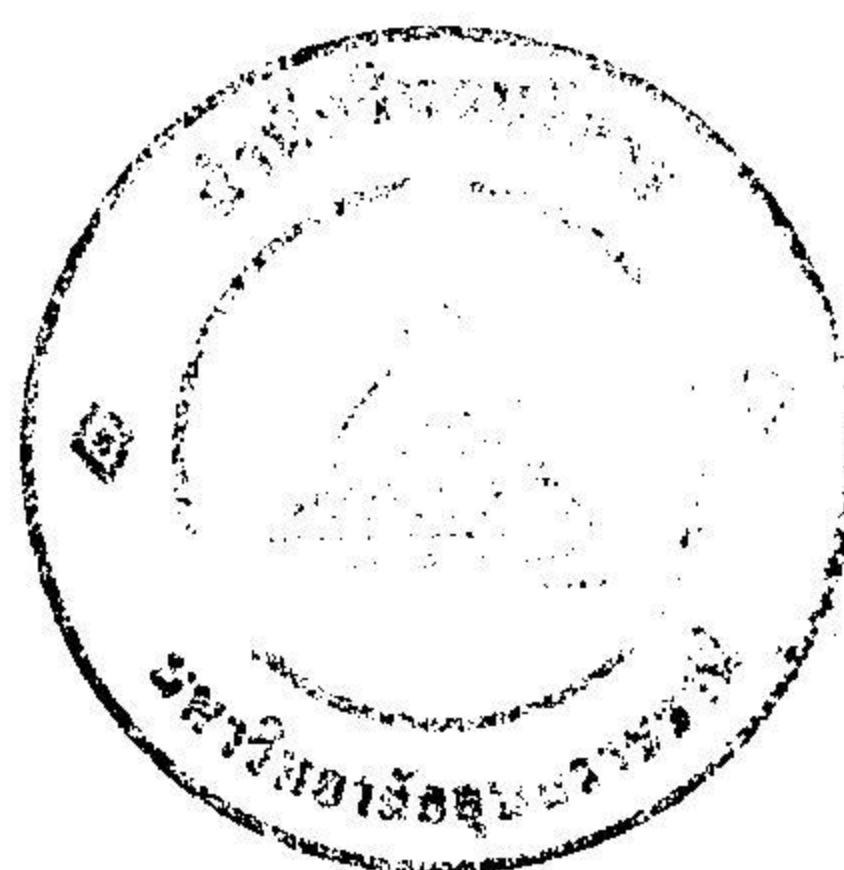
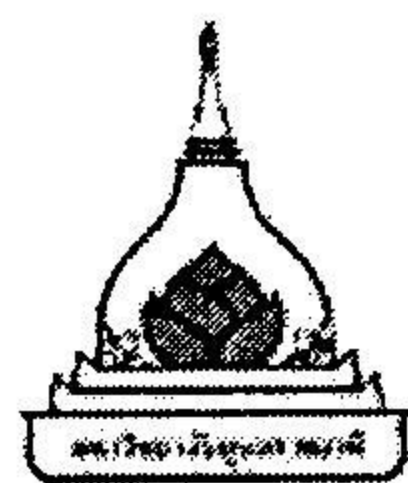




รายงานการวิจัย

การศึกษาการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน Investigation of airflow in hot-air dryer

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

นางสาวจุฑารัตน์ คุรุเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

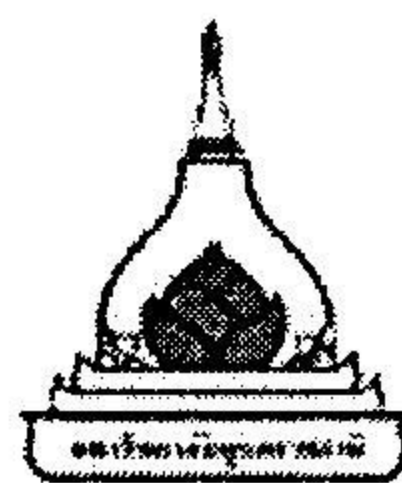
ผู้ร่วมวิจัย

นาย อุดลย์ จรรยาเลิศอดุลย์

นาย ธนรัฐ ศรีวีรกุล

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
หมวดเงินอุดหนุนทั่วไป ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2545

ISBN 974-523-024-3



A Research Report

Investigation of airflow in hot-air dryer

Researchers

Head of project

Jutarat Kurujareon

Faculty of Engineering

Ubonratchathani University

Co-researchers

Adun Janyalert-adun

Thanarat Sriveerakul

This Research was Financially Supported from the National Research Council of Thailand in
Fiscal Year, 2001

ISBN 974-523-024-3

สงวนลิขสิทธิ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2548

จำนวน 50 เล่ม

พิมพ์ที่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

จ. อุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 0-4528-8378

โทรสาร 0-4528-8376

ISBN: 974-523-024-3

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำรายงานฉบับนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์และจัดทำรูปเล่มสำเร็จ โดยการสนับสนุนจาก
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และการวิจัยในครั้งนี้
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2545

คณะผู้วิจัย
พฤษภาคม 2548

รายงานการวิจัยเรื่อง	การศึกษาการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน
หัวหน้าโครงการวิจัย	นางสาวจุฑารัตน์ คุรุเจริญ
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นายอดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์ นายธนรัฐ ศรีวีรกุล
คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีงบประมาณ	2545
งบประมาณที่ได้รับ	114,800 บาท
คำสำคัญ	เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน, การวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยการศึกษาได้ทำการทดลอง และ การศึกษาโดยใช้โปรแกรมจำลองการไหลของของไหลเชิงตัวเลข (CFD) เพื่อทำการวัดการกระจายอุณหภูมิ ความดัน และความเร็วของอากาศ

เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้กำหนดสภาวะในการศึกษาโดยวิธีการวิเคราะห์การไหลของอากาศเชิงตัวเลขจะกำหนดให้มีสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ค่าเรโนลด์สเบอร์ (Re) สูงสุดที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 30,281 อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากับ 330 K โดยมีความเร็วเท่ากับ 1.7 m/s ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) เท่ากับ 1.1774 kg/m³

จากการทำการศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วของอากาศ พบว่าเมื่อความเร็วสูงขึ้นจะทำให้ได้กระแสลมที่ไหลผ่านห้องอบมีอุณหภูมิต่ำ และที่ระดับความเร็วของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.7m/s การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งจะค่อนข้างสม่ำเสมอ และเกิดการหมุนวนของอากาศภายในห้องอบแห้ง ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและการจำลองการไหลพบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

Project Title	Investigation of airflow in hot-air dryer
Head of Project	Miss Jutarat Kurujareon
Co-researcher	Mr. Adun Janyalert-adun Mr. Thanarat Sriveerakul
Faculty of Engineering, Ubonrarchathani University	
In Finance Year	2001 for 114,800.-Bath
Keywords	Hot-air dryer, Computational Fluid Dynamics (CFD)

Abstract

The air flow characteristic in hot-air dryer was investigated using Computational Fluid Dynamics (CFD) and experiment. The parameters studied in this research were temperature distribution, pressure and velocity profile.

The maximum velocity at the inlet was 1.7 m/s. This corresponds to the Reynolds number (Re) of 30,281 where the turbulent flow can be assumed. The temperature of air at the inlet of the test section was 330K. The density (ρ) of the air was constant at 1.1774 kg/m³.

It was found that while the velocity increased the temperature in the carbinet decreased. The distribution of temperature within the carbinet was found constantly while the velocity was 1.7 m/s and the flow separation was obtained. The results from the numerical simulation were agreed well with the experiment data.

สารบัญ

สารบัญ.....	ก
1 บทนำ	1
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง	2
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
3 วิธีดำเนินการวิจัย	7
3.1 ขอบเขตงานวิจัย	7
3.2 การดำเนินงานวิจัยทั้ง โครงการ	7
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	10
4.1 การทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน.....	10
4.2 การจำลองการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน.....	25
5 สรุปและวิจารณ์	31
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก-ก	34
ประวัตินักวิจัย	83
หัวหน้าโครงการวิจัย.....	83
ผู้วิจัยหลัก	84
ผู้ร่วมงานวิจัย	84

1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรมและมีรายได้หลักจากผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้น การพัฒนา และ ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มมูลค่าของสินค้าทางการเกษตร

เทคโนโลยีการอบแห้งอาหารเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเกษตรในประเทศไทย เพื่อใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของสินค้าทางการเกษตร และยังสามารถรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรไว้ได้เป็นเวลานานขึ้น

การพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้งอาหารแบบต่างๆในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยวิธีการสร้างเครื่องต้นแบบ และ มีการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพการอบแห้งและสภาวะต่างๆที่เหมาะสมกับการอบแห้งอาหารแต่ละชนิด ซึ่งการพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้งอาหารโดยใช้วิธีดังกล่าวจะมีการสิ้นเปลืองวัสดุและวัตถุดิบที่ใช้การทดลองเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองเวลา

ดังนั้น การนำเทคโนโลยีการจำลองการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics, CFD) ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาการไหลของอากาศ (Aerodynamic) ในระบบต่างๆ เช่นระบบการออกแบบรถยนต์ ระบบการไหลเวียนของอากาศในอาคาร และ ระบบการออกแบบเครื่องบิน เป็นต้น เข้ามาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาและออกแบบเครื่องอบแห้ง จึงเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่จะช่วยให้มีการออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถลดการสิ้นเปลืองวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องมือต้นแบบที่มีราคาแพงได้อย่างมาก อีกทั้ง ยังเป็นการประหยัดเวลาในการทำการทดลองกับเครื่องมือจริง และยังสะดวกต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะเงื่อนไขต่างๆ เช่นการเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเรียงถาดวางในเครื่องอบแห้ง การเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องระบายอากาศ โดยที่ไม่ต้องมีการลงทุนสร้างอุปกรณ์การทดลองใหม่ขึ้นมา

ในการศึกษาขั้นต้นสำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสภาวะการไหลของอากาศในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยจะเน้นศึกษาลักษณะการไหลของอากาศในเครื่องอบแห้งเมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพของการอบแห้ง

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาสภาวะการไหลของอากาศในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนจะศึกษาทฤษฎีการอบแห้ง และทฤษฎีการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์การไหลโดยใช้ระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขโดยวิธี finite volume method

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือการให้พลังงานความร้อนแก่วัสดุที่อบแห้งเพื่อระบายน้ำในวัสดุออกไปหรือลดปริมาณความชื้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช้วัสดุที่ทำให้แห้ง จนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ (Non-hygroscopes materials) เช่น ทರาย หรือ ผ้า วัสดุที่ไม่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์แต่เป็นวัสดุที่มีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ (Hygroscopic materials) เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ต่าง ๆ

2.1.1 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่นำมาอบแห้ง และในเมล็ดพืชที่มีความชื้นเกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็ก ๆ (Capillaries) มีอยู่ในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นของวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ ดังนี้ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M_w = \frac{(W - d) \times 100}{W}$$

โดยที่ M_w คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น, (%มาตรฐานเปียก)

W คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น, kg

D คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุแห้ง

$$M_d = \frac{(W - d) \times 100}{d}$$

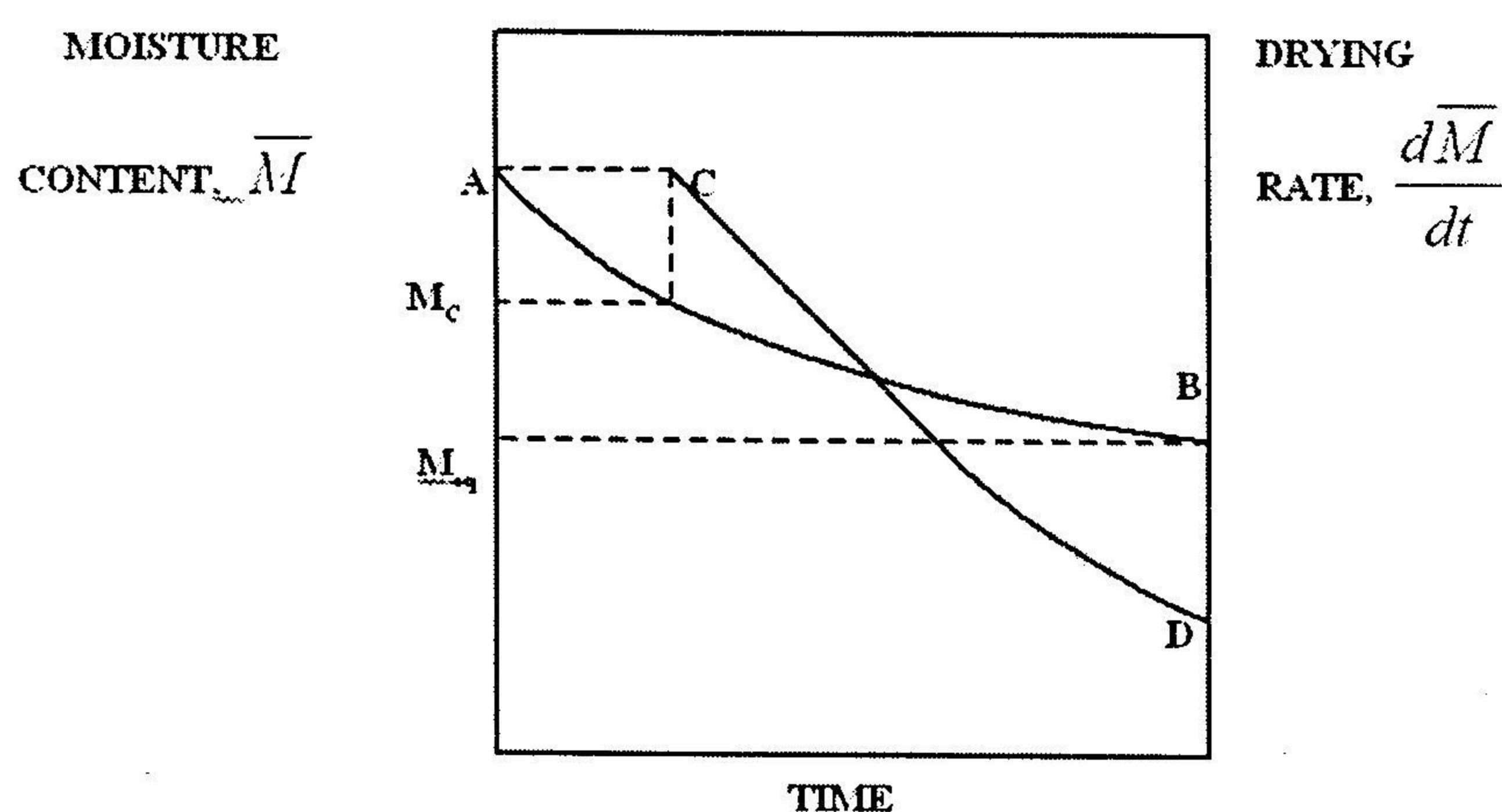
โดยที่ M_d คือ เปอร์เซนต์ความชื้น, %มาตรฐานแห้ง)

2.1.2 วิธีการหาความชื้นในพืชและอาหาร

การหาความชื้นสามารถหาได้ 2 วิธี คือ วิธีตรงและวิธีอ้อมทำได้โดยการเก็บตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนที่เหมาะสม นำมาหาค่าความชื้น วิธีตรงเป็นวิธีการหาความชื้นโดยตรงซึ่งมีหลายวิธี เช่น การใช้ตู้อบ การกลั่น การใช้สารดูดความชื้นในห้องสูญญากาศ เป็นต้น ซึ่งวิธีตรงเห็นวิธีที่ต้องใช้เวลาพอสมควร แต่มีความถูกต้องสูง สามารถใช้อ้างอิงได้ สำหรับวิธีอ้อมทำได้โดยการวัดคุณสมบัติบางอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้า หรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก (Dielectric) วิธีนี้สามารถทำได้รวดเร็วข้อเสียคือความชื้นที่หามาได้อาจจะไม่ถูกต้องนัก

2.1.3 ปรากฏการณ์อบแห้ง (DRYING PHENOMENA)

วัสดุที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนเมื่อทำการอบแห้งวัสดุนี้ที่สภาวะอากาศคงที่ สามารถแบ่งช่วงการอบแห้งได้เป็น 2 ช่วงคือช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) หรือ AC และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) หรือ ช่วง CD ซึ่งสามารถแสดงได้ดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการลดความชื้นของวัสดุในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง

จากรูปจุด A จุด C คือจุดชื้นวิกฤต (Critical Moisture Content) เป็นจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งคงที่เป็นลบ ซึ่งความชื้นวิกฤตนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และสภาวะในการอบแห้ง ช่วง AC เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ระยะนี้ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าสูงกว่าจุดความชื้นวิกฤต ที่ผิวหน้าของวัสดุจะอยู่ในสภาพอิ่มตัว น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในวัสดุยังผิวเร็วพอ ๆ กับการระเหยของน้ำจากผิว การกระจายความชื้นที่ผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอ ความชื้นจะถูกพาออกไปโดยอากาศ

จุด B คือจุดประมาณความชื้นสมดุลของวัสดุ มีค่าคงที่เนื่องจากความดันไอน้ำในอากาศที่อยู่รอบ ๆ ค่าความชื้นชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศช่วง CD เป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง ระยะนี้ปริมาณความชื้นในวัสดุจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำภายในท่อเล็ก ๆ ในเนื้อวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวและไอหรือมาพร้อมกับไอน้ำแต่เคลื่อนที่มาได้ช้ามาก และช้ากว่าการระเหยน้ำจากผิววัสดุ เท่ากับพลังงานความร้อนของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งสมการเขียนเป็นสมการดังนี้

$$m_w h_{fg} = m_a c_a (T_i - T_f) \quad (1)$$

$$m_w = \frac{W_i (M_i - M_f)}{100 - M_f} \quad (2)$$

แทนสมการ (2) ลงในสมการ (1) จะได้:

$$m_a = \frac{W_i (M_i - M_f) \cdot h_{fg}}{(100 - M_f) \cdot c_a (T_i - T_f)} \quad (3)$$

โดยที่ M_w = มวลของน้ำที่ระเหย(kg)

M_a = มวลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (kg-dry air)

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำในวัสดุ (kJ/kg-H₂O)

c_a = ความจุความร้อนของอากาศที่ดันคงที่ (kJ/kg °C)

T_i = อุณหภูมิของอากาศก่อนการอบแห้ง(°C)

T_f = อุณหภูมิของอากาศหลังอบแห้ง(°C)

W_i = น้ำหนักวัสดุก่อนการอบแห้ง

M_i = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งก่อนการอบแห้ง

M_f = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งหลังการอบแห้ง

จากสมการที่ 3 จะสามารถหาค่า M_u ได้ และสามารถหาค่าปริมาตรของอากาศที่จะใช้อบและเวลาที่จะทำให้วัสดุแห้งว่าใช้เวลากี่วัน ในแต่ละวันใช้เวลาในการอบแห้งกี่ชั่วโมงจะทำให้สามารถหาอัตราการไหลของมวลอากาศที่ใช้อบได้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีอยู่อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน Mwithiga and Olwal (2004) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยจะศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ และความหนาของชิ้นอาหารที่จะนำมาใช้อบแห้ง โดยศึกษาในเครื่องอบแห้งแบบ convective air dryer ที่อัตราการไหลคงที่ 1 m/s ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60°C และพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อความหนาของชิ้นอาหารเพิ่มขึ้น โดยจะพบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าระหว่าง 14.9 และ 55.9×10^{-10} m²/s อิทธิพลของอุณหภูมิต่อ diffusivity สามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ Arrhenius โมเดลการอบแห้ง 4 แบบถูกพัฒนาขึ้นมาจากข้อมูลจากการทดลอง และ Modified Page โมเดลจะมี drying curve ดีกว่าโมเดลอื่นๆ

Hebbar et al (2004) ได้ทำการศึกษารูปแบบการอบแห้งผักในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยใช้เทคนิคของ infrared เข้าร่วมด้วย ส่วน Sasilik and Elicin (2005) ได้ทำการทดลองหาคุณลักษณะของการอบแห้งแอปเปิ้ลอบแห้ง โดยพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ทำให้ชิ้นงานแห้งอยู่ที่ 240 ถึง 460 นาที ส่วนการถ่ายเทน้ำระหว่างกระบวนการ dehydration สามารถอธิบายได้ด้วย Fick's diffusion model และ non-linear regression procedure ถูกใช้ในการสร้าง drying curve จากการทดลอง และพบว่าอิทธิพลเนื่องจากอุณหภูมิและความหนาของชิ้นอาหารต่อโมเดลการอบแห้งจะมีค่าคงที่ Doymaz (2004) นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาโมเดลของการอบแห้งในอาหารประเภทต่างๆ ในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งก็จะเป็นการศึกษาโดยวิธีการทดลองทั้งหมดโดยการทดลองส่วนใหญ่จะศึกษาถึงความหนาของอาหารและอุณหภูมิการอบแห้งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้งและโมเดลการอบแห้ง นอกจากการศึกษาโมเดลของการอบแห้งแล้ว ยังได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนหลายรูปแบบ เช่น Forced-hot-air dryer เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง

จะเห็นว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เกี่ยวกับการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนจะเป็นการศึกษาโดยการทดลอง เพื่อที่จะหาโมเดลการอบแห้งและหาประสิทธิภาพการอบแห้งโดยคิดเฉพาะปัจจัยของอุณหภูมิและความหนาของชั้นอาหาร นอกจากปัจจัยดังกล่าวยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้ง เช่น ปัจจัยเรื่องการหมุนเวียนของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ความเร็วของอากาศ อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงปัจจัยดังกล่าวจะค่อนข้างจะทำได้ยากในการทดลอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลขเข้ามาใช้ทำให้ง่ายต่อการศึกษารูปแบบการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน และยังสามารถที่จะเห็นภาพการกระจายของอุณหภูมิภายในห้องอบได้อย่างชัดเจน

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

1. สร้างแบบจำลองของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน(Mesh Model)
2. กำหนดค่าสภาวะเงื่อนไขการไหลแบบต่างๆ โดยคำนึงถึงการจัดเรียงของถาดอบแห้ง และการควบคุมค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้งจะคิดเฉพาะอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง โดยไม่คิดอิทธิพลเนื่องจากอุณหภูมิ และความชื้นในเครื่องอบแห้ง เป็นต้น
3. ทำการจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการไหล สำหรับแบบจำลองของเครื่องอบแห้ง(Mesh model) ที่มีการกำหนดสภาวะเงื่อนไขการไหลแล้ว
4. วิเคราะห์และสรุปผลจากการจำลองการไหลของอากาศ

3.2 การดำเนินงานวิจัยทั้งโครงการ

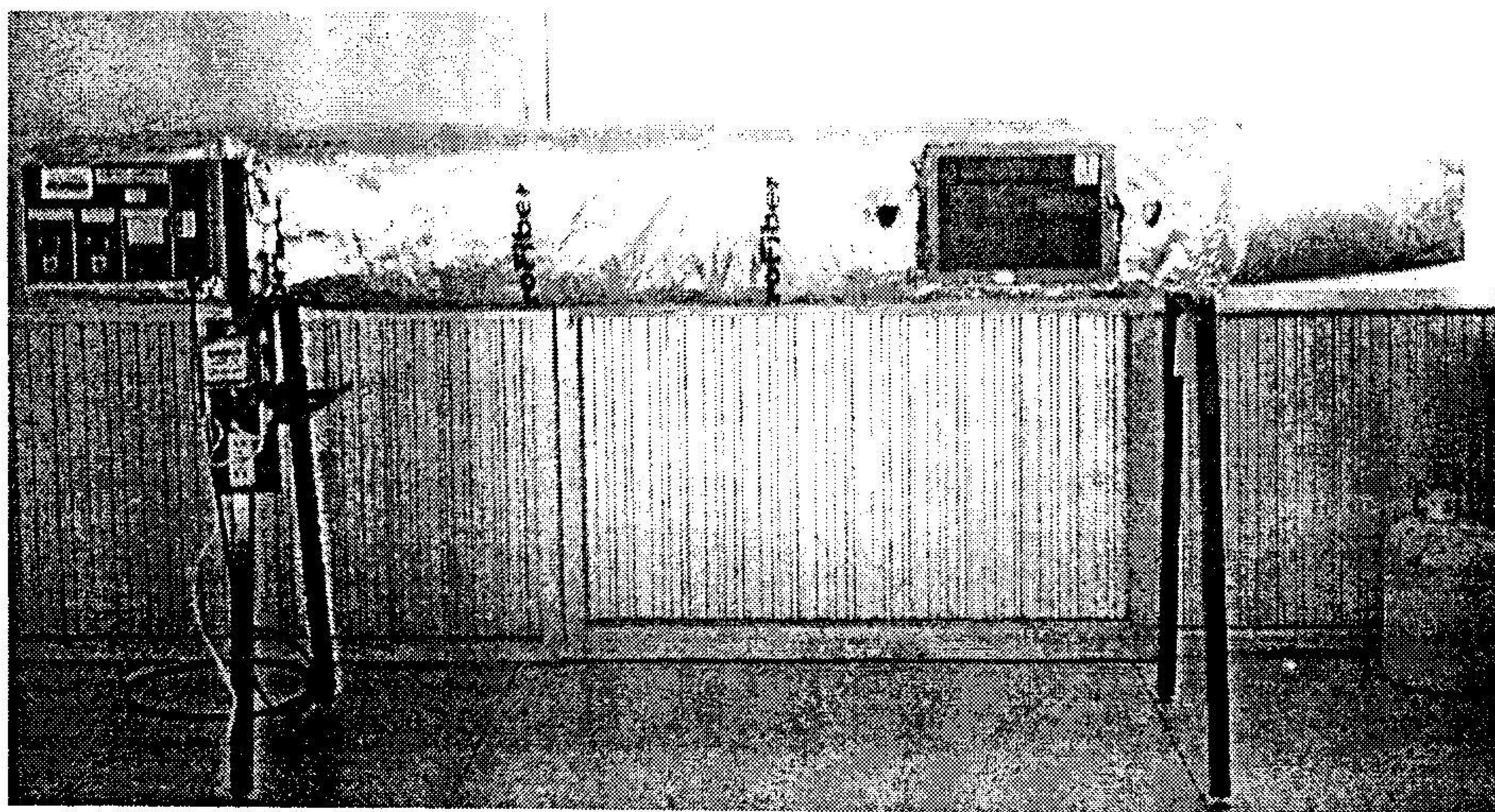
การดำเนินงานวิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ

- การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยการทดลอง
- การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข

โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลจากวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลขกับผลที่ได้จากการทดลองในเครื่องอบแห้งต้นแบบ

3.2.1 การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยการทดลอง

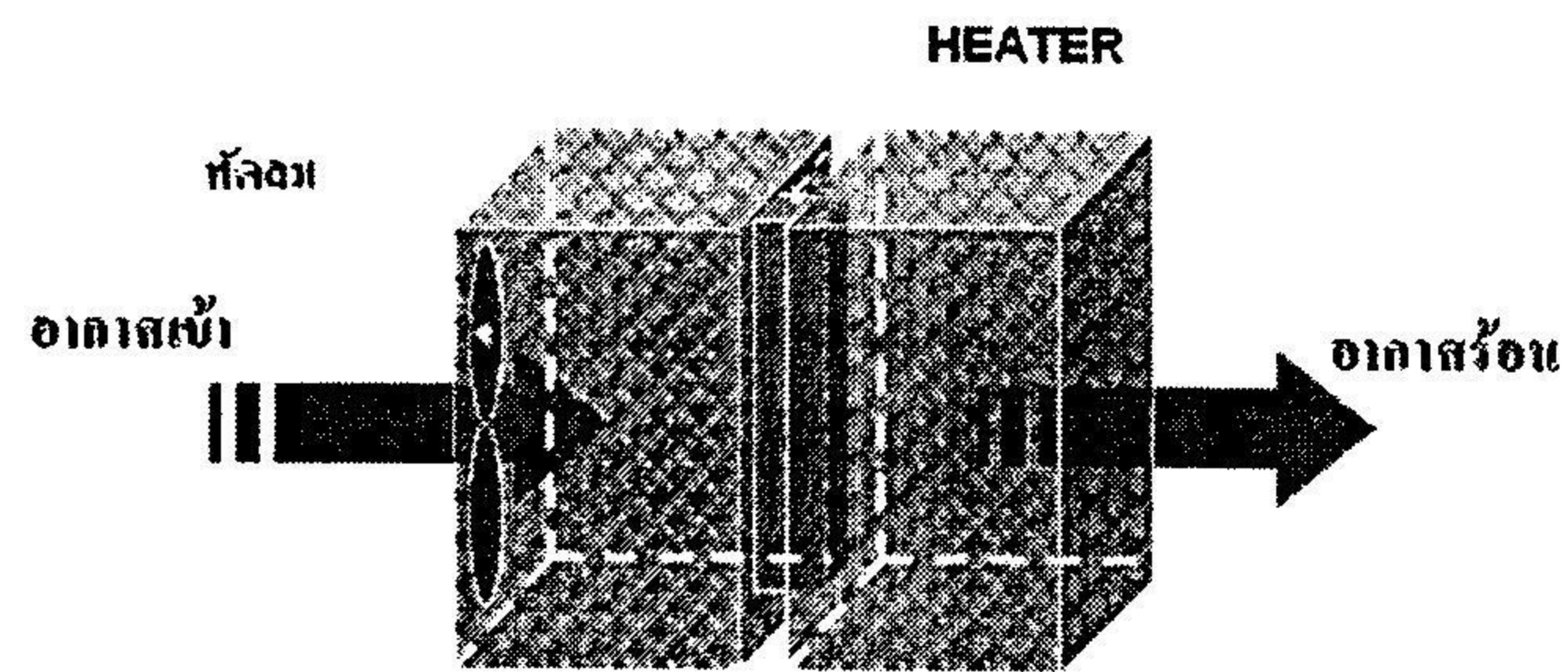
การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศโดยการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนต้นแบบ ซึ่งเป็นตู้อบแห้ง (Tray dryer) ขนาดเล็กดังแสดงใน รูปที่2 ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 2.95 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัดขนาด 0.24 x 0.24เมตร ด้านหน้าของตู้อบแห้งมีประตูเปิดสำหรับนำถาดอบวัสดุเข้าออกจากตู้อบแห้งบรรจุวัตถุดิบได้ประมาณ 0.5 กิโลกรัม



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Hot Air Cabinet Dryer)

โดยเครื่องอบแห้งดังกล่าวจะประกอบไปด้วย

- ท่อลม ท่อลมมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมปลายด้านหนึ่งของท่ออบแห้งจะต่อกับบริเวณที่ติดกับขดลวดทำความร้อน
- พัดลมเป่าอากาศมีลักษณะเป็นใบพัดแบบ Axial flow ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและสามารถปรับความเร็วในย่าน $0.5 - 1.8 \text{ m/s}$
- ขดลวดให้ความร้อนเป็น Electric heater ติดอยู่ภายในท่อลมก่อนจะเข้าท่ออบจำนวนหนึ่งตัว ขนาด 2 กิโลวัตต์ดังแสดงใน รูปที่3
- กิโลวัตต์มิเตอร์ ขนาด 5A



รูปที่ 3 ทิศทางการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งต้นแบบ

3.2.2 การศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข

ส่วนการวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลขของการไหลของอากาศภายในห้องอบแห้งนั้น ได้ทำการศึกษา และคำนวณวิเคราะห์การไหล โดยใช้โปรแกรมการคำนวณการไหลด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบ finite volume โดยทำการจำลองต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบ 3 มิติโดยมีจำนวนแมชเซลล์ทั้งหมด 12,500 แมชเซลล์ โดยสมการการไหลของอากาศในงานวิจัยนี้จะใช้สมการ Navier Stroke และสมการพลังงาน

สำหรับการกำหนดค่าขอบเขตจะกำหนดให้โดยใช้สภาวะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ซึ่งมีค่าเรโนลด์เบอร์ (Re) สูงสุดเท่ากับ 30,281 อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 330 K ความเร็วเท่ากับ $1.7 \frac{m}{s}$ ความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ $1.1774 \frac{kg}{m^3}$ ความหนืด (μ) เท่ากับ $1.983 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$

4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

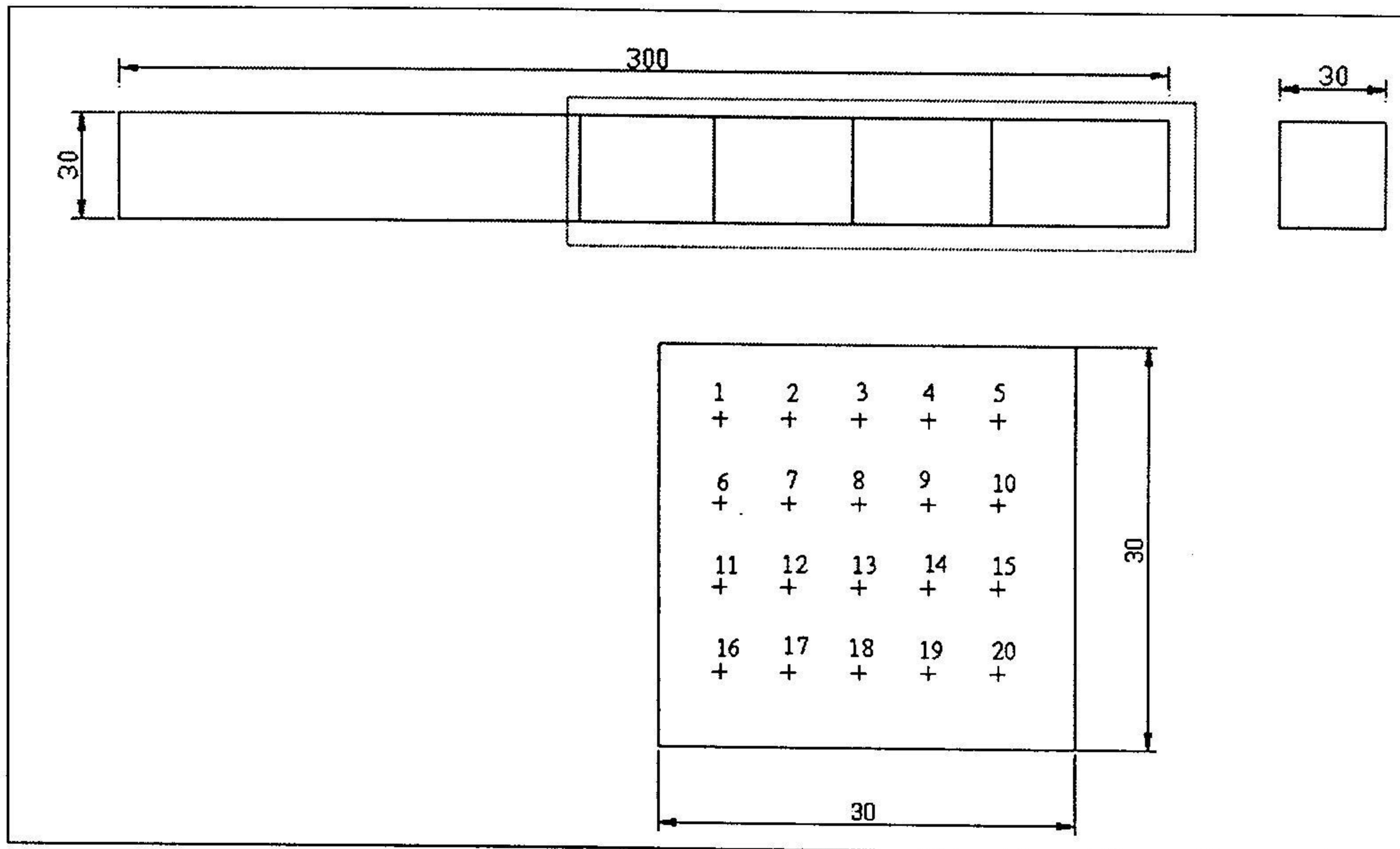
4.1 การทดลองเพื่อศึกษาการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

4.1.1 ผลการทดลองการวัดการกระจายอุณหภูมิ

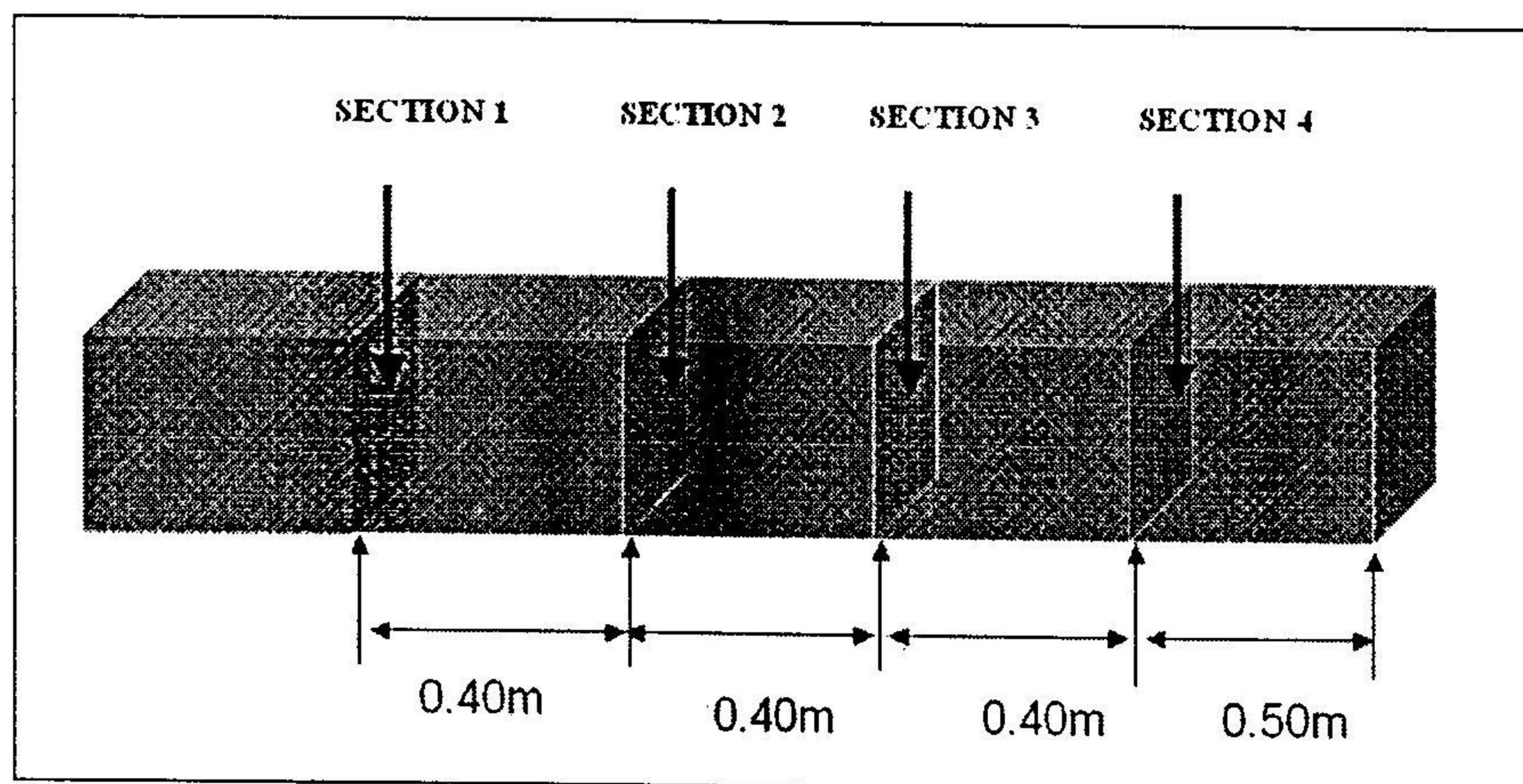
การทดลองได้วัดอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 4 จากรูปเป็นตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิตามหน้าตัดของแต่ละ Section ทั้ง 4 Section ซึ่งตำแหน่งที่อยู่ตรงแถวกลางจากบนลงล่างได้แก่ ตำแหน่งที่ 3, 8, 13 และ 18 โดยระยะห่างของตำแหน่งห่างจากผนังเท่ากับ 5 Cm และระยะห่างระหว่างแต่ละตำแหน่งทั้งจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างเท่ากับ 5 Cm Section ที่ 1 ห่างจากทางเข้าที่ Blower เท่ากับ 130 Cm และ Section แต่ละ Section ห่างกัน 40 cm ดังรูปที่ 5

