

การศึกษาเชิงทดลองการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางบนลูกกลิ้งที่ปรับปรุงด้วยร่องรูปตัววี และลูกกลิ้งเรียบ

Experimental Study of Thin Film Slipping on a Modified Roller with V-Groove and a Smooth Roller

พุทธา จินครวั^{1*}, อานนท์ สุขประเสริฐ¹, จุฑามาศ สายสะอาด¹, นลินี หนองนา¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนน ลาดยาวแสนเขต ตำบล แสนสุข อำเภอบึงสามพัน จังหวัด บึงสามพัน 20131

*ติดต่อ: puttha@buu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางบนลูกกลิ้งเรียบและลูกกลิ้งร่องตัววีภายใต้การเปลี่ยนแปลงแรงตึงของแผ่นฟิล์ม บ่อยครั้งแผ่นฟิล์มบางต้องเผชิญกับการลื่นไถลเนื่องจากสภาวะการทำงานที่ความเร็วที่สูง สำหรับปัญหาการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มนั้นมีความสำคัญเนื่องจากขบวนการผลิตจะไม่สามารถที่จะผลิตได้อย่างต่อเนื่องและยังเป็นสาเหตุให้แผ่นฟิล์มเสียหายและเป็นที่มาของค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาสภาวะการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางเพื่อที่จะปรับปรุงลูกกลิ้งซึ่งสามารถที่จะทำงานได้โดยปราศจากการลื่นไถลเมื่อความเร็วของลูกกลิ้งถูกปรับให้สูงขึ้น ในบทความนี้ชุดทดลองที่ใช้ในการทดสอบหาความเร็วลื่นไถลของแผ่นฟิล์มได้ถูกออกแบบและทำการติดตั้ง แผ่นฟิล์มบางที่ใช้ในการศึกษาในบทความนี้ได้แก่แผ่นฟิล์ม Polyvinyl chloride film (PVC) จากผลการทดลองสามารถที่จะยืนยันได้ว่าลูกกลิ้งที่มีร่องตัววีมีประสิทธิภาพในการพัฒนาการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางภายใต้การขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงได้

คำหลัก: แผ่นฟิล์มบาง ความเร็วลื่นไถล ชุดทดลอง ร่องตัววีบนลูกกลิ้ง

Abstract

This paper presents the behavior of thin films slipping on a smooth roller and a roller with v-grooves under variation of thin film tensions. At high speed operating condition, most of thin films are often encountered with slipping. The slippage phenomenon is one of a serious problem in thin film manufacturing because the process cannot operate continuously and the production costs rise up. Therefore, the slippage conditions should be considered in order to modify the rollers that are able to operate without film slipping when the velocity of roller is increasingly adjusted. To obtain the velocity of roller which leads to thin film slipping (slippage velocity), the device was designed and constructed. The thin film used in the experiments was Polyvinyl chloride film (PVC). From experimental results, it is confirmed that the v-grooved roller is very effective in improving the slippage of thin film under high-speed transport.

Keywords: Thin film, slippage velocity, experimental device, V-groove roller

AMM-226

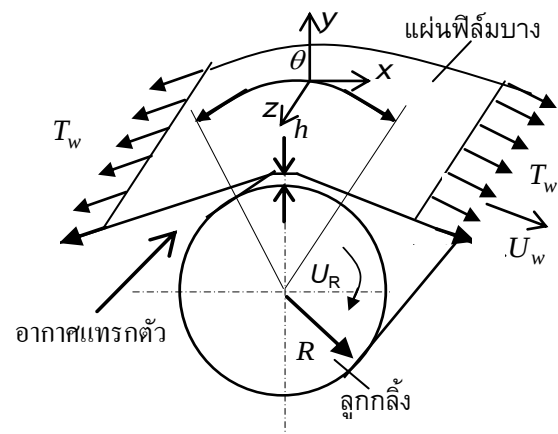
1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมประเภทแผ่นฟิล์มบางอาทิเช่น แผ่นฟิล์มพลาสติก แผ่นฟิล์มเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยีการพิมพ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นฟิล์มที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นต้น จำเป็นที่จะต้องใช้ลูกกลิ้งจำนวนมากในการรองรับและขนถ่ายแผ่นฟิล์มในขบวนการผลิตหรือที่ถูกเรียกว่า ขบวนการผลิตแบบลูกกลิ้งถึงลูกกลิ้ง (Roll-to-roll, web handling) [1-2] โดยที่แผ่นฟิล์มบางจะถูกม้วนออกที่จุดเริ่มต้นของขบวนการผลิต (Winding off) จากนั้นแผ่นฟิล์มบางจะเคลื่อนที่ภายใต้แรงดึงผ่านลูกกลิ้งและสุดท้ายแผ่นฟิล์มบางที่ผ่านขบวนการผลิต เช่นเคลือบผิว เสริมความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มเป็นต้น ก็จะถูกม้วนเก็บในขั้นตอนสุดท้าย (Winding) สำหรับในขบวนการผลิตนั้นปัญหาอาทิเช่นการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางขณะเคลื่อนที่บนลูกกลิ้งนับเป็นอุปสรรคปัญหาที่มีสำคัญที่ส่งผลให้แผ่นฟิล์มเกิดการเสียหายและเป็นเหตุให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น สำหรับปรากฏการณ์การลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางบนลูกกลิ้งนั้นเกิดเนื่องจากอากาศแทรกตัวอยู่ระหว่างลูกกลิ้งและแผ่นฟิล์มซึ่งเป็นสาเหตุให้สูญเสียแรงเสียดทานระหว่างแผ่นฟิล์มและลูกกลิ้งจนไม่สามารถที่จะป้องกันแรงภายนอกตามแนวแกนของลูกกลิ้งได้จึงเกิดการไถล [3] สำหรับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแทรกตัวของอากาศและการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้ Müftü และ Altan [4] ได้ศึกษาพฤติกรรมของแผ่นฟิล์มบางที่เป็นวัสดุพูนเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้ง จากนั้น Ducotey และ Good [5] ได้นำเสนอลูกกลิ้งที่มีร่องรูปสี่เหลี่ยมโดยทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้ง ผลการคำนวณเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าการใช้ลูกกลิ้งมีร่องช่วยให้มีแรงเสียดทานสูงขึ้น Hashimoto [6] ได้ทำการศึกษาผลของการรั่วทะลุของอากาศ (Air permeability) ผ่านแผ่นฟิล์มบางและทำการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าความหนาฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของลูกกลิ้ง Byun และคณะ

[7] ได้ทำการคำนวณและทดลองสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างแผ่นฟิล์มและลูกกลิ้งร่องที่เป็นเกลียว Jeenkour [8] ได้คำนวณทางทฤษฎีหาความหนาฟิล์มอากาศระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้งที่มีลักษณะนูน ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าความหนาฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางลูกกลิ้งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับลูกกลิ้งตรง อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังมีจำนวนน้อยที่ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับความเร็วลูกกลิ้งที่ทำให้เกิดการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบนลูกกลิ้งที่มีร่องต่งนั้นในบทความนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบความเร็วที่ทำให้เกิดการลื่นไถลในกรณีที่ใช้ลูกกลิ้งเรียบและลูกกลิ้งที่มีร่องเป็นรูปตัววี

2. โมเดลความหนาฟิล์มอากาศระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้ง

ในส่วนนี้จะนำเสนอโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประมาณค่าความหนาฟิล์มอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้ง รูปที่ 1 แสดงพฤติกรรมของการแทรกตัวของอากาศระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้ง



รูปที่ 1 การแทรกตัวของอากาศ

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [4-9] ได้อธิบายพฤติกรรมของการแทรกตัวของอากาศตามรูปที่ 1 โดยการใช้ทฤษฎีการหล่อลื่นอากาศซึ่งประกอบด้วยสมการเรโนลด์ (Reynolds) สมการความหนาฟิล์มอากาศ สมการสมดุลและสมการการเสียรูปของ

AMM-226

แผ่นฟิล์มและทำการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อหาการกระจายความดันอากาศและการกระจายความหนาฟิล์มอากาศโดยใช้วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference) และวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-raphson) อย่างไรก็ตามการคำนวณตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาจะเสียเวลาในการคำนวณมากดังนั้นจึงมีนักวิจัยที่ได้นำผลเฉพาะความหนาฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นฟิล์ม h_0 ($x=0, z=0$) มาเขียนโมเดลในรูปของตัวแปรไร้มิติที่สัมพันธ์กับขนาดของแผ่นฟิล์มบาง ขนาดของลูกกลิ้ง แรงดึงแผ่นฟิล์มและความเร็วของแผ่นฟิล์ม สำหรับโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [6][9] ในกรณีลูกกลิ้งเรียบแสดงในสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ตามลำดับ

$$h_0 = R \left(\frac{12\eta U}{T_w} \right)^{\frac{2}{3}} \left(0.589 - \frac{1.614}{\lambda} + \frac{1.764}{\lambda^2} \right) \quad (1)$$

$$h_0 = R \left(\frac{12\eta U}{T_w} \right)^{\frac{2}{3}} \left(0.589 - 0.4327 \times e^{-0.0942\lambda} \right) \quad (2)$$

โดยที่ η คือความหนืดอากาศที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ U คือความเร็วเชิงเส้นที่ผิวเฉลี่ยระหว่างลูกกลิ้งและแผ่นฟิล์ม ($U=(U_w+U_R)/2$) T_w คือแรงดึงแผ่นฟิล์ม L คือความกว้างของแผ่นฟิล์ม R คือรัศมีของลูกกลิ้งและ λ คือกลุ่มตัวแปรไร้มิติซึ่งมีค่าตามสมการที่ (3)

$$\lambda = \left(\frac{L}{2R} \right) \left(\frac{12\eta U}{T_w} \right)^{-1/3} \quad (3)$$

เมื่อทราบความหนาฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางจากการประมาณค่าจากสมการที่ (1) หรือ (2) แล้ว ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของแผ่นฟิล์มบางกับลูกกลิ้งจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความหนาฟิล์มอากาศมีค่ามากกว่าสามเท่าของความหนาผิวรวมเฉลี่ยระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้ง ($h_0 > 3\sigma$) [6,7,8,9] ดังนั้นที่สถานะนี้เมื่อทราบขนาดแรง

ดึงแผ่นฟิล์ม T_w ขนาดของแผ่นฟิล์ม L และขนาดของลูกกลิ้ง R ความเร็วที่เกิดการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางบนลูกกลิ้งเรียบในทางทฤษฎีสามารถที่จะประมาณค่าได้จากสมการที่ (4)

$$f(U_{\text{slip}}) = 3\sigma \quad (4)$$

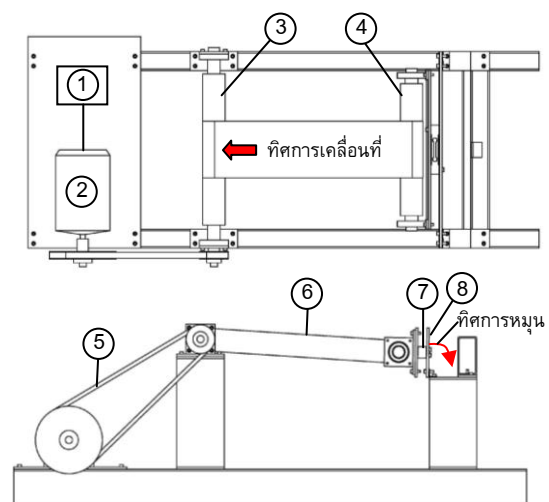
โดยที่ f เป็นฟังก์ชันที่ประมาณค่าความหนาฟิล์มอากาศตามสมการที่ (1) หรือ (2) U_{slip} คือความเร็วเชิงเส้นที่ผิวเฉลี่ยระหว่างลูกกลิ้งและแผ่นฟิล์มที่เกิดปรากฏการณ์การลื่นไถล และ σ คือความหนาผิวรวมเฉลี่ยระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้งซึ่งมีค่าตามสมการที่ (5)

$$\sigma = \sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_r^2} \quad (5)$$

โดยที่ σ_f คือค่าความหนาผิวเฉลี่ยแบบ rms (Root-mean-square) ของแผ่นฟิล์มและ σ_r ค่าความหนาผิวเฉลี่ยแบบ rms ของลูกกลิ้ง

3. การทดลองการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบาง

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการทดลองและอุปกรณ์ในการทดลองการลื่นไถลของแผ่นฟิล์ม รูปที่ 2 แสดงแบบของชุดทดสอบการลื่นไถลของแผ่นฟิล์มบางในมุมมองด้านบนและด้านข้างตามลำดับ



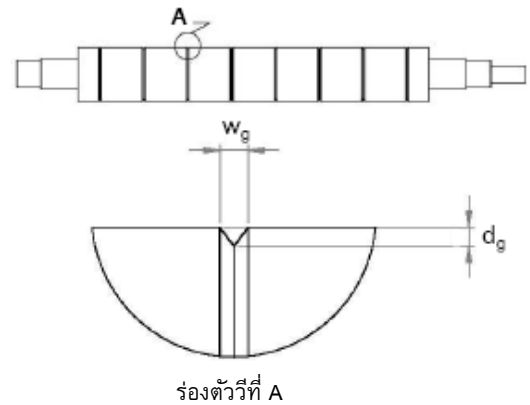
รูปที่ 2 ชุดทดสอบการลื่นไถลของแผ่นฟิล์ม

AMM-226

อุปกรณ์ตามหมายเลข 1 เป็นอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ หมายเลข 2 เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในการขับเคลื่อนลูกกลิ้งนำ หมายเลข 3 โดยมีการส่งถ่ายกำลังและทอดรอบโดยสายพานตามที่แสดงโดยหมายเลข 5 สำหรับแผ่นฟิล์มบาง PVC (Polyvinyl chloride film) ตามหมายเลข 6 ถูกสวมเข้ากับลูกกลิ้งนำเลข 3 และลูกกลิ้งตามหมายเลข 4 ซึ่งเป็นลูกกลิ้งที่ใช้ในการปรับแรงตึงบนแผ่นฟิล์มบางโดยที่ลูกกลิ้งหมายเลข 4 ติดตั้งอยู่บนแป้นบานพับหมายเลข 8 ที่พับตามทิศทางดังที่แสดงโดยลูกศร มุมของบานพับที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้แรงตึงของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นโดยค่าแรงตึงจะถูกวัดโดยโวลต์เซลล์หมายเลข 7 ที่ติดอยู่ระหว่างฐานลูกกลิ้งตามและบานพับ เมื่อเริ่มทดลองแผ่นฟิล์มบางจะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ดังแสดงในแบบมุมมองด้านบน จากนั้นจะทำการปรับความเร็วลูกกลิ้งนำให้สูงขึ้นโดยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และทำการวัดความเร็วรอบของลูกกลิ้งนำและลูกกลิ้งตามถ้าความเร็วรอบที่ลูกกลิ้งนำและตามไม่เท่ากันแสดงว่าแผ่นฟิล์มเริ่มที่จะเกิดการไถลแต่ในทางตรงกันข้ามถ้าความเร็วรอบของลูกกลิ้งนำและลูกกลิ้งตามเท่ากันแสดงว่าแผ่นฟิล์มยังไม่เกิดการไถลดังนั้นจะทำการเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้งนำขึ้นอีกจนสังเกตเห็นการไถลของแผ่นฟิล์มดังที่กล่าวมาข้างต้น

4. ผลการทดลอง

สำหรับผลการทดลองจะแสดงค่าความเร็วไถลของแผ่นฟิล์มบนลูกกลิ้งเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงตึงต่อความกว้างของแผ่นฟิล์มโดยที่ผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีที่คำนวณจากโมเดลทางคณิตศาสตร์กรณีลูกกลิ้งเรียบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2 จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบความเร็วไถลภายใต้การเปลี่ยนแปลงแรงตึงระหว่างการใช้ลูกกลิ้งเรียบและการใช้ลูกกลิ้งที่มีร่องตัววี ลักษณะของร่องตัววีบนลูกกลิ้งแสดงในรูปที่ 3 และสำหรับขนาดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาแสดงในตารางที่ 1



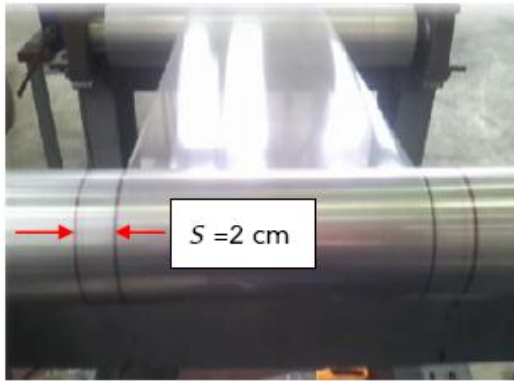
รูปที่ 3 ลักษณะของร่องตัววีบนลูกกลิ้งนำ

ตารางที่ 1 ขนาดของวัสดุ

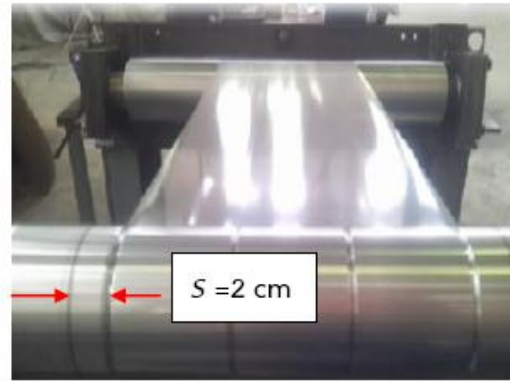
รายการ	ค่า
ความกว้างแผ่นฟิล์ม PVC [m]	0.15
ความหนาแผ่นฟิล์ม PVC [mm]	0.07
รัศมีของลูกกลิ้งนำ R [m]	0.03
รัศมีของลูกกลิ้งตาม [m]	0.03
ความกว้างของร่องตัววี w_g [mm]	3.0
ความลึกของร่องตัววี d_g [mm]	2.0
ความหยาบผิว rms ของแผ่นฟิล์ม σ_f [μm]	0.36
ความหยาบผิว rms ของลูกกลิ้ง σ_r [μm]	3.87

รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายการลื่นไถลของแผ่นฟิล์ม PVC โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ลูกกลิ้งเรียบกับลูกกลิ้งร่องตัววีภายใต้แรงตึง $T_w = 58$ N/m และความเร็วลูกกลิ้ง $U_R = 5.0$ m/s โดยที่รูป 4(a) และ 4 (b) แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์มบนลูกกลิ้งเรียบและลูกกลิ้งร่องตัววีตามลำดับ โดยในการทดลองนี้กำหนดระยะลื่นไถลบนลูกกลิ้ง $S=2$ cm เมื่อแผ่นฟิล์มไถลออกจากระยะลื่นไถล S ก็จะหยุดการทดสอบ จากการสังเกตพบว่าเมื่อความเร็วลูกกลิ้งเรียบถูกปรับให้มีค่า $U_R = 5.0$ m/s แผ่นฟิล์ม PVC เริ่มที่จะเกิดการไถลออกจากด้านซ้ายมือของลูกกลิ้งและหลุดออกจากระยะไถล S ดังที่แสดงในรูปที่ 4(c) อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ลูกกลิ้งร่องตัววีเมื่อปรับให้มีความเร็วเท่ากับ 5.0 m/s ลูกกลิ้งมีร่องสามารถที่จะประคองแผ่นฟิล์มไม่ให้เกิดการไถลออกดังที่แสดงในรูปที่ 4(d)

AMM-226



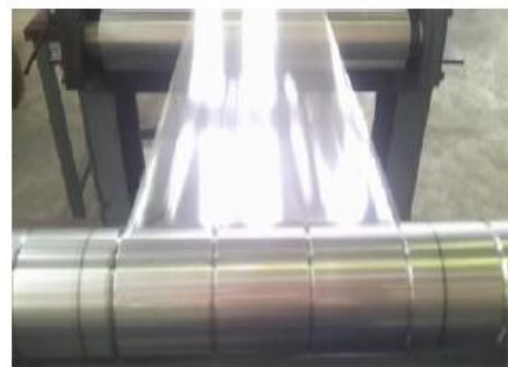
(a) ตำแหน่งเริ่มต้นแผ่นฟิล์มบนลูกกลิ้ง



(b) ตำแหน่งเริ่มต้นแผ่นฟิล์มบนลูกกลิ้งมีร่องตัววี



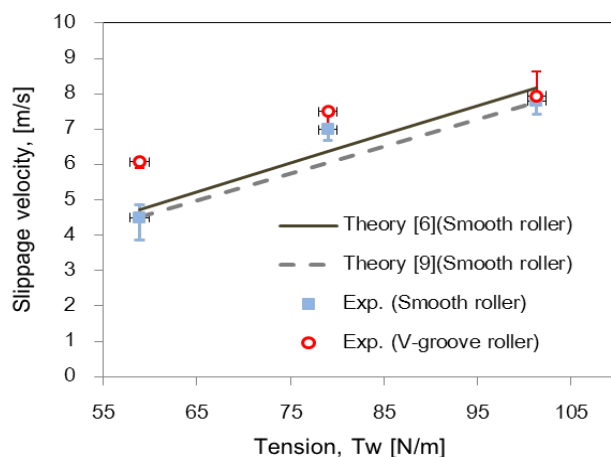
(c) การไหลของแผ่นฟิล์มบนลูกกลิ้ง



(d) แผ่นฟิล์มไม่ไหลบนลูกกลิ้งมีร่องตัววี

รูปที่ 4 ภาพถ่ายการเคลื่อนไหลของแผ่นฟิล์ม PVC บนลูกกลิ้งเรียบกับลูกกลิ้งที่มีร่องตัววี

($T_w = 58 \text{ N/m}$, $U_R = 5.0 \text{ m/s}$)



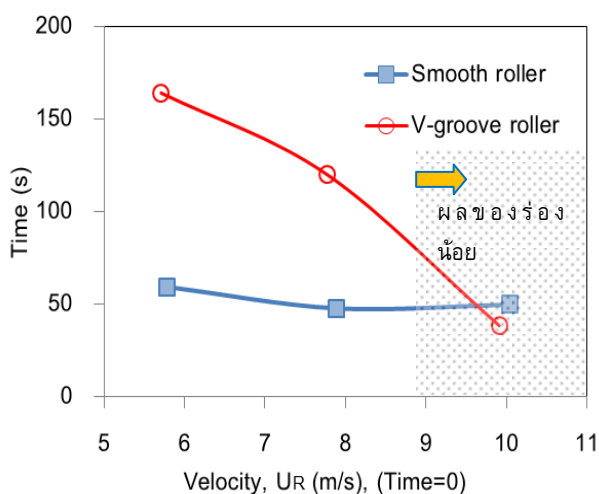
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความเร็วไหลของแผ่นฟิล์มระหว่างลูกกลิ้งเรียบกับลูกกลิ้งมีร่องตัววี

สำหรับขนาดความเร็วที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหลในทางทฤษฎีและจากการทดลองในกรณีผิวลูกกลิ้งเรียบภายใต้การเปลี่ยนแปลงแรงดึง T_w ซึ่งเป็นแรงดึงขณะที่เกิดการไหลแสดงในรูปที่ 5 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าความเร็วการเคลื่อนไหล U_{slip} ทั้งจากการคำนวณทางทฤษฎี [6] [9] และจากการทดลองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือความเร็วที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เคลื่อนไหลของแผ่นฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดึงบนแผ่นฟิล์ม สำหรับความเร็วเคลื่อนไหลในกรณีลูกกลิ้งมีร่องตัววีพบว่ามีค่าสูงกว่ากรณีลูกกลิ้งผิวเรียบ อย่างไรก็ตามอิทธิพลของร่องบนลูกกลิ้งจะลดลงเมื่อใช้แรงดึงบนแผ่นฟิล์มสูงขึ้นซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าความเร็วเคลื่อนไหลในกรณีลูกกลิ้งมีร่องจะลู่เข้าความเร็วเคลื่อนไหลในกรณีที่ลูกกลิ้งเรียบดังที่แสดงในรูปที่ 5 อย่างไรก็ตาม

AMM-226

ชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการไหลของแผ่นฟิล์มบางนั้นแผ่นฟิล์มบางจะเคลื่อนที่เป็นรอบกลับไปกลับมามบนลูกกลิ้งเดิมซึ่งแตกต่างจากขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมที่แผ่นฟิล์มจะเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งใดๆ เพียงครั้งเดียวและใช้เวลาเพียงชั่วขณะหนึ่งและประกอบกับในการทดสอบแผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นสูงจึงส่งผลให้แรงดึงในแผ่นฟิล์มเริ่มต้น ($T_{w,เริ่มต้น}$) ที่ใช้ในการทดสอบจะค่อยๆ ลดลงและเมื่อปล่อยให้แผ่นฟิล์มเคลื่อนที่ต่อไปจะพบว่าแผ่นฟิล์มก็จะเกิดการไหลออก ดังนั้นในบทความนี้จึงทำการทดสอบหาเวลาของแผ่นฟิล์มบางที่อยู่บนลูกกลิ้งก่อนที่จะเกิดการไหลโดยใช้แรงดึงเริ่มต้นในการทดสอบ $T_{w,เริ่มต้น}=231$ N/m ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็วลูกกลิ้งเริ่มต้น

$U_{R,เริ่มต้น}$ (Time=0) และทำการจับเวลา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้ลูกกลิ้งที่มีร่องตัววีแผ่นฟิล์มบางสามารถที่จะถูกประคองให้อยู่บนลูกกลิ้งได้นานกว่ากรณีการใช้ลูกกลิ้งเรียบในช่วงความเร็วลูกกลิ้งเริ่มต้น $U_{R,เริ่มต้น} \approx 5.7-9.0$ m/s ดังที่แสดงในรูปที่ 6 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเร็วลูกกลิ้งเริ่มต้น $U_{R,เริ่มต้น}$ สูงขึ้นลูกกลิ้งที่มีร่องจะใช้เวลาในการประคองแผ่นฟิล์มไม่ให้เกิดการไหลได้น้อยลงและจะไม่แตกต่างจากลูกกลิ้งเรียบในกรณีที่ใช้ความเร็วลูกกลิ้งเริ่มต้น $U_{R,เริ่มต้น} > 9.0$ m/s อันเนื่องมาจากมีความเป็นไปได้ที่ความเร็วดังกล่าวมีอากาศแทรกตัวอยู่มากระหว่างลูกกลิ้งกับแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 6 ความเร็วเส้นไหลกับเวลาที่แผ่นฟิล์มอยู่บนลูกกลิ้งก่อนไหลออก ($T_{w,เริ่มต้น}=231$ N/m)

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4 5 และ 6 นั้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ลูกกลิ้งที่มีร่องตัววีนั้นการลื่นไหลของแผ่นฟิล์มจะเกิดขึ้นได้ยากกว่ากรณีที่ใช้ลูกกลิ้งเรียบอันเนื่องมาจากอากาศที่แทรกตัวเข้ามาระหว่างแผ่นฟิล์มบางและลูกกลิ้งจะหนีออกผ่านทางร่องตัววีที่อยู่ตามแนวเส้นรอบวงของลูกกลิ้งทำให้ความดันอากาศลดลงซึ่งส่งผลทำให้ความหนาฟิล์มอากาศที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัสของแผ่นฟิล์มและผิวสัมผัสลูกกลิ้งน้อยลงทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์มีค่ามากกว่ากรณีลูกกลิ้งเรียบ ดังนั้นการลื่นไหลจึงเกิดขึ้นได้ยากกว่ากรณีลูกกลิ้งผิวเรียบด้วย

5. สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับความเร็วลื่นไหลของแผ่นฟิล์มบาง PVC ภายใต้การเปลี่ยนแปลงแรงดึงโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้ลูกกลิ้งเรียบกับลูกกลิ้งที่มีร่องตัววี สำหรับผลการศึกษาสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้

- 1) แรงดึงบนแผ่นฟิล์มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แผ่นฟิล์มบางเกิดปรากฏการณ์การลื่นยากขึ้นกล่าวคือความเร็วลื่นไหลจะมีค่าสูงขึ้น
- 2) การใช้ลูกกลิ้งที่มีร่องตัววีส่งผลทำให้แผ่นฟิล์มบางเกิดปรากฏการณ์การลื่นยากขึ้นกล่าวคือสามารถที่จะประคองแผ่นฟิล์มได้ดีกว่าการใช้ลูกกลิ้งเรียบ โดยเฉพาะในช่วงที่ใช้แรงดึงแผ่นฟิล์มไม่สูง ($T_w=58$ N/m) จะเห็นความแตกต่างของความเร็วลื่นไหลระหว่างลูกกลิ้งมีร่องกับลูกกลิ้งเรียบได้ชัดเจน
- 3) อิทธิพลของร่องบนลูกกลิ้งต่อความเร็วลื่นไหลของแผ่นฟิล์มจะน้อยลงเมื่อแรงดึงบนแผ่นฟิล์มมีค่าสูงขึ้น
- 4) อิทธิพลของร่องจะเริ่มน้อยลงเมื่อใช้ความเร็วลูกกลิ้งเริ่มต้นสูงขึ้น

6.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา (วจพ.8/2556) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

AMM-226

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Henry, T., Ma, W., Du, B., Chow, S.L., Kiew, C.M. and Arthur, T. (2013). Study of web slippage phenomena in roll-to-roll embossing system, paper presented in 10th IEEE International Conference on Control and Automation 2013, Hangzhou, China.
- [2] Frechard, J. and Knittel, D. (2013). Drive requirements for elastic web roll-to-roll systems, Mechanism and Machine Theory, Vol.66, April 2013, pp.14-31.
- [3] Müftü, S. and Jagodnik, J.J.(2004). Traction Between a Web and a Smooth Roller, Journal of Tribology, Vol.126, January 2004, pp.177-184.
- [4] Müftü, S. and Altan, M.C. (2000). Mechanics of a Porous Web Moving Over a Cylindrical Guide, Journal of Tribology, Vol.122, pp.418-426.
- [5] Ducotey, K.S. and J.K. Good, J.K. (2000). A Numerical Algorithm for Determining the Traction Between a Web and a Circumferentially Grooved Roller, Journal of Tribology, Vol.122, July 2000, pp. 578-584.
- [6] Hashimoto, H. and Okajima, M. (2006). Theoretical and Experimental Investigations Into Spacing Characteristics Between Roller and Three Types of Webs With Different Permeabilities, Journal of Tribology, Vol.128, April 2006, pp.267-274.
- [7] Byun, D., Quang Tran, S.B., Yoo, Y.H., Hwan Ko, J., Kim, J., Woo Lee, J. and Byun, Y.H. (2009). Experimental and Numerical Study of Air Entrainment Between Web and Spirally Grooved Roller, Journal of Tribology, Vol.131, April 2009, pp.1-8.
- [8] Jeenkour, P.(2013). A Numerical Study on Air-Entrainment between a Web and a Convex Guide Roller in a Web Transportation Process, Applied

Mechanics and Materials, Vol.392, September 2013, pp.110-115.

- [9] พุทธา จินครวั (2555). วิทยานิพนธ์, การศึกษาพฤติกรรมทางทฤษฎีของกระบวนการผลิตวัสดุที่เป็นแผ่นฟิล์มบาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 11-36.