

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการจำลองแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อในกรณีการเปลี่ยนมุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำโลหะ (Changing of Port Angle of SEN)

กรณีที่ 4.1 เป็นการแสดงผลการจำลองสำหรับการเปลี่ยนมุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กที่มีผลต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ โดยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีเงื่อนไขตามตารางที่ 3.3 โดยมีขนาดของแบบหล่อเท่ากับ $0.6 \times 0.8 \times 0.2$ เมตร ขนาดของแบบจำลองเท่ากับ 0.6×2.0 เมตรตามรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.15 ในบทที่ 3 อัตราเร็วในการหล่อเท่ากับ 1 เมตรต่อนาที ขนาดพอร์ตเท่ากับ 0.065×0.09 เมตร ตำแหน่งความลึกของการจุ่ม SEN เท่ากับ 0.555 เมตร จากเมนิสคัส ในการจำลองจะทำการเปลี่ยนมุมของพอร์ตจาก 0 องศา 15 องศา 30 องศา 45 องศา และ 60 องศา เป็นมุมกัมวัดจากแนวระดับตามเข็มนาฬิกาตามลำดับตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.15 ตามลำดับ

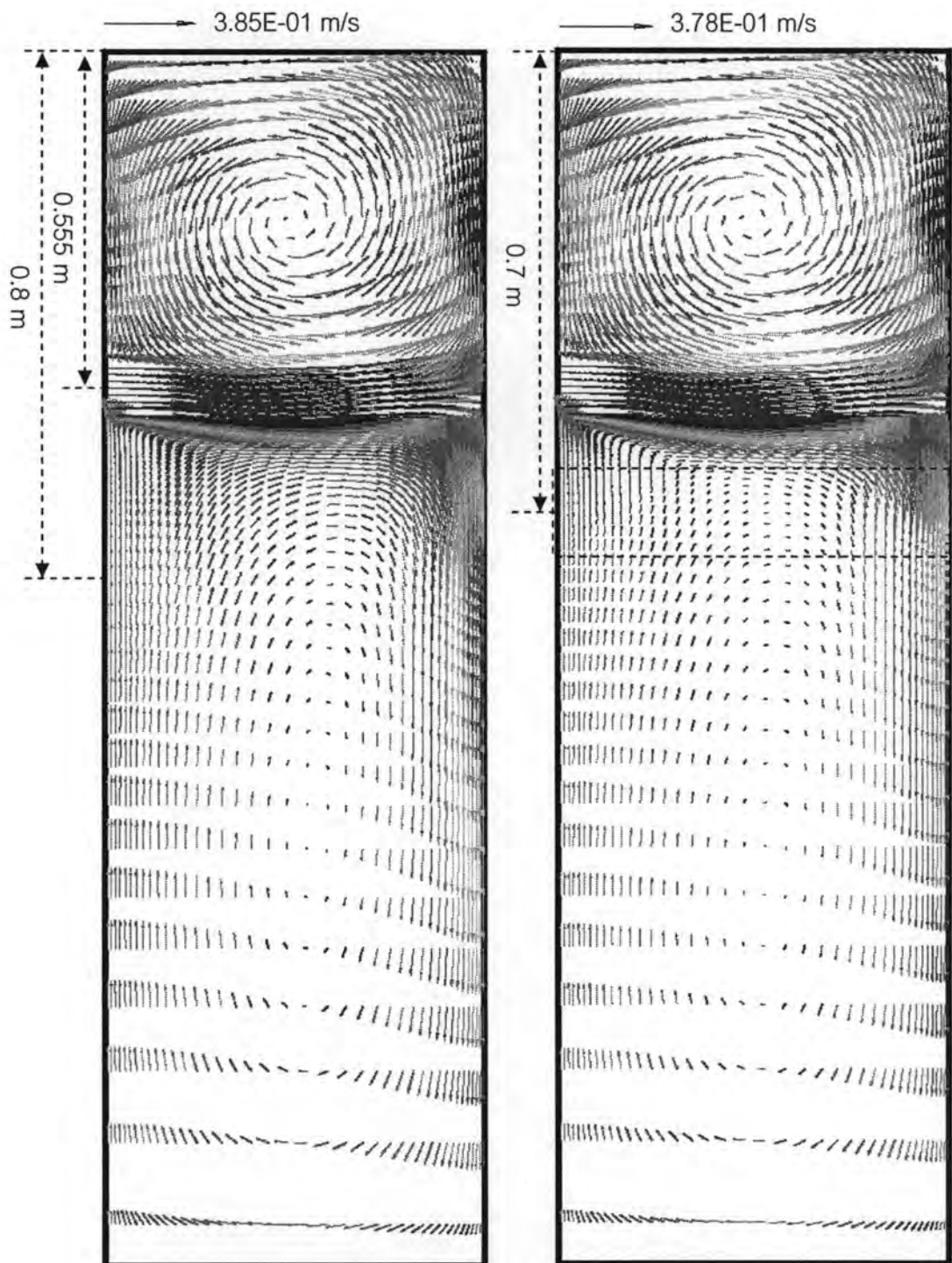
ผลการจำลองที่ได้ตามรูปที่ 4.1 (a) ไม่มีสนามแม่เหล็ก (b) มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา จากแหล่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 300 แอมแปร์ และ (c) มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา จากแหล่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1000 แอมแปร์ เป็นการจำลองที่มุมพอร์ตเท่ากับ 0 องศา พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำเหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อถูกจ่ายออกมาจากอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กที่มุมพอร์ต 0 องศา นั้น จากรูป (a) พบว่า น้ำเหล็กจะพุ่งเข้าชนกับผนังแบบจำลองทางด้านขวามือของรูป (a) ต่อจากนั้นจะไหลแยกออกเป็นสองทางคือ ส่วนหนึ่งไหลขึ้นและอีกส่วนหนึ่งไหลลง ส่วนที่ไหลขึ้นค่อนข้างจะมีความสำคัญเพราะจะไหลไปหมุนวนในส่วนบนเหนือตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็ก ซึ่งเป็นบริเวณขอบบน (Top Edge) ของแบบจำลอง ที่น้ำเหล็กสัมผัสกับฟลักซ์ไหลอมเหลวโดยตรง เป็นสาเหตุให้เกิดการพัดพาเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของ น้ำเหล็กกับระยะทาง (Velocity Gradient) เอาสิ่งเจือปน (Inclusion) และ ฟลักซ์ไหลอมเหลว (Liquid Flux) มาปนกับน้ำเหล็ก ทำให้เกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของน้ำเหล็ก (Non homogeneous) นำไปสู่การแตกหักหรือฉีกขาดในขั้นตอนการหล่อและในขั้นตอนการรีดได้ เนื่องจากเหล็กแท่งแบน (Slab) ไม่สามารถรับแรงในการหล่อหรือรีด ได้สม่ำเสมอและอาจทำให้เกิดการรวมศูนย์ของความเค้น (Stress Concentration) ขึ้นในเหล็กแท่งแบน (Slab) อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยปริได้บนเหล็กแท่งแบน (Slab) และผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Final Products) ต่อไป เมื่อกลับมาพิจารณาบริเวณที่

ผนังแบบจำลองถูกชนด้วยน้ำเหล็กจะพบว่าความเร็วของน้ำเหล็กที่ บริเวณผนังแบบจำลองนั้น เท่ากับศูนย์ตรงตำแหน่ง 0.6 เมตร จากเมนิสคัส ตามรูป (e) สามารถวิเคราะห์ได้ว่า น้ำเหล็กที่พุ่งชนผนังแบบจำลอง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแข็งตัวเริ่มต้นขึ้นของน้ำเหล็กเป็นเสมือนเปลือกห่อหุ้มน้ำเหล็ก (Solidify Shell) เอาไว้ เมื่อน้ำเหล็กที่มีความเร็ววิ่งเข้ามาชนเปลือกที่แข็งตัวเริ่มต้นดังกล่าว แล้วความเร็วของน้ำเหล็กกลายเป็นศูนย์แสดงว่ามีการดูดซับพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ของการไหลเอาไว้ เมื่อส่วนของน้ำเหล็กที่แข็งตัวเป็นเปลือกมีการดูดซับพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ดังกล่าวเอาไว้แล้ว ตัวของเปลือกที่แข็งตัวมาจากน้ำเหล็กนั้นจะมีพลังงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถเอาชนะแรงยึดระหว่างกันของน้ำเหล็ก ที่เพิ่งแข็งตัวเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหลุดออกมาของเนื้อเหล็กที่บริเวณถูกน้ำเหล็กชน ซึ่งทำให้บริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ในขณะที่เดียวกันก็มีแรงดึงตัวเหล็กแท่งแบน (Slab) จากกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง แรงดึงดังกล่าว จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการรวมศูนย์ของความเค้น (Stress Concentration) ที่บริเวณส่วนของน้ำเหล็กที่แข็งตัวขึ้นมา (Solidify Shell) ทำให้เกิดการฉีกขาดเกิดขึ้นได้ในกระบวนการหล่อ

เมื่อพิจารณาที่บริเวณระหว่างตำแหน่งการชนของน้ำเหล็กกับตำแหน่งเมนิสคัส ตามผนังแบบจำลองพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว (Velocity Gradient) เกิดขึ้นคือบริเวณที่ใกล้ ๆ ผนังแบบจำลองจะมีความเร็วของน้ำเหล็กสูงแล้วค่อยๆลดลง เมื่อระยะเริ่มห่างออกจากผนังแบบจำลองมากขึ้น ตามระยะจากผนังแบบจำลองไปทางเส้นศูนย์กลางของแบบจำลอง จนกระทั่งเข้าใกล้ที่ความเร็วของน้ำเหล็กมีค่าน้อย ๆ ที่บริเวณจุดศูนย์กลางของการหมุนวนตามรูป (a) สภาวะดังกล่าวทำให้เกิดแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้น แรงดังกล่าวจะไปมีผลต่อการโตขึ้นของเดนไดรต์ (Dendrite) คือจะไปทำหน้าที่ตัดหรือรบกวนการโตขึ้นของโครงสร้างเดนไดรต์ (Dendrite) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่โตไม่สม่ำเสมอในทุกทิศทาง เป็นเหตุทำให้โครงสร้างดังกล่าวไม่สามารถรับแรงในกระบวนการหล่อได้สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเป็นข้อดีที่ โครงสร้างเดนไดรต์ (Dendrite) จะถูกทำลาย

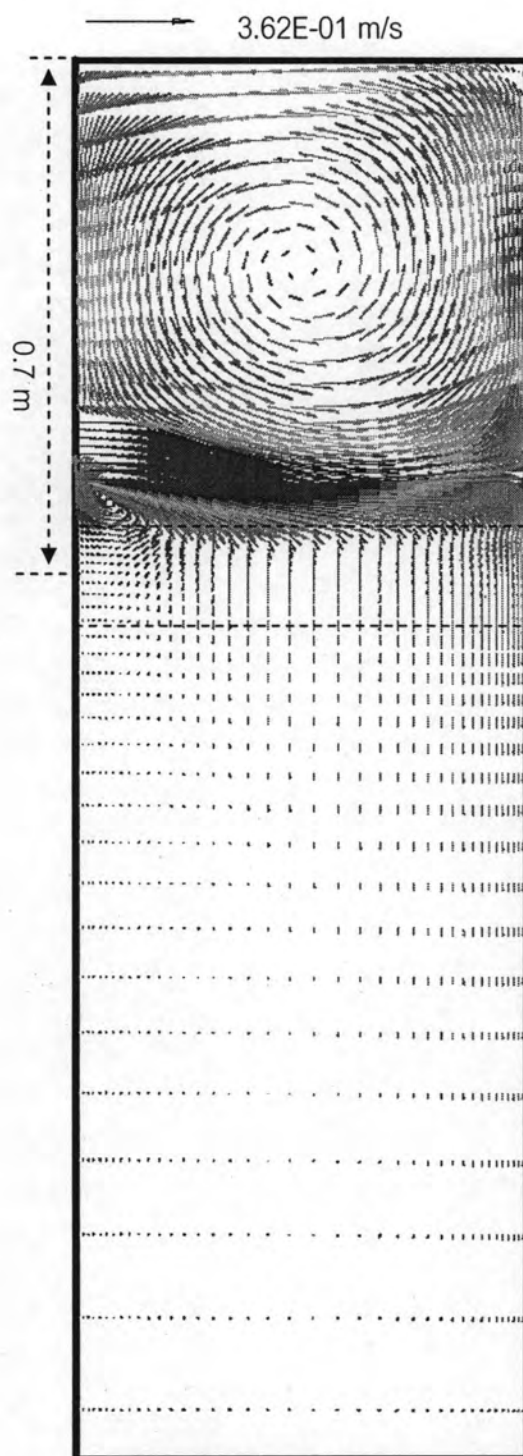
จากที่ได้วิเคราะห์รูปแบบการไหลในเบื้องต้น พบว่าตำแหน่งที่มีความไวต่อความเสียหายจากกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบนแบบต่อเนื่อง (Slab Continuous Casting Process) คือบริเวณขอบบน (Top Edge) ซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำเหล็กสัมผัสกับฟลักซ์หลอมเหลวโดยตรง และบริเวณที่น้ำเหล็กพุ่งเข้าชนกับผนังแบบจำลองโดยตรง (Impinging Point) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแข็งตัวเริ่มต้นของน้ำเหล็ก ทำให้เกิดความบางของเหล็กที่แข็งตัวขึ้นในบริเวณที่ถูกชน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองเพิ่มเติมขึ้นมาโดยการเพิ่ม ในส่วนของการประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Breaking) เข้าไปในโปรแกรม เพื่อนำแรง

แม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ไปหน่วงการไหลของน้ำเหล็กในสองบริเวณคือ บริเวณขอบบน (Top Edge) และบริเวณที่น้ำเหล็กพุ่งเข้าชนกับผนังแบบจำลองโดยตรง (Impinging Point)

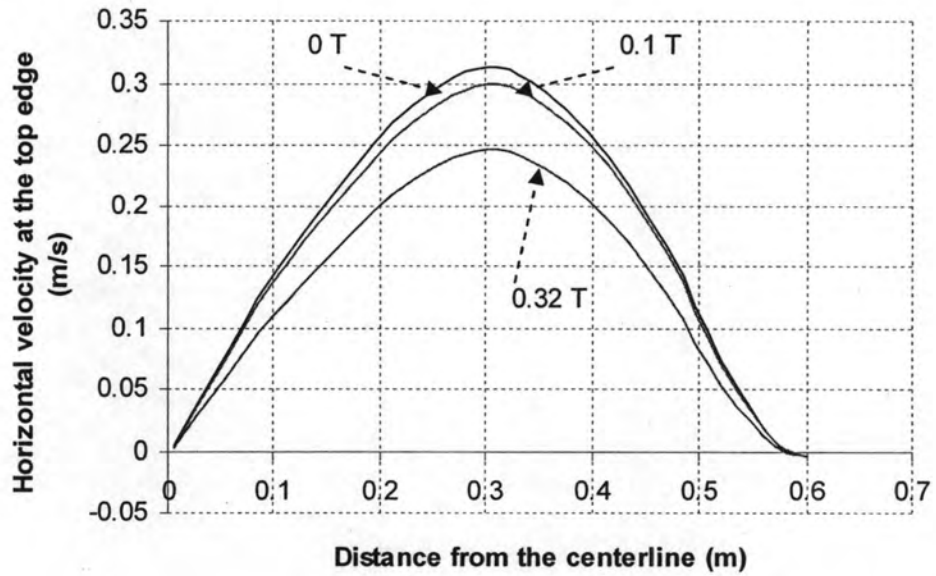


รูปที่ 4.1 (a) Port Angle 0° without EMS

รูปที่ 4.1 (b) Port Angle 0°, 0.1 T

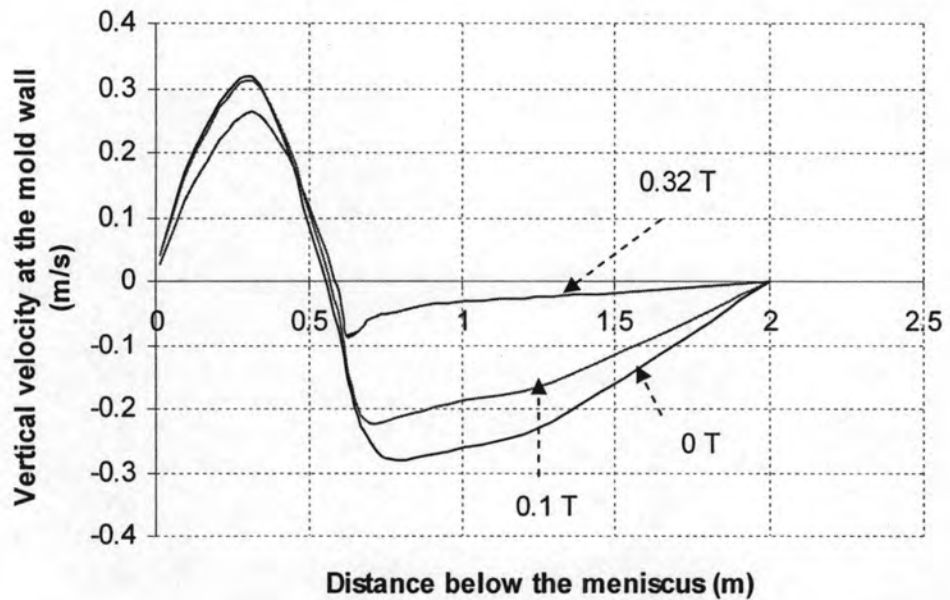


รูปที่ 4.1 (c) Port Angle 0° , $0.32 T$



รูปที่ 4.1 (d) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (a), (b), และ (c)

Port Angle = 0°



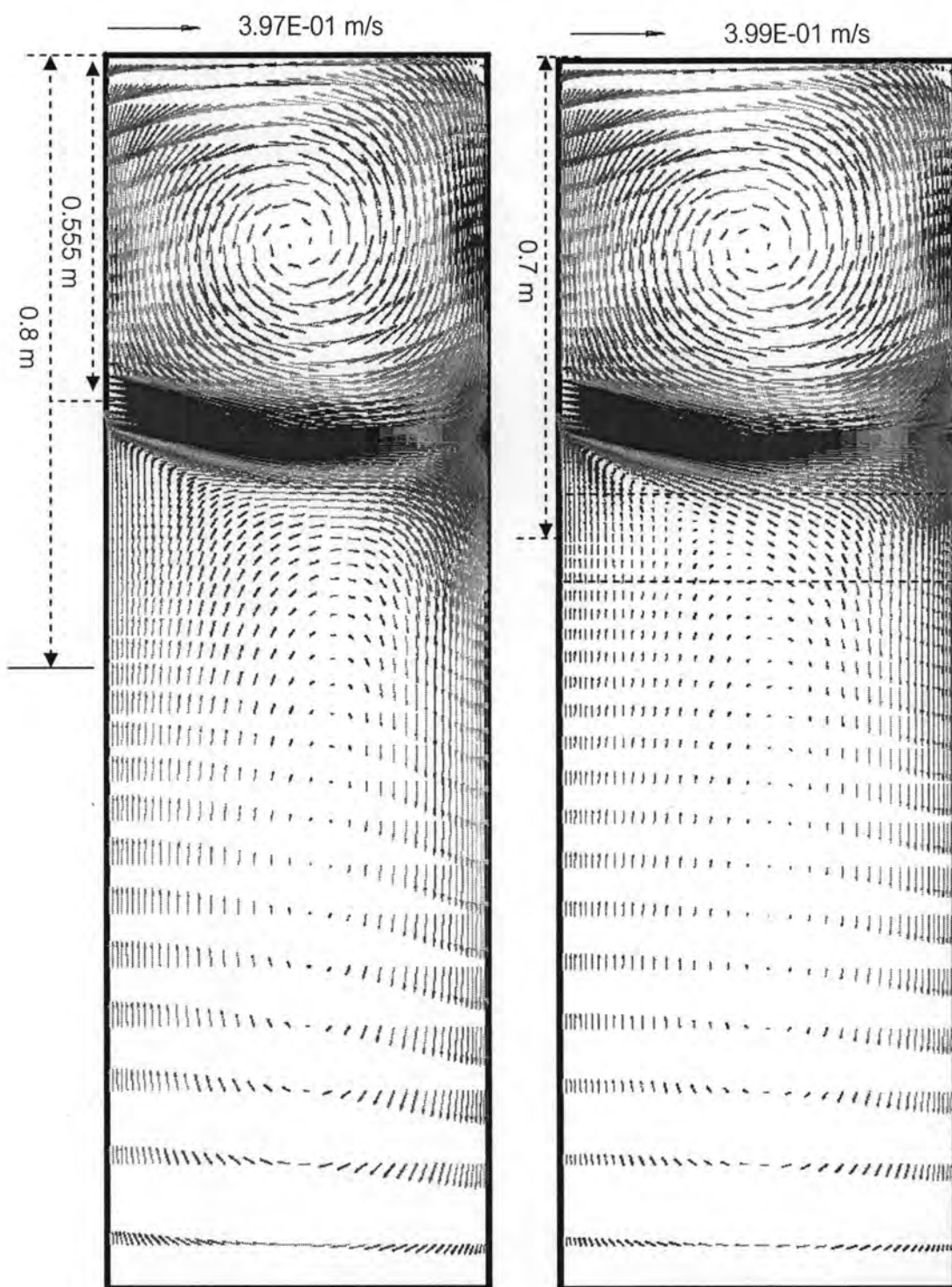
รูปที่ 4.1 (e) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (a), (b), และ (c)

