

บทที่ 7

การอภิปรายผลการตรวจสอบ

7.1 ความแข็งแกร่งของชุดให้ภาระขึ้นงานทดสอบ

ความแข็งแกร่ง K ของชุดให้ภาระขึ้นงานทดสอบ คือ อัตราส่วนระหว่างภาระที่กระทำกับขึ้นงานทดสอบ P กับระยะเคลื่อนตัวของชุดให้ภาระขึ้นงานทดสอบ δ_u ดังนั้น

$$K = \frac{P}{\delta_u} \quad (7.1)$$

จากตารางที่ 6.1 ถ้าคำนวณความแข็งแกร่งของชุดให้ภาระโดยใช้ข้อมูลระยะเคลื่อนตัวที่ขนาดตุ้มน้ำหนัก 30 กิโลกรัม จะได้

$$K = \frac{30 \times 20 \times 9.81}{0.59 \times 10^{-3}} \approx 1 \times 10^7 \frac{N}{m} \quad (7.2)$$

เนื่องจากมาตรฐาน ASTM E139^[2] ไม่ได้ระบุเกี่ยวกับความแข็งแกร่งของชุดให้ภาระว่าควรมีค่าอย่างน้อยเท่าใด ดังนั้นจึงนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับเครื่อง Universal testing machine (UTM) ซึ่งมีความแข็งแกร่งของชุดให้ภาระ ประมาณ $3 \times 10^9 \text{ Nm}^{-1}$ จากผลการเปรียบเทียบจะเห็นว่าความแข็งแกร่งของเครื่อง UTM นั้นสูงกว่าเครื่องทดสอบความคืบที่สร้างอย่างมาก (ราว 300 เท่า) ทั้งนี้เนื่องจากเครื่อง UTM ต้องสร้างภาระพลวัต (dynamic load) ทำให้ต้องมีความแข็งแกร่งสูงเพื่อให้ผลตอบสนองเชิงพลวัตมีคุณภาพดี

สำหรับเครื่องทดสอบความคืบ แม้ว่าภาระที่เกิดขึ้นจะเป็นภาระสถิต (static load) ก็ตาม ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรปรับปรุงชุดให้ภาระขึ้นงานทดสอบให้มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้นกว่านี้ ด้วยการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักหรือลด span ของสลักที่ข้อต่อต่าง ๆ

¹ เครื่องทดสอบยี่ห้อ Instron รุ่น 4505 ขนาด capacity 100 กิโลนิวตัน

7.2 การวิเคราะห์อัตราทดของคานทอดแรง

7.2.1 อัตราทดของคานทอดแรงที่ได้จากการออกแบบและการสร้าง

จากตารางที่ 6.2 จะเห็นว่าอัตราทดของคานทอดแรงที่คำนวณจากผลการวัดภาวะด้วยโพลดเซลมีค่าลดลงเมื่อคานทอดแรงเอียงทำมุมกับแนวระดับเพิ่มขึ้น การที่อัตราทรมีค่าไม่คงที่นั้นมีสาเหตุมาจากการกำหนดตำแหน่งของจุดหมุน และจุดรับแรงดึง ในขั้นตอนการออกแบบ (จุด O ,

A และ B) ดังแสดงในรูปที่ 7.1 โดยสามารถพิสูจน์ได้ด้วยวิธีเรขาคณิตดังต่อไปนี้
อัตราทดแรง r หาได้จาก

$$r = \frac{x_1}{x_2} \quad (7.3)$$

จากรูปที่ 7.1 จะได้

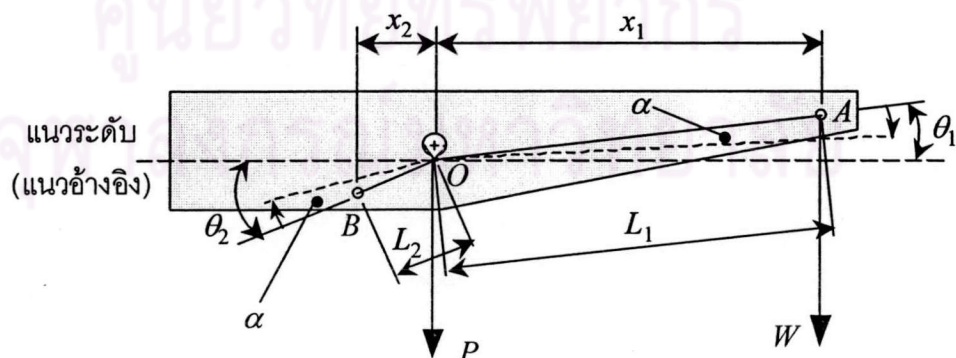
$$r = \frac{L_1 \cos \theta_1}{L_2 \cos \theta_2} \quad (7.4)$$

