บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว เกรดทางการค้า ชนิดโพลิไลท์เอสเอ็มเอฟ (Polylite SMF-8111) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมิคอลอินดัสตรี้ จำกัด

2. โคบอลต์ออกโทเอต (cobalt octoate) 10 เปอร์เซ็นต์ เกรดทางการค้า ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมิคอลอินดัสตรี้ จำกัด

3. เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (methyl ethyl ketone peroxide) เกรดทางการค้า ได้ความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเคมิคอลอินดัสตรี้ จำกัด

4. น้ำยางธรรมชาติ เกรดทางการค้า ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์คอร์ปอร์เรชัน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

5. โซเดียมลอริลซัลเฟต เกรดทางการค้า ซื้อจาก บริษัท ฟลูกา จำกัด

6. โทลูอีน เกรดทางการค้า ซื้อจากบริษัท ทีซี. สถาพร กรุ๊ป จำกัด

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องกวนเชิงกล
2. บีกเกอร์ขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. แท่งแก้วคน
4. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
5. แม่แบบยางซิลิโคน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบแสดงในตารางที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

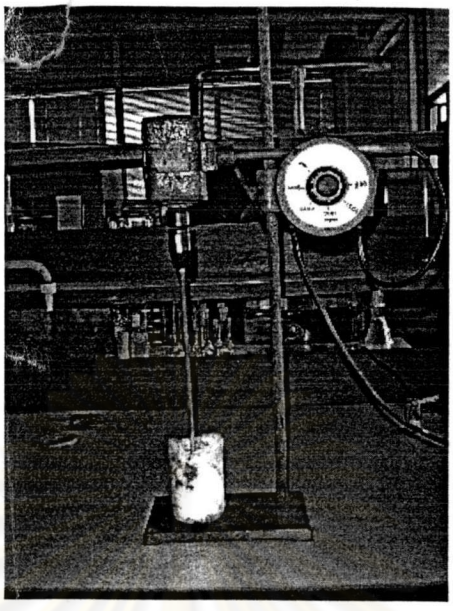
เครื่องมือ	รุ่น	ผู้ผลิต
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	JSM-6400	JEOL
เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก	258-PC	Yasuda
เครื่องทดสอบความทนแรงดัดโค้งและความทนแรงดึง	4466	Instron
เครื่องทดสอบความทนทานต่อการขัดถู	AB 6009	Bareiss
เครื่องวิเคราะห์อุณหภูมิการบิดงอเนื่องจากความร้อน	HDPC-148	Yasuda

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

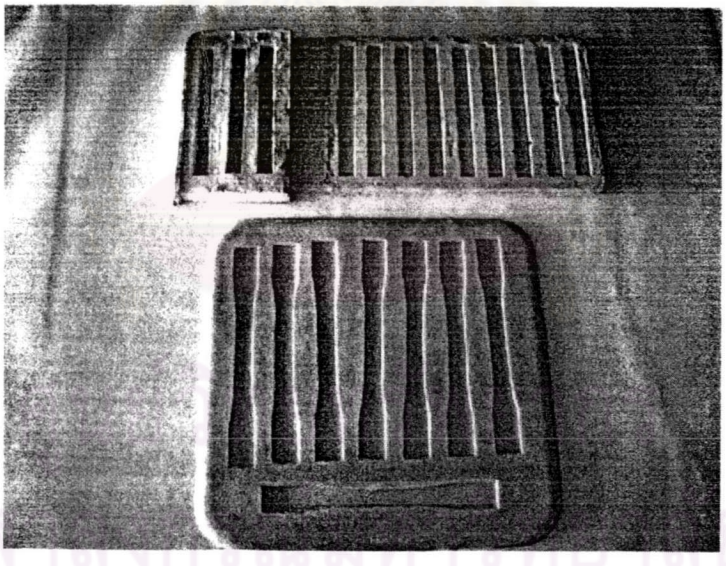
3.4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวกับน้ำยางธรรมชาติ

นำพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจำนวน 100 กรัม ผสมกับน้ำยางธรรมชาติ สารช่วยกระจายตัว ซึ่งได้แก่ โทลูอีน และ โซเดียมลอริลซัลเฟต ในอัตราส่วนตามตารางที่ 3.2 พร้อมกับกวนให้เข้ากัน โดยใช้ความเร็วในการกวน 6,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพแสดงการจัดเตรียมเครื่องมือ ในรูปที่ 3.1 จากนั้นเติมโคบอลต์ออกโทเอต 0.1 มิลลิลิตร และเมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที นำไปเทลงในแม่แบบที่ทำจากยางซิลิโคนในรูปที่ 3.2 รอจนชิ้นงานแข็งตัวแกะออกจากแม่พิมพ์ นำชิ้นงานไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50±5 เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์และทดสอบต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 3.2 แม่แบบในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนการผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวกับน้ำยางธรรมชาติโดยใช้โทลูอีนเป็นสารช่วยกระจายตัว

พอลิเอสเทอร์เรซิน ชนิดไม่อิ่มตัว(กรัม)	โทลูอีน (phr)	น้ำยางธรรมชาติ (phr)	ชื่อสูตร
100	5	5	T5R5
		10	T5R10
		15	T5R15
100	10	5	T10R5
		10	T10R10
		15	T10R15
100	15	5	T15R5
		10	T15R10
		15	T15R15
		20	T15R20
100	20	5	T20R5
		10	T20R10
		15	T20R15
		20	T20R20
		25	T20R25
100	25	5	T25R5
		10	T25R10
		15	T25R15
		20	T25R20
		25	T25R25
100	30	5	T30R5
		10	T30R10
		15	T30R15
		20	T30R20
		25	T30R25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนการผสมระหว่างพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวกับน้ำยางธรรมชาติโดยใช้โซเดียมลอริลซัลเฟตเป็นสารช่วยกระจายตัว

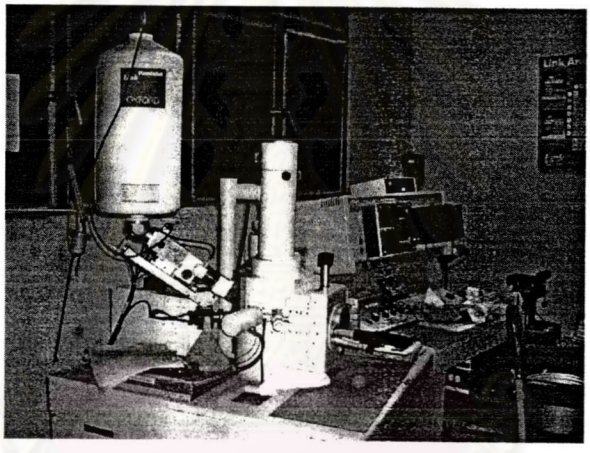
พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (กรัม)	โซเดียมลอริลซัลเฟต (phr)	น้ำยางธรรมชาติ (phr)	ชื่อสูตร
100	15	5	S15R5
		10	S15R10
		15	S15R15
		20	S15R20
		25	S15R25
100	20	5	S20R5
		10	S20R10
		15	S20R15
		20	S20R20
		25	S20R25
100	25	5	S25R5
		10	S25R10
		15	S25R15
		20	S25R20
		25	S25R25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การวิเคราะห์และทดสอบพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

3.4.2.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา (Morphology)

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM)) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 สามารถทำได้โดยหักชิ้นตัวอย่างที่นำไปทดสอบความทนแรงกระแทกแล้ว ตัดผิวหน้าที่ถูกเครื่องทดสอบกระแทกหัก ให้มีขนาดประมาณ กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร และหนา 0.5 เซนติเมตร นำทองเคลือบลงบนพื้นผิวที่ถูกหัก จากนั้น ติดชิ้นตัวอย่างที่เคลือบทองแล้วลงบนฐานทองเหลือง โดยให้ด้านที่เคลือบทองอยู่ด้านบน แล้วส่องดูพื้นผิวต่อไป

