

รายการอ้างอิง

- [1] J.E. Matta and R.P. Tytus, "Liquid Stretching Using a Falling Cylinder", *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 35 (1990): 215-229.
- [2] V. Tirtaatmadja and T. Sridha, "A Filament Stretching Device for Measurement of Extensional Viscosity", *J. Rheol.*, 37 (1993): 1081-1102.
- [3] V. Tirtaatmadja and T. Sridha, "Comparison of Constitutive Equations for Polymer Solutions in Uniaxial Extension", *J. Rheol.*, 39 (1995): 1133-1160.
- [4] S.H. Spiegelberg, D.C. Abels and G.H. McKinley, "The Role of End-effects on Measurement of Extensional Viscosity in Filament Stretching Rheometers", *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 64 (1996): 229-267.
- [5] M.J. Solomon and S.J. Muller, "The Transient Extensional Behavior of Polystyrene-based Boger Fluids of Varying Solvent Quality and Molecular weight", *J. Rheol.*, 40 (1996): 837-856.
- [6] R. Sizaire and V. Legat, "Finite Element Simulation of a Filament Stretching Extensional Rheometer", *Int. J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 77 (1997): 89-107.
- [7] M. Yao and G.H. McKinley, "Numerical Simulation of Extensional Deformations of Viscoelastic Liquid Bridges in Filament Stretching Device", *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 79 (1998): 469-501.
- [8] J.F. Thompson, Z.U.A. Warsi and C.W. Mastion, "Numerical Grid Generation: Foundation and applications", North-Holland, 1985.
- [9] S. Gaudet and G.H. McKinley, "Extensional Deformation of Newtonian Liquid Bridges", *Phys. Fluids.*, 8 (1996): 2568-2579.
- [10] S. Gaudet and G.H. McKinley, "Extensional Deformation of Non-Newtonian Liquid Bridges", *Comp. Mechs.*, 22 (1998): 461-476.
- [11] O. Hassager, M.I. Kolte and M. Renardy, "Failure and Non-failure of Fluid Filament in Extension", *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 76 (1998): 137-151.
- [12] M.I. Kolte and P. Szabo, "Capillary Thinning of Polymeric Filaments", *J. Rheol.*, 43 (1999): 609-625.
- [13] A. Ainsler, C. Carrot, J. Guillet and I. Sirikov, "Transient Viscoelastic Analysis of Falling Weight Experiment", XIIIth Int. Cong. Rheol., Cambridge, UK, 2 (2000): 259-261.
- [14] M.S. Chandio, H. Matallah and M.F. Webster, "Numerical Simulation of Viscous Filament Stretching Flows", *Int. J. Num. Meth. Heat Fluid Flow*, 13 (2003): 899-930.

- [15] P. Townsend and M.F. Webster, "An Algorithm for the Three-dimensional Transient Simulation of Non-Newtonian Fluid Flows", Proc. NUMERTA 87, 1987.
- [16] D.M. Hawken, H.R. Tamaddon-Jahromi, P. Townsend and M.F. Webster, "A Taylor-Galerkin Based Algorithm for Viscous Incompressible Flow", Int. J. Num. Meth. Fluids, 10 (1990): 327-351.
- [17] K.S. Sujatha and M.F. Webster, "Transient Simulation for Nano-scale Filament Stretching with Large Deformation-rates", Research progress report, Department of Computer Science, University of Wales, Swansea.
- [18] D.H. Morton-Jones, "Polymer Processing", Chapman & Hall, London, 1989.
- [19] R.B. Bird and R.C. Armstrong, "Stress Tensor for Arbitrary Flows of Dilute Solutions of Rodlike Macromolecules", J. Chem. Phys., 58 (7) (1973): 2715-2723.
- [21] รศ. ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ ผศ. ดร. ชาคริต สิริสิงห์, "พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์ หลอมเหลวและการนำไปใช้", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- [22] K. Walter, "Rheometry", Chapman & Hall, 1975.
- [23] H.A. Bernes, J.F. Hutton and K. Walter, "An Introduction to Rheology", Rheology series 3, Elsevier Sci. Pub., Amsterdam, 1989.
- [24] R.S. Rivlin and J.L. Eriksen, "Stress Deformation Relations for Isotropic Material", J. Rat. Mech. Anal., 4 (1955): 323-425.
- [25] M. Reiner, "Deformation Strain and Flow", Wiley, New York, 1960.
- [26] C. Runge, Z. Math. Phys., 56 (1908): 255.
- [27] L.F. Richardson, "The approximate arithmetical solution by finite element of physical problems involving differential equations, with an application to the stress in a masonry dam", Philos. Trans. Roy. Soc. London, ser. A, 210 (1910): 307-357.
- [28] R.V. Southwell and G. Vaisey. "Fluid motions characterized by 'free' stream-lines", Phil. Trans., 240 (1946): 117-161.
- [29] D.M. Young and M.F. Wheeler, "In Nonlinear Problems in Engineering", ed. W.F. Ames, New York, (1964): 220-246.
- [30] R.D. Richtmyer and K.W. Morton, "Difference Method for Initial Value Problems", John Wiley and Sons, 2nd Eds., New York, 1967.
- [31] P.J. Roache, "Computational Fluid Dynamics", (Hermosa, Albuquerque, NM), 1976.

- [32] M.J. Crochet, A.R. Davies and K. Walters, "Numerical Simulation of Non-Newtonian Flow", Elsevier, London, 1984.
- [33] O.C. Zienkiewicz and Y.K. Cheung, "Finite Element in the Solution of Field Problems", *The Engineer*, (1965): 507-510.
- [34] J.T. Oden, "Finite Element of Nonlinear Continua", McGraw-Hill, New York, 1972.
- [35] T.J. Chung, "Finite Element Analysis in Fluid Dynamics", McGraw-Hill International Book company, USA, 1978.
- [36] A.J. Baker, "Finite Element Solution Algorithm for Viscous Incompressible Fluid Dynamics", *Int. J. Num. Meth. Eng.*, 6 (1973): 89-101.
- [37] A.J. Baker, "Finite Element Solution Algorithm for Navier-Stokes Equations", Technical Report, NASA, CR-2391, 1974.
- [38] A.J. Baker, "Finite Element Computational Fluid Dynamics", McGraw-Hill Book company(UK) Limited, USA, 1985.
- [39] T.J. Chung, "Computational Fluid Dynamics", Cambridge University Press, 2002.
- [40] J. Donea, "A Taylor-Galerkin Method for Convective Transport Problems", *Int. J. Num. Meth. Eng.*, 20 (1984): 101-119.
- [41] J. Crank and P. Nicolson, "A Practical Method for Numerical Evaluation of Solution of Partial Differential equations of the Heat-conduction Type", *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 43 (1947): 50-67.
- [42] J.N. Reddy, "An Introduction to the Finite Element Method", McGraw-Hill, 1984.
- [43] P. Townsend and M.F. Webster, (a), "A Comparison of Gradient recovery methods in Finite Element Calculations", *Comm. Appl. Num. Meth.*, 7 (1991): 195-204.
- [44] N. Levine, "Superconvergent Recovery of the Gradient from Finite Element Approximation on Triangles", Technical report Num. Anal. Rep. 6/83, University of Reading, U.K., 1983.
- [45] N. Levine, "Superconvergent Estimation of the Gradient from Linear Finite Element Approximation of Triangular elements", Ph.D. Thesis, University of Reading, U.K., 1985.
- [46] B. Boroomand and O.C. Zienkiewicz, "An Improve REP Recovery and the Effectively Robustness test", *Int. J. Num. Meth. Eng.*, 40 (1997): 3247-3277.
- [47] B. Boroomand and O.C. Zienkiewicz, "Recovery by Equilibrium in Patches (REP)", *Int. J. Num. Meth. Eng.*, 40 (1997): 137-164.

- [48] O.C. Zienkiewicz and J.Z. Zhu, "Superconvergent and Superconvergent patch Recovery Finite Element in Analysis and Design", 19 (1995): 11-23.
- [49] H. Matallah, "Numerical Simulation of Viscoelastic Flows", PH.D. Thesis, University of Wales Swansea, U.K., 1998.
- [50] G.H. McKinley, "Presentation to XIII th", Int. Cong. Rheol.
- [51] V.G. Levich, "Physicochemical Hydrodynamics", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1962.
- [52] R. Keunings, "An Algorithm for the Simulation of Transient Viscoelastic Flows with Free Surface", J. Comp. Phys., 62 (1985): 199-220.
- [53] G.H. McKinley, "Steady and Transient Motion of a Sphere Sedimenting Through Shear-thinning and Constant-viscosity Elastic Fluids", BSR Annual Award Lecture, IX th International Workshop on Numerical Methods in Non-Newtonian Flows, 1995.




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

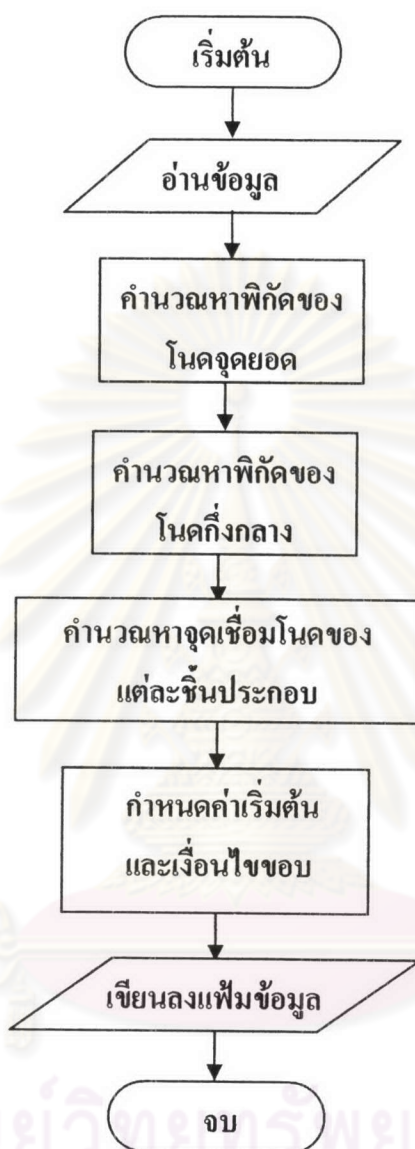
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม **GENGRID**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผังการทำงานของโปรแกรม GENGRID



คำอธิบายการทำงานของโปรแกรม GENGRID

- อ่านข้อมูล

ทำการอ่านข้อมูลลักษณะของโครงข่ายที่ต้องการทำสำหรับแต่ละปัญหา เช่นจำนวนส่วนที่แบ่ง (section) จำนวนช่องที่จะแบ่งในแนวแถวและแนวหลัก ค่าอัตราการโอนเคียงของโครงข่าย และพิกัดที่มุมของโดเมนที่พิจารณาโดยจะทำการอ่านข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลที่สร้างขึ้นสำหรับโปรแกรม GENGRID

- คำนวณหาพิกัดของ โหนดจุดยอด


พิจารณาโครงข่ายเป็นโครงสร้าง ดังนั้นการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดของโนดจุดยอดในโดเมนสามารถหาได้จากการเทียบอัตราส่วนทั้งในแนวแกน r และ z ให้สอดคล้องกับพิกัดที่มุมของโดเมน

- คำนวณหาพิกัดของโนดกึ่งกลาง ซึ่งคือจุดกึ่งกลางระหว่างโนดจุดยอด 2 จุดใดๆ
- คำนวณหาจุดเชื่อม โนดของแต่ละชั้นประกอบ
คำนวณหาจุดเชื่อม โนดของแต่ละชั้นประกอบ โดยจะทำการเรียงเลข โนดในชั้นประกอบ

จากโนดจุดยอด แล้วตามด้วยโนดกึ่งกลาง ในทิศทางเข็มนาฬิกา

- กำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบ
กำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบของปัญหาที่ไม่ขึ้นกับเวลา
- เขียนลงเพิ่มข้อมูล
เขียนลงเพิ่มข้อมูลเพื่อเป็นเพิ่มข้อมูลเข้าของโปรแกรม FILAMENT_NEWTONIAN

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

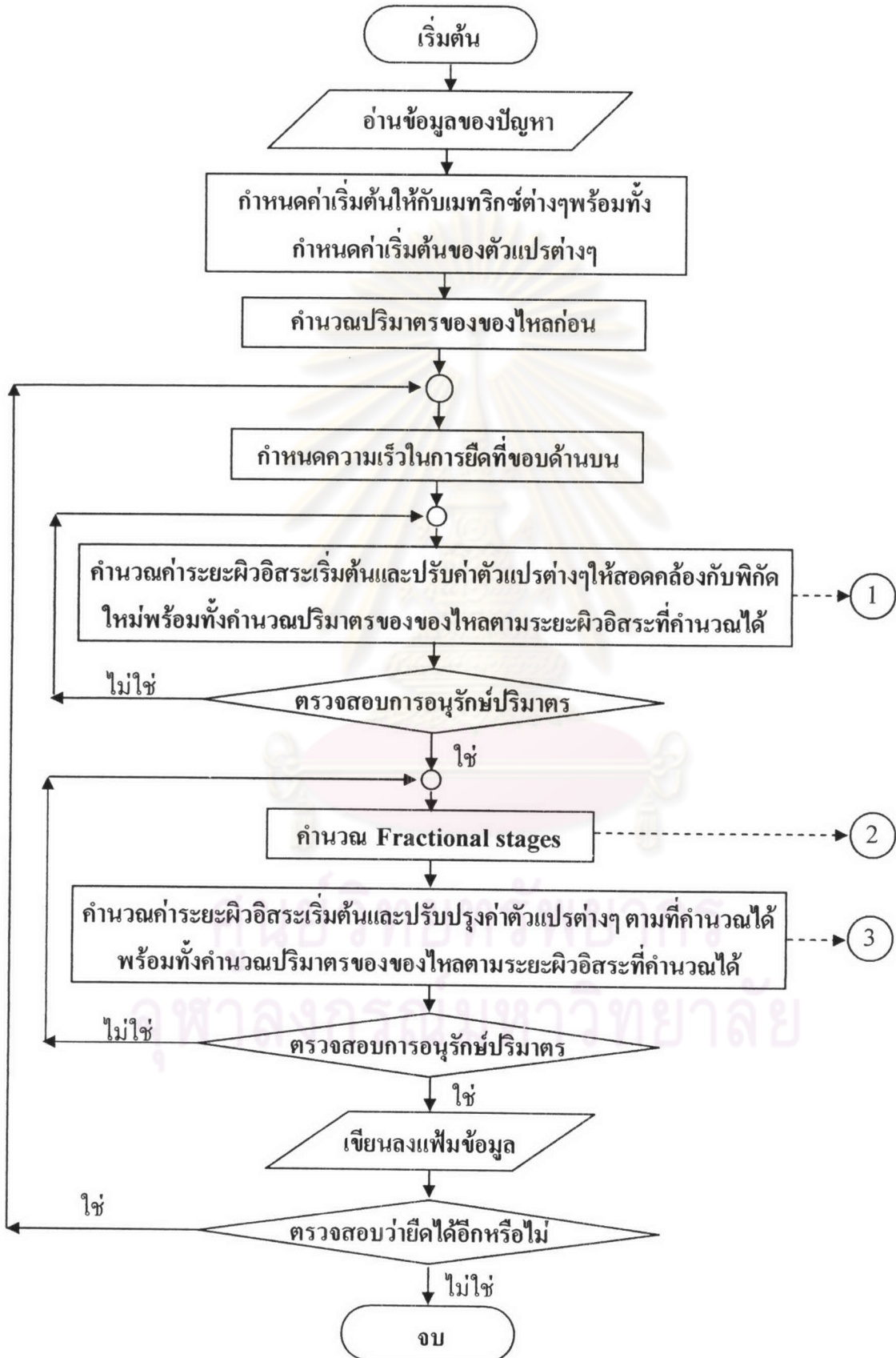


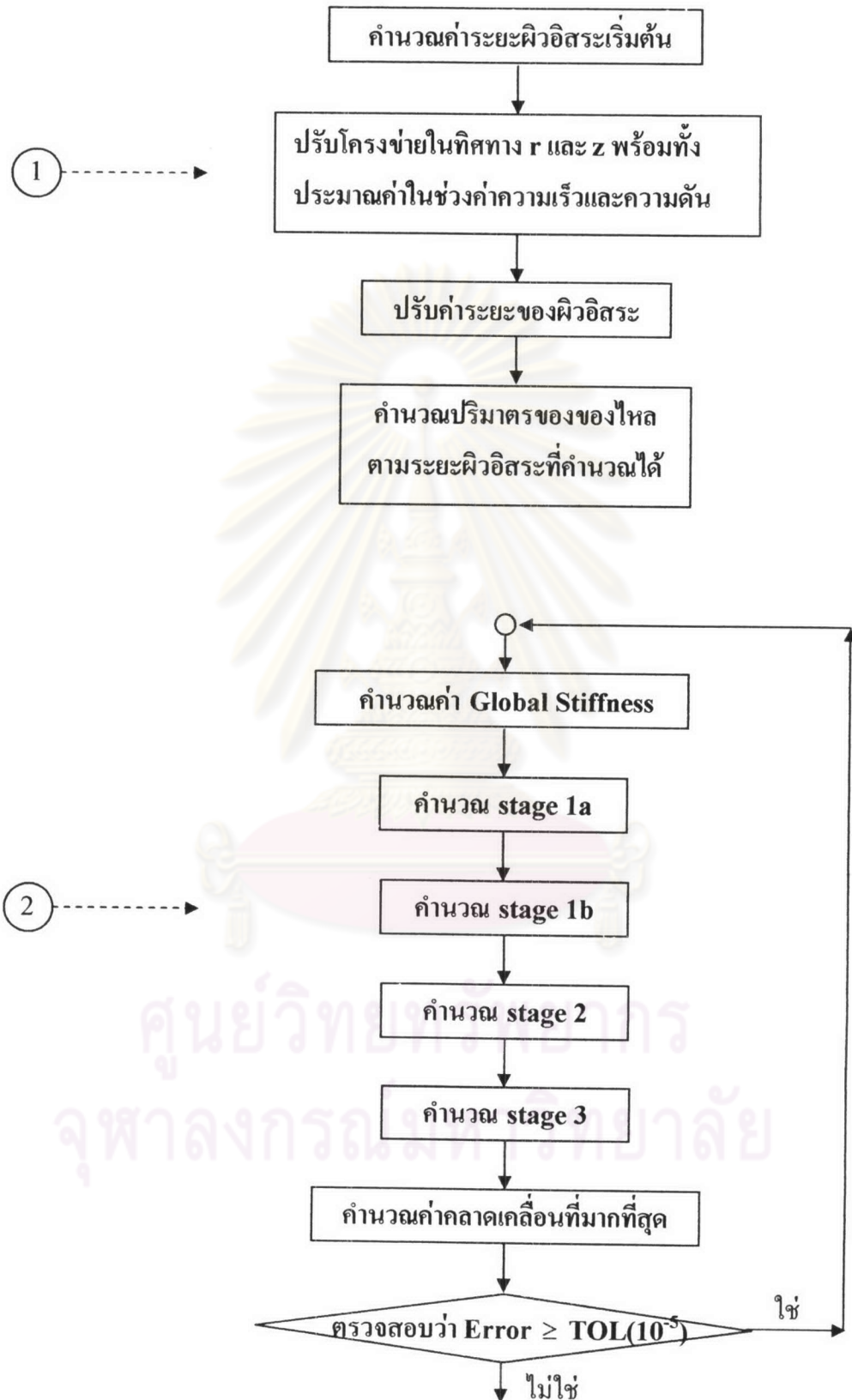
ภาคผนวก ข

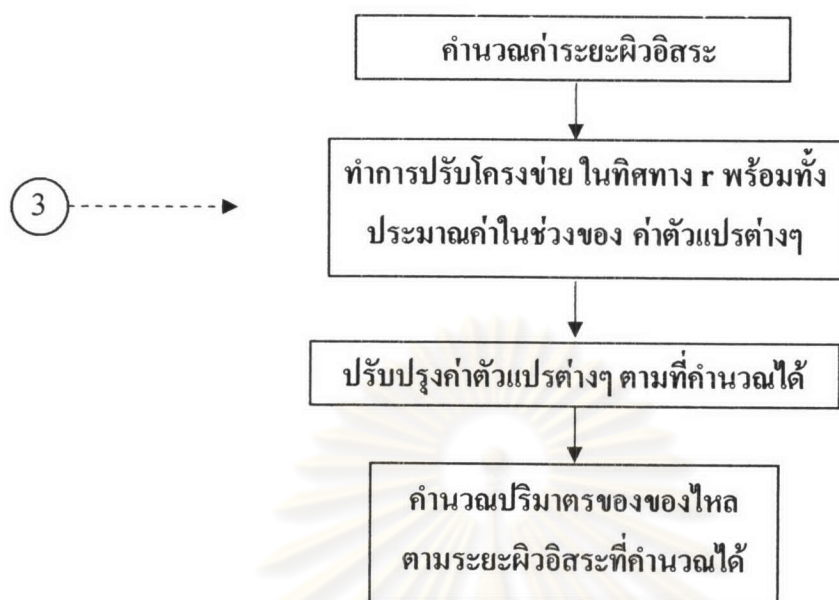
รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม FILAMENT_NEWTONIAN

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผังการทำงานของโปรแกรม **FILAMENT NEWTONIAN**







คำอธิบายการทำงานของโปรแกรม FILAMENT_NEWTONIAN

- อ่านข้อมูลของปัญหา
ทำการอ่านข้อมูลของปัญหา เช่นจำนวนชิ้นประกอบ จำนวนโนด จุดเชื่อมโนดของชิ้นประกอบ ค่าเริ่มต้นและค่าขอบที่แต่ละโนด โดยจะทำการอ่านข้อมูลจาก เพิ่มข้อมูลออก ของโปรแกรม GENGRID ซึ่งกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.2
- กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับเมทริกซ์ต่างๆ พร้อมทั้งกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆ
กำหนดให้เมทริกซ์ทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อป้องกันการนำค่าอื่นมาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของภาษาซี
- คำนวณปริมาตรของของไหลก่อนยึด
คำนวณปริมาตรของของไหลขณะอยู่หนึ่งก่อนยึดอยู่ในลักษณะทรงกระบอกซึ่งเป็นปริมาตรจริงของของไหลที่กำลังพิจารณา
- กำหนดความเร็วในการยึดที่ขอบด้านบน
กำหนดความเร็วในการยึดที่ขอบด้านบนตามสมการที่ (4.1) เพื่อจะทำการยึดใน 1 ชั้น โดยเพิ่มค่าความเค้นของเฮนคีย์ทีละ 0.32
- กำหนดค่าระยะผิวอิสระเริ่มต้นและปรับค่าตัวแปรต่างๆให้สอดคล้องกับพิกัดใหม่พร้อมทั้งคำนวณปริมาตรของของไหลตามระยะผิวอิสระที่คำนวณได้
เมื่อทำการยึดใน 1 ชั้น ระยะผิวอิสระจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปไป แต่เราจะหาค่าระยะผิวอิสระจริงๆ ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขขอบที่ผิวอิสระจาก stage 4 ซึ่งอยู่ในส่วนของการคำนวณ

Fractional stages ดังนั้นจึงคำนวณระยะผิวอิสระเริ่มต้นก่อน โดยที่เราทราบระยะยึดขึ้นในแนวแกน z ($L(t)$) ระยะรัศมีน้อยที่สุด ($R_{\min}(t)$) และนำความรู้เรื่องวิธีการส่งเชิงวงรี มาช่วยในการคำนวณ ต่อจากนั้นเราจะเห็นว่าที่แต่ละ โหนดของแต่ละชั้นประกอบมีพิกัดเปลี่ยนไปจึงต้องทำเทคนิคการปรับโครงข่าย ในทิศทาง r และทิศทาง z เพื่อปรับพิกัดให้สอดคล้องกับระยะผิวอิสระเริ่มต้นที่คำนวณได้ และปรับค่าตัวแปรความเร็วและความดันที่โหนดต่างๆ ให้สอดคล้องกับพิกัดใหม่ โดยวิธีการประมาณในช่วงสำหรับบริเวณที่อยู่ในโดเมนก่อนการยึด แต่ส่วนที่อยู่นอกบริเวณก่อนการยึดในขั้นนี้จะยังคงค่าเดิมที่จุดนั้น ต่อจากนั้นคำนวณปริมาตรของของไหลที่ค่าความเค้นของเฮนคีย์นั้นๆ จากการคำนวณผลรวมปริมาตรของกรวยตัดยอด

- ตรวจสอบการอนุรักษ์ปริมาตร

ในธรรมชาติ ของไหลชนิดเดียวกันภายใต้สภาวะเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะยังคงรักษาปริมาตรไว้คงเดิม เราจึงต้องตรวจสอบเงื่อนไขการอนุรักษ์ปริมาตรนี้เพราะการคำนวณอาจเกิดความคลาดเคลื่อนแต่เรายังคงต้องรักษาความหมายเชิงกายภาพไว้ ดังนี้

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = | \text{ปริมาตรใหม่} - \text{ปริมาตรจริง} |$$

ถ้า ความคลาดเคลื่อน มีค่าไม่น้อยกว่า 10^{-3} ที่เรากำหนดให้กลับไปคำนวณคำนวณค่าระยะผิวอิสระเริ่มต้นใหม่ ทำอย่างนี้จนกระทั่งความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยเพียงพอต่อความต้องการ

- คำนวณ Fractional stages

ในส่วนของ Fractional stages เป็นส่วนที่ถือว่าเป็นส่วนหลักของโปรแกรม FILAMENT_NEWTONIAN เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยของปัญหา โดยทำการคำนวณตามสมการในบทที่ 3 มีขั้นตอนดังนี้

-- คำนวณ Global stiffness เช่นเมทริกซ์ $[M_{ij}]$ $[K_{ij}]$ $[L_r]_{ij}$ ฯลฯ

-- คำนวณ stage 1a และ stage 1b เพื่อทำนายค่าความเร็วเริ่มต้นทั้งในสองทิศทาง

-- คำนวณ stage 2 โดยนำค่าความเร็วที่ทำนายจาก stage 1 มาคำนวณหาค่าความดัน

-- คำนวณ stage 3 โดยใช้ค่าความดันจาก stage 2 มาปรับค่าความเร็วให้ถูกต้อง

โดยทั้ง 3 stage นี้จะหาผลเฉลยโดยใช้วิธี SOR

-- ทำการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนว่าน้อยเพียงพอต่อการยอมรับได้หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปคำนวณในส่วนของ Fractional stages อีกครั้ง ทำอย่างนี้ไปจนกระทั่งได้ผลเฉลยที่มีความแม่นยำตรงตามที่ต้องการ แล้วจึงคำนวณในส่วนต่อไป

- คำนวณค่าระยะผิวอิสระและปรับปรุงค่าตัวแปรต่างๆ ตามที่คำนวณได้พร้อมทั้งคำนวณปริมาตรของของไหลตามระยะผิวอิสระที่คำนวณได้

ในการคำนวณค่าระยะผิวอิสระ จะคำนวณให้สอดคล้องกับเงื่อนไขขอบที่ผิวอิสระ โดยนำค่าความเร็วที่ได้จากการคำนวณในส่วนของ Fractional stages มาใช้ในการคำนวณหาค่าระยะผิว

อิสระ ในส่วนของการคำนวณนี้เราจะใช้วิธีผลต่างอันตะข้างหน้า (forward finite difference) สำหรับนิพจน์ของเวลา และใช้ Crank Nicolson มาทำการวิฤต นิพจน์ที่ 2 ของสมการ (4.6) เพื่อลดการเกิดความไม่มีเสถียรภาพที่ผิวอิสระ ตามที่ M.S. Chandio et al. [14] ได้กล่าวไว้ เมื่อเรากำหนดค่าระยะผิวอิสระ แล้วจะทำการปรับโครงข่าย เพื่อให้เข้ากับพิกัดใหม่ที่คำนวณได้ โดยใน ส่วนนี้จะทำการปรับโครงข่าย เฉพาะทิศทาง r เนื่องจากได้ยึดโครงข่ายขึ้นในทิศทางของแกน z แล้ว ในส่วนของการคำนวณค่าระยะผิวอิสระเริ่มต้น ค่าตัวแปรต่างๆที่โนคเดิมจะต้องปรับปรุงให้เข้ากับตำแหน่งใหม่ โดยทำการประมาณค่าในช่วงของค่าต่างๆ ไปที่พิกัดใหม่ของเลขโนคนั้นๆ ต่อจากนั้นทำการคำนวณหาค่าปริมาตรของของไหลใหม่ตามระยะผิวอิสระที่คำนวณได้ เพื่อนำไปตรวจสอบการอนุรักษ์ปริมาตรต่อไป

- ตรวจสอบการอนุรักษ์ปริมาตร
- เขียนลงเพิ่มข้อมูล

การเขียนลงเพิ่มข้อมูลจะเขียนในลักษณะเดียวกับเพิ่มข้อมูลเข้าเพราะจะสามารถนำมาประมวลผลต่อได้

- ตรวจสอบว่ายึดได้อีกหรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์ เกิดเมื่อวันที่ 19 เดือนมีนาคม พุทธศักราช 2524 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2543 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543 โดยได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาและการทำวิจัย (ทุนผลิตและพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2544



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย