

การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์โดยถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว

FORMALDEHYDE ADSORPTION BY SPENT BATTERY

นางสาวพัฒนัทธเนษฐ์ พรหมพงษ์

นางสาวภัทรนิตา แก้วเพ็ญ

นางสาวอาทิตย์ดา สุทธิไชยา

โดย งบประมาณพิเศษแก่นักเรียนส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาตามหลักสูตรวิชาสารเคมี

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๕

การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์โดยถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว

FORMALDEHYDE ADSORPTION BY SPENT BATTERY



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

FORMALDEHYDE ADSORPTION BY SPENT BATTERY



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์โดยถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว
 FORMALDEHYDE ADSORPTION BY SPENT BATTERY

ชื่อนักศึกษา นางสาวพัฒนัทนันท์ พรหมพงษ์
 นางสาวภัทรนิตา แฉวยเพ็ญ
 นางสาวอาทิตย์ยา สุทธิไชยา

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
 สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
 สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์โดยถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพัฒนัทนันท์	พรหมพงษ์
	นางสาวภัทรนิตา	แถวเพ็ญ
	นางสาวอาทิตย์ยา	สุทธิไชยา
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2555	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว	ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้ว (ผง Zn - C) กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) โดยศึกษาสมบัติของผง Zn - C ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช, พื้นที่ผิว, ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน อาศัยเทคนิค Brunauer Emmett and Teller (BET), หมู่ฟังก์ชันอาศัยเทคนิคฟลูออริเมตริกรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR), เลขไอโอดีน ตามวิธีวิเคราะห์ของ ASTM D4607-94(2011) และทำการศึกษาการดูดซับ HCHO ในห้องทดสอบขนาด 15.5 L โดยจำลองสภาวะบรรยากาศที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้น 1 ppm โดยแปรค่าน้ำหนักตัวดูดซับเป็น 1, 2, 3, 5, 7 g และเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงการค้า วิเคราะห์ HCHO ตามวิธีของ NIOSH 3500 พบว่า ผง Zn - C มีค่าพีเอชเป็นกรดเล็กน้อย (5.98 - 6.29) ผลจาก BET พบว่า มีพื้นที่ผิว, ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน เท่ากับ $51.98 \text{ m}^2/\text{g}$, $1.492 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{g}$ และ $1.148 \times 10^2 \text{ \AA}$ ตามลำดับ หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวจากเทคนิค FT-IR ปรากฏหมู่ฟังก์ชัน O-H พบว่า มีเลขไอโอดีนเท่ากับ $69.33 \pm 1.57 \text{ mg/g}$ การดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะจำลองในห้องทดสอบ พบว่า เมื่อใช้ตัวดูดซับจำนวน 7 g มีประสิทธิภาพการดูดซับของผง Zn - C $48.79 \pm 2.46 \%$ และของ AC $99.37 \pm 0.22 \%$ การดูดซับ HCHO ของผง Zn - C สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช ($y = -2.2168x + 0.3146$, $R^2 = 0.8492$) แต่การดูดซับ HCHO ของ AC สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ($y = 0.1370x + 0.0003$, $R^2 = 0.9908$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ: ถ่านไฟฉายซิงค์-คาร์บอนที่ใช้แล้ว, ตัวดูดซับ, ฟอร์มัลดีไฮด์

Title	Formaldehyde adsorption by spent battery	
Students	Miss Pattanun	Prompong
	Miss Puttaranida	Thawphear
	Miss Artidtaya	Suttichaiya
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Environmental Chemistry	
Academic Year	2012	
Advisor	Asst. Prof.Krongkaew Tippayasak	

ABSTRACT

Utilization of powder from spent battery, zinc-carbon type (Zn - C), was studied as adsorbent for formaldehyde (HCHO). The properties of Zn - C were characterized both physical and chemical feature, namely, pH, surface area, pore volume and diameter by Brunauer Emmett and Teller (BET), functional groups from Fourier transform infrared spectrum (FT-IR), Iodine number according to ASTM D4607-94 (2011) method. The adsorption was determined in the experimental chamber with volume 15.5 L by 1 ppm HCHO simulation. The Zn - C adsorbent were varied with content and compared with a commercial activated carbon (AC). HCHO concentrations in chamber were quantified by NIOSH 3500. The results showed that the Zn - C were slightly acidic pH (5.98 to 6.29). The Zn - C surface area, pore volume and diameter were 51.98 m²/g, 1.492 × 10⁻² cm³/g and 1.148 × 10² Å, respectively. From FT-IR spectrum showed the O-H (major) functional group and Iodine number were 69.33 ± 1.57 mg/g. The efficiency of HCHO adsorption by Zn - C and AC with 7 g content were 48.79 ± 2.46 % and 99.37 ± 0.22 %, respectively. The Freundlich isotherm agreed with Zn - C HCHO adsorption ($y = -2.2168x + 0.3146$, $R^2 = 0.8492$) while the Langmuir isotherm agreed with AC ($y = 0.1370x + 0.0003$, $R^2 = 0.9908$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : spent zinc-carbon battery, adsorbent, formaldehyde

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงการพิเศษ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ รวมทั้งแนะแนวทางในการดำเนินงานตลอดจนการดูแลเอาใจใส่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ พี่บัณฑิตคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ที่เอื้อเฟื้อและแนะนำคณะผู้จัดทำในขั้นตอนการแกะถ่านไฟฉาย

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็น รวมถึงการขอยืมใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี การขอใช้สถานที่ และการดำเนินการต่างๆ ตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และพี่น้องในครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ตลอดการทำโครงการพิเศษนี้
สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงข้างต้นที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ สำหรับโครงการพิเศษนี้

คณะผู้จัดทำ

ตุลาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ถ่านไฟฉาย	3
2.2 การจัดการถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ	14
2.3 ฟอรัมลาคีไฮค์	16
2.4 การดูดซับมลพิษทางอากาศ	21
2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ	31
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	43
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.2 วัสดุและสารเคมี	44
3.3 การดำเนินงานวิจัย	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	51
4.1 สมบัติของผง Zn - C	51
4.2 การศึกษาผลการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C	57
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการทดลอง	65
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	65
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	71
ภาคผนวก ข	77
ภาคผนวก ค	83
ภาคผนวก ง	113
ภาคผนวก จ	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	45
ตารางที่ 4.1 ก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่สภาวะจำลอง ณ เวลาใด ๆ	57
ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์โดย AC และผง Zn - C	63
ตาราง ข-1 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	79
ตาราง ข-2 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟูริก	79
ตาราง ข-3 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอรัมาลดีไฮด์	80
ตาราง ข-4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอรัมาลดีไฮด์	82
ตาราง ข-5 ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟมาตรฐานฟอรัมาลดีไฮด์	82
ตาราง ค-1 ผลการวิเคราะห์ค่า pH	83
ตาราง ค-2 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า	83
ตาราง ค-3 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต	84
ตาราง ค-4 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน	84
ตาราง ค-5 ข้อมูลหาไอโซเทอร์มการดูดซับไอโอดีนของ AC	85
ตาราง ค-6 ข้อมูลน้ำหนัก AC ที่ทำการวิเคราะห์เลขไอโอดีน	86
ตาราง ค-7 ข้อมูลเปรียบเทียบเลขไอโอดีนระหว่าง AC และผง Zn - C	86
ตาราง ค-8 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ (ppm) ในห้องทดสอบที่สภาวะจำลอง ณ เวลาใดๆ	87
ตาราง ค-9 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนถุงใยสังเคราะห์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ	88
ตาราง ค-10 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ	89
ตาราง ค-11 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดย AC น้ำหนักต่างๆ	91
ตาราง ค-12 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ	94
ตาราง ค-13 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บน AC น้ำหนักต่างๆ	97
ตาราง ค-14 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตาราง ค-15 ข้อมูลในการหาไอโซเทอร์มการดูดซับของ AC	107
ตาราง ค-16 ข้อมูลในการหาไอโซเทอร์มการดูดซับของผง Zn - C	108
ตาราง ค-17 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC	109
ตาราง ค-18 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C	110
ตาราง ค-19 อัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างชุดควบคุม และชุดทดลองตามลำดับ	111
ตาราง ค-20 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างอากาศหลังจากทำความสะอาดห้องทดสอบโดยเติม O ₃	112
ตาราง ค-21 ข้อมูลการตรวจสอบการเกิด Break through	112
ตาราง ง-1 ข้อมูลการไทเทรตหาเลขไอโอดีนของ AC	113
ตาราง ง-2 ข้อมูลการไทเทรตหาเลขไอโอดีนของผง Zn - C	114
ตาราง จ-1 เลขไอโอดีนของ AC และผง Zn - C	122
ตาราง จ-2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติเลขไอโอดีนของ AC และผง Zn - C	122
ตาราง จ-3 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C	123
ตาราง จ-4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C	124
ตาราง จ-5 เปรียบเทียบความแตกต่าง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ภาพของถ่านไฟฉายยี่ห้อ Panasonic ขนาดความจุต่างๆ	3
รูปที่ 2.2	ภาพตัดขวางของถ่านไฟฉายแบบธรรมดา (Zn - C)	5
รูปที่ 2.3	ภาพตัดขวางของถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์	7
รูปที่ 2.4	สูตรโครงสร้างของฟอร์มาลดีไฮด์	17
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	31
รูปที่ 2.6	รูปร่างของกราฟไอโซเทอร์มตามวิธีการของ McBride	35
รูปที่ 3.1	การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองภายในเซลล์เคเตอร์ให้มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์	46
รูปที่ 3.2	การเก็บตัวอย่างอากาศภายในเซลล์เคเตอร์ที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์	46
รูปที่ 3.3	ลักษณะถุงใบสังเคราะห์ที่ใช้บรรจุตัวดูดซับ	47
รูปที่ 3.4	แผนภาพการศึกษาโดยสรุป	50
รูปที่ 4.1	ค่าพีเอชของ AC และผง Zn - C ในอัตราส่วนต่างๆ	52
รูปที่ 4.2	ค่าการนำไฟฟ้าของ AC และผง Zn - C ในอัตราส่วนต่างๆ	53
รูปที่ 4.3	เลขไอโอดีนของ AC และผง Zn - C	54
รูปที่ 4.4	อินฟราเรดสเปกตรัมของ AC	55
รูปที่ 4.5	อินฟราเรดสเปกตรัมของผง Zn - C	56
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา กับ ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยผง Zn - C	59
รูปที่ 4.7	ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ AC	61
รูปที่ 4.8	ไอโซเทอร์มแบบฟรุนคลิชของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ AC	61
รูปที่ 4.9	ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ผง Zn - C	62
รูปที่ 4.10	ไอโซเทอร์มแบบฟรุนคลิชของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ผง Zn - C	62
รูปที่ 4.11	ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C	64
รูป ก-1	สูตรโครงสร้างของโพลิสไตรีน	72
รูป ก-2	อินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิสไตรีน	72
รูป ข-1	กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์	82
รูป ค-1	ไอโซเทอร์มการดูดซับไอโอดีนของ AC	85

คำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์และคำย่อ

ความหมาย

AC (Activated Carbon)	ถ่านกัมมันต์เชิงการค้า
ผง Zn – C (Zinc Carbon)	ผงถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้ว
g	กรัม
g/L	กรัมต่อลิตร
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/m ³	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
m ² /g	ตารางเมตรต่อกรัม
M	โมลต่อลิตร
N	นอร์มอล
ppm	ส่วนต่อล้านส่วน
°C	องศาเซลเซียส
K	เคลวิน
Å	อังสตรอม
cm ³ /g	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
L/min	ลิตรต่อนาที
[HCHO]	ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์
c (control)	ชุดควบคุมที่ไม่เกิดกระบวนการดูดซับในห้องทดสอบ
	ชุดทดลองที่เกิดกระบวนการดูดซับในห้องทดสอบ
	สัดส่วนการดูดซับหรือปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ (mg) ใช้บนตัวดูดซับ 1 g

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ขยะและของเสียอันตราย นับวันจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรและความต้องการในการอุปโภคบริโภค โดยเฉพาะขยะจำพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย ที่เพิ่มมากขึ้นตามวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ซึ่งเห็นได้จากปริมาณขยะทั้งหมดทั่วประเทศในปี พ.ศ.2554 มีมากถึง 16 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2553 ถึง 0.84 ล้านตัน เป็นประเภทของเสียอันตราย 3.12 ล้านตัน โดยจัดเป็นกลุ่มแบตเตอรี่หรือถ่านไฟฉาย, หลอดไฟ และภาชนะบรรจุสารเคมีถึง 340,000 ตัน คิดเป็น 11% ของขยะประเภทของเสียอันตรายทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือที่เสื่อมสภาพหากไม่มีการกำจัดด้วยความระมัดระวังตามหลักวิชาการที่ถูกต้องและเหมาะสมจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เกิดการสะสมของโลหะหนักและสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉายในดิน แหล่งน้ำ และอากาศ จากผลกระทบดังกล่าวในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เห็นความสำคัญในการนำถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง โดยการนำส่วนของถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับมาใช้เป็นตัวดูดซับสารเคมีที่เป็นมลพิษทางอากาศ ซึ่งสารเคมีที่เป็นมลพิษทางอากาศที่ได้รับความสนใจอย่างมากตัวหนึ่งในปัจจุบันนี้ ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ เพราะเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงและถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง พบว่ามีการนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลิตถ่านไฟฉาย โรงงานทำไม้อัด เฟอร์นิเจอร์ สีย้อม กระดาษ และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสรปนเปื้อนและมีการแพร่กระจายของฟอรัมาลดีไฮด์ในอากาศบริเวณของโรงงานและพื้นที่โดยรอบ (มินตรา, 2552) การควบคุมการแพร่กระจายและกำจัดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีความประสงค์ที่จะช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น และช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นในปัจจุบันด้วย โดยมุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้งด้วยการนำมาเป็นตัวดูดซับฟอรัมาลดีไฮด์ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริ เช่นนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้เขียนเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผง Zn - C เทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงการค้า (AC) ซึ่งเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่งที่มีความสามารถสูงในการดูดซับก๊าซพิษในอากาศ
2. ศึกษาการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในสถานะจำลอง โดยเปรียบเทียบกับ AC

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผง Zn - C เทียบกับ AC ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด คือ ค่าความเป็นกรดเบส (pH), ค่าการนำไฟฟ้า, พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน, หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว และเลขไอโอดีน
2. ศึกษาการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ
 - 2.1 การสร้างสถานะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เพื่อหาความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น โดยแปรค่าเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ให้ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ฟุ้งทั่วห้องทดสอบ
 - 2.2 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จนเกิดสมดุลของผง Zn - C เพื่อใช้ในการหาไอโซเทอร์มของการดูดซับของ AC และผง Zn - C ต่อไป
 - 2.3 การหาไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เหมาะสมของ AC และผง Zn - C โดยแปรค่าน้ำหนักที่ใช้ในการดูดซับ
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผง Zn - C เป็นตัวดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ โดยวิเคราะห์จากประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย

1. สามารถนำผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ ซึ่งเป็นการลดปริมาณการกำจัดขยะอันตรายประเภทอิเล็กทรอนิกส์ได้
2. สามารถนำผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วมาเป็นทางเลือกในการควบคุมการแพร่กระจายและกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ เพื่อลดปัญหามลพิษทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านไฟฉาย

ถ่านไฟฉาย เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการทำงาน โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารเคมีที่บรรจุอยู่ภายใน ได้แก่ พรอท ตะกั่ว นิกเกิล แคลเมียม ลิเทียม และแมงกานีส ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าออกมา ถ่านไฟฉาย 1 ก้อน หรือ 1 เซลล์ จะมีความต่างศักย์ประมาณ 1.5 V ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก เราจึงพบเห็นถ่านไฟฉายได้หลากหลายรูปแบบหลากหลายยี่ห้อในท้องตลาด เพราะต้องออกแบบและผลิตมาให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต้องใช้ถ่านไฟฉายเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อน



รูปที่ 2.1 ภาพของถ่านไฟฉายยี่ห้อ Panasonic ขนาดความจุต่างๆ

ที่มา : Green Heart Club. 2555.

ถ่านไฟฉายเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจ ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีพลังงานอื่นที่เข้ามาแทนถ่านไฟฉายแล้วแต่ก็ยังคงมีการใช้งานถ่านไฟฉายอยู่ สำหรับการออกแบบและผลิตถ่านไฟฉายมีพัฒนาการมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 18 โดยในปี ค.ศ.1866 ชอร์ซ แกลกลองเซ วิศวกรชาวฝรั่งเศสซึ่งเป็นผู้คิดริเริ่มประดิษฐ์ถ่านไฟฉายแบบธรรมดาเป็นครั้งแรก มีลักษณะเป็นแบบ Zn - C เมื่อใช้แล้วเสื่อมสภาพ ต่อมาในปี ค.ศ.1959 ลิวอิส เออร์รี วิศวกรของบริษัทถ่านไฟฉายเอเวอร์เรดี (Eveready) ได้ทำการพัฒนาต่อโดยสามารถให้พลังงานได้มากกว่าถ่านไฟฉายแบบเก่า แต่ในระยะหลังได้เริ่มมี

การตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้แล้วทิ้งของถ่านไฟฉายกันมากขึ้นและองค์ประกอบที่ใช้ผลิตถ่านไฟฉายอาจมีปรอทเจือปนซึ่งเป็นโลหะหนัก ทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นทั่วโลก จึงมีพัฒนาการใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งในปี ค.ศ.1993 โดยการเริ่มใช้ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จหรือถ่านที่สามารถอัดประจุไฟใหม่ได้ที่ให้พลังงาน 1.5 V เท่ากับพลังงานของถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง แต่เมื่อมีการอัดประจุใหม่ไปเรื่อยๆ ประสิทธิภาพของถ่านจะลดลงตามจำนวนการชาร์จ ต่อมาได้มีการพัฒนาและประดิษฐ์ถ่านไฟฉายที่มีคุณภาพและการใช้งานที่นานขึ้น รวมทั้งสามารถอัดประจุไฟใหม่ได้อีกมากมายหลายประเภท เช่น ถ่านลิเทียมและถ่านนิกเกิลแคดเมียมหรือนิแคด (หญิงเหล็ก, 2548) หากมีการเปรียบเทียบระหว่างถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จกับถ่านนิแคดจะเห็นได้ชัดว่าถ่านนิแคดมีอายุการใช้งานนานกว่ากันมาก เพื่อให้ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุดต้องรีชาร์จถ่านอย่างสม่ำเสมอและอย่าปล่อยให้แบตเตอรี่หมดเกลี้ยง ส่วนถ่านนิกเกิลแคดเมียมต้องใช้แบตเตอรี่ให้หมดเกลี้ยงก่อนถึงจะชาร์จใหม่ได้ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเมโมรี่เอฟเฟกต์ (Memory Effect) ซึ่งหมายถึงการชาร์จแบตเตอรี่ได้เพียงบางส่วนไม่สามารถชาร์จได้เต็มที่ ซึ่งเกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่เดิมยังไม่หมดคี่ ทำให้การชาร์จครั้งต่อไปจะใช้เวลาน้อยลงเนื่องจากแบตเตอรี่จะเก็บความจำในการชาร์จที่สั้นที่สุดเอาไว้ และทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดน้อยลง

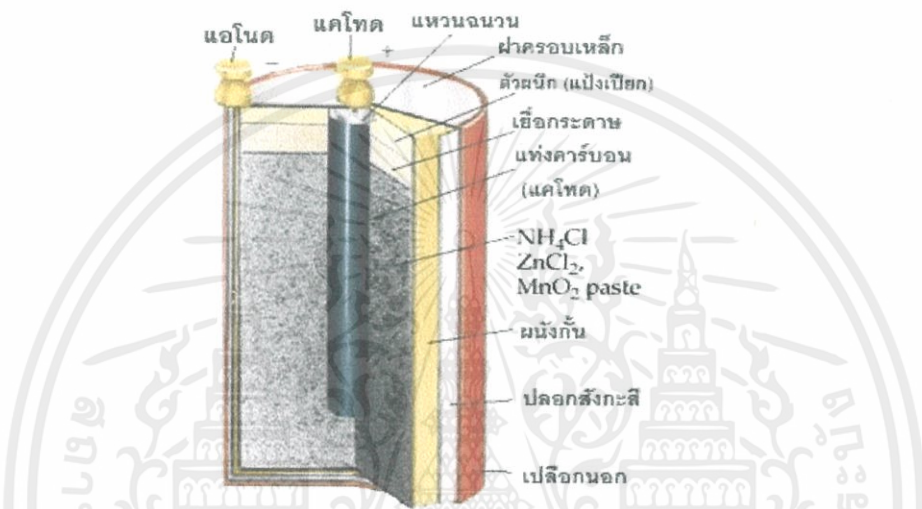
2.1.1 ประเภทของถ่านไฟฉาย

ถ่านไฟฉายตามหลักของการอัดประจุไฟแล้ว สามารถแบ่งถ่านไฟฉายได้เป็น 2 ประเภทคือ 1) เซลล์ปฐมภูมิ (Primary cell) ซึ่งเป็นถ่านไฟฉายชนิดใช้แล้วทิ้งไม่สามารถอัดประจุไฟซ้ำได้ เช่น ถ่านไฟฉายแบบธรรมดา ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านนาฟิกาที่มีลักษณะคล้ายกระดุม เป็นต้น และ 2) เซลล์ทุติยภูมิ (Secondary cell) ที่เป็นถ่านที่สามารถนำมาอัดประจุไฟซ้ำได้ เช่น ถ่านไฟฉายแบบประจุไฟใหม่ได้ (Rechargeable battery) เป็นต้น ถ่านไฟฉายนอกจากนี้สามารถแบ่งตามสารเคมีที่บรรจุอยู่ภายในที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าออกมาได้ 5 ชนิด ดังนี้ (บุญรักษ์, 2550)

ก. ถ่านไฟฉายแบบธรรมดา (Zn - C)

ถ่านไฟฉายแบบธรรมดา ถือเป็นถ่านไฟฉายรุ่นแรกๆ ที่มีราคาถูกและมีหลายขนาดให้เลือกใช้ แต่ไม่สามารถอัดประจุไฟซ้ำได้และให้พลังงานได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับถ่านชนิดอื่น ไม่ว่าจะถ่านใดก็ตาม ถ่านทุกชนิดมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ในปัจจุบันจึงมีถ่านประเภทอื่นๆ ออกมาแทนที่จำนวนมาก สำหรับเซลล์ไฟฟ้าชนิดเซลล์ Zn - C นี้

ชื่อเซลล์บอกถึงองค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ว่าประกอบด้วย แท่งคาร์บอนหรือแท่งถ่านที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจากแคโทด ส่วนสารที่ทำหน้าที่เป็นแคโทดคือ แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ที่ผสมรวมกับผงถ่าน ส่วนแอโนดผลิตจากกระป๋องสังกะสี (Zinc can) ซึ่งใช้บรรจุสารแคโทดด้วย ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่กั้นระหว่างชั้นแคโทดและชั้นแอโนด คือ สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของถ่านไฟฉายแบบธรรมดา (Zn - C)

ที่มา : Green Heart Club. 2555.

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถ่านไฟฉายแบบธรรมดา (Zn - C) มีดังนี้ (Belardia, G., 2011)

ขั้วแอโนด (Oxidation)



ขั้วแคโทด (Reduction)

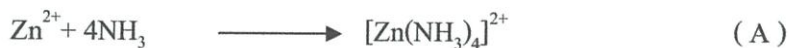


ปฏิกิริยารวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Zn^{2+} รวมกับ NH_3 สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสังกะสีกับแอมโมเนียและน้ำได้ โดยสังกะสีทำหน้าที่เป็นอะตอมกลาง (Central atom) แอมโมเนียและน้ำทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ (Ligand) จึงเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ในรูปสปีชีส์ต่างๆ

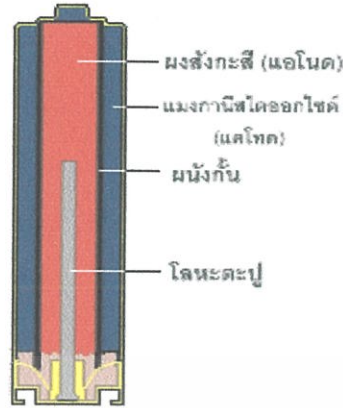


โดย $ZnCl_2$ ที่เติมลงไป ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยา A ได้ แต่ถ้าไม่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอาจเกิดการสูญเสีย NH_3 ในรูปการระเหยได้ ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดคือ $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ และ $[Zn(NH_3)_2(H_2O)_2]^{2+}$ เพื่อรักษาความเข้มข้นของ Zn^{2+} และ NH_3 เซลล์ชนิดนี้จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 1.5 V ปฏิกิริยาเคมีของถ่านไฟฉายจะเกิดต่อเนื่องไปจนกระทั่งเมงกานีสไดออกไซด์ทำปฏิกิริยาหมด ดังนั้นเมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าเคมีในถ่านไฟฉายหมดแล้ว ผู้ใช้ควรทำการถอดถ่านออกจากตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกครั้งเพราะสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ยังอยู่ในถ่านไฟฉายมีฤทธิ์เป็นกรดสามารถไปทำปฏิกิริยากับกระป๋องสังกะสีทำให้เกิดการสุกร้อนและสารเคมีที่อยู่ภายในนั้นสามารถรั่วซึมออกมาสร้างความเสียหายให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า และเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ได้

ข. ถ่านอัลคาไลน์

ถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ ในปัจจุบันมีทั้งแบบใช้แล้วทิ้ง และแบบรีชาร์จที่สามารถอัดประจุไฟซ้ำได้ มีจุดเด่นที่สามารถให้พลังงานได้สูงกว่าถ่านไฟฉายแบบธรรมดา 4 - 9 เท่า (ขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งาน) และมีช่วงอุณหภูมิของการใช้งานกว้างกว่า องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์ไฟฟ้า คือ ใช้เมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เป็นแคโทด ส่วนแอโนดใช้เป็นผงสังกะสี ดังรูปที่ 2.3 และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งเป็นอัลคาไลน์ที่มีฤทธิ์เป็นเบสแทนสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ที่เคยใช้ในถ่านไฟฉายแบบธรรมดา จึงมีการเรียกชื่อถ่านชนิดนี้ว่า ถ่านอัลคาไลน์

สำหรับถ่านอัลคาไลน์ที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดมีประสิทธิภาพการให้พลังงานสูงกว่าถ่านแบบธรรมดา เนื่องจากได้ผ่านการปรับปรุงและพัฒนาหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นทางเลือกใช้ผงสังกะสีที่มีความบริสุทธิ์สูงหรือเลือกใช้เมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์ซึ่งมีความบริสุทธิ์มากกว่าเป็นส่วนประกอบของถ่านอัลคาไลน์แทนแร่เมงกานีสไดออกไซด์จากธรรมชาติ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของถ่านไฟฉายมีความสม่ำเสมอมากขึ้น รวมทั้งมีการเติมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลงไป เพื่อชะลอการกร่อนของผงสังกะสีด้วย



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์

ที่มา: คัดแปลงมาจาก หลุยส์ เหล็ก, 2548

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ มีดังนี้ (Belardia, G., 2011)

ขั้วแอโนด (Oxidation)



ขั้วแคโทด (Reduction)



ปฏิกิริยารวม



จากสมการดังกล่าว พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งเป็นของแข็ง และแมงกานีส(III) ออกไซด์ (Mn_2O_3) ที่จะไม่สูญหายไปจากถ่านไฟฉาย จึงทำให้ถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์มีอายุการใช้งานที่นานกว่าถ่านไฟฉายแบบธรรมดา

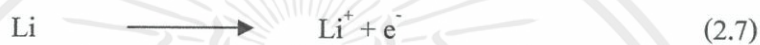
ค. ถ่านลิเทียม

ถ่านลิเทียม เป็นถ่านที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ทำให้มีค่าการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูง หมายความว่ากระแสจะมีการไหลที่ค่อนข้างดีและสม่ำเสมออย่างมาก นิยมใช้กับโทรศัพท์มือถือ ถ่านชนิดนี้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเริ่มตั้งแต่ 1.5 - 4 V ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาเป็นแคโทด ด้วยเหตุที่ลิเทียมเป็นโลหะที่เบาที่สุดเมื่อเทียบกับโลหะอื่น แต่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงที่สุด อีกทั้งสามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้ง่าย ผู้ผลิตจึงนิยมใช้ลิเทียมมาใช้งาน แต่ด้วยลิเทียมเป็นโลหะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำได้ง่ายมาก โดยจะคายความร้อนและได้ก๊าซไฮโดรเจนที่สามารถ

ระเบิดได้เป็นผลิตภัณฑ์ออกมา ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องทำในสภาพสิ่งแวดล้อมที่แห้ง รวมถึงชิ้นส่วนประกอบจะต้องปิดแน่นหนา เพื่อป้องกันไอน้ำในอากาศผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะภายใน สำหรับถ่านลิเทียมนั้นมีองค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์ไฟฟ้า คือ ส่วนแอโนดใช้เป็นลิเทียม ซึ่งการที่ลิเทียมทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี ทำให้ไม่สามารถใช้น้ำเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ได้เหมือนเซลล์ชนิดอื่น ส่งผลให้ถ่านลิเทียมมีความหลากหลายมากกว่าถ่านไฟฉายแบบอื่น ซึ่งถ่านลิเทียมสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ถ่านลิเทียมแคโทดของเหลว, ถ่านลิเทียมแคโทดของแข็ง และถ่านลิเทียมอิเล็กโทรไลต์ของแข็ง

ปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นในถ่านลิเทียม มีดังนี้ (Belardia, G., 2011)

ขั้วแอโนด (Oxidation)



ขั้วแคโทด (Reduction)



ปฏิกิริยารวม



ง. ถ่านนิกเกิล - แคดเมียมหรือนิแคด (Ni - Cd)

ถ่านนิกเกิล - แคดเมียม เป็นถ่านแบบแรกที่อัดประจุไฟซ้ำได้ โดยมีแคดเมียม (Cd) เป็นแอโนด มีนิกเกิล(III)ออกไซด์-ไฮดรอกไซด์ (NiO(OH)) เป็นแคโทด และมีอัลคาไลน์เป็นสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ มีข้อดีคือสามารถจ่ายกระแสได้มาก มีค่าความต่างศักย์ค่อนข้างคงที่ และทนทานต่อการใช้งานหนักได้ดี แต่ในปัจจุบันถ่านประเภทนี้มีการผลิตน้อยลงจนยกเลิกการผลิตในที่สุด เนื่องจากต้นทุนและวัสดุการผลิตแพง และเป็นอันตรายต่อการสูดดมแคดเมียมอีกด้วย

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถ่านนิกเกิล - แคดเมียมหรือนิแคด มีดังนี้ (Green Heart Club, 2555)

ขั้วแอโนด (Oxidation)



ขั้วแคโทด (Reduction)



ปฏิกิริยารวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. ถ่านนิกเกิล - เมทัลไฮไดรด์ (Ni - MH)

ถ่านนิกเกิล - เมทัลไฮไดรด์ เป็นถ่านที่ผลิตขึ้นเพื่อให้แทนถ่านนิกเกิล-แคดเมียมหรือนิแคด เนื่องจากปัญหาเรื่องสารพิษหรืออันตรายจากการสูดดม จึงมีการพยายามใช้วัสดุหลากหลายชนิดในการนำมาทดแทนแคดเมียมซึ่งเป็นอันตราย แต่คุณภาพต้องไม่แย่ลงหรือต้องดีขึ้นกว่าเดิมได้มาเป็นถ่านนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้เป็นแคโทด แอโนด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์คือ Hydrogen storage metal alloy, Ni และ KOH ตามลำดับ (หญิงเหล็ก, 2548)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถ่านนิกเกิล - เมทัลไฮไดรด์ มีดังนี้ (Belardia, G., 2011)

ขั้วแอโนด (Oxidation)



ขั้วแคโทด (Reduction)



ปฏิกิริยารวม



2.1.2 อันตรายจากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ

ความเป็นพิษและอันตรายนั้นมาจากถ่านไฟฉายมาจากสารที่ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉาย โลหะหนักและสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนแล้วให้กระแสไฟฟ้าออกมาที่บรรจุอยู่ในถ่านไฟฉายชนิดต่างๆ นั้น หากไม่ได้รับการใช้และจัดการอย่างถูกวิธีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำในผิวดิน และในบรรยากาศแล้วแพร่สู่คน, พืช และสัตว์ก็มีสูง ซึ่งโลหะหนักหรือสารที่ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉายที่สำคัญ ได้แก่ ปรอท แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม และนิกเกิล หากเข้าสู่ร่างกายก็จะเกิดการสะสมและส่งผลร้ายต่อร่างกายหลายประการ รวมทั้งการกำจัดถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพหากนำไปกำจัดไม่ถูกวิธี จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้าน กล่าวได้ดังนี้ (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2553)

1. ทำให้เกิดการเจ็บป่วยอย่างเฉียบพลันหรือเรื้อรังในคน สืบเนื่องมาจากการสัมผัสกับ

สารพิษจากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งมักพบในโรงงานที่ประกอบการในโรงงานผลิตถ่านไฟฉายและแบตเตอรี่ หรือโรงงานเก็บขยะมูลฝอยและชาวบ้านที่มาดูคู้ขยะ โดยสารพิษเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเอาฝุ่นละอองและ

ไอร่หะเหยเ่ห้เ่ไป การกินอาหารที่มีสารค้ดงกล่าวปนเป้เอน และการส้ผ้สแล้วซ้มเ่ห้สู้ทางผ้วหน้งได้ อี้กค้วย

2. หากขยะมีพ้ชถูคน้าไปฝ้งกลบ ทำให้เก้ดการปนเป้เอนในค้น น้าได้ค้น และแห่ล่งน้า ผ้วค้นโกล้เล่ียงแห่ล่งน้าที่ใ้ซู่ปโกลบรโกลค้นคร้วเร่เอน ส่วนใหญ่มาจากการท้งถ่่านไฟฉาย ที่ใ้แล้ว ทำให้สารพ้ชค้ดงกล่าวปนเป้เอนล่งในค้น เมื่อฝนค้กน้าจะชะสารพ้ชที่ปนเป้เอนซ้มผ้่านซ้้น ค้นและแห่ล่งน้าส่งผ้่านไปย้งพ้ช และล้งมีช้วดในระบบน้เวศค้ต่อไป

3. หากขยะมีพ้ชถูคน้าไปเห่ารวมก้บขยะมูลฝอยท้ว้ไปในที่ล้่ง ทำให้เก้ดภาวะมลพ้ช ทางอากาศจากการแพ่รกระจายของฝุ่นละอองและไอร่หะเหยของสารพ้ช ทำให้เก้ดมลพ้ชทาง อากาศ ส่งผลค้ต่อประชาชนที่อาศัยอยู่บร้เวณโคยรอบสถานที่ก้าจัดขยะ

สำหรัลโหะหน้กหรือสารที่ใ้ในการผล้ดถ่่านไฟฉายที่สำคัญ ได้แก่ พรอท (Hg) แมงกานี้ส (Mn) ส้งกะล้ (Zn) แคดเม่ยม (Cd) และน้กเก้ล (Ni) ค้ือ กลุ่มธาตุที่อยู่ในกลุ่ม โลหะทรานซ้ช้ัน (Transition metals) ช้้งธาตุและสารประกอบของโหะหน้กบางชนิดเป็นพ้ชค้่อ ล้งมีช้วด สารประกอบของโหะหน้กเป็นสารที่ค้งค้วไม่สามารดเปล่ยนเปล่งได้ย้งใน กระบวนการทรรมชาติ ช้้งมีบางส่วนค้ดตะกอนสะสมอยู่ในค้น ค้นตะกอนที่อยู่ใ้ในน้า รวมถึงการ สะสมอยู่ในส้ค้ว้น้า โลหะหน้กมีท้งหมค้ 22 ชนิด ช้้งแต่ละชนิดจะมีพ้ชแตกค้่างกันไป ณ ที่น้ี้จะ กล่าวถ้ถึงพ้ชของโหะหน้กที่อาจเจ้อปนในการผล้ดถ่่านไฟฉาย ค้งน้ี้

ปรอท

ปรอทเป็นโหะชนิดเค่ยวที่มีสถานะเป็นของเหลวในอุณหภูมิปกติและสามารดระเหย กลายเป้เนอไอได้ ไอของปรอทสามารดเ่ห้สู้ร่างกายทางการหายใจได้เก้อบ 100 % เมื่อไอของปรอท เ่ห้สู้ร่างกายทางการหายใจจะค้ดซ้มเ่ห้สู้กระแสเล่ือด และแพ่รกระจายอย้างรวดเร่้วไปสะสมใน เนื้อเย่ื่อส่วนค้่างๆ มากกว้่า 75 - 80 % เช่น ค้วอย้างการปนเป้เอนสารประกอบของปรอทล่งสู้อ้วมมี นามาตะเนประเทศญ้ี่ปุ่น ทำให้ปรอทเ่ห้สู้ห้วงโซ่อาหารผ้่านทางส้ค้ว้น้า ส่งผลกระทบค้่อ ชาวประมงเก้ดเป้เนอโรคพ้ชของปรอทหรือเร่ยกอี้กอย้างหน้งว่า โรคม้ินามาตะ แต่ถ้าอยู่ในรูปของ เกลือปรอทอนนทร้ย้สามารดเ่ห้สู้ร่างกายทางการกินและส้ผ้สทางผ้วหน้ง ส่วนสารประกอบ อนนทร้ย้สามารดเ่ห้สู้ร่างกายได้ทางการกินและหายใจ และเป็นสาเหตุการเก้ดโรคพ้ชปรอทจาก

เอกสารน้ี้เป็นเอกสารที่ค้งวานใ้สำหรัการใ้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาคใ้น้าไปใ้ประโยชใ้ด้านการค้่า ล้งแหวค้ล้อมมากท้สุด โดยมักเก้ดผ้่านกระบวนการห้วงโซ่อาหารและสามารดค้ดซ้มจากทางค้น

ไม่ว่ากรณ้ใดๆท้งสน อี้กท้งหน้ามมีให้ค้ดเปล่งน้ือหา และค้องอ้างองถ้งเจ้าชองเอกสารท้กคร้งท้มีการน้าไปใ้ อาหารเ่ห้สู้ร่างกายได้มากกว่า 90 % ช้้งเป็นสาเหตุทำให้ประชาชนป้วยเป้เนอโรคม้ินามาตะเป้เนอ

จำนวนมาก ค่าครึ่งชีวิตของปรอทในร่างกายประมาณ 60 วัน ส่วนปรอทที่สะสมในสมองจะมีค่าครึ่งชีวิตที่นานกว่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

สำหรับโลหะปรอทจะไม่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อโดยตรง แต่จะเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ Hydrogen peroxide catalase ในเม็ดเลือดแดง ทำให้ Hg^0 เปลี่ยนเป็น Hg^{2+} ซึ่งก่อให้เกิดพิษสภาพในส่วนต่างๆ ของร่างกายโดยรวมกับโปรตีนในไต และตับทำให้โปรตีนต่างๆ ถูกเปลี่ยนสภาพไปและไม่สามารถกลับไปเป็นโปรตีนตัวเดิมอย่างถาวร จึงรบกวนการทำงานของเอนไซม์ใน microsome และ mitochondria ทำให้เนื้อเยื่อขาดเจ็บและตาย แต่ในรูปของเกลือปรอทอนินทรีย์มีฤทธิ์กัดกร่อน ซึ่ง Hg^{2+} มีฤทธิ์กัดกร่อนมากกว่า Hg^+ ทำให้เกิดแผล และเลือดออกในทางเดินอาหาร รวมทั้งก่อให้เกิดอาการท้องร่วงได้ หลังจากเกลือปรอทอนินทรีย์ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วมีการแพร่ผ่านเข้าสู่สมอง นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดพิษต่อไตอีกด้วย ส่วนสารประกอบปรอทอนินทรีย์ถูกดูดซึมจากลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด แล้วแพร่ผ่านเข้าสู่เม็ดเลือดแดงผ่านเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางอย่างช้าๆ ดังนั้น อาการผิดปกติของระบบประสาทจากพิษปรอทอนินทรีย์ จึงเริ่มปรากฏขึ้นเมื่อผู้ได้รับพิษนานกว่า 2 สัปดาห์ โดยก่อให้เกิดพิษสภาพต่างๆ ในระบบประสาทส่วนกลางได้ด้วยกลไกหลายอย่าง เช่น การรบกวนเมตาบอลิซึมของการสังเคราะห์โปรตีนในระดับเซลล์ Deoxyribonucleic Acid (DNA), Ribonucleic Acid (RNA) การรบกวนสมดุลแคลเซียมและทำให้เนื้อเยื่อสมองขาดเจ็บจากระบวนการออกซิเดชัน เป็นต้น นอกจากนี้สารประกอบปรอทอนินทรีย์ยังสะสมในเส้นผม ซึ่งทำให้สามารถนำเส้นผมไปวิเคราะห์หาระดับปรอทได้ (สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9, 2555)

แมงกานีส

การใช้ประโยชน์ของแมงกานีสในการผลิตถ่านไฟฉาย จะใช้ประโยชน์ในรูปของแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งแมงกานีสไดออกไซด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางการหายใจ ทางผิวหนัง และทางตา ซึ่งทางการหายใจเกิดจากการหายใจเอาไอระเหยของแมงกานีสไดออกไซด์เข้าไป ทำให้เกิดอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่หรือไซ้ที่เกิดจากการสัมผัสไอของโลหะ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจได้ ทางผิวหนังเกิดจากการสัมผัสถูกผิวหนังทำให้เกิดอาการคันตามผิวหนังที่ได้รับสัมผัส ส่วนทางตาเกิดขึ้นจากการสัมผัสถูกตาทำให้เกิดการระคายเคือง ผื่นแดง เจ็บปวด อาจทำให้ตาบอดได้ สำหรับการเกิดพิษจากแมงกานีส ส่วนใหญ่เป็นพิษเรื้อรัง คือรับสารพิษจากแมงกานีส โดยการสัมผัสทางการหายใจเป็นเวลานานๆ ทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยในระยะเริ่มต้นจะมีอาการปวดศีรษะ ง่วงนอน อ่อนเพลีย เชื่องซึมและขาไม่ค่อยมีแรง กล้ามเนื้อหดเกร็งขณะเดินหรือเคลื่อนไหว ผู้ป่วยจะมีอาการคล้ายกับโรค Parkinson กรณีที่มีอาการรุนแรงส่งผลให้มีอาการผิดปกติทางจิตได้ คือ อารมณ์แปรปรวน จิตใจไม่สงบ และประสาทหลอน

สังกะสี

สังกะสีที่ใช้ในการผลิตถ่านไฟฉาย ใช้เป็นวัสดุทำกล่องไฟฉาย และใช้ส่วนประกอบในผงถ่านไฟฉาย โดยปกติแล้วสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับคนและสัตว์ แต่สารประกอบของสังกะสีบางตัวอาจเป็นพิษ แต่จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขับออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว สำหรับโรคจากการแพ้พิษสังกะสีที่พบบ่อยๆ มี 3 ประเภท ได้แก่ การแพ้พิษสังกะสีออกไซด์ การแพ้พิษสังกะสีคลอไรด์ และการแพ้พิษสังกะสีโครเมต

1) การแพ้พิษสังกะสีออกไซด์ เมื่อสัมผัสผิวหนังทำให้รูขุมขนของต่อมไขมันอุดตัน ทำให้กลายเป็นตุ่มใสๆ ขึ้นมา มีอาการคันมาก เมื่อเกาจะอักเสบและกลายเป็นตุ่มหนองได้ การสูดหายใจเอาฟุ้งของสังกะสีเข้าไปทำให้เกิดอาการแบบไข้หวัดใหญ่เริ่มด้วยอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ ไอ เหนื่อย เหนือออก ซึ่งมักเกิดขึ้น 4 - 12 ชั่วโมงหลังการสัมผัส ตามมาด้วยอาการมีไข้สูง เหนือออก และหนาวสั่น อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติภายใน 1 - 2 วัน แต่เมื่อเริ่มได้รับสัมผัสอีก อาการจะไม่รุนแรงเท่ากับครั้งแรกที่สัมผัส

2) การแพ้พิษสังกะสีคลอไรด์ สังกะสีคลอไรด์มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรง การสัมผัสทางผิวหนัง ทำให้ผิวหนังเกิดบาดแผลได้ การสัมผัสสังกะสีคลอไรด์บริเวณตา เยื่อบุผิวจมูก คอ หลอดลม ปอด ทำให้เกิดการกัดกร่อน และระคายเคืองในความรุนแรงต่างกัน ในรายที่รุนแรงทำให้ปอดบวมมีน้ำคั่งในปอดอาจถึงแก่ความตายได้ การกินเข้าไปจะกัดกร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหาร และกระเพาะอาหาร ทำให้มีอาการอักเสบและปวดอย่างรุนแรง เมื่อหายแล้วทำให้ทางเดินอาหารตีบตันได้

3) การแพ้พิษสังกะสีโครเมต เชื่อว่าสังกะสีโครเมตเป็นสารก่อมะเร็งในคน

แคดเมียม

การเกิดพิษเฉียบพลันของแคดเมียมเกิดจากการได้รับแคดเมียมจากการปนเปื้อนในน้ำดื่มที่มีความเข้มข้นมากกว่า 15 $\mu\text{g/L}$ หรือการกินอาหารที่มีแคดเมียมปนเปื้อน 30 μg เข้าไป ทำให้เกิดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้อาการของอาหารเป็นพิษ ประกอบด้วยอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง และท้องเดิน บางรายอาจมี

ท้องเดินรุนแรงและหมดสติตามมา ส่วนพิษเรื้อรังเกิดจากการสัมผัสแคดเมียมเป็นระยะเวลานาน การเกิดพิษจากการสูดหายใจเอาฟุ้งหรือฝุ่นของแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายอาจเกิดอาการเฉพาที่หรือทั่วไป เช่นการสูดหายใจเอาแคดเมียมที่มีความเข้มข้นสูงในอากาศ ทำให้เกิดอาการเฉพาที่ปอด ทำให้เกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โดยเฉพาะโรคถุงลมโป่งพอง เกิดเลือดจางเนื่องจากเม็ดเลือดแดงถูกทำลายเพิ่มขึ้นร่วมกับการขาดธาตุเหล็ก บริเวณรอบคอมีลักษณะเป็นวงสีเหลืองและจุมูกไม่ได้กลิ่น แต่การสูดหายใจเอาแคดเมียมที่มีความเข้มข้นน้อยในอากาศเป็นระยะเวลานานๆจะเป็นพิษต่อไต สำหรับแคดเมียมเมื่อถูกซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกนำไปที่ตับและรวมตัวกับโปรตีนสะสมที่ตับและไต ไม่พบการทำลายที่ตับ แต่ไตเป็นอวัยวะเป้าหมายของการเกิดพิษเรื้อรัง ความเข้มข้นของแคดเมียมที่รวมตัวกับโปรตีนจะถูกสะสมในไตเพิ่มขึ้นๆ หลังจากสัมผัสแคดเมียมอย่างน้อย 6 - 10 ปี ผู้ป่วยจะเกิดอาการไตวายเนื่องจากหลอดไตส่วนต้นไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ โรคไตซึ่งเกิดจากการแพ้พิษแคดเมียมนี้ไม่สามารถจะรักษาให้กลับมาสู่ภาวะปกติได้แม้ว่าผู้ป่วยจะหยุดการสัมผัสกับแคดเมียมแล้วก็ตาม ความเป็นพิษจากการกินอาหารและน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียมทำให้เกิด โรคอิไต - อิไต (itai - itai หมายถึงความเจ็บปวดในภาษาญี่ปุ่น) เป็นโรคกระดูกชนิดหนึ่งที่มีความเจ็บปวดบริเวณหลังและขา ในอดีตพบการระบาดในประเทศญี่ปุ่น โดยเกิดกับชาวบ้านที่อาศัยอยู่ริมแม่น้ำจินสุ ที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่มีความเข้มข้นสูงจากการทำเหมืองแร่สังกะสี (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

นิกเกิล

นิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยทางการหายใจและทางปาก เมื่อนิกเกิลเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ มักพบนิกเกิลสะสมอยู่ที่ปอดมากที่สุด และกระจายไปสะสมที่กระดูก ต่อมไทรอยด์ ต่อมหมวกไต ไต หัวใจ ตับ ม้าม และตับอ่อน รวมทั้งสามารถผ่านรกจากมารดาไปยังทารกในครรภ์ได้ด้วย ส่วนกรณีที่ได้รับนิกเกิลทางการกิน ประมาณ 1 - 5 % ของนิกเกิลถูกดูดซึมผ่านลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดแล้วจับกับอัลบูมินในพลาสมาเป็น nickelplasmin นิกเกิลมีค่าครึ่งชีวิตในซีรัม 11 ชั่วโมงหลังจากกินเข้าไป และ 20 - 30 ชั่วโมงภายหลังจากหายใจเข้าไป ส่วนใหญ่นิกเกิลถูกกำจัดออกจากร่างกายทางปัสสาวะภายใน 17 - 30 ชั่วโมง นิกเกิลบางส่วนถูกขับออกจากร่างกายทางน้ำย่อยจากตับอ่อน น้ำดีและเหงื่อ สำหรับการเกิดพิษเฉียบพลันของนิกเกิล ในระยะแรก ผู้ป่วยมักเริ่มมีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย แน่นหน้าอก นอนไม่หลับ และหงุดหงิดง่าย แต่ไม่ปรากฏใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้อาคารระยะแรกดังกล่าวมักพบทุเลาลง หลังจากนั้น 12 ถึง 36 ชั่วโมงต่อมาจะมีอาการรุนแรงมากขึ้น

คล้ายอาการ โรคปอดบวม บางครั้งเกิดโรคสมองซึ่งทำให้เสียชีวิตได้ ส่วนพิษเรื้อรังนั้นเกิดจากการสัมผัสกับนิกเกิลเรื้อรังเป็นเวลานานๆ ก่อให้เกิดอาการต่างๆ ตามระบบของร่างกาย ดังนี้ เช่น เกิดโรคผิวหนังอักเสบจากการสัมผัสนิกเกิล คือ nickel itch โดยเมื่อเป็นไปนานๆ จะเกิดเป็นผื่นหนาและอาการรุนแรงมากขึ้นในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากอากาศร้อน มีเหงื่อออกมาก การหายใจเอาไอควันทึมนิกเกิลเข้าไปก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจส่วนบน เช่น โพรงอากาศข้างจมูกอักเสบ ริดสีดวงจมูก ผื่นกลางจมูกทะเลดู ภาวะไม่รู้สึกคัน และเกิดโรกระบบทางเดินหายใจส่วนล่างหรืออาจทำให้เยื่อตาอักเสบได้ และนิกเกิลทำให้เกิดมะเร็งปอดและมะเร็งโพรงอากาศข้างจมูก นอกจากนี้สารประกอบนิกเกิลอาจทำให้เกิดมะเร็งกล่องเสียง มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งไตได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

2.2 การจัดการถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ

ในองค์ประกอบของถ่านไฟฉายซึ่งที่กล่าวมาแล้วมีองค์ประกอบที่เป็นโลหะหนัก หลังจากที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพจึงถูกจัดเป็นขยะอันตรายหรือขยะมีพิษ การกำจัดอาจทิ้งลงในขยะที่ทิ้งร่วมกับขยะทั่วไป ซึ่งขยะอันตรายอย่างถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพหากถูกกำจัดโดยการฝังกลบจะเกิดการทับถมของโลหะหนักปนเปื้อนลงในดิน หรือลอยขึ้นสู่อากาศเป็นสารพิษที่ทำอันตรายทั้งต่อคนและสัตว์ อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว นอกจากผงถ่านที่รวมถึงสารปรอท สังกะสี แคดเมียม และแมงกานีสจากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วสามารถนำไปรีไซเคิลผลิตมาใช้ได้ใหม่ได้ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีกรรวบรวมถ่านไฟฉายเก่ามาผลิตซ้ำเพราะไม่คุ้มทุน จึงหวังว่าในอนาคตเราจะสามารถนำถ่านไฟฉายเก่ามาผลิตซ้ำได้ ซึ่งนั่นก็หมายถึงการลดขยะถ่านไฟฉายลงไปได้มากในระดับหนึ่งเลยทีเดียว

2.2.1 การทิ้งขยะอันตรายหรือขยะมีพิษ

ขยะอันตรายหรือขยะมีพิษ คือ ขยะหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว, ผลิตภัณฑ์เสื่อมสภาพ หรือภาชนะบรรจุต่างๆ ที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุ สารเคมีอันตรายชนิดต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นสารพิษ สารไวไฟ สารเคมีที่กัดกร่อนได้ สารกัมมันตรังสี และเชื้อโรคต่างๆ ที่ทำให้เกิดอันตรายแก่คน สัตว์ พืช ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบตเตอรี่ ภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสีหรือสารเคมี เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วขยะมีพิษ ที่เกิดไม่ผ่านการบำบัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม จะถูกจัดเก็บไปเพื่อทำลายตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกากอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2535 แต่

สำหรับสถานประกอบการที่เป็นสำนักงาน สถานประกอบการประเภทพาณิชยกรรม และครัวเรือน นั้น ยังไม่มีกฎหมายฉบับใดที่กำหนดมาเพื่อการควบคุมเป็นการเฉพาะ ดังนั้นขยะมีพิษส่วนใหญ่ที่เกิดจากสำนักงาน ร้านค้า และครัวเรือน จะถูกทิ้งปะปนกับขยะทั่วไป และนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี ทำให้สารพิษจากขยะมีพิษดังกล่าวปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เช่น ดิน แหล่งน้ำ และอากาศ ทำให้เกิดมลพิษ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2554)

ผลกระทบจากการไม่แยกทิ้งขยะอันตราย

ปัจจุบันมนุษย์เรามีพฤติกรรมการทิ้งของเสียอันตรายจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วต่างๆ รวมไปกับขยะมูลฝอยทั่วไป ซึ่งเกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ โดยเฉพาะของเสียอันตรายจำพวกถ่านไฟฉาย เนื่องจากมีขนาดเล็กและผู้คนส่วนใหญ่ไม่ได้นึกถึงสารเคมีที่มีอยู่ภายในถ่านไฟฉายหรือความเป็นพิษ ยึดถือแค่ความสะดวกสบายเป็นหลัก ทำให้ถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วเกิดเป็นปัญหาขึ้นมาทั้งทางตรงและทางอ้อมและยังไม่มีหน่วยงานใดสำรวจข้อมูลนี้อย่างจริงจัง ซึ่งการที่เราทิ้งขยะอันตรายร่วมกับขยะทั่วไป ขยะอันตรายจะถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพดังที่กล่าวไปแล้วในข้อ 2.1.2 ว่า ถ้าหากขยะมีพิษถูกนำไปเผาในที่โล่ง ทำให้เศษฝุ่น ควัน และสารพิษจากขยะอันตรายปนเปื้อนสู่อากาศ ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม และระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ หรือหากขยะมีพิษถูกนำไปฝังกลบ ทำให้สารพิษจากขยะซึมออกมาจากบ่อฝังกลบลงสู่พื้นดิน และแหล่งน้ำ ซึ่งจะถูกลดซึมเข้าสู่สัตว์น้ำ พืชผัก และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในที่สุด

2.2.2 การช่วยลดปริมาณการใช้ถ่านไฟฉายด้วยแนวคิด 5 R

การกำจัดถ่านไฟฉายในแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ฉะนั้นควรเลือกริธีที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ โดยกระทำควบคู่กันไปทั้งการลดปริมาณถ่านไฟฉาย, การนำกลับไปใช้ใหม่ และการกำจัดถ่านไฟฉาย สิ่งสำคัญที่ควรได้รับการส่งเสริมให้มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน คือ การลดปริมาณถ่านไฟฉาย ซึ่งมีแผนหรือแนวคิด 5 R เช่น Reduce, Reject และ Recycle เป็นการลดปริมาณขยะประเภทถ่านไฟฉาย คือ เลือกใช้ถ่านไฟฉายแบบที่สามารถชาร์จไฟซ้ำได้แทนถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้วทิ้ง การเลือกใช้ถ่านไฟฉายที่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

(No Mercury Added) และนำถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับไปใช้ใหม่เช่นเดียวกับโรงงานพิเศษนี้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีการช่วยลดปัญหาขยะอันตรายหรือขยะมีพิษ

1) เลิกหรือเลี่ยงการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดขยะมีพิษ คือ เลิกหรือเลี่ยงการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารอันตราย เช่น ถ่านนิกเกิล แคดเมียม หรือถ่านราคาถูกที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยเลือกใช้ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านไฟฉายชนิดอัดประจุได้ ที่ระบุข้อความ NO MERCURY ADDED แทน หรือใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานยาวนาน เช่น ถ่านไฟฉายชนิดอัดประจุได้

2) คิดก่อนทิ้ง และทิ้งอย่างระมัดระวัง คือ ก่อนทิ้งควรพิจารณาขยะในมือของท่านว่าเป็นขยะที่ก่อให้เกิดอันตรายหรือมีพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ ขยะอันตรายควรแยกประเภทไม่เทรวมกัน โดยเก็บไว้ในภาชนะที่มีฉลากให้พื้นมือเด็ก แล้วนำไปทิ้งในภาชนะหรือสถานที่ที่กำหนดเพื่อรอการเก็บรวบรวมและนำไปกำจัดอย่างปลอดภัย

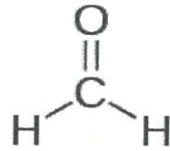
3) แยกทิ้งให้ถูกต้อง คือ ทิ้งถ่านไฟฉายหรือแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ในถังรองรับขยะอันตรายที่มีสีแดงเท่านั้น ไม่ทิ้งขยะอันตรายปะปนไปกับขยะทั่วไป และไม่นำไปเผา ฟังดิน หรือทิ้งลงท่อระบายน้ำ เพราะจะทำให้สารพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้

4) ติดต่อหน่วยงานที่มีหน้าที่กำจัดขยะมูลฝอย เพื่อรับขยะอันตรายเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี

2.3 ฟอรัมาลดีไฮด์

ฟอรัมาลดีไฮด์เป็นสารประกอบอินทรีย์ ปกติจะอยู่ในรูปก๊าซไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีกลิ่นฉุนรุนแรง ชื่อทางเคมีตามระบบการเรียกชื่อ IUPAC คือ Methanal ชื่อเคมีทั่วไป คือ Formaldehyde สูตรโมเลกุลของสารประกอบฟอรัมาลดีไฮด์ คือ HCHO และมีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.4 ฟอรัมาลดีไฮด์ที่ใช้ในทางการค้าอยู่ในรูปของสารละลายน้ำภายใต้ชื่อน้ำยาฟอรัมาลีน “ฟอรัมาลีน-ฟอรัมาลดีไฮด์” ทั้งสองตัวนี้ในทางเคมีคือสารตัวเดียวกัน เพียงแต่ว่าเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายจะเรียกว่า “ฟอรัมาลีน” ซึ่งเป็นชื่อที่เราคุ้นๆ กันดี ก็คือ น้ำยาดองศพนั่นเอง นอกจากนี้ยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรมไม้ เรซิน โฟม พลาสติก กระจก และยังพบได้ในห้องปฏิบัติการทางเคมีทั่วไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

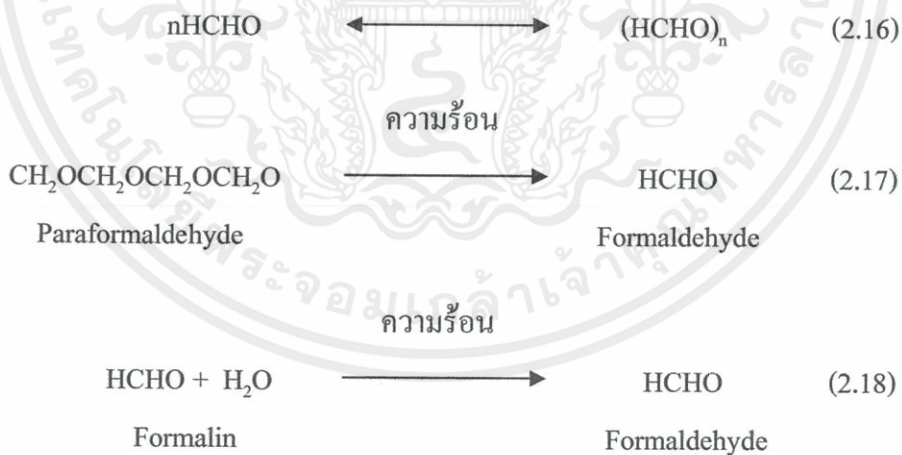
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของฟอร์มัลดีไฮด์

โดยปกติสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์จะไม่เสถียรเมื่อเก็บไว้นาน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะกลายเป็นกรดฟอร์มิก หรือแม้ว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะลดความเป็นกรด แต่ก็เกิดเป็นพาราฟอร์มัลดีไฮด์แทน ซึ่งจะตกตะกอนออกมา พาราฟอร์มัลดีไฮด์เป็นพอลิเมอร์ตัวหนึ่งของฟอร์มัลดีไฮด์ หรือสามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า พาราฟอร์มหรือพอลิซีเมทิลีน มีลักษณะเป็นของแข็งเมื่อผสมกับพาราฟินร้อนจะปล่อยก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาแล้วสามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคได้ ดังนั้นจึงมีการเติมสารยับยั้งหรือที่เรียกว่าสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้คงตัว (Stabilizer) เช่น เมทานอล 5-15 % ลงไป เพื่อป้องกันการเกิดตะกอนของพาราฟอร์มัลดีไฮด์

ในการเกิดพอลิเมอร์นี้ สามารถมีปฏิกิริยาย้อนกลับได้กับพวกฟอร์มัลดีไฮด์ ดังสมการที่ 2.16 - 2.18 (คมกริช, 2551)

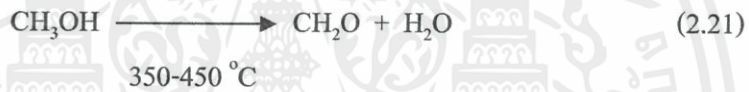
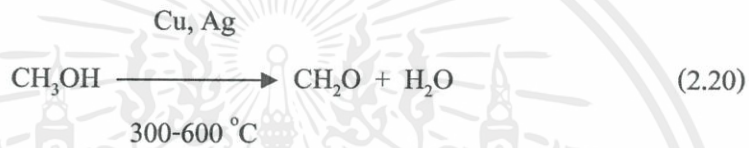
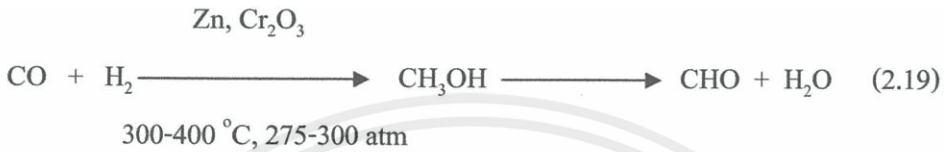


ไอรระเหยของฟอร์มัลดีไฮด์จะทำให้ระคายตา จมูก และผิวหนัง ทำให้เป็นแผลหรือถึงขั้น

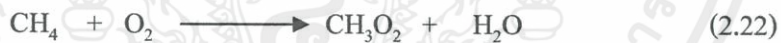
ตาบอด ถ้าสูดดมเข้าไปมากๆ จะทำให้น้ำท่วมปอดจนหายใจไม่ออก แน่นหน้าอก และตายในที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อาการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นหลังจากได้รับสารหลายชั่วโมงโดยไม่มีอาการเจ็บปวดเลยก็ได้ หากได้รับไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ปริมาณน้อยเป็นเวลานาน จะมีอาการไอและหายใจติดขัดเพราะหลอดลมอักเสบ เป็นต้น

2.3.1 การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของฟอร์มัลดีไฮด์

การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศของฟอร์มัลดีไฮด์ มีได้ทั้งการรั่วไหลจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และจากการกระทำของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตฟอร์มัลดีไฮด์โดยการออกซิไดซ์เมทานอลในอากาศ ซึ่งเมทานอลที่ใช้เตรียมจากก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการที่ 2.19 - 2.21 (Karol Hensel, 2005)



นอกจากนี้การเกิดฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะบรรยากาศทั่วไปสามารถเกิดได้จากการออกซิไดซ์มีเทนในอากาศโดยมีแสงเป็นตัวเร่ง ดังสมการที่ 2.22 - 2.26 (Karol Hensel, 2005)



เมื่อมีแสงแดด หรือรวมกับกลุ่มไฮดรอกซิล สามารถเกิดปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ได้ดัง

สมการที่ 2.27 - 2.29 (Karol Hensel, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





จากสมการจะเห็นได้ว่า เกิดสารประกอบ CO ขึ้นมา ซึ่ง CO นี้เป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ และฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศที่เป็นสารตั้งต้น โดย HCO[·] ที่แตกตัวออกมาสามารถก่อให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบพวกหม้อกอื่นๆได้ รวมทั้งยังสามารถเข้าจับกับไอออนของโลหะจำพวก Cl⁻, Mn⁻, Br⁻ ได้เช่นกัน

นอกจากนี้ฟอร์มาลดีไฮด์สามารถสลายตัวเป็นกรดฟอร์มิกได้โดยทำปฏิกิริยากับโอโซนเกิดการออกซิไดซ์เปลี่ยนโครงสร้างของฟอร์มาลดีไฮด์เป็นกรดฟอร์มิก และออกซิเจน ดังสมการที่ 2.30 (Karol Hensel, 2005)



2.3.2 ความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์

ความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ มีฤทธิ์กัดกร่อน ลักษณะอาการขึ้นอยู่กับวิธีการสัมผัส การสัมผัสผ่านทางหายใจเข้าไป ทำให้เกิดอาการ ไอ เจ็บคอ และหายใจติดขัด สัมผัสทางผิวหนัง ทำให้เป็นผื่นแดง ปวดแสบปวดร้อน และผิวหนังไหม้ สัมผัสถูกตาทำให้ตาแดง เจ็บตา และทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจน หากกินหรือกลืนเข้าไปทำให้เจ็บคอ ปวดท้อง และท้องร่วง ในกรณีการสะสมในระยะเวลานานทำให้มีฤทธิ์กัดกร่อนต่อตา ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ การหายใจเข้าไปทำให้ปอดอักเสบ การกลืนกินเข้าไปทำให้ทำลายตับ ไต และหัวใจ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม และเป็นสารก่อมะเร็ง (Dutch Institute for Working Environment and Dutch Chemical Industry Association, 1991) ซึ่งมนุษย์สามารถรับรู้กลิ่นของฟอร์มาลดีไฮด์ได้เมื่ออยู่ในอากาศที่ความเข้มข้น 0.8 ppm (Amoore and Hautala, 2003) โดยพิษเฉียบพลันที่เกิดจากฟอร์มาลดีไฮด์นั้น เกิดจากการถูกสารละลายฟอร์มาลีนกระเด็นเข้าตาทำให้แก้วตาถูกทำลาย ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศระหว่าง 0.1-5 ppm ทำให้แสบตา น้ำตาไหล และระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนต้น ที่ความเข้มข้นสูง คือ 10-20 ppm ทำให้เกิดอาการไอ แน่นหน้าอก หัวใจเต้นเร็ว การได้รับหรือสัมผัสกับฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 50-100 ppm จะทำให้เกิดอาการ pulmonary edema ปอดบวมและตายได้ ส่วนพิษเรื้อรังเกิดขึ้นจากการสัมผัสกับฟอร์มาลดีไฮด์บ่อยๆ ทำให้ผู้นั้นเกิดความไวต่อสารนี้ คือ มีอาการระคายเคืองต่อตา ระบบทางเดินหายใจ หรืออาการ

โรคหอบหืด ถึงแม้ว่าจะสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศที่ปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่คนปกติส่วนใหญ่สัมผัสแล้วไม่มีอาการปฏิกิริยาที่เกิดอาการรุนแรงได้ คือ บวม คัน แน่นหน้าอก และจากการศึกษาของ NIOSH พบว่า ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็งที่โพรงจมูกและมะเร็งอื่นๆ ที่สัตว์ทดลอง

ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สามารถซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างรวดเร็ว แพร่กระจายสู่สมอง หัวใจ ตับ และไตที่สุดจะไปสู่ไตเพื่อขับถ่ายออกมา ถ้าร่างกายได้รับไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์เกิน 0.1 ppm จะสร้างความระคายเคืองทั้งต่อเยื่อตา เยื่อบุจมูก และทางเดินหายใจ กรณีที่ได้รับความเข้มข้นสูงมากๆ ตั้งแต่ 100 ppm ขึ้นไป อาจทำให้เสียชีวิตได้ แต่หากมีการสัมผัสสารละลายโดยตรงทางผิวหนังทำให้ผิวหนังอักเสบเกิดอาการคันทันที โดยการสัมผัสสารระเหยฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้เกิดอาการต่างๆอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มอาการ ได้ 2 แบบ คือ กลุ่มแรก ก่อให้เกิดอาการเฉียบพลัน คือ แสบตาและระคายเคืองในทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการอักเสบ มีอาการไอ แน่นหน้าอก หอบคล้ายเป็นหืด อาจถึงขั้นเป็นปอดอักเสบ หรือปอดบวมน้ำเย็บพลัน และกลุ่มที่สอง ก่อให้เกิดอาการพิษเรื้อรังได้แก่ โรคมะเร็งโพรงจมูก มะเร็งคอหอยส่วนจมูก และทำให้เกิดอาการระคายเคืองอย่างมากต่อผิวหนัง (มินตรา, 2552) ฟอร์มาลดีไฮด์จึงเป็นสารมลพิษในอากาศที่มีการศึกษาวิจัยกันมากมาย โดยศึกษาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ และหาวิธีการบำบัดให้เหมาะสมเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

2.3.3 ค่ามาตรฐานและคำแนะนำในบรรยากาศการทำงาน

เนื่องจากความเป็นพิษของฟอร์มาลดีไฮด์ จึงมีหลายหน่วยงานกำหนดค่ามาตรฐานของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ ดังนี้

ก. สำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (Occupation Safety and Health Administration, OSHA) กำหนดค่ามาตรฐานให้มีฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงานเฉลี่ยได้ไม่เกิน 0.75 ppm ตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง หรือมีปริมาณสูงสุดได้ไม่เกิน 2 ppm ในการสัมผัสเวลาสั้นๆ 15 นาที

ข. สถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) แนะนำให้มีฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงานได้ไม่เกิน 0.1 ppm ในเวลาใดก็ได้เมื่อมีการเก็บตัวอย่างอากาศนาน 15 นาที และไม่เกิน 0.016 ppm ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง

ค. องค์การอิสระของสหรัฐอเมริกาที่ทำงานในด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (A committee of American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH) แนะนำให้มีฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงานสูงสุดได้ไม่เกิน 0.3 ppm ไม่ว่าจะเป็นเวลาใด

ง. สำหรับในประเทศไทย ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย (พ.ศ. 2520) เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) กำหนดให้มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในบรรยากาศการทำงานเฉลี่ยได้ไม่เกิน 3 ppm ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2546)

2.4 การควบคุมมลพิษทางอากาศ

ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นมลพิษทางอากาศที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์และสารละลายฟอร์มาลีนเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ดวงตา เป็นสารไวไฟ และที่สำคัญยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการแพร่กระจายและกำจัดไอระเหยก่อนออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อลดปัญหามลพิษทางอากาศ

การควบคุมมลพิษที่ดีที่สุด คือการป้องกันไม่ให้มีก๊าซพิษเกิดขึ้น แต่เมื่อมีก๊าซพิษเกิดขึ้นแล้วต้องหาวิธีบำบัดให้มีปริมาณน้อยลง และลดความเป็นพิษจนไม่เป็นอันตรายหรือไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้น การควบคุมก๊าซพิษที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ ทำได้ 2 วิธี คือ

1. การควบคุมมลพิษโดยการเจือจางในบรรยากาศ วิธีลดความเข้มข้นของสารมลพิษโดยการเจือจาง คือ การใช้ปล่องระบายสารมลพิษที่ออกจากปล่องด้วยความปั่นป่วนของบรรยากาศทำให้เกิดการกระจายตัวของสารมลพิษและเจือจางลง จนเหลือความเข้มข้นน้อยกว่าขีดที่เป็นอันตรายก่อนถึงพื้นดิน ทั้งนี้ ต้องขึ้นกับความสามารถในการรับสารมลพิษของบรรยากาศที่นั้นและเวลานั้น แต่การใช้ปล่องไฟยังไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพมากนักในการลดมลภาวะทางอากาศ

2. การควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิด วิธีการควบคุมสารมลพิษที่แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ การดัดแปลงกระบวนการผลิตพื้นฐานเพื่อให้งานสะอาดขึ้น, เปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าในกระบวนการสันดาป และทำความสะอาดอากาศเสียที่เกิดขึ้นก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งการเลือกวิธีการควบคุมจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารมลพิษที่เกิดขึ้น และกระบวนการที่ทำให้เกิดสารมลพิษในระดับการควบคุมที่ต้องการ

การควบคุมมลพิษทางอากาศแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การควบคุมสารมลพิษที่เป็นฝุ่นและก๊าซ ซึ่งในการควบคุมมลสารที่เป็นก๊าซ ทำได้ 2 วิธี คือ

1. **ใช้ของเหลวหรือของแข็งดูดก๊าซ** เป็นการใช้ของเหลวดูดกลิ่นก๊าซ (Absorption) ทำได้โดยผ่านอากาศที่มีก๊าซพิษอยู่เข้าไปในเครื่องมือที่ทำให้ก๊าซสัมผัสอย่างทั่วถึงกับสารละลายที่สามารถละลายก๊าซพิษนั้นได้ ส่วนการใช้ของแข็งดูดซับ (Adsorption) ก๊าซพิษนั้น เช่น ให้ก๊าซผ่านถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เพื่อกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนที่มีความเข้มข้นน้อยๆ

2. **การทำให้ก๊าซเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี** เช่น โดยการเผาไหม้หรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

2.4.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาค 2 วัฏภาค โดยเกิดที่พื้นผิวสัมผัส ซึ่งเป็นพื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและก๊าซ ของแข็งกับก๊าซ ของแข็งกับของเหลว ของเหลวกับของเหลว สารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในการดูดซับอาจเป็นแรงที่ไม่เจาะจง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์หรือแรงที่มีลักษณะเจาะจง ซึ่งเป็นแรงที่อยู่ในรูปของพันธะเคมี ในการควบคุมมลพิษที่เป็นก๊าซนั้น ก๊าซพิษอาจถูกแยกออกได้โดยการให้ดูดซับติดกับผิวของของแข็ง การดูดซับเกิดขึ้นที่พื้นผิวด้านในของตัวดูดซับด้วยแรงดึงดูดที่เรียกว่า แวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' force) ที่ผิวระหว่างก๊าซกับของแข็งทุกชนิดจะมีแรงดึงดูดนี้เกิดขึ้นแต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทยลักษณะของก๊าซพิษ และของแข็งดูดซับนั้น

สำหรับการควบคุมมลพิษทางอากาศนั้น กระบวนการดูดซับมิใช่เป็นกระบวนการควบคุมขั้นสุดท้าย กล่าวคือก๊าซพิษเพียงแต่ถูกเก็บไว้บนผิวของของแข็งดูดซับเท่านั้น หลังจากนั้นก็ของแข็งดูดซับอิ่มตัวด้วยโมเลกุลของก๊าซแล้วต้องทำการขับโมเลกุลของก๊าซนั้นออกหรือทิ้งของแข็งดูดซับนั้นไป เนื่องจากโมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้มีความเข้มข้นสูงมากจึงอาจทำการขับและนำโมเลกุลของก๊าซนั้นกลับคืนมาได้ง่าย ก่อนกระบวนการดูดซับ โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ในการใช้กระบวนการดูดซับคือเพื่อทำให้อากาศบริสุทธิ์และเพื่อนำตัวทำละลาย (Solvent) ที่ออกไปกับกระแสก๊าซทิ้งกลับคืนมาใช้ใหม่ มีข้อแตกต่างคือ ในกระบวนการดูดซับเพื่อให้อากาศบริสุทธิ์นั้น ความเข้มข้นของก๊าซพิษจะต่ำมาก กล่าวคือ น้อยกว่า 1 ppm แต่ก่อให้เกิดกลิ่นที่รุนแรงมาก หรือเป็นพิษอย่างแรง ส่วนใหญ่แล้วกระบวนการดูดซับที่ใช้เพื่อทำให้อากาศบริสุทธิ์จะเป็นการดูดซับที่ชั้นของตัวดูดซับไม่สูง และเป็นระบบขนาดเล็กๆ เมื่อชั้นของตัวดูดซับอิ่มตัวด้วยโมเลกุลของก๊าซพิษแล้วจะใช้วิธีทิ้งตัวดูดซับนั้นไปแล้วเปลี่ยนตัวดูดซับใหม่เข้ามาใช้แทนที่ แต่ในกระบวนการ

เพื่อนำตัวทำละลายกลับคืนมาต้องใช้ระบบดูดซับที่มีขนาดใหญ่กว่ามากเพื่อควบคุมการระเหยของสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 100 ppm เพื่อให้เกิดความคุ้มทุน

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของการดูดซับสำหรับการควบคุมมลพิษโดยทั่วไปจะใช้ในการควบคุมสารประกอบอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่แล้วสารประกอบอินทรีย์มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 45 ซึ่งถือว่าเป็นตัวถูกดูดซับที่ดี การดูดซับเป็นการใช้การควบคุมการระเหยในหลายตัวทำละลายใช้ในกระบวนการ เช่น การทำความสะอาดแบบแห้ง (dry cleaning) การกำจัดไขมัน (degreasing) การเคลือบผิว (surface coating) กระบวนการผลิตยาง (rubber cleaning) เป็นต้น ระบบการดูดซับใช้ในการควบคุมสารพิษหรือกลิ่นที่ได้จากกระบวนการผลิตอาหาร ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และในหลายๆ กระบวนการทางเคมี เช่น การผลิตยา, การผลิตน้ำมัน เป็นต้น

2.4.2 พฤติกรรมการดูดซับ

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิดคือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) การดูดซับแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) และการดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption)

ก. การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน และยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับชนิดนี้มีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับทำได้ง่าย และการดูดซับอาจเกิดซ้อนกันแบบหลายชั้น (Multilayer)

ข. การดูดซับทางเคมี เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยเกิดเป็นปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรง มีพันธะกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง และมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

ค. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็น ไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงกันข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วย ไอออนของตัวถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ง. การดูดซับแบบเจาะจง เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการ

ดูดซับชนิดนี้มีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

กระบวนการดูดซับทุกแบบเป็นกระบวนการคายความร้อนเพราะว่าในการดูดซับโมเลกุลจะเคลื่อนย้ายจากก๊าซไปที่ผิวของของแข็ง การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของโมเลกุลของก๊าซทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซนั้นให้แก่ตัวดูดซับในรูปของความร้อน ซึ่งในการดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการดูดซับทางกายภาพ, การดูดซับเคมี, การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้นๆ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงกระบวนการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมี ดังนี้

2.4.2.1 กระบวนการดูดซับทางกายภาพ

กระบวนการดูดซับทางกายภาพจะมีแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นเป็นแรงไฟฟ้าสถิต ผลของไฟฟ้าสถิตที่ทำให้เกิดแรงดึงดูดขึ้นอยู่กับความมีขั้วของทั้ง โมเลกุลของก๊าซและ โมเลกุลของของแข็ง ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใด อาจมีขั้วหรือไม่มีขั้วขึ้นอยู่กับ โครงสร้างทางเคมีของ โมเลกุลนั้นๆ สำหรับ โมเลกุลที่มีขั้วการดึงดูดกันและกันเกิดขึ้นได้ เนื่องจากผลของการจัดเรียงตัวของ โมเลกุลที่มีขั้ว 2 โมเลกุล โดยบริเวณที่มีประจุเป็นลบของ โมเลกุลหนึ่งจะพยายามวิ่งเข้าหาบริเวณที่มีประจุเป็นบวกของอีก โมเลกุลหนึ่ง ตัวอย่างของการดูดซับแบบนี้คือ การกำจัดไอน้ำ (โมเลกุลที่มีขั้ว) ออกจาก กระแสก๊าซโดยใช้ซิลิกาเจล (ของแข็งดูดซับที่มีขั้ว)

การดูดซับของ โมเลกุลของก๊าซที่ไม่มีขั้วเกิดขึ้นได้โดยผลของการแพร่กระจาย เมื่อสารที่ไม่มีขั้ว 2 ชนิดเข้าใกล้กันพลังงานที่มีในสารนั้นจะลดลงและมีการแผ่กระจายแสงออกมาจึงได้ชื่อว่าผลของการแพร่กระจาย การดูดซับของไอสารอินทรีย์บนถ่านกัมมันต์เป็นตัวอย่างการดูดซับของ โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

การดูดซับระหว่าง โมเลกุลของก๊าซที่มีขั้วกับ โมเลกุลที่ไม่มีขั้วเกิดขึ้น เนื่องจากผลของการเหนี่ยวนำของ โมเลกุลที่มีขั้วที่สามารถเหนี่ยวนำหรือทำให้ โมเลกุลที่ไม่มีขั้วเกิดมีขั้วขึ้นเมื่อใกล้กัน อย่างไรก็ตาม แรงเหนี่ยวนำนี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลของการจัดเรียงตัวและผลของการแพร่กระจาย ฉะนั้นระบบดูดซับที่มีประสิทธิผลจะอยู่ในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง คือใช้ตัวดูดซับที่มีขั้วเพื่อกำจัดก๊าซพิษชนิดที่มีขั้ว และใช้ตัวดูดซับที่ไม่มีขั้วเพื่อกำจัดก๊าซพิษชนิดที่ไม่มีขั้ว ทั้งนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นานนักให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของก๊าซกับของแข็งดูดซับจะมากกว่าแรงดึงดูดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ระหว่าง โมเลกุลที่เหมือนกันในวัฏภาคก๊าซนั้น

2.4.2.2 กระบวนการดูดซับทางกายภาพและเคมี

การดูดซับทางเคมีเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโมเลกุลของก๊าซกับ โมเลกุลของตัวดูดซับ โมเลกุลของก๊าซถูกยึดติดกับผิวของตัวดูดซับโดยการเกิดพันธะทางเคมี ตัวดูดซับที่ใช้ในกระบวนการดูดซับทางเคมีอาจเป็นสารบริสุทธิ์หรือเป็นสารเคมีที่จับเกาะอยู่บนสารเคมีเฉื่อย ยกตัวอย่างเช่น อาจใช้เหล็กออกไซด์บริสุทธิ์ชั้นเล็กๆ เพื่อการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ อีกตัวอย่างหนึ่งคือ ใช้ถ่านกัมมันต์ซึ่งดูดซึมกัมมะถันไว้เพื่อการดูดซับไอปรอท

กระบวนการดูดซับทางกายภาพของก๊าซนั้น โมเลกุลของก๊าซจับกับผิวของของแข็งด้วยแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุล โดยธรรมชาติทางเคมีของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง แต่กระบวนการดูดซับทางเคมีมีการจับเกาะกันระหว่าง โมเลกุลของก๊าซกับของแข็งดูดซับด้วยพันธะที่แข็งแรงกว่าอย่างมาก มีการแลกเปลี่ยนหรือร่วมให้อิเล็กตรอนกันเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในพันธะทางเคมี ฉะนั้นกระบวนการดูดซับทางเคมีจึงเป็นกระบวนการแบบไม่อาจย้อนกลับได้ง่าย และในกระบวนการดูดซับทุกแบบจะเป็นกระบวนการคายความร้อนเหมือนกัน เพราะว่าการดูดซับโมเลกุลจะเคลื่อนย้ายจากก๊าซไปที่ผิวของของแข็งการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของโมเลกุลของก๊าซทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซนั้นให้แก่ตัวดูดซับในรูปของความร้อน แต่กระบวนการดูดซับทางเคมีจะมีปริมาณความร้อนของการดูดซับประมาณเท่ากับปริมาณความร้อนที่คายออกจากปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะสูงกว่ากระบวนการดูดซับทางกายภาพมาก

นอกจากนี้ยังมีข้อแตกต่างระหว่างกระบวนการดูดซับทางกายภาพและกระบวนการดูดซับทางเคมีที่ทำให้กระบวนการดูดซับทางกายภาพเป็นที่ต้องการมากกว่าในเรื่องของการควบคุมมลพิษทางอากาศ คือ

1. โมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้โดยกระบวนการดูดซับทางเคมียากที่จะกำจัดออกจากตัวดูดซับ และในบางกรณีไม่อาจกำจัดออกได้เลย แต่โมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ทางกายภาพสามารถกำจัดออกได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิในขณะปฏิบัติการ

2. เพื่อให้เกิดการดูดซับทางเคมี โมเลกุลของก๊าซต้องสามารถเกิดพันธะทางเคมีกับผิวของตัวดูดซับได้ แต่กระบวนการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของระบบ ซึ่งในเชิงอุตสาหกรรมแล้วจะเลือกใช้ตัวดูดซับที่ทำให้อัตราเร็วในการดูดซับสูงขึ้น

3. กระบวนการดูดซับทางเคมีจะหยุดเมื่อตำแหน่งที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาบนผิวของตัวดูดซับทุกตำแหน่งได้เกิดปฏิกิริยาไปหมดแล้ว และทำให้เกิดชั้นของโมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับได้เพียงชั้นเดียว แต่เนื่องจากแรงแรงแวนเดอร์วาลส์ในการดูดซับ

ทางกายภาพจะทำให้สามารถเกิดขึ้นของโมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้นซ้อนกัน

4. อัตราการดูดซับทางเคมีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่สำหรับการดูดซับทางกายภาพอัตราการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับก๊าซพิษ

2.4.3.1 ตัวดูดซับ

ขณะที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของสารที่ต้องการกำจัดออกจะ ไปยึดเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับ โดยโมเลกุลส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่ภายในรูพรุนของตัวดูดซับ มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่เกาะติดบนผิวภายนอก ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการดูดซับจนถึงสมดุลของตัวดูดซับ คือ ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ขนาดของตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดเล็กจะดูดซับมลพิษในอากาศที่มีโมเลกุลขนาดเล็กได้ดี ขนาดของตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะดูดซับมลพิษในอากาศที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ดี ส่วนพื้นที่ผิวจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ โดยตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากมีความสามารถในการดูดซับ โมเลกุลของสาร ได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อย

2.4.3.2 อุณหภูมิ

สำหรับกระบวนการดูดซับทางกายภาพ ความสามารถของตัวดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของระบบสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความดันไอของสารที่ถูกดูดซับไว้นั้นมีพลังงานเพียงพอที่จะเอาชนะแรงแวนเดอร์วาลส์ได้ และย้ายกลับสู่บรรยากาศก๊าซ ส่วน โมเลกุลที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซเรียบร้อยแล้วจะยังคงอยู่ ณ วัฏภาคก๊าซนั้น เนื่องจากการที่มีความดันไอสูง

2.4.3.3 ความดัน

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันย่อยของไอสารที่ต้องการดูดซับไว้ ซึ่งความดันย่อยของไอสารที่ต้องการดูดซับไว้เป็นสัดส่วน โดยตรงกับความดันทั้งหมดของระบบ ฉะนั้นการเพิ่มความดันของระบบเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของระบบ เนื่องจาก โมเลกุลของสารที่ต้องการดูดซับไว้ถูกอัดเข้าด้วยกันมากขึ้น จึงมีโมเลกุลจำนวนมากขึ้นที่มีโอกาสชนกับตำแหน่งเพื่อการดูดซับได้ ทำให้มีจำนวน โมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.4 ความเร็วของก๊าซ

ระยะเวลาของการสัมผัสระหว่างก๊าซพิษกับตัวดูดซับ ถูกกำหนดโดยความเร็วของกระแสก๊าซที่ผ่านหน่วยดูดซับไป ระยะเวลาของการสัมผัสมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับ โดยที่ความเร็วของก๊าซพิษช้าลงหมายถึง โมเลกุลของก๊าซมีโอกาสชนกับตำแหน่งที่สามารถดูดซับได้ทันทีที่โมเลกุลของก๊าซมลพิษถูกจับไว้แล้ว ซึ่งคงอยู่ที่ผิวนั้นจนกระทั่งสภาวะทางกายภาพของระบบเปลี่ยนไป เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า 90% ในระบบการดูดซับนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นส่วนมากและได้รับการออกแบบให้มีความเร็วของกระแสก๊าซผ่านหน่วยดูดซับสูงสุดไม่เกิน 30 m/s

2.4.3.5 ความชื้นสัมพัทธ์

สำหรับถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่ชอบดูดซับ โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนประเภทที่ไม่มีขั้วมากกว่าโมเลกุลของไอน้ำที่มีขั้ว โมเลกุลของไอน้ำในก๊าซที่ต้องการบำบัดมีแรงดึงดูดต่อกันที่แรงกว่าแรงดึงดูดกับตัวดูดซับ แต่ที่สภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง คือ มากกว่า 50 % มีจำนวนโมเลกุลของน้ำเพิ่มขึ้นมากจนกระทั่งโมเลกุลของน้ำเริ่มที่จะเข้าแย่งตำแหน่งเพื่อการดูดซับกับโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน ทำให้ความสามารถและประสิทธิภาพของระบบดูดซับลดลง กรณีที่ก๊าซที่ต้องการบำบัดที่มีความชื้นสูงมากกว่า 50 % จึงต้องเพิ่มอุปกรณ์เพื่อกำจัดไอน้ำบางส่วนออกหรืออาจใช้วิธีเติมอากาศเจือจางที่มีความชื้นต่ำมาก

2.4.3.6 ชนิดของก๊าซพิษ

การที่มีอนุภาคของฝุ่น หยดของเหลว และสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีจุดเดือดสูงอยู่ในระบบนั้น สามารถทำให้ประสิทธิภาพของหน่วยดูดซับลดลงไปได้ เพราะอนุภาคที่มีขนาดเล็กๆ สามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของตัวดูดซับได้ ทำให้มีพื้นที่ผิวเพื่อการดูดซับ โมเลกุลของก๊าซพิษน้อยลง

2.4.4 ตัวดูดซับ

โดยทั่วไปตัวดูดซับที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) นอกจากนั้นยังมีซิลิกาเจล (Silica Gel) ที่เป็นตัวดูดซับที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ไม่มีพิษและมีขั้วส่วนใหญ่ซิลิกาเจลจะถูกนำมาใช้สำหรับการดูดซับความชื้นจากปฏิกิริยาของอากาศ เช่น ออกซิเจน, ก๊าซธรรมชาติ และการดูดซับก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากก๊าซธรรมชาติ และซีโอไลต์ (Zeolite) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านใน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
อะลูมิเนียมซิลิเกตจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้น มีลักษณะเป็นผลึกตาข่ายและคายน้ำที่อุณหภูมิสูง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และไม่รับผิดชอบต่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
มีทั้งที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ส่วนใหญ่ซีโอไลต์จะถูกนำมาใช้สำหรับการดูดซับความชื้นจากปฏิกิริยา

ของอากาศ, ใช้กำจัด CO_2 จากก๊าซธรรมชาติ, ใช้กำจัด CO ออกจากการเปลี่ยนรูปของก๊าซและการแยกชั้นของอากาศ ตัวดูดซับเหล่านี้ มีลักษณะเฉพาะทางเคมี มีพื้นที่ผิวมาก การกระจายขนาดของรูพรุนและขนาดของอนุภาค ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ คือ ความมีขั้วของพื้นผิว (surface polarity) ความมีขั้วพิจารณาได้จากชนิดของอนุภาค ส่วนตัวดูดซับที่มีขั้วที่ชอบที่จะดูดซับไอน้ำที่อาจอยู่ในกระแสก๊าซ เนื่องจากความชื้นที่อยู่ในกระแสของก๊าซพิษ ทำให้การใช้ตัวดูดซับที่มีขั้วเกิดข้อจำกัดขึ้นมาสำหรับระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ และจากถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีขั้วในการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการควบคุมและกำจัดไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งมีระบบการใช้งานที่ออกแบบง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสะดวกในการใช้งาน สำหรับถ่านกัมมันต์ คือวัสดุที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยนำวัสดุนี้ไปผ่านกระบวนการทำให้เป็นถ่าน (Carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (Activation) เพื่อกระตุ้นให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณสมบัติพิเศษคือ มีพื้นที่ผิวสูง และมีรูพรุนมาก จึงนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับสารทั้งที่อยู่ในสถานะของเหลวและก๊าซในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ได้จากพืช กระดุกสัตว์ ถ่านหิน เป็นต้น แต่ในระยะหลังมีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นวัสดุดูดซับกันมากขึ้น เช่น ชานอ้อย เปลือกถั่วลิสง ชี้อ้อย กะลามะพร้าว เป็นต้น เนื่องจากหาง่าย และมีราคาถูก

จากปัญหาการกำจัดของเสียอันตรายอย่างเช่นถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะนำผงถ่านที่มีอยู่ในถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง โดยศึกษาสมบัติของผงถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้ว ในการดูดซับไอระเหยของสารมลพิษทางอากาศเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงการค้าที่นิยมใช้เป็นตัวดูดซับไอระเหยของมลพิษทางอากาศ ซึ่งนำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงการค้า

2.4.4.1 สมบัติของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนมีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอม (Angstrom: Å) ถึง 20,000 Å ดังนั้นถ่านที่มีพื้นที่ผิวสูงจึงมีความสามารถในการดูดซับ

(Adsorption capacity) สูงด้วยเช่นกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์กระทำได้โดยการหาปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดไว้ วิธีวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์อาจกระทำได้โดยการวิเคราะห์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขไอโอดีน (Iodine number) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการ

ดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and surface area) ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุน

ขนาดเล็กจะดูดซับมลพิษในอากาศที่มีโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีแต่ถ้าผ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ จะดูดซับสารมลพิษในตู้ปลาได้ดี ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Adsorbate) จะมีผลอย่างมาก ต่อขนาดรูพรุนถ้าเลือกวัสดุคิบที่นำมาผลิตเป็นสารดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะ ผลิตได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ส่วนถ่านหินลิกไนต์ใช้ในการทำถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุน ขนาดใหญ่ มีค่าพีเอช (pH), อุณหภูมิ (Temperature) และเวลาในการสัมผัส (Contact time) ตัวอย่างเช่น เมื่อเริ่มต้นการดูดซับอาจเกิดได้น้อย เมื่อเวลาผ่านไปจึงมีการดูดซับไว้บนพื้นผิวของ การดูดซับมากขึ้นจนเข้าสู่สมดุล

2.4.4.2 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนีเซชันมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการ สูญเสียสารประกอบระหว่างช่องของผลึกคาร์บอนรูพรุน ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้มีความพรุนมากขึ้นแต่ไม่ช่วย ให้ขนาดของรูพรุนใหญ่ขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุน จำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก (Micro porous) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ แตกต่างกัน รูพรุนสามารถแยกตามขนาดรัศมีของรูพรุนได้เป็นรูพรุนขนาดใหญ่ (Micro porous), รูพรุนขนาดกลาง (Meso porous) และรูพรุนขนาดเล็ก (Micro porous)

ก. รูพรุนขนาดใหญ่ (Micro porous) ขนาดรัศมีของรูพรุนจะมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 - 2,000 Å ปริมาตรรูพรุนจะอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 cm³/g พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 m²/g ซึ่งน้อยมาก เมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นรูพรุนขนาดใหญ่จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ เป็น เพียงทางส่งผ่านให้อนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

ข. รูพรุนขนาดกลาง (Meso porous) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 15 - 2,000 Å ปริมาตร รูพรุนจะอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 cm³/g พื้นที่ผิว 20 - 100 m²/g

ค. รูพรุนขนาดเล็ก (Micro porous) ขนาดรัศมีของรูพรุนน้อยกว่า 15 - 16 Å ปริมาตร รูพรุนจะอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.6 cm³/g มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากโดยมีค่าหลายร้อย m²/g ซึ่งรูพรุน ขนาดเล็ก (Micro porous) นั้นมีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและพลังงานใน การดูดซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำๆ

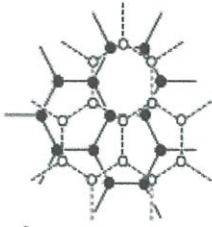
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยทั่วไปรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อการดูดซับ มีประมาณร้อยละ 90 - 95 ของพื้นที่ผิว ไม่ว่าจะชนิดใดก็ตาม อีกทั้งน้ำยังมีให้คักแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน ซึ่ง ไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ การดูดซับจะเกิด

แรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals' force) เท่านั้น ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่ก็มีโอกาสที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า

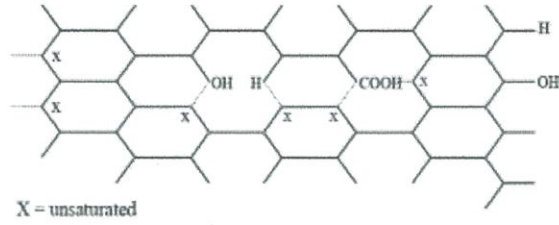
จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน อะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกในรูปของก๊าซ อะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยม (Hexagonal) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นๆที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร พยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง มักเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ที่ยอบของวงหกเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแบบทางเคมีกับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 - 500 °C และกลายสภาพเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่ายังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 °C และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนีย และซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจนออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซหรือของเหลวก็ได้ จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ เมื่อศึกษาด้วย X-Ray Diffraction (XRD) พบว่า ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกเล็กๆที่ไม่สมบูรณ์ เกิดการเบี่ยงเบนในแนวฉากและซ้อนเหลื่อมกันในแนวราบ การจัดเรียงตัวของผลึกเล็กๆ จะมีทิศทางไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนซ์เซชัน ผลึกเล็กๆนี้มักมีความสูง 9 - 12 Å และความกว้างประมาณ 20 - 30 Å (โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดของผลึก) ผลึกประกอบด้วยแผ่นราบของชั้นระนาบแกรไฟต์และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 เท่าของความกว้างของอะตอมคาร์บอนรูปหกเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.5

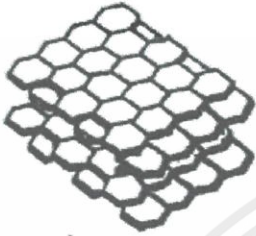
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



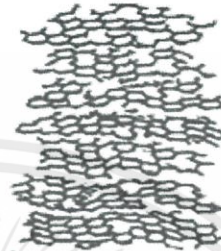
ที่มา: Suzuki, 1990



ที่มา: Berl, 1938



ที่มา: Tershkol, 1969



ที่มา: Mattson et al., 1971

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ที่มา: ปรินทร, 2551

2.4.4.3 การประเมินและการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์

ในการควบคุมมลพิษทางอากาศ มักเกี่ยวข้องกับการกำจัดไอของก๊าซพิษที่ความดันย่อยต่ำ ๆ ฉะนั้นโครงสร้างรูพรุนที่มีขนาดเล็ก (Micro porous) ของตัวดูดซับจึงมีบทบาทที่สำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของระบบ เหตุผลอีกประการหนึ่งที่นิยมใช้ถ่านกัมมันต์คือว่าประมาณ 90 - 95 % ของพื้นที่ผิวทั้งหมดเป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็ก (Micro porous) และในการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ จำเป็นที่จะต้องมีการเลือกถ่านที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน ลักษณะคุณสมบัติของตัวดูดซับ ระบุลักษณะสมบัติของถ่านที่เกี่ยวข้องในการดูดซับ เช่น ไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine number) และขนาดของรูพรุน (Pore size) เป็นต้น

2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) อธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวกับความดันของก๊าซหรือความเข้มข้นของสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์ม ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น ล้วนทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ของการดูดซับเป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์การดูดซับ ไอโซเทอร์มที่นิยมใช้กันได้แก่ สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir) และสมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich) ดังนี้

2.5.1 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอร์มแบบง่ายสุดโดยมีสมมติฐานคือ 1) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) 2) โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน 3) ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากัน และคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจากการศึกษาไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการที่ 2.31 (วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551)

$$q = \frac{Q^{\circ}bC_e}{(1+bC_e)} \quad (2.31)$$

เมื่อ q = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg) บนตัวดูดซับ 1 g
 C_e = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลือ (ppm) ที่สภาวะสมดุล
 Q° = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับสูงสุด (mg) บนตัวดูดซับ 1 g
 b = ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่ง

หรือ
$$\frac{C_e}{q} = \frac{C_e}{Q^{\circ}} + \frac{1}{bQ^{\circ}} \quad (2.32)$$

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{q}$ กับ C_e ได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัดแกน $\frac{C_e}{q}$ เป็น $\frac{1}{bQ^{\circ}}$ และมีความชันเท่ากับ $\frac{1}{Q^{\circ}}$

ในกรณีที่ใช้สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ควรศึกษาหาปัจจัยการแยก หรือค่าตัวแปรที่สภาวะสมดุล (Separation factor or equilibrium parameter, R_L) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกรูปร่างของไอโซเทอร์มว่าสอดคล้องกับการดูดซับหรือไม่ ปัจจัยของการแยกเป็นไปตามสมการที่ 2.33 (วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551)

$$R_L = \frac{1}{(1+K_L C_0)} \quad (2.33)$$

สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ มีสมมติฐานที่ว่าโมเลกุลของตัวถูกละลาย จะเกิดการดูดซับบนผิวในตำแหน่งที่แน่นอนของตัวดูดซับ แต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับเกิดการดูดซับบนผิวแบบชั้นเดียว แต่ละพื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะแบบเดียวกัน ตัวดูดซับมีพลังงานในการดูดซับเหมือนกัน และโมเลกุลของตัวดูดซับไม่สามารถเกิดข้ามพื้นผิวหรือไม่สามารถเกิดขึ้นกับโมเลกุลที่อยู่ติดกันได้ ข้อดีของการใช้สมการแลงเมียร์อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับ ได้แก่ สมการแลงเมียร์เป็นสมการง่ายๆ แบบจำลองเป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง ในขณะที่สมการของแลงเมียร์มีข้อจำกัดของการใช้งาน คือ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น

2.5.2 ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm)

ในปี ค.ศ. 1880 - 1941 นักเคมีเชิงฟิสิกส์ ชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ตั้งสมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ พื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขยกกำลัง ตามสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ ดังสมการที่ 2.34

$$q = K_f C_e^{1/n} \quad (2.34)$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลือ (ppm) ที่สภาวะสมดุล

q = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับ (mg) บนตัวดูดซับ 1 g

K_f และ n = ค่าคงที่ฟรุนดลิชที่อุณหภูมิหนึ่ง

จากสมการฟรุนดลิช เมื่อใส่ลอการิทึม (Logarithm) จะได้ดังสมการที่ 2.35

$$\log q = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f \quad (2.35)$$

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ ได้กราฟเส้นตรง จุดตัดแกน $\log C_e$ สามารถนำมาหาค่า K_f ได้ และมีความชันเท่ากับ $1/n$

บางกรณีที่กราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_e$ แล้วไม่ได้เส้นตรง แสดงว่าเกิดการเบี่ยงเบนไปจากสมการของฟรอนดลิช เช่น การดูดซับสารละลายที่ไม่ได้วัดจากน้ำหนักจริงของตัวดูดซับ แต่ค่าจากสารที่ถูกดูดซับในตัวทำละลายปริมาณมาก ทำให้ตัวถูกดูดซับที่เหลือที่ความเข้มข้นสูงจึงมีปริมาณลดลง

สำหรับความสอดคล้องของไอโซเทอร์มกับข้อมูลพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination : R^2) ของทั้งสองแบบจำลอง โดย R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

ข้อมูลจากทดลองของการดูดซับสามารถนำมาทำการสร้างกราฟไอโซเทอร์มระหว่างปริมาณของตัวดูดซับ กับความเข้มข้นที่สมดุลของตัวที่ถูกดูดซับ ซึ่งผลของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟที่สร้างได้ดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในการเสนอแนะขั้นต้นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) กับตัวดูดซับ (Adsorbent) ได้ จากการจัดประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟไอโซเทอร์มตามวิธีการของ McBride (1994) สามารถแบ่งประเภทของลักษณะรูปร่างของเส้นกราฟได้ 4 ประเภท ดังนี้

1) กราฟไอโซเทอร์มชนิด L-type (Langmuir) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างสูงระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ซึ่งเป็นการบ่งบอกให้เห็นถึงกระบวนการดูดซับทางเคมี

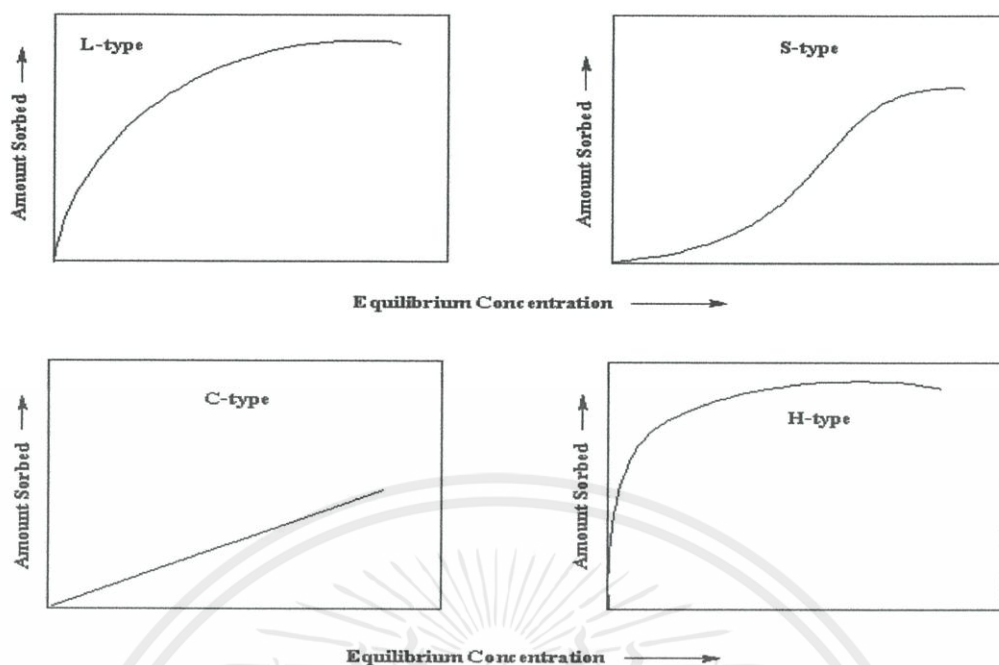
2) กราฟไอโซเทอร์มชนิด S- type แสดงให้เห็นถึงการมีปฏิกิริยาคึงดูดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับด้วยกันเอง มีมากกว่าแรงดึงดูดกันระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ เรียกสภาวะนี้ว่าการเกาะกลุ่มรวมตัว (Clustering) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิว เนื่องจากพันธะในการเกาะกลุ่มด้วยกันเองของสารที่ถูกดูดซับเหล่านั้น แข็งแรงกว่าพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับที่ใช้ในการเกาะที่พื้นผิวของตัวดูดซับ

3) กราฟไอโซเทอร์มชนิด C- type (Constant-partitioning) แสดงให้เห็นถึงค่าความคงที่ของความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ มักใช้ในการศึกษาเฉพาะที่ช่วงความเข้มข้นต่ำ ค่าการออกห่างเส้นกราฟคงที่แสดงให้เห็นถึงการมีลักษณะคล้ายกับการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นสูง

4) กราฟไอโซเทอร์มชนิด H- type แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างสูงมากระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับตัวดูดซับ (เช่น กระบวนการดูดซับทางเคมี) เป็นลักษณะของกราฟ

ไอโซเทอร์มชนิด L-shape ในระดับสูง

ไม่ว่ากันถึงสิ่งใดสิ่งหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปร่างของกราฟไอโซเทอร์มตามวิธีการของ McBride

ที่มา : วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สินวัฒน์ (2546)

ได้นำโลหะหนักในผงถ่านไฟฉายแบบ Zn - C ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาทำให้เสถียรด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 และเถ้าแกลบดำ พร้อมทั้งทดสอบสมบัติของก้อนตัวอย่างหลังการทำให้เป็นก้อนแข็งเรียบร้อยแล้วตามข้อกำหนดของทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม เริ่มจากการศึกษาการชะละลายของโลหะหนักในผงถ่าน ได้แก่ แคดเมียม แมงกานีส และตะกั่ว ทดสอบกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง และประมาณค่าใช้จ่ายในการทำให้ผงถ่านไฟฉายเป็นก้อนแข็ง จากการศึกษาพบว่า ต้องใช้ผงถ่านไฟฉายต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ต่อเถ้าแกลบดำในอัตราส่วน 1:5:1.67 ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 แล้วนำก้อนตัวอย่างไปบ่มให้ครบ 14 วัน เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม โดยก้อนตัวอย่างที่ได้มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด กล่าวคือ ความเข้มข้นของแคดเมียม แมงกานีส และตะกั่วลดลงเหลือ 0.11 mg/L, 0.22 mg/L และน้อยกว่า 0.1 mg/L ตามลำดับ กำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างเท่ากับ 67.56 kg/cm³ และ 1.59 ton/m³ สำหรับค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็งพบว่าเท่ากับ 15.12 บาทต่อกิโลกรัม

ศรีสุตา (2546)

ศึกษาการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ และไม่ผ่านการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ โดยศึกษาจากสมบัติทางกายภาพในการดูดซับไนโตรเจนที่ 77 K เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันจำเพาะบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดด้วยเทคนิคฟูรีเยอร์อินฟราเรด (FTIR) พบว่า เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ถ่านกัมมันต์จากที่เคยมีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวเป็นกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำเพียงอย่างเดียว จะมีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวที่เป็นกลุ่มที่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นอีก และจากการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับดังกล่าวพบว่า พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ มีค่าที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ แต่ความสามารถในการดูดซับต่ำกว่า ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการดูดซับของฟอร์มัลดีไฮด์บนถ่านกัมมันต์นั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของถ่าน

สิริวรรณ (2548)

ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่ได้รับ ความสนใจในบรรยากาศสองชนิด คือ ฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ บริเวณย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดตั้งแต่เดือนตุลาคม 2547 ถึง มีนาคม 2548 ซึ่งบริเวณพื้นที่ตรวจวัดมีปริมาณการจราจรหนาแน่นประมาณ 10,000 คันต่อวัน ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ ฟอร์มัลดีไฮด์จะสูงกว่าอะเซทัลดีไฮด์ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23 และ 20 ppbv ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารทั้งสองชนิดนี้ โดยในเดือนมีนาคมซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนมกราคมประมาณ $6^{\circ}C$ จะให้ปริมาณของสารทั้งสองชนิดสูงกว่าประมาณ 10 ppbv นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าในวันทำการจะมีความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่าในวันหยุด ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดหลักของสารทั้งสองชนิดมาจากการปล่อยไอเสียของรถยนต์ สำหรับความชื้นสัมพัทธ์พบว่าไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดในบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีรดา และสมเกียรติ (2550)

งานวิจัยนี้จึงได้มีการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบเชื่อมต่อระหว่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤตขึ้น เพื่อแก้ปัญหาผนังเครื่องปฏิกรณ์เกิดการกัดกร่อน โดยใช้โคบอลต์โรมีเทนซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในการสังเคราะห์สารอินทรีย์และการสกัดแยกในห้องปฏิบัติการทางเภสัชกรรมเป็นตัวอย่างของสารอินทรีย์ที่มีคลอไรด์เป็นองค์ประกอบ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีผู้ศึกษาเป็นจำนวนมากเกี่ยวกับไฮโดรไลซิสของโคบอลต์โรมีเทนและรายงานว่าผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นคือ พอร์มาลดีไฮด์และกรดไฮโดรคลอริก ในขณะที่มีการศึกษาค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ของพอร์มาลดีไฮด์ออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาออกซิเดชันของพอร์มาลดีไฮด์ โดยใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในน้ำภาวะเหนือวิกฤต มีการเสนอกระบวนการเชื่อมต่อระหว่างสองเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นเครื่องปฏิกรณ์แรกตามด้วยเครื่องปฏิกรณ์ออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤต เพื่อสลายโครงสร้างของโคบอลต์โรมีเทนอย่างสมบูรณ์ จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และความดัน 25 เมกะพาสคัล พอร์มาลดีไฮด์สลายตัวได้อย่างสมบูรณ์รวดเร็วในเครื่องปฏิกรณ์เชิงเร่งปฏิกิริยาแบบกะทัดรัดที่มีเมงกานีสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

คมกริช และคณะ (2551)

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณพอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคารด้วยวิธีเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟตามวิธีของ NIOSH 3500 นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เป็นสารดูดซึมแล้วทำให้เกิดสีกับกรดโครโมโทปิก และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิชิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 580 nm และวิธีเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟตามวิธีของ Gillett, 2000 นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งใช้วัสดุดูดซับที่มี 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (DNPH) เคลือบอยู่และนำไปสกัดด้วยอะซิโตนไตรลแล้วใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่มีหน่วยตรวจวัดเป็นแบบอัลตราไวโอเลตวิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 360 nm โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ห้องเก็บสารเคมี ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และห้องทดสอบ จากการตรวจวัดพบว่า

ปริมาณพอร์มาลดีไฮด์จุดต่างๆ ไม่เกินค่ามาตรฐาน TLV-TWA ของ OSHA ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โกวิทย์ และคณะ (2551)

ทำการศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะแบบแบดซ์โดยใช้ไคโตซานเรซิน มีการประเมินความสามารถในการดูดซับและจลนศาสตร์ของการดูดซับ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับโครเมียม (VI) เกิดขึ้นที่ pH 2 ปริมาณ 47.9 มิลลิกรัมต่อกรัม มีการนำแบบจำลองการดูดซับของสมการแลงเมียร์และสมการฟรุนดลิช มาอธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับและค่าคงที่ของไอโซเทอร์ม ซึ่งไอโซเทอร์มของการดูดซับโครเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะ มีความสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ เมื่อนำแบบจำลอง Pseudo-first order และ Pseudo-second order มาใช้ในการอธิบายจลนศาสตร์การดูดซับ พบว่าจลนศาสตร์การดูดซับแบบ Pseudo-second order สามารถใช้ได้ดีกว่าแบบ Pseudo-first order จากการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียชุบโลหะโดยใช้ไคโตซานเรซินเป็นตัวดูดซับ พบว่าความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ในน้ำเสียชุบโลหะที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดแรงขับเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้โครเมียม (VI) ในน้ำเสียชุบโลหะดูดซับบนไคโตซานเรซินได้เพิ่มสูงขึ้นความเป็นกรด-เบสของโครเมียม (VI) ในน้ำเสียชุบโลหะที่ pH 2 พบว่ามีความสามารถในการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียชุบโลหะมากที่สุด เท่ากับ 47.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ไอโซเทอร์มของการดูดซับสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดลิช อธิบายได้ว่าการดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ จลนศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องกับสมการ Pseudo-second order มากกว่า Pseudo-first order สำหรับกลไกการดูดซับเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกการดูดซับที่ผิวภายนอกซึ่งเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ขั้นตอนที่สองค่อยๆเกิดการดูดซับ และขั้นตอนที่สามเป็นสมดุลของการดูดซับ

จิตตรี และคณะ (2552)

ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) อุณหภูมิใช้ในการเผากระตุ้น $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณดูดซับไออะเซทฟอร์มัลดีไฮด์เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ทั่วไป จากผลการศึกษาพบว่า ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบสารกระตุ้นที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดคือ $ZnCl_2$ ซึ่งให้พื้นที่ผิวมากที่สุดถึง $648.28\text{ m}^2/\text{g}$ ส่วนความสามารถในการดูดซับไออะเซทฟอร์มัลดีไฮด์บนถ่านกัมมันต์เป็นดังนี้คือ ถ่านกัมมันต์ที่ถูก

กระตุ้นด้วย NaOH จะดูดซับไอระเหยได้มากที่สุดถึง 384.39 mg/g รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย H_3PO_4 มีค่าปริมาณการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ 383.89 mg/g และ 272.21 mg/g ตามลำดับ ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ได้น้อยที่สุดที่ 195.51 mg/g สำหรับงานวิจัยนี้ พบว่าการดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนด้วย

ชนกานต์ และคณะ (2554)

จากการทดลองศึกษาองค์ประกอบของถ่านไฟฉายทั้งชนิดอัลคาไลน์และชนิด Zn-C โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพจากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว โดยพบว่าในถ่านไฟฉายทั้งแบบอัลคาไลน์และ Zn - C มีองค์ประกอบที่เป็นโลหะที่เกิดจากการแยกด้วยมืออยู่ $25.36 \pm 2.06 \%$ และ $31.15 \pm 3.04 \%$ ตามลำดับ, เศษกระดาษ $3.64 \pm 1.95 \%$ และ $5.79 \pm 0.76 \%$ ตามลำดับ, ส่วนผงถ่านมืออยู่ $68.01 \pm 4.72 \%$ และ $56.24 \pm 1.17 \%$ ตามลำดับ และส่วนพลาสติกมีปริมาณที่น้อยมาก เมื่อนำผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วมาล้างพบว่า มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ 0.18M หรือ 6.93 % ซึ่งค่าที่ดีที่สุดคือการปั่นเหวี่ยง 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ $60^\circ C$ พบว่าปริมาณโลหะที่ละลายปนเปื้อนออกมามีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้ เช่น การนำไปทำปุ๋ย เมื่อนำผงที่ยังไม่ผ่านการล้าง (ผง A) มาสกัดพบว่าการสกัดด้วยกรดซัลฟิวริกร่วมกับกลูโคสจะให้การสกัดที่ดีที่สุด โดยรวมพบว่าในผงถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ และแบบ Zn - C จะพบแมงกานีสมากที่สุด รองลงมาคือสังกะสี และเหล็ก ตามลำดับ โดยถ่านไฟฉายชนิดอัลคาไลน์สามารถสกัดแมงกานีสออกมาได้ 271.27 g/kg และสกัดสังกะสีได้ 48.79 g/kg ส่วนถ่านไฟฉายชนิด Zn - C สามารถสกัดแมงกานีสออกมาได้ 280.87 g/kg และสกัดสังกะสีออกมาได้ 54.15 g/kg

โสรดากรณ์ และคณะ (2555)

ศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิก (Astrazon® Red BBL 200%) ด้วยสาหร่ายน้ำจืดสีเขียวสกุล *Spirogyra* ซึ่งดำเนินการทดลองแบบกะ และศึกษาถึงปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น พีเอชของสารละลาย ปริมาณของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมต่อการดูดซับสีย้อมเบสิก โดยมวลชีวภาพจากสาหร่ายและความสามารถในการดูดซับสีย้อมเบสิกโดยมวลชีวภาพจากสาหร่าย ด้วยการนำตัวดูดซับแห้งมาทวนในสารละลายสีย้อมเบสิกที่พีเอชต่างๆ ที่

อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณสีที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสียอมเท่ากับ 50 mg/L ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามวลชีวภาพจากสาหร่ายมีความสามารถในการดูดซับสียอมเบสิกมากที่สุดที่ pH 6.0 โดยมีความสามารถในการดูดซับสียอม 21.47 mg/g ผลของปริมาณของตัวดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับที่จุดสมดุลบ่งชี้ว่าการดูดซับสียอมเบสิกลดลงเมื่อปริมาณของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับเบสิคทางชีวภาพของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสียอมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังใช้โมเดลการดูดซับของฟรุนดลิช และแลงเมียร์เพื่ออธิบายถึงสมดุลของการดูดซับและค่าคงที่ของไอโซเทอร์ม ซึ่งผลจากการศึกษานี้เป็นการยืนยันว่าสามารถนำสาหร่ายน้ำจืดมาใช้เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพเพื่อขจัดสียอมเบสิคจากสารละลาย และอาจเป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอต่อไป

Chiarakorn *et al.* (2005)

ได้ศึกษาการผลิตวัสดุดูดซับชนิดซิลิกาเมโซพอร์จากกากของเสียจากธรรมชาติ ซึ่งสังเคราะห์ซิลิกาเมโซพอร์โดยใช้เถ้าแกลบเป็นแหล่งซิลิกา โดยเริ่มจากนำเถ้าแกลบไปทำการชะด้วยกรดได้ซิลิกา 95 % ของน้ำหนักแกลบทั้งหมด จากนั้นนำซิลิกาที่ได้ไปเตรียมเป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต และนำไปผสมกับสารกำหนดโครงสร้าง Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) ภายใต้การกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคัลไซน์ที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารกำหนดโครงสร้างออก และเกิดเป็นรูพรุนขึ้นที่เป็นแบบ hexagonal วัสดุพรุนดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นตัวดูดซับ เป็นตัวคักขนาดระดับโมเลกุล (Molecular sieves) และตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุพรุนสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามขนาดของรูพรุน ได้แก่ รูพรุนขนาดไมโครพอร์ (Micropore), เมโซพอร์ (Mesopore) และมาโครพอร์ (Macropore) วัสดุไมโครพอร์ เป็นวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร มีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดและการจัดเรียงโครงสร้างของรูพรุน วัสดุกลุ่มนี้ที่รู้จักกันดี คือ ซีโอไลต์ (Zeolite) ซึ่งประกอบด้วยซิลิกอน อะลูมิเนียม และออกซิเจนจัดเรียงตัวกันเป็นโครงข่าย 3 มิติ มีการกระจายรูพรุนแคบและเป็นระเบียบ ซีโอไลต์นิยมนำไปใช้เป็นตัวดูดซับ เนื่องจากมีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่างของรูพรุน ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของกระบวนการดูดซับระดับโมเลกุล (Molecular sieves) โดยสามารถเลือกให้มีการเลือกดูดซับเฉพาะบางโมเลกุลได้ ซีโอไลต์มีประจุบวก สามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและ

สามารถเกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ ในทางกลับกัน ซีโอไลต์บางชนิดจะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ แต่จะเลือกดูดซับเฉพาะโมเลกุลอินทรีย์เท่านั้น เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

I.De Michelis *et al.* (2007)

ได้นำโลหะสังกะสีและแมงกานีสจากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วทั้งแบบ Zn - C และแบบอัลคาไลน์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยการสกัดของสังกะสีและแมงกานีสให้ออกมาจากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วให้มากที่สุด ซึ่งโลหะที่อยู่ในผงถ่านไฟฉายจะถูกละลายออกมาโดยการชะด้วยกรดซัลฟิวริกและตามด้วยกรดออกซาลิกที่เป็นตัวรีดิวซ์ มีการศึกษาปัจจัยต่างๆ คือ ปริมาณของผงถ่าน ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นของกรดออกซาลิก และอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 80 °C ความปริมาณผงถ่าน 20 % ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 1.8 M ความเข้มข้นของกรดออกซาลิก 59.4 g/L เวลาในการชะ 5 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดโลหะออกมาได้มากที่สุด คือ สามารถสกัดแมงกานีสออกมาได้ 70 % และสังกะสีได้ 100 %

Shun Myung Shin *et al.* (2009)

ศึกษาการแยกส่วนประกอบของถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วด้วยวิธีการทางกายภาพ เช่น การบดและการใช้ตะแกรง แล้วตามด้วยการใช้แม่เหล็กในการแยกซึ่งถูกประยุกต์ใช้ร่วมกับการแยกส่วนไม่มีแม่เหล็ก (88 %) ออกจากถ่านไฟฉายแบบ Zn - C ที่ใช้แล้ว วัสดุขนาดใหญ่จะผ่านกระบวนการแยกด้วยกระแสไหลวนเพื่อกู้คืนแผ่นสังกะสี แท่งคาร์บอน และพลาสติกที่ผ่านการคัดแยกส่วนประกอบถ่านไฟฉาย ส่วนผงถ่านไฟฉายที่มีองค์ประกอบของสังกะสี 15.5 % แมงกานีส 17.5% และเหล็ก 1.4 % จะถูกนำมาใช้ในการชะล้างภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน เช่น ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ ความเร็วในการปั่นเหวี่ยง และปริมาณของผงถ่าน ซึ่งการเลือกใช้อัตราการชะล้างระหว่างของแข็งกับของเหลวจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 M ที่ 100 g/L อุณหภูมิ 80 °C และความเร็วในการปั่นเหวี่ยง 200 rpm ที่การสกัดสังกะสีออกมาได้ 82 % และสกัดแมงกานีสได้น้อยกว่า 0.1 % การได้กลับคืน (%Recovery) ของสังกะสีโดยรวมมีประมาณ 88.5 %

เอกสาร **Sayilgan E *et al.* (2010)** สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ได้นำเอาแมงกานีสและสังกะสีจากผงถ่านที่ใช้แล้วชนิด Zn - C และอัลคาไลน์กลับมา

ใช้ใหม่ จากการชะด้วยกรดและการตกตะกอน โดยมีการทดสอบตัวแปร ดังนี้ 1) กรดที่ใช้ในการชะ

โดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 2) ตัวรีดิวซ์ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ (กรดแอสคอบิก (AA), กรดซิติค (CA) และกรดออกซาลิก (OA)) 3) ปริมาณของผงถ่านไฟฉาย (10g และ 20g) 4) อุณหภูมิที่ใช้ในการย่อย คือ 45 °C, 60 °C, 75 °C และมีตัวที่ช่วยตกตะกอนอีก 2 ตัว คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลการทดลองการชะโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดไฮโดรคลอริกร่วมกับกรดออกซาลิก พบว่าให้ผลการสกัดสังกะสีออกมาไม่ดีเนื่องจากเกิดการตกตะกอนของซิงค์ออกไซด์ ส่วนการชะโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดไฮโดรคลอริกร่วมกับกรดแอสคอบิกและกรดซิติคพบว่าสามารถสกัดสังกะสีและแมงกานีสออกมาได้ดี โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 75 °C ปริมาณผง 10 g ความเข้มข้นของกรดแอสคอบิก +30 % กรดซัลฟิวริก +30 % (หมายเหตุ +30 % หมายถึง การเพิ่มปริมาณกรดและตัวรีดิวซ์ เพิ่มขึ้น 30 ตามหลักการทำปฏิกิริยาของสารหลังคลุสมการเรียบร้อยแล้ว) จากการศึกษาสามารถสกัดแมงกานีสได้ประมาณ 87 – 100 % และสังกะสีได้ 100 % และสารละลายที่ได้จากการชะจะถูกนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการตกตะกอนแมงกานีสและสังกะสีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการตกตะกอนของแมงกานีสเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่พีเอชประมาณ 9 - 10 และสังกะสีที่พีเอชประมาณ 7 - 8 จะเกิดการตกตะกอนของสังกะสีอย่างสมบูรณ์

Zhi et al. (2010)

ศึกษาผลการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียของตัวดูดซับชนิดรูพรุนขนาดกลาง และขนาดใหญ่ที่ได้จากกากตะกอนชีวภาพ (Biological sludge, BS), กากตะกอนเคมี (Chemical sludge, CS) กากตะกอนผสมระหว่างกากตะกอนชีวภาพกับกากตะกอนเคมี (Hybrid sludge, HS) และถ่านกัมมันต์เชิงการค้า โดยนำกากตะกอนเหล่านี้มาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียพบว่า ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจากกากตะกอนพื้นฐาน มีค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 nm ต่ำกว่าถ่านกัมมันต์เชิงการค้า ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจาก HS และ CS มีค่า Soluble Chemical Oxygen Demand (COD) สูงกว่าถ่านกัมมันต์เชิงการค้า ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ต่ำที่สุดคือตัวดูดซับจากกากตะกอน BS เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับโลหะต่ำ และในพื้นที่ผิวมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-214-9999 หรือ e-mail: info@kmutt.ac.th

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับแกะถ่านไฟฉาย เช่น กล่อง ถุงมือ แวนตา ผ้าปิดจมูก ฯ
2. ห้องทดสอบ (Experimental Chamber) ใช้เคซิกเคเตอร์ ปริมาตร 15.5 L (หาปริมาณของเคซิกเคเตอร์ได้โดยการตวงน้ำใส่ลงในเคซิกเคเตอร์ทั้งส่วนที่เป็น โถแก้วและฝาครอบ แล้วคำนวณปริมาตรน้ำที่ใช้เป็นปริมาตรของห้องทดสอบ)
3. เครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น GENESYS 10S UV-VIS
4. เครื่องเก็บตัวอย่างแบบส่วนบุคคล (Personal Air Sampling) ยี่ห้อ SKC รุ่น PA 15330 พร้อมอุปกรณ์อิมพินเจอร์และแทรปเปอร์
5. เครื่องทำโอโซน ยี่ห้อ Sunny ozonizer
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shinmadzu รุ่น AUX220
7. เครื่องเปรียบเทียบอัตราการไหลอิเล็กทรอนิกส์ (BIOS International corp.) ยี่ห้อ BIOS รุ่น Defender 520
8. เครื่องวัด pH และค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort รุ่น c 860
9. เครื่องกรองแบบสุญญากาศ
10. เตาให้ความร้อน ยี่ห้อ Fisher Scientific
11. ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh ยี่ห้อ Retsch
12. ตะแกรงร่อนขนาด 325 mesh ยี่ห้อ Endecotts
13. กระดาษกรองขนาด 5B
14. โกร่ง
15. ชามระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 16. ชุดเครื่องแก้วสำหรับไทเทรต และวิเคราะห์ตัวอย่าง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัสดุและสารเคมี

1. ผงถ่านของถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้ว แบบ NO MERCURY ADDED
2. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (HCHO) เข้มข้น 40% เกรดวิเคราะห์

(บริษัท Mallinckrodt Baker, USA)

3. โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Mallinckrodt Baker, USA)
4. โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific, UK
5. โซเดียมไตรโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เกรดวิเคราะห์บริษัท Mallinckrodt Baker, USA
6. โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt Baker, USA
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท SDFCL
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ($\text{KHC}_2\text{H}_4\text{O}_2$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
9. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
10. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
11. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
12. เกล็ดไอโอดีน (I_2) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
13. ฟีนอล์ฟทาลิน เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
14. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% (37% HCl) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
15. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 96% (96% H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
16. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% (98% H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo ERBA
17. 4,5 - dihydroxy - 2,7-naphthalene disulfonic acid disodium salt
18. น้ำแข็ง
19. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับจากผงถ่านของถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้ว

1. คัดแยกส่วนประกอบถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วด้วยมือ โดยนำถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้วแบบ NO MERCURY ADDED มาแกะแยกชิ้นส่วนต่างๆ ออกมา
2. แยกเอาเฉพาะส่วนของผงถ่านของถ่านไฟฉายเก็บไว้ โดยผงถ่านเมื่อนำมาชั่งน้ำหนัก จะได้เฉลี่ยประมาณ 20 g/ก้อน
3. นำผงถ่านที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเคชิกเคเตอร์
4. นำมาบดให้ละเอียด
5. นำมาร่อนผ่านตะแกรกร่อนขนาด 100 mesh ได้เป็นผง Zn - C
6. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผง Zn - C ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
1. ค่าพีเอช	เครื่องวัด pH
2. ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดการนำไฟฟ้า
3. พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน	เทคนิค Brunauer, Emmett and Teller (BET)
4. หมู่ฟังก์ชัน	เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)
5. เลขไอโอดีน	เทคนิค ASTM D4607-94(2011)

หมายเหตุ รายละเอียดการวิเคราะห์ดังกล่าวปรากฏในภาคผนวก ก

3.3.2 การศึกษาผลการดูดซับฟอर्मัลดีไฮด์บนผง Zn - C

3.3.2.1 การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

1. สร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ โดยใช้เคชิกเคเตอร์ขนาด

15.5 L จำลองเป็นห้องทดสอบ ทำการทาวาสลินเพื่อให้เกิดความหนืดระหว่างโถแก้วและฝาครอบ และเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างที่อากาศสามารถเข้าออกได้ ทำการชั่ง KMnO_4 จำนวน 0.05g ใส่ขามระเหย นำขามระเหยดังกล่าวใส่ในเคชิกเคเตอร์ และเติมสารละลายฟอर्मัลดีไฮด์ความเข้มข้น

1,000 mg/L ปริมาตร 0.5 ด้วยไมโครปิเปต ดังรูปที่ 3.1 และปิด Stopcock



รูปที่ 3.1 การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองภายในเคชิกเคเตอร์ให้มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

2. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์เกิดการฟุ้งกระจายทั่วห้องทดสอบ
3. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที อัตราการไหลคงที่ 0.5 L/min โดยใช้ NaHSO_3 เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม ดังรูปที่ 3.2
4. เปิดสารดูดซึมที่ได้ ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL
5. นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น ตามวิธีของ NIOSH 3500
6. ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ
7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1. - ข้อ 6. แต่เปลี่ยนจาก 5 นาที เป็น 60 และ 180 นาที ตามลำดับ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์
8. คำนวณความเข้มข้นก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบ (ดังภาคผนวก ง หน้า 116)



รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศภายในเคชิกเคเตอร์ที่มีก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์

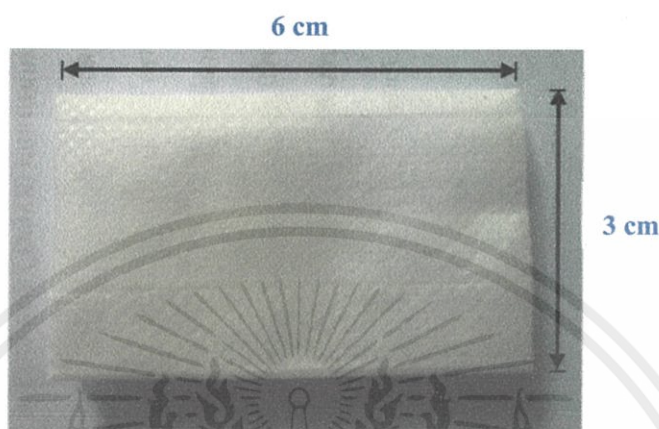
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์
ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับจนเกิดสมมูล

1. สร้างสภาวะบรรยากาศจำลองในห้องทดสอบที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ตาม 3.3.2.1

ข้อ 1. โดยในชุดควบคุมใส่ถุงใยสังเคราะห์ขนาด 6×3 cm จำนวน 1 ถุง* และชุดทดลองใส่ถุงใยสังเคราะห์ขนาด 6×3 cm ที่บรรจุตัวดูดซับ คือ ผง Zn - C จำนวน 3 g



รูปที่ 3.3 ลักษณะถุงใยสังเคราะห์ที่ใช้บรรจุตัวดูดซับ

หมายเหตุ *ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่วัดได้เป็นศูนย์ แสดงว่า ถุงใยสังเคราะห์ไม่มีผลต่อการศึกษาการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C (ดังตาราง ค-9 ภาคผนวก ก หน้า 88)

2. ให้ถุงใยสังเคราะห์ และผง Zn - C ได้สัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่สภาวะบรรยากาศที่จำลองได้ ที่เวลาสัมผัส 5 นาที

3. นำถุงใยสังเคราะห์และผง Zn - C ออกมาสกัดด้วย NaHSO_3 เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL โดยเขย่าเป็นเวลา 5 นาที แล้วกรองสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ

4. บีบอัดสารละลายที่กรองได้ ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL

5. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์บนตัวดูดซับ ตามวิธีของ NIOSH 3500

6. ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ

7. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1. - ข้อ 6. แต่เปลี่ยนเวลาสัมผัสเป็น 60 , 120 , 180 และ 240 นาที ตามลำดับ

8. หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C จนเกิดสภาวะ

สมมูล โดยคำนวณหาสัดส่วนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ (q) ต่อผง Zn - C 1 g (mg/g) ดังภาคผนวก ก

หน้า 118 และสร้างกราฟความสัมพันธ์กับระยะเวลาสัมผัส (min) ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมใช้ใน

การทดสอบลำดับต่อไป

3.3.2.3 การศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับ

1. สร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ตาม 3.3.2.1 ข้อ 1. ทั้งชุดควบคุมที่ไม่มีตัวดูดซับ และชุดทดลองที่ใส่ถุงใยสังเคราะห์ขนาด 6×3 cm ที่บรรจุตัวดูดซับ (ผง Zn - C) จำนวน 3 ถุง น้ำหนักรวม 1 g แบ่งเท่าๆกันโดยการชั่งน้ำหนัก
2. ให้ผง Zn - C ได้สัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่สร้างได้ตามเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C ที่หาได้จากหัวข้อ 3.3.2.2
3. ทำการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องมือเก็บอากาศส่วนบุคคล โดยดึงตัวอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที ที่อัตราการไหลลงที่ 0.5 L/min โดยใช้ NaHSO_3 เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL เป็นสารดูดซึม เพื่อหาก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบ
4. ปิเปตสารดูดซึมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างอากาศทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL
5. นำผง Zn - C ออกมาสกัดด้วย NaHSO_3 เข้มข้น 1 % ปริมาตร 20 mL แล้วกรองสารละลายด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ เพื่อหาปริมาณ HCHO ที่ดูดซับบนผง Zn - C
6. ปิเปตสารละลายที่กรองได้ ปริมาตร 4 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL
7. นำสารละลายจากข้อ 4. และข้อ 6. มาวิเคราะห์หาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ตามวิธีของ NIOSH 3500
8. ทำการทดลองซ้ำรวม 3 ซ้ำ
9. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1. - ข้อ 8. แต่เปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับเป็น 2 , 3, 5, 7 g ตามลำดับ เพื่อหาไอโซเทอร์มที่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C
10. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1. - ข้อ 9. แต่เปลี่ยนตัวดูดซับจากผง Zn - C เป็น AC
11. คำนวณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้นในห้องทดสอบชุดควบคุม (C_0) และความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบชุดทดลอง (C_e) (ดังเช่นภาคผนวก ง หน้า 116) รวมทั้งประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ จากสมการที่ 3.1

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

12. คำนวณหาสัดส่วนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ (q) ต่อผง Zn - C 1 g (mg/g) คำนวณค่าคงที่ Langmuir และ Freundlich จากข้อมูลที่ได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง หน้า 119 และสร้างกราฟ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm เพื่อหาไอโซเทอร์มที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C และ AC

3.3.2.4 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

1. ในการเก็บอากาศต้องทำการปรับและวัดอัตราการไหลเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ที่อัตราการไหล 0.5 L/min จำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาอัตราการไหลเฉลี่ยจากอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยจะต้องมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 % จึงถือว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศมีอัตราไหลคงที่ตลอดการทดลอง

2. ต้องทำความสะอาดห้องทดสอบทุกครั้งหลังทำการเก็บตัวอย่าง โดยทำการปล่อยโอโซน (O₃) เข้าไปในเครื่องเคเตอร์เป็นเวลา 10 นาที และเพื่อทำการทดสอบให้แน่ใจว่าไม่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลงเหลืออยู่ในห้องทดสอบในการทำการทดลองครั้งต่อไป จะต้องทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 0.5 L/min นาน 10 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีของ NIOSH 3500

3. ในการเก็บตัวอย่างอากาศต้องมีการตรวจสอบการเกิด Break through ซึ่งหมายถึง ป้อนเก็บตัวอย่างอากาศผ่านเข้ามายังอิมพินเจอร์ที่มีสารดูดซับ NaHSO₃ เข้มข้น 1 % จำนวน 20 mL บรรจุอยู่ และละลายในสารดูดซับได้หมด โดยไม่ผ่านออกไปจากสารดูดซับขณะทำการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้อิมพินเจอร์ 2 ชุด คือ ชุดหน้า (Front impinger) ซึ่งใช้เก็บอากาศในห้องทดสอบ และใช้ชุดหลัง (Back impinger) เก็บอากาศจากชุดหน้าเพื่อตรวจสอบอากาศที่ผ่านออกมาจากอิมพินเจอร์ชุดหน้าว่าในอากาศไม่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ผ่านออกมาด้วย โดยนำสารดูดซับในอิมพินเจอร์ทั้ง 2 ชุดไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีของ NIOSH 3500

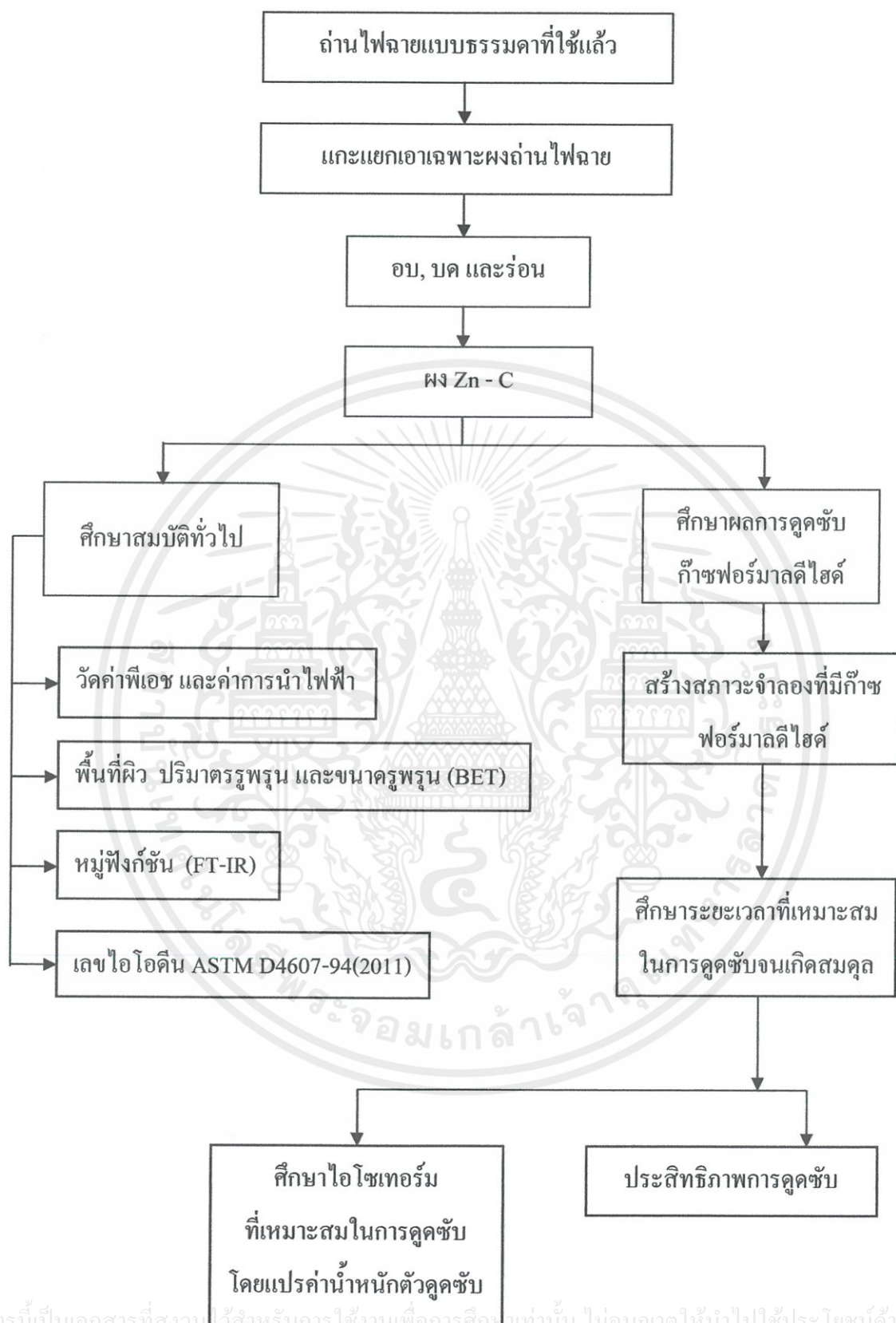
3.3.2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดสอบเลขไอโอดีน และประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C และ AC ว่าแตกต่างกันหรือไม่อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS ประมวลผลเพื่อหาค่าสถิติ ทดสอบสมมติฐาน ($H_0 =$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ, $H_1 =$ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ONE WAY ANOVA ถ้าค่า sig. ในตาราง ANOVA มีค่าต่ำกว่า 0.05 ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.05 ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างตำรับทดลอง (Treatment) ด้วยวิธี

ONE WAY ANOVA แบบ Duncan's Multiple New Range Test (DMRT) รายละเอียดผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า วิเคราะห์ทั้งหมดดังภาคผนวก จ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภาพการศึกษาโดยสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

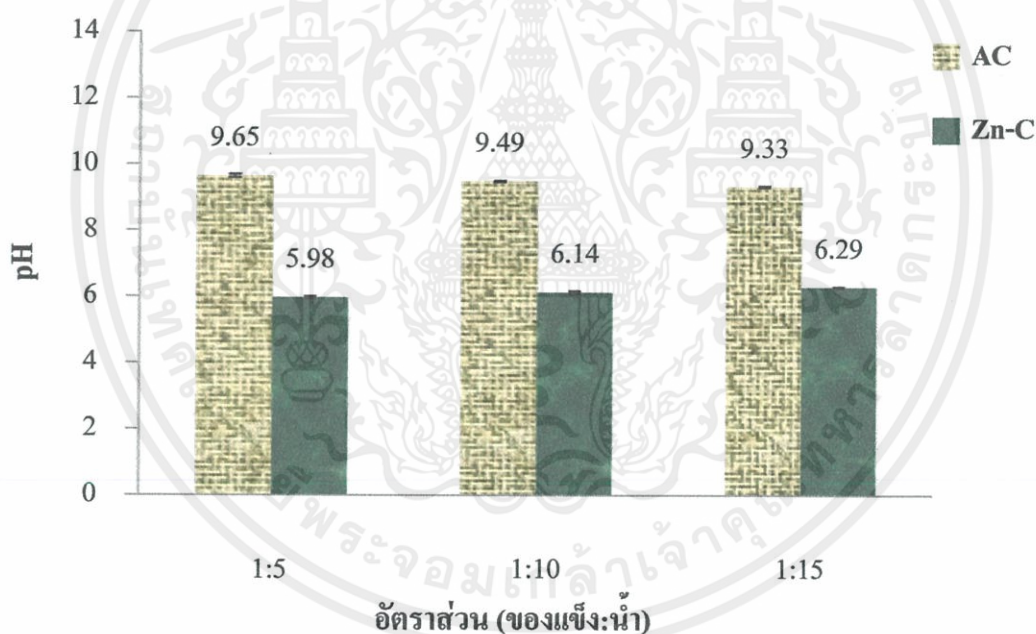
โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการนำถ่านไฟฉายชนิดธรรมดาที่ใช้แล้ว ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ แท่งคาร์บอนหรือแท่งถ่านที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจากแคโทด มีสารที่ทำหน้าที่เป็นแคโทด คือ แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ผสมรวมกับผงถ่าน มีแอโนดที่ผลิตจากกระป๋องสังกะสี (Zinc can) ใช้บรรจุสารแคโทด ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่กั้นระหว่างชั้นแคโทดและชั้นแอโนด คือ สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) มาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง โดยการนำผงถ่านไฟฉาย (ผง Zn - C) ที่มีแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ผสมรวมอยู่มาเป็นตัวดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ในสภาวะจำลองในอากาศ และศึกษาสมบัติของผง Zn - C ทั้งทางกายภาพและทางเคมีเทียบกับถ่านกัมมันต์เชิงการค้า (AC) ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง

4.1 สมบัติของผง Zn - C

ผง Zn - C มีลักษณะเป็นก้อนสีดำ ไม่มีกลิ่นที่ได้จากถ่านไฟฉายแบบธรรมดาที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ โดยถ่านไฟฉาย 1 ก้อนจะได้ผง Zn - C ประมาณ 20 g ซึ่งผง Zn - C มีองค์ประกอบคือผงถ่านที่ผสมรวมกับแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) และมีสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เจือปนอยู่กับผงถ่านด้วย โดย MnO_2 ในผง Zn - C สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ฟอรัมาลดีไฮด์สลายตัวได้ ซึ่งธีรดา และสมเกียรติ, 2550 ได้ทำการวิจัยโดยใช้ MnO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัว $HCHO$ ได้ผลดี และ $ZnCl_2$ เป็นสารเคมีตัวหนึ่งที่นิยมใช้กระตุ้นในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (ศรีสุตา, 2546) ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ผง Zn - C มาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้งเป็นตัวดูดซับ และจากการสกัดโดยใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ร่วมกับอุณหภูมิที่ $90\text{ }^{\circ}C$ ผลการวัดปริมาณโลหะในผงถ่านไฟฉายพบว่าในผง Zn - C จะพบแมงกานีสมากที่สุด รองลงมาคือสังกะสี และเหล็ก ตามลำดับ ซึ่งสามารถสกัดแมงกานีสออกมาได้ 280.87 g/kg และสกัดสังกะสีออกมาได้ 54.15 g/kg (ชนกานต์, 2554) ในการคัดแยกผงถ่านจะคัดแยกด้วยมือโดยใช้อุปกรณ์สำหรับแกะถ่านไฟฉาย เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ $105\text{ }^{\circ}C$ และบด แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ได้เป็นผง Zn - C ที่มีเนื้อละเอียดสีดำ มีน้ำหนักเบา และไม่มีกลิ่น เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังภาคผนวก ก และใช้เป็นตัวดูดซับฟอรัมาลดีไฮด์ต่อไป

4.1.1 ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า

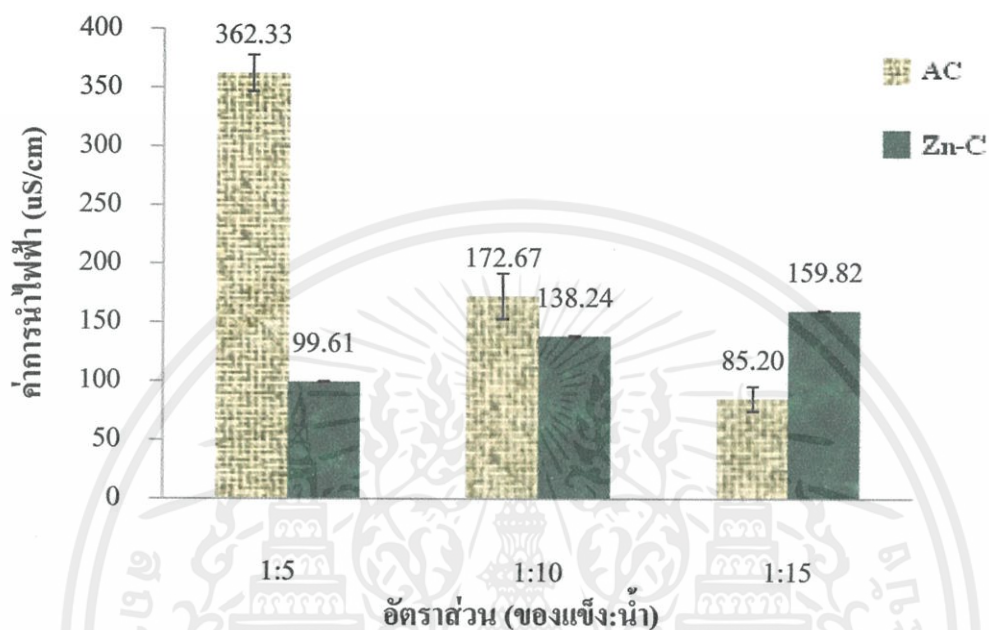
ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า เป็นสมบัติเบื้องต้น ดังนั้นก่อนนำไปศึกษาผลของการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ในอากาศ จึงต้องมีการศึกษาค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของ AC และผง Zn - C จากการทดลองใช้อัตราส่วน AC และผง Zn - C ต่อน้ำกลั่น 1:5, 1:10 และ 1:15 ส่วนอัตราส่วน 1:1 ไม่ได้ทำการเลือกวัดเนื่องจากสารละลายในอัตรานี้มีลักษณะขุ่นไม่สามารถทำการวัดได้ พบว่าค่าพีเอชของ AC จะมีค่าค่อนข้างเป็นเบส (9.33 – 9.65) และค่าพีเอชของผง Zn - C จะมีค่าค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย (5.98 – 6.29) เนื่องจากสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ที่เป็นเกลือของกรดแก่ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่กั้นระหว่างชั้นแคโทดและชั้นแอโนดเมื่อเกลือกรดละลายน้ำแล้วมีฤทธิ์เป็นกรด แต่ในปฏิกิริยาสามารถเกิด NH_3 ทำให้เกิดการสะเทินได้บ้าง ทำให้ค่าพีเอชของสารละลายเป็นกรดเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของ AC และผง Zn - C ในอัตราส่วนต่างๆ

ส่วนค่าการนำไฟฟ้า พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า ของ AC มีค่าลดลง และค่าการนำไฟฟ้าของผง Zn - C มีค่าสูงขึ้น เป็นผลจากการที่ถ่านไฟฉายชนิดธรรมดา (Zn - C) อาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารเคมีที่บรรจุอยู่ภายใน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เกิดเป็นพลังงานและทำให้เกิดประจุบวก ประจุลบ และเกิดกระแสไฟฟ้าออกมา เมื่อใช้หมดแล้วอาจมีประจุบวกหรือประจุลบ

ที่ละลายน้ำค้างเหลืออยู่ภายในผง Zn - C เมื่อเทียบค่าการนำไฟฟ้าระหว่าง AC กับผง Zn - C พบว่า ในอัตราส่วนของแข็ง:น้ำกลั่นที่ 1:5 และ 1:10 AC มีค่าการนำไฟฟ้ามากกว่าผง Zn - C แต่ที่ อัตราส่วน 1:15 AC มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าผง Zn - C ดังรูปที่ 4.2

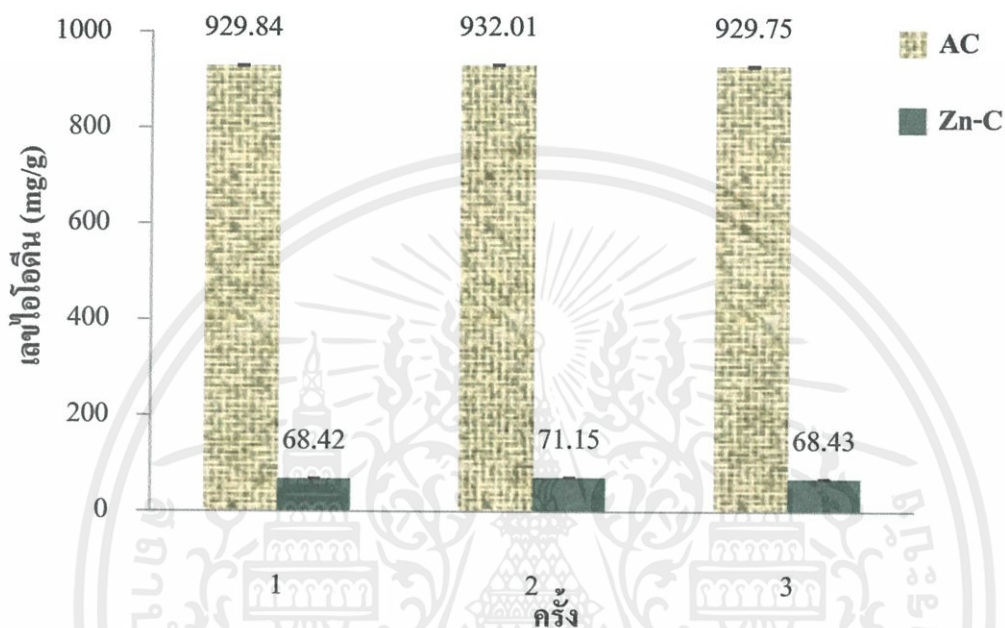


รูปที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของ AC และผง Zn - C ในอัตราส่วนต่างๆ

4.1.2 เลขไอโอดีน

เลขไอโอดีนเป็นค่าสำคัญพื้นฐานที่ใช้บ่งบอกประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์เชิงการค้า (AC) ได้ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวของ AC โดยแสดงจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ต่อกรัมของน้ำหนักถ่านกัมมันต์ การดูดซับไอโอดีนเกิดขึ้นที่รูพรุนขนาดกลาง (Mesoporous) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของถ่านกัมมันต์เชิงการค้าชนิดผง (มอก.900-2547) ที่กำหนดให้มีค่าเลขไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 mg/g จากการตรวจสอบเลขไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-94(2011) พบว่า เลขไอโอดีนของ AC ที่ผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 325 mesh มีค่าเฉลี่ย 930.53 ± 1.28 mg/g ซึ่งเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด และจากการหาเลขไอโอดีนของผง Zn - C ที่ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 mesh เช่นกัน พบว่า ผง Zn - C มีเลขไอโอดีนเท่ากับ 69.33 ± 1.57 mg/g น้อยกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของถ่านกัมมันต์เชิงการค้า เนื่องจากพื้นที่ผิว และรูพรุนของผง Zn - C มีการดูดซับไอโอดีนได้ต่ำ อาจ

เป็นผลจากการดูดซับไอโอดีนส่วนใหญ่ของผง Zn - C เกิดกับรูพรุนขนาดใหญ่มากกว่าขนาดกลาง และจากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA พบว่า AC และผง Zn - C มีเลขไอโอดีน (Iodine number) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (ภาคผนวก จ)



รูปที่ 4.3 เลขไอโอดีนของ AC และผง Zn - C

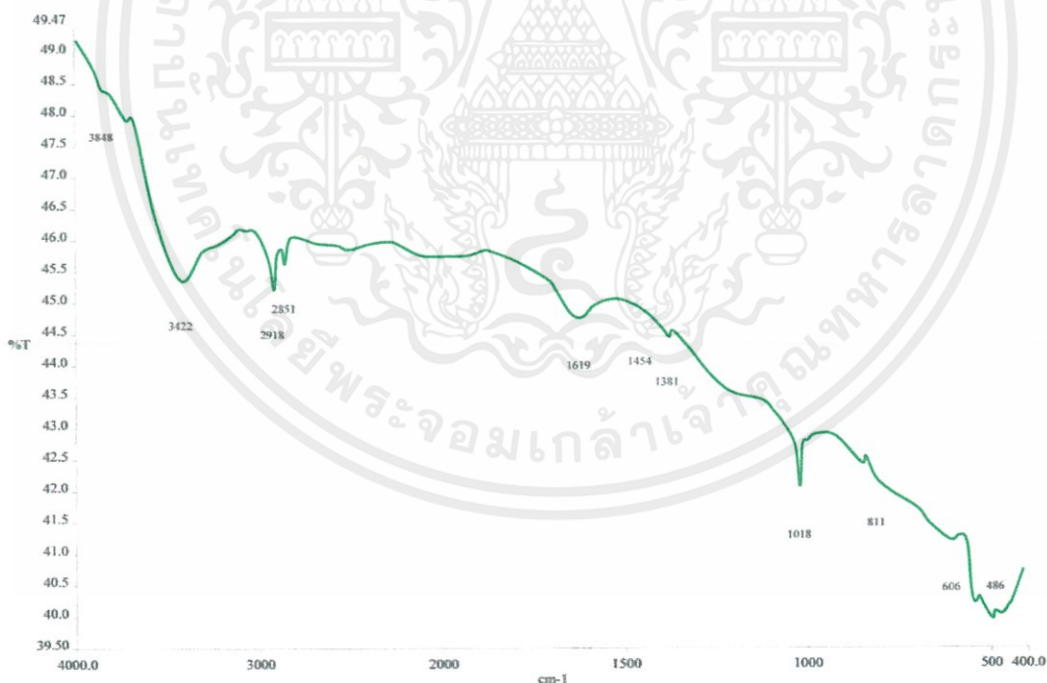
4.1.3 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนตามเทคนิค Brunauer, Emmett and Teller (BET) โดยอาศัยการวัดปริมาตรแก๊สไนโตรเจนที่พื้นผิวดูดซับเอาไว้ การทดลองได้นำผง Zn - C ที่ผ่านการร่อนตะแกรงขนาด 100 mesh มาใช้เป็นตัวดูดซับ พบว่า ผง Zn - C ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh มีพื้นที่ผิวเท่ากับ $51.98 \text{ m}^2/\text{g}$ ปริมาตรรูพรุนทั้งหมดเท่ากับ $1.492 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{g}$ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเท่ากับ $1.148 \times 10^2 \text{ \AA}$ โดยค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วงของ Mesoporous คือ มีขนาดพื้นที่ผิวอยู่ระหว่าง $20 - 100 \text{ m}^2/\text{g}$ ปริมาตรรูพรุนอยู่ระหว่าง $0.1 - 0.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ระหว่าง $30 - 4000 \text{ \AA}$ แต่สำหรับ AC เป็นตัวดูดซับที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยการทำให้รูพรุนหรือโครงสร้างภายในมีเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่ง AC ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous) จะดูดซับก๊าซพิษในอากาศที่มีโมเลกุลขนาดเล็กอย่างฟอร์มัลดีไฮด์ได้ดี

โดยที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากโดยมีค่า 600 - 1,000 m^2/g ปริมาตรรูพรุนจะอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.6 cm^3/g และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนน้อยกว่า 20 Å ซึ่งรูพรุนขนาดเล็กนั้นมีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและพลังงานในการดูดซับมากที่สุด

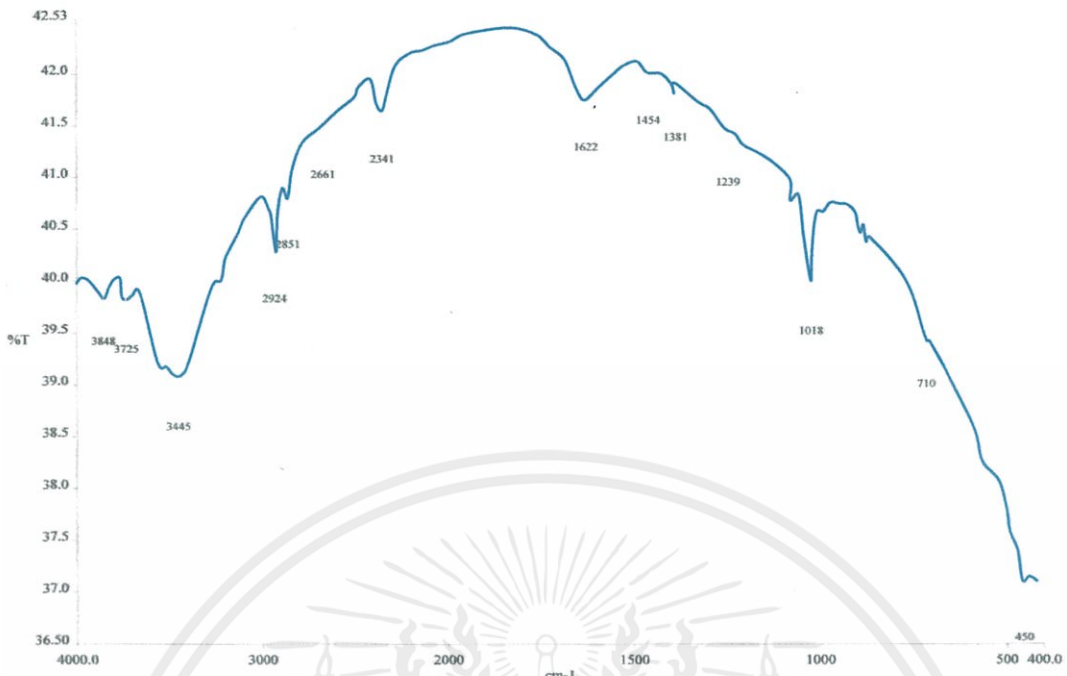
4.1.4 หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ

ในการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์เป็นการดูดซับไว้บนผิวของ AC และ ผง Zn - C จึงต้องมีการหาหมู่ฟังก์ชันบริเวณพื้นผิวของ AC และ ผง Zn - C ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ใน ผง Zn - C เปรียบเทียบกับ AC โดยอาศัยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) โดยการหาหมู่ฟังก์ชันของ AC และ ผง Zn - C จะใช้สารประกอบโพลิสไตรีนเป็นสารมาตรฐานในการวิเคราะห์ ซึ่งโพลิสไตรีนมีสูตรโครงสร้าง ดังรูป ก-1 (ภาคผนวก ก) และแสดงอินฟราเรดสเปกตรัม ดังรูป ก-2 (ภาคผนวก ก) ใช้ตรวจสอบการเกิดฟิสิกส์ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของผง Zn - C

ถ้าบริเวณผิวของ AC และผง Zn - C ไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ การดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์จะเกิดแรงยึดเหนี่ยวที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ได้แต่ก็มีโอกาสที่โมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับจะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าบริเวณผิวมีหมู่ฟังก์ชัน การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่ามีหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวของทั้ง AC และผง Zn - C โดยหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏเด่นชัด คือ หมู่ O-H Stretching ที่เลขคลื่นประมาณ $3,200 - 3,550 \text{ cm}^{-1}$ แต่จากค่าพีเอชของสารละลายทั้ง AC และผง Zn - C ทำให้สามารถหาความแตกต่างของทั้ง AC และผง Zn - C ได้ เนื่องจากค่าพีเอชที่เป็นเบส ทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ของ AC สามารถดูดซับได้มากกว่าผง Zn - C โดยหมู่ O-H Stretching ที่ผิวของ AC เกิดการสูญเสียโปรตอน (Deprotonation) เกิดความเป็นลบหรือมีสภาพขั้วที่พื้นผิว ส่วนฟอร์มัลดีไฮด์ในการทดลองอยู่ในสภาวะก๊าซที่ไม่เสถียร ทำให้เกิดการคั่งคุดระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์กับหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของ AC ที่สภาพขั้วได้มากกว่าผง Zn - C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาผลการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C

การศึกษาผลการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C จะศึกษาในสภาวะบรรยากาศที่จำลองให้มีไอระเหยของฟอร์มาลดีไฮด์เกิดขึ้นแล้วถูกดูดซับด้วยผง Zn - C ที่ทราบเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับและเกิดสมดุล เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกับ AC ที่สภาวะการทดลองเดียวกัน รวมทั้งหาไอโซเทอร์มของการดูดซับที่เหมาะสมของ AC และผง Zn - C จากไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และแบบฟรุนดลิชด้วย

4.2.1 การสร้างสภาวะบรรยากาศจำลองที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

ในการจำลองสภาวะที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ โดยใส่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ลงในชามระเหย เมื่อหยดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์จำนวนที่แน่นอนลงไป KMnO_4 เป็นสารออกซิไดส์ที่แรงสามารถทำลายพันธะพาราฟอร์มาลดีไฮด์หรือกลายเป็นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นตามวิธีของ NIOSH 3500 (รายละเอียดคั่งภาคผนวก ข.3)

ตารางที่ 4.1 ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่สภาวะจำลอง ณ เวลาใด ๆ

เวลา (min)	ครั้งที่	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความดัน (atm)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (ppm)	เฉลี่ย (ppm)	S.D.
5	1	29.0	1.0136	2.76	1.12	1.07	0.11
	2	29.0	1.0136	2.30	0.94		
	3	29.0	1.0141	2.79	1.14		
60	1	30.0	1.0146	2.56	1.04	0.99	0.12
	2	30.0	1.0146	2.63	1.07		
	3	30.0	1.0136	2.10	0.86		
180	1	31.0	1.0136	2.18	0.89	1.07	0.16
	2	31.0	1.0141	2.92	1.19		
	3	31.5	1.0141	2.76	1.13		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากตารางที่ 4.1 พบว่า แม้ว่าจะตั้งทิ้งไว้ในเวลาที่ต่างกัน สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีไม่จำกัดใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ความเข้มข้น 967.6 mg/L ดังภาคผนวก ข.2 เกิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบประมาณ 1 ppm ซึ่งสามารถได้กลิ่นฉุน และเกิดการระคายต่อเยื่อตาทำให้แสบตา น้ำตาไหล และระคายเคืองต่อ

ทางเดินหายใจส่วนต้น เยื่อจมูก โดยการตรวจวัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบนี้ใช้เป็นชุดควบคุม ทำให้สามารถทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของแผง Zn - C ได้โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบชุดทดลองเทียบกับความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในห้องทดสอบชุดควบคุม

4.2.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

การเก็บอากาศเมื่อทำการปรับและวัดอัตราการไหลเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ที่อัตราการไหล 0.5 L/min จำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาอัตราการไหลเฉลี่ยจากอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 % จึงถือว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศมีอัตราไหลคงที่ตลอดการทดลอง (ดังตาราง ก-19 หน้า 111)

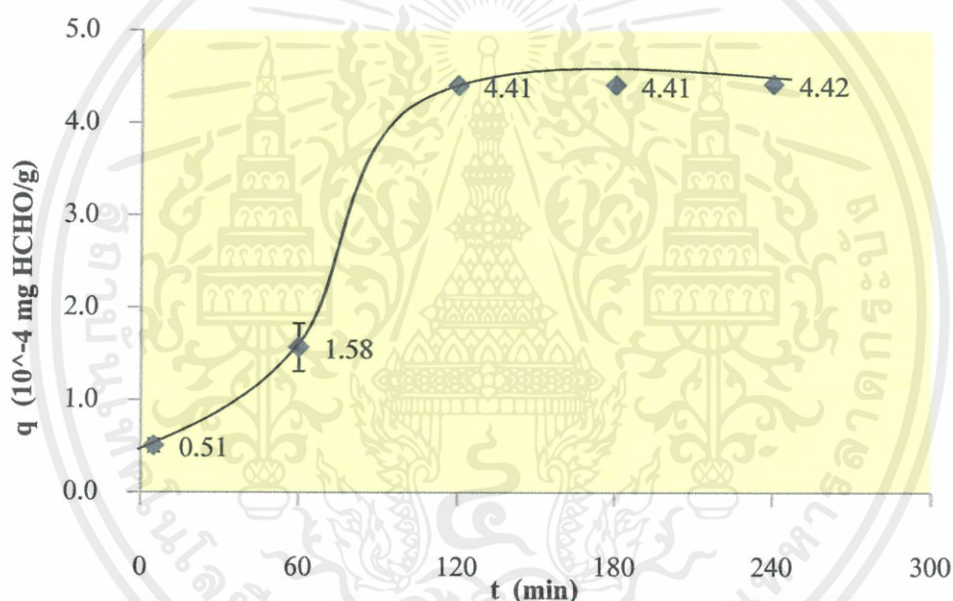
การทำความสะอาดห้องทดสอบหลังทำการเก็บตัวอย่าง โดยทำการปล่อยไอโซนเข้าไปในเครื่องเคเตอร์เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งไอโซนจะไปสลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลืออยู่ในห้องทดสอบเป็นกรดฟอร์มิก ดังสมการที่ 2.30 ในบทที่ 2 และทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการไหล 0.5 L/min นาน 10 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีของNIOSH 3500 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีค่าเป็นศูนย์ (ดังตาราง ก-20 หน้า 112) แสดงว่าไม่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลงเหลืออยู่ในห้องทดสอบ

การเก็บตัวอย่างอากาศที่ถูกต้องจะต้องมีตรวจสอบการเกิด Break through ซึ่งหมายถึงปัมป์เก็บตัวอย่างอากาศผ่านเข้ามายังอิมพินเจอร์ที่มีสารดูดซึม NaHSO_3 เข้มข้น 1 % บรรจุอยู่ และละลายในสารดูดซึมได้หมดโดยไม่ผ่านออกไปจากสารดูดซึมขณะทำการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้อิมพินเจอร์ 2 ชุด คือ ชุดหน้า (Front impinger) ซึ่งใช้เก็บอากาศในห้องทดสอบ และใช้ชุดหลัง (Back impinger) เก็บอากาศจากชุดหน้าเพื่อตรวจสอบอากาศที่ผ่านออกมาจากอิมพินเจอร์ชุดหน้าว่าในอากาศไม่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ผ่านออกมาด้วย โดยนำสารดูดซึมในอิมพินเจอร์ทั้ง 2 ชุดไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ตามวิธีของ NIOSH 3500 พบว่า สารดูดซึมในอิมพินเจอร์ชุดหลังมีค่าการดูดกลืนแสงเป็นศูนย์ (ดังตาราง ก-21 หน้า 112) แสดงว่าไม่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ปนออกมาจากชุดหน้า ตามสภาวะจำลองการเกิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์และในการเก็บตัวอย่างอากาศในแต่ละครั้งไม่เกิดสภาวะ Break through

4.2.3 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับจนเกิดสมดุล

เมื่อเริ่มต้นการดูดซับอาจเกิดได้น้อยเมื่อเวลาผ่านไปจึงมีการดูดซับไว้บนพื้นผิวของตัวดูดซับมากขึ้นจนเข้าสู่สมดุล ในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนแผง Zn - C จึงจำเป็นต้องหาเวลา

ที่เหมาะสมในการดูดซับจนเกิดสมดุล ที่อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น และ น้ำหนักผง Zn - C ที่ใช้ดูดซับคงที่ โดยสร้างสภาวะที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบเหมือน ข้อ 4.2.1 แต่ใส่ถุงใยสังเคราะห์ที่บรรจุผง Zn - C ซึ่งถุงใยสังเคราะห์ที่ใช้ได้ทำการหาผลการดูดซับ ฟอร์มาลดีไฮด์เช่นกัน พบว่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่วัดได้เป็นศูนย์ แสดงว่า ถุงใยสังเคราะห์ไม่มีผลต่อการศึกษาการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C (ดังตาราง ก-9 ภาคผนวก ก หน้า 87) นำสารละลายที่ได้จากการสกัดผง Zn - C ไปหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์บน ผง Zn - C ตามวิธีของ NIOSH 3500 แล้วคำนวณหาสัดส่วนการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ (mg) ต่อ ผง Zn - C 1 g (รายละเอียดการคำนวณภาคผนวก ง หน้า 118) และสร้างกราฟความสัมพันธ์กับ ระยะเวลาสัมผัส (min) ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา กับ ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์โดยผง Zn - C

เมื่อ q คือ สัดส่วนปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ($\times 10^{-4}$ mg) บนผง Zn - C 1 g

t คือ ระยะเวลาสัมผัสของฟอร์มาลดีไฮด์กับผง Zn - C

จากรูปที่ 4.6 เห็นได้ว่า เวลาที่ตัวดูดซับสัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้สัดส่วน การดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C เพิ่มมากขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยความชันของกราฟ หรือสัดส่วนการดูดซับ (q) ในช่วงแรก 0 - 60 นาที มีสัดส่วนการดูดซับต่ำและเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่ในช่วงที่สอง 60 - 120 นาที สัดส่วนการดูดซับจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเริ่มคงที่หรือมีการ

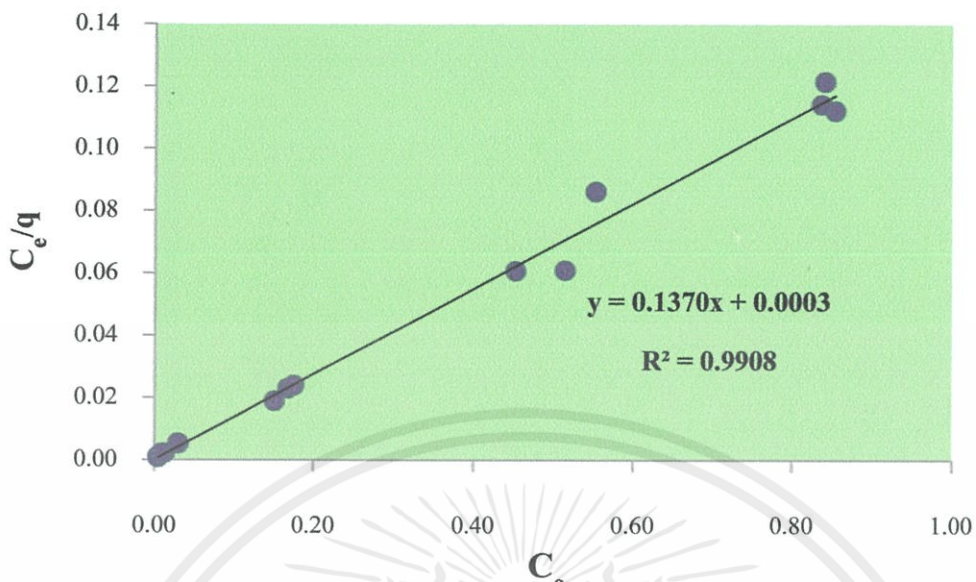
เปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วงที่สาม 120 - 240 นาที เนื่องจากเกิดสภาวะสมดุล จากกราฟรูปที่ 4.6 พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C คือ 120 นาที โดยมีสัดส่วนการดูดซับอยู่ที่ 4.41 ± 0.32 (10^{-4} mg/g) เมื่อมีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบเริ่มต้นคงที่ที่ประมาณ 1 ppm ดังตารางที่ 4.1 และปริมาณผง Zn - C ที่ใช้ในการดูดซับคงที่อยู่ที่ 3 g ซึ่งเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C นี้ นำไปศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับต่อไป

4.2.4 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

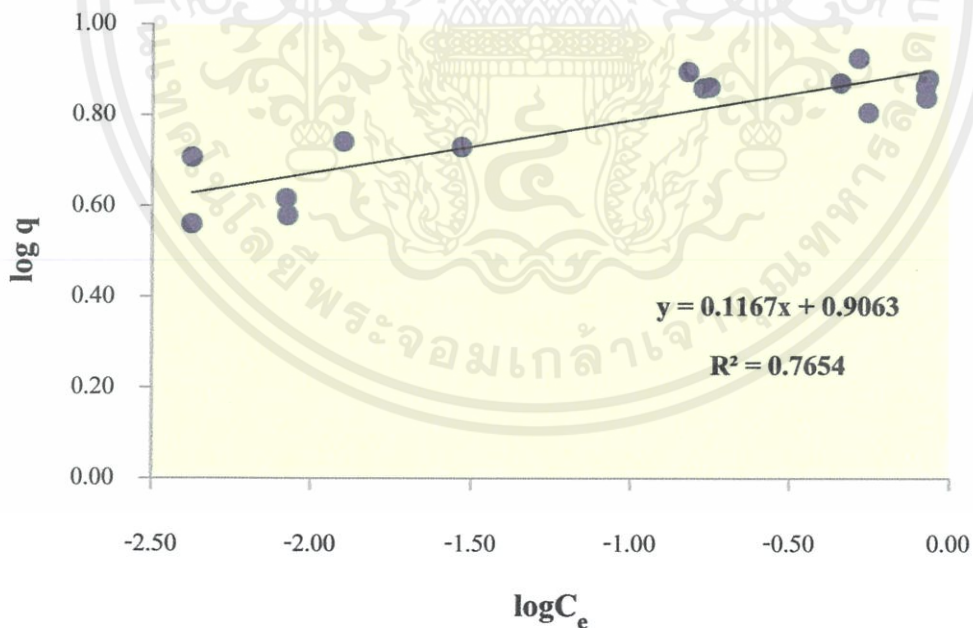
ไอโซเทอมของการดูดซับ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลของตัวถูกละลายกับปริมาณตัวถูกละลายบนตัวดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับไอโซเทอมที่นิยมใช้กัน ได้แก่ แบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และแบบฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm) ซึ่งการสร้างไอโซเทอมการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่จำลองให้มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เกิดขึ้น โดยใช้ผง Zn - C เป็นตัวดูดซับเทียบกับ AC ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนตัวดูดซับ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น และสามารถสร้างไอโซเทอมของการดูดซับได้ ดังรูปที่ 4.7 - 4.10

ในการศึกษามีการแปรค่าปริมาณของตัวดูดซับทำได้ง่าย และมีความปลอดภัยมากกว่าการแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบเป็นความเข้มข้นค่าต่างๆ ซึ่งอาจสามารถถอดรูดออกจากห้องทดสอบได้ถ้าความเข้มข้นสูง เมื่อนำข้อมูลผลการทดลอง (ภาคผนวก ก หน้า 107 - 108) มาพลอตกราฟระหว่าง C_e/q กับ C_e สำหรับกราฟไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และ $\log q$ กับ $\log C_e$ สำหรับกราฟไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช เมื่อทดสอบกับ AC พบว่า มีสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของ Langmuir Isotherm คือ $y = 0.1370x + 0.0003$, $R^2 = 0.9908$ และสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของ Freundlich Isotherm คือ $y = 0.1167x + 0.9063$, $R^2 = 0.7654$ แสดงว่าการดูดซับแบบแลงเมียร์มีความสอดคล้องกับผลการทดลองดีกว่าการดูดซับแบบฟรุนดลิช เพราะมีค่า R^2 สูงกว่า

เมื่อทดสอบกับผง Zn - C พบว่า มีสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของ Langmuir Isotherm คือ $y = 11.434x - 6.6214$, $R^2 = 0.7289$ และมีสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของ Freundlich Isotherm คือ $y = -2.2168x + 0.3146$, $R^2 = 0.8492$ แสดงว่าการดูดซับแบบฟรุนดลิชมีความสอดคล้องกับผลการทดลองดีกว่าการดูดซับแบบแลงเมียร์ เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination : R^2) สูงกว่า



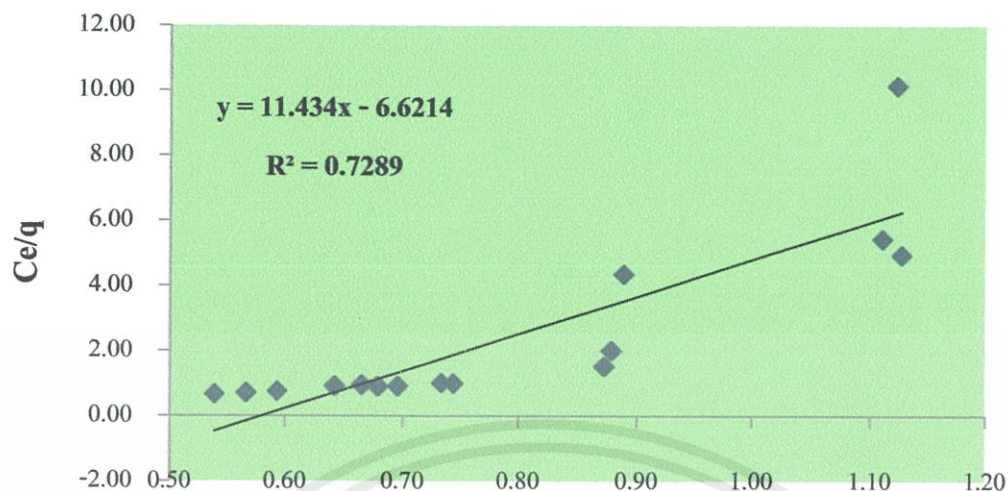
รูปที่ 4.7 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ AC



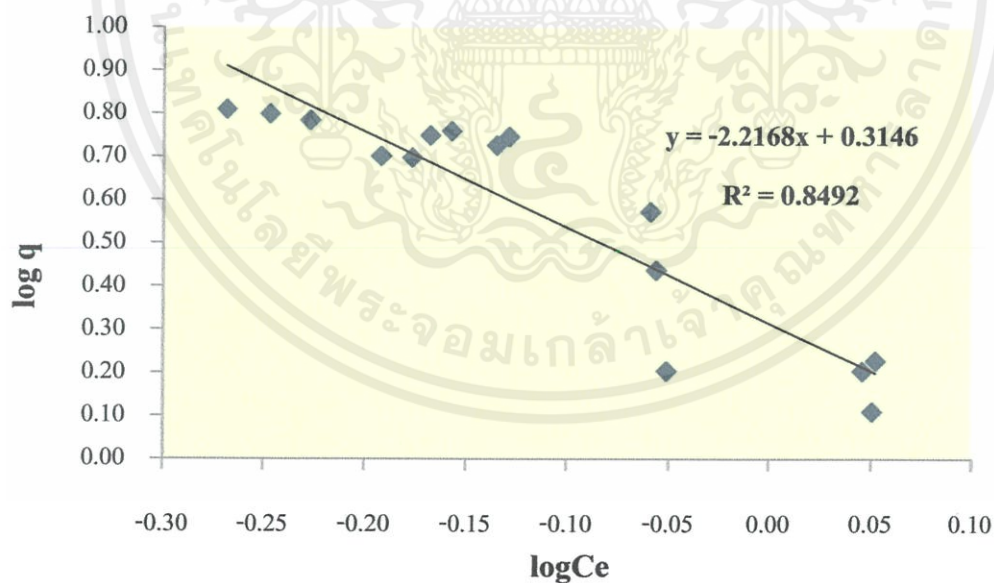
รูปที่ 4.8 ไอโซเทอร์มแบบฟรุนคลิชของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ เมื่อใดก็ตามที่ q คือ สัดส่วนปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ($\times 10^{-4}$ mg) บน AC 1 g ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_e คือ ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบ (ppm)



รูปที่ 4.9 ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ผง Zn-C



รูปที่ 4.10 ไอโซเทอร์มแบบฟรอนดลิชของการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้ผง Zn - C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยผู้เขียนให้เกียรติขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ q คือ สัดส่วนปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ($\times 10^{-4}$ mg) บนผง Zn - C 1 g

C_e คือ ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบ (ppm)

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดย AC และผง Zn - C

ชนิดของตัว ดูดซับ	ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์			ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช		
	$1/Q^{\circ}$	$1/bQ^{\circ}$	R^2	$1/n$	$\log K_f$	R^2
AC	0.1370	0.0003	0.9908	0.1167	0.9063	0.7654
ผง Zn - C	11.4340	-6.6214	0.7289	-2.2168	0.3146	0.8492

สำหรับความสอดคล้องของไอโซเทอร์มที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานะจำลองที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ พิจารณาจากสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination : R^2) ของไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช ได้ค่าคงที่ของไอโซเทอร์มของการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดย AC และผง Zn - C ดังตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อใช้ AC เป็นตัวดูดซับ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ สามารถอธิบายได้ว่าโมเลกุลของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะเกิดการดูดซับบนพื้นผิวของ AC ในตำแหน่งที่แน่นอน แต่ละโมเลกุลของ AC เกิดการดูดซับบนผิวแบบชั้นเดียว แต่ละพื้นผิวของ AC มีลักษณะแบบเดียวกันและมีพลังงานในการดูดซับคล้ายกัน จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นสามารถคำนวณค่าสูงสุดในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ (Q°) ของ AC ได้เท่ากับ 7.30×10^{-4} mg/g (รายละเอียดการคำนวณภาคผนวก ง หน้า 120) และทำนายปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ AC ดูดซับไว้ได้ (q) เมื่อเกิดการปนเปื้อนในอากาศ โดยการแทนค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในอากาศ (C_e) ในสมการที่ 4.1

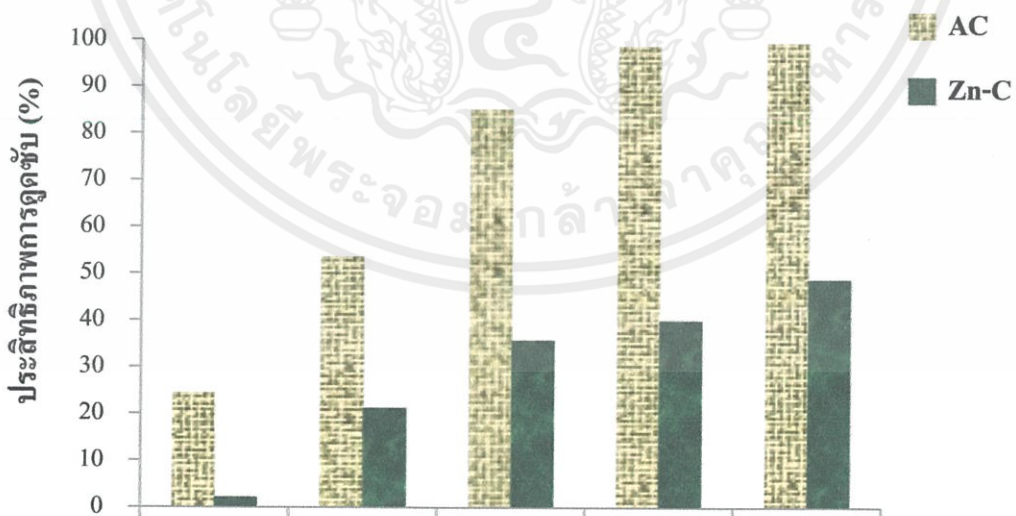
$$\frac{C_e}{q(10^{-4} \text{ mg/g})} = \frac{C_e}{7.30} + 0.0003 \quad (4.2)$$

เมื่อใช้ผง Zn - C เป็นตัวดูดซับ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าพื้นผิวของผง Zn - C ไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดมีลักษณะขรุขระพื้นที่ผิวและพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นมีความชันเท่ากับ $1/n = -2.2168$ สามารถบอกได้ว่าปริมาณพื้นผิวบนผง Zn - C มีจำนวนจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวเพิ่ม สามารถคำนวณค่าคงที่ของการดูดซับ (K_f) ได้เท่ากับ 2.06 และทำนายปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่ผง Zn - C ดูดซับไว้ได้ (q) เมื่อเกิดการปนเปื้อนในอากาศ โดยการแทนค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในอากาศ (C_e) ในสมการที่ 4.1 ซึ่งจากสมการเมื่อ C_e เท่ากับ 0.5659 ppm (ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบ

ของผง Zn - C 7 g) พบว่า ผง Zn - C 1 g ดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ไว้ได้ 7.28×10^{-4} mg/g (รายละเอียดการคำนวณภาคผนวก ง หน้า 121)

$$q (10^{-4} \text{ mg/g}) = 2.06 C_c^{(-2.2168)} \quad (4.2)$$

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของผง Zn - C เทียบกับ AC ที่น้ำหนัก 1, 2, 3, 5 และ 7 g (ดังตาราง ค-17 หน้า 109 และตาราง ค-18 หน้า 110) พบว่า AC น้ำหนัก 5 g มีประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นจนสามารถดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้เกือบ 100 % สามารถดูดซับได้มากกว่าผง Zn - C ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 4.11 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA พบว่า AC และผง Zn - C ที่น้ำหนักต่างๆ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับเป็นรายคู่ด้วยวิธีแบบ Duncan's Multiple New Range Test ผง Zn - C น้ำหนัก 2 g และ AC น้ำหนัก 1 g มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน, AC น้ำหนัก 5 g และน้ำหนัก 7 g มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ส่วนผง Zn - C น้ำหนัก 1, 3, 5, 7 g และ AC น้ำหนัก 2, 3 g มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน (ภาคผนวก จ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชางานเพื่อศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบปริมาณที่ใช้ในการดูดซับ (g) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาสมบัติของผง Zn - C ที่ใช้เป็นการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่า ผง Zn - C ที่อัตราส่วนต่างๆ มีค่าพีเอชเป็นกรดเล็กน้อยเนื่องจากสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ที่เป็นเกลือของกรดแก่และมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น มีพื้นที่ผิว, ปริมาตรรูพรุน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน เท่ากับ $51.98 \text{ m}^2/\text{g}$, $1.492 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{g}$ และ $1.148 \times 10^2 \text{ \AA}$ ตามลำดับ จัดว่าเป็นรูพรุนขนาด Mesoporous โดยบนพื้นผิวของผง Zn - C มีหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏเด่นชัดอยู่ คือ หมู่ O-H Stretching และมีเลขไอโอดีนเท่ากับ $69.33 \pm 1.57 \text{ mg/g}$ จากสมบัติของผง Zn - C เห็นได้ว่าผง Zn - C ไม่เหมาะสมในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เมื่อเทียบกับ AC ที่เป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูง

ผลที่ได้จากการนำผง Zn - C มาดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในสถานะจำลองที่มีความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เกิดขึ้น 1 ppm มีเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจนเกิดสมดุลที่ 120 นาที และแปรค่าน้ำหนักตัวดูดซับเป็น 1, 2, 3, 5, และ 7 g พบว่าผง Zn - C มีประสิทธิภาพการดูดซับ $2.24 \pm 0.76 \%$, $21.31 \pm 2.96 \%$, $35.78 \pm 1.97 \%$, $39.99 \pm 1.32 \%$ และ $48.79 \pm 2.46 \%$ ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ AC ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับ $24.43 \pm 1.66 \%$, $53.63 \pm 3.13 \%$, $85.21 \pm 1.27 \%$, $98.68 \pm 1.13 \%$ และ $99.37 \pm 0.22\%$ ตามลำดับ ซึ่งผง Zn - C และ AC ที่น้ำหนักต่างๆ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สรุปได้ว่า ผง Zn - C มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำเมื่อเทียบกับ AC และที่น้ำหนัก 5 g AC ยังสามารถดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบได้เกือบหมด

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในขณะที่ทำการแยกชิ้นส่วนของถ่านไฟฉายด้วยมือต้องระมัดระวัง เนื่องจากอาจเกิดอันตรายจากแผ่นโลหะ หรืออาจมีสารละลายเล็กโตรไลต์ที่ยังเหลืออยู่ในถ่านไฟฉายที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น คือ ทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เกิดปฏิกิริยา ดังนั้น ควรสวมแว่นตา, ถุงมือ, เสื้อกาวน์ และในการแกะต้องค่อยๆ คัดส่วนหัวออก

และหันส่วนนั้นออกนอกตัว เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น และควรรีบล้างมือทำความสะอาดร่างกายทุกครั้งหลังทำการทดลองเสร็จ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ผง Zn - C หลังการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์แล้ว ควรมีการกำจัดอย่างเหมาะสม เช่น วิธีใช้ความร้อน (ที่ 800 - 950 °C) เผาผง Zn - C เพื่อให้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกดูดซับย่อยสลาย โดยควรทำในระบบปิด

2. จากการนำผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับอาจไม่ใช่การใช้ประโยชน์ที่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรนำไปศึกษาการใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ต่อไป อย่างเช่นนำไปสกัดเอาแมงกานีสและสังกะสีจากผงถ่านที่ใช้แล้วชนิด Zn - C (Sayilgan *et al.*, 2010) กลับมาใช้ประโยชน์ทดแทนการผลิตหรือการถลุงแร่แมงกานีสและสังกะสีตามธรรมชาติ

3. ถ้ามีการนำผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วมาใช้ให้เป็นประโยชน์ หรือนำมาทำลายความเป็นพิษได้ประสิทธิภาพมากขึ้น ควรมีการพัฒนาการออกแบบรูปแบบผลิตภัณฑ์ถ่านไฟฉายให้มีการนำผงถ่านไฟฉายที่อยู่ภายในออกมาใช้งานได้ง่ายขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดการสัมผัสกับสารเคมีมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ, 2553. **มลพิษจากของเสียอันตราย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://www.thaienvimonitor.net/Database/solid.htm> : วันที่สืบค้น 25 สิงหาคม 2555.

กรมควบคุมมลพิษ, 2554. **การจัดการของเสียอันตรายจากชุมชน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_community.html : วันที่สืบค้น 25 สิงหาคม 2555.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. **คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูง ฟอร์มัลดีไฮด์**

(Formaldehyde). กรุงเทพฯ. : บริษัท เอ็ม ซี ซิตลาบัส จำกัด.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน. 2554. **คู่มือการคัดแยกขยะอันตรายใน**

สำนักงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. : บริษัท ร้าไทยเพรส จำกัด.

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2546. **อันตรายจากสิ่งแวดล้อมการทำงานในโรงพยาบาล**

การป้องกัน และควบคุม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://advisor.anamai.moph.go.th/HPH/NEWS/ergo13.html> : วันที่สืบค้น 25 สิงหาคม 2555.

โกวิทย์ ปิยะมังกลา และคณะ. “**จดนศาสตร์การดูดซับโครเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้**

ไคโตซานเรซิน.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 18, ฉบับที่ 1,

มกราคม-เมษายน 2551. หน้า 68-79.

คมกริช ชันก้อน และคณะ. “**การตรวจวัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศภายในอาคาร.**” ปรินูญานินพนธ์

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.

จันทนา ไพบูรณ์ และคณะ. “**การดูดซับสีเขียวแบบสีกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp.**” วารสาร

วิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 40, ฉบับที่ 1, 2555. หน้า 242-253.

จิตตรี พละกุล และคณะ. “**การดูดซับไอระเหยฟอร์มัลดีไฮด์บนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากแกลบ.**”

รายงานการประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 ประจำปี 2552.

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าหนังสือพิมพ์และเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้แจ้งแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนกานต์ รักษาติ และคณะ. “การใช้ประโยชน์จากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วแบบอัลคาไลน์และแบบธรรมดา.” ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.

ธีรดา ร่วมชาติ และสมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์. “ออกซิเดชันในน้ำภาวะเหนือวิกฤตเชิงเร่งปฏิกิริยาสำหรับการบำบัดของเสียอินทรีย์จากห้องปฏิบัติการ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. “ถ่านไฟฉายและแบตเตอรี่.” วารสารเทคโนโลยีวัสดุ. 2550. หน้า 43-45.

ปรินทร เต็มฉูรศิลป์. “การเตรียมและการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากไม้ตองและไม้หมาจู้.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอินทรีย์ คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551.

มินตรา ปานสอน. **อันตรายจากฟอร์มาลดีไฮด์.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.learners.in.th/blogs/posts/328861>: วันที่สืบค้น 25 พฤษภาคม 2555.

สินวัฒน์ เกษศิลป์. “การทำโลหะหนักในผงถ่านไฟฉายใช้แล้วให้เสถียรด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบดำ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

วีรานูช หลาง และคณะ. “แบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของการดูดซับและการคายสารอนินทรีย์ในดินด้วย เส้นใยไรโซวิทที่เจริญและถูกตรึงในเม็ดไคโตซาน.” **Environment and Natural Resources Journal.** ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, ธันวาคม 2552. หน้า 82-97.

ศรีสุดา แซ่อึ้ง. “การสังเคราะห์สารดูดซับด้วยวิธีโซลเจล สำหรับการดูดซับไอระเหยฟอร์มาลดีไฮด์.” ปรัชญาคุณุภบัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2550.

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2543. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งที่เป็นพิษ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?in_id=79 : วันที่สืบค้น 25 สิงหาคม 2555.

สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 จังหวัดพิษณุโลก. โรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.dpc9.ddc.moph.go.th> : วันที่สืบค้น 9 กันยายน 2555.

โสริญา ม้วยแก้ว และวิทยา เทพไพฑูรย์. “การศึกษาการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายด้วย ถ่านกัมมันต์.” รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2550. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

หญิงเหล็ก, 2548. แบตเตอรี่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.mrbackpacker.com/gear/gear_39.html : วันที่สืบค้น 25 พฤษภาคม 2555.

อภิรดี ศรีโอกาส. การเก็บตัวอย่างและการประเมินมลพิษทางอากาศที่เป็นก๊าซและไอระเหย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.safety-stou.com/UserFile/File/54113%20unit%2011%20master.pdf> : วันที่สืบค้น 25 พฤษภาคม 2555.

ASTM International. **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon.** ASTM International Designation D4607-94(2011).

Belardia G., *et al.* “Characterization of spent zinc–carbon and alkaline batteries by SEM-EDS, TGA/DTA and XRPD analysis.” **Thermochimica Acta.** 2011. pp 169– 177.

Dutch Institute for Working Environmental and Dutch Chemical Industry Association, 1991, **Chemical Safety Sheets**, Samson Chemical Publishers.

Green Heart Club. ถ่านไฟฉายที่ชาร์ตไฟใหม่ได้ประหยัดกว่าถ่านไฟฉายธรรมดา.

[Online]. Available : <http://www.tatgreenheart.com/archives/589> : 8 July 2012.

I. De Michelis, *et al.* **Recovery of zinc and manganese from alkaline and zinc-carbon spent batteries .** 2007. pp 975-983.

Karol Hensel, *et al.* “Abatement Of Formaldehyde By Streamer Corona Discharge Combined With Catalyst.” **Environment International.** 2005. pp 85 -88.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ขึ้นหรือเผยแพร่ไปยังเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). **Formaldehyde by VIS. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM).** Fourth Edition, 8/15/94.

Qingbo Wena, *et al.* “Study on activated carbon derived from sewage sludge for adsorption of gaseous formaldehyde.” **Bioresource Technology.** 2011. pp 942-947.

Sayilgan E, *et al.* **Acidic leaching and precipitation of zinc and manganese from spent battery powders using various reductants.** 2010. pp 137 – 143

Shun Myung Shin, *et al.* **Separation of zinc from spent zinc-carbon batteries by selective leaching with sodium hydroxide.** 2009. pp 349-353

Vladimir Kh. Dobruskin. “Micropore structure of activated carbons and predictions of adsorption equilibrium.” **Carbon.** 2002. pp 1003–1010.

Xiaobing Pang, *et al.* “Contribution of isoprene to formaldehyde and ozone formation based on its oxidation products measurement in Beijing, China.” **Atmospheric Environment.** 2009. pp 2142–2147.

Xiaojiang Tang, *et al.* “Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects.” **Environment International.** 2009. pp 1210–1224.

Yuanwei Lu, *et al.* “The effect of activated carbon adsorption on the photocatalytic removal of formaldehyde.” **Building and Environment.** 2010. pp 615-621.

Zhen Jiao, *et al.* “Absorption of lean formaldehyde from air with Na_2SO_3 solution.” **Journal of Hazardous Materials.** 2006. pp 176–182.

Zhi-hui Pan, *et al.* “State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment.” **Harbin Institute of Technology.** 2011. pp 819 -827.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ

ก.1 การวิเคราะห์หาค่า pH

- 1) ชั่ง AC และผง Zn - C ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 mL แล้วเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนของแข็ง: น้ำกลั่น เท่ากับ 1:5 1:10 1:15
- 2) ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- 3) นำไปวัด pH ด้วยเครื่องวัด pH โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7 และ pH 4 ปรับเครื่องวัด pH ก่อน
- 4) ทำซ้ำ 3 ซ้ำ

ก.2 การวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้า

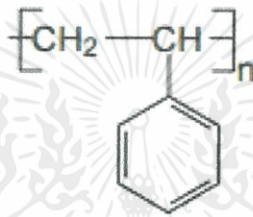
- 1) ชั่ง AC และผง Zn - C ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 mL แล้วเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนของแข็ง: น้ำกลั่น เท่ากับ 1:5 1:10 1:15
- 2) ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- 3) นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ซึ่งก่อนวัดต้องปรับเครื่องวัดด้วยสารละลายมาตรฐาน KCl 0.01M หรือ 0.1M โดยสารละลายมาตรฐาน KCl 0.01M เครื่องจะอ่านได้ประมาณ 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่อุณหภูมิ 25°C และสารละลายมาตรฐาน KCl 0.1M เครื่องจะอ่านได้ประมาณ 129 dS/cm ที่อุณหภูมิ 25 °C
- 4) ทำซ้ำ 3 ซ้ำ

ก.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน

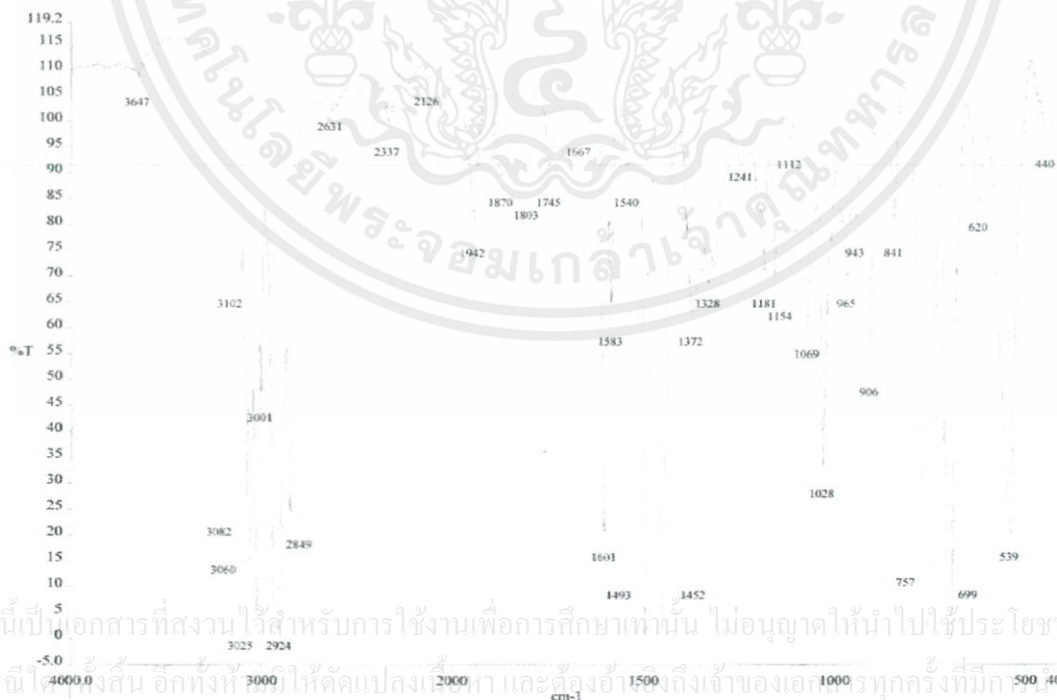
การตรวจสอบหาพื้นที่ผิวภายนอก ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนโดยอาศัยเทคนิค Brunauer, Emmett and Teller (BET) สามารถทำได้โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.3 – 0.5 g บรรจุลงในเซลล์ทดสอบ เติมนิโตรเจนเหลวลงใน Dewar เปิดวาล์วหัวถังของแก๊สฮีเลียมและไนโตรเจน ตั้งค่าอุณหภูมิและความดันของเครื่องไว้ที่ 100 °C และ 10 mmHg ตามลำดับ เมื่อเครื่องหยุดการทำงานจึงถอดเซลล์ที่บรรจุตัวอย่างออกไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักตัวอย่างจริงที่ใช้ในการวิเคราะห์ นำเซลล์ที่บรรจุตัวอย่างหลังจากการชั่งน้ำหนักแล้วกลับไปต่อกับเครื่อง BET อีกครั้งเพื่อทำการป้อนข้อมูลค่าตั้งและวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนต่อไป

ก.4 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ

การหาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับอาศัยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) ที่ดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรดที่ทำให้เกิดการสั่นของพันธะเคมีภายในโมเลกุล ซึ่งค่าความถี่ต่างๆ ของการสั่นในสเปกตรัมนั้นสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับ โมเลกุลของสารที่แน่นอนได้และสามารถวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันได้ การหาหมู่ฟังก์ชันของผง Zn - C และ AC จะใช้สารประกอบโพลิสไตรีนเป็นสารมาตรฐานในการวิเคราะห์ ซึ่งโพลิสไตรีนมีสูตรโครงสร้าง ดังรูป ก-1 และแสดงอินฟราเรดสเปกตรัม ดังรูป ก-2



รูป ก-1 สูตร โครงสร้างของโพลิสไตรีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ก-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิสไตรีน

ก.5 การวิเคราะห์หาเลขไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 (2011)

1. การเตรียมสารละลาย

ก. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5.0

เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% โดยน้ำหนัก ปริมาตร 70 mL ในน้ำกลั่น ปริมาตร 550 mL

ข. สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 1 L

- 1) ชั่งไอโอดีนประมาณ 12.70 g และโพแทสเซียมไอโอไดด์ประมาณ 19.10 g ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นของแข็งในบีกเกอร์
- 2) เติมน้ำกลั่น 2 - 5 mL ลงไปแล้วคนให้เข้ากัน
- 3) ค่อยๆ เติมน้ำกลั่นในขณะที่คนสารละลาย (ครั้งละ 5 mL) จนกระทั่งปริมาตรสารละลายเท่ากับ 50 - 60 mL ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง (คนเป็นครั้งคราว)
- 4) เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 5) เทสารละลายลงในขวดสีชา

ค. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 1 L

- 1) ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.82 g ในน้ำกลั่นเดือดปริมาตร 75±25 mL คนให้เข้ากัน
- 2) เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.10 g เพื่อป้องกันการสลายตัวจากแบคทีเรีย
- 3) เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 4) เทสารละลายลงในขวดสีชา *เก็บไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 4 วัน ก่อนนำมาใช้

ง. สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 1 L

- 1) อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 g (หรือมากกว่า) ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์
- 2) ละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 3.5667 ± 0.1 mg ในน้ำกลั่น 100 mL
- 3) เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
- 4) เก็บไว้ในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิด

จ. สารละลายน้ำแป็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ

- 1) ผสมแป้ง 1.0 ± 0.5 g ในน้ำเย็นปริมาตร 5-10 mL เพื่อทำให้เป็นแป้งเปียกที่มีการนำไปใช้
- 2) เติมน้ำ 25 ± 5 mL ในขณะที่คนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3) เทสารละลายในน้ำต้มเดือดปริมาตร 1 L แล้วต้มต่อไป 4 - 5 นาที

2. วิธีหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

ก. สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต

1) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL

2) เติมโพแทสเซียมไอโอไดค์ 2.00 ± 0.01 g ลงไป แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3) ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % ปริมาตร 5 mL

4) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน

5) เติมอินดิเคเตอร์น้ำแป้ง 2 mL แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายใสไม่มีสี

ข. สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.100 N

1) ปิเปตสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL

2) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน

3) เติมอินดิเคเตอร์น้ำแป้ง 2 mL แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายใสไม่มีสี

3. วิธีหาเลขไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 (2011)

1) หาน้ำหนัก AC ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 mesh ที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีนที่เหลือหลังจากการดูดซับเท่ากับ 0.01 N, 0.02 N และ 0.03 N โดยการคำนวณจากสูตรในมาตรฐาน ASTM D4607-94 (2011)

2) ชั่ง AC น้ำหนักตามที่คำนวณได้ 3 ค่า ในที่นี้สามารถคำนวณได้ประมาณ 0.74 g, 0.88 g และ 1.01 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL ปิดปากขวดทันที

3) ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 10 mL ใส่ลงไปแล้วปิดปากขวดทันที แกว่งเบาๆจน AC เปียกทั่ว เปิดปากขวดแล้วนำไปต้มให้เดือด 30 ± 2 วินาที เพื่อกำจัดเถ้า และซัลเฟอร์ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4) เติมสารละลายสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.100 N 100 mL แล้วปิดฝาทันที

เขย่าอย่างแรง 30 ± 1 วินาที แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง (ขนาด 5B) อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทิ้งสารละลายที่ผ่านการกรองช่วงแรก (ประมาณ 20-30 mL) แล้วกรองต่อจนหมด

- 6) ปิเปตสารละลายผ่านการกรองส่วนที่เหลือ 50 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
- 7) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.100 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน แล้วเติมอินดิเคเตอร์น้ำแป้ง 2 mL ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี
- 8) บันทึกปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้
- 9) ทำซ้ำ 3 ครั้ง
- 10) คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ ดังภาคผนวก ง โดย

$$C = \frac{N_1 \times S}{F}$$

- เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ, N
 N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต, N
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต, mL
 F = สารละลายที่ผ่านการกรอง, mL

คำนวณเลขไอโอดีนต่อกรัมตัวคูดซับ โดย

$$X/M \text{ (mg/g)} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M}$$

- เมื่อ A = $12693N_2$
 B = $126.93N_1$
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, N
 I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน, mL
 DF = ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง

$$= \frac{\text{ปริมาตรไอโอดีนเริ่มต้น} + \text{ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก}}{\text{ปริมาตรไอโอดีนที่ปิเปต}}$$

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต, mL

M = น้ำหนักตัวคูดซับ, g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 11) สร้างไอโซเทอมการคูดซับไอโอดีน โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเลขไอโอดีน (mg/g)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 กับความเข้มข้นไอโอดีนที่เหลือ (N)

12) คำนวณหาน้ำหนัก AC ที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีนเหลือ 0.02 N จากสมการไอโซเทอมที่สร้างได้ เพื่อนำไปหาน้ำหนักที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เลขไอโอดีนต่อไป

13) ทำการแปรค่าน้ำหนัก AC ที่น้อยกว่าและน้อยกว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากข้อ 12) โดยชั่ง AC มาให้มีน้ำหนักน้อยกว่าและมากกว่าน้ำหนักที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์หาเลขไอโอดีนเหมือนข้อ 2) – ข้อ 10)

14) เลือกค่าน้ำหนัก AC ที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีนเหลือใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0.02 N มากที่สุดเป็นค่าที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เลขไอโอดีนของตัวดูคซับ

15) วิเคราะห์เลขไอโอดีนของผง Zn - C ตามน้ำหนักที่ได้จากข้อ 14) แล้วนำวิเคราะห์หาเลขไอโอดีนเหมือน ข้อ 2) – ข้อ 10)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ข.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1,000 mg/L ตามวิธี NIOSH Method 3500 (1994)

1. การเตรียมสารละลาย

ก. สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1,000 mg/L

- 1) ปิ่เปิดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 40% มา 2.5 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L
- 2) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วเก็บไว้ในขวดสีชา
- 3) ปิดฝาขวดให้สนิทและเก็บไว้ในตู้เย็น *สารละลายนี้เก็บได้นานประมาณ 3 เดือน

ข. สารละลายกรดโครโมโทปิกเข้มข้น 1%

- 1) ชั่ง 4,5-dihydroxy-2,7-naphthalene disulfonic acid disodium salt มา 1 g
- 2) ละลายให้เข้ากันด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 100 mL ด้วยน้ำกลั่น
- 3) เก็บไว้ในขวดสีชา *เก็บได้ไม่เกิน 1 สัปดาห์

ค. สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เข้มข้น 1%

- 1) ชั่ง NaHSO_3 มาจำนวน 5 g ละลายให้เข้ากันด้วยน้ำกลั่น
- 2) ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 500 mL ด้วยน้ำกลั่น *ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้ง

ง. สารละลายมาตรฐานปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เข้มข้น 0.01 N

- 1) นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตชนิดรีเอเจนต์เกรดไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 2) ชั่งมา 0.2042 g ละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 mL

จ. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.01 N

- 1) ต้องเตรียมสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% ก่อน โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นของแข็งมา 10 g ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือด (ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วถ่ายใส่บีกเกอร์จำนวน 100 mL) *เวลาละลายจะเกิดความร้อนเกิดขึ้นให้แช่บีกเกอร์ลงในน้ำเพื่อถ่ายเทความร้อน

- 2) บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 N ที่ปราศจาก CO_2 โดยทำการต้มน้ำกลั่น 1 L (ใส่ให้เกิน 1 L เล็กน้อย) ในบีกเกอร์ขนาด 1 L ให้เดือดประมาณ 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและใช้กระจกนาฬิกาปิดปากบีกเกอร์ไว้

4) ปิเปตสารละลายสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% มา 4 mL เติมลงในบีกเกอร์แล้วใช้แท่งแก้วค่อย ๆ คนให้เกิดฟอง ถ่ายสารละลายลงในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีน

ฉ. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.02 N

ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริก 96 % มา 0.5548 mL ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 L แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ช. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ เข้มข้น 1.13 M

ชั่ง Na_2SO_3 มา 3.5606 g ละลายในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL ด้วยน้ำกลั่น

2. วิธีหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

ก. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1) ปิเปตสารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลตมา 10 mL ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 mL แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด

2) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน

ข. สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.02 N

1) ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริกมา 10 mL ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 mL แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด

2) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน

ค. ความเข้มข้นของสารละลายสต็อกฟอร์มัลดีไฮด์ 1,000 mg/L

1) ปิเปตสารละลายโซเดียมซัลไฟต์มา 5 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL

2) กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก แล้วปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 8.5-10 ด้วยสารละลายกรดหรือเบส บันทึก pH ก่อนไทเทรต

3) เติมสารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ 1,000 mg/L ลงไปจำนวน 10 mL จะได้ pH อยู่ที่ประมาณ 11

4) ไทเทรตด้วยกรดซัลฟูริกที่หาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่ง pH ของสารละลายต่ำกว่า 8.5 บันทึกปริมาตรที่ไทเทรต และต้องอ้างอิงถึงจุดของเอกสทริงที่ทำการไทเทรต (1 mL Acid = 0.600 mg HCHO; ต้องการกรดประมาณ 17 mL)

* ถ้าหาก pH เกินจุดยุติ ให้ทำ back titration กลับไปจุดยุติด้วย NaOH 0.01 N

ข.2 ผลความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ 1,000 mg/L

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชั่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ (KHP)	0.2039 g
ละลายในน้ำกลั่น 100 mL ได้ความเข้มข้น	0.0100 N
ปริมาตรสารปฐมภูมิที่ใช้แต่ละครั้ง	10.00 mL

ตาราง ข-1 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรจุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	10.80	10.80
2	10.80	21.70	10.90
3	21.70	32.50	10.80
เฉลี่ย			10.83

คำนวณหา [NaOH]

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 (0.0100N) (10.00\text{mL}) &= N_2 (10.83\text{mL}) \\
 N_2 &= 0.0092 N \\
 \text{ดังนั้น } [\text{NaOH}] &= 0.0092 N
 \end{aligned}$$

2. สารละลายกรดซัลฟูริก

สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ [NaOH]	0.0092 N
ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้แต่ละครั้ง	10.00 mL

ตาราง ข-2 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟูริก

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรจุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	20.10	20.10
2	20.10	40.30	20.20
3	0.00	20.10	20.10
เฉลี่ย			20.13

คำนวณหา [H₂SO₄]

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 (0.0092N) (20.13\text{mL}) &= N_2 (10.00\text{mL}) \\
 N_2 &= 0.0185 N \\
 \text{ดังนั้น } [\text{H}_2\text{SO}_4] &= 0.0185 N
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ซังโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3)	3.5600 g
ละลายในน้ำกลั่น 100 mL ได้ความเข้มข้น	1.13 M
ปริมาตรสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ที่ใช้แต่ละครั้ง	5.00 mL

ตาราง ข-3 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	pH เริ่มต้น	ปริมาตรจุดยุติ	pH จุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	8.74	17.30	8.76	17.30
2	17.30	8.76	34.80	8.76	17.50
3	0.00	8.70	17.50	8.72	17.50

คำนวณหา [HCHO]

$$\text{จาก } C_s = \frac{30.0(N_a V_a - N_b V_b)}{V_s}$$

เมื่อ น้ำหนักสมมูลของฟอร์มาลดีไฮด์ = 30 กรัม/กรัมสมมูลของฟอร์มาลดีไฮด์

$$N_a = [\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.0185 \text{ N}$$

$$V_a = \text{ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต (mL)}$$

$$N_b = [\text{NaOH}] = 0.0092 \text{ N}$$

$$V_b = \text{ปริมาตรไฮดรอกไซด์ที่ใช้ back titration (mL)}$$

$$V_s = \text{ปริมาตรสารละลายสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ (10 mL)}$$

แทนค่า;

$$\begin{aligned} \text{ครั้งที่ 1; } C_s &= \frac{30.0[(0.0185 \times 17.30) - (0.0092 \times 0)]}{10} \\ &= 0.9602 \text{ mg/mL} \\ &= 960.2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{ครั้งที่ 2; } C_s = \frac{30.0[(0.0185 \times 17.50) - (0.0092 \times 0)]}{10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.9713 \text{ mg/mL}$$

$$= 971.3 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ครั้งที่ 3; } C_s &= \frac{30.0[(0.0185 \times 17.50) - (0.0092 \times 0)]}{10} \\
 &= 0.9713 \text{ mg/mL} \\
 &= 971.3 \text{ mg/L} \\
 C_s \text{ เฉลี่ย} &= \frac{960.2 + 971.3 + 971.3}{3} \\
 &= 967.6 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ เท่ากับ 967.6 mg/L

ข.3 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ ตามวิธีของ NIOSH 3500

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 967.6 mg/L มา 1 mL แล้วเจือจางด้วยโซเดียมไบซัลไฟต์เข้มข้น 1% ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ได้เป็นสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 10 µg/mL *ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้งาน
- 2) ปิเปตสารที่เตรียมจากข้อ 1) ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL และเติมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เข้มข้น 1% ตามสัดส่วนในตาราง ข-4
- 3) เติมสารละลายกรด โครโมโทปิกเข้มข้น 1% ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสี 0.1 mL
- 4) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 96% จำนวน 6 mL ค่อยๆ เติมทีละน้อย ปิดฝาขวดให้สนิท และวนขวดซ้ำๆ เพื่อป้องกันการกระเด็นและเกิดความร้อนอย่างรุนแรง
- 5) นำไปต้มที่เตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 6) นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่น 580 nm โดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เข้มข้น 1% เป็นรีเอเจนต์แบลนด์
- 7) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาพลอตกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ (µg) ตัวอย่างเช่นในตาราง ข-5 ได้เป็นกราฟเส้นตรง ดังรูป ข-1 แล้วนำสมการเส้นตรงมาใช้คำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่างต่อไป

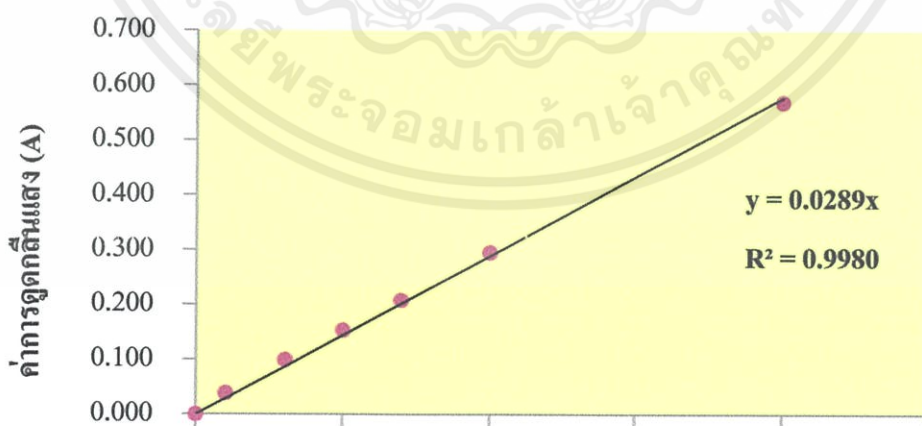
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ปริมาณสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 10 µg/mL (mL)	ปริมาณสารละลายโซเดียม ไบซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 1 (mL)	ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ (µg)
0.1	3.9	1.0
0.3	3.7	3.0
0.5	3.5	5.0
0.7	3.3	7.0
1.0	3.0	10.0
2.0	2.0	20.0

ตาราง ข-5 ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (µg)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)
0	0.000
1	0.038
3	0.099
5	0.153
7	0.208
10	0.295
20	0.569



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน 0 สำหรับกา 5 ใช้งานเพื่อค 10 ศึกษาเท่านั้น 15 ไม่นอนุญาต 20 นำไปใช้ 25 โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (µg) การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข-1 กราฟมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ค.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของตัวดูดซับ

ตาราง ค-1 ผลการวิเคราะห์ค่า pH

ชนิดของตัว ดูดซับ	อัตราส่วน (ของแข็ง:น้ำ)	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
AC	1:05	9.70	9.68	9.58	9.65	0.06
	1:10	9.50	9.47	9.51	9.49	0.02
	1:15	9.34	9.31	9.35	9.33	0.02
ผง Zn - C	1:05	5.93	5.98	6.02	5.98	0.05
	1:10	6.10	6.12	6.19	6.14	0.05
	1:15	6.27	6.31	6.29	6.29	0.02

ตาราง ค-2 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชนิดของตัว ดูดซับ	อัตราส่วน (ของแข็ง:น้ำ)	ครั้งที่			เฉลี่ย	S.D.
		1	2	3		
AC	1:05	355.00	384.00	348.00	362.23	19.09
	1:10	195.00	160.00	163.00	172.67	19.40
	1:15	73.30	89.70	92.60	85.20	10.41
ผง Zn - C	1:05	99.95	99.13	99.75	99.61	0.43
	1:10	139.15	137.99	137.57	138.24	0.82
	1:15	159.66	160.23	159.57	159.82	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

ซึ่งสารมาตรฐานปฐมภูมิ (KIO ₃)	3.5667 g
ละลายในน้ำกลั่น 1,000 mL ได้ความเข้มข้น	0.1000 N
ปริมาตรสารปฐมภูมิที่ใช้แต่ละครั้ง	25.00 mL

ตาราง ก-3 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรจุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	25.80	25.80
2	0.00	25.80	25.80
3	0.00	25.80	25.80
เฉลี่ย			25.80

คำนวณหา [Na₂S₂O₃]

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } N_1 V_1 &= N_2 V_2 \\
 (0.1000N) (25.00\text{mL}) &= N_2 (25.80\text{mL}) \\
 N_2 &= 0.0969 N \\
 \text{ดังนั้น } [\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3] &= 0.0969 N
 \end{aligned}$$

- ผลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

สารละลายมาตรฐานทศนิยม [Na ₂ S ₂ O ₃]	0.0969 N
ปริมาตรสารละลายไอโอดีนที่ใช้แต่ละครั้ง	25.00 mL

ตาราง ก-4 ข้อมูลไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

ครั้งที่	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรจุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
1	0.00	24.30	24.30
2	0.00	24.40	24.40
3	0.00	24.40	24.40
เฉลี่ย			24.37

คำนวณหา [I₂]

$$\text{จาก } N_1 V_1 = N_2 V_2$$

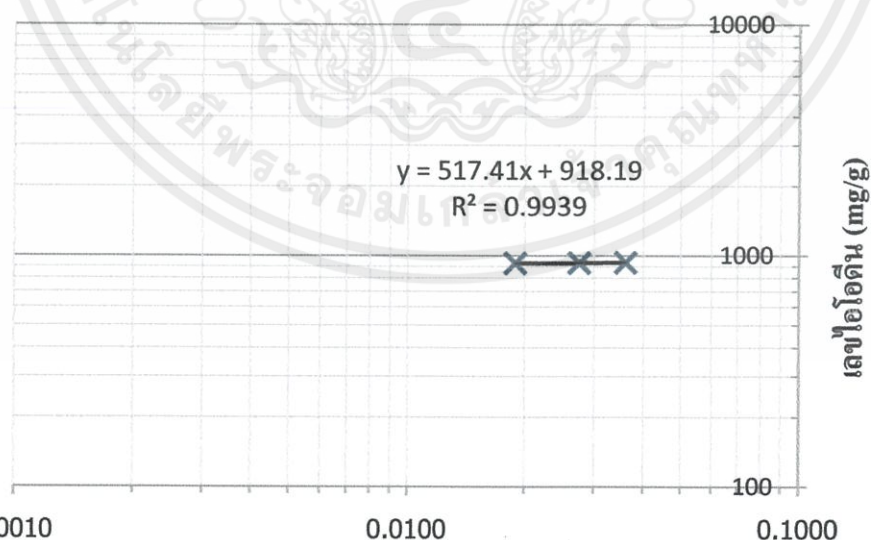
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ N₁ (25.00mL) หรือ N₂ (0.0969N) (24.37mL) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก N₂ นี้เพื่อหา และแจ้งอ้าง 0.0944 N เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้น } [\text{I}_2] = 0.0944 N$$

ตาราง ค-5 ข้อมูลหาไอโซเทอร์มการดูดซับไอโอดีนของ AC

ครั้งที่	น้ำหนัก AC (g)	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (mL)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีนที่เหลือ (N)	เลขไอโอดีน (mg/g)
1	0.7437	18.50	0.0359	938.82
2	0.7431	18.60	0.0360	935.93
3	0.7428	18.60	0.0360	936.31
เฉลี่ย			0.0360	937.02
1	0.8749	14.20	0.0275	931.02
2	0.8752	14.10	0.0273	933.79
3	0.8747	14.20	0.0275	931.23
เฉลี่ย			0.0275	932.02
1	1.0074	9.80	0.0190	926.75
2	1.0081	9.70	0.0188	928.79
3	1.0079	9.70	0.0188	928.97
เฉลี่ย			0.0189	928.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ความเข้มข้นไอโอดีนที่เหลือ (N)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ค-1 ไอโซเทอร์มการดูดซับไอโอดีนของ AC

จากรูป ค-1 สามารถแทนค่าในสมการเส้นตรงเพื่อหาเลขไอโอดีน ที่ทำให้ค่าความเข้มข้น ไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 N ได้ คือ 928.54 mg/g และนำไปคำนวณหาน้ำหนัก AC ที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์เลขไอโอดีนได้ เท่ากับ 0.9897 g เห็นได้จากตาราง ง-6

ตาราง ค-6 ข้อมูลน้ำหนัก AC ที่ทำการวิเคราะห์เลขไอโอดีน

น้ำหนัก AC (g)	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ (mL)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีนที่เหลือ (N)	เลขไอโอดีน (mg/g)
0.6993	20.00	0.0388	940.38
0.7507	18.30	0.0355	937.27
0.8009	16.60	0.0322	935.96
0.8502	14.90	0.0289	935.79
0.9009	13.20	0.0256	934.19
0.9503	11.50	0.0223	934.03
0.9699	10.80	0.0209	934.68
0.9797	10.50	0.0203	933.62
0.9895	10.30	0.0200	929.84
1.0001	10.00	0.0194	928.10
1.5005	6.80	0.0132	676.30
2.0004	5.20	0.0101	528.93
2.4998	3.90	0.0076	437.34

ตาราง ค-7 ข้อมูลเปรียบเทียบเลขไอโอดีนระหว่าง AC และผง Zn - C

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ครั้งที่	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้นของ ไอโอดีนที่เหลือ (N)	เลขไอโอดีน (mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
AC	1	0.9895	0.0200	929.84	930.53	1.28
	2	0.9901	0.0198	932.01		
	3	0.9896	0.0200	929.75		
ผง Zn - C	1	0.9899	0.0810	68.42	69.33	1.57
	2	0.9900	0.0808	71.15		
	3	0.9897	0.0810	68.43		

จากตาราง ค-7 น้ำหนักในการวิเคราะห์ที่เท่ากัน, ผง Zn - C มีความเข้มข้นของไอโอดีน ที่เหลือมากกว่า AC แสดงว่า ผง Zn - C ดูดซับไอโอดีนได้น้อยกว่า AC จึงมีเลขไอโอดีนต่ำ

ก.2 ผลการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของตัวดูดซับ

ตาราง ก-8 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ (ppm) ในห้องทดสอบที่สภาวะจำลอง ณ เวลาใดๆ

เวลา (min)	ครั้งที่	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการเก็บอากาศ (min)	ปริมาตรอากาศที่ STP (L)	ปริมาตรสารดูดซับที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
5	1	302.15	1.0136	0.5006	20	10.01	4.00	2.76	1.3781	1.1231	1.0666	0.11
	2	302.15	1.0136	0.5003	20	10.01	4.00	2.30	1.1492	0.9366		
	3	303.15	1.0141	0.5000	20	9.97	4.00	2.79	1.3988	1.1400		
60	1	303.15	1.0146	0.5017	20	10.01	4.00	2.56	1.2783	1.0418	0.9898	0.12
	2	303.15	1.0146	0.5015	20	10.01	4.00	2.63	1.3138	1.0708		
	3	303.15	1.0136	0.5010	20	9.99	4.00	2.10	1.0512	0.8567		
180	1	304.15	1.0136	0.5024	20	9.98	4.00	2.18	1.0918	0.8898	1.0704	0.16
	2	304.15	1.0141	0.5018	20	9.98	4.00	2.92	1.4633	1.1926		
	3	304.65	1.0141	0.5019	20	9.96	4.00	2.76	1.3851	1.1289		

ตาราง ก-9 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์บนถุงใยสังเคราะห์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

เวลา (min)	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ (A)	[HCHO] จากกราฟ (μg)
5	1	0.000	0.00
	2	0.000	0.00
	3	-0.001	0.00
60	1	0.000	0.00
	2	0.000	0.00
	3	0.000	0.00
120	1	-0.001	0.00
	2	-0.003	0.00
	3	0.000	0.00
180	1	0.000	0.00
	2	0.000	0.00
	3	0.000	0.00
240	1	0.000	0.00
	2	0.000	0.00
	3	0.000	0.00

หมายเหตุ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่วัดได้เป็นศูนย์ แสดงว่า ถุงใยสังเคราะห์ ไม่มีผลต่อการศึกษาการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์บนผง Zn - C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-10 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

เวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (μg)		[HCHO] บนตัวดูดซับ	ปริมาณ HCHO บนตัวดูดซับ	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	(ug)	(10 ⁻³ mg)			
5	1	3.0051	0.035	0.040	1.18	1.35	0.17	0.17	0.57	0.51	0.07
	2	3.0044	0.029	0.033	0.98	1.11	0.13	0.13			
	3	3.0055	0.028	0.033	0.95	1.11	0.16	0.16			
60	1	3.0036	0.031	0.042	1.05	1.42	0.37	0.37	1.23	1.58	0.30
	2	3.0041	0.029	0.044	0.98	1.49	0.51	0.51			
	3	3.0062	0.034	0.050	1.15	1.69	0.54	0.54			
120	1	3.0104	0.031	0.064	1.17	2.41	1.24	1.24	4.12	4.41	0.32
	2	3.0126	0.032	0.070	1.20	2.63	1.43	1.43			
	3	3.0071	0.031	0.066	1.17	2.48	1.31	1.31			

ตาราง ก-10 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์บนผง Zn - C ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ (ต่อ)

เวลา (min)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (μg)		[HCHO] บนตัวดูดซับ (ug)	ปริมาณ HCHO บนตัวดูดซับ (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง					
180	1	3.0062	0.034	0.070	1.28	2.63	1.35	1.35	4.49	4.41	0.26
	2	3.0071	0.031	0.068	1.17	2.56	1.39	1.39	4.62		
	3	3.0056	0.031	0.064	1.17	2.41	1.24	1.24	4.13		
240	1	3.0001	0.032	0.066	1.20	2.48	1.28	1.28	4.27	4.42	0.19
	2	3.0004	0.034	0.071	1.28	2.67	1.39	1.39	4.63		
	3	3.0005	0.031	0.066	1.17	2.48	1.31	1.31	4.37		

หมายเหตุ Blank หมายถึง ผง Zn - C ที่สกัดด้วยสารละลาย NaSO₃ 1%

ตัวอย่าง หมายถึง ผง Zn - C ที่เป็นตัวดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องทดสอบและสกัดด้วยสารละลาย NaSO₃ 1%

ตาราง ค-11 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดย AC น้ำหนักต่างๆ

ชุด การทดลอง	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตร อากาศ ที่ STP (L)	ปริมาตร สารดูดซับ ที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] ที่หายไป (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
AC-c-1-1	303.65	0.9958	0.5014	20	9.81	4.00	2.73	1.3921	1.1346	0.2942	0.2728	0.02
AC-t-1-1	303.65	0.9958	0.5009	20	9.80	4.00	2.02	1.0311	0.8404			
AC-c-1-2	303.65	0.9958	0.5008	20	9.79	4.00	2.65	1.3530	1.1027	0.2497		
AC-t-1-2	303.65	0.9958	0.5008	20	9.79	4.00	2.05	1.0466	0.8530			
AC-c-1-3	303.65	0.9953	0.5013	20	9.80	4.00	2.67	1.3625	1.1104	0.2745		
AC-t-1-3	303.65	0.9953	0.5013	20	9.80	4.00	2.01	1.0257	0.8360			
AC-c-2-1	303.65	0.9958	0.5017	20	9.81	4.00	2.63	1.3403	1.0924	0.5770	0.5850	0.02
AC-t-2-1	303.65	0.9958	0.5014	20	9.81	4.00	1.24	0.6323	0.5153			
AC-c-2-2	303.65	0.9958	0.5004	20	9.79	4.00	2.71	1.3847	1.1285	0.5755		
AC-t-2-2	303.65	0.9958	0.5011	20	9.80	4.00	1.33	0.6786	0.5531			
AC-c-2-3	303.65	0.9958	0.5014	20	9.81	4.00	2.54	1.2953	1.0556	0.6026		
AC-t-2-3	303.65	0.9958	0.5014	20	9.81	4.00	1.09	0.5558	0.4530			

ตาราง ก-11 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดย AC น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

ชุด การทดลอง	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตร อากาศ ที่ STP (L)	ปริมาตร สารดูดซับ ที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] ที่หายไป (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
AC-c-3-1	305.15	0.9938	0.5080	20	9.87	4.00	2.68	1.3583	1.1070	0.9568	0.9471	0.03
AC-t-3-1	305.15	0.9938	0.5030	20	9.77	4.00	0.36	0.1843	0.1502			
AC-c-3-2	305.15	0.9938	0.5021	20	9.75	4.00	2.72	1.3948	1.1367	0.9694		
AC-t-3-2	305.15	0.9938	0.5017	20	9.74	4.00	0.40	0.2053	0.1673			
AC-c-3-3	305.15	0.9938	0.5022	20	9.75	4.00	2.61	1.3381	1.0905	0.9150		
AC-t-3-3	305.15	0.9938	0.5021	20	9.75	4.00	0.42	0.2154	0.1755			
AC-c-5-1	305.15	0.9938	0.5019	20	9.75	4.00	2.73	1.4004	1.1414	1.1121	1.1678	0.05
AC-t-5-1	305.15	0.9938	0.5017	20	9.74	4.00	0.07	0.0359	0.0293			
AC-c-5-2	305.15	0.9938	0.5005	20	9.72	4.00	2.84	1.4609	1.1907	1.1781		
AC-t-5-2	305.15	0.9938	0.5000	20	9.71	4.00	0.03	0.0154	0.0126			
AC-c-5-3	305.15	0.9938	0.5016	20	9.74	4.00	2.91	1.4937	1.2173	1.2173		
AC-t-5-3	305.15	0.9938	0.5016	20	9.74	4.00	0.00	0.0000	0.0000			

ตาราง ก-11 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดย AC น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

ชุด การทดลอง	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตร อากาศ ที่ STP (L)	ปริมาตร สารดูดซึม ที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] ที่หายไป (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
AC-c-7-1	304.15	0.9933	0.5013	20	9.76	4.00	2.65	1.3573	1.1062	1.1020	1.0987	0.01
AC-t-7-1	304.15	0.9933	0.5010	20	9.76	4.00	0.01	0.0051	0.0042			
AC-c-7-2	304.15	0.9933	0.5019	20	9.77	4.00	2.65	1.3556	1.1048	1.1048		
AC-t-7-2	304.15	0.9933	0.5018	20	9.77	4.00	0.00	0.0000	0.0000			
AC-c-7-3	304.15	0.9933	0.5014	20	9.76	4.00	2.65	1.3570	1.1059	1.0976		
AC-t-7-3	304.15	0.9933	0.5012	20	9.76	4.00	0.02	0.0102	0.0084			

หมายเหตุ รหัสที่ใช้ในชุดการทดลอง คือ ชนิดตัวดูดซับ-สภาวะ-น้ำหนักตัวดูดซับ-ครั้งที่ทำการทดลอง

เช่น AC-c-7-3 หมายถึง การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดย AC น้ำหนัก 7 g ชุดควบคุม ครั้งที่ 3

AC-t-7-3 หมายถึง การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดย AC น้ำหนัก 7 g ชุดทดลอง ครั้งที่ 3

ตาราง ก-12 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ

ชุด การทดลอง	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตร อากาศ ที่ STP (L)	ปริมาตร สารดูดซับ ที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] ที่หายไป (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
ZnC-c-1-1	304.15	0.9933	0.5058	20	9.85	4.00	2.77	1.4061	1.1460	0.0228	0.0257	0.01
ZnC-t-1-1	304.15	0.9933	0.5049	20	9.83	4.00	2.71	1.3781	1.1231			
ZnC-c-1-2	304.15	0.9933	0.5058	20	9.85	4.00	2.77	1.4061	1.1460	0.0354		
ZnC-t-1-2	304.15	0.9933	0.5031	20	9.80	4.00	2.67	1.3626	1.1105			
ZnC-c-1-3	304.15	0.9933	0.5058	20	9.85	4.00	2.77	1.4061	1.1460	0.0188		
ZnC-t-1-3	304.15	0.9933	0.5031	20	9.80	4.00	2.71	1.3830	1.1272			
ZnC-c-2-1	304.15	0.9933	0.5028	20	9.79	4.00	2.71	1.3838	1.1278	0.2497	0.2390	0.04
ZnC-t-2-1	304.15	0.9933	0.5028	20	9.79	4.00	2.11	1.0775	0.8781			
ZnC-c-2-2	304.15	0.9933	0.5038	20	9.81	4.00	2.61	1.3301	1.0841	0.1953		
ZnC-t-2-2	304.15	0.9933	0.5015	20	9.77	4.00	2.13	1.0905	0.8887			
ZnC-c-2-3	304.15	0.9933	0.5012	20	9.76	4.00	2.74	1.4036	1.1440	0.2719		
ZnC-t-2-3	304.15	0.9933	0.5015	20	9.77	4.00	2.09	1.0700	0.8721			

ตาราง ก-12 ความเข้มข้นของก๊าซฟORMALดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

ชุด การทดลอง	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการ เก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตร อากาศ ที่ STP (L)	ปริมาตร สารดูดซับ ที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] ที่หายไป (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
ZnC-c-3-1	305.15	0.9938	0.5080	20	9.87	4.00	2.48	1.2569	1.0244	0.3820	0.3782	0.01
ZnC-t-3-1	305.15	0.9938	0.5030	20	9.77	4.00	1.54	0.7883	0.6424			
ZnC-c-3-2	305.15	0.9938	0.5041	20	9.79	4.00	2.65	1.3535	1.1031	0.3700		
ZnC-t-3-2	305.15	0.9938	0.5038	20	9.78	4.00	1.76	0.8994	0.7330			
ZnC-c-3-3	305.15	0.9938	0.5046	20	9.80	4.00	2.52	1.2858	1.0479	0.3826		
ZnC-t-3-3	305.15	0.9938	0.5046	20	9.80	4.00	1.60	0.8164	0.6653			
ZnC-c-5-1	305.15	0.9938	0.5067	20	9.84	4.00	2.75	1.3973	1.1388	0.4598	0.4702	0.01
ZnC-t-5-1	305.15	0.9938	0.5037	20	9.78	4.00	1.63	0.8332	0.6790			
ZnC-c-5-2	305.15	0.9938	0.5048	20	9.80	4.00	2.84	1.4485	1.1805	0.4848		
ZnC-t-5-2	305.15	0.9938	0.5037	20	9.78	4.00	1.67	0.8536	0.6957			
ZnC-c-5-3	305.15	0.9938	0.5049	20	9.81	4.00	2.91	1.4839	1.2094	0.4659		
ZnC-t-5-3	305.15	0.9938	0.5052	20	9.81	4.00	1.79	0.9122	0.7435			

ตาราง ก-12 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

ชุดการทดลอง	T (K)	P (atm)	Q (L/min)	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (min)	ปริมาตรอากาศที่ STP (L)	ปริมาตรสารดูดซับที่ใช้ (mL)	[HCHO] จากกราฟ (μg)	[HCHO] (mg/m^3)	[HCHO] (ppm)	[HCHO] ที่หายไป (ppm)	เฉลี่ย	S.D.
ZnC-c-7-1	304.15	0.9933	0.5018	20	9.77	4.00	2.65	1.3559	1.1051	0.5388	0.5391	0.03
ZnC-t-7-1	304.15	0.9933	0.5026	20	9.79	4.00	1.36	0.6948	0.5662			
ZnC-c-7-2	304.15	0.9933	0.5018	20	9.77	4.00	2.65	1.3559	1.1051	0.5121		
ZnC-t-7-2	304.15	0.9933	0.5011	20	9.76	4.00	1.42	0.7276	0.5930			
ZnC-c-7-3	304.15	0.9933	0.5018	20	9.77	4.00	2.65	1.3559	1.1051	0.5665		
ZnC-t-7-3	304.15	0.9933	0.5012	20	9.76	4.00	1.29	0.6608	0.5386			

หมายเหตุ รหัสที่ใช้ในชุดการทดลอง คือ ชนิดตัวดูดซับ-สภาวะ-น้ำหนักตัวดูดซับ-ครั้งที่ทำการทดลอง

เช่น ZnC-c-7-3 หมายถึง การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนัก 7 g ชุดควบคุม ครั้งที่ 3

ZnC-t-7-3 หมายถึง การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ที่หายไปจากห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนัก 7 g ชุดทดลอง ครั้งที่ 3

ตาราง ก-13 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บน AC น้ำหนักต่างๆ

น้ำหนัก AC (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก AC แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บน AC (ug)		ปริมาณ HCHO บน AC (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
1	1	0.3337	0.009	0.017	0.32	0.60	0.28	0.69	0.69	6.91	7.27	0.35
		0.3349		0.016		0.56	0.24					
		0.3306		0.014		0.49	0.17					
	2	0.3340	0.009	0.017	0.32	0.60	0.28	0.76	0.76	7.60		
		0.3339		0.016		0.56	0.24					
		0.3327		0.016		0.56	0.24					
	3	0.3309	0.009	0.015	0.32	0.53	0.21	0.73	0.73	7.32		
		0.3329		0.017		0.60	0.28					
		0.3336		0.016		0.56	0.24					

ตาราง ค-13 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บน AC น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก AC (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก AC แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บน AC (ug)		ปริมาณ HCHO บน AC (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
2	1	0.6660	0.018	0.034	0.60	1.14	0.54	1.69	1.69	8.45	7.44	1.02
		0.6673		0.033		1.11	0.51					
		0.6667		0.037		1.24	0.64					
	2	0.6684	0.020	0.037	1.24	0.57	1.28	1.28	6.41			
		0.6665	0.034	1.14	0.47							
		0.6629	0.027	0.91	0.24							
	3	0.6665	0.018	0.032	1.07	0.47	1.49	1.49	7.45			
		0.6667		0.036	1.21	0.61						
		0.6667		0.030	1.01	0.41						

ตาราง ก-13 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บน AC น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก AC (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก AC แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บน AC (ug)		ปริมาณ HCHO บน AC (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
3	1	1.0013	0.029	0.054	0.96	1.78	0.82	2.37	2.37	7.89	7.48	0.36
		1.0001		0.056		1.85	0.89					
		1.0009		0.049		1.62	0.66					
	2	1.0005	0.031	0.054	1.02	1.78	0.76	2.18	2.18	7.26		
		1.0007		0.047		1.55	0.53					
		1.0000		0.058		1.91	0.89					
	3	1.0011	0.031	0.056	1.02	1.85	0.83	2.19	2.19	7.29		
		1.0009		0.049		1.62	0.60					
		1.0003		0.054		1.78	0.76					

ตาราง ก-13 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บน AC น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก AC (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก AC แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บน AC (ug)		ปริมาณ HCHO บน AC (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
5	1	1.6665	0.037	0.061	2.12	1.28	0.84	2.69	2.69	5.38	5.33	0.21
		1.6667		0.064	2.22		0.94					
		1.6665		0.063	2.19		0.91					
	2	1.6667	0.037	0.064	2.22	1.28	0.94	2.76	2.76	5.52		
		1.6665		0.063	2.19		0.91					
		1.6671		0.063	2.19		0.91					
	3	1.6673	0.039	0.063	2.19	1.35	0.84	2.55	2.55	5.10		
		1.6667		0.064	2.22		0.87					
		1.6663		0.063	2.19		0.84					

ตาราง ก-13 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บน AC น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก AC (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก AC แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บน AC (ug)		ปริมาณ HCHO บน AC (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
7	1	2.3330	0.049	0.073	1.69	2.52	0.83	2.55	2.55	3.64	3.86	0.26
		2.3333		0.074		2.55	0.86					
		2.3334		0.074		2.55	0.86					
	2	2.3339	0.051	0.077	1.76	2.66	0.90	2.90	2.90	4.14		
		2.3334		0.076		2.62	0.86					
		2.3341		0.084		2.90	1.14					
	3	2.3328	0.049	0.075	1.69	2.59	0.90	2.66	2.66	3.80		
		2.3333		0.074		2.55	0.86					
		2.3333		0.075		2.59	0.90					

หมายเหตุ Blank หมายถึง AC ที่สกัดด้วยสารละลาย NaSO₃ 1%

ตัวอย่าง หมายถึง AC ที่เป็นตัวดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบและสกัดด้วยสารละลาย NaSO₃ 1%

ตาราง ก-14 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ

น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn-C แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บนผง Zn - C (ug)		ปริมาณ HCHO ผง Zn - C (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.	
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม					
1	1	0.3366	0.003	0.005	0.10	0.17	0.07	0.13	0.13	1.29	1.53	0.21	
		0.3357		0.004		0.13	0.03						0.13
		0.3360		0.004		0.13	0.03						0.13
	2	0.3337	0.004	0.13	0.03	0.16	0.16	1.60					
		0.3345	0.004	0.10	0.13				0.03				
		0.3309	0.006	0.20	0.10								
	3	0.3339	0.005	0.10	0.17	0.07	0.17	0.17	1.69				
		0.3367	0.004		0.13	0.03							
		0.3352	0.005		0.17	0.07							

ตาราง ก-14 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn-C แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] บนผง Zn - C (ug)		ปริมาณ HCHO ผง Zn - C (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
2	1	0.6679	0.009	0.014	0.30	0.46	0.16	0.55	0.55	2.74	2.70	1.07
		0.6663		0.016		0.53	0.23					
		0.6703		0.014		0.46	0.16					
	2	0.6693	0.012	0.40	0.10	0.32	0.32	1.60				
		0.6671	0.011	0.36	0.06							
		0.6665	0.014	0.46	0.16							
	3	0.6663	0.015	0.26	0.50	0.24	0.75	0.75	3.74			
		0.6701	0.016		0.53	0.27						
		0.6664	0.015		0.50	0.24						

ตาราง ก-14 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์บนผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn-C แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] ผง Zn - C (ug)		ปริมาณ HCHO ผง Zn - C (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
3	1	1.0003	0.012	0.027	0.39	0.88	0.49	1.51	1.51	5.03	5.12	0.18
		1.0027		0.026		0.85	0.46					
		0.9995		0.029		0.95	0.56					
	2	1.0012	0.011	0.027	0.36	0.88	0.52	1.60	1.60	5.33		
		1.0003		0.027		0.88	0.52					
		1.0020		0.028		0.92	0.56					
	3	1.0015	0.011	0.026	0.36	0.85	0.49	1.50	1.50	4.99		
		1.0019		0.029		0.95	0.59					
		0.9999		0.024		0.78	0.42					

ตาราง ค-14 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn-C แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] ผง Zn - C (ug)		ปริมาณ HCHO ผง Zn - C (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
5	1	1.6669	0.014	0.041	1.34	0.88	2.81	2.81	5.62	5.65	0.09	
		1.6670		0.044	0.46	1.44						0.98
		1.6673		0.043	1.41	0.95						
	2	1.6691	0.014	0.044	1.44	0.98	2.88	2.88	5.75			
		1.6673		0.043	0.46	1.41						0.95
		1.6697		0.043	1.41	0.95						
	3	1.6667	0.015	0.043	1.41	0.92	2.79	2.79	5.58			
		1.6663		0.044	0.49	1.44						0.95
		1.6679		0.043	1.41	0.92						

ตาราง ก-14 ความเข้มข้นของก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์บนผง Zn - C น้ำหนักต่างๆ (ต่อ)

น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn-C แต่ละถุง (g)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่วัดได้ (A)		[HCHO] จากกราฟ (ug)		[HCHO] ผง Zn - C (ug)		ปริมาณ HCHO ผง Zn - C (10 ⁻³ mg)	q (10 ⁻⁴ mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
			Blank	ตัวอย่าง	Blank	ตัวอย่าง	แต่ละถุง	รวม				
7	1	2.3336	0.019	0.063	2.08	1.45	4.41	4.41	6.30	6.28	0.18	
		2.3305		0.064	0.63	2.11						1.48
		2.3333		0.064	2.11	1.48						
	2	2.3309	0.021	0.064	2.11	1.42	4.26	4.26	6.09			
		2.3347		0.064	0.69	2.11						1.42
		2.3338		0.064	2.11	1.42						
	3	2.3367	0.019	0.065	2.15	1.52	4.52	4.52	6.45			
		2.3341		0.064	0.63	2.11						1.48
		2.3325		0.065	2.15	1.52						

หมายเหตุ Blank หมายถึง ผง Zn - C ที่สกัดด้วยสารละลาย NaSO₃ 1%

ตัวอย่าง หมายถึง ผง Zn - C ที่เป็นตัวดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ในห้องทดสอบและสกัดด้วยสารละลาย NaSO₃ 1%

ตาราง ค-15 ข้อมูลในการหาไอโซเทอร์มการดูดซับของ AC

ชุด การทดลอง	[HCHO] ที่เหลือ, C_c (ppm)	$\log C_c$	q (10^{-4} mg/g)	$\log q$	C_c/q
AC-t-1-1	0.8404	-0.0755	6.91	0.8395	0.1216
AC-t-1-2	0.8530	-0.0691	7.60	0.8808	0.1122
AC-t-1-3	0.8360	-0.0778	7.32	0.8645	0.1142
AC-t-2-1	0.5153	-0.2879	8.45	0.9269	0.0610
AC-t-2-2	0.5531	-0.2572	6.41	0.8069	0.0863
AC-t-2-3	0.4530	-0.3439	7.45	0.8722	0.0608
AC-t-3-1	0.1502	-0.8233	7.89	0.8971	0.0190
AC-t-3-2	0.1673	-0.7765	7.26	0.8609	0.0230
AC-t-3-3	0.1755	-0.7557	7.29	0.8627	0.0241
AC-t-5-1	0.0293	-1.5331	5.38	0.7308	0.0054
AC-t-5-2	0.0126	-1.8996	5.52	0.7419	0.0023
AC-t-5-3	0.0000	-2.3768	5.10	0.7076	0.0008
AC-t-7-1	0.0042	-2.3768	3.64	0.5611	0.0012
AC-t-7-2	0.0000	-2.0809	4.14	0.6170	0.0020
AC-t-7-3	0.0084	-2.0757	3.80	0.5798	0.0022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-16 ข้อมูลในการหาไอโซเทอร์มการดูดซับของผง Zn - C

ชุด การทดลอง	[HCHO] ที่เหลือ, C_e (ppm)	$\log C_e$	q (10^{-4} mg/g)	$\log q$	C_e/q
ZnC-t-1-1	1.1231	0.0504	1.29	0.1106	10.1556
ZnC-t-1-2	1.1105	0.0455	1.60	0.2041	5.4404
ZnC-t-1-3	1.1272	0.0520	1.69	0.2279	4.9463
ZnC-t-2-1	0.8781	-0.0565	2.74	0.4378	2.0059
ZnC-t-2-2	0.8887	-0.0512	1.60	0.2041	4.3538
ZnC-t-2-3	0.8721	-0.0594	3.74	0.5729	1.5223
ZnC-t-3-1	0.6424	-0.1922	5.03	0.7016	0.9157
ZnC-t-3-2	0.7330	-0.1349	5.33	0.7267	1.0086
ZnC-t-3-3	0.6653	-0.1770	4.99	0.6981	0.9530
ZnC-t-5-1	0.6790	-0.1681	5.62	0.7497	0.9057
ZnC-t-5-2	0.6957	-0.1576	5.75	0.7597	0.9158
ZnC-t-5-3	0.7435	-0.1287	5.58	0.7466	0.9958
ZnC-t-7-1	0.5662	-0.2470	6.30	0.7993	0.7083
ZnC-t-7-2	0.5930	-0.2269	6.09	0.7846	0.7558
ZnC-t-7-3	0.5386	-0.2687	6.45	0.8096	0.6653

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-17 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC

น้ำหนัก AC (g)	ครั้งที่	[HCHO] เริ่มต้น (ppm)	[HCHO] ที่เหลือ (ppm)	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)	เฉลี่ย \pm S.D.
1	1	1.1346	0.8404	25.93	24.43 \pm 1.66
	2	1.1027	0.8530	22.64	
	3	1.1104	0.8360	24.72	
2	1	1.0924	0.5153	52.82	53.63 \pm 3.13
	2	1.1285	0.5531	50.99	
	3	1.0556	0.4530	57.07	
3	1	1.1070	0.1502	86.43	85.21 \pm 1.27
	2	1.1367	0.1673	85.28	
	3	1.0905	0.1755	83.90	
5	1	1.1414	0.0293	97.43	98.68 \pm 1.13
	2	1.1907	0.0126	98.94	
	3	1.2173	0.0042	99.66	
7	1	1.1062	0.0042	99.62	99.37 \pm 0.22
	2	1.1048	0.0083	99.25	
	3	1.1059	0.0084	99.24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-18 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ของผง Zn - C

น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ครั้งที่	[HCHO] เริ่มต้น (ppm)	[HCHO] ที่เหลือ (ppm)	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)	เฉลี่ย \pm S.D.
1	1	1.1460	1.1231	1.99	2.24 \pm 0.76
	2	1.1460	1.1105	3.09	
	3	1.1460	1.1272	1.64	
2	1	1.2778	0.8781	22.14	21.31 \pm 2.96
	2	1.0841	0.8887	18.02	
	3	1.1440	0.8721	23.77	
3	1	1.0244	0.6424	37.29	35.78 \pm 1.97
	2	1.1031	0.7330	33.55	
	3	1.0479	0.6653	36.51	
5	1	1.1388	0.6790	40.37	39.99 \pm 1.32
	2	1.1805	0.6957	41.07	
	3	1.2094	0.7435	38.52	
7	1	1.1051	0.5662	48.76	48.79 \pm 2.46
	2	1.1051	0.5930	46.34	
	3	1.1051	0.5386	51.26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 ผลการประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

ตาราง ค-19 อัตราการไหลก่อนและหลังเก็บตัวอย่างชุดควบคุม และชุดทดลองตามลำดับ

อัตราการไหล ก่อนเก็บตัวอย่าง (mL/min)	อัตราการไหล หลังเก็บตัวอย่าง (mL/min)	อัตราการไหล ก่อนเก็บตัวอย่าง (mL/min)	อัตราการไหล หลังเก็บตัวอย่าง (mL/min)
505.13	504.28	505.67	502.99
507.12	505.21	505.69	503.13
508.04	504.83	505.81	504.16
505.93	506.52	506.35	508.01
506.14	504.24	506.08	505.94
506.03	506.35	506.66	503.22
506.18	504.81	505.75	503.22
506.88	505.05	504.74	502.93
505.72	504.13	504.58	505.11
506.48	506.04	505.63	503.14
เฉลี่ย = 506.37	เฉลี่ย = 505.15	เฉลี่ย = 505.70	เฉลี่ย = 504.19
S.D. = 0.7734	S.D. = 0.8346	S.D. = 0.6070	S.D. = 1.6012
%RSD = 0.1527	%RSD = 0.1652	%RSD = 0.1200	%RSD = 0.3176

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

$$\%RSD = \frac{SD \times 100}{\bar{X}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-20 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างอากาศหลังจากทำความสะอาดห้องทดสอบโดยเติม O_3

ครั้งที่	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	[HCHO] จากกราฟ (μg)
1	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดควบคุม	0.000	0.00
	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดทดลอง	-0.001	0.00
2	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดควบคุม	0.000	0.00
	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดทดลอง	0.000	0.00
3	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดควบคุม	0.000	0.00
	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดทดลอง	0.000	0.00

หมายเหตุ ครั้งที่ 1 คือ หลังการสร้างสภาวะจำลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 2 คือ หลังการศึกษารผลการดูดซับ HCHO บนผง Zn - C น้ำหนัก 3 g ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 3 คือ หลังการศึกษารผลการดูดซับ HCHO บน AC น้ำหนัก 3 g ครั้งที่ 1

ตาราง ก-21 ข้อมูลการตรวจสอบการเกิด Break through

ครั้งที่	ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	[HCHO] จากกราฟ (μg)
1	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดหน้า	0.077	2.66
	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดหลัง	0.000	0.00
2	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดหน้า	0.072	2.60
	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดหลัง	0.001	0.00
3	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดหน้า	0.075	2.63
	- สารดูดซึ่ม NaHSO_3 ชุดหลัง	0.000	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณผล

ง.1 การคำนวณเลขไอโอดีนของตัวดูดซับ

ตาราง ง-1 ข้อมูลการไทเทรตหาเลขไอโอดีนของ AC

ครั้งที่	น้ำหนัก AC (g)	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (mL)	ความเข้มข้นของไอโอดีนที่เหลื่อ (N)	เลขไอโอดีน (mg/g)
1	0.9895	10.30	0.0200	929.84
2	0.9901	10.20	0.0198	932.01
3	0.9896	10.30	0.0200	929.75

ตัวอย่างเลขไอโอดีนของ AC ครั้งที่ 1

น้ำหนัก AC ที่ใช้ในการวิเคราะห์	=	0.9895 g
ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต	=	10.30 mL
ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	=	0.0969 N
ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้	=	50 mL

1. การหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลื่อ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } C &= \frac{N_1 \times S}{F} \\ &= \frac{0.0969 \text{ N} \times 10.30 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ [I_2] \text{ คงเหลื่อ} &= 0.0200 \text{ N} \end{aligned}$$

2. การหาเลขไอโอดีนต่อกรัมตัวดูดซับ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } X/M \text{ (mg/g)} &= \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \\ &= \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} A &= 12693N_2 \\ &= 12693 \times 0.0944 \\ &= 1,198.7833 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 126.93N_1 \\ &= 126.93 \times 0.0969 \\ &= 12.2995 \end{aligned}$$

$$DF = \text{ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{ปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น} + \text{ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก}}{\text{ปริมาณไอโอดีนที่ปีเปต}} \\ &= \frac{100 \text{ mL} + 10 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} = 2.2 \\ \text{แทนค่าในสูตร: } X/M &= \frac{1,198.7833 - (2.2 \times 12.2995 \times 10.30)}{0.9895} \\ &= 929.84 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

ดังนั้น เลขไอโอดีนของ AC เท่ากับ 929.84 mg/g

ตาราง ง-2 ข้อมูลการไทเทรตหาเลขไอโอดีนของผง Zn - C

ครั้งที่	น้ำหนัก ผง Zn - C (g)	ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (mL)	ความเข้มข้นของไอโอดีน ที่เหลือ (N)	เลขไอโอดีน (mg/g)
1	0.9899	41.80	0.0810	68.42
2	0.9900	41.70	0.0808	71.15
3	0.9897	41.80	0.0810	68.43

ตัวอย่างเลขไอโอดีนของ AC ครั้งที่ 1

$$\text{น้ำหนักผง Zn - C ที่ใช้ในการวิเคราะห์} = 0.9899 \text{ g}$$

$$\text{ปริมาตรของสารละลาย } Na_2S_2O_3 \text{ ที่ใช้ในการไทเทรต} = 41.80 \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แน่นอนของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารครั้งที่มีการนำไปใช้
= 50 mL

1. การหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C &= \frac{N_1 \times S}{F} \\ &= \frac{0.0969 \text{ N} \times 41.80 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ [I_2] \text{ คงเหลือ} &= 0.0810 \text{ N} \end{aligned}$$

2. การหาเลขไอโอดีนต่อกรัมตัวดูดซับ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad X/M \text{ (mg/g)} &= \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \\ A &= 12693N_2 \\ &= 12693 \times 0.0944 \\ &= 1,198.7833 \\ B &= 126.93N_1 \\ &= 126.93 \times 0.0969 \\ &= 12.2995 \\ DF &= \frac{\text{ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง}}{\text{ปริมาตรไอโอดีนเริ่มต้น} + \text{ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก}} \\ &= \frac{\text{ปริมาตรไอโอดีนที่ปีปต}}{100 \text{ mL} + 10 \text{ mL}} = 2.2 \\ &= \frac{50 \text{ mL}}{50 \text{ mL}} \\ \text{แทนค่าในสูตร;} \quad X/M &= \frac{1,198.7833 - (2.2 \times 12.2995 \times 41.80)}{0.9899} \\ &= 68.42 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

ดังนั้น เลขไอโอดีนของผง Zn – C เท่ากับ 68.42 mg/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 การคำนวณผลเกี่ยวกับการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

1. การคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ

ตัวอย่างความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ ณ เวลา 5 นาที ครั้งที่ 1

ข้อมูลการเก็บตัวอย่าง

- อุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง	=	29.0 °C
- ความดันบรรยากาศเฉลี่ยที่สภาวะก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง	=	1.0136 atm
- อัตราการไหลเฉลี่ยก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง	=	0.5006 L/min
- เวลาในการเก็บตัวอย่าง	=	20 min
- ปริมาตรสารดูดซับที่ใช้วัดค่าดูดกลืนแสง	=	4.00 mL
- ปริมาณ HCHO จากกราฟ	=	2.76 µg

1.1 ปริมาตรอากาศที่สภาวะการทดลอง

จากสูตร $Q = V/T$

เมื่อ Q = อัตราการไหลที่ใช้เก็บตัวอย่าง (L/min)

T = เวลาในการเก็บตัวอย่าง (min)

V = ปริมาตรอากาศในสภาวะการทดลอง

แทนค่า; $0.5006 \text{ L/min} = V/(20\text{min})$

$$V = 0.5006 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 20\text{min}$$

$$= 10.01 \text{ L}$$

ดังนั้น ปริมาตรอากาศที่เก็บได้จากห้องทดสอบ เท่ากับ 10.0120 L

1.2 ปริมาตรอากาศที่ STP 25 °C

จากสูตร $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

เมื่อ P_1 = ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน = 1 atm

V_1 = ปริมาตรบรรยากาศสภาวะมาตรฐาน

T_1 = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน = 298.15 K

P_2 = ความดันบรรยากาศสภาวะที่เก็บตัวอย่าง = 1.0136 atm

V_2 = ปริมาตรบรรยากาศสภาวะที่เก็บตัวอย่าง = 10.01 L

T_2 = อุณหภูมิที่สภาวะเก็บตัวอย่าง = 302.15 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แทนค่า ; } \frac{(1 \text{ atm})V_1}{(298.15 \text{ K})} = \frac{(1.0136 \text{ atm})(10.01 \text{ L})}{(302.15 \text{ K})}$$

$$V_1 = 10.01 \text{ L}$$

ดังนั้น ปริมาตรอากาศที่ STP 25 °C เท่ากับ 10.01 L

1.3 ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในตัวอย่างอากาศ

$$\text{จากสูตร } M_{\text{total}} = \frac{M_{\text{HCHO}} \times V_t}{V_s V_a}$$

เมื่อ V_s = ปริมาตรสารละลายจากอิมพินเจอร์ที่บีบเปิดมาวัด
 ดูดกลืนแสง = 4 mL

V_t = ปริมาตรสารละลายทั้งหมดในอิมพินเจอร์ 20 mL

V_a = ปริมาตรตัวอย่างอากาศ = 10.01 L

M_{total} = ปริมาณ HCHO ทั้งหมดในอิมพินเจอร์

M_{HCHO} = ปริมาณ HCHO จากกราฟ = 2.76 μg

$$\text{แทนค่า ; } M_{\text{total}} = \frac{(2.76 \mu\text{g})(20.00 \text{ mL})}{(4.00 \text{ mL})(10.01 \text{ L})}$$

$$= 1.3781 \mu\text{g/L}$$

$$= 1.3781 \text{ mg/m}^3$$

- แปลงความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ในหน่วย mg/m^3 เป็น ppm_v

$$\text{จากสูตร } \text{ppm}_v = \frac{24.45}{M_w} \times [\text{mg/m}^3]$$

$$\text{แทนค่า ; } \text{ppm}_v = \frac{24.45}{30} \times 1.3781 = 1.1231$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบ เท่ากับ 1.1231 ppm

2. การคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

$$\text{จากสูตร } \text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบเริ่มต้น (ชุดควบคุมน้ำ) C_e = ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องทดสอบที่เหลือ (ชุดควบคุม)

ตัวอย่างประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ของผง Zn - C น้ำหนัก 7 g ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า; } \quad \text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} &= \frac{1.1051-0.5662}{1.1051} \times 100 \\ &= 48.76 \% \end{aligned}$$

ตัวอย่างประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ของ AC น้ำหนัก 7 g ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า; } \quad \text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} &= \frac{1.1062-0.0042}{1.1062} \times 100 \\ &= 99.62 \% \end{aligned}$$

3. การคำนวณหาสัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (q)

- ตัวอย่างสัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (q) บนผง Zn - C ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 นาที ครั้งที่ 1

$$\text{น้ำหนักผง Zn - C ที่ใช้ดูดซับ HCHO} = 3.0051 \text{ g}$$

$$\text{ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากกราฟของตัวอย่าง} = 1.35 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากกราฟของ Blank} = 1.18 \text{ } \mu\text{g}$$

1. ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ (mg) บนตัวดูดซับ

ปริมาณ HCHO บนตัวดูดซับ = ปริมาณ HCHO ของตัวอย่าง - ปริมาณ HCHO ของ Blank

$$\text{แทนค่า; ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C} = 1.35 - 1.18 = 0.17 \text{ } \mu\text{g}$$

- แปลงปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์บนผง Zn - C ในหน่วย μg เป็น mg

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C} &= 0.17 \text{ } \mu\text{g} \times \frac{10^{-6} \text{ g}}{\mu\text{g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} \\ &= 0.17 \times 10^{-3} \text{ mg} \end{aligned}$$

2. สัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (q)

$$q = \frac{\text{ปริมาณ HCHO (mg) บนตัวดูดซับ}}{\text{น้ำหนักตัวดูดซับ (g)}}$$

$$\text{แทนค่า; } = \frac{0.17 \times 10^{-3} \text{ mg}}{3.0051 \text{ g}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
= $0.057 \times 10^{-4} \text{ mg/g}$
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (mg) บนผง Zn - C 1 g เท่ากับ $0.057 \times 10^{-4} \text{ mg/g}$

- ตัวอย่างสกัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (q) บนผง Zn - C น้ำหนัก 2 g ครั้งที่ 1

น้ำหนักผง Zn - C ที่ใช้ดูดซับ HCHO

$$\text{แบ่งเป็น ถังที่ 1} = 0.6679 \text{ g}$$

$$\text{ถังที่ 2} = 0.6663 \text{ g}$$

$$\text{ถังที่ 3} = 0.6703 \text{ g}$$

$$\text{ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากกราฟของ Blank} = 0.30 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากกราฟของตัวอย่าง 1} = 0.46 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากกราฟของตัวอย่าง 2} = 0.53 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากกราฟของตัวอย่าง 3} = 0.46 \text{ } \mu\text{g}$$

1. ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ (mg) บนตัวดูดซับ

ปริมาณ HCHO บนตัวดูดซับ = ปริมาณ HCHO ของตัวอย่าง - ปริมาณ HCHO ของ Blank

$$\text{แทนค่า; ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C ถังที่ 1} = 0.46 - 0.30 = 0.16 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C ถังที่ 2} = 0.53 - 0.30 = 0.23 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C ถังที่ 3} = 0.46 - 0.30 = 0.16 \text{ } \mu\text{g}$$

$$\text{ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C รวม} = 0.55 \text{ } \mu\text{g}$$

- แปลงปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์บนผง Zn - C ในหน่วย μg เป็น mg

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ HCHO บนผง Zn - C} &= 0.55 \text{ } \mu\text{g} \times \frac{10^{-6} \text{ g}}{\mu\text{g}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} \\ &= 0.55 \times 10^{-3} \text{ mg} \end{aligned}$$

2. สกัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (q)

$$q = \frac{\text{ปริมาณ HCHO (mg) บนตัวดูดซับ}}{\text{น้ำหนักตัวดูดซับ (g)}}$$

$$\text{แทนค่า;} = \frac{0.55 \times 10^{-3} \text{ mg}}{0.6679 + 0.6663 + 0.6703 \text{ g}}$$

$$= 2.74 \times 10^{-4} \text{ mg/g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ดังนั้น สกัดส่วนการดูดซับฟอร์มัลดีไฮด์ (mg) บนผง Zn - C 1 g เท่ากับ $2.74 \times 10^{-4} \text{ mg/g}$
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

4. การคำนวณหาค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

1. ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์

$$\frac{C_e}{q} = \frac{C_e}{Q^\circ} + \frac{1}{bQ^\circ}$$

เมื่อ q = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ($\times 10^{-4}$ mg) บนตัวดูดซับ 1 g

C_e = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือ (ppm) ที่สภาวะสมดุล

Q° = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุด ($\times 10^{-4}$ mg) บนตัวดูดซับ 1 g

b = ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่ง

- การดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดย AC

จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = 0.1370x + 0.0003$, $R^2 = 0.9908$

เมื่อ $y = \frac{C_e}{q}$ และ $x = C_e$

$$\frac{1}{Q^\circ} = 0.1370$$

$$\frac{1}{bQ^\circ} = 0.0003$$

จะได้ $Q^\circ = 7.2993$

จากการทดลองเมื่อใช้ AC เป็นตัวดูดซับ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์จึงคำนวณค่าสูงสุดในการดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของ AC (Q°) ได้เท่ากับ 7.30×10^{-4} mg/g และได้สมการ

ที่ใช้ทำนายการดูดซับ คือ $\frac{C_e}{q} = \frac{C_e}{7.30} + 0.0003$

- การดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยผง Zn - C

จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = 11.434x - 6.6214$, $R^2 = 0.7289$

เมื่อ $y = \frac{C_e}{q}$ และ $x = C_e$

$$\frac{1}{Q^\circ} = 11.434$$

$$\frac{1}{bQ^\circ} = -6.6214$$

จะได้ $Q^\circ = 0.0875$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก^๑ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบฟรอนคลิช

$$q = K_f C_e^{1/n}$$

$$\log q = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_f$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือ (ppm) ที่สภาวะสมดุล

q = ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ($\times 10^{-4}$ mg) บนตัวดูดซับ 1 g

K_f และ n = ค่าคงที่ฟรอนคลิชที่อุณหภูมิหนึ่ง

- การดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดย AC

จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = 0.1167x + 0.9063$, $R^2 = 0.7654$

เมื่อ $y = \log q$ และ $x = \log C_e$

$$\frac{1}{n} = 0.1167$$

$$\log K_f = 0.9063$$

จะได้ $K_f = 10^{0.9063} = 8.0593$

- การดูดซับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยผง Zn - C

จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น $y = -2.2168x + 0.3146$, $R^2 = 0.8492$

เมื่อ $y = \log q$ และ $x = \log C_e$

$$\frac{1}{n} = -2.2168$$

$$\log K_f = 0.3146$$

จะได้ $K_f = 10^{0.3146} = 2.06$

จากการทดลองเมื่อใช้ผง Zn - C เป็นตัวดูดซับ สอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบฟรอนคลิชจึง

ได้สมการที่ใช้ทำนายการดูดซับ คือ $q = 2.06 C_e^{(-2.2168)}$ เมื่อแทนค่า C_e เท่ากับ 0.5659 ppm ที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือในห้องทดสอบโดยผง Zn - C น้ำหนัก 7 g พบว่า

ผง Zn - C 1 g ดูดซับฟอร์มาลดีไฮด์ไว้ได้ 7.28×10^{-4} mg/g

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

จ.1 การวิเคราะห์ทางสถิติของเลขไอโอดีน (Iodine number)

ตาราง จ-1 เลขไอโอดีนของ AC และผง Zn - C

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ครั้งที่	เลขไอโอดีน (mg/g)	เฉลี่ย	S.D.
AC	1	929.84	930.53	1.28
	2	932.01		
	3	929.75		
ผง Zn - C	1	68.42	69.33	1.57
	2	71.15		
	3	68.43		

สมมติฐานทางสถิติ

$$H_0 = \text{AC และผง Zn - C มีเลขไอโอดีน (Iodine number) ไม่แตกต่างกัน, } \mu_{AC} = \mu_{Zn-C}$$

$$H_1 = \text{AC และผง Zn - C มีเลขไอโอดีน (Iodine number) แตกต่างกัน, } \mu_{AC} \neq \mu_{Zn-C}$$

ตาราง จ-2 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติเลขไอโอดีนของ AC และผง Zn - C

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1112498.160	1	1112498.160	541010.614	.000
Within Groups	8.225	4	2.056		
Total	1112506.385	5			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA ดังตาราง จ-2 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 คือ AC และผง Zn - C มีเลขไอโอดีน (Iodine number)

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จ.2 การวิเคราะห์ทางสถิติประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์

ตาราง จ-3 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ครั้งที่	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)	เฉลี่ย	S.D.
AC 1 g	1	25.93	24.43	1.66
	2	22.64		
	3	24.72		
AC 2 g	1	52.82	53.63	3.13
	2	50.99		
	3	57.07		
AC 3 g	1	86.43	85.21	1.27
	2	85.28		
	3	83.90		
AC 5 g	1	97.43	98.68	1.13
	2	98.94		
	3	99.66		
AC 7 g	1	99.62	99.37	0.22
	2	99.25		
	3	99.24		
ผง Zn - C 1 g	1	1.99	2.24	0.76
	2	3.09		
	3	1.64		
ผง Zn - C 2 g	1	22.14	21.31	2.96
	2	18.02		
	3	23.77		
ผง Zn - C 3 g	1	37.29	35.78	1.97
	2	33.55		
	3	36.51		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุยวดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ-3 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C (ต่อ)

ชนิดของ ตัวดูดซับ	ครั้งที่	ประสิทธิภาพ การดูดซับ (%)	เฉลี่ย	S.D.
ผง Zn - C 5 g	1	40.37	39.99	1.32
	2	41.07		
	3	38.52		
ผง Zn - C 7 g	1	48.76	48.79	2.46
	2	46.34		
	3	51.26		

สมมติฐานทางสถิติ

H_0 = AC และผง Zn - C ที่น้ำหนักต่างๆ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์ไม่แตกต่างกัน, $\mu_{AC} = \mu_{Zn-C}$

H_1 = AC และผง Zn - C ที่น้ำหนักต่างๆ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์แตกต่างกัน, $\mu_{AC} \neq \mu_{Zn-C}$

ตาราง จ-4 ค่าวิเคราะห์ทางสถิติประสิทธิภาพการดูดซับฟอรัมาลดีไฮด์ของ AC และผง Zn - C

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30336.577	9	3370.731	923.964	.000
Within Groups	72.962	20	3.648		
Total	30409.539	29			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ONE WAY ANOVA ดังตาราง จ-4 พบว่า ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 คือ AC และผง Zn - C ที่น้ำหนักต่างๆ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เนื่องจาก AC และผง Zn - C ที่น้ำหนักต่างๆ มีประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอรัมาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธี

ONE WAY ANOVA แบบ Duncan's Multiple New Range Test (DMRT) แสดงผลในตาราง จ-5

ตาราง จ-5 เปรียบเทียบความแตกต่าง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

Duncan^a

ชนิด ตัวดูดซับ	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ผง Zn-C 1 g	3	2.2400							
ผง Zn-C 2 g	3		21.3100						
AC 1 g	3		24.4300						
ผง Zn-C 3 g	3			35.7833					
ผง Zn-C 5 g	3				39.9867				
ผง Zn-C 7 g	3					48.7867			
AC 2 g	3						53.6267		
AC 3 g	3							85.2033	
AC 5 g	3								98.6767
AC 7g	3								99.3700
Sig.		1.000	.059	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.661

จากตาราง จ-5 สรุปได้ว่า AC และผง Zn - C ที่น้ำหนักต่างๆ มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ ดังนี้

- ผง Zn - C น้ำหนัก 2 g และ AC น้ำหนัก 1 g มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน
- AC น้ำหนัก 5 g และ น้ำหนัก 7 g มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน
- ผง Zn - C น้ำหนัก 1, 3, 5, 7 g และ AC น้ำหนัก 2, 3 g มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้