

ผลของการลื่นไหลของของไหลนิวโตเนียนสำหรับการวมตัวที่ห้วงดาวย

นางสาวนวลักษณ์ ทองจับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคณนา ภาควิชาคณิตศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5107-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21434876

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการลื่นไหลของของไหลนิวโตเนียนสำหรับการบวมตัวที่หัวใจ

โดย

นางสาวนวลลักษณ์ ทองจับ

สาขาวิชา

วิทยาการคณนา


อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ งามอร่ามวางกูร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จักษ์ อัครวานันท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ งามอร่ามวางกูร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย สาตราหา)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ ชนวีระยุทธ)

นวลักษณ์ ทองจับ : ผลของการลื่นไหลของของไหลนิวโตเนียนสำหรับการบวมตัวที่หัว
ตาย. (THE SLIP EFFECT OF A NEWTONIAN FLUID FOR A DIE-SWELL)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.วิมลรัตน์ งามอร่ามวรางกูร, 71 หน้า. ISBN 974-17-5107-9.

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ทำนายผลเฉลยของ
ปัญหาสถิต-สลิปและปัญหาการบวมตัวที่ปลายตาย โดยพิจารณาผลกระทบของการบวมตัวใน
กระบวนการอัดรีด ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตท่อพีวีซี และการผลิตภาชนะใส่ของชนิดต่างๆ ที่ทำจาก
เม็ดพลาสติก โดยทำการวิเคราะห์ผลจากการคำนวณผิวอิสระ ณ ผนังตายที่มีการลื่นไหลและ
ปราศจากการลื่นไหล ในระบบพิกัดทรงกระบอก 2 มิติ โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขชั้นประกอบ
อันตะเซมิอิมพีซิท์เทย์เลอร์กาลีเลอริคินแพรชเชอร์คอร์เรคชัน เพื่อศึกษาการไหลแบบช้าๆ ที่ไม่มีการ
บีบอัดตัว สำหรับของไหลนิวโตเนียนและของไหลวิสโคอีลาสติก เปรียบเทียบผลที่ได้จากปัญหา
สถิต-สลิปและปัญหาการบวมตัวที่ปลายตายสำหรับของไหลนิวโตเนียน ร่วมกับงานวิจัยเชิงตัวเลข
อื่น แต่ศึกษาปัญหาสถิต-สลิปสำหรับของไหลวิสโคอีลาสติกตัวแบบอีลครอยด์บี ร่วมกับผลงานที่
ผู้อื่นได้ทำมาแล้ว เพื่อเป็นการนำร่องสู่ปัญหาการบวมตัวที่ปลายตาย และทำการปรับเปลี่ยนค่า
ไวเซนเบอร์กซึ่งเป็นค่าบอกความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอมเหลว งานวิจัยนี้นำหลักการเกอ
เดียนตริคัพเวอร์ริความเร็วมาใช้ปรับความราบเรียบของผลเฉลย และนำเทคนิคการคำนวณการ
แสดงเวกเตอร์ภาพฉายของผิวผลเฉลยมาแก้ไขเวกเตอร์ความเร็ว หลังจากการปรับปรุงโครงข่าย
รวมทั้งการเพิ่มความละเอียดของโครงข่ายเพื่อปรับค่าผลเฉลยให้มีความแม่นยำขึ้น

ภาควิชา คณิตศาสตร์ ลายมือชื่อผู้เขียน
สาขาวิชา วิทยาการคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

THE SLIP EFFECT OF A NEWTONIAN FLUID FOR A DIE-SWELL

Miss Nawalax Thongjub

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computational Science

Department of Mathematics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5107-9

4472299723 : MAJOR COMPUTATIONAL SCIENCE
KEY WORD: SLIP, DIE-SWELL, FINITE ELEMENT

NAWALAX THONGJUB : THE SLIP EFFECT OF A NEWTONIAN
FLUID FOR A DIE-SWELL. THESIS ADVISOR : ASSISTANT
PROFESSOR VIMOLRAT NGAMARAMVARANGGUL, Ph.D. 71 pp.
ISBN 974-17-5107-9.

This thesis is concerned with the numerical prediction of stick-slip and die-swell problems. The primary effect of die-swell is considered in the extrusion process to produce PVC pipes and various plastic containers. The computation of free surfaces with and without slip at die-wall is analysed in an axisymmetric coordinate system. Numerical solutions are computed by a semi-implicit Taylor-Galerkin/pressure-correction finite element scheme. Solutions for two-dimensional incompressible creeping flow of Newtonian and viscoelastic fluids are presented. Die-swell simulations for Newtonian fluid and stick-slip flow are compared with other literature for an Oldroyd-B model. Variation in Weissenberg number (We) of polymeric viscosity is investigated. The work involves velocity gradient recovery technique for adjusting the smooth solutions. The surface solution of reprojction method is used after remeshing to modify velocity vector. Effects of mesh refinement on improving solution accuracy are given.

Department Mathematics Student's signature.....

Field of study ... Computational Science Advisor's signature

Academic year 2003..... Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลรัตน์ งามอร่ามวรางกูร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับ ความรู้ คำปรึกษา และคำชี้แนะต่างๆ ที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ทั้งการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นใน การทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จักร์ อิศวานันท์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย สัตตวาทา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ ขนวิระยุทธ กรรมการ รวมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ ที่ได้ให้คำชี้แนะและความรู้ใน การทำงานวิจัยนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษดา นารอง และคุณสายธาร เทนอิสระ ที่ได้แนะนำ วิธีการใช้โปรแกรมกราฟฟิคในการจำลองปัญหา ขอขอบพระคุณ คุณภณัฐ กัวยเจริญพานิชย์ และ คุณศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์ ที่ได้ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ตลอดจนเพื่อนๆ และรุ่นพี่ปริญญาโททุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ให้กำลังใจและสนับสนุน การศึกษาของผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็น กตัญญูตราบูชาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 วิธีการดำเนินงานและขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 สมการพื้นฐานของการไหล	4
2.1 ประเภทของของไหล	4
2.2 สมการพื้นฐาน	4
2.3 สมการองค์ประกอบ	8
2.3.1 ตัวแบบแมกซ์เวลล์	8
2.3.2 ตัวแบบอีออลดรอยด์	9
2.4 การไหลแบบเฉือนอย่างง่าย	10
บทที่ 3 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	12
3.1 ระเบียบวิธีขั้นประกอบอันดับ	12
3.2 ขั้นประกอบอันดับ	15
3.3 การแก้ปัญหาในระบบสมการเชิงเส้น	19
3.4 เกรเดียนตรีคัพเวอร์รี	21
3.5 ค่าอินเวเรียนอันดับสองของเทนเซอร์ของอัตราการผลิตรูป	22

3.6	ตำแหน่งมิวอิสระ	22
3.6.1	วิธีการทำนายสายกระแส	23
3.6.2	วิธีการทำนายของตัวแบบอัลดรอยด์บี	24
3.7	การแสดงผลเวกเตอร์ภาพฉายของผิวผลเฉลย	25
3.8	ค่าคลาดเคลื่อน	26
3.9	ขั้นตอนของเทอร์เลอร์ กาลเลอร์คิน	26
บทที่ 4	การไหลแบบมิวอิสระ	32
4.1	ของไหลนิวโตเนียน	34
4.1.1	ปัญหาสถิต-สถิต	36
4.1.2	ปัญหาการรวมตัวที่ปลายตาย	37
4.2	ผลที่ได้รับ	38
4.2.1	ผลของสถิต-สถิต	38
4.2.2	ผลของการรวมตัวที่ปลายตาย	41
4.3	สรุปผล	45
บทที่ 5	การลื่นไหลบริเวณปลายตาย	46
5.1	ปัญหาพิเศษ	47
5.2	ความเร็วบริเวณผนังตายที่มีการลื่นไหล	48
5.3	ผลที่ได้รับ	49
5.4	สรุปผล	54
บทที่ 6	ของไหลวิสโคอีลาสติก	55
6.1	ตัวแบบอัลดรอยด์บี	55
6.2	ผลที่ได้รับ	56
6.3	สรุปผล	61
บทที่ 7	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
7.1	สรุปผลการวิจัย	62
7.2	ข้อเสนอแนะ	62

รายการอ้างอิง	63
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการทำงานของกรปรับผิวอิสระที่มีการบวมตัว	67
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการทำงานของกรหาค่าความเร็วบริเวณผนัง	69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	71

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	การประมาณค่าปริพันธ์ของเกาส์-เลอจองด์ใน 2 มิติแบบค่าน้ำหนัก 4 จุด	19
ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบโครงข่ายรูปสามเหลี่ยม 6 โหนด	36
ตารางที่ 4.2	เปรียบเทียบความเร็วและความดันของปัญหาสถิต-สลิป	38
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบอัตราการรวมตัว	41
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบผลลัพธ์ของปัญหาการรวมตัวที่ปลายตาย	42
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบผลเฉลยระหว่างปัญหาสถิต-สลิปกับการรวมตัวที่ปลายตาย	44
ตารางที่ 5.1	เปรียบเทียบผลเฉลยจากสัมประสิทธิ์การเลื่อนไหลสำหรับโครงข่าย 16 ชั้นประกอบ	49
ตารางที่ 5.2	ผลเฉลยของปัญหาการรวมตัวที่ปลายตายระหว่างผนังที่มีการเลื่อนไหล และผนังที่ไม่มีการเลื่อนไหลสำหรับโครงข่าย 64 ชั้นประกอบ	53
ตารางที่ 6.1	เปรียบเทียบผลลัพธ์ของปัญหาสถิต-สลิปที่ $We = 0$	56
ตารางที่ 6.2	เปรียบเทียบผลเฉลยของปัญหาสถิต-สลิปของค่าไวเซนเบอร์ที่ต่างกัน	58

สารบัญญภาพ

		หน้า
รูปที่ 3.1	โครงข่ายในโดเมน 2 มิติ	
	(a) ชั้นประกอบแบบสามเหลี่ยม	13
	(b) ชั้นประกอบแบบสี่เหลี่ยม	13
รูปที่ 3.2	โดเมนและขอบใน 2 มิติ	14
รูปที่ 3.3	ระบบพิกัดวงกลาง	16
รูปที่ 3.4	ชั้นประกอบรูปสามเหลี่ยม 6 โหนด	17
รูปที่ 3.5	ชั้นประกอบรูปสามเหลี่ยมในพิกัดวงกลาง	
	(a) ชั้นประกอบ 3 โหนด	18
	(b) ชั้นประกอบ 6 โหนด	18
รูปที่ 3.6	ของไหลที่พุ่งออกจากตาย	22
รูปที่ 3.7	การพิจารณาโนดที่ใช้ในการทำนายการรวมตัว	23
รูปที่ 3.8	การปรับผิวอิสระ	25
รูปที่ 4.1	การไหลผ่านตาย	34
รูปที่ 4.2	การไหลผ่านตายระนาบครึ่งบน	35
รูปที่ 4.3	โครงข่ายรูปสามเหลี่ยม 6 โหนด	
	(a) 16 ชั้นประกอบ	35
	(b) 36 ชั้นประกอบ	35
	(c) 64 ชั้นประกอบ	35
รูปที่ 4.4	การไหลแบบสถิต-สถิประนาบครึ่งบน	36
รูปที่ 4.5	การรวมตัวที่ปลายตายระนาบครึ่งบน	37
รูปที่ 4.6	แสดงระดับผลลัพธ์ด้วยสีของปัญหาสถิต-สถิสำหรับ	
	โครงข่าย 64 ชั้นประกอบ	
	(a) ความเร็วในแนวแกน z (V_z)	39
	(b) ความเร็วในแนวแกน r (V_r)	39
	(c) ความดัน (P)	39
	(d) ค่าอินเวเรียนอันดับสองของเทนเซอร์ของอัตราการผลิตรูป (II)	39

รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่าความเร็วในแนวแกน z กับรัศมีของด้าย	
	(a) $z \leq 0$	40
	(b) $z \geq 0$	40
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงค่า II กับระยะห่างของด้ายบนผิวอิสระของปัญหาสถิต-สถิต	41
รูปที่ 4.9	การแสดงผลด้วยสีของปัญหาการรวมตัวที่ปลายด้ายสำหรับ โครงข่าย 64 ชั้นประกอบ	
	(a) V_z	42
	(b) V_r	42
	(c) P	42
	(d) Π	42
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงค่า II กับระยะห่างของด้ายบนผิวอิสระของ ปัญหาการรวมตัวที่ปลายด้าย	43
รูปที่ 4.11	กราฟอัตราการรวมตัวสำหรับโครงข่าย 64 ชั้นประกอบ	44
รูปที่ 5.1	การลื่นไหลที่มีการรวมตัวบริเวณปลายด้ายระนาบครึ่งบน	48
รูปที่ 5.2	การแสดงผลด้วยสีของค่าความดันเมื่อมีการเปลี่ยน ค่าสัมประสิทธิ์การลื่นไหล สำหรับโครงข่าย 16 ชั้นประกอบ	
	(a) $\alpha = 0.1$	50
	(b) $\alpha = 0.25$	50
	(c) $\alpha = 0.5$	50
	(d) $\alpha = 1.0$	50
รูปที่ 5.3	การแสดงผลด้วยสีของปัญหาการลื่นไหลบริเวณปลายด้าย สำหรับโครงข่าย 64 ชั้นประกอบ	
	(a) V_z	51
	(b) V_r	51
	(c) P	51
	(d) Π	51
รูปที่ 5.4	กราฟแสดงค่า II กับระยะห่างของด้ายบนผิวอิสระของปัญหาการลื่นไหล ที่ปลายด้าย สำหรับโครงข่าย 64 ชั้นประกอบ	52
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงเปรียบเทียบอัตราการรวมตัวปัญหาการรวมตัวที่ปลายด้าย ระหว่างผนังที่มีการลื่นไหลและผนังที่ไม่มีการลื่นไหล	53
รูปที่ 6.1	การไหลแบบสถิต-สถิตสำหรับระนาบครึ่งบนของตัวแบบอีลดรอยด์บี	55

รูปที่ 6.2	การแสดงผลระดับผลลัพท์ด้วยสี ของปัญหาสถิต-สถิตที่ $We = 0$ สำหรับโครงข่าย 36 ชั้นประกอบ	
	(a) τ_{rr}	57
	(b) τ_{rz}	57
	(c) τ_{zz}	57
	(d) $\tau_{\theta\theta}$	57
รูปที่ 6.3	การแสดงผลระดับผลลัพท์ด้วยสี ของปัญหาสถิต-สถิตที่ $We = 1$ สำหรับโครงข่าย 36 ชั้นประกอบ	
	(a) V_z	59
	(b) V_r	59
	(c) P	59
	(d) τ_{rr}	59
	(e) τ_{rz}	59
	(f) τ_{zz}	59
	(g) $\tau_{\theta\theta}$	59
รูปที่ 6.4	กราฟแสดงค่า II กับระยะห่างของคานบนผิวอิสระสำหรับปัญหาสถิต-สถิต ของของไหลวิสโคอีลาสติกแบบอีลครอยด์บี	60