ซึ่งจะได้นำผลมาวิเคราะห์และอธิบายโดยการทดลองได้เปลี่ยนค่าของความเร็วขาเข้าที่ใช้ Blower setting เป็นตัวปรับเปลี่ยนเริ่มจากค่าความเร็ว 0.8 m/s, 0.9 m/s, 1.0 m/s, 1.2 m/s, 1.3 m/s, 1.4 m/s, 1.6 m/s และ 1.7 m/s และได้กำหนดค่าของขดลวดความร้อนหรือ Heater ให้ทำงานที่ระดับ 10 ของ Heater setting ประมาณ 2 KW

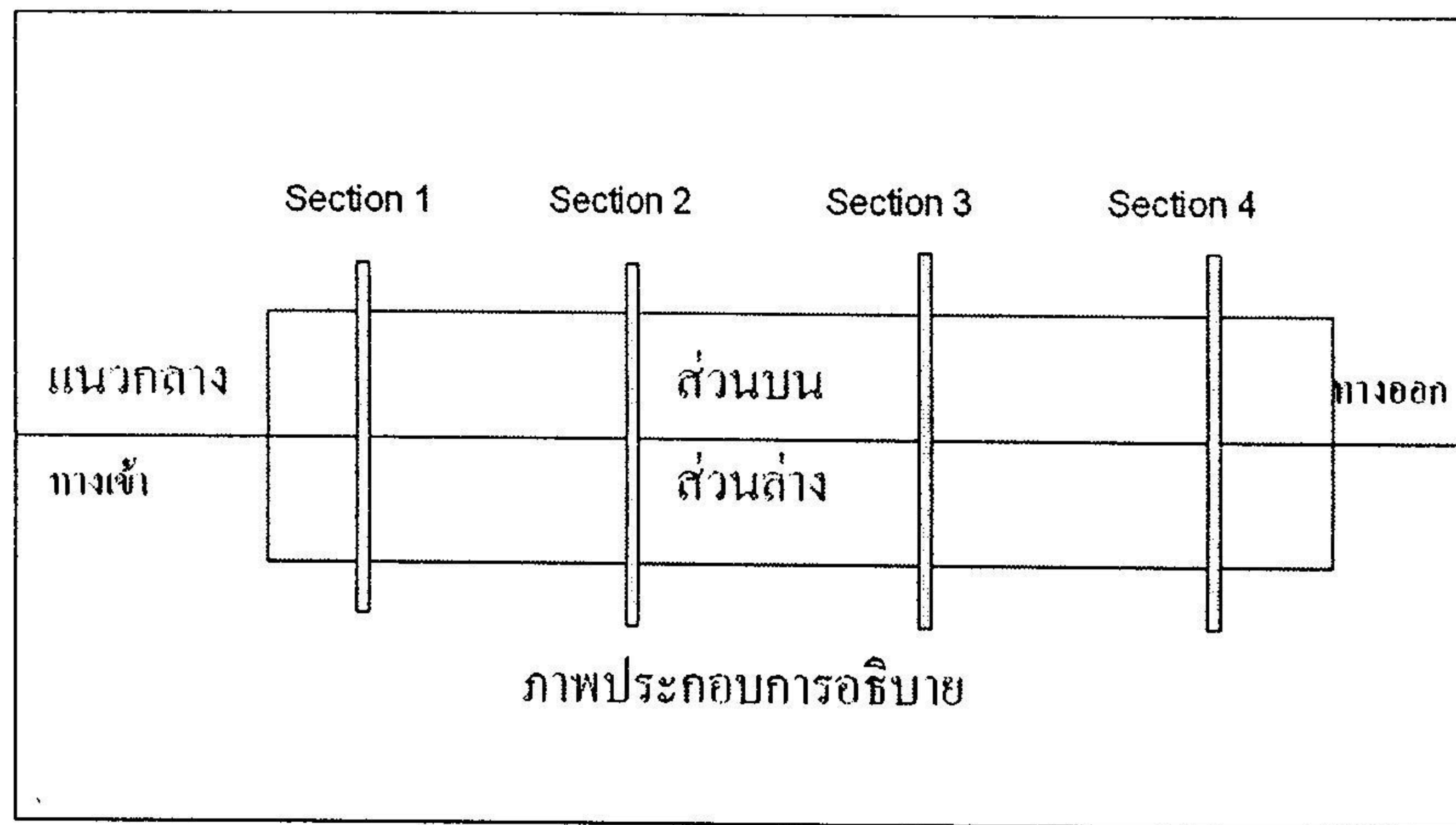
เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายจะใช้ภาพประกอบการอธิบายดังรูปที่ 6 ซึ่งจะมีเส้นแนวกลางเป็นเส้นแบ่งห้องอบออกเป็นส่วนบนและส่วนล่างอย่างละเท่า ๆ กันเพื่อใช้เป็นแนวอ้างอิงจุดที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำตลอดแนวที่ใช้ศึกษาได้ชัดเจน



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของต่างๆ ที่เป็นจุดวัดอุณหภูมิ

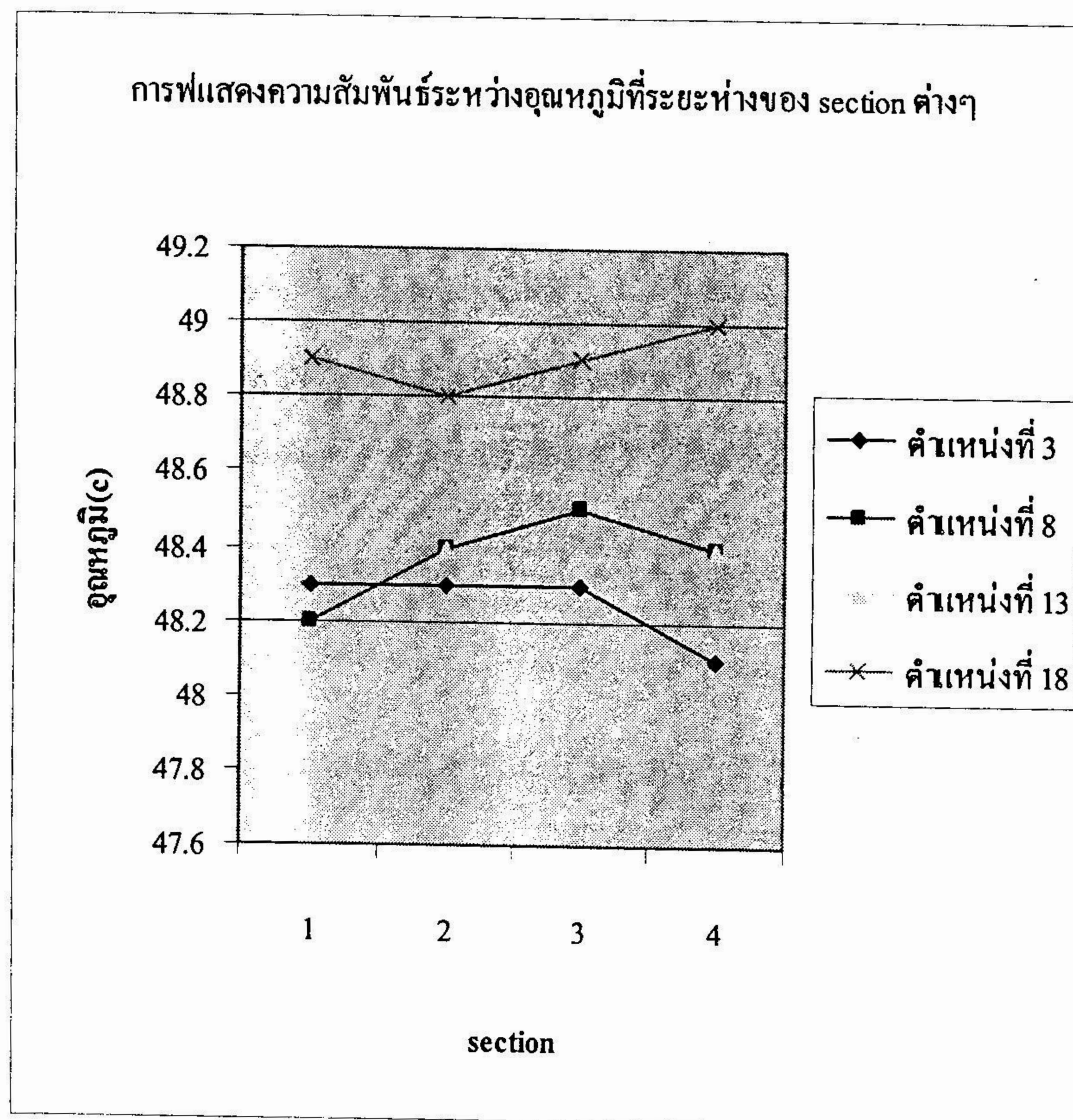


รูปที่ 5 แสดงระยะห่างระหว่าง SECTIONS ต่างๆ



รูปที่ 6 ภาพแสดงการแบ่งสัดส่วนของห้องอบ

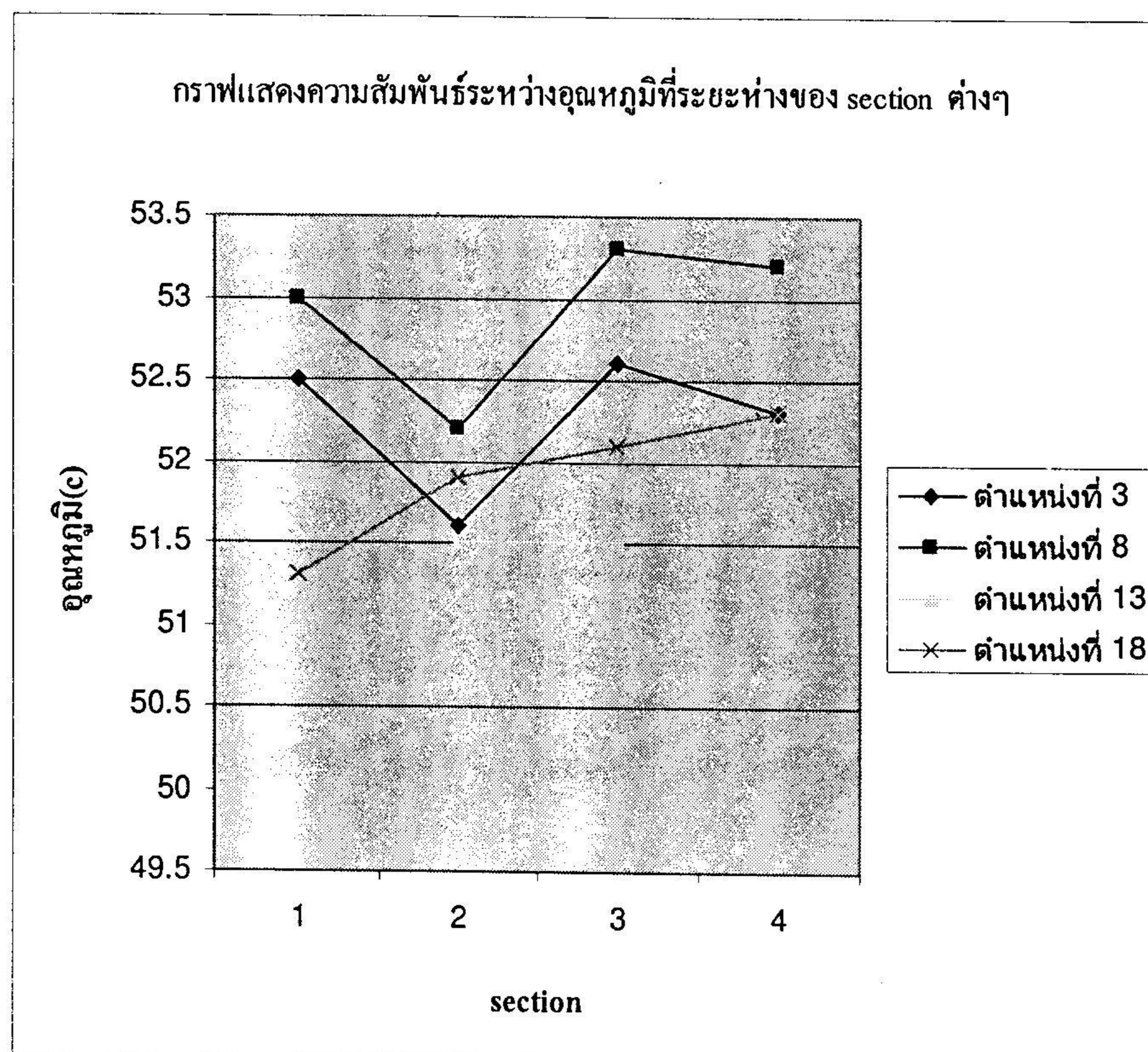
ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 10 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 1.7 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการทดลองเมื่อกำหนดความเร็วที่ blower setting ระดับ 10

จากรูปที่ 7 อุณหภูมิที่สูงสุดจะลอยตัวอยู่ส่วนล่างของห้องอบไปตลอดความยาวของห้องอบ และมีอุณหภูมิประมาณ 49.0-48.6 เซลเซียสและตำแหน่งส่วนล่างที่ใกล้กับแนวกลางจะมีอุณหภูมิคงที่ ในขณะที่ส่วนบนตรงแนวตำแหน่งที่ 3 จะมีอุณหภูมิคงที่ใน Section ที่ 1 ถึง 3 และจะค่อยๆ ลดต่ำลง ใน Section ที่ 4 ส่วนแนวตำแหน่งที่ 8 อุณหภูมิจะสูงขึ้นใน Section ที่ 2 ถึง Section ที่ 3 และอุณหภูมิจะลดต่ำลงใน Section ที่ 4 และเท่ากับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 13

ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 9 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 1.6 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 8

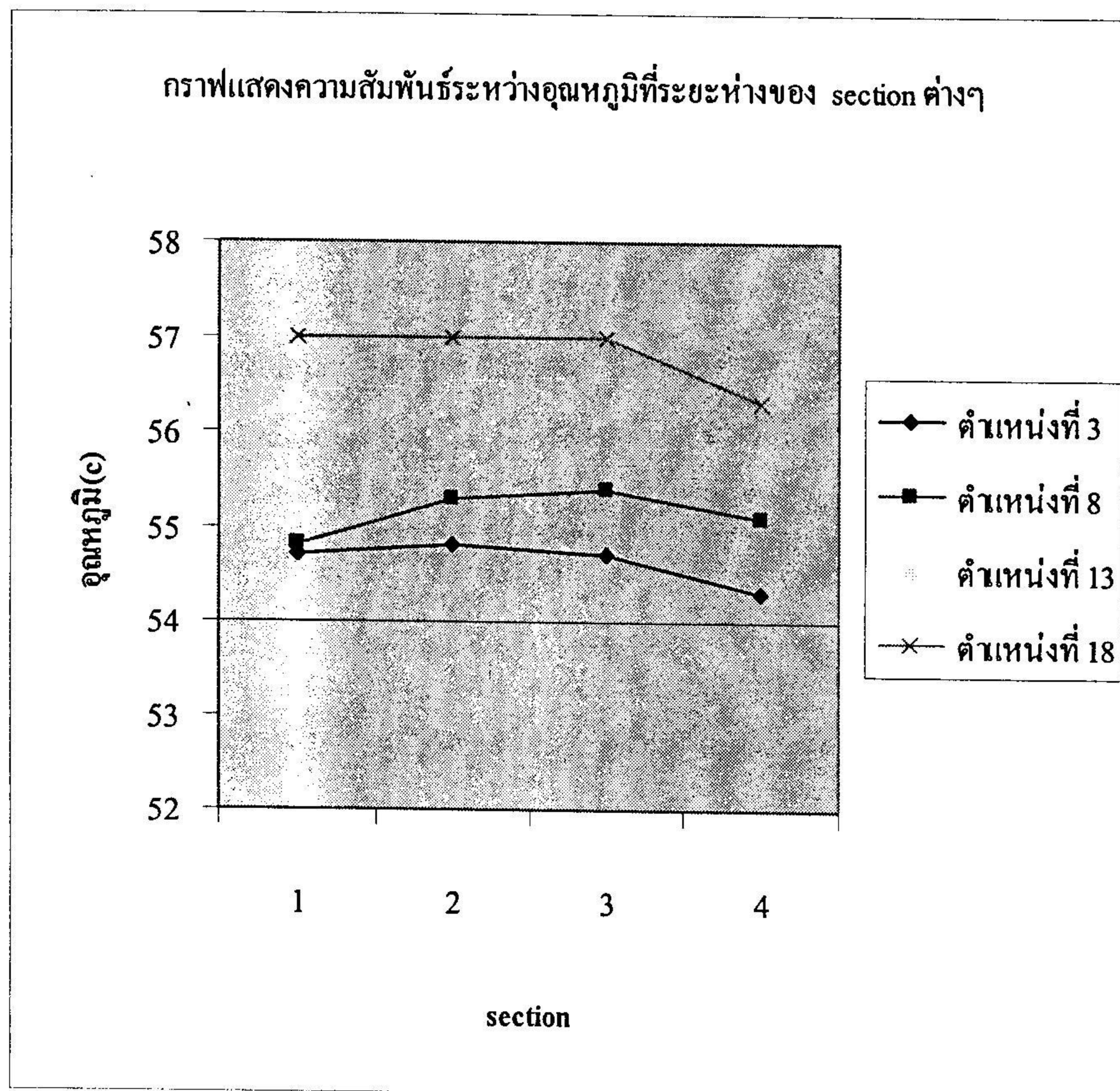


รูปที่ 8 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 9

จากกราฟรูปที่ 8 จะเห็นว่าแนวตำแหน่งที่ 8 ที่อยู่ส่วนบนใกล้กับแนวกลางจะมีอุณหภูมิสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ตลอดทั้ง 4 Section จะสังเกตเห็นว่าค่าอุณหภูมิจะกระจุกกระจายใน Section ที่ 1, 3 และ 4 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของอุณหภูมิของส่วนบนกับส่วนล่างอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ Section ที่ 2 อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันโดยอุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 52.0-51.5 เซลเซียส



ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 8 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 1.4 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 9

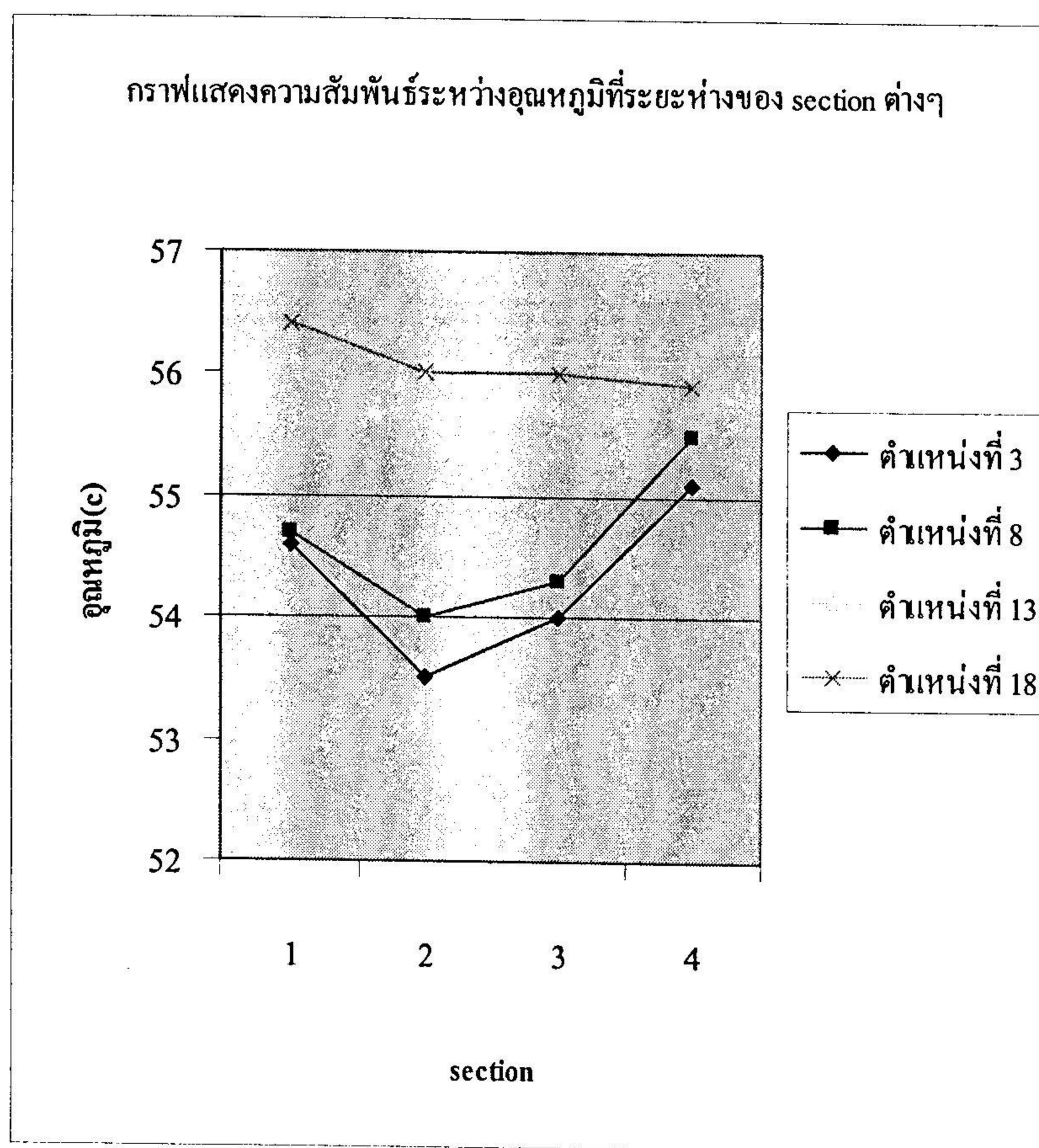


รูปที่ 9 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 8

จากกราฟรูปที่ 9 อุณหภูมิที่สูงจะลอยตัวอยู่ส่วนล่างของห้องอบตลอดทุก Section อุณหภูมิแถวล่างสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุดจะมีค่าอุณหภูมิประมาณ 57.0-56.5 เซลเซียสจาก Section ที่ 1 ถึง Section ที่ 3 หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำลงใน Section ที่ 4 และส่วนบนของห้องอบ Section ที่ 1 จะมีอุณหภูมิต่ำและจะสูงขึ้นเล็กน้อยใน Section ที่ 3 และ Section ที่ 3 จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ต่ำลงอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 54.5 เซลเซียสใน Section ที่ 4

ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 7 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 1.3 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดัง รูปที่ 10

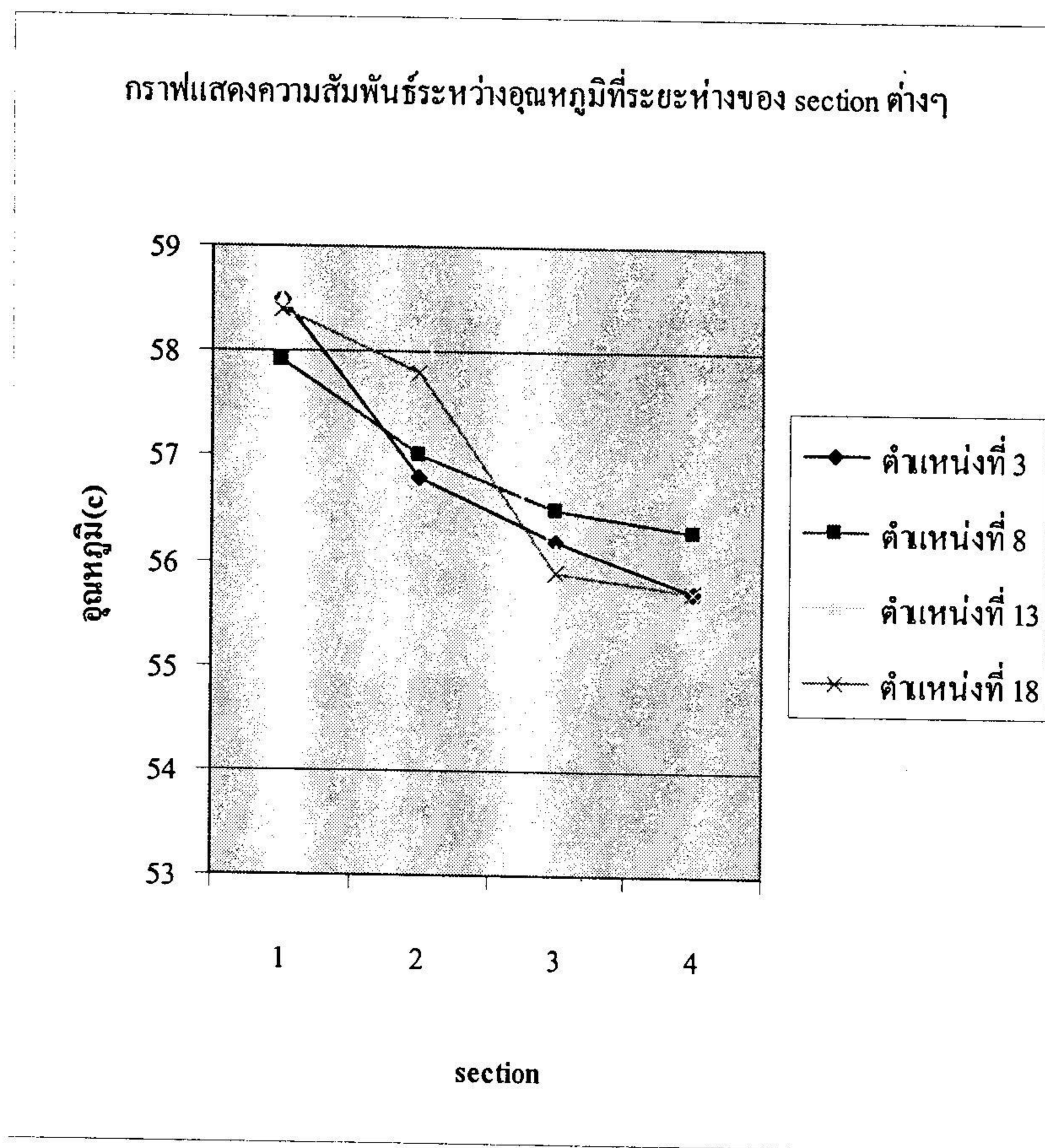
จากรูปที่ 10 ส่วนล่างของห้องอบจะมีอุณหภูมิสูงกว่าส่วนบนซึ่งจะเห็นได้ชัดในทุก ๆ Section และอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจากจาก Section ที่ 1 ไปถึง Section ที่ 4 คือจากอุณหภูมิ 56.4 จะลดลงเหลือ 56.0 ส่วนการกระจายอุณหภูมิในส่วนล่างอุณหภูมิจะลดลงจาก Section ที่ 1 ถึง Section ที่ 2 จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นใน Section ที่ 3 และ Section ที่ 4



รูปที่ 10 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 7

ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 6 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 1.2 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดัง รูปที่ 11

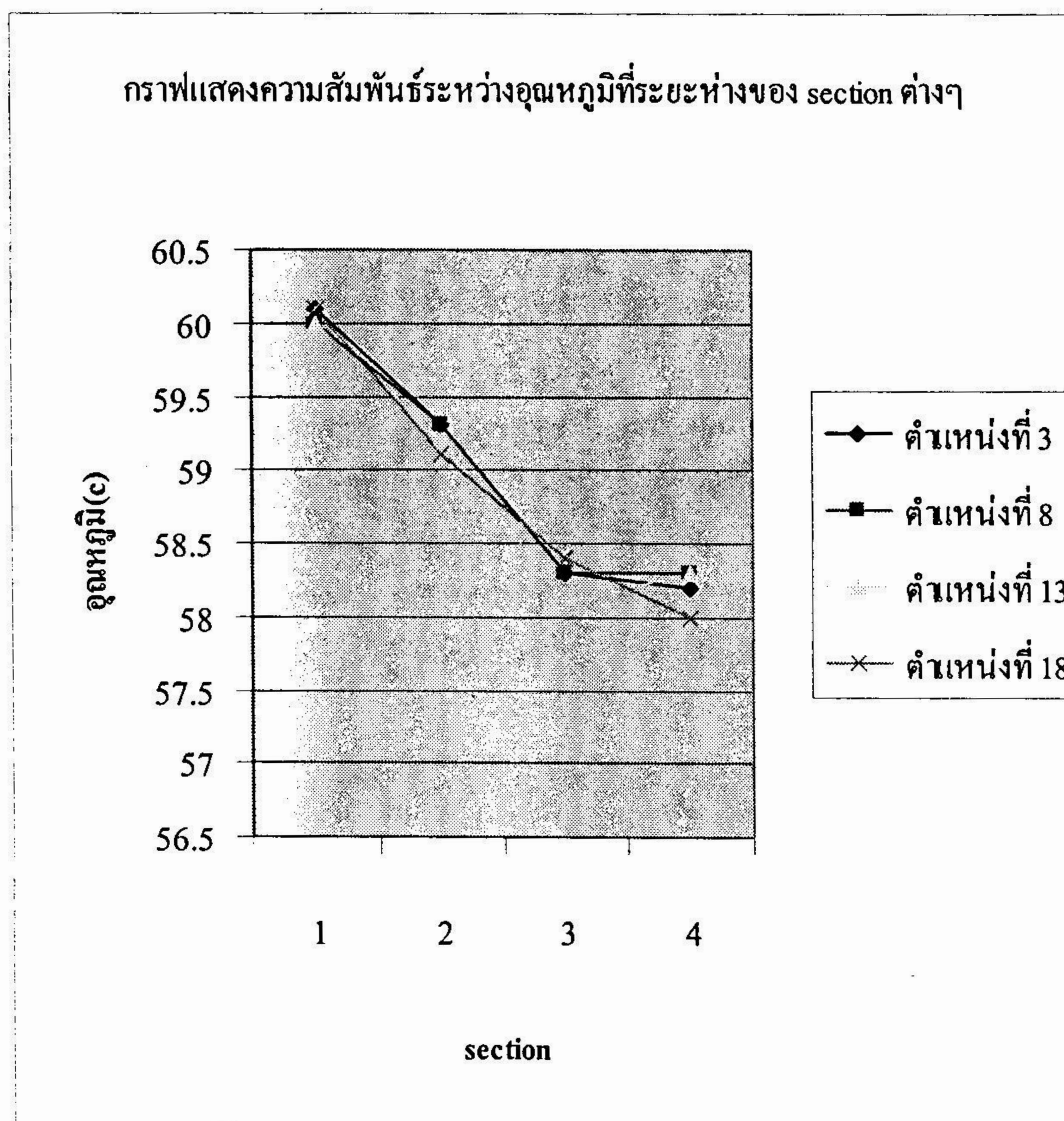
จากรูปที่ 11 อุณหภูมิทั้งส่วนบนและส่วนล่างของห้องอบมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันใน Section ที่ 1 ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 58.5-58.0 เซลเซียส และอุณหภูมิจะลดต่ำลงใน Section ที่ 2 โดยส่วนบนของห้องอบอุณหภูมิจะลดลงมาที่ 57.0 เซลเซียส ขณะที่ส่วนล่างอุณหภูมิจะลดลงเพียงเล็กน้อยพอถึง Section ที่ 3 ตาม Section ต่าง ๆ อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่ Section ที่ 1 และจะลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะห่างของ Section อุณหภูมิทั้งส่วนบนและส่วนล่างจะลดลงมาใกล้เคียงกัน



รูปที่ 11 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 6

ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 5 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 1.0 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดัง รูปที่ 12

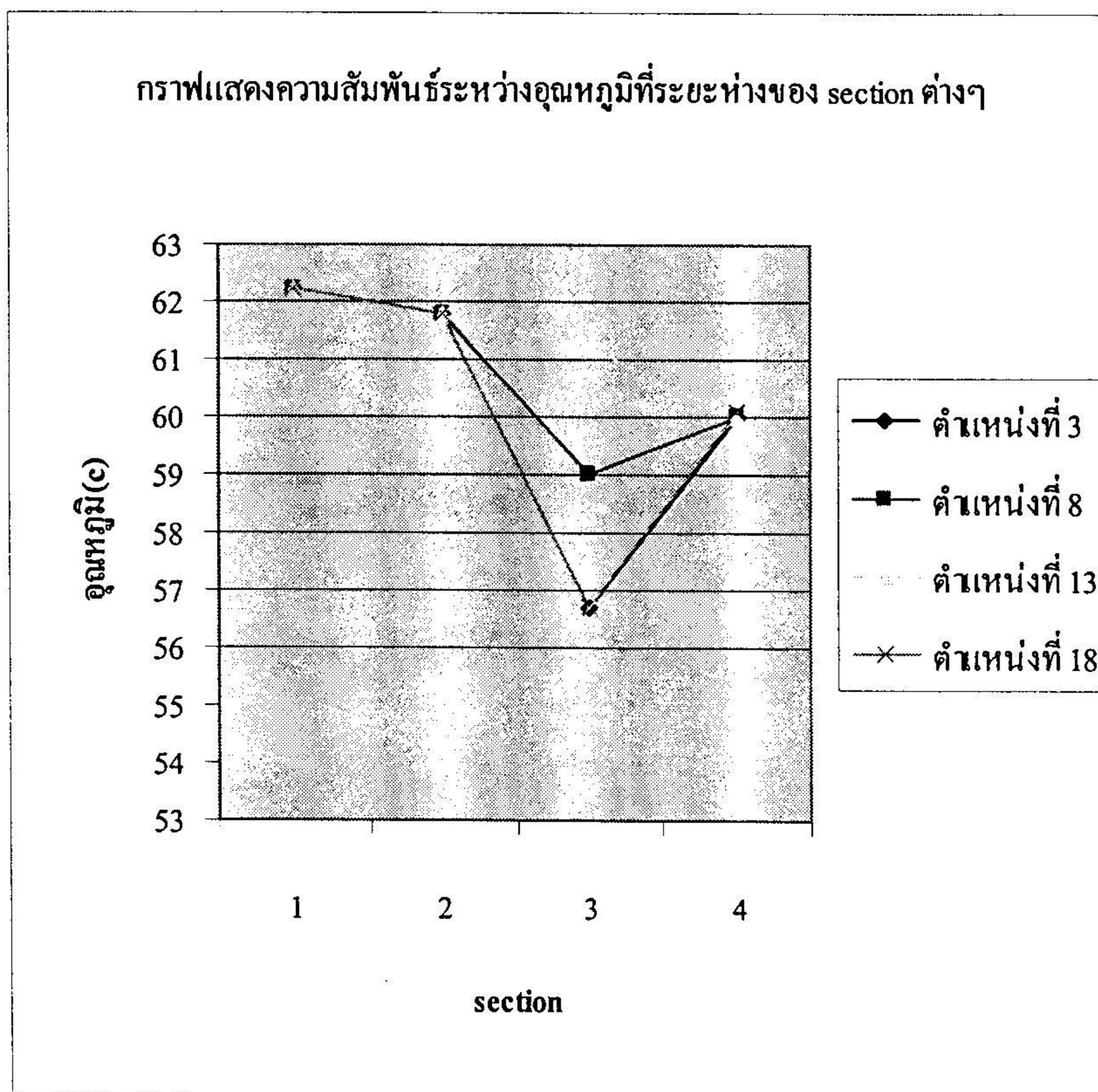
จากรูปที่ 12 แนวโน้มของอุณหภูมิจะลดลงจาก Section ที่ 1 ไปถึง Section ที่ 4 โดยค่าอุณหภูมิของส่วนบนและส่วนล่างจะมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งอุณหภูมิที่ Section ที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 60.0 เซลเซียสและจะค่อยๆ ลดต่ำลงมาที่ 58.5 เซลเซียสใน Section ที่ 3 และอุณหภูมิจะคงตัวจนถึง Section ที่ 4



รูปที่ 12 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 5

ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 4 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 0.9 m/s จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 13