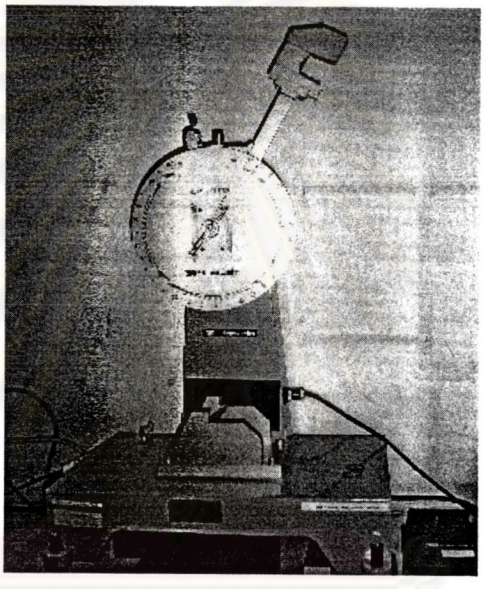


รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 6400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2.2 **การทดสอบความทนแรงกระแทก** (Impact Strength)

ทดสอบความทนแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 6110-97 โดยใช้เครื่องทดสอบแบบตุ้มน้ำหนักเหวี่ยงกระแทก ดังรูปที่ 3.4 เป็นการศึกษาความทนของชิ้นตัวอย่างว่าแตกหักหรือไม่ เมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นตัวอย่างอย่างรวดเร็ว เป็นการทดสอบแบบชาร์ปี (Charpy) โดยนำชิ้นตัวอย่างวางในแนวนอน โดยหันรอยบากเข้าหาทิศทางของการกระแทก โดยชิ้นตัวอย่างมีขนาดกว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร หนา 12 มิลลิเมตร รอยบากขนาด 45 องศา ลูกตุ้มขนาด 11 จูลส์



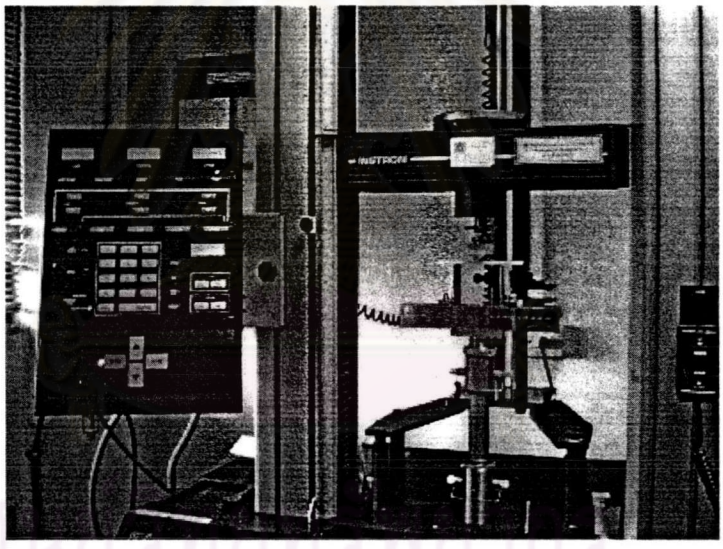
รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทกรุ่น 258-PC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2.3 **การทดสอบความทนแรงดัดโค้ง** (Flexural Strength)

ทดสอบความทนแรงดัดโค้งตามมาตรฐาน ASTM D 790-00 สมบัติความทนแรงดัดโค้ง เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความทนต่อแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการดัดโค้ง โดยแบ่งเป็น 2 วิธี คือ การทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (three point bending) และการทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด (four point bending) ในการดัดโค้งชิ้นตัวอย่างนั้น ชิ้นตัวอย่างจะได้รับทั้งแรงเค้นดึง (tensile stress) และแรงเค้นกด (compressive stress)

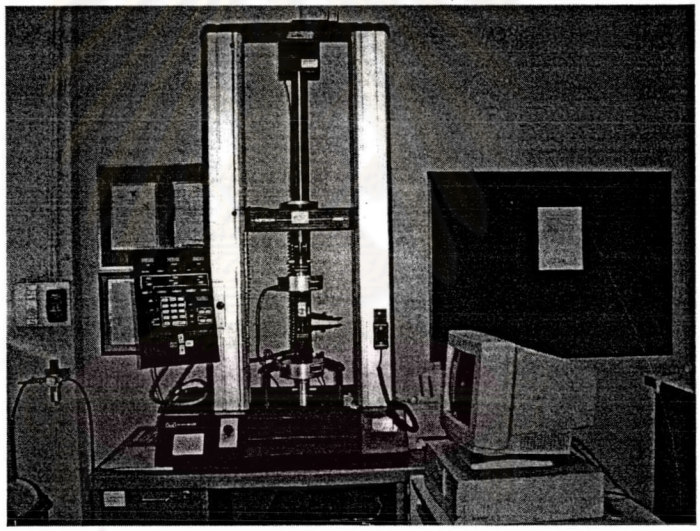
สำหรับงานวิจัยนี้การทดสอบความทนแรงดัดโค้งใช้แบบ 3 จุด ดังรูปที่ 3.5 โดยใช้อัตราเร็วในการกด 2 มิลลิเมตรต่อนาที และอุณหภูมิในการทดสอบ 23±2 องศาเซลเซียส load cell ขนาด 100 นิวตัน ชิ้นตัวอย่างมีขนาดกว้าง 12.5 มิลลิเมตร ยาว 12.8 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ระยะคานรองรับชิ้นงาน 70 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความทนแรงดัดโค้ง รุ่น Instron 4466

3.4.2.4 **การทดสอบความทนแรงดึง** (Tensile strength)

ทดสอบความทนแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638-00 สมบัติความทนแรงดึงของวัสดุแสดงถึงความต้านทานของวัสดุต่อการยืด หรือการแตกหักเมื่อมีแรงมากระทำต่อวัสดุ ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ ในการทดสอบนอกจากจะหาแรงที่ใช้ในการดึงชิ้นตัวอย่างจนเกิดการแตกหักแล้ว เป็นการหาความสามารถในการยืดดึงของวัสดุก่อนการขาดออกจากกัน ในการทดสอบความทนแรงดึงใช้เครื่อง Universal testing ดังรูปที่ 3.6 โดยใช้ Load cell ขนาด 100 นิวตัน อัตราเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิในการทดสอบ 23±2 องศาเซลเซียส ชิ้นตัวอย่างมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลขนาดยาว 152 มิลลิเมตร กว้าง 12.6 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร ระยะระหว่างชิ้นงาน 150 มิลลิเมตร ความยาวเกจ 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความทนแรงดึง รุ่น Instron 4466

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2.5 **การทดสอบความทนทานต่อการขัดถู** (Abrasion Resistance)

ทดสอบความทนทานต่อการขัดถูตามมาตรฐาน DIN 53516 เป็นการหาปริมาตร(ลูกบาศก์มิลลิเมตร) ที่หายไปของชิ้นตัวอย่างเมื่อถูกขัดถูภายใต้ภาวะทดสอบที่กำหนด ด้วยเครื่องทดสอบการขัดถูในรูปที่ 3.7 โดยชิ้นตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 6 มิลลิเมตร ระยะในการขัด 40 เมตร ชั่งน้ำหนักยางมาตรฐานก่อนขัด ยึดยางมาตรฐานกับที่ยึดเครื่องทดสอบ โดยให้ส่วนปลายของยางมาตรฐานยื่นออกมาจากที่ยึดตัวอย่าง 2.0±0.2 มิลลิเมตร เครื่องทดสอบจะขัดไปเป็นระยะ 40 เมตร นำยางมาตรฐานที่ถูกขัดแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างชั่งน้ำหนักก่อนขัด ทำการขัดเช่นเดียวกันกับยางมาตรฐาน แล้วชั่งน้ำหนักหลังขัด แล้วนำชิ้นตัวอย่างหาความหนาแน่น โดยตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาดกว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร หนา 12 มิลลิเมตร ทำการชั่งน้ำหนักในอากาศ โดยใช้ลวดผูกเข้ากับชิ้นตัวอย่าง แล้วแขวนกับเครื่องชั่งให้ปลายของชิ้นตัวอย่างอยู่เหนือที่รองรับบีกเกอร์ประมาณ 25 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างซ้ำอีกครั้ง โดยให้จุ่มในน้ำกลั่น ซึ่งมีอุณหภูมิ 24±3 องศาเซลเซียส จากนั้น คำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างในอากาศ}}{\text{น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างในอากาศ} - \text{น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างในน้ำ}}$$

คำนวณหาปริมาตรที่หายไปของชิ้นตัวอย่าง

$$A = \frac{\Delta m \times S_0}{\rho \times S}$$

A คือ ปริมาตรที่หายไปของชิ้นตัวอย่าง หน่วยเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร

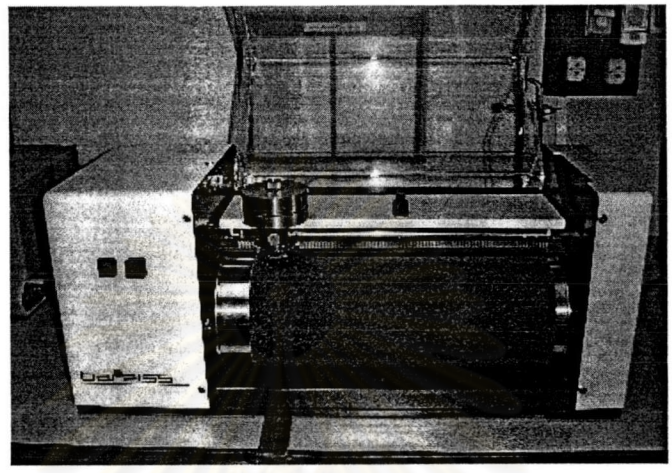
Δm คือ น้ำหนักที่หายไปของชิ้นตัวอย่าง หน่วยเป็นมิลลิกรัม

ρ คือ ความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

S_0 คือ น้ำหนักของกระดาษทรายที่ใช้ในการขัดยางมาตรฐานและชิ้นตัวอย่าง ซึ่งมีค่า 200 มิลลิกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

S คือ น้ำหนักที่หายไปของชิ้นตัวอย่างเทียบกับยางมาตรฐาน (abrasive grade) หน่วยเป็นมิลลิกรัม



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความทนทานต่อการขัดถู รุ่น AB6009

3.4.2.6 **การตรวจสอบอุณหภูมิการบิดงอเนื่องจากความร้อน** (Heat Distortion Temperature)

ทดสอบอุณหภูมิการบิดงอเนื่องจากความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 648-01 เป็นการวัดความต้านทานการบิดงอของพอลิเมอร์ภายใต้น้ำหนักที่ให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะดังรูปที่ 3.8 อุณหภูมิการบิดงอเนื่องจากความร้อนเป็นอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบชิ้นงานที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดกว้าง 3.5 มิลลิเมตร หนา 13 มิลลิเมตร ยาว 128 มิลลิเมตร นำชิ้นตัวอย่างวางในแนวขวางเครื่องพร้อมกับให้น้ำหนักกดลง ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง โดยแรงกดมีขนาด 0.45 เมกะปาสคาล ชิ้นตัวอย่างถูกจุ่มลงในอ่างที่มีการถ่ายเทความร้อน โดยให้อุณหภูมิสูงขึ้นในอัตรา 2±0.2 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิการบิดงอเนื่องจากความร้อนที่ชิ้นตัวอย่างถูกกดลงไปเป็นระยะ 0.25 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์อุณหภูมิการบิดงอเนื่องจากความร้อน รุ่น HDPC-148

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย