สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่แปรผันตามเวลาในถังเก็บน้ำเย็น โดยวิธีไฟไนต์วอลลุ่ม

A STUDY OF FLOW IN COOLING STORAGE TANK BY FINITE VOLUME METHOD

นายณัทธร สุทธิธรรม
MR.NUTTON SUTTITUM
นายไตรภูมิ มาสสะอาด
MR.TRIPOOM MASSA-ARD

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.จารุวัตร เจริญสุข
อ.มณฑล ใจกุศล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36836
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF FLOW IN COOLING STORAGE TANK BY FINITE VOLUME METHOD

MR.NUTTON SUTTITUM

MR.TRIPOOM MASSA-ARD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

การศึกษาถ่ายเทความร้อนที่แปรผันตามเวลาในถังเก็บน้ำเย็นโดยวิธีไฟไนต์วอลลุ่ม

โดย

นายณัทธร สุทธิธรรม

นายไตรภูมิ มาสสะอาด

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

(อ.มณฑล ใจกุศล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์การศึกษา การถ่ายเทความร้อนที่แปรผันตามเวลาในถังเก็บน้ำเย็น
A STUDY OF FLOW IN COOLING STORAGE TANK
BY FINITE VOLUME METHOD

ชื่อนักศึกษา นายณัทธร สุทธิธรรม
นายไตรภูมิ มาสสะอาด

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข
อ.มณฑล ใจกุศล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนใน Cooling Storage Tank หรือที่ใช้กันในระบบการทำความเย็นคือ Ice storage tank โดยนำทฤษฎีของกลศาสตร์ของไหลและการถ่ายเทความร้อนทำการศึกษาวิเคราะห์โดยการประมาณเชิงตัวเลข โดยใช้ระเบียบวิธี Finite Volume Method เพื่อทำการแก้ปัญหาทางแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ได้สร้างขึ้นมาตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ แล้วทำการเขียนโปรแกรมโดยภาษา Fortran เพื่อทำการหาอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ภายใน Cooling Storage Tank โดยการศึกษาจะเป็นแบบ 2 มิติ และค่าตัวแปรต่าง ๆ แปรผันตามเวลา จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่ทางเข้าเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยเร็วที่สุด เพื่อเป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่งผลให้เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study of flow in cooling storage tank by finite volume
Student	Mr. Natton Suttitum
	Mr. Tripom Massa-ard
Degree of Education	Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1999
Thesis Advisor	Dr. Jaruwat Charoensuk
	Mr. Monton Jaikusol

Abstract

This project concerns about a study on heat transfer in cooling storage tank or refrigeration system such as Ice storage tank. Principle of heat transfer and fluid mechanic are used to create mathematics model in two-dimensional of cylindrical coordinates. Numerical Finite Volume Method was applied to discretised and solved the mathematics model. In where Fortran has been used for programming to determine temperature distributions in the cooling storage tank.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำแนวทางการแก้ปัญหาจากอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านคือ อ.มณฑล ใจกุศล และ ดร.จารุวัตร เจริญสุข และพี่ๆนักศึกษาปริญญาโท(พี่ปัญญา) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อ.มณฑล ได้เสียสละเวลาช่วงปิดเทอมช่วยสอนทฤษฎีในการแก้ปัญหา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ รวมทั้งกำลังใจจากทางครอบครัวของคณะผู้จัดทำเอง ทางคณะผู้จัดทำจึงถือโอกาสนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

นายณัทธร สุทธิธรรม

นายไตรภูมิ มาสสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญภาพ		VI
บทที่ 1	บทนำ	1
	ระบบทำความเย็นแบบประหยัดพลังงาน	3
	วัตถุประสงค์	4
บทที่ 2	ตัวแปรเชิงคณิตศาสตร์	5
	พลังงานความร้อน	9
	กฎของฟูริเยร์	10
บทที่ 3	สมการการคำนวณในพิกัดทรงกระบอก 2 มิติ	12
	สมการการอนุรักษ์มวล	12
	สมการ โมเมนตัม	14
	สมการความร้อน	18
บทที่ 4	การประยุกต์ใช้ Finte Volume Method	22
	สมการการ ไหลแบบ Unsteady Flow	23
	The QUICK Scheme	26
	The Hybrid differencing Scheme	28
บทที่ 5	การ Discretised และการหาค่าตัวแปร	29
	การ Discretised สมการ โมเมนตัมในแกน X	29
	การ Discretised สมการ โมเมนตัมในแกน R	30
	Simple Algorithm	32
	Relaxation	33
	หาค่าตัวแปำโดยวิธี TDMA	35
บทที่ 6	ภาษา FORTRAN	37
	คำสั่งในการกำหนดตัวแปร	40
	คำสั่งควบคุม	41
	คำสั่งในการนำข้อมูลเข้าออกและคำสั่งในการจัดการข้อมูลกับแฟ้ม	46
	คำสั่งเฉพาะ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	คำสั่ง FORMAT	56
	โปรแกรมย่อย	64
บทที่ 7	โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ	67
บทที่ 8	ผลการทดลอง	75
	ตัวอย่างค่าการกระจายอุณหภูมิจากการรันโปรแกรม	76
บทที่ 9	สรุปผลการทดลอง	92
เอกสารอ้างอิง		
ภาคผนวก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงระบบการทำความเย็นทั่วไป	1
1.2 แสดงระบบการทำความเย็นแบบ Ice Storage Tank	2
1.3 แสดง Ice Storage Tankและ Feature ที่จะทำการศึกษา	2
2.1 แสดงเหล็กท่อนหนึ่งมิติและการไหลของพลังงานความร้อน ผ่านเข้าและออกจากเหล็กชิ้นบางๆชิ้นหนึ่ง	7
3.1 แสดงพิกัดทรงกระบอกของสมการการอนุรักษ์มวล	12
3.2 แสดงพิกัดทรงกระบอกของสมการพลังงานพิจารณาในระบบสองมิติ r,x	14
3.3 แสดงพิกัดทรงกระบอกของสมการความร้อนพิจารณาในระบบสองมิติ r,x	18
4.1 แสดงอนุภาคของของไหลที่ใช้ Finite Volume Method หรือที่เรียกว่า cell control volume	23
4.2 แสดงการคิดแบบ QUICK Scheme	26
5.1 แสดง U-cell ในแกน X	29
5.2 แสดง V-cell ในแกน R	30
5.3 แสดงวิธี Simple Algorithm	34
7.1 แสดงการทำงานของ Main program	69
7.2 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCU	70
7.3 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCV	71
7.4 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCP	72
7.5 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCH	73
7.6 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCT	74
8.1 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.08 m/s	83
8.2 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.1 m/s	83
8.3 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.12 m/s	83
8.4 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.08 m/s	84
8.5 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.1 m/s	84
8.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.12 m/s	84
8.7 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.08 m/s	85
8.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.1 m/s	85
8.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.12 m/s	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

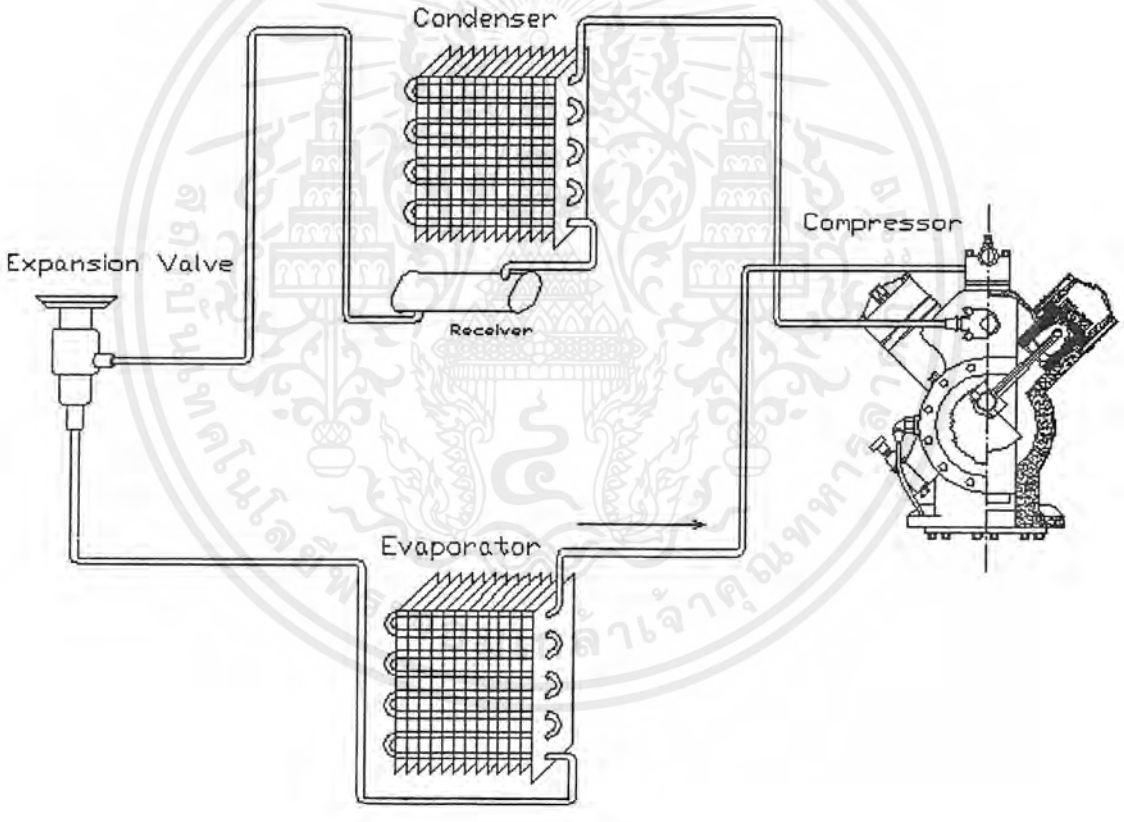
รูปที่	หน้า
8.10 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.08 m/s	86
8.11 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.1 m/s	86
8.12 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.12 m/s	86
8.13 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.08 m/s	87
8.14 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.1 m/s	87
8.15 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.12 m/s	87
8.16 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.08 m/s	88
8.17 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.1 m/s	88
8.18 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.12 m/s	88
8.19 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 10 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)	89
8.20 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 30 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)	89
8.21 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 50 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)	89
8.22 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 80 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)	90
8.23 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 100 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)	90
8.24 แสดงลักษณะของช่องทางเข้า 3 ช่องทาง	91
8.25 การกระจายอุณหภูมิช่องทางเข้า 1 ทาง (T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)	91
8.26 การกระจายอุณหภูมิช่องทางเข้า 6 ทาง (T_{in} 273 K , V_{in} 0.00513 m/s)	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

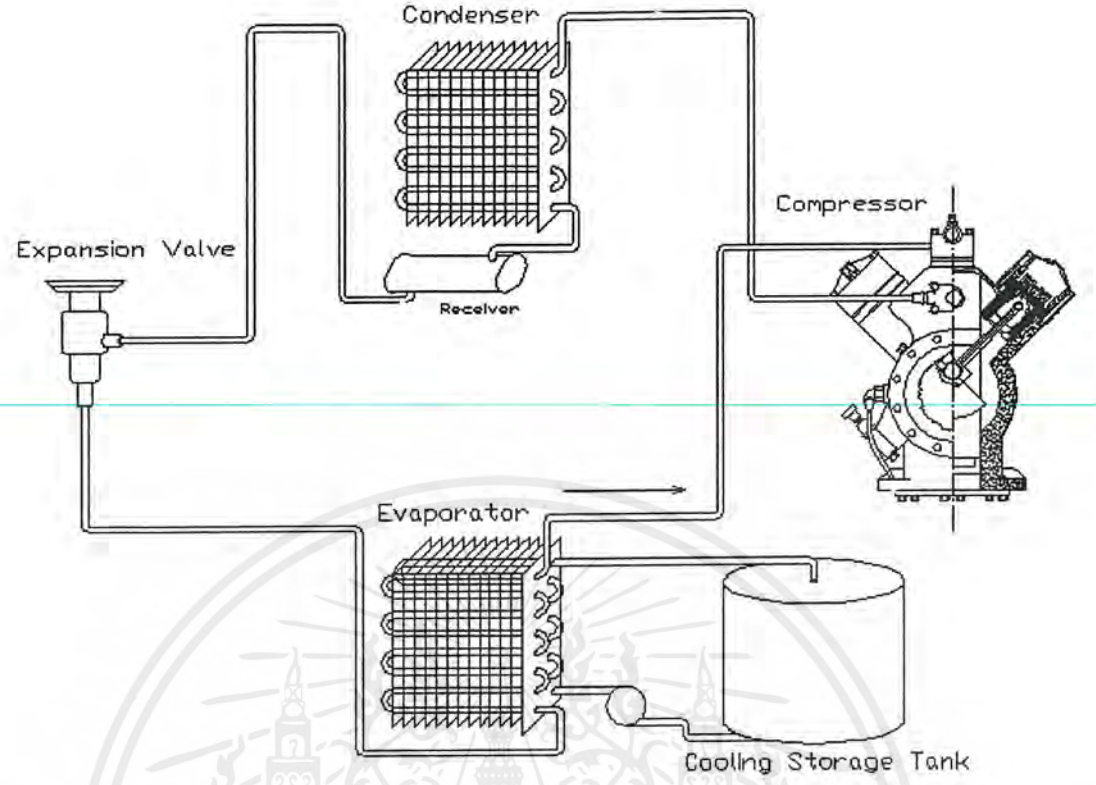
บทนำ(Introduction)

เนื่องจากระบบการทำความเย็นที่ภาระโหลดการทำความเย็นมาก ๆ เช่น โรงแรม ห้างสรรพสินค้า จะใช้ระบบ Ice storage tank ในการทำความเย็น ซึ่งในการวัดคุณสมบัติของของไหลภายในระบบนั้น เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ทำให้วิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรง(ExactSolution)นั้นเป็นไปได้ยากซึ่งจะต้องอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์มากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องศึกษาวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย โดยใช้การประมาณเชิงตัวเลขเข้าช่วยในการหาคำตอบ

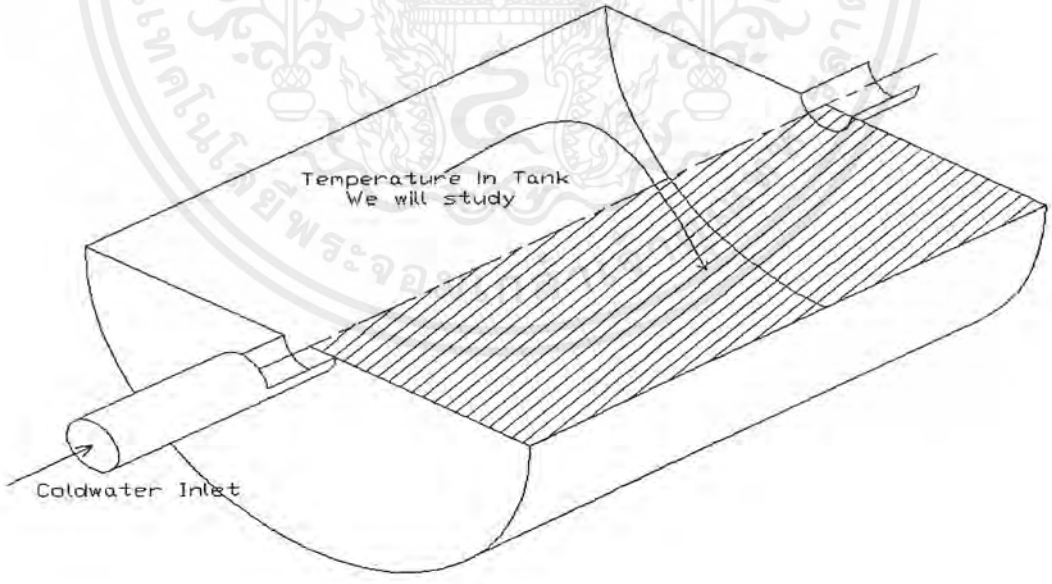


รูปที่ 1.1 แสดงระบบการทำความเย็นทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงระบบการทำความเย็นแบบ Ice Storage Tank



รูปที่ 1.3 แสดง Ice Storage Tankและ Feature ที่จะทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำ ระบบการทำความเย็นแบบ Ice Storage Tank นี้จะยังเป็นเพียงการประมาณค่าทางวิศวกรรมซึ่งขั้นตอนในการสร้างจริง ๆ แล้วจะต้องศึกษาข้อมูลให้มากกว่านี้ และผมได้โทรไปถามบริษัทที่ออกแบบคือ บริษัท ประสาทคอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ได้ออกแบบอาคาร SCB Park Plaza (ธนาคารไทยพาณิชย์สำนักงานใหญ่) ทางบริษัทได้ให้ข้อมูลว่า ในขณะนี้ประเทศไทยยังมีผลต่างค่าไฟฟ้าในตอนกลางวันและในเวลากลางคืนยังไม่มากพอที่จะให้ประหยัด เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ระบบทำความเย็นแบบประหยัดพลังงาน

ในการเลือกการติดตั้ง มี full storage หรือ partial storage โดย partial storage จะกล่าวในส่วนของ demand limiting หรือ load levelling ในวิธีการเลือกขึ้นอยู่กับ load profile มีประโยชน์กับการลดพลังงาน ราคาติดตั้ง

ระบบของ full storage มีเป้าหมาย ที่จะใช้ราคาที่ต่ำที่สุดในการใช้งาน ส่วนประกอบของระบบนี้จำเป็นต้องใช้ การทำงานของ chiller อย่างเต็มที่ โดยเก็บความเย็นไว้ได้ 100 % ระหว่างที่ off-peak วิธีนี้จะทำให้ลดการใช้กระแสไฟฟ้าจึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายซึ่งต้องใช้ chiller ที่มีความจุมากๆ

Partial storage , chiller จะทำงานระหว่าง load สูงสุดไม่เหมือนกับ full storage strategy ด้วยความต้องการที่จำกัดของระบบนี้เป้าหหมายอยู่ที่ไม่เกินที่ไม่การเก็บที่ load สูงสุดบนความสะดวกสบาย load ที่ไม่ใช้ storage ตั้งที่สูงสุดของความต้องการ วิธีนี้ทำให้ลดขนาดของ chiller ซึ่งเปรียบเทียบกับ full storage ที่จุดความต้องการสูงสุดและผลรวมของพลังงาน

Partial storage load levelling , เป้าหมายคือกระจาย load ความเย็นให้เท่ากับโหลดวัฏจักรปกติ 24 ชั่วโมง อันนี้จะลดขนาดของ chiller และอุปกรณ์ของ storage แม้ว่าจะเปรียบเทียบ full storage และความจำกัดของการทำงาน สำหรับราคาต่ำสุดและ shortest payback period เนื่องจาก chiller ทำงานที่โหลดสูงสุดอย่างต่อเนื่องราคาจะสูงกว่าแบบแรก

วิธีการเลือกขึ้นอยู่กับ ความสัมพันธ์ของราคาเริ่มต้น ความจุและพลังงานการเก็บควรจะให้เหมาะสมกับ ทุกๆ โครงการ

วิธีการทำงานของเครื่อง

Ice Build : ระหว่างการทำงานน้ำแข็งถูกสร้างขึ้นบนท่อ submerged โดยสารละลาย ethylene หรือ propylene glycol ผ่านท่อของ Ice chiller หน่วยของ Thermal storage ระหว่างที่ทำน้ำแข็งมีสภาพการแผ่ และ chiller และถูกปิดเมื่อถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ตั้งไว้ของสารละลาย glycol ที่ออกจาก chiller ส่วนใหญ่ตั้งไว้10 ชั่วโมงหรือมากกว่าโดยมี อุณหภูมิอย่างน้อย 22 ฟาเรนไฮต์

Ice Build with cooling : เมื่อมีโหลดความเย็นอยู่ระหว่างการสร้างน้ำแข็ง ส่วนหนึ่งของความเย็นของสารละลาย glycol ที่ถูกใช้สร้างน้ำแข็งต้องถูกแบ่งไปใช้ จำนวนของ glycol ที่ถูกแบ่งไปใช้กำหนดโดยวงจรของโครงสร้างที่ตั้งอุณหภูมิไว้ การใช้วิธีนี้ได้ใช้ประยุกต์กับปั๊มตัวแรกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวที่สอง โดยลดความเป็นไปได้ของความเสียหายจาก การแลกเปลี่ยนความร้อนหรือ cooling coil โดย pumping glycol เย็นกว่า 32 องศาฟาเรนไฮนด์ของอุปกรณ์นี้

Cooling-ice only : ในตอนที่ปิด chiller ทำให้ glycol ที่ไหลวนอยู่เริ่มอุ่นขึ้น Thermal storage Unit ถูกทำให้เย็นโดยความเย็นที่เก็บไว้ที่ coils

Cooling chiller only : เป็นโหมดการจ่ายความเย็นที่ต้องการ , Glycol ไหลรอบๆ Thermal storage Unit ให้ความเย็นและไหลตรงไปยัง building load อุณหภูมิจะควบคุมโดย chiller

Cooing Ice with chiller : ความเย็นถูกผลิตโดยการผสมระหว่าง chiller และอุปกรณ์ของ thermal storage glycol ถูกทำให้เย็นอีกหลังจากที่ใช้งานไป ก่อนที่จะเข้าไปใน thermal storage ส่วนของความเย็นที่ถูกแยกออกไปจาก glycol ได้ผ่าน Ice chiller Thermal storage Unit ซึ่งถูกให้ความเย็นโดยการเก็บน้ำแข็งที่อุณหภูมิออกแบบ

สำหรับปัญหานี้ เราพิจารณาการไหลในพิกัดทรงกระบอก 2 มิติ คือในทิศทาง r,x การไหลเป็นแบบ Laminar Unsteady Incompressible Flow จะเป็นการไหลเพื่อการถ่ายเทความร้อนจนถึงสภาวะอุณหภูมิที่ตั้งไว้

วัตถุประสงค์

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการไหลที่มีการถ่ายเทความร้อน
2. ประยุกต์ใช้ Numerical Analysis โดยวิธี Finite Volume Method ในการหาคำตอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3. ศึกษาการใช้งานคำสั่งต่าง ๆ ของภาษา Fortran และเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Fortran จากข้อที่ 2
4. เปลี่ยนรูปแบบการไหลของของไหลที่เข้าสู่ระบบที่พิจารณา และหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่จะทำให้การเข้าสู่สภาวะที่กำหนดให้เร็วที่สุด
5. ดูการกระจายของอุณหภูมิจากการคำนวณด้วยโปรแกรมในข้อที่ 3
6. ดูการแบ่งชั้นของอุณหภูมิในขณะที่ยังไม่เข้าสู่สภาวะที่กำหนด
7. แสดงผลโดยจากรูปการกระจายของอุณหภูมิที่ได้จากข้อที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตัวแปรเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ตัวแปรเชิงคณิตศาสตร์ (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกสั้น ๆ ว่า ตัวแปร) เกิดขึ้นจากการที่คนเราต้องการอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างในโลกธรรมชาติในเทอมของคณิตศาสตร์ สำหรับวิธีการอธิบายนั้นทำได้โดยการกำหนดตัวแปรให้กับเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อจากนั้นก็อ้างกฎธรรมชาติเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นอาจจะอยู่ในรูปของสมการหรืออสมการก็ได้สำหรับการอภิปรายในหัวข้อนี้จะเลือกปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์มาเป็นตัวอย่าง

เมื่อใดก็ตามที่เราประสงค์จะอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างในทางฟิสิกส์ให้มาอยู่ในเทอมของคณอตศาสตร์ ในลำดับแรกจะต้องทำการกำหนดข้อสมมุติในเชิงอุดมคติบางประการงในปัฐหานี้ด้วย คำว่า ข้อสมมุติในเชิงอุดมคติ หมายถึงข้อสมมติที่ไม่เป็นจริงตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ข้อสมมุติที่ว่าการตกของเม็ดฝนจากกลุ่มเมฆลงสู่ผิวโลกไม่มีแรงต้านจากอากาศเลย(ซึ่งตามความจริงแล้วมี) เพื่อที่จะทำให้ปัญหาดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการหาผลเฉลยในทางคณิตศาสตร์ ผู้สร้างตัวแบบจะต้องมีความระมัดระวังมิให้มีข้อสมมุติในเชิงอุดมคติมากเกินไปเพราะจะทำให้ระบบดังกล่าวสูญเสียคุณสมบัติทางฟิสิกส์ในระดับที่มีนัยสำคัญไป ในตอนสุดท้ายความสำเร็จหรือความล้มเหลวของตัวแบบจะขึ้นอยู่กับการที่ตัวแบบดังกล่าวจะสามรถอิบายปรากฏการณ์ที่เราสนใจได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากน้อยเพียงใด

ชนิดของตัวแบบที่ได้ถูกสร้างขึ้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่หาได้จากธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าเรากำลังพิจารณาระบบทางฟิสิกส์ระบบใดระบบหนึ่งอยู่ โดยทั่วไปแล้วการสร้างตัวแบบของระบบนี้มักจะทำโดยการให้ u แทนสถานะของระบบนั้น ณ เวลา t ต่อจากนั้นก็จะมีการใช้กฎทางฟิสิกส์เพื่อหาสมการสำหรับ u การสร้างสมการสำหรับ u ในแนวทางนี้จะนำไปสู่สมการอนุพันธ์เชิงสามัญ หรือระบบของสมการอนุพันธ์เชิงสามัญถ้า u เป็นฟังก์ชันค่าเวกเตอร์ ตัวอย่างของการสร้างตัวแบบด้วยวิธีการดังกล่าวนี้คือ การหาปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรไฟฟ้าวงจรหนึ่ง ถ้าให้ u=u(t) แทนปริมาณของกระแสไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งแล้วตัวแบบที่ถูก สร้างขึ้นจะเห็นสมการอนุพันธ์เชิงสามัญ แต่ถ้ามีใครถามว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่จุด x จุดหนึ่งในวงจร ณ เวลา t จะมีค่าเท่าใด? สมการอนุพันธ์ที่ได้สร้างไว้ดังกล่าวจะไม่สามารถให้คำตอบได้ ทั้งนี้เพราะในขณะที่เราสร้างตัวแบบซึ่งเห็นสมการอนุพันธ์เชิงสามัญนั้นได้มีการสมมุติโดยปริยายไปแล้วว่า u เป็นอิสระจากมิติของตำแหน่ง x เพื่อที่จะให้ได้คำตอบสำหรับคำถามดังกล่าวจำเป็นต้องสร้างตัวแบบขึ้นมาใหม่โดยให้สมการที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับทั้งตำแหน่งและเวลา ถ้าตัวกลางที่เรากำลังทำงานอยู่ด้วยมีภาวะต่อเนื่อง (continuum) แล้ว ความพยายามที่จะหาคำตอบสำหรับปริมาณของกระแสที่ขึ้นอยู่กับทั้งตำแหน่งและเวลาจะนำไปสู่สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ,สม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอินทิกรัล, สมการเหล่านี้จะได้มาพร้อมกับเงื่อนไขเริ่มต้นและ/หรือเงื่อนไขขอบซึ่งถูกกำหนดโดยสถานการณ์ในเชิงฟิสิกส์

การสร้างสูตรของการนำความร้อนในเหล็กท่อนหนึ่งมิติ

ความหนาแน่นพลังงานความร้อน (Thermal energy density) ขอให้เราเริ่มต้นการพิจารณาเหล็กท่อนหนึ่งซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A ตลอดทั้งท่อน และวางคอยู่บนแกน x (จาก x=0 ถึง x=L) ดังแสดงในรูป 0.3.1 ต่อไปจะขอแนะนำปริมาณของพลังงานความร้อนต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยในฐานะของตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่าและเรียกว่า ความหนาแน่นพลังงานความร้อน

$e(x,t) \equiv$ ความหนาแน่นพลังงานความร้อน

จะขอสมมุติว่าปริมาณความร้อนอื่น ๆ มีค่าคงตัว งานนี้ทำให้สำเร็จได้โดยการเอาฉนวนห่อหุ้มผิวด้านข้างของเหล็กท่อนดังกล่างให้สนิท เพื่อป้องกันไม่ให้พลังงานความร้อนผ่านเข้าออกตามผิวด้านข้างได้การที่ความหนาแน่นพลังงานความร้อนขึ้นอยู่กับตัวแปร x และ t ก็เพราะว่ามีบางครั้งที่เราไม่ได้ให้ความร้อนแก่เหล็กท่อนนี้อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นความหนาแน่นพลังงานความร้อนจึงแปรไปจากภาคตัดขวางหนึ่งไปสู่ภาคตัดขวางอื่นๆ

พลังงานความร้อน (Heat energy) ขอให้พิจารณาเหล็กชิ้นหนึ่งซึ่งถูกเฉือนออกมาจากเหล็กท่อนดังกล่าวระหว่างจุด x และ $x+\Delta x$ ดังในรูป 0.3.1 ถ้าความหนาแน่นพลังงานความร้อนมีค่าคงที่ตลอดเหล็กบางชิ้นนี้แล้ว พลังงานความร้อนในเหล็กบางชิ้นนี้จะมีค่าเท่ากับผลคูณของความหนาแน่นพลังงานความร้อนกับปริมาตรของเหล็กบางชิ้นนั้น แม้ว่าโดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นพลังงานความร้อนอาจจะไม่เห็นค่าคงที่ตลอดเหล็กบางชิ้นนั้นแต่ว่าถ้าเราให้ Δx มีค่าน้อยมากพอแล้ว $e(x,t)$ อาจจะถูกประมาณด้วยค่าคงตัวได้ตลอดเหล็กยางชิ้นนั้น เพราะฉะนั้น

พลังงานความร้อน $= e(x,t)A\Delta x$ $A\Delta x$

เนื่องจากปริมาตรของเหล็กบางชิ้นนั้นคือ $A\Delta x$ เมื่อ A คือพื้นที่ของภาคตัดขวาง

การอนุรักษ์ของพลังงานความร้อน (Conservation of heat energy) พลังงานความร้อนระหว่าง x และ $x+\Delta x$ จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานความร้อนที่ไหลข้ามขอบทั้งสอง (นั่นคือ x และ $x+\Delta x$) และพลังงานความร้อนที่ให้เข้าไปในเหล็กท่อนนั้น การเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนไม่ขึ้นอยู่กับการที่พลังงานความร้อนจะไหลข้ามผิวด้านข้างของเหล็กท่อนนั้น เพราะได้มีการสมมุติไว้แล้วว่าผิวด้านข้างของเหล็กท่อนนั้นมีฉนวนหุ้มห่ออยู่ กระบวนการไหลของความร้อนอาจจะถูกอธิบายได้ด้วยสมการที่เป็นข้อความดังต่อไปนี้

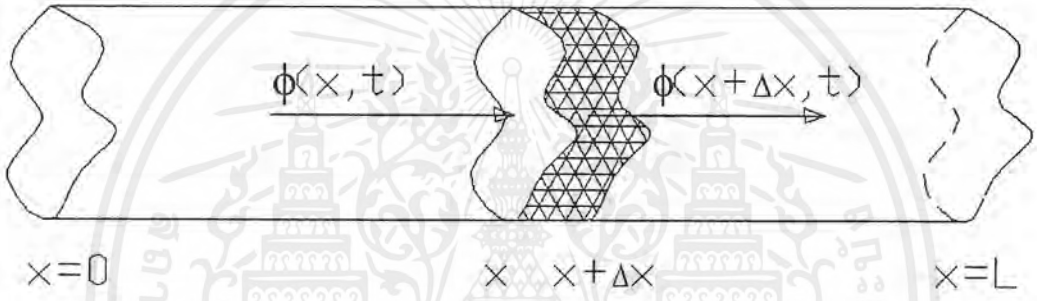
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนต่อหน่วยเวลา	=	พลังงานความร้อนที่ไหลข้ามขอบทั้งสองต่อหน่วยเวลา	+	ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในในเหล็กท่อนนั้นต่อหน่วยเวลา

เรียกสมการนี้ว่า การอนุรักษ์ของพลังงานความร้อน อัตราเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนสำหรับเหล็กชิ้นบาง ๆ ชิ้นหนึ่งคือ

$$\partial[\, e(x,t)A\Delta x]/\, \partial t$$

เราใช้อนุพันธ์ย่อยเทียบกับ t เพราะขณะนี้คิดว่า x เป็นจุดตรึง



รูปที่ 2.1 แสดงเหล็กท่อนหนึ่งมิติและการไหลของพลังงานความร้อนผ่านเข้าและออกจากเหล็กชิ้นบางๆชิ้นหนึ่ง

ฟลักความร้อน (Heat flux) สำหรับเหล็กท่อนหนึ่งมิติ พลังงานความร้อนจะมีทิศทางของการไหลไปทางซ้ายหรือทางขวาเพียงสองทิศทางเท่านั้น เราจึงขอแนะนำปริมาณอีกชนิดหนึ่งคือฟลักซ์ความร้อนซึ่งมีการนิยามดังนี้คือ

$\phi(x,y)$ = ฟลักซ์ความร้อน(หมายถึงปริมาณของพลังงานความร้อนที่ไหลไปทางขวาต่อหนึ่งหน่วยของเวลาและต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่หน้าตัดซึ่งพลังงานความร้อนไหลผ่าน)ถ้า$\phi(x,y) < 0$ จะมีความหมายว่าพลังงานความร้อนกำลังไหลไปทางซ้าย ด้วยบทนิยามเช่นนี้พบว่าพลังงานความร้อนที่ไหลข้ามขอบทั้งสองของเหล็กชิ้นบาง ๆ ชิ้นหนึ่งในหนึ่งหน่วงของเวลาจะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\phi(x,t)A - \phi(x+\Delta x,t)A$ ถ้า $\phi(x,t) > 0$ และ $\phi(x+\Delta x,t) > 0$ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูป พลังงานความร้อนที่ไหลผ่านจุด x ต่อหนึ่งหน่วยของเวลาจะเป็นการเพิ่มปริมาณพลังงานความร้อนเข้าไปในเหล็กชิ้นบาง ๆ ชิ้นนั้น ขณะที่การไหลผ่านจุด $x+\Delta x$ จะเป็นการลดลงของพลังงานความร้อน

แหล่งกำเนิดความร้อน (Heat sources) เรายอมให้มีแหล่ง กำเนิดความร้อนภายในตัวของเหล็กท่อนนั้นด้วย

Q(x.,t) = พลังงานความร้อนในหนึ่งหน่วยของปริมาตรที่ถูกผลิต
ออกมาในหนึ่งหน่วยของเวลา

แหล่งความร้อนภายในเหล็กท่อนนี้ อาจจะมาจากปฏิกิริยาเคมีหรือความร้อนที่เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเหล็กท่อนนั้น สำหรับเหล็กชิ้นบาง ๆ ชิ้นหนึ่ง Q(x.,t) จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับค่าคงตัว ดังนั้นพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถูกผลิตออกมาจากภายในของเหล็กชิ้นบาง ๆ ชิ้นหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยของเวลา จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $Q(x.,t)A\Delta x$

การอนุรักษ์ของพลังงานความร้อน (บนเหล็กบาง ๆ ชิ้นหนึ่ง) อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนบนแผ่นเหล็กบางชิ้นหนึ่งนั้น (ดูรูป 2.1 บริเวณตรงกลางของรูป) จะขึ้นอยู่กับพลังงานความร้อนที่ไหลข้ามขอบทั้งสองของเหล็กบางชิ้นนั้น (ขอบทั้งสองหมายถึงบริเวณตรงส่วนที่เป็นภาคตัดขวางที่จุด x และจุด $x+\Delta x$) และพลังงานความร้อนที่มาจากแหล่งกำเนิดภายในเหล็กบางชิ้นนั้น ดังนั้นเราจะมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้คือ

$$\partial[\, e(x,t)A\Delta x]/\,\partial t \approx \phi(x,t)A - \phi(x+\Delta x,t)A + Q(x.,t)A\Delta x \qquad \text{---------(2.1)}$$

