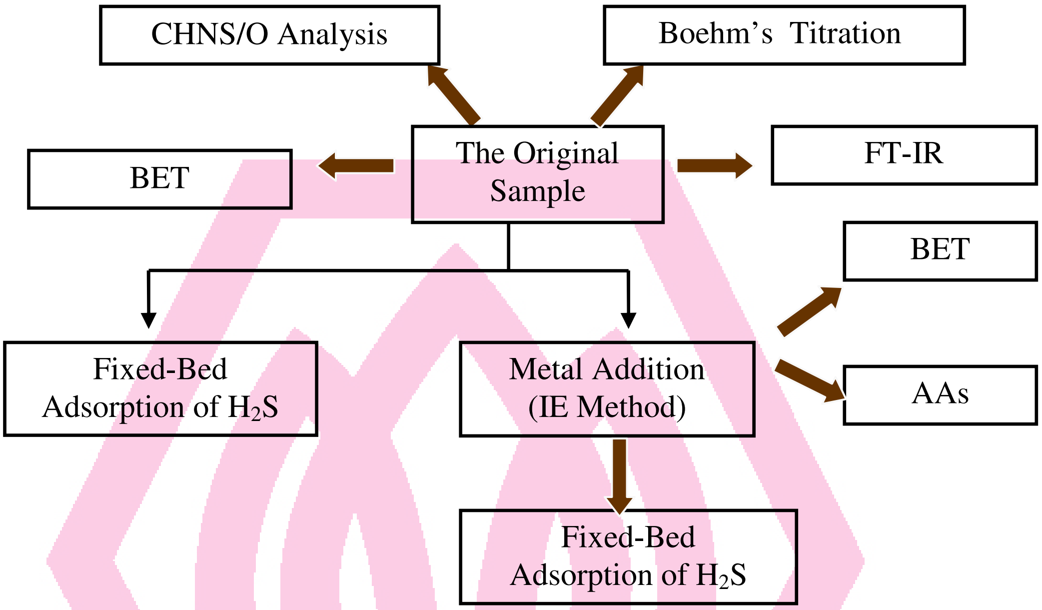
3.1.2 สถานที่ทำการประดิษฐ์ ทดลอง วิจัยหรือเก็บข้อมูล

1. ห้องปฏิบัติการเคมี อาคาร 5 มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2. ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาคาร 5 มหาวิทยาลัยศรีปทุม
3. ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาคาร 5และ8 มหาวิทยาลัยศรีปทุม

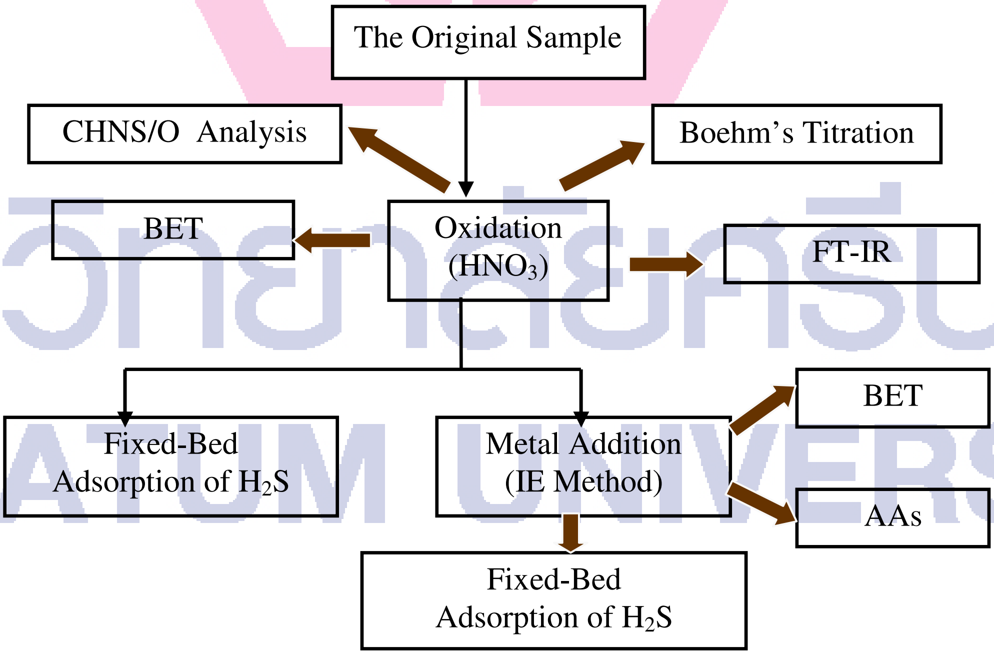
3.2 วัตถุดิบที่ใช้และวิธีทดลอง(Materials and Methods)

ตัวอย่างทั้งหมดของถ่านกัมมันต์ (code No.CGC-11A) ที่ใช้ในการศึกษาสนับสนุนโดยบริษัท C. Gigantic Carbon Co.Ltd., จังหวัดนครราชสีมา ถ่านกัมมันต์ CGC-11A เป็นชนิดเม็ดเกรดทั่วไปทางการค้า (commercial grade) ทำจากกะลามะพร้าวและมีขนาดอนุภาค 8 x 16 mesh (1800-3600 μm) วิธีการทดลองที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของถ่านประกอบไปด้วยขั้นตอนต่อไปนี้ คือ การปรับปรุงถ่านกัมมันต์ให้มีลักษณะพิเศษโดยการออกซิเดชันและการเติมโลหะเพื่อใช้ในการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างเป็นผลที่เกิดจากการออกซิไดส์ด้วยโอโซน (O_3) และกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งทำการตรวจสอบโดยใช้ FT-IR spectroscopy elements analyzer (CHNS/O) และBoehm's titration ส่วนการหาความเข้มข้นของโลหะสังกะสีที่ได้จากการจุ่มชุ่ม (impregnated) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างในกระบวนการเติมโลหะสามารถตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า atomic absorption spectroscopy (AAs) นอกจากนี้พื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ยังสามารถวิเคราะห์หาได้โดยการใช้เครื่องมือ BET analysis สำหรับการตรวจสอบการดูดซับในการบำบัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกมาจากเบดที่ใช้ดูดซับนั้นทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า electrochemical sensor วิธีการทดลองทั้งหมดแสดงในรูป 3.1, 3.2 และ 3.3

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

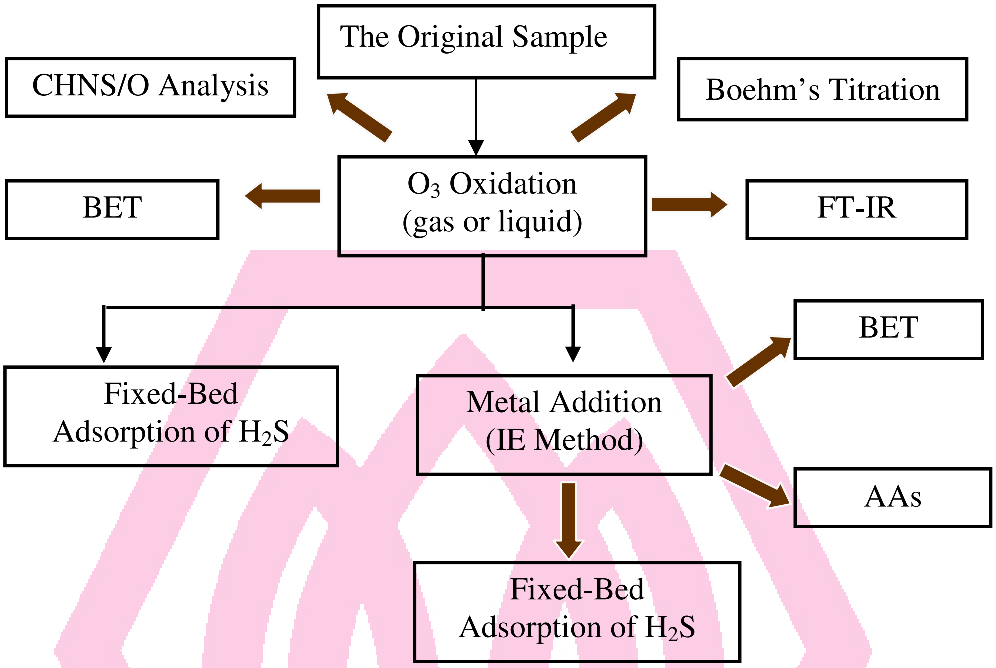


รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับตัวอย่างถ่านจากโรงงาน



รูปที่ 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับตัวอย่างถ่านที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับตัวอย่างถ่านที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3

3.2.1 วิธีการปรับปรุงพื้นผิว (Surface Modification Methods)

3.2.1.1 การออกซิไดส์ด้วยอากาศ (Air Oxidation)

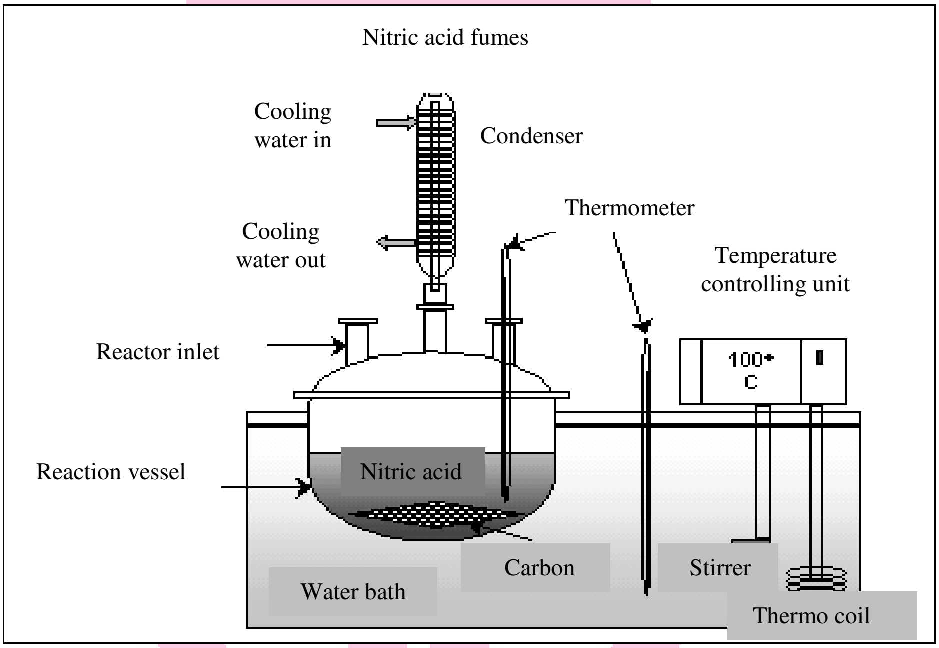
นำถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจำนวน 90 กรัม มาทำการออกซิไดส์ด้วยอากาศที่อุณหภูมิระหว่าง 150-300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 120 นาทีในปฏิกรณ์ฟลูอิไดส์เบด (fluidized-bed reactor)ที่บรรจุอยู่ในเตาความร้อนแนวตั้งแบบหลอด (Carbolite, model: RKC CB 400) ซึ่ง fluidized-bed reactor ที่ใช้ทำจากท่อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5.0 เซนติเมตรและมีความยาว 55.0 เซนติเมตร โดยมีแผ่นกระจายแก๊สอยู่ด้านล่างของปฏิกรณ์ ด้วยอัตราการไหลของของไหลประมาณ 1.1-1.3 ลิตรต่อวินาที ($u_{mf} \approx 0.87\text{-}1.04$ m/s) ซึ่งใช้เป็นความเร็วต่ำสุดของฟลูอิไดส์ (u_{mf}) คือ 0.79 เมตรต่อนาที เมื่อให้ความร้อนจนกระทั่งกระบวนการสิ้นสุดอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงทำให้ถ่านตัวอย่างที่อยู่ภายในปฏิกรณ์เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยให้อากาศผ่านเข้าไปอย่างต่อเนื่อง

3.2.1.2 การออกซิไดส์ด้วยกรดไนตริก (Nitric acid Oxidation)

ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) ที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ระหว่าง 2.0 และ 10.0 โมลาร์ (2.0, 4.0, 6.0, 8.0, และ10.0 โมลาร์) โดยใช้ 70% HNO_3 เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารละลายดังกล่าว จากนั้นนำเอา 20 กรัมของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานใส่เข้าไปในสารละลาย HNO_3 แล้วคนอย่างต่อเนื่องโดยให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

90-105 องศาเซลเซียส (ใกล้เคียงกับจุดเดือดของน้ำ) ใน reflux column ดูในรูปที่3.4 โดย reflux column ทำหน้าที่ในการป้องกันการสูญเสีย HNO_3 ที่จะระเหยออกไป หลังจากนั้นจึงนำถ่านตัวอย่างไปล้างด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ103องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



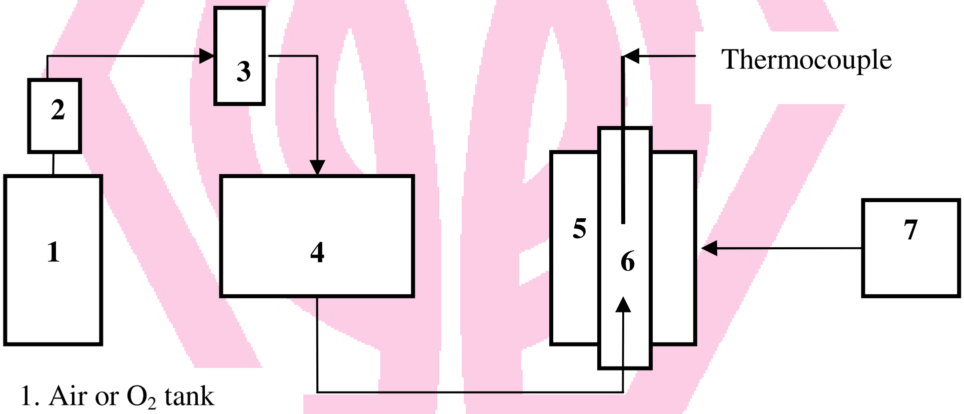
รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมของการออกซิไดส์ถ่านตัวอย่างด้วย HNO_3 ใน reflux column

3.2.1.3 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน(Ozone Oxidation)

สำหรับการออกซิไดส์ในวัฏภาคแก๊ส โดยนำถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ได้จากโรงงานประมาณ 3.7 กรัมใส่เข้าไปใน fluidized-bed column ซึ่งคอลัมน์ทำจากท่อสแตนเลส (type 304) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.2 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังมีแผ่นตะแกรงรองอยู่เหนือส่วนล่างของคอลัมน์ 15 เซนติเมตรเพื่อทำหน้าที่กระจายแก๊ส ส่วนที่เป็น fluidized-bed นั้นจะได้รับความร้อนจากเตาแบบหลอด และแก๊สโอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซนถูกส่งผ่านข้าไปในคอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เครื่องกำเนิดโอโซน (model OZ-7501) ชนิดโคโรนาดิสชาร์จสามารถผลิตแก๊สโอโซนได้ 1 กรัมต่อชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของอากาศสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง 6 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.6 จากรายงานของโรงงานผู้ผลิตพบว่าความเข้มข้นของโอโซนที่ได้ประมาณ 1-3% โดยน้ำหนักเมื่อใช้อากาศผ่านเข้าไปในเครื่อง การทดลองในวัฏภาคแก๊สนี้ได้มีการกำหนดอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่าง 90 และ 250 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่ใช้ใน

การออกซิไดส์คือ 30 ถึง 90 นาที และอัตราการไหลของอากาศ (O_2) คงที่ที่ 5.5 ลิตรต่อนาที โดยมีค่า superficial velocity เท่ากับ 0.79 เมตรต่อวินาที ดังนั้นความเร็วต่ำสุดของ fluidization คำนวณได้เป็น0.79 เมตรต่อวินาที

สำหรับการออกซิไดส์ถ่านตัวอย่างในวัฏภาคแก๊สนั้น จะใช้ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานประมาณ 20 กรัมผสมเข้าไปในน้ำกลั่น 0.6 ลิตรใน reflux column และคนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ใช้แก๊สโอโซนจากเครื่องกำเนิดที่มีอัตราการไหลคงที่ 1.5 ลิตรต่อนาทีผ่านเข้าไปในสารละลายที่อยู่ใน reflux column โดยใช้เวลาที่แตกต่างกันคือ 60, 120 และ 180 นาที จากนั้นจึงนำถ่านตัวอย่างไปกรองและทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



1. Air or O_2 tank

2. Regulator
3. Air flow meter
4. Ozone generator
5. Tube furnace
6. Fluidized-bed reactor
7. Temperature control

รูปที่ 3.5 ผังไดอะแกรม ของการออกซิไดส์ถ่านตัวอย่างด้วยโอโซนใน fluidized-bed reactor

รูปที่ 3.6 เครื่องกำเนิดโอโซน (Model OZ-7501) ชนิดโคโรนาดิสชาร์จ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

รูปที่ 3.7 การออกซิไดส์โอโซนใน reflux column

3.2.1.4 วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric Method)

ไอโอโดเมตริกเป็นวิธีการคำนวณหาความเข้มข้นของโอโซนในของไหลที่เป็นแก๊ส โดยการวัดความเข้มข้นของโอโซนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องกำเนิดแล้วเข้าไปทำปฏิกิริยาในสารละลายที่เตรียมไว้ สำหรับวิธีการนี้ทำได้โดยให้แก๊สโอโซนผ่านเข้าไปในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มากเกินพอดังสมการ(3.1) ทำให้สารดังกล่าวถูกโอโซนออกซิไดส์กลายเป็นไอโอไดด์ดังสมการ(3.2)

$$2I^- \rightarrow I_2 + 2e^- \qquad (3.1)$$

ไอโอดีน ผลิตผลของปฏิกิริยาถูกไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยมีแป้งเป็นอินดิเคเตอร์

$$I_2 + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow 2I^- + S_4O_6^{2-} \qquad (3.2)$$

การเตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต($Na_2S_2O_3.5H_2O$) โดยละลายในน้ำร้อน 1 ลิตร ประมาณ 15 นาที จากนั้นเติม $Na_2S_2O_3.5H_2O$ จำนวน 25 กรัม และ Na_2CO_3จำนวน 0.1 กรัม คนจนกระทั่งส่วนที่เป็นของแข็งละลาย นำสารละลายที่ได้ใส่ในภาชนะแก้วเก็บไว้ในที่มืด การเตรียม KIO_3 ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิด้วยการนำเอา KIO_3 ประมาณ 0.3579 กรัมไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสอย่างน้อย 1 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นจึงนำสารที่แห้งแล้วจำนวน 0.3562 กรัมละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำ KI จำนวน 10 กรัม ละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร การเตรียมน้ำแป้งอินดิเคเตอร์ โดยใช้แป้งประมาณ 1 กรัมละลายในน้ำ 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเจือจางในน้ำเดือดประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรจนกระทั่งสารละลายเป็นสีใสทำให้เย็นแล้วเก็บในขวดที่มีฝาปิด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

การสอบเทียบสารละลายมาตรฐานระหว่างโซเดียมไทโอซัลเฟตกับโพแทสเซียมไอโอเดต โดยกำหนดให้ให้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ แล้วไทเทรตจนได้ไอโอดีนดังแสดงในปฏิกิริยาด้านล่าง

$$IO_3^- + 5I^- + 6H^+ \rightarrow 3I_2 + 3H_2O$$

ปริมาณสารสัมพันธ์ทั้งสามสารในระบบเมื่อมีการไทเทรตกับสารละลายไทโอซัลเฟตมีดังนี้

$$1\ mol\ IO_3^- = 3\ mol\ I_2 = 6\ mol\ S_2O_3^{2-}$$

การทดลองโดยการไปเปต สารละลายมาตรฐานไอโอเดตจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงใน conical flask ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นไปเปตโพแทสเซียมไอโอไดด์(10% KI) จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และแกว่งสารละลายที่อยู่ใน flask อย่างรวดเร็ว แล้วจึงเติมเติม 1.0 โมลาร์ ของ H_2SO_4 จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และไทเทรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต จนกระทั่งสารละลายกลายเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำแป้งที่เป็นอินดิเคเตอร์จำนวน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อปฏิกิริยาถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน จึงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของสารละลายไอโอดีน

การใช้สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิสำหรับหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้กันมากได้แก่ โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)โดยละลาย KIO_3 จำนวน0.3562 กรัม (molecular weight = 214.00 g) ในน้ำโดยเติม KI มากเกินพอ แล้วทำให้เป็นกรดด้วยการเติม 1.0 M H_2SO_4 จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไอโอดีนอิสระทำปฏิกิริยาพอดีโดยใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จำนวน 24.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สามารถคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของ $Na_2S_2O_3$

ปริมาณของ $Na_2S_2O_3$ = 0.3562 g

$$KIO_3 \times \frac{1m\ mol\ KIO_3}{0.21400g\ KIO_3} \times \frac{6m\ mol\ Na_2S_2O_3}{m\ mol\ KIO_3} = 9.9869\ m\ mol\ Na_2S_2O_3$$

$$\text{ความเข้มข้นของ } Na_2S_2O_3 = 9.9869 \times 10^{-3}\ mol\ Na_2S_2O_3 \times \frac{1000\ cm^3}{24.6\ cm^3}$$

$$= 0.4060\ M$$

การหาความเข้มข้นของโอโซนจากเครื่องกำเนิดโดยการไปเปตโพแทสเซียมไอโอไดด์ (10% KI) จำนวน 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงใน conical flask ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร แก๊สออกซิเจนเกรดการค้า (commercial grade) ถูกส่งผ่านเข้าไปในเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จด้วยอัตราการไหลของออกซิเจน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เมื่อแก๊สโอโซนจากเครื่องกำเนิดผ่านเข้าไปในสารละลาย 10% KI อัตราการไหล 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2.0 M จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต จนกระทั่งสารละลายกลายเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อย แล้วเติมน้ำแป้งที่เป็นอินดิเคเตอร์จำนวน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อปฏิกิริยาถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

การคำนวณ: ไอโอดีน เมื่อต้องใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต จำนวน 4.7 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อกลายเป็นไอโอดีนโดยสมบูรณ์

$$\text{จำนวนของ } Na_2S_2O_3 = 0.4060 \text{ mol } Na_2S_2O_3 \text{ x } \frac{4.7 \text{ cm}^3 Na_2S_2O_3}{1000 \text{ cm}^3 Na_2S_2O_3}$$

$$= 1.9082 \text{ x } 10^{-3} \text{ mol } Na_2S_2O_3$$

$$\text{จำนวนของ } O_3 = 1.0 \text{ mol } O_3 \text{ x } \frac{1.9082 \text{ x } 10^{-3} \text{ mol } Na_2S_2O_3}{6.0 \text{ mol } Na_2S_2O_3}$$

$$= 3.1803 \text{ x } 10^{-3} \text{ mol } O_3$$

$$\text{mg } O_3/\text{ L}(O_2) = 48 \text{ x } 10^3 \text{ mg } O_3 \text{ x } \frac{3.1803 \text{ x } 10^{-4} \text{ mol } O_3}{1.0 \text{ mol } O_3} \text{ x } \frac{1000 \text{ cm}^3}{200 \text{ cm}^3}$$

$$= 76.3272 \text{ mg } O_3 / \text{L } (O_2)$$

3.2.1.5 การเติมโลหะโดยการแลกเปลี่ยนไอออน(Metal Addition by Ion Exchange :IE)

นำเอาตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ได้จากโรงงาน จากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และจากการออกซิไดส์ด้วย O_3 ชนิดละประมาณ 10-20 กรัม มาผสมกับสารละลายสังกะสีแอซีเทต [$Zn(C_2H_3O_2)_2$] ไอออนของสังกะสีที่ได้จากสารละลายสังกะสีแอซีเทต สามารถจับติดกับพื้นผิวของคาร์บอนโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลาย (Cal, et al.,2000) ความเข้มข้นของสารละลายแปรผันอยู่ระหว่าง 0.05 และ 0.40 โมลาร์ (0.05, 0.10, 0.20, 0.30 และ 0.40 โมลาร์) จากนั้นจึงคนสารผสมอย่างต่อเนื่องด้วยเวลาที่แตกต่างกันที่ 30, 60, 90,และ 120 นาทีที่อุณหภูมิห้อง หลังจากกระบวนการเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แล้วล้างถ่านกัมมันต์ตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นขจัดไอออนสุดท้ายนำตัวอย่างไปกรองและทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ103องศาเซลเซียสเป็นเวลา12 ชั่วโมง

3.2.2 เทคนิคการหาลักษณะเฉพาะ(Characterization Techniques)

3.2.2.1 การวิเคราะห์โดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

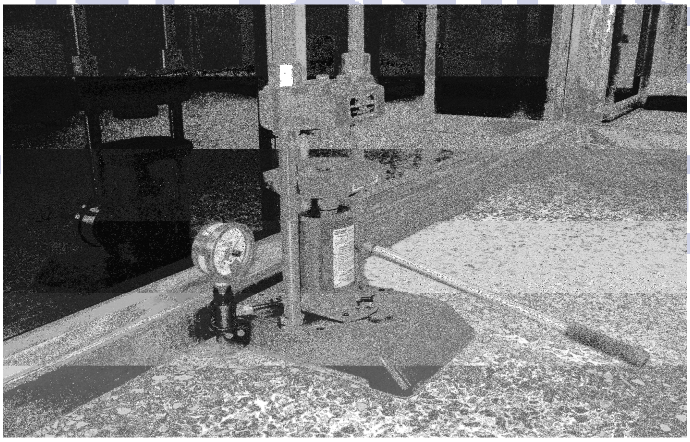
หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างถูกพิสูจน์เอกลักษณ์จากการส่งผ่านสเปกตรัมของอินฟาเรดที่ได้จาก FT-IR (Perkin Elmer, model spectrum GX) ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8 การวิเคราะห์ทำได้โดยเตรียมถ่านกัมมันต์ที่บดละเอียดเป็นผงจำนวน 1.0 มิลลิกรัม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ผสมกับโพแทสเซียมไอโอไดด์:KBr(Merck; for spectroscopy) จำนวน 300 มิลลิกรัม บดให้เข้ากันในโกร่งบดแล้วนำมาทำเป็นแผ่นดิสก์ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความหนา 1-2 มิลลิเมตรโดยเครื่องอัดแรงดันสูงที่ 15,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (รูปที่ 3.9) ซึ่งดิสก์จะมีความโปร่งใสต่อการแผ่รังสี IR และสามารถวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันได้โดยตรง ทั้งนี้ FT-IR สเปกตรัมของถ่านตัวอย่างถูกบันทึกในช่วงระหว่าง 4000 และ800 cm^{-1} โดยใช้กับตัวอย่างต่อไปนี้

1) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน
2) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3
3) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3
4) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสี
5) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3และเติมโลหะสังกะสี

รูปที่ 3.8 เครื่องมือวิเคราะห์ Fourier transform infrared spectroscopy



รูปที่ 3.9 เครื่องอัดแรงดันสูงในการเตรียมแผ่น KBr

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3.2.2.2 การหาปริมาณออกซิเจน (Determination of Oxygen)

เครื่องมือวิเคราะห์ elements analyzer (CHNS/O) ก็เป็นอีกหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่มีความสำคัญที่สุด ในการดูดกลืนอินฟราเรดเพื่อหาส่วนประกอบเป็นร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ในสารประกอบบางชนิด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ CHNS/O (LECO model, CHNS-932) เพื่อใช้หาร้อยละของออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.10 โดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 2.0 มิลลิกรัมเก็บไว้ในแคปซูลก่อนตรวจวัดเพื่อหลีกเลี่ยงการออกซิไดส์ จากนั้นนำเอาตัวอย่างใส่ลงไปในเตาปฏิกรณ์จนอุณหภูมิถึง 1300 องศาเซลเซียส ก็จะสามารถหาปริมาณออกซิเจนโดยคำนวณกลับจากค่าของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ 3.10 เครื่องมือวิเคราะห์ elements analyzer CHNS/O

3.2.2.3 การวิเคราะห์โดยวิธี (Boehm's Titration)

การไทเทรตด้วยวิธีของ Boehm ซึ่งอธิบายอยู่ในเอกสารที่เกี่ยวข้องของ Moreno-Castilla, et al., 1998 โดยวิธีนี้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันกรดที่อยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างภายใต้ข้อสมุติต่อไปนี้ โซเดียมไฮดรอกไซค์ (NaOH) ทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก ฟีนอลิกและกรดแลคโทนิก โดยที่โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) จะทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของกรดบอกซิลิกและกรดฟีนอลิกเท่านั้น สำหรับโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) จะทำปฏิกิริยาพอดีกับหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิกเท่านั้น วิธีการดำเนินการคือ การนำเอาถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจำนวน 1.0 กรัม ผสมกับสารละลายอย่างละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อไปนี้ NaOH, $NaHCO_3$ และ Na_2CO_3 ที่มีความเข้มข้นอย่างละ 1 โมลาร์โดยมีการคนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการแยกของแข็งกับสารละลายออกจากกันโดยการกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้แต่ละชนิดไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ส่วนประกอบที่เป็นหมู่ฟังก์ชันกรดฟีนอลิกบนผิวถ่านกัมมันต์คำนวณหาได้จากปริมาณของ 0.1 M $NaHCO_3$ ที่ถ่านตัวอย่างใช้ไป สำหรับส่วนประกอบที่เป็นหมู่ฟังก์ชันแลคโทนิกบนผิวถ่านกัมมันต์คำนวณหาได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณของ 0.1 M Na_2CO_3 และ 0.1 M $NaHCO_3$ที่ถ่านตัวอย่างใช้ไป นอกจากนี้หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกหาได้โดยการลบปริมาณของ 0.1 M Na_2CO_3 ที่ถ่านตัวอย่างใช้ไปจากปริมาณของ 0.1 M NaOH ที่ถูกใช้ไป โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)ถือว่าเป็นเบสที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามก็เป็นเรื่องยากที่จะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นของแข็งบริสุทธิ์เพราะว่า NaOH สามารถดูดความชื้นจากอากาศได้ ดังนั้นสารละลายจึงทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ (Chang, 2002) ทั้งนี้จึงเป็นเหตุผลที่จะต้องนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปสอบเทียบกับสารละลายปฐมภูมิก่อน เพื่อให้ทราบความเข้มข้นที่ถูกต้องและแม่นยำ สำหรับกรดที่เลือกใช้เป็นสารละลายปฐมภูมิคือ potassium hydrogen phthalate (KHP) มีสูตรโมเลกุลคือ $KHC_8H_4O_4$ ลักษณะของสาร KHP เป็นของแข็งสีขาวมีความบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้ Na_2CO_3, $NaHCO_3$ และ HCl ก็ต้องนำไปสอบเทียบกับสารละลายมาตรฐานก่อนใช้ในการวิเคราะห์

