รหัสโครงการ SUT7-708-43-12-63

รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้เถ้าดำจากแกลบเปลือกข้าวเป็นสารตัวเติมในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์

Study of Using Rice Hush Ash as a Filler in Engineering Polymeric Material

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร อุทัย มีคำ

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2543

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2546

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการศึกษาการใช้เถ้าดำจากแกลบเปลือกข้าวเป็นสารตัวเติมในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2543 (ทุนระหว่างปี) ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทไทยโพลีอะซีทัลจำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกสำหรับใช้ในงานวิจัยและนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่เป็นผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวกรรณิกา หัตถะประนิตย์ นางสาวชุติมา อมรคุณ และ นางสาวสุภาวดี เฉยไสย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการใช้เถ้าดำจากแกลบข้าวที่เตรียมได้จากการนำแกลบข้าวไปเผาเพื่อเป็นสารตัวเติมในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ คือ พอลีออกซีเมทธีลีน (Polyoxymethylene) หรือ พอม (POM) อัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบดำกับพอม ได้แก่ 0.05, 0.1, 0.25, 3, 5 และ 10%โดยน้ำหนัก สมบัติทางวิทยกระแสและสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างพอมกับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆจะถูกวัดและพบว่าการผสมเถ้าแกลบดำกับพอมที่อัตราส่วนต่างๆไม่ได้มีผลต่อค่าความหนืดของของผสมอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของของผสมระหว่างพอมกับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆที่ได้ไม่ได้แตกต่างกับอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของพอม ของผสมระหว่างพอมกับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆจะถูกนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัดแล้วนำไปศึกษาสมบัติทางกลและลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา ซึ่งพบว่าการผสมเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนมากกว่า3% กับพอมจะทำให้สมบัติด้านความทนต่อแรงกระแทกลดลง ทั้งนี้จากการศึกษา ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่างพอมกับเถ้าแกลบดำจะพบว่า เมื่ออัตราส่วนของเถ้าแกลบดำมากขึ้น อนุภาคของเถ้าแกลบดำจะรวมตัวกัน มีขนาดใหญ่ขึ้น และจับกลุ่มกันเป็นก้อน กระจายอยู่อย่างไม่เป็นระ เบียบในเนื้อพอลิเมอร์

ABSTRACT

This research is a preliminary study of using black rice hush ash (BRHA) obtained by carbonization of rice ash as a filler for an engineering polymer, Polyoxymethylene (POM). The ratio between BRHA and POM was varied from 0.05-10% by weight. Rheological properties and thermal properties of these samples were determined. It was found that by adding BRHA, the viscosity of the blends was not significantly changed compared to the viscosity of POM. Compression molding was used to prepared the BRHA filled POM samples. The morphology and mechanical property of the samples were studied. The impact strength of the specimens decreased as increasing percent of BRHA more than 3 %. SEM micrograph showed poor distributed carbon in polymer matrix with increasing BRHA content.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	5
การเตรียมแกลบ	5
การผสมวัสดุทดสอบด้วยเครื่องบดผสมภายใน	5
การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ	5
การขึ้นรูปชิ้นงานแบบกดอัด	7
การตัดชิ้นทดสอบ	7
การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล	8
การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา	8
บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
การตรวจสอบเบื้องต้นของวัสดุ	9
การศึกษาสมบัติเชิงกล	12
การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา	12
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	19
บทที่ 5 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยขั้นต่อไป	20
บรรณานุกรม	21
ประวัติผู้วิจัย	22
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบขาวและเถ้าแกลบดำ	2
2 ปริมาณ POM กับ % โดยน้ำหนัก ของเถ้าแกลบดำ(BRHA) ที่อัตราส่วนต่างๆ	6
3 ค่าดัชนีการไหลของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ	10

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ หน้า

3.1 ค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 210 °C 11
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกกับอัตราส่วนการเติมเถ้าแกลบดำ 13
3.3 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเถ้าแกลบดำที่กำลังขยาย 1,500 เท่า 14
3.4 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของ POM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า 15
3.5 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่าง POM + 0.25% CB ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า 16
3.6 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่าง POM + 5% CB ที่กำลังขยาย 30 เท่า 17

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรหลักของไทยมาหลายทศวรรษ ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดในโลกโดยส่งออกในปริมาณมากกว่าแสนตันต่อปี โดยส่งออกในรูปข้าวขาว ซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสี จากโรงสีข้าวมาแล้ว ปริมาณของแกลบหยาบซึ่งได้จากการสีข้าวของโรงสีข้าวต่างๆ ในปีหนึ่งๆมีปริมาณนับหมื่นตัน ได้มีการค้นคว้าเพื่อนำเอาแกลบหยาบดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน ในรูปเชื้อเพลิงจากการเผาไหมโดยตรง หรือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงตามบ้านเรือน ในรูปของเชื้อเพลิงแท่ง เป็นต้น แต่ปริมาณการนำไปใช้เมื่อเทียบกับการผลิตต่อปี ก็ยังเป็นสัดส่วนที่น้อยมาก และ ไม่ได้เป็นวิธีการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ มากนัก

ถ้าเรานำแกลบหยาบของข้าวไปเผา (Carbonization) โดยลักษณะการเผาสามารถเผาได้ทั้งในอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ เถ้าแกลบที่ได้จากการเผานั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่าให้สารออกมาสองชนิดหลักคือ คาร์บอน(Carbon) และซิลิกา(silica) เมื่อทำการเผาภายใต้บรรยากาศเปิด(open air) แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์อยู่สองอย่างคือ เถ้าแกลบขาว(White Rice Husk Ash, WRHA) และ เถ้าแกลบดำ (Black Rice Hush Ask, BRHA) ที่ผิวบนของเถ้าแกลบของเนินกองแกลบส่วนที่เผาภายใต้บรรยากาศซึ่งจะได้รับความร้อนจากเปลวไฟจะได้เถ้าแกลบดำซึ่งมีสารประกอบในรูปของชั้นถ่านดำ (Carbonized Layer) ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วยซิลิกา 54% และอีก 44% จะเป็นส่วนประกอบของถ่านคาร์บอน ส่วนในชั้นภายในของการเผาในเนินกองแกลบซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในลักษณะของเถ้าแกลบขาว เมื่อทำการวิเคราะห์ออกมาแล้วพบว่าประกอบด้วยซิลิกาถึง 96% การเตรียมเถ้าแกลบทำโดยการเผาที่ตั้งแต่ 400-1500 °C การที่จะได้ปริมาณของเถ้าแกลบขาวหรือเถ้าแกลบดำนั้นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา อัตราการให้ความร้อนในการเผา พบว่าถ้าให้อุณหภูมิสูง และอัตราการให้ความร้อนสูงก็จะให้เถ้าแกลบดำออกมามาก แต่ถ้าทำการเผาด้วยอัตราการให้ความร้อนต่ำ ก็จะส่งผลให้ได้เถ้าแกลบขาว องค์ประกอบของเถ้าแต่ละประเภทจะแสดงไว้ในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 จะพบว่าองค์ประกอบหลักของเถ้าแกลบขาวมีปริมาณซิลิกา(SiO_2) 96% ส่วนเถ้าแกลบดำจะมีปริมาณซิลิกา 54% และ 46% เป็นคาร์บอน ซึ่งถ้านำเถาดำดังกล่าวไปบดให้ละเอียดและ คัดขนาด น่าจะนำไปใช้เป็นสารตัวเติม (Additives) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลหรือ ทำหน้าที่เป็น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบขาวและเถ้าแกลบดำ

องค์ประกอบ %	เถ้าแกลบขาว(WRHA)	เถ้าแกลบดำ(BRHA)
CaO	0.1	0.1
MgO	0.4	0.2
Fe_2O	0.1	0.0
K_2O	1.6	1.1
Na_2O	0.1	0.1
Al_2O_3	Trace	Trace
P_2O_5	Trace	Trace
SiO_2	96.2	54.1
Lost on ignition (LOI)	1.6	44.5

สารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ได้ เนื่องจากว่าโดยปกตินั้นก็มีการใช้คาร์บอนและซิลิกาเป็นสารตัวเติมอนินทรีย์(Inorganic Filler) ในการใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุพอลิเมอร์อยู่แล้ว

นอกจากนี้ในปัจจุบันเถ้าแกลบยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างด้วย โดยใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ 70:30 ซึ่งสามารถผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างได้ทำให้สามารถลดต้นทุนได้เป็นอย่างมาก

ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ ถ้าเราใช้เกณฑ์ ลักษณะการใช้งาน และ ปริมาณการใช้ เป็นตัวกำหนดชนิดของพอลิเมอร์ เราอาจจะแยกชนิดของพอลิเมอร์ได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ใช้งานทั่วไป (Commodity Polymers) ตัวอย่างเช่น Polyethylene, Polystyrene, Poly (vinyl chloride) และ Polyesters กับ ชนิดที่ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม (Engineering Polymer) โดยที่ปริมาณการใช้ของพอลิเมอร์ชนิดแรกมีการใช้ในประเทศไทยค่อนข้างมาก แต่มูลค่าต่อหน่วยจะต่ำ ไม่เหมือนกับวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ถึงแม้จะมีปริมาณการใช้ค่อนข้างต่ำ แต่มีมูลค่าต่อหน่วยสูงหว่าชนิดแรกมากกว่า 10 เท่าตัว และ นับวันก็จะมีปริมาณการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์จำพวกนี้จะใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเลคโทรนิค ตัวอย่างของวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ ที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเมืองไทย ได้แก่ Polycarbonate (PC), Polyoxymethylene (POM) หรือ Polyacetal และ Nylon 6 เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุพวกนี้จะใช้ในรูปของพอลิเมอร์ผสม (Polymer Compound) โดยมีการเติมสารตัวเติมชนิดต่างๆ ลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเด่นบางอย่าง ให้กับพอลิเมอร์

ในการศึกษาครั้งนี้เราจะมุ่งศึกษาการใช้เถ้าดำจากแกลบ เป็นสารตัวเติมใน POM เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีปริมาณการใช้ในอุตสาหกรรมเมื่องไทยมากที่สุดในปัจจุบัน โดยผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาคือ การเพิ่มคุณสมบัติทางกล และ คุณสมบัติด้านการขึ้นรูป กับพอลิเมอร์ชนิดดังกล่าว ถ้าผลการวิจัยประสบผลสำเร็จ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากผลิตภัณฑ์การเกษตร ได้อีกทางเลือกหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าดำจากแกลบข้าว เป็นสารตัวเติมในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์

2. เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการผสมเถ้าดำ กับ วัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์

3. เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม ให้ได้คุณสมบัติที่สามารถนำไปขึ้นรูป โดยวิธีการขึ้นรูปพอลิเมอร์ต่างๆได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยจะมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ของการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ คือ POM กับ เถ้าดำจากแกลบข้าว เพื่อให้ได้คุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ดีกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ผสมกับเถ้าดำ และ สามารถนำไปผลิตขึ้นรูปได้ในทางอุตสาหกรรมด้วย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. การเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตร
2. การพัฒนางานวิจัย ไปสู่อุตสาหกรรมภาคการผลิต
3. การพึ่งพาตนเองทางด้านเทคโนโลยี โดยการปรับแปรงเทคโนโลยี
4. ลดการขาดดุลทางด้านการค้า และ การนำเข้าเทคโนโลยี
5. ได้ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ Polyoxymethylene; POM ชื่อทางการค้า Jupital เกรด F20-03 จากบริษัทThai Polyacetal (TPAC)

2.2. การเตรียมแกลบ

นำแกลบมาแช่น้ำค้างคืนไว้แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 350 °C ในเตาเผาเซรามิค จะได้เถ้าแกลบดำ นำเถ้าแกลบดำ บดด้วยลูกกลิ้ง (ball mill) จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำไปอบที่ 100 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำไปคัดขนาดให้ได้อนุภาคขนาด 40 ไมโครเมตร(μm)

2.3 การผสมวัสดุทดสอบด้วยเครื่องบดผสมภายใน (Internal mixer)

นำเถ้าแกลบดำที่ได้มาผสมกับ POM ในอัตราส่วน 0.05, 0.1, 0.25, 3, 5 และ 10%โดยน้ำหนัก (ดังตารางที่ 2) โดยใช้เครื่องบดผสมภายใน (Internal mixer) ของบริษัท HAAKE รุ่น PolyLab system โดยสภาวะที่ใช้เตรียมผสมมีค่าความเร็วรอบ(n) เป็น 50 อุณหภูมิ เท่ากับ 190 °C และเวลาที่ใช้ผสมเท่ากับ 15 นาที

จากนั้นนำของผสมที่ได้จากเครื่องบดผสมภายใน (Internal mixer) มาทำการบดด้วยเครื่องบดเพื่อลดขนาดให้ของผสมดังกล่าวมีขนาดเล็กลง

2.4. การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ (Material Characterization)

2.4.1 การวัดค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI)

ของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ จะถูกนำไปวัดค่า MFI โดยใช้เครื่องวัดดัชนีการไหล (Melt Flow Indexer) ผลิตโดยบริษัท DYNISCO COMPANY รุ่น KEYANESS การวัดทำตามมาตรฐาน ASTM D1238 ใช้ Method A โดยมีสภาวะการทดสอบมาตรฐานที่อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature) เท่ากับ 190°C ค่าน้ำหนักกด (Loading Force) 2.160 Kg. จำนวนระยะเวลาที่วัสดุเกิดการหลอมเหลวภายในกระบอกฉีด(Melt Time) เท่ากับ 360 วินาที และระยะเวลาที่ใช้ในการตัดเนื้อวัสดุ (Cut time) เท่ากับ 15 วินาที

ตารางที่ 2 ปริมาณ POM กับ % โดยน้ำหนัก ของเถ้าแกลบดำ(BRHA) ที่อัตราส่วนต่างๆ

สัญลักษณ์ / ปริมาณ ย่อ / องค์ประกอบ	POM + 0.05%CB	POM + 0.1%CB	POM + 0.25%CB	POM + 3.0%CB	POM + 5.0%CB	POM + 10.0%CB
POM (%)	99.95	99.90	99.75	97.0	95.0	90.0
BRHA (%)	0.05	0.1	0.25	3.0	5.0	10.0

2.4.2 การตรวจสอบสมบัติทางวิทยกระแส (Rheological Properties)

ของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ จะถูกนำไปวัดค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆโดยใช้เครื่อง Capillary Rheometer ผลิตโดยบริษัท DYNISCO COMPANY รุ่น KEYANESS การวัดค่าความหนืดนี้จะวัดที่อุณหภูมิ 210 °C

2.4.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

การตรวจสอบคุณสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆทำโดยใช้เครื่อง Differrential Scanning Calorimetry (DSC) ที่ผลิตจากบริษัท PERKIN ELMER Co., Ltd. รุ่น DSC 7 ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 30 ^{0}C ถึงอุณหภูมิ 200 ^{0}C และใช้อัตราในการเพิ่มอุณหภูมิ 10 ^{0}C/min และใช้เครื่อง TGA TGA ที่ผลิตจากบริษัท PERKIN ELMER Co., Ltd. รุ่น TGA 7 ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมวลสารของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ ในการทดลองจะใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 30 ^{0}C ถึงอุณหภูมิ 1500 ^{0}C โดยที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 ^{0}C ถึงอุณหภูมิ 600 ^{0}C จะใช้สภาวะก๊าซไนโตรเจนในการทดลองจากนั้นจะคงค้างอุณหภูมิไว้ที่ 600 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการทดลองตั้งแต่ 601 ^{0}C ถึงอุณหภูมิ 1500 ^{0}C จะใช้สภาวะก๊าซออกซิเจนในการทดลองและใช้อัตราในการเพิ่มอุณหภูมิ 100 ^{0}C/min

2.5 การขึ้นรูปชิ้นงานแบบกดอัด

ของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ จะถูกนำไปขึ้นรูปโดยเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด (compression molding) ของบริษัท GOTECH TESTING MACHINES INC. ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปเท่ากับ 210 °C ความดันกดอัด เท่ากับ 550 kg/cm^{2} โดยใช้ความหนาของแม่พิมพ์(mold) เท่ากับ 8 mm และ เวลาในการกดอัดเท่ากับ 10 นาที

2.6 การตัดชิ้นทดสอบ

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแบบกดอัดจะถูกนำมาตัดด้วยเลื่อยไฟฟ้าให้ได้ขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ13 mm x 60 mm และทำรอยบากรูปตัววี(V-notch, Type A) โดยรัศมีที่ปลายรอยบากเป็น 1.0 มิลลิเมตร ในทิศทางขนานกับแนวแรงกดอัดขึ้นรูป ด้วยเครื่องทำรอยบาก RAY-RAN Polytest Model 1 Motoried Notching Cutter บริษัทยูเนียน ทีเอสแอล จำกัด (Union TSL. Ltd.)

2.7. การศึกษาคุณสมบัติทางเชิงกล

การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) ทดสอบตามมาตรฐานASTM D256 เครื่องทดสอบที่ใช้ คือ ATLAS impact tester ของบริษัท Atlas Electric Device Co. รุ่น BPI

2.8. การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา

ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ที่ผลิตจากบริษัท GEOL CO., TLD. รุ่น JSM-6400 ใช้ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยก่อนที่จะนำไปตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาได้ทำการหักภายใต้ในโตรเจนเหลว จากนั้นจึงไปเคลือบด้วยทอง

บทที่ 3
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 การตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

3.1.1 การวัดค่า MFI

ค่า MFI ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ทดสอบได้แสดงในตารางที่ 3.1 จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าค่า MFI ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆและค่า MFI ของ POM ที่ไม่ได้ผสมเถ้าแกลบดำไม่ได้มีค่าแตกต่างกันมากนัก ซึ่งแสดงว่าการเติมเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วน 0.05-10% ไม่ได้มีผลต่อความหนืดของของผสม

3.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางวิทยกระแส

ค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆและค่า ความหนืดของ POM ที่ไม่ได้ผสมเถ้าแกลบดำไม่ได้มีค่าแตกต่างกันมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดค่า MFI

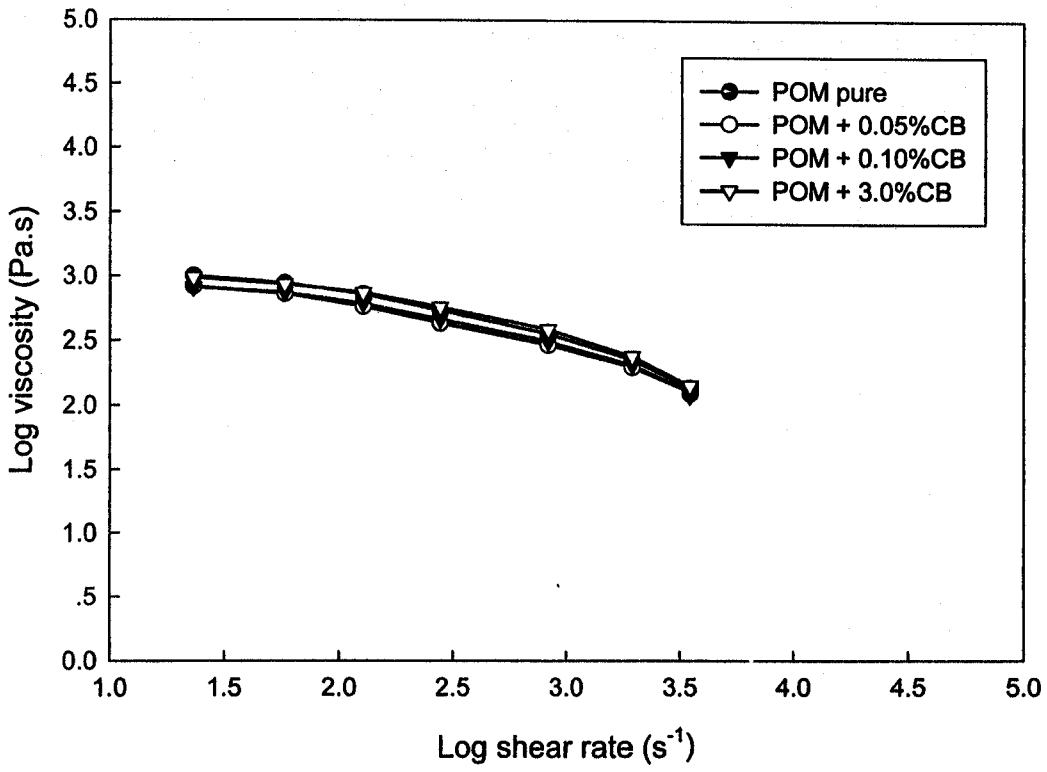
3.1.3. การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน

กราฟแสดง DSC ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆแสดงในภาคผนวกที่ 1 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting point) ของ POM ที่ไม่ได้ทำการผสมและที่ทำการผสมกับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันค่าประมาณ 164 $^{\circ}$C และลักษณะหรือรูปร่างของกราฟที่ได้ไม่ได้มีความแตกต่างกัน นั่นแสดงว่าเถ้าแกลบดำที่ใส่เข้าไปไม่ได้มีผลในการเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกของ POM

กราฟแสดง TGA ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆแสดงในภาคผนวกที่ 2 จะเห็นได้ว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมวลของ POM และ มวลของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆในช่วงอุณหภูมิประมาณ100°C นั่นแสดงว่า POM และ ของผสมที่เตรียมได้ไม่มีความชื้นอยู่ภายในมากนักซึ่งเป็นข้อดีเพราะ ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ ถ้ามีความชื้นอยู่ในวัสดุ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนหรืออาจเกิดการเสียสภาพจากความชื้นได้ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดการสลายตัวของ POM และของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่ได้มีค่าแตกต่างกันมากนัก คือมีค่าประมาณ 275°C และปริมาณมวลสุดท้ายที่เหลืออยู่ของ POMที่ผสมกับเถ้าแกลบดำ

ตารางที่ 3.1 ค่าดัชนีการไหลของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆ

Sample	MFI(g/10min)
Pure POM	9.86
POM +0.05%CB	10.70
POM +0.1%CB	10.76
POM +0.25%CB	11.03
POM +3.0%CB	9.90
POM +5.0%CB	9.88
POM +10.0%CB	9.31



รูปที่ 3.1 ค่าความหนืดที่อัตราเฉือนต่างๆ ของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อุณหภูมิ 210 ^{o}C

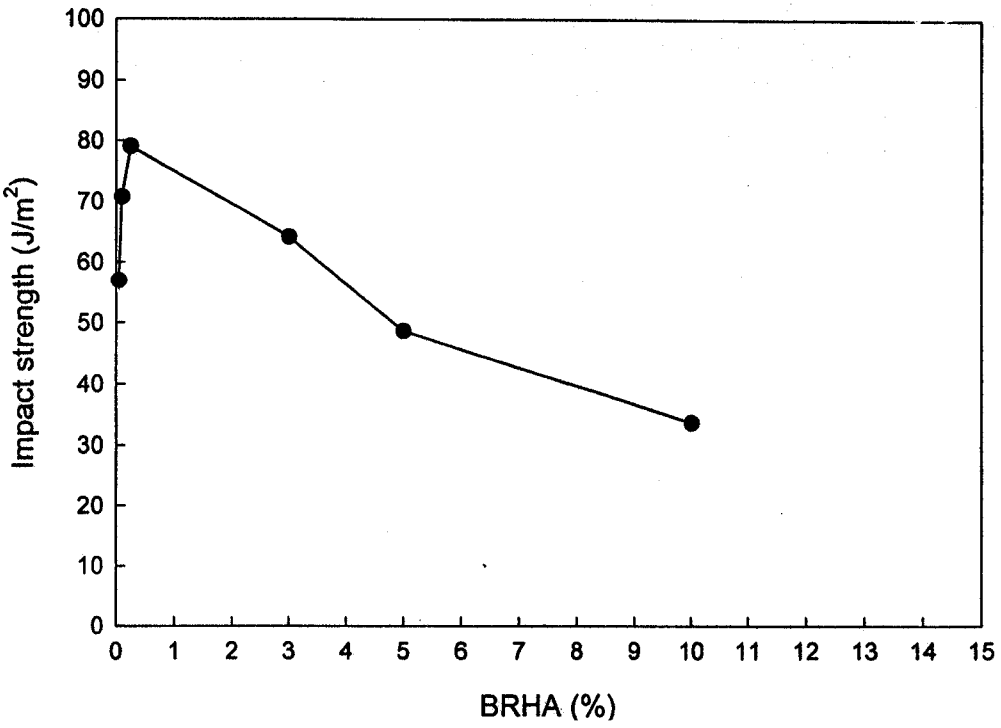
ที่อัตราส่วนมากขึ้นจะมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าแกลบดำที่ใส่เข้าไปมีองค์ประกอบคือคาร์บอน ซึ่งจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง

3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

ค่าความคงทนต่อแรงกระแทกของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำ ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบดำน้อยๆคือ 0.05% 0.1% และ 0.25% ตามลำดับ หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงในช่วงระหว่าง 3.0 % และจะลดลงเร็วมากในช่วง 5% ถึง 10% ตามลำดับ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าเถ้าแกลบดำที่ใส่ไปในปริมาณมากขึ้นจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคของเถ้าแกลบดำมารวมตัวกันที่ปริมาณเถ้าแกลบดำมากขึ้นและเป็นเสมือนจุดรวมความเค้น (stress concentration) ของชิ้นงานทำให้รับแรงกระแทกได้น้อยลง หรืออีกสาเหตุหนึ่งอาจเนื่องมาจากเถ้าแกลบดำที่เตรียมได้มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินไปทำให้การกระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ไม่ดี

3.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา

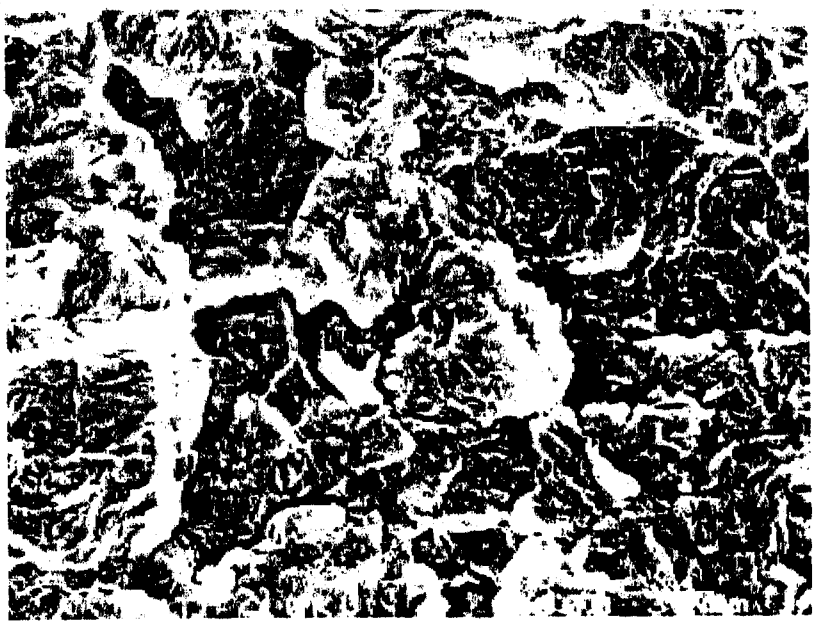
ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเถ้าแกลบดำแสดงดังรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน มีความแปรปรวนของขนาดมาก ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของ POM และ ของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำ ที่อัตราส่วน 0.25% 5% และ 10% แสดงในรูปที่ 3.4 – 4.7 ตามลำดับ จากรูปจะพบว่า เมื่ออัตราส่วนของเถ้าแกลบดำมากขึ้น อนุภาคของเถ้าแกลบดำจะรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นและจับกลุ่มกันเป็นก้อนกระจายอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบในเนื้อพอลิเมอร์



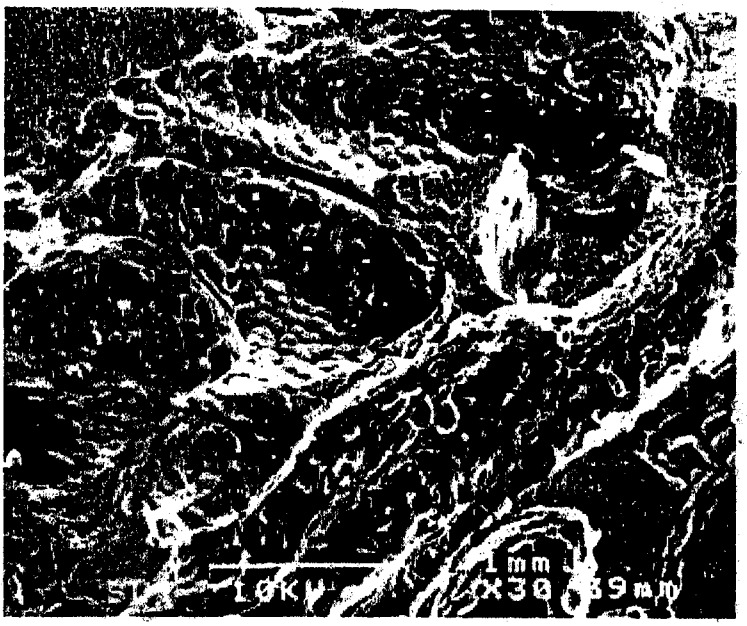
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกกับอัตราส่วนการเติมเถ้าแกลบดำ

รูปที่ 3.3 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเถ้าแกลบดำที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

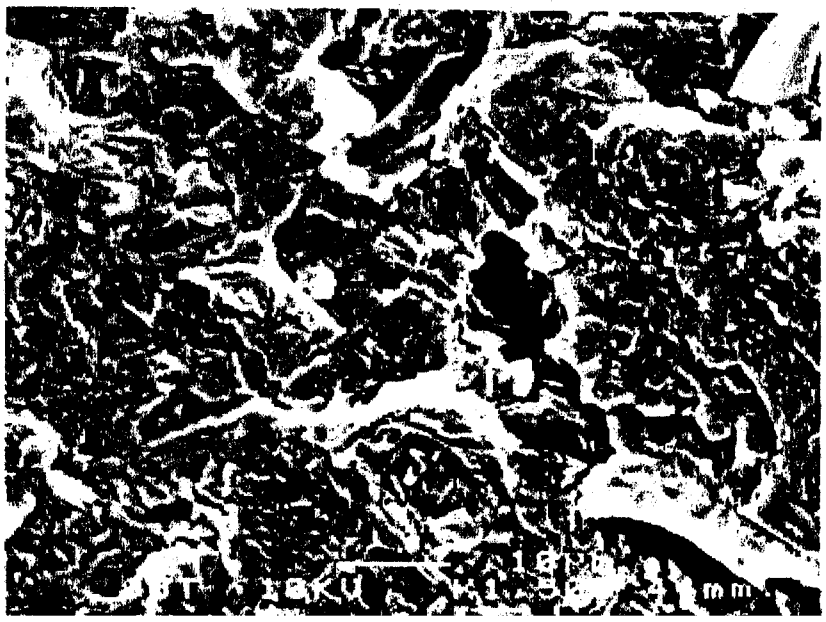
รูปที่ 3.4 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของ POM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 3.5 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่าง POM + 0.25% CB ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 3.6 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่าง POM + 5% CB ที่กำลังขยาย 30 เท่า



รูปที่ 3.7 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่าง POM + 10% CB ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบค่าความหนืดของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆพบว่า การผสมเถ้าแกลบดำกับ POM ที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่ได้มีผลต่อค่าความหนืดของของผสม อุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆที่ได้ไม่ได้แตกต่างกับอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการสลายตัวของ POM แสดงให้เห็นว่า การขึ้นรูปของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนต่างๆสามารถทำได้เหมือนกับการขึ้นรูป POM แต่สมบัติทางกลของของผสมระหว่างPOMกับเถ้าแกลบดำที่อัตราส่วนมากกว่า 3% จะทำให้สมบัติด้านความทนต่อแรงกระแทกลดลง ทั้งนี้จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของของผสมระหว่าง POM กับเถ้าแกลบดำ จะพบว่า เมื่ออัตราส่วนของเถ้าแกลบดำมากขึ้น อนุภาคของเถ้าแกลบดำจะรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นและจับกลุ่มกันเป็นก้อนกระจายอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบในเนื้อพอลิเมอร์ ซึ่งจะเป็นเสมือนจุดรวมความเค้นของชิ้นงานทำให้รับแรงกระแทกได้น้อยลง

บทที่ 5

ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยขั้นต่อไป

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ในการนำเถ้าแกลบดำมาผสมกับ POM ซึ่งสิ่งที่เป็นปัญหาสำคัญคือขนาดของเถ้าแกลบดำที่เตรียมได้ยังมีขนาดใหญ่ เนื่องจากเครื่องมือที่มีปัจจุบันในห้องปฏิบัติการยังไม่สามารถเตรียมให้มีขนาดเล็กลงไปกว่านี้ได้ การที่เถ้าแกลบดำที่เตรียมได้มีขนาดใหญ่ทำให้การกระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้ไม่สามารถเติมเถ้าแกลบดำลงไปได้มากนักเพราะสมบัติทางกลจะด้อยลง นอกจากนี้การใส่สารหรือวัสดุที่ช่วยทำให้เถ้าแกลบดำและพอลิเมอร์มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Compatibilizer) ก็จะช่วยปรับปรุงให้สามารถเติมเถ้าแกลบดำลงไปได้ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1.] H. Ismail, M.N Nasauddin, and U.S Ishiaku. ***Polymer Testing J.***18(1999):287-298

[2.] ASTM D 1238(1985). ***Flow Rate of Thermoplastics by Extrusion Plastometer.***

[3.] ASTM D 256-93a(1984) ***Standard Test Methods for Determining the Pendulum Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics.***

[4.] Z.A.M. Ishak and A.A. Bakar, ***European Polymer J.*** Vol. 31, No. 3, pp.259-269,1995.

[5.] M.Y.A Fuad, Z. Ismail, Z.A.M. Ishak and A.K.M. Omar, ***European Polymer J.*** Vol. 31, No. 9, pp. 885-893,1995.

[6.] H. Ismail, M.N. Nasaruddin and U.S. Ishiaku, ***Polymer Testing J.*** 18(1999):287-298.

[7.] Z.A.M. Ishak, A. A. Bakar, U.S. Ishiaku, A.S. Hashim and B. Azahari, ***Polymer J.*** Vol. 33, No. 1, pp. 73-79, 1997

[8.] H. Ismail, M.N. Nasaruddin and H.D. Rozman, ***European Polymer J.*** 35(1999): 1429-1437.

[9.] S. Siriwardena, H. Ismail and U.S. Ishaiaku, ***Polymer Testing J.*** 20(2001):105-113.

[10.] H. Ismail, J.M. Nizam and H.P.S. A. Khalil, ***Polymer Testing J.*** 20 (2001):125-133.

[11.] L. Sereda , M. M. Lopez-Gonzalez, L.L.Y. Visconte, R.C.R. Nunes, C.R.G. Furtado and E. Riande, ***Polymer J.*** 44(2003):3085-3093.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. **ชื่อ(ภาษาไทย):** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

   (ภาษาอังกฤษ): Assistant Professor Yupaporn Ruksakulpiwat

2. **ตำแหน่งปัจจุบัน:** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์
   สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. **หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร**
   สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
   111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000
   โทรศัพท์ (044) 22-4433 โทรสาร (044) 22-4431
   E-mail: yupa@ccs.sut.ac.th

4. **ประวัติการศึกษา**

   2542 Ph.D. (Polymer Engineering), The University of Akron, USA

   2537 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม) วัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ**

   - Polymer Processing and Characterization
   - Polymer Crystallization and Morphology

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยและงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ:

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (สถานภาพในการทำวิจัย: หัวหน้าโครงการ)

1. การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติของโพลีเอทธีลีนที่สังเคราะห์ด้วยสารเร่งปฏิกิริยาซีเกอร์-นัตตาและเมททอลโลซีน โดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Comparative Study of Microstructure and Properties of Ziegler-Natta and Metallocene Based Polyethylenes in Injection Molding) แหล่งทุนสนับสนุน: National Metal and Materials Technology Center, MTEC)

6.2 งานวิจัยอยู่ระหว่างดำเนินการ (สถานภาพในการทำวิจัย: หัวหน้าโครงการ)

1. การศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับโพลีโพรไพลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน (Comparative Study of Polymer Blends between Natural Rubber and Isotactic Polypropylene at Various Molecular Weights) แหล่งทุนสนับสนุน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (อยู่ในระหว่างการเขียนรายงานสรุปผลการดำเนินงาน)
2. โครงการการผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์คอมโพสิทระหว่างหญ้าแฝกกับพอลิโพรพีลีน (Manufacture of Product from Polymer Composite between Vetriver Grass and Polypropylene) แหล่งทุนสนับสนุน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ผลการดำเนินงานคิดเป็นร้อยละ 50 ของโครงการ)

6.3 การปฏิบัติงานวิจัย ณ ต่างประเทศ

1. ปฏิบัติงานวิจัย ณ University of Linz ประเทศออสเตรีย ด้วยทุนแลกเปลี่ยนนักวิทยาศาสตร์ตามโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศไทยและประเทศออสเตรีย ทบวงมหาวิทยาลัย ในระหว่างเดือนกันยายน 2544

7. ผลงานทางวิชาการ

1. Y. Ruksakulpiwat, "Comparative Study of Structure and Property of Ziegler-Natta and Metallocene Based Linear Low Density Polyethylene in Injection Moldings", *SPE Tech. Papers*, 582, 2001.
2. Y. Churdpunt and A.I. Isayev, "Comparison of Birefringence and Mechanical Properties of Injection Molded Metallocene and Ziegler-Natta Based Isotactic Polypropylenes", *J. Poly. Eng*, **20**, 76, 2000.
3. Y. Churdpunt and A.I. Isayev, "Crystallization Kinetic and Growth Rate Behaviour of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes", *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, (submitted).

4. A.I. Isayev, Y. Churdpunt, and X.Guo, "Comparative Study of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes in Injection Molding", *Intern. Polym. Process*, **15**, 72, 2000.
5. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, " Shear-Induced Crystallization in Injection Moldings of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes", *SPE Tech. Papers*, 486, 2000.
6. Y. Ruksakulpiwat and A.I. Isayev, *Proceedings of the First Thailand Materials Science and Technology Conference*, Thailand, 116.5, 2000.
7. Y. Churdpunt and A.I. Isayev, "Crystallization and Microstructure of Ziegler-Natta and Metallocene Based Isotactic Polypropylenes: Simulation and Experiment", *SPE Tech. Papers*, 2527, 1999.
8. A.I. Isayev, Y. Churdpunt and X. Guo, *Proceeding of the 15th PPS Meeting*, Netherlands, paper no. 289, 1999.
9. Y. Churdpunt and A.I. Isayev, *Metallocene Technology and Modern Catalytic Methods in Commercial Applications*, Edited by George M. Benedikt and B. L. Goodall, ChemTec Publishing, Ontario, 1999.