ความสัมพันธ์ 2.1) ไม่สามารถจัดได้ว่าเป็นสมการเสียทีเดียว เพราะว่าได้มีปริมาณหลายตัวที่เราได้สมมุติไว้ว่าเป็นค่าคงตัวสำหรับกรณีที่เหล็กบางชอ้นนั้นมีความหนาน้อยพอควร แต่ว่าความสัมพันธ์ (2.1) จะกลับกลายมาเป็นสมการได้ถ้า $\Delta x \longrightarrow 0$ ดังนั้นโดยการใส่ลิมิตความสัมพันธ์ (2.1) โดยให้ $\Delta x \longrightarrow 0$ จะได้ว่า

$$\partial e/\partial t = \lim_{\Delta x \to 0} [\phi(x,t) - \phi(x,t)]/\,\Delta x + Q(x.,t) \qquad \text{---------(2.2)}$$

ผลที่ตามมาจาก (2.2) และบทนิยามของอนุพันธ์ย่อยก็คือ

$$\partial e/\partial t = -\,\partial\phi/\partial x + Q \qquad \text{---------(2.3)}$$

อุณหภูมิและความร้อนจำเพาะ (Temperature and specific) โดยทั่วไปแล้วเรานิยมอธิบายสสารต่าง ๆ ด้วยอุณหภูมิของสสารนั้นมากกว่าที่จะอธิบายด้วยความหนาแน่นความร้อนดังนั้นจึงให้

$$u(x,t) = \text{อุณหภูมิ} \qquad \text{---------(2.4)}$$

ข้อแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกกับพลังงานความร้อนไม่ใช่เป็นงานง่ายนักที่จะอธิบายให้ชัดเจนได้ ทราบจนกระทั่ง ค.ศ. ที่ 17 ได้มีผู้ทำการทดลองที่จะทำให้นักฟิสิกส์เชื่อถือได้ว่าสสารต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของพลังงานความร้อนที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะทำให้สสารที่แตกต่างกันสองชนิดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมหนึ่งองศา เพื่อที่จะอธิบายแนวคิดนี้จึงมีการแนะนำคำว่า ความร้อนจำเพาะ

c = ความร้อนจำเพาะ (หมายถึงพลังงานความร้อนที่ต้องเพิ่มให้กับมวลขนาดหนึ่งหน่วยของสสารเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งหน่วย)

จากผลการทดลองพบว่า ความร้อนจำเพาะ c ของวัตถุชิ้นหนึ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ u ตัวอย่างเช่น พลังงานความร้อนที่จำเป็นต่อการเพิ่มอุณหภูมิของมวลหนึ่งหน่วยจาก $0^{\circ}c$ ถึง $1^{\circ}c$ ควรจะมีค่าแตกต่างจากพลังงาน่ความร้อนที่จำเป็นต่อการทำให้วัตถุดังกล่าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก $85^{\circ}c$ ถึง $86^{\circ}c$ การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการไหลของความร้อนที่ความร้อนจำเพาะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วยนั้นค่อนข้างจะยุ่งยาก ดังนั้นมีบ่อยครั้งที่เราจะจำกัดตัวเองลงมาศึกษาปัญหาดังกล่าว เมื่ออุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วงเล็ก ๆ ช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งในกรณีนี้ค่าของความร้อนจำเพาะจึงพอที่จะประมาณได้ว่า เป็นอิสระต่ออุณหภูมิ อย่างไรก็ดีจากผลของการทดลองทำให้เราทราบว่าวัตถุที่แตกต่างกันต้องการปริมาณของพลังงานความร้อนที่จะทำให้วัตถุดังกล่าวร้อนขึ้นแตกต่าวกันออกไปด้วย เนื่องจากเหล็กหนึ่งมิติที่เรากำลังพิจารณาอยู่อาจจะแตกต่างกันจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง แต่ก็มีหลายปัญหาที่เหล็กท่อนประกอบไปด้วยโลหะเพียงชนิดเดียว (ซึ่งเราเรียกว่า เหล็กท่อนเอกรูป (uniform rod)) ในกรณีนี้ค่าความร้อนตำเพาะ c จะเป็นค่าคงตัว ตามความเป็นจริงแล้วปัญหาส่วนใหญ่ในจะถือว่า c เป็นค่าคงตัว

พลังงานความร้อน เท่าที่ได้เรียนกันมาพลังงานความร้อนในเหล็กบางชิ้นหนึ่งมีค่าเท่ากับ $(x,t)A\Delta x$ อย่างไรก็ดีเราอาจจะนิยามให้ค่านี้เป็นพลังงานที่ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก (อุณหภูมิอ้างอิง) $0^{\circ}c$ ไปสู่อุณหภูมิตามปรกติคือ $u(x,t)$ เนื่องจากความร้อนจำเพาะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นพลังงานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลจึงมีค่าเพียง $c(x)u(x,t)$ ดังนั้นเราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแนะนำ ความหนาแน่นมวล (mass density) $\rho(x)$:

$\rho(x)$ = ความหนาแน่นมวล (หมายถึงมวลต่อปริมาตรหนึ่งหน่วย)

เราให้ค่าความหนาแน่นมวลเปลี่ยนแปรไปตามค่าของ x ก็เพราะว่าบางครั้งเหล็กท่อนนั้นอาจจะประกอบด้วยสสารต่างชนิดกัน ดังนั้นมวลทั้งหมดของเหล็กชิ้นบาง ๆ คือ $\rho A\,\Delta x$ พลังงานความร้อนทั้งหมดในเหล็กบาง ๆ ชิ้นหนึ่งคือ $c(x)u(x,t).\rho A\,\Delta x$ และเพราะฉะนั้น

$$e(x,t)A\Delta x = c(x)u(x,t)\rho A\,\Delta x \qquad \text{---------(2.5)}$$

ด้วยวิธีนี้จึงมีสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกพลังงานความร้อนและอุณหภูมิดังนี้คือ

$$e(x,t) = c(x)\rho(x)u(x,t) \qquad \text{---------(2.6)}$$

เมื่อความหนาแน่นพลังงานความร้อนถูกขจัดออกโดยการแทน (2.6) ลงไปใน (2.5) จะได้ว่า

$$c(x)\rho(x)[\,\partial u/\partial t] = -\partial\phi/\partial x + Q \qquad \text{---------(2.7)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของฟูริเยร์ (Fourier's law) ตามปรกติแล้วเราจะถือว่าสมการ (2.7) เป็นสมการของตัวไม่รู้ค่าสองตัวคือ อุณหภูมิ u(x,t) และ ฟลักซ์ความร้อน $\phi(x,t)$ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วพลังงานความร้อนไหลได้อย่างไร กล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ เราต้องการนิพจน์ซึ่งแสดงการขึ้นต่อกันของการไหลของพลังงานความร้อนบนสนามอุณหภูมิ ก่อนอื่นจะขอสรุปคุณสมบัติเชิงคุณภาพบางประการของการไหลของความร้อนซึ่งพวกเราทุกคนคุ้นเคย

1. ถ้าอุณหภูมิมีค่าคงที่ในบริเวณหนึ่งแล้วจะไม่มีการไหลของพลังงานความร้อน
2. ถ้าบริเวณหนึ่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันแล้วพลังงานความร้อนจะไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า
3. อุณหภูมิที่แตกต่างกันมาก (สำหรับสสารชนิดเดียวกัน) ก็จะทำให้การไหลของพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้นด้วย
4. การไหลของพลังงานความร้อนจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสสาร แม้ว่าจะมีผลต่างของอุณหภูมิเท่ากันก็ตาม

ฟูริเยร์ ได้สรุปคุณสมบัติจากข้อ 1 ถึง 4 (หลังจากที่ได้ทำการทดลองมากพอควร) ไว้เป็นสูตรดังนี้

$$\phi = -K_0(\partial u/\partial x) \qquad \text{---------(2.8)}$$

สูตรนี้มีชื่อว่า กฎของฟูริเยร์สำหรับการนำความร้อน ในที่นี้ $\partial u/\partial x$ คืออนุพันธ์ของอุณหภูมิซึ่งเป็นความชันของฟังก์ชันอุณหภูมิในตัวแปร x และคิดว่า t เป็นจุดตรึงค่าความชันนี้จะแทนผลต่างอุณหภูมิ (ต่อหน่วยของความยาว) สมการ (2.8) กล่าวว่าฟลักซ์ความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงผลต่างของอุณหภูมิ (ต่อหน่วยของความยาว) ถ้าอุณหภูมิ u เพิ่มขึ้นขณะที่ x เพิ่มขึ้น (นั่นคือถ้าอุณหภูมิร้อนขึ้นทางด้านขวา $\partial u/\partial x > 0$)แล้ว เราทราบ (จากคุณสมบัติข้อ 2) ว่าพลังงานความร้อนจะไหลไปทางด้านซ้าย นี่คือคำอธิบายของเครื่องหมายลบในสมการ (2.8)

ต่อไปจะอธิบายความหมายของสัมประสิทธิ์ K_0 สัมประสิทธิ์ตัวนี้จะเป็นตัววัดความสามารถในการนำความร้อนของสสารชิ้นนั้น ซึ่งเราเรียกว่า สภาพการนำความร้อน (thermal conductivity) การทดลองชี้ว่าสสารต่างชนิดกันก็มีสภาพการนำความร้อนต่างชนิดกันด้วย ค่าของ K_0 จึงขึ้นอยู่กับชนิดของสสารที่เรากำลังสนใจอยู่ ค่าของ K_0 มีมากกว่าก็จะบอกว่าพลังงานความร้อนจะไหลได้ดีหว่าด้วยผลต่างของอุณภูมิที่เท่ากัน สสารที่มีค่า K_0 น้อยก็จะเป็นตัวนำพลังงานความร้อนที่เลว (ซึ่งก็เหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนภายในบ้าน) สำหรับเหล็กท่อนที่ประกอบด้วยสสารต่างชนิดกัน K_0 ก็จะเป็นฟังก์ชันของตัวแปร x นอกจากนี้ผลของการทดลองยังชี้ว่าความสามาถในการนำความร้อนของสสารส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าแตกต่างกันไปเมื่ออุณหภูมิแปลี่ยนไปด้วย นั่นคือ $K_0 = K_0(x,u)$ อย่างไรก็ดี เช่นเดียวกันกับความร้อนจำเพาะ c การขึ้นนอยู่กับอุณหภูมินั้นไม่ค่อยสำคัญมากนักกับปัญหาพิเศษหลาย ๆ ปัญหา ดังนั้นการอภิปรายในนี้จะสมมุติว่าสภาพการนำความร้อน K_0 ขึ้นอยู่กับ x เท่านั้น ,$K_0(x)$ แต่โดยทั่ว ๆ ไปก็จะอภิปรายเหล็กท่อนเอกรูปซึ่ง K_0 มีค่าคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความร้อน (Heat equation) ถ้าเราแทนกฎของฟูริเยร์ (2.8) ลงไปในสมการอนุรักษ์ของพลังงานความร้อน (2.7) จะได้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยดังนี้คือ

$$c\rho\,(\partial u/\partial t) = \partial[K_0(\partial u/\partial x)]/\partial x + Q \qquad \text{---------(2.9)}$$

ตามปรกติแล้วเรามักจะคิดว่าแหล่งกำเนิดความร้อน Q เป็นค่าที่กำหนดมาให้ ดังนั้นจึงมีตัวไม่รู้ค่าเพียงตัวเดียวคือ อุณหภูมิ u(x,t) สัมประสิทธิ์ความร้อน c,ρ,K_0 ทุกตัวขึ้นอยู่กับสสารที่กำลังพิจารณา และดังนั้นจึงเป็นฟังก์ชันของ x ในกรณีพิเศษของเหล็กท่อนเอกรูปซึ่ง c,ρ,K_0 เป็นค่าคงตัวทั้งหมด สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (2.9) จะเปลี่ยนเป็น

$$c\rho\,(\partial u/\partial t) = K_0(\partial^2 u/\partial x^2) + Q$$

ถ้าเป็นกรณีที่ไม่มีแหล่งกำเนิดเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย นั่นคือ $Q = 0$ จะได้หลังจากการหารด้วยค่าคงตัว $c\rho$ แล้วสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจะเปลี่ยนเป็น

$$\partial u/\partial t = k(\partial^2 u/\partial x^2) \qquad \text{-------(2.10)}$$

โดยที่ค่าคงตัว k คือ $k = K_0/c\rho$ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า สภาพการนำความร้อน (thermal diffusivity) มีบ่อยครั้งที่จะเรียกสมการ (2.10)ว่าสมการความร้อน สมการนี้สมนัยกับการที่ไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน และคุณสมบัติเชิงความร้อนต่าง ๆ เป็นค่าคงตัว ถ้าเกิดกรณีที่ว่าในตอนเริ่มแรกพลังงานความร้อนรวมตัวกันอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่ง แล้วสมการ (2.10) จะอธิบายว่าพลังงานความร้อนนั้นจะแพร่ออกไปยังบริเวณอื่น ๆ ได้อย่างไรในเชิงฟิสิกส์ กระบวนการนี้มีชื่อเรียกว่าการแพร่นอกเหนือไปจากอุณหภูมิแล้วปริมาณในเชิงฟิสิกส์อื่นก็ถูกทำให้ราบเรียบได้ในทำนองเดียวกันเพื่อที่จะได้สอดคล้องกับสมการ (2.10) ด้วยเหตุผลนี้สมการ (2.10) จึงเป็นที่รู้จักกันในนามของ สมการการแพร่ (diffusion equation) ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของสารประกอบทางเคมี (เช่นหัวน้ำหอม หรือ มลพิษต่าง ๆ) จะสอดคล้องกับสมการการแพร่ในสถานการณ์หนึ่งมิติบางประการ

สมการความร้อนในมิติที่สูงขึ้น เช่นเดียวกันกับในกรณีของสมการคลื่น สมการความร้อนในสองมิติควรจะอยู่ในรูป

$$\partial u/\partial t = k[(\partial^2 u/\partial x^2) + (\partial^2 u/\partial y^2]$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปสั้น ๆ ได้เป็น

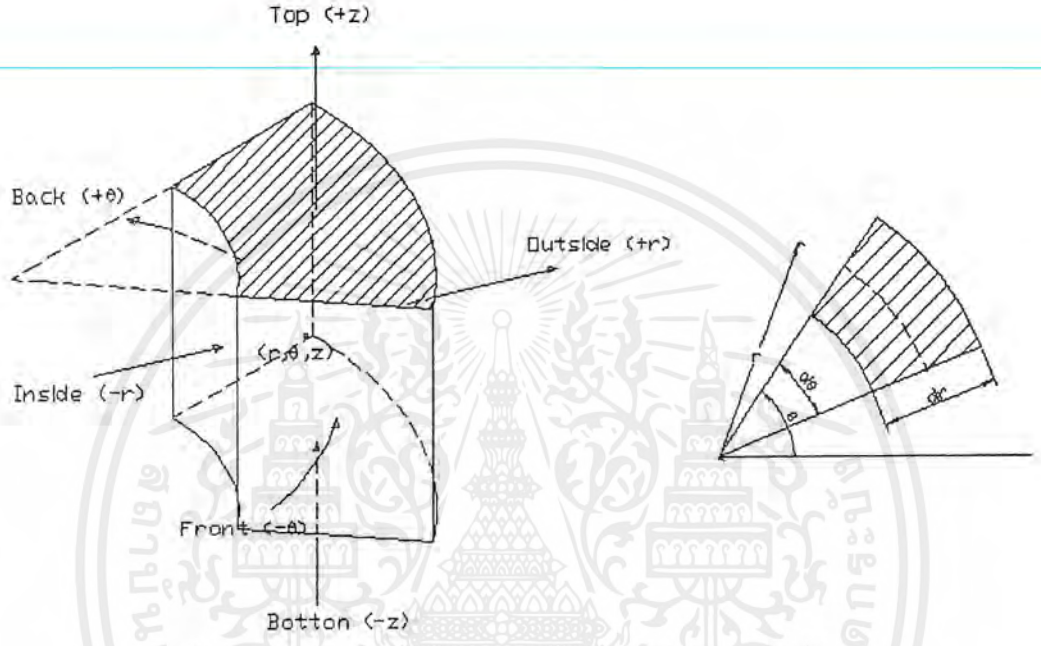
$$\partial u/\partial t = k\nabla^2 u$$

ผู้อ่านสามารถขยายความคิดนี้ออกไปสู่สมการความร้อนในสามมิติและในกรณีทั่วไป n มิติได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
สมการที่ใช้ในการคำนวณ

3.1 สมการกราอนุรักษ์มวล สำหรับพิกัดทรงกระบอก
(Mass Conservation in Cylindrical Coordinate System)



รูปที่ 3.1 แสดงพิกัดทรงกระบอกของสมการการอนุรักษ์มวล

พิจารณา mass flux ผ่านพื้นผิว 6 ด้านของ Control Surface $\int_{cs} \rho V dA$

คุณสมบัติของแต่ละด้านของ Control Surface ถูกอธิบายด้วย Taylor Series Expansion รอบจุด O ดังตารางที่ 3.1

ได้ $\int_{cs} \rho V dA = \left[\rho V_r + \frac{r\partial \rho V_r}{\partial r} + \frac{\partial \rho V_\theta}{\partial \theta} + \frac{r\partial \rho V_z}{\partial z} \right] dr d\theta dz$ ---------(3.1)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลใน Control Volume คือ $\left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right) dr d\theta dz$

รวม (1)กับ(2) ได้ $\frac{\partial (r\rho V_r)}{r\partial r} + \frac{\partial (\rho V\theta)}{r\partial \theta} + \frac{\partial (\rho V_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ ---------(3.2)

เขียนรูป Vector จะได้ $\nabla \rho V + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

ใน Project พิจารณาในระบบสองมิติ r,x โดยให้ $z = x$, $V_r = V$, $V_x = U$

ได้ $\frac{\partial r\rho V}{r\partial r} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ ---------(3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 Mass flux through Control Surface of a Cylindrical Differential Control Volume

Surface	$\int_{cs} \rho V.dA$
Inside	$=-\left[\rho-\left(\frac{\partial\rho}{\partial r}\right)\left(\frac{dr}{2}\right)\right]\left[V_r-\left(\frac{\partial V_r}{\partial r}\right)\left(\frac{dr}{2}\right)\right]\left(r-\frac{dr}{2}\right)d\theta dz=-\rho V_r r d\theta dz+\rho V_r\frac{dr}{2}d\theta dz+\rho\left(\frac{\partial V_r}{\partial r}\right)r\frac{dr}{2}d\theta dz+V_r\left(\frac{\partial\rho}{\partial r}\right)r\frac{dr}{2}d\theta dz$
Outside	$=\left[\rho+\left(\frac{\partial\rho}{\partial r}\right)\left(\frac{dr}{2}\right)\right]\left[V_r+\left(\frac{\partial V_r}{\partial r}\right)\left(\frac{dr}{2}\right)\right]\left(r-\frac{dr}{2}\right)d\theta dz=\rho V_r r d\theta dz+\rho V_r\frac{dr}{2}d\theta dz+\rho\left(\frac{\partial V_r}{\partial r}\right)r\frac{dr}{2}d\theta dz+V_r\left(\frac{\partial\rho}{\partial r}\right)r\frac{dr}{2}d\theta dz$
Front	$=-\left[\rho-\left(\frac{\partial\rho}{\partial\theta}\right)\left(\frac{d\theta}{2}\right)\right]\left[V_\theta-\left(\frac{\partial V_\theta}{\partial\theta}\right)\left(\frac{d\theta}{2}\right)\right]drdz=-\rho V_\theta drdz+\rho\left(\frac{\partial V_\theta}{\theta r}\right)\frac{d\theta}{2}drdz+V_\theta\left(\frac{\partial\rho}{\partial\theta}\right)\frac{d\theta}{2}drdz$
Back	$=\left[\rho+\left(\frac{\partial\rho}{\partial\theta}\right)\left(\frac{d\theta}{2}\right)\right]\left[V_\theta+\left(\frac{\partial V_\theta}{\partial\theta}\right)\left(\frac{d\theta}{2}\right)\right]drdz=\rho V_\theta drdz+\rho\left(\frac{\partial V_\theta}{\theta r}\right)\frac{d\theta}{2}drdz+V_\theta\left(\frac{\partial\rho}{\partial\theta}\right)\frac{d\theta}{2}drdz$
Bottom	$=-\left[\rho-\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)\left(\frac{dz}{2}\right)\right]\left[V_z-\left(\frac{\partial V_z}{\partial z}\right)\left(\frac{dz}{2}\right)\right]rd\theta dr=-\rho V_z rd\theta dr+\rho\left(\frac{\partial V_z}{\theta z}\right)\frac{dz}{2}rd\theta dr+V_z\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)\frac{dz}{2}rd\theta dr$
Top	$=\left[\rho+\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)\left(\frac{dz}{2}\right)\right]\left[V_z+\left(\frac{\partial V_z}{\partial z}\right)\left(\frac{dz}{2}\right)\right]rd\theta dr=\rho V_z rd\theta dr+\rho\left(\frac{\partial V_z}{\theta z}\right)\frac{dz}{2}rd\theta dr+V_z\left(\frac{\partial\rho}{\partial z}\right)\frac{dz}{2}rd\theta dr$

จากข้างบนจะได้

$$\int_{cs}\rho\vec{V}.d\vec{A}=\left[\rho V_r+\frac{r\partial(\rho V_r)}{\partial r}+\frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial\theta}+\frac{r\partial(\rho V_z)}{\partial z}\right]drd\theta dz \qquad \text{----------(3.4)}$$

3.2 สมการโมเมนตัม

(Momentum Equation)

โดยทำการประยุกต์จาก Newton's Second Law

ซึ่ง โมเมนตัมเชิงเส้นของ ρ ของระบบคือ

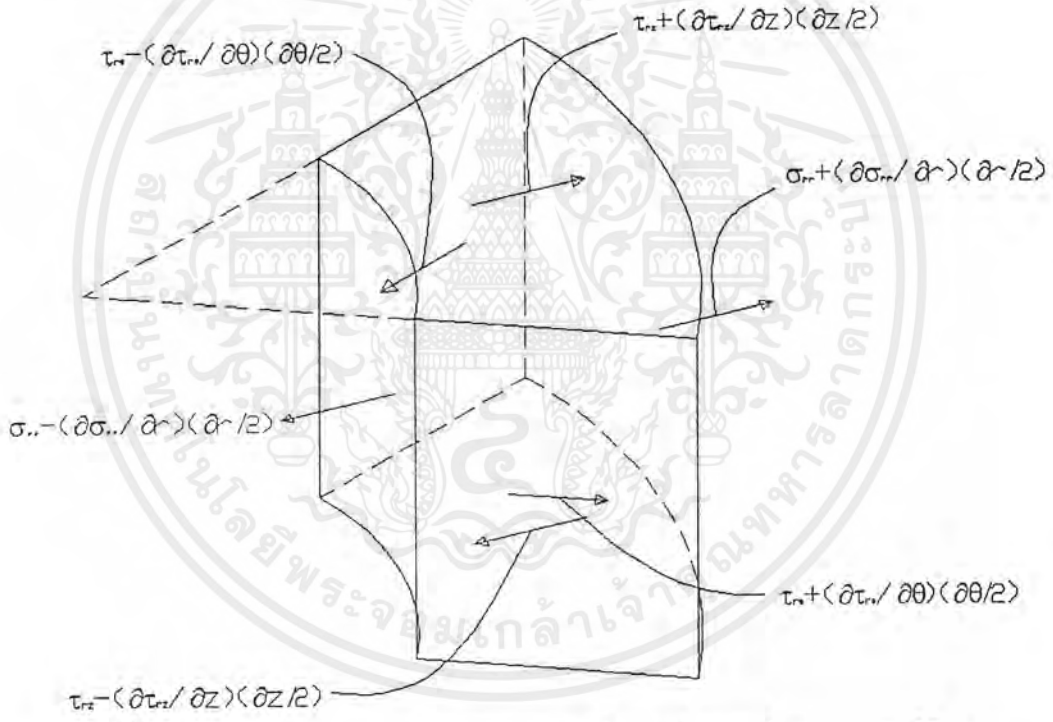
$\rho = \int_{\text{mass system}} V \, dm$

For infinite system ; $dF = dm \frac{dV}{dt} \Big)_{system}$

เขียนเป็นสมการ Vector ได้คือ $dF = dm \frac{DV}{Dt} = dm \left[u \frac{\partial \forall}{\partial x} + v \frac{\partial \forall}{\partial y} + w \frac{\partial \forall}{\partial z} + \frac{\partial \forall}{\partial t} \right]$

--------(3.5)

แรงที่กระทำบนอนุภาคของไหล



รูปที่ 3.2 แสดงพิกัดทรงกระบอกของสมการพลังงานพิจารณาในระบบสองมิติ r,x

Continuity Equation

$$-\left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] \Delta x \Delta y \Delta z \qquad \text{--------(3.6)}$$

สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของมวลที่เข้าไปใน ปริมาตรควบคุม

อัตราการเพิ่มของมวลในปริมาตรควบคุม $\frac{\partial \rho}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎทรงมวล $$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=0$$

สมการนี้เราเรียกว่า continuity equation เขียนได้เป็น

$$\nabla\cdot(\rho V)=\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}$$

$$\frac{D}{Dt}\equiv\frac{\partial}{\partial t}+V\cdot\nabla=\frac{\partial}{\partial t}+u\frac{\partial}{\partial x}+v\frac{\partial}{\partial y}+w\frac{\partial}{\partial z} \qquad \text{---------(3.7)}$$

สำหรับสมการ Continuity Equation ในพิกัดทรงกระบอก (r,θ,z) สำหรับ การไหลแบบอัดตัวไม่ได้

$$\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{v_r}{r}+\frac{1}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

Equations of Motion หรือเรียกว่า Momentum equations

$$F=\frac{dM}{dt}=\frac{d(mV)}{dt}=ma \qquad \text{---------(3.8)}$$

โดยที่ F คือ แรงสุทธิที่กระทำบนอนุภาคของไหล

ที่เวลาใดๆ ผลรวมของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอนุภาค แสดงดังสมการ

$$\Delta V=\frac{\partial V}{\partial t}\Delta t+\frac{\partial V}{\partial x}\Delta x+\frac{\partial V}{\partial y}\Delta y+\frac{\partial V}{\partial z}\Delta z$$

ความเร่งของอนุภาค

$$a=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\partial V}{\partial t}=\frac{\partial V}{\partial t}+u\frac{\partial V}{\partial x}+v\frac{\partial V}{\partial y}+w\frac{\partial V}{\partial z}=\frac{DV}{Dt} \qquad \text{---------(3.9)}$$

โดยที่แรงบนอนุภาคแบ่งได้ 2 ชนิด

1. body force ให้ $f=f_x\vec{i}+f_y\vec{j}+f_z\vec{k}$ แทน body force พิกัด (x,y,z)

2. surface force

สำหรับแรงที่ผิวเราจะได้แรงที่เกิดจาก ความเค้นและความเค้นเฉือน

$$\begin{bmatrix}\sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz}\\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz}\\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz}\end{bmatrix}$$

สำหรับแรงสุทธิที่กระทำบนอนุภาคในทิศทาง x

$$F_x=\left(\rho f_x+\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right)\Delta x\Delta y\Delta z \qquad \text{--------(3.10)}$$

ใช้ Newton's second law of motion

$$\rho\frac{Du}{Dt}=\rho f_x+\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \qquad \text{--------(3.11)}$$

$$\rho\frac{Dv}{Dt}=\rho f_y+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \qquad \text{--------(3.12)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho\frac{Dw}{Dt}=\rho f_z+\frac{\partial\tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_{zz}}{\partial z} \qquad \text{--------(3.13)}$$

สำหรับ Newtonian fluids จะใช้ Navier-Stokes equations

โดยที่ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด และ p คือความดัน

$$\sigma_{xx}=-p+2\mu\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2}{3}\mu\nabla\cdot V \qquad \tau_{xy}=\tau_{yx}=\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

$$\sigma_{yy}=-p+2\mu\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{2}{3}\mu\nabla\cdot V \qquad \tau_{yz}=\tau_{zy}=\mu\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

$$\sigma_{zz}=-p+2\mu\frac{\partial w}{\partial z}-\frac{2}{3}\mu\nabla\cdot V \qquad \tau_{xz}=\tau_{zx}=\mu\left(\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

$$\rho\frac{Du}{Dt}=\rho f_z-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(2\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2}{3}\nabla\cdot V\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right]$$

$$\rho\frac{Dv}{Dt}=\rho f_y-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(2\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{2}{3}\nabla\cdot V\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)\right]$$

$$\rho\frac{Dw}{Dt}=\rho f_z-\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\left(2\frac{\partial w}{\partial z}-\frac{2}{3}\nabla\cdot V\right)\right]$$

สำหรับพิกัดทรงกระบอก

R component $\dfrac{\partial v_r}{\partial t}+v_r\dfrac{\partial v_r}{\partial r}+\dfrac{v_\theta}{r}\dfrac{\partial v_r}{\partial\theta}-\dfrac{v_\theta^2}{r}+w\dfrac{\partial v_r}{\partial z}$

$$=f_r-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}+\nu\left\{\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rv_r\right)\right]+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_r}{\partial\theta^2}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial v_\theta}{\partial\theta}+\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2}\right\}$$

--------(3.14)

θ component $\dfrac{\partial v_\theta}{\partial t}+v_r\dfrac{\partial v_\theta}{\partial r}+\dfrac{v_\theta}{r}\dfrac{\partial v_\theta}{\partial\theta}+\dfrac{v_r v_\theta}{r}+w\dfrac{\partial v_\theta}{\partial z}$

$$=f_\theta-\frac{1}{\rho r}\frac{\partial p}{\partial\theta}+\nu\left\{\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rv_\theta\right)\right]+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial\theta^2}+\frac{2}{r^2}\frac{\partial v_r}{\partial\theta}+\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2}\right\}$$

--------(3.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Z component $\frac{\partial w}{\partial t}+v_r\frac{\partial w}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial w}{\partial \theta}+w\frac{\partial w}{\partial z}$

$$=f_z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\left\{\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial w}{\partial r}\right)\right]+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right\}$$

--------(3.16)

จัดรูปแบบใหม่ 2 มิติ ได้

ทิศทาง X

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho uu)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho uv)}{r\partial r}=\frac{\partial\left[2\mu\left(\frac{u}{x}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[r\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]}{r\partial r}-\frac{\partial p}{\partial x}+\rho g\beta\Delta T$$

--------(3.17)

ทิศทาง R

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho uv)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho vv)}{r\partial r}=\frac{\partial\left[2r\mu\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]}{r\partial r}-\frac{\partial p}{\partial r}-\frac{2\mu v}{r^2}$$

--------(3.18)

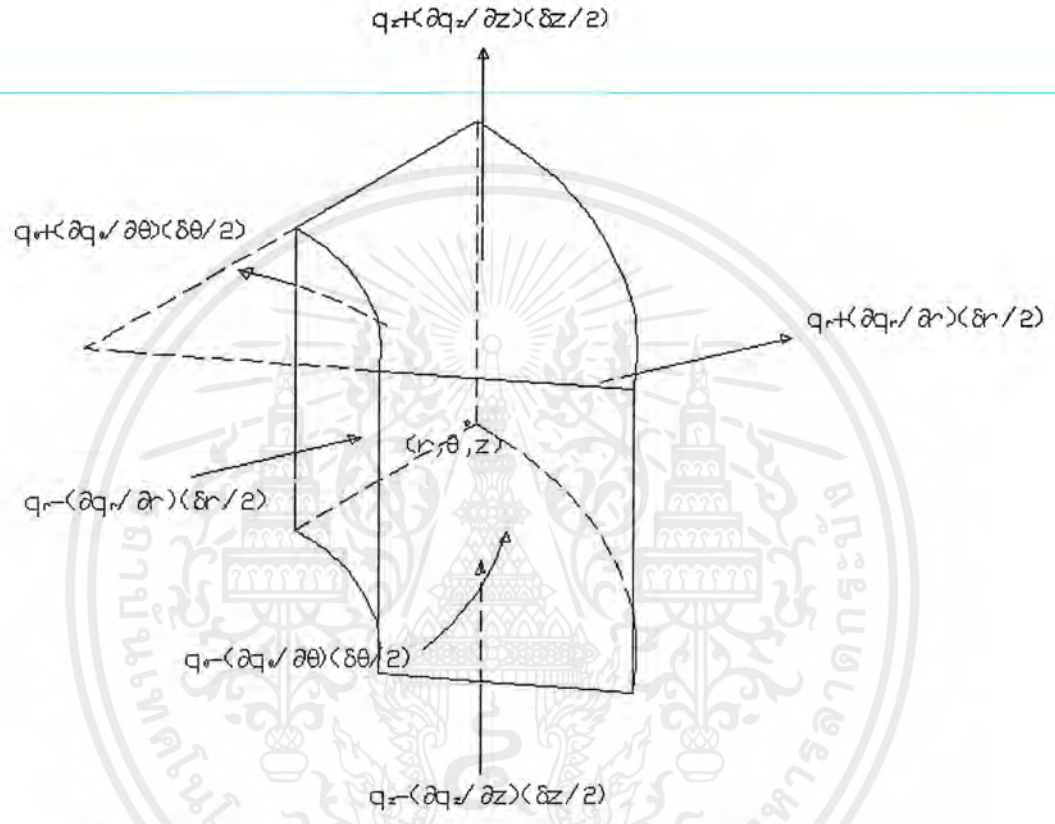
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36836

3.3 สมการความร้อน

Heat Equation

Energy Flux due to Heat Conduction

Components of the Heat Flux Vector



รูปที่ 3.3 แสดงพิกัดทรงกระบอกของสมการความร้อนพิจารณาในระบบสองมิติ r,x

Energy Equation

ใช้ First law of thermodynamics พิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อน โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีจะได้

$$\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)\right]\Delta x\Delta y\Delta z$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงของงานที่ถูกทำโดย surface force และ body force บนอนุภาคของไหล คือ

$$-\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(u\sigma_{xx}+v\tau_{xy}+w\tau_{xz}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(u\tau_{yx}+v\sigma_{yy}+w\tau_{yz}\right)\right.$$
$$\left.+\frac{\partial}{\partial z}\left(u\tau_{zx}+v\tau_{zy}+w\sigma_{zz}\right)+\rho V\cdot f\right]\Delta x\Delta y\Delta z \quad \text{--------(3.19)}$$

อัตราการเพิ่มของ พลังงานภายใน (u_i) และ พลังงานจลน์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho\frac{D}{Dt}\left[u_i+\frac{1}{2}\left(u^2+v^2+w^2\right)\right]=\nabla\cdot\left(k\nabla T\right)$$
$$+\frac{\partial}{\partial x}\left(u\sigma_{xx}+v\tau_{xy}+w\tau_{xz}\right)$$
$$+\frac{\partial}{\partial y}\left(u\tau_{yx}+v\sigma_{yy}+w\tau_{yz}\right)$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}\left(u\tau_{zx}+v\tau_{zy}+w\sigma_{zz}\right)+\rho V\cdot f$$

--------(3.20)

เอาสมการ(3.11) , (3.12) , (3.13) คูณด้วย u,v,w จะได้

$$\rho\frac{D}{Dt}\left[\frac{1}{2}\left(u^2+v^2+w^2\right)\right]=u\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{xz}}{\partial z}\right)$$
$$+v\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{yz}}{\partial z}\right)$$
$$+w\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{zy}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_{zz}}{\partial z}\right)+\rho V\cdot f$$

--------(3.21)