3.2.2.4 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ(Atomic Absorption Spectroscopy :AAs)

โลหะสังกะสีที่ใช้ในกระบวนการจุ่มชุ่ม (impregnated) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างโดยการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถตรวจวัดปริมาณของสังกะสีโดยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า atomic absorption spectrophotometer (Varian model spectrAA-250 plus) ที่แสดงในรูปที่ 3.11 โดยถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจะถูกนำไปละลายใน hydrochloric acid aqua regia ซึ่งสารละลาย aqua regia นี้เป็นส่วนผสมของกรดไนตริกเข้มข้น 1 ส่วนกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 ส่วน อะตอมของสังกะสีจาก atomizer จะถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร ดังนั้นจึงได้นำเอาเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ atomic absorption spectrophotometer เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างต่อไปนี้

1) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสี

2) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

รูปที่ 3.11 เครื่องมือวิเคราะห์ atomic absorption spectrophotometer

3.2.2.5 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและรูพรุนไมโคร(BET Surface Area and Micropores Analysis)

พื้นผิวเฉพาะและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน โดยใช้เครื่องมือ automatic surface analyzer instrument (Micromeritrics, model : ASAP2010) ที่แสดงในรูปที่ 3.12 ทฤษฎี BET (Brunauer-Emmett-Teller) และสมการของ DR (Dubinin-Radushkevich) ใช้สำหรับหาพื้นผิวเฉพาะและปริมาตรรูพรุนตามลำดับ ปริมาตรรูพรุนรวมหาได้จากจำนวนของไนโตรเจนแก๊สที่ถูกดูดซับ ณ ความดันสัมพัทธ์ของ 0.98 โดยการคำนวณกลับเป็นปริมาตรของไนโตรเจนในสถานะของเหลวซึ่งใช้คำนวณหาตัวอย่างต่อไปนี้

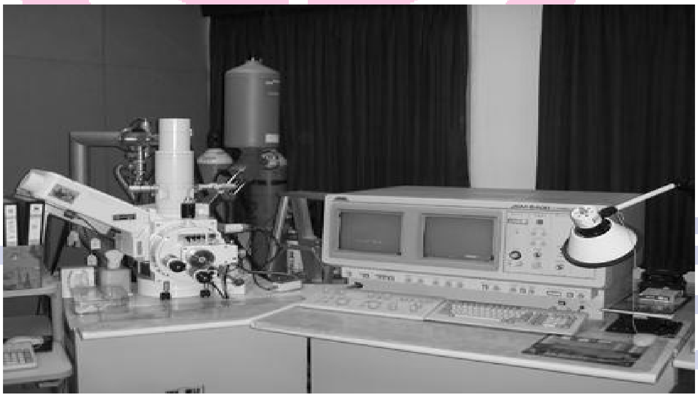
1) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน
2) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3
3) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3
4) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสี
5) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

รูปที่ 3.12 เครื่องมือวิเคราะห์ automatic surface analyzer

3.2.2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope :SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL model, JSM 6400) แสดงในรูปที่ 3.13 ใช้สำหรับดูภาพโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง ในการศึกษานี้ SEM ถูกนำมาใช้เพื่อดูโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างเฉพาะที่ได้มาจากโรงงานเท่านั้น



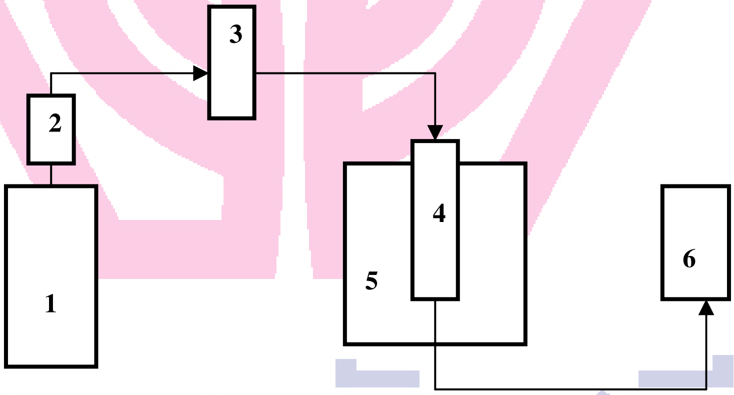
รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2.3 การทดสอบการดูดซับ (Adsorption tests)

การทดสอบการดูดซับเพื่อบำบัด H_2S โดยการดูดซับใน fixed-bed columnที่ทำจากสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.2 เซนติเมตร ด้วยการใช้ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจำนวน 3 กรัม ใส่เข้าไปในเบดที่มีความสูง 5.5 เซนติเมตร แล้วจึงผ่าน 1.01wt% ของแก๊ส H_2S ที่ผสมกับ N_2 เข้าไปในคอลัมน์ที่มีถ่านกัมมันต์ตัวอย่างเป็นตัวดูดซับ กำหนดให้อัตราการไหลคงที่ที่ 150 ลูกบาศก์

เซนติเมตรต่อนาที (contact time ≈ 9.9 seconds) ความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกมาจากเบดจะถูกตรวจวัดอย่างต่อเนื่องทุกๆ 5 วินาทีด้วย electrochemical sensor (Q-RAE PLUS, model PGM 2000) ในรูปที่ 3.14 แสดงแผนผังขั้นตอนการทดลองการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง จากกราฟเบรคทรูสามารถใช้คำนวณหา breakthrough time ของปริมาณ H_2S ได้ การศึกษาผลกระทบที่มีต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 10, 30, และ 45 องศาเซลเซียสโดยศึกษากับตัวอย่างถ่านกัมมันต์ต่อไปนี้

1) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน
2) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3
3) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3
4) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสี
5) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี



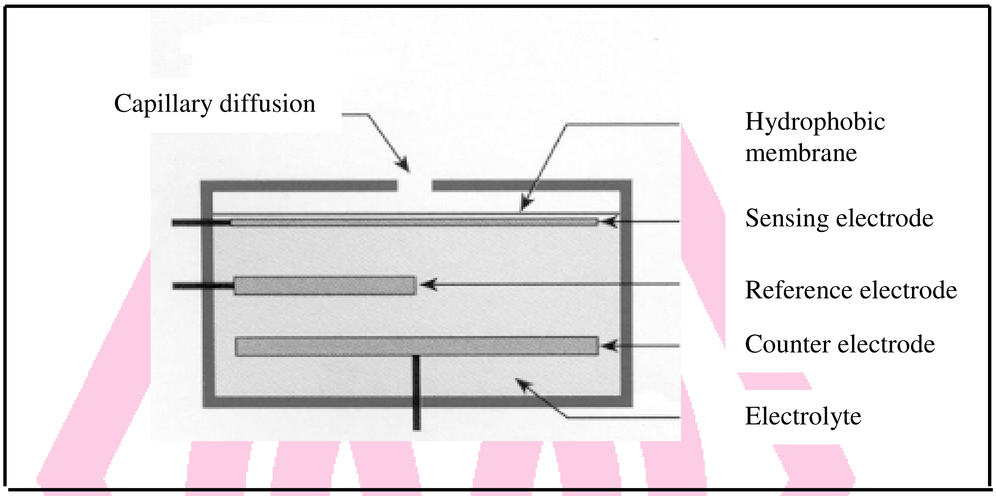
1. Mixed-gas tank 3. Air flow meter 5. Water bath
2. Regulator 4. Fixed-bed adsorber 6. Electrochemical sensor

รูปที่ 3.14 แผนผังขั้นตอนการทดลองการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง

3.2.3.1 เครื่องมือวิเคราะห์ electrochemical sensors

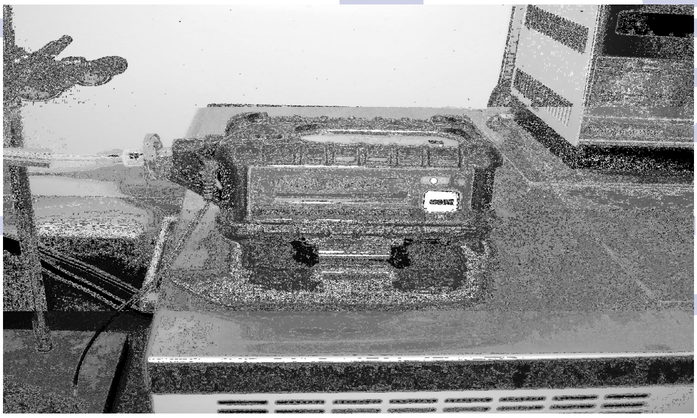
ชนิดของเซนเซอร์ประกอบด้วย sensing electrode และ counter electrode แยกจากกันโดยชั้นบางๆของอิเลคโทรไลต์ (รูปที่ 3.15) ซึ่งแก๊สที่เข้ามาสัมผัสกับเซนเซอร์ครั้งแรกจะผ่านทะลุหลอดแคปิลารีเล็กๆที่เปิดอยู่และเมื่อแพร่กระจายผ่านที่กั้นไฮโดรโฟบิกและสุดท้ายที่พื้นผิวของอิเล็กโทรด เมื่อแก๊สแพร่ผ่านที่กั้นจนถึงพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่เป็นเซนเซอร์ ก็จะ

เกี่ยวข้องกับกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชัน ปฏิกิริยาดังกล่าวก็จะถูกคะตาลิสต์โดยอิเล็กโทรดเฉพาะสำหรับแก๊สที่ต้องการตรวจสอบ



รูปที่ 3.15 แผนผังของอิเล็กโทรดที่ใช้เซนเซอร์แก๊ส

สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ Q-RAE PLUS (รูปที่ 3.16) ที่มีโปรแกรมในการตรวจวัดแก๊สหลายชนิดและสามารถตรวจวัดแก๊สได้อย่างต่อเนื่อง ได้แก่แก๊สออกซิเจน แก๊สพิษ และแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้สำหรับผู้ปฏิบัติการในสิ่งแวดล้อมที่อันตราย

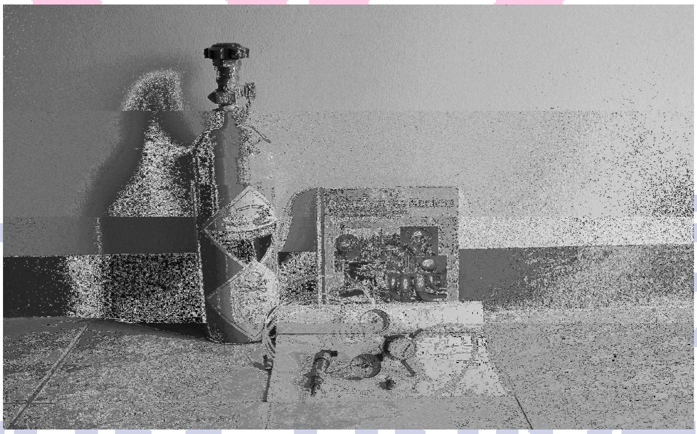


รูปที่ 3.16 เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดแก๊สQ-RAE PLUS monitor

เครื่องมือวัดชนิดนี้ใช้ในการตรวจวัดแก๊สพิษและความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนด้วย electrochemical sensors แต่สำหรับแก๊สเผาไหม้นั้นต้องใช้เซนเซอร์ชนิด combination catalytic bead และ thermal conductivity sensors เครื่อง Q-RAE PLUS monitor มีเซนเซอร์ที่แตกต่างกันได้ถึง 4 ชนิดจึงสามารถวัดแก๊สได้หลายชนิด โดยชิบไมโครคอมพิวเตอร์เดี่ยวที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของ เสียงเตือน LED ปั๊มและเซนเซอร์แสง ซึ่งสามารถอ่านค่าและคำนวณความเข้มข้นโดยการสอบเทียบกับแก๊สมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้น ส่วนข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสามารถส่งต่อไปยังคอมพิเตอร์ส่วนบุคล (PC) สำหรับเก็บข้อมูลไว้ใช้งาน

3.2.3.2 การเตรียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S preparation)

แก๊สผสมมาตรฐาน 1.01wt% H_2S ละลายอยู่ใน N_2 ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้บรรจุอยู่ในถังอลูมิเนียมแรงดันสูงขนาด 2.9 ลิตร จัดจำหน่ายและบรรจุโดย National Oxygen Pte Ltd, Singapore มีค่าความถูกต้องในการวิเคราะห์ ±2 % relative ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี ชนิด thermal conductivity detector (TCD) สอบเทียบกับสารอ้างอิงมาตรฐาน มีวาล์วและ high purity pressure regulator ชนิด CGA 330 สแตนเลสสำหรับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ถังบรรจุแก๊สผสมพร้อมอุปกรณ์Valve connection and regulator

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

3.3 การสร้างเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ

แนวทางที่จะแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นได้ก็คือการออกแบบระบบการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ 1. ระบบการกำจัดกลิ่น 2. ถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่น ซึ่งในส่วนที่เป็นระบบการกำจัดกลิ่นประกอบด้วยระบบย่อยคือ 1.1 ระบบการดูดซับโดยมีถ่านกัมมันต์ ที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นที่เป็นแก๊สน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ 1.2 การออกซิไดส์ โดยมีโอโซน(O_3) เป็นตัวออกซิไดส์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จ นอกจากนี้ส่วนที่เป็นถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัด กลิ่นนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจะต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบกำจัดกลิ่นเสมอ สำหรับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบการกำจัดกลิ่นโดยสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ไปใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นจากศพที่เกิดจากแก๊สโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอร์แมลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน ฯลฯ โดยการผ่านแก๊สโอโซนเข้าไปในถุงบรรจุศพ เพื่อให้เกิดการออกซิไดส์ด้วยโอโซนประมาณ 20 – 30 นาที จากนั้นจึงทำให้ในถุงบรรจุศพมีบรรยากาศใกล้เคียงสุญญากาศมากที่สุดเพื่อทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตหยุดการเจริญเติบโต อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ศพเกิดการเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น จากนั้นจึงทำการดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการถูกออกซิไดส์กลับเข้าสู่ระบบการกำจัดกลิ่นก่อนปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์เพื่อ ใช้กำจัดกลิ่นเหม็น เช่น จากศพที่เสียชีวิตแบบไม่ปกติจากอุบัติเหตุต่างๆมาเป็นเวลานานจนสภาพศพเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็นโดยใช้ระบบการกำจัดกลิ่นที่สามารถกำจัดกลิ่นเหม็นไม่ให้ฟุ้งกระจายในระหว่างการขนย้ายศพหรือการเก็บรักษาศพเพื่อรอขั้นตอนในการชันสูตรหรือรอนำศพไปประกอบพิธีทางศาสนา และสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ในส่วนที่เป็นระบบการออกซิไดส์ด้วยโอโซนไปประยุกต์ใช้ในสถานที่ต่างๆเพื่อฆ่าเชื้อโรค เช่น ห้องปลอดเชื้อในโรงพยาบาลและสามารถนำไปใช้กำจัดกลิ่นอับในสถานที่ที่เป็นระบบปิด เช่น ห้องนอน ห้องทำงาน ภายในรถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับถุงฆ่าเชื้อ เพื่อกำจัดกลิ่นจากผ้าอ้อมเด็ก เสื้อผ้า รองเท้าได้เป็นต้น

3.4 การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

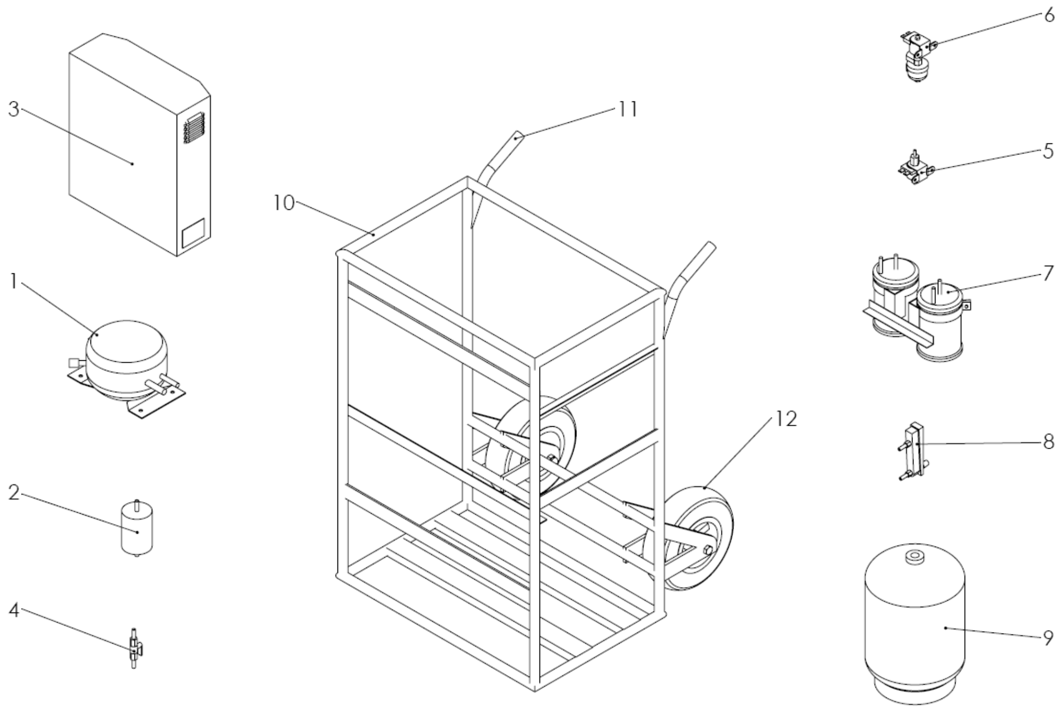
ตามรูปที่ 3.18 แสดงภาพแยกชิ้นส่วน รูปที่ 3.19 แสดงภาพโดยรวมของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษและรูปที่ 3.20 แสดงภาพการนำเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษไปใช้ร่วมกับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆได้ถูกยึดติดกับโครงโลหะ10 ที่มีมือจับ 11 สำหรับ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

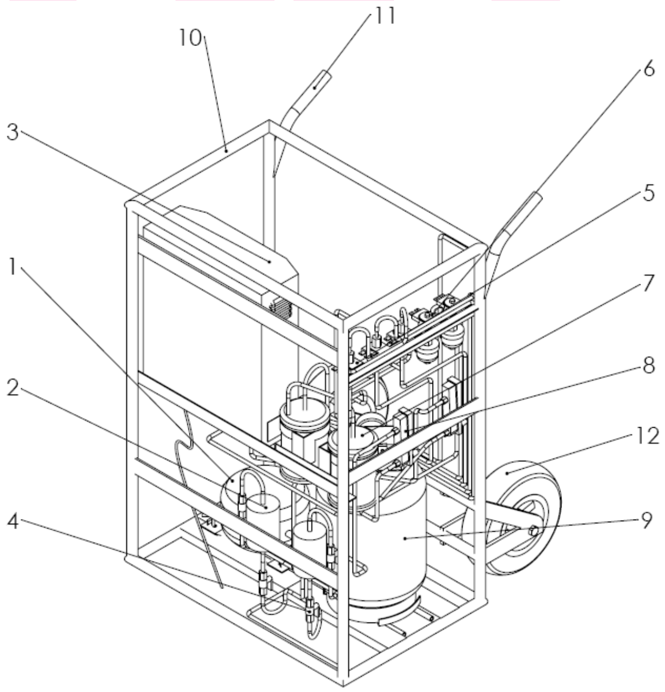
เคลื่อนย้ายด้วยล้อเลื่อน12 มีระบบการผลิตแก๊สโอโซนเพื่อไปใช้ในการออกซิไดส์ ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศ 1 ทำหน้าที่อัดอากาศแล้วส่งไปยังถังเก็บอากาศ 9 โดยผ่านอุปกรณ์การวัดแรงดันอากาศ 8 เพื่อทำหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ 1 เมื่อได้แรงดันอากาศตามที่ต้องการ วาล์วโซลินอยด์น้ำมัน 5 และวาล์วโซลินอยด์แก๊ส 6 ทำหน้าที่ปิด-เปิดท่อนำแก๊สหรืออากาศเพื่อนำแก๊สเข้าสู่เครื่องกำเนิดโอโซน 3 ชนิดโคโรนาดิสชาร์จเป็นตัวผลิตแก๊สโอโซนเพื่อใช้เป็นตัวออกซิไดส์ซึ่งทำหน้าที่กำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค จากนั้นแก๊สโอโซนจะถูกส่งต่อไปยังถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ(ตามรูปที่ 3.20)โดยผ่านวาล์วโซลินอยด์น้ำมัน 5 สำหรับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพตามรูปที่ 3.20 ประกอบด้วย ตัวถุงบรรจุศพ14 ทำจากพลาสติกใสที่กันน้ำและทนทานต่อการรับน้ำหนักของศพที่อยู่ด้านในมีฝาปิด-เปิดเพื่อป้องกันไม่ให้กลิ่นและเชื้อโรคแพร่กระจายสู่ภายนอกโดยใช้ซิปเพื่อการปิด-เปิด ส่วนถุงที่อยู่ด้านนอกทำจากพลาสติกทึบแสงที่มีสีแตกต่างกันไปตามความต้องการ ทำจากพลาสติกที่ทนทานต่อการรับน้ำหนักของศพและมีฝาปิด-เปิดอยู่ด้านนอกเพื่อไม่ให้มองเห็นศพโดยใช้ซิปแยกต่างหากจากตัวถุง เมื่อแก๊สโอโซนถูกส่งจากเครื่องกำเนิดโอโซน3 (ตามรูปที่3.20) มายังท่อนำแก๊สพลาสติกแรงดันสูง13 ผ่านเข้าไปในถุงจนเต็ม ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษจะหยุดทำงาน ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพจะถูกปิดด้วยวาล์วปิด-เปิดที่ด้านข้างของถุง

เมื่อปล่อยให้โอโซนทำปฏิกิริยาในถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพประมาณ 20-30 นาทีแล้วจึงทำให้ภายในถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ(ตามรูปที่ 3.20)มีบรรยากาศใกล้สุญญากาศมากที่สุดเพื่อทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตหยุดการเจริญเติบโต อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ศพเกิดการเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น โดยการดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการออกซิไดส์ด้วยโอโซนกลับเข้าสู่เครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ ก่อนปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง ทั้งนี้อากาศและแก๊สพิษที่เหลือจากการออกซิไดส์ในถุงฆ่าเชื้อ จะนำไปผ่านระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดหรือเบสและน้ำ 7 (ตามรูปที่ 3.18หรือ 3.19) ตามลำดับเพื่อผ่านต่อไปยังชุดดูดซับ 2 ที่มีวาล์ว 4 เป็นตัวปิด-เปิด ซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะเป็นตัวดูดซับ ทำให้สามารถดูดซับกลิ่นที่เป็นแก๊สพิษน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้มากขึ้นโดยมีวาล์วโซลินอยด์น้ำมัน 5 และวาล์วโซลินอยด์แก๊ส 6 (ตามรูปที่ 3.18 หรือ 3.19) เป็นตัวปิด-เปิด แล้วจึงปล่อยอากาศที่ปลอดมลพิษเข้าสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับแผนผังการทำงานของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษที่ใช้ร่วมกับถุงกำจัดกลิ่นศพได้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.21

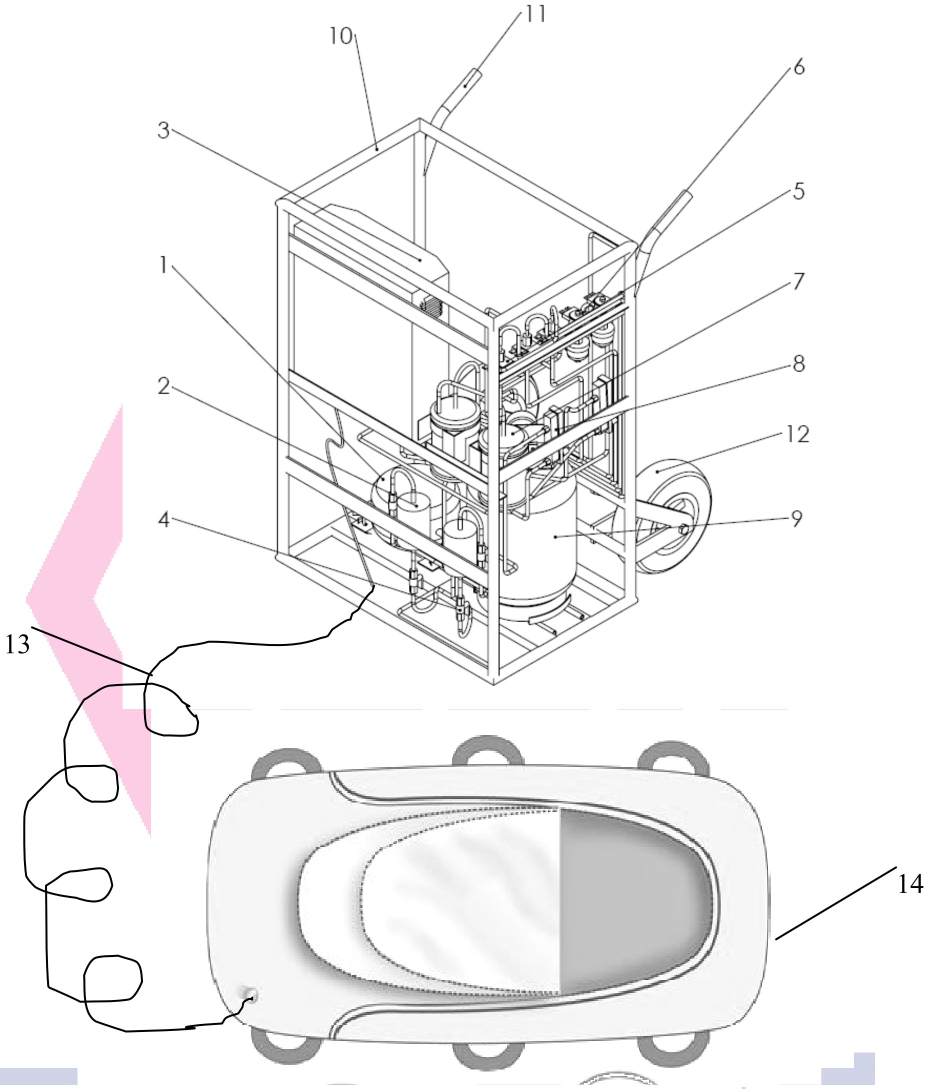
มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 3.18 ภาพแยกชิ้นส่วนเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ



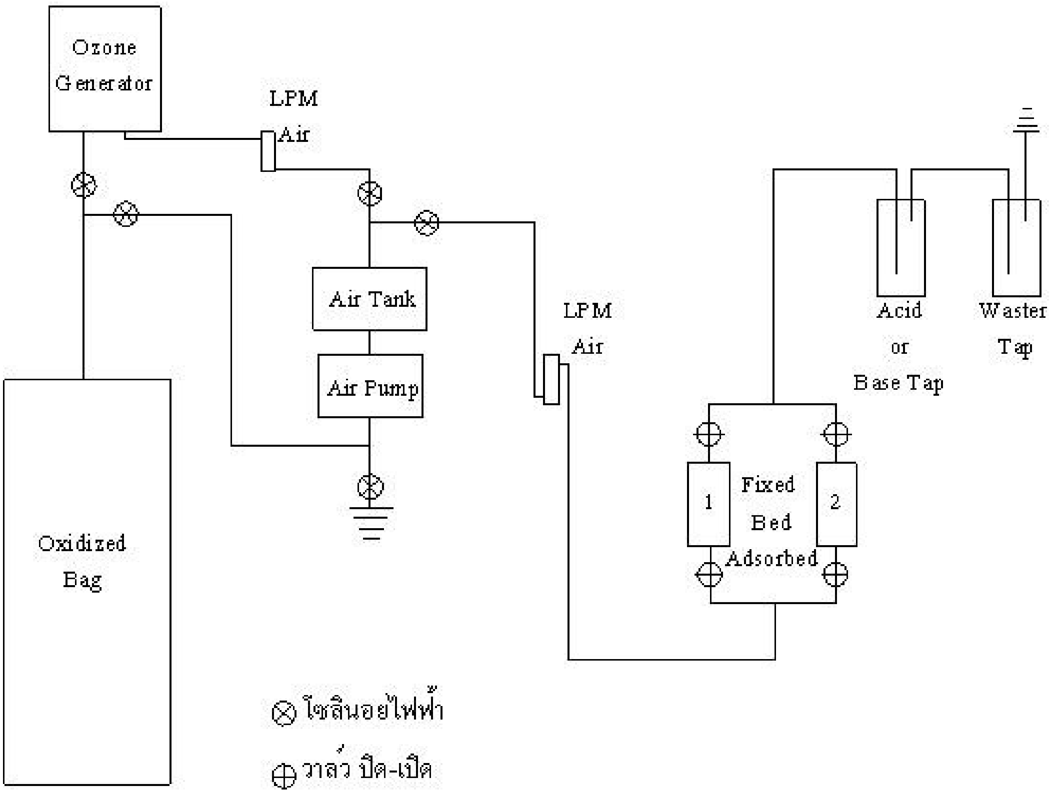
รูปที่ 3.19 ภาพโดยรวมของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รูปที่ 3.20 ภาพการนำเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษไปใช้ร่วมกับถุงกำจัดกลิ่นศพ

SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 3.21 แผนผังการทำงานของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษที่ใช้ร่วมกับถุงกำจัดกลิ่นศพ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

วัตถุประสงค์หลักของการนำเสนองานนี้ก็คือการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์สำหรับบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อนำไปใช้กับสิ่งประดิษฐ์ "เครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ" โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิว การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวเคมี และเนื้อของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาหลังจากปรับปรุงด้วยการใช้สารออกซิไดส์ที่แตกต่างกัน และการเติมโลหะ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของถ่านตัวอย่างที่ถูกปรับปรุง ก็จะถูกตรวจสอบในเทอมของ BET เพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันกรด และหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงตัวแปรและเงื่อนไขในการทดลอง ในการศึกษานี้ได้รวมเอาการทดลองการดูดซับเพื่อบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ของถ่านกัมมันต์ ทั้งที่ยังไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

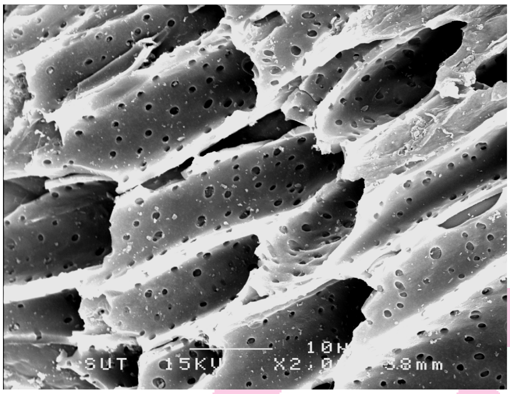
4.1 สมบัติของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง (Properties of Activated Carbon Samples)

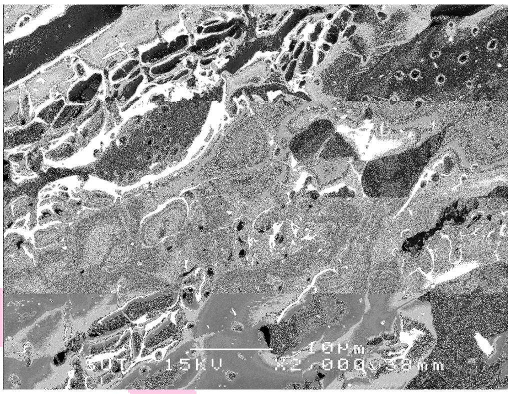
ถ่านกัมมันต์จากโรงงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นถ่านชนิดเม็ดเตรียมได้จากกะลามะพร้าวและมีสมบัติเฉพาะดังแสดงในตารางที่ 4.1 สำหรับรูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงรูพรุนขนาดใหญ่ที่อยู่บนพื้ผิวถ่านกัมมันต์

ตาราง 4.1 สมบัติเฉพาะตัวของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานที่ใช้ในการศึกษา

Particle size: 1800-3600 μm	Micropore volume: 0.38 cm^3/g
Micropore area: 878 m^2/g	Particle density: 1516.0 kg/m^3
Average pore size: 1.85 nm	BET surface area: 1119 m^2/g

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY





รูปที่ 4.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จากโรงงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.2 ผลการวิเคราะห์จากเครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR Spectroscopy

เครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR spectroscopy สามารถให้ข้อมูลของโครงสร้างทางเคมีของสารที่อยู่บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ตัวอย่างได้ ซึ่งสเปคตรัมของหมู่ฟังก์ชันทั้งหมดเทียบหาได้จากคู่มือของสเปคตรัมมาตรฐาน(Smith, 1999) และซอฟแวร์ของ FT-IR spectroscopy (Perkin Elmer model spectrum GX) ค่า Wavenumber ที่ใช้สำหรับสเปคตรัมของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างทุกประเภทได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับสเปคตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานแสดงในรูปที่ 4.2 นอกจากนี้พื้นที่พีครวม (เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชัน) ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ศึกษาดังแสดงในตาราง4.3 โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันจากสเปคตรัม FT-IR ที่เกิดขึ้นในแถบตำแหน่งเดียวกัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.2 ความเป็นไปได้ของ FT-IR peak ที่ได้จากถ่านตัวอย่างโดย FT-IR spectroscopy

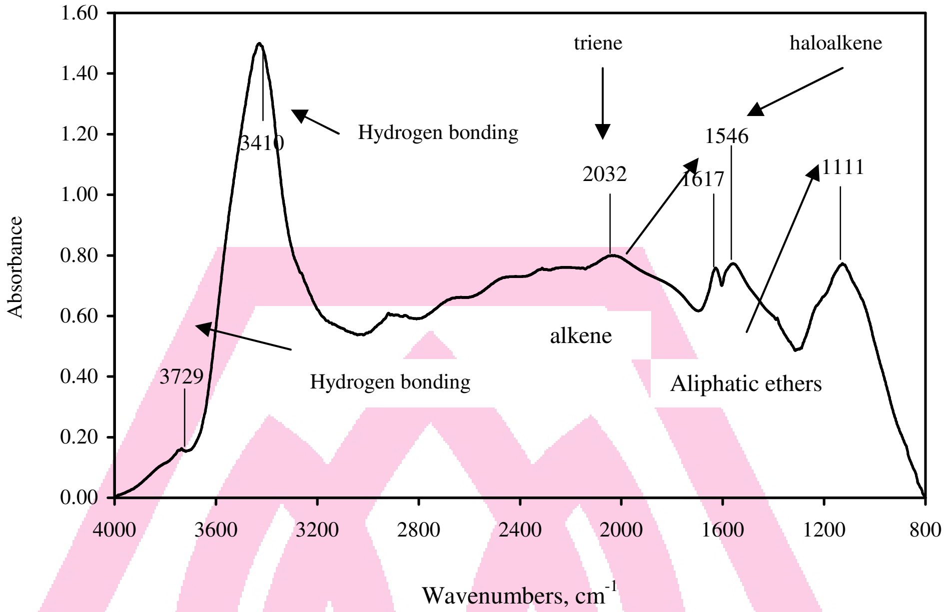
Wavenumber,cm^{-1}	Vibration mode	Atomic groupings
ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน		
3428	ν(O-H)	Hydrogen bonding
2037	C=C=C=C	Cumulene (Triene)
1628	ν(C=C)	Alkene
1559	ν(C=C)	Haloalkene
1111	ν_{as}(C-O-C)	Aliphatic ethers
ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วยอากาศ		
3435-3425	ν(O-H)	Hydrogen bonding
2920	ν(C-H)	Aromatic- CH_3
2845	ν_s(C-H)	Alkane
2334	O=C=O	CO_2 contaminate
2051-2031	C=C=C=C	Cumulene (Trienes)
1635-1628	ν(C=C)	Alkene
1384-1370	-O-CO-CH_3	Acetate ester
1129-1116	ν_{as}(C-O-C)	Aliphatic ethers
ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 ทั้งในสถานะแก๊สและของเหลว		
3440-3424	ν(O-H)	Hydrogen bonding
2922-2918	ν(C-H)	Aromatic – CH_3
2336-2331	O=C=O	CO_2 contaminate
2078-2052	C=C=C=C	Cumulene (Trienes)
1637-1630	ν(C=C)	Alkene
1868	-CO-O-CO	Carbonyl

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.2 ความเป็นไปได้ของ FT-IR peak ที่ได้จากถ่านตัวอย่างโดย FT-IR spectroscopy (ต่อ)

Wavenumber,cm^{-1}	**Vibration mode**	**Atomic groupings**
1732	ν(C=O)	Carboxylic acid
1706	ν(C=O)	Ketone
1573-1551	ν(C=C)	Haloalkene
1384-1370	-O-CO-CH_3	Acetate ester
1339	-CH$(CH_3)_2$	Alkane
1128-1110	ν_{as}(C-O-C)	Aliphatic ethers
1033	ν(O-H)	Aliphatic alcohol
ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3		
3439-3436	ν(O-H)	Hydrogen bonding
2922	ν(C-H)	Aromatic – CH_3
2343-2322	O=C=O	CO_2 contaminate
2142-2113	C=C=C	Allenes
2086-2050	C=C=C=C	Cumulene(Trienes)
1712	ν(C=O)	Carboxylic acid
1705	ν(C=O)	Ketone
1637-1621	ν(C=C)	Alkene
1384	-O-CO-CH_3	Acetate ester
1161	ν(C-N)	Primary amine
1135-1132	-CH$(CH_3)_2$	Alkane
1120-1110	ν_{as}(C-O-C)	Aliphatic ethers

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 4.2 สเปคตรัม FT-IR ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน

ตาราง 4.3 พื้นที่พีครวมของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาโดย FT-IR spectroscopy

Sample description	Total peak area : $A.cm^{-1}$				
	hydrogen bonding	carboxylic or ketone	ester	ether	alkene
Original	571.27	-	-	248.87	63.89
6M HNO_3	524.72	325.54	27.43	245.31	151.65
10M HNO_3	644.48	1013.72	16.00	493.99	270.71
O_3(reflux 60 min)	670.97	498.91	-	343.28	448.53
O_3(reflux 60 min) + Zn	561.52	279.51	-	237.90	94.88
O_3 (reflux 120 min)	548.44	347.69	-	216.03	438.06
O_3 (reflux 120 min) + Zn	527.45	267.07	-	172.93	149.10
O_3 (reflux 180 min)	548.44	347.69	-	216.03	438.06
O_3 (reflux 180 min) + Zn	511.58	281.21	-	174.97	147.64

4.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Boehm's Titration

ออกซิเจนเชิงซ้อนที่ได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์โดย FT-IR spectroscopy จากถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และ O_3 อาจเป็นข้อมูลที่ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ดังนั้นจึงนำเอาเทคนิคการไทเทรตมาประยุกต์ใช้ซึ่งเรียกว่าเทคนิค Boehm's titration เพื่อใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณของ กรดคาร์บอกซิลิก กรดแลคโทนิก และกรดฟีนอลิก ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลของ Boehm's Titration

Sample	**Concentration of acidic groups (mmol / g- sample)**			
	Carboxylic	Phenolic	Lactonic	Total acidity
Original	0.00	0.20	0.00	0.20
O_3 oxidation	0.04	0.23	0.08	0.35
6 M HNO_3	1.68	0.52	0.76	2.96
6 M HNO_3+Zn	0.78	1.22	0.69	2.69
10 M HNO_3	2.34	0.71	0.84	3.89
10 M HNO_3+Zn	1.07	1.50	0.84	3.41

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน (Determination of Oxygen Content)

การตรวจสอบหาเพื่อยืนยันองค์ประกอบออกซิเจนที่เป็นผลมาจากการใช้ตัวออกซิไดส์ที่แตกต่างกัน (air O_2,O_3 และ HNO_3) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาองค์ประกอบเป็นร้อยละของธาตุออกซิเจนจากถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง 4.5 4.6 และ 4.7 ซึ่งตรวจวิเคราะห์โดยเครื่องมือ CHNS/O analyzer

ตาราง 4.5 องค์ประกอบออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3

O_3, O_2, air oxidized samples	Sample description	Air flow rate (L/min)	Temp. in fluidized-bed (^{o}C)	Time (min)	% oxygen by CHNS/O analyzer
O_{01}	original sample	-	-	-	7.10
O_{421}	Ozonation treatment air as feed gas	5.5	150	60	8.34
O_{522}	Ozonation treatment oxygen as feed gas	5.5	180	30	9.87
O_{525}	Ozonation treatment oxygen as feed gas	5.5	237-240	30	10.22
O_{524}	Ozonation treatment oxygen as feed gas	5.5	180-190	60	11.24
O_{523}	Ozonation treatment oxygen as feed gas	5.5	180	90	10.95
O_{02}	Air only as feed gas from air pump	5.5	180	90	10.06
O_{03}	Oxygen only as feed gas (commercial grade)	5.5	180	90	10.74

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.6 องค์ประกอบออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3 แล้วตามด้วย O_3

HNO_3 conc.(M)	Time for HNO_3 oxidation (min)	Time for O_3 oxidation (min)	Temperature in fluidized-bed (^{o}C)	% oxygen by CHNS/O analyzer
2.0	120	30	200	20.87
6.0	120	30	200	27.95
10.0	120	30	200	33.12

ตาราง 4.7 องค์ประกอบออกซิเจนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3

Sample description	HNO_3 conc.(M)	Temperature in reflux column	Time (min)	% oxygen by CHNS/O analyzer
HNO_3	2.0	100-105	30	19.73
HNO_3	2.0	100-105	60	23.55
HNO_3	2.0	100-105	120	25.06
HNO_3	4.0	100-105	120	23.95
HNO_3	6.0	100-105	120	28.71
HNO_3	8.0	100-105	120	29.67
HNO_3	10.0	100-105	120	32.76

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

โดยสรุปแล้วข้อมูลของการวิเคราะห์ธาตุออกซิเจนสำหรับการออกซิไดส์ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างด้วย O_3 และ HNO_3 สามารถใช้สนับสนุนข้อมูลสเปคตรัม FT-IR ได้ ตัวอย่างเช่นในกรณีในกรณีของคีโตนหรือกรดคาร์บอกซิลิกที่มีหมู่ C=O ซึ่งวิเคราะห์ได้จากข้อมูลสเปคตรัม FT-IR มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากได้ทำการปรับปรุงถ่านตัวอย่าง และปริมาณออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบซึ่งพิจารณาจากข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุโดย CHNS/O analyzer พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน(ดูตาราง 4.3 4.5 และ 4.6 เพื่อใช้เปรียบเทียบ)

4.5 การวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrometry

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะสังกะสีที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนไอออนในกระบวนการเติมโลหะเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์โดยการใช้ atomic absorption spectrometry ตาราง 4.8 แสดงถึงผลของความเข้มข้นของสังกะสีแอซิเทตและเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนของสังกะสีในถ่านกัมมันต์จากโรงงาน จากตาราง 4.8 ได้สรุปการเพิ่มของสังกะสีบนถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากการแลกเปลี่ยนประจุเป็นปฏิภาคโดยตรงความเข้มข้นของสังกะสีแอซีแทตกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการ ion-exchange process

สำหรับปริมาณของโลหะสังกะสีที่เติมเข้าไปในถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 และ HNO_3ดังแสดงในตาราง 4.9 สรุปได้ว่าถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 ในfluidized-bed ที่ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาทีพบว่าปริมาณโลหะสังกะสีที่พบมากที่สุด 36.04 mg-Zn/g-sample ส่วนในกรณีของถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3 มีแนวโน้มว่าความเข้มข้นของ HNO_3 ที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสังกะสีในถ่านตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย จากการทดลองนี้พบว่าใช้ความเข้มข้นของ HNO_3 10 โมลาร์จะได้ปริมาณโลหะสังกะสีมากที่สุดในขณะที่ความเข้มข้น HNO_3 2 โมลาร์จะได้ปริมาณโลหะสังกะสีต่ำสุด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.8 ผลของความเข้มข้นของสังกะสีแอซิเทตและเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนของสังกะสีในถ่านกัมมันต์จากโรงงานโดยใช้ AAs

The original sample condition			Sample wt.(g)	Zinc conc. (ppm)	mg- Zn/g-sample
Zinc acetate conc.(M)	Temperature (^{o}C)	Time (min)			
0.05	30	90	0.1359	3.0	22.08
0.1	30	90	0.1102	3.1	28.13
0.2	30	90	0.1088	3.0	27.57
0.3	30	90	0.1052	2.4	22.81
0.4	30	90	0.1048	2.5	23.85
0.2	30	30	0.1051	1.7	16.18
0.2	30	60	0.1048	2.7	25.76
0.2	30	90	0.1088	3.0	27.57
0.2	30	120	0.1158	3.8	32.82

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.9 ปริมาณโลหะสังกะสีที่เติมเข้าไปในถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง

Sample description			Sample wt.(g)	Zinc conc. (ppm)	mg- Zn/g-sample
Oxidation methods	Maximum temp. (^{o}C)	Time (min)			
O_3 oxidation in fluidized-bed reactor	150	60	0.1177	1.6	13.59
	180	30	0.1048	1.8	17.18
	190	60	0.1120	2.0	17.86
	210	90	0.1304	4.7	36.04
O_3 oxidation in a hot water(reflux)	90	60	0.1300	4.8	36.92
	90	120	0.1308	3.4	25.99
	90	180	0.1299	3.2	24.63
2.0M HNO_3 oxidation (reflux)	90	120	0.1084	2.2	20.30
6.0M HNO_3 oxidation (reflux)	105	120	0.1234	3.9	31.60
10.0M HNO_3 oxidation (reflux)	110	120	0.1175	6.2	52.77

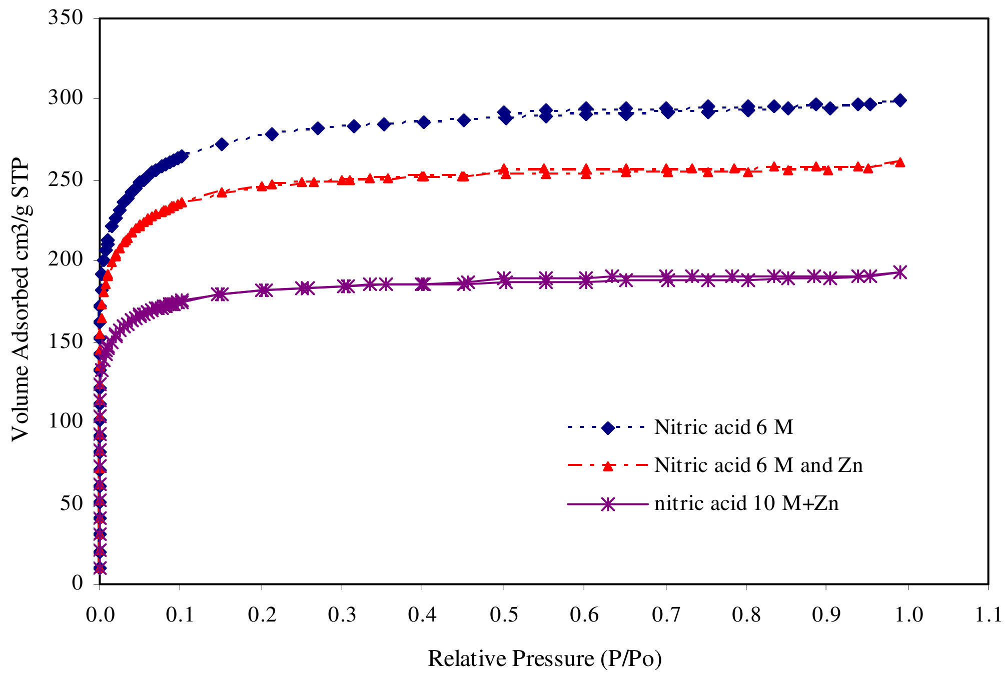
หมายเหตุ การเติมโลหะสังกะสีโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (0.2 M zinc acetate, time = 120 min)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

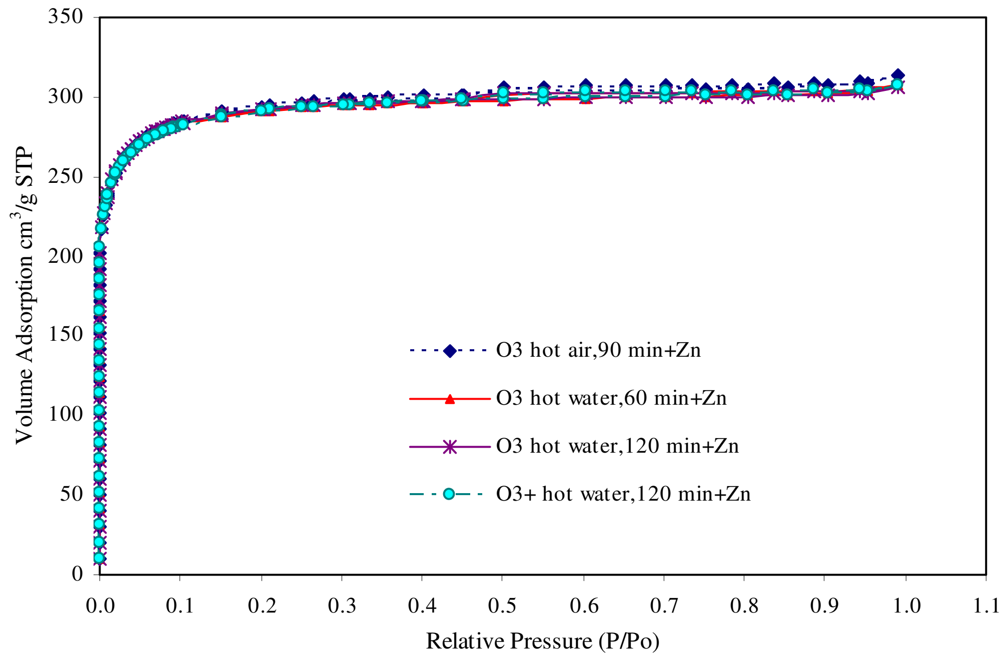
4.6 ไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจน Nitrogen Adsorption Isotherms

ไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจนถือเป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับตรวจสอบลักษณะเฉพาะของวัตถุรูพรุนโดยเฉพาะรูพรุนของตัวดูดซับที่เป็นถ่าน ไอโซเทอมของการดูดซับสามารถวัดได้จากค่าของพื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุนของตัวดูดซับความร้อนของการดูดซับเป็นต้น (Pradhan and Sandle, 1999) จากผลการทดลองพบว่าพื้นที่ผิวเฉพาะของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณหาโดยการวิเคราะห์โดย BET analysis มีค่าลดลงเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวถ่านด้วยการออกซิไดส์และการเติมโลหะ ซึ่งในรูปที่ 4.3 ไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจนของถ่านที่ทำการปรับปรุงด้วยกระบวนการแตกต่างกันคือ 6.0 M HNO_3, 6.0 M HNO_3 + Zn และ 10.0 M HNO_3 + Zn เป็นการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างเกี่ยวกับความจุของการดูดซับและชนิดของไอโซเทอม จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการปรับปรุงมีการดูดซับน้อยลง ในกรณีของถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะZnการดูดซับจะลดลงสูงสุด ส่วนไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจนที่ถ่านตัวอย่างถูกปรับปรุงโดยวิธีออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน fluidized-bed ที่ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และเติมโลหะสังกะสี (Zn) และการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (ใช้เวลา 60, 120, และ 180 นาที) และเติมโลหะสังกะสี ดังแสดงในรูปที่ 4.4 สำหรับรูปที่ 4.5 แสดงถึงไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่ทำการปรับปรุงด้วยกระบวนการแตกต่างกัน โดยที่ไอโซเทอมทั้งหมดสามารถจัดอยู่ในประเภท type I isotherm คือเป็นชนิดของการดูดซับในรูพรุนของของแข็ง(Do, 1998) การดูดซับของไนโตรเจนได้น้อยของของถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพิสูจน์ให้เห็นว่าบางรูพรุนอาจถูกอุดตันโดยหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เข้ามาในระหว่างการปรับปรุงทางเคมี (Jae - Woon, et al., 2001) ดังนั้นโมเลกุลของไนโตรเจนจึงไม่สามารถผ่านเข้าไปในที่ที่ใช้ดูดซับได้

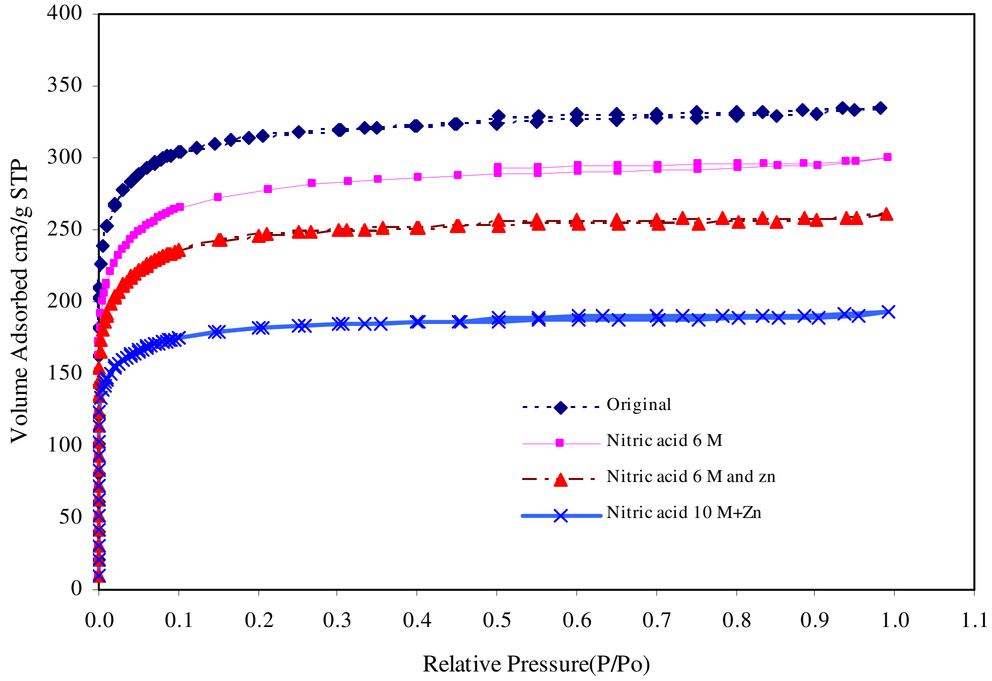
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ของถ่านโดยออกซิไดส์ด้วย HNO_3 แล้วเติม Zn ที่ 77 เคลวิน



รูปที่ 4.4 ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ของถ่านโดยออกซิไดส์ด้วย O_3 แล้วเติม Zn ที่ 77 เคลวิน



รูปที่ 4.5 ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ของถ่านที่ทำการปรับปรุงด้วยวิธีแตกต่างกันที่ 77 เคลวิน

4.7 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน(Surface Area and Porosity Analysis)

จากตาราง 4.10 แสดงผลของพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ทำการปรับปรุงสำหรับตัวอย่างโดยการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 มีผลต่อการลดลงของพื้นที่ผิวที่เกิดจากการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ 6.0 M HNO_3 6.0 M HNO_3+Zn 10.0 M HNO_3+Zn เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองเมื่อใช้ BET พบว่าพื้นที่ผิวถ่านตัวอย่างลดลงอันเนื่องมาจากการอุดตันของช่องแคบในรูพรุน โดยเกิดจากสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการปรับปรุงถ่านตัวอย่าง ดังนั้นโมเลกุลของไนโตรเจนจึงไม่สามารถผ่านเข้าไปในที่ที่ใช้ดูดซับได้ (Pradhan and Sandle, 1999) ปริมาตรของรูพรุนไมโครมีค่าลดลงเสมอเมื่อถ่านตัวอย่างผ่านกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะดังเช่นในกรณีของการออกซิไดส์ด้วย 10.0 M HNO_3 ทำให้ปริมาตรรูพรุนลดลงมากที่สุด จึงสรุปได้ว่าการลดลงของพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถ่านที่ถูกออกซิไดส์เนื่องจากการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวถ่าน (ดูตาราง 4.3, 4.4 และ 4.10 เพื่อเปรียบเทียบ)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.10 พื้นที่ผิวเฉพาะและรูพรุนในถ่านกัมมันต์ตัวอย่างโดยการดูดซับไนโตรเจน

Sample	Surface area analysis, m^2/g			Pore volume; cm^3/g		Average pore size; nm
	Total	Micropore	External	Micropore	Total	
Original	1119	879	240	0.38	0.52	1.85
Original+ Zn	967	767	200	0.37	0.49	2.02
6M HNO_3	909	640	269	0.31	0.46	2.04
6M HNO_3+Zn	808	593	215	0.28	0.40	1.20
10M HNO_3+Zn	597	454	143	0.22	0.30	2.00
O_3 (fluidized-bed210^{o}C)+Zn	967	767	200	0.37	0.49	2.01
O_3(reflux 60 min) + Zn	959	791	168	038	0.47	1.98
O_3 (reflux 120 min) + Zn	962	783	179	0.37	0.47	1.97
O_3 (reflux 180 min) + Zn	957	766	191	0.36	0.47	1.99

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

4.8 การดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยถ่านกัมมันต์เบด

ในเทอมของเบรคทรูถูกนำไปใช้อ้างอิงถึงเงื่อนไขที่ที่ซึ่งความเข้มข้นของ H_2S ถูกตรวจวัดครั้งแรกจากทางออกของเบด ในการทดลองนี้ความเข้มข้นของ H_2S ถูกตรวจวัดอย่างต่อเนื่องโดยเครื่องมือ electrochemical sensor ในทุกๆ 5 วินาทีและเป็นข้อมูล ณ เวลาจริงที่สามารถถ่ายโอนไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ สำหรับค่าเบรคทรูในการทดลองการดูดซับ H_2S ต้องอยู่บนพื้นฐานที่เป็นค่ามาตรฐานของหน่วยงานที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมคือ NIOSH: ceiling 10, OSHA: ceiling 20, และ OSHA: ceiling 50 เพดานสูงสุดของความเข้มข้นของ H_2S กำหนดไว้คือ 10, 20, และ 50 ppm ตามลำดับ ซึ่งเป็นขีดจำกัดในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของแก๊ส H_2S (Chou, 2000) ตามที่ breakthrough time ถูกอธิบายอยู่ในรูปของเวลาที่ความเข้มข้นของแก๊ส H_2S ถูกปล่อยออกมาจากเบดสูงถึงระดับ 10, 20, และ 50 ppm ผลจากการทดลองหา breakthrough times ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน จากการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 การออกซิไดส์ด้วย O_3 และการเติมด้วยโลหะ Zn เพื่อให้อยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดไว้ในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของTime - Weighted Average (TWA value) ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ใน ตาราง 4.11 และ 4.12

4.8.1 ความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากโรงงาน(Adsorption capacity of untreated activated carbons)

รูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 แสดง breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ 10 30 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการทดลองได้ค่า breakthrough times สำหรับการดูดซับ ณ อุณหภูมิ 10 30 และ 45 องศาเซลเซียสคือ 1095 645 และ700 วินาทีตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.9 สำหรับเปรียบเทียบ) ในกรณีของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานพบว่าการดูดซับโมเลกุลแก๊สบนถ่านกัมมันต์นั้นถือว่าแรง van der Waals มีบทบาทโดดเด่นในการดูดซับทางกายภาพโดยธรรมชาติ นอกจากนี้รูพรุนขนาดเล็กและพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ของถ่านกัมมันต์ก็ได้แสดงบทบาทหลักในการดูดซับสารปนเปื้อน (Yang,2003) สำหรับ breakthrough time ที่มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิการดูดซับ 10 องศาเซลเซียส เพราะว่าในการดูดซับทางกายภาพนั้นความจุในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อด้วยการลดอุณหภูมิลง รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดง breakthrough time ของ H_2S สำหรับการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากโรงงานและเติมโลหะสังกะสีที่อุณหภูมิ 10 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S ที่ 20 ppm ระหว่างถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน (original 10^{o}C) และถ่านกัมมันต์จากโรงงานและเติมโลหะสังกะสี (original + Zn 10^{o}C) ดังแสดงในรูปที่ 4.12

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.11 Breakthrough times ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และการเติมโลหะสังกะสี สำหรับขีดจำกัดในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของแก๊ส H_2S

Sample description		NIOSH : ceiling = 10 ppm	OSHA : ceiling = 20 ppm	OSHA : ceiling = 50 ppm.for 10- min
HNO_3 oxidation and/or metal addition	Adsorption temp.(^oC)	Breakthrough times(sec)	Breakthrough times (sec)	Breakthrough times (sec)
Original	30	620	645	680
2 M HNO_3	30	235	260	295
6 M HNO_3	30	285	310	350
6 M HNO_3+Zn	30	1315	1410	1530
10 M HNO_3	30	115	200	320
10 M HNO_3+Zn	30	270	315	335
Original	10	1085	1095	1115
Original + Zn	10	1590	1600	1610
6 M HNO_3	10	1040	1175	1385
6 M HNO_3+Zn	10	2015	2030	2065
Original	45	690	700	735
Original+ Zn	45	1530	1535	1540
6 M HNO_3	45	135	170	210
6 M HNO_3+ Zn	45	2345	2360	2365
10 M HNO_3+ Zn	45	940	990	1055

Note NIOSH = The National Institute for Occupational Safety and Health

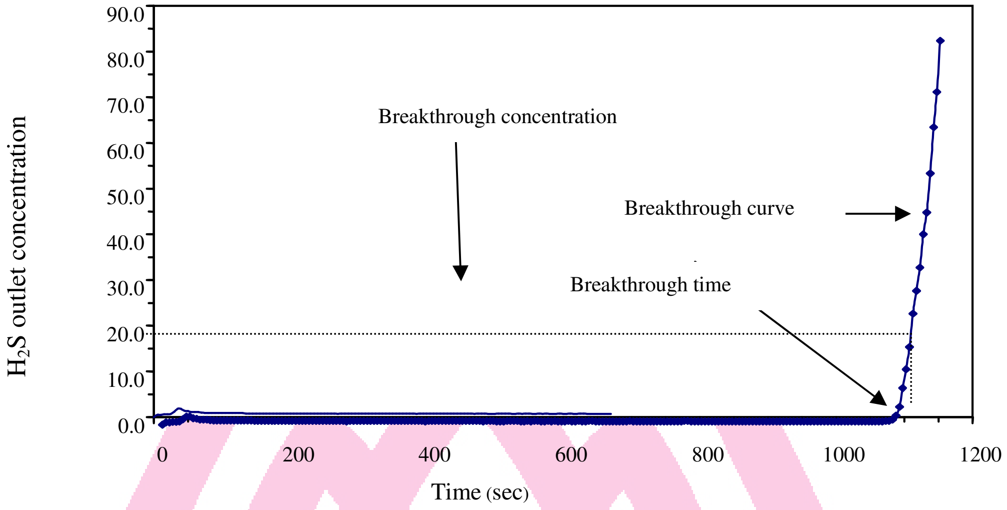
OSHA = The Occupational Safety and Health Administration

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

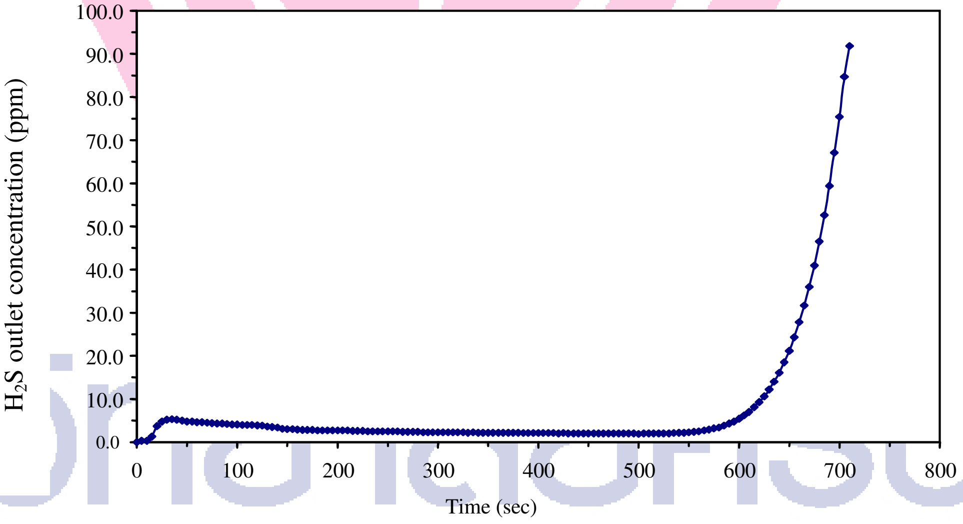
ตาราง 4.12 Breakthrough times ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3 และการเติมโลหะสังกะสี สำหรับขีดจำกัดในการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของแก๊ส H_2S

Sample description		NIOSH : ceiling = 10 ppm	OSHA : ceiling = 20 ppm	OSHA :ceiling = 50 ppm,for 10 -min
O3 oxidation and metal addition	Adsorption temp.(°C)	Breakthrough times(sec)	Breakthrough times(sec)	Breakthrough times(sec)
Fluidized-bed 210°C,90 min+Zn	30	1230	1275	1425
Hot water,90 °C 60 min+Zn	30	1710	1760	1925
Hot water,90°C 120 min+Zn	30	1575	1645	1745
Hot water,90 °C 180 min+Zn	30	1765	1840	1970
Fluidized-bed 210 °C,90 min+Zn	10	2050	2055	2060
Hot water,90 °C 60 min+Zn	10	2260	2265	2270
Hot water,90 °C 120 min+Zn	10	2125	2130	2140
Hot water,90 °C 180 min+Zn	10	1810	1830	1885
Fluidized-bed 210 °C,90 min+Zn	45	1540	1550	1595
Hot water,90 °C 60 min+Zn	45	1520	1525	1535
Hot water, 90 °C 120 min+Zn	45	1745	1750	1760
Hot water , 90 °C 180 min+Zn	45	1710	1715	1720

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

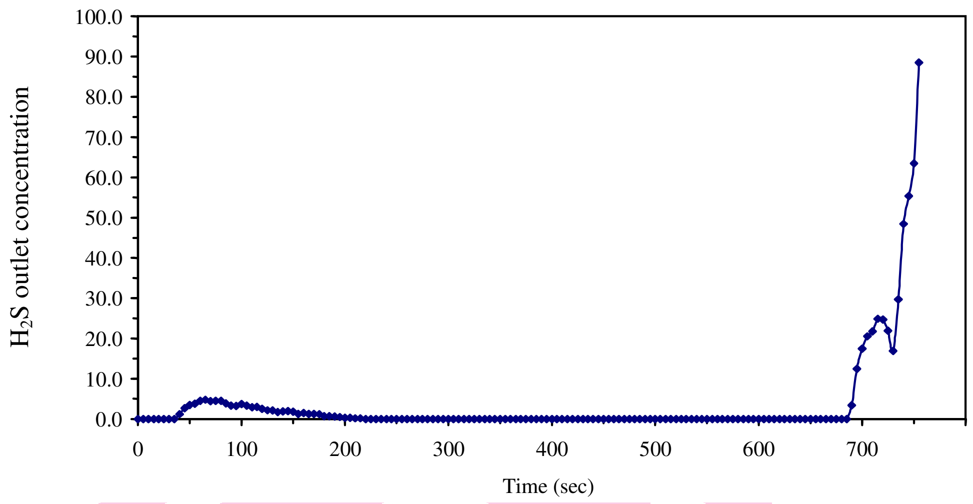


รูปที่ 4.6 breakthrough curve ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน (1.01% H_2S, balance N_2 T = 10°C, P = 1.0 bar)

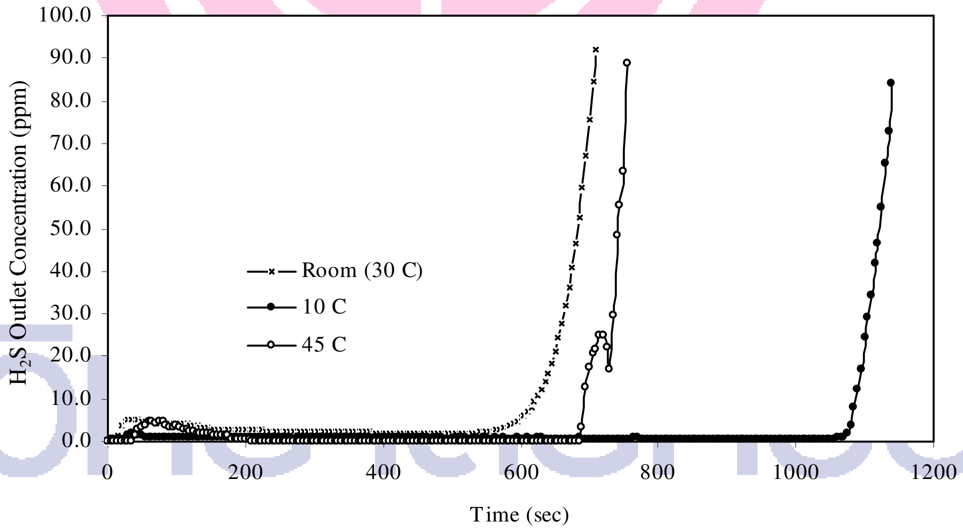


รูปที่ 4.7 breakthrough curve ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน (1.01% H_2S, balance N_2 T = 30°C, P = 1.0 bar)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

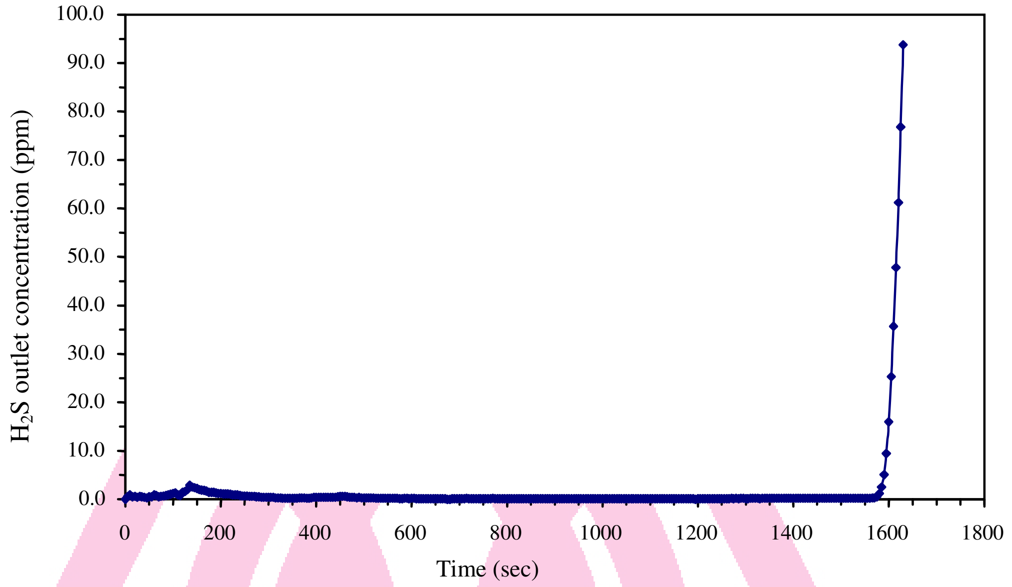


รูปที่ 4.8 breakthrough curve ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน (1.01% H_2S, balance N_2 T = 45°C, P = 1.0 bar

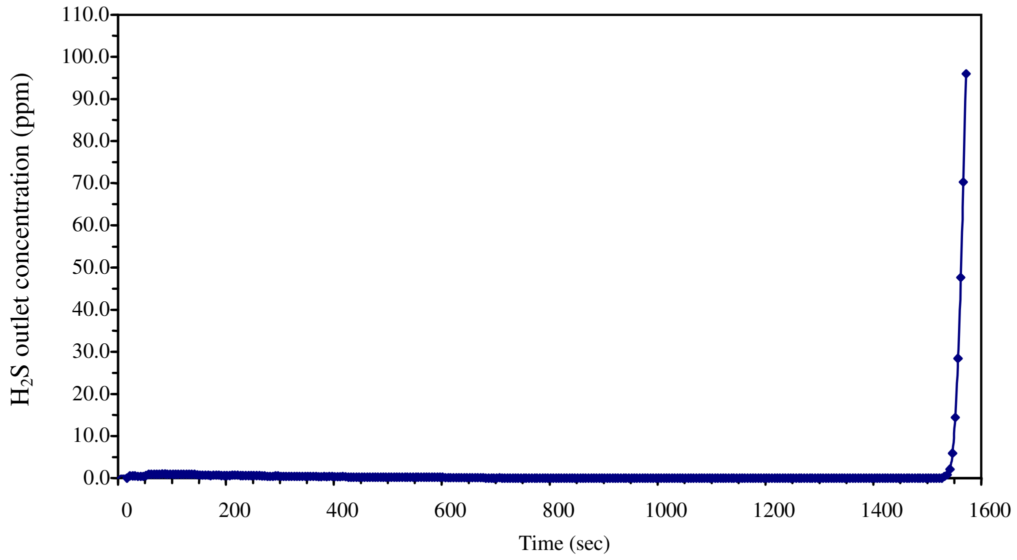


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบ breakthrough curvesของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

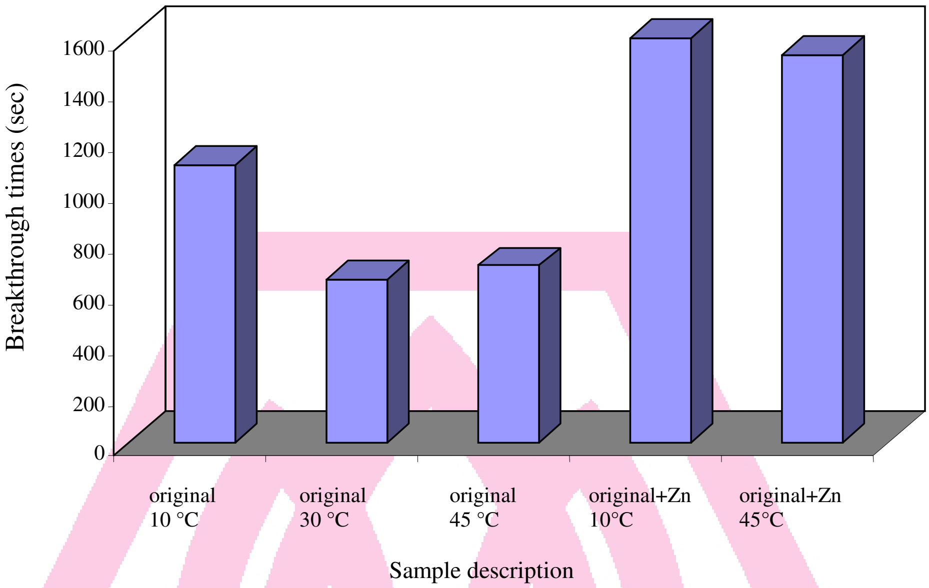
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 4.10 breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานและเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)



รูปที่ 4.11 breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานและเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar)

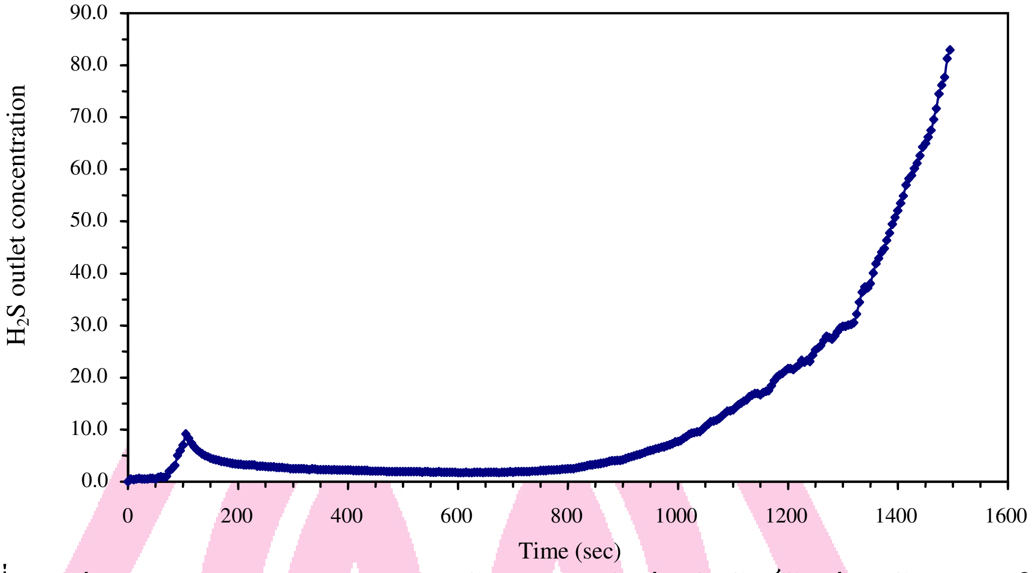


รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบ breakthrough curves ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์จากโรงงานและถ่านกัมมันต์จากโรงงานด้วยการเติมโลหะสังกะสีที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

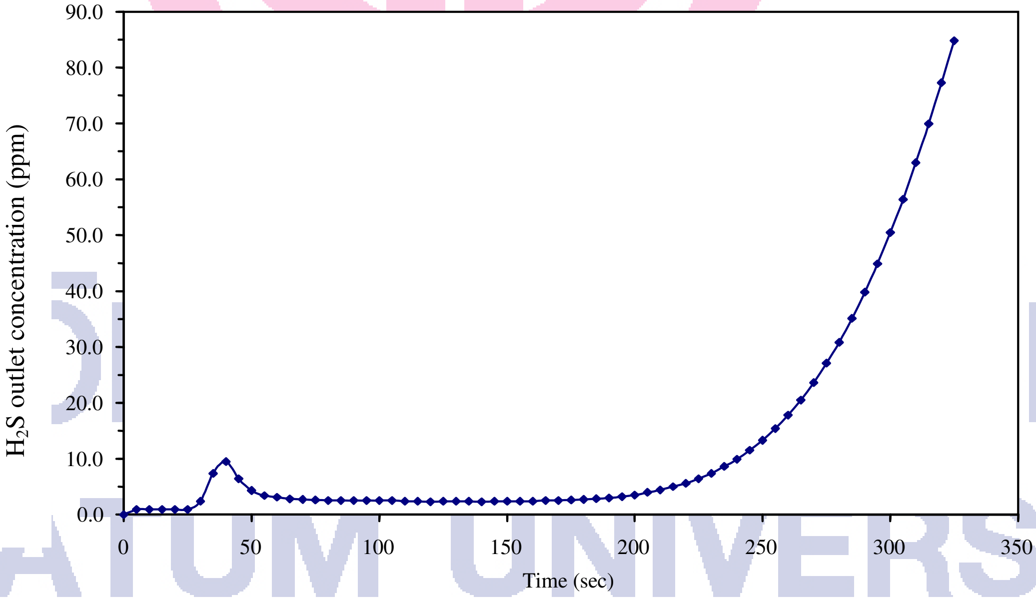
4.8.2 ความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3

รูปที่ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 และ 4.17 แสดงชนิด breakthrough curves สำหรับการดูดซับ H_2S ของตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย HNO_3 ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นของ HNO_3 ที่ใช้ออกซิไดส์ถ่านตัวอย่างแตกต่างกัน รูปร่างของ breakthrough curves มีความแตกต่างจากผลของถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากโรงงาน รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบของ H_2S breakthrough curves สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 ที่อุณหภูมิ 10, 30, และ 45 องศาเซลเซียส ค่า breakthrough times ของการดูดซับ H_2S ที่ 20 ppm ประมาณ 1175, 310, และ170 วินาทีตามลำดับ (ดูตาราง 4.10) ดังนั้นถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 ที่ 10 องศาเซลเซียสเป็นเงื่อนไขที่ให้ความจุการดูดซับสูงสุดสำหรับการบำบัด H_2S ในรูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบ breakthrough curves ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของ HNO_3 แตกต่างกัน คือ 2.0, 6.0, โมลาร์ ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่า breakthrough times ของ H_2S ที่ความเข้มข้น 20 ppm คือ 645, 260, 310, และ 200 วินาทีตามลำดับ (ดูตาราง 4.11) ตัวดูดซับที่ดีที่สุดในเงื่อนไขนี้สำหรับบำบัด H_2S คือถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ HNO_3 ที่ใช้ออกซิไดส์

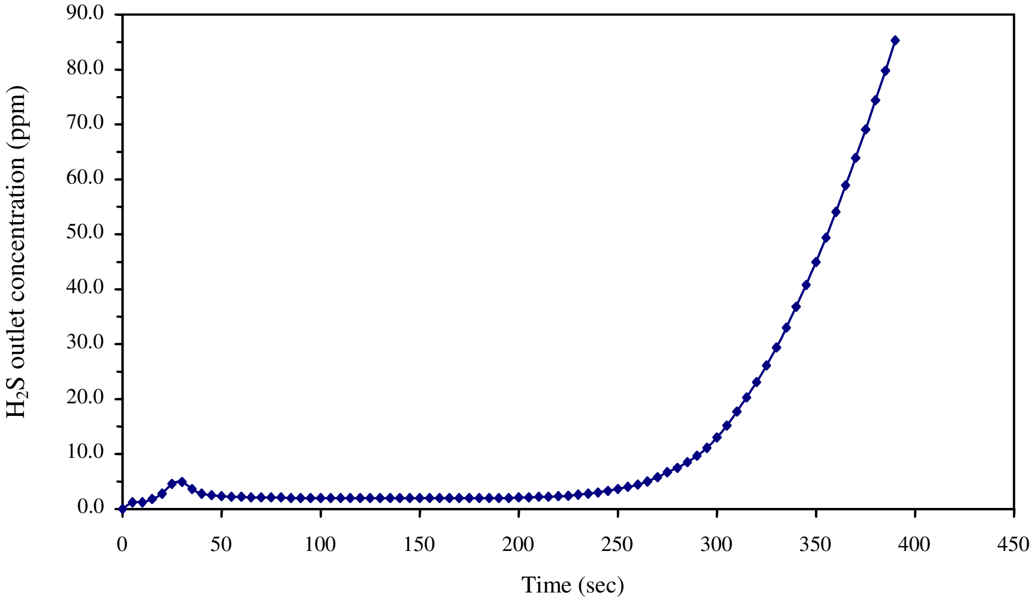
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



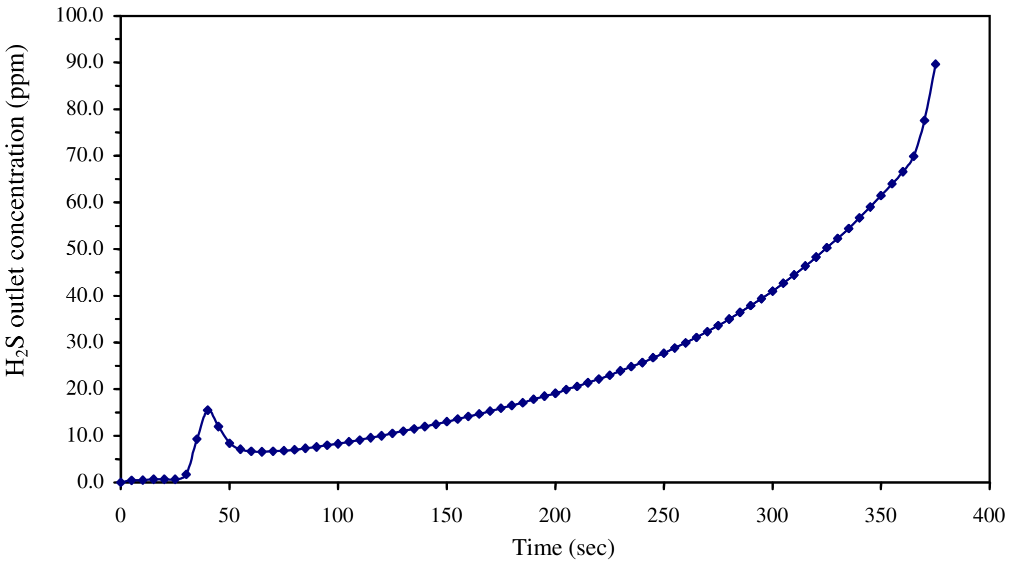
รูปที่ 4.13 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 T = 10°C ,P = 1.0 bar



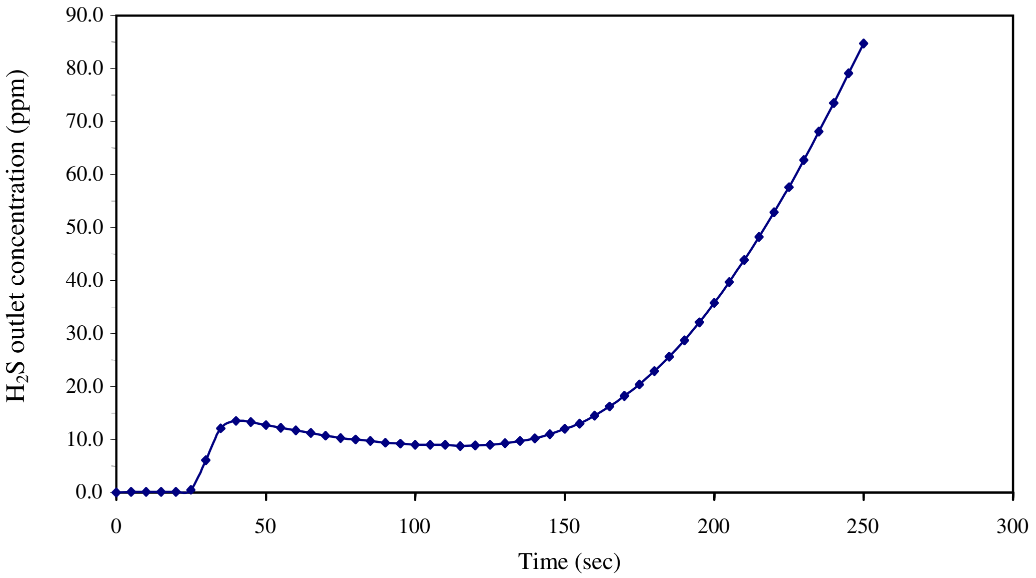
รูปที่ 4.14 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 2.0 M HNO_3T = 30°C , P = 1.0 bar



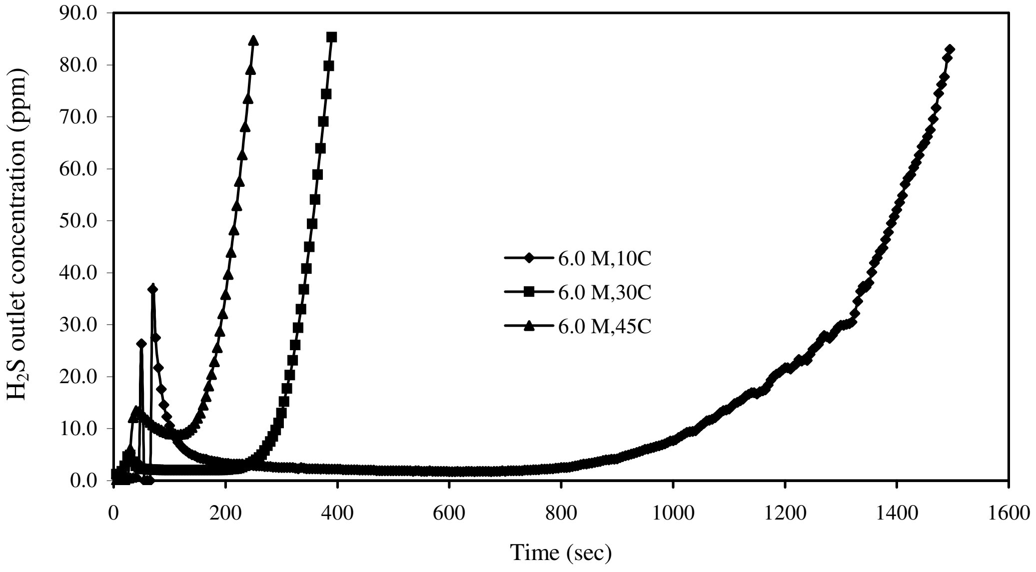
รูปที่ 4.15 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 $T = 30^{o}C$, P = 1.0 bar



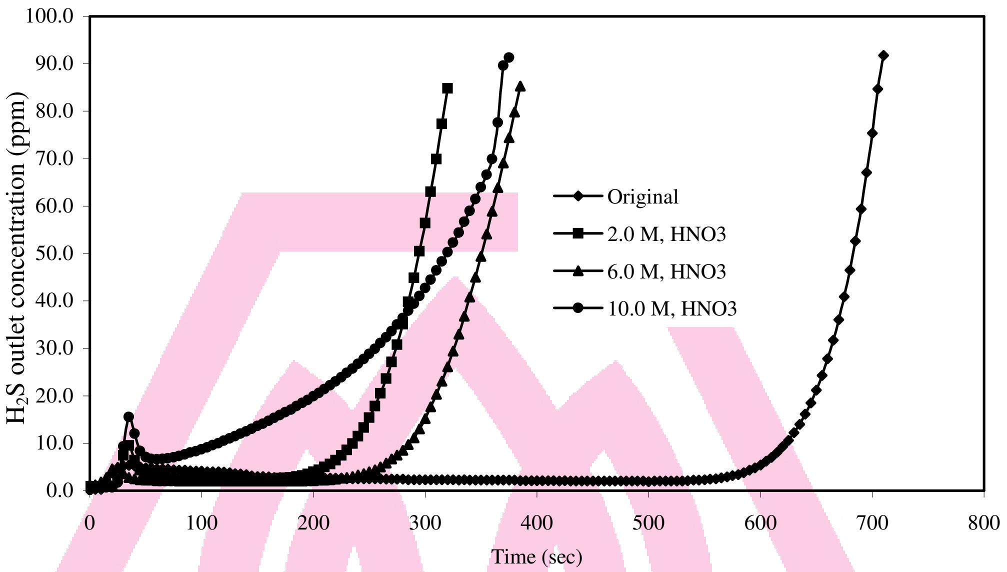
รูปที่ 4.16 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย10.0 M HNO_3 $T = 30^{o}C$, P = 1.0 bar



รูปที่ 4.17 ค่า breakthrough curve ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างหลังจากออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 T = 45^{o}C , P = 1.0 bar



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบ breakthrough curvesของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน



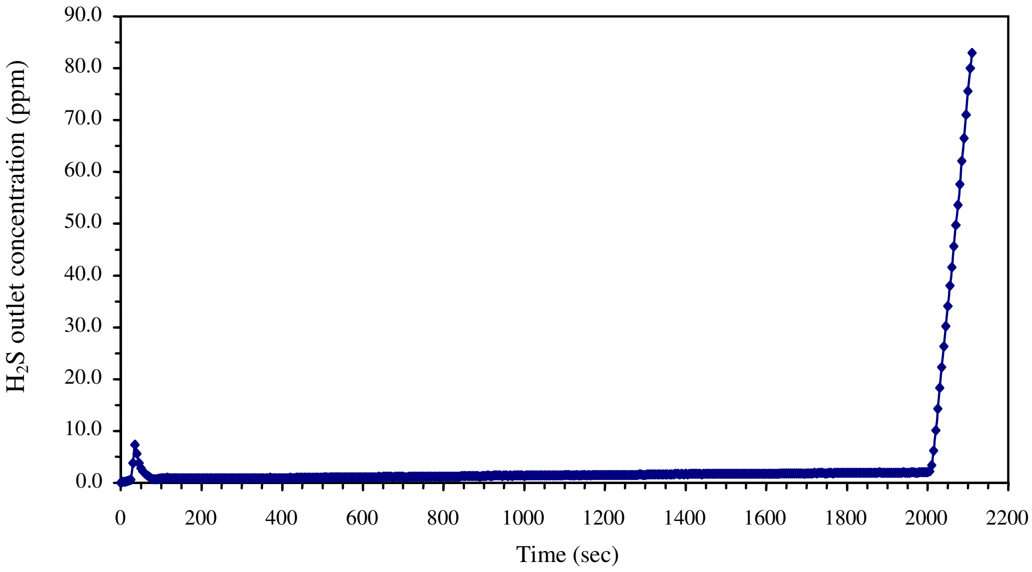
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบ breakthrough curves ของการดูดซับ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 ณ อุณหภูมิ 30°C ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

4.8.3 การดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยการออกซิไดส์และเติมโลหะ (HNO_3+Zn)

รูปที่ 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, และ 4.24 แสดงกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี ที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ 10, 30, และ 45 องศาเซลเซียสโดยใช้ความเข้มข้นของ HNO_3 แตกต่างกันด้วย ผลของอุณหภูมิจากกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี HNO_3แสดงค่า breakthrough times ที่ยาวกว่าถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ได้จากโรงงาน (ดูรูปที่ 4.9 เพื่อเปรียบเทียบ) ส่วนถ่านตัวอย่างที่ดีที่สุดคือมีค่าความยาวของ breakthrough time ยาวที่สุด (2360 วินาที) ในการบำบัด H_2S ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.25) ซึ่งสามารถอ้างได้ว่าเป็นมาจากการดูดซับทางเคมี ทั้งนี้การดูดซับทางเคมีนั้นก็เกี่ยวข้องกับพันธะเคมีและโมเลกุลที่ถูกดูดซับทางเคมีจะถูกยึดติดอยู่ในบริเวณที่เฉพาะเท่านั้น (Noll, et al., 1992) โดยที่โมเลกุลของแก๊สต้องถูกจับเพื่อฟอร์มเป็นพันธะเคมีกับพื้นผิวของตัวดูดซับซึ่งการดูดซับทางเคมีเกิดจากการฟอร์ตัวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในชั้น monolayer บนพื้นผิวเท่านั้น (Mycock, et al.,1995) การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3อย่างเดียว และเติมโลหะสังกะสี โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.26 จากผลการทดลองสำหรับถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0

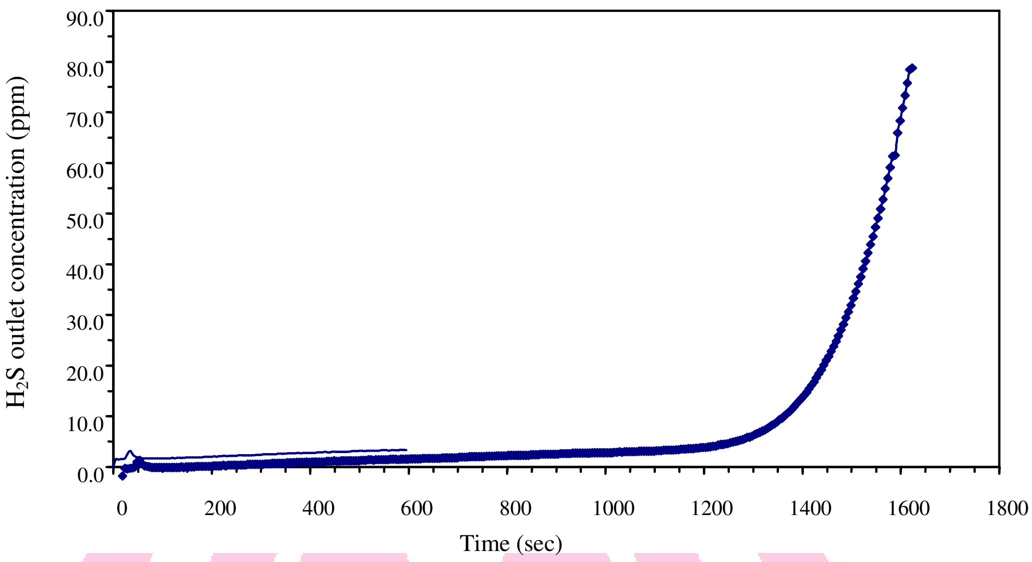
มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

M HNO_3อย่างเดียวค่าbreakthrough timeสูงสุดนั้นได้จากการดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ส่วนค่า breakthrough time สูงสุดนั้นได้จากถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลของถ่านกัมมันต์จากโรงงานและถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสีแสดงในรูปที่ 4.27 ในรูปนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการดูดซับของถ่านกัมันต์จากโรงงานที่อุณหภูมิระหว่าง 10, 30, และ45 องศาเซลเซียส ในส่วนของถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสีมีผลให้ค่า breakthrough timeสูงสุดของการดูดซับที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ในรูปที่ 4.28 เป็นการเปรียบเทียบค่า breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3, 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

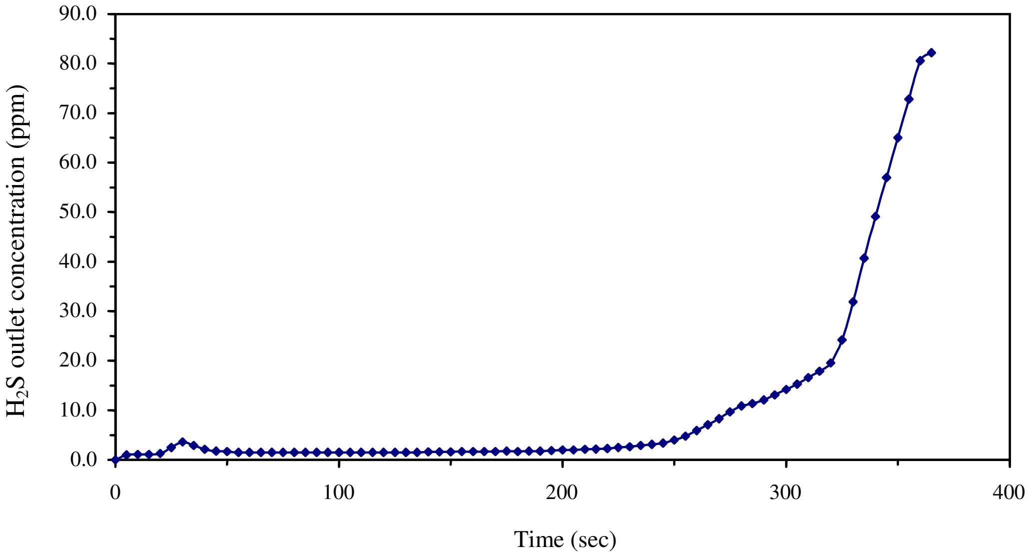


รูปที่ 4.20 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 10^{o}C, P = 1.0 bar)

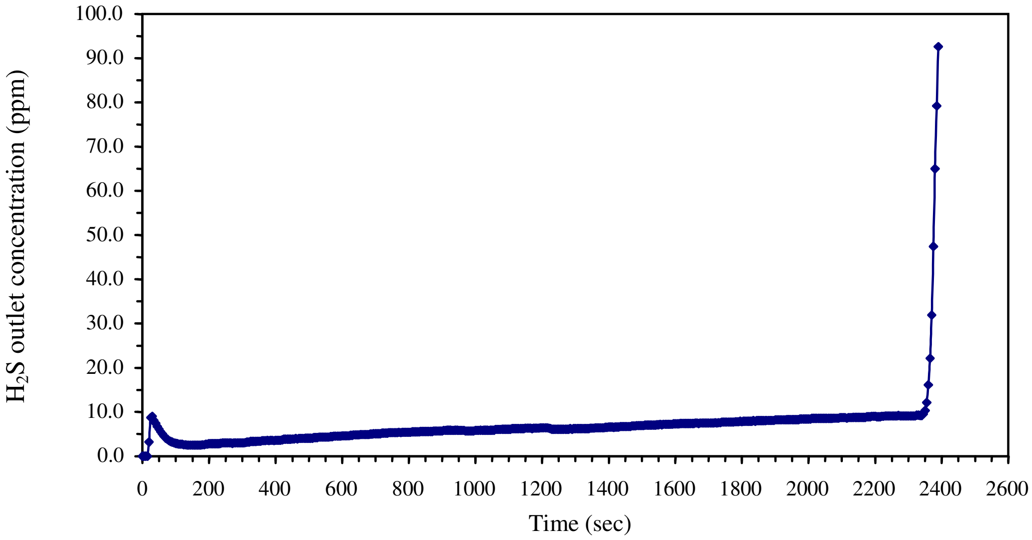
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



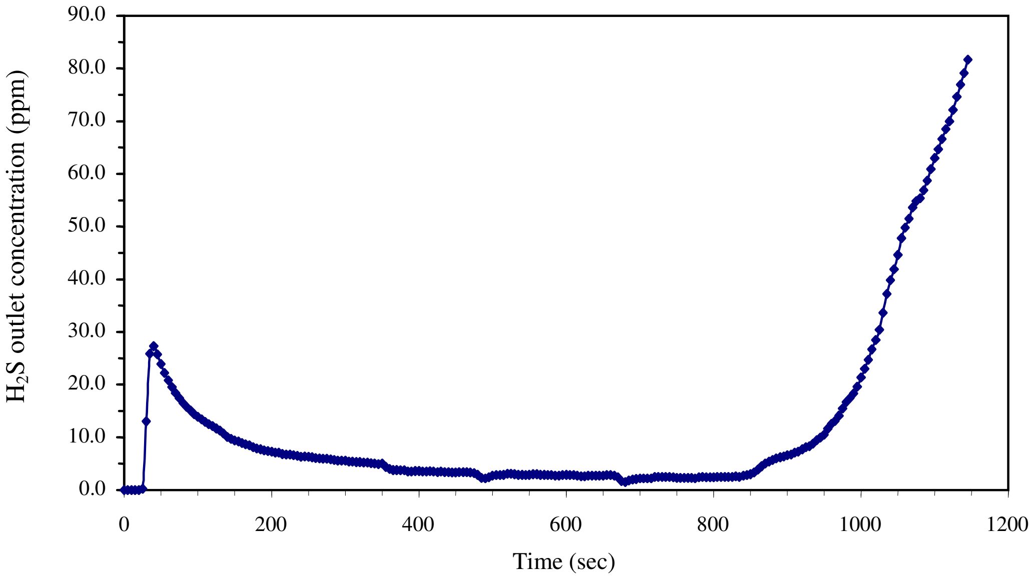
รูปที่ 4.21 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 30^{o}C, P = 1.0 bar)



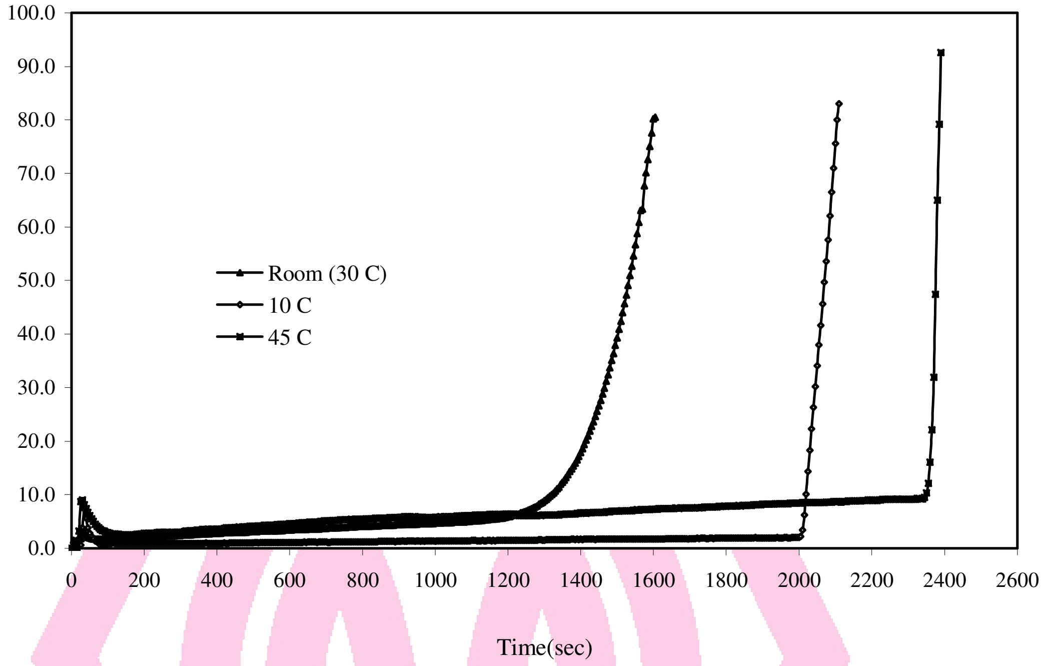
รูปที่ 4.22 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 30^{o}C, P = 1.0 bar)



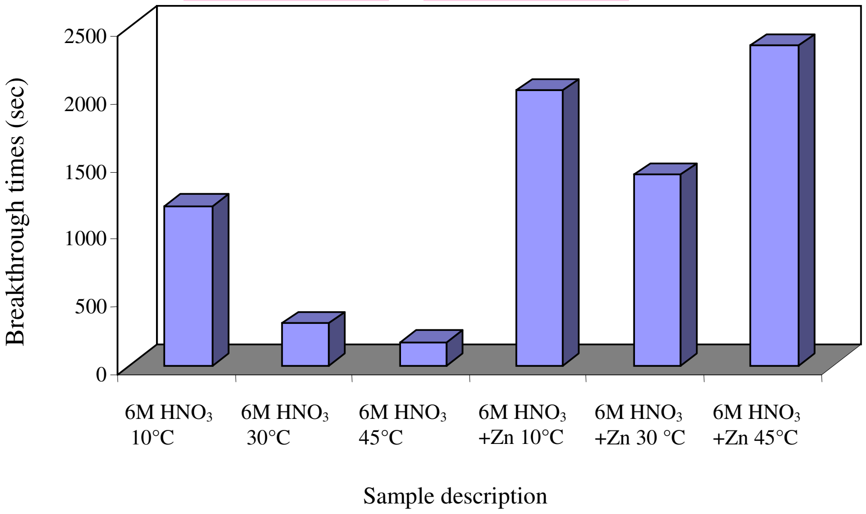
รูปที่ 4.23 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar)



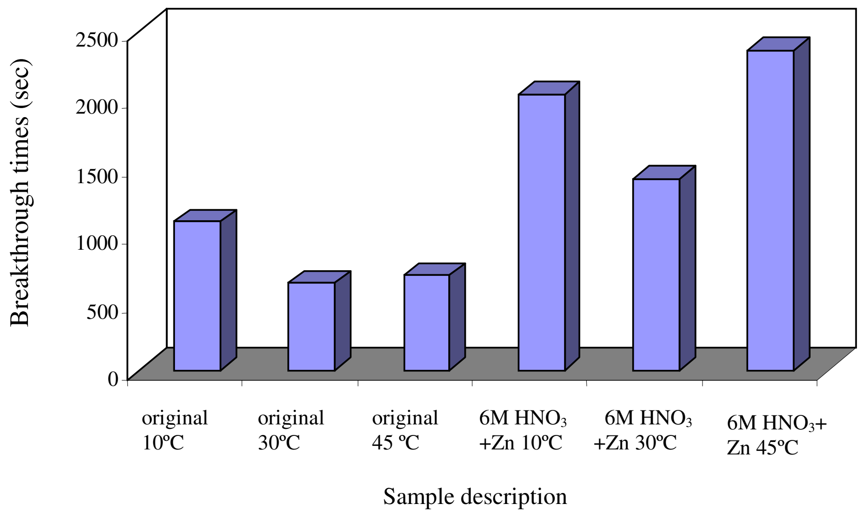
รูปที่ 4.24 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar)



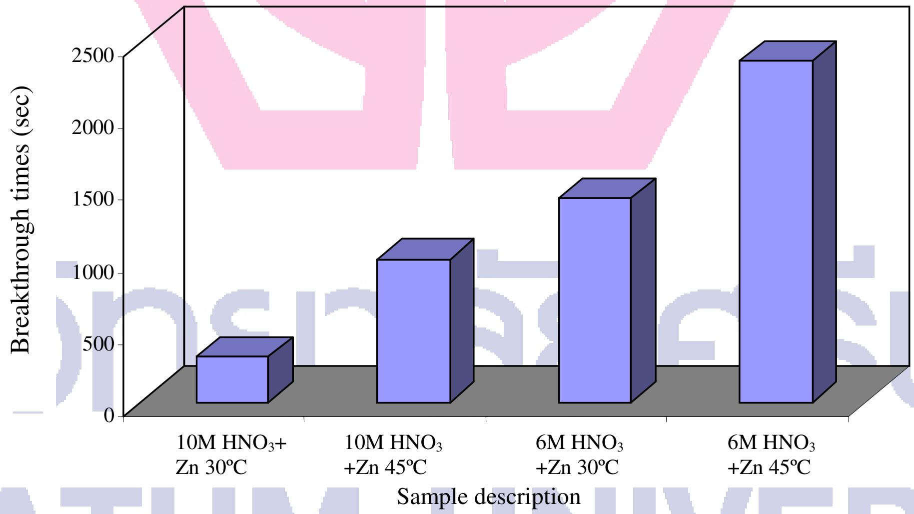
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 10, 30 และ 45^{o}C, P = 1.0 bar)



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 อย่างเดียว และเติมโลหะสังกะสี (T = 10, 30 และ 45^{o}C, P = 1.0 bar)



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ได้จากโรงงานและจากการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 10, 30 และ 45^{o}C, P = 1.0 bar)

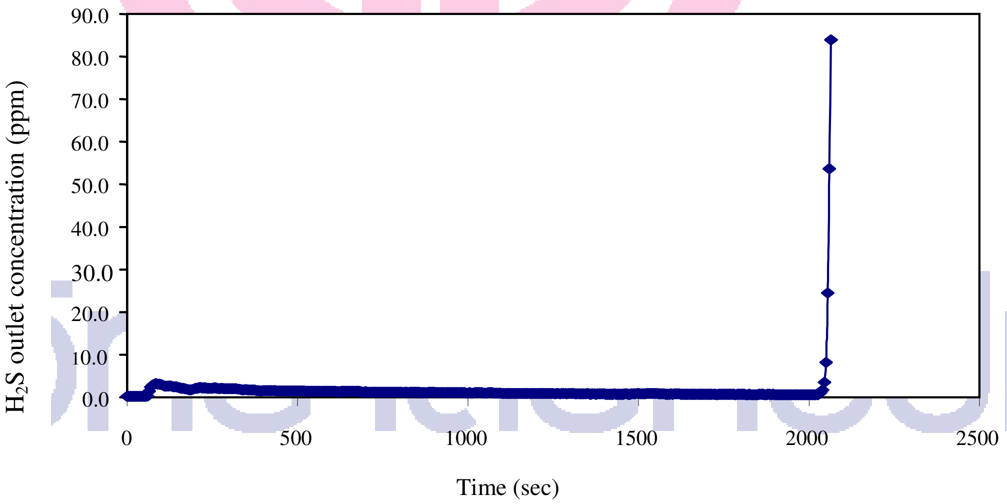


รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบกราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ได้จากโรงงานและจากการออกซิไดส์ด้วย 6.0 M HNO_3, 10.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสี (T = 30 และ 45^{o}C, P = 1.0 bar)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

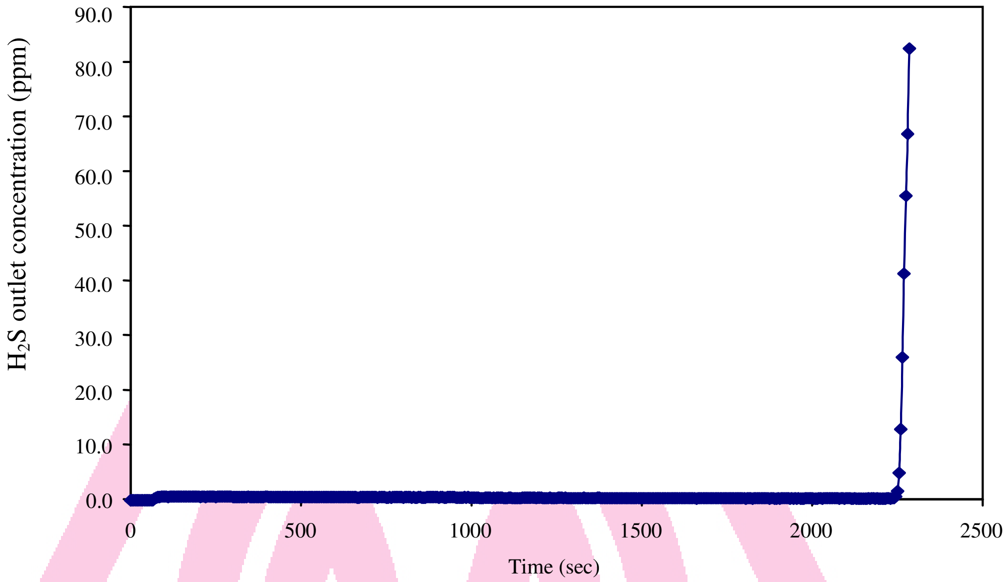
4.8.4 การดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยการออกซิไดส์และเติมโลหะ(O_3+Zn)

รูปที่ 4.29-4.40 แสดงถึง breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 10, 30, และ 45 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.41, 4.42, และ 4.43, ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ของกราฟเบรคทรูของการดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะให้ค่า breakthrough times ที่ยาว เพราะว่าถ่านตัวอย่างเหล่านี้มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนในปริมาณที่มากและการดูดซับเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการชี้ให้เห็นถึงจุดเด่นของการบำบัด H_2S โดยการดูดซับทางกายภาพ ในทางตรงกันข้ามผลการทดลองที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสให้ผลดีกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แสดงว่าเกิดจากการดูดซับทางเคมีนั้นจะให้ผลดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับที่ใช้ถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 10, 30, และ 45 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.44, 4.45, และ 4.46 ตามลำดับ

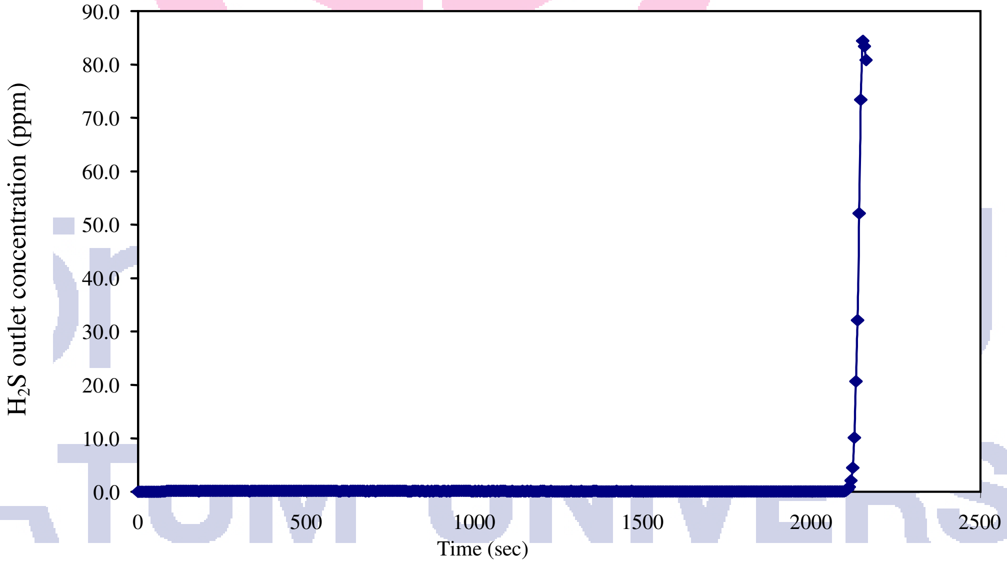


รูปที่ 4.29 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ในฟลูอิไดส์เบด(210°C, 90 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

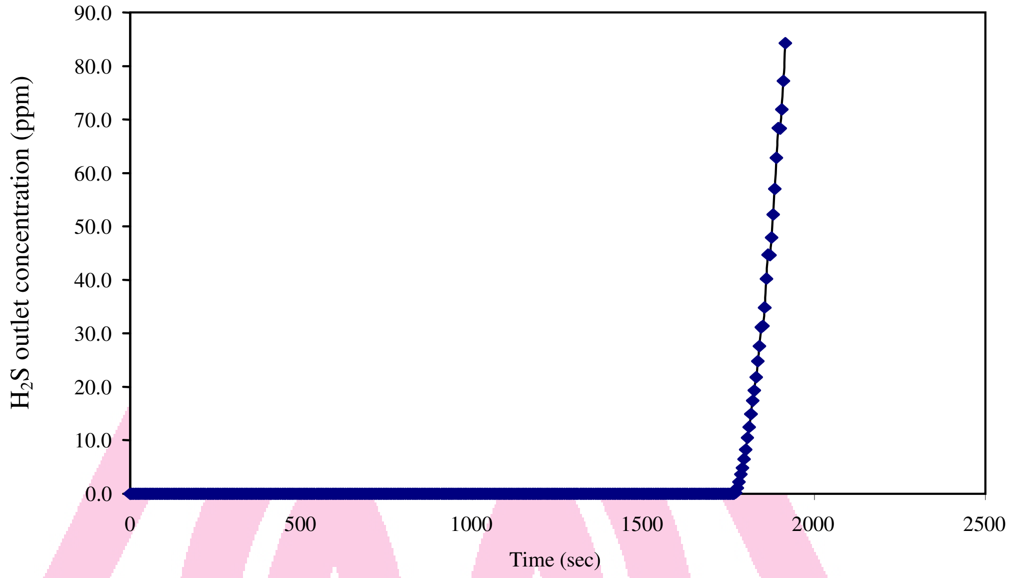


รูปที่ 4.30 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 60 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)

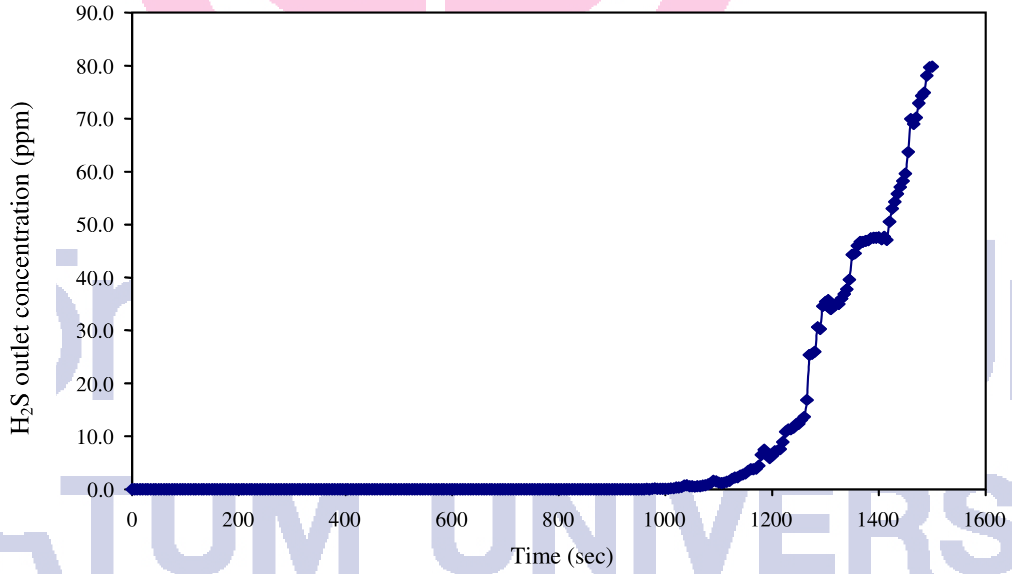


รูปที่ 4.31 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 120 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)

