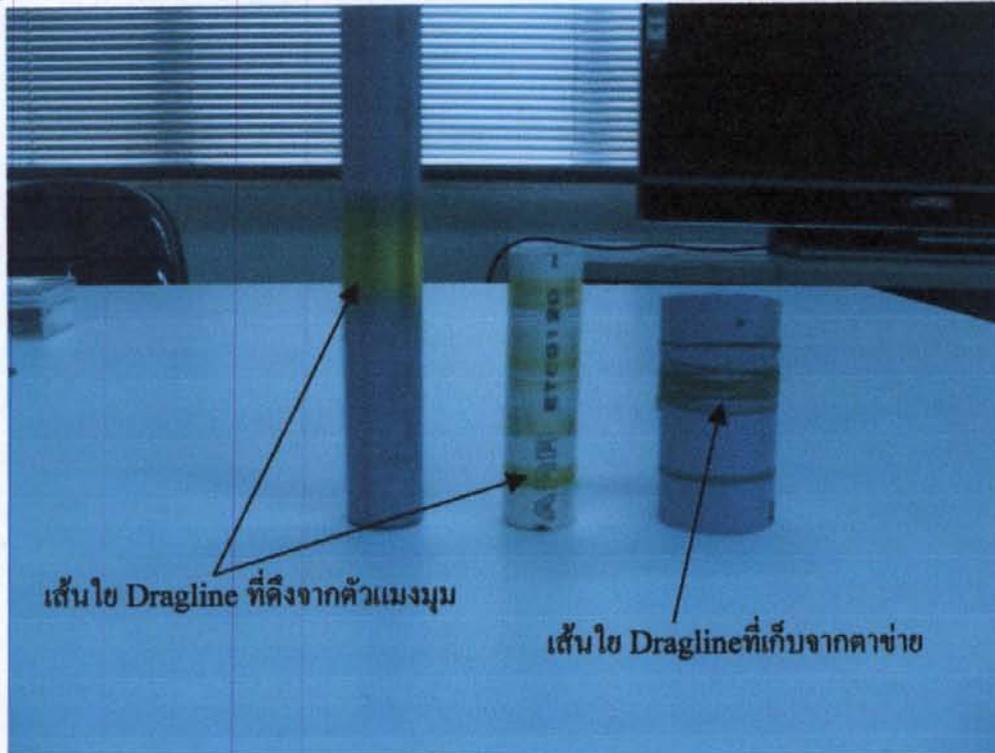


บทที่ 4  
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการเก็บตัวอย่างเส้นใยแมงมุม

รูปที่ 4.1 เป็นส่วนหนึ่งของตัวอย่างเส้นใยแมงมุมที่เก็บและพันเข้าหลอดเพื่อนำไปทดสอบ จากรูปพบว่าเส้นใยชนิดรับแรง (Dragline) มีสีเหลือง ซึ่งคล้ายคลึงกับเส้นใยไหม



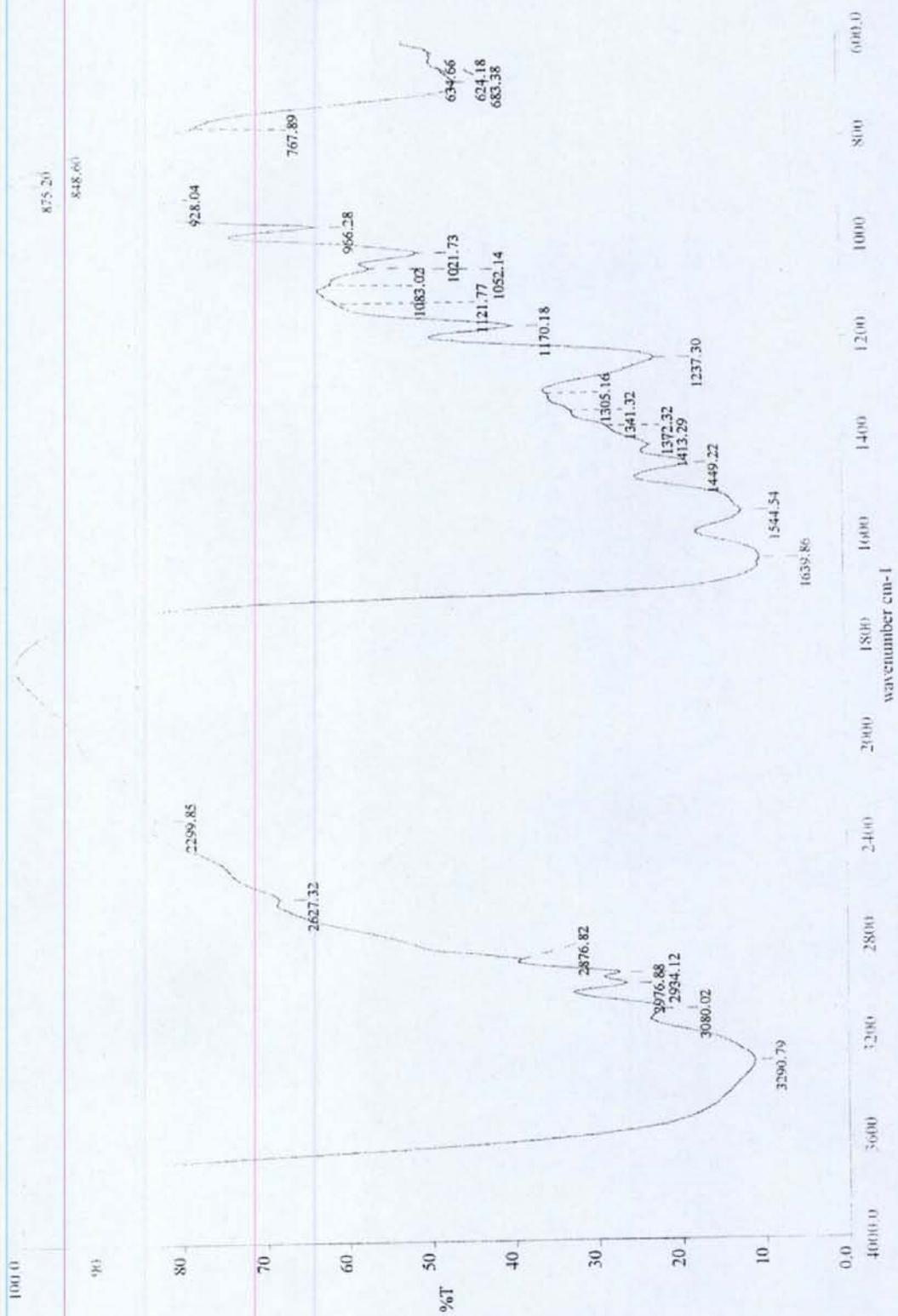
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างเส้นใยแมงมุมชนิดรับแรง (Dragline)

4.2 ผลการทดสอบ FTIR

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR

Table: Possible functional groups of the "spider silk fiber 02-51".