สมการ (3.21) เรียกว่า Mechanical energy equation

จากนั้นเอาสมการ (3.20) ลบด้วย สมการ (3.21) จะได้

$$\rho\frac{Du_i}{Dt}=\nabla\cdot\left(k\nabla T\right)+\sigma_{xx}\frac{\partial u}{\partial x}+\sigma_{yy}\frac{\partial v}{\partial y}+\sigma_{zz}\frac{\partial w}{\partial z}$$
$$+\tau_{xy}\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\tau_{yz}\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)+\tau_{zx}\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)$$

--------(3.22)

สมการ (3.22) เรียกว่า Thermal energy equation

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น กับ ความเครียด สำหรับ Newtonian fluids จะได้

$$\sigma_{xx}\frac{\partial u}{\partial x}+\sigma_{yy}\frac{\partial v}{\partial y}+\sigma_{zz}\frac{\partial w}{\partial z}$$
$$=-p\nabla\cdot V-\frac{2}{3}\mu\left(\nabla\cdot V\right)^2+2\mu\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right]$$

--------(3.23)

และ

$$\tau_{xy}\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)=\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2$$

--------(3.24)

$$\tau_{yz}\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)=\mu\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2$$

--------(3.25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_{zx}\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)=\mu\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \qquad \text{--------(3.26)}$$

จะได้

$$\rho\frac{Du_i}{Dt}=\nabla\cdot(k\nabla T)-p\nabla\cdot V+\mu\phi \qquad \text{--------(3.27)}$$

ซึ่ง

$$\phi=2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right]+\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2$$
$$+\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2-\frac{2}{3}(\nabla\cdot V)^2 \qquad \text{--------(3.28)}$$

ค่า ϕ นี้เราเรียกว่า dissipation function ซึ่งเป็น อัตราที่ viscous forces ทำที่ irreversible work

Energy equation นี้เขียนในรูปของ enthalpy คือ $i=u+p/\rho$ จะได้

$$\rho\frac{Di}{Dt}=\nabla\cdot(k\nabla T)+\frac{Dp}{Dt}+\mu\phi \qquad \text{--------(3.29)}$$

สำหรับ Incompressible fluid $du_i=cdT$ ซึ่ง $c=c_v\approx c_p$ สำหรับสมการพลังงานได้

$$\rho c\frac{DT}{Dt}=\nabla\cdot(k\nabla T)+\mu\phi$$
$$\phi=2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right]$$
$$+\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2+\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \qquad \text{--------(3.30)}$$

ถ้าค่า k คงที่จะได้ $\frac{DT}{Dt}=\alpha\nabla^2T+\frac{\mu}{\rho c}\phi$

สำหรับ พิกัดทรงกระบอก(incompressible fluid)

$$\rho c\frac{DT}{Dt}=\nabla\cdot(k\nabla T)+q'''+\mu\phi \qquad \text{--------(3.31)}$$

$$\frac{D}{Dt}=\frac{\partial}{\partial t}+v_r\frac{\partial}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}+w\frac{\partial}{\partial z} \qquad \text{--------(3.32)}$$

$$\nabla\cdot(k\nabla T)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rk\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(k\frac{\partial T}{\partial\theta}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right) \qquad \text{--------(3.33)}$$

$$\phi=2\left[\left(\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)^2+\left\{\frac{1}{r}\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial\theta}+v_r\right)\right\}^2+\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right]$$
$$+\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial\theta}\right)^2+\left(\frac{\partial w}{\partial r}+\frac{\partial v_r}{\partial z}\right)^2+\left[\frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial\theta}+r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{v_\theta}{r}\right)\right]^2 \qquad \text{--------(3.34)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากว่าการไหลเป็นแบบ Laminar ทำให้ความร้องที่เกิดขึ้นจากความหนืดของอนุภาคของไหลมีค่าน้อย จึงพิจารณาให้ค่า dissipation มีค่าน้อยเข้าใกล้ศูนย์ เพราะจะนั้นจะได้สมการพลังงานเป็น

$$\rho\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial(\rho uT)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho vT)}{r\partial r}=\frac{\partial\left[\left(\frac{\mu}{\Pr}\right)\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[r\left(\frac{\mu}{\Pr}\right)\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r} \qquad \text{--------(3.35)}$$

ซึ่ง $\left(\frac{\rho k}{\rho c_p}\right)=\rho\alpha=\frac{\rho\nu}{\Pr}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้ Finite Volume Method

จากสมการที่ได้มาในบทที่ 2 เราสามารถจัดให้อยู่ในรูป General from โดยมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u\Phi)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho v\Phi)}{r\partial r}=\frac{\partial\left[\Gamma_{\Phi x}\left(\frac{\partial\Phi}{\partial x}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[r\Gamma_{\Phi r}\left(\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r}+S_{\Phi}\quad --GeneralEq.$$

↓ Term1 ↓ Term2 ↓ Term3 ↓ Term4 ↓ Term5 ↓ Term6

เมื่อนำสมการที่ได้มาเทียบกับ General Equation

A) สำหรับสมการอนุรักษ์มวล

$\Phi = 1 \qquad \Gamma_{\Phi_x} = 0 \qquad \Gamma_{\Phi_r} = 0 \qquad S_\Phi = S_u + S_p\Phi_p = 0+0\,,(\Phi_p=1)$

B) สำหรับสมการโมเมนตัม

B.1) ในทิศทาง X

$\Phi = u \qquad \Gamma_{\Phi_x} = \mu \qquad \Gamma_{\Phi_r} = \mu$

$$S_\Phi = S_u + S_p\Phi_p = \frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[r\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]}{r\partial r}-\frac{\partial p}{\partial x}+\rho g\beta\Delta T+0\,,(\Phi_p=u)$$

B.2) ในทิศทาง R

$\Phi = v \qquad \Gamma_{\Phi_x} = \mu \qquad \Gamma_{\Phi_r} = \mu$

$$S_\Phi = S_u + S_p\Phi_p = \frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right]}{\partial x}+\frac{\partial\left[\mu r\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r}-\frac{\partial p}{\partial r}-\frac{2\mu v}{r^2}\,,(\Phi_p=v)$$

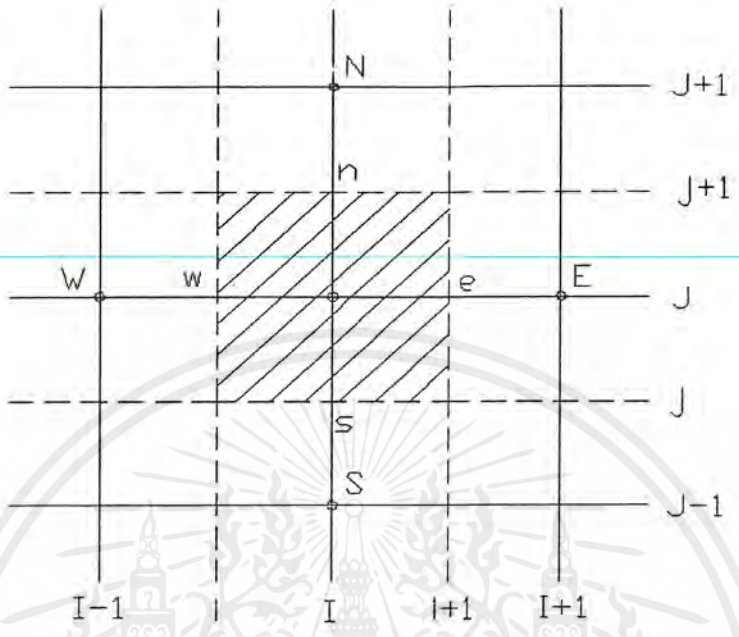
C) สำหรับสมการพลังงาน (Enthalpy = H = c_pT)

$\Phi = T \qquad \Gamma_{\Phi_x} = \mu/Pr \qquad \Gamma_{\Phi_r} = \mu/Pr$

$S_\Phi = S_u + S_p\Phi_p = 0+0\,,(\Phi_p=T)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการสำหรับการไหลแบบ Unsteady Flow



รูปที่ 4.1 แสดงอนุภาคของของไหลที่ใช้ Finite Volume Method หรือที่เรียกว่า cell control volume

The Cells of Control Volume (แสดงในรูปที่ 4.1)

ทำการ Discretised General Equation ในลักษณะการไหลแบบ Laminar Unsteady Incompressible Flow $\left(\rho_p \approx \rho_p^0\right), \Phi_p = \Phi$ ในรูป 4.1

Term 1 Unsteady Term

$$\int_{c\forall}\int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t}\right]dtd\forall = \rho\left(\Phi_p - \Phi_p^0\right)\Delta\forall$$

$$= \rho^0\left(\Phi_p - \Phi_p^0\right)\Delta\forall \qquad \text{---------(4.1)}$$

Term 2 and Term 3 Convection Term

$$\frac{\partial(\rho u\Phi)}{\partial x}+\frac{\partial(r\rho v\Phi)}{r\partial r} = \int_{c\forall}\int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial(\rho u\Phi)}{\partial x}\right]dtd\forall + \int_{c\forall}\int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial(r\rho v\Phi)}{r\partial r}\right]dtd\forall$$

$$= \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\partial\int_{A}\left(\rho u\Phi\right)dA_x\right]dt + \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial\int_{A}\left(r\rho v\Phi\right)dA_r}{r}\right]dt$$

$$= \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\left(\rho u\Phi A\right)_n - \left(\rho u\Phi A\right)_s\right]dt + \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\left(\rho v\Phi A\right)_e - \left(\rho v\Phi A\right)_w\right]dt$$

---------(4.2)

กำหนดให้ 1) F = $\rho u, \rho v$

2) $\int_{t}^{t+\Delta t}(\Phi)dt = \left[\theta(\Phi) + (1-\theta)\left(\Phi^0\right)\right]dt$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \left[\theta\left(F_n A_n \Phi_n - F_s A_s \Phi_s\right) + (1-\theta)\left(F_n A_n \Phi_n^0 - F_s A_s \Phi_s^0\right)\right]\Delta t$$
$$+ \left[\theta\left(F_e A_e \Phi_e - F_w A_w \Phi_w\right) + (1-\theta)\left(F_e A_e \Phi_e^0 - F_w A_w \Phi_w^0\right)\right]\Delta t$$

---------(4.3)

สำหรับ Implicit Scheme ($\theta = 1$)

$$= \left[\left(F_n A_n \Phi_n - F_s A_s \Phi_s\right)\right]\Delta t + \left[\left(F_e A_e \Phi_e - F_w A_w \Phi_w\right)\right]\Delta t$$

---------(4.4)

Term 4 and Term 5 Diffeusion Term

$$\frac{\partial\left[\Gamma_{\Phi x}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)\right]}{\partial x} + \frac{\partial\left[r\Gamma_{\Phi r}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r}$$

$$= \int_{c\forall}\int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial\left[\Gamma_{\Phi x}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)\right]}{\partial x}\right]dtd\forall + \int_{c\forall}\int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial\left[r\Gamma_{\Phi r}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r}\right].dtd\forall$$

$$= \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\partial\int_{A}\Gamma_{\Phi x}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)dA_x\right]dt + \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\frac{\partial\int_{A} r\Gamma_{\Phi r}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial r}\right)dA_r}{r}\right]dt$$

Use Central Difference Scheme

$$\partial\Phi_e = \left(\frac{\Phi_E + \Phi_P}{2}\right) \qquad \partial\Phi_n = \left(\frac{\Phi_N + \Phi_P}{2}\right)$$

$$\partial\Phi_w = \left(\frac{\Phi_P + \Phi_W}{2}\right) \qquad \partial\Phi_s = \left(\frac{\Phi_P + \Phi_S}{2}\right)$$

$$= \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\left(\Gamma_{\Phi_n} A_n\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)_n\right) - \left(\Gamma_{\Phi_s} A_s\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)_s\right)\right]dt$$
$$+ \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\left(\Gamma_{\Phi_e} A_e\left(\frac{\partial \Phi}{\partial r}\right)_e\right) - \left(\Gamma_{\Phi_w} A_w\left(\frac{\partial \Phi}{\partial r}\right)_w\right)\right]dt$$

$$= \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\left(\frac{\Gamma_{\Phi_n} A_n}{2}\left(\frac{\Phi_N - \Phi_P}{\delta x_{PN}}\right)\right) - \left(\frac{\Gamma_{\Phi_s} A_s}{2}\left(\frac{\Phi_P - \Phi_S}{\delta x_{SP}}\right)\right)\right]dt$$
$$+ \int_{t}^{t+\Delta t}\left[\left(\frac{\Gamma_{\Phi_e} A_e}{2}\left(\frac{\Phi_E - \Phi_P}{\delta r_{PE}}\right)\right) - \left(\frac{\Gamma_{\Phi_w} A_w}{2}\left(\frac{\Phi_P - \Phi_W}{\delta r_{WP}}\right)\right)\right]dt$$

กำหนดให้ 1) $D = \frac{\Gamma_\Phi}{\delta x}, \frac{\Gamma_\Phi}{\delta r}$

2) $\int_{t}^{t+\Delta t}(\Phi)dt = \left[\theta(\Phi) + (1-\theta)\left(\Phi^0\right)\right]dt$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \left[D_n A_n \left(\frac{\Phi_N - \Phi_P}{2} \right) - D_s A_s \left(\frac{\Phi_P - \Phi_S}{2} \right) \right] \Delta t$$
$$+ \left[D_e A_e \left(\frac{\Phi_E - \Phi_P}{2} \right) - D_w A_w \left(\frac{\Phi_P - \Phi_W}{2} \right) \right] \Delta t$$

---------(4.5)

Term 6 Source Term

$$\int_{c\forall} \int_{t}^{t+\Delta t} (S\Phi) dt d\forall = S_\Phi \Delta \forall \Delta t$$
$$= \left[S_U + S_P \Phi_P \right] \Delta t \qquad \text{---------(4.6)}$$

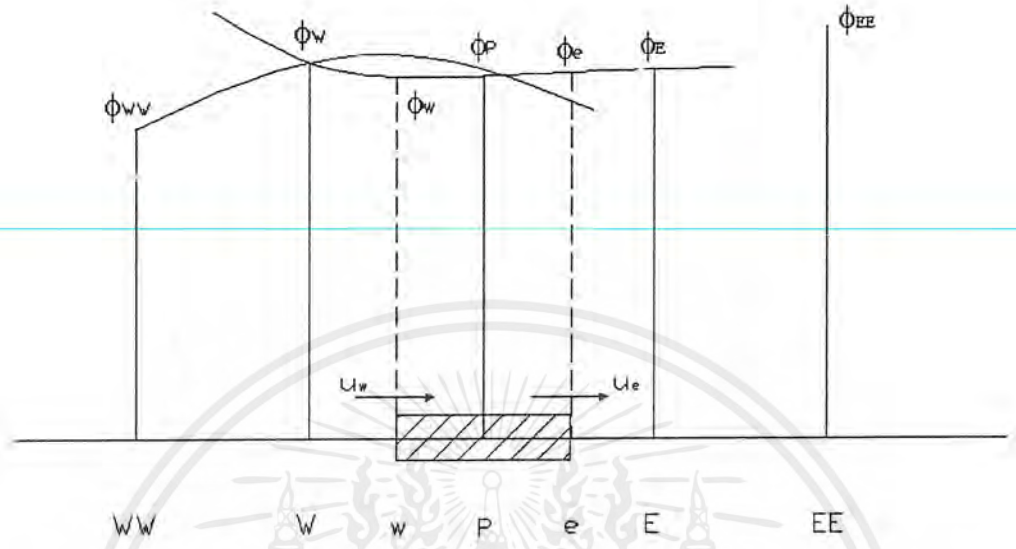
รวม Term 1 ถึง 6 และหารตลอดด้วย Δt จะได้

$$\rho^0 \left(\Phi_p - \Phi_p^0 \right) \frac{\Delta \forall}{\Delta t} \quad \left[D_n A_n \left(\frac{\Phi_N - \Phi_P}{2} \right) - D_s A_s \left(\frac{\Phi_P - \Phi_S}{2} \right) \right]$$
$$+ \left[\left(F_n A_n \Phi_n - F_s A_s \Phi_s \right) \right] = + \left[D_e A_e \left(\frac{\Phi_E - \Phi_P}{2} \right) - D_w A_w \left(\frac{\Phi_P - \Phi_W}{2} \right) \right]$$
$$+ \left[\left(F_e A_e \Phi_e - F_w A_w \Phi_w \right) \right] \quad + \left[S_U + S_P \Phi_P \right] \qquad \text{--------(4.7)}$$

ตอนนี้เราได้สมการที่จะนำไปใช้ในการ Simulate แต่ยังจะมีปัญหาใน Convection Term ซึ่งเราจะต้องทำให้ ตัวแปรของความเร็ว มาอยู่ใน Grid Node เพื่อเป็นการเชื่อมความสัพันธ์ระหว่างสมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน ในการเชื่อมมีอยู่หลายวิธี จะยกตัวอย่าง2วิธีคือ QUICK Scheme และ Hybridge Scheme ในการ Simulate จะใช้วิธี Hybridge Scheme

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The QUICK Scheme



รูปที่ 4.2 แสดงการคิดแบบ QUICK Scheme

สูตรในการแปลงค่าคือ $\Phi_{face} = \frac{6}{8}\Phi_{i-1} + \frac{3}{8}\Phi_i - \frac{1}{8}\Phi_{i-2}$ ---------(4.8)

ถ้า $F_w > 0$ และ $F_e > 0$ ถ้า $F_s > 0$ และ $F_n > 0$

$$\Phi_w = \frac{6}{8}\Phi_W + \frac{3}{8}\Phi_P - \frac{1}{8}\Phi_{WW} \qquad \Phi_s = \frac{6}{8}\Phi_S + \frac{3}{8}\Phi_P - \frac{1}{8}\Phi_{SS}$$

$$\Phi_e = \frac{6}{8}\Phi_P + \frac{3}{8}\Phi_E - \frac{1}{8}\Phi_W \qquad \Phi_n = \frac{6}{8}\Phi_P + \frac{3}{8}\Phi_N - \frac{1}{8}\Phi_S$$

ถ้า $F_w < 0$ และ $F_e < 0$ ถ้า $F_s < 0$ และ $F_n < 0$

$$\Phi_w = \frac{6}{8}\Phi_P + \frac{3}{8}\Phi_W - \frac{1}{8}\Phi_E \qquad \Phi_s = \frac{6}{8}\Phi_P + \frac{3}{8}\Phi_S - \frac{1}{8}\Phi_N$$

$$\Phi_e = \frac{6}{8}\Phi_E + \frac{3}{8}\Phi_P - \frac{1}{8}\Phi_{EE} \qquad \Phi_n = \frac{6}{8}\Phi_N + \frac{3}{8}\Phi_P - \frac{1}{8}\Phi_{NN}$$

เมื่อรวมสมการทั้งหมดและทำการจัดรูปใหม่จะได้

$$a_P\Phi_P = a_E\Phi_E + a_W\Phi_W + a_{EE}\Phi_{EE} + a_{WW}\Phi_{WW} + a_N\Phi_N + a_S\Phi_S + a_{NN}\Phi_{NN} + a_{SS}\Phi_{SS} + a_P^0\Phi_P^0 + S_U \quad \text{---------(4.9)}$$

โดยที่ $\Phi = u, v, T, P$

$$a_P = a_E + a_W + a_{EE} + a_{WW} + a_N + a_S + a_{NN} + a_{SS} + a_P^0 + \Delta F - S_P \quad \text{--------(310)}$$

$$;\Delta F = F_e - F_w + F_n - F_s 4.$$

$$a_W = D_w + \frac{6}{8}\alpha_w F_w + \frac{1}{8}\alpha_e F_e + \frac{3}{8}(1-\alpha_w)F_w \quad \text{--------(4.11)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_{WW} = -\frac{1}{8}\alpha_w F_w \qquad \text{--------(4.12)}$$

$$a_E = D_e - \frac{3}{8}\alpha_e F_e - \frac{6}{8}(1-\alpha_e)F_e - \frac{1}{8}(1-\alpha_w)F_w \qquad \text{--------(4.13)}$$

$$a_{EE} = \frac{1}{8}(1-\alpha_e)F_e \qquad \text{--------(4.14)}$$

$\alpha_w = 1$ สำหรับ $F_w > 0$ และ $\alpha_e = 1$ สำหรับ $F_e > 0$

$\alpha_w = 0$ สำหรับ $F_w < 0$ และ $\alpha_e = 0$ สำหรับ $F_e < 0$

$$a_S = D_s + \frac{6}{8}\alpha_s F_s + \frac{1}{8}\alpha_n F_n + \frac{3}{8}(1-\alpha_s)F_s \qquad \text{--------(4.15)}$$

$$a_{SS} = -\frac{1}{8}\alpha_s F_s \qquad \text{--------(4.16)}$$

$$a_N = D_n - \frac{3}{8}\alpha_n F_n - \frac{6}{8}(1-\alpha_n)F_n - \frac{1}{8}(1-\alpha_s)F_s \qquad \text{--------(4.17)}$$

$$a_{NN} = \frac{1}{8}(1-\alpha_n)F_n \qquad \text{--------(4.18)}$$

$\alpha_s = 1$ สำหรับ $F_s > 0$ และ $\alpha_n = 1$ สำหรับ $F_n > 0$

$\alpha_s = 0$ สำหรับ $F_s < 0$ และ $\alpha_n = 0$ สำหรับ $F_n < 0$

$$a_P^0 = \frac{\rho^0 \Phi_P^0}{\Delta t} \qquad \text{--------(4.19)}$$

$$S_U = S_u \Delta\forall \qquad \text{--------(4.20)}$$

$$S_P = S_p \Delta\forall \qquad \text{--------(4.21)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Hybrid differencing scheme

มีการวัดค่าความสัมพันธ์ของ Convection และ Diffusion โดยใช้ค่าที่เรียกว่า Peclet numbers (Pe) มาตรวจสอบซึ่งถูกกำหนดโดย

$$Pe = \frac{F}{D} = \frac{\rho u}{\Gamma / \delta x} \qquad \text{--------(4.22)}$$

สำหรับ no convection and pure diffusion (Pe=0)

สำหรับ no diffusion and pure convection (Pe$\rightarrow \infty$)

เมื่อเราทำการตรวจสอบค่า Peclet number แล้วจะกำหนดการใช้ Scheme ดังนี้

สำหรับ $Pe < 2$ จะใช้ Centraldifferencing scheme

สำหรับ $Pe \geq 2$ จะใช้ Upwind scheme

จาก $a_P \Phi_P = a_E \Phi_E + a_W \Phi_W + a_N \Phi_N + a_S \Phi_S + a_P \Phi_P^0 + S_U$ --------(4.23)

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + \Delta F - S_P \qquad \text{--------(4.24)}$$

$$\Delta F = F_e - F_w + F_n - F_s$$

$$a_W = \max\left[F_w, \left(D_w + \frac{F_w}{2}\right), 0\right] \quad , \quad a_S = \max\left[F_s, \left(D_s + \frac{F_s}{2}\right), 0\right]$$

$$a_E = \max\left[-F_e, \left(D_e - \frac{F_e}{2}\right), 0\right] \quad , \quad a_N = \max\left[-F_n, \left(D_n - \frac{F_n}{2}\right), 0\right]$$

$$a_P^0 = \frac{\rho^0 \Phi_P^0}{\Delta t}$$

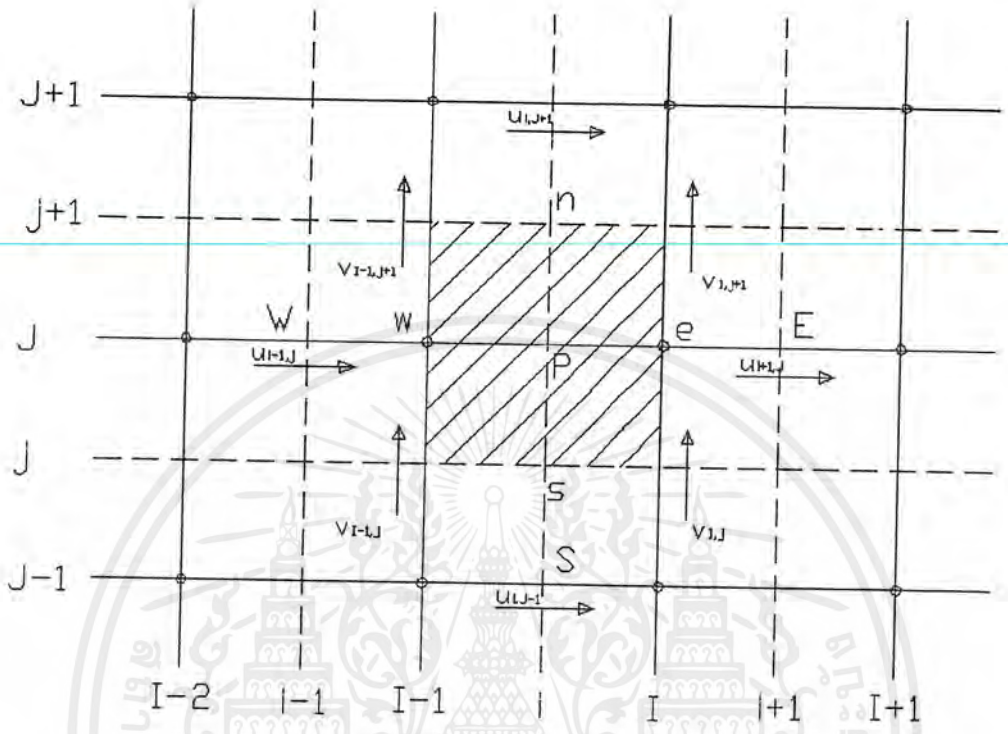
$$S_U = S_u \Delta \forall$$

$$S_P = S_p \Delta \forall$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การใช้สมการที่ทำการ Discretised แล้วหาค่า U,V,P,T



รูปที่ 5.1 แสดง U-cell ในแกน X

สำหรับ สมการโมเมนตัมในแกน X

$\Phi = u$ จะได้ $a_P u_P = a_E u_E + a_W u_W + a_N u_N + a_S u_S + a_P^0 u_P^0 + S_U$

$$S_U = S_u \Delta\forall$$

$$= \left[\frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right]}{\partial x} + \frac{\partial\left[r\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]}{r\partial r} - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \beta \Delta T \right] \Delta\forall$$

$$= -\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)\Delta\forall + S\Delta\forall$$

$$= -\partial P \Delta A_x + S\Delta\forall$$

โดย $$S = \frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right]}{\partial x} + \frac{\partial\left[r\mu\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]}{r\partial r} - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \beta \Delta T$$

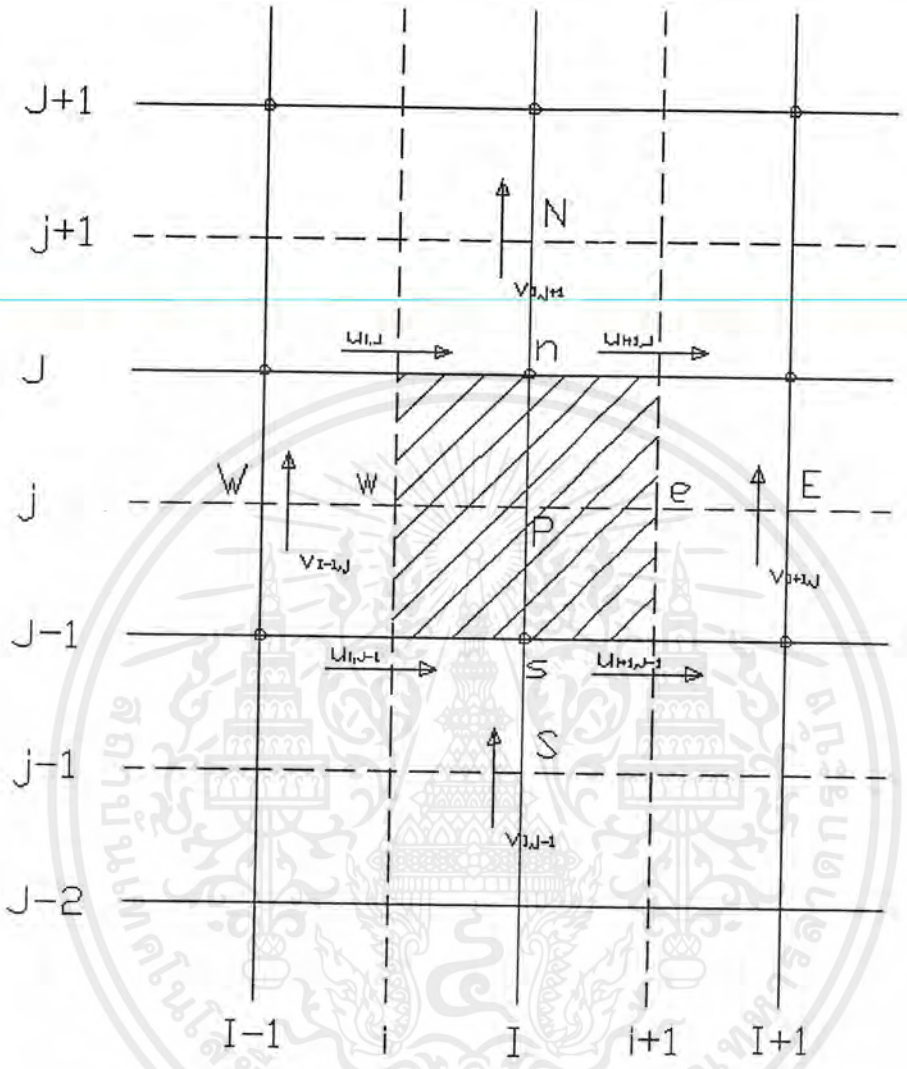
ได้ $$a_P u_P = a_E u_E + a_W u_W + a_N u_N + a_S u_S + a_P^0 u_P^0 - (\partial P)\Delta A_x + S\Delta\forall$$

$$a_{i,J} u_{i,J} = a_{i-1,J} u_{i-1,J} + a_{i+1,J} u_{i+1,J} + a_{i,J-1} u_{i,J-1} + a_{i,J+1} u_{i,J+1} + a_{i,J}^0 u_{i,J}^0 + \left(P_{I-1,J} - P_{I,J}\right) A_{i,J} + S\Delta\forall$$

$$a_{i,J} u_{i,J} = \sum a_{nb} u_{nb} + a_{i,J}^0 u_{i,J}^0 + \left(P_{I-1,J} - P_{I,J}\right) A_{i,J} + S\Delta\forall \qquad \text{---------(5.1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$; \sum a_{nb}u_{nb} = a_{i-1,J}u_{i-1,J} + a_{i+1,J}u_{i+1,J} + a_{i,J-1}u_{i,J-1} + a_{i,J+1}u_{i,J+1}$$



รูปที่ 5.2 แสดง V-cell ในแกน R

สำหรับ สมการโมเมนตัมในทิศทาง R

$$\Phi = v \quad \text{จะได้} \quad a_P v_P = a_E v_E + a_W v_W + a_N v_N + a_S v_S + a_P^0 v_P^0 + S_U$$

$$S_U = S_u \Delta\forall$$

$$= \left[\frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right]}{\partial x} + \frac{\partial\left[\mu r\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r} - \frac{\partial p}{\partial r} - \frac{2\mu v}{r^2} \right] \Delta\forall$$

$$S_U = S_u \Delta\forall$$

$$= -\left(\frac{\partial P}{\partial r}\right)\Delta\forall + S\Delta\forall$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= -\partial P \Delta A_r + S\Delta\forall$$

โดย $$S = \frac{\partial\left[\mu\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right]}{\partial x} + \frac{\partial\left[\mu r\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)\right]}{r\partial r} - \frac{2\mu v}{r^2}$$

ได้ $$a_P v_P = a_E v_E + a_W v_W + a_N v_N + a_S v_S + a_P^0 v_P^0 - (\partial P)\Delta A_r + S\Delta\forall$$

$$a_{I,j} v_{I,j} = a_{I-1,j} v_{I-1,i} + a_{I+1,j} v_{I+1,j} + a_{I,j-1} v_{I,j-1} + a_{I,j+1} v_{I,j+1} + a_{I,j}^0 v_{I,j}^0 + \left(P_{I,J-1} - P_{I,J}\right) A_{I,j} + S\Delta\forall$$

$$a_{I,j} v_{I,j} = \sum a_{nb} v_{nb} + a_{I,j}^0 v_{I,j}^0 + \left(P_{I,J-1} - P_{I,J}\right) A_{I,j} + S\Delta\forall \qquad \text{---------(5.2)}$$

$$; \sum a_{nb} v_{nb} = a_{I-1,j} v_{I-1,j} + a_{I+1,j} v_{I+1,j} + a_{I,j-1} v_{I,j-1} + a_{I,j+1} v_{I,j+1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าของตัวแปร

SIMPLE Algorithm

เราทำการเดาค่าโดย P^*,u^*,v^* แทนการเดาค่า ใส่ในสมการ (4.1) และ (4.2)

$$a_{i,J}u^*_{i,J} = \sum a_{nb}u^*_{nb} + a^0_{i,J}u^{*0}_{i,J} + \left(P^*_{I-1,J} - P^*_{I,J}\right)A_{i,J} + S\Delta\forall \qquad \text{---------(5.3)}$$

$$a_{I,j}v^*_{I,j} = \sum a_{nb}v^*_{nb} + a^0_{I,j}v^{*0}_{I,j} + \left(P^*_{I,J-1} - P^*_{I,J}\right)A_{I,j} + S\Delta\forall \qquad \text{---------(5.4)}$$

ให้ P', u', v' เป็นผลต่างระหว่าง P,u,v จริงกับ P^*,u^*,v^* ที่เดาค่า

$$P = P^* + P' \qquad \text{---------(5.5)}$$

$$u = u^* + u' \qquad \text{---------(5.6)}$$

$$v = v^* + v' \qquad \text{---------(5.7)}$$

สมการ (5.1) = (5.3)

$$a_{i,J}\left(u_{i,J} - u^*_{i,J}\right) = \sum a_{nb}\left(u_{nb} - u^*_{nb}\right) + a^0_{i,J}\left(u^0_{i,J} - u^{*0}_{i,J}\right) + \left[\left(P_{I-1,J} - P^*_{I-1,J}\right) - \left(P_{I,J} - P^*_{I,J}\right)\right]A_{i,J} \qquad \text{---------(5.8)}$$

สมการ (5.2) = (5.4)

$$a_{I,j}\left(v_{I,j} - v^*_{I,j}\right) = \sum a_{nb}\left(u_{nb} - v^*_{nb}\right) + a^0_{I,j}\left(v^0_{I,j} - v^{*0}_{I,j}\right) + \left[\left(P_{I,J-1} - P^*_{I,J-1}\right) - \left(P_{I,J} - P^*_{I,J}\right)\right]A_{i,J} \qquad \text{---------(5.9)}$$

แทน (5.5) และ (5.6) ใน (5.8)

$$a_{i,J}u'_{i,J} = \sum a_{nb}u'_{nb} + a^0_{i,J}u'^0_{i,J}\left(P'_{I-1,J} - P'_{I,J}\right)A_{i,J} \qquad \text{--------(5.10)}$$

แทน (5.5) และ (5.7) ใน (5.9)

$$a_{I,j}v'_{I,j} = \sum a_{nb}v'_{nb} + a^0_{I,j}v'^0_{I,j} + \left(P'_{I,J-1} - P'_{I,J}\right)A_{I,j} \qquad \text{--------(5.11)}$$

เราตัดเทอมของ $\sum a_{nb}u'_{nb}, a^0_{i,J}u'^0_{i,J}, \sum a_{nb}v'_{nb}, a^0_{I,j}v'^0_{I,j}$ ออก

เพราะใน Converged Solution เทอมเหล่านี้จะเป็น 0

จะได้ $P^*=P$, $u^*=u$, $v^*=v$

$$a_{i,J}u'_{i,J} = \left(P'_{I-1,J} - P'_{I,J}\right)A_{i,J}$$

$$u'_{i,J} = d_{i,J}\left(P'_{I-1,J} - P'_{I,J}\right) \quad ; d_{i,J} = \frac{A_{i,J}}{a_{i,J}}$$

$$u_{i,J} = u^*_{i,J} + d_{i,J}\left(P'_{I-1,J} - P'_{I,J}\right) \qquad \text{--------(5.12)}$$

$$a_{I,J}v'_{I,j} = \frac{r}{2}\left(P'_{I,J-1} - P'_{I,J}\right)A_{I,j}$$

$$v'_{I,j} = d_{I,j}\left(P'_{I,J-1} - P'_{I,J}\right) \quad ; d_{I,j} = \frac{A_{I,j}}{a_{I,j}}$$

$$v_{I,j} = v^*_{I,j} + d_{I,j}\left(P'_{I,J-1} - P'_{I,J}\right) \qquad \text{--------(5.13)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u_{i+1,J} = u^{*}_{i+1,J} + d_{i+1,J}\left(P^{'}_{I,J} - P^{'}_{I+1,J}\right) \;;\; d_{i+1,J} = \frac{A_{i+1,J}}{a_{i+1,J}} \qquad \text{--------(5.14)}$$

$$v_{I,j+1} = v^{*}_{I,j+1} + d_{I,j+1}\left(P^{'}_{I,J} - P^{'}_{I,J+1}\right) \;;\; d_{I,j+1} = \frac{A_{I,j+1}}{a_{I,j+1}} \qquad \text{--------(5.15)}$$

From Conservation of Mass

$$\frac{\partial r\rho v}{r\partial r} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

ใช้ Finite Volume จะได้

$$\left(\rho_P - \rho_P^0\right)\frac{\Delta\forall}{\Delta t} + \left[(\rho uA)_{i+1,J} - (\rho uA)_{i,J}\right] + \left[(\rho vA)_{I,j+1} - (\rho vA)_{I,j}\right] = 0 \qquad \text{--------(5.16)}$$

แทน (4.12) , (4.13) , (4.14) , (4.15) ใน (4.16)

$$a_{I,J}P^{'}_{I,J} = a_{I+1,J}P^{'}_{I+1,J} + a_{I-1,J}P^{'}_{I-1,J} + a_{I,J+1}P^{'}_{I,J+1} + a_{I,J-1}P^{'}_{I,J-1} + b^{'}_{I,J} \qquad \text{--------(5.17)}$$

ซึ่ง $a_{I,J} = a_{I+1,J} + a_{I-1,J} + a_{I,J+1} + a_{I,J-1}$

$$b^{'}_{I,J} = \left[\left(\rho u^{*}A\right)_{i,J} - \left(\rho u^{*}A\right)_{i+1,J}\right] + \frac{r}{2}\left[\left(\rho v^{*}A\right)_{I,j} - \left(\rho v^{*}A\right)_{I,j+1}\right]$$

$$a_{I+1,J} = \left(\rho dA\right)_{i+1,J} \quad , \quad a_{I-1,J} = \left(\rho dA\right)_{i,J}$$

$$a_{I,J+1} = \left(\rho dA\right)_{I,j+1} \quad , \quad a_{I,J-1} = \left(\rho dA\right)_{I,j}$$

การใช้ Relaxation ระหว่างการ Iteration

จะใช้ under-relaxation ในการคำนวณ เพื่อเป็นการหน่วงการ Converge ทำให้ทุกตัวแปร Converge ในเวลาใกล้เคียงกันป้องกันความผิดพลาดในการหาค่า จะแทนด้วย α

$$P^{new} = P^{*} + \alpha_P P^{'} \qquad \text{--------(5.18)}$$

$$u^{new} = \alpha_u u + \left(1-\alpha_u\right)u^{(n-1)} \qquad \text{--------(5.19)}$$

$$v^{new} = \alpha_v v + \left(1-\alpha_v\right)v^{(n-1)} \qquad \text{--------(5.20)}$$

ค่า (n-1) คือ ค่าที่ Previous Iteration จะได้สมการ Momentum คือ

$$\frac{a_{i,J}}{\alpha_u}u_{i,J} = \sum a_{nb}u_{nb} + \left(P_{I-1,J} - P_{I,J}\right)A_{i,J} + b_{i,J} + \left[\left(1-\alpha_u\right)\frac{a_{i,J}}{\alpha_u}\right]u^{(n-1)}_{i,J} \qquad \text{--------(5.21)}$$

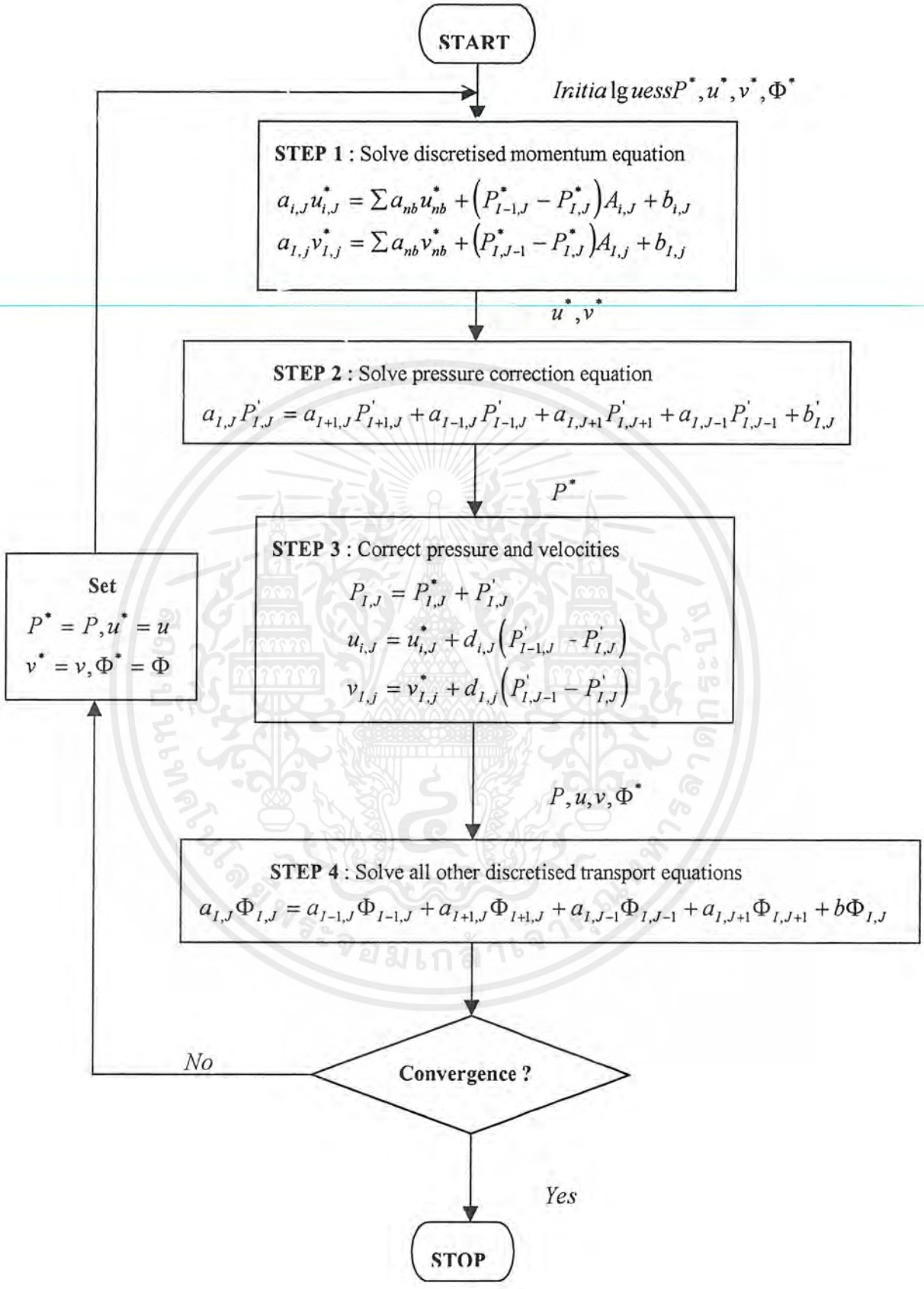
$$\frac{a_{I,j}}{\alpha_v}u_{I,J} = \sum a_{nb}v_{nb} + \left(P_{I,J-1} - P_{I,J}\right)A_{I,j} + b_{I,j} + \left[\left(1-\alpha_v\right)\frac{a_{I,j}}{\alpha_v}\right]v^{(n-1)}_{I,j} \qquad \text{--------(5.22)}$$

และในสมการของ Pressure ที่ d-terms จะได้

$$d_{i,J} = \frac{A_{i,J}\alpha_u}{a_{i,J}} \quad , \quad d_{I,j} = \frac{A_{I,j}\alpha_v}{a_{I,j}}$$

$$d_{i+1,J} = \frac{A_{i+1,J}\alpha_u}{a_{i+1,J}} \quad , \quad d_{I,j+1} = \frac{A_{I,j+1}\alpha_v}{a_{I,j+1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงวิธี Simple Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Tri-Diagonal Matrix Algorithm (TDMA)

การแก้สมการหาค่าโดยใช้วิธี TDMA

$$-a_S\Phi_S + a_P\Phi_P - a_N\Phi_N = a_W\Phi_W + a_E\Phi_R + a_P^0\Phi_P^0 + S_U$$

สมมติให้สมการทางขวารู้ค่าที่เวลา t

$$-a_S\Phi_S + a_P\Phi_P - a_N\Phi_N = \text{Constant} = C$$

เขียนรูปใหม่ได้เป็น

$$-\beta_j\Phi_j + D_j\Phi_j - \alpha_j\Phi_{j+1} = C_j$$

โดยที่ $\beta_j = a_S$, $D_j = a_P$, $\alpha_j = a_N$ และ $C_j = a_W\Phi_W + a_E\Phi_E + a_P^0\Phi_P^0 + S_U$

จัดรูปใหม่ $$\Phi_j = \left(\frac{\alpha_j}{D_j}\right)\Phi_{j+1} + \left(\frac{\beta_j}{D_j}\right)\Phi_{j-1} + \frac{C_j}{D_j} \qquad \text{--------(5.23)}$$

ถ้าเราจัดสมการ (5.19) ที่ $\Phi_{j=1}$ และ $\Phi_{j=n+1}$ เป็นจุดที่รู้ค่าขอบจะเขียนได้เป็น

$$\Phi_1 = C_1 \qquad \text{----------(A)}$$

$$\Phi_2 = \left(\frac{\alpha_2}{D_2}\right)\Phi_3 + \left(\frac{\beta_2}{D_2}\right)\Phi_1 + \left(\frac{C_2}{D_2}\right) \qquad \text{----------(B)}$$

$$\Phi_3 = \left(\frac{\alpha_3}{D_3}\right)\Phi_4 + \left(\frac{\beta_3}{D_3}\right)\Phi_2 + \left(\frac{C_3}{D_3}\right) \qquad \text{----------(C)}$$

$$\Phi_4 = \left(\frac{\alpha_4}{D_4}\right)\Phi_5 + \left(\frac{\beta_4}{D_4}\right)\Phi_3 + \left(\frac{C_4}{D_4}\right) \qquad \text{----------(D)}$$

$$\Phi_n = \left(\frac{\alpha_n}{D_n}\right)\Phi_{n+1} + \left(\frac{\beta_n}{D_n}\right)\Phi_{n-1} + \left(\frac{C_n}{D_n}\right) \qquad \text{----------(E)}$$

แทน Φ_2 ในสมการ (B) ลงไปในสมการ (C)

$$\Phi_3 = \left(\frac{\alpha_3}{\left(D_3 - \beta_3 A_2\right)}\right)\Phi_4 + \left(\frac{\beta_3 C_2^{'} + C_3}{\left(D_3 - \beta_3 A_2\right)}\right) \qquad \text{----------(F)}$$

$$; \; A_2 = \frac{\alpha_2}{D_2} \text{ และ } C_2^{'} = \left(\frac{\beta_2}{D_2}\right)\Phi_1 + \frac{C_2}{D_2}$$

ให้ $A_3 = \left(\frac{\alpha_3}{\left(D_3 - \beta_3 A_2\right)}\right)$ และ $C_3^{'} = \left(\frac{\beta_3 C_2^{'} + C_3}{\left(D_3 - \beta_3 A_2\right)}\right)$

สมการ (F) จะกลายเป็น

$$\Phi_3 = A_3\Phi_4 + C_3^{'} \qquad \text{----------(G)}$$

สมการ (G) นำไปใช้แทน Φ_3 ในสมการ (D) ทำซ้ำแบบนี้กับตัวต่อไปจะได้

$$\Phi_j = A_j\Phi_{j+1} + C_j^{'} \qquad \text{----------(H)}$$

โดย $$A_j = \left(\frac{\alpha_j}{\left(D_j - \beta_j A_{j-1}\right)}\right) \text{ และ } C_j^{'} = \left(\frac{\beta_j C_{j-1}^{'} + C_j}{\left(D_j - \beta_j A_{j-1}\right)}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (H) ตั้งค่าโดย

$$A_{j=1} = 0 \quad \text{ได้} \quad C'_{j=1} = \Phi_1$$

$$A_{j=n+1} = 0 \quad \text{ได้} \quad C'_{j=n+1} = \Phi_{n+1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ภาษา FORTRAN

การใช้งานคำสั่งภาษาFORTRANเบื้องต้น

6.1 คำสั่งในการกำหนดค่าตัวแปร (Assignment statement)

- *คำสั่งกำหนดค่าเลขคณิต (Arithmetic as.)*
- *คำสั่งกำหนดค่าตรรกะ (Logical as.)*
- *คำสั่งกำหนดค่าอักขระ (Character as.)*

6.2 คำสั่งควบคุม (Control statement)

- *คำสั่ง GOTO*

1) Unconditional GOTO
2) Computed GOTO
3) ASSIGN และ ASSIGNED GOTO

- *คำสั่ง IF*

1) IF เลขคณิต (Arithmetic IF)
2) IF ตรรกะ (Logical IF)
3) BLOCK IF (IF THEN , ELSE IF , ELSE , END IF , IF ซ้อนกัน)

- *คำสั่ง DO*
- *คำสั่ง CONTINUE*
- *คำสั่ง STOP*
- *คำสั่ง PAUSE*
- *คำสั่ง END*

6.3 คำสั่งในการนำข้อมูลเข้าออก (Input/Output statement) และคำสั่งในการจัดการข้อมูลกับแฟ้ม(File Operation)

- *คำสั่ง READ*
- *คำสั่ง WRITE*
- *คำสั่ง PRINT*
- *คำสั่ง OPEN*
- *คำสั่ง CLOSE*
- *คำสั่ง INQUIRE*
- *คำสั่ง REWIND , BACKSPACE , ENDFILE*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 คำสั่งเฉพาะ (Specific statement)

- *คำสั่งในการกำหนดชนิดตัวแปร*

1) REAL , INTEGER
2) DOUBLE PRECISION
3) COMPLEX
4) CHARACTER
5) LOGICAL

- *คำสั่ง IMPLICIT*
- *คำสั่ง PROGRAM*
- *คำสั่ง PARAMETER*
- *คำสั่ง DIMENSION*
- *คำสั่ง COMON*
- *คำสั่ง EQUIVALENCE*
- *คำสั่ง DATA*
- *คำสั่ง BLOCK DATA*
- *คำสั่ง EXTERNAL*
- *คำสั่ง INTRINSIC*
- *คำสั่ง NAMELIST*

6.5 คำสั่ง FORMAT ซึ่งจะประกอบด้วย FORMAT CODE ต่าง ๆ

- *FORMAT CODE สำหรับข้อมูลตัวเลข (Numeric format code)*

1) I – FORMAT CODE สำหรับการ WRITE
2) I – FORMAT CODE สำหรับการ READ
3) F – FORMAT CODE สำหรับการ WRITE
4) F – FORMAT CODE สำหรับการ READ
5) E – FORMAT CODE
6) D – FORMAT CODE
7) G – FORMAT CODE
8) Scale factor

- *FORMAT CODE สำหรับข้อมูลตรรกะ (Logical format code)*
- *FORMAT CODE สำหรับข้อมูลอักขระ (Character format code)*

1) Literal format
2) A – FORMAT CODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) H – FORMAT CODE

- *EDIT CODE*

1) X – FORMAT CODEสำหรับการ WRITE

2) X – FORMAT CODEสำหรับการ READ

3) T – FORMAT CODEสำหรับการ WRITE

4) T – FORMAT CODEสำหรับการ READ

5) / (Slash)

6) TL – FORMAT CODE

7) TR FORMAT CODE

- *FORMAT CODE อื่น ๆ*

1) : (Colon)

2) SP – FORMAT CODE

3) SS – FORMAT CODE

4) S – FORMAT CODE

5) BN – FORMAT CODE

6) BZ – FORMAT CODE

6.6 โปรแกรมย่อย (Subroutine, Subprogram)

- *คำสั่งในการกำหนด Statement function*

- *FUNCTION*

- *SUBROUTINE*

- *RETURN*

- *CALL*

- *ENTRY*

- *SAVE*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายความหมายแต่ละคำสั่ง

6.1 คำสั่งในการกำหนดค่าตัวแปร (Replacement หรือ Assignment statement)

รูปทั่วไป | ตัวแปร = นิพจน์ |

คำสั่งนี้จะทำการคำนวณหาค่าของนิพจน์ก่อน แล้วค่าของมันจะถูกเก็บไว้ในตัวแปรทางด้านซ้ายของคำสั่ง เครื่องหมายเท่ากับ (=) เป็นเครื่องหมายแสดงการแทนที่ คำสั่ง X=X+1 ใช้ได้เพราะหมายความว่า บวกหนึ่งเข้ากับค่าของ X ที่มีอยู่ แล้วเก็บผลลัพธ์ใหม่ใน X (X มีค่าเพิ่มจากเดิมอีกหนึ่ง)

ตัวอย่าง X=3.123 กำหนด X ให้มีค่า 3.123

(เก็บ 3.123 ในที่ ๆ ซึ่ง X ค่าเก่าของ X จะหายไป)

C1=(A+B)/C คำนวณ (A+B)/C แล้วเก็บผลลัพธ์ใน C1

- คำสั่งกำหนดค่าเลขคณิต (Arithmetic as.)

คือการเก็บค่าที่มีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ หรือไม่ประมวลผลก็ตาม อาจจะเป็นการเก็บค่าตัวเลขธรรมดาก็ได้ดังเช่นตัวอย่างข้างต้น

- คำสั่งกำหนดค่าตรรกะ (Logical as.)

รูปทั่วไป | LOGICAL รายชื่อตัวแปร |

| ตัวแปรตรรกะ = นิพจน์ตรรกะ |

นิพจน์ตรรกะนั้นใช้ในคำสั่งกำหนดค่าก็ได้โดยเราต้องกำหนดตัวแปรที่จะเก็บค่าของนิพจน์ตรรกะให้เป็นตัวแปรตรรกะ (Logical variable) โดยใช้คำสั่ง LOGICAL

ตัวอย่าง LOGICAL X , I , A

X , I และ A จะเป็นตัวแปรตรรกะ ซึ่งจะถูกกำหนดค่าเป็น .TRUE. หรือ .FALSE. โดยใช้คำสั่งกำหนดค่าตรรกะได้ (ในกรณีนี้จะกำหนดค่าที่เป็นเลขจำนวนให้มันไม่ได้)

- คำสั่งกำหนดค่าอักขระ (Character as.)

ในการกำหนดตัวแปรให้เป็นตัวแปรอักขระเพื่อเก็บข้อมูลอักขระ ตามปกติขนาดของตัวแปรอักขระคือ 1 ไบต์ (1 ไบต์ เก็บได้ 1 ตัวอักขระ) นอกจากเราจะระบุความยาวเป็นอย่างอื่น คำสั่ง CHAKACTER เป็นคำสั่งไม่ปฏิบัติงาน และต้องใส่คำสั่งนี้ก่อนคำสั่งปฏิบัติการใด ๆ

ตัวอย่าง CHARACTER*10 INIT , FIRST

คำสั่งนี้ทำให้ตัวแปรทั้ง 2 เป็นตัวแปรอักขระ ซึ่งแต่ละตัวมีความยาว 10 ไบต์

CHARACTER*10 FNAME , LNAME*5 , INIT*1 , STREET , CITY

คำสั่งนี้ทำให้ตัวแปรทั้ง 5 เป็นตัวแปรอักขระโดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FNAME , STREET , CITY แต่ละตัวจะมีความยาว 10 ไบต์

LNAME มีความยาว 5 ไบต์

INIT มีความยาว 1 ไบต์

CHARACTER A*4 / 'HATS' / , L / 'M' / ,ST*3 / 'DO' / ,NO / 'TR' /

หมายความว่า A มีความยาว 4 ไบต์ ดังนั้น A เก็บ

H	A	T	S

L ไม่ระบุความยาวดังนั้นจะยาว 1 ไบต์ L จะเก็บ

M

ST มีความยาว 3 ไบต์ดังนั้น ST จะเก็บ

D	O	

NO มีความยาว 1 ไบต์ดังนั้น NO จะเก็บ

T

โปรดสังเกตว่าในการใช้คำสั่ง CHARACTER เพื่อกำหนดข้อมูลเริ่มต้นแก่ตัวแปร ตัวอักขระ 1 ตัวทางซ้ายเท่านั้นที่จะถูกเก็บในตัวแปร ดูสิ่งที่เก็บไว้ใน NO

6.2 คำสั่งควบคุม (Control statement)

- คำสั่ง GOTO

1) คำสั่ง DO แบบไม่มีเงื่อนไข (Unconditional GOTO statement)

รูปทั่วไป | GOTO เลขประจำคำสั่ง |

เลขประจำคำสั่ง ต้องเป็นคำสั่งปฏิบัติการ

โปรแกรมภาษาฟอร์แทรนประกอบด้วยชุดของคำสั่ง คำสั่งจะถูกปฏิบัติตามไปตามลำดับของคำสั่ง เมื่อพบคำสั่ง GOTO มันจะโยกย้ายไปทำตามคำสั่งที่ระบุเลขประจำคำสั่งไว้ในคำสั่ง GOTO คำสั่งนี้จะทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถที่จะข้ามคำสั่งบางส่วนในโปรแกรมได้ และทำให้สามารถสั่งให้ทำซ้ำชุดคำสั่งตามจำนวนครั้งที่ต้องการได้ ซึ่งเราเรียกว่าการทำลูป (Looping)

ตัวอย่าง GOTO 30

.
.
. } คำสั่งส่วนนี้จะถูกข้ามไป
.

30 READ (5,10) X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คำสั่ง Computed GOTO

รูปทั่วไป

```
GOTO (no1,no2,.....non ),ตัวแปร
```

โดยที่ ตัวแปรต้องเป็นชนิด Integer

$no_1, no_2, \ldots, no_n$ เป็นเลขประจำคำสั่งของคำสั่งปฏิบัติการในโปรแกรมนั้น ๆ

ถ้าค่าของตัวแปรเป็น 1 คำสั่งที่ no_1 จะถูกทำ (GOTO no_1)

ถ้าค่าของตัวแปรเป็น 2 คำสั่งที่ no_2 จะถูกทำ (GOTO no_2)

.

.

ถ้าค่าของตัวแปรเป็น 1 คำสั่งที่ no_n จะถูกทำ (GOTO no_n)

ตัวอย่าง GOTO (3,57,100,4), N

ถ้า N=1 , GOTO 3

ถ้า N=2 , GOTO 57

ถ้า N=3 , GOTO 100

ถ้า N=4 , GOTO 4

3) ASSIGN และ ASSIGNED GOTO

รูปทั่วไปของคำสั่ง

```
GOTO ตัวแปรชนิด integer , (n1 , n2 , ... , nk)
```

```
ASSIGN เลขประจำคำสั่ง TO ตัวแปรชนิด Integer
```

คำสั่ง Assigned GOTOใช้ตัวแปรชนิด Integer ในการเลือกคำสั่งที่จะถูกกระทำต่อไปในที่นี้ $n_1 , n_2 , \ldots , n_k$ เป็นเลขประจำคำสั่งของคำสั่งปฏิบัติการ ก่อนคำสั่ง assigned GOTO จะต้องกำหนดเลขประจำคำสั่งให้เก็บไว้ในตัวแปรชนิด integer ก่อนโดยใช้คำสั่ง ASSIGN ดังนั้นตัวแปรชนิด integer จะเท่ากับ n ตัวใดตัวหนึ่งในคำสั่ง assigned GOTO

ตัวอย่าง ASSIGN 12 TO N

.

.

GOTO N , (13 , 23 , 25 , 3) ⟹ จะทำให้คำสั่งที่ 12 ถูกทำต่อจากคำสั่งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำสั่ง IF

1) คำสั่ง IF เลขคณิต (Arithmetic IF statement)

รูปแบบทั่วไป | IF (นิพจน์เลขคณิต) n_1 , n_2 , n_3 |

โดยที่ IF เป็นคีย์เวิร์ด

n_1 , n_2 , n_3 เป็นเลขประจำคำสั่งของคำสั่งปฏิบัติการในโปรแกรมนั้น ๆ

การทำงานตามคำสั่ง IF เลขคณิตเป็นไปตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการคำนวณเพื่อหาค่าของนิพจน์เลขคณิต
2. ถ้าผลลัพธ์ของเลขคณิตมีค่าเป็นลบ คอมพิวเตอร์จะทำตามคำสั่งเลขที่ n_1

ถ้าผลลัพธ์ของเลขคณิตมีค่าเป็นศูนย์ คอมพิวเตอร์จะทำตามคำสั่งเลขที่ n_2

ถ้าผลลัพธ์ของเลขคณิตมีค่าเป็นบวก คอมพิวเตอร์จะทำตามคำสั่งเลขที่ n_3

คำสั่ง IF เลขคณิตนั้นทำให้เราสามารถเลือกทางปฏิบัติได้ถึง 3 ทาง ในขณะที่คำสั่ง IF ตรรกะมีให้เลือกเพียง 2 ทาง เครื่องหมาย ' : ' หมายความว่า เปรียบเทียบกัน

ตัวอย่าง IF (A - B) 11 , 2 , 34

หมายความว่า ถ้า A – B < 0 หรือ A < B แล้วให้ทำตามคำสั่งเลขที่ 11

ถ้า A – B = 0 หรือ A = B แล้วให้ทำตามคำสั่งเลขที่ 2

ถ้า A – B > 0 หรือ A > B แล้วให้ทำตามคำสั่งเลขที่ 34

2) คำสั่ง IF ตรรกะ (Logical IF statement)

รูปแบบทั่วไป | IF (นิพจน์ตรรกะ) GOTO เลขประจำ |

โดยที่ นิพจน์ตรรกะ (Logical expression) คือ นิพจน์ที่ประกอบด้วยนิพจน์เลขคณิต 2 นิพจน์ซึ่งถูกเชื่อมกันด้วยตัวดำเนินการเปรียบเทียบ (Relational operator : rop)

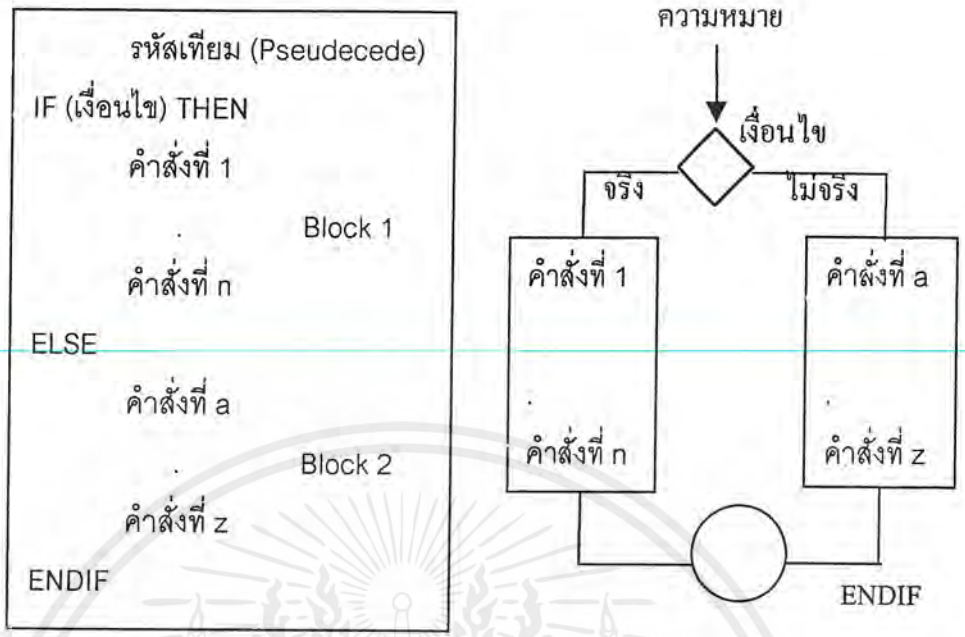
หน่วยคำนวณและตรรกะ ในหน่วยประมวลผลส่วนกลางสามารถทำงานตามตรรกะได้ หน่วยสามารถทำการเปรียบเทียบเลขจำนวนได้ และใช้ผลการเปรียบเทียบในตัดสินใจ

คำสั่ง IF จะทำให้คอมพิวเตอร์โยกย้ายการทำงานไปยังที่ ๆ โดยขึ้นอยู่กับว่าเงื่อนไขที่ตั้งไว้จริงหรือไม่จริง ด้วยวิธีนี้โปรแกรมจึงอาจประกอบด้วยทางให้เลือกหลาย ๆ ทางซึ่งแต่ละทางเลือกนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูล ชุดของคำสั่งอาจถูกข้ามไปโดยไม่ถูกปฏิบัติตามทั้งนี้ เนื่องมาจากผลของคำสั่งของ IF ตรรกะ

3) BLOCK IF (IF THEN , ELSE IF , ELSE , END IF , IF ซ้อนกัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบทั่วไปของโครงสร้าง IF – THEN – ELSE



BLOCK IF (โครงสร้างรูป IF – THEN – ELSE) ซึ่งทำให้การอ่านโปรแกรมง่ายขึ้นโดยลดคำสั่ง GOTO ลงโดยที่คำสั่งที่ 1 ถึงคำสั่งที่ n อาจเป็นคำสั่งใด ๆ ในภาษาฟอร์แทรนยกเว้นคำสั่ง IF ตรรกะ และ IF เลขคณิต ถ้าเงื่อนไข (Condition) เป็นจริง คำสั่งที่ 1 ถึงคำสั่งที่ n (นั่นคือคำสั่งทั้งหมดก่อนค่า ELSE) จะถูกกระทำ ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จ คำสั่งที่ a ถึงคำสั่งที่ z (นั่นคือคำสั่งระหว่างค่า ELSE และ ENDIF) จะถูกกระทำ หลังจากแต่ละกรณีดังกล่าวข้างต้นคำสั่งหลัง ENDIF จะถูกกระทำ

ขอให้สังเกตการย่อหน้าคำสั่ง IF / ELSE และ ELSE / ENDIF ทั้งนี้เพื่อช่วยการอ่านค่า ENDIF นั้นต้องใส่ไว้ถ้าใช้ IF / THEN คีย์เวิร์ด 3 ตัว คือ IF , ELSE และ ENDIF ควรเขียนให้ตรงกัน

กฎข้อหนึ่งคือค่า ELSE และ ENDIF จะไม่มีเลขประจำคำสั่ง ดังนั้นจะไม่มีการอ้างถึงคำสั่ง ELSE และ ENDIF จากส่วนอื่นของโปรแกรม

- คำสั่ง DO

คำสั่ง DO นั้นใช้ควบคุมการทำงานของลูป วิธีการควบคุมก็คือทำให้ตัวแปรที่ใช้ควบคุมมีค่าเริ่มต้น (Initial value) มีส่วนที่เปลี่ยน (Increment) และมีค่าทดสอบ (Test value) ที่จะควบคุมการออกจากลูป

คำสั่ง DO จะกำหนดค่าเริ่มต้น ส่วนที่เปลี่ยน ค่าทดสอบของตัวดรรชนี (Counter หรือ Index) และเรนจ์ของ DO ซึ่งในทุกคำสั่งในเรนจ์ของ DO จะถูกทำตามจำนวนครั้งที่ระบุไว้

รูปทั่วไป

DO เลขประจำคำสั่ง ดรรชนี=ค่าเริ่มต้น , ค่าทดสอบ , [ส่วนที่เปลี่ยนไป]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ DO เป็นคีย์เวิร์ด

เลขประจำคำสั่ง คือ เลขประจำคำสั่งของคำสั่งสุดท้ายของลูป

ดรรชนี เป็นตัวแปรชนิด Integer บางครั้งเราเรียกว่า ตัวแปรของคำสั่ง DO (DO Variable) ซึ่งใช้เป็นตัวนับจำนวนครั้งที่คำสั่งในลูปจะถูกกระทำซ้ำ

ค่าเริ่มต้น เป็นค่าคงที่จำนวนเต็มบวกหรือตัวแปรชนิด Integer ซึ่งจะเป็นค่าเริ่มต้นของดรรชนี (สำหรับฟอร์แทรนคอมไพล์เลอร์บางตัว ค่าเริ่มต้นอาจอยู่ในรูปนิพจน์ เลขคณิตชนิด Integer หรือ Real ก็ได้)

ค่าทดสอบ เป็นค่าคงที่จำนวนเต็มบวกหรือตัวแปรชนิด Integer ซึ่งค่าของดรรชนีจะถูกเปรียบเทียบกับค่าทดสอบว่าถ้ามันมีค่ามากกว่าค่าทดสอบ เราจะออกจากลูป (สำหรับฟอร์แทรนคอมไพล์เลอร์บางตัว ค่าทดสอบอาจอยู่ในค่านิพจน์เลขคณิตชนิด Integer หรือ Real ก็ได้)

ส่วนที่เปลี่ยน จะมีหรือไม่มีก็ได้เป็นค่าคงที่จำนวนเต็มบวกหรือตัวแปรชนิด Integer ซึ่งเป็นค่าที่บวกเพิ่มขึ้นแก่ดรรชนีหลังจากการทำงานในลูปแล้วแต่ละครั้งถ้าไม่ใส่ส่วนที่เปลี่ยนไว้ส่วนที่เปลี่ยนเท่ากับ1

ตัวอย่าง

```
DO  5  I=1 , 20      คำสั่ง DO จะทำการพิมพ์เลข 1 , 2 , 3 , … , 10
5   WRITE(6,6) I
```

```
WRITE(6,6) I  ⟹  I=11 ซึ่งถ้าต้องการค่า I = 10 จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้
```

- คำสั่ง CONTINUE

รูปทั่วไป

```
เลขประจำคำสั่ง  CONTINUE
```

คำสั่ง CONTINUE มักใช้เป็นคำสั่งสุดท้ายของลูปเพื่อหลีกเหลี่ยงการที่คำสั่งสุดท้ายของลูปจะเป็นคำสั่งที่ห้ามไว้ดังกล่าวมาข้างต้น คำสั่ง CONTINUE ปรากฏที่ใด ๆ ในโปรแกรมก็ได้ โดยจะไมทำให้การปฏิบัติงานหยุดชะงักแต่อย่างใด

- คำสั่ง STOP

รูปทั่วไป

```
STOP
```

เราใช้คำสั่งนี้เมื่อเราต้องการหยุดการปฏิบัติงานในโปรแกรม ในโปรแกรมภาษาฟอร์แทรนทุกโปรแกรมต้องมีคำสั่ง STOP อย่างน้อย 1 คำสั่ง คำสั่งนี้อาจปรากฏมากกว่า 1 ครั้งถ้าต้องการ

- คำสั่ง PAUSE

รูปทั่วไป

```
PAUSE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นคำสั่งให้คอมพิวเตอร์หยุดทำงานชั่วคราวในขณะวิ่งโปรแกรมอยู่ ผู้ควบคุมเครื่อง (Operator) จะเป็นผู้สั่งให้คอมพิวเตอร์ปฏิบัติงานต่อไปใหม่ได้โดยผ่านทางคอนโซล คำสั่ง PAUSE จะต่างจากคำสั่ง STOP ตรงที่ว่า เมื่อคอมพิวเตอร์หยุดทำงานตามคำสั่ง STOP แล้วจะไม่ปฏิบัติงานตามคำสั่งในโปรแกรมนั้น ๆ อีก นอกจากเริ่มบรรจุ แปลและวิ่งโปรแกรมใหม่

- คำสั่ง END

รูปทั่วไป

```
END
```

ในโปรแกรมภาษาฟอร์แทรนต้องมีคำสั่ง END เพียงคำสั่งเดียวและอยู่เป็นคำสั่งสุดท้ายของโปรแกรมเสมอ คำสั่ง END เป็นคำสั่งไม่ปฏิบัติการ เราจึงไม่กำหนดเลขประจำคำสั่งให้

6.3 คำสั่งในการนำข้อมูลเข้าออก (Input/Output statement) และคำสั่งในการจัดการข้อมูลกับแฟ้ม (File Operation)

- คำสั่ง READ

รูปแบบทั่วไป

```
READ (เลขประจำเครื่อง,เลขประจำคำสั่ง FORMAT) รายชื่อตัวแปร
```

โดยที่ - เลขประจำเครื่อง คือเลขจำนวนเต็มซึ่งใช้แทนเครื่องนำข้อมูลเข้า เช่นเครื่องเล่นเทปแม่เหล็ก เครื่องอ่านบัตร เป็นต้น การใช้เลขจำนวนใดแทนเครื่องใดนั้นขึ้นอยู่กับศูนย์คอมพิวเตอร์ ในที่นี้จะใช้ 5 แทนเครื่องอ่านบัตร

ซึ่งคือคำสั่งที่ใช้อธิบายตำแหน่งของข้อมูล (Data item) ต่าง ๆ ในระเบียน (Record) เลขประจำคำสั่งนี้โปรแกรมเมอร์จะเป็นผู้ตั้งขึ้นเอง

- รายชื่อตัวแปร ใช้ระบุชื่อของรายการข้อมูลที่ค่าของมันจะถูกอ่านจากตัวกลาง ชื่อแต่ละชื่อจะเป็นชื่อของที่ภายในหน่วยความจำหลักนั่นเอง

- คำสั่ง WRITE

รูปทั่วไป

```
WRITE (เลขประจำเครื่อง,เลขประจำคำสั่ง FORMAT) รายชื่อตัวแปร
```

โดยที่ - เลขประจำเครื่อง คือเลขจำนวนเต็มซึ่งใช้แทนเครื่องนำข้อมูลออกที่เราจะใช้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบคอมพิวเตอร์ที่ ใช้ เช่น 6 อาจจะหมายถึงเครื่องพิมพ์ หรือ 6 อาจจะหมายถึงจอภาพ เป็นต้น

- เลขประจำคำสั่ง FORMAT ซึ่งคำสั่ง FORMAT ดังกล่าวจะถูกใช้ในการแสดงผลลัพธ์นั่นคือเป็นการกำหนดรูปแบบของข้อมูลออกนั่นเอง

- รายชื่อตัวแปร (Variable list) เป็นตัวแปรที่เราต้องการแสดงค่าของมันถ้ามีเกิน 1 ตัวจะคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคอมพิวเตอร์ปฏิบัติตามคำสั่ง WRITE ค่าของตัวแปรในรายชื่อตัวแปรจะถูกแสดงออกที่เครื่องนำข้อมูลออกที่ระบุไว้และตามรูปแบบที่กำหนดในคำสั่ง FORMAT ที่มีเลขประจำคำสั่งที่อ้างในคำสั่ง WRITE

- คำสั่ง PRINT

รูปแบบทั่วไป | PRINT * [จะเหมือนกับ WRITE(* , *)]

- คำสั่ง OPEN

รูปแบบทั่วไป | OPEN (Open-list)

โดยที่ Open-list จะต้องประกอบด้วย

1. ตัวเลขที่แทนแฟ้มข้อมูล (หมายแฟ้ม) ที่เราจะทำการเปิด (เพื่ออ่านหรือบันทึก) เราจะอ้างถึงแฟ้มนี้ด้วยตัวเลขดังกล่าว ซึ่งมีรูปการเขียน

   UNIT= Integer expression เช่น UNIT=5

   หรือ Integer expression เช่น 5

2. FILE = ' Filename '

   Filename คือชื่อแฟ้มข้อมูล ตั้งตามหลักการตั้งชื่อตัวแปร

3. STATUS = { OLD, NEW, SCRATCH, UNKNOWN } '

   คือการบอกสถานภาพของแฟ้มข้อมูลที่ถูกเปิด ดังนี้

   ' OLD ' คือ แฟ้มนั้นมีอยู่แล้วในระบบ (ก่อนการวิ่งโปรแกรม)

   ' NEW ' คือแฟ้มใหม่ที่สร้างขึ้นขณะวิ่งโปรแกรม

   ' SCRATCH ' คือ แฟ้มที่เราไม่ต้องการเก็บไว้ในระบบ เมื่อหยุดปฏิบัติงานในโปรแกรม แล้ว แฟ้มนี้จะถูกลบทันที กรณีนี้ไม่ต้องใช้ FILE = ' Filename '

   ' UNKNOWN ' คือไม่ทราบสถานภาพของแฟ้มในกรณีนี้ระบบจะกำหนดไว้ว่าจะตีความว่าอย่างไรเช่นอาจจะลองหาดูว่าเป็น ' OLD ' หรือไม่ ถ้าไม่พบจะถือว่าเป็น ' NEW ' เป็นต้น

   กรณีที่ไม่ระบุ STATUS เลยระบบจะว่าเป็น UNKNOWN

   ใน Open-list อาจจะต้องประกอบด้วย

4. IOSTAT = Status-variable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสิ่งที่แสดงว่าการเปิดแฟ้มข้อมูลมีปัญหาหรือไม่อย่างไร Status-variable เป็นตัวแปรจำนวนเต็ม และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อการเปิดข้อมูลไม่มีปัญหาใด ๆ

5. ERR = n (เลขประจำคำสั่งของคำสั่งปฏิบัติการ)

ใช้ระบุคำสั่งที่จะไปทำการเปิดแฟ้มมีข้อผิดพลาด

6. ACCESS = ' { SEQUENTIAL / DIRECT } '

ใช้ระบุวิธีการเข้าถึงข้อมูล (Access method) ว่าเป็นแบบเข้าถึงโดยลำดับ (SEQUENTIAL) หรือเข้าถึงโดยตรง (DIRECT) ถ้าไม่ระบุจะถือว่าเป็น SEQUENTIAL

7. FORM = ' { FORMATTED / UNFORMATTED } '

ใช้ระบุว่าแฟ้มข้อมูลประกอบด้วยระเบียนที่มีฟอร์แมตหรือไม่มีฟอร์แมต ถ้าไม่ระบุถือว่าเป็น ' FORMATTED '

8. RECL= Record-length

ใช้ระบุความยาวของระเบียน ใช้สำหรับข้อมูลแบบเข้าถึงโดยตรงเท่านั้น Record-length เป็นนิพจน์ชนิด Integer ซึ่งต้องมีค่าเป็นบวกมีความหมายดังนี้

- ในแฟ้มแบบมีฟอร์แมต จะเป็นจำนวนอักขระในแต่ละระเบียน และ
- ในแฟ้มแบบไม่มีฟอร์แมต มันจะเป็นตัววัดความยาวของระเบียนซึ่งวิธีการขึ้นอยู่กับระบบคอมพิวเตอร์

9. BLANK = ' { ZERO / NULL } '

ใช้ระบุสคมภ์ที่เป็นช่องว่าง (Blank column) ในรายการข้อมูลตัวเลขหรือฟิลด์ตัวเลข (Numeric field) จะถูกแปลเป็นศูนย์ (Zero) หรือเพื่อไม่ให้สนใจมัน (Null) แต่อย่างไรก็ดีถ้าในฟิลด์ตัวเลขเป็นช่องว่างหมด มันจะแปลเป็นศูนย์

- คำสั่ง CLOSE

รูปแบบทั่วไป

```
CLOSE ( Close-list )
```

เราใช้คำสั่งนี้เพื่อปิดแฟ้มข้อมูลและตัวเลขที่แทนแฟ้มข้อมูลไม่เกี่ยวข้องกันอีก

โดยที่ Close-list จะต้องประกอบด้วย

1) ตัวเลขแทนข้อมูลที่ระบุไว้ใน (Open-list) คือในข้อความ (UNIT=) นั่นเอง สิ่งต่อไปนี้อาจจะไม่มีก็ได้

2) IOSTAT เพื่อตรวจจับข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากการพยายามปิดแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ERR มีรูปแบบเดียวกันกับคำสั่ง OPEN

4) STATUS= ' { KEEP / DELETE } ' ข้อความนี้ใช้กับแฟ้มข้อมูลซึ่งถูกเปิดด้วย STATUS= ' SCRATCH ' ไม่ได้

ถ้าไม่ระบุข้อความใด ๆ จะถือว่าเป็น KEEP ยกเว้นสำหรับแฟ้มข้อมูลแบบ SCRATCH

- คำสั่ง INQUIRE

เราใช้คำสั่ง INQUIRE เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของแฟ้มข้อมูล หรือความเกี่ยวข้องของมันกับหมายเลขแฟ้ม

รูปทั่วไป

INQUIRE (inquiry-list)

โดยที่ Inquiry-list จะต้องประกอบด้วยหมายเลข แฟ้มหรือชื่อแฟ้ม แต่จะไม่ใช้ทั้งคู่ และอาจมีข้อความ IOSTAT= ---------- และ / หรือ ERR= ----------

คำสั่ง INQUIRE ทำหน้าที่เป็นคำถามเพื่อสอบถามคุณสมบัติของแฟ้มเมื่อคำสั่งนี้ถูกทำงานตัวแปรในข้อความแต่ละข้อความในคำสั่ง INQUIRE จะถูกกำหนดค่าซึ่งจะเป็นคำตอบของคำถามที่ได้ถามในคำสั่ง INQUIRE

- คำสั่ง REWIND , BACKSPACE , ENDFILE (ใช้กับ Sequential file)

รูปทั่วไป

REWIND unit	หรือ	REWIND	(position-list)
BACKSPACE unit	หรือ	BACKSPACE	(position-list)
ENDFILE unit	หรือ	ENDFILE	

โดยที่ Unit คือหมายเลขแฟ้ม

Position-list ต้องประกอบด้วย

1) การระบุหมายเลขแฟ้มโดยใช้ UNIT=unit หรือ Unit เท่านั้นและอาจมีข้อความต่อไปนี้คือ

2) ERR=n ถ้าการทำงานเกิดขอผิดพลาดจะข้ามไปทำคำสั่งที่ n

3) IOSTAT=Status-variable ใช้ระบุค่าของตัวแปรในข้อความนี้ ถ้าค่าของมันเป็นศูนย์หมายความว่าการปฏิบัติตามคำสั่งถูกต้อง และค่าจะเป็นบวกถ้าเกิดข้อผิดพลาด

คำสั่ง REWIND เป็นคำสั่งให้กลับไปยังจุดเริ่มต้นของแฟ้ม นั่นคือระเบียนแรกของแฟ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง BACKAPACE เป็นคำสั่งให้กลับไปที่จุดเริ่มต้นของระเบียนที่นำหน้ามา ถ้าแฟ้มข้อมูลอยู่ที่จุดเริ่มต้นแฟ้มอยู่แล้ว คำสั่งนี้จะไม่มีผล

คำสั่ง ENDFILE เป็นคำสั่งให้บันทึกระเบียนสุท้ายของแฟ้ม (End-of-file record) ลงในแฟ้ม เมื่อคำสั่ง READ (ซึ่งมีข้อความ END = n อยู่) อ่านพบระเบียนนี้ มันจะไปทำคำสั่งที่ n ต่อไป หลังจากคำสั่ง ENDFILE ถูกทำแล้ว เราจะอ่านหรือบันทึกแฟ้มนี้ได้อีก เมื่อแฟ้มถูกกำหนดตำแหน่งใหม่ ซึ่งอาจจะให้ถอยกลับไปที่ระเบียนใด ๆ ก่อนระเบียนใด ๆ ก่อนระเบียนสุดท้ายของแฟ้มโดยใช้ 2 คำสั่งข้างต้น

6.4 คำสั่งเฉพาะ (Specific statement)

คำสั่งเฉพาะเป็นคำสั่งไม่ปฏิบัติการ (Nonexecutable statement) คำสั่งเหล่านี้ต้องใส่ไว้ก่อนคำสั่งปฏิบัติการแรกของโปรแกรม คำสั่งเฉพาะเป็นคำสั่งซึ่งบอกคอมพิวเตอร์ให้จัดเตรียมสิ่งต่าง ๆ ให้พร้อมไว้เพื่อการทำงานตามคำสั่งปฏิบัติการจะได้เป็นไปอย่างเรียบร้อย เช่นคำสั่งในการกำหนดชนิดให้แก่ตัวแปรโดยใช้คำสั่ง TYPE หรือใช้คำสั่ง IMPLICIT คำสั่ง DATA เป็นต้น

- คำสั่งในการกำหนดชนิดตัวแปร

1) REAL และ INTEGER หรือ การกำหนดชนิดของตัวแปรโดยชัดแจ้ง (Explicit)

การกำหนดชนิดของตัวแปรโดยใช้ตัวอักษรตัวแรกของชื่อเป็นตัวกำหนดเราเรียกว่า การกำหนดโดยปริยาย (Implicit) เราอาจกำหนดโดยชัดแจ้งได้ด้วยการใช้คำสั่ง เช่น คำสั่ง INTEGER คำสั่ง REAL เป็นต้น

รูปทั่วไป

INTEGER	รายชื่อตัวแปร
REAL	รายชื่อตัวแปร

โดยที่ ค่า INTEGER และ REAL เป็นคีย์เวิร์ด

รายชื่อตัวแปร นั้นอาจมีตัวแปหนึ่งตัวหรือมากกว่าหนึ่งตัว ในกรณีที่มากกว่า 1 ตัว ให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น

ตัวแปรทุกตัวในรายชื่อตัวแปที่ตามหลังคีย์เวิร์ด INTEGER จะมีชนิดเป็น Integer ไม่ว่าจะปรากฏที่ใดในโปรแกรมแม้ว่าชื่อเหล่านั้นจะไม่เริ่มต้นด้วยตัวอักษร I – N ตัวแปรที่ตามหลังคีย์เวิร์ด REAL จะมีชนิดเป็น real

2) เลขจำนวนจริงชนิด DOUBLE PRECISION

สำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่างจำนวนตัวเลขนัยสำคัญที่ใช้ได้กับเลขจำนวนจริงนั้นอาจละเอียดไม่เพียงพอคอมพิวเตอร์ส่วนมากได้ขยายจำนวนตัวเลขนัยสำคัญออกไปอีก

วิธีการกำหนดตัวแปรให้มีเนื้อที่ขนาด 2 เวิร์ด (Double word) โดยการใช้คำสั่ง DOUBLE PRECISION ซึ่งเป็นคำสั่งไม่ปฏิบัติการ มีรูปทั่วไปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOUBLE PRECISION รายชื่อตัวแปร

คำสั่งนี้จะทำให้ตัวแปทั้งหมดในรายชื่อตัวแปรใช้เก็บเลขจำนวนจริงแบบDouble precision

3) คำสั่ง COMPLEX

ตัวแปรที่จะเก็บเลขจำนวนเชิงซ้อนได้จะต้องถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรเชิงซ้อน (Complex variable) ก่อนโดยการใช้คำสั่ง COMPLEX ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

COMPLEX รายชื่อตัวแปร

ตัวอย่าง COMPLEX A , B , X(10)

คำสั่งนี้ระบุว่าตัวแปร A , B และ X(1),...,X(10) เป็นตัวแปรเชิงซ้อน ในที่นี้

X(1),...,X(10) เป็นสมาชิกของแถวลำดับ (Array) X ซึ่งเป็นแถวลำดับแบบ 1 มิติ (One dimensional array) ตัวแปรเชิงซ้อนตัวหนึ่งจะประกอบขึ้นด้วยที่ 2 ที่ภายในหน่วยความจำหลัก โดยที่ ๆ หนึ่งเก็บส่วนจริง และอีกที่หนึ่งเก็บส่วนจินตภาพ เราอาจเขียนนิพจน์เชิงซ้อนซึ่งจะให้ค่าเป็นเลขจำนวนเชิงซ้อนได้ทำนองเดียวกับการเขียนนิพจน์เลขคณิต

4) CHARACTER

สามารถดูได้ที่หัวข้อ- *คำสั่งกำหนดค่าอักขระ (Character as.)*

5) LOGICAL

สามารถดูได้ที่หัวข้อ- *คำสั่งกำหนดค่าตรรกะ (Logical as.)*

- คำสั่ง IMPLICIT

ในโปรแกรมที่ใช้ตัวแปรทั้งชนิด Integer และชนิด Real จำนวนมากจะดูไม่สะดวกในการกำหนดชนิดให้ตัวแปรทั้งหมดโดยชัดแจ้ง การใช้คำสั่ง IMPLICIT จะทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถกำหนดได้เองว่าถ้าตัวแปรนั้นขึ้นต้นด้วยตัวอักษรใดจะมีชนิดใด เช่น

IMPLICIT REAL (I)

ซึ่งจะทำให้ตัวแปรทุกตัวที่ขึ้นต้นด้วยตัวอักษร I มีชนิดเป็น Real เราสามารถใช้เรนจ์ของตัวอักษรในการกำหนดด้วย เช่น

IMPLICIT INTEGER (A – D)

ซึ่งจะทำให้ตัวแปรใด ๆ ที่ขึ้นต้นด้วย A , B , C หรือ D มีชนิดเป็น Integer รูปทั่วไปของคำสั่งคือ

IMPLICIT ชนิด(a [a , a] ...), ชนิด(a [a , a] ...)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ชนิด (Type) อาจเป็น INTEGER REAL หรือชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนต่อไป

a อาจเป็นตัวอักษรตัวเดียวหรือเรนจ์ของตัวอักษรในรูป l_1 - l2 (l_1 และ l_2 เป็นอักษรเดี่ยว ๆ)

- คำสั่ง PROGRAM

คำสั่ง PROGRAM ใช้ในการกำหนดชื่อให้แก่โปรแกรมหลัก

รูปทั่วไป

```
PROGRAM    name
```

โดยที่ Name เป็นชื่อของโปรแกรมตั้งตามหลักการตั้งชื่อ คำสั่งนั้นจะมีหรือไม่มีก็ได้ ถ้ามีต้องใส่เป็นคำสั่งแรกของโปรแกรมหลักชื่อ Name จะต้องไม่ซ้ำกับตัวแปรใด ๆ ในโปรแกรมต้องไม่ซ้ำกับชื่อโปรแกรมย่อยชื่อของ ENTRY หรือชื่อของ BLOCK common ในโปรแกรมของงานเดียวกัน

- คำสั่ง PARAMETER

ใช้ในการกำหนดชื่อให้แก่ค่าคงที่

รูปทั่วไปคือ

```
PARAMETER (p=c[ , p=c]...)
```

โดยที่ p เป็นชื่อที่ตั้งตามหลักการตั้งชื่อ

c เป็นค่าคงที่

ชื่อแต่ละชื่อ (p) จะเป็นค่าคงที่ และถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ c ซึ่งระบุในคำสั่ง PARAMETER เราอาจใช้ชื่อค่าคงที่จากคำสั่ง PATAMETER ในการกำหนดแถวลำดับได้

ตัวอย่าง

```
REAL  PI
PARAMETER (PI=3.1416)
```

- คำสั่ง DIMENSION

รูปทั่วไป

```
DIMENSION ชื่อแถวลำดับ 1 (ลิมิต 1)[ , ชื่อแถวลำดับ 2  (ลิมิต 2),...]
```

โดยที่ DIMENSION เป็นคีย์เวิร์ด

ชื่อแถวลำดับตั้งตามหลักการตั้งชื่อชนิดของแถวลำดับ (Integer หรือ Real) นั้นถูกกำหนดโดยชื่อของแถวลำดับเช่นเดียวกับตัวแปร นั่นคือถ้าชื่อขึ้นต้นด้วยตัวอักษร I-Nสมาชิกแต่ละตัวของแถวลำดับเป็นตัวแปรชนิด Integer นอกนั้นเป็นตัวแปรชนิด Real

ลิมิต 1, ลิมิต 2 ,... เป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่มีเครื่องหมายใช้บอกค่าสูงสุดของจำนวนที่ที่สำรองไว้ให้แถวลำดับแต่ละแถวลำดับ (ลิมิตจะมีค่าสูงสุดเท่าใดขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำหลักของคอมพิวเตอร์ที่เราใช้) ที่ ๆ สำรองไว้นั้นอาจไม่ถูกใช้ทั้งหมด ดรรชนีของแถวลบดับสามารถแปรค่าได้จาก 1 ถึงลิมิตที่กำหนดไว้ในคำสั่ง DIMENSION และจะมีค่าเกินลิมิตนั้นไม่ได้ แถวลำดับที่จะใช้ในโปรแกรมหนึ่ง ๆ จะต้องถูกกำหนดไว้ในคำสั่ง DIMENSION (หรือคำสั่งอื่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้กำหนดแถวลำดับได้ด้วย) ก่อนในคำสั่ง DIMENSION หนึ่ง ๆ เรากำหนดแถวลำดับกี่แถวลำดับก็ได้

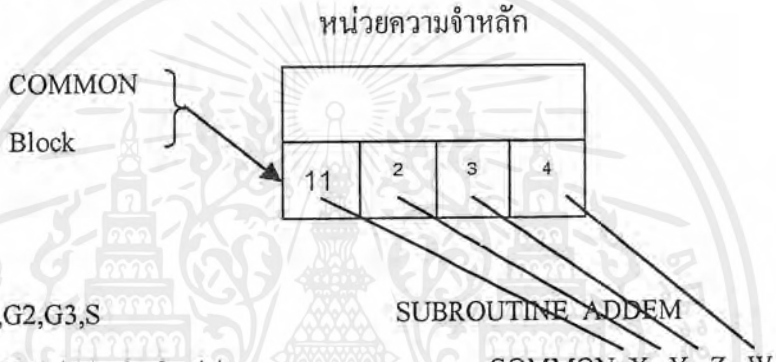
- คำสั่ง COMON

วิธีซึ่งเราในการส่งผ่านข้อมูลจากโปรแกรมหลักไปยังโปรแกรมย่อยคือการใช้อาร์กิวเมนต์ อีกวิธีหนึ่งคือการใช้คำสั่ง COMMON ซึ่งจะสะดวกกว่าการที่จะต้องเขียนอาร์กิวเมนต์จำนวนหลายตัวเมื่อเรียกใช้ Subroutine หนึ่ง ๆ

รูปทั่วไปของคำสั่งคือ

```
COMMON  รายชื่อตัวแปร
```

โดยที่ รายชื่อตัวแปร อาจประกอบด้วยตัวแปรหรือ ชื่อของแถวลำดับก็ได้แต่ต้องไม่เป็นตัวมีอาร์กิวเมนต์และแอคชวลอาร์กิวเมนต์




```
COMMON  G1,G2,G3,S                    SUBROUTINE  ADDEM
DATA  G1,G2,G3,S / 11 , 2 , 3 , 4 /           COMMON  X , Y , Z , W
CALL  ADDEM                           Z=X+W*Y
WRITE (6,1) G3                        RETURN
                                      END
```

G1 และ X อ้างถึงสมาชิกตัวแรกใน COMMON Block

G2 และ Y อ้างถึงสมาชิกตัว 2 ใน COMMON Block

G3 และ Z อ้างถึงสมาชิกตัว 3 ใน COMMON Block

S และ W อ้างถึงสมาชิกตัว 4 ใน COMMON Block

เพิ่มเติม NAME COMMON

ในกรณีที่มีตัวแปรจำนวนมากใน COMMON Block จะทำให้โปรแกรมย่อยหลายโปรแกรมไม่จ้องการใช้ตัวแปรทุกตัวใน COMMON Named (Labeled) COMMON Block จะทำให้โปรแกรมย่อยเข้าถึงตัวแปรเพียงบางตัวที่ต้องการเท่านั้น

รูปทั่วไปของคำสั่ง COMMON คือ

```
COMMON  [ / ชื่อของ Block / ] รายชื่อตัวแปร [ / ชื่อของ Block / ] รายชื่อตัวแปร ...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ชื่อของ Block เป็นชื่อของ COMMON Block (ตั้งตามหลักการตั้งชื่อตัวแปร) ถ้าไม่มีชื่อของ Block ก็ไม่ต้องใส่เครื่องหมายขีดทับ (/) ทั้ง 2 อัน และคำสั่งก็จะเป็น Blank (UN-named) COMMON

- คำสั่ง EQUIVALENCE

คำสั่ง EQUIVALENCE ใช้ในการกำหนดชื่อมากกว่า 1 ชื่อให้แก่ที่ 1 ที่ในหน่วยความจำหลักเช่น EQUIVALENCE (A , B) จะทำให้ A และ B เป็นชื่อของที่ 1 ที่ในหน่วยความจำหลัก

```
EQUIVALENCE (A , B)
A=1
B=3
```

คำสั่ง WRITE (6,11) A จะพิมพ์ค่า 3 ให้

รูปทั่วไป

```
EQUIVALENCE (รายชื่อตัวแปร) ,[ ( รายชื่อตัวแปร) ...]
```

โดยที่ รายชื่อตัวแปรในวงเล็บเดียวกันเป็นชื่อของที่ในหน่วยความจำหลักที่เดียวกัน ตัวแปรอาจเป็นสมาชิกของแถวลำดับก็ได้

สำหรับคอมพิวเตอร์บางระบบ คำสั่ง EQUIVALENCE ต้องอยู่หลังคำสั่ง DIMENSION และ COMMON แต่อาจจะมีลำดับต่างกันได้ซึ่งจะไม่กล่าวในที่นี้

- คำสั่ง DATA

คำสั่ง DATA ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initial value) ให้แก่ตัวแปรมีรูปทั่วไปคือ

```
DATA รายชื่อตัวแปร / รายการค่าคงที่ / [ , ... ]
```

โดยที่ รายชื่อตัวแปร คือรายชื่อตัวแปรซึ่งคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,)

รายการค่าคงที่ คือค่าคงที่ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไปคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค

ตัวแปรแรกในรายชื่อจะคู่กับค่าคงที่ค่าแรกในรายการค่าคงที่ ดังนั้นจำนวนตัวของตัวแปรและจำนวนตัวของค่าคงที่ต้องเท่ากัน และชนิดของตัวที่อยู่คู่กันต้องเป็นชนิดเดียวกันด้วย

ตัวอย่าง

```
DATA A , B / 3.2 , 0 /
```

ค่าของ A คือ 3.2 และค่าของ B คือ 0

- คำสั่ง BLOCK DATA

วิธีหนึ่งที่ใช้กำหนดค่าให้แก่ตัวแปรหรือแถวลำดับใน Blank COMMON หรือ Named COMMON คือใช้โปรแกรมย่อย BLOCK DATA

สมมุติว่าต้องการกำหนดให้สมาชิกแต่ละตัวของแถวลำดับ X ใน Blank COMMON มีค่าเป็น 0 และตัวแปร BE ใน Block ชื่อ BLK1 มีค่าเป็น ' GOOD ' เราจะเขียนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมหลัก

```
CHARACTER*4 BE
REAL X (10) , Y(4)
COMMON  X , F / BLK1 / M , Y ,
* BE / BLK2 / R , ITEM
```

โปรแกรมย่อย

```
BLOCK DATA
COMMON  R , S
COMMON/BLK1/L,Z,NE
REAL  R(10) / 10*0 / , Z(4)
CHARAETER*4  NR / 'GOOD' /
END
```

เราไม่ใช้คำสั่ง RETURN ในโปรแกรมย่อย BLOCK Data คำสั่งที่ใช้ได้ในโปรแกรมย่อย BLOCK Data (นอกจากคำสั่ง COMMON) คือคำสั่ง IMPLICIT , คำสั่งเฉพาะ , คำสั่ง DIMENSION และคำสั่ง DATA ถ้าเราต้องการกำหนดค่าให้แก่ตัวแปรหรือแถวลำดับใน Block ใด ๆ แล้วจะต้องกำหนด Block นั้นใน BLOCK Data ด้วย มิติและการระบุต่าง ๆ จะต้องสอดคล้องกับที่ระบุไว้ในโปรแกรมหลัก ดังนั้นใน BLOCK Data จึงมี Blank COMMON ด้วย และแถวลำดับแบบ 1 มิติชื่อ R (ซึ่งสมนัยกับลำดับ X ในโปรแกรมหลัก) ซึ่งมีสมาชิก 10 ตัว และแต่ละตัวถูกกำหนดค่าให้เป็นศูนย์ เนื่องจาก BE ปรากฏใน COMMON BLK1 ซึ่งสมนัยกับ NE ซึ่งเรากำหนดให้เป็นตัวแปรอักขระ โดยคำสั่ง CHARACTER และมีค่า 'GOOD' เราจึงกำหนด BLK1 ใน BLOCK DATA ด้วย แม้ว่าเราไม่ต้องการกำหนดค่าให้ L และ Z เนื่องจากไม่มีการกำหนดค่าตัวแปรใด ๆ ใน BLK2 ดังนั้นเราจึงไม่กำหนด BLK2 ใน BLOCK DATA

- คำสั่ง EXTERNAL

คำสั่ง EXTERNAL เป็นคำสั่งในการกำหนดชื่อโปรแกรมย่อยฟังก์ชันที่เราเขียนขึ้นเองหรือชื่อของโปรแกรมย่อย ให้เป็นแอคชวลอาร์กิวเมนต์ในโปรแกรมหลัก

รูปทั่วไปคือ

EXTERNAL ชื่อ 1 , ชื่อ 2 , ...

โดยที่ ชื่อ 1 , ชื่อ 2 , ... เป็นชื่อของโปรแกนมย่อยฟังก์ชันหรือชื่อของโปรแกรมย่อยซึ่งเราใช้เป็นแอคชวลอาร์กิวเมนต์ในโปรแกรม

- คำสั่ง INTRINSIC (ในภาษาฟอร์แทรน 77)

คำสั่ง INTRINSIC เป็นคำสั่งที่ทำให้เรากำหนดชื่อฟังก์ชันภายใน (Intrinsic function) ให้เป็นแอคชวลอาร์กิวเมนต์ในโปรแกรมหลักได้

รูปทั่วไปคือ

INTRINSIC ชื่อฟังก์ชัน , ชื่อฟังก์ชัน , ...

โดยที่ ชื่อฟังก์ชันนั้นเป็นชื่อโปรแกรมภายใน

- คำสั่ง NAMELIST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนด NAMELIST ทำให้คำสั่ง READ และคำสั่ง WRITE นั้นไม่ต้องใช้คำสั่ง FORMAT ได้

รูปทั่วไปคือ

NAMELIST / ชื่อ 1 / รายการ 1 / [/ ชื่อ 2 / รายการ 2 / ...]

โดยที่ ชื่อ 1 เป็นชื่อของรายชื่อในตัวแปรในรายการ 1 ชื่อ 1 ตั้งตามหลักการตั้งชื่อตัวแปร

รายการ 1 เป็นรายชื่อของตัวแปรหรือแถวลำดับ รายชื่อคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ตัวแปรและแถวลำดับอาจปรากฏในรายการต่าง ๆ มากกว่า 1 ครั้งได้

6.5 คำสั่ง FORMAT ซึ่งจะประกอบด้วย FORMAT CODE ต่าง ๆ

จะเห็นได้ว่าคำสั่ง WRITE เพียงคำสั่งเดียวจะไม่พอเพียงสำหรับการสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์พิมพ์สิ่งที่ต้องการได้ตามรูปแบบที่ต้องการ เพราะยังตอบคำถามเหล่านี้ยังไม่ได้คือ

1.ในแต่ละบรรทัดของการพิมพ์จะแสดงผลลัพธ์ที่ตรงไหน

2.ในการแสดงผลนั้นตองการแสดงทศนิยมกี่ตำแหน่ง

3.ในแต่ละบรรทัดจะใช้กี่ตำแหน่งสำหรับการพิมพ์

เพื่อตอบปัญหาข้างต้นเราจะใช้คำสั่ง FORMAT คู่กับคำสั่ง WRITE เพื่อที่จะบอกคอมพิวเตอร์ให้ชัดเจนว่าจะแสดงผลในรูปแบบอย่างไร แต่ละคำสั่ง FORMAT จะอ้างถึงเลขประจำคำสั่ง FORMAT ที่จะใช้และแต่ละคำสั่ง FORMAT จะต้องมีเลขประจำคำสั่งเพื่อใช้ในการอ้างถึงคำสั่ง FORMAT จะใส่ไว้ที่ใดก็ได้ (ก่อนคำสั่ง END) โปรแกรมเมอร์บางคนนิยมใส่คำสั่ง FORMAT รวมไว้ตอนเริ่มต้นหรือตอนท้ายของโปรแกรมในขณะที่คนอีกหลาย ๆ คนใส่ตามหลังคำสั่ง WRITE ที่อ้างถึงทันที

รูปแบบของคำสั่ง FORMAT

เลขประจำคำสั่ง FORMAT (f_1 , f_2 , f_3 , ... , f_n)

โดยที่ เลขประจำคำสั่ง คือเลขที่ใช้เพื่ออ้างถึงในคำสั่ง WRITE , READ

f_1 , f_2 , f_3 , ... , f_n เป็น FORMAT CODE

- FORMAT CODE สำหรับข้อมูลตัวเลข (Numeric format code)

1) I – FORMAT CODE สำหรับการ WRITE

รูปทั่วไป

I w

โดยที่ I ระบุว่าเลขจำนวนเต็มจะถูกพิมพ์

w คือจำนวนตำแหน่งที่เตรียมไว้สำหรับเลขจำนวนเต็มที่จะถูกพิมพ์ (ความกว้างของฟิลด์) ถ้าเป็นเลขจำนวนเต็มลบ จำนวน w ต้องการเผื่อ 1 ที่สำหรับเครื่องหมายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง ICT = 43200 โปรดสังเกตการจับคู่หนึ่งต่อหนึ่ง

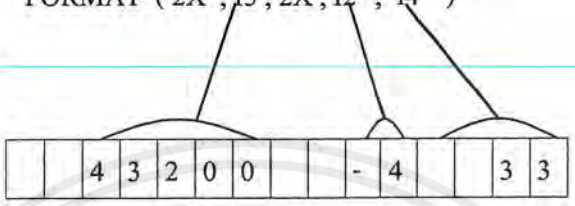
L1 = -4 ระหว่างตัวแปรและ Format code

JSUM = 33

WRITE (6 , 14) ICT , L1 , JSUM

14 FORMAT (2X , I5 , 2X , I2 , I4)

ผลการพิมพ์



2) I – FORMAT CODE สำหรับการ READ

รูปทั่วไป

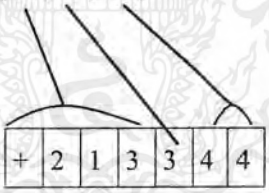
โดยที่ I ระบุว่าเลขจำนวนเต็มจะถูกบันทึก

w ใช้ระบุความกว้าง (จำนวนสดมภ์) ของฟิลด์

ตัวอย่าง READ (5 , 15) I , J , K

15 FORMAT (I4 , I1 , I2)

แฟ้มหน่วยที่ 5



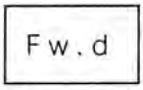
ค่าในหน่วยความจำหลัก I = 213

J = 3

K = 44

3) F – FORMAT CODE สำหรับการ WRITE

รูปทั่วไป



โดยที่ F เป็นตัวระบุว่าเลขจำนวนจริงจะถูกพิมพ์

w ความกว้างของฟิลด์บวกจุดทศนิยม

d ระบุจำนวนตัวเลขทางขวาของจุดทศนิยม

จุดใช้ที่ 1 ที่ในฟิลด์ของการแสดงผล (Output field)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

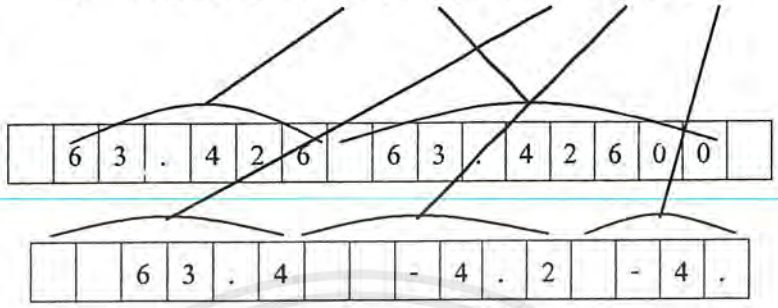
ตัวอย่าง A = 63.426

B = -4.2

WRITE (6 , 15) A , A , A , B , B

15 FORMAT (1X , F6.3 , F9.5 , 1X , F6.1 , F6.1 , F4.0)

ผลการพิมพ์



4) F – FORMAT CODE สำหรับการ READ

รูปทั่วไป

F w . d

โดยที่ F เป็นตัวระบุว่าเลขจำนวนจริงจะถูกบันทึก

w ความกว้างของฟิลด์รวมจุดทศนิยม

d ระบุจำนวนตัวเลขทางขวาของจุดทศนิยมในกรณีที่เลขจำนวนในฟิลด์ไม่ได้เจาะจุดไว้ค่าที่เก็บ ในหน่วยความจำจะมีตัวเลขหลังจุดเท่ากับ d ตัว

ตัวอย่าง READ (5 , 5) A , B , C

5 FORMAT (F5.5 , F3.2 , F2.0)

แฟ้มข้อมูลหน่วยที่ 5

ในฟิลด์ทั้ง 3 เป็นเลขจำนวนเต็ม ดังนั้น .d ใน FORMAT CODE จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดทศนิยมของค่าที่จะเก็บไว้ในหน่วยความจำหลักดังนี้

A จะมีค่า = $12345 \times 10^{-5} = 0.12345$

B จะมีค่า = $789 \times 10^{-2} = 7.89$

C จะมีค่า = $31 \times 10^{0} = 31$

5) E – FORMAT CODE

รูปทั่วไป

w . d

ในการกำหนดข้อมูลเข้า w = จำนวนสดมภ์หรือความยาวฟิลด์

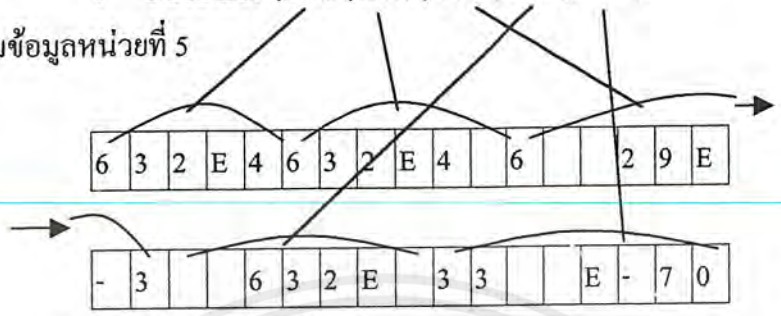
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d = ใช้ในกรณีที่ส่วนเลขจำนวนจริงนั้นไม่มีจุดทศนิยม

ตัวอย่าง READ (5 , 1) A , B , C , D , E

1 FORMAT (E5.2 , E6.0 , E8.5 , E7.5 , E8.1)

แฟ้มข้อมูลหน่วยที่ 5



A จะมีค่า = 6.32×10^{4}

B จะมีค่า = 632×10^{4}

C จะมีค่า = 0.60029×10^{-3}

D จะมีค่า = 0.00632×10^{0}

F จะมีค่า = 330.0×10^{-70}

6) D – FORMAT CODE

D w . d มีรูปแบบการใช้เช่นเดียวกับ E w . d ใช้ได้ทั้งการนำข้อมูลเข้าและข้อมูลออก

7) G – FORMAT CODE

รูปทั่วไปคือ

r G w . d

G – format code ใช้กับเลขจำนวนจริง ผลของการแสดงเลขจำนวนจริงโดยใช้ G – format code นั้นจะอยู่ในรูปของเลขจำนวนจริงแบบทั่วไป (ไม่มีเลขชี้กำลัง) นั่นคืออยู่ในรูปเดียวกับการใช้ F – format code หรือจะเป็นแบบมีเลขชี้กำลังก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) ของเลขจำนวนจริงนั้น ๆ

ตัวอย่าง

ค่า	G – format code	ผลการแสดง
0.123456	G12.6	0.123456□□□□
0.123456E1	G11.6	1.23456□□□□
0.123456E5	G12.6	12345.6□□□□

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) Scale factor

เราอาจใส่ Scale factor นำหน้า Format code E , F , G และ D ได้

Scale factor จะอยู่ในรูป | n P |

โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม

ในการนำข้อมูลออก n P F . d ทำให้ค่าที่แสดงออกมานั้นถูกคูณด้วย 10^n

สำหรับค่า E และ D คือ n P E . d ทำให้ส่วนที่เป็นเลขทศนิยมที่แสดงออกมานั้นถูกคูณด้วย 10^n และเลขชี้กำลังจะลดลง n

สำหรับ G นั้น Scale factor จะมีผลก็ต่อเมื่อค่าที่จะถูกพิมพ์นั้นเป็นกรณีที่จะแสดงด้วยรูป E w . d เท่านั้นและผลของ Scale factor จะเป็นเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายแล้วสำหรับ E – Format code

ตัวอย่าง N เก็บค่า 27

X เก็บค่า -93.2094

Y เก็บค่า -0.0076

Z เก็บค่า 55.3612

จากคำสั่ง PRINT 1 , N , X , Y , Z

1. FORMAT (1X , I2 , 2F11.3 , E12.4)
   PRINT 2 , N , X , Y , Z
2. FORMAT (1X , I2 , 1P2F11.3 , 3PE12.4)
   PRINT 3 , N , X , Y , Z
3. FORMAT (1X , I2 , -1P2F11.3 , E12.4)

ผลการพิมพ์จะเป็นดังนี้

□27□□□□-93.209□□□□□-0.008□□0.5536+02

□27□□□-932.094□□□□□-0.076□□553.61E-1

□27□□□□□-9.321□□□□□-0.001□□0.0554E+03

- FORMAT CODE สำหรับข้อมูลตรรกะ (Logical format code)

L – Format code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทั่วไป | L w |

เราใช้ตัวแปรตรรกะในคำสั่งนำข้อมูลเข้า / ออกได้ ในการกำหนดค่าตัวแปรตรรกะโดยการใช้คำสั่ง READ หรือแสดงค่าของมันโดยใช้คำสั่ง WRITE เราต้องใช้ L – Format code

ในการนำข้อมูลเข้า เมื่ออ่านค่าของตัวแปรตรรกะการอ่านจะเริ่มอ่านจากซ้ายไปขวาของฟิลด์ถ้าตัวอักขระตัวแรกที่ไม่ใช่ช่องว่าง คือ T ค่าของตัวแปรตรรกะนั้นจะเป็น .TRUE. แต่ถ้าตัวอักขระดังกล่าวคือ F หรือทั้งฟิลด์เป็นช่องว่างค่าของตัวแปรตรรกะนั้นจะเป็น .FALSE. อักขระอื่น ๆ จะไม่กระทบต่อค่าของตัวแปรตรรกะ

ในการนำข้อมูลออก T หรือ F เท่านั้นจะถูกพิมพ์ทั้งนี้เมื่อค่าเป็น .TRUE. หรือ .FALSE. ตามลำดับตัวอักษร T หรือ F จะถูกพิมพ์ไว้ชิดขวาของฟิลด์โดยที่ (w - 1)ที่ทางซ้ายจะเป็นช่องว่าง

- FORMAT CODE สำหรับข้อมูลอักขระ (Character format code)

1) Literal format หรือการพิมพ์คำอธิบาย

เราใช้เครื่องหมายอะโพสโทรฟีไว้ก่อนและหลังสายวลีอักขระ (Character string) ที่เราต้องการจะพิมพ์พร้อมกับผลลัพธ์อื่น ๆ เรามักใช้พิมพ์หัวตารางใช้ระบุชื่อของผลลัพธ์ที่เป็นเลขจำนวนหรือใช้เขียนข่าวสารข้อความ หรือคำอธิบาย

ตัวอย่าง
```
      WRITE ( 6 , 10 ) KV
   10 FORMAT ( T5 , ' AVERAGE IS ' , I3 )
```
ผลการพิมพ์ □□□□AVERAGE□IS□25 (ถ้า KV มีค่า 25)

2) A – FORMAT CODE

A – Format code ใช้เพื่ออธิบายฟิลด์ของข้อมูลเข้า / ออกซึ่งเป็นสายวลีอักขระ

รูปทั่วไป | n A w |

โดยที่ w คือความยาวของฟิลด์

n เป็นจำนวนซ้ำ

ข้อมูลอักขระนั้นเก็บข้อมูลชนิด Integer หรือ Real ก็ได้ (ในภาษาฟอร์แทรน 77 ข้อมูลอักขระต้องเก็บในตัวแปรอักขระเท่านั้น)

ในการนำข้อมูลเข้า ถ้า w น้อยกว่าจำนวนอักขระที่เก็บได้ใน 1 เวิร์ด (1) อักขระ w ตัวจะถูกเก็บชิดซ้ายของเวิร์ดและทางขวาของเวิร์ดในหน่วยความจำจะเป็นช่องว่าง (Blank)

ถ้า w มากกว่าจำนวนอักขระที่เก็บได้ใน 1 เวิร์ด ตัวอักษรทางขวาของฟิลด์ 1 ตัวเท่านั้นที่จะถูกเก็บในตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำข้อมูลออก ถ้า w มากกว่า 1 จะพิมพ์อักขระทั้ง 1 ตัวชิดขวาของฟิลด์โดยที่ทางซ้ายเป็นช่องว่าง

ถ้า w น้อยกว่า 1 ตัวอักขระ w ตัวทางซ้ายของเวิร์ดในหน่วยความจำจะนำออกมาแสดง

3) H – FORMAT CODE

เป็นการนับจำนวนตัวอักขระ (n) ในสายวลีอักขระแล้วเขียน n H นำหน้าสายวลีนั้น เช่น DATA , SUN , STAR , J / 3HTHE , 1H* , 4HHHHH /

- EDIT CODE

1) X – FORMAT CODEสำหรับการ WRITE

รูปทั่วไป

โดยที่ n เป็นจำนวนเต็มที่ระบุจำนวนช่องว่างที่ต้องการ

ตัวอย่าง K = 14 ผลการพิมพ์

WRITE (6 , 11) K □□□14

11 FORMAT (3X , I2)

2) X – FORMAT CODEสำหรับการ READ

รูปทั่วไป

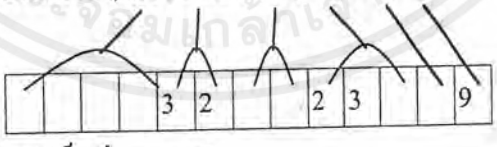
โดยที่ w เป็นเลขจำนวนเต็มที่ระบุจำนวนตำแหน่งที่จะถูกข้ามไป

X เป็นตัวระบุว่าจะมีการข้ามสคมภ์ระหว่างฟิลด์

ตัวอย่าง READ (5 , 6) X , I , J

6 FORMAT (4X , F2.1 , 2X , I3 , 1X , I1)

แฟ้มหมายเลข 5



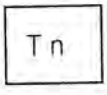
ผลการอ่าน X จะเก็บค่า 3.2

I จะเก็บค่า 230

J จะเก็บค่า 9

3) T - FORMAT CODEสำหรับการ WRITE

รูปแบบทั่วไป



โดยที่ n ระบุตำแหน่งเริ่มต้นของฟิลด์ถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

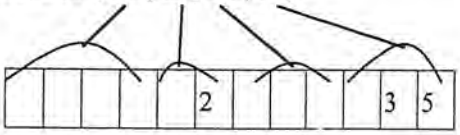
ตัวอย่าง K = 35

J = 2

WRITE (6 , 10) J , K

10 FORMAT (T5 , I2 , T4 , I3)

ผลการพิมพ์



4) T – FORMAT CODEสำหรับการ READ

มีรูปแบบเหมือนการ WRITE ทุกอย่างเพียงแต่เปลี่ยนจากการแสดงผลเป็นการเก็บบันทึกเท่านั้น

5) .การใช้เครื่องหมายขีดทับ / (Slash)

คำสั่ง FORMAT ที่ใช้มาตั้งแต่ต้นนั้นใช้อธิบายระเบียน (Record) ของข้อมูลเข้าหรือข้อมูลออกเพียงหนึ่งระเบียนเท่านั้นนั่นคือบัตร 1 บัตรหรือ 1 บรรทัดของการพิมพ์เท่านั้น การใช้เครื่องหมายขีดทับ (/) จะทำให้เราสามารถอธิบายลักษณะของระเบียนได้มากกว่า 1 ระเบียน ในคำสั่ง FORMAT 1 คำสั่ง เราอาจแปลความหมายของขีดทับว่าคือ การจบระเบียน เราไม่ต้องใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างเครื่องหมายขีดทับและ Format code ตัวอื่น ๆ

6) TL – FORMAT CODE และ TR FORMAT CODE

รูปทั่วไป

T L n
T R n

โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็มบวก

ใช้ในการกำหนดที่ ๆ ตัวอักขระตัวต่อไปว่าจะปรากฏที่ n ตำแหน่งทางซ้ายหรือทางขวาตามลำดับ (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งปัจจุบันด้วย)

นั่นคือ T L n ทำให้เกิดการย้อนกลับ n ตำแหน่ง อย่างไรก็ดี Format ถัดไปนั้นอาจจะทำให้ตัวอักขระใน n ตำแหน่งนี้ ถูกแทนที่ไม่ใช่ถูกพิมพ์ทับ T R n มีความหมายเช่นเดียวกับ n X

การใช้ T L – Format code ทำให้เราสามารถอ่านข้อมูลเดียวกันซ้ำหลายครั้งได้

- FORMAT CODE อื่น ๆ

1) : (Colon) การย้อนกลับมาใช้ Format ซ้ำ

ในกรณีที่มีตัวแปรมากกว่า Format code ที่ระบุไว้ จะเกิดการย้อนกลับไปใช้ Format code ซ้ำตั้งแต่วงเล็บเปิดขวาสุดเป็นต้นไปค่าคงที่อักขระถูกพิมพ์ซ้ำอีกจะหยุดเมื่อมันพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.วงเล็บปิดของ Format code

2.Format I , F , E , A หรือ L หรือ (G หรือ D)

3.เครื่องหมาย : (Colon)

2) SP – FORMAT CODE , SS – FORMAT CODE และ S – FORMAT CODE

เราใช้ S , SP และ SS ในการควบคุมการแสดงเครื่องหมายบวก (+) ในข้อมูลออกที่เป็นเลขจำนวน ถ้า SP (Sign positive) ปรากฏในคำสั่ง FORMAT เลขจำนวนบวกทั้งหมดในข้อมูลออกจะแสดงเครื่องหมายบวกไว้ด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ SS (Sign suppress) มันจะลบเครื่องหมายบวกออกหมด ส่วน S นั้นอาจใช้การทำให้กลับไปอยู่ในสถานะเดิมซึ่งอาจเป็นการแสดงหรือไม่แสดงเครื่องหมายบวก

5) BN – FORMAT CODE และ BZ – FORMAT CODE

BN ย่อมาจาก Blank null

BZ ย่อมาจาก Blank zero

ช่องว่างในฟิลด์ตัวเลขนั้นจะมีค่าหรือไม่มีอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับตัวคอมไพเลอร์ คอมไพเลอร์บางตัวถือว่าเป็นศูนย์ และบางตัวจะไม่สนใจมันเลย ในภาษาฟอร์แทรน 77 เราอาจระบุความต้องการได้โดยการใช้ BN หรือ BZ Format code

6.6 โปรแกรมย่อย (Subroutine, Subprogram)

- คำสั่งในการกำหนด Statement function

รูปแบบทั่วไปของการกำหนด Statement function

ชื่อฟังก์ชัน (a_1 , … , a_n) = นิพจน์

โดยที่ ชื่อฟังก์ชันตั้งตามหลักการตั้งชื่อของตัวแปร

(a_1 , … , a_n) เป็น Dummy argument ซึ่งต้องไม่เป็นสมาชิกของแถวลำดับ

นิพจน์คือนิพจน์เลขคณิตใด ๆ ที่ต้องไม่มีสมาชิกของแถวลำดับ เป็นตัวถูกกระทำในนิพจน์นั้น ๆ นิพจน์นี้จะประกอบด้วย (a_1 , … , a_n) และอาจมีตัวแปรอื่น ๆ ค่าคงที่ชื่อโปรแกรมย่อย ฟังก์ชัน หรือ Statement function ที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว

Statement function จะต้องอยู่ก่อนคำสั่งปฏิบัติการใด ๆ ในโปรแกรม แต่จะตามหลังคำสั่งเฉพาะเช่น คำสั่ง DIMENSION , คำสั่ง INTEGER เป็นต้น

- FUNCTION

รูปทั่วไปของคำสั่ง FUNCTION คือ

[TYPE] FUNCTION ชื่อฟังก์ชัน (p_1 , p_2 , … , p_n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ชื่อฟังก์ชันตั้งชื่อตามหลักการตั้งชื่อตัวแปร

$p_1 , p_2 , \ldots , p_n$ คือ Dummy argument ซึ่งใช้สำหรับส่งผ่านข้อมูลไปมากับโปรแกรมเรียก p_1 อาจเป็นตัวแปร ชื่อแถวลำดับหรือชื่อฟังก์ชันอื่น สมาชิกของแถวลำดับ เช่น X(I) ใช้เป็น Dummy argument ไม่ได้

TYPE ซึ่งอาจไม่ใช้ก็ได้เป็นตัวระบุชนิดของค่าที่ฟังก์ชันคำนวณได้และจะส่งไปยังโปรแกรมเรียก ถ้าไม่ระบุ TYPE แล้วชนิดของฟังก์ชันจะเป็นไปตามตัวอักษรแรกของชื่อ TYPE เช่น REAL , INTEGER , DOUBLE PRECISION

- SUBROUTINE

คำสั่งนี้จะต้องเป็นคำสั่งแรกในโปรแกรมย่อย Subroutine

รูปทั่วไ SUBROUTINE ชื่อ [($p_1 , p_2 , \ldots , p_n$)

โดยที่ SUBROUTINE เป็นคีย์เวิร์ด

ชื่อของ Subroutine ตั้งตามหลักการตั้งชื่อตัวแปรและไม่ต้องคำนึงถึงชนิด

$p_1 , p_2 , \ldots , p_n$ เป็น Dummy argument ซึ่งจะใช้ในการสื่อสารกับโปรแกรมหลักอาร์กิวเมนต์เหล่านี้อาจจะเป็นตัวแปร ชื่อแถวลำดับหรือชื่อฟังก์ชัน (ใช้สมาชิกของแถวลำดับและค่าคงที่ไม่ได้)

ถ้าอาร์กิวเมนต์เป็นชื่อของแถวลำดับเราต้องกำหนดแถวลำดับนั้น ในคำสั่ง DIMENSION ใน Subroutine ด้วยขนาดของแถวลำดับดังกล่าวควรมีขนาดเดียวกับแถวลำดับที่สมนัยกันในโปรแกรมหลัก Subroutine ใช้ค่าของอาร์กิวเมนต์จากโปรแกรมหลักผ่านทาง Dummy argument Actual argument ในคำสั่ง CALL จะต้องมีจำนวนลำดับที่ และชนิดเดียวกับ Dummy argument ในคำสั่ง SUBROUTINE ชื่อที่ใช้เป็นอาร์กิวเมนต์ใน 2 แห่งอาจเหมือนกันหรือแตกต่างกันก็ได้

- RETURN

รูปแบบทั่วไปของคำสั่ง RETURN คือ RETURN

คำสั่ง RETURN จะโยกย้ายการควบคุมการทำงานกลับไปยังโปรแกรมหลัก โปรแกรมย่อยฟังก์ชันอาจจะมีคำสั่ง RETURN ได้หลายคำสั่งได้ การโยกย้ายการควบคุมจะกลับไปยังที่ ๆ เรียกใช้โปรแกรมย่อยฟังก์ชันนั้น

- CALL

รูปแบบทั่วไป CALL ชื่อ [($a_1 , a_2 , \ldots , a_n$)]

โดยที่ CALL เป็นคีย์เวิร์ด

ชื่อ Subroutine ที่จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_1 , a_2 , \ldots , a_n$ เป็น Actual argument คือตัวที่จะสื่อสารกับ Subroutine อาร์กิวเมนต์อาจเป็นตัวแปร สมาชิกของแถวลำดับชื่อของแถวลำดับ ค่าคงที่ นิพจน์และชื่อของฟังก์ชัน เราใช้อาร์กิวเมนต์เพื่อส่งข้อมูลจากโปรแกรมหลักไปยัง Subroutine หรือเพื่อรับผลลัพธ์จาก Subroutine ใน Subroutine จะไม่มีอาร์กิวเมนต์เลยก็ได้ ($n \geq 0$)

- ENTRY

วิธีที่จะทำให้เราสามารถเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ของโปรแกรมย่อย (แทนที่จะเข้าที่ต้นโปรแกรมย่อย) ตามต้องการคือการใช้คำสั่ง ENTRY (เป็นคำสั่งไม่ปฏิบัติการ) ในโปรแกรมย่อย

รูปทั่วไป

```
ENTRY ชื่อ ( p1 , p2 , ... , pn )
```

โดยที่ ชื่อเป็นชื่อที่ตั้งตามหลักการตั้งชื่อ (ในโปรแกรมย่อยฟังก์ชันชื่อนี้จะส่งค่ากลับไปยังโปรแกรมหลัก)

$p_1 , p_2 , \ldots , p_n$ เป็น Dummy argument ที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย

- SAVE

รูปทั่วไป

```
SAVE [รายชื่อตัวแปร]
```

ตามปกติแล้วเมื่อส่งการควบคุมกลับมายังโปรแกรมหลัก ตัวแปรทั้งหมดในโปรแกรมย่อยซึ่งไม่ใช่อาร์กิวเมนต์จะไม่เก็บค่าไว้อีกต่อไป (Undefined) (ยกเว้นตัวแปรที่ถูกกำหนดค่าโดยคำสั่ง DATA และตัวแปรใน COMMON BLOCK) นั่นหมายความว่าค่าของตัวแปรดังกล่าวจะไม่คงอยู่ในการเรียกใช้โปรแกรมย่อยในครั้งต่อไป ถ้าเราจำเป็นต้องคงค่าเหล่านั้นไว้จากการเรียกใช้ครั้งหนึ่งไว้สำหรับการเรียกใช้ครั้งถัดไป เราทำได้โดยการใช้คำสั่ง SAVE ในโปรแกรมย่อย ถ้าเราไม่ใส่รายชื่อตัวแปร แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดในโปรแกรมย่อยจะถูกเก็บไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

ในบทนี้จะอธิบายถึงโปรแกรมที่ใช้ในการประยุกต์ในการหาคำตอบของระเบียบวิธี Finite volume ซึ่งจะเป็นการประมาณค่าเชิงตัวเลขโดยใช้ภาษา Fortran เขียน โปรแกรมจะประกอบด้วยโปรแกรมหลัก(Main Program) และโปรแกรมย่อย(Subroutine) ต่างๆ ดังนี้

โปรแกรมหลักจะทำหน้าที่จัดลำดับการทำงานของโปรแกรมย่อยต่างๆ ให้ทำงานตามขั้นตอน

โปรแกรมย่อย(Subroutine)ทำหน้าที่คำนวณค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องใช้ซึ่งประกอบด้วย

1- DATIN - ทำหน้าที่อ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จาก Tseed แล้วเก็บค่าต่างๆ เพื่อนำมาประมวลผลในโปรแกรมหลัก

2- DATOUT - ทำหน้าที่เช็คดูค่าต่างๆว่าทำการอ่านค่าครบทุกตัวหรือไม่ซึ่งอาจจะมีการผิดพลาดที่ Format การอ่านค่าอาจจะไม่ตรงกัน

3- INIT - ทำหน้าที่กำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณให้มีค่าเป็นศูนย์ก่อนเริ่มการทำงานคำนวณโปรแกรม

4- CALCU - ทำหน้าที่คำนวณความเร็วของของไหลในทิศทางของความยาวท่อ (z-direction)

5- CALCV - ทำหน้าที่คำนวณความเร็วของของไหลในทิศทางของความยาวท่อ (r-direction)

6- CALCW – ทำหน้าที่คำนวณความเร็วของของไหลในทิศทางของความยาวท่อ (θ-direction)

7- CALCP -ทำหน้าที่คำนวณค่าความดันและแก้ไขค่าความเร็วในทิศทาง r,z

8- LISOLV - ทำหน้าที่แก้สมการจากการสร้างสัมประสิทธิ์และ source term โดยอาศัย Tri Diagonal Matrix Algorithm

9- PROMQ - ทำหน้าที่แก้ไขค่าของ source term ที่คำนวณจาก SOURU ให้ถูกต้องตามเงื่อนไขขอบเขต

10- SOURU-ทำหน้าที่คำนวณค่า source term ของการคำนวณความเร็วในทุกทิศทาง

11- PROPS - ทำหน้าที่คำนวณความหนืดของของไหล

12- PROMOD - ทำหน้าที่แก้ไขค่าสัมประสิทธิ์ในการคำนวณความเร็ว ความดันและเอนทาลปี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13- PRINT - ทำหน้าที่เขียน output file (TFAFOUT)ที่ได้จากการคำนวณ

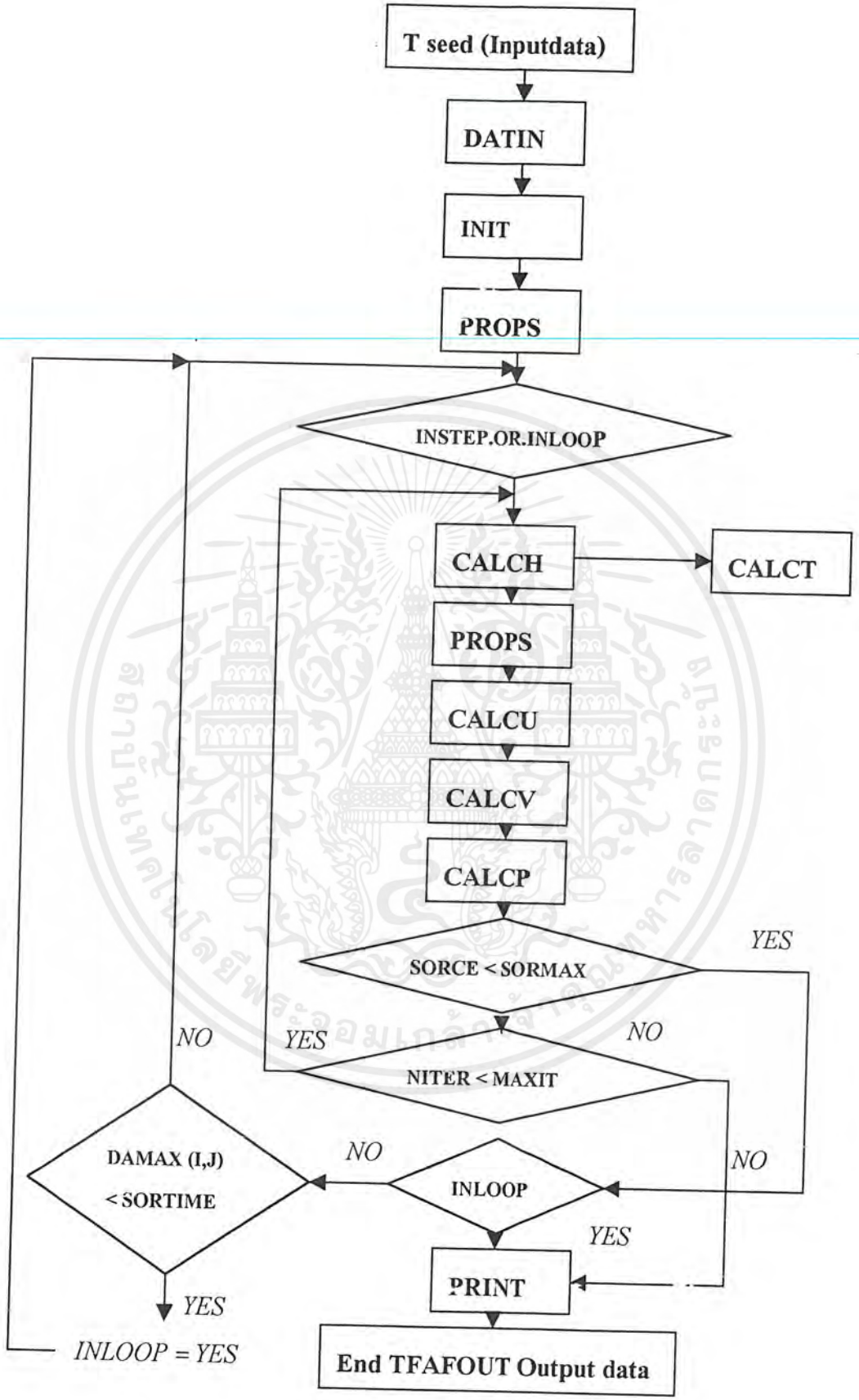
14- CALCH – ทำหน้าที่คำนวณเอลทาลปี้

15- CALCT – ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าเอลทาลปี้ให้เป็นค่าอุณหภูมิ

16- COEF – ทำหน้าที่คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ในการคำนวณเอนทาลปี้

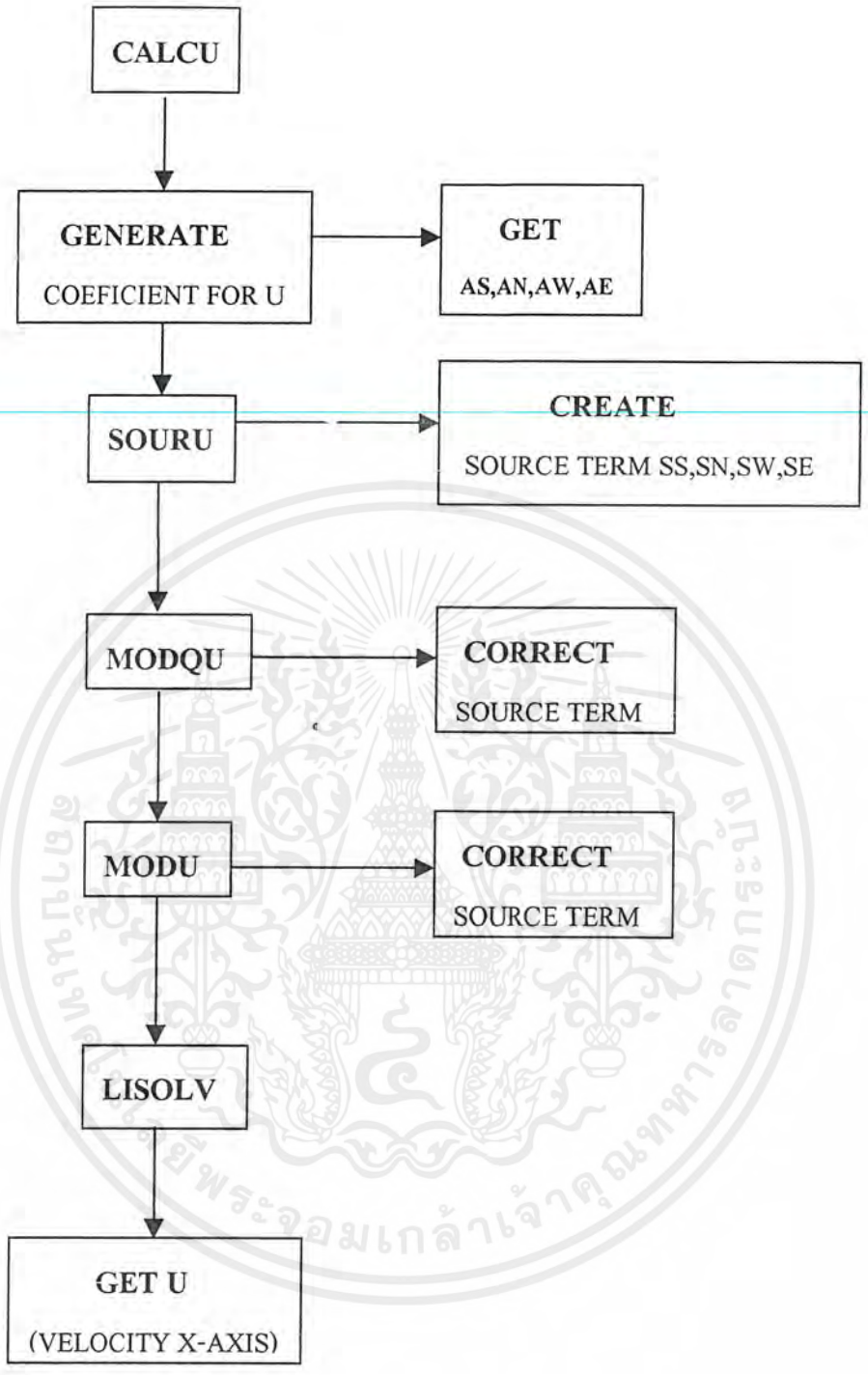
17- CALCCPW - ทำหน้าที่คำนวณหาค่าC_pของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



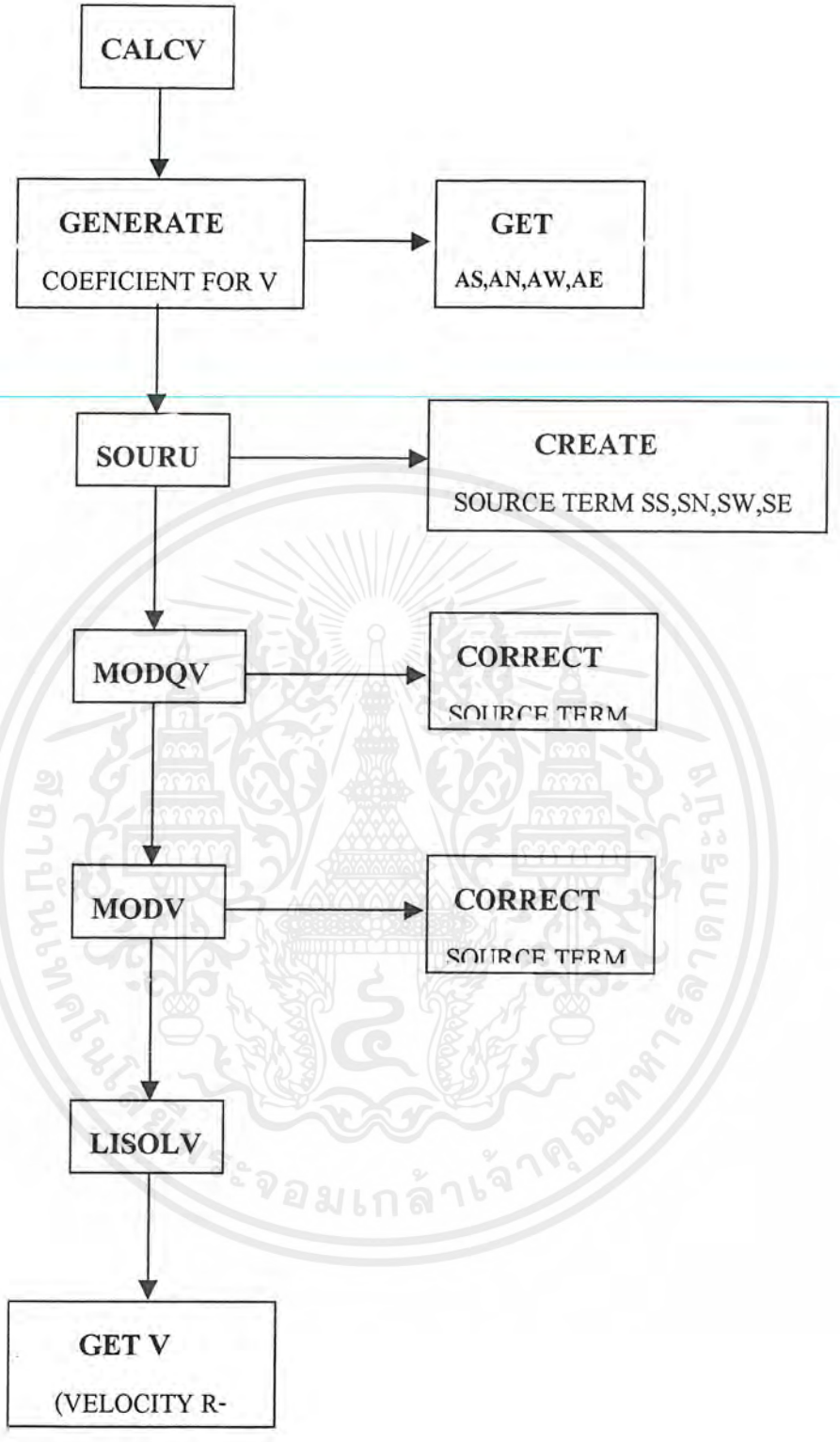
รูปที่ 7.1 แสดงการทำงานของ Main program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



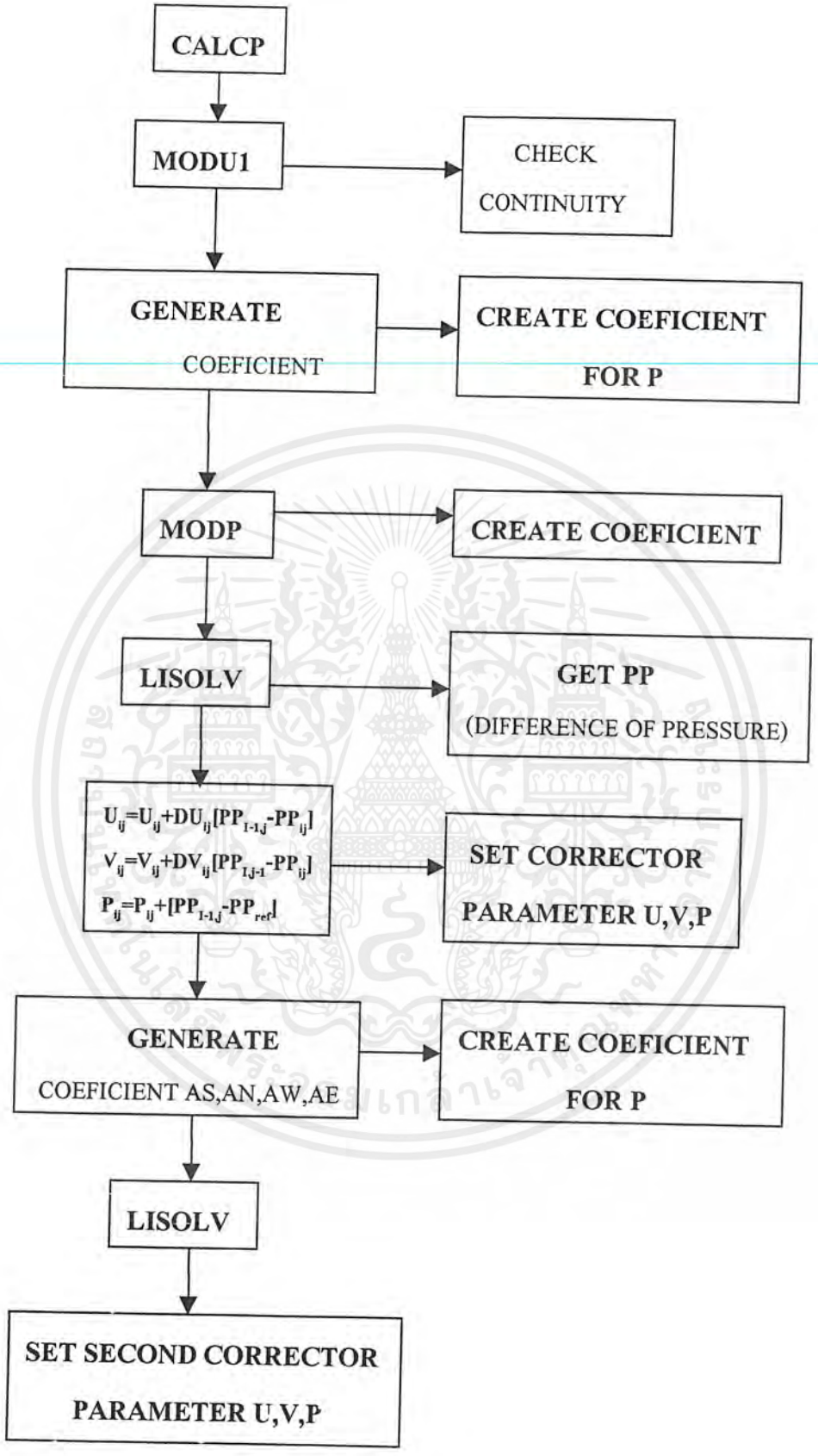
รูปที่ 7.2 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



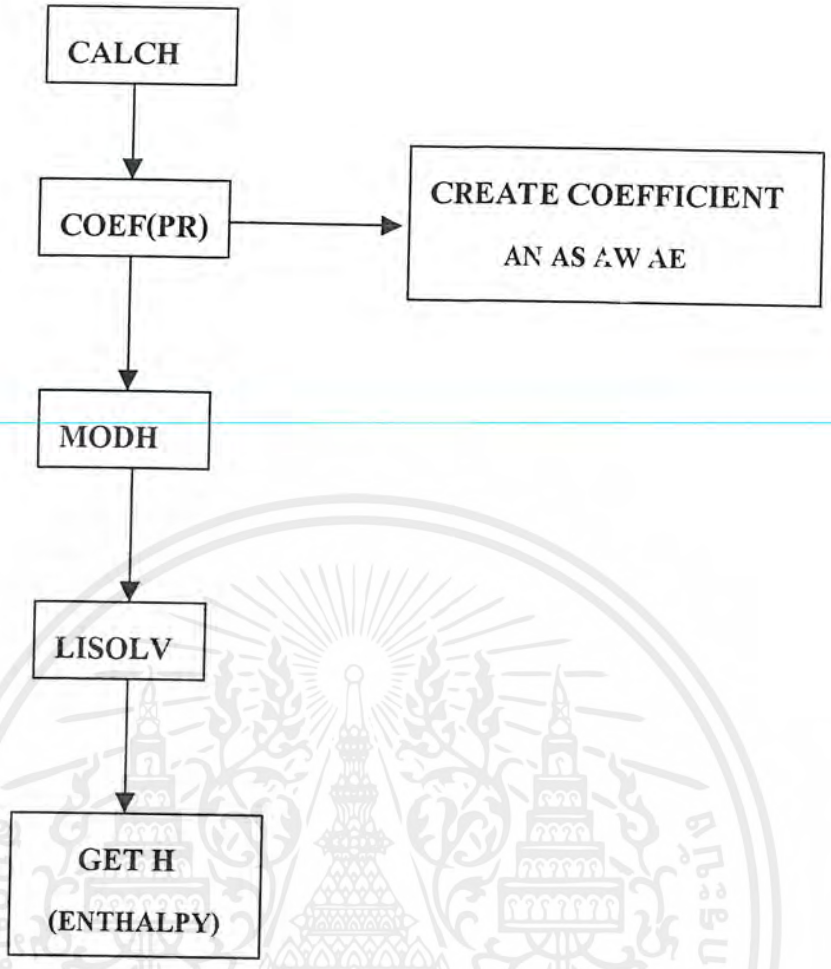
รูปที่ 7.3 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



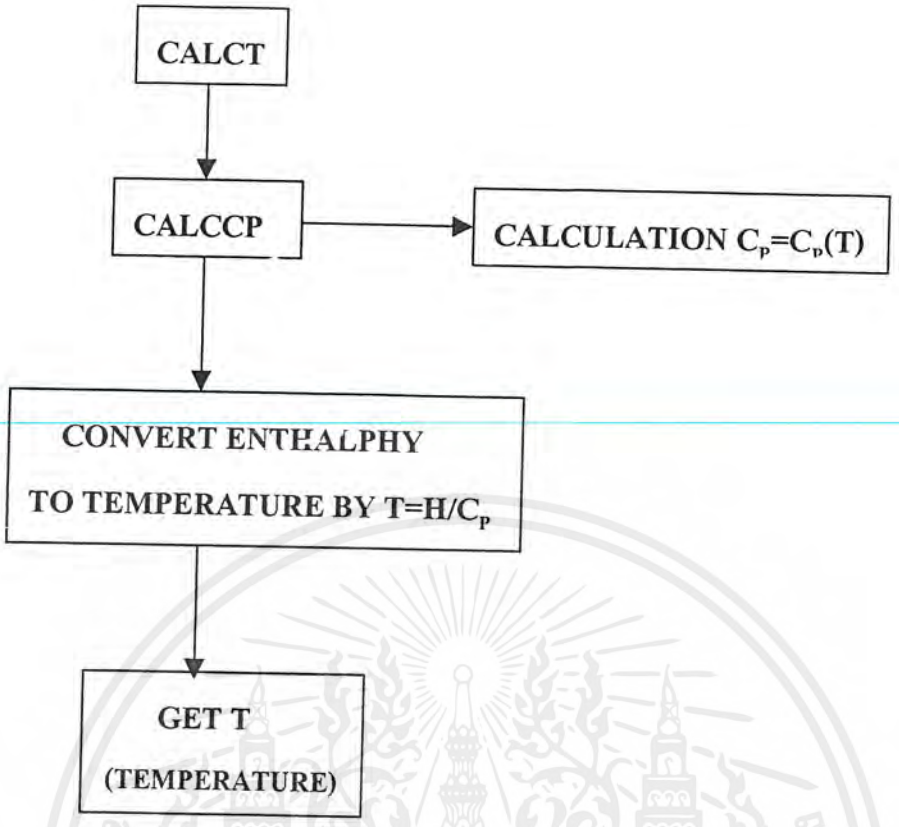
รูปที่ 7.4 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 แสดงการทำงานของ Subroutine CALCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี

1. การเปลี่ยนเวลา (Unsteady)

การเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะมีความเร็วที่ทางเข้า 0.12 m/s อุณหภูมิทางเข้า 273 °K จะทำการทดลองทั้งหมด 5 เวลาด้วยกันคือ 10 วินาที , 30 วินาที , 50 วินาที , 80 วินาที ,100 วินาที

2. การเปลี่ยนความเร็วที่ทางเข้า (Velocity Inlet)

3. การเปลี่ยนอุณหภูมิที่ทางเข้า (Temperature Inlet)

ทั้งการเปลี่ยนความเร็วและอุณหภูมิทางเข้าจะมีอย่างละ 3 กรณี คือ 0.08 m/s , 0.1 m/s , 0.12 m/s และ 273 °K , 276 °K , 280 °K ซึ่งเมื่อทำการสลับกันระหว่างความเร็วทางเข้าและอุณหภูมิทางเข้าจะทำให้ได้ทั้งหมด 9 กรณี และทั้ง 9 กรณีนี้จะทำการรันที่ 50 วินาที

- อุณหภูมิเข้า 273 °K ความเร็วเข้า 0.08 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 273 °K ความเร็วเข้า 0.1 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 273 °K ความเร็วเข้า 0.12 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 276 °K ความเร็วเข้า 0.08 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 276 °K ความเร็วเข้า 0.1 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 276 °K ความเร็วเข้า 0.12 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 280 °K ความเร็วเข้า 0.08 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 280 °K ความเร็วเข้า 0.1 m/s ใช้เวลา 50 วินาที
- อุณหภูมิเข้า 280 °K ความเร็วเข้า 0.12 m/s ใช้เวลา 50 วินาที

ผลการรันโปรแกรมจะแสดงผลของตัวเลขซึ่งเป็นเลขทศนิยม 4 หลักก่อนหลังจากนั้นจะเป็นการแสดงผลโดยใช้ Matlab5.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิและเวกเตอร์ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างค่าอุณหภูมิของ

การทดลองที่ 1 อุณหภูมิเข้า 273 °K ความเร็วเข้า 0.12 m/s ใช้เวลา 50 วินาที

X=	-0.005	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045	0.055	0.065
R=0.275	295.4827	295.4827	295.5236	295.5967	295.6946	295.8134	295.9508	296.1043
0.225	295.4827	295.4827	295.5236	295.5967	295.6946	295.8134	295.9508	296.1043
0.211	295.2837	295.2837	295.369	295.5018	295.6508	295.8077	295.9718	296.1436
0.197	295.0414	295.0414	295.1667	295.3577	295.5546	295.755	295.9568	296.158
0.183	294.7318	294.7318	294.8909	295.1336	295.3739	295.6186	295.8602	296.0965
0.177	294.5727	294.5727	294.7473	295.0152	295.2723	295.5354	295.7932	296.0446
0.174	294.4882	294.4882	294.6701	294.9506	295.2158	295.4883	295.7543	296.0131
0.171	294.4004	294.4004	294.5894	294.8822	295.1555	295.4376	295.7119	295.9782
0.165	294.216	294.216	294.4181	294.7334	295.0238	295.3252	295.617	295.8985
0.152	293.7764	293.7764	294.004	294.3578	294.6918	295.0391	295.3722	295.6877
0.138	293.2332	293.2332	293.4914	293.8939	294.2939	294.6975	295.0764	295.4298
0.124	292.6123	292.6123	292.9094	293.3747	293.851	294.3169	294.7473	295.1459
0.11	291.8958	291.8958	292.2413	292.7825	293.3428	293.8815	294.3746	294.8265
0.096	291.0484	291.0484	291.4501	292.0785	292.7311	293.3506	293.9113	294.4175
0.09	290.6243	290.6243	291.0496	291.7145	292.4058	293.0577	293.6452	294.1727
0.087	290.3964	290.3964	290.833	291.5149	292.2243	292.8913	293.4913	294.0288
0.084	290.1566	290.1566	290.6043	291.3021	292.0285	292.7096	293.3211	293.8682
0.078	289.6371	289.6371	290.1062	290.8311	291.5869	292.2922	292.9244	293.4891
0.065	288.2716	288.2716	288.7734	289.5301	290.3182	291.0534	291.7165	292.3134
0.051	286.1444	286.1444	286.6101	287.3333	288.0858	288.8198	289.5095	290.153
0.037	282.2481	282.2481	282.7404	283.4631	284.219	284.999	285.7727	286.5276
0.023	273	274.91	276.4223	277.7156	278.8616	279.9147	280.905	281.8497
0.009	273	273.5512	274.3677	275.3115	276.3064	277.3156	278.3211	279.3145
0.003	273	273.3901	274.082	274.9522	275.9113	276.9073	277.9125	278.9124
-0.003	273	273.3901	274.082	274.9522	275.9113	276.9073	277.9125	278.9124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X=	0.075	0.085	0.095	0.105	0.115	0.125	0.135	0.145
R=0.275	296.2713	296.4491	296.6349	296.8265	297.0223	297.2208	297.4207	297.6209
0.225	296.2713	296.4491	296.6349	296.8265	297.0223	297.2208	297.4207	297.6209
0.211	296.3234	296.5103	296.7027	296.8988	297.0973	297.2971	297.4972	297.6969
0.197	296.3596	296.5626	296.7673	296.973	297.1786	297.3833	297.5864	297.7877
0.183	296.3271	296.5534	296.7766	296.9969	297.2142	297.4285	297.6395	297.8475
0.177	296.2882	296.5253	296.7573	296.985	297.2087	297.4286	297.645	297.8582
0.174	296.2633	296.5059	296.7425	296.974	297.2012	297.4245	297.6441	297.8605
0.171	296.2349	296.4831	296.7243	296.96	297.1909	297.4178	297.641	297.8611
0.165	296.1683	296.4278	296.6789	296.9234	297.1627	297.3978	297.6294	297.8579
0.152	295.9867	296.2721	296.5471	296.8142	297.0756	297.3328	297.5865	297.8372
0.138	295.762	296.0779	296.3819	296.6775	296.9672	297.2522	297.5332	297.8098
0.124	295.5177	295.8695	296.207	296.5345	296.8541	297.1668	297.4727	297.7713
0.11	295.2437	295.635	296.0069	296.3638	296.7084	297.042	297.3653	297.6781
0.096	294.8783	295.3047	295.7047	296.0842	296.447	296.7954	297.1306	297.4529
0.09	294.6507	295.0909	295.5022	295.8912	296.2619	296.617	296.958	297.2854
0.087	294.5151	294.9621	295.3792	295.773	296.1481	296.507	296.8513	297.1818
0.084	294.3625	294.8163	295.2394	295.6384	296.0181	296.3812	296.7293	297.0633
0.078	293.9989	294.4667	294.9023	295.313	295.7033	296.0762	296.4335	296.7761
0.065	292.8571	293.3595	293.83	294.2749	294.6985	295.1034	295.4918	295.8649
0.051	290.7562	291.3255	291.8665	292.3828	292.877	293.351	293.8068	294.2459
0.037	287.2583	287.9632	288.6426	289.2971	289.9271	290.5333	291.1173	291.6806
0.023	282.7582	283.6357	284.485	285.3075	286.1037	286.8739	287.6184	288.3376
0.009	280.2911	281.2483	282.1842	283.0971	283.9858	284.8488	285.6855	286.4954
0.003	279.8993	280.8689	281.8182	282.7452	283.6481	284.5256	285.3764	286.2011
-0.003	279.8993	280.8689	281.8182	282.7452	283.6481	284.5256	285.3764	286.2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X=	0.155	0.165	0.175	0.185	0.195	0.205	0.225	0.245
R=0.275	297.8201	298.0172	298.2111	298.4011	298.5865	298.767	299.1134	299.4396
0.225	297.8201	298.0172	298.2111	298.4011	298.5865	298.767	299.1134	299.4396
0.211	297.8953	298.0915	298.2847	298.4741	298.6591	298.8394	299.1872	299.5148
0.197	297.9867	298.1832	298.3766	298.5664	298.7523	298.9337	299.2861	299.6182
0.183	298.0525	298.2548	298.4543	298.6506	298.8435	299.0323	299.3981	299.741
0.177	298.0685	298.2761	298.481	298.6829	298.8812	299.0752	299.449	299.7973
0.174	298.0741	298.2851	298.4932	298.6983	298.8998	299.0967	299.4747	299.8258
0.171	298.0784	298.293	298.5048	298.7134	298.9181	299.1181	299.5005	299.8544
0.165	298.0836	298.3065	298.5263	298.7426	298.9543	299.1607	299.5519	299.9112
0.152	298.0847	298.3285	298.568	298.802	299.0296	299.2497	299.6591	300.0282
0.138	298.0816	298.3474	298.6061	298.8565	299.0975	299.3282	299.7503	300.1245
0.124	298.0618	298.3433	298.6148	298.8751	299.1235	299.3592	299.7871	300.1621
0.11	297.98	298.2704	298.5486	298.8137	299.0652	299.3026	299.7335	300.1093
0.096	297.7625	298.059	298.3421	298.6113	298.8661	299.1064	299.5449	299.9276
0.09	297.5995	297.9002	298.187	298.4598	298.7182	298.9619	299.4078	299.7975
0.087	297.4987	297.802	298.0914	298.3667	298.6275	298.8735	299.3244	299.7189
0.084	297.3835	297.6899	297.9823	298.2606	298.5245	298.7734	299.2302	299.6303
0.078	297.1047	297.4191	297.7195	298.0058	298.2776	298.5341	299.0063	299.4208
0.065	296.2233	296.5671	296.8967	297.2127	297.5147	297.7997	298.326	298.7901
0.051	294.6694	295.0766	295.4684	295.8477	296.2166	296.563	297.1966	297.7554
0.037	292.224	292.7467	293.2504	293.7396	294.2245	294.7041	295.5164	296.2319
0.023	289.0324	289.702	290.3473	290.9681	291.5731	292.3612	293.3488	294.257
0.009	287.2802	288.0357	288.7623	289.4603	290.1363	291.0441	292.1628	293.1831
0.003	286.9992	287.7678	288.507	289.2169	289.9039	290.8297	291.9702	293.0085
-0.003	286.9992	287.7678	288.507	289.2169	289.9039	290.8297	291.9702	293.0085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X=	0.265	0.285	0.305	0.325	0.345	0.365	0.385	0.405
R=0.275	299.7474	300.0394	300.3183	300.5862	300.8447	301.0942	301.3343	301.5638
0.225	299.7474	300.0394	300.3183	300.5862	300.8447	301.0942	301.3343	301.5638
0.211	299.8233	300.1145	300.3905	300.6535	300.9054	301.147	301.3782	301.5977
0.197	299.9299	300.2218	300.4953	300.7523	300.995	301.2252	301.4432	301.6481
0.183	300.059	300.3525	300.6228	300.8725	301.1043	301.3204	301.522	301.7085
0.177	300.118	300.4114	300.6796	300.9255	301.152	301.3616	301.5557	301.734
0.174	300.1477	300.4409	300.7079	300.9518	301.1755	301.3818	301.5722	301.7463
0.171	300.1774	300.4704	300.7361	300.9778	301.1987	301.4017	301.5883	301.7582
0.165	300.2362	300.5284	300.7912	301.0284	301.2436	301.4398	301.6188	301.7805
0.152	300.356	300.6452	300.9006	301.1272	301.3296	301.5111	301.6738	301.8185
0.138	300.4516	300.7358	300.9831	301.1994	301.3894	301.5571	301.7048	301.8341
0.124	300.4868	300.7666	301.0082	301.2173	301.399	301.5571	301.6944	301.8132
0.11	300.4338	300.7134	300.9543	301.1623	301.3419	301.4969	301.6302	301.7448
0.096	300.2595	300.547	300.7961	301.0119	301.1985	301.3591	301.4971	301.6153
0.09	300.1366	300.4315	300.688	300.9109	301.104	301.2706	301.4138	301.5368
0.087	300.0626	300.3622	300.6234	300.8509	301.0482	301.2187	301.3655	301.4916
0.084	299.9796	300.2847	300.5514	300.7841	300.9864	301.1613	301.3123	301.4422
0.078	299.784	300.1029	300.3829	300.6284	300.8428	301.0288	301.1904	301.3298
0.065	299.2003	299.5644	299.8877	300.1739	300.4265	300.6479	300.8448	301.0166
0.051	298.2532	298.6986	299.098	299.4536	299.7719	300.0531	300.3153	300.5494
0.037	296.8726	297.4484	297.9671	298.4315	298.8509	299.2238	299.5776	299.9206
0.023	295.0836	295.8316	296.5073	297.1149	297.6634	298.1534	298.6054	299.1352
0.009	294.1107	294.9507	295.7093	296.3925	297.0084	297.5607	298.0645	298.6826
0.003	293.9523	294.807	295.5791	296.2746	296.9015	297.4641	297.9758	298.6085
-0.003	293.9523	294.807	295.5791	296.2746	296.9015	297.4641	297.9758	298.6085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X=	0.445	0.485	0.525	0.565	0.605	0.645	0.685	0.725
R=0.275	301.9455	302.2295	302.4192	302.5379	302.6127	302.6636	302.7021	302.7334
0.225	301.9455	302.2295	302.4192	302.5379	302.6127	302.6636	302.7021	302.7334
0.211	301.9637	302.2356	302.4173	302.5313	302.6038	302.6538	302.692	302.7233
0.197	301.9905	302.244	302.4135	302.5208	302.59	302.6387	302.6766	302.7081
0.183	302.0213	302.2514	302.4058	302.5049	302.5703	302.6176	302.6552	302.687
0.177	302.0334	302.2529	302.4006	302.496	302.5598	302.6065	302.6441	302.6762
0.174	302.0389	302.2531	302.3974	302.4911	302.5541	302.6005	302.6381	302.6703
0.171	302.0441	302.2529	302.3939	302.4857	302.5479	302.5941	302.6317	302.6641
0.165	302.053	302.2513	302.3855	302.4739	302.5345	302.5802	302.6179	302.6507
0.152	302.0632	302.2396	302.3603	302.4417	302.4996	302.5447	302.5829	302.6169
0.138	302.0539	302.2109	302.3197	302.3955	302.4515	302.4968	302.5363	302.5722
0.124	302.0161	302.1599	302.2612	302.3342	302.3904	302.4373	302.4791	302.5178
0.11	301.9415	302.0803	302.18	302.2542	302.3133	302.364	302.4097	302.4523
0.096	301.8196	301.9641	302.07	302.151	302.2169	302.2742	302.3262	302.3742
0.09	301.7495	301.9006	302.0121	302.0982	302.1687	302.23	302.2856	302.3366
0.087	301.7099	301.8653	301.9805	302.0696	302.1429	302.2065	302.2642	302.3168
0.084	301.667	301.8275	301.9468	302.0396	302.1158	302.182	302.2419	302.2963
0.078	301.5708	301.7439	301.8734	301.9745	302.0578	302.1298	302.1949	302.2533
0.065	301.3083	301.521	301.682	301.8085	301.9126	302.0012	302.0803	302.1497
0.051	300.9236	301.2022	301.4156	301.5835	301.7209	301.8354	301.9355	302.0215
0.037	300.4069	300.7801	301.0701	301.2987	301.4846	301.6363	301.7653	301.8742
0.023	299.7386	300.2305	300.6241	300.9377	301.1898	301.394	301.5628	301.7035
0.009	299.3609	299.9163	300.3651	300.725	301.0147	301.249	301.4415	301.601
0.003	299.2993	299.8651	300.3228	300.6903	300.9861	301.2254	301.4217	301.5844
-0.003	299.2993	299.8651	300.3228	300.6903	300.9861	301.2254	301.4217	301.5844

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X=	0.765	0.805	0.885	0.965	1.045	1.125	1.205	1.285
R=0.275	302.7599	302.783	302.8222	302.8545	302.8812	302.9031	302.92	302.9307
0.225	302.7599	302.783	302.8222	302.8545	302.6812	302.9031	302.92	302.9307
0.211	302.7501	302.7734	302.8133	302.8464	302.874	302.8968	302.9148	302.9267
0.197	302.7352	302.759	302.7999	302.8343	302.8633	302.8875	302.907	302.9206
0.183	302.7148	302.7393	302.7817	302.8178	302.8488	302.8749	302.8963	302.9123
0.177	302.7043	302.7291	302.7724	302.8094	302.8413	302.8684	302.8908	302.9079
0.174	302.6986	302.7237	302.7673	302.8048	302.8373	302.8649	302.8878	302.9055
0.171	302.6926	302.7179	302.762	302.8001	302.8331	302.8613	302.8846	302.903
0.165	302.6798	302.7056	302.7507	302.7898	302.824	302.8534	302.8779	302.8975
0.152	302.6474	302.6746	302.7224	302.7644	302.8015	302.8337	302.861	302.8835
0.138	302.6052	302.6345	302.6859	302.7316	302.7726	302.8083	302.8391	302.8647
0.124	302.5544	302.5867	302.6428	302.6931	302.7385	302.7783	302.813	302.8418
0.11	302.4938	302.5308	302.5928	302.6485	302.699	302.7433	302.7825	302.8147
0.096	302.4222	302.4663	302.5357	302.5977	302.654	302.7033	302.7472	302.7832
0.09	302.388	302.4362	302.5092	302.5742	302.6331	302.6847	302.7308	302.7686
0.087	302.37	302.4205	302.4954	302.562	302.6224	302.6752	302.7223	302.7611
0.084	302.3514	302.4045	302.4813	302.5496	302.6114	302.6654	302.7137	302.7534
0.078	302.3124	302.371	302.452	302.524	302.5888	302.6454	302.696	302.7377
0.065	302.219	302.2921	302.384	302.4648	302.5369	302.5996	302.6555	302.702
0.051	302.1046	302.1969	302.3039	302.3963	302.4776	302.5478	302.61	302.6621
0.037	301.9742	302.0902	302.2171	302.3238	302.4157	302.4944	302.5636	302.6219
0.023	301.8259	301.971	302.1231	302.2471	302.3514	302.44	302.5168	302.582
0.009	301.7374	301.8995	302.0669	302.2015	302.3134	302.4079	302.4891	302.5584
0.003	301.723	301.8879	302.0578	302.1942	302.3073	302.4027	302.4846	302.5545
-0.003	301.723	301.8879	302.0578	302.1942	302.3073	302.4027	302.4846	302.5545

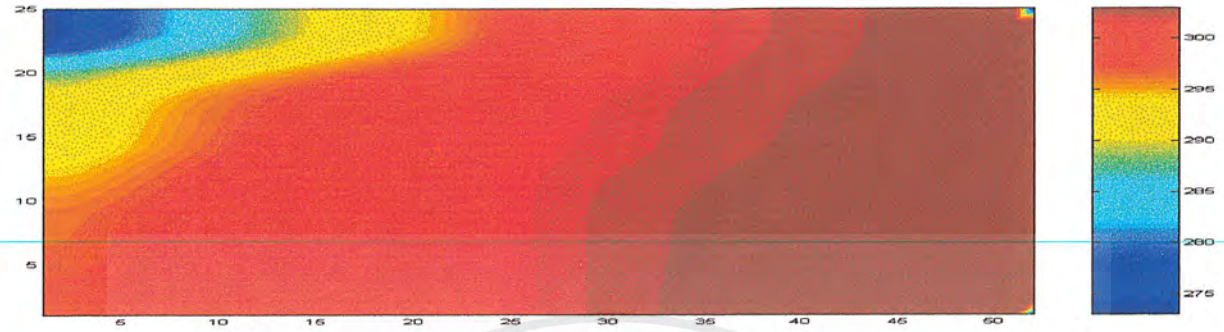
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X=	1.365	1.445	1.525	1.675
R=0.275	302.9304	302.9149	302.8944	273
0.225	302.9304	302.9149	302.8944	302.8944
0.211	302.9277	302.9119	302.8883	302.8883
0.197	302.9236	302.9078	302.8801	302.8801
0.183	302.9181	302.9028	302.8703	302.8703
0.177	302.9153	302.9004	302.8658	302.8658
0.174	302.9137	302.8992	302.8636	302.8636
0.171	302.912	302.8979	302.8613	302.8613
0.165	302.9084	302.8952	302.8567	302.8567
0.152	302.8989	302.8886	302.8466	302.8466
0.138	302.8856	302.8797	302.8358	302.8358
0.124	302.8684	302.8681	302.825	302.825
0.11	302.8469	302.8527	302.8138	302.8138
0.096	302.8207	302.833	302.8021	302.8021
0.09	302.8081	302.8233	302.7968	302.7968
0.087	302.8016	302.8181	302.7941	302.7941
0.084	302.7949	302.8128	302.7913	302.7913
0.078	302.7811	302.8018	302.7856	302.7856
0.065	302.7493	302.7759	302.7724	302.7724
0.051	302.7134	302.7467	302.7575	302.7575
0.037	302.6773	302.7172	302.7423	302.7423
0.023	302.6416	302.6884	302.7266	302.7266
0.009	302.6204	302.671	302.7163	302.7163
0.003	302.617	302.6682	302.7147	302.7147
-0.003	302.617	302.6682	302.7147	273

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายอุณหภูมิเมื่อเปลี่ยนความเร็วทางเข้าที่ Temperature 273 °K

Velocity inlet = 0.08 m/s

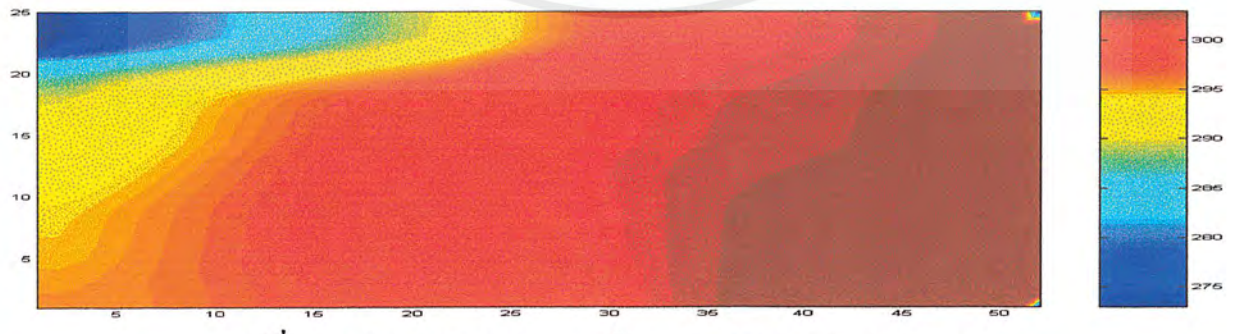


รูปที่ 8.1 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.08 m/s

Velocity inlet = 0.1 m/s

รูปที่ 8.2 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.1 m/s

Velocity inlet = 0.12 m/s

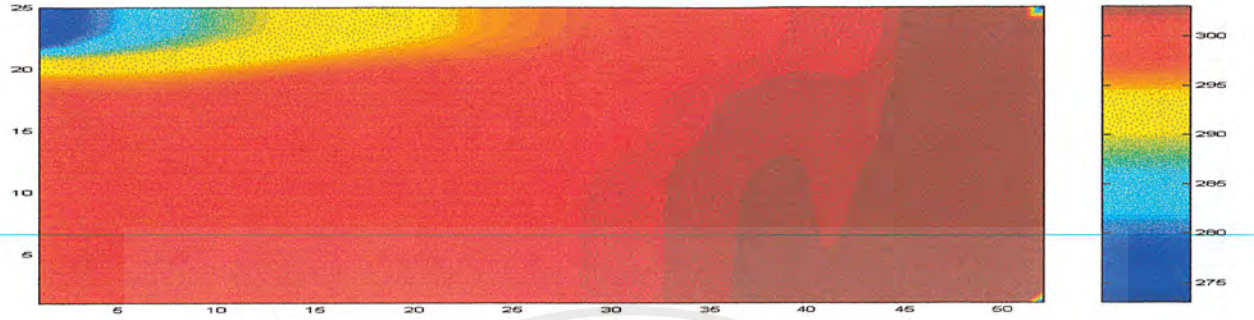


รูปที่ 8.3 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.12 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

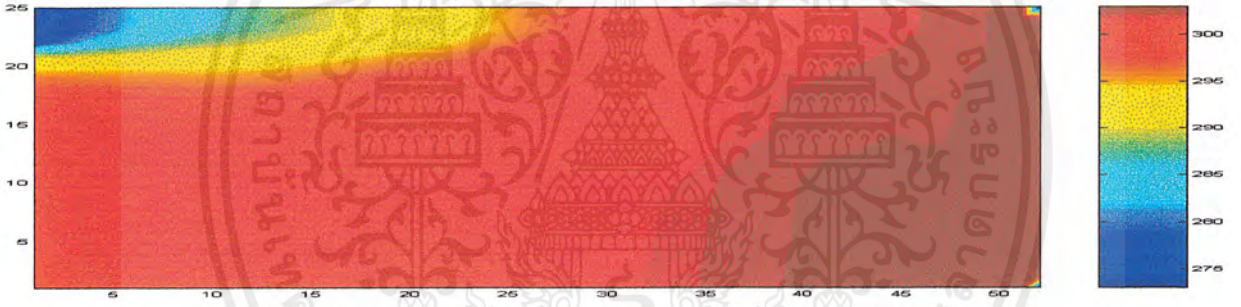
การกระจายอุณหภูมิเมื่อเปลี่ยนความเร็วทางเข้าที่ Temperature 276 °K

Velocity inlet = 0.08 m/s



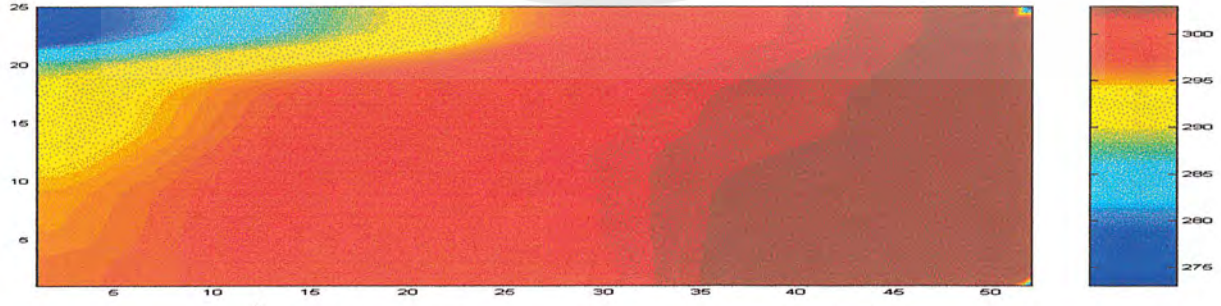
รูปที่ 8.4 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.08 m/s

Velocity inlet = 0.1 m/s



รูปที่ 8.5 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.1 m/s

Velocity inlet = 0.12 m/s

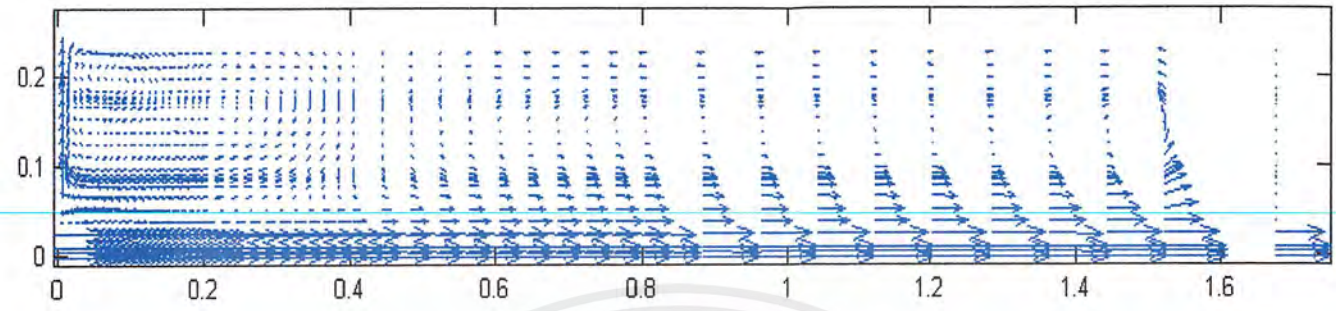


รูปที่ 8.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.12 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

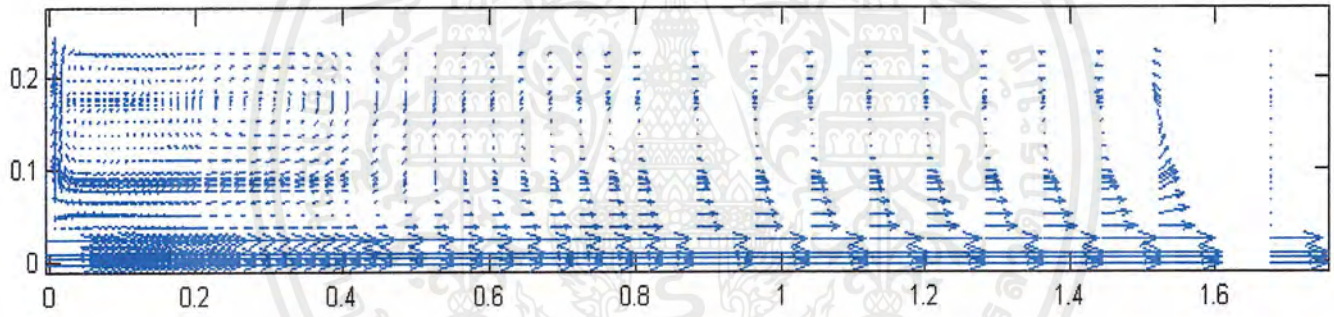
การกระจายของเวกเตอร์ความเร็วเมื่อ Temperature inlet 273 °K

Velocity inlet = 0.08 m/s



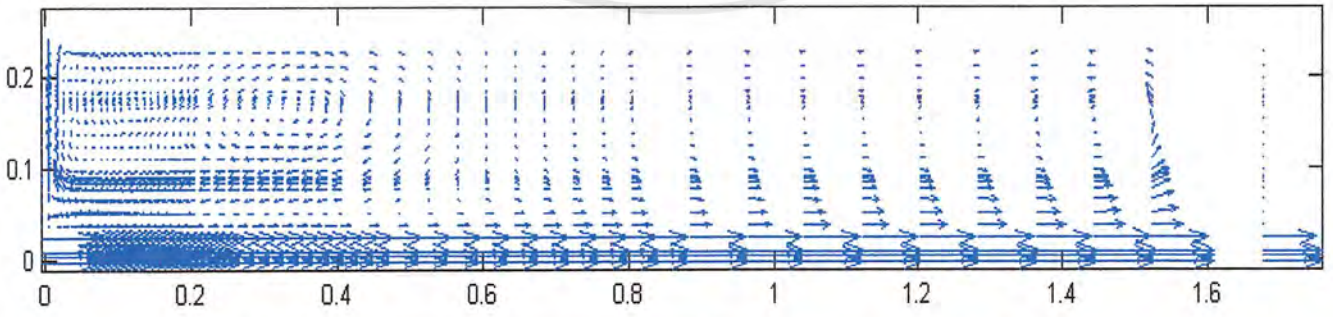
รูปที่ 8.10 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.08 m/s

Velocity inlet = 0.1 m/s



รูปที่ 8.11 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.1 m/s

Velocity inlet = 0.12 m/s

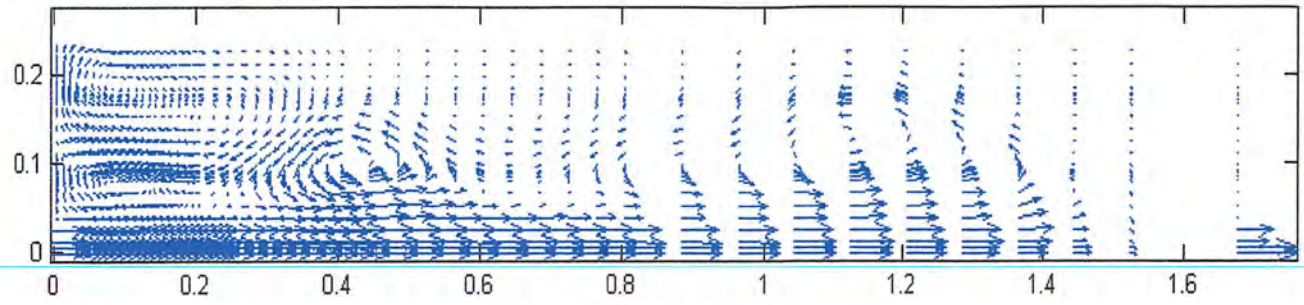


รูปที่ 8.12 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=273 K , V_{in}=0.12 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

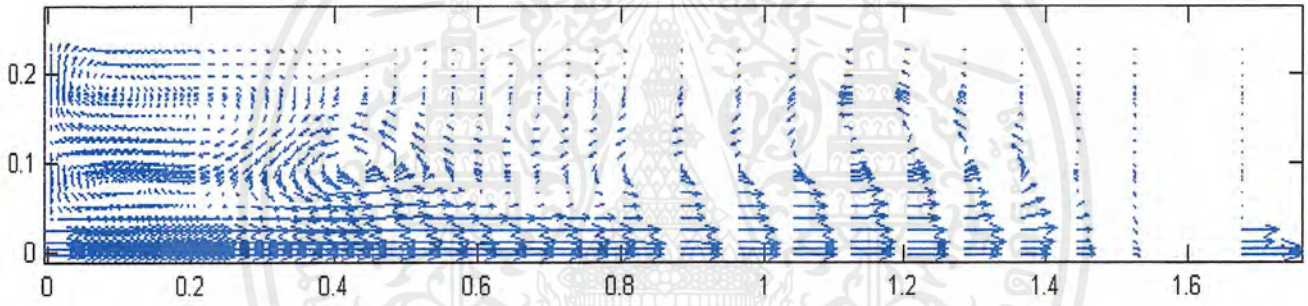
การกระจายของเวกเตอร์ความเร็วเมื่อ Temperature inlet 276 °K

Velocity inlet = 0.08 m/s



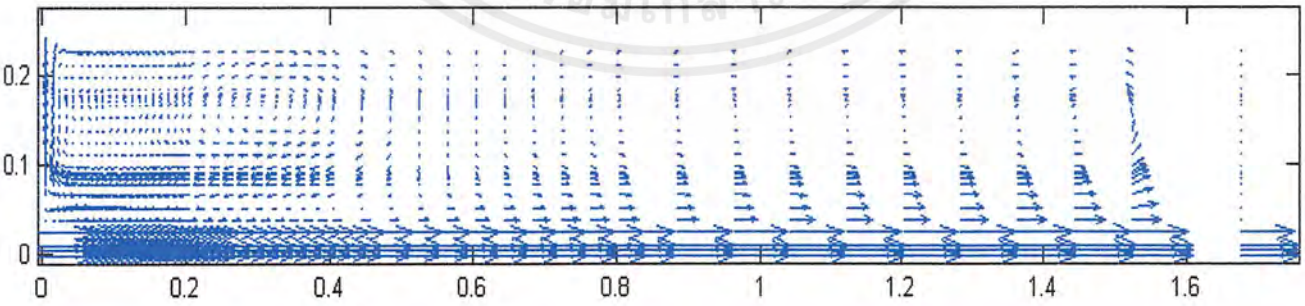
รูปที่ 8.13 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.08 m/s

Velocity inlet = 0.1 m/s



รูปที่ 8.14 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.1 m/s

Velocity inlet = 0.12 m/s

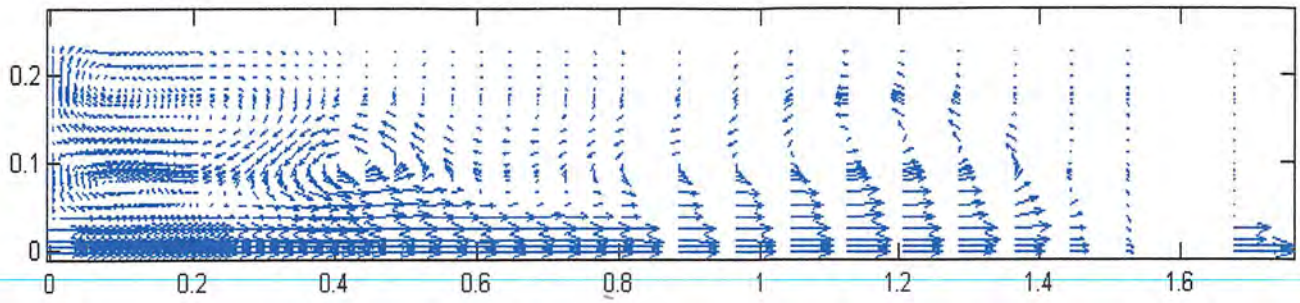


รูปที่ 8.15 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=276 K , V_{in}=0.12 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

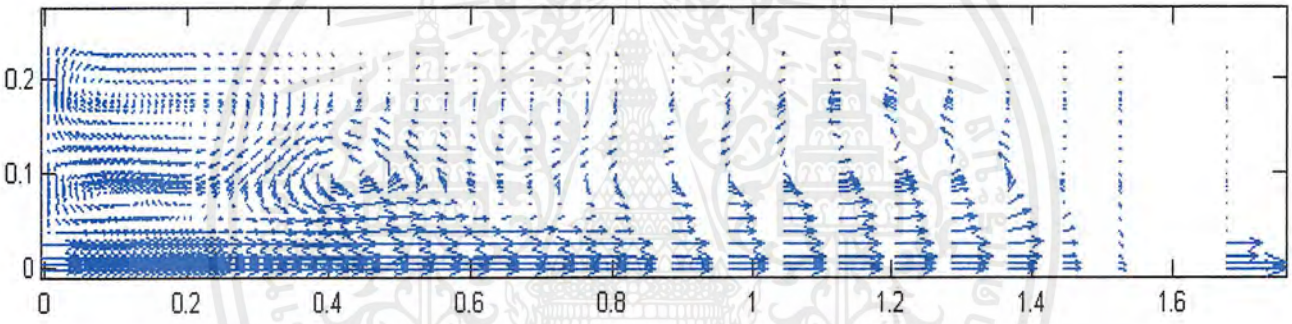
การกระจายของเวกเตอร์ความเร็วเมื่อ Temperature inlet 280 °K

Velocity inlet = 0.08 m/s



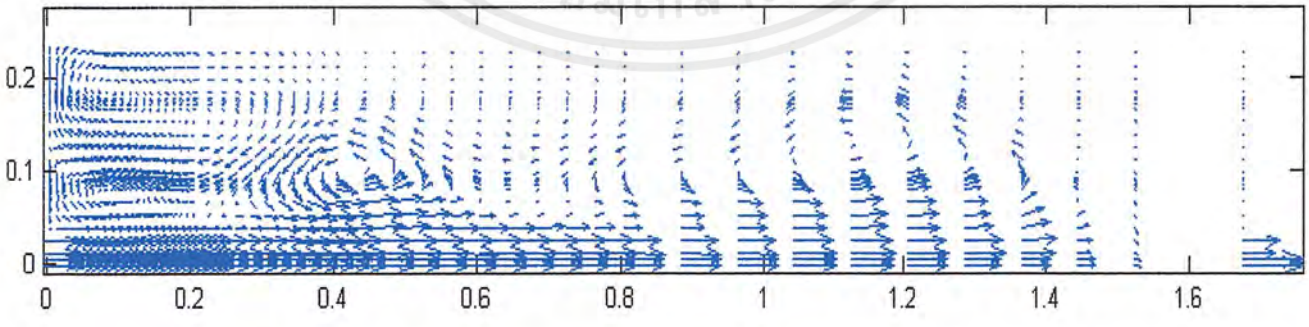
รูปที่ 8.16 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.08 m/s

Velocity inlet = 0.1 m/s



รูปที่ 8.17 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.1 m/s

Velocity inlet = 0.12 m/s

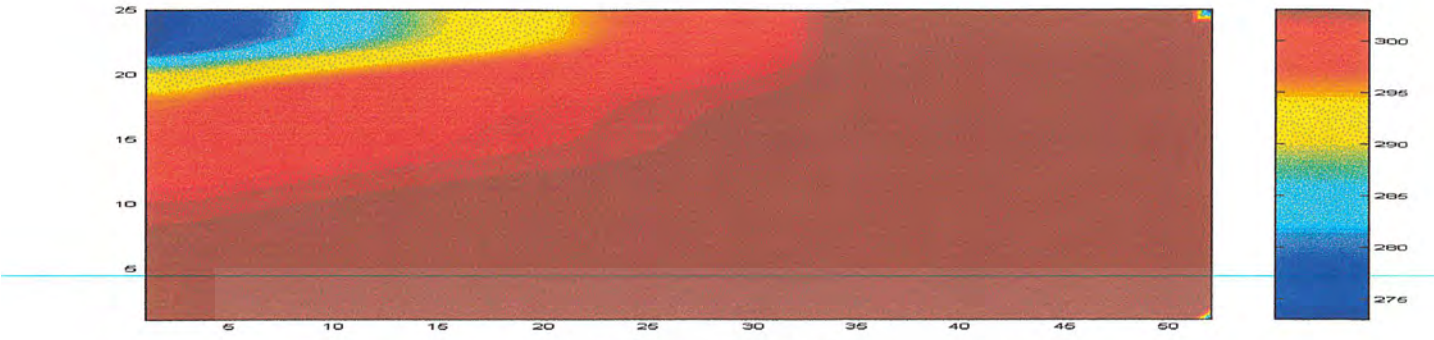


รูปที่ 8.18 แสดงการกระจายเวกเตอร์ความเร็วของ T_{in}=280 K , V_{in}=0.12 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

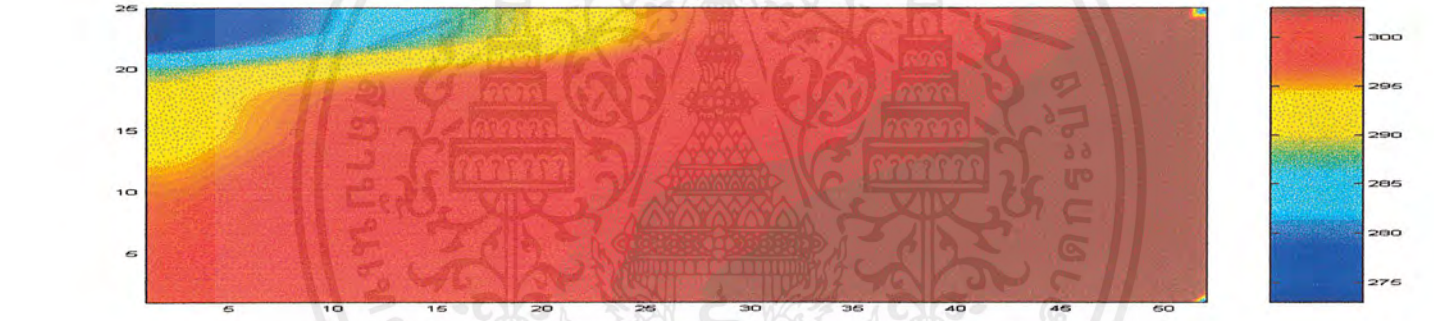
การกระจายอุณหภูมิที่เวลาต่างๆเมื่อภูมิทางเข้า 273 °Kและความเร็วทางเข้า 0.12 m/s

เวลา 10 วินาที



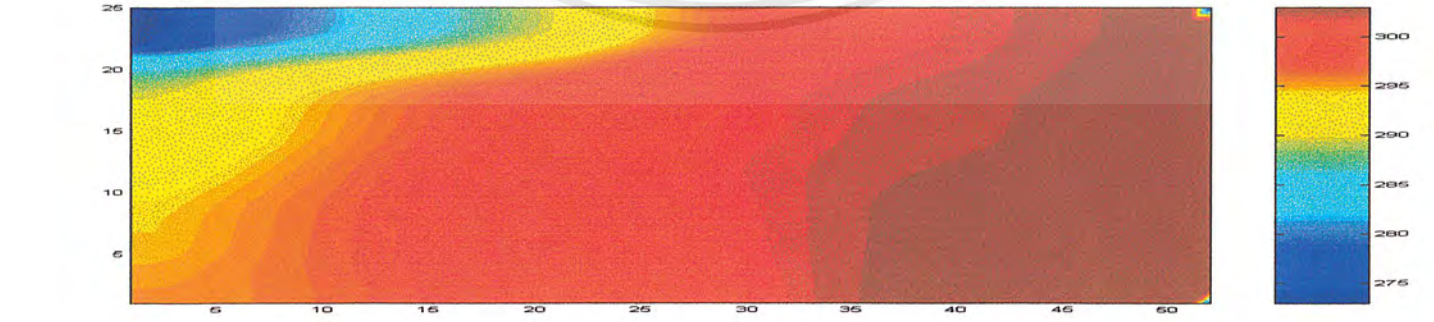
รูปที่ 8.19 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 10 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)

เวลา 30 วินาที



รูปที่ 8.20 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 30 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)

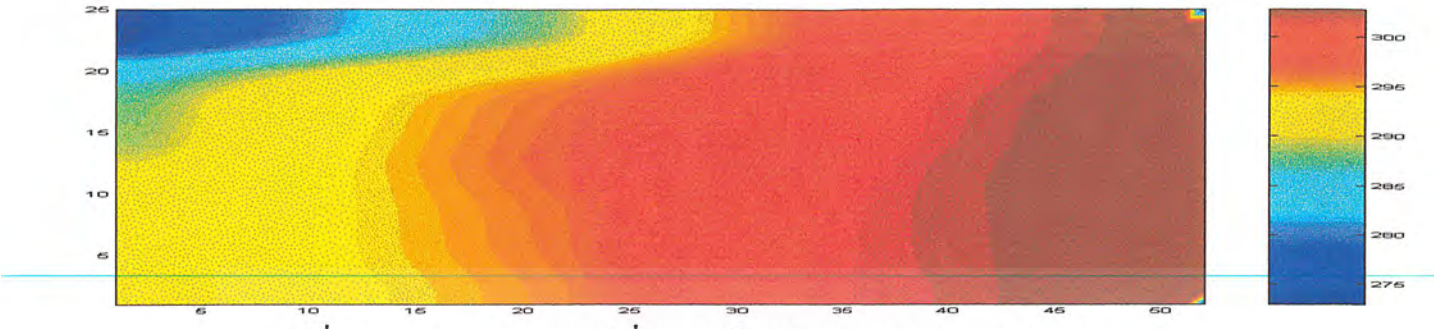
เวลา 50 วินาที



รูปที่ 8.21 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 50 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)

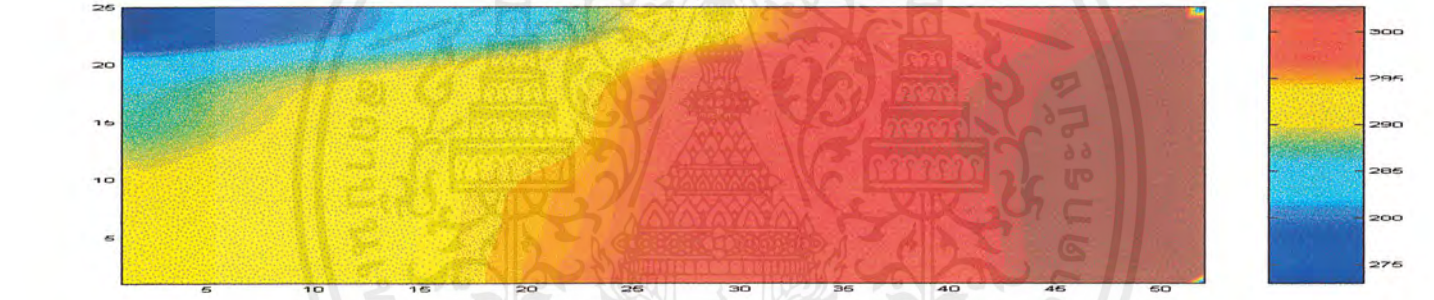
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 80 วินาที



รูปที่ 8.22 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 80 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)

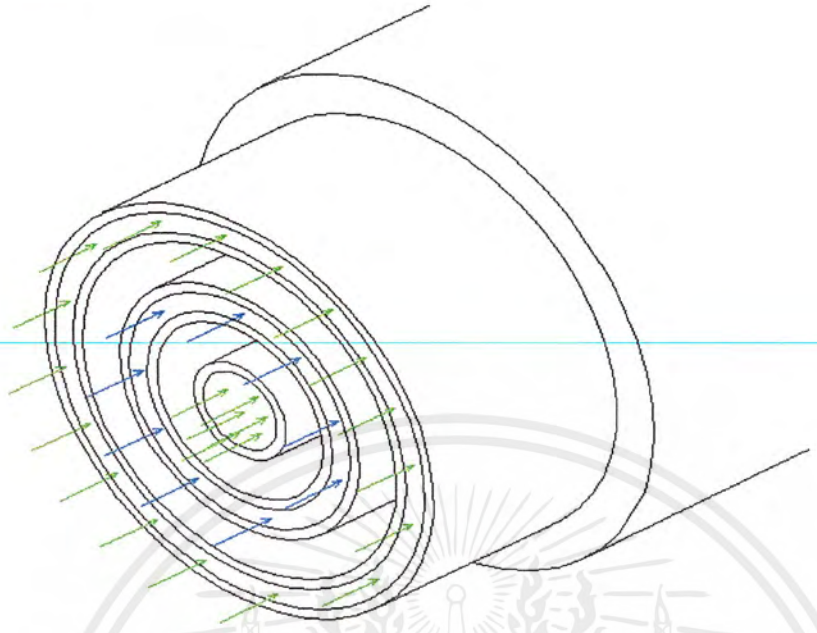
เวลา 100 วินาที



รูปที่ 8.23 การกระจายอุณหภูมิที่เวลา 100 วินาที(T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)

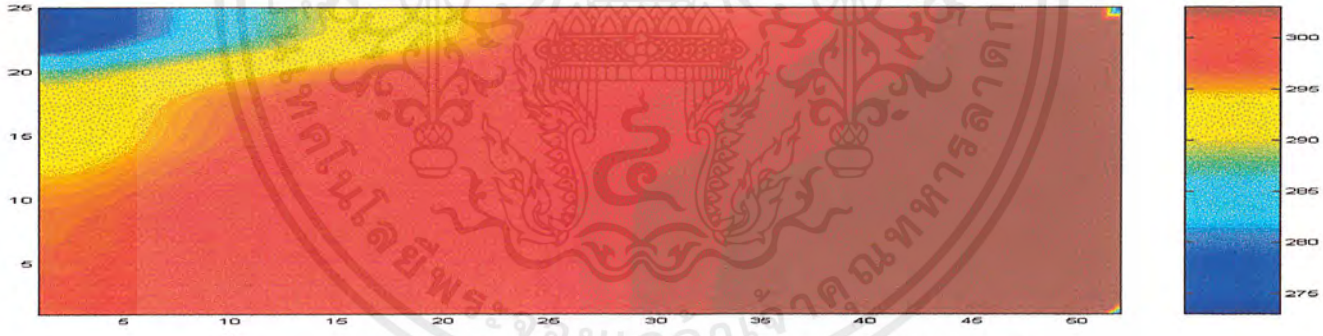
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเพิ่มช่องทางเป็น 6 ช่องทาง



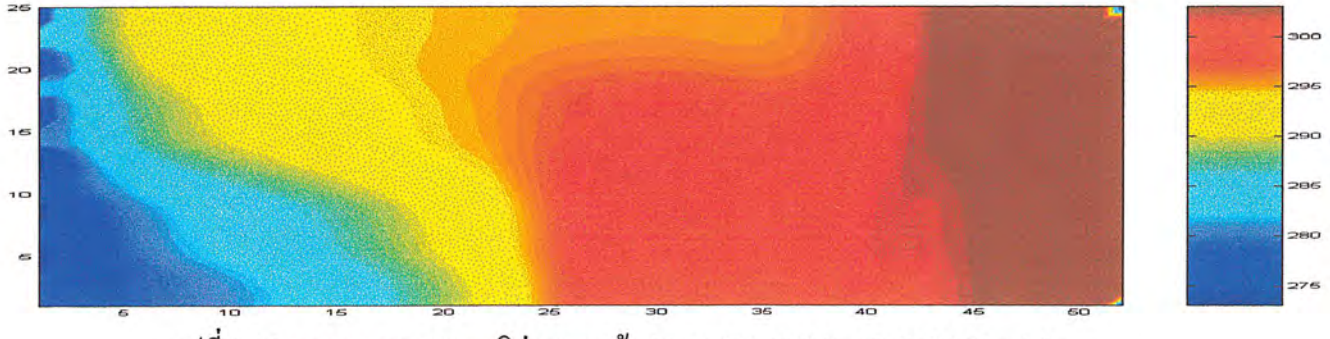
รูปที่ 8.24 แสดงลักษณะของช่องทางเข้า 3 ช่องทาง

1 ช่องทางเข้า



รูปที่ 8.25 การกระจายอุณหภูมิช่องทางเข้า 1 ทาง (T_{in} 273 K , V_{in} 0.12 m/s)

6 ช่องทางเข้า



รูปที่ 8.26 การกระจายอุณหภูมิช่องทางเข้า 6 ทาง (T_{in} 273 K , V_{in} 0.00513 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9
สรุปผลและวิจารณ์

สรุปผล

จากการคำนวณโดยโปรแกรมแล้วจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปการกระจายตัวของอุณหภูมิจะมีลักษณะแผ่เป็นวงกว้างมากขึ้นและเนื่องจากเป็นการไหลขึ้นข้างบนซึ่งจะต้านกับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการแผ่ออกไปด้านข้างด้วย

เมื่อทำการเปลี่ยนความเร็วที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นจะมีการหมุนเวียนของเวคเตอร์ความเร็วจะเพิ่มขึ้นถ้าความเร็วมากขึ้นถึงค่าหนึ่งอาจจะไม่มีการหมุนวนเลย และเส้นการกระจายอุณหภูมิที่มีการเพิ่มขึ้นของความเร็วจะเพิ่มและลดหลั่นไปตามความเร็วที่ลดลง ถ้าความเร็วทางเข้ามีค่ามากการกระจายอุณหภูมิจะมีค่าที่มีลักษณะที่กว้างและยาวกว่าความเร็วทางเข้าที่มีค่าน้อย

เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นเส้นการกระจายอุณหภูมิที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะลดลงและลดหลั่นไปตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิทางเข้ามีค่ามากการกระจายอุณหภูมิจะมีค่าที่มีลักษณะที่แคบและสั้นกว่าอุณหภูมิทางเข้าที่มีค่าน้อย

การเพิ่มช่องทางเข้าของถังน้ำเย็นจะทำให้น้ำเย็นมากขึ้น จึงควรใช้แนวทางเพิ่มท่อทางเข้าให้มากเพื่อที่จะทำให้น้ำเย็นได้เร็วกว่าท่อทางเข้าน้อยกว่าซึ่งจะต้องมี mass flow rate เท่ากัน

ข้อเสนอแนะ

ในการคำนวณโดยโปรแกรมแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนานซึ่งถ้าเกิดใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วต่ำก็ยิ่งจะทำให้การคำนวณนานมากขึ้นดังนั้นควรจะใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ และ ความเร็วสูงๆ ในการคำนวณ

การตั้งค่า Under Relaxation ซึ่งต้องทำการ Set ค่าเพื่อจะให้ Converge เร็วหรือช้าการ Set ค่านั้นจะทำได้จากการสังเกตการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่า Under Relaxation ที่ทำให้การคำนวณเข้าใกล้ การ Converge โดยเช็คจาก loop ที่ทำการคำนวณ

การ Plot ค่า Temperature และ Velocity นั้นจะต้องผ่านโปรแกรม Microsoft Excel และ Matlab 5.3 ต้องทำการศึกษาวิธีการทำงานของโปรแกรมทั้งสองนี้ด้วย และถ้าเป็นการ Plot เวกเตอร์ความเร็วจะต้องผ่าน Microsoft Excel แล้วไปทำการเรียงค่าใน Fortran แล้วนำมาจัดค่าใน Microsoft Excel จึงนำไป Plot ใน Matlab 5.3 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการศึกษาที่ผ่านมาผลที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่นัก เนื่องจากเป็นเพียงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะหาการประมาณค่าเชิงตัวเลขซึ่งต่างจากการทำงานจริง เช่น ค่าการสูญเสียในท่อ และระบบ Cooling storage tank หรือ Ice storage tank เท่าที่ได้สอบถามข้อมูลมาจากบริษัทที่ทำการออกแบบในประเทศไทยได้ข้อมูลมาว่าขณะนี้ยังไม่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เนื่องจากผลต่างของค่าไฟฟ้าในเวลากลางคืนและเวลากลางวันยังไม่สามารถทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้เมื่อเทียบกับการลงทุนสร้าง

Compiler ที่ใช้รันโปรแกรมเป็นภาษา Fortran ซึ่งจะใช้ได้ดีกับการคำนวณ Numerical หรือทางวิศวกรรม แต่ Compiler Fortran ยังมีคนรู้จักและใช้งานได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ Pascal , Visual Basic ถ้าเป็นได้ที่จะสามารถพัฒนาโปรแกรมน่าจะเขียนภาษาอื่นอีกนอกจาก Fortran

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ไพโรจน์ สัตยธรรม,"สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเบื้องต้น",สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,ปี พ.ศ.2541,หน้า 2-28

[2] รสสุคนธ์ หงสพฤกษ์,"การเขียนภาษาฟอร์แทรน",มหาวิทยาลัยรามคำแหง,2532

[3] Alan T.McDonald,Robert W.Fox,"Introduction to fluid mechanics",4rd edition,John Wiley and Sons.,pp 181-219

[4] D.Poulikakos,"Conduction heat tranfer",1994,Prentice-Hall,pp 152-157

[5] H.K. versteeg and W. MalnInsekera,"An introduction to Computational fluid dynamics The finite volume method",1995,Longmangroup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก[Appendix]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature (°C)	C_p(kJ/kg)	μ(Ns/m^2)	ρ(kg/m^3)
0	4.2178	0.0019	1000
20	4.1818	0.001	999
40	4.1784	0.00066	991.08
60	4.1843	0.0005	982.318
80	4.1964	0.00037	970.873
100	4.2161	0.00031	957.854
120	4.25		
140	4.283		
160	4.342		
180	4.417		
200	4.505		

ทำการ Approximate Function ของ C_p (Specific heat at constant pressure) โดยใช้โปรแกรม Mathematica 3.0 โดย input ค่าของ C_p ที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 0-200 องศาเซลเซียส

$$C_p(T) = 4.2175-(0.00277679)T+0.0000639346T^2-(6.12929E-9)T^3+(3.03485E-9)T^4 -(5.20833E-12)T^5$$

$$\mu(T) = 0.001915577-(0.0000505532)T+(1.8978E-7)T^2+(1.42788E-8)T^3-(2.26544E-10)T^4 +(9.9359E-13)T^5$$

$$\rho(T) = (0.1000077E+4)+(0.12196E-1)T-(0.4865497E-7)T^2-(0.3172366E-8)T^3 +(0.714184E-6)T^4-(0.3452461E-8)T^5$$

Reynolds Number (Re)

(คิดในกรณี Velocity มากที่สุด)

$$Re = \rho VD / \mu$$
$$= (1000)(0.12)(0.023) / (0.0019)$$
$$= 1452.6 < 2000$$

เป็นการไหลแบบ Laminar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arhimedes

$$Ar = \frac{Gravityforce}{Inertiaforce}$$

$$= \frac{Lg\Delta T}{u^2 T}$$

โดยใช้ L = 1.6 m (ความยาวทั้งหมดของ Storage tank)

g = $9.81\ \frac{m}{s^2}$

ΔT = 30 K $\left(T_{inital} - T_{inlet}\right)$

T = 273K $\left(T_{inlet}\right)$

u = $1.02*10^{-3}\ \frac{m}{s}$ ($u_{average}$ in storage)

คิด mass balance ที่ทางเข้ามีค่าเท่ากับที่ไหลภายใน storage จะได้

$$u_{average} = \frac{\rho_{inlet}}{\rho_{instorage}} \cdot \frac{A_{inlet}}{A_{instorage}} \cdot u_{inlet}$$

$$\rho_{inlet}\left(0^o c\right) \approx 1000\frac{kg}{m^3}\ ,\ \rho_{instorage}\left(30^o c\right) \approx 995.75281\frac{kg}{m^3}$$

$$A_{inlet} = \pi 0.023^2 m^2\ ,\ A_{instorage} = \pi 0.25^2 m^2$$

$$u_{inlet} = 0.12\frac{m}{s}$$

ได้ $Ar = 1.657857 \times 10^6$

แสดงว่าแรงที่เกิดจาก Body force มีค่ามากกว่า Inertia force

สรุปได้ว่าที่ความเร็วทางเข้าต่ำๆ ภายใน storage tank แรงลอยตัวมีอิทธิพลต่อการไหล เพราะฉะนั้นควรที่จะใส่เทอมของ แรงลอยตัวลงไปในสมการโมเมนตัมด้วยเพื่อมีความถูกต้องในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้