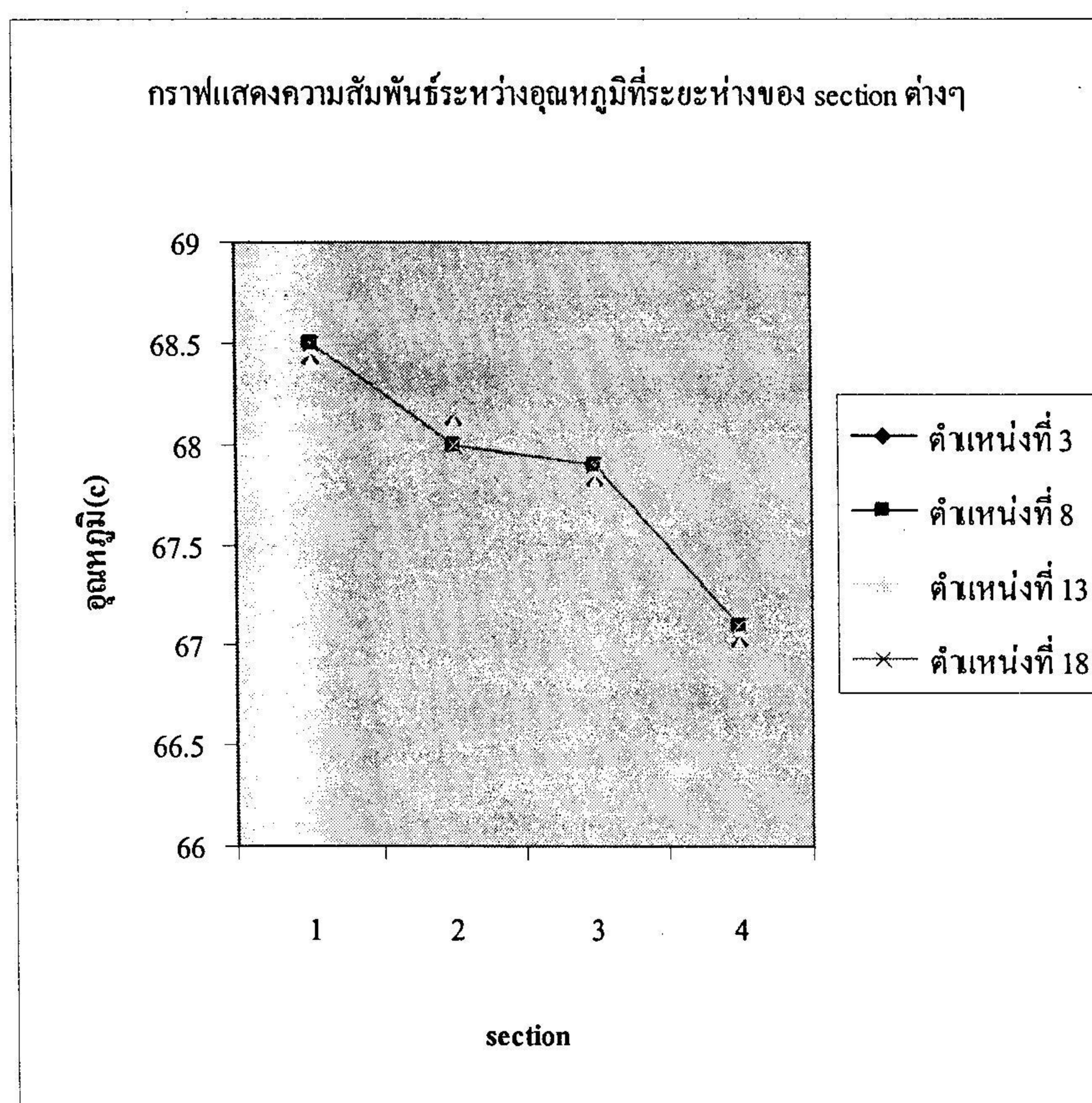
จากกราฟรูปที่ 13 อุณหภูมิใน Section ที่ 1 มีค่าเท่ากันทั้งส่วนบนและส่วนล่างซึ่งค่าอุณหภูมิ อยู่ที่ 62.0 เซลเซียส อุณหภูมิจะลดลงเล็กน้อยเมื่อถึงหน้าตัด Section ที่ 2 และอุณหภูมิยังคงเท่ากัน พอมาถึง Section ที่ 3 อุณหภูมิของตำแหน่งบนสุดและล่างสุดจะลดลงมามากและมีอุณหภูมิที่ ประมาณ 57.0 เซลเซียส และเมื่อถึง Section ที่ 4 อุณหภูมิทั้งหมดจะกลับเข้ามาเท่ากัน



รูปที่ 13 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 4

ผลการทดลองที่ความเร็วของ Blower setting ระดับ 3 มีค่าความเร็ว เท่ากับ 0.8 m/s
จากที่ได้ทำการทดลองและได้นำผลมาพล็อตกราฟจะได้กราฟดัง รูปที่ 14

จากกราฟ รูปที่ 14 อุณหภูมิส่วนบนและส่วนล่างมีค่าอุณหภูมิที่เกือบจะเท่ากันในแต่ละ
Section โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ Section ที่ 1 มีค่าประมาณ 68.5 เซลเซียส และอุณหภูมิลด
ต่ำลงเหลือ 68 , 67.5 และ 67 เซลเซียส ตามหน้าตัดของ Section ตามลำดับ

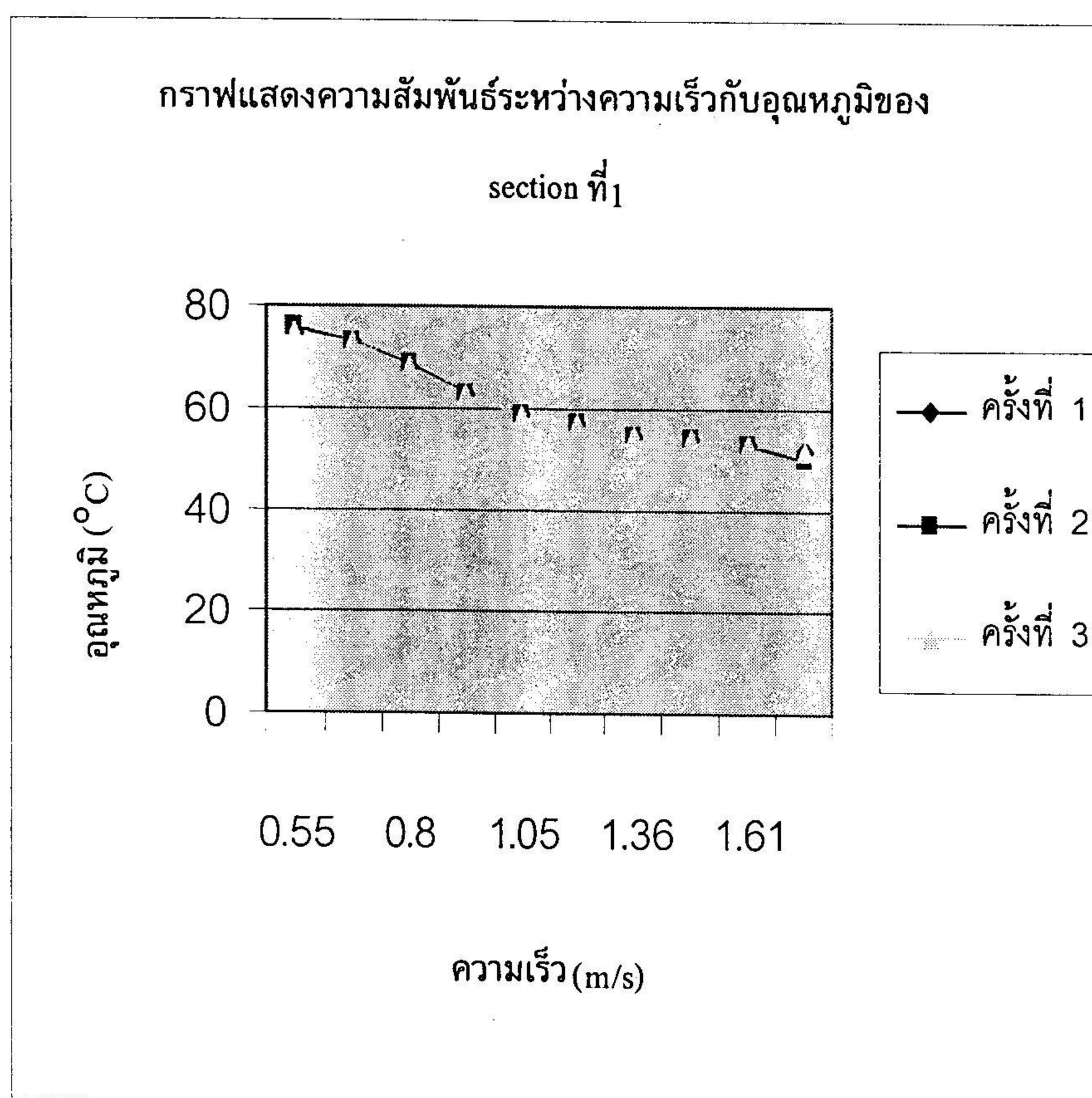


รูปที่ 14 ผลการทดลองความเร็วของ Blower setting ระดับ 3

4.1.2 ผลการทดลองวัดความเร็ว

การทดลองการวัดความเร็วของอากาศร้อนภายในห้องอบโดยใช้เครื่อง Air Flow anemometer แบบพัดลม พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิ การทดลองจะเปลี่ยนแปลงค่าของความเร็วโดยการปรับที่ Blower setting จากระดับ 1 ถึงระดับ 10 ตามลำดับและปรับ Heater ทำงานที่ระดับ 10 ทำความร้อนที่ 2 กิโลวัตต์ (ตลอดการทดลอง การทดลองจะทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง และได้นำผลการทดลองที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน Heater และค่าอุณหภูมิของอากาศนั้นที่ Section ต่าง ๆ

จากกราฟมีทั้งหมด 4 ภาพซึ่งได้แสดงไว้ที่ภาคผนวกและที่ได้นำมาอธิบายเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอุณหภูมิของ Section ที่ 1 ดังกราฟรูปที่ 15

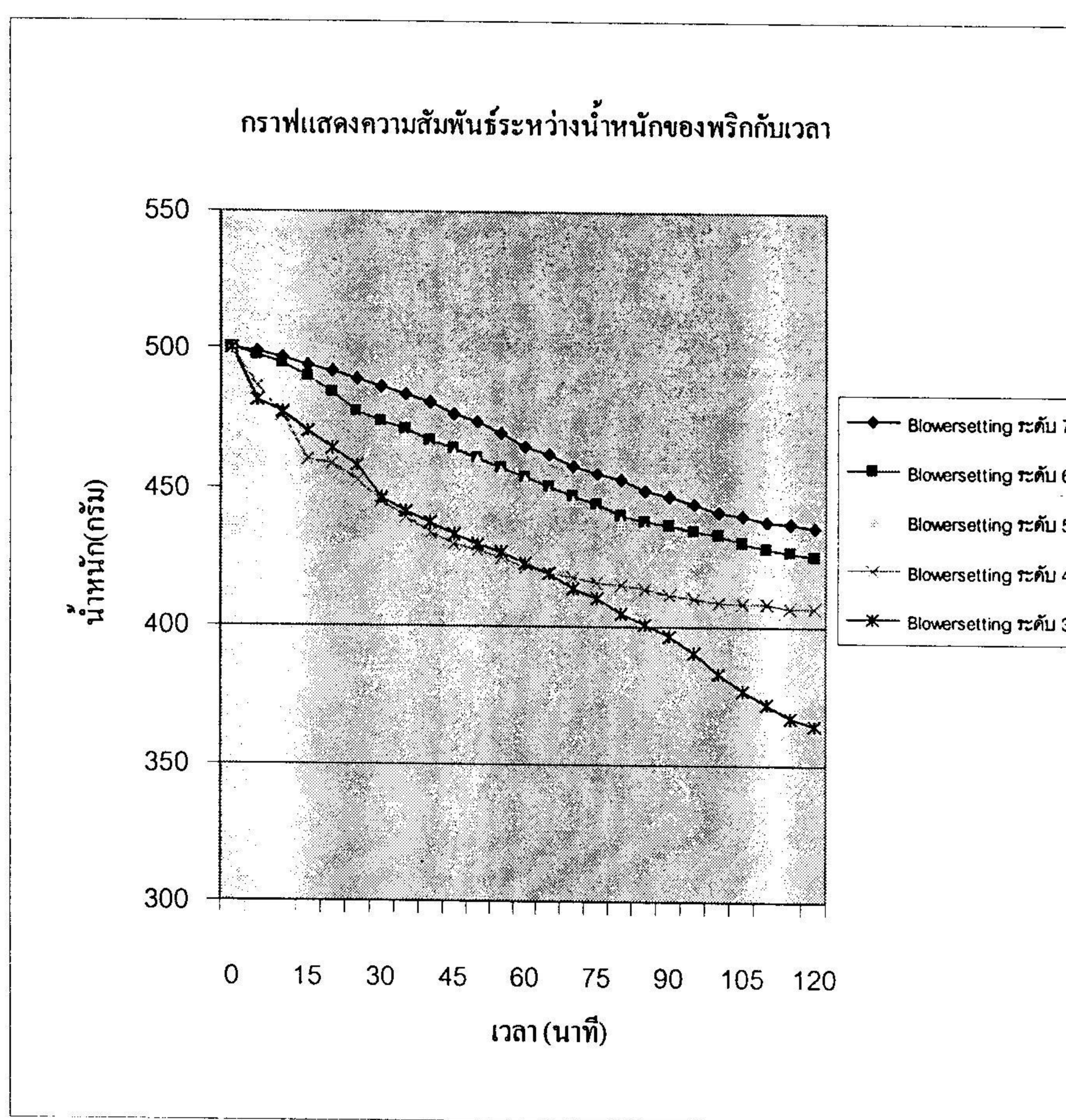


รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอุณหภูมิ

จากกราฟได้นำผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งมาพล็อตเปรียบเทียบกันซึ่งจากรูปกราฟจะพบว่า อุณหภูมิจะสูงเมื่อค่าความเร็วของอากาศต่ำซึ่งอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ค่าความเร็ว 0.6-0.5 โดยมีค่า อุณหภูมิคือ 76.0-75.0 เซลเซียสและอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน Heater เพิ่มขึ้น

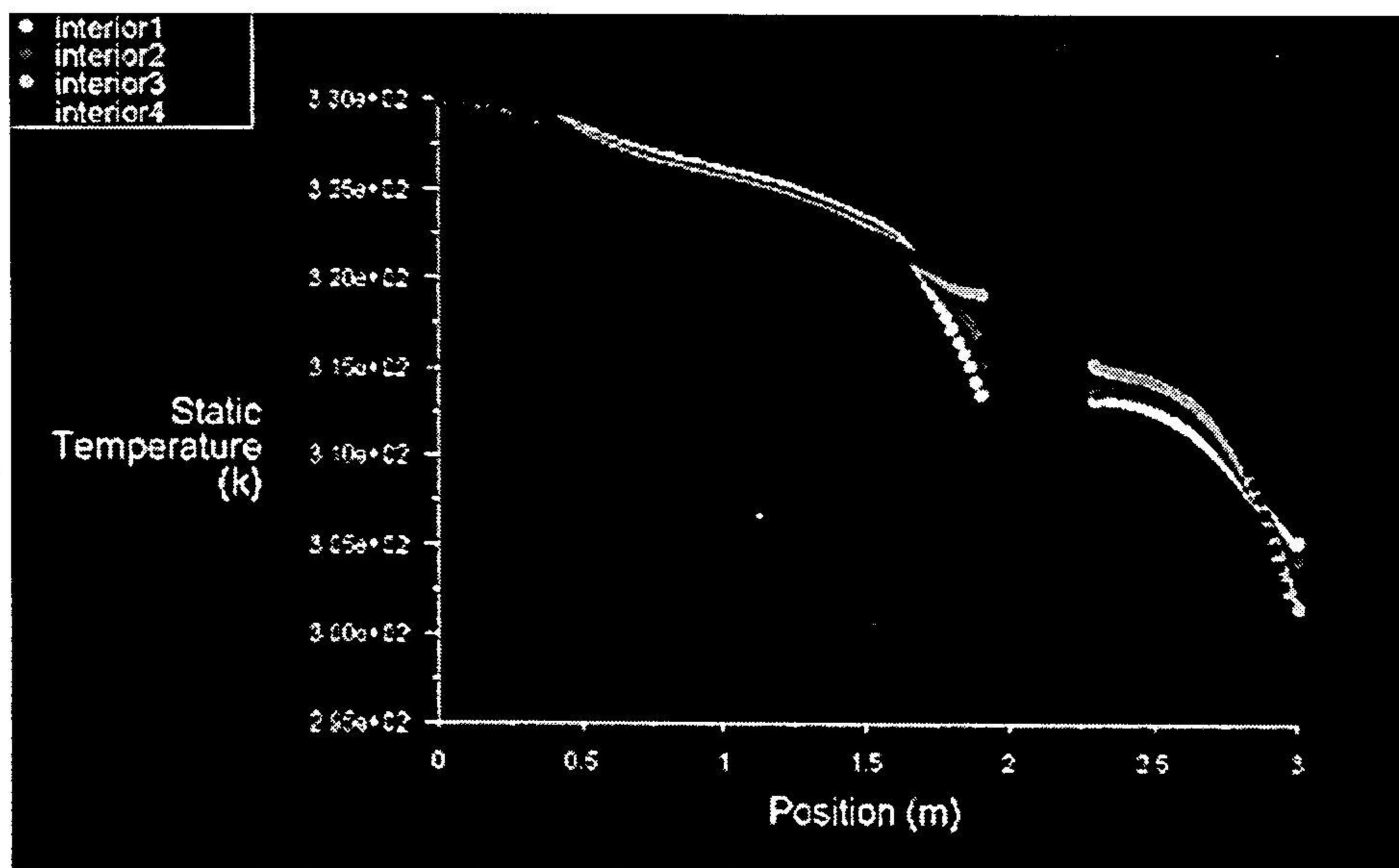
4.1.3 ผลการทดลองการอบแห้งพริกสด

การทดลองชุดนี้เป็นการนำพริกที่เก็บแล้วและค้างคืนไม่เกินหนึ่งคืนจึงจะนำเป็นผลิตภัณฑ์ การทดลองได้กำหนดค่าของ Heater ทำงานที่ระดับ 10 และได้เลือกและปรับเปลี่ยนค่า Blower setting 5 ระดับในการทดลอง ได้แก่ ระดับ 7, 6, 5, 4 และ 3 จากนั้นได้นำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพริกที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจะได้กราฟดังกราฟรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพริกที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

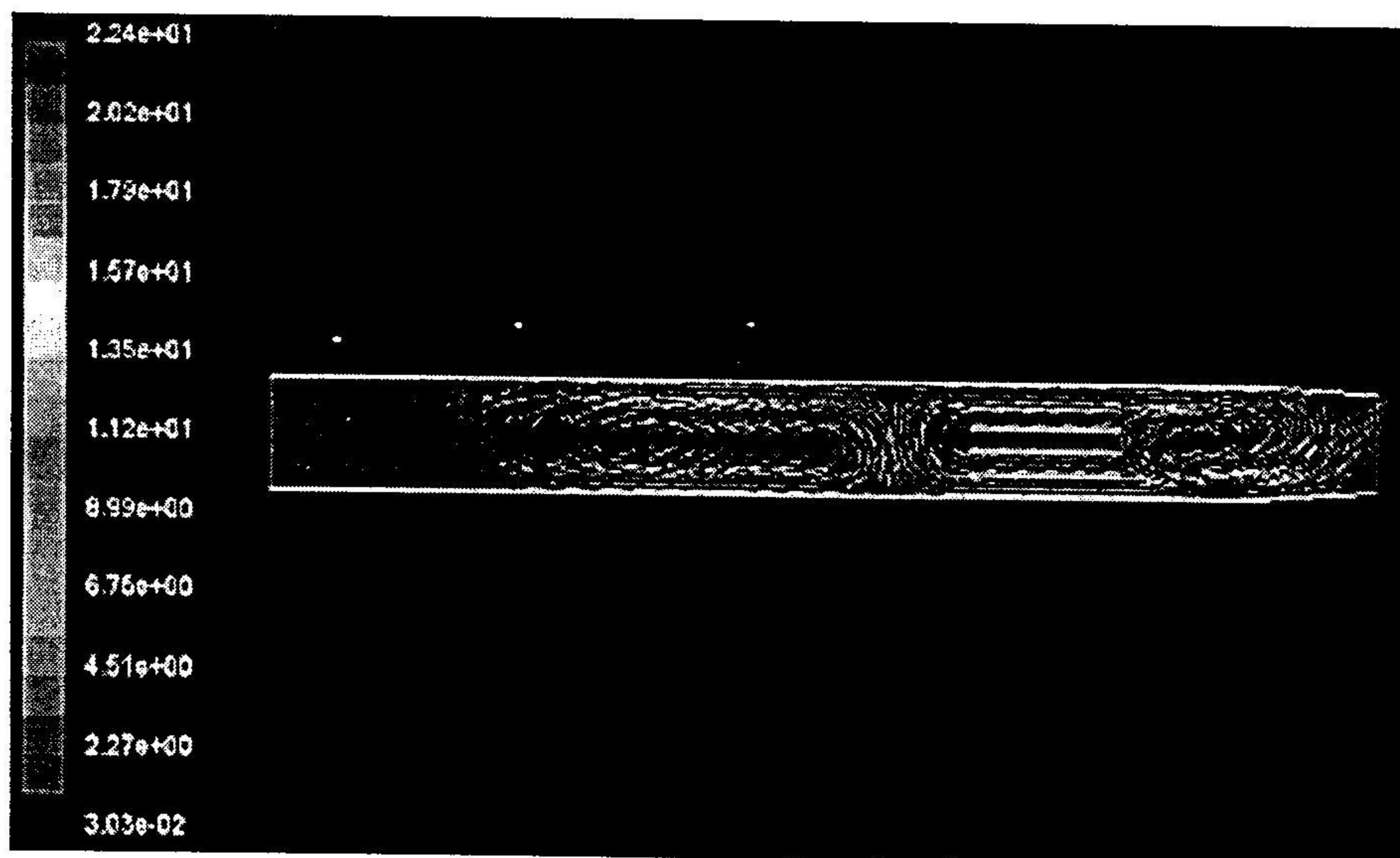
จากกราฟ รูปที่ 16 การทดลองจะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปน้ำหนักของพริกจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงก็จะหยุดการทดลอง และการทดลองในเวลาที่กำหนดนี้จะเห็นว่าที่ Blower setting ระดับ 3 อัตราการลดลงของน้ำหนักของพริกมากที่สุด ใน 5 ชุดการทดลองนี้และอัตราการลดลงของน้ำหนักของพริกจะลดลงเมื่อค่า Blower setting เพิ่มขึ้นจากระดับ 3 ไป ระดับ 7 ตามลำดับ



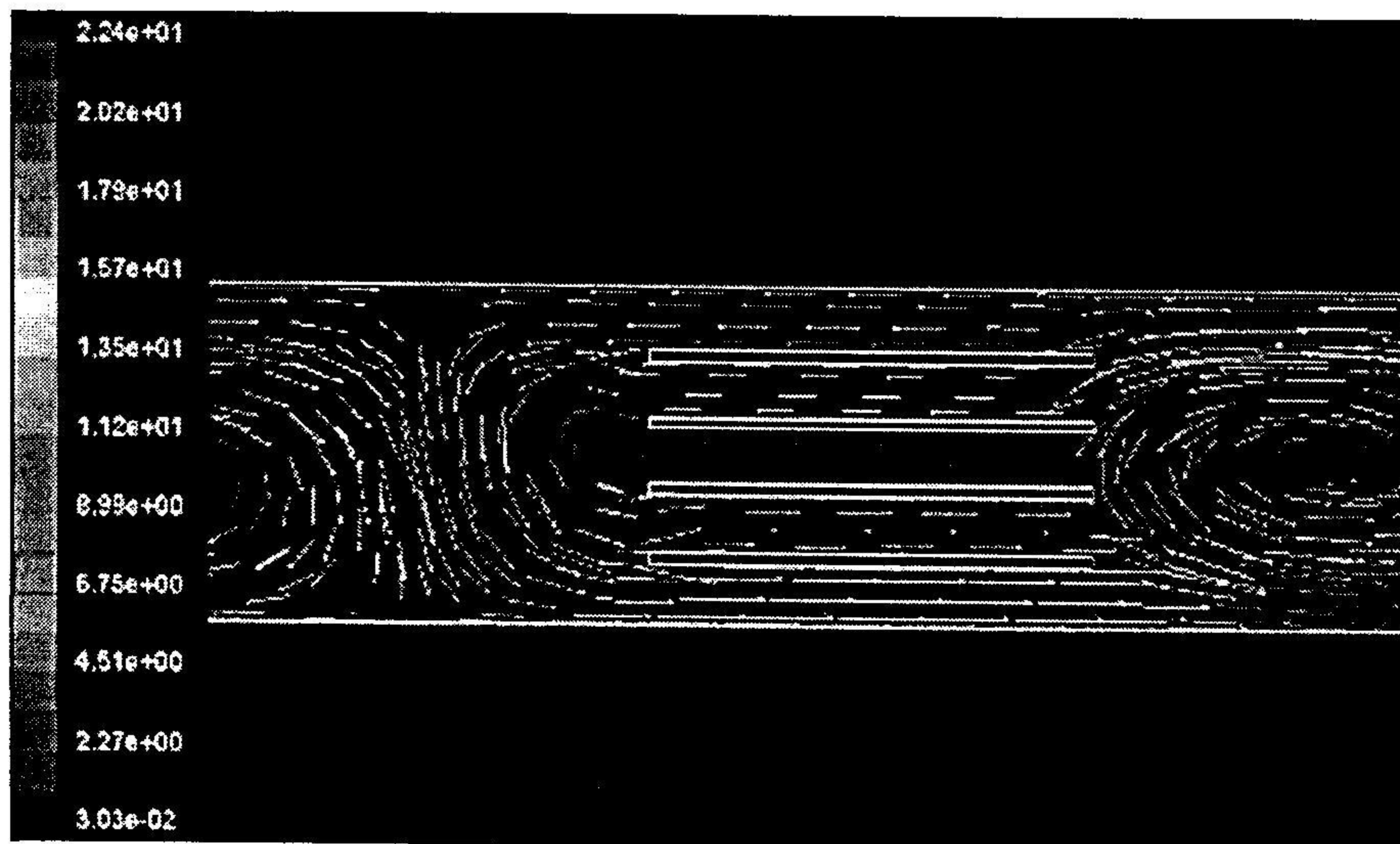
รูปที่ 18 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิ ที่ระดับและระยะต่างๆ

4.2.2 ผลการทดลองการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

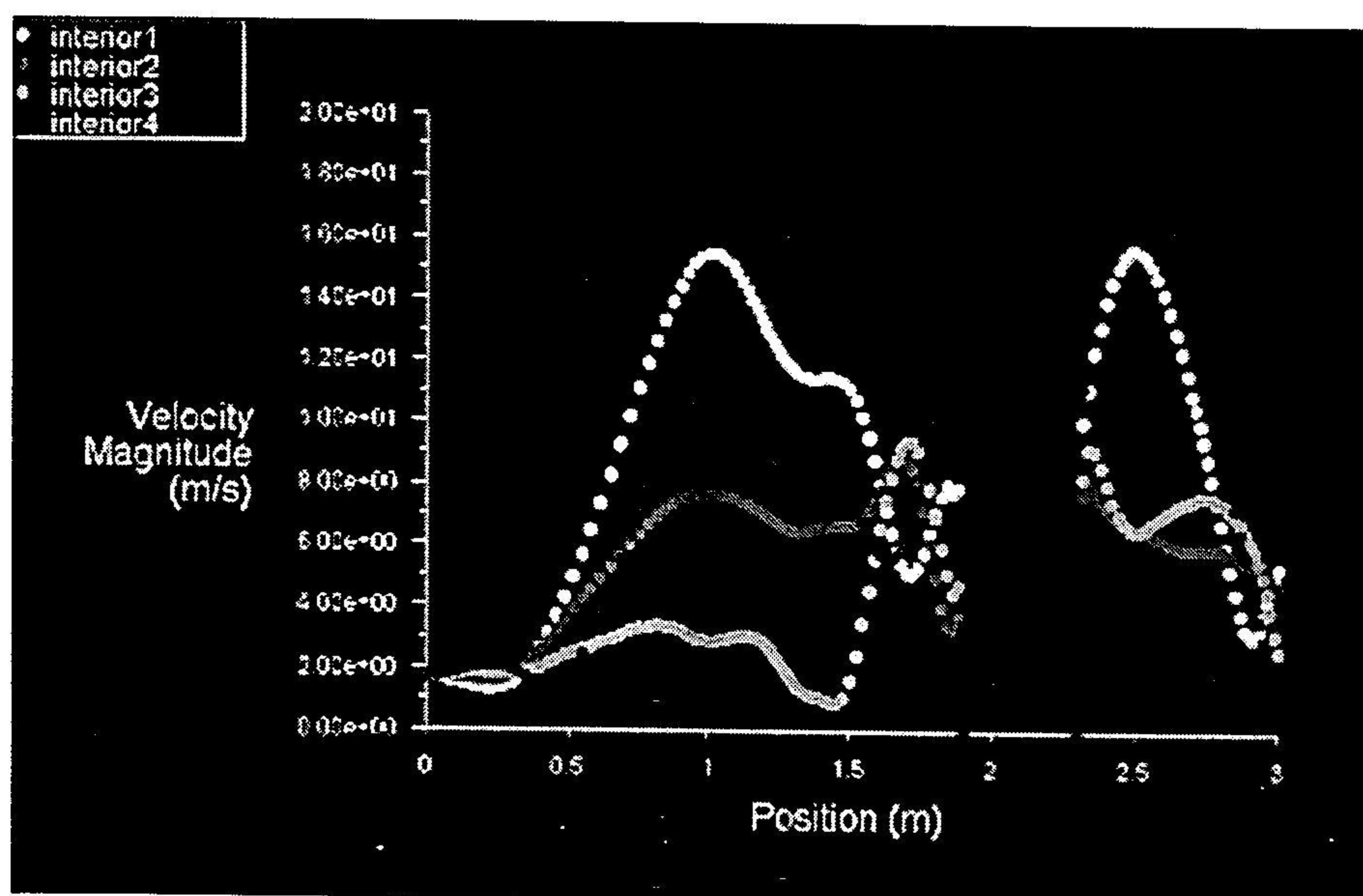
จากรูปที่ 19 ลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่ความเร็วขาเข้าเท่ากับ 1.7 เมตรต่อวินาทีซึ่งมีค่า Reynolds number เท่ากับ 30281 ซึ่งได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก - ก การไหลแบบปั่นป่วนนี้เกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านหน้าชั้นถาดและหลังชั้นถาดทำให้เกิดความเร็วที่แตกต่างกันซึ่งจะปรากฏเป็นเวกเตอร์สีแดงในที่ที่มีความเร็วสูงซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่งทางเข้าคือมีค่าประมาณ 2.24 เมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 21 จะพบว่าความเร็วที่ระยะห่าง 1 เมตรค่าความเร็วแต่ละระดับมีค่าแตกต่างกันพอถึงระยะหน้าชั้นถาดความเร็วจะเข้าใกล้กันเมื่อผ่านชั้นถาดความเร็วที่ระดับล่างจะสูงและลดต่ำลงในจุดทางออก



รูปที่ 19 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (Re ที่ทางเข้าเท่ากับ 30,281)



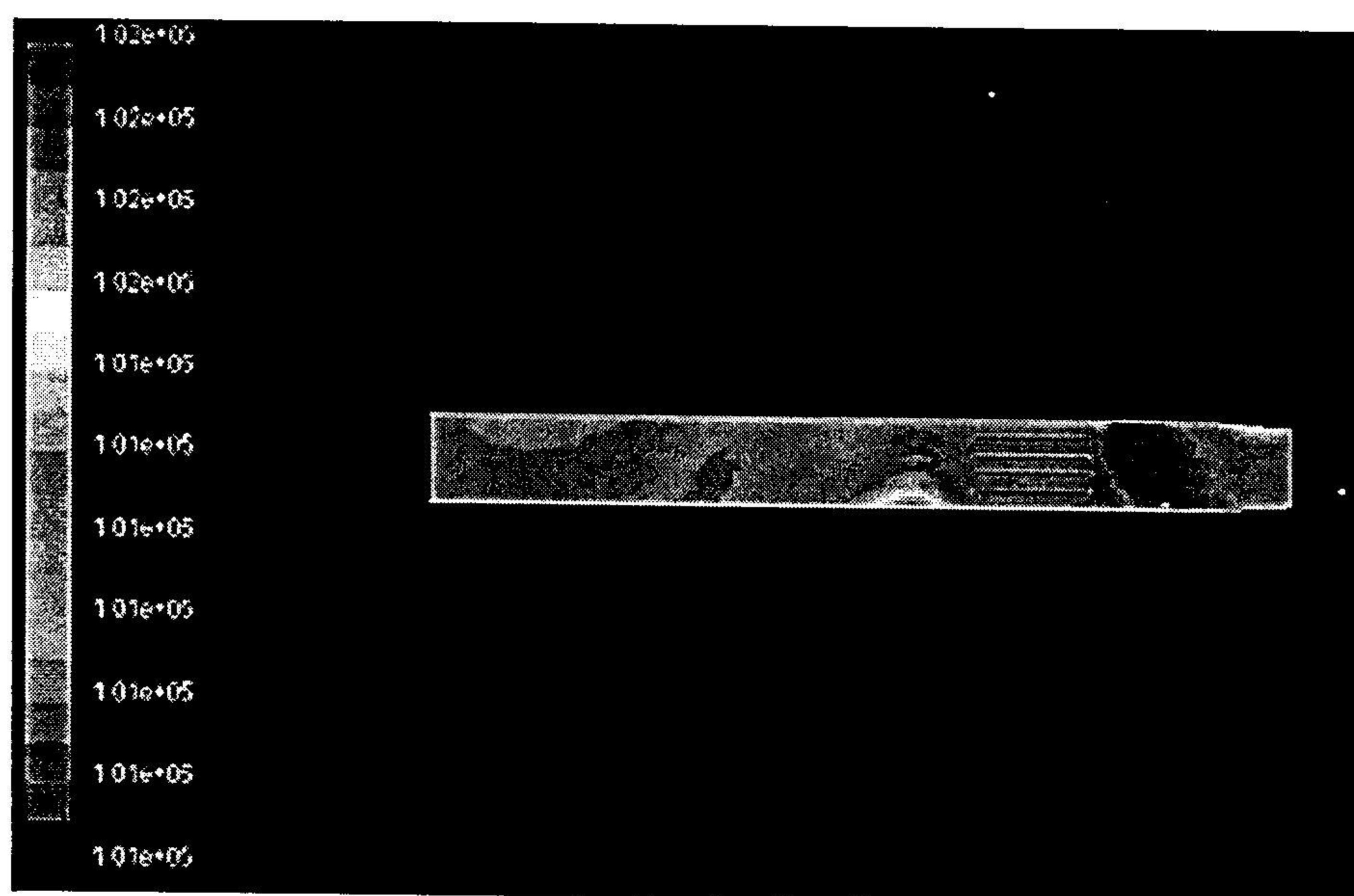
รูปที่ 20 แสดงเวกเตอร์ความเร็วที่ $Re = 30,281$ (ขยาย)



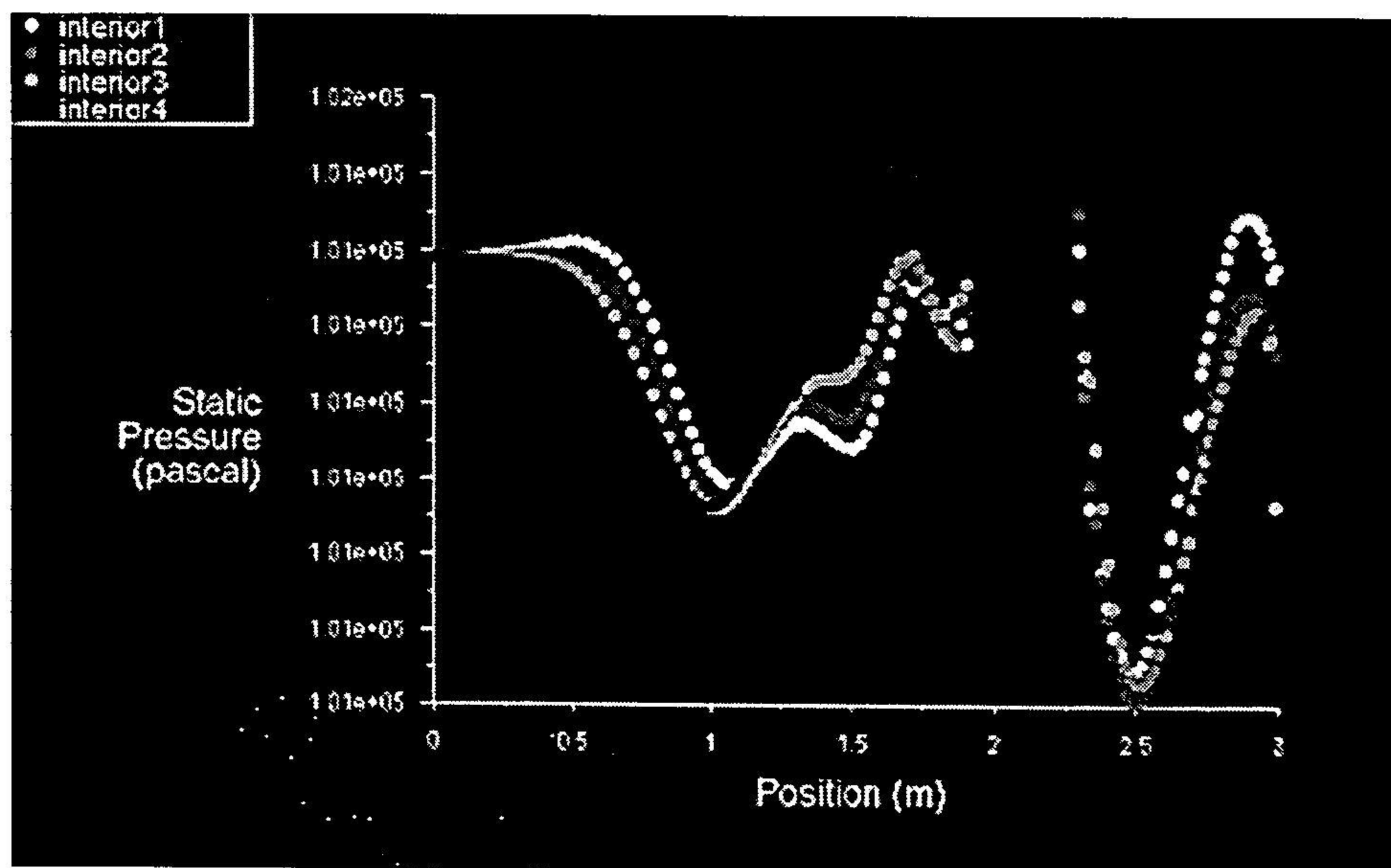
รูปที่ 21 ภาพกราฟแสดงค่าความเร็วที่ระดับและระยะต่างๆ