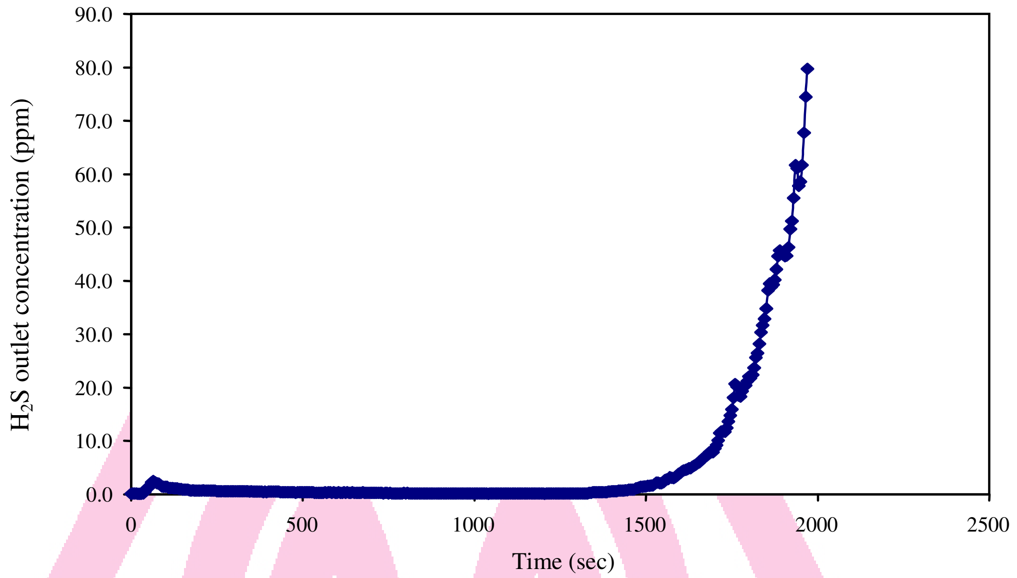
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



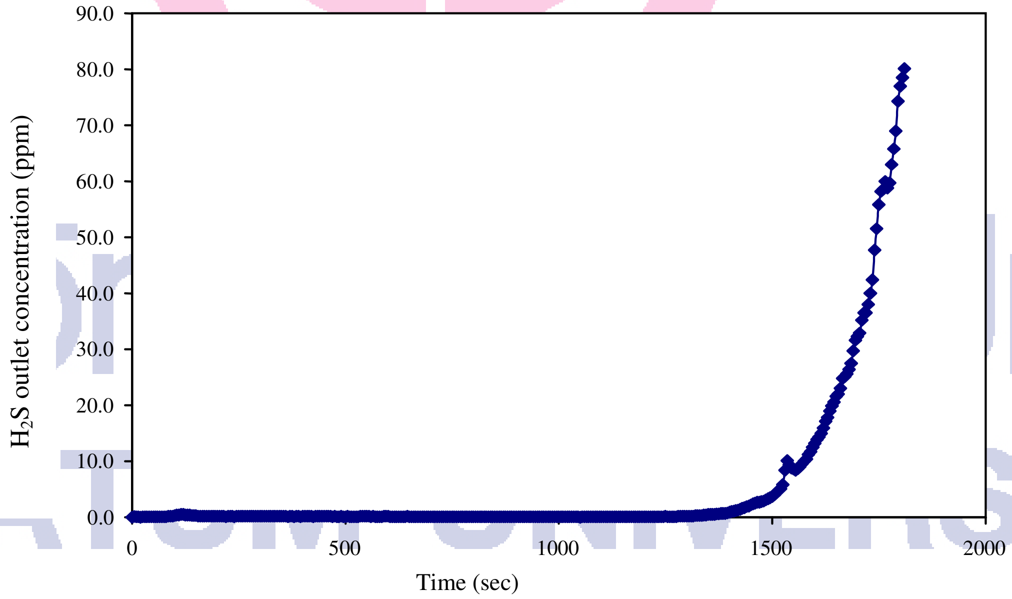
รูปที่ 4.32 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 180 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)



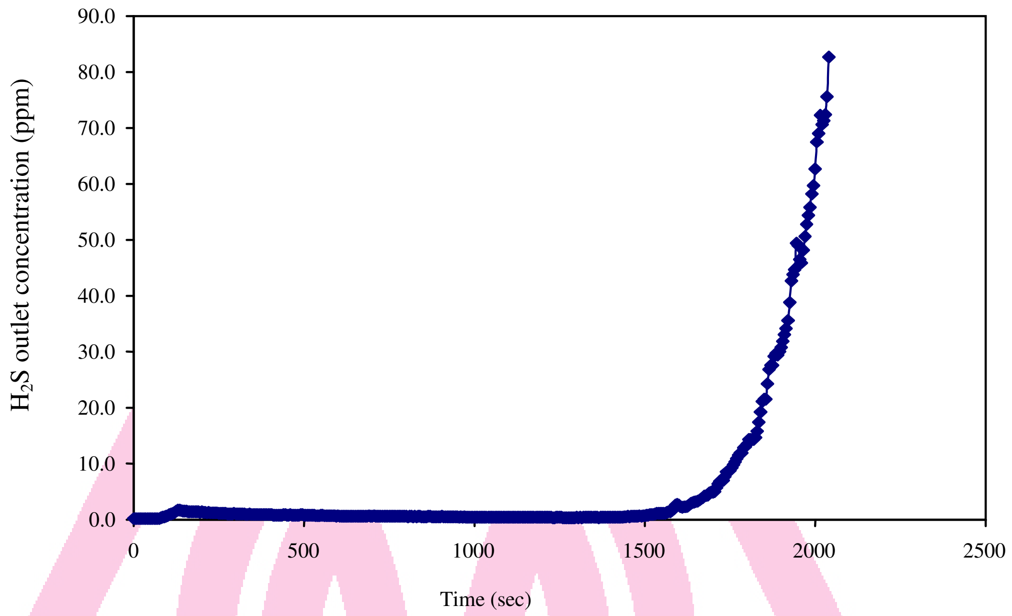
รูปที่ 4.33 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (210°C, 90 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 10°C, P = 1.0 bar)



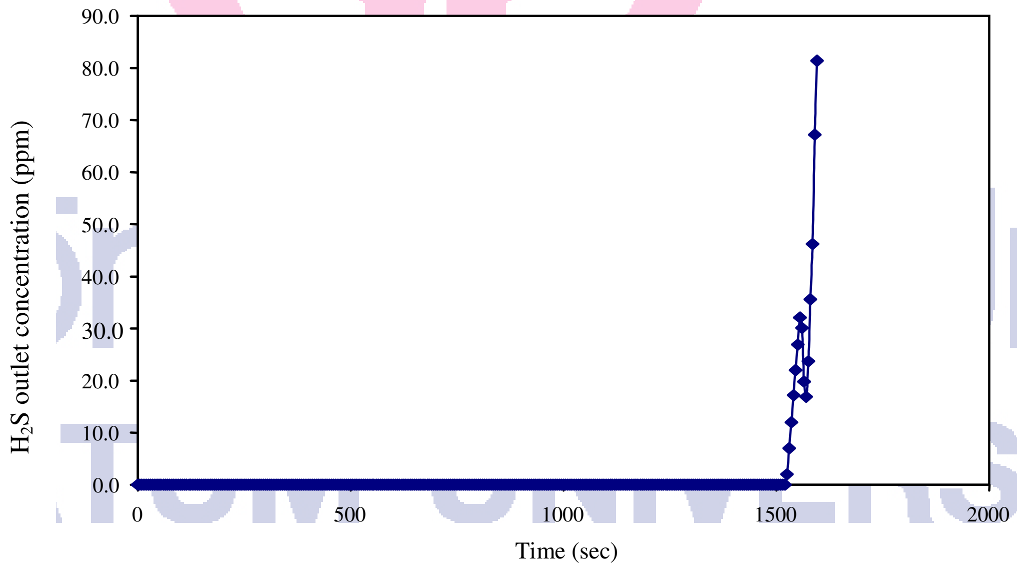
รูปที่ 4.34 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 60 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar)



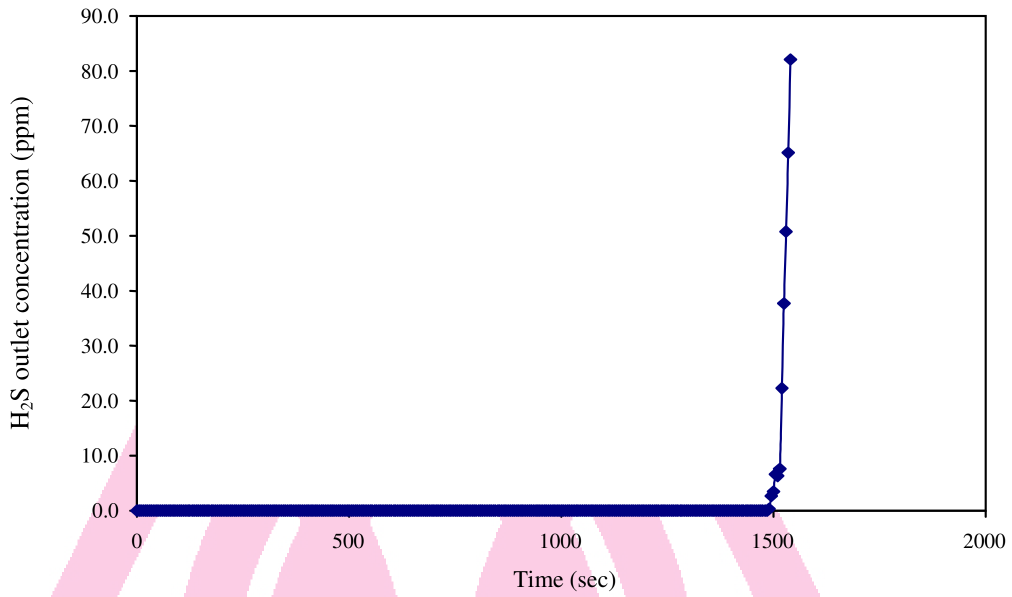
รูปที่ 4.35 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 120 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar)



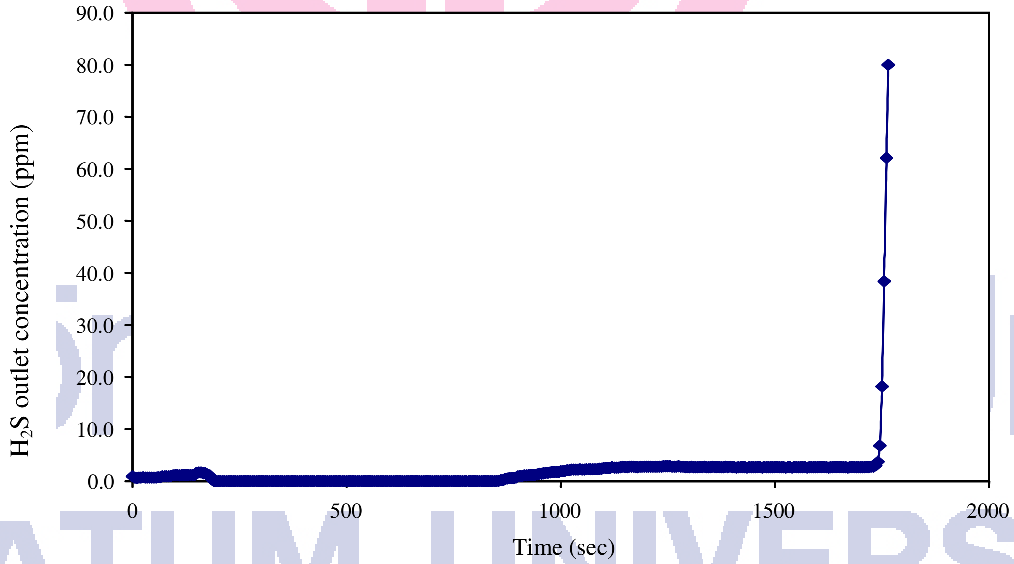
รูปที่ 4.36 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90°C, 180 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 30°C, P = 1.0 bar)



รูปที่ 4.37 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน ฟลูอิไดส์เบด(210°C, 90 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45°C, P = 1.0 bar)

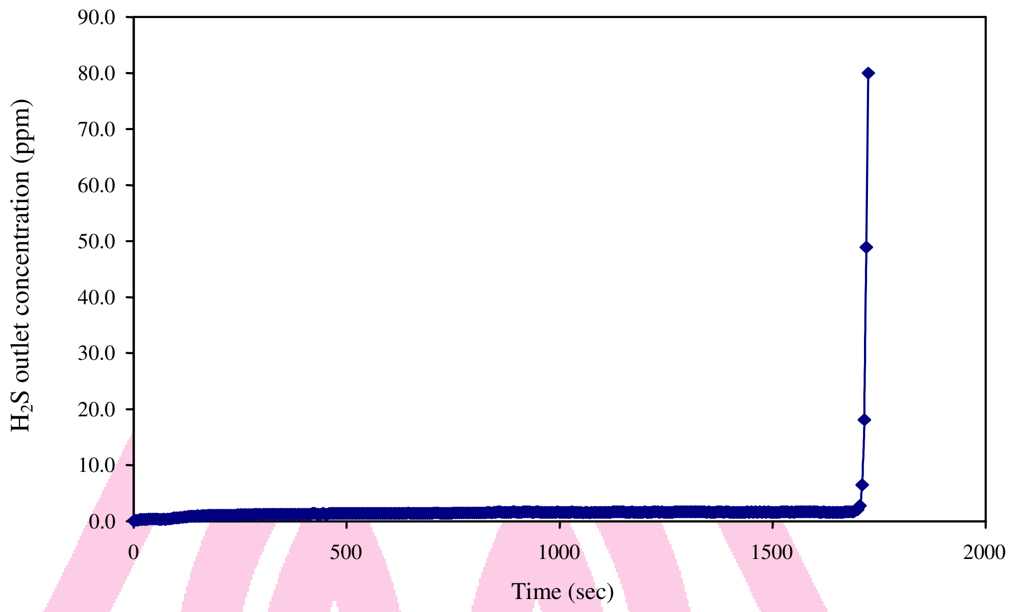


รูปที่ 4.38 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90^{o}C, 60 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45^{o}C, P = 1.0 bar)

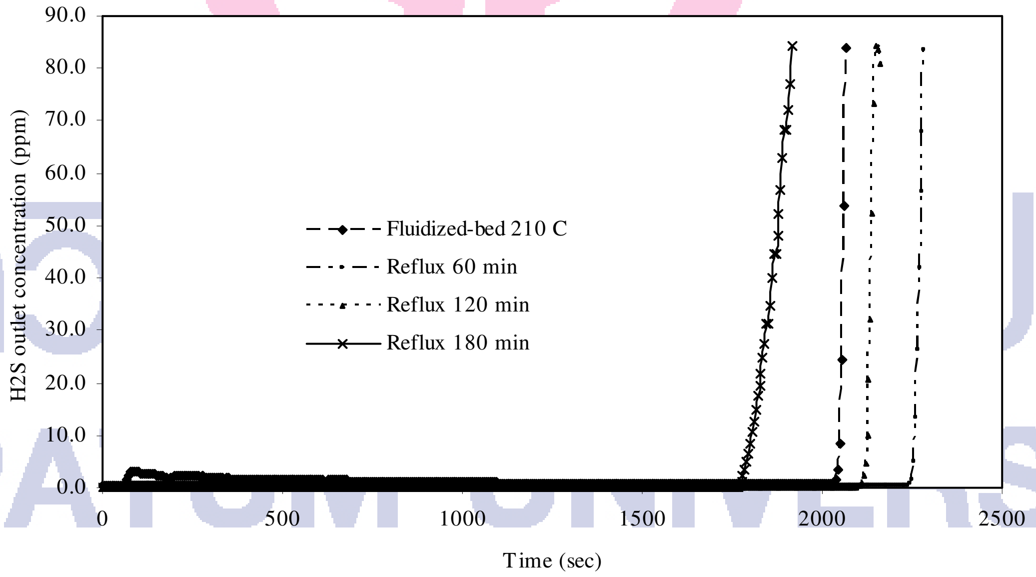


รูปที่ 4.39 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90^{o}C, 120 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45^{o}C, P = 1.0 bar)

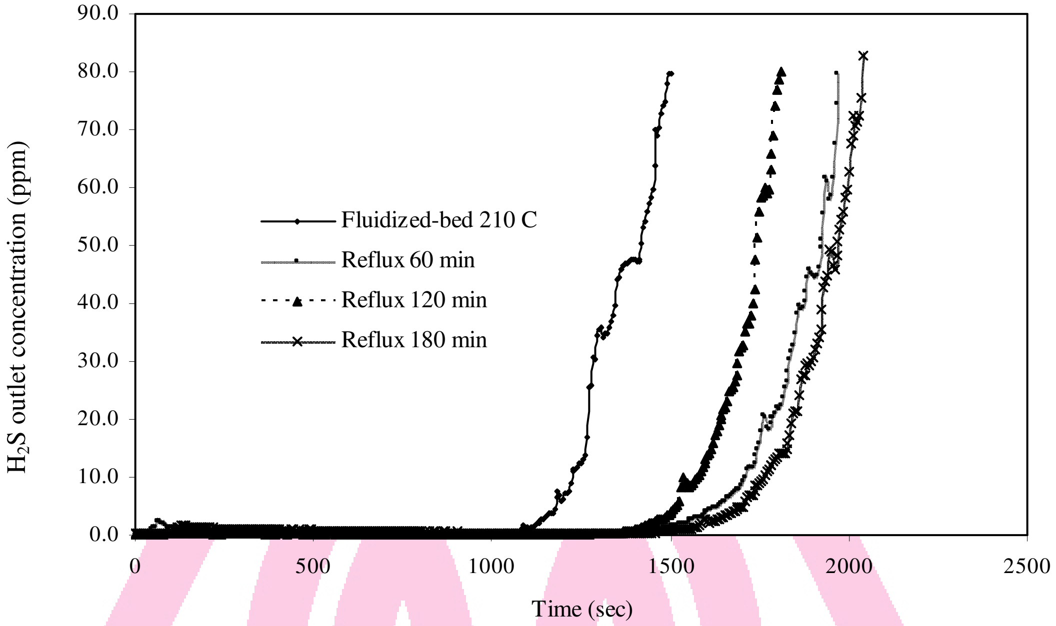
SRIPATUM UNIVERSITY



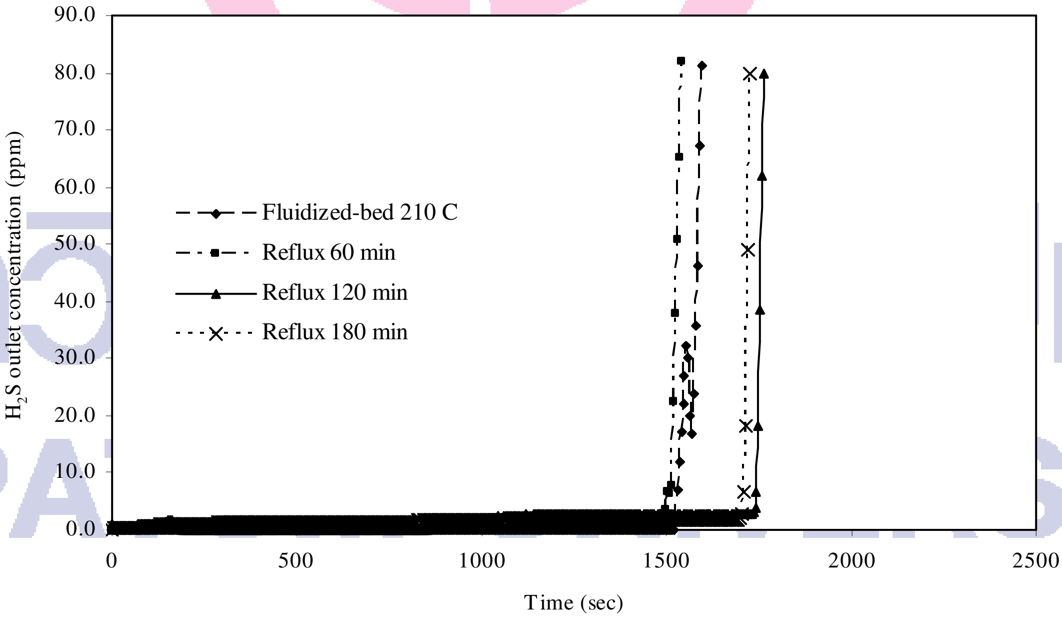
รูปที่ 4.40 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับ H_2S ของถ่านตัวอย่างที่ทำการออกซิไดส์ด้วย O_3 ใน reflux column (90^{o}C, 180 min) และเติมโลหะสังกะสี (T = 45^{o}C, P = 1.0 bar)



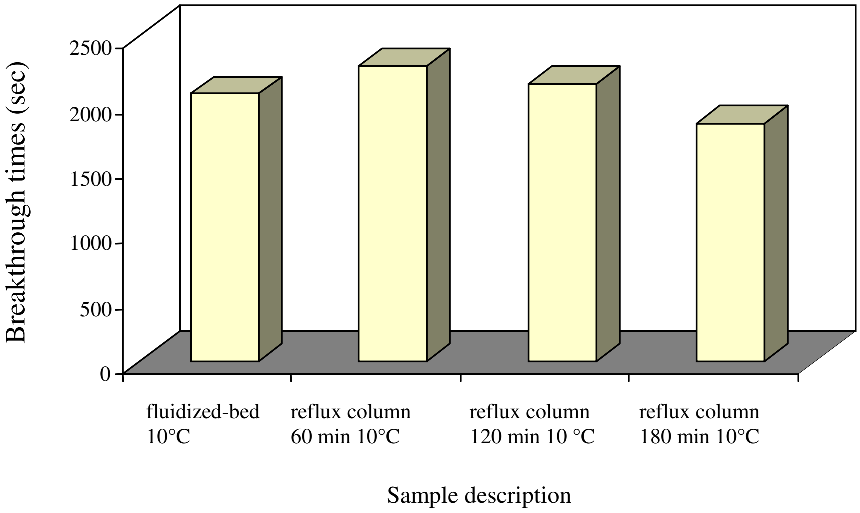
รูปที่ 4.41 การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3และเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน(T = 10^{o}C, P = 1.0 bar)



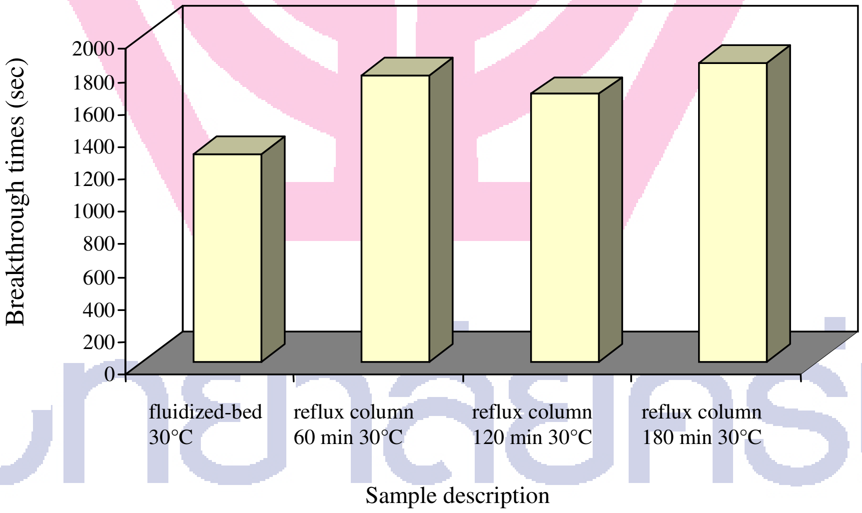
รูปที่ 4.42 การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน($T = 30^{o}C$, $P = 1.0$ bar)



รูปที่ 4.43 การเปรียบเทียบ breakthrough times ของ H_2S สำหรับถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วย O_3และเติมโลหะสังกะสีที่เงื่อนไขการทดลองต่างกัน($T = 45^{o}C$, $P = 1.0$ bar)

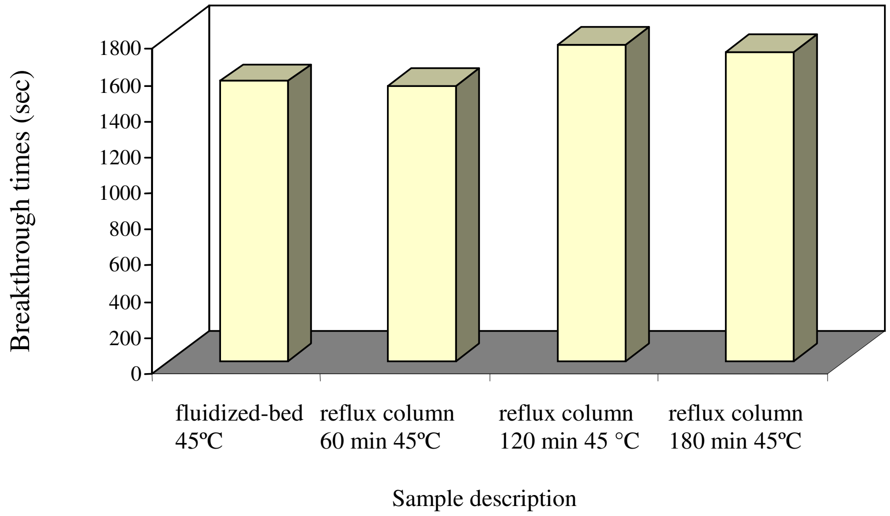


รูปที่ 4.44 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับโดยถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับ(10^{o}C, P=1.0 bar)



รูปที่ 4.45 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับโดยถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับ(30^{o}C, P=1.0 bar)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

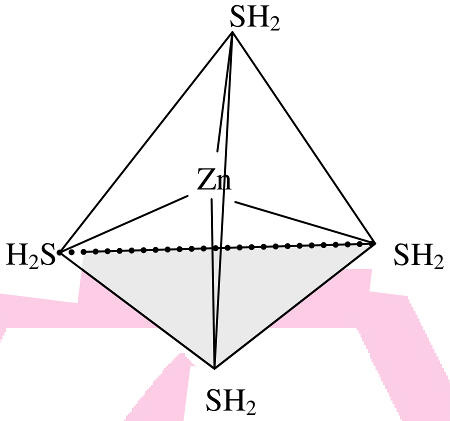


รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกจากเบดดูดซับโดยถ่านตัวอย่างที่ออกซิไดส์ด้วยโอโซนและเติมโลหะสังกะสีเป็นตัวดูดซับ(45 °C, P=1.0 bar)

4.8.5 กลไกการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ

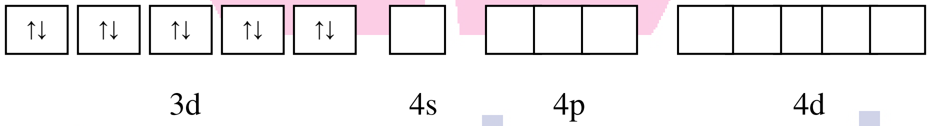
การดูดซับทางเคมีของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์และเติมโลหะสังกะสีสำหรับใช้บำบัด H_2S สามารถอธิบายได้ในเทอมของสารประกอบโคออร์ดิเนตหรือสารเชิงซ้อน ไอออนโลหะหรือไอออนอะตอมในสารเชิงซ้อนเรียกว่า อะตอมกลางหรือไอออนโลหะกลางซึ่งในการทดลองนี้ก็ Zn^{2+} หมู่ที่เข้าไปเกาะติดหรือเบสลิวอิสเรียกว่า ลิแกนด์ (ligands) โดยที่ลิแกนด์อาจเป็นไอออนหรือโมเลกุลก็ได้เช่นในการทดลองนี้คือ H_2S ไอออนของโลหะสามารถฟอร์มตัวเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนตซึ่งอะตอมกลางหรือไอออนจะเกิดพันธะกับลิแกนด์สองหรือมากกว่า โดยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ รูปทรงทางเรขาคณิตของ Zn^{2+} ที่พบในสารเชิงซ้อนนี้คือรูป tetrahedral (ที่มีค่าcoordination number เท่ากับ4) ดังแสดงในรูปที่ 4.47 เพื่อแสดงรูปทรงทางเรขาคณิตของ tetrahedral $[Zn (H_2S)_4]^{2+}$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



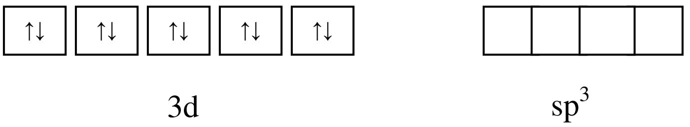
รูปที่ 4.47 รูปทรงทางเรขาคณิต tetrahedral ของสารประกอบเชิงซ้อน[Zn $(H_2S)_4]^{2+}$

พันธะในสารประกอบโคออร์ดิเนตอธิบายโดยทฤษฎีเวเลนซ์ โดยเป็นการทำให้พันธะระหว่างโลหะกับลิแกนด์เป็นพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์การฟอร์มตัวเกิดขึ้นได้เมื่อออร์บิทัล (orbital) ของอะตอมทำให้อิเล็กตรอนทับซ้อนกับไฮบริดออร์บิทัลของโลหะอะตอมกลาง อิเล็กตรอนคู่จากลิแกนด์ถูกใช้ร่วมกันกับโลหะ (Henry et al., 1984) ดังนั้นลิแกนด์จึงเป็นเบสลิวอิส (Lewis base) แต่โลหะจะกลายเป็นกรดลิวอิส (Lewis acid) ในกรณีของ [Zn $(H_2S)_4]^{2+}$ มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนของ Zn^{2+} ได้ดังนี้ $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $4d^{10}$ สำหรับออร์บิทัล 4s และ 4p เป็นออร์บิทัลว่าง (รูปที่ 4.48)



รูปที่ 4.48 ออร์บิทัลของ Zn^{2+}

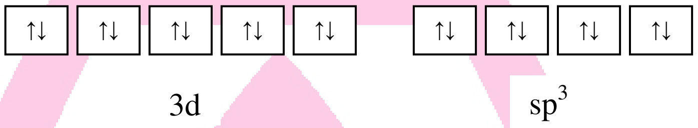
ต่อมาจะได้รูปทรงทางเรขาคณิต tetrahedral ที่เราต้องการคือชุดของไฮบริดออร์บิทัล sp^3 จากนั้นจึงฟอร์มตัวเป็นพันธะ Zn-S ทั้งนี้ออร์บิทัล sp^3 ถูกทำให้ว่างตั้งแต่ได้รับคู่อิเล็กตรอนจากซัลเฟอร์ (รูปที่ 4.49) ออร์บิทัล 4s และ 4p ก็จะถูกใช้ประโยชน์ในการไฮบริด



รูปที่ 4.49 ออร์บิทัลของ Zn^{2+} และไฮบริดออร์บิทัล sp^3

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

การใช้ทั้งสี่ไฮบริดออร์บิทัล sp^3 ในการสร้างพันธะกับ 4 H_2S จะได้เป็นสารเชิงซ้อน tetrahedral นอกจากนี้ออร์บิทัล 3d บรรจุอิเล็กตรอนจำนวน 10 อิเล็กตรอนจาก Zn^{2+} และไฮบริดออร์บิทัลก็จะบรรจุอิเล็กตรอนคู่จำนวน 4 คู่จาก H_2S (รูปที่4.50)



รูปที่ 4.50 ออร์บิทัลของไอออนเชิงซ้อน $[Zn\,(H_2S)_4]^{2+}$

4.8.6 การเพิ่มปริมาณของ H_2S ที่ถูกบำบัด

ปริมาณของ H_2S ที่ถูกบำบัดในหน่วยของ mg-H_2S/g-sample ตัวอย่างในการศึกษาได้สรุปไว้ในตาราง 4.12 ค่าสูงสุดของ H_2S ที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้กำหนดโดยหน่วยงานที่ชื่อว่า The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ซึ่งประกาศใช้เป็นกฎหมายโดยกำหนดมาตรฐานไว้ที่ 20 ppm (Chou, 2000) ดังนั้นความเข้มข้นของ H_2S (20 ppm) จึงไม่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเกิน 20 ppm ในทุกเวลา การใช้สังกะสีเติมลงในถ่านกัมมันต์จากโรงงานสามารถบำบัด H_2S ได้ 17.09 และ 16.39 mg-H_2S/g-sample ณ อุณหภูมิที่ 10 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเพิ่มเป็นร้อยละในการบำบัด H_2S เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 118 (16.39 mg-H_2S/g-sample) ซึ่งมากกว่าถ่านที่ได้จากโรงงานที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่วนถ่านตัวอย่างที่นำมาปรับปรุงด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะให้ความจุสูงสุดในการบำบัด H_2S ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ 230 ซึ่งมากกว่าการดูดซับของถ่านที่ได้จากโรงงานที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส การทดลองที่อุณหภูมิต่ำสุด ($10^{o}C$) ของตัวอย่างถ่านที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 (reflux, 60 min) และเติมโลหะสังกะสีสามารถดูดซับได้ 24.19 mg-H_2S/g-sample ให้ประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับร้อยละ180 (19.24 mg-H_2S/g-sample)ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสได้จากถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 (reflux,180min) และเติมโลหะสังกะสี ทั้งหมดนี้ถูกสรุปผลการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับจากเดิมที่เป็นถ่านกัมมันต์จากโรงงานในตาราง 4.13 รูปที่ 4.51, 4.52, และ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากโรงงานกับถ่านกัมมันต์ที่นำมาปรับปรุงโดยใช้เงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 10, 30, และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ

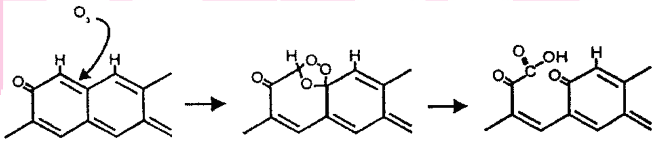
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตาราง 4.13 การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด H_2S ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ทำการปรับปรุงเทียบกับถ่านกัมมันต์จากโรงงาน

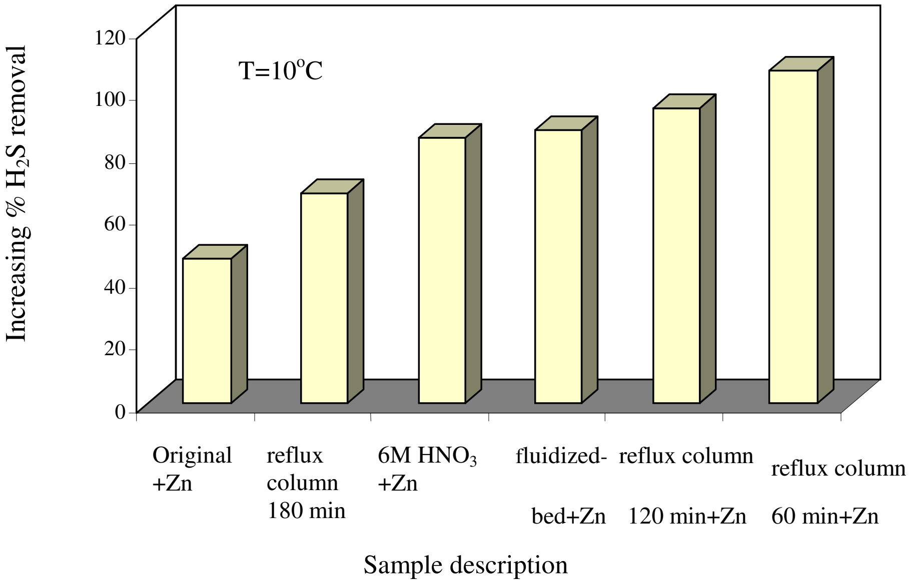
Sample description	Amount of H_2S removal, OSHA: ceiling=20 ppm (mg-H_2S/g-sample)			Increasing efficiency for H_2S removal		
	Adsorption (10^{o})	Adsorption (30^{o})	Adsorption (45^{o})	Temp. 10^{o}C	Temp. 30^{o}C	Temp. 45^{o}C
Original	11.70	6.87	7.49	-	-	-
Original + Zn	17.09	-	16.39	46.1	-	118.8
6.0 M HNO_3 + Zn	21.65	15.02	24.72	85.0	118.6	230.0
O_3 fluidized-bed 210^{o}C) +Zn	21.93	13.63	16.52	87.4	98.4	120.6
O_3(reflux 60 min) + Zn	24.19	18.83	16.28	106.8	174.2	117.3
O_3 (reflux 120 min) + Zn	22.77	17.59	18.66	94.6	156.0	149.2
O_3 (reflux 180 min) +Zn	19.58	19.24	18.31	67.4	180.0	144.4
2.0 M HNO_3	-	2.77	-	-	-59.7	-
6.0 M HNO_3	12.53	3.30	1.81	7.1	-52.0	-75.8
10.0 M HNO_3	-	2.13	-	-	-69.0	-

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

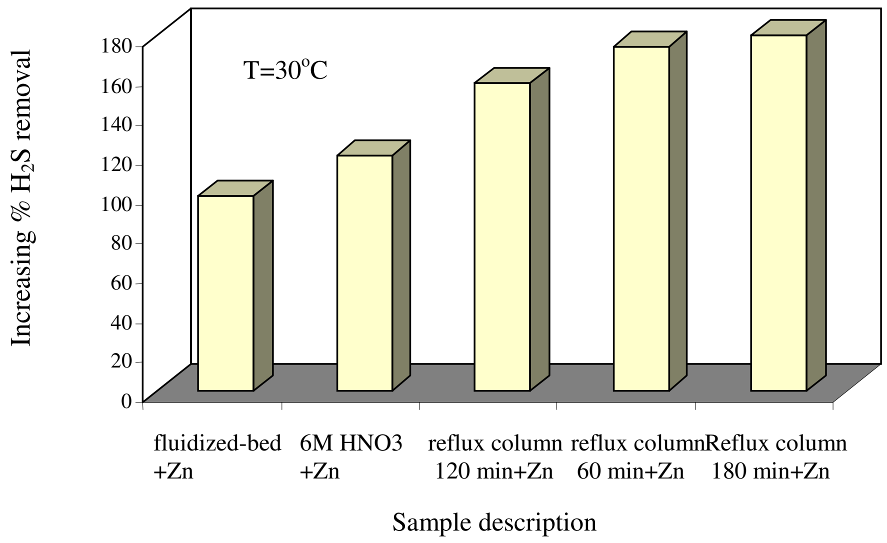
โดยสรุปแล้วมีหลายกลไกที่เกี่ยวข้องในการดูดซับของ H_2S โดยถ่านกัมมันต์ ลำดับแรกคือการดูดซับของ H_2S โดยถ่านกัมมันต์จากโรงงาน ซึ่งบทบาทที่โดดเด่นเกิดจาก van der Waals forces ที่เป็นการดูดซับทางกายภาพ ลำดับต่อมา H_2S สามารถถูกดูดซับโดยตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์เกี่ยวข้องกับแรงไดโพล-ไดโพล แรงลอนดอน และการดูดซบทางเคมีระหว่าง H_2S และการมีขั้ว (polarity)ของ C=O และ/หรือ C-O จากหมู่ฟังก์ชัน ในทางตรงข้าม H_2S ถูกผลักโดยประจุลบย่อยที่เหมือนกันของการมีขั้วของ C=O และ/หรือ C-O จากหมู่ฟังชันเช่นโครงสร้างคีโตนบนผิวคาร์บอนโดยการออกซิไดส์ด้วย O_3 ดังสมการ(4.1)

O_3 +  (4.1)

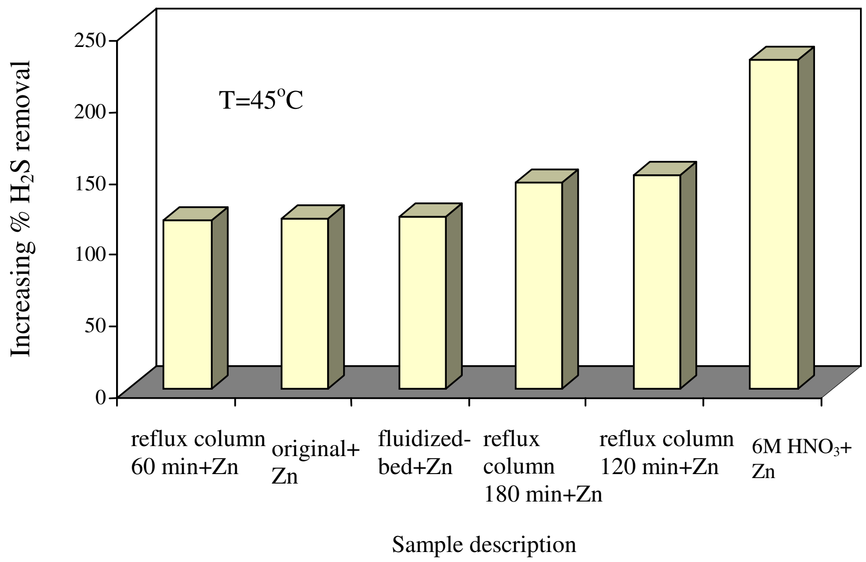
ในลำดับสุดท้าย H_2S สามารถถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ตัวอย่างด้วยการออกซิไดส์และเติมโลหะสังกะสี โดยมีความเกี่ยวข้องกับสองกลไกหลักของการดูดซับทางกายภาพ (van der Waals forces) และการดูดซับทางเคมีโดยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ซึ่งจะกลายเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนตที่ลิแกนด์(H_2S) เกิดพันธะกับโลหะ(Zn) บนถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง (ดูรูป 4.47)



รูปที่ 4.51 การเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ใช้ดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ใช้ดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.53 การเปรียบเทียบร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด H_2S จากถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ใช้ดูดซับที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1. เครื่องมือวิเคราะห์FT-IR spectroscopy เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาโครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากโรงงานและถ่านตัวอย่างที่ปรับปรุงโดยการออกซิไดส์ ชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนแยกได้เป็น เอสเทอร์ อีเทอร์ แอลกอฮอล์ คีโตน และหมู่ฟังก์ชันกรดคาร์บอกซิลิก การไทเทรตโดยวิธีของ Boehm ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้ตรวจวิเคราะห์หาชนิด และความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์และพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์โดย 10.0 M HNO_3 มีหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจนบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์มากที่สุด

2. การออกซิไดส์ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากโรงงานนั้น ใช้ตัวออกซิไดส์ที่แตกต่างกันคือ O_3 และ HNO_3 ซึ่งเป็นการเพิ่มจำนวนหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนพื้นที่ผิวของถ่าน

3. การใช้โอโซนเพื่อออกซิไดส์ถ่านกัมมันต์เป็นวิธีที่มีผลต่อการฟอร์มสารประกอบเชิงซ้อนของออกซิเจน และความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันก็ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเวลากับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการออกซิไดส์ จากการทดลองพบว่าการออกซิไดส์ ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีใน reflux column จะให้พื้นที่พีค(peak area)รวมของกรดคาร์บอกซิลิกหรือหมู่คีโตนสูงสุด (498.91 A. cm^{-1})

4. ในกรณีของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากโรงงานแล้วนำมาปรับปรุงด้วย HNO_3 โดยกระบวนการออกซิไดส์ มีผลทำให้ทำให้ปริมาณของกรดโดยรวมและความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ HNO_3 ที่ใช้ในการออกซิไดส์

5. ปริมาณร้อยละของธาตุออกซิเจนจากตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย HNO_3 มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้และความเข้มข้นของ HNO_3 ใน reflux column เพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 จาก fluidized-bed reactor ก็มีผลทำให้ปริมาณค่าออกซิเจนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นการยืนยันว่ามีการเพิ่มของหมู่ฟังก์ชันกรดบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยการออกซิไดส์ด้วย HNO_3 และO_3

6. ปริมาณของโลหะสังกะสีที่เกิดจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนั้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของตัวออกซิไดส์ที่ใช้ในการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง ซึ่งปริมาณสูงสุดของโลหะสังกะสีที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างที่ถูกออกซิไดส์โดย O_3 ใน fluidized-bed reactor, O_3 ใน reflux column และ HNO_3 ใน reflux column คือ 36.04, 36.92, และ 52.77 mg-Zn/g-sample ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างน้อยลงเนื่องจากความเข้มข้นของหมู่ฟังก์ชัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ตัวอย่างสูงขึ้น เช่น หมู่ C-O และ C=O เป็นผลให้มีบริเวณที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้น

7. ไอโซเทอมการดูดซับของไนโตรเจน ของถ่านกัมมันต์ทั้งหมดเป็นชนิด type I isotherms (monolayer coverage) ซึ่งเป็นชนิดที่มีการดูดซับในรูพรุนไมโครของของแข็ง

8. การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวที่ลดลงโดย BET เป็นผลเนื่องมาจากรูพรุนแคบๆถูกอุดด้วยสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นโดยการออกซิไดส์และ/หรือการเติมโลหะสังกะสี ซึ่งปริมาตรของรูพรุนไมโครสามารถคำนวณได้จากการดูดซับของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน แสดงให้เห็นว่าประมาณร้อยละ 70 ของความจุการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากโรงงานเกี่ยวข้องกับรูพรุนไมโคร

9. แก๊สผสมสังเคราะห์ 1.01wt % H_2S ผสมกับ N_2 นำมาทดลองการดูดซับใน fixed-bed โดยที่ความเข้มข้นของ H_2S ที่ออกมาจาก fixed-bed adsorber นั้น ถูกตรวจวัดด้วยฟังก์ชันของเวลาโดย electrochemical sensor โดยที่ breakthrough time และ ความจุของการดูดซับ (mg-H_2S adsorbate/g-adsorbent) ใช้เป็นข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพการดูดซับแก๊ส H_2S

10. กลไกของการบำบัดH_2Sโดยถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงจะเกี่ยวข้องกับหลักการของการดูดซับทางกายภาพ เพราะการดูดซับโมเลกุลของแก๊สบนถ่านกัมมันต์ถูกคาดหมายว่าเกิดจากแรงที่เรียกว่า van der Waals forces ที่เป็นการดูดซับทางกายภาพโดยธรรมชาติ นอกจากนี้รูพรุนขนาดเล็กและพื้นที่ผิวจำนวนมากของถ่านกัมมันต์ก็ทำหน้าที่หลักในการดูดซับแก๊ส กลไกของการบำบัด H_2S โดยการออกซิไดส์ถ่านกัมมันต์ก็ยังคงเกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพภายในรูพรุนอยู่ อย่างไรก็ตามการที่มีหมู่ฟังชันบนเส้นขอบของชั้นถ่านกัมมันต์ก็เป็นการป้องกันการเข้าถึงของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจากการแพร่เข้าไปในพื้นที่ข้างในรูพรุน ดังนั้นผลกระทบจากการมีสิ่งกีดขวางดังกล่าวจึงทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงโดยการออกซิไดส์อย่างเดียวนั้นมีความจุในการดูดซับน้อยลงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากโรงงานที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุง

11. กลไกหลักของการบำบัด H_2S โดยการออกซิไดส์และเติมโลหะสังกะสีของถ่านกัมมันต์เป็นการดูดซับทางเคมีที่สามารถอธิบายได้ในเทอมของสารประกอบโคออร์ดิเนต (coordination compounds) ซึ่งไอออนของสังกะสีสามารถฟอร์มเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนต โดยที่ไอออนของโลหะสังกะสี (Zn^{2+}) เกิดพันธะกับลิแกนด์(ligand)ทั้งสี่ของโมเลกุลแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) โดยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ (coordinate covalent bonds) ทั้งการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีสามารถเกิดขึ้นได้ใน fixed-bed adsorber โดยการดูดซับของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ทำการปรับปรุงด้วยการออกซิไดส์และเติมโลหะ

12. ปัจจัยสำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับคืออุณหภูมิ ในกรณีที่เป็นการดูดซับทางเคมีพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการดูดซับเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิ แต่กรณีของการ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ดูดซับทางกายภาพนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิ เช่นเมื่ออุณหภูมิสูงอัตราการดูดซับก็จะต่ำลง

13. ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่เติมโลหะสังกะสีมีผลให้ความจุของการดูดซับสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ถูกออกซิไดส์ด้วย O_3 หรือ HNO_3 และถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงาน ณ อุณหภูมิ 10, 30 และ 45 องศาเซลเซียส ส่วนถ่านตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วย 6.0 M HNO_3 และเติมโลหะสังกะสีมีผลให้ความจุในการดูดซับH_2Sได้สูงสุด คำนวณได้ว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับได้ถึงร้อยละ 230 (24.72 mg-H_2S/g-sample) ด้วยการนำมาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานที่ยังไม่ได้ปรับปรุงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วยการออกซิไดส์ด้วย O_3 และเติมโลหะสังกะสีจะให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นร้อยละ 180 (19.24 mg-H_2S/g-sample) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ตัวอย่างจากโรงงานที่ยังไม่ได้ปรับปรุงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นแนวโน้มการดูดซับทางเคมีเพื่อใช้บำบัดH_2Sให้ได้มากขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณของโลหะสังกะสีบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

14. แก๊สโอโซน(O_3) ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จที่เป็นส่วนประกอบของสิ่งประดิษฐ์ “เครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ” สามารถให้ผลผลิตแก๊สโอโซนจากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้แก๊สออกซิเจนที่เป็นเกรดทางการค้าป้อนเข้าไปในระบบแล้วได้แก๊สโอโซนออกมาในปริมาณ 76.33 mgO_3/L(O_2) ซึ่งเป็นความเข้มข้นเพียงพอในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสำหรับการบำบัดกลิ่นที่เป็นแก๊สพิษโดยเฉพาะไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีความเข้มข้นมากเกินพอสำหรับใช้ฆ่าเชื้อโรคที่อยู่ใน “ถุงกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค” ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสิ่งประดิษฐ์นี้

ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่สนใจในการศึกษาสำหรับงานวิจัยต่อเนื่องในอนาคตเพื่อนำมาประยุกต์และปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อมดังนี้

1. ศึกษากลไกการดูดซับทั้งการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพของแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทั้งที่อยู่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง

2. ศึกษาหมู่ฟังชันบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ เช่น C-O และ C=O ที่มีผลต่อพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวีตี(electronegativity)สูง สำหรับแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น แก๊สแอมโมเนีย(NH_3)เป็นต้น

3. ศึกษาการดูดซับของถ่านกัมมันต์สำหรับแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดอากาศเสียที่อุณหภูมิสูง เช่นของเสียจากแก๊สร้อนที่ออกจากปล่องไอเสียโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

4. ศึกษาบทบาทของหมู่ฟังชั่นบางหมู่ เช่น คีโตน เอสเทอร์ คาร์บอกซิลิก และ/หรืออัลคีน บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อการเติมโลหะในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับโลหะ สังกะสี ทองแดง เหล็ก และ/หรือตะกั่ว

5. นำเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษรวมถึงถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพที่ต้องใช้ร่วมกันไปใช้ทดลองในสถานการณ์จริง เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานและหาข้อบกพร่องต่างๆตลอดจนการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมและสะดวกในการใช้งาน เพื่อนำเข้ามาสู่ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างสมบูรณ์แบบ

6. ศึกษาต้นทุนการผลิตและต้นทุนการใช้งานของอุปกรณ์ เพื่อประโยชน์ในการคิดค่าบริการในกรณีให้เช่าบริการ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

นพภาพร พานิชและคณะ. 2547. **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ.** กรมโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท โอโซนิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. 2552. ก๊าซโอโซนคืออะไร...?. แคตตาล็อก เครื่องฟอกอากาศ/โอโซนทั้งหมด บริษัท โอโซนิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2552, จากhttp://www.ozonicinter.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=27090&Ntyp...

Bansal, R. C., Donnet, J.- B. and Stoeckli, F. 1988. **Activated Carbon.** New York: Marcel Dekker.

Burke, S. D. and Danheiser, R. L. 1999. **Handbook of Reagents for organic Synthesis Oxidation and Reducing Agents.** New York: John Wiley and Sons.

Cal, M. P., Strickler, B. W. and Lizzio, A. A. 2000. High temperature hydrogen sulfide adsorption on activated carbon I. Effect of gas composition and metal addition. **J. Carbon.** 38: 1757 –1765.

Chang, R. 2002. **Chemistry.** 7 th ed. New York: Mc Graw - Hill.

Cheremisinoff, P. N. 1993. **Air Pollution Control and Design for Industry.** New York: M. Dekker.

Chou, J. 2000. **Hazardous Gas Monitor: A Practical Guide to Selection, Operation and Application.** New York: McGraw – Hill.

Cooper, C. D. and Alley, F. C. 2002. **Air Pollution Control a Design Approach.** 3 rd ed. Illinois: Waveland Press.

Do, D. D. 1998. **Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics** (vol.2). London: Imperial College Press.

Henry, F. H., Jr., William, R. R., and William, H. N. 1984. **General Chemistry.** 7 th ed. Toronto: D. C. health and company.

Jae-Woon, S., Soon-Jin, P., and Seung-Kon, R. 2001. “Effect of modification with HNO_3 and NaOH on metal adsorption by pitch-based activated carbon fibers”. **J. Carbon.** 39: 1635-1642.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Langlais, B., Reckhow, D. A. and Brink, D. R. 1991. **Ozone in Water Treatment Application and Engineering.** Michigan: Lewis.

Lee, W. H. and Reucroft, P. J. 1999. "Vapor adsorption on coal-and wood-based chemically activated carbons(II) adsorption of organic vapors". **J. Carbon.** 37: 15-20.

Moreno-Castilla, C., Carrasco-Marin, F., Maldonado-Hodar, F.J. and Rivera-Utrilla, J. 1998. "Effects of non-oxidant and oxidant acid treatments on the surface properties of an activated carbon with very low ash content". **J. Carbon.** 36:145-152.

Mycock, J. C., McKenna, J. D., and Theodore, L.1995. **Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology.** New York: Lewis.

Noll, K. E., Gounaris, V. and Hou, W. S. 1992. **Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control.** Michigan: Lewis.

Parker, S. P. 1993. **McGraw-Hill Encyclopedia of Chemistry.** 2 nd ed. New York: McGraw-Hill.

Pradhan, B. K. and Sandle, N. K. 1999. "Effect of different oxidizing agent treatments on the surface properties of activated carbons". **J. Carbon.** 37: 1323-1332.

Smith, B. C. 1999. **Infrared Spectral Interpretation a Systematic Approach.** New York: CRC Press.

Spengler, J. D., Samet, Jonathan M. and McCathy, John F. 2000. **Indor Air Quality Handbook.** New York: McGraw-Hill.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and Stensel, H. D. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse.** 4 th ed. New York: Metcalf & Eddy.

Theodore, L., and Buonicore, A. 1994. **Air Pollution Control Equipment: Selection, Design, Operation, and maintenance.** New York: Springer-Verlag.

Yang, R. T. 2003. **Adsorbents Fundamentals and Applications.** New Jersey: John Wiley and Sons.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

รายละเอียดคำขอรับสิทธิบัตร"ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ"

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

รายละเอียดของการประดิษฐ์

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ

สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

วิศวกรรมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ

ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาที่สร้างความรำคาญและน่ารังเกียจกับผู้ที่มาร่วมในพิธีการศพก็คือ กลิ่นจากศพและหรือกลิ่นจากน้ำยาดับกลิ่น โดยเฉพาะศพที่เป็นศพคนไทยและนับถือศาสนาพุทธที่ต้องตั้งศพบำเพ็ญกุศลตามประเพณีไว้เป็นเวลาหลายวัน รวมถึงกลิ่นจากศพที่ไม่สามารถฉีดยา(ฟอร์มาลีน)กันเน่าได้ทันเวลาที่เหมาะสม โดยเฉพาะศพที่เกิดจากอุบัติเหตุต่างๆ เกิดจากอาชญากรรม เกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว คลื่นยักษ์สึนามิ ดินถล่ม หรือน้ำท่วมเป็นต้น ซึ่งสภาพที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดังกล่าวอาจจะไม่สามารถจัดการกับศพได้ทันท่วงที ทำให้ศพเน่า ขึ้นอืด เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็น เนื่องจากการที่สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และทำให้มีเชื้อโรคเกิดขึ้น

แม้ว่าจะมีการแก้ปัญหาโดยการใช้น้ำยาฉีดศพ(ฟอร์มาลิน) หรือใช้โลงเย็นด้วยก็ตาม แต่ปัญหาเรื่องกลิ่นก็อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคเพื่อไม่ให้เกิดความรำคาญและน่ารังเกียจต่อผู้ที่มาร่วมในพิธีการศพจึงมีความจำเป็นที่ต้องกระทำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจและเพิ่มความปลอดภัยกับญาติพี่น้องของผู้เสียชีวิตไม่ให้ติดเชื้อโรคและได้รับกลิ่นจากน้ำยาฉีดศพส่วนเกินคือแก๊สฟอร์มแมลดีไฮด์ หรือกลิ่นจากศพโดยตรงในขณะทำพิธีก่อนทำการฌาปนกิจ เพราะโดยปกติต้องทำการเปิดฝาโลงศพเพื่อดูผู้เสียชีวิตเป็นครั้งสุดท้าย ดังนั้นระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ และเชื้อโรคที่อาจติดต่อจากศพได้

กลิ่นเหม็นหรือกลิ่นเน่าเสียจากสาเหตุต่างๆเป็นปัญหาที่ก่อความรำคาญและยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพเพราะกลิ่นดังกล่าวเกิดจากไอพิษของสารเคมีทั้งประเภทสารระเหยอินทรีย์และสารระเหยอนินทรีย์ทั้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยเฉพาะกลิ่นหรือแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น แอมโมเนีย(NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) เป็นต้น ซึ่งแก๊สเหล่านี้ถึงแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ก็มีความจำเป็นต้องบำบัดไม่ปล่อยให้เข้าสู่สิ่งแวดล้อม เพราะนอกจากจะก่อให้เกิดความรำคาญแล้วยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพตั้งแต่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจไปจนถึงทำให้เสียชีวิตได้ จึงได้คิดประดิษฐ์ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ เพื่อกำจัดกลิ่นที่เกิดจากศพโดยตรงและหรือกลิ่นจากน้ำยาดับกลิ่น โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการกำจัดกลิ่นเหม็นและเชื้อโรคไม่ให้ฟุ้ง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

กระจายในระหว่างการขนย้ายศพหรือการเก็บรักษาศพเพื่อรอขั้นตอนในการชันสูตรหรือรอนำศพไปประกอบพิธีทางศาสนาต่อไป

ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์

แนวทางที่จะแก้ปัญหาเรื่องดังกล่าวได้ก็คือการออกแบบระบบการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ 1. ระบบการกำจัดกลิ่น 2. ถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่น ซึ่งในส่วนที่เป็นระบบการกำจัดกลิ่นประกอบด้วยระบบย่อยคือ 1.1 ระบบการดูดซับโดยมีถ่านกัมมันต์ ที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นที่เป็นแก๊สน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ 1.2 การออกซิไดส์ โดยมีโอโซน(O_3) เป็นตัวออกซิไดส์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จ นอกจากนี้ส่วนที่เป็นถุงสำหรับฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งจะต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบกำจัดกลิ่นเสมอ สำหรับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบการกำจัดกลิ่นโดยสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ไปใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นจากศพที่เกิดจากแก๊สโมเลกุลต่ำ เช่น ฟอร์มแมลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน ฯลฯ โดยการผ่านแก๊สโอโซนเข้าไปในถุงบรรจุศพเพื่อให้เกิดการออกซิไดส์ด้วยโอโซนประมาณ 20 – 30 นาที จากนั้นจึงทำให้ในถุงบรรจุศพมีบรรยากาศใกล้เคียงสุญญากาศมากที่สุดเพื่อทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตหยุดการเจริญเติบโต อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ศพเกิดการเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น จากนั้นจึงทำการดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการถูกออกซิไดส์กลับเข้าสู่ระบบการกำจัดกลิ่นก่อนปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง

ความมุ่งหมายของการประดิษฐ์เพื่อ ใช้กำจัดกลิ่นเหม็น เช่น จากศพที่เสียชีวิตแบบไม่ปกติจากอุบัติเหตุต่างๆมาเป็นเวลานานจนสภาพศพเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็นโดยใช้ระบบการกำจัดกลิ่นที่สามารถกำจัดกลิ่นเหม็นไม่ให้ฟุ้งกระจายในระหว่างการขนย้ายศพหรือการเก็บรักษาศพเพื่อรอขั้นตอนในการชันสูตรหรือรอนำศพไปประกอบพิธีทางศาสนา และสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ในส่วนที่เป็นระบบการออกซิไดส์ด้วยโอโซนไปประยุกต์ใช้ในสถานที่ต่างๆเพื่อฆ่าเชื้อโรค เช่น ห้องปลอดเชื้อในโรงพยาบาลและสามารถนำไปใช้กำจัดกลิ่นอับในสถานที่ที่เป็นระบบปิด เช่น ห้องนอน ห้องทำงาน ภายในรถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับถุงฆ่าเชื้อ เพื่อกำจัดกลิ่นจากผ้าอ้อมเด็ก เสื้อผ้า รองเท้าได้เป็นต้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

หน้า 3 ของจำนวน 4 หน้า

การเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

ตามรูปที่ 1 แสดงภาพแยกชิ้นส่วน รูปที่ 2 แสดงภาพโดยรวมของเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ และรูปที่ 3 แสดงภาพการนำเครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษไปใช้ร่วมกับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆได้ถูกยึดติดกับโครงโลหะ10 ที่มีมือจับ 11 สำหรับเคลื่อนย้ายด้วยล้อเลื่อน12 มีระบบการผลิตแก๊สโอโซนเพื่อไปใช้ในการออกซิไดส์ ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศ 1 ทำหน้าที่อัดอากาศแล้วส่งไปยังถังเก็บอากาศ 9 โดยผ่านอุปกรณ์การวัดแรงดันอากาศ 8 เพื่อทำหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ 1 เมื่อได้แรงดันอากาศตามที่ต้องการวาล์วโซลินอยด์น้ำมัน 5 และวาล์วโซลินอยด์แก๊ส 6 ทำหน้าที่ปิด-เปิดท่อนำแก๊สหรืออากาศเพื่อนำแก๊สเข้าสู่เครื่องกำเนิดโอโซน 3 ชนิดโคโรนาดิสชาร์จเป็นตัวผลิตแก๊สโอโซนเพื่อใช้เป็นตัวออกซิไดส์ซึ่งทำหน้าที่กำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค จากนั้นแก๊สโอโซนจะถูกส่งต่อไปยังถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ(ตามรูปที่ 3)โดยผ่านวาล์วโซลินอยด์น้ำมัน 5 สำหรับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพตามรูปที่ 3 ประกอบด้วย ตัวถุงบรรจุศพ14 ทำจากพลาสติกใสที่กันน้ำและทนทานต่อการรับน้ำหนักของศพที่อยู่ด้านใน มีฝาปิด-เปิดเพื่อป้องกันไม่ให้กลิ่นและเชื้อโรคแพร่กระจายสู่ภายนอก โดยใช้ซิปเพื่อการปิด-เปิด ส่วนถุงที่อยู่ด้านนอกทำจากพลาสติกทึบแสงที่มีสีแตกต่างกันไปตามความต้องการ ทำจากพลาสติกที่ทนทานต่อการรับน้ำหนักของศพและมีฝาปิด-เปิดอยู่ด้านนอกเพื่อไม่ให้มองเห็นศพโดยใช้ซิปแยกต่างหากจากตัวถุง เมื่อแก๊สโอโซนถูกส่งจากเครื่องกำเนิดโอโซน3 (ตามรูปที่ 3) มายังท่อนำแก๊สพลาสติกแรงดันสูง13 ผ่านเข้าไปในถุงจนเต็ม ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษจะหยุดทำงาน ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพจะถูกปิดด้วยวาล์วปิด-เปิดที่ด้านข้างของถุง

เมื่อปล่อยให้โอโซนทำปฏิกิริยาในถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพประมาณ 20-30 นาทีแล้ว จึงทำให้ภายในถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ(ตามรูปที่ 3)มีบรรยากาศใกล้สุญญากาศมากที่สุดเพื่อทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตหยุดการเจริญเติบโต อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ศพเกิดการเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น โดยการดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการออกซิไดส์ด้วยโอโซนกลับเข้าสู่เครื่องกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ ก่อนปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง ทั้งนี้อากาศและแก๊สพิษที่เหลือจากการออกซิไดส์ในถุงฆ่าเชื้อ จะนำไปผ่านระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดหรือเบสและน้ำ 7 (ตามรูปที่1หรือ 2) ตามลำดับเพื่อผ่านต่อไปยังชุดดูดซับ 2 ที่มีวาล์ว 4 เป็นตัวปิด-เปิด ซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะเป็นตัวดูดซับ ทำให้สามารถดูดซับกลิ่นที่เป็นแก๊สพิษน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้มากขึ้นโดยมีวาล์วโซลินอยด์น้ำมัน 5 และวาล์วโซลินอยด์แก๊ส 6 (ตามรูปที่ 1หรือ 2) เป็นตัวปิด-เปิด แล้วจึงปล่อยอากาศที่ปลอดมลพิษเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่ 1 แสดงภาพแยกชิ้นส่วนของระบบกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษตามการประดิษฐ์นี้

รูปที่ 2 แสดงภาพโดยรวมของระบบกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษตามการประดิษฐ์นี้

รูปที่ 3 แสดงภาพการนำระบบกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษไปใช้งานกับถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพตามการประดิษฐ์นี้

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

เหมือนกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยการประดิษฐ์โดยสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทสรุปของการประดิษฐ์

ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยคือ 1. ระบบการออกซิไดส์โดยใช้แก๊สโอโซนที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จเป็นตัวออกซิไดส์ ทำหน้าที่ในการฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่น โดยการผ่านแก๊สโอโซนเข้าไปในถุงฆ่าเชื้อโรค ที่มีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค 2. ระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคที่ใช้กรดหรือเบสและน้ำ ใช้ฆ่าเชื้อโรคซึ่งปนอยู่กับอากาศที่เหลือจากการออกซิไดส์ก่อนที่จะผ่านต่อไปยังระบบดูดซับ 3.ระบบการดูดซับซึ่งบรรจุถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ ทำให้สามารถดูดซับกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากระบบการออกซิไดส์และดักกลิ่น ก่อนปล่อยอากาศปลอดมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม

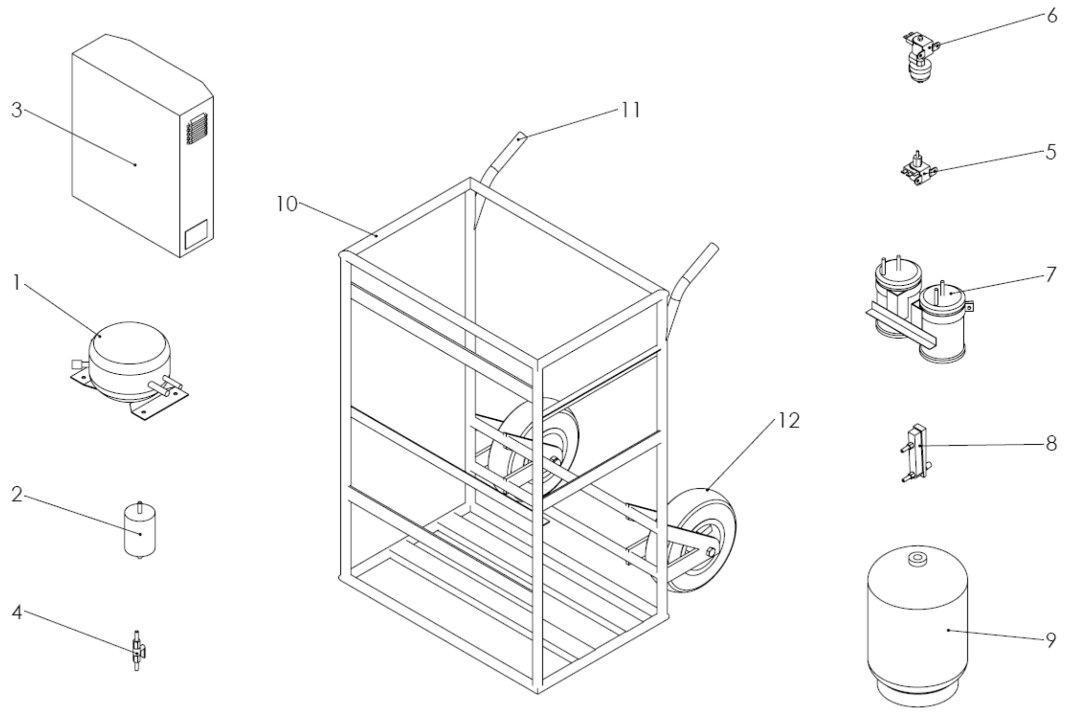
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ข้อถือสิทธิ

1. ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษโดยมีลักษณะพิเศษที่ประกอบด้วยโครงโลหะ(10) เป็นที่ยึดอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องอัดอากาศ (1) ทำหน้าที่อัดอากาศแล้วส่งไปยังถังเก็บอากาศ(9)โดยผ่านอุปกรณ์การวัดแรงดันอากาศ(8) เพื่อทำหน้าที่หยุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ(1) วาล์วโซลินอยด์น้ำมัน(5) และวาล์วโซลินอยด์แก๊ส(6) ทำหน้าที่ปิด-เปิดท่อนำแก๊สเพื่อนำอากาศเข้าสู่เครื่องกำเนิดโอโซน(3) ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดโอโซนชนิดโคโรนาดิสชาร์จเป็นตัวผลิตแก๊สโอโซนทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์เพื่อกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค จากนั้นแก๊สโอโซนจะถูกส่งต่อไปยังถุงบรรจุศพ (14)

2. ระบบการกำจัดกลิ่นและแก๊สพิษ ตามข้อถือสิทธิ 1 ที่ซึ่งแก๊สโอโซนที่ถูกส่งจากเครื่องกำเนิดโอโซน (3) มายังท่อนำแก๊สพลาสติกแรงดันสูง(13) ผ่านเข้าไปในถุงบรรจุศพ(14) จนเต็ม ถุงจะถูกปิดเพื่อให้โอโซนทำปฏิกิริยา จากนั้นจึงดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการออกซิไดส์ ผ่านระบบการดักกลิ่นและฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดหรือเบสและน้ำ(7) ตามลำดับ แล้วผ่านต่อไปยังชุดดูดซับ(2) ซึ่งภายในชุดดูดซับ(2) ดังกล่าวบรรจุถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการดูดซับโดยกระบวนการออกซิไดส์และเติมโลหะ

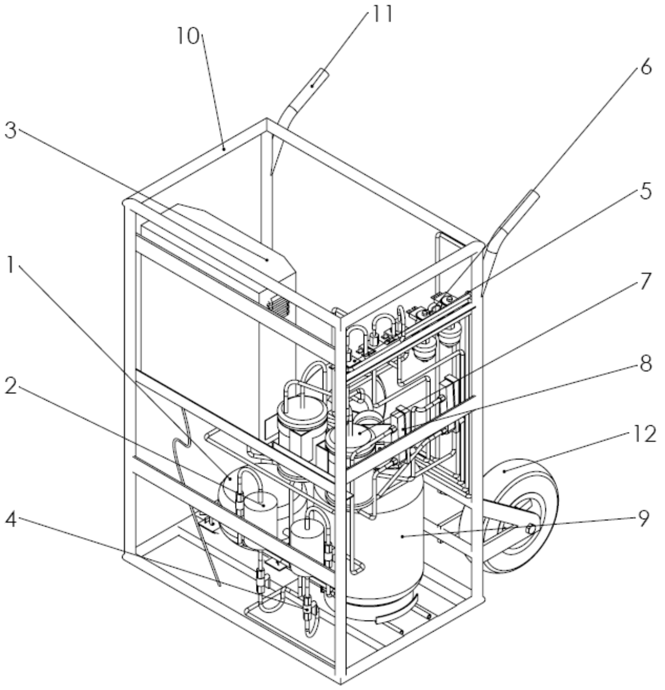
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



รูปที่ 1

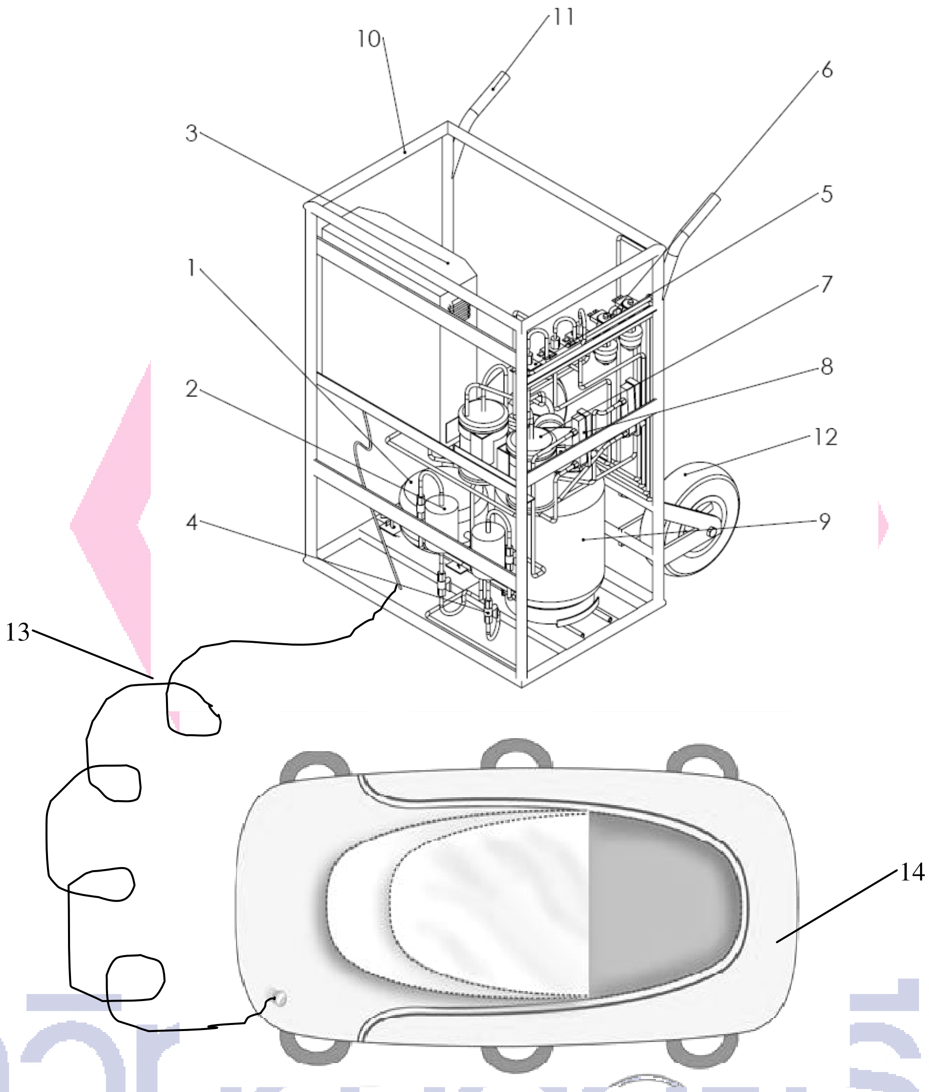
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หน้า 2 ของจำนวน 3 หน้า



รูปที่ 2

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

รูปที่ 3

ภาคผนวก ข

รายละเอียดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์"ถุงฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นศพ"

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ "ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ"

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์ หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร E-mail: somkiat.kr@spu.ac.th

บทสรุปของการประดิษฐ์

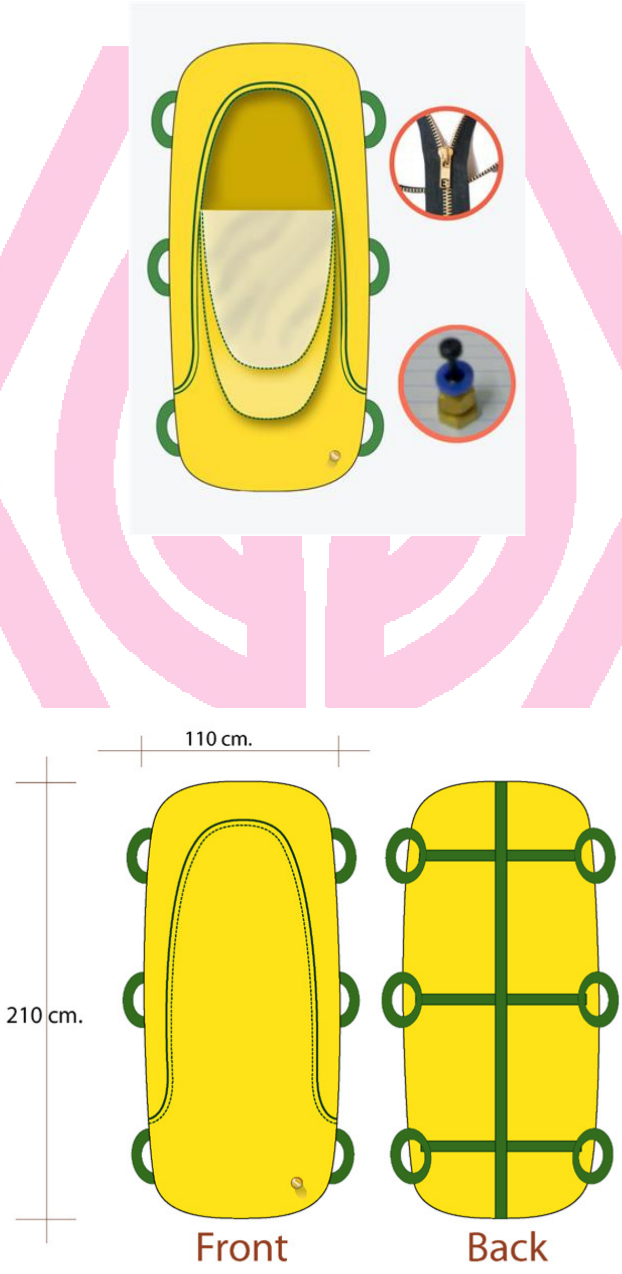
ถุงสำหรับฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพนั้นมีไว้เพื่อบรรจุศพหรือสิ่งของอย่างอื่นที่ต้องการกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งต้องใช้ร่วมกันกับส่วนที่เป็นระบบกำจัดกลิ่น(odorous eliminator) โดยสามารถนำสิ่งประดิษฐ์ไปใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นจากศพที่เกิดจากแก๊สโมเลกุลเบา เช่น ฟอร์แมลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทน ฯลฯ โดยการผ่านแก๊สโอโซนเข้าไปในถุงบรรจุศพ เพื่อให้เกิดการออกซิไดส์ด้วยโอโซน(ozone oxidation)ประมาณ 20 – 30 นาที แล้วจึงทำให้ในถุงบรรจุศพมีบรรยากาศใกล้เคียงสุญญากาศมากที่สุดเพื่อป้องกันจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตหยุดการเจริญเติบโต อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ศพเกิดการเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น จากนั้นจึงทำการดูดกลิ่นและแก๊สพิษที่เหลือจากการออกซิไดส์กลับเข้าสู่ระบบกำจัดกลิ่นก่อนปล่อยอากาศบริสุทธิ์สู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง

ประโยชน์ของสิ่งประดิษฐ์

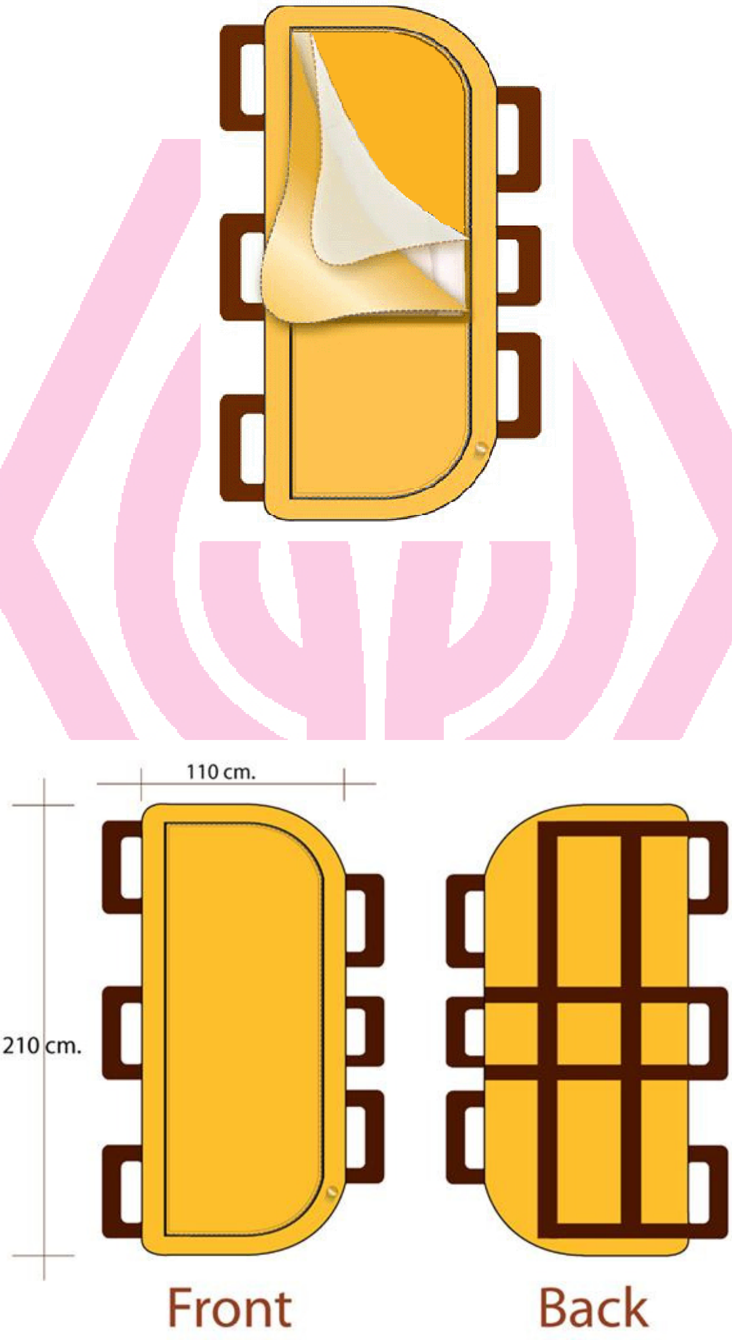
ใช้ป้องกันและให้ความปลอดภัยกับ ตำรวจ หน่วยกู้ภัย แพทย์ ตลอดจนญาติพี่น้องของผู้เสียชีวิต เพื่อไม่ให้ติดเชื้อโรคจากศพที่เสียชีวิตด้วยโรคติดต่อร้ายแรง เช่น โรคเอดส์ ไข้หวัดนก ไข้หวัด 2009 และนอกจากนี้ยังใช้กับศพที่รอการพิสูจน์จากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง จากการเสียชีวิตที่ไม่ปกติจากอุบัติเหตุต่างๆมาเป็นเวลานานจนสภาพศพเน่าเปื่อยและมีกลิ่นเหม็น เช่น อาชญากรรม ไฟไหม้ แผ่นดินไหว อุทกภัย สึนามิ ดินโคลนถล่มหรือได้รับอันตรายจากสารเคมี เป็นต้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

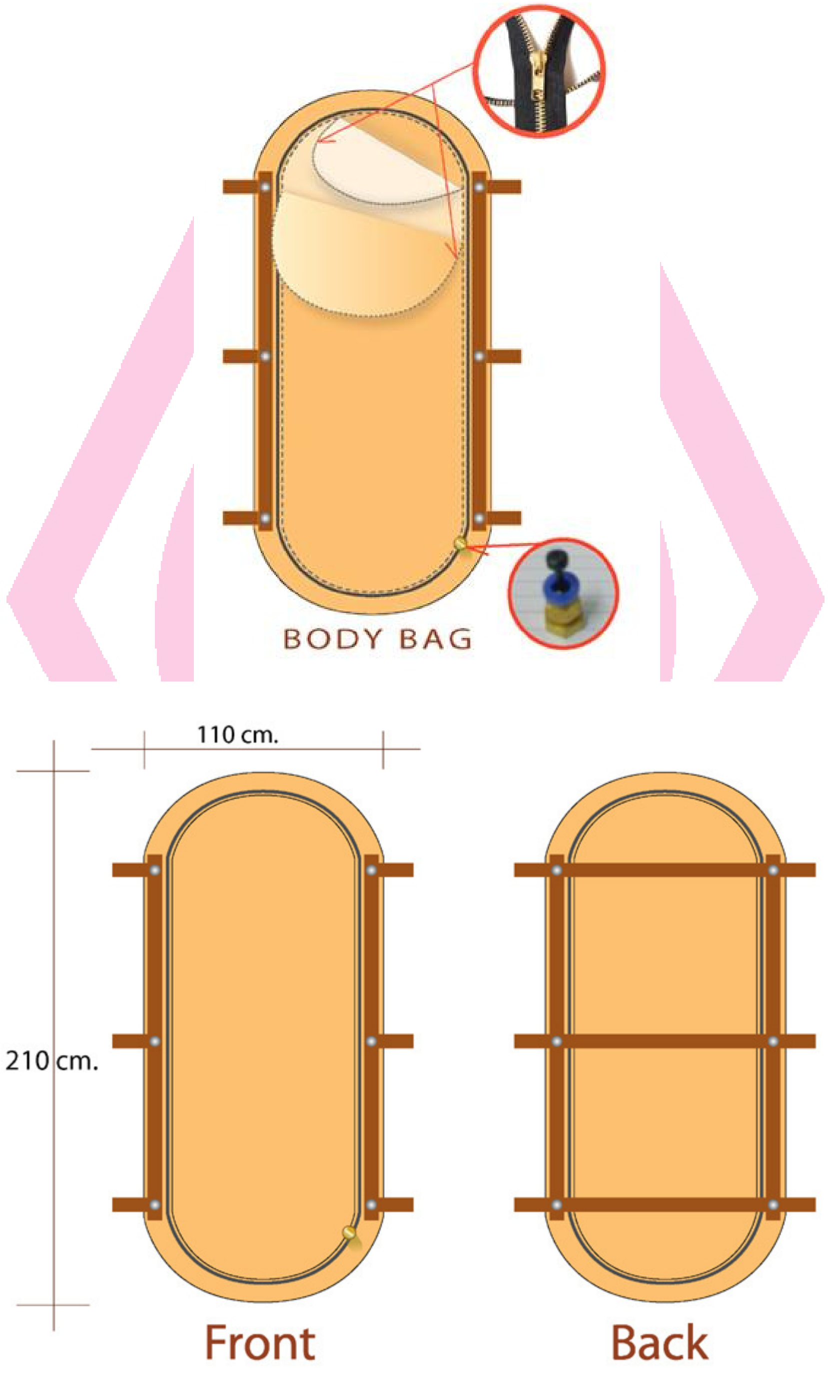
ขอถือสิทธิในแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่รูปร่าง และลักษณะลวดลายของ“ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ” ดังมีรายละเอียดตามที่ปรากฏในภาพแสดง (แบบที่ 1 – 4)



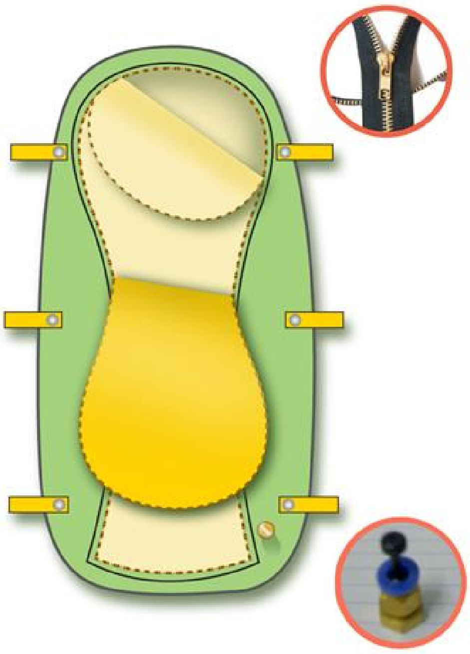
“ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ” แบบที่ 1

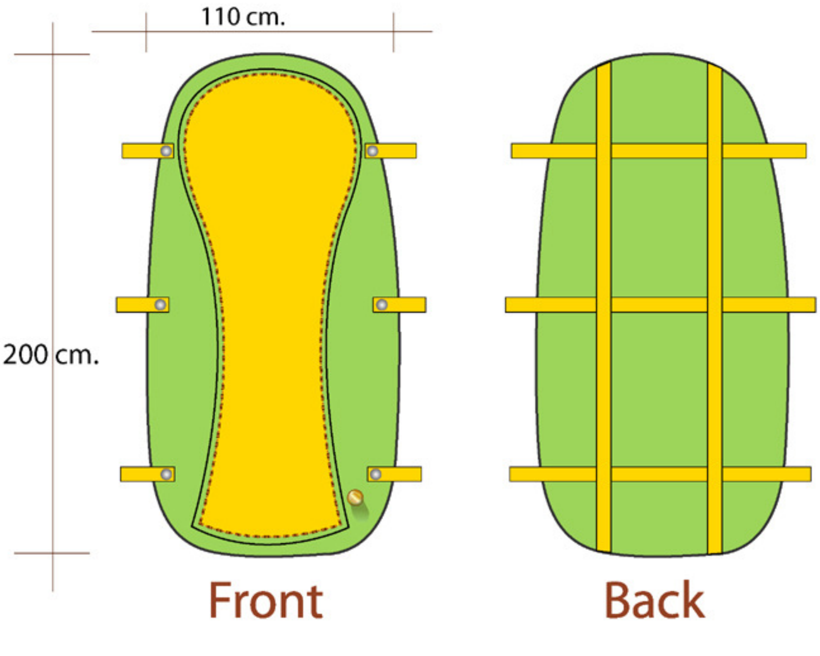


“ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ” แบบที่ 2



“ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ” แบบที่ 3





“ถุงฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่นศพ” แบบที่ 4

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ กรวยสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	7 เมษายน พ.ศ. 2502
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	56/120 หมู่ที่ 7 แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2526	กศ.บ.(เคมี)จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม
พ.ศ. 2532	วท.ม.(การสอนเคมี)จาก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2549	วศ.ด.(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY