

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผิวยางรถยนต์



หน้าปก.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

b. 12210675
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adsorption of BTEX in Synthetic Wastewater by Ground Rubber Tire



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science**

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผิวยางรถยนต์
นักศึกษา นางสาวธรรมนัญญา สักดีเจริญ
 นางสาวเบญจวรรณ โรหิตชาติ
 นางสาวพัชราภรณ์ อยู่แจ่ม
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ อ.กตินัฐคนธ์ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ ผศ.พรชัยวรรณ ตันทวี	
กรรมการ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงยางรถยนต์
นักศึกษา	นางสาวธรรมณัญญา ศักดิ์เจริญ นางสาวเบญจวรรณ โรหิตชาติ นางสาวพัชราภรณ์ อยู่แจ่ม
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษากำจัด BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งเป็นตัวดูดซับ โดยทำการทดลองแบบครึ่ง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ขนาดของผงยาง ที่เอช ระยะเวลาดำซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ ไอโซเทอร์ม และจลนพลศาสตร์ ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือใช้ผงยาง ขนาด 30-40 เมช ที่พีเอช 7 ระยะเวลาดำซับ 30 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX 50 มิลลิกรัม ต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนร้อยละ 93.98 ส่วน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีนทั้ง 3 ไอโซเทอร์มมีประสิทธิภาพการกำจัดได้ทั้งหมด ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นทั้งแบบแลงเมียร์ และ ฟรุนดลิช ไอโซเทอร์ม และจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง

คำสำคัญ: BTEX, น้ำเสียสังเคราะห์, ผงยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title **Adsorption of BTEX in Synthetic Wastewater by Ground Rubber Tire**

Name Miss Thammananya Sakcharoen
 Miss Benjawan Rohitchat
 Miss Patcharaporn Yoojam

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2005

Special Project Advisor Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This project studied on a removal BTEX from synthetic wastewater using ground rubber tires (GRT) which is used as an absorbent using batch experiment. Factors affected on the adsorption efficiency were investigated including ground rubber size, pH, contact time, initial concentration of synthetic wastewater, adsorption isotherm and kinetic, respectively. The results showed that the optimum conditions for BTEX removal were : GRT size of 30-40 mesh , pH 7, contact time of 30 minutes and BTEX concentration at 50 mgL⁻¹. The removal of benzene was 93.98% and almost all of toluene, ethylbenzene and *o*, *m*, *p*-Xylene were removed. The adsorption isotherm fitted well with Langmuir and Freundlich isotherm. The adsorption kinetic was second order rate law.

Keywords : BTEX, synthetic wastewater, ground rubber tires (GRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายๆ ท่าน ดังนี้

ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ดูแลเอาใจใส่ให้คำแนะนำ เสนอแนะแนวคิดในการแก้ไขปัญหาต่างๆ พร้อมทั้งตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จ ลุล่วงและมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นกำลังใจสำคัญในการจัดทำครั้งนี้เป็นอย่างมาก

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่ให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับผงยางรถยนต์

ผศ.คณิตา ตังคณานุรักษ์ ที่ให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องมือและวิธีการ สกัดแบบ Solid Phase Extraction

ผศ.พรชัยวรรณ ตันทวี และอาจารย์กัลลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่ให้คำแนะนำ พร้อมทั้ง ตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงยางรถยนต์ (GRT) ยางรีเคลม

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจ การดูแลเอาใจใส่พร้อมทั้งให้การ สนับสนุนในทุกๆเรื่องและขอบคุณเพื่อนๆสาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยให้คำปรึกษา เป็นเพื่อนและกำลังใจในการทดลองตลอดมา

นางสาวพรรณนัญญา ศักดิ์เจริญ

นางสาวเบญจวรรณ โรหิตชาติ

นางสาวพัชราภรณ์ อยู่แจ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
BTEX	3
องค์ประกอบของยางรถยนต์	12
ผงยางรถยนต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว	14
กระบวนการการดูดซับ	19
ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	21
สมมูลของการดูดซับ	22
ไอโซเทอร์มของการดูดซับ	22
จลนพลศาสตร์	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	31
วิธีดำเนินการวิจัย	32
วิธีเตรียมผงยางรถยนต์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เตรียมสื่อกสารละลาย BTEX ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	32
เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร	32
วิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีสกัด	32
ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ BTEX ด้วยผงยางรถยนต์	34
ขนาดของยางรถยนต์	34
pH ของน้ำเสียสังเคราะห์	34
ระยะเวลาสัมผัส	34
ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ จลนพลศาสตร์ และไอโซเทอร์ม	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	
ผลการศึกษา % Recovery ของวิธีสกัด	36
ผลการศึกษาขนาดของผงยางรถยนต์	36
ผลการศึกษา pH ของน้ำเสียสังเคราะห์	37
ผลการศึกษาเวลาสัมผัส	38
ผลการศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ จลนพลศาสตร์ และไอโซเทอร์ม	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง	46
ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การทดลองสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด BTEX	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ระดับการปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมให้มีได้	11
ตาราง 2.2 องค์ประกอบของผงยางรถยนต์โดยน้ำหนัก	17
ตาราง 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ BTEX ของ GC/MS	33
ตาราง 4.1 ค่าคงที่ต่าง ๆ ของปฏิกิริยาอันดับสอง	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัดส่วนของ BTEX ในก๊าซโซลีน	3
รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของยางรถยนต์แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ	13
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยางเอสบีอาร์ (Styrene-butadiene rubber, SBR)	14
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ cis-1,4-Polyisoprene	14
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในกระบวนการ Adsorption	21
รูปที่ 2.6 กราฟไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์	23
รูปที่ 2.7 กราฟไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช	24
รูปที่ 2.8 กราฟปฏิกิริยาอันดับศูนย์	26
รูปที่ 2.9 กราฟปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	27
รูปที่ 2.10 กราฟปฏิกิริยาอันดับสอง	28
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการสกัดด้วยวิธี Solid Phase Extraction ของสารละลาย BTEX	36
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX (%) โดยใช้ผงยางรถยนต์ขนาดต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX (%) โดยใช้ผงยางรถยนต์ที่พีเอชต่าง ๆ	38
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX (%) โดยใช้ผงยางรถยนต์ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ	39
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX โดยใช้ผงยางรถยนต์ที่ความเข้มข้นของ BTEX ต่าง ๆ	40
รูปที่ 4.6 กราฟแลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับเบนซีนโดยผงยางรถยนต์	41
รูปที่ 4.7 กราฟฟรุนดลิชไอโซเทอร์มของการดูดซับเบนซีนโดยผงยางรถยนต์	41
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	42
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	43
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับสองของเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	43
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของ โทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ppm	43
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของ โทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ppm	44
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับสองของ โทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ppm	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	Atomic Adsorption Spectrometry
amu	Atom mass unit
ASTM	American Society for Testing and Materials
BIIR	Halobutyl rubber
BR	Polybutadiene rubber
g	gram
GC	Gas Chromatograph
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
IIR	Butyl rubber
M	Molarity
m	metre
MCL	Maximum Contaminate Level
mg	milligram
mg g ⁻¹	milligram per gram
mg L ⁻¹ or M	milligram per litre or Molar
mL min ⁻¹	millilitre per minute
mm.	millimetre
min	Minute
MS	Mass Spectrometry
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NR	Natural rubber
phr	part per hundred of rubber
PI	Polyisoprene
PPD	p- Phenylene diamine
ppm	part per million
psi	pound per square inch
SBR	Styrene-butadiene rubber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

SPE	Solid Phase Extraction
T_g	Glass transition temperature
US.EPA	US. Environmental Protection Agency
μm	micro metre



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความต้องการในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของประชากรเพิ่มขึ้น ดังนั้น ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น และจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถ้าไม่มีการจัดการของเสียอย่างถูกวิธี

เบนซีน (Benzene) เอธิลเบนซีน (Ethylbenzene) โทลูอิน (Toluene) และไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ (*o*, *m*, *p*-Xylene) หรือเรียกว่า BTEX เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ ก๊าซโซลีน เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันหล่อลื่น BTEX ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น ปิโตรเคมี พลาสติก และเส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น การปนเปื้อนของ BTEX ในดินและน้ำใต้ดินอาจเกิดจากการรั่วไหลของถังเก็บน้ำมัน ซึ่งการแพร่กระจาย BTEX จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นอกจากนี้ เบนซีนยังจัดเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้น คุณภาพน้ำที่มีการปนเปื้อนจึงต้องผ่านการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน Environmental Protection Agency (US-EPA, 1997) กำหนดระดับปนเปื้อน BTEX ในน้ำดื่มยอมให้มีได้น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร การกำจัด BTEX ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นต้น แต่วิธีการเหล่านี้มีต้นทุนค่อนข้างสูง และใช้เวลานาน ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน สิ้นเปลืองสารเคมี และใช้พลังงานสูง การกำจัด BTEX โดยดูดซับด้วยผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว จึงเป็นแนวทางเลือกที่น่าสนใจ ทั้งนี้เพราะยางรถยนต์มีคุณสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ นอกจากนี้ ยังเป็นวิธีการนำเอาของเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์เนื่องจากปริมาณของยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว (Scrap tires) เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง เปลือกพื้นที่ฝังกลบ และอาจเกิดปัญหาไฟไหม้ในหลุมฝังกลบ

งานวิจัยนี้เป็นการนำผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ BTEX ในน้ำทิ้งโดยมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด BTEX ของผงยางรถยนต์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัด BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว
3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ และไอโซเทอร์มของการดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัด BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ได้แก่ ขนาดของผิวยาง พิเอช ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ จลนพลศาสตร์ และไอโซเทอร์มของการดูดซับ ด้วยการทดลองแบบครั้ง (batch test)
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ที่สถานะเหมาะสมที่ได้จากการทดลอง
3. ศึกษาจลนพลศาสตร์ และไอโซเทอร์มการดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว โดยการคำนวณจากผลการทดลอง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สถานะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการดูดซับ BTEX โดยใช้ผิวยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว
2. ลดค่าใช้จ่าย และลดการขาดดุลทางการค้าจากการนำเข้าสู่สารดูดซับจากต่างประเทศ
3. เป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

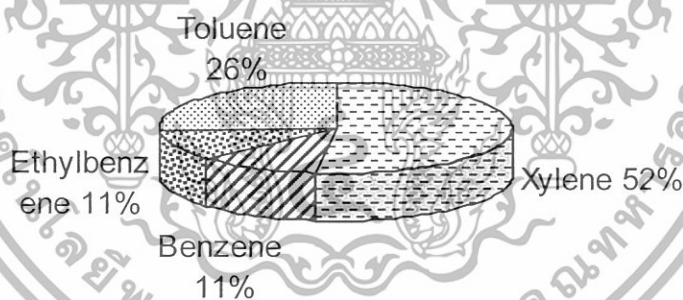
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 BTEX

Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene (BTEX) เป็นสารประกอบที่ระเหยง่าย (volatile compounds) Benzene, Toluene และ Xylene ที่พบตามธรรมชาติ เช่น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันดิบ (crude oil) เชื้อเพลิงดีเซล (diesel fuel) และก๊าซโซลีน (gasoline) ส่วน Ethylbenzene จะพบในก๊าซโซลีน สัดส่วนของ BTEX ในก๊าซโซลีน (%โดยน้ำหนัก) แสดงดังรูป 2.1 นอกจากนี้ BTEX ถูกใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั่นคือ Benzene ถูกใช้ในการผลิตวัสดุสังเคราะห์ และผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค เช่น ยางสังเคราะห์ พลาสติก ไนลอน ยามาแมลง และสี Toluene ถูกใช้เป็นตัวทำละลาย (solvent) ในสี สารเคลือบผิว ยาง น้ำมัน และเรซิน Ethylbenzene จะอยู่ในผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค เช่น สี น้ำมัน พลาสติก ยาปราบศัตรูพืช และสารปรุงแต่งเชื้อเพลิง ส่วน Xylene ถูกใช้เป็นตัวทำละลายในสี ยาง และ อุตสาหกรรมฟอกหนัง (U.S.EPA, 1997)



รูปที่ 2.1 สัดส่วนของ BTEX ในก๊าซโซลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณสมบัติของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2547)

2.1.1.1 Benzene

ชื่อทางเคมี	Benzene
สูตรทางเคมี	C ₆ H ₆
น้ำหนักโมเลกุล	78.1
Cas Registry Number	00071-43-2
UN Number	1114
การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม	ใช้ในการผลิตสารเคมีอื่นๆ และใช้เป็นสารทำละลาย

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ลักษณะสีและกลิ่น	ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมหวาน
จุดเดือด	80.1 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	5.5 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	75 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส (100 มิลลิเมตรปรอท ที่ 26.1 องศาเซลเซียส)
ความหนาแน่นไอ	2.7 (อากาศ = 1)
อัตราการระเหย	2.8 (อีเธอร์ = 1)
การละลายน้ำ	เล็กน้อย (0.18 % ที่ 25 องศาเซลเซียส)
ความถ่วงจำเพาะ	0.879 ที่ 15 องศาเซลเซียส
คุณสมบัติอื่นๆ	ระดับความเข้มข้นที่มีอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตในทันที (IDLH = 500 ppm)

อันตรายจากไฟและการระเบิด (Fire and Explosion Hazard)

เผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และสารไฮโดรคาร์บอน (reactive hydrocarbon) ของเบนซีนหนักกว่าอากาศ ดังนั้นถ้าฟุ้งกระจายไปถึงแหล่งจุดติดไฟได้ในที่แคบ ไอ่ฉุนอัดเกิดการระเบิดได้

ข้อมูลด้านการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reactivity Data)

เสถียรภาพ (Stability) สภาวะคงตัวภายใต้ลักษณะการใช้ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data)

ทางเข้าสู่ร่างกาย (Routes of exposure) โดยการหายใจ การสัมผัสผิวหนังและการรับประทาน

อันตรายเฉียบพลัน (Acute effects)

ก. การสัมผัสผิวหนัง ระคายเคือง ผิวหนังแห้ง คันและอักเสบ อาจมีอาการติดเชื้อซ้ำ และเป็นสาเหตุของปฏิกิริยาภูมิแพ้

ข. การสัมผัสตา ระคายเคือง กระจกตาบวมและชุ่มชื้นชั่วคราว อาจเกิดประสาทตาฝ่อ และการมองเห็นผิดปกติ

ค. การหายใจ ระคายเคืองทางเดินหายใจ กดรระบบประสาทส่วนกลาง มีอาการง่วงเซื่องซึม ปวดศีรษะ อาเจียน เมื่อได้รับสารนี้ที่ความเข้มข้นสูง ๆ จะ มีอาการชัก และเสียชีวิตจากการเต้นของหัวใจผิดปกติ

ง. การกลืนกิน ระคายเคืองทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายเหลว อาจทำอันตรายระบบประสาทส่วนกลาง ปวดศีรษะ ง่วงซึม ตาพร่า อ่อนเพลีย สิ้น ชัก หมดสติ หุดหทัย และเสียชีวิต

อันตรายเรื้อรัง (Chronic effects)

ทำอันตรายอวัยวะสร้างเม็ดเลือด ตับ ไตและระบบภูมิคุ้มกัน เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) ในมนุษย์ อาจเป็นสารก่อกลายพันธุ์ในมนุษย์ (mutagen) เกิดภาวะโลหิตจาง (Aplastic anemia) เสียชีวิตได้ ผิวหนังแห้ง คัน ทำลายไขมันที่ผิวหนัง

การปฐมพยาบาล (First aid)

ก. เมื่อถูกผิวหนัง - ถอดเสื้อผ้าที่เป็นสารออกทันที ล้างผิวหนัง ใช้ฟกบัวรดบริเวณที่ได้รับสารด้วยสบู่และน้ำปริมาณมาก ๆ แล้วนำส่งแพทย์

ข. เมื่อเข้าตา - ล้างหรือใช้น้ำฟูลิน้ำปริมาณมาก ๆ ให้ไหลผ่านตาอย่างนุ่มนวลนาน ๆ อย่างน้อย 15 นาที โดยเปิดเปลือกตาทั้งล่าง และบนออกล้างด้วย และควรถอดคอนแทคเลนส์ออกถ้าทำได้แล้วจึงนำส่งแพทย์

