เครื่องมือความดันแบบใหม่เชิงประยุกต์สำหรับพอลิเมอร์หลอมเหลวในเครื่องคาบิลารี่รีโอมิเตอร์

นเรศ อินต๊ะวงค์
นริศ อินต๊ะวงค์
สังกัดสายวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.)
บางมด 10140 กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่โดยให้ชื่อเรียกว่า เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง (pin-spring pressure sensor) เพื่อการวัดความดันของพอลิเมอร์หลอมเหลวในเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ (capillary rheometer) โดยประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่นี้พิจารณาจากการเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดความดันมาตรฐานแบบไดอะแฟรม (diaphragm pressure transducer) ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงเป็นเครื่องมือวัดที่มีโครงสร้างการออกแบบและการใช้งานค่อนข้างง่าย สามารถปรับช่วงการวัดได้ ราคาถูก แข็งแรง และมีประสิทธิภาพการตรวจวัดความดันสูง

A Novel Pressure Sensor for Polymer Melts in Capillary Rheometers

N-T. Intawong

N-S. Intawong

Division of Industrial Engineering

Faculty of Engineering, Ratchamungkla Institute of Technology

Payap Campus Chaingmai

N. Sombatsompop

Division of Materials Technology,

School of Energy and Materials

King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)

Bangmod, 10140, Bangkok

Abstract

This article introduces a novel type of pressure sensing device, so-called "Pin-Spring pressure sensor" for measuring the pressure of a polymer melt in capillary rheometers. The reliability and efficiency of the sensor are followed by considering its resulting measurements which are compared to those obtained by a standard type of pressure sensor (a diaphragm pressure transducer). It is found that the Pin-Spring sensor is simple and easy in use, versatile, low in cost and gives reliable and accurate results.

บทนำ

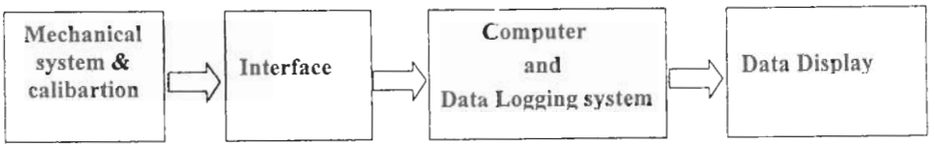
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกหรือพอลิเมอร์ได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีระดับความพอใจที่ต่างกัน ดังนั้น สิ่งที่จะนำมาซึ่งความสามารถในการแข่งขันกันในเชิงเศรษฐศาสตร์คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่มีคุณภาพย่อมมาจากการใช้เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมบนพื้นฐานของความเข้าใจในพฤติกรรมของพอลิเมอร์ระหว่างทำการผลิต ในกระบวนการผลิตมีตัวแปรที่เป็น

องค์ประกอบสำคัญ คือ ความดัน อุณหภูมิ และอัตราการไหล ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันอย่างมากและต้องการการวัดค่าที่ถูกต้อง เพราะทั้งสามองค์ประกอบจะเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะความดันจะมีผลต่อกระบวนการผลิตโดยตรงเช่น ในการผลิตแบบอัดรีด (extrusion) ความดันมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางอีลาสติกของพอลิเมอร์ คุณสมบัติดังกล่าวคือ die swell sharkskin และ melt fracture[1-2] สำหรับกระบวนการผลิตแบบฉีด (injection moulding) ความดันมีผลต่อการหดตัว (shrinkages) การบิดงอ (warpages) ของผลิตภัณฑ์ และความเค้นภายใน (internal stresses)[3] อีกตัวอย่างหนึ่งคือ ในการวัดคุณสมบัติทางการไหลของพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า คาปิลารีรีโอมิเตอร์ หลักการของเครื่องมือวัดนี้คือ การวัดความดันตก (pressure drop) ที่อัตราการไหลต่างๆ[4] จะเห็นได้ว่าความดันมีความสำคัญอย่างมากในการที่จะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและคุณสมบัติทางกลที่ดี ดังนั้นการวัดความดันจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมากไม่น้อยไปกว่าอุณหภูมิหรืออัตราการไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดความดันในระบบของไหลที่มีความหนืดสูงเช่น ของไหลประเภทพอลิเมอร์หลอมเหลว ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์วัดความดันที่ต่างไปจากอุปกรณ์วัดความดันในระบบของเหลวอื่นๆ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันที่ดีจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง คุณสมบัติที่ดีและเป็นที่ต้องการของเครื่องมือวัดความดันคือ มีความเที่ยงตรงในการวัดสูง สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันสูง มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาวะการใช้งานได้ดี และราคาถูก[4] ซึ่งในความเป็นจริงเครื่องมือวัดที่ใช้โดยทั่วไปไม่อาจเป็นไปตามความต้องการที่กล่าวมานี้อย่างครบถ้วนได้ เครื่องมือวัดความดันที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุดในการวัดความดันของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์คือ เครื่องมือวัดความดันแบบไดอะแฟรม (diaphragm pressure gauge) เครื่องมือวัดนี้มีความไวต่อการวัดความดันสูงแต่มีราคาแพง มีโครงสร้างซับซ้อนและยุ่งยากในการการซ่อมแซมเมื่อชำรุดเสียหาย ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน เพราะผลจากอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพของการวัดลดลง[5-6]

วัตถุประสงค์งานวิจัยฉบับนี้คือ การออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่ (novel pressure sensor) โดยคำนึงถึงความง่ายต่อการสร้างและใช้งาน เครื่องมือวัดความดันที่จัดสร้างขึ้นนี้ให้ค่าการวัดที่แม่นยำและเชื่อถือได้ รวมถึงประสิทธิภาพการใช้งานที่หลากหลาย (versatility) ทนทานต่อสภาวะการใช้งานที่อุณหภูมิสูง และค่าการวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่นี้ไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ งานวิจัยฉบับนี้ยังได้เสนอการประมวลผลระบบการเก็บข้อมูลแบบความเร็วสูง (high-speed data logging system) รวมไปถึงการแสดงผลการวัดด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ซอฟแวร์และวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้นเอง

การออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่

เอกสารฉบับนี้ได้นำเสนอผลการวิจัยซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือวัดความดันรวมถึงการสอบเทียบ (calibration) ส่วนที่สองเป็นการออกแบบและจัดสร้างวงจรอิเล็คทรอนิคและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อการเก็บข้อมูลแบบความเร็วสูงและการประมวลผล และส่วนสุดท้ายเป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่ตามลำดับวิธีการออกแบบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1ลำดับการออกแบบเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง

ส่วนที่ 1

การออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือวัดความดันรวมทั้งการสอบเทียบ

เครื่องวัดความดันแบบเข็มสปริงมีส่วนประกอบที่สำคัญทั้งหมด 10 ส่วนตามลำดับหมายเลขในรูปที่ 2 โดยแต่ละส่วนจะมีความมุ่งหมายของการออกแบบและใช้งานดังต่อไปนี้

ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง

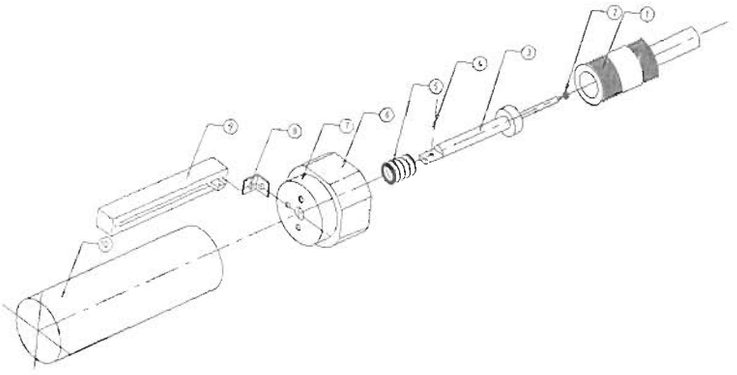
1. *กระบอกประคองเข็มวัดความดันและสปริง* มีความมุ่งหมายเพื่อให้เป็นตัวยึดชุดวัดความดันให้ติดกับห้องหลอมเหลวทรงกระบอก (barrel) ของเครื่องวัดความหนืดคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ของพอลิเมอร์หลอมเหลว และทำหน้าที่เป็นตัวประคองเข็มวัดความดันและสปริง
2. *แหวนยาง* (O-ring) มีความมุ่งหมายเพื่อกันการรั่วของพอลิเมอร์หลอมเหลวจากห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องวัดความหนืดพอลิเมอร์หลอมเหลวมายังส่วนกลางของกระบอกประคองเข็มวัดความดันและสปริง

3. *เข็มวัดความดัน* มีความมุ่งหมายเพื่อเป็นตัวส่งถ่ายแรงดันจากพอลิเมอร์หลอมเหลวที่อยู่ในห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องวัดความหนืด ไปยังตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน ซึ่งผลของการเคลื่อนที่ของเข็มวัดความดันจะทำให้เกิดการเลื่อนของตัวต้านทานและทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปตามแรงดันของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่เกิดขึ้น
4. *สลัก* มีความมุ่งหมายเพื่อเป็นตัวยึดระหว่างส่วนท้ายก้านของเข็มวัดความดันกับตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน
5. *สปริง* มีความมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนในการต้านทานการเคลื่อนที่ของเข็มวัดความดันภายใต้ความดันที่กดในบริเวณปลายของเข็มวัดความดันและเพิ่มความสามารถรับแรงจากพอลิเมอร์หลอมเหลวที่มาดันบริเวณส่วนปลายของเข็มวัดได้มากขึ้น เนื่องจากความเป็นอิลาสติกของสปริง ซึ่งสปริงดังกล่าวนี้ยังทำหน้าที่ในการเลื่อนเข็มวัดความดันเคลื่อนที่กลับเมื่อความดันลดลง
6. *ฝาปิด* มีความมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่เป็นฝาปิดและยึดกระบอกประคองเข็มวัดความดันและสปริง เพื่อให้ทั้งเข็มวัดความดันและสปริงอยู่ภายในกระบอก นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็นฐานรองแผ่นฉนวนความร้อน
7. *แผ่นฉนวนความร้อน* ฉนวนความร้อนนี้ทำจากเบอร์กาไร้ท์โดยมีความมุ่งหมายเพื่อทำหน้าที่เป็นป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องวัดความหนืดพอลิเมอร์หลอมเหลวที่แพร่มาตามชิ้นส่วนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็นฐานยึดตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนและฝาครอบตัวต้านทาน
8. *ฉากยึดตัวต้านทาน* มีความมุ่งหมายเพื่อให้เป็นตัวยึดตัวต้านทานกับแผ่นฉนวนความร้อน
9. *ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน* มีความมุ่งหมายเพื่อใช้เปลี่ยนค่าความต้านทานให้เป็นไปตามการเคลื่อนที่ของเข็มวัดความดัน เพื่อให้ได้ผลของความแตกต่างของระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะนำไปสอบเทียบเป็นค่าความดันจริงต่อไป
10. *ฝาครอบตัวต้านทาน* มีความมุ่งหมายเพื่อเป็นตัวครอบชุดวัดความต้านทาน และป้องกันการถูกกระแทกและฝุ่นละอองภายนอก

รายละเอียดการสร้างเครื่องมือวัดความดัน

จากรูปที่ 2 เป็นการแสดงลักษณะทั่วไปภายนอกของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง ส่วนปลายด้านหนึ่งเป็นกระบอกประคองที่เข็มวัดความดัน ซึ่งถูกสวมเข้าไปภายในเครื่องวัดความหนืดคาปิลารีรีโอมิเตอร์ ที่ปลายทั้งสองข้างของส่วนกลางของกระบอกประคองเข็มจะทำเป็นเกลียวนอกขนาด

M25×15 เพื่อที่ปลายเกลียวด้านหน้าสามารถประกอบเข้ากับห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ ส่วนปลายเกลียวอีกข้างจะประกอบเข้ากับฝาปิดซึ่งเป็นชิ้นส่วนถัดมา ในส่วนท้ายของฝาปิดจะใช้เป็นฐานยึดแผ่นฉนวนความร้อนที่ทำจากเบอร์กาไรท์ ซึ่งฉนวนความร้อนดังกล่าวทำหน้าที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ กระบอกประคองเข็มวัดความดัน สปริงที่สวมอยู่ภายในกระบอกประคองเข็มและฝาปิด ไปสู่ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนซึ่งต่อเป็นชิ้นส่วนถัดมา ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนถูกครอบด้วยฝาครอบตัวต้านทาน โดยฝาครอบตัวต้านทานถูกเจาะรูบริเวณปลายสำหรับต่อสายสัญญาณจากตัวต้านทานไปยังชุดวงจรเปลี่ยนสัญญาณจาก อนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการ์ดอินเตอร์เฟสซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของตัวต้านทาน ดังจะได้กล่าวในส่วนของการออกแบบทางอิเล็คทรอนิกส์ต่อไป



รูปที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง

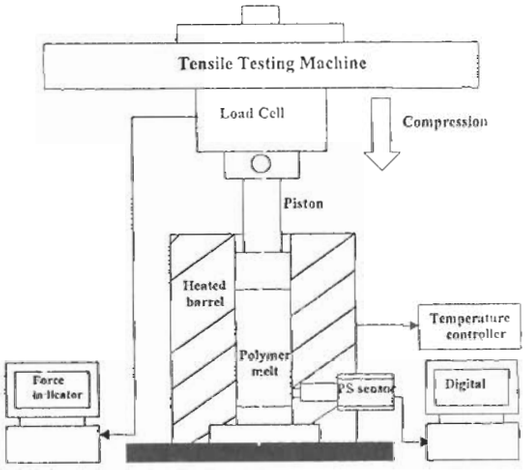
หลักการทำงาน

เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงที่ใช้กับพอลิเมอร์หลอมเหลวที่มีความหนืดสูงนี้ อาศัยหลักการทำงานของการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อน (sliding contact resistor) ซึ่งอาศัยระบบทางกลที่ประกอบด้วย เข็มวัดความดัน แหวนยาง และสปริง ในการประดิษฐ์ครั้งนี้จะเน้นถึงรายละเอียดของระบบทางกลซึ่งมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ เมื่อมีความดันในห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ พอลิเมอร์หลอมเหลวที่อยู่ในห้องหลอมเหลวทำหน้าที่ส่งผ่านความดันไปยังเข็มวัดความดัน โดยมีแหวนยางสวมอยู่ส่วนปลายของเข็มวัดซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของพอลิเมอร์ ความดันดังกล่าวทำให้เข็มวัดความดันเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของเข็มวัดความดันนี้จะถูกต้านทานโดยสปริงที่สวมอยู่รอบก้านของเข็มวัดความดัน ส่วนท้ายของเข็มวัดความดันจะต่อเข้ากับตัวความต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนโดยใช้สลักเป็นตัวยึด การเคลื่อนที่ของเข้มวัดความดันจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานในตัวความต้านทาน ระบบทางกล

กับตัวความต้านทานจะถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นฉนวนความร้อนที่ทำจากเบอร์กาไรท์ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากห้องหลอมเหลวแพร่มายังตัวความต้านทาน โดยจะมีการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องเก็บข้อมูลแบบความเร็วสูง และทำการประมวลผลและแสดงผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงผลของการวัดสามารถถูกแสดงในรูปของแรงดันไฟฟ้า และค่าความดันจริง

หลักการสอบเทียบค่าความดันจริง

การออกแบบการสอบเทียบค่าความดันจะใช้หลักการพื้นฐานของการสอบเทียบแบบ dead weight tester[5-6] โดยค่าของแรงที่ใช้ได้จาก load cell ในเครื่องทดสอบแรงดึงและพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (5.3×10^{-4} m^2) ซึ่งนำมาคำนวณจะได้ค่าความดันจริงและเปรียบเทียบค่านี้กับตัวเลขดิจิตอลที่ได้จากเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง ดังรูปที่ 3 อันมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 3 อุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบ (calibration) ของเครื่องมือวัดความดัน

- อุปกรณ์ประกอบสำหรับการสอบเทียบค่าความดันถูกประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง ลูกสูบจะประกอบเข้ากับ load cell ซึ่งจะทำให้ทราบค่าแรงที่กระทำต่อพอลิเมอร์หลอมเหลวภายในห้องหลอมเหลวทรงกระบอก
- เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงจะทำหน้าที่ตรวจวัดค่าความดันที่เกิดขึ้นในระบบในรูปของแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการประมวลผลออกมาเป็นตัวเลขดิจิตอล

- **ชุดประมวล**ผลการสอบเทียบและการแสดงผลความดัน เป็นตัวแสดงค่าการเปลี่ยนแปลง**แรงดัน**ไฟฟ้าจากชุดความต้านทานออกมาเป็นตัวเลขดิจิตอล (0-256)

การสอบเทียบค่าความดันของเครื่องมือวัดความดัน**แบบเข็มสปริง** **อาศัยหลักการของการเกิด**ความดัน**ที่แปรผันโดยตรง**ตามแรงที่กระทำ โดยแรงที่กระ**ทำต่อพื้นที่หน้าตัดที่คงที่** (**พื้นที่หน้าตัดของ** piston) **ดังสมการที่** 1[6]

$$P = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

เมื่อ

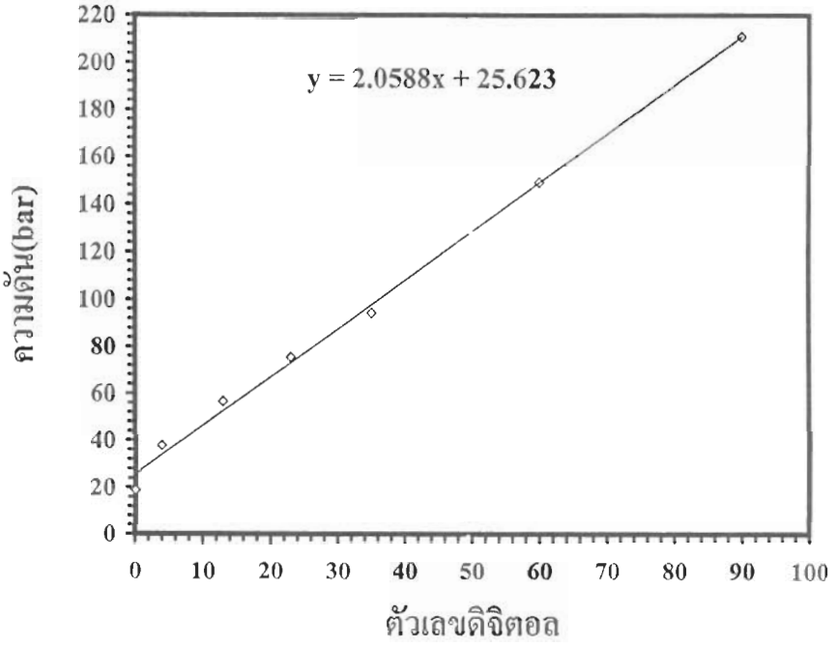
P = ความดัน (N/m^2)

F = แรงที่มากระทำ (N)

A = พื้นที่หน้าตัด (m^2)

วิธีการสอบเทียบค่าความดันจริง

1. ติดตั้งอุปกรณ์สอบเทียบสำหรับการสอบเทียบค่าความดันเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง
2. ให้ความ**ร้อน**กับอุปกรณ์สอบเทียบ จนกระทั่งอุณหภูมิของอุปกรณ์คงที่
3. บรรจุ**ของ**พอลิเมอร์ (**ในที่นี้ใช้พอลิเอ**ทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ) ลง**ในห้องหลอม**เหลว**ทรง**กระบอก และ**ทิ้งไว้ประมาณ** 10 นาที เพื่อให้พอลิเมอร์หลอมจนหมด
4. จาก**นั้น**เลื่อน**ลูกสูบ**เพื่อ**อัดพอลิเมอร์ในห้อง**หลอมเหลว**ทรง**กระบอกจนได้**แรงอัดคงที่** แล้วจึงหยุด **แรงอัดที่ได้**จะถูก**แปลงเป็นค่า**ความดัน**โดยใช้**สมการที่ 1 และ**ค่าตัวเลข**ดิจิตอล ณ ความดัน**ดังกล่าว**นี้ ดังนั้น **ค่าความดัน** (P) จาก**การอัดพอลิเมอร์**หลอมเหลว 1 ครั้งจะได้ค่าตัวเลขดิจิตอล**หนึ่งค่า**
5. ทำซ้ำข้อ 3 **และ** 4 โดย**ใช้แรงกด**ค่าต่างๆ และ**บันทึกตัวเลขดิจิตอล ณ** แรงกดต่างๆ
6. **นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟ**สอบเทียบค่าความดัน**โดยให้แกน y มีค่า**เป็นความดัน P และแกน x **เป็น**ค่าตัวเลขดิจิตอล ซึ่งจะได้กราฟสอบเทียบตามรูปที่ 4
7. จาก**กราฟ**สอบเทียบ จะได้**สมการเส้นตรงที่เป็นความสัมพันธ์**ระหว่างค่าความดันและตัวเลขดิจิตอล เพื่อนำไป**เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์**เพื่อแปลงค่าความดันจริง ตามรายละเอียด**การ**ออกแบบทางอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4 กราฟการสอบเทียบของเครื่องมือวัดความดันแบบเซ็มสปริง

ส่วนที่ 2

การออกแบบและจัดสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ลำดับขั้นของการเก็บประมวลข้อมูลและแสดงข้อมูลของการวัดความดัน โดยสามารถอธิบายการออกแบบในส่วนของโปรแกรมได้ดังนี้คือ ในส่วนของการรับสัญญาณเข้าใช้ความต้านทานปรับค่าได้แบบเลื่อนที่มีค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม *ชนิดบี* ทำหน้าที่แบ่งแรงดันเพื่อให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาลอกโดยใช้ไอซีเบอร์ ADC0804 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเข้าอนาลอกเป็นสัญญาณออกดิจิตอล 8 บิตซึ่งคอมพิวเตอร์จะอ่านข้อมูลที่ได้เข้าทางบัสข้อมูล (data bus) โดยผ่านชุดอินเตอร์เฟสและวงจรเปลี่ยนสัญญาณภายในวงจรใช้ไอซีเบอร์ 8255 ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมการติดต่อระหว่างชุดวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลกับบัสข้อมูลของคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้เข้าไปประมวลผล ในส่วนของชุดเก็บข้อมูลประมวลผลและชุดแสดงผลโดยหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่า หน่วยควบคุมการประมวลผลกลาง (CPU) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่รับเข้ามาตามชุดคำสั่งของโปรแกรมที่สร้างขึ้นโดยใช้ภาษาซี เพื่อคำนวณและสอบเทียบข้อมูลให้ได้ผล

เป็นค่าความดันจริงซึ่งให้หน่วยวัดเป็นบาร์ และค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาจริง แล้วเก็บข้อมูลโดยใช้ชุดเก็บข้อมูลแบบความเร็วสูง การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากับเวลาแสดงอยู่ในรูปแบบของเทกส์ไฟล์ (text file) และแสดงค่าความดันเป็นตัวเลขบนจอภาพของคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของกราฟฟิกส์ (graphics)

ในส่วนของการสอบเทียบค่าของแรงดันไฟฟ้ากับค่าความดันจริงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ ค่าความต้านทานสูงสุดเท่ากับ 10 กิโลโอห์ม ย่านแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงทางด้านสัญญาณอนาลอก คือ 0 ถึง 5 โวลท์ ซึ่งตรงกับสัญญาณดิจิตอล ตั้งแต่ 0 ถึง 256 ดังนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิตอล 1 ค่า เช่น จาก 0 ถึง 1 หรือ จาก 1 ไป 2 เป็นต้น คือ

$$= \frac{5{,}000mV}{256} \qquad (2)$$

$$= 19.53125mV$$

สำหรับ ค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณดิจิตอล 1 ค่า คือ

$$= \frac{10{,}000\Omega}{256} \qquad (3)$$

$$= 39.0625\Omega$$

จากการสอบเทียบทางปฏิบัติ เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงที่ประดิษฐ์นี้ให้สมการของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันจริงกับการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอล ดังนี้

$$\text{ความดันจริง} = (2.0588 \times \text{สัญญาณดิจิตอล}) + 25.623 \qquad (4)$$

$$\text{สัญญาณดิจิตอล} = (\text{ความดันจริง} - 25.623)/2.0588 \qquad (5)$$

ในกรณีของความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

จากสมการที่ (1)

$$\text{แรงดันไฟฟ้า} = \text{สัญญาณดิจิตอล} \times 0.01953125 \qquad (6)$$

หรือ

$$\text{สัญญาณดิจิตอล} = \text{แรงดันไฟฟ้า}/0.01953125 \qquad (7)$$

จากสมการที่ (5) และ (7) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันจริงกับแรงดันไฟฟ้า ได้ดังนี้

$$\text{ความดันจริง} = 2.0588 \times (\text{แรงดันไฟฟ้า} / 0.01953125) + 25.623 \quad (8)$$

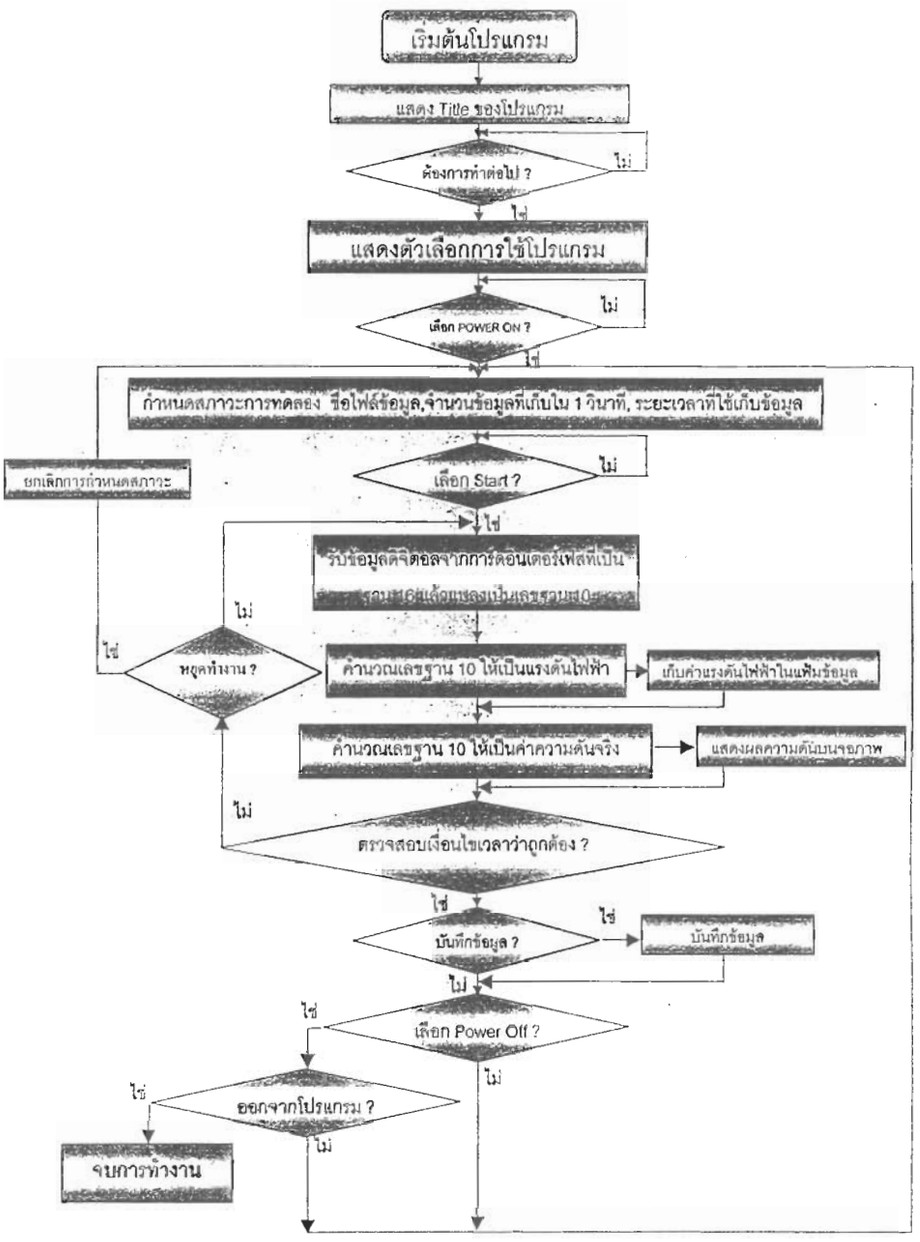
$$\text{ความดันจริง} = (105.43616 \times \text{แรงดันไฟฟ้า}) + 25.623 \quad (9)$$

สมการที่ (9) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันจริงกับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

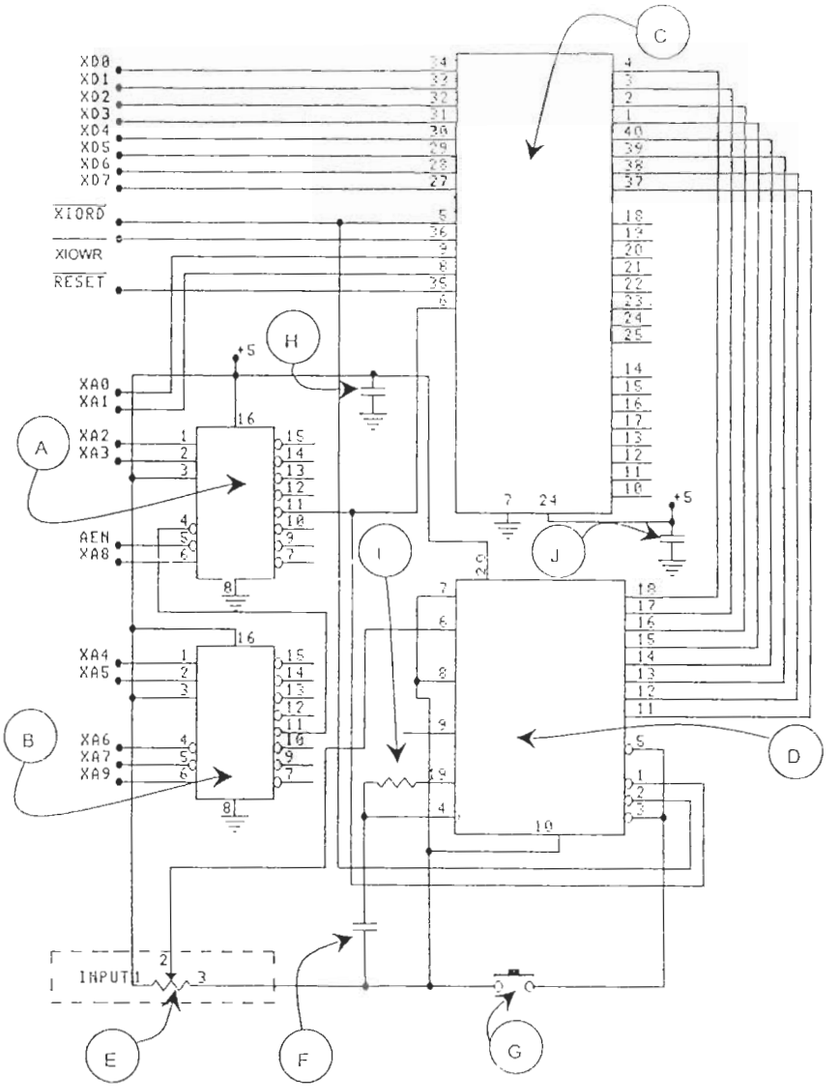
จากแผนภูมิในส่วนแลเงาในรูปที่ 5 เป็นลำดับขั้นตอนของการคำนวณ เก็บและประมวลข้อมูล เริ่มจากการกำหนดค่าที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ จำนวนข้อมูลที่ต้องการเก็บใน 1 วินาที เวลาที่ใช้เก็บข้อมูล ชื่อของข้อมูลที่ต้องการนำข้อมูลไปจัดเก็บ เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมจะเริ่มรับสัญญาณดิจิตอล (เป็นเลขฐาน 16) ที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกผ่านชุดอินเตอร์เฟส และเริ่มต้นตรวจสอบเงื่อนไขของเวลาในการเก็บข้อมูลไปพร้อมๆ กัน สัญญาณดิจิตอล (เลขฐาน 16) จะถูกคำนวณเปลี่ยนค่าตัวเลขให้เป็นเลขฐาน 10 เพื่อทำการคำนวนตามลำดับ ดังนี้

1. นำค่าเลขฐาน 10 ที่ได้ไปคำนวณเปลี่ยนให้เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้า ทำการจัดเก็บค่าของแรงดันไฟฟ้าของข้อมูลที่กำหนดไว้ข้างต้น ตามจำนวนข้อมูลใน 1 วินาที
2. นำค่าของแรงดันไฟฟ้าใน ข้อ (1) ไปคำนวณเปลี่ยนเป็นค่าความดันจริงโดยใช้สมการ (8) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความดันจริง
3. นำค่าความดันจริงที่ได้จากการคำนวณไปแสดงผลเป็นตัวเลขบนจอภาพ
4. เมื่อเสร็จสิ้นจากการคำนวณ โปรแกรมจะตรวจสอบเงื่อนไขของเวลา ถ้าได้ตรงตามเงื่อนไข โปรแกรมจะหยุดรับข้อมูล แต่ถ้ายังไม่เป็นตามเงื่อนไขโปรแกรมก็จะวนกลับไปรับข้อมูลใหม่จนกว่าเงื่อนไขจะเป็นจริงจึงหยุด แล้วเริ่มต้นการกำหนดค่าใหม่ต่อไป

ตามรูปที่ 6 คือ วงจรเปลี่ยนสัญญานอนาลอกเป็นดิจิตอลและการ์ดอินเตอร์เฟส ทำหน้าที่หลักคือรับสัญญาณดิจิตอลที่ถูกแปลงจากอนาลอกแล้วเข้าไปให้ CPU ประมวลผลโดยวงจรได้รวมชุดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลกับวงจรอินเตอร์เฟสเข้าด้วยกันในลักษณะของการ์ดทำให้สามารถเชื่อมต่อกับสล๊อด I/O ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 5 ลำดับและขั้นตอนการประมวลผลการทดสอบการวัดแรงดันโดยเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง



รูปที่ 6 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญานอนาลอกเป็นดิจิตอลและการ์ดอินเตอร์เฟส

ลักษณะทั่วไปของการ์ด

- ตำแหน่งการ์ด (address card) 300H ถึง 303H
- ตำแหน่ง port รับและส่งข้อมูล 300H port A ของ IC 8255
- ขนาดและรูปแบบของการการรับข้อมูลแบบขนานขนาด 8 บิต
- สายสัญญาณที่ใช้
- XD0 ถึง XD7 เป็นชุดสายข้อมูลทำหน้าที่เป็นทางผ่านข้อมูลดิจิตอลที่ถูกแปลงจากอนาลอกแล้วเข้าไปให้ CPU ประมวลผล
- XIORD เป็นสายสัญญาณที่ CPU ใช้กำหนดการอ่านข้อมูล
- XIOWR เป็นสายสัญญาณที่ CPU ใช้กำหนดการเขียนข้อมูล
- RESET เป็นสายสัญญาณการรีเซตระบบ
- XA0 ถึง XA9 เป็นชุดสายสัญญาณที่ทำหน้าที่อ่างตำแหน่งของการ์ด
- AEN (Address Enable) เป็นสายสัญญาณควบคุมการอ้างตำแหน่ง

การทำงานของวงจร

IC (A) และ IC (B) เป็น IC เบอร์ 74LS138 ทำหน้าที่ถอดรหัสตำแหน่งของการ์ด เพื่อให้ได้สัญญาณเอคทีฟ 0 (LOW) ไปควบคุมการทำงานของ IC (C) ให้ทำงานเฉพาะตำแหน่ง 300H-303H โดยมีสายสัญญาณเข้าที่ IC (B) XA4 XA5 XA6 XA7 และ XA9 และที่ IC (A) XA2 XA3 XA8 และ AEN จากตำแหน่งที่ 300H-303H ในเลขฐานสองคือ 1100000000-1100000011 ดังนั้น เพื่อให้ได้สัญญาณออกที่ขา 11 ของ IC (A) เป็น 0 (LOW) และ IC (C) ทำงานที่ตำแหน่ง 300H-303H XA8 และ XA9 จะต้องเป็น 1 (HIGH) และ XA2 XA3 XA4 XA5 XA6 XA7 AEN ต้องเป็น 0 (LOW) ตามคุณสมบัติของ IC 74LS138

IC (C) คือ IC เบอร์ 8255 ทำหน้าที่รับสัญญาณดิจิตอลที่ถูกเปลี่ยนจากอนาลอกเข้าไปทาง port A คือ PA0-PA7 ผ่าน XD0-XD7 ให้ CPU ประมวลผลจะทำงานเมื่อ ขา 6 เอคทีฟ 0 (LOW) ที่ตำแหน่ง 300H-303H และ IORD เอคทีฟ 0 (LOW) IOWR เอคทีฟ 0 (LOW)

IC (D) คือ IC เบอร์ ADC0804 ต่อร่วมกับตัวต้านทาน (I) ค่า 10 กิโลโอห์ม คาปาซิเตอร์ (F) ค่า 150 pf สวิตช์ (G) และเป็นชุดวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล โดยสัญญาณเข้าที่เป็นอนาลอกได้จากผลของการเปลี่ยนแปลงแรงระดับดันไฟฟ้าจากตัวต้านปรับค่าได้แบบเลื่อน (E) ค่า 10 กิโลโอห์มที่ต่อในวงจรเข้าขา 6 ของ IC (D) ส่วนของสัญญาณออกจะเป็นสัญญาณดิจิตอลออกที่ขา 11 – 18 มีขนาด 8 บิตและเชื่อมต่อกับ IC (C) ที่ Port PA0-PA7 ในการเริ่มต้นการรับข้อมูลกดสวิตช์

(G) คาปาซิเตอร์ (H) และ (J) ค่า 0.1 μF ต่อระหว่างแรงดัน 5V กับกราวด์เพื่อทำหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเช่นขณะเปิดเครื่อง

ส่วนที่ 3

การตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมือวัดแบบเข็มสปริง

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ของไหลชนิดความหนืดสูงคือ พอลิเมอร์เอทธิลีนหลอมเหลว ประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงจะถูกตรวจสอบโดยทำการวัดค่าความดันในเครื่องมือทดสอบทางพอลิเมอร์ ในที่นี้ใช้เครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องวัดความดันแบบเข็มสปริงที่จัดสร้างขึ้น ได้ทำการตรวจวัดความดันภายในห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์แทนการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบสากลทั่วไปแบบชนิดไดอะแฟรม ซึ่งจะประกอบเข้ากับตอนท้ายของห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ที่ถูกออกแบบและจัดสร้างขึ้นเองในงานวิจัยครั้งนี้ด้วยโดยห้องหลอมเหลวทรงกระบอกของเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์จะถูกออกแบบให้สามารถประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง ทั้งนี้ เพื่ออาศัยระบบการขับเคลื่อนของเครื่องทดสอบแรงดึงเป็นตัวขับเคลื่อนแท่งลูกสูบ เพื่ออัดพอลิเมอร์หลอมเหลวในห้องหลอมเหลวทรงกระบอก หลักการทดสอบหาคุณสมบัติทางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว คือ การหาค่าความดันตก ณ อัตราเฉือน (shear rate, γ) ซึ่งค่าความดันตกสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเค้นเฉือน (shear stress, τ) ได้ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนจะแสดงถึงค่าความหนืด (viscosity, η) ของพอลิเมอร์ โดยปกติ ในการทดสอบคุณสมบัติทางการไหลของพอลิเมอร์จะใช้สมการ 10 ถึง 12[4]

$$\tau = \frac{RP}{2L} \tag{10}$$

$$\gamma = \left[\frac{(3n+1)}{4n}\right]\left[\frac{4Q}{\pi R^3}\right] \tag{11}$$

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \tag{12}$$

เมื่อ R = รัศมีของ Die (m)

P = ความดัน (N/m^2)

L = ความยาว Die (m)

Q = อัตราการไหล (m^3/s)

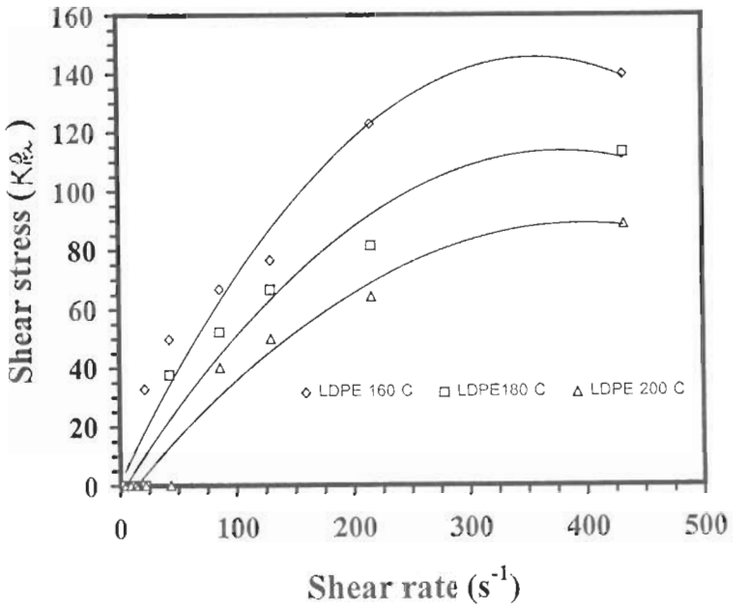
ในงานวิจัยฉบับนี้ พอลิเมอร์หลอมเหลวที่ใช้คือ พอลิเอทธีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene, LDPE) และอุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ $160°C$ ถึง $200°C$ เครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ที่ใช้กับเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่นี้ ถูกออกแบบและจัดสร้างขึ้นซึ่งเป็นอุปกรณ์การทดสอบชุดเดียวกันกับอุปกรณ์ที่ใช้ในสอบเทียบของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง ดังรูปที่ 3 เครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ที่จัดสร้างขึ้นมานี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของห้องหลอมเหลวทรงกระบอกที่ใช้คือ 26 มม. และ 1500 มม. ตามลำดับ และใช้ลูกสูบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากับ 25 มม. และ 1800 มม. ตามลำดับ ขนาดของแบบพิมพ์ที่ใช้แสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) มีค่าเท่ากับ 20

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ นอกจากจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวแล้ว ยังทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่ที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้น แนวทางหนึ่งของการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมือวัดความดันแบบใหม่นี้คือ การเปรียบเทียบผลการวัดความดัน (ในรูปของความเค้นเฉือน) โดยใช้เครื่องมือวัดแบบใหม่กับเครื่องมือวัดความดันแบบมาตรฐานทั่วไป โดยใช้เครื่องมือวัดความดันแบบไดอะแฟรม ซึ่งติดตั้งอยู่กับเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์แบบมาตรฐานทั่วไป ในงานนี้เครื่องคาปิลารี่ที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบคือ Rosand Precision Capillary Rheometer ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องหลอมเหลวทรงกระบอกที่ใช้คือ 12 มม. และใช้ลูกสูบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 11 มม. ขนาดของ die มีค่า L/D เท่ากับ 16 อุณหภูมิและอัตราเฉือนที่ใช้เหมือนกันกับในกรณีของการทดสอบข้างต้น

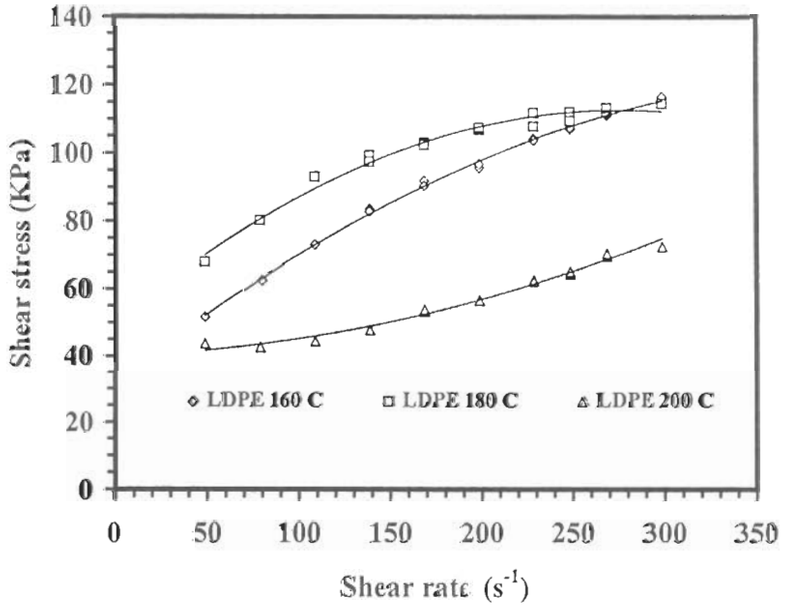
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางการไหลของพอลิเอทธิลีนโดยการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบใหม่ และแบบมาตรฐานสากล แสดงในรูปที่ 7 ถึง 10 ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลสำคัญได้ดังนี้

1. รูปกราฟที่ 7 และ 8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของ LDPE ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เครื่องมือวัดความดันแบบใหม่และแบบมาตรฐานสากล จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเป็นคุณสมบัติทางการไหลที่ได้รับจากการใช้เครื่องมือวัดความดันทั้งสองไม่เป็นไปตามกฎของนิวตันกล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนไม่คงที่ ซึ่งจัดเป็นของไหลประเภท pseudoplastic non-newtonian fluids คือพฤติกรรมการไหลที่อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนน้อยกว่า 1 ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ เป็นไปตามที่คาดไว้ [4,7]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate โดยการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบไดอะแฟรม

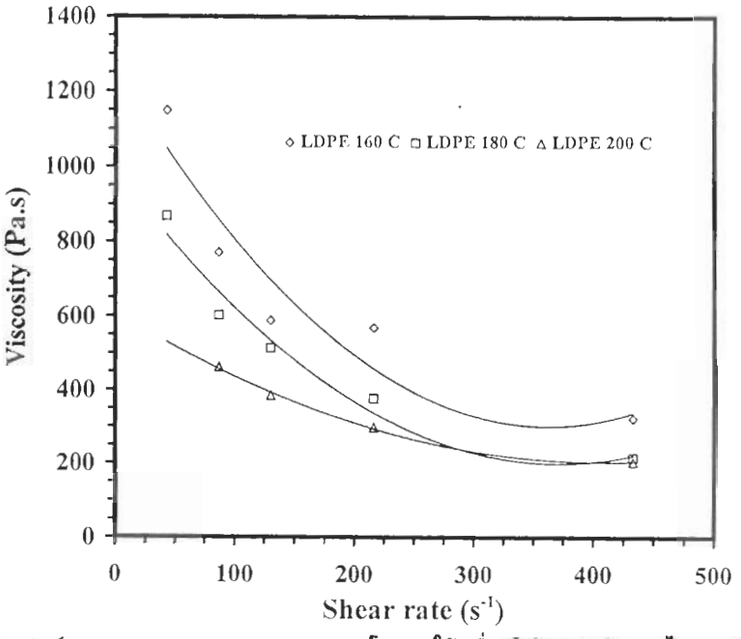


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate โดยการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง

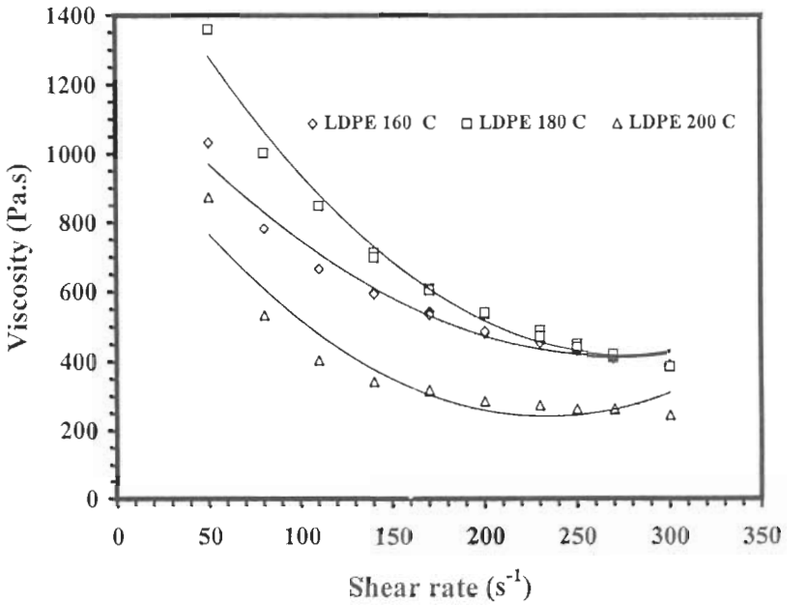
2. รูปกราฟที่ 9 และ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความหนืดของ LDPE ที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นความหนืดจะลดลง ซึ่งพฤติกรรมการไหลนี้เป็นพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงมีประสิทธิภาพที่จะใช้เป็นเครื่องมือวัดความดัน ในการศึกษาคุณสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวภายในเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ได้
3. จากผลการทดลองในรูปที่ 7 ถึง 10 จะเห็นได้ว่าหากพิจารณาผลการทดสอบที่สภาวะ (อุณหภูมิและอัตราเฉือน) เดียวกัน ลักษณะของกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่าความเค้นเฉือนและความหนืดที่ได้จากการวัดจากทั้งสองเครื่องไม่เท่ากัน โดยความแตกต่างของผลการทดสอบจากเครื่องมือวัดทั้งสองมีค่าประมาณ 10 – 15% ในช่วงอัตราเฉือนต่ำๆ แต่ผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในช่วงอัตราเฉือนสูงๆ (ความแตกต่างอยู่ในช่วงข้อผิดพลาดจากการทดลองที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ คือประมาณ 4%) คณะวิจัยให้ความสนใจและมีความพอใจต่อผลการวัดในช่วงอัตราเฉือนสูง เพราะมีประโยชน์โดยตรงในภาคปฏิบัติของกระบวนการทางพอลิเมอร์มากกว่าผลการทดสอบในช่วงอัตราเฉือนต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวภายในห้องหลอมเหลวทรงกระบอกทั้งสองของเครื่องต่างกัน[7,8] ซึ่งมีผลต่อผลการทดสอบ เป็นที่ทราบกันดีว่าคุณสมบัติของพอลิเมอร์ในกระบวนการผลิต และคุณสมบัติของชิ้นงานหลังการผลิตขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลของพอลิเมอร์ ซึ่งลักษณะการไหลดังกล่าวนี้มีผลกระทบโดยตรงจากการออกแบบเครื่องมือทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต[8] จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต[7-9] ทำให้ทราบว่าค่าที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวด้วยเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ชนิด (ขนาดและประเภท) ต่างๆ ได้ค่าการวัดที่ไม่เท่ากัน แต่จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟการไหล (flow curves) ในทิศทางเดียวกัน
4. คณะผู้ออกแบบและจัดสร้างเครื่องมือวัดความดันได้ข้อสังเกตว่า ค่าความดันที่วัดได้ของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง สามารถทำได้ที่ระดับความดันตั้งแต่ 25 bar ขึ้นไป ทั้งนี้เป็นผล เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ (k) ของสปริง กล่าวคือ สปริงที่ใช้ต้องการแรงภายนอกมากระทำอย่างน้อย 25 bar ที่จะสามารถดันให้สปริงเกิดการยุบตัว อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดนี้มิได้มีผลกระทบต่อการวัดความดันของพอลิเมอร์ในเครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ใน

งานวิจัยครั้งนี้ เพราะในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ และการทดสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์โดยทั่วไป ระดับความดันที่เกิดขึ้นสูงกว่า 25 bar ขึ้นไป

5. ระบบการวัดของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง เป็นระบบที่เข้าถึงพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวโดยตรง ด้วยชุดกลไกการส่งถ่ายแรงและแปลงเป็นความดันที่เป็นกลไกสมดุลแรงพื้นฐานอย่างง่ายซึ่งไม่ซับซ้อน และที่กล่าวว่าเป็นเครื่องมือวัดที่เข้าถึงพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์นั้นสามารถอธิบายได้คือ เนื่องจากชุดกลไกที่รับแรงจากพอลิเมอร์หลอมเหลวในห้องหลอมเหลวทรงกระบอกสัมผัสกับพอลิเมอร์โดยตรง เมื่อเลื่อนลูกสูบอัดพอลิเมอร์ให้ไหลลงสู่ die ความดันจะแสดงโดยเครื่องมือวัด (แบบเข็มสปริง) ทันที แต่จะแสดงค่าในเวลาต่อมา (ประมาณ 2 วินาทีหลังการอัดของลูกสูบ) กรณีนี้ มิได้แสดงว่าเครื่องมือวัดความดันไม่ไวต่อการตรวจวัด แต่เป็นเพราะพฤติกรรมการอัดได้ (compressibility) ของพอลิเมอร์[10] กล่าวคือ ในช่วงแรกจะยังไม่เกิดความดันเนื่องจากยังไม่มีแรงมากระทำที่ปลายเข็มวัดความดัน เนื่องจากว่าพอลิเมอร์ยังไม่อัดตัว จากนั้นเมื่อพอลิเมอร์เกิดการอัดตัวจึงเกิดความดันและการไหล อย่างไรก็ตาม พบว่าเมื่อเกิดการไหลขึ้นแล้ว การตรวจวัดความดันอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการอัดของลูกสูบจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องและทันที



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosity และ shear rate โดยการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบไดอะแฟรม



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง viscosityและ shear rate โดยการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง

ข้อเสนอแนะทั่วไปของคณะผู้ออกแบบและวิจัยของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง

1. เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง สามารถใช้วัดความดันของพอลิเมอร์หลอมเหลวภายใต้ สภาวะอุณหภูมิสูงได้ดี โดยที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมชดเชยการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน (shift in pressure) อันเนื่องมาจากอุณหภูมิ เหมือนกับเครื่องมือวัดความดันแบบไดอะแฟรมซึ่งต้องใช้ตัวปรับค่าหรือชดเชยค่าความดันจากผลของอุณหภูมิ [5-6] อุปกรณ์ดังกล่าวคือ dummy gauges หรือ temperature compensation gauges เหตุผลที่เครื่องมือวัดความดันแบบใหม่นี้ไม่ต้องการอุปกรณ์เพื่อชดเชยค่าความดันที่เปลี่ยนไปเนื่องจากอุณหภูมิคือ มีการติดตั้งระบบฉนวนความร้อนระหว่างระบบของไหล (barrel) และชุดความต้านทานแบบปรับค่าได้ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความดัน ระบบฉนวนความร้อนดังกล่าวทำจากวัสดุเบอร์การไร้ท์ ตามที่แสดงในรูปที่ 2
2. ส่วนประกอบของเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง ถูกออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก เพราะมีโครงสร้างภายในไม่ซับซ้อน

3. ช่วงการวัดระดับความดัน (measuring pressure range) สามารถปรับเปลี่ยนภายในเครื่องมือวัดเดียวกัน โดยการปรับช่วงการวัดดังกล่าวนี้ สามารถทำได้ง่ายโดยการปรับเปลี่ยนสปริงให้มีค่า k คงที่ที่แตกต่างๆ กัน คุณสมบัติดังกล่าวนี้ ไม่สามารถทำได้ในเครื่องมือวัดความดันชนิดอื่นๆ
4. วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริง เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศและมีราคาถูก ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำ (ต้นทุนในการผลิตเครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงต่อหน่วยประมาณ 3,000 บาท) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดความดันชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมพอลเมอร์ จะเห็นว่ามีราคาต่ำกว่ามากตัวอย่างเช่น เครื่องมือวัดความดันแบบไดอะแฟรม มีราคาต่อหน่วยโดยประมาณคือ 110,000 บาท
5. เนื่องจากโครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องมือวัดแบบใหม่เป็นแบบเชิงกล (mechanical system) ดังนั้น เครื่องมือวัดชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง (robust)
6. การเก็บบันทึกข้อมูลค่าความดันเป็นระบบเก็บข้อมูลด้วยความเร็วสูงทำให้ได้ค่าความดันที่ละเอียดภายในระยะเวลาอันสั้นทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความผิดพลาดน้อยมาก ค่าความผิดพลาดของผลการวัดที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดความดันแบบใหม่นี้พบว่าน้อยมาก ประมาณ 4% ซึ่งสามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงที่สร้างขึ้นนี้เป็นเครื่องต้นแบบ ซึ่งยังต้องการการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการวัดความดันให้ดีขึ้นเช่น การพัฒนาการใช้วัสดุในการจัดสร้างให้เหมาะสมมากขึ้น (โดยคำนึงถึงขนาด น้ำหนัก และราคาของเครื่องมือวัดฯ) การเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจวัดให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น และการพัฒนาเครื่องมือวัดชนิดนี้ให้สามารถใช้ได้กับระบบของไหลอื่นๆ (เช่น ของไหลความหนืดต่ำ) ที่ต้องการการตรวจวัดความดัน

บทสรุป

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวไปแล้วสามารถสรุปได้ว่า เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงสามารถวัดความดันของพอลิเมอร์หลอมเหลวในเครื่องคาบิลารีรีโอมิเตอร์ได้ ซึ่งสรุปจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการใช้เครื่องมือวัดความดันมาตรฐานแบบไดอะแฟรม นอกจากนี้ เครื่องมือวัดความดันแบบเข็มสปริงยังถูกพบว่า เป็นเครื่องมือที่มีโครงสร้างการออกแบบและการใช้งานค่อนข้างง่าย สามารถปรับช่วงการวัดได้ง่าย ราคาถูก แข็งแรง และมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดสูง

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับการให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยในโครงการวิจัยหลังปริญญาเอก (PDF 48/2541) และขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด ในการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องคาปิลารี่รีโอมิเตอร์ (Rosand Precision Capillary Rheometer)

เอกสารอ้างอิง

[1] Sombatsompop N. and Wood A.K. "***An Examination of Melt Fracture in Molten Polymers***" Polymer-Plastics Technology and Engineering, 37 (3), 317-331, 1998.

[2] Christodoulou K.J., Wood A.K. and Sombatsompop N. "***Novel Techniques for Measurement of Die Swell of Polymer Melts***" SPE ANTEC Technical Papers, 44 (1), 915-919, 1998.

[3] Morton-Jones D.H. "***Polymer Processing***" Chapman and Hall, London, 1993.

[4] Sombatsompop N., Tan M.C. and Wood A.K. "***Flow Analysis of Natural Rubber in a Capillary Rheometer: Part 1. Rheological Behaviour and Flow Visualisation in the Barrel***" Polymer Engineering and Science, 37 (2), 270-280, 1997.

[5] Holman J.P. "***Experimental Methods for Engineers***" McGraw-Hill, Inc., New York, 1996.

[6] Bird J.O. "***Science for Engineering***" Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1995.

[7] Sombatsompop N. and Wood A.K. "***Flow Visualisation and Tapered Die Entrance Velocity Profiles of Psuedoplastic non-Newtonian Fluids in Capillary Rheometers***" ASME Fluid Measurements and Instrumentation FED-Vol. 239 (4), 447-452, 1996.

[8] Sombatsompop N. and Wood A.K. "***Error Sources in Rheological Measurements of Carbon Black Filled Rubber Compounds***" Journal of the Science Society of Thailand (submitted).

[10] Leblanc J.L. "***Discrepancies in Testing Rubber Compounds with Different Commercial capillary Rheometers***" Plastics, Rubbers &Composites Processing and Applications, 21 (2), 81, 1994.

[11]Sombatsompop N. and Wood A.K. "***Comments on Some Assumptions Made for the Determination of Polymer Melt Flow Properties***" Journal of Scientific Research of Chulalongkorn University, 23 (2), 101-107, 1998.