

แบบจำลองการไหลของน้ำโลหะในแบบหล่อของกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง



นายธนศ ชูประยูร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELING OF MOLTEN METAL FLOW IN THE MOLD OF THE CONTINUOUS CASTING
PROCESS

Mr. Thanet Chooprayoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

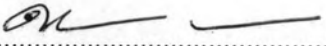
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

490612

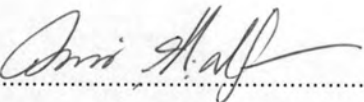
หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบจำลองการไหลของน้ำโลหะในแบบหล่อของกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง
โดย นาย ธเนศ ชูประยูร
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Professor Takateru Umeda, D.Eng.

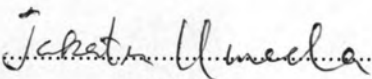
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

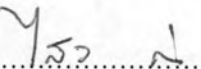

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

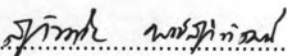
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ ณ อยุธยา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(Professor Takateru Umeda, D.Eng.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไสว ต้านชัยวิจิตร)


..... กรรมการ
(อาจารย์ สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์)

ธนศ ชูประยูร : แบบจำลองการไหลของน้ำโลหะในแบบหล่อของกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง. (MODELING OF MOLTEN METAL FLOW IN THE MOLD OF THE CONTINUOUS CASTING PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ์ ณ อุทยาน, อ. ที่ปรึกษาร่วม : Professor Takateru UMEDA, D. Eng. : 89 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการดัดแปลงและพัฒนา source code ของโปรแกรม CAFFA (Computer Aided Fluid Flow Analysis) เพื่อใช้คำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่ใช้สำหรับการศึกษารูปแบบการไหลของน้ำเหล็กและน้ำโลหะประเภทอื่น ภายในแบบหล่อประเภทแท่งแบนของกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง โปรแกรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite Volume Method) และภาษาฟอร์แทน เพื่อคำนวณสมการพื้นฐานของการไหลได้แก่ สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier - Stokes Equation) และคำนวณสมการความสัมพันธ์ของ Lorentz เพื่อหาแรงเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่สภาวะคงตัว สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้น อาศัยผลการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Water Model) ในส่วนของการคำนวณนั้นแบ่งออกเป็นสองกรณีหลักๆ คือ การคำนวณแบบไม่มีการประยุกต์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและการคำนวณที่มีการประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละกรณีก็จะแบ่งย่อยออกเป็นกรณีย่อยๆ อีก 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 การตรวจสอบผลของการเปลี่ยนมุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็ก กรณีที่ 2 การตรวจสอบผลของการเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็ก กรณีที่ 3 การตรวจสอบผลของการเปลี่ยนอัตราเร็วการหล่อ ที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็ก จากผลการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) พบว่าการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งสามกรณีย่อยๆ นั้น มีผลกระทบต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ และเมื่อคำนวณในกรณีที่มีการประยุกต์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อ คือแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถลดความรุนแรงของการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อของกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องลงได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....ธนศ ชูประยูร.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....Takateru UmEDA.....

ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....Takateru UmEDA.....

4770305721 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: MATHEMATICAL MODEL/ FINITE VOLUME METHOD/ CONTINUOUS CASTER/
INDUCED ELECTROMAGNETIC FORCE/ FLOW PATTERN

THANET CHOOPRAYOON: MODELING OF MOLTEN METAL FLOW IN THE
MOLD OF THE CONTINUOUS CASTING PROCESS. THESIS ADVISOR:
MAWIN SUPRADIST NA AYUDHAYA, Ph.D., THESIS COADVISOR :
PROF.TAKATERU UMEDA, D.Eng. , 89pp.

This thesis modify and develop the CAFFA-Program (Computer Aided Fluid Flow Analysis) for the computation and modeling of mathematical model to study the molten steel flow and also other liquid metals in slab continuous casting process. This program has been developed on the finite volume method and fortran language to solving the Navier-Stoke equation and Lorentz's law for induced electromagnetic force. In this case, study the steady state and 2 dimensional flow. Mathematical model verification has been investigated by comparison with the physical water model. The calculation was divided two cases. Case1: calculate the molten steel flow without electromagnetic field in slab continuous casting process. Case2: calculate the molten steel flow with electromagnetic field in slab continuous casting process. Each case was still divided in 3 cases such as changing of port angles, changing of port positions, and changing of casting speeds. Finally, we can conclude that the change of some parameter affect to the flow pattern of the molten steel within the mold of slab continuous caster. In electromagnetic field contribution case, the induced electromagnetic force can brake down the velocity of molten steel within the mold of slab continuous caster.

Department ..Metallurgical Engineering.....Student's signature.....*Thanet Chooprayoon*.....

Field of study..Metallurgical Engineering.....Advisor's signature.....*Mawin Supradist Na Ayudhaya*.....

Academic year....2006.....

Co-advisor's signature.....*Takateru UmEDA*.....

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยนี้เกิดขึ้นได้เพราะได้รับการดูแลเอาใจใส่ คอยชี้แนะจากหลายบุคคลที่เกี่ยวข้อง ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Professor Takateru UMEDA อาจารย์ ดร. มาวิน สุประดิษฐ์ ณ อยุธยา และอาจารย์ สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ ที่คอยดูแลและชี้แนะแนวทางในการศึกษาทำวิจัย ข้าพเจ้าขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาที่ได้กรุณาอบรม สั่งสอน องค์ความรู้ต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลากรตลอดจนนิสิตทุกท่านในภาควิชาที่มีส่วนช่วยเหลือเพื่อในหลายๆอย่างในการศึกษาทำวิจัย

ในโอกาสท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดามารดา คุณย่า ที่คอยอบรมเลี้ยงดูให้ความรักและความเอาใจใส่ ต่อข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณพี่และน้องทุกท่านในครอบครัว โดยเฉพาะน้อง ทินพงษ์ ชูประยูร น้องชายผู้เป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นห่วง กังวล เป็นแรงผลักดันและคอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนลมหายใจสุดท้าย ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบคุณอย่างสุดซึ้งไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ

บทที่

1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
	1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2	การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น.....	5
	2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
	2.2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	7
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	10
	3.1 ลักษณะเฉพาะของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ.....	10
	3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model Verification).....	14
	3.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองใน 2 มิติ.....	22
	3.4 การสร้างแบบจำลองในกรณีเปลี่ยนมุมของอุปกรณ์จ่ายน้ำหลัก (Changing of Port Angle of SEN) ในแบบจำลอง 2 มิติ.....	24

3.5	การสร้างแบบจำลองในกรณีเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็ก (Changing of Position of SEN) ในแบบจำลอง 2 มิติ.....	28
3.6	การสร้างแบบจำลองในกรณีการเปลี่ยนอัตราเร็วในการหล่อ (Casting Speeds) สำหรับการจำลองแบบ 2 มิติ.....	31
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
4.1	ผลการจำลองแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อในกรณีการเปลี่ยนมุม ของอุปกรณ์จ่ายในโลหะ (Changing of Port Angle of SEN).....	33
4.2	ผลการจำลองแบบการไหลของน้ำเหล็กภายในแบบหล่อกับกรณีการเปลี่ยน ตำแหน่งของอุปกรณ์จ่ายน้ำโลหะ (Depth of SEN).....	53
4.3	ผลการจำลองแบบการไหลของน้ำโลหะภายในแบบหล่อในสถานะที่มีการ เปลี่ยนอัตราเร็วในการหล่อ (Casting Speeds, m/s).....	69
5	สรุปผลการวิจัย.....	85
	รายการอ้างอิง.....	87
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	89

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	ค่าพารามิเตอร์และสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองแบบเพื่อตรวจสอบ ความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model).....	15
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองเพื่อตรวจสอบโปรแกรม.....	16
ตารางที่ 3.3	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบในกรณีเปลี่ยนมุมพอร์ต.....	25
ตารางที่ 3.4	แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองแบบภายใต้การเปลี่ยนตำแหน่ง ของอุปกรณ์จ่ายน้ำหลัก.....	28
ตารางที่ 3.5	แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบที่อัตราเร็วในการหล่อต่างๆ.....	32

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	แสดงกระบวนการหล่อแบบต่อเนื่องทั้งแบบ Vertical, Curved, และ Strip Casting.....	2
ภาพที่ 3.1	แสดงแบบหล่อประเภทแท่งแบนแบบต่อเนื่อง (Slab Continuous Caster) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 2 มิติ.....	12
ภาพที่ 3.2	แสดงการสร้าง Grid ที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลอง 2 มิติ.....	12
ภาพที่ 3.3	แสดงแนวทางการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณแบบจำลอง 2 มิติ.....	13
ภาพที่ 3.4	แสดงการจัดเรียงตำแหน่งร่วมของโหนดที่นำมาคำนวณในแต่ละแนวแกนตามระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite Volume Method) ใน 2 มิติ.....	13
ภาพที่ 3.5	แสดง Streamline ของ Mathematical model (a) กับ Physical water model (b) ของ Thomas B.G.....	15
ภาพที่ 3.6	แสดง Streamline ของ Calculated flow ของ Thomas B.G. (a) กับ Streamline ที่ได้ จาก Mathematical model โดย CAFFA-Program (b) ตามเงื่อนไขที่แสดงในตารางที่ 3.1.....	16
ภาพที่ 3.7	แสดงการตรวจสอบ Program Validation จำลองภายใต้เงื่อนไขที่แสดงในตารางที่ 3.2 ค่า $B_{max} = 0.5 T$ ที่ 0.4 m และ ตรวจสอบความเร็วที่ 0.6 m ต่ำกว่าเมนิสคัส.....	17
ภาพที่ 3.8	Physical water model ใน 3 มิติ ของ Thomas B.G. จำลองตามเงื่อนไขที่แสดงในตารางที่ 3.1.....	17
ภาพที่ 3.9	ลักษณะเส้นกราฟของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่ใช้ในการคำนวณค่า \bar{B}	20
ภาพที่ 3.10	Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	21
ภาพที่ 3.11	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 15°.....	25
ภาพที่ 3.12	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 15°.....	26

ภาพที่ 3.13	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 30°	26
ภาพที่ 3.14	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 45°	27
ภาพที่ 3.15	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 60°	27
ภาพที่ 3.16	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 30°	29
ภาพที่ 3.17	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.455 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 30°	29
ภาพที่ 3.18	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.355 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 30°	30
ภาพที่ 3.19	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.255 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 30°	30
ภาพที่ 3.20	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.155 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 30°	31
ภาพที่ 3.21	แบบจำลองขนาด 0.6 x 2.0 m ตำแหน่งความลึกอุปกรณ์จ่ายน้ำเหล็กสำหรับการจำลองแบบ (Depth of SEN) 0.555 m จากเมนิสคัส มุมก้ม 45°	32
ภาพที่ 4.1	แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนมุมพอร์ต (Port Angle) ที่มีต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กในแบบจำลอง แบบมี EMS และไม่มี EMS.....	52
ภาพที่ 4.2	แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนตำแหน่งพอร์ต (Port) ที่มีต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กในแบบจำลอง แบบมี EMS และไม่มี EMS.....	68
ภาพที่ 4.3	แสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนอัตราเร็วในการหล่อต่อรูปแบบการไหลของน้ำเหล็กในแบบจำลอง แบบมี EMS และไม่มี EMS.....	84