ค. เมื่อหายใจเข้าไป - นำผู้ป่วยที่ได้รับอันตรายออกจากที่เกิดเหตุ สู้อากาศบริสุทธิ์ หรือเอาแหล่งสารเคมีออก ถ้าหายใจลำบาก ให้ออกซิเจน ถ้าหยุดหายใจ ทำการผายปอด ถ้าหัวใจหยุดเต้น ปฏิบัติการช่วยชีวิต รักษาร่างกายให้อบอุ่น จัดทำนอนที่สบาย และนำส่งแพทย์

ง. เมื่อกินเข้าไป - ห้ามทำให้อาเจียน ล้างปากกลั้วคอด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ ห้ามกระตุ้นให้อาเจียน ถ้าอาเจียนเองให้จัดทำป้องกันการสำลักเข้าปอด นำส่งแพทย์ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data)

เข้าสู่ร่างกาย (Routes of exposure) โดยทางหายใจ สัมผัส และการกิน

อันตรายเฉียบพลัน (Acute effects)

ก. การสัมผัสผิวหนัง ทำให้ผิวแห้ง ระคายเคืองผิวหนัง

ข. การสัมผัสตา ความเข้มข้น 200-400 ppm หรือมากกว่า จะระคายเคืองเล็กน้อย และมีอาการชั่วคราว

ค. การหายใจ ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง เกิดอาการอ่อนเพลีย ไม่มีแรง ปวดศีรษะ มึนงง ผิวหนังชา คลื่นไส้ อาเจียน หมดสติ อาจถึงเสียชีวิต บางคนอาจมีอาการเกี่ยวกับความผิดปกติของตับ

ง. การกลืนกิน คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ถ่ายเหลว วิงเวียน อ่อนเพลียและหมดสติ

อันตรายเรื้อรัง (Chronic effects)

ผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง

การปฐมพยาบาล (First aid)

ก. เมื่อถูกผิวหนัง ถอดเสื้อผ้า/ชุดทำงานที่เป็นสารออกทันที ล้างผิวหนังส่วนที่สัมผัสด้วยสบู่อ่อน ล้างน้ำปริมาณมาก ๆ พาไปพบแพทย์ หากยังมีการระคายเคืองอยู่

ข. เมื่อเข้าตา ชับหรือปิดสารตกค้างอยู่รอบตาออกอย่างนุ่มนวลและรวดเร็ว ใช้น้ำฟุ่ฉีดล้างสารเคมีออกหรือใช้น้ำอุ่น ไหลผ่านตานาน ๆ ประมาณ 20 นาที ควรเปิดเปลือกตาทั้งบนและล่างเป็นครั้งคราวเพื่อล้างสารเคมีออก ควรถอดคอนแทคเลนส์ออกถ้าทำได้ ให้นำส่งแพทย์

ค. เมื่อหายใจเข้าไป เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่อากาศบริสุทธิ์ หรือเคลื่อนย้ายแหล่งสารเคมีออกไปให้ออกซิเจน ถ้าหายใจลำบาก หากหยุดหายใจให้ทำการผายปอด ถ้าหัวใจหยุดเต้นให้ทำการช่วยชีวิต ปัมหัวใจและรับนำส่งแพทย์

ง. เมื่อกินเข้าไป ห้ามทำให้อาเจียน ปากกล้วคอ ให้ดื่มน้ำมาก ๆ ปริมาณ 240-300 ซีซี และดื่มเรื่อย ๆ เพื่อเจือจางห้ามทำให้อาเจียน ถ้าอาเจียนเองให้จัดท่านอนเพื่อป้องกันการสำลักเข้าปอด ถ้าระดับความรู้สึกลดลงอย่างรวดเร็ว หรือหมดสติ หรือชัก งดให้อาหารทุกอย่างรีบนำส่งแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 Ethylbenzene

ชื่อทางเคมี	Ethylbenzene
สูตรทางเคมี	C_8H_{10} หรือ $CH_3CH_2C_6H_5$
น้ำหนักโมเลกุล	106.16
Cas Registry Number	00100-41-4
UN Number	1175
การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม	ใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้ในกระบวนการดูดซับ และในน้ำมันปิโตรเลียมชนิด BTX
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	
ลักษณะสีและกลิ่น	ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายอะโรมาติก
จุดเดือด	134-137 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	-95 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	7.1 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นไอ	3.66 (อากาศ = 1)
อัตราการระเหย	0.01 (อีเทอร์ = 1)
การละลายน้ำ	น้อยมาก
ความถ่วงจำเพาะ	0.867
คุณสมบัติอื่น ๆ	สารนี้สามารถละลายได้ในซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แต่ไม่สามารถละลายได้ในแอมโมเนีย
ข้อมูลด้านการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reactivity Data)	
เสถียรภาพ (Stability)	สภาวะคงตัวภายใต้ลักษณะการใช้ปกติ
ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data)	
ทางเข้าสู่ร่างกาย (Routes of exposure)	โดยหายใจ การสัมผัสผิวหนังและการรับประทาน

อันตรายเฉียบพลัน (Acute effects)

- ก. การสัมผัสผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง
- ข. การสัมผัสตา ระคายเคืองต่อตา
- ค. การหายใจ การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือก และทางเดินหายใจส่วนบน กดประสาทส่วนกลาง
- ง. การกลืนกิน ระคายเคืองทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายเรื้อรัง (Chronic effects)

การก่อมะเร็งหรือเกิดความผิดปกติต่ออวัยวะเป้าหมาย คือระบบประสาทส่วนกลาง ปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ไต ตับ กระเพาะปัสสาวะ อวัยวะสืบพันธุ์ เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

การปฐมพยาบาล (First aid)

ก. เมื่อถูกผิวหนัง - ให้ถอดสิ่งทันทที่ด้วยสบู่และน้ำปริมาณมาก ๆ อย่างน้อย 15 นาที พร้อมถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่ปนเปื้อนสารเคมีออก

ข. เมื่อเข้าตา - ล้างตาด้วยน้ำปริมาณมากๆ ให้ไหลผ่านตาอย่างนุ่มนวล นาน ๆ อย่างน้อย 15 นาที เปิดเปลือกตาทั้งล่างและบนออกล้างด้วย และควรถอดคอนแทคเลนส์ออกถ้าทำได้แล้วจึงนำส่งแพทย์

ค. เมื่อหายใจเข้าไป ให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจติดขัดให้ออกซิเจนช่วย นำส่งไปพบแพทย์

ง. เมื่อกินเข้าไป - ถ้าผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้ล้างบริเวณปากด้วยน้ำสะอาด และนำส่งไปพบแพทย์

2.1.1.4 Xylene

ชื่อทางเคมี	Xylenes
สูตรทางเคมี	C_8H_{10} หรือ $C_6H_4(CH_3)_2$
น้ำหนักโมเลกุล	106.2
Cas Registry Number	01330-20-7
UN Number	1307
การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม	ใช้เป็นสารทำละลาย ผลิตยา สี ย้อม สารกำจัดแมลง แลคเกอร์และสารเคลือบเงา และน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ลักษณะสีและกลิ่น	เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมรุนแรง
จุดเดือด	138 - 144 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	-47 ถึง 13 องศาเซลเซียส
ความดันไอ	7 - 9 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส
การละลายน้ำ	ไม่ละลายน้ำ
ความถ่วงจำเพาะ	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติอื่น ๆ

สารนี้มีหลายไอโซเมอร์ คือ o-Xylene, m-Xylene และ p-Xylene

อันตรายจากไฟและการระเบิด (Fire and Explosion Hazard)

เป็นของเหลวที่ติดไฟได้ง่ายและทำให้เกิดแก๊สอันตรายในขณะที่เกิดอัคคีภัย ไอระเหยของสารเคมีอาจฟุ้งกระจายไปได้ไกล

ข้อมูลด้านการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reactivity Data)

เสถียรภาพ (Stability)

ไม่เสถียร เป็นสารที่ระเหยง่าย

การเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reactivity)

ทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารออกซิไดเซอร์อย่างแรง เช่น คลอรีน โบรมีน และฟลูออรีน และกรดแก่

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพ (Health Hazard Data)

ทางเข้าสู่ร่างกาย (Routes of exposure)

โดยการหายใจ การสัมผัส

อันตรายเฉียบพลัน (Acute effects)

ก. การสัมผัสผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง

ข. การสัมผัสตา ระคายเคืองตา

ค. การหายใจ ระคายเคืองจมูกและลำคอ ทำให้ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน

ปวดท้อง ในระดับความเข้มข้นสูง ๆ จะทำให้มีศีรษะ เวียนหัว เป็นลมและอาจเสียชีวิต

ง. การกลืนกิน ไม่ค่อยเกิดกรณีนี้ ไม่มีข้อมูลรายงาน

อันตรายเรื้อรัง (Chronic effects)

โซลีน ไม่ถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง แต่อาจมีผลต่อการเติบโตของทารกในครรภ์ ผลเรื้อรังอื่น ๆ ได้แก่ การทำลายไขกระดูก เนื่องจากทำให้จำนวนเม็ดเลือดแดงลดลง ทำลายตับไต ทำให้ผิวหนังแห้ง แดง ความจำเสื่อม สมารถสิ้น และอาจมีผลต่อสมองในรูปแบบอื่นๆ รวมทั้งอาจทำลายเยื่อหุ้มตา

การปฐมพยาบาล (First aid)

ก. เมื่อถูกผิวหนัง ให้รีบล้างสารเคมีออกโดยใช้น้ำปริมาณมาก ๆ และสบู่ที่ไม่ระคายเคือง ในระหว่างนั้นค่อย ๆ ถอดเสื้อผ้า เครื่องแต่งกาย ที่เป็นสารเคมีออก

ข. เมื่อเข้าตา ให้รีบล้างสารเคมีออก โดยใช้น้ำสะอาดปริมาณมาก ๆ นาน 15 นาที เป็นอย่างน้อย โดยในระหว่างนั้นเปิดเปลือกตาบน-ล่าง เป็นครั้งคราว และควรถอดคอนแทคเลนส์ขณะปฏิบัติงาน

ค. เมื่อหายใจเข้าไป ให้รีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณที่สัมผัสสารเคมีไปยังที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ หากหยุดหายใจให้รีบช่วยผายปอด และปั๊มหัวใจ แล้วรีบพาไปพบแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. เมื่อกินเข้าไป ห้ามทำให้อาเจียน ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำสะอาดมากๆ แล้วรีบพาผู้ป่วยไปพบแพทย์โดยเร็ว

2.1.2 การปนเปื้อน BTEX ในสิ่งแวดล้อม

BTEX ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้โดยการระเหย การละลาย การยึดเกาะกับอนุภาคพื้นดิน หรือสลายตามชีววิทยา การระเหยจะเกิดขึ้นเมื่อสารเคมีระเหยเคลื่อนที่จากของเหลวสู่บรรยากาศ BTEX บางส่วนสามารถละลายในน้ำ จะเคลื่อนที่ไปสู่ใต้ดิน อีกทั้งยังสามารถไปยึดติดอยู่กับอนุภาคของดิน แต่จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าในน้ำใต้ดิน แต่ถ้ามีปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่เพียงพอ BTEX จะสามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ แต่จะเกิดปฏิกิริยาที่ช้ามาก

การควบคุม BTEX ตามมาตรฐาน U.S. EPA ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นำมาใช้กันทั่วไป กำหนดระดับปนเปื้อน BTEX ในน้ำดื่มสูงสุดที่ยอมให้มีได้ Maximum Contaminant Level (MCLs) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับการปนเปื้อนสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (U.S. EPA, 1997)

สารเคมี	MCL (ppm)
Benzene	0.005
Toluene	1
Ethylbenzene	0.7
Xylene (total)	10

2.1.3 การกำจัด BTEX

วิธีการกำจัด BTEX ที่ใช้โดยทั่วไปในปัจจุบันได้แก่

2.1.3.1 การกำจัดโดยใช้จุลินทรีย์

BTEX สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) และ ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลาย BTEX ได้แก่ *Pseudomonas putida* และ *Pseudomonas fluorescens* เป็นต้น

ข้อดีของกระบวนการกำจัดโดยใช้จุลินทรีย์

- ประหยัด ไม่ต้องใช้พลังงานสูง

ข้อเสียของกระบวนการกำจัดโดยใช้จุลินทรีย์

- ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายค่อนข้างนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงดูดซับกับสารที่ไม่มีขั้ว เช่น สารอินทรีย์ ด้วยแรงแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของรูพรุนพื้นที่ผิวสัมผัส และสถานะอิมตัว ณ. จุดสมดุล รวมทั้งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ขนาดโมเลกุลและการละลายน้ำ ยกตัวอย่างเช่น การดูดซับ BTEX ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากพีช 5 ชนิด เป็นต้น

ข้อดีของถ่านกัมมันต์

1) การดูดซับฟื้นคืนได้เร็ว

2) สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration)

ข้อเสียของถ่านกัมมันต์

1) มีราคาแพง

2) การทำรีเจนเนอเรชัน เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และอาจลดประสิทธิภาพในการกำจัด

2.2 องค์ประกอบของยางรถยนต์

ยางรถยนต์ จัดเป็นวัสดุประกอบหรือคอมโพสิตของยาง (Rubber composition) ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด ได้แก่ ยางธรรมชาติ ยางผสมสูตร เขม่าดำ เส้นใยเสริมแรง เส้นลวดโลหะ เป็นต้น ส่วนประกอบของยางรถยนต์ (รูปที่ 2.2) สามารถแบ่งออกเป็น

2.2.1 หน้ายาง (Tread)

เป็นยางที่มีความทนทานต่อการขัดสี (wear resistance) มีความร้อนที่เกิดจากการได้รับแรงอย่างต่อเนื่อง (heat buildup) ดำเนินใช้ยางผสมระหว่างยางเอสบีอาร์ (styrene-butadiene rubber, SBR) ยางธรรมชาติ (NR) และยางบีอาร์ (polybutadiene rubber, BR) เป็นองค์ประกอบ ส่วนของหน้ายาง (Tread) มีประมาณ 31% โดยน้ำหนัก

2.2.2 ยางด้านข้างหรือแก้มยาง (Sidewall)

เป็นยางที่มีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้ดี (Flex resistance) มีความยืดหยุ่นสูง และเกิดความร้อนสะสมน้อย นิยมใช้ยางผสมบีอาร์ (BR) กับยางธรรมชาติ (NR)

2.2.3 พลายหรือชั้นผ้าใบ (Ply)

เป็นชั้นผ้าใบหรือเส้นใยทอเป็นผืนฉาบด้วยยางผสม ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักที่ให้ความแข็งแรงเป็นรูปร่าง โครงยางรถยนต์ และยึดส่วนต่าง ๆ ของยางรถยนต์ไว้ด้วยกัน นิยมใช้เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยไนลอน-6 (Nylon-6) และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

2.2.4 เบลท์หรือเข็มขัดยางรถยนต์ (Belt)

อาจเรียกว่า แผ่นรองรับ หรือเส้นใยเหล็ก เป็นลวดโลหะหรือเส้นใยสังเคราะห์อยู่บริเวณใต้หน้ายาง เช่น เส้นลวดเหล็ก ทองเหลือง เส้นใยเรยอน ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับหน้ายางและป้องกันอันตรายบนพื้นถนน

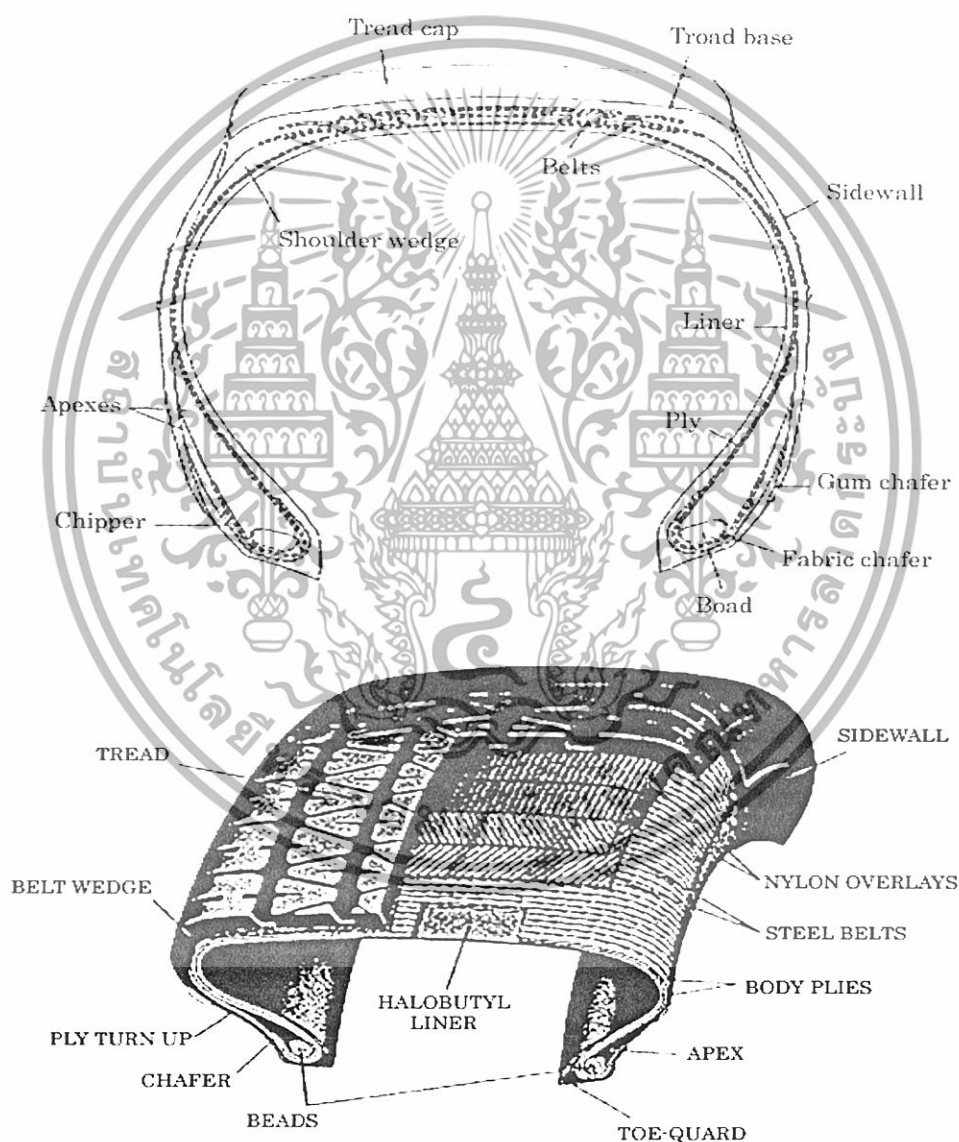
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 บีดหรือขอบยาง (Beads)

เป็นลวดโลหะแข็งม้วนพันเป็นวงแล้วฉาบด้วยยางผสม อยู่บริเวณริมขอบยางรถยนต์ติดกับกระทะล้อ ทำหน้าที่ยึดยางรถยนต์ให้ติดแน่นอยู่ในขอบกระทะล้อรถยนต์ และยึดโครงสร้างชั้นผ้าใบพลาซ

2.2.6 ยางชั้นใน (Inner liner)

เป็นยางที่มีการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ ได้แก่ ยางบิวทิล (Butyl rubber, IIR) หรือยางฮาโลบิวทิล (Halobutyl rubber, CIIR หรือ BIIR)



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของยางรถยนต์แสดงส่วนประกอบต่างๆ (อิทธิพล, 2545)

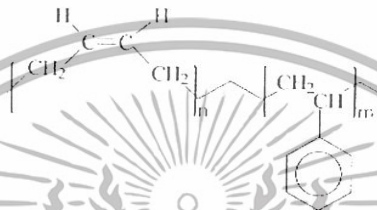
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผงยางรถยนต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

ผงยางรถยนต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่ได้จากการบดส่วนของหน้ายางให้มีขนาดเล็กลง นิยมใช้ผลิตยางรีเคลม (Reclaimed rubber) องค์ประกอบของยางรถยนต์ สามารถแบ่งออกเป็น

2.3.1 ยางเอสบิโอาร์ (Styrene-butadiene rubber, SBR)

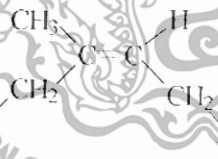
ยางเอสบิโอาร์เป็นยางสังเคราะห์ที่นิยมใช้มาก เนื่องจากยางเอสบิโอาร์มีสมบัติทนทานต่อการขัดถูเสียดสี โครงสร้างโมเลกุลของยางเอสบิโอาร์แสดงดังรูปที่ 2.3 มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง ดังนั้นในการสังเคราะห์จะเกิดยางเอสบิโอาร์ได้ 3 โครงสร้างคือ cis-1,4 trans-1,4 และ vinyl-1,2 (อิทธิพล, 2545)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยางเอสบิโอาร์ (Styrene-butadiene rubber, SBR)

2.3.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)

เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติคือ ต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) บางครั้งเรียกยางธรรมชาติว่า “ยางพารา” ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-Polyisoprene, PI) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง ที่มีโครงสร้าง ไอโซพรีน (C_5H_8) ซ้ำ ๆ (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ cis-1,4-Polyisoprene

ยางเป็นวัสดุที่สามารถยืดตัวออกหรือเปลี่ยนขนาดได้หลายเท่า (อย่างน้อยสองเท่า) เมื่อมีการให้แรง และสามารถหดกลับคืนใกล้เคียงขนาดและรูปร่างเดิมอย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยแรง ในการใช้ประโยชน์จากยางต้องนำยางมาทำการเชื่อมโยงหรือวัลคาไนเซชัน (Crosslinking หรือ Vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติหรือเทอร์โมเซต (Thermoset) ยางจะมีสมบัติที่ดีคือ สามารถเปลี่ยนจากวัสดุที่อ่อน นิ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด และไม่มีเสถียรภาพของรูปร่าง ให้ลได้เมื่อทิ้งไว้นาน กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพของรูปร่าง และทนอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เขม่าดำ (Carbon black)

เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูก สามารถใส่เขม่าดำในยางได้ในปริมาณมากกว่า 50 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (Part per hundred of rubber, phr) และที่สำคัญคือสามารถช่วยเสริมแรงให้กับยาง นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป (Processibility) ของยางให้ง่ายขึ้นด้วย เช่น ลดความยืดหยุ่นของของไหล (Mell elasticity) ลดการหดตัว (Shrinkage) และการบิดเบี้ยว (Distortion) ของผลิตภัณฑ์ยางหลังการขึ้นรูป เป็นต้น

ปัจจัยของเขม่าดำที่มีผลต่อสมบัติการเสริมแรง (สุมนา, 2547) ได้แก่

1) ขนาด (Size) หรือพื้นที่ผิว (Surface area)

ขนาดอนุภาคของเขม่าดำจะแปรผกผันกับพื้นที่ผิว สารตัวเติมยังมีขนาดเล็ก ประสิทธิภาพการเสริมแรงยิ่งสูงขึ้น ทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เขม่าดำขนาดยิ่งเล็กการผสมเขม่าดำเข้ากับยางยิ่งทำได้ยากขึ้น

2) โครงสร้าง (Structure)

ผลของโครงสร้างของเขม่าดำที่มีต่อยางส่วนใหญ่จะมีผลทางด้าน การแปรรูป เขม่าดำที่มีโครงสร้างใหญ่จะผสมกระจายในยางได้ดี ทำให้ยางที่ผ่านการอัดรีด (Extrusion) มีผิวเรียบ แต่ผสมในยางได้ปริมาณน้อยกว่าเขม่าดำที่มีโครงสร้างเล็ก

3) เคมีของพื้นผิว (Surface chemistry)

เขม่าดำประกอบด้วย คาร์บอนประมาณร้อยละ 90-99 ที่เหลือเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน นอกจากนี้ ยังมีกำมะถันปริมาณเล็กน้อยปนอยู่ด้วย สารเหล่านี้จะให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเขม่าดำต่างกัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการเชื่อมโยง เขม่าดำที่มีความเป็นด่าง จะเกิดการเชื่อมโยงเร็วกว่าเขม่าดำที่มีความเป็นกรด

4) ความเป็นรูพรุนในเขม่าดำ

จะมีผลต่ออัตราการเชื่อมโยง เพราะรูพรุนนี้จะดูดสารเร่งเข้าไป ทำให้การเชื่อมโยงช้าลง

2.3.4 น้ำมันเอ็กซ์เทนเดอร์ (Extender oil)

เป็นสารป้องกัน โอโซน (antiozonant) ที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับยางซึ่งทำให้เกิดรอยแตกที่เนื้อยางในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่ดึงยาง เมื่อนำยางไปยึดไว้ในบรรยากาศแล้วตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง สำหรับยางชนิดที่ไม่อิมตัว เช่น ยางบิวทิล (BR) หรือยางอีพียาร์ (EPR) สารป้องกันโอโซนที่ดีคือ p-Phenylene diamine (PPD) นอกจากนี้ ขี้ผึ้งปิโตรเลียม (Petroleum wax) ยังเป็นสารที่ใช้ป้องกันโอโซนได้ด้วย โดยปริมาณขี้ผึ้งที่ใช้ต้องมากพอที่จะซึมออกมาที่ผิว ซึ่งขี้ผึ้งที่ซึมออกมานี้จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โอโซนทำปฏิกิริยากับผิวยาง ทำให้ยางมีความทนทานต่อโอโซน นอกจากนี้ extender oil ยังเป็นสารที่ช่วยหล่อลื่นหรือลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุ หรือหล่อลื่นระหว่างเครื่องผสมกับวัสดุ ทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activator)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็นสารที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงอีกทีหนึ่ง สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน ได้แก่ ไซซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ไซซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็นไซซิงค์สเตียเรต ซึ่งสามารถละลายในยางได้และช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากเป็นไซซิงค์ไอออนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

1) ไซซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

ไซซิงค์ออกไซด์เป็นสารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญและนิยมใช้ เมื่อปริมาณไซซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น มอดุลัสจะเพิ่มขึ้น ปริมาณของไซซิงค์ออกไซด์ที่ให้มอดุลัสสูงสุดคือมากกว่า 3 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (phr) โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณ 3-5 ส่วนในร้อยส่วนของยาง แต่ถ้าไซซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็ก สามารถใช้ในปริมาณ 1 ส่วนในร้อยส่วนของยาง ซึ่งจะทำให้ได้ยางที่มีมอดุลัสสูงและมีสีใส

2) กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญ สำหรับสารเร่งการเชื่อมโยงบางตัว เช่น กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก กรดลอริก เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้ส่วนมากเป็นของผสมของกรดอะลิฟาติกอิ่มตัวที่มีคาร์บอน 12 ถึง 18 อะตอม ปริมาณการใช้กรดไขมันในยางขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ถ้ายางชนิดใดมีกรดไขมันอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องใส่หรือใส่ปริมาณน้อย สำหรับยางธรรมชาติมีกรดไขมันอยู่ปริมาณเล็กน้อยซึ่งอยู่ในรูปกรดสเตียริก แต่กรดไขมันที่มีในยางธรรมชาติมีปริมาณต่างกันมาก ซึ่งทำให้เวลาในการเชื่อมโยงต่างกัน โดยทั่วไป ปริมาณของกรดสเตียริกที่ใช้ในยางธรรมชาติจะใช้ประมาณ 1-4 ส่วนในร้อยส่วนของยาง เพื่อลด Cure time ที่ต่างกัน

2.3.6 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing)

ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำใหยางซึ่งเป็นวัสดุที่อ่อน นิ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด และไม่มีเสถียรภาพของรูปร่าง กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพของรูปร่าง และทนอุณหภูมิสูง

สารเชื่อมโยงแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

1. กำมะถัน (Sulfur)
2. สารที่ให้กำมะถัน (Sulfur donor)
3. สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide)
4. ซีลีเนียม (Selenium) และเทลลูเรียม (Tellurium)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์ ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resins) เป็นต้น การเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเป็นวิธีที่นิยมที่สุดเนื่องจากกำมะถันมีราคาถูกลง ละลายได้ดีในยางที่สำคัญ คือยางส่วนมากที่นิยมใช้เป็นอย่างดีที่ไม่อึดตัว มีพันธะคู่จำนวนมาก เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยาง สไตรีนบิวตะไดอิน (SBR) และยางบิวตะไดอิน (BR) ฯลฯ จึงว่องไวต่อการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน โดยใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (accelerators) และสารกระตุ้น (activators)

2.3.7 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator)

ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (crosslinking rate) เร็วขึ้น ทำให้เวลาการเชื่อมโยง (Cure time) เร็วขึ้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้กำมะถันปริมาณน้อยลง สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงสามารถแบ่งตามมาตรฐาน ASTM เป็น 6 กลุ่ม (สุนนา, 2547) ดังนี้

1. ซัลเฟอร์นาไมด์ (Sulfenamide)
2. ไทเอโซล (Thiazoles)
3. กัวนิดีน (Guanidines)
4. ไดไทโอคาร์บามेट (Dithiocarbamates)
5. ไทยูแรมไดซัลไฟด์ (Thiuram disulfides)
6. ไทยูแรมชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไดซัลไฟด์ (Thiuram other than disulfides)

ในการใช้งานสารเร่งในอุตสาหกรรมยาง อาจใช้สารเร่งมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกัน สารเร่งที่ใช้ปริมาณมากกว่าจะเป็นสารเร่งหลักหรือสารเร่งปฐมภูมิ (primary accelerator) ส่วนสารเร่งที่ใช้น้อยกว่าเป็นสารเร่งทุติยภูมิ (secondary accelerator) สารเร่งทั้งสองอาจเกิดปฏิกิริยาเสริมกัน (synergistic) ทำให้ได้อัตราการเชื่อมโยงที่มากกว่าสารเร่งแต่ละชนิดรวมกัน สัดส่วนองค์ประกอบของยางรถยนต์ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของยางรถยนต์โดยน้ำหนัก (สุนนา, 2547)

องค์ประกอบของยางรถยนต์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ยาง SBR หรือยาง NR	62
เขม่าดำ	31
Extender oil	1.9
Zinc oxide	1.9
Stearic acid	1.2
Sulfur	1.1
Accelerator	0.7

2.4 การผลิตผงยางรถยนต์

ผงยางรถยนต์โดยทั่วไปสามารถผลิตได้ 2 วิธี

2.4.1 การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic grinding)

เทคนิคนี้เป็นการทำให้ยางมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) โดยแช่ยางที่เชื่อมโยงแล้วในไนโตรเจนเหลว จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลมโลหะ (Ball mill) จะได้ผงยางที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 30–100 เมช ขนาดอนุภาคผงยางที่ได้ ขึ้นกับเวลาที่แช่ในไนโตรเจนเหลว และขนาดของตะแกรงร่อน (screen) ที่อยู่ในเครื่องบด โดยทั่วไปราคาของผงยางจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง พบว่าในปัจจุบันมีการใช้ผงยางประมาณ 5–10 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (phr) ในการผลิตยางล้อรถโดยสารและรถบรรทุก

ผงยางชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถแปรรูปได้หลายลักษณะดังนี้

- การอัดรีด (Extrusion) การใช้ผงยางขนาด 80–100 เมช สามารถแก้ปัญหาเรื่องรอยแตกและผิวขรุขระ ส่วนขนาดอนุภาค 50–60 เมช ก็สามารถใช้ได้ขึ้นกับความต้องการความเรียบของผิวผลิตภัณฑ์ ปริมาณสูงสุดที่ใช้ประมาณ 5%
- การรีดแผ่น (Calendering) การใช้ผงยางขนาด 80–100 เมช จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขนาด 0.06 นิ้ว หรือน้อยกว่า มีผิวเรียบสูงสุดถ้าไม่ต้องการความเรียบของผิวสามารถใช้น้ำขนาด 30–60 เมช ปริมาณสูงสุดที่ใช้ประมาณ 10%
- การอัดขึ้นรูป (Molding) สามารถใช้ผงยางได้ทุกขนาด เนื่องจากช่วยในการไล่อากาศที่ขังในยางขณะขึ้นรูป
- การไหลขณะขึ้นรูป (Molding flow) โดยทั่วไปผงยางจะช่วยปรับปรุงการไหล ขณะอัดขึ้นรูปเกิดการหดตัว (shrinkage) น้อย การหดตัวลดลงเมื่อปริมาณผงยางเพิ่มขึ้น

เครื่องมือในการผลิตผงยางชนิดนี้มีราคาถูก ง่าย ใช้งานง่ายในการผลิตต่ำ ผลผลิตเพิ่มขึ้นและมีพฤติกรรมการไหลดีกว่าผงยางที่บดที่อุณหภูมิห้อง (ambient grinding) สัณฐานวิทยาพื้นผิวของผงยางทำให้สามารถกำจัดอากาศที่ขังอยู่ในยางที่ยังไม่เกิดการเชื่อม โยง และผงยางจะถูกออกซิเดชันที่ผิวน้อยลง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวน้อย ซึ่งแตกต่างจากผงยางที่บดที่อุณหภูมิห้องที่มีพื้นที่ผิวสูง (10–30 เมช)

2.4.2 การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient grinding)

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. การบดที่อุณหภูมิแบบแห้ง (Dry ambient grinding)

การผลิตทำโดยนำยางที่เกิดการเชื่อมโยงแล้ว บดด้วยเครื่องบดฟันปลา (serrated grinding) ได้ผงยางที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ประมาณ 10–30 เมช และเกิดก้าง (pendant) ขึ้นที่ผิวจำนวนหนึ่ง ทำให้เกิดการเกี่ยวพันกับยางดิบได้ดี ส่วนใหญ่ใช้ในยางล้อและผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรม โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 5–20 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (phr) เมื่อขนาดอนุภาคยางเพิ่มขึ้น ความเรียบของผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์จะลดลง ถึงแม้จะมีชื่อตามวิธีการผลิตว่า “การบดที่อุณหภูมิห้อง” แต่ในทางปฏิบัติจะให้ความร้อนในระหว่างการผลิต การให้ความร้อนสูงจะทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเกิดการสลายตัว

2. การบดที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก (Wet ambient grinding)

เป็นวิธีที่ปรับปรุงการบดที่อุณหภูมิห้องแบบแห้ง ซึ่งลดขนาดของอนุภาคผงยางโดยการบดในน้ำ ขนาดอนุภาคขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการบด อนุภาคผงยางที่ได้มีขนาด 400–500 เมช ข้อดีของขนาดอนุภาคเล็ก คือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีดและการรีดแผ่นมีผิวเรียบ

2.5 การกำจัดโดยใช้ผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

เป็นวิธีการกำจัดด้วยกระบวนการดูดซับ โดยผงยางรถยนต์ ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) BTEX ซึ่งเป็นตัวถูกดูดซับ (adsorbate) BTEX เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ในการดูดซับ BTEX บนพื้นผิวของผงยางรถยนต์จะยึดเกาะด้วยแรงแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือเป็นการดูดซับทางกายภาพ

ข้อดีของการใช้ผงยางรถยนต์

- 1) ลดปริมาณของเสียทิ้ง เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์
- 2) ยางรถยนต์มีองค์ประกอบของเขม่าดำที่ช่วยในการดูดซับ

ข้อเสียของการใช้ผงยางรถยนต์

- 1) ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการนำไปใช้ประโยชน์จริง
- 2) ระหว่างกระบวนการบำบัด ผงยางขนาดเล็กจะให้ปริมาณของเขม่าดำออกมา ทำให้

เกิดความยุ่งยากในการกำจัด

2.6 กระบวนการการดูดซับ (Adsorption process)

เป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เกิดขึ้นโดยสารชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการดึงดูดสารชนิดอื่น ๆ ให้มาเกาะติดอยู่กับตัวมันได้เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) และสารที่ถูกดึงดูดหรือเกาะติดกับตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสารที่ต้องการกำจัดออก อาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ ส่วนตัวดูดซับนั้นส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง ความสามารถในการดูดซับอาจเกิดจากแรงทางกายภาพ (physical force) หรือแรงดึงดูดทางเคมี (chemical force) หรือเกิดร่วมกันระหว่างแรงทั้งสองประเภท ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับนี้ เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนซึ่งมีขนาดเล็กมากจนถึงระดับใหญ่ได้ โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ลักษณะการดูดซับ

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (Metcalf and Eddy, 1991) ดังนี้

2.6.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

เป็นการดูดติดกันของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งยึดติดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ค่อนข้างอ่อนได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waal) ดังนั้น การที่ตัวถูกดูดซับจะเกาะติดกับตัวดูดซับได้ดี จำเป็นที่ตัวดูดซับจะต้องมีพื้นผิวสัมผัสสูง หรือมีความเป็นรูพรุนสูง แต่การดูดซับประเภทนี้ยึดติดกันด้วยแรงที่อ่อน จึงทำให้เกิดการผันกลับของการดูดซับ (desorption) ได้ ซึ่งทำให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากตัวดูดซับได้

2.6.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

เป็นการดูดติดกันของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับในลักษณะที่มีการทำปฏิกิริยาระหว่างกัน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของตัวถูกดูดซับ การดูดซับแบบนี้จึงเกิดการผันกลับของการดูดซับ (desorption) ไม่ได้ โดยแรงที่ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับยึดติดกันด้วยพันธะทางเคมีนี้ยังมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับด้วย ซึ่งเป็นแรงที่มากกว่าแรงดูดซับทางกายภาพ นอกจากนี้ การดูดซับจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น

2.6.2 กลไกการดูดซับ

เป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากวัฏภาคหนึ่งไปยังวัฏภาคหนึ่ง และยังเป็นการกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับอีกด้วย ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.5

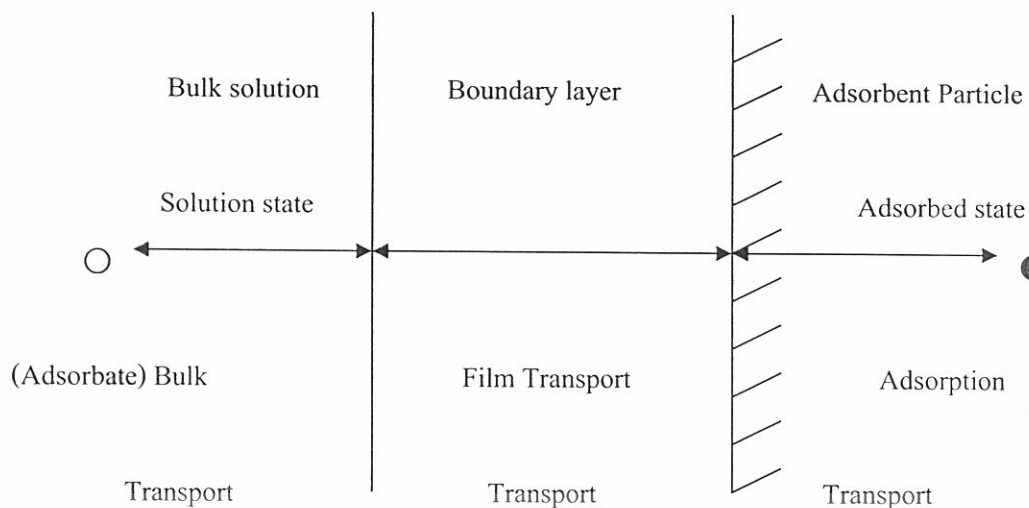
ขั้นตอนที่ 1 Mass transfer เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ การเคลื่อนที่นี้เกิดขึ้นจากการปั่นป่วน ทำให้ตัวถูกดูดซับมีโอกาสเข้าไปยังผิวของฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 Film transfer เมื่อตัวถูกดูดซับเข้ามาถึงตัวดูดซับ โดยผ่านฟิล์มน้ำที่ห่อหุ้มผิวของตัวดูดซับแล้วเข้ามาจนถึงผิวของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 Interparticle transport หรือ Pore transport เป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปยังรูพรุนหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับ active site บนตัวดูดซับ ซึ่งอาจเกิดจากแรงดึงดูดทางกายภาพ หรือแรงดึงดูดทางเคมี หรือแรงดึงดูดทั้งสองประเภทร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในกระบวนการ Adsorption

2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (มโนสิน, 2538)

2.6.3.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (Size and Surface area)

เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ โดยขนาดจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับอัตราเร็วในการดูดซับ คือเมื่อตัวดูดซับมีขนาดเล็ก อัตราเร็วในการดูดซับจะเกิดได้เร็วขึ้น ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) คือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีรูพรุนมาก ทำให้มีการดูดซับได้มาก ส่วนใหญ่นิยมวัดพื้นที่ผิวเทียบกับน้ำหนักของตัวดูดซับ

2.6.3.2 ลักษณะของตัวถูกดูดซับ (Nature of adsorption)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย คือ ความสามารถในการละลายได้ และขนาดของตัวถูกดูดซับ โดยทั่วไป สารที่มีความสามารถในการละลายได้ดี จะมีความสามารถในการดูดซับได้น้อย เนื่องจากตัวถูกละลายมีแรงยึดเหนี่ยวกับ โมเลกุลของตัวทำละลายอย่างเหนียวแน่น

2.6.3.3 เวลาสัมผัส (Contact time)

ระยะเวลาในการสัมผัสจะต้องมีความเหมาะสม จึงจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารที่จะถูกดูดซับด้วย

2.6.3.4 ความปั่นป่วน (Mixing speed)

ความปั่นป่วนถือเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ เพราะหากความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก ทำให้ตัวถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในตัวดูดซับได้ ชั้นฟิล์ม (Film transport) จึงเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ หากความปั่นป่วนสูงขึ้น จะทำให้ชั้นฟิล์มที่ล้อมรอบอยู่นั้น มีความหนาลดลง ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าไปในโพรงตัวดูดซับได้ดี (Pore transport) ดังนั้น ถ้าความปั่นป่วนสูง ตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pore transport แต่หากความปั่นป่วนมากเกินไป อาจทำให้ตัวถูกดูดซับที่ติดอยู่ที่ผิวกลับออกไปอยู่ในสารละลายได้อีก

2.6.3.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดติดผิวได้ดี ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออน และการละลายของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

2.6.3.6 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมิผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จะทำให้การแพร่ผ่านของตัวถูกดูดซับไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

2.6.4 สมดุลของการดูดซับ (Adsorption equilibrium)

สมดุลการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่ออัตราที่ตัวถูกละลายถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ (Adsorption) เท่ากับอัตราที่ตัวถูกละลายหลุดออกจากพื้นผิวของตัวดูดซับ (Desorption) ซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า จุดสมดุลการดูดซับ โดยที่จุดสมดุลการดูดซับจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิวของตัวดูดซับ สมดุลนี้เป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมด การแสดงปริมาณตัวถูกละลายต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จะสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่เรียกว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

2.6.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับสามารถอธิบายได้หลายรูปแบบ ที่นิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 รูปแบบ ดังนี้

2.6.5.1 Langmuir Isotherm

ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบ Langmuir เป็นพื้นฐาน ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบอื่น ไอโซเทอร์มนี้ใช้อธิบายสมดุลการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่า การดูดซับสูงสุดสัมพันธ์กับโมเลกุลตัวถูกละลายที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับ โดยที่

1. พื้นที่ผิวของการดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน
2. พลังงานของการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ
3. ไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับในแนวระนาบบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

Langmuir Isotherm สามารถเขียนอธิบายได้ด้วยสมการ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{X}{M} = \frac{Q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad (2.1)$$

- เมื่อ Q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg g^{-1})
 X = ปริมาณของตัวถูกดูดซับ (mg)
 M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)
 Q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่จัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นที่ผิวดูดซับ (mg g^{-1})
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่จุดสมดุล (mg L^{-1} , M)
 K = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับ

เมื่อเขียนเป็นสมการเส้นตรงจะได้สมการ 2.2

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{K Q_m C_e} \quad (2.2)$$

ถ้าพลอตกราฟระหว่าง $1/Q$ กับ $1/C_e$ ได้สมการเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/KQ_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/Q_m$ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์

2.6.5.2 Freundlich Isotherm

ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich ใช้อธิบายการดูดซับที่ตัวถูกดูดซับเรียงซ้อนกันหลายชั้นด้วยพันธะอ่อน ๆ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{X}{M} = KC_e^{1/n} \quad (2.3)$$

เมื่อ Q = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (mg g^{-1})

X = ปริมาณของตัวถูกละลาย (mg)

M = ปริมาณของตัวดูดซับที่ใช้ (g)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (mg L^{-1} , M)

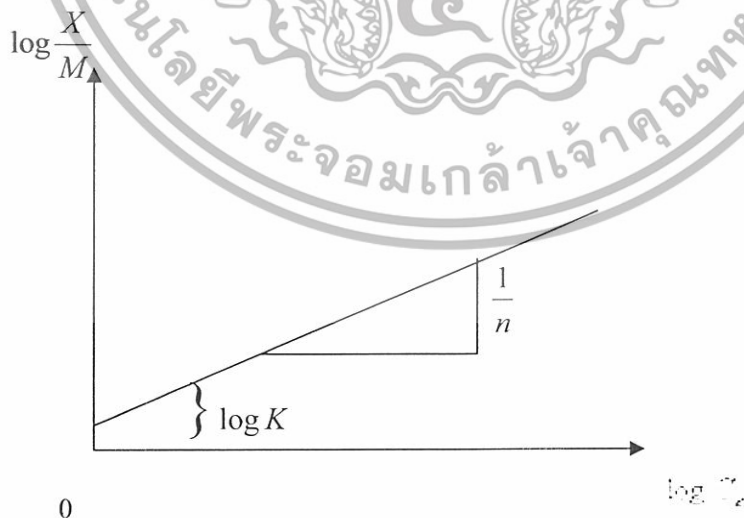
K = ค่าคงที่ที่แสดงความสามารถในการดูดซับ (mg g^{-1})

$1/n$ = ค่าคงที่ที่แสดงถึงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย (Concentration dependence)

เปลี่ยนสมการ 2.3 ให้เป็นสมการ log จะได้สมการ 2.4

$$\log \frac{X}{M} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.4)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log (X/M)$ กับ $\log C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K$ ดังรูปที่ 2.7 หากค่า K และ $1/n$ มีค่าต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำในทุกค่าความเข้มข้น แต่ถ้า $1/n$ สูง แสดงว่าความสามารถในการดูดซับนี้ จะขึ้นกับความเข้มข้น เช่น หากความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการดูดซับจะลดลงอย่างรวดเร็ว และในทางตรงข้ามเมื่อความเข้มข้นสูง ความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นอย่างมาก

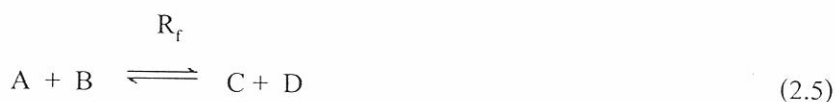


รูปที่ 2.7 กราฟไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 จลนพลศาสตร์ (Kinetic reaction)

จลนพลศาสตร์ เป็นการบอกอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาหนึ่ง ๆ (ปฏิกิริยา 2.5)



- เมื่อ A, B = สารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา
 C, D = ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา
 R_f = อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า
 R_r = อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

โดย R_f และ R_r แสดงดังสมการ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

$$R_f = K_f [A]^w [B]^x \quad (2.6)$$

$$R_r = K_r [C]^y [D]^z \quad (2.7)$$

- เมื่อ w, x, y, z = ตัวเลขยกกำลัง
 K_f, K_r = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และย้อนกลับ
 อันดับปฏิกิริยา (Order reaction) คือ ผลรวมของเลขยกกำลังของความเข้มข้น โดยทั่วไปแบ่งได้ 3 แบบ

2.7.1 การเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order reaction)

สมการแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังสมการ 2.8

$$R = \frac{dC_A}{dt} \quad (\text{หรือ} \quad \frac{dC_B}{dt}) = -k \quad (2.8)$$

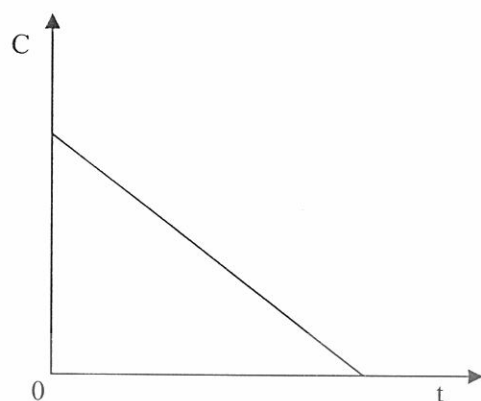
ทำการอินทิเกรตจาก $t = 0$ ไป $t = t$ จะได้ดังสมการ 2.9

$$C_0 - C_t = kt \quad (2.9)$$

- เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นปฏิกิริยา (mg L^{-1})
 C_t = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่ระยะเวลาต่าง ๆ (mg L^{-1})
 k = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา ($\text{mg L}^{-1} \text{min}^{-1}$)
 t = เวลา (min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C กับ t จะได้เส้นตรง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟปฏิกิริยาอันดับศูนย์

2.7.2 การเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order reaction)

สมการแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งมีผลรวมของเลขยกกำลังเท่ากับหนึ่ง สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.10

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A \quad (2.10)$$

ทำการอินทิเกรตจาก $t=0$ ไป $t=t$
และ $C_1=0$ ไป $C_1=C_1$

โดยสามารถเขียนในรูป \ln ดังสมการที่ 2.11

$$\ln C_1 = \ln C_0 - k_1 t \quad (2.11)$$

เมื่อ C_0 = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว (mg g^{-1})

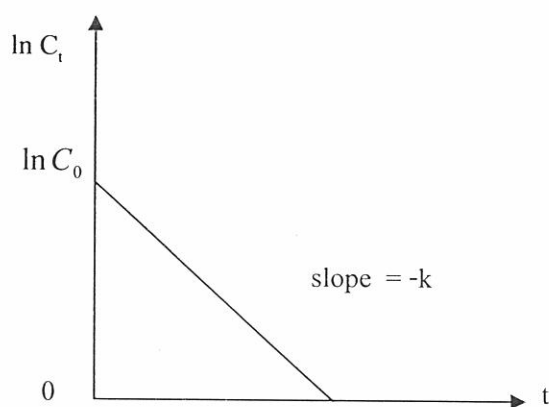
C_1 = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่เวลาต่าง ๆ (mg g^{-1})

K_1 = ค่าคงที่อัตราการดูดซับสำหรับแบบจำลองอันดับหนึ่ง (min^{-1})

t = เวลา (min)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\ln C_1$ กับ t จะได้เส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า k_1 ได้จากความชันและจุดตัดแกน y คือ $\ln C_0$ ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

2.7.3 การเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง (Second order)

สมการแบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาอันดับสอง คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงตัวใดตัวหนึ่ง หรือทั้งสองตัวร่วมกัน ซึ่งมีผลรวมของเลขยกกำลังเท่ากับสอง สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.12

$$\frac{dC_A}{dt} = k_2 C_A^2 \quad (2.12)$$

ทำการอินทิเกรตจาก $t=0$ ไป $t=t$

และ $C_t=0$ ไป $C_t=C_t$

โดยสามารถเขียนในรูปส่วนกลับได้ ดังสมการที่ 2.13 และสมการที่ 2.14 ตามลำดับ

$$\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0} = k_2 t \quad (2.13)$$

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_0} + k_2 t \quad (2.14)$$

เมื่อ C_0 = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อน้ำหนักของตัวถูกละลายที่สถานะอิ่มตัว (mg g^{-1})

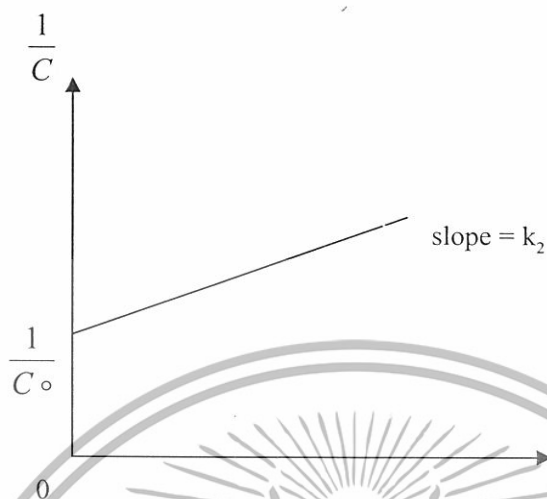
C_t = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวถูกละลายที่เวลาต่าง ๆ (mg g^{-1})

k_2 = ค่าคงที่อัตราการดูดซับสำหรับแบบจำลองอันดับหนึ่ง ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$)

t = เวลา (min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/C$ กับ t จะได้เส้นตรง ซึ่งสามารถหาค่า k_2 ได้ จากความชันและจุดตัดแกน y คือ $\ln C_0$ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาอันดับสอง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kershaw และคณะ (1997) ศึกษาความสามารถการดูดซับ Benzene และ *m*-Xylene ในน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ผงยาง โดยทำการทดลองแบบครึ่งและแบบต่อเนื่อง เพื่อวัดความสามารถการดูดซับ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาในกระบวนการดูดซับแบบต่อเนื่อง ได้แก่ เวลาที่จุดสมดุลและอัตราการไหลของน้ำที่ปนเปื้อนด้วย Benzene และ *m*-Xylene จากผลการทดลองแบบครึ่ง พบว่าผงยางมีความสามารถในการดูดซับ Benzene และ *m*-Xylene ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มากกว่า 1.3 และ 8.2 มิลลิกรัมต่อผงยาง 1 กรัม และจากผลการทดลองแบบต่อเนื่องพบว่า ผงยางสามารถดูดซับ Benzene และ *m*-Xylene ในคอลัมน์เป็นเวลา 15 นาที ได้ 40 เปอร์เซ็นต์

Kim และคณะ (1997) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ด้วยผงยางรถยนต์โดยการทดลองแบบครึ่ง โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแรงไอออน พีเอช ขนาดของผงยาง และอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า *m*-Xylene มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารสูงสุด คือ 977 ลิตรต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ethylbenzene, toluene, trichloroethylene, 1,1,1-trichloroethane, chloroform และ methylene chloride ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารละลายอินทรีย์ถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของลอการิทึมเชิงเส้นที่มีความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของสารใน octanol และในน้ำ ซึ่งผลของสัมประสิทธิ์การแพร่จะอยู่ในช่วง 10^8 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของสารอินทรีย์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ขนาดโมเลกุล และพลังงานความร้อนของสารละลาย มีค่าต่ำกว่า 2.5 กิโลจูลต่อโมลต่อเคลวิน ดังนั้น สรุปได้ว่า ค่าพลังงานความร้อนของสารละลายอาจจะไม่มีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์บนยางรถยนต์ โดยอินทรีย์ที่ถูกดูดซับส่วนใหญ่จะถูกดูดซับบนบริเวณที่เป็นโพลิเมอร์ และบางส่วนจะถูกดูดซับบริเวณที่เป็นคาร์บอนในยางรถยนต์

Gunasekara (2000) ศึกษาการกำจัดเนฟธาซีน โทลูอิน และปรอทจากน้ำโดยใช้ผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว (GRT) โดยการทดลองแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไอโซเทอร์มของประสิทธิภาพการดูดซับของเนฟธาซีน และโทลูอิน มีค่าประมาณ 1,340 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 255 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และประสิทธิภาพการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ จะสามารถดูดซับได้ดีและเร็วในช่วงเวลา 30 นาทีแรก ในขณะที่ไอโซเทอร์มของปรอทมีประสิทธิภาพการดูดซับจะช้ากว่าสารประกอบอินทรีย์ เนื่องจากอนุภาคของผงยางมีส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของไอออนของปรอท (Hg^{2+}) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว (GRT) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ และไอออนของปรอทออกจากน้ำเสีย รวมทั้งสิ่งแวดลอมอื่น ๆ ที่มีการปนเปื้อนได้

Smith และคณะ (2000) ศึกษาศักยภาพการดูดซับของชั้นยางรถยนต์โดยกัรบอดักของชั้นยางรถยนต์กับดินลูกรัง เพื่อศึกษาลักษณะและกลไกการดูดซับ โดยจะใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันรถพาราฟิน สารละลายทีนอล และคลีซอล เป็นสารที่ถูกดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า ชั้นยางรถยนต์เป็นตัวกลางการดูดซับสารทั้งหมดได้ดี และมีความเฉพาะเจาะจงกับสารละลายอินทรีย์ที่ไม่ชอบน้ำ และสารตกค้างต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การดูดซับช้าลง ขนาดของชั้นยางรถยนต์ และดินลูกรังที่เหมาะสมต่อการดูดซับ คือ 2 และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ การผสมผสานระหว่างดินลูกรังกับปริมาณชั้นยางรถยนต์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนทั้งหมด ถือเป็นสภาวะที่เหมาะสม ที่ทำให้กลไกการดูดซับมีความเสถียร

Daifullah และ Girgis (2003) ศึกษาลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากพืช 5 ชนิดที่มีผลต่อการดูดซับ BTEX คือ เมล็ดอินทผลัม ต้นฝ้าย เมล็ดลูกพีช เปลือกแอลมอน และเมล็ดมะกอก มาตรฐานในการดำเนินการทดลองในสภาวะที่เหมาะสม (ผสมด้วย 50% H_3PO_4 ที่อุณหภูมิ 773 เคลวิน) ลักษณะของพื้นผิวถูกวิเคราะห์ด้วยไอโซเทอร์มของ $N_2/77K$ ประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนด้วยเมล็ดลูกพีช เปลือกแอลมอน ต้นฝ้าย เมล็ดมะกอก และเมล็ดอินทผลัม ตามลำดับ ความเป็นกรดเบสคำนวณโดยวิธี Selective Titration ของ Boehm คาร์บอนทั้งหมดอยู่ในกากฟอสเฟต และมีปริมาณมากที่พื้นผิวของสารเชิงซ้อนออกซิเจน โดยส่วนใหญ่เป็นกรด การกำจัด BTEX ในซากพืชแต่ละชนิดในรูปของของผสม และกัรบอดักผ่านมวลทั้งหมด BTEX ที่ถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับน้อย เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของรูพรุนหรือพื้นผิว ปัจจัยทางเคมี โดยทั่วไปการส่งผ่านมวลที่เกิดขึ้นในการทดลอง Benzene<Toluene<Ethylbenzene<Xylene ซึ่งสัมพันธ์กับความสามารถของการละลายน้ำที่ลดลง และน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 625 เคลวิน พบว่าความพรุนลดลง เมื่อความเป็นกรดมีค่าเพิ่มขึ้น ช่วยปรับปรุงความสามารถในการกำจัด BTEX ต่อหน่วยพื้นที่ได้

Mottaleb และคณะ (2003) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของตัวดูดซับ ความลึกของแหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่าง สารชะละลาย headspace และอุณหภูมิที่มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณของ BTEX ในแม่น้ำบุรีรัมย์ โดยสกัด BTEX โดยใช้ SPE พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ คือ ใช้ SPE ชนิดตัวดูดซับเป็น C_{18} โดยที่ผิวน้ำจะพบปริมาณ BTEX มากกว่าที่ระดับลึกลงไป สารชะละลายที่เหมาะสม คือ ไดคลอโรมีเทน ที่ไม่มี headspace จะให้เปอร์เซ็นต์ Recovery มากกว่า และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 4 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Gas Chromatograph รุ่น 6890 N Agilent Technologie, USA
2. เครื่อง Mass Spectrophotometre รุ่น 5973 Agilent Technologie, USA
3. เครื่องกรองแบบสูญญากาศ
4. เครื่องเขย่าสาร
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. เครื่องวัดพีเอช
7. SPE คอลัมน์, Bond Elute C-18 บริษัท Varian จำกัด
8. ขวดไมเอลดีชา ขนาด 40 มิลลิลิตร
9. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน
10. ไมโครปิเปต
11. เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 สารเคมี

1. Benzene 99.7% (A.R. Grade, Lab-Scan Co.,Ltd.)
2. Toluene 99.8% (A.R. Grade, Lab-Scan Co.,Ltd.)
3. Ethylbenzene 98% (A.R. Grade, Lab-Scan Co.,Ltd.)
4. *o*-Xylene 99% (A.R. Grade, Fisher Scientific Co.,Ltd.)
5. *m*-Xylene 99% (A.R. Grade, Fisher Scientific Co.,Ltd.)
6. *p*-Xylene 99% (A.R. Grade, Fisher Scientific Co.,Ltd.)
7. Dichloromethane (A.R. Grade, Fisher Scientific Co.,Ltd.)
8. Methanol 99.8% (A.R. Grade, Lab-Scan Co.,Ltd.)
9. Sodium sulphate (RPE Grade, Carlo Erba Co.,Ltd.)
10. Sodium hydroxide (A.R. Grade, Fisher Scientific Co.,Ltd.)
11. Hydrochloric (A.R. Grade, Fisher Scientific Co.,Ltd.)
12. Deionized water

13. ผงยางรถยนต์ผลิตจากหน้ายาง บริษัทแสไทยผลิตยางจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 เตรียมผงยางรถยนต์

1. คัดแยกขนาดผงยางรถยนต์ด้วยวิธีการบดที่อุณหภูมิห้องขนาด 10-20, 20-30 และ 30-40 เมช โดยใช้ตะแกรงร่อน
2. ชั่งผงยางรถยนต์แต่ละขนาด ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และล้างด้วยน้ำกลั่น โดยใช้สัดส่วนของผงยางรถยนต์ 1 กรัม ต่อน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
3. เขย่าเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที
4. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
5. ทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 40 °C ด้วยเตาอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. เก็บผงยางรถยนต์ที่ล้างและอบแห้งแล้วไว้ในขวดพลาสติกเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2 เตรียมสกัดสารละลาย BTEX ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

1. ปิเปต Benzene 1.14 มิลลิลิตร, Toluene 1.15 มิลลิลิตร, Ethylbenzene 1.17 มิลลิลิตร, *o*-Xylene 1.15 มิลลิลิตร, *m*-Xylene 1.16 มิลลิลิตร และ *p*-Xylene 1.17 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3.2.3 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

1. ปิเปตจากสกัดสารละลาย BTEX ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

3.2.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของวิธีการสกัด (Validation Method)

1. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 39 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดไวแอลลีซา ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. นำสารละลายที่ได้ ไปสกัดด้วยวิธี Solid-phase extraction (Mottaleb *et al.*, 2003) โดย
 1. เติม 50% เมทานอล จำนวน 3 มิลลิลิตร ผ่านคอลัมน์ C_{18} แล้วล้างด้วย 1% เมทานอล จำนวน 3 มิลลิลิตร เพื่อกระตุ้นตัวสกัดในคอลัมน์ให้พร้อมใช้งาน
 2. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มิลลิลิตร ไหลผ่านโดยให้อัตราการไหล 3 มิลลิลิตรต่อนาที
 3. ชะด้วย 1% เมทานอล จำนวน 2 มิลลิลิตร เพื่อให้สารที่ไม่ต้องการวิเคราะห์ ไหลออกมา ทำซ้ำ 2 ครั้ง
 4. ชะ BTEX ด้วยไดคลอโรโรมีเทน 2 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 2 ครั้ง
 5. นำสารละลายที่ได้ไปเติมโซเดียมซัลเฟต เพื่อค่อนน้ำที่หลงเหลืออยู่ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับปริมาตรสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนในขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3.1

4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ BTEX ของ GC/MS

Front inlet :	
Injection mode	Split
Initial temp	250 °C
Pressure	6.68 psi
Split ratio	50 : 1
Split flow	49.8 mL.min ⁻¹
Total flow	53.6 mL.min ⁻¹
Gas type	Helium 99.9%
GC Information :	Initial temp : 34 °C hold for 5 mins, then increase the temperature with ramp rate 5 °C.min ⁻¹ until 100 °C, hold for 1 min
Oven Temperature Program	
Capillary Column	HP5, 0.25 mm * 30 m * 0.25 µm.
Pressure	6.69 psi
Nominal Initial flow	1.0 mL.min ⁻¹
MS Information :	EI Mode
Acquisition Mode	Scan
Thermal Aux : 2	MSD Transfer Line Heater
Initial temp	280 °C
Solvent Delay	2.50 min
Resulting EM Voltage	1600
Scan Parameters :	
Low Mass (amu)	50
High Mass (amu)	500
Threshold	150
MS Zones :	
MS Quad	150 °C Maximum 200 °C
MS Source	230 °C Maximum 250 °C

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับ BTEX ด้วยผงยางรถยนต์

3.2.5.1 ศึกษาขนาดของยางรถยนต์ที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ชั่งผงยางรถยนต์ขนาด 10-20, 20-30 และ 30-40 เมช จำนวน 5 กรัม ใส่ลงในขวดไวแอลลีซา (vial) ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 39 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดไวแอล
3. เขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าสาร (Shaker) ที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (โดยใช้สภาวะจากการทดลองของ (ยูพิน, 2548))
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
5. นำสารละลายที่ได้ไปสกัดด้วยวิธี Solid-phase extraction และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.2.4
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง
7. ทำชุดควบคุม เช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 1-5 แต่ไม่ใส่ผงยางรถยนต์

3.2.5.2 ศึกษา pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการดูดซับ

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปรับ pH 4, 7 และ 9 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล
2. ชั่งผงยางขนาดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.5.1 จำนวน 5 กรัม ลงในขวดไวแอลลีซาขนาด 40 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่าง ๆ ที่เตรียมในข้อ 1 จำนวน 39 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดไวแอล
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 3.2.5.1 ข้อ 3- 7

3.2.5.3 ศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ชั่งผงยางขนาดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.5.1 จำนวน 5 กรัม ลงในขวดไวแอลลีซาขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.5.2 จำนวน 39 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดไวแอล
3. เขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าสารที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 3.2.5.1 ข้อ 4-7

3.2.5.4 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ จลนพลศาสตร์ และไอโซเทอร์มที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ชั่งผงยางขนาดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.5.1 จำนวน 5 กรัม และลงในขวดไวแอลลีซา ขนาด 40 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.5.2 จำนวน 39 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดไวแอล
3. เขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าสาร ที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 5, 10, 15, 30, 40 และ 60 นาที
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับ 3.2.5.1 ข้อ 4-7



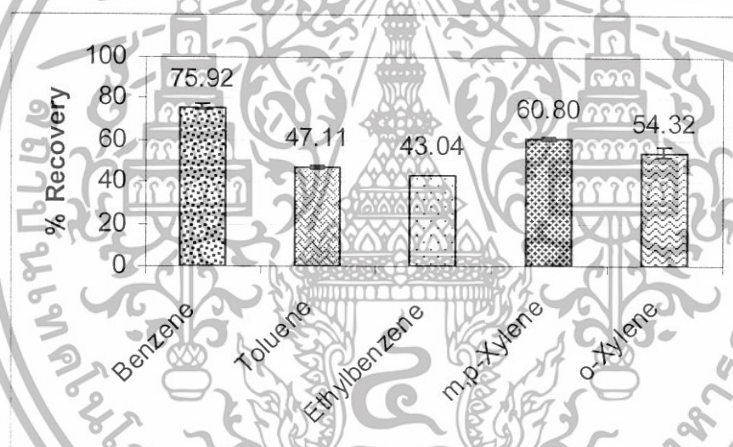
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 ผลการศึกษา % Recovery ของวิธีการสกัด

จากการทดสอบความแม่นยำของวิธีการสกัดแบบ Solid Phase Extraction ของสารละลาย BTEX ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ความเข้มข้นที่ได้หลังการสกัดมีประสิทธิภาพการสกัดของเบนซีน, โทลูอีน, เอทิลเบนซีน, เมตา-ไซลีน และ พารา-ไซลีน, ออโรไซลีนมีค่าเท่ากับร้อยละ 75.92 ± 1.18 , 47.11 ± 0.85 , 43.04 ± 0.08 , 60.804 ± 0.987 และ 54.32 ± 2.46 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก) จากการทดลองพบว่า เมตา-ไซลีน และ พารา-ไซลีน จะมี retention time เท่ากัน จึงรายงานผลรวมกัน เนื่องจากคอลัมน์ HP5 ไม่สามารถแยกสารทั้ง 2 นี้ออกจากกันได้



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการสกัดด้วยวิธี Solid Phase Extraction ของสารละลาย BTEX

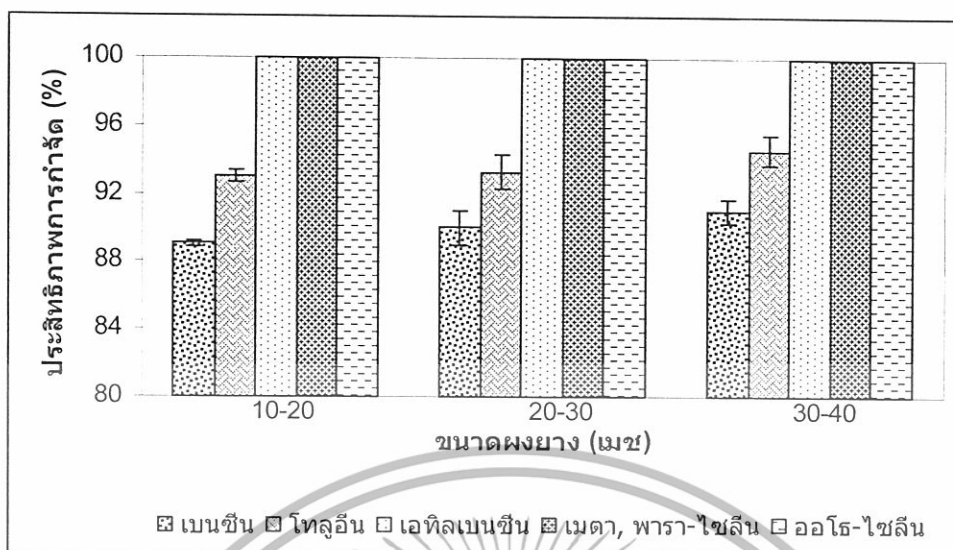
จากรูปที่ 4.1 พบว่า % Recovery ไม่เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะ BTEX เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายอาจจะหายในระหว่างขั้นตอนการสกัดได้ ดังนั้น ในการทดลองจึงทำด้วยความระมัดระวังเพื่อลดข้อผิดพลาดจากการสูญหายไปของ BTEX

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ

4.2.1 ผลการศึกษานขนาดของผงยางรถยนต์ที่มีผลต่อการดูดซับ

จากผลการศึกษานขนาดของผงยางรถยนต์ขนาดต่าง ๆ คือ ขนาด 10-20 เมช, 20-30 เมช และ 30-40 เมช แสดงดังรูป 4.2 (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก-2 ภาคผนวก ก) โดยใช้ความเข้มข้นของ BTEX ที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 39 มิลลิลิตร ปริมาณผงยางรถยนต์ 5 กรัม ความเร็วรอบของการเขย่าที่ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX (%) โดยใช้ผงยางรถยนต์ขนาดต่าง ๆ

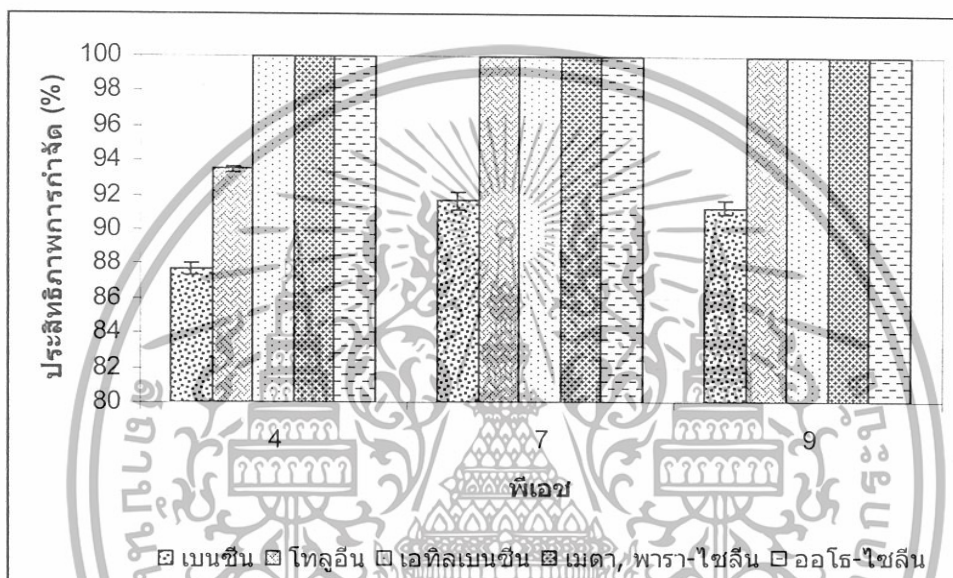
จากการทดลองพบว่า ขนาดของผงยางต่าง ๆ มีความสามารถในการดูดซับ BTEX ใกล้เคียงกัน โดยผงยางขนาด 30-40 เมช มีความสามารถในการดูดซับ BTEX ได้สูงสุด จากการทดลองพบว่า ผงยางขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าผงยางขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากผงยางที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าผงยางขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถดูดซับ BTEX บนพื้นที่ผิวหรือภายในช่องว่างของ โครงสร้างผงยางรถยนต์มากกว่า (ยูพิน, 2548) ในการทดลองจึงเลือกผงยางขนาด 30-40 เมช เป็นขนาดที่เหมาะสม ถ้าวางขนาดเล็กไปผงยางจะลอยตัวและจับตัวเป็นกลุ่มก้อน ทำให้ผิวบางส่วนไม่เปียก เกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของผงยาง จึงทำให้ยางลอยตัวไม่จมน้ำ ทำให้การดูดซับมีประสิทธิภาพลดลง

จากรูปที่ 4.2 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของ BTEX จะขึ้นอยู่กับค่าการละลายน้ำ และน้ำหนักโมเลกุล (Däifullah และ Girgis, 2003) โดยเอทิลเบนซีน และไซลีนมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากที่สุด รองลงมา คือ โทลูอีน และเบนซีน ตามลำดับ

4.2.2 ผลการศึกษาที่เอชของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการดูดซับ

จากผลการศึกษาที่เอชของสารละลายต่อการดูดซับ BTEX ด้วยผงยางรถยนต์ โดยใช้ความเข้มข้น BTEX 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชที่ 4, 7 และ 9 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ใช้ผงยางรถยนต์ขนาด 30-40 เมช ปริมาณ 5 กรัม ความเร็วรอบของการเขย่าที่ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า เอทิลเบนซีน, เมตา-ไซลีน, พารา-ไซลีน และ ออโร-ไซลีน ถูกกำจัดได้ทั้งหมด ส่วนเบนซีน และโทลูอีน โดยที่พีเอช 4 มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 87.73 ± 0.32 และ 93.55 ± 0.18 ที่พีเอช 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดเบนซีนร้อยละ 91.68 ± 0.48 และ 91.31 ± 0.37 ตามลำดับ ที่พีเอช 7 และ 9 มีประสิทธิภาพการกำจัดโทลูอินทั้งหมด เพราะสารละลายที่ค่าพีเอชเป็นกรด (พีเอช 4) อาจจะทำให้ปริมาณช่องว่างภายในโครงสร้างสามมิติของยางลดลง เนื่องจากกรดไปทำลายพันธะการเชื่อมโยงของยาง และเกิดการเชื่อมโยงใหม่แบบคลอสลิงคิง (cross linking) ทำให้ผวยางมีลักษณะแข็ง ประสิทธิภาพการดูดซับ BTEX น้อยลง ดังนั้นสารละลาย BTEX ที่พีเอช 7 และ 9 ผวยางจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับ BTEX ได้มาก แสดงดังรูปที่ 4.3 (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก-3 ภาคผนวก ก) (ยูพิน, 2548)

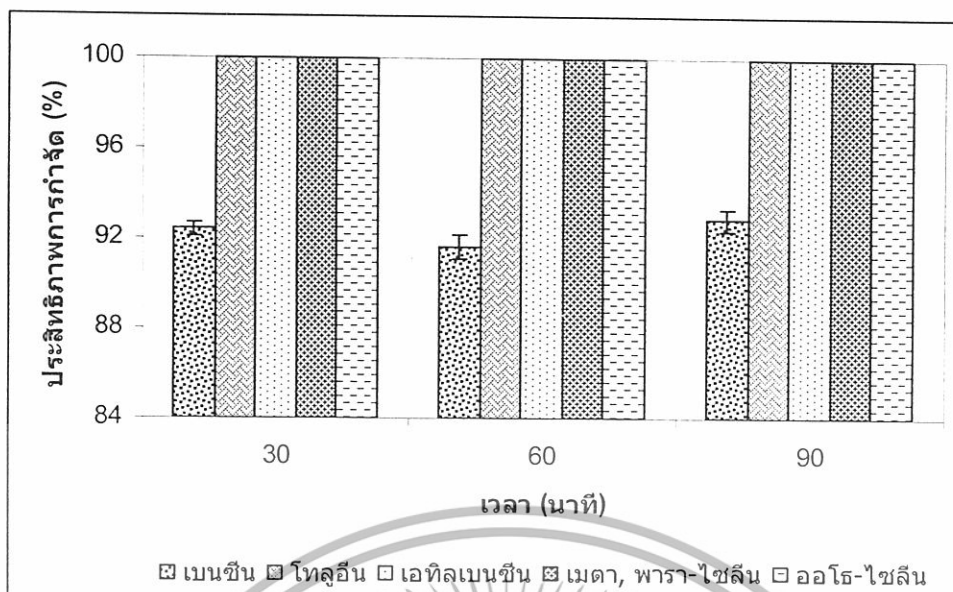


รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX (%) โดยใช้ผวยางรถยนต์ที่พีเอชต่าง ๆ

4.2.3 ผลศึกษาเวลาสัมผัสที่มีผลต่อการดูดซับ

ผลการกำจัด BTEX ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 39 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 โดยใช้ผวยางรถยนต์ขนาด 30-40 เมช ปริมาณ 5 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที แสดงดังรูปที่ 4.4 (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก-4 ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX (%) โดยใช้ผงยางรถยนต์ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

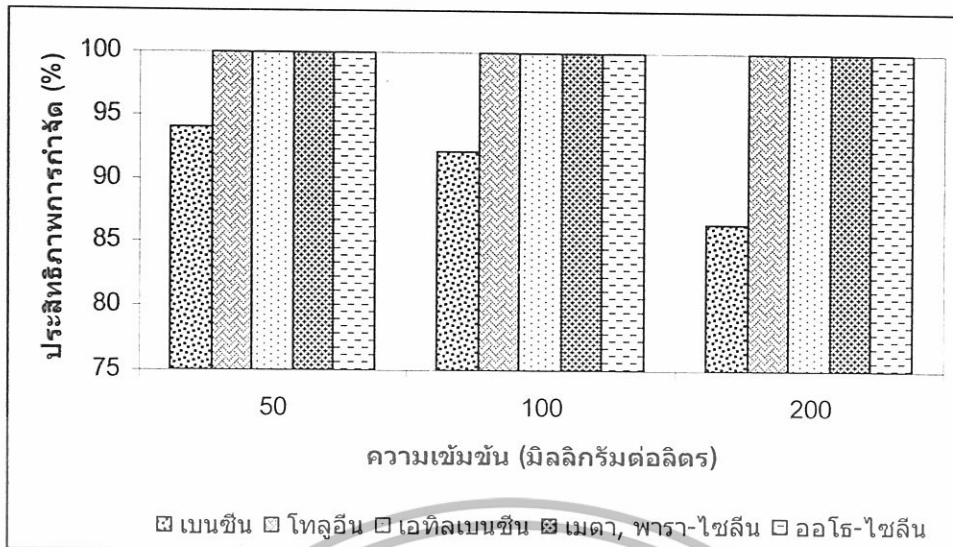
จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX ใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาการเขย่า 30, 60 และ 90 นาที สารที่พบคือ เบนซีน โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดร้อยละ 92.41 ± 0.33 , 91.64 ± 0.57 และ 92.85 ± 0.51 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสามารถในการกำจัดเบนซีนเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกเวลา 30 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการกำจัด BTEX เนื่องจากประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่าย

4.2.4 ผลศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ ไอโซเทอร์ม และจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ

4.2.4.1 ผลศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการดูดซับ

จากการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย BTEX ที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 39 มิลลิตร โดยใช้ผงยางรถยนต์ขนาด 30-40 เมช ปริมาณ 5 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที แสดงดังรูปที่ 4.5 (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



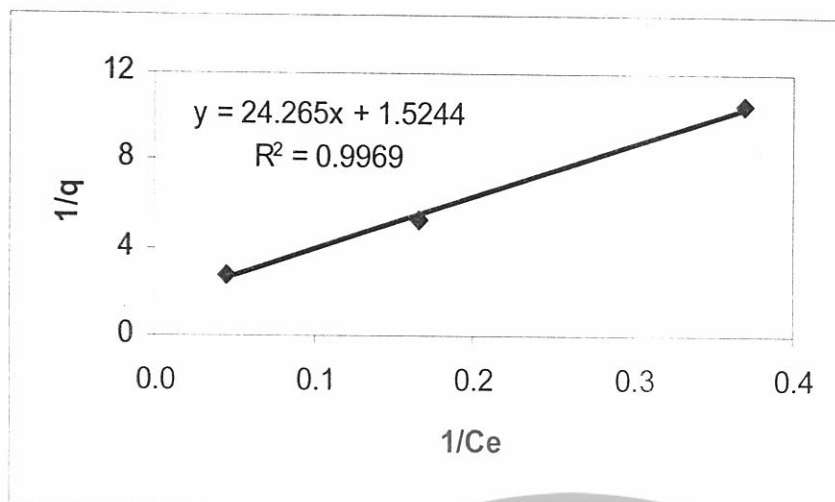
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX โดยผงยางรถยนต์ที่ความเข้มข้นของ BTEX ต่าง ๆ

จากผลการทดลองพบว่า โทลูอีน, เอทิลเบนซีน และ ไซลีน ถูกกำจัดได้หมด ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนจะลดลงเรื่อยๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX มากขึ้น ความสามารถในการดูดซับของผงยางลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผงยางดูดซับ BTEX ไว้จนอิ่มตัวแล้ว จึงดูดซับ BTEX ได้น้อยลง โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีนเท่ากับร้อยละ 93.98

4.2.4.2 ผลศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

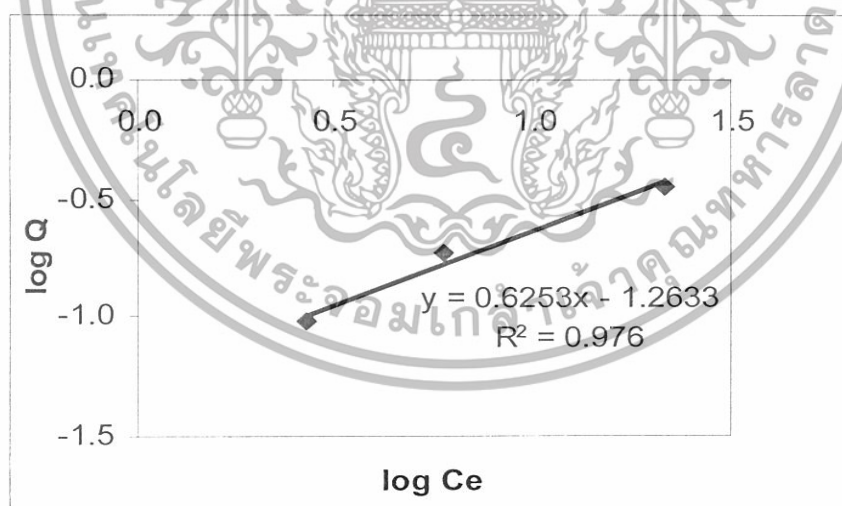
จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของ BTEX โดยแปรค่าความเข้มข้นของ BTEX ตั้ง 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 39 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 7 ความเร็วรอบของการเขย่าเท่ากับ 250 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองที่ได้นำมาทดสอบไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และแบบฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm) จะศึกษาเฉพาะเบนซีนเท่านั้น ส่วนโทลูอีน, เอทิลเบนซีน และ ไซลีน ศึกษาไม่ได้เพราะถูกดูดซับหมด แสดงดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก-6 และ ก-7 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับเบนซีนโดยผงยางรถยนต์

จากรูปที่ 4.6 กราฟไอโซเทอร์มแลงเมียร์ สามารถหาค่าคงที่ q_m และ k ได้จากจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟสมการเส้นตรง ตามลำดับ ซึ่งสมการแลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับ BTEX โดยใช้ผงยางรถยนต์ขนาด 30-40 เมช คือ $y = 24.265x + 1.5244$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9969 ค่าปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สภาวะอิ่มตัว (q_m) เท่ากับ 0.655 มิลลิกรัมต่อกรัมและมีค่าคงที่สมดุลในการดูดซับ (k) เท่ากับ 0.063



รูปที่ 4.7 กราฟฟรุนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับเบนซีนโดยผงยางรถยนต์

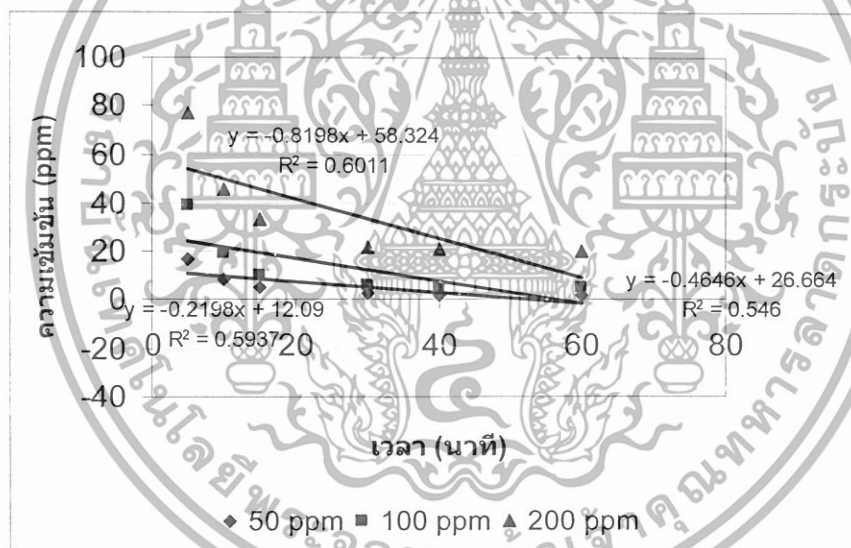
จากรูปที่ 4.7 กราฟไอโซเทอร์มฟรุนดิช สามารถหาค่าคงที่ $1/n$ และ k ได้จากจุดตัดแกน y และค่าความชันของกราฟสมการเส้นตรง ตามลำดับ ซึ่งสมการฟรุนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับ BTEX โดยใช้ผงยางรถยนต์ขนาด 30-40 เมช คือ $y = 0.6253x - 1.2633$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9760

ค่าคงที่สมดุลในการดูดซับ (k) เท่ากับ 0.063 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นเอกสารถนเป็นเอกสารถนสองวันสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารละลาย (1/m) เท่ากับ 0.6253 จากการทดลอง พบว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นทั้งแบบ แลงเมียร์และฟรุนดลิช นั่นคือ สารละลาย BTEX จะถูกดูดซับบนผิวของรถยนต์โดยเรียงตัวชั้นเดียว และพื้นผิวบางส่วนจะมีความสามารถในการดูดซับ BTEX ได้เท่ากัน และพื้นผิวบางส่วนจะมีความสามารถในการดูดซับ BTEX ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะพื้นผิวเป็น Heterogeneous surface ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (บทที่2)

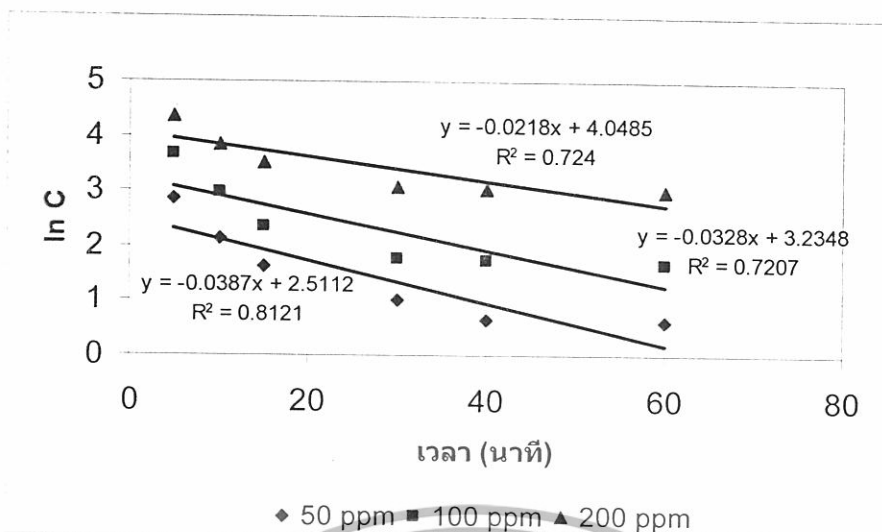
4.2.4.3 ผลศึกษาจลนพลศาสตร์

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับของ BTEX โดยแปรค่าความเข้มข้นของ BTEX ตั้งแต่ 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 39 มิลลิลิตร พีเอชเท่ากับ 7 ความเร็วรอบของการเขย่า 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 40 และ 60 นาที ผลที่ได้จากการทดลองนำมาศึกษาอันดับของปฏิกิริยาในการกำจัด BTEX ดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.13 (รายละเอียดแสดงดังตาราง ก-8 ถึง ก-10 ภาคผนวก ก)

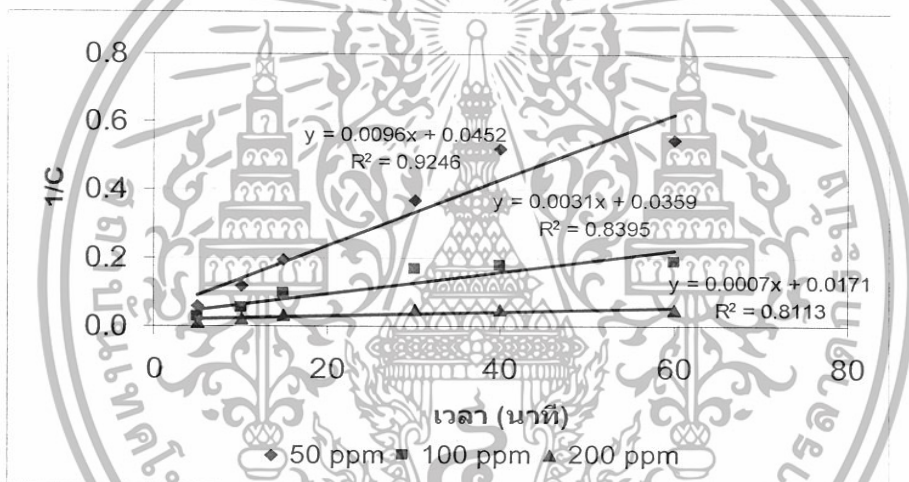


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

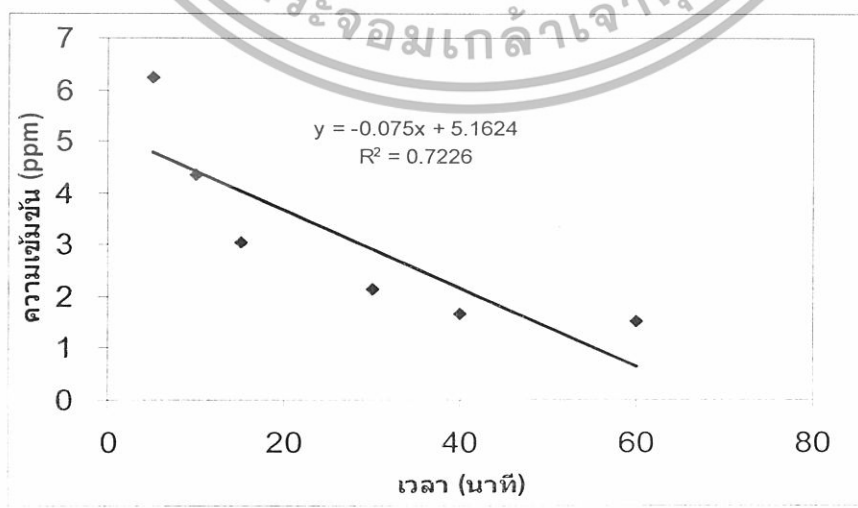
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

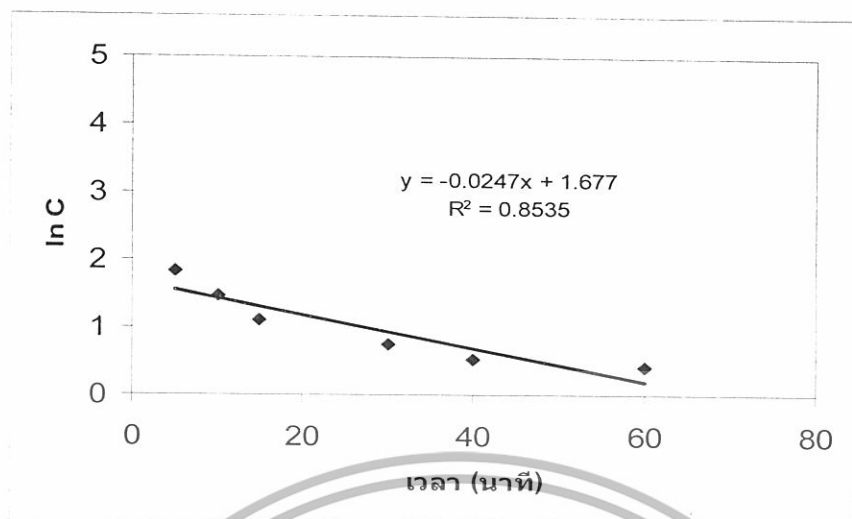


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับสองของเบนซีนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

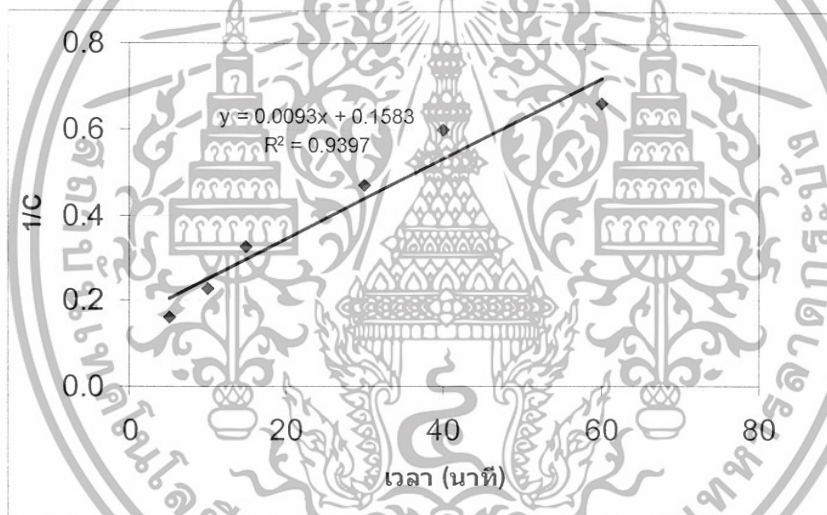


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของโทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของโทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ppm



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับสองของโทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ppm

จากการศึกษาอันดับปฏิกิริยา ทำการศึกษาเฉพาะเบนซีนและโทลูอิน ส่วนเอทิลเบนซีนและไซลีนศึกษาไม่ได้เพราะถูกดูดซับหมด ในส่วนของโทลูอินศึกษาที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่านั้น ทั้งนี้เพราะ ผงยางมีประสิทธิภาพลดลง เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาอันดับปฏิกิริยา พบว่าอันดับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง ดังตารางที่ 4.1 แสดงว่า ความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ BTEX โดยที่ความเข้มข้นของ BTEX เพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการดูดซับเร็วขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยางเกิดการบวมตัว ทำให้สามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้น ค่าคงที่ต่างๆของปฏิกิริยาอันดับสองได้จากสมการ 2.14 โดยค่า $1/C_0$ คือ จุดตัดแกน y และค่า K_2 สามารถหาได้จากความชันของกราฟเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ต่าง ๆ ของอันดับปฏิกิริยา

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Zero order		First order		Second order	
		k	R ²	k ₁	R ²	k ₂	R ²
เบนซีน	50	0.0819	0.5937	0.0387	0.8121	0.0096	0.9246
	100	0.4646	0.5460	0.0328	0.7207	0.0031	0.8395
	200	0.2198	0.6011	0.0218	0.7240	0.0007	0.8113
โทลูอิน	200	0.0750	0.7226	0.0247	0.8535	0.0930	0.9397



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการดูดซับ BTEX ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผยงารถยนต์ (GRT) โดยทำการทดลองแบบครึ่ง สามารถสรุปผลต่างๆ ได้ดังนี้

- ขนาดของผยงารถยนต์ที่เหมาะสมในการกำจัด BTEX คือ ผยงารถยนต์ขนาด 30-40 เมช มีประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีน และ โทลูอินเฉลี่ยร้อยละ 90.99 ± 0.73 และ 94.58 ± 0.88 และประสิทธิภาพในการกำจัดเอธิลเบนซีน และ ไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ เท่ากับร้อยละ 100 ตามลำดับ
- ผลพีเอชของสารละลาย BTEX ที่เหมาะสม โดยพีเอชที่เหมาะสมคือ ที่พีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีน และ โทลูอินเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 91.68 ± 0.48 และ 94.19 ± 0.18 และประสิทธิภาพในการกำจัดเอธิลเบนซีน และ ไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ เท่ากับร้อยละ 100 ตามลำดับ
- การศึกษาผลของเวลาสัมผัส พบว่าที่ระยะเวลา 30 นาทีเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมซึ่งมี ประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนเฉลี่ยร้อยละ 92.41 ± 0.33 และประสิทธิภาพการ กำจัดโทลูอิน เอธิลเบนซีน และ ไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ เท่ากับร้อยละ 100 ตามลำดับ
- การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้น ความสามารถในการดูดซับ BTEX ของผยงารถยนต์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผยงารถยนต์ BTEX ไวจนอิ่มตัวแล้ว จึงดูดซับ BTEX ได้น้อยลง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด เบนซีนเท่ากับร้อยละ 93.98 ส่วน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และ ไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์มี ประสิทธิภาพการกำจัด เท่ากับร้อยละ 100
- ไอโซเทอร์มการดูดซับของ BTEX เป็นทั้งแบบแลงเมียร์ และฟรุนดิชไอโซเทอร์ม โดยค่าคงที่ต่างๆจากแบบจำลองของแลงเมียร์ไอโซเทอร์มมีสมการคือ $y = 24.265x + 1.5244$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9969 ค่าปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่ สภาวะอิ่มตัว (q_m) เท่ากับ 0.655 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าคงที่สมดุลในการดูดซับ (K) เท่ากับ 0.063 และค่าคงที่ต่างๆจากแบบจำลองของฟรุนดิชไอโซเทอร์ม ซึ่งมี สมการคือ $y = 0.6253x - 1.2633$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9760 ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้น ของสารละลาย ($1/m$) เท่ากับ 0.6253 และมีค่าคงที่ในการดูดซับ (K) เท่ากับ 0.063
- จลนพลศาสตร์ของการดูดซับของ BTEX เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง โดยอัตราการ เกิดปฏิกิริยาจะเร็วขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ BTEX เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะยังเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. นำไปใช้ในการกำจัด BTEX ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. ควรนำพยางรอยนต์ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารเคมีชนิดอื่นๆ
3. เนื่องจาก BTEX เป็นสารอินทรีย์ระเหย ดังนั้นในการทดลอง เมื่อทำการสกัดแล้วควรนำไปวิเคราะห์ทันที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- มันสิน ตัณฑุลงกรณ์. 2538. วิศวกรรมประปา เล่ม 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ยูพิน ชิ่งเสถียรตระกูล. 2548 . การกำจัดฟีนอลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผงยาง และท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. 2547. สารอินทรีย์ไอระเหยและสุขภาพ (Volatile Organic Chemical and Health)
- สุมนา แจ่มเหมือน. 2547. การผลิตท่อน้ำซึมจากยางธรรมชาติและผงยางรถยนต์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อิทธิพล แจ่มซัด. 2545. เอกสารประกอบการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการยาง. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Daifullah A.A.M, Girgis B.S. 2003. Impact of surface characteristics of activated carbon on adsorption of BTEX. Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects 214, 181-193.
- Gunasekara, A.S. 2000. Ground Discarded tires remove naphthalene, toluene and mercury From water. Chemosphere 41, 1155-1160.
- Kershaw, D.S., Kulik, B.C., Pamukcu, S. 1997. Ground Rubber: Sorption Media for Ground Water Containing Benzene and O-Xylene. Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, 123 (4), pp. 324-334.
- Kim, J.Y., Park, J.K., Edill, T.B. 1997. Sorption of Organic Compounds in the Aqueous Phase onto Tire Rubber. Journal of Environmental Engineering, 123 (9), pp. 827-835.
- Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater engineering treatment disposal reuse. 3 rd ed..McGraw-Hill Inc. New York, U.S.A..
- Mottaleb, M.A., Abedin, M.Z., Islam, M.S. 2003. Determination of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene in River Water by Solid-Phase Extraction and Gas – Chromatography. Analytical Science, (19), pp. 1365-1369.
- Smith, C.C., Anderson, W.F., Freewood, R.J. 2000. Evaluation of shredded tyre chips as sorption media for passive treatment walls. Engineering Geology 60, pp.253-261.
- US.EPA. 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า www.epa.gov/swerust/1/pubs/catalog98.htm ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการกำจัด BTEX



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 % Recovery ของวิธีการสกัด

ชนิดสาร	ความเข้มข้น (ppm)			เฉลี่ย	SD	% RSD
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3			
Benzene	76.556	75.287	80.088	75.921	0.897	1.182
Toluene	29.596	46.832	47.397	47.114	0.399	0.847
Ethylbenzene	43.061	50.061	43.015	43.038	0.033	0.077
<i>m, p</i> -Xylene	60.379	61.228	74.071	60.804	0.600	0.987
<i>o</i> -Xylene	45.703	55.267	53.376	54.321	1.337	2.461

หมายเหตุ : ตัดข้อมูล Outlier เมื่อคำนวณโดยใช้ Q-test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก-2 ขนาดต่าง ๆ ของผงยางรถยนต์ ต่อความเข้มข้นที่เหลืออยู่และประสิทธิภาพการกำจัด (%) BTEX โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX 100 มิลลิกรัม ต่อดัชนี ใช้ผงยางหนัก 5 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

ชนิดสาร	ความเข้มข้นชุดความคุม (ppm)	ขนาดผงยาง (เมช)	ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ppm)				SD	% RSD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD	% RSD
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย		
Benzene	58.553	10-20	4.325	6.323	6.470	6.396	0.073	1.146	92.614	89.201	88.951	89.076	0.177	0.199
		20-30	6.230	4.396	5.459	5.845	0.545	9.320	89.361	92.492	90.676	90.018	0.930	1.033
		30-40	5.001	2.684	5.553	2.693	0.011	0.424	95.388	91.459	90.517	90.988	0.666	0.732
Toluene	28.327	10-20	1.555	2.053	1.916	1.985	0.097	4.870	94.582	92.752	93.235	92.994	0.342	0.367
		20-30	1.852	1.944	1.193	1.898	0.065	3.425	93.461	93.136	95.789	93.299	0.230	1.020
		30-40	1.368	1.701	2.711	1.535	0.235	15.309	95.169	93.993	90.429	94.581	0.831	0.879
Ethylbenzene	24.005	10-20	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
		20-30	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
		30-40	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
<i>m, p</i> -Xylene	18.174	10-20	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
		20-30	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
		30-40	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
<i>o</i> -Xylene	32.645	10-20	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
		20-30	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	
		30-40	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	

หมายเหตุ : ตัดข้อมูล Outlier เมื่อคำนวณโดยใช้ Q-test

ตารางผนวก ก-3 ค่าพีเอชต่างๆ ของสารละลาย BTEX ต่อความเข้มข้นที่เหลืออยู่และประสิทธิภาพการกำจัด (%) BTEX โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX 100

มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ผงยางขนาด 30-40 เมช หน้าก 5 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

ชนิดสาร	pH	ความเข้มข้นของ ชุดควบคุม (ppm)	ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ppm)				SD	% RSD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)			เฉลี่ย	SD	% RSD
			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย			ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3			
Benzene	4	30.783	3.839	3.165	3.718	3.778	0.063	1.667	87.529	89.719	87.922	87.726	0.278	0.317
	7	25.819	2.227	1.465	2.068	2.148	0.113	5.245	91.373	94.325	91.990	91.681	0.436	0.476
	9	19.602	2.326	2.202	1.114	2.264	0.090	3.874	91.074	91.550	94.315	91.312	0.337	0.369
Toluene	4	20.954	1.263	1.442	nd	1.352	0.127	9.385	93.975	93.118	nd	93.547	0.606	0.647
	7	10.636	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	9	10.740	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
Ethylbenzene	4	11.524	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	7	6.499	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	9	7.519	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
<i>m, p</i> -Xylene	4	9.757	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	7	7.083	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	9	8.024	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
<i>o</i> -Xylene	4	22.249	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	7	9.852	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	9	12.395	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00

หมายเหตุ : ตัดข้อมูล Outlier เมื่อคำนวณ โดยใช้ Q-test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ก-4 ระยะเวลาในการเขย่าต่าง ๆ ของสารละลาย BTEX ต่อความเข้มข้นที่เหลืออยู่และประสิทธิภาพการกำจัด (%) BTEX โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ BTEX 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 7 ใช้ผงยางขนาด 30-40 เมช หน้าก 5 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที

ชนิดสาร	เวลาสัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นชุดควบคุม (ppm)	ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (ppm)				SD	% RSD	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				SD	% RSD
			ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	เฉลี่ย			ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	เฉลี่ย		
Benzene	30	35.290	3.442	2.602	2.754	2.678	0.107	4.012	90.348	92.626	92.196	92.411	0.304	0.329
	60	32.696	3.712	2.614	2.855	2.734	0.171	6.242	88.647	92.006	91.268	91.637	0.522	0.570
	90	36.877	3.499	2.514	2.758	2.636	0.173	6.556	90.510	93.183	92.521	92.852	0.469	0.505
Toluene	30	24.772	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	60	21.640	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	90	25.744	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
Ethylbenzene	30	13.742	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	60	10.519	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	90	17.206	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
<i>m, p</i> -Xylene	30	12.715	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	60	10.314	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	90	15.333	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
<i>o</i> -Xylene	30	24.137	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	60	18.878	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00
	90	26.961	nd	nd	nd	nd	-	-	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00

หมายเหตุ : ตัดข้อมูล Outlier เมื่อคำนวณโดยใช้ Q-test

ตารางที่ ก-5 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX (%) กับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เวลา 30 นาที

ความเข้มข้น (ppm)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)			
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	<i>o, m, p</i> -Xylene
50	93.975	100.00	100.00	100.00
100	92.104	100.00	100.00	100.00
200	86.509	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ ก-6 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม

ความเข้มข้น (ppm)	Ce	q	1/Ce	1/q
50	2.710	0.095	0.369	10.526
100	5.995	0.188	0.167	5.319
200	21.655	0.357	0.046	2.801

ตารางที่ ก-7 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรอนดิชไอโซเทอร์ม

ความเข้มข้น (ppm)	Ce	q	log Ce	log q
50	2.710	0.095	0.433	-1.024
100	5.995	0.188	0.778	-0.726
200	21.655	0.357	1.336	-0.448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับศูนย์

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น			
	Benzene			Toluene
	50 ppm	100 ppm	200 ppm	200 ppm
5	17.222	38.753	76.693	6.252
10	8.551	19.409	45.951	4.360
15	5.131	10.556	33.259	3.049
30	2.710	5.995	21.655	2.122
40	1.930	5.622	21.019	1.674
60	1.824	5.307	20.197	1.516

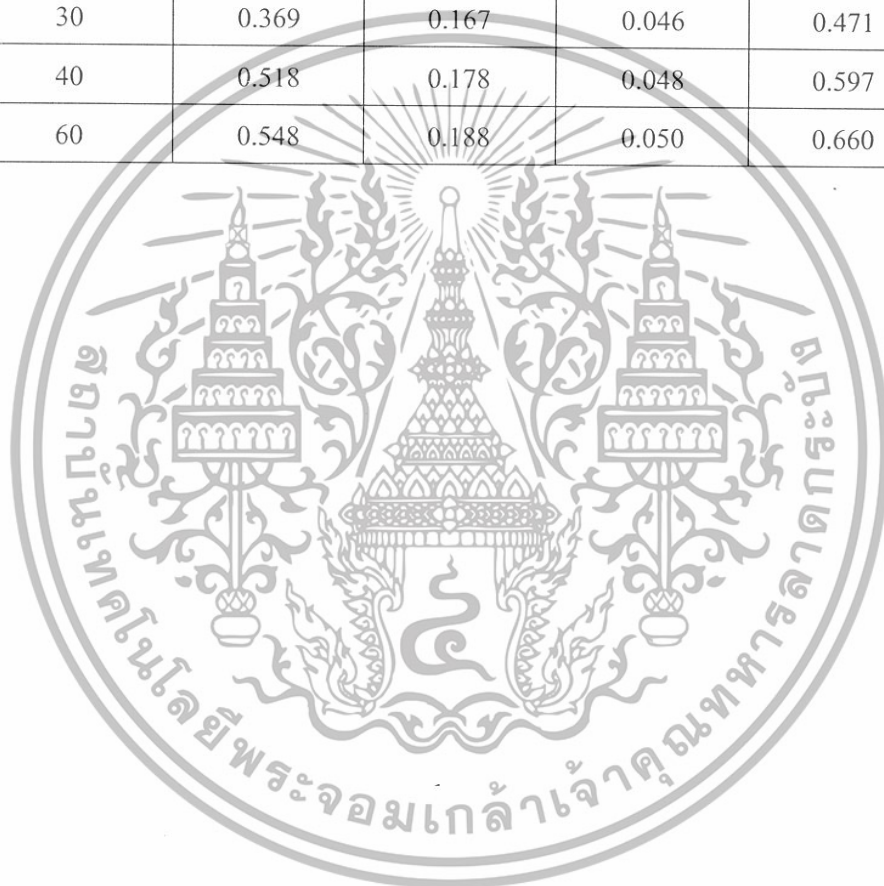
ตารางที่ ก-9 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

เวลา (นาที)	ln C			
	Benzene			Toluene
	50 ppm	100 ppm	200 ppm	200 ppm
5	2.846	3.657	4.340	1.833
10	2.146	2.966	3.828	1.472
15	1.635	2.357	3.504	1.115
30	0.997	1.791	3.075	0.752
40	0.658	1.727	3.045	0.515
60	0.601	1.669	3.006	0.416

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ของปฏิริยาอันดับสอง

เวลา (นาที)	1/C			
	Benzene			Toluene
	50 ppm	100 ppm	200 ppm	200 ppm
5	0.058	0.026	0.013	0.160
10	0.117	0.052	0.022	0.229
15	0.195	0.095	0.030	0.328
30	0.369	0.167	0.046	0.471
40	0.518	0.178	0.048	0.597
60	0.548	0.188	0.050	0.660



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้