

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีนที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง
โดยใช้ท่อน้ำซึมทำจากผงยางรถยนต์

Removal of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene
in Wastewater by Porous Pipe from Ground Rubber Tire



RCH
TD
458.5
.045
ค875ก

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 67396
วัน,เดือน,ปี 29 พ.ย. 2549

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์

b. 11664988
i.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนงบประมาณเพื่อการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ผงยางรถยนต์ที่ได้จากการบดยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว มียางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ และ เชม่าดำ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ สามารถดูดซับสารอินทรีย์ ได้แก่ ฟีนอล BTEX อย่างไรก็ตาม การใช้ผงยางรถยนต์ในการบำบัดน้ำเสียมีความไม่สะดวกในการใช้งาน และอาจหลุดติดไปกับน้ำขณะบำบัดได้ งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ผงยางรถยนต์ในการบำบัดน้ำเสียในรูปท่อน้ำซึม ซึ่งเป็นท่อน้ำที่มีรูพรุน น้ำสามารถซึมผ่านในอัตราที่กำหนดได้ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ท่อน้ำซึมเตรียมด้วยเทคนิคการอัดรีดโดยใช้ยางรีเคลม : ผงยางรถยนต์ : เชม่าดำ ในอัตราส่วน 50 : 50 : 20 และใช้สารให้ฟอง 2 เปอร์เซ็นต์ โดยศึกษาการดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ พบว่าที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดเบนซีน และโทลูอินได้ประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดเอทิลเบนซีน และออร์โทไซลีนได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพาราไซลีน และเมตะไซลีนสามารถกำจัดได้ประมาณ 90 – 100 เปอร์เซ็นต์ โดยประสิทธิภาพการกำจัดนี้อยู่ช่วง 10 – 20 นาทีแรกเท่านั้น ที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดเบนซีนได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโทลูอิน เอทิลเบนซีน พาราไซลีน ออร์โทไซลีน และเมตะไซลีน สามารถกำจัดได้ประมาณ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ โดยประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงเวลา 30 – 120 นาที และที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัด BTEX ได้ดีในช่วงแรก ๆ ที่เวลา 5 – 10 นาทีเท่านั้น จากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงทันที อัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการกำจัด BTEX คือ ที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัด BTEX ได้ประมาณ 674 มิลลิกรัมต่อท่อน้ำซึมยาว 1 เมตร นอกจากนี้ ยังศึกษาการชะละลายของสารประกอบต่าง ๆ ของท่อน้ำซึมที่พีเอช 3, 5 และ 9 จากการทดลองพบตะกั่ว สังกะสี และเหล็ก ในปริมาณที่น้อยมากและไม่เกินค่ามาตรฐาน

คำสำคัญ: BTEX, ท่อน้ำซึม, ผงยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Ground rubber tire (GRT) is a waste made of worn-out tire. It is mainly composed of natural rubber or synthetic rubber and carbon black. It has been found that GRT can be used as an organic solvent adsorber such as phenol, BTEX. However, GRT has a drawback in wastewater treatment due to powder characteristics, such as, inconvenience to use. In this work, an attempt to use GRT in wastewater treatment was carried out in the form of porous water pipe made by reclaim rubber / GRT / carbon black (50 : 50 : 20 by weight) using extrusion technique with blowing agent 2 percent. In this study, adsorption of BTEX in synthetic wastewater at various flow rates was investigated. It was found that at flow rate of 9.9 ml/min, a removal of benzene and toluene was approximately 70 to 80 percent. Ethylbenzene and *o*-xylene were removed up to 100 percent while *p*-xylene and *m*-xylene were removed about 90 to 100 percent. This removal efficiency was in the range of 10 to 20 minutes. At flow rate 28.7 ml/min, a removal of benzene was approximately 70 percent. Toluene, ethylbenzene, *p*-xylene, *o*-xylene and *m*-xylene were removed in the range of 80 to 90 percent. This removal efficiency was in the range of 30 to 120 minutes. At flow rate of 40 ml/min BTEX were removed only first few minutes (5-10 minutes) and then the removal efficiency decreased rapidly. Optimum flow rate for the removal of BTEX was at flow rate 28.7 ml/min. BTEX were removed up about 674 mg/porous pipe 1 meter. In addition, leaching tests of porous pipe at pH 3, 5 and 9 were studied. From the results, only small amount of lead, zinc and iron were found, however, they were still under the standard limits.

Keywords: BTEX, porous pipe, ground rubber tire

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนงบประมาณเพื่อการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2548 ในการทำงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ยางรถยนต์	4
2.1.1 ส่วนประกอบของหน้ายาง	5
2.1.2 พวงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว	9
2.1.3 การใช้พวงยางรถยนต์เป็นสารดูดซับ	10
2.1.4 การปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับของพวงยาง รถยนต์ที่ใช้แล้ว	11
2.1.5 ท่อน้ำซึมที่ทำจากพวงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว	12
2.2 BTEX	14
2.2.1 การบ่งบอกลักษณะและคุณสมบัติของ BTEX	15
2.2.2 การปนเปื้อน BTEX สู่สิ่งแวดล้อม	20
2.2.3 ปฏิกริยาทางเคมีและชีววิทยาของสารเมื่อเข้าสู่ ร่างกาย	20
2.2.4 มาตรการควบคุม	21
2.3 กระบวนการดูดซับ	21
2.3.1 แรงเหวี่ยงน้ำหนักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ	22
2.3.2 ประเภทของการดูดซับ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ผลกระทบของโซลีนในแหล่งน้ำ	19
ตารางที่ 3.1	สถานะต่าง ๆ ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	31
ตารางที่ 4.1	อัตราการไหลของปั๊มที่ระดับแรงดันต่าง ๆ	35
ตารางที่ ก1-1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก	45
ตารางที่ ก1-2	ปริมาณโลหะจากการทดสอบการชะละลายของท่อน้ำซึมและท่อน้ำซึมแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9	46
ตารางที่ ก1-3	ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์จากการทดสอบการชะละลายของท่อน้ำซึมและท่อน้ำซึมแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9	47
ตารางที่ ก2-1	อัตราการไหลของท่อน้ำซึมที่ระดับแรงดันปั๊มต่าง ๆ	47
ตารางที่ ก3-1	กราฟมาตรฐาน BTEX	48
ตารางที่ ก3-2	ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม)	50
ตารางที่ ก3-3	ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวทดลอง)	51
ตารางที่ ก3-4	ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม)	52
ตารางที่ ก3-5	ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวทดลอง)	54
ตารางที่ ก3-6	ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม)	56
ตารางที่ ก3-7	ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวทดลอง)	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบของยาง	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างโมเลกุลของยางเอสปีอาร์	5
รูปที่ 2.3	โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ cis-1,4-Polyisoprene	6
รูปที่ 2.4	โครงสร้างยางเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน	8
รูปที่ 2.5	กองขยะยางรถยนต์ที่ใช้แล้วและไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์	9
รูปที่ 2.6	การรีไซเคิลเศษยางในประเทศญี่ปุ่น	10
รูปที่ 2.7	ลักษณะที่อ่อนนุ่มและการไหลของน้ำ	14
รูปที่ 2.8	สัดส่วนของ BTEX ในก๊าซโซลีน	15
รูปที่ 2.9	การเคลื่อนที่ของ BTEX สู่อ่างบำบัด	20
รูปที่ 2.10	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายของตัวดูดซับในกระบวนการดูดซับ	22
รูปที่ 2.11	ตัวอย่างแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	23
รูปที่ 2.12	การเคลื่อนตัวของ Adsorption zone สำหรับชั้นสารที่อยู่กับที่ตามทิศทางการไหลของน้ำเสีย	26
รูปที่ 4.1	ปริมาณเหล็กในการทดสอบการชะละลายของที่นอนนุ่มและที่นอนนุ่มแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9	33
รูปที่ 4.2	ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ในการทดสอบการชะละลายของที่นอนนุ่มและที่นอนนุ่มแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9	35
รูปที่ 4.3	การเปรียบเทียบการกำจัดเบนซีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	36
รูปที่ 4.4	การเปรียบเทียบการกำจัดโทลูอีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.5	การเปรียบเทียบการกำจัดเอทิลเบนซีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	37
รูปที่ 4.6	การเปรียบเทียบการกำจัดเมทิลไซลีน และพาราไซลีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	38
รูปที่ 4.7	การเปรียบเทียบการกำจัดออร์โทไซลีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ	38
รูปที่ ก1-1	กราฟมาตรฐานของโลหะ ก. เหล็ก ข. ตะกั่ว ค. สังกะสี	45
รูปที่ ก3-1	กราฟมาตรฐาน ก. เบนซีน ข. โทลูอีน ค. เอทิลเบนซีน ง. เมทิลไซลีน และพาราไซลีน จ. ออร์โทไซลีน	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันมลพิษทางน้ำนับเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว แต่การควบคุมน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีคุณภาพตามมาตรฐานกำหนดยังไม่ดีพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สารเบนซีน (benzene) โทลูอิน (toluene) เอทิลเบนซีน (ethylbenzene) และไซลีน (xylene) หรือนิยมเรียกว่า BTEX จัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ตัวทำละลาย และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเรซิน พอลิเมอร์ พลาสติก ระเบิด รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในทางเกษตร หรือใช้ในทางเภสัชกรรม [1] United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA) ได้จัดสารประกอบ BTEX ให้เป็นสารมลพิษที่ควรกำจัดอย่างเร่งด่วน เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถแพร่กระจายสู่คน สัตว์และพืช และยังสามารถถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร (Food chain) นอกจากนี้ การปนเปื้อนของสารประกอบกลุ่ม BTEX สู่สิ่งแวดล้อมอาจเกิดจากอุบัติเหตุในระหว่างการขนส่งน้ำมันทางทะเล ทำให้เกิดการรั่วไหลลงสู่ทะเล เกิดคราบน้ำมันลอยบนผิวน้ำ ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืชเกิดความผิดปกติ และตายในที่สุด นอกจากนี้ การบรรจุน้ำมันลงในถังใต้ดินของสถานีน้ำมันต่าง ๆ อาจเกิดการรั่วไหลและปนเปื้อนลงแหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น

การกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดสารนี้ออกจากสารละลาย คือ วิธีการดูดซับ (Adsorption) โดยใช้สารดูดซับ (adsorbent) ดูดซับเอาโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้ติดอยู่กับสารดูดซับนั้น ตัวอย่างสารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และซิลิกาเจล (silica gel) ข้อเสียของวิธีนี้คือ มีราคาแพงมาก จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการรีเจนเนอเรต หรือกำจัดตัวดูดซับที่ไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป นอกจากนี้ ความเป็นพิษที่ถูกจับอยู่ในตัวดูดซับ ยังคงไม่ได้ถูกกำจัดไป การใช้วัสดุดูดซับที่ได้จากของเหลือทิ้งแทนสารดูดซับทางการค้า จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนในการบำบัดได้

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตยางล้อยานยนต์ที่สำคัญของโลก เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตวัตถุดิบยางพาราที่ใหญ่ที่สุดในโลก [2] โดยมีบริษัทในเครือและบริษัทข้ามชาติที่มีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงที่สุดในโลก 3 บริษัทมาตั้งฐานการผลิตในประเทศไทย ได้แก่ บริษัท สยามมิชลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัด บริษัท บริดจสโตน จำกัด และบริษัท กู้ดเยียร์ จำกัด ปริมาณการใช้ยางล้อยานยนต์ในประเทศไทยสูงถึงปีละประมาณ 134,194 คัน หรือ 17 ล้านเส้น ในขณะที่การทำลายยางล้อยานยนต์ที่ใช้แล้วมีเพียงร้อยละ 9 ดังนั้น ปริมาณยางล้อยานยนต์ที่ใช้แล้วในประเทศไทย จึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไป ยางล้อยานยนต์ที่ใช้แล้วจะถูกนำไปทิ้งในหลุมฝังกลบ หรือกองทิ้งไว้ ทำให้เปลืองพื้นที่ของหลุมฝังกลบ และอาจเกิดไฟไหม้ได้ นอกจากนี้ ยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมาย ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากยางรถยนต์เก่า จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากยางรถยนต์เก่า โดยนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตยางรถยนต์ใหม่ [3] และใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาปูนซีเมนต์ [4] เป็นต้น

จากการที่ยางรถยนต์มียางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ และเขม่าดำ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ค่อนข้างดี จึงมีการนำผงยางรถยนต์ไปใช้เป็นตัวดูดซับสารอินทรีย์ เนื่องจากมีราคาถูก และเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้ง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของผงยางรถยนต์ ผงยางรถยนต์ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมาก และมีประสิทธิภาพการดูดซับดี แต่ผงยางรถยนต์ที่มีขนาดเล็กจะลอยอยู่บนผิวน้ำและใช้งานไม่สะดวก งานวิจัยนี้จึงได้นำผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วทำเป็นท่อน้ำซึม เพื่อใช้ดูดซับ BTEX ในสารละลาย เพื่อสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งระดับอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์ของท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์
2. ศึกษาอัตราการไหลต่าง ๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีผลต่อการดูดซับ BTEX ของท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการชะละลายของสารประกอบในท่อน้ำซึมด้วยวิธีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2539) ที่พีเอช 3, 5 และ 9 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) และวิเคราะห์หาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) โดยเครื่องโทเทิลออร์แกนิกคาร์บอนแอนาไลเซอร์ (TOC Analyzer)
2. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ BTEX ของท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ที่อัตราการไหลต่างๆ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ท่อน้ำซึมที่ทำจากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เพื่อใช้ในการกำจัด BTEX ในน้ำเสีย
2. เป็นการใช้ประโยชน์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นของเหลือทิ้ง
3. สามารถนำท่อน้ำซึมที่ทำจากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วไปประยุกต์ใช้กับโรงงานประเภทต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางรถยนต์ (Tires)

ยางรถยนต์ (Tires) เป็นหนึ่งในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์และการขนส่ง โครงสร้างและส่วนประกอบของยางรถยนต์จะแตกต่างกัน แต่แต่ละส่วนจะผลิตจากยางหลายชนิด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของยาง

ส่วนประกอบของยางรถยนต์ แบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้ (รูปที่ 2.1) [5]

1) หน้าที่ยาง (Tread) เป็นยางที่มีความทนทานต่อการเสียดสี นิยมใช้ยางผสมระหว่างยางเอสบีอาร์ (Styrene-butadiene rubber, SBR) ยางธรรมชาติ (NR) และยางบีอาร์ (Polybutadiene rubber, BR) เป็นองค์ประกอบ หน้าที่ยางจะแบ่งเป็น 3 ส่วน

- 1.1 ดอกยาง เป็นส่วนที่สัมผัสกับถนน ทำหน้าที่ในการยึดเกาะถนน
- 1.2 ร่องยาง หน้าที่ในการระบายน้ำ และรีดโคลน
- 1.3 ร่องเล็กบนดอกยาง ช่วยในการเกาะถนน และเพิ่มความยืดหยุ่นในดอกยาง

2) แก้มยาง (Sidewall) เป็นยางที่มีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี มีความยืดหยุ่นสูง และเกิดความร้อนสะสมน้อย นิยมใช้ยางผสมบีอาร์ (BR) กับยางธรรมชาติ (NR)

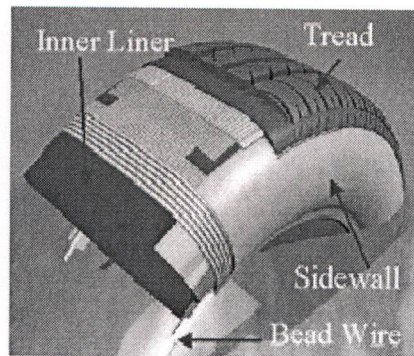
3) ชั้นผ้าใบ (Ply) เป็นชั้นผ้าใบหรือเส้นใยทอเป็นผืนฉาบด้วยยางผสม ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักที่ให้ความแข็งแรงเป็นรูปโครงสร้างยางรถยนต์ และยึดส่วนต่าง ๆ ของยางรถยนต์ไว้ด้วยกัน นิยมใช้เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยไนลอน-6 (Nylon-6) และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

4) เบลท์หรือเข็มขัดรัดยางรถยนต์ (Belt) หรือเรียกว่า แผ่นรองรับ หรือเส้นใยเหล็ก เป็นลวดโลหะหรือเส้นใยสังเคราะห์อยู่บริเวณใต้หน้ายาง เช่น เส้นลวดเหล็ก ทองเหลือง เส้นใยเรยอน ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับหน้ายาง และป้องกันอันตรายบนพื้นถนน

5) บีดหรือขอบยาง (Beads) เป็นลวดโลหะแข็งม้วนพันเป็นวงแล้วฉาบด้วยยางผสม อยู่บริเวณริมขอบยางรถยนต์ติดกับกระทะล้อ ทำหน้าที่ยึดยางรถยนต์ให้ติดแน่นอยู่ในขอบกระทะล้อรถยนต์ และยึดโครงสร้างชั้นผ้าใบพลา

6) ยางชั้นใน (Inner liner) เป็นยางที่มีการซึมผ่านของก๊าซได้ต่ำ ได้แก่ ยางบิวทิล (Butyl rubber, IIR) หรือยางฮาโลบิวทิล (Halobutyl rubber, CIIR หรือ BIIR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของยาง

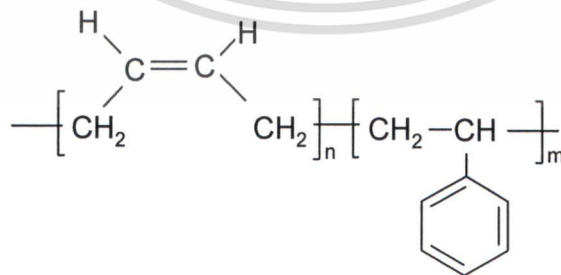
2.1.1 ส่วนประกอบของหน้ายาง

ผวยางรถยนต์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วหรือเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่ได้จากการบดส่วนของหน้ายางให้มีขนาดเล็กลง ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ โดยน้ำหนัก [6] ดังนี้

ยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติ	62%	โดยน้ำหนัก
เขม่าดำ	31%	โดยน้ำหนัก
น้ำมันเอ็กซ์เทนเดอร์	1.9%	โดยน้ำหนัก
ซิงค์ออกไซด์	1.9%	โดยน้ำหนัก
กรดสเตียริก	1.2%	โดยน้ำหนัก
กำมะถัน	1.1%	โดยน้ำหนัก
สารเร่งปฏิกิริยาเซมโอย	0.7%	โดยน้ำหนัก

1) ยางเอสบีอาร์ (Styrene-butadiene rubber, SBR)

เป็นยางสังเคราะห์ที่นิยมใช้มาก เนื่องจากยางเอสบีอาร์มีสมบัติทนทานต่อการขีดถูเสียดสี โครงสร้างโมเลกุลของยางเอสบีอาร์แสดงดังรูปที่ 2.2 มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง ดังนั้น ในการสังเคราะห์จะเกิดยางเอสบีอาร์ได้สามโครงสร้าง คือ cis-1,4 trans-1,4 และ vinyl-1,2 [5]

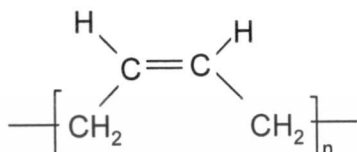


รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยางเอสบีอาร์ (Styrene-butadiene rubber, SBR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)

เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ คือ ต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) บางครั้งเรียกยางธรรมชาติว่า “ยางพารา” ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า คือ cis-1,4-Polyisoprene, P₁ เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงที่มีหน่วย isoprene (C₅H₈) ซ้ำๆ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ cis-1,4-Polyisoprene

ยางเป็นวัสดุที่สามารถยืดตัวออกหรือเปลี่ยนขนาดได้หลายเท่า (อย่างน้อย 2 เท่า) เมื่อมีการให้แรง และสามารถหดกลับคืนใกล้เคียงขนาดและรูปร่างเดิมอย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยอย่างแรง การใช้ประโยชน์จากยางต้องนำมาทำการเชื่อมโยง (Cross linking) หรือ วัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ หรือเทอร์โมเซต ยางจะมีสมบัติที่ดี คือ สามารถเปลี่ยนจากวัสดุที่อ่อน นุ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด และไม่มีเสถียรของรูปร่าง ไหลได้เมื่อทิ้งไว้นาน กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพของรูปร่าง และทนต่ออุณหภูมิสูง

3) เขม่าดำ (Carbon black)

เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก สามารถใส่เขม่าดำในยางได้ในปริมาณมากกว่า 50 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (part per hundred of rubber, phr) และที่สำคัญคือสามารถช่วยเสริมแรงให้กับยาง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป ของยางให้ง่ายขึ้นด้วย เช่น ลดความยืดหยุ่นของของไหล (Melt elasticity) ลดการหดตัว (Shrinkage) และการบิดเบี้ยว (Distortion) ของผลิตภัณฑ์ยางหลังการขึ้นรูป เป็นต้น

ปัจจัยของเขม่าดำที่มีผลต่อสมบัติการเสริมแรง ได้แก่

- ขนาด (Size) หรือพื้นที่ผิว (Surface area) ขนาดอนุภาคของเขม่าดำจะแปรผกผันกับพื้นที่ผิว สารตัวเติมยังมีขนาดเล็ก ประสิทธิภาพการเสริมแรงยิ่งสูงขึ้น ทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เขม่าดำขนาดเล็ก การผสมเขม่าดำเข้ากับยางยิ่งทำได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้าง (Structure) ผลของโครงสร้างของเขม่าดำที่มีต่ออย่างส่วนใหญ่จะมีผลทางด้าน การแปรรูป เขม่าดำที่มีโครงสร้างมากจะผสมกระจายในยางได้ดี ทำให้ยางที่ผ่านการอัดรีด (Extrusion) มีผิวเรียบ แต่ผสมในยางได้ปริมาณน้อยกว่าเขม่าดำที่มีโครงสร้างน้อย

- เคมีของพื้นผิว (Surface chemistry) เขม่าดำประกอบด้วย คาร์บอนประมาณร้อยละ 90-99 ที่เหลือเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน นอกจากนี้ ยังมีกำมะถันปริมาณน้อยปนอยู่ด้วย สารเหล่านี้จะให้ความเป็นกรด-ด่างของเขม่าดำต่างกัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการเชื่อมโยง เขม่าดำที่มีความเป็นด่าง จะเกิดการเชื่อมโยงเร็วกว่าเขม่าดำที่มีความเป็นกรด

- ความเป็นรูพรุนในเขม่าดำ จะมีผลต่ออัตราการเชื่อมโยง เพราะรูพรุนนี้จะดูดสารเร่งเข้าไป ทำให้การเชื่อมโยงช้าลง

4) น้ำมันเอ็กซ์เทนเดอร์ (Extender oil)

เป็นสารที่ช่วยหล่อลื่นหรือลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุ หรือหล่อลื่นระหว่างเครื่องผสมกับวัสดุ ช่วยขบวนการผลิต ทำให้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อย่างง่ายขึ้น

5) สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activator)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเป็นสารที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงอีกทีหนึ่ง สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุด ในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน ได้แก่ ใช้ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็นซิงค์สเตียเรต ซึ่งสามารถละลายในยางได้ และช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากเป็นซิงค์ไอออนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

- ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารกระตุ้นที่เป็นสารอนินทรีย์ที่สำคัญและนิยมใช้ โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณ 3-5 ส่วนในร้อยละของยาง แต่ถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถใช้ในปริมาณ 1 ส่วนในร้อยละของยาง

- กรดไขมัน (Fatty acid) เป็นสารกระตุ้นอนินทรีย์ที่สำคัญ สำหรับสารเร่งการเชื่อมโยงบางตัว เช่น กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก กรดลอริก เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้ส่วนมากเป็นของผสมของกรดอะลิฟาติกอิ่มตัวที่มีคาร์บอน 12-18 อะตอม ปริมาณการใช้กรดไขมันในยางขึ้นกับชนิดของยาง ถ้ายางชนิดใดมีกรดไขมันอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใส่หรือใส่ในปริมาณน้อย สำหรับยางธรรมชาติมีกรดไขมันอยู่ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในรูปกรดสเตียริก แต่กรดไขมันที่มีอยู่ในยางธรรมชาติมีปริมาณต่างกันมาก ซึ่งทำให้เวลาในการเชื่อมโยงต่างกัน โดยทั่วไป ปริมาณของกรดสเตียริกที่ใช้ในยางธรรมชาติจะใช้ประมาณ 1-4 ส่วนในร้อยละของยาง เพื่อลดเวลาการเชื่อมโยง (Cure time) ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) สารเชื่อม โยง (Vulcanizing agent)

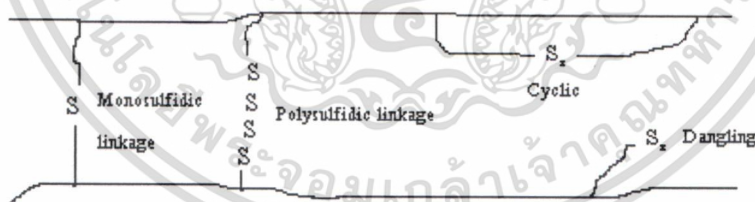
ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ยางซึ่งเป็นวัสดุที่อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด และไม่เสถียรภาพของรูปร่าง กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพของรูปร่าง และทนต่ออุณหภูมิสูง

สารเชื่อมโยงแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

- 6.1) กำมะถัน (Sulfur)
- 6.2) สารที่ให้กำมะถัน (Sulfur donor)
- 6.3) สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide)
- 6.4) ซีลีเนียม (Selenium) และเทลลูเรียม (Tellurium)
- 6.5) สารอื่น ๆ เช่น โลหะออกไซด์ ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resins) เป็นต้น

การเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเป็นวิธีที่นิยมที่สุด เนื่องจากกำมะถันมีราคาถูก ละลายได้ดีในยางที่สำคัญ คือ ยางส่วนมากที่นิยมใช้เป็นยางที่ไม่อึดตัว มีพันธะคู่จำนวนมาก เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางสไตรีนบิวตะไดอีน (SBR) และยางบิวตะไดอีน (BR) เป็นต้น จึงว่องไวต่อการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน โดยใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) และสารกระตุ้น (Activators)

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของยางที่ทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน ประกอบด้วยพันธะการเชื่อมโยงมอนอซัลฟิดิก (Monosulfidic linkage) พอลิซัลฟิดิก (Polysulfidic linkage) โครงสร้างเป็นวง (Cyclic) และโครงสร้างห้อย (Dangling) ซึ่งไม่เกิดการเชื่อมโยง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างยางเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน

7) สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator)

เป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Cross linking rate) เร็วขึ้น ทำให้เวลาการเชื่อมโยง (Cure time) เร็วขึ้น การเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้กำมะถันปริมาณน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

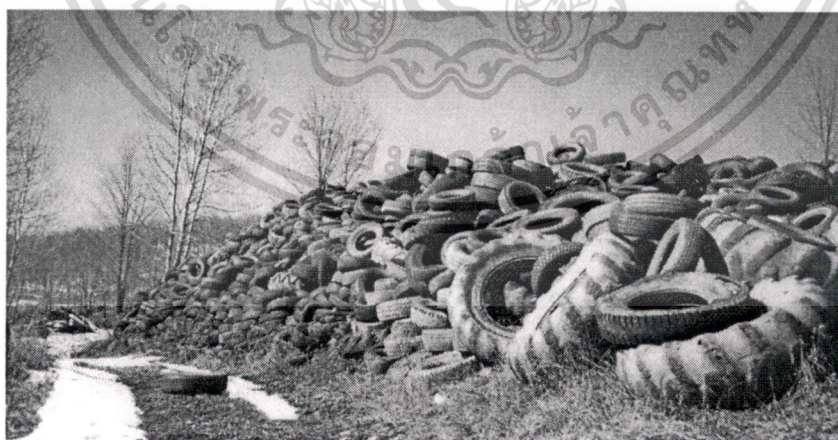
สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงสามารถแบ่งตามมาตรฐาน ASTM เป็น 6 กลุ่ม [4] ดังนี้

- 7.1) ซัลเฟนาไมด์ (Sulfenamide)
- 7.2) ไทเอโซล (Thiazoles)
- 7.3) กัวนิดีน (Guanidines)
- 7.4) ไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamates)
- 7.5) ไทยูเรมไดซัลไฟด์ (Thiuram disulfides)
- 7.6) ไทยูเรมชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไดซัลไฟด์ (Thiuram other than disulfides)

ในการใช้งานสารเร่งในอุตสาหกรรมยาง อาจใช้สารเร่งมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกัน สารเร่งที่ใช้ปริมาณมากกว่าจะเป็นสารเร่งหลัก หรือสารเร่งปฐมภูมิ (Primary accelerator) ส่วนสารเร่งที่ใช้น้อยกว่าจะเรียกว่าเป็นสารเร่งทุติยภูมิ (Secondary accelerator) สารเร่งทั้งสองอาจเกิดปฏิกิริยาเสริมกัน ทำให้ได้อัตราการเชื่อมโยงที่มากกว่าสารเร่งแต่ละชนิดรวมกัน

2.1.2 พยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

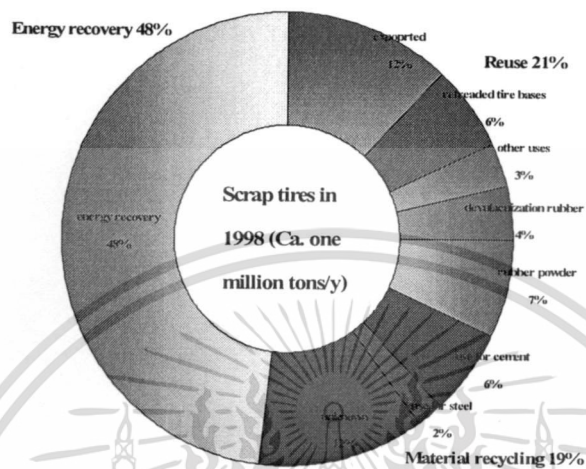
ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่ใช้แล้วมีมากกว่า 279 ล้านตัน และในปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็น 2 พันล้านตัน [3] สำหรับยางรถยนต์ที่ใช้แล้วในประเทศไทยมีปีละประมาณ 330,000 ตันในปี 2543 [7] การกำจัดยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว นิยมใช้วิธีฝังกลบในหลุมกลบ หรือกองทิ้งไว้กลางแจ้ง (รูปที่ 2.5) ทำให้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์พาหะนำโรคต่าง ๆ ได้แก่ ยุง หนู และแมลง นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาไฟไหม้ในหลุมฝังกลบ ปัจจุบัน EC landfill Directive ได้ห้ามฝังกลบยางรถยนต์เก่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 [8]



รูปที่ 2.5 กองขยะยางรถยนต์ที่ใช้แล้วและไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์จากยางที่ใช้แล้ว จึงเป็นแนวทางที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว และช่วยอนุรักษ์แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ประกอบด้วย การหล่อดอกยางใหม่ การรีไซเคิล และการเผาไหม้ให้เกิดพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การรีไซเคิลเศษยางในประเทศญี่ปุ่น [3]

การนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่มีข้อดีดังนี้

- เป็นวิธีการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ ซึ่งโดยปกติกระบวนการกำจัดยางก้อนนั้นจะเป็นกระบวนการที่ยุ่งยาก
- การรีไซเคิล (Recycle) เป็นการสร้างงานให้เกิดขึ้นในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น เก็บยางรถยนต์เก่าขายแยกชิ้นส่วนยาง เป็นต้น
- ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์หลายอย่างได้มาจากยางรถยนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่หรือผลิตภัณฑ์อย่างอื่น เช่น การทำยางหล่อดอก การทำรองเท้าแตะ เป็นต้น
- เป็นวิธีการลดปริมาณขยะ เนื่องจากยางรถยนต์เกิดการย่อยสลายได้ยาก และต้องอาศัยระยะเวลายาวนาน
- ลดมลพิษที่เกิดจากการกำจัดยางรถยนต์โดยการเผา เพื่อกำจัดยางรถยนต์

2.1.3 การใช้ผงยางรถยนต์เป็นสารดูดซับ

จากผลการศึกษาของงานวิจัยต่าง ๆ [9-11] พบว่ายางรถยนต์บริเวณยางเชื่อมโยง และเขม่าดำกับกำมะถัน มีความสามารถในการดูดซับตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) และโลหะหนักต่างๆ ซึ่งปกติยางจะมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลสายโซ่ยาวที่ไม่มีการแทนที่ด้วยพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า Free volume ทำให้สารโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น ตัวทำละลาย สามารถแพร่เข้าไปได้ และจะทำให้ยางเกิดการบวมตัว (Swell) ส่วนพวกเขม่าดำและกำมะถันจะมีพื้นที่ผิวที่พวกโลหะหนักสามารถไปเกาะอยู่ได้

2.1.4 การปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับของผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

สามารถปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับของผงยางรถยนต์ได้หลายวิธี ดังนี้

- การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การเพิ่มพื้นที่ผิว และคุณสมบัติทางเคมี เช่น การปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากยิ่งขึ้น

- การใช้สารเคมีออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของยางรถยนต์ด้วยสารเคมี โดยเกิดปฏิกิริยากับยางที่มีโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางเอสปีอาร์ (SBR) เป็นการทำลายโครงสร้างของยางที่ผ่านการเชื่อมโยง

การทำลายโครงสร้างของยางมี 2 แบบ คือ

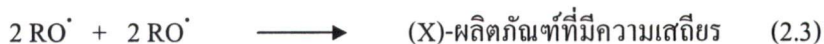
1) การเชื่อมสภาพแบบเชื่อมโยง (Crosslinking) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่ และเกิดการเชื่อมโยงต่อเป็นพันธะที่มีการเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ยังเกิดการแตกออกของพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลฟิดิก (Polysulfidic crosslinks) แล้วเกิดการเชื่อมโยงใหม่เป็นแบบพันธะเชื่อมโยงเดี่ยวโมโนซัลฟิดิก (Monosulfidic crosslinks) หลาย ๆ พันธะ เป็นผลให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น เปราะ และหักง่าย ยางที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการเชื่อมสลายแบบเชื่อมโยง ได้แก่ ยางเอสปีอาร์ (SBR) ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber, NBR) และยางคลอโรพรีน (Chloroprene rubber, CR)

2) การเชื่อมสภาพแบบสายโซ่ขาด (Chain scission) สายโซ่พอลิเมอร์จะขาดออกจากกันเป็นผลให้ยางนิ่มขึ้น มีความแข็งลดลง ความต้านทานการขัดถูลดลง และความหนืดลดลง เนื่องจากความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง ถ้าเชื่อมสภาพมากอาจเหลวเหนียวติดวัสดุข้างเคียง ยางที่เชื่อมสภาพแบบสายโซ่ขาด ได้แก่ ยางธรรมชาติ (NR) และยางไออาร์ (Polyisoprene rubber, IR)

กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางที่ไม่อิ่มตัว โดยเกิดผ่านอนุมูลอิสระ (Free radicals) สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่บนสายโซ่ เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ (Polymer radicals) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียร แสดงดังปฏิกิริยาที่ 2.1 ถึง 2.3



Polymer radicals



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ท่อน้ำซึมนที่ทำจากผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

ผงยางรถยนต์ขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง อย่างไรก็ตาม ผงยางที่มีขนาดเล็กจะลอยบนผิวน้ำ และไม่สะดวกในการนำไปใช้ประโยชน์ การนำผงยางรถยนต์ มาทำเป็นท่อน้ำซึม จะทำให้ใช้งานได้สะดวกขึ้น โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้แก่ ใช้เป็นวัสดุสำหรับให้น้ำทางการเกษตร ใช้เป็นท่อน้ำซึมให้ดินบริเวณใต้ดินรอบ ๆ ฐานอาคารและบ้านเรือนมีความชุ่มชื้น เพื่อป้องกันการทรุดตัวของฐานอาคาร เป็นต้น

2.1.5.1 หลักการผลิตท่อน้ำซึมโดยกระบวนการอัดรีด (Extrusion) โดยใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) อุปกรณ์ต่างๆ ในการผลิตท่อน้ำซึม ประกอบด้วย

- 1) เครื่องอัดรีด
- 2) หัวฉีดท่อหรือคาย
- 3) เครื่องมือปรับขนาด
- 4) อ่างน้ำหล่อเย็น
- 5) เครื่องดึงแบบตีนตะขาบ
- 6) เลื่อยตัด
- 7) รางกระดก

กระบวนการผลิตจะใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) เป็นตัวผสมให้พลาสติกเข้ากัน โดยอาศัยความแตกต่างของความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเกลียวหนอน และกระบอกที่ใส่ ทำให้เกิดแรงเฉือนช่วยในการผสมและการหลอมเหลวพลาสติก จากนั้นจะกลายเป็นของเหลวหนืดแล้วขึ้นรูปโดยผ่านหัวฉีดท่อหรือคาย (Die) ให้มีลักษณะตามต้องการ หลังจากขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแล้วจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการปรับแต่งชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานมีความยาวตามต้องการ จากการขึ้นรูปชิ้นงานผ่านหัวฉีดท่อแล้ว ชิ้นงานจะยังมีลักษณะไม่แข็งตัว เสียรูปทรงง่าย จึงต้องมีอุปกรณ์ปรับขนาดเพื่อให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานคงที่ทนกว่าชิ้นงานจะแข็งตัว ซึ่งการปรับขนาดจะใช้ลมอัดและจุกปิด ท่อขนาดใหญ่จะใช้แรงดันของลมต้านกับท่อปรับขนาดที่ทำการหล่อเย็น ในการหล่อเย็นจะต้องมีการดึงชิ้นงานให้วางไปข้างหน้าและดึงเลื่อนไปด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งเท่ากับความเร็วของเครื่องอัดรีด (Extruder)

2.1.5.2 สารที่ใช้ในการผลิตท่อน้ำซึม

สารที่ใช้ในการผลิตท่อน้ำซึมหลัก ๆ ได้แก่ เม็ดพลาสติก ผงยางรถยนต์ และยังมีสารตัวเติมอื่น ๆ เช่น สารช่วยผสม สารให้ฟอง ซึ่งอัตราส่วนของสารแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อน้ำซึมที่ต้องการ และการนำไปใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสมของท่อน้ำซึม มีดังนี้

- 1) พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน
- 2) ผงยางรถยนต์
- 3) ยางรีเคลม เป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ใช่แล้ว เช่น ยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพ และผลิตภัณฑ์ยางที่เสียระหว่างกระบวนการผลิต การทำยางรีเคลมเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างสายโซ่เป็น 2 มิติ หรือเรียกว่า กระบวนการดีวัลคาไนเซชัน (Devulcanization)
- 4) สารให้ฟอง (Blowing agent) คือ สารที่ใส่เข้าไปในยางเมื่อให้ความร้อนแก่ยางในขณะทำการเชื่อมโยง โมเลกุลของสารให้ฟองจะสลายตัวให้ก๊าซออกมา ซึ่งจะช่วยให้ยางเกิดรูพรุนในรูปของฟองน้ำ (sponge) หรือ ยางรูพรุนขนาดเล็ก (Microcellular rubber) เช่น ไดไนโตรเพนตะเมทิลีน เตตระมีน (DNPT) เป็นสารให้ฟอง มีลักษณะสีเหลือง สลายตัวที่อุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียส สลายตัวให้ก๊าซต่างๆ เช่น Nitrogen, Hexaethylenetetramine ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่น
- 5) คิกเกอร์ (Kicker) หรือสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) เป็นสารที่ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาของสารให้ฟอง โดยช่วยลดช่วงอุณหภูมิการทำงานของสารให้ฟอง ทำให้ง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟอง คิกเกอร์มีหลายชนิด การเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานมีความสำคัญอย่างยิ่ง ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือก ได้แก่ ชนิดของสารให้ฟอง สภาพะของการใช้งาน ความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ หรือความเข้ากัน (Compatibility) ที่สำคัญไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์และสารตัวเติมต่างๆ เป็นต้น
- 6) สารช่วยผสม คือ สารเคมีที่ผสมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการผลิตน้อยลง และยังช่วยในการกระจายของสารเติมแต่งต่างๆ ในยาง เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอหรือเนื้อเดียวกัน ทำให้มีอัตราเร็วในการผลิตสูงขึ้น

2.1.5.3 ขั้นตอนในการทำท่อยาง

ขั้นตอนการทำท่อน้ำซึมเป็นการนำเอาส่วนผสมต่างๆ มาบดให้ละเอียด แล้วทำการขึ้นรูปเพื่อให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำเม็ดพลาสติกมาผสมกับผงยางรถยนต์ และสารเติมแต่งอื่นๆ ตามอัตราส่วนสูตรต่างๆ ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) ที่อุณหภูมิในการผสมต่าง ๆ ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที
- 2) นำของผสมที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเม็ด (Grinder)
- 3) นำของผสมที่บดละเอียดแล้วนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ที่อุณหภูมิในการผสมต่าง ๆ ด้วยความเร็วรอบ 5 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.4 การใช้ประโยชน์จากท่อน้ำซึม



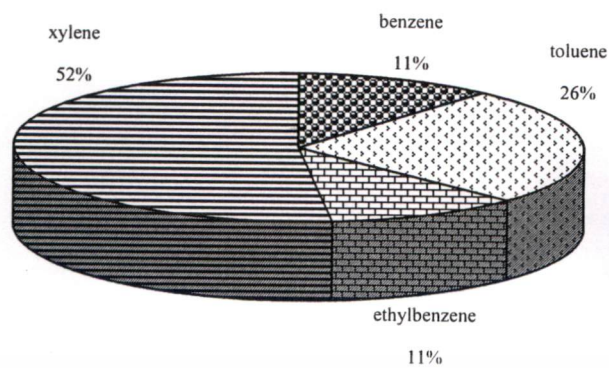
รูปที่ 2.7 ภาพวาดลักษณะท่อน้ำซึมและการไหลของน้ำ

ท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์สำหรับงานเกษตรกรรม ปัจจุบันระบบการให้น้ำแก่พืชผลทางการเกษตรใช้ระบบ “น้ำดัน” หรือ สปริงเกอร์ ซึ่งต้องใช้ปริมาณน้ำมาก ส่วนระบบ “น้ำหยด” เป็นการให้น้ำเฉพาะจุดไม่สามารถให้น้ำได้อย่างทั่วถึง “ท่อน้ำซึม” (Porous pipe) (รูปที่ 2.7) เป็นวัสดุสำหรับการให้น้ำทางการเกษตรชนิดใหม่ เป็นการให้น้ำโดยท่อน้ำที่มีรูพรุนให้น้ำค่อย ๆ ซึมออกได้ในอัตราที่กำหนด สามารถให้น้ำแก่พืชได้เฉพาะบริเวณแนวรากของพืช ช่วยประหยัดน้ำและมีประสิทธิภาพการให้น้ำแก่พืชสูงสุด เช่น วางเป็นวงบริเวณรากผอของต้นไม้และวางท่อตามยาวแนวผักสวนครัว ฯลฯ นอกจากนี้ ยังใช้ท่อน้ำซึมเพื่อให้น้ำซึมให้ดินบริเวณใต้ดินรอบ ๆ ฐานอาคารและบ้านเรือน เพื่อให้ความชุ่มชื้น ป้องกันการทรุดตัวของฐานอาคาร [12] อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบหลักฐานการใช้ท่อน้ำซึมที่ทำจากผงยางรถยนต์ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้ง

2.2 BTEX

เบนซีน, โทลูอิน, เอทิลเบนซีน และเมตะ, พารา, ออร์โธไซลีน (BTEX) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย เบนซีน, โทลูอิน และไซลีน พบตามธรรมชาติ เช่น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันดิบ (Crude oil) เชื้อเพลิงดีเซล (Diesel fuel) และ ก๊าซไซลีน (Gasoline) ส่วนเอทิลเบนซีน จะพบในก๊าซไซลีนและสารปรุงแต่งเชื้อเพลิง สัดส่วนของ BTEX ในก๊าซไซลีน แสดงดังรูปที่ 2.8 BTEX ถูกใช้อย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ได้แก่ เบนซีน ถูกใช้ในการผลิตวัสดุสังเคราะห์และผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค เช่น ยางสังเคราะห์ พลาสติก ไนลอน ยางฆ่าแมลง และสี โทลูอิน ถูกใช้เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ในสี สารเคลือบผิว ยาง น้ำมัน และเรซิน เอทิลเบนซีนจะอยู่ในผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค เช่น สี น้ำหมึก พลาสติก และยาปราบศัตรูพืช และไซลีน ถูกใช้เป็นตัวทำละลายในสี ยาง และอุตสาหกรรมฟอกหนัง BTEX ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต US Environmental Protection Agency (EPA) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มให้มีเบนซีนไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร โทลูอินไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เอทิลเบนซีนไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และไซลีนไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 สัดส่วนของ BTEX ในก๊าซโซลีน

2.2.1 การบ่งบอกลักษณะและคุณสมบัติของ BTEX [14]

เบนซีน (Benzene)

ชื่อเคมีทั่วไป : Phenyl hydride

CAS No. : 71-43-2

สูตรโมเลกุล : C_6H_6

สูตรโครงสร้าง :



น้ำหนักโมเลกุล : 78.11

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ ของเหลว	สี ใส ไม่มีสี	กลิ่น เฉพาะตัว อะโรมาติก
จุดเดือด ($^{\circ}C$)	80	จุดหลอมเหลวต่อจุดเยือกแข็ง ($^{\circ}C$) 5.5
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	0.877	ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1) 2.7
ความหนืด (มิลลิปาสคาลวินาที)	0.647	ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท) 75 ที่ $2^{\circ}C$
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ100 มิลลิลิตร)		0.18 ที่ 25 องศาเซลเซียส
ความเป็นกรด-ด่าง		- ที่- องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health effects)

การหายใจเอาอากาศที่มีการปนเปื้อนเบนซีน จะทำให้เกิดการกดระบบประสาทส่วนกลาง ก่อให้เกิดอาการเวียนศีรษะ ง่วงซึม ปวดศีรษะ คลื่นไส้ มึนงง และทำให้หมดสติได้ การสัมผัสสารนี้ ที่ความเข้มข้น 25 ppm คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย แต่การสัมผัสสารนี้ที่ความเข้มข้น 50-150 ppm จะก่อให้เกิดอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อจมูก และลำคอ การสัมผัสสารนี้ที่ความเข้มข้นประมาณ 20,000 ppm จะทำให้เสียชีวิตได้

การกลืนหรือกินเข้าไป สารนี้จะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วและมีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง พบว่าสารนี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบเลือด และระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์ทดลอง แต่ยังไม่มียางานยืนยันผลกระทบต่อระบบดังกล่าวในมนุษย์ ผลกระทบต่อการสัมผัสในระยะยาว หรือการสัมผัสถูกผิวหนังเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดผื่นแดง ผิวหนังแห้ง อักเสบ และทำให้เกิดการสูญเสียหรือทำลายชั้นไขมันของผิวหนัง สารนี้จะก่อให้เกิดการลดลงของจำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด แต่ในระยะเวลานาน จะก่อให้เกิดภาวะโลหิตจางและเกิดความผิดปกติต่อเม็ดเลือดขาว (Leukemia) เนื่องจากเบนซีนจะไปทำลายไขกระดูกซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตเม็ดเลือดจึงทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง และเกิดความผิดปกติของเม็ดเลือดขาว (Leukemia) ขึ้น เบนซีนจัดเป็นสารก่อมะเร็งตามบัญชีรายชื่อ IARC (International Agency for Research on Cancer), NTP (The National Toxicology Program), ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygiene) ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งต่อระบบน้ำเหลือง ปอด กระเพาะปัสสาวะ และยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ความผิดปกติของโครโมโซมในเม็ดเลือดขาว และก่อให้เกิดการทำลาย DNA ในเซลล์เม็ดเลือดได้ อีกด้วย

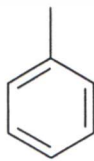
โทลูอีน (Toluene)

ชื่อเคมีทั่วไป : Toluene, Phenyl methane

CAS No. : 108-88-3

สูตรโมเลกุล : C₇H₈

สูตรโครงสร้าง :



น้ำหนักโมเลกุล : 92.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ ของเหลว	สี ใส ไม่มีสี	กลิ่น	หอมหวานของอะโรมาติก
จุดเดือด (°C)	110.6	จุดหลอมเหลวต่อจุดเยือกแข็ง (°C)	-126
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	0.87	ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1)	3.2
ความหนืด (มิลลิปาสกาลวินาที)	0.59	ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)	22 ที่ 20 °C
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ100 มิลลิลิตร)		0.054 - 0.058 ที่ - องศาเซลเซียส	
ความเป็นกรด-ด่าง		- ที่ 25 องศาเซลเซียส	

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health effects)

การหายใจเอาโทลูอินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ และมึนงง การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำให้เกิดผื่นแดง การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำให้ปวดท้อง ปวดศีรษะ วิงเวียน และมึนงง และยังมีผลทำลายตับ ไต กระเพาะปัสสาวะ สมอ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts)

มีแนวโน้มในการสะสมทางชีวภาพต่ำ เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ เป็นพิษต่อปลาและแพลงก์ตอน การเปลี่ยนแปลงลักษณะของกลิ่นโปรตีนจากปลาอาจเกิดการผสมกับอากาศเหนือผิวน้ำให้ไอระเหยของสารที่สามารถระเหยได้

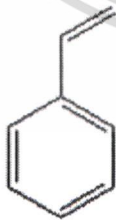
เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)

ชื่อเคมีทั่วไป : Styrene; Vinyl benzene

CAS No. : 100-42-5

สูตรโมเลกุล : C_8H_8

สูตรโครงสร้าง :



น้ำหนักโมเลกุล : 106.17

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ ของเหลว	สี ใส ไม่มีสี	กลิ่น คล้ายอะโรมาติก	
จุดเดือด (°C)	134-137	จุดหลอมเหลวต่อจุดเยือกแข็ง (°C)	-95
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	0.867	ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1)	3.7
ความหนืด (มิลลิปาสกาลวินาที)	-	ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)	10 ที่ 20 °C
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ100 มิลลิลิตร)		น้อยมาก ที่ - องศาเซลเซียส	
ความเป็นกรด-ด่าง		-ที่ 25 องศาเซลเซียส	

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health effects)

การหายใจเอาเอทิลเบนซีนเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองระบบหายใจ อาจจะทำให้เกิดอาการโรคน้ำท่วมปอด ง่วงนอน ไอ ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน และเชื่องซึม การสัมผัสถูกผิวหนัง ทำให้เป็นแผลไหม้ ทำให้เกิดผื่นแดง การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง และเป็นแผลไหม้ที่ปากและกระเพาะอาหาร ทำให้เกิดอาการเจ็บคอ ปวดท้อง ปวดศีรษะ วิงเวียน อาเจียน และเชื่องซึม ถ้าสัมผัสเรื้อรัง จะกระทบประสาทส่วนกลาง

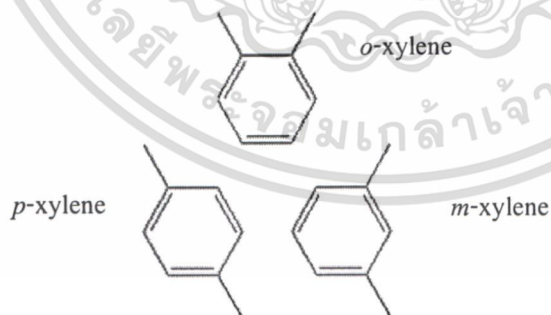
ออร์โทไซลีน, พาราไซลีน และ เมตาไซลีน (*o*-xylene, *p*-xylene และ *m*-xylene)

ชื่อเคมีทั่วไป : xylene

CAS No. : 1330-20-7

สูตรโมเลกุล : C_8H_{10}

สูตรโครงสร้าง :



น้ำหนักโมเลกุล : 106.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ ของเหลว	สี ใส ไม่มีสี	กลิ่น หอมหวาน	
จุดเดือด (°C)	138.3	จุดหลอมเหลวต่อจุดเยือกแข็ง (°C)	30
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ=1)	0.87	ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1)	3.7
ความหนืด (มิลลิปาสกาลวินาที)	0.62-0.81	ความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท)	6.72 ที่ 21 °C
ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ100 มิลลิลิตร)		0.13 ที่ - องศาเซลเซียส	
ความเป็นกรด-ด่าง		-ที่25 องศาเซลเซียส	

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health effects)

การหายใจเอาไซลินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง และหายใจติดขัด การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เกิดแผลเสกใหม่ และทำให้ผิวหนังอักเสบ การกลืนหรือกินเข้าไป เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้มีการจับของน้ำลายออกมามาก มีเหงื่อออก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้อง และเบื่ออาหาร และยังทำลายประสาท เลือด ดวงตา หู ตับ ไต และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental effects)

ไซลินค่อนข้างคงตัวในน้ำดื่ม กล่าวคือ ในน้ำประปาที่มีความเข้มข้นของไซลิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร กลิ่นของไซลินจะหมดต้องใช้เวลา 7-8 วัน แต่ไซลินจะยังอยู่ในน้ำประปา เมื่อนำมาบริโภคจะได้รับเข้าไป หากลงสู่แหล่งน้ำก็จะเกิดผลเช่นกัน ผลของไซลินในแหล่งน้ำในแต่ละความเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของไซลินในแหล่งน้ำ [15]

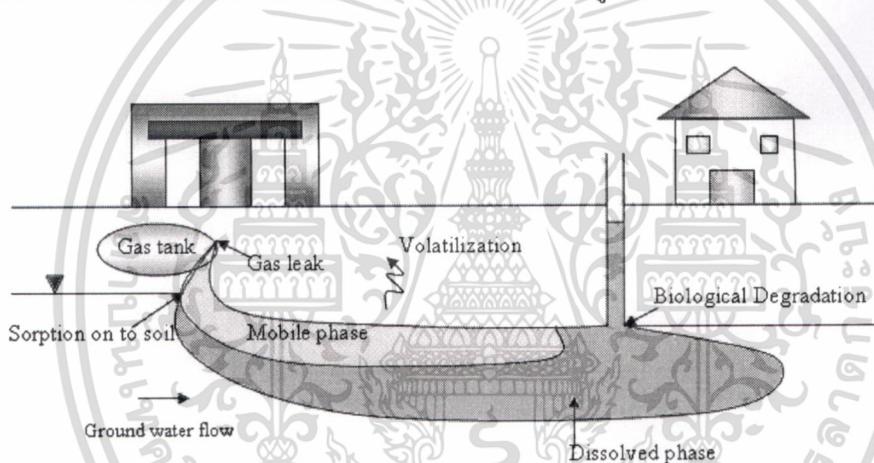
ปริมาณในแหล่งน้ำ	ผลที่เกิดขึ้น
1 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่มีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และไม่มีผลต่อการฟอกตัวเองของแหล่งน้ำ (self-purification)
10 มิลลิกรัมต่อลิตร	มีผลยับยั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification)
100 มิลลิกรัมต่อลิตร	จะมีผลยับยั้งการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีววิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การปนเปื้อน BTEX สู่อากาศ

การปนเปื้อน BTEX เกิดจากการรั่วไหลของก๊าซโซลีน ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดและการบำรุงรักษาที่ไม่ดีของถังบรรจุน้ำมันใต้ดินโดยส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังเกิดการปลดปล่อยจากอุปกรณ์ช่วยอำนวยความสะดวกต่าง ๆ การหกบนพื้นดิน และการรั่วไหลของท่อส่งน้ำมัน

การเคลื่อนที่ของ BTEX ในสิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 2.9 เนื่องจากว่า BTEX สามารถระเหย (volatilize) ละลาย (dissolve) ยึดเกาะ (attach) กับอนุภาคดิน หรือสลายตัวโดยจุลินทรีย์ การระเหยจะเกิดขึ้นเมื่อ BTEX เปลี่ยนจากของเหลวกลายเป็นไอสู่อากาศ ส่วนการละลายในน้ำจะเคลื่อนที่ไปสู่ใต้ดิน นอกจากนี้ BTEX ยังสามารถไปยึดติดอยู่กับอนุภาคของดินอีกด้วย ในกรณีที่มีปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่มีเพียงพอ BTEX ที่ปนเปื้อนในธรรมชาติสามารถสลายตัวได้โดยจุลินทรีย์แต่จะเกิดปฏิกิริยาที่ช้ามาก สิ่งมีชีวิตสามารถรับ BTEX เข้าสู่ร่างกาย โดยการดูดซึมผ่านทางผิวหนัง การบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนด้วย BTEX หรือการสูดดมหายใจ



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่ของ BTEX สู่อากาศ

2.2.3 ปฏิกิริยาทางเคมีและชีววิทยาของสารเมื่อเข้าสู่ร่างกาย (Chemobiokinetic)

1) การดูดซึม (Absorption) การเข้าสู่ร่างกายของโซลีน ส่วนใหญ่ผ่านทางผิวหนัง และการหายใจ เมื่อผ่านเข้าทางผิวหนังจะมีผลก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังรุนแรงยิ่งกว่าการสัมผัสสารเบนซีนและโทลูอิน ส่วนการเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ เมื่อเข้าสู่ปอดก็จะส่งผ่านเข้าสู่ระบบหมุนเวียนของกระแสโลหิต

2) เมตาบอลิซึม (Metabolism) โดยทั่วไปโซลีนจะถูกในร่างกายเผาผลาญไปเป็น *o*-, *m*- หรือ *p*-toluic acid ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การขับออกจากร่างกาย (Excretion) ไซลีนเมื่อถูกเมตาโบไลซ์ (Metabolized) ไปเป็นกรดโทลูอิก (Toluic acid) จะถูกขับออกทางปัสสาวะ หรือรวมตัวกับไกลซีน (Glycine) ขับออกมาในรูปกรดเมทิลฮิปปูริก (Methylhippuric acid) ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{COONHCH}_2\text{COOH}$)

2.2.4 มาตรการควบคุม

มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน (Occupational safety standards)

- กรมแรงงาน กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม ได้กำหนดค่ามาตรฐาน ความเข้มข้นของไซลีน ในบรรยากาศการทำงานปกติไม่ควรเกิน 100 ppm หรือ 435 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน ฉบับที่ 2 เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีปริมาณ ไซลีนเจือปนไม่เกินค่าที่กำหนดไว้สำหรับการผลิตทั่วไปเท่ากับ 200 ppm หรือ 870 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [16]

- ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงาน เมื่อวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2534 กำหนดไว้ว่าต้องมีรายละเอียดของสารเคมีอันตราย คือ สัญลักษณ์ที่แสดงถึงอันตราย ชื่อทางเคมี ปริมาณและส่วนประกอบอันตราย อาการเกิดพิษ คำเตือนเกี่ยวกับวิธีเก็บ วิธีใช้ วิธีเคลื่อนย้าย และวิธีกำจัดภาชนะบรรจุ ตลอดจนวิธีปฐมพยาบาลไว้ในฉลากหรือใบแทรกกำกับในภาชนะบรรจุ

2.3 กระบวนการดูดซับ (Adsorption process)

เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจนำมาบำบัดน้ำเสีย โดยสารชนิดหนึ่งมีความสามารถในการดึงดูดสารชนิดอื่น ๆ ให้มาเกาะติดอยู่กับตัวของมันได้ เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) และสารที่ถูกดึงดูดหรือเกาะติดกับตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) สารที่ต้องการกำจัดออก อาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ ส่วนตัวดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง ความสามารถในการดูดซับนี้ อาจเกิดขึ้นจากแรงทางกายภาพ หรือแรงดึงดูดทางเคมี หรือเกิดร่วมกัน ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการดูดซับนี้เป็นที่นิยมกันแพร่หลาย เนื่องจากสามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนซึ่งมีขนาดเล็กมาก จนถึงระดับโมเลกุล โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของตัวดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) คือ กระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลของสารเคมีชนิดหนึ่ง ยึดติดอยู่กับพื้นผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง เป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนย้ายของสารจากวัฏภาคหนึ่งไปสะสมที่พื้นผิวของอีกวัฏภาคหนึ่ง เกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันของพื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการนี้สามารถพบได้ทั้งในธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น กระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่น่านิยมในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย [17]

กระบวนการดูดซับ มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

1. ตัวดูดซับ (Adsorbent) เป็นพื้นผิวตัวกลางใด ๆ ที่มีสารเคมีไปยึดติด
2. ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) คือสารใด ๆ ที่ไปยึดเกาะที่พื้นผิวหนึ่ง ๆ

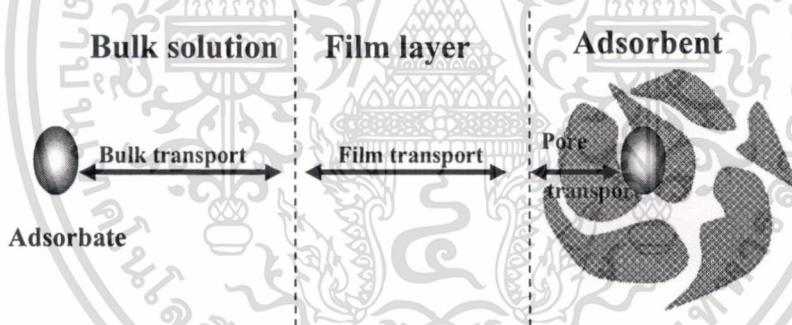
การเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับไปยึดติดกับตัวดูดซับมีกลไกการดูดซับที่สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน (รูปที่ 2.10) ดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับจากบริเวณที่เป็นสารละลาย (Bulk solution) ไปยังผิวฟิล์มน้ำหรือโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับ หรือเรียกว่า Bulk transport

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการแพร่ของตัวถูกดูดซับข้ามฟิล์มน้ำเข้าไปยังผิวของตัวดูดซับ หรือที่เรียกว่า Film transport

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการแทรกผ่านของตัวถูกดูดซับเข้าไปภายในรูพรุนของตัวดูดซับ หรือเรียกว่า Intraparticle transport หรือ Pore transport

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการยึดติดของตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ โดยแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นอาจเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพ หรือแรงดึงดูดทางเคมี หรือทั้งสองแรงพร้อมกัน



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายของตัวถูกดูดซับในกระบวนการดูดซับ

2.3.1 แรงเหนี่ยวนำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ [17]

การดูดซับของสารเคมีที่บริเวณพื้นผิวจะต้องมีแรงเหนี่ยวนำระหว่างโมเลกุลที่ทำให้เกิดการยึดติดของโมเลกุลของสารเคมีกับพื้นผิวของตัวดูดซับ แรงที่เกิดขึ้นอาจเป็นแรงดึงดูดทางกายภาพ (Physical force) แรงดึงดูดทางเคมี (Chemical force) หรือเกิดขึ้นทั้งสองประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 แรงเหนี่ยวนำทางกายภาพ (Physical force) เป็นแรงที่ขึ้นอยู่กับความมีขั้วของโมเลกุล สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1) Induced dipole – induced dipole หรือแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงลอนดอน จัดเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลโดยเฉพาะโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar molecules) เกิดเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้ในชั่วขณะหนึ่งความหนาแน่นของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนไม่สม่ำเสมอทั่วโมเลกุล มีผลให้เกิดสภาพขั้วหรือไดโพลชั่วขณะ ซึ่งจะไปเหนี่ยวนำโมเลกุลข้างเคียงที่สัมผัสกันและเกิดการดูดซับ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงดึงดูดที่อ่อนมาก จะเกิดขึ้นเฉพาะผิวของโมเลกุลที่สัมผัสกัน แรงดึงดูดประเภทนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสระหว่างโมเลกุล ซึ่งสัมพันธ์กับรูปร่างและขนาดของโมเลกุล การดูดซับด้วยแรงนี้จึงเป็นการเกาะกันด้วยแรงอ่อน ๆ จึงเกิดการคายการดูดซับ (desorption) ได้ง่าย

2) Dipole - induced dipole เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้วและโมเลกุลที่มีขั้ว เกิดจากความเป็นไดโพลชนิดถาวรในโมเลกุลมีขั้ว เหนี่ยวนำให้เกิดสภาพไดโพลชั่วขณะในโมเลกุลไม่มีขั้ว จึงทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

3) Dipole – dipole เป็นแรงยึดระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งมีความเป็นไดโพลถาวรภายในโมเลกุล โดยที่ขั้วบวกของโมเลกุลหนึ่งยึดกับขั้วลบของโมเลกุลหนึ่ง แรงดึงดูดนี้จะยึดกันแข็งแรงกว่าพวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้วแต่น้ำหนักใกล้เคียงกัน

2.3.1.2 แรงเหนี่ยวนำทางเคมี (Chemical force) เป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุลของสารที่เป็นไอออนกับตัวดูดซับที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน การให้อิเล็กตรอน หรือเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน มีผลให้เกิดแรงเหนี่ยวนำที่แข็งแรงกว่าแรงทางกายภาพ และมีการทำปฏิกิริยาจับกันเป็นสารประกอบเคมี ทำให้การคายการดูดซับทำได้ยาก กระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่เป็นแบบที่ผันกลับไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ประเภทของการดูดซับ [17]

การดูดซับสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทตามแรงเหนี่ยวนำระหว่างโมเลกุล

2.3.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะยึดติดกับพื้นผิวของตัวดูดซับด้วยแรงเหนี่ยวนำที่ค่อนข้างอ่อน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล-ไดโพล และไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ

2.3.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) ลักษณะของการดูดซับมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีคือ จะต้องมีการสร้างพันธะเคมี และการจัดเรียงตัวใหม่ของกลุ่มอิเล็กตรอนของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ ดังนี้

1) การดูดซับทางเคมีมีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน ทำให้มีแรงเหนี่ยวนำค่อนข้างสูงกว่าแรงเหนี่ยวนำในการดูดซับทางกายภาพ

2) การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นในบริเวณที่จำเพาะเจาะจงเท่านั้น แต่การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วไปบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.3.3.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ พื้นที่ผิว (Surface area) และ โครงสร้างของรูพรุน (Pore structure) มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารเคมี พบว่าความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดใหญ่ และความเป็นรูพรุนของตัวดูดซับน้อย ความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง

2.3.3.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ ปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความมีขั้วของโมเลกุล ความสามารถในการละลายน้ำ น้ำหนักและขนาด

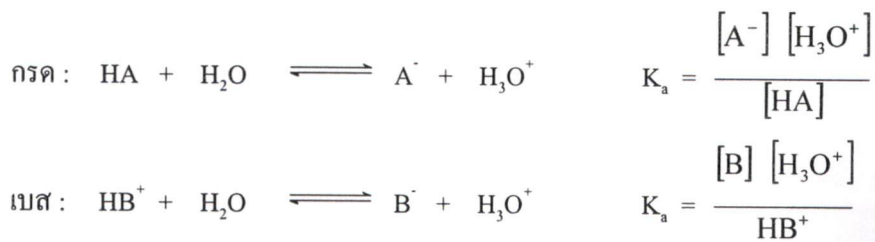
1) ความสามารถในการละลายน้ำ สัญลักษณ์ย่อคือ C_w^{sat} เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น จะต้องมีการทำลายแรงยึดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบตัวถูกดูดซับ โดยทั่วไป ตัวถูกดูดซับที่สามารถละลายน้ำได้ดี ย่อมมีแรงยึดกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น ทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

2) น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล จะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายน้ำของสารเคมี โดยที่โมเลกุลขนาดใหญ่มีความสามารถในการละลายน้ำลดลง ดังนั้นความสามารถในการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น

2.3.3.3 อิทธิพลของสภาพแวดล้อม [17]

1) ค่าพีเอชของสารละลาย (pH) มีผลต่อความมีขั้วของสารทั้งตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถดูดติดผิวได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่ค่า K_a คือ ความสามารถในการแตกตัวให้โปรตอน ความสามารถในการดูดซับ จะลดลงเมื่อ $\text{pH} > \text{p}K_a$

2) อุณหภูมิ มีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้ตัวถูกดูดซับแพร่ไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

3) อัตราการปั่นกววน เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ถ้าการปั่นกววนต่ำฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนา ทำให้ตัวถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในตัวดูดซับได้ ชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ ถ้าการปั่นกววนสูง ชั้นฟิล์มจะมีความหนาลดลง ทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่เข้าไปดูดซับได้ดี แต่ถ้าการปั่นกววนมากเกินไปอาจทำให้ตัวถูกดูดซับที่ติดอยู่ที่ผิวกลับออกไปอยู่ในสารละลายได้อีก

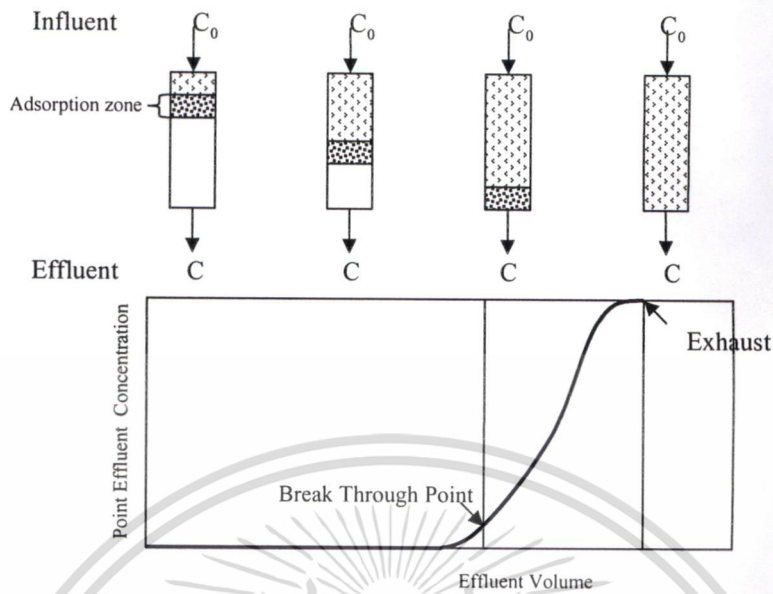
4) เวลาสัมผัสจะต้องมีความเหมาะสม จึงจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารที่จะถูกดูดซับด้วย

2.3.4 ศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับ

การศึกษายูการใช้งานของตัวดูดซับทำได้โดยการผ่านน้ำที่ปนเปื้อนอย่างต่อเนื่องเข้าสู่คอลัมน์ซึ่งบรรจุตัวดูดซับ ในระยะหนึ่งสารปนเปื้อนจะเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ จะทำให้ประสิทธิภาพค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านการดูดซับเพิ่มขึ้น เรื่อย ๆ แสดงดังรูปที่ 2.12

สารดูดซับชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพก่อน และชั้นของสารดูดซับที่หมดประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาการใช้งานและปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน ดังนั้น ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในน้ำที่ผ่านการดูดซับแล้วจะเพิ่มขึ้นตามเวลา จนในที่สุดความเข้มข้นจะถึงค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ เรียกว่า Breakthrough point เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนที่ผ่านชั้นตัวถูกดูดซับแล้วต่อความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับปริมาตรที่ใช้ เรียกว่า Breakthrough curve และเมื่อสารดูดซับไม่สามารถที่จะดูดซับได้อีกเรียกว่า จุดที่สารดูดซับหมดประสิทธิภาพ (Exhaust point) ณ จุดนี้ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ออกจากระบบจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนตัวของ Adsorption zone สำหรับชั้นสารที่อยู่กับที่ตามทิศทางการไหลของน้ำเสีย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kim และคณะ (1996) [9] ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย ในสถานะไอระเหยด้วยผงยางรถยนต์ โดยทำการทดลองแบบแบทช์ เป็นการแยกสารออกจากสถานะของเหลวโดยจำแนกตาม Partition coefficient พบว่า VOCs ที่ถูกดูดซับในผงยางรถยนต์มีหลายชนิด ซึ่งสารประกอบที่มีขั้ว เช่น เมทิลีนคลอไรด์ จะถูกดูดซับได้น้อยกว่าสารประกอบที่ไม่มีขั้ว และค่าคงที่ Partition coefficient ของ VOCs พบว่ามีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic กับ Saturation vapor concentration

Kershaw และ Pamukcu (1997) [10] ศึกษาความสามารถของการดูดซับเบนซีน และออร์โทไซลีนที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินโดยใช้ยางรถยนต์ โดยทดลองแบบแบทช์และแบบคอลัมน์ โดยศึกษาปริมาณการดูดซับของเบนซีน และออร์โทไซลีน เวลาสมมูลการดูดซับ และประสิทธิภาพการไหลผ่านในระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า ผงยางสามารถดูดซับเบนซีน และออร์โทไซลีน ได้ 1.3 มิลลิกรัมต่อกรัมของผงยาง และ 8.2 มิลลิกรัมต่อกรัมของผงยาง ตามลำดับ ในการทดลองแบบคอลัมน์แสดงว่า ผงยางมีค่าอัตราการใช้ประโยชน์ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านเป็นเวลา 15 นาที

Gunasekara และคณะ (2000) [11] ศึกษาการดูดซับสารละลายเนฟทาซีน โทลูอิน และเมอร์คิวรีไอออน (Hg^{2+}) โดยใช้ยางรถยนต์ โดยทำการทดลองแบบแบทช์ที่ 20 องศาเซลเซียส ไอโซเทอร์มการดูดซับของเนฟทาซีน และโทลูอิน มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีค่าคงที่ของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,340 และ 255 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ การดูดซับเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว (ประมาณ 30 นาที) อย่างไรก็ตาม ไอโซเทอร์มการดูดซับของปรอทไอออนไม่เป็นเส้นตรง และการดูดซับจะเกิดช้ากว่า การดูดซับสารอินทรีย์

Smith และคณะ (2001) [18] ศึกษาการนำเศษยางรถยนต์มาผสมกับกรวดทำ Passive treatment walls ในหลุมฝังกลบ การทดลองนี้หาลักษณะการดูดซับและกลไกของปฏิกิริยา และศึกษาการดูดซับและการคายออกจากผิว โดยตัวถูกดูดซับคือ ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมี พาราฟิน และกรีซอล ซึ่งทำการทดสอบโดยการอัดแน่น และความสามารถในการบีบอัดที่เหมาะสมของชั้นยางรถยนต์ ระดับการผสมที่เหมาะสมในการบีบอัด จากการทดลอง แสดงว่าชั้นยางรถยนต์มีการดูดซับและการซึมผ่านได้ของผนังกัน การผสมที่เหมาะสม คือ ใช้เศษยางรถยนต์ขนาด 2-6 มิลลิเมตร และใช้กรวด 20 มิลลิเมตร มีปริมาณเศษยางอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เบนซีน 99.7% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-scan Asia)
2. โทลูอีน 99.98% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific)
3. เอทิลเบนซีน 98% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific)
4. ออร์โทไซลีน 99% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific)
5. เมตะไซลีน 99% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific)
6. พาราไซลีน 99% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific)
7. เมทานอล 99.99% (เกรด HPLC บริษัท Fisher Scientific)
8. ไดคลอโรมีเทน (DCM) 99.99% (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific)
9. น้ำปราศจากไอออน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ (6890N Agilent Technologies, USA)-แมสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (5973N Agilent Technologies, USA)
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น AA-680 Atomic Absorption/Flame Emission Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น)
3. เครื่องโทเทิลออร์แกนิกคาร์บอนแอนาไลเซอร์ (Total Organic Carbon Analyzer) (รุ่น TOC-V CSH ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น)
4. Solid-phase Extraction คอลัมน์ C-18 (รุ่น BOND ELUT-C18 ยี่ห้อ Varian ประเทศสหรัฐอเมริกา)
5. คอลัมน์อะคริลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรและยาว 35 เซนติเมตร
6. ปัมป์ MasterFlex สำหรับ High Performance Pump Head (บริษัท เคโมไซเอนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด)
7. กระดาษกรองใยแก้ว 0.45 ไมครอน (ยี่ห้อ Whatman บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย)
8. เครื่องแก้วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ท่อน้ำซึมที่ใช้ในการทดลอง

สูตรยางรถยนต์ที่ใช้ ได้มาจากโครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาท่อน้ำซึมจากยางรีเคลมและ พยางรถยนต์ [19]

ยางรีเคลม : พยางรถยนต์ ขนาด 30 - 40 เมฆ : เขม่าดำ (50:50:20) สารให้ฟองได้ในโตร- เพนตะเมทิลีนเตตระมีน 2 เปอร์เซนต์ อนุที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยขัง ยางและสารเคมีตามสูตรที่กำหนด ทำการบดยางรีเคลมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งเดิมสารเคมี ต่าง ๆ ตามสูตร แล้วรีดยางให้เป็นแผ่น ทิ้งให้เย็นจากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นท่อโดยเครื่องอัดรีดแบบ เกลียวหนอนเดี่ยว โดยท่อน้ำซึมมีความยาว 34.5 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และความหนา 2 มิลลิเมตร มีพื้นที่ผิว เท่ากับ 166.18 ตารางเซนติเมตร

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสารละลาย สต์อ๊ก BTEX 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตเบนซีน จำนวน 1.137 มิลลิตร โทลูอิน จำนวน 1.149 มิลลิตร เอทิลเบนซีน จำนวน 1.130 มิลลิตร ออร์โทไซลีน จำนวน 1.138 มิลลิตร เมตะไซลีน จำนวน 1.138 มิลลิตร และ พาราไซลีน จำนวน 1.138 มิลลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร ปรับปริมาตร ด้วยเมทานอล

3.4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายสต์อ๊ก BTEX 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิตร ใส่ลงในขวด วัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.4.3 การศึกษาการชะละลายของสารประกอบในท่อน้ำซึม

การทดสอบการชะละลาย ด้วยวิธีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2539) [20] โดยการใช้กรดกำมะถันและกรดไนตริก เป็นตัวสกัดโลหะหนัก และทิ้งไว้เป็น เวลา 18 ชั่วโมงที่ความเป็นกรดต่าง 3, 5 และ 9 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดย เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) และหาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ โดยเครื่องโทเทิลออร์แกนิกคาร์บอนแอนาไลเซอร์ (TOC Analyzer)

1. การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำท่อน้ำซึมไปบด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม ส่วนที่ 2 ท่อน้ำซึม หนัก 10 กรัม เพื่อดูการชะละลายจากสภาพท่อจริงที่นำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เตรียมน้ำสกัด (Leachant) โดยใช้สารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในอัตราส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) ผสมกับน้ำกลั่น จนค่าความเป็นกรดต่างของส่วนผสม มีค่าคงที่ที่ 3, 5 และ 9 แล้วจึงปรับปริมาตรของผสมให้เป็น 200 มิลลิลิตร

3. นำท่อน้ำซึมบดที่ได้จากข้อ 1หนัก 10 กรัม เติมน้ำสกัดที่เตรียมได้จากข้อ 2 จำนวน 200 มิลลิลิตร และนำท่อน้ำซึมหนัก 10 กรัม เติมน้ำสกัดเช่นเดียวกัน

4. เขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

5. กรองสารละลายจากการสกัด ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมโครเมตร

6. นำของเหลวที่ผ่านการกรองแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี (Zn), เหล็ก (Fe), และตะกั่ว (Pb) (เนื่องจากโลหะเหล่านี้มักพบในองค์ประกอบของยาง เช่น ซิงค์ออกไซด์ เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง เหล็กพบในส่วนเสริมใยเหล็ก และตะกั่วอยู่ในน้ำมันที่เป็นสารป้องกันโอโซน) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

7. นำของเหลวส่วนที่เหลือไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องโทเทิลออร์แกนิกคาร์บอนแอนาไลเซอร์ (TOC Analyzer) เพื่อหาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ ที่ถูกชะออกจากยาง โดยเทียบกับแบบลค์เพื่อการปนเปื้อน

8. ทำแบบลค์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 1-7 แต่ไม่ใช้ยางรถยนต์

3.4.4 การศึกษาอัตราการไหลของท่อน้ำซึมที่ระดับแรงดันปั๊มต่าง ๆ

1. นำท่อน้ำซึมบรรจุลงในคอลัมน์ ผ่านน้ำปราศจากไอออน โดยปรับแรงดันปั๊มที่ระดับ 2

2. จับเวลาการเก็บน้ำที่ไหลผ่านท่อน้ำซึมที่ปริมาณ 20 มิลลิลิตร

3. ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง แล้วนำค่าไปคำนวณหาอัตราการไหล

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนแรงดันปั๊มเป็นที่ระดับ 6 และ 10 ตามลำดับ

3.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณ BTEX ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.4.5.1 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน BTEX ความเข้มข้นดังนี้ 50, 75, 100 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยไดคลอโรมีเทน (DCM)

2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ที่สภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะต่าง ๆ ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

พารามิเตอร์	สภาวะต่าง ๆ		
Front Inlet			
Mode	Split		
Initial temp	250 องศาเซลเซียส		
Pressure	6.68 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว		
Split ratio	50 : 1		
Gas type	Helium 99.999 เปอร์เซนต์ เกรด UHP บริษัท TIG จำกัด		
GC Column	Capillary Column HP 5 ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ชั้นฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร		
Oven Temperature	Initial temp 34 องศาเซลเซียส Initial time 5.00 นาที		
	Ramps rate	Final temp	Final time
	5.00 องศาเซลเซียสต่อนาที	100 องศาเซลเซียส	1.00 นาที
Thermal Aux.	2 องศาเซลเซียส		
MSD Transfer Line temp.	280 องศาเซลเซียส		
MS Information	Electron Ionization mode (EI)		
Solvent Delay	2.50 นาที		
Scan Parameters			
Low Mass	50 กรัมต่อโมล		
High Mass	500 กรัมต่อโมล		
Threshold	150 นาที		

3.4.5.2 การสกัดน้ำเสียก่อนนำไปวิเคราะห์

สกัด BTEX โดยวิธี Solid-phase extraction ด้วยคอลัมน์ C-18 ด้วยวิธีของ Mohamead และคณะ (2003) [21]

1. ชะคอลัมน์ C-18 ด้วยเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 มิลลิลิตร จากนั้นชะด้วยเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 3 มิลลิลิตร เพื่อเป็นการกระตุ้น (Activate) คอลัมน์ให้พร้อมใช้งาน
2. ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX 100 มิลลิลิตร ที่อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชะด้วยเมทานอล 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 มิลลิลิตร ซ้ำ 2 ครั้ง ทิ้งไป เพื่อชะสารที่ไม่ต้องการออกแล้วชะด้วยไดคลอโรมีเทน จำนวน 2 มิลลิลิตร ซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อชะ BTEX นำของเหลวที่ได้เติมโซเดียมซัลเฟตเล็กน้อย ทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อดูค้ำน้ำออกจากสารละลายตัวอย่าง

4. ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยไดคลอโรมีเทน และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (GC-MS) ที่สภาวะเดียวกับข้อ 3.4.5.1

3.4.6 การศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึม ที่อัตราการไหลระดับต่าง ๆ

1. นำท่อน้ำซึมบรรจุลงในคอลัมน์อะคริลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และยาว 35 เซนติเมตร ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหลที่ได้จากทดลองที่ 3.4.4

2. เก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ไหลผ่านท่อน้ำซึมที่เวลา 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180 และ 300 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้น BTEX ที่เหลือ ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ-แมสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่สภาวะเดียวกับข้อ 3.4.5.1

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนอัตราการไหลที่ระดับต่าง ๆ ตามการทดลองที่ 3.4.4

4. ทำชุดควบคุมโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 โดยให้น้ำเสียสังเคราะห์ไหลผ่านท่อน้ำซึมที่ไม่บรรจุท่อน้ำซึม

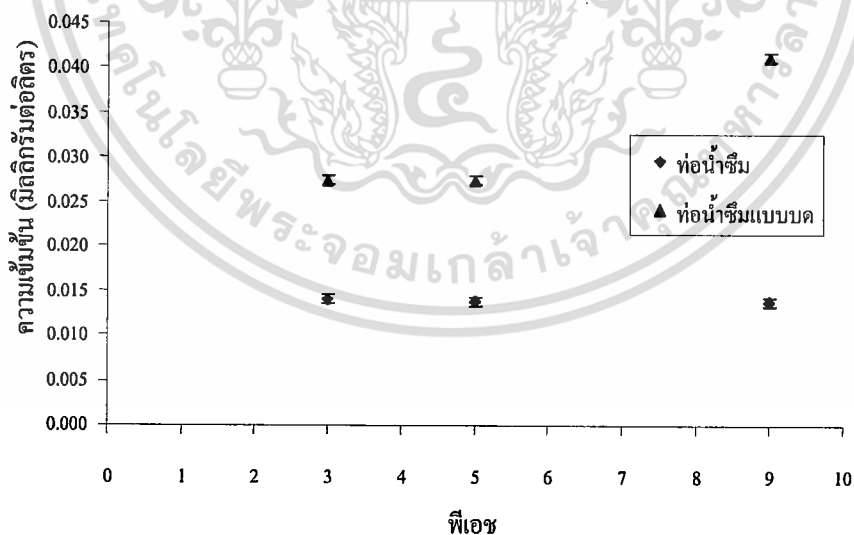
5. ทำแบบลบล้างโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 แต่ใช้น้ำปราศจากไอออนแทนน้ำเสียสังเคราะห์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาการทดสอบการชะละลาย

การทดลองนี้ใช้ท่อน้ำซึมในการกำจัด BTEX โดยท่อน้ำซึมที่ใช้ประกอบด้วย ยางรีเคลม : พงยางรถยนต์ : เหมดำ เท่ากับ 50 : 50 : 20 เมื่อปริมาณสารให้ฟองได้ในโตรเพนตะเมทิลีนเตตระมีน ร้อยละ 2 ที่เวลาการเชื่อมโยง 30 นาที [19] จากการทดสอบการชะละลายด้วยวิธีมาตรฐานของ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2539) โดยวัดค่าดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟ มาตรฐาน (ดูรายละเอียดในตาราง ก1-1 และรูปที่ ก1-1 ภาคผนวก ก) โดยศึกษาการชะละลายของ ท่อน้ำซึมในสภาพใช้งานจริง (แบบไม่บด) และท่อน้ำซึมที่นำไปบดให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานของ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด จากการทดลองพบว่า ที่พีเอช 3 พบปริมาณเหล็กทั้งหมด ในท่อน้ำซึม 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร และท่อน้ำซึมแบบบด 0.027 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5 พบ ปริมาณเหล็กทั้งหมดในท่อน้ำซึม 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร และท่อน้ำซึมแบบบด 0.027 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ส่วนที่พีเอช 9 พบปริมาณเหล็กทั้งหมดในท่อน้ำซึม 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร และท่อน้ำซึมแบบ บด 0.041 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก1-2 ภาคผนวก ก)



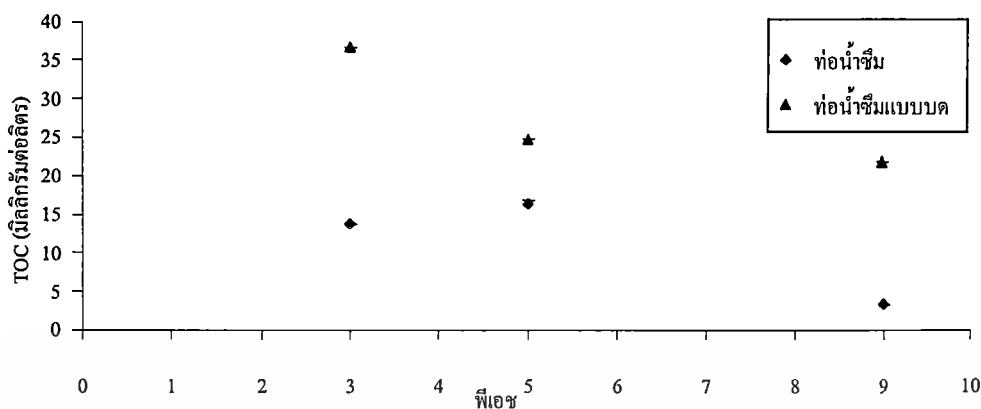
รูปที่ 4.1 ปริมาณเหล็กในการทดสอบการชะละลายของท่อน้ำซึมและท่อน้ำซึมแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กในท่อน้ำซึมแบบบดจะถูกชะละลายได้มากกว่าในท่อน้ำซึมแบบไม่บด (สภาพใช้งานจริง) ทั้งนี้เพราะการบดท่อน้ำซึมจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารชะละลายกับเหล็กที่เป็นองค์ประกอบในท่อน้ำซึม ที่พีเอช 9 เหล็กในท่อน้ำซึมแบบบดจะถูกชะละลายออกมาสูงกว่าที่พีเอชเป็นกรด ทั้งนี้อาจเกิดจากสภาพความเป็นด่าง ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพมาก เหล็กจึงถูกชะละลายออกมาในปริมาณมาก

ส่วนปริมาณตะกั่วและสังกะสี ไม่พบในการทดสอบการชะละลาย (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก1-2 ภาคผนวก ก) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของยุพิน [22] ที่ไม่พบปริมาณตะกั่ว แต่พบเหล็กและสังกะสีในปริมาณเล็กน้อย จากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) [23] ได้กำหนดค่ามาตรฐานของโลหะหนักเหล่านี้ไว้ที่สังกะสีไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และตะกั่วไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าว

สำหรับปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ที่ถูกชะละลายออกจากท่อน้ำซึม พบว่าที่พีเอช 3 มีปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในท่อน้ำซึม 13.80 มิลลิกรัมต่อลิตร และในท่อน้ำซึมแบบบด 36.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 5 มีปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในท่อน้ำซึม 16.95 มิลลิกรัมต่อลิตร และในท่อน้ำซึมแบบบด 24.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่พีเอช 9 มีปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในท่อน้ำซึม 3.27 มิลลิกรัมต่อลิตร และในท่อน้ำซึมแบบบด 21.88 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก1-3 ภาคผนวก ก) ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในท่อน้ำซึมแบบบดจะถูกชะละลายได้มากกว่าในท่อน้ำซึมแบบไม่บด ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของการชะละลายของโลหะหนัก ทั้งนี้เพราะการบดท่อน้ำซึมจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารชะละลายกับสารคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในท่อน้ำซึม ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์มีค่าสูง อาจเกิดเนื่องจากยางที่ใช้ในการผลิตท่อน้ำซึมเป็นยางรีไซเคิล ซึ่งเป็นยางที่ได้จากยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพแล้วนำไปผ่านกระบวนการดีวัลคาไนเซชัน แล้วจึงนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางน้อยลง ความแข็งแรง และการยึดเกาะน้อยลง ทำให้ยางบางส่วนหลุดออกจากท่อน้ำซึม ค่าปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ จึงมีปริมาณสูง



รูปที่ 4.2 ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ในการทดสอบการชะละลายของท่อน้ำซึม และท่อน้ำซึมแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9

4.2 ศึกษาอัตราการไหลของท่อน้ำซึมที่ระดับต่าง ๆ ของบีม

จากการศึกษาอัตราการไหลของท่อน้ำซึม ที่ระดับแรงดันต่าง ๆ ของบีม โดยใช้แรงดันบีมที่ระดับ 2 ระดับ 6 และระดับ 10 เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลต่อการกำจัด BTEX ผลของอัตราการไหลที่แรงดันบีมต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก2-1 ภาคผนวก ก) จากการทดลองพบว่าที่ระดับ 2 มีอัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ระดับ 6 มีอัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที และที่ระดับ 10 มีอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งที่แรงดันบีม ระดับ 2 มีอัตราการไหลที่ช้า ที่ระดับ 6 มีอัตราการไหลปานกลาง และที่ระดับ 10 มีอัตราการไหลเร็วมาก

ตารางที่ 4.1 อัตราการไหลของบีมที่ระดับแรงดันต่าง ๆ

แรงดันบีม ระดับ	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)
2	9.9 ± 0.03
6	28.7 ± 0.20
10	40.0 ± 0.15

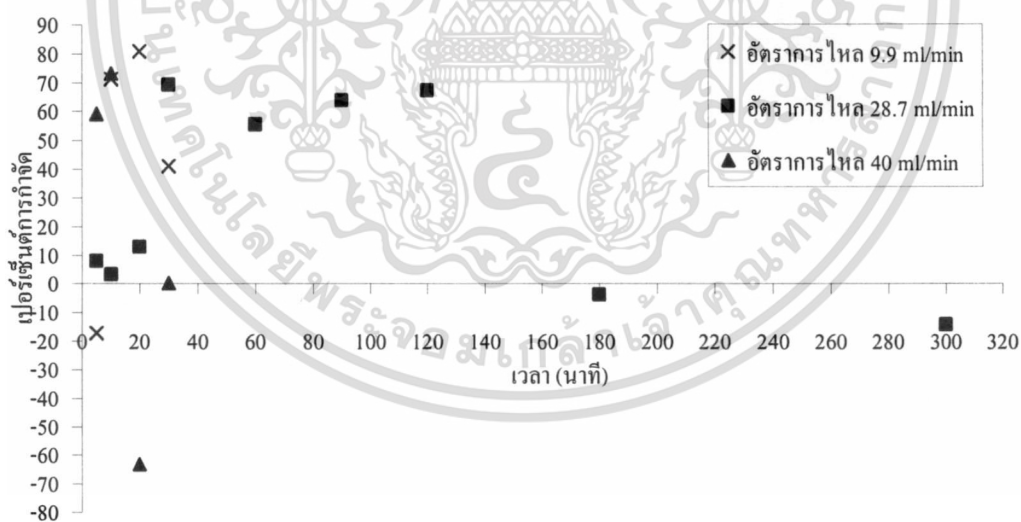
4.3 ศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึม ที่อัตราการไหลระดับต่าง ๆ

ศึกษาความสามารถในการกำจัด BTEX ที่อัตราการไหลต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.7 (ดูรายละเอียดในตาราง ก3-2 – ก3-7 ภาคผนวก ก) พบว่าที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดเบนซีน และโทลูอีนได้ 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดเอทิลเบนซีน และออร์โทไซลีน ได้ถึง

100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพาราไซลีน และเมตะไซลีนสามารถกำจัดได้ 90 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพดีในช่วงเวลา 10 – 20 นาที

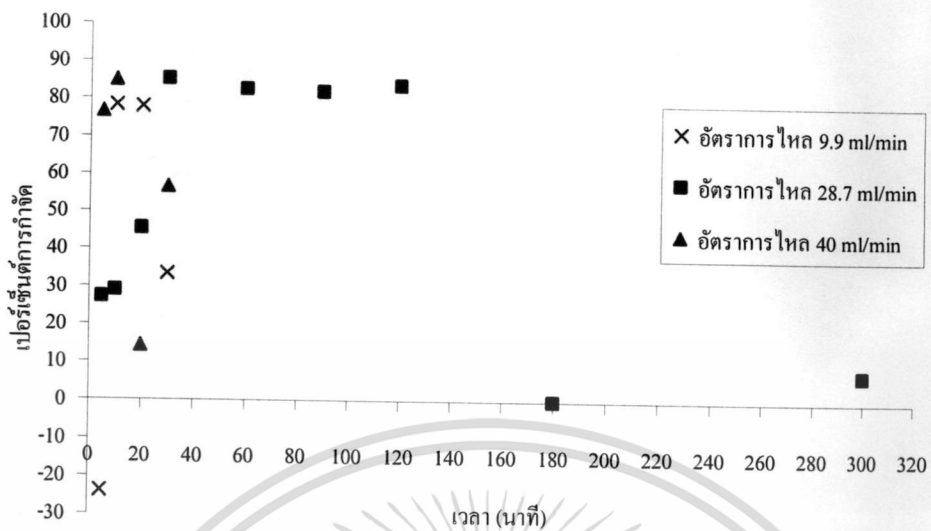
ที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดเบนซีนได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโทลูอีน เอทิลเบนซีน พาราไซลีน ออร์โธไซลีน และเมตะไซลีนสามารถกำจัดได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ท่อน้ำซึมที่แรงดันดังกล่าว มีประสิทธิภาพดีในช่วงเวลา 30 – 120 นาที ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากในช่วงนาทีแรกภายในท่อน้ำซึมจะยังไม่ขยายตัวทำให้ BTEX สามารถหลุดรอดออกมาจากรูของท่อน้ำซึมได้ ประสิทธิภาพจึงไม่ดี แต่เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ภายในท่อน้ำซึมเกิดการขยายตัวประสิทธิภาพในการกำจัดจึงดีขึ้นถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที ประสิทธิภาพของท่อน้ำซึมจะลดลง เนื่องจากท่อน้ำซึมเกิดการอึดตัว ไม่สามารถดูดซับ BTEX ได้

ที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัด BTEX ได้ดีในช่วงแรกๆ ที่เวลา 5 – 10 นาที เท่านั้น จากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงทันที เนื่องจากการอัตราการไหลเร็วเกินไปทำให้ไม่สามารถดูดซับ BTEX ได้ทัน

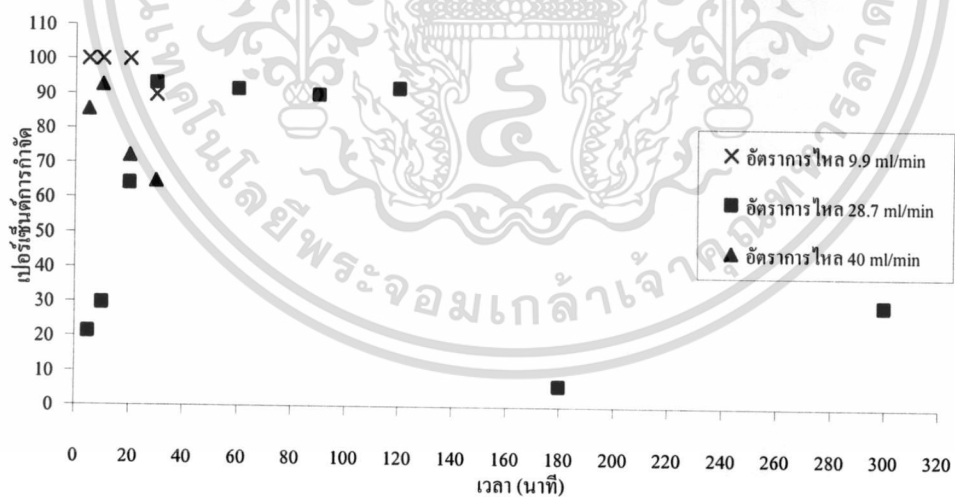


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบการกำจัดเบนซีน ที่อัตราการไหลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

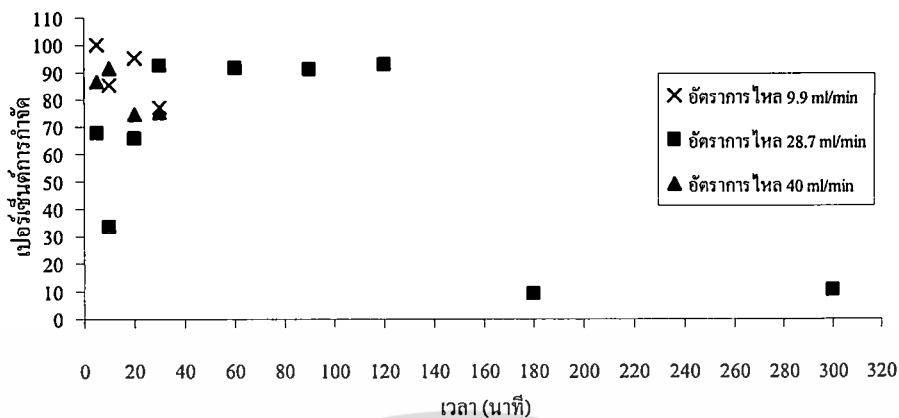


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบการกำจัดโกลูอิน ที่อัตราการไหลต่างๆ

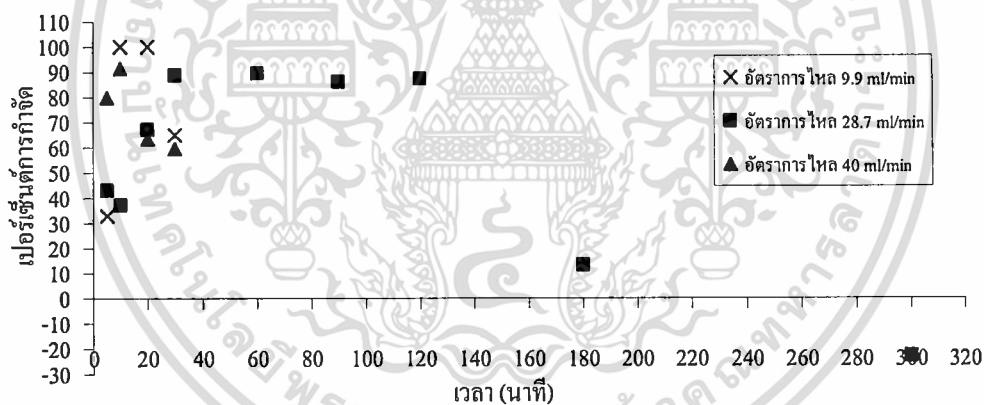


รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบการกำจัดเอทิลเบนซีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบการกำจัดเมตาไซลีน และพาราไซลีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบการกำจัดออร์โธไซลีน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ

จากผลการทดลองที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดในช่วงนาทีแรกมีค่าติดลบ อาจเกิดเนื่องจากความผิดพลาดในการวิเคราะห์

อัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการบำบัด BTEX คือ อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที มีอัตราการไหลช้าเกินกว่าจะ

สามารถนำมาใช้จริงได้ในโรงงานอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดี แต่ต้องใช้เวลาาน ส่วนที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควรจึงไม่เหมาะนำมาใช้ เนื่องจากอัตราการไหลเร็วเกินไปทำให้ท่อน้ำซึมไม่สามารถดูดซับ BTEX ได้ทันการบำบัดจึงมีประสิทธิภาพไม่ดี

ที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถบำบัด BTEX ได้ประสิทธิภาพ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ท่อน้ำซึมมีประสิทธิภาพดีในช่วง 30-120 นาที ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้น BTEX 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 90 นาที สามารถบำบัด BTEX ได้ 258.3 มิลลิกรัม ที่ท่อน้ำซึมยาว 34.5 เซนติเมตร หรือสามารถบำบัด BTEX ได้ 673.83 มิลลิกรัมต่อท่อน้ำซึมความยาว 1 เมตร (น้ำหนักท่อน้ำซึม 165.5 กรัม หรือมีปริมาณผงยางรถยนต์ 137.92 กรัม) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสามารถบำบัด BTEX ได้ 4.89 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม (สามารถกำจัดเบนซีน, โทลูอีน, เอทิลเบนซีน, เมตะไซลีน, พาราไซลีน และออร์โธไซลีนได้ 0.5, 0.6, 0.7, 0.7, 0.7 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม ตามลำดับ) (ภาคผนวก ข) ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนและออร์โธไซลีนน้อยกว่างานวิจัยของ Kershaw และ Pamukcu [16] ที่พบว่าผงยางสามารถดูดซับเบนซีน และออร์โธไซลีนได้ 1.3 และ 8.2 มิลลิกรัมต่อกรัมของผงยาง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยของ Kershaw และ Pamukcu [16] ใช้ผงยางในการดูดซับเบนซีน และออร์โธไซลีนแต่ละชนิด ส่วนในงานวิจัยนี้ได้ใช้ท่อน้ำซึมในการดูดซับสารละลายผสมของ BTEX

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตของท่อน้ำซึม โดยวสิน [19] พบว่า ท่อน้ำซึมมีต้นทุนการผลิต 13.40 บาท ต่อความยาว 1 เมตร และจากการทดลอง พบว่าที่ความยาวของท่อน้ำซึม 1 เมตร สามารถกำจัด BTEX ได้ 673.83 มิลลิกรัม

การกำจัด BTEX โดยใช้ผงยางรถยนต์ที่นำมาขึ้นรูปเป็นท่อน้ำซึม ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ทำได้สะดวกกว่าการใช้ผงยางรถยนต์ เนื่องจากผงยางรถยนต์จะลอยตัวเมื่ออยู่ในน้ำและสามารถเกิดการอุดตันได้ ถ้านำไปใช้ในอุตสาหกรรม ผงยางรถยนต์อาจจะไปอุดตันในระบบต่าง ๆ ทำให้ได้รับความเสียหาย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการชะละลาย ด้วยวิธีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2539) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- ท่อน้ำซึมแบบบดมีปริมาณ โลหะหนัก และปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าท่อน้ำซึมแบบไม่บด เนื่องจากการบดจะทำให้พื้นที่สัมผัสเพิ่มขึ้น
- การทดสอบการชะละลาย พบตะกั่ว สังกะสี เหล็ก และปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณที่น้อย และไม่เกินค่ามาตรฐาน จึงสามารถนำท่อน้ำซึมไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนอันเนื่องมาจากท่อน้ำซึม

จากการศึกษาการดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- จากการศึกษการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึม ที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดเบนซีน และโทลูอินได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดเอทิลเบนซีน และออร์โทไซลีน ได้สูงสุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพาราไซลีน และเมตะไซลีน สามารถกำจัดได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์จะมีประสิทธิภาพในช่วง 10 – 20 นาทีเท่านั้น
- ที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัดเบนซีน ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโทลูอิน เอทิลเบนซีน พาราไซลีน ออร์โทไซลีน และเมตะไซลีน สามารถกำจัดได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพดีในช่วงเวลา 30 – 120 นาที
- ที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัด BTEX ได้ดีในช่วงแรก ๆ เท่านั้น จากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงทันที
- อัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการกำจัด BTEX คือ ที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที สามารถกำจัด BTEX ได้ถึง 673.83 มิลลิกรัม ต่อท่อน้ำซึมความยาว 1 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการดูดซับ BTEX ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ท่อน้ำซึมทำจากผงยางรถยนต์ สามารถสรุปข้อเสนอแนะต่างๆ ที่อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป มีดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเข้มข้น BTEX สูตรท่อน้ำซึมต่าง ๆ เป็นต้น

2. ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ด้วยท่อน้ำซึม
3. ศึกษาผลการนำท่อน้ำซึมไปใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม
4. ศึกษาการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของท่อน้ำซึมหลังจากผ่านการใช้งานแล้ว เนื่องจาก
 ยางมีการเชื่อมโยงเป็นเทอร์โมเซต จึงสามารถทนความร้อนได้
5. ศึกษาการทดสอบการชะละลายหลังจากการนำท่อน้ำซึมไปใช้ในการดูดซับ BTEX
6. วิเคราะห์คุณภาพน้ำอื่น ๆ ที่จุดเหมาะสมนอกเหนือจากวิเคราะห์ BTEX
7. ศึกษาการชะละลายของท่อน้ำซึมโดยการแช่น้ำและแช่กรด เพื่อดูว่าต้องใช้ระยะเวลานาน
 เพียงใด จึงจะไม่เกิดการชะละลายของวัสดุที่ใช้ทำท่อน้ำซึม และศึกษาประสิทธิภาพการ
 ดูดซับหลังจากทดสอบการชะละลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.kmutt.ac.th/organization/Research/Intellect/Volati.htm> (15/10/48)
- [2] http://www.nia.or.th/html/activities/activity_040907.htm (15/10/48)
- [3] Jang, J.W., Yoo, T.S., Oh, J.H., and Iwao, I. 1998. Discarded Tire Recycling. Practices in the United States, Japan and Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 22, 1–14.
- [4] สุมณา แจ่มเหมือน. 2547. การผลิตท่อน้ำซึมจากยางธรรมชาติและผงยางรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- [5] อธิธิพล แจ่มชัด. 2545. เอกสารประกอบการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการยาง. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- [6] Amari, T., Nickolas, J., Themelis, Iddo, K., and Wernick, A. 1999. Resource Recovery from Used Rubber Tires. *Resources Policy*, 25, 179-188.
- [7] กรมควบคุมมลพิษ. 2543. ปริมาณผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว.
- [8] <http://www.sepa.org.uk/wastemin/legislandfilldir.htm> (15/10/48)
- [9] Kim, J.Y., Park, J.K., Edid, T.B., and Jung, J.K. 1996. Sorption Capacity of Ground Tires for Vapor Phase Volatile Organic Compound. *Volatile Organic Compound in the Environment*. ASTM STP 1261. Wang, W., Schnoor, J., and Doi, J., Eds. American Society for Testing and Materials. 237-244.
- [10] Kershaw, D.S. and Pamukcu, S. 1997. Ground Rubber: Sorption Media for Ground Water Containing Benzene and O-xylene. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123, 324-334.
- [11] Gunasekara, A.S., Donovan, J.A. and Xing, B. 2000. Ground Discarded Tires Remove Naphthalene, Toluene and Mercury from Water. *Chemosphere*, 41, 1155-1160.
- [12] <http://www.micro-flo.com> (15/10/48)
- [13] <http://www.envirotools.org/factsheets/btex.shtml> (15/10/48)
- [14] กรมควบคุมมลพิษ. 2548. คุณสมบัติของ BTEX.
- [15] <http://www.udru.ac.th/~pasak/xylene.htm> (15/10/48)

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [16] [http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws \(15/10/48](http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws (15/10/48))
- [17] อุตสาหกรรม ภัคดีอยู่สุข. 2545. เอกสารประกอบการสอนเคมีสิ่งแวดล้อม 1. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [18] Smith, C.C., Anderson, W.F., and Freewood, R.J. 2001. Evaluation of Shredded Tyre Chips as Sorption Media for Passive Treatment Walls. *Engineering Geology*, 60, 253-261.
- [19] วศิน จิรไพศาลกุล, วัฒนา ทรัพย์สภาพ และอ้อฮาไพ ใจบุญ. 2547. การศึกษาพอน้ำซึมจากยางรีเคลมและผงยางรถยนต์. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- [20] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2539. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6.
- [21] Mohamead, A., Mottaleb, Mohammad, Z., Abedin, and Mohammad, S., Islam 2003. Determination of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene in River Water by Solid-phase Extraction and Gas Chromatography. *Analytical Science*, 19, 1365-1369.
- [22] ยูพิน ซึ่งเถียรตระกูล. 2548. การกำจัดพินอลในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ผงยาง และพอน้ำซึมจากผงยางรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- [23] กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (ลงวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม)

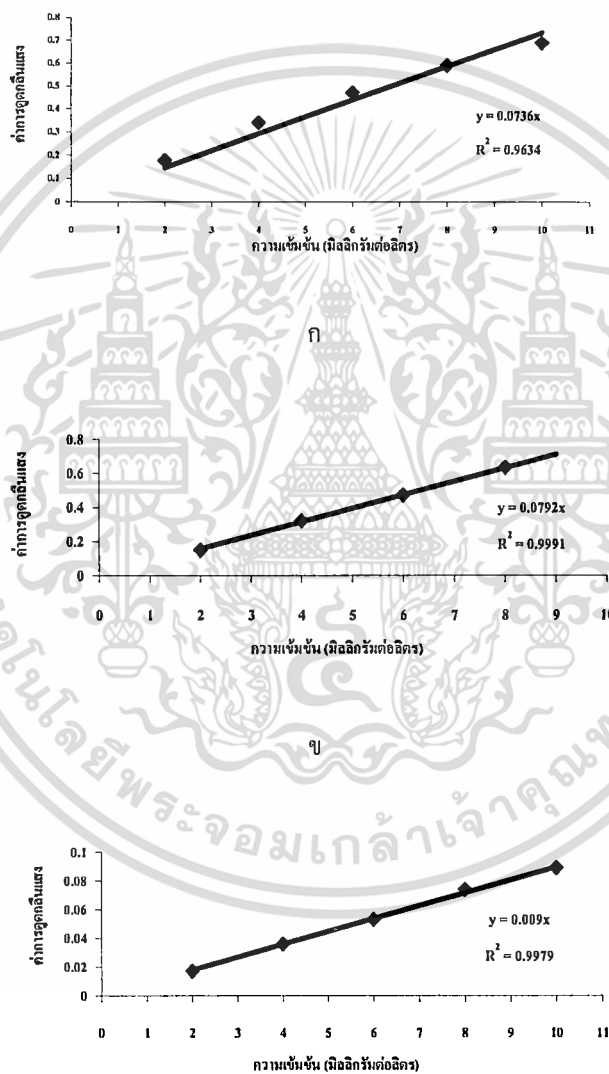


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก1 การศึกษาการทดสอบการชะละลาย

ตารางที่ ก1-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	แบลงค์	2	4	6	8	10
ค่าการดูดกลืนแสงของเหล็ก	0.006	0.178	0.341	0.471	0.592	0.691
ค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่ว	-0.001	0.017	0.036	0.053	0.074	0.089
ค่าการดูดกลืนแสงของสังกะสี	-0.001	0.017	0.036	0.053	0.074	0.089



ก

รูปที่ ก1-1 กราฟมาตรฐานของโลหะ ก. เหล็ก ข. ตะกั่ว ค. สังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1-2 ปริมาณ โลหะจากการทดสอบการชะละลายของท่อน้ำซีเมนต์และท่อน้ำซีเมนต์แบบบด
ที่พีเอช 3, 5 และ 9

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง								
	พีเอช 3			พีเอช 5			พีเอช 9		
	แบลจค์	ท่อ	ท่อบด	แบลจค์	ท่อ	ท่อบด	แบลจค์	ท่อ	ท่อบด
เหล็ก (Fe)									
1	0.000	0.001	0.002	0.005	0.001	0.002	0.006	0.001	0.003
2	0.005	0.002	0.003	0.005	0.001	0.002	0.006	0.001	0.004
3	0.005	0.001	0.002	0.005	0.002	0.003	0.006	0.001	0.002
ค่าเฉลี่ย	0.003	0.001	0.002	0.005	0.001	0.002	0.006	0.001	0.003
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.003	0.0006	0.0006	0.000	0.0006	0.0006	0.000	0.000	0.001
ตะกั่ว (Pb)									
1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ค่าเฉลี่ย	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
สังกะสี (Zn)									
1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ค่าเฉลี่ย	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

หมายเหตุ : n.d. = ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ ก1-3 ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์จากการทดสอบการชะละลายของท่อน้ำซึมและท่อน้ำซึมแบบบดที่พีเอช 3, 5 และ 9

ครั้งที่	พีเอช 3		พีเอช 5		พีเอช 9	
	ท่อ	ท่อบด	ท่อ	ท่อบด	ท่อ	ท่อบด
1	13.798	36.638	16.952	24.852	3.270	21.880
2	13.796	36.636	16.951	24.850	3.260	21.900
3	13.800	36.640	16.953	24.855	3.280	21.860
ค่าเฉลี่ย	13.798	36.638	16.952	24.852	3.270	21.880
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002	0.002	0.001	0.003	0.010	0.020

ก2 การศึกษาอัตราการไหลของท่อน้ำซึมที่ระดับแรงดันบีมต่าง ๆ

ตารางที่ ก2-1 อัตราการไหลของท่อน้ำซึมที่ระดับแรงดันบีมต่าง ๆ

แรงดันบีม	ครั้งที่	ปริมาตร (มิลลิเมตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (มิลลิเมตรต่อนาที)	
2	1	20	2.020	9.901	
	2	20	2.030	9.852	
	3	20	2.011	9.945	
	4	20	2.022	9.891	
	5	20	2.026	9.872	
	6	20	2.027	9.867	
	7	20	2.025	9.877	
	8	20	2.027	9.867	
	9	20	2.028	9.862	
	10	20	2.028	9.862	
	อัตราการไหลเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อนาที)				9.900
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.03
6	1	20	0.700	28.571	
	2	20	0.702	28.490	
	3	20	0.697	28.694	
	4	20	0.699	28.612	
	5	20	0.689	29.028	
	6	20	0.701	28.531	
	7	20	0.694	28.818	
	8	20	0.695	28.777	
	9	20	0.688	29.070	
	10	20	0.697	28.694	
	อัตราการไหลเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อนาที)				28.7
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก2-1 อัตราการไหลของท่อน้ำซึมที่ระดับแรงดันปั๊มต่าง ๆ (ต่อ)

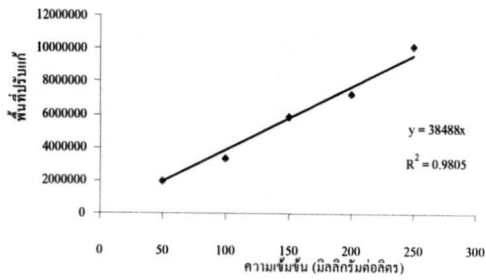
แรงดันปั๊ม	ครั้งที่	ปริมาตร (มิลลิเมตร)	เวลา (นาที)	อัตราการไหล (มิลลิเมตรต่อนาที)
10	1	20	0.501	39.920
	2	20	0.499	40.080
	3	20	0.500	40.000
	4	20	0.498	40.161
	5	20	0.499	40.080
	6	20	0.502	39.841
	7	20	0.501	39.920
	8	20	0.500	40.000
	9	20	0.497	40.241
	10	20	0.503	39.761
อัตราการไหลเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อนาที)				40.0
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.15

ก3 การศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึม ที่อัตราการไหลระดับต่างๆ

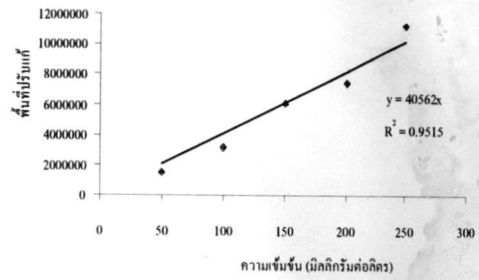
ตารางที่ ก3-1 กราฟมาตรฐาน BTEX

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ตัวทดลอง	เวลาดังไว้ (Retention time)	พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)
50	เบนซีน	2.658	192440
	โทลูอีน	4.958	1483153
	เอทิลเบนซีน	8.550	1073943
	เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.887	2071354
	ออร์โทไซลีน	9.752	989172
100	เบนซีน	2.658	3288684
	โทลูอีน	4.953	3132423
	เอทิลเบนซีน	8.545	1541830
	เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.871	3171626
	ออร์โทไซลีน	9.747	2060499
150	เบนซีน	2.658	5825964
	โทลูอีน	4.953	6036903
	เอทิลเบนซีน	8.534	4507210
	เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.861	9698832
	ออร์โทไซลีน	9.742	4832546
200	เบนซีน	2.657	7245348
	โทลูอีน	4.948	7406730
	เอทิลเบนซีน	8.554	4980892
	เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.855	9931417
	ออร์โทไซลีน	9.736	5059592
250	เบนซีน	2.652	10176085
	โทลูอีน	4.948	11211934
	เอทิลเบนซีน	8.529	10074296
	เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.850	23707140
	ออร์โทไซลีน	9.731	9464886

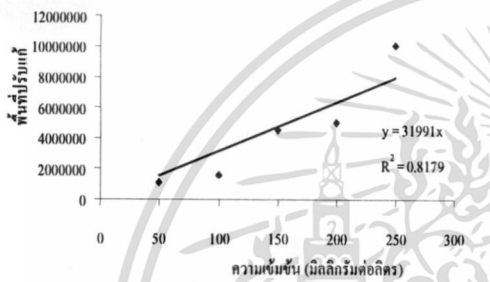
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



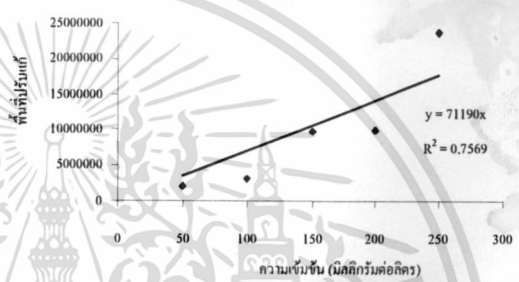
ก



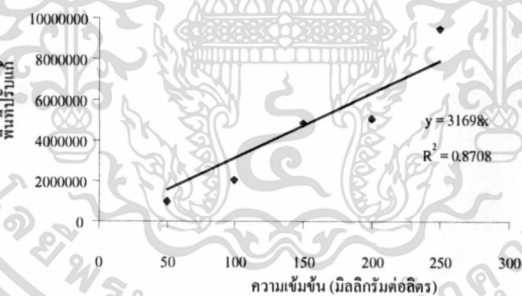
ข



ค



ง



จ

รูปที่ ก3-1 กราฟมาตรฐาน ก. เบนซีน ข. โทลูอิน ค. เอทิลเบนซีน ง. เมตะไซลีน และ พาราไซลีน
จ. ออร์โทไซลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-2 ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล

9.9 มิลลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม)

ตัวควบคุม	เวลาดังไว้ (Retention time)	พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)
5 นาที			
เบนซีน	2.688	402433.000	10.456
โทลูอิน	5.024	201118.000	4.958
เอทิลเบนซีน	8.639	112409.000	3.514
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	9.000	352418.000	4.950
ออร์โธไซลีน	9.847	168077.000	4.144
10 นาที			
เบนซีน	2.682	1456890.000	37.853
โทลูอิน	5.013	824340.000	20.323
เอทิลเบนซีน	8.607	569542.000	17.803
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.941	1084369.000	15.232
ออร์โธไซลีน	9.815	549841.000	13.556
20 นาที			
เบนซีน	2.682	1337139.000	34.742
โทลูอิน	5.013	768783.000	18.953
เอทิลเบนซีน	8.617	305384.000	9.546
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.941	1048196.000	14.724
ออร์โธไซลีน	9.815	638489.000	15.741
30 นาที			
เบนซีน	2.682	1341170.000	34.846
โทลูอิน	5.013	751578.000	18.529
เอทิลเบนซีน	8.617	547017.000	17.099
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.930	1056484.000	14.840
ออร์โธไซลีน	9.815	683007.000	16.839

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-3 ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที
(ตัวทดลอง)

ตัวทดลอง	เวลาคงไว้ (Retention time) (นาที)	ตัวควบคุม		ตัวทดลอง		เปอร์เซ็นต์ การกำจัด
		พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	
5 นาที						
เบนซีน	2.682	402433.000	10.456	472088.000	(12.266)	-17.311
โทลูอิน	5.018	201118.000	4.958	249286.000	(6.146)	-23.961
เอทิลเบนซีน	-	112409.000	3.514	n.d.	n.d.	100.000
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	-	352418.000	4.950	n.d.	n.d.	100.000
ออร์โทไซลีน	9.820	168077.000	4.144	112735.000	2.779	32.939
10 นาที						
เบนซีน	2.682	1456890.000	37.853	418705.000	10.879	71.260
โทลูอิน	5.013	824340.000	20.323	178569.000	4.402	78.340
เอทิลเบนซีน	-	569542.000	17.803	n.d.	n.d.	100.000
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	9.006	1084369.000	15.232	159419.000	2.239	85.301
ออร์โทไซลีน	-	549841.000	13.556	n.d.	n.d.	100.000
20 นาที						
เบนซีน	2.682	1337139.000	34.742	256873.000	6.674	80.790
โทลูอิน	5.013	768783.000	18.953	168965.000	4.166	78.019
เอทิลเบนซีน	-	305384.000	9.546	n.d.	n.d.	100.000
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	9.017	1048196.000	14.724	49303.000	0.693	95.293
ออร์โทไซลีน	-	638489.000	15.741	n.d.	n.d.	100.000

หมายเหตุ : n.d. = ไม่สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-3 ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 9.9 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวทดลอง) (ต่อ)

ตัวทดลอง	เวลาคงไว้ (Retention time) (นาที)	ตัวควบคุม		ตัวทดลอง		เปอร์เซ็นต์ การกำจัด
		พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)	ความ เข้มข้น (พีพีเอ็ม)	
30 นาที						
เบนซีน	2.682	1341170.000	34.846	791073.000	20.554	41.015
โทลูอีน	5.013	751578.000	18.529	499854.000	12.323	33.493
เอทิลเบนซีน	8.606	547017.000	17.099	56207.000	1.757	89.725
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	9.017	1056484.000	14.840	242439.000	3.406	77.049
ออร์โทไซลีน	9.826	683007.000	16.839	238558.000	5.881	65.075

ตารางที่ ก3-4 ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม)

ตัวควบคุม	เวลาคงไว้ (Retention time)	พื้นที่ปรับแก้ (Corrected area)	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)
5 นาที			
เบนซีน	2.693	2955639	76.794
โทลูอีน	5.035	1968076	48.520
เอทิลเบนซีน	8.634	832963	26.037
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.957	1875389	26.343
ออร์โทไซลีน	9.837	1380255	34.028
10 นาที			
เบนซีน	2.693	2655876	69.005
โทลูอีน	5.029	1631961	40.234
เอทิลเบนซีน	8.628	759895	23.753
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.968	1441813	20.253
ออร์โทไซลีน	9.837	1041636	25.680
20 นาที			
เบนซีน	2.693	2173745	56.479
โทลูอีน	5.035	1441092	35.528
เอทิลเบนซีน	8.639	653749	20.435
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.973	1184175	16.634
ออร์โทไซลีน	9.847	939410	23.160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-4 ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล

28.7 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม) (ต่อ)

ตัวควบคุม	เวลากงไว้	พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)
30 นาที			
เบนซีน	2.693	5313678	138.061
โทลูอีน	5.029	4886529	120.471
เอทิลเบนซีน	8.623	3205861	100.211
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.952	5857482	82.280
ออร์โทไซลีน	9.831	3438293	84.766
60 นาที			
เบนซีน	2.677	7714167	200.430
โทลูอีน	4.992	9991079	246.316
เอทิลเบนซีน	8.58	6799342	212.539
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.809	15242845	214.115
ออร์โทไซลีน	9.788	7380100	181.946
90 นาที			
เบนซีน	2.677	9194569	238.894
โทลูอีน	4.991	8881760	218.968
เอทิลเบนซีน	8.579	6770711	211.644
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.903	12449451	174.876
ออร์โทไซลีน	9.788	6570599	161.989
120 นาที			
เบนซีน	2.671	6408968	166.519
โทลูอีน	4.991	6477114	159.684
เอทิลเบนซีน	8.58	4443418	138.896
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.914	8535475	119.897
ออร์โทไซลีน	9.788	3878740	95.625
180 นาที			
เบนซีน	2.672	8537070	221.811
โทลูอีน	4.992	7568423	186.589
เอทิลเบนซีน	8.58	5265118	164.581
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.909	10170629	142.866
ออร์โทไซลีน	9.788	4976045	122.678
300 นาที			
เบนซีน	2.677	3921839	101.898
โทลูอีน	4.997	3107510	76.611
เอทิลเบนซีน	8.585	2182425	68.220
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.914	3310581	46.503
ออร์โทไซลีน	9.794	1562688	38.526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-5 ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิตรต่อนาที
(ตัวทดลอง)

ตัวทดลอง	เวลากงไว้ (นาที)	ตัวควบคุม		ตัวทดลอง		เปอร์เซ็นต์ การกำจัด
		พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	
5 นาที						
เบนซีน	2.693	2955659	76.794	2720251	70.678	7.964
โทลูอิน	5.035	1968076	48.520	1432268	35.311	27.224
เอทิลเบนซีน	8.634	832963	26.037	655949	20.504	21.250
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.957	1875389	26.343	602418	8.462	67.878
ออร์โทไซลีน	9.842	1380255	34.028	785362	19.362	43.010
10 นาที						
เบนซีน	2.693	2655876	69.005	2568076	66.724	3.306
โทลูอิน	5.035	1631961	40.234	1159780	28.593	28.933
เอทิลเบนซีน	8.634	759895	23.753	534553	16.709	29.655
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.957	1441813	20.253	956892	13.441	33.634
ออร์โทไซลีน	9.848	1041636	25.680	653084	16.101	37.301
20 นาที						
เบนซีน	2.682	2173745	56.479	1891497	49.145	12.985
โทลูอิน	5.018	1441092	35.528	785579	19.367	45.488
เอทิลเบนซีน	8.628	653749	20.435	234591	7.333	64.115
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.946	1184175	16.634	405370	5.694	65.769
ออร์โทไซลีน	9.815	939410	23.160	309238	7.624	67.081
30 นาที						
เบนซีน	2.682	5313678	138.061	1637505	42.546	69.183
โทลูอิน	5.019	4886529	120.471	710865	17.525	85.453
เอทิลเบนซีน	8.617	3205861	100.211	218587	6.833	93.181
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.936	5857482	82.280	439311	6.171	92.500
ออร์โทไซลีน	9.826	3438293	84.766	384737	9.485	88.810
60 นาที						
เบนซีน	2.682	7714167	200.430	3425082	88.991	55.600
โทลูอิน	5.013	9991079	246.316	1710920	42.180	82.876
เอทิลเบนซีน	8.601	6799342	212.539	576782	18.030	91.517
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.93	15242845	214.115	1278117	17.954	91.615
ออร์โทไซลีน	9.815	7380100	181.946	771086	19.010	89.552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-5 ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 28.7 มิลลิตรต่อนาที (ตัวทดลอง) (ต่อ)

ตัวทดลอง	เวลาคงไว้ (นาที)	ตัวควบคุม		ตัวทดลอง		เปอร์เซ็นต์ การกำจัด
		พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	
90 นาที						
เบนซีน	2.682	9194569	238.894	3318545	86.223	63.907
โทลูอีน	5.013	8881760	218.968	1577701	38.896	82.237
เอทิลเบนซีน	8.612	6770711	211.644	684402	21.394	89.891
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.941	12449451	174.876	1079550	15.164	91.329
ออร์โทไซลีน	9.815	6570599	161.989	912111	22.487	86.118
120 นาที						
เบนซีน	2.682	6408968	166.519	2091974	54.354	67.359
โทลูอีน	5.013	6477114	159.684	1045524	25.776	83.858
เอทิลเบนซีน	8.612	4443418	138.896	361079	11.287	91.874
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.947	8535475	119.897	593096	8.331	93.052
ออร์โทไซลีน	9.821	3878740	95.625	492135	12.133	87.312
180 นาที						
เบนซีน	2.677	8537070	221.811	8861651	230.245	-3.802
โทลูอีน	4.991	7568423	186.589	7567739	186.572	0.009
เอทิลเบนซีน	8.585	5265118	164.581	4947192	154.643	6.0384
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.909	10170629	142.866	9226971	129.610	9.2786
ออร์โทไซลีน	9.788	4976045	122.678	4326270	106.658	13.059
300 นาที						
เบนซีน	2.677	3921839	101.898	4480552	116.414	-14.246
โทลูอีน	4.992	3107510	76.611	2881106	71.030	7.2849
เอทิลเบนซีน	8.585	2182425	68.220	1533250	47.928	29.745
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.92	3310581	46.503	2960077	41.580	10.586
ออร์โทไซลีน	9.794	1562688	38.526	1922628	47.400	-23.034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-6 ผลการควบคุมคุณภาพการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที (ตัวควบคุม)

ตัวควบคุม	เวลาคงไว้	พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)
5 นาที			
เบนซีน	2.682	3995005	103.799
โทลูอีน	5.013	3188290	78.603
เอทิลเบนซีน	8.606	2150352	67.217
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.925	4580834	64.347
ออร์โทไซลีน	9.81	2024865	49.920
10 นาที			
เบนซีน	2.682	4626570	120.208
โทลูอีน	5.013	3632304	89.549
เอทิลเบนซีน	8.606	3112608	97.296
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.93	5991205	84.158
ออร์โทไซลีน	9.81	3479191	85.775
20 นาที			
เบนซีน	2.682	1032070	26.815
โทลูอีน	5.013	895597	22.080
เอทิลเบนซีน	8.601	823157	25.731
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.925	1523061	21.394
ออร์โทไซลีน	9.804	927573	22.868
30 นาที			
เบนซีน	2.682	2982983	77.504
โทลูอีน	5.013	2499505	61.622
เอทิลเบนซีน	8.612	1531528	47.874
เมตะไซลีน, พาราไซลีน	8.935	3527559	49.551
ออร์โทไซลีน	9.815	1651940	40.726

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3-7 ผลการศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึมที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที
(ตัวทดลอง)

ตัวทดลอง	เวลากงไว้ (นาที)	ตัวควบคุม		ตัวทดลอง		เปอร์เซ็นต์ การกำจัด
		พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	พื้นที่ปรับแก้	ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	
5 นาที						
เบนซีน	2.688	3995005	103.799	1630701	42.369	59.182
โทลูอีน	5.024	3188290	78.603	743462	18.329	76.682
เอทิลเบนซีน	8.617	2150352	67.217	311094	9.724	85.533
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.947	4580834	64.347	617464	8.673	86.521
ออร์โทไซลีน	9.821	2024865	49.920	667560	10.031	79.906
10 นาที						
เบนซีน	2.682	4626570	120.208	1247299	32.407	73.041
โทลูอีน	5.019	3632304	89.549	543150	13.391	85.046
เอทิลเบนซีน	8.612	3112608	97.296	229181	7.164	92.637
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.941	5991205	84.158	508734	7.146	91.509
ออร์โทไซลีน	9.815	3479191	85.775	298424	7.357	91.423
20 นาที						
เบนซีน	2.682	1032070	26.815	1683966	(43.753)	-63.166
โทลูอีน	5.013	895597	22.080	767136	18.913	14.343
เอทิลเบนซีน	8.606	823157	25.731	229359	7.169	72.139
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.957	1523061	21.394	384837	5.406	74.731
ออร์โทไซลีน	9.826	927573	22.868	338788	8.352	63.477
30 นาที						
เบนซีน	2.682	2982983	77.504	2974939	77.295	0.270
โทลูอีน	5.013	2499505	61.622	1079073	26.603	56.829
เอทิลเบนซีน	8.612	1531528	47.874	538570	16.835	64.835
เมทิลไซลีน, พาราไซลีน	8.952	3527559	49.551	869876	12.219	75.341
ออร์โทไซลีน	9.821	1651940	40.726	667560	16.458	59.588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
การคำนวณความเข้มข้นของ BTEX
ที่ทนนำซึมสามารถดูดซับได้ต่อความยาว 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณความเข้มข้นของ BTEX ที่ท่อน้ำซึมสามารถดูดซับได้ต่อความยาว 1 เมตร

การศึกษาการดูดซับ BTEX ด้วยท่อน้ำซึม ที่อัตราการไหลระดับต่าง ๆ
ที่แรงดันป้อน ระดับ 6

มีอัตราการไหล 28.7 มิลลิลิตรต่อนาที

ท่อน้ำซึมมีประสิทธิภาพดีในช่วงเวลา 30 – 120 นาที

ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 90 นาที

$$\begin{aligned} \text{มีปริมาณ BTEX} &= 100 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} * 28.7 \text{ มิลลิลิตรต่อนาที} * 90 \text{ นาที} * 1 \text{ ลิตร/1,000 มิลลิลิตร} \\ &= 258.3 \text{ มิลลิกรัม} \end{aligned}$$

ความยาวท่อน้ำซึม 34.5 เซนติเมตร มีปริมาณ BTEX 258.3 มิลลิกรัม

ถ้าความยาวท่อน้ำซึมเป็น 1 เมตร จะสามารถบำบัดน้ำเสียได้

$$\begin{aligned} &= (258.3 \text{ มิลลิกรัม} / 34.5 \text{ เซนติเมตร}) * (100 \text{ เซนติเมตร} / 1 \text{ เมตร}) \\ &= 748.7 \text{ มิลลิกรัมต่อเมตร} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพการกำจัด อยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์

น้ำเสียสังเคราะห์ BTEX มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร บำบัดได้ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถ้าน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX มีความเข้มข้น 748.7 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัดได้

$$\begin{aligned} &= (90 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} / 100 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร}) * 748.7 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \\ &= 673.83 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX ในช่วงเวลา 30 – 120 นาที (เปอร์เซ็นต์)

เวลา	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที		
เบนซีน	69.183	55.600	63.907	67.359	ค่าเฉลี่ย	64.01
โทลูอิน	85.453	82.876	82.237	83.858	ค่าเฉลี่ย	84.36
เอทิลเบนซีน	93.181	91.517	89.891	91.874	ค่าเฉลี่ย	91.62
เมตะไซลีน,	92.500	91.615	91.329	93.052	ค่าเฉลี่ย	92.12
พาราไซลีน						
ออร์โธไซลีน	88.810	89.552	86.118	87.312	ค่าเฉลี่ย	87.95

การคำนวณความสามารถในการกำจัด BTEX ต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม

ความยาวท่อน้ำซึม 34.5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 57.11 กรัม

ถ้าความยาวท่อน้ำซึม 100 เซนติเมตร มีน้ำหนัก

$$= \frac{57.11 \text{ กรัม}}{34.5 \text{ เซนติเมตร}} \times 100 \text{ เซนติเมตร}$$

$$= 165.5 \text{ กรัมต่อเมตร}$$

ท่อน้ำซึม 120 กรัม มีปริมาณผงยางรถยนต์ 100 กรัม

ถ้าท่อน้ำซึม 165.5 กรัม มีปริมาณผงยางรถยนต์

$$= \frac{100 \text{ กรัม}}{120 \text{ กรัม}} \times 165.5 \text{ กรัม}$$

$$= 137.92 \text{ กรัม}$$

ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ BTEX ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียสังเคราะห์ BTEX ปริมาตร 1 ลิตร และท่อน้ำซึมความยาว 1 เมตร มีปริมาณผงยางรถยนต์ 137.92 กรัม

ประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีน

$$= \left(\frac{64.01}{100} \times 100 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times 1 \text{ ลิตร} \right) / 137.92 \text{ กรัม}$$

$$= 0.464 \sim 0.5 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น สามารถกำจัดเบนซีนได้ 0.5 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม

ประสิทธิภาพการกำจัดโทลูอิน

$$= \left(\frac{84.36}{100} \times 100 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times 1 \text{ ลิตร} \right) / 137.92 \text{ กรัม}$$

$$= 0.612 \sim 0.6 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น สามารถกำจัดโทลูอินได้ 0.6 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม

ประสิทธิภาพการกำจัดเอทิลเบนซีน

$$= \left(\frac{91.62}{100} \times 100 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times 1 \text{ ลิตร} \right) / 137.92 \text{ กรัม}$$

$$= 0.664 \sim 0.7 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น สามารถกำจัดเอทิลเบนซีนได้ 0.7 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม

ประสิทธิภาพการกำจัดเมตะไซลีนและพาราไซลีน

$$= \left(\frac{92.12}{100} \times 100 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times 1 \text{ ลิตร} \right) / 137.92 \text{ กรัม}$$

$$= 0.668 \sim 0.7 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น สามารถกำจัดเมตะไซลีนและพาราไซลีนได้ 0.7 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม

ประสิทธิภาพการกำจัดออร์โทไซลีน

$$= \left(\frac{87.95}{100} \times 100 \frac{\text{มิลลิกรัม}}{\text{ลิตร}} \times 1 \text{ ลิตร} \right) / 137.92 \text{ กรัม}$$

$$= 0.638 \sim 0.6 \text{ มิลลิกรัมต่อกรัม}$$

ดังนั้น สามารถกำจัดออร์โทไซลีนได้ 0.6 มิลลิกรัมต่อผงยางรถยนต์ 1 กรัม