ข้อมูลข่าวสาร วศ.

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กฟ
อว 49

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 2

การศึกษาองค์ประกอบและชนิด ของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์

โดย

นางสายพิณ สืบสันติกุล
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 2

การศึกษาองค์ประกอบและชนิด ของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์

เลขหมู่ กฟ
ด๐ 49
เลขทะเบียน 9943
วันที่ 14 พ.ค. 44

โดย

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
กฟ.

นางสายพิณ สืบสันติกุล
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ทดสอบลักษณะของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) และวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบชนิด ส่วนประกอบของพื้นผิวโลหะ (Energy Dispersive Spectrometer) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายลักษณะเส้นใยและสเปกตรัมของตัวอย่างกับภาพถ่ายและสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักแต่ละชนิด

จากการวิเคราะห์ทดสอบเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ จำนวน 7 ตัวอย่าง พบว่ามีลักษณะแบนยาวและเป็นท่อนคล้ายท่อซึ่งไม่เหมือนเส้นใยแอสเบสตอสที่เป็นส่วนประกอบของผ้าเบรกรถยนต์โดยทั่วไป เส้นใยเหล่านี้มีธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบ คือ แมกนิเซียม (Mg) อะลูมิเนียม (Al) ซิลิคอน (Si) แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) คล้ายองค์ประกอบของเส้นใยแอสเบสตอส แต่อัตราส่วนความสูงของพีค (Peak height) ของธาตุแต่ละธาตุแตกต่างจากเส้นใยแอสเบสตอส และจากการวิเคราะห์ด้วยเอสซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น (X-ray Diffraction) ไม่พบพีคที่ตรงกับพีคของแอสเบสตอส จึงสรุปได้ว่าเส้นใยที่พบในผ้าเบรกรถยนต์ที่ได้วิเคราะห์ทดสอบไม่ใช่แอสเบสตอส ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยที่มีธาตุเหล็กและไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ยังสามารถนำไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ทดสอบองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่นผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา แผ่นฝ้าเพดานเก็บเสียงกันความร้อน ผนังกั้นห้อง เส้นเชือกฉนวนกันความร้อนและแป้งเด็ก ได้อีกด้วย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		
สารบัญภาพ	.....	ก
สารบัญตาราง	.....	ข
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2-3
	1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	3
บทที่ 2	**ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	4-10
บทที่ 3	**วิธีดำเนินการทดสอบ**	
	3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทดสอบ	11
	3.2 วิธีวิเคราะห์ทดสอบ	
	3.2.1 การวิเคราะห์ชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	11-12
	3.2.2 การวิเคราะห์หาชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบชนิด ส่วนประกอบของพื้นผิวโลหะ (EDS)	12
	3.2.3 การวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างผลึกของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น (X- ray Diffraction)	12
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ทดสอบ	
	เปรียบเทียบโครงสร้างของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์และธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักกับภาพถ่าย และสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลัก	13-26
บทที่ 5	**สรุปและวิจารณ์ผล**	27-28
กิตติกรรมประกาศ	.....	29
บรรณานุกรม	.....	30
ภาคผนวก	.....	31

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย [1] [18] [19]

การปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตได้รุดหน้าไปอย่างรวดเร็วและตลอดเวลาเพื่อผลิตยนตรกรรมที่มีสมรรถนะสูง ประหยัดเชื้อเพลิง แต่ให้มีประสิทธิภาพที่ยอดเยี่ยม เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ผู้ผลิตยังปรับปรุงระบบความปลอดภัยในด้านต่าง ๆ ควบคู่กันไป เป็นการสร้างความไว้วางใจให้ผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะระบบความปลอดภัยพื้นฐานได้แก่ระบบเบรก ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวห้ามไม่ให้ล้อหมุน คือ ผ้าเบรกทำให้เกิดการแข่งขันในด้านการผลิตให้เทียบเท่าระดับสากล และกลายเป็นสินค้าส่งออก

การผลิตผ้าเบรกรถยนต์มีแอสเบสตอส (Asbestos) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เนื่องจากสมบัติของแอสเบสตอสทนความร้อนได้สูง ต้านทานแรงเสียดทานได้เป็นอย่างดี เหมาะในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทนความร้อนและแรงเสียดทาน แต่เส้นใยชนิดนี้ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษเนื่องจากการฟุ้งกระจายในบรรยากาศและอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน เมื่อสูดดมเข้าไปในร่างกายทำให้เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งได้ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงการผลิตผ้าเบรกรถยนต์โดยใช้สารสังเคราะห์ชนิดอื่นทดแทน เป็นการลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดความรำคาญและเดือดร้อนของประชาชน ดังนั้นการวิเคราะห์ทดสอบผ้าเบรกรถยนต์ว่ามีแอสเบสตอสผสมอยู่หรือไม่ จึงเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและผู้ผลิตในการผลิตผ้าเบรกรถยนต์เพื่อเป็นอุตสาหกรรมส่งออก ถึงแม้ว่าอันตรายอันเกิดจากแอสเบสตอสของผ้าเบรกรถยนต์อาจเป็นอันตรายทางอ้อม แต่เพื่อเป็นการลดปัญหามลพิษและผู้ที่เกี่ยวข้องได้อีกทางด้วย

อันตรายอันเกิดจากผ้าเบรกรถยนต์ที่มีเส้นใยแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบจะเป็นอันตรายในทางอ้อม แต่เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องได้มีความรู้ความเข้าใจถึงอันตรายอันเกิดจากคุณสมบัติของเส้นใยแอสเบสตอสทำให้สามารถเลือกใช้ผ้าเบรกรถยนต์ได้ตามความต้องการ และโรงงานผู้ผลิตจะต้องมีมาตรการควบคุมและป้องกันการฟุ้งกระจายของเส้นใยแอสเบสตอสเพื่อคุ้มครองความปลอดภัยของผู้เกี่ยวข้อง

เนื่องจากยังไม่มีวิธีวิเคราะห์ทดสอบเพื่อหาชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์โดยเฉพาะ ดังนั้นการที่จะยืนยันชนิดของเส้นใยที่พบในตัวอย่างนั้น จึงเป็นเรื่องยุ่งยาก เพราะการใช้เทคนิคใดเทคนิคหนึ่งไม่สามารถให้ข้อมูลเพียงพอที่จะสรุปหาชนิดของเส้นใยได้ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคหลาย ๆ เทคนิค และเครื่องมือขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอที่จะสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้นจึงทำให้มีการศึกษาค้นคว้าวิธีวิเคราะห์ทดสอบผ้าเบรกรถยนต์ที่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกรถยนต์ที่ไม่มีส่วนผสมของแอสเบสตอส และทำให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพของผ้าเบรกแก่ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ เป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมภายในประเทศ และสนับสนุนให้ผู้ผลิตผลิตผ้าเบรกรถยนต์ที่ไม่มีส่วนผสมของแอสเบสตอสแต่มีคุณภาพดีเทียบเท่ากับผ้าเบรกรถยนต์ที่มีแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบ ทำให้ได้ผ้าเบรกที่มีคุณภาพและกลายเป็นสินค้าส่งออกได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ทดสอบเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ เป็นเส้นใยแอสเบสตอสหรือไม่

1.2.2 เพื่อชี้ให้เห็นถึงอันตรายอันเกิดจากแอสเบสตอสที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกรถยนต์

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ทดสอบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่อาจจะมีแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบ

1.2.4 เพื่อเป็นข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยที่เกี่ยวกับเส้นใยแอสเบสตอสต่อไป

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1.3.1 ศึกษาชนิดของแอสเบสตอส

1.3.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการของเครื่องมือที่ใช้ เช่น Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectrometer (EDS), X-ray diffraction (XRD)

1.3.3 ศึกษาองค์ประกอบและชนิดของเส้นใยที่ใช้ทำผ้าเบรกรถยนต์

1.3.4 ศึกษาถึงอันตรายอันเนื่องมาจากเส้นใยแอสเบสตอส

1.3.5 วิเคราะห์ทดสอบผ้าเบรกรถยนต์จำนวน 7 ชนิด

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เป็นการส่งเสริมและสนับสนุนให้ใช้ผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกรถยนต์ที่ไม่มีส่วนประกอบของแอสเบสตอส

1.4.2 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบผ้าเบรกรถยนต์ของผู้ปฏิบัติงานต่อไป

1.4.3 เป็นแนวทางสำหรับห้องปฏิบัติการอื่น ๆ สามารถนำไปใช้ในการตรวจพิสูจน์ว่ามีแอสเบสตอสในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หรือไม่

1.4.4 เป็นข้อมูลของอันตรายอันเกิดจากแอสเบสตอสที่ฟุ้งกระจายในบรรยากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนและโลกที่เกิดจากอันตรายของฝุ่นใยหิน

1.4.5 เป็นข้อมูลในการศึกษาวิธีวิเคราะห์ทดสอบที่ไม่มีวิธีวิเคราะห์โดยเฉพาะ ต้องใช้หลายเทคนิค ซึ่งแต่ละเทคนิคมีความยุ่งยากมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปได้

1.4.6 เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานวิจัยต่อไปในเรื่องของคุณสมบัติของผ้าเบรกรถยรต์ที่ไม่มีแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

มกราคม 2539 - ธันวาคม 2539

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แอสเบสตอสหรือแร่ใยหิน เป็นแร่ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อนำมาแยกในทางเชิงกล จะได้แร่ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ทนความร้อนได้สูง เผาไม่ไหม้ คุณสมบัติทางเคมีเป็นอนินทรีย์สารประเภทผลึกที่มีลักษณะเป็นเส้นใย มีซิลิเกตและโมเลกุลของน้ำเป็นหลัก โดยมีโมเลกุลของโลหะโดยเฉพาะแมกนิเซียมเป็นองค์ประกอบ เส้นใยชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในงาน อุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก เนื่องจากคุณสมบัติที่ทนความร้อนได้สูง ตั้งแต่ 700 ถึง 1,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป ทนต่อแรงดันสูงตั้งแต่ 5,000 ถึง 31,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทนต่อสารเคมี กรดและด่าง และทนต่อเชื้อจุลินทรีย์อีกด้วย

แร่ใยหินมีอยู่หลายชนิด แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ [3] [13] [16] [17]

1. <u>กลุ่มแอมฟิโบลส์ (Amphiboles)</u> เส้นใยประเภทนี้มีลักษณะเหยียดตรงเป็นแท่งคล้ายเข็ม มีลักษณะเปราะบางร่วนและอยู่ในปอดได้นาน มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ในการอุตสาหกรรม ดังภาพที่ ก-1 ถึง ก-6

1.1 โครซิโดไลท์ (Crocidolite) หรือ blue asbestos เส้นใยมีสีฟ้าเข้ม ปลายแหลมคมเป็นแฉก ความยาวของเส้นใยมีขนาด ½ นิ้ว ถึง 3 นิ้ว จุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น ๆ มีความทานต่อกรดสูง มีความเหนียวสูง ยืดหยุ่นได้ดี จึงมักนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมต่อเรือ เป็นต้น

1.2 อะโมไซท์ (Amosite) หรือ brown asbestos เส้นใยมีสีน้ำตาล เส้นใยเหยียดตรง ปลายแหลม มีความแข็งแรง ทนความร้อนและค่อนข้างยืดหยุ่น แต่อาจจะมีปัญหากับกรดและด่างเข้มข้น เหมาะสำหรับทำฉนวนกันความร้อนและวัสดุก่อสร้าง

1.3 แอนโทฟิลไลท์ (Anthophyllite) เป็นเส้นใยสั้นสีขาว เทา น้ำตาล หรือเขียว ทนกรดด่างได้ดีกว่าเส้นใยชนิดอื่น

1.4 ทรีโมไลท์ (Tremolite) เป็นเส้นใยที่เปราะบาง บางครั้งพบอยู่กับครีโซไทล์ ซึ่งนิยมใช้ในการอุตสาหกรรม

1.5 แอคทิโนไลท์ (Actinolite) เส้นใยชนิดนี้ไม่ได้นำมาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม

2. <u>กลุ่มเซอร์เพนไทน์ (Surpentine)</u> เส้นใยประเภทนี้มีลักษณะโค้งหยิกงอเป็นลอนยืดหยุ่นได้ดี เช่น ครีโซไทล์ (Chrysostile), ไลซาไดท์ (lizardite) และ แอนติโกไรท์ (Antigorite) แต่เส้นใยที่นิยมใช้ในวงการอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากมีอยู่ 1 ชนิด ดังภาพ ก-7 ถึง ก-8

2.1 ครีโซไทล์ ใยหินสีขาว เส้นใยมีลักษณะยาวเรียว ละเอียด แข็งแรงทนทาน นำมาปั่นและทอเป็นเส้นด้ายและทอผ้า เส้นใยชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือ ทนความร้อนสูง ซึ่งเป็นสมบัติเด่นของเส้นใยชนิดนี้ไม่มีเส้นใยชนิดอื่นเทียบได้ ประกอบกับสมบัติของความนุ่มและอ่อนตัว จึงมักนิยมทำเส้นด้ายหรือผ้าที่ต้องการทนความร้อนสูง หรือไม่ไหม้ไฟ เช่นทำ ผ้าเบรก คลัช เสื้อผ้าชุดผจญเพลิง หรือเสื้อผ้าที่สวมใส่ในการแข่งรถยนต์ เสื้อผ้าที่ใช้ใส่ทำงานที่เกี่ยวข้องกับความร้อน ทำผ้าม่านทนไฟในโรงละคร โรงภาพยนตร์ ใช้ทำสายพาน เป็นต้น

เนื่องจากสมบัติเด่นของเส้นใยแอสเบสตอสแต่ละชนิดทั้งกลุ่มแอมฟีโบล์และกลุ่มเซอร์เพนไทน์ ทำให้แร่ใยหินเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม ได้แก่ <u>ครีโซไทล์</u> <u>อะโมไซท์</u> <u>แอนโทฟิลไลท์</u> และ <u>โครซิโดไลท์</u> แต่ครีโซไทล์ใยหินสีขาว เป็นเส้นใยที่มีปริมาณการใช้งานประมาณ 95% ของปริมาณการใช้แร่ใยหินทั้งหมดทั่วโลก และมีคุณสมบัติต้านทานแรงเสียดทานได้ดีกว่าเส้นใยหินชนิดแอมฟิโบล์ [13]

เส้นใยแอสเบสตอสแต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี (chemical composition)[13] ที่แตกต่างกันมาก ดังตารางที่ ข-1 และสูตรทางเคมี ดังตารางที่ ข-2 [9] [10] คุณสมบัติทางเคมีของแอสเบสตอสทุกชนิดมีซิลิเกตและน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก อัตราส่วนการรวมตัวของน้ำไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1% โดยประมาณของเบสตอสบางชนิดถึง 14% ของแอสเบสตอสชนิดครีโซไทล์ แต่ก็เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าเส้นใยแอสเบสตอสเป็นแร่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงดินและหินด้วยความร้อน (metamorphic products) มีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 2.5 ของชนิดครีโซไทล์ – 3.3 ของชนิดอื่น ๆ จึงทำให้การวิเคราะห์ทดสอบหาชนิดของเส้นใยแอสเบสตอสจากการวิเคราะห์ทางเคมีนั้นได้ผลที่ไม่แน่นอน

จากการศึกษาพบว่าใยหิน (Asbestos) นอกจากจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากในวงการอุตสาหกรรมก็ยังเป็นอันตรายอย่างมากเช่นกัน อันตรายอันเกิดจากแร่ใยหินเริ่มปรากฏให้เห็นได้ไม่นานนัก หลังจากเริ่มมีการใช้แร่ใยหินในเชิงอุตสาหกรรมค่อนข้างสูงเนื่องจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นใยหินในบรรยากาศ เมื่อสูดดมเข้าไปจะทำให้เกิดเป็นโรคแอสเบสโตซีส (Astestosis) โรคปอดแข็ง และก่อให้เกิดเป็นโรคมะเร็งได้ เป็นอันตรายต่อทางลมหายใจ ปัจจุบันกระทรวงอุตสาหกรรมถือว่าใยหินเป็นวัตถุมีพิษ และยังห้ามนำเข้าใยหินชนิดโครซิโดไทล์ (Crocidolite) หรือ blue asbestos ซึ่งเป็นเส้นใยที่ทำอันตรายให้กับปอดมากที่สุด

อันตรายของเส้นใยต่อสุขภาพ ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีและลักษณะการเรียงตัวทางกายภาพของเส้นใยประกอบกัน ดังนี้ [5] [6] [16] [20]

1. ชนิดและขนาดของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กและฟุ้งกระจายในอากาศเมื่อสูดหายใจเอาเส้นใยเข้าไปก็จะเข้าไปติดในท่อทางเดินหายใจหรือทิ่มตำอยู่ในถุงของปอดได้ เส้นใยที่มีความยาวเกิน 5 ไมครอน และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 3 ไมครอน จะเป็นเส้นใยที่ทำอันตรายให้กับปอดมากที่สุด

เส้นใยที่มีความยาวและแคบจะเป็นเส้นใยที่มีอันตรายมาก เพราะสามารถแทรกเข้าไปทิ่มตำเนื้อเยื่อปอดได้ง่ายกว่าเส้นใยที่มีขนาดสั้นและกว้าง

2. คุณสมบัติของแร่ใยหินเฉพาะตัว ความคงทนของเส้นใยเมื่อเข้าสู่ปอดแล้วยังคงอยู่ในปอดโดยไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าปอดจะมีกลไกป้องกันตัวเองจากสิ่งรบกวนได้โดยจะถูกย่อยสลายไปในเนื้อที่เยื่อปอด แต่บางครั้งที่เส้นใยบางชนิดจะไม่ถูกย่อยสลาย

3. ปริมาณเส้นใยที่หายใจเข้าไปมากจะเกิดอันตรายมากกว่า เพราะโอกาสที่เส้นใยจะตกค้างอยู่ในร่างกายก็จะมีมากขึ้น

ดังนั้นการศึกษาลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแอสเบสตอสจึงมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ในการให้ความรู้ความเข้าใจ อันตรายอันเกิดจากแร่ใยหินชนิดนี้ และหลีกเลี่ยงการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นใยแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบ

กองฟิสิกส์และวิศวกรรมได้ทำการวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผ้าเบรกรถยนต์เป็นจำนวนมาก แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการศึกษาวิจัยลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเส้นใยแอสเบสตอสในผ้าเบรกรถยนต์ โดยทั่วไปผ้าเบรกรถยนต์มีสารแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบเพื่อช่วยต้านทานแรงเสียดทาน ทนความร้อนได้สูง ทนต่อสารเคมีกรดและด่าง

สำหรับชนิดของผ้าเบรกที่ใช้ในระบบเบรกแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ชะลอหรือลดความเร็วของรถยนต์ได้ตามต้องการ หรือเพื่อหยุดการทำงานของล้อรถยนต์ในกรณีของเบรกแบบก้ามปูหรือดรัมเบรก ผ้าเบรกที่อัดติดกับก้ามปูจะถ่างออกไปสัมผัสกับจานเบรก (breake drum) ส่วนในกรณีของเบรกจานหรือดิสก์เบรก (disc breake) ผ้าเบรกจะบีบเข้าไปสัมผัสกับแผ่นจาน ทำให้ล้อหยุดหมุน

<u>สารที่นำมาทำผ้าเบรกรถยนต์ประกอบด้วย</u> [14] [21]

- ยางอคริโลไนตราย – บิวตาไดอีน (Acrylonitrile – butadiene rubber)
- ยางสไตรีน – บิวตาไดอีน (Styrene butadiene rubber)
- เตตราเมทิลไทยูแรมซัลไฟด์ (titra methyl thiuramdisulfide)
- ไดฟีนิลกัวนิดีน (diphenyl guanidine)
- แอสเบสตอส (Assbestos)
- ผงทองเหลือง

กรรมวิธีการผลิตผ้าเบรก ทำให้โดยนำเอาสารที่จะนำมาทำผ้าเบรกมาผสมให้เข้ากัน อัดขึ้นรูปตามแบบ แล้วอบด้วยความร้อนตามเวลาที่กำหนด จะเห็นได้ว่า แอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเพื่อต้าน

ทานแรงเสียดทานและยังผลิตอยู่โดยทั่วไป ถึงแม้ว่าในขณะนี้การผลิตจะเริ่มลดน้อยลง โดยการนำสารสังเคราะห์ชนิดอื่นแทน แต่คุณสมบัติของแอสเบสตอสยังไม่มีสารชนิดใดเทียบเท่าได้ ดังภาพที่ ก-9

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผ้าเบรกรถยนต์ มอก.97-2517 [21] ได้แบ่งประเภทผ้าเบรกตามคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้และตามลักษณะการใช้งาน สำหรับวิธีการทดสอบผ้าเบรกตามมาตรฐานได้กำหนดให้มีการทดสอบรายการ ดังต่อไปนี้

1. คุณลักษณะทั่วไป เช่น รอยแตกร้าว ความไม่สม่ำเสมอของผิว การโค้งงอและความไม่เรียบร้อย
2. ขนาด ความกว้างและความหนาของผ้าเบรก
3. สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
4. อัตราการสึก
5. ความยืดหยุ่น
6. ทดสอบสภาพภายหลังการทดสอบ

ในที่นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ทดสอบลักษณะโครงสร้าง ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์

การวิเคราะห์ทดสอบชนิดและธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนตร์พร้อมอุปกรณ์ที่สำคัญ

1. <u>การวิเคราะห์ทดสอบลักษณะรูปร่าง</u> โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุ (ดังภาพที่ ก-10) และสามารถให้รายละเอียดได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา Optical Microscope (OM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีคุณสมบัติดังนี้

1.1 <u>หลักการทำงาน</u> คล้ายระบบโทรทัศน์วงจรปิด ตัวอย่างจะถูกส่องด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam) ซึ่งถูกปล่อยออกจากขั้วคาโทด (Cathode) ที่ทำด้วยทังสเตน (tungsten) มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ลำแสงอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจะถูกเร่งผ่าน grid ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของอิเล็กตรอนที่จะผ่านไปยังอาโนด (anode) มีระบบเลนซ์แม่เหล็กทำหน้าที่บีบลำแสงอิเล็กตรอนให้เล็กลงและส่องผ่านขดลวดเบี่ยงเบน (Scanning coil) สามารถชักนำให้ลำแสงอิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิด (Primary electron) กระทบผิวของวัตถุจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) กระจายหลุดออกจากผิวของวัตถุ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้จะถูกรับโดยหน่วยรับสัญญาณ (detector) เข้าสู่เครื่องแปลงสัญญาณ (signal amplifier) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณแล้วแปรสัญญาณให้เกิดภาพบนจอภาพของหลอด Cathode ray tube ซึ่งสัญญาณนี้จะใช้ประโยชน์โดยตรงต่อการศึกษาลักษณะโครงสร้าง ดังภาพที่ ก-11

นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถมองเห็นรายละเอียดมากกว่ากล้องจุลทรรศน์ แบบธรรมดา ดังภาพที่ ก-12 ดังตารางเปรียบเทียบ ข-3 และผลของลำแสงอิเล็กตรอนที่ตกกระทบบนชิ้นตัวอย่างยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางกายภาพ เช่น การเรืองรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว การเรืองแสงของชิ้นตัวอย่าง ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถเพิ่มอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพ และปริมาณควบคู่กันไปกับการศึกษาโครงสร้างบนผิวของตัวอย่าง จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดได้

1.2 <u>วิธีการใช้</u> ขั้นตอนการใช้ SEM

1.2.1 เปิดระบบไฟฟ้า และปิดสวิทซ์ระบบสุญญากาศให้ได้สุญญากาศที่เหมาะสม

1.2.2 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้บนแท่นติดตัวอย่าง (stub) ไปเคลือบทอง แล้วนำไปวางบนแท่นวางตัวอย่าง (stage) ในห้องวางตัวอย่าง (specimen chamber) ภายในเครื่อง

1.2.3 เลือกระบบไฟฟ้าแรงสูง (high voltage) ที่เหมาะสมกับตัวอย่าง หลังจากได้ทำให้เกิดระบบสุญญากาศ (vaccum system) ทำให้เกิดลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam)

1.2.4 ปรับลำแสงอิเล็กตรอนและช่องบังคับ (aperture) ให้อยู่ในแนวเดียวกัน (beam aligment)

1.2.5 เลือกกำลังขยาย (magnification) และปรับภาพ (focus) ให้ชัดเพียงพอกับความต้องการ

1.2.6 เลือกบริเวณของตัวอย่างที่ต้องการจะศึกษาและถ่ายภาพด้วยกล้องบันทึกภาพที่ติดอยู่กับเครื่อง SEM

1.2.7 เพิ่มกำลังขยายของภาพ ณ บริเวณที่ต้องการศึกษา ปรับภาพให้ชัด

1.2.8 ลดกำลังขยายของภาพ และถ่ายภาพ

1.3 อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ควบคู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

- <u>เครื่องทำความเย็น</u> (Water cooling) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำหน้าที่เป็นแหล่งกระจายระบบน้ำเย็น เพื่อลดความร้อนให้กับส่วนต่าง ๆ ของกล้องจุลทรรศน์ เช่น ระบบเลนซ์ ระบบสุญญากาศ จะเกิดมีความร้อนในขณะใช้กล้องจุลทรรศน์ฯ ติดต่อเป็นเวลานาน เป็นการป้องกันการเสียหายและบำรุงรักษาเครื่อง SEM ให้มีอายุการใช้งานนาน ประกอบด้วยท่อทำความเย็นเพื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส และปั๊มน้ำเพื่อสูบน้ำเย็นให้ออกและผ่านกล้องจุลทรรศน์ฯ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า อัตราการไหลของน้ำต้องคงที่ น้ำที่ใช้ในระบบต้องเป็นน้ำกลั่น

- <u>เครื่องเคลือบผิวด้วยละอองโลหะ</u> (Ion sputtering) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับเครื่อง SEM ตัวอย่างจะถูกเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้า เพื่อให้นำไฟฟ้าและลดการสะสมของประจุอิเล็กตรอนบนผิวของตัวอย่างไม่ให้เกิดการ charge-up ซึ่งจะรบกวนการเกิดสัญญาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ซึ่งทำให้ภาพปรากฏออกมาให้เห็นสว่างผิดปกติ รายละเอียดก็จะลดน้อยลง

อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นระบบสุญญากาศ (vacuum evaporator) มีหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับให้จำนวนกระแสสูงต่ำได้ตามต้องการ ใช้สำหรับกระจายธาตุหรือโลหะหนัก เช่น ทอง พาราเดียม คาร์บอน ให้กระจายออกไปจับบนผิวตัวอย่าง เป็นการฉาบผิวด้วยโมเลกุลของธาตุ ประกอบด้วยอิเล็กโตรด 2 ตัว ที่ถูกปรับให้มีความต่างศักย์ประมาณ 1.4 กิโลโวล์ท ตัวอย่างวางบนขั้วอาโนดและแผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วคาโทดถูกระดมยิงในสุญญากาศด้วยไอออนที่มีประจุบวก อะตอมของทองกระจายไปทุกทิศทาง ปกคลุมผิวของชิ้นทดสอบ และพร้อมที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM ดังภาพที่ ก-17

2. **<u>เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบชนิด ส่วนประกอบของพื้นผิวโลหะ</u>** Energy Dispersive Spectrometer (EDS) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง ดังภาพที่ ก-13

2.1 <u>หลักการทำงาน</u> โดยอาศัยหลักการ การปล่อยพลังงานของธาตุแต่ละตัวเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอ็กซ์ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิด ทำให้สามารถวัดพลังงานส่วนเกินของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากการแทนที่ของอะตอมในระดับต่าง ๆ จากพลังงานระดับสูงไปสู่ระดับพลังงานต่ำกว่าในรูปของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว (Characteristic X Ray) สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุแต่ละชนิดของวัสดุต่าง ๆ ในจุลบริเวณ (Microarea) เครื่องมือชนิดนี้ใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ พร้อมกับเครื่อง SEM โดยมีชุดอุปกรณ์ต่อระหว่างเครื่อง SEM และเครื่อง EDS ดังภาพที่ ก-14 ซึ่งประกอบด้วย

- ตัวต่อดีเทคเตอร์ (Mount kit for EDS)
- ตัวเลือกสัญญาณ (Image selector)
- ตัวควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน (Beam controller)

ขั้นตอนการประกอบชุดอุปกรณ์ต่อระหว่างเครื่อง SEM และ EDS ดังภาพที่ ก-15 ดังนี้

(1) ทดสอบการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดให้เรียบร้อย

(2) ปิดเครื่อง SEM เปิดช่องข้างห้องใส่ตัวอย่าง เพื่อติดตั้งหัววัดสัญญาณของเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ปรับระยะห่างของหัววัดสัญญาณกับแท่นใส่ตัวอย่างให้เหมาะสม

(3) เติมไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) ที่ติดกับหัววัดสัญญาณ ทิ้งไว้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง เพื่อให้หัววัดมีอุณหภูมิคงที่ ณ จุดใช้งาน

(4) ต่อสายสัญญาณของหัววัดเข้ากับชุดวิเคราะห์

(5) ประกอบชุดวิเคราะห์ เช่น จอภาพ คีบอร์ด เครื่องพิมพ์ บรรจุคำสั่งต่าง ๆ เพื่อการวิเคราะห์อนุมูลพันธ์ (software) ทางคอมพิวเตอร์ เพื่อแยกชนิดของธาตุ คำนวณเชิงปริมาณต่อหน่วยพื้นที่ของตัวอย่างและพิมพ์รายงานเป็นผลการวิเคราะห์ (Analyser system)

2.2 <u>วิธีการใช้</u> ขั้นตอนการใช้เครื่อง EDS

2.2.1 นำตัวอย่างเข้ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ปรับกล้องให้เรียบร้อยเพื่อศึกษาโครงสร้าง เลือกบริเวณที่สนใจจะทำการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

2.2.2 ปรับสวิทซ์ที่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ไปในตำแหน่งของเอ็กซเรย์หัววัดสัญญาณจะรับข้อมูลที่เกิดจากพลังงานรังสีเอ็กซ์ ส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังชุดวิเคราะห์เพื่อเลือกวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โดยดูทางจอภาพและส่งผลไปยังเครื่องพิมพ์

2.3 <u>การประเมินผลการวิเคราะห์ทดสอบด้วย EDS</u> [9] [10] [12]

จากการกระจายตัวและความเข้มของพลังงาน ซึ่งวิเคราะห์ได้จากความสูงของพีค (peak height) จะทำให้สามารถบอกชนิดของตัวอย่างจากสเปคตรัมของ EDS ซึ่งวิเคราะห์โดยอาศัยความแตกต่างของพลังงานของธาตุและชนิดของพลังงานที่ปล่อยออกมาเฉพาะตัว ตำแหน่งของพีคตามแนวนอนบอกชนิดของธาตุ และความสูงของพีคจะสัมพันธ์กับปริมาณของแต่ละธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่าง ธาตุหลัก ๆ ที่พบในเส้นใยแอสเบสตอสชนิดต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียม (Na) แมกนิเซียม (Mg) ซิลิคอน (Si) แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) อัตราส่วนความเข้มของพีคของธาตุเหล่านี้จะแตกต่างกันในเส้นใยแอสเบสแต่ละชนิด ดังนั้นแอสเบสตอสแต่ละชนิดอาจจะระบุได้จากอัตราส่วนความเข้ม (ความสูง) ของพีคที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับสเปคตรัมของแอสเบสตอสหลัก (Finger print) ดังภาพที่ ก-16

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิเคราะห์ทดสอบ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทดสอบ

3.1.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

3.1.2 เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบชนิด ส่วนประกอบของพื้นผิวโลหะ โดยใช้หลักการรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

3.1.3 เครื่องเคลือบผิวด้วยละอองโลหะ (Ion sputtering

3.1.4 เครื่องตัดชิ้นงาน (cutting machine)

3.1.5 ภาพถ่ายละสเปกตรัมและเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด [(3) (10)]

3.1.6 ตารางส่วนประกอบและสูตรทางเคมีของเส้นใยแอสเบสตอส (Reference data) [(10) (13)]

3.1.7 กล้องบันทึกภาพ (camera)

3.1.8 ตัวอย่างผ้าเบรกรถยนต์ จำนวน 7 ชนิด

1. M 9229 FF สีเขียว
2. AK 535 GG สีดำ
3. NS 15317 EF สีดำ
4. NS 177 HFF สีดำ
5. M 9229 FF สีดำ
6. AK V 3511 EF สีเทา
7. AK NS 512 FF สีเทา

3.2 วิธีวิเคราะห์ทดสอบ

3.2.1 <u>การวิเคราะห์ชนิดของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด</u> (Scanning Electron Microscope) [(9) (10)]

3.2.1.1 เตรียมชิ้นทดสอบ โดยตัดชิ้นตัวอย่างจากผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่าง ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร ด้วยเครื่องตัดแบบอัตโนมัติ ดังภาพที่ ก-18

3.2.1.2 นำชิ้นทดสอบไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบผิวด้วยละอองโลหะ

3.2.1.3 วิเคราะห์ชนิดของตัวอย่างด้วยเครื่อง SEM เพื่อดูลักษณะเส้นใย

3.2.1.4 เลือกบริเวณเส้นใยที่ต้องการเพื่อวิเคราะห์ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

3.2.2 <u>การวิเคราะห์หาชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบชนิด ส่วนประกอบของพื้นผิวโลหะ</u> Energy Dispersive Spectrometer [9] [10]

3.2.2.1 เลือกบริเวณเส้นใยที่ต้องการวิเคราะห์หาองค์ประกอบ โดยใช้โปรแกรมอนุมูลพันธ์เพื่อแยกชนิดของธาตุ ตามค่าพลังงานเฉพาะของธาตุนั้น ๆ ทั้ง 7 ตัวอย่าง

3.2.2.2 เปรียบเทียบสเปกตรัมของตัวอย่างกับสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักชนิดต่าง ๆ

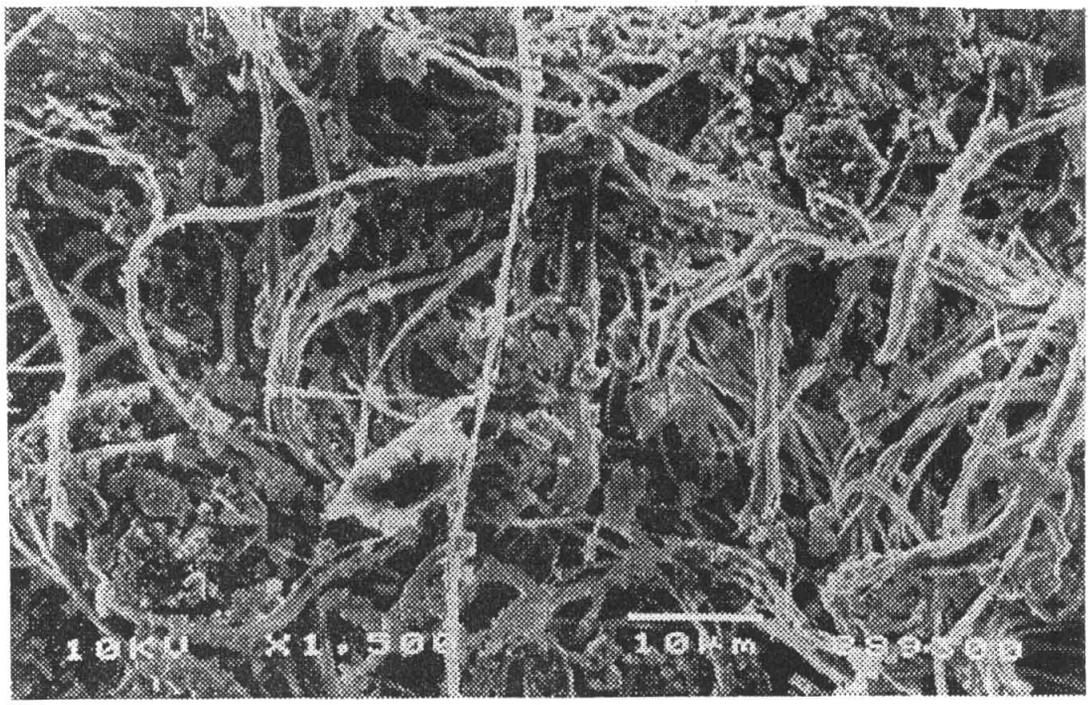
3.2.3 <u>การวิเคราะห์ทดสอบโครงสร้างผลึกของเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้เครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่น</u> (X-ray Diffraction) [9] [10]

3.2.3.1 ตัดตัวอย่างผ้าเบรกรถยนต์ ขนาดประมาณ 0.5x0.5 เซนติเมตร

3.2.3.2 วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้ Co tube Fe filter กระทำที่ 35 KV 25 MA เริ่มที่ มุม 5-75°C

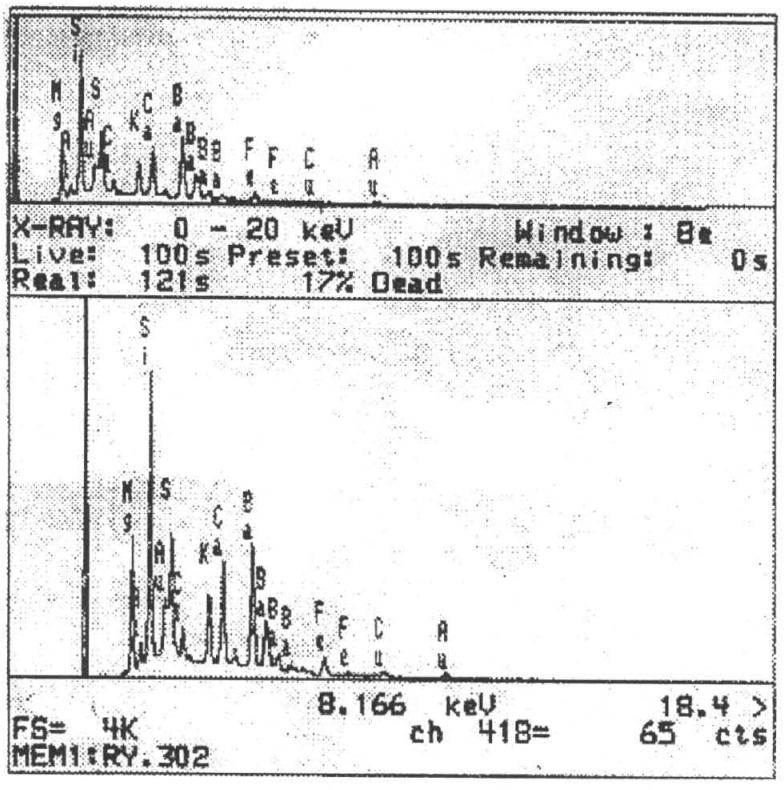
บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ทดสอบ

จากการวิเคราะห์ทดสอบชนิดและธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่าง หมายเลข M 9229 FF สีเขียว AK 535 GG สีดำ NS 15317 EF สีดำ NS 177 HFF สีดำ M 9229 FF สีดำ AK V 3551 EF สีเทา และ AK NS 512 FF สีเทา โดยใช้เครื่อง SEM และ EDS พบลักษณะเส้นใยจากภาพถ่ายและชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักจากสเปกตรัม ดังแสดงผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายและสเปกตรัม ที่ 1-7 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข M 9229 FF สีเขียว กำลังขยาย 1,500 เท่า

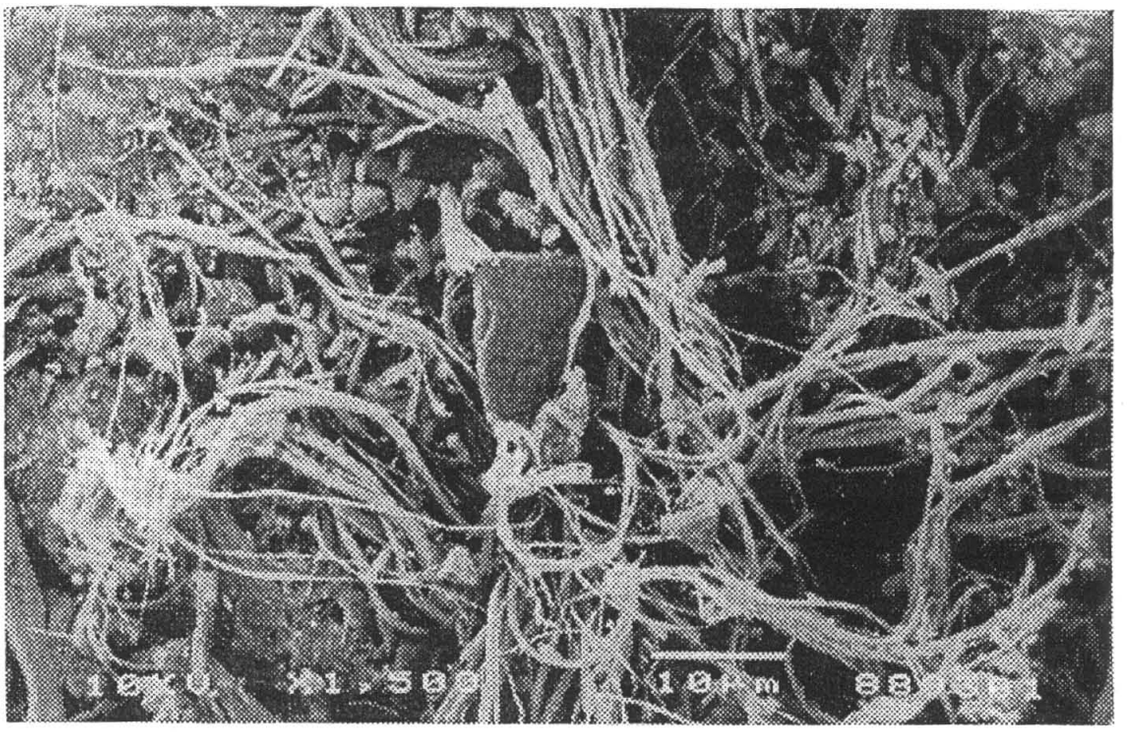
จากภาพที่ 1 พบลักษณะเส้นใยเป็นเส้นแบน ๆ ยาว ไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์



สเปกตรัมที่ 1 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข M 9229 FF สีเขียว

จากสเปกตรัมที่ 1 ซึ่งวิเคราะห์โดยอาศัยค่าความแตกต่างของพลังงานของธาตุแต่ละชนิด พบเส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงาน 1.254 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุแมกนิเซียม (Mg) ค่าพลังงาน 1.487 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุอะลูมิเนียม (Al) ค่าพลังงาน 1.740 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุซิลิคอน (Si) ค่าพลังงาน 2.308 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุซัลเฟอร์ (S) ค่าพลังงาน 3.313 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุโปแตสเซียม (K) ค่าพลังงาน 3.691 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุแคลเซียม (Ca) ค่าพลังงาน 4.467 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุแบแรียม (Ba) และค่าพลังงาน 6.403 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุเหล็ก (Fe)

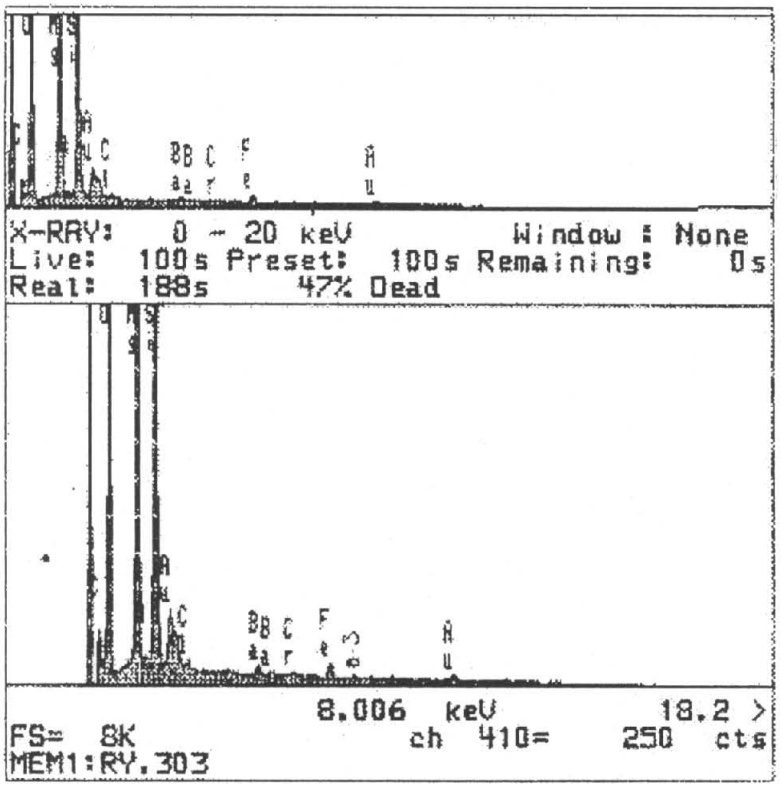
จะเห็นได้ว่ารูปแบบ (Pattern) ของสเปกตรัมคล้ายรูปแบบเส้นใยแอสเบสตอสชนิดทรีโมไลท์ [10] มีธาตุหลักคือ แมกนิเซียม (Mg) ซิลิกอน (Si) แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) ตามลำดับ แต่สัดส่วนความสูงของพีคไม่เหมือนกับสเปกตรัมเส้นใยแอสเบสตอสหลัก



ภาพที่ 2 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข AK 535 GG สีดำ กำลังขยาย 1,500 เท่า

จากภาพที่ 2 พบลักษณะเส้นใยเป็นเส้นยาว เรียว และเล็ก ๆ ไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์

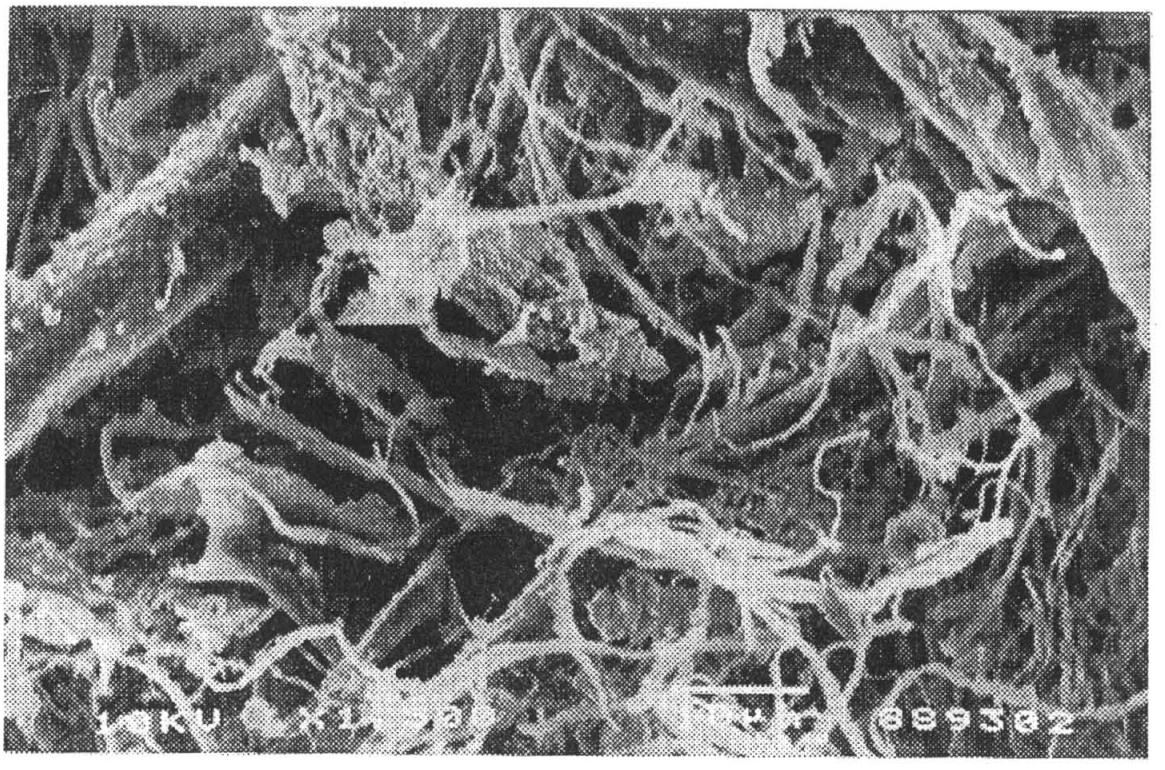
กรมวิทยาศาสตร์บริการ



สเปกตรัมที่ 2 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข AK 535 GG สีดำ

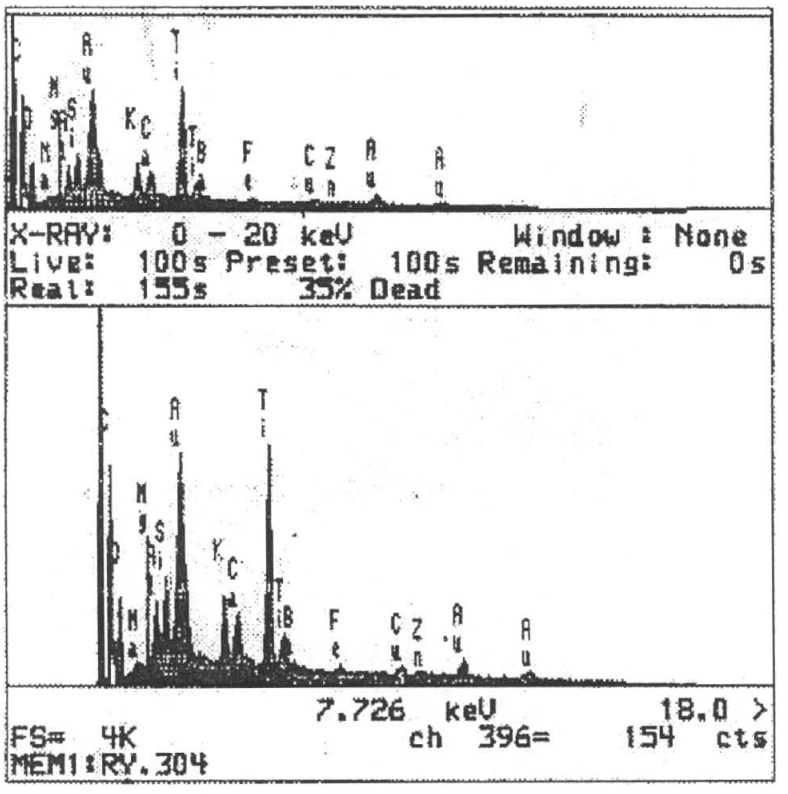
จากสเปกตรัมที่ 2 พบเส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงาน 1.254, 1.740, 2.622, 4.467, 5.414 และ 6.403 KeV ตามลำดับ เป็นตำแหน่งธาตุแมกนิเซียม (Mg), ซิลิคอน (Si), คลอรีน (Cl) แบเรียม (Ba) โครเมียม (Cr) และเหล็ก (Fe) ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่ารูปแบบของสเปกตรัมคล้ายรูปแบบของเส้นใยแอสเบสตอสชนิดแอนโทฟิลไลท์ [10] มีธาตุหลักคือ แมกนิเซียม (Mg) ซิลิคอน (si) และเหล็ก (Fe) ตามลำดับ แต่สัดส่วนความสูงของพีคไม่เหมือนกับสเปกตรัมเส้นใยแอสเบสตอสหลัก



ภาพที่ 3 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข NS 15317 EF สีดำ กำลังขยาย 1,500 เท่า

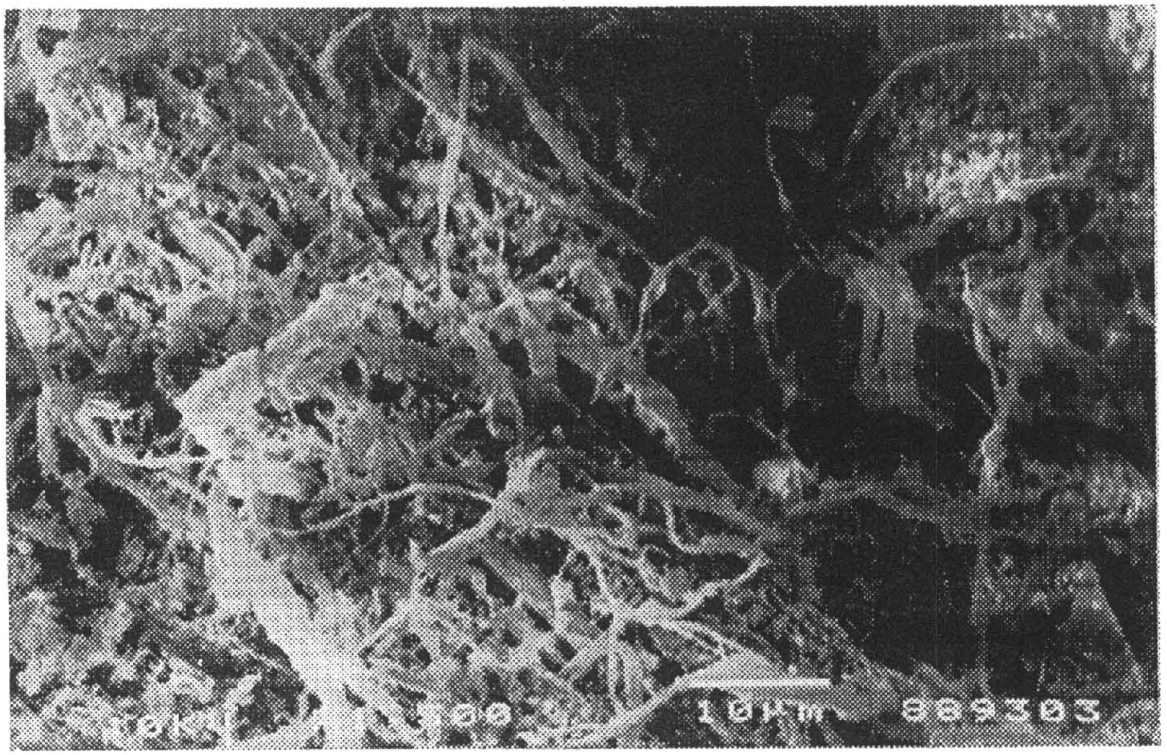
จากภาพที่ 3 พบลักษณะเส้นใยเป็นเส้นยาวแบนไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์



สเปกตรัมที่ 3 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข NS 15317 EF สีดำ

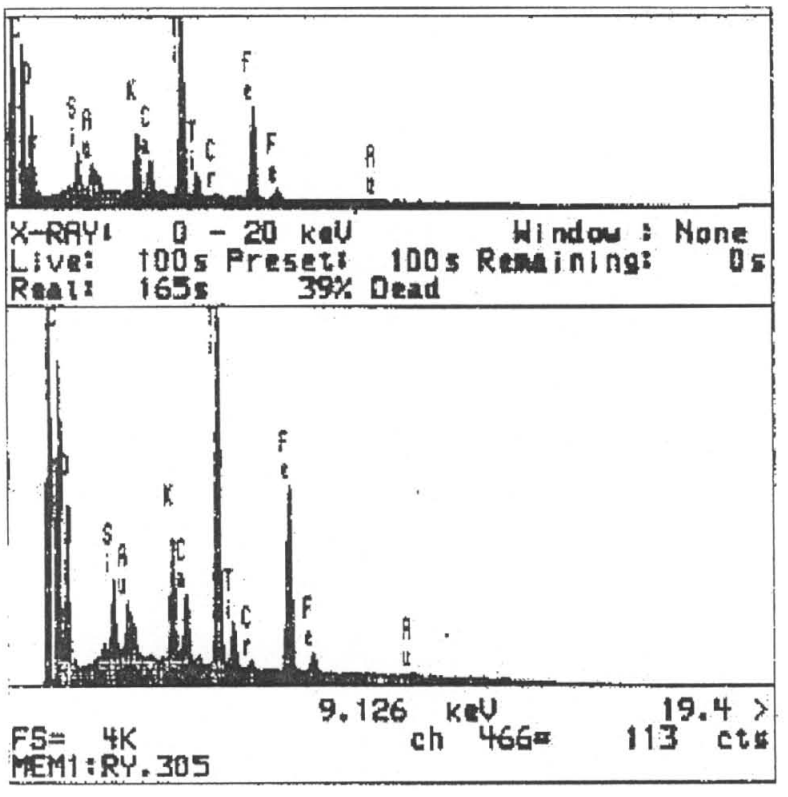
จากสเปกตรัมที่ 3 พบเส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงาน 1.041, 1.254, 1.487, 1.740, 3.313, 3.691, 4.510, 4.467 และ 6.403 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุโซเดียม (Na), แมกนิเซียม (Mg), อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โปแตสเซียม (K) แคลเซียม (Ca), ไทเทเนียม (Ti) แบเรียม (Ba) และเหล็ก (Fe) ตามลำดับ พีคของทอง (Au) เป็นพีคที่เกิดจากการเคลือบทองของตัวอย่าง

จะเห็นได้ว่า รูปแบบของสเปกตรัมไม่เหมือนรูปแบบสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด [10]



ภาพที่ 4 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข NS 177 HFF สีดำ กำลังขยาย 1,500 เท่า

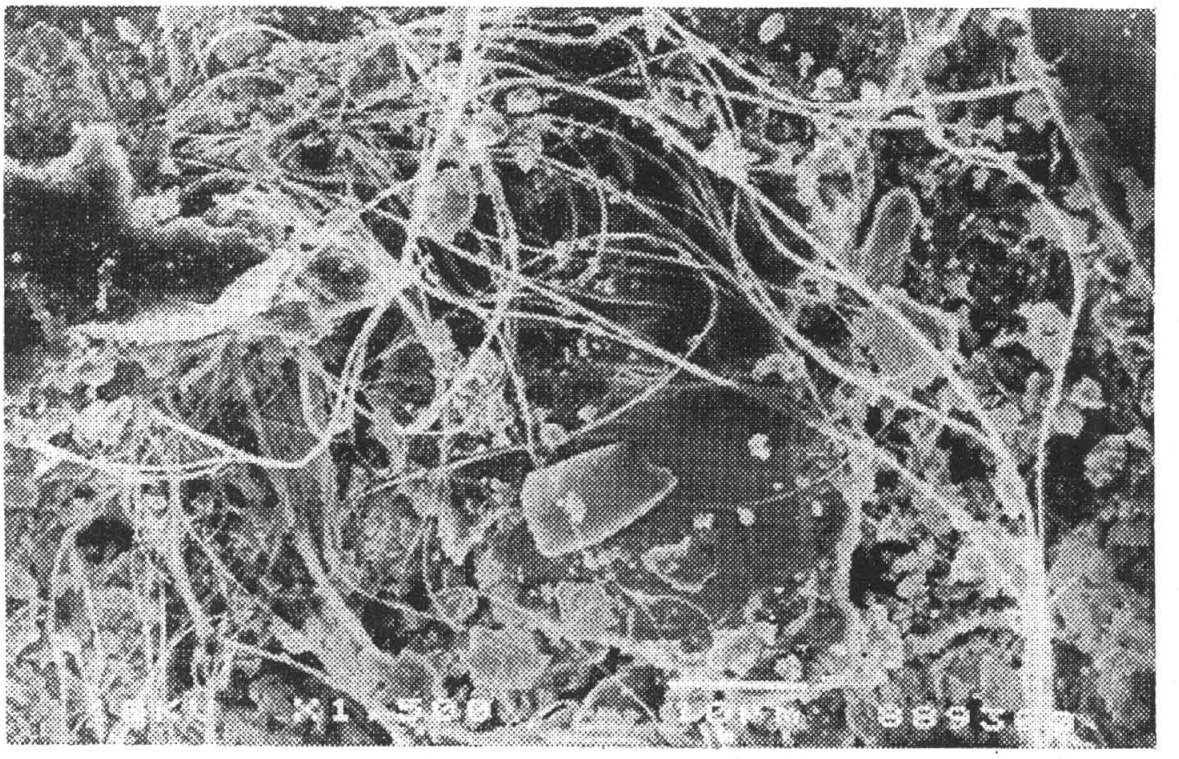
จากภาพที่ 4 พบลักษณะเส้นใยเส้นแบน ๆ ไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์



สเปกตรัมที่ 4 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข NS 177 HFF สีดำ

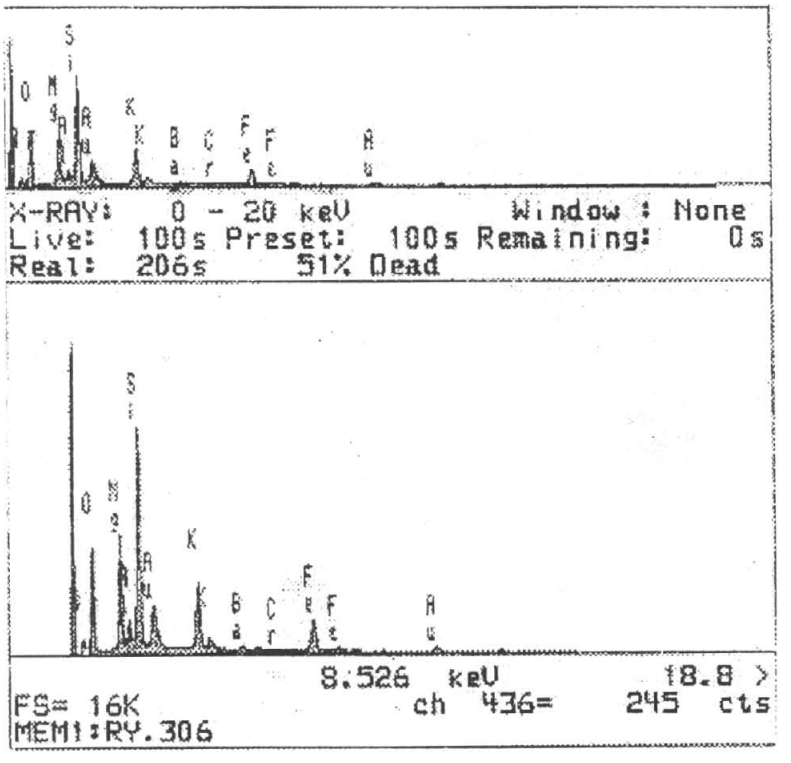
จากสเปกตรัมที่ 4 พบว่า เส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงาน 1.740, 3.313, 3.691, 4.510, 5.414 และ 6.403, 7.054 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุซิลิคอน (Si), โปแตสเซียม (K), ไทเทเนียม (Ti), โครเมียม (Cr) และเหล็กที่ตำแหน่ง (Feα และ Feβ) ตามลำดับ แต่ไม่พบธาตุแมกนิเซียม (Mg) และโซเดียม (Na)

จะเห็นได้ว่า รูปแบบของสเปกตรัมไม่เหมือนรูปแบบสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด และไม่พบธาตุแมกนิเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) ซึ่งเป็นธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยแอสเบสตอสทั้ง 6 ชนิด [10]



ภาพที่ 5 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข M 9229 FF สีดำ กำลังขยาย 1,500 เท่า

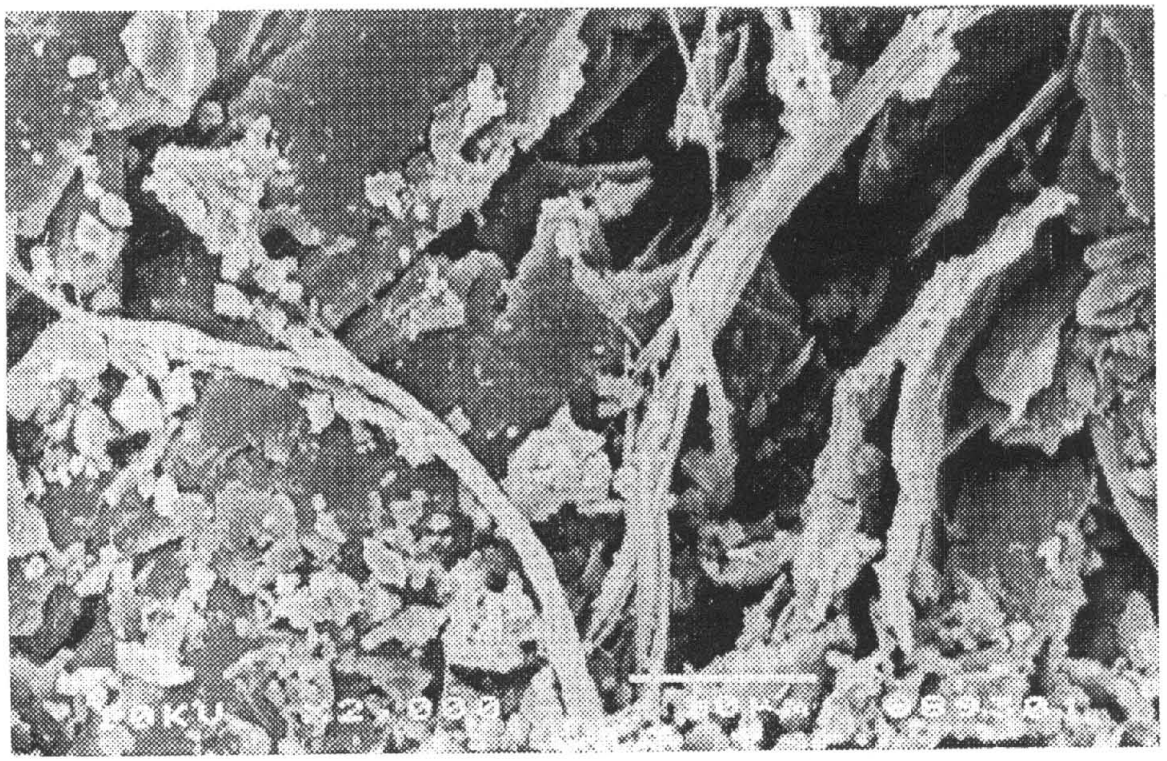
จากภาพที่ 5 พบลักษณะเส้นใยยาวและเรียวและเล็ก ไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์



สเปกตรัมที่ 5 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข M 9229 FF สีดำ

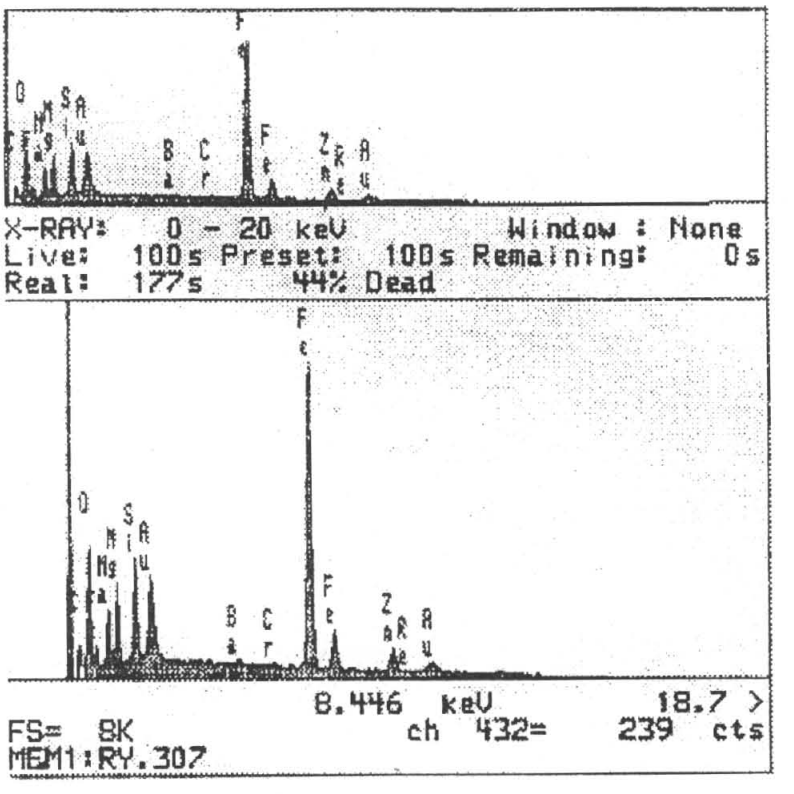
จากสเปกตรัมที่ 5 พบเส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงาน 0.523, 1.254, 1.487, 1.740, 3.313, 4.467, 5.414, 6.403 และ 7.054 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุแมกนิเซียม (Mg) อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โปแตสเซียม (K), แบเรียม (Ba) โครเมียม (Cr) และเหล็ก (Feα และ Feβ) ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่ารูปแบบของสเปกตรัมคล้ายรูปแบบของเส้นใยแอสเบสตอสชนิดแอนโทฟิลไลท์ [10] มีธาตุหลักคือ ออกซิเจน (O) แมกนิเซียม (Mg) ซิลิคอน (si) และเหล็ก (Fe) ตามลำดับ แต่สัดส่วนความสูงของพีคไม่เหมือนกับสเปกตรัมเส้นใยแอสเบสตอสหลัก



ภาพที่ 6 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข AK V 3511 EF สีเทา

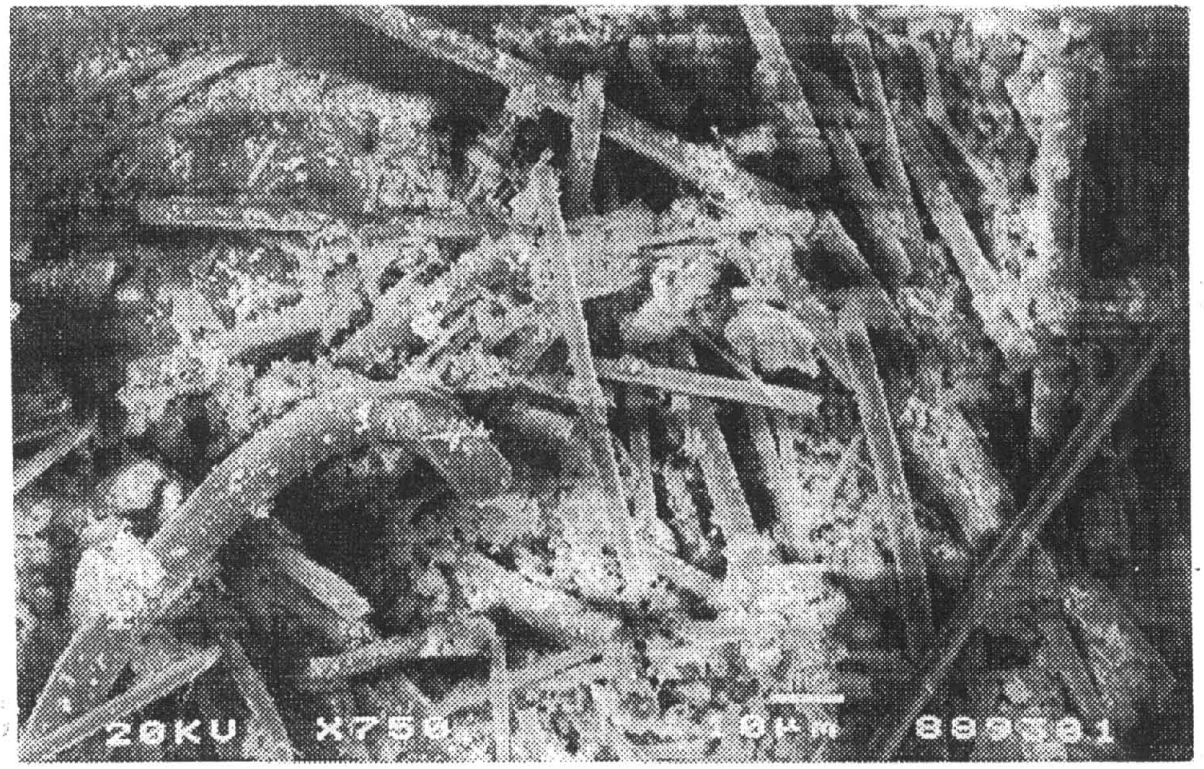
จากภาพที่ 6 พบลักษณะเส้นใยเป็นเส้นยาวแบน ไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์



สเปกตรัมที่ 6 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข AK V 3511 EF สีเทา

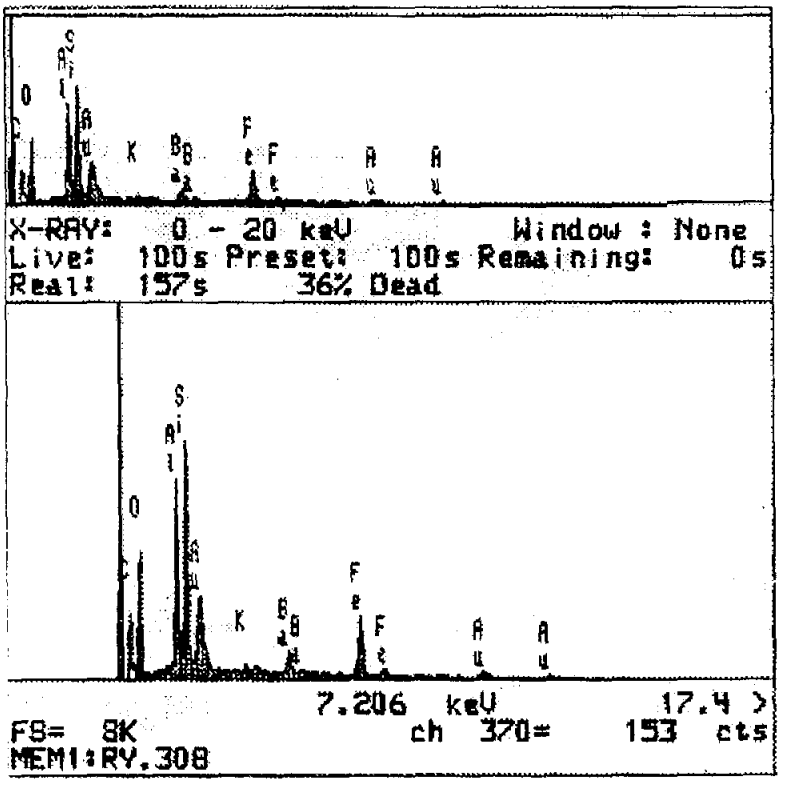
จากสเปกตรัมที่ 6 พบเส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงานที่ 0.523, 1.041, 1.254, 1.740, 4.467, 5.414 6.403 และ 7.057 เป็นตำแหน่งของธาตุออกซิเจน (O) โซเดียม (Na) แมกนิเซียม (Mg) ซิลิคอน (Si) แบบเรียม (Ba) โครเมียม (Cr) และเหล็ก (Feα และ Feβ) ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า รูปแบบของสเปกตรัมไม่เหมือนรูปแบบสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด[10]



ภาพที่ 7 ลักษณะเส้นใยผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข AK NS 512 FF สีเทา กำลังขยาย 1,500 เท่า

จากภาพที่ 7 พบลักษณะเส้นใยเป็นท่อนคล้ายท่อ ไม่เหมือนลักษณะเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยาว ปลายแหลมคล้ายเข็ม ชนิดแอมฟิโบล์และเส้นใยโค้งหยิกงอ เป็นลอนชนิดเซอร์เพนไทน์



สเปกตรัมที่ 7 สเปกตรัมผ้าเบรกรถยนต์ หมายเลข AK NS 512 FF สีเทา

จากสเปกตรัมที่ 7 พบเส้นใยประกอบด้วยธาตุที่ค่าพลังงาน 0.523, 1.487, 1.740, 3.13, 4.467, 6.403 และ 7.054 KeV เป็นตำแหน่งของธาตุออกซิเจน (O) อะลูมิเนียม (Al), ซิลิคอน (Si), โปแตสเซียม (K), แบเรียม (Ba), และเหล็ก (Feα และ Feβ) ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่ารูปแบบของสเปกตรัมไม่เหมือนรูปแบบสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด และไม่พบธาตุโซเดียม (Na) แมกนิเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด [10]

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผล

สรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบ

จากการวิเคราะห์ทดสอบชนิดเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่าง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ตัวอย่างหมายเลข M 9229 FF สีเขียว AK 535 GG สีดำ NS 15317 EF สีดำ NS 177 HFF สีดำ M 9229 FF สีดำ และ AK V 3511 EF สีเทา เส้นใยมีลักษณะเป็นเส้นยาว แบน และเล็ก ๆ ส่วนตัวอย่างหมายเลข AK NS 512 FF สีเทา เส้นใยมีลักษณะเป็นท่อน ๆ คล้ายท่อ เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของเส้นใยแอสเบสตอสแล้ว พบว่าไม่เหมือนกัน เส้นในแอสเบสตอสส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นรูปเข็มแหลม

จากการวิเคราะห์ชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ชนิดส่วนประกอบของพื้นผิวโลหะ (EDS) พบว่า เส้นใยของผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่าง มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก ๆ คือ แมกนิเซียม อะลูมิเนียม ซิลิคอน แคลเซียม และเหล็กคล้ายกับธาตุหลักของเส้นใยแอสเบสตอสหลักทั้ง 6 ชนิด [10] เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักชนิดต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่างหมายเลข M 9229 FF สีเขียว ลักษณะสเปกตรัมคล้ายสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสชนิดทรีโมไลท์ แต่อัตราส่วนความสูงของพีคของธาตุแต่ละธาตุต่างกัน ตัวอย่างหมายเลข AK 535 GG สีดำ และตัวอย่าง M 9229 FF สีดำ ลักษณะสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสชนิดแอนโทฟิลไลท์ แต่อัตราส่วนของพีคของธาตุแต่ละธาตุต่างกัน ตัวอย่างหมายะลข NS 15317 EF สีดำ ลักษณะสเปกตรัมไม่เหมือนกับสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอส ตัวอย่างหมายเลข NS 177 HFF สีดำ จากสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้ไม่พบธาตุแมกนิเซียม ลักษณะสเปกตรัมไม่เหมือนสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอส ส่วนตัวอย่างหมายเลข AK V 3511 EF สีเทา และตัวอย่างหมายเลข AK NS 512 FF สีเทา ลักษณะสเปกตรัมไม่เหมือนของเส้นใยแอสเบสตอส

จากการนำตัวอย่างผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่างไปวิเคราะห์หาแอสเบสตอส โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น พบว่าผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่างไม่พบพีคที่ตรงกับพีคของแอสเบสตอส

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จากการวิเคราะห์ทดสอบเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ไม่พบเส้นใยแอสเบสตอสทั้ง 7 ตัวอย่างพบว่ามีธาตุเหล็กและไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก และรูปร่างชนิดของเส้นใยไม่เหมือนแอสเบสตอสที่เป็นส่วนประกอบของผ้าเบรกรถยนต์โดยทั่วไป

<u>วิจารณ์ผลการวิเคราะห์ทดสอบ</u>

เส้นใยแอสเบสตอสแต่ละชนิดและเส้นใยอื่น ๆ ทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารมีส่วนประกอบทางเคมีที่คล้ายกัน และอัตราส่วนการรวมตัวของน้ำไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1% ถึง 14% โดยประมาณ [13] ทำให้การวิเคราะห์หาชนิดของเส้นใยแต่ละชนิดรวมทั้งเส้นใยแอสเบสตอสได้ผลที่ไม่แน่นอน การหาชนิดของเส้นใยจึงต้องใช้วิธีกล้องจุลทรรศน์ (microscopically) ที่จะวิเคราะห์รูปร่างโครงสร้างได้

จากการวิเคราะห์ทดสอบชนิดเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพียงวิธีเดียวนั้นยังไม่ชัดเจนที่จะสรุปชนิดของเส้นใยได้ เนื่องจากลักษณะของเส้นใยอาจจะคล้ายกัน จึงต้องวิเคราะห์ทดสอบธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยแอสเบสตอส ได้แก่ โซเดียม แมกนิเซียม ซิลิคอน แคลเซียม และเหล็ก โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุโดยใช้หลักการทางเอกเรย์แบบกระจายพลังงาน (EDS)[10] จะได้ธาตุที่ค่าพลังงานเฉพาะตัว เปรียบเทียบจากสเปกตรัมและอัตราส่วนความสูงของพีคที่วิเคราะห์ได้จะต้องเหมือนกับสเปกตรัมและอัตราส่วนความสูงของพีคของเส้นใยแอสเบสตอสหลัก (Fingerprint)[10] จากการเปรียบเทียบสเปกตรัมและอัตราส่วนของพีคจากตัวอย่างผ้าเบรกรถยนต์กับสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสนั้น ไม่มีสเปกตรัมของตัวอย่างผ้าเบรกรถยนต์เหมือนกับสเปกตรัมของแอสเบสตอสหลักแต่อย่างใด จึงสรุปได้ว่าเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่าง ไม่พบเส้นใยที่เป็นแอสเบสตอส และเพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ทดสอบ ได้วิเคราะห์ตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่น เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึก พบว่าไม่มีพีคที่ตรงกับพีคของแอสเบสตอสทั้ง 7 ตัวอย่าง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ทดสอบชนิดเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ด้วยกล้อง SEM ยังไม่สามารถระบุชนิดของเส้นใย ต้องวิเคราะห์หาธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยเปรียบเทียบกับภาพและสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลักด้วยเครื่อง EDS และยืนยันผลการวิเคราะห์ทดสอบด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก XRD ด้วยเครื่อง XRD ผลการวิเคราะห์ทดสอบเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์ทั้ง 7 ตัวอย่างไม่พบเส้นใยที่เป็นแอสเบสตอส แสดงว่าได้มีการพัฒนาใช้สารอื่นทดแทนซึ่งอาจมีคุณสมบัติเทียบเท่า แต่จะทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้แอสเบสตอสเป็นส่วนประกอบ จึงยังทำให้ผู้ผลิตนิยมการใช้แอสเบสตอสในการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ แต่จะต้องศึกษาวิจัยต่อไปที่จะหาสารอื่นหรือโลหะต่าง ๆ ที่ใช้ทดแทนแอสเบสตอส เช่น เซอร์โคเนียมไดออกไซด์, มินเนอรัล วูล, โพลิเอสเตอร์ ไฟเบอร์ หรือเมททัลริกชนิดต่าง ๆ เป็นต้น เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการไปใช้ประโยชน์และมีคุณภาพเทียบเท่า

อนึ่ง หากพบว่าเส้นใยในผ้าเบรกรถยนต์มีแอสเบสตอสเป็นองค์ประกอบ จำเป็นต้องหาปริมาณส่วนประกอบของธาตุแต่ละตัว และคุณสมบัติอย่างอื่นอีกด้วย เช่น ขนาดและการเรียงตัวของเส้นใยแต่ละชนิด เป็นต้น จึงจะต้องศึกษาวิจัยคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเส้นใยแอสเบสตอสเพื่อจะระบุชนิดของเส้นใยแอสเบสตอสต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำผลงานขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม คุณชัยวุฒิ เลาวเลิศ ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานนี้ และขอขอบคุณ คุณดนัย กิจชัยนุกูล คุณธิดา เกิดกำไร และคุณสุรัตน์ เพชรเกษม ที่ช่วยเหลือในด้านการจัดพิมพ์และจัดทำรูปเล่ม

สายพิณ สืบสันติกุล

บรรณานุกรม

1. Asterdan, H. Schreier., Elsevier. Asbestos in the natural environment. C 1989.

2. Bergers, Hans. Asbestos with plastics and rubber. Translated by Ralph, E. Gespar. N.Y. Chemical Pub. Co; 1966.

3. Campbell, W.J.et al. Burea of Mines Information Circular 8751. Washington : United State of Department of the Interior, 1977, p 4-23

4. Carroll-Porzynski, Charles, Z. Asbestos, from rock to fabric. Manchester, Textile Institute, 1956.

5. Gadien, T. Asbestos-a new hazard. London, Institute of Chemical Engineers, 1968.

6. Heallth and Safety Executive. Asbestos : Health precaution in industry. London : H.M.S.O., '1975.

7. John, n.d. Manvillee. Asbestos : Chrysotile asbertos Fibers, a natural porducts for modern needs.

8. Koch, P.A. Microscopic and Chemical testing of textile, a practical manual. Translated by C.J.W. Hopper; Chapman and Hall, 1963.

9. Mc Crone, C. Walter. The asbestos particles atlas. An Arbor, MI An Arbor Science Pub., 1980.

10. Melvin, A. Benarde., and Boca, Raton., Asbestos : The Hazardous Fiber, Fla. : CRC. Press, C 1990.

11. Michaels, L.et al., Asbestos : Properties applications and hazards. [West Sussex] : Wiley & Sons, '1979, 1983.

12. Nostrand, Van. Microscopy for chemist. New York, <1963> 264 1' illees 24 cm.

13. Rosato, D.V., Asbestos : Its industrial application. New York : Reinhold Publishing corporation, 1959, p 27-46.

14. ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ ผ้าเบรกสำหรับรถยนต์, มกราคม 2528, ฉบับที่ 107, หน้า 25-26.

15. ถมรัตน์ สีตวรานนท์ แร่ใยหิน ฉลาดบริโภค, เมษายน 2538, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, หน้า 29-31.

16. เทพวิฑูรย์ ทองศรี, สุรัตน์ เพชรเกษม อันตรายของฝุ่นใยหิน วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ กันยายน 2538, ปีที่ 43, ฉบับที่ 139, หน้า 31-33.

17. นิคม ธรรมปัญญา ใยหินเทคโนโลยี, มีนาคม, 2530 ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 21-22

18. บริษัทศูนย์วิจัยกสิกรไทย จำกัด. ฝ่ายวิจัยเศรษฐกิจจุลภาค ผ้าเบรก อุปกรณ์พื้นฐานแห่งความปลอดภัย ข่าวพานิชย์, มกราคม 2540, ฉบับที่ 10635/406, หน้า 7-13.

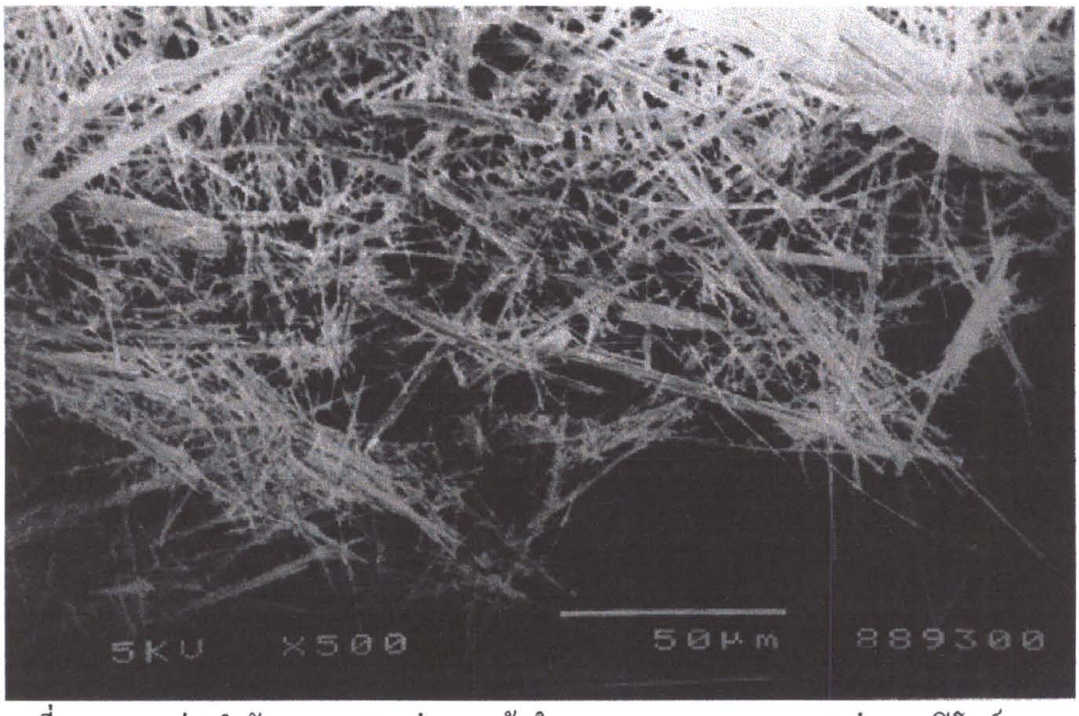
19. พรสุภา วิทยาสุข สถานการณ์ของแร่ใยหินในอุตสาหกรรมไทยในปัจจุบัน วารสารโรงงาน, กุมภาพันธ์-พฤษภาคม 2543, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2 หน้า 7-10.

20. วิระ มาวิจักขณ์ ASBESTOS สารต้องห้ามในอนาคต? อนุสรณ์ไม้อัดบางนา, มกราคม – กุมภาพันธ์ 2530, ปีที่ 16, ฉบับที่ 86, หน้า 15-27

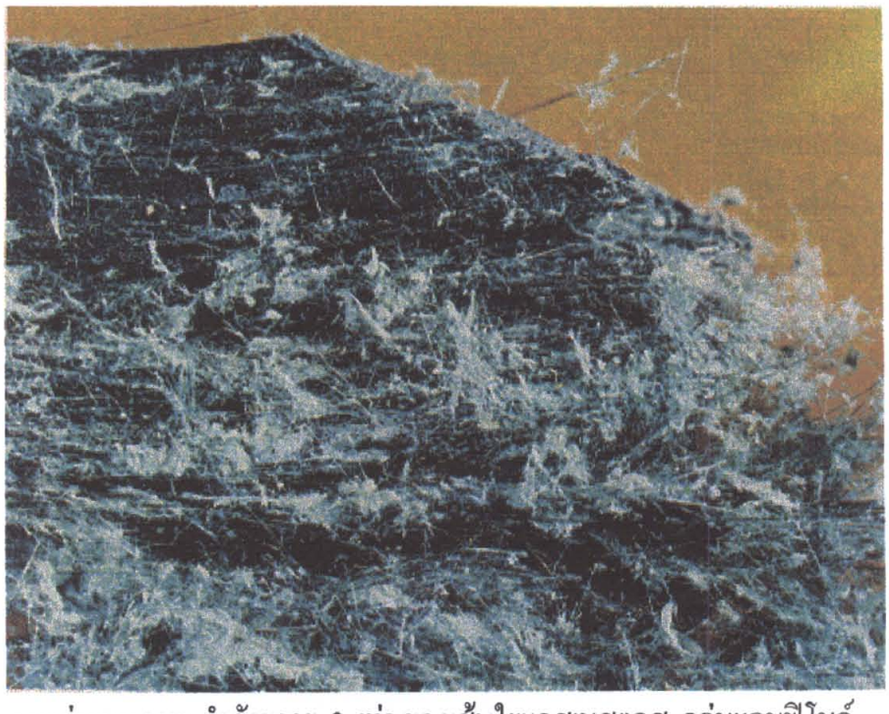
21. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ผ้าเบรกสำหรับรถยนต์. มอก. 97-2517. หน้า 1-2

ภาคผนวก

	หน้า
1. แสดงภาพถ่ายมหภาคเส้นใยแอสเบสตอสชนิดต่าง ๆ ก-1 ถึง ก-8	33-36
2. แสดงภาพชิ้นส่วนผ้าเบรกรถยนต์ ก-9	37
3. แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตอนแบบส่องกราด (SEM) ก-10	38
4. แสดงภาพไดอะแกรมการทำงานของ SEM ก-11	39
5. แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา (OM) ก-12	40
6. แสดงภาพเครื่องมือวิเคราะห์ชนิด องค์ประกอบของผิวโลหะ (EDS) ก-13	41
7. แสดงภาพส่วนประกอบเครื่อง SEM และ EDS ก-14	42
8. แสดงภาพการประกอบเครื่อง SEM และ EDS ก-15	43
9. แสดงภาพสเปกตรัมพื้นฐานของเส้นใยแอสเบสตอส ก-16	44
10. แสดงภาพเครื่องเคลือบทอง (Ion Sputtering) ก-17	45
11. แสดงภาพเครื่องตัดชิ้นงาน (Cutting machine) ก-18	46
12. แสดงตารางส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยแอสเบสตอสชนิดต่าง ๆ ข-1	47
13. แสดงตารางสูงทางเคมีของเส้นใยแอสเบสตอสชนิดต่าง ๆ ข-2	48
14. แสดงตารางการเปรียบเทียบคุณลักษณะของกล้อง SEM และ OM ข-3	49
15. อันตรายของฝุ่นใยหิน	50-51



ภาพที่ ก-1 ภาพถ่ายกำลังขยาย 500 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอสมาตรฐาน กลุ่มแอมฟิโบล์

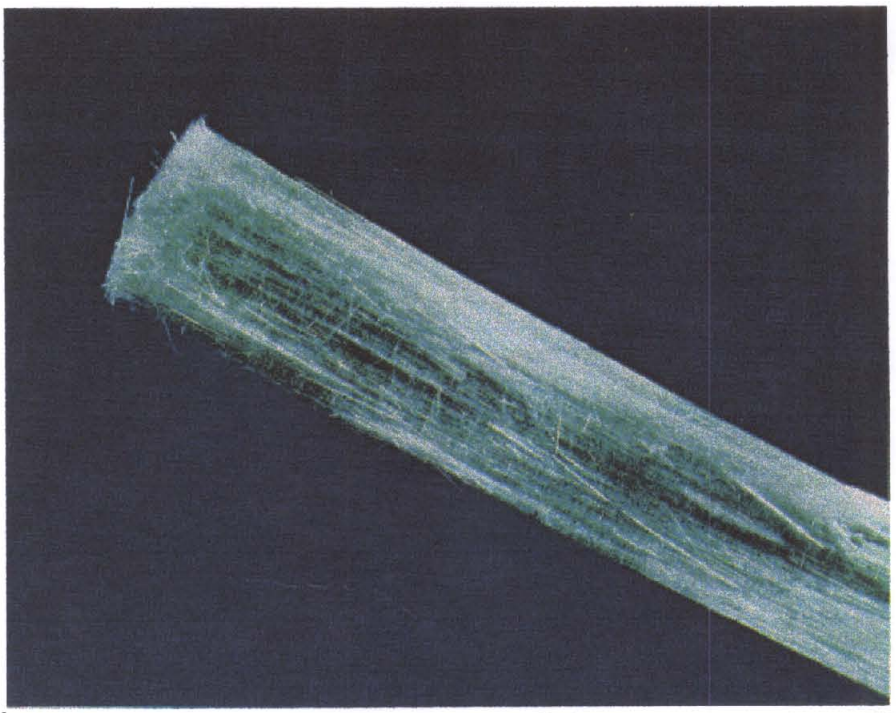


ภาพที่ ก-2 ภาพถ่ายมหภาพ กำลังขยาย 3 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มแอมฟิโบล์ ชนิดโครซิโดไลท์ [3]

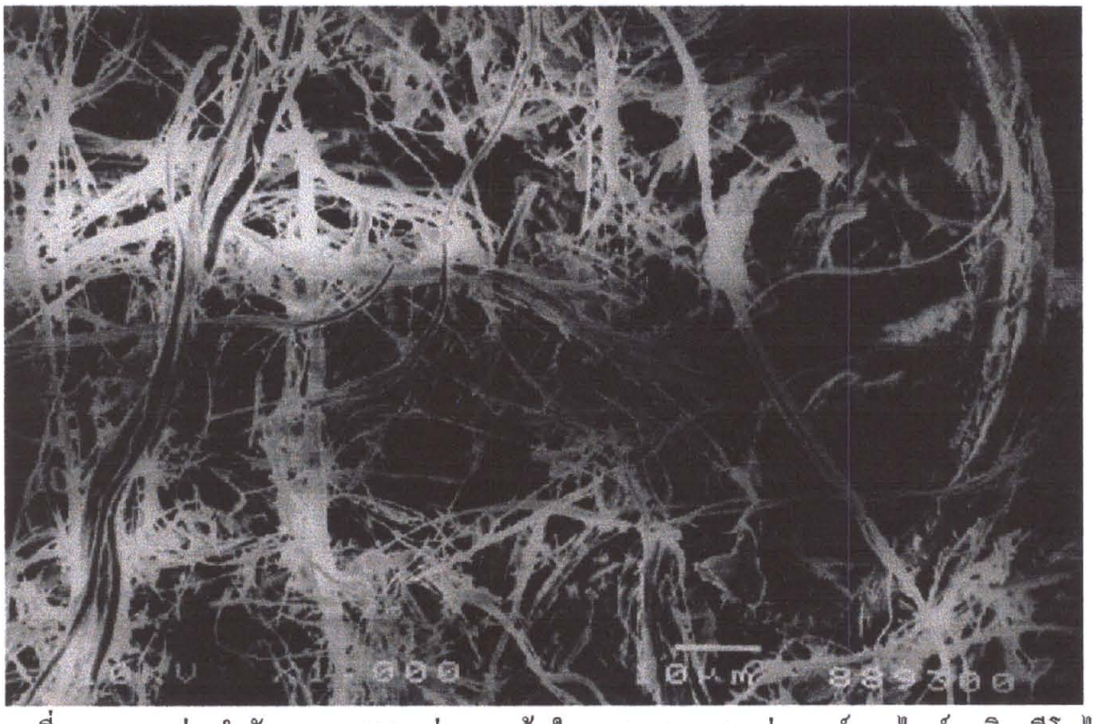
ภาพที่ ก-3 ภาพถ่ายมหภาพ กำลังขยาย 3 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มแอมฟีโบล์ ชนิดอะโมไซท์ [3]

ภาพที่ ก-4 ภาพถ่ายมหภาพ กำลังขยาย 3 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มแอมฟีโบล์ ชนิดแอนโทฟีลไลท์ [3]

ภาพที่ ก-5 ภาพถ่ายมหภาพ กำลังขยาย 3 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มแอมฟิโบล์ ชนิดทรีโมไลท์ [3]



ภาพที่ ก-6 ภาพถ่ายมหภาพ กำลังขยาย 3 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มแอมฟิโบล์ ชนิดแอคทิโนไลท์ [3]

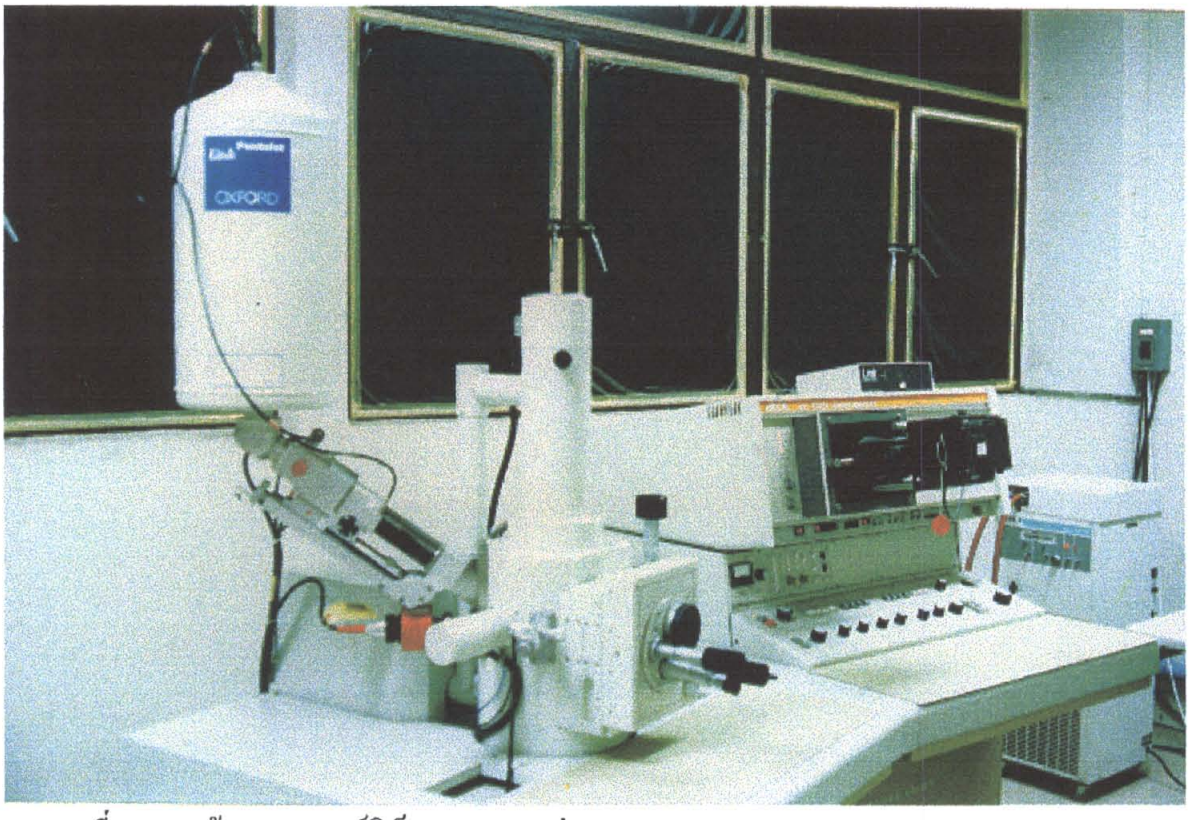


ภาพที่ ก-7 ภาพถ่ายกำลังขยาย 1000 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มเซอร์เพนไทน์ ชนิดครีโซไทล์ ของเส้นเชือกฉนวนกันความร้อน

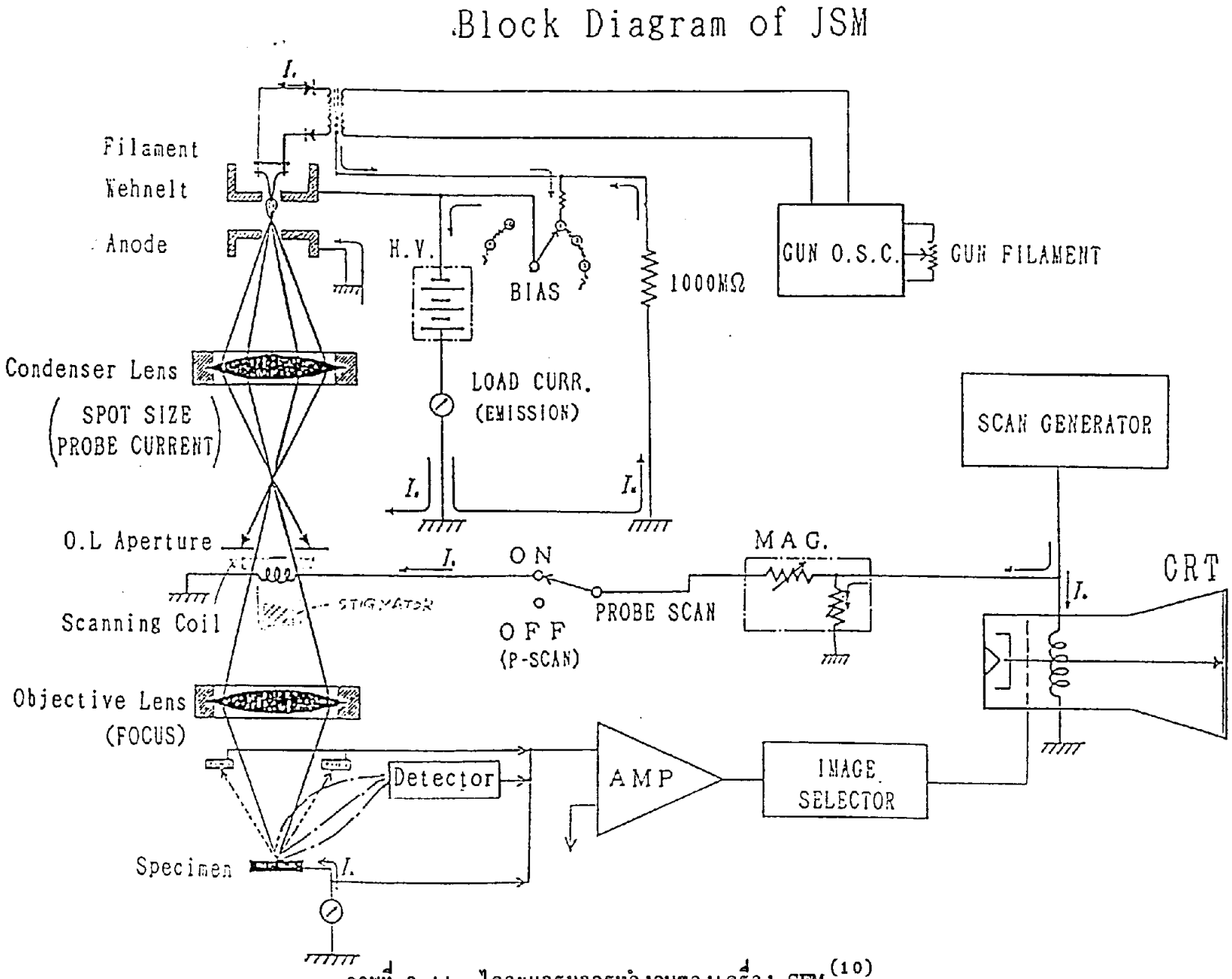
ภาพที่ ก-8 ภาพถ่ายมหภาพ กำลังขยาย 3 เท่า ของเส้นใยแอสเบสตอส กลุ่มเซอร์เพนไทน์ ชนิดครีโซไทล์ [3]

(Courtesy Johns-Manville Corp.)

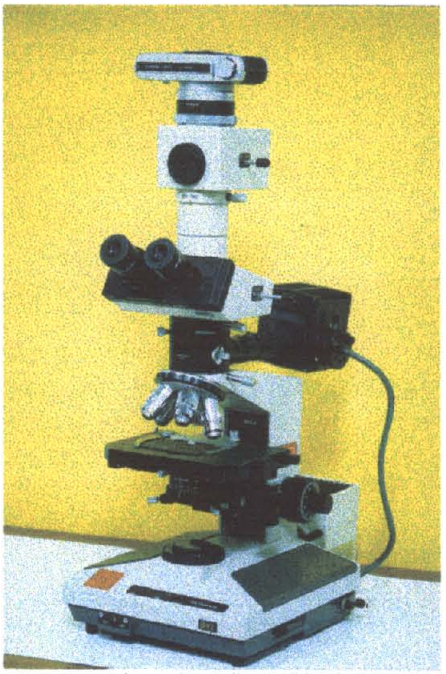
ภาพที่ ก–9 ภาพถ่ายชิ้นส่วนผ้าเบรกรถยนต์



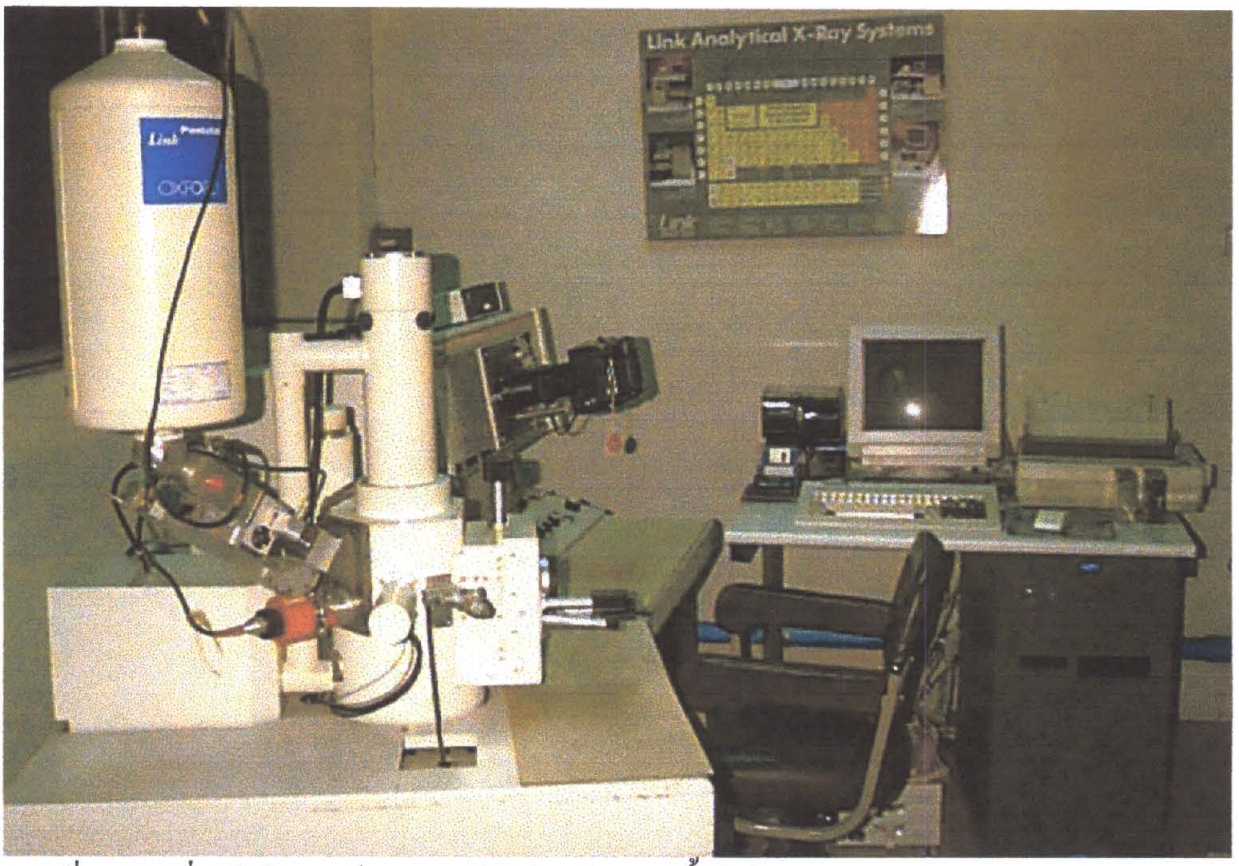
ภาพที่ ก-10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)



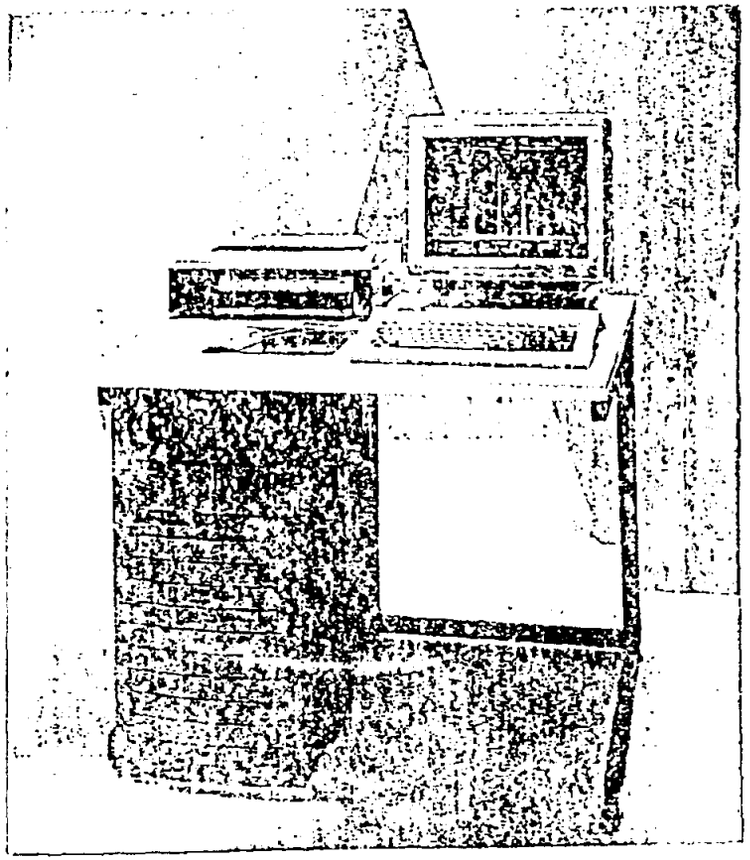
ภาพที่ ก-11 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่อง SEM (10)

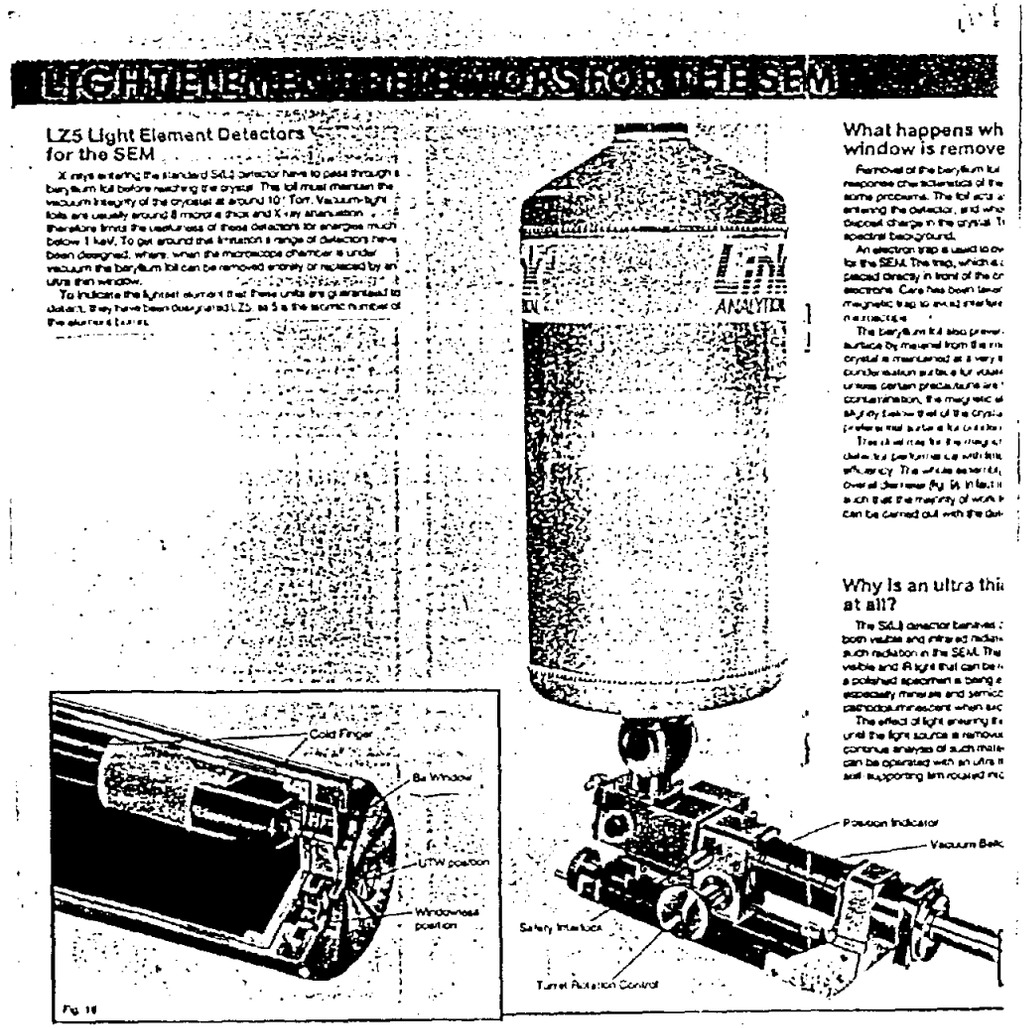


ภาพที่ ก-12 กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา OPTICAL MICROSCOPE (OM)



ภาพที่ ก-13 เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบชนิด ส่วนประกอบพื้นผิวโลหะ Energy Dispersive Spectrometer (EDS)





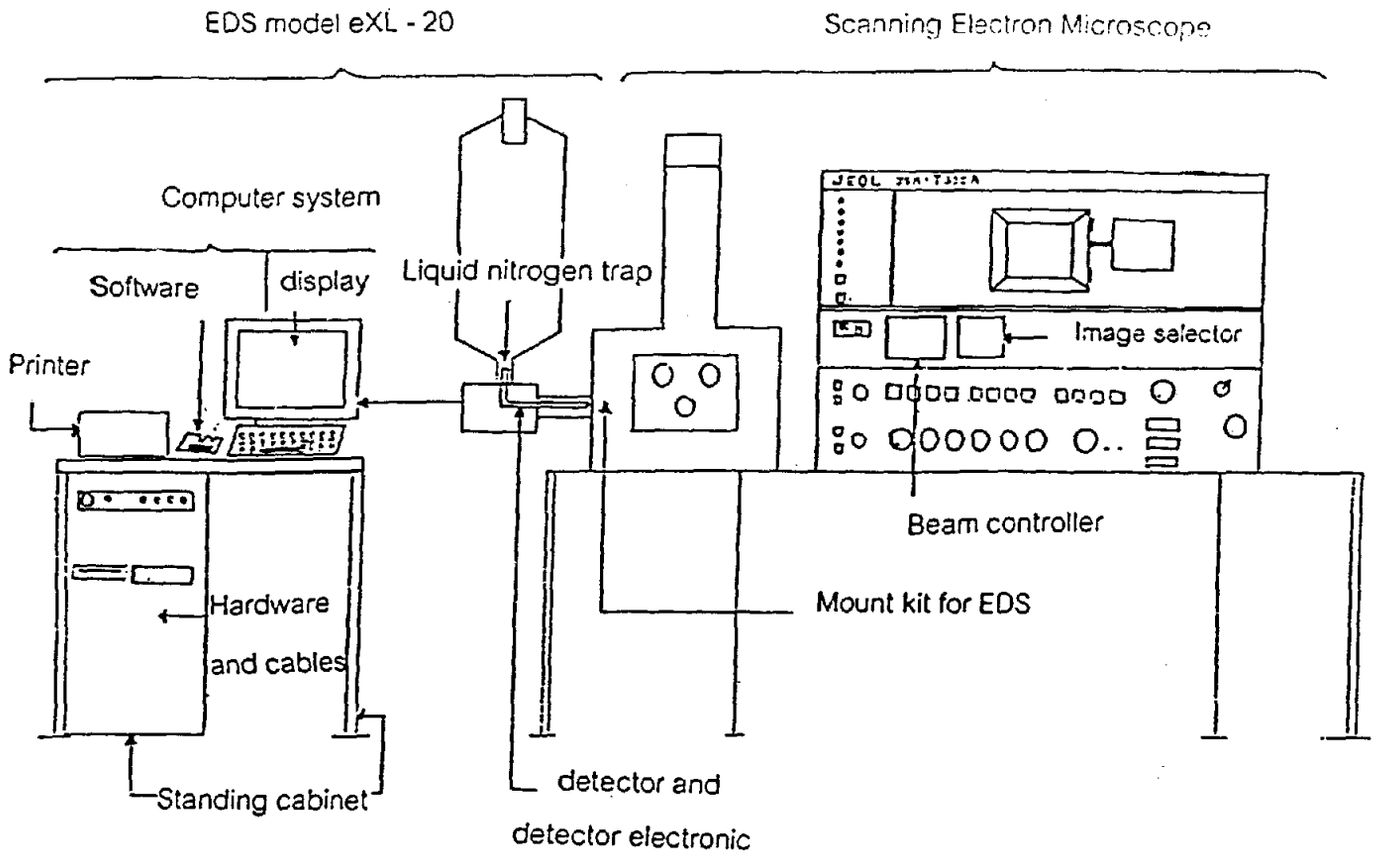
LIGHT ELEMENT DETECTORS FOR THE SEM

LZ5 Light Element Detectors for the SEM

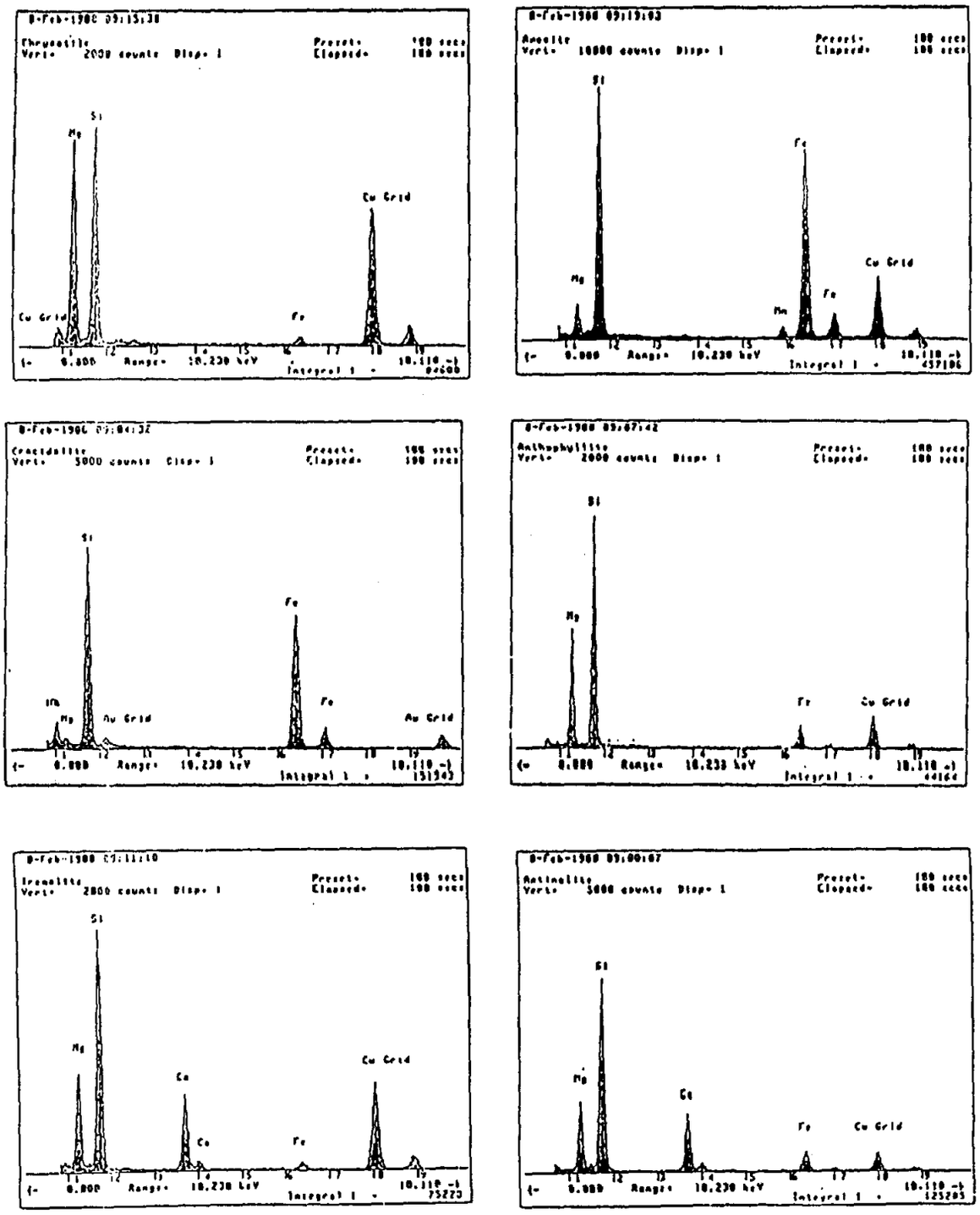
What happens wh window is remove

Why Is an ultra thi at all?

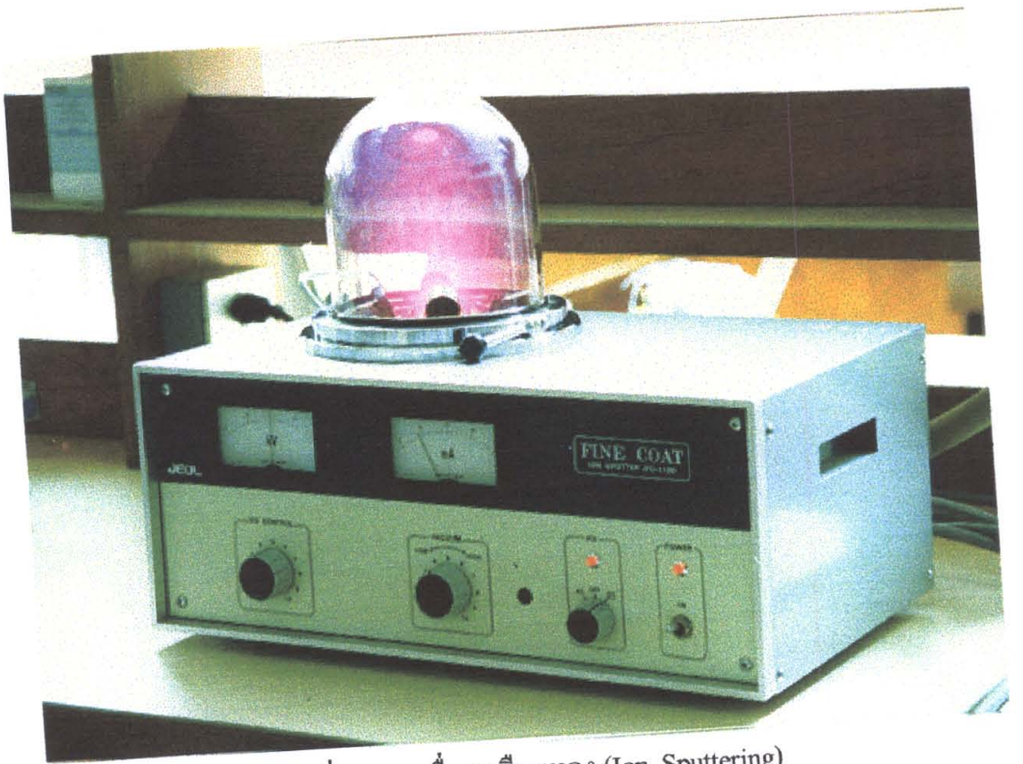
ภาพที่ ก-14 ชุดอุปกรณ์ต่อระหว่างเครื่อง SEM และ EDS



ภาพที่ ก-15 แผนผังการประกอบเครื่อง SEM และ EDS



ภาพที่ ก-16 ภาพสเปกตรัมของเส้นใยแอสเบสตอสหลัก ด้วยเครื่อง EDS (10)



ภาพที่ ก-17 เครื่องเคลือบทอง (Ion Sputtering)

ภาพที่ ก-18 เครื่องตัดชิ้นงาน (Cutting machine)

Asbestos

Species	CAS Registry Number	Variety	Chemical composition
chrysotile[a]	[12007-29-5]	serpentine	$3MgO.2SiO_2.2H_2O$
anthophyllite	[17068-78-9]	amphibole	$7MgO.8SiO_2.H_2O$
amosite[a]	[12172-73-5]	amphibole	$11FeO.3MgO.16SiO_2.2H_2O$
actinolite	[13768-00-8]	amphibole	$2CaO.4MgO.FeO.8SiO_2.H_2O$
tremolite	[14567-73-8]	amphibole	$2CaO.5MgO.8SiO_2.H_2O$
crocidolite[a]	[12001-28-4]	amphibole	$Na_2O.Fe_2O_3.3FeO.8\ SiO_2.H_2O$

[a] Asbestos species of major commercial significance.

CHEMICAL COMPOSITION OF VARIOUS TYPES OF ASBESTOS *

	Chrysotile, %	Crocidolite, %	Amosite, %	Antho-phyllite, %	Tremolite, %
SiO_2	37-44	49-53	49-53	56-58	51-62
MgO	39-44	0-3	1-7	28-34	0-30
FeO	0.0-6.0	13-20	34-44	3-12	1.5-5.0
Fe_2O_3	0.1-5.0	17-20	—	—	—
Al_2O_3	0.2-1.5	—	2-9	0.5-1.5	1.0-4.0
H_2O	12.0-15.0	2.5-4.5	2-5	1.0-6.0	0.5
CaO	Tr.-5.0	—	—	—	0-18
Na_2O	—	4.0 to 8.5	—	—	0 to 9
$CaO + Na_2O$	—	—	0.5 to 2.5	—	—

* Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 2, New York and London, Interscience Publisher (1948).

ตารางที่ ข-1 ส่วนประกอบทางเคมีของแอสเบสตอส[13]

Chemical formulas for the asbestos minerals

Chrysotile	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
Tremolite	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2 - Ca_2Mg_4FeSi_8O_{22}(OH)_2$
Actinolite	$Ca_2Mg_4FeSi_8O_{22}(OH)_2 - Ca_2Fe_4MgSi_8O_{22}(OH)_2$
Ferroactinolite	$Ca_2Fe_4MgSi_8O_{22}(OH)_2 - Ca_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Anthophyllite	$Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2 - Mg_4Fe_3Si_8O_{22}(OH)_2$
Cummingtonite	$Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2 - Mg_{4.9}Fe_{2.1}Si_8O_{22}(OH)_2$
Grunerite	$Mg_{4.9}Fe_{2.1}Si_8O_{22}(OH)_2 - Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$
Riebeckite	$Na_2Fe^{2+}Fe_2^{3+}Mg_2Si_8O_{22}(OH)_2 - Na_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2$

ตารางที่ ข-2 สูตรเคมีของแร่แอสเบสตอส[9]

Comparison of the Scanning Microscope & Optical Microscope

Item	Scanning Microscope	Optical Microscope
Illuminating beam	Electron beam (wavelength: 0.006 nm ~ ∞)	Light beam (wavelength: 200 nm ~ 750 nm)
Medium	Vacuum	Atmosphere
Lens	Electron lens (for probe demagnification)	Optical lens (for image enlargement)
Resolution	Secondary electron image: 5 nm	Visible region: 200 nm Ultraviolet region: 100 nm
Depth of field*	30 μm (at 1000X)	About 0.1 μm
Magnification	10X to 180,000X (continuous)	10X to 2,000X (by changing lenses)
Focusing	Electrical	Mechanical
Obtainable images	Secondary electron and backscattered electron images (by the basic instrument)	Transmission and reflection images
Contrast	Geometrical shape, physical and chemical properties	Absorption and reflection of the light (color and brightness)
Monitor	CRT (cathode ray tube)	Direct observation or screen projection

ตารางที่ ข-3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่อง SEM และ OM[9] [10]

ภาคผนวก

อันตรายของฝุ่นใยหิน [16]

จากการที่ใยหินถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายและปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี ย่อมก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมได้โดยการฟุ้งกระจายของฝุ่นใยหินในบรรยากาศเมื่อมีการผ่านเข้าสู่ร่างกายด้วย การหายใจจะเกิดการสะสมในช่องจมูกทางเดินลมหายใจส่วนบนและไปถึงปอด ความเป็นพิษของฝุ่นใยหินขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของตัวมันและลักษณะการเรียงตัวทางกายภาพของเส้นใยประกอบกัน ปัจจัยที่สำคัญของเส้นใยซึ่งก่ออันตรายต่อสุขภาพคือ ชนิดและขนาดของเส้นใย เส้นใยที่ผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้จะต้องมีขนาดความยาวมากกว่า 5 ไมครอน มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 3 ไมครอน และอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 3 ต่อ 1 ฉะนั้นเส้นใยที่มีความยาวและแคบจะมีอันตรายมากเพราะจะตกค้างอยู่ในปอดและทำอันตรายต่อปอดได้ ปัจจัยต่อมาคือสมบัติของฝุ่นใยหินเอง เช่น ความคงทนของเส้นใย เพราะโดยทั่วไปเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปปอดจะมีกลไกป้องกันตนเองจากสิ่งรบกวนโดยจะถูกย่อยสลายไปในเนื้อเยื่อปอด แต่เมื่อฝุ่นใยหินเข้าสู่ปอดแล้วจะยังคงอยู่ในปอดโดยไม่ถูกย่อยสลายและคงอยู่ตลอดชีวิต และปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ปริมาณเส้นใยที่หายใจเข้าไป ถ้ามากก็จะเกิดอันตรายมากเพราะโอกาสที่เส้นใยจะตกค้างในร่างกายก็มากตาม

ฝุ่นใยหินเมื่อสูดหายใจเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอันตรายหรือเป็นโรคที่เรียกว่าโรคปอดแข็งหรือโรคแอสเบสโตซีส (Asbestosis) โรคปอดนี้เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นใยแอสเบสตอสเข้าไปจะไปสะสมที่เนื้อเยื่อปอดช่วงล่าง ลักษณะของเส้นใยของแอสเบสตอสมีลักษณะคล้ายเข็มแหลมขนาดเล็กที่ทิ่มแทงเนื้อเยื่อปอดตลอดเวลา ทำให้ปอดต้องสร้างเยื่อพังพืดห่อหุ้มไว้คล้ายแคปซูลและอาจจะมีสารในเนื้อแร่เกิดปฏิกิริยากับเนื้อปอด อาการของโรคคล้ายกับโรคซิลิโคซีสแต่อาจจะตรวจพบได้เร็วกว่า โดยถ้าคนไข้สัมผัสกับฝุ่นใยแอสเบสตอสปริมาณมาก ๆ แล้ว ระยะเวลา 2-3 ปีก็จะแสดงอาการแต่อาจจะไม่ชัดเจน สัมผัสอย่างน้อย 10 ปี จึงจะแสดงอาการให้เห็นอย่างชัดเจน โรคนี้จะเป็นเนื้องอกที่เซลล์บุผิวของเยื่อหุ้มปอด เยื่อบุช่องท้อง และมะเร็งปอด อาการที่แสดงออกเช่น หายใจถี่ เจ็บหน้าอก ลำตัวบวม น้ำหนักตัวลด ปาก ลิ้น เล็บมีสีฟ้า ไอแห้ง ๆ สมรรถภาพการทำงานของปอดลดลง ตรวจได้โดยการเอ็กซเรย์

การป้องกันและควบคุมในโรงงานที่เกี่ยวข้องกับใยหิน ปัจจุบันมีหน่วยงานที่ดูแลเรื่องนี้คือกระทรวงมหาดไทยและกระทรวงอุตสาหกรรม โดยได้กำหนดค่ามาตรฐานสำหรับฝุ่นใยหินที่ฟุ้งกระจายในบริเวณพื้นที่ทำงานในสถานประกอบการได้คือ กระทรวงมหาดไทยกำหนดปริมาณฝุ่นแร่ใยหินเฉลี่ยตลอดเวลาทำงานปกติเป็น 5 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดปริมาณฝุ่นแร่ใยหินไม่เกิน 2 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการกำหนดเงื่อนไขสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขณะที่มาตรฐานต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย American Conference of Governmental Industrial

Hygienists, (ACGIH) ได้กำหนดตามชนิดของแร่ใยหินนั้น ๆ เช่น ใยหินชนิดอะไซท์ 0.5 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใยหินชนิดคริโซไทล์ 2 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใยหินชนิดโครซิโดไลท์ 0.2 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และชนิดอื่น ๆ 2 เส้นใยต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนประเทศออสเตรเลีย โดย National Occupational Health and Safety Commission (NOHSC) ได้กำหนดตามชนิดของใยหินเช่นกันคือ ใยหินชนิดอะโมไซท์ 0.1 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใยหินชนิดคริโซไทล์ 1 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใยหินชนิดโครซิโดไลท์ 0.1 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และชนิดอื่น ๆ 0.1 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอยู่ในรูปแร่ผสมซึ่งไม่สามารถบอกชนิดได้ มีค่าได้ไม่เกิน 0.1 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งการหาปริมาณความเข้มข้นของใยหินที่ปนเปื้อนในอากาศบริเวณสถานประกอบการในอุตสาหกรรมที่ใช้ใยหินเป็นองค์ประกอบในกระบวนการผลิต กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองฟิสิกส์และวิศวกรรม โดยกลุ่มงานสิ่งแวดล้อม ผู้ดำเนินการอยู่ในขณะนี้สามารถให้ข้อมูลและข้อแนะนำต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ที่มีใยหินเป็นวัตถุดิบ

นอกจากนั้นควรกำหนดข้อปฏิบัติแก่คนงานที่ทำงานในสถานประกอบการที่ใช้แร่ใยหิน ไม่ว่าจะเป็นการตัด ขัดเจียรและตกแต่ง รวมถึงการให้ความรู้ในเรื่องการป้องกันอันตรายที่จะได้รับ มีการเฝ้าระวังและตรวจสอบปริมาณการฟุ้งกระจายของฝุ่นใยหินเป็นระยะ ๆ มีการตรวจสุขภาพประจำปี การตรวจสมรรถภาพการทำงานของปอด มีประวัติการทำงานและการเจ็บป่วยเป็นข้อมูล เพื่อที่จะประเมินอันตรายที่จะเกิดขึ้นและหาทางป้องกันและแก้ไขได้ทันเวลา

ใยหินเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของทรัพยากรที่มีคุณภาพที่มีคุณอนันต์และโทษมหันต์ ดังนั้นผู้ที่เกี่ยวข้องควรได้ตระหนักและเลือกใช้ให้เป็นประโยชน์โดยไม่สร้างความเดือดร้อนหรือก่อให้เกิดการทำลายสิ่งแวดล้อมและประชาชนโดยทั่วไป