โดย L_1 คือ ระยะห่างระหว่างจุดยึด OA

L_2 คือ ระยะห่างระหว่างจุดยึด OB

ถ้าคานทอดแรงเอียงไปจากแนวระดับเป็นมุม α เส้น OA และ OB จะหมุนรอบจุด O เป็นมุม α ด้วย ดังนั้นอัตราทดแรงจะหาได้จาก

$$r = \frac{L_1 \cos(\theta_1 - \alpha)}{L_2 \cos(\theta_2 - \alpha)} \quad (7.5)$$



รูปที่ 7.1 ตำแหน่งของจุดที่เชื่อมต่อกับชิ้นส่วนอื่น ๆ บนคานทอดแรง

สมการที่ (7.5) แสดงให้เห็นว่า อัตราทดแรงขึ้นกับมุมเอียงของคานทอดแรง นอกจากนี้อัตราทดแรงจะมีค่าคงที่ก็ต่อเมื่อ มุม θ_1 เท่ากับมุม θ_2 อย่างไรก็ตามมุม θ_1 มีโอกาสจะเท่ากับมุม θ_2 ได้ในกรณี $\theta_1 = \theta_2 = 0^\circ$ ซึ่งหมายความว่า จุด A และ B ต้องอยู่ในระดับเดียวกันกับจุด O หรือ อีกกรณีหนึ่งคือ $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ โดย

จากการออกแบบและการสร้างจะได้ว่า จุด A และ B ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับจุด O ดังนั้นอัตราทดจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงโดยจะลดลงเมื่อคานทอดแรงมีมุมเอียงมากขึ้น (ดูรูปที่ 7.1)

7.2.2 การหาอัตราทดแรงด้วยวิธีเรขาคณิต

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาอัตราทดแรงด้วยวิธีเรขาคณิต เพื่อใช้หาค่าอัตราทดที่ได้จากการวัดด้วยโพลลเพลซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 6.2 โดยจะพิจารณาความไม่แน่นอนของตัวแปรที่นำไปสู่การคำนวณหาอัตราทดแรงด้วย

จากรูปที่ 7.1 มุม θ_1 และ θ_2 มีความสัมพันธ์กับระยะ x_1, x_2, L_1 และ L_2 ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta_1 = \arccos\left(\frac{x_1}{L_1}\right) \quad (7.6ก)$$

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{x_2}{L_2}\right) \quad (7.6ข)$$

ดังนั้นสมการที่ (7.5) จะเขียนได้ในรูปของ

$$r = \frac{L_1 \cos(\arccos(x_1/L_1) - \alpha)}{L_2 \cos(\arccos(x_2/L_2) - \alpha)} \quad (7.7)$$

ค่าของตัวแปรในสมการที่ (7.7) และความไม่แน่นอนในการวัดระยะ หรือการสร้าง มีดังนี้

$$L_1 = 803 \pm 2 \text{ มม.} \quad (7.8ก)$$

$$L_2 = 56 \pm 2 \text{ มม.} \quad (7.8ข)$$

$$x_1 = 800 \pm 2 \text{ มม.} \quad (7.8ค)$$

$$x_2 = 40 \pm 2 \text{ มม.} \quad (7.8ง)$$

สำหรับมุมเอียงของคานทอดแรง มุมเอียงแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีคานทอดแรงอยู่ในแนวระดับ

$$\alpha = 0 \pm 1 \text{ องศา} \quad (7.8จ)$$

กรณีคานทอดแรงเอียง(ประมาณ) 10 องศา กับแนวระดับ

$$\alpha = 10 \pm 2 \quad \text{องศา} \quad (7.8\text{ฉ})$$

ความไม่แน่นอนของอัตราทดสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\delta r = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial x_1} \delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial x_2} \delta x_2\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial L_1} \delta L_1\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial L_2} \delta L_2\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial \alpha} \delta \alpha\right)^2} \quad (7.9)$$

โดย δx_1 คือ ความไม่แน่นอนในการวัดค่า x_1 กำหนดให้เท่ากับ 2 มม. (สมการที่ (7.8ค))

δx_2 คือ ความไม่แน่นอนในการวัดค่า x_2 กำหนดให้เท่ากับ 2 มม. (สมการที่ (7.8ง))

δL_1 คือ ความไม่แน่นอนในการวัดค่า L_1 กำหนดให้เท่ากับ 2 มม. (สมการที่ (7.8จ))

δL_2 คือ ความไม่แน่นอนในการวัดค่า L_2 กำหนดให้เท่ากับ 2 มม. (สมการที่ (7.8ข))

$\delta \alpha$ คือ ความไม่แน่นอนในการวัดค่า α กำหนดให้เท่ากับ 1 หรือ 2 องศา (สมการที่ (7.8ฉ) หรือ (7.8ฉ))

ผลการคำนวณที่ได้มีดังนี้ :-

อัตราทดแรงเมื่อคานทอดแรงอยู่ในแนวระดับ คือ

$$r = 20 \pm 1 \quad \text{เท่า} \quad (7.9\text{ก})$$

หรือ $r = 19 \sim 21 \quad \text{เท่า} \quad (7.9\text{ข})$

อัตราทดแรงเมื่อคานทอดแรงเอียงทำมุมประมาณ 10 องศา คือ

$$r = 17.3 \pm 0.8 \quad \text{เท่า} \quad (7.10\text{ก})$$

หรือ $r = 16.5 \sim 18.1 \quad \text{เท่า} \quad (7.10\text{ข})$

หากพิจารณาสมการที่ (7.9ข) และสมการที่ (7.10ข) จะพบว่าขอบเขตของอัตราทดที่เป็นไปได้เมื่อคานทอดแรงเอียงทำมุม 0 องศา และ 10 องศา กับแนวระดับไม่ล้ำกัน (overlap) ดังนั้นอัตราทดแรงจึงเปลี่ยนแปลงตามมุมเอียงของคานทอดแรง หรือกล่าวให้ชัดเจนสำหรับกรณีนี้คือ อัตราทดแรงลดลงเมื่อมุมเอียงของคานทอดแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งข้อสรุปนี้สอดคล้องกับสมการที่ (7.5) และผลการทดสอบในตารางที่ 6.2

หากเปรียบเทียบค่าอัตราทดในตารางที่ 6.2 ที่มุมเอียง 0 องศากับสมการที่ (7.9) จะเห็นว่าค่าในตารางอยู่ในพิสัยที่น่าจะเป็น (probable range) แต่สำหรับกรณีนี้คานทอดแรงเอียงทำ

มุม 10 องศา กับแนวระดับ ค่าอัตราทดในตารางตกอยู่นอกพิสัยที่น่าจะเป็นเล็กน้อย ดังนั้นจึงถือว่า ผลการวัดอัตราทดด้วยโพลด์เซลนั้นยอมรับได้

7.3 อุณหภูมิสูงสุดที่เตาความร้อนทำได้

เตาความร้อนที่สร้างสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 749 องศาเซลเซียส (รูปที่ 6.24) ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิออกแบบ (600 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตาม ภายใต้อุณหภูมิสูงสุดที่เตาความร้อนสามารถทำได้นั้นไม่ใช่อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำการทดสอบได้ เพราะที่อุณหภูมิ 749 องศาเซลเซียสอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิไม่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด (± 2 องศาเซลเซียส) ได้

7.4 อัตราการทำความร้อน

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงกำลังของชุดให้ความร้อนสำเร็จรูปที่ต้องการเพื่อใช้ในการสร้างอุณหภูมิในเตาให้ถึงค่าที่ต้องการ (600 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิขดลวดกำหนดให้มีขนาด 1000 องศาเซลเซียส) จากการออกแบบชุดให้ความร้อนสำเร็จรูปที่เลือกสามารถทำอุณหภูมิได้ถึงค่าที่ต้องการภายใน 2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ในการทดลองเพิ่มอุณหภูมิของเตา ผู้วิจัยมิได้เพิ่มอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง แต่เพิ่มอุณหภูมิขึ้นคราวละ 50–100 องศาเซลเซียส แล้วรอให้อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ก่อนจะเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 6.22 อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 6.23 จะเห็นว่าระยะเวลาสุทธิที่เตาทำความร้อนทำอุณหภูมิถึง 600 องศาเซลเซียส คือ 2.2 ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับเงื่อนไขออกแบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดของชุดให้ความร้อนสำเร็จรูปที่เลือกเหมาะสมกับสภาวะทดสอบที่ต้องการ

7.5 ความเที่ยงของการควบคุมอุณหภูมิ

ผลการทดสอบความเที่ยงของการควบคุมอุณหภูมิ แสดงอยู่ในกราฟรูปที่ 6.25 ถึง 6.34 โดยงานวิจัยนี้ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส เท่ากับอุณหภูมิทดสอบ² จากรูปจะเห็นว่า

² ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ครอบคลุมการทดสอบการคืบของวัสดุ แต่ผู้วิจัยมีเป้าหมายในการใช้เครื่องทดสอบนี้ทดสอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเลือกศึกษาความเที่ยงในการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าอุณหภูมินี้

การกระเพื่อม (fluctuating) ของอุณหภูมิอยู่ในขอบเขตไม่เกิน ± 2 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ภายในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM E139^[2] กำหนด ดังนั้นระบบควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นจึงความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้

7.6 การกระจายอุณหภูมิตามผิวชิ้นงานทดสอบ

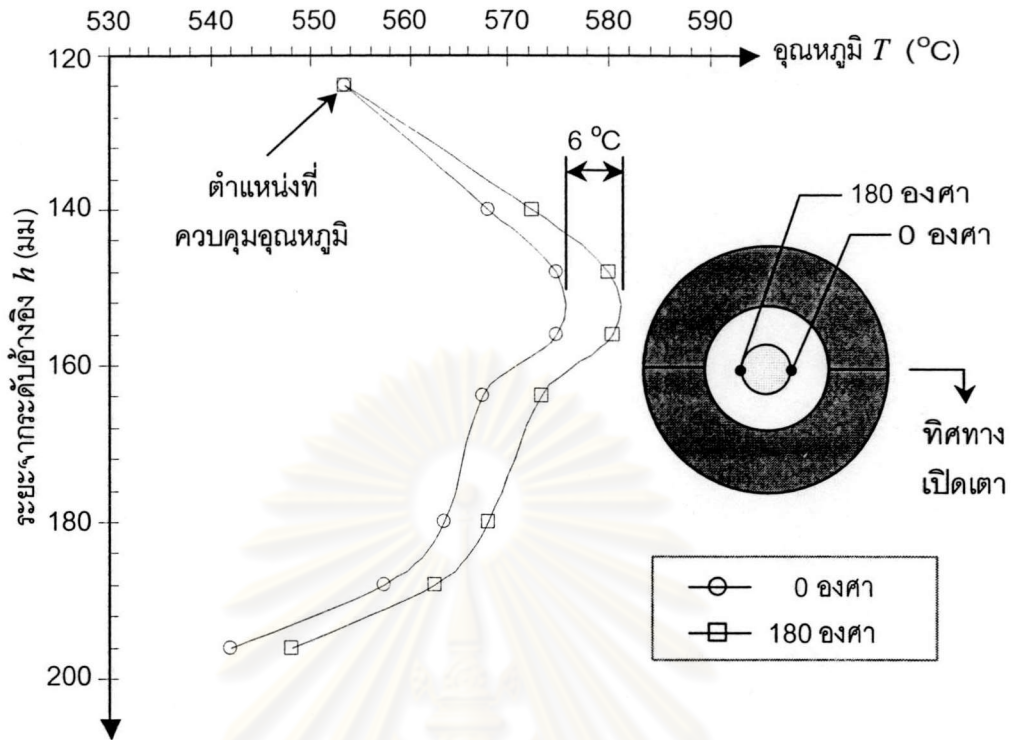
การกระจายอุณหภูมิตามผิวชิ้นงานทดสอบตามแนวแกน และตามแนวเส้นรอบวงแสดงอยู่ในรูปที่ 7.2 ผลการทดสอบในรูปได้จากการหมุนชิ้นงานทดสอบในทิศตามเข็มนาฬิกา ครั้งละประมาณ 90 องศา โดยกำหนดให้จุดที่ควบคุมอุณหภูมิคือ จุดในตำแหน่งบนสุด (ดูรูปที่ 6.19 ประกอบ)

จากรูปที่ 7.2(ก) จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งสูงสุดที่ตำแหน่ง 0 และ 180 องศา มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตั้ง เพราะเป็นตำแหน่งควบคุมอุณหภูมิ ที่ตำแหน่ง 180 องศา อุณหภูมิมีค่ามากกว่าค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 0 องศา ประมาณ 6 องศาเซลเซียสในทุก ๆ ตำแหน่ง ทำให้กราฟมีลักษณะขนานกัน

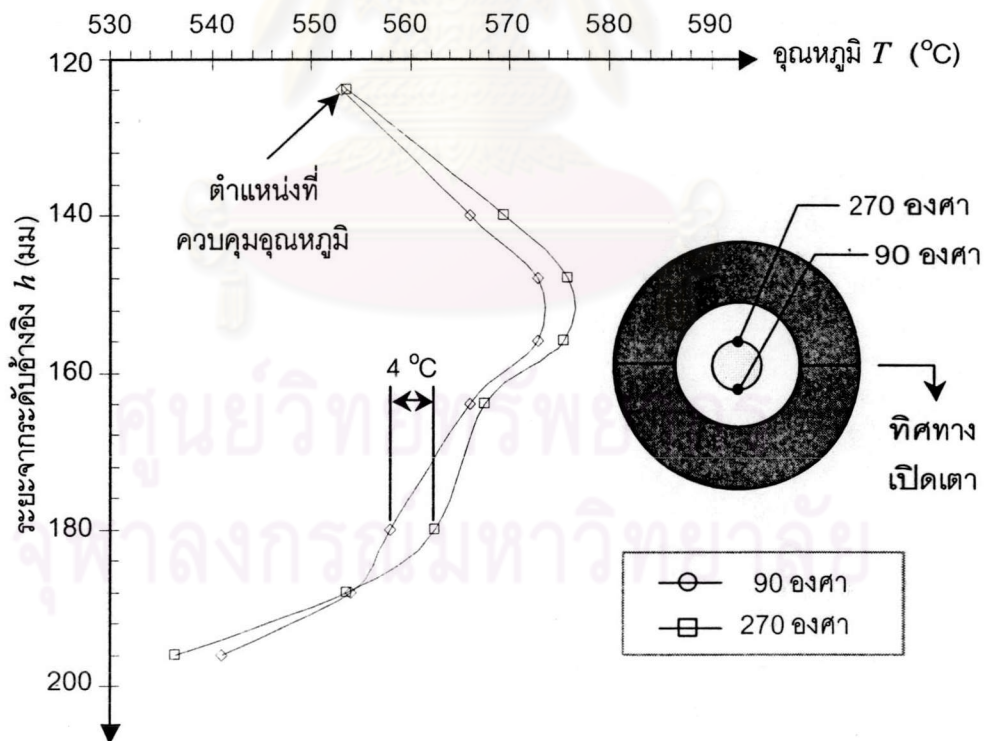
จากรูปที่ 7.2(ข) จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งสูงสุดที่ตำแหน่ง 90 และ 270 องศา มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตั้ง เพราะเป็นตำแหน่งควบคุมอุณหภูมิ ที่ตำแหน่ง 270 องศา อุณหภูมิมีค่ามากกว่าค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง 90 องศา สูงสุดประมาณ 4 องศาเซลเซียส และกลับมามีค่าน้อยกว่าที่ระดับล่างสุด

ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปรากฏในรูปที่ 7.2 เกิดจากการที่ศูนย์กลางของเตาความร้อน และศูนย์กลางของชุดให้ภาระชิ้นงานทดสอบไม่อยู่ในแนวเดียวกัน เนื่องจากมาตรฐาน ASTM E139^[2] ไม่ได้กำหนดความแตกต่างของอุณหภูมิตามแนวเส้นรอบวงที่ยอมรับได้ แต่เอกสารอ้างอิงหมายเลข 25 ยอมรับมีความแตกต่างเท่ากับ 6 องศาเซลเซียส ดังนั้น ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ได้จึงยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

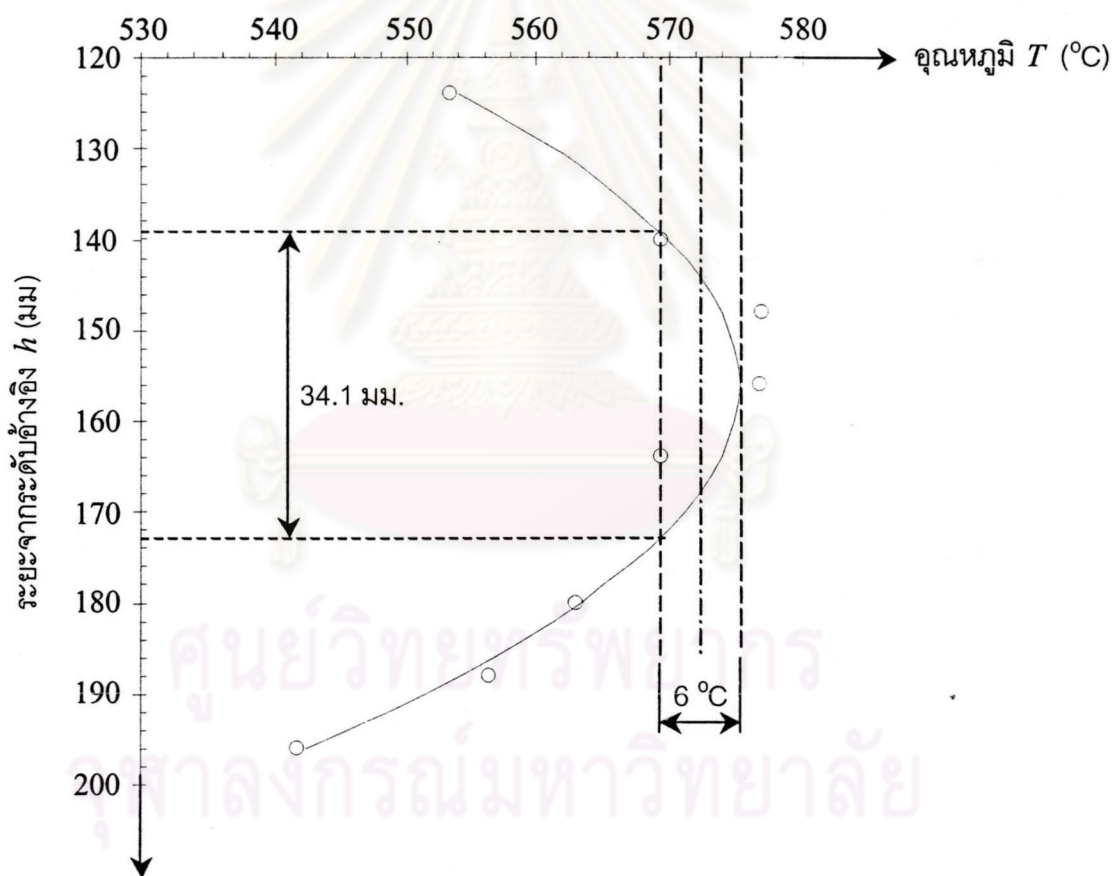
รูปที่ 7.2 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิบนเส้นรอบวงที่ระยะใด ๆ วัดจากระดับอ้างอิง

(ก) ที่ตำแหน่ง 0 และ 180 องศา (ข) ที่ตำแหน่ง 90 และ 270 องศา

รูปที่ 7.3 แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตามแนวเส้นรอบวงที่ระยะห่างจากระดับอ้างอิงเดียวกัน ที่ระยะใด ๆ วัดจากระดับอ้างอิง จากรูปผลการทดลองสามารถแทนได้ด้วยเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองต่อไปนี้

$$T = -2.07 \times 10^{-2} h^2 + 6.45h + 72.09 \quad (^\circ\text{C}) \quad (7.11)$$

ถ้ายอมให้ความแตกต่างของอุณหภูมิตามแนวแกนของชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 6 องศาเซลเซียสแล้ว จะสามารถหาระยะแนวตั้งภายในเตาความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกินค่าที่กำหนดได้เท่ากับ 34.1 มม. (ดูรูปที่ 7.3 ประกอบ) ซึ่งมากกว่าความยาวเกจของชิ้นงานทดสอบ ดังนั้นเตาความร้อนที่สร้างขึ้นจึงสามารถใช้งานได้



รูปที่ 7.3 การกระจายอุณหภูมิตามแนวแกนของชิ้นงานทดสอบ และบริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส