สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.1) การวัดปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน (Gas Volume)

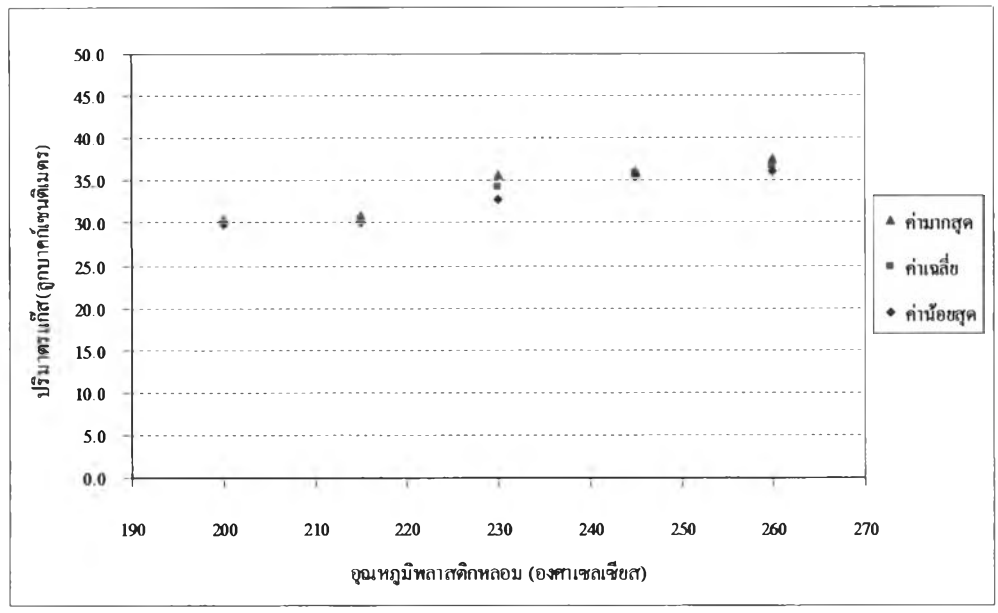
ปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน (Gas Volume) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการทำนายพฤติกรรมการไหล, การซึมผ่านของแก๊สและคุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการหาปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงาน โดยใช้หลายวิธีและหนึ่งในวิธีเหล่านั้นได้แก่ การแทนที่ปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงานด้วยน้ำโดยตรง แต่วิธีนี้อาจเกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงานบางบริเวณไม่สามารถถูกแทนที่ได้ (จากการซึมผ่านของแก๊สเข้าไปในพลาสติกหลอมจนเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ภายใน)

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการปรับปรุงวิธีการวัดปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงาน โดยผ่านอุปกรณ์การทดลองและการคำนวณดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อทำการศึกษาหาค่าปริมาตรของแก๊สที่ได้ สัมพันธ์ต่อตัวแปรต่าง ๆ ที่เปลี่ยน แปลงไปอย่างไร

5.1.1) อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอม

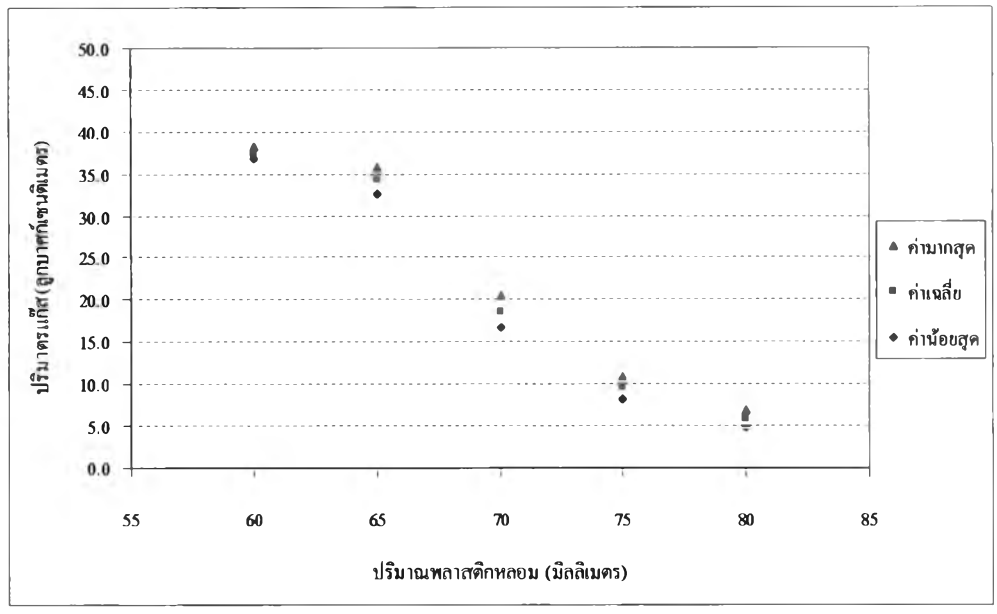
อุณหภูมิพลาสติกหลอม (Melt Temperature) คือ อุณหภูมิของพลาสติกหลอมเมื่อออกจากหัวฉีด (Nozzle) เข้าสู่แม่พิมพ์ จากการวิจัยพบว่าปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอม (Melt Temperature) มีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องจากเมื่อพลาสติกหลอมได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของพลาสติกหลอมมีค่าลดลง โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่มากขึ้น เมื่อฉีดแก๊สที่มีแรงดันสูงเข้าสู่ชิ้นงานทำให้การไหลของพลาสติกหลอมมากขึ้นและโมเลกุลของพลาสติกเกิดการเคลื่อนที่ใกล้ชิดกันมากขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้นตาม ขณะเมื่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเท่าเดิมทำให้การแข็งตัวของพลาสติกต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเทียบกับเวลาทั้งหมดของกระบวนการ (Cycle time) ที่เท่าเดิม เมื่อชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์จึงเกิดการขุบตัวในปริมาณที่มากขึ้น โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.1 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.1 อิทธิพลอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

5.1.2) อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอม

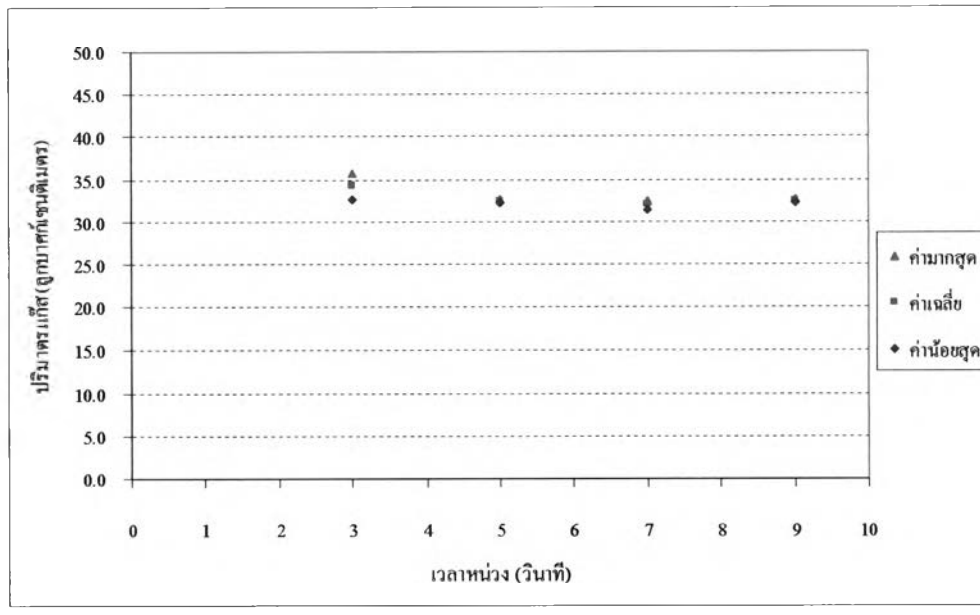
ปริมาณเนื้อพลาสติกหลอม (Shot Size) คือ ปริมาณของเนื้อพลาสติกหลอมที่เข้าสู่แม่พิมพ์ในแต่ละรอบของการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน จากการวิจัยพบว่า เมื่อปริมาณเนื้อพลาสติกหลอม (Shot Size) มีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรรวมของแก๊สภายในชิ้นงานลดลง โดยจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดที่ปริมาณเนื้อพลาสติกหลอม (Shot Size) เท่ากับ 65-75 มม. ขณะที่ปริมาณเนื้อพลาสติกหลอม (Shot Size) ต่ำกว่าค่า 65 มม. ส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สมีการเปลี่ยนแปลงค่าไม่มากนักและเมื่อปริมาณพลาสติกหลอม (Shot Size) มีค่าต่ำกว่า 60 มม. จะไม่สามารถหาค่าปริมาตรของแก๊สได้ เนื่องจากการที่ปริมาณเนื้อพลาสติกหลอมมีค่าน้อยเกินไป จนไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ และปริมาตรของแก๊สจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณพลาสติกหลอม (Shot Size) มากกว่า 75 มม. โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.2 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



รูป 5.2 อิทธิพลปริมาณของพลาสติกหลอมต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

5.1.3) อิทธิพลของเวลาหน่วง (Delay time)

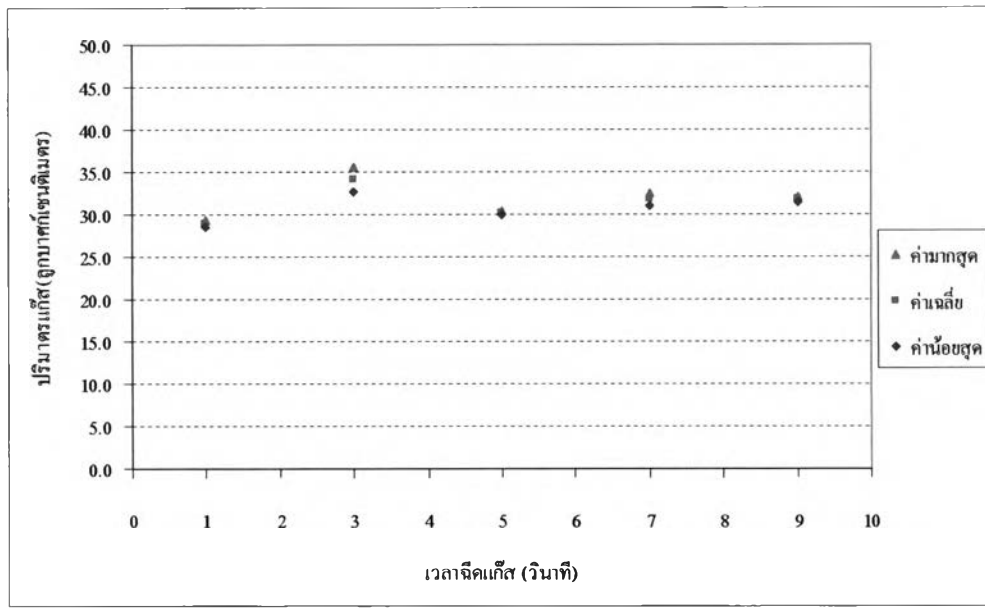
เวลาหน่วง (Delay time) คือ ช่วงระยะเวลาระหว่างการสิ้นสุดของการฉีดเนื้อพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์กับ จุดเริ่มต้นของการฉีดแก๊ส จากการทดลองพบว่าเวลาหน่วง (Delay time) มีผลต่อค่าปริมาตรของแก๊สน้อยมาก (หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง) แต่เมื่อเวลาหน่วง (Delay time) มีค่าน้อยมากๆ (น้อยกว่า 3 วินาที) จะไม่สามารถฉีดแก๊สเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานได้ เนื่องจากเมื่อเวลาหน่วงมีค่าน้อยมากๆ การก่อตัวเพื่อให้เกิดชั้นแข็งของพลาสติกหลอม (Frozen Layer) เป็นไปได้ยาก เมื่อฉีดแก๊สเข้าแม่พิมพ์ ทำให้แก๊สทะลุผ่านพลาสติกหลอมออกทางด้านหน้า (Flow Front) ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.3 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



รูป 5.3 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

5.1.4) อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊ส

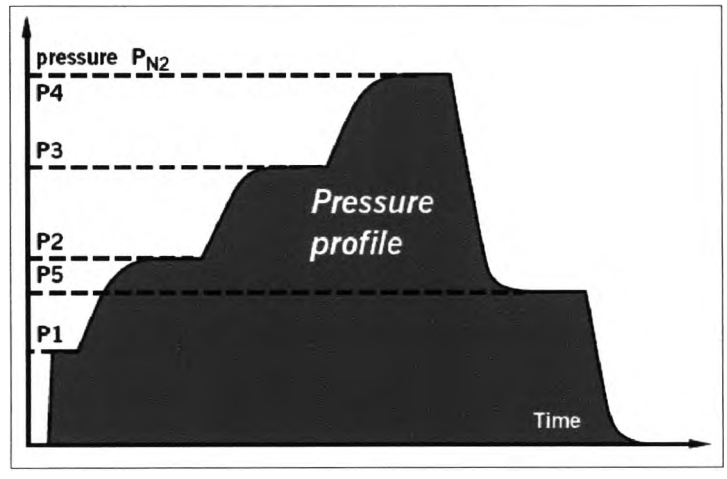
เวลาการฉีดแก๊ส (Gas time) คือช่วงเวลาที่ใช้ในการฉีดแก๊สเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยจากการวิจัยพบว่า เมื่อเวลาการฉีดแก๊ส (Gas time) มากขึ้นปริมาตรรวมของแก๊สภายในชิ้นงานจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนเมื่อเวลาในการฉีดแก๊สเท่ากับ 3 วินาที ปริมาตรของแก๊สจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับเวลาการฉีดแก๊ส เหตุเนื่องจากเวลาการฉีดแก๊สเปรียบเสมือนปริมาตรของแก๊สที่เข้าภายในชิ้นงาน เมื่อเวลาการฉีดน้อยทำให้แก๊สเข้าชิ้นงานในปริมาตรที่น้อย จนเมื่อเวลาการฉีดแก๊สเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สไม่สามารถเข้าสู่ชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นอีก (แสดงดังรูป 5.6) เพราะฉะนั้นการขึ้นรูปชิ้นงาน ในการปรับตั้งสภาวะต่างๆ ต้องให้แน่ใจว่าเวลาการฉีดแก๊ส ทำให้แก๊สเข้าสู่ชิ้นงานสูงสุด โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.4 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 14, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.4 อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊สต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

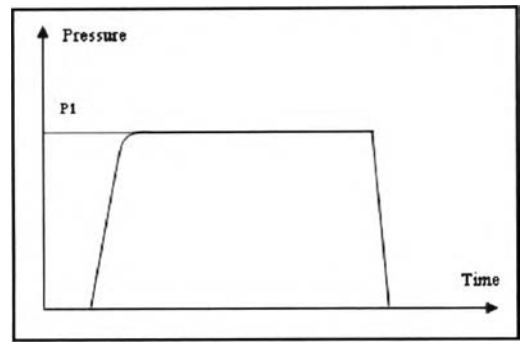
5.1.5) อิทธิพลของเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time)

เวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) คือช่วงเวลาที่ใช้ในการรักษาแรงดันของแก๊สภายในชิ้นงานซึ่งจะเกิดหลังขั้นตอนของการฉีดแก๊ส (Gas time) โดยช่วงเวลาในการรักษาแรงดันสามารถกำหนดแรงดันได้หลายค่าในแต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาจากรูปที่ 5.5



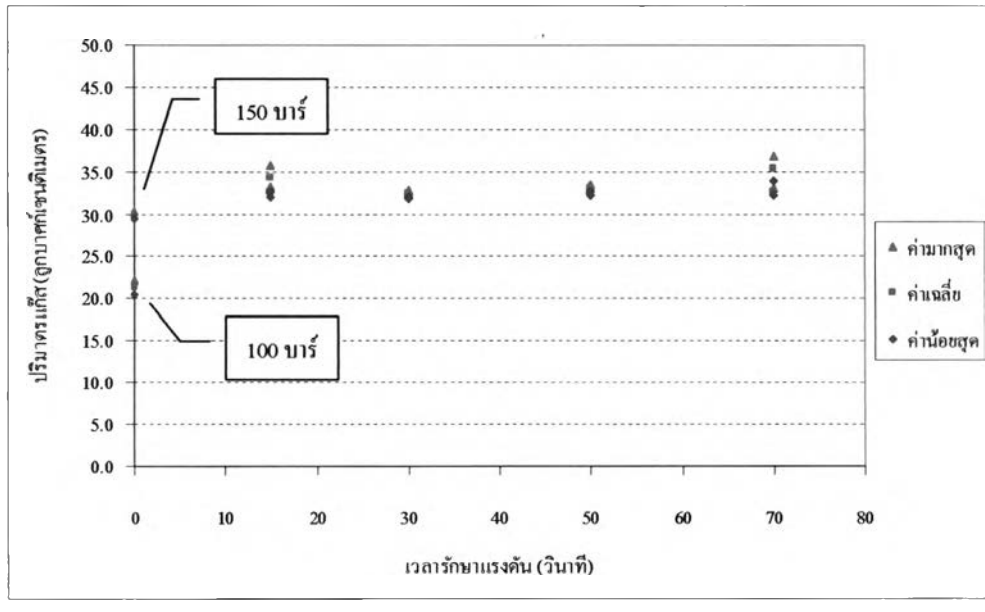
รูป 5.5 รูปแบบการควบคุมความดันของการฉีดด้วยแก๊ส (Pressure Controlled Gas Injection)

และเพื่อลดความยุ่งยากในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการกำหนดค่าความดันให้เหลือเพียงค่าเดียว โดยดังแสดงในรูป 5.6



รูป 5.6 รูปแบบความดันที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

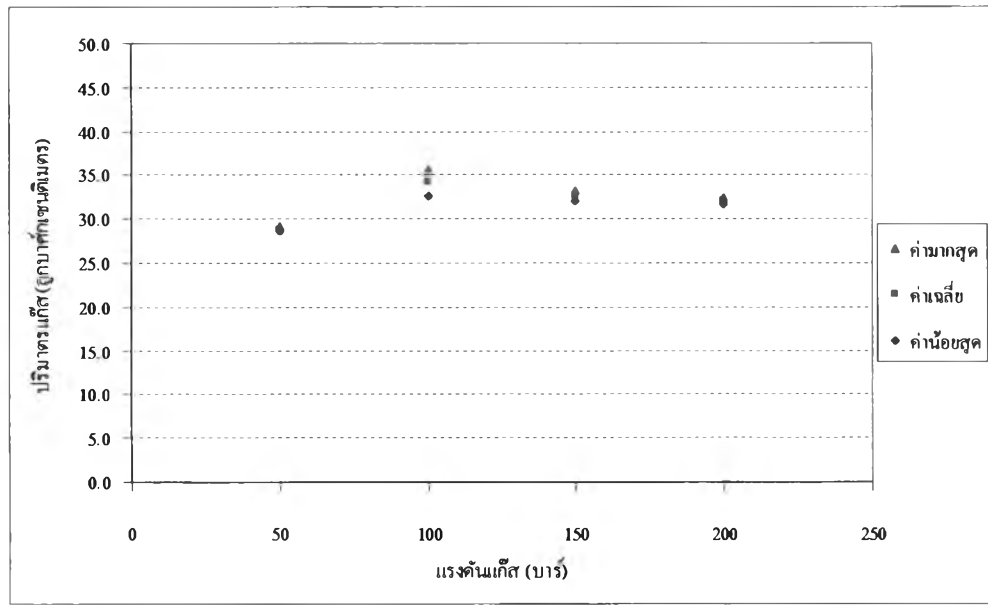
จากการวิจัยพบว่าเมื่อเวลาในการรักษาแรงดัน (Gas hold time) มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่รวดเร็วและมีค่าเข้าสู่ค่าคงที่ เมื่อเวลาในการรักษาแรงดันมากกว่า 15 วินาที และในการศึกษาความ สัมพันธ์ระหว่างเวลารักษาแรงดันและปริมาตรของแก๊สที่แรงดันเพิ่มขึ้น (แรงดัน 150 บาร์) พบว่ามีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับกรณีที่แรงดันต่ำกว่า (แรงดัน 100 บาร์) แต่ปริมาตรของแก๊สที่ช่วงเวลา 0-15 วินาที ที่สภาวะแรงดันแก๊สมากกว่าจะมีค่ามากกว่า สาเหตุเนื่องจากภายหลังขั้นตอนการฉีดแก๊สแล้ว แก๊สจะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการแพร่เข้าสู่พลาสติกหลอมในส่วนที่ยังไม่แข็งตัว ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าเมื่อแก๊สเริ่มแพร่เข้าสู่พลาสติกหลอมทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น จนเมื่อแก๊สแพร่เข้าถึงชั้นแข็งของพลาสติก (Frozen layer) ทำให้การแพร่ของแก๊สสิ้นสุดลง ซึ่งจากผลการวิจัยการแพร่จะใช้เวลาประมาณ 3 วินาที และแรงดันของแก๊สมากกว่า ทำให้การแพร่ของแก๊สเกิดขึ้นเร็วกว่าด้วย โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.7 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.7 อิทธิพลของเวลารักษาแรงดันต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

5.1.6) อิทธิพลของแรงดันแก๊ส

แรงดันแก๊ส (Gas Pressure) คือ แรงดันของแก๊สไนโตรเจนที่ฉีดเข้าไปภายในชิ้นงานหลังจากฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์แล้ว เพื่อดันพลาสติกหลอมให้ไหลเต็มแม่พิมพ์ จากการวิจัยพบว่าเมื่อแรงดันของแก๊สมีค่ามากขึ้นทำให้ปริมาตรของแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับแรงดันแก๊ส แค่เมื่อถึงแรงดันแก๊สค่าหนึ่ง (แรงดัน 100 บาร์) ผลกระทบของแรงดันต่อปริมาตรของแก๊สจะมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เหตุเนื่องจากการเพิ่มแรงดันทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของพลาสติกหลอมมีค่าลดลง จนกระทั่งเมื่อเพิ่มแรงดันมากขึ้นก็ไม่สามารถทำให้ระยะห่างของโมเลกุลลดลงได้อีก ส่งผลให้ปริมาตรแก๊สไม่เปลี่ยนแปลงมากนักอีกทั้งการที่ใช้แรงดันแก๊สมากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อชิ้นงานคือชิ้นงานอาจเกิดครีบ (Flash) ที่บริเวณรอยต่อของแม่พิมพ์ได้ โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.8 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 26, 27 และ 28 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))

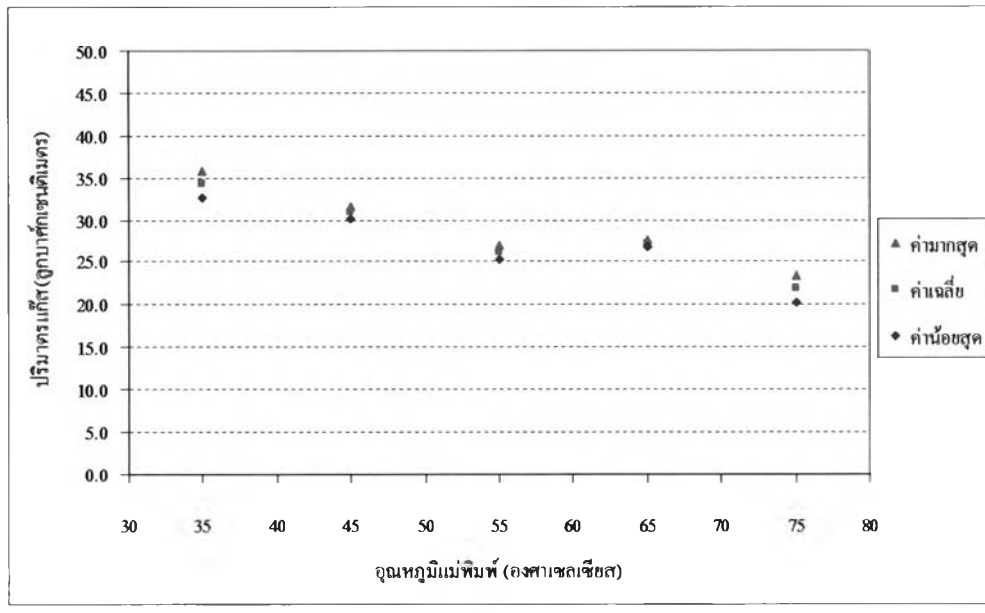


รูป 5.8 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

5.1.7) อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์

อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์เพื่อใช้ในการหล่อเย็นชิ้นงานให้แข็งตัวภายหลังขั้นตอนการฉีดแก๊ส การวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำในการถ่ายเทความร้อนออกจากแม่พิมพ์ และควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้คงที่ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control Unit) จากผลการวิจัยทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และปริมาตรของแก๊ส (Gas Volume) คือเมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงานลดลง เหตุเนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้เวลาในการหล่อเย็นชิ้นงาน (Cooling time) เพื่อการขึ้นรูปชิ้นงาน (Injection Molding) มีค่าคงที่ เมื่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อการแข็งตัวของพลาสติกหลอมซึ่งต้องใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น แต่เมื่อเวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) มีค่าคงที่ เมื่อชิ้นงานออกมาจากแม่พิมพ์ พลาสติกหลอมภายใน

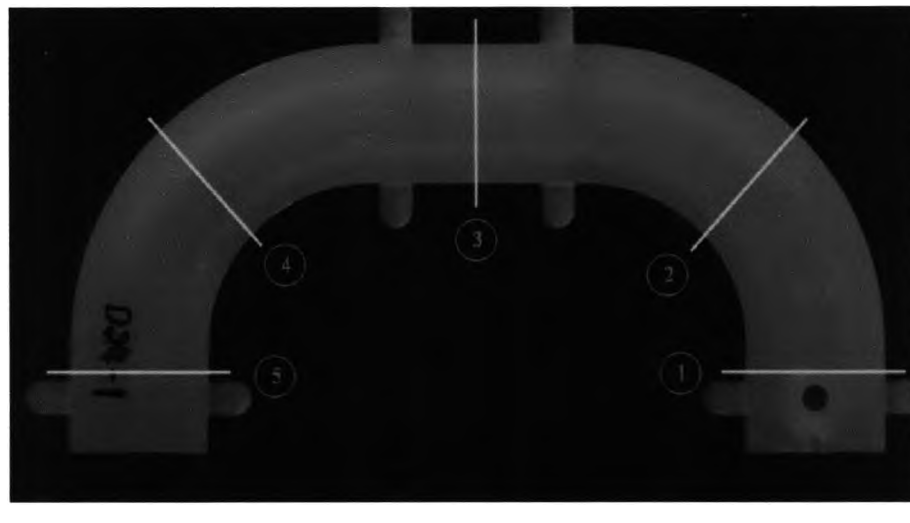
ชิ้นงานบางส่วนยังไม่แข็งตัวเป็นผลให้เกิดการยุบตัวของชิ้นงาน (Warpage) ส่งผลให้ปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงานลดลง โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.9 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 29, 30, 31 และ 32 ตามลำดับ (ตาราง ฌ.2))



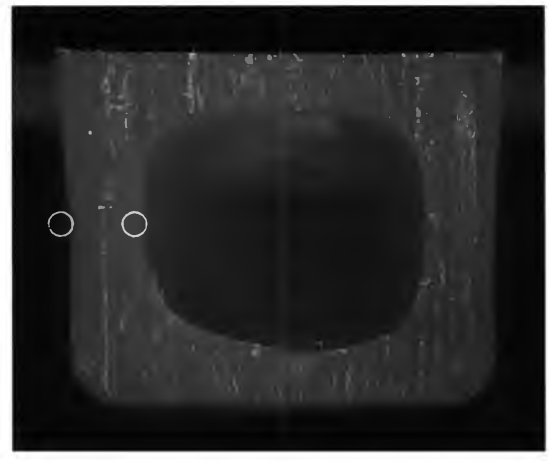
รูป 5.9 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อปริมาตรแก๊สภายในชิ้นงาน

5.2) การวัดความหนาตกค้างของชิ้นงาน (Residual Wall Thickness: RWT)

ความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) คือความหนาของพลาสติกภายหลังการไหลผ่านของแก๊สภายในชิ้นงานขณะที่พลาสติกหลอมยังไม่คงรูป โดยความหนาตกค้างนี้ (RWT) จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน เช่น ความแข็งแรง (Strength), การโก่งตัว (Warpage) และการหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงาน งานวิจัยในครั้งนี้จะทำการวัดค่าความหนาตกค้าง (RWT) ของชิ้นงานจำนวน 5 ตำแหน่งดังรูป 5.10 ตามระยะทางจากตำแหน่งทางเข้าของชิ้นงาน (Polymer Injection Gate) ซึ่งในแต่ละตำแหน่งจะทำการวัดความหนาทั้ง 4 ด้านของชิ้นงาน ดังรูป 5.11 โดยความหนาตกค้างที่ทำการวัด (RWT) จะคำนึงถึงเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อพลาสติกสะสม (Melt Accumulation) เท่านั้น ส่วนเนื้อพลาสติกที่มีฟองอากาศแทรกซึมอยู่จะไม่ทำการวัดเนื่องจากมิใช่ความหนาที่แท้จริงในการรับแรง



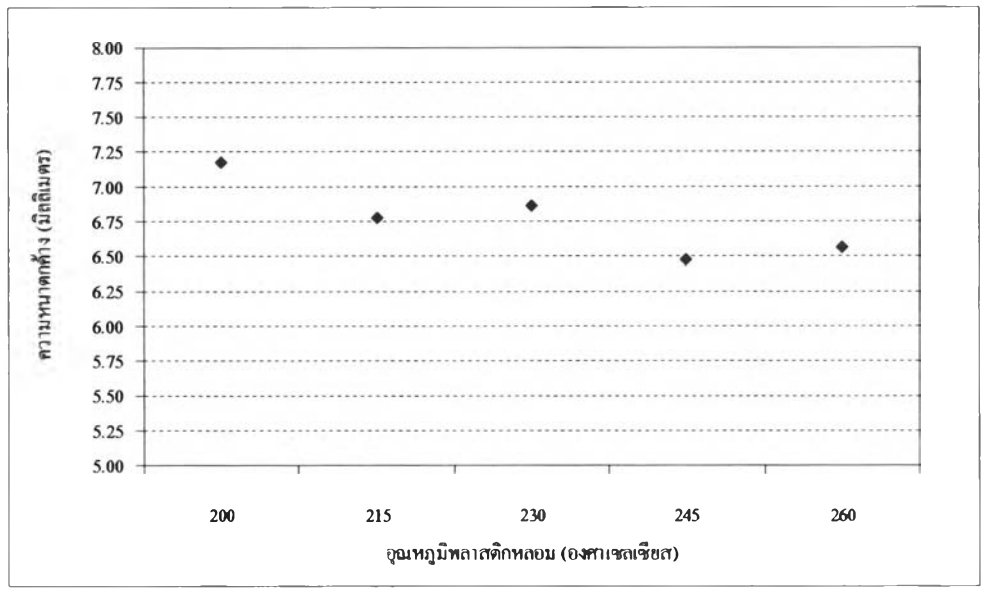
รูป 5.10 แสดงตำแหน่งการวัดความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT)



รูป 5.11 แสดงตำแหน่งความหนาที่ทำการวัดค่า

5.2.1) อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอม

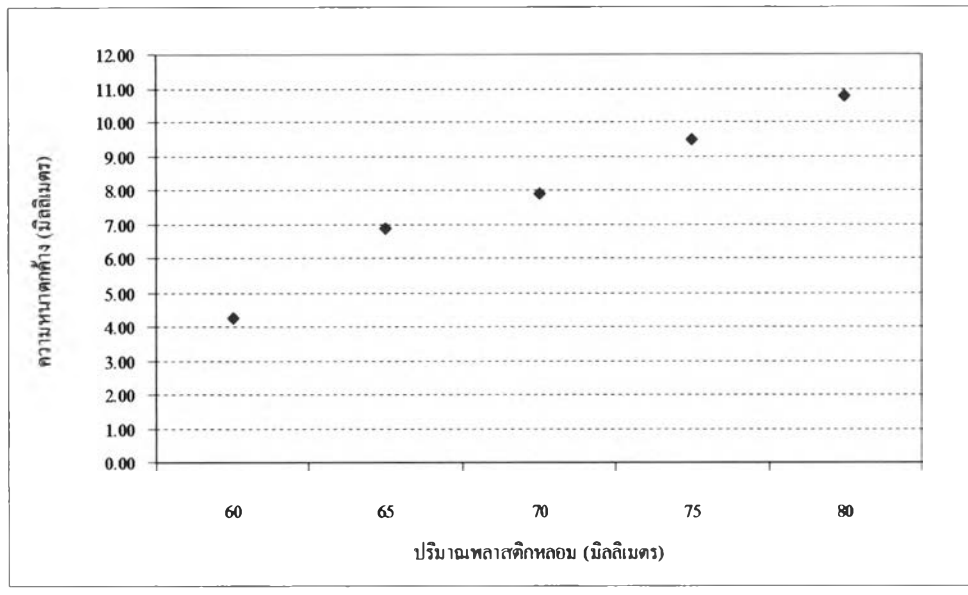
จากผลการวิจัยทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมพลาสติก (Melt Temperature) กับความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) มีค่าลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการที่พลาสติกหลอมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการแพร่ของแก๊สมีค่ามากขึ้นตาม ขณะที่การเกิดชั้นแข็งของพลาสติก (Frozen Layer) มีอัตราที่ลดลง เมื่อโมเลกุลของพลาสติกหลอมได้รับแรงดันจึงทำให้มีการเคลื่อนที่เข้าหากันมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างมีค่าลดลงตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกับปริมาตรของแก๊สดังหัวข้อ 5.1.1 ที่ปริมาตรแก๊สเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิพลาสติกหลอมเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.12 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ (ตาราง ฆ.2))



รูป 5.12 อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

5.2.2) อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอม

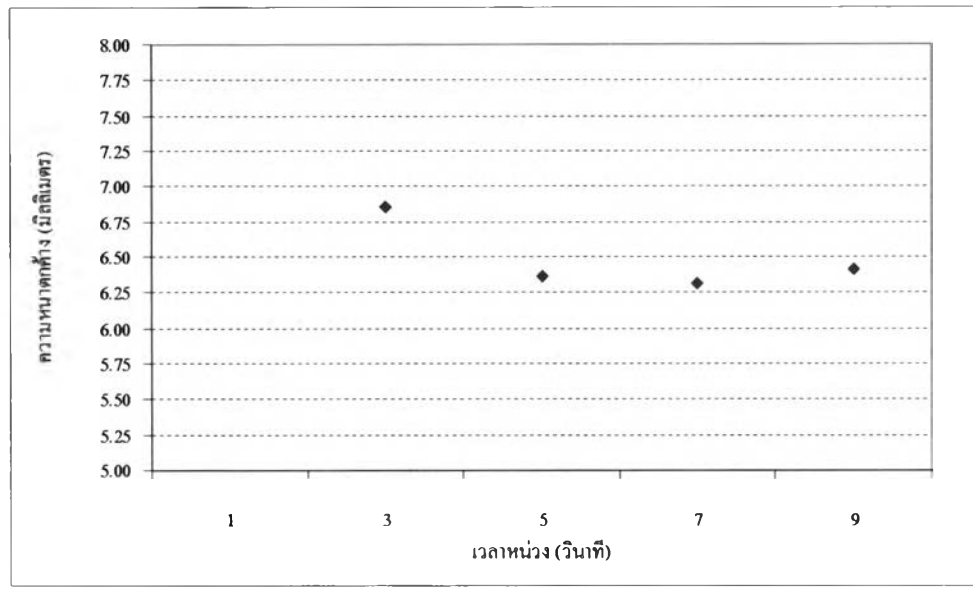
จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอม (Shot size) ต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) พบว่าเมื่อปริมาณของพลาสติกหลอม (Shot size) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณเนื้อพลาสติกหลอมมากขึ้นปริมาตรของแก๊ส (Gas Volume) ภายในชิ้นงานย่อมลดลง (จากหัวข้อ 5.1.2) ส่งผลให้ความหนาตกค้าง (RWT) มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพิจารณาผลการทดลองแสดงดังรูป 5.13(เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.13 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอมต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

5.2.3) อิทธิพลของเวลาหน่วง

จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาหน่วง (Delay time) ต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) พบว่าเมื่อเวลาหน่วง (Delay time) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความหนาตกค้างของชิ้นงานมีค่าลดลง โดยการลดลงของความหนาตกค้างนั้นจะมีค่ามาก จนเวลาหน่วงมากกว่า 5 วินาที ค่าความหนาตกค้างจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก สาเหตุเนื่องจากเมื่อเวลาหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ชั้นแข็งของพลาสติก (Frozen Layer) บริเวณ Shot size มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทำการฉีดแก๊สทำให้การไหลของพลาสติกหลอมไปยังปลายชิ้นงานจึงมีปริมาณที่ลดลง ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างมีค่าลดลงซึ่งแสดงดังรูป 5.28 และสิ่งที่ปรากฏชัดจากผลของการหน่วงเวลาก็คือ ร่องรอยการไหลของพลาสติกหลอม (Flow Mark) บนผิวชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากความต่อเนื่องของเวลาระหว่างเวลาของการฉีดพลาสติกหลอมและการฉีดแก๊สให้ไหลเข้าสู่ชิ้นงาน ซึ่งร่องรอยดังกล่าว (Flow Mark) จะมีความชัดเจนขึ้นเมื่อเวลาในการหน่วง (Delay Time) มีค่ามากขึ้น โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.14 และรูป 5.15 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



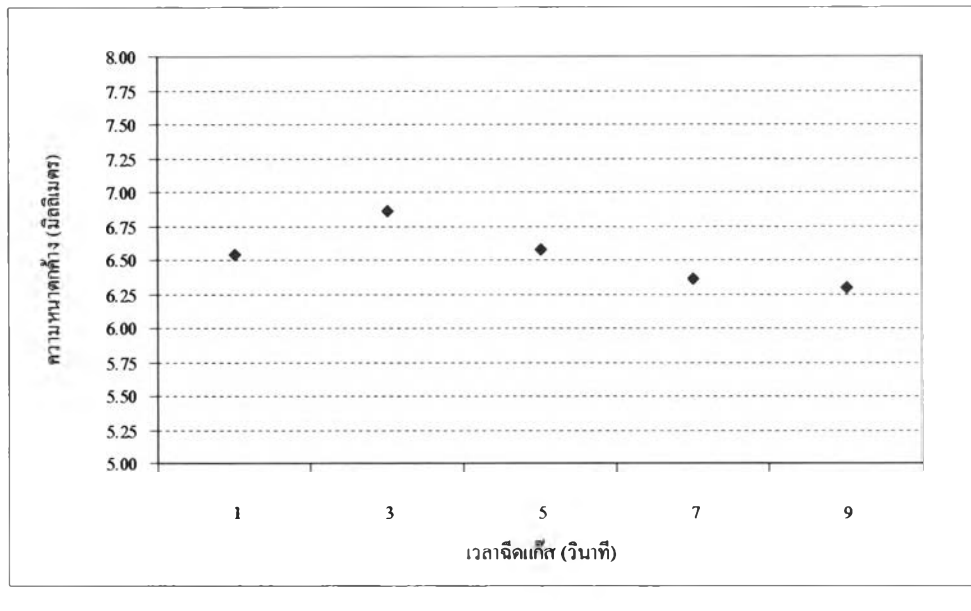
รูป 5.14 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

รูป 5.15 แสดงร่องรอยการไหลของพลาสติกหลอม

5.2.4) อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊ส

จากการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการฉีดแก๊ส (Gas time) และความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) ที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่อเวลาการฉีดแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลง คือความหนาของชิ้นงานจะมีค่ามาก และจะมีค่าลดลงจนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อเวลาการฉีดแก๊สเพิ่มขึ้น (เวลาฉีดแก๊ส 7 วินาที) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อเวลาการฉีดแก๊สต่ำๆปริมาณแก๊สที่ไหลเข้าชิ้นงานจะน้อยจน เมื่อเวลาการฉีดแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊สก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าๆหนึ่งที่ไม่สามารถเพิ่มได้อีก แต่การใช้กระบวนการฉีดแก๊สโดยใช้เป็นแบบควบคุมแรงดันแก๊ส (Gas Pressure Control) ถึงแม้ว่าเวลาในการฉีดแก๊สไม่เท่ากัน แต่เมื่อแรงดันของแก๊สเท่ากันแล้วก็จะดันพลาสติกหลอมให้เคลื่อนที่ในระยะทางที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ได้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเพื่อหาความ สัมพันธ์ระหว่างเวลาการฉีดแก๊ส (Gas

time) และปริมาตรของแก๊สภายในชิ้นงาน (Gas Volume) โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.16 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 14, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.16 อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊สต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

5.2.5) อิทธิพลของเวลารักษาความดัน

จากการวิจัยสามารถแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ส่วนคือ

1.) ที่แรงดันแก๊ส (Gas Pressure) เท่ากับ 100 bars

2.) ที่แรงดันแก๊ส (Gas Pressure) เท่ากับ 150 bars

5.2.5.1) แรงดันแก๊ส 100 บาร์

จากผลการวิจัยสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) และ ความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) ได้เป็น 3 ช่วงตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) ดังนี้

ช่วงแรกเมื่อเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) อยู่ในช่วงระหว่าง 0-15 วินาที ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน จะไม่มีการเปลี่ยน แปลงมากนักจนเข้าสู่ช่วงที่ 2

ช่วงที่สอง เมื่อเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) อยู่ช่วงระหว่าง 15-50 วินาที ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตามลำดับ

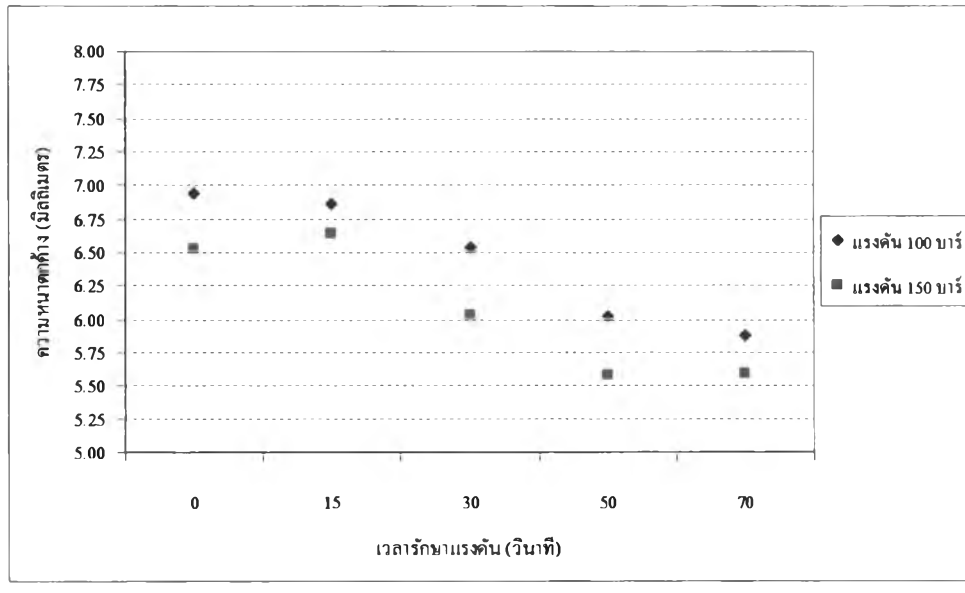
ช่วงที่สาม ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน จะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่อีกครั้ง (ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) เมื่อเวลารักษาแรงดัน มีค่าเพิ่มขึ้น (50-70 วินาที)

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นเวลาการรักษาแรงดัน (Gas hold time) มีค่าน้อย ไม่มีการซึมผ่านของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอม จนเมื่อเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิด

กระบวนการการแพร่ของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอมเพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ตาราง ฅ.1 พบว่าบริเวณการแพร่ของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอมจะมีลักษณะเป็นฟองอากาศเมื่อทำการสแกนภาพ (Scan) จะมีลักษณะเป็นสีขาว จนถึงสภาวะที่แก๊สไม่สามารถแพร่เข้าพลาสติกหลอมได้อีกแล้ว ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) น้อยมาก จากเหตุที่กล่าวมาทำให้ความหนาตกค้างของชิ้นงานมีค่าลดลง (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 18, 20, 22 และ 24 ตามลำดับ (ตาราง ฆ.2))

5.2.5.2) แรงดันแก๊ส 150 บาร์

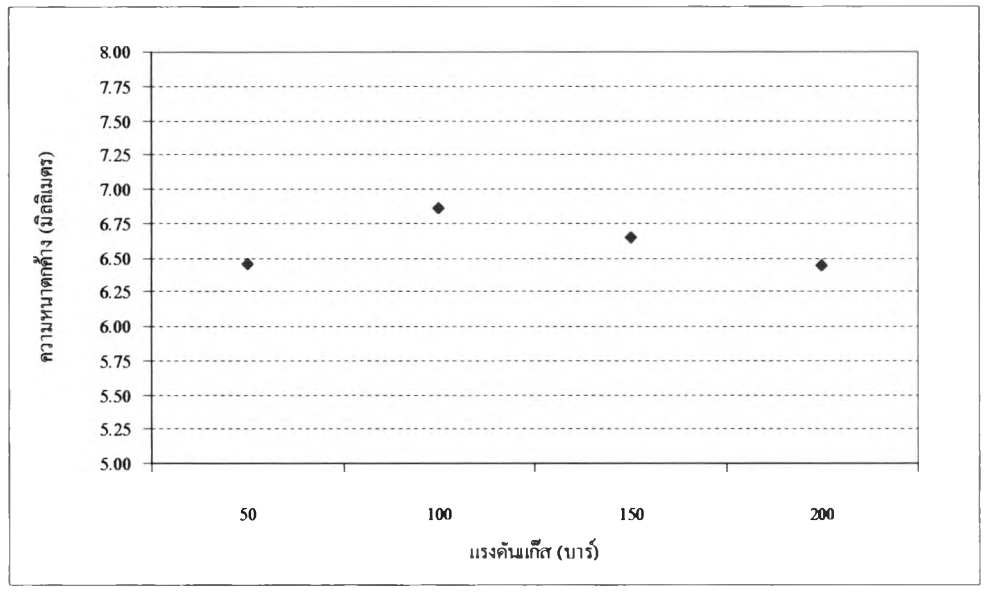
พฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) และค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) จะมีลักษณะเหมือนกรณีของแรงดันแก๊สเท่ากับ 100 บาร์ โดยจะแตกต่างกันที่ขนาดของความหนาตกค้าง ที่แรงดันมากกว่า ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) มีค่าน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาร่วมกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊ส (Gas Volume) และเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) จะพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวก็สอดคล้องกัน เมื่อเวลาการรักษาแรงดัน (Gas hold time) มีค่ามากขึ้นแนวโน้มของปริมาตรแก๊ส (Gas Volume) จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักผิดกับค่าความหนาตกค้างของพลาสติก (RWT) ที่จะมีค่าลดลง เหตุเนื่องจากเมื่อเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) มีค่ามากขึ้นทำให้แก๊สมีเวลาในการแพร่เข้าสู่พลาสติกหลอมมากขึ้น จึงทำให้ปริมาตรของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลงแต่ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) มีค่าลดลง เหตุเนื่องจากเมื่อแรงดันแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลของพลาสติกเคลื่อนที่เข้าหากันมากขึ้น เกิดแรงยึดเหนี่ยวมากขึ้น อีกทั้งการแพร่ของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอมที่มากกว่า จากสภาวะแรงดันแก๊สที่มากกว่า (สามารถเปรียบเทียบความหนาตกค้างของชิ้นงานได้จากตาราง ฅ.1) โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.17 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 19, 21, 23, 25 และ 27 ตามลำดับ (ตาราง ฆ.2))



รูป 5.17 อิทธิพลของเวลารักษาแรงดันของแก๊สต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

5.2.6) อิทธิพลของแรงดันแก๊ส

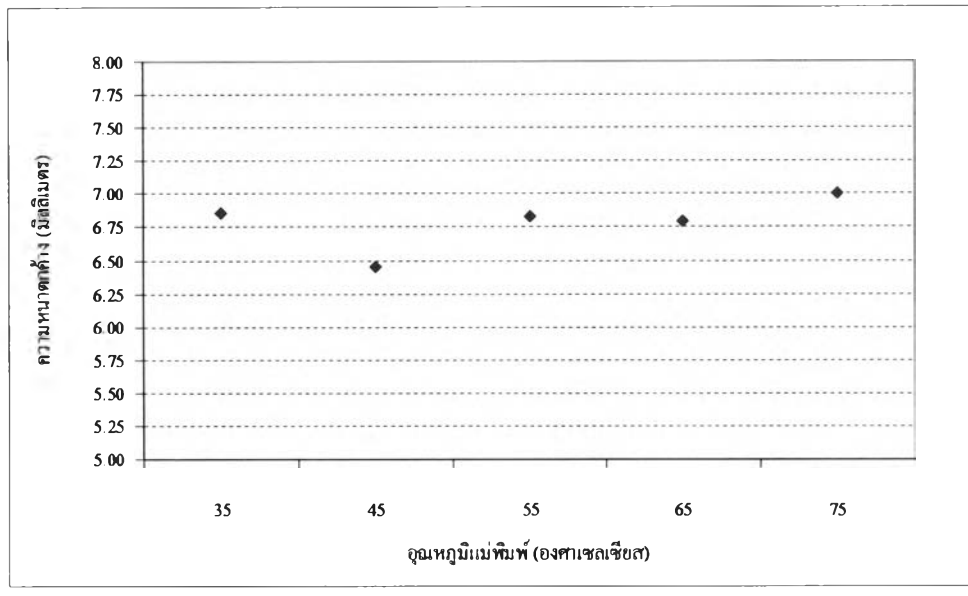
จากการวิจัยพบว่าเมื่อแรงดันของแก๊ส (Gas Pressure) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) มีค่าลดลง สาเหตุเนื่องจากเมื่อแรงดันแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของพลาสติกหลอมมีค่าใกล้กันมากขึ้น และขณะเดียวกันเมื่อแรงดันแก๊สมีค่ามากๆ จะก่อให้เกิดการแพร่ของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอม ทำให้ภายในของชิ้นงานมีลักษณะเป็นฟองอากาศ (แสดงดังตาราง ค.1) ส่งผลให้ค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งพบว่าจะสอดคล้องกับปริมาตรของแก๊ส (หัวข้อ 5.1.6) แต่การที่ปริมาตรของแก๊สจะมีค่าคงที่ เมื่อแรงดันแก๊สมีค่ามากกว่า 100 บาร์ เนื่องจากขณะนั้นแก๊สกำลังแพร่เข้าพลาสติกหลอมทำให้ปริมาตรแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง ต่ความหนาตกค้างของชิ้นงานลดลง แสดงผลการทดลองดังรูป 5.18 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 26, 27 และ 28 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



รูป 5.18 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

5.2.7) อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์

จากผลการวิจัยทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) กับความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) คือเมื่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) น้อยมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราการแพร่ของแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอมมีค่าคงที่โดยไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ ซึ่งแตกต่างกันกับผลที่เกิดขึ้นของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และปริมาตรของแก๊ส (Gas Volume) ที่เมื่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรของแก๊สลดลง โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.19 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 29, 30, 31 และ 32 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



รูป 5.19 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อความหนาตกค้างของชิ้นงาน

5.3) <u>การวัดปริมาณการยุบตัว (Sink Mark)</u>

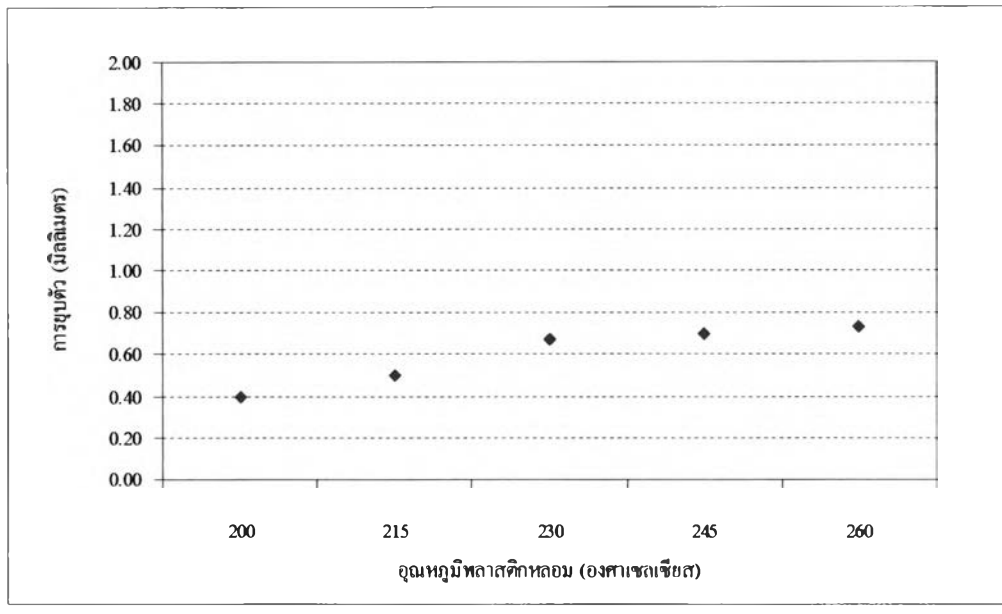
การยุบตัว (Sink Mark) ถือว่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของชิ้นงาน (Shrinkage) เป็นผลให้ปริมาตรของชิ้นงานน้อยลง จะแตกต่างกันตรงที่การหดตัวของชิ้นงานเป็นปรากฏการณ์ที่เป็นธรรมชาติของพลาสติกทุกชนิด แต่เกิดขึ้นในอัตราการหดตัวที่แตกต่างกันซึ่งผิดกับการยุบตัวที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการออกแบบชิ้นงานที่หนาเกินไป, การออกแบบแม่พิมพ์, การควบคุมกระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน มีผลให้การถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานไม่สมบูรณ์ภายในพลาสติกหลอมยังไม่แข็งตัว ทำให้เกิดแรงดึงจากภายในของชิ้นงานเป็นผลให้ผิวด้านนอกของชิ้นงานเกิดการยุบตัวขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ

โดยเทคนิคการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีการฉีดพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย (GAIM) นั้นถูกคิดค้นขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาการยุบตัวของชิ้นงาน (Sink Mark) ที่เกิดจากชิ้นงานที่มีความหนามากๆ ซึ่งนอกจากปัญหาของการออกแบบชิ้นงานที่ไม่เหมาะสมแล้ว สภาวะต่างๆ ในกระบวนการผลิตก็เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของชิ้น งาน ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

5.3.1) อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอม

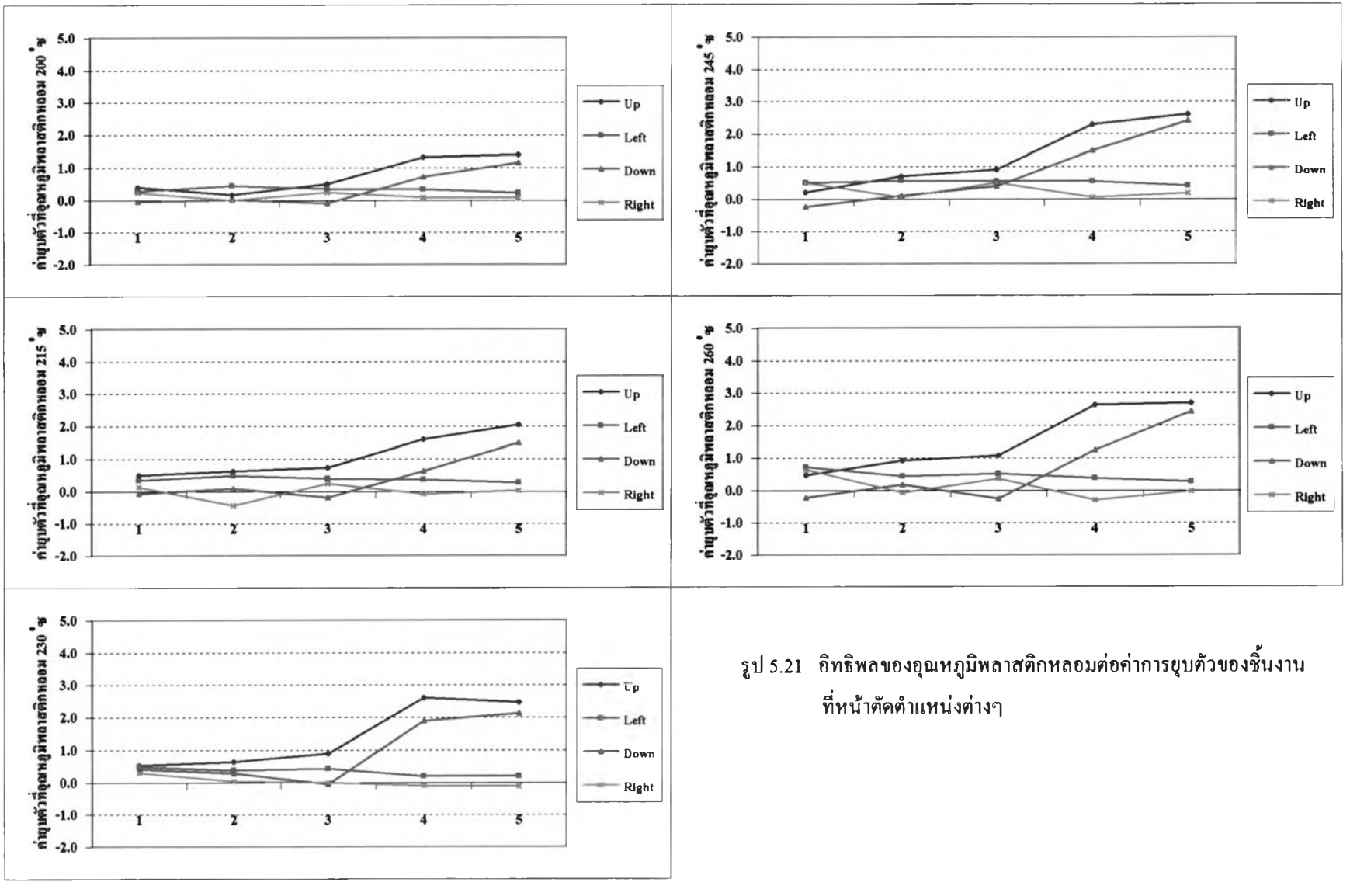
จากผลการวิจัยทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมของพลาสติก และการยุบตัวของชิ้นงานคือ เมื่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอมมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้การยุบตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยุบตัวของชิ้นงานมีค่าน้อยมากคือน้อยกว่า 1 มม. สาเหตุเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิพลาสติกหลอมเพิ่มขึ้น แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนยังคงที่ ทำให้ชิ้นงานเมื่อออกจากแม่พิมพ์ จึงยังคงมีความร้อนสะสม เป็นผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวขึ้น โดย

แสดงผลการทดลองดังรูป 5.20 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ตามลำดับ (ตาราง ฌ.2))

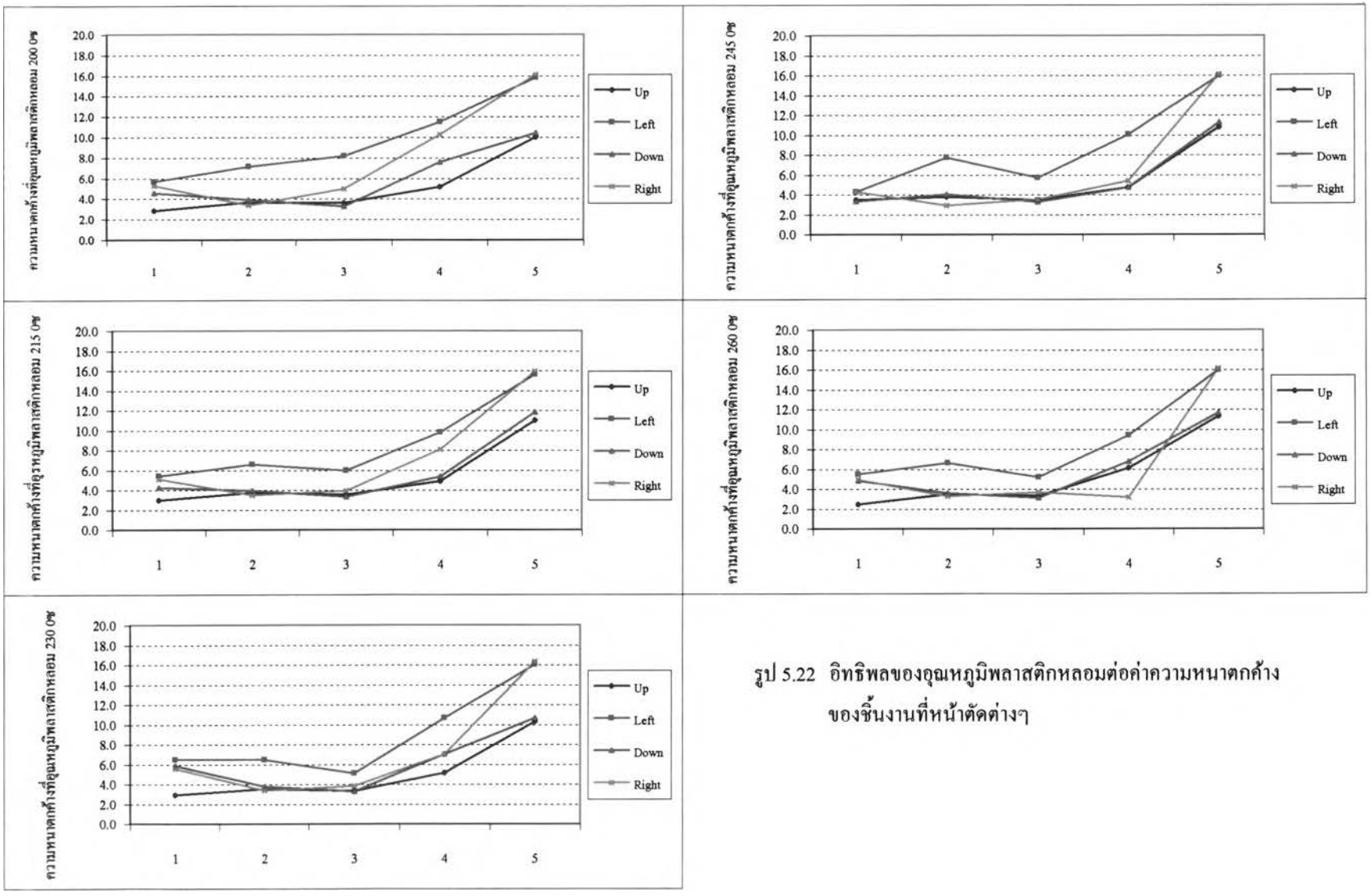


รูป 5.20 อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อการยุบตัวของชิ้นงาน

โดยพฤติกรรมการยุบตัวของชิ้นงานนั้น ส่วนที่ใกล้ทางเข้าของพลาสติกหลอมและแก๊สจะมีการยุบตัวน้อยและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพลาสติกหลอมเดินทางได้มากขึ้นส่งผลให้มีปริมาณที่มากขึ้น และที่ตำแหน่งการวัดเดียวกัน (Section) พบว่าแนวโน้มการยุบตัวก็จะมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอมเพิ่มขึ้น และพบว่าการยุบตัวของชิ้นงาน ตำแหน่งที่เกิดการยุบตัวมากจะอยู่บริเวณด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานด้านบนและด้านล่างมีขนาดความยาวมากกว่าด้านกว้างของชิ้นงาน ทำให้เกิดการหดตัวมากกว่าเมื่อใช้แรงกระทำที่เท่ากัน แสดงผลการวิจัยดังกราฟรูป 5.21 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพลาสติกหลอมที่อยู่บริเวณใกล้ทางเข้ามีระยะเวลาในการแข็งตัวของพลาสติกหลอม (Frozen Layer) มากกว่าพลาสติกที่อยู่ทางด้านปลาย อีกทั้งปริมาณพลาสติกหลอมทางด้านปลายของชิ้นงานจะมีค่ามากกว่า (ผลจากการที่แก๊สไหลผ่านเข้าไปไม่ถึง) ทำให้การยุบตัวทางด้านปลายของชิ้นงานมีค่ามากกว่า โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.22



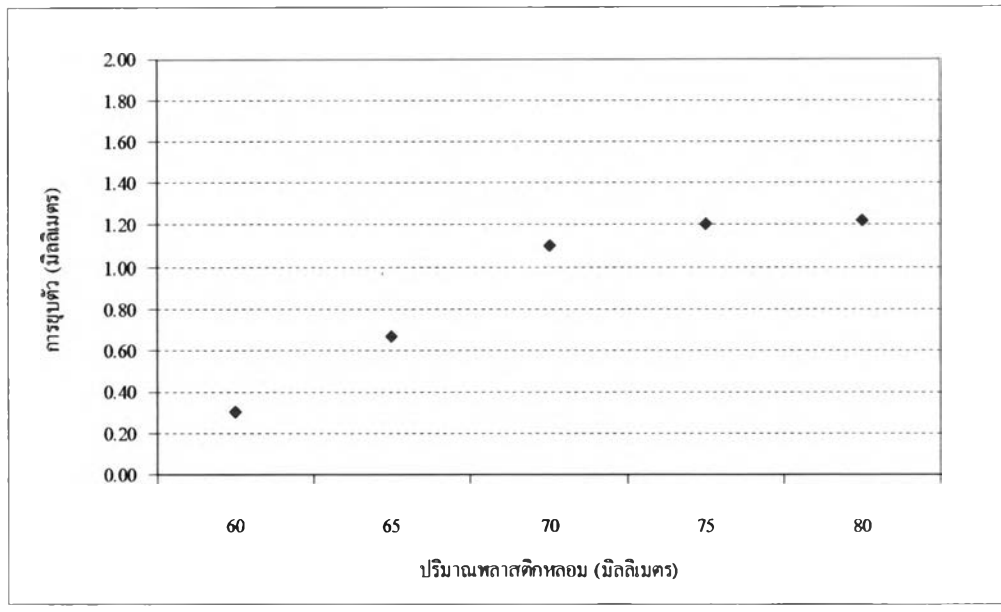
รูป 5.21 อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงาน ที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



รูป 5.22 อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อค่าความหนาตกค้าง
ของชิ้นงานที่หน้าตัดต่างๆ

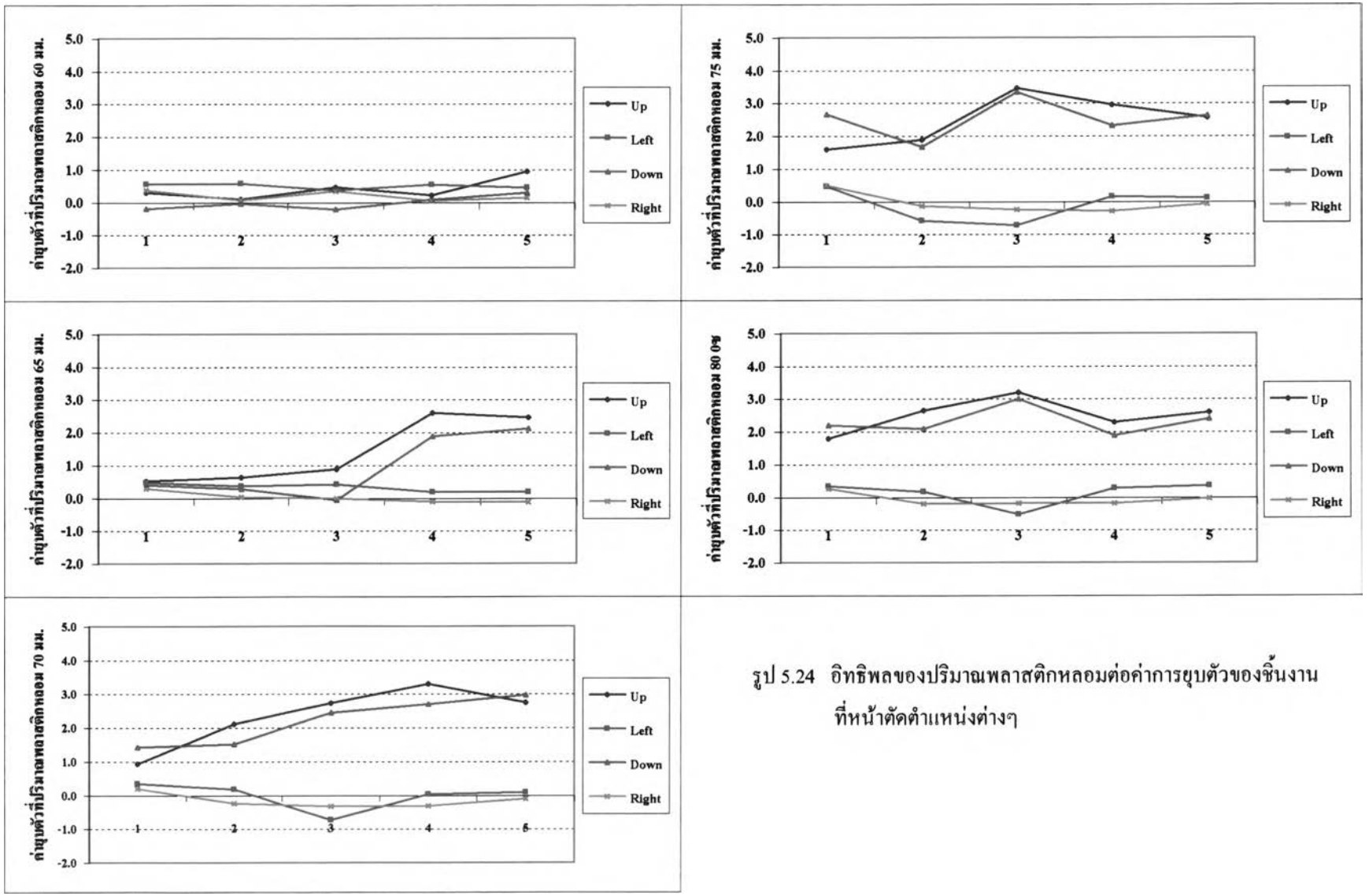
5.3.2) อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอม

จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉีดเนื้อพลาสติกหลอม (Shot size) กับการยุบตัวของชิ้นงาน คือเมื่อปริมาณเนื้อพลาสติกหลอมในแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น ทำให้การยุบตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.23 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))

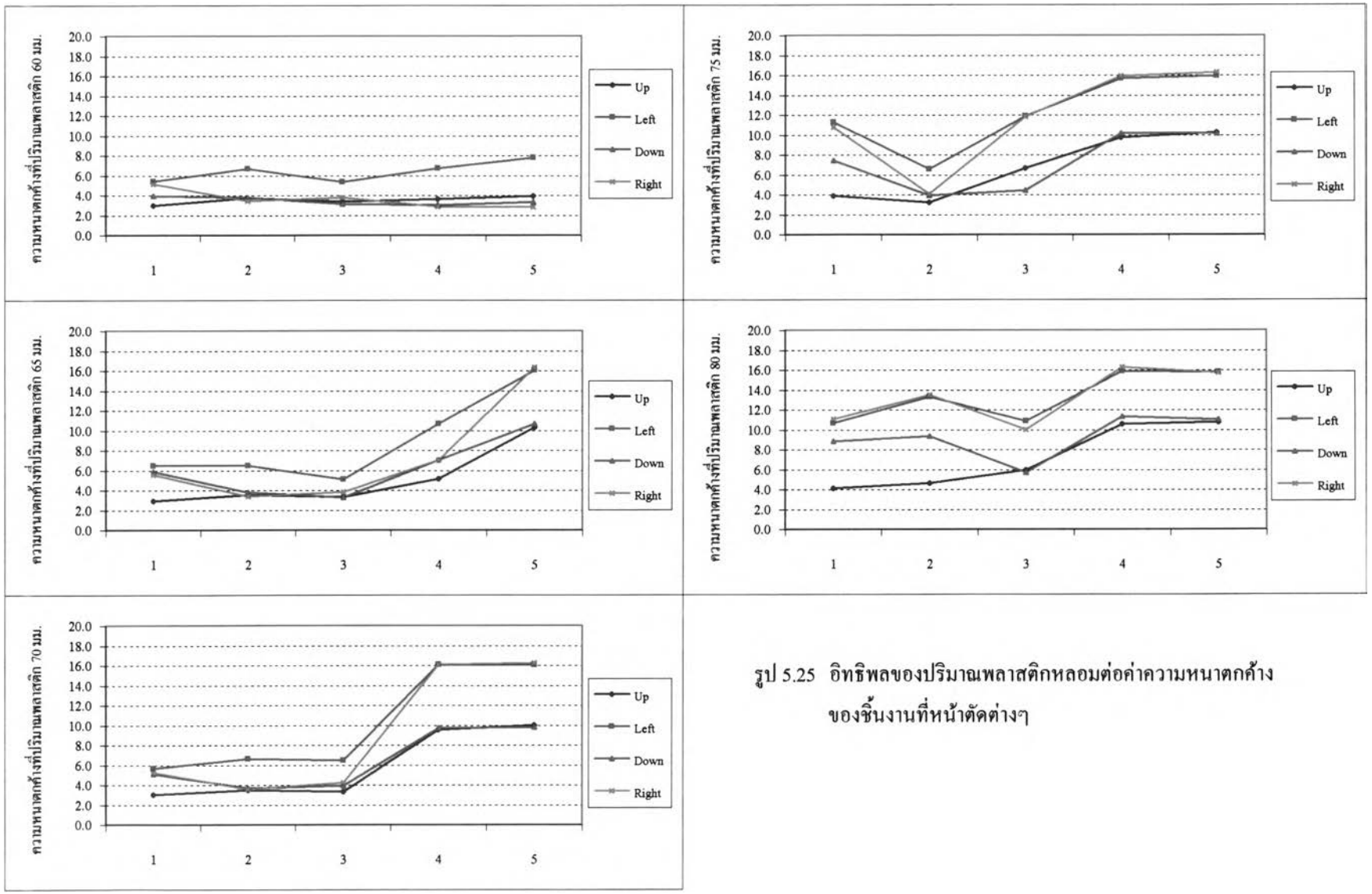


รูป 5.23 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอมต่อการยุบตัวของชิ้นงาน

โดยพฤติกรรมการยุบตัวของชิ้นงานนั้น จะเกิดขึ้นที่บริเวณชิ้นงานที่มีความหนามากๆ จากความหนาที่มากเกินไป ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานไม่ดีพอ (จากการที่ชิ้นงานมีการถ่ายเทความร้อนที่คงที่) เกิดความร้อนสะสมขึ้นภายในชิ้นงาน ผลก็คือเกิดการยุบตัวของชิ้นงานขึ้น และจากการวิจัยยังพบว่าแนวโน้มของการยุบตัวจะเป็นไปในด้านที่มีพื้นที่มากกว่าของชิ้นงาน (แรงที่ใช้ในการยุบตัวน้อยกว่า) โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.24 และรูป 5.25



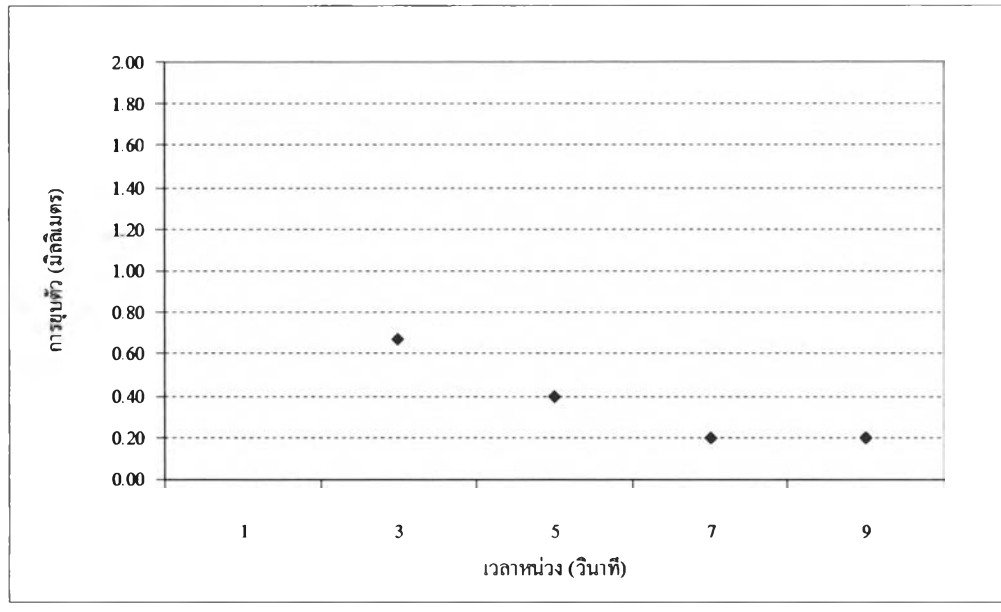
รูป 5.24 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอมต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงาน ที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



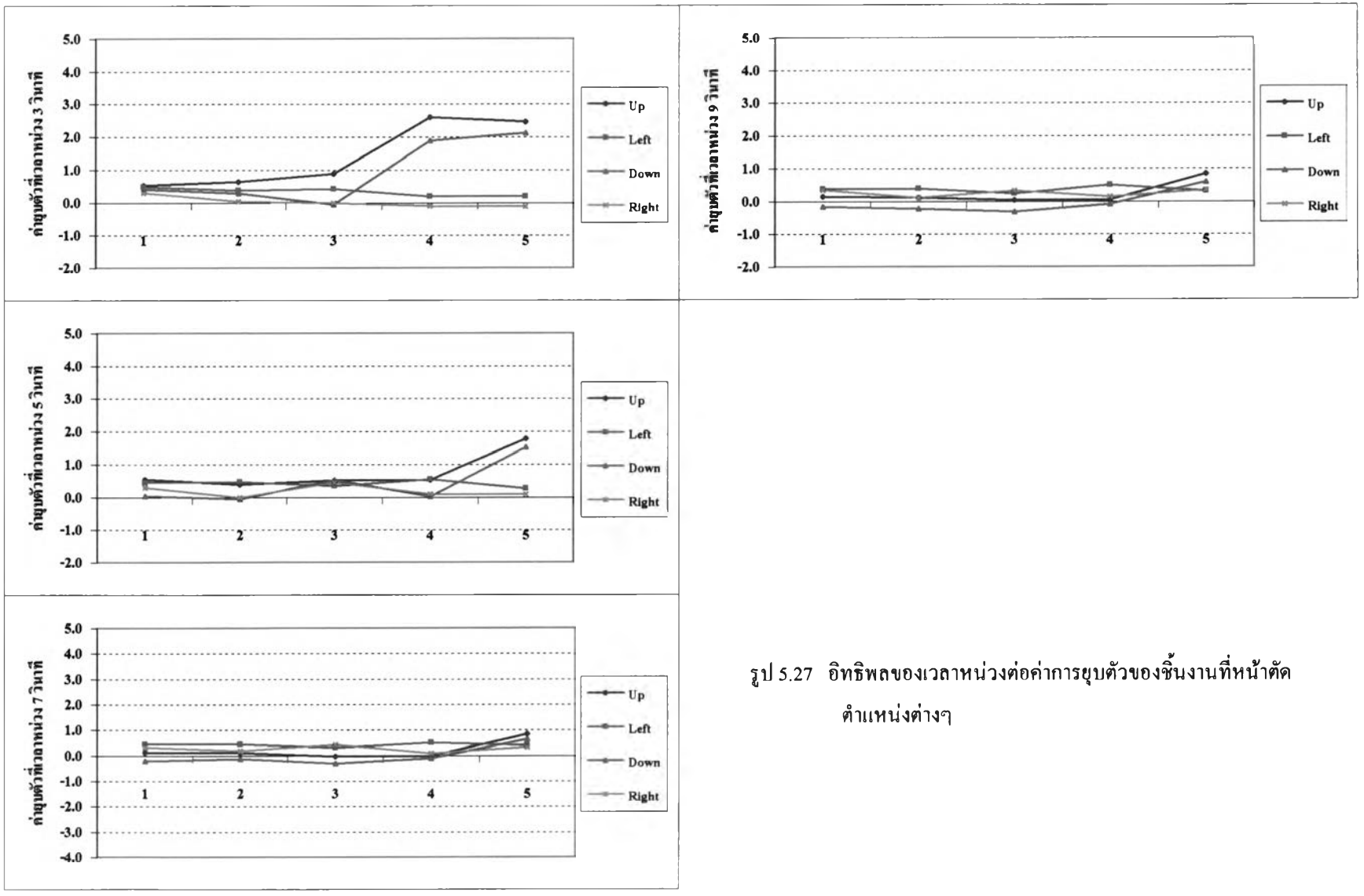
รูป 5.25 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอมต่อค่าความหนาตกค้าง
ของชิ้นงานที่หน้าตัดต่างๆ

5.3.3) อิทธิพลของเวลาหน่วง

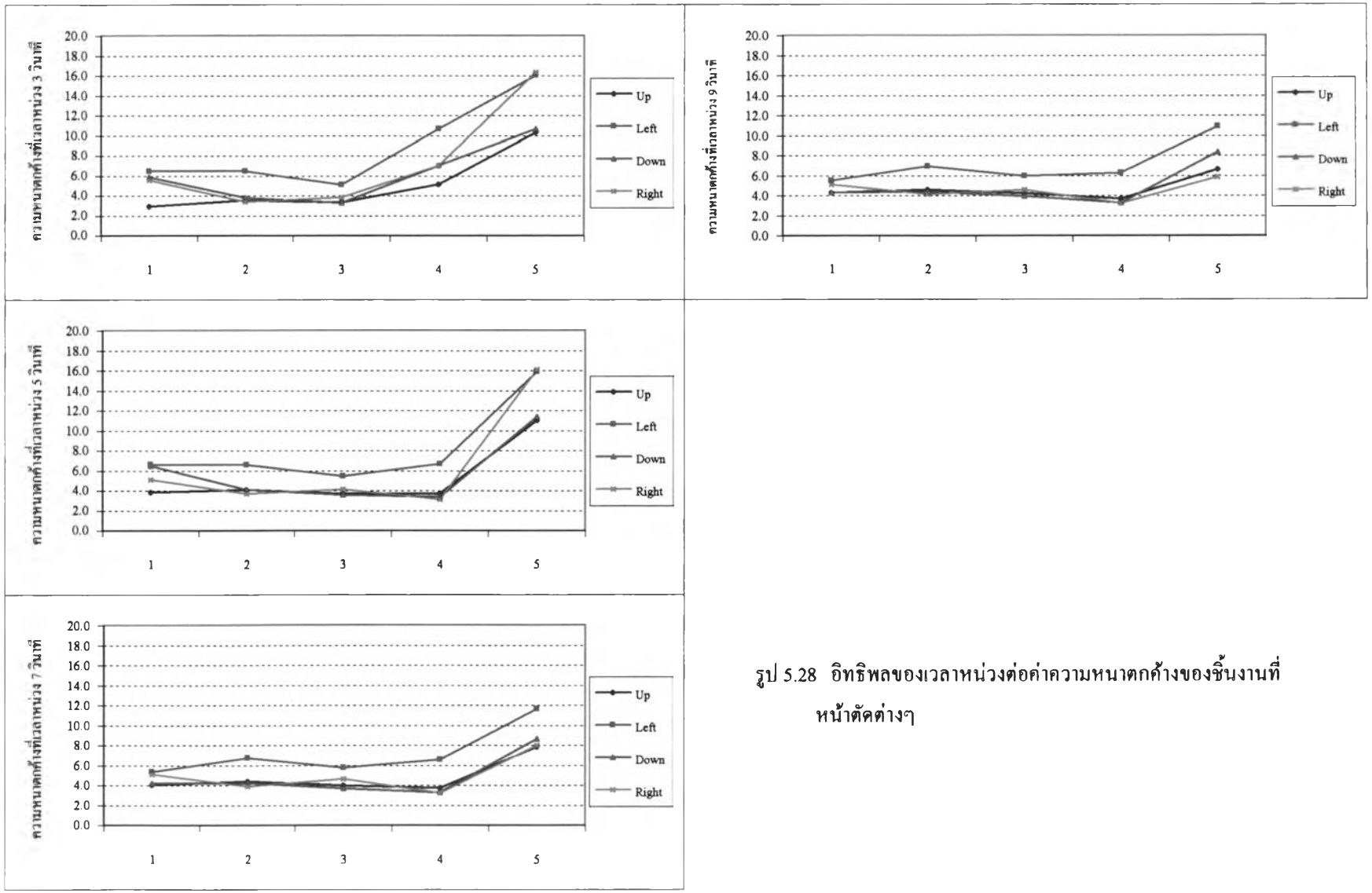
จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหน่วง (Delay time) กับการยุบตัวของชิ้นงาน พบว่าเมื่อเวลาหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การยุบตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนของพลาสติกหลอมเพิ่มมากขึ้น การเกิดชั้นแข็งของพลาสติก (Frozen Layer) เพิ่มมากขึ้นทำให้การยุบตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง แสดงผลดังรูป 5.26 และพบว่าการยุบตัวที่ลดลงจะแปรผันกับระยะทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาหน่วงเพิ่มขึ้น คือจะพบว่าเมื่อเวลาในการหน่วงเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะทางของชิ้นงานที่จะยุบตัวเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ แสดงผลดังรูป 5.27 และความหนาตกค้างของชิ้นงานมีผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงผลดังกราฟ 5.28 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.26 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อการยุบตัวของชิ้นงาน



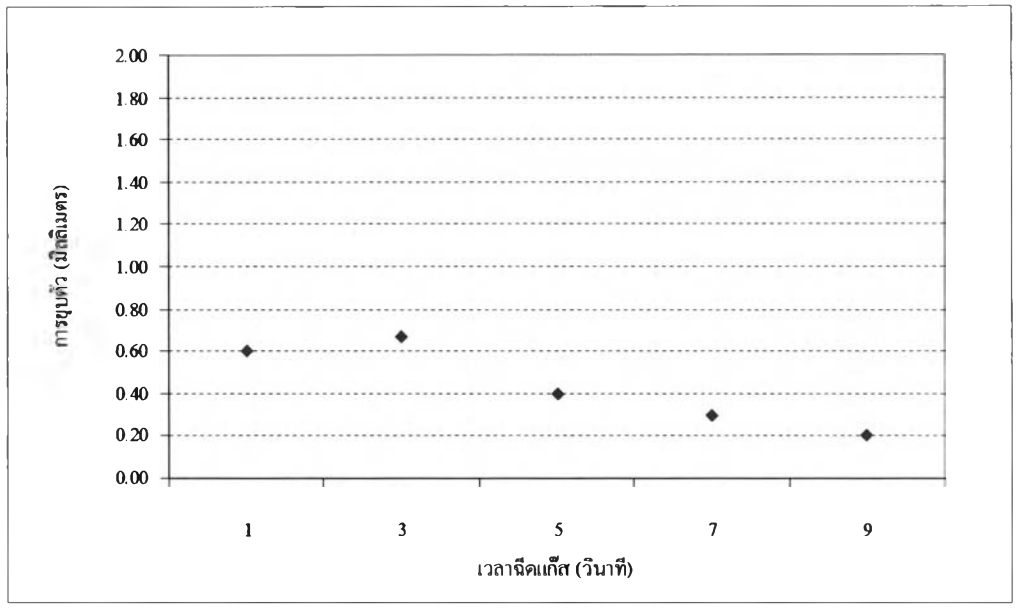
รูป 5.27 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงานที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



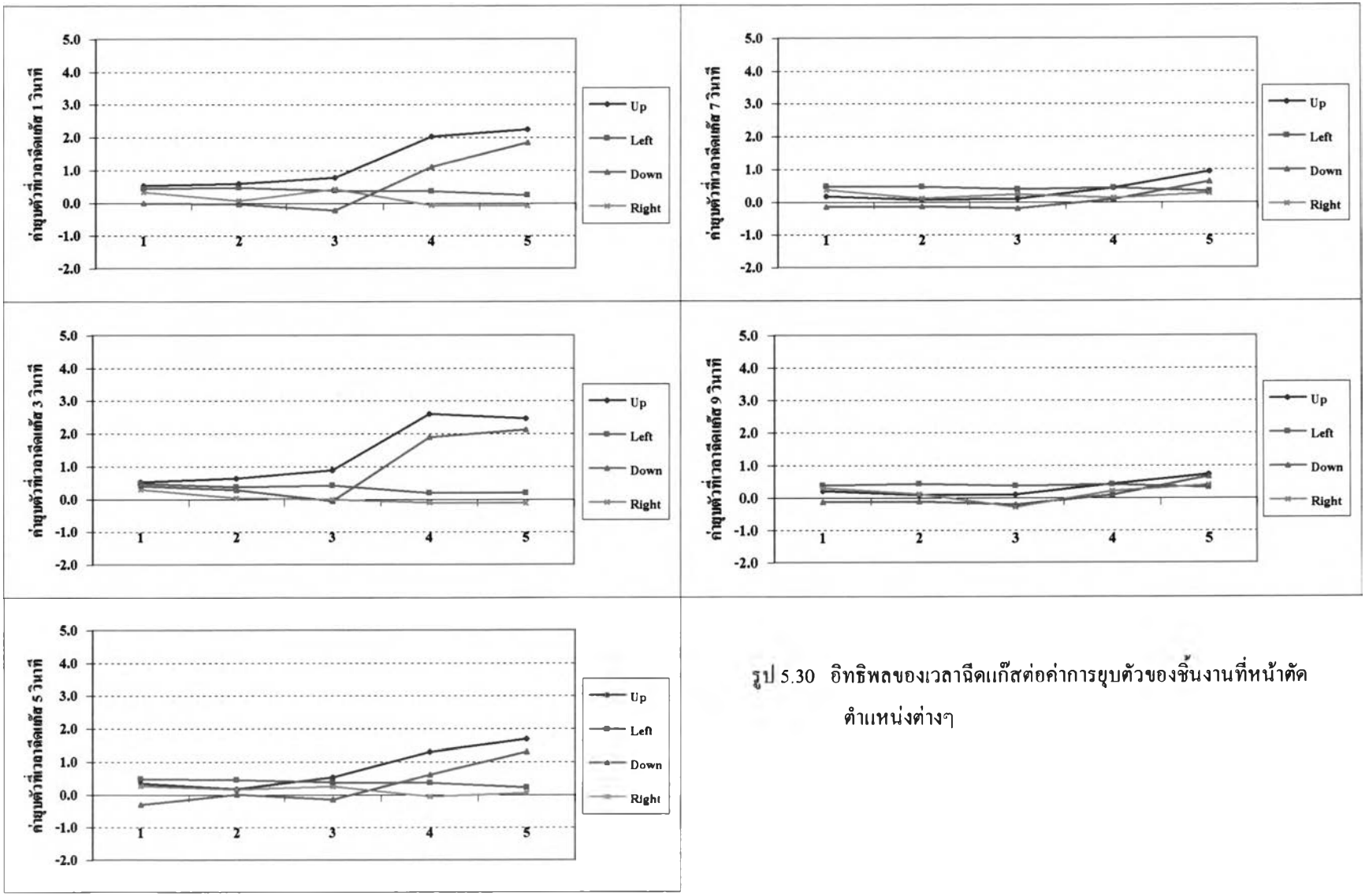
รูป 5.28 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานที่หน้าตัดต่างๆ

5.3.4) อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊ส

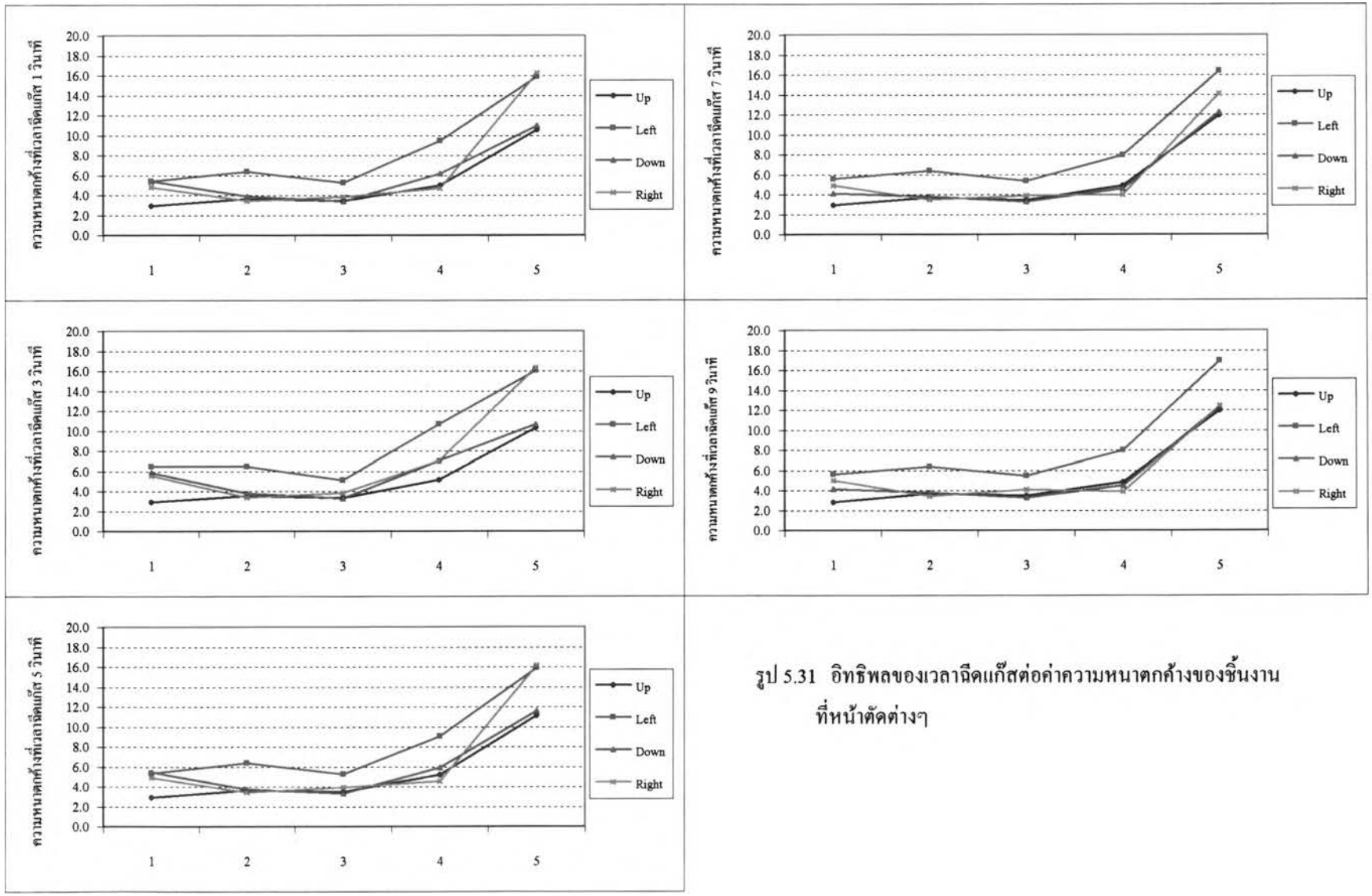
จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการฉีดแก๊ส (Gas time) และการยุบตัวของชิ้นงานพบว่า เมื่อเวลาการฉีดแก๊ส (Gas time) เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การยุบตัวของชิ้นงานลดลง สิ่งที่น่าสังเกตคือพบว่าการยุบตัวที่เวลาการฉีดแก๊สน้อยกว่า 3 วินาทีมีค่ามากเนื่องจากที่ช่วงเวลาขณะนั้นแรงดันแก๊สที่อยู่ภายในชิ้นงานมีค่าไม่ถึง 100 บาร์ จากที่ตั้งค่าไว้ แสดงดังรูป 5.6 ซึ่งแรงดันแก๊สจะเท่ากับ 100 บาร์เมื่อเวลาการฉีดแก๊สมากกว่า 3 วินาที เป็นผลให้การยุบตัวมีค่ามาก อีกทั้งเมื่อเวลาการฉีดแก๊สมีค่ามากขึ้น เสมือนเวลาในการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้การยุบตัวมีค่าลดลง แสดงผลดังรูป 5.29 และจากผลการวิจัยยังพบว่าการยุบตัวของชิ้นงานจะเกิดขึ้นที่บริเวณปลายการไหลของชิ้นงานเป็นหลัก แสดงดังรูป 5.30 ส่วนความหนาตกค้างของชิ้นงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงแสดงผลดังรูป 5.31 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 14, 15, 16 และ 17 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.29 อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊สต่อการยุบตัวของชิ้นงาน



รูป 5.30 อิทธิพลของเวลาฉีดเกตต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงานที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



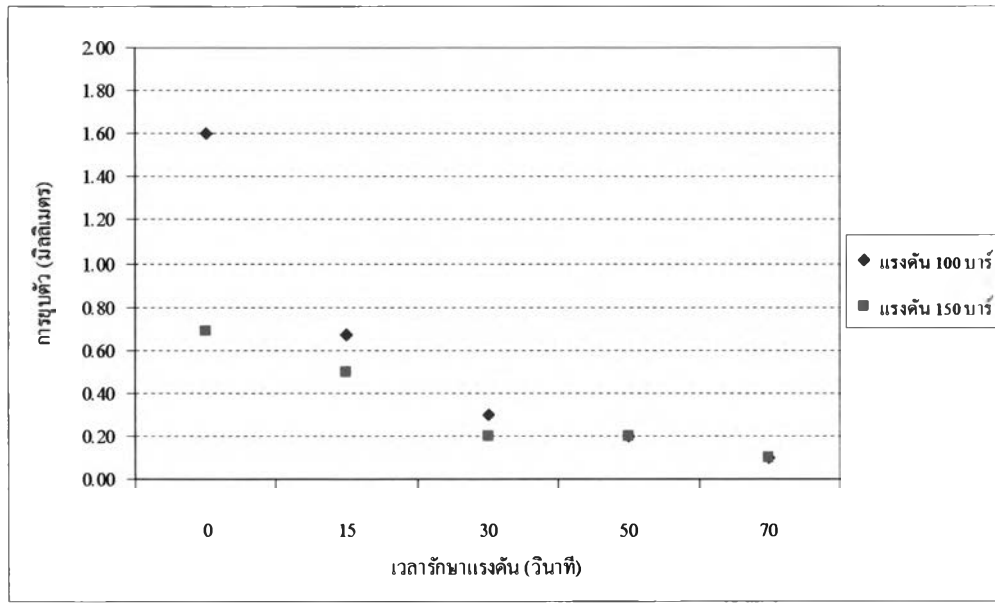
รูป 5.31 อิทธิพลของเวลาฉีดแก๊สต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน ที่หน้าตัดต่างๆ

5.3.5) อิทธิพลของเวลารักษาแรงดัน

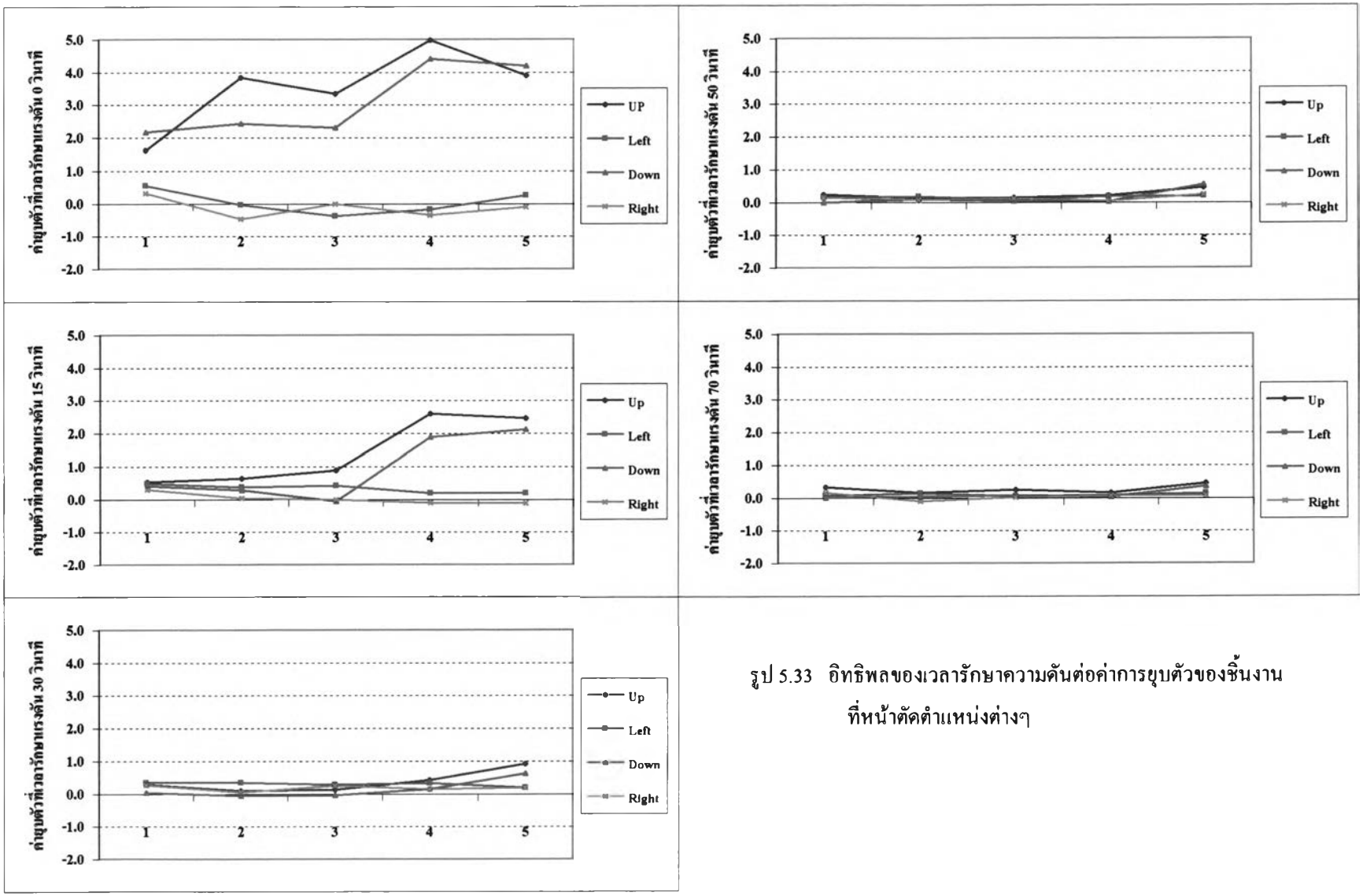
การวิจัยทำการทดลองที่ความดันแตกต่างกันคือ

5.3.5.1) สภาวะแรงดัน 100 บาร์ (Pressure 100 bar)

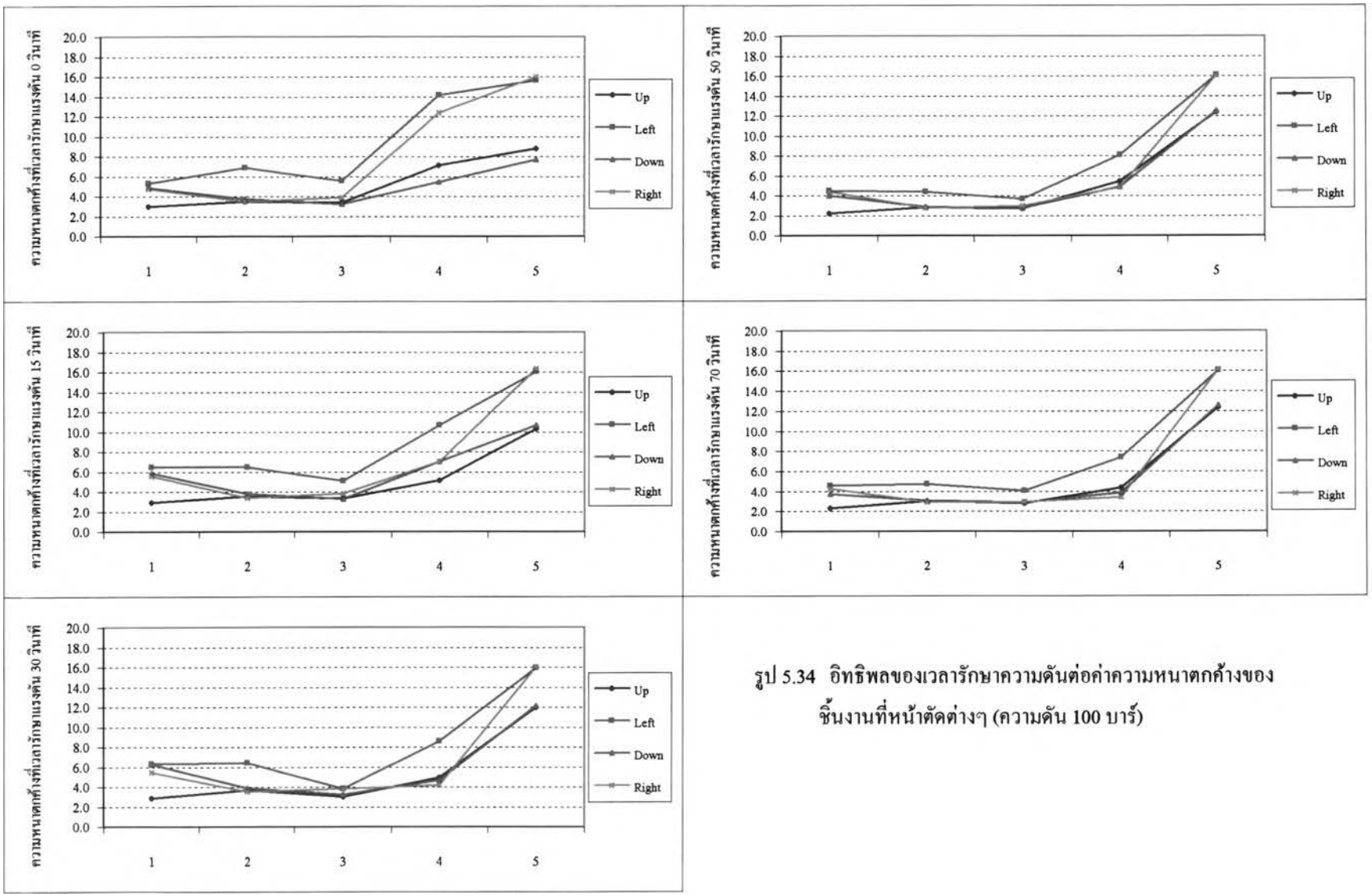
จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) กับการยุบตัวของชิ้นงาน (ที่แรงดันแก๊สเท่ากับ 100 บาร์) พบว่าเมื่อเวลาการรักษาแรงดัน (Gas hold time) มีค่ามากขึ้น การยุบตัวของชิ้นงานจะมีค่าลดลง จากผลการทดลองพบว่าการที่ชิ้นงานหลังการฉีดพลาสติกหลอมไม่มีเวลาที่จะรักษาแรงดันของแก๊สที่จะไปดันชิ้นงาน (Gas hold time) เป็นผลให้การยุบตัวของชิ้นงานมากที่สุด แสดงว่าตัวแปรของเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) ส่งผลกระทบต่าการยุบตัวของชิ้นงานมากและการยุบตัวจะลดลงอย่างรวดเร็วเพียงแต่มีการรักษาแรงดัน (Gas hold time) เอาไว้ โดยการยุบตัวของชิ้นงานจะเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่อเวลารักษาแรงดันมากกว่า 30 วินาที แสดงดังกราฟรูป 5.32 ซึ่งเวลารักษาแรงดันจะทำหน้าที่ ช่วยให้ขณะที่พลาสติกหลอมกำลังจะเข็งตัวมีรูปทรงตามแบบของแม่พิมพ์มากที่สุดและส่วนที่เกิดการยุบตัวมากที่สุดคือ ด้านที่มีพื้นที่มาก แสดงดังกราฟรูป 5.33 และรูป 5.34 โดยที่ผลของความหนาตกค้างของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่ของพลาสติกหลอมเพิ่มขึ้น (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 18, 20, 22 และ 24 ตามลำดับ (ตาราง ฃ.2))



รูป 5.32 อิทธิพลของเวลารักษาแรงดันต่อการยุบตัวของชิ้นงาน



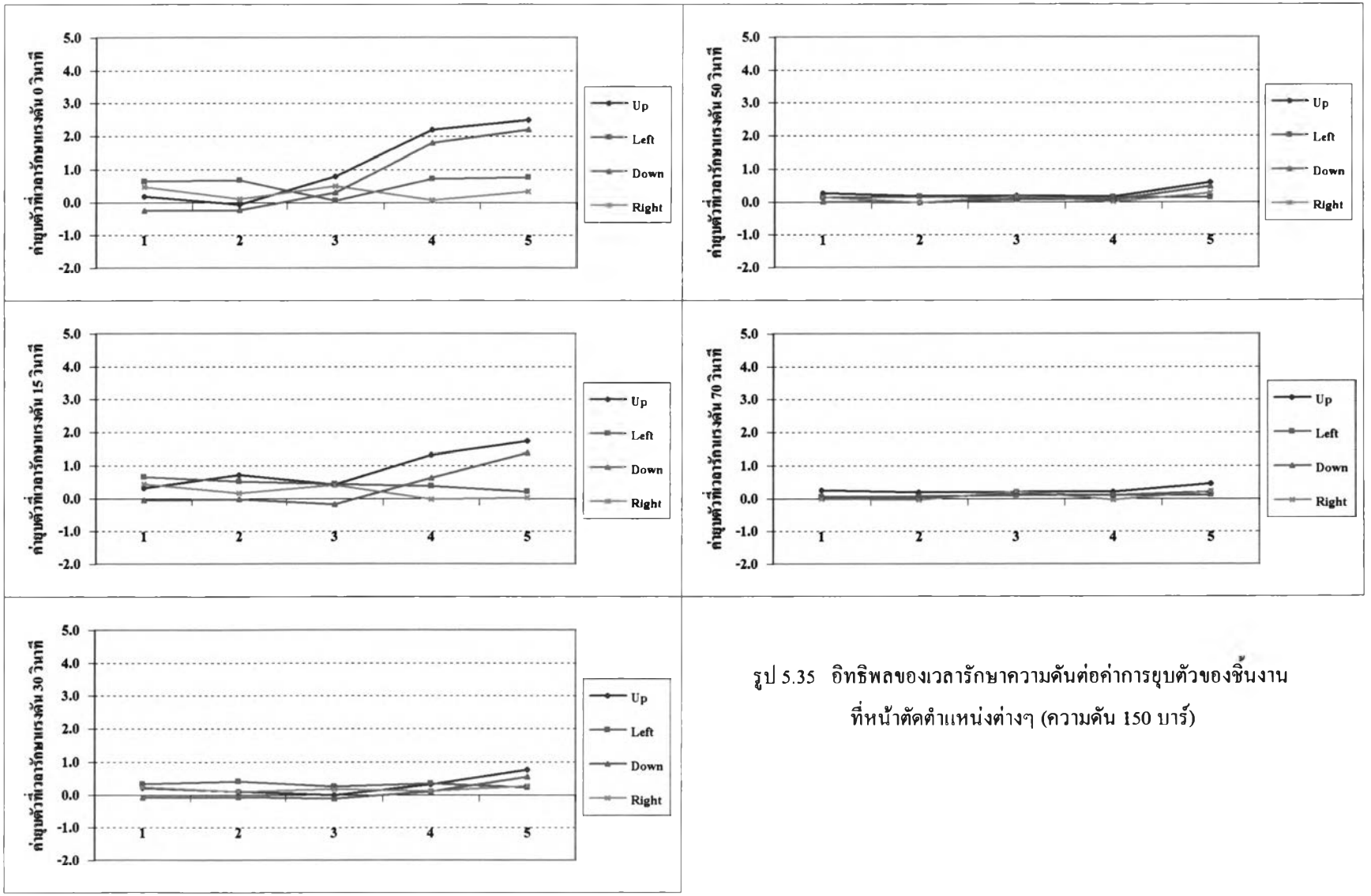
รูป 5.33 อิทธิพลของเวลารักษาความดันต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงาน ที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



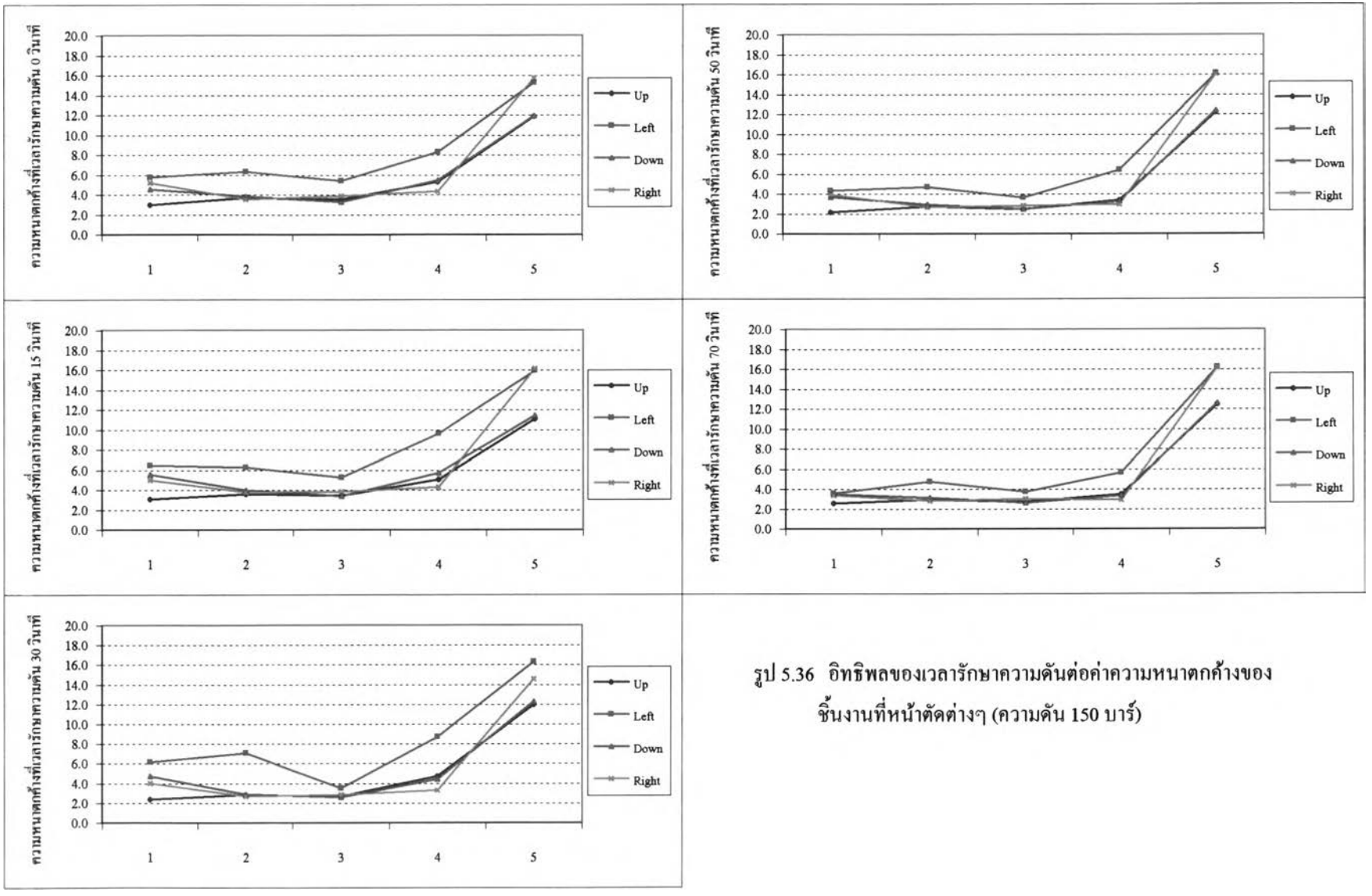
รูป 5.34 อิทธิพลของเวลารักษาความดันต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานที่หน้าตัดต่างๆ (ความดัน 100 บาร์)

5.3.5.2) สภาวะแรงดันแก๊ส 150 บาร์ (Pressure 150 bar)

จากผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างเวลารักษาแรงดันแก๊ส (Gas hold time) กับการขยุบตัวของชิ้นงาน (ที่แรงดันแก๊สเท่ากับ 150 บาร์) พบว่าความสัมพันธ์ต่างๆ จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่สภาวะแรงดัน 100 บาร์ แต่จะมีค่าการขยุบตัวน้อยกว่าในช่วงเวลาน้อยๆ เนื่องจากการที่แรงดันมากทำให้โมเลกุลของพลาสติกหลอมเกิดการเคลื่อนที่เข้าหากันได้มากขึ้น จึงมีความแข็งแรงระหว่างพันธะโมเลกุลสูงกว่า การขยุบตัวจึงน้อยกว่า แต่เมื่อเวลารักษาแรงดันแก๊สเพิ่มมากขึ้น ผลกระทบจากแรงดันแก๊สต่อการขยุบตัวของชิ้นงานจะลดลง แสดงดังรูป 5.32, รูป 5.35 และรูป 5.36 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 19, 21, 23, 25 และ 27 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



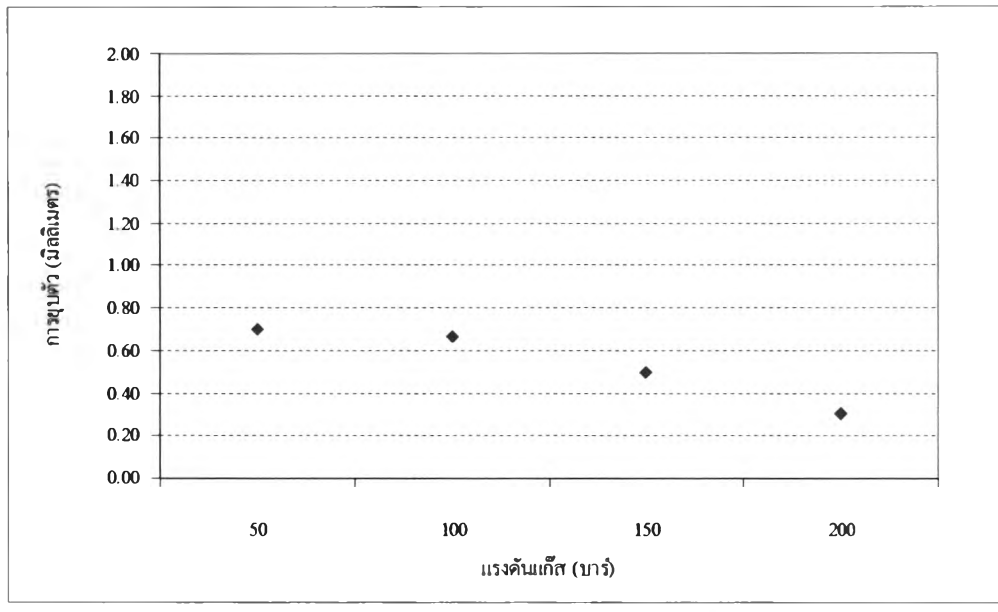
รูป 5.35 อิทธิพลของเวลารักษาความดันต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงาน ที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ (ความดัน 150 บาร์)



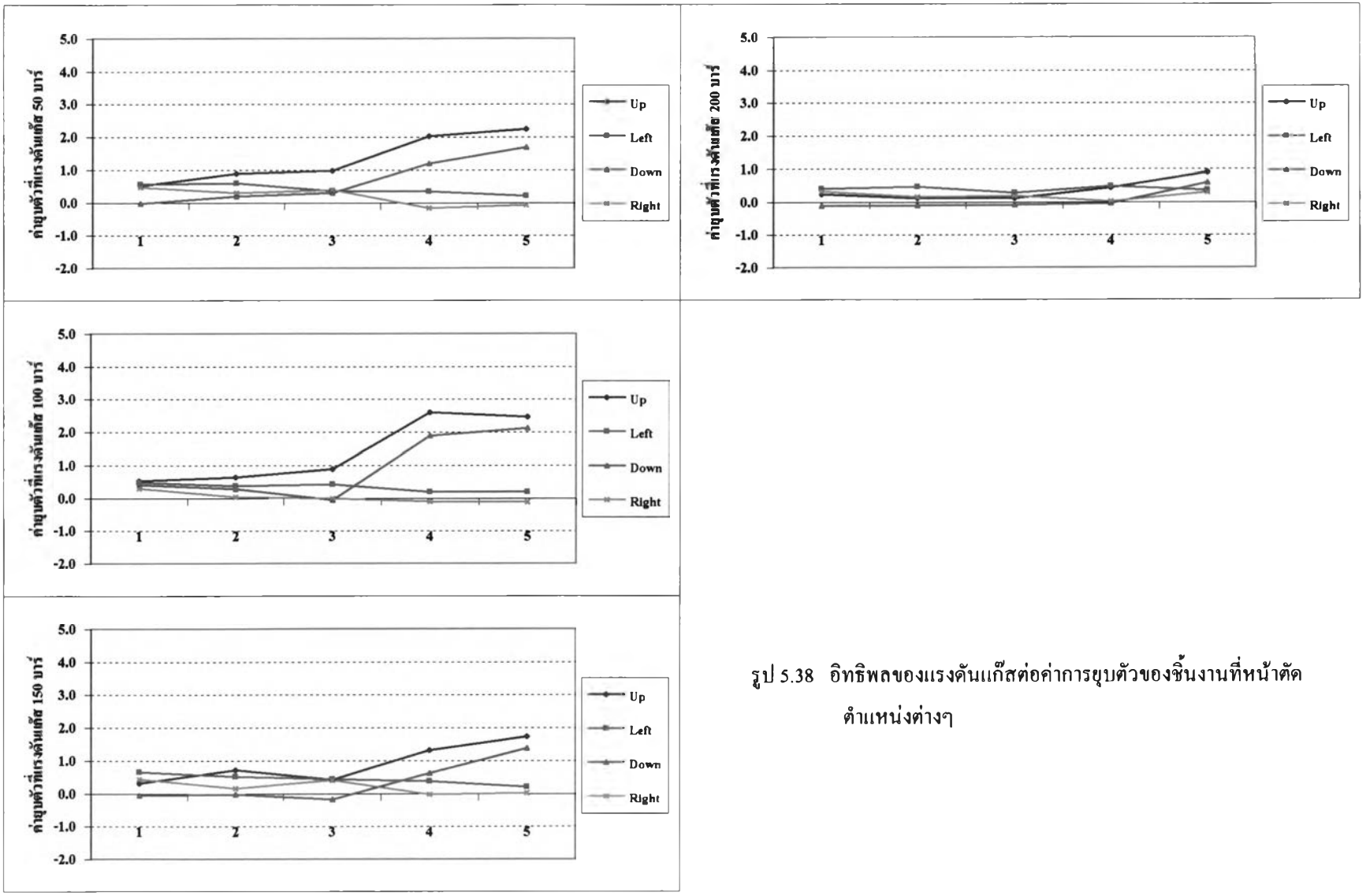
รูป 5.36 อิทธิพลของเวลารักษาความดันต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานที่หน้าตัดต่างๆ (ความดัน 150 บาร์)

5.3.6) อิทธิพลของแรงดันแก๊ส

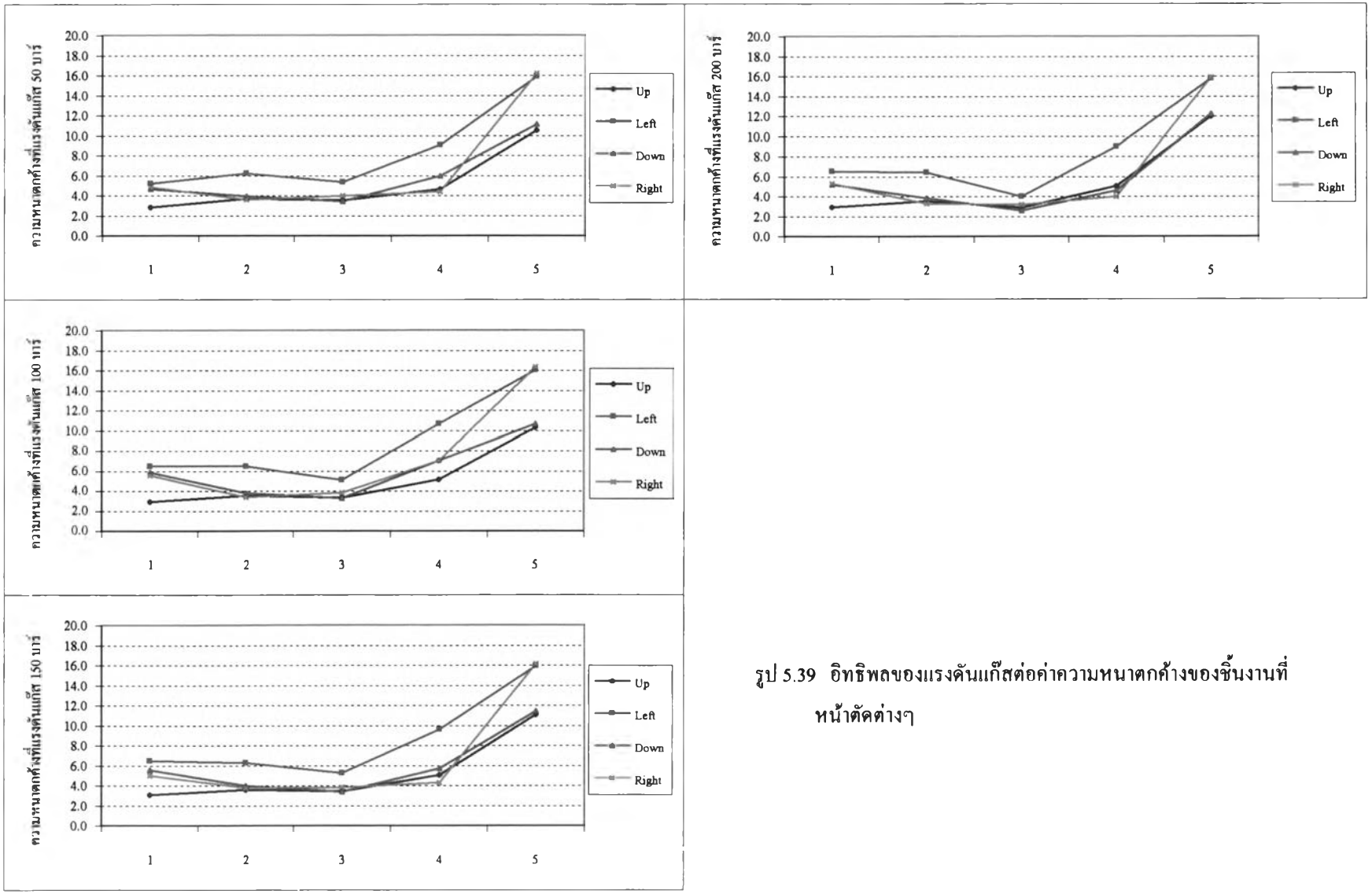
จากผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแก๊ส (Gas Pressure) และการยุบตัวของชิ้นงาน (RWT) พบว่า เมื่อแรงดันของแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้การยุบตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง แสดงผลดังรูป 5.37 โดยการลดลงของค่าการยุบตัวจะเห็นว่าเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อชิ้นงานได้มากขึ้น แสดงดังรูป 5.38 เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อแรงดันมากขึ้นส่งผลให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่เข้าหากันมากขึ้น จึงจับยึดกันด้วยแรงที่เพิ่มขึ้น เมื่อชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ การที่ชิ้นงานจะเกิดการยุบตัวจึงต้องใช้แรงเพิ่มขึ้น เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปชิ้นงาน มีทั้งการแพร่ของแก๊สผ่านพลาสติกหลอมทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นภายในชิ้นงาน ซึ่งฟองอากาศนี้ทำหน้าที่เหมือนเป็นโครงสร้างที่จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานที่จะมีค่าลดลง ดังแสดงรูป 5.39 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 26, 27 และ 28 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



รูป 5.37 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อการยุบตัวของชิ้นงาน



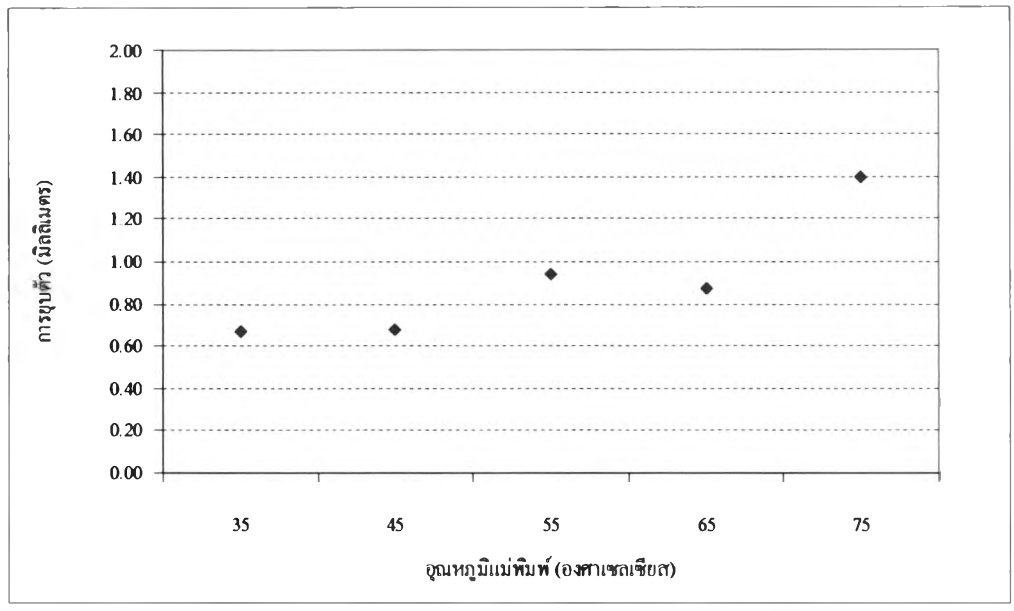
รูป 5.38 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงานที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



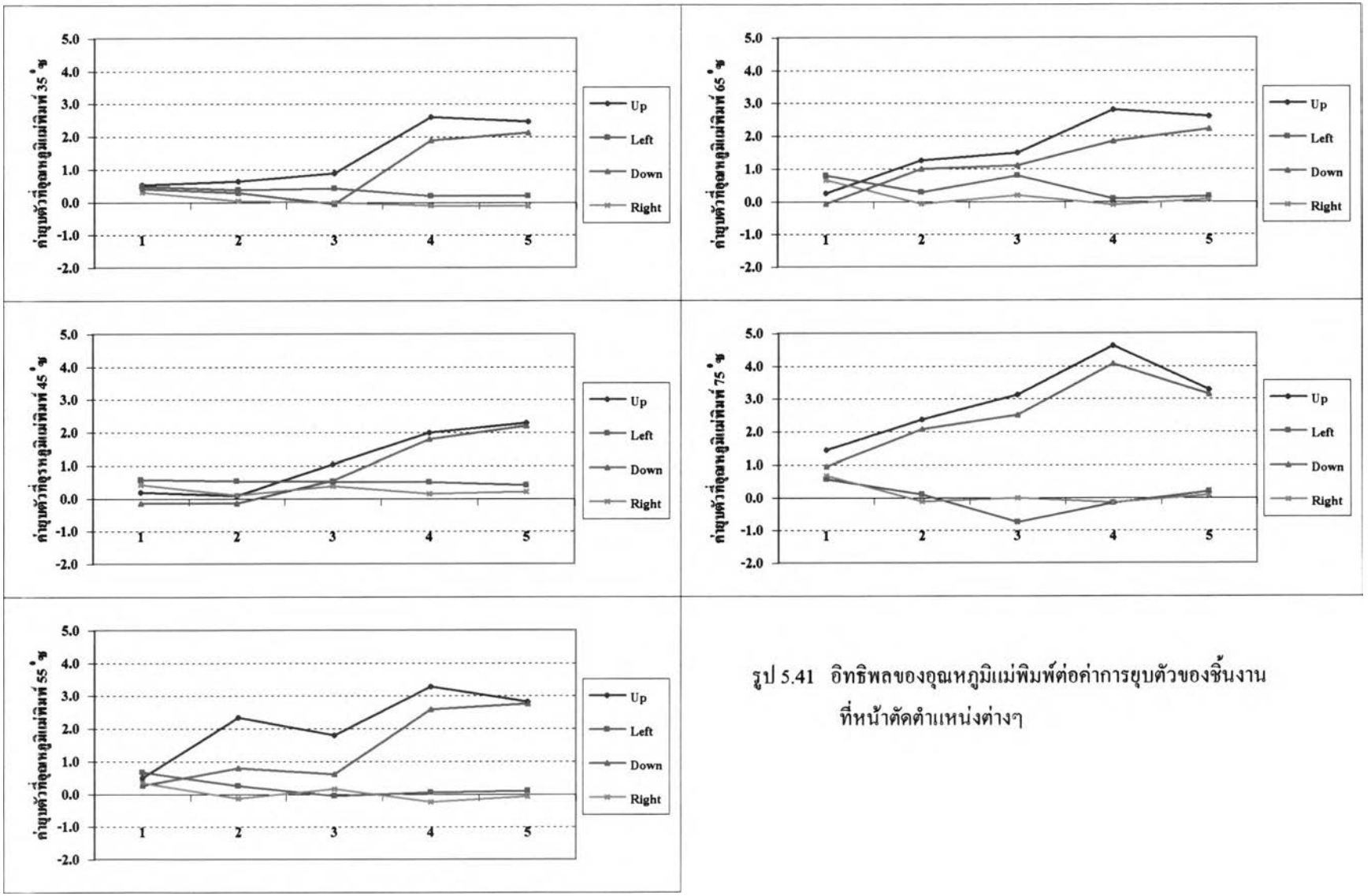
รูป 5.39 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงานที่หน้าตัดต่างๆ

5.3.7) อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์

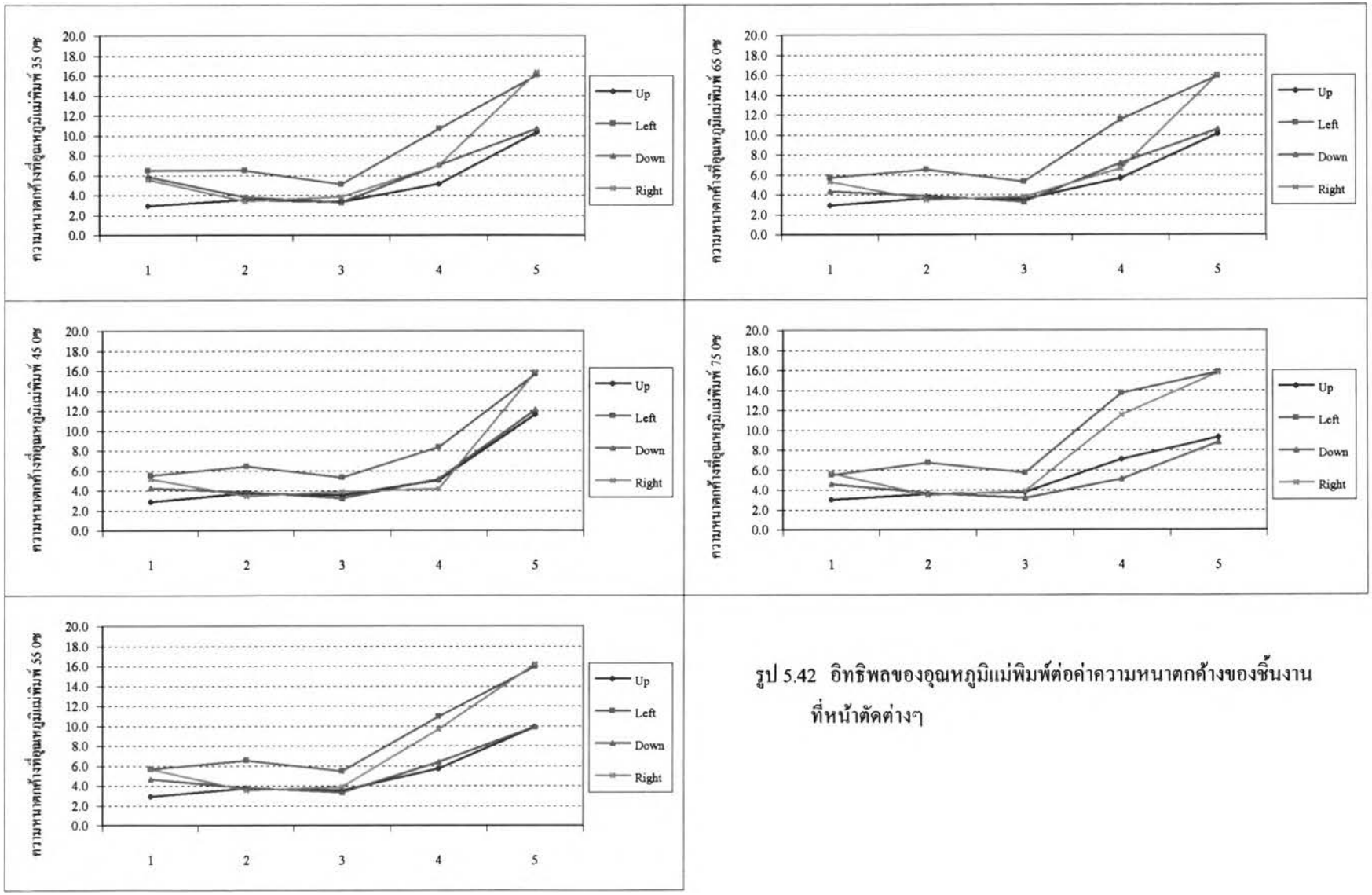
จากการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) กับการขุบตัวของชิ้นงาน พบว่าเมื่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นการขุบตัวของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานมีค่าต่ำ ขณะเดียวกันเมื่อเวลาในการหล่อเย็นมีค่าคงที่ ทำให้ชิ้นงานขณะออกจากแม่พิมพ์จึงยังคงมีความร้อนสะสมอยู่มาก ทำให้ชิ้นงานเกิดการขุบตัวขึ้น แสดงดังรูป 5.40 โดยส่วนที่เกิดการขุบตัวมากที่สุดคือด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน ซึ่งมีพื้นที่มากกว่าด้านข้างของชิ้นงาน แสดงดังรูป 5.41 และรูป 5.42 (เป็นการแสดงผลการวิจัยจากสภาวะอ้างอิงที่ 6, 29, 30, 31 และ 32 ตามลำดับ (ตาราง ข.2))



รูป 5.40 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อการขุบตัวของชิ้นงาน



รูป 5.41 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อค่าการยุบตัวของชิ้นงาน ที่หน้าตัดตำแหน่งต่างๆ



รูป 5.42 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อค่าความหนาตกค้างของชิ้นงาน ที่หน้าตัดต่างๆ

5.4) <u>การวัดค่าการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage Deformation)</u>

ในการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงานในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาการโก่งตัวของชิ้นงาน ซึ่งจะทำการศึกษาถึงตัวแปรและสภาวะต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งจากทฤษฎีทำให้ทราบว่าการโก่งตัวของชิ้นงานนั้นเกิดจากปริมาณความร้อนภายในชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ เมื่อชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์จึงเกิดการหดตัวและขยายตัวของชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นผลให้ชิ้นงานโก่งตัวในที่สุด

โดยการโก่งตัว (เปลี่ยนแปลงรูปร่าง) ของชิ้นงานนั้นจะมีผลต่อขนาดของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป อีกทั้งทำให้การประกอบกับชิ้นส่วนต่างๆ ทำได้ยาก จึงเป็นเหตุปัจจัยถึงการวิจัยครั้งนี้ เพื่อลดปัญหาอันจะเกิดขึ้นจากสภาวะการทำงานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการโก่งตัวของชิ้นงานมีดังนี้

5.4.1) อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอม

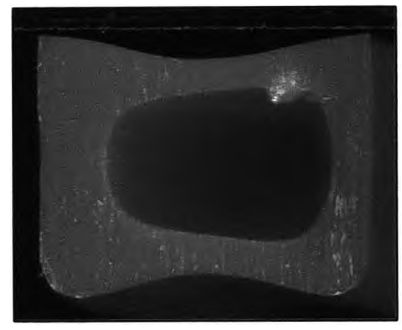
จากการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพลาสติกหลอม (Melt Temperature) กับการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอมสูงขึ้น ทำให้การโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง โดยการลดลงนั้นจะถูกแบ่งเป็นช่วงๆ คือ ในช่วงแรก เมื่ออุณหภูมิหลอมยังไม่สูงมากพอ (น้อยกว่า 215 องศาเซลเซียส) เป็นผลให้อุณหภูมิไม่มีผลต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน จนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ (ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 215-245 องศาเซลเซียส) การเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวของชิ้นงานจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่ช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิสูงกว่า 245 องศาเซลเซียส การโก่งตัวของชิ้นงานจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อพลาสติกหลอมมีอุณหภูมิสูงขึ้น และถูกแรงดันของแก๊สกระทำ ทำให้การยึดเหนี่ยวของโมเลกุลพลาสติกแข็งแรงมากขึ้น เป็นผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานน้อย

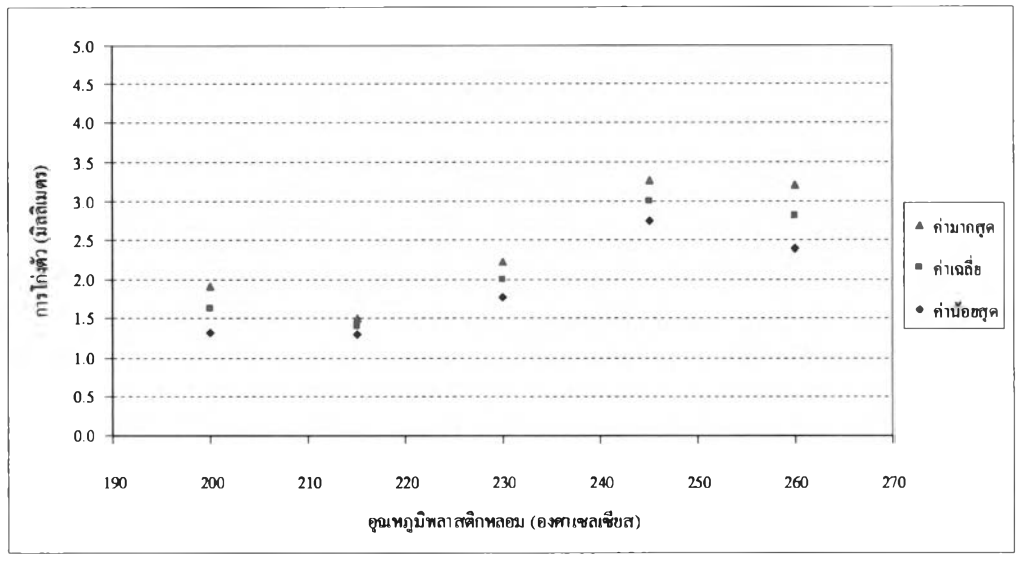
สาเหตุหลักในการโก่งตัวของชิ้นงานก็คือการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงาน เมื่อการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ เมื่อชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์จะทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งตัวขึ้น ซึ่งการถ่ายเทความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอเกิดจากปัจจัยหลายสาเหตุ อาทิ การถ่ายเทความร้อนของระบบหล่อเย็นจากแม่พิมพ์, จากการออกแบบชิ้นงานที่มีความหนาไม่สัมพันธ์กับชนิดของพลาสติก, จากการออกแบบชิ้นงาน รวมถึงการออกแบบแม่พิมพ์ เป็นต้น

โดยการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดให้ตัวแปรต่างๆ มีค่าคงที่ พียงแต่พฤติกรรมการไหลของแก๊สจะเป็นตัวแปรที่มากำหนดขนาดความหนาตกค้างภายในชิ้นงาน (Residual Wall Thickness; RWT) ซึ่งจะส่งผลต่อการโก่งตัวของชิ้นงานตามลำดับ และอีกสาเหตุหนึ่งจากการออกแบบรูปร่างของชิ้นงาน ดังรูป 5.43 พบว่าจุดที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้ชิ้นงานโก่งตัวคือตำแหน่งที่ 2 และ 4 เพราะฉะนั้นที่ตำแหน่งดังกล่าว ด้านที่มีความหนามากกว่าก็มีโอกาสที่จะเกิดการโก่งตัวของชิ้นงานมากกว่า เนื่องจากการที่มีเนื้อพลาสตติกหลอมมากความร้อนสะสมภายในของพลาสติกจะ

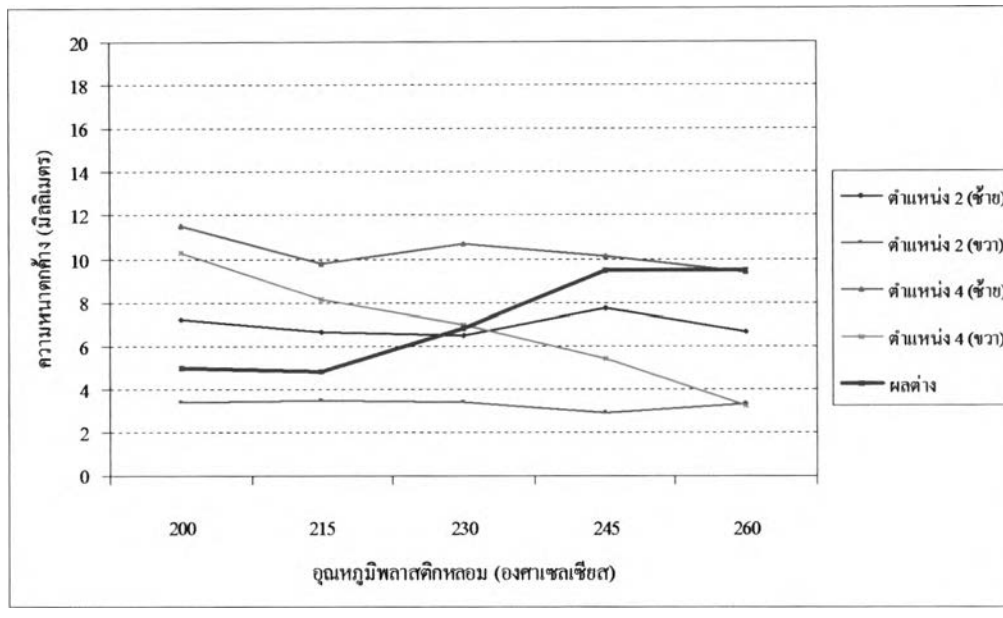
มาก การระบายความร้อนต้องใช้ระยะเวลามากกว่าส่วนที่มีเนื้อพลาสติกน้อยกว่า ถ้าระบบระบายความร้อนไม่ดี ส่งผลให้เกิดการโก่งตัวของชิ้นงานได้



รูป 5.43 แสดงความหนาตกค้างของชิ้นงาน (RWT) ที่ตำแหน่งการตัด 2 และ 4



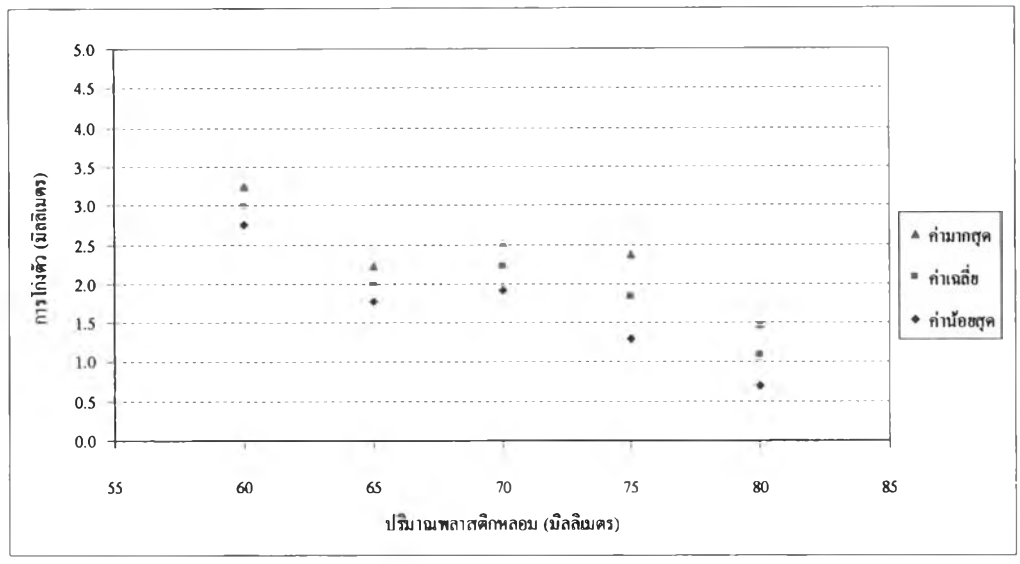
รูป 5.44 อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน



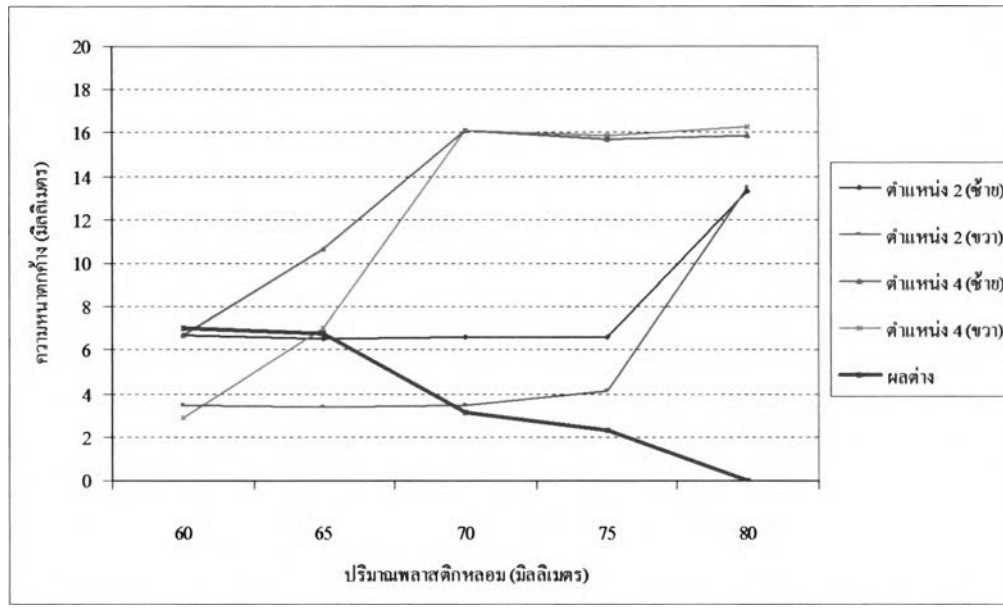
รูป 5.45 อิทธิพลของอุณหภูมิพลาสติกหลอมต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4

5.4.2) อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอม

จากการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของพลาสติกหลอม (Shot size) กับการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) พบว่าเมื่อปริมาณของพลาสติกหลอมเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าการโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง แสดงดังรูป 5.46 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการที่ความแตกต่างของความหนาของชิ้นงานมีค่าลดลง (แสดงดังรูป 5.47) สามารถอธิบายได้ว่า ถึงแม้ว่าการที่ปริมาณของเนื้อพลาสติกหลอมจะเพิ่มขึ้นจนเต็มแม่พิมพ์ที่ทางด้านปลายของชิ้นงาน (Shot Size เท่ากับ 80 มม.) ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการโก่งตัวของชิ้นงานมากเท่าที่ควร ก็เนื่องจากการที่ชิ้นงานนั้นมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน ยังผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ไม่ต่างกันมากนัก แต่จะส่งผลต่อการยุบตัวของชิ้นงานอย่างมาก (Sink Mark) จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.3.2



รูป 5.46 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอมต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน

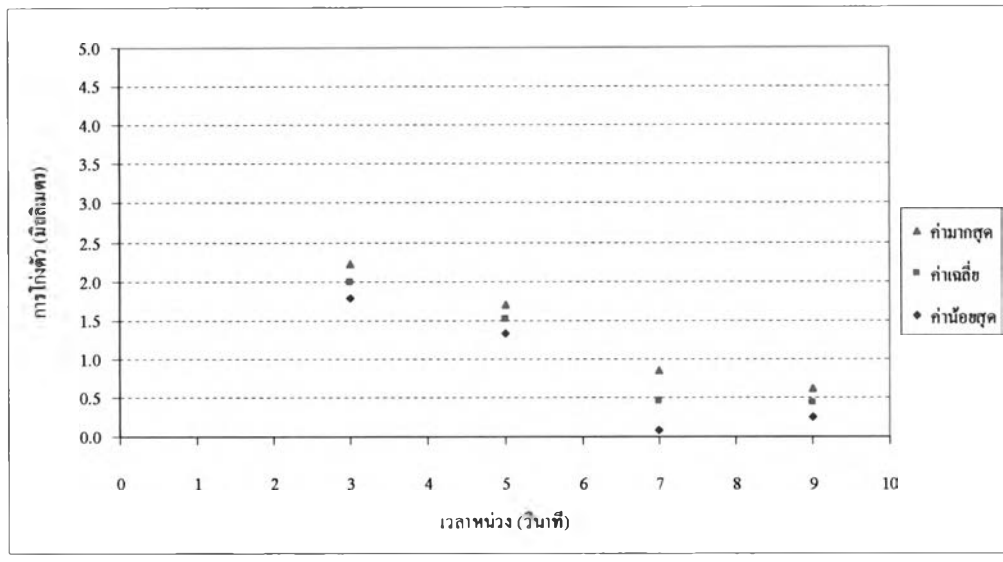


รูป 5.47 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกหลอมต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4

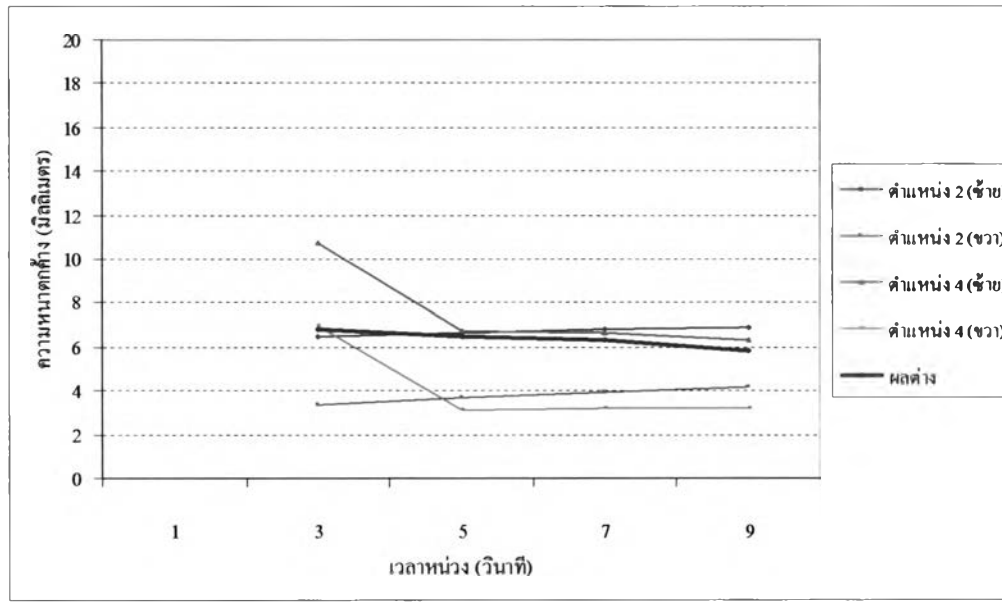
5.4.3) อิทธิพลของการหน่วงเวลา

จากการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการหน่วงเวลา (Delay time) และการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) พบว่าเมื่อเวลาในการหน่วงเพิ่มขึ้นส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานลดลงตามลำดับ จนถึงเวลาหน่วงที่ 7 วินาที จากนั้นการโก่งตัวจะเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ถึงแม้เวลาการหน่วงจะเพิ่มขึ้นก็ตาม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อเวลาหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้น เสมือนมีเวลาในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ความร้อนสะสมภายชิ้นงานเมื่อออกจากแม่พิมพ์

จะมีค่าน้อยลง อีกทั้งความหนาตกค้างของชิ้นงานมีค่าความแตกต่างที่ลดลง ส่งผลให้การโก่งตัวลดลงดังแสดงตาม รูป 5.48 และรูป 5.49



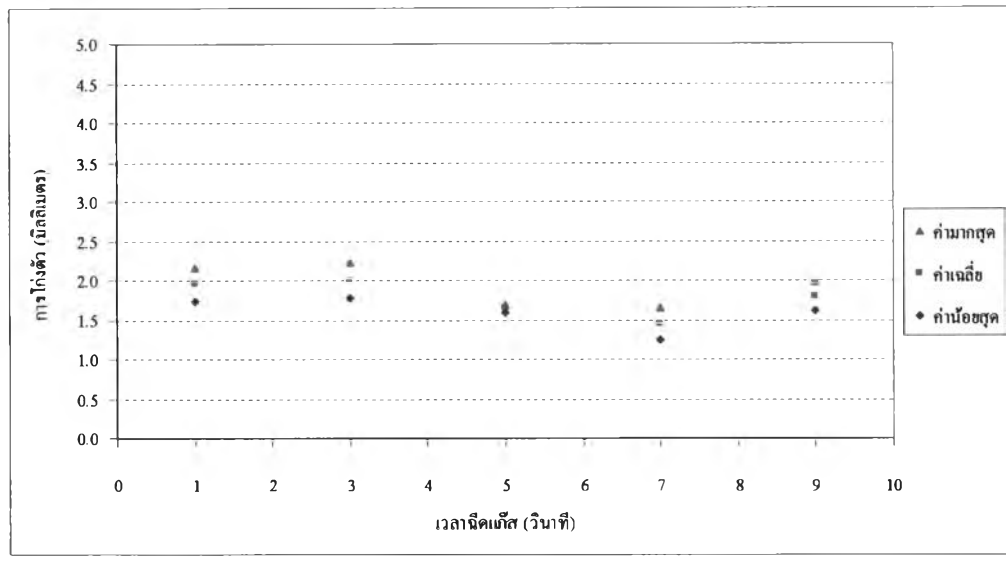
รูป 5.48 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน



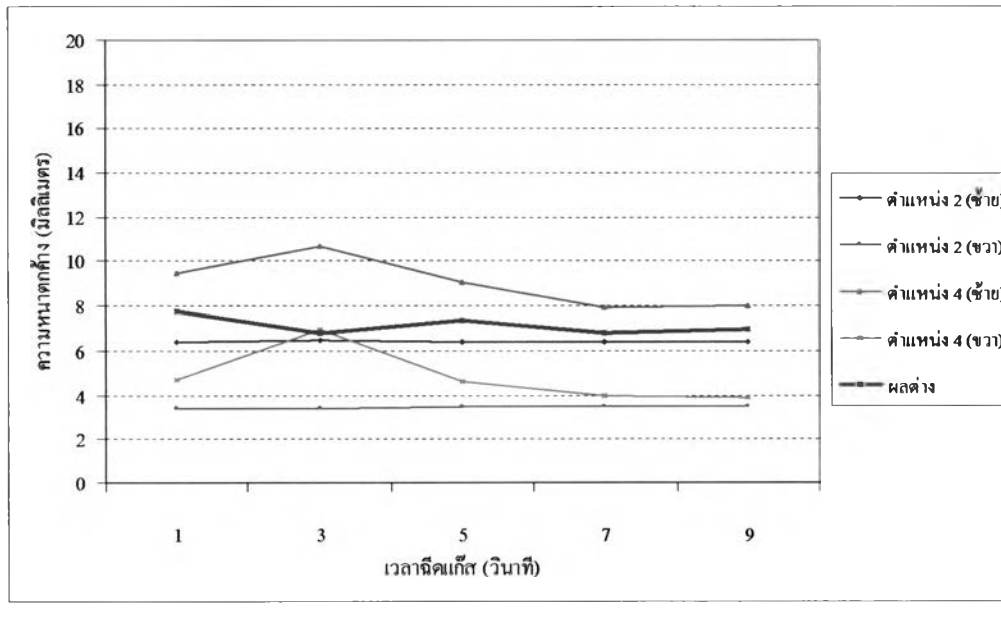
รูป 5.49 อิทธิพลของเวลาหน่วงต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4

5.4.4) อิทธิพลของเวลาในการฉีดแก๊ส

จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉีดแก๊ส (Gas time) และการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) พบว่าการโก่งตัวของชิ้นงานไม่สัมพันธ์กับเวลาในการฉีดแก๊ส โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.50 และรูป 5.51



รูป 5.50 อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊สต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน

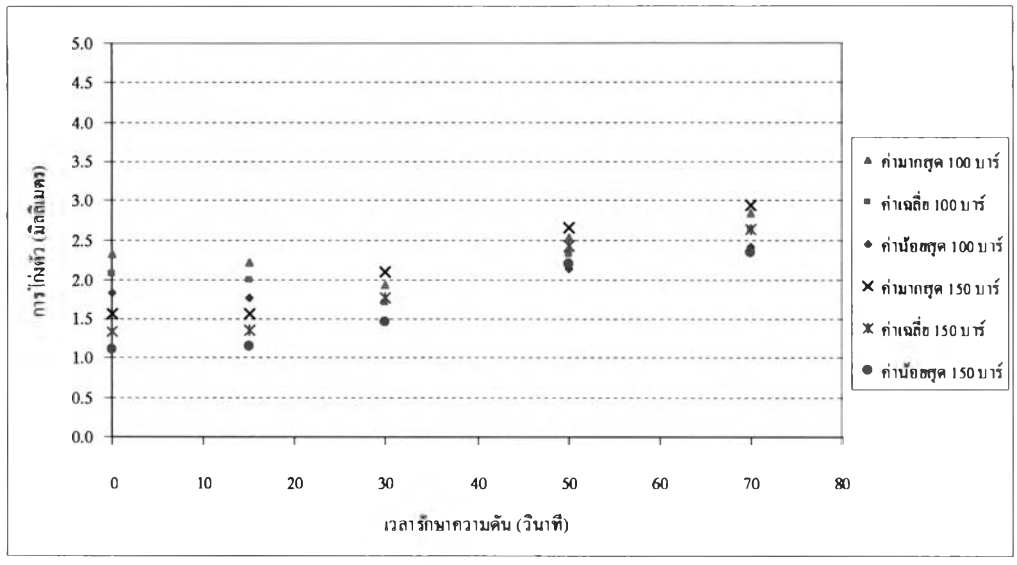


รูป 5.51 อิทธิพลของเวลาการฉีดแก๊สต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4

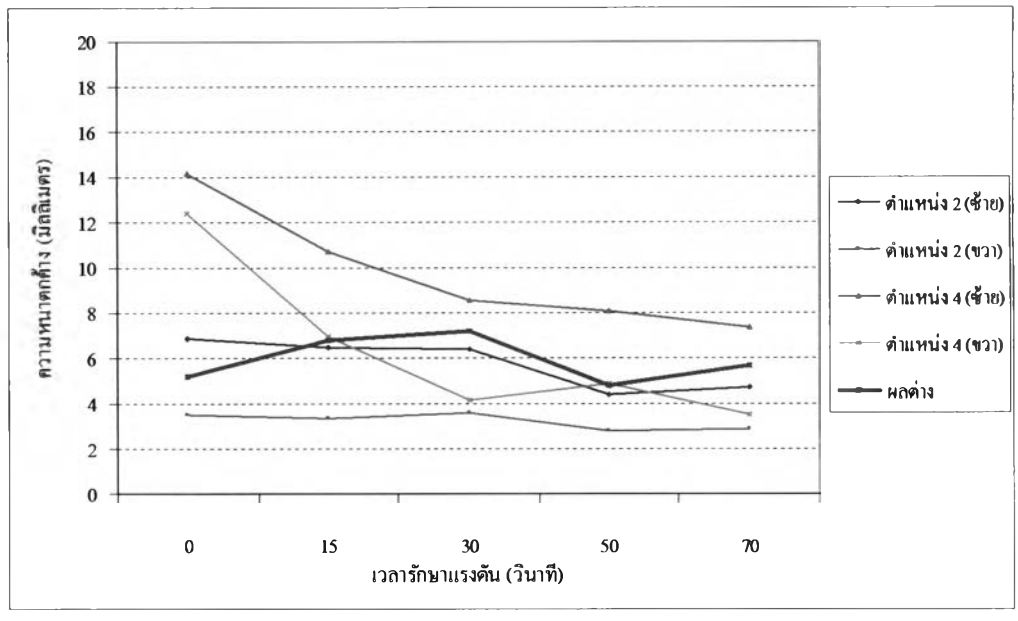
5.4.5) อิทธิพลของเวลาการรักษาแรงดันแก๊ส

5.4.5.1) พิจารณาที่แรงดัน 100 บาร์ (Gas Pressure 100 bar)

จากผลการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลารักษาแรงดัน (Gas hold time) กับการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) ที่แรงดันแก๊สเท่ากับ 100 บาร์ พบว่าการโก่งตัวของชิ้นงานจะมีค่าคงที่เมื่อเวลาในการรักษาแรงดันมีค่าต่ำๆ จนกระทั่งเมื่อเวลารักษาแรงดันมีค่ามากกว่า 30 วินาที การโก่งตัวของชิ้นงานจะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเวลารักษาแรงดันมากขึ้น เวลาที่แก๊สจะแพร่เข้าสู่พลาสติกหลอมย่อมมีมากขึ้นทำให้เกิดฟองอากาศ เมื่อพลาสติกหลอมเย็นตัวลงก่อให้เกิดแรงดันตกค้างที่ยังอยู่ภายในชิ้นงาน ส่งผลกระทบต่อการโก่งตัวมากกว่าความแตกต่างของความหนาของชิ้น งาน โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.52 และรูป 5.53



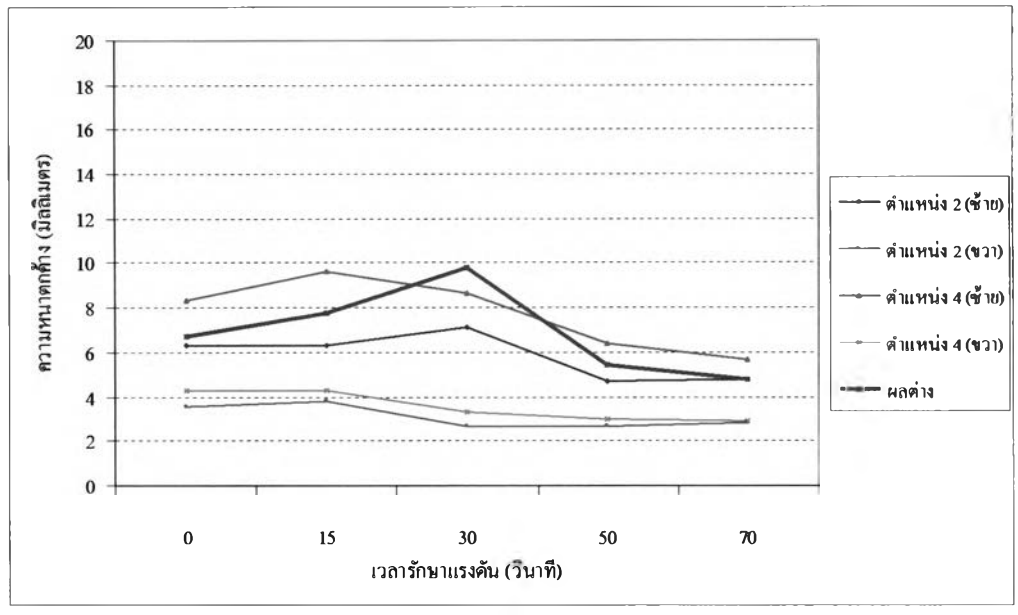
รูป 5.52 อิทธิพลของเวลารักษาแรงดันแก๊สต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน



รูป 5.53 อิทธิพลของเวลารักษาแรงดันแก๊สต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4 (แรงดัน 100บาร์)

5.4.5.2) พิจารณาที่แรงดันแก๊ส 150 บาร์ (Gas Pressure 150 bar)

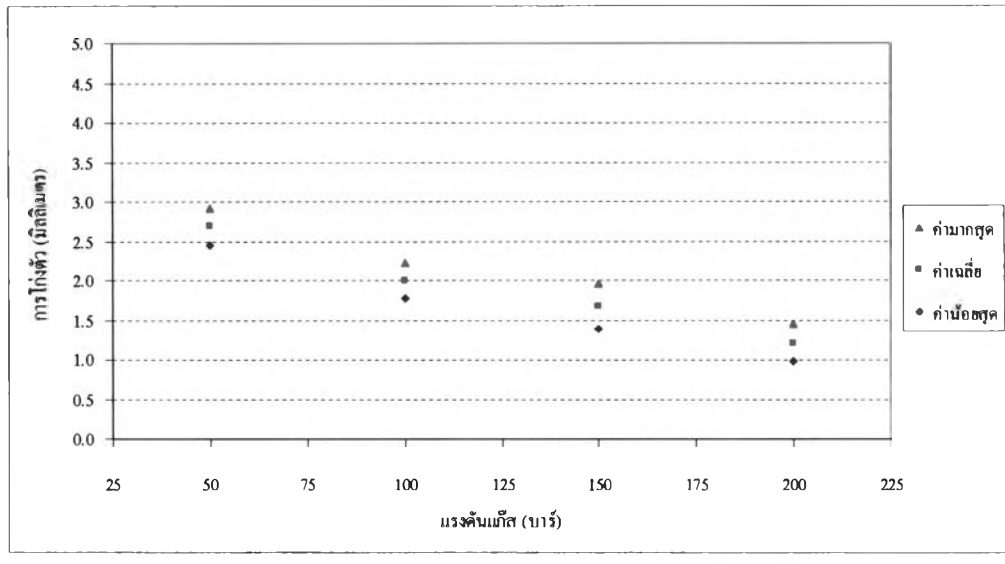
จากผลการวิจัยจะคล้ายคลึงกับกรณีที่แรงดันแก๊สเท่ากับ 100 บาร์ แต่จุดที่แตกต่างกันก็คือ การโก่งตัวของชิ้นงานจะเริ่มขึ้นเมื่อเวลาการรักษาแรงดันมากกว่า 15 วินาที จากการใช้แรงดันที่ต่างกันในเวลารักษาแรงดันแก๊สที่เท่ากัน พบว่าสภาวะที่แรงดันแก๊สมากกว่า การโก่งตัวของชิ้นงานจะเกิดขึ้นที่เวลารักษาแรงดันที่น้อยกว่า (เกิดขึ้นเร็วกว่า) และที่เวลาการรักษาแรงดันเท่ากัน (ช่วงเวลา 0-30 วินาที) ที่แรงดันแก๊สมากกว่า ทำให้การโก่งตัวของชิ้นงานน้อยกว่า แต่เมื่อเวลารักษาแรงดันเพิ่มขึ้น (มากว่า 30 วินาที) แรงดันแก๊สที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.52 และรูป 5.55



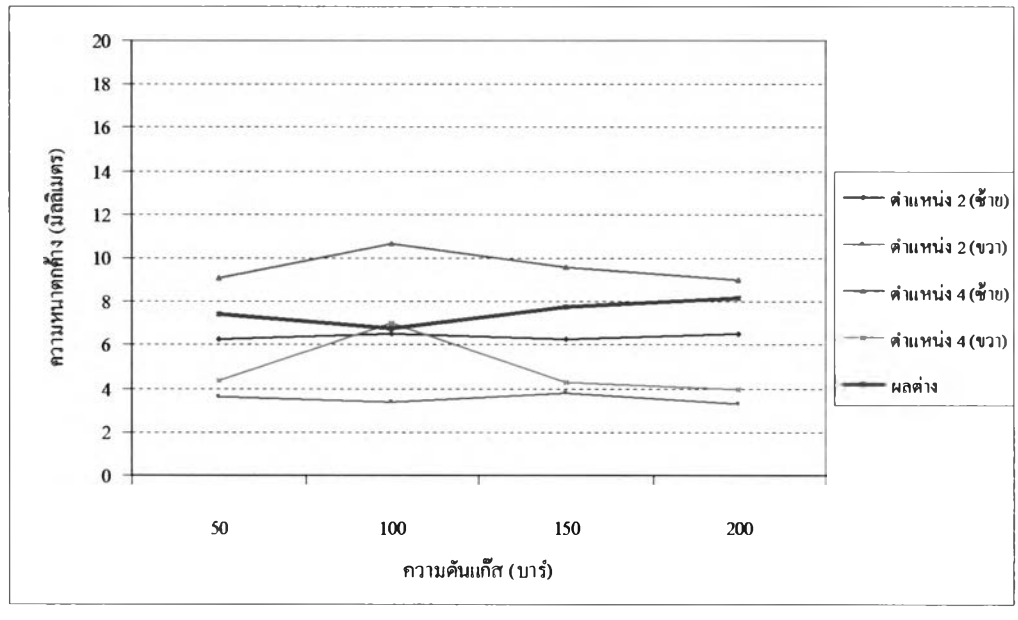
รูป 5.54 อิทธิพลของเวลารักษาแรงดันแก๊สต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4 (แรงดัน 150บาร์)

5.4.6) อิทธิพลของความดันแก๊ส

จากผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแก๊ส (Gas Pressure) และการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) พบว่าเมื่อความดันแก๊สมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าลดลง สาเหตุเนื่องจากเมื่อแรงดันของแก๊ส (Gas Pressure) มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้โมเลกุลของพลาสติกหลอมเคลื่อนที่เข้าใกล้ชิดกันมากขึ้น จึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีความคงรูปมากขึ้น เมื่อออกจากแม่พิมพ์ทำให้การโก่งตัวของชิ้นงานเกิดขึ้นน้อยตามลำดับ โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.56 และรูป 5.57



รูป 5.55 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน

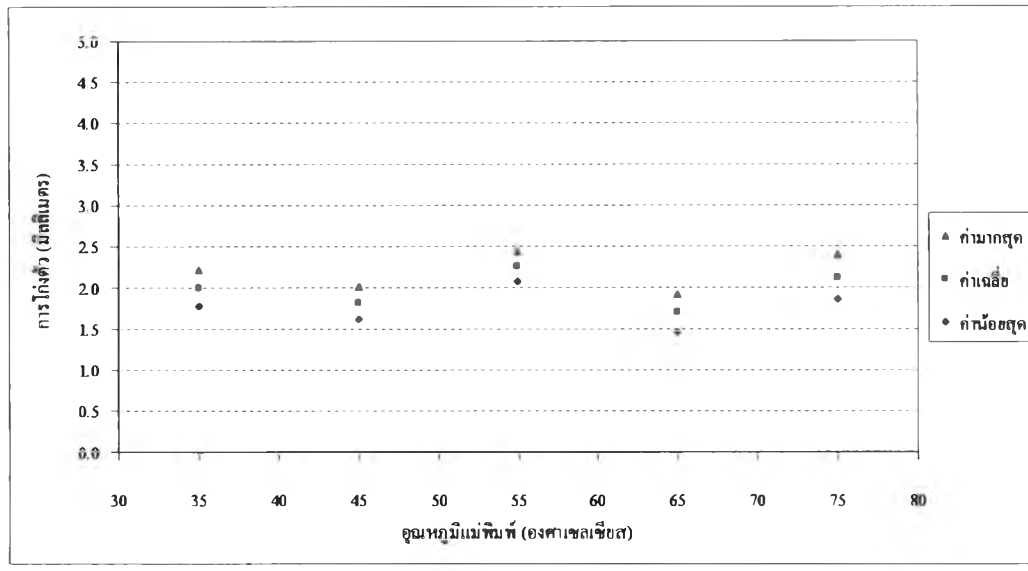


รูป 5.56 อิทธิพลของแรงดันแก๊สต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4

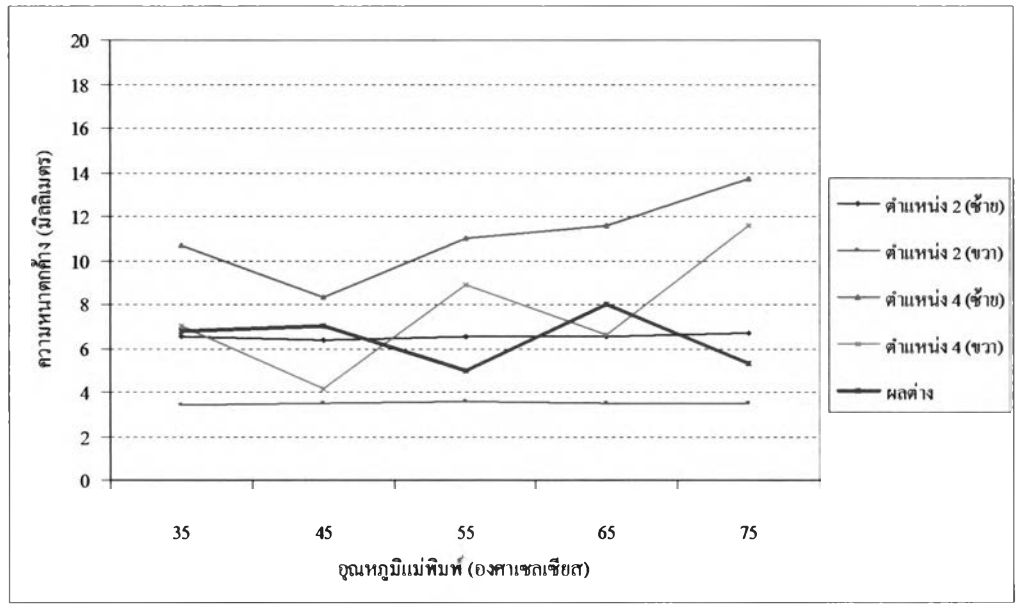
5.4.7) อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์

จากผลการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และการโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) พบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ไม่มีผลกระทบต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน สาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิของชิ้นงานเมื่อออกจากแม่พิมพ์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ แต่การโก่งตัวของชิ้นงานเกิดจากความร้อนสะสมภายในชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอ ผลของการโก่งตัวจะไม่กระทบต่อชิ้นงาน และขณะที่ชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ พลาสติก

หลอมภายในชิ้นงานยังไม่เกิดการคงรูป มีผลให้เกิดการยุบตัวของชิ้นงาน (หัวข้อ 5.3.7) ซึ่งจะส่งผลกระทบมากกว่าการโก่งตัวของชิ้นงาน โดยแสดงผลการทดลองดังรูป 5.58 และรูป 5.59



รูป 5.57 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน



รูป 5.58 อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่อความหนาตกค้าง (RWT) ที่ตำแหน่งวัด 2 และ4