Functional group	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )
- N-H stretching overlap with O-H stretching	3290 (broad band)
- Overtone of 1544 cm <sup>-1</sup> band	3080
- Aliphatic C-H stretching	2976, 2934, 2876
- C=O stretching of Amide (Amide I band) and C-N stretching	1639
- Characteristic band of $\beta$ -sheet conformations (Amide II)	1544
- C-H bending region	1449-1305
- Amide III, predominantly N-H bending and C-N stretching, plus other minor vibration modes	1237
- Skeletal stretching region	1170-928
- The band arises from the -(Gly-Gly)- sequence of the silk fibroin chain	1021
- Amide V, C-N torsion, and N-H bending	683



f:\yellow\_fiber.sp - Spioer silk fiber (MTEC No. 3241/52)

รูปที่ 4.2 FTIR Spectrum ของเส้นไหมแมงมุม

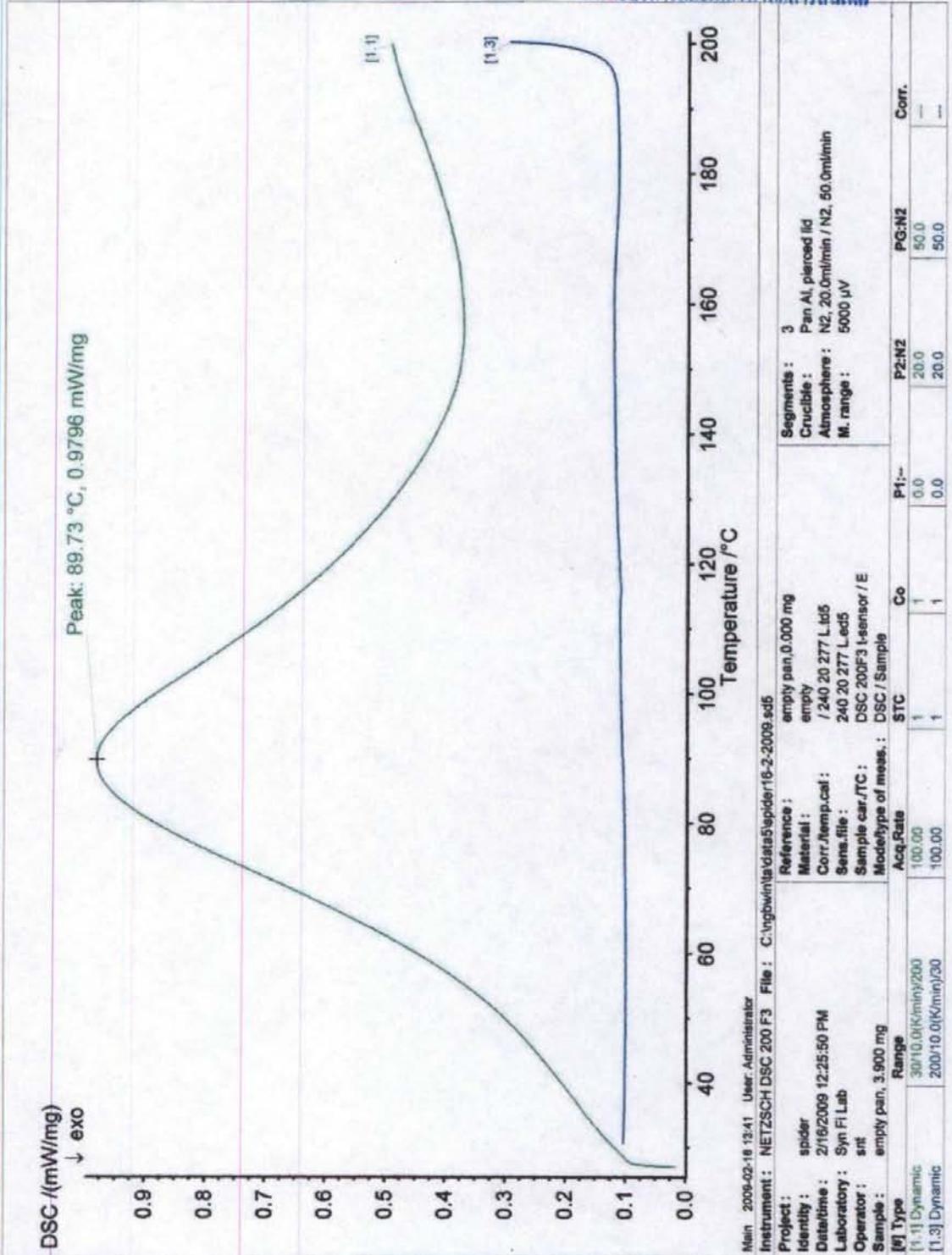
เส้นไหมแมงมุมเป็นเส้นใยโปรตีน ส่วนประกอบใหญ่ทางเคมี ได้แก่ Fibroin

4.3 ผลทดสอบด้วยเครื่อง DSC

กราฟแสดงผลการทดสอบ DSC แสดงในรูปที่ 4.3



สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผล DSC ของเส้นใยแมงมุม

### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงผล DSC ของเส้นใยแมงมุม ที่แสดงว่าเส้นใยแมงมุมไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะใดๆ แต่มีการนำความร้อนมาใช้ที่ 89.73 องศาเซลเซียส ในที่นี้เป็นไปได้ว่าเป็นนำความร้อนมาระเหยน้ำที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแมงมุมเอง และขั้นตอนการคายความร้อน หรือการให้ความเย็นจึงไม่มีผลใดๆ เพราะเส้นใยแมงมุมไม่ได้ละลายไปเป็นของเหลวจึงไม่มีการแข็งตัวอีก

เส้นกราฟสีเขียว (บน) แสดงการให้ความร้อน หรือการดูดความร้อนของชิ้นตัวอย่าง

เส้นกราฟสีน้ำเงิน (ล่าง) แสดงการให้ความเย็น หรือการคายความร้อนของชิ้นตัวอย่าง

#### 4.4 ผลการทดสอบ Thermogravimetric Analysis (TGA)

ตารางที่ 4.2 การสูญเสียน้ำหนัก ด้วยบรรยากาศไนโตรเจน (รูปที่ 4.4 ประกอบ)

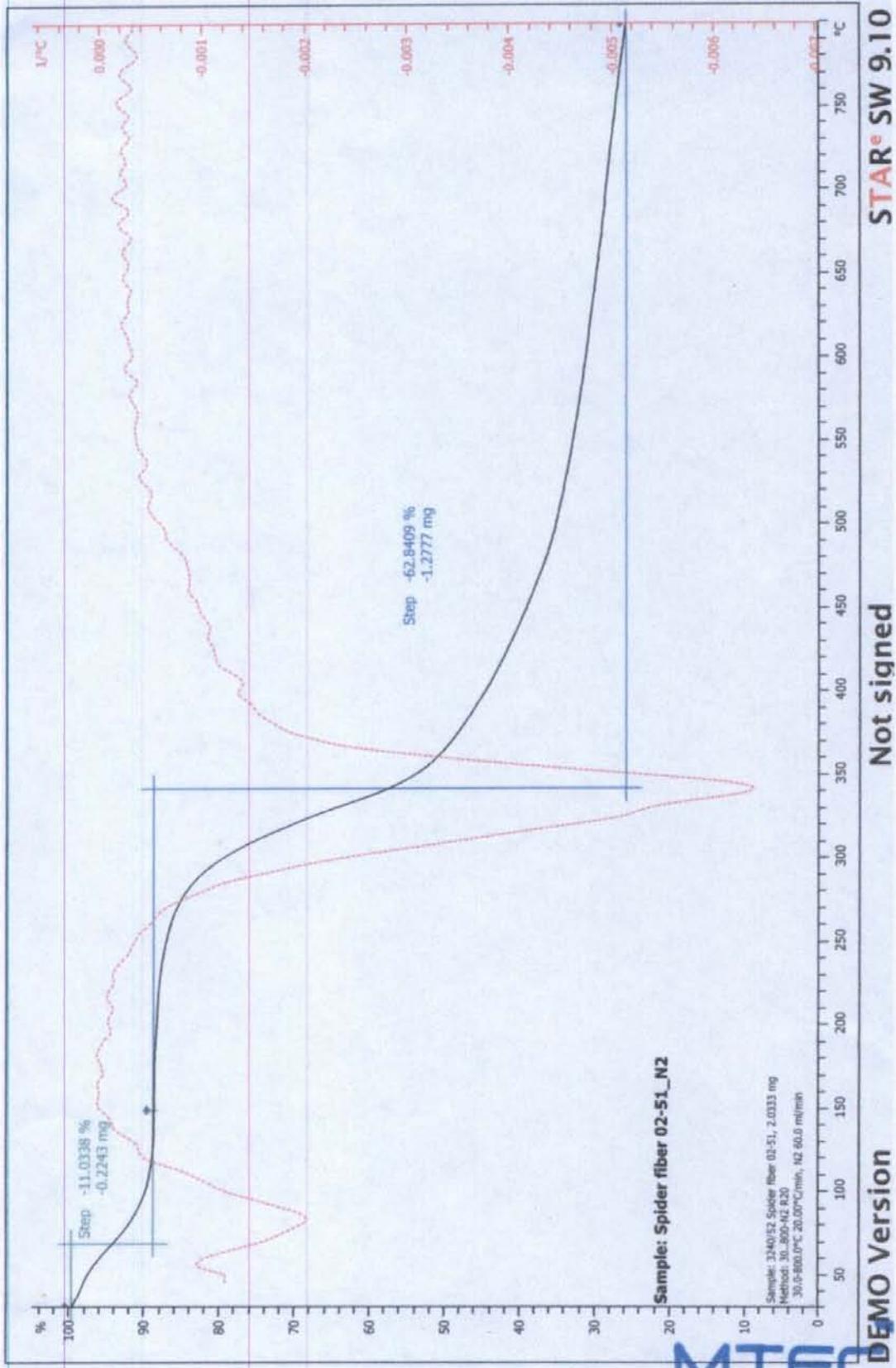
Decomposition step of sample "Spider fiber 02-51 under nitrogen atmosphere"

Decomposition temperature (°C)	% Content (by weight) in the sample
1. First step decomposition (~30-150°C) (e.g., moisture)	11.0
2. Second step decomposition (~150-800°C) (e.g., organic substances)	62.8
3. Residue (upon heating up to 800°C) (e.g., ash content, inorganic substances)	26.2

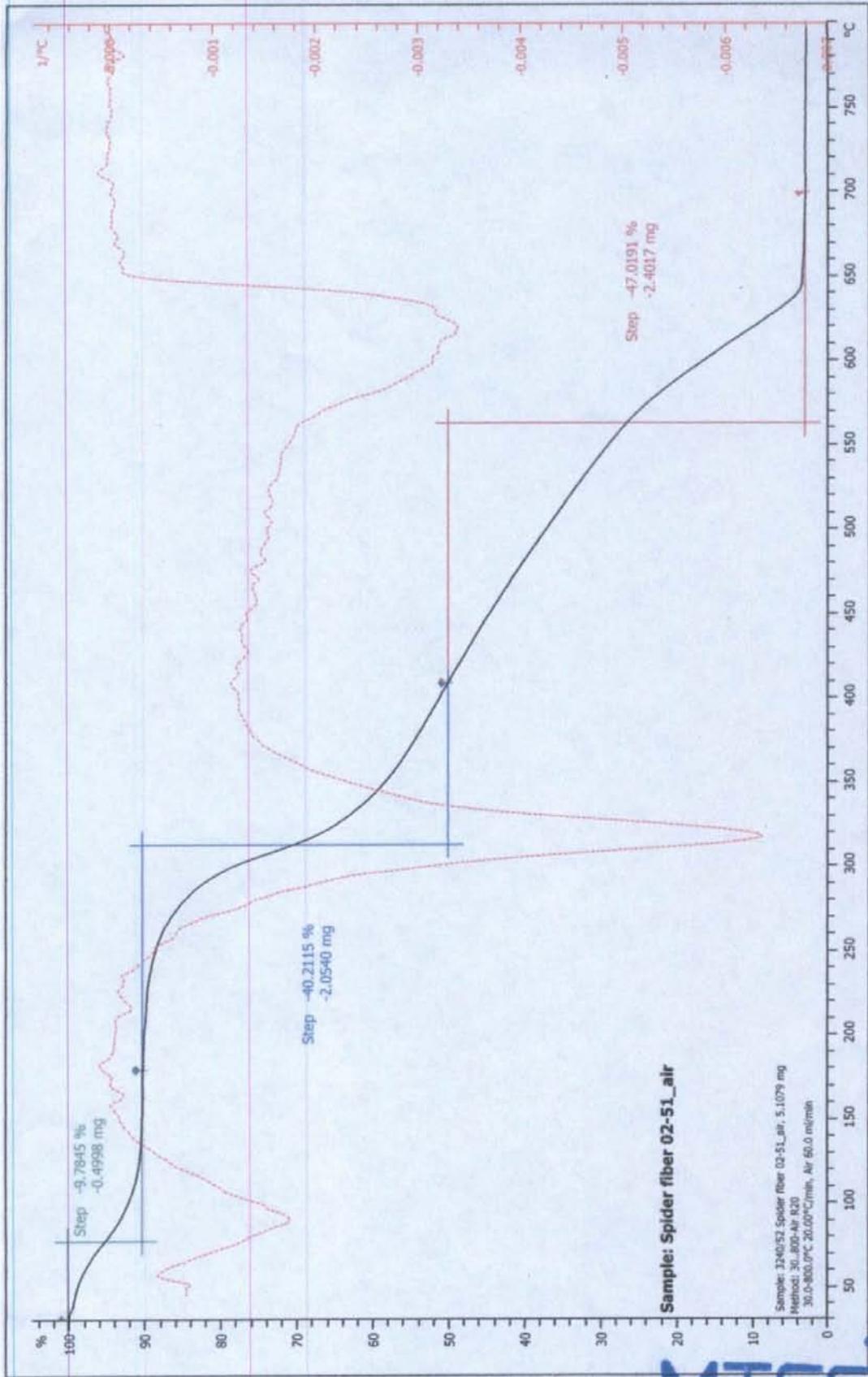
ตารางที่ 4.3 การสูญเสียน้ำหนัก ด้วยบรรยากาศอากาศ (รูปที่ 4.5 ประกอบ)

Decomposition step of sample "Spider fiber 02-51 under air atmosphere"

Decomposition temperature (°C)	% Content (by weight) in the sample
1. First step decomposition (~30-180°C) (e.g., moisture)	9.8
2. Second step decomposition (~180-410°C) (e.g., low molecular weight organic substances)	40.2
3. Third step decomposition (~410-700°C) (e.g., high molecular weight organic substances)	47.0
4. Residue (upon heating up to 800°C) (e.g., ash content, inorganic substances)	3.0



รูปที่ 4.4 เส้นโค้งของ TGA ด้วยบรรยากาศไนโตรเจน ของเส้นใยแมงมุม



STAR<sup>e</sup> SW 9.10

Not signed

DEMO Version

รูปที่ 4.5 เส้นโค้งของ TGA ด้วยบรรยากาศอากาศ ของเส้นใยแมงมุม

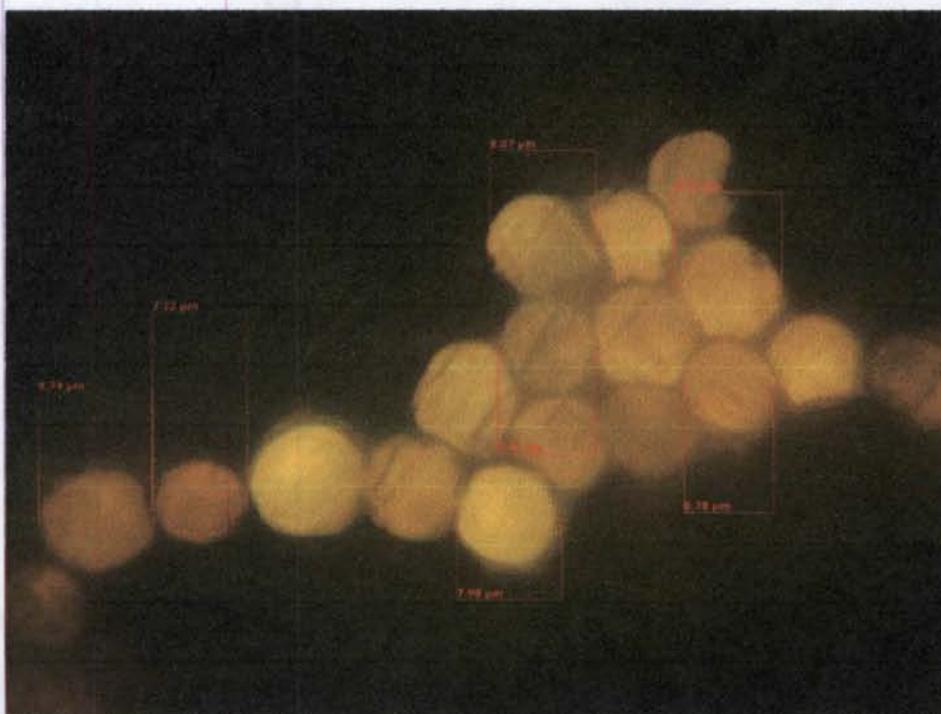
TGA Thermogram ในบรรยากาศไนโตรเจนแสดงในรูปที่ 4.4 และได้มีการสรุป decomposition temperature and % content ไว้ในตารางที่ 4.2 จากรูปที่ 4.4 พบว่าในช่วงแรก (อุณหภูมิต่ำกว่า 30-150°C) เส้นโค้ง TG บอการสูญเสียน้ำหนัก 11.0% ทั้งนี้อาจจะเป็นน้ำที่เส้นใยดูดซับไว้สูญเสียบ้างได้สังเกตไว้ในการศึกษา DSC ในช่วงที่ 2 (อุณหภูมิต่ำกว่า 150-800°C) เส้นโค้ง TG บอการสูญเสียน้ำหนัก 62.8 % อาจจะเป็นสลายกลุ่มโซ่ของสารอินทรีย์ เช่น Amino Acid และจะเหลือเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์ ประมาณ 26.2%

ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 เป็น decomposition temperature and % content และ TGA Thermogram ในบรรยากาศอากาศของเส้นใยแมงมุมตามลำดับ จากรูปดังกล่าวพบว่าในช่วงแรก (อุณหภูมิ 30-180 °C) มีการสูญเสียน้ำในเส้นใยประมาณ 9.8% ในช่วงที่ 2 (อุณหภูมิ 180-410 °C) มีการสูญเสยสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำประมาณ 40.2% ในช่วงที่ 3 (อุณหภูมิ 410-700 °C) มีการสูญเสยสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประมาณ 47.0% และจะเหลือเป็นขี้เถ้า สารอนินทรีย์ ประมาณ 3.0%

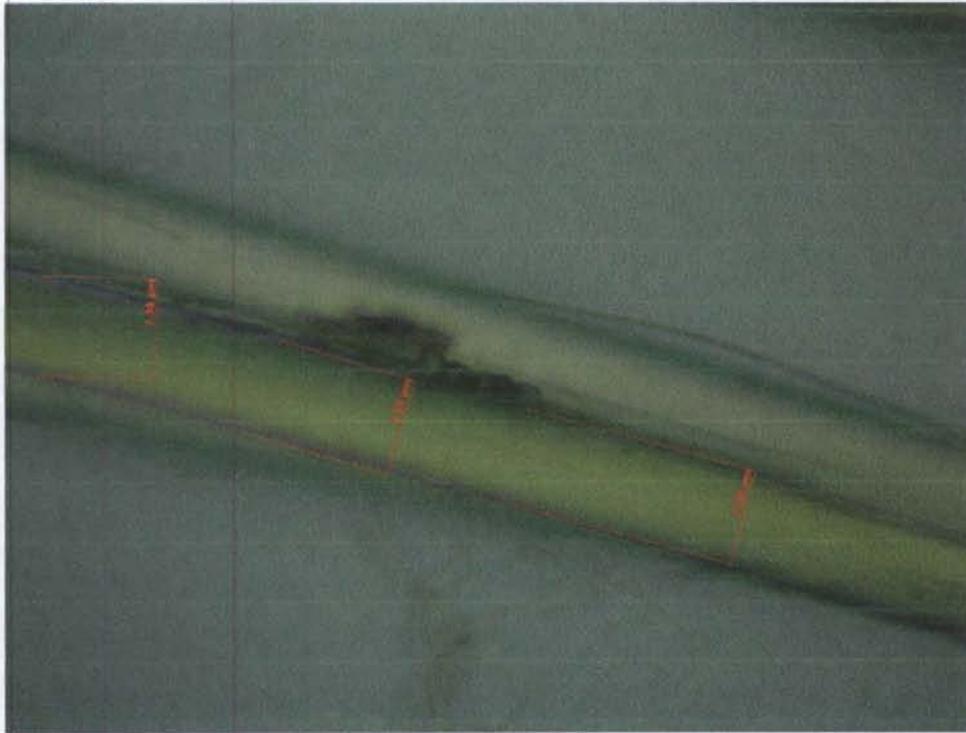
#### 4.5 ผลการทดสอบภาพตามขวางและตามยาวของเส้นใย

##### 4.5.1 ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา

##### 4.5.1.1 ตัวอย่างภาพถ่ายภาคตัดขวางและตามยาวของเส้นใยแมงมุม



รูปที่ 4.6 ภาพตัวอย่างของภาคตัดขวางเส้นใย ขยาย 100X (Cross Section)



รูปที่ 4.7 ภาพตัวอย่างของภาพตามยาวของเส้นใย ขยาย 100X (Long Section)

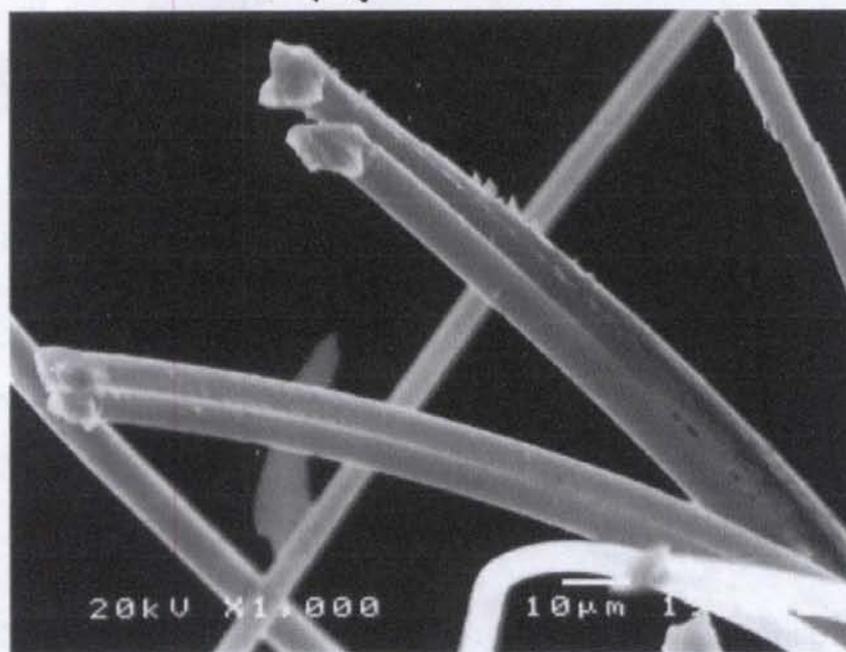
#### 4.5.1.2 ผลการวัดขนาดความโตของเส้นใยแมงมุม

ตารางที่ 4.4 ขนาดความโตของเส้นใยที่ดึงจากแมงมุมและเก็บจากตาข่าย

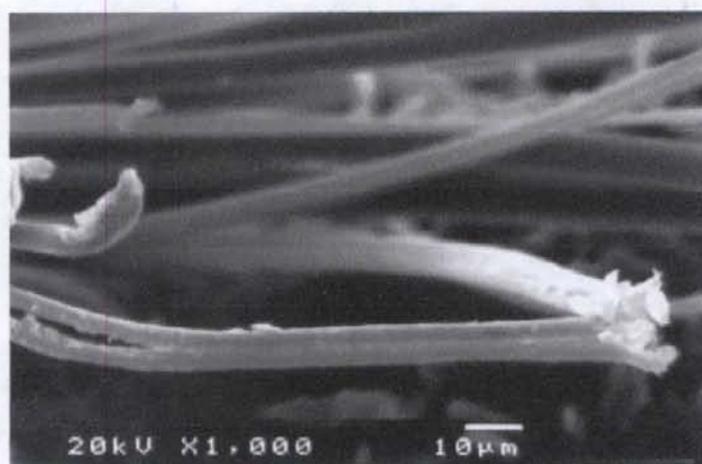
เส้นใยที่	เส้นใยที่ดึงจากแมงมุม (ไมครอน)			เส้นใยจากตาข่าย (ไมครอน)
	ก.พ. 51	ต.ค. 51	ธ.ค. 51	เม.ย. 51
1	4.52	5.12	5.08	7.54
2	4.17	5.16	4.76	8.36
3	5.00	4.74	4.31	7.91
4	4.01	4.72	4.45	7.71
5	4.77	4.81	4.45	8.11
6	4.41	4.35	4.71	8.07
7	4.99	4.57	4.72	8.07
8	4.51	4.51	4.36	8.74
9	5.0	4.75	4.37	7.41
10	4.80	4.85	4.91	7.22
ค่าเฉลี่ย	4.62	4.76	4.61	7.91
ค่าเฉลี่ยรวม		4.66		7.91

## 4.5.2 ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดพิเศษ (SEM)

### 4.5.2.1 เส้นใยที่ดึงจากแมงมุม (รูปที่ 4.8 และ 4.9)

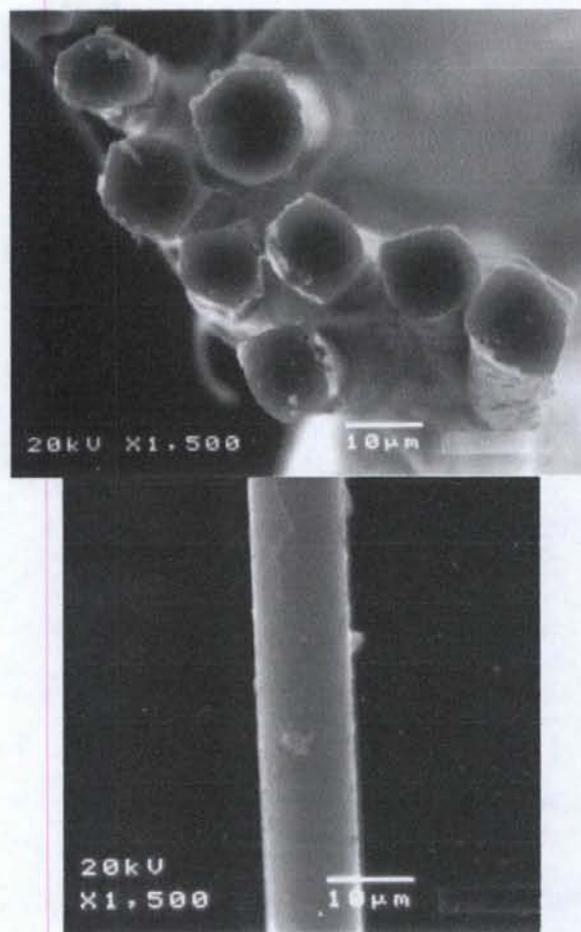


รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพตามยาวของเส้นใยที่ดึงจากแมงมุม  
เก็บเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2551



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพตามยาวของเส้นใยที่ดึงจากแมงมุม  
เก็บเมื่อเดือนธันวาคม 2551

#### 4.5.2.2 เส้นใยเก็บจากตาข่าย (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพตัดขวางและตามยาวของเส้นใยที่เก็บจากตาข่าย เก็บเมื่อเดือนเมษายน 2551

#### 4.5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่าเส้นใยมีสีเหลือง (Golden Silk) มีลักษณะตามขวาง (Cross Section) เป็นวงกลม และลักษณะตามยาว (Long Section) เป็นทรงกระบอกมีผิวเรียบ สม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น

ขนาดความโตของเส้นใย (Fiber Thickness) ที่ทำการวัดด้วยโปรแกรม Axiovision ของกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา พบว่าเส้นใยที่เก็บจากตัวแมงมุมมีขนาดเฉลี่ย 4.66 ไมครอน และเส้นใยที่เก็บจากตาข่ายมีขนาดความโตเฉลี่ย 7.91 ไมครอน

อย่างไรก็ตามเมื่อวัดขนาดความโตด้วยกล้องจุลทรรศน์ SEM ได้ค่าขนาดความโตของเส้นใยที่ดึงจากแมงมุมประมาณ 5 ไมครอน ในขณะที่ขนาดความโตของเส้นใยที่เก็บจากตาข่ายประมาณ 10 ไมครอน

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์เส้นใยแมงมุมด้วยการเผาไหม้ (Burning Test)

ตารางที่ 4.5 ปฏิริยาการเผาไหม้ของเส้นใยแมงมุมพันธุ์ Nephila

เส้นใย	จ่อริมเปลวไฟ	ในเปลวไฟ	ออกจากเปลวไฟ	กลิ่น	ขี้เถ้า	ควัน
แมงมุม	ม้วนหนีไฟ	ติดแล้วดับ	ไฟดับเอง	ขนนกไหม้แต่อ่อนกว่า	เป็นเม็ดสีดำเปราะ	สีขาว

#### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองปฏิริยาการเผาไหม้ของเส้นใยแมงมุมนี้ตามตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อนำไปจ่อใกล้ๆ กับเปลวไฟเส้นใยเองจะม้วนหนีเปลวไฟ เมื่อนำเข้าไปในเปลวไฟจะติดไฟอย่างรวดเร็วและดับไปเองมีควันสีขาว กลิ่นคล้ายขนนกไหม้แต่อ่อนกว่า ขี้เถ้าที่ได้หลังจากการเผาไหม้จะเป็นเม็ดสีดำเปราะ ผลที่ได้จะคล้ายกับเส้นใยโปรตีนที่ได้มาจากสัตว์ หรือถ้าจะให้เปรียบเทียบความใกล้เคียงคงจะเป็นเส้นใยไหมที่มีลักษณะปฏิริยาการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงมากที่สุด

#### 4.7 ผลการทดลองหาขนาดของเส้นใยแมงมุมในระบบเท็กซ์ (Tex) และ ดีเนียร์ (Denier)

##### ผลการทดลองหาขนาดของเดือน กุมภาพันธ์ 2551

น้ำหนักของแผ่นกระจกแผ่นที่หนึ่งหนัก	=	0.1675	กรัม
น้ำหนักของแผ่นกระจกแผ่นที่สองหนัก	=	0.1722	กรัม
น้ำหนักเมื่อใส่เส้นใยแมงมุมลงไป	=	0.3407	กรัม
ดังนั้น น้ำหนักเส้นใยแมงมุม	=	$0.3407 - (0.1675 + 0.1722)$	
	=	0.0010	กรัม
เส้นใยแมงมุมจำนวน		110	เส้น
ความยาวต่อเส้น		2.40	เซนติเมตร
ความยาวของเส้นใยรวม	=	$110 \times 2.40$	
	=	264	เซนติเมตร
	=	2.64	เมตร

### สูตรหาขนาดระบบเท็กซ์ (Tex)

$$\text{เท็กซ์ (Tex)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 1000(\text{เมตร})}{\text{ความยาวของเส้นใย(เมตร)}}$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้} = \frac{0.0010 \times 1000}{2.64} = 0.3788 \quad \text{เท็กซ์}$$

### สูตรหาขนาดระบบดีเนียร์ (Denier)

$$\text{ดีเนียร์ (Denier)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 9000(\text{เมตร})}{\text{ความยาวของเส้นใย(เมตร)}}$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้} = \frac{0.0010 \times 9000}{2.64} = 3.4091 \quad \text{ดีเนียร์}$$

### ผลการทดลองหาขนาดของเดือน เมษายน 2551

น้ำหนักของแผ่นกระจกแผ่นที่หนึ่งหนัก	=	0.1715	กรัม
น้ำหนักของแผ่นกระจกแผ่นที่สองหนัก	=	0.1759	กรัม
น้ำหนักเมื่อใส่เส้นใยแมงมุมลงไป	=	0.3481	กรัม
ดังนั้น น้ำหนักเส้นใยแมงมุม	=	0.3481 - (0.1715+0.1759)	
	=	0.0007	กรัม
เส้นใยแมงมุมจำนวน		36	เส้น
ความยาวต่อเส้น		2.40	เซนติเมตร
ความยาวของเส้นใยรวม	=	36 X 2.40	
	=	86.40	เซนติเมตร
	=	0.8640	เมตร

### สูตรหาขนาดระบบเท็กซ์ (Tex)

$$\text{เท็กซ์ (Tex)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 1000(\text{เมตร})}{\text{ความยาวของเส้นใย(เมตร)}}$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้} = \frac{0.0007 \times 1000}{0.8640} = 0.8102 \quad \text{เท็กซ์}$$

### สูตรหาขนาดระบบดีเนียร์ (Denier)

$$\text{ดีเนียร์ (Denier)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 9000(\text{เมตร})}{\text{ความยาวของเส้นใย(เมตร)}}$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้} = \frac{0.0007 \times 9000}{0.8640} = 7.2917 \quad \text{ดีเนียร์}$$

### ผลการทดลองหาขนาดของเดือน ตุลาคม 2551

น้ำหนักของแผ่นกระจกแผ่นที่หนึ่งหนัก	=	0.1759	กรัม
น้ำหนักของแผ่นกระจกแผ่นที่สองหนัก	=	0.1642	กรัม
น้ำหนักเมื่อใส่เส้นใยแมงมุมลงไป	=	0.3421	กรัม
ดังนั้น น้ำหนักเส้นใยแมงมุม	=	0.3421 - (0.1759+0.1642)	
	=	0.0021	กรัม
เส้นใยแมงมุมจำนวน		188	เส้น
ความยาวต่อเส้น		2.40	เซนติเมตร
ความยาวของเส้นใยรวม	=	188 X 2.40	
	=	451.20	เซนติเมตร
	=	4.1520	เมตร

### สูตรหาขนาดระบบเท็กซ์ (Tex)

$$\text{เท็กซ์ (Tex)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 1000(\text{เมตร})}{\text{ความยาวของเส้นใย(เมตร)}}$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้} = \frac{0.0021 \times 1000}{4.1520} = 0.4654 \quad \text{เท็กซ์}$$

### สูตรหาขนาดระบบดีเนียร์ (Denier)

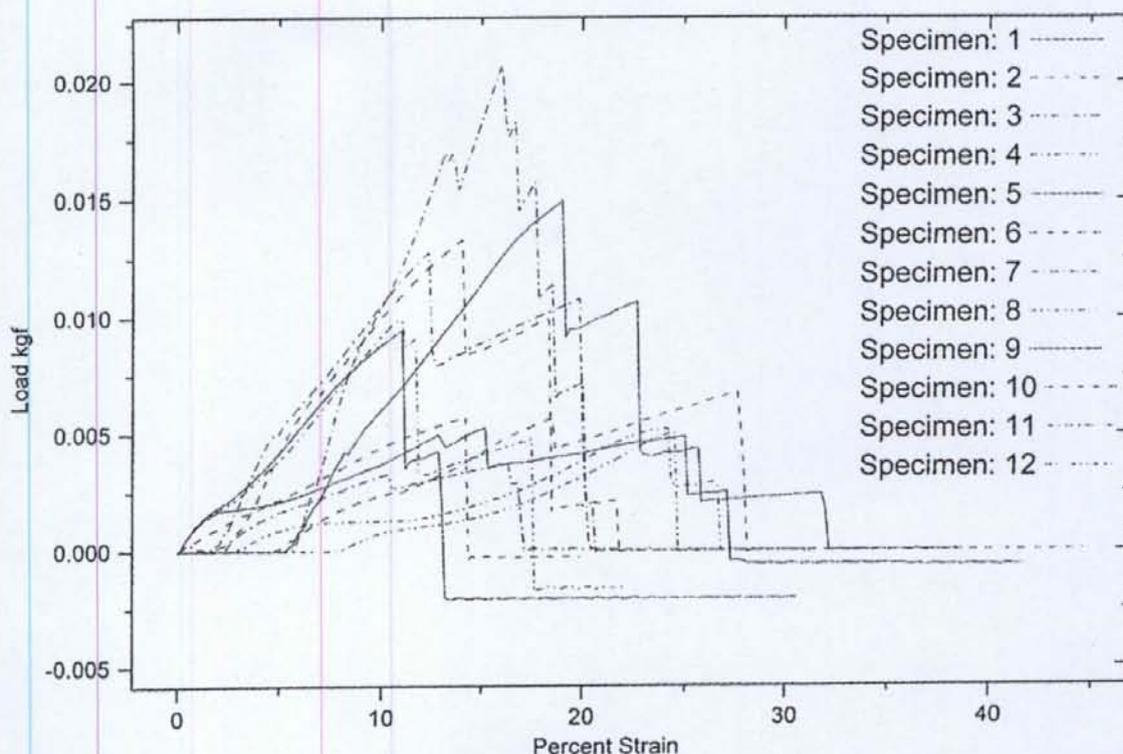
$$\text{ดีเนียร์ (Denier)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)} \times 9000(\text{เมตร})}{\text{ความยาวของเส้นใย(เมตร)}}$$

$$\text{ฉะนั้นจะได้} = \frac{0.0021 \times 9000}{4.1520} = 4.1888 \text{ ดีเนียร์}$$

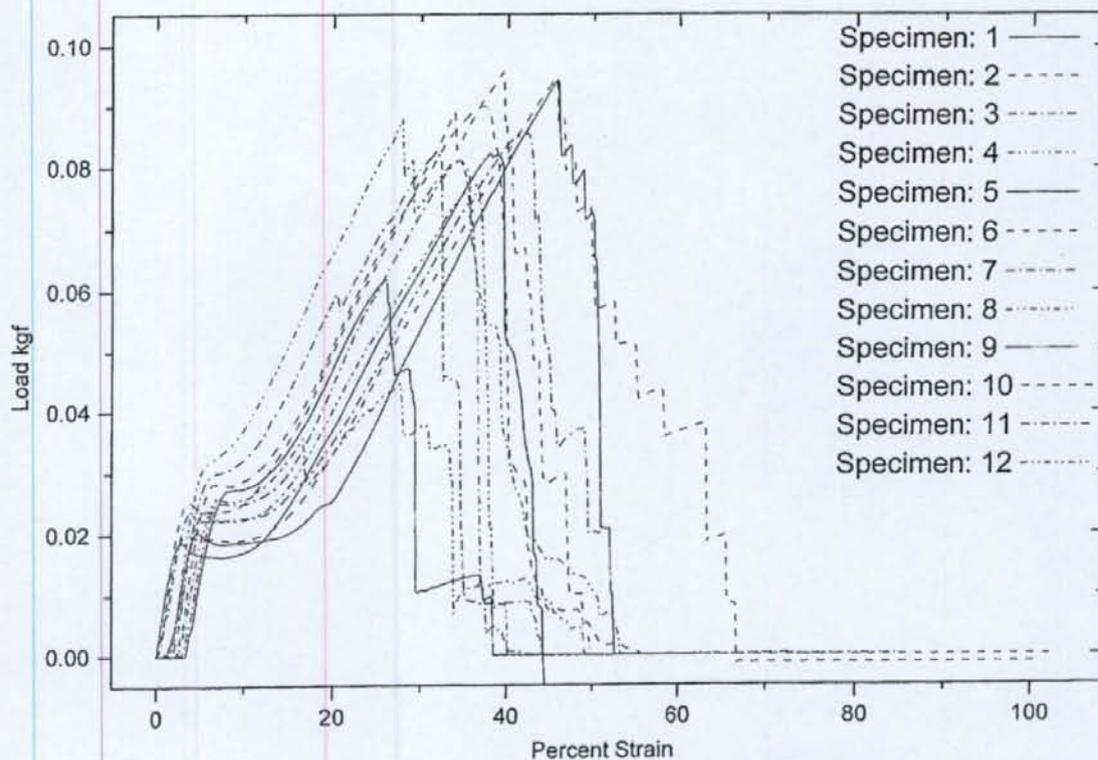
### วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองหาขนาดเส้นใยแมงมุมพบว่า ในการเตรียมเส้นใยเพื่อหาขนาดนี้ตัวอย่างเส้นใยแมงมุมเองมีขนาดเล็กและเบามากจึงต้องใช้แผ่นกระจกมาช่วยในการจับยึดเส้นใยให้ง่ายในต่อการทำการชั่งน้ำหนักเส้นใย ในการทำการทดลองหาขนาดเส้นใยจะต้องทราบว่าเส้นใยที่เส้นเพื่อนำไปหาความยาวรวมที่จะนำข้อมูลไปคำนวณหาขนาดอีกครั้งโดยการใช้อุปกรณ์จุดทรศน์ช่วยในการนับจำนวนเส้นใย เบอร์ของเส้นใย (โดยเฉลี่ย) ที่ได้จากการดึงจากแมงมุมประมาณ 0.42 tex (3.79 Denier) และเบอร์ของเส้นใยที่เก็บจากตาข่ายประมาณ 0.81 tex (7.29 Denier)

### 4.8 ผลการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.11 ลักษณะ Load-Elongation Curve ของเส้นใยที่ดึงจากตัวแมงมุม



รูปที่ 4.12 ลักษณะ Load-Elongation Curve ของเส้นใยแมงมุมที่เก็บจากตาข่าย

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงของเส้นใยแมงมุม



Textile Testing Center/ Thailand Textile Institute

Soi Trimit, Rama 4 Road, Phrakanong, Klong-toey, Bangkok 10110, THAILAND. Tel.(662) 7135492-9 Fax. (662) 7124527

### รายงานผลการทดสอบ

ผู้ขอรับบริการ : คณะวิศวกรรมสิ่งทอ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (คลอง 6) จ.ปทุมธานี  
วันที่รับตัวอย่าง : 05/03/52  
วันที่เริ่มทดสอบ : 12/03/52

หมายเลขรายงานผล : R 00063/52  
หมายเลขใบคำขอทดสอบ : 13267  
วันที่ออกรายงานผล : 17/03/52  
หน้า : 1/1

SPIDER 02/51	SPIDER 04/51	SPIDER 10/51	SPIDER 12/51
R 00063-1/52	R 00063-2/52	R 00063-3/52	R 00063-4/52

ความแข็งแรง : ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5079 : 1995 (E)				
แรงดึงขาด (กรัมแรง)	8.37	73.60	12.26	3.72
การยืดตัวขณะขาด (ร้อยละ)	15.64	35.19	14.36	21.56

หมายเหตุ : - เครื่องทดสอบ : TENSILE TESTING MACHINE (INSTRON MODEL 5566)  
- อัตราเร็วในการทดสอบ : 25 มิลลิเมตรต่อนาที  
- ระยะทดสอบ : 25 มิลลิเมตร

### วิจารณ์ผลการทดลอง

รูปที่ 4.11 แสดงแรงดึงและการยืดตัวของเส้นใยที่ได้จากการดึงจากตัวแมงมุม จากรูปพบว่าในช่วงแรกแรงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับการยืดตัว หลังจากนั้นมีการยืดตัวมากก่อนถึงจุดขาด จากตารางที่ 4.6 พบว่าเส้นใยที่ได้จากตัวแมงมุม (ได้แก่ Spider 02/51, 10/51 and 12/51) มีค่าความแข็งแรง (Breaking strength) เฉลี่ย 8.12 กรัม (7.97 cN) หรือคำนวณเป็นค่า Tenacity จะเท่ากับ 18.80 cN/tex และมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 17.2%

รูปที่ 4.12 แสดง Load-Elongation Curve ของเส้นใยแมงมุมที่เก็บจากตาข่าย (Spider 04/51 ในตารางที่ 4.6) จากตารางที่ 4.6 พบว่าเส้นใยจากตาข่ายมีค่าความแข็งแรง (Breaking strength) เฉลี่ย 73.60 กรัม (72.20 cN) หรือคำนวณเป็นค่า Tenacity จะเท่ากับ 10.15 cN/tex มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 35.19%