4.2.3 ผลการทดลองแสดงความดันที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

ภาพแสดงความดันที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 22 ระดับของความดันที่เกิดขึ้นจะมีความเร็วของอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญดังนั้นตรงตำแหน่งที่มีการหมุนวนของอากาศจะพบเห็นแถบสีฟ้าซึ่งบอกถึงจุดความดันต่ำซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 21 พบว่าความดันจะต่ำที่ระยะ 2.5 เมตรซึ่งตรงกับระยะแถบสีฟ้าในรูปที่ 20



รูปที่ 22 แสดงความดันที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 23 แสดงกราฟความดันที่เกิดขึ้นที่ระดับและระยะต่างๆ

5 สรุปและวิจารณ์

การทดลองศึกษาเพื่อดูลักษณะการไหลของอากาศในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนนี้ ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 วิธี คือ การศึกษาโดยวิธีทดลองและการศึกษาโดยวิธีใช้โปรแกรม CFD ดังนั้นจึงนำผลการทดลองทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกับ โดยการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ผลจากคำนวณโดยโปรแกรมการวิเคราะห์การไหลจะเห็นว่าการกระจายอุณหภูมิขึ้นอยู่กับกระแสการไหลของอากาศซึ่งพบว่าค่าอุณหภูมิที่สูงจะอยู่ที่จุดทางเข้า และจะค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อระยะเริ่มห่างออกไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกับผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้จากกราฟต่างๆ ว่าอุณหภูมิจะมีทั้งลดลงจาก SECTION ที่ 1 ไป SECTION ที่ 4 ถึงแม้การทดลองจะทำแบบ 3 มิติและโปรแกรมจะทำแบบ 2 มิติก็ตามหากเราลองนำผลการทดลองแยกออกมาเป็น 2 มิติ และนำมาเปรียบเทียบกับก็ยิ่งเห็นว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกัน

อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเกิดจากการดูดเอาอากาศผ่านชุดลดความร้อนซึ่งจะได้อากาศที่ร้อนขึ้นและไหลไปตลอดความยาวของห้องอบซึ่งจะมีลาดไว้สำหรับใส่วัสดุที่จะทำการอบแห้งวางทิศทางการไหลของอากาศอยู่ อุณหภูมิของอากาศจะมีค่าสูงสุดตรงจุดที่ใกล้กับชุดลดความร้อนและจะค่อยๆ ลดลงทีละประมาณ 2-1 องศาเซลเซียส ตามระยะทางทุก ๆ 40 CM หรือตามระยะของ SECTION ที่ 1 ไป SECTION ที่ 4 ตามที่ได้ทำการศึกษา ดังนั้น การเลื่อนตำแหน่งของลาดเข้าใกล้ชุดลดความร้อนก็จะทำให้การระเหยของความชื้นมีอัตราที่สูงขึ้นได้ โดยอัตราการใช้พลังงานยังคงเท่าเดิมแต่วิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียคือหากเลื่อนลาดเข้าใกล้ชุดลดความร้อนมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ใกล้ชุดลดเกิดการแห้งจนถึงขั้นไหม้ก่อนส่วนที่อยู่ถัดไปได้

ส่วนความเร็วของอากาศก็จะมีค่าลดลงจาก SECTION ที่ 1 ไป SECTION ที่ 4 และเมื่ออากาศมีความเร็วเข้าเท่ากับ 1.7 เมตรต่อวินาที จะมีค่าเรโนลด์เบอร์ (Re) เท่ากับ 30281 ซึ่งเป็นสภาวะการไหลแบบ Turbulent และจะพบการไหลแบบหมุนวนเกิดขึ้นที่ตำแหน่งด้านหน้าและด้านหลังชั้นลาดปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดกระแสความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิกระจายตัวได้มากขึ้น ความเร็วของอากาศที่เกิดจากการดูดอากาศของพัดลมจะมีผลต่อความร้อนภายในห้องอบโดยในขณะที่ความร้อนของชุดลดคงที่หากความเร็วของอากาศสูงจะทำให้ความร้อนภายในห้องอบมีค่าต่ำกว่าความเร็วของอากาศที่ช้ากว่า ในข้อสรุปนี้เองที่เราได้นำไปใช้ในการตัดสินใจในการเลือกกระดุมความเร็วเพื่อที่จะหาจุดทำงานของเครื่องให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาวัสดุ ประหยัดทั้งพลังงานและเวลา ซึ่งจะเห็นได้จากตัวอย่างการทดลองการอบพริก กราฟผลการทดลองจะเห็นว่าค่าความเร็วระดับ 3 จะมีอัตราการอบแห้งมากที่สุดภายในเวลาที่กำหนดและอัตราการอบแห้งจะลดลง

เรื่อย ๆ เมื่อระดับของความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเลือกหาระดับของความเร็วที่ใช้ในการรอบ
จึงสามารถที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งเร็วขึ้นทำให้ประหยัดทั้งเวลาและพลังงาน

บรรณานุกรม

- John D. Anderson JR. Computational Fluid Dynamics (The basics with Application),
McGraw – Hill, 1995, New York
- M. NECATZIIK. Heat Transfer a Basis Approach (International Edition 1985),
McGraw – hill, 1985, New York
- Frank M. White. Fluid Mechanics, 3rd Edition, McGraw – hill, Inc 1994
- ROBERT W.FOX & ALAN T.MCDONALD.Introduction to Fluid Mechanics, 5th
Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1998, New York
- Rainal Liehner. Applied CFD Techniques An Introduction base on Finite Element Methods
John Wiley & Sons, LTD 1998
- Charles Hirsch, Numerical Computation of Internal and External Flows: Volume 1 Fundamental of
Numerical Discretization, John Wiley & Sons, 1998, UK
- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, การอบแห้งอาหาร, ครั้งที่ 4, 2532, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
กรุงเทพฯ

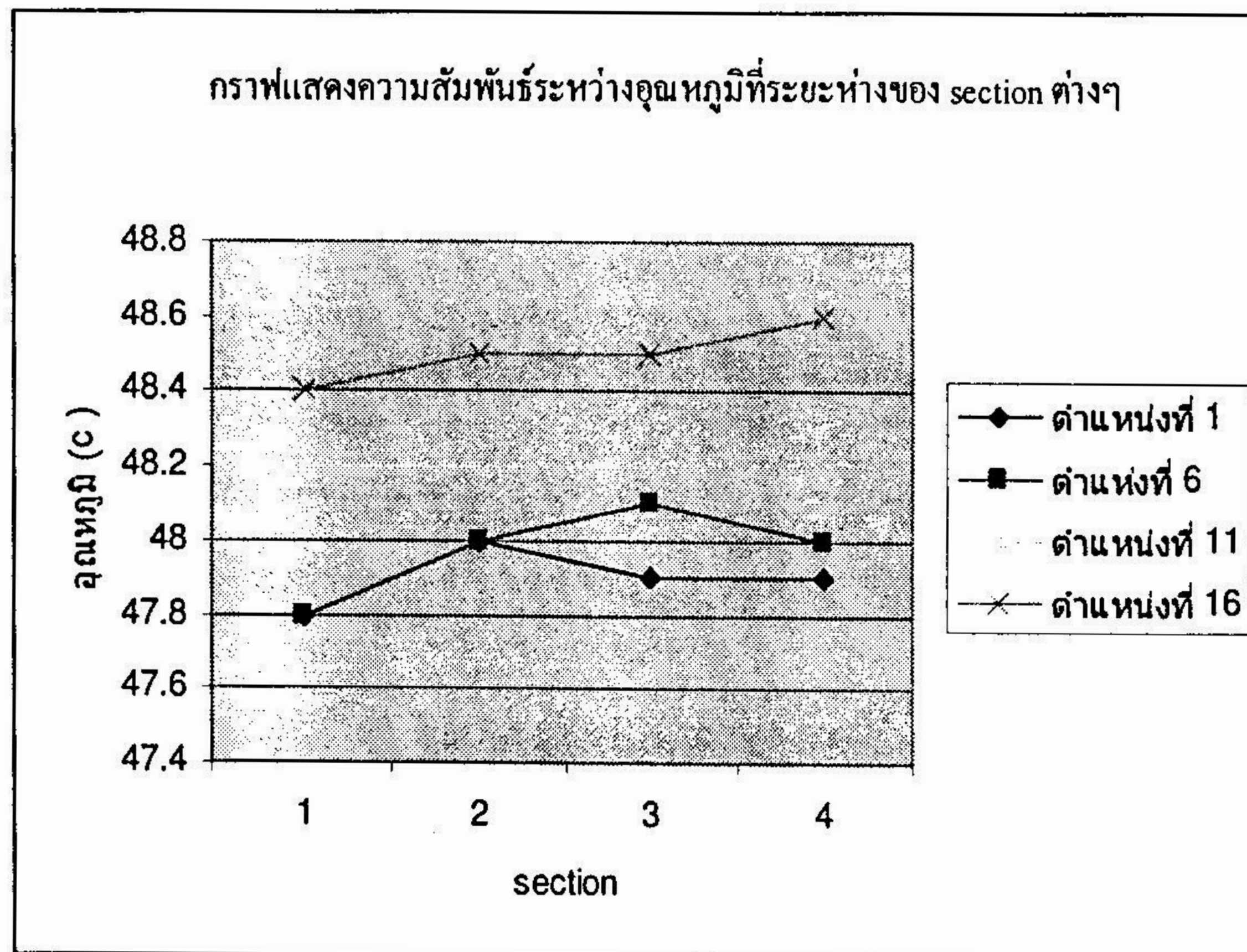
ภาคผนวก-ก

ก. ผลการทดลองการวัดการกระจายอุณหภูมิ

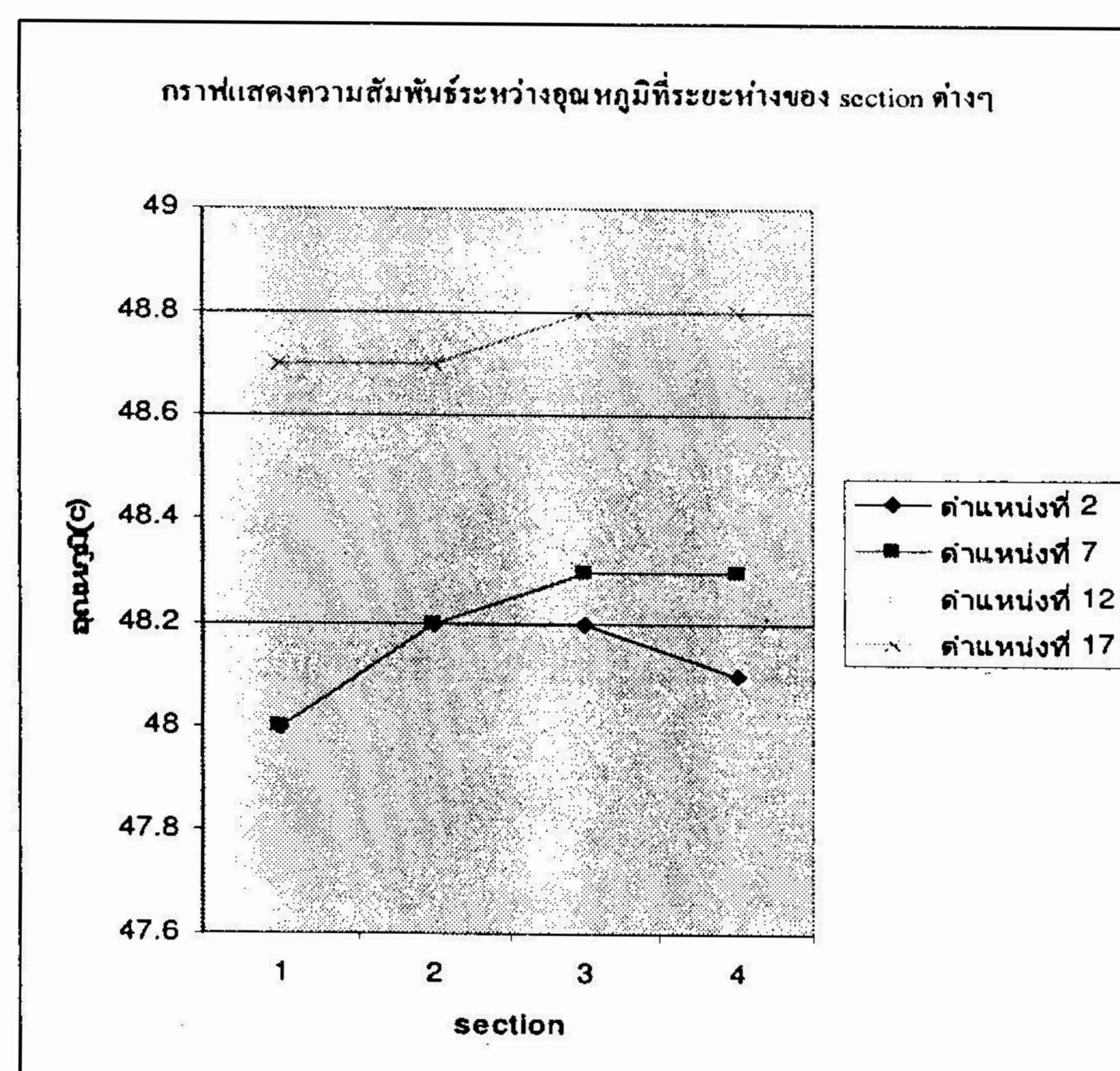
ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 10

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	47.8	48.0	48.3	48.4	48.4	47.8	48.0	48.2	48.2	48.2
2	48.0	48.2	48.3	48.5	48.5	48.0	48.2	48.4	48.4	48.5
3	47.9	48.2	48.3	48.5	48.4	48.1	48.3	48.5	48.4	48.5
4	47.9	48.1	48.1	48.3	48.2	48.0	48.3	48.4	48.3	48.4

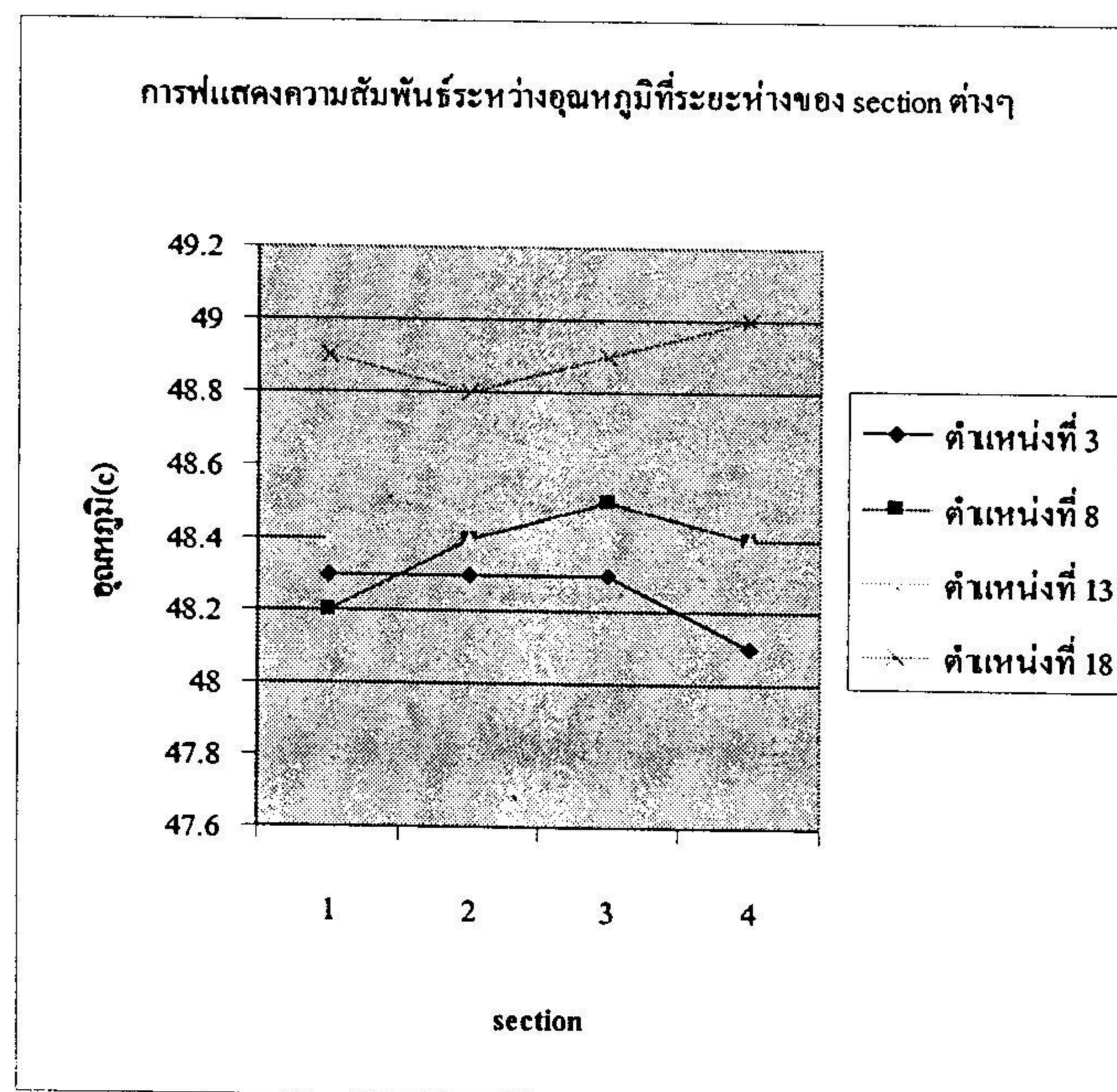
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	48.2	48.4	48.4	48.6	48.6	48.4	48.7	48.9	48.9	48.8
2	48.2	48.3	48.4	48.5	48.6	48.5	48.7	48.8	48.7	48.8
3	48.2	48.4	48.4	48.6	48.6	48.5	48.8	48.9	48.7	48.8
4	48.3	48.5	48.4	48.6	48.6	48.6	48.8	49.0	48.7	48.8



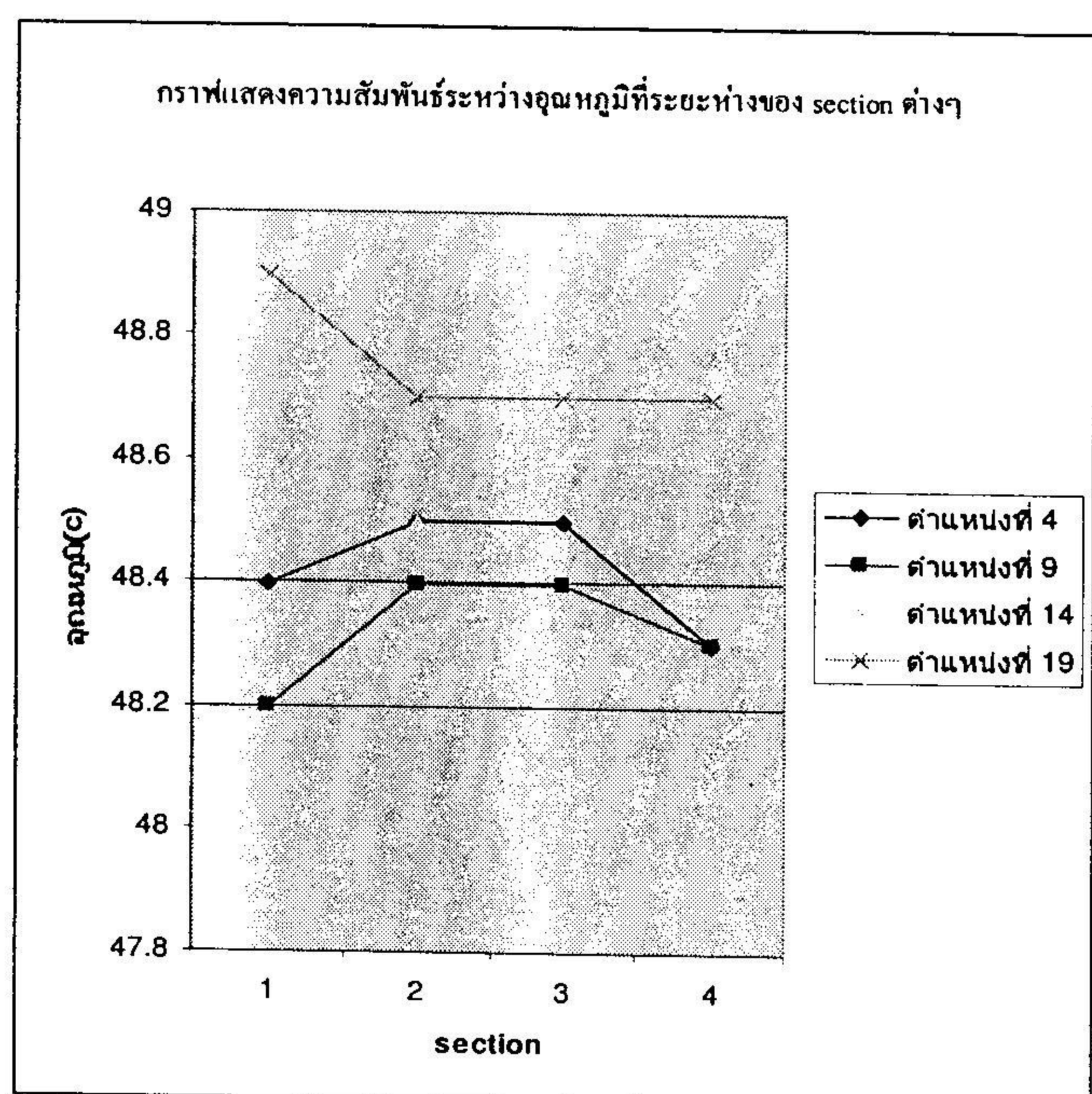
รูปที่ ก-1 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



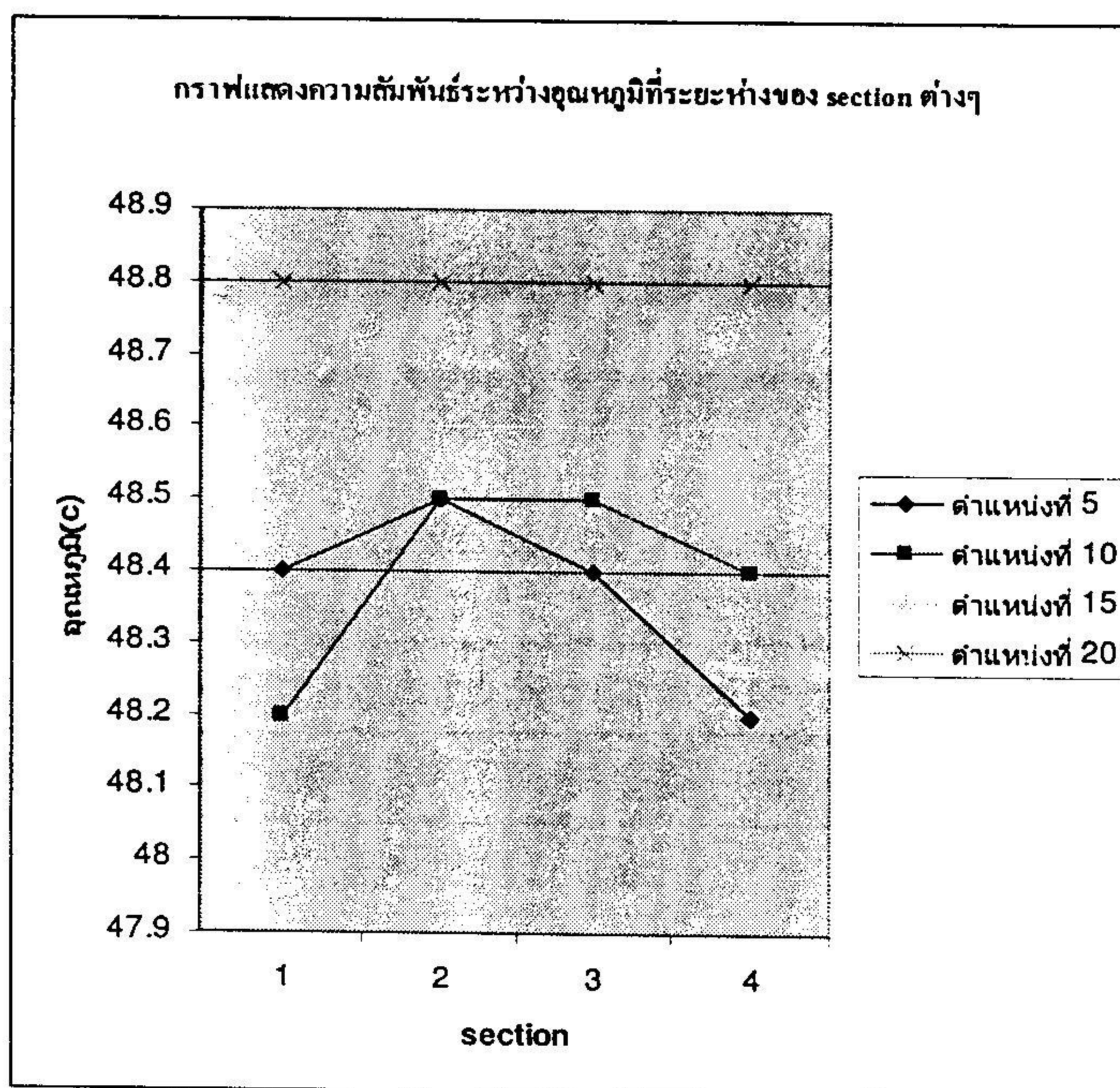
รูปที่ ก-2 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-3 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-4 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

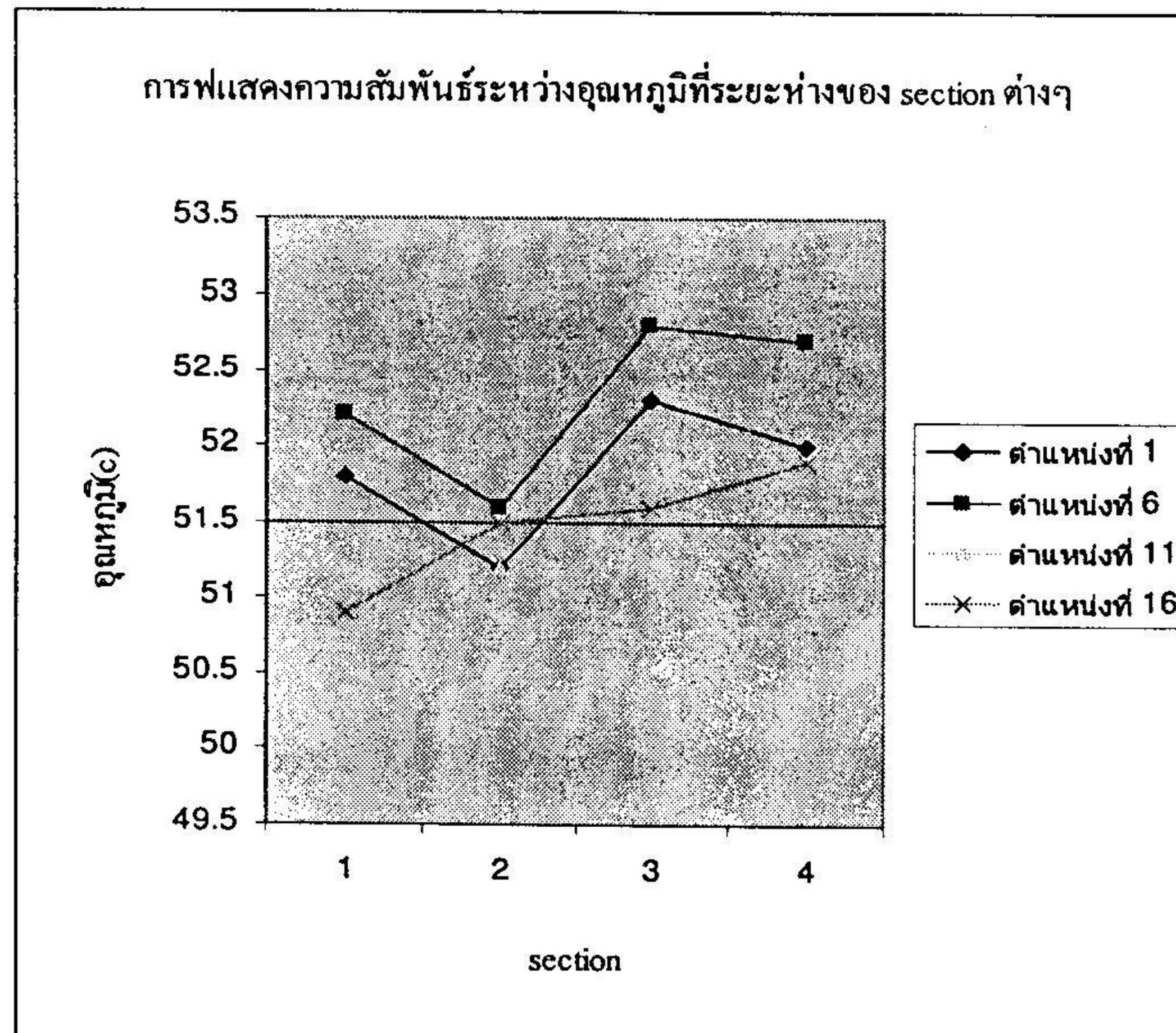


รูปที่ ก-5 กราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

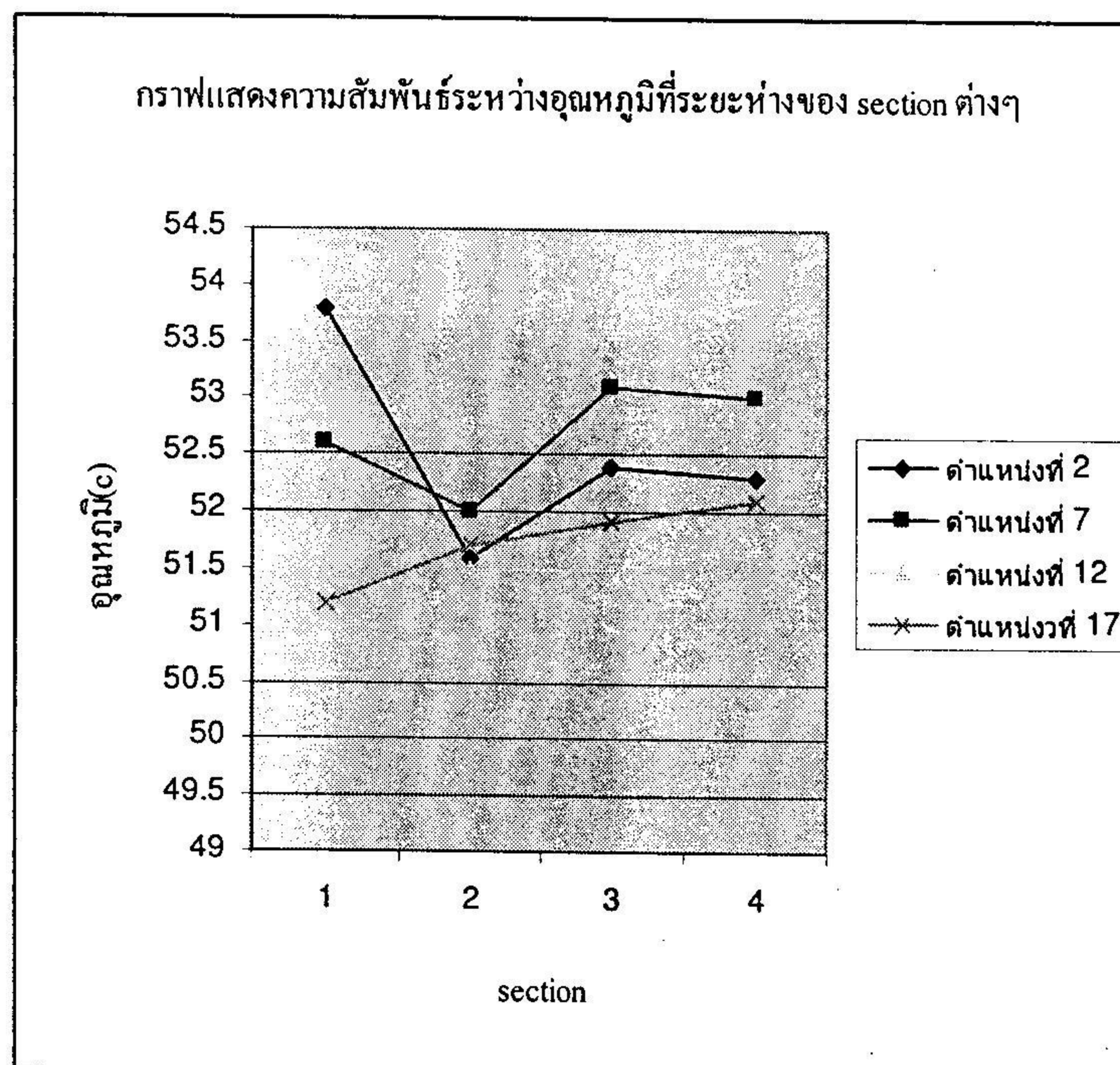
ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 9

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	51.8	53.8	52.5	52.7	52.8	52.2	52.6	53.0	53.0	53.1
2	51.2	51.6	51.6	51.8	51.9	51.6	52.0	52.2	52.0	52.1
3	52.3	52.4	52.6	52.8	52.8	52.8	53.1	53.3	53.2	53.2
4	52.0	52.3	52.3	52.6	52.7	52.7	53.0	53.2	53.1	53.1

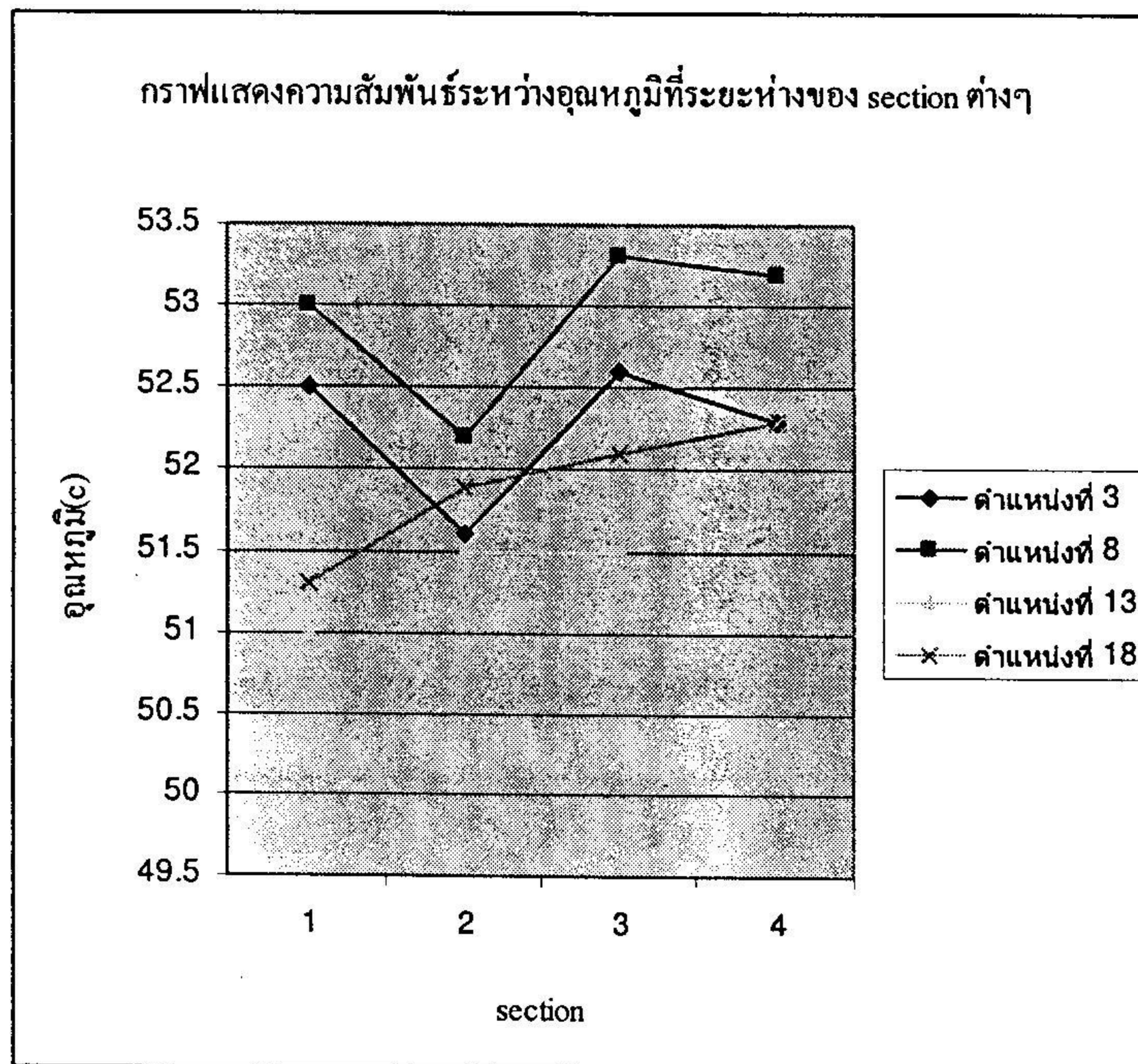
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	50.7	50.9	51.0	51.1	51.1	50.9	51.2	51.3	51.3	51.3
2	51.2	51.5	51.5	51.7	51.7	51.5	51.7	51.9	51.8	51.9
3	53.0	51.5	51.5	51.7	51.7	51.6	51.9	52.1	51.9	52.0
4	51.6	51.7	51.7	51.8	51.8	51.9	52.1	52.3	52.0	52.2



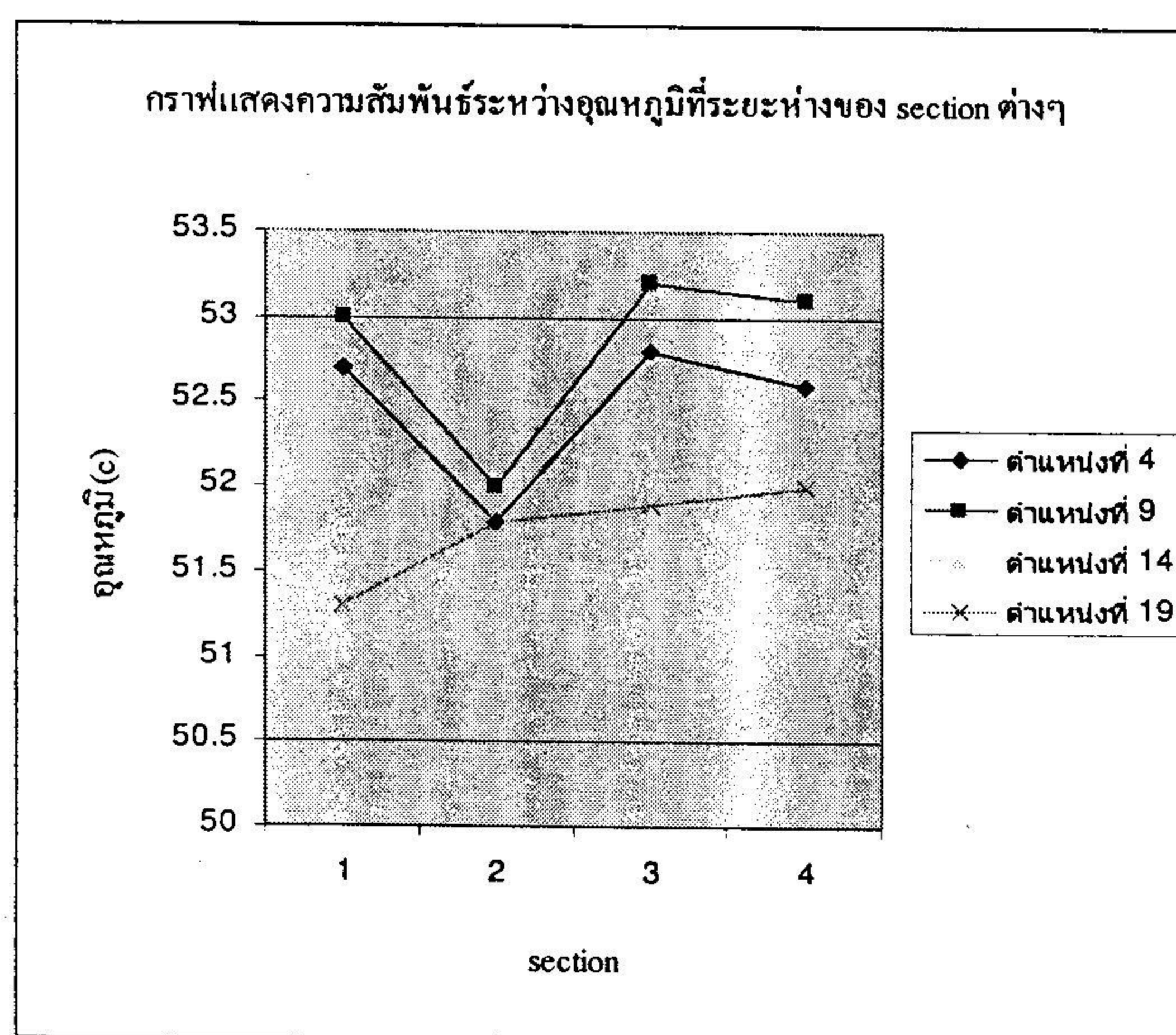
รูปที่ ก-6 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



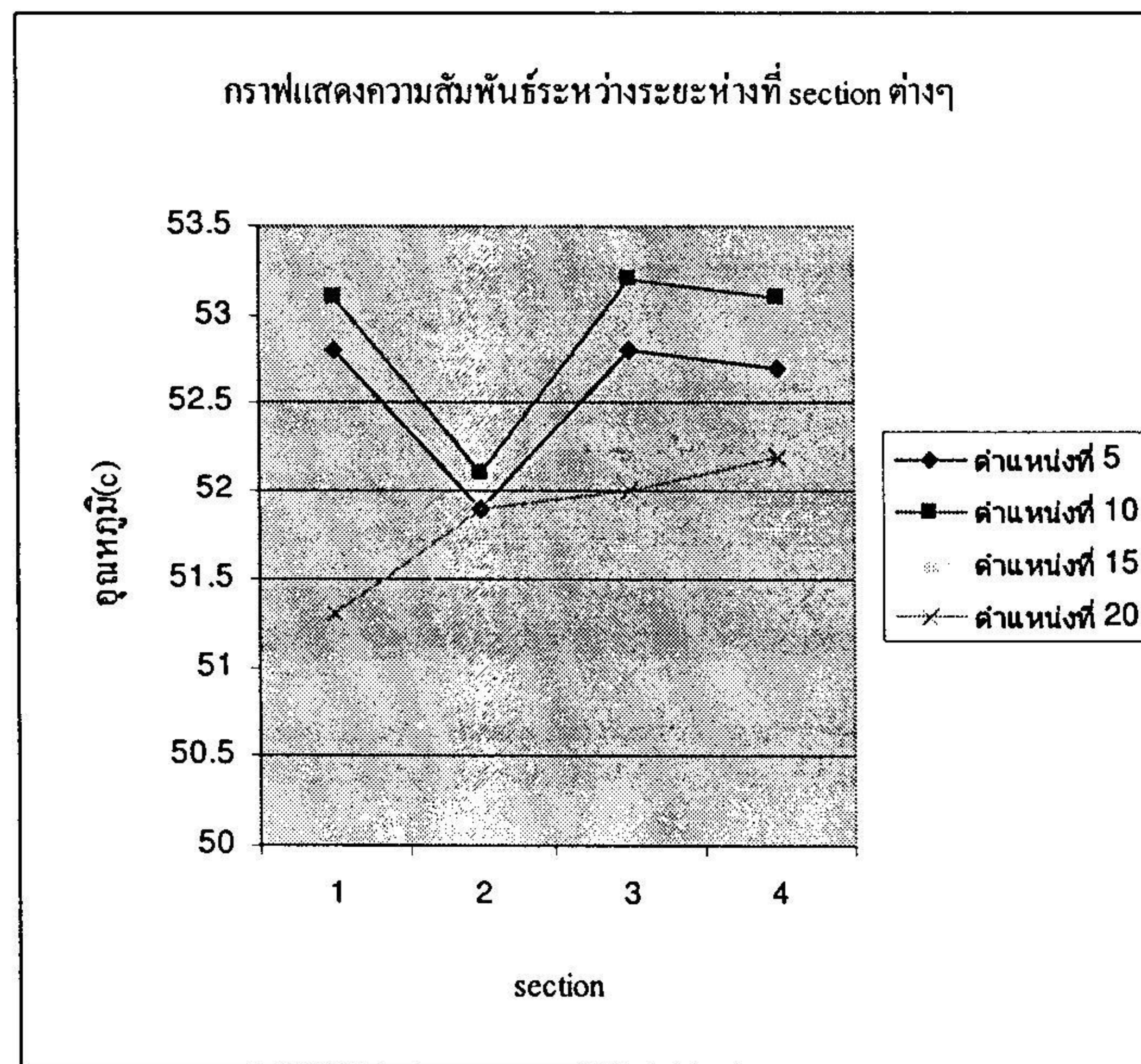
รูปที่ ก-7 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-8 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-9 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

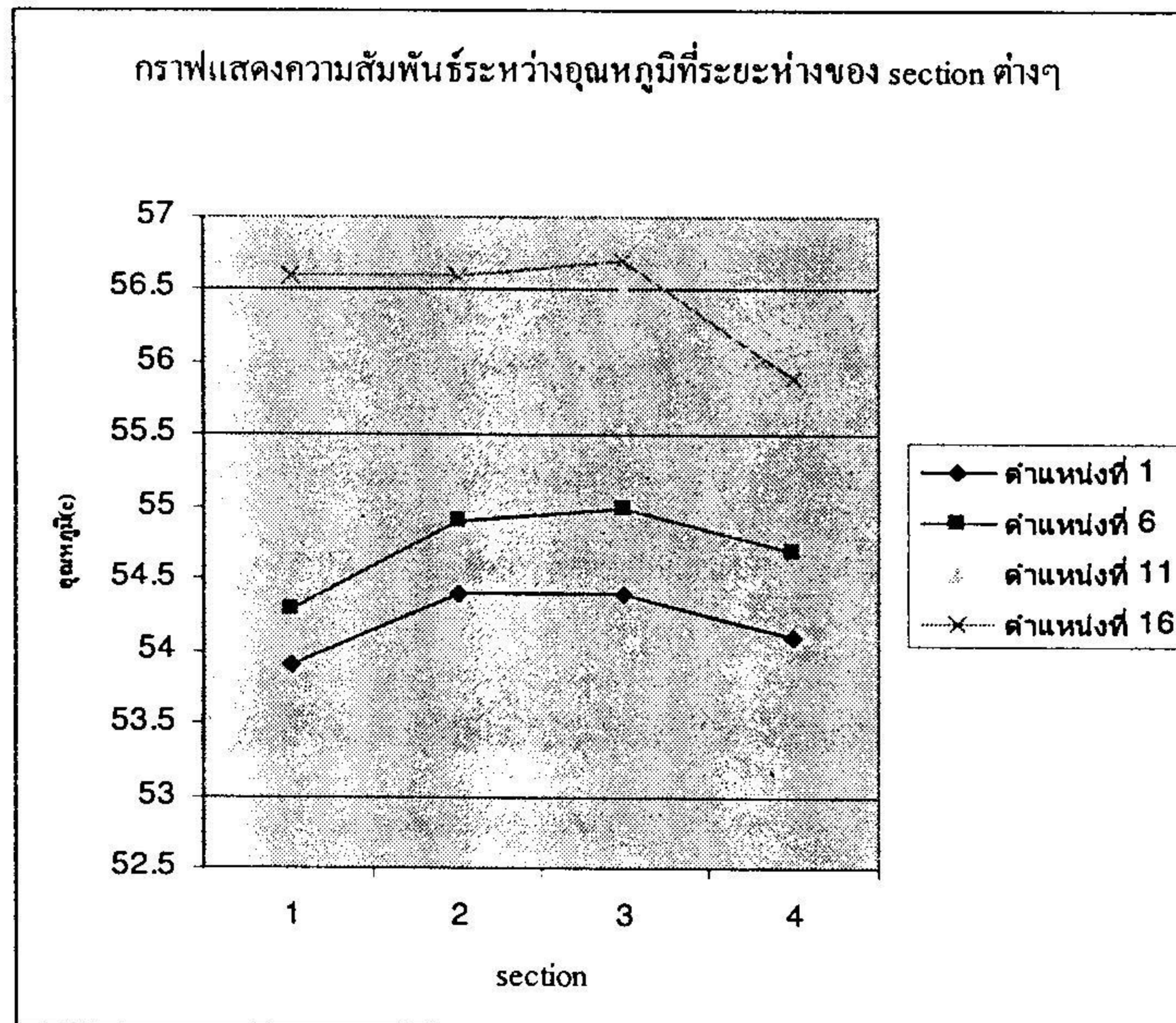


รูปที่ ก-10 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

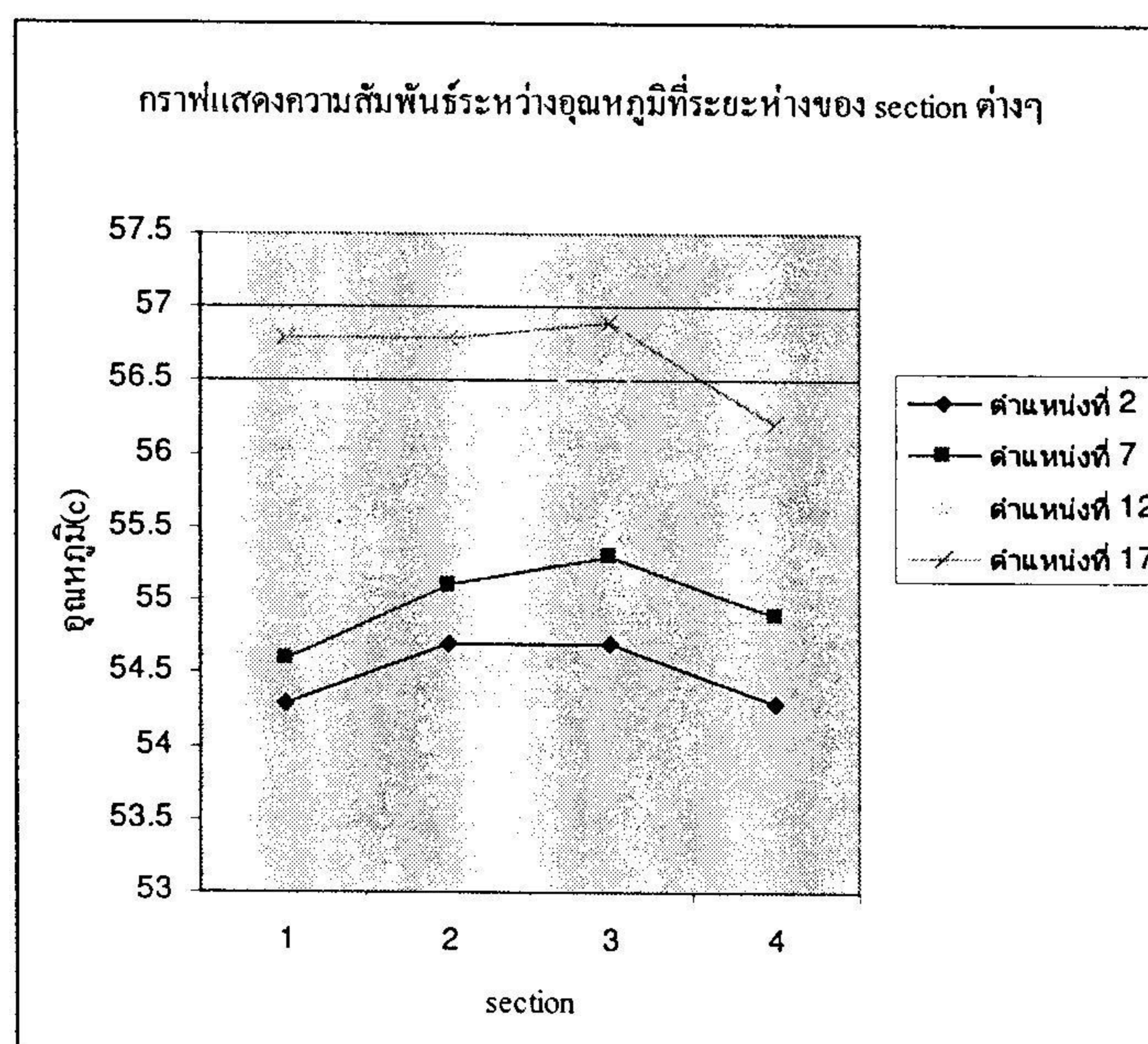
ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 8

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	53.9	54.3	54.7	55.0	55.0	54.3	54.6	54.8	54.9	55.0
2	54.4	54.7	54.8	55.1	55.1	54.9	55.1	55.3	55.3	55.4
3	54.4	54.7	54.7	55.0	55.1	55.0	55.3	55.4	55.4	55.5
4	54.1	54.3	54.3	54.5	54.6	54.7	54.9	55.1	54.9	55.0

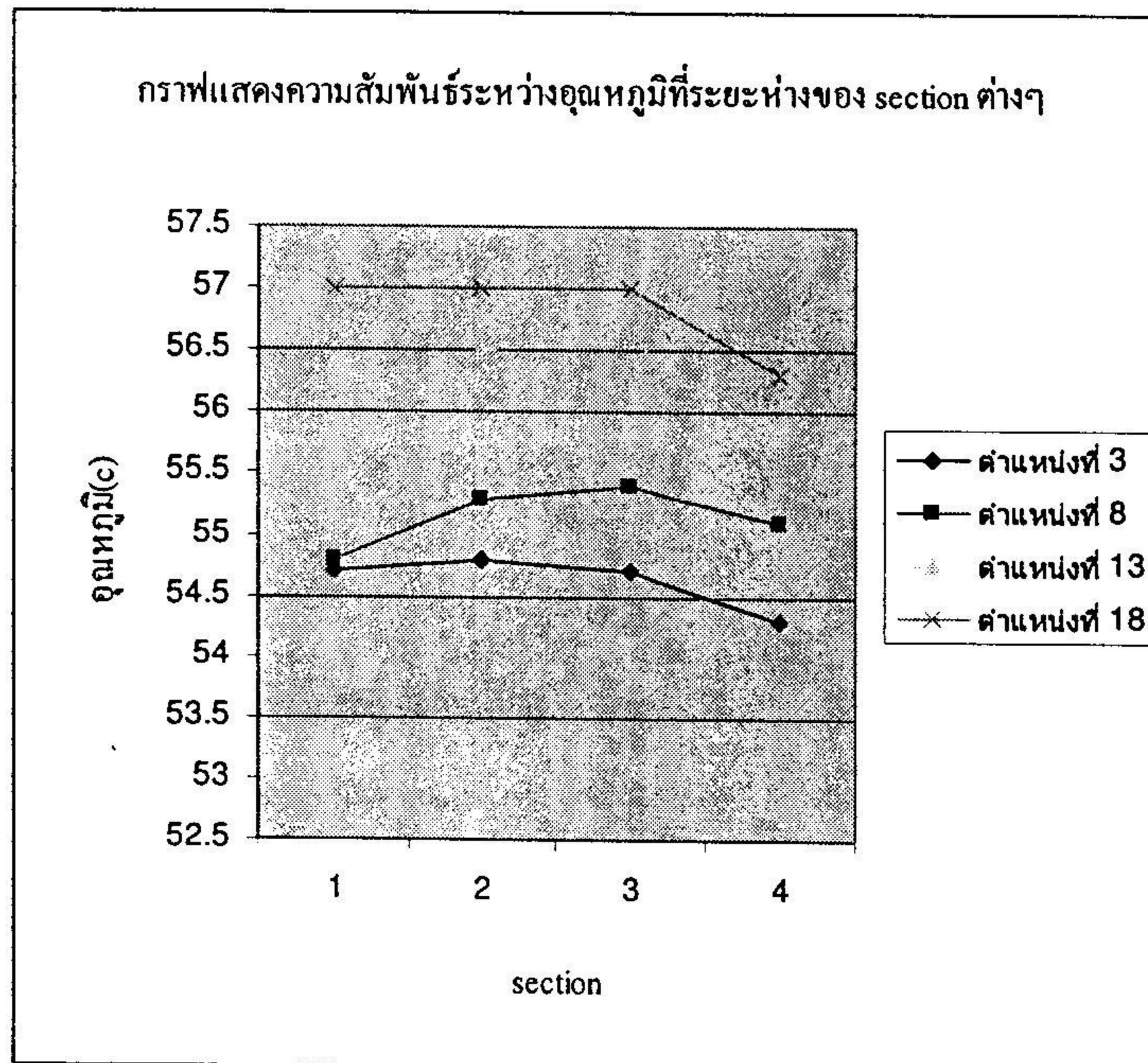
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	55.8	56.2	56.4	56.5	56.5	56.6	56.8	57.0	56.9	56.9
2	56.2	56.3	56.5	56.7	56.8	56.6	56.8	57.0	56.9	57.1
3	56.5	56.6	56.6	56.8	56.8	56.7	56.9	57.0	57.0	57.1
4	55.7	55.8	55.8	56.0	56.0	55.9	56.2	56.3	56.1	56.2



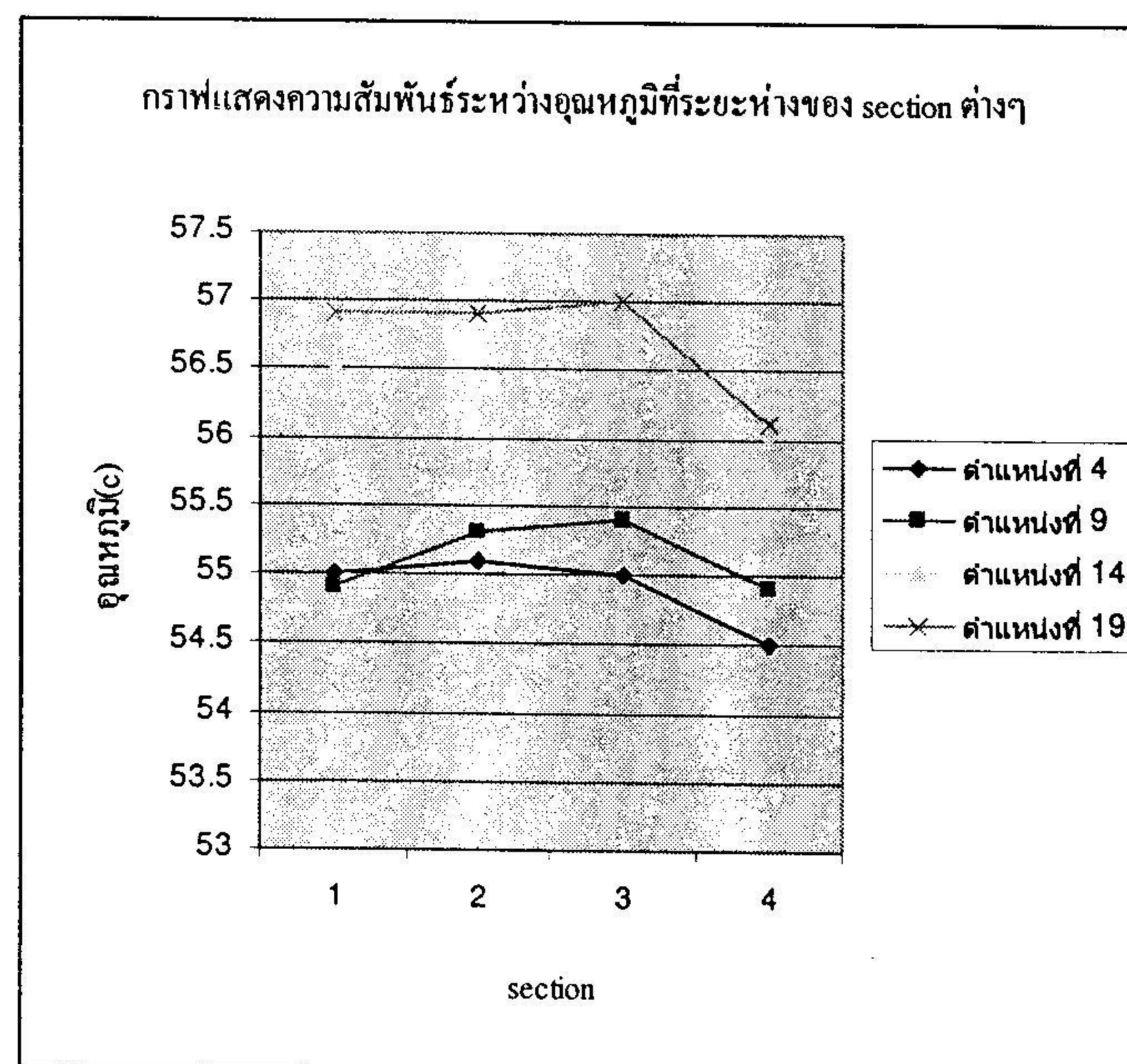
รูปที่ ก-11 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



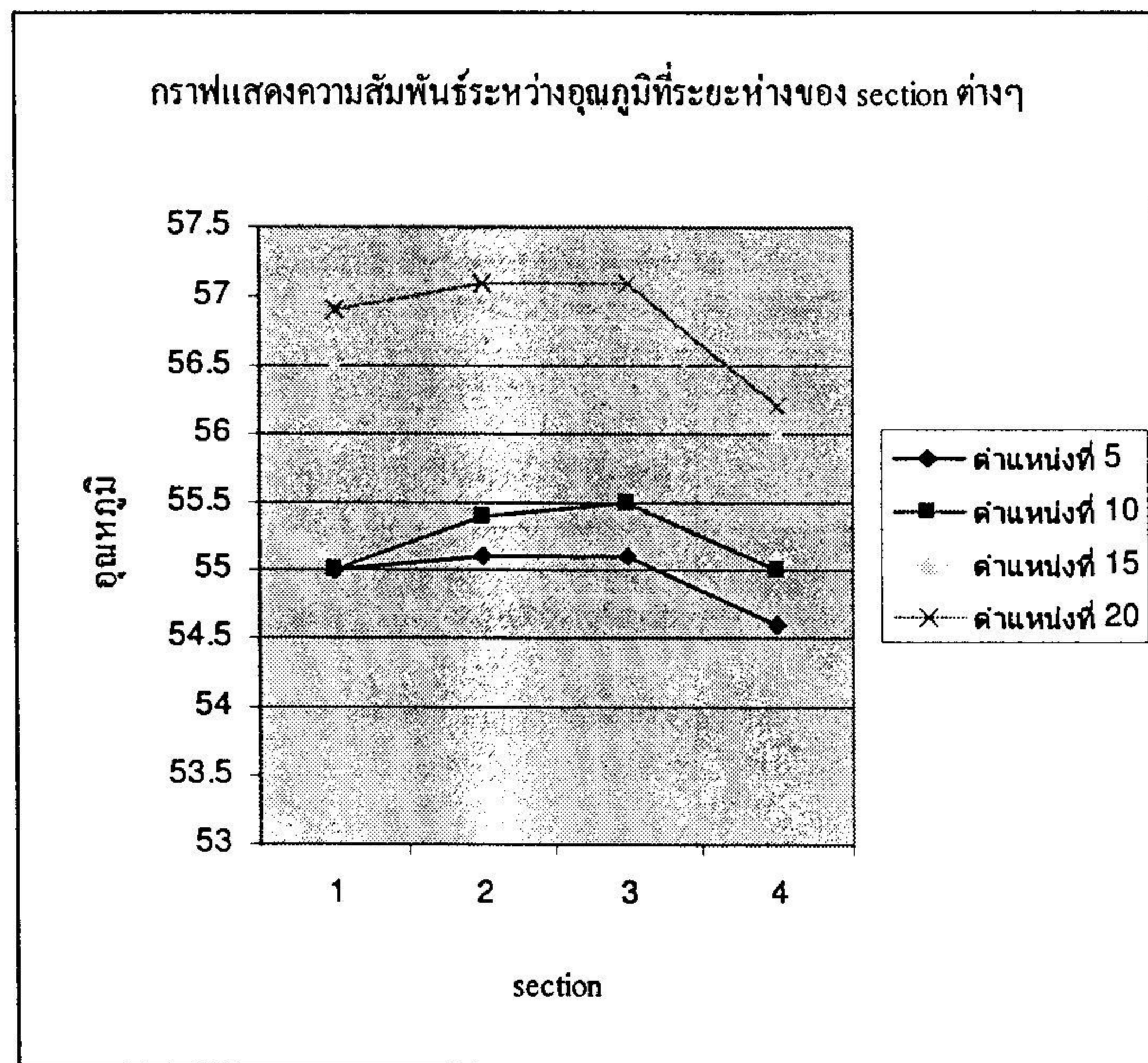
รูปที่ ก-12 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-13 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-14 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

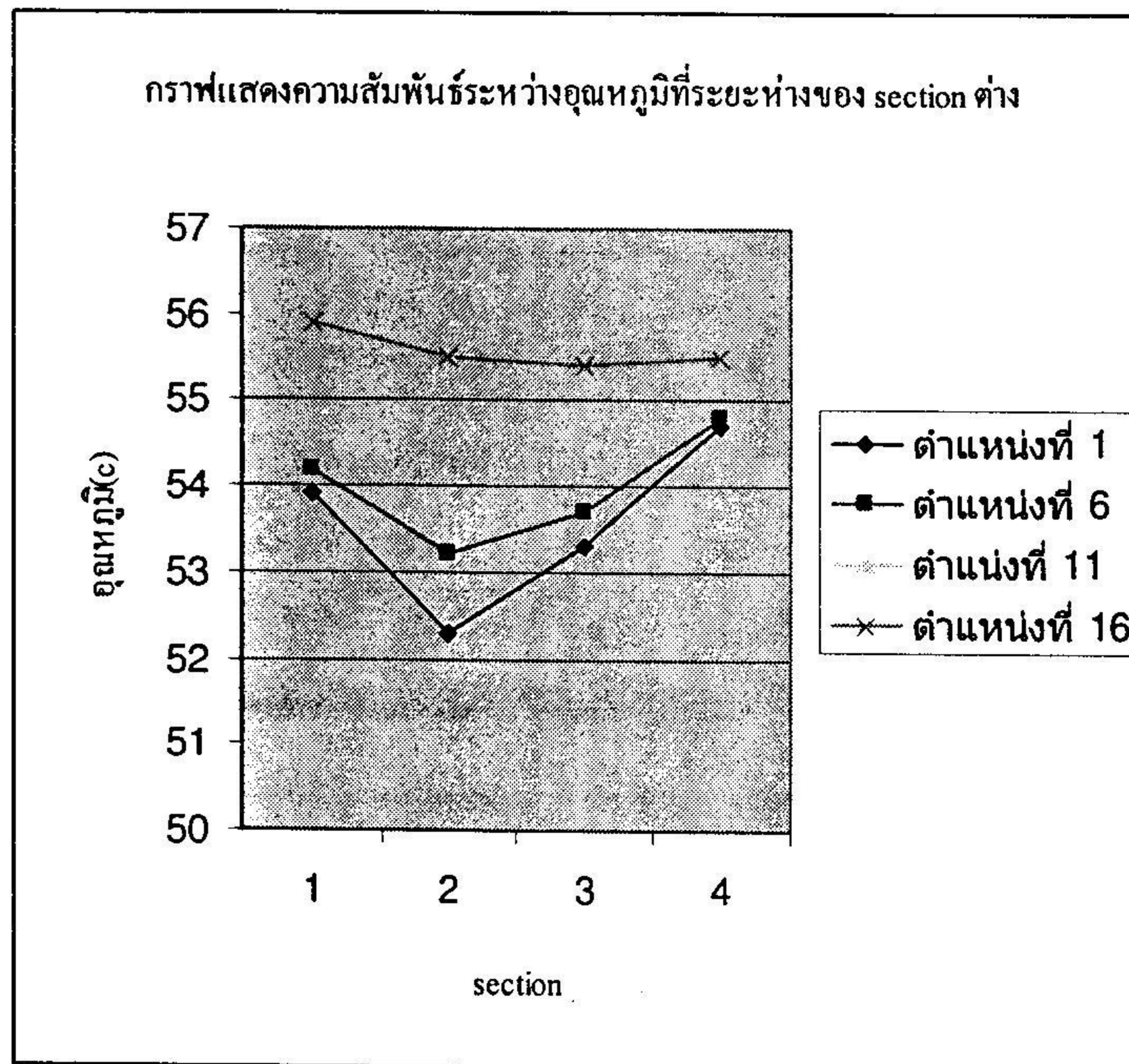


รูปที่ ก-15 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

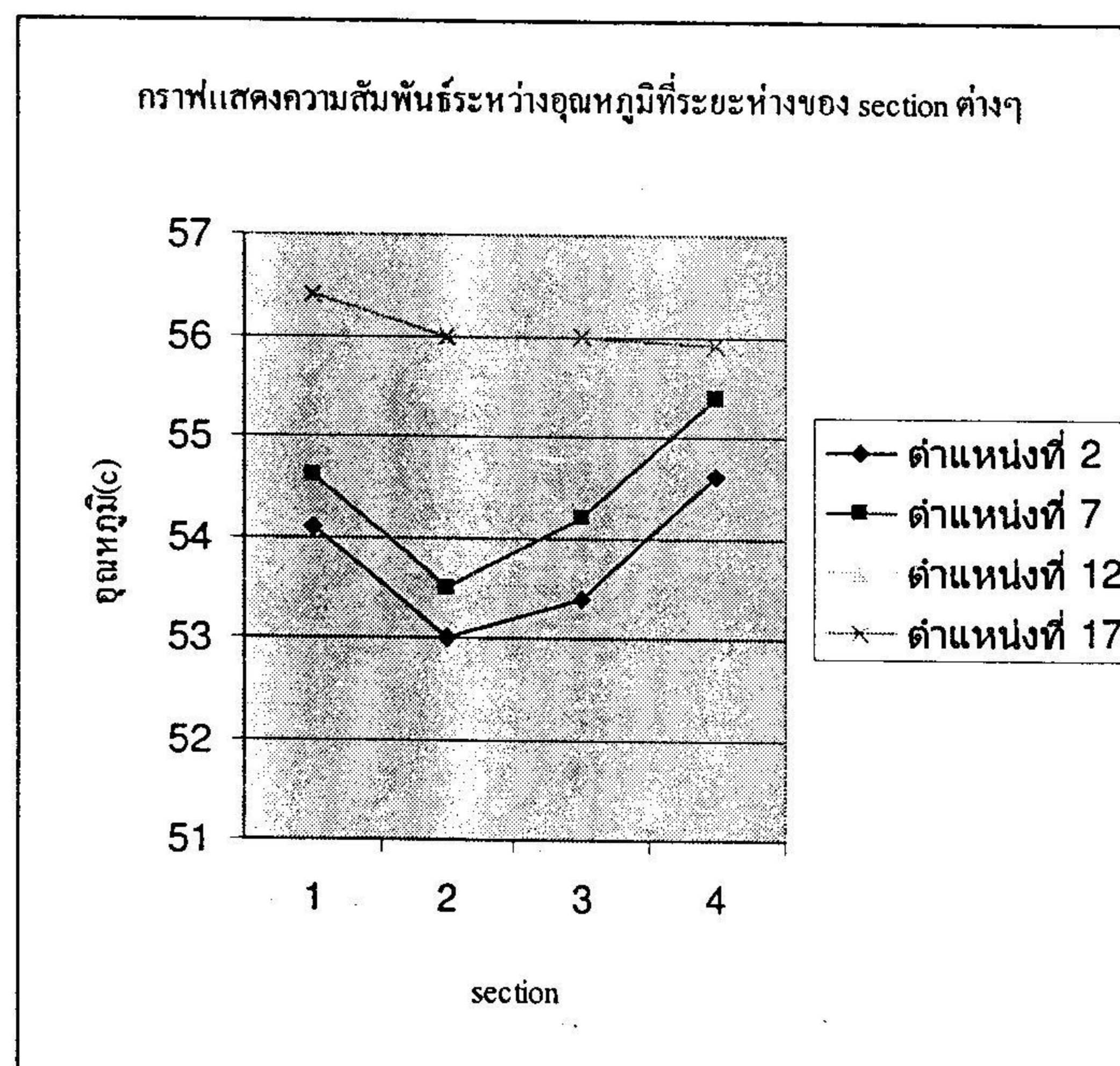
ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 7

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	53.9	54.1	54.6	54.4	54.8	54.2	54.6	54.7	54.9	54.8
2	52.3	53.0	53.5	53.7	53.8	53.2	53.5	54.0	53.9	54.0
3	53.3	53.4	54.0	53.7	54.0	53.7	54.2	54.3	54.4	53.9
4	54.7	54.6	55.1	54.9	55.2	54.8	55.4	55.5	55.6	55.2

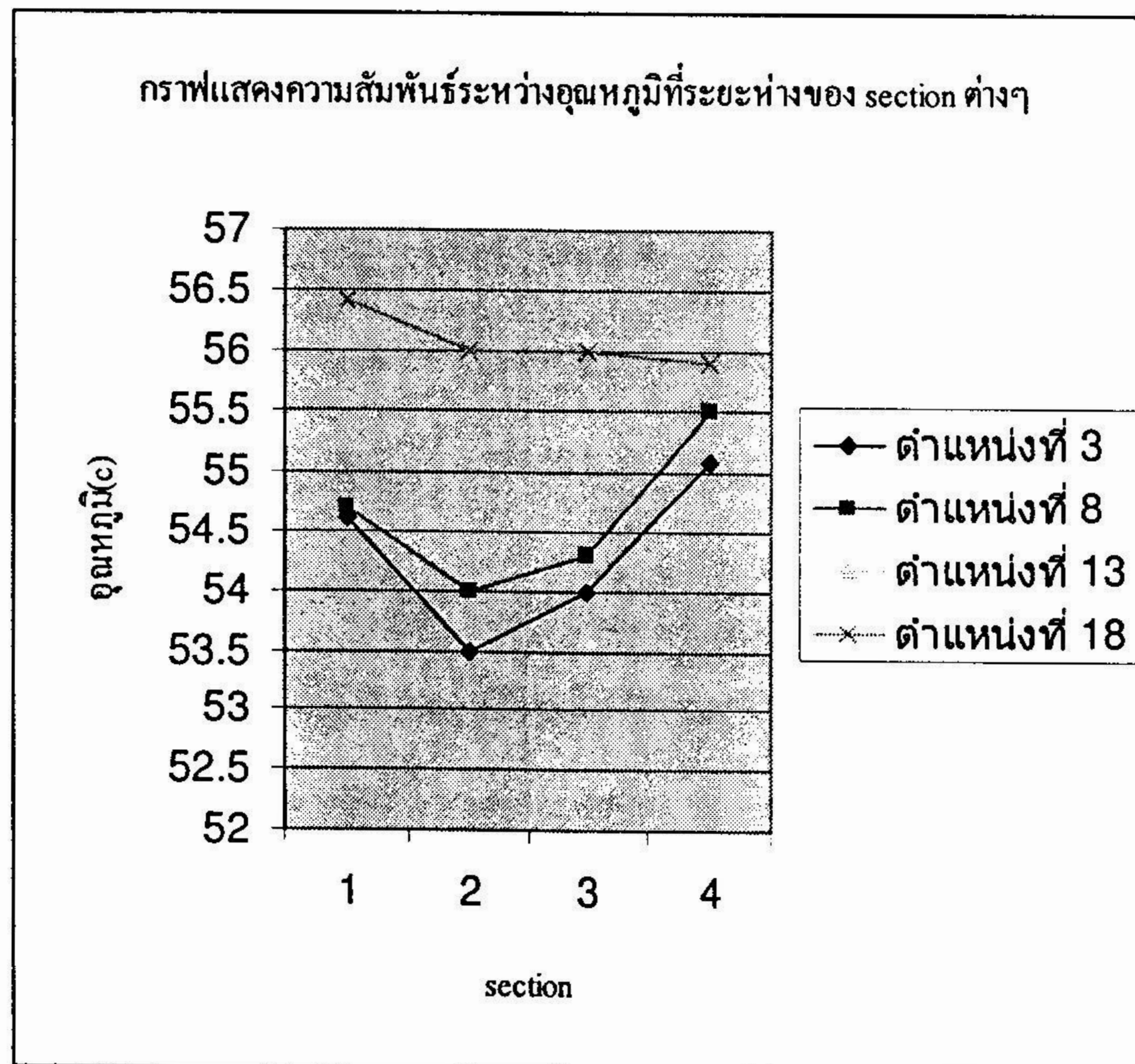
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	55.7	55.7	56.3	56.0	56.3	55.9	56.4	56.4	56.6	56.4
2	55.5	55.5	56.0	55.8	56.1	55.5	56.0	56.0	56.3	56.1
3	55.7	55.6	56.1	55.8	56.0	55.4	56.0	56.0	56.2	55.9
4	55.8	55.7	56.1	55.8	56.0	55.5	55.9	55.9	56.1	55.7



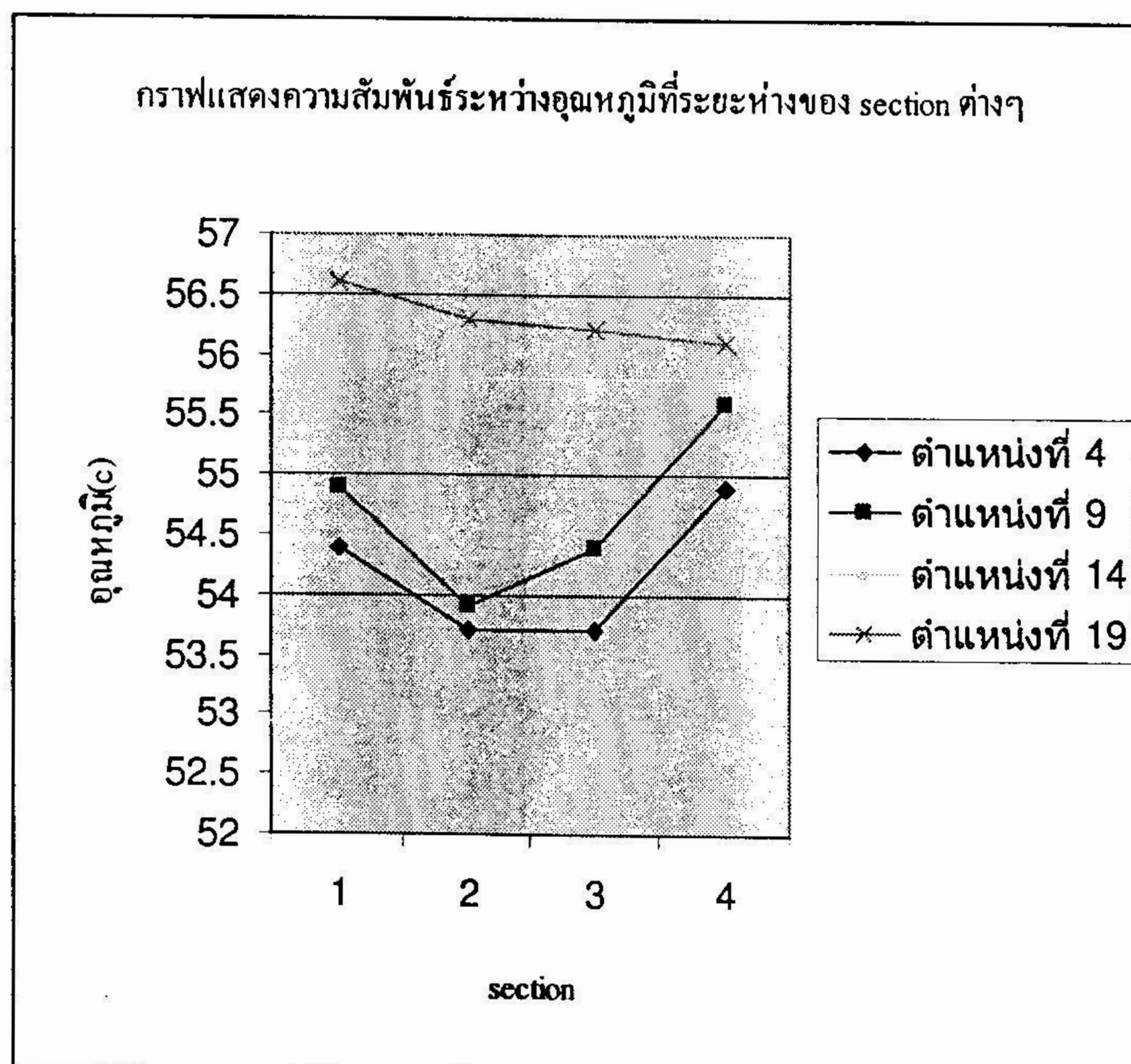
รูปที่ ก-16 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



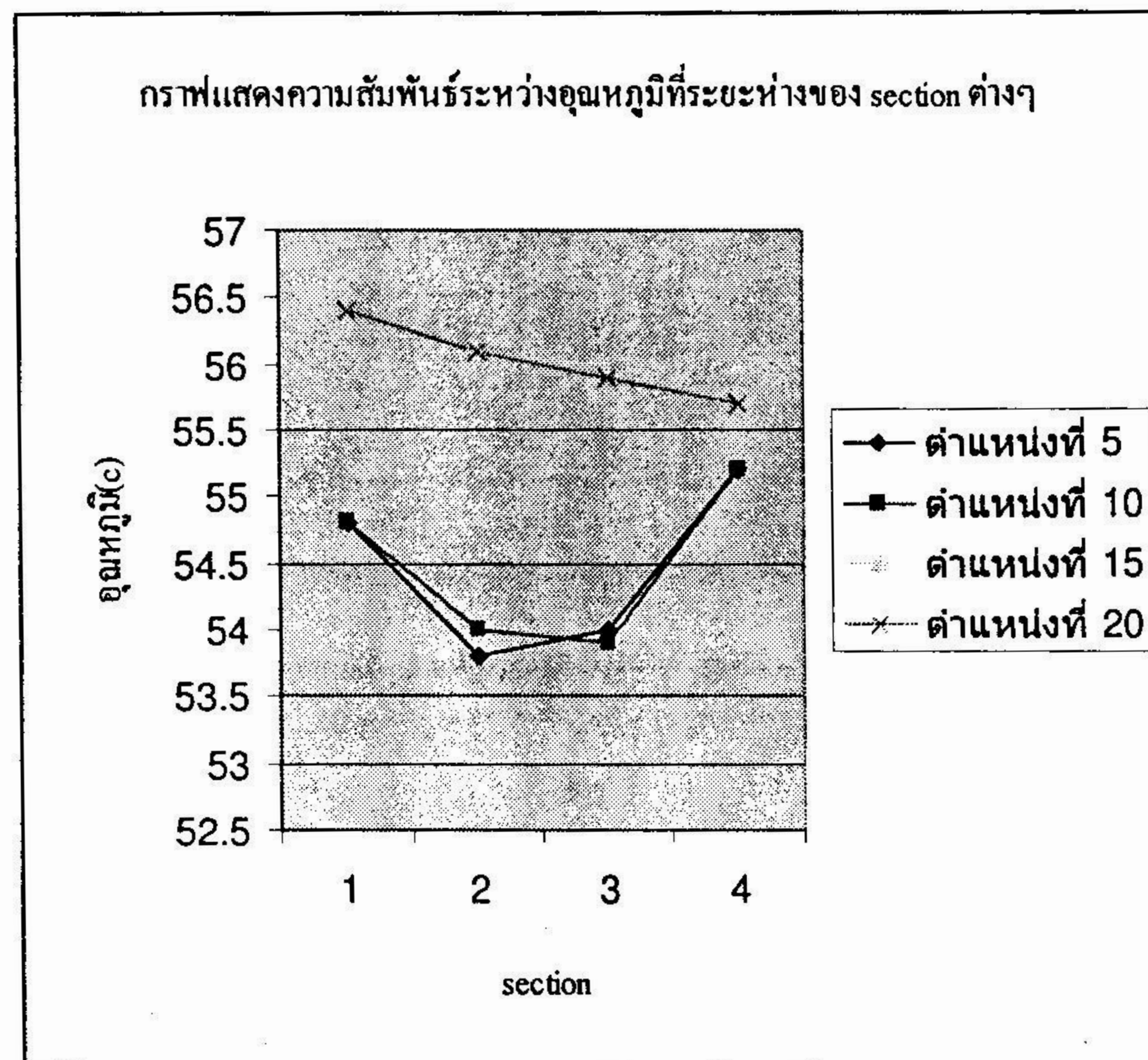
รูปที่ ก-17 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-18 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-19 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

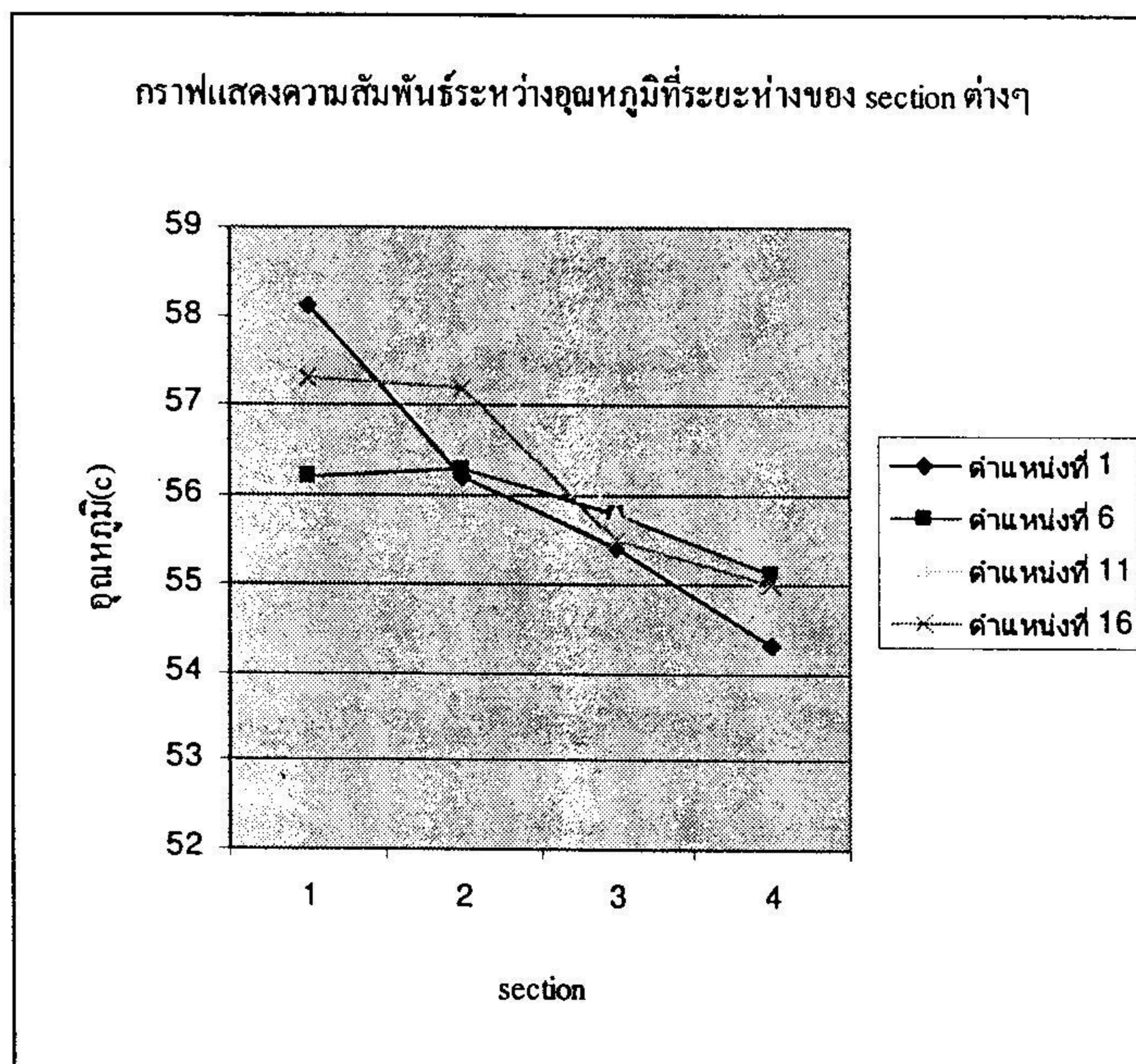


รูปที่ ก-20 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

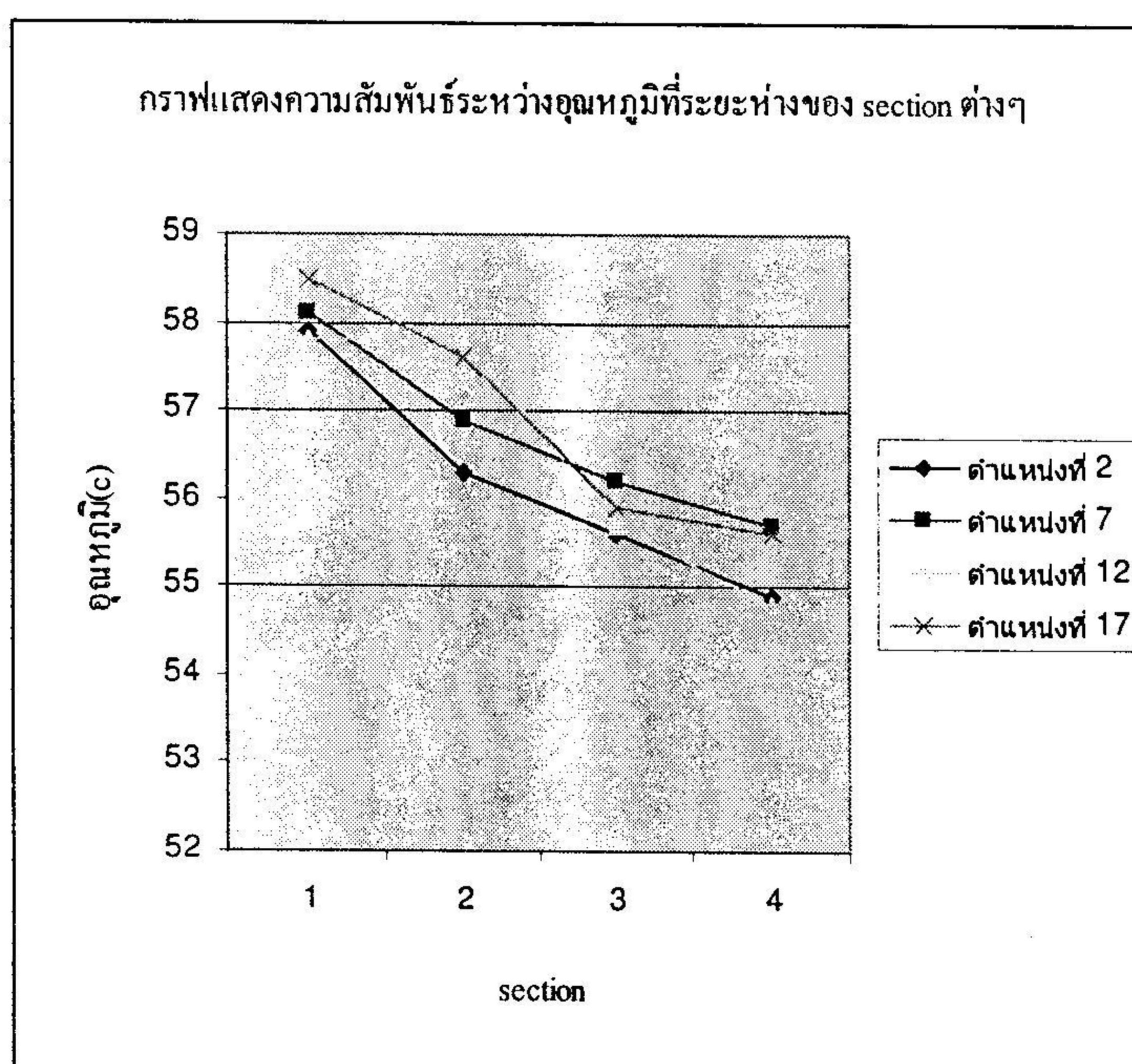
ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 6

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	58.1	57.9	58.5	58.1	58.5	56.2	58.1	57.9	58.1	58.1
2	56.2	56.3	56.8	56.7	56.9	56.3	56.9	57.0	57.2	57.0
3	55.4	55.6	56.2	56.2	56.4	55.8	56.2	56.5	56.6	56.3
4	54.3	54.9	55.7	55.9	56.0	55.1	55.7	56.3	56.2	56.1

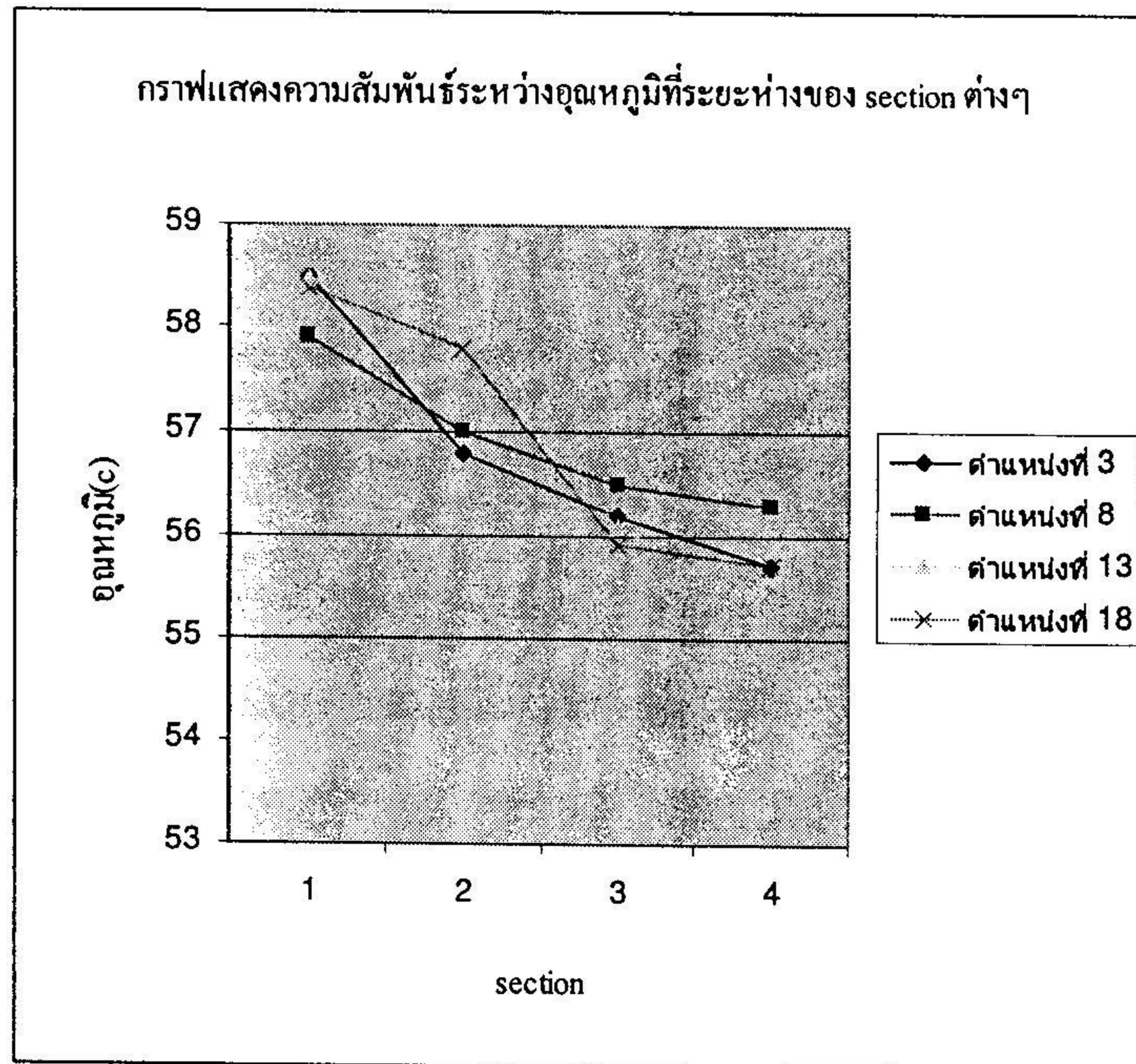
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	58.4	57.8	58.5	58.4	58.1	57.3	58.5	58.4	58.7	58.7
2	57.7	57.8	58.2	58.0	58.2	57.2	57.6	57.8	57.8	57.8
3	55.8	55.7	56.1	55.7	56.0	55.5	55.9	55.9	56.0	55.6
4	54.9	54.8	55.3	55.1	55.4	55.0	55.6	55.7	55.8	55.4



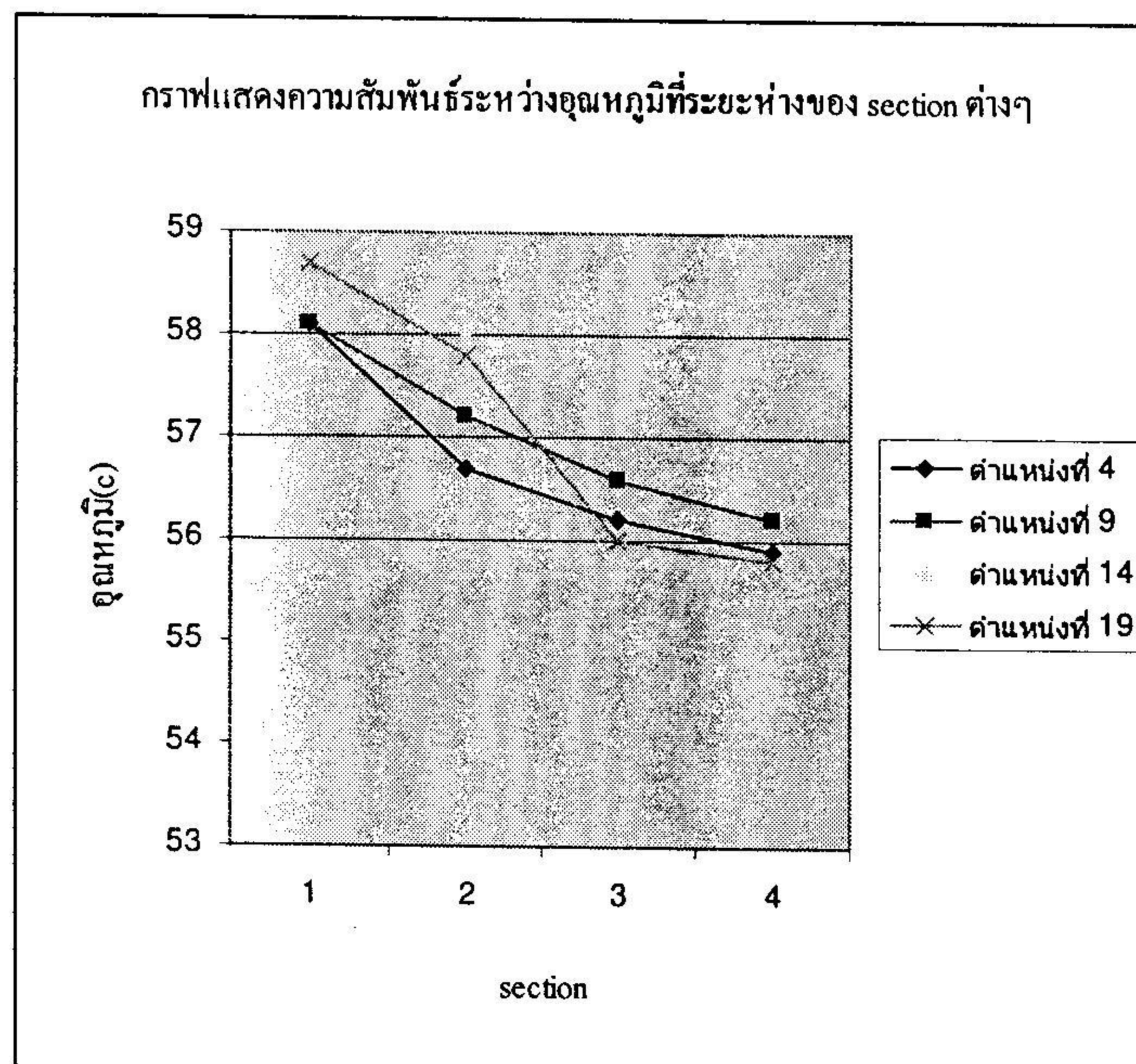
รูปที่ ก-21 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



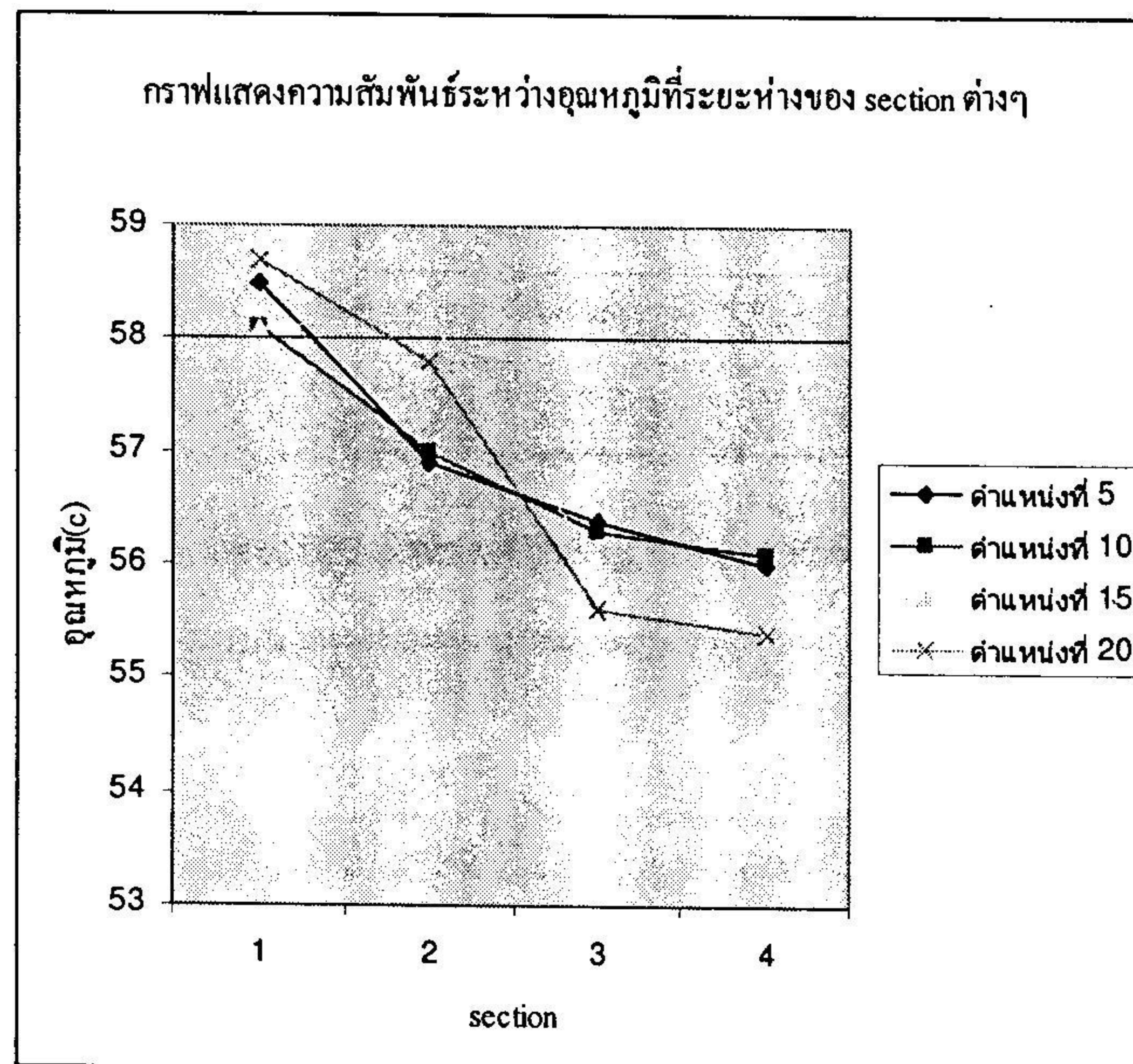
รูปที่ ก-22 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-23 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-24 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

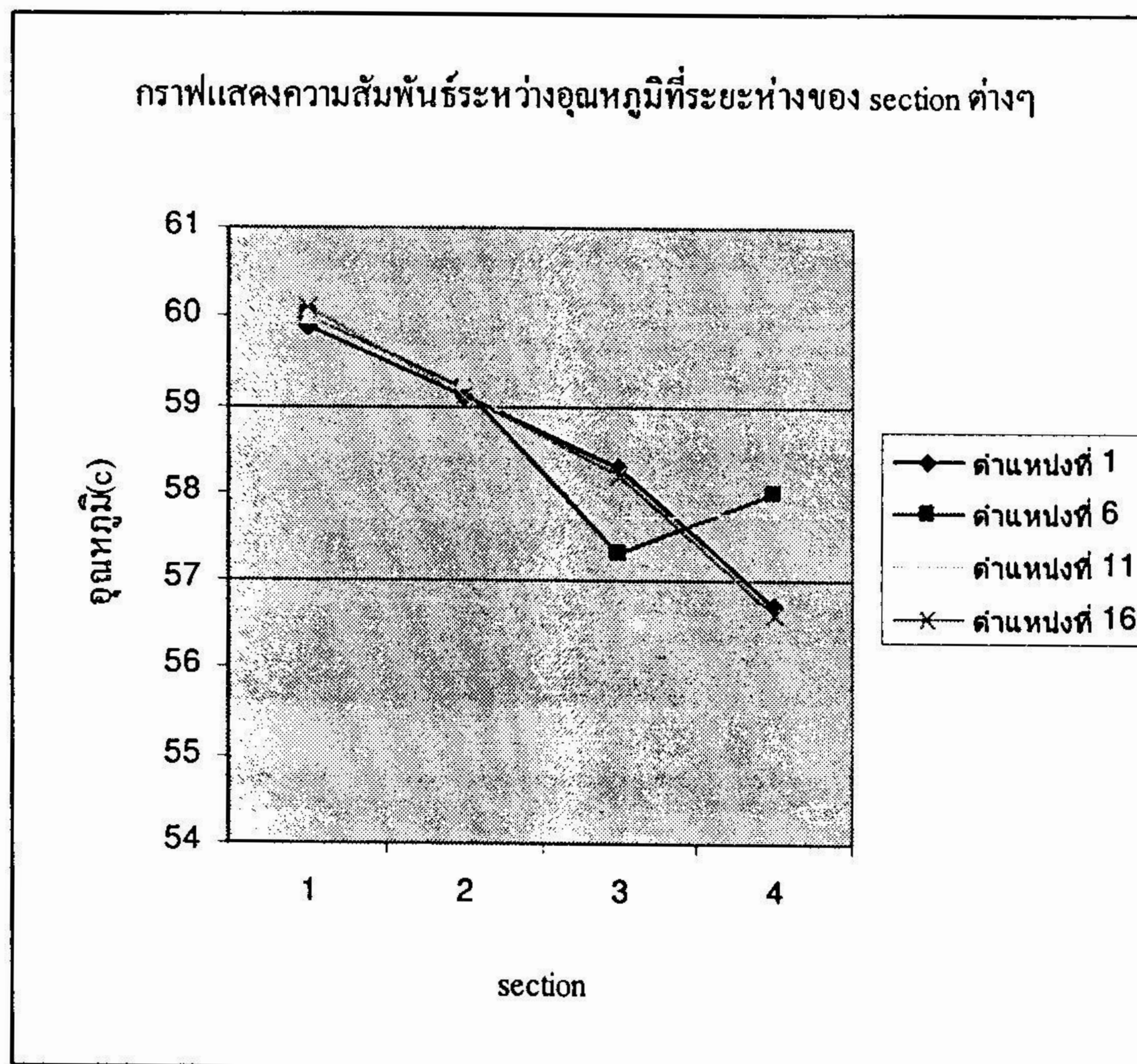


รูปที่ ก-25 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

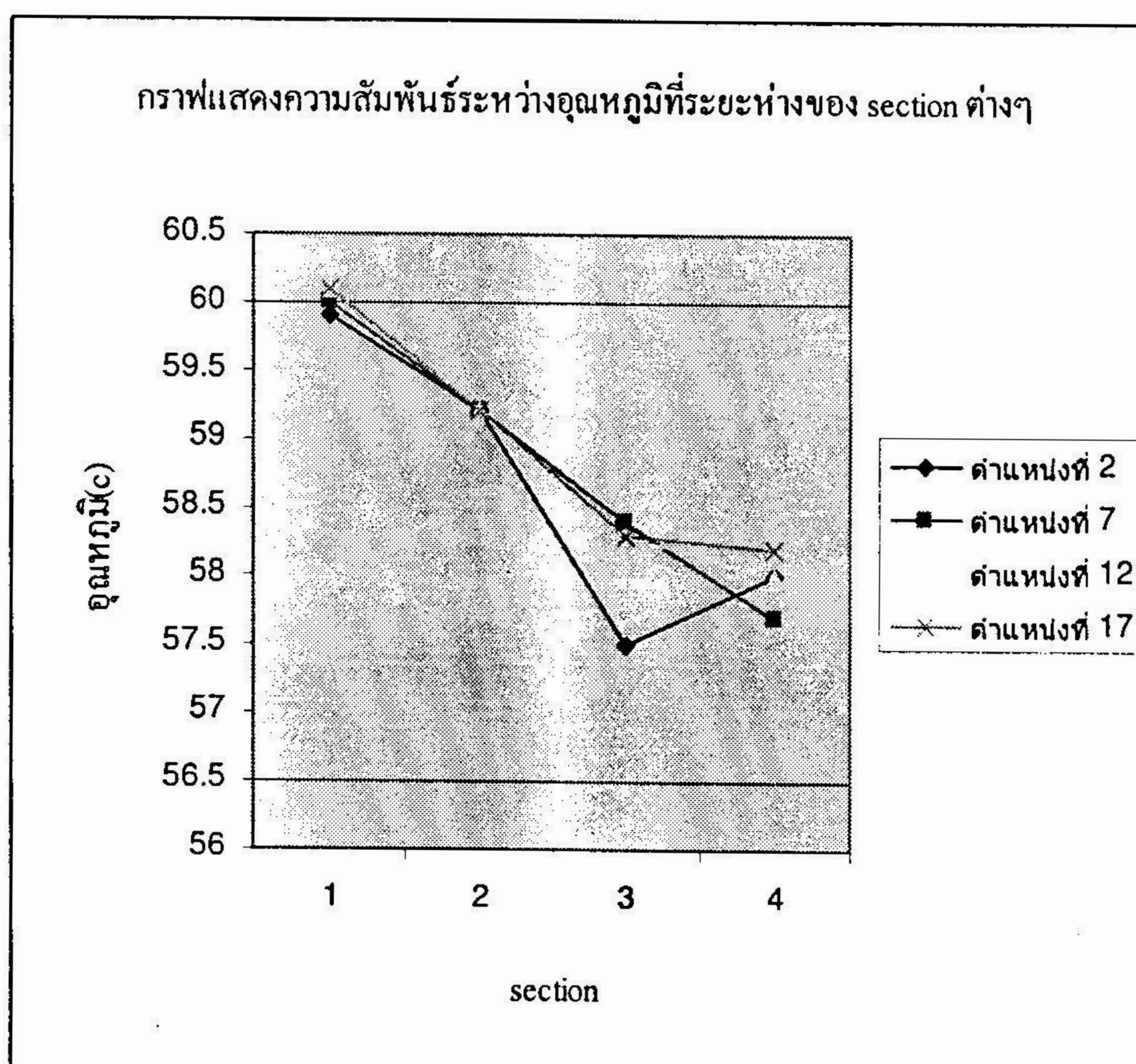
ตารางที่ ก-6 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 5

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	59.9	59.9	60.1	60.0	60.1	60.0	60.0	60.0	60.1	60.1
2	59.1	59.2	59.3	59.1	59.2	59.2	59.2	59.3	59.1	59.2
3	58.3	57.5	58.3	58.2	57.9	57.3	58.4	58.3	58.7	58.7
4	56.7	58.0	58.2	58.2	58.2	58.0	57.7	58.3	58.2	58.0

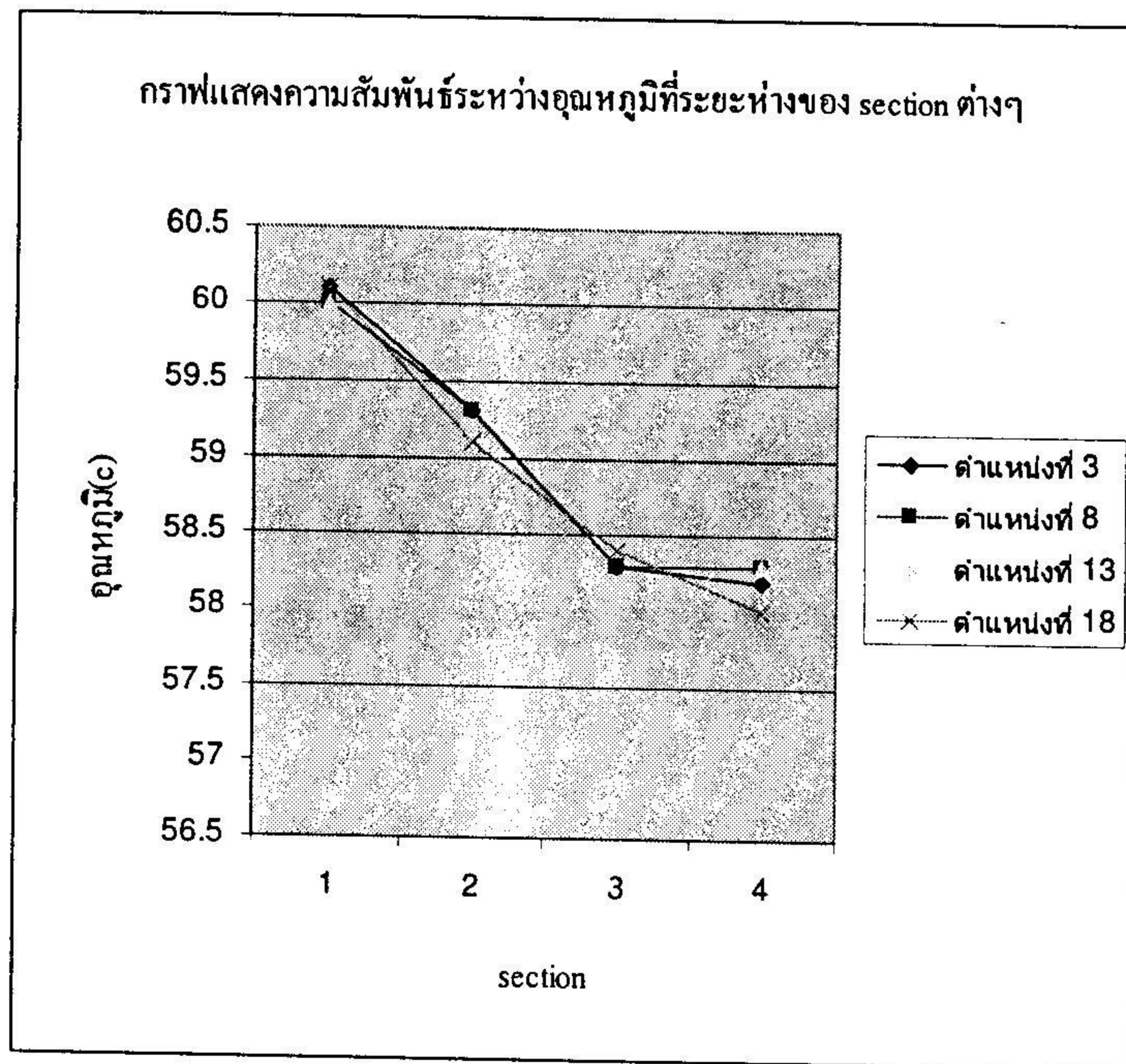
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	60.0	60.1	60.0	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1
2	59.3	59.2	59.2	59.2	59.2	59.1	59.2	59.1	59.2	59.3
3	57.7	58.3	58.1	57.5	58.4	58.2	58.3	58.4	57.9	58.3
4	57.8	58.0	58.3	58.1	58.4	56.6	58.2	58.0	58.3	57.8



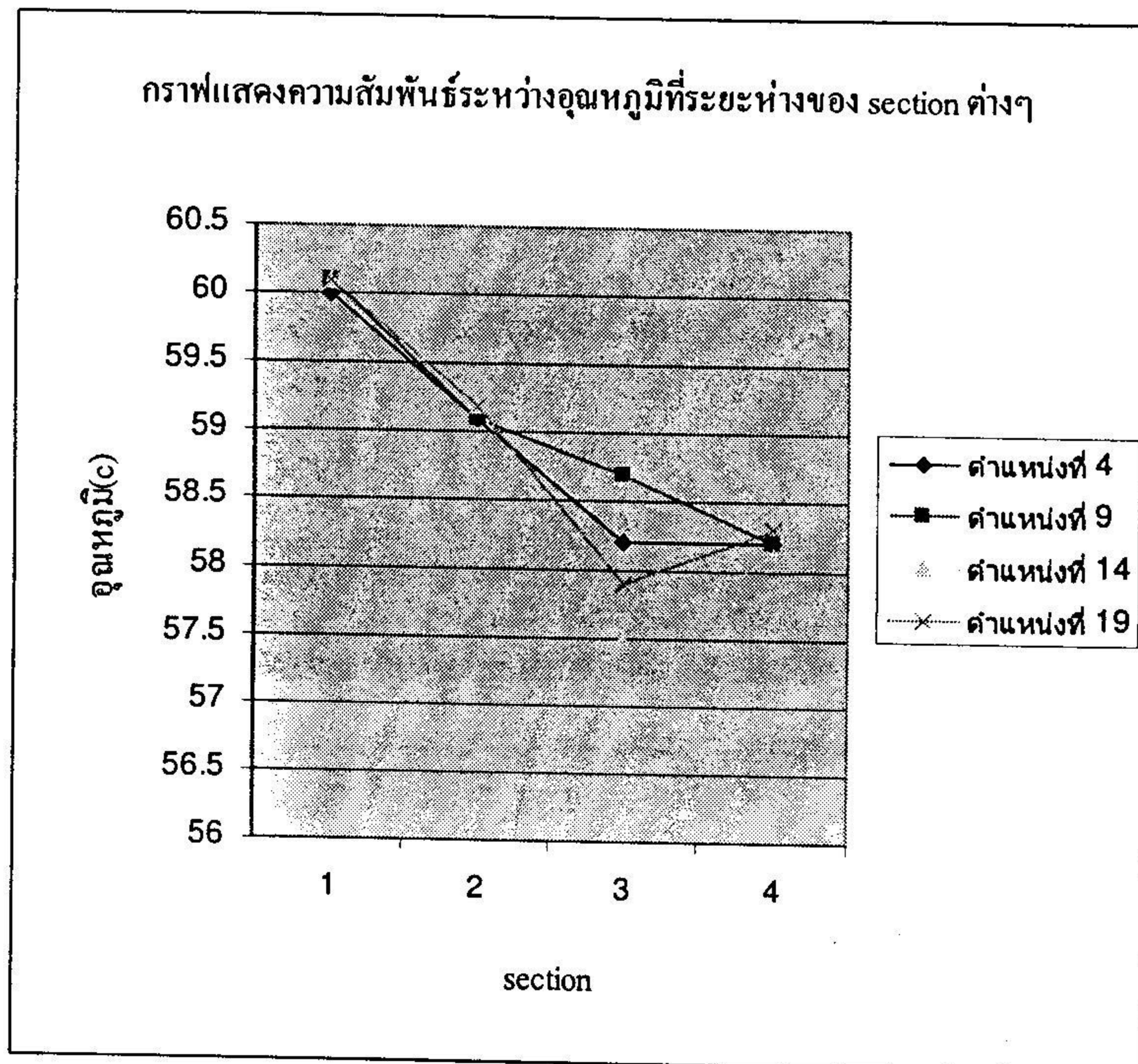
รูปที่ ก-26 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



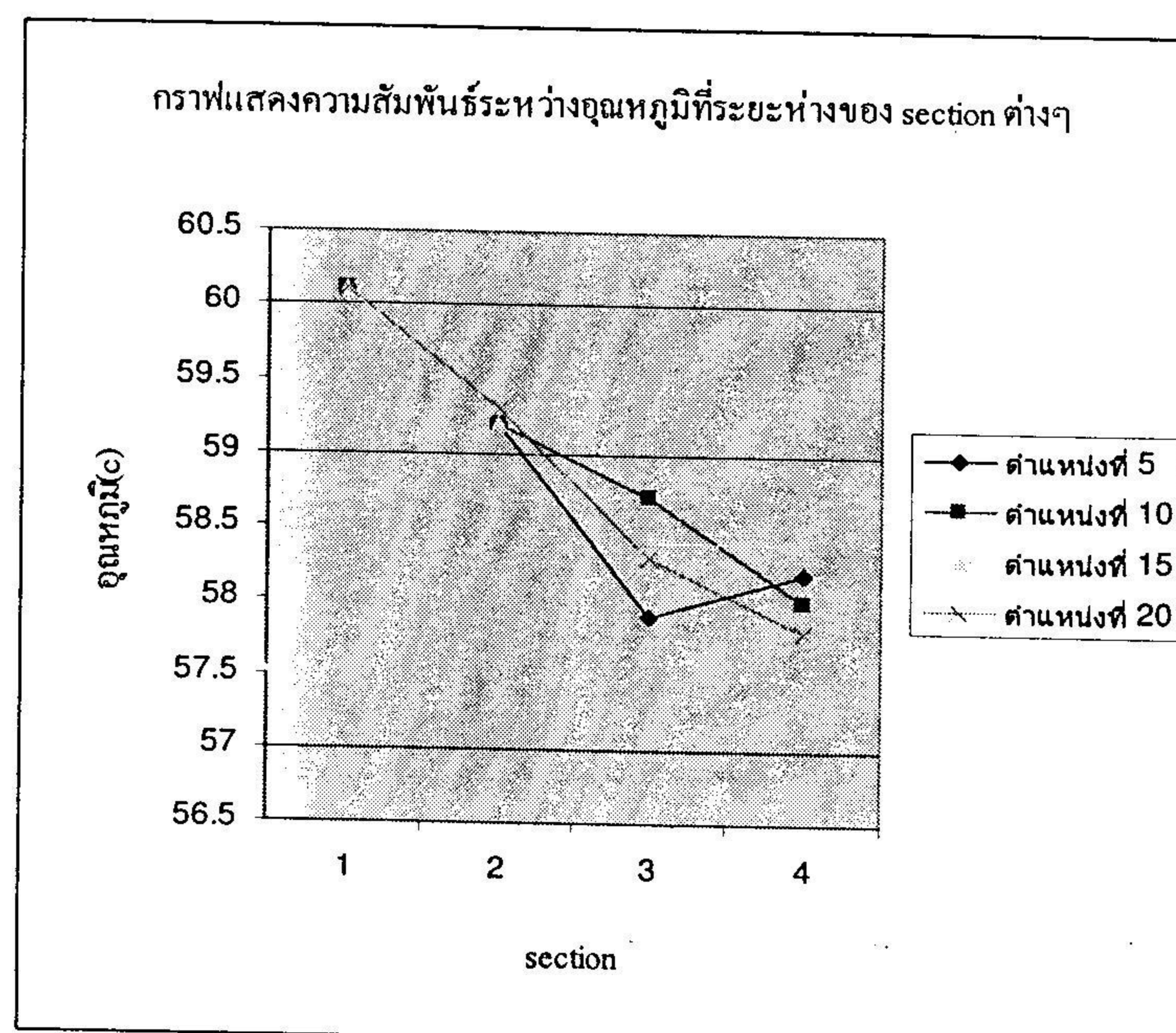
รูปที่ ก-27 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-28 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-29 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

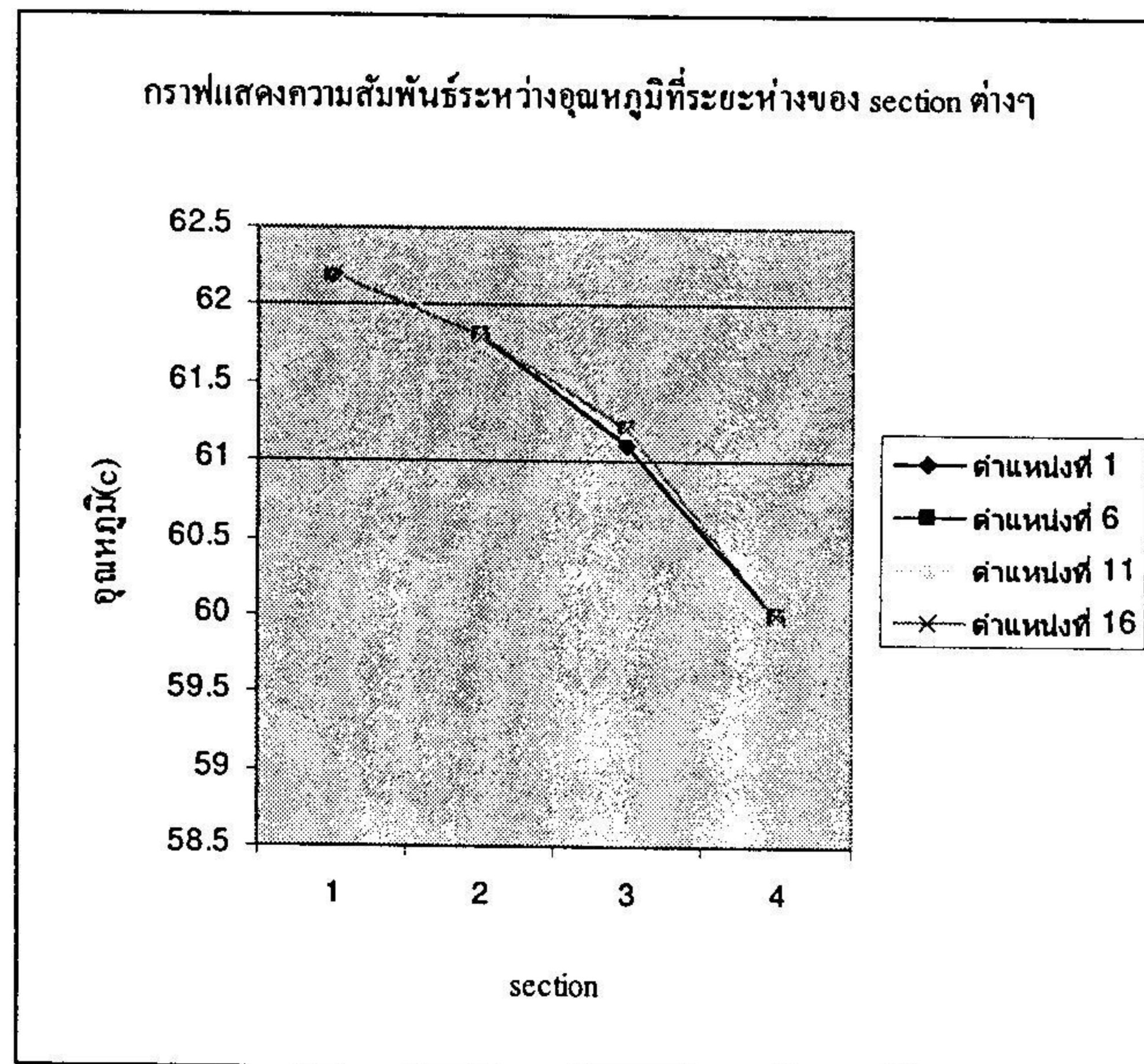


รูปที่ ก-30 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

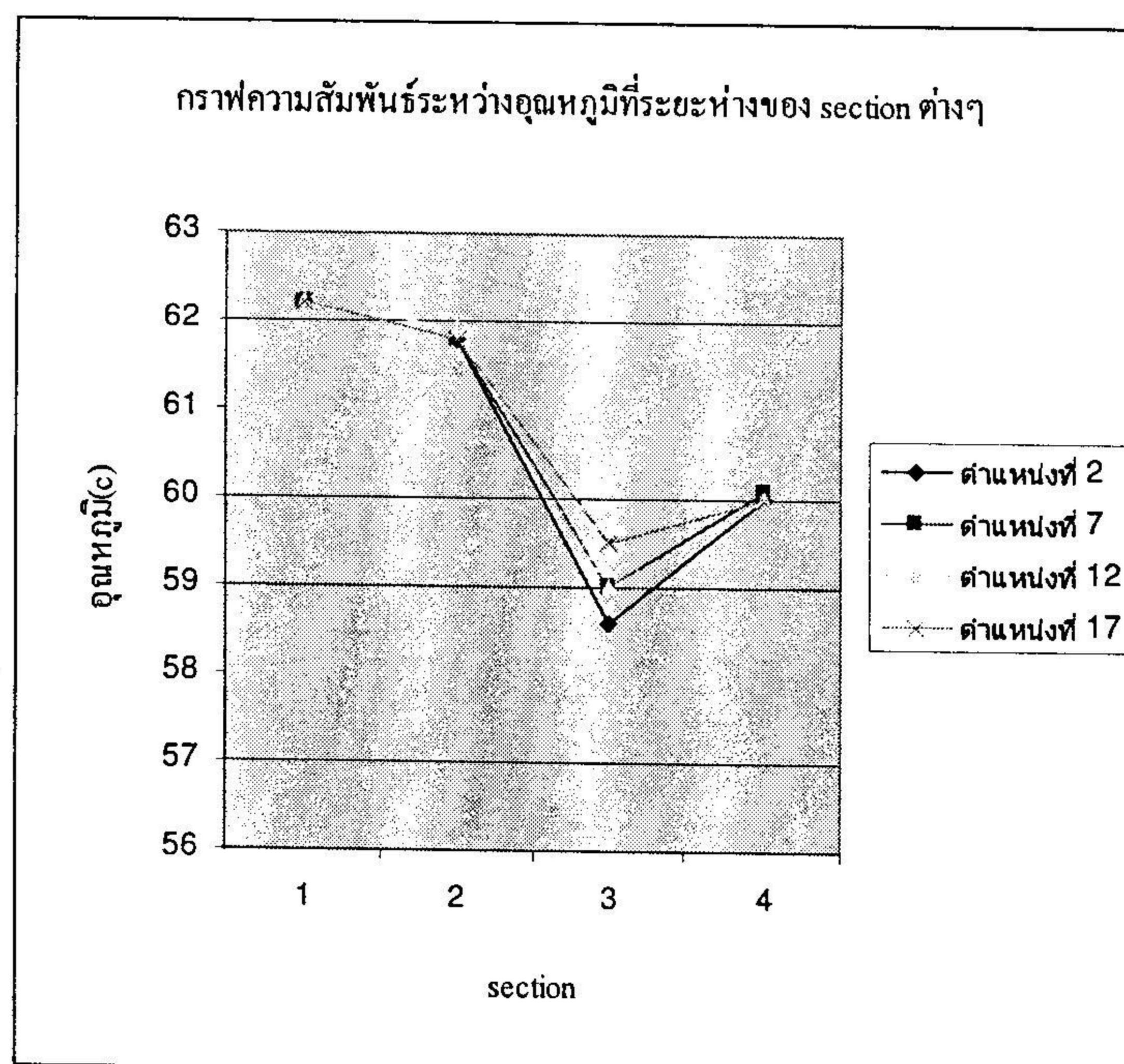
ตารางที่ ก-7 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 4

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2
2	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8
3	61.1	58.6	56.7	61.2	61.2	61.2	59.0	59.0	61.3	61.2
4	60.0	60.0	60.0	60.1	60.1	60.0	60.1	60.0	60.1	60.0

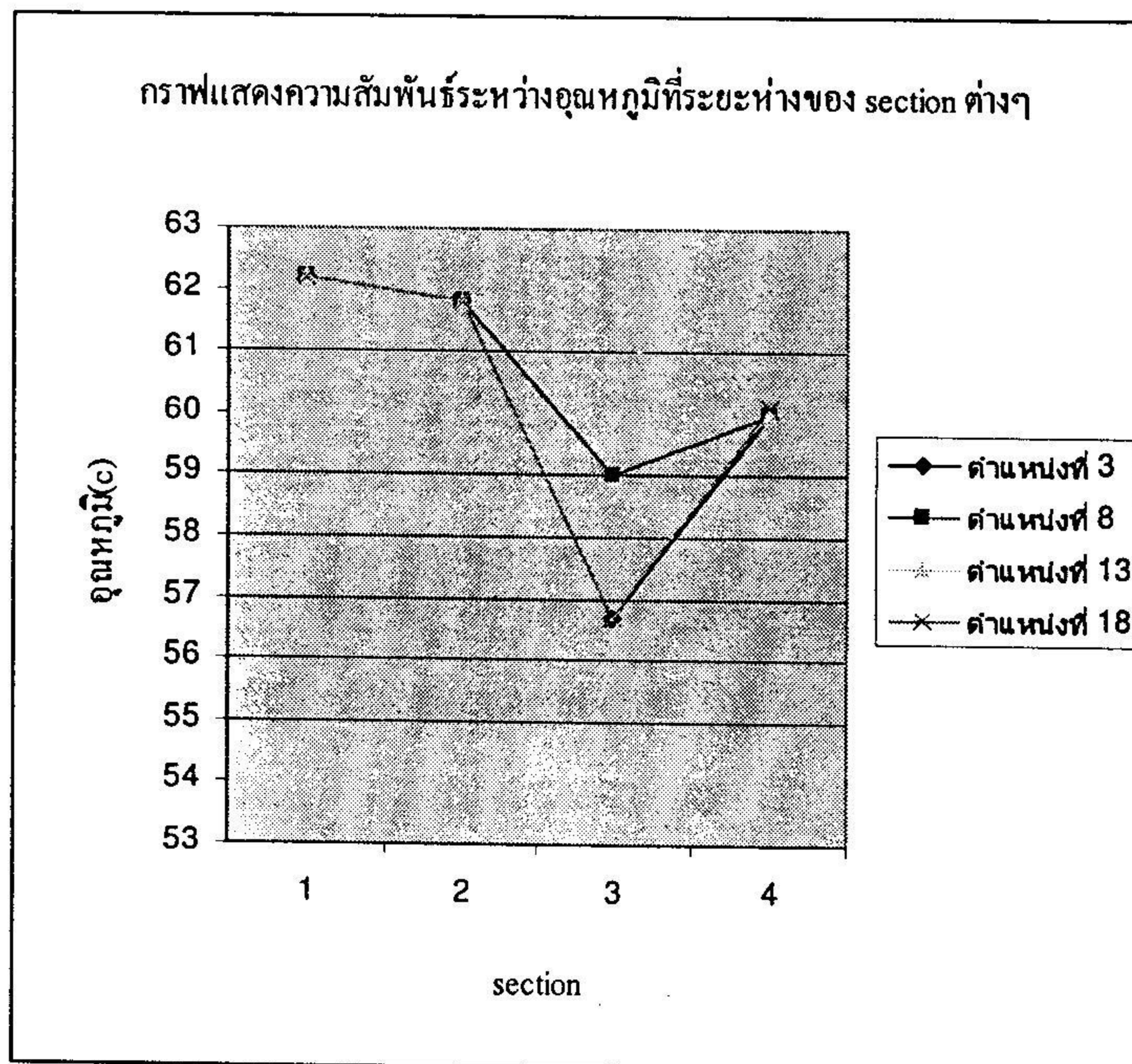
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	62.3	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.2	62.3	62.2
2	61.8	61.9	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8
3	61.2	59.0	61.2	56.7	61.2	61.2	59.5	56.7	61.2	61.2
4	60.0	60.0	60.0	60.1	60.1	60.0	60.0	60.1	60.0	60.0



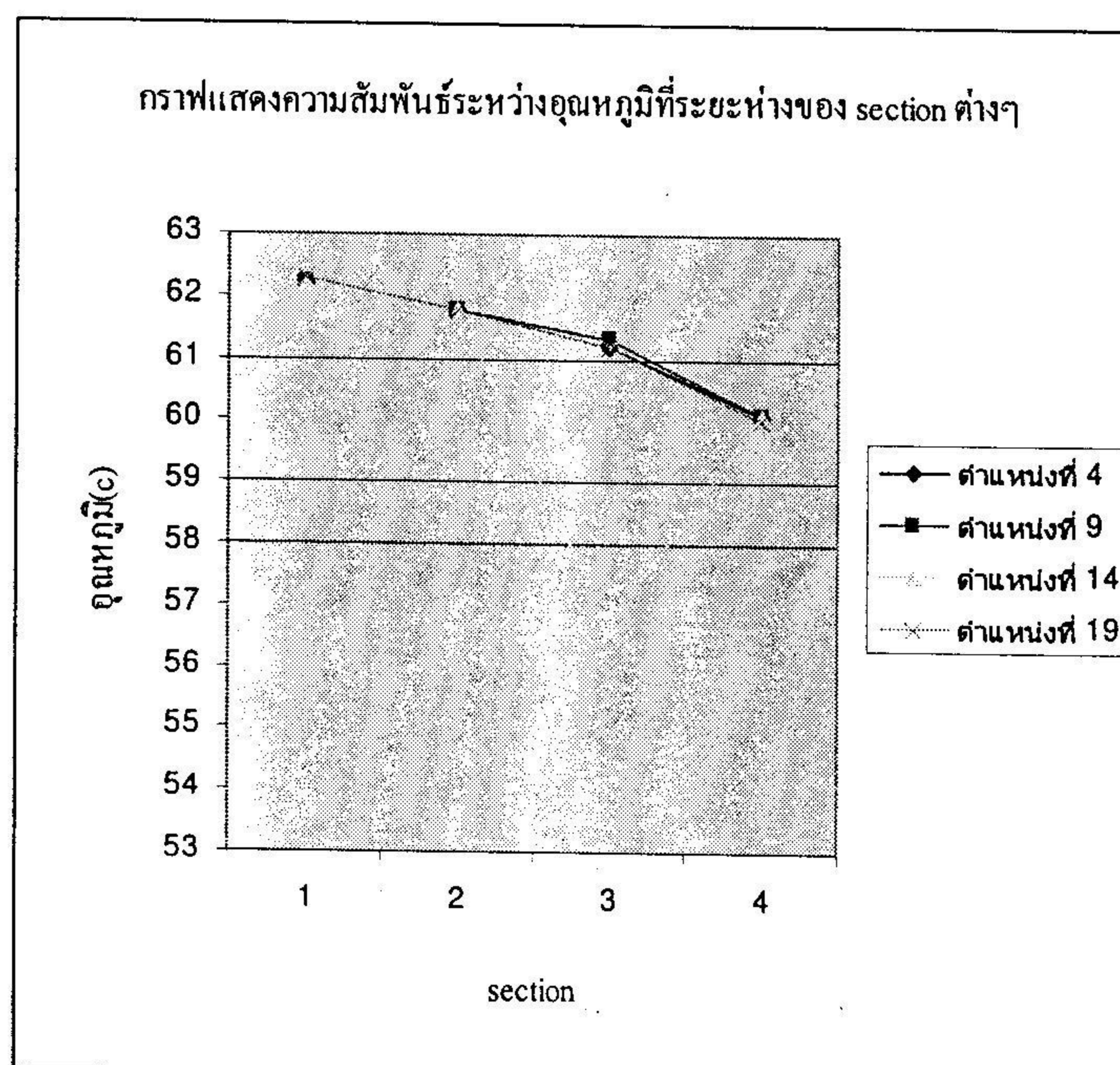
รูปที่ ก-31 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



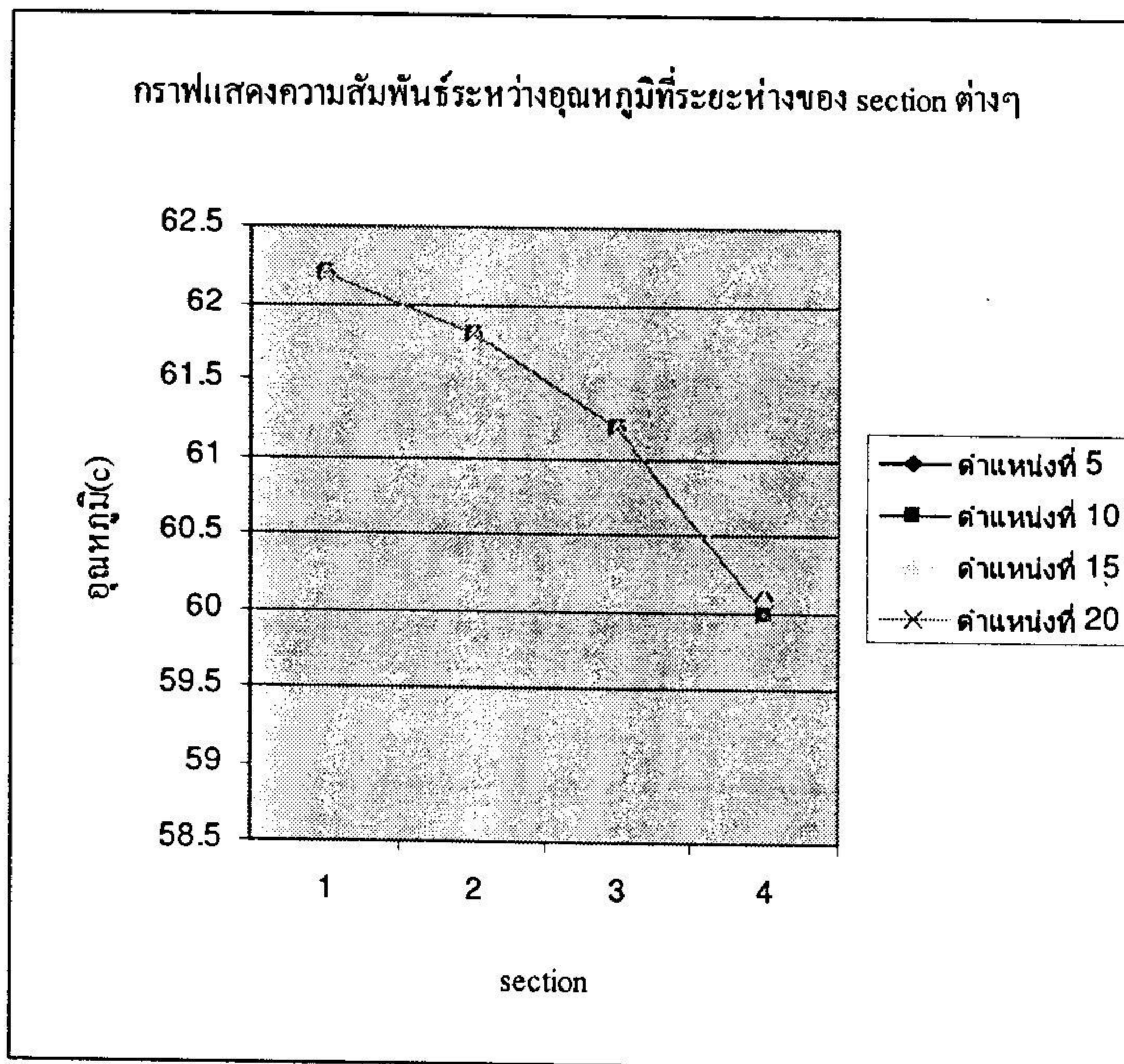
รูปที่ ก-32 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-33 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-34 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

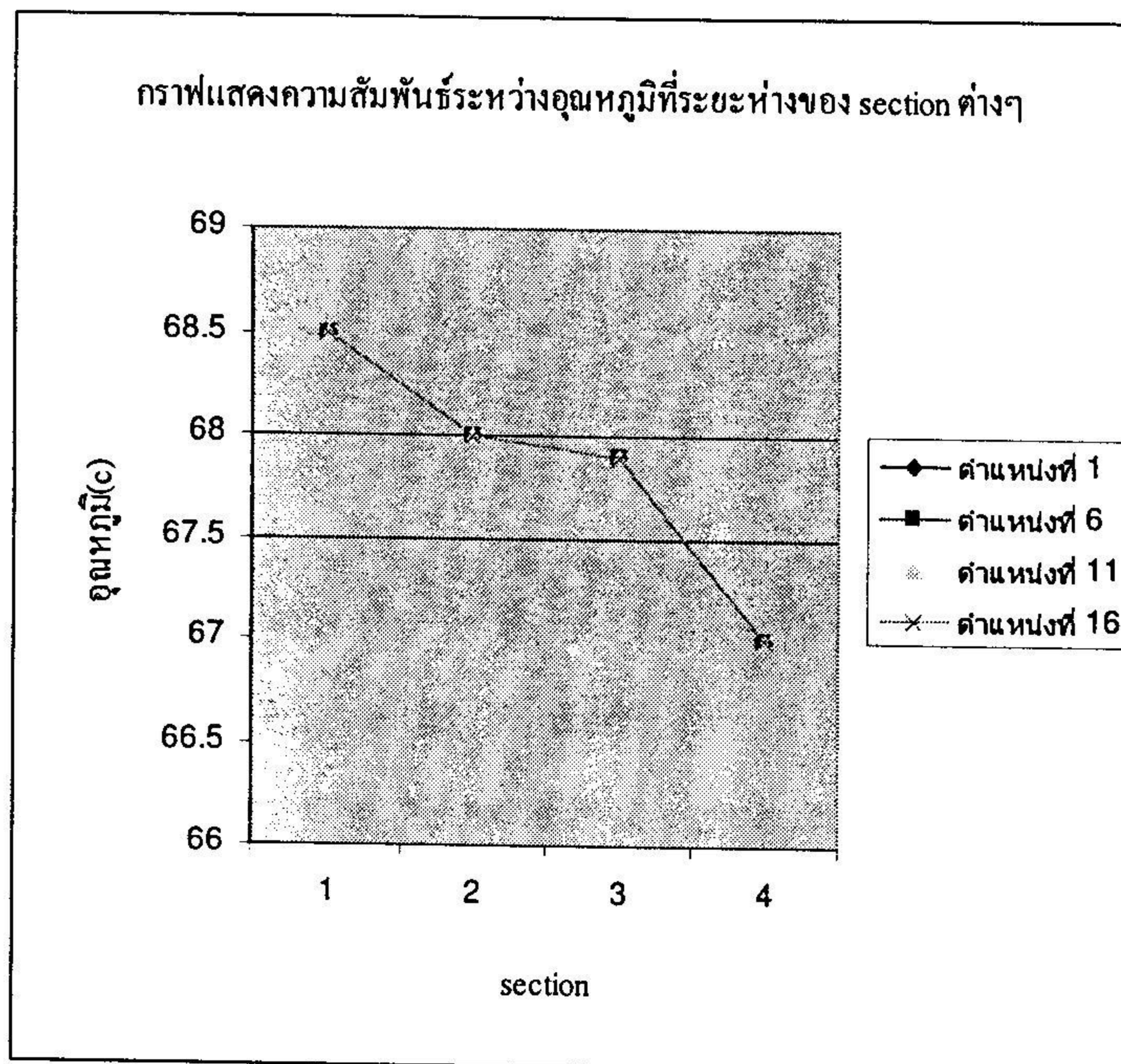


รูปที่ ก-35 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

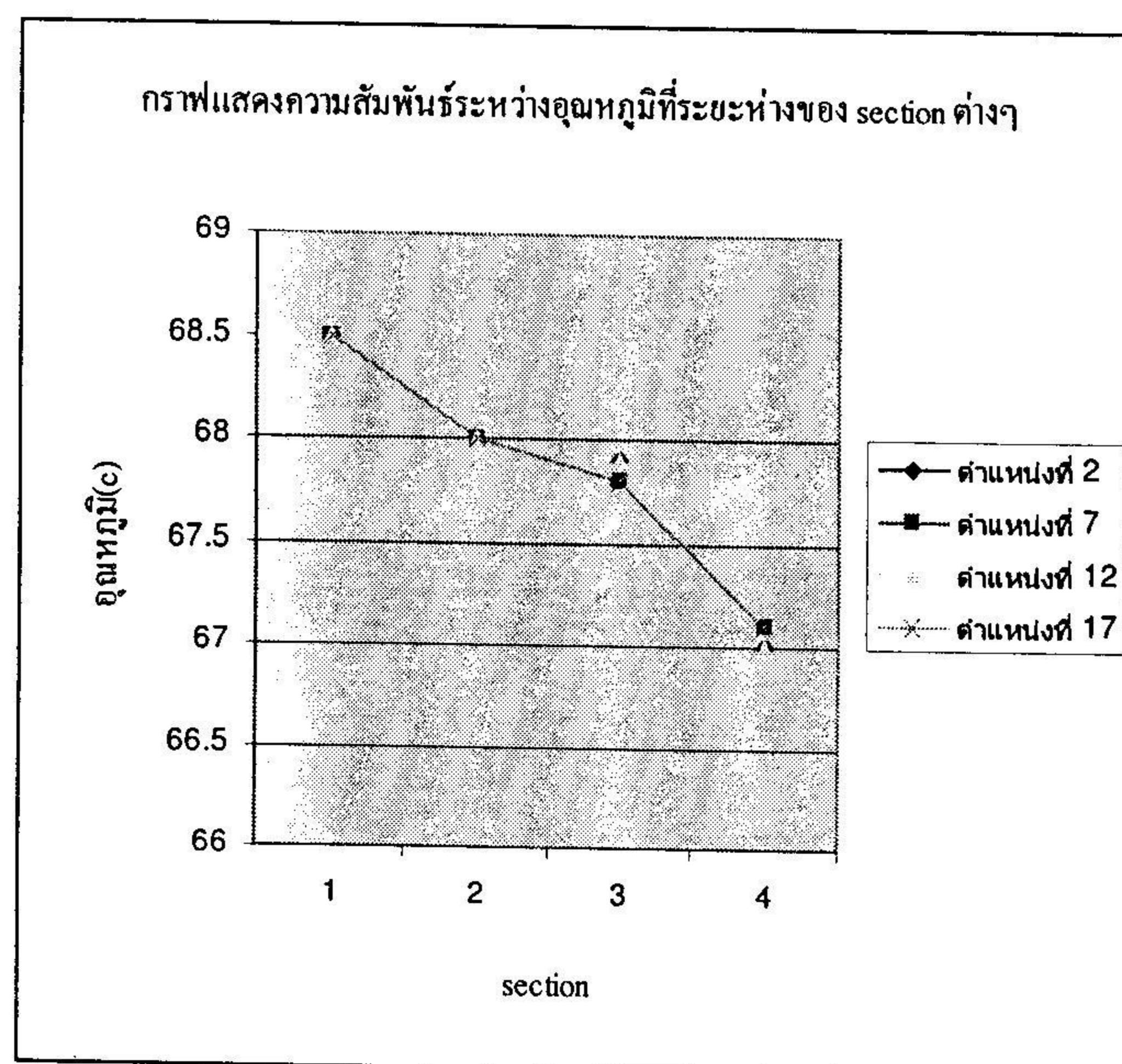
ตารางที่ ก-8 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิที่ Blower Setting 3

Node Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	68.5	68.5	68.4	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.4	68.4
2	68.0	68.0	68.1	68.1	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0
3	67.9	67.9	67.8	67.9	67.9	67.9	67.8	67.9	67.9	67.9
4	67.0	67.0	67.0	67.0	67.1	67.0	67.1	67.1	67.0	67.0

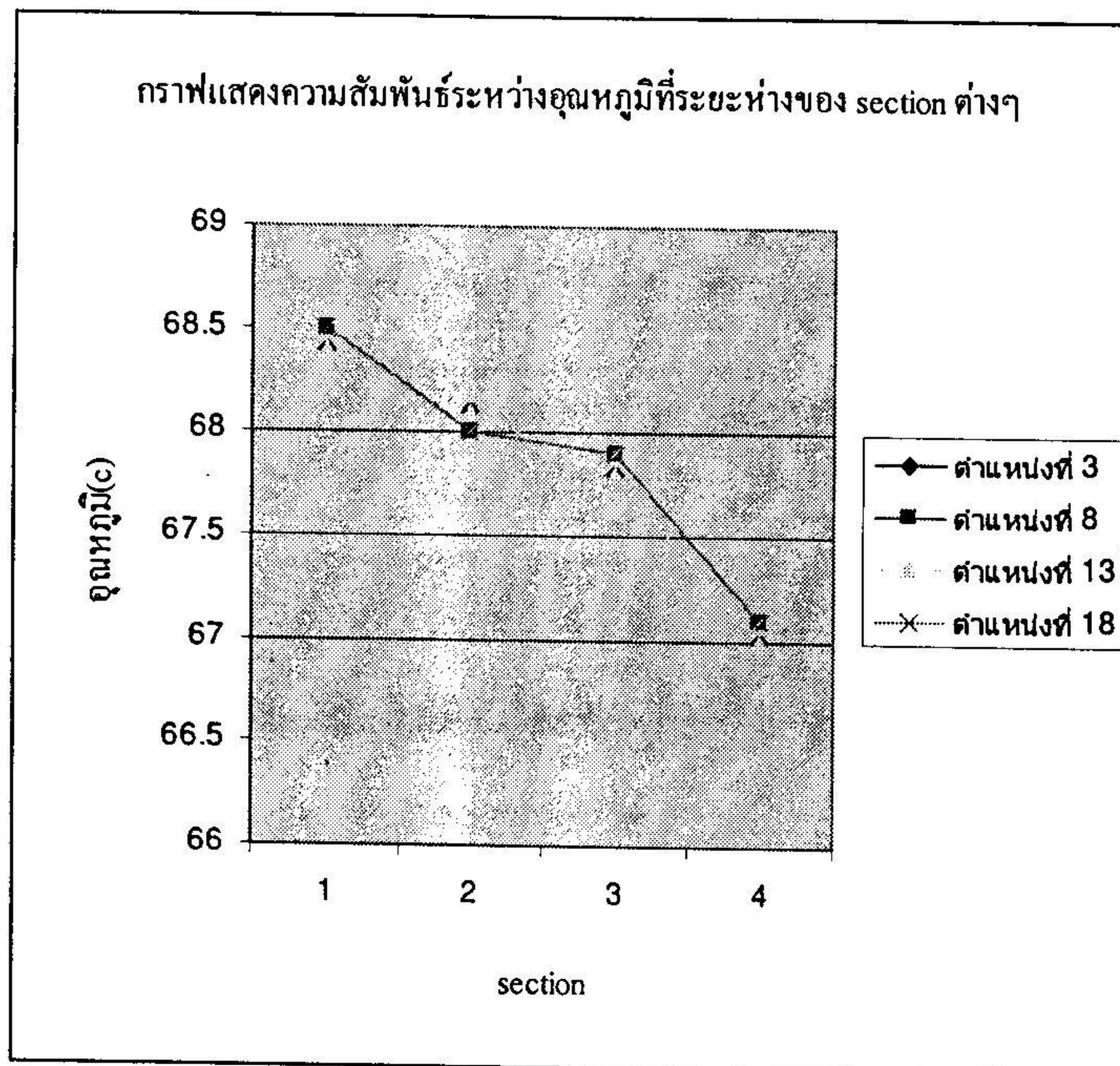
Node Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	68.5	68.5	68.4	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.4	68.4
2	68.0	68.0	68.1	68.1	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0
3	67.9	67.9	67.8	67.9	67.9	67.9	67.8	67.9	67.9	67.9
4	67.0	67.0	67.0	67.0	67.1	67.0	67.1	67.1	67.0	67.0



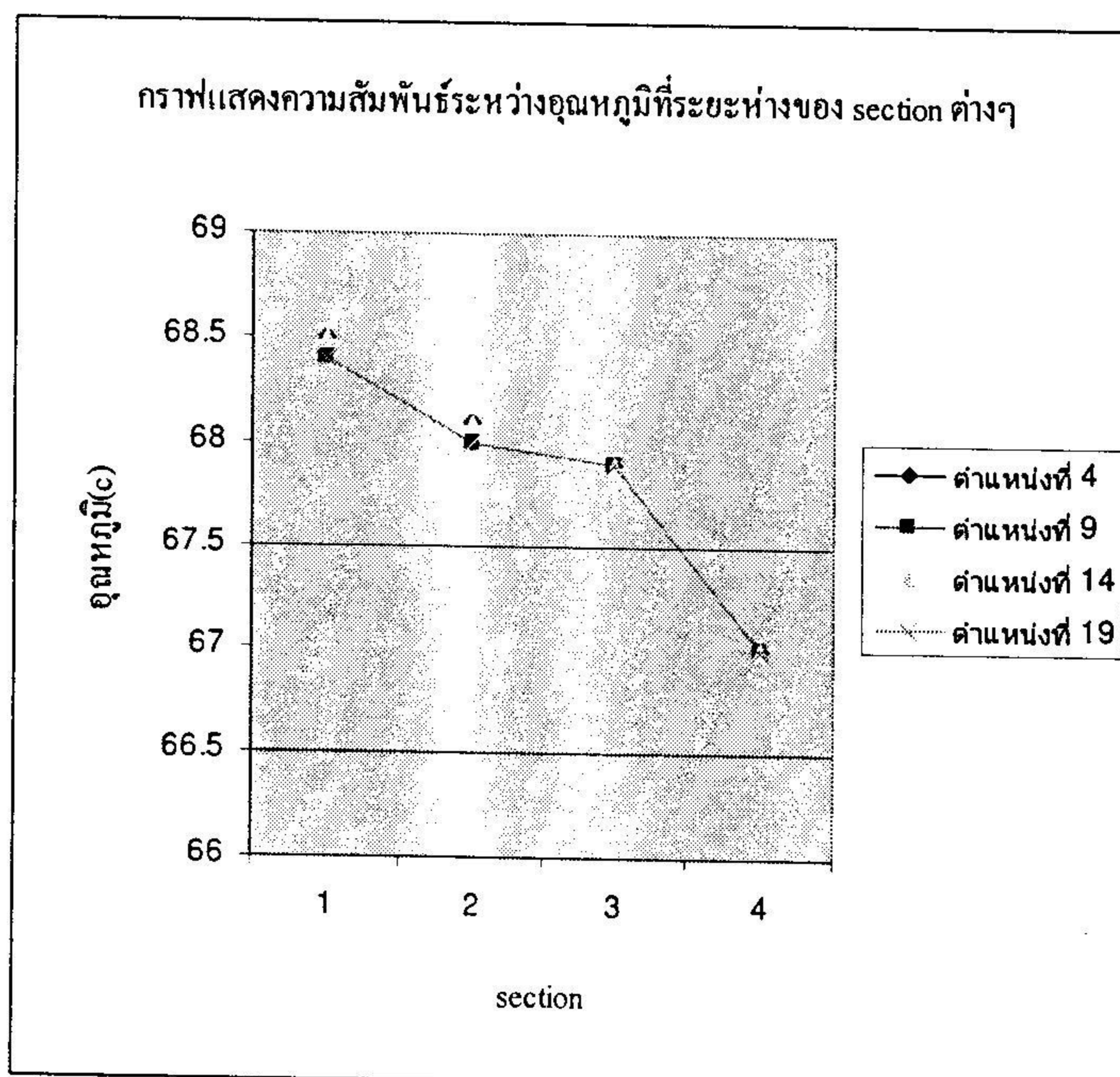
รูปที่ ก-36 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



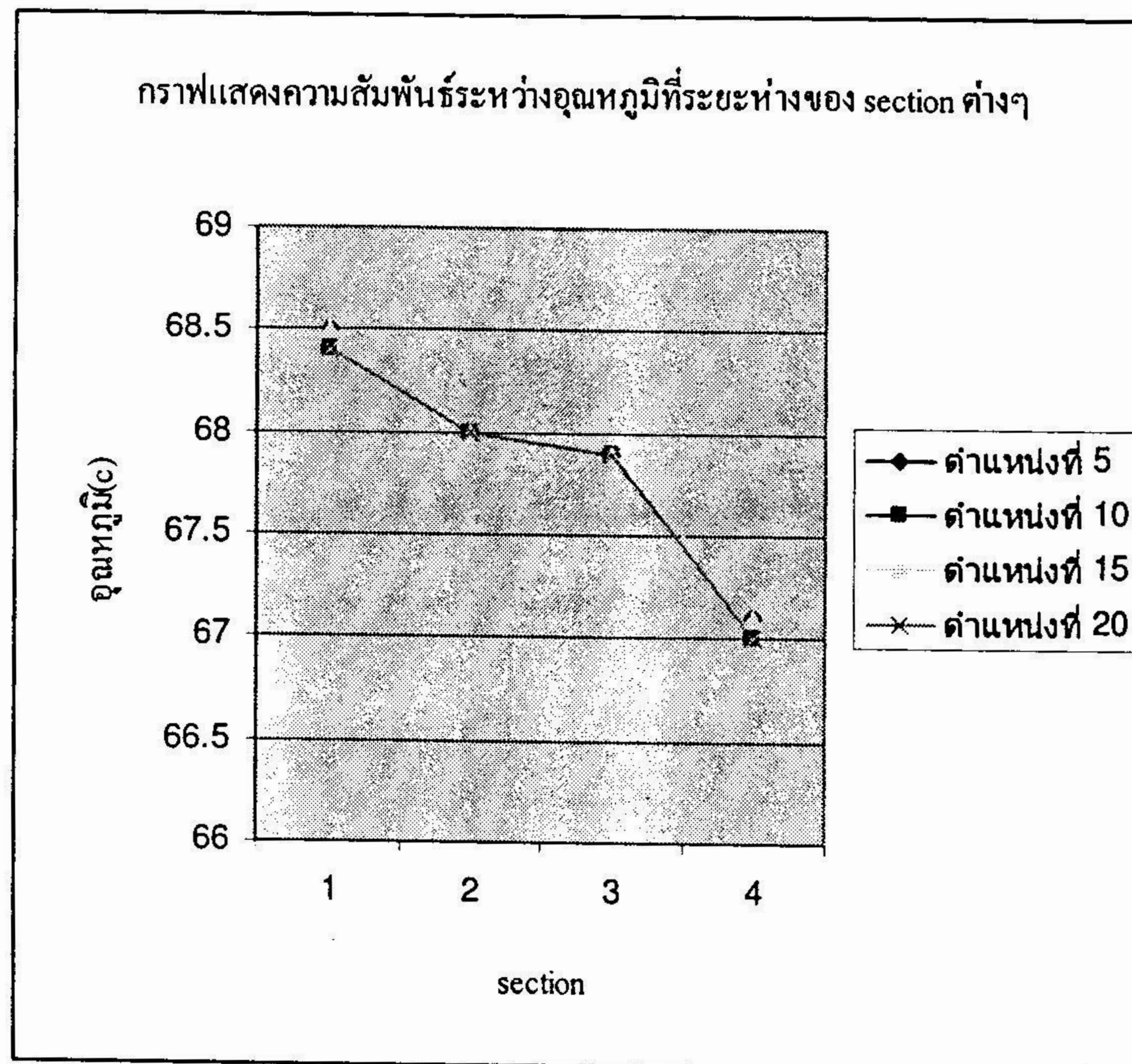
รูปที่ ก-37 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-38 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-39 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS



รูปที่ ก-40 ภาพกราฟแสดงอุณหภูมิของตำแหน่งตาม SECTIONS

ข. ผลการทดลองการวัดความเร็ว

ตารางที่ ข-1 บันทึกผลการทดลองการวัดความเร็ว ครั้งที่ 1

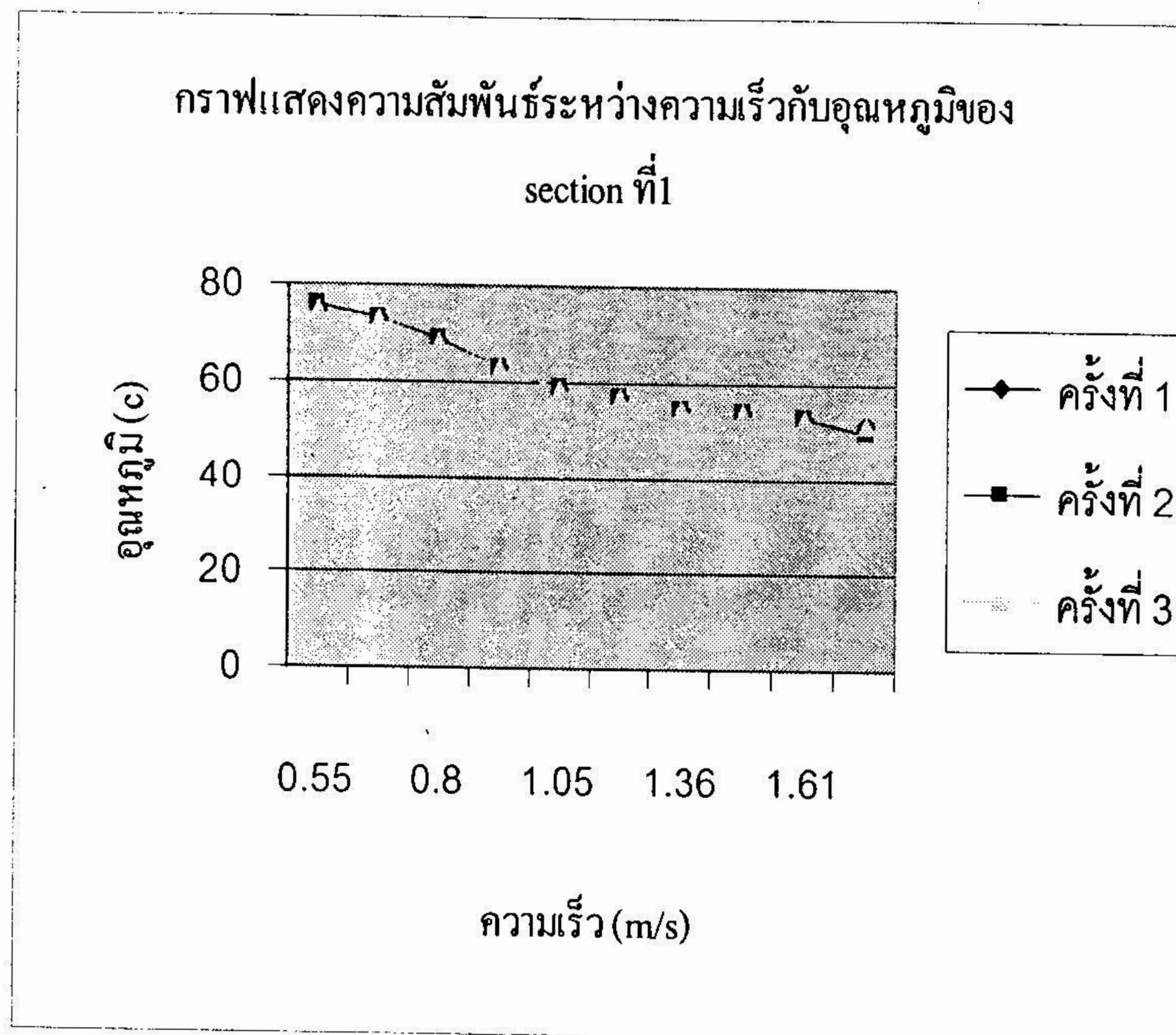
Blower Setting	Section ที่ 1		Section ที่ 2		Section ที่ 3		Section ที่ 4	
	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)
1	0.55	75.0	0.47	74.0	0.39	73.0	0.33	72.0
2	0.69	73.0	0.55	72.0	0.42	70.0	0.36	68.0
3	0.80	68.0	0.77	67.0	0.74	65.0	0.72	64.0
4	0.95	63.0	0.95	62.5	0.94	61.5	0.93	61.0
5	1.05	59.0	1.04	58.0	1.03	57.0	1.02	56.0
6	1.24	57.0	1.23	56.0	1.22	55.0	1.21	54.0
7	1.36	55.0	1.35	54.5	1.34	53.5	1.33	53.0
8	1.45	54.0	1.43	53.0	1.40	52.5	1.37	52.0
9	1.61	53.0	1.59	52.5	1.54	52.0	1.51	51.0
10	1.71	51.5	1.68	51.0	1.66	50.5	1.64	50.0

ตารางที่ ข-2 บันทึกผลการทดลองการวัดความเร็ว ครั้งที่ 2

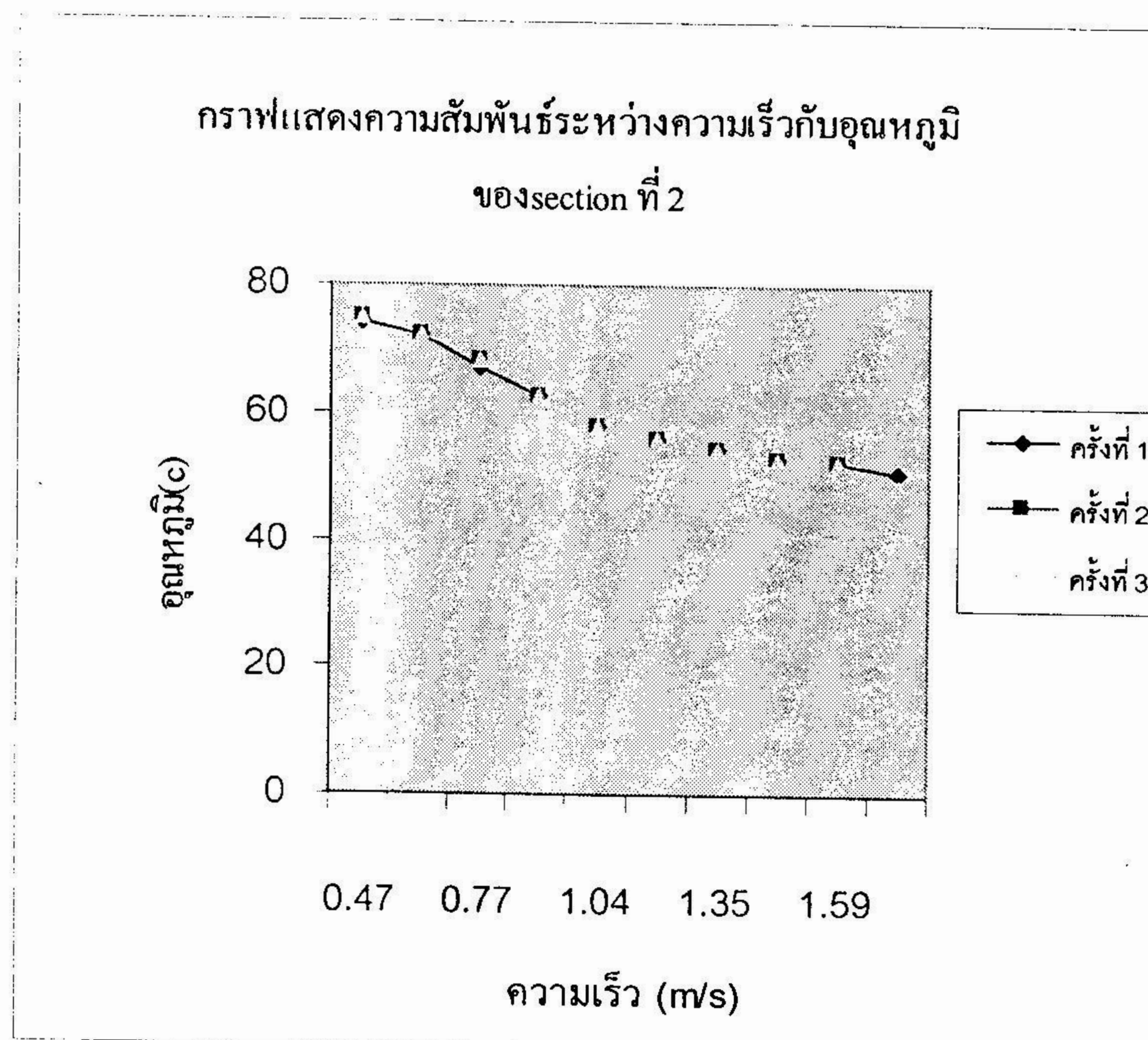
Blower Setting	Section ที่ 1		Section ที่ 2		Section ที่ 3		Section ที่ 4	
	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)
1	0.58	76.0	0.45	75.0	0.39	74.0	0.33	73.0
2	0.75	73.0	0.62	72.0	0.54	70.0	0.40	68.0
3	0.84	69.0	0.79	68.0	0.75	66.0	0.73	65.0
4	0.99	63.0	0.97	62.5	0.95	61.5	0.94	61.0
5	1.02	59.0	1.02	58.0	1.02	57.0	1.01	56.0
6	1.25	57.0	1.25	56.0	1.25	55.0	1.24	54.0
7	1.37	55.0	1.35	54.5	1.34	53.5	1.33	53.0
8	1.47	54.0	1.45	53.0	1.44	52.5	1.43	52.0
9	1.68	53.0	1.67	52.5	1.66	52.0	1.64	51.0
10	1.74	50.0	1.73	49.0	1.71	48.5	1.70	48.0

ตารางที่ ข-3 บันทึกผลการทดลองการวัดความเร็ว ครั้งที่ 3

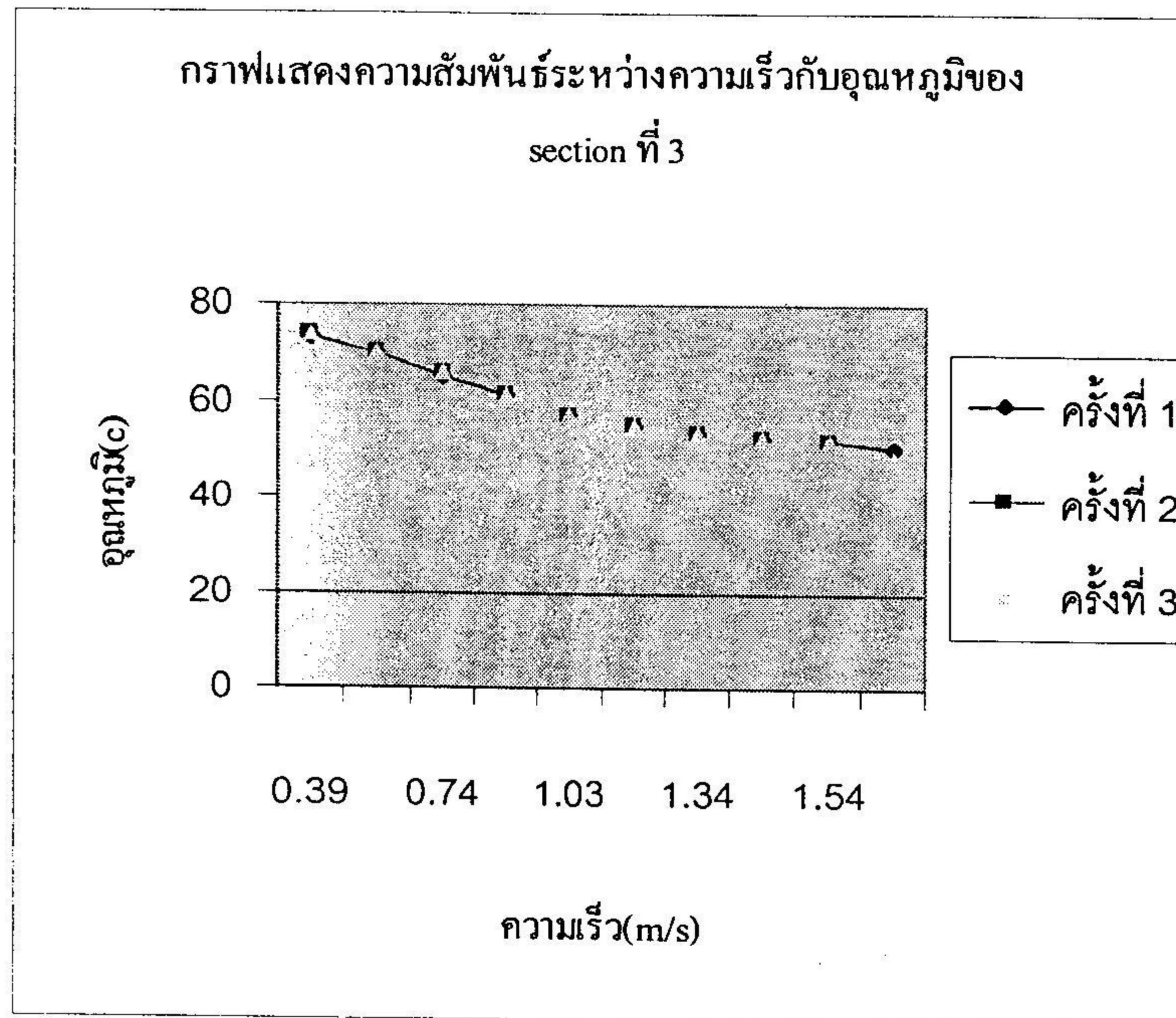
Blower Setting	Section ที่ 1		Section ที่ 2		Section ที่ 3		Section ที่ 4	
	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°c)
1	0.59	75.0	0.41	75.0	0.36	74.0	0.30	73.0
2	0.76	73.0	0.63	72.0	0.45	70.0	0.35	68.0
3	0.85	68.0	0.80	68.0	0.78	66.0	0.72	65.0
4	0.97	63.0	0.96	62.5	0.95	61.5	0.93	61.0
5	1.11	59.0	1.07	58.0	1.05	57.0	1.03	56.0
6	1.23	57.0	1.22	56.0	1.20	55.0	1.19	54.0
7	1.32	55.0	1.31	54.5	1.30	53.5	1.29	53.0
8	1.39	54.0	1.38	53.0	1.37	52.5	1.36	52.0
9	1.60	53.0	1.59	52.5	1.57	52.0	1.56	51.0
10	1.73	51.5	1.72	49.0	1.71	48.5	1.69	48.0



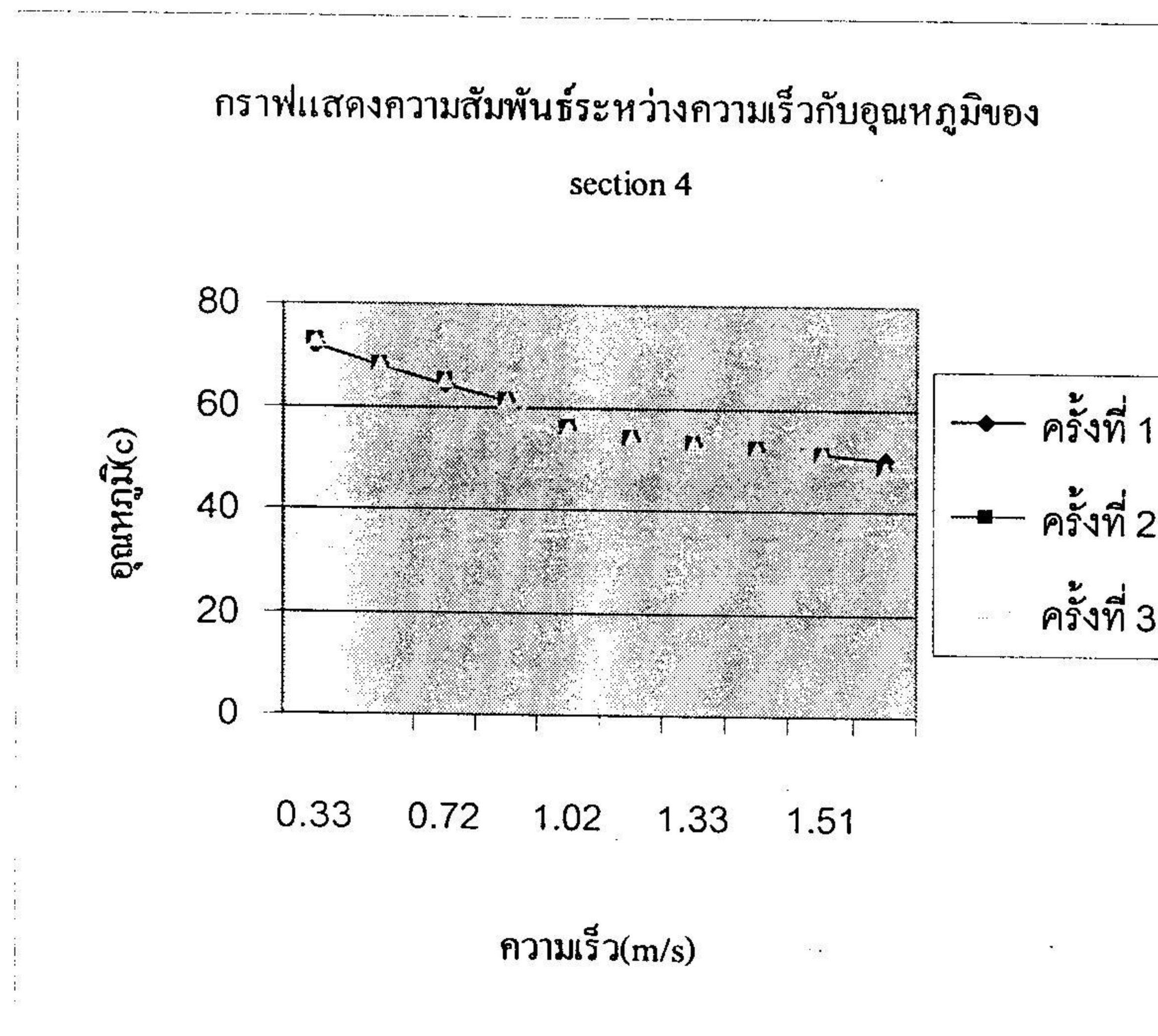
รูปที่ ข-1 กราฟแสดงความเร็วกับอุณหภูมิของ SECTION ที่ 1



รูปที่ ข-2 ภาพกราฟแสดงความเร็วกับอุณหภูมิของ SECTION ที่ 2



รูปที่ ข-3 ภาพกราฟแสดงความเร็วกับอุณหภูมิของ SECTION ที่ 3



รูปที่ ข-4 ภาพกราฟแสดงความเร็วกับอุณหภูมิของ SECTION ที่ 4

ก. ผลการทดลองการอบแห้งพริก

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้งของพริกสด 500 (g)

อุณหภูมิอากาศที่ใช้ทดลอง 55 °C ความเร็วลมที่ใช้ทดลอง 1.32 m/s

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (g)			ค่าเฉลี่ย(g)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	500	500	500	500.0
5	499	498	499	498.7
10	497	496	497	496.7
15	494	494	495	494.3
20	490	492	493	491.7
25	487	490	490	489.0
30	484	487	488	486.3
35	481	485	486	484.0
40	477	483	483	481.0
45	473	479	479	477.0
50	469	476	477	474.0
55	464	473	472	469.7
60	460	469	467	465.3
65	458	464	465	462.3
70	456	459	460	458.3
75	454	456	457	455.6
80	450	454	455	453.0
85	447	450	451	449.3
90	445	448	448	447.0
95	441	446	445	444.0

100	439	443	442	441.3
105	438	442	440	440.0
110	437	439	438	438.0
115	436	438	438	437.3
120	435	437	437	436.3

ตารางที่ ค-2 ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้งของพริกสด 500 (g)

อุณหภูมิอากาศที่ใช้ทดลอง 57 °C

ความเร็วลมที่ใช้ทดลอง 1.24 m/s

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (g)			ค่าเฉลี่ย(g)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	500	500	500	500.0
5	498	498	497	497.7
10	495	496	494	495.0
15	489	490	491	490.0
20	483	484	487	484.7
25	477	475	480	477.3
30	475	472	476	474.3
35	471	470	472	471.0
40	468	467	466	467.0
45	465	465	464	464.7
50	461	461	460	460.7
55	458	457	458	457.7
60	454	453	456	454.3
65	449	450	452	450.3
70	445	447	449	447.0
75	443	444	445	444.0
80	440	441	440	440.3
85	439	439	437	438.3
90	437	438	436	437.0
95	435	436	434	435.0
100	434	433	432	433.0

105	430	431	430	430.3
110	428	429	429	428.7
115	426	427	428	427.0
120	425	426	427	426.0

ตารางที่ ค-3 ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้งของพริกสด 500 (g)

อุณหภูมิอากาศที่ใช้ทดลอง 59 °C

ความเร็วลมที่ใช้ทดลอง 1.06 m/s

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (g)			ค่าเฉลี่ย(g)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	500	500	500	500.0
5	494	494	493	493.7
10	490	489	487	488.7
15	485	484	483	484.0
20	479	478	476	477.7
25	473	475	474	474.0
30	470	471	470	470.3
35	468	467	468	467.7
40	465	464	465	464.7
45	463	462	462	462.3
50	461	461	459	460.3
55	456	458	455	456.3
60	452	455	451	452.7
65	447	451	448	448.7
70	442	448	446	445.3
75	439	445	440	441.3
80	437	440	437	438.0
85	433	438	435	435.3
90	426	435	430	430.3
95	423	431	427	427.0
100	419	428	424	423.7

105	415	424	422	420.3
110	413	420	419	417.3
115	412	418	418	416.0
120	411	416	418	415.0

ตารางที่ ค-4 ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้งของพริกสด 500 (g)

อุณหภูมิอากาศที่ใช้ทดลอง 63 °C

ความเร็วลมที่ใช้ทดลอง 0.97 m/s

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง

เวลา (นาท)	น้ำหนัก (g)			ค่าเฉลี่ย(g)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	500	500	500	500.0
5	485	487	488	486.7
10	476	474	479	476.3
15	460	459	462	460.3
20	468	450	459	459.0
25	456	448	453	452.3
30	448	441	447	445.3
35	441	437	440	439.3
40	436	432	435	434.3
45	432	429	430	429.7
50	428	427	428	427.7
55	425	424	426	425.0
60	422	420	423	421.6
65	419	419	420	419.3
70	417	418	419	418.0
75	415	416	418	416.0
80	414	415	417	415.3
85	413	414	415	414.0
90	411	412	413	412.0
95	410	410	412	410.7
100	409	408	410	409.0

105	409	408	409	408.7
110	409	408	408	408.3
115	408	407	407	407.3
120	408	407	406	407.0

ตารางที่ ค-5 ผลการทดลองหาอัตราการอบแห้งของพริกสด 500 (g)

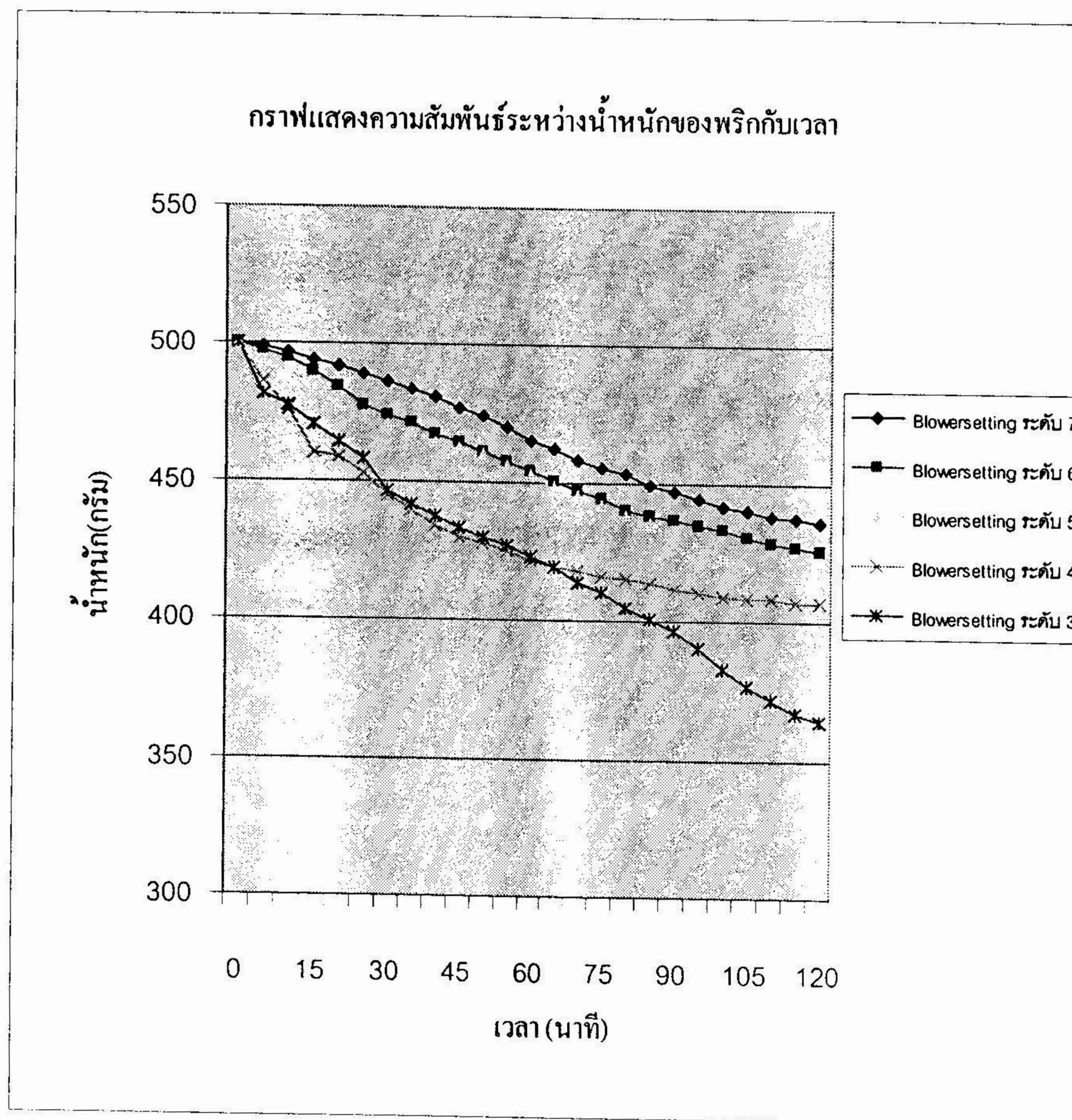
อุณหภูมิอากาศที่ใช้ทดลอง 68 °C

ความเร็วลมที่ใช้ทดลอง 0.83 m/s

เวลาที่ใช้ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง

เวลา (นาทื)	น้ำหนัก (g)			ค่าเฉลี่ย(g)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	500	500	500	500.0
5	482	480	483	481.7
10	478	476	478	477.3
15	471	469	471	470.3
20	466	463	465	464.7
25	459	456	459	458.0
30	448	445	447	446.6
35	443	440	442	441.7
40	439	437	436	437.3
45	435	433	431	433.0
50	431	430	428	429.7
55	429	428	425	427.3
60	425	424	420	423.0
65	420	422	416	419.3
70	414	417	411	414.0
75	410	415	407	410.7
80	404	411	401	405.3
85	399	408	396	401.0
90	392	405	393	396.7
95	387	399	385	390.3
100	377	395	376	382.7

105	373	385	372	376.7
110	369	379	367	371.7
115	365	370	365	366.7
120	361	368	363	364.0



รูปที่ ค-1 ภาพกราฟแสดงน้ำหนักของพริกกับเวลาที่ความเร็วอากาศแตกต่างกัน