

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว



นายกิตติพงษ์ ปิยพจนารถ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-3539-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM TO CORRELATE THE PROPERTY DISTRIBUTION
FUNCTION FOR FUEL PARTICLES IN SINGLE STATIC FLUID



Mr. Kittipong Piyapojjanart

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-3539-8

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมมติสำหรับ
อนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว

โดย

นายกิตติพงษ์ ปิยพจนารถ


สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

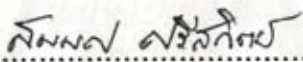
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. สัจชัย นิตสุวรรณ ไข่มืด

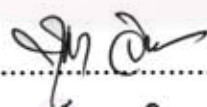
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. คีรภัก ภาวณศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สัจชัย นิตสุวรรณ ไข่มืด)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทรไธชา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ เคนไซ ทองอร่าม)

กิตติพงษ์ ปิยพจนารถ : การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว. (DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM TO CORRELATE THE PROPERTY DISTRIBUTION FUNCTION FOR FUEL PARTICLES IN SINGLE STATIC FLUID) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ทัศนัย นิลสุวรรณโฆษิต, 120 หน้า. ISBN 974-14-3539-8.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว ซึ่งฟังก์ชันแจกแจงสมบัติที่นำมาวิจัย ได้แก่ ความหนาแน่นเชิงจำนวน ความหนาแน่นเชิงมวล และความหนาแน่นเชิงพลังงาน

ในการพิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคนั้น การขนาดของอนุภาคมีผลทำให้ความเร็วในการตกมีความแตกต่างกัน เนื่องจากผลของแรงเสียดทานในของไหล นอกจากนี้ลักษณะในการตกของอนุภาค พบว่าในการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) ซึ่งมีสมมติฐานว่าอนุภาคมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ การพิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคจะพิจารณาทั้งในแกน x , y และ z ซึ่งแตกต่างกับการตกแบบเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) ที่เน้นพิจารณาการกระจายตัวในแกน z มากกว่า เนื่องจากการกระจายของอนุภาคตามแกน x และ y ไม่มีความเปลี่ยนแปลงมาก ขณะที่ช่วงเวลาในการปล่อยอนุภาค จะไม่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคในแกน x และ y มากนักแต่จะมีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคในแกน z ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้รูปแบบของฟังก์ชันในแต่ละจุดข้อมูลมีความแตกต่างกัน ในการศึกษาเลือกใช้ฟังก์ชันเส้นตรงเป็นหลัก รวมทั้งใช้ฟังก์ชันที่ไม่ใช่เส้นตรงที่ไม่ซับซ้อน เพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าสำหรับลักษณะการกระจายของอนุภาคแบบง่าย ๆ ทั้ง 2 แบบ สามารถบรรยายได้ระดับหนึ่งด้วยฟังก์ชันที่กำหนด อย่างไรก็ตามหากการกระจายของอนุภาคมีความซับซ้อนมากขึ้นอาจทำให้ต้องใช้ฟังก์ชันที่ไม่เป็นเส้นตรงที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น เพื่อให้มีความหลากหลายครอบคลุมรูปแบบการกระจายตัวของอนุภาคและมีความคล้ายคลึงกับสภาพการกระจายที่แท้จริง

ภาควิชา นิเวศียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิเวศียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิติกร.....กิตติพงษ์ ปิยพจนารถ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4670215821 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

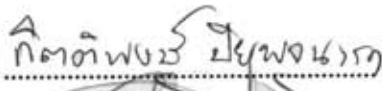

KEY WORD: PROPERTY DISTRIBUTION FUNCTION / SINGLE STATIC FLUID

KITTIPONG PIYAPOJJANART: DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM TO CORRELATE THE PROPERTY DISTRIBUTION FUNCTION FOR FUEL PARTICLES IN SINGLE STATIC FLUID. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. SUNCHAI NILSUWANKOSIT, Ph.D., 120 pp. ISBN 974-14-3539-8.

This thesis summarized the study and development of a computer program that generated the functions correlating the distribution of the fuel particles in a single phased static fluid. Such distribution functions were used in describing the distribution of the number density, the mass density and the energy density.

In considering the distribution of the particles, the change in the radius sizes of the particles caused the falling velocities of the particles to be different. The larger particles fell more rapidly than the smaller particles. It was postulated that of the falling of the particles was in the form of the descending cloud, the distribution of the particles was uniform. Therefore, consideration was taken in all x, y and z axes. On the other hand, of the particles fell in the form of the jet column, the consideration was more specific on the distribution along the axis as the distributions in x and y axes were not much affected. As for the releasing time of the particles, it did not affect the distribution of the particles in the x and y axes, but had the effect on the distribution of the particles along the z direction. These factors resulted in the different patterns for the distribution functions used for each dataset. In this study, only the linear functions and the simple non-linear functions were used in order to simplify the analysis. It was found that they could describe the distribution of the particles in both forms of falling satisfactorily up to a level. However, should the actual distribution of the particles become more complicated, the more detailed non-linear functions would have been necessary in order to satisfactorily describe on represent the actual distributions.

Department: Nuclear Technology
Field of Study: Nuclear Technology
Academic Year: 2006

Student's signature: 
Advisor's signature: 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สัจฉัย นิลสุวรรณโฆมิต ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ต่างๆ ตลอดจนคำปรึกษาที่ดีในการวิจัยมา ด้วยดีตลอด ขอขอบคุณ รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการ, รศ.ดร.สุพิชชา จันทโรยธา และ อ.เดโช ทองอร่าม อาจารย์กรรมการที่ช่วยอ่านและแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบัณฑิต วิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือในการเรียนและให้คำปรึกษาในงานวิจัยนี้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่กำเนิด และให้การสนับสนุนการศึกษาจนจบปริญญาตรี และขอขอบคุณ น.ส.กัญญวัฒน์ เลิศธนศาสตร์ ที่ช่วยให้กำลังใจ และคำแนะนำดีๆ ต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ไทย.....	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์อังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	3
1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2 แนวคิด, ทฤษฎี และ โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาค.....	9
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	9
2.2 โปรแกรม LESIM.....	24
3 วิธีการและขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	27
3.2 ข้อมูลในการวิจัย.....	28
3.3 ลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของโปรแกรมเพื่อสร้างเส้นโค้งแสดงลักษณะการกระจายสมบัติของอนุภาค.....	30
3.4 การทำงานของโปรแกรมตามขั้นตอนการวิจัย.....	31
3.4.1 โปรแกรม findPar.....	32
3.4.2 โปรแกรม fitcurve.....	41
3.4.3 โปรแกรม fZfR.....	52
3.4.4 โปรแกรม fZfXY.....	57

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	64
4.1 ความหนาแน่นเชิงจำนวน	64
4.2 ความหนาแน่นเชิงมวล.....	81
4.3 ความหนาแน่นเชิงพลังงาน	98
5 บทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	116
5.1 บทสรุปผลการวิจัย.....	116
5.2 ข้อเสนอแนะ	118
รายการอ้างอิง	119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	120



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 1 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5.....	64
4.2 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 1	65
4.3 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 2 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5.....	68
4.4 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 2	69
4.5 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น และมีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค สำหรับข้อมูลชุดที่ 3 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร	71
4.6 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น และมีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค สำหรับข้อมูลชุดที่ 4 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร	76
4.7 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 5 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5.....	81
4.8 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 5	82
4.9 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 6 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5.....	85
4.10 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 6	86
4.11 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น และมีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค และมีมวลรวมทั้งหมด 2.73078 กิโลกรัม สำหรับข้อมูลชุดที่ 7 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร	88
4.12 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น และมีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค และมีมวลรวมทั้งหมด 6.17843 กิโลกรัม สำหรับข้อมูลชุดที่ 8 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร	93
4.13 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 9 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5.....	98
4.14 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 9	99

4.15 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet
 สำหรับข้อมูลชุดที่ 10 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5.....102

4.16 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 10104

4.17 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น
 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค มีมวลรวมทั้งหมด 2.73078 กิโลกรัม
 และมีค่าพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 4.05803×10^6 จูล สำหรับข้อมูลชุดที่ 11
 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร
 ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร.....106

4.18 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น
 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค มีมวลรวมทั้งหมด 6.17843 กิโลกรัม
 และมีพลังงานค่าความร้อนรวมเท่ากับ 9.30098×10^6 จูล สำหรับข้อมูลชุดที่ 12
 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร
 ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร.....111

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 ฟังก์ชันเส้นตรงสำหรับชุดข้อมูลที่กำหนดมาให้.....	13
2.2 แรงที่กระทำต่อทรงกลมตัน.....	22
3.1 ภาพรวมของขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	27
3.2 ปริมาตรของระบบ สำหรับข้อมูลชุดที่ 1 และ 2.....	28
3.3 ปริมาตรของระบบ สำหรับข้อมูลชุดที่ 3 และ 4.....	29
3.4 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมเพื่อสร้างเส้นโค้งแสดงลักษณะการกระจาย สมบัติของอนุภาคโดยรวม.....	30
3.5 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม findPar.....	32
3.6 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function buildBox ของโปรแกรม findPar.....	34
3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function mapParBox ของโปรแกรม findPar.....	35
3.8 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function GetZVolume หรือ GetHeight หรือ GetHeat ของโปรแกรม findPar.....	37
3.9 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function viewBox ของโปรแกรม findPar.....	38
3.10 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function getFrequencyTable ของโปรแกรม findPar.....	40
3.11 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fitcurve.....	41
3.12 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Calculate A[p][q] and B[p] ของโปรแกรม fitcurve....	43
3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Gauss ของโปรแกรม fitcurve.....	45
3.14 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Calculate Epsilon ของโปรแกรม fitcurve.....	47
3.15 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function diffCo ของโปรแกรม fitcurve.....	49
3.16 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Fx ของโปรแกรม fitcurve.....	50
3.17a แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfR.....	52
3.17b แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfR.....	53
3.17c แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfR.....	54
3.18a แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfXY.....	57
3.18b แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfXY.....	58
3.18c แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfXY.....	59
4.1 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของจำนวนอนุภาคตามแนวรัศมีที่ได้จากการ จำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 1.....	65

ภาพประกอบ	หน้า
4.2 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกนZ จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 1.....	66
4.3 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของจำนวนอนุภาคตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 2.....	69
4.4 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกนZ จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 2.....	70
4.5 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	72
4.6 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	72
4.7 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	72
4.8 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	72
4.9 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	73
4.10 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	73
4.11 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	73
4.13 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	73
4.14 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	73
4.15 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	73
4.16 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	74
4.17 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3	74

ภาพประกอบ	หน้า
4.33 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	78
4.34 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	78
4.35 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	78
4.36 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	79
4.37 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	79
4.38 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	79
4.39 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	79
4.40 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	79
4.41 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	79
4.42 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	80
4.43 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	80
4.44 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	80
4.45 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4	80
4.46 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของมวลตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 5	82
4.47 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแนวแกน Z จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 5	83

ภาพประกอบ	หน้า
4.48 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของมวลตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 6.....	86
4.49 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแนวแกน Z จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 6.....	87
4.50 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	89
4.51 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	89
4.52 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	89
4.53 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	89
4.55 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	90
4.56 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	90
4.57 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	90
4.58 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	90
4.59 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	90
4.60 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	90
4.61 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	91
4.62 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ y,z ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	91
4.63 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	91

ภาพประกอบ	หน้า
4.64 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	91
4.65 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	91
4.66 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	91
4.67 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	92
4.68 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	92
4.69 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	92
4.70 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7	92
4.71 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	94
4.72 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	94
4.73 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	94
4.74 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	94
4.75 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	95
4.76 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	95
4.77 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	95
4.78 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	95

ภาพประกอบ	หน้า
4.79 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	95
4.80 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	95
4.81 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	96
4.82 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	96
4.83 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	96
4.85 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	96
4.86 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	96
4.87 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	96
4.88 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	97
4.89 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	97
4.90 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	97
4.91 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8	97
4.92 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมี ที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 9	99
4.93 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแนวแกน Z จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 9	100
4.94 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมี ที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 10	103

ภาพประกอบ	หน้า
4.95 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแนวแกน Z จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 10.....	104
4.96 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11.....	106
4.97 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11.....	106
4.98 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11.....	107
4.99 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11.....	107
4.100 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	107
4.101 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	107
4.102 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	108
4.103 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	108
4.104 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	108
4.105 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	108
4.106 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	108
4.107 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	108
4.108 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	109
4.109 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11	109

ภาพประกอบ

หน้า

4.125	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	113
4.126	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	113
4.127	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	113
4.128	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	114
4.129	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	114
4.130	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	114
4.131	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	114
4.132	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	114
4.133	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	114
4.134	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	115
4.135	ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยปัจจุบันเรามีการใช้พลังงานหลายทางอาทิเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานนิวเคลียร์ซึ่งเป็นทางหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามการจะนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้งานนั้นต้องเข้าใจถึงระบบของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ซึ่งต้องมีการรักษาความปลอดภัยในระดับที่สูง เพราะถ้ามีอุบัติเหตุขึ้นมาก็มีผลต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก ในกรณีเกิดอุบัติเหตุกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งเป็นผลให้การระบายความร้อนจากแกนปฏิกรณ์หยุดชะงัก ผลต่อเนื่องจากอุบัติเหตุดังกล่าวคือการสะสมความร้อนในแกนปฏิกรณ์ซึ่งจะเพิ่มขึ้นสูงจนเกิดการหลอมละลายของเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงหลอมเหลวดังกล่าวตกร่วงหล่นมากระทบกับสารหล่อเย็นที่คงเหลืออยู่ในระบบการถ่ายเทความร้อนอย่างเฉียบพลันอาจทำให้เกิดระเบิดเป็นไออย่างรุนแรงซึ่งจะนำไปสู่ความเสียหายของโรงไฟฟ้าทั้งระบบ

สำหรับลักษณะการตกของอนุภาคที่ทำการศึกษานั้น แบ่งเป็น 2 แบบ คือ 1) อนุภาคที่ตกลงมาคล้ายกลุ่มหมอก (Descending Cloud) มีลักษณะการตกลงมาแล้วแพร่กระจายไปทั่วคล้ายกับการเททรายจากกระป๋องลงในถัง 2) อนุภาคที่ตกลงมาคล้ายสายน้ำ (Continuous Melt Jet) มีลักษณะการตกลงมาเป็นลำเป็นสายลงมาคล้ายกับน้ำตกที่ตกลงมา ซึ่งจะมีการรวมตัวกันของอนุภาคมากเพราะตกมาเป็นสาย โดยหลักการทั้ง 2 แบบนี้มีความแตกต่างกันในเรื่องของแรงต้าน ส่งผลให้อนุภาคที่ตกลงมามีความเร็วต่างกัน โดยอนุภาคที่ตกแบบกลุ่มหมอกจะตกลงช้ากว่าการตกแบบสายน้ำ เพราะการตกแบบสายน้ำมีแรงต้านของอนุภาคน้อยกว่าการตกแบบกลุ่มหมอก

ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆ ข้างต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของฟิสิกส์ในเรื่องของ การกระจายตัวและการถ่ายเทความร้อนของมวลเชื้อเพลิงหลอมเหลวกับสารหล่อเย็น เพื่อใช้อธิบายลักษณะการกระจายของมวลเชื้อเพลิง ในทางปฏิบัตินั้นการคำนวณลักษณะการกระจายของมวลเชื้อเพลิงหลอมเหลวจะมีขั้นตอนต่างๆ ที่ซับซ้อนและยุ่งยากมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับแจกแจงการกระจายสมบัติของอนุภาคของแข็งในของไหลเพื่อใช้อธิบายลักษณะการกระจายของมวลเชื้อเพลิง ซึ่งผลการวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้อธิบายการถ่ายเทความร้อนและการทำอันตรกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงหลอมเหลวกับสารหล่อเย็นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาค
เชื่อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้โปรแกรม LESIM จำลองการกระจายของอนุภาคเชื่อเพลิงเพื่อนำผลมาเป็น
ข้อมูลสร้างฟังก์ชันการแจกแจง
2. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติ ได้แก่ ความ
หนาแน่นเชิงจำนวน ความหนาแน่นเชิงมวล และความหนาแน่นเชิงพลังงาน
ของอนุภาคเชื่อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นกับงานวิจัยพร้อมทั้งวิธีการใช้
โปรแกรม LESIM
2. ใช้โปรแกรม LESIM จำลองการกระจายของอนุภาคเชื่อเพลิงเพื่อนำผลมาเป็น
ข้อมูลสร้างฟังก์ชันการแจกแจง
3. สร้างแบบจำลองอ้างอิงตามข้อมูลที่ได้มาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อ
สร้างฟังก์ชันการแจกแจง
4. เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงที่ได้กับผลจากโปรแกรม LESIM
5. วิเคราะห์และปรับปรุงแบบจำลอง
6. สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื่อเพลิงใน
ของไหลสถิตสถานะเดียวเพื่อประยุกต์ใช้ในการคำนวณอันตรกิริยาระหว่างเชื่อเพลิงหลอมเหลวกับ
สารหล่อเย็น

1.6 ทฤษฎีพื้นฐาน

การระเบิดไอน้ำ คือ กระบวนการที่เชื้อเพลิงถ่ายเทพลังงานภายในสู่สารหล่อเย็น ทำให้สารหล่อเย็นกลายเป็นไอที่มีความดันสูง และเกิดการขยายตัวออกไปยังสิ่งที่อยู่รอบๆ เมื่อของเหลวทั้ง 2 ชนิด มาเจอกันสารหล่อเย็นเริ่มกลายเป็นไอ และบริเวณที่สารหล่อเย็นสัมผัสกับเชื้อเพลิงเกิดการเดือดเป็นชั้นฟิล์มแยกของเหลวทั้งสองออกจากกัน ระบบจะอยู่ในภาวะที่ไม่เกิดการระเบิดอยู่ประมาณ 2 มิลลิวินาที ถึง 3 นาที ต่อจากนั้นเชื้อเพลิงและสารหล่อเย็นจะผสมกันด้วยความหนาแน่นและความเร็วพร้อมกับการเกิดไอ และเกิดการแตกตัวของเชื้อเพลิงทันทีซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณผิวหน้าของเชื้อเพลิง สารหล่อเย็นกลายเป็นไอมากขึ้น ความดันเพิ่มมากขึ้นไอน้ำจะเกิดขึ้นอย่างทวีคูณ ส่งผลให้ไอน้ำของสารหล่อเย็นขยายตัวออกดันกับโครงสร้างของถังปฏิกรณ์ ในการพิจารณาการระเบิดไอน้ำพบว่า เวลาในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างของเหลวน้อยกว่าเวลาในการเพิ่มขึ้นความดันแบบทวีคูณและการขยายตัวออก ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความดันที่อยู่ในรูปคลื่นสะท้อนซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยความเร็วที่มากกว่าความเร็วเสียงในของผสมและปัจจัยสำคัญของระเบิดไอน้ำก็คือ การเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณของคลื่นสะท้อนทั่วทั้งของผสมที่กระจายไปที่เชื้อเพลิงที่แตกตัว และเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนให้กับสารหล่อเย็น ส่วนอันตรกิริยาของเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็นที่ไม่เป็นคลื่นสะท้อนนั้น การแตกตัวของเชื้อเพลิงจะไม่เกี่ยวกับคลื่นสะท้อนที่มีเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ และความเร็วในการเดือดไม่ได้เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่ความดันที่เพิ่มขึ้น และอันตรกิริยาของเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็นจะยังไม่เป็นระเบิดไอน้ำ แต่ก็สามารถสร้างความเสียหายให้กับถังปฏิกรณ์ได้ สำหรับกระบวนการระเบิดของไอน้ำได้แบ่งออกเป็น 4 สถานะ คือ 1. การผสม (Mixing) 2. การเกิดไอทันที (Triggering) 3. การเพิ่มขึ้นของไอน้ำอย่างทวีคูณ (Explosion propagation) และ 4. การขยายตัว (Expansion) ซึ่งในแต่ละสถานะสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี และโมเดลทางคณิตศาสตร์ของการระเบิดของไอน้ำ เพื่อจะนำไปสู่ความเข้าใจในกระบวนการทั้งหมดได้ดียิ่งขึ้น

หลักสำคัญของการผสมก็คือ เชื้อเพลิงและสารหล่อเย็น จะอยู่ในภาวะที่ยังไม่เกิดการระเบิด สำหรับที่ภาวะนี้สารหล่อเย็นจะกลายเป็นไอที่ผิวของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นได้ ทั้งๆที่เชื้อเพลิงและสารหล่อเย็นยังอยู่ใกล้กัน ผลของการที่สารหล่อเย็นกลายเป็นไอทำให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งโมเดลที่จะพิจารณาหลักๆ คือ การเทเชื้อเพลิงลงในสารหล่อเย็น โดยมีการประยุกต์ใช้มากทางด้านความปลอดภัยในปัจจุบัน สำหรับการค้นคว้าการผสมที่ผ่านมานี้จะเน้นความเข้าใจในเรื่อง Transient fluid dynamics และการถ่ายโอนความร้อนระหว่างเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็นในที่ยังไม่เกิดการระเบิด และทำนายข้อจำกัดของการผสมที่อาจเกิดขึ้น

Fauske (1974) และ Henry กับ Fauske (1976) มีจุดประสงค์เดิมว่า เชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็นที่สัมผัสกัน เพื่อให้เกิดไอต้องมีอุณหภูมิเกินอุณหภูมิ spontaneous nucleation โดยอุณหภูมินี้จะเท่ากับอุณหภูมิ homogeneous nucleation สำหรับระบบเปียกอย่างสมบูรณ์

Cho et al.(1976) พิจารณาพลังงานในการแตกตัวของเชื้อเพลิงภาวะก่อนการผสมจากการวิเคราะห์พบว่า เชื้อเพลิงระหว่างที่กระจายตัวออกจะมีพลังงานมากกว่าพลังงานที่ผิวของเชื้อเพลิง, พลังงานจลน์ และกระจายออกเป็นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆและผสมกับสารหล่อเย็นในสถานะนี้ Cho จึงเห็นว่าความต้องการพลังงานภายในของเชื้อเพลิงเป็นตัวอ้างอิงหลักในการแตกตัวของเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงได้พัฒนาโมเดลเพื่อประมาณการผสมนี้ และจากการสังเกตพบว่าพลังงานในการผสมที่ใช้เพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการแตกตัว จะต้องพิจารณาความเกี่ยวข้องของแหล่งพลังงานในระบบ และจากโมเดลนี้สามารถหาค่าปริมาณเชื้อเพลิงที่ผสมกับสารหล่อเย็นได้

Henry และ Fauske (1981a,b) ได้แนะนำแนวคิดเกี่ยวกับรูปร่างของเชื้อเพลิงก่อนผสมกับสารหล่อเย็น ถ้าการกระจายออกของเชื้อเพลิงไม่เป็นไปตามแบบ ส่วนหนึ่งจะกลับคืนสถานะเดิมที่เชื้อเพลิงและสารหล่อเย็นผลิตไออย่างต่อเนื่อง ไอจะทำให้สารหล่อเย็นเคลื่อนที่ออกจากเชื้อเพลิงที่หลอมเหลวโดยภาวะ fluidization และเชื้อเพลิงที่แตกตัวออกเป็นส่วนเล็กๆ จะรวมกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและกลับเข้าสู่กระบวนการผสม นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียไปโดยเชื้อเพลิงที่ถูกถ่ายโอนพลังงานไปเป็นอัตราการไหลของไอ และประมาณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่ำที่สุดของเชื้อเพลิงระหว่างการผสม ซึ่งสามารถประมาณค่ามวลมากที่สุดของเชื้อเพลิงที่ผสมอยู่กับสารหล่อเย็นได้ด้วย ในการพิจารณาความปลอดภัยสำหรับ PWR Henry และ Fauske จึงเห็นว่า มวลของเชื้อเพลิงไม่เกิน 100 กิโลกรัม สามารถผสมกับน้ำสารหล่อเย็นอิ่มตัวที่ความดัน 1 บาร์ และเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงก่อนการผสมเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยมีสมมติฐานพื้นฐาน คือ โมเดลสมมติให้ของเหลวสารหล่อเย็นเข้าสู่ของผสมจากด้านบนทำให้ไอถูกผลิตขึ้น และการเคลื่อนที่ของสารหล่อเย็นถูกทำนายโดยข้อจำกัดของ CHF การเดือด

Corradini et al. (1985) ได้ใช้แนวคิด Coolant fluidization เหมือนกับ Fauske ภายใต้งี้อุ่นไขภาวะคงตัว 1 มิติ ในการคำนวณมวลของเชื้อเพลิงแต่การใช้หลัก fluidization แทนข้อจำกัดการถ่ายโอนความร้อนของ CHF การเดือด ภายใต้งี้อุ่นไขภาวะคงตัวแบบ Weber สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบ Light Water จากการวิเคราะห์พบว่า มวลของเชื้อเพลิงที่ผสมกับสารหล่อเย็นจะอยู่ในช่วง 1000-10,000 กิโลกรัม สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางการผสมของเชื้อเพลิง 10-100 มิลลิเมตร, โดย 10 มิลลิเมตร แทนขนาดที่สมมติขึ้นโดย Fauske และ 100 มิลลิเมตร แทนการวิเคราะห์ของ Theofanous

Corradini (1982) และ Corradini กับ Moses (1983) ได้วิเคราะห์การผสมของ เชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็น ในการทดลอง FITS ได้สังเกตอันตรกิริยาโดยใช้ high speed movie การ ทดสอบเกี่ยวข้องกับ การเทเชื้อเพลิง (5-20 กิโลกรัมของ Fe- Al_2O_3 ที่ 3000 เคลวิน) ลงในน้ำ (40-250 กิโลกรัม ที่ 283-367 เคลวิน) เพื่อกระตุ้น FCIs ในการเท พบว่าขณะที่เชื้อเพลิงเข้าไปในน้ำลักษณะ เป็นมวลก้อนเดียวอยู่ในชั้นฟิล์มการเดือดและเริ่มแตกตัวออก ในขณะที่เชื้อเพลิงตกลงในน้ำจะเกิด การกระจายออกเป็น ส่วนเล็กๆ ผสมเข้ากับน้ำขณะอยู่ในชั้นฟิล์มการเดือด เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก กว่าอาจจะแตกตัวออกอีกมาก ขณะที่ไอถูกผลิตเคลื่อนไปด้านบนแล้วหนีออกจากน้ำ และน้ำจะ ไหลเข้าจากด้านข้าง ของผสมจะกระจายออกเป็นวง เช่นเดียวกับเชื้อเพลิงซึ่งในขณะนี้ได้ถูกผสม ไปกับน้ำและไอน้ำแล้วตกลงสู่ก้นถัง ในขณะที่เหลวสัมผัสกันอาจเกิดเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ขึ้น คือ ระเบิดไอน้ำเกิดขึ้นทันที หรือ เชื้อเพลิงที่หลอมละลายอยู่ที่ก้นถังและกำลังเย็นตัวลง Corradini ได้วิเคราะห์จากการสังเกตกระบวนการผสม ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าผลรวมปริมาตรของเชื้อเพลิง , ไอ และของเหลวสารหล่อเย็นเป็นสัดส่วนกับฟังก์ชันของเวลา และได้พัฒนาโมเดลทำนายเส้นผ่าน ศูนย์กลางต่ำสุดของเชื้อเพลิงที่ภาวะคงตัว

Theofanous และ Saito (1982) ได้สรุปว่า กระบวนการผสมจะเป็นไปโดย hydrodynamics ของ transient jet breakup ขณะเทเชื้อเพลิงลงในสารหล่อเย็น พบว่าบริเวณที่อาจ เกิดการผสมขึ้น คือ Vertical jetting , Horizontal jetting และ Vertical rise and fallback และได้ พิจารณาผลกระทบของขนาดของเหลวจากการเหนื่อยๆ ไปถึง ของเหลวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น ปริมาตรของเชื้อเพลิง จากการคำนวณขนาดพบว่า มวลของเชื้อเพลิงเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์สามารถ ผสมกับสารหล่อเย็น และการผสมจะไม่เกิดขึ้นถ้าเวลาการผสมถูกจำกัดเนื่องจากความลึกของน้ำใน plenum ที่ต่ำกว่าถึงปฏิกรณ์ ส่วนการผสมของเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็นนอกถังพบว่า มวลของ เชื้อเพลิง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถผสมกับสารหล่อเย็น

Corradini และ Moses (1983) พัฒนาโมเดลการผสมแบบเคลื่อนที่ (MEDICI-MI) ที่ทำนายการแตกตัวของเชื้อเพลิงขณะผ่านอากาศไปสู่ น้ำ ในที่สุดก็จะถึงก้นถังและจะเกิดไอขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงใน 2 มิติ ถูกนำมาพิจารณาเป็นครั้งแรกโดย Bankoff et al. (1984a, b) โดยใช้ PHENICS 2 ของเหลว, เป็นโมเดลการผสมเชื้อเพลิงในสารหล่อเย็น 2 มิติ การ วิเคราะห์ใช้สำหรับเงื่อนไขในถังที่ coolant fluidization และเกิดการกระจายเป็นส่วนสัดส่วนปริมาตรไอ ของสารหล่อเย็นเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ในของผสมเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็น

Theofanous et al. (1987) ได้มีการพัฒนาโมเดล 2 มิติ สำหรับการผสมเชื้อเพลิงกับ สารหล่อเย็นที่ใช้โมเดลคอมพิวเตอร์ K-FIX ด้วยการขยายสิ่งที่เกี่ยวข้องสมมติฐานของการ

วิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์เหมือนกับของ Bankoff ดังนั้น ผลทั้งหมดจึงคล้ายกัน สำหรับ Bankoff ที่ได้ทดสอบสารละลายคงที่ที่ความดันสูง Theofanous วิเคราะห์ว่า การผสมมีความสำคัญที่ความดันสูงๆ และได้ใช้เทคนิคในการหาค่ามวลที่ผสมแล้วของเชื้อเพลิงที่คล้ายกับ Cho (1986)

Epstein และ Fauske (1985) ได้มีแนวคิดในการแตกตัวของเชื้อเพลิงและการผสม ซึ่งได้พิจารณาผลกระทบของการเดือดชั้นฟิล์มบนการแตกตัวของเชื้อเพลิงพบว่า ขนาดของละอองที่มากกว่า 0.1 เมตร ซึ่งชั้นของไอถือว่าเป็นชั้นหนาและความยาวของเชื้อเพลิงที่ยาวกว่าความลึกของสารหล่อเย็นนั้น จะไม่เกี่ยวข้องกับกลไกการผสมของเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็น เพราะอัตราการแตกตัวของเชื้อเพลิงที่คงที่ ทำให้ค่ามวลที่หลุดออกมาแล้วผสมเข้ากับสารหล่อเย็นเป็นส่วนโดยตรงกับระยะทางที่เคลื่อนที่ ดังนั้นขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงที่ตกลง เปรอร์เซ็นต์ในการผสมก็จะเพิ่มขึ้น แต่ Windquist (1986) ได้วิเคราะห์และพิสูจน์ว่า ความหนาของไอยังคงเกี่ยวข้องอยู่ในของเหลวขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับความเร็ว

Chu et al. (1985,1986) ได้พัฒนาโมเดล 1 มิติ ของการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็น ที่สามารถคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นที่ขอบ โดยอ้างอิง TEXAS code (Young ,1981) สำหรับ TEXAS โมเดลเมื่อนำไปใช้กับการแตกตัวของเชื้อเพลิงในสารหล่อเย็น สำหรับเงื่อนไขที่คล้ายกันกับการพิจารณาของ Fauske ที่ทำนายภายใต้เงื่อนไขที่ภาวะคงตัวว่า การแตกตัวของเชื้อเพลิงและการผสมจะน้อย (Chu, 1986) อย่างไรก็ตาม ที่ขอบของเชื้อเพลิงจะสามารถผสมกับสารหล่อเย็นได้ ขณะที่ขอบเชื้อเพลิงกระจายออก โดยความเร่งของเชื้อเพลิงในสารหล่อเย็นจะลดลง และเชื้อเพลิงที่เป็นเกิดไอจะกลายเป็นขอบของเชื้อเพลิงและกระจาย ในการประยุกต์ใช้ความปลอดภัยของเครื่องปฏิกรณ์แบบ Light Water พิจารณาในถังของเชื้อเพลิงเหลวด้วยอัตราการไหล 5000 กิโลกรัมต่อวินาที ที่ความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที ตกถึงน้ำอิมตัวลึก 3 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 เมตร ที่ 1 บรรยากาศ เงื่อนไขนี้คล้ายกับการพิจารณาโดย Bankoff (1984) ซึ่งพบว่าหลังจากเชื้อเพลิงตกลงสู่น้ำแล้ว จะมีเชื้อเพลิงน้อยกว่า 20 เปรอร์เซ็นต์ที่ผสมกับน้ำ ด้วย 1 ใน 3 ของสารหล่อเย็นที่มีสัดส่วนปริมาตรของไอเป็น 0.5 และมีสัดส่วนปริมาตรของไอสูงสุดเป็น 0.65 ที่บริเวณกลางของสารหล่อเย็น อย่างไรก็ตามจะเห็นว่ามวลของเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกผสมแต่ไปกองอยู่กันถึงและประมาณ 50 เปรอร์เซ็นต์ของมวลของเชื้อเพลิงที่แตกตัวออกเป็น fluidize ในบริเวณที่มีสัดส่วนปริมาตรของไอสูง

Young (1987) ได้นำแนวคิดของการผสมแบบเคลื่อนที่ จากการวิเคราะห์ของ Chu และแยกการค้นคว้าการผสมแบบเคลื่อนที่ โดย Pilch (1987) แล้วพัฒนาโมเดล 2 มิติ สำหรับการวิเคราะห์การผสมของเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็น, IFCT แนวความคิดนี้ทำให้ได้โมเดลการผสมก่อนเกิดระเบิดไอน้ำที่เป็นที่ยอมรับเพราะมีหลายมิติ มีการพิจารณาอุณหภูมิและความเร็วที่แตกต่างกัน

ของเชื้อเพลิง, ของเหลวสารหล่อเย็น และสารหล่อเย็นที่เป็นไอแยกออกจากกัน และเป็นโมเดลการแตกตัวของเชื้อเพลิงแบบเคลื่อนที่ แทนการระบุขนาดก่อนการแตกตัวของเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับ การวิเคราะห์ใน PHOENICS และ K-FIX

Kim (1985) ได้สมมติฐานว่า พลังงานที่ถ่ายโอนจากเชื้อเพลิงไปจนถึงไอฟิล์มของ สารหล่อเย็นถูกผสมอยู่ที่บริเวณสารหล่อเย็นที่เป็นของเหลวและไอ ส่งผลให้เกิดการผลิตไอน้ำ โดยตรง และได้ทดสอบโดยการคำนวณ EMR transport ไปจนถึงชั้นฟิล์มของไอ พลังงานที่แผ่ กระจายออกจะถูกสะสมอยู่ในปริมาตรสารหล่อเย็นในรูปของเอกซ์โปเนนเชียลและพลังงานสะสม จะอยู่ในรูปของความลึกของสารหล่อเย็นที่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิที่ผิวของเชื้อเพลิง

1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี ค.ศ. 2002 โดย เต็มศิริ ป้อมประภา ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจำลองการเดือด เป็นชั้นฟิล์มที่ขึ้นกับเวลาบนพื้นผิววัตถุทรงกลมภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบ Laminar ของของเหลวระบายความร้อนโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นใช้ คำนวณอุณหภูมิภายในทรงกลม ความหนาของชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นเทียบกับเวลา และจากการวิเคราะห์พบว่าอัตราการหลุดลอกของชั้นฟิล์มประมาณได้ด้วย ผลต่างของฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียลสองชุดซึ่งบรรยายอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นฟิล์มจากทรงกลมและอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากชั้นฟิล์ม เข้าสู่ของเหลวระบายความร้อนตามลำดับ
2. ปี ค.ศ. 1998 โดย Leo Meyer ได้ทำการวิจัยเรื่อง QUEOS, an Experimental Investigation of the Premixing Phase with Hot Spheres โดยได้ทำการสร้าง แบบจำลองสำหรับการศึกษาลักษณะของทรงกลมร้อนในช่วงก่อนผสม เพื่อทำ ให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์ก่อนที่จะเกิดการระเบิดของไอน้ำ ซึ่งจากการทดลอง พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่ตกลงไปในน้ำ จะมีขนาดลดลงจาก 180 มิลลิเมตร เหลือ 100 มิลลิเมตรซึ่งส่งผลให้มวลของทรงกลมลดลงตามไป ด้วย และในช่วงที่ทรงกลมลูกแรกตกลงไปในน้ำ จะมีฟองอากาศในน้ำเกิดขึ้น ซึ่งมีทิศทางสวนขึ้นมา ทำให้ทรงกลมหยุดเคลื่อนที่ จนกระทั่งทรงกลมนั้นได้ชนกับทรงกลมลูกต่อไปที่กำลังตกตามลงมาจึงเกิดการเร่งขึ้นอีกครั้ง สำหรับการทดลองนี้ได้มีการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้ คือ อัตราการเกิดฟิล์ม, ความดัน, อุณหภูมิของน้ำ และ อัตราการปล่อยของไอน้ำ

3. ปี ค.ศ. 1998 โดย Sergio ANGELINI, Theo G. THEOFANOUS and Walter W. YUEN ได้ทำการวิจัยเรื่อง On the Regimes of Premixing โดยเป็นการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการก่อนการผสมและโครงสร้างภายในของส่วนที่ผสม ซึ่งมีความสอดคล้องกับข้อมูลและแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้จาก PM-ALPHA ในคอมพิวเตอร์ ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมต่างๆ ซึ่งปัจจัยนั้นคือ ความเฉื่อย และความร้อน โดยเรียกว่า ระบบความเฉื่อยและระบบความร้อน ตามลำดับ การจำแนกพฤติกรรมที่สำคัญเหล่านี้จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยในอนาคต
4. ปี ค.ศ. 1988 โดย M.L. CORRADINI, B.J. KIM and M.D. OH ได้ทำการวิจัยเรื่อง Vapor Explosions in Light Water Reactors: A Review of Theory and Modeling. โดยเป็นการศึกษาถึงการระเบิดของไอในเครื่องปฏิกรณ์แบบ Light Water ซึ่งพบว่า การระเบิดของไอน้ำเป็นเหตุการณ์หนึ่งของเหลวร้อน(เชื้อเพลิง) กระจายออกเป็นชิ้นเล็กๆ อย่างรวดเร็วและถ่ายโอนพลังงานภายในสู่สารหล่อเย็น ส่งผลให้สารหล่อเย็นกลายเป็นไอที่มีความดันสูงและขยายตัวออก ใน fission reactor เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น emergency coolant flow ทำงาน fission product จะคลายความร้อนที่เป็นเหตุให้ส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์หลอมละลาย ในการวิเคราะห์อุบัติเหตุร้ายแรงที่อาจเกิดขึ้น จะพิจารณาการระเบิดของไอน้ำที่ติดอยู่กับน้ำที่อยู่ในและนอกถัง เพราะการเพิ่มขึ้นของไอน้ำหรือการระเบิดไอน้ำส่งผลให้ท่อและ containment เสียหาย ทำให้สารรังสีหลุดออกมาสู่ภายนอก
5. ปี ค.ศ. 1985 โดย M.L. CORRADINI and Others. ได้ทำการวิจัยเรื่อง Fuel-Coolant Interaction Analyses with TEXAS-V Vapor Explosion Model. โดยเป็นการศึกษาถึงการทำปฏิกิริยากันของเชื้อเพลิงกับสารหล่อเย็น เพื่อพัฒนาแบบจำลอง TEXAS-V ซึ่งจากการทดลองพบว่า แบบจำลอง TEXAS นั้นมีความคลาดเคลื่อนอย่างมากในเรื่องของเวลา คือ ในช่วงที่ความดันสูงขึ้นจะได้ค่าของเวลาที่น้อยกว่าความเป็นจริง แต่แบบจำลองใหม่ (Jet Breakup) นั้นจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกว่า และมีการพิจารณากลไกถึง 3 กลไก คือ RTI, KHI และ BLS ซึ่งแบบ TEXAS พิจารณาเพียงกลไก RTI เท่านั้น นอกจากนี้แบบ Jet Breakup ยังมีลักษณะเฉพาะ คือ การหลอมเหลวที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดต่างๆ ได้จากการทดลอง FARO-LWR L-14 ที่สภาวะต่างๆ

บทที่ 2

แนวคิด, ทฤษฎี และโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาค

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ในการพิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคนั้น เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาและทรัพยากรที่ใช้ ทำให้ในการคำนวณไม่สามารถคำนวณการเคลื่อนที่ของทุก ๆ อนุภาคได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยแทนค่าของอนุภาคทั้งหมด ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้สามารถคำนวณได้ 2 ลักษณะ คือ

- 1) ค่าเฉลี่ยตรง โดยนำค่าของทุกอนุภาคมาเฉลี่ยด้วยจำนวนอนุภาคทั้งหมด

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot n_i)}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (2.1)$$

- 2) ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงความถี่ โดยใช้การกระจายน้ำหนัก (weight) หรือความน่าจะเป็น (probability) ในการระบุค่าที่เป็นไปได้ของกลุ่มอนุภาค จาก การกระจายน้ำหนักนี้ สามารถระบุค่าเฉลี่ยได้เช่นกัน ในกรณีนี้อาจจะใช้ตารางแจกแจงความถี่ในการเก็บข้อมูลแล้วหาค่าเฉลี่ย จากสูตร

$$\bar{x} = a + I \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i}{N} \right) \quad (2.2)$$

โดย a คือ จุดกึ่งกลางของชั้นของอันตรภาคชั้นที่มีความถี่สูงสุด

I คือ ความกว้างของอันตรภาคชั้น

f_i คือ ความถี่

$$d_i = \frac{X_i - a}{N} \quad (2.3)$$

โดย X_i คือ จุดกึ่งกลางชั้น

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

ในการแก้ปัญหานี้ จะใช้วิธี Gauss elimination method โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

ก) การกำจัดไปข้างหน้า (forward elimination) หากมีระบบสมการที่ประกอบด้วย 3 สมการย่อยดังนี้ คือ

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

การกำจัดไปข้างหน้า จะทำให้มีการเปลี่ยนระบบสมการข้างบนไปอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์จัตุรัสทางด้านซ้ายของสมการ จะเป็นเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยค่าศูนย์ตลอดแถวล่างซ้ายของเมทริกซ์นั้น ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & a'_{22} & a'_{23} \\ 0 & 0 & a''_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b'_2 \\ b''_3 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

โดยเครื่องหมายที่เป็นดัชนีบนของสัมประสิทธิ์แสดงถึงว่า สัมประสิทธิ์นั้นเป็นค่าใหม่ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปจากสัมประสิทธิ์เดิม

ข) การแทนค่าย้อนกลับ (Back substitution) เมื่อจัดระบบสมการให้อยู่ในรูปแบบของสมการที่ศูนย์ตลอดแถวล่างซ้ายได้แล้ว ก็เป็นงานง่ายที่จะคำนวณหาค่า x_i โดยเริ่มจากสมการสุดท้ายก่อนแล้วทำการไล่ย้อนกลับขึ้นไปหาค่า x_i ที่ละสมการดังนี้

$$\begin{aligned} x_3 &= b''_3 / a''_{33} \\ x_2 &= (b'_2 - a'_{23} x_3) / a'_{22} \\ x_1 &= (b_1 - a_{12} x_2 - a_{13} x_3) / a_{11} \end{aligned} \quad (2.10)$$

2) กรณีปัญหาที่เป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้น

ระบบสมการไม่เป็นเชิงเส้นที่ประกอบด้วย n สมการ และมีตัวแปรไม่ทราบค่า n ตัว นั่นคือ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

การใช้อนุกรมเทเลอร์ของฟังก์ชัน f_i ที่ประกอบด้วย n ตัวแปร ที่ไม่เป็นสมการเชิงเส้นให้กลายเป็นสมการเชิงเส้น

$$\begin{aligned} &f_i(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3, x_4, \dots, x_n + \Delta x_n) \\ &= f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial x_j}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \Delta x_j + \dots \end{aligned} \quad (2.12)$$

โดยในที่นี้ $x_i, i=1,2,3,\dots,n$ เสมือนเป็นค่าเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การหาค่าผลลัพธ์ของ $x_i + \Delta x_i$ หากทำการละพจน์อันดับสูงขึ้นไปซึ่งใช้เพียง 2 พจน์แรก (อนุพันธ์ลำดับที่ 0 และอนุพันธ์ลำดับที่ 1) จะทำให้สมการสั้นลงและง่ายต่อการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} &f_i(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3, x_4, \dots, x_n + \Delta x_n) \\ &= f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial x_j}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \Delta x_j \end{aligned} \quad (2.13)$$

จากฟังก์ชันซึ่งใช้การแจกแจงความถี่ที่พิจารณา จะสามารถสร้างชุดสมการเพื่อใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันนั้นๆ ได้ โดยอาศัยวิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด

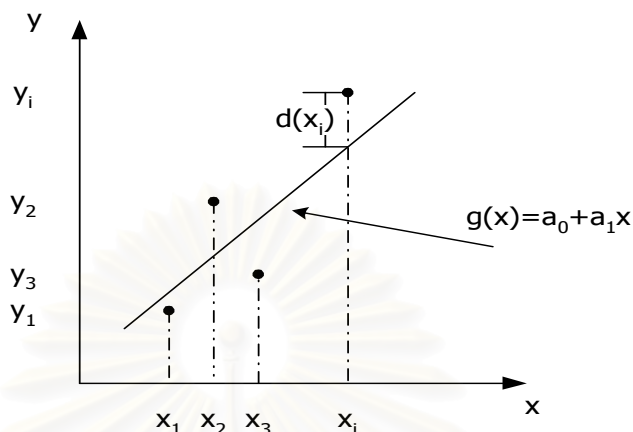
วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (Least square fit)

1) การถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว (Single variable, linear regression)

เป็นวิธีที่ใช้ในกรณีฟังก์ชันที่พิจารณาเป็นเส้นตรงตัวแปรเดียว สำหรับชุดของข้อมูลที่กำหนดมาให้ รูปที่ 2.1 แสดงชุดของข้อมูลที่ประกอบด้วย x_i และ y_i โดย $i=1,2,\dots,n$ นั่นคือมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด n ข้อมูล ซึ่งสามารถสร้างสมการเส้นตรงในรูปแบบของฟังก์ชันดังนี้

$$g(x) = a_0 + a_1x \quad (2.14)$$

โดย a_0 และ a_1 เป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่าและต้องการคำนวณ จากสมการที่ (2.14) สมการเส้นตรงนี้ ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดกำลังสองโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดจากข้อมูลทุกข้อมูลที่กำหนดมา



รูปที่ 2.1 ฟังก์ชันเส้นตรงสำหรับชุดข้อมูลที่กำหนดมาให้

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าตำแหน่ง x_i ของข้อมูล i ใดๆ ค่าของฟังก์ชัน $g(x)$ ที่สร้างขึ้นมีค่าที่แตกต่างไปจากค่าของข้อมูล y_i เท่ากับ $d(x_i)$ นั้นหมายถึงค่าความผิดพลาด (E) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากข้อมูลทั้งหมด n ข้อมูล ซึ่งเขียนอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$E = \sum_{i=1}^n [d(x_i)]^2 \quad (2.15)$$

หรือเขียนใหม่ได้ว่า

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - g(x_i)]^2 \quad (2.16)$$

หากนำสมการที่ (2.14) ที่ $x = x_i$ แทนลงในสมการที่ (2.16) จะได้

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x)]^2 \quad (2.17)$$

จากสมการที่ (2.17) สามารถหาตัวไม่รู้ค่า a_0 และ a_1 ที่ต้องการโดยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least square) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ของค่าความผิดพลาดโดยเกี่ยวข้องกับตัวไม่ทราบค่า คือ

$$\frac{\partial E}{\partial a_0} = 0 \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_1} = 0 \quad (2.19)$$

และจากสมการที่ (2.18) ให้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i)](-1) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 - \sum_{i=1}^n a_1 x_i &= 0 \\ n a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.20)$$

และจากสมการที่ (2.19) ให้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i)](-x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n a_0 x_i - \sum_{i=1}^n a_1 x_i^2 &= 0 \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned} \quad (2.21)$$

สมการที่ (2.20) และ (2.21) เขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

จากเมทริกซ์ดังกล่าวนี้สามารถหาคำตอบคือ a_0 และ a_1 ได้ โดยการแก้ระบบสมการด้วยวิธี Gauss elimination method เมื่อนำคำตอบที่ได้แทนลงในสมการที่ (2.14) จะได้สมการเส้นตรงที่แสดงการถดถอยแบบเชิงเส้น

2) การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple variables, linear regression)

ในทำนองเดียวกันชุดฟังก์ชันเส้นตรงตามสมการที่ (2.13) จะเห็นว่าเป็นสมการเชิงเส้น โดยที่ตัวแปรตาม y ขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น x เพียงตัวเดียว หากแต่ในบางปัญหาตัวแปร y ยังสามารถขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น x ได้มากกว่าหนึ่งตัวกล่าวคือเมื่อฟังก์ชันที่พิจารณาเป็นฟังก์ชันเส้นตรงหลายตัวแปร ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) \quad (2.23)$$

โดยที่ k แทน จำนวนตัวแปรทั้งหมด

หากข้อมูลของตัวแปรตาม y ที่เปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรต้น x_j , $j = 1, 2, 3, \dots, k$ ทั้งหมด k ตัว สามารถนำข้อมูลมาพล็อตเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร y กับตัวแปร x_j ทีละตัว โดยที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปแบบของเชิงเส้น ดังนั้นจะทำการสร้างฟังก์ชัน g ที่แปรผันกับ x_j ได้โดยเริ่มจากการใช้สมการเชิงเส้น ดังนี้

$$g = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_k x_k \quad (2.24)$$

โดย a_j , $j = 0, 1, 2, \dots, k$ เป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่าซึ่งสามารถคำนวณโดยวิธีกำลังสองน้อยสุดคือ เขียนสมการของความผิดพลาด (E) ของข้อมูลทั้งหมด n ข้อมูลที่เบี่ยงเบนไปจากฟังก์ชัน g ดังนี้

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \dots + a_k x_{ki})]^2 \quad (2.25)$$

จากนั้นทำการหาค่าต่ำสุดของความผิดพลาด (E) โดยเกี่ยวข้องกับตัวไม่ทราบค่าดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a_0} &= 0 \\ \frac{\partial E}{\partial a_1} &= 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial E}{\partial a_k} &= 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

และทำการกระจายพจน์ต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=0}^n x_{1i} & \sum_{i=0}^n x_{2i} & \dots & \sum_{i=0}^n x_{ki} \\ \sum_{i=0}^n x_{1i} & \sum_{i=0}^n x_{1i} x_{1i} & \sum_{i=0}^n x_{1i} x_{2i} & \dots & \sum_{i=0}^n x_{1i} x_{ki} \\ \sum_{i=0}^n x_{2i} & \sum_{i=0}^n x_{1i} x_{2i} & \sum_{i=0}^n x_{2i} x_{2i} & \dots & \sum_{i=0}^n x_{2i} x_{ki} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=0}^n x_{ki} & \sum_{i=0}^n x_{1i} x_{ki} & \sum_{i=0}^n x_{2i} x_{ki} & \dots & \sum_{i=0}^n x_{ki} x_{ki} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_k \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n y_i \\ \sum_{i=0}^n x_{1i} y_i \\ \sum_{i=0}^n x_{2i} y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^n x_{ki} y_i \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

แล้วทำการแก้สมการหาคำตอบ a_0, a_1, \dots, a_k โดยวิธี Gauss elimination method

ในลักษณะคล้ายกัน หากฟังก์ชันที่พิจารณาเป็นฟังก์ชันพหุนาม จะประมาณฟังก์ชันการแจกแจง $w(x)$ โดย

$$w(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \quad (2.28)$$

เมื่อกำหนดค่าความผิดพลาด

$$E = \sum_{i=1}^n [d(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - w(x_i)]^2 \quad (2.29)$$

ซึ่งสามารถเขียนด้วยฟังก์ชันพหุนามเป็น

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_mx_i^m)]^2 \quad (2.30)$$

เพื่อให้ความผิดพลาด E มีค่าน้อยที่สุด จะต้องปรับค่าสัมประสิทธิ์ $a_i, i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ให้เหมาะสม ซึ่งกระทำได้โดยใช้เทคนิค optimization กล่าวคือ ทำการประมาณค่า $w(x)$ ด้วยตัวฟังก์ชันพหุนาม โดยการประมาณฟังก์ชันอันดับที่ 3 จะทำได้ ดังนี้

$$1. \text{ ทา } \frac{\partial E}{\partial a_0} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a_0} &= 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_mx_i^m)](-1) \\ 0 &= \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_mx_i^m)] \\ 0 &= \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots \\ \sum_{i=1}^n a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots &= \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \quad (2.31)$$

$$2. \quad \text{ท1} \quad \frac{\partial E}{\partial a_1} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a_1} &= 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \dots)] (-x_i) \\ 0 &= \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \dots)] (-x_i) \\ 0 &= - \sum_{i=1}^n x_i y_i + a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^4 \dots &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$3. \quad \text{ท1} \quad \frac{\partial E}{\partial a_2} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a_2} &= 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \dots)] (-x_i^2) \\ 0 &= \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \dots)] (-x_i^2) \\ 0 &= - \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 + \dots \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^5 \dots &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$4. \quad \text{ท1} \quad \frac{\partial E}{\partial a_3} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a_3} &= 2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \dots)] (-x_i^3) \\ 0 &= \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 \dots)] (-x_i^3) \\ 0 &= - \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i + a_0 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^5 + \dots \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^5 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^6 \dots &= \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i \end{aligned} \quad (2.34)$$

ในกรณีของฟังก์ชันพหุนามลำดับที่ 3 จะจัดรูปสมการ โดยนำสมการที่ (2.31), (2.32), (2.33), (2.34) มาเขียนรวมกัน

$$\begin{aligned}
a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots &= \sum_{i=1}^n y_i \\
a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^4 \dots &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \\
a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^5 \dots &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\
a_0 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^4 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^5 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^6 \dots &= \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i
\end{aligned} \tag{2.35}$$

จะจัดรูปสมการใส่ใน Matrix เพื่อแก้สมการ

$$\begin{bmatrix}
n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\
\sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \\
\sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 \\
\sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 & \sum_{i=1}^n x_i^6
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
a_0 \\
a_1 \\
a_2 \\
a_3
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\sum_{i=1}^n y_i \\
\sum_{i=1}^n x_i y_i \\
\sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\
\sum_{i=1}^n x_i^3 y_i
\end{bmatrix} \tag{2.36}$$

คำตอบของสมการต้องใช้ค่า $w(x)$ ซึ่งเขียนด้วยฟังก์ชันพหุนามอันดับที่ 3 ซึ่งจะใช้ค่าความผิดพลาด E ที่ต่ำที่สุด

3) การถดถอยไม่เป็นเชิงเส้น (Least Square Fit Nonlinear Function)

ในกรณีที่ฟังก์ชันแจกแจงความถี่ที่พิจารณาไม่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น โดย $f(x)$ จะพิจารณาความคลาดเคลื่อน คือ

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 \tag{2.37}$$

กรณีนี้ y_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองและ $f(x_i)$ คือ ฟังก์ชันที่ต้องการหา ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) เป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า $c_1, c_2, c_3, \dots, c_m$ ดังนั้น ในการคำนวณค่าคงที่ดังกล่าวจะพิจารณา สำหรับ $j=1,2,3,\dots,m$

$$\frac{\partial E}{\partial C_j} = \frac{\partial \left(\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i)) \right)^2}{\partial C_j} = 0 \tag{2.38}$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$\frac{\partial E}{\partial C_j} = \sum_{i=1}^n 2(y_i - f(x_i)) \frac{\partial f(x_i)}{\partial C_j} = 0 \quad (2.39)$$

สำหรับค่าของ $f(x_i)$ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ $c_1, c_2, c_3, \dots, c_m$ ซึ่งยังไม่ทราบค่าจริง การหาค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จึงทำได้โดยอาศัย กระบวนการทำซ้ำ (Iteration) โดยสมมติมูลค่าจริงของ C_j ($j=1,2,3,\dots,m$) ดังนั้นจะได้ว่า

$$C_j = C'_j + \Delta C_j \quad (2.40)$$

เมื่อ C'_j คือ ค่าที่เราสมมติขึ้น และ ΔC_j คือ ค่าความแตกต่างของค่าสมมติขึ้นกับค่าจริงที่เหมาะสมซึ่งอ้างอิงได้กับผลการทดลอง ในกรณีนี้จะต้องอาศัยเทคนิคการแก้สมการไม่เป็นเชิงเส้น โดยการกระจายอนุกรมเทเลอร์และพิจารณาเพียงพจน์ที่มีลำดับน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่งเมื่อพิจารณาว่า

$$\begin{aligned} f(x_i) &= f(x_i, c_1, c_2, c_3, \dots, c_m) \\ f(x_i) &= f(x_i, c'_1 + \Delta c_1, c'_2 + \Delta c_2, c'_3 + \Delta c_3, \dots, c'_m + \Delta c_m) \\ f(x_i) &= f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) + \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, \dots, c'_m)}{\partial C_k} \end{aligned} \quad (2.41)$$

และในทำนองเดียวกัน

$$\frac{\partial f(x_i)}{\partial C_j} = \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} + \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial}{\partial C_k} \left[\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right] \quad (2.42)$$

แล้วจะสามารถแปลงสมการ

$$\frac{\partial E}{\partial C_j} = \sum_{i=1}^n 2(y_i - f(x_i)) \frac{\partial f(x_i)}{\partial C_j} = 0 \quad (2.43)$$

ได้เป็น

$$\sum_{i=1}^n f(x_i) \frac{\partial f(x_i)}{\partial C_j} - y_i \frac{\partial f(x_i)}{\partial C_j} = 0 \quad (2.44)$$

แล้วจะทำการแปลงรูปใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \left[f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) + \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_k} \right] \\ & \left[\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} + \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial}{\partial C_k} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) \right] - \\ & \sum_{i=1}^n y_i \left[\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} + \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial}{\partial C_k} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) \right] = 0 \quad (2.45) \end{aligned}$$

ทำการกระจายพจน์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{i=1}^n f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) \cdot \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) + \\ & \left(\sum_{i=1}^n f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) \cdot \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial}{\partial C_k} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) \right) + \\ & \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \Delta C_k \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_k} \cdot \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) - \\ & \sum_{i=1}^n y_i \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m y_i \Delta C_k \frac{\partial}{\partial C_k} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) = 0 \quad (2.46) \end{aligned}$$

เมื่อกระจายรูปสมการข้างต้นและพิจารณาเฉพาะพจน์ที่มีลำดับของการเปลี่ยนแปลง (ΔC) น้อยกว่า 2 จะเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^m \Delta C_k \left[\sum_{i=1}^n f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) \cdot \frac{\partial}{\partial C_k} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) \right] + \\ & \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_k} \cdot \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} - \\ & \sum_{i=1}^n y_i \frac{\partial}{\partial C_k} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) = \sum_{i=1}^n y_i \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) - \\ & \left(\sum_{i=1}^n f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) \cdot \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_j} \right) \quad (2.47) \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้นสามารถเขียนอยู่ในรูปของ Matrix โดย $p = j$ และ q คือ k

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \ddots & a_{pq} & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta C_1 \\ \Delta C_2 \\ \vdots \\ \Delta C_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

$$\text{โดยให้ } a_{pq} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) \cdot \frac{\partial}{\partial C_q} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_p} \right) \right] + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_q} \cdot \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_p} \right) - \sum_{i=1}^n y_i \frac{\partial}{\partial C_q} \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_p} \right) \right\}$$

$$\text{และให้ } b_m = \sum_{i=1}^n y_i \left(\frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_p} \right) - \left(\sum_{i=1}^n f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m) \cdot \frac{\partial f(x_i, c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_m)}{\partial C_q} \right)$$

ตัวอย่างการพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงจำนวนของอนุภาคภายในของไหล

กฎการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในของไหล

เมื่อวัตถุทรงกลมตันเคลื่อนที่ในของไหลที่มีความหนืด แรงต้านเนื่องจากความหนืด (F) กระทำต่อวัตถุทรงกลมนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอัตราเร็ว (v) ของทรงกลม เมื่อเทียบกับของไหลซึ่งพิสูจน์โดย เซอร์ จอร์จ สโตค (Sir George Stoke) ในปี ค.ศ. 1845 จึงเรียกว่า กฎของสโตค (Stoke's Law) กล่าวคือ ขนาดแรงต้านของเหลวเมื่อเป็นวัตถุทรงกลมตัน

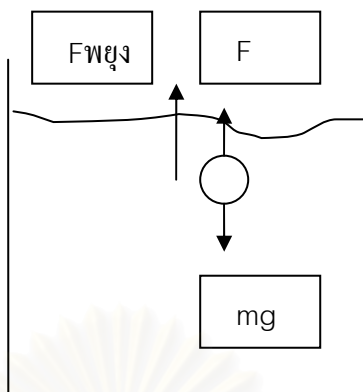
$$F = 6\pi\eta r v \quad (2.49)$$

$$\text{หรือ } \vec{F} = 6\pi\eta r \vec{v} = 6\pi\eta r \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (2.50)$$

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (2.51)$$

$$\text{หรือ } \sum \vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (2.52)$$



รูปที่ 2.2 แรงที่กระทำต่อทรงกลมตัน

จากรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณาทรงกลมตันมวล m รัศมี r ความหนาแน่น ρ ที่ตกในของไหลซึ่งมีความหนืด η ความหนาแน่น ρ_0 เริ่มต้นทรงกลมจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งและอัตราเร่งนี้จะลดลงเรื่อยๆจนสุดท้ายเป็นศูนย์ ต่อจากนี้ทรงกลมจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งเรียกว่า "อัตราเร็วปลาย" (v_t) (terminal speed) ซึ่งขณะนี้แรงลัพธ์กระทำต่อทรงกลมเป็นศูนย์นั่นเอง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 กรณี คือ

1) กรณีที่ทรงกลมเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{เคลื่อนที่ลง}) \quad (2.53)$$

$$\vec{F}_{\text{พยุ่ง}} + \vec{F}_{\text{ต้าน}} - \vec{w} = m\vec{a} \quad (2.54)$$

$$\rho_0 v \vec{g} + 6\pi\eta r \vec{v} - m\vec{g} = m\vec{a} \quad (2.55)$$

$$\rho_0 v \vec{g} + 6\pi\eta r \frac{d\vec{r}}{dt} - m\vec{g} = m \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \quad (2.56)$$

2) กรณีทรงกลมเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่, ความเร่ง เป็น 0

$$\sum F = 0 \quad (2.57)$$

$$F_{\text{พยุ่ง}} + F_{\text{ต้าน}} - w = 0 \quad (2.58)$$

$$\rho_0 v g + 6\pi\eta r v_t - mg = 0 \quad (2.59)$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g + 6\pi\eta r v_t = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \quad (2.60)$$

$$v_t = \frac{2}{9} \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho_0) \quad (2.61)$$

โดย	v_t	คือ	อัตราเร็วปลาย
	r	คือ	รัศมีทรงกลมตัน
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของทรงกลมตัน
	ρ_0	คือ	ความหนาแน่นของของไหล
	η	คือ	สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล

จากข้างต้น ที่ได้อธิบายเกี่ยวกับความเร่งของอนุภาคหนึ่งๆ ซึ่งเคลื่อนที่โดยไม่มีอันตรกิริยากับอนุภาคตัวอื่นๆ ทำให้สามารถคำนวณความเร็วและตำแหน่งของอนุภาค ณ เวลาใดๆ ได้ สำหรับอนุภาคที่มีจำนวนมาก ในการคำนวณจะต้องใช้เวลาและทรัพยากรมากตามไปด้วย อีกทั้งอนุภาคนั้นมีมาก ส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณเพื่อจำลองอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทั้งหมดกับของไหลได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันแจกแจงการกระจายของอนุภาค ซึ่งจะพิจารณาการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคแทน โดยเริ่มจากการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาค N อนุภาค ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งอนุภาค i และ เวลา t ได้เป็น $\bar{x}_i(t)$ และสามารถนับจำนวนอนุภาคภายในปริมาตร v_j ซึ่งมีจุดศูนย์กลางปริมาตรที่ตำแหน่ง \bar{x}_j ได้เป็น $n(\bar{x}_j, t)$ ในลักษณะที่เหมือนกัน หากสามารถระบุฟังก์ชันแจกแจงการกระจายของอนุภาคได้เป็น $f(\bar{x}, t)$ เมื่อ \bar{x} ในที่นี้คือ ตำแหน่งที่ต้องการทราบความหนาแน่นของอนุภาค จะสามารถคำนวณได้ว่า

$$f(\bar{x}_j, t) \cdot v_j = n(\bar{x}_j, t) \quad (2.62)$$

หรือ

$$f(\bar{x}_j, t) = \frac{n(\bar{x}_j, t)}{v_j} = \rho(\bar{x}_j, t) \quad (2.63)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอนุภาคภายในปริมาตรเล็กๆ ที่ตำแหน่ง \bar{x}_j ณ เวลาใดๆ ซึ่งสมการข้างต้นนั้นคือ สมการที่ใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับการคำนวณหาค่า $f(\bar{x}, t)$ โดยอาศัยหลักการผลต่างกำลังสองและ วิธีการคำนวณสำหรับฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น จะสามารถคำนวณหาฟังก์ชัน f ในรูปที่กำหนดให้ เพื่อใช้บรรยายการกระจายความหนาแน่นของอนุภาคซึ่งฟังก์ชัน f นี้ จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคและของไหล สำหรับรูปแบบของฟังก์ชัน f ที่เหมาะสมนั้น ในขั้นต้นอาจพิจารณาจากการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) หรือสมมติว่าการกระจายเป็นแบบสาย (Jet) หรือคอลัมน์ (Column) หรืออาจพิจารณาว่าเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform) เพื่อนำเข้าสู่ระบบอย่างมีระเบียบได้ เนื่องจากการไหลของของไหลจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการกระจายตัวของอนุภาค ซึ่งน่าจะไม่ใช่รูปแบบข้างต้น แต่อาจจะมีรูปร่างคล้ายรูปไข่มากกว่าทรงกลมในการกระจายแบบปกติหรือ อาจจะมีการจับกลุ่มกันเป็นบริเวณเฉพาะ

มากกว่าการกระจายแบบสม่ำเสมอ ซึ่งการพิจารณารูปร่างฟังก์ชันเหล่านี้ได้ จะต้องพิจารณาจากข้อมูลการจำลองการเคลื่อนที่ก่อนจึงจะตัดสินใจได้

2.2 โปรแกรม LESIM

การพัฒนาโปรแกรม LESIM คือ ขั้นตอนการออกแบบการจำลองการเคลื่อนที่ของ Lagrangian Particles กับความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของของไหล (dynamic fluid) ซึ่งคำว่า LESIM นั้นย่อมาจากคำว่า Lagrangian extensible Simulation Modules ซึ่งเป็น Numerical code ที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคใน fluid body กับสิ่งแวดล้อมซึ่ง LESIM สามารถทำการคำนวณได้ด้วยตนเองหากพิจารณาของไหลว่าเป็นของไหลในภาวะสถิต (Static Condition) มิฉะนั้นจะต้องใช้ร่วมกับโปรแกรมที่คำนวณของไหลในภาวะพลวัต (Dynamic Condition) ซึ่งจะต้องมีการส่งค่าภาวะของของไหลให้แก่ LESIM เพื่อคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของไหลพลวัตดังกล่าว สำหรับระบบอ้างอิงนั้นระบบที่สนใจจะถูกกำหนดให้อยู่ใน 2 รูปแบบคือ ระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate) และพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate) แต่เนื่องจากความซับซ้อนในการหาการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ระบบพิกัดฉากมากกว่าพิกัดทรงกระบอก ซึ่งในที่นี้จะใช้กฎข้อที่ 2 ของนิวตันเป็นพื้นฐานในการคำนวณอนุภาค โดยจะถูกเร่งถูกลด หรือเปลี่ยนแปลงทิศทางในการเคลื่อนที่เนื่องมาจากแรง gravity และ Drag force ซึ่งจะถูกทำเพื่อเป็นแบบจำลองการทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงที่ละลายได้ (molten fuel) กับสารหล่อเย็น (coolant)

ส่วนในการทำงานของระบบ LESIM จะต้องทำการป้อนข้อมูลตั้งต้นสำหรับการเคลื่อนที่ของของไหล (fluid dynamic) ซึ่งจะถูกแสดงเป็นรหัส get_par โดยที่กล่าวมาแล้ว LESIM นั้นสามารถทำงานเป็นโปรแกรมที่เก็บข้อมูลด้วยตนเองซึ่งเงื่อนไขตอนแรกที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบทรงเรขาคณิตของระบบและขนาดของเซลล์ (ปริมาตร) รวมถึงคุณสมบัติของของไหลในแต่ละเซลล์ จะถูกอธิบายอย่างละเอียดในแต่ละส่วนรวมถึงข้อมูลตั้งต้นของอนุภาคจะถูกอธิบายด้วยไฟล์ชื่อ "par_in.dat" ซึ่งมีตัวบล็อกข้อมูล 6 ตัว ดังนี้

- 1) rinfo (ตัวบล็อกข้อมูลสำหรับตัวแปรทั่วไป)
ตัวแปรในนี้มี S_dt , S_tmmx , S_dtp , Pcfret , S_hfsim
- 2) pinfo (ตัวบล็อกข้อมูลสำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอนุภาค)
ตัวแปรในนี้มี S_npvt และ S_part
- 3) ainfo (ตัวบล็อกข้อมูลสำหรับตัวแปรกรณีอนุภาค)
ตัวแปรในนี้มี S_ainj และ S_dtinj
- 4) cinfo (ตัวบล็อกข้อมูลสำหรับตัวแปรเซลล์)
ตัวแปรในนี้มี icoord , dim123 , S_flw และ S_ncell
- 5) linfo (ตัวบล็อกข้อมูลสำหรับตัวแปรสำหรับของไหลในเฟสของเหลว)

ตัวแปรในนี้มี S_liqd

6) ginfo (ตัวบ่งชี้ข้อมูลสำหรับตัวแปรของของไหลในเฟสไอ)

ตัวแปรในนี้มี S_vapr

ส่วนไฟล์แสดงผลของโปรแกรม LESIM ที่ได้จากการประมวลผล input ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ต่างๆ ดังนี้

1) S00 epar.dat (มีตัวแปร S_time , prn_etot และ S_nprt)

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกเวลาทั้งหมดของอนุภาคและจำนวนของกลุ่มอนุภาคซึ่งมีอยู่ในระบบ

2) S01 axs1.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,1))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคในแนวแกน z ที่เวลาต่าง ๆ ของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้งเริ่มจากเวลาและตำแหน่งที่มันอยู่

3) S02 axs2.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,2))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคในแนวแกน x ที่เวลาต่าง ๆ ของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้งเริ่มจากเวลาและตำแหน่งที่มันอยู่

4) S03 axs3.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,3))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคในแนวแกน y ที่เวลาต่าง ๆ ของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้งเริ่มจากเวลาและตำแหน่งที่มันอยู่

5) S04 vel1.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,4))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกความเร็วแนวแกน z ในแต่ละกลุ่มอนุภาค ที่แต่ละเวลาของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้ง เริ่มจากเวลาและตามด้วยความเร็วแกน z

6) S05 vel2.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,5))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกความเร็วแนวแกน x ในแต่ละกลุ่มอนุภาค ที่แต่ละเวลาของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้ง เริ่มจากเวลาและตามด้วยความเร็วแกน x

7) S06 vel3.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,6))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกความเร็วแนวแกน y ในแต่ละกลุ่มอนุภาค ที่แต่ละเวลาของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้ง เริ่มจากเวลาและตามด้วยความเร็วแกน y

8) S07 temp.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,11))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกอุณหภูมิของแต่ละกลุ่มอนุภาค ที่แต่ละเวลาของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้ง เริ่มจากเวลาและตามด้วยอุณหภูมิ

9) S08 nump.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,18))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกจำนวนของอนุภาคในแต่ละกลุ่มอนุภาคที่เวลาต่าง ๆ ของการ
 ปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้งเริ่มจากเวลาและตามด้วยจำนวน

10) S09 radp.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,8))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกขนาดรัศมีเฉลี่ยของอนุภาคในแต่ละกลุ่มอนุภาคที่เวลาต่าง ๆ
 ของการปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้งเริ่มจากเวลาและตามด้วยขนาดรัศมีเฉลี่ย

