

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ
สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน



ช.ท.
ว523
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **62049**
วัน,เดือน,ปี **27 ก.ค. 2549**

b. 11608882
i.

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on the Effect of Ethanol on Aqueous Solubility of Aromatic Hydrocarbons



Patcharin Watcharasukkitpaisarn

Yuppadee Banjongkit

Suwat Sunglerdsongpha

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

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

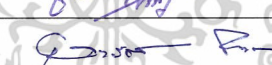
โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

นักศึกษา นางสาวพัชรินทร์ วัชรสุขกิจไพศาล รหัส 44050516
นางสาวยุพดี บรรจงกิจ รหัส 44050525
นายสุวัฒน์ สูงเลิศสงฟ้า รหัส 44050548

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์
อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน	
กรรมการ ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
กรรมการ ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
กรรมการ อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	

.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	
นักศึกษา	นางสาวพัชรินทร์ วัชรสุขกิจไพศาล	รหัส 44050516
	นางสาวยุพดี บรรจงกิจ	รหัส 44050525
	นายสุวัฒน์ สูงเลิศสงฟ้า	รหัส 44050548
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อูสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าถึงผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในกลุ่ม BTEX ซึ่งประกอบด้วย Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene ทั้ง 3 ไอโซเมอร์ ทำการทดลองโดยแปรผันค่าสัดส่วนของเอทานอลในสารละลายผสมระหว่าง BTEX, น้ำ และเอทานอลให้มีค่าแตกต่างกันเป็น 0%, 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% ภายหลังจากเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้จนเข้าสู่สภาวะสมดุล ทำการสกัด BTEX ออกจากสารละลายด้วยตัวทำละลายเฮกเซนในขวดไว้ออล โดยมีจำนวนครั้งของการสกัดเป็น 2 ครั้ง จากการทดสอบประสิทธิภาพการสกัดสารละลาย BTEX ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนพบว่าวิธีนี้ให้เปอร์เซ็นต์การสกัดของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene สูงสุดเท่ากับ 52.95(±1.87)%, 41.31(±1.15)%, 46.45(±1.59)%, 42.10(±2.00)% และ 45.75(±0.32)% ตามลำดับ นำไปวิเคราะห์หา BTEX ในสารละลายด้วยเครื่อง GC-MS ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ BTEX ในสารละลายมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนโดยปริมาตรของเอทานอลในน้ำ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX กับเปอร์เซ็นต์เอทานอลในน้ำสามารถอธิบายได้โดยสมการเส้นตรง เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำสำหรับสารแต่ละตัวในกลุ่ม BTEX พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำในสถานะที่มีเอทานอลมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล และรูปร่างของโมเลกุล ดังจะเห็นได้จากลำดับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ *m,p*-Xylene > *o*-Xylene > Ethylbenzene > Toluene > Benzene ตามลำดับ เมื่อมีเอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมในระบบ

คำสำคัญ : บีเท็กซ์, เอทานอล, การละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำปรึกษาแนะนำจาก ดร. อุตสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และอาจารย์กมลสินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรัตน์ และดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย, นางสาวอรอุมา เกตุชาติ, นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมีทุกท่าน และนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดช่วงเวลาในการทำโครงการพิเศษ จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวเป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันใดที่เกิดจาก โครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวพัชรินทร์ วัชรสุขกิจไพศาล

นางสาวยุพดี บรรจงกิจ

นายสุวัฒน์ สูงเลิศสงฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามคำศัพท์

BTEX	หมายถึง	Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene
HSA	„	Hydrophobic surface area
MTBE	„	Methyl tertiary-butyl ether
PAHs	„	Polyaromatic hydrocarbons
RRF	„	Relative response factor
RSD	„	Relative standard deviation
Retention time	„	เวลาดังอยู่
%recovery	„	เปอร์เซ็นต์การสกัด
g	„	กรัม
mg/l	„	มิลลิกรัมต่อลิตร
ml	„	มิลลิลิตร
μl	„	ไมโครลิตร
μm	„	ไมโครเมตร
%V/V	„	ร้อยละโดยปริมาตร
%w/w	„	ร้อยละโดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
นิยามคำศัพท์	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 แก๊ส โซลนต์	4
2.2 ความสามารถในการละลายน้ำ (Aqueous Solubility)	6
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายน้ำ	7
2.4 ตัวทำละลายร่วม (Cosolvent)	10
2.5 สารประกอบ BTEX	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี	17
3.2 การเตรียมสารละลาย BTEX	18
3.3 การเตรียมสารละลายโนเนน	19
3.4 การเตรียมสารละลาย BTEX ในน้ำ	19
3.5 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับสารละลาย BTEX	19
3.6 ศึกษาวิธีการสกัด BTEX ที่เหมาะสม	19
3.7 ศึกษาจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัด BTEX โดยใช้ขวดไวโอล 20	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 ผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX	20
3.9 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การวิเคราะห์หาค่า Relative Response Factor (RRF) สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX	22
4.2 ศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย BTEX	23
4.3 ผลของจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัด สารละลาย BTEX โดยใช้ขวดไว้ออก	24
4.4 ผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX	26
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก ก การคำนวณหาค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX	35
ภาคผนวก ข การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสกัด (%Recovery)	40
ภาคผนวก ค การคำนวณหาความแตกต่างโดยใช้ T-test	44
ภาคผนวก ง ความเข้มข้นของสารประกอบ BTEX	47
ภาคผนวก จ เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำของ BTEX	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ค่า K_1 สำหรับเบนซีนและแนพทาลินที่ 25 °C สำหรับเกลือแต่ละประเภท	10
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ BTEX	14
ตารางที่ 3.1	สัดส่วนระหว่างสารประกอบ BTEX น้ำและเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง	20
ตารางที่ 4.1	ค่า RRF และ RSD ของสารละลายมาตรฐาน BTEX	22
ตารางที่ ก.1	ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน Benzene	37
ตารางที่ ก.2	ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน Toluene	37
ตารางที่ ก.3	ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน Ethylbenzene	38
ตารางที่ ก.4	ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน <i>m,p</i> -Xylene	38
ตารางที่ ก.5	ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน <i>o</i> -Xylene	39
ตารางที่ ข.1	เปอร์เซ็นต์การสกัดสารประกอบ BTEX โดยวิธีการสกัดด้วยกรวยแยกและการเขย่าในขวดไวโอล	40
ตารางที่ ข.2	เปอร์เซ็นต์การสกัดสารประกอบ BTEX ที่ทำการสกัดโดยการเขย่าในขวดไวโอลที่มีจำนวนครั้งในการสกัด 2.3 และ 4 ครั้ง	42
ตารางที่ ค.1	การแจกแจง T	45
ตารางที่ ค.2	ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างโดยใช้ T-test	46
ตารางที่ ง	ความเข้มข้นของสารประกอบ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, <i>m,p</i> -Xylene และ <i>o</i> -Xylene ที่ละลายน้ำในสัดส่วนของเอทานอลที่แตกต่างกัน	47
ตารางที่ จ	เปอร์เซ็นต์การละลายที่เพิ่มขึ้นของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, <i>m,p</i> -Xylene และ <i>o</i> -Xylene เมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีเอทานอล	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการละลายของสารอินทรีย์ในน้ำ	6
รูปที่ 2.2	ค่าการละลายของสารอินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในสิ่งแวดล้อม	7
รูปที่ 2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการละลายของสารอินทรีย์ในสถานะของเหลวกับพื้นที่ผิวของสารอินทรีย์	7
รูปที่ 2.4	ผลของอุณหภูมิต่อการละลายของสารอินทรีย์ประเภทต่างๆ	8
รูปที่ 2.5	ผลของเกลือต่างชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ต่อการละลายของเบนซีนและเนพทาลินในน้ำ	9
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างสารละลายที่มีสารอินทรีย์อื่นๆ (•) เป็นองค์ประกอบร่วม	11
รูปที่ 2.7	ผลของพื้นที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของตัวถูกละลาย (HSA) และสัดส่วนของตัวทำละลายร่วม (f_c) ต่อการละลายของสารอินทรีย์ที่สนใจ	12
รูปที่ 2.8	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	13
รูปที่ 2.9	สัดส่วนของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	13
รูปที่ 2.10	เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของสารมลพิษ	15
รูปที่ 4.1	เปอร์เซ็นต์การสกัดของสารละลาย BTEX ด้วยกรวยแยกและสกัดด้วยการเขย่าในขวดไวโอล	23
รูปที่ 4.2	เปอร์เซ็นต์การสกัดสารละลาย BTEX โดยการเขย่าในขวดไวโอลที่มีจำนวนครั้งของการสกัดแตกต่างกันเป็น 2, 3 และ 4 ครั้ง	25
รูปที่ 4.3	ความสามารถในการละลายน้ำของ Benzene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน	26
รูปที่ 4.4	ความสามารถในการละลายน้ำของ Toluene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน	27
รูปที่ 4.5	ความสามารถในการละลายน้ำของ Ethylbenzene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน	27
รูปที่ 4.6	ความสามารถในการละลายน้ำของ <i>m,p</i> -Xylene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน	28
รูปที่ 4.7	ความสามารถในการละลายน้ำของ <i>o</i> -Xylene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8	เปอร์เซ็นต์การละลายที่เพิ่มขึ้นของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, <i>m,p</i> -Xylene และ <i>o</i> -Xylene เมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่มีเอทานอลโดย สัดส่วนของเอทานอลเป็น 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%
รูปที่ ก	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Ms/Mi กับ As/Ai



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในขณะที่สถานการณ์ราคาน้ำมันในตลาดโลกมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แหล่งพลังงานทดแทนอย่างเช่น แก๊ส โซฮอสต์ แก๊สธรรมชาติ ไบโอดีเซล หรือเอทานอลบริสุทธิ์ จึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังจัดเป็นพลังงานสะอาดเพื่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดควันดำ และปัญหาฝุ่นละอองจากท่อไอเสีย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547) แก๊ส โซฮอสต์เป็นน้ำมันที่ได้จากการผสมกันระหว่างน้ำมันเบนซินกับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% เอทานอลที่นำมาผลิตเป็นแก๊ส โซฮอสต์ได้มาจากกระบวนการหมักของผลิตผลทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น อ้อย กากน้ำตาล มันสำปะหลัง รวมทั้งธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวข้าวฟ่าง เป็นต้น โดยในขั้นตอนการหมักเอทานอลจะใช้ยีสต์หรือแบคทีเรียทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

โครงการผลิตแก๊ส โซฮอสต์ในประเทศไทยนั้นเกิดขึ้นตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเมื่อปี พ.ศ. 2528 โดยโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาได้ศึกษาการผลิตแก๊ส โซฮอสต์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยเอทานอลที่ใช้ผสมในแก๊ส โซฮอสต์ได้จากกระบวนการหมักอ้อย จากการริเริ่มโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาทำให้แก๊ส โซฮอสต์ได้รับความนิยมทั้งจากภาครัฐและเอกชนในการเข้าร่วมพัฒนาและได้นำไปทดสอบการใช้กับเครื่องยนต์ ในปี พ.ศ. 2543 การปีโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ได้ดำเนินการทดสอบการใช้แก๊ส โซฮอสต์ในรถยนต์พบว่าช่วยลดมลพิษ ประหยัดน้ำมัน และไม่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ (สารศรีรัช, 2544) นอกจากนี้ยังมีโครงการที่ศึกษาถึงการผลิตแอลกอฮอล์จากหัวมันสด ซึ่งดำเนินการโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) เอทานอลที่ได้จากกระบวนการผลิตได้ถูกจัดส่งให้โรงกลั่นน้ำมันบางจากเพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำมันแก๊ส โซฮอสต์ต่อไป และได้ทดลองจำหน่ายน้ำมันแก๊ส โซฮอสต์ เมื่อปี พ.ศ. 2544 ในสถานีบริการน้ำมันของบางจาก 5 แห่งในเขตกรุงเทพฯ โดยมีราคาจำหน่ายต่ำกว่าน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 95 เล็กน้อย (50 สตางค์ต่อลิตร) ซึ่งก็ได้รับผลตอบรับที่น่าพอใจ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทานอลจัดเป็นสารประกอบที่มีขั้วและสามารถละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้เอทานอลยังมี ส่วนที่ไม่มีขั้วเป็นสาเหตุให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ในกรณีที่มี เอทานอลละลายน้ำในปริมาณที่เหมาะสม (>10% volume) เอทานอลสามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำ ละลายร่วม (cosolvent) ที่สามารถละลายสารเคมีที่สนใจ ส่งผลให้การละลายน้ำของสารนั้นสูงขึ้น (Schwarzenbach *et al.*, 1993) แก๊สโซฮอล์ที่ผลิตและออกจำหน่ายในตลาดทั่วไป มีส่วนผสมของ เอทานอลในระดับปริมาณ 10% โดยปริมาตร (Powers *et al.*, 2001) หากมีการปนเปื้อนของแก๊ส โซฮอล์ลงสู่แหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีผลกระทบต่อ การเคลื่อนย้าย สารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะสารประกอบอะโรมาติกในกลุ่ม BTEX (BTEX : Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำมัน และเป็นมลพิษที่สำคัญทาง สิ่งแวดล้อม ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นมีแนวโน้มที่จะละลายน้ำได้มากขึ้นและ เพิ่มความรุนแรงของการปนเปื้อนของสารเหล่านี้เมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่มีเอทานอล (Corseuil *et al.*, 2004) ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาถึงผลของเอทานอลในฐานะตัวทำละลายร่วมต่อ ความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจำพวก BTEX ในสถานะที่มีเอทานอลผสมในน้ำในอัตราส่วน โดย ปริมาตรที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาถึงผลของเอทานอลในฐานะตัวทำละลายร่วมต่อการละลายน้ำของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งอาจส่งผลต่อการปนเปื้อนของ BTEX ในน้ำใต้ดินมากยิ่งขึ้น และ อาจส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดินได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (BTEX) ในน้ำที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมในอัตราส่วนโดยปริมาตรแตกต่างกัน
2. หาเปอร์เซ็นต์การสกัดของ BTEX ที่ละลายในน้ำด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาหาค่า Relative Response Factor (RRF) สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX
2. ศึกษาหาวิธีการสกัดที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารละลาย BTEX ระหว่างวิธีการสกัดโดยใช้กรวยแยกกับวิธีการเขย่าในขวดไว้ออล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสกัดสารละลายผสม BTEX ในน้ำด้วยวิธีการสกัดโดยใช้กรวยแยกและการเขย่าในขวดไวโอลด้วยตัวทำละลายเฮกเซน เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของ BTEX ที่ได้ในแต่ละวิธี โดยเลือกวิธีการสกัดที่ให้เปอร์เซ็นต์การสกัดสูงสุด

3. ศึกษาผลของจำนวนครั้งของการสกัดสาร BTEX ที่เหมาะสม

ทำการสกัดสารผสม BTEX ในน้ำด้วยวิธีการสกัดที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2 โดยแปรผันจำนวนครั้งของการสกัดเป็น 2, 3 และ 4 ครั้ง ตามลำดับ เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดที่ได้ในแต่ละชุดการทดลอง โดยเลือกวิธีที่ให้เปอร์เซ็นต์การสกัดสูงสุด

4. ศึกษาความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX ในสารละลายที่มีเอทานอลในอัตราส่วนต่างๆ คือ 0%, 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% V/V

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ BTEX
2. สามารถคาดคะเนความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นๆ ในสถานะที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม
3. เป็นแนวทางในการศึกษาถึงความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แก๊สโซฮอลล์

แก๊ส โซฮอลล์ หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของน้ำมันเบนซินกับเอทานอล น้ำมันเบนซินที่ใช้ผสมจะเป็นน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนประมาณ 91 เมื่อนำมาผสมกับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% ในอัตราส่วนประมาณ 10% โดยปริมาตร จะทำให้แก๊สโซฮอลล์มีค่าออกเทนสูงกว่า 95 (โอภาส และศิริวรรณ, 2546) สำหรับการใช้งานแก๊สโซฮอลล์ สามารถใช้เติมในรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินแทนการเติมน้ำมันเบนซินออกเทน 95 ได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงหรือปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใด เมื่อเปรียบเทียบผลดีระหว่างการใส่แก๊สโซฮอลล์กับน้ำมันเบนซิน พบว่าการใส่แก๊สโซฮอลล์มีผลดีทั้งต่อเครื่องยนต์ ผู้ใช้รถยนต์ ถึงแควล์อ้อม และเศรษฐกิจของประเทศดังนี้คือ (โอภาส และศิริวรรณ, 2546)

ข้อดีของการใช้แก๊สโซฮอลล์

1. สามารถช่วยลดมลพิษจากท่อไอเสีย โดยสามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ 20-25%
2. ช่วยทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์
3. การเติมแก๊สโซฮอลล์เป็นเชื้อเพลิงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งเครื่องยนต์

ข้อดีต่อเศรษฐกิจของประเทศ

1. ประหยัดการใช้น้ำมันของประเทศ และประหยัดเงินตราต่างประเทศที่ต้องใช้ในการซื้อน้ำมันจากต่างประเทศ
2. เป็นการใช้ประโยชน์จากพืชผลทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. ลดการใช้งบประมาณในการแทรกแซงราคาสินค้าเกษตร

2.1.1 น้ำมันเบนซิน (นิพนธ์, 2544)

องค์ประกอบของน้ำมันเบนซินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้คือ 1) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอะลิฟาติกส์หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบลูกโซ่ปลายเปิด ได้แก่ ไอโซพาราฟินหรือ ไอโซอัลเคน, โอลิฟินหรืออัลคีน และนอร์มัลพาราฟินหรืออัลเคน เช่น เฮกเซน, เพนเทน, ออกเทน เป็นต้น 2) สารประกอบวงแหวน ได้แก่ สารประกอบแนฟทินหรือไซโคลอัลเคน, สารประกอบอะโรมาติกหรือเบนซีนอยด์ เช่น เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน และ 3)

ส่วนผสมที่มีปริมาณน้อยเช่นสารประกอบกำมะถัน, สารประกอบไนโตรเจน, เกลือแกง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 เอทานอล (สารศรีรัช, 2544)

เอทานอลที่ใช้เป็นส่วนผสมในแก๊สโซฮอล์ได้มาจากกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น อ้อย กากน้ำตาล มันสำปะหลัง รวมทั้งธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวฟ่าง ข้าวโพด เป็นต้น โดยจุลินทรีย์จำพวกยีสต์หรือแบคทีเรียมีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เอทานอลที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 95% โดยปริมาตรขึ้นไป สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ใน 2 รูปแบบดังนี้คือ

- 1) ใช้เอทานอล 95% เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลให้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง
- 2) ใช้เอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ผสมในน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนร้อยละ 10 นั่นก็คือแก๊สโซฮอล์

เอทานอลเป็นสารเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันแก๊สโซลีนเช่นเดียวกับ MTBE ความมีขี้ของเอทานอลเกิดจากอะตอมของออกซิเจนเป็นสาเหตุทำให้เอทานอลละลายน้ำได้ดีเช่นเดียวกับโมเลกุลของ MTBE ถึงแม้ว่าความสามารถในการละลายของ MTBE ในน้ำจะน้อยกว่าเอทานอล แต่ทั้ง MTBE และเอทานอลมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับอยู่บนผิวดินได้ดีมาก ซึ่งเอทานอลและ MTBE สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ แต่เนื่องจาก MTBE มีหมู่ Tert-methyl และ ether จึงถูกย่อยสลายได้ยากกว่าเอทานอลซึ่งการย่อยสลายสามารถเกิดได้ทั้งในสถานะที่มีและไม่มีออกซิเจน

เอทานอลไม่ได้เป็นมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดินอย่างเด่นชัด แต่ผลของเอทานอลมีความสัมพันธ์ต่อความเข้มข้นของสารประกอบ BTEX ในแก๊สโซลีนและแก๊สโซฮอล์ ดังนั้นผลของเอทานอลมีความสำคัญต่อมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน 2 ชนิดคือ

1. บทบาทของเอทานอลในฐานะเป็นตัวทำละลายร่วม ส่งผลให้สารเคมีละลายน้ำได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่มีเอทานอล (Corseuil *et al.*, 2004) พบว่า ความเข้มข้นของ BTEX ในแหล่งน้ำสูงขึ้น เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมันปิโตรเลียมและ เอทานอลในปริมาณที่มากพอลงสู่ดินและแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นผลจากการเป็นตัวทำละลายร่วมของเอทานอล (Powers *et al.*, 2001)
2. เอทานอลทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบ BTEX ในแหล่งน้ำใต้ดินลดลง (Powers *et al.*, 2001) โดยที่เอทานอลจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้ส่งผลให้สารประกอบที่ไม่ชอบน้ำสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น และสามารถแพร่กระจายไปจากจุดที่มีการหกคร่ำไหลเป็นบริเวณกว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความสามารถในการละลายน้ำ (Aqueous Solubility) (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

ความสามารถในการละลายน้ำของสารหนึ่งๆ บอกถึงปริมาณการกระจายตัวของสารอินทรีย์ที่สนใจ ณ สภาวะสมดุล เมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างสารบริสุทธิ์กับน้ำ มโนทัศน์การละลายของตัวถูกละลายที่สนใจในน้ำสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1



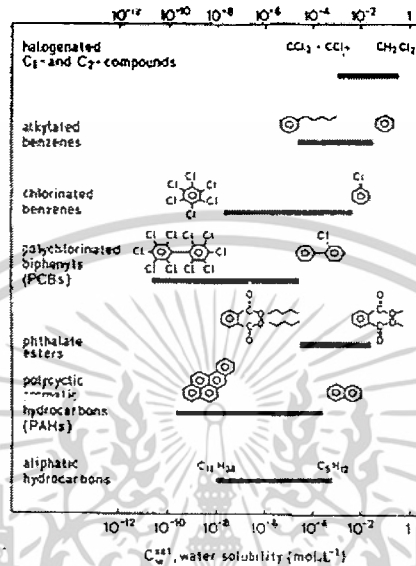
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการละลายของสารอินทรีย์ในน้ำ สัญลักษณ์ \square แสดง โมเลกุลของตัวถูกละลาย สัญลักษณ์ O แสดง โมเลกุลของตัวทำละลาย (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าการละลายน้ำของสารเคมีที่สนใจ สามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนย่อยดังนี้คือ

1. การทำลายแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของตัวถูกละลาย
2. การทำลายแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของน้ำ
3. สร้างช่องว่าง (cavity) ระหว่าง โมเลกุลของน้ำให้มีขนาดใหญ่พอที่จะล้อมรอบตัวถูกละลาย
4. การแทรกของตัวถูกละลายในช่องว่างที่สร้างขึ้น และการสร้างพันธะระหว่าง โมเลกุลของตัวถูกละลายและน้ำ
5. การสร้างพันธะระหว่าง โมเลกุลของน้ำ และการจัดเรียงตัวใหม่ของน้ำ

ดังนั้นปริมาณสารอินทรีย์ที่สนใจต่อ 1 หน่วยปริมาตรของน้ำ เมื่อสารละลายอยู่ในสภาวะสมดุลกับสารอินทรีย์บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนด คือความสามารถในการละลายน้ำ (Aqueous Solubility) ซึ่งมีสัญลักษณ์โดยทั่วไปคือ C_w^{sat} กลุ่มสารอินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในงานสิ่งแวดล้อมมีความสามารถในการละลายน้ำแตกต่างกัน กล่าวคือสารอินทรีย์บางชนิดสามารถแยกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายน้ำได้ดี เช่น สารจำพวกแอลกอฮอล์ และสารที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ($C_w^{sat} < 1 \text{ mol/L}$) ดังรูปที่ 2.2

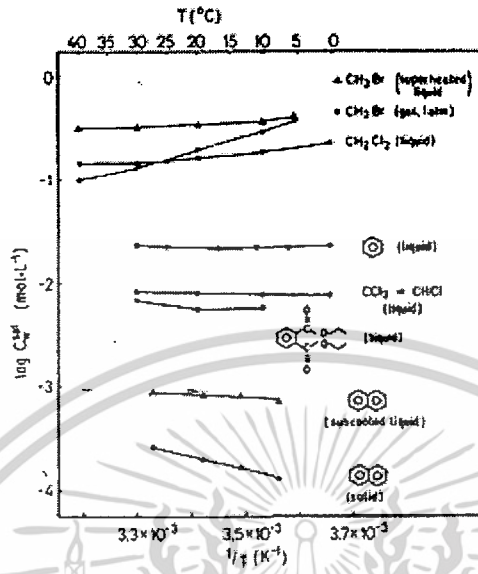


รูปที่ 2.2 ค่าการละลายของสารอินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในสิ่งแวดล้อม (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายน้ำ

2.3.1 ขนาดพื้นที่ผิวของสาร

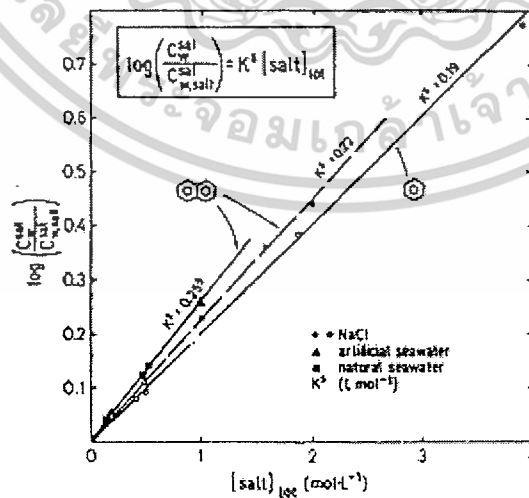
เอนทัลปีและเอนโทรปีของการละลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของสารละลาย ซึ่งทั้งสองปัจจัยมีความสัมพันธ์กับขนาด รูปร่างและพื้นที่ผิวของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ดังนั้นการศึกษาโดยทั่วไปจึงพบว่าค่าการละลายของสาร หรือ C_w^{sat} จึงมีความสัมพันธ์กับขนาดและพื้นที่ผิวของสารอินทรีย์ (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.4 ผลของอุณหภูมิต่อการละลายของสารอินทรีย์ประเภทต่างๆ (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