Port Angle = 0°

จากรูป (b) เป็นกรณีที่ให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา และ รูป (c) มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา เมื่อนำผลจากการจำลองมาสร้างกราฟเพื่อตรวจสอบความเร็ว ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ในแบบจำลอง ตามรูป (d) พบว่าสามารถลดความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณขอบบน (Top Edge) ลงได้จากเดิมที่ไม่ได้ให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า คือที่ตำแหน่ง 0.3 เมตร จากเส้นศูนย์กลาง (Centerline) ที่ 0 เทสลา มีความเร็วของน้ำเหล็กเท่ากับ 0.31 เมตรต่อวินาที เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา สามารถลดความเร็วของน้ำเหล็กลงเหลือ 0.3 เมตรต่อวินาที ต่อจากนั้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของ ฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา พบว่าสามารถลดความเร็วของน้ำเหล็กลงเหลือ 0.25 เมตรต่อวินาที ดังนั้นจากรูป (b) และ (c) พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วกับระยะทาง (Velocity Gradient) ที่ขอบบน (Top Edge) จะลดลง เมื่อความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงสามารถลดแรงเฉือน (Shear Force) ที่จะไปตัดเอาฟลักซ์ไหลลงมาปนกับน้ำเหล็กลงได้

เมื่อพิจารณารูป (e) พบว่าผลของการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ตำแหน่งการชน (Impinging Point) ของน้ำเหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าที่เงื่อนไขตามกรณีนี้ยังไม่สามารถที่จะปรับลดค่าตำแหน่งของการชน (Impinging Point) ของน้ำเหล็กลงได้ แต่เมื่อสังเกตที่รูปแบบการไหลในรูป (c) พบว่าความเร็วของน้ำเหล็กก่อนเข้าชนกับผนังแบบจำลอง มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กตามรูป (a), และ (b) ซึ่งมีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ต่ำกว่า

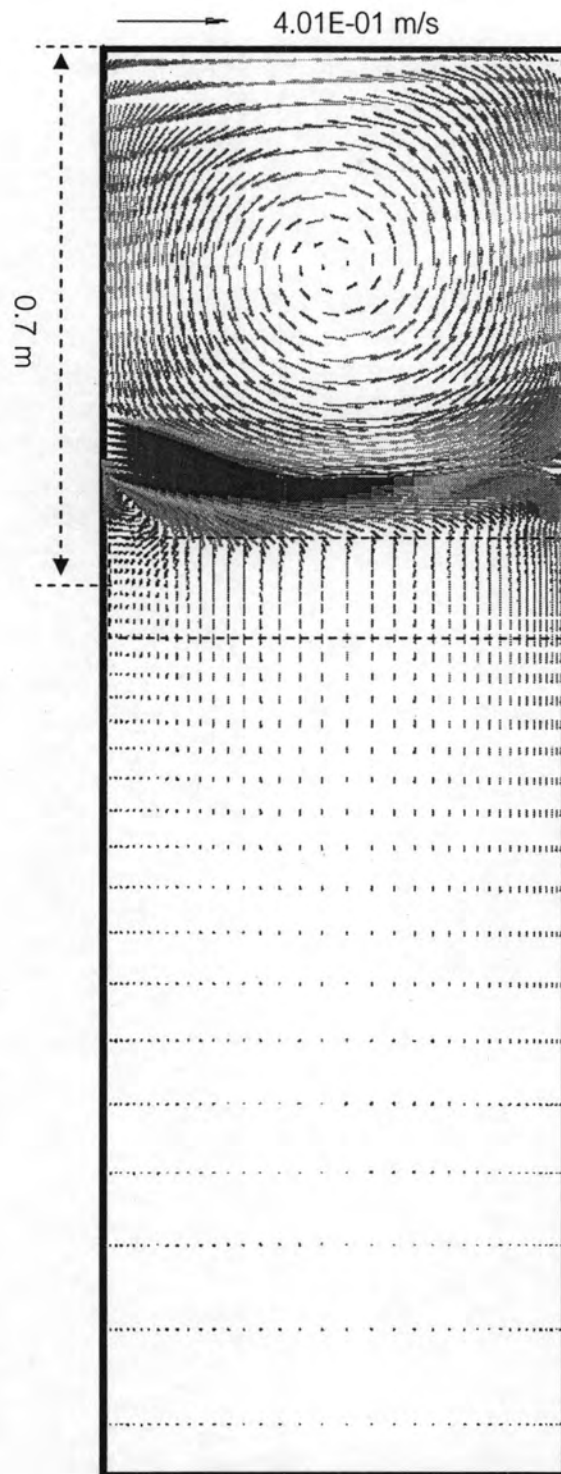
เมื่อพิจารณา รูปแบบการไหลของน้ำเหล็กในส่วนที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กตามรูป (a), (b) และ (c) พบว่าเมื่อให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ค่าความเร็วเมื่อน้ำเหล็กไหลผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) จะมีค่าลดลงมากขึ้นตามค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่สูงขึ้น คือเริ่มต้นที่รูป (a) เป็นกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ไม่มี พบว่ารูปแบบการไหลที่บริเวณต่ำกว่าตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กมีค่าความเร็วสูงกว่ากรณีที่แสดงตามรูป (b) และ (c) ซึ่งเป็นกรณีที่มีการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) โดยมีความหนาแน่นของ ฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลาและ 0.32 เทสลาตามลำดับ



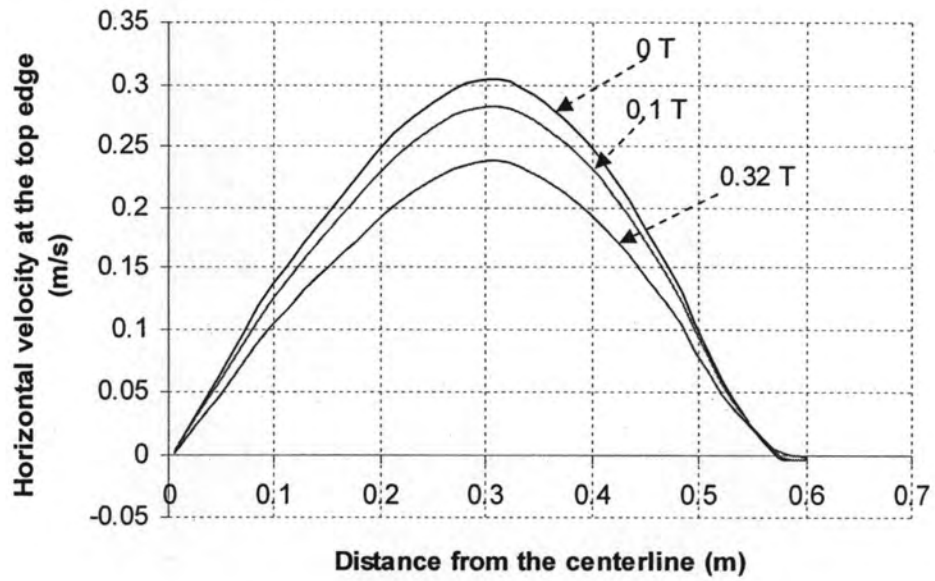
รูปที่ 4.1 (f) Port Angle 15° without EMS

รูปที่ 4.1 (g) Port Angle 15° , 0.1 T



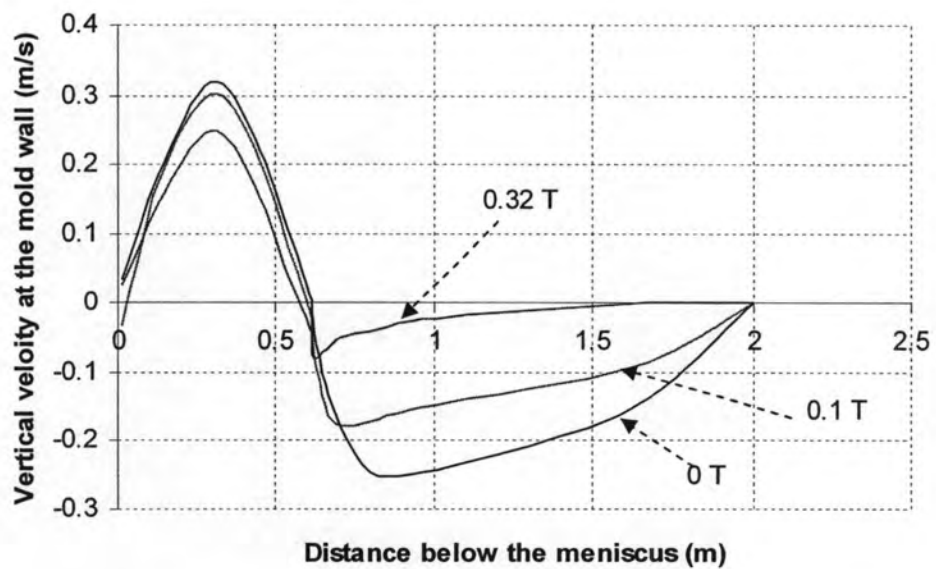


รูปที่ 4.1 (h) Port Angle 15°, 0.32 T



รูปที่ 4.1 (i) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (f), (g), และ (h)

Port Angle 15°



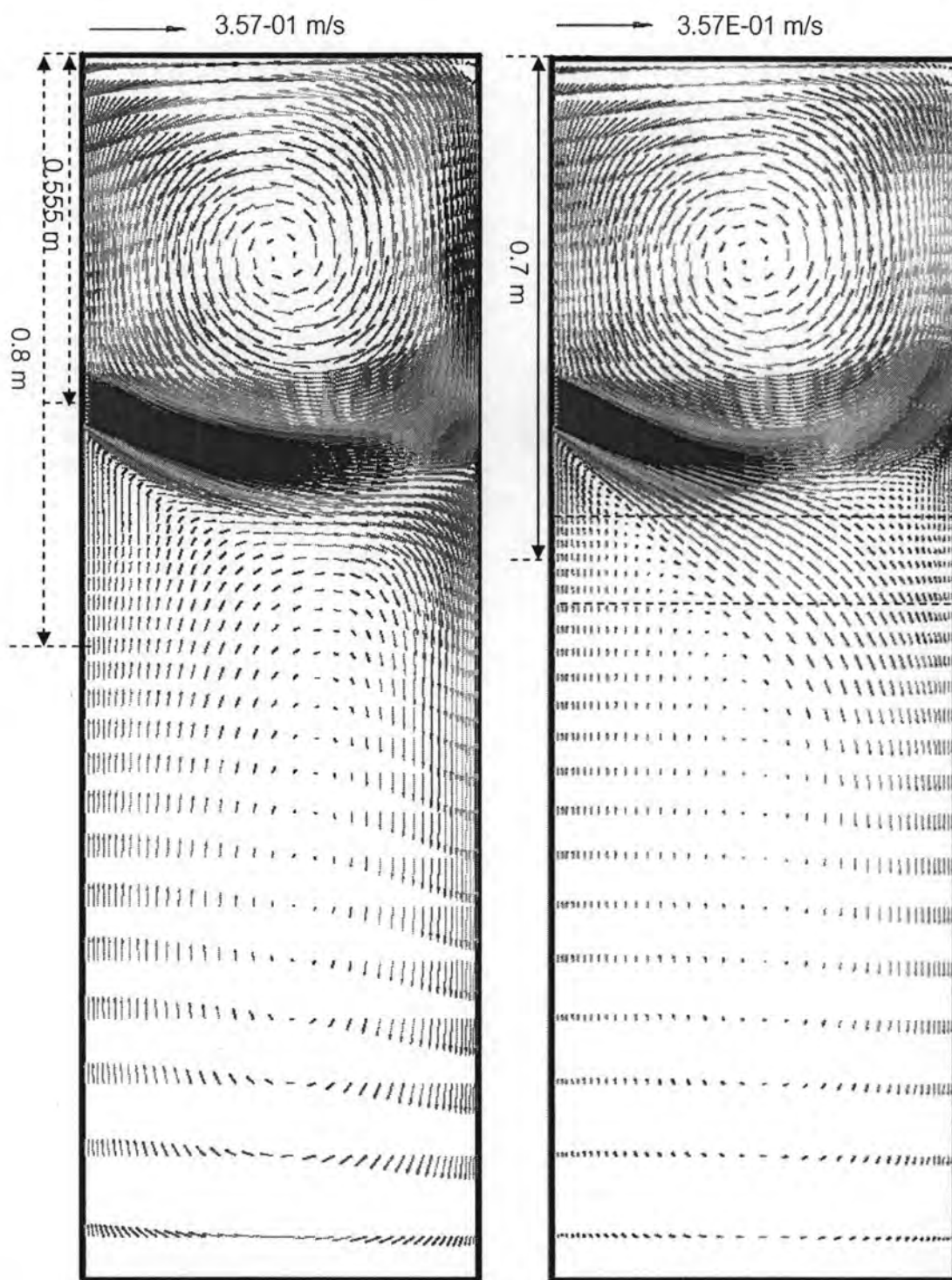
รูปที่ 4.1 (j) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (f), (g), และ (h)

Port Angle 15°

จากผลการจำลองที่มุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กที่ 15 องศา พบว่าสามารถลดความเร็วที่บริเวณขอบบน (Top Edge) ลงได้ จากรูป (i) ที่ตำแหน่ง 0.3 เมตรจากเส้นศูนย์กลาง (Centerline) พบว่าความเร็วของน้ำเหล็กมีความเร็วของน้ำเหล็กเท่ากับ 0.3 เมตรต่อวินาที ในกรณีที่ไม่มี ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา สามารถลดความเร็วของน้ำเหล็กลงเหลือ 0.28 เมตรต่อวินาที ต่อจากนั้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของ ฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา พบว่าสามารถลดความเร็วของน้ำเหล็กลงเหลือ 0.24 เมตรต่อวินาที เมื่อพิจารณารูป (j) พบว่าผลของการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ตำแหน่งการชน (Impinging Point) ของน้ำเหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าที่เงื่อนไขตามกรณีนี้ยังไม่สามารถที่จะปรับลดค่าความเร็วของการชนของน้ำเหล็กลงได้

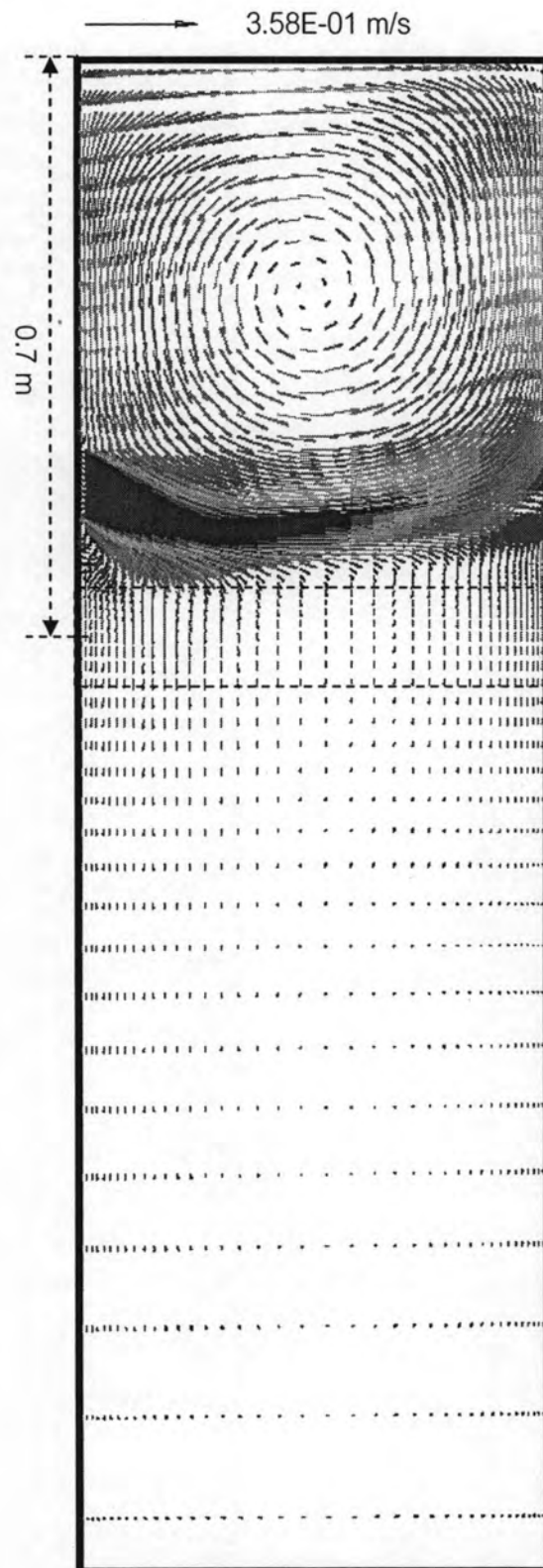
เมื่อพิจารณา รูปแบบการไหลของน้ำเหล็กในส่วนที่อยู่ด้านล่างของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กตามรูป (f), (g) และ (h) พบว่าเมื่อให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ค่าความเร็วเมื่อน้ำเหล็กไหลผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) จะมีค่าลดลงมากขึ้นตามค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่สูงขึ้น คือเริ่มต้นที่รูป (f) เป็นกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ไม่มี พบว่ารูปแบบการไหลที่บริเวณต่ำกว่าตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กมีค่าความเร็วสูงกว่ากรณีที่แสดงตามรูป (g) และ (h) ซึ่งเป็นกรณีที่มีการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) โดยมีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลาและ 0.32 เทสลาตามลำดับ เมื่อสังเกตจากรูป (j) พบว่าที่ตำแหน่งต่ำกว่าจุดที่น้ำเหล็กชนกับผนังแบบหล่อ (Impinging Point) ความเร็วของน้ำเหล็กจะลดลงตามค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นคือที่ 0.35 เทสลา ความเร็วของน้ำเหล็กจะมีค่าน้อยกว่า ที่ 0.1 เทสลา และที่ 0 เทสลา มีค่าความเร็วของน้ำเหล็กสูงสุด

รูป (k), (l), และ (m) แสดงผลของการจำลองรูปแบบการไหล ที่มุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็ก เท่ากับ 30 องศาและค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลาตามลำดับ พบว่าค่าความเร็วที่ขอบบน (Top Edge) ของกรณี 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา มีค่าลดลงที่เท่ากัน ตามรูป (n) ต่อจากนั้นเมื่อพิจารณาที่รูป (o) พบว่าตำแหน่งการชนของน้ำเหล็กในกรณีที่มีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลาและ 0.32 เทสลา เลื่อนขึ้นจากตำแหน่ง 0.65 เมตร เป็น 0.6 เมตร จากเมนิสคัส ซึ่งเป็นผลมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) เมื่อพิจารณาความเร็วที่ตำแหน่งต่ำกว่าตำแหน่งการชนของน้ำเหล็กกับผนัง (Impinging Point) พบว่าความเร็วลดลงต่ำสุดเมื่อความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเป็น 0.32 เทสลา ตามรูป (m) และ (o)

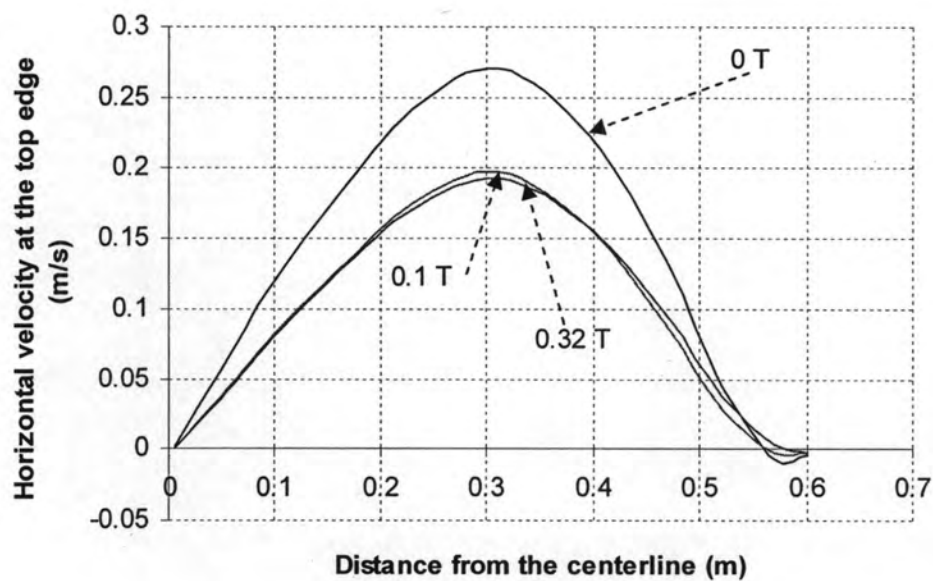


รูปที่ 4.1 (k) Port Angle 30° without EMS

รูปที่ 4.1 (l) Port Angle 30° , 0.1 T

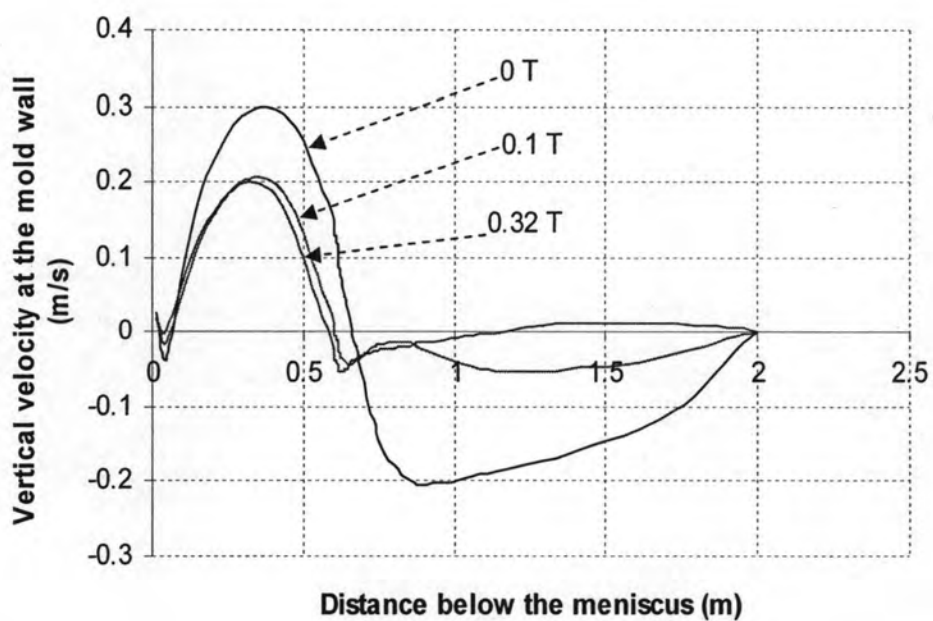


รูปที่ 4.1 (m) Port Angle 30° , $0.32 T$



รูปที่ 4.1 (n) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (k), (l), และ (m)

Port Angle 30°

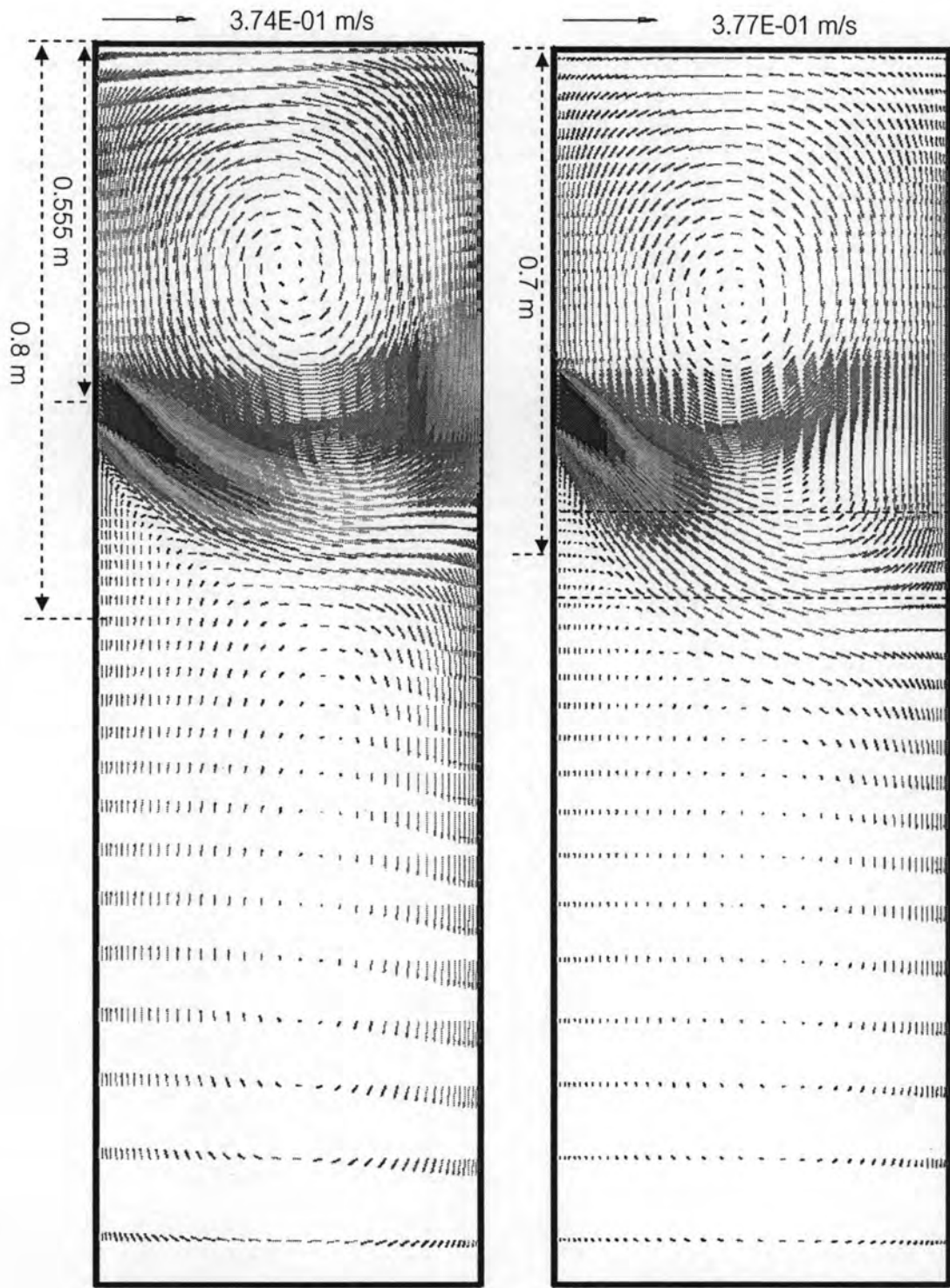


รูปที่ 4.1 (o) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (k), (l), และ (m)

Port Angle 30°,

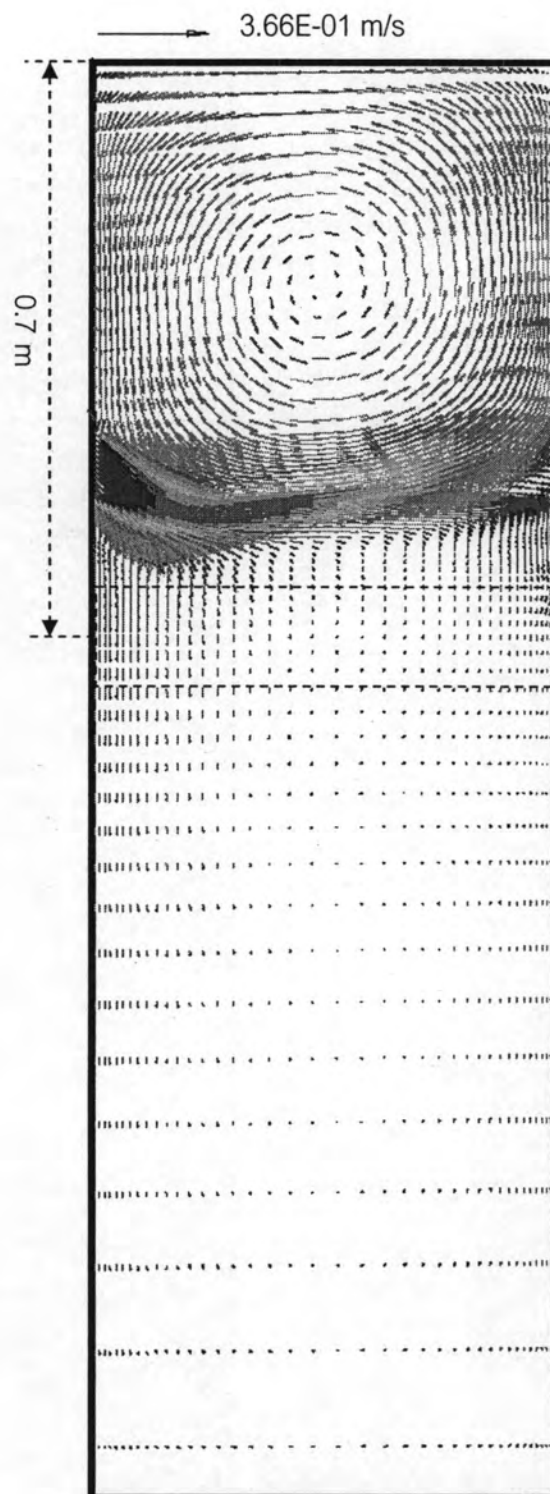
รูป (p), (q), และ(r) แสดงผลของการจำลองรูปแบบการไหล ที่มุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำ เหล็ก เท่ากับ 45 องศาและค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลาตามลำดับ พบว่าค่าความเร็วที่ขอบบน (Top Edge) ของกรณี 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา มีค่าลดลง แต่จะเห็นว่าที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา ค่าความเร็วของน้ำเหล็กลดลงน้อยกว่ากรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา ตามรูป (s) ต่อจากนั้นเมื่อพิจารณาที่รูป (t) พบว่าตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging Point) ในกรณีที่มีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลาจะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตรไปเป็น 0.9 เมตร จากเมนิสคัส และที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา เลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.6 เมตร จากเมนิสคัส ซึ่งเป็นผลมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) และมุมการตกกระทบของน้ำเหล็ก กับแนวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) เมื่อพิจารณาความเร็วที่ตำแหน่งต่ำกว่าตำแหน่งการชนของน้ำเหล็กกับผนังแบบจำลอง (Impinging Point) พบว่าความเร็วลดลงต่ำสุดเมื่อความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเป็น 0.32 เทสลา ตามรูป (r) และ (t)

รูป (u), (v), และ(w) แสดงผลของการจำลองรูปแบบการไหล ที่มุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำ เหล็ก เท่ากับ 60 องศาและค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลาตามลำดับ พบว่าค่าความเร็วที่ขอบบน (Top Edge) ของกรณี 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา มีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะเห็นว่าที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา ค่าความเร็วของน้ำเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา และ 0 เทสลา ตามรูป (x) ต่อจากนั้นเมื่อพิจารณาที่รูป (y) พบว่าตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging Point) เกิดขึ้นในกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลาเท่านั้น

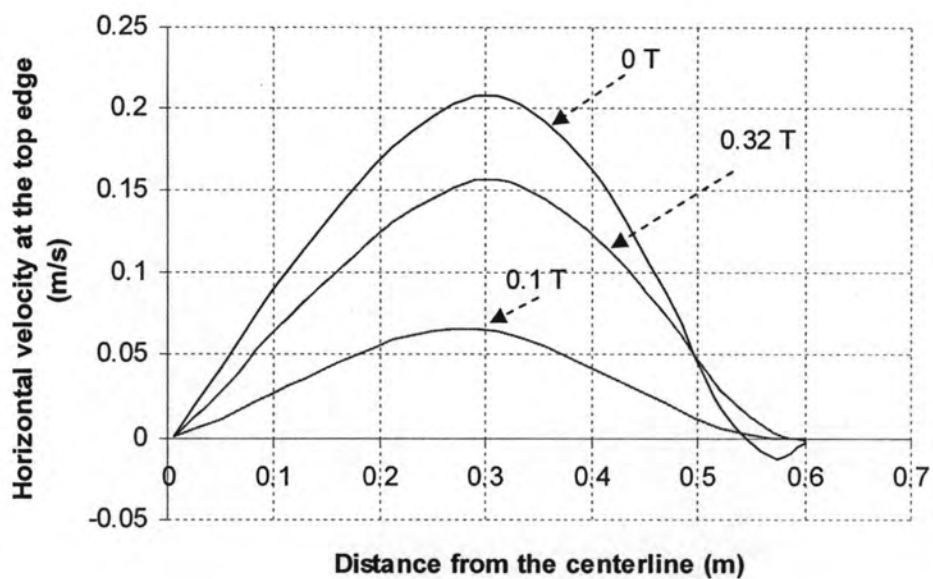


รูปที่ 4.1 (p) Port Angle 45° without EMS

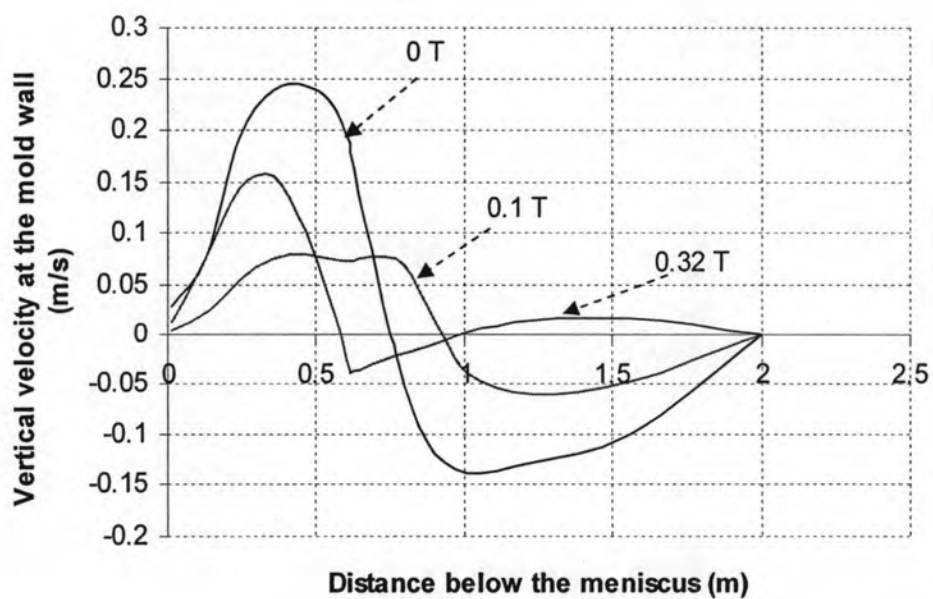
รูปที่ 4.1 (q) Port Angle 45° , 0.1 T



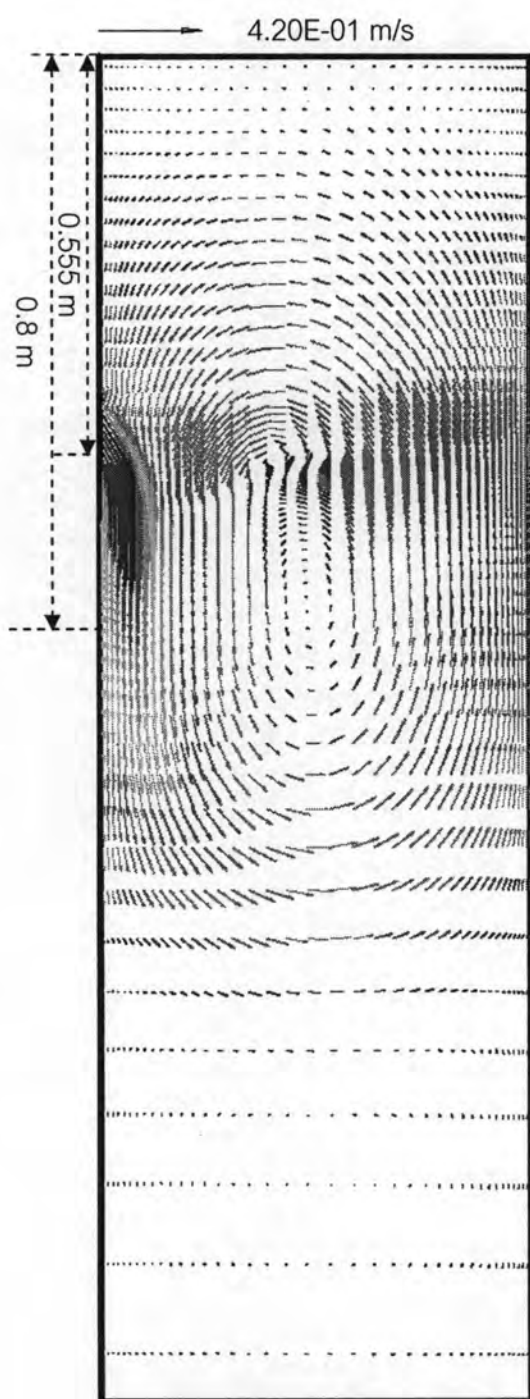
รูปที่ 4.1 (r) Port Angle 45° , $0.32 T$



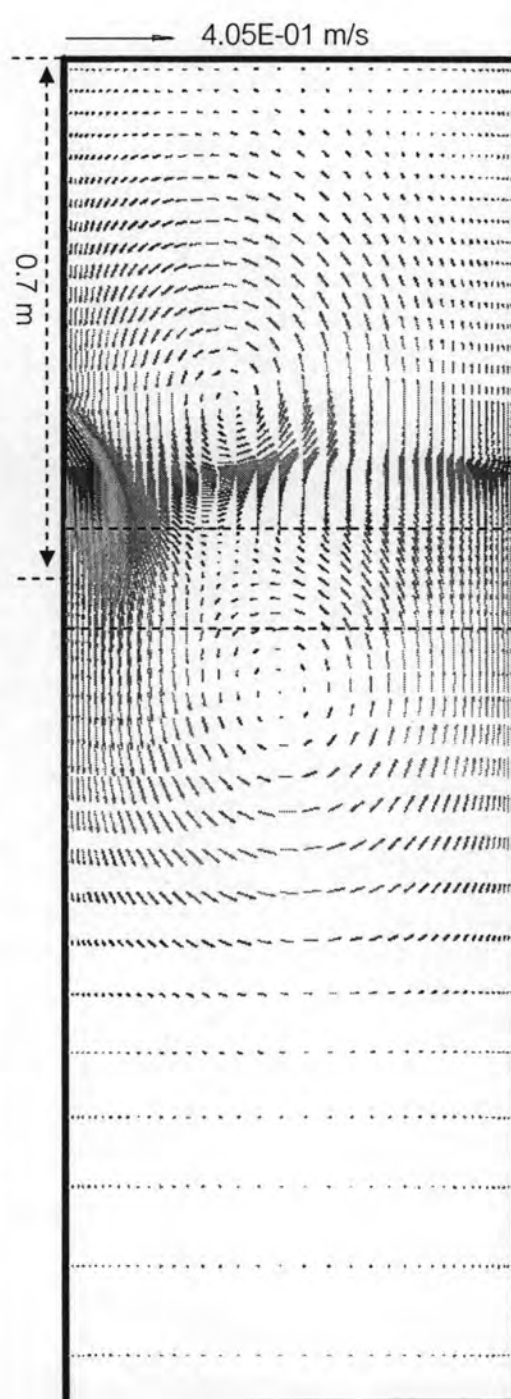
รูปที่ 4.1 (s) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (p), (q), และ (r)
Port Angle 45°



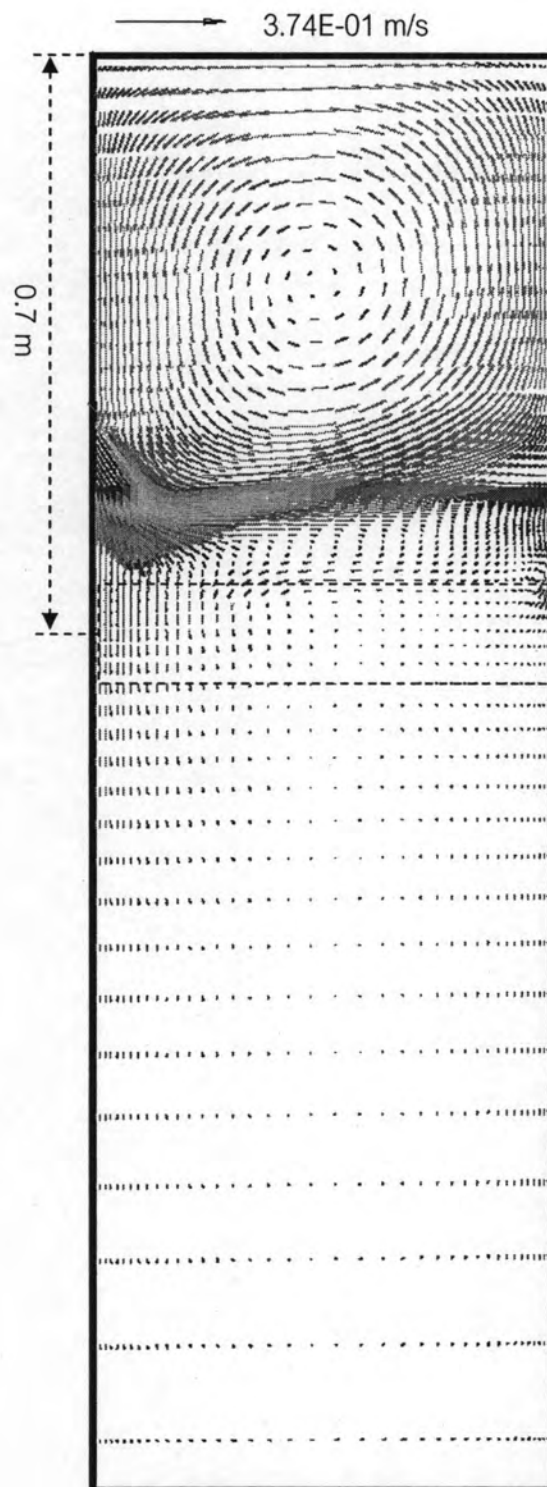
รูปที่ 4.1 (t) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (p), (q), และ (r)
Port Angle 45°



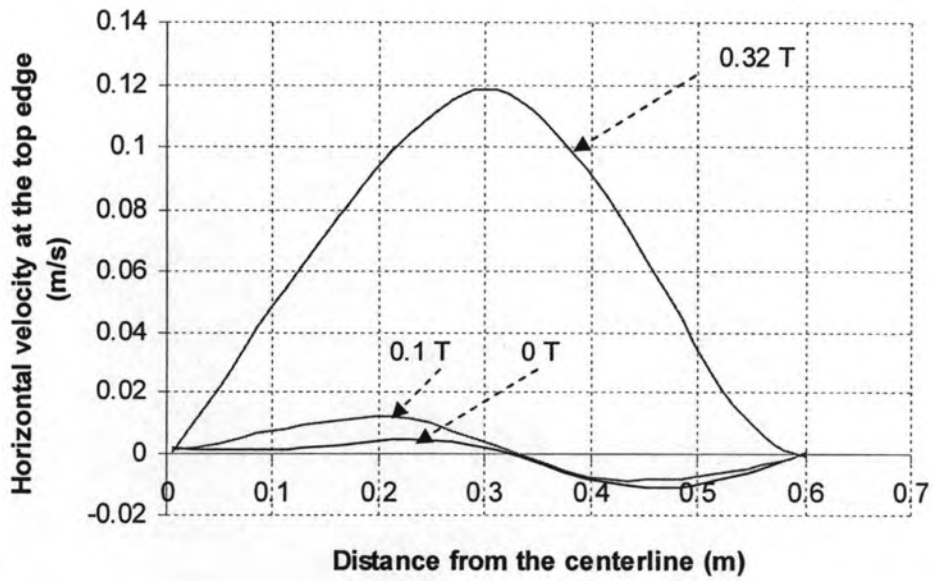
รูปที่ 4.1 (u) Port Angle 60° without EMS



รูปที่ 4.1 (v) Port Angle 60° , 0.1 T

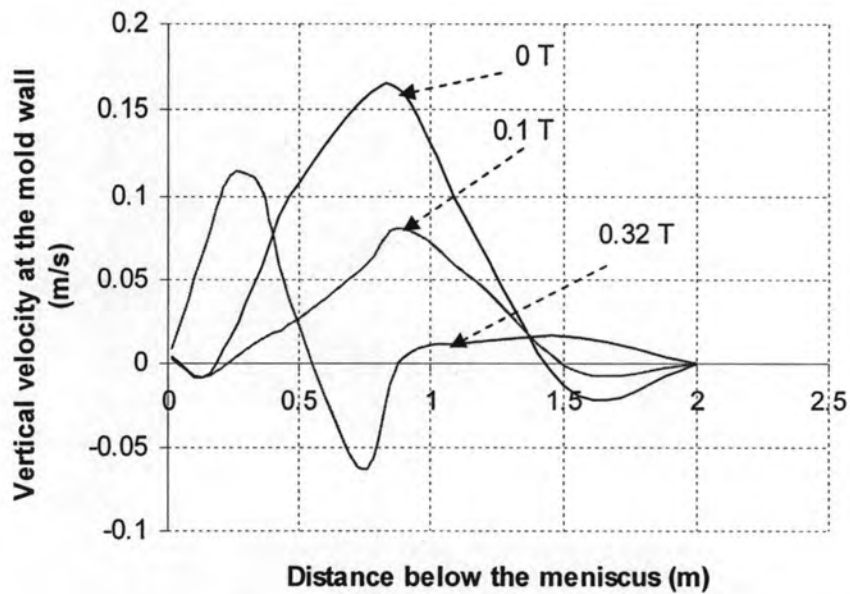


รูปที่ 4.1 (w) Port Angle 60°, 0.32 T



รูปที่ 4.1 (x) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (u), (v), และ (w)

Port Angle 60°



รูปที่ 4.1 (y) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (u), (v), และ (w)

Port Angle 60°

รูปที่ 4.1 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนมุมพอร์ต (Port Angle) ที่มีต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กในแบบจำลอง แบบมี EMS และไม่มี EMS

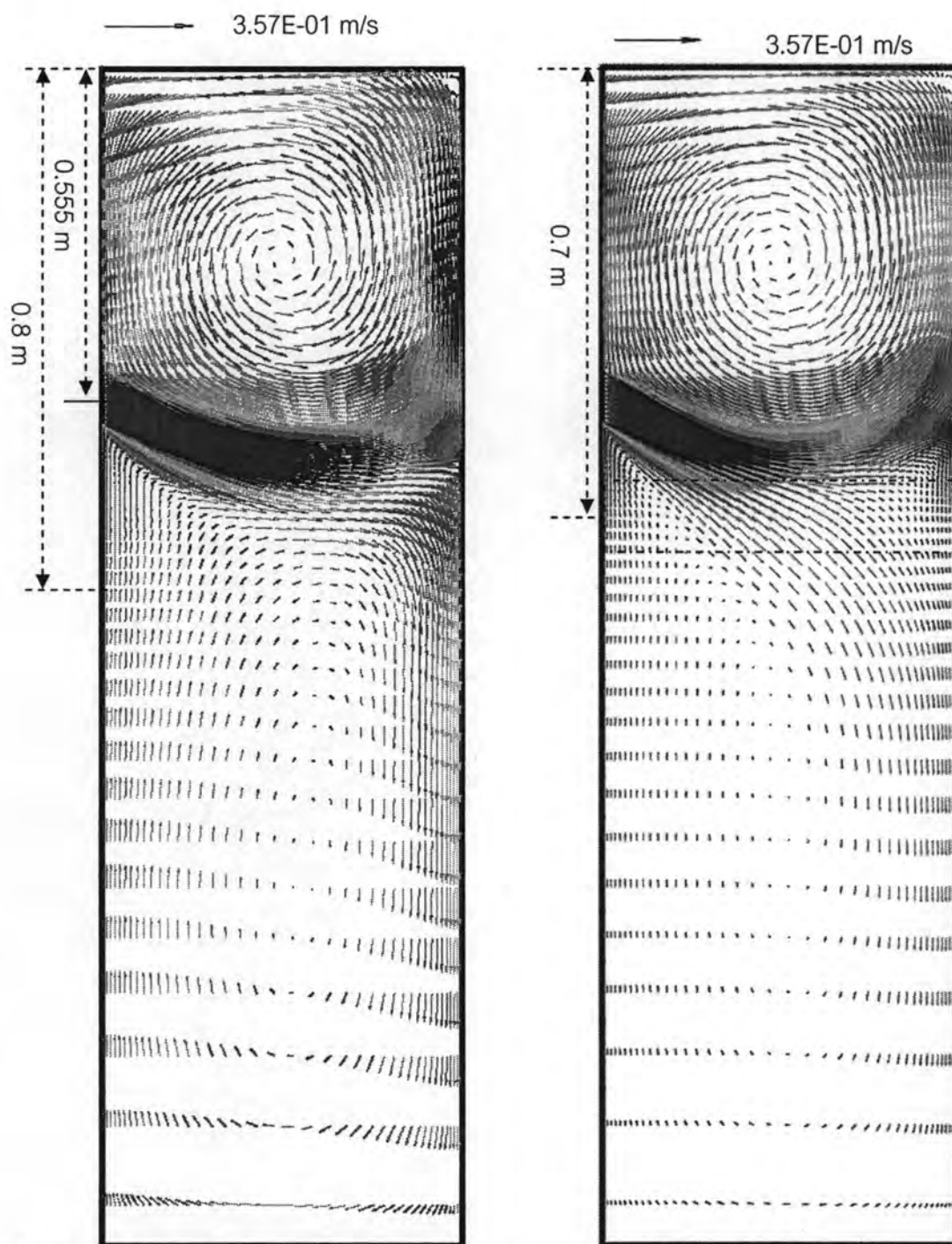
4.2 ผลการจำลองแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อกับกรณีการเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำโลหะ (Depth of SEN)

กรณีนี้ที่ 4.2 เป็นการแสดงผลการจำลองสำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กที่มีผลต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ โดยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีเงื่อนไขตามตารางที่ 3.4 โดยมีขนาดของแบบหล่อเท่ากับ $0.6 \times 0.8 \times 0.2$ เมตร ขนาดของแบบจำลองเท่ากับ 0.6×2.0 เมตรตามรูปที่ 3.16 ถึงรูปที่ 3.20 ในบทที่ 3 อัตราเร็วในการเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที ขนาดพอร์ตเท่ากับ 0.065×0.09 เมตร ในการจำลองจะเลือกตำแหน่งความลึกของการจุ่ม SEN เท่ากับ 0.555 เมตร 0.455 เมตร 0.355 เมตร 0.255 เมตร และ 0.155 เมตร จากเมนิสคัส ตามลำดับ ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.16 ถึงรูปที่ 3.20 ตามลำดับ

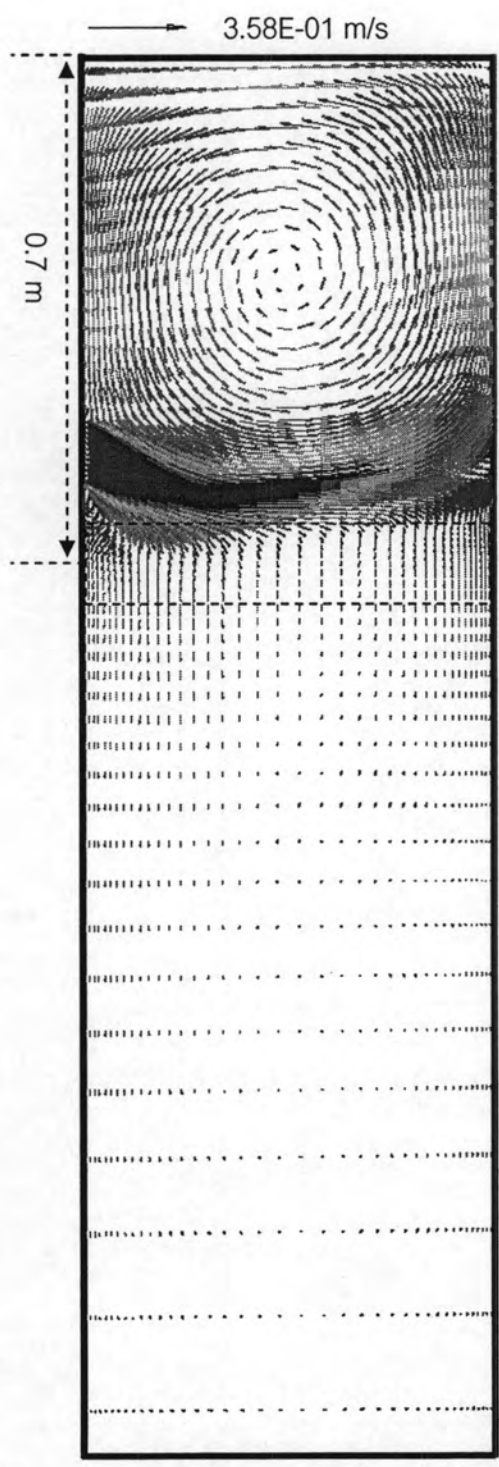
ผลการจำลองที่ได้ตามรูปที่ 4.2 (a) ไม่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) (b) มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.1 เทสลา จากแหล่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 300 แอมแปร์ และ (c) มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดเท่ากับ 0.32 เทสลา จากแหล่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1000 แอมแปร์ เป็นการจำลองที่มุมพอร์ตเท่ากับ 30 องศา จากรูป (a), (f), (k), (p), และ (u) แสดงรูปแบบการไหลที่ได้จากการจำลองที่ไม่มี สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ซึ่งพบว่าเมื่อเหล็กอยู่ที่ 0.555 เมตร และ 0.455 เมตร จากเมนิสคัส ความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณขอบบนจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อตำแหน่งการจุ่มอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กเลื่อนสูงขึ้นมาที่ตำแหน่ง 0.355 เมตร จากเมนิสคัส พบว่าค่าความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณขอบบนในตำแหน่งที่ 0.3 เมตร จากเส้นศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเป็น 0.3 เมตรต่อวินาที แต่เมื่อตำแหน่งการจุ่มอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กเลื่อนสูงขึ้นมาที่ตำแหน่ง 0.255 และ 0.155 เมตร จากเมนิสคัส กลับพบว่าความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณขอบบนลดลงตามลำดับดังแสดงในรูป (s) และ (x)

เมื่อพิจารณาค่าความเร็วที่ผนังพบว่าที่ตำแหน่ง 0.555 เมตร 0.455 เมตร และ 0.355 เมตร จากเมนิสคัส มีค่าความเร็วใกล้เคียงกันแต่ที่ตำแหน่ง 0.255 เมตร และ 0.155 เมตร จากเมนิสคัส กลับมีค่าน้อยกว่าสามกรณีแรกซึ่งเกิดจากตำแหน่งการชนผนังแบบหล่อที่สูงขึ้นดังแสดงในรูป (p) และ (u) จากรูปดังกล่าวพบว่า ที่ตำแหน่งมุมบนด้านขวาของทั้งสองรูปจะมีค่าความเร็วเป็นศูนย์ดังนั้นในระยะทางที่สั้น จากตำแหน่งที่น้ำเหล็กชนกับผนังแบบหล่อซึ่งมีค่าความเร็วของน้ำเหล็กเป็นศูนย์เหมือนกัน ฉะนั้นการที่ความเร็วของน้ำเหล็กจะพัฒนาการไหลไปจนเต็มรูปแบบ (Fully Development) นั้นเกิดขึ้นได้ยาก จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความเร็วในกรณีดังกล่าวมีค่าต่ำ ส่วนในกรณีที่มีการให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ในทุกกรณีค่าความเร็วของน้ำเหล็กจะลดลงอันเนื่องมาจากผลของการรบกวนดังกล่าว จากการจำลองพบว่าความเร็วของน้ำเหล็กที่ผนังในตำแหน่งที่ต่ำกว่าจุดของการชนของน้ำเหล็ก จะมีความเร็วของน้ำ

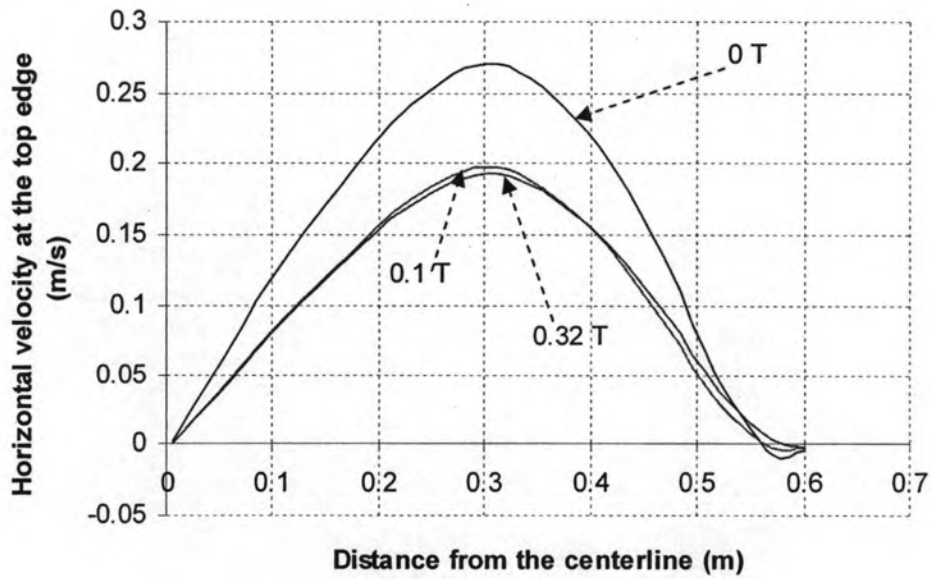
เหล็กที่เข้าใกล้ศูนย์มากขึ้น เมื่อมีผลของค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา



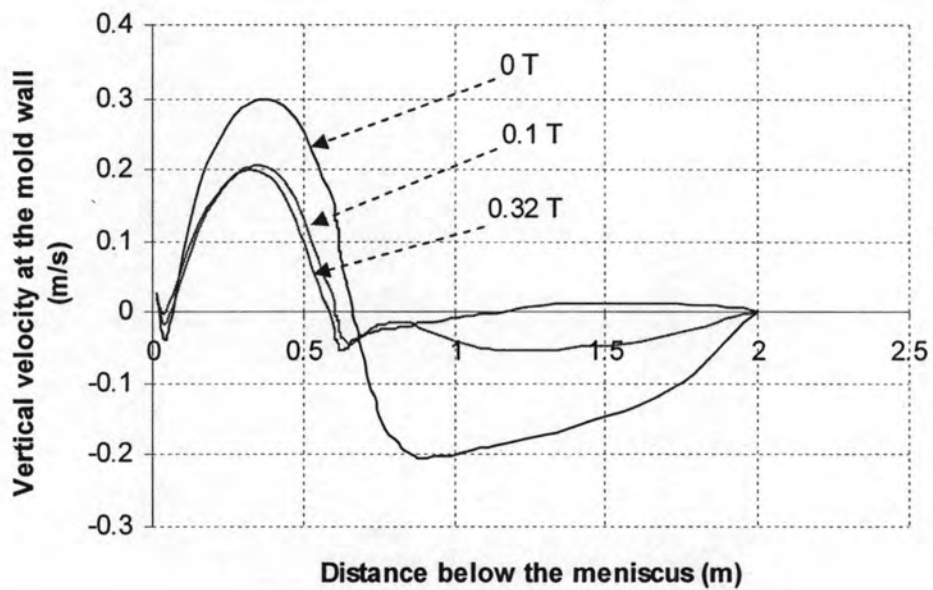
รูปที่ 4.2 (a) 0.555 m from meniscus without EMS รูปที่ 4.2 (b) 0.555 m from meniscus, 0.1 T



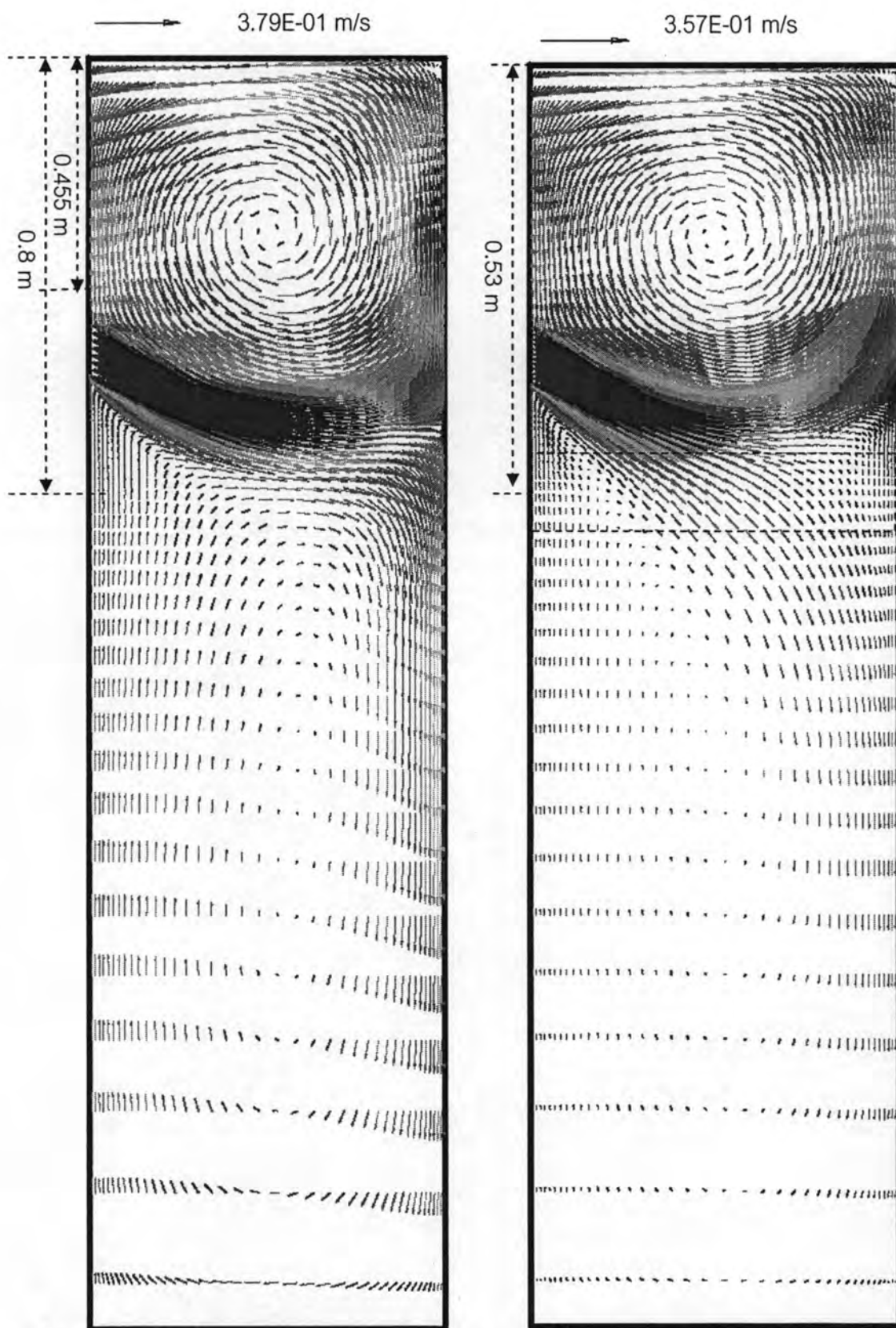
รูปที่ 4.2 (c) 0.555 m from meniscus, 0.32 T



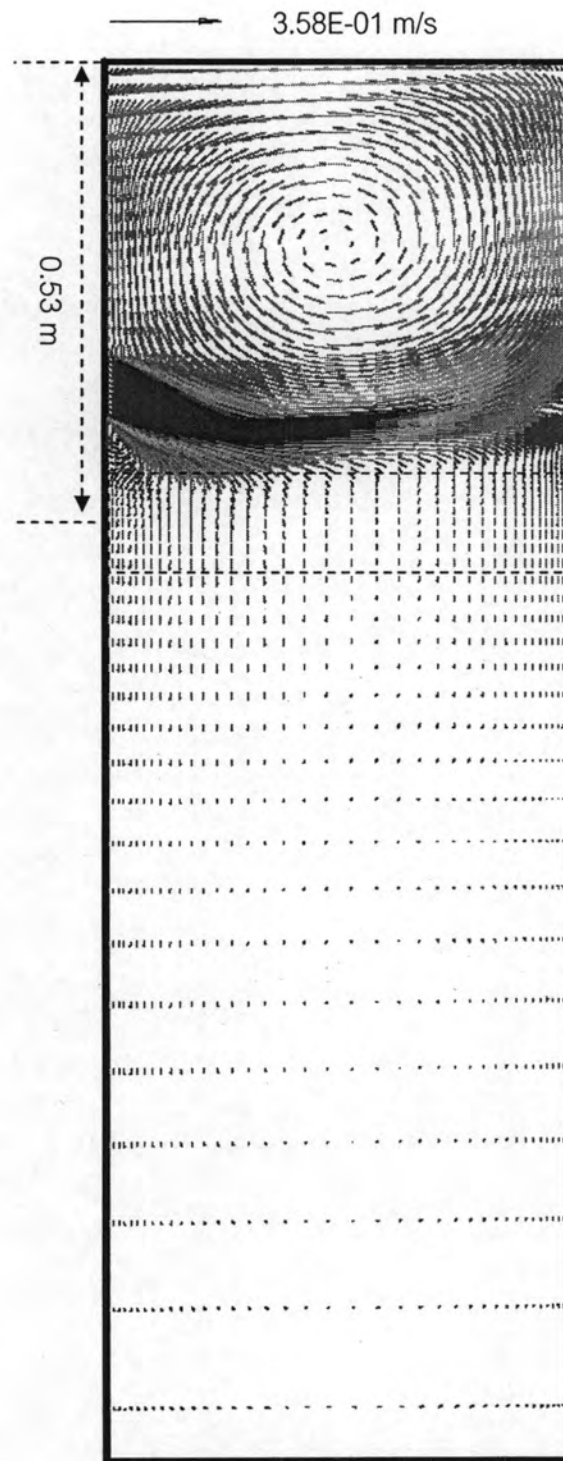
รูปที่ 4.2 (d) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (a), (b), และ (c)
0.555 m จาก meniscus



รูปที่ 4.2 (e) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (a), (b), และ (c)
0.555 m จาก meniscus

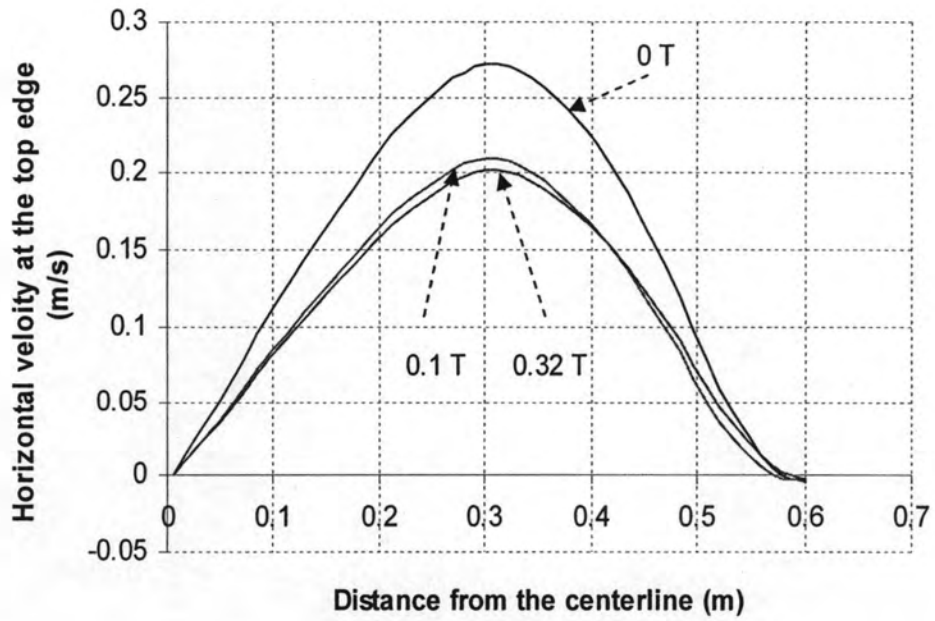


รูปที่ 4.2 (f) 0.455 m from meniscus without EMS รูปที่ 4.2 (g) 0.455 m from meniscus,
0.1 T

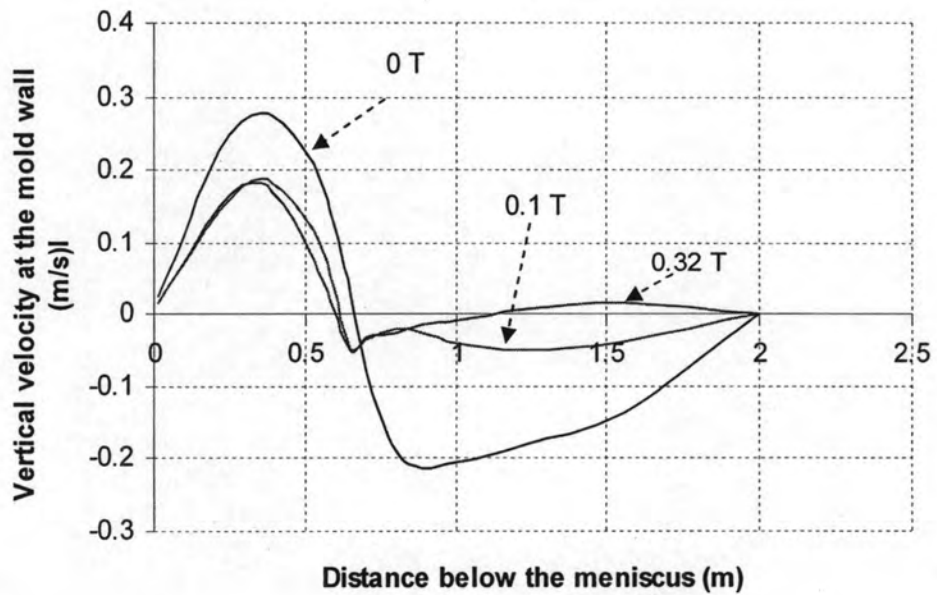


รูปที่ 4.2 (h) 0.455 m from meniscus, 0.32 T

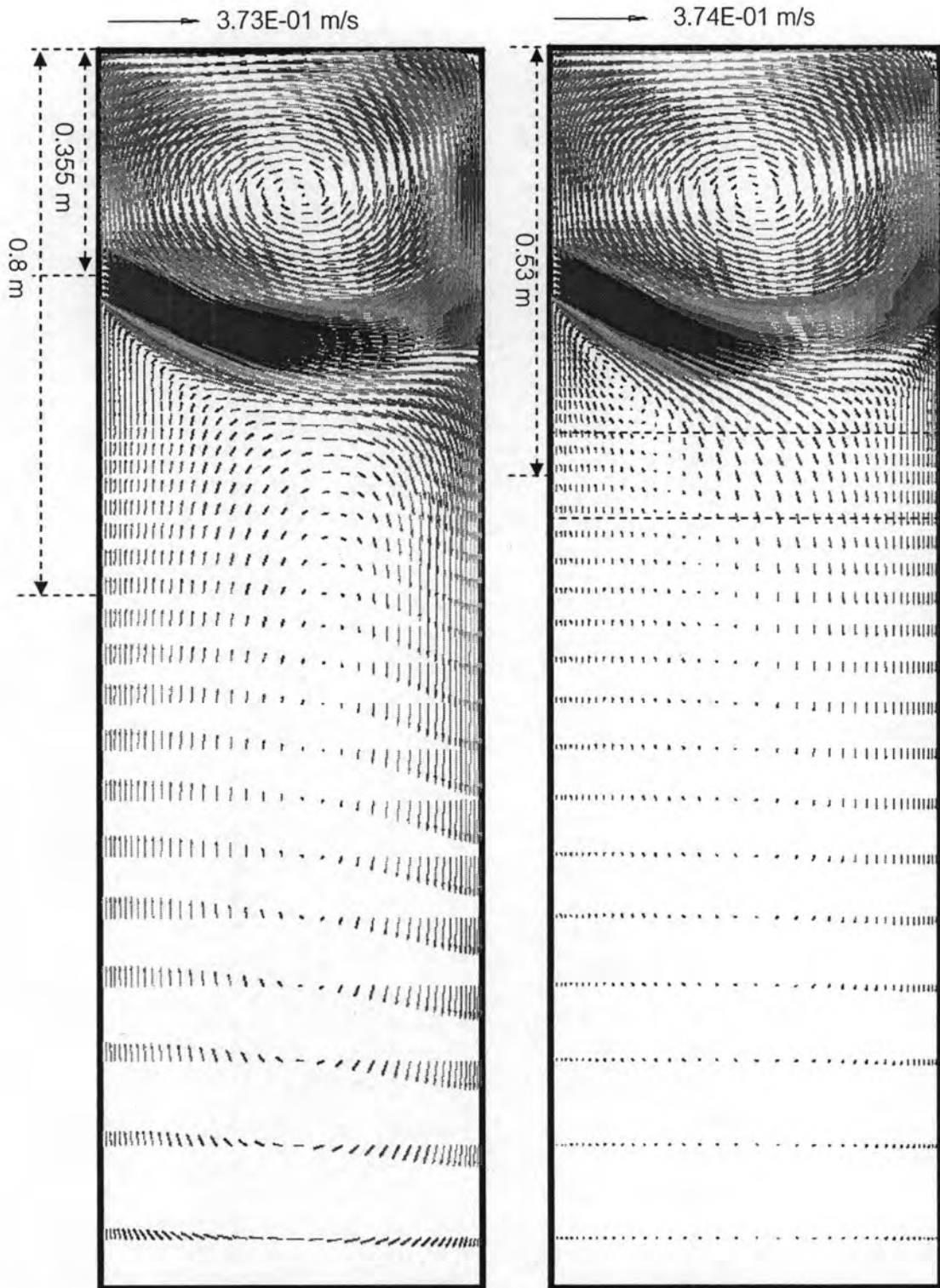




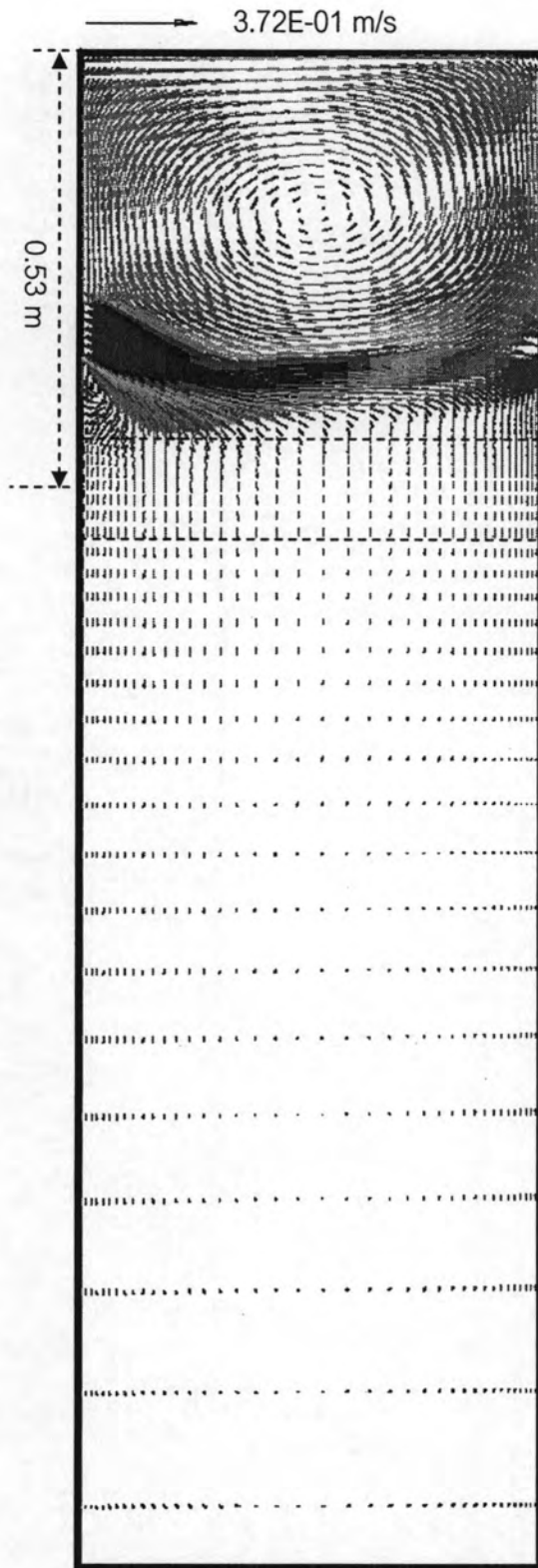
รูปที่ 4.2 (i) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (f), (g), และ (h) 0.455 m จาก meniscus



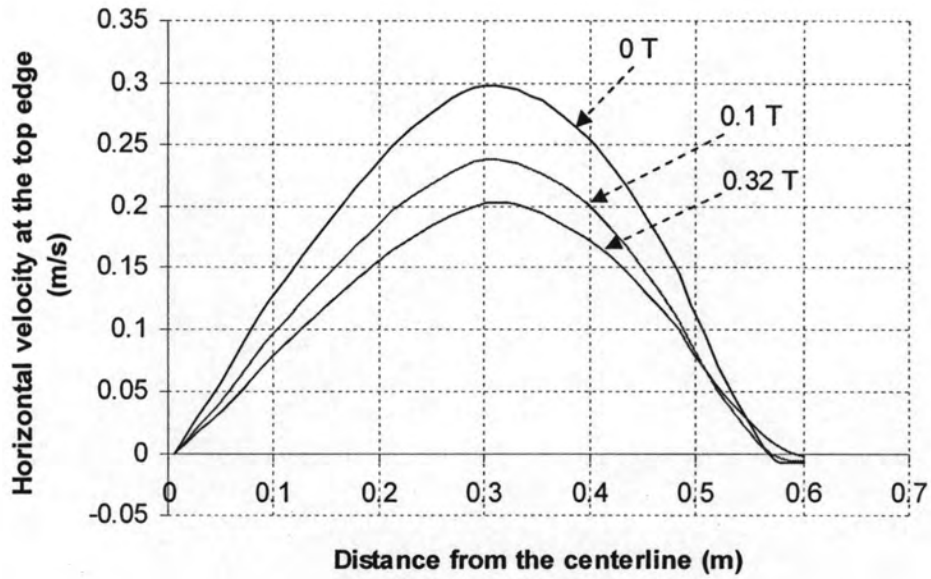
รูปที่ 4.2 (j) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (f), (g), และ (h) 0.455 m จาก meniscus



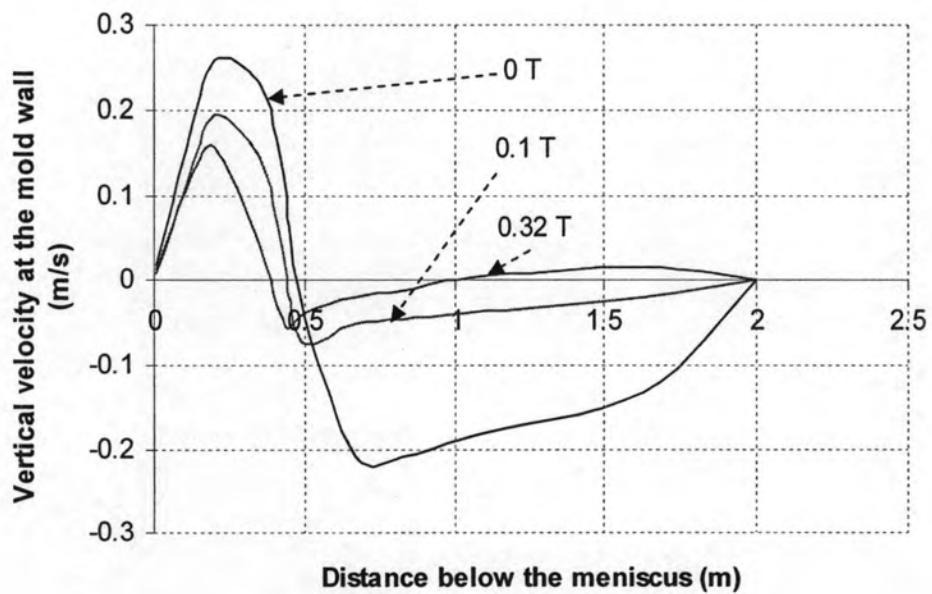
រូប 4.2 (k) 0.355 m from meniscus without EMS រូប 4.2 (l) 0.355 m from meniscus,
0.1 T



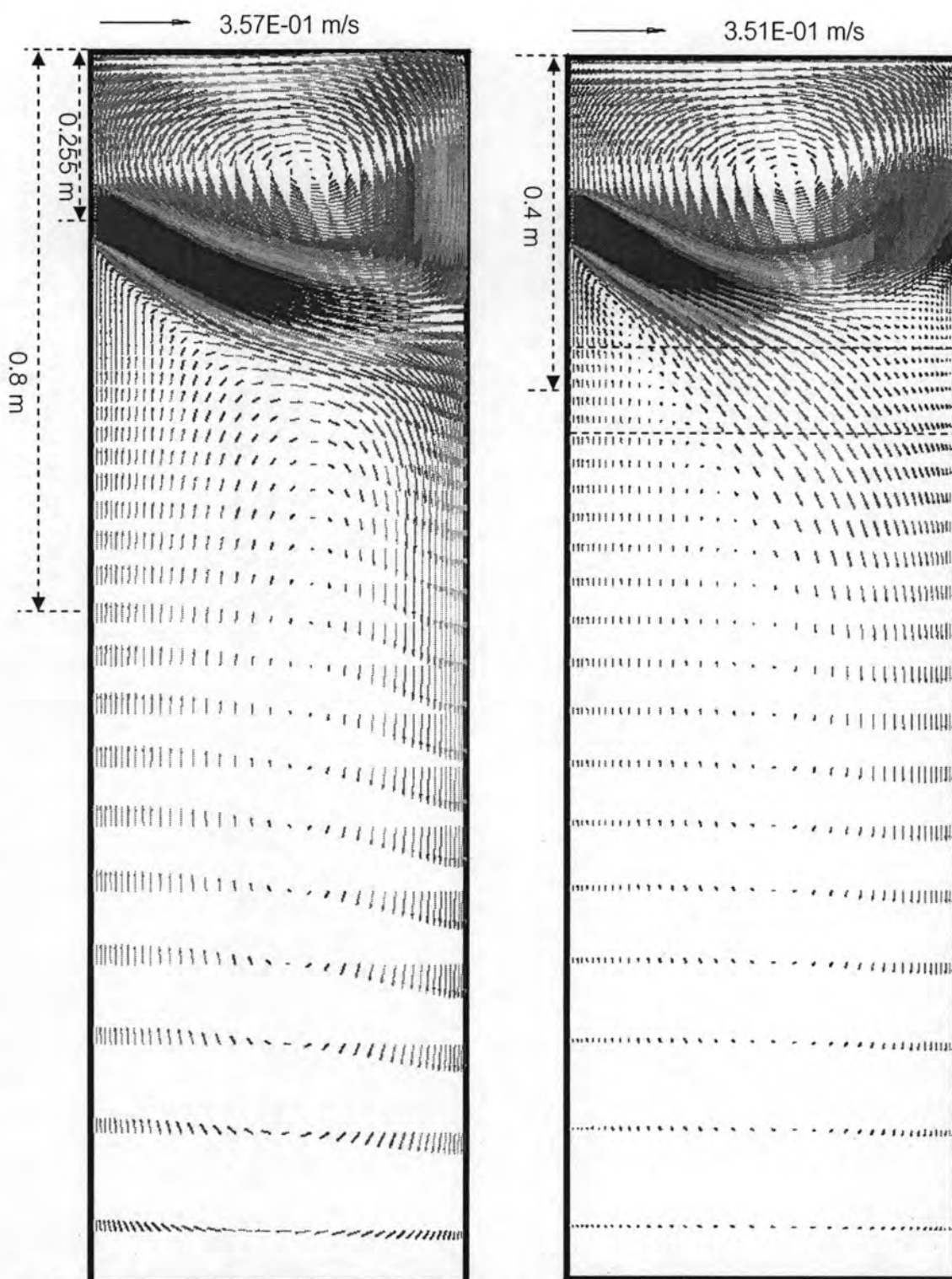
รูปที่ 4.2 (m) 0.355 m from meniscus, 0.32 T



รูปที่ 4.2 (n) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (k), (l), และ (m) 0.355 m จาก meniscus



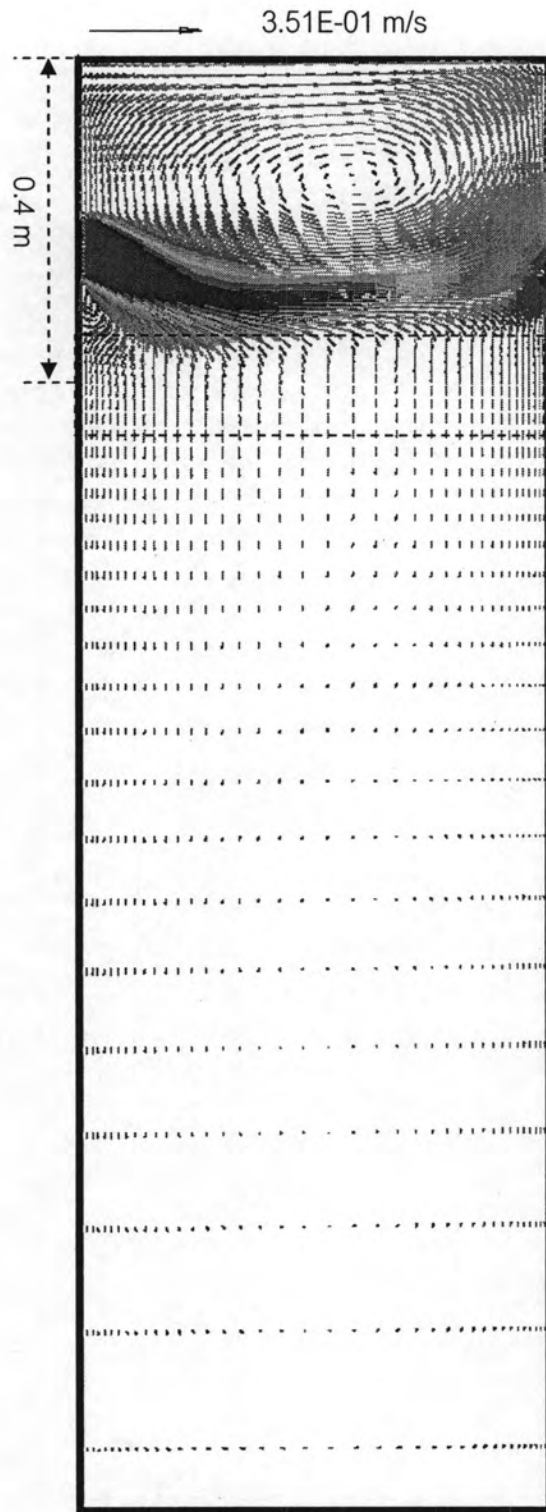
รูปที่ 4.2 (o) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (k), (l), และ (m) 0.355 m จาก meniscus



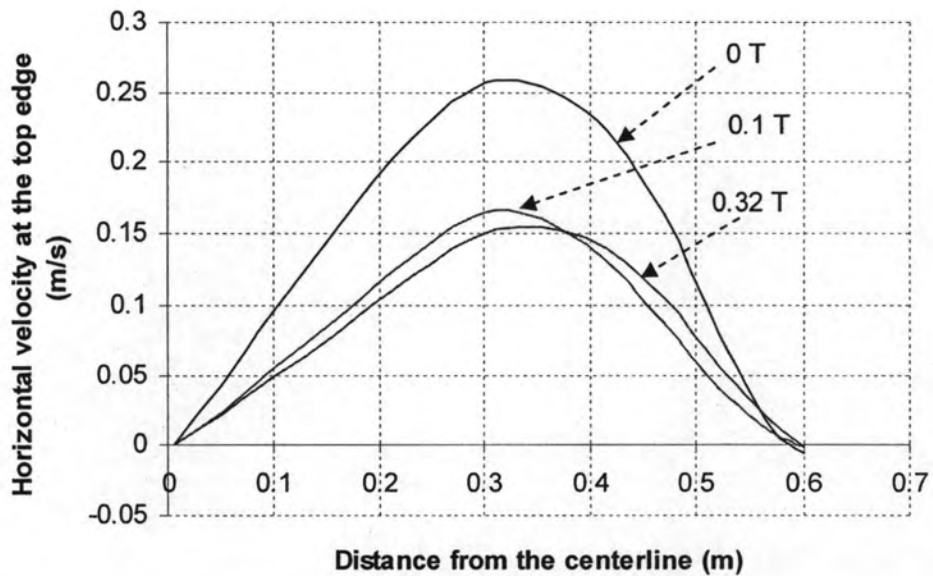
รูปที่ 4.2 (p) 0.255 m from meniscus without EMS

รูปที่ 4.2 (q) 0.255 m from meniscus,

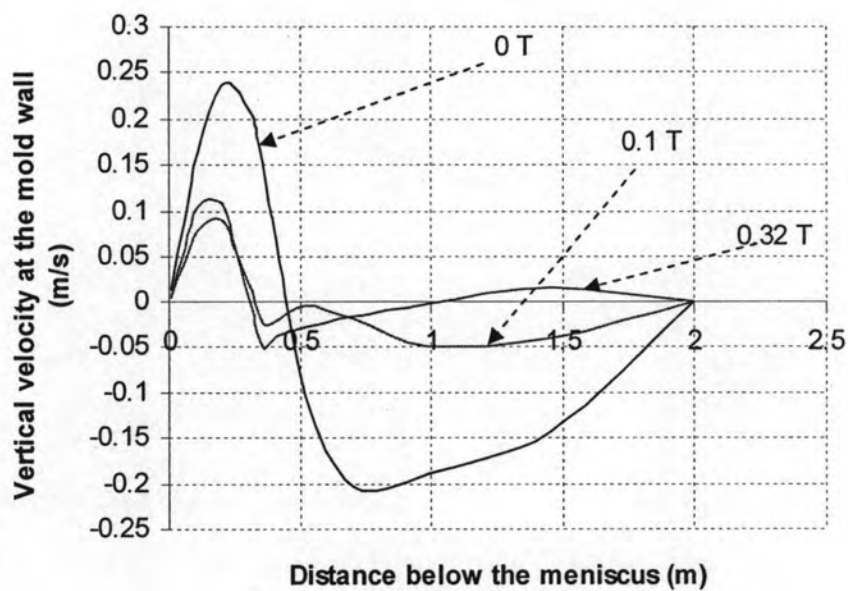
0.1 T



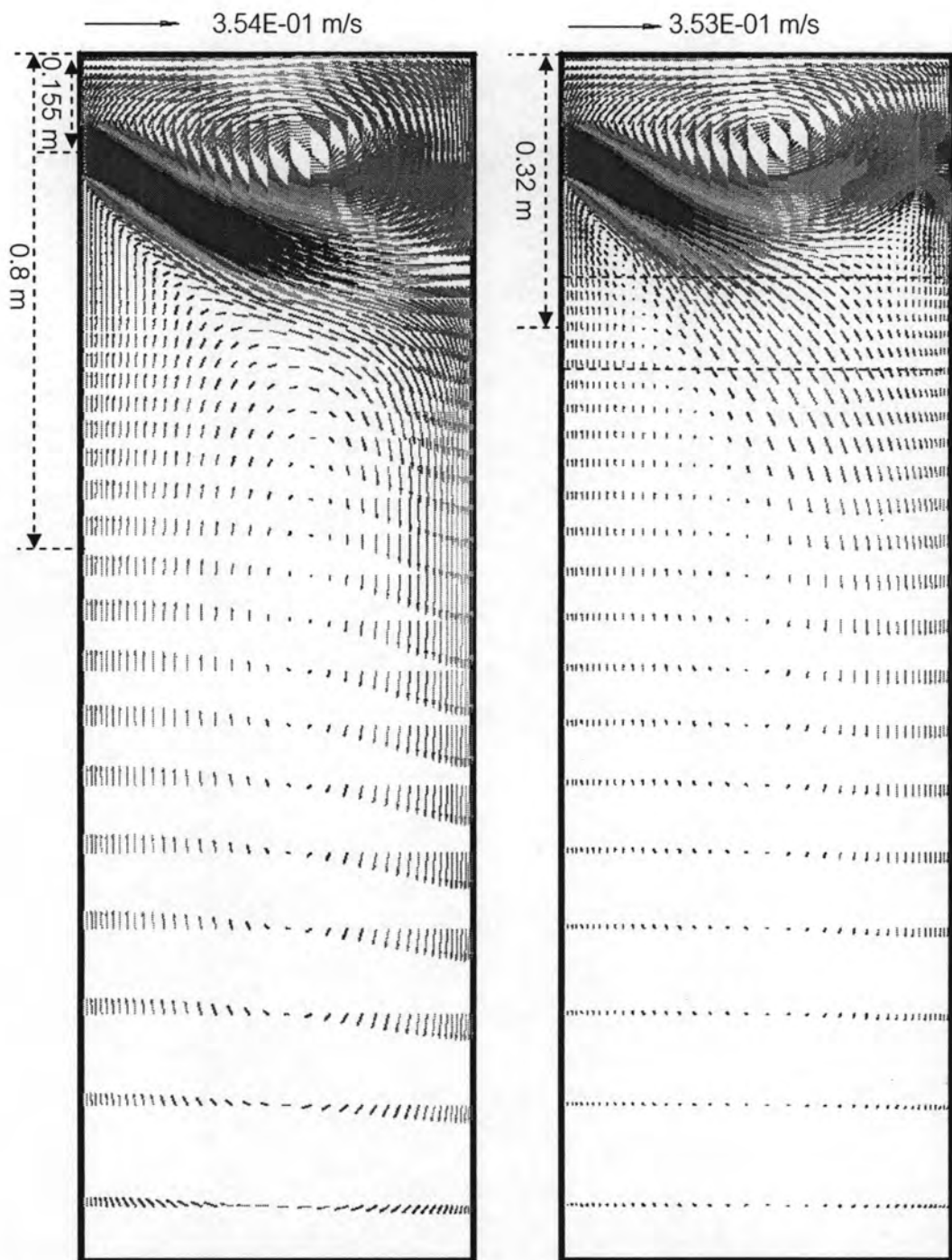
รูปที่ 4.2 (r) 0.255 m from meniscus, 0.32 T



รูปที่ 4.2 (s) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (p), (q), และ (r)
0.255 m จาก meniscus

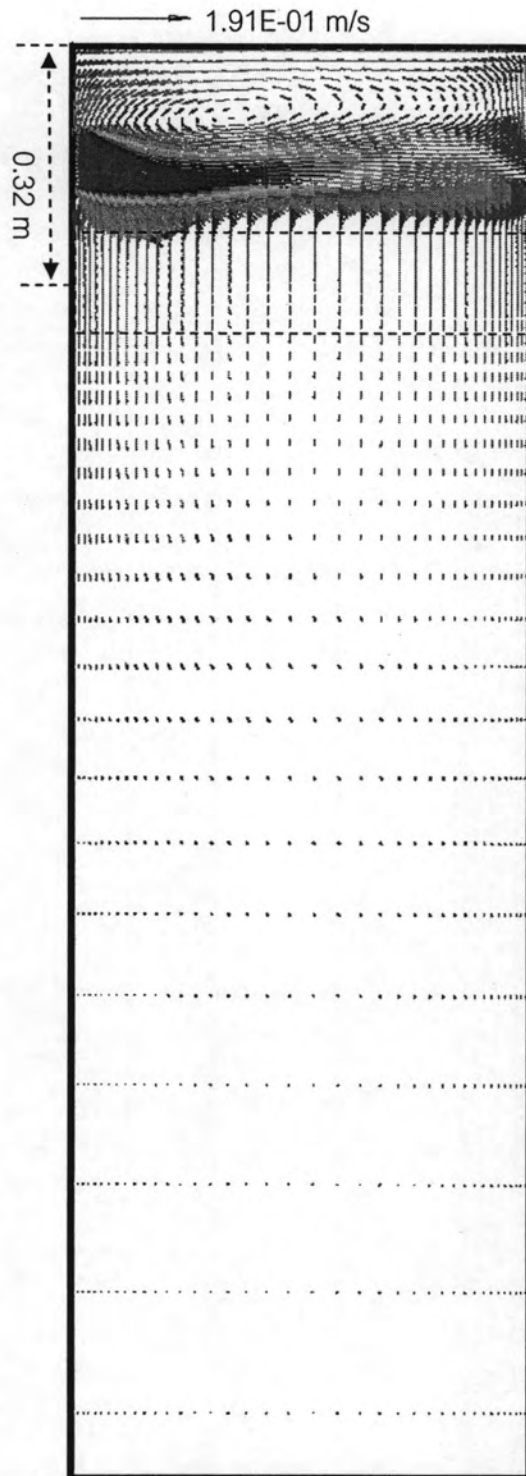


รูปที่ 4.2 (t) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (p), (q), และ (r)
0.255 m จาก meniscus

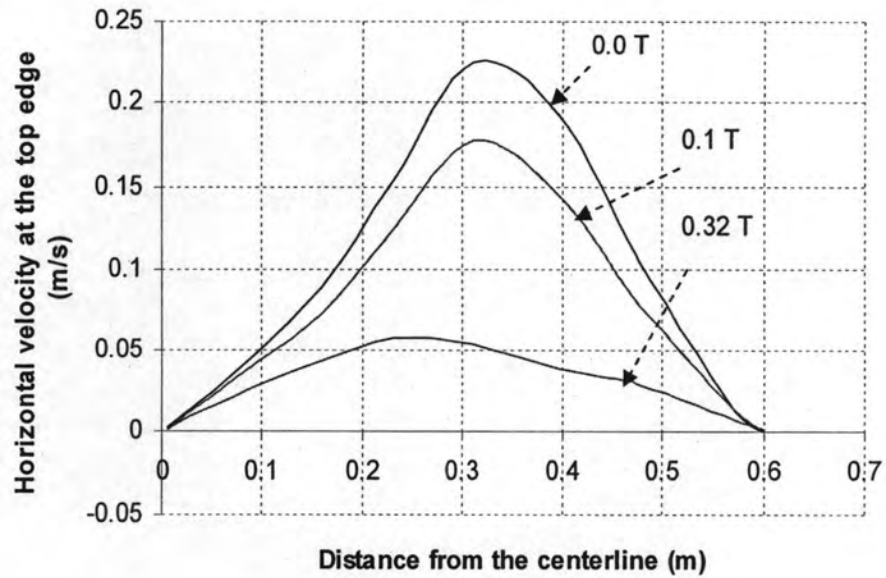


รูปที่ 4.2 (u) 0.155 m from meniscus without EMS รูปที่ 4.2 (v) 0.155 m from meniscus,

0.1 T

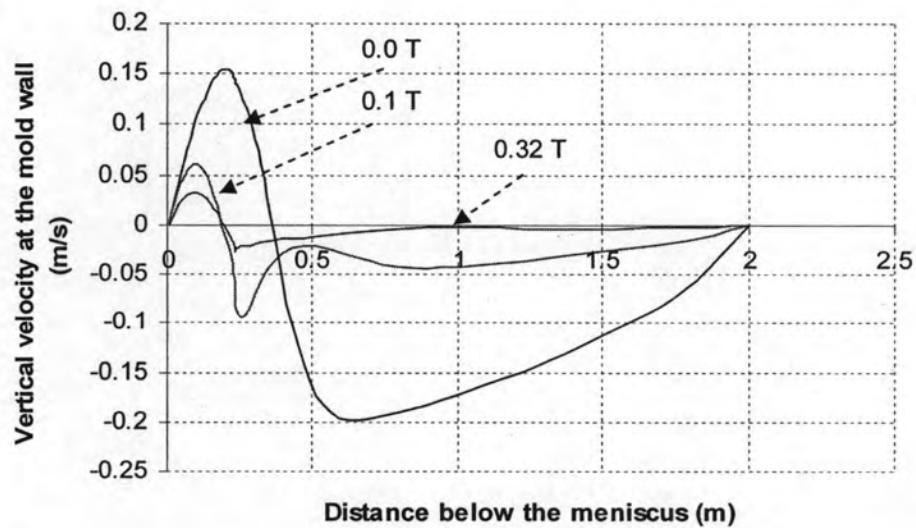


รูปที่ 4.2 (w) 0.155 m from meniscus, 0.32 T



รูปที่ 4.2 (x) กราฟแสดงความเร็วที่ขอบบนกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (u), (v), และ (w)

0.155 m จาก meniscus



รูปที่ 4.2 (y) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังกับระยะทางจาก meniscus ของ (u), (v), และ (w)

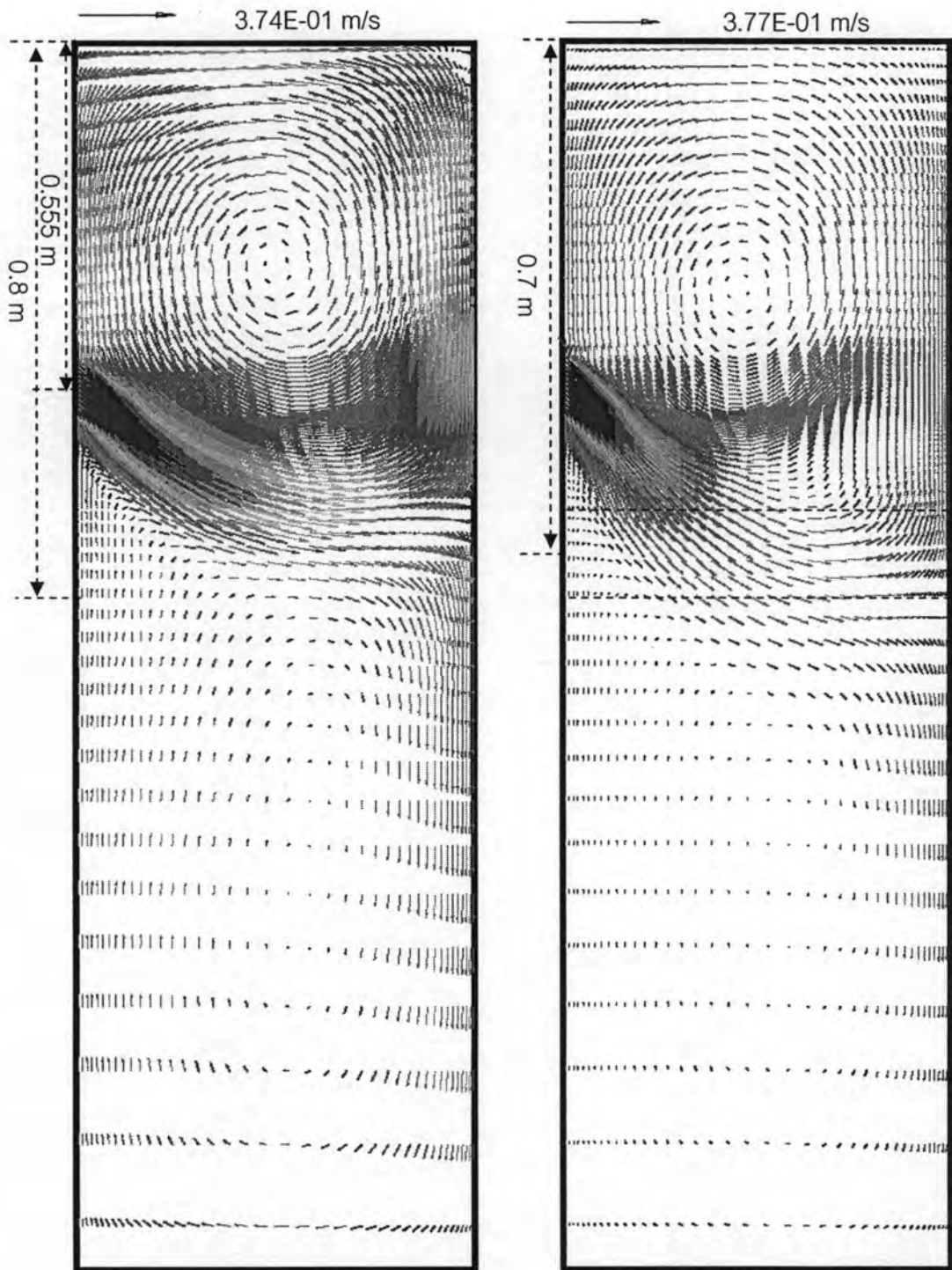
0.155 m จาก meniscus

รูปที่ 4.2 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนตำแหน่งพอร์ต (Port) ที่มีต่อรูปแบบการไหลของน้ำ เหล็กในแบบจำลอง แบบมี EMS และไม่มี EMS

4.3 ผลการจำลองแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อในสถานะที่มีการเปลี่ยนอัตราเร็วในการหล่อ (Change of Casting Speeds, m/s)

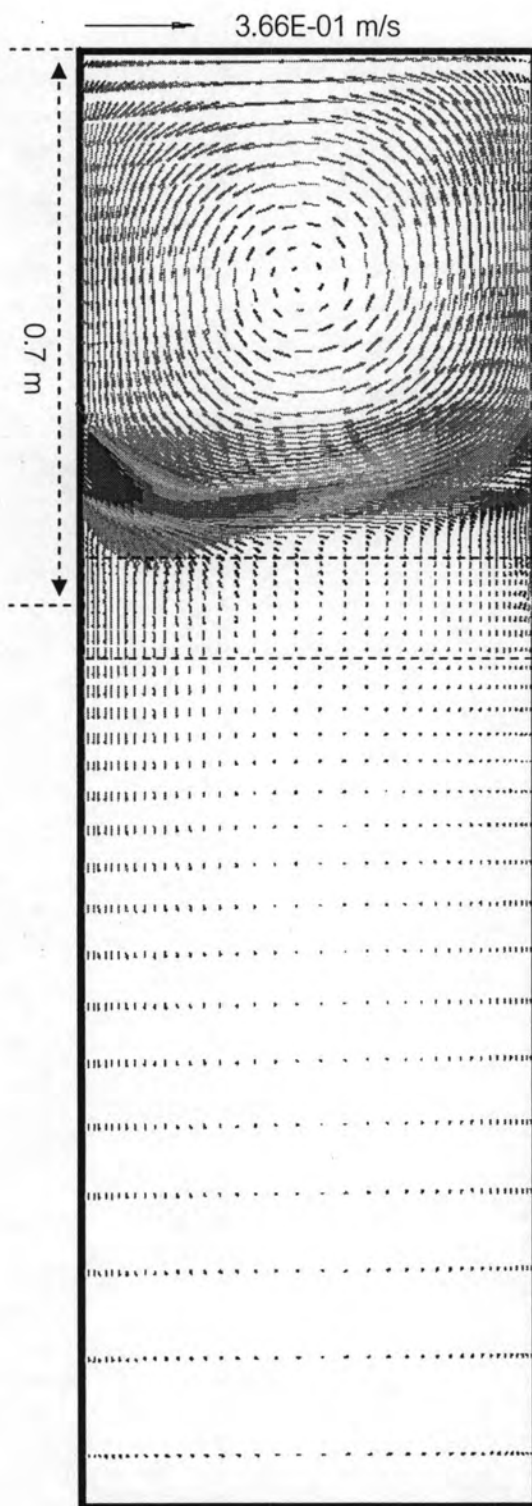
ในกรณีการจำลองแบบการไหลของน้ำเหล็ก โดยการเปลี่ยนอัตราเร็วในการหล่อเพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น กับรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กที่เกิดขึ้นภายในแบบหล่อ โดยการเปลี่ยนเงื่อนไขตามตารางที่ 3.5 จากผลการจำลองสามารถแบ่งได้เป็นสองกรณีหลัก ๆ คือกรณีการจำลองตามเงื่อนไขในตารางที่ 3.5 แบบไม่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) และกรณีที่สองเป็นการจำลองตามเงื่อนไขในตารางที่ 3.5 เหมือนกันแต่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) เพื่อไปบรกดรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กที่เกิดขึ้นภายในแบบหล่อ กรณีผลการจำลองรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ ตามรูป (a), (b), และ (c) ที่อัตราเร็วในการหล่อเท่ากับ 1 เมตรต่อนาที โดยการเพิ่มค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจาก 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา ตามลำดับ จะเห็นว่าความเร็วของน้ำโลหะที่บริเวณขอบบน (Top Edge) จะลดลงจากกรณีที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0 เทสลา แต่ที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.32 เทสลาจะลดลงน้อยกว่าในกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.1 เทสลา ดังแสดงในรูป (d) เมื่อพิจารณาความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณผนังแบบจำลองตามรูป (e) จะพบว่าที่ 0.1 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.9 เมตร และที่ 0.32 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.6 เมตร

กรณีผลการจำลองรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ ตามรูป (f), (g), และ (h) ที่อัตราเร็วในการหล่อเท่ากับ 1.6 เมตรต่อนาที โดยการเพิ่มค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจาก 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา ตามลำดับ จะเห็นว่าความเร็วของน้ำโลหะที่บริเวณขอบบน (Top Edge) จะลดลงจากกรณีที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0 เทสลา แต่ที่ความหนาแน่นของ ฟลักซ์แม่เหล็ก 0.32 เทสลาจะลดลงน้อยกว่าในกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.1 เทสลา ดังแสดงในรูป (i) เมื่อพิจารณาความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณผนังแบบจำลองตามรูป (j) จะพบว่าที่ 0.1 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.85 เมตร และที่ 0.32 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.6 เมตร

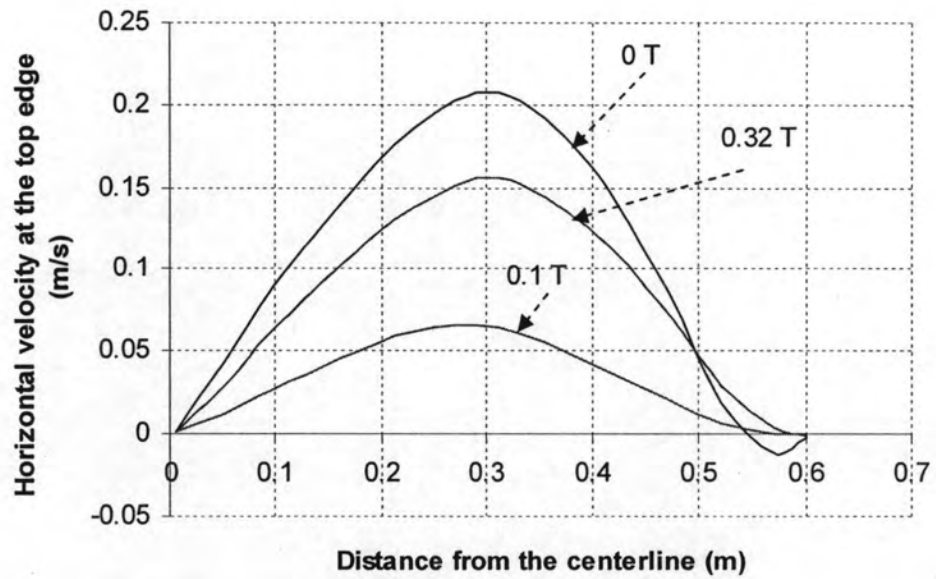


รูปที่ 4.3 (a) 1 m/min without EMS

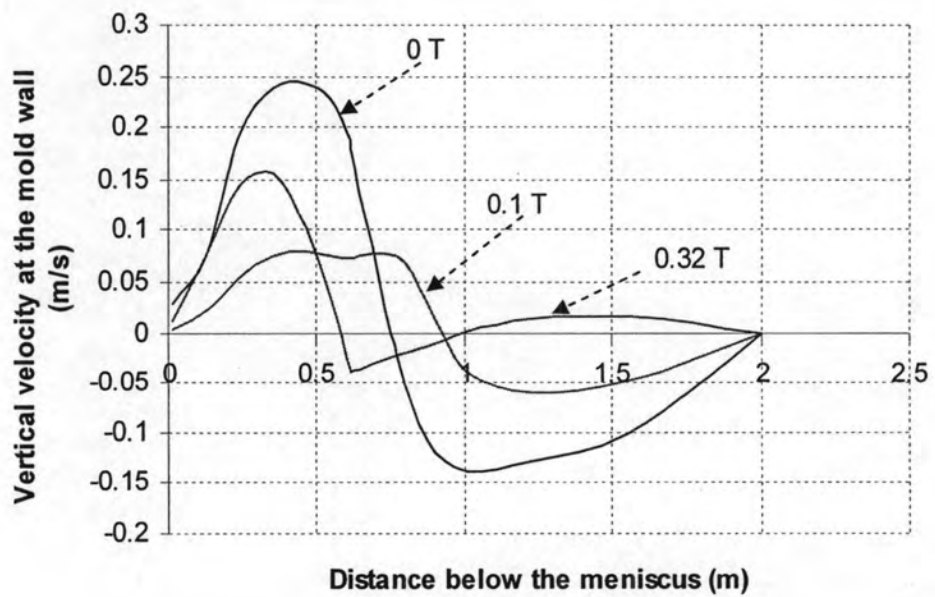
รูปที่ 4.3 (b) 1 m/min, 0.1 T



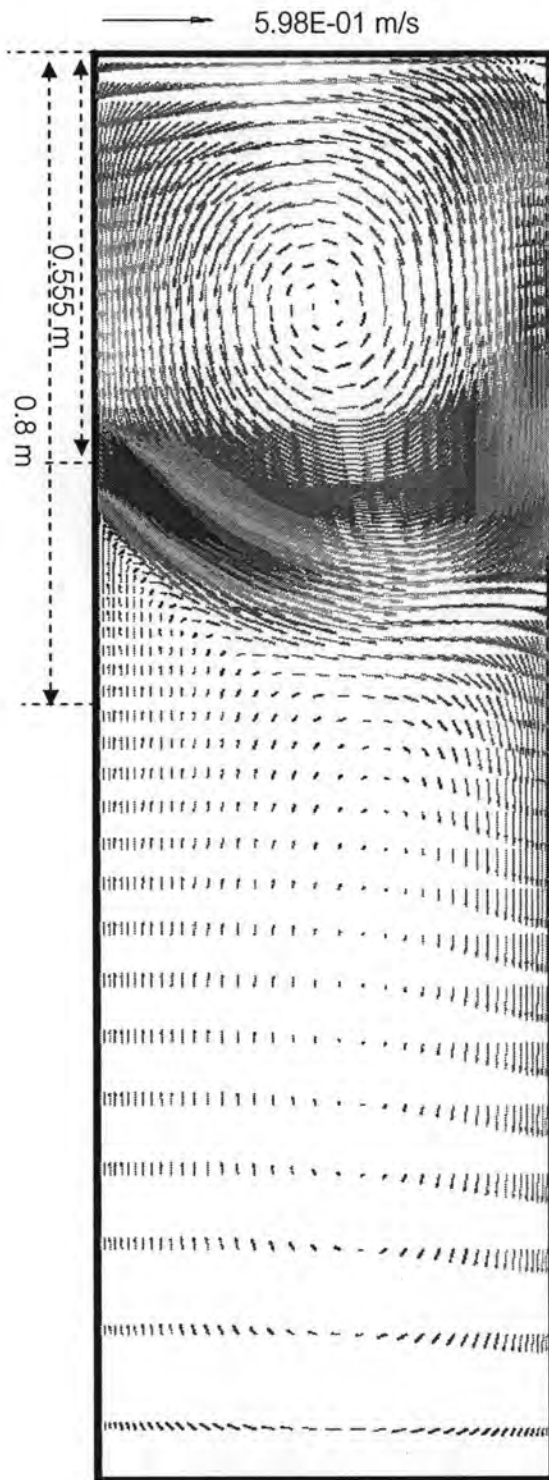
รูปที่ 4.3 (c) 1 m/min, 0.32 T



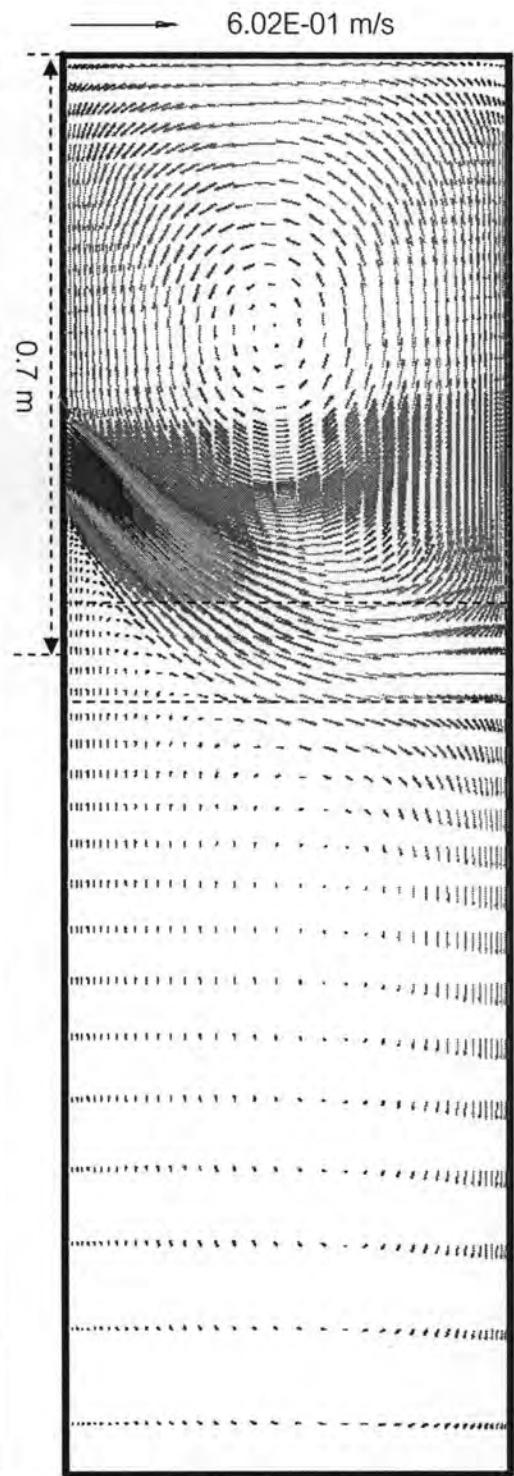
รูปที่ 4.3 (d) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (a), (b), (c) ที่ 1 m/min



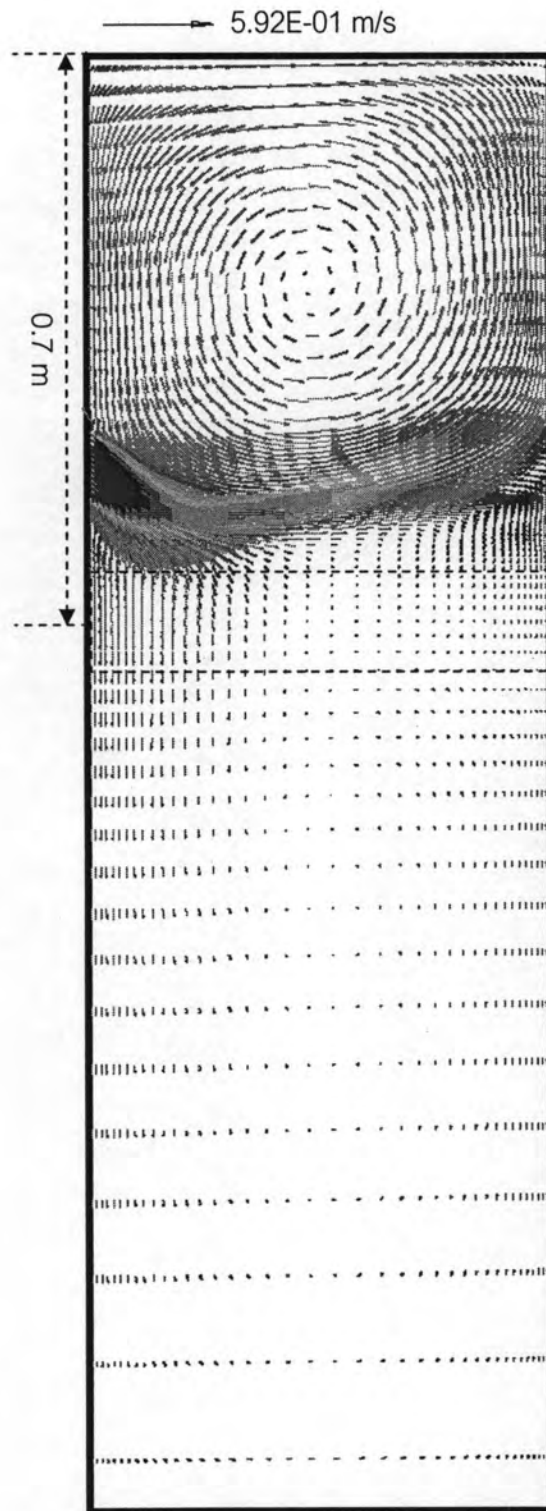
รูปที่ 4.3 (e) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจาก meniscus ของ (a), (b), (c) ที่ 1 m/min



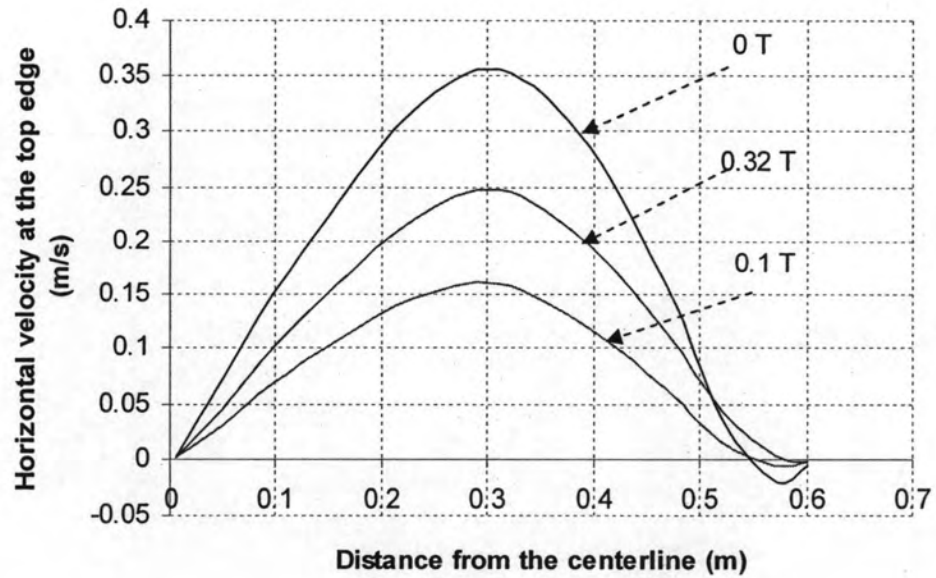
รูปที่ 4.3 (f) 1.6 m/min without EMS



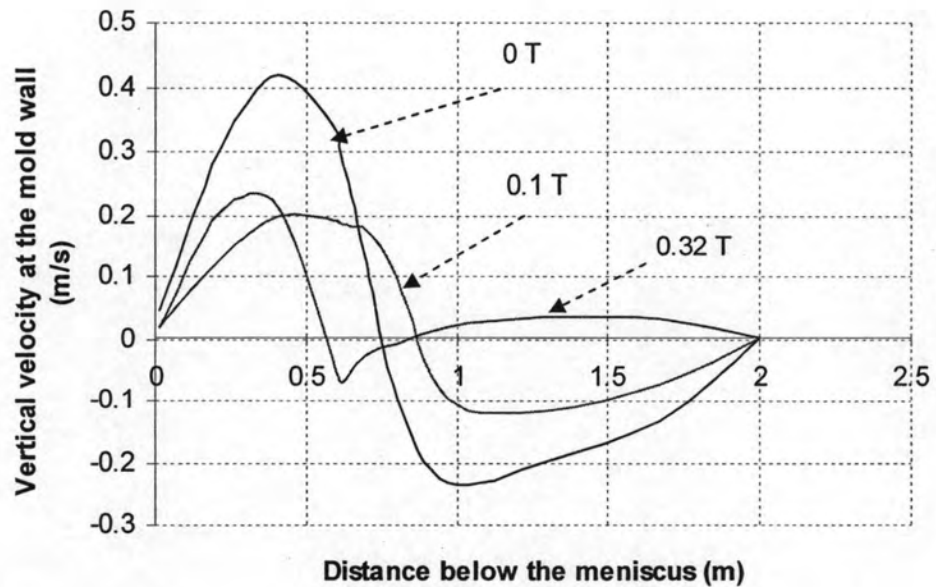
รูปที่ 4.3 (g) 1.6 m/min, 0.1 T



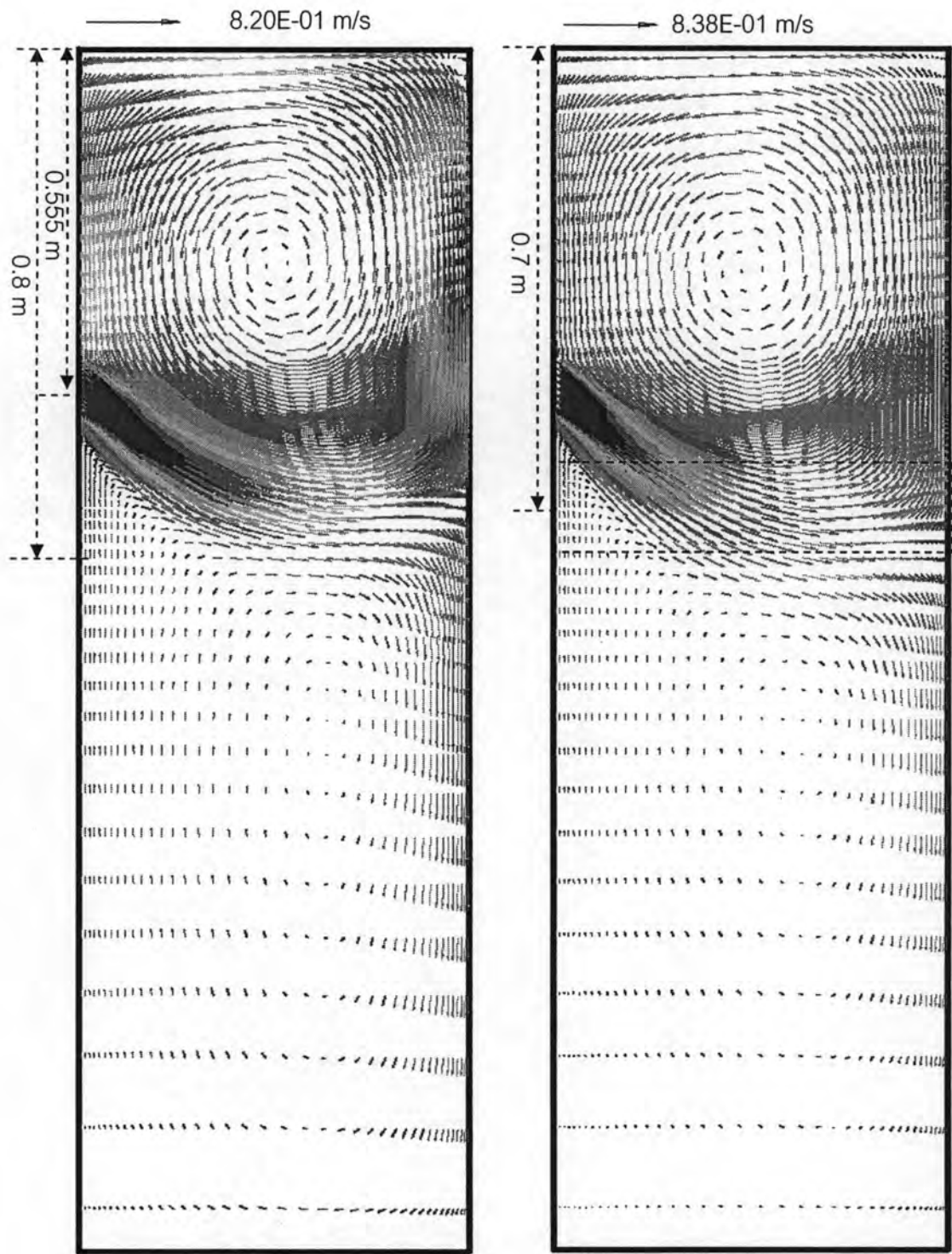
รูปที่ 4.3 (h) 1.6 m/min, 0.32 T



รูปที่ 4.3 (i) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (f), (g), (h) ที่ 1.6 m/min



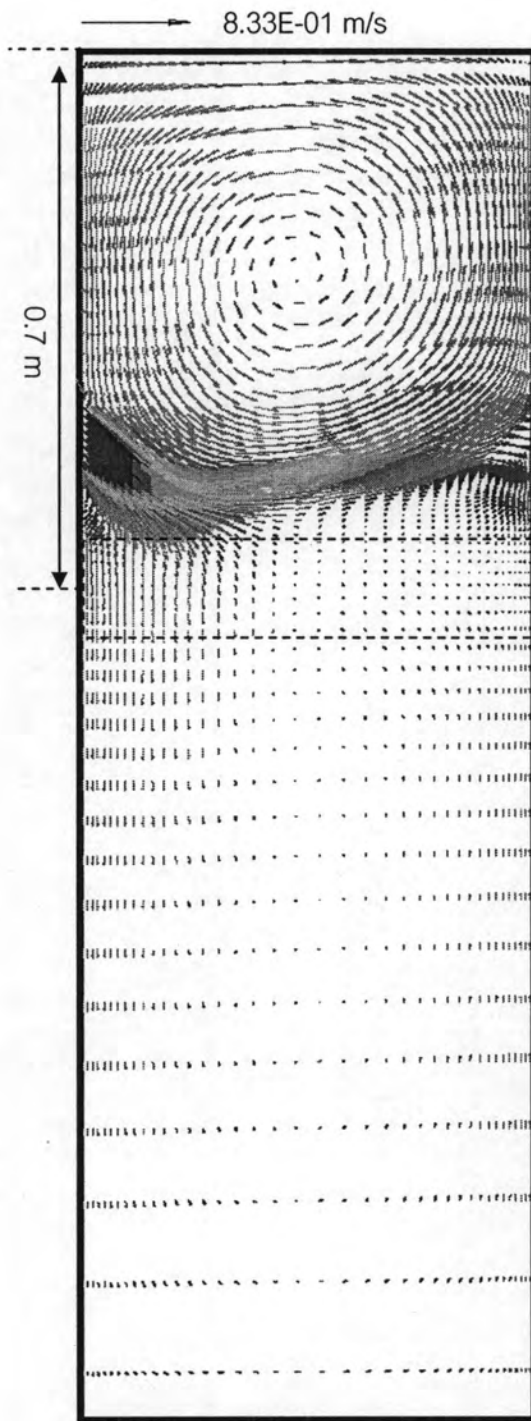
รูปที่ 4.3 (j) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจาก meniscus ของ (f), (g), (h) ที่ 1.6 m/min



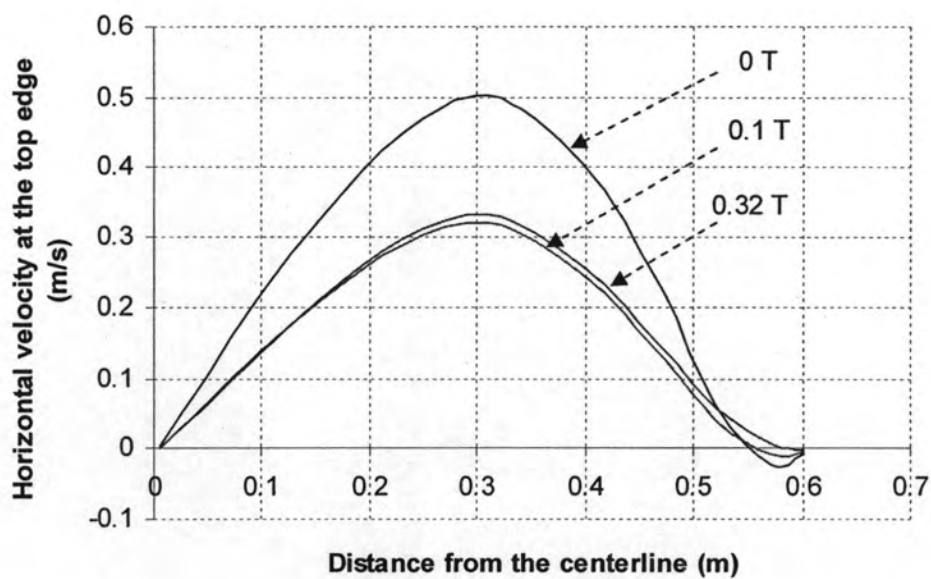
รูปที่ 4.3 (k) 2.2 m/min without EMS

รูปที่ 4.3 (l) 2.2 m/min, 0.1 T

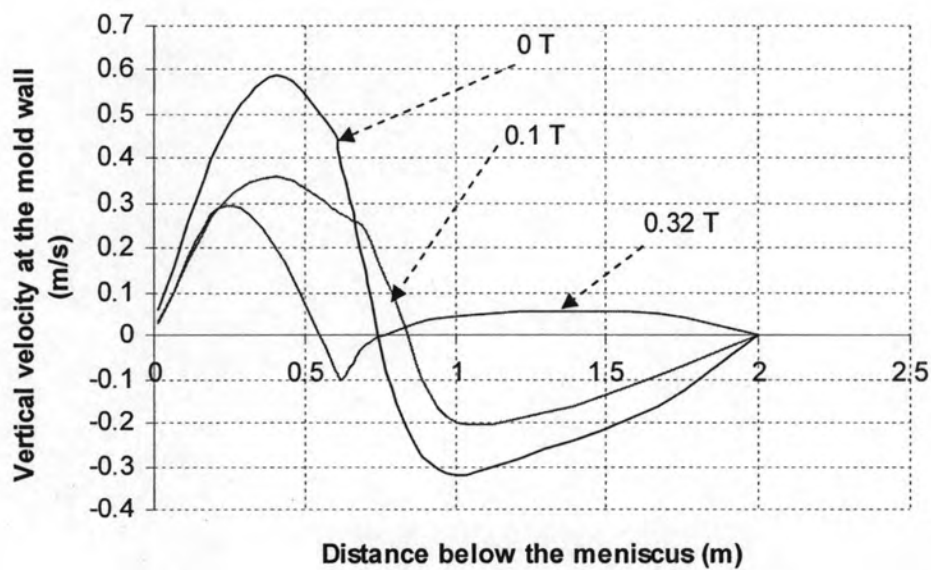




รูปที่ 4.3 (m) 2.2 m/min, 0.32 T



รูปที่ 4.3 (น) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (k), (l), (m) ที่ 2.2 m/min

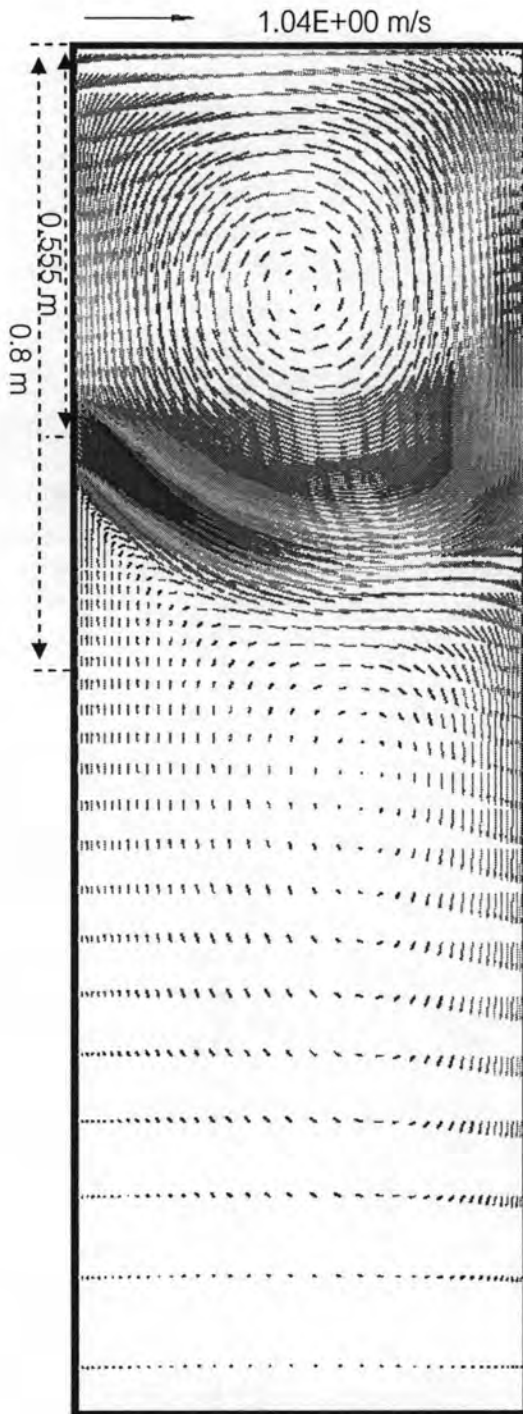


รูปที่ 4.3 (อ) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจาก meniscus ของ (k), (l), (m) ที่ 2.2 m/min

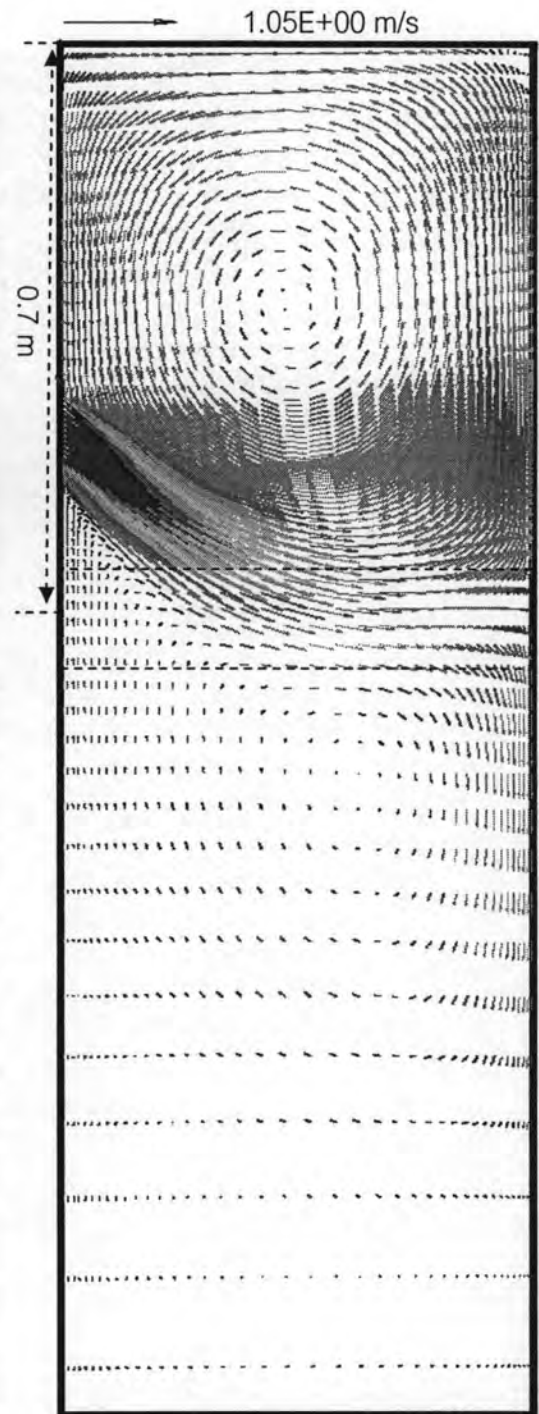
กรณีผลการจำลองรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ ตามรูป (k), (l), และ (m) ที่อัตราเร็วในการหล่อเท่ากับ 2.2 เมตรต่อนาที โดยการเพิ่มความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจาก 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา ตามลำดับ จะเห็นว่าความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณขอบบน (Top Edge) จะลดลงจากกรณีที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0 เทสลา แต่ที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.32 เทสลาจะลดลงใกล้เคียงในกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.1 เทสลา ดังแสดงในรูป (n) เมื่อพิจารณาความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณผนังแบบจำลองตามรูป (o) จะพบว่าที่ 0.1 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.8 เมตร และที่ 0.32 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.5 เมตร

กรณีผลการจำลองรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ ตามรูป (p), (q), และ (r) ที่อัตราเร็วในการหล่อเท่ากับ 2.8 เมตรต่อนาที โดยการเพิ่มความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจาก 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา ตามลำดับ จะเห็นว่าความเร็วของน้ำโลหะที่บริเวณขอบบน (Top Edge) จะลดลงจากกรณีที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0 เทสลา แต่ที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.32 เทสลาจะลดลงใกล้เคียงในกรณีที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.1 เทสลา ดังแสดงในรูป (s) เมื่อพิจารณาความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณผนังแบบจำลองตามรูป (t) จะพบว่าที่ 0.1 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.8 เมตร และที่ 0.32 เทสลา ตำแหน่งการชนของน้ำเหล็ก (Impinging point) จะเลื่อนจากตำแหน่ง 0.75 เมตร เป็น 0.5 เมตร

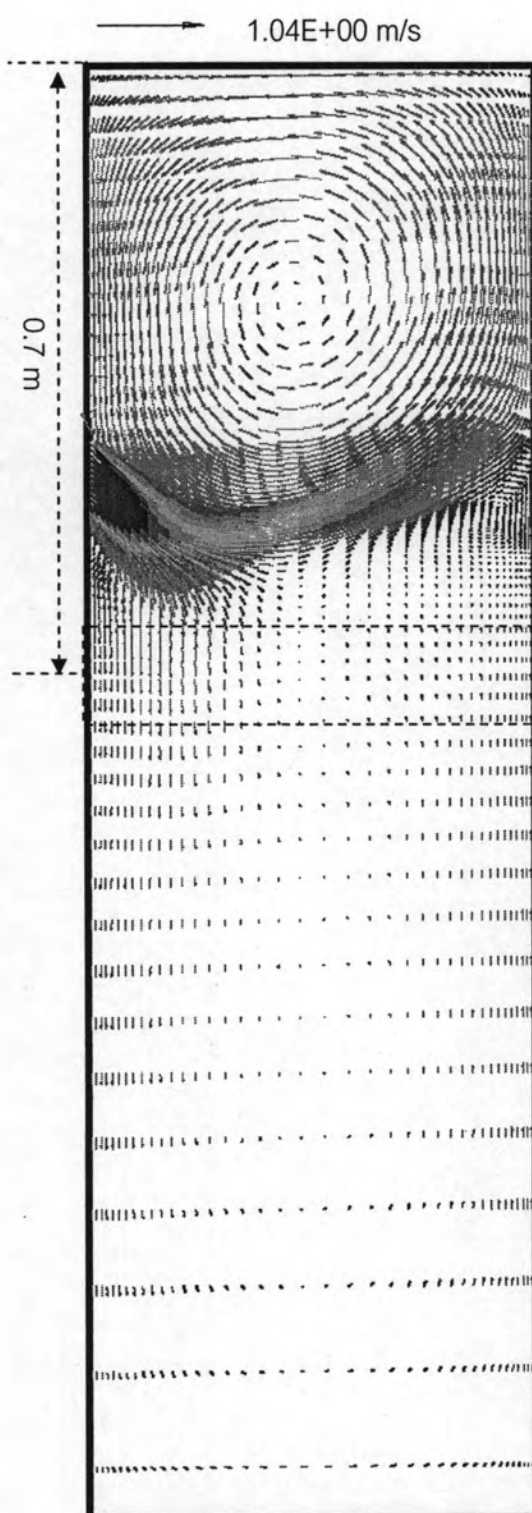
รูป (u), (v), และ (w) แสดงความเร็วของน้ำเหล็กที่อัตราเร็วในการหล่อต่างๆ โดยพิจารณาค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจาก 0 เทสลา 0.1 เทสลา และ 0.32 เทสลา ตามลำดับจะเห็นว่าที่อัตราเร็วในการหล่อสูงกว่าค่าความเร็วของน้ำเหล็กที่บริเวณผนังแบบจำลองจะสูงและค่อยๆลดลง ตามค่าอัตราเร็วในการหล่อที่ลดลง



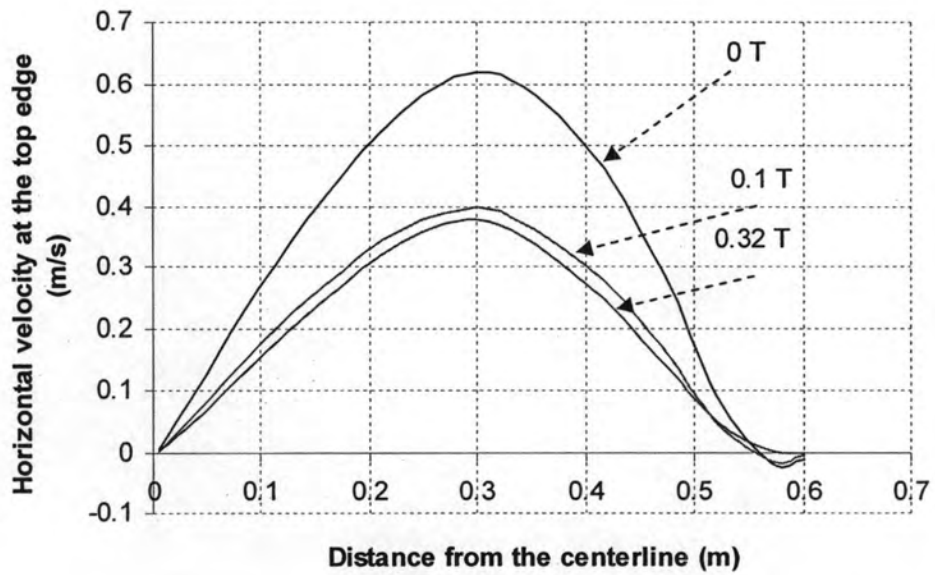
รูปที่ 4.3 (p) 2.8 m/min without EMS



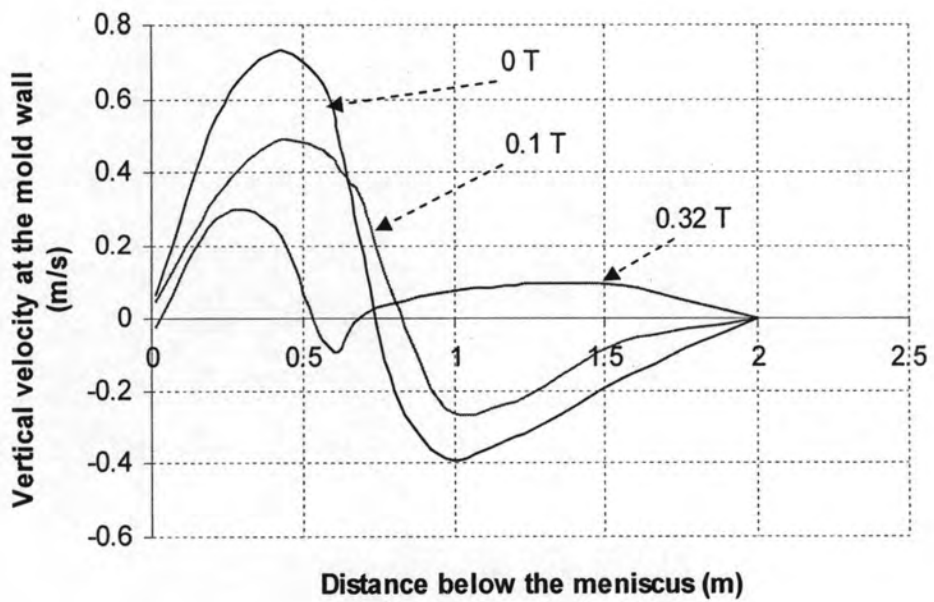
รูปที่ 4.3 (q) 2.8 m/min, 0.1 T



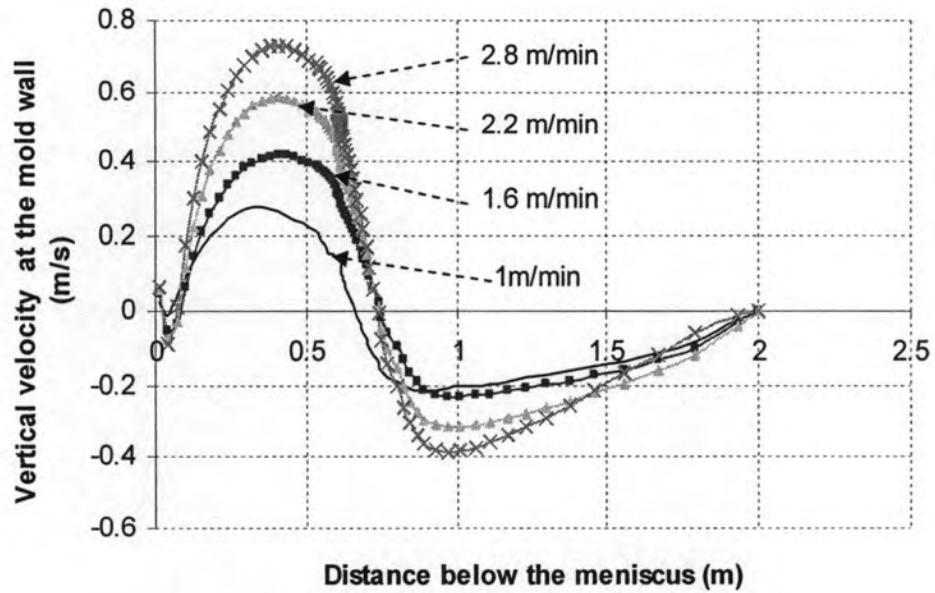
รูปที่ 4.2 (r) 2.8 m/min, 0.32 T



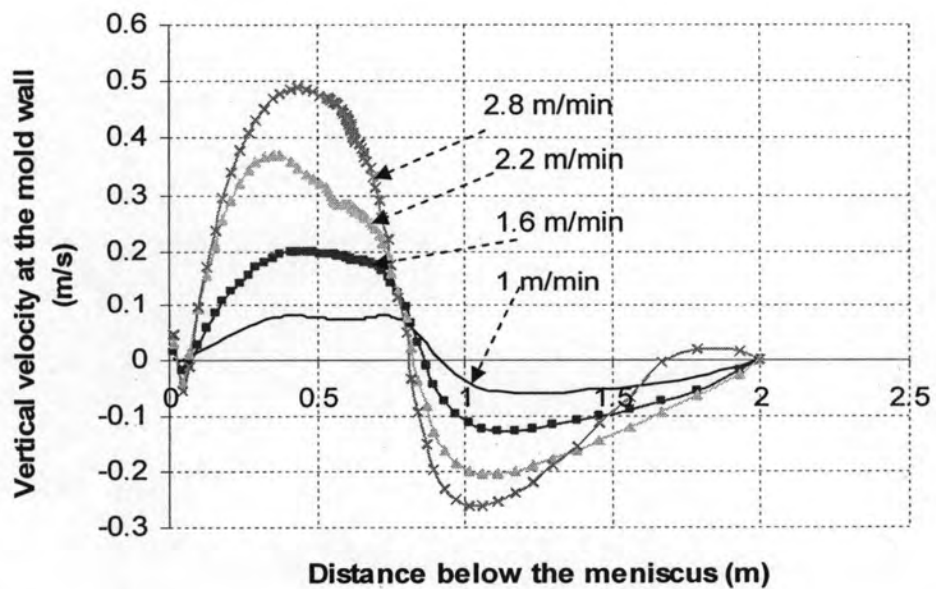
รูปที่ 4.3 (s) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจากเส้นศูนย์กลางของ (p), (q), (r) ที่ 2.8 m/min



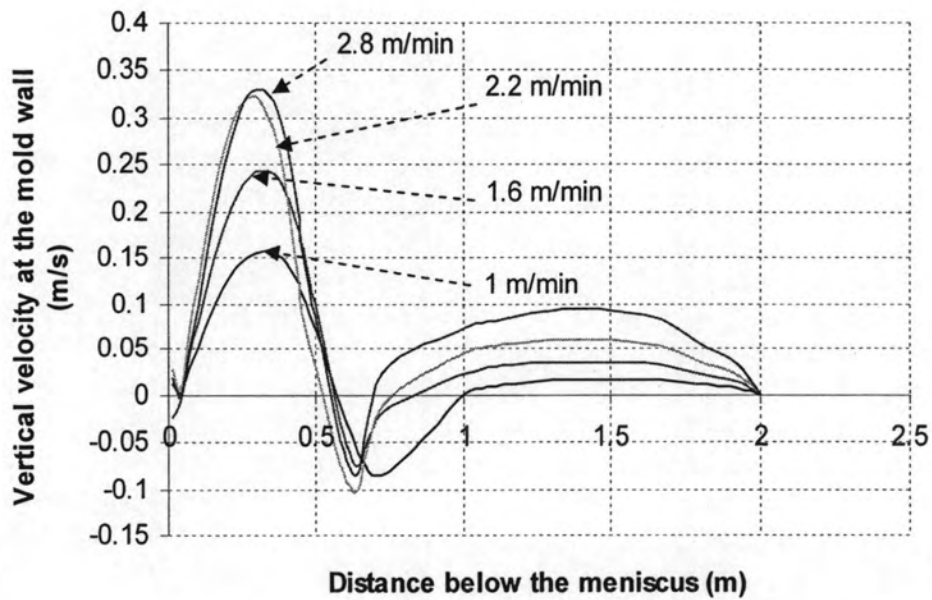
รูปที่ 4.2 (t) กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางจาก meniscus ของ (p), (q), (r) ที่ 2.8 m/min



รูปที่ 4.3 (u) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังแบบหล่อกับระยะจากเมนิสคัส ที่อัตราเร็วการหล่อต่างๆในกรณีที่ไม่มีการประยุกต์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ตามรูป (a), (f), (k), และ (p)



รูปที่ 4.3 (v) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังแบบหล่อกับระยะจากเมนิสคัส ที่อัตราเร็วการหล่อต่างๆในกรณีที่มีการประยุกต์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.1 T ตามรูป (b), (g), (l), และ (q)



รูปที่ 4.3 (w) กราฟแสดงความเร็วที่ผนังแบบหล่อกับระยะจากเมนิสคัส ที่อัตราเร็วการหล่อต่างๆ ใน กรณีที่มีการประยุกต์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก 0.32 T ตามรูป (c), (h), (m), และ (r)

รูปที่ 4.3 แสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนอัตราเร็วในการหล่อต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กใน แบบจำลอง แบบมี EMS และไม่มี EMS