ผู้วิจัยร่วม

1. ชื่อ(ภาษาไทย): ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุทัย มีคำ

(ภาษาอังกฤษ): Assistant Professor Utai Meekum

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: หัวหน้าสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ (044) 22-4430 โทรสาร (044) 22-4431

E-mail:

4. ประวัติการศึกษา

2537 Ph.D., Bradford University, UK

2534 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

5. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยและงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ:

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (สถานภาพในการทำวิจัย: หัวหน้าโครงการ)

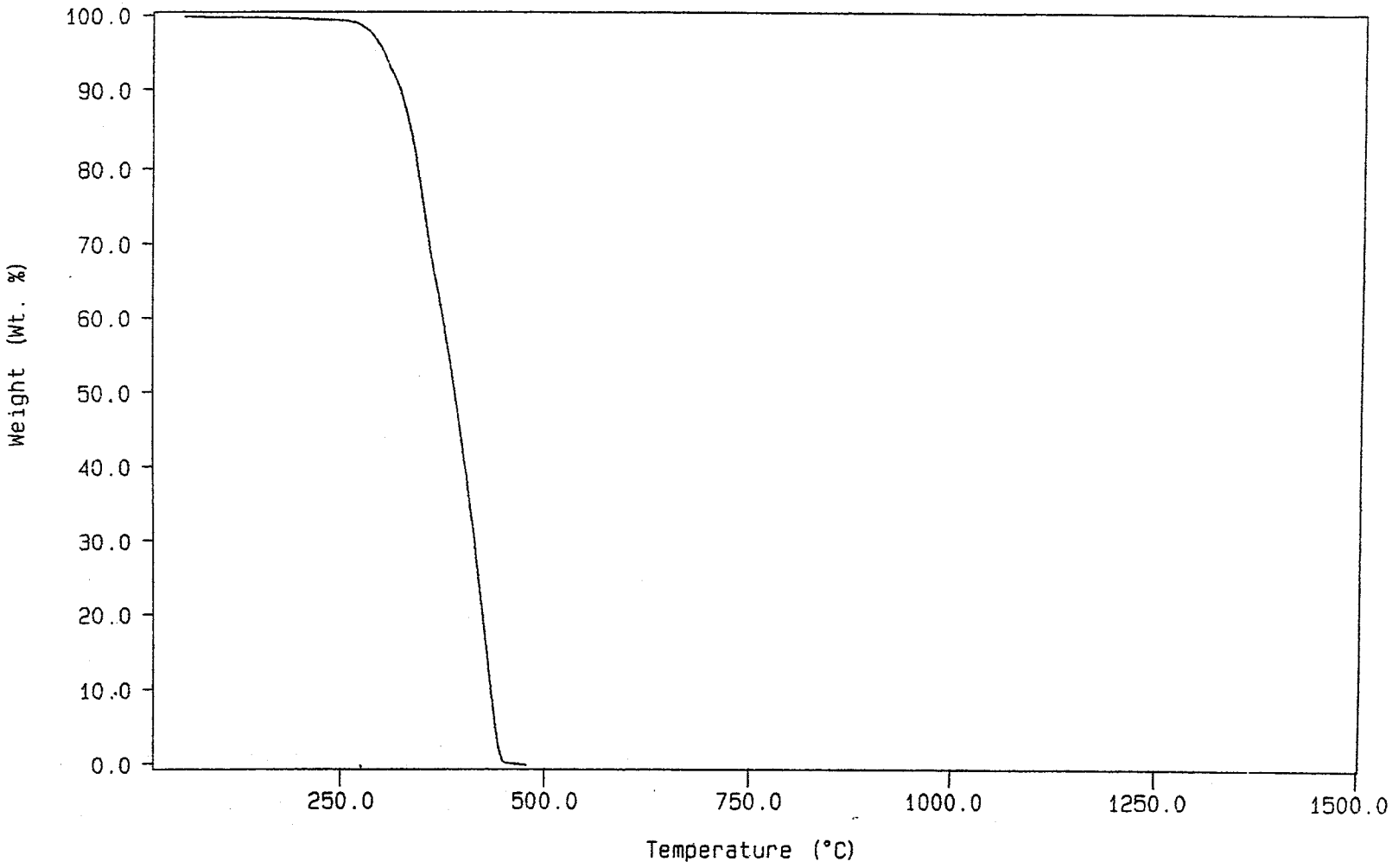
ยังไม่มี

6.2 งานวิจัยอยู่ระหว่างดำเนินการ (สถานภาพในการทำวิจัย: หัวหน้าโครงการ)

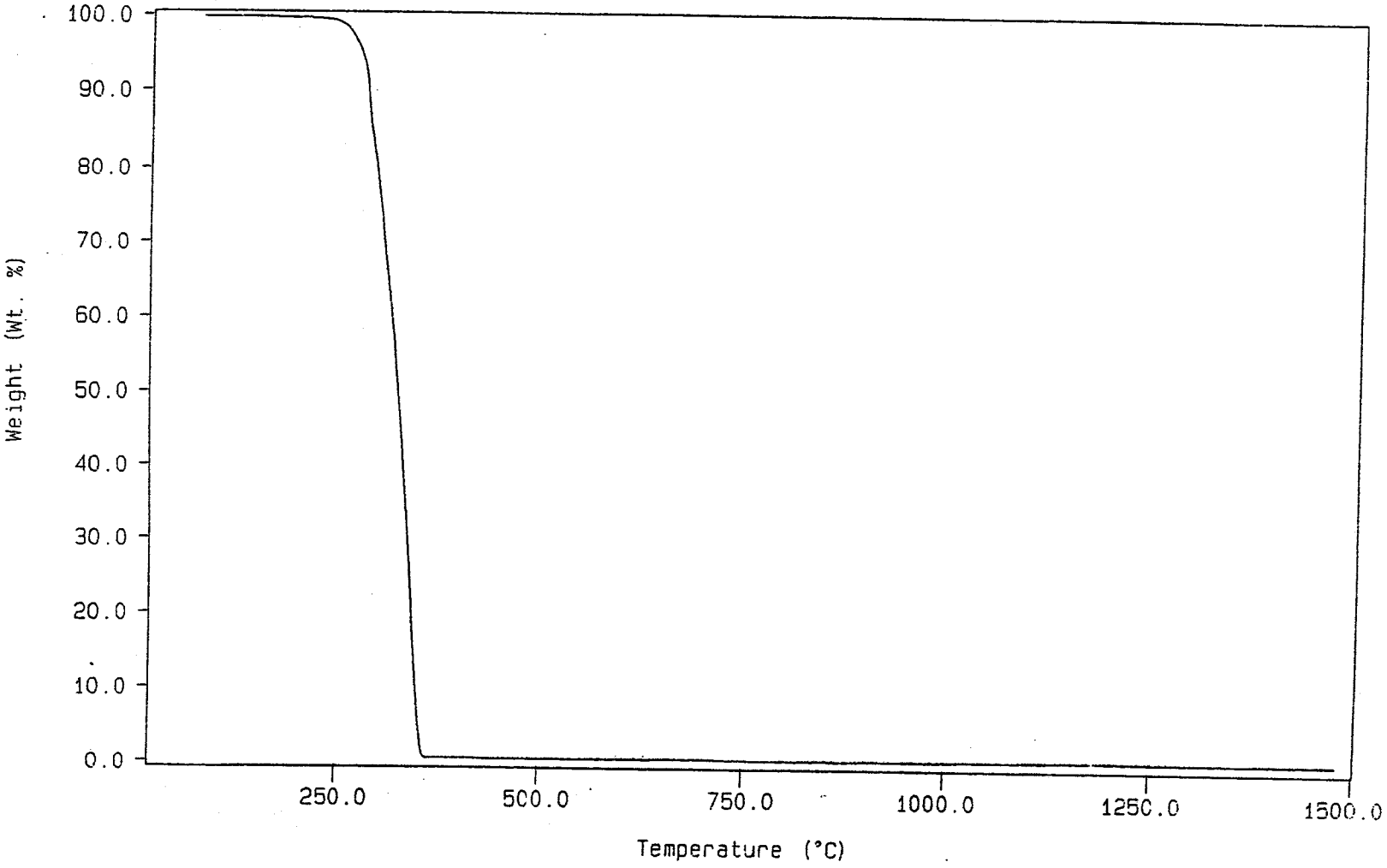
1 โครงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อการผลิตจักรยานแข่งขันจากวัสดุพอลิเมอร์เชิงประกอบ โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก ศูนย์วัสดุ และ โลหะแห่งชาติ โดยเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย

2. การศึกษาโครงรูปผลึกเดี่ยวของวงแหวนคาร์บอเนต โดยเทคนิค Single Crystal X-ray Diffraction

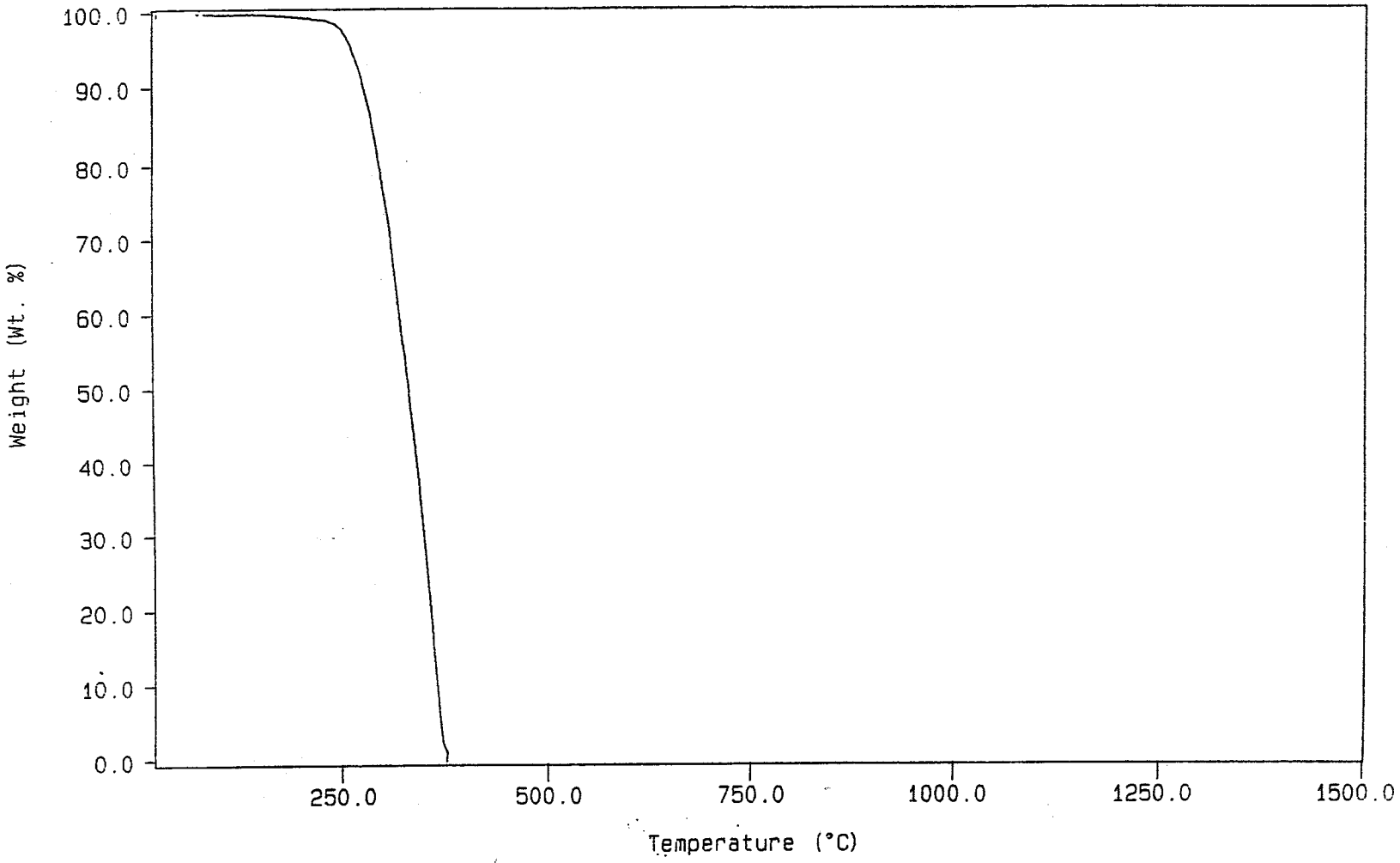
ภาคผนวกที่1



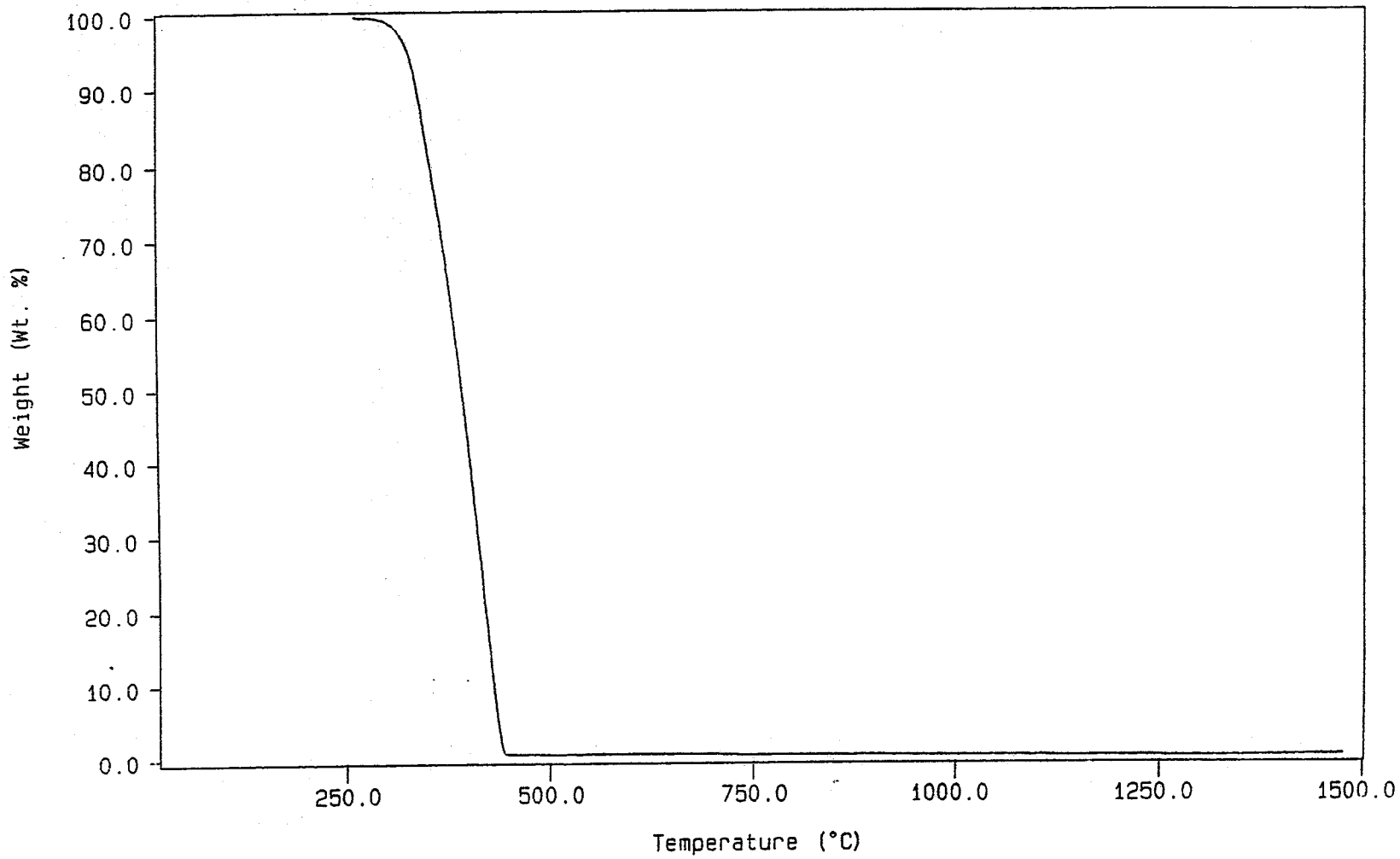
รูปที่ 1 กราฟ TGA ของ POM pure



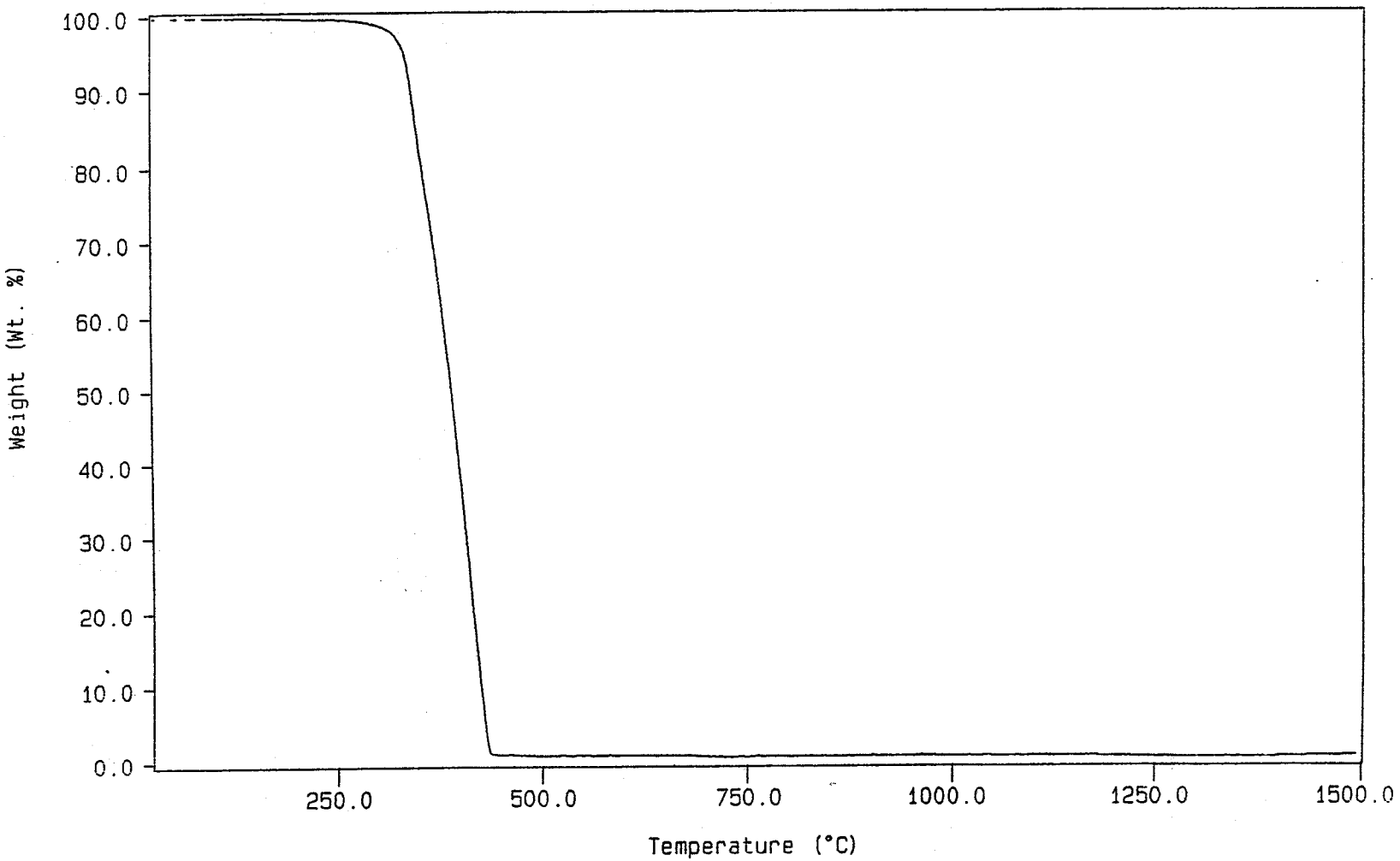
รูปที่ 2 กราฟ TGA ของ POM + 0.05%CB



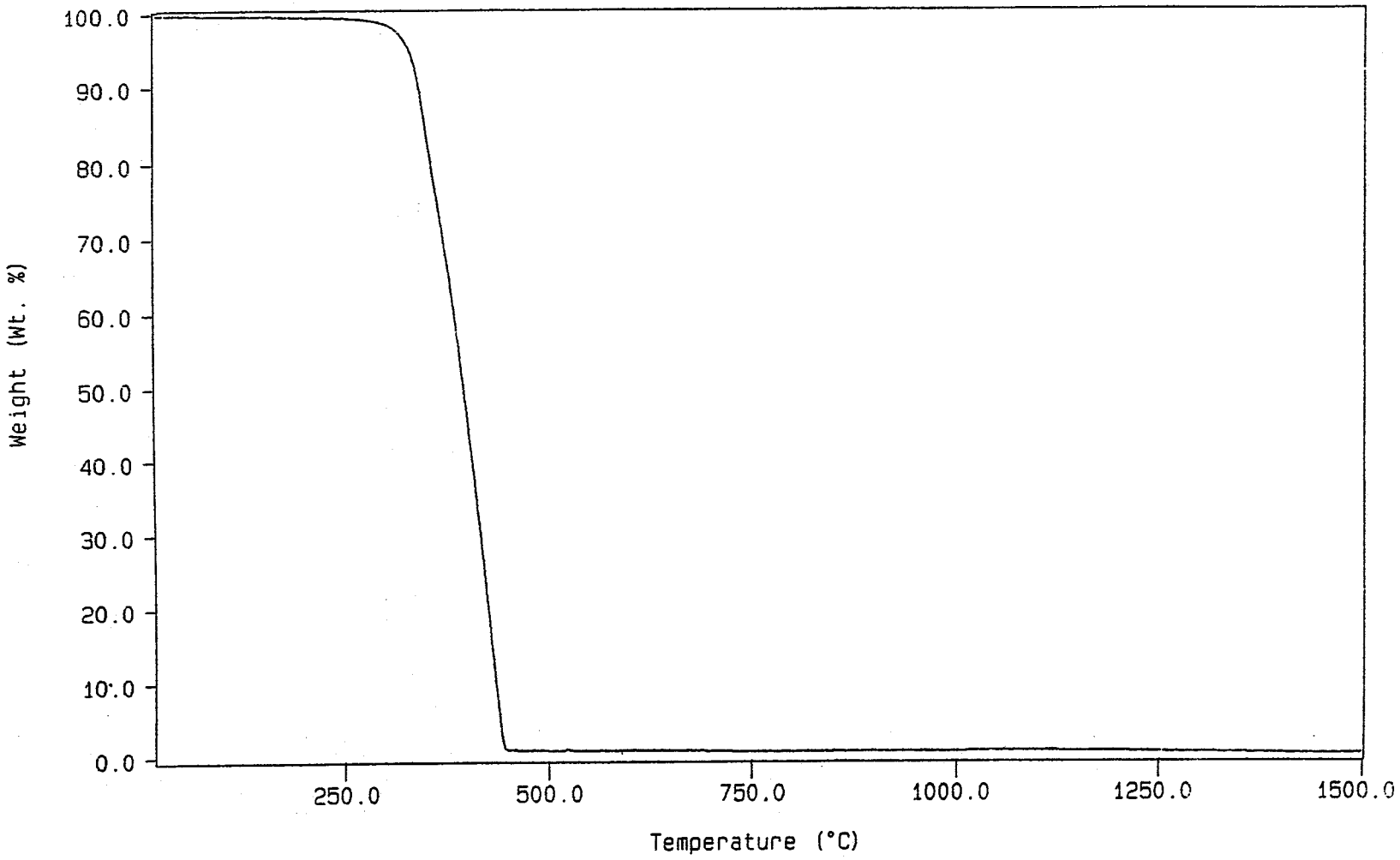
รูปที่ 3 กราฟ TGA ของ POM + 0.10%CB



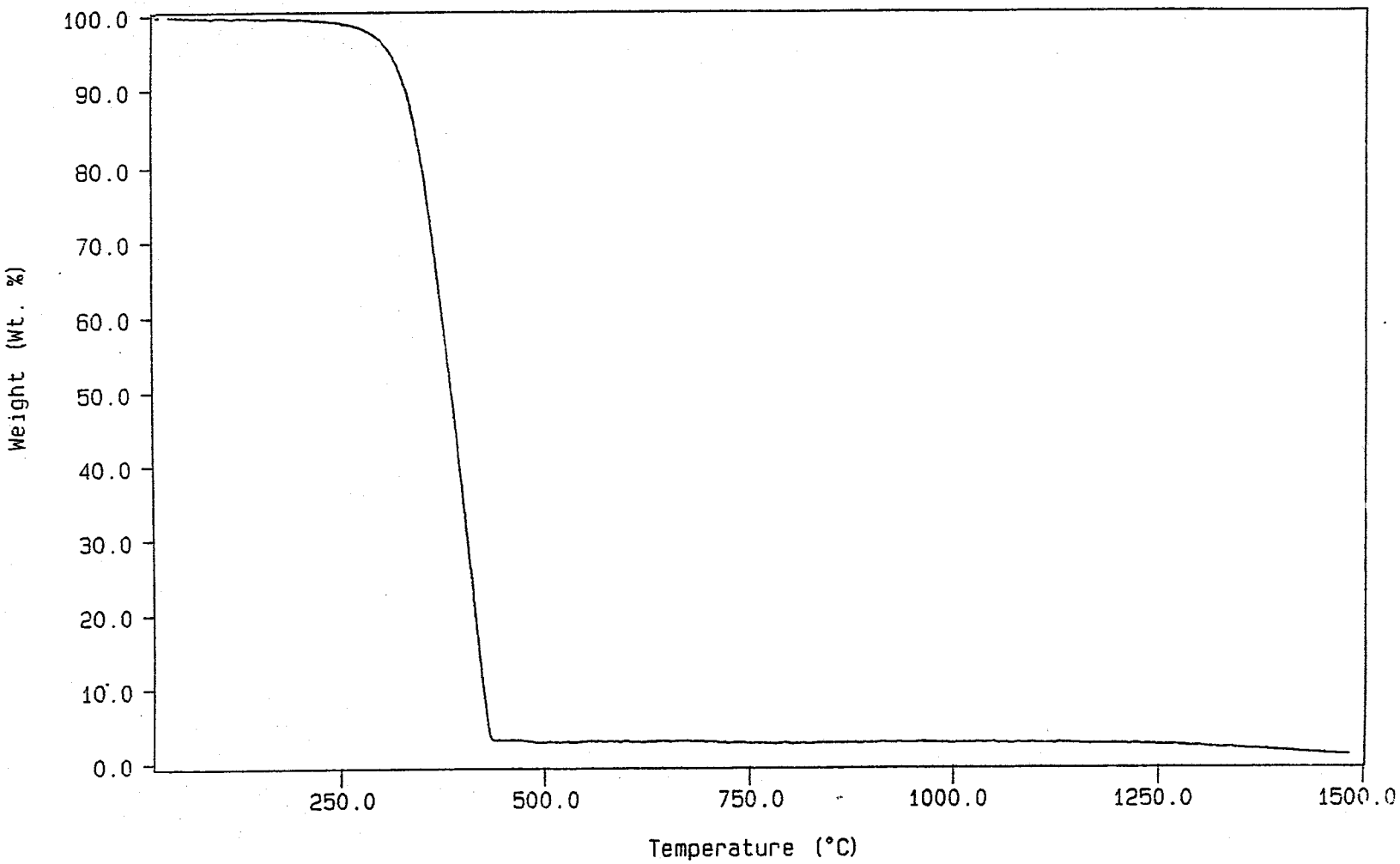
รูปที่ 4 กราฟ TGA ของ POM + 0.25%CB



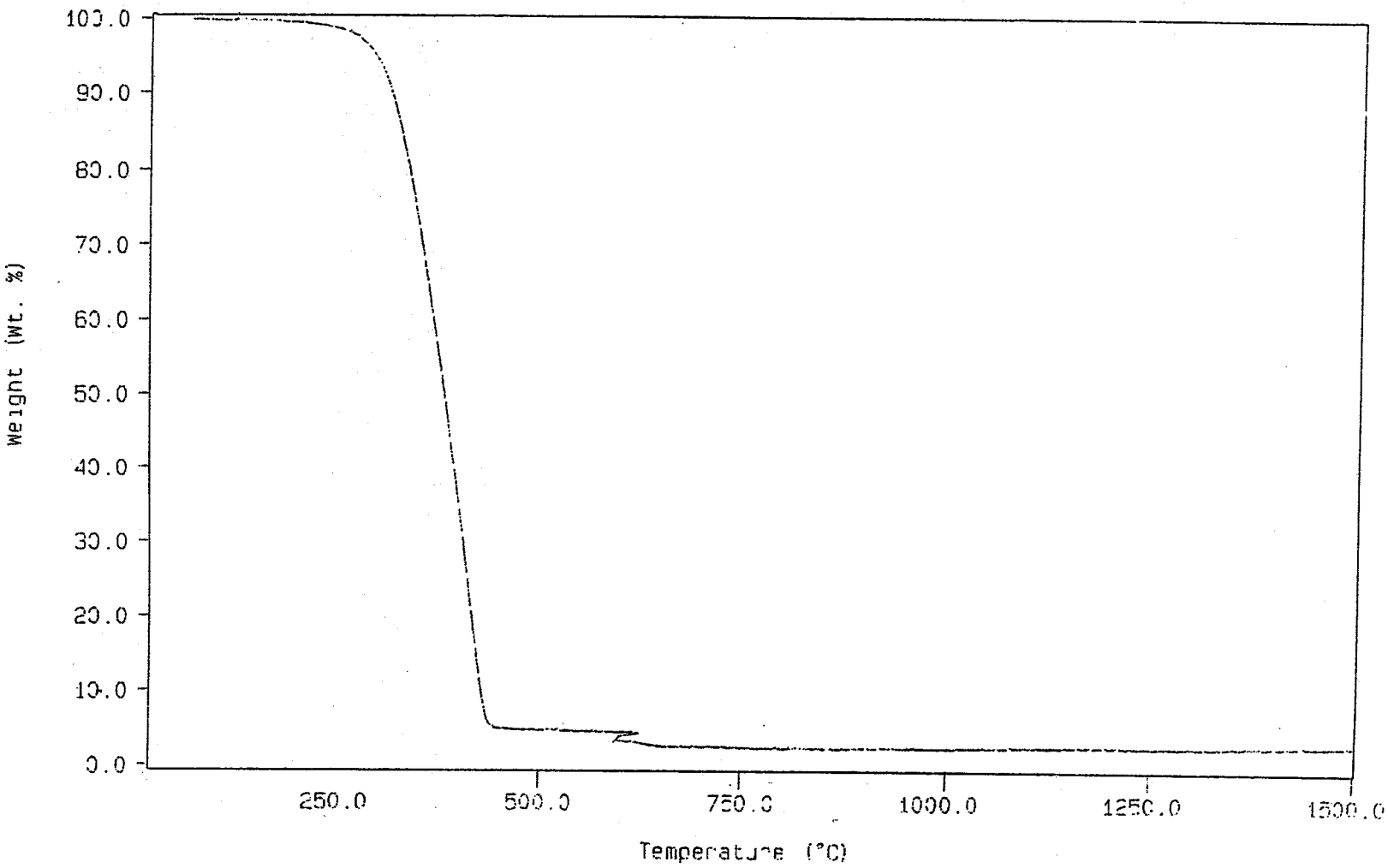
รูปที่ 5 กราฟ TGA ของ POM + 0.50%CB



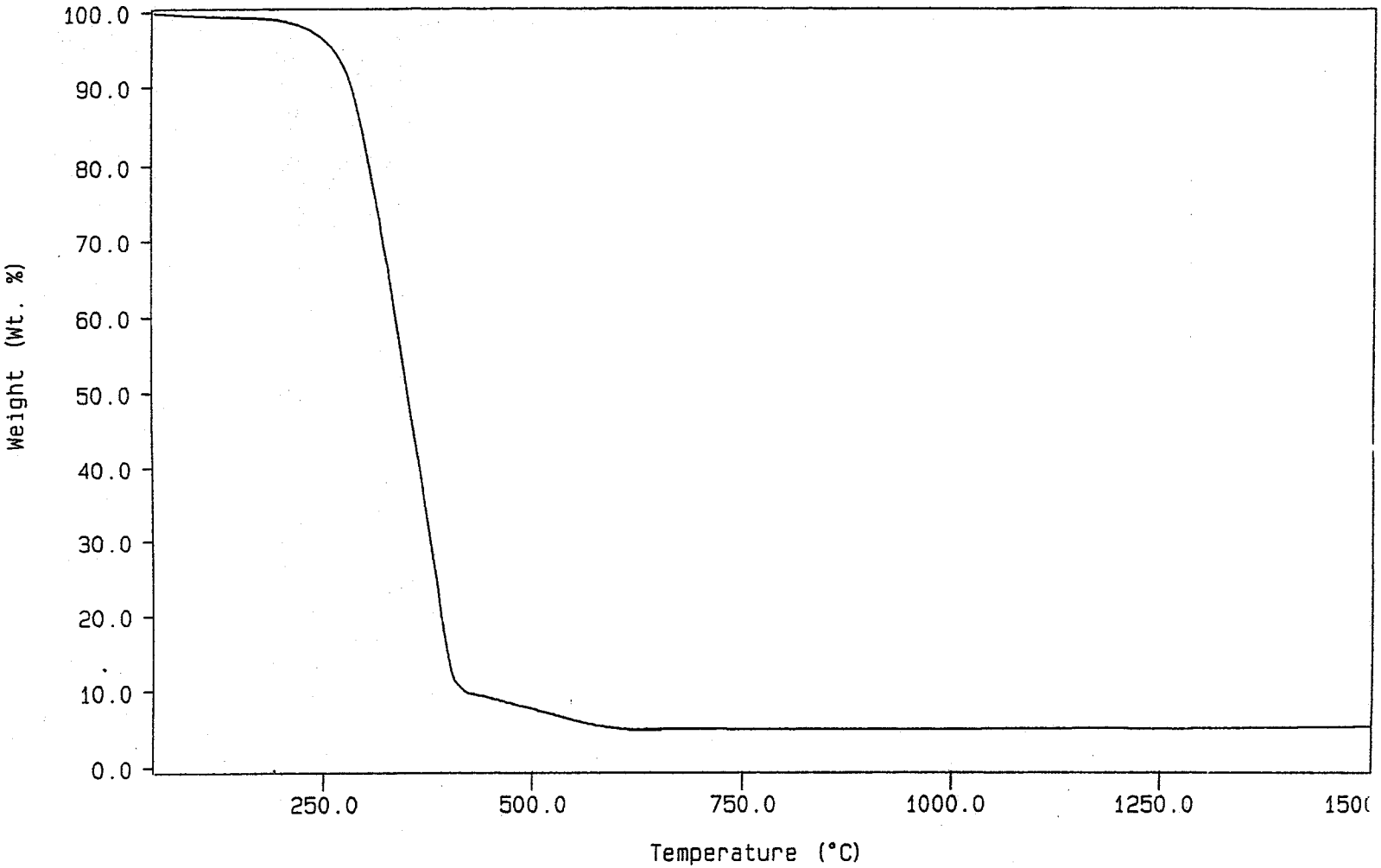
รูปที่ 6 กราฟ TGA ของ POM + 1.0%CB



รูปที่ 7 กราฟ TGA ของ POM + 3.0%CB

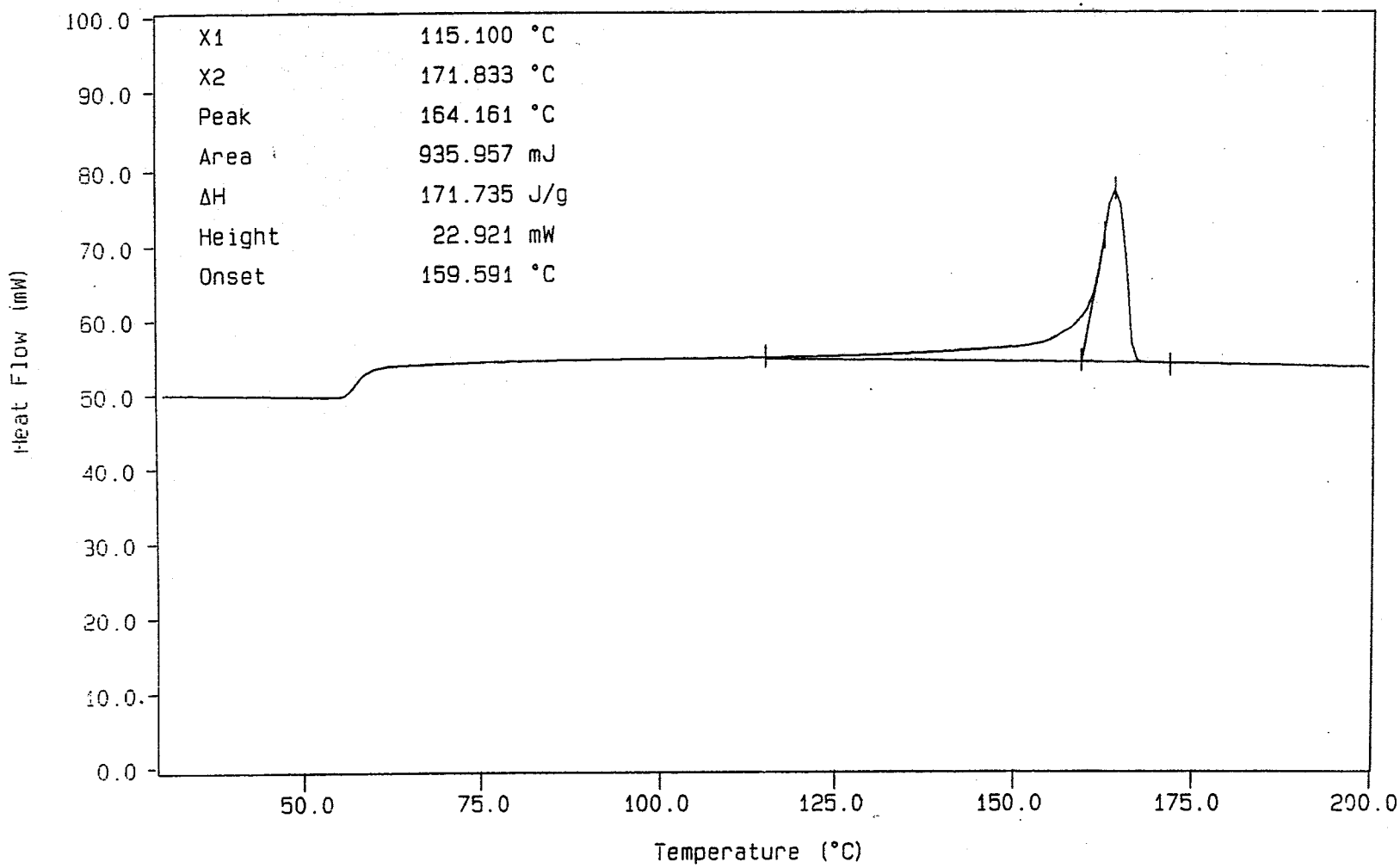


รูปที่ 8 กราฟ TGA ของ POM + 5.0%CB

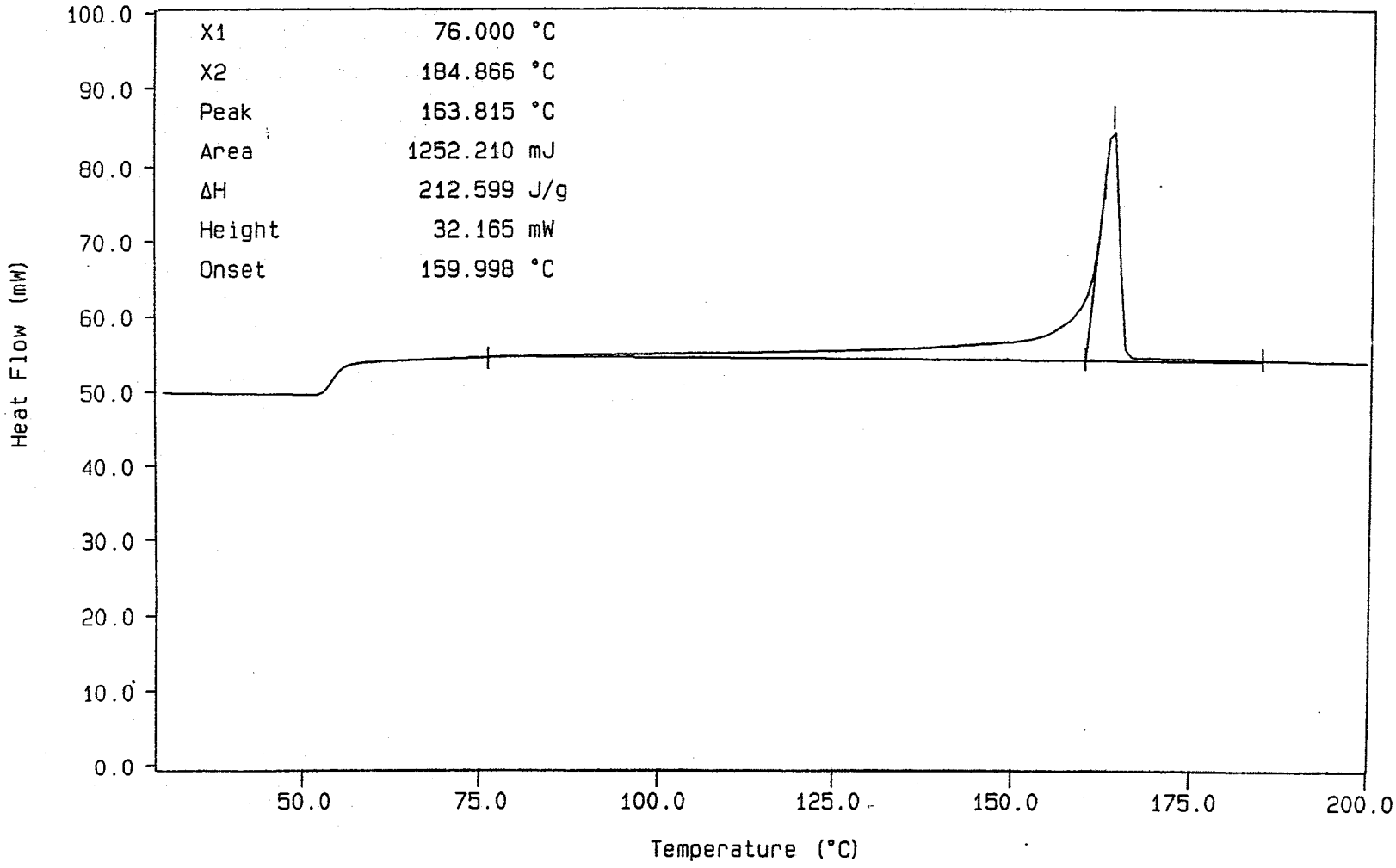


รูปที่ 9 กราฟ TGA ของ POM + 10.0%CB

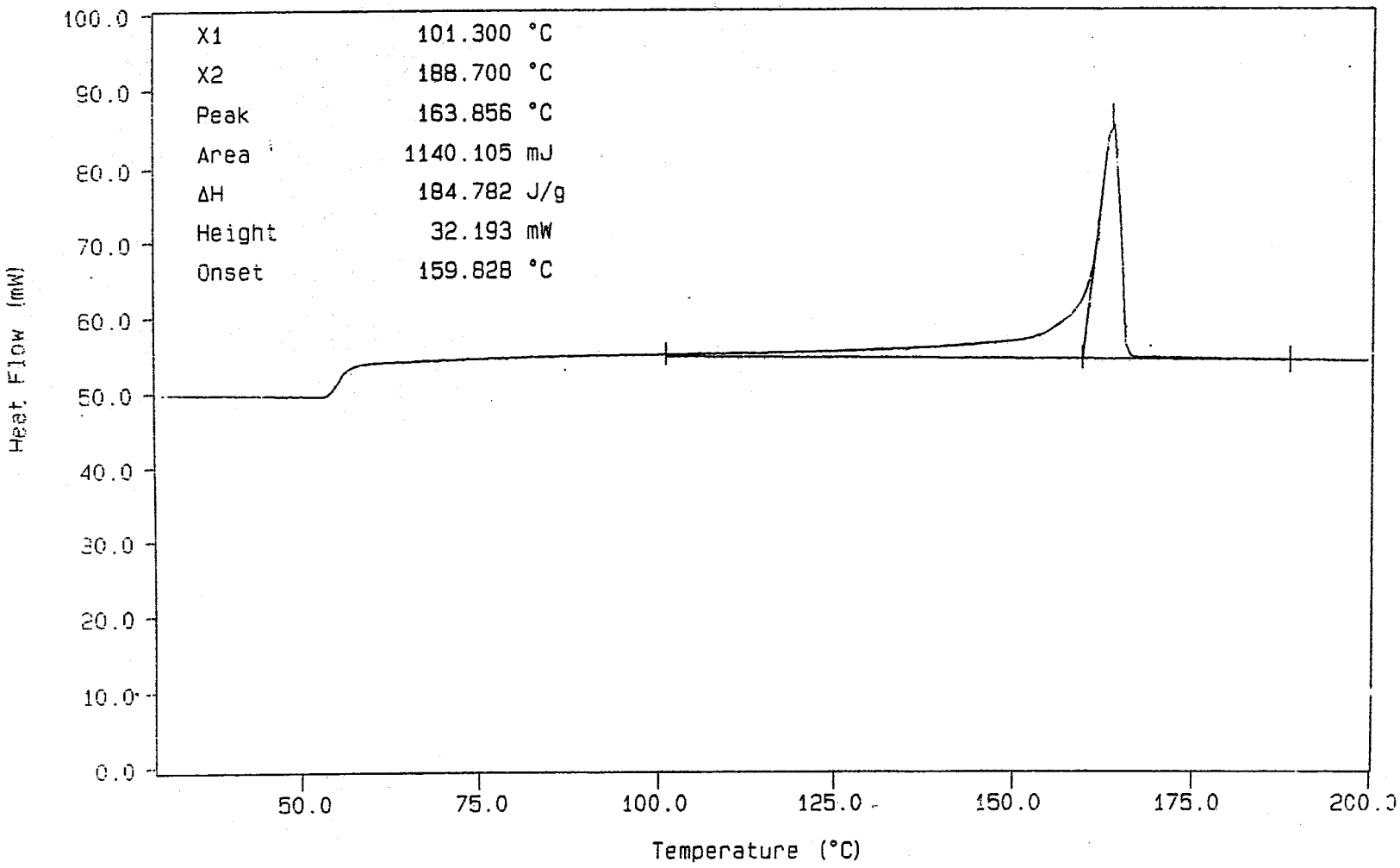
ภาคผนวกที่2



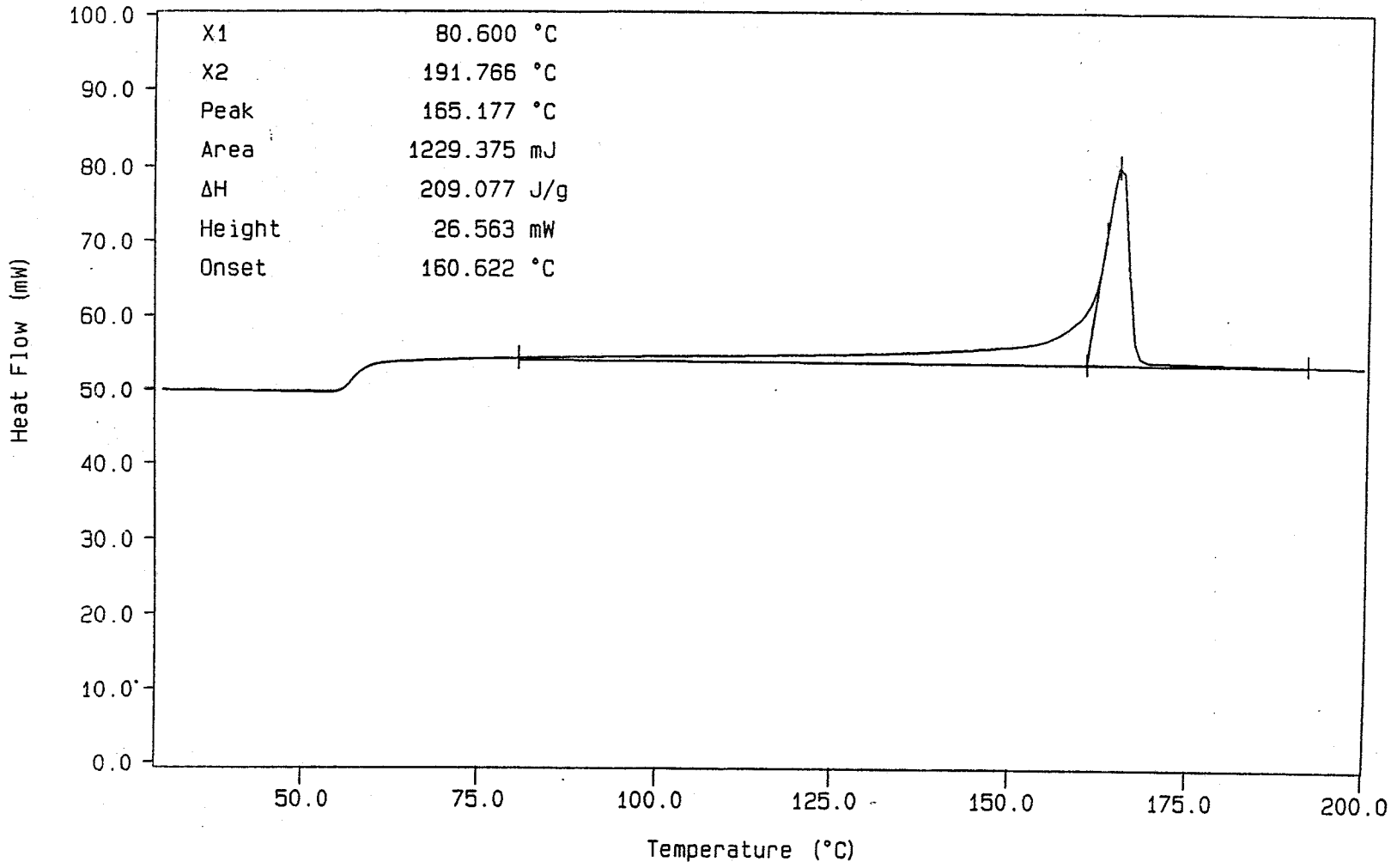
รูปที่ 1 กราฟ DSC ของ POM pure



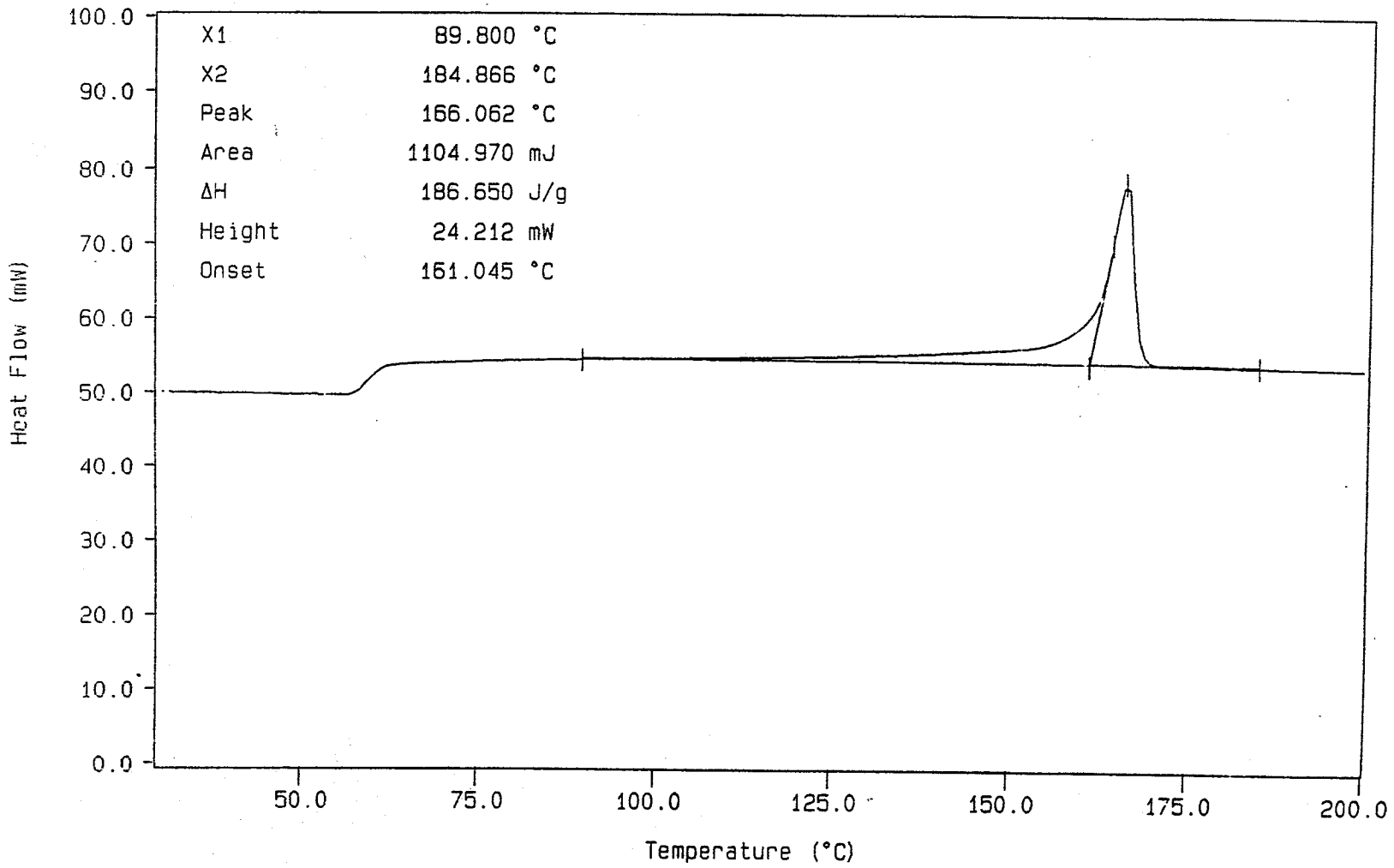
รูปที่ 2 กราฟ DSC ของ POM +0.05% CB



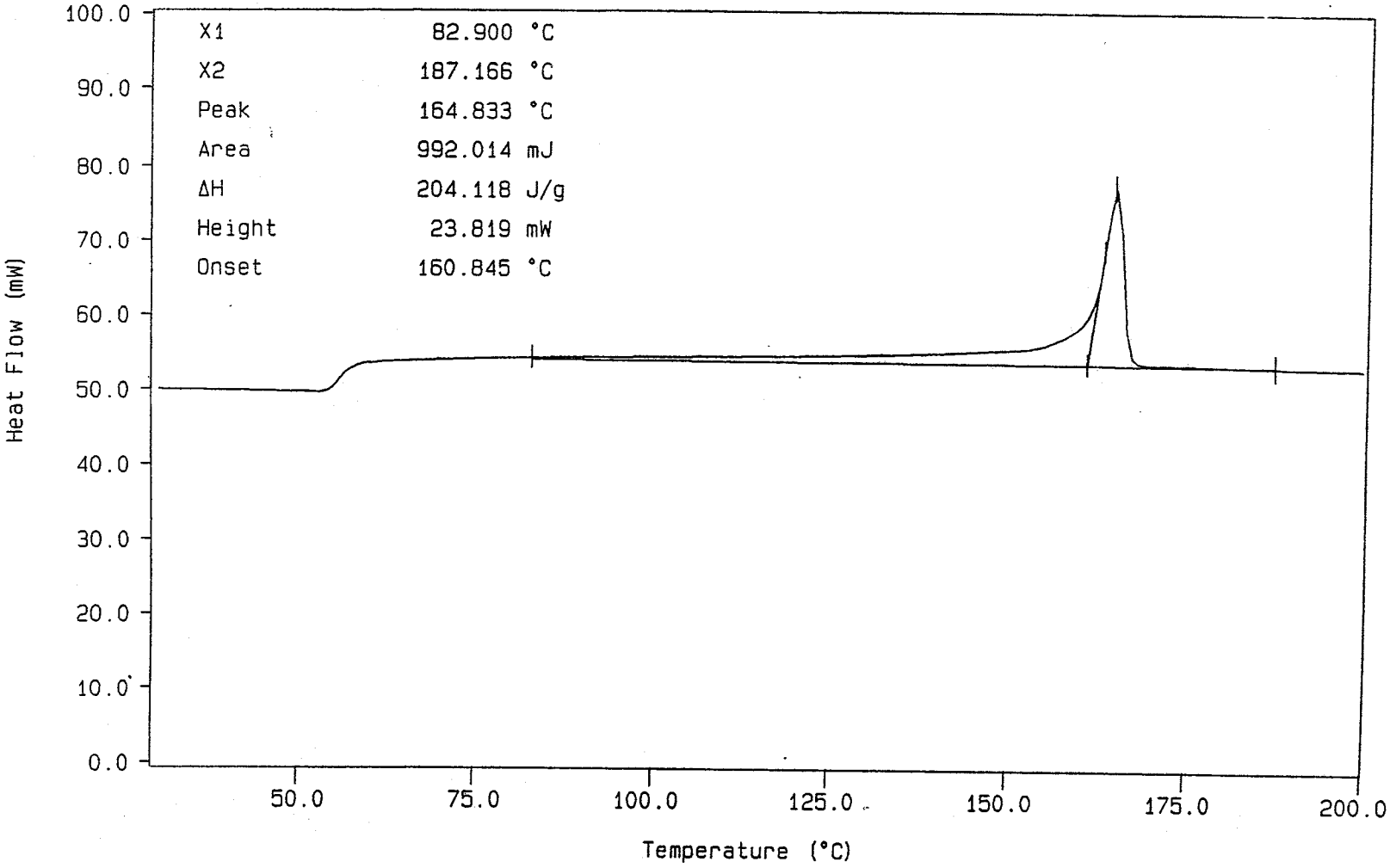
รูปที่ 3 กราฟ DSC ของ POM+ 0.10% CB



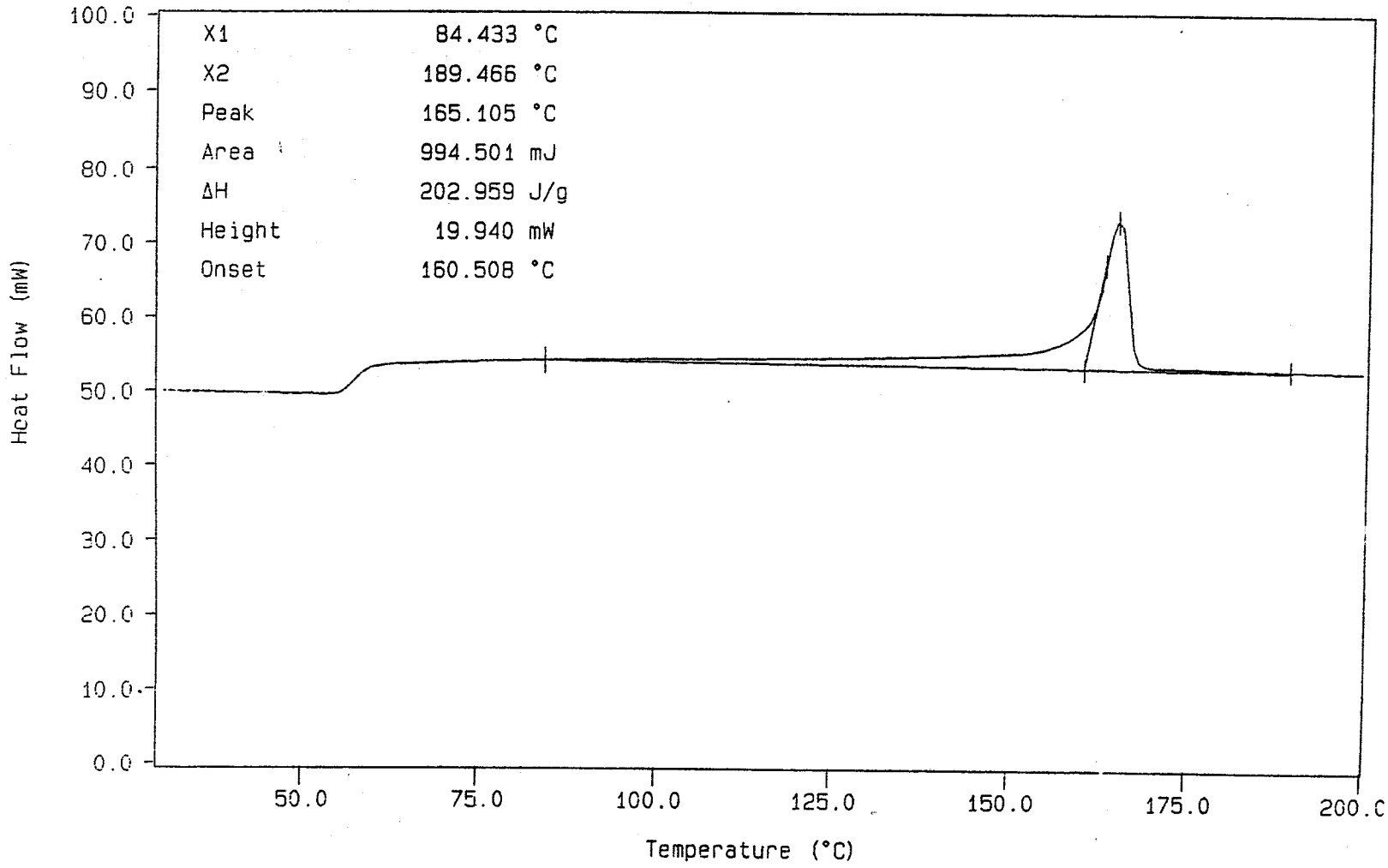
รูปที่ 4 กราฟ DSC ของ POM +0.25% CB



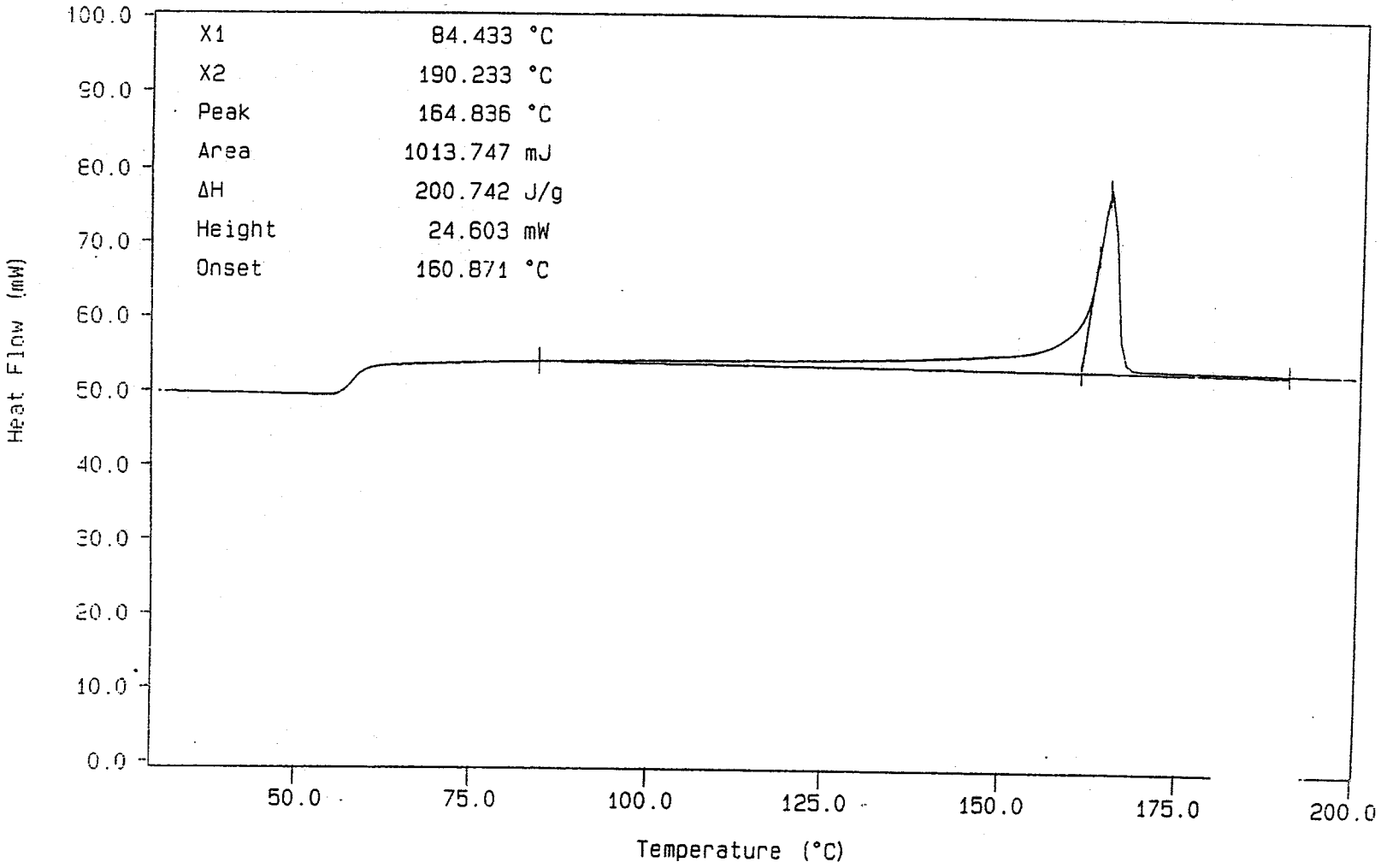
รูปที่ 5 กราฟ DSC ของ POM +0.50% CB



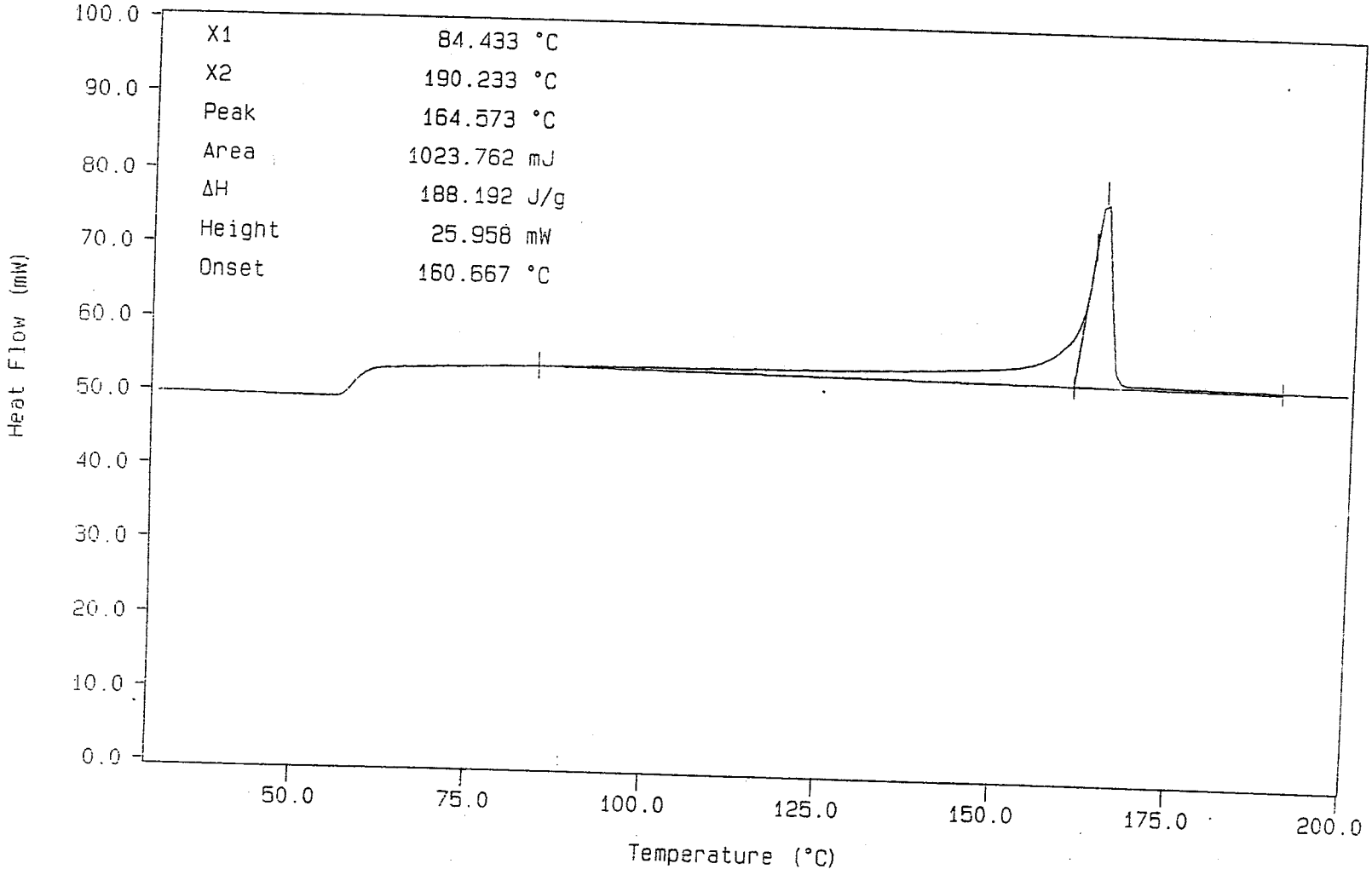
รูปที่ 6 กราฟ DSC ของ POM +1.0% CB



รูปที่ 7 กราฟ DSC ของ POM +3.0% CB



รูปที่ 8 กราฟ DSC ของ POM +5.0% CB



รูปที่ 9 กราฟ DSC ของ POM +10.0% CB