

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

วศ  
กฟ  
๗๕๙

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 2

การศึกษาวิธีการหาปริมาณไวนิลอะซีเตตใน  
เอทิลีน-ไวนิลอะซีเตตโคโพลิเมอร์

โดย

นางจินตนา ลีกิจวัฒนะ  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1  
กองฟิลิกส์และวิศวกรรม  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 2

การศึกษาวิธีการหาปริมาณไวนิลอะซีเตตใน  
เอทิลีน-ไวนิลอะซีเตตโคโพลิเมอร์

เลขที่ ๑๕๓๗  
อว ๕๙  
เลขทะเบียน 10334  
วันที่ ๙ / พ.ย. / ๕๕  
0๐28-๖๙66๐  
โดย

นางจินตนา ลีกิจวัฒน์

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ด้วยฉันทเห็นว่าการ  
จาก  
.....

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

## บทคัดย่อ

ผลงานนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไวนิลอะซีเตต(Vinyl Acetate , VA) ในเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตตโคโพลิเมอร์ (Ethylene—Vinylacetate Copolymer, EVA) โดยวิเคราะห์ตามวิธีในมาตรฐานของ ASTM D 5594-98 <sup>(1)</sup> ซึ่งวิธีนี้ที่ใช้เครื่องฟูเรีย ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer .FTIR) เป็นวิธีที่ต้องใช้สารมาตรฐานเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตตโคโพลิเมอร์(EVA Copolymer Standard) ที่รู้ปริมาณไวนิลอะซีเตต และต้องมีไวนิลอะซีเตตในปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 0-30 เพื่อทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) จึงจะสามารถหาปริมาณไวนิลอะซีเตตด้วยวิธีนี้ได้ สารมาตรฐานดังกล่าวนี้ไม่สามารถหาได้ง่ายๆ จึงจำเป็นต้องศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาธาตุ (Elemental Analyzer, EA) เครื่องมือดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนได้ เนื่องจากสูตรโมเลกุลของไวนิลอะซีเตตที่เป็นส่วนประกอบในเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตต โคโพลิเมอร์ คือ  $C_4H_6O_2$  จะเห็นได้ว่าไวนิลอะซีเตตมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อทราบปริมาณออกซิเจนก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณไวนิลอะซีเตตได้ วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ใช้สารปริมาณน้อย ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงถึงร้อยละ 98 และที่สำคัญที่สุดคือไม่ต้องใช้สารมาตรฐาน เอทิลีน-ไวนิลอะซีเตต โคโพลิเมอร์ แต่ใช้สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก( Benzoic acid ) ซึ่งสามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่า ในการศึกษาวิธีการหาปริมาณไวนิลอะซีเตตในเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตต โคโพลิเมอร์นี้ ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการหาปริมาณไวนิลอะซีเตตด้วยเครื่อง FTIR กับวิธีที่ใช้เครื่องวิเคราะห์หาธาตุ (EA)

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีที่ใช้เครื่อง FTIR และวิธีที่ใช้เครื่องวิเคราะห์หาธาตุ พบว่าการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลที่ได้จากการศึกษานี้นำไปเผยแพร่แก่หน่วยงานราชการอื่นๆ,รัฐวิสาหกิจและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทำให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณไวนิลอะซีเตตได้แม้จะไม่มีสารมาตรฐานเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตตโคโพลิเมอร์ ซึ่งปริมาณไวนิลอะซีเตตนี้มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมผลิตและนอกจากนี้ทำให้สามารถจัดพิคตเพื่อเก็บภาษีอากรได้ถูกต้อง ให้ความเป็นธรรมแก่กรมศุลกากรและโรงงานอุตสาหกรรม

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง .....	ก
สารบัญภาพ .....	ค
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 วัตถุประสงค์ .....	2
1.2 ขอบเขตของการศึกษา .....	2
1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน .....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	2
บทที่ 2 เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตดโคโพลิเมอร์ .....	4
2.1 กระบวนการเกิดเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตดโคโพลิเมอร์ .....	4
2.2 บทบาทของ VA ใน EVA .....	5
2.3 สมบัติของ EVA .....	8
2.4 การนำไปใช้ประโยชน์ .....	10
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ .....	12
3.1 เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) .....	12
3.1.1 ตัวอย่างและวิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR .....	12
3.1.2 วัสดุอุปกรณ์ .....	12
3.1.3 หลักการของการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่อง FTIR .....	13
3.1.4 วิธีดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง FTIR .....	15
3.2 เครื่องวิเคราะห์หาธาตุ (Elemental Analyzer ,EA) .....	16
3.2.1 ตัวอย่าง .....	16
3.2.2 วัสดุอุปกรณ์ .....	16
3.2.3 หลักการของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA .....	16
3.2.4 วิธีดำเนินการ .....	19
3.3 ผลการวิเคราะห์ .....	22
3.3.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR .....	22
3.3.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA... ..	27

3.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR .....	22
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผล.....	33
4.1 สรุปผล .....	31
4.2 วิจารณ์ผล .....	31
4.3 ข้อเสนอแนะ .....	32
กิตติกรรมประกาศ .....	36
เอกสารอ้างอิง .....	37

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนาแน่นของ EVA ที่มี VA ในปริมาณต่างๆ.....	7
ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ 4 ด้วยเครื่อง FTIR .....	23
ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ6 ด้วยเครื่อง FTIR .....	23
ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ12 ด้วยเครื่อง FTIR .....	23
ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ 16 ด้วยเครื่อง FTIR .....	24
ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ20 ด้วยเครื่อง FTIR .....	24
ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ24 ด้วยเครื่อง FTIR .....	24
ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ28 ด้วยเครื่อง FTIR .....	25
ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ32 ด้วยเครื่อง FTIR .....	25
ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.99110491ด้วยเครื่อง FTIR .....	26
ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.99110441 ด้วยเครื่อง FTIR .....	26
ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.9911050 ด้วยเครื่อง FTIR .....	27
ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA NUC 3770 ด้วยเครื่อง FTIR .....	27
ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA มาตรฐานด้วยเครื่อง EA.....	28
ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.99110491.....	29

	หน้า
ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.99110441.....	30
ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.9911050 .....	30
ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA NUC 3770 .....	30
ตารางที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR และเครื่อง EA .....	31
ตารางที่ 20 แสดงค่า t-distribution.....	32

## สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐาน EVA ที่มีปริมาณ VA 4.8% .....	14
รูปที่ 2 แสดงกราฟมาตรฐานของ EVA .....	14
รูปที่ 3 ระบบการทำงานแบบ CHN และ CHNS .....	17
รูปที่ 4 ระบบการทำงานของแบบ O .....	18
รูปที่ 5 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเอทิลีน ไวนิลอะซิเตด โคโพลิเมอร์ .....	20
รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบภายในหลอดไพโรไลซิสและหลอดรีดักชันในระบบ O .....	21



## บทที่ 1

### บทนำ

ในโลกยุคปัจจุบันเป็นยุคของโพลีเมอร์ มีการนำโพลีเมอร์มาใช้ในชีวิตประจำวันมากมาย ในครัวเรือนใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ถึงขยะทำจากพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ในครัวก็มีโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบ ในบ้านมีพรมปูพื้น, กระจ่างอิงยางปูพื้น เครื่องใช้ในบ้านเช่นโทรศัพท์มือถือทำมาจากพลาสติก แม้แต่เสื้อผ้าที่สวมใส่ก็เป็นใยที่ทำมาจากโพลีเมอร์ จะเห็นได้ว่าโพลีเมอร์ล้วนมีส่วนอยู่ในสิ่งต่างๆรอบตัวเรา ทุกวันนี้มีปริมาณการใช้โพลีเมอร์มากเกินกว่าปริมาณการใช้โลหะต่างๆ ประเทศไทยมีโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก และโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากพลาสติก สำหรับผลิตใช้ในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศด้วย แต่ก็ยังมีสินค้าอีกหลายประเภทที่เรานำเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากเราเป็นประเทศกำลังพัฒนา ต้องซื้อเครื่องจักร และความรู้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆจากต่างประเทศ เมื่อมีสินค้าใหม่ๆ จากต่างประเทศ ผู้ผลิตในประเทศก็พยายามพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ ให้มีแบบและคุณภาพทัดเทียมกับผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ แต่ยังคงขาดความรู้ในเรื่องวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

เนื่องจากพลาสติกมีมากมายหลายชนิด และในปัจจุบันมีการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของพลาสติกด้วยการทำโคโพลิเมอร์ (copolymerization) หรือการผสมพลาสติก 2 ชนิดเข้าด้วยกัน (blend) เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตดโคโพลิเมอร์ (EVA) เป็นโคโพลิเมอร์ตัวหนึ่งที่นิยมใช้มาก สามารถนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่นใช้เป็นกาว, ท่ออ่อน, พื้นรองเท้าเป็นต้น ปริมาณของไวนิลอะซิเตด(VA)ที่นำมาโคโพลิเมอร์ (Copolymerize) กับเอทิลีนนั้นมีความสำคัญมาก และสมบัติต่างๆของEVA จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของ VA ที่มีอยู่ เช่น EVA ที่มี VA ร้อยละ 5 ใช้ในการทำฟิล์มห่อหุ้มอาหาร EVA ที่มี VA ร้อยละ 10 ต้องใช้กระบวนการรีด (Extrusion) ในการผลิตและใช้ในการผลิตท่ออ่อน, สายยางและยางหุ้มท่อเป็นต้น ส่วน EVA ที่มี VA ร้อยละ 20 ใช้ในการทำกาว (Adhesive) ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณ VA จึงมีความสำคัญมาก เพื่อที่จะได้รู้ว่าวัตถุดิบที่มีนั้นต้องใช้วิธีใดในการผลิต และเหมาะสมกับการนำมาทำผลิตภัณฑ์ใด เมื่อโรงงานอุตสาหกรรมสั่งซื้อ EVA ที่เป็นวัตถุดิบมา ต้องตรวจสอบปริมาณ VA ที่มีว่าถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ มิฉะนั้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติไม่ตรงกับความต้องการ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

การวิเคราะห์หาปริมาณของ VA สามารถทำได้ 2 วิธี คือ โคโยใช้เครื่องฟูเรียร์ ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer ,FTIR) ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ออกมาเป็นสเปกตรัม (spectrum) ที่มีแกน x เป็นจำนวนคลื่นและแกน Y เป็นการดูดกลืนแสง (Absorbance) ซึ่งสเปกตรัมนี้เป็นเหมือนลายนิ้วมือ (Fingerprint) ของแต่ละสาร สารแต่ละตัวประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) ต่างๆกัน และแต่ละหมู่จะดูด

คลื่นแสงที่จำนวนคลื่นต่างๆกัน หมู่ VA ก็เช่นกันมีการดูดกลืนแสงเฉพาะตัวคือที่  $609 \text{ cm}^{-1}$  ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ EVA มาตรฐานที่รู้ปริมาณ VA ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0-32 โดยประมาณ นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR และหาความสูงของแถบ (Band) ที่  $609 \text{ cm}^{-1}$  แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) เมื่อมี EVA ที่ต้องการหาปริมาณของ VA ก็นำวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อหาความสูงของแถบแล้วเทียบกับกราฟมาตรฐานว่าความสูงของแถบเท่านี้ตรงกับปริมาณ VA ที่มีใน EVA เท่าไร ส่วนอีกวิธีหนึ่งเป็นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยการหาปริมาณออกซิเจนใน EVA โดยใช้เครื่องวิเคราะห์หาธาตุ (Elemental analyzer, EA) เมื่อได้ปริมาณออกซิเจนก็นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ VA จากสูตรโครงสร้างของ VA คือ  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$  ได้

### 1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อให้ได้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณของ VA ใน EVA ที่รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง โดยไม่ต้องใช้ EVA มาตรฐาน

1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หา VA ใน EVA โดยวิธีที่ใช้เครื่อง FTIR และ วิธีที่ใช้เครื่อง EA

1.1.3 เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และเผยแพร่ความรู้แก่หน่วยงานราชการ รัฐวิสาหกิจ และ โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ

### 1.2 ขอบเขตของการศึกษา

1.2.1 วิเคราะห์หาปริมาณของ VA ใน EVA ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาด้วยเครื่อง FTIR

1.2.2 วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (% Accuracy) ของเครื่อง EA โดยวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ในปริมาณต่างๆกันจำนวน 8 ความเข้มข้น

1.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณของ VA ใน EVA ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาด้วยเครื่องวิเคราะห์หาธาตุ (EA)

1.2.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR กับเครื่อง EA

### 1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

มีนาคม 2543- ตุลาคม 2543

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทำให้ได้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ที่สะดวกรวดเร็วและให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ

1.4.2 ช่วยให้ผู้รัฐสามารถจัดเก็บภาษีในการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศได้ใน อัตราที่ถูกต้อง

1.4.3 ช่วยในการตรวจรับสินค้าของ หน่วยงานเอกชน และรัฐบาล ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด

1.4.4 ช่วยให้ผู้โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกในประเทศ สามารถเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตสินค้าเพื่อใช้ภายในประเทศ และเพื่อการส่งออกได้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ทำให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพดี และต้นทุนการผลิตต่ำ

## บทที่ 2

### เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคโพลิเมอร์<sup>(2)</sup>

#### 2.1 กระบวนการเกิดเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคโพลิเมอร์

เอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตโคโพลิเมอร์ (Ethylene-vinylacetate copolymer, EVA) ที่ใช้กัน  
อยู่มี 2 รูปแบบคือแบบเป็นเม็ดกับแบบเป็นผง กระบวนการเกิด EVA มีอยู่ 3 รูปแบบได้แก่

##### 2.1.1 กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบบัลค์ที่ต่อเนื่อง (Continuous bulk polymerization)

เกิดจากการที่เอทิลีน (Ethylene) ทำปฏิกิริยากับไวนิลอะซิเตต (vinyl acetate) ภายใต้  
ความดันสูง (High pressure method) ซึ่งใช้ในการผลิตโพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density  
polyethylene, LDPE)<sup>3</sup> กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบนี้เป็นแบบที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย มีโมโนเมอร์  
และโพลิเมอร์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ยังอยู่ในสภาพหลอมเหลว  
สามารถผสมกับสารหล่อลื่น (lubricants) , สารกันออกซิเดชัน (antioxidants) แล้วนำมาทำเป็นเม็ด  
เพื่อเข้ากระบวนการผลิตต่างๆผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆต่อไป ไวนิลอะซิเตต (vinylacetate ,VA) ที่  
มีใน EVA นี้มีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 1.5-50 จะมีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ที่แปรผันตั้งแต่  
40,000 ซึ่งเป็น EVA ชนิดที่มี VA ปริมาณน้อย จนถึงน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20,000 ซึ่งเป็น  
EVA ชนิดที่มี VA ปริมาณมากถึงร้อยละ 50

##### 2.1.2 กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบสารละลาย (Solution polymerization)

เป็นกระบวนการที่ใช้สารละลายเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน โพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นจะ  
แยกจากตัวกลางนี้ EVA ที่เกิดจากวิธีนี้จะมีปริมาณ VA ตั้งแต่ร้อยละ 30-50 และเป็น EVA ที่มี  
น้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า EVA ที่มีปริมาณ VA ในช่วงเดียวกันแต่เกิดจากกระบวนการอื่นๆ

EVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ นั้นเหมาะสำหรับงานเคลือบ , เป็นสารเติมแต่งในซีฟิ่ง  
(wax additives) , เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening) และใช้เป็นสารที่ทำให้สารละลายต่างๆเกิดเป็น  
เจล (gelling agents) นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารหล่อลื่น (lubricants) ในยาง และใช้ผสมกับเทอร์โม  
พลาสติกอื่นๆ

##### 2.1.3 กระบวนการเกิดโพลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

เป็นกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ในน้ำที่มีสารก่ออิมัลชันอยู่ด้วย โมโนเมอร์และโพลิเมอร์  
ที่เกิดขึ้นกระจายเป็นหยดเล็กอยู่ในน้ำโดยการกวน กระบวนการนี้เหมือนกระบวนการผลิตโพลิ  
ไวนิลคลอไรด์ พลาสติกซอล (Polyvinyl chloride plastisol) EVA ที่เกิดจากกระบวนการนี้มีปริมาณ VA  
สูง อยู่ในรูปอิมัลชัน (emulsion) ใช้ในการเคลือบ , ใช้ทำสี เป็นต้น EVA อิมัลชัน (EVA emulsion)  
นี้ใช้ในงานที่แตกต่างจาก EVA ที่เกิดจากกระบวนการอื่นๆ

## 2.2 บทบาทของ VA ใน EVA

EVA มีสมบัติเหมือนยางสังเคราะห์หลายอย่าง เนื่องจากปริมาณ VA ที่มีใน EVA จะควบคุมสมบัติด้านความยืดหยุ่น (elasticity) ถ้า VA มีปริมาณสูงผลิตภัณฑ์นั้นจะมีการยืดตัว (elongation) สูงคือเป็นพลาสติกที่มีการยืดตัวมาก จะให้ความรู้สึกเหมือนยางและคิดเหนียวเหมือนกาว EVA ที่มีปริมาณ VA น้อยมากจะเหมือนโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) คือจะแข็งและแข็งคิ่งกว่า มีความเป็นมันกว่าโพลีเอทิลีน EVA ที่มี VA ปริมาณสูงจะมีค่าความต้านแรงคิ่งและมอดูลัสต่ำ การยืดตัวสูงแต่มีความยืดหยุ่นน้อยมาก ส่วน EVA ที่มี VA ปริมาณน้อยจะตรงกันข้าม EVA ไม่ว่าจะมียปริมาณ VA มากหรือน้อยจะมีสมบัติเมื่อคิ่งยืดออกแล้วจะไม่หดกลับมาที่ความยาวเดิม (poor permanent set)

นอกจากสมบัติของ EVA จะเปลี่ยนตามปริมาณของ VA แล้ว ยังขึ้นอยู่กับกิ่งแขนงที่ยาวออกไป (long chain branching) และการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (molecular-weight distribution) ที่แปรเปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการผลิต แม้ว่าลักษณะเหล่านี้มีผลกระทบต่อสมบัติของพลาสติกไม่มาก แต่ก็ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถเลือกพลาสติกที่จะนำมาใช้ได้อีกต้องตามความต้องการ

เมื่อปริมาณ VA เพิ่มขึ้น ความเป็นผลึก (crystallinity) จะเปลี่ยนไป โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีความหนาแน่นในช่วง 0.913-0.938 เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกและจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำโพลีเอทิลีนนี้ไปโคโพลิเมอไรซ์ (copolymerize) กับไวนิลอะซิเตต (vinyl acetate) โคลิโพลิเมอร์ที่ได้คือ EVA จะมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง มีสภาพอสัณฐาน (amorphous) มากขึ้น และช่วงจุดหลอมเหลวจะกว้างขึ้น เมื่อปริมาณ VA มีมากถึงร้อยละ 40 จะมีสภาพอสัณฐานร้อยละ 100 และมีความเป็นขั้ว (polar) มากขึ้น

VA ที่นำมาโคโพลิเมอไรซ์กับโพลีเอทิลีน ช่วยให้ EVA ซึ่งเป็นโคลิโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีสมบัติดีขึ้นในหลายๆด้าน ทำให้สามารถผสมกับเรซินอื่นๆได้ง่ายขึ้น เนื่องจากมีความเป็นขั้วมากขึ้น สมบัติในเรื่องความทนทานต่อการแตกร้าว (stress cracking resistance) ดีขึ้น ทำให้สามารถใส่สารเสริมได้ในปริมาณสูงโดยสมบัติอื่นๆไม่เปลี่ยนแปลงมาก นอกจากนี้ยังทำให้โคลิโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีสมบัติเป็นกาวและสามารถทำเป็นสีได้ แม้ว่าจะมีข้อเสียคือความทนต่ออนุมูลอิสระสูงลดลงก็ตาม แต่กระนั้นก็ตาม EVA ก็เป็นที่นิยมใช้มาก ในกรณีที่ต้องการสมบัติพิเศษอื่นๆก็สามารถนำมาดัดแปรได้ง่าย ตัว EVA เองก็ใช้เป็นสารดัดแปรสำหรับโพลิเมอร์อื่นๆได้ด้วย

การที่ EVA มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากโพลีเอทิลีนที่เป็นโพลิเมอร์เดี่ยว (Polyethylene homopolymer) นั้นเนื่องมาจากการเกิดกิ่งคือหมู่อะซิโตน (Acetoxy side chain) ซึ่งหมู่อะซิโตนนี้เป็นหมู่ที่ทำให้โคลิโพลิเมอร์ทนต่อความร้อนน้อยลงเมื่อเทียบกับโพลีเอทิลีน การเลือก EVA มาใช้งานต้องการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (molecular-weight distribution) จะถูกต้องมากกว่าดูจาก

อัตราการไหลเมื่อหลอมเหลว (Melt flow rate ,MFR) เนื่องจากการประเมินน้ำหนักโมเลกุลจากอัตราการไหลเมื่อหลอมเหลวจะได้น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าความเป็นจริง

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ความหนืด (viscosity), จุดอ่อนตัว (softening point) และสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆ ไปจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่สมบัติด้านการละลาย (solubility), การติด(adhesion), และสมบัติการเป็นสี (paintability) จะลดลง

EVA มีสมบัติคล้ายกลุ่มโพลิโอเลฟินส์ (polyolefins) ในเรื่องการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่สามารถควบคุมได้ การเลือกกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ก็คือการเลือกกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (polymerization) นั่นเอง สามารถทำให้เกิดพลาสติกที่มีช่วงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลต่างกันแม้ว่าจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (average molecular weight) เท่ากัน พลาสติกที่มีช่วงการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลแคบจะไหลได้เร็วและเข้าแม่พิมพ์ได้เต็มดีกว่า แม้ว่าโดยทั่วไปแล้วพลาสติกที่ไหลเต็มแม่พิมพ์เร็วมีแนวโน้มว่าจะมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสูงแต่ EVA ไม่เป็นเช่นนั้น เมื่อ VA มีปริมาณมากขึ้น EVA จะเหนียวขึ้น (tougher) และมีลักษณะคล้ายยาง) มากขึ้น

โพลิเอทิลีน(PE) เมื่อนำมาผสม (blend) กับโพลิไวนิลคลอไรด์ชนิดที่มีสารเสริมสภาพพลาสติก [Plasticized poly(vinyl chloride),PPVC] เนื้อของพลาสติกทั้งสองชนิดจะไม่เข้ากัน (incompatible) แต่ถ้านำ VA มาโคโพลิเมอไรเซชัน (copolymerization) กับโพลิเอทิลีนหรือกลุ่มโพลิโอเลฟินอื่นๆ จะทำให้โพลิเอทิลีนหรือโพลิโอเลฟินอื่นๆนั้นสามารถผสมเข้ากันได้กับ PPVC แต่การจะผสมเข้ากันได้ดีจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณ VA ที่โคโพลิเมอร์นั้นมีอยู่ ถ้าโคโพลิเมอร์นั้นมีปริมาณ VA น้อยความสามารถที่จะเข้ากันได้กับ PPVC จะน้อยลงด้วย ในทางกลับกันถ้าโคโพลิเมอร์นั้นมีปริมาณ VA มากความสามารถที่จะเข้ากันได้กับ PPVC จะมากขึ้นด้วย

สมบัติของ EVAจะแปรผันตามปริมาณของ VA ถ้า VA มีปริมาณน้อยลงโคโพลิเมอร์นั้นจะแข็งขึ้นและเหนียวขึ้น นอกจากนี้ยังขาวขึ้น และมีความใสมากขึ้น (more translucent)ด้วย โคโพลิเมอร์ที่มีปริมาณ VA สูงขึ้นจะมีความเหนียวหนืดคล้ายกาวมากขึ้นและอ่อนนุ่มขึ้น ซึ่งสมบัติข้อนี้เองที่ช่วยปรับปรุงความใสของโคโพลิเมอร์ ความหนาแน่นของ EVA ขึ้นอยู่กับปริมาณของ VA ที่มีใน EVA นั้น เนื่องจากความหนาแน่นของ VA สูงกว่าของโพลิเอทิลีน ดังนั้นเมื่อปริมาณของ VA ใน EVA มากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของ EVA ในช่วงน้ำหนักโมเลกุลเดียวกันมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนาแน่นของ EVA ที่มี VA ในปริมาณต่างๆ

ความหนาแน่นของEVA ,กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ร้อยละของVA ที่มีใน EVA
0.980	50
0.970	43
0.960	36
0.950	27
0.940	19
0.930	13

ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนาแน่นของ EVA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่าๆกัน แต่มีปริมาณ VA ในโคโพลิเมอร์ต่างกัน จะเห็นได้ว่าถ้าปริมาณ VA มีมากขึ้นจะทำให้ EVA มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น

ความแข็งที่ผิวหน้า (surface hardness) ของ EVA จะลดลงเมื่อปริมาณ VA เพิ่มมากขึ้น กิ่งหรือแขนงและการสูญเสียการเกิดผลึก เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมความแข็งของ EVA สิ่งที่มีผลต่อความแข็งอีกอย่างหนึ่งก็คืออัตราการไหลเมื่อหลอมเหลว(Melt flow rate ,MFR) ค่า MFR สูงขึ้นความแข็งก็จะน้อยลง ผลกระทบอีกอย่างหนึ่งคือน้ำหนักโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลน้อยลงจะทำให้ความแข็งน้อยลงด้วย เนื่องจากค่าความแข็งที่วัดเป็น ชอร์ เอ (Shore A) เป็นสมบัติที่นำไปใช้ในการพิจารณาการนำไปใช้ประโยชน์ของโพลิเมอร์ นอกจากนี้สมบัติในเรื่องอื่นๆก็มีความสำคัญเช่นกัน EVA ที่มีปริมาณ VA เท่าๆกัน และมีค่า MFR ต่ำกว่าจะแข็งกว่า EVA ที่มีค่า MFR สูงกว่า ในทางกลับกัน EVA ที่มีค่า MFR สูงกว่าจะอ่อนกว่า EVA ที่มีค่า MFR ต่ำกว่า

จุดอ่อนตัว (softening point) ของ EVA ก็เช่นเดียวกัน ถ้า MFR เพิ่มขึ้นความหนืด (viscosity) จะลดลง จุดอ่อนตัวก็ลดลงด้วย ปริมาณ VA ที่เพิ่มขึ้นทำให้จุดอ่อนตัวลดลง

ในโคโพลิเมอร์ที่มี VA ร้อยละ 28 และค่า MFR เพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงดึงขาด (Tensile strength) จะน้อยลง จะเห็นได้ว่าค่าความต้านแรงดึงขาดก็ขึ้นอยู่กับปริมาณ VA ด้วยเช่นกัน เนื่องจาก VA เพิ่มขึ้นนั้นแสดงว่าโคโพลิเมอร์มีส่วนที่นิ่มพื้มมากขึ้น ค่าความต้านแรงดึงขาดจึงน้อยลง ส่วนค่าการยืดตัวเมื่อขาด (Elongation at break) ซึ่งปกติจะสูงมากคือประมาณร้อยละ 700 นั้นจะยังคงที่ เมื่อ MFR เปลี่ยน หรือเมื่อปริมาณ VA มากขึ้นหรือน้อยลง ค่าการยืดตัวเมื่อขาดก็ยังคงที่เช่นกัน

EVA เป็นพลาสติกที่เหนียว เนื่องจากจะไม่แตกเมื่อทดสอบค่าความทนต่อแรงกระแทก (Impact) ไม่ว่าปริมาณ VA จะมากหรือน้อยก็ตาม ความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิห้องก็ดีมาก ส่วนในเรื่องการทนทานต่อการขัดสี (resistance to abrasion) EVA จัดว่ามีการทนทานต่อการขัดสีต่ำ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงไม่มีความทนทานต่อการขัดสีซึ่งทำให้เกิดความร้อน

จึงไม่นิยมนำมาทำส้นรองเท้าโดยเฉพาะรองเท้านักกีฬา แต่ถ้านำมาผสมกับโพลีเมอร์อื่นๆยังใช้ได้ดี เช่นการนำมาผสมกับสไตรีนโคโพลีเมอร์แบบบล็อก (Styrene block copolymer)จะทำให้โคโพลีเมอร์นั้นมีความเหนียวขึ้นจึงใช้ทำส้นรองเท้าได้ ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิตด้วย เนื่องจาก EVA มีราคาถูกกว่าสไตรีนโคโพลีเมอร์แบบบล็อก

### 2.3 สมบัติของ EVA

EVA ทนด่าง (alkalis) , กรดนอนออกซิไดซิง (nonoxidizing acids) , แอลกอฮอล์ (alcohols), สารละลายอ่อนๆ (weak aqueous solution) และตัวทำละลาย เช่นพวกเอทิลีนไฮโดรคาร์บอน (linear hydrocarbons) , พวงเอสเทอร์ (esters) , พวงคีโตน (ketones) เป็นต้น ส่วนตัวทำละลายที่เป็น พวงอะโรแมติก (aromatic solvents) จะทำให้ EVA บวมพอง ปริมาณ VA ที่มีใน EVA ถ้ามีมากขึ้น ความทนต่อสารเคมีต่างๆเหล่านี้ก็จะลดลง

EVA เมื่อเผาไหม้มีลักษณะคล้ายเทียน ซึ่งเป็นสมบัติการเผาไหม้ของโพลีเอทิลีน การเติมสารเติมแต่งที่มีฮาโลเจน (halogen-containing additives) เช่นพวกแอนติโมนี ออกไซด์ (Antimony Oxide) ไม่ว่าจะมีความแรงปฏิกิริยาหรือไม่ จะทำให้ EVA ทนทานต่อการถูกไหม้ (flame resistant) EVA เป็นโคโพลีเมอร์ที่สามารถใส่สารเสริม (filler) ได้ในปริมาณที่มากพอสมควร โดยไม่ทำให้สมบัติทางด้านฟิสิกส์ลดลงเลย

ในด้านการทนต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental protection) EVA มีสมบัติข้อนี้ดีกว่าโพลีเอทิลีน กล่าวคือ EVA ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต [ultraviolet (UV) rays] และสภาพอากาศ (weathering) แต่กระนั้นก็ยังจำเป็นต้องเติมสารป้องกันรังสี UV เพื่อยืดอายุการนำไปใช้งานเมื่อนำไปใช้งานภายนอกอาคาร การใช้สารกันออกซิเดชัน (antioxidant) , สารป้องกันแสง UV (UV inhibitors) และสารเสริมพวกเอมีน (hindered amine) เป็นการยืดอายุการใช้งานของ EVA ทั้งนี้ การใส่คาร์บอนดำเป็นสารเสริมสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคาร ก็เป็นการยืดอายุการใช้งานเช่นกัน

EVA มีความทนต่อแรงดึงขาดและการขีดด้วยสูง ให้ความรู้สึกเป็นยาง (rubber feel) และ EVA เข้าขบวนการผลิตง่ายเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่วไป

EVA อาจนำมาผสม (compound) และวัลคาไนซ์ (vulcanize) ได้เหมือนยาง EVA สามารถเกิดโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง (cross-linked) ทำเป็นของแข็ง , ฟองน้ำหรือโฟมก็ได้ อาจใช้ดินเป็นสารเสริมที่ช่วยเพิ่มความแข็งตึง (stiffen) ให้ EVA ได้ ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสามารถทำให้ความทนทานต่อแรงฉีกขาดดีขึ้นเมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารเสริม การใช้ซิลิกา,สารฟู (blowing agent) และเปอร์ออกไซด์ร่วมกันทั้งสามตัว ทำให้เกิดโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง (peroxide cross-linked) และการบ่มสุก (cure) ทำให้ได้โฟม EVA ที่มีความเหนียวและมีความหนาแน่นต่ำ นำมาใช้เป็นวัสดุในการทำใส่ในของส้นรองเท้าสำหรับวิ่ง (innersole of jogging shoes) ส่วนโฟม EVA ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าใช้ในการทำส่วนภายนอกของส้นรองเท้า เนื่องจากมีความเหนียวกว่า



EVA มีสีคล้ำขุ่นมัว ใส ความใสเพิ่มขึ้นอยู่กับปริมาณ VA ที่มีอยู่ ถ้าปริมาณ VA มีมากขึ้น EVA ก็จะใสขึ้น สมบัติพิเศษอื่นคือทำให้ใสสีได้หลากหลาย รวมทั้งสีผง (pigment) ที่ใช้กับพวกโพลีเมอร์เดี่ยว (homopolymer) EVA สามารถผสมกับสารเสริมได้รวมทั้งสารถ่วงการติดไฟ (flame-retardant agents) และทำเป็นโฟมได้โดยใช้สารฟูที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic blowing agents) เช่นเอโซไดคาร์บอนาไมด์ได้ EVA สามารถนำมาผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมแบบอะลิฟาติก (aliphatic petroleum-based oils) ได้ ซึ่งน้ำมันชนิดนี้เป็นน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการผสมยาง EVA ที่มีปริมาณ VA มากจะผสมกับน้ำมันได้ดีกว่า EVA ที่มีปริมาณ VA น้อย น้ำมันที่ผสมได้ดีกับ EVA ได้แก่ น้ำมันแนฟทีนิก (Naphthenic oils) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง สารเสริมสภาพพลาสติกที่ใช้ได้ดีกับ EVA ได้แก่ ไดออกทิล ฟทาเลต (dioctyl phthalate) นอกจากนี้ EVA ยังสามารถเติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (antistatic agents) , สารลื่น (slip agents) และสารเติมแต่ง (additives) ที่เป็นของเหลวได้ดี

EVA มีสมบัติที่ผสมเข้ากับพลาสติกอื่นๆ ได้ดีหลายชนิด และผสมกับสีได้ในปริมาณสูงทั้งสีอินทรีย์ (organic pigments) และสีอนินทรีย์ (inorganic pigments) จึงนิยมใช้ EVA เป็นตัวผสมกับสีต่างๆ ในระดับเข้มข้น (color-concentrate bases) เพื่อใช้ในการผสมกับพลาสติกอื่นๆ ให้มีสีตามต้องการต่อไป

เนื่องจาก EVA ไม่สามารถเข้ากระบวนการผลิตที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงเช่นกระบวนการฉีด (injection molding) และกระบวนการรีดในการทำท่อหุ้มสายเคเบิล (cable-jacket extrusion) ได้ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงจำเป็นต้องเติมสารกันออกซิเดชันคือสารเติมแต่งที่ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพลาสติก โดยใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ที่ใช้กันมากก็คืออนุพันธ์ของ ฟีนอล (sterically hindered phenolic types) ที่มีชื่อทางการค้าว่า บี เอช ที (BHT) , ไซยานอก 2246 (cyanox 2246) , ไออกซานอก 1010 (Irganox 1010) เป็นต้น ถ้าไม่ใส่สารกันออกซิเดชัน สีของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยน (discoloration) , สมบัติทางด้านฟิสิกส์จะลดลง และทำให้มีกลิ่นฉุนคล้ายน้ำส้มซึ่งเป็นกลิ่นของกรดอะซิติก (acetic acid) ที่เกิดจากการแตกตัวของไวนิลอะซิเตต (vinyl acetate) ในกรณีที่ต้องการให้ EVA เสถียรมากๆ (extra-high stabilization) ต้องเติมสารปกป้องขั้นที่สอง (secondary protective agents) เช่นพวกฟอสไฟท์ (phosphite) และไทโออีเทอร์ (thioethers) ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ไตรฟีนิล ฟอสไฟท์ (Triphenyl phosphite, TPP) และ ไดลาอริล ไทโอไดโพรพิโอเนต (Dilauryl thiodipropionate, DLTDP)

ดังได้กล่าวแล้วว่า EVA สามารถเข้ากระบวนการผลิตแบบยางได้ เนื่องจากผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดี และทำให้เกิดโครงสร้างแบบเชื่อมขวางได้ แต่ต้องทำการผสมส่วนผสมต่างๆ โดยการใส่ลูกกลิ้งในการผสมเช่นเดียวกับที่ผสมยางแล้วจึงวัลคาไรซ์ (vulcanized)

แต่โดยทั่วไปแล้ว EVA ส่วนใหญ่นิยมใช้ EVA ที่เป็นเทอร์โมพลาสติก และใช้ใน ขบวนการฉีด (Injection molding) , การอัดรีด (Extrusion), กระบวนการเป่า (Blow molding),และการรีด (Calendering)

EVA สามารถเข้ากระบวนการผลิตได้ทุกวิธีที่ทำกับเทอร์โมพลาสติกอื่นๆ และจะเสถียรมากเมื่อเข้ากระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิธรรมดา EVA ที่มีปริมาณ VA สูงๆต้องใช้ อุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากจุดหลอมเหลวของ EVA ค่อนข้างต่ำกว่าพลาสติกอื่นๆ ดังนั้นช่วงที่ใส่เม็ด พลาสติกในสกรู (feed) ต้องใช้อุณหภูมิต่ำกว่าที่ใช้กับพลาสติกอื่นๆ

เนื่องจากเป็นพลาสติกที่เมื่อเข้ากระบวนการผลิตที่มีความร้อนจะเกิดการขึ้น ดังนั้นจึง ต้องใช้เหล็กที่มีคุณภาพดีที่สามารถทนกรดได้ในการทำแม่แบบ (molds) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ เครื่องอัดรีด มีลักษณะเป็นช่องให้พลาสติกหลอมผ่านออกมาเป็นรูปร่างตามต้องการ อุปกรณ์ที่ใช้ ในกระบวนการผลิต EVA ควรต้องทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรด (corrosion-resistant) เนื่องจากเป็นพลาสติกที่ค่อนข้างนุ่มในระหว่างกระบวนการผลิตช่วงที่ทำให้เย็นต้องให้แน่ใจว่าเย็นลง จริงๆ

ส่วนในกระบวนการฉีดนั้น ต้องใช้อุณหภูมิในการฉีดให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีผิวหน้าสวย

ในตลาดโลก EVA ที่ผลิตส่วนใหญ่ใช้ในกระบวนการเป่า ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ทำ ขวดในท้องปฏิบัติการ , ทำบรรจุภัณฑ์เพื่อใส่อาหารและยา ทั้งนี้เนื่องจาก EVA มีสมบัติที่เป็นไป ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและยา (Food and Drug Administration' requirements)

#### 2.4 การนำไปใช้ประโยชน์

ในการนำมาใช้งานด้านไฟฟ้า (electrical use) นั้นต้องพิจารณาถึงความเป็นขั้วเนื่องจาก VA เป็นหมู่ของสารที่มีความเป็นขั้วสูง เมื่อนำมาโคโพลีเมอร์กับเอทิลีน จะลดสมบัติด้านการไม่ เป็นสื่อไฟฟ้าของเอทิลีนลง (dielectric property) EVA ไม่สามารถใช้งานด้านการคมนาคม (communication) และการส่งภาพทางไกล (television) ที่เกี่ยวข้องกับความถี่สูงๆ แต่สามารถนำมา ใช้ประโยชน์ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความถี่ต่ำๆได้ EVA เป็นพลาสติกที่สามารถใช้สารเติมแต่ง (additive) ช่วยทำให้พลาสติกที่ใส EVA ลงไปนั้นมีสมบัติเป็นสื่อไฟฟ้าได้ มีการนำ EVA มาใช้ ประโยชน์ในด้านการเป็นตัวต้านไฟฟ้าสถิตย์ (antistatic application) โดยใช้คาร์บอนดำ (carbon black) เป็นสารเสริม ซึ่งคาร์บอนดำที่ใส่นี้สามารถใช้ได้ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 40 ถ้าเลือกระดับ คุณภาพของคาร์บอนดำให้เหมาะสม จะได้คอมพอน์ (compound) ที่สามารถควบคุมความเป็นสื่อ ไฟฟ้า (conductivity) ได้ นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นเปลือกหุ้มสายเคเบิล (cable jacket) สำหรับไฟ ฟ้ากำลังสูงที่ฝังใต้ดิน (high-voltage underground feeder cable) ส่วนในด้านการตัวต้านไฟฟ้าสถิตย์

นั้นนิยมใช้ทำอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการด้านไฟฟ้า (operating room) ใช้ในการขนส่งวัตถุระเบิด (shipping of explosive) และใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์

EVA ทั้งที่ผ่านการดัดแปร(modified) และไม่ได้ผ่านการดัดแปร (unmodified) นิยมนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆดังต่อไปนี้

- ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการอัดรีด (Extruded products) ได้แก่ หลอด (tubings), ท่อหุ้มสายไฟและสายเคเบิล, ฟิล์ม และแผ่น (sheet)
- ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการอัดแบบ (Molded products) ได้แก่ ของเด็กเล่น, อุปกรณ์ที่ใช้ในทางการแพทย์ , ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับการกีฬา , บรรจุภัณฑ์, ปะเก็น (gasketing application) เนื่องจาก EVA มีความยืดหยุ่น (Elasticity), ทนน้ำมันได้ดี มีกลิ่นน้อย (low odor) และมีความเป็นพิษน้อย (low toxicity)
- ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกระบวนการรีด (Calendered goods) ได้แก่ แผ่นลามิเนต, ฟิล์ม, แผ่นฉ้ายาง (tapes) และบรรจุภัณฑ์
- ผลิตภัณฑ์พิเศษต่างๆ เช่น ถุงมือผ่าตัด (surgical gloves) และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผนึกด้วยความร้อน (heat-sealed products)
- ใช้ในงานเคลือบเช่นใช้เคลือบบนกระดาษและผ้าที่ตกแต่งบนรองเท้า (paper and cloth coating for footwear) , ผ้า และ บรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร

### บทที่ 3

#### วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

#### 3.1 เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR)

##### 3.1.1 ตัวอย่างและวิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นเม็ด EVA จากโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก นำเม็ด EVA มาทำเป็นฟิล์มเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ดังวิธีการทำดังนี้

3.1.1.1 นำแผ่นโพลีเอสเตอร์วางลงบนแผ่นสำหรับรองพิมพ์ (ข้อ 3.1.2.3) แล้ววางแม่พิมพ์ (ข้อ 3.1.2.4) บนแผ่นโพลีเอสเตอร์

3.1.1.2 ใส่ม็ด EVA หนักประมาณ 1.5 กรัมลงในรูแต่ละรูของแม่พิมพ์ อย่าใส่มากเกินไปจะดันพิมพ์ วางแผ่นโพลีเอสเตอร์อีกแผ่นทับลงไป แล้วปิดทับอีกทีด้วยแผ่นสำหรับรองพิมพ์ นำไปวางบนแท่นล่างของเครื่องอัดพลาสติกเป็นแผ่นฟิล์มที่ดึงอุณหภูมิไว้ 177 °ซ

3.1.1.3 เมื่อแท่นบนของเครื่องอัดลงมาปิดบนแผ่นล่างให้สนิท แต่ยังไม่ต้องอัดความดัน ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาทีเพื่อให้ EVA อ่อนตัว

3.1.1.4 ถัดความดันประมาณ 25000 ปอนด์ ประมาณ 1 นาที จึงปล่อยความดันออก นำแผ่นรองพิมพ์ออกจากเครื่องอัด ทิ้งไว้ให้เย็น แยกแผ่นรองพิมพ์และแผ่นโพลีเอสเตอร์ออก เลือกแผ่น EVA ที่ใสและหนาสม่ำเสมอไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ต่อไป

##### 3.1.2 วัสดุอุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่อง FTIR

3.1.2.2 เครื่องอัดพลาสติกเป็นแผ่นฟิล์ม(Hydraulic Laboratory press) แรงอัด 25,000 ปอนด์ และให้ความร้อนได้สูงถึง 177 องศาเซลเซียส

3.1.2.3 แผ่นสำหรับรองพิมพ์(Backing plate) ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมหรืออลูมิเนียมก็ได้ จำนวน 2 แผ่น

3.1.2.4 แม่พิมพ์ที่ทำจากแผ่นทองเหลืองหนา 0.127 มิลลิเมตรขนาด 152.4 x 152.4 มิลลิเมตร เจาะแผ่นทองเหลืองนี้ให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร จำนวน 6 วง เพื่อใส่ตัวอย่างสำหรับอัดเป็นแผ่นฟิล์ม

3.1.2.5 แผ่นโพลีเอสเตอร์ (polyester sheet)

3.1.2.6 เครื่องวัดความหนา ที่วัดได้ละเอียด 0.0001 มิลลิเมตร

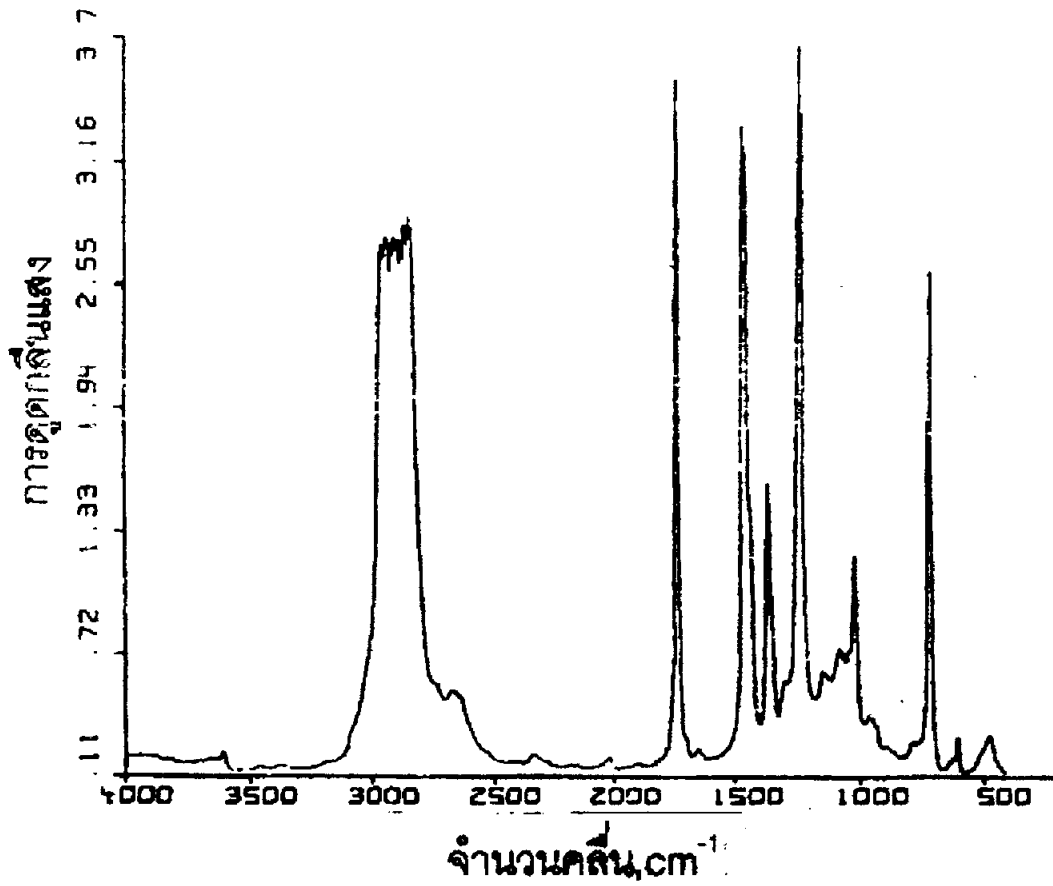
3.1.2.7 EVA ที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 และ 32 และ EVA ที่ใช้ในการศึกษาวิธีหาปริมาณ VA ใน EVA

### 3.1.3 หลักการของการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่อง FTIR

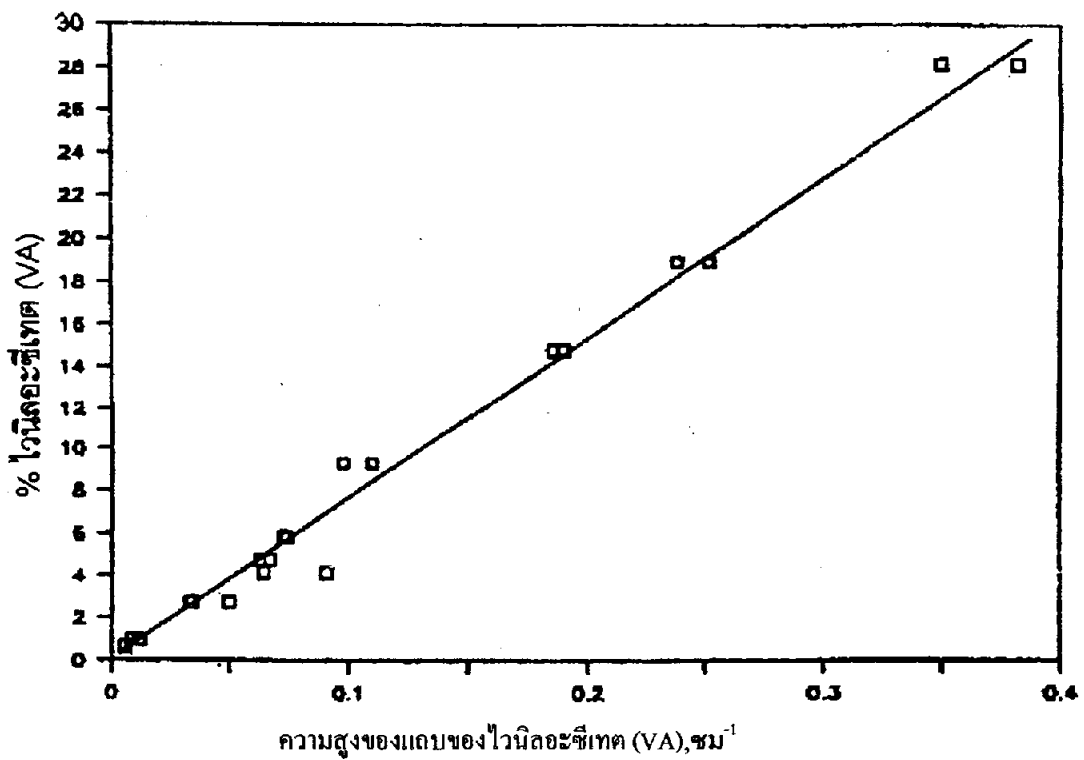
FTIR เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญมากเนื่องจากสามารถหาได้ทั้งชนิดและปริมาณของ โพลีเมอร์ แม้ว่าโดยทั่วไปแล้วส่วนใหญ่นิยมใช้ FTIR ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) แต่ก็มีการใช้ FTIR ในการวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเช่นกัน เช่น วิเคราะห์หาปริมาณของ โพลีเมอร์, พิกเมนต์อินทรีย์ (Organic pigment), สารละลาย (solvent) และสารเติมแต่ง (additive) ที่ใช้ในสารเคลือบทั้งหลายเป็นต้น

ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารต่างๆจากอินฟราเรดสเปกตรัมของสารนั้น อาศัยการคำนวณหาปริมาณจากความสูงหรือพื้นที่ใต้โค้งของแถบที่มีการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันนัลที่สำคัญเช่น C=O, O-H, N-H, C-O, C=C, C=C, C=N และ NO<sub>2</sub> เป็นต้น อาศัยหลักการที่ว่าพลังงานของรังสีอินฟราเรด (infrared radiation) ที่ผ่านตัวอย่าง (sample beam energy) จะลดลงเมื่อเทียบกับพลังงานของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบบนตัวอย่าง (reference beam) พลังงานที่เปลี่ยนไปนี้นำมาคำนวณหาปริมาณของสารนั้นได้ โดยวัดการดูดกลืนแสง (absorbance A) ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณของสารต่างๆด้วยวิธีนี้มีกำหนดเป็นมาตรฐานวิธีการทดสอบเช่นมาตรฐาน ASTM D 5594-98<sup>(1)</sup>

หลักการของการวิเคราะห์หาปริมาณ VA โดยเครื่อง FTIR คือการวัดความสูงของแถบการดูดกลืนแสง (infrared absorption bands) ของ EVA จากอินฟราเรดสเปกตรัมที่มีการดูดกลืนแสงที่จำนวนคลื่นที่ต่าง ๆ กัน (ดูรูปที่ 1) ของ EVA ถ้า EVA นั้นมีปริมาณ VA ตั้งแต่ร้อยละ 0.5-5 ให้วัดความสูงของแถบในช่วงการดูดกลืนแสงที่ 1020 ซม.<sup>-1</sup> ส่วน EVA ที่มีปริมาณ VA ตั้งแต่ร้อยละ 5-32 ให้วัดความสูงของแถบในช่วงการดูดกลืนแสงที่ 609 ซม.<sup>-1</sup> แล้วนำค่าความสูงของแถบที่หาได้มาหาปริมาณ VA โดยดูจากกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ซึ่งกราฟมาตรฐานนี้ทำได้โดยการนำ EVA มาตรฐานที่รู้ปริมาณ VA ที่แน่นอนปริมาณต่างๆกันตั้งแต่ร้อยละ 0.5-28 มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อหาความสูงของแถบ แล้วนำความสูงของแถบที่หาได้มาพล็อต (plot) กับปริมาณของ VA ใน EVA เป็นร้อยละ (ดูรูปที่ 2) เรียกกราฟนี้ว่ากราฟมาตรฐาน



รูปที่ 1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐาน EVA ที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 4.8



รูปที่ 2 แสดงกราฟมาตรฐานของ EVA

### 3.1.4 วิธีดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง FTIR <sup>(1)</sup>

#### 3.1.4.1 วิธีการทำกราฟมาตรฐาน

นำ EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 4 , 6 , 12 , 16 , 20 , 24 , 28 และ 32 มาอัดเป็นฟิล์มบาง แล้วดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.4.1.1 วัดความหนาของแผ่น EVA มาตรฐานที่อัดเป็นฟิล์มแล้วด้วยเครื่องวัดความหนา บันทึกความหนาของ EVA แต่ละแผ่นไว้เพื่อนำมาคำนวณต่อไป

3.1.4.1.2 ใต้อแผ่น EVA มาตรฐานที่วัดความหนาแล้วในกรอบ ใส่กรอบลงในช่องที่แสงอินฟราเรดผ่าน กวาด(scan)อินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared spectrum) เพื่อวัดการดูดกลืนแสงในช่วงจำนวนคลื่น 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  ด้วยเรโซลูชัน (resolution) 4  $\text{cm}^{-1}$  อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จะมีจำนวนคลื่น(wavenumber) เป็นแกน X และการดูดกลืนแสง (absorbance) เป็นแกน Y

3.1.4.1.3 จากอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้หาค่าความสูงของแถบ VA (Vinyl acetate bands) สำหรับ EVA ที่มีปริมาณ VA ตั้งแต่ร้อยละ 0.5-5 ให้หาค่าความสูงของแถบที่จำนวนคลื่นที่ 1020  $\text{cm}^{-1}$  และสำหรับ EVA ที่มีปริมาณ VA ตั้งแต่ร้อยละ 5-32 ให้หาค่าความสูงของแถบที่จำนวนคลื่นที่ 609  $\text{cm}^{-1}$  โดยนำค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (absorption maximum) ที่จำนวนคลื่นนั้นๆ มาหักค่าการดูดกลืนแสงต่ำสุด (absorption minimum) ออก เป็นค่าความสูงของแถบ

3.1.4.1.4 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1.4.1.2 แต่ใส่กรอบเปล่าเพื่อเป็นแบล็กกราวนด์สเปกตรัม (background) หาอัตราส่วนระหว่างความสูงของแถบ VA จากข้อ 3.1.4.1.3 ต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบล็กกราวนด์ที่จำนวนคลื่นเดียวกันคือที่ 1020  $\text{cm}^{-1}$  หรือ 609  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณ VA ที่มีใน EVA นั้น

3.1.4.1.5 หาอัตราส่วนระหว่างความสูงของแถบ VA ที่หาได้จากข้อ 3.1.4.1.4 ต่อความหนาที่วัดได้และจดบันทึกไว้จากข้อ 3.1.4.1.1 (peak height ratio)

3.1.4.1.6 พล็อตระหว่างค่าอัตราส่วนของความสูงของแถบ VA ต่อความหนาจากข้อ 3.1.4.1.5 กับปริมาณ VA ที่มีใน EVA ที่รู้ค่าแน่นอน กราฟที่ได้เป็นกราฟมาตรฐาน

#### 3.1.4.2 วิธีดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1.4.2.1 วัดความหนาของตัวอย่าง EVA ที่ใช้ในการศึกษาที่อัดเป็นฟิล์มแล้ว บันทึกความหนาไว้เพื่อนำมาคำนวณต่อไป

3.1.4.2.2 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1.4.1.2 ถึงข้อ 3.1.4.1.6 เพื่อหาค่าความสูงของแถบ VA ของตัวอย่างต่อความหนา

3.1.4.2.3 เมื่อได้ค่าความสูงของแถบ VA ต่อความหนาของตัวอย่างแล้วนำมาหาปริมาณของ VA โดยดูจากกราฟมาตรฐานว่า ความสูงของแถบ VA ต่อความหนาของตัวอย่างที่แกน Y ตรงกับปริมาณของ VA เท่าใดที่แกน X

## 3.2 เครื่องวิเคราะห์หาธาตุ (Elemental Analyzer ,EA)

### 3.2.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นเม็ด EVA จากโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก

### 3.2.2 วัสดุอุปกรณ์

#### 3.2.2.1 เครื่อง EA

#### 3.2.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียด 0.0001 มิลลิกรัม (microbalance)

#### 3.2.2.3 ภาชนะบรรจุตัวอย่างทำสัวยคีนุก

3.2.2.4 EVA ที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 4 , 8 , 12 , 16 , 20 , 24 , 28 และ 32 และตัวอย่าง EVA ที่ต้องการหาปริมาณ VA

3.2.2.5 แก๊สไฮโดรเจน/ฮีเลียม (ร้อยละ 5-8 ของไฮโดรเจนในแก๊สฮีเลียม) ความบริสุทธิ์สูง (high purity)

#### 3.2.2.6 กรดเบนโซอิกมาตรฐาน ( Standard Benzoic acid)

### 3.2.3 หลักการของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA<sup>(4)</sup>

เครื่อง EA สามารถวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนได้ เนื่องจากสูตรโครงสร้างของ EVA คือ  $C_4H_6O_2$  นั้นมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อหาปริมาณของออกซิเจนได้ก็สามารถคำนวณหาปริมาณ EVA ได้

เครื่องวิเคราะห์หาแร่ (Elemental Analyzer , EA) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน (Carbon) , ไฮโดรเจน (Hydrogen) , ไนโตรเจน (Nitrogen) , ซัลเฟอร์ (Sulfur) และออกซิเจน ( Oxygen) ในสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง และของเหลว เป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง อาศัยหลักการของพรีกัล (Pregal) และ ดูมาต์ (Dumas) สารจะเผาไหม้ในบรรยากาศของออกซิเจน แก๊สที่เกิดขึ้นจะถูกวัดโดยตัวตรวจจับทางความร้อน (Thermal conductivity detector)

EA สามารถเลือกวิเคราะห์ได้ 3 แบบ (mode) คือ

1. แบบ CHN สามารถวิเคราะห์หา C,H และ N ในการวิเคราะห์เพียง 1 ครั้ง
2. แบบ CHNS สามารถวิเคราะห์หา C ,H ,N และ S ในการวิเคราะห์เพียง 1 ครั้ง
3. แบบ O สามารถวิเคราะห์หา O ได้เพียงอย่างเดียว

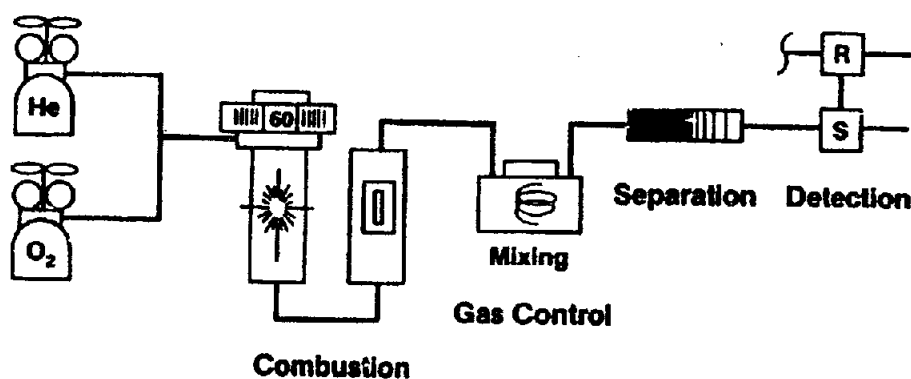
ในการเปลี่ยนแบบจากแบบ CHN เป็น แบบ CHNS หรือเป็นแบบ O ก็เพียงแต่เปลี่ยนหลอดเผาไหม้ ( combustion tube) , หลอดรีดักชัน (reduction tube) และแก๊สที่ใช้ในการเผาไหม้เท่านั้น ในแบบ CHN และแบบ CHNS ใช้แก๊สออกซิเจนในการเผาไหม้ ส่วนในแบบ O นั้นใช้แก๊สไฮโดรเจนผสมกับแก๊สฮีเลียมในการเผาไหม้ ส่วนแก๊สที่เป็นตัวพา (carrier gas) ของทั้ง 3 ระบบ



ใช้แก๊สไนโตรเจน หรือ แก๊สฮีเลียม ก็ได้ ข้อดีของแก๊สไนโตรเจนมีราคาถูก แต่ด้ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงมากๆ ควรใช้แก๊สฮีเลียม ซึ่งมีราคาแพงกว่ามาก

แบบ CHN และแบบ CHNS ของเครื่องวิเคราะห์หาธาตุมี 4 ส่วน คือ

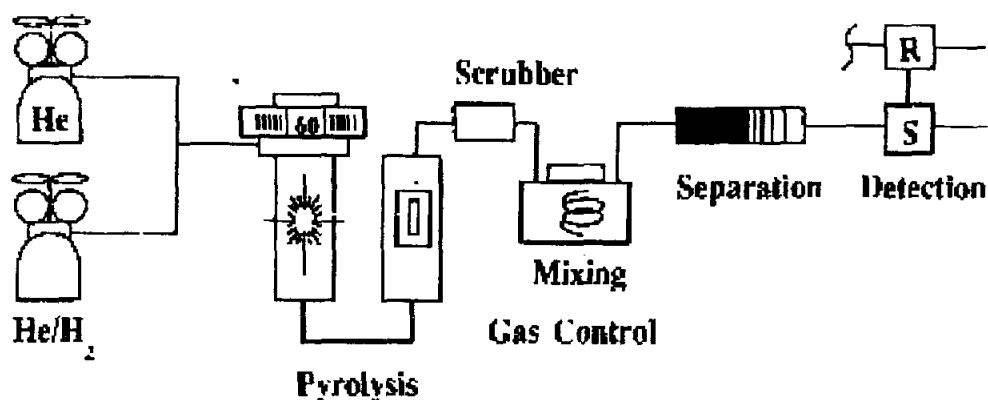
1. ส่วนเผาไหม้ (Combustion zone)
2. ส่วนควบคุมแก๊ส (Gas control zone)
3. ส่วนแยกแก๊ส (Separation zone)
4. ส่วนตรวจวัด (Detection zone)



รูปที่ 3 ระบบการทำงานของแบบ CHN และ CHNS

สารที่ต้องการวิเคราะห์จะบรรจุอยู่ในถ้วยบรรจุตัวอย่างซึ่งทำด้วยดีบุก(tin)ซึ่งห้าน้ำหนักที่แน่นอนของสารก่อนใส่ในช่องป้อนตัวอย่างอัตโนมัติ (autosampler) เมื่อสารตัวอย่างผ่านเข้าไปในส่วนเผาไหม้ซึ่งประกอบด้วยหลอดเผาไหม้ (combustion tube) และหลอดรีดักชัน (reduction tube) ในหลอดเผาไหม้จะมีสารเคมี (combustion reagent) ซึ่งได้แก่โครเมียมออกไซด์ (chromium oxides) , ซิลเวอร์ ทังสเตนที่เคลือบบนแมกนีเซียม ออกไซด์ (silver tungstate on magnesium oxide) และซิลเวอร์วานาเดท (silver vanadate) บรรจุอยู่ สารเหล่านี้มีสมบัติในการเติมออกซิเจนเพื่อให้เป็นออกไซด์ (oxidative properties) ที่ดี ทำให้เกิดการเติมออกซิเจน(oxidation) ที่สมบูรณ์ และสามารถกำจัดสารอื่นที่รบกวนได้ดี ในส่วนการเผาไหม้นี้มีแก๊สออกซิเจนอยู่ด้วย ซึ่งทำให้สารตัวอย่างเกิดการเผาไหม้และมีแก๊สต่างๆขึ้น เช่น  $\text{CO}_x$  อาจอยู่ในรูป  $\text{CO}_2, \text{CO}_3, \text{CO}$  และ  $\text{NO}_x$  จะอยู่ในรูป  $\text{NO}_2$  เป็นต้น สารเคมีที่บรรจุอยู่ในหลอดเผาไหม้จะกำจัดอนุมูลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป เช่นซิลเวอร์ วานาเดท กำจัดสารพวกฮาโลเจน (halogen) เป็นต้น แก๊สต่างๆที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการเผาไหม้ (combustion product) ซึ่งจะผ่านไปในหลอดรีดักชัน ซึ่งมีทองแดง (copper plus) อยู่ ทองแดงจะลดออกซิเจนของ  $\text{CO}_x, \text{HO}_x, \text{NO}_x$  และ  $\text{SO}_2$  เปลี่ยนทุกรูปแบบ (form) ให้อยู่ในรูป  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2,$

S แก๊สเหล่านี้จะผ่านเข้าไปในส่วนที่ควบคุมแก๊ส ในส่วนนี้แก๊สจะผสมกันอย่างรวดเร็วและจะคงอยู่ในสภาวะที่ควบคุมความดัน อุณหภูมิ และปริมาตร แก๊สจะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenize) หลังจากนั้นแก๊สจะถูกลดความดัน (depressurized) ก่อนผ่านเข้าคอลัมน์ (column) ในส่วนแยกแก๊ส แก๊สจะแยกออกจากกันแล้วผ่านเข้าระบบตรวจวัด (thermal conductivity detector system) และรายงานเปอร์เซ็นต์ คาร์บอน , ไฮโดรเจน , ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์



รูปที่ 4 ระบบการทำงานของแบบ O

ในแบบ O จะมี 4 ส่วนเช่นกัน แต่ต่างกับแบบ CHN และแบบ CHNS ที่ส่วนแรกจะเป็นส่วนไพโรไลซิส (pyrolysis zone) คือส่วนที่มีการแตกตัวด้วยความร้อน แก๊สที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นแก๊สไฮโดรเจนผสมกับแก๊สฮีเลียม สารที่บรรจุในภาชนะคืบูก จะผ่านเข้าภายในระบบด้วยเครื่องป้อนสารอัตโนมัติ (autosampler) มีแก๊สเฉื่อย คือ ฮีเลียมเป็นแก๊สพา (carrier gas) สารที่เผาไหม้แล้วจะเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในส่วนรีดักชันผ่านเข้าไปในสารสครับบิง (scrubbing reagent) เพื่อกำจัดแก๊สที่ไม่เกี่ยวข้องออกเช่น ซัลเฟอร์ และฮาโลเจนออกจากระบบ

สารสครับบิงที่ใช้คือทองแดงและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เมื่อทองแดงร้อนจะกำจัดแก๊สจำพวกซัลเฟอร์ (sulfur product) ที่เกิดจากการเผาไหม้ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะช่วยกำจัดแก๊สที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid gas) ที่เกิดออกไป แก๊สพาจะพา CO ผ่านเข้าไปในส่วนควบคุมแก๊ส (gas control zone) , ส่วนแยกแก๊ส (separation zone) และส่วนตรวจวัด (detection zone)

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องใช้สารมาตรฐานที่รู้ค่าปริมาณของ C, H, N, S และ O ที่แน่นอน สารมาตรฐานที่นิยมใช้ ได้แก่ อะเซตามิไดด์ (Acetanilide) , ซิสทีน (Cystine) และ กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) จะต้องวิเคราะห์สารมาตรฐานก่อนและหลังการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อทวนสอบความ

ถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์ ถ้าผลการวิเคราะห์ถูกต้อง ค่าสารมาตรฐานที่วิเคราะห์ได้จะต้องถูกต้องตามที่ระบุ เช่น อะเซทานิลิค มีค่า C ร้อยละ 71.09 , H ร้อยละ 6.71, N ร้อยละ 10.36 และ O ร้อยละ 11.84 เป็นต้น

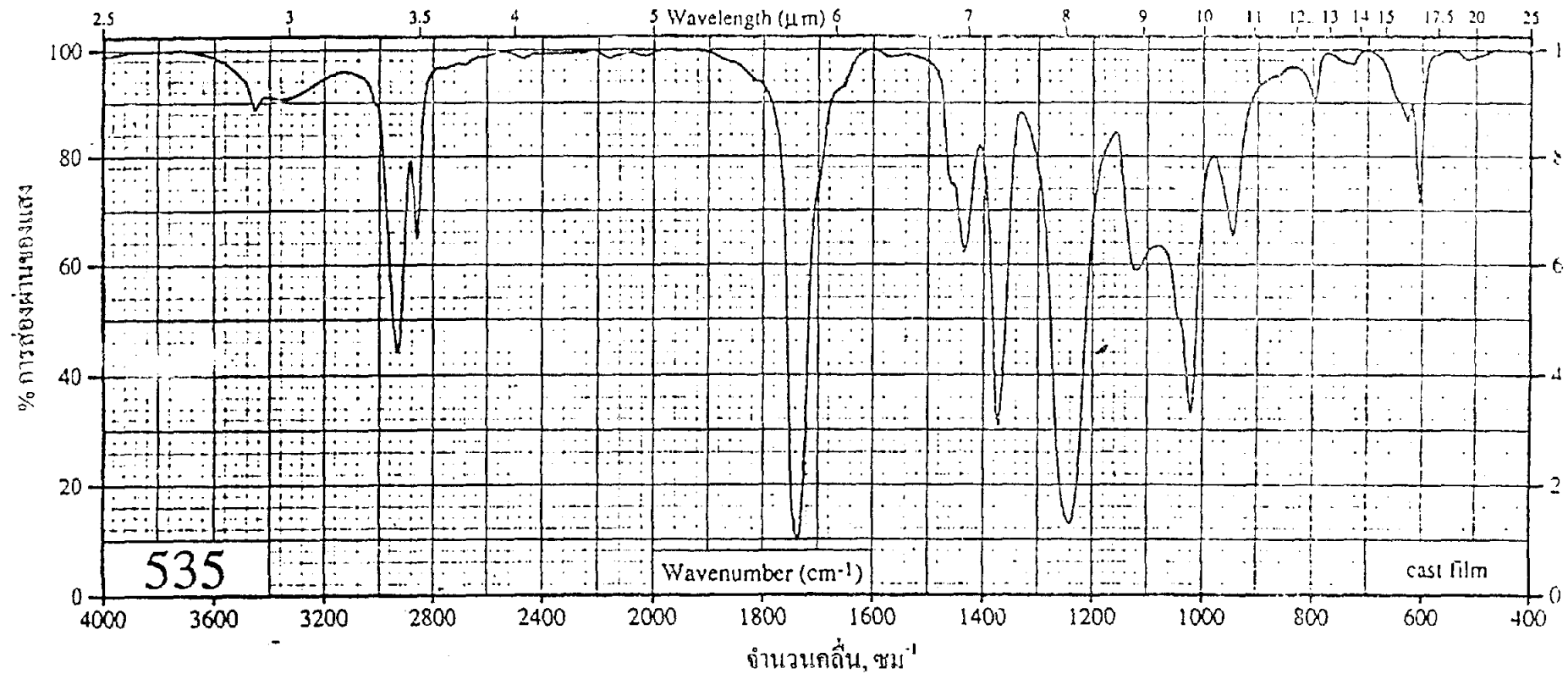
เราสามารถใช้อุปกรณ์ EA วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย และในกรดอะมิโน (amino acid) ในโพลีเมอร์เราสามารถหาปริมาณของโพลีเมอร์ในโคโพลีเมอร์ หรือโพลีเมอร์เบส (polymer blend) ได้ ถ้าโพลีเมอร์เหล่านั้นมีสูตร โครงสร้างแตกต่างกันเช่น โพลีเอทิลีน (polyethylene ,PE) ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง  $C_2H_4$  ผสมกับ โพลีไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate, PVA) ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง  $C_4H_6O_2$  จะเห็นได้ว่า PVA มี ออกซิเจน ซึ่ง PE ไม่มี เมื่อใช้ EA ในการวิเคราะห์หาปริมาณ ออกซิเจนได้ก็สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ PVA ได้ ซึ่งแม้ว่าจะวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นเช่นการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ได้แต่ก็เป็นวิธีที่ยุ่งยากกว่า คือต้องมีสารมาตรฐาน EVA ที่รู้ปริมาณของ VA เพื่อมาทำกราฟมาตรฐาน ซึ่งสารมาตรฐานดังกล่าวนี้หายาก

เครื่อง EA สามารถใช้ในการหาปริมาณของอะครีโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) ในอะครีโลไนไตรล์ บิวตาไดอีน สไตรีนโคโพลีเมอร์ (Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer , ABS ) ได้ โดยวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณ อะครีโลไนไตรล์ วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในโพลีเมอร์สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีเจดดาห์ล (Kjeldahl method) ซึ่งเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองสารเคมีมาก ทำให้เกิดปัญหามลพิษในการกำจัดสารเคมีที่เหลือจากการวิเคราะห์อีกด้วย และวิธีการทำที่ยุ่งยาก นอกจากนี้ยังสามารถใช้หาปริมาณไดออกทิลฟทาเลต (Diocetyl phthalate, DOP) ซึ่งเป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) ในโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) ได้โดยการสกัดเอา DOP ออกด้วยสารละลายที่เหมาะสม แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลานานมากคือประมาณ 8-12 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถแยกเอาสารเสริมสภาพพลาสติกออกมาได้หมด ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA จึงรวดเร็ว และไม่สิ้นเปลืองสารเคมีอีกด้วย

### 3.2.4 วิธีดำเนินการ

3.2.4.1 ในการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA นั้น สิ่งสำคัญที่สุดที่ควรระวังคือต้องแน่ใจว่าโพลีเมอร์นั้นเป็น EVA จริงๆและไม่มีพลาสติกและสารเติมแต่งอื่นๆที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบผสมอยู่ จึงต้องทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อดูอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณ VA อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างจะต้องเหมือนอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐาน EVA (รูปที่ 5) แบบพิกคต่อพิกค ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างนั้นเป็น EVA ไม่มีพลาสติกอื่นผสมอยู่ จึงจะสามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้

3.2.4.2 เปิดเครื่อง EA เลือกแบบการวิเคราะห์ให้เป็นแบบ O เพื่อวิเคราะห์หาออกซิเจน โดยมีหลอดไพโรไลซิสและหลอดรีดักชันดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 5 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตต โคโพลิเมอร์

อินฟราเรดสเปกตรัมในรูปที่ 15 เป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของเอทิลีน-ไวนิลอะซีเตต โคโพลิเมอร์มาตรฐาน ซึ่งตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง EA นั้นต้องมีอินฟราเรดสเปกตรัมเหมือนของสารมาตรฐาน ในรูปที่ 15 แบบฟิคต่อฟิค จึงจะแสดงว่าไม่มีพลาสติกอื่นหรือสารเสริมอื่นๆเจือปน

FIXED FIELD:

Control No. ....

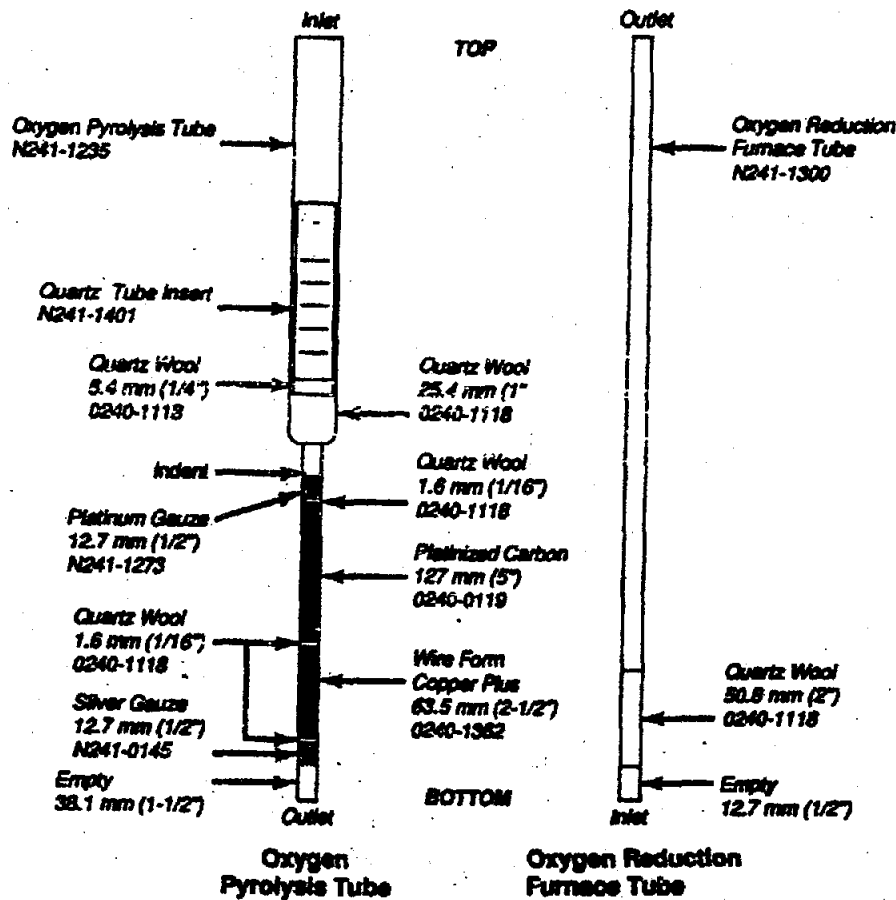
F-14-002

- 1. Lang ใช้คำสั่ง f 34 tha ←
- 2. Ctry ใช้คำสั่ง f 44 tha ←
- 3. Dates ใช้คำสั่ง f 63 ปีที่พิมพ์ ←

TAG	รายการ	Ind.	ข้อมูล
020	ISBN (a)		a ..... (ไม่ Key เครื่องหมาย -)
038	ประเภทสิ่งพิมพ์ (a b)		a ..... b .....
041	ภาษา (a)		a ไทย
092	เลขเรียกหนังสือตัวอื่น (a b c)		a เลขหมู่ตัวอื่น ..... b เลขผู้แต่ง ..... c พ.ศ. เล่มที่ อื่นๆ .....
099	เลขเรียกหนังสือกำหนดเอง (a b c)		a ..... (ใช้ subfield เลือ)
100	รายการหลัก (บุคคล) (a)		a .....
110	รายการหลัก (หน่วยงาน) (a b)	2	a หน่วยงานใหญ่ ..... b หน่วยงานรอง .....
111	รายการหลัก (ประชุม, สัมมนา, นิทรรศการ, งานสัมมนา) (a n d c)	2	a ชื่อการประชุม ..... b (ครั้งที่ ..... ปี พ.ศ. ....) c สถานที่จัดประชุม .....
245	ชื่อเรื่อง (a c)		a ชื่อเรื่อง ..... c ผู้รับผิดชอบ .....
250	ครั้งที่พิมพ์ (ab)		a พิมพ์ครั้งที่ ..... b แก้ไขเพิ่มเติม
260	ตอนการพิมพ์และเผยแพร่ (a b c)		a สถานที่พิมพ์ ..... b สำนักพิมพ์ ..... c ปีที่พิมพ์ .....
300	ลักษณะหนังสือ (a b)		a ..... หน้า : b ภาษาประเภท, ตาราง, แผนภูมิ .

ผู้ร่าง ..... ผู้ตรวจสอบ .....  
 ๑๑/๑/๖๒ ..... ๑๑/๑/๖๒  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ .....  
 ๑๑/๑/๖๒ ..... ๑๑/๑/๖๒

TAG	รายชื่อ	Ind.		ข้อมูล
440	ชื่อชุด (acpv)			๑ ชื่อชุด ..... ..... ..... ..... ๒ หมายเลขชุด ..... ๓ ชื่อชุดรอง ..... ๔ ปีที่, ฉบับที่
500	หมายเหตุ (a)			..... ..... .....
650	หัวเรื่องที่มีในคู่มือ (WXYZ)		0	๑ หัวเรื่องใหญ่ X หัวเรื่องย่อย (ทั่วไป) ๒ หัวเรื่องย่อย (เวลา) ๓ หัวเรื่องย่อย (ภูมิศาสตร์)
690	หัวเรื่อง (ที่ไม่มีในคู่มือ) (WXYZ)		0	
700	ผู้แต่งร่วม (a)			๑ ชื่อ ..... ๒ ชื่อ .....
710	หน่วยงานร่วม (ab)	๕		๑ ..... ๒ ..... ๓ ..... ๔ .....
740	ชื่อเรื่องสั้น (a)	D	0	๑ ..... ๒ .....
910	เลขทะเบียน (a)			๑ .....
851	พื้นที่เก็บ (LOCATION) (a)			๑ เอกสารภาษาไทย (ชั้น 5)



รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบภายในหลอดไพโรไลซิสและหลอดรีดักชันในระบบ O ของเครื่อง EA

3.2.4.3 เปิดแก๊สฮีเลียม/ไฮโดรเจนไล่แก๊สอื่นๆที่มีในระบบด้วยแก๊สฮีเลียม/ไฮโดรเจน โดยเลือกไล่แก๊ส (purge gas) จำนวน 180 ครั้ง เครื่องจะทำงานเอง โดยอัตโนมัติ

3.2.4.4 เมื่อเครื่อง ไล่แก๊สครบตามกำหนด ตั้งอุณหภูมิของหลอดไพโรไลซิสที่ 1000 องศาเซลเซียส และหลอดรีดักชันที่ 500 องศาเซลเซียส ให้อุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิดังกล่าวนานประมาณ 2 ชั่วโมง ไล่แก๊สฮีเลียม/ไฮโดรเจนอีก จำนวน 180 ครั้งเพื่อไล่คอปเปอร์ออกไซด์ (copper oxide) ที่อาจมีอยู่ในระบบเนื่องมาจากคอปเปอร์ในหลอดไพโรไลซิส เมื่อไล่แก๊สเสร็จแล้วจึงเริ่มทำงาน

3.2.4.5 เมื่ออุณหภูมิคงที่ให้ทำเบลงค์ประมาณ 5-6 ครั้ง หรือจนกว่าค่าออกซิเจนจะนิ่ง ในการทำเบลงค์แต่ละครั้งเครื่องจะรายงานค่าออกซิเจนออกมา ถ้าค่าออกซิเจนแต่ละครั้งออกมาต่างกันไม่เกิน + 50 จึงจะถือว่าเบลงค์นิ่งแล้ว

3.2.4.6 ชั่งกรดเบนโซอิกมาตรฐานด้วยเครื่องชั่งตามที่ระบุในข้อ 3.2.2.2 ใส่ในถ้วยคืบูกมาประมาณ 1-2 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่แน่นอนไว้ บีบถ้วยให้แบนจะได้ไม่มีอากาศอยู่แล้วม้วนปากถ้วยลงมา เพราะถ้ามีส่วนผสมของอากาศอยู่จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ เมื่อเบลงค์คงที่แล้วให้ใส่ถ้วยนี้ลงในช่องใส่ตัวอย่าง เลือกชนิดของตัวอย่างเป็น K-factor [ในการวิเคราะห์แต่ละครั้งจะต้องเลือกชนิดของการวิเคราะห์ว่าการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นเบลงค์หรือ K-factor (calibration run) หรือตัวอย่าง] ใส่น้ำหนักที่จดไว้ กดปุ่มเริ่มทำงาน (start) ให้ทำ K-factor ทั้งหมด 3 ครั้ง ถ้าทำ K-

factor ครบ 3 ครั้งแล้วค่าออกซิเจนต่างกันไม่เกิน  $\pm 0.16$  ถ้าวิเคราะห์ตัวอย่างได้เลข แต่ถ้าเกินต้องทำ K-factor ซ้ำจนกว่าค่าออกซิเจนจะได้ตามที่กำหนด

3.2.4.7 ชั่งกรดเบนโซอิกมาตรฐานในถ้วยชั่งประมาณ 2 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่แน่นอนไว้ ใส่ถ้วยชั่งนี้ลงในช่องใส่ตัวอย่าง กดปุ่มเริ่มทำงานให้เลือกชนิดของการวิเคราะห์ว่าเป็นตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ถ้าค่าองค์ประกอบของกรดเบนโซอิกตรงตามทฤษฎีคือมีออกซิเจนร้อยละ 26.20 หรืออยู่ในช่วงร้อยละ 24.89-27.51 ก็เริ่มวิเคราะห์ตัวอย่างได้

3.2.4.8 ชั่ง EVA มาตรฐานประมาณ 1-2 มิลลิกรัมใส่ในถ้วยชั่ง ทำตัวอย่างละ 2 ครั้ง จดน้ำหนักที่แน่นอนไว้ ใส่ตัวอย่างลงในถาดป้อนตัวอย่างอัตโนมัติ (Auto sampler) ใส่ชื่อตัวอย่างและน้ำหนักเรียงตามลำดับจนครบ และตัวอย่างสุดท้ายให้วิเคราะห์ จึงกดปุ่มเริ่มการทำงาน

3.2.4.9 เมื่อการวิเคราะห์สิ้นสุดลง เครื่องพิมพ์จะพิมพ์ค่าการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่า % ออกซิเจน ทำการวิเคราะห์กรดเบนโซอิกมาตรฐานซ้ำอีกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าผลการวิเคราะห์ยังคงถูกต้องหรือไม่ ถ้าผลการวิเคราะห์กรดเบนโซอิกมาตรฐานยังคงมีค่าในช่วงที่กำหนดคือ ร้อยละ 24.89-27.51 ก็แสดงว่าผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง

3.2.4.10 นำค่าออกซิเจนที่วิเคราะห์ได้มาหาปริมาณ VA โดยคำนวณจากสูตรโครงสร้างของ VA คือ  $C_4H_6O_2$  โดยคำนวณตามสูตรดังนี้

$$VA = 86/32 \times \text{ออกซิเจน}$$

### 3.2.5 การหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของเครื่อง EA

3.2.5.1 นำ EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ 4 , 8, 12 ,16, 20, 24, 28 และ 32 มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ตามวิธีในข้อ 3.2.4

3.2.5.2 นำปริมาณ VA ที่คำนวณได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง} = \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้}}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

### 3.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ที่ใช้ในการศึกษา

นำตัวอย่าง EVA ที่ใช้ในการศึกษามาวิเคราะห์หาปริมาณ VA ตามวิธีในข้อ 3.2.4

## 3.3 ผลการวิเคราะห์

### 3.3.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR

#### 3.3.1.1 ผลการทำกราฟมาตรฐาน

EVA มาตรฐานที่มี VA ร้อยละ 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 และ 32 มาวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนา ตามวิธีในข้อ 3.1.4.1 ปริมาณละ 4 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของความสูงของแถบ/ความหนา แล้วนำมาพลอตกับปริมาณ VA ใน EVA มาตรฐาน เพื่อทำกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้ในการ



การวิเคราะห์หาปริมาณ VA ในตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาต่อไป ผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนา ใน EVA มาตรฐานแสดงในตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 4 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา, มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	0.192	0.2000	0.96
2	0.173	0.2040	0.85
3	0.192	0.1938	0.99
4	0.173	0.2042	0.85
			เฉลี่ย 0.91

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 6 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา, มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	0.385	0.2040	1.89
2	0.385	0.1964	1.96
3	0.385	0.1978	1.95
4	0.385	0.1948	1.98
			เฉลี่ย 1.95

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 12 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา, มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	0.557	0.2090	2.67
2	0.557	0.1942	2.87
3	0.557	0.1990	2.80
4	0.557	0.2066	2.70
			เฉลี่ย 2.76

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 16 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	0.766	0.2040	3.75
2	0.806	0.2010	4.01
3	0.766	0.2004	3.82
4	0.806	0.2076	3.88
			เฉลี่ย 3.87

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 20 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	1.038	0.2010	5.16
2	1.000	0.1972	5.07
3	1.076	0.2110	5.10
4	1.157	0.2112	5.48
			เฉลี่ย 5.20

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 24 ด้วยเครื่อง FTIR

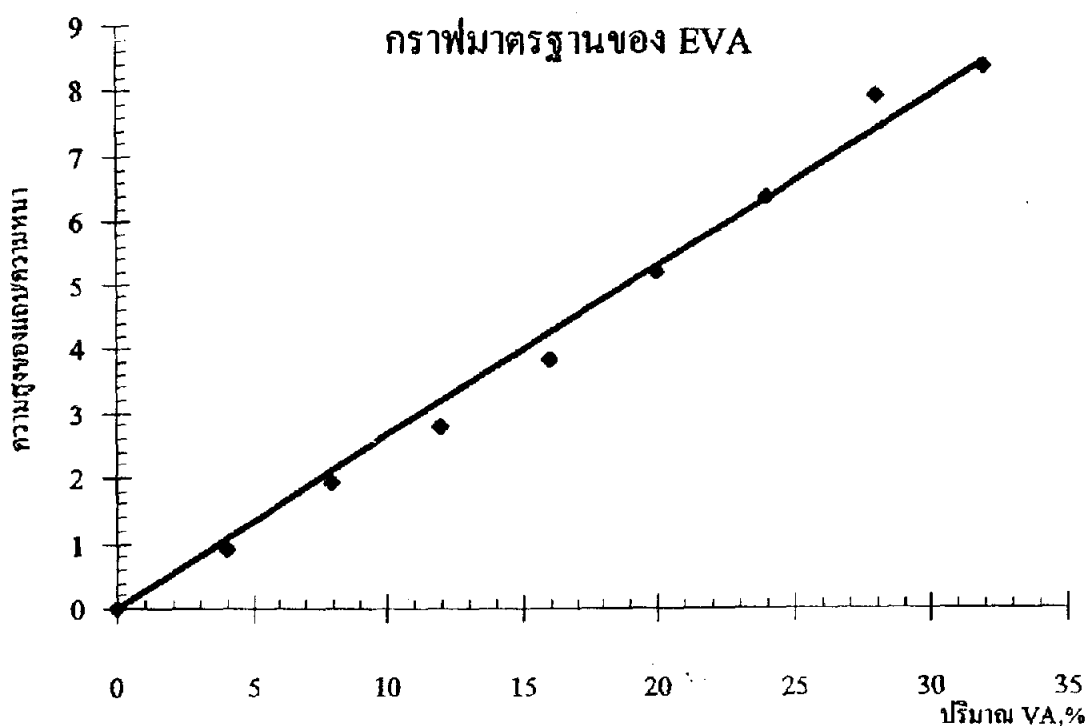
ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	1.308	0.1940	6.74
2	1.250	0.1990	6.28
3	1.250	0.1980	6.31
4	1.288	0.2038	6.32
			เฉลี่ย 6.41

ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 28 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	1.577	0.1960	8.05
2	1.577	0.1970	8.01
3	1.519	0.1952	7.78
4	1.538	0.1922	8.00
			เฉลี่ย 7.96

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์หาความสูงของแถบ/ความหนาใน EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 32 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา
1	1.770	0.1920	9.22
2	1.885	0.1970	9.57
3	1.770	0.1986	8.91
4	1.188	0.1974	6.02
			เฉลี่ย 8.43



### 3.3.1.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ที่ใช้ในการศึกษา

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ EVA N 8038 Lot no. 99110491 , EVA N 8038 Lot no. 99110441 , EVA N 8038 Lot no. 9911050 และ EVA NUC 3770 ตามวิธีในข้อ 3.1.4.2 ตัวอย่างละ 4 ครั้ง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 10-13

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no. 99110491 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา	ร้อยละของ VA
1	0.923	0.2042	4.52	16.7
2	0.943	0.2026	4.65	17.5
3	0.943	0.2112	4.46	16.5
4	0.977	0.2134	4.58	17.2
				เฉลี่ย 17.0
				SD 0.5

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 10 EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 17.0 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) เท่ากับ 0.5 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 18.0 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 16.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ( $\pm 2SD$ ) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 4 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no. 99110441 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา,มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา	ร้อยละของ VA
1	0.904	0.2096	4.31	16.0
2	0.908	0.1972	4.60	17.1
3	0.927	0.2116	4.38	16.2
4	0.937	0.2100	4.46	16.5
				เฉลี่ย 16.5
				SD 0.5

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 11 EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 16.5 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.5 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 16.5 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 15.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ( $\pm 2SD$ ) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 4 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N 8038 Lot no. 9911050 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา, มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา	ร้อยละของ VA
1	0.948	0.2136	4.44	16.6
2	0.958	0.2168	4.42	16.4
3	0.937	0.2152	4.35	16.1
4	0.958	0.2170	4.41	16.4
				เฉลี่ย 16.4
				SD 0.2

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 12 EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 16.4 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.2 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 16.8 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 16.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ( $\pm 2$  SD) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 4 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA NUC 3770 ด้วยเครื่อง FTIR

ครั้งที่	ความสูงของแถบ	ความหนา, มม.	ความสูงของแถบ/ความหนา	% VA
1	0.961	0.2090	4.60	17.1
2	0.982	0.2096	4.68	17.6
3	0.942	0.1982	4.75	18.0
4	0.981	0.2110	4.65	17.5
				เฉลี่ย 17.6
				SD 0.4

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 13 EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 17.6 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.4 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 18.4 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 16.8 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ( $\pm 2$  SD) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 4 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

### 3.3.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA

#### 3.3.2.1 ผลการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของเครื่อง EA

นำ EVA มาตรฐานที่มีปริมาณ VA ร้อยละ 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 และ 32 มาหาปริมาณ VA โดยทำการวิเคราะห์ตามวิธีในข้อ 3.2.5 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณละ 2 ครั้ง ผลการวิเคราะห์อยู่ในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA มาตรฐานด้วยเครื่อง EA

ตัวอย่าง ที่	ร้อยละของVA ที่มีอยู่จริง	ผลการวิเคราะห์		ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้อง
		ร้อยละของออกซิเจน	ร้อยละของ VA		
1	4	1.31	3.52	0.36	94.50
	4	1.50	4.03 เฉลี่ย 3.78		
2	8	2.63	7.07	0.89	96.25
	8	3.10	8.33 เฉลี่ย 7.70		
3	12	4.16	11.18	0.59	96.67
	12	4.47	12.01 เฉลี่ย 11.60		
4	16	5.70	15.32	0.21	96.69
	16	5.81	15.61 เฉลี่ย 15.47		
5	20	7.35	19.75	0.19	98.10
	20	7.25	19.48 เฉลี่ย 19.62		
6	24	8.61	23.14	1.82	101.79
	24	9.57	25.72 เฉลี่ย 24.43		
7	28	10.11	27.17	0.19	97.54
	28	10.21	27.44 เฉลี่ย 27.31		
8	32	11.75	31.58	0.83	100.53
	32	12.19	32.76 เฉลี่ย 32.17		

จากตารางนำค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมาหาค่าเฉลี่ยได้ร้อยละ 97.75 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.37 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ( $\pm 2SD$ ) ขีดจำกัดบนของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องคือร้อยละ 102.49 และขีดจำกัดล่างเท่ากับร้อยละ 93.01 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ที่มีปริมาณร้อยละ 4 , 8, 12, 16 , 20 , 24 , 28 และ 32 นั้นมีค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่างที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

แต่เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ที่มีปริมาณในช่วงร้อยละ 4 มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ที่มีปริมาณในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 8-32 จึงหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ในช่วงร้อยละ 8-32 เท่านั้น ซึ่งจากการคำนวณพบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ที่มีปริมาณในช่วงร้อยละ 8-32 มีค่าเท่ากับร้อยละ 98.22 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.13 ดังนั้นที่ระดับความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 95 ( $\pm 2 SD$ ) ขีดจำกัดบนของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องคือร้อยละ 102.48 และขีดจำกัดล่างเท่ากับร้อยละ 93.96 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ที่มีปริมาณในช่วงร้อยละ 8-32 มีค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่างของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องซึ่งเท่ากับร้อยละ 98.22 นั้น ไม่เกินร้อยละ  $100 \pm 2$  ของค่าที่แท้จริง

**3.3.2.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง EA**

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ที่ใช้ในการศึกษา 4 ตัวอย่าง ได้แก่ EVA N 8038 Lot no. 99110491 , EVA N 8038 Lot no. 99110441 , EVA N 8038 Lot no. 9911050 และ EVA NUC 3770 ตามวิธีในข้อ 3.2.6 โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนตัวอย่างละ 2 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณ VA

ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 15-18

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no.99110491

ครั้งที่	ร้อยละของออกซิเจน	ร้อยละของ VA	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	6.18	16.61	0.11
2	6.24	16.77	
		เฉลี่ย 16.69	

จากตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 16.69 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.11 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 16.80 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 16.58 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ( $\pm 2SD$ ) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 2 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N 8038 Lot no. 99110441

ครั้งที่	ร้อยละของออกซิเจน	ร้อยละของ VA	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	5.90	15.85	0.13
2	5.97	16.04	
		เฉลี่ย 15.95	

จากตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 15.95 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.13 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 16.08 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 15.82 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 68 ( $\pm$  SD) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 2 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA N8038 Lot no. 9911050

ครั้งที่	ร้อยละของออกซิเจน	ร้อยละของ VA	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	5.93	15.94	0.21
2	5.82	15.64	
		เฉลี่ย 15.79	

จากตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 15.79 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.21 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 16.00 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 15.58 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 68 ( $\pm$  SD) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 2 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA NUC 3770

ครั้งที่	ร้อยละของออกซิเจน	ร้อยละของ VA	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	6.04	16.23	0.27
2	6.18	16.61	
		เฉลี่ย 16.42	

จากตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ EVA มีปริมาณ VA เฉลี่ยร้อยละ 16.42 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.27 ขีดจำกัดบนเท่ากับ 16.69 และขีดจำกัดล่างเท่ากับ 16.15 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 68 ( $\pm$  SD) จะเห็นได้ว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 2 ค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง



### 3.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง EA เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ด้วยวิธีทางสถิติ<sup>(3)</sup>

นำผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 4 ตัวอย่างด้วยเครื่อง FTIR เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกันด้วยเครื่อง EA ผลการเปรียบเทียบอยู่ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR และเครื่อง EA

ตัวอย่าง ที่	ค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละของ VA		ความต่างระหว่างข้อมูล ของ 2 วิธี
	วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR	วิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA	
1	17.0	16.7	0.3
2	16.5	16.0	0.5
3	16.4	15.8	0.6
4	17.6	16.4	1.2
ค่าเฉลี่ยของความต่างระหว่างข้อมูลของ 2 วิธี ( $\bar{X}_d$ )			0.65
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต่างระหว่างข้อมูลของ 2 วิธี (Sd)			0.387

นำค่าเฉลี่ยของความต่างระหว่างข้อมูลของ 2 วิธี ( $\bar{X}_d$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต่างระหว่างข้อมูลของ 2 วิธี (Sd) มาคำนวณหาค่า T จากสูตร

$$T = \frac{\bar{X}_d \cdot \sqrt{n}}{Sd} \dots\dots\dots (1)$$

$\bar{X}_d$  เป็นค่าเฉลี่ยของค่าความต่างระหว่างข้อมูลของ 2 วิธี = 0.65

$\sqrt{n}$  เป็นกำลังสองสมบูรณ์ของจำนวนตัวอย่าง =  $\sqrt{4}$

Sd เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต่างระหว่างข้อมูลของ 2 วิธี = 0.387

$$T = \frac{0.65 \times \sqrt{4}}{0.387} = 3.359$$

เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR กับวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA โดยการคำนวณหาค่า T จากสมการที่ 1 ได้ค่า  $T = 3.359$

เนื่องจากผลการวิเคราะห์เป็นการเปรียบเทียบตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง ดังนั้นชั้นความเป็นอิสระ (degree of freedom) ซึ่งเท่ากับจำนวนตัวอย่าง-1 ในที่นี้จึงมีค่าเท่ากับ 3 เมื่อดูค่า T ในตารางที่ 20 ซึ่งเป็นตารางแสดงค่า t-distribution ที่ชั้นความเป็นอิสระ = 3 ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 98 T มีค่าเท่ากับ 4.54

ค่า T ที่คำนวณจากผลการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 3.359 น้อยกว่าค่า T ที่ชั้นความเป็นอิสระ 3 และที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 98 ซึ่งเท่ากับ 4.54 ในตารางที่ 20 แสดงว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 20 แสดงค่า t-distribution

Value of $t$ for a confidence interval of	90%	95%	98%	99%
Critical value of $ t $ for $P$ values of	0.10	0.05	0.02	0.01
Number of degrees of freedom				
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
$\infty$	1.64	1.96	2.33	2.5

## บทที่ 4

### สรุปและวิจารณ์ผล

#### 4.1 สรุปผล

ผลการวิเคราะห์พบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณของ VA ใน EVA มาตรฐานที่มี VA ปริมาณต่างๆจำนวน 8 ตัวอย่าง ด้วยเครื่อง EA นั้นให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ช่วง VA ที่มีปริมาณร้อยละ 8-32 นั้นมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 98.22 ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ  $100 \pm 2$  ของค่าที่แท้จริง และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.13 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของ VA ในช่วงที่มีปริมาณร้อยละ 8-32 นั้นมีค่าไม่เกินขีดจำกัดบนและล่างของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ส่วน VA ช่วงที่มีปริมาณร้อยละ 4 มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 94.50 แม้ว่าจะไม่เกินขีดจำกัดบนและล่างของเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย แต่มีค่าค่อนข้างต่ำจึงคิดค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉพาะช่วงที่มี VA ปริมาณร้อยละ 8-32 เท่านั้น

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง FTIR กับเครื่อง EA ในตัวอย่าง EVA ที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 4 ตัวอย่าง พบว่าผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR และเครื่อง EA นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 98

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA มีความถูกต้องแม่นยำสูงถึงร้อยละ 98 สำหรับ VA ที่มีปริมาณร้อยละ 8-32 และวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง FTIR และเครื่อง EA นั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 98

#### 4.2 วิจารณ์ผล

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีมีความถูกต้องแม่นยำสูง สามารถใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA นั้นพบว่า VA ที่มีปริมาณร้อยละ 8-32 มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 98.22 ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ  $100 \pm 2$  ของค่าที่แท้จริง และอยู่ในช่วงที่ไม่เกินขีดจำกัดบนและล่าง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\pm 2$  SD) ของค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA กับที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง FTIR มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.5, 0.5, 0.2 และ 0.4 ตามลำดับ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ตัวอย่างนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.4 ส่วนในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ด้วยเครื่อง EA มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.11, 0.13, 0.21 และ 0.27 ตามลำดับ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ตัวอย่างนั้นค่า

เบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.18 จะเห็นได้ว่าวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA ซึ่งแสดงว่าวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA มีความแม่นยำ (precision) มากกว่าวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR

แม้ว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีจะได้จากการวิเคราะห์ที่มีหลักการต่างกันกล่าวคือวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ใช้หลักการการดูดกลืนแสงของหมู่ไวนิลอะซีเทตในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะตัว ซึ่งจะเปลี่ยนไปเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเทตเปลี่ยนแปลงไป ส่วนวิธีที่ใช้เครื่อง EA นั้นใช้วิธีหาปริมาณออกซิเจนแล้วคำนวณเป็นปริมาณไวนิลอะซีเทต แต่ทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.3 ข้อเสนอแนะ

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA นั้นถึงสำคัญที่สุดที่ควรระวังคือต้องแน่ใจว่าโพลีเมอร์นั้นเป็น EVA จริงๆและไม่มีพลาสติกและสารเติมแต่งอื่นๆที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบผสมอยู่ ถ้าไม่แน่ใจต้องทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer เพื่อคูนอินฟราเรดสเปกตรัมว่าเหมือนอินฟราเรดสเปกตรัมของ EVA มาตรฐานหรือไม่ ถ้าเหมือนก็แสดงว่าเป็น EVA ในกรณีที่มีพลาสติกอื่นๆผสมอยู่ด้วยต้องวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติกนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นพลาสติกที่ไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA นั้น มีข้อควรระวังหลายประการ ซึ่งผู้วิเคราะห์ควรมีความรู้ความชำนาญในการใช้เครื่องมือชนิดนี้เป็นพิเศษ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของหลอดไพโรไลซิส (Pyrolysis tube) คงที่ที่ 1000 องศาเซลเซียส และหลอดรีดักชัน (Reduction tube) และคงที่ที่ 500 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง ต้องไล่แก๊สฮีเลียม/ไฮโดรเจน 180 ครั้งเพื่อไล่คอบเปอร์ออกไซด์ และเมื่อทำเบลงค์ต้องให้แน่ใจจริงๆว่าค่าเบลงค์นิ่งดีแล้ว ในการทำ K-factor ก็เช่นเดียวกันต้องให้ค่าออกซิเจนที่ได้จากการทำ K-factor แต่ละครั้งต่างกันไม่เกิน  $\pm 0.16$  จึงจะถือว่าค่า K-factor นิ่งแล้ว ถ้าระมัดระวังในเรื่องเหล่านี้ให้ดีแล้วค่าที่วิเคราะห์ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำมาก ทั้งนี้ต้องคอยทวนสอบค่าออกซิเจนที่ได้จากการวิเคราะห์กรคเบนโซอิก มาตรฐานด้วยว่า เครื่องยังคงสามารถวิเคราะห์ค่าออกซิเจนของกรคเบนโซอิกมาตรฐานนั้นได้ถูกต้องแม่นยำอยู่ ระยะเวลาในการทวนสอบนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของหลอดไพโรไลซิสและหลอดรีดักชัน โดยทั่วไปถ้าเป็นหลอดใหม่จะระยะเวลาทวนสอบอาจจะห่างหน่อยก็ได้เช่นอาจจะประมาณ 1 ครั้งต่อการวิเคราะห์ 10 ตัวอย่างเป็นต้น ดังนั้นวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง EA จึงนับว่าเป็นวิธีที่รวดเร็วให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำสูงและสามารถวิเคราะห์หาปริมาณ VA ได้โดยไม่ต้องมี EVA มาตรฐาน

ส่วนวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR นั้นต้องมี EVA มาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐาน ดังนั้นถ้าสามารถหา EVA มาตรฐานได้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ก็นับว่าสะดวก มีข้อควรระวังคือความหนาของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องอัดให้เป็นฟิล์มบางมากๆและให้ความหนาสม่ำเสมอเพราะความหนามีผลต่อความสูงของแถบมากที่สุด ผลที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับความหนาของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ VA ใน EVA ด้วยเครื่อง EA นั้นเหมาะสำหรับกรณีที่ไม่สามารถหา EVA มาตรฐานได้ และแน่ใจแล้วว่า ตัวอย่างนั้นเป็น EVA ที่ไม่มีพลาสติกหรือสารเติมแต่งอื่นๆที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบผสมอยู่ด้วย ผลการวิเคราะห์จึงจะมีความถูกต้องแม่นยำสูง ส่วนวิธีที่ใช้เครื่อง FTIR นั้นเหมาะสำหรับกรณีที่สามารถหา EVA มาตรฐานที่มี VA ในปริมาณต่างๆกันเพื่อนำมาทำกราฟมาตรฐานได้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำผลงานขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองพิธีการและวิศวกรรม ที่สละเวลาให้คำแนะนำและสนับสนุนในการทำงานนี้

## เอกสารอ้างอิง

1. American Society for Testing and Materials. Standard test method for determination of the vinyl acetate content of ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymers by fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). ASTM D 5594. 1998.
2. Edenbaum, J. Ethylene vinyl acetate copolymer. In Edenbaum, J. Plastic additives and modifiers handbook. London: Chapman, 1996. P. 95-100
3. Miller, JC. , and Miller, JN. Statistics for analytical chemistry. New York: Wily, 1988. P. 58, 216
4. Perkin-Elmer. Elemental analysis Newsletters. Connecticut: Perkin Elmer, 1988