สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว

T 055559

นายเผ่าเกียรติ เลิศพลากร

นางสาวศรัญญา ธนโสภิต

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขที่หมู่ .....
เลขทะเบียน 55559
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Properties of Post-Consumer Polyethylene terephthalate Bottles

Mr. Phaokiet Lertpalagron

Ms. Saranya Tanasopit

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว

นักศึกษา นายเผ่าเกียรติ เลิศพลากร

นางสาวศรัญญา ธนโสภิต

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	.....
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เจียงคำ	.....
กรรมการ อาจารย์พรทิพย์ ศัพท์อนันต์	.....
กรรมการ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาคเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว

นักศึกษา นายเผ่าเกียรติ เลิศพลากร

นางสาวศรัญญา ธนโสภิต

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งพบในแหล่งฝังกลบมากที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางความร้อน โครงสร้างทางเคมี และสมบัติเชิงกลของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว เพื่อที่จะนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วมาใช้ร่วมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วมาใช้ร่วมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ แต่ต้องนำมาใช้ในปริมาณไม่มากนัก เพราะว่ามีสารเติมแต่งในขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และจากการคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทำให้ทราบว่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่นำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตนอกจากจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตแล้วยังช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ขยะพลาสติก , พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต , แหล่งฝังกลบ , ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว , เส้นใยพอลิเอสเทอร์ , เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต , สารเติมแต่งในพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Study of Properties of Post-Consumer Polyethylene terephthalate Bottles

Student Mr.Phaokiet Lertpalagron
Ms.Saranya Tanasopit

Department Chemistry
Academic Year 2003
Special Project Advisor Assistant Professor Dr. Malinee Chaisupakitsin

ABSTRACT

Plastic waste has been a major problem in our environment , especially polyethylene terephthalate is found in most plastic wastes in land field. In this research , properties of post-consumer polyethylene terephthalate bottles have been investigated for the polyester fibre process. It was found that post-consumer polyethylene terephthalate bottles can use of the polyester fibre production instead of polyethylene terephthalate chip. But it should used a little amount of post-consumer polyethylene terephthalate bottles , because post-consumer polyethylene terephthalate bottles contaminated with plastic additives. From economic point of view , polyethylene terephthalate can reused because it reduced unit cost and problem of plastic waste.

Keyword : plastic waste , polyethylene terephthalate , land field , post-consumer polyethylene terephthalate bottles , polyester fibre , polyethylene terephthalate chip , plastic additives

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ทางผู้จัดทำโครงงานพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย , ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำและอาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์ ที่เสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบและข้อเสนอแนะต่างๆ ซึ่งทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกัญญา มงคลโภชน์ , คุณสุภัทร บานเย็นและเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้

อนึ่งยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วผู้จัดทำโครงงานพิเศษขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เผ่าเกียรติ เลิศพลากร

ศรัญญา ธนโสภิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	4
2.1.1 วัตถุดิบในการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	4
2.1.2 พอลิเมอไรเซชัน	6
2.1.3 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์	8
2.2 กระบวนการอัดแบบชนิดเป่า	11
2.2.1 หลักการของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า	12
2.2.2 ชนิดของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า	13
2.2.3 การเลือกกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าเพื่อผลิตชิ้นงาน	21
2.2.4 ปัญหาที่พบในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า	22
2.2.5 สารเติมแต่งในพลาสติก	29
2.3 ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	31
2.4 กระบวนการรีไซเคิลขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	32
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	36
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
3.3 การดำเนินการทดลอง	37
3.3.1 การเตรียมขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว	37
3.3.2 การทดสอบหาสมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ	37
3.3.3 การทดสอบหาโครงสร้างทางเคมีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ	38
3.3.4 การทดสอบหาสมบัติเชิงกลของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 สมบัติทางความร้อน	39
4.1.1 ทดสอบโดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์	39
4.1.2 ทดสอบโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก	40
4.2 โครงสร้างทางเคมี	44
4.2.1 ทดสอบโดยใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์	44
4.3 สมบัติเชิงกล	47
4.3.1 ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง	47
4.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	53
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	67
ภาคผนวก ค	77
ภาคผนวก ง	80
ภาคผนวก จ	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต 9

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต 10

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการซึมผ่านฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต(หนา 1 มิลลิเมตร) ของน้ำและอากาศ 11

ตารางที่ 2.4 ข้อแนะนำเกี่ยวกับการแก้ปัญหาในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า ช่วงการเกิดพาริซัน 23

ตารางที่ 2.5 ข้อแนะนำเกี่ยวกับการแก้ปัญหาในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า ช่วงระหว่างการอัดแบบชนิดเป่า 25

ตารางที่ 2.6 ข้อแนะนำเกี่ยวกับการแก้ปัญหาในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า ช่วงภายหลังการอัดแบบชนิดเป่า 26

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวและค่าพลังงานในการหลอมผลึกของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ 40

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว ปริมาณสารตัวอย่างและปริมาณสารตกค้างของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ 42

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิที่หลอมเหลวของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ 44

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าเป๊ปซี่ 49

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าสยาม 51

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าสิงห์ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต 4

รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในอุตสาหกรรม 8

รูปที่ 2.3 แผนภาพของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าประเภทพาริซัน 12

รูปที่ 2.4 แผนภาพของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าประเภทพรีฟอร์ม 13

รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบต่อเนื่อง 14

รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบเป็นระยะ 15

รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีด 17

รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการให้ความร้อนใหม่ 18

รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าแบบมอนซานโต 19

รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืดแบบขั้นตอนเดียว 20

รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืดแบบสองขั้นตอน 20

รูปที่ 2.12 รอบการทำงานของการอัดแบบชนิดเป่าแบบดึงยืดขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอน 21

รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงวิธีการเลือกการออกแบบผลิตภัณฑ์ 22

รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงกระบวนการรีไซเคิลขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต 33

รูปที่ 4.1 แสดงเทอร์โมแกรมของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆที่ได้จากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ 39

รูปที่ 4.2 แสดงเทอร์โมแกรมของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆที่ได้จากเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก 41

รูปที่ 4.3 แสดง Derivative ของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ 43

รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ 46

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วภายใต้เครื่องหมายการค้าเป๊ปซี่ 48

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วภายใต้เครื่องหมายการค้าสยาม 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วภายใต้เครื่องหมายการค้า สิงห์ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในอดีตวัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ทำจากไม้ โลหะ แก้ว กระดาษ ในตอนต้นศตวรรษที่ 20 ได้ค้นพบวัสดุใหม่ขึ้นมานั่นคือพอลิเมอร์ และได้มีการพัฒนานำมาใช้แทนวัสดุดังกล่าว เพราะพอลิเมอร์มีน้ำหนักเบา สามารถปรับปรุงคุณสมบัติตามต้องการได้ ขึ้นรูปได้ง่ายและสามารถผสมสีเข้าไปได้ไม่ยุ่งยาก

ในปัจจุบันพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต(Polyethylene terephthalate , PET) ซึ่งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เพราะเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติที่ดี ได้แก่ มีความแข็งแรงสูง มีความเหนียวและใส รวมทั้งมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและไอน้ำ ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ทำให้พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตถูกนำมาใช้เป็นเส้นใย ฟิล์ม ขวดน้ำดื่มและภาชนะบรรจุอาหาร

ปริมาณการใช้ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขยะจากพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไขได้ยาก วิธีการนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตกลับมาใช้ใหม่เป็นทางแก้วิธีหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ นั่นคือการนำพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตไปเป็นวัสดุตั้งต้นในกระบวนการผลิต ซึ่งการนำกลับมาใช้ใหม่นี้เป็นการประหยัดทรัพยากรและช่วยเหลือในทางเศรษฐกิจ แต่พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่จะมีคุณสมบัติไม่ดีเท่ากับพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

โดยทั่วไปขยะที่มาจากชุมชนจะประกอบด้วยขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 50% เศษอาหาร เศษผัก ใบไม้ 20% และขยะที่ต้องฝังกลบ ที่ต้องกำจัด 30% และตลาดในเอเชียมีความต้องการวัตถุดิบจากขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกมาก โดยในประเทศมีวัตถุดิบจากขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ที่ใช้ในการผลิตไม่ถึง 30% และอีก 70% ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งต้องสูญเสียเงินตราเพื่อซื้อหามาจากต่างประเทศปีละเป็นแสนล้านบาท ทั้งนี้ในประเทศเองมีวัตถุดิบอีกมาก แต่กลับถูกเอาไปทิ้ง ฝังกลบปะปนอยู่กับกองขยะ โดยขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ กระดาษ โลหะ พลาสติกและขวดแก้ว แต่พลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยากและพลาสติกส่วนใหญ่กำเนิดมาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ดังนั้นกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกจึงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะพลาสติก การลดปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมและการหมุนเวียนนำทรัพยากรทางปิโตรเคมีกลับมาใช้ให้คุ้มค่า

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว เพื่อที่จะนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วมาใช้ร่วมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์(Polyester fibre) เมื่อนำมาใช้ร่วมกันแล้วก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ รวมทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของขยะ เพิ่มการสร้างงานให้แก่คนในชุมชนและให้รู้ถึงคุณค่าของขยะ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาสมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

2. ศึกษาหา โครงสร้างทางเคมีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

3. ศึกษาหา สมบัติเชิงกลของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว ที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

4. ศึกษาหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดสอบหา สมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ โดยการใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์(Differential Scanning Calorimeter , DSC)ที่อุณหภูมิช่วง 50-300 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีและเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก(Thermogravimetric Analysis , TGA)ที่อุณหภูมิช่วง 50-700 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ทดสอบหา โครงสร้างทางเคมี ของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ โดยการใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์(Fourier Transform Infrared Spectrometer , FT-IR)ที่เลขคลื่นช่วง 4000-400 ซม.$^{-1}$

3. ทดสอบหา สมบัติเชิงกล ของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว ที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ โดยการใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง(Tensile tester)ที่ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ปริมาณการผลิต 200 ตันต่อเดือน

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	———											
ตั้งวัตถุประสงค์และขอบเขต			—									
จัดทำเค้าโครงงานวิจัย				———	———							
เสนอเค้าโครงงานวิจัย							—					
เตรียมอุปกรณ์และสารตัวอย่าง					—							
ทดลองวิเคราะห์สารตัวอย่าง						———	———	———				
รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง									—			
สรุปและวิจารณ์									—			
ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม									———	———		
จัดทำรูปเล่มรายงาน										———	———	
เตรียมเสนอโครงงานพิเศษ											—	
เสนอโครงงานพิเศษ												—

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ ที่จะนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมาใช้ร่วมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์

2. ช่วยลดปัญหาขยะพลาสติก

3. ช่วยลดต้นทุนในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (Polyethylene terephthalate , PET)

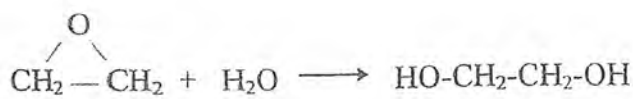
ในปี 1929 Carrothers of E.I. du Punt de Nemours and Co (USA) ได้ทำการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งพอลิเอสเทอร์ที่ได้จะเป็นอะลิฟาติกสายโซ่ตรงอิ่มตัว ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำและละลายได้ง่ายในตัวทำละลายอินทรีย์ เกิดไฮโดรไลซิสได้ง่าย ไม่มีคุณสมบัติของเส้นใย ต่อมาในปี 1941 Whinfield และ Dickson แห่งบริษัท The Calico Printers Association Ltd. ของประเทศอังกฤษทำการสังเคราะห์อะโรมาติกพอลิเอสเทอร์ซึ่งก็คือพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเส้นใยและฟิล์มที่ดี ดังนั้นต่อมาจึงใช้พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเส้นใย ซึ่งโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเป็นดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

2.1.1 วัตถุดิบในการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

(ก) เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol)

เอทิลีนไกลคอลเตรียมได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide)



เอทิลีนไกลคอลเป็นของเหลวไม่มีสี จุดเดือด 197 องศาเซลเซียส

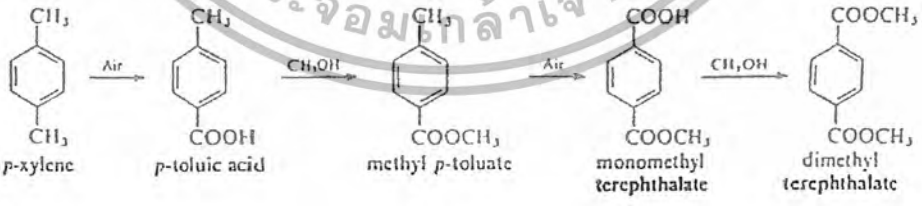
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) กรดเทเรพทาลิก (Terephthalic acid)

กรดเทเรพทาลิกเตรียมได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของพาราไซลีน(p-xylene)ในสภาวะของเหลว โดยใช้อากาศผ่านเข้าไปในสารละลายของพาราไซลีนในกรดอะซิติก(acetic acid)ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 2 เมกะปาสคาลในระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบไปด้วยเกลือโคบอลต์ หรือเกลือแมงกานีส และไอออนของโบรไมด์ (Bromide ions) กรดเทเรพทาลิกที่ได้จะมีสิ่งเจือปนอยู่เพียงเล็กน้อย (ส่วนใหญ่เป็น p-Carboxybenzaldehyde) ซึ่งสามารถกำจัดออกได้ กรดที่ได้จะละลายน้ำที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 5 เมกะปาสคาล(ที่ความดัน 50 บรรยากาศ) จากนั้นทำปฏิกิริยาต่อกับไฮโดรเจน ซึ่งจะเปลี่ยนอัลดีไฮด์เป็น p-toluic acid ตกผลึกออกมา

(ค) ไดเมทิลเทเรพทาเลต (dimethyl terephthalate)

ในหลายๆกระบวนการได้เตรียมไดเมทิลเทเรพทาเลตจากพาราไซลีน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



ปฏิกิริยาออกซิเดชันของพาราไซลีนทำในสภาวะของเหลวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 15 เมกะปาสคาล(ที่ความดัน 15 บรรยากาศ) ในระบบที่มี cobalt acetate หรือ naphthenate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

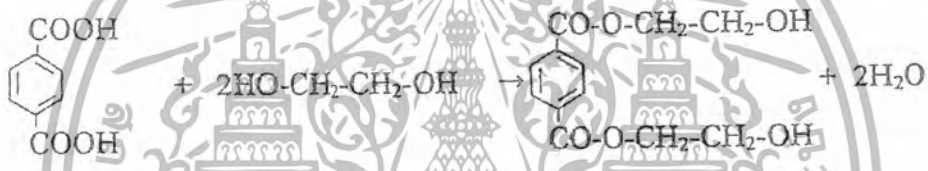
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดเมทิลเทเรพทาเลตอาจจะผลิตได้จากการทำเอสเทอริฟิเคชัน(Esterification)ของกรดเทเรพทาลิกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยไดเมทิลเทเรพทาเลตที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็ง จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 142 องศาเซลเซียส

2.1.2 พอลิเมอไรเซชัน

จากที่กล่าวมา พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตอาจเตรียมได้จากกรดเทเรพทาลิก หรือไดเมทิลเทเรพทาเลต โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแยกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นแรก สำหรับกระบวนการที่ใช้กรดเทเรพทาลิกเป็นสารตั้งต้น(acid-based process)จะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันระหว่างกรดเทเรพทาลิกกับเอทิลีนไกลคอลที่มากเกินพอ จะได้ bis (2-hydroxyethyl) terephthalate หรือเรียกโดยย่อว่า BHET

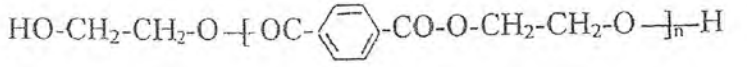


จากนั้น bis (2-hydroxyethyl) terephthalate ที่ได้จะเกิดเป็น hexamer ซึ่งมีสูตรทั่วไปดังนี้

กรดเทเรพทาลิกจะถูกทำปฏิกิริยากับเอทิลีนไกลคอลที่มากเกินพอ(1:1.5 โมลาร์)ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสและที่ความดัน 0.4 เมกะปาสคาลและน้ำจะถูกแยกออกไปอย่างต่อเนื่องในระหว่างปฏิกิริยา

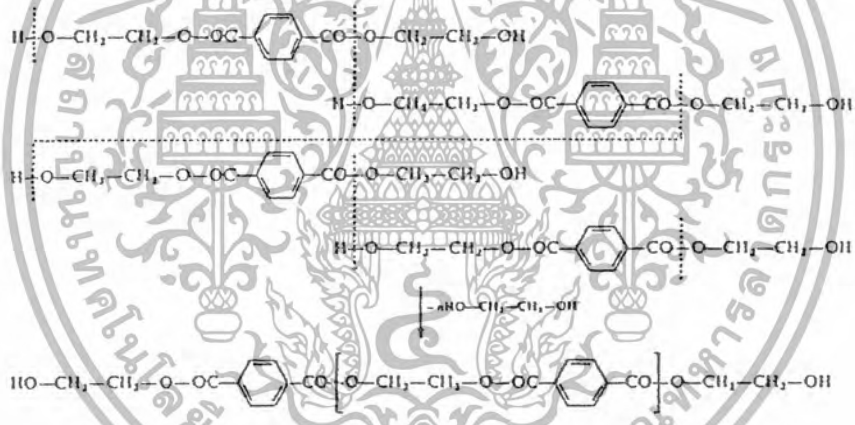
ในกระบวนการที่ใช้ไดเมทิลเทเรพทาเลตเป็นสารตั้งต้น(ester-based process)จะเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเอสเทอร์(ester interchange)ได้ผลิตภัณฑ์เป็น bis (2-hydroxyethyl) terephthalate ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไดเมทิลเทเรพทาเลตจะถูกผสมกับเอทิลีนไกลคอลที่มากเกินพอ(1:2.2 โมลาร์)และภายใต้ความดันบรรยากาศในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (ส่วนมากใช้ manganese acetate) เมทานอลจะถูกแยกออกจากปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง

ขั้นที่สอง เป็นการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนเอสเทอร์ระหว่าง bis (2-hydroxyethyl) terephthalate ซึ่งเป็นทั้งเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

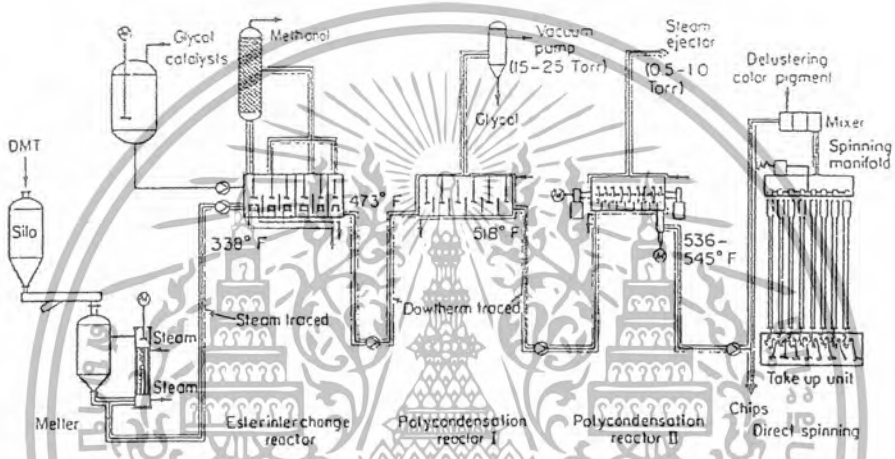


ภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยา เอทิลีนไกลคอลจะถูกแยกออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

bis (2-hydroxyethyl) terephthalate จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียสในระบบที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น antimony trioxide เมื่อความดันต่ำประมาณ 0.1 กิโลปาสคาล(ที่ความดัน 1 มิลลิเมตรปรอท)เอทิลีนไกลคอลจะถูกกลั่นออกจากปฏิกิริยา การพอลิเมอไรเซชันจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งน้ำหนักโมเลกุลถึงระดับที่ต้องการ(20,000 สำหรับเส้นใยและฟิล์ม 30,000 สำหรับ moulding material)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

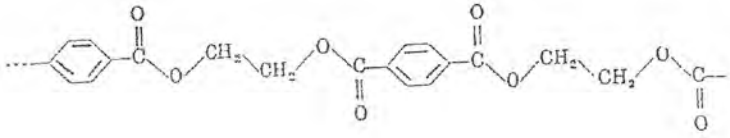
เมื่อเปรียบเทียบกับ กระบวนการที่ใช้ไดเมทิลเทเรพทาเลตเป็นสารตั้งต้นแล้ว กระบวนการที่ใช้กรดเทเรพทาลิกเป็นสารตั้งต้น จะลดค่าใช้จ่ายในการใช้และการนำเมทานอลกลับมาใช้ใหม่และยังให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามกระบวนการที่ใช้ไดเมทิลเทเรพทาเลตเป็นสารตั้งต้นนั้นเป็นกระบวนการที่ง่ายในการทำมากกว่า ในรูปที่ 2.2 แสดงถึงกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในอุตสาหกรรม

2.1.3 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะแข็งแกร่ง ไม่มีสี ประกอบด้วยส่วนบริเวณที่เป็นผลึกและอสัณฐาน ซึ่งจะมีส่วนไหนมากกว่านั้นขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้เตรียมพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต โมเลกุลมีรูปร่างแบบ rectilinear คือ ระนาบของวงแหวนเบนซีนจะขนานกัน ส่วนหมู่ -COO- จะอยู่คนละระนาบกับวงแหวนเบนซีน 12 องศาและเอทิลีนไกลคอลจะอยู่ห่างจากระนาบวงแหวนเบนซีน 20 องศา Ward ได้แสดงรูปแบบของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่เป็นผลึก โดยหมู่ $-OCH_2-CH_2O-$ จะจัดเรียงตัวแบบ trans-configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางกายภาพ

โดยทั่วไปพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีความถ่วงจำเพาะ 1.38 และเป็นพอลิเมอร์ที่มีส่วนที่เป็นผลึกอยู่มาก แต่ถ้าให้ความเย็นอย่างรวดเร็วแก่พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่หลอมเหลวจะทำให้เกิดความเป็นอสัณฐานทั้งหมดและยังโปร่งใสด้วย โดยจะมีความถ่วงจำเพาะ 1.33 ถ้าพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเป็นผลึกอย่างสมบูรณ์จะมีความถ่วงจำเพาะ 1.455

พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีลักษณะโปร่งใส มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g) ประมาณ 80 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเป็นสารไม่ชอบน้ำ(non-hydrophilic) โดยเมื่อนำไปจุ่มในน้ำที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจะดูดน้ำได้น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมดโดยที่คุณสมบัติเชิงกลยังคงเหมือนเดิม

สมบัติทางความร้อน

จุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตอยู่ที่ 255 องศาเซลเซียส Zero strength ของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตอยู่ที่ 248 องศาเซลเซียส(Zero strength หมายถึง อุณหภูมิที่ฟิล์มของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตสามารถต้านทานต่อแรง 1.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 5 วินาทีได้) โดยแสดงคุณสมบัติทางความร้อนอย่างอื่นไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	265
จุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (องศาเซลเซียส)	80
ค่าความร้อนจำเพาะ (cal / g-degree) ที่ 25 องศาเซลเซียส	0.315
ค่าความร้อนจำเพาะ (cal / g-degree) ที่ 200 องศาเซลเซียส	0.476
ความสามารถการนำความร้อน (cal / cm.sec.degree)	3.63×10^{-4}
Zero strength (องศาเซลเซียส)	248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกล

พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่อยู่ในรูปของฟิล์ม เส้นใย หรือชิ้นงานจะมีความแข็งแรงสูงดังแสดงในตารางที่ 2.2 แสดงถึงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต คุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจะเปลี่ยนเล็กน้อยที่อุณหภูมิระหว่าง -20 ถึง +80 องศาเซลเซียส แต่มองไม่เห็นการเกิดการแข็งเปราะที่ -60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
ความเค้นที่จุดคราด (Yield stress), kg/cm^2	980
ความแข็งแรงดึงที่จุดแตกหัก (Tensile strength at break), kg/cm^2	1750
การยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at break), เปอร์เซ็นต์	50-70
ความต้านทานต่อการขาด (Resistance to breaking), kg/mm^2	50-70
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength), kg-cm	90
ความแข็งแรงดึงมอดุลัส (Tensile modulus), kg/cm^2	35,200

ความสามารถในการซึมผ่าน

ฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีความสามารถทนต่อการซึมผ่านของไอน้ำ และไอของตัวทำละลายอินทรีย์ ในตารางที่ 2.3 แสดงถึงความสามารถทนต่อการซึมผ่านของสารต่างๆของฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

ฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตยังทนต่อการซึมผ่านของก๊าซด้วย เช่น ออกซิเจนและไนโตรเจน โดยฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตรที่ 100 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ จะให้ออกซิเจนผ่านได้ 5.7 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงและยอมให้ไนโตรเจนซึมผ่านได้ 5.2 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการซึมผ่านฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต(หนา 1 มิลลิเมตร)ของน้ำและอากาศ

สารละลาย	ความสามารถในการซึมผ่าน(กรัมต่อ 100 ตารางเมตรต่อชั่วโมง
น้ำ	160
เอทิลแอลกอฮอล์	0
เอทิลอะซิเตท	4
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	7
เฮกเซน	6
เบนซีน	18
อะซีโตน	82
กรดอะซิติก	0

ความต้านทานต่อสารเคมี

เกี่ยวกับสมบัติการละลาย ถ้ามีความเป็นผลึกมากจะละลายเฉพาะในตัวทำละลายที่มีโปรตอนที่อุณหภูมิห้อง เช่น กรดอะซิติกที่ถูกแทนที่ด้วยคลอรีนหรือฟลูออรีน ฟีนอลและกรดไฮโดรฟลูออริกที่ปราศจากน้ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะละลายในตัวทำละลายบางชนิด เช่น อะโรมาติกดีโตน ไดบิวทิลพทาเลตและไดเมทิลซัลโฟน เป็นต้น ถ้ามีความเป็นอสัณฐานจะละลายได้ในคลอโรฟอร์ม พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีความต้านทานต่อน้ำและกรดอินทรีย์เจือจางได้ดี แต่จะย่อยสลายได้ด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟูริกเข้มข้น นอกจากนี้ยังว่องไวกับด่างอีกด้วย เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์

ความต้านทานของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตต่อการเสียสภาพจากแสง(Photochemical degradation)อยู่ในเกณฑ์ดี บางครั้งการเสียสภาพจากความร้อน(Thermal degradation) จะเกิดขึ้นเมื่อพอลิเมอร์ถูกความร้อนเหนือจุดหลอมเหลว

2.2 กระบวนการอัดแบบชนิดเป่า

กระบวนการอัดแบบชนิดเป่าจัดเป็นเทคนิคที่ใช้ในการผลิตขวดและภาชนะอื่นๆที่มีรูปร่างกลวง(hollow shapes) โดยหลักการสามารถแบ่งการผลิตออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้เครื่องอัดรีด(extrusion)และประเภทที่ใช้เครื่องฉีด(injection) การอัดแบบชนิดเป่านี้มีข้อดีกว่ากระบวนการอัดแบบโดยทั่วไป คือ 1) สามารถผลิตขนาดของขวดที่มีขนาดเล็กจนถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

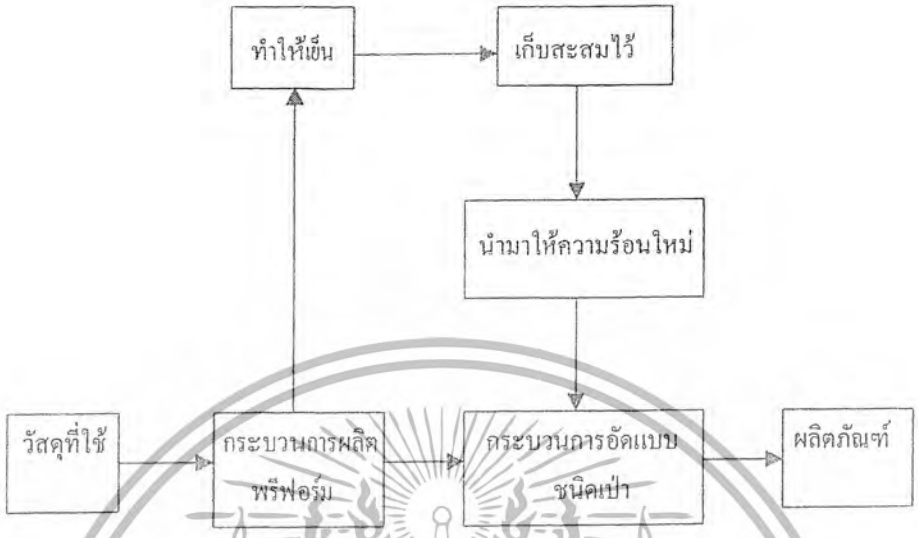
ขนาดใหญ่ได้(40-2,000 แกลลอน) 2) การออกแบบเหมาะสำหรับภาชนะที่มีผนังบาง(thin wall)และมีลักษณะเป็นเส้นโค้งวกเข้าด้านใน(reentering curve)ซึ่งการใช้กระบวนการอัดแบบชนิดอื่นๆทำได้ยากมาก 3) วัสดุที่ใช้เป็นที่แพร่หลาย เช่น พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต เป็นต้น 4) อัตราการผลิตสูง และ 5) ค่าใช้จ่ายในการอัดแบบต่ำได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา แต่เครื่องจักรและอุปกรณ์มีราคาแพง

2.2.1 หลักการของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า

หลักการของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่านี้ อาศัยหลักการพื้นฐานของการเป่าแก้ว กล่าวคือ ในการอัดรีดเมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนและอ่อนตัวผ่านดายน์แบบท่อที่มีลักษณะกลวง(hollow tube die)และอยู่ภายในแม่พิมพ์พร้อมมีตัวยึด พอลิเมอร์ที่ออกมาจากดายน์ประเภทนี้ เรียกว่า พาริซัน(parison) ซึ่งสามารถนำไปผ่านกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่ถ้าในกรณีของการฉีดหรือการอัดรีดที่พอลิเมอร์หลอมเหลวเกิดเป็นพรีฟอร์ม(preform)ในโพรงแบบก่อน จะต้องนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนใหม่(reheated process)ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าเมื่อได้พาริซันหรือพรีฟอร์มที่ได้รับความร้อนใหม่แล้ว จะเป่าอากาศเข้าไปในแม่พิมพ์ทำให้พาริซันหรือพรีฟอร์มที่ได้รับความร้อนใหม่เกิดการพองตัวเข้ากับรูปร่างตามแม่พิมพ์ เมื่อสัมผัสกับผิวของแม่พิมพ์ที่เย็นทำให้พอลิเมอร์เกิดการเย็นตัวแข็งตัวในที่สุด

รูปที่ 2.3 แผนภาพของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าประเภทพาริซัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผนภาพของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าประเภทพรีฟอร์ม

2.2.2 ชนิดของกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า

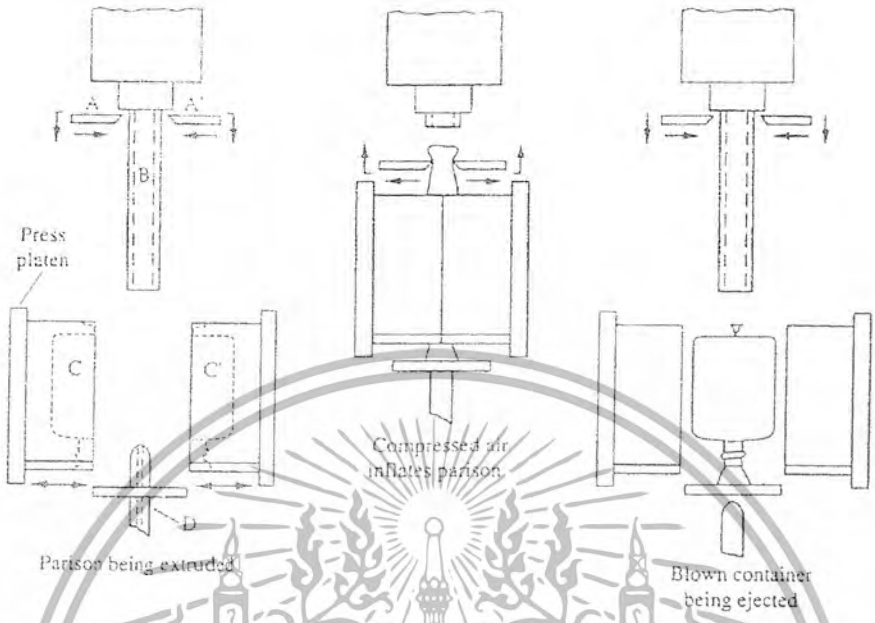
แบ่งกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าออกเป็น 5 ชนิดคือ

1. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบต่อเนื่อง (continuous extrusion blow molding)
2. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบเป็นระยะ (intermittent extrusion blow molding)
3. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีด (injection blow molding)
4. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการให้ความร้อนใหม่ (reheated blow molding)
5. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืด (stretch blow molding)

1. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบต่อเนื่อง

การอัดแบบชนิดนี้จะทำอยู่ในรูปพาริซัน เพื่อที่จะทำให้การอัดรีดเป็นแบบต่อเนื่อง สกรูจะป้อนของหลอมเหลวผ่านหัวดายน์เพื่อทำให้เกิดพาริซันต่อเนื่อง เมื่อได้ดายน์ที่มีความยาวของพาริซันตามกำหนดแม่พิมพ์โพรงแบบที่แยกออกจากกัน จะมาปิดล้อม รอบส่วนของพาริซันและทำให้ปลายหนึ่งเข้าหน้ากัน(crimp) ส่วนของหมุดเป่า(blow pin)ที่อยู่ตรงข้ามกับปลายที่เข้าหากันหรือปลายปิดจะถูกฉีดด้วยอากาศอัด(compressed air) โดยจะเป่าให้พาริซันพองออกเข้ากับรูปร่างภายในแม่พิมพ์ เมื่อพาริซันสัมผัสกับผิวของแม่พิมพ์ที่เย็นจะทำให้พาริซันเย็นลงและแข็งตัวดังแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบต่อเนื่อง

ประโยชน์ของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบต่อเนื่อง

1. อัตราการผลิตสูง
2. เหมาะสำหรับวัสดุที่ว่องไวต่อความร้อน เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น
3. ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่ำ
4. สามารถโปรแกรมพาริซันได้ (การเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังในระหว่างการเกิดพาริซัน)

ขีดจำกัดของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบต่อเนื่อง

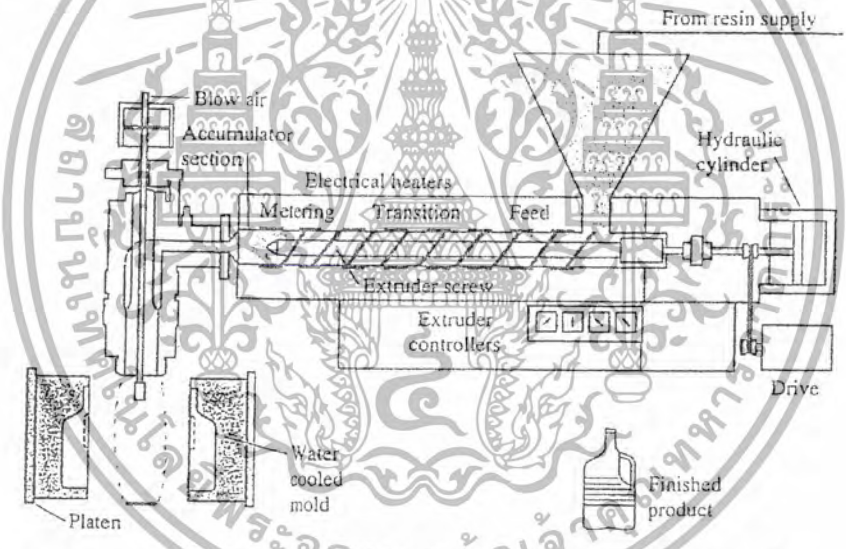
1. ต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงในการหลอมเหลวสูง (high melt strength) เช่น พอลิสไตรีนอเนกประสงค์และพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต โดยจะต้องมีค่าดัชนีการหลอมไหล(MFI)น้อยกว่า 2.0

2. ขนาดของชิ้นงานถ้าใหญ่มากเกินไปจะทำให้เกิดการดึงลง(draw down) เกิดรอยโค้ง(pinch off)ตรงส่วนล่างสุดของภาชนะ โดยปกติขนาดของชิ้นงานจะน้อยกว่า 1.5 นิ้ว (3.8 เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบเป็นระยะ

การอัดแบบชนิดเป่าลักษณะนี้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด 5-10 แกลลอน วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีเสถียรภาพทางความร้อนดี เครื่องอัดรีดแบบนี้จะใช้สกรูที่แลกเปลี่ยนกันได้(reciprocating screw) ซึ่งมีวิธีการคล้ายกับการอัดแบบชนิดฉีด บางครั้งเรียกว่า การอัดรีดแบบสั้น(short extrusion) เครื่องอัดรีดจะหลอมและสะสมเรซินที่หลอมเหลวตรงปลายสุดของกระบอกใส่ เมื่อสกรูถอยกลับทำให้เกิดการสะสมของพลาสติก โดยมีส่วนของแม่พิมพ์ติดอยู่กับแผ่นโลหะที่เปิด ปิดและปล่อยขวดออกได้ การอัดแบบชนิดนี้ส่วนของพาริซันจะถูกอัดรีดอย่างรวดเร็ว การอัดแบบ การหล่อเย็นและการนำชิ้นงานออกเกิดขึ้นภายใต้หัวดายน์ของเครื่องอัดรีดดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบเป็นระยะ

<u>ประโยชน์ของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการอัดรีดแบบเป็นระยะ</u>

1. เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่ว่องไวต่อความร้อน เช่น พอลิโอลิฟินส์ เป็นต้น

2. ขนาดของผลิตภัณฑ์ทำได้ถึง 10 แกลลอน ซึ่งจัดเป็นชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ จึงช่วยกำจัดการดึงลง(draw down)และกลไกของการปิดผนึก(seal-off mechanism)

3. สามารถผลิตชิ้นงานที่มีด้ามจับได้ (แต่จะต้องตัดส่วนเกินออกทำให้เหลือเศษพลาสติก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

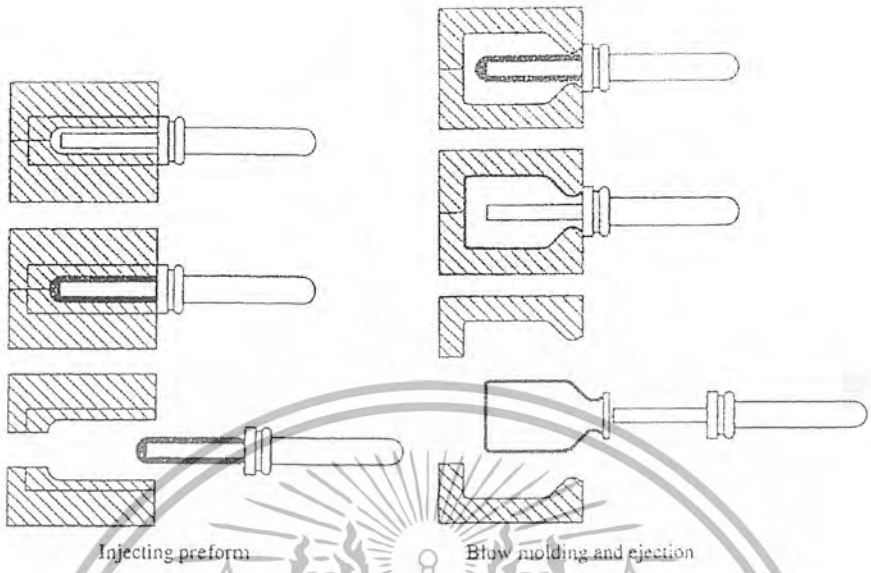
4. ในกรณีที่ต้องการชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และยาวกว่า 10 แกลลอน อาจต้องเพิ่มหน่วยสะสม(accumulator) เพื่อเตรียมการฉีดที่ต้องการขนาดใหญ่ขึ้น(bigger shot) สาเหตุที่ต้องมีหน่วยสะสม ก็เพื่อให้การฉีดเข้าดายน์ทำได้ด้วยอัตราสูงและมีการสะสมวัสดุเพื่อเข้าและออกได้อย่างเหมาะสม

3. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีด

กระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีดนี้ เหมาะสำหรับการทำพรีฟอร์ม ซึ่งโดยปกติการอัดแบบชนิดนี้มี 3 ขั้นตอน คือ (1) การอัดแบบชนิดฉีดในลักษณะเป็นพรีฟอร์ม (2) การเป่าพรีฟอร์มให้เกิดรูปร่างตามต้องการ และ (3) การปลดชิ้นงาน โดยในขั้นตอนแรกพลาสติกหลอมเหลวที่อยู่ในเครื่องอัดรีดของสกรูที่มีการแลกเปลี่ยน(reciprocating screw extruder)จะถูกฉีดเข้าไปยังโพรงแบบของแม่พิมพ์ที่แยกส่วนเพื่อทำให้เกิดเป็นพรีฟอร์ม ต่อจากนั้นจะมีการปรับสภาวะอุณหภูมิของแม่พิมพ์ ได้พรีฟอร์มมีลักษณะคล้ายหลอดทดสอบที่ได้รับการปรับแต่งและมีลักษณะเป็นเกลียวอยู่ตอนบน จากนั้นจึงอัดแบบให้ใกล้กับขีดจำกัดที่ต้องการ พรีฟอร์มที่ได้จะถูกถ่ายโอนด้วยแกนเหล็ก(core rod)ไปยังหน่วยอัดแบบชนิดเป่าโดยใช้อากาศผ่านแท่งกลมที่อยู่ตรงแกนกลาง เพื่อขยายพรีฟอร์มที่ปรับสภาพแล้วไปยังโพรงแบบของแม่พิมพ์เป่าที่ทำด้วยอะลูมิเนียม เมื่อได้ภาชนะจากแม่พิมพ์แล้วจะมีการถ่ายโอนอีกครั้งหนึ่งด้วยแกนเหล็กไปยังหน่วยปลดชิ้นงานและเครื่องอัดแบบเป่าโดยอาศัยการฉีด บางชนิดมีหน่วยเพิ่มเติมซึ่งอาจอยู่ระหว่างหน่วยฉีดพรีฟอร์มและหน่วยแม่พิมพ์สำหรับเป่า เพื่อเตรียมเวลาที่ใช้ปรับสภาพอุณหภูมิให้มากพอหรืออาจอยู่ระหว่างสถานีแม่พิมพ์สำหรับเป่าและสถานีปลดชิ้นงานเพื่อเตรียมเวลาให้มากพอสำหรับการตกแต่งขั้นต่อไป เช่น การประทับตราขณะร้อน(hot stamping)หรือการติดฉลาก(labeling) นอกจากนี้อาจอยู่ระหว่างชั้นของการปลดชิ้นงานกับชั้นแม่พิมพ์ฉีดพรีฟอร์มเพื่อเตรียมเวลาสำหรับตรวจสอบความไม่เหมาะสมของการปลดภาชนะที่ติดอยู่กับแกนเหล็กดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีด

<u>ประโยชน์ของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีด</u>

1. ได้ภาชนะที่เสร็จเรียบร้อยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการตกแต่งอื่นใด
2. ไม่มีเศษพลาสติกเหลือ
3. มีการตกแต่งคอขวดได้ดีโดยเฉพาะในเรื่องของขนาดและลักษณะที่ปรากฏ
4. ไม่มีรอยโค้ง (pinch off or scam failure)
5. สามารถปรับให้เหมาะกับภาชนะปากกว้าง (wide mouth containers)
6. สามารถทำได้โดยอัตโนมัติ
7. ไม่มีขีดจำกัดในเรื่องของความหนืด สามารถทำแบบที่มีความหนืดสูงหรือต่ำได้
8. ควบคุมความหนาของผนังได้อย่างแน่นอน
9. สามารถกำหนดความหนาของผนังไว้ล่วงหน้าอย่างถูกต้อง

<u>ขีดจำกัดของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการฉีด</u>

1. ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องมือแพงมากกว่าเครื่องอัดแบบชนิดฉีด
2. จำกัดขนาดของขวด (น้อยกว่า 1 แกลลอนต่อนาที)
3. เหมาะสำหรับชิ้นงานที่ไม่มีด้ามจับ
4. เครื่องมือราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55559

4. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการให้ความร้อนใหม่

กระบวนการนี้เกิดขึ้นจากความร่วมมือของ 2 บริษัทใหญ่ในอเมริกา คือ บริษัทดูปอง(Dupont Co.)ซึ่งมีชื่อทางการผลิตพอลิเอสเทอร์ และบริษัทซินซินนาติไมลาครอน(Cincinnati Milacron Co.)ซึ่งมีชื่อเสียงทางด้านกระบวนการอัดแบบชนิดฉีด ในกระบวนการนี้แบ่งออก เป็น 2 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.8

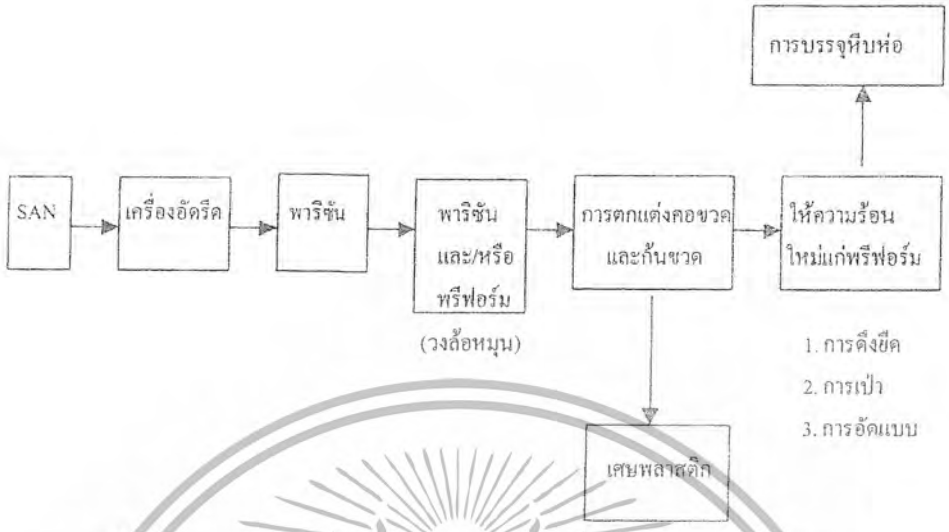
รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการให้ความร้อนใหม่

5. การอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืด

การอัดแบบชนิดนี้บางครั้งเรียกว่าการอัดแบบชนิดเป่าที่มีการจัดเรียงตัวแบบสองทิศทาง(biaxial orientation)ซึ่งอาจใช้กับระบบอัดรีดหรือระบบฉีดก็ได้ โดยภาชนะจะถูกดึงยืดออกตามแนวรัศมีด้วยอากาศที่เป่าเข้าไป และมีการดึงยืดออกตามแกนตั้งโดยอาศัยวิธีทางกล ผลที่ได้ทำให้โมเลกุลมีการวางตัวอยู่ใน 2 ระนาบและทำให้ภาชนะสำเร็จรูปมีความแข็งมากขึ้น วัสดุที่นำมาใช้ ได้แก่ พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

บริษัทที่นำเทคนิคนี้มาใช้เป็นครั้งแรก ได้แก่ บริษัทมอนซานโต(Monsanto Co.) โดยใช้สไตรีนอะคริโลไนไตร์(SAN)เป็นวัตถุดิบ พบว่าภาชนะที่ได้มีสมบัติขวางกั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี(good barrier properties)และซึมผ่านได้ดี(permeability) มีความใสและขาว โดยมีชื่อทางการค้าว่าบาเร็กซ์(BAREX) รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตของมอนซานโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าแบบมอนซานโต

จากแผนภาพแบ่งลำดับขั้นตอนของการอัดแบบชนิดเป่าออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การดึงยืด(stretching)ที่เกิดขึ้นตามแนวแกน
2. การเป่า(blowing)ที่มีทิศทางอยู่ตามขวาง

<u>ประโยชน์ของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืด</u>

1. ปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก(impact)
2. ปรับปรุงสมบัติทางความใส(clarity)
3. ลดน้ำหนักของขวด
4. ปรับปรุงความแข็งแรงในการรองรับน้ำหนัก(stacking strength)
5. เพิ่มความสามารถในการซึมผ่าน(ความต้านทานต่อก๊าซ)

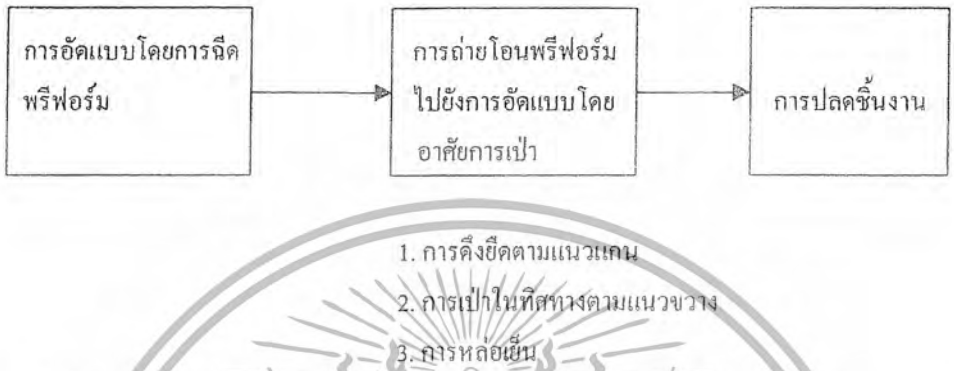
<u>ขีดจำกัดของการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืด</u>

1. ทำให้เกิดเศษพลาสติก
2. เกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์(HCN) ซึ่งเป็นก๊าซพิษ ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการได้

ในกรณีของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตสามารถแบ่งกระบวนการออกเป็น 2 แบบ คือ แบบขั้นตอนเดียว(single stage)ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และแบบสองขั้นตอน ซึ่งก็คือการให้ความร้อนใหม่(RHB) ในกรณีที่เป็นแบบขั้นตอนเดียวจะคล้ายกับการอัดแบบ

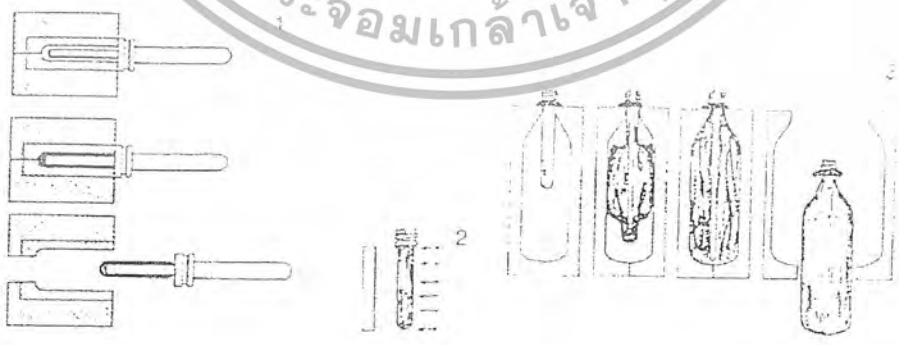
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดเป้าที่อาศัยการฉีดแต่มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยทุกขั้นตอนจะเกิดรอบการทำงานขึ้นทันที



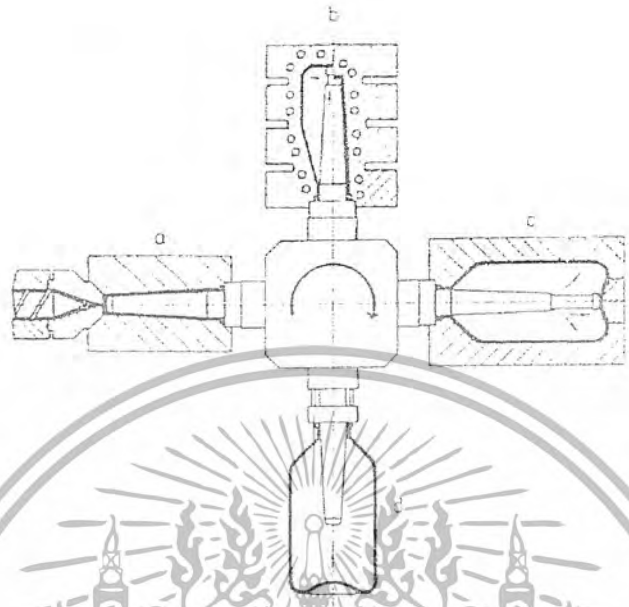
รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืดแบบขั้นตอนเดียว

ในกรณีที่เป็นแบบสองขั้นตอน(RHB) ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการให้ความร้อนใหม่ พบว่าจะช่วยลดเวลาของรอบการทำงาน ลดน้ำหนักของขวด(มีเครื่องมือที่จะควบคุมความหนาของผนัง) ปรับปรุงสมบัติเป็นตัวขวางกั้น สามารถออกแบบพรีฟอร์มได้อย่างเหมาะสมและสามารถต้านทานต่อไฟฟ้าสถิตย์และฝุ่นละออง จึงทำให้ควบคุมกระบวนการได้ง่ายดังแสดงในรูปที่ 2.11 ส่วนในรูปที่ 2.12 แสดงรอบการทำงานของการดึงยืดทั้งสองขั้นตอน



รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าโดยอาศัยการดึงยืดแบบสองขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รอบการทำงานของการอัดแบบชนิดเป้าแบบดึงยืดขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอน

2.2.3 การเลือกกระบวนการอัดแบบชนิดเป้าเพื่อผลิตชิ้นงาน

ตัวแปรที่ต้องพิจารณาในการเลือกกระบวนการอัดแบบชนิดเป้าที่เหมาะสม เพื่อใช้ผลิตชิ้นงานมีดังต่อไปนี้คือ

1. วัสดุที่ใช้ต้องพิจารณาถึงจุดหลอมเหลว ความหนาแน่น การหดตัว ดัชนีการหลอมเหลว ความทนทานต่อแรงกระแทก ความต้านทานต่อการเกิดรอยแตกเนื่องจากความเค้นและอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

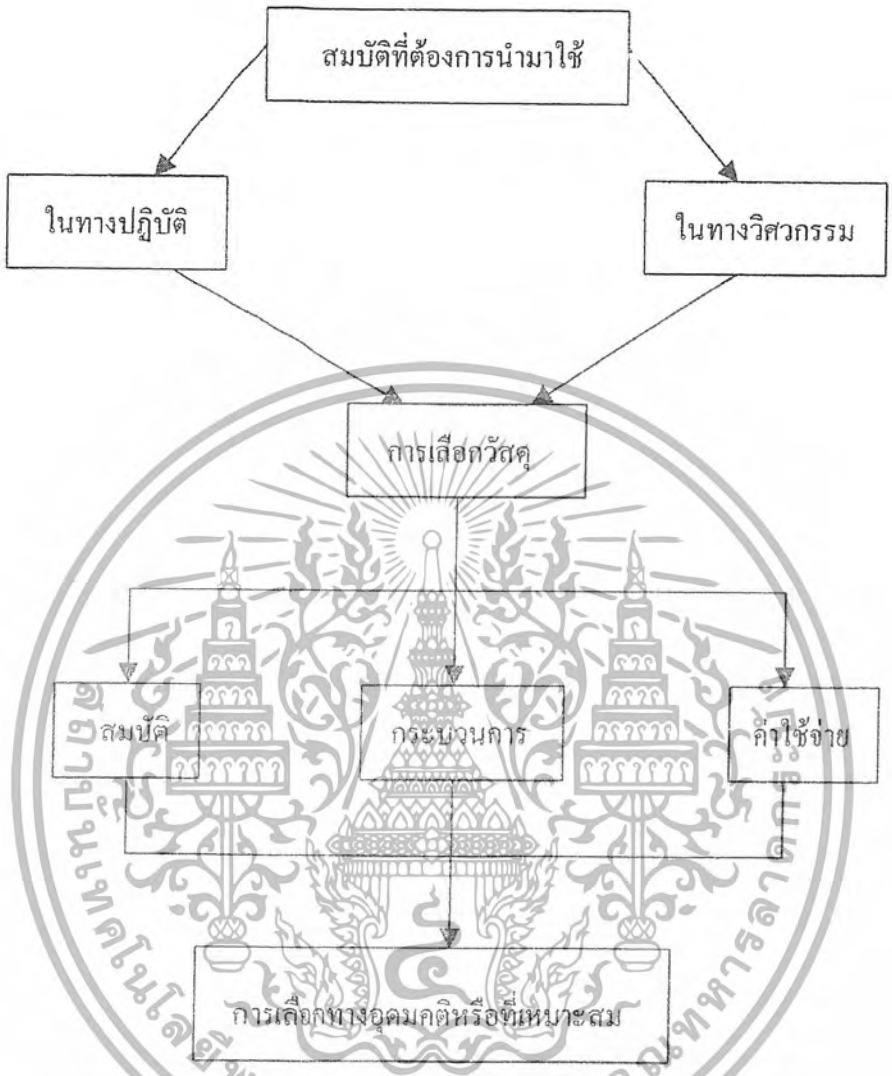
2. ระยะเวลาในการผลิต เช่น พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต มีสองวิธีคือ แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน จำเป็นต้องเลือกระยะเวลาในการผลิตที่เหมาะสมกับความต้องการของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

3. อัตราผลผลิตหรือรอบการทำงาน ขึ้นอยู่กับการออกแบบและความหนาของชิ้นงาน

4. ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์ การลงทุนและค่าใช้จ่ายทำแม่พิมพ์

5. การออกแบบผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการและลักษณะ รวมทั้งสมบัติของวัสดุและความเป็นไปได้ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการทำและค่าใช้จ่าย ดังแสดงในแผนภาพ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงวิธีการเลือกการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.2.4 ปัญหาที่พบในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า

ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของอุณหภูมิลดต่ำลงหรือสูงขึ้น ความดันที่เปลี่ยนแปลง การสึกกร่อนของชิ้นงาน การจัดวางตัวหรือเวลาที่ไม่เหมาะสมล้วนแล้วแต่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อสิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นจำเป็นต้องหาทางแก้ไขโดยทันทีดังแสดงในตารางที่ 2.4 2.5และ2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ข้อแนะนำเกี่ยวกับการแก้ปัญหาในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า ช่วงการเกิดพาริซัน

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
พาริซันงอตัว (parison curl)	ผนังไม่สม่ำเสมอ	1. วางแนวดายน์ใหม่ 2. ให้ความร้อนที่สม่ำเสมอ
พาริซันมีลักษณะหยาบ (rough parison)	1. อุณหภูมิของการหลอมเหลวต่ำเกินไป 2. ของหลอมเหลวเกิดรอยแตก	1. ให้ความร้อนตลอดทั้งระบบ 2. พยายามออกจากบริเวณที่เกิดรอยแตกหรืออัตราความเฉือน โดย : ก. เพิ่มอุณหภูมิ ข. เข้าใกล้ดายน์ ค. เพิ่มหรือลดความดันลง
การเกิดโดนัท (doughnut formation)	1. อุณหภูมิของแกนเหล็กหมุนยังไม่ถึงจุดที่กำหนด 2. แกนเหล็กหมุนไม่เกิดการขยายตัวและอยู่ต่ำกว่าดายน์ 3. ผิวหน้าของดายน์สกปรก 4. แม่พิมพ์ขีดข่วนส่วนของดายน์	1. ปล่อยให้แกนเหล็กหมุนถึงสมดุลด้วยการพักระบบ 2. ปรับแกนเหล็กหมุนให้ยื่นออกมาน้อยที่สุด 0.015-0.020 นิ้ว 3. ทำความสะอาดดายน์ 4. วางตำแหน่งของแม่พิมพ์ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปนเปื้อน (contamination)	1. วัสดุในระบบเสียคุณภาพ 2. ในระบบมีบริเวณยึดเกาะ 3. การดูแลรักษาไม่ดี	1. ทำความสะอาดระบบทั้งหมดและพยายามหลีกเลี่ยงการปิดเครื่องเมื่อมีวัสดุอยู่ที่อุณหภูมิสูง 2. ปรับปรุงลำสายภายในหัวดายน์และตรวจสอบรอยต่อและข้อต่อที่แยกส่วนประกอบออกและทำความสะอาด ตรวจสอบและทำความสะอาดพื้นที่โดยเฉพาะระบบการนำพาริซันและส่วนที่นำมาบดผสมใหม่
คอขวดตก (neck down)	1. การเลือกวัสดุไม่เหมาะสม 2. อุณหภูมิของการหลอมเหลวสูงเกินไป 3. รอบการทำงานช้าเกินไป	1. ใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูงหรือดัชนีการหลอมเหลวต่ำ 2. ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวต่ำลง 3. เพิ่มความเร็วของสกรู
แนวเส้นของดายน์และรอยต่อ (die lines)	1. การผสมวัสดุที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของความหนาแน่นและดัชนีการหลอมเหลว 2. รอยแหว่งหรือรอยขีดข่วนในดายน์หรือแกนเหล็กหมุน 3. สิ่งขัดขวางการไหลในดายน์และหัวดายน์หยุดอยู่นิ่งและยึดเกาะ	1. ใช้ดัชนีการหลอมเหลวของผสมเป็น 3 ต่อ 1 (ไล่วัสดุหนึ่งออกก่อนจะนำวัสดุอื่นเข้าไป) 2. ขัดผิวรูเปิด 3. ทำให้การไหลต่อเนื่องโดยการเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์หรือเพิ่มความดันในการเป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ข้อแนะนำเกี่ยวกับการแก้ปัญหาในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่า
ช่วงระหว่างการอัดแบบชนิดเป่า

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
การเป่าไม่พอเพียง (Insufficient blowing)	1. ปริมาณของอากาศมีขีดจำกัดหรือหมด 2. การทำรอยโค้ง(pinch-off) มากเกินไป 3. รอยโค้งร้อนเกินไป ไม่มีการเชื่อมต่อ	1. เตรียมอากาศให้พอเพียง 2. เตรียมพื้นที่สำหรับทำรอยโค้งให้กว้างพอ(0.02-0.12 นิ้ว) 3. ทำให้แม่พิมพ์เย็นลงอย่างสม่ำเสมอ
ชิ้นงานแตก (part blowout)	1. การแยกของแม่พิมพ์ 2. ชิ้นงานร้อนเกินไป 3. พาริซันแตก 4. อัตราส่วนการเป่าสูงเกินไป	1. ต้องการเครื่องจักรที่มีกำลังความสามารถในการยืดมากขึ้น 2. ต้องการการหล่อเย็นนานขึ้น 3. ใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงของหลอมเหลวสูง 4. ใช้ดายน์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น
ด้ามจับมีลักษณะเป็นใย (webbing handle)	อุณหภูมิต่ำเกินไป	1. ลดอัตรวความเฉือนของวัสดุลงโดยให้ความร้อนแก่หัวดายน์ 2. เพิ่มอุณหภูมิการหลอมเหลวหรือลดความเร็วของพาริซันลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบการทำงานนานเกินไป (excessive cycle)	1. ชิ้นงานร้อนเกินไป 2. การหล่อเย็นในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ 3. การเลือกวัสดุไม่เหมาะสม	1. ลดอุณหภูมิของการหลอมเหลว ลดความหนาของผนังชิ้นงานหรือเพิ่มความดันของอากาศสำหรับเป่า 2. ลดอุณหภูมิของการหล่อเย็นแม่พิมพ์ 3. เพิ่มความหนาแน่นของวัสดุ เพิ่มดัชนีการหลอมเหลวโดยการลดอุณหภูมิเดิมลง

ตารางที่ 2.6 ข้อแนะนำเกี่ยวกับการแก้ปัญหาในกระบวนการอัดแบบชนิดเป่าช่วงภายหลังการอัดแบบชนิดเป่า

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
ผิวไม่ดี	1. อุณหภูมิของการหลอมเหลวต่ำเกินไป 2. บริเวณดายน์เย็นเกินไป 3. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไป(เกิดจากการควบแน่นของน้ำในแม่พิมพ์) 4. การตกแต่งแม่พิมพ์ 5. การระบายอากาศไม่เพียงพอ 6. อากาศไม่เพียงพอ 7. วัสดุมีดัชนีการหลอมเหลวต่ำ	1. เพิ่มอุณหภูมิของการหลอมเหลว 2. เพิ่มอุณหภูมิของดายน์และ/หรือแกนเหล็กหมุน 3. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์เพื่อปรับสภาวะของอากาศ 4. อาจทำให้หยาบหรือเรียบมากขึ้น 5. แม่พิมพ์มีทางระบายอากาศ 6. เพิ่มความดันในการเป่าหรือเพิ่มขนาดของรูเปิดอากาศ 7. เพิ่มดัชนีการหลอมเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นแบ่งแนวเป็นร่องลึก (Indented parting line)	1. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ต่ำเกินไป 2. ความดันที่ใช้เป่าต่ำเกินไป 3. การดักจับอากาศ	1. เพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ 2. เพิ่มความดันที่ใช้เป่าหรือเพิ่มขนาดของช่องเปิดอากาศ 3. ปรับปรุงทางระบายอากาศของแม่พิมพ์
การโก่งงอทางด้านบนหรือด้านล่าง (warpage)	การหล่อเย็นไม่เพียงพอ	เพิ่มเวลาในการหล่อเย็น เตรียมการหล่อเย็นให้มากพอในบริเวณรอยโค้งของแม่พิมพ์และ/หรือลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์
ปลายของพาริซันติดอยู่กับชิ้นงาน (parison tail sticking to part)	1. พาริซันยาวเกินไป 2. รอยโค้งของฐานแม่พิมพ์ออกแบบไม่เหมาะสม	1. ลดเวลาของรอบการทำงานเพื่อให้ปลายพาริซันสั้นลง 2. ออกแบบรอยโค้งเพื่อให้ส่วนปลายมีการหล่อเย็นจัด (compression-cool)
ชิ้นงานเกิน (flashing)	1. ของหลอมเหลวร้อนเกินไป 2. ความดันที่ใช้เป่าสูงเกินไป 3. การแบ่งส่วนของแม่พิมพ์ 4. ทางระบายอากาศใหญ่เกินไป	1. ลดอุณหภูมิของหลอมเหลว 2. ลดความดันที่ใช้เป่า 3. เพิ่มการยึดบนแม่พิมพ์และ/หรือลดความดันที่ใช้เป่า 4. ลดทางระบายอากาศให้มีความลึก 0.003 นิ้วและยาว 0.04-0.05 นิ้ว โดยมีความลึกมากกว่าขอบของแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของผนังเปลี่ยนแปลง (variable wall thickness)	1. ของหลอมเหลวร้อนเกินไป (parison sag) 2. ความแข็งแรงของหลอมเหลวไม่เพียงพอ 3. ดายน์ไม่อยู่ในแนวที่วางไว้ 4. อัตราส่วนการเป่ามากเกินไป 5. อุณหภูมิของดายน์ไม่สม่ำเสมอ	1. ลดอุณหภูมิของการหลอมเหลว 2. ลดดัชนีของการหลอมเหลวและ/หรือเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุ 3. ปรับและวางดายน์อยู่ตรงกลาง 4. เปลี่ยนขนาดของดายน์ 5. ให้ความร้อนแก่ดายน์และบริเวณที่เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ
การหดตัวที่มากเกินไป (excessive shrinkage)	1. ความหนาของผนัง 2. อุณหภูมิของแม่พิมพ์สูงเกินไป 3. อุณหภูมิของหลอมเหลวสูงเกินไป 4. ความดันที่ใช้เป่าไม่เพียงพอ 5. วัสดุมีการหดตัวสูง	1. ลดความหนาของผนังและ/หรือทำให้ผนังสม่ำเสมอ 2. ลดอุณหภูมิของการหล่อเย็นแม่พิมพ์และ/หรือเพิ่มแกนกลางแม่พิมพ์ 3. ลดอุณหภูมิของการหลอมเหลว 4. เพิ่มความดันที่ใช้เป่า 5. ลดความหนาแน่นของวัสดุ
การบิดเบี้ยวหลังการอัดแบบ (post-molding distortion)	1. ชิ้นงานที่ออกมาร้อนเกินไป 2. การหล่อเย็นในบริเวณพื้นที่บางและหนาแตกต่างกัน	1. หล่อเย็นแม่พิมพ์ให้นานขึ้น 2. พิจารณาชิ้นงานที่เกี่ยวกับการหล่อเย็นและ/หรือการหล่อเย็นด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระแทกหรือความต้านทานต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ (low impact or environmental stress crack resistance)	1. การออกแบบชิ้นงาน 2. วัสดุเย็นไป 3. ดัชนีการหลอมเหลวสูงเกินไป 4. ความหนาแน่นสูงเกินไป	1. ลบมุมที่เกินออกไปและ/หรือทำให้ผนังสม่ำเสมอ 2. เพิ่มความร้อนของกระบอกสูบให้ใกล้บริเวณป้อนวัสดุ (โดยการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ) 3. ลดดัชนีการหลอมเหลว 4. ลดความหนาแน่นของวัสดุ
ชิ้นงานติดอยู่ที่หมุดเป่า (sticking to blow pin)	เกิดความร้อนรอบหมุดเป่าสูงเกินไป	1. ลดอุณหภูมิที่มีอยู่เดิม 2. เพิ่มการหล่อเย็นแก่หมุดเป่าโดยการเจาะรูเป็นเส้นรอบรูปเท่าๆกันและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.010-0.015 นิ้ว
การเกิดเจล	1. เรซินเย็นไป 2. เกิดการปนเปื้อน	1. ปล่อยให้เรซินมีอุณหภูมิที่สมดุลก่อนที่จะนำเข้าเครื่องจักร โดยการเพิ่มอุณหภูมิที่มีอยู่หรือใช้ส่วนป้อนสารที่ร้อน 2. ตรวจสอบวัสดุที่จะนำมาป้อนก่อนเพื่อทำความสะอาดสารที่นำมาบดใหม่

2.2.5 สารเติมแต่งในพลาสติก

หน้าที่ของสารเติมแต่งสรุปได้ดังนี้

1. มีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
2. มีความเสถียรต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก
3. มีความเสถียรต่อสภาพเงื่อนไขที่นำไปใช้งาน
4. ต้องไม่หลุดลอกจากพลาสติกไปสู่วัสดุอื่นๆ
5. ต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีรสชาด ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ราคาถูก

7. ต้องไม่ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เสีย

สารเติมแต่งในพลาสติก ได้แก่

- สี (Colorants)

สีช่วยให้พลาสติกมีสีน่าใช้งานจัดประเภทของสีที่ผสมในพลาสติกได้4ชนิดคือ

1. สีย้อม(Dyes) สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างทางเคมีซับซ้อนละลายในพลาสติก ทำให้วัสดุเกิดสีได้ด้วยการเกิดพันธะเคมีกับโมเลกุลของวัสดุพอลิเมอร์ ใช้กับพอลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงๆ สีย้อมให้สีที่มีความใสดีเลิศ แต่ไม่ทนต่อความร้อนและแสง โดยทั่วไปมีโครงสร้างของ azo และ anthraquinone เป็นพื้นฐาน

2. เม็ดสีอินทรีย์(Organic pigments) คำว่าเม็ดสี(pigments) หมายถึง ไม่ละลายในตัวทำละลายหรือในเรซินเพียงแต่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเรซิน มีขนาด 0.01-1 ไมโครเมตร เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักก่อให้เกิดปัญหาสีตก สีหลุดออกจากผลิตภัณฑ์ขณะใช้งาน ซึ่งอาจก่อปัญหาต่อสุขภาพ เม็ดสีอินทรีย์ให้สีทึบแสงแต่สดใสหรือให้สีโปร่งแสงและสีโปร่งใสแต่ไม่เท่าความสดใสที่ได้จากสีย้อม มีโครงสร้างหลายแบบทั้งที่เป็น azo nonazo polycyclic และ heterocyclic

3. เม็ดสีอนินทรีย์(Inorganic pigments) คือสารเคมีที่มีโครงสร้างง่ายๆ กระจายตัวในเนื้อเรซินได้ง่าย สีที่ได้จากสารประเภทนี้ไม่สดใสเท่าสองพวกแรก แต่เพราะมีโครงสร้างทางอนินทรีย์จึงทนความร้อนและแสงแดดได้ดี

4. เม็ดสีชนิดพิเศษ(Special-effect pigments) มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ผงละเอียดของแก้วสีต่างๆจัดเป็นสีทนทานต่อความร้อนแสงของพลาสติก จึงมักใช้กับงานตกแต่งภายนอก

เทคนิคการทำให้พลาสติกมีสีมี 4 วิธี คือ 1. การทาสี(painting)หรือเคลือบพื้นผิว(sursace coating) 2. การย้อมผิว(surface dyeing) 3. การผสมสีลงในพอลิเมอร์(mass colouration) และ 4. การใส่หมู่ที่ก่อให้เกิดสี(chromsphoric group)เข้าไปในโมเลกุลพอลิเมอร์ การทาสีหรือเคลือบพื้นผิวทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นและทำได้ยากในกรณีเป็นเส้นใย การย้อมผิวมีข้อจำกัดที่ว่าพอลิเมอร์ควรมีสภาพขั้วทำให้ติดกับสีได้ดี ส่วนการใส่หมู่ที่ก่อให้เกิดสีในสายโซ่พอลิเมอร์เป็นวิธียุ่งยากและแพง ปัจจุบันการผสมสีในพลาสติกจึงใช้วิธีการผสมสีลงในพอลิเมอร์ ถ้าสีมีการละลายในพอลิเมอร์ได้น้อยและเกิดการหลุดออกจากพอลิเมอร์ได้ วิธีป้องกันแก้ไข คือ ใช้สีที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Heat Stabilizer)

การหลอมเทอร์โมพลาสติกบางตัวในเครื่องจักรจำพวก Extruder (ซึ่งต้องให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเรซินนั้น) เมื่อผ่านกระบวนการผลิตที่อาศัยการหลอมเหลวหรือการหลอมละลาย(Melt process)ได้พลาสติกเหลวหรือน้ำพลาสติกร้อนๆข้นๆหนืดๆนั้น พลาสติกนั้นจะเสื่อมสภาพ(Degradation)เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นก่อนที่มีประโยชน์ใช้สอย ผลก็คือการแตกกรอบเสียหาย ซึ่งไม่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาใดๆขึ้นนอกจากปฏิกิริยาทางกายภาพคือการหลอมเหลวเท่านั้น จึงต้องมีการป้องกันปฏิกิริยาเคมีระหว่างการผลิตหรือป้องกันการเกิดการเสื่อมสภาพในระหว่างการผลิต ด้วยการเติมสารยกระดับความทนทานจากความร้อนสูงๆจากการผลิตให้มีเสถียรภาพทางความร้อนดีขึ้นด้วยสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน จะได้ชิ้นงานที่ปกติ

2.3 ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีชื่อย่อว่า PETE หรือ PET ชื่อย่อ PETE นี้ใช้เป็นเครื่องหมายจำแนกขวดพลาสติกหรือภาชนะเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนชื่อย่อ PET นี้ใช้ในวงการอุตสาหกรรมเคมี หมายถึง วัสดุพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งเป็นที่ยอมรับจาก American Society for Testing and Materials International (ASTM)และ International Organization for Standardization (ISO) ทั้ง PETE และ PET หมายถึงวัสดุพลาสติกชนิดเดียวกัน พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจัดเป็นพอลิเอสเทอร์ที่สามารถนำมาใช้ได้ในหลายรูปแบบ เช่น ถ้าอยู่ในรูปเส้นใยจะมีชื่อทางการค้าว่า Dacron และถ้าอยู่ในรูปฟิล์มจะมีชื่อทางการค้าว่า Mylar โดยทั่วไปใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าอุปโภคและบริโภคมากมาย เช่น ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำ ขวดเบียร์ ขวดยา ภาชนะบรรจุเนย ภาชนะใส่น้ำสลัด ขวดน้ำยาบ้วนปาก ขวดน้ำผลไม้ ขวดน้ำมันพืช เป็นต้น ซึ่งจะพบสัญลักษณ์รีไซเคิลที่ก้นภาชนะ ดังรูป

สมบัติ: เหนียว แข็งแรง ทนความร้อนสูง กั้นไม่ให้ความชื้นและก๊าซผ่าน ความหนาแน่น 1.35-1.38 g/cc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยคุณสมบัติที่ดีของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ทำให้ผู้ผลิตสนใจในการทำธุรกิจอุตสาหกรรมเป่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมากขึ้น ซึ่งคุณสมบัติต่างๆของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตได้แก่ (วารสารรอบรั้วพลาสติก , 2542)

- ขวดที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจะมีความใสมาก
- มีน้ำหนักเบากว่าขวดแก้วประมาณ 1/7-1/10 เท่าและไม่แตกเปราะง่ายหรือตกแตกเหมือนแก้ว
- มีคุณสมบัติพิเศษในการป้องกันก๊าซและการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ
- ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ได้รับการรับรองมาตรฐานเรื่องการบรรจุอาหารและยาจาก Food Sanitation Law และ US FDA.

2.4 กระบวนการรีไซเคิลขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

ในปัจจุบันขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตได้กลายเป็นบรรจุภัณฑ์สำคัญที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นกระบวนการรีไซเคิลขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต จึงถูกพิจารณาว่าเป็นทางเลือกที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่ง ในการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติก

กระบวนการรีไซเคิลขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่1 นำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่คัดแยกแล้วซึ่งยังเป็นชิ้นใหญ่อยู่ นำมาเข้าเครื่องโม่เพื่อบดย่อยมาเป็นพลาสติกชิ้นเล็กๆ

ขั้นที่2 นำมาเข้าเครื่องล้างซึ่งจะใส่ผงเคมีล้างและโซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์)

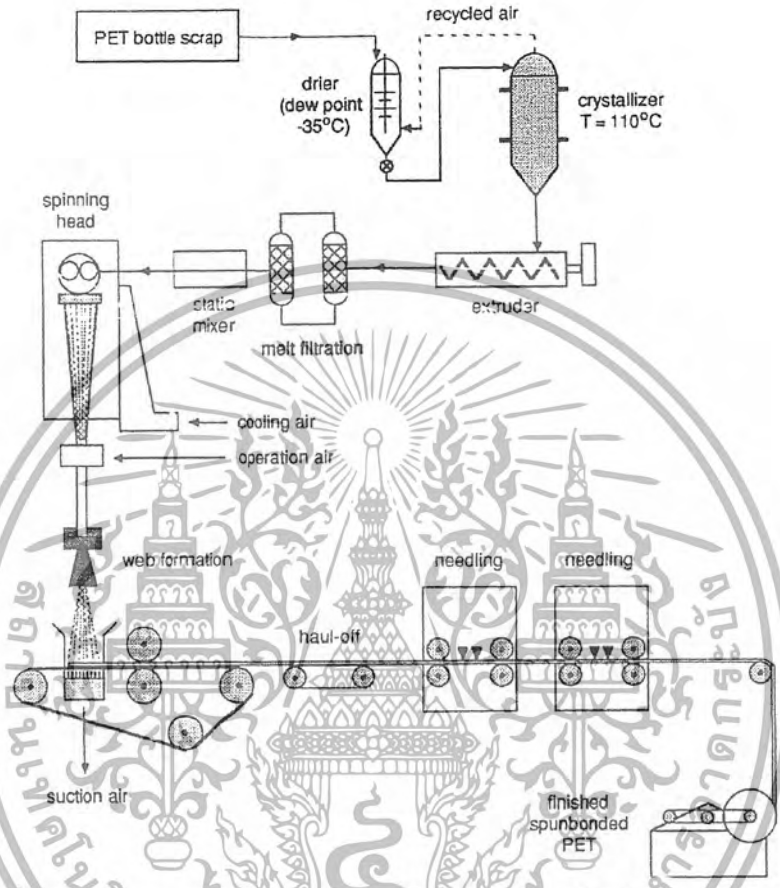
ขั้นที่3 นำมาเข้าเครื่องสลัดให้แห้งหมาดๆ

ขั้นที่4 นำมาเข้าเครื่องอบให้แห้งด้วยความร้อน

ขั้นที่5 นำมาเข้าเครื่องขึ้นรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปมีอยู่ 2 วิธี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีด เช่น เส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงกระบวนการรีไซเคิลขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

2. ขึ้นรูปด้วยเครื่องเป่า เช่น ขวด , ฟิล์ม

พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ได้จากการรีไซเคิลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ (John Scheirs , 1998)

- นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ บริษัทผู้ผลิตพรมปกติจะใช้พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ได้จากการรีไซเคิลนี้ในการผลิตพรมชนิดโพลีเอสเตอร์ ซึ่งมีสีสันและเนื้อพรมต่างๆกัน
- นำไปผลิตเป็นใยฝ้ายเทียมเพื่อใช้ในเครื่องนอน เช่น หมอน ฟูก ผ้านวม
- ทำเป็นฟิล์มใสเพื่อห่อสินค้า เช่น ห่อตลับเทปคาสเซ็ทหรือตลับวีดีโอ
- นำกลับไปเป็นขวดหรือภาชนะใส่อาหารอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปสรรคของการนำพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตกลับมาใช้ใหม่ คือ (John Scheirs , 1998)

- เมื่อรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตได้แล้ว พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเหล่านี้จะถูกนำไปใช้งานตามปกติไม่ได้ ต้องนำไป ใช้ทำอุปกรณ์อื่นๆทำให้ต้องแข่งขันกับพลาสติกตัวอื่นที่มีราคาต่ำกว่า
- กาวที่ติดฉลาก (ซึ่งเป็นพวกกรดหรือเอสเทอร์) เป็นสาเหตุทำให้การรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีสีและความใสลดลง
- ถ้าพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีความชื้นอยู่ พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเหล่านี้จะสลาย
- ตัวในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปใหม่ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลต่ำลงและทำให้ราคาไม่ดี
- ค่าใช้จ่ายในการเก็บพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตค่อนข้างสูง เพราะขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีความหนาแน่นต่ำ และต้องเข้มงวดในการแยกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตออกจากพลาสติกอื่นๆ
- ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและออกซิเดชัน จะทำให้พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีสีเหลืองและสมบัติเชิงกลลดลง

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา

1. อภิชัย เตียงประโคน (2543)

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและทนต่อการติดไฟจากขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและทนต่อการติดไฟ(FRUP) สามารถเตรียมได้จากการนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วมาสลายด้วยวิธีการทางเคมีในไกลคอลผสมระหว่างเอทิลีนไกลคอลและพรอพิลีนไกลคอล ในปริมาณมากเกินพอ โดยมีซิงค์อะซิเตทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลจากการวิเคราะห์ค่าไฮดรอกซิล เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีเมทรี พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นมอนอเมอร์ของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต คือ บิสไฮดรอกซีเอทิลเทเรพทาเลต(BHET) และ พบว่าปริมาณมอนอเมอร์ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมากขึ้นและ พบว่าแหล่งที่มาหรือชนิดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจะมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้เช่นกัน เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับมาเลอิกแอนไฮไดรด์และเตตระคลอโรพทาลิกแอนไฮไดรด์และมีสมบัติหน่วงการติดไฟจะได้เรซินเหลวที่มีความหนืดสูง ซึ่งสามารถทำให้แข็งตัวโดยใช้สไตรีนมอนอเมอร์เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์(MEKPO)เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาและโคบอลต์ออกโทเอทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดสอบสมบัติการหน่วงไฟของเรซินโดยการวัดดัชนีค่าจำกัดออกซิเจน(Limiting Oxygen Index : LOI) พบว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้มีค่า LOI อยู่ในช่วง 19.87-27.68 ซึ่งมีสมบัติหน่วงการติดไฟมากกว่าเรซินที่ใช้งานทั่วไปซึ่งมีค่า LOI เท่ากับ 12.73 ส่วนผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า การเพิ่มปริมาณเตตระคลอโรพทาลิกแอนไฮไดรด์จะทำให้สมบัติการทนแรงกระแทกของเรซินลดลง แต่มีความแข็งมากขึ้น ซึ่งผลจากการทดลองสรุปได้ว่าการใช้เตตระคลอโรพทาลิกแอนไฮไดรด์อัตราส่วน 0.2 โมล ปริมาณสไตรีน 30% โดยน้ำหนักจะให้ค่า LOI เท่ากับ 26.30 ค่าการทนแรงกระแทกเท่ากับ 5.61 กิโลจูลต่อตารางมิลลิเมตรและค่าความแข็งเท่ากับ 77.7

2. เพลินพิศ บูชาธรรม และ ศรารัตน์ มหาศรานนท์ (2544)

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษา การเตรียมอัลคิดเรซินที่นำไปใช้ทำเป็นสีที่ละลายน้ำได้จากขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ได้ใช้ปฏิกิริยาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ดีพอลิเมอไรเซชัน พอลิเอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลเป็นคาร์บอนิลตามลำดับ การตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ได้ผลที่เป็นไปตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปริมาณของตัวทำปฏิกิริยาที่ใช้แตกต่างกัน 6 สูตร การศึกษาคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เบื้องต้นของอัลคิดเรซินที่เตรียม พบว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้ทำเป็นสีที่สามารถละลายน้ำได้ในปริมาณมาก สัดส่วนปริมาณที่เหมาะสมที่สุด คือ ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว 31.6% โดยน้ำหนัก เพนตะอีริทริทอล 0.75% โดยน้ำหนัก ไตรเมทิลลอลโพรเพน 20.5% โดยน้ำหนัก กรดไขมัน 22.6% โดยน้ำหนัก กรดไอโซพทาลิก 7.5% โดยน้ำหนัก เกลือโซเดียมของไดเมทิล 5-ซัลโฟไอโซพทาเลต 2.5% โดยน้ำหนัก ไดบิวทิลทินออกไซด์ 0.4% โดยน้ำหนักและไตรเมลลิติกแอนไฮไดรด์ 4.2% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่ให้ผลิตภัณฑ์อัลคิดเรซินที่มีความเงางามและมีความหนืดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์
2. ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตบรรจุน้ำดื่ม/น้ำอัดลมที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

เครื่องหมายการค้าของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตบรรจุน้ำดื่ม	เครื่องหมายการค้าของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตบรรจุน้ำอัดลม
1. สิงห์ 2. สยาม 3. มิเนเร่ 4. เนสเล่ 5. น้ำทิพย์ 6. ไอโอ	1. โค้ก 2. เป๊ปซี่

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบ
2. เครื่องบดหยาบ
3. เครื่องบดละเอียด
4. เครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง
5. ปากคีบ
6. เครื่องตัดดัมเบล
7. เครื่องอินเจคชัน (Injection Machine)
8. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter , DSC) รุ่นDIAMOND DSC No.536N2031502 ของบริษัทPerkin
9. เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer , FT-IR) รุ่นFT-IR Spectrum GX No.60237 ของบริษัทPerkin
10. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริ (Thermogravimetric Analysis , TGA) รุ่นPIRIS 1 TGA No.537N2051001 ของบริษัทPerkin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD) รุ่นLR30K

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว

- นำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆมาแกะฝาและฉลากออก
- นำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วมาล้างทำความสะอาด
- นำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วมาตัดคอขวดและก้นขวดออก
- นำส่วนตรงกลางของขวดไปใช้ในการทดสอบต่อไป

3.3.2 การทดสอบหา สมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

การทดสอบโดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter , DSC)

- นำสารตัวอย่างมาตัดเป็นชิ้นน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัมแล้วไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 5 ตำแหน่งและบันทึกผล
- นำสารตัวอย่างที่ได้มาบรรจุลงในเซลล์ที่ทำด้วยอลูมิเนียม(aluminium pan) จากนั้นปิดปากเซลล์ด้วยเครื่องอัด
- กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิช่วง 50-300 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
- เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ จะแสดงถึงอุณหภูมิของการหลอมเหลว(T_m)และพลังงานในการหลอมผลึก(ΔH)

การทดสอบโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analysis , TGA)

- นำสารตัวอย่างมาตัดเป็นชิ้นน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัมแล้วใส่ลงในเซลล์(pan)สำหรับตรวจวัด จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน
- กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิช่วง 50-700 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
- เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก จะแสดงถึงอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว(T_{onset})และปริมาณสารตกค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบหาโครงสร้างทางเคมีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

<u>การทดสอบโดยใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer , FT-IR)</u>

เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตนำมาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์

- นำเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมาอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- นำเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมาขึ้นรูปดัมเบลด้วยเครื่องอินเจคชัน
- นำดัมเบลที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดหยาบ
- นำเศษดัมเบลที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด
- นำผงดัมเบลที่ได้มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์(Potassium bromide)แล้วอัดให้เป็นแผ่น
- นำมาติดไว้บนหน้าต่างเซลล์ จากนั้นบรรจุลงในที่บรรจุเซลล์
- วัดหาค่าหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ที่เลขคลื่นช่วง 4000-400 ซม.$^{-1}$ จำนวนสแกนเท่ากับ 4 ครั้ง

ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วนำมาวัดในรูปฟิล์ม

- ตัดพลาสติกตัวอย่างให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 0.9 x 0.9 ซม.^{2}
- นำมาติดไว้บนหน้าต่างเซลล์ จากนั้นบรรจุลงในที่บรรจุเซลล์
- วัดหาค่าหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ที่เลขคลื่นช่วง 4000-400 ซม.$^{-1}$ จำนวนสแกนเท่ากับ 4 ครั้ง

3.3.4 การทดสอบหาสมบัติเชิงกล ของขวด พอลิเอทิลีน เทเรพทาเลต ที่ใช้แล้ว ที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

<u>การทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง(Tensile tester)</u>

- ตัดพลาสติกตัวอย่างให้เป็นรูปดัมเบลด้วยเครื่องตัดดัมเบล โดยใช้ชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง
- กำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ น้ำหนักในการดึง(Load) 30 กิโลนิวตัน ความเร็วในการดึง(Speed) 50 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะในการดึง(Gauge Length) 25 มิลลิเมตร
- กราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง จะแสดงถึงความทนแรงดึง(Tensile strength)และเปอร์เซ็นต์การยืด(Elongation %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สมบัติทางความร้อน

4.1.1 ทดสอบโดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์

ในการหาสมบัติทางความร้อน เช่น อุณหภูมิของการหลอมเหลว(T_m)และพลังงานในการหลอมผลึก(ΔH)ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์ พบว่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ มีค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว และค่าพลังงานในการหลอมผลึกใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงเทอร์โมแกรม ของเม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้ว ที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ ที่ได้จากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อพิจารณากับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต พบว่าค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว และค่าพลังงานในการหลอมผลึก ของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้ว ที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆมีค่าต่ำกว่าของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมีค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวอยู่ที่ 245.01 องศาเซลเซียสและค่าพลังงานในการหลอมผลึกอยู่ที่ 33.72 จูลต่อกรัม แต่ยังไงก็ตามลักษณะของพีคยังเหมือนเดิม เพียงแต่ตำแหน่งของพีคและปริมาณความเป็นผลึกเปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้เข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้นขอให้พิจารณาตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดง ค่าอุณหภูมิ ของการหลอมเหลว และค่าพลังงาน ในการหลอมผลึก ของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิของการหลอมเหลว* (องศาเซลเซียส)	พลังงานในการหลอมผลึก* (จูลต่อกรัม)
เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	245.01	33.72
เป๊ปซี่	236.04	27.71
โค้ก	237.55	29.01
เนสเล่	238.55	29.21
มิเนเร่	237.17	30.07
สยาม	240.13	30.78
ไอโอ	238.56	31.13
น้ำทิพย์	238.55	31.20
สิงห์	238.35	33.02

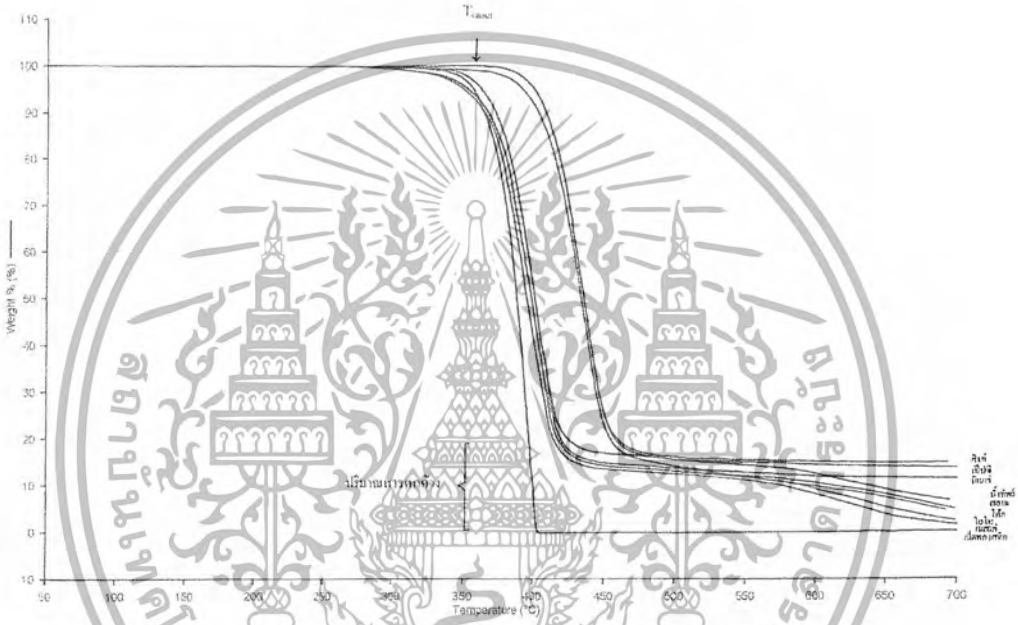
*ค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวและค่าพลังงานในการหลอมผลึกเป็นค่าที่ได้จากภาคผนวก ก

4.1.2 ทดสอบโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก

ในการหาสมบัติทางความร้อน เช่น อุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว(T_{onset})และปริมาณสารตกค้างด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก พบว่าในกรณีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจะสลายตัวหมดเลย ซึ่งเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 368.54 องศาเซลเซียสและสลายตัวหมดเลยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 402.40 องศาเซลเซียส ในกรณีของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวใกล้เคียงกัน แต่ไม่สลายตัวหมด พบว่ามีสารตกค้างทุกขวดในปริมาณที่เท่าๆกัน ซึ่งสารตกค้างนั้นก็คือสารเติมแต่งในกระบวนการขึ้นรูปขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต โดยสารเติมแต่งจะสลายตัวทีหลังดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงเทอร์โมแกรม ของเม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ ที่ได้จากเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก

เพื่อให้เข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้นขอให้พิจารณาตารางที่ 4.2 โดยปริมาณสารตกค้างคำนวณได้จาก

ปริมาณสารตกค้าง = 100 - ปริมาณสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

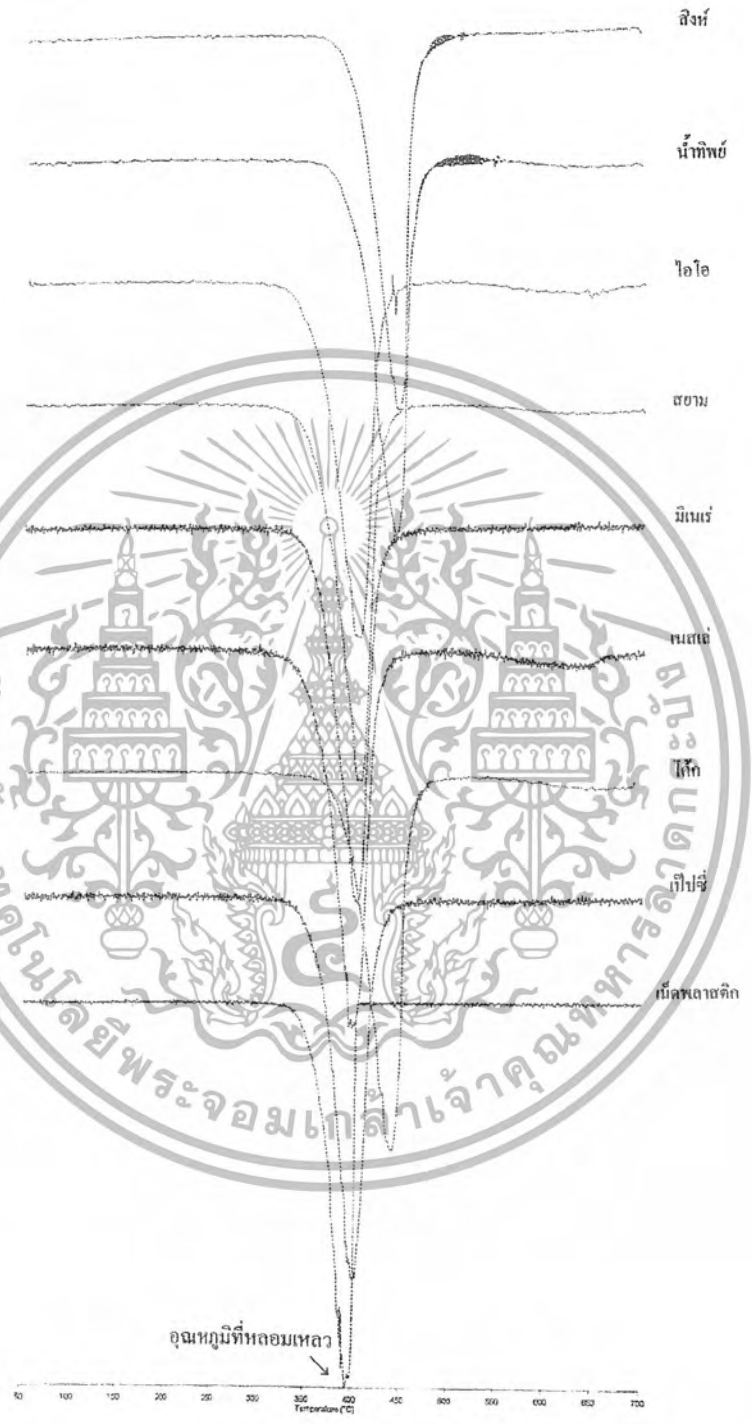
ตารางที่ 4.2 แสดง ค่าอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว ปริมาณสารตัวอย่าง และ ปริมาณสารตกค้าง ของเม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และ ของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่เริ่มสลายตัว* (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารตัวอย่าง* (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณสารตกค้าง (เปอร์เซ็นต์)
เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	368.54	99.68	0.32
เป๊ปซี่	373.67	83.25	16.75
โค้ก	402.39	85.19	14.81
เนสเล่	365.99	86.03	13.97
มิเนเร่	372.22	85.72	14.28
สยาม	370.37	84.92	15.08
ไอโอ	366.74	84.80	15.20
น้ำทิพย์	403.85	83.78	16.22
สิงห์	407.15	83.98	16.02

*ค่าอุณหภูมิที่เริ่มสลายตัวและปริมาณสารตัวอย่างเป็นค่าที่ได้จากภาคผนวก ข

จาก Derivative แสดงให้เห็นว่าในกรณีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่มีฐานแคบมาก น่าจะเป็นการสลายตัวของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตเท่านั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆที่มีฐานกว้างมาก แสดงว่ามีสารปลอมปน ไม่หลอม ณ อุณหภูมิ 402.40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่หลอมพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดง Derivative ของเม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้ว ที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้นขอให้พิจารณาตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิที่หลอมเหลวของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่หลอมเหลว* (องศาเซลเซียส)
เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต	402.40
เป๊ปซี่	414.99
โค้ก	450.56
เนสเล่	413.55
มิเนเร่	416.70
สยาม	415.57
ไอโอ	414.35
น้ำทิพย์	449.35
สิงห์	449.64

* ค่าอุณหภูมิที่หลอมเหลวเป็นค่าที่ได้จากภาคผนวก ข

4.2 โครงสร้างทางเคมี

4.2.1 ทดสอบโดยใช้เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

ในการหา โครงสร้างทางเคมีนั้น จะต้องเตรียมสารตัวอย่าง ให้อยู่ในรูปผงหรือฟิล์ม โดยในการทดลองนี้ มีการเตรียมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตให้อยู่ในรูปผงและขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตให้อยู่ในรูปฟิล์ม

ในการเตรียมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตให้อยู่ในรูปผงนั้น จะต้องนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอินเจคชัน โดยมีสภาวะในการฉีดขึ้นรูปดังแสดงในภาคผนวก ค แล้วจึงนำไปหาโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ พบว่าโครงสร้างทางเคมีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ประกอบด้วย sat. C-H stretching ที่เลขคลื่น 2960 ซม.$^{-1}$ overtoneของหมู่เบนซีนที่เลขคลื่นช่วง 2800-1800 ซม.$^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่คาร์บอนิลเอสเทอร์ (C=O) ที่เลขคลื่น 1719 ซม.$^{-1}$ และ C-H bending para ( ) ที่เลขคลื่น 872 ซม.$^{-1}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ในการเตรียมขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตให้อยู่ในรูปฟิล์มนั้น สามารถตัดจากขวดแล้วนำไปหาโครงสร้างทางเคมี ด้วยเครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ได้เลย พบว่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณากับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต พบว่าที่เลขคลื่นช่วง 1800-700 ซม.$^{-1}$ ของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ ไม่สามารถวัดได้ ซึ่งอาจเป็นเพราะ ฟิล์มของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆที่นำมาวัดมีสารที่ดูดกลืนแสง ที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ทำให้ไม่สามารถวัดได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตและของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สมบัติเชิงกล

4.3.1 ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง

ในการหาสมบัติเชิงกล เช่น ความทนแรงดึง(Tensile strength)และเปอร์เซ็นต์การยืด(Elongation %)ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง พบว่าลักษณะของพีคยังเหมือนเดิม เพียงแต่ตำแหน่งของพีคเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 4.5 4.6และ4.7

เมื่อทดสอบชิ้นงานไป 30 ชิ้นต่อ 3 ตัวอย่าง พบว่าชิ้นงานใน 10 ชิ้นมีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด เพื่อให้เข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้นขอให้พิจารณาตารางที่ 4.4 4.5และ4.6 ดังนั้นทุกตัวอย่างคาดว่าจะเป็นแบบนี้เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วภายใต้เครื่องหมายการค้าเป๊ปซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าเป๊ปซี่

เป๊ปซี่	ความทนแรงดึง*	เปอร์เซ็นต์การยืด*
1	16.32	60.68
2	45.71	71.63
3	40.34	61.76
4	27.05	65.51
5	49.20	71.85
6	37.76	63.30
7	50.21	82.26
8	24.62	58.07
9	47.59	83.76
10	19.25	63.05

*ค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดเป็นค่าที่ได้จากภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วภายใต้เครื่องหมายการค้าสยาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าสยาม

สยาม	ความทนแรงดึง*	เปอร์เซ็นต์การยืด*
1	11.76	105.90
2	26.10	76.84
3	34.05	133.20
4	11.96	64.68
5	35.53	110.60
6	15.78	54.49
7	11.93	72.68
8	14.58	64.22
9	12.33	80.85
10	39.36	141.70

*ค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดเป็นค่าที่ได้จากภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วภายใต้เครื่องหมายการค้าสิงห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าสิงห์

สิงห์	ความทนแรงดึง*	เปอร์เซ็นต์การยืด*
1	24.31	64.42
2	21.25	71.47
3	15.24	59.18
4	11.87	38.38
5	20.67	64.21
6	19.25	50.84
7	28.21	76.37
8	13.51	40.92
9	56.37	75.95
10	18.28	49.18

*ค่าความทนแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดเป็นค่าที่ได้จากภาคผนวก จ

4.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่มีปริมาณการผลิต 200 ตันต่อเดือนหรือ 200,000 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งต้องซื้อเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตราคา 28 บาทต่อกิโลกรัมมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต

ถ้าต้องการ นำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต มาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตดังนี้

- ซื้อขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตราคา 17 บาท(ราคาจากร้านรับซื้อของเก่า)
- ค่าแกะฝาและฉลากออก 1 บาท
- ค่าบดให้เป็นเกล็ด 1 บาท
- ค่าเสียหายของฝาและฉลาก 2 บาท
- ค่าล้างทำความสะอาดโดยใช้ผงเคมีล้างและโซดาไฟ 1 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่นำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตจึงมีราคา 22 บาทต่อกิโลกรัมและนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตในปริมาณ 35% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ซึ่งจะแสดงการคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดังนี้

- เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

ค่าวัตถุดิบ = 200,000 x 28 = 5,600,000บาทต่อเดือน

- ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

ค่าวัตถุดิบ = (65% x 200,000 x 28) + (35% x 200,000 x 22) = 5,180,000บาทต่อเดือน

ดังนั้น การนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต มาเป็นวัตถุดิบ ในกระบวนการผลิต จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตเป็นจำนวนเงิน 420,000 บาทต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในแง่ของค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว(T_m) ทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำ ขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต มาใช้ร่วมกับ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ แต่ต้องนำมาใช้ในปริมาณไม่มากนัก เพราะว่ามีสารเติมแต่งในขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งการทดสอบโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก แสดงให้เห็นว่าน่าจะมีสารเติมแต่งมากกว่า 1 ชนิดในขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต แต่ยังไม่ทราบว่าผลของสารเติมแต่งนั้นจะทำให้เส้นใยดีขึ้นหรือเลวลง เพราะไม่สามารถนำมาขึ้นรูปเส้นใยเปรียบเทียบกันได้ แต่จากการคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทำให้ทราบว่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่นำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต นอกจากจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตแล้วยังช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการตรวจสอบว่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตสามารถนำมาใช้ร่วมกับเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตในกระบวนการผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ได้หรือไม่นั้น ควรจะนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตมาขึ้นรูปเส้นใยเปรียบเทียบกับเส้นใยพอลิเอสเทอร์ถึงจะเห็นผลได้ชัดเจน

ถ้าจะนำขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต มาใช้ร่วมกับ เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตจริงๆ ก็ควรจะมีการแยกขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตตามเครื่องหมายการค้า เนื่องจากผลการทดลอง พบว่าขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้วที่มีเครื่องหมายการค้าต่างๆมีสารเติมแต่งไม่เหมือนกันอันเนื่องมาจากลักษณะการสลายตัวที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Odian, O. "Principles of Polymerization" 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 1981.

2. Saunders, K.J. "Polymer Chemistry" 2nd ed., Chapman and Hall, New York, 1988.

3. Paszun, D. and Spychaj, T. "Chemical Recycling of Polyethylene terephthalate" Ind.Eng.Chem.Res. 36(1997) : 1373-1383.

4. Scheirs, J. "Polymer Recycling" John Wiley and Sons, New York, 1998.

5. ปรีชา พหลเทพ , "พอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

6. ชลธิชา นุ่มหอม , "พอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์ , "เคมีพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

8. ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย , "เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

9. "วารสารรอบรั้วพลาสติก" ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 พ.ค.-มิ.ย. 2542.

10. อภิชัย เตียงประโคน (2543) "การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและทนต่อการติดไฟจากขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

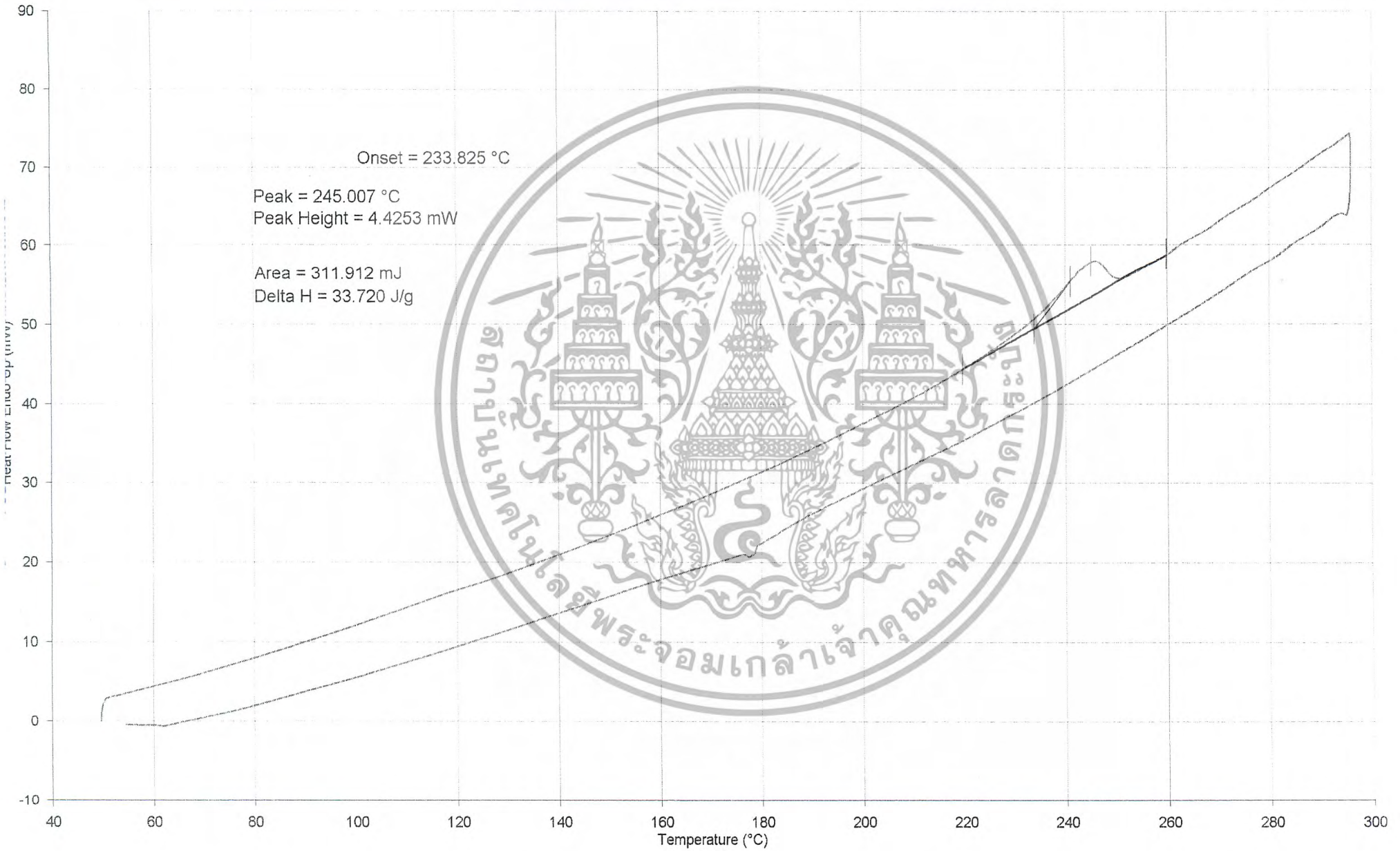
11. เพลินพิศ บูชาธรรม และ ศรารัตน์ มหาศรานนท์ (2544) "การเตรียมอัลคิดเรซินที่นำไปใช้ทำเป็นสีที่ละลายน้ำได้จากขวดพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตที่ใช้แล้ว" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอรีมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\Pyris\...\fibre chip.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: fibre chip
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:

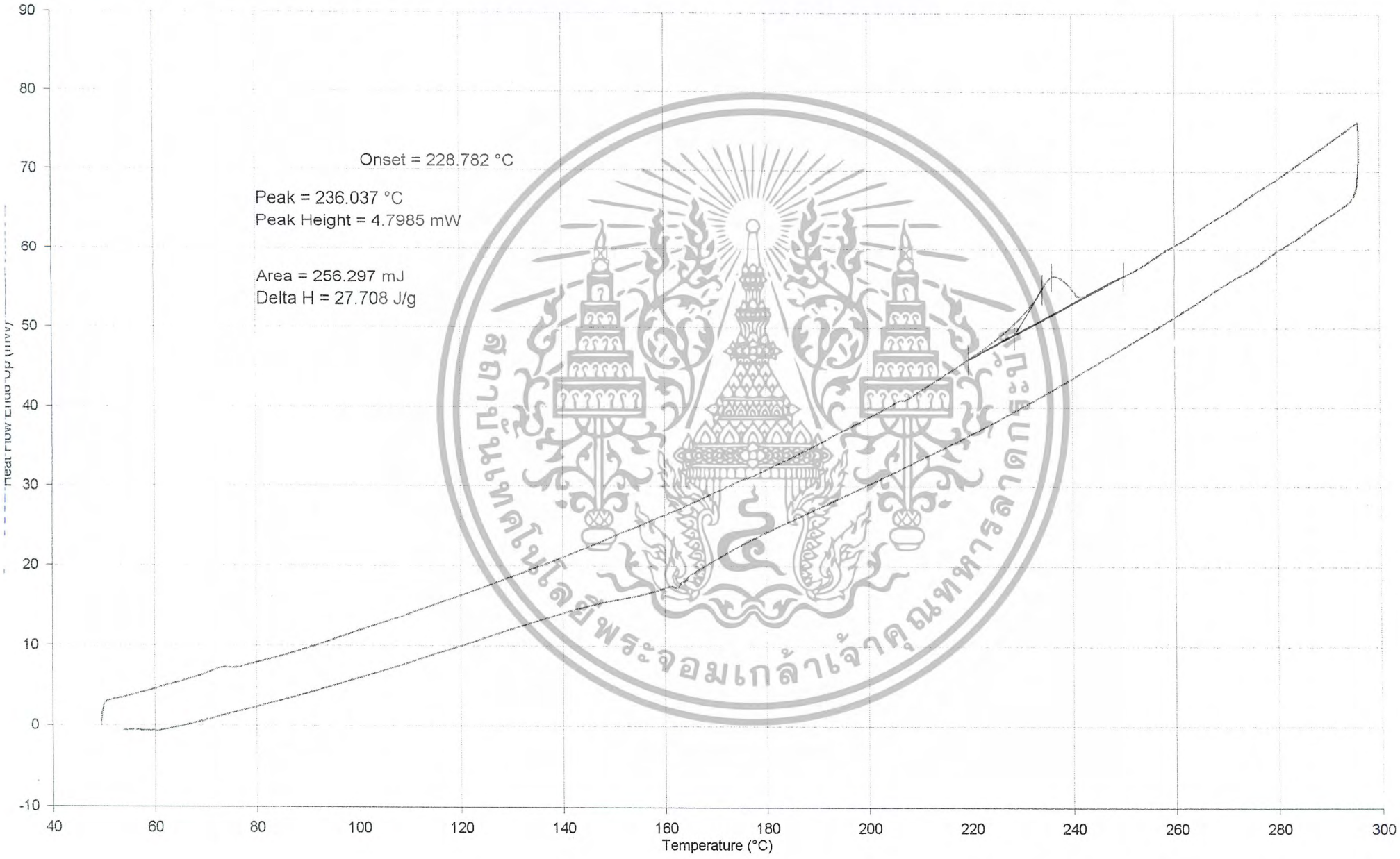


2/20/2004 2:56:27 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

Filename: c:\program files\pyris\data\s...\pepsi.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: pepsi
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:



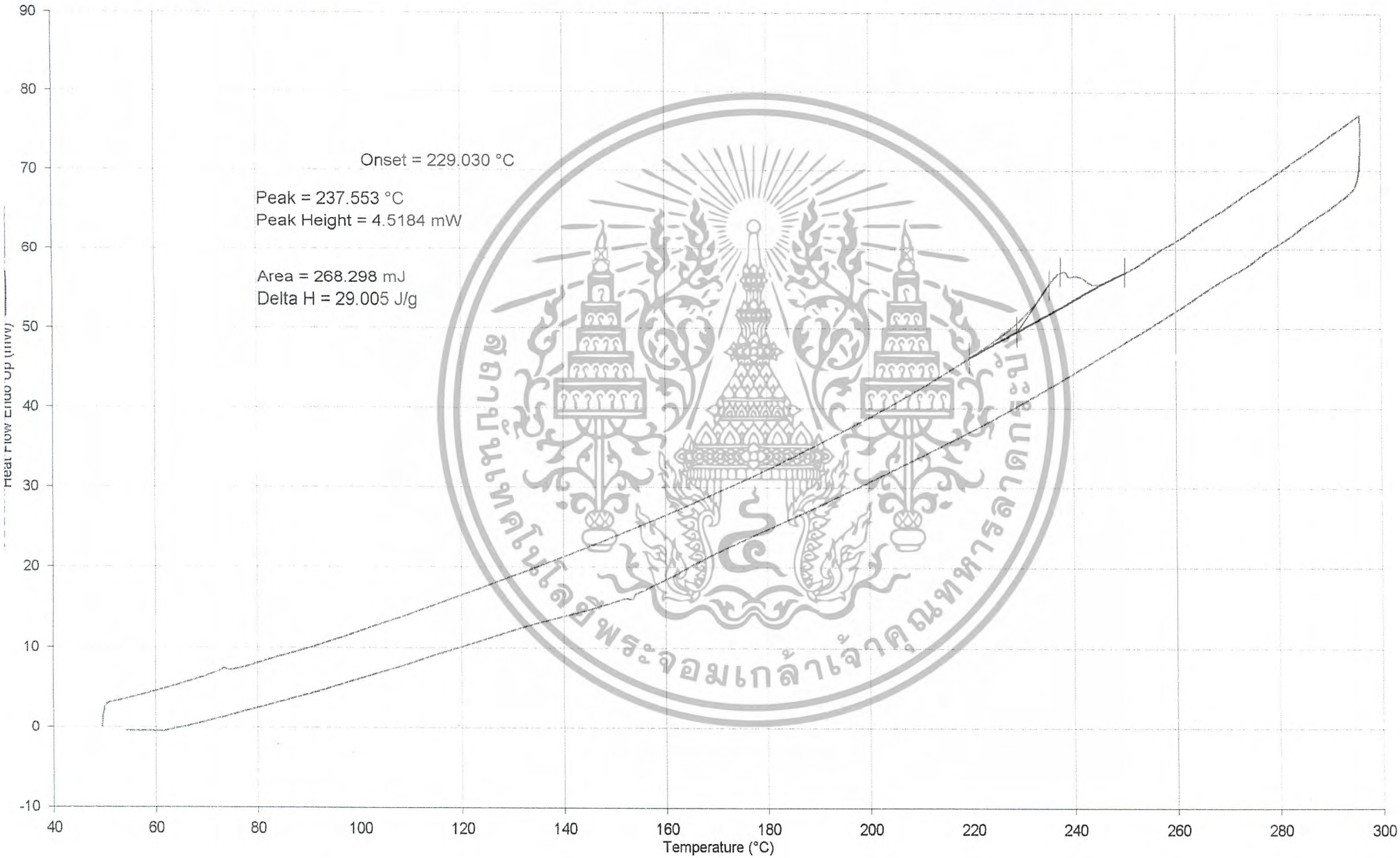
2/20/2004 1:02:54 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ธนาคารโลกโดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Filename: c:\program files\pyris\data\sa...\coke.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: coke
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:



ธนาคารไทยพาณิชย์ พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

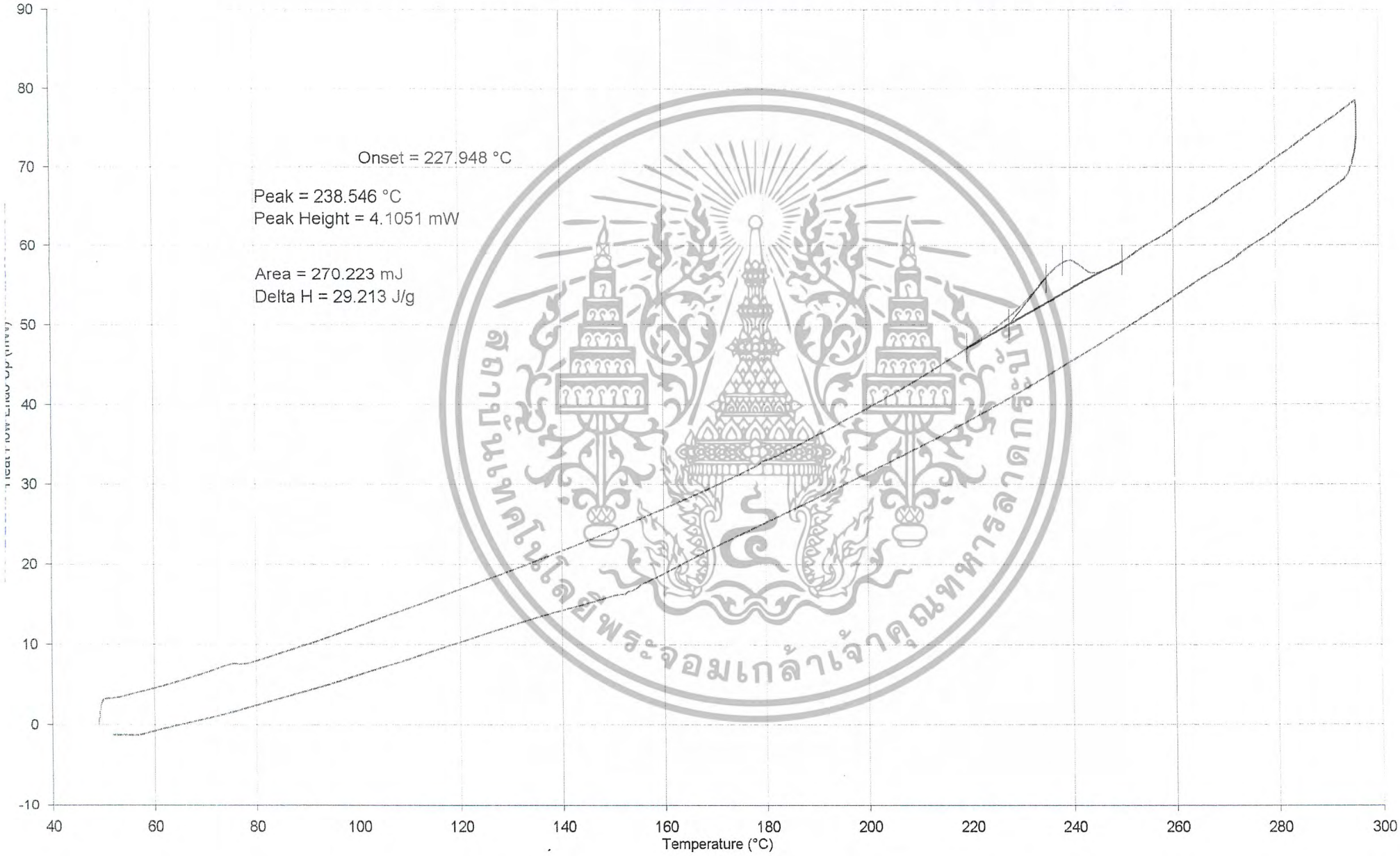
60

2/20/2004 2:04:12 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

Filename: c:\program files\pyris\data\...\nestle.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: nestle
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:

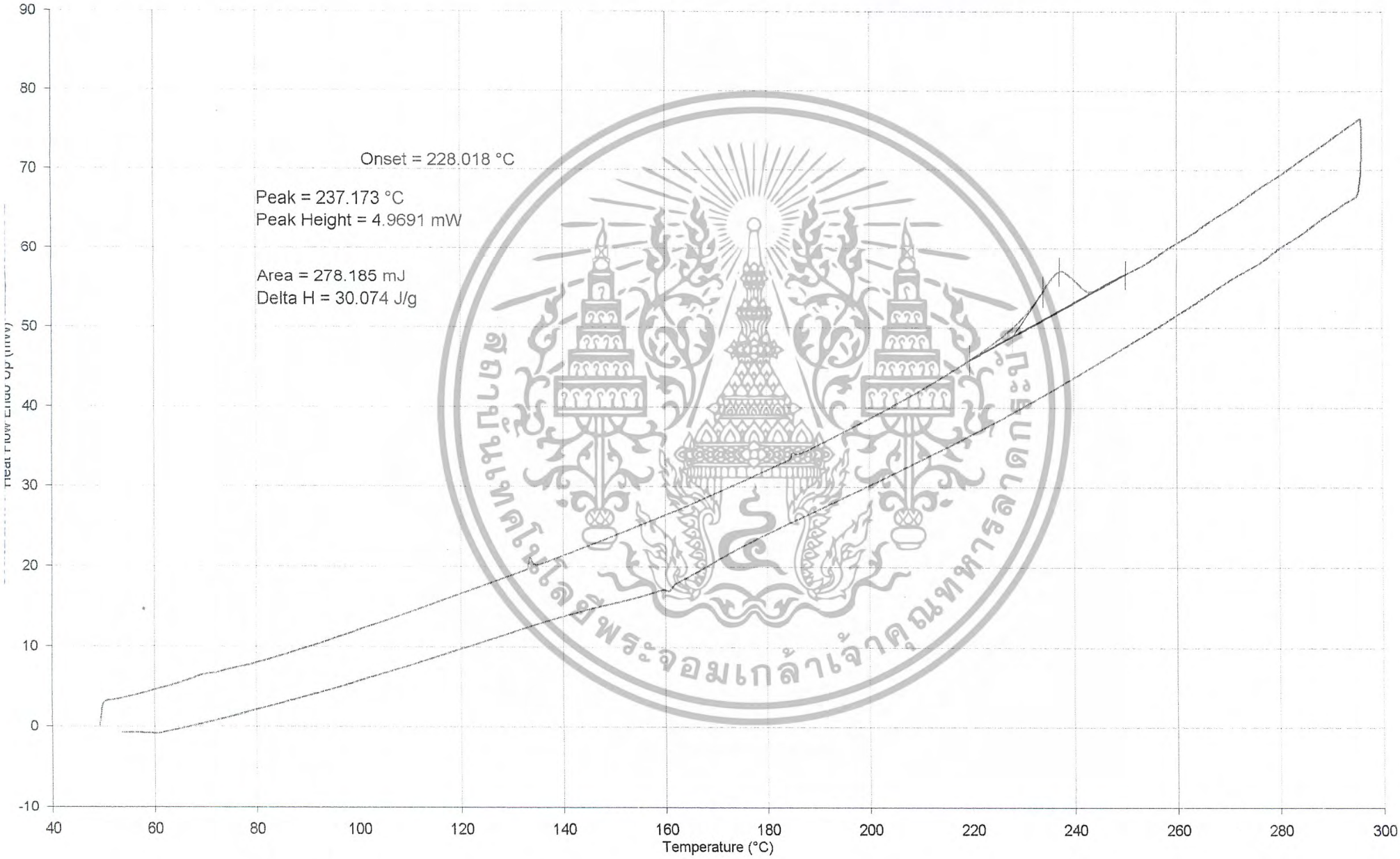


2/19/2004 10:57:25 AM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

Filename: c:\program files\pyris\data\...\minere.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: minere
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:

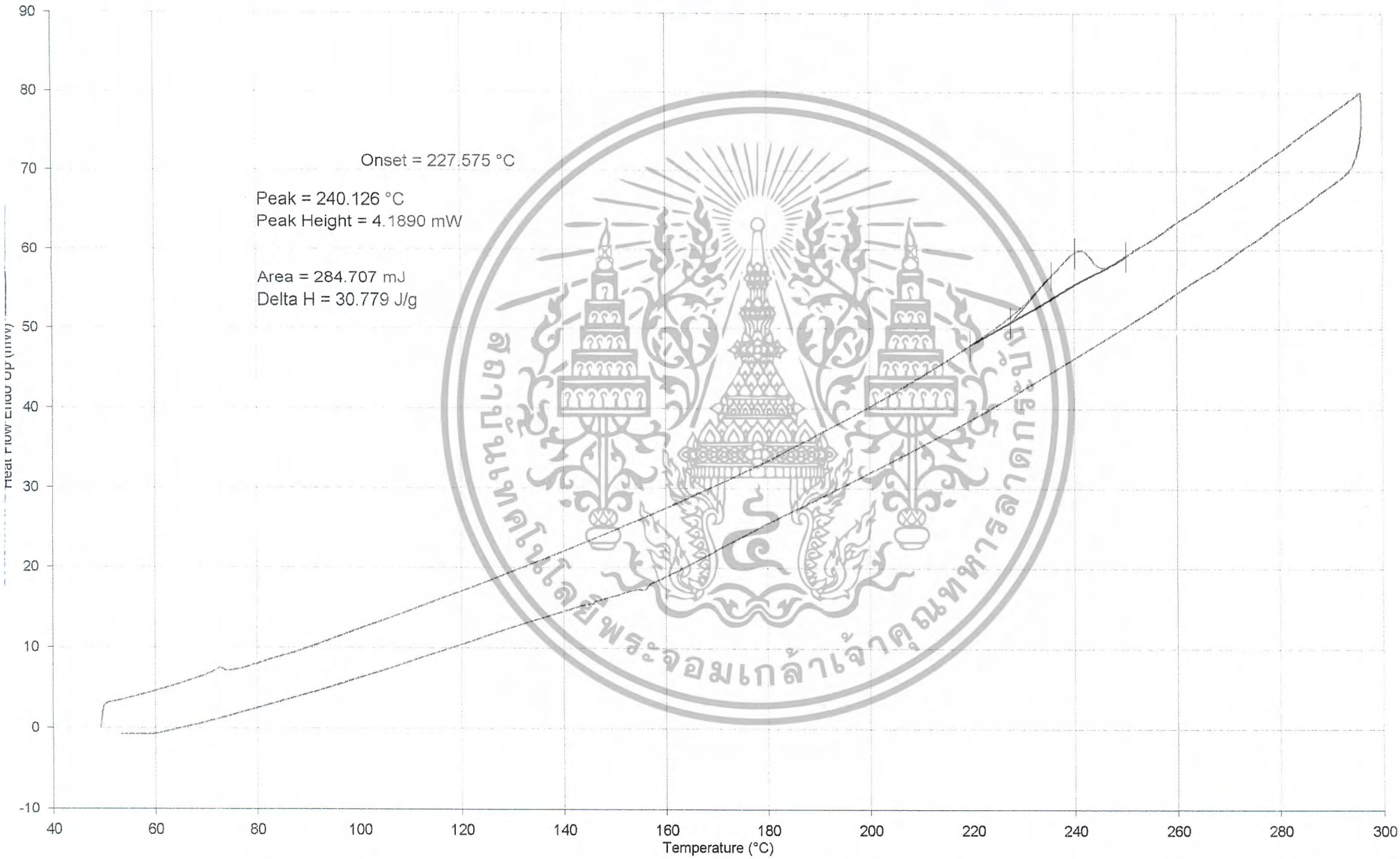


2/18/2004 2:32:54 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

Filename: c:\program files\pyris\data\sa...\siam.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: siam
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:



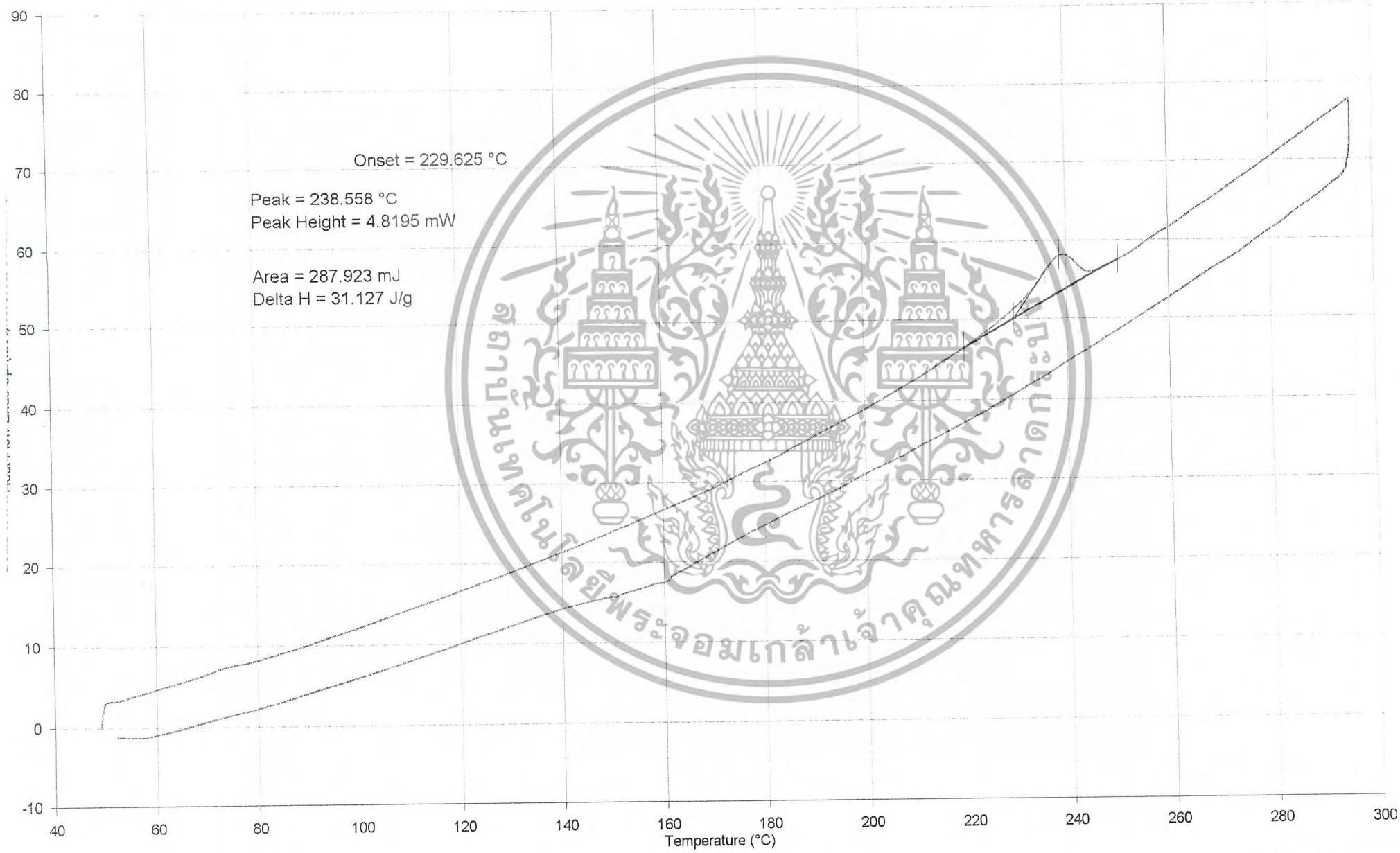
2/16/2004 1:04:09 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ธนาคารโลกโดยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

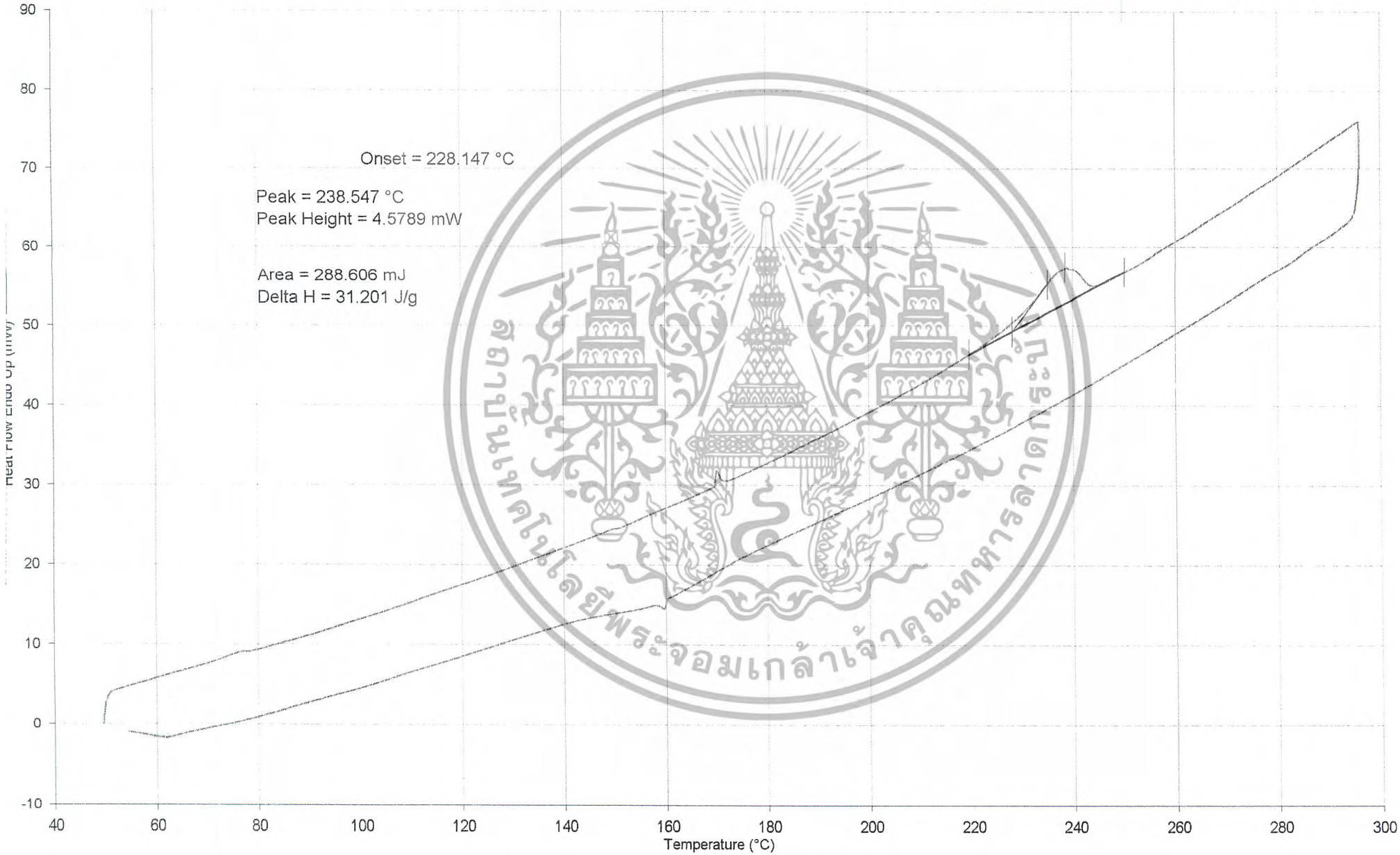
lename: C:\Program Files\Pyris\Data\sara...\io.pdid
perator ID: saranya
ample ID: io
ample Weight: 9.250 mg
omment:



2/20/2004 10:43:25 AM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min
2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

Filename: C:\Program Files\Pyris\Data...\namthip.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: namthip
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:

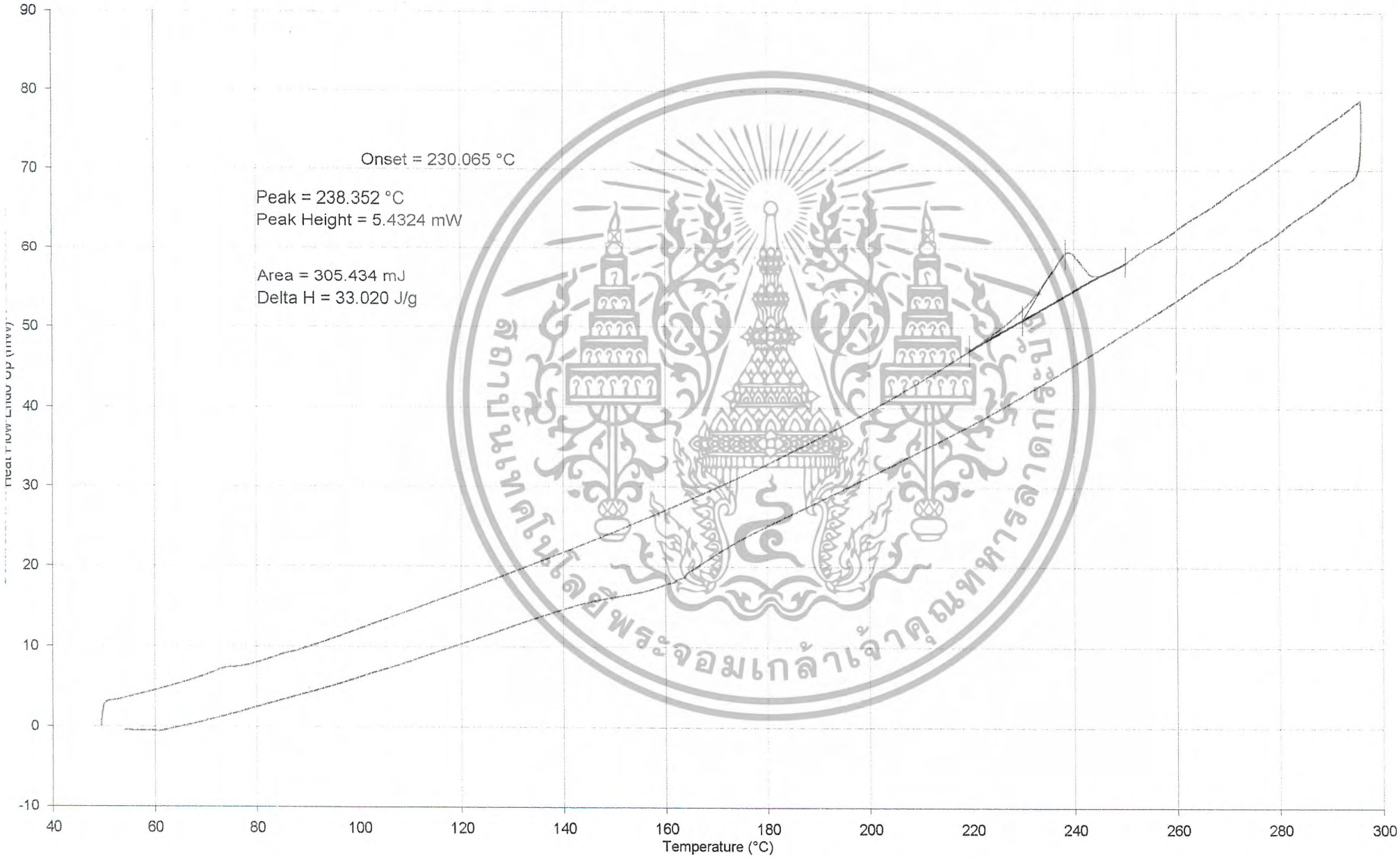


2/16/2004 3:05:19 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

Filename: c:\program files\pyris\data\...\singha.pdid
Operator ID: saranya
Sample ID: singha
Sample Weight: 9.250 mg
Comment:



2/16/2004 2:14:03 PM

1) Heat from 50.00°C to 300.00°C at 10.00°C/min

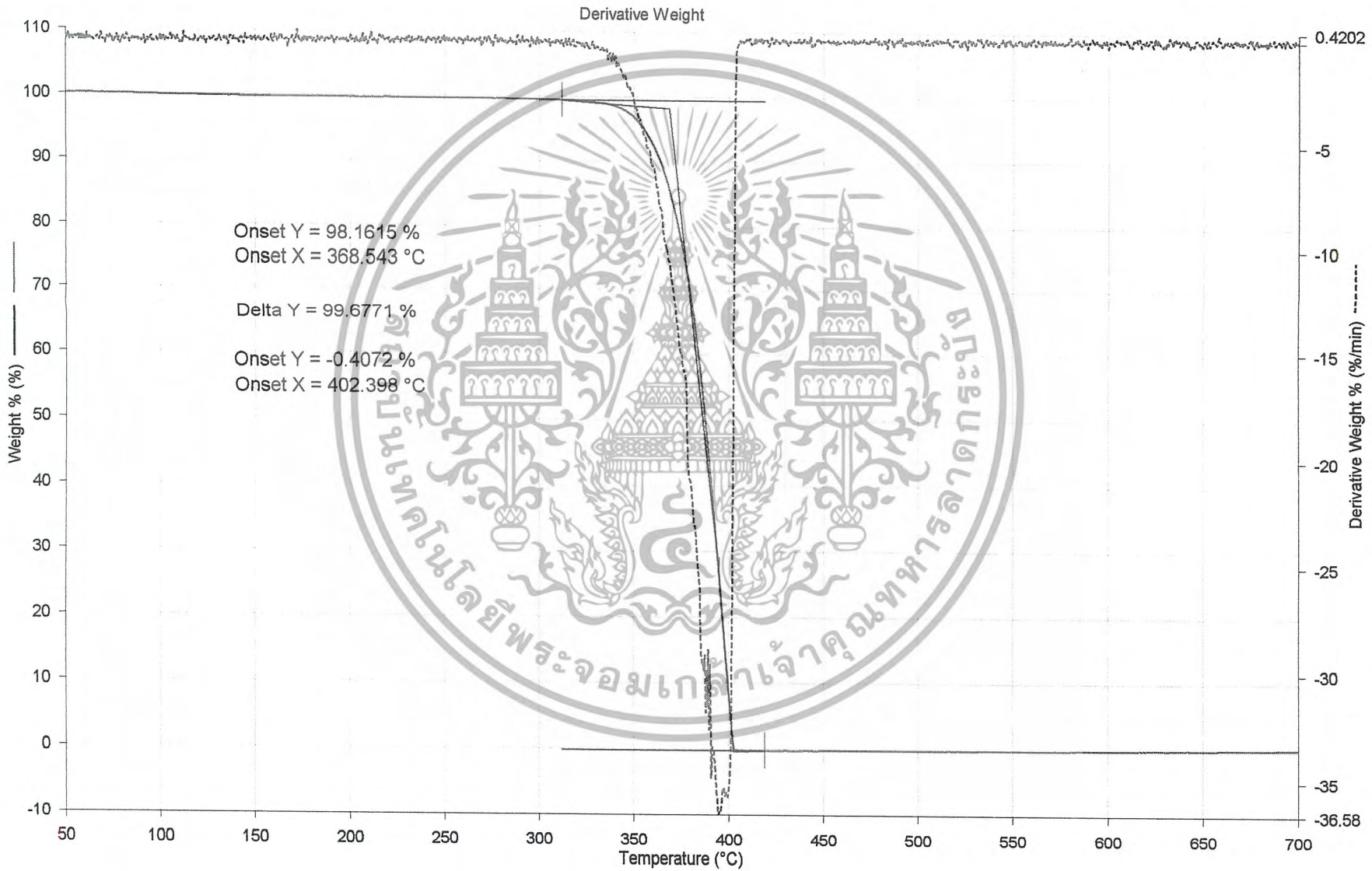
2) Cool from 300.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ข
เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

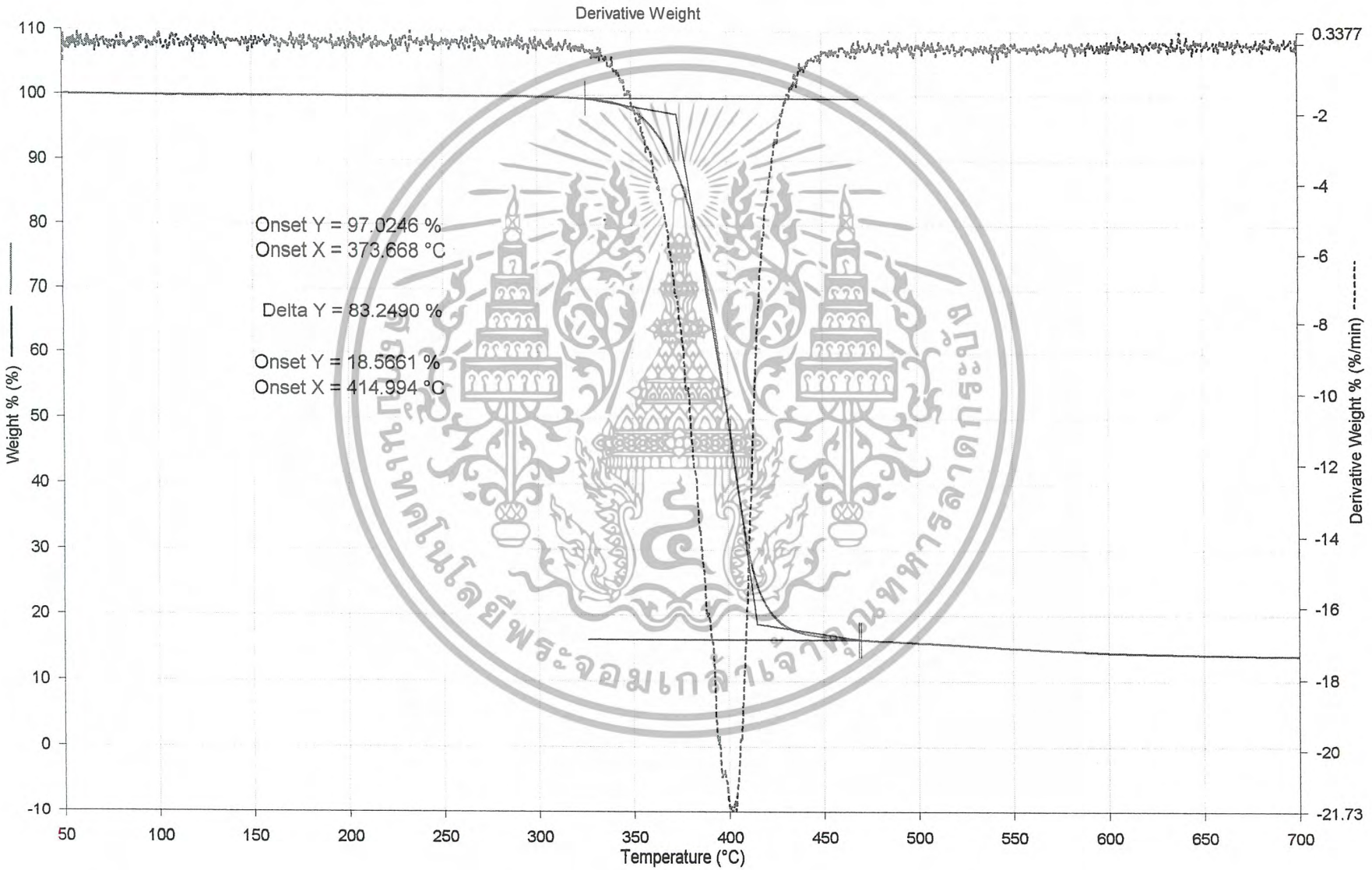
Filename:	C:\Program Files\Pyris\...\fibre chip.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	*fibre chip*
Sample Weight:	10.724 mg
Comment:	



2/12/2004 11:09:16 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

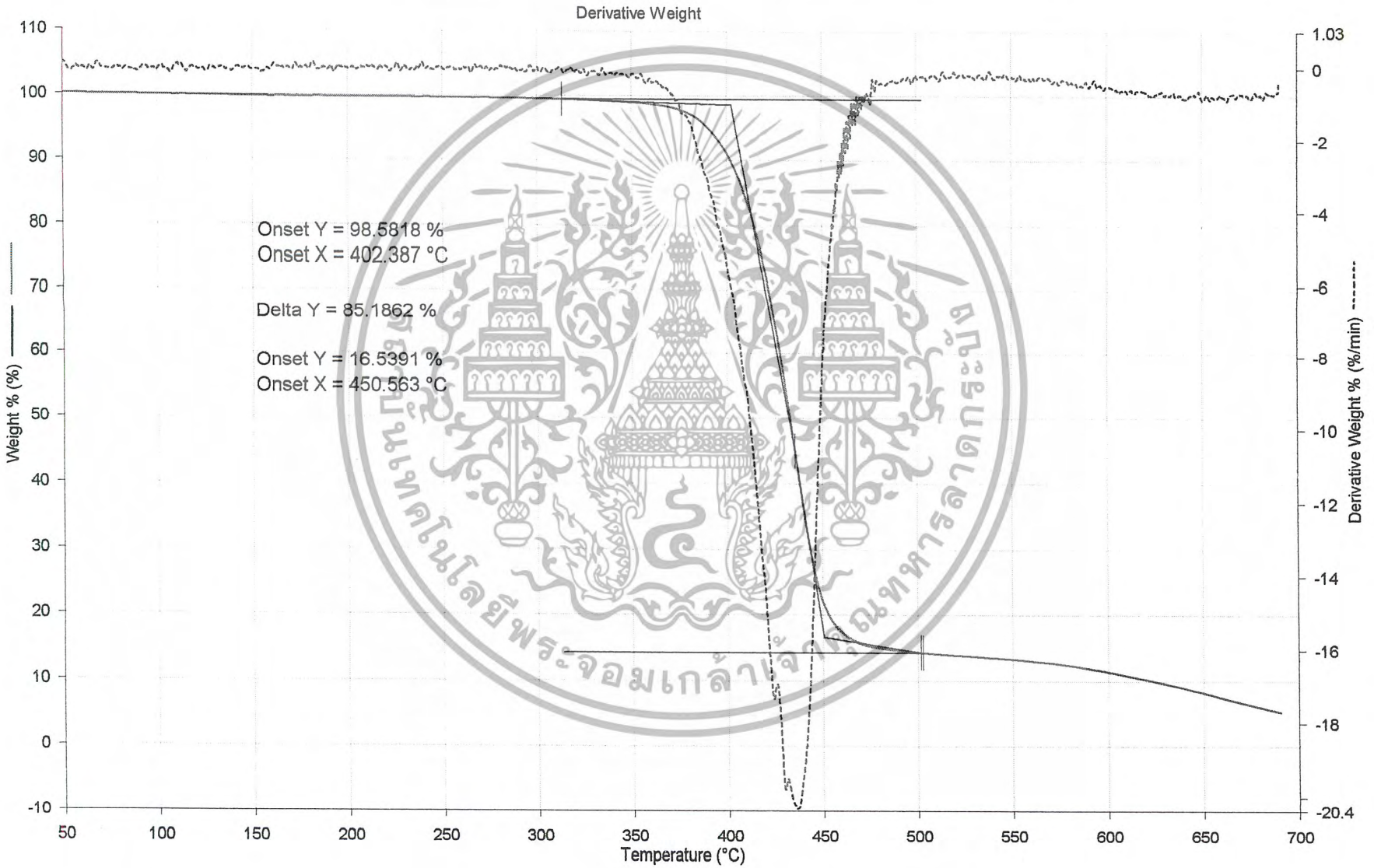
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\M...\pepsi.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	pepsi
Sample Weight:	10.372 mg
Comment:	



2/6/2004 11:03:03 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

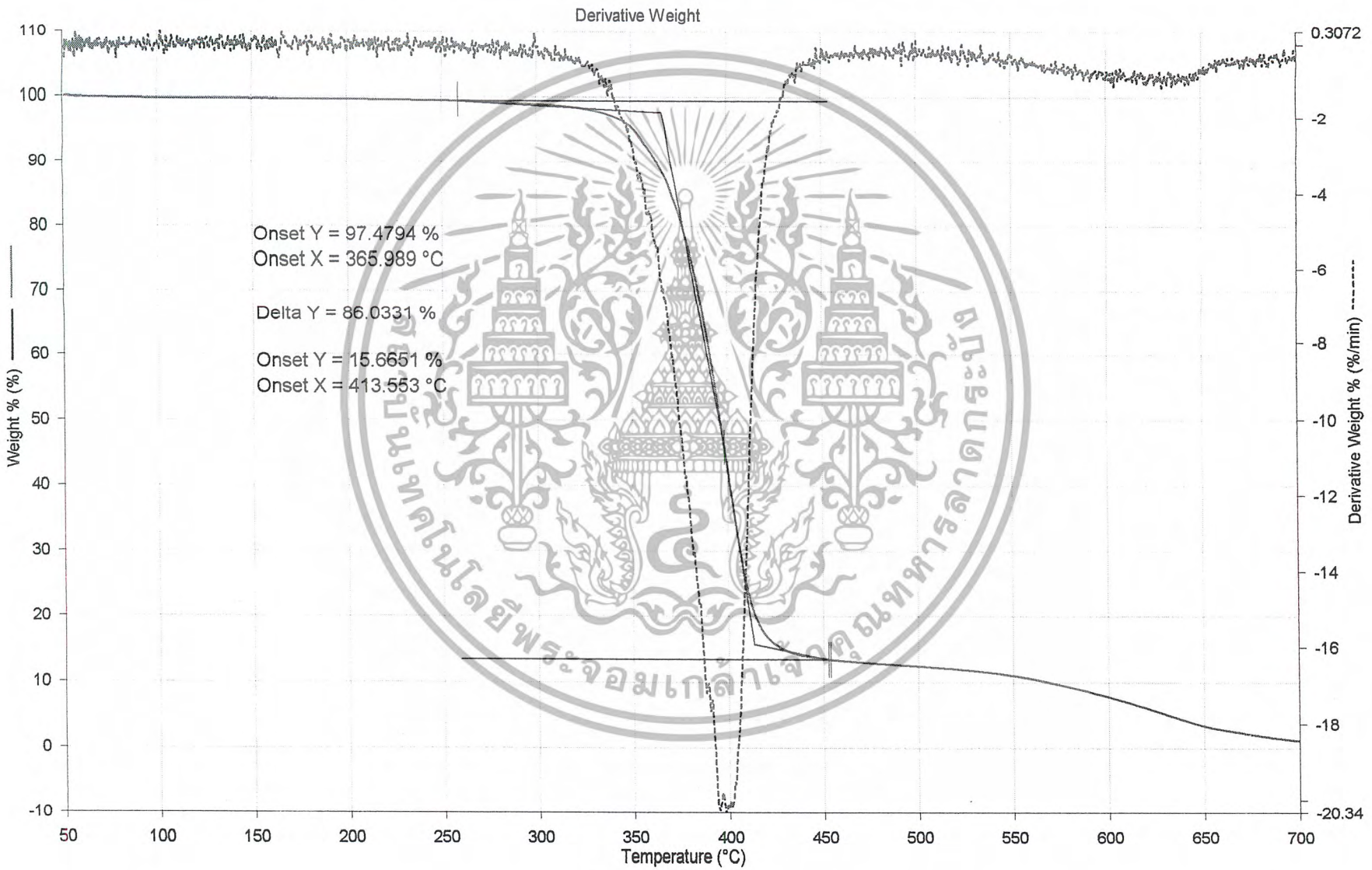
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\Mo...\coke.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	coke
Sample Weight:	10.306 mg
Comment:	



2/6/2004 11:02:18 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

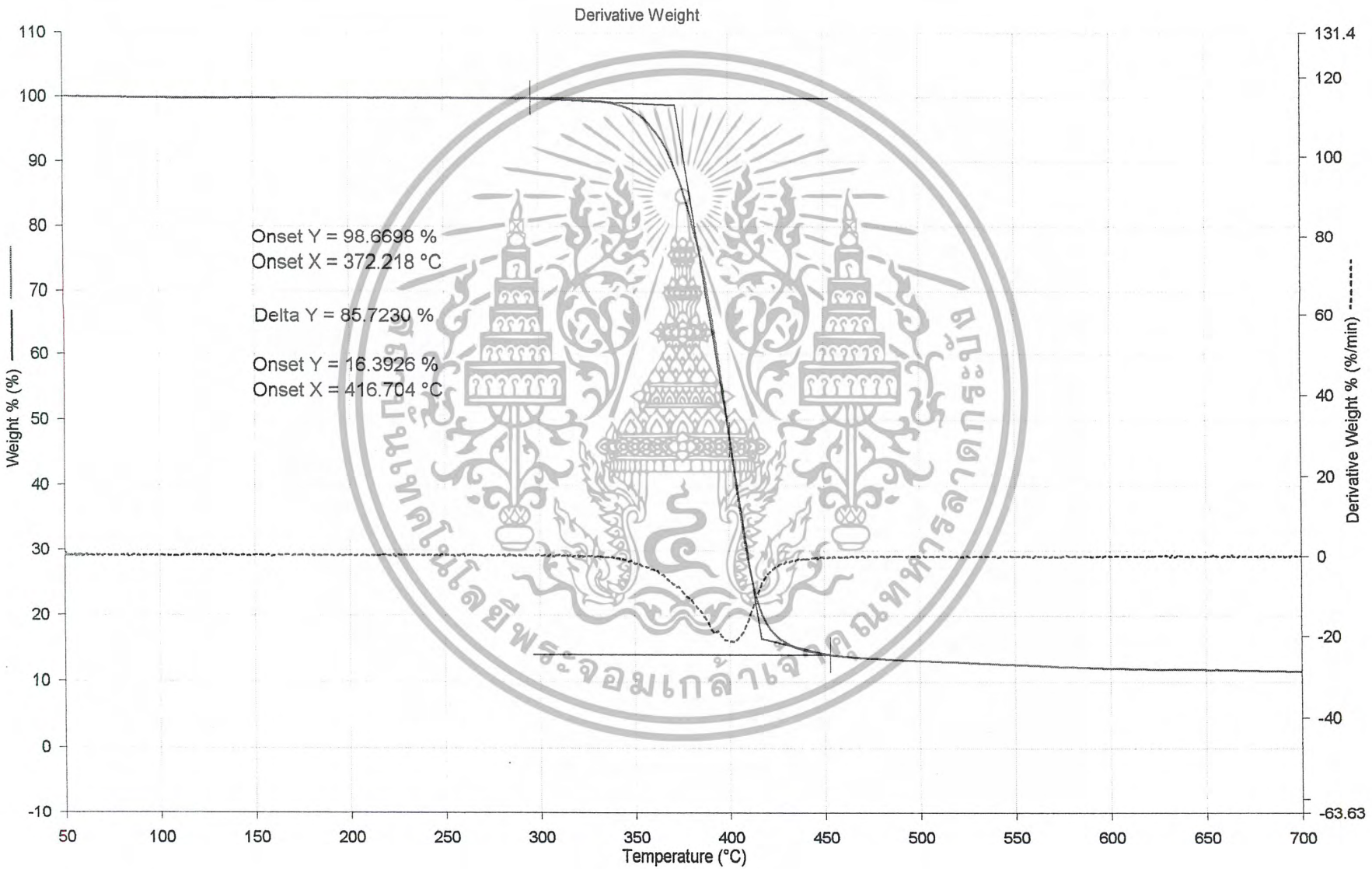
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\...\nestle.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	nestle
Sample Weight:	10.223 mg
Comment:	



2/6/2004 11:02:59 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

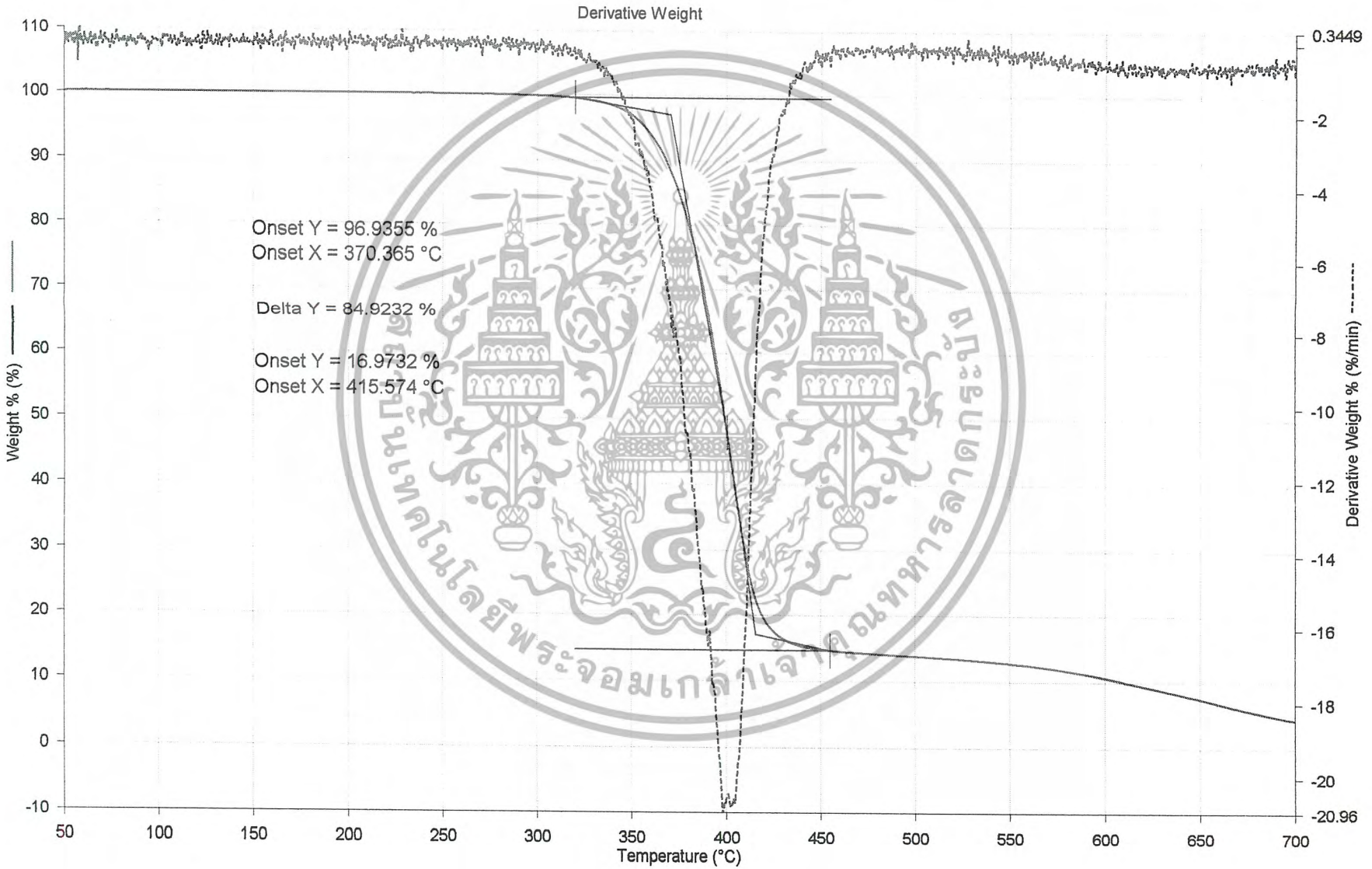
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\...\minere.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	minere
Sample Weight:	10.381 mg
Comment:	



2/6/2004 11:02:48 AM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 10.00°C/min

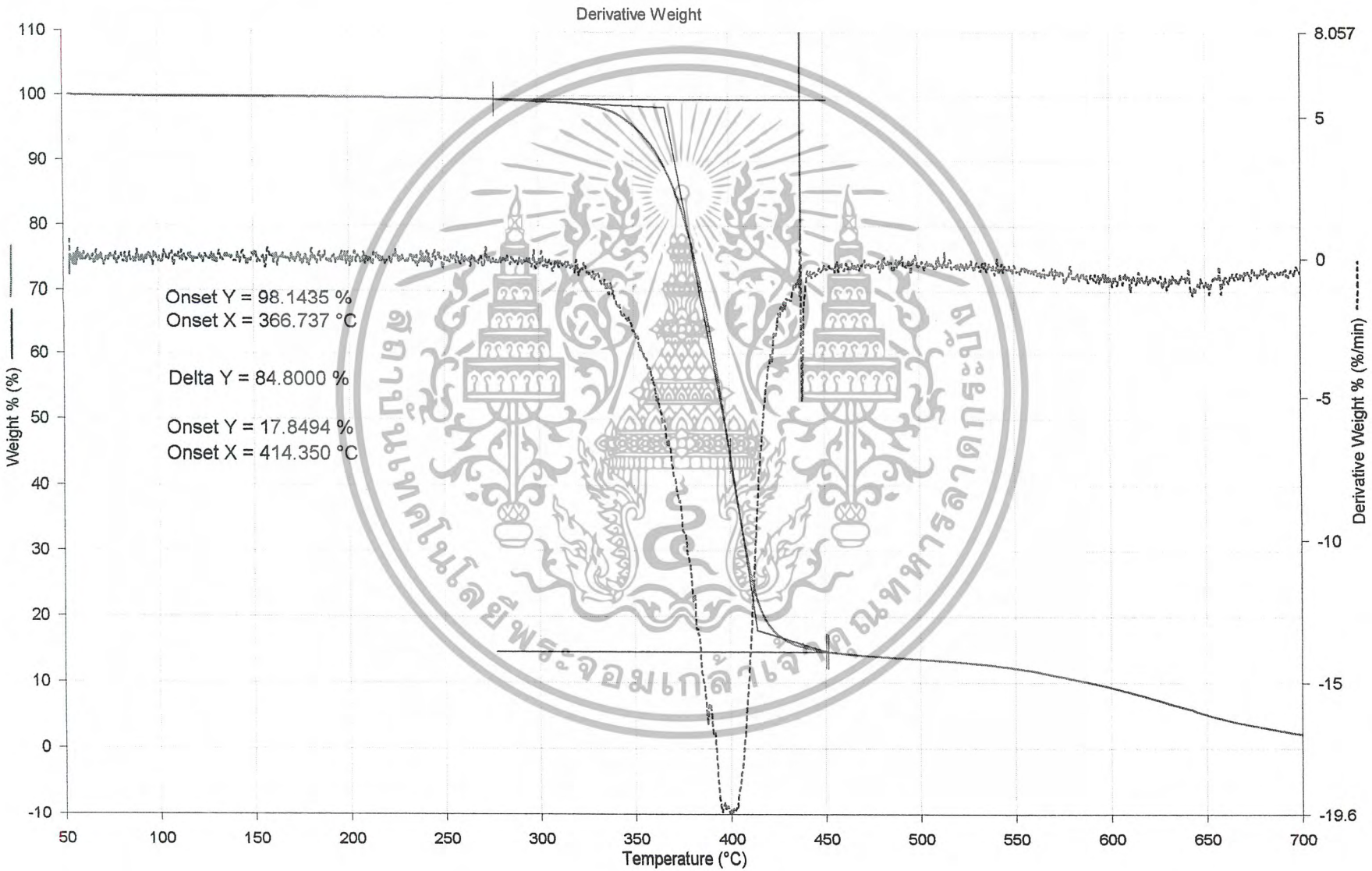
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\Mo...\siam.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	*siam*
Sample Weight:	10.704 mg
Comment:	



2/6/2004 11:03:09 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

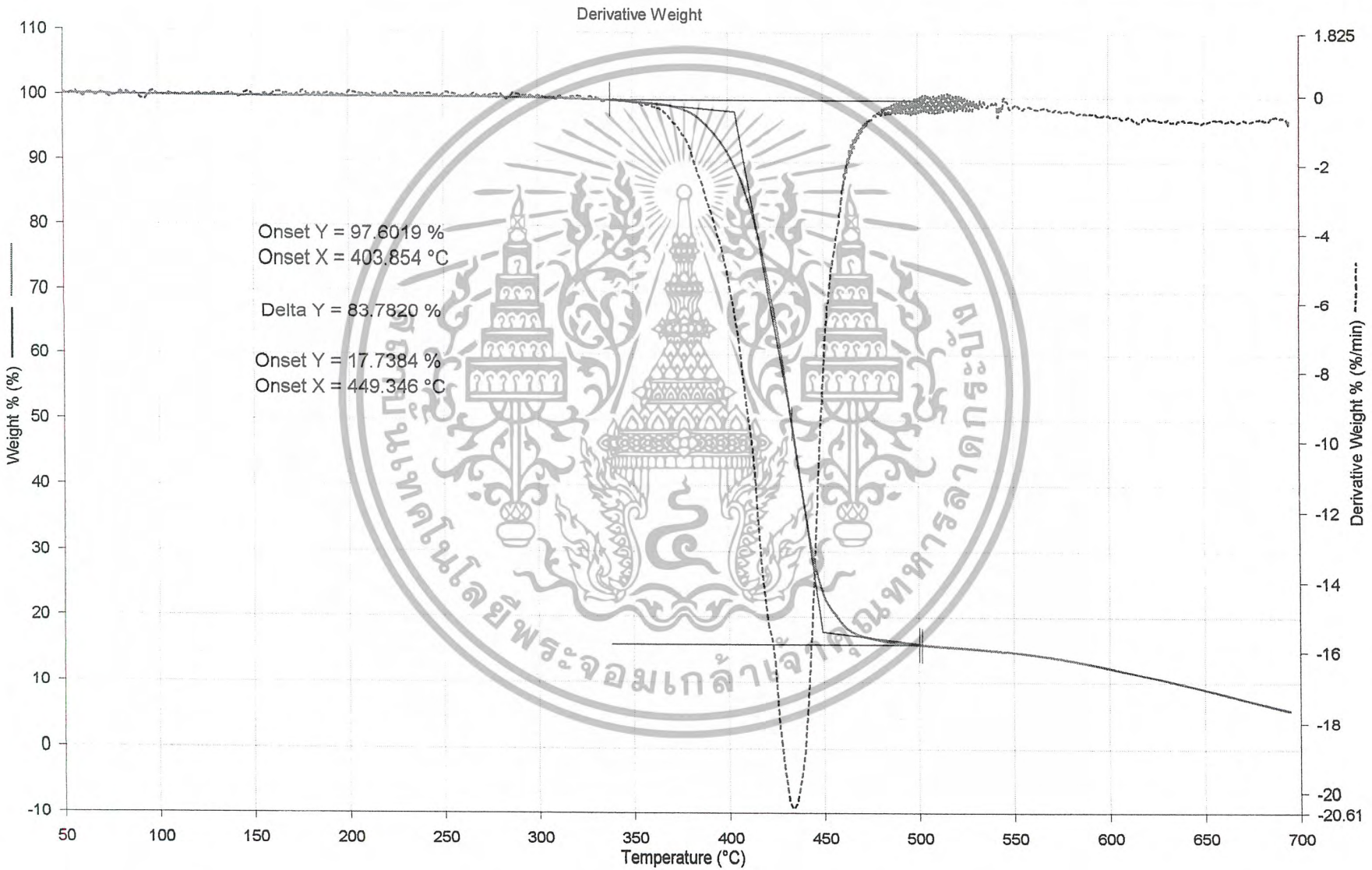
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\Mons...\io.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	io
Sample Weight:	10.288 mg
Comment:	



2/6/2004 11:02:39 AM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 10.00°C/min

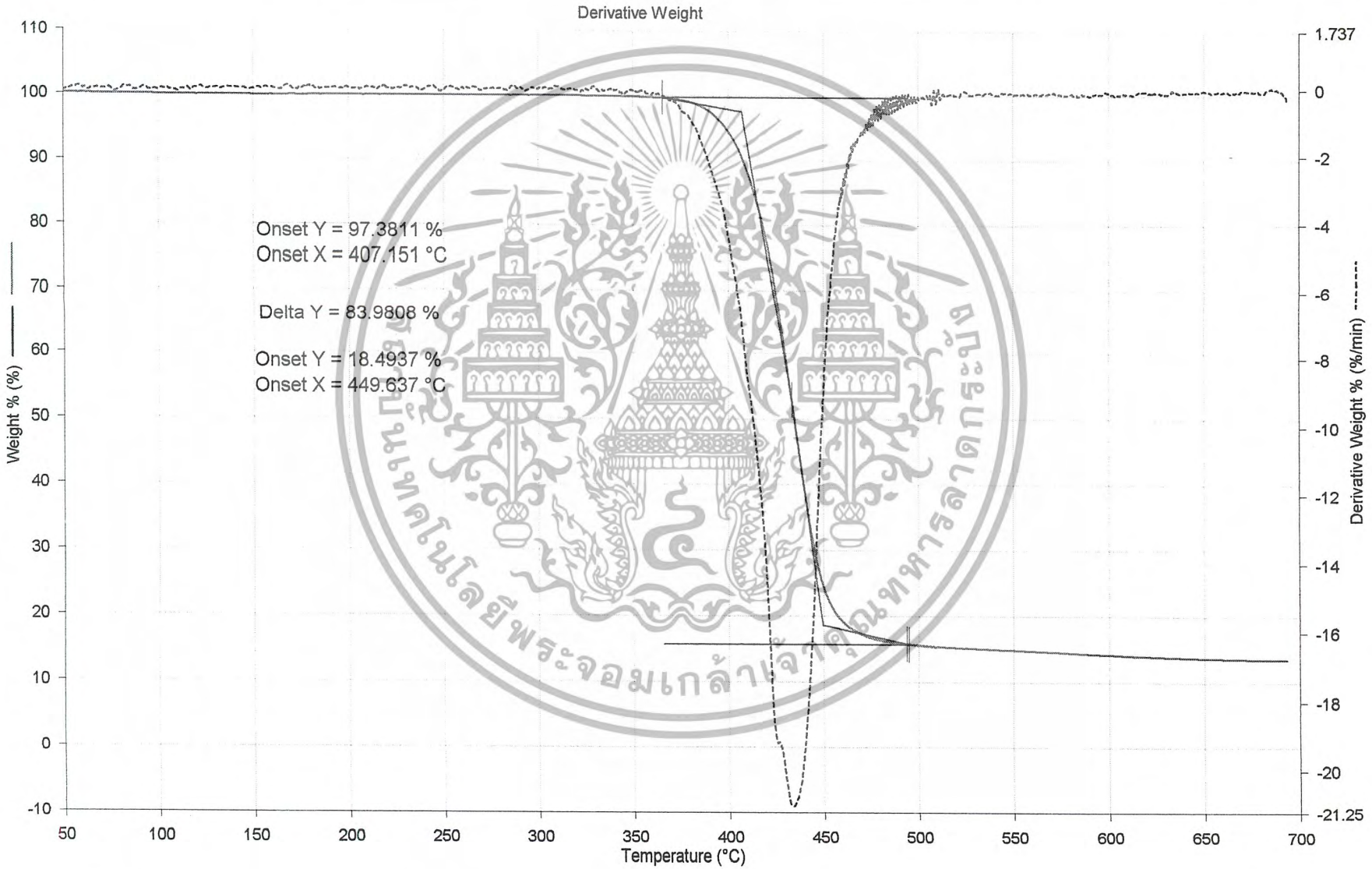
Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data...\namthip.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	namthip
Sample Weight:	10.167 mg
Comment:	



2/6/2004 11:02:54 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\...\singha.th1d
Operator ID:	saranya
Sample ID:	singha
Sample Weight:	10.265 mg
Comment:	



2/6/2004 11:08:19 AM

1) Heat from 50.00°C to 700.00°C at 10.00°C/min

ภาคผนวก ค
สภาวะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIME PROGRAMMING

DIE CLS/OPN TIME	: 40	MELTING TIME	: 255
STD COR ACT TIME	: 20	DECOMPRS TIME	: 30
1 ST STG INJ TIME	: 20	COOLING TIME	: 300
2 ND STG INJ TIME	: 30	EJECTOR COUNT	: 1
3 RD STG INJ TIME	: 20	SCW FWD TIME	: 0
EJE FWD DLY TIME	: 5	SCW BWD TIME 1	: 0
MELTING DLY TIME	: 0	SCW BWD TIME 2	: 0
EJE BKD DLY TIME	: 5	ALARM TIME	: 400

PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR	: 30	DECOMP PRESR	: 30
CLS LOW PRESR	: 25	PLUNGER PRESR	: 30
CLS HI PRESR	: 20	EJECTOR PRESR	: 20
DIE OPEN PRESR	: 20	SCW-IN PRESR	: 20
1 ST INJ PRESR	: 30	DIE ADJ PRESR	: 60
2 ND INJ PRESR	: 20		
3 RD INJ PRESR	: 20		
MELTING PRESR	: 40		

PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	: 40	1 ST STG INJ SPD	: 50
HIGH CLS SPD	: 40	2 ND STG INJ SPD	: 50
CLAMPING SPD	: 40	3 RD STG INJ SPD	: 50
DIE OPN SLW 1	: 20	MELTING SPD	: 40
RAPID OPN SPD	: 40	DECOMP SPD	: 40
DIE OPN SLW 2	: 40	EJECTOR SPD	: 40
PLUNGER SPD	: 40	SCREW-IN SPD	: 40
DIE ADJ SPD	: 40	DIE CHANGE SPD	: 40

PROGRAMMING TEMPERATURE

PROGRAMED TEMP		CURRENT TEMP
NOZZLE	:	280
ZONE 1	:	270
ZONE 2	:	260
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING OPTIONS

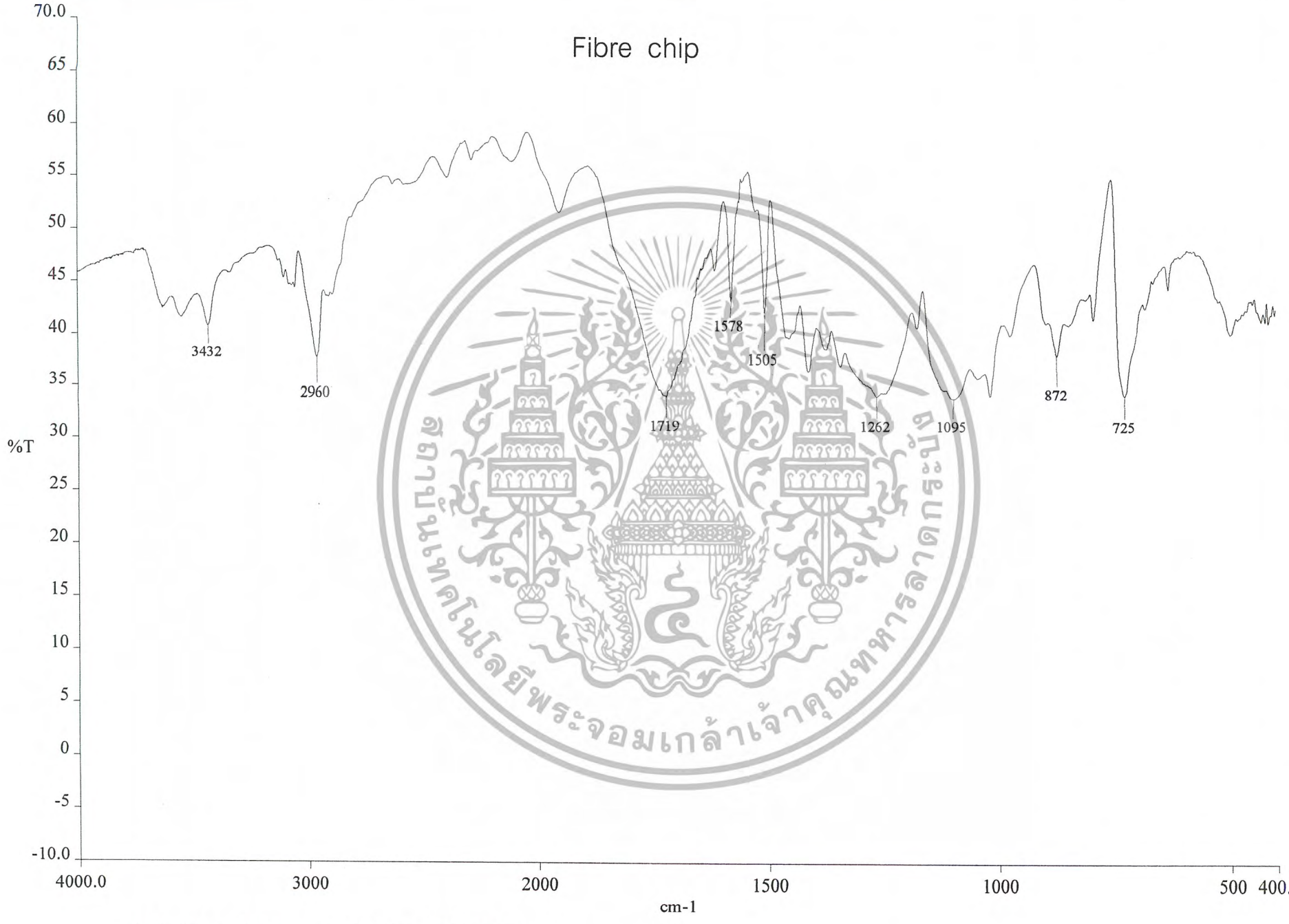
DIE CLS SPD	: 1	1=HI SPD	2=FAST SPD	
PLUNGER SPD	: 1	1=USE	2= NO USE	
ROBOTS	: 1	1=USE	2= NO USE	
SCRW	: 1	1= USE	2= NO USE	3=SID-COR
EJECTOR	: 1	1= STAL	2= MULTI	3=FIXD NB
SID-COR	: 1	1=TIME	2=TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

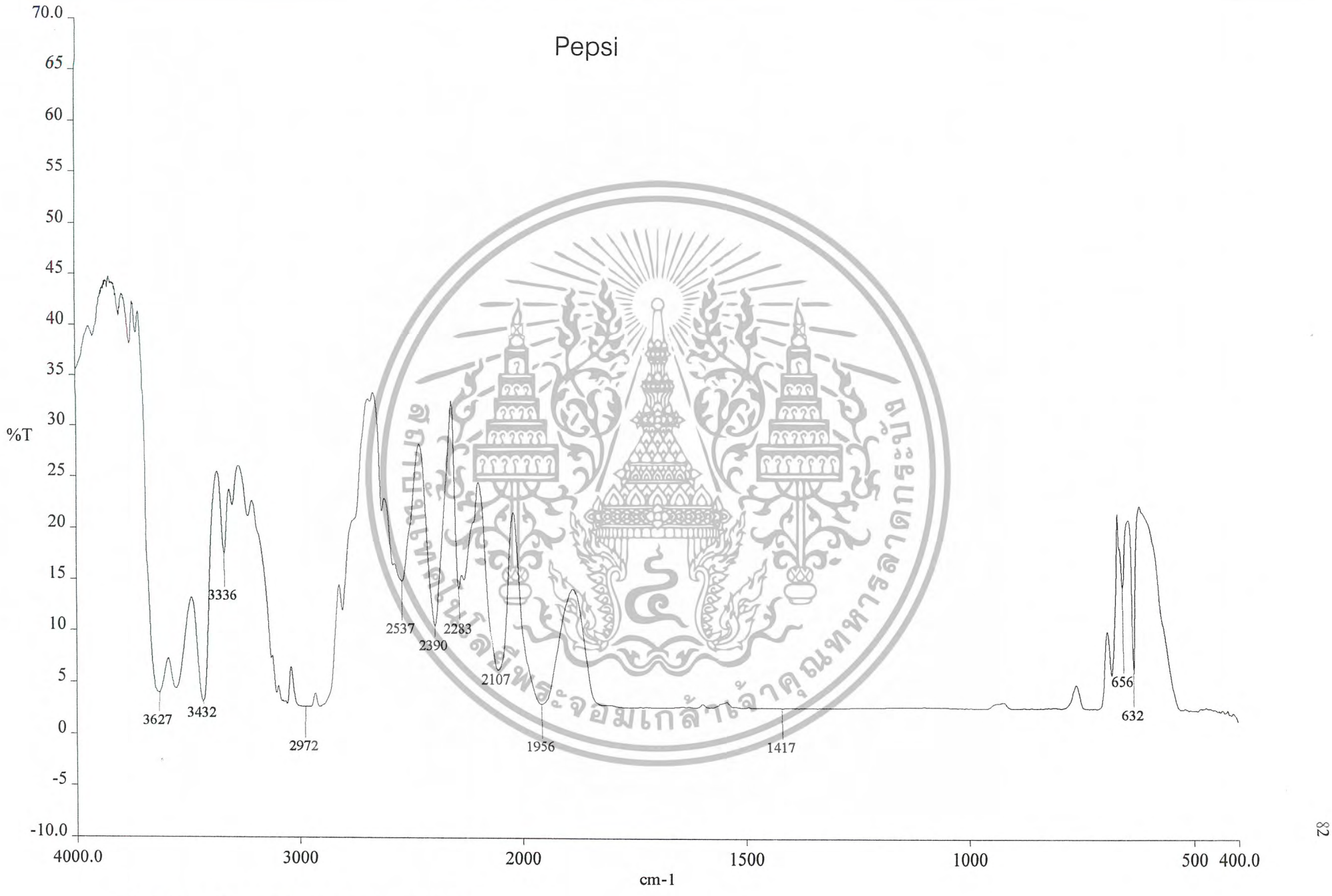
ภาคผนวก ง

อินฟราเรดสเปคตรัม

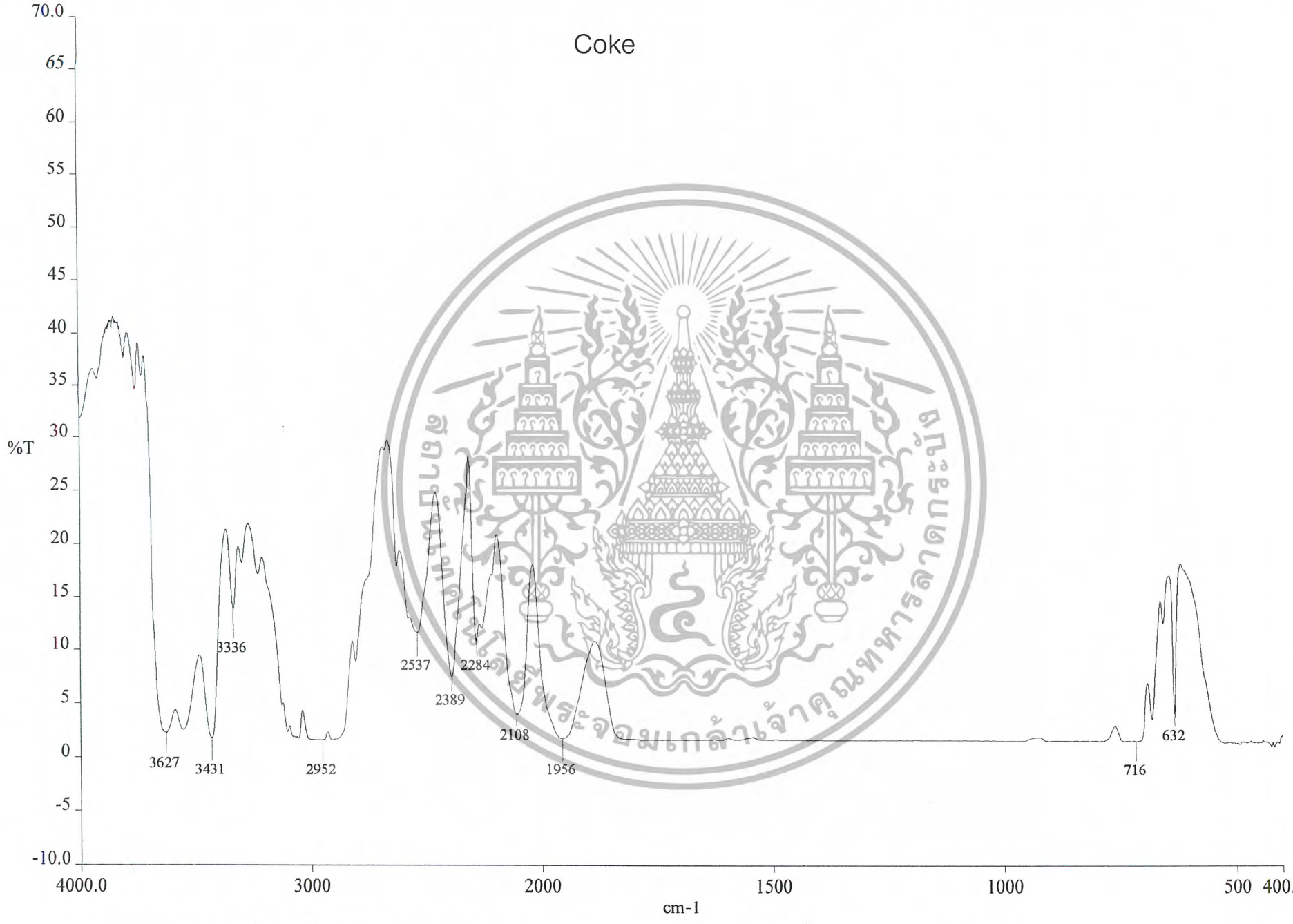
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

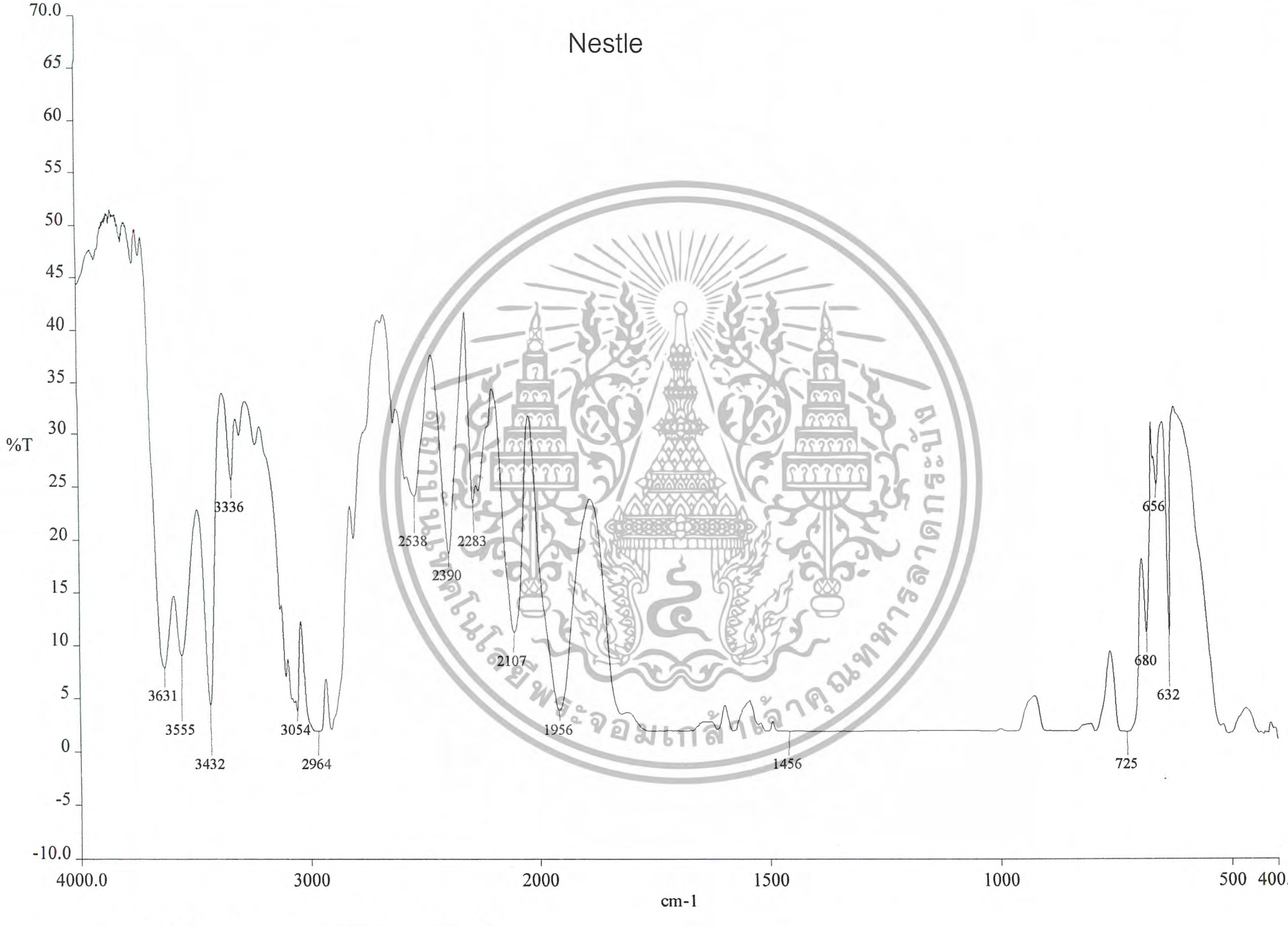


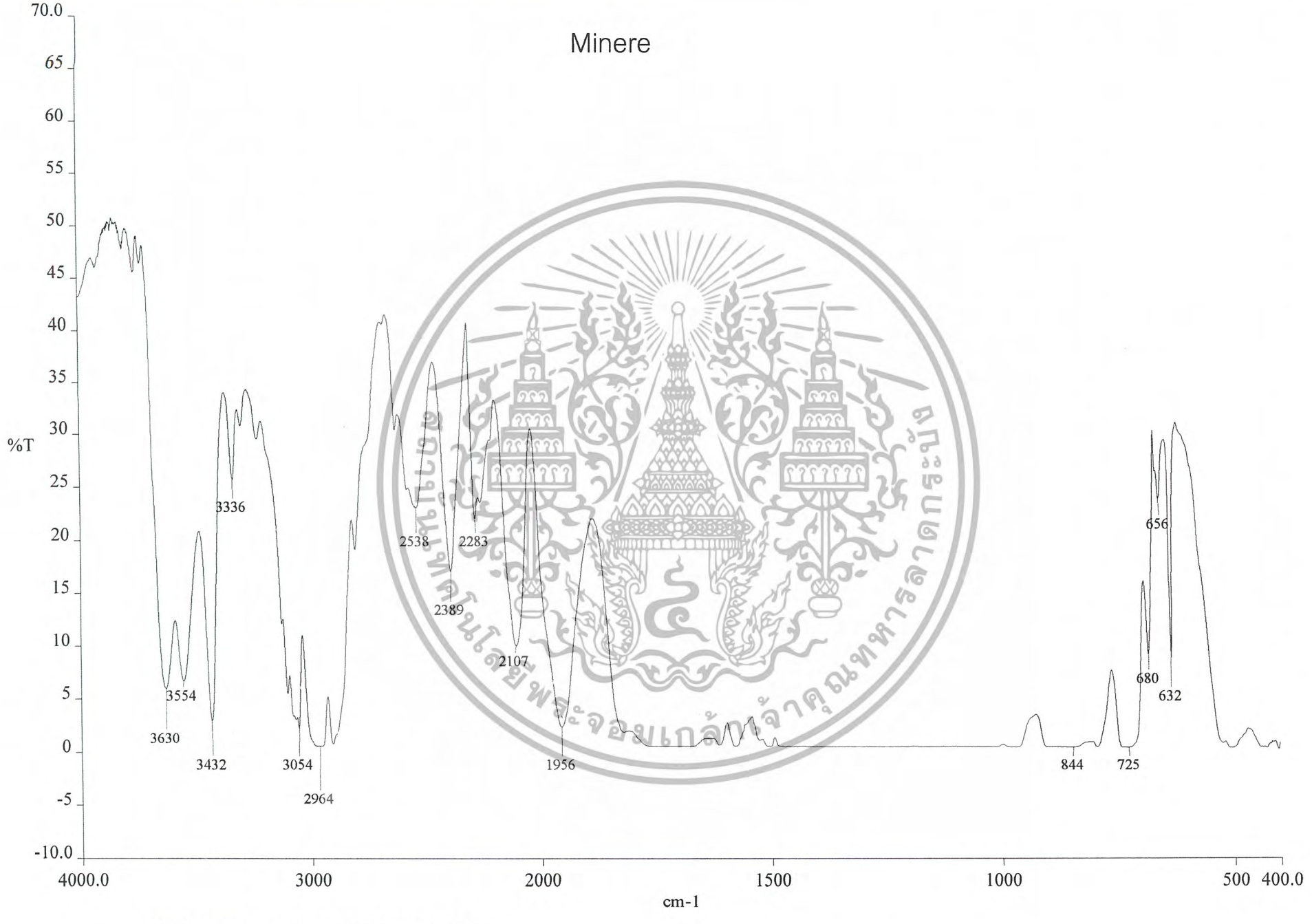
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

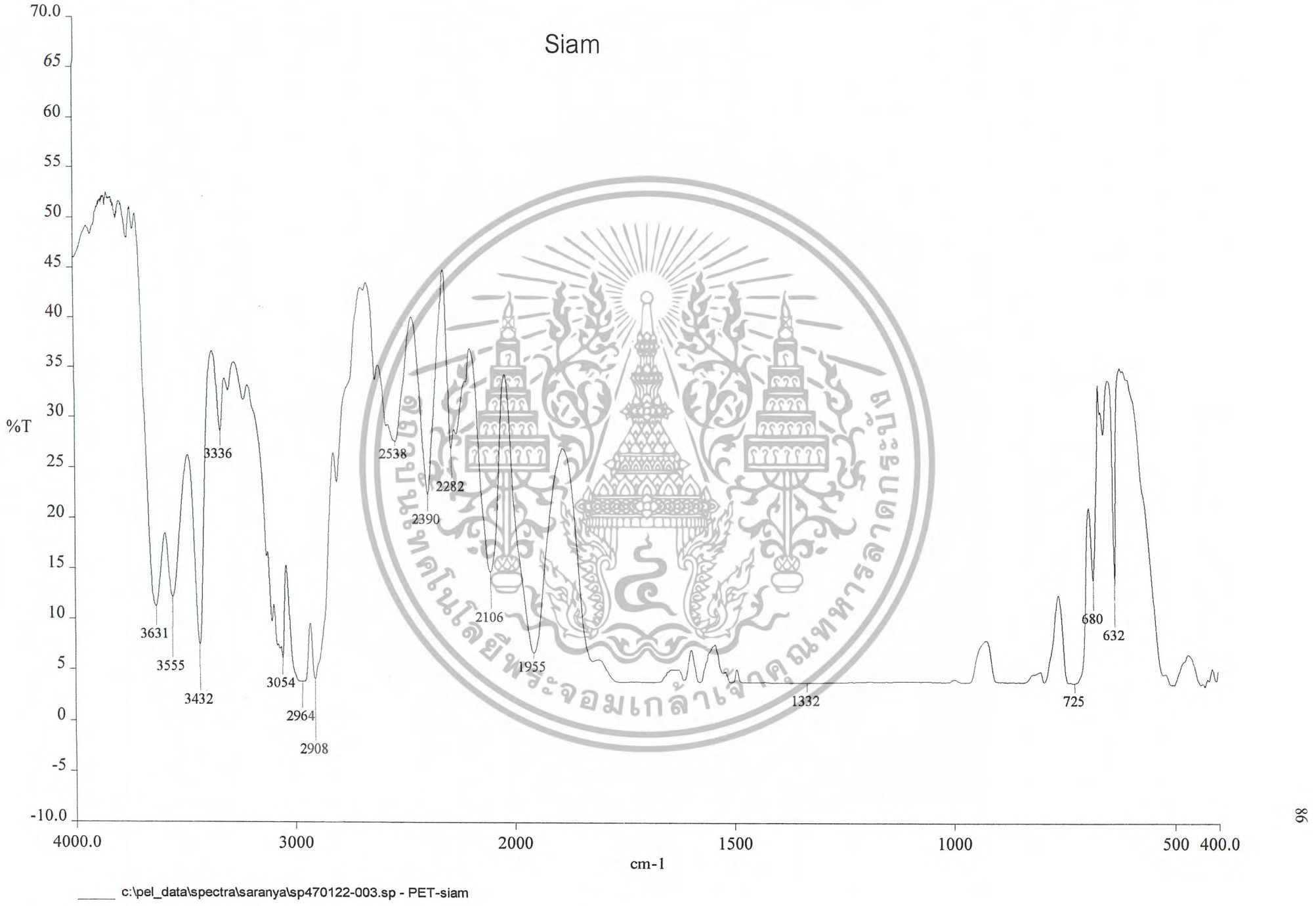


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

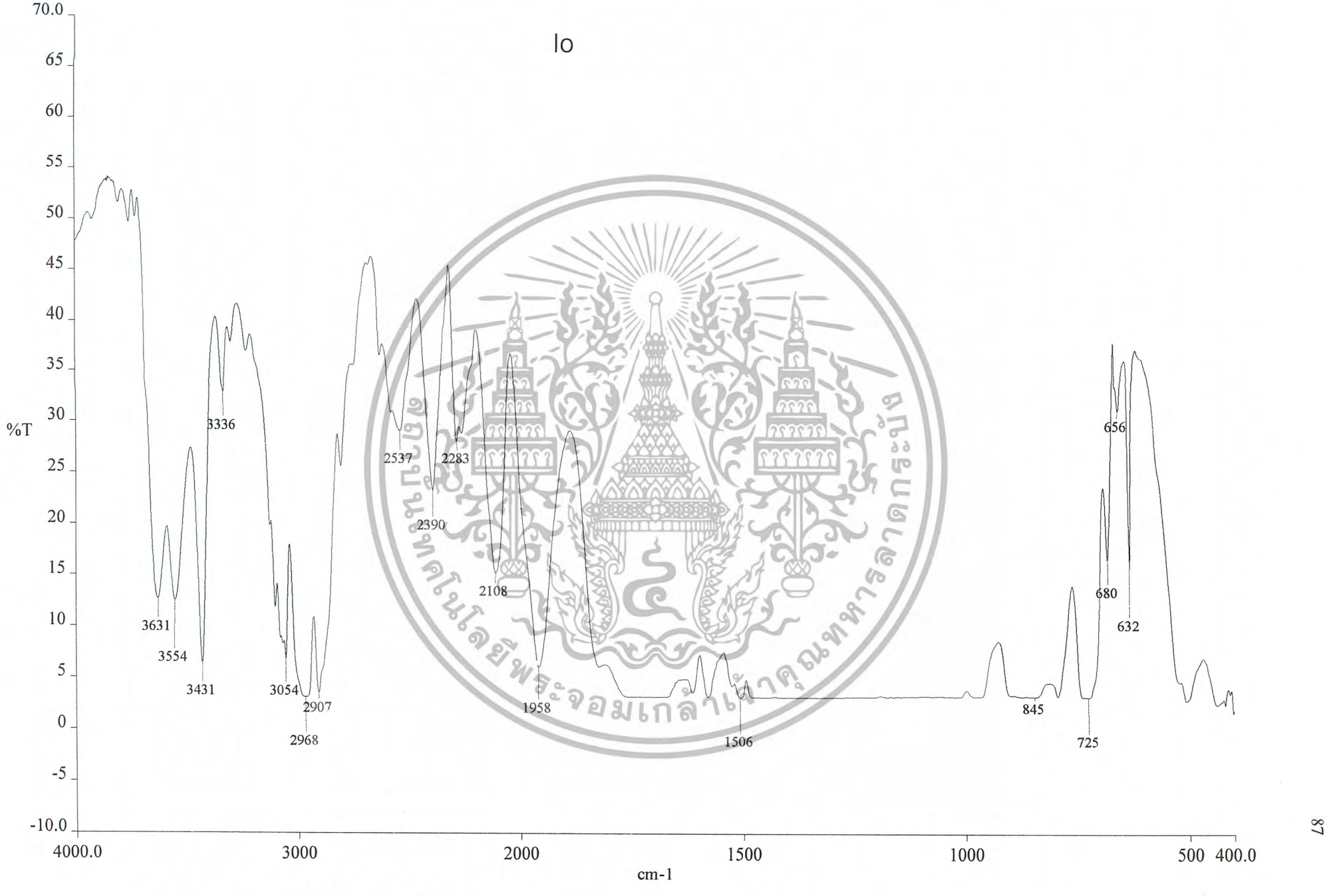

Coke
70.0
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10.0
%T
3627
3431
3336
2952
2537
2389
2284
2108
1956
716
632
4000.0
3000
2000
1500
1000
500
400.0
cm-1
c:\pel_data\spectra\saranya\sp470122-004.sp - PET-coke

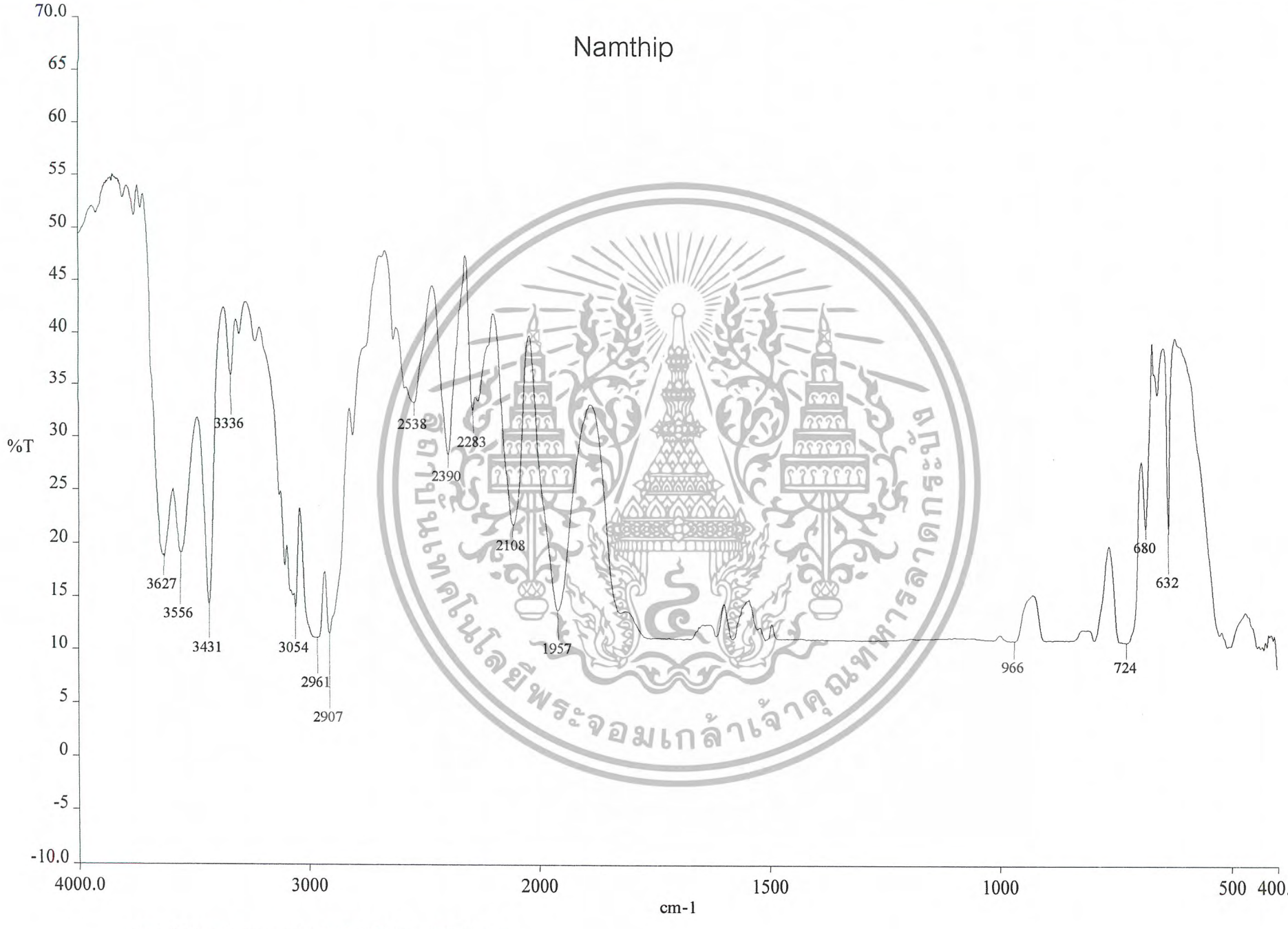

Nestle
70.0
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10.0
%T
3631
3555
3432
3336
3054
2964
2538
2390
2283
2107
1956
1456
725
680
656
632
4000.0
3000
2000
1500
1000
500
400.0
cm-1
c:\pel_data\spectra\saranya\sp470122-006.sp - PET-nestle

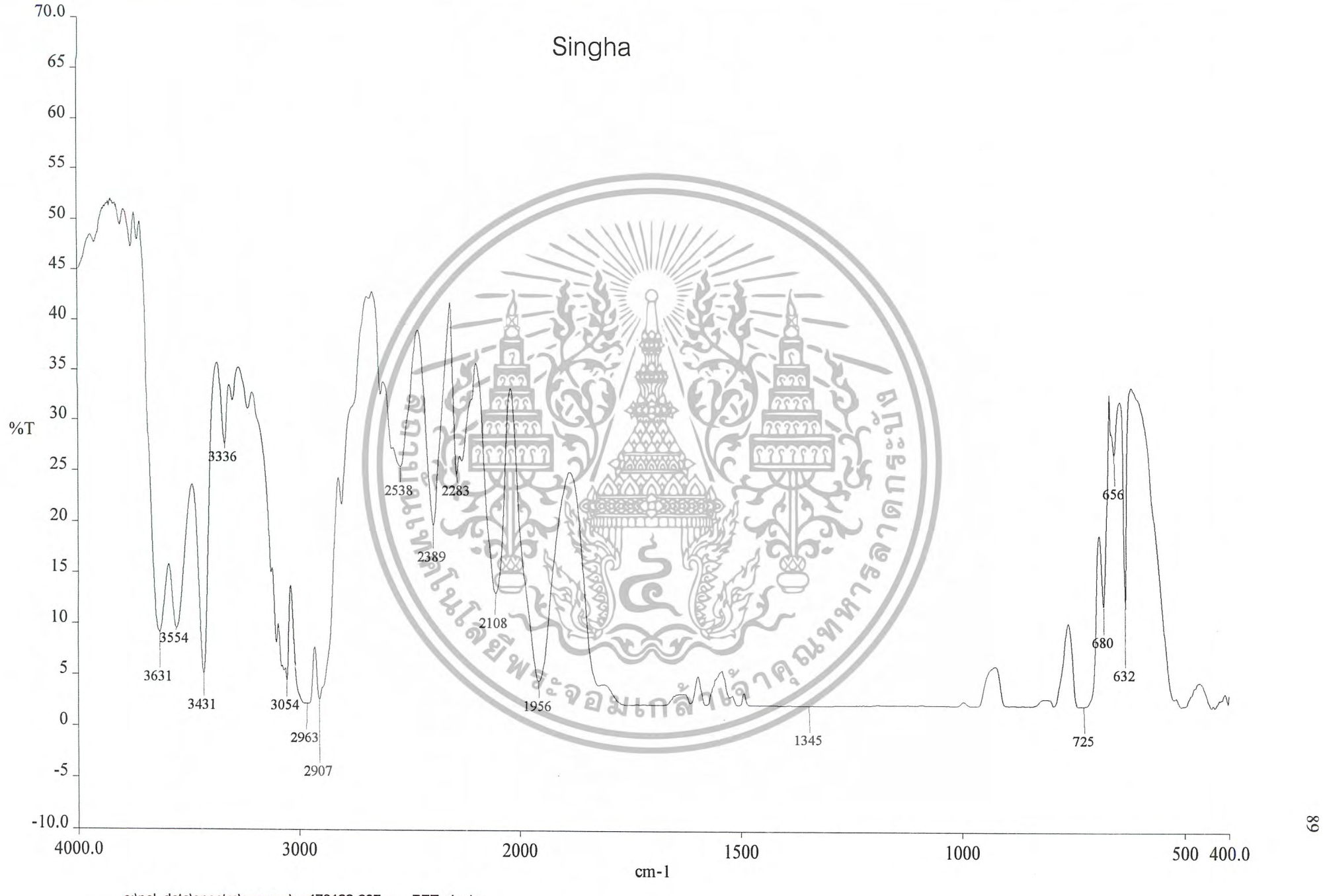

Minere
70.0
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10.0
%T
4000.0
3000
2000
1500
1000
500
400.0
cm-1
3630
3554
3432
3336
3054
2964
2538
2389
2283
2107
1956
844
725
680
656
632
c:\pel_data\spectra\saranya\sp470122-005.sp - PET-minere



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


Io
70.0
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10.0
%T
4000.0
3000
2000
1500
1000
500
400.0
cm-1
3631
3554
3431
3336
3054
2907
2968
2537
2390
2283
2108
1958
1506
845
725
680
656
632
c:\pel_data\spectra\saranya\sp470122-008.sp - PET-io


Namthip
70.0
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10.0
%T
4000.0
3000
2000
1500
1000
500
400.0
cm-1
3627
3556
3431
3336
3054
2961
2907
2538
2390
2283
2108
1957
966
724
680
632
c:\pel_data\spectra\saranya\sp470122-009.sp - PET-namthip


Singha
70.0
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10.0
%T
3631
3554
3431
3336
3054
2963
2907
2538
2389
2283
2108
1956
1345
725
680
656
632
4000.0
3000
2000
1500
1000
500
400.0
cm-1
c:\pel_data\spectra\saranya\sp470122-007.sp - PET-singha

ภาคผนวก จ

กราฟความเค้น - ความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Department of Chemistry, KMITL : Pepsi
: hdpe
:

	Stress @ Break (N/mm²)	At (%)	Rt 1 5.000 (N/mm²)	Sample Width (mm)	Sample Thick' (mm)
sample 1	16.32	60.68	26.83	7.80000	0.700000
sample 2	45.71	71.63	28.63	7.80000	0.700000
sample 3	40.54	61.76	28.17	7.80000	0.700000
sample 4	27.05	65.51	29.95	7.80000	0.700000
sample 5	49.20	71.85	27.37	7.80000	0.700000
sample 6	37.76	63.30	28.63	7.80000	0.700000
sample 7	50.21	82.26	21.91	7.80000	0.700000
sample 8	24.62	58.07	25.89	7.80000	0.700000
sample 9	47.59	83.76	27.37	7.80000	0.700000
sample 10	19.25	63.05	21.42	7.80000	0.700000
Mean	35.83	68.19	26.62	7.800	0.7000
Std dev	12.94	8.96	2.84	0.000	0.0000
C.O.V.	36.11	13.15	10.66	0.0000	0.000089
Range	33.89	25.69	8.526	0.0000	0.0000
Maximum	50.21	83.76	29.95	7.800	0.7000
Minimum	16.32	58.07	21.42	7.800	0.7000

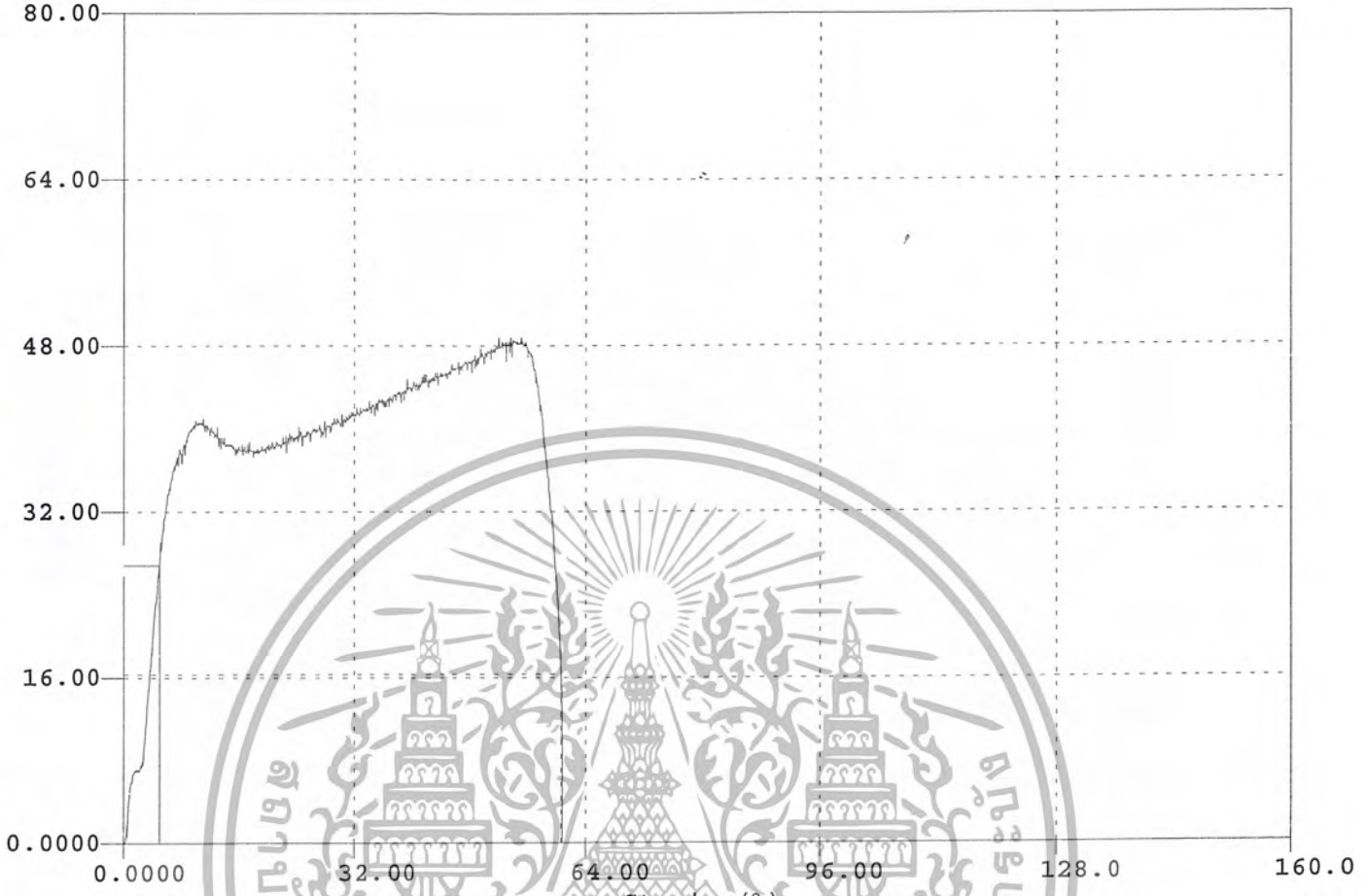
Test speed 1 : 50.000 mm/min
Gauge length 1 : 25.000 mm
Load cell : 30000.00 N
Cell class : 0.5
Internal Extensometer

Data saved as: C:\WINDAP\DATA\PEPSI.FSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 1 of 10

PEPSI

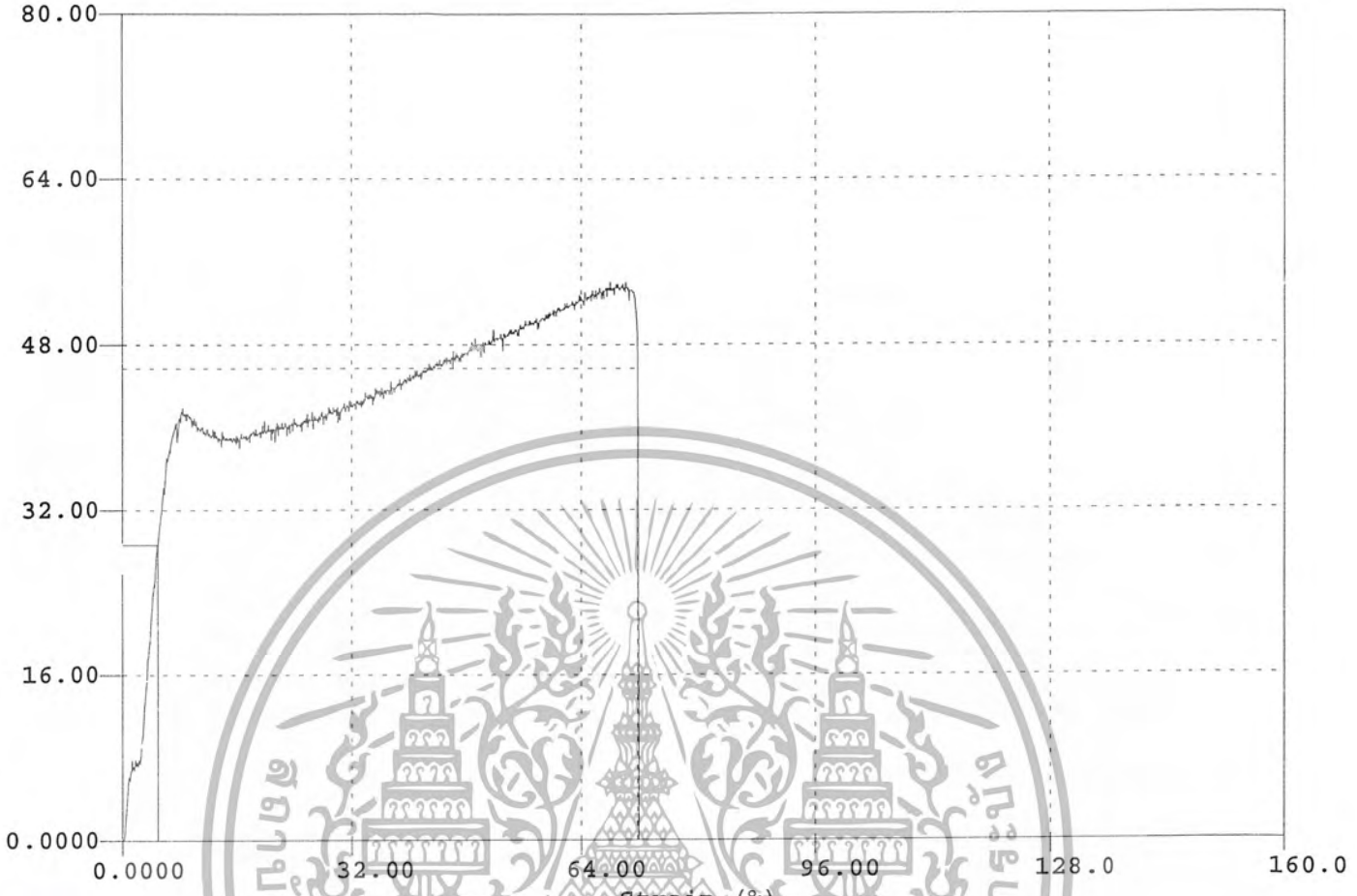


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 5.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
16.32	60.68	26.83	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 2 of 10

PEPSI

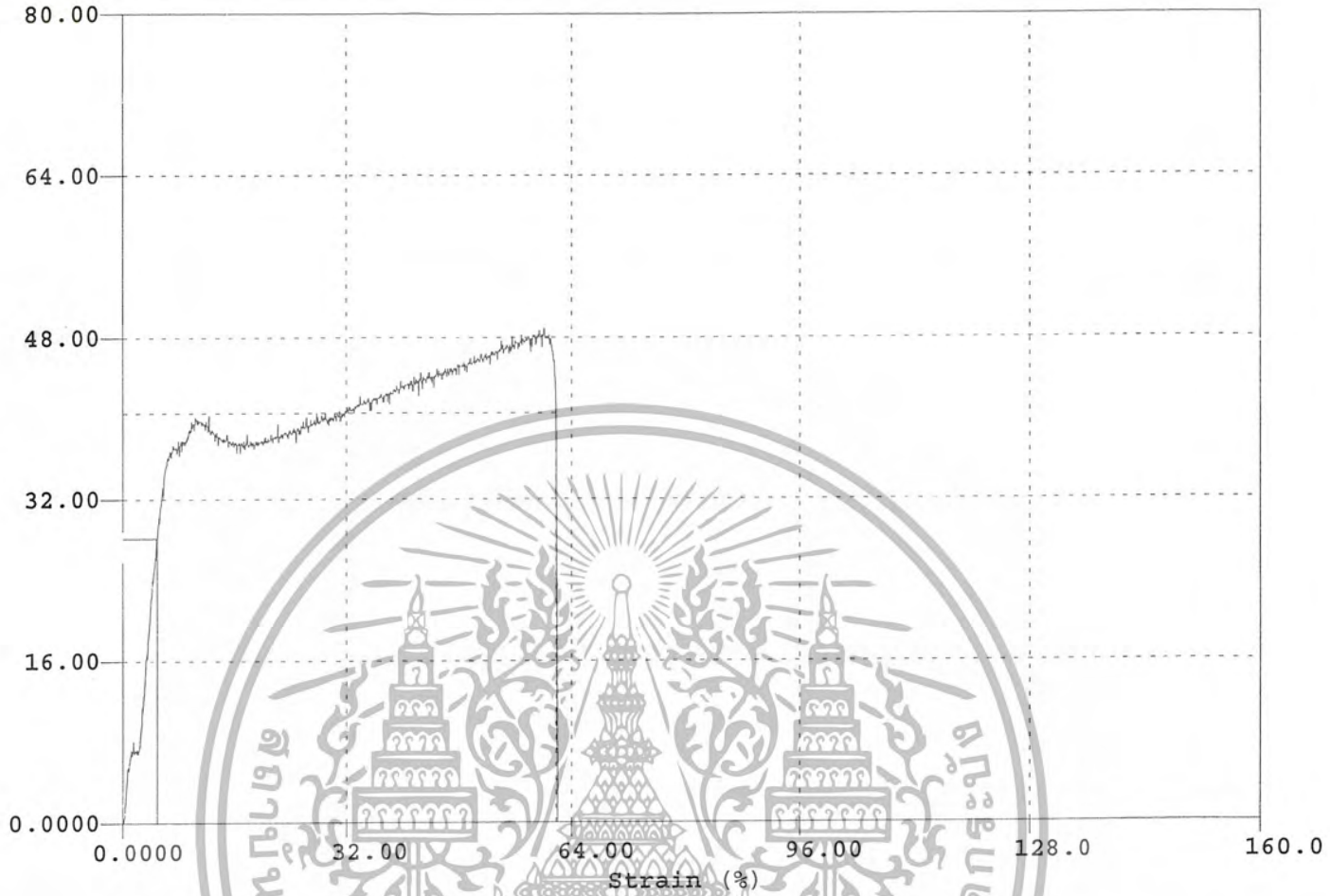


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 5.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
45.71	71.63	28.63	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 3 of 10

PEPSI

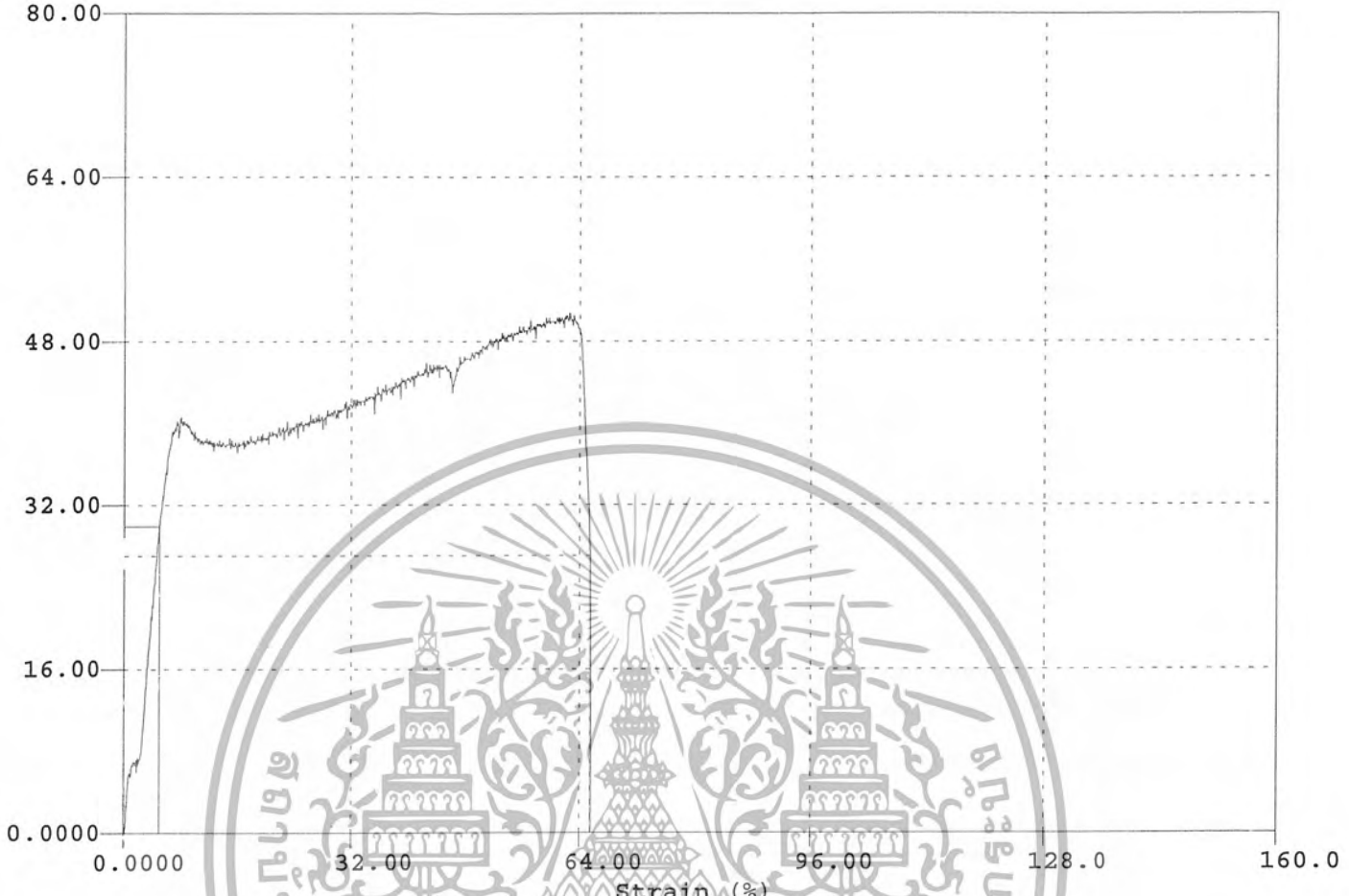


Stress @ Break	At	Rt 1	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	mm	mm
40.54	61.76	28.17	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 4 of 10

PEPSI

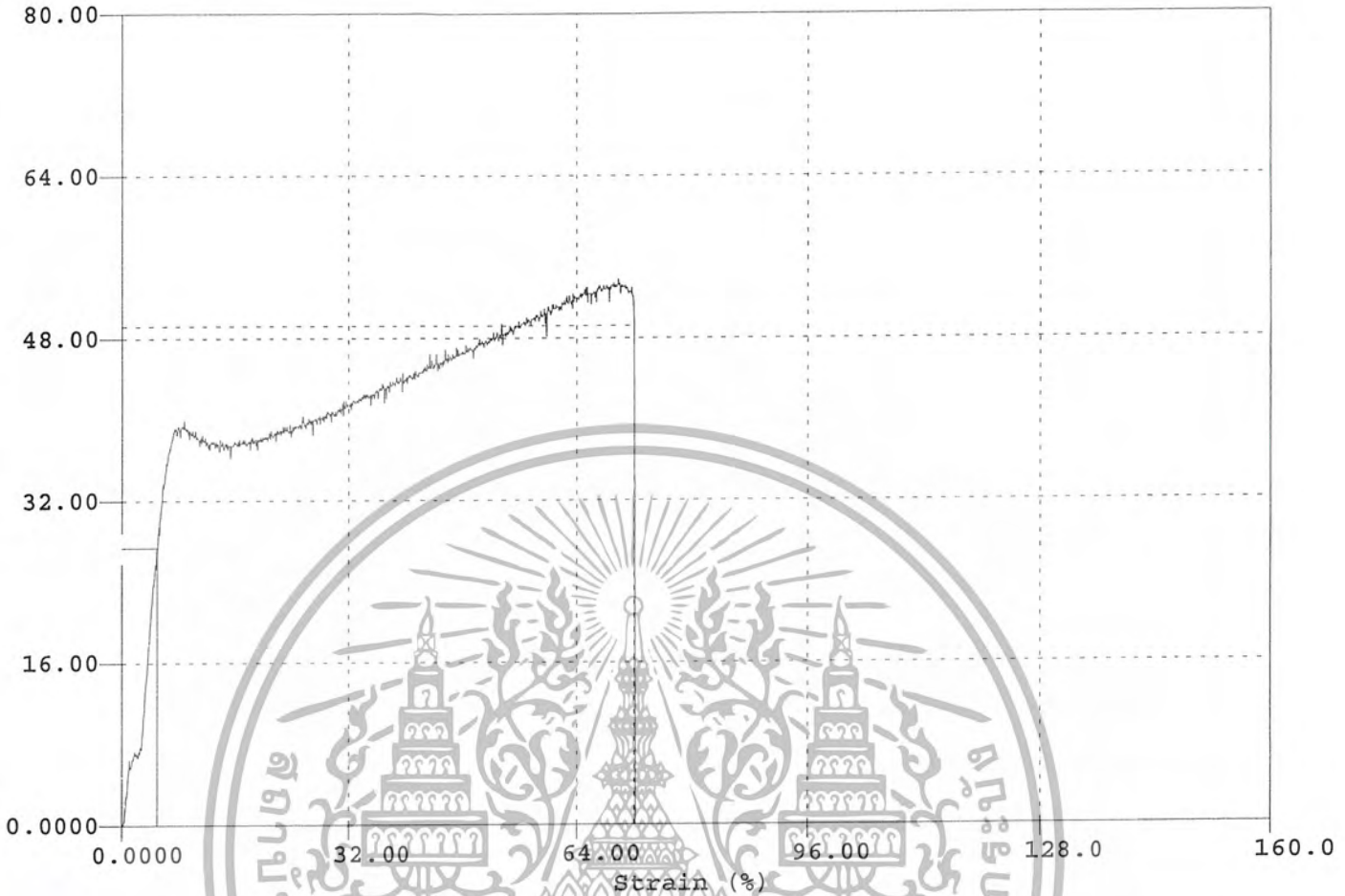


Stress @ Break	At	Rt 1 5.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	mm	mm
27.05	65.51	29.95	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 5 of 10

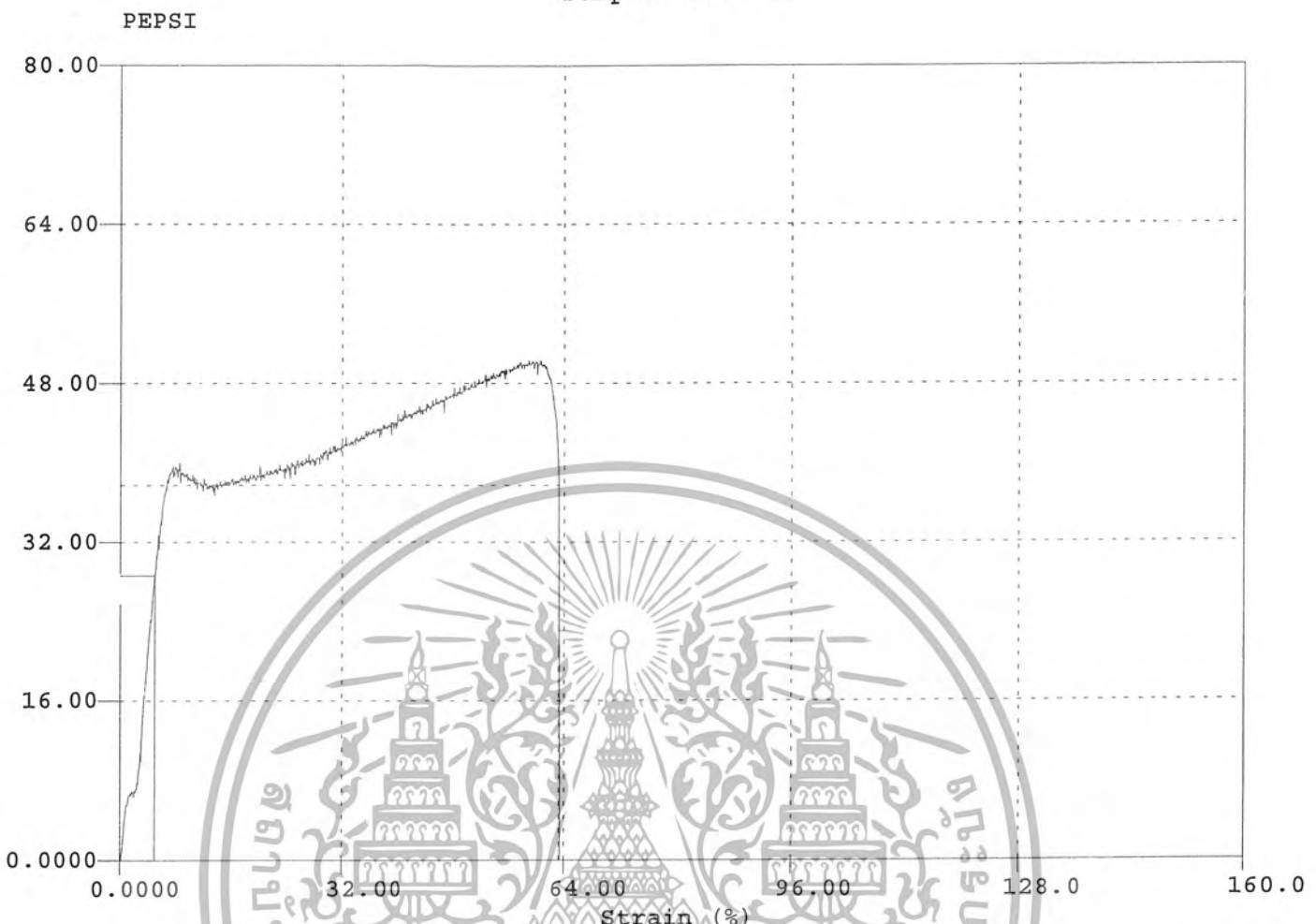
PEPSI



Stress @ Break	At	Rt 1	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	mm	mm
49.20	71.85	27.37	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 6 of 10

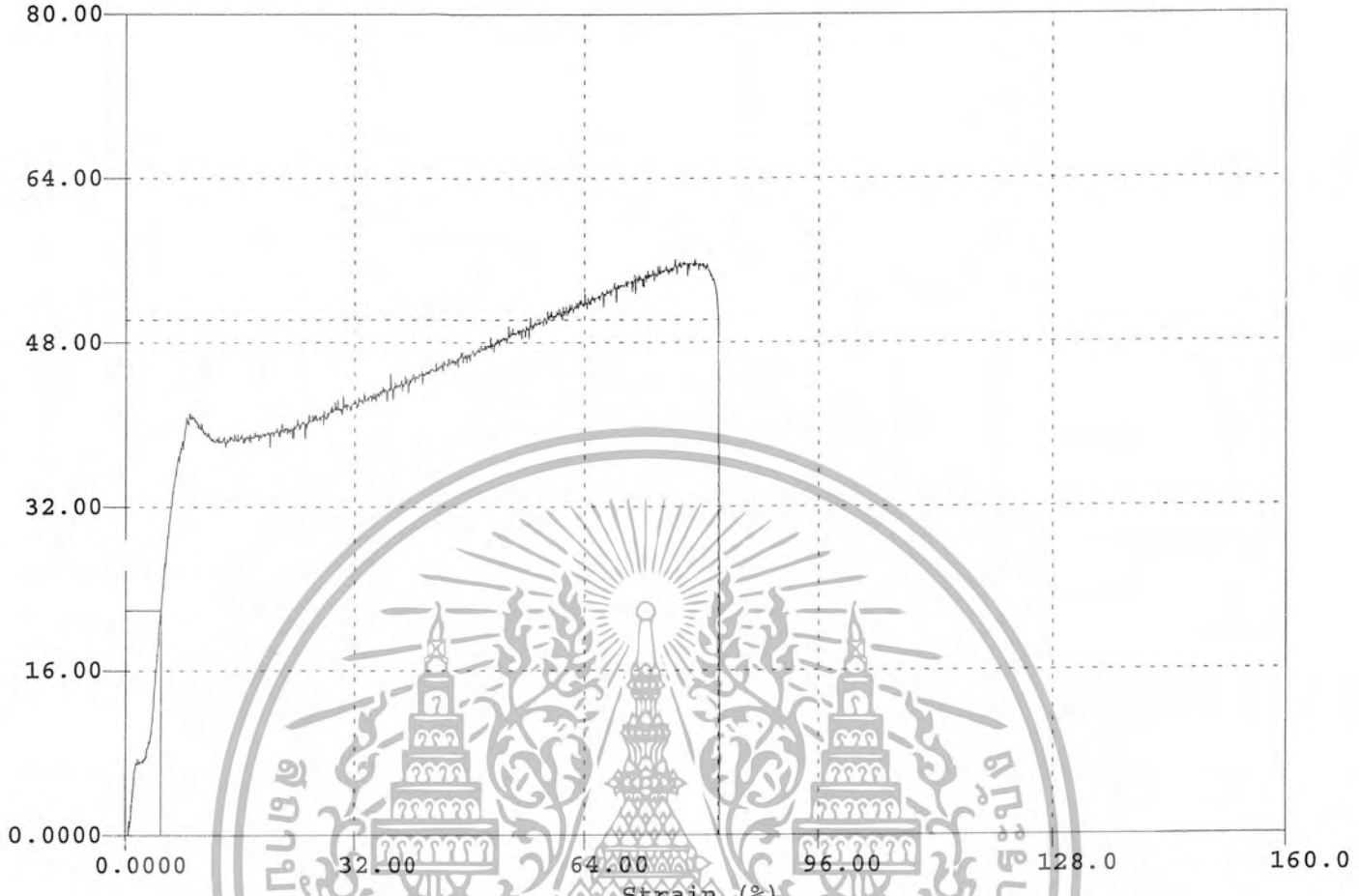


Stress @ Break	At	Rt 1	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	mm	mm
37.76	63.30	28.63	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 7 of 10

PEPSI

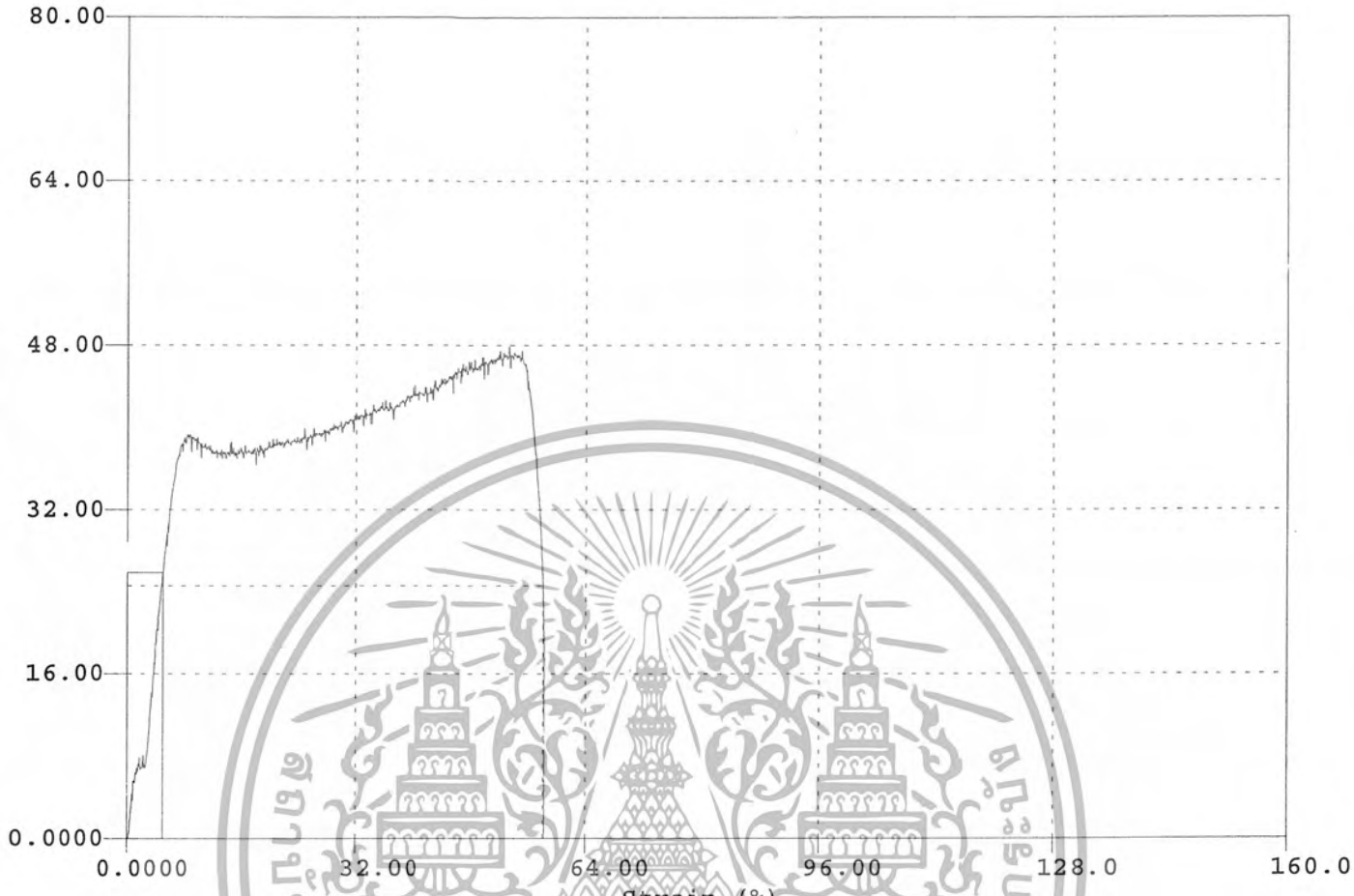


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 5.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
50.21	82.26	21.91	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 8 of 10

PEPSI

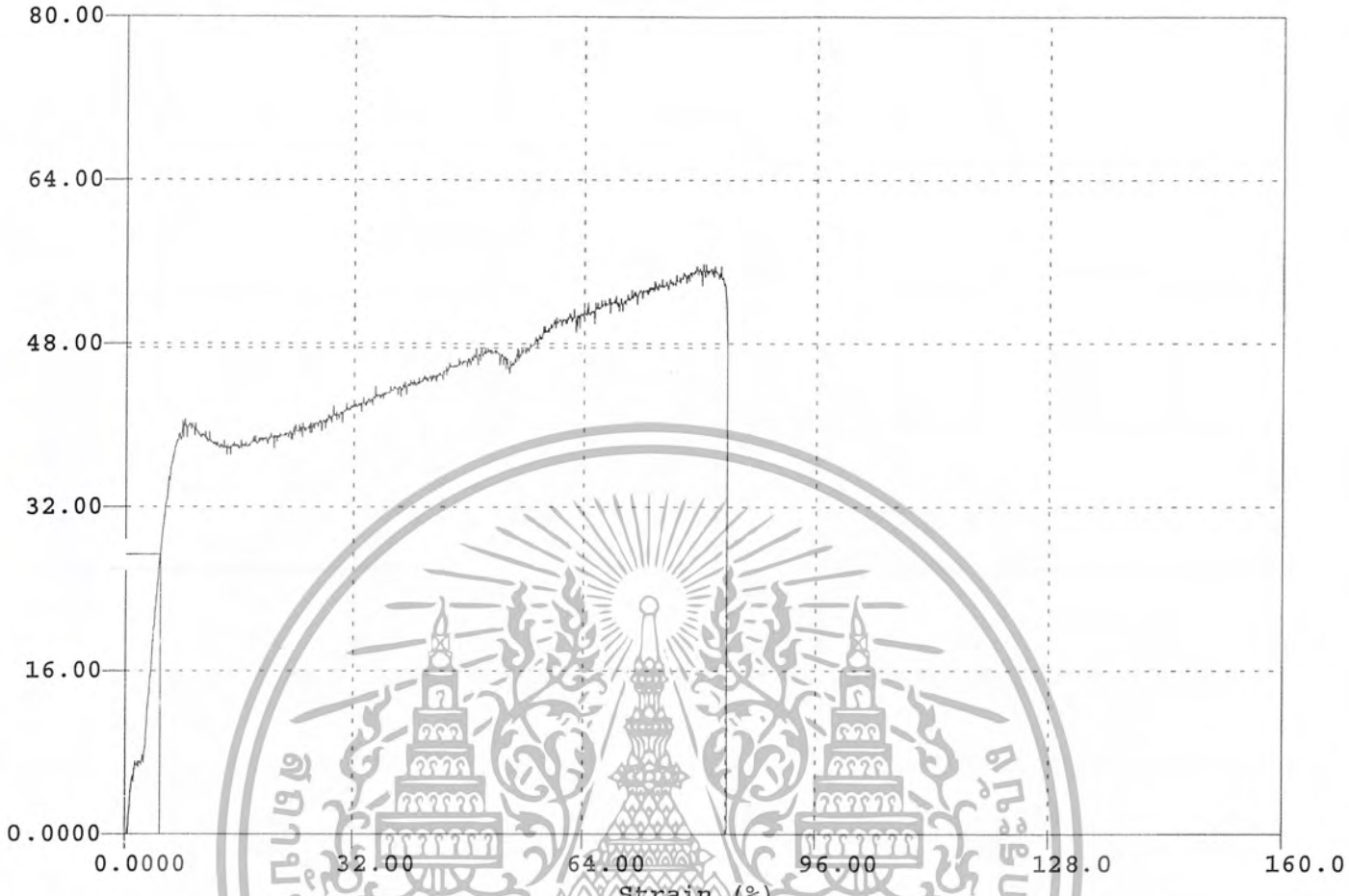


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 5.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
24.62	58.07	25.89	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 9 of 10

PEPSI

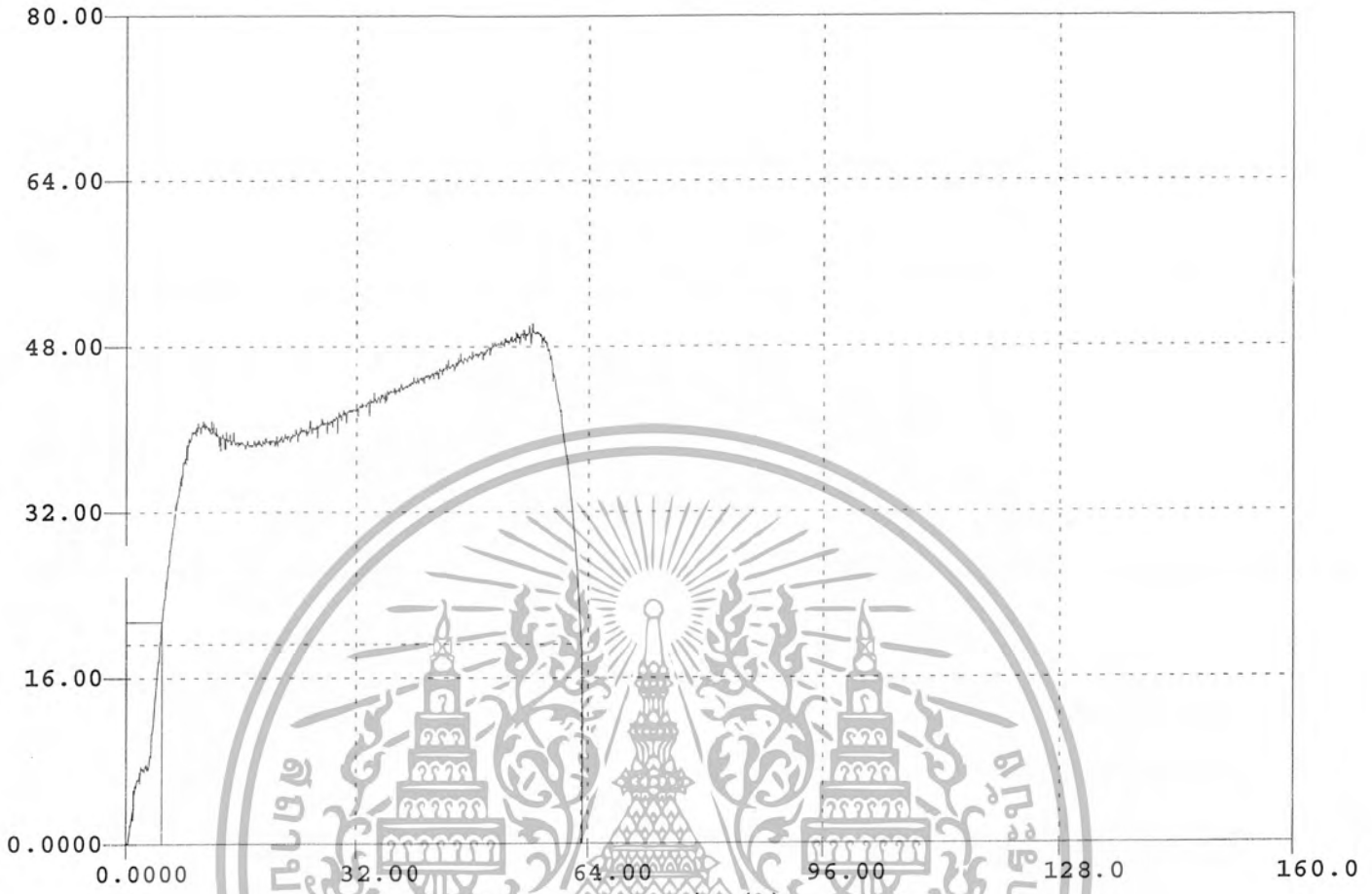


Stress @ Break	At	Rt 1 5.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	mm	mm
47.59	83.76	27.37	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 10 of 10

PEPSI



Stress @ Break	At	Rt 1	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	mm	mm
19.25	63.05	21.42	7.80000	0.700000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Department of Chemistry, KMITL : Siam
: hdpe
:

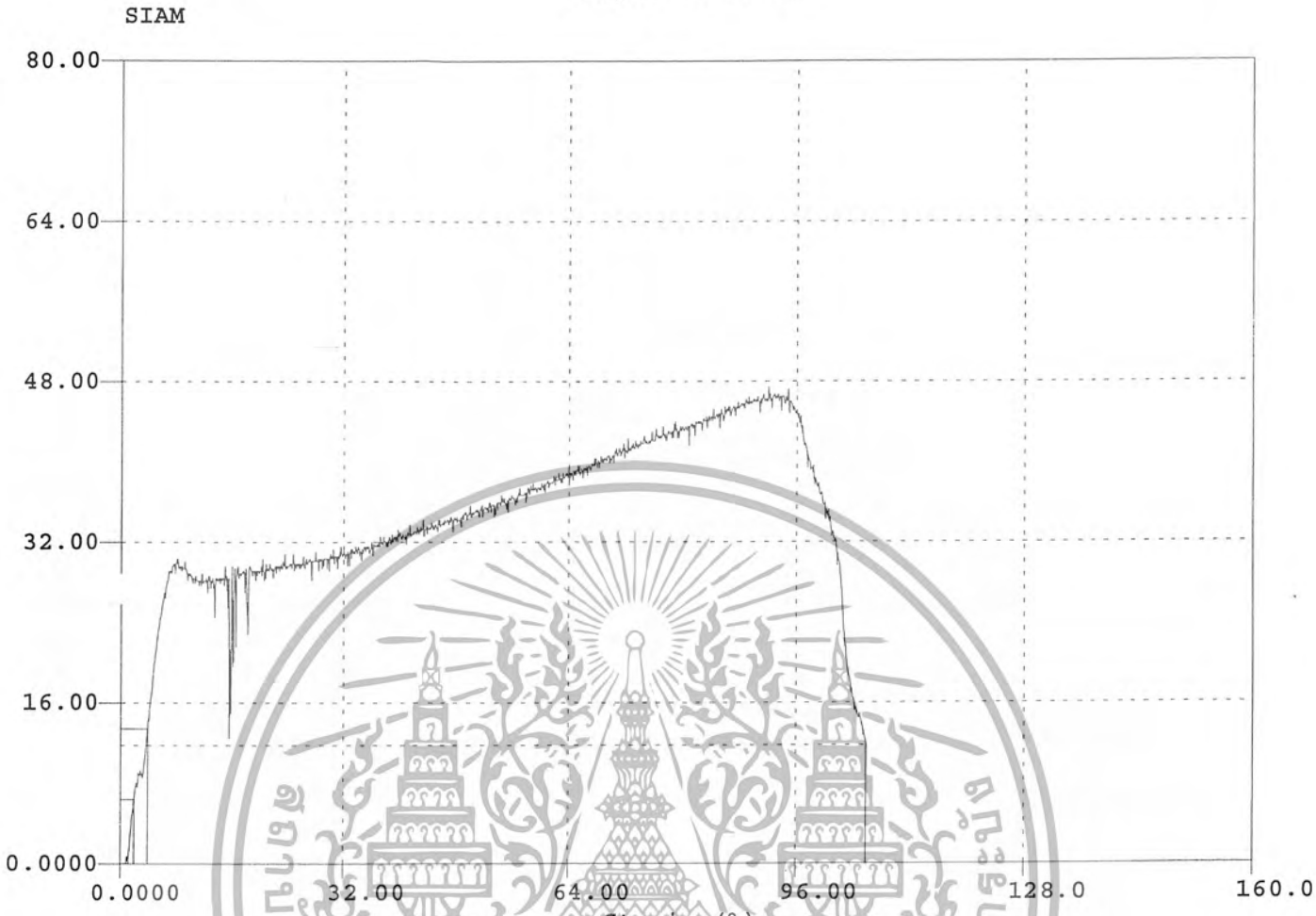
	Stress @ Break (N/mm²)	At (%)	Rt 1 2.000 (N/mm²)	Rt 2 4.000 (N/mm²)	Sample Width (mm)	Sample Thick' (mm)
sample 1	11.76	105.9	6.381	13.46	7.80000	0.600000
sample 2	26.10	76.84	8.592	19.75	7.80000	0.600000
sample 3	34.05	133.2	6.606	12.96	7.80000	0.600000
sample 4	11.96	64.68	2.286	9.254	7.80000	0.600000
sample 5	35.53	110.6	2.684	9.217	7.80000	0.600000
sample 6	15.78	54.49	2.509	8.690	7.80000	0.600000
sample 7	11.93	72.68	0.9964	8.998	7.80000	0.600000
sample 8	14.58	64.22	5.393	13.27	7.80000	0.600000
sample 9	12.33	80.85	6.550	12.55	7.80000	0.600000
sample 10	39.36	141.7	8.332	18.76	7.80000	0.600000
Mean	21.34	90.53	5.033	12.69	7.800	0.6000
Std dev	11.24	30.46	2.708	3.96	0.000	0.0000
C.O.V.	52.66	33.64	53.81	31.22	0.0000	0.0000
Range	27.60	87.26	7.596	11.06	0.0000	0.0000
Maximum	39.36	141.7	8.592	19.75	7.800	0.6000
Minimum	11.76	54.49	0.9964	8.690	7.800	0.6000

Test speed 1 : 50.000 mm/min
Gauge length 1 : 25.000 mm
Load cell : 30000.00 N
Cell class : 0.5
Internal Extensometer

Data saved as: C:\WINDAP\DATA\SIAM.FSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 1 of 10

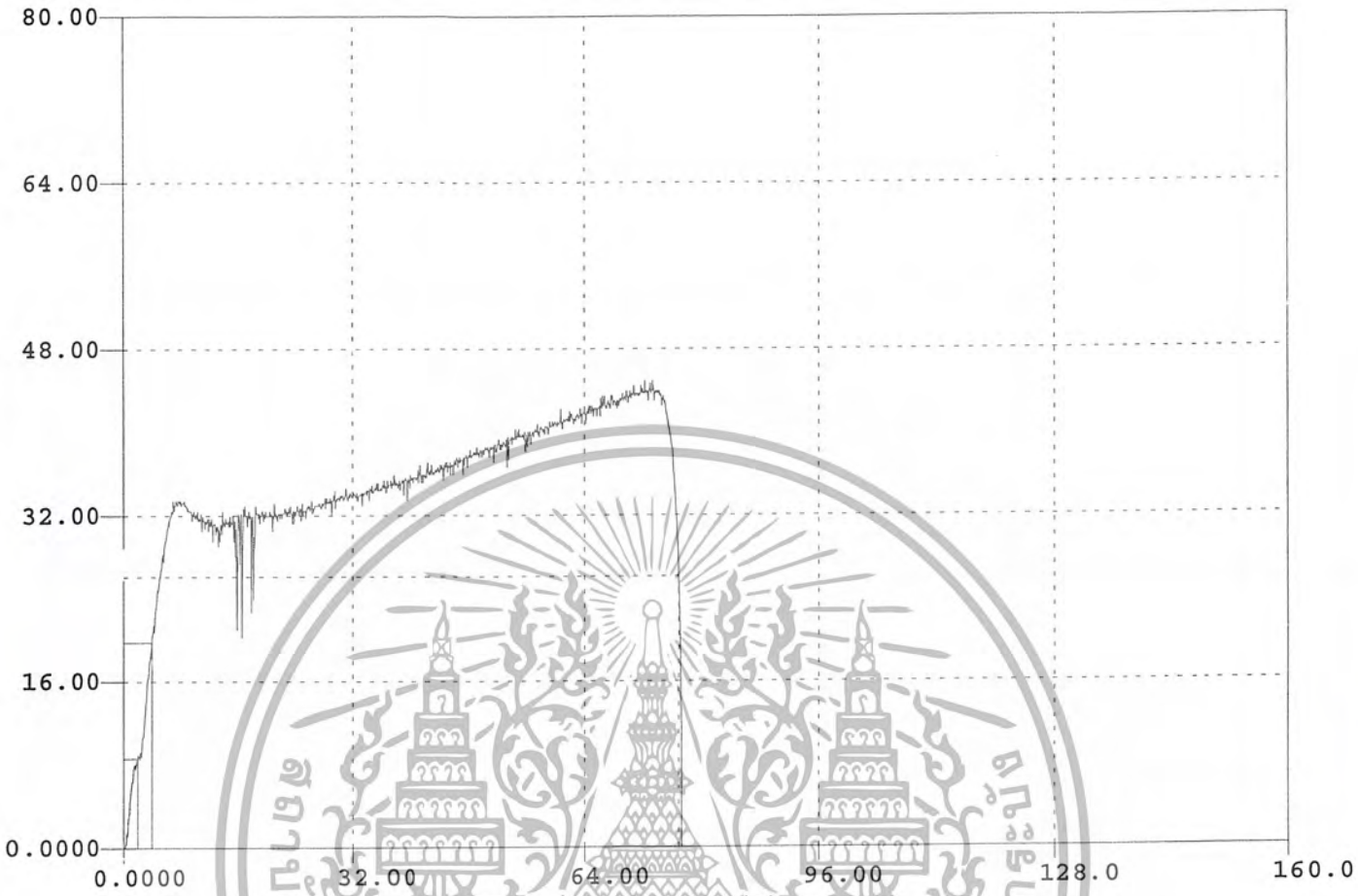


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
11.76	105.9	6.381	13.46	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 2 of 10

SIAM

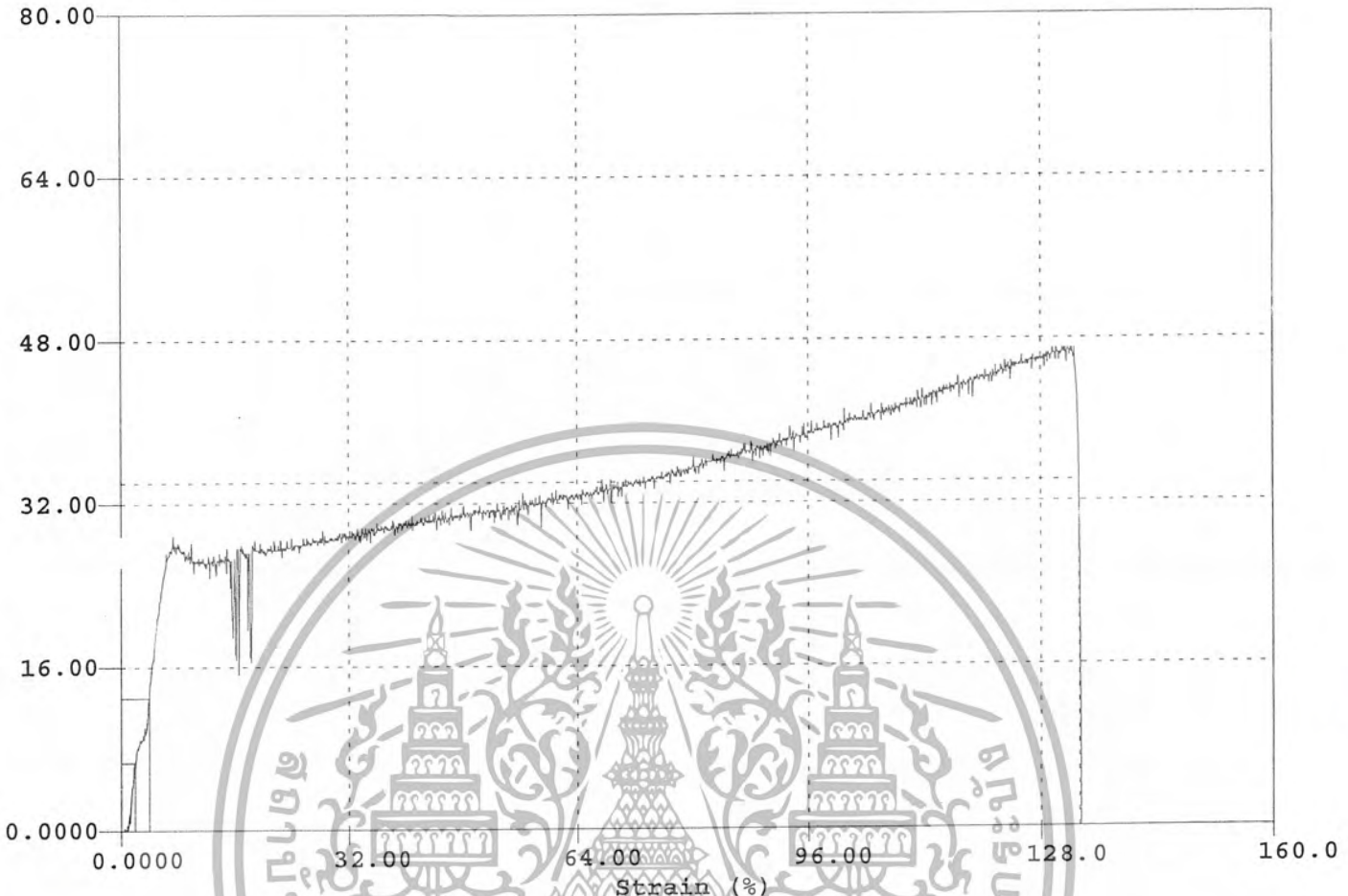


Stress @ Break	At	Rt 1	Rt 2	Sample Width	Sample Thick'
		2.000	4.000		
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
26.10	76.84	8.592	19.75	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 3 of 10

SIAM

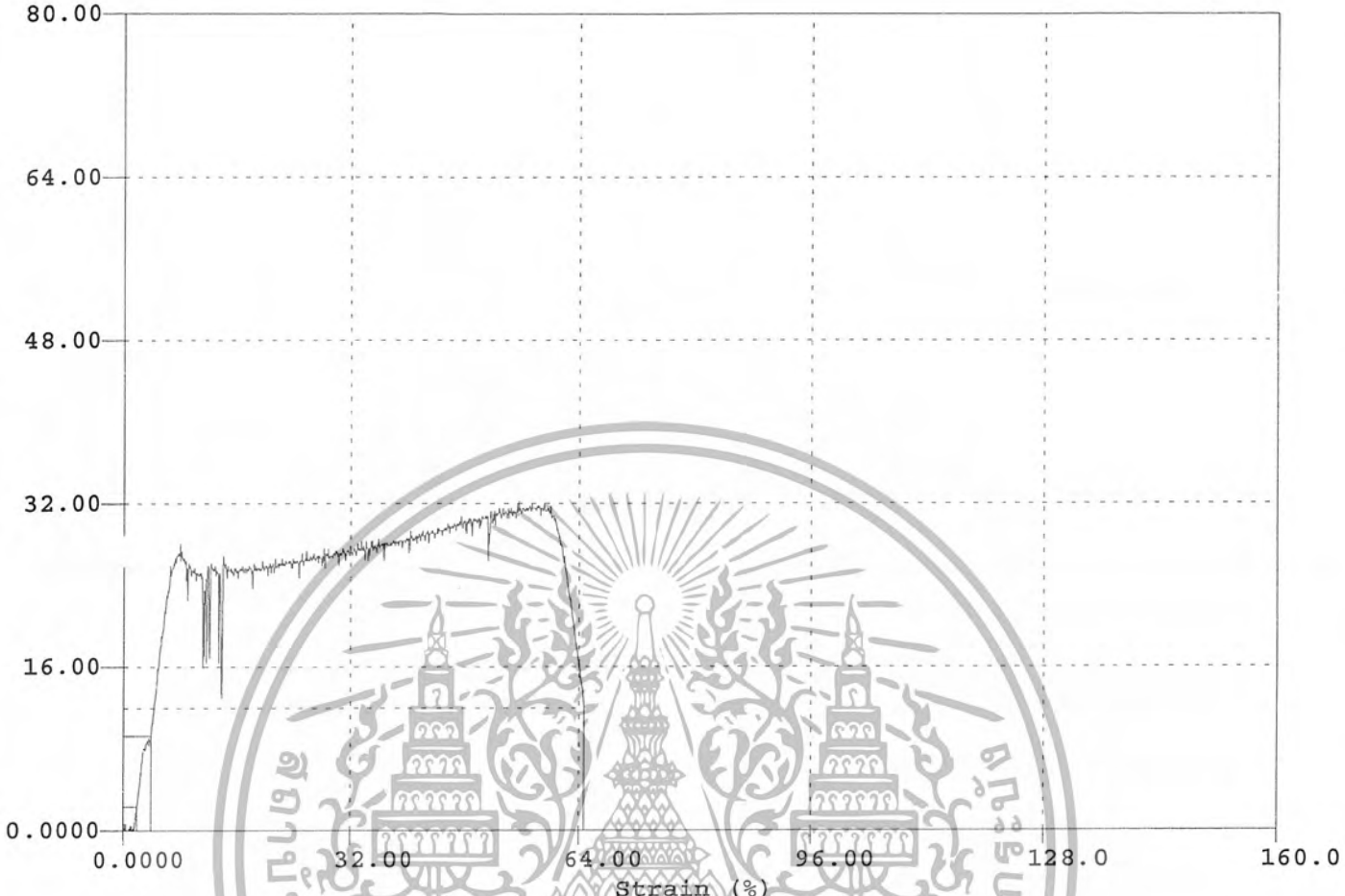


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
34.05	133.2	6.606	12.96	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 4 of 10

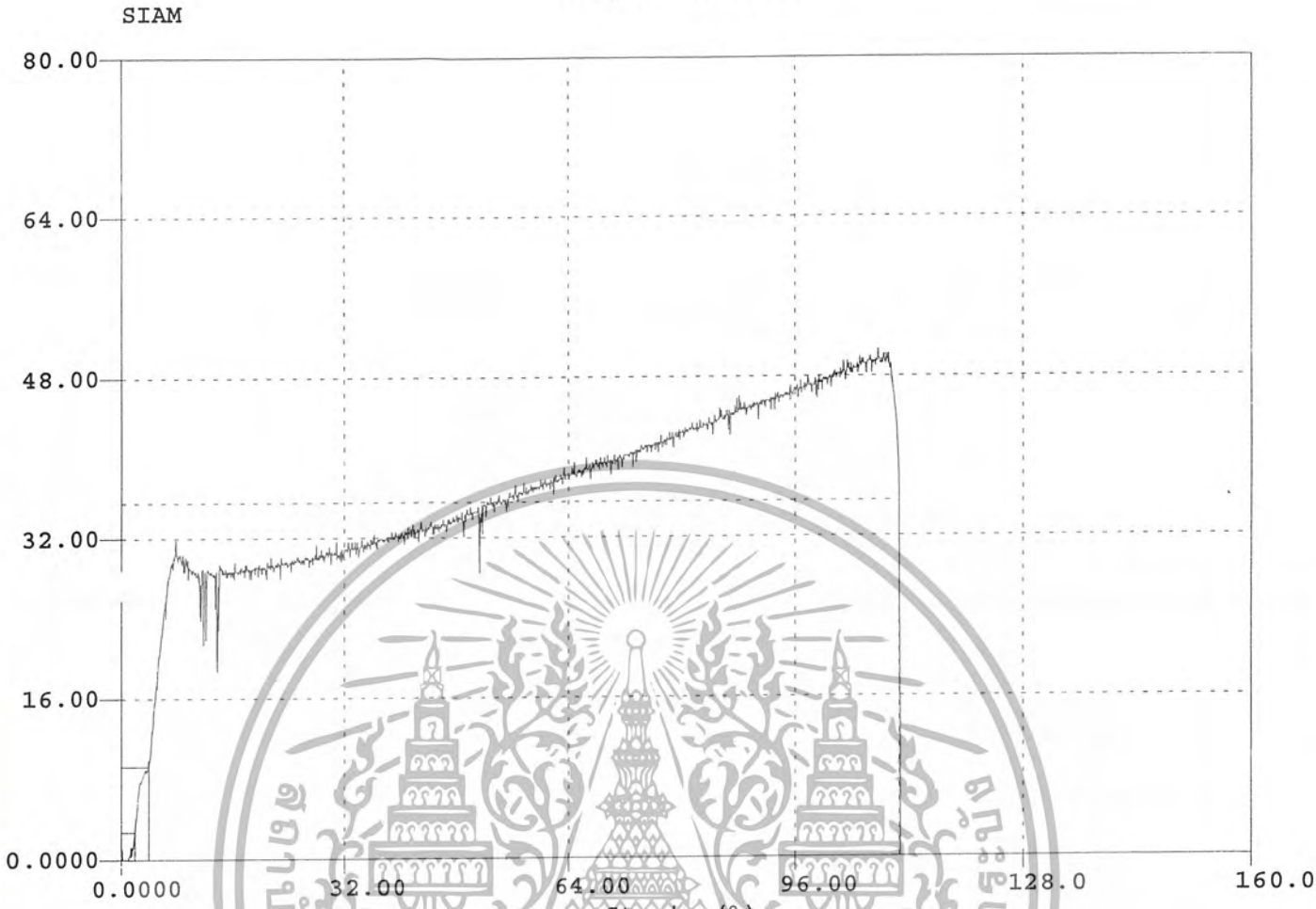
SIAM



Stress @ Break	At	Rt 1	Rt 2	Sample Width	Sample Thick'
		2.000	4.000		
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
11.96	64.68	2.286	9.254	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

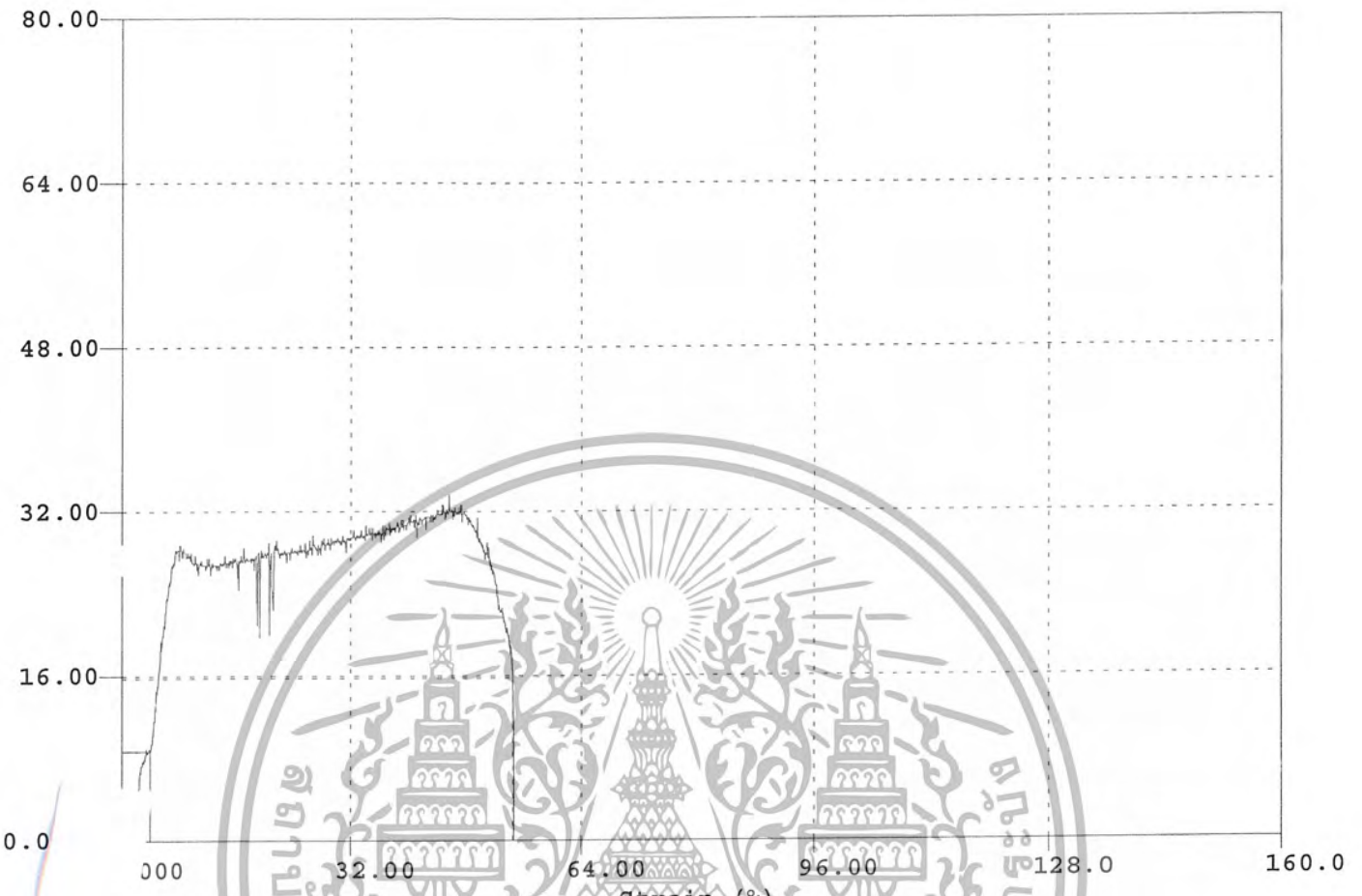
Sample 5 of 10



Stress @ Break	At	Rt 1	Rt 2	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	2.000 N/mm²	4.000 N/mm²	mm	mm
35.53	110.6	2.684	9.217	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 6 of 10

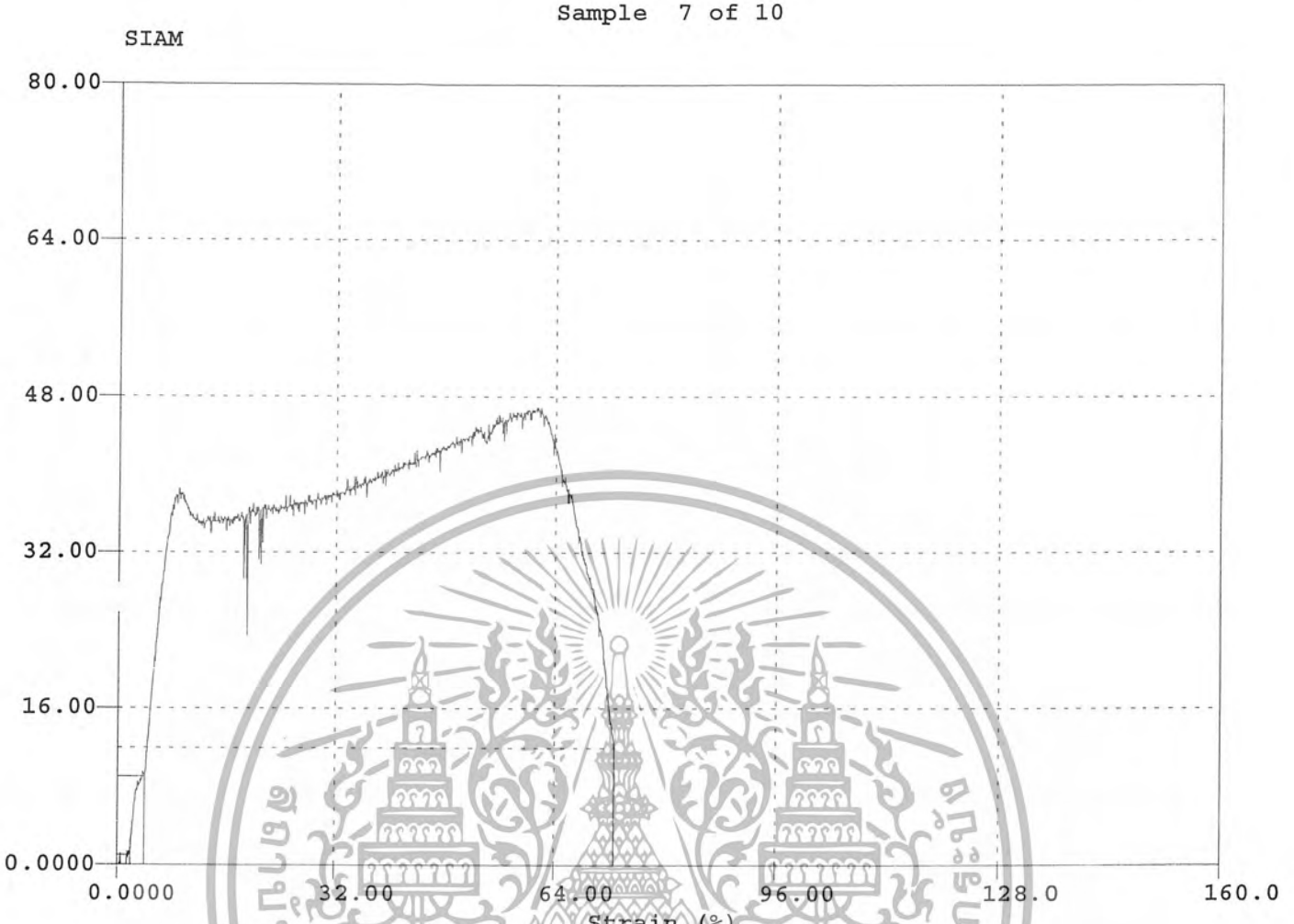


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
15.78	54.49	2.509	8.690	7.80000	0.600000

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 7 of 10

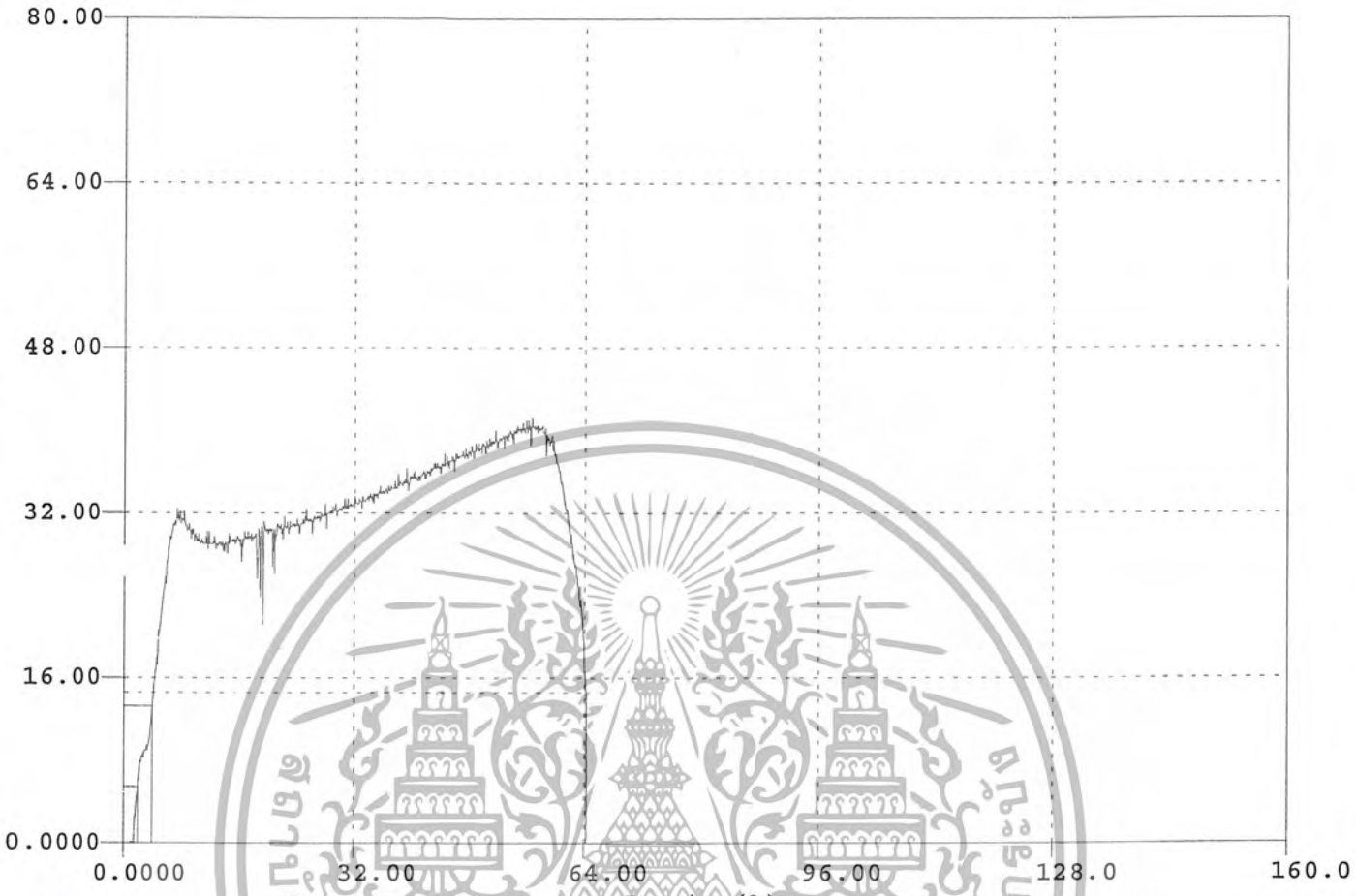


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
11.93	72.68	0.9964	8.998	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 8 of 10

SIAM

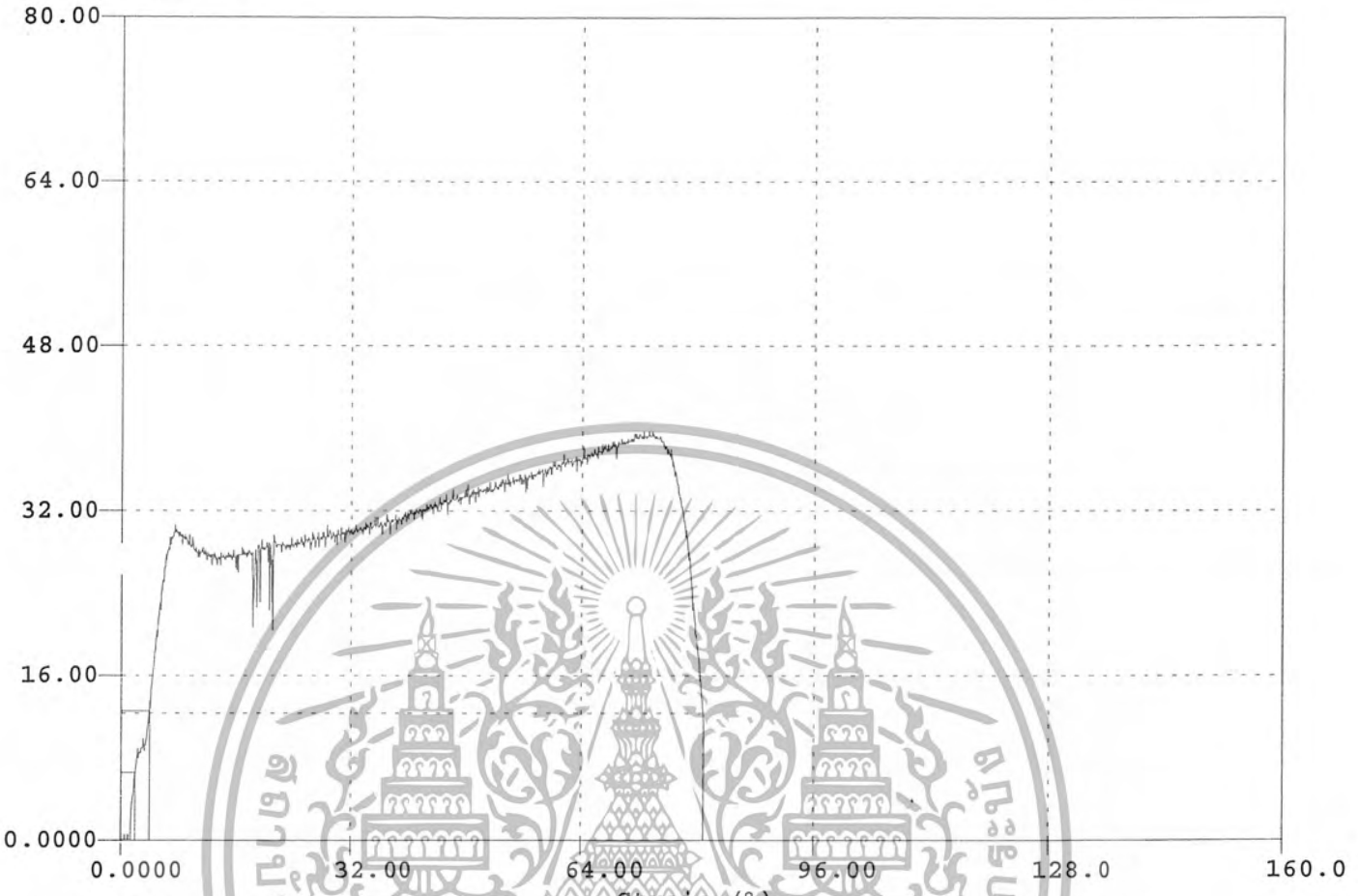


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
14.58	64.22	5.393	13.27	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 9 of 10

SIAM

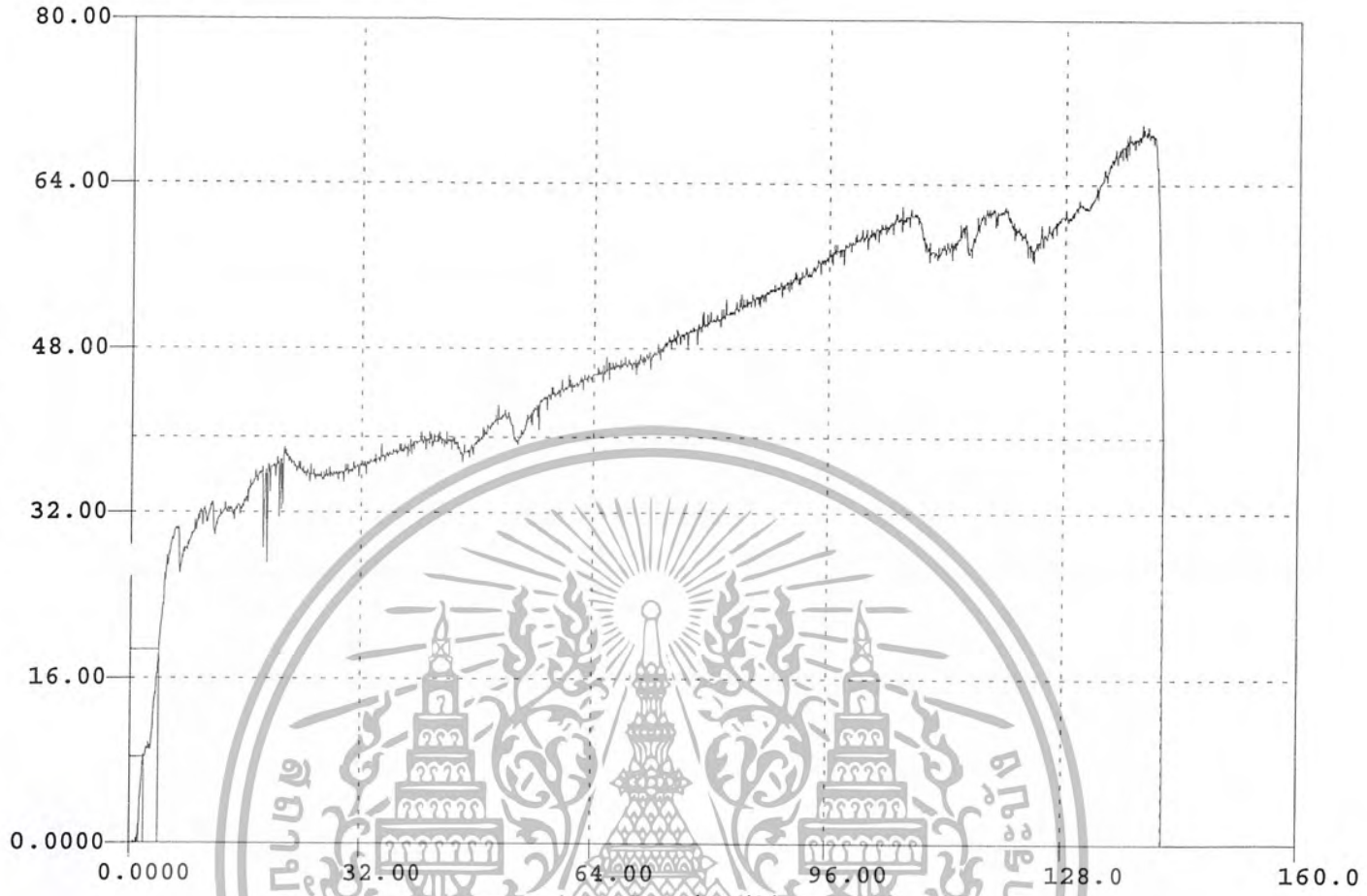


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
12.33	80.85	6.550	12.55	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 10 of 10

SIAM



Stress @ Break	At	Rt 1	Rt 2	Sample Width	Sample Thick'
		2.000	4.000		
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
39.36	141.7	8.332	18.76	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Department of Chemistry, KMITL : Singha
: hdpe
:

	Stress @ Break (N/mm²)	At (%)	Rt 1 2.000 (N/mm²)	Rt 2 4.000 (N/mm²)	Sample Width (mm)	Sample Thick' (mm)
sample 1	24.31	64.42	1.643	5.126	7.80000	0.600000
sample 2	21.25	71.47	1.194	6.581	7.80000	0.600000
sample 3	15.24	59.18	0.4966	4.554	7.80000	0.600000
sample 4	11.87	38.38	0.9670	6.345	7.80000	0.600000
sample 5	20.67	64.21	0.9151	5.265	7.80000	0.600000
sample 6	19.25	50.84	0.7582	4.566	7.80000	0.600000
sample 7	28.21	76.37	1.300	6.028	7.80000	0.600000
sample 8	13.51	40.92	0.9064	6.597	7.80000	0.600000
sample 9	56.37	75.75	2.574	7.997	7.80000	0.600000
sample 10	18.28	49.18	0.4965	4.315	7.80000	0.600000
Mean	22.90	59.07	1.125	5.737	7.800	0.6000
Std dev	12.74	13.78	0.619	1.174	0.000	0.0000
C.O.V.	55.65	23.33	54.98	20.46	0.0000	0.0000
Range	44.50	38.00	2.077	3.683	0.0000	0.0000
Maximum	56.37	76.37	2.574	7.997	7.800	0.6000
Minimum	11.87	38.38	0.4965	4.315	7.800	0.6000

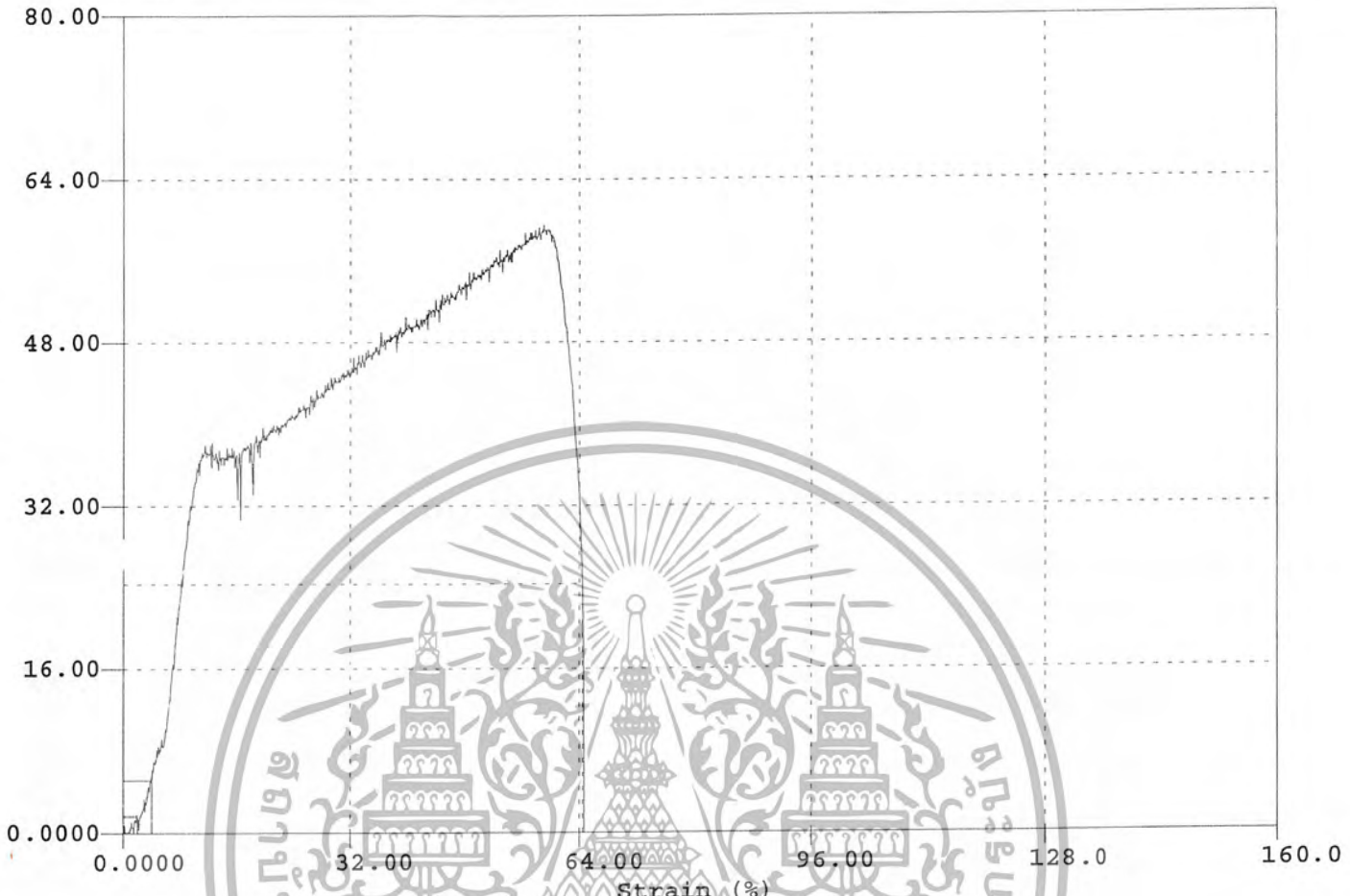
Test speed 1 : 50.000 mm/min
Gauge length 1 : 25.000 mm
Load cell : 30000.00 N
Cell class : 0.5
Internal Extensometer

Data saved as: C:\WINDAP\DATA\SINGHA.FSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 1 of 10

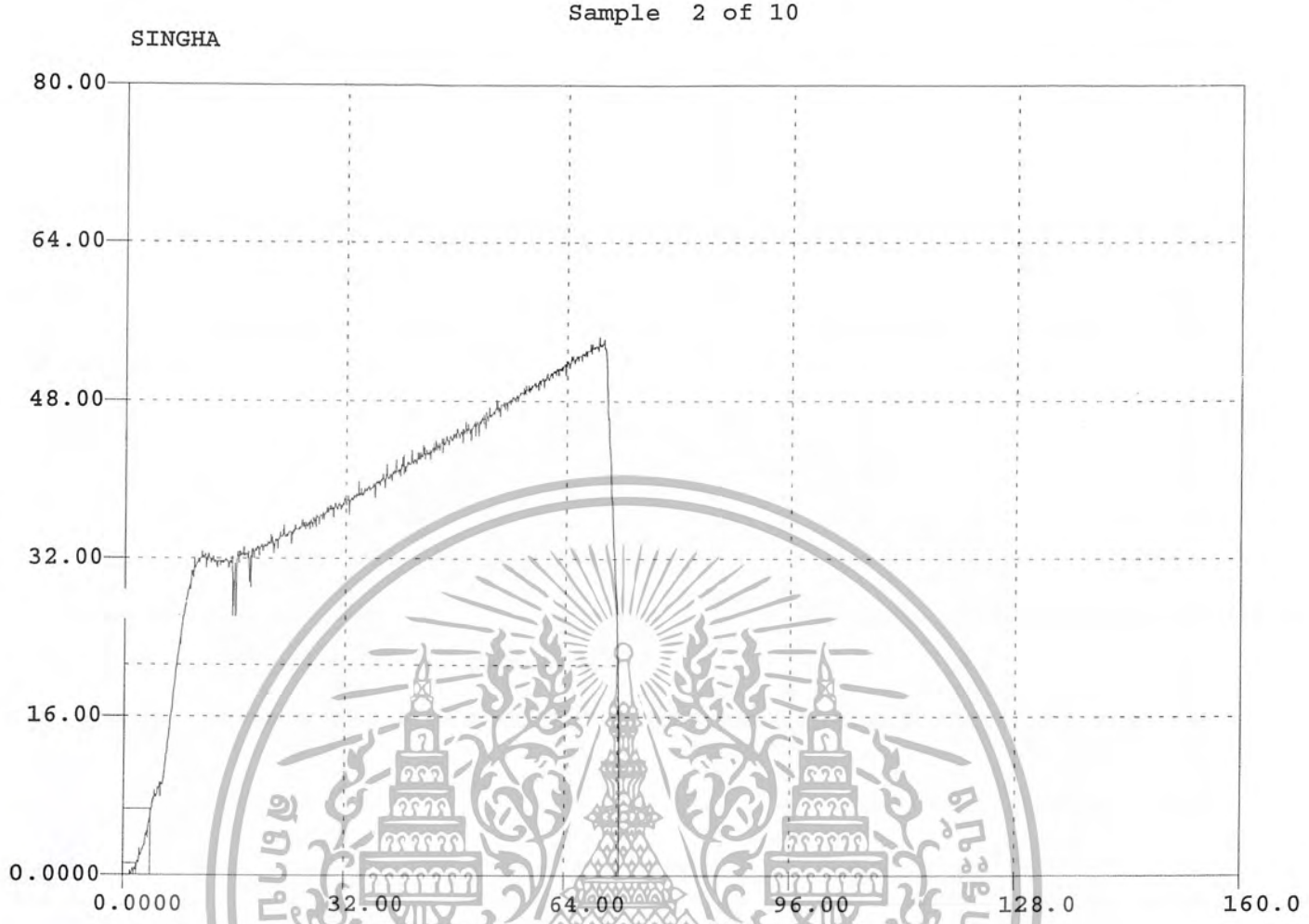
SINGHA



Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
24.31	64.42	1.643	5.126	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 2 of 10

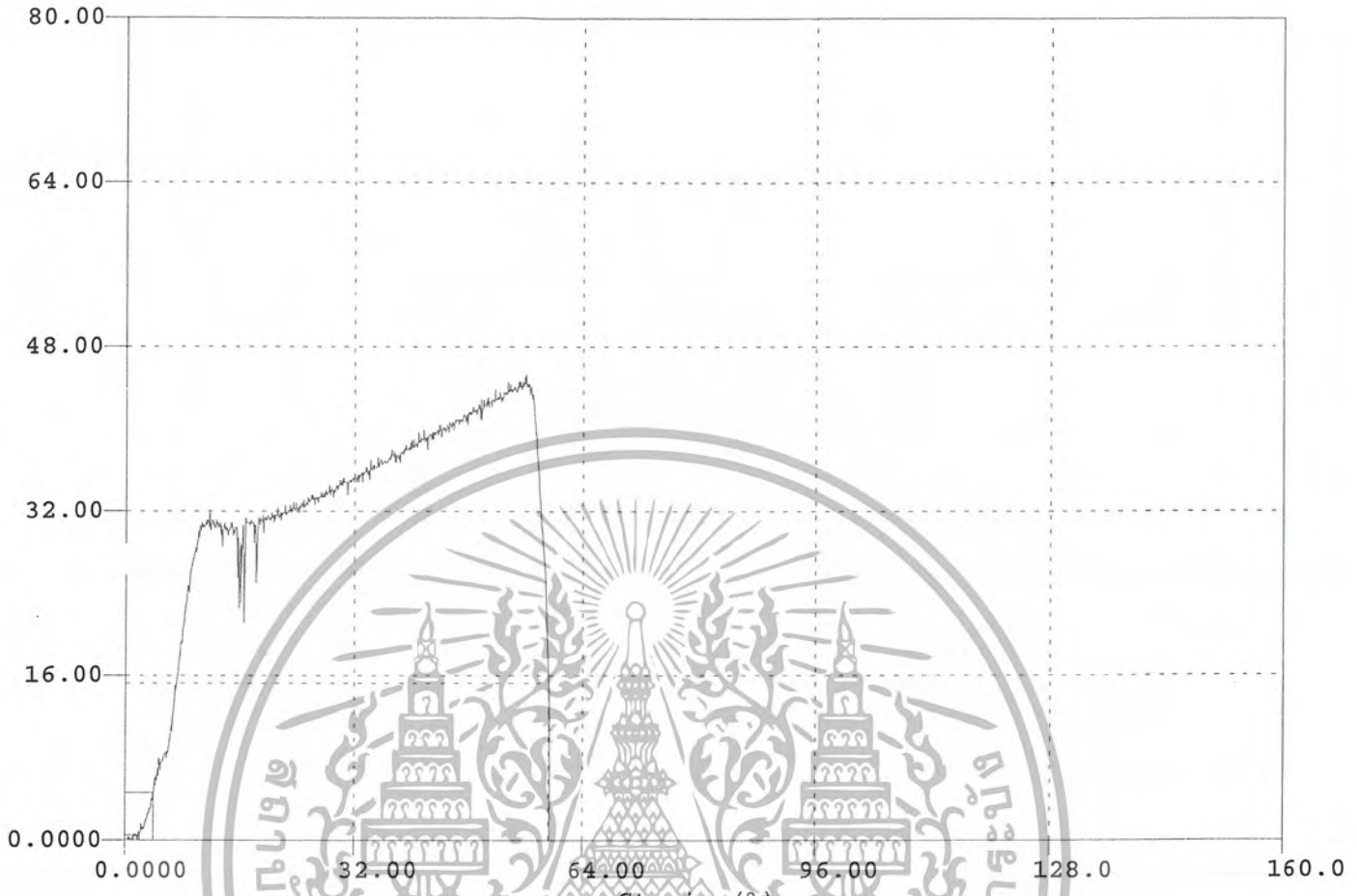


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
21.25	71.47	1.194	6.581	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 3 of 10

SINGHA

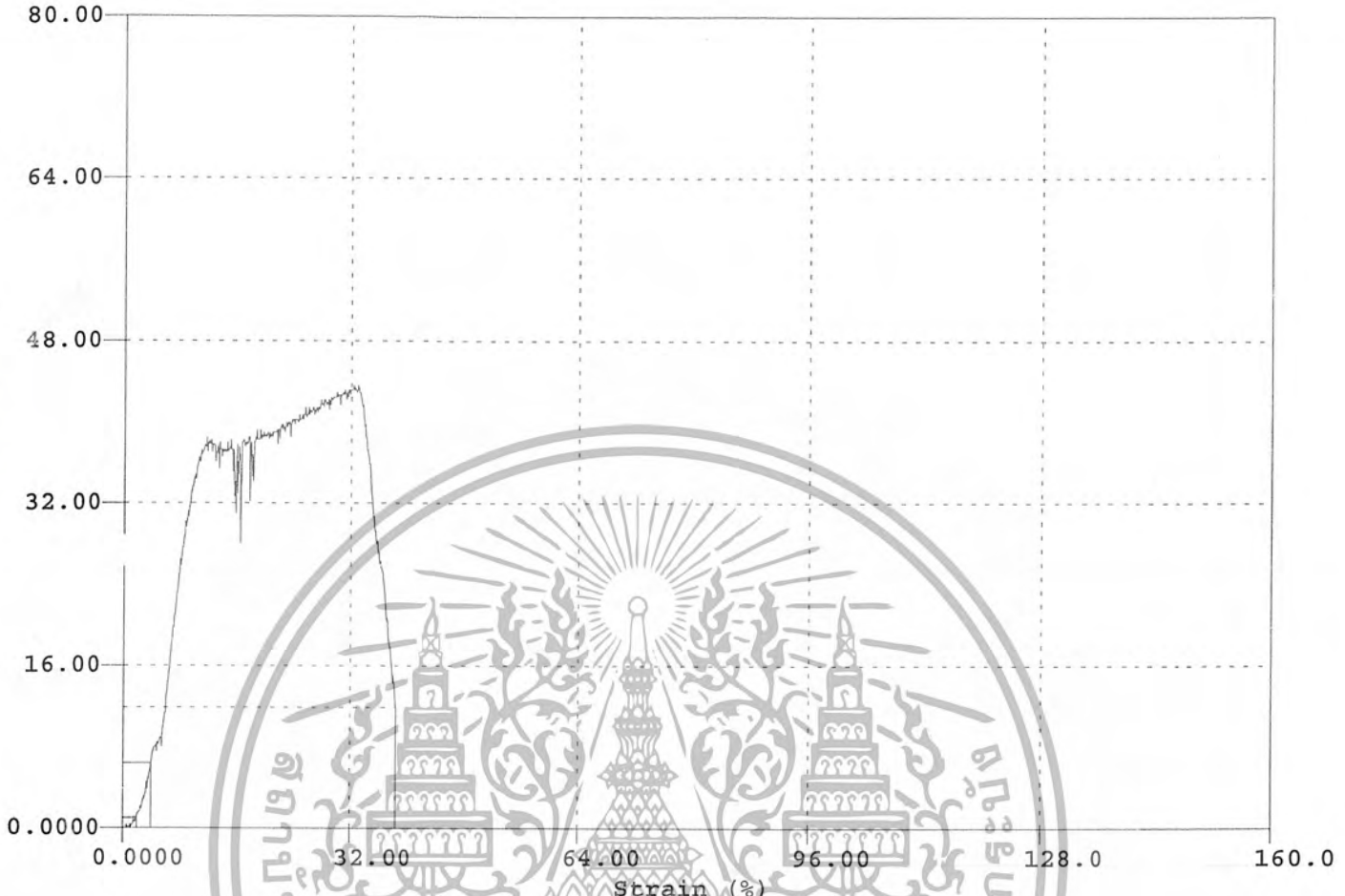


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
15.24	59.18	0.4966	4.554	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 4 of 10

SINGHA

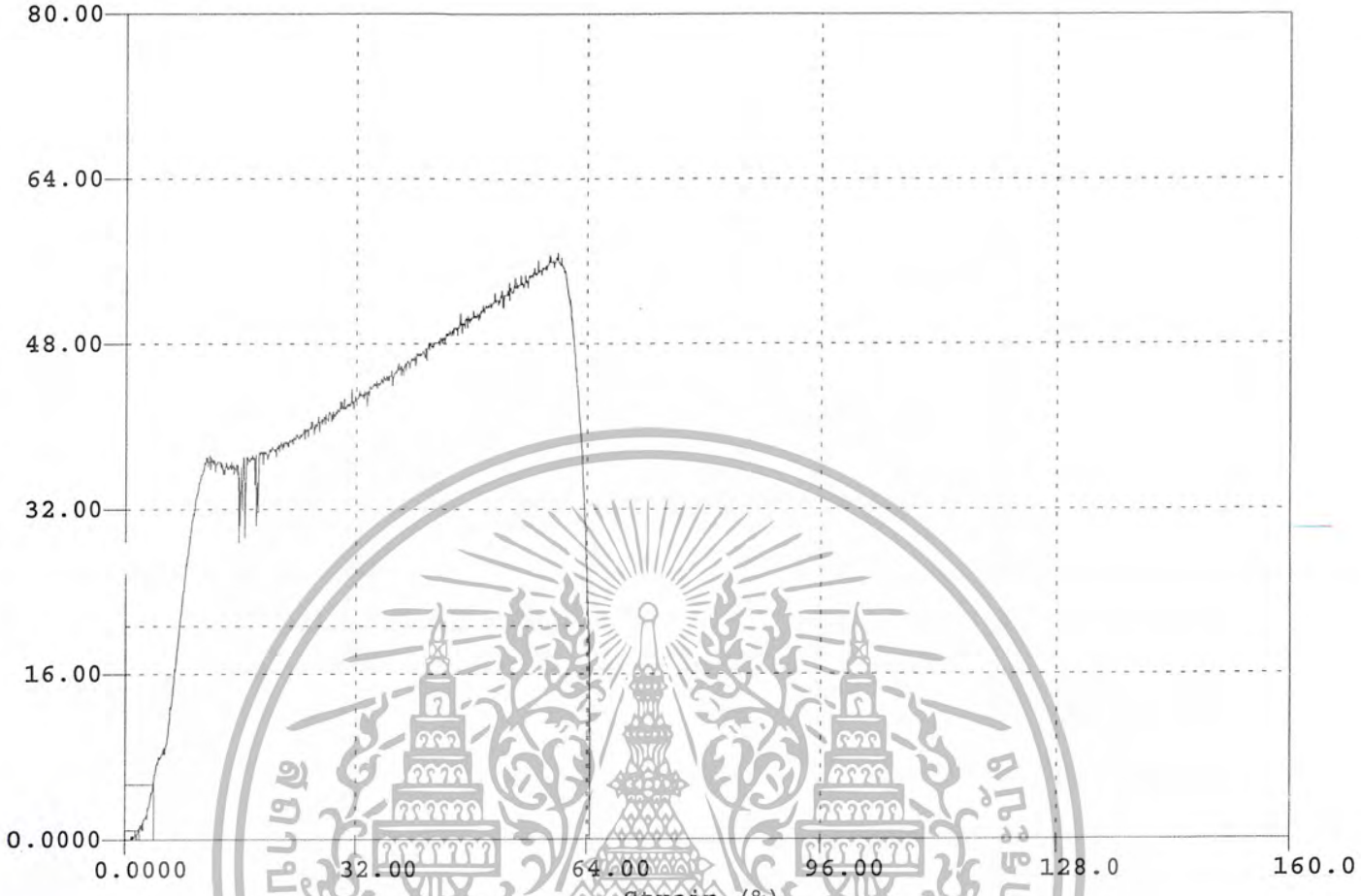


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
11.87	38.38	0.9670	6.345	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 5 of 10

SINGHA

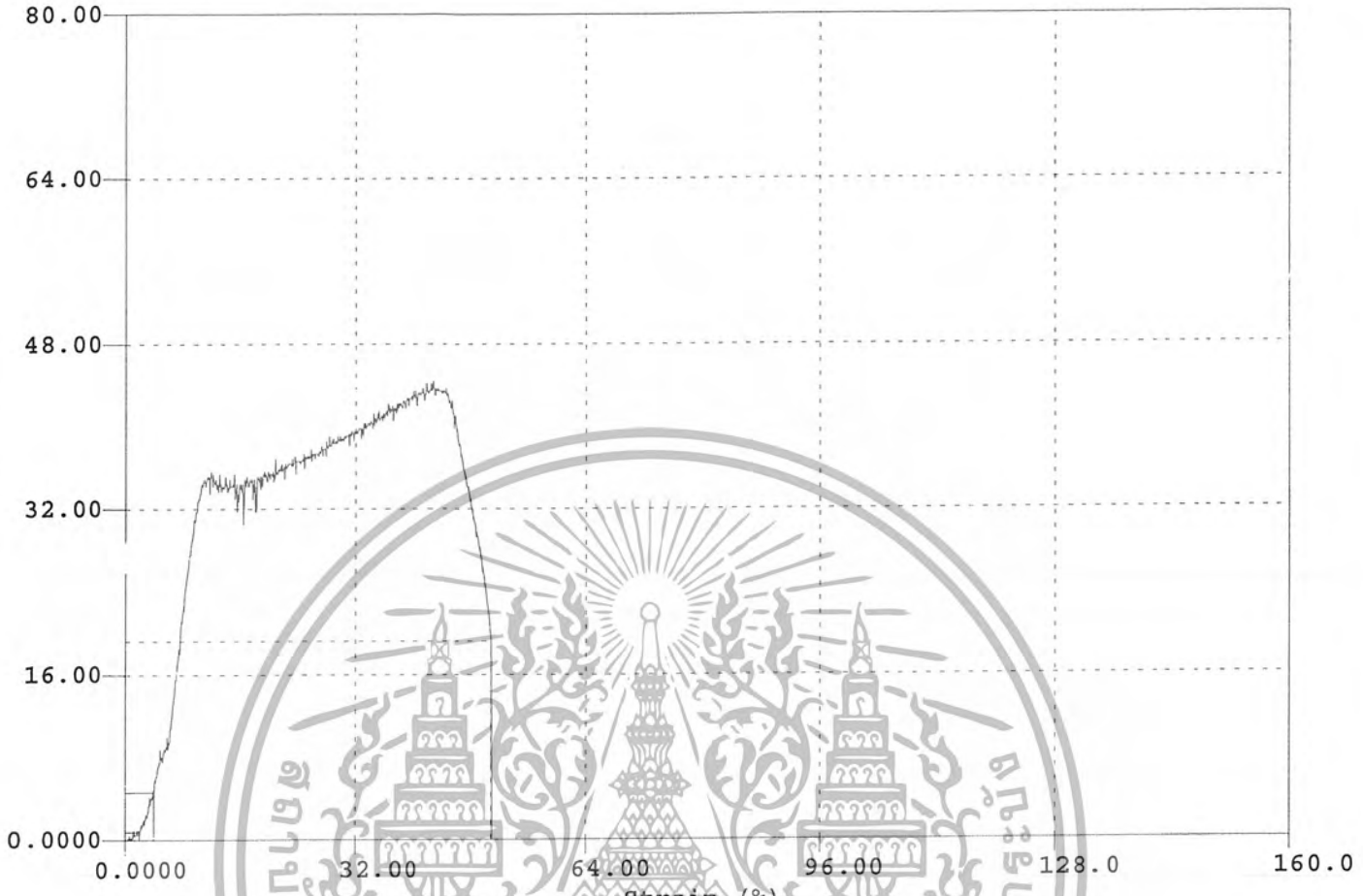


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
20.67	64.21	0.9151	5.265	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 6 of 10

SINGHA

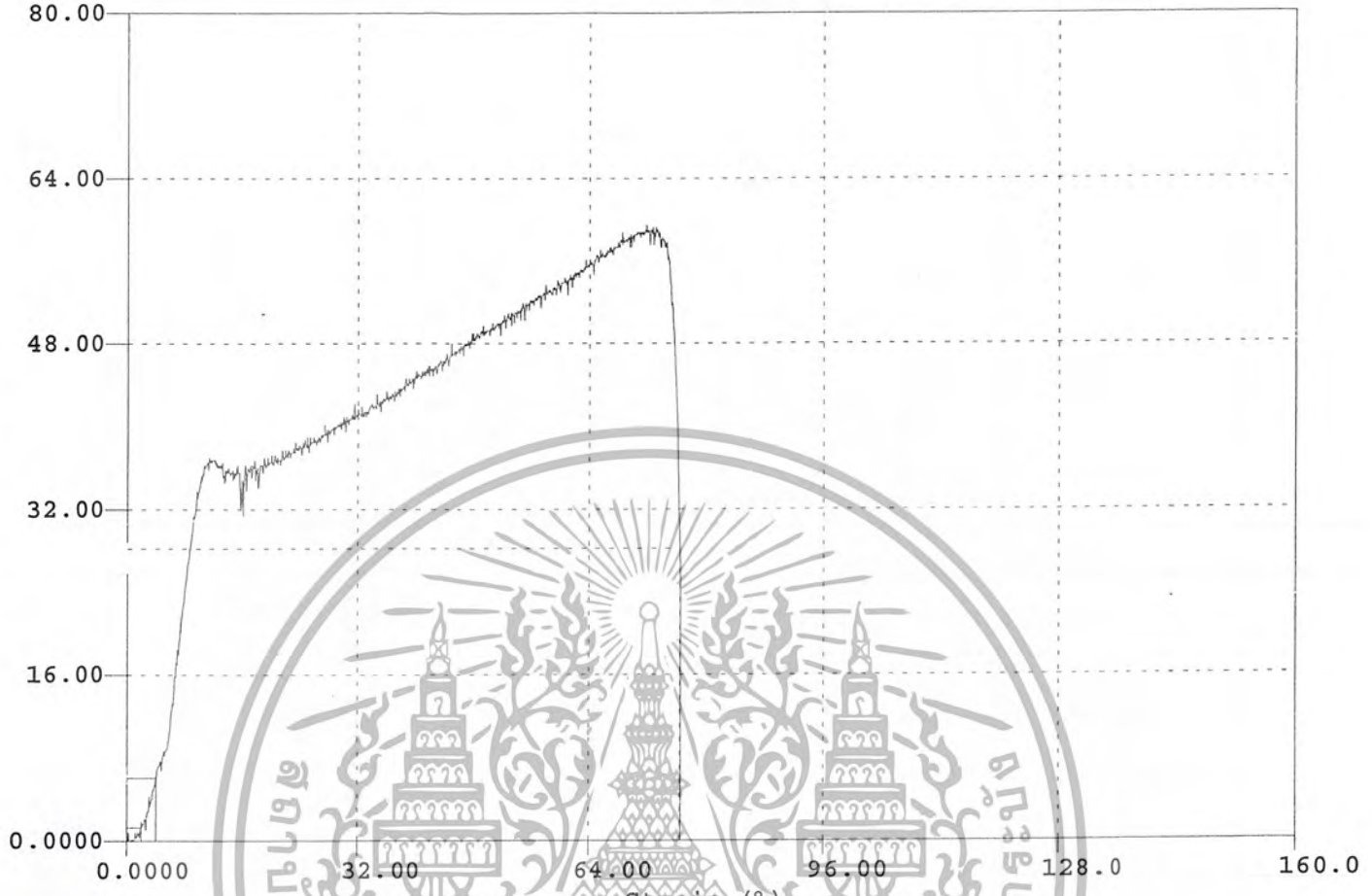


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
19.25	50.84	0.7582	4.566	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 7 of 10

SINGHA

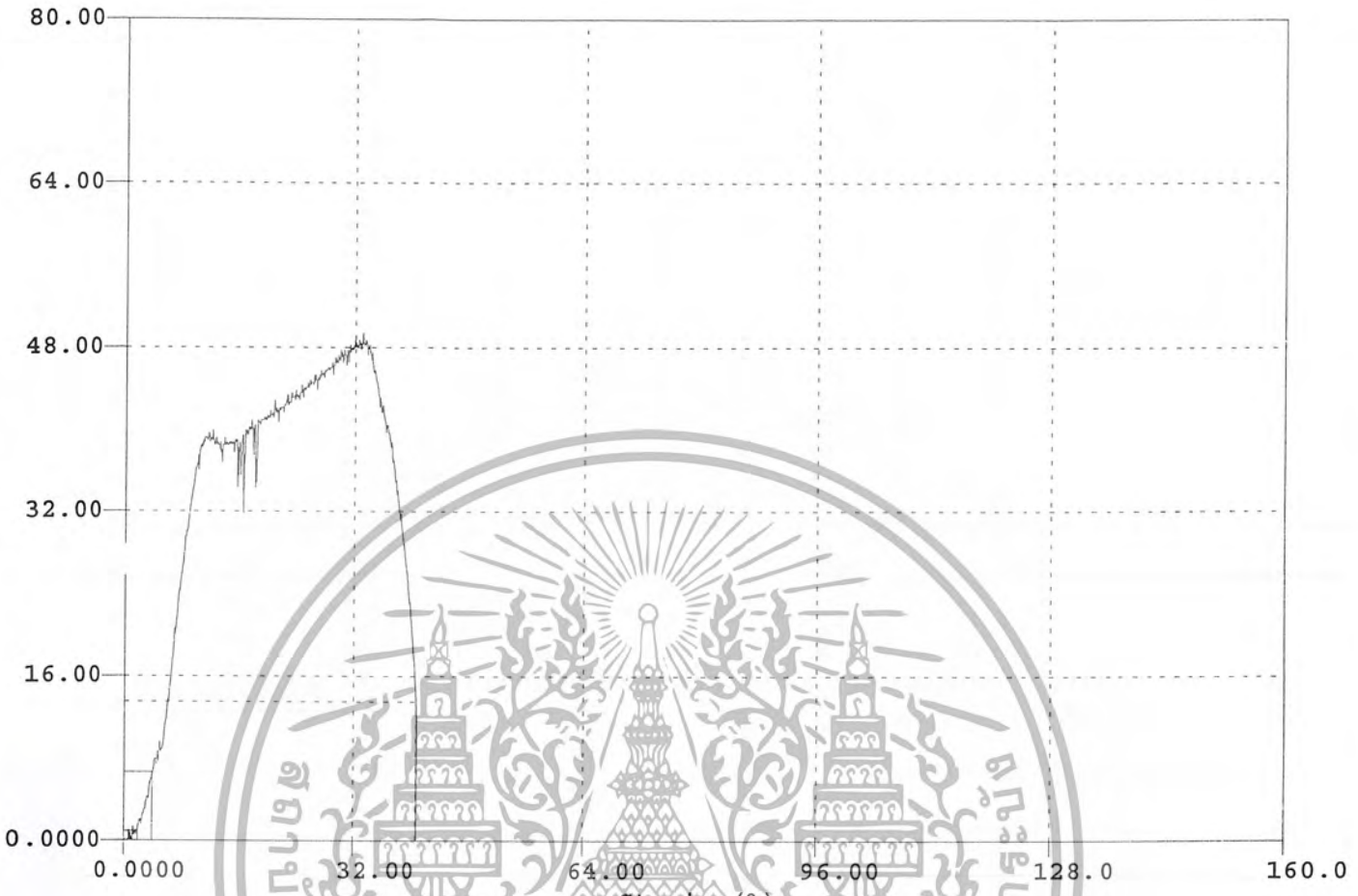


Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
28.21	76.37	1.300	6.028	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 8 of 10

SINGHA

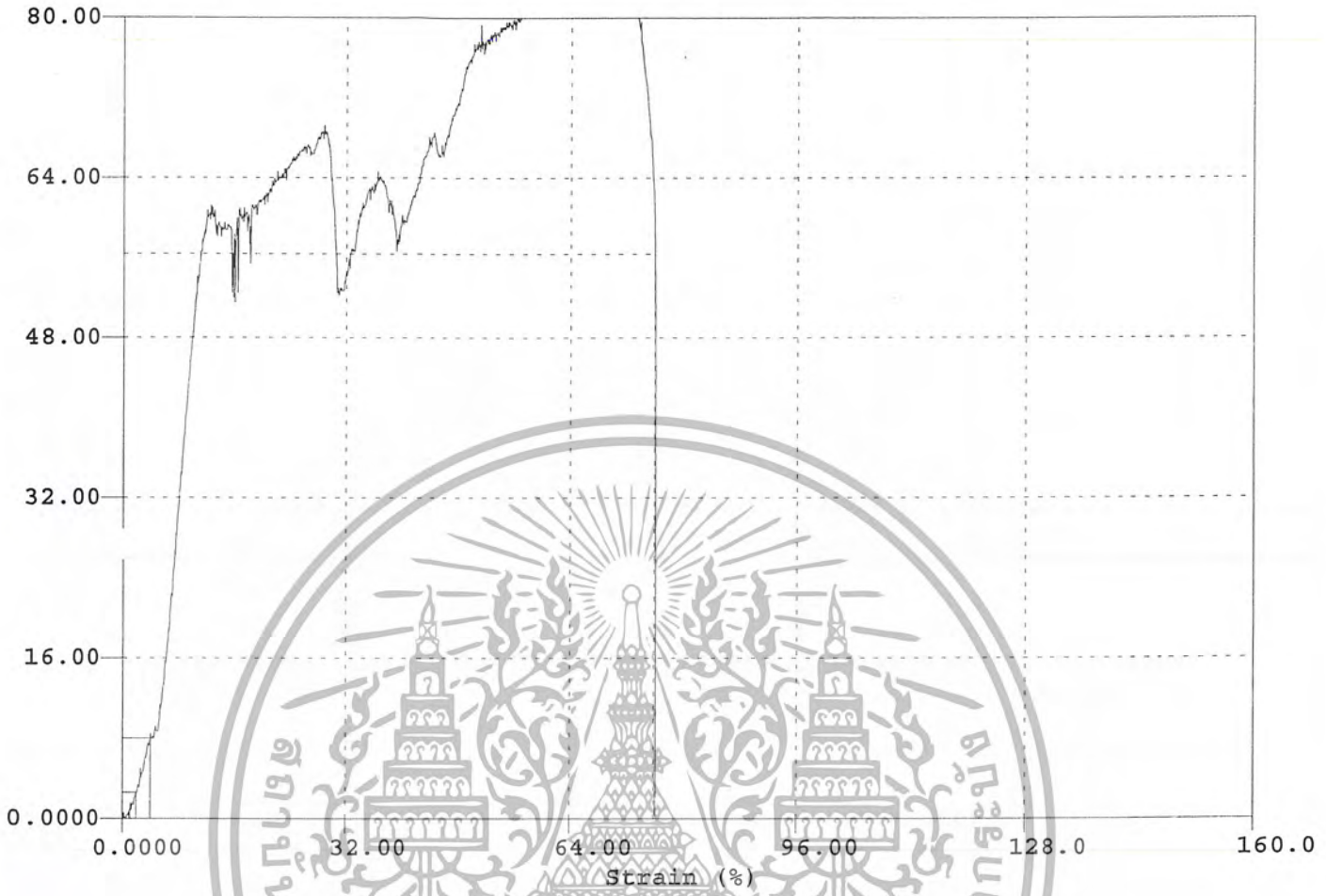


Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
13.51	40.92	0.9064	6.597	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 9 of 10

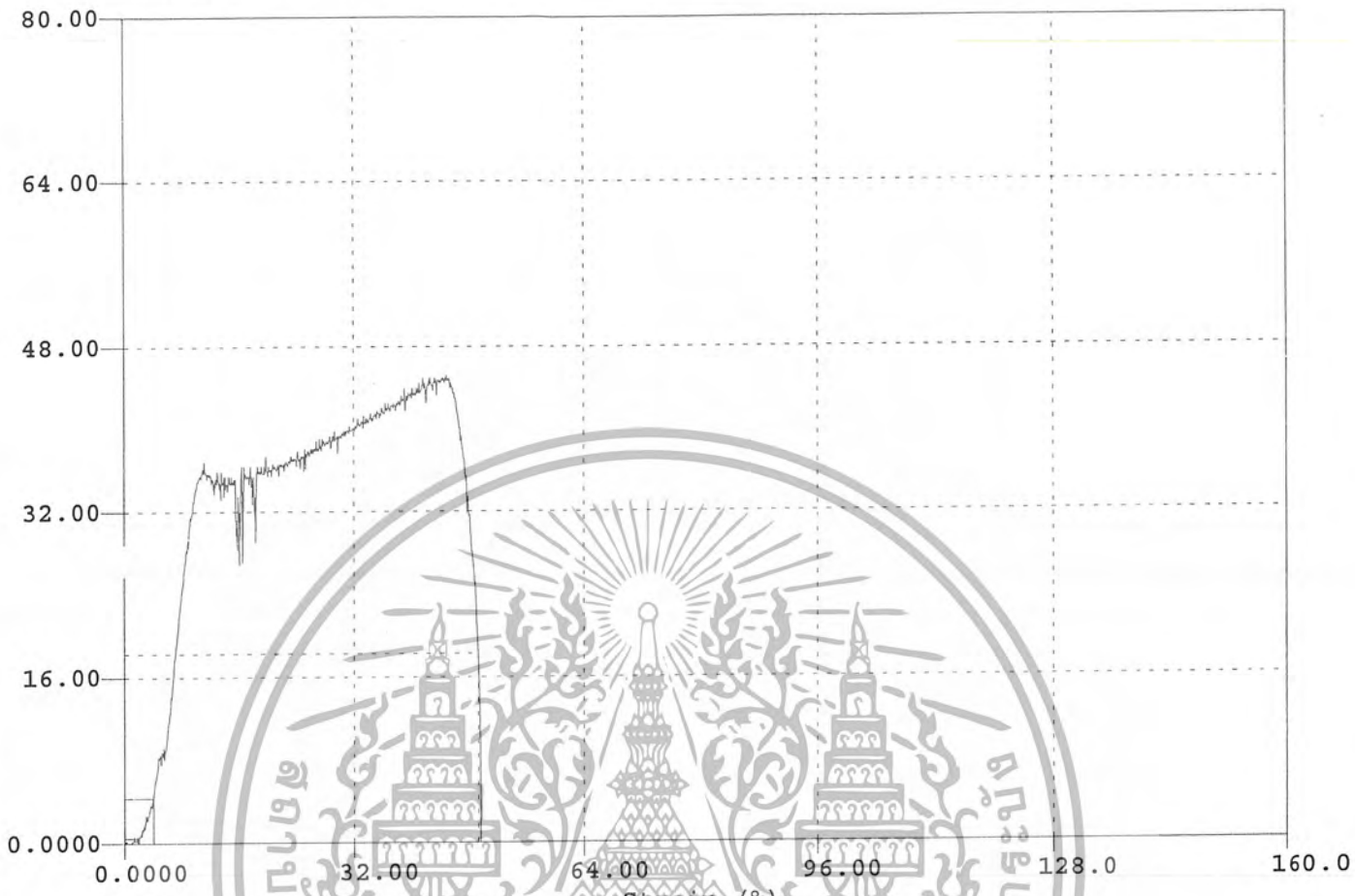
SINGHA



Stress @ Break	At	Rt 1 2.000	Rt 2 4.000	Sample Width	Sample Thick'
N/mm²	%	N/mm²	N/mm²	mm	mm
56.37	75.75	2.574	7.997	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 10 of 10



Stress @ Break N/mm²	At %	Rt 1 2.000 N/mm²	Rt 2 4.000 N/mm²	Sample Width mm	Sample Thick' mm
18.28	49.18	0.4965	4.315	7.80000	0.600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้