

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 การย่อยสลายขวดพลาสติกที่ใช้แล้วเพื่อให้ได้ไกลโคไลซิโพรดักส์

##### 3.1.1 สารเคมี

1. ขวดพลาสติกละเอียด
2. โพรพิลีนไกลคอล
3. ซิงก์อะซีเตต

##### 3.1.2 อุปกรณ์

1. ขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวน
3. heating mantle
4. เทอร์โมมิเตอร์ (0-300 °C)
5. เครื่องควบแน่นแบบกลั่นไหลกลับ (reflux condenser)
6. เครื่องบด
7. เครื่องชั่ง
8. ท่อนำแก๊สไนโตรเจน

##### 3.1.3 เครื่องทดสอบ

FT-IR Spectrophotometer Nicolet Impact 400 D (รูปที่ 3.1)

Gel Permeation Chromatograph รุ่น Waters 150-CV (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1 FT-IR Spectrophotometer



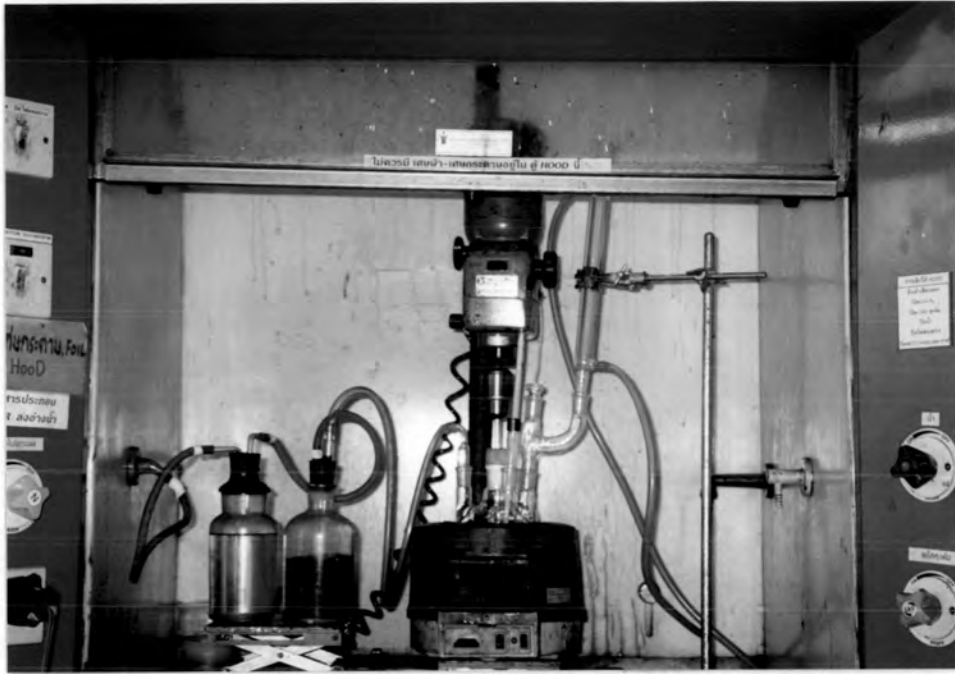
รูปที่ 3.2 Gel Permeation Chromatograph

### 3.1.4 วิธีการทดลอง

1. นำขวดเพตที่บดละเอียดและโพรพิลีนไกลคอลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของขวดเพตที่บดละเอียดต่อโพรพิลีนไกลคอลเท่ากับ 37.5 : 62.5\* และซิงก์อะซีเตตปริมาณ 0.5 % ของน้ำหนักขวดเพต ใส่ในขวดก้นกลม 4 คอ ซึ่งต่อกับเครื่องกวน เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องควบแน่น และท่อนำแก๊สไนโตรเจน (อุปกรณ์การย่อยสลายขวดเพต แสดงในรูปที่ 3.3)
2. ให้ความร้อนกับขวดก้นกลมจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 190 °C ภายในเวลา 30 นาที โดยใช้ heating mantle โดยจะต้องกวนของผสมของปฏิกิริยาตลอดเวลาและกระทำภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน
3. ปล่อยให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายดำเนินภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. ลดความร้อนลง ให้งั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน แล้วนำไปทดสอบการละลายในเอทานอล
5. นำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ซึ่งก็คือไกลโคไลซ์โพรดักส์ไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค FT - IR Spectroscopy
6. ตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของไกลโคไลซ์โพรดักส์ด้วยเทคนิค GPC ที่ใช้คอลัมน์แบบ PL gel 10 ไมโครเมตร mixed B 2 คอลัมน์ โดยมี THF เป็น mobile phase และใช้พอลิสไตรีนเป็นสแตนดาร์ด และฉีดด้วยอัตรา 1.0 มิลลิลิตร/นาที ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C
7. หาค่าไฮดรอกซิลของไกลโคไลซ์โพรดักส์เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณ TDI สำหรับใช้สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ ตามมาตรฐาน ASTM D4274-94 Test Method C

---

\* ที่ใช้อัตราส่วนนี้ เนื่องจากจะทำให้ได้ไกลโคไลซ์โพรดักส์ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยของผสมระหว่างมอนอเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายโมเลกุล [8]



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การย่อยสลายขวดเพต

## 3.2 การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

### 3.2.1 สารเคมี

1. ไกลโคไลซ์โพรดิกส์
2. น้ำมันถั่วเหลือง
3. แคลเซียมออกไซด์
4. โซลีน
5. โทลีนไดไอโซไซยาเนต (TDI 80/20)
6. สารเร่งแห้ง
7. เมทานอล
8. ยูรีเทนออยล์ทางการค้าได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทสยามเคมีคัลอินดัสตรี จำกัด

#### หมายเหตุ

น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จาก  
บริษัทสยามเคมีคัลอินดัสตรี จำกัด มีสมบัติดังนี้

ค่าของกรด	0.0868
ค่าไอโอดีน	125.90
ค่าสะพอนิฟิเคชัน	181.29
ความถ่วงจำเพาะ	0.9105
สี (การ์ตเนอร์)	เบอร์ 1
ความหนืด	น้อยกว่า A (<0.50 สตอกส์)

(การ์ตเนอร์-โฮลท์บับเบิลวิสโคมิเตอร์)

### 3.2.2 อุปกรณ์

1. ขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวน
3. heating mantle
4. เทอร์โมมิเตอร์ (0-360 °C)
5. เครื่องควบแน่นแบบกลั่นไหลกลับพร้อมข้อต่อ
6. ท่อนำแก๊สไนโตรเจน
7. เครื่องชั่ง
8. ตัวตักน้ำ

### 3.2.3 เครื่องทดสอบ

FT-IR Spectrophotometer Nicolet Impact 400 D

Gel Permeation Chromatograph รุ่น Waters 150-CV

Differential Scanning Calorimeter รุ่น DSC 7 PERKIN ELMER

(รูปที่ 3.4)

### 3.2.4 วิธีทดลอง

3.2.4.1 การเตรียมมอนอและไดกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสระหว่าง น้ำมันถั่วเหลืองกับไกลโคไลซิโพรดักส์

1. ใส่ไกลโคไลซิโพรดักส์ และน้ำมันถั่วเหลือง ตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.1 ลงในขวดก้นกลม 4 คอซึ่งต่อกับเครื่องควบแน่นแบบกลั่นไหลกลับที่ต่อกับตัวดักน้ำ เพื่อกำจัดน้ำหรือความชื้นออกจากระบบ เทอร์โมมิเตอร์ และท่อนำแก๊สไนโตรเจน (อุปกรณ์การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์ แสดงในรูปที่ 3.5)
2. ให้ความร้อนกับของผสมจนกระทั่งอุณหภูมิถึง  $200^{\circ}\text{C}$  โดยใช้ heating mantle และจะต้องกวนของผสมตลอดเวลาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน
3. เติมแคลเซียมออกไซด์และให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิของผสมถึง  $245^{\circ}\text{C}$  และให้อุณหภูมิของของผสมคงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำของผสม 1 ส่วนมาทดสอบการละลายในเอทานอล 2 ส่วน จนกระทั่งเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ จึงลดความร้อนลง ทิ้งไว้ให้เย็นจนของผสมมีอุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT – IR Spectroscopy และ GPC โดยใช้ภาวะเหมือน 3.1.4 ข้อ 6
5. เติมโซลีนลงในของผสม

ตารางที่ 3.1 สูตรต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์

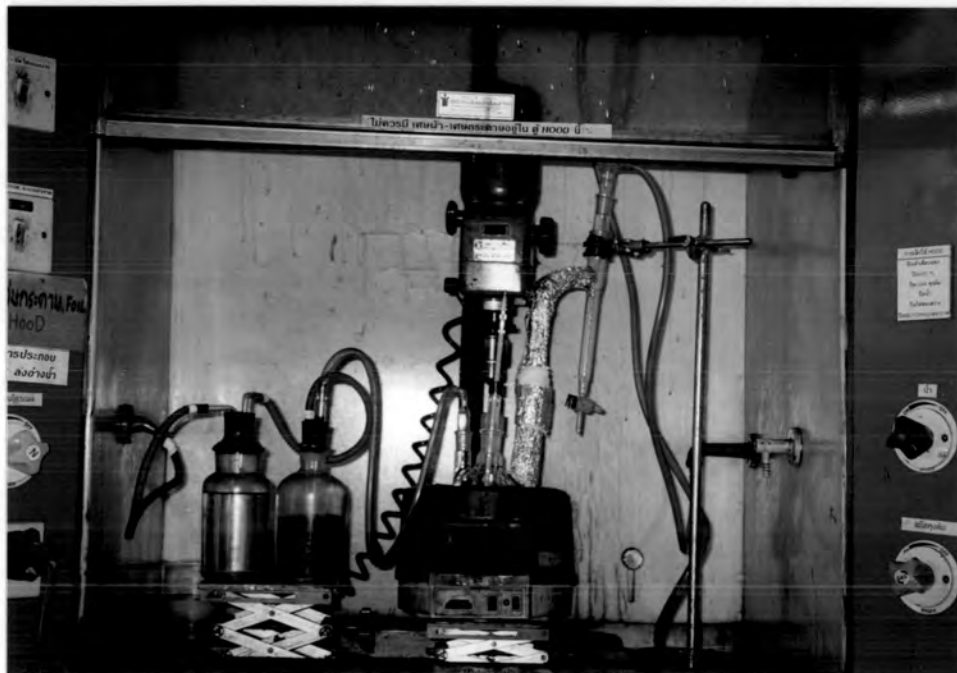
สูตร	ไกลโคไลซ์ โพรดักส์ (กรัม)	น้ำมัน (กรัม)	TDI (กรัม)	ไซลีน (กรัม)	CaO (กรัม)	Drier (กรัม)	เมทานอล (กรัม)
1:1	50	44.89	42.65	116.72	0.0337	0.1347	-
1:1 b	50	44.89	42.65	116.72	0.0337	0.1347	1
1:0.9	50	40.40	38.38	105.04	0.0303	0.1212	-
1:0.9 b	50	40.40	38.38	105.04	0.0303	0.1212	1
1:0.8	50	35.92	34.12	93.38	0.0269	0.1077	-
1:0.8 b	50	35.92	34.12	93.38	0.0269	0.1077	1
1:0.7	50	31.42	29.85	81.70	0.0236	0.0943	-
1:0.7 b	50	31.42	29.85	81.70	0.0236	0.0943	1

หมายเหตุ สูตร 1:1 หมายถึง ยูรีเทนออยล์ที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง OH : NCO เท่ากับ 1:1 และไม่ได้บดลือกด้วยเมทานอล

สูตร 1:1 b หมายถึง ยูรีเทนออยล์ที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง OH : NCO เท่ากับ 1:1 และบดลือกด้วยเมทานอล



รูปที่ 3.4 Differential Scanning Calorimeter



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การสังเคราะห์ยูรีเทนออยล์



### 3.2.4.2 การเตรียมยูรีเทนออยล์จากมอนอและไดกลีเซอไรต์

1. เติมโทลีนไดไอโซไซยานต ไชลีน และสารเร่งแห้ง ซึ่งผสมอยู่ด้วยกันลงในมอนอและไดกลีเซอไรต์ที่ได้จากขั้นตอนแรกอย่างช้าๆ และเพิ่มความร้อนจนกระทั่งของผสมมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 75-80 °C และให้อุณหภูมิของของผสมคงที่ ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไป ณ อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง\*
2. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งก็คือยูรีเทนออยล์ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy และ GPC
3. ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลต่อหมู่ไอโซไซยานตจาก 1:1 เป็น 1:0.9 1:0.8 และ 1:0.7 ตามลำดับ
4. สังเคราะห์ยูรีเทนออยล์เหมือนในข้างต้น และมีการเติมเมทานอลปริมาณ 2% \*\* โดยน้ำหนักของไกลโคไลซ์โพรตักส์ในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยา

### 3.2.4.3 การศึกษาการแห้งของฟิล์มยูรีเทนออยล์

1. นำฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน
2. ตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์มแห้งยูรีเทนออยล์ ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 50-200 °C และลดอุณหภูมิลงจาก 200-50 °C และให้ความร้อนอีกครั้งจากอุณหภูมิ 50-400 °C อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ 10 °C/นาที และอัตราในการลดอุณหภูมิเท่ากับ 40 °C/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

---

\* ได้ทำการทดลองเพิ่มเวลาที่ใช้เป็น 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า ความหนืดของของผสมและผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเตรียมยูรีเทนออยล์ทุกสูตรจึงใช้เวลาในการสังเคราะห์ 2 ชั่วโมง

\*\* ได้มีการเพิ่มปริมาณเมทานอลที่ใช้เป็น 3% 4% และ 5% พบว่า ความหนืดของของผสมเพิ่มสูงขึ้นและเกิดเป็นเจลในเวลาต่อมา ดังนั้นการเตรียมยูรีเทนออยล์สูตรที่บดล็อกด้วยเมทานอลจึงใช้ปริมาณเมทานอลเท่ากับ 2%

### 3.3 การทดสอบสมบัติของยูรีเทนออยล์

#### 3.3.1 การทดสอบสมบัติในสถานะของเหลว

##### 3.3.1.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลของของเหลว โดยปกติความหนืดของสารเคลือบผิวหาได้ในหน่วยพอยส์ (poise) การวัดความหนืดจะวัดการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วง โดยอัตราการไหลหาได้จากอัตราส่วนความหนืดต่อความหนาแน่น ความหนืดที่วัดได้โดยวิธีนี้เรียกว่า ความหนืดคิเนมาติก

$$\text{ความหนืดคิเนมาติก (สโตกส์)} = \frac{\text{ความหนืดไดนามิก (พอยส์)}}{\text{ความหนาแน่น (กรัม / ซม}^3\text{)}}$$

มาตรวัดความหนืด มีหลายชนิดดังนี้

1.1 บับเบิลวิสโคมิเตอร์ ชนิดที่รู้จักกันดีคือ การ์ดเนอร์-โฮลด์ทบับเบิลวิสโคมิเตอร์ (Gardner - Holdt Bubble Viscometer) ซึ่งประกอบด้วยหลอดมาตรฐานที่ผ่าหลอดถูกผนึกแล้วจำนวน 41 หลอด แต่ละหลอดมีอักษรตั้งแต่ A-5 ถึง Z-10 ที่แสดงความหนืดของของเหลวที่บรรจุภายใน โดยที่ของเหลวที่บรรจุในหลอดอักษร A-5 จะมีความหนืดต่ำที่สุด และ หลอดอักษร Z-10 จะมีความหนืดสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

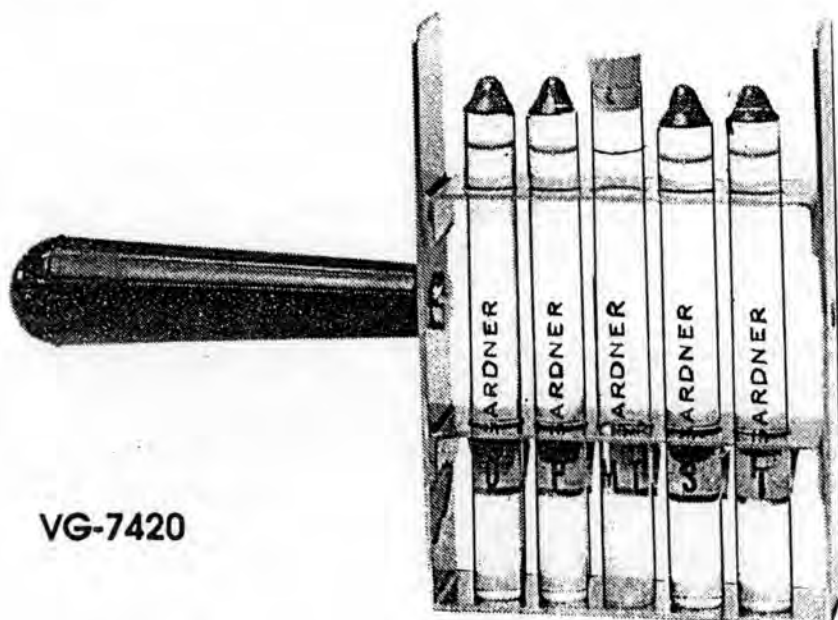
ตารางที่ 3.2 ความหนืดคิเนมาติก (สโตกส์) ของบับเบิลวิสโคมิเตอร์ที่ 25 °C

A-5 .... 0.01	F .... 1.40	P .... 4.00	Z-1 .... 27.0
A-4 .... 0.06	G .... 1.65	Q .... 4.40	Z-2 .... 36.2
A-3 .... 0.14	H .... 2.00	R .... 4.70	Z-3 .... 46.3
A-2 .... 0.22	I .... 2.25	S .... 5.00	Z-4 .... 63.4
A-1 .... 0.32	J .... 2.50	T .... 5.50	Z-5 .... 98.5
A .... 0.50	K .... 2.80	U .... 6.27	Z-6 .... 148
B .... 0.65	L .... 3.00	V .... 8.84	Z-7 .... 388
C .... 0.85	M .... 3.20	W .... 10.7	Z-8 .... 590
D .... 1.00	N .... 3.40	X .... 12.9	Z-9 .... 855
E .... 1.25	O .... 3.70	Y .... 17.6	Z-10 .... 1066
		Z .... 22.7	

1.2 *ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ต* เป็นวิธีที่โรงงานนิยมใช้กันมาก ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ตทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อนและตัวทำละลาย ที่กันด้วยมีท่อทางออกซึ่งทำด้วยทองเหลือง ถ้วยชนิดนี้มี 3 ขนาดคือ ถ้วยหมายเลข 2 หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ถ้วยแต่ละขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกต่างกัน และเหมาะสำหรับหาความหนืดของสารเคลือบผิวได้ในช่วงต่างกัน

1.3 *มาตรวัดความหนืดแบบสตอร์เมอร์* ใช้หาความหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยที่ค่าความหนืดแสดงโดยน้ำหนักเป็นกรัมที่ต้องใช้เพื่อให้เกิดอัตราแรงเฉือนตามที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้เป็น 200 รอบต่อนาที

ในงานวิจัยนี้จะใช้มาตรวัดความหนืดแบบการ์ดเนอร์-โฮลท์บับเบิลวิสโคมิเตอร์ (รูปที่ 3.6) ซึ่งการวัดทำได้โดยบรรจุรีเทนออยล์ในหลอดทดสอบที่มีขนาดเดียวกับหลอดมาตรฐานในปริมาณที่เท่ากับของเหลวในหลอดมาตรฐาน ปิดฝาหลอดทดสอบด้วยจุกคอ르크 จากนั้นกลับหลอดทดสอบและหลอดมาตรฐานภายในเวลาเดียวกัน เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของฟองอากาศในหลอดทดสอบว่า จะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับหลอดมาตรฐานอักษรใดมากที่สุด ความหนืดของยูรีเทนออยล์ก็คือ ความหนืดของของเหลวในหลอดมาตรฐานที่มีการเคลื่อนที่ของฟองอากาศเท่ากับของหลอดทดสอบนั่นเอง การรายงานผลให้บันทึกเป็นอักษรการ์ดเนอร์-โฮลท์ หรือเป็นสโตกส์โดยประมาณ



รูปที่ 3.6 มาตรวัดความหนืดชนิดการ์ดเนอร์-โฮลท์บับเบิลวิสโคมิเตอร์

### 3.3.1.2 สี (Color)

การวัดสีทำได้โดยบรรจุสารเคลือบผิวในหลอดทดสอบ แล้วนำไปเทียบกับสีของสารละลายสีมาตรฐาน (Gardner solution) ซึ่งเป็นสารละลายผสมในน้ำ (aqueous solution mixture) ของ  $\text{FeCl}_3 + \text{CCl}_4 + \text{HCl}$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน และมีเบอร์วัดสีตั้งแต่เบอร์ 1-18 โดยที่เบอร์ 1 สีจะอ่อนที่สุด และเบอร์ 18 สีจะเข้มที่สุด (รูปที่ 3.7) การรายงานผลให้บันทึกเป็นหมายเลขของมาตรฐานที่เทียบได้พอดี หรือที่อ่อนกว่าหรือเข้มกว่า เช่น ค่าของสีอยู่ระหว่าง 3 และ 4 ขั้นตอนรายงานจะเป็น 3- 3 3.5 3+ 4- และ 4



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดสีแบบการ์ดเนอร์

### 3.3.1.3 ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ (% Nonvolatile Content)

ทำได้โดยการนำสารเคลือบผิวหนัก 2 ถึง 3 กรัม (ซึ่งน้ำหนักให้แน่นอน) ใส่ในภาชนะก้นแบน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น นำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบต่ออีกประมาณ 30 นาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งว่าน้ำหนักคงที่แล้วหรือยัง น้ำหนักส่วนที่หายไปคือ ปริมาณสารที่ระเหยได้ ดังนั้น ปริมาณร้อยละของสารที่ระเหยไม่ได้ =  $100 - [(A-B)/A \times 100]$

เมื่อ A = น้ำหนักสารก่อนอบ

B = น้ำหนักสารหลังอบ

#### 3.3.1.4 ค่าของกรด

ค่าของกรดเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของกรดอิสระที่มีในสารตัวอย่าง โดยซึ่งให้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์

คำนวณหาค่าของกรดโดยใช้สูตร

$$\text{ค่าของกรด} = \frac{56.1 \times \text{ความเข้มข้นของ KOH} \times \text{มิลลิลิตรของ KOH ที่ใช้น้ำหนักเป็นกรัมของสารที่ใช้}}$$

สำหรับรายละเอียดดูได้จาก มาตรฐาน ASTM D1639

#### 3.3.1.5 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ทดสอบการละลายในตัวทำละลายประเภทต่างๆ เช่น ไชลีน (xylene) ไวท์สปิริต (white spirit) บิวทิลอะซิเตต (butyl acetate) และนอร์มัลบิวทานอล (n-butanol)

#### 3.3.2 ระยะเวลาการแห้งตัว (Drying Time)

ในการทดสอบนี้จะนำยูรีเทนออยล์มาปาดเคลือบลงบนแผ่นเหล็กด้วย แอปพลิเคเตอร์ ใช้ความหนาฟิล์มเปียก 60 ไมโครเมตร และจับเวลาการแห้งตัวของฟิล์ม การแห้งตัวของฟิล์มของสารเคลือบผิวซึ่งแห้งได้เองในอากาศแตกต่างกันตามระยะเวลาการแห้งตามลำดับดังนี้

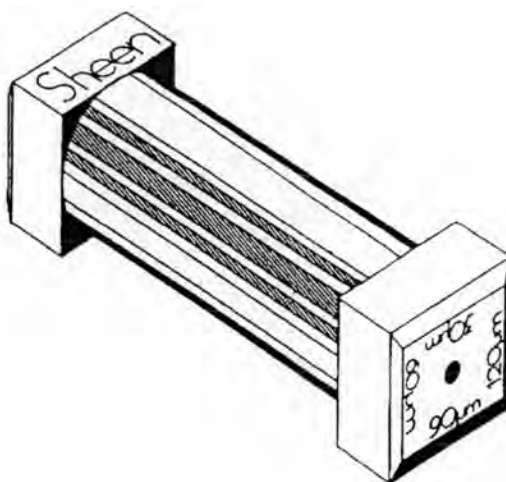
- (1) แห้งฝุ่นไม่ติด (dust dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่ฝุ่นไม่ติดพื้นผิวที่เคลือบไว้แล้วอีกต่อไป
- (2) แห้งที่ผิว (surface dry) หมายถึง การแห้งเฉพาะผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่มและเหนียว
- (3) แห้งแตะได้ (touch dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่แตะเบาๆแล้วไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่
- (4) แห้งแตะไม่ติด (tack-free dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่ผิวไม่อยู่ในสภาพเหนียวติด แม้ว่าจะมีแรงกด การแห้งขั้นนี้เป็นระยะเวลาที่เมื่อใช้นิ้วกดเบาๆที่ผิวฟิล์ม จะไม่มีรอยเกิดขึ้นบนผิวฟิล์ม
- (5) แห้งแข็ง (hard dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่สามารถเคลือบอีกชั้นหนึ่งทับได้ด้วยแปรง ทดสอบโดยใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงบนผิวฟิล์มแล้วหมุนรอบๆ ถ้าผิวไม่แตกร้าวหรือเสียหายแสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งแข็งแล้ว

รายละเอียดดูได้จากมาตรฐาน ASTM D 1640-95

### 3.3.3 การทดสอบสมบัติฟิล์ม

#### การเตรียมฟิล์มยูรีเทนออยล์

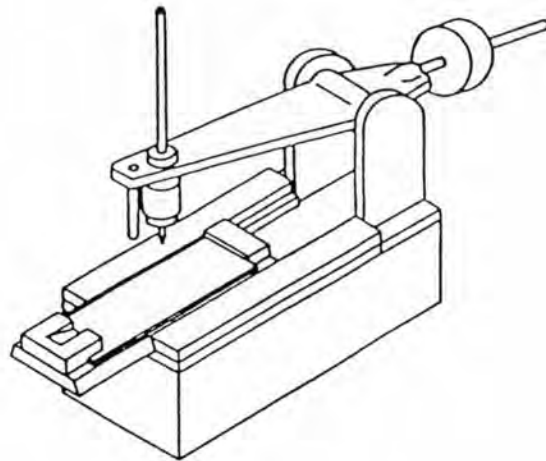
นำยูรีเทนออยล์มาปาดเคลือบลงบนแผ่นทดสอบที่เป็นแผ่นโลหะหรือแผ่นกระจกตามที่มาตรฐานกำหนดด้วยแอปพลิเคเตอร์ (รูปที่ 3.8) ซึ่งควบคุมความหนาของฟิล์มเปียกได้ตั้งแต่ 30 60 90 และ 120 ไมโครเมตร สำหรับการทดลองนี้ใช้ความหนาของฟิล์มเปียกเท่ากับ 120 ไมโครเมตร จากนั้นทิ้งไว้จนฟิล์มแห้งแล้วนำไปทดสอบสมบัติดังนี้



รูปที่ 3.8 เครื่องมือแอปพลิเคเตอร์ (Flim Applicator)

#### 3.3.3.1 ความแข็ง (Hardness)

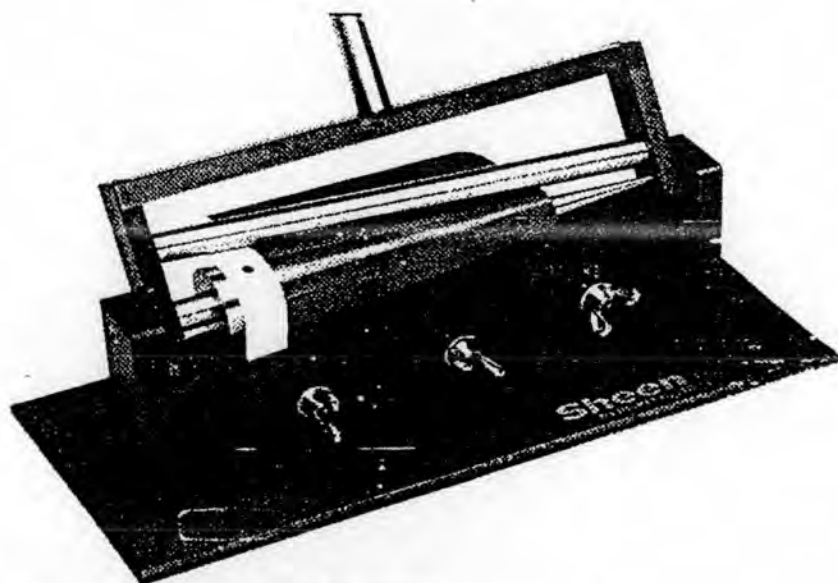
ความแข็ง หมายถึง ความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ทนต่อการเกิดรอยจากการกด หรือขูดขีดด้วยของแข็ง การหาความแข็งของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่ใช้ทั่วไปคือ การทดสอบการขูดขีด (scratch test) ซึ่งก็คือ การหาความต้านทานต่อการแทงทะลุของฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยการขีดด้วยเข็มทดสอบด้วยเครื่อง Mechanical Scratch Test Apparatus (รูปที่ 3.9) การรายงานความแข็งของฟิล์มของตัวอย่างทดสอบก็คือ น้ำหนักน้อยที่สุด (กรัม) ที่ทำให้เข็มแทงทะลุผิวเคลือบ รายละเอียดดูได้จาก มอก. 285 เล่ม 32-2527



รูปที่ 3.9 เครื่อง Mechanical Scratch Test Apparatus

### 3.3.3.2 ความอ่อนตัว (Flexibility)

ทำได้โดยการทดสอบความทนทานต่อการแตกร้าว หรือการหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบเมื่อนำไปตัดโค้งรอบแกนรูปกรวย (bending test) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3-37 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร เครื่องมือทดสอบคือ Conical Mandrel Test Apparatus (รูปที่ 3.10) การรายงานผลการทดสอบให้ระบุเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำให้ผิวฟิล์มร้าวหรือหลุดล่อนจากแผ่นทดสอบ ในกรณีที่ไม่พบข้อบกพร่องให้ระบุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนรูปกรวยที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 3.10 เครื่อง Conical Mandrel Test Apparatus

### 3.3.3.3 ความติดแน่น (Adhesion)

ความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิวเป็นตัวบอกระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ ทดสอบโดยใช้วิธี cross - cut tape ตามมาตรฐาน ASTM D 3359-95 Method B ในการทดสอบใช้เครื่อง Cross Hatch Cutter (รูปที่ 3.11) กรีดเป็นตารางบนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบ จากนั้นใช้เทปติดที่บริเวณรอยขีดให้สนิทแล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็ว ตรวจดูขอบบร้อมของฟิล์มแล้วนำไปเปรียบเทียบกับภาพมาตรฐาน และรายงานผลเป็นเกรด ซึ่งแบ่งเกรดไว้ตั้งแต่ 5B - 0B ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การจัดลำดับความบกพร่องของฟิล์มจากการกรีดเป็นตาราง

เกรด	ลักษณะของฟิล์ม	ภาพ
5B	ขอบของรอยตัดเรียบ ไม่มีส่วนเสียหาย	
4B	เกิดการหลุดล่อนของส่วนที่ติดกัน แต่ความเสียหายต้องไม่เกิน 5%	
3B	เกิดการหลุดล่อนตามขอบและส่วนที่ติดกัน ความเสียหายมากกว่า 5% แต่ไม่เกิน 15%	
2B	เกิดการหลุดล่อนตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกตัด ความเสียหายมากกว่า 15%	
1B	เกิดการหลุดล่อนตามขอบและตามแนวยาวของส่วนที่ถูกตัด ความเสียหายมากกว่า 35% แต่ไม่เกิน 65%	
0B	เกิดการหลุดล่อนมากและเกิดทุกจุดบนสารเคลือบจนไม่สามารถจัดอยู่ในเกรด 1B ได้	

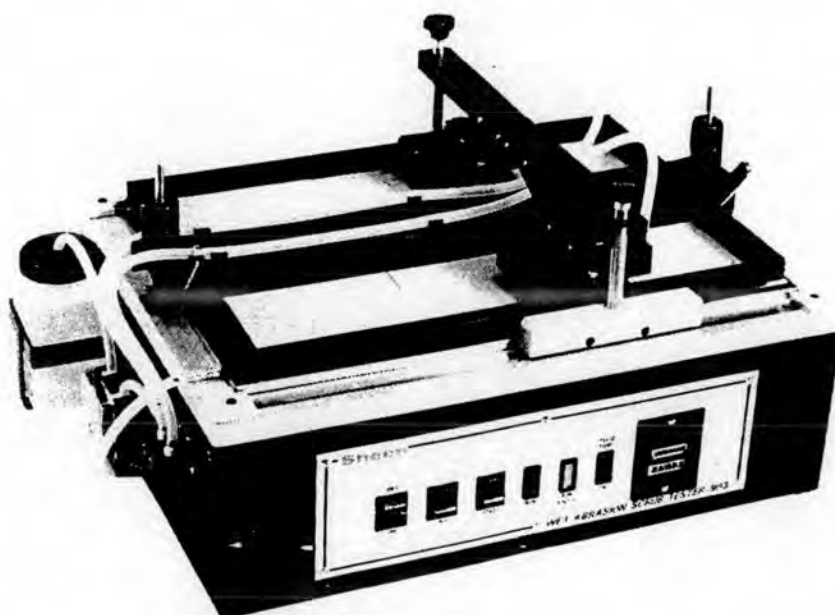




รูปที่ 3.11 เครื่อง Cross Hatch Cutter

#### 3.3.3.4 ความต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance)

ใช้เครื่องมือทดสอบ Wet Abrasion Scrub Tester (รูปที่ 3.12) ซึ่งประกอบด้วย 2 ชุดคือ ชุดที่ใช้ยึดแผ่นทดสอบและชุดสำหรับขัดถูแผ่นทดสอบ ซึ่งจะมีแปรงที่มีขนพิเศษ วิธีทดสอบทำได้โดยนำแผ่นทดสอบไปเข้าเครื่องแล้วตั้งจำนวนรอบขัดถู ทดสอบจนกระทั่งเกิดรอยด้านซึ่งเกิดจากการขัดถู การรายงานผลให้บันทึกค่าจำนวนรอบของการขัดถูที่เริ่มทำให้ผิวฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.12 เครื่อง Wet Abrasion Scrub Tester

### 3.3.3.5 ความทนน้ำ (Water Resistance)

การหาความทนน้ำ เป็นการหาความสามารถของฟิล์มของสารเคลือบผิวที่จะกันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ การทดสอบทำโดยวิธีจุ่มน้ำภายในระยะเวลาที่กำหนด เมื่อครบระยะเวลาแล้ว นำแผ่นทดสอบออกจากน้ำแล้วซับด้วยกระดาษซับ ตรวจสอบผิวแผ่นทดสอบ เพื่อดูรอยพองหรือข้อบกพร่องอื่นๆ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการตรวจสอบพื้นผิวแผ่นทดสอบอีกครั้ง รายละเอียดดูได้จากมาตรฐาน ASTM D 1647-89

### 3.3.3.6 ความทนกรดและด่าง (Acid and Alkali Resistance)

ทดสอบโดยการนำแผ่นทดสอบไปจุ่มในกรดหรือด่าง ภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนดแล้วตรวจสอบดูสภาพของฟิล์ม ถ้าฟิล์มมีความทนทานต่อกรดหรือด่างได้ดีหลังจุ่มแล้วฟิล์มจะต้องมีสภาพเหมือนเดิมไม่มีข้อบกพร่องใดๆเกิดขึ้น รายละเอียดดูได้จากมาตรฐาน ASTM D 1647-89

### 3.3.4 เปรียบเทียบสมบัติของยูรีเทนออยล์ที่เตรียมได้กับยูรีเทนออยล์ทางการค้า