2.3.3 เกลือของสารอนินทรีย์

โดยทั่วไปเมื่อมีเกลือละลายในน้ำ เช่น NaCl, KCl, CaCl₂ มีการแตกตัวให้อิออนบวกที่โมเลกุลของน้ำจะไปล้อมรอบ (Hydration shell) ส่งผลให้จำนวนโมเลกุลของน้ำที่ว่างพอที่จะล้อมรอบโมเลกุลของสารอินทรีย์ลดลง ดังนั้นการละลายของสารอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อน้ำมีเกลือเป็นส่วนประกอบ (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ผลของเกลือต่างชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กั้นต่อการละลายของเบนซีน

และเนפטาลีนในน้ำ (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า Salting out โดยที่เกลือแต่ละประเภทมีความสามารถในการจับกับน้ำแตกต่างกัน หรือมีค่า Salting out (K_s) ที่แตกต่างกันตามประเภทของเกลือ (ตารางที่ 2.1) ผลของเกลือและประเภทเกลือต่อการละลายของสารสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.4

$$\text{Log} \left[\frac{C_w^{sat}}{C_{w,salt}^{sat}} \right] = K_s [\text{salt}] \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.1 ค่า K_s สำหรับเบนซีนและเนฟทาลีนที่ 25 °C สำหรับเกลือแต่ละประเภท

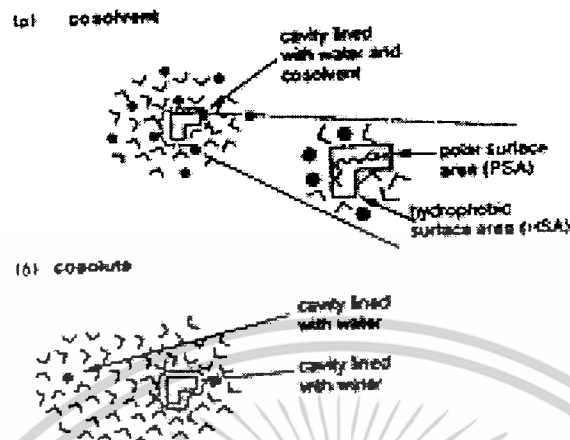
(Schwarzenbach *et al.*, 1993)

ประเภทของเกลือ	เศษส่วนโมล ในน้ำทะเล, X_s	K_s	
		Benzene ($L \cdot mol^{-1}$)	Naphthalene ($L \cdot mol^{-1}$)
NaCl	0.799	0.19	0.22
MgCl ₂	0.104		0.30
Na ₂ SO ₄	0.055	0.55	0.70
CaCl ₂	0.020		0.32
KCl	0.018	0.17	0.19
NaHCO ₃	0.005		0.32
KBr		0.12	0.13
CsBr			0.01

2.4 ตัวทำละลายร่วม (Cosolvent) (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

การละลายของสารอินทรีย์ที่เราสนใจในน้ำอาจเปลี่ยนแปลงไป เมื่อสารละลายมีสารอินทรีย์อื่นๆ นอกเหนือจากสารที่สนใจเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ผลของสารอินทรีย์ร่วมต่อการละลายของสารที่เราสนใจ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี (รูปที่ 2.6) คือ กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่สารอินทรีย์ร่วมมีปริมาณน้อยมากๆ (<10% volume) เกิดการแข่งขันกับสารที่เราสนใจในการทำปฏิกิริยากับน้ำ ส่งผลให้การละลายของสารตัวที่สนใจลดลง สารอินทรีย์ร่วมประเภทนี้จึงจัดว่าเป็นตัวถูกละลายร่วม (cosolute) และกรณีที่ 2 เป็นกรณีที่สารอินทรีย์ร่วมมีปริมาณมากในน้ำ (>10% volume) ในกรณีนี้สารอินทรีย์ประเภทนี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม (cosolvent) ที่สามารถละลายสารตัวที่สนใจ ส่งผลให้สารที่สนใจสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงผลของตัวทำละลายร่วมต่อการละลายของสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างสารละลายที่มีสารอินทรีย์อื่นๆ (•) เป็นองค์ประกอบร่วม (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

การละลายของสารอินทรีย์ที่สนใจในสารละลายที่มีตัวทำละลายร่วม มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของตัวถูกละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายร่วมในน้ำดังสมการ (2.5)

$$\log X_{mix}^{sat} = \log X_w^{sat} + \frac{f_c N(\sigma_{h:w} - \sigma_{h:c})(HSA)}{2.303RT} \quad (2.5)$$

เมื่อ $\log X_{mix}^{sat}$ = เศษส่วน โมลของสารในสารละลายที่มีตัวทำละลายร่วม
 $\log X_w^{sat}$ = เศษส่วน โมลของสารในสารละลายที่ไม่มีตัวทำละลายร่วม
 f_c = สัดส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายร่วมในสารละลาย
 HSA = พื้นที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของตัวถูกละลาย
 (cm²/molecule)

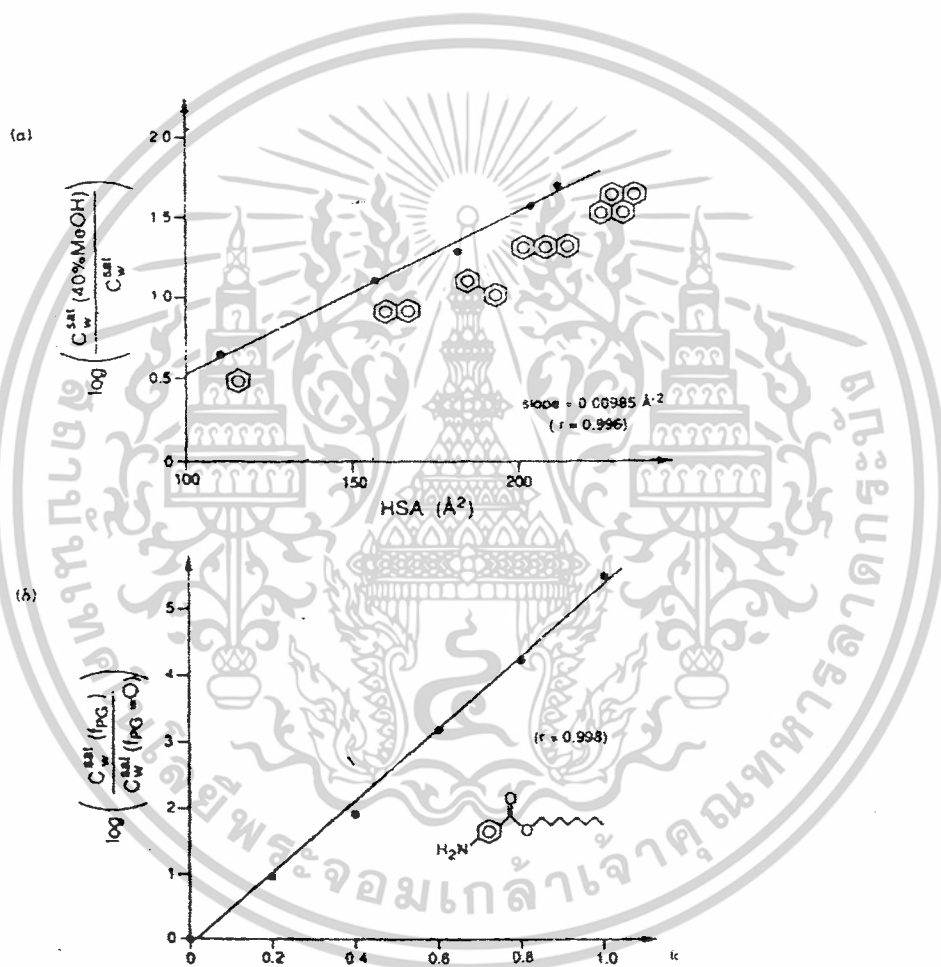
N = Avogadro's Number

$\sigma_{h:w}$ = พลังงานระหว่างผิวสัมผัสของส่วนที่ไม่ชอบน้ำของตัวถูกละลายกับน้ำ (J/cm²)

$\sigma_{h:c}$ = พลังงานระหว่างผิวสัมผัสของส่วนที่มีขั้วของตัวถูกละลายกับน้ำ (J/cm²)

รูปที่ 2.7a แสดงถึงผลของพื้นที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของตัวถูกละลาย (HSA) ของ PAHs ต่อความสามารถในการละลายน้ำของ PAHs ในสารละลายที่มีเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม พบว่าการละลายของ PAHs แปรผันตรงกับ HSA ตัวอย่างเช่น เบนซีนที่มี HSA เท่ากับเอกซานเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

110°A^2 สามารถละลายในน้ำได้สูงขึ้น 5 เท่าเมื่อสารละลายมีเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม เมื่อเทียบกับไพรีน (pyrene, $\text{HSA} = 210^{\circ}\text{A}^2$) พบว่าไพรีนสามารถละลายในน้ำที่มีเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมได้มากกว่า โดยความสามารถในการละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นถึง 50 เท่าเมื่อมีเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม รูปที่ 2.7b แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของตัวทำละลายร่วม (f_c) ต่อการละลายของสาร พบว่าการละลายของสาร n-octyl-p-amino-benzoate มีค่าสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของ cosolvent เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.7 ผลของพื้นที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของตัวถูกละลาย (HSA) และสัดส่วนของตัวทำละลายร่วม (f_c) ต่อการละลายของสารอินทรีย์ที่สนใจ (Schwarzenbach *et al.*, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สารประกอบ BTEX (Christensen and Elton, 1996)

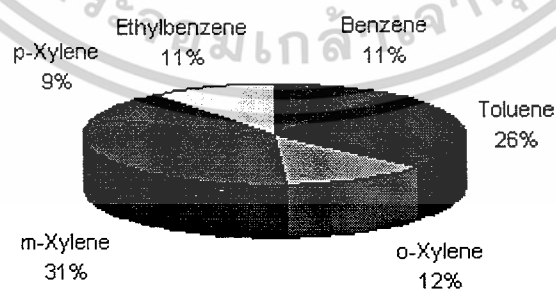
กลุ่มของสารประกอบ BTEX ประกอบด้วยเบนซีน, โทลูอีน, เอทิลเบนซีน และไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ สารประกอบพวกนี้เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม BTEX จัดเป็นมลพิษที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถคงตัวและตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน

2.5.1 แหล่งที่มาของสารประกอบ BTEX

แหล่งที่มาของ BTEX ที่สำคัญคือ น้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พบว่าในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทั่วไปมี BTEX เป็นองค์ประกอบประมาณ 18%(w/w) (รูปที่ 2.8) โดยมี *m*-Xylene เป็นองค์ประกอบสูงสุด รองลงไปคือ Toluene (รูปที่ 2.9) อย่างไรก็ตามสัดส่วนของ BTEX ในองค์ประกอบแก๊สโซลีนจะขึ้นอยู่กับกระบวนการกลั่นและระยะเวลาในการผลิต



รูปที่ 2.8 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Christensen and Elton, 1996)


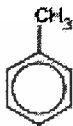
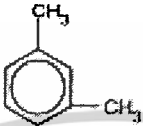
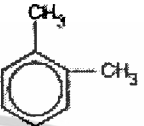

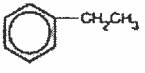


รูปที่ 2.9 สัดส่วนของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Christensen and Elton, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ BTEX

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ BTEX (Christensen and Elton, 1996)

	Benzene	Toluene	<i>m</i> -Xylene	<i>o</i> -Xylene	<i>p</i> -Xylene	Ethyl benzene
สูตรโครงสร้าง						
สูตรเคมี	C ₆ H ₆	C ₇ H ₈	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀	C ₈ H ₁₀
น้ำหนักโมเลกุล [g/mole]	78	92	106	106	106	106
ค่าการละลายน้ำ [mg/l]	1700	515	-	175	198	152
ความดันไอ (at 20°C)[mmHg]	95.2	28.4	-	6.6	-	9.5
ความหนาแน่น จำเพาะ (at 20°C)	0.8787	0.8669	0.8642	0.8802	0.8610	0.8670
สัมประสิทธิ์การ กระจายตัวระหว่าง ออกทานอลและน้ำ (at 20°C)[log Kow]	2.13	2.69	3.20	2.77	3.15	3.15
ค่าคงที่ของเฮนรี่ (at 25°C) [kPa*m ³ /mole]	0.55	0.67	0.70	0.50	0.71	0.80
ความมีขั้ว	ไม่มีขั้ว	ไม่มีขั้ว	ไม่มีขั้ว	ไม่มีขั้ว	ไม่มีขั้ว	ไม่มีขั้ว
HSA (angstrom ²)	110.01	132.05	154.08	153.53	154.09	154.66

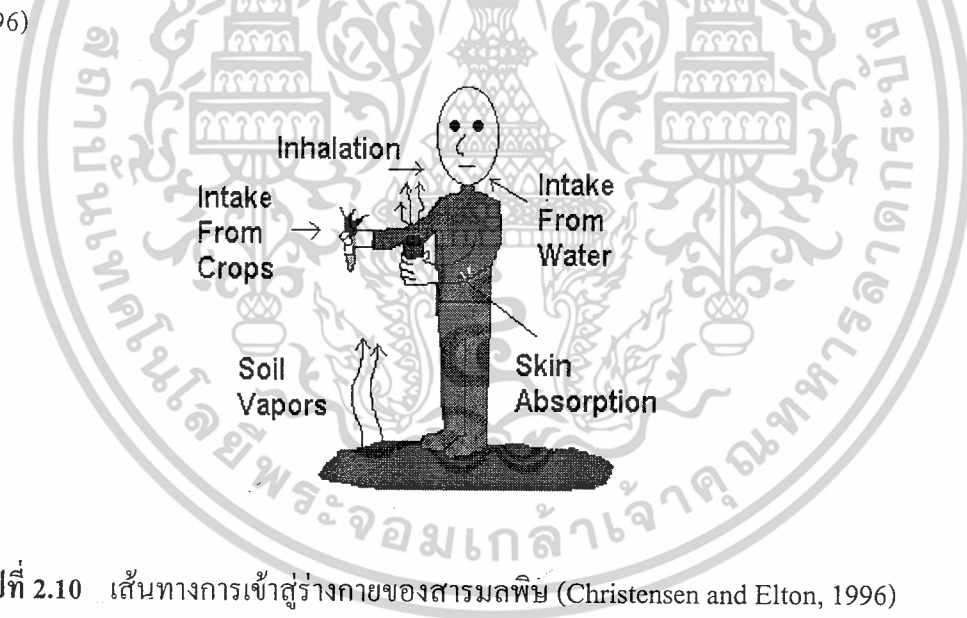
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ความเป็นพิษของสารประกอบ BTEX

สารประกอบ BTEX มีความเป็นพิษและมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ระดับความเป็นพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ หากได้รับในปริมาณที่มากจะก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน และจะก่อให้เกิดพิษเรื้อรังเมื่อได้รับในปริมาณน้อยๆ และเป็นเวลานาน

สารประกอบ BTEX สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ ทางเดินอาหาร โดยการรับประทาน อาหารหรือดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารประกอบ BTEX ทางเดินหายใจ โดยการสูดดม และทางผิวหนัง โดยการสัมผัสโดยตรงกับสารประกอบ BTEX หรือน้ำที่มีการปนเปื้อน (รูปที่ 2.10)

การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเบนซีนเป็นสารก่อมะเร็ง (Christensen and Elton, 1996) การสัมผัสเบนซีนในระยะเวลานานๆ จะสามารถเกิดโรคลูคีเมียหรือมะเร็งในเม็ดเลือดได้ การสูดดมโทลูอินและไซลีนที่มีความเข้มข้น 0.4 mg/l จะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ, ตาลาย, มึนงง และเกิดการระคายเคืองในโพรงจมูก เมื่อได้รับในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการประสานงานของร่างกายลดลง และหากได้รับเป็นเวลานานๆ อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสมอง (Christensen and Elton, 1996)



รูปที่ 2.10 เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของสารมลพิษ (Christensen and Elton, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Corseuil *et al.* (2004) ศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมในระบบใต้ดินที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในปิโตรเลียมและเอทานอล พบว่าเอทานอลที่เป็นตัวทำละลายร่วม (20%) มีผลทำให้สารประกอบอะโรมาติกในน้ำมันปิโตรเลียมละลายน้ำได้สูงขึ้น คือ เบนซีน โทลูอิน และไซลีน ในแก๊สโซฮอล์ สามารถละลายได้เพิ่มขึ้น 67%, 89% และ 90% ตามลำดับ สำหรับ เบนซีน โทลูอิน ไซลีน แนพทาลิน และฟิแนนทรินในน้ำมันดีเซลสามารถละลายได้เพิ่มขึ้น 29%, 34%, 80%, 135% และ 230% ตามลำดับ

Poulsen *et al.* (1992) ศึกษาการละลายของสารประกอบโมโนอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำใต้ดินจากสารผสมระหว่างแก๊สไซลีนกับสารตัวเติมออกซิเจน ทดลองโดยใช้เมทานอลและ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม พบว่าสารประกอบ BTEX ในแก๊สไซลีนละลายในน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 10 °C เมื่อเปอร์เซ็นต์ของเมทานอลและ MTBE เพิ่มมากขึ้น

Groves (1988) ศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมต่อความสามารถในการละลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ทดลองโดยใช้เมทานอล เอทานอล และ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมในการละลายเบนซีนและ n-hexane ในน้ำ เปรียบเทียบกับการทำนายโดยใช้โปรแกรม UNIQUAC และ Ternary Margules ในการหาค่า Activity Coefficient พบว่า เมื่อสัดส่วนโมลของตัวทำละลายร่วมเพิ่มขึ้น จะทำให้เบนซีนและ n-hexane ละลายน้ำได้มากขึ้น และผลที่ได้สัมพันธ์กับการทำนายโดยใช้ค่า Activity Coefficient จาก UNIQUAC และ Ternary Margules

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. หลอดฉีดยา (Syringe) ขนาด 12 ml
2. ขวดไวโอล (Vial) ขนาด 20 ml
3. ไมโครปิเปต (Micropipette)
4. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) รุ่น GC 6890N Network มีตัววัดสัญญาณเป็น Mass Selective Detector (MS) รุ่น Mass 5973N บริษัท Agilent technologies จาก USA
5. คอลัมน์ HP-5 (30-m x 0.25-mm x 0.25- μ m) Stationary Phase (5%-phenyl)-methylpolysiloxane บริษัท Agilent technologies จาก USA
6. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Julabo SW1 บริษัท ยูโนเต็คอินสตรูเมนต์ จำกัด
7. อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับการทดลอง

3.1.2 สารเคมี

1. เบนซีน (Benzene) 99.7 %V/V AR Grade บริษัท Lab scan
2. โทลูอีน (Toluene) 99.5 %V/V AR Grade บริษัท Lab scan
3. เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) 98.0 %V/V AR Grade บริษัท Fluka
4. ไซลีน (Total Xylene) 98.5 %V/V AR Grade บริษัท Carlo erba
5. เอทานอล (Ethanol) 99.7 %V/V AR Grade บริษัท Italmar
6. โนเนน (Nonane) 99.0 %V/V AR Grade บริษัท Merck
7. เฮกเซน (n-Hexane) AR Grade บริษัท BDH, บริษัท Carlo erba
8. แอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต (Anhydrous Sodium Sulfate) AR Grade บริษัท Carlo erba
9. น้ำกลั่น

3.2 การเตรียมสารละลาย BTEX

3.2.1 สารละลายสต็อกเบนซีน ความเข้มข้น 876 mg/l

1. ปิเปต Benzene 99.7 %V/V (ความหนาแน่น 0.879 g/ml) 1.00 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Benzene 8.76×10^3 mg/l

2. ทำการเจือจางสารละลาย Benzene ที่ได้จากข้อ 1 ลง 10 เท่า จะได้สารละลาย Benzene เข้มข้น 876 mg/l

3.2.2 สารละลายสต็อกโทลูอีน ความเข้มข้น 863 mg/l

1. ปิเปต Toluene 99.5 %V/V (ความหนาแน่น 0.867 g/ml) 1.00 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Toluene 8.63×10^3 mg/l

2. ทำการเจือจางสารละลาย Toluene ที่ได้จากข้อ 1 ลง 10 เท่า จะได้สารละลาย Toluene เข้มข้น 863 mg/l

3.2.3 สารละลายสต็อกเอทิลเบนซีน ความเข้มข้น 850 mg/l

1. ปิเปต Ethylbenzene 98 %V/V (ความหนาแน่น 0.867 g/ml) 1.00 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Ethylbenzene 8.50×10^3 mg/l

2. ทำการเจือจางสารละลาย Ethylbenzene ที่ได้จากข้อ 1 ลง 10 เท่า จะได้สารละลาย Ethylbenzene เข้มข้น 850 mg/l

3.2.4 สารละลายสต็อกไซลีน ความเข้มข้น 854 mg/l

1. ปิเปต Xylene 98.5 %V/V (ความหนาแน่น 0.867 g/ml) 1.00 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจนถึงขีดวัดปริมาตรจะได้สารละลาย Xylene 8.54×10^3 mg/l

2. ทำการเจือจางสารละลาย Xylene ที่ได้จากข้อ 1 ลง 10 เท่า จะได้สารละลาย Xylene เข้มข้น 854 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสารละลายโนเนน ความเข้มข้น 7.13×10^3 mg/l (สารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล)

ปิเปตโนเนน 99.0 %V/V (ความหนาแน่น 0.720 g/ml) 2.50 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายเฮกเซนจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายโนเนนเข้มข้น 7.13×10^3 mg/l

3.4 การเตรียมสารละลาย BTEX ในน้ำ

ปิเปตสาร Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene บริสุทธิ์ อย่างละ 20 μ l ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene เข้มข้น 70.1, 69.0, 68.0 และ 68.3 mg/l ตามลำดับ

3.5 การเตรียมกราฟมาตรฐานสำหรับสารละลาย BTEX

นำสารละลายสต็อกของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene ที่เตรียมในหัวข้อ 3.2.1-3.2.4 มาเตรียมให้มีอนุกรมความเข้มข้นของสารแต่ละตัวอยู่ในช่วง 0-80 mg/l ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่ได้ในแต่ละความเข้มข้นมา 5 ml ลงในขวดไวโอลิต เติมน้ำกลั่นมาตรฐานอินเทอร์นอลโนเนนเข้มข้น 7.13×10^3 mg/l ให้มีความเข้มข้นสุทธิในสารละลายเท่ากับ 28.5 mg/l นำสารละลายมาตรฐานที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

3.6 ศึกษาวิธีการสกัด BTEX ที่เหมาะสม

3.6.1 การสกัด BTEX ด้วยกรวยแยก

ปิเปตสารละลาย BTEX ที่เตรียมได้ในหัวข้อ 3.4 มา 12 ml ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่นอีก 20 ml เติมน้ำกลั่นอีก 20 ml เติมน้ำกลั่นอีก 20 ml ปิดฝาแล้วเขย่าเป็นเวลา 60 นาที (เขย่า 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 นาที ทำซ้ำทั้งหมด 6 ครั้ง) จากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อให้สารละลายแยกชั้นเป็นเวลา 60 นาที โขเอาสารละลายส่วนล่างไปทำการสกัดซ้ำด้วยตัวทำละลายเฮกเซนอีก 6 ml โดยรวมเอาสารละลายชั้นบนที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 ครั้งลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 2 g เพื่อกำจัดน้ำ ทำการกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 บรรจุสารละลายที่ผ่านการกรองลงในขวดไวโอลิต บันทึกปริมาตร เติมน้ำกลั่นมาตรฐานอินเทอร์นอลโนเนนเข้มข้น 7.13×10^3 mg/l ลงในสารละลาย ให้มีความเข้มข้นสุทธิเท่ากับ 28.5 mg/l นำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การสกัด BTEX ด้วยการเขย่าในขวดไว้ออล

ปีเปตสารละลาย BTEX ที่เตรียมในหัวข้อ 3.4 มา 12.00 ml ใส่ลงในขวดไว้ออลขนาด 20 ml เติมสารละลายอิมิตัวของ โซเดียมคลอไรด์ 20 หยด และเติมตัวทำละลายเฮกเซน 8 ml ปิดฝา และนำไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องเขย่าแนวอนที่ความเร็ว 160 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง คูดสารละลายชั้นบน (เฮกเซน) 5 มิลลิลิตร ด้วยหลอดชนิด และใส่ไว้ในขวดไว้ออลขวดที่ 2 จากนั้นเติมตัวทำละลายเฮกเซน 6 ml ลงในขวดไว้ออลขวดแรกและนำไปสกัดซ้ำอีกครั้ง บันทึกปริมาตรของตัวทำละลายทั้งหมดที่สกัดได้ เติมสารละลายมาตรฐานอินเทอร์เนอลโนเนนเข้มข้น 7.13×10^3 mg/l ลงในสารละลาย โดยให้มีความเข้มข้นสุทธิเท่ากับ 28.5 mg/l นำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

3.7 ศึกษาจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัด BTEX โดยใช้ขวดไว้ออล

ทำการสกัดตามวิธีในหัวข้อ 3.6.2 โดยแปรผันจำนวนครั้งของการสกัดเป็น 2 ครั้ง, 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง ตามลำดับ โดยแต่ละชุดการทดลองทำการสกัด 3 ซ้ำ

3.8 ผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX

เตรียมสารละลายผสมระหว่างสารประกอบ BTEX น้ำและเอทานอล โดยใช้สัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนระหว่างสารประกอบ BTEX น้ำและเอทานอลที่ใช้ในการทดลอง

สัดส่วนของ เอทานอลในน้ำ (%V/V)	ปริมาตร BTEX (ml)	ปริมาตร เอทานอล (ml)	ปริมาตร น้ำ (ml)	ปริมาตร เอทานอล+น้ำ (ml)	ปริมาตรรวม (ml)
0	2	0	18.0	18	20
5	2	0.9	17.1	18	20
10	2	1.8	16.2	18	20
15	2	2.7	15.3	18	20
20	2	3.6	14.4	18	20
25	2	4.5	13.5	18	20

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากตารางที่ 3.1 มาเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวอนด้วยความเร็วรอบ 130 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และนำมาตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ดูดสารละลายชั้นล่าง (น้ำ) ด้วยหลอดฉีดยา 12 ml ลงในขวดไวโอลิต ทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดที่เหมาะสมที่ได้ตามหัวข้อ 3.7 เดิมสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอลโนเนนเข้มข้น 7.13×10^3 mg/l ลงในสารละลายที่สกัดได้ โดยให้ความเข้มข้นสุทธิเท่ากับ 28.5 mg/l จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS ทำการทดลองซ้ำ

3.9 สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

สารละลายมาตรฐาน BTEX และสารละลาย BTEX ที่สกัดได้ ถูกนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) รุ่น GC 6890N Network ที่มีตัววัดสัญญาณคือ Mass Selective Detector (MS) รุ่น Mass 5973N (Agilent Technologies, USA) ใช้คอลัมน์ HP-5 (Agilent Technologies, USA) ที่มีเฟสคงที่คือ (5%-phenyl)methylpolysiloxane ขนาดความยาวของคอลัมน์เท่ากับ 30 m มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.25 mm ฟิล์มมีความหนาเท่ากับ 0.25 μ m โดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องดังนี้ อุณหภูมิของ Injector เท่ากับ 250 °C เลือก Mode Splitless แก๊สพาที่ใช้คือ แก๊สฮีเลียม ส่วนอุณหภูมิของ Oven ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิดังนี้คือ อุณหภูมิเริ่มต้น 30 °C นาน 4 นาที เพิ่มอุณหภูมิขึ้นในอัตรา 10 °C/min จนถึง 50 °C และเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 5 °C/min จนถึง 100 °C ส่วน MS Detector แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ MS Quad เป็น 150 °C และ MS Source เป็น 230 °C ทำการ scan Mass ในช่วง 30.0-500.0 amu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาถึงผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในกลุ่ม BTEX ซึ่งได้แก่ เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene) ทั้งสามไอโซเมอร์ ได้แก่ *o*-Xylene, *m*-Xylene และ *p*-Xylene และทำการสกัดหาปริมาณ BTEX ที่ละลายในน้ำโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และวิเคราะห์หาปริมาณสาร BTEX ด้วยเครื่อง GC-MS โดยใช้เทคนิคอินเทอร์นอลสแตนดาร์ด (Internal standard) ซึ่งผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ข้อ คือ 1) การวิเคราะห์หาค่า Relative Response Factor (RRF) สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX 2) ศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย BTEX 3) ศึกษาผลของจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัดสารละลาย BTEX โดยใช้ขวดไวโอล และ 4) ศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX ผลการทดลองเป็นดังนี้คือ

4.1 การวิเคราะห์หาค่า Relative Response Factor (RRF) สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX

การวิเคราะห์หาค่า RRF ของสารละลายมาตรฐาน BTEX ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน BTEX เข้มข้น 0-80 mg/l แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS โดยใช้เทคนิคอินเทอร์นอลสแตนดาร์ด ในการทดลองนี้ใช้สารละลายโนเนนเข้มข้น 28.5 mg/l เป็นสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 และภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 ค่า Retention time, Relative Response factor (RRF) และ Relative Standard Deviation (RSD) ของสารละลายมาตรฐาน BTEX

ชนิดของสาร	Retention time (นาที)	RRF	RSD (%)
Benzene	2.99	1.0893	9.9845
Toluene	5.44	1.5167	3.1192
Ethylbenzene	8.03	2.2893	6.7601
<i>m,p</i> -Xylene	8.26	1.4629	5.8811
<i>o</i> -Xylene	8.95	1.5094	7.1112

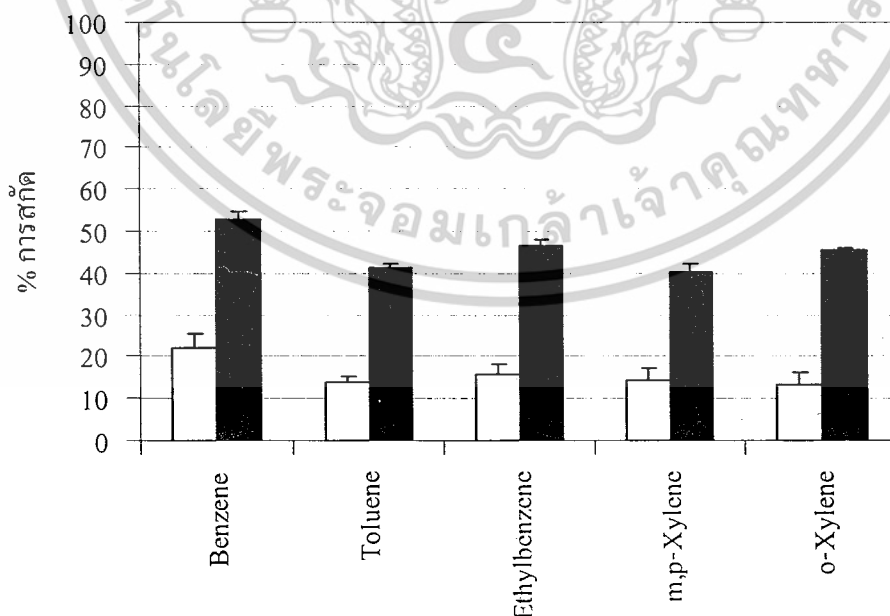
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน BTEX ด้วยเครื่อง GC-MS ภายใต้สภาวะในหัวข้อ 3.9 พบว่า สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถตรวจวัดพีคของสาร BTEX ได้เป็น 5 พีคด้วยกันดังนี้ คือ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *o*-Xylene และ *m,p*-Xylene ซึ่งมีค่า Retention time เท่ากับ 2.99, 5.44, 8.03, 8.26 และ 8.95 นาที ตามลำดับ ซึ่งค่า Retention time มีความสัมพันธ์กับจุดเดือดของสารที่สนใจ โดยสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะเคลื่อนตัวออกจากคอลัมน์เร็วกว่าสารที่มีจุดเดือดสูง ซึ่งจากการทดลองพบว่า Benzene ออกจากคอลัมน์เป็นลำดับแรก ตามด้วย Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene ตามลำดับ

สำหรับค่า RRF ของสารละลายมาตรฐาน Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.0893, 1.5167, 2.2893, 1.4629 และ 1.5094 ตามลำดับ โดยมีค่า RSD เท่ากับ 9.9845%, 3.1192%, 6.7601%, 5.8811% และ 7.1112% ตามลำดับ ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่า RRF เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าจากกราฟ

4.2 ศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย BTEX

ในการศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมของสารละลาย BTEX ระหว่างการสกัดโดยใช้กรวยแยกและการสกัดด้วยการเขย่าในขวดไวโอล โดยการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสกัดของสารละลายมาตรฐาน BTEX ที่ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนระหว่างวิธีการสกัดด้วยกรวยแยกและวิธีการสกัดด้วยการเขย่าในขวดไวโอล ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 และภาคผนวก ข



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การสกัดที่สกัดด้วยกรวยแยก (□) และสกัดด้วยการเขย่าในไวโอล (■)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

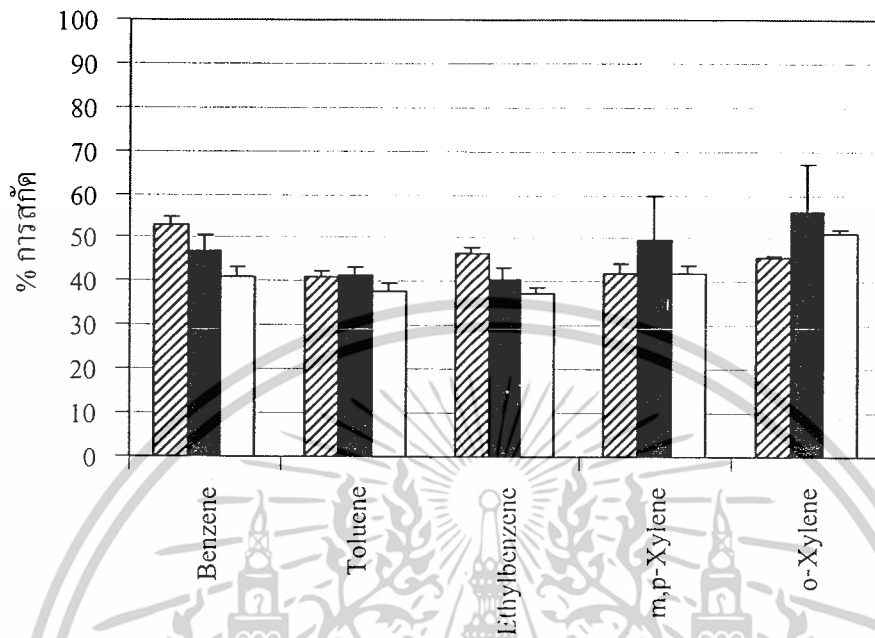
เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การสกัดของสารละลาย BTEX ที่สกัดด้วยวิธีกรวยแยก พบว่าวิธีนี้สามารถสกัดสาร BTEX ได้เปอร์เซ็นต์การสกัดเท่ากับ $22.25(\pm 3.14)\%$, $14.70(\pm 2.73)\%$, $15.67(\pm 2.42)\%$, $14.49(\pm 2.88)\%$, และ $13.54(\pm 2.62)\%$ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การสกัดของสารละลาย BTEX ที่สกัดด้วยวิธีนี้มีค่าน้อยมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากการกรวยแยกที่ใช้มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้มีปริมาตรอากาศเหนือของเหลว (Headspace) เป็นปริมาณมาก ประกอบกับ BTEX จัดเป็นสารที่ระเหยได้ง่าย ทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดของ BTEX ที่สกัดด้วยวิธีกรวยแยกมีค่าค่อนข้างต่ำ

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การสกัดของสารละลาย BTEX ด้วยวิธีการสกัดโดยการเขย่าในขวดไว้ออล พบว่าวิธีนี้สามารถสกัดสาร BTEX ได้เปอร์เซ็นต์การสกัดของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene เท่ากับ $52.95(\pm 1.87)\%$, $41.31(\pm 1.15)\%$, $46.45(\pm 1.59)\%$, $42.10(\pm 2.00)\%$ และ $45.75(\pm 0.32)\%$ ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของ BTEX ด้วยวิธีการสกัดด้วยกรวยแยก และการเขย่าในขวดไว้ออล (รูปที่ 4.1) พบว่าการสกัดด้วยการเขย่าในขวดไว้ออลมีประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีกว่าการสกัดด้วยกรวยแยก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากปริมาตรอากาศเหนือของเหลวในขวดไว้ออลที่ใช้มีน้อยกว่าปริมาตรอากาศเหนือของเหลวในกรวยแยก ทำให้อัตราการระเหยของ BTEX ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดดีกว่า ดังนั้นการสกัดด้วยการเขย่าในขวดไว้ออลจึงเป็นวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย BTEX

4.3 ผลของจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพการสกัดสารละลาย BTEX โดยใช้ขวดไว้ออล

การศึกษาผลของจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพในการสกัดสารละลาย BTEX โดยใช้ขวดไว้ออล โดยแปรผันจำนวนครั้งของการสกัด BTEX ในขวดไว้ออล เป็น 2, 3 และ 4 ครั้ง นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 และภาคผนวก ข



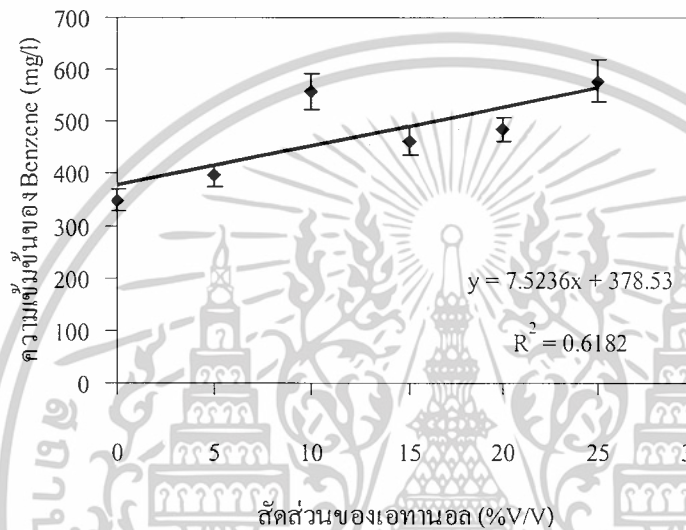
รูปที่ 4.2 เปรอ์เซ็นต์การสกัดของสารละลาย BTEX ที่สกัดด้วยการเขย่าในขวดไว้ออกและจำนวนครั้งของการสกัดแตกต่างกัน โดย (▨) 2 ครั้ง (■) 3 ครั้ง (□) 4 ครั้ง

จากรูปที่ 4.2 เนื่องจาก Benzene และ Ethylbenzene มีความดันไอสูงจึงสามารถระเหยสู่บรรยากาศได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัดจาก 2 ครั้งเป็น 4 ครั้ง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดมีค่าลดลง ในกรณีของ Benzene ที่สกัด 2 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การสกัดเท่ากับ $52.95(\pm 1.87)\%$ และเมื่อเพิ่มจำนวนการสกัดเป็น 3 และ 4 ครั้ง เปรอ์เซ็นต์การสกัดลดลงเป็น $46.87(\pm 4.04)\%$ และ $41.31(\pm 2.24)\%$ ตามลำดับ ในกรณีของ Ethylbenzene พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการสกัดเท่ากับ 2 ครั้ง มีเปอร์เซ็นต์การสกัดเท่ากับ $46.46(\pm 1.59)\%$ และเมื่อเพิ่มจำนวนการสกัดเป็น 3 และ 4 ครั้ง เปรอ์เซ็นต์การสกัดลดลงเป็น $40.44(\pm 3.15)\%$ และ $37.29(\pm 1.74)\%$ ตามลำดับ สำหรับ Toluene พบว่าเมื่อใช้จำนวนครั้งของการสกัดเท่ากับ 2 และ 3 ครั้ง เปรอ์เซ็นต์การสกัดที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค) และเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัดเป็น 4 ครั้ง พบว่าเปอร์เซ็นต์การสกัดมีค่าลดลง โดยมีค่าเท่ากับ $37.98(\pm 1.72)\%$ ส่วน *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัด เปรอ์เซ็นต์การสกัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ค) ดังนั้นจำนวนครั้งของการสกัดสารละลาย BTEX ที่เหมาะสม คือการสกัดด้วยการเขย่าในขวดไว้ออกเป็นจำนวน 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

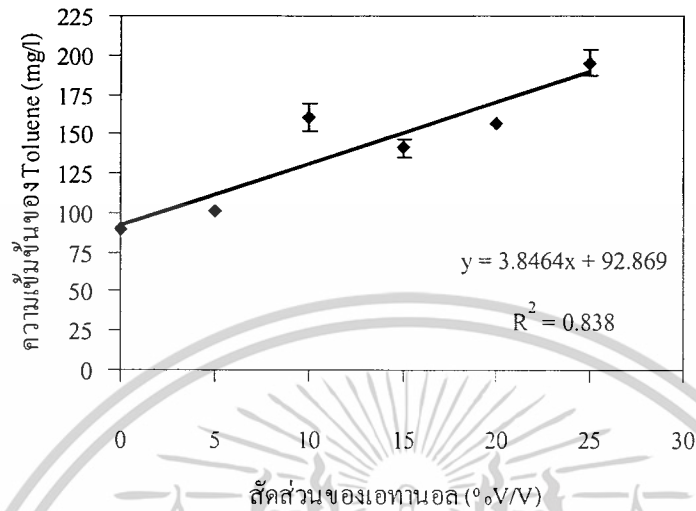
4.4 ผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX

ในการศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX โดยการเขย่าสารละลายผสมระหว่าง BTEX, น้ำ และเอทานอลในขวด ไวโอล และแปรผันสัดส่วนของเอทานอลเป็น 0%, 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%V/V ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3-4.8 และภาคผนวก ง



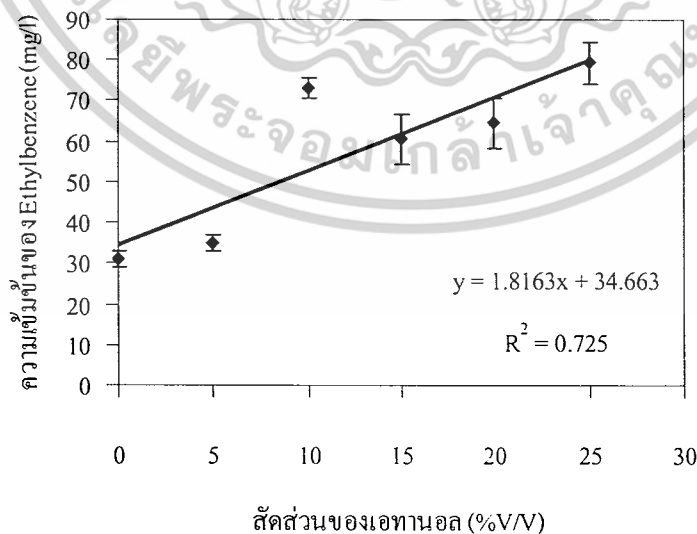
รูปที่ 4.3 ความสามารถในการละลายน้ำของ Benzene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 พบว่าความเข้มข้นของ Benzene ในน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในน้ำจาก 0% เป็น 25% โดยในสภาวะที่ไม่มีเอทานอล (0%) ความเข้มข้นของ Benzene ในน้ำมีค่าเท่ากับ 349.83(±22.58) mg/l และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลเป็น 25% ความเข้มข้นของ Benzene มีค่าเท่ากับ 579.43(±38.56) mg/l เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Benzene ในน้ำกับเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลในสารละลายจะได้สมการเส้นตรง $y = 7.5236x + 378.53$ ($R^2 = 0.6182$)



รูปที่ 4.4 ความสามารถในการละลายน้ำของ Toluene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน

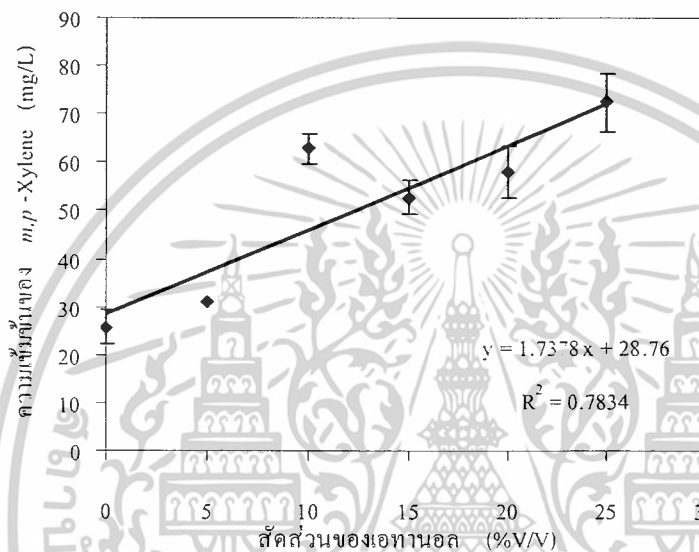
จากรูปที่ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของ Toluene ในน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในน้ำจาก 0% เป็น 25% โดยในสภาวะที่ไม่มีเอทานอล (0%) ความเข้มข้นของ Toluene ในน้ำมีค่าเท่ากับ $89.93(\pm 2.24)$ mg/l และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลเป็น 25% ความเข้มข้นของ Toluene มีค่าเท่ากับ $195.20(\pm 8.61)$ mg/l เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Toluene ในน้ำ กับสัดส่วนของเอทานอลจะได้สมการเส้นตรง $y = 3.8464x + 92.869$ ($R^2 = 0.838$)



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการละลายน้ำของ Ethylbenzene ณ สภาวะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน

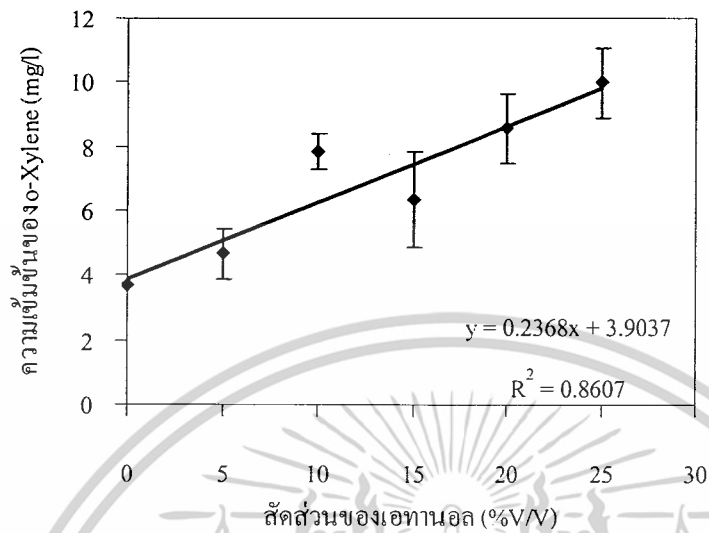
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อสัดส่วนเอทานอลในน้ำเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของ Ethylbenzene ในน้ำมากขึ้น โดยในสถานะที่ไม่มีเอทานอล ความเข้มข้นของ Ethylbenzene ในน้ำมีค่าเท่ากับ $31.00 (\pm 2.05)$ mg/l และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลเป็น 25% ความเข้มข้นของ Ethylbenzene มีค่าเท่ากับ $79.48 (\pm 5.21)$ mg/l เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Ethylbenzene กับสัดส่วนของเอทานอลจะได้สมการเส้นตรง $y = 1.8163x + 34.663$ ($R^2 = 0.725$)



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการละลายน้ำของ *m,p*-Xylene ณ สถานะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อสัดส่วนเอทานอลในน้ำเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของ *m,p*-Xylene ในน้ำมากขึ้น โดยในสถานะที่ไม่มีเอทานอล ความเข้มข้นของ *m,p*-Xylene ในน้ำมีค่าเท่ากับ $25.74 (\pm 3.52)$ mg/l และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลเป็น 25% ความเข้มข้นของ *m,p*-Xylene มีค่าเท่ากับ $72.46 (\pm 5.91)$ mg/l เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ *m,p*-Xylene กับสัดส่วนของเอทานอลจะได้สมการเส้นตรง $y = 1.7378x + 28.76$ ($R^2 = 0.7834$)



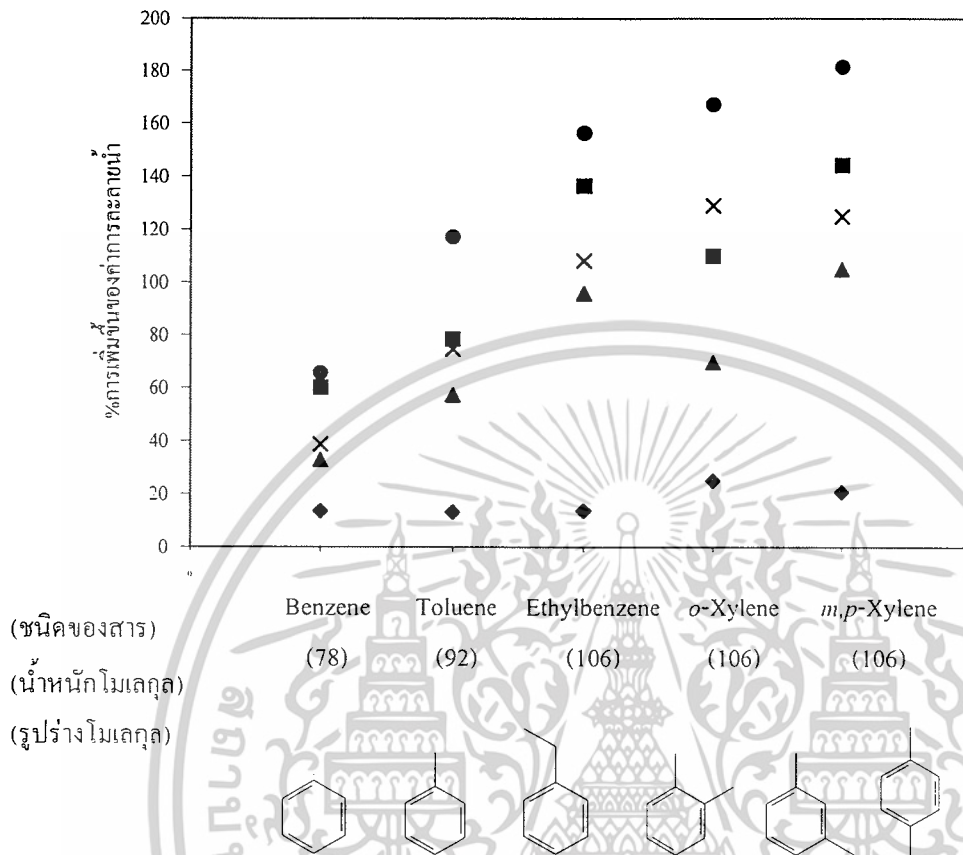
รูปที่ 4.7 ความสามารถในการละลายน้ำของ *o*-Xylene ณ สถานะที่มีสัดส่วนของเอทานอลแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อสัดส่วนเอทานอลในน้ำเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของ *o*-Xylene ในน้ำมากขึ้น โดยในสถานะที่ไม่มีเอทานอล ความเข้มข้นของ *o*-Xylene ในน้ำมีค่าเท่ากับ $3.74(\pm 0.02)$ mg/l และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลเป็น 25% ความเข้มข้นของ *o*-Xylene มีค่าเท่ากับ $9.99(\pm 1.07)$ mg/l เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ *o*-Xylene กับสัดส่วนของเอทานอลจะได้สมการเส้นตรง $y = 0.2368x + 3.9037$ ($R^2 = 0.8607$)

เมื่อพิจารณาผลของเอทานอลต่อความเข้มข้นของ BTEX ในน้ำ (รูปที่ 4.3-4.7) พบว่าสารทุกตัวในกลุ่ม BTEX มีความเข้มข้นในน้ำมากขึ้น เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลในน้ำ แสดงให้เห็นว่าเอทานอลมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารทุกตัวในกลุ่มนี้ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Corseuil *et al.* (2004) ที่ทำการศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน พบว่าเมื่อสัดส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น มีผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของ Benzene, Toluene และ *o*-Xylene มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำของ BTEX ในสถานะที่มีเอทานอลในปริมาณแตกต่างกันเทียบกับค่าการละลายน้ำในสถานะที่ไม่มีเอทานอล ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรอ์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำสำหรับ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *o*-Xylene และ *m,p*-Xylene เมื่อเทียบกับค่าการละลายน้ำในสถานะที่ไม่มีเอทานอล โดยสัดส่วนของเอทานอลเป็น ♦ 5% ■ 10% ▲ 15% × 20% • 25%

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์เอทานอลในน้ำ ค่าการละลายน้ำของสารทุกตัวในกลุ่ม BTEX มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับค่าการละลายน้ำในสถานะที่ไม่มีเอทานอล ในกรณีที่มีเปอร์เซ็นต์เอทานอลในน้ำเท่ากับ 5% สามารถเพิ่มค่าการละลายน้ำของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *o*-Xylene และ *m,p*-Xylene เป็น 13.45%, 13.10%, 13.55%, 20.71% และ 24.91% ตามลำดับ และในกรณีที่มีเปอร์เซ็นต์เอทานอลเพิ่มขึ้นเป็น 25% เพิ่มค่าการละลายน้ำของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *o*-Xylene และ *m,p*-Xylene เป็น 65.63%, 117.06%, 156.37%, 167.15% และ 181.48% ตามลำดับ เมื่อสัดส่วนของเอทานอลเป็น 5% เปรอ์เซ็นต์การละลายที่เพิ่มขึ้นของสารแต่ละตัวในกลุ่ม BTEX ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อสัดส่วนของเอทานอลเป็น 25% เปรอ์เซ็นต์การละลายที่เพิ่มขึ้นของสารแต่ละตัวในกลุ่ม BTEX มากขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลของสาร เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำสำหรับสารแต่ละตัว ณ สภาวะที่มีเอทานอล ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสัดส่วนเท่ากัน พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ m,p -Xylene > o -Xylene > Ethylbenzene > Toluene > Benzene และเมื่อพิจารณาพร้อมกับน้ำหนักโมเลกุลของสารพบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของสารมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลและรูปร่าง โครงสร้างของสารเคมี เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำมีค่ามากกว่าเมื่อสารมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างของ Ethylbenzene มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำมากกว่า Toluene และ Benzene ตามลำดับ สำหรับ o -Xylene และ m,p -Xylene ซึ่งเป็นไอโซเมอร์กัน พบว่าการจัดเรียงตัวของโมเลกุล อาจทำให้พื้นที่ผิวของสารแตกต่างกัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ m,p -Xylene มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำมากกว่า o -Xylene ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Schwazenbach *et al.* (1993) ถึงผลของพื้นที่ผิวที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุล (Hydrophobic Surface Area, HSA) ต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการละลายน้ำของสารในกลุ่ม Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) ในสารละลายที่มีเมทานอลเป็นตัวทำละลายร่วม พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำของ PAHs แปรผันตรงกับ HSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ข้อ คือ 1) การวิเคราะห์หาค่า Relative Response Factor (RRF) สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX 2) การศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย BTEX 3) การศึกษาผลของจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพในการสกัด BTEX โดยใช้ขูดไว้ออล 4) การศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้คือ

การวิเคราะห์หาค่า RRF ของสารละลายมาตรฐาน BTEX พบว่าค่า Retention time ของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene เท่ากับ 2.99, 5.44, 8.03, 8.26 และ 8.95 นาที ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับจุดเดือดและน้ำหนักโมเลกุลของสาร จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ค่า RRF ของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene เท่ากับ 1.0893, 1.5167, 2.2893, 1.4629 และ 1.5094 ตามลำดับ และมีค่า RSD น้อยกว่า 10%

การศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมของสารละลาย BTEX ระหว่างการสกัดโดยใช้กรวยแยกและการสกัดด้วยการเขย่าในขูดไว้ออล พบว่าการสกัดด้วยการเขย่าในขูดไว้ออลเป็นวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย BTEX เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการสกัดสาร BTEX ได้สูงกว่าการสกัดด้วยกรวยแยก โดยเปอร์เซ็นต์การสกัดด้วยการเขย่าในขูดไว้ออลมีค่าเท่ากับ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene เท่ากับ 52.95(±1.87)%, 41.31(±1.15)%, 46.46(±1.59)%, 42.10(±2.10)% และ 45.76(±0.32)% ตามลำดับ ดังนั้น

การศึกษาค้นคว้าผลของจำนวนครั้งของการสกัดต่อประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบ BTEX โดยทำการสกัดด้วยการเขย่าในขูดไว้ออล และแปรผันจำนวนครั้งของการสกัดเป็น 2, 3 และ 4 ครั้งพบว่า Benzene และ Ethylbenzene มีเปอร์เซ็นต์การสกัดลดลง เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัด สำหรับ Toluene พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัดจาก 2 เป็น 3 ครั้ง เปอร์เซ็นต์การสกัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัดเป็น 4 ครั้ง พบว่าเปอร์เซ็นต์การสกัดลดลง ส่วน *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการสกัดจาก 2 ครั้งเป็น 3 และ 4 ครั้งพบว่า เปอร์เซ็นต์การสกัดไม่แตกต่างกันอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนครั้งของการสกัดที่เหมาะสมต่อการสกัด BTEX ด้วยการเขย่าในขวดไว้ออลคือ 2 ครั้ง

การศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลในน้ำมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX มีค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในน้ำกับเปอร์เซ็นต์เอทานอลได้ด้วยสมการเส้นตรง และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำสำหรับสารแต่ละตัวในกลุ่ม BTEX พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำในสถานะที่มีเอทานอลเทียบกับค่าการละลายน้ำในสถานะที่ไม่มีเอทานอล มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลของสาร และรูปร่างโมเลกุลของสาร โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการละลายน้ำมากกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และสารที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าจะสามารถละลายน้ำได้มากกว่า ดังนั้นความสามารถในการละลายน้ำของ BTEX สัมพันธ์กับสัดส่วนของเอทานอล, น้ำหนักโมเลกุล และพื้นที่ผิวของสาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาวิธีการสกัดสารประกอบ BTEX ด้วยวิธี Purge and Trap และวิธี Headspace-Solid Phase Micro Extraction (HS-SPME)
2. ศึกษาความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ BTEX ในแก๊สไซฮอลล์
3. ศึกษาความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น ๆ เช่น สารประกอบอะลิฟาติก, สารประกอบโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น
4. ศึกษาผลของเอทานอลต่อความสามารถในการละลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ความเป็นมาของ “แก๊สโซฮอล์” ในประเทศไทย.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.dede.go.th/renew/gasohol/introbio.html> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กรกฎาคม 2547).

นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล. 2544. กระบวนการเคมีอุตสาหกรรม. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

สารศรีรัช. 2544. รู้จัก “แก๊สโซฮอล์” เชื้อเพลิงทางเลือกใหม่กันหรือยัง. ฝ่ายเผยแพร่ข้อมูลพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.energy.go.th/index-thai.html> (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กรกฎาคม 2547).

โอภาส เสพย์ธรรม และศิริวรรณ ทั้งวงษ์เจริญ. 2546. ความรู้เกี่ยวกับปิโตรเลียม. ส่วนควบคุมคุณภาพ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน).

Christensen, J. S. and Elton, J. 1996. **Soil and Groundwater pollution from BTEX**. [Online]. Available : http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/gwprimer/btex/3. (Access date : July 20, 2004).

Corseuil, H. X., Beatriz, I., Kaippe, A. and Fernandes, M. 2004. Cosolvency effect in subsurface systems contaminated with petroleum hydrocarbons and ethanol. **Water Research**. 38: 1449-1456.

Groves, F. R. Jr. 1988. Effect of Cosolvents on the Solubility of Hydrocarbons in water. **Environmental Science and Technology**. 22(37) : 282-286.

Poulsen, M., Lemon, L. and Barker, J. F. 1992. Dissolution of Monoaromatic Hydrocarbons into Groundwater from Gasoline-oxygenate Mixtures. **Environmental Science and Technology**. 1(13) : 351-383.

Powers, S E., Rice, D., Dooher, B., and Alvarez, P. J. J. 2001. Will Ethanol-Blended Gasoline Affect Groundwater Quality?. **Environmental Science & Technology**. 1 (35): 24A-30A.

Schwarzenbach, R. P., Gschwend, P. M. and Imboden, D. M. 1993. **Environmental Organic Chemistry**. New York: John wiley & sons,inc.

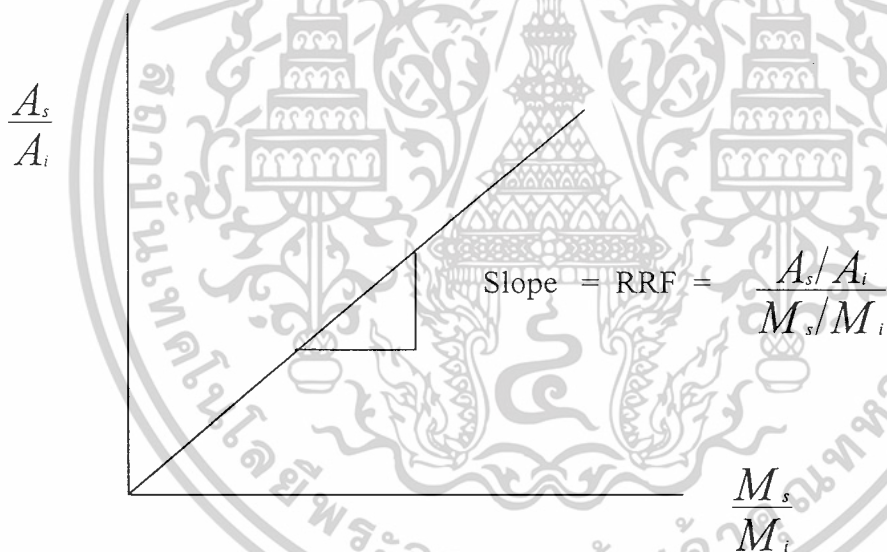
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน BTEX

$$\text{RRF} = \frac{A_s}{M_s} \times \frac{M_i}{A_i}$$

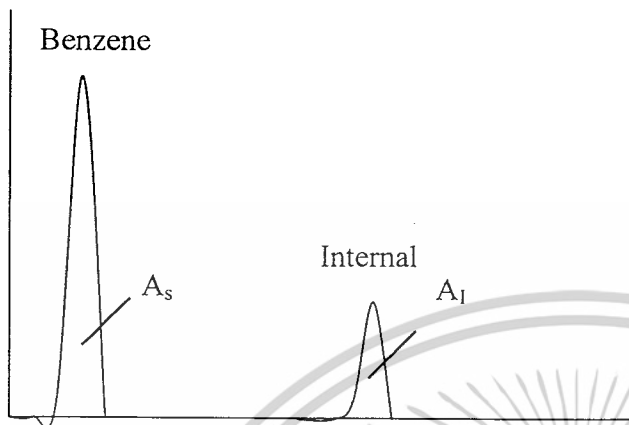
- เมื่อ A_s = พื้นที่พีคของสารละลายมาตรฐาน
 A_i = พื้นที่พีคของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์เนอล
 M_s = มวลของสารตัวอย่าง (mg)
 M_i = มวลของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์เนอล (mg)



รูปที่ ก กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง M_s/M_i กับ A_s/A_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ



จากกราฟสามารถหาค่า RRF ได้ดังนี้

กำหนดให้ ความเข้มข้นของ Benzene = 35.0545 mg/l

$$A_s = 7,664,539$$

$$A_I = 5,524,725$$

$$M_s = 3.50545 \times 10^{-5} \text{ mg}$$

$$M_I = 0.0000285 \text{ mg}$$

จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{RRF} &= \frac{A_s}{M_s} \times \frac{M_I}{A_I} \\ &= \frac{7,664,539}{3.50545 \times 10^{-5}} \times \frac{0.0000285}{5,524,725} \\ &= 1.1279 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน Benzene (retention time = 2.986 นาที)

ความเข้มข้น (mg/l)	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลาย มาตรฐาน	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน (g)	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน อินเทอร์นอล (g)	RRF
0.0000	0	0	0	0.0000285	-
2.4538	577382	6411471	2.4538E-06	0.0000285	1.0460
4.9076	834429	5268675	4.9076E-06	0.0000285	0.9197
17.5273	3658749	5073172	1.75273E-05	0.0000285	1.1727
35.0545	7664539	5524725	3.50545E-05	0.0000285	1.1279
70.1090	13688647	4715487	0.000070109	0.0000285	1.1801
				ค่าเฉลี่ย	1.0893

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล = 28.5 mg/l

ตารางที่ ก.2 ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน Toluene (retention time = 5.441 นาที)

ความเข้มข้น (mg/l)	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลาย มาตรฐาน	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน (g)	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน อินเทอร์นอล (g)	RRF
0.0000	0	0	0	0.0000285	-
2.4155	844621	6411471	2.4155E-06	0.0000285	1.5543
4.8309	1408776	5268675	4.8309E-06	0.0000285	1.5775
17.2533	4620337	5073172	1.72533E-05	0.0000285	1.5044
34.5066	9868426	5524725	3.45066E-05	0.0000285	1.4753
69.0132	16810390	4715487	6.90132E-05	0.0000285	1.4722
				ค่าเฉลี่ย	1.5167

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล = 28.5 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน Ethylbenzene (retention time = 8.031 นาที)

ความเข้มข้น (mg/l)	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลาย มาตรฐาน	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน (g)	มวลของสาร ละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล (g)	RRF
0.0000	0	0	0	0.0000285	-
2.3791	1338541	6411471	2.3791E-06	0.0000285	2.5010
4.7581	2081604	5268675	4.7581E-06	0.0000285	2.3665
16.9932	6923447	5073172	1.69932E-05	0.0000285	2.2888
33.9864	14408268	5524725	3.39864E-05	0.0000285	2.1870
67.9728	23655539	4715487	6.79728E-05	0.0000285	2.1034
				ค่าเฉลี่ย	2.2893

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล = 28.5 mg/l

ตารางที่ ก.4 ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน *m,p*-Xylene (retention time = 8.258 นาที)

ความเข้มข้น (mg/l)	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลาย มาตรฐาน	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน (g)	มวลของสาร ละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล (g)	RRF
0.0000	0	0	0	0.0000285	-
2.1521	880470	6411471	2.1521E-06	0.0000285	1.8186
4.3041	1246604	5268675	4.3041E-06	0.0000285	1.5667
15.3719	4101906	5073172	1.53719E-05	0.0000285	1.4991
30.7438	8377955	5524725	3.07438E-05	0.0000285	1.4058
61.4876	14040365	4715487	6.14876E-05	0.0000285	1.3801
				ค่าเฉลี่ย	1.5341

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล = 28.5 mg/l

* ไม่ได้นำมาคิดคำนวณในการหาค่าเฉลี่ยของ RRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่า RRF สำหรับสารละลายมาตรฐาน *o*-Xylene (retention time = 8.948 นาที)

ความเข้มข้น (mg/l)	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลาย มาตรฐาน	พื้นที่ใต้พีคของ สารละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล	มวลของ สารละลาย มาตรฐาน (g)	มวลของสาร ละลายมาตรฐาน อินเทอร์นอล (g)	RRF
0.0000	0	0	0	0.0000285	
0.2391	122699	6411471	2.391E-07	0.0000285	2.2811*
0.4782	319361	5268675	4.782E-07	0.0000285	3.6126*
1.7080	487399	5073172	0.000001708	0.0000285	1.6031
3.4160	921976	5524725	0.000003416	0.0000285	1.3923
6.8320	1732793	4715487	0.000006832	0.0000285	1.5329
				ค่าเฉลี่ย	1.5094

หมายเหตุ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอินเทอร์นอล = 28.5 mg/l

* ไม่ได้นำมาคิดคำนวณในการหาค่าเฉลี่ยของ RRF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสกัด (% Recovery)

$$\% \text{ Recovery} = \frac{M_E}{M_I} \times 100$$

เมื่อ M_E = มวลสารที่สกัดได้ (mg)

M_I = มวลสารเริ่มต้น (mg)

ตารางที่ ข.1 เปอร์เซนต์การสกัดสารประกอบ BTEX โดยวิธีการสกัดด้วยกรวยแยก และการเขย่าในขวดไว้ออล

ชนิดของสาร	วิธีการสกัด					
	กรวยแยก			เขย่าในขวดไว้ออล		
	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้นที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์การสกัด	ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้นที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์การสกัด
Benzene	70.11	12.60	20.97	70.11	35.12	54.27
		15.52	25.83		33.41	51.62
		11.98	19.94			
Toluene	69.01	8.68	14.67	69.01	26.83	42.12
		10.32	17.45		25.80	40.50
		7.10	11.99			
Ethylbenzene	67.47	8.17	14.03	67.47	29.85	47.58
		10.75	18.46		28.44	45.33
		8.47	14.54			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

ชนิดของสาร	วิธีการสกัด					
	กรวยแยก			เขย่าในขวดไว้ออล		
	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด
<i>m,p</i> -Xylene	61.49	5.99	11.37	61.49	26.08	41.57
		8.99	17.06		24.30	38.73
		7.93	15.05			
<i>o</i> -Xylene	6.83	0.93	15.86	6.83	2.08	32.97
		0.82	14.06		2.10	33.30
		0.63	10.70			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 เปรอร์เซ็นต์การสกัดสารประกอบ BTEX ที่ทำการสกัดโดยการเขย่าในขวดไว้ออลที่มีจำนวนครั้งในการสกัด 2, 3 และ 4 ครั้ง

ชนิดของสาร	จำนวนครั้งในการสกัด								
	2 ครั้ง			3 ครั้ง			4 ครั้ง		
	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด
Benzene	70.11	35.12	54.27	70.11	18.92	44.97	70.11	14.07	43.49
		33.41	51.62		18.56	44.13		13.41	41.43
		na	na		21.66	51.50		12.62	39.01
Toluene	69.01	26.83	42.12	69.01	16.93	40.88	69.01	12.26	38.49
		25.80	40.50		16.38	39.55		12.55	39.39
		na	na		18.11	43.73		11.49	36.07
Ethylbenzene	67.47	29.85	47.58	67.47	17.72	43.45	67.47	11.78	37.53
		28.44	45.33		15.16	37.17		12.21	38.90
		na	na		16.60	40.70		11.12	35.45

na หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

ชนิดของสาร	จำนวนครั้งในการสกัด								
	2 ครั้ง			3 ครั้ง			4 ครั้ง		
	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด	ความเข้มข้น เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น ที่สกัดได้ (mg/l)	เปอร์เซ็นต์ การสกัด
<i>m,p</i> -Xylenc	61.49	27.35	43.59	61.49	22.65	61.38	61.49	12.01	42.31
		25.49	40.62		15.41	41.77		12.40	43.69
		na	na		16.85	45.68		11.32	39.89
<i>o</i> -Xylenc	6.83	2.87	45.93	6.83	2.82	68.69	6.83	1.65	52.25
		2.90	45.98		2.00	48.89		1.60	50.78
		na	na		2.10	51.18		1.57	49.80

na (non-analysis) หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาความแตกต่างโดยใช้ T-test

$$H_0 = \mu_A - \mu_B = 0$$

$$H_1 = \mu_A - \mu_B \neq 0$$

$$t = \frac{(\bar{x}_A - \bar{x}_B) - (\mu_A - \mu_B)}{\sqrt{\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}}}$$

$$df = n_A + n_B - 2$$

เมื่อ

$$\bar{x}_A = \text{ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างชุด A}$$

$$\bar{x}_B = \text{ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างชุด B}$$

$$\mu_A = \text{ค่าเฉลี่ยของประชากรชุด A}$$

$$\mu_B = \text{ค่าเฉลี่ยของประชากรชุด B}$$

$$S_A^2 = \text{ความแปรปรวนของตัวอย่างชุด A}$$

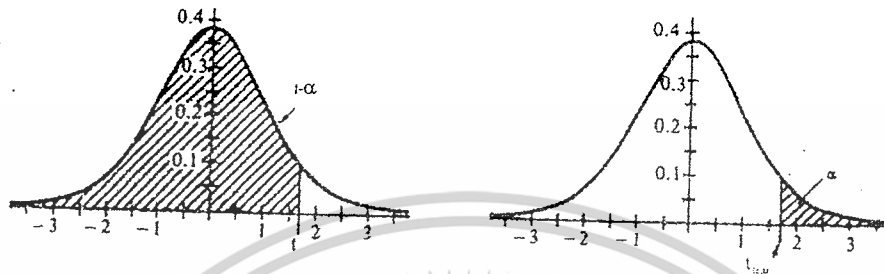
$$S_B^2 = \text{ความแปรปรวนของตัวอย่างชุด B}$$

$$n_A = \text{จำนวนประชากรชุด A}$$

$$n_B = \text{จำนวนประชากรชุด B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 การแจกแจง T



v	P(T ≤ t)						
	0.60	0.75	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
	$t_{0.40,v}$	$t_{0.25,v}$	$t_{0.10,v}$	$t_{0.05,v}$	$t_{0.025,v}$	$t_{0.01,v}$	$t_{0.005,v}$
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	9.965	9.925
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.997
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 0.253 ไว้สำหรับการใช้ของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปโดยไม่ขออนุญาตจากฝ่ายนโยบายวิชาการ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างโดยใช้ T-test

ชนิดของสาร	จำนวนครั้งในการสกัด								
	2 ครั้ง			3 ครั้ง			4 ครั้ง		
	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	จำนวนประชากร	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	จำนวนประชากร	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	จำนวนประชากร
Toluene	41.31	1.3129	2	41.39	4.5565	3	37.98	2.9359	4
<i>m,p</i> -Xylene	42.10	4.4183	2	49.61	107.6832	3	41.96	3.7056	4
<i>o</i> -Xylene	45.76	0.1039	2	56.25	117.2439	3	50.94	1.5171	4

ภาคผนวก ง

ความเข้มข้นของสารประกอบ BTEX

ตารางที่ ง ความเข้มข้นของสารประกอบ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene ที่ละลายน้ำในสัดส่วนของเอทานอลที่แตกต่างกัน

สัดส่วนเอทานอล	ความเข้มข้น (mg/l)				
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	<i>m,p</i> -Xylene	<i>o</i> -Xylene
0%	349.83	89.93	31.00	25.74	3.74
5%	396.90	101.71	35.20	31.07	4.67
10%	559.92	160.46	73.26	62.88	7.86
15%	464.44	141.41	60.71	52.80	6.35
20%	484.94	156.98	64.54	57.94	8.57
25%	579.43	195.20	79.48	72.46	9.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายน้ำของ BTEX

ตารางที่ จ เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายของ Benzene, Toluene, Ethylbenzene, *m,p*-Xylene และ *o*-Xylene เมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่มีเอทานอล

สัดส่วนเอทานอล	เปอร์เซ็นต์การละลายที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสถานะที่ไม่มีเอทานอล				
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	<i>m,p</i> -Xylene	<i>o</i> -Xylene
5%	13.45	13.10	13.55	20.71	24.91
10%	60.05	78.42	136.32	144.25	110.02
15%	32.76	57.24	95.84	105.08	69.72
20%	38.62	74.56	108.18	125.07	129.05
25%	65.63	117.06	156.37	181.48	167.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้