11) S10 rady.dat (มีตัวแปร S_time ,S_part(i,19))

ไฟล์ตัวนี้จะบันทึกขนาดรัศมีของอนุภาคในแต่ละกลุ่มอนุภาคที่เวลาต่าง ๆ ของ
 การปรินต์ข้อมูลจะถูกจัดวางในแนวตั้งเริ่มจากเวลาและตามด้วยขนาดรัศมี

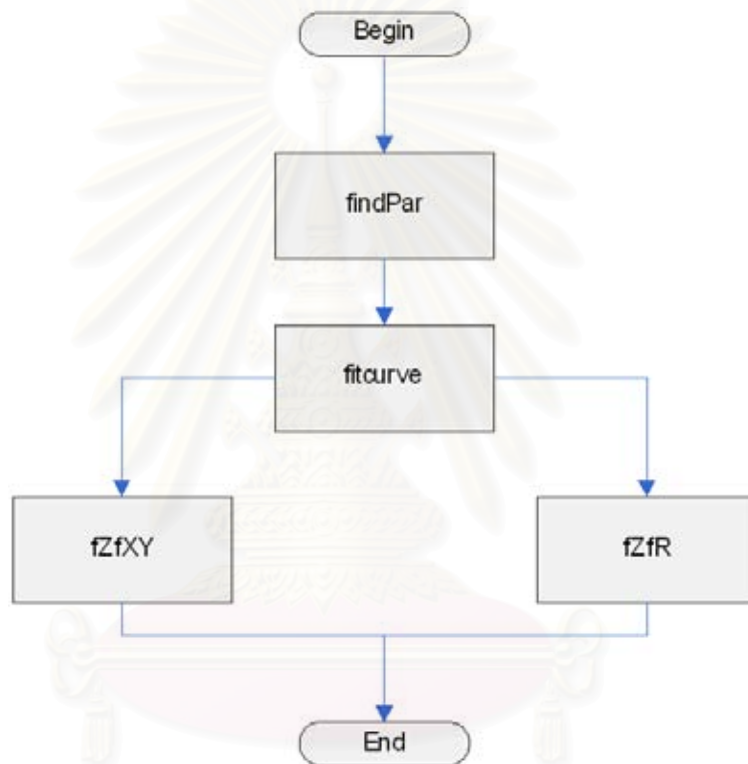


สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม LESIM จำลองการกระจายของอนุภาคเชื้อเพลิง เพื่อนำผลมาเป็นข้อมูลสร้างฟังก์ชันการแจกแจงสมบัติ ซึ่งการดำเนินงานขั้นตอนต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

จากรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงภาพรวมการทำงานทั้งหมดของงานวิจัยนี้ จะเริ่มต้นจากการสมมติค่าต่าง ๆ ในให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ par_in.dat แล้วนำไปทำการประมวลโดยใช้โปรแกรม LESIM เพื่อจะได้ค่าต่าง ๆ เช่น S00 epar.dat, S01 axs1.dat, S02 axs2.dat, S03 axs3.dat, S04 vel1.dat, S05 vel2.dat, S06 vel3.dat, S07 temp.dat, S08 nump.dat, S09 radp.dat และ S10 rady.dat จากนั้นใช้โปรแกรม findPar ซึ่งโปรแกรมจะทำการอ่านไฟล์ S00epar.dat, S01axs1.dat, S02axs2.dat, S03axs3.dat และ s07temp.dat เพื่อนำข้อมูลภายในไฟล์มาทำการประมวลผล แล้วทำการกำหนดขนาดความกว้าง, ความยาว, ความสูง และจำนวนของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ย่อย จากนั้นกำหนดมุมมองในการแสดงผลว่าจะมองแกนใด (x, y หรือ z), มองชั้นที่เท่าไร และกำหนดขอบเขตรัศมีในระนาบ xy โดยนับจากจุดศูนย์กลางของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ซึ่งจะทำได้ค่า

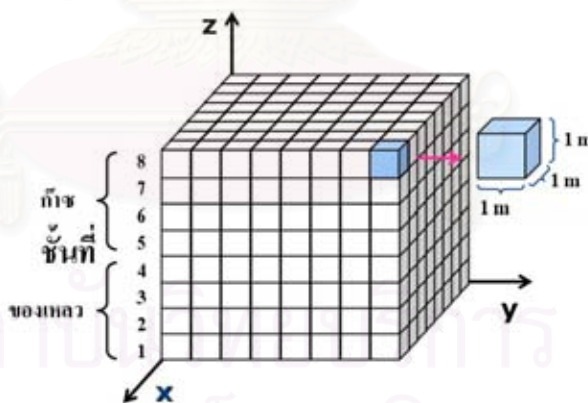
ของตำแหน่งต่าง ๆ ว่าอนุภาคตกลงอยู่ที่ใด ณ. เวลาต่าง ๆ กัน ในการพิจารณาการตกของอนุภาค จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. กรณีเป็นการตกแบบสายน้ำ (Continuous Melt Jet) จะนำค่าของรัศมีเฉลี่ยของ ปริมาตร และค่าของ z มาใส่ในโปรแกรม fitcurve เพื่อพิจารณาหารูปแบบฟังก์ชันที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อได้รูปแบบฟังก์ชันแล้ว ให้นำผลลัพธ์ที่ได้จาก fitcurve ไปใช้ในโปรแกรม fZfR เพื่อหา ค่าคงที่ a, b และ A

2. กรณีที่เป็นการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) จะนำค่าของข้อมูลใน แกน x, y และ z ทั้งหมดมาใส่ในโปรแกรม fitcurve เพื่อพิจารณาหารูปแบบฟังก์ชันที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อได้รูปแบบฟังก์ชันแล้ว ให้นำผลลัพธ์ที่ได้จาก fitcurve ไปใช้ในโปรแกรม fZfXY เพื่อ คำนวณค่าของชุดข้อมูลที่สนใจในแต่ละแกน x , แกน y และ แกน z ในการวิเคราะห์ผลที่ได้นั้นจะใช้ โปรแกรม Math Lab สร้างกราฟระดับสีของข้อมูลจากการจำลองและฟังก์ชันขึ้นมาเปรียบเทียบ

3.2 ข้อมูลในการวิจัย

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ชุดข้อมูลซึ่งคำนวณได้จากทั้งหมด 12 ชุด โดยพิจารณา การกระจายของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ความหนาแน่นเชิงจำนวน ความหนาแน่นเชิงมวล และความหนาแน่นเชิงพลังงาน ซึ่งในแต่ละลักษณะมีข้อมูลอย่างละ 4 ชุด ดังนี้

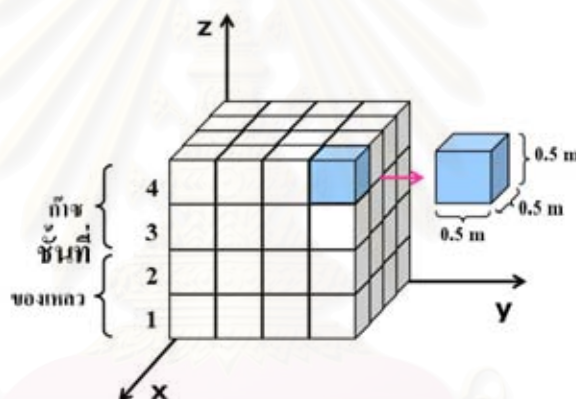


รูปที่ 3.2 ปริมาตรของระบบ สำหรับข้อมูลชุดที่ 1 และ 2

1) มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคคงที่เท่ากับ 0.005 เมตร และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยม ลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบ (รูปที่ 3.2) จะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น โดย ชั้นที่ 1-4 เป็นชั้นของเหลว และชั้นที่ 5-8 เป็นของก๊าซ

2) มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-400 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 401-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.006 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,200 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที แบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบ (รูปที่ 3.2) จะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น โดย ชั้นที่ 1-4 เป็นชั้นของเหลว และชั้นที่ 5-8 เป็นของก๊าซ

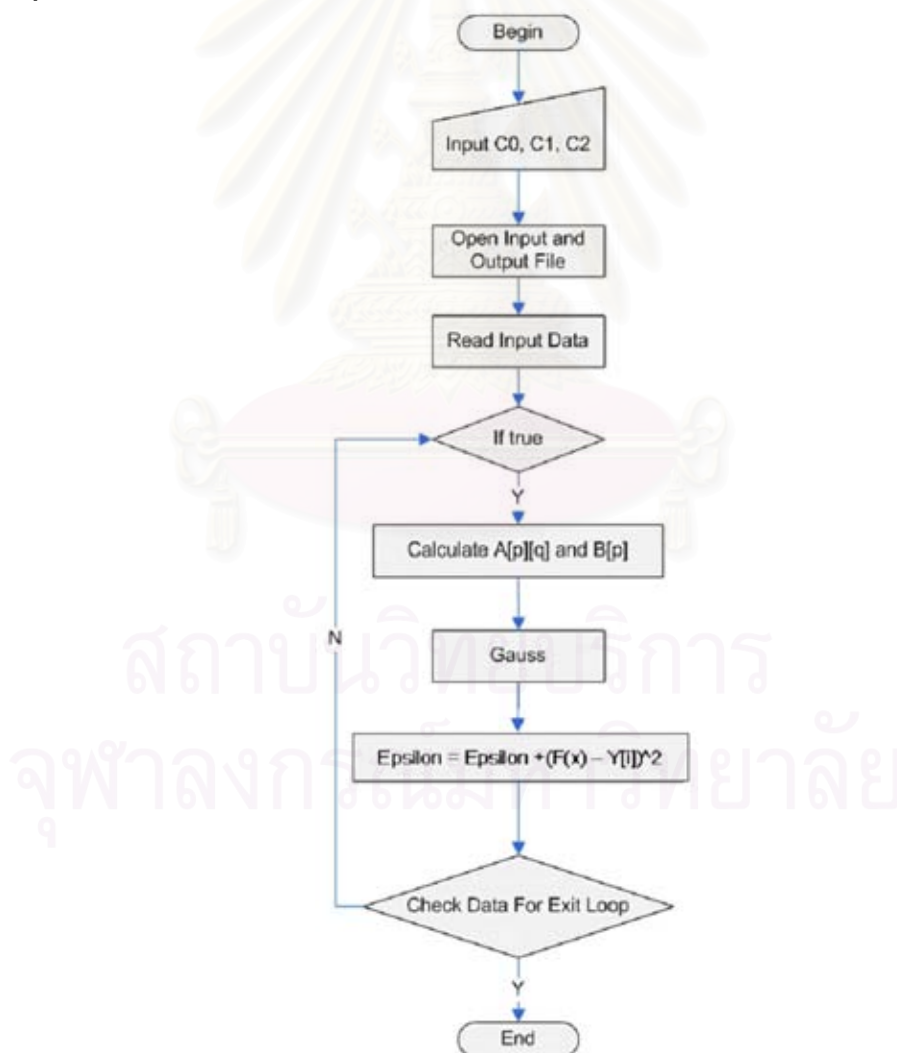


รูปที่ 3.3 ปริมาตรของระบบ สำหรับข้อมูลชุดที่ 3 และ 4

3) มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.002 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยอนุภาค 800 อนุภาคพร้อมกัน โดยจะเว้นระยะการปล่อยที่ละ 800 อนุภาค ในเวลา 0.4 วินาที ส่วนครั้งสุดท้ายปล่อย 900 อนุภาค ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบ (รูปที่ 3.3) จะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น โดย ชั้นที่ 1-2 เป็นชั้นของเหลว และชั้นที่ 3-4 เป็นของก๊าซ

4) มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร โดยจะเว้นระยะการปล่อยอนุภาคในระยะเวลาที่ทำการสุ่ม ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบ (รูปที่ 3.3) จะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น โดย ชั้นที่ 1-2 เป็นชั้นของเหลว และชั้นที่ 3-4 เป็นของก๊าซ

3.3 ลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของโปรแกรมเพื่อสร้างเส้นโค้งแสดงลักษณะการกระจายสมบัติของอนุภาค



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมเพื่อสร้างเส้นโค้งแสดงลักษณะการกระจายสมบัติของอนุภาคโดยรวม

โปรแกรมดังบรรยายคร่าวๆ โดยรูปที่ 3.4 นี้เป็นโปรแกรมทั่วไปเพื่อใช้สร้างฟังก์ชันแสดงลักษณะการกระจายของอนุภาคในงานวิจัย โปรแกรมลักษณะคล้ายกันนี้จะถูกใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก LESIM เพื่อสร้างฟังก์ชันบรรยายการกระจายความหนาแน่นของอนุภาค จากรูปที่ 3.4 โปรแกรมเริ่มต้นจากการรับข้อมูลตั้งต้นสำหรับสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ (Coefficient) ทั้งหมดที่ใช้ภายในสมการ จากนั้นจะทำการอ่านไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าของสมการ เมื่ออ่านไฟล์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะวนลูป โดยเริ่มจากการหาค่าของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ a_n และ หาค่าของเมตริกซ์ผลลัพธ์ b_n จากนั้น นำไปคำนวณด้วยวิธีการของ Gauss จะได้ผลลัพธ์ออกมา แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ซึ่งถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ โปรแกรมก็จะออกจากการวนลูป แต่ถ้าค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากกว่า ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ โปรแกรมจะเพิ่มหรือลดค่าของสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ทั้งหมดที่ใช้ภายในสมการ แล้วจากนั้นหาค่าของ Epsilon ซึ่งก็เปรียบเสมือนกับค่าเคลื่อนที่ยอมรับได้เช่นกัน จากนั้นจะเริ่มกลับไปทำการทำงานต่างๆ ต่อไป จนกว่าค่าที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ จะถือว่าเป็นสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม

3.4 การทำงานของโปรแกรมตามขั้นตอนการวิจัย

ลักษณะการทำงานดังแสดงโดยรูปที่ 3.1 นั้นจะบรรยายโดยละเอียดได้ว่าประกอบด้วยโปรแกรม 4 ส่วนดังนี้

3.4.1 โปรแกรม findPar เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคที่มีกระจายอยู่ภายในปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดขนาดเองได้ โดยโปรแกรมจะรับข้อมูลจากผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม LESIM

3.4.2 โปรแกรม fitcurve เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณเพื่อหารูปแบบของฟังก์ชันที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล โดยโปรแกรมจะรับชุดข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มาประมวลผล และจะได้ผลลัพธ์ ค่าคงที่ของที่ใช้ภายในสมการเพื่อนำไปแทนในรูปแบบของสมการที่เหมาะสม

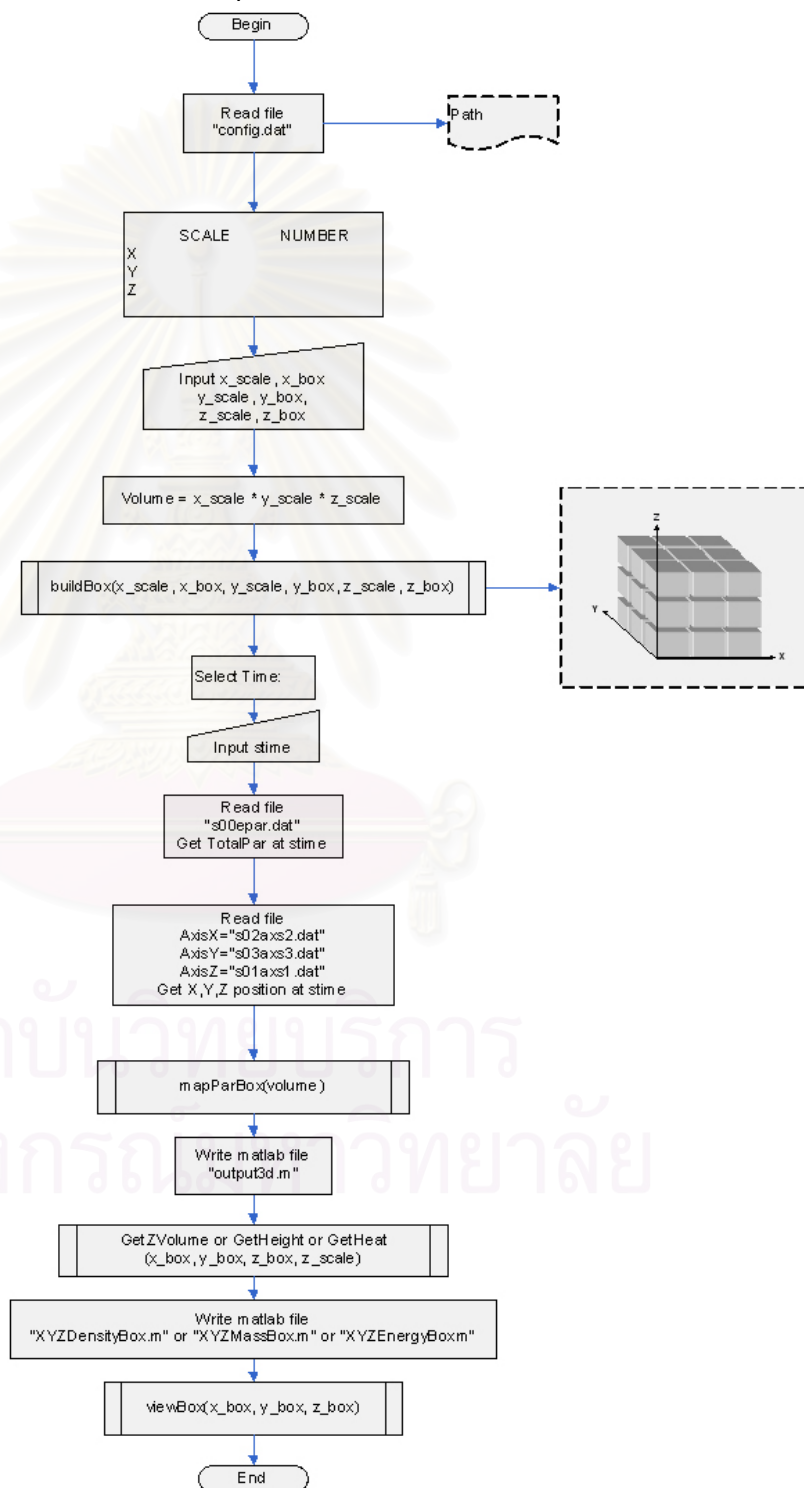
3.4.3 โปรแกรม fZFR เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณ เพื่อหาค่าคงที่ a, b และ A โดยโปรแกรมจะรับข้อมูล สมการของรัศมี, สมการของแกน Z และข้อมูลรายละเอียดของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

3.4.4 โปรแกรม fZXY เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณค่าตามฟังก์ชันที่กำหนด เพื่อหารูปแบบฟังก์ชันที่เหมาะสมและทำการแสดงภาพกราฟสี่แสดงการกระจาย โดย

โปรแกรมจะรับข้อมูล สมการของแกน X, สมการของแกน Y, สมการของแกน Z และข้อมูลรายละเอียดของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

3.4.1 โปรแกรม findPar มีรายละเอียดดังนี้

1. Function Main เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานหลักของโปรแกรม

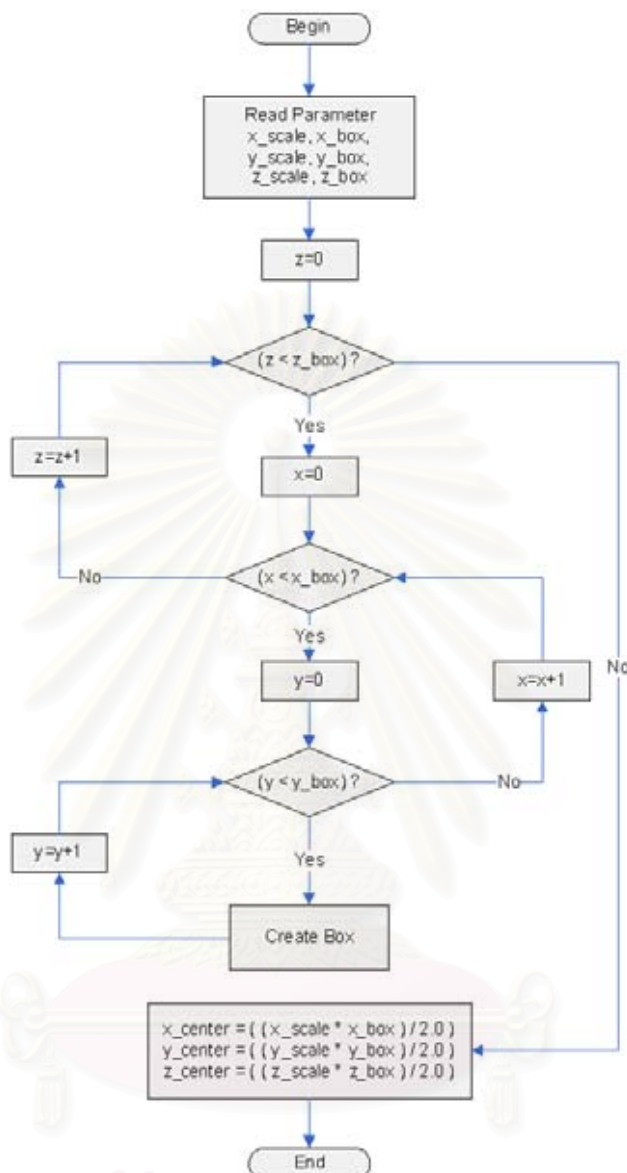


รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม findPar

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.5

- 1) อ่านไฟล์ “config.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ที่เก็บ Path ของข้อมูล
- 2) แสดงข้อความออกทางหน้าจอ
- 3) รอรับข้อมูลจากผู้ใช้ เก็บใส่ตัวแปร x_scale, x_box, y_scale, y_box, z_scale, z_box
- 4) กำหนดค่าตัวแปร $\text{Volume} = x_scale * y_scale * z_scale$
- 5) สร้างกล่อง โดยใช้ฟังก์ชัน `buildBox(x_scale, x_box, y_scale, y_box, z_scale, z_box)` อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ (2)
- 6) แสดงข้อความออกทางหน้าจอ
- 7) รอรับข้อมูลจากผู้ใช้ เก็บใส่ตัวแปร `stime`
- 8) อ่านไฟล์ “s00epar.dat” เพื่อดึงค่าของจำนวนอนุภาคทั้งหมด ณ เวลา `stime` ที่ได้ระบุ จากข้อ 7
- 9) อ่านไฟล์ ต่างๆ ดังนี้
 - “s02axs2.dat” เพื่อดึงตำแหน่งของอนุภาคในแกน X ณ เวลา `stime`
 - “s03axs3.dat” เพื่อดึงตำแหน่งของอนุภาคในแกน Y ณ เวลา `stime`
 - “s01axs1.dat” เพื่อดึงตำแหน่งของอนุภาคในแกน Z ณ เวลา `stime`
- 10) นำอนุภาคแต่ละตัวใส่ปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ด้วยฟังก์ชัน `mapParBox(volume)` อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ (3)
- 11) เขียนไฟล์ “output3d.m” เป็นรูปแสดงการกระจายของอนุภาคทุกตัวที่อยู่ภายในปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์
- 12) สร้างไฟล์ ด้วยฟังก์ชัน `GetZVolume` กรณีจำนวนตัว หรือ `GetHeight` กรณีมวล หรือ `GetHeat` กรณีพลังงาน (`x_box, y_box, z_box, z_scale`) อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ (4)
- 13) เขียนไฟล์
 - “XYZDensityBox.m” กรณีจำนวนตัว หรือ “XYZMassBox.m” กรณีมวล หรือ
 - “XYZEnergyBox.m” กรณีพลังงาน โดยมีข้อมูลดังนี้
 - จำนวนปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์
 - จำนวนตัวทั้งหมด หรือจำนวนมวลรวมทั้งหมด หรือจำนวนพลังงานทั้งหมด ภายในปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์
 - ตำแหน่งจุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์แกน X, Y, Z และ ความหนาแน่นเชิงจำนวน หรือ ความหนาแน่นเชิงมวล หรือ ความหนาแน่นเชิงพลังงาน
- 14) พิจารณาแกนต่างๆด้วยฟังก์ชัน `viewBox(x_box, y_box, z_box)` อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ (5)
- 15) จบการทำงาน

2. Function buildBox เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์



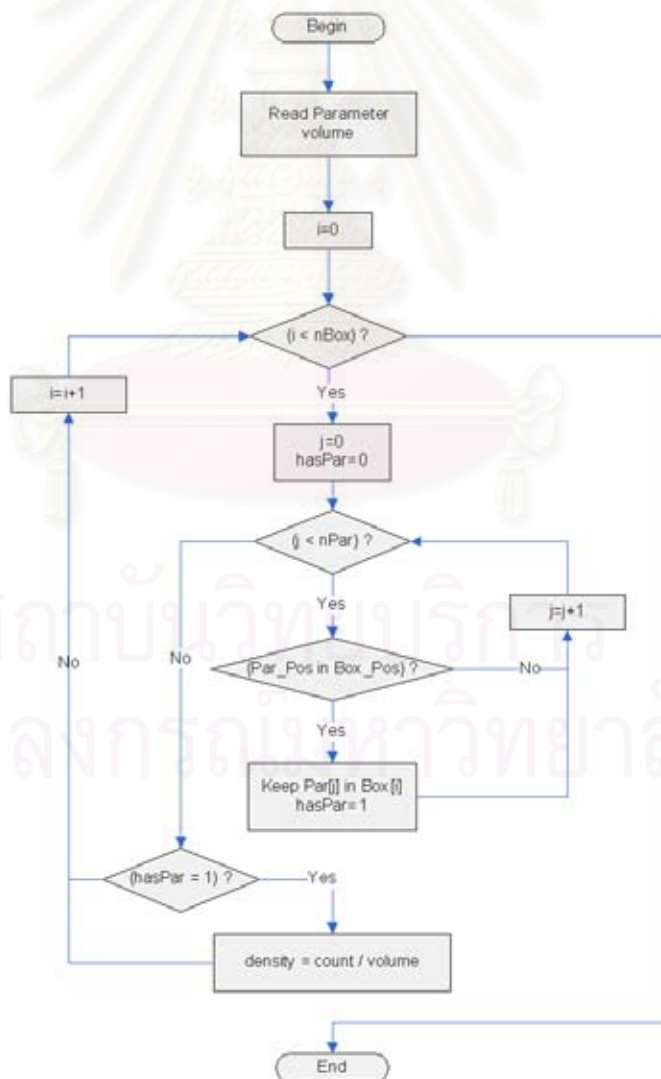
รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function buildBox ของโปรแกรม findPar

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.6

- 1) รับค่า Input x_scale , x_box , y_scale , y_box , z_scale , z_box
- 2) กำหนดค่า $z=0$
- 3) ถ้า $z < z_box$ ทำข้อ 4 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 12
- 4) กำหนดค่า $x=0$
- 5) ถ้า $x < x_box$ ทำข้อ 6 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 11
- 6) กำหนดค่า $y=0$
- 7) ถ้า $y < y_box$ ทำข้อ 8 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 10

- 8) สร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ โดยกำหนดตำแหน่ง และจุดศูนย์กลางของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์
- 9) กำหนดค่า $y=y+1$ แล้วกลับไปทำข้อ 7
- 10) กำหนดค่า $x=x+1$ แล้วกลับไปทำข้อ 5
- 11) กำหนดค่า $z=z+1$ แล้วกลับไปทำข้อ 3
- 12) กำหนดค่า จุดศูนย์กลางของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ใหญ่ ดังนี้
 - $x_center = ((x_scale * x_box) / 2.0)$
 - $y_center = ((y_scale * y_box) / 2.0)$
 - $z_center = ((z_scale * z_box) / 2.0)$

3. Function `mapParBox` เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของอนุภาคทุกตัวว่าตกอยู่ภายในปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ใดและค่าคำนวณค่าความหนาแน่นเชิงจำนวน หรือ เชิงมวล หรือ เชิงพลังงาน



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function `mapParBox` ของโปรแกรม `findPar`

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.7

- 1) รับค่า Input volume
- 2) กำหนดค่า $i=0$
- 3) ถ้า $i < nBox$ (จำนวนปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ทั้งหมด) ทำข้อ 4 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 12
- 4) กำหนดค่า $j=0$ และ $hasPar=0$
- 5) ถ้า $j < nPar$ (จำนวนอนุภาคทั้งหมด) ทำข้อ 6 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 9
- 6) ถ้า ตำแหน่งของอนุภาคนั้นๆ อยู่ในปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ทำข้อ 7 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 8
- 7) เก็บตัวอนุภาคนั้น $Par[j]$ ไว้ในกล่อง $Box[i]$ และ $hasPar=1$
- 8) กำหนดค่า $j=j+1$ แล้วกลับไปทำข้อ 5
- 9) ถ้า $hasPar = 1$ ทำข้อ 10 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 11
- 10) กำหนดค่า $density = count / volume$
- 11) กำหนดค่า $i=i+1$ แล้วกลับไปทำข้อ 3
- 12) จบการทำงาน

4. Function GetZVolume หรือ GetHeight หรือ GetHeat

GetZVolume เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับสร้างกราฟอัตราส่วนจำนวนอนุภาคต่อความสูงของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ โดยนำมาเทียบกับแกน Z

GetHeight เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับสร้างกราฟอัตราส่วนมวลต่อความสูงของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ โดยนำมาเทียบกับแกน Z

GetHeat เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับสร้างกราฟอัตราส่วนพลังงานต่อความสูงของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ โดยนำมาเทียบกับแกน Z

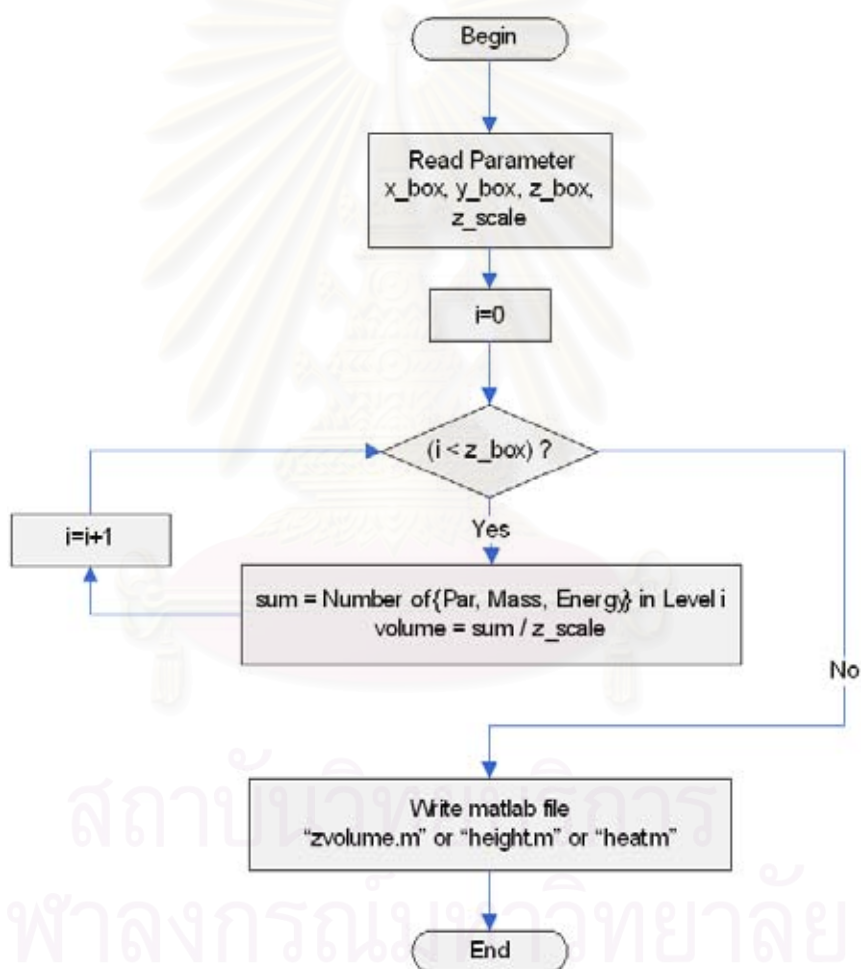
อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.8

- 1) รับค่า Input $x_box, y_box, z_box, z_scale$
- 2) กำหนดค่า $i=0$
- 3) ถ้า $i < z_box$ ทำข้อ 4 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 6
- 4) กำหนดค่า

sum = เป็นค่าจำนวนอนุภาคทั้งหมดใน Level นั้นๆ กรณีจำนวน หรือ เป็นค่ามวลทั้งหมดใน Level นั้นๆ กรณีมวล หรือ เป็นค่าพลังงานทั้งหมดใน Level นั้นๆ กรณีพลังงาน

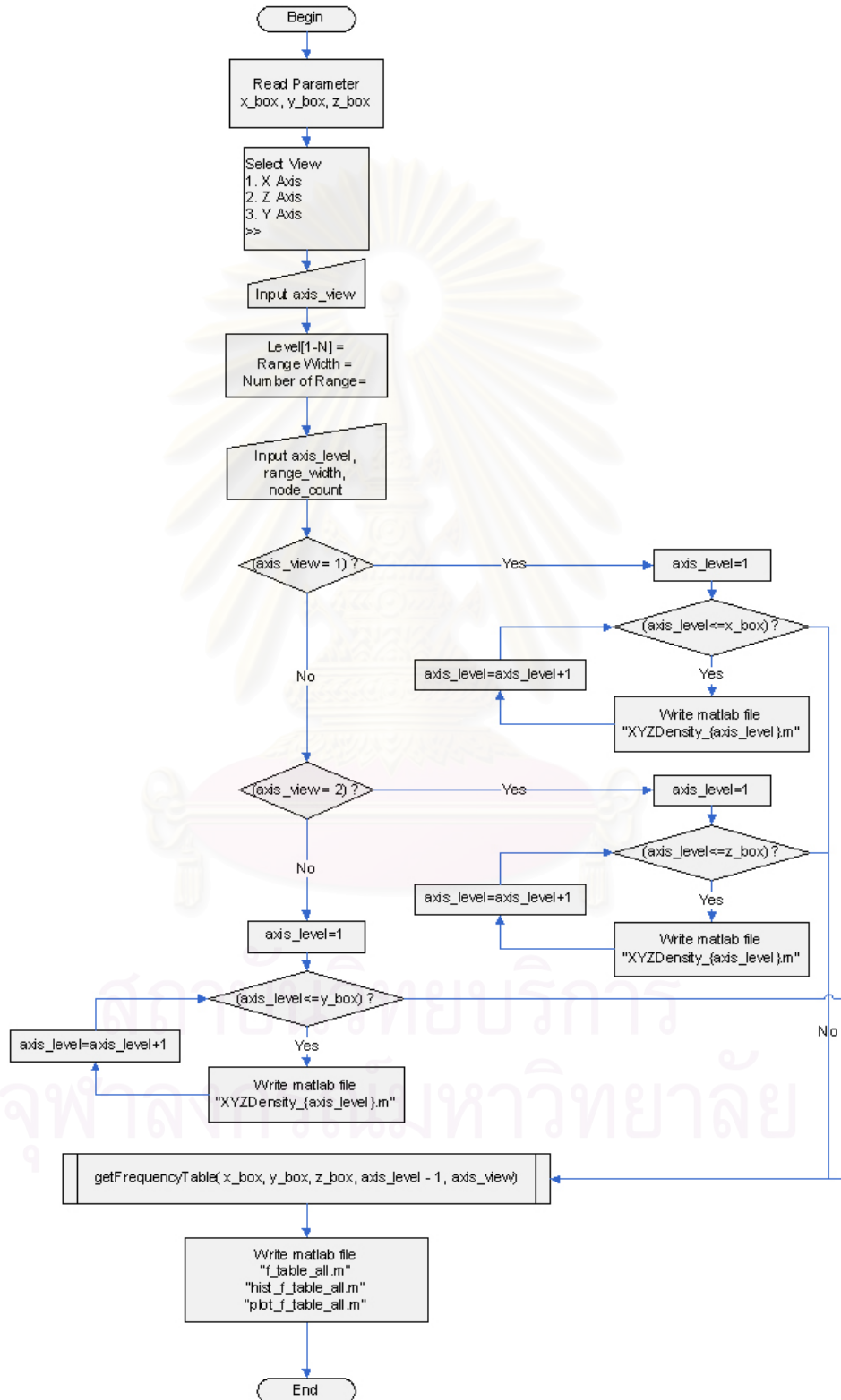
$$\text{volume} = \text{sum} / z_scale$$

- 5) กำหนดค่า $i=i+1$ แล้วกลับไปทำข้อ 3
- 6) เขียนไฟล์ สำหรับวาดกราฟใน matlab ดังนี้
 “zvolume.m” กรณีจำนวนตัว , “height.m” กรณีมวล , “heat.m” กรณีพลังงาน
- 7) จบการทำงาน



รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function GetZVolume หรือ GetHeight หรือ GetHeat ของโปรแกรม findPar

5. Function `viewBox` เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับดูข้อมูลต่างๆ ของปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ตามแต่ละมุมมอง ซึ่งมีทั้งหมด 3 มุมมอง คือ มุมมองในแนวแกน X, มุมมองในแนวแกน Y และ มุมมองในแนวแกน Z

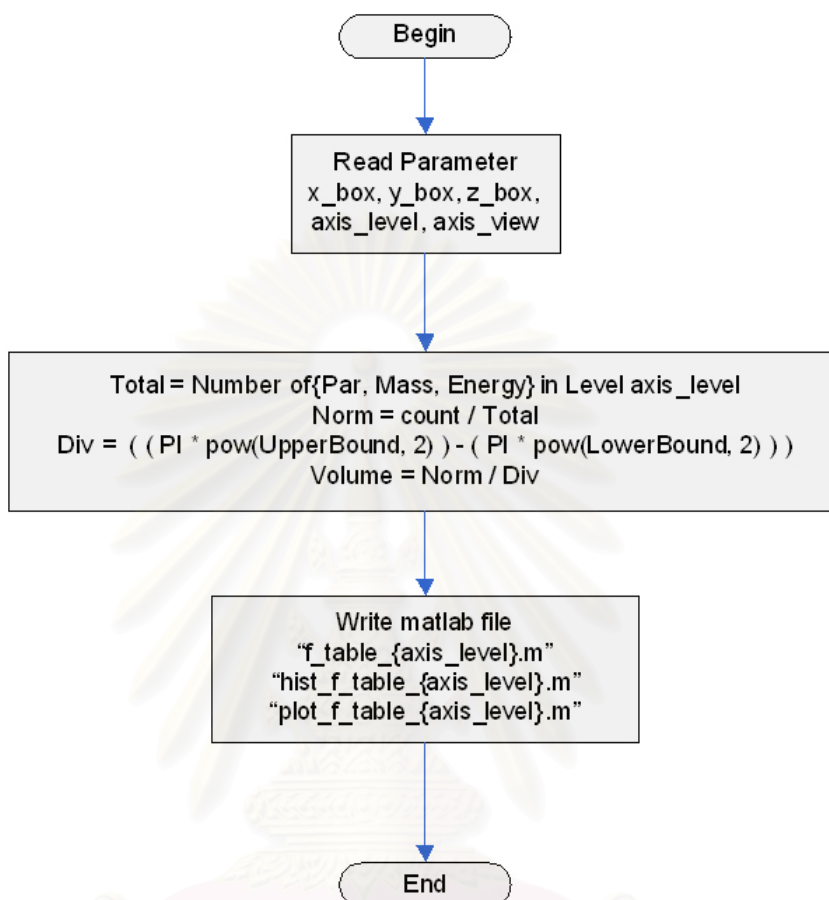


รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการทำงาน Function `viewBox` ของโปรแกรม `findPar`

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.9

- 1) รับค่า Input `x_box`, `y_box`, `z_box` แสดงข้อความออกทางหน้าจอ
- 2) รับค่าแกนที่ต้องการดูจากผู้ใช้ เก็บเข้าตัวแปร `axis_view` แสดงข้อความออกทางหน้าจอ
- 3) รับค่า `axis_level`, `ranger_width`, `node_count`
- 4) ถ้า `axis_view = 1` (แกน X) ทำข้อ 5 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 9
- 5) กำหนดค่า `axis_level=1`
- 6) ถ้า `axis_level <= x_box` ทำข้อ 7 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 18
- 7) เขียนไฟล์ “XYZDensity_{axis_level}.m” กรณีจำนวนตัว
“XYZMass_{axis_level}.m” กรณีมวล
“XYZEnergy_{axis_level}.m” กรณีพลังงาน
มีรายละเอียดดังนี้
 - แกน, ความกว้าง, ความยาว และ จำนวนปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ในระนาบนั้น
 - จำนวนตัวทั้งหมดในระนาบนั้น กรณีจำนวน หรือ มวลทั้งหมดในระนาบนั้น กรณีมวล หรือ พลังงานทั้งหมดในระนาบนั้น กรณีพลังงาน
 - ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแต่ละปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ในระนาบนั้น X, Y, Z และ ความหนาแน่นเชิงจำนวน กรณีจำนวน หรือ ความหนาแน่นเชิงมวล กรณีมวล หรือ ความหนาแน่นเชิงพลังงาน กรณีพลังงาน
- 8) กำหนดค่า `axis_level=axis_level+1`แล้วกลับไปทำข้อ 6
- 9) ถ้า `axis_view = 2` (แกน Z) ทำข้อ 10 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 14
- 10) กำหนดค่า `axis_level=1`
- 11) ถ้า `axis_level <= z_box` ทำข้อ 12 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 18
- 12) เขียนไฟล์เหมือนข้อ 7
- 13) กำหนดค่า `axis_level=axis_level+1`แล้วกลับไปทำข้อ 11
- 14) กำหนดค่า `axis_level=1`
- 15) ถ้า `axis_level <= y_box` ทำข้อ 16 แต่ถ้าไม่ทำข้อ 18
- 16) เขียนไฟล์เหมือนข้อ 7
- 17) กำหนดค่า `axis_level=axis_level+1`แล้วกลับไปทำข้อ 15
- 18) สร้างตารางแจกแจงความถี่ด้วยฟังก์ชัน
`getFrequencyTable(x_box, y_box, z_box, axis_level - 1, axis_view)`
- 19) เขียนไฟล์ โดยจะรวมไฟล์ที่สร้างในแต่ละชั้น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นไฟล์ใหม่ ดังนี้
“f_table_all.m”, “hist_f_table_all.m”, “plot_f_table_all.m”
- 20) จบการทำงาน

6. Function `getFrequencyTable` เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับสร้างตารางแจกแจงความถี่, กราฟฮิสโตแกรมของตารางแจกแจงความถี่ และ กราฟตารางแจกแจงความถี่



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงการทำงาน Function `getFrequencyTable` ของโปรแกรม `findPar`

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.10

- 1) รับค่า Input `x_box`, `y_box`, `z_box`, `axis_level`, `axis_view`
- 2) กำหนดค่าต่างๆดังนี้

Total = จะเป็นจำนวนอนุภาคทั้งหมดของชั้นที่ `axis_level` กรณีจำนวนตัวหรือมวลทั้งหมดของชั้นที่ `axis_level` กรณีมวลหรือพลังงานทั้งหมดของชั้นที่ `axis_level` กรณีพลังงาน

Norm = count / Total

Div = ((PI * pow(ขอบบน, 2)) - (PI * pow(ขอบล่าง, 2)))

Volume = Norm / Div

- 3) เขียนไฟล์ ดังนี้

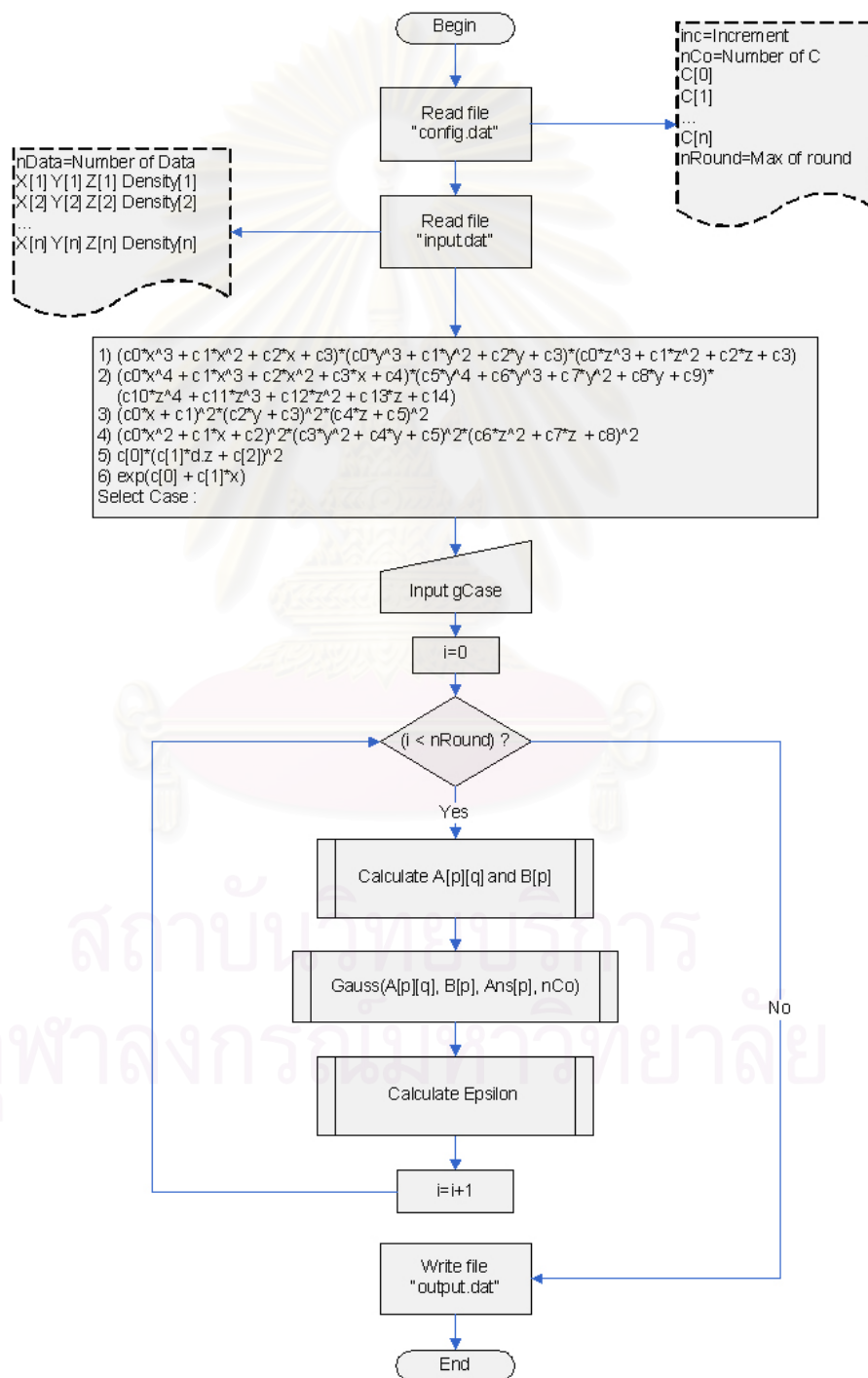
"f_table_{axis_level}.m", "hist_f_table_{axis_level}.m", "plot_f_table_{axis_level}.m"

- 4) จบการทำงาน

สรุปการทำงานของโปรแกรม findPar เริ่มจากนำข้อมูลใส่ในไฟล์ชื่อ DATA เมื่อประมวลผลแล้วโปรแกรมจะแสดง ตำแหน่งของอนุภาคต่างๆ ที่อยู่ในปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (ปริมาตรของระบบ) เมื่อเวลาผ่านไป

3.4.2 โปรแกรม fitcurve มีรายละเอียดดังนี้

1. Function Main เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของโปรแกรม

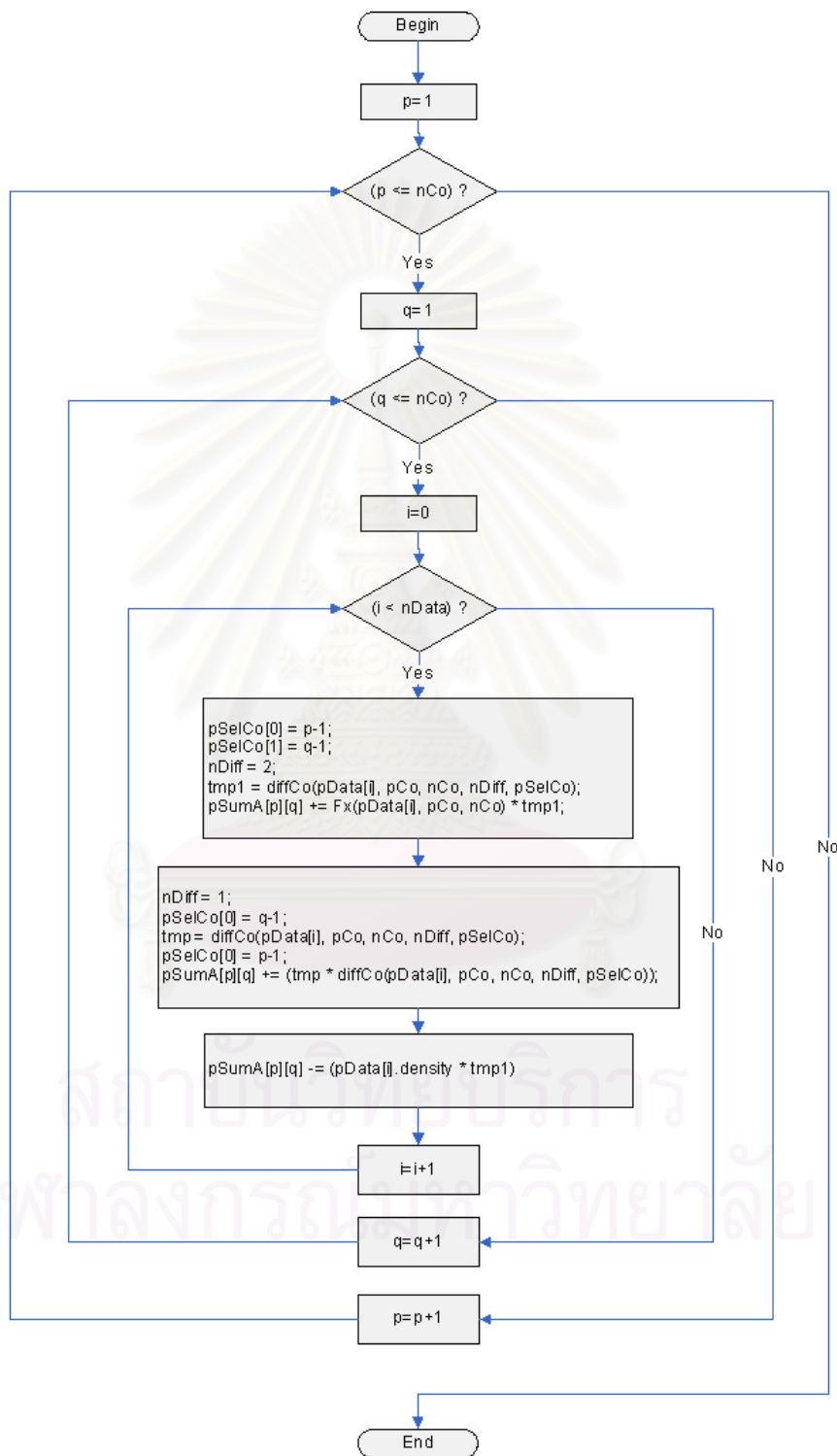


รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fitcurve

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.11

- 1) อ่านไฟล์ “config.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ ที่เก็บ พารามิเตอร์(parameter) ดังนี้
 - inc คือ ค่าของ step ที่ใช้ทำนายค่าคงที่ เป็นเลขทศนิยม
 - nCo คือ จำนวนของค่าคงที่เริ่มต้น เป็นเลขจำนวนเต็ม
 - C[n] เป็นค่าคงที่เริ่มต้นทั้งหมด เป็นเลขทศนิยม
 - nRound เป็นค่ารอบของการคำนวณซ้ำ เป็นเลขจำนวนเต็ม
- 2) อ่านไฟล์ “input.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ ที่เก็บข้อมูลของ X, Y, Z และ ความหนาแน่น (Density) ดังนี้
 - column ที่ 1 คือ ข้อมูล X
 - column ที่ 2 คือ ข้อมูล Y
 - column ที่ 3 คือ ข้อมูล Z
 - column ที่ 4 คือ ข้อมูล Density
- 3) แสดงสมการต่างที่สามารถคำนวณได้ภายในโปรแกรมออกทางหน้าจอ
- 4) รอรับข้อมูลจากผู้ใช้ เก็บใส่ตัวแปร gCase
- 5) กำหนดค่า $i = 0$
- 6) ถ้า $i < nRound$ ให้ทำข้อ 7
แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 11
- 7) คำนวณค่าของเมทริกซ์ A และ ค่าของเมทริกซ์ B อธิบายในหัวข้อที่ 2
- 8) คำนวณด้วยฟังก์ชัน Gauss อธิบายในหัวข้อที่ (3)
- 9) คำนวณค่า Epsilon อธิบายในหัวข้อที่ (4)
- 10) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ (6)
- 11) เขียนผลลัพธ์ใส่ไฟล์ “output.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ที่เก็บค่าคงที่ที่ได้จากการประมาณของฟังก์ชัน

2. Function Calculate $A[p][q]$ and $B[p]$ เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับเตรียมค่าเมทริกซ์ A และ B เพื่อนำไปคำนวณหาค่าคงที่ที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล โดยฟังก์ชันนี้จะมีการใช้หลักการหาอนุพันธ์ค่าคงที่ (Differential Coefficient) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงการทำงาน Function Calculate $A[p][q]$ and $B[p]$ ของโปรแกรม fitcurve

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.12

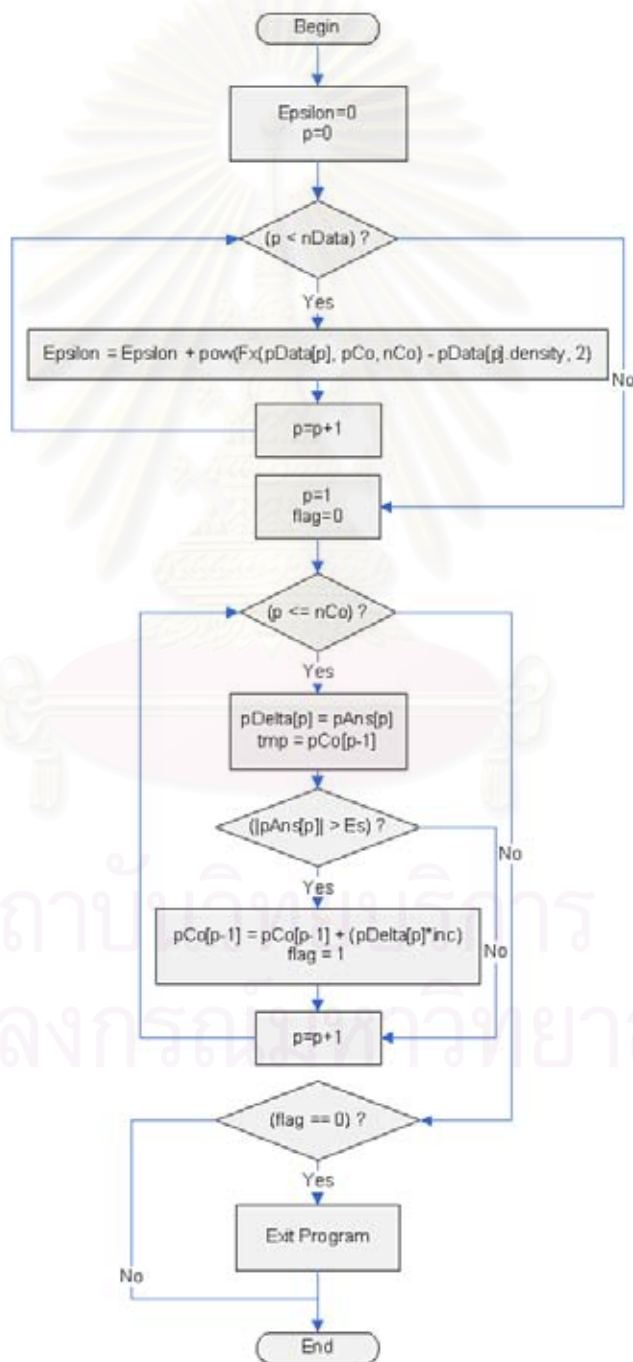
- 1) กำหนดค่า $p=1$
- 2) ถ้า $p \leq nCo$ ให้ทำข้อ 3
แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 11
- 3) กำหนดค่า $q=1$
- 4) ถ้า $q \leq nCo$ ให้ทำข้อ 5
แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 10
- 5) กำหนดค่า $q=0$
- 6) ถ้า $i < nData$ ให้ทำข้อ 7
แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 9
- 7) กำหนดค่าต่างๆดังนี้
 $pSelCo[0] = p-1;$
 $pSelCo[1] = q-1;$
 $nDiff = 2;$
 $tmp1 = diffCo(pData[i], pCo, nCo, nDiff, pSelCo);$
 $pSumA[p][q] += Fx(pData[i], pCo, nCo) * tmp1;$
 $nDiff = 1;$
 $pSelCo[0] = q-1;$
 $tmp = diffCo(pData[i], pCo, nCo, nDiff, pSelCo);$
 $pSelCo[0] = p-1;$
 $pSumA[p][q] += (tmp * diffCo(pData[i], pCo, nCo, nDiff, pSelCo));$
 $pSumA[p][q] -= (pData[i].density * tmp1);$
 ซึ่งฟังก์ชัน $diffCo$ จะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อที่ (5)
- 8) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 6
- 9) ทำการเพิ่มค่า $q=q+1$ และกลับไปทำข้อที่ 4
- 10) ทำการเพิ่มค่า $p=p+1$ และกลับไปทำข้อที่ 2
- 11) จบการทำงาน

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.13

- 1) รับค่า Input $AA[N][N]$, $BB[N]$, $XX[N]$
- 2) กำหนดค่า $IP = 1$
- 3) ถ้าหากค่า $IP \leq N$ ทำต่อข้อ 4 ถ้าไม่ใช่ทำต่อข้อ 21
- 4) กำหนดค่า $IE = IP + 1$
- 5) ถ้าหากค่า $IE \leq N$ ทำต่อข้อ 6 ถ้าไม่ใช่ทำต่อข้อ 14
- 6) กำหนดค่า $RATIO = AA[IE][IP]/AA[IP][IP]$
- 7) กำหนดค่า $IC = IP + 1$
- 8) ถ้าหากค่า $IC \leq N$ ทำต่อข้อ 9 ถ้าไม่ใช่ทำต่อข้อ 12
- 9) กำหนดค่า $AA[IE][IC] = AA[IE][IC] - RATIO * AA[IP][IC]$
 $BB[IE] = BB[IE] - RATIO * BB[IP]$
- 10) กำหนดค่า $IC = IC + 1$
- 11) กลับไปทำข้อ 8
- 12) กำหนดค่า $IE = IE + 1$
- 13) กลับไปทำข้อ 5
- 14) กำหนดค่า $IE = IP + 1$
- 15) ถ้าหากค่า $IE \leq N$ ทำต่อข้อ 16 ถ้าไม่ใช่ทำต่อข้อ 19
- 16) กำหนดค่า $AA[IE][IC] = 0$
- 17) กำหนดค่า $IE = IE + 1$
- 18) กลับไปทำข้อ 15
- 19) กำหนดค่า $IP = IP + 1$
- 20) กลับไปทำข้อ 3
- 21) กำหนดค่า $XX[N] = BB[N]/AA[N][N]$
- 22) กำหนดค่า $IE = N - 1$
- 23) ถ้าหากค่า $IE \geq 1$ ทำต่อข้อ 24 ถ้าไม่ใช่ทำต่อข้อ 32
- 24) กำหนดค่า $RATIO = AA[IE][IP]/AA[IP][IP]$
 $SUM = 0$
- 25) กำหนดค่า $IC = IE + 1$
- 26) ถ้าหากค่า $IC \leq N$ ทำต่อข้อ 27 ถ้าไม่ใช่ทำต่อข้อ 28
- 27) กำหนดค่า $SUM = SUM + AA[IE][IC] * XX[IC]$ แล้วทำต่อข้อ 29
- 28) กำหนดค่า $XX[IE] = (BB[IE] - SUM) / AA[IE][IE]$ แล้วทำต่อข้อ 31
- 29) กำหนดค่า $IC = IC + 1$

- 30) กลับไปทำข้อ 26
 31) กำหนดค่า $IE = IE - 1$
 32) กลับไปทำข้อ 23
 33) จบการทำงาน

4. Function Calculate Epsilon เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับคำนวณค่าผิดพลาดความคาดเคลื่อน (Epsilon) เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าค่าคงที่ที่คำนวณได้ มีความถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Calculate Epsilon ของโปรแกรม fitcurve

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.14

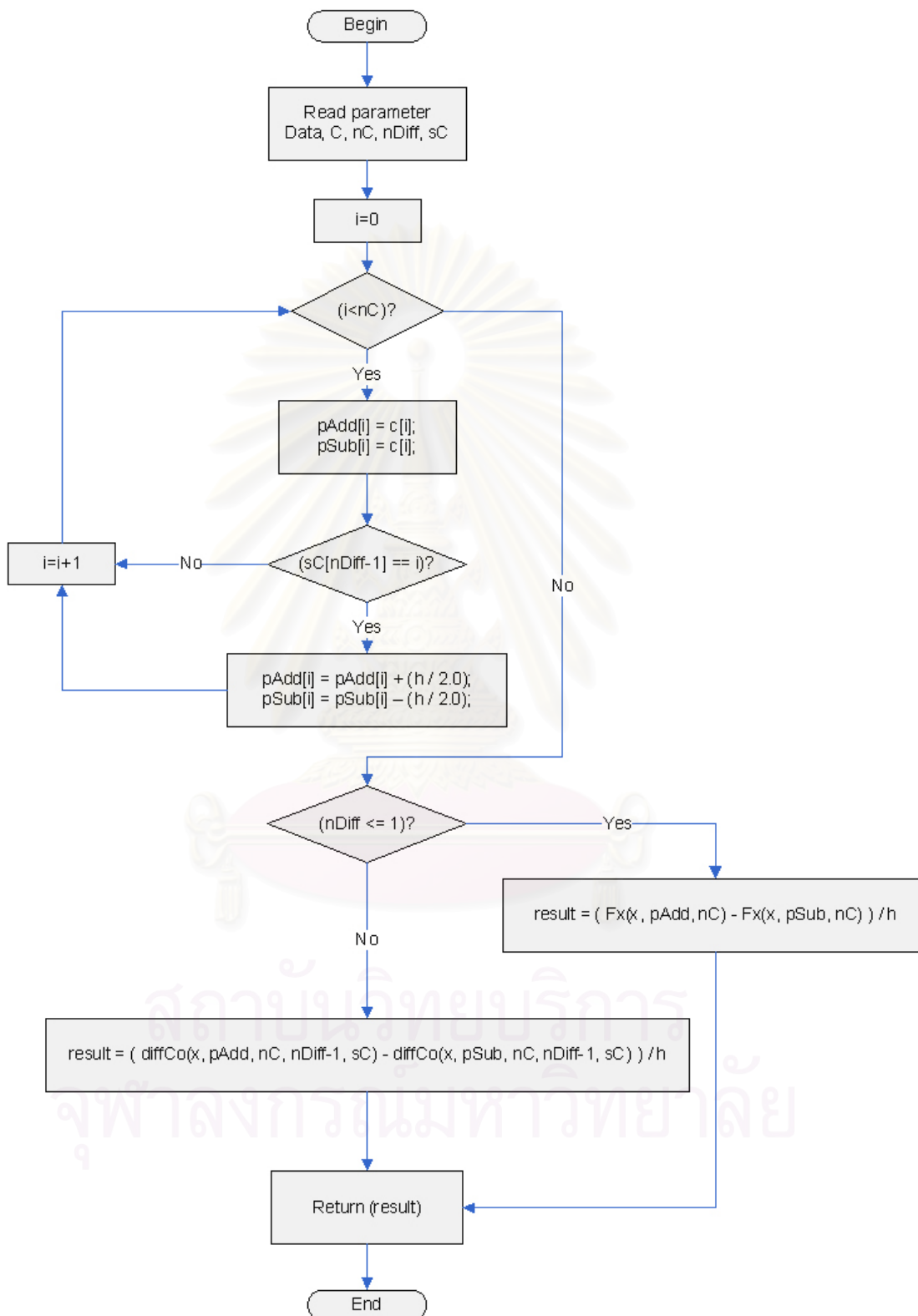
- 1) กำหนดค่า Epsilon=0 และ p=0
- 2) ถ้า $p < nData$ ให้ทำต่อข้อ 3 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 5
- 3) กำหนดค่า Epsilon = Epsilon + pow(Fx(pData[p], pCo, nCo) - pData[p].density, 2)
- 4) กำหนดค่า $p = p + 1$ แล้วทำต่อข้อ 2
- 5) กำหนดค่า p=1 และ flag=0
- 6) ถ้า $p \leq nCo$ ให้ทำต่อข้อ 7 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 11
- 7) กำหนดค่า pDelta[p] = pAns[p] และ tmp = pCo[p-1]
- 8) ถ้า $|pAns[p]| > Es$ ให้ทำต่อข้อ 9 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 10
- 9) กำหนดค่า $pCo[p-1] = pCo[p-1] + (pDelta[p]*inc)$ และ flag = 1
- 10) กำหนดค่า $p = p + 1$ แล้วทำต่อข้อ 6
- 11) ถ้า flag = 0 ให้ จบการทำงานของโปรแกรมนี้ แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 12
- 12) จบการทำงาน

5. Function diffCo เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่าอนุพันธ์ของค่าคงที่ หรือที่เรียกว่า Differential Coefficient

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.15

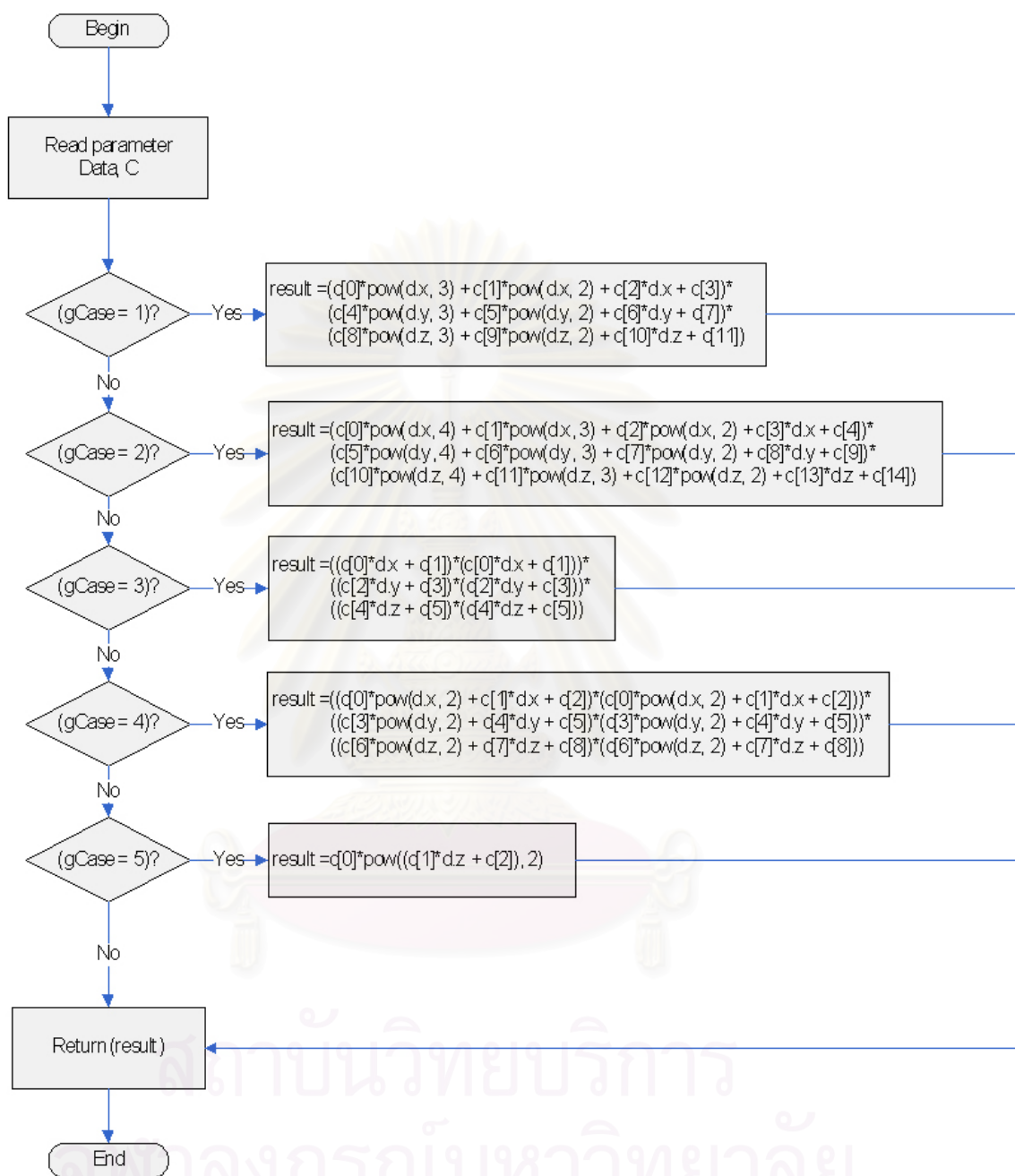
- 1) รับค่า Data, C, nC, nDiff, sC โดยที่
 - Data คือ ชุดข้อมูลซึ่งประกอบด้วย X, Y, Z และ Density
 - C คือ ชุดข้อมูลของค่าคงที่
 - nDiff คือ จำนวนของการหาค่าอนุพันธ์
 - sC คือ ตำแหน่งค่าคงที่ ที่จะทำการหาค่าอนุพันธ์
- 2) กำหนดค่า i=0
- 3) ถ้า $i < nC$ ให้ทำข้อ 4 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 8
- 4) กำหนดค่า pAdd[i] = c[i] และ pSub[i] = c[i]
- 5) ถ้า $sC[nDiff-1] = i$ ให้ทำข้อ 6 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 7
- 6) กำหนดค่า $pAdd[i] = pAdd[i] + (h/2.0)$ และ $pSub[i] = pSub[i] - (h/2.0)$
- 7) เพิ่มค่า $i = i + 1$ แล้วกลับไปทำข้อ 3
- 8) ถ้า $nDiff \leq 1$ ให้ทำข้อ 9 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 10
- 9) กำหนดค่า $result = (Fx(x, pAdd, nC) - Fx(x, pSub, nC)) / h$ แล้วทำต่อข้อ 11
- 10) กำหนดค่า $result = (diffCo(x, pAdd, nC, nDiff-1, sC) - diffCo(x, pSub, nC, nDiff-1, sC)) / h$

11) ส่งค่า result กลับออกไป และจบการทำงาน



รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function diffCo ของโปรแกรม fitcurve

6. Function Fx เป็นฟังก์ชันที่ใช้คำนวณค่าตามสมการที่กำหนด



รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Fx ของโปรแกรม fitcurve

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.16

1) รับค่า Data, C โดยที่

- Data คือ ชุดข้อมูลซึ่งประกอบด้วย X, Y, Z และ Density
- C คือ ชุดข้อมูลของค่าคงที่

2) ถ้า gCase = 1 ให้กำหนดค่า result แต่ถ้าไม่ให้ทำต่อข้อ 3

$$\begin{aligned} \text{result} = & (c[0]*\text{pow}(d.x, 3) + c[1]*\text{pow}(d.x, 2) + c[2]*d.x + c[3])* \\ & (c[4]*\text{pow}(d.y, 3) + c[5]*\text{pow}(d.y, 2) + c[6]*d.y + c[7])* \\ & (c[8]*\text{pow}(d.z, 3) + c[9]*\text{pow}(d.z, 2) + c[10]*d.z + c[11]) \end{aligned}$$

3) ถ้า gCase = 2 ให้กำหนดค่า result แต่ถ้าไม่ให้ทำต่อข้อ 4

$$\begin{aligned} \text{result} = & (c[0]*\text{pow}(d.x, 4) + c[1]*\text{pow}(d.x, 3) + c[2]*\text{pow}(d.x, 2) + c[3]*d.x + c[4])* \\ & (c[5]*\text{pow}(d.y, 4) + c[6]*\text{pow}(d.y, 3) + c[7]*\text{pow}(d.y, 2) + c[8]*d.y + c[9])* \\ & (c[10]*\text{pow}(d.z, 4) + c[11]*\text{pow}(d.z, 3) + c[12]*\text{pow}(d.z, 2) + c[13]*d.z + c[14]) \end{aligned}$$

4) ถ้า gCase = 3 ให้กำหนดค่า result แต่ถ้าไม่ให้ทำต่อข้อ 5

$$\begin{aligned} \text{result} = & ((c[0]*d.x + c[1])*(c[0]*d.x + c[1]))* \\ & ((c[2]*d.y + c[3])*(c[2]*d.y + c[3]))* \\ & ((c[4]*d.z + c[5])*(c[4]*d.z + c[5])) \end{aligned}$$

5) ถ้า gCase = 4 ให้กำหนดค่า result แต่ถ้าไม่ให้ทำต่อข้อ 6

$$\begin{aligned} \text{result} = & ((c[0]*\text{pow}(d.x, 2) + c[1]*d.x + c[2])*(c[0]*\text{pow}(d.x, 2) + c[1]*d.x + c[2]))* \\ & ((c[3]*\text{pow}(d.y, 2) + c[4]*d.y + c[5])*(c[3]*\text{pow}(d.y, 2) + c[4]*d.y + c[5]))* \\ & ((c[6]*\text{pow}(d.z, 2) + c[7]*d.z + c[8])*(c[6]*\text{pow}(d.z, 2) + c[7]*d.z + c[8])) \end{aligned}$$

6) ถ้า gCase = 5 ให้กำหนดค่า result แต่ถ้าไม่ให้ทำต่อข้อ 7

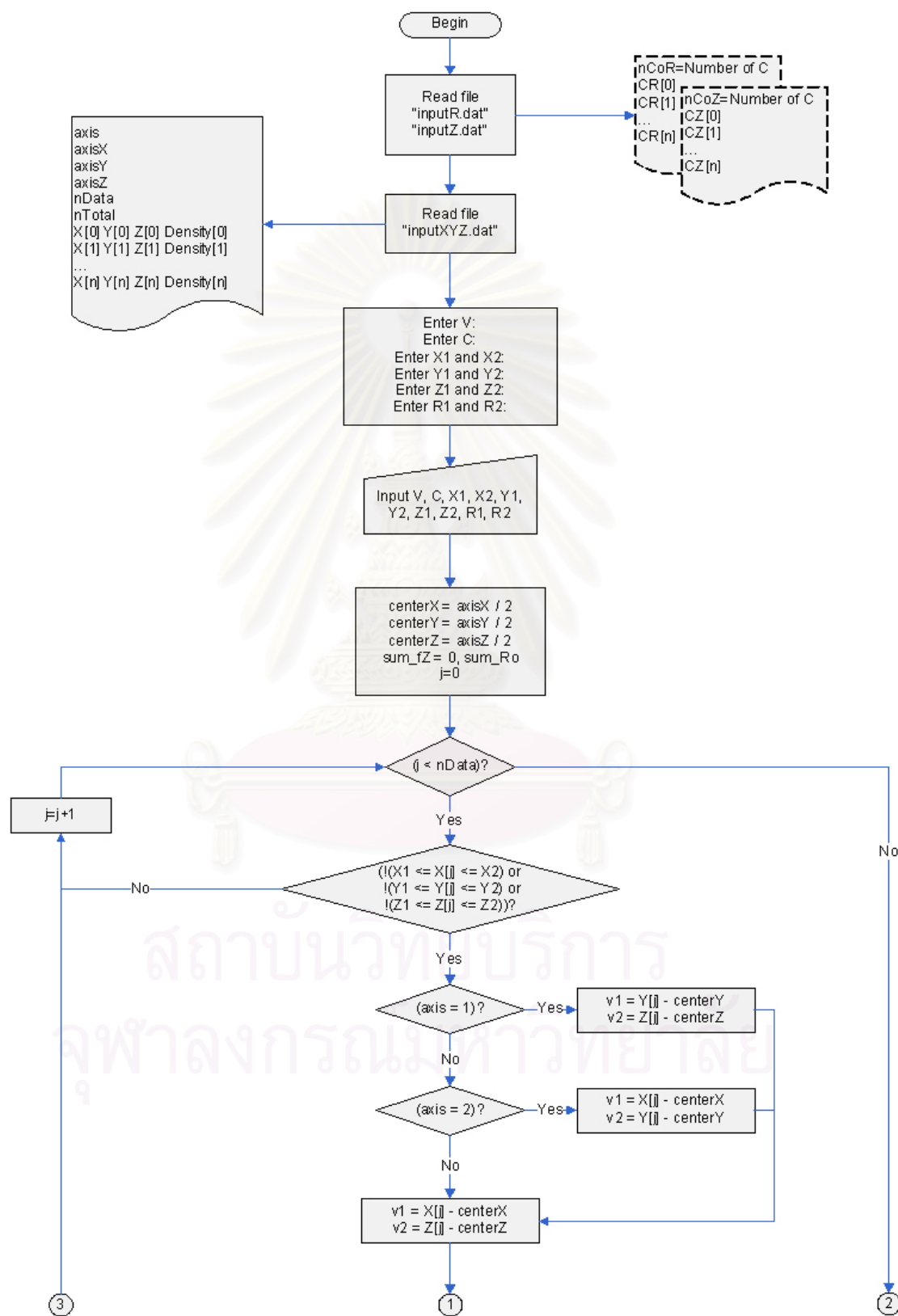
$$\text{result} = c[0]*\text{pow}((c[1]*d.z + c[2]), 2)$$

7) ส่งค่า result กลับออกไป และจบการทำงาน

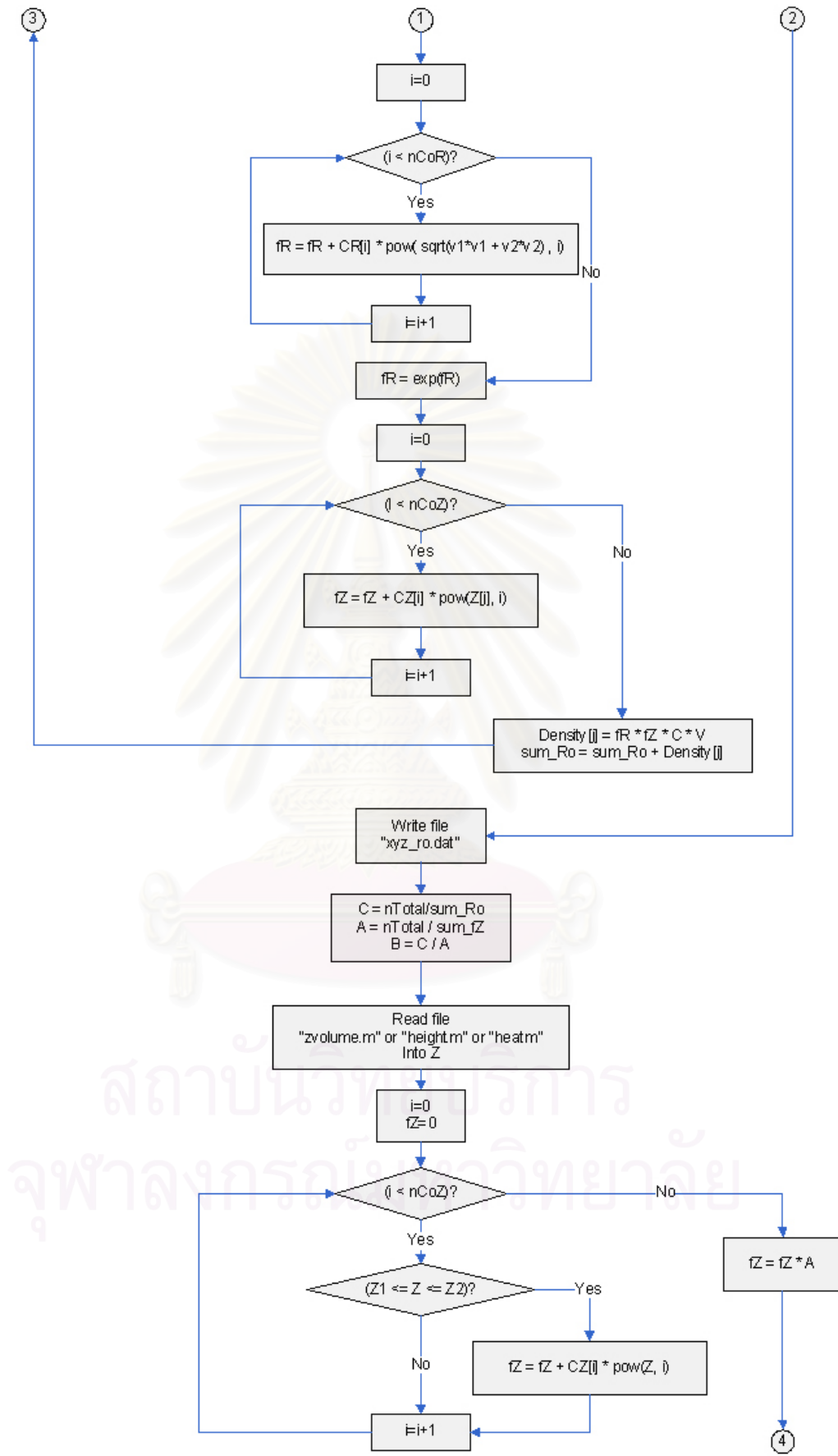
สรุปการทำงานของโปรแกรม fitcurve เริ่มจากนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม findPar มาทำการ fitcurve เพื่อหารูปแบบของฟังก์ชันต่างๆ

3.4.3 โปรแกรม fZfR มีรายละเอียดดังนี้

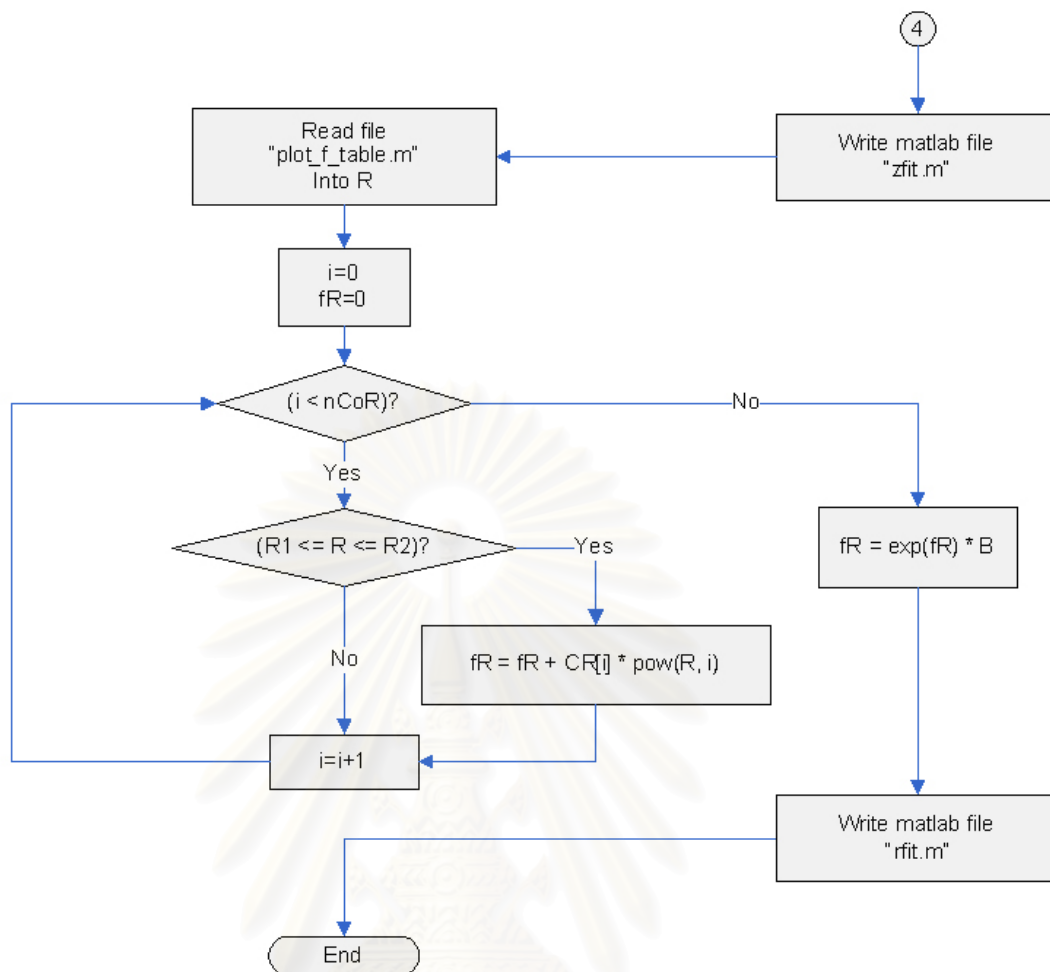
1. Function Main เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานหลักของโปรแกรม



รูปที่ 3.17 a แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfR



รูปที่ 3.17 b แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfR



รูปที่ 3.17c แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม rZfR

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.17a, 3.17b และ 3.17c

- 1) อ่านไฟล์ “inputR.dat” และ “inputZ.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ ที่เก็บ พารามิเตอร์(parameter) ดังนี้
 - nCoR คือ จำนวนของค่าคงที่เริ่มต้น สำหรับ R เป็นเลขจำนวนเต็ม
 - CR[n] เป็นค่าคงที่เริ่มต้นทั้งหมด สำหรับ R เป็นเลขทศนิยม
 - nCoZ คือ จำนวนของค่าคงที่เริ่มต้น สำหรับ Z เป็นเลขจำนวนเต็ม
 - CZ[n] เป็นค่าคงที่เริ่มต้นทั้งหมด สำหรับ Z เป็นเลขทศนิยม
- 2) อ่านไฟล์ “inputXYZ.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ ที่เก็บข้อมูลของ axis ,axisX ,axisY ,axisZ ,nData , nTotal, X , Y , Z และ ความหนาแน่น (Density) ดังนี้
 - axis คือ แกน
 - axisX คือ ความกว้างในแกน X
 - axisY คือ ความกว้างในแกน Y
 - axisZ คือ ความกว้างในแกน Z

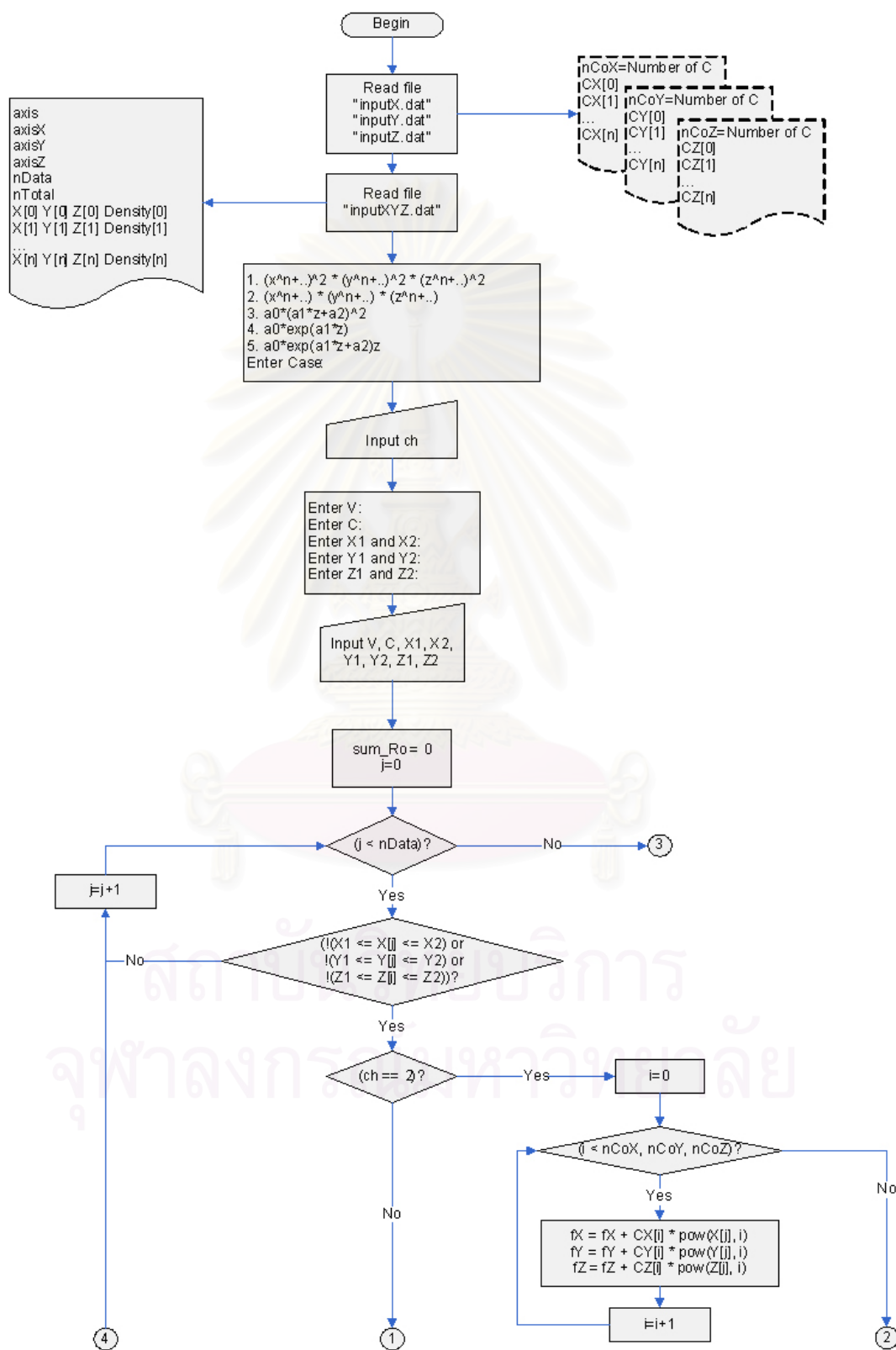
- nData คือ จำนวนปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ทั้งหมด
 - nTotal คือ จำนวนตัวทั้งหมด กรณีจำนวน หรือ มวลทั้งหมด กรณีมวล หรือ พลังงาน ทั้งหมด กรณีพลังงาน
 - ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแต่ละปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ทั้งหมด
 - X, Y, Z และ ความหนาแน่นเชิงจำนวน กรณีจำนวน หรือ ความหนาแน่นเชิงมวล กรณีมวล หรือความหนาแน่นเชิงพลังงาน กรณีพลังงาน
- 3) แสดงข้อความเพื่อรับค่าที่ต้องการ ออกทางหน้าจอ
 - 4) รอรับข้อมูลจากผู้ใช้ เก็บใส่ตัวแปร V, C, X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2, R1 และ R2
 - 5) กำหนดค่า $centerX = axisX / 2$
 $centerY = axisY / 2$
 $centerZ = axisZ / 2$
 $sum_fZ = 0, sum_Ro, j=0$
 - 6) ถ้า $j < nData$ ให้ทำข้อ 7 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 24
 - 7) ถ้า $!(X1 <= X[j] <= X2)$ or $!(Y1 <= Y[j] <= Y2)$ or $!(Z1 <= Z[j] <= Z2)$ ให้ทำ 8 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 23
 - 8) ถ้า $axis = 1$ ให้ทำข้อ 9 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 10
 - 9) กำหนดค่า $v1 = Y[j] - centerY$
 $v2 = Z[j] - centerZ$ แล้วไปทำต่อข้อ 13
 - 10) ถ้า $axis = 2$ ให้ทำข้อ 11 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 12
 - 11) กำหนดค่า $v1 = X[j] - centerX$
 $v2 = Y[j] - centerY$ ทำต่อข้อ 12
 - 12) กำหนดค่า $v1 = X[j] - centerX$
 $v2 = Z[j] - centerZ$
 - 13) กำหนดค่า $i=0$
 - 14) ถ้า $i < nCoR$ ให้ทำข้อ 15 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 17
 - 15) กำหนดค่า $fR = fR + CR[i] * pow(\sqrt{v1*v1 + v2*v2}, i)$
 - 16) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 14
 - 17) กำหนดค่า $fR = \exp(fR)$
 - 18) กำหนดค่า $i=0$
 - 19) ถ้า $i < nCoZ$ ให้ทำข้อ 20 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 22
 - 20) กำหนดค่า $fZ = fZ + CZ[i] * pow(Z[j], i)$

- 21) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 19
- 22) กำหนดค่า $Density[j] = fR * fZ * C * V$
 $sum_Ro = sum_Ro + Density[j]$
- 23) ทำการเพิ่มค่า $j=j+1$ และกลับไปทำข้อที่ 6
- 24) เขียนไฟล์ “xyz_ro.dat”
- 25) กำหนดค่า $C = nTotal/sum_Ro$
 $A = nTotal / sum_fZ$
 $B = C / A$
- 26) อ่านไฟล์
 “zvolume.m” กรณีจำนวน
 “height.m” กรณีมวล
 “heat.m” กรณีพลังงาน
 และเก็บค่าไว้ที่ Z
- 27) กำหนดค่า $i=0, fZ=0$
- 28) ถ้า $i < nCoZ$ ให้ทำข้อ 29 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 32
- 29) ถ้า $Z1 \leq Z \leq Z2$ ให้ทำข้อ 30 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 31
- 30) กำหนดค่า $fZ = fZ + CZ[i] * pow(Z, i)$
- 31) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ แล้วไปทำข้อ 28
- 32) กำหนดค่า $fZ = fZ * A$
- 33) เขียนไฟล์ “zfit.m” สำหรับวาดกราฟใน matlab
- 34) อ่านไฟล์ “plot_f_table.m” และเก็บค่าไว้ที่ R
- 35) กำหนดค่า $i=0, fR=0$
- 36) ถ้า $i < nCoR$ ให้ทำข้อ 37 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 40
- 37) ถ้า $R1 \leq R \leq R2$ ให้ทำข้อ 38 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 39
- 38) กำหนดค่า $fR = fR + CR[i] * pow(R, i)$
- 39) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ แล้วไปทำข้อ 36
- 40) กำหนดค่า $fR = exp(fR) * B$
- 41) เขียนไฟล์ “rfit.m” สำหรับวาดกราฟใน matlab
- 42) จบการทำงาน

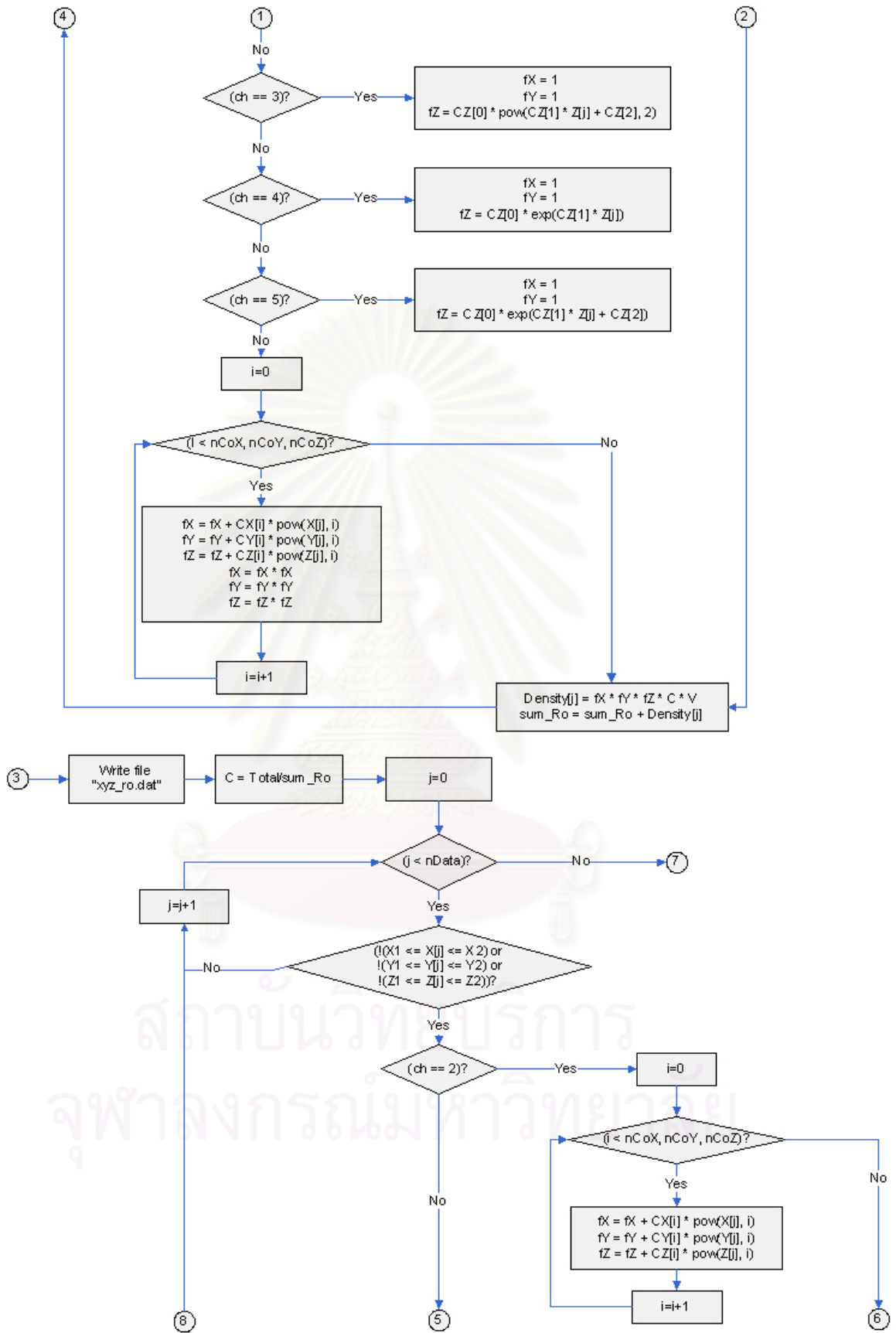
สรุปการทำงานของโปรแกรม fzfr เป็นโปรแกรมที่ทำการหาค่าคงที่ต่างๆ ซึ่งก็คือ ค่า a, ค่า b และ ค่า A

3.4.4 โปรแกรม fZfXY มีรายละเอียดดังนี้

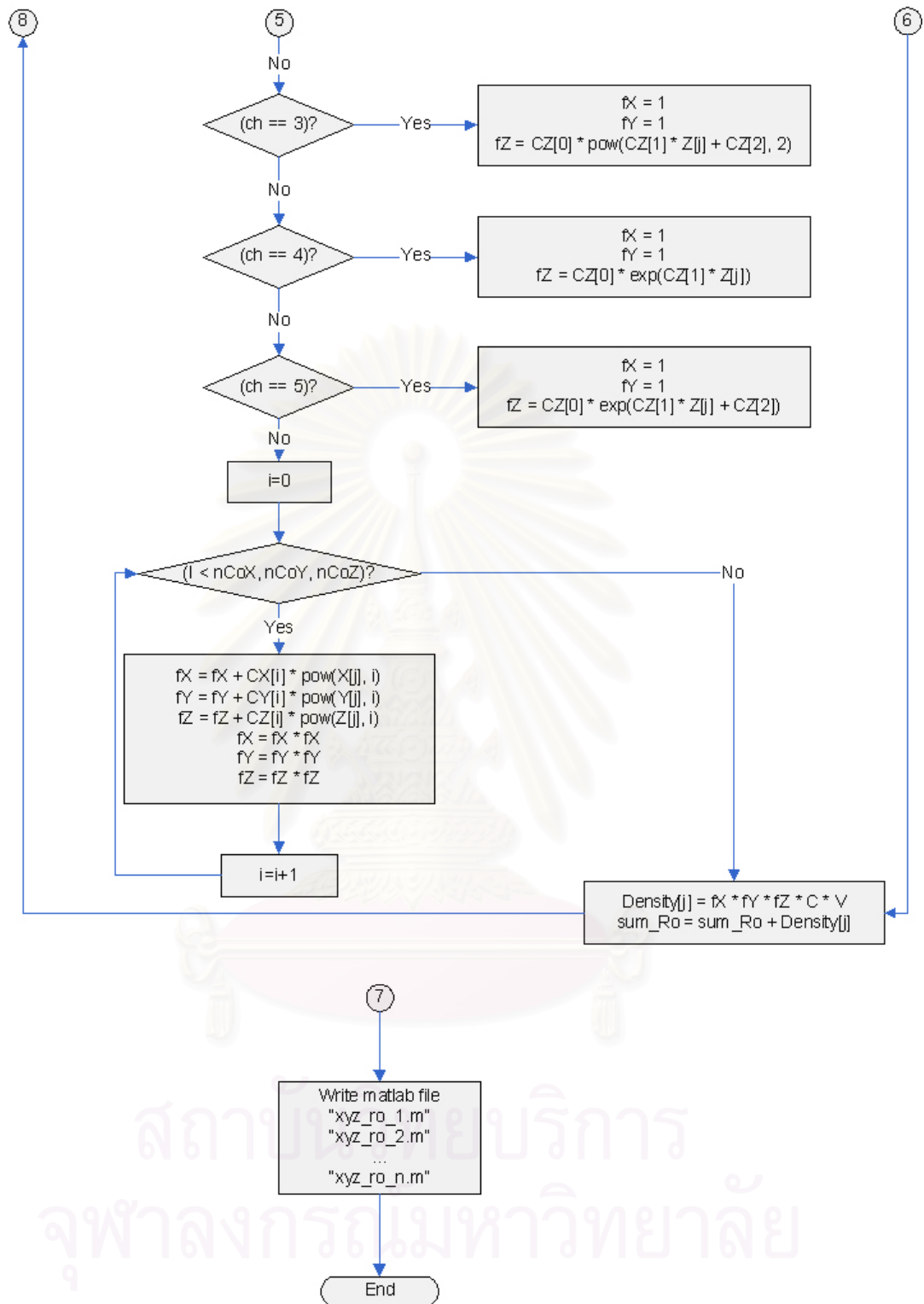
1. Function Main เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานหลักของโปรแกรม



รูปที่ 3.18 a แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfXY



รูปที่ 3.18 b แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfXY



รูปที่ 3.18 c แผนภาพแสดงการทำงานของ Function Main ของโปรแกรม fZfXY

อธิบายการทำงานอ้างอิงรูปที่ 3.18a, 3.18b และ 3.18c

- 1) อ่านไฟล์ “inputX.dat”, “inputY.dat” และ “inputZ.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ ที่เก็บ พารามิเตอร์ (parameter) ดังนี้

- $nCoX$ คือ จำนวนของค่าคงที่เริ่มต้น สำหรับ X เป็นเลขจำนวนเต็ม
 - $CX[n]$ เป็นค่าคงที่เริ่มต้นทั้งหมด สำหรับ X เป็นเลขทศนิยม
 - $nCoY$ คือ จำนวนของค่าคงที่เริ่มต้น สำหรับ Y เป็นเลขจำนวนเต็ม
 - $CY[n]$ เป็นค่าคงที่เริ่มต้นทั้งหมด สำหรับ Y เป็นเลขทศนิยม
 - $nCoZ$ คือ จำนวนของค่าคงที่เริ่มต้น สำหรับ Z เป็นเลขจำนวนเต็ม
 - $CZ[n]$ เป็นค่าคงที่เริ่มต้นทั้งหมด สำหรับ Z เป็นเลขทศนิยม
- 2) อ่านไฟล์ “inputXYZ.dat” ซึ่งเป็นไฟล์ ที่เก็บข้อมูลของ axis ,axisX ,axisY ,axisZ ,nData , nTotal, X , Y , Z และ ความหนาแน่น (Density) ดังนี้
- axis คือ แกน
 - axisX คือ ความกว้างในแกน X
 - axisY คือ ความกว้างในแกน Y
 - axisZ คือ ความกว้างในแกน Z
 - nData คือ จำนวนปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ทั้งหมด
 - nTotal คือ จำนวนตัวทั้งหมด กรณีจำนวน หรือ มวลทั้งหมด กรณีมวล หรือ พลังงาน ทั้งหมด กรณีพลังงาน
 - ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแต่ละปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ทั้งหมด
 - X, Y, Z และ ความหนาแน่นเชิงจำนวน กรณีจำนวน หรือ ความหนาแน่นเชิงมวล กรณีมวล หรือความหนาแน่นเชิงพลังงาน กรณีพลังงาน
- 3) แสดงสมการต่างที่สามารถคำนวณได้ภายใน โปรแกรมออกทางหน้าจอ
- 4) รอรับข้อมูลจากผู้ใช้ เก็บใส่ตัวแปร ch
- 5) แสดงข้อความเพื่อรับค่าที่ต้องการ ออกทางหน้าจอ
- 6) รอรับข้อมูลจากผู้ใช้ เก็บใส่ตัวแปร V , C, X1 , X2, Y1 , Y2 , Z1 และ Z2
- 7) กำหนดค่า sum_Ro = 0 และ j = 0
- 8) ถ้า $j < nData$ ให้ทำข้อ 9 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 29
- 9) ถ้า $!(X1 \leq X[j] \leq X2)$ or $!(Y1 \leq Y[j] \leq Y2)$ or $!(Z1 \leq Z[j] \leq Z2)$ ให้ทำ 10 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 28
- 10) ถ้า ch = 2 ให้ทำข้อ 11 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 17
- 11) กำหนดค่า i = 0
- 12) ถ้า $i < nCoX$ และ $nCoY$ และ $nCoZ$ ให้ทำข้อ 13 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 15
- 13) กำหนดค่า

$$fX = fX + CX[i] * \text{pow}(X[j], i)$$

$$fY = fY + CY[i] * \text{pow}(Y[j], i)$$

$$fZ = fZ + CZ[i] * \text{pow}(Z[j], i)$$

14) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 12

15) กำหนดค่า

$$\text{Density}[j] = fX * fY * fZ * C * V$$

$$\text{sum_Ro} = \text{sum_Ro} + \text{Density}[j]$$

16) ทำการเพิ่มค่า $j=j+1$ และกลับไปทำข้อที่ 8

17) ถ้า $(ch == 3)$ ให้ทำข้อ 18 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 19

18) กำหนดค่า

$$fX = 1$$

$$fY = 1$$

$$fZ = CZ[0] * \text{pow}(CZ[1] * Z[j] + CZ[2], 2)$$

19) ถ้า $(ch == 4)$ ให้ทำข้อ 20 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 21

20) กำหนดค่า

$$fX = 1$$

$$fY = 1$$

$$fZ = CZ[0] * \exp(CZ[1] * Z[j])$$

21) ถ้า $(ch == 5)$ ให้ทำข้อ 22 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 23

22) กำหนดค่า

$$fX = 1$$

$$fY = 1$$

$$fZ = CZ[0] * \exp(CZ[1] * Z[j] + CZ[2])$$

23) กำหนดค่า $i = 0$

24) ถ้า $i < nCoX$ และ $nCoY$ และ $nCoZ$ ให้ทำข้อ 25 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 27

25) กำหนดค่า

$$fX = fX + CX[i] * \text{pow}(X[j], i)$$

$$fY = fY + CY[i] * \text{pow}(Y[j], i)$$

$$fZ = fZ + CZ[i] * \text{pow}(Z[j], i)$$

$$fX = fX * fX$$

$$fY = fY * fY$$

$$fZ = fZ * fZ$$

26) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 24

27) กำหนดค่า

$$\text{Density}[j] = fX * fY * fZ * C * V$$

$$\text{sum_Ro} = \text{sum_Ro} + \text{Density}[j]$$

28) ทำการเพิ่มค่า $j=j+1$ และกลับไปทำข้อที่ 8

29) เขียนผลลัพธ์ใส่ไฟล์ "xyz_ro.dat"

30) กำหนดค่า

Total = จำนวนตัว หรือ มวล หรือ พลังงาน

$$C = \text{Total}/\text{sum_Ro}$$

31) กำหนดค่า $j=0$

32) ถ้า $i < n\text{Data}$ ให้ทำข้อ 33 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 53

33) ถ้า $!(X1 \leq X[j] \leq X2)$ or $!(Y1 \leq Y[j] \leq Y2)$ or $!(Z1 \leq Z[j] \leq Z2)$ ให้ทำ 34 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 50

34) ถ้า $ch = 2$ ให้ทำข้อ 35 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 41

35) กำหนดค่า $i = 0$

36) ถ้า $i < n\text{Cox}$ และ $n\text{CoY}$ และ $n\text{CoZ}$ ให้ทำข้อ 37 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 39

37) กำหนดค่า

$$fX = fX + CX[i] * \text{pow}(X[j], i)$$

$$fY = fY + CY[i] * \text{pow}(Y[j], i)$$

$$fZ = fZ + CZ[i] * \text{pow}(Z[j], i)$$

38) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 36

39) กำหนดค่า

$$\text{Density}[j] = fX * fY * fZ * C * V$$

$$\text{sum_Ro} = \text{sum_Ro} + \text{Density}[j]$$

40) ทำการเพิ่มค่า $j=j+1$ และกลับไปทำข้อที่ 32

41) ถ้า $ch = 3$ ให้ทำข้อ 42 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 43

42) กำหนดค่า

$$fX = 1$$

$$fY = 1$$

$$fZ = CZ[0] * \text{pow}(CZ[1] * Z[j] + CZ[2], 2)$$

43) ถ้า $ch = 4$ ให้ทำข้อ 44 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 45

44) กำหนดค่า

$$fX = 1$$

$$fY = 1$$

$$fZ = CZ[0] * \exp(CZ[1] * Z[j])$$

45) ถ้า $ch = 5$ ให้ทำข้อ 46 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 47

46) กำหนดค่า

$$fX = 1$$

$$fY = 1$$

$$fZ = CZ[0] * \exp(CZ[1] * Z[j] + CZ[2])$$

47) กำหนดค่า $i = 0$

48) ถ้า $i < nCoX$ และ $nCoY$ และ $nCoZ$ ให้ทำข้อ 49 แต่ถ้าไม่ ให้ทำข้อ 51

49) กำหนดค่า

$$fX = fX + CX[i] * \text{pow}(X[j], i)$$

$$fY = fY + CY[i] * \text{pow}(Y[j], i)$$

$$fZ = fZ + CZ[i] * \text{pow}(Z[j], i)$$

$$fX = fX * fX$$

$$fY = fY * fY$$

$$fZ = fZ * fZ$$

50) ทำการเพิ่มค่า $i=i+1$ และกลับไปทำข้อที่ 48

51) กำหนดค่า

$$\text{Density}[j] = fX * fY * fZ * C * V$$

$$\text{sum_Ro} = \text{sum_Ro} + \text{Density}[j]$$

52) ทำการเพิ่มค่า $j=j+1$ และกลับไปทำข้อที่ 32

53) เขียนผลลัพธ์ของแต่ละชั้น สำหรับวาดกราฟใน matlab

54) จบการทำงาน

สรุปการทำงานของโปรแกรม `fZfXY` เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างข้อมูลใน Math Lab โดยสามารถวิเคราะห์หาค่าในแต่ละแกนได้ คือ หาได้ทั้ง แกน x, แกน y และ แกน z แล้วยังสามารถหาค่าในแต่ละชั้นตามที่ต้องการได้อีกด้วย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอผลจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น เพื่อสร้างฟังก์ชันการแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ชุดข้อมูลทั้งหมด 12 ชุด โดยจะแบ่งพิจารณาเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

4.1 ความหนาแน่นเชิงจำนวน

การพิจารณาจำนวนอนุภาคในการกระจายตัวของอนุภาค ซึ่งจะทำการนำเสนอผลของข้อมูลชุดที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคคงที่เท่ากับ 0.005 เมตร และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น ซึ่งหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นว่าเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันที่นำมาคูณกันกล่าว คือ $f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r)$ โดยที่ $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ ในที่นี้จะสมมติให้ตกในรัศมี r ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของ cell มากนักซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของอนุภาคตามแนวรัศมีดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 1 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5

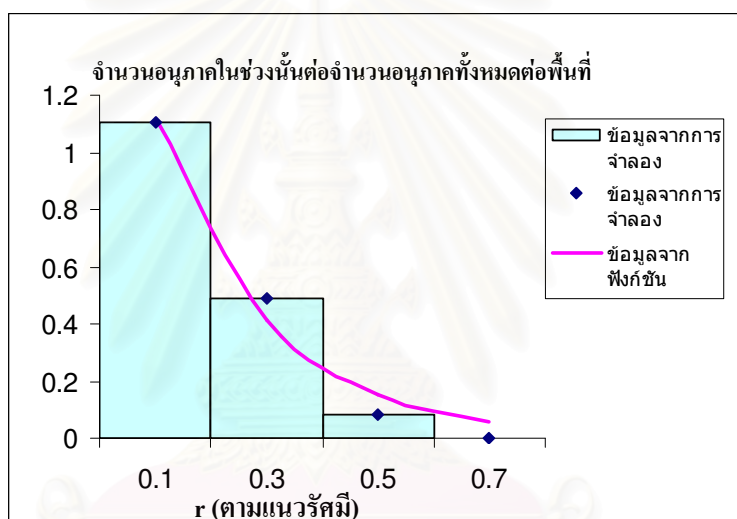
r	จำนวนอนุภาคในช่วงนั้นต่อจำนวนอนุภาคทั้งหมดต่อพื้นที่			
	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	รวมเฉลี่ย 8 ชั้น
0.1	2.84387	2.52973	3.46674	1.10504
0.3	1.34329	1.41285	1.15558	0.48897
0.5	0.21680	0.23789	0.20485	0.08244
0.7	0	0	0	0

เนื่องจากในช่วงชั้นที่ 1, 2, 6, 7 และ 8 ไม่มีอนุภาคอยู่เลยจึงพิจารณาในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ที่มีอนุภาคดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจำนวนอนุภาคที่อยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง ชั้นที่ 5 มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคตามแนวรัศมี พบว่าช่วงรัศมีใกล้จุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ของแต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นของอนุภาคมาก และน้อยลงเมื่อไกลจากจุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ออกไป ดังนั้น จึงเลือกรูปแบบฟังก์ชัน Exponential ในการพิจารณาการกระจายตามแนวรัศมี

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.40272 \times 10^{-2} \quad (4.1)$$

$$h(r) = e^{(0.61160 - 4.97963r)} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.1 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของจำนวนอนุภาคตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชันสำหรับข้อมูลชุดที่ 1

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแกน Z จะนับจำนวนอนุภาคในแต่ละระดับชั้นเพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันแจกแจงความหนาแน่น $g(z)$ โดยมีตารางแจกแจงความหนาแน่นตามแกน Z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.2 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 1

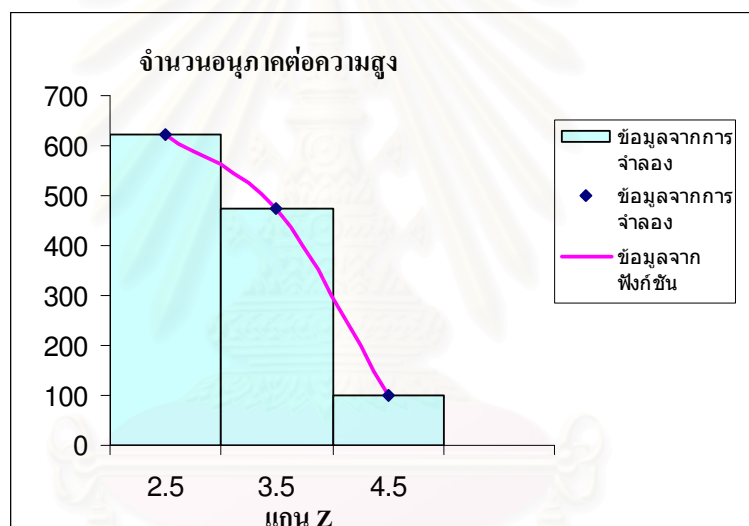
z(จุดกึ่งกลางความสูง)	จำนวนอนุภาคต่อความสูง
2.5	624
3.5	475
4.5	101

ในการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแกน z (ตารางที่ 4.2) พบว่าจำนวนอนุภาคจะอยู่ในชั้นที่ 3 มากที่สุด ส่วนในชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากในชั้นที่ 3 และ 4 นั้น อนุภาคอยู่ในชั้นของของเหลว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้ามากเพราะมีแรงต้าน จึงทำให้อนุภาคไม่ตกลงชั้นที่ 1 กับ 2 ส่วนชั้นที่ 6, 7 และ 8 นั้น ไม่มีจำนวนอนุภาคอยู่เลย เพราะได้ตกผ่านช่วงชั้นนั้นแล้ว สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชัน Polynomial (ฟังก์ชันพหุนาม) ในการพิจารณาการกระจายตามแกน z เนื่องจากค่าของฟังก์ชันนี้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจำลองมากที่สุด

ทำการ fit curve โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 2.06795 \times 10^{-25} \quad (4.3)$$

$$g(z) = -112.5z^2 + 526z + 12.125 \quad (4.4)$$



รูปที่ 4.2 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z

จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 1

ในการพิจารณาความสูงกับจำนวนอนุภาคแล้วทำการ plot ค่าข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ fit ได้ซึ่งถ้านำฟังก์ชันทั้ง 2 มาคูณกันจะได้ว่า

$$f(x, y, z) = (-112.50000z^2 + 526.00000z + 12.12500) \cdot e^{(0.61160 - 4.97963r)} \quad (4.5)$$

โดยที่ $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ เมื่อประมาณ

$$\int f(x_i, y_j, z_k) \partial V_{ijk} \cong \sum_{ijk} f(x_i, y_j, z_k) \cdot V_{ijk} = F(x_i, y_j, z_k) \quad (4.6)$$

โดยเหตุอันเนื่องมาจากการประมาณมีความเป็นไปได้ว่าปริมาณ F ที่คำนวณได้จะมีค่าต่างไปจากอนุภาคจริงในระบบ N ดังนั้นค่าฟังก์ชัน $f(x, y, z)$ จะต้องถูกปรับแต่งด้วยปริมาณคงที่เฉพาะ A ทำให้ได้ $F(x, y, z)$ โดยที่

$$F(x, y, z) = A \cdot f(x, y, z) \quad (4.7)$$

และ

$$\sum_{ijk} F(x, y, z) = N \quad (4.8)$$

สำหรับปริมาณคงที่ A ดังกล่าวนี้หาได้โดยพิจารณาว่า

$$N = \sum_{ijk} F(x_i, y_j, z_k) = \sum_{ijk} A \cdot f(x_i, y_j, z_k) \cdot \Delta V \quad (4.9)$$

$$N = \left[A \cdot \left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \Delta Z \right) \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \Delta A \right) \right] \quad (4.10)$$

$$A = \frac{N}{\left[\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \Delta Z \right) \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \Delta A \right) \right]} \quad (4.11)$$

$$A = \frac{N}{\left[\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \right) \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \right) \Delta V \right]} \quad (4.12)$$

อย่างไรก็ตามเพื่อให้เหมาะสมกับการเปรียบเทียบข้อมูลในแกน Z และแกน r จะพิจารณากำหนดให้

$$N = a \cdot \sum_{i=1}^m g(z_i) \quad (4.13)$$

หรือ

$$a = \frac{N}{\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \right)} \quad (4.14)$$

ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ b ที่ต้องคูณกับฟังก์ชัน $h(r)$ โดยที่ $b = \frac{A}{a}$

ดังนั้นจะแยกได้ว่าความหนาแน่นอนุภาค

$$n(z, r) = [a \cdot g(z)] \cdot [b \cdot h(r)] \quad (4.15)$$

$$n(z, r) = [a \cdot g(z)] \cdot \left[\frac{A}{a} \cdot h(r) \right] \quad (4.16)$$

ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของ $a = 1, b = 4.641$ หรือ $A = 4.641$
 ทำให้สามารถเขียนสมการความหนาแน่นของอนุภาคได้ว่า

$$n(z, r) = 4.641(-112.500z^2 + 526.000z + 12.125) \cdot e^{(0.61160 - 4.97963r)} \quad (4.17)$$

ฟังก์ชันดังกล่าวแสดงโดยสมการที่ 4.17 เป็นฟังก์ชันที่ใช้อธิบายการกระจายตัวของอนุภาค สำหรับข้อมูลในชุดที่ 1

ข้อมูลชุดที่ 2 มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-400 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 401-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.006 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,200 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที แบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น ซึ่งหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นว่าเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันคูณกัน กล่าวคือ $f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r)$ โดยที่ $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ ในที่นี้จะสมมติให้ตกในรัศมี r ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของ cell มากนักซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของอนุภาคตามแนวรัศมีดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 2 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5

r	จำนวนอนุภาคในช่วงนั้นต่อจำนวนอนุภาคทั้งหมดต่อพื้นที่			
	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	รวมเฉลี่ย 8 ชั้น
0.1	2.84536	2.47832	3.46674	1.09880
0.3	1.34942	1.41342	1.15558	0.48980
0.5	0.21282	0.24783	0.20485	0.08319
0.7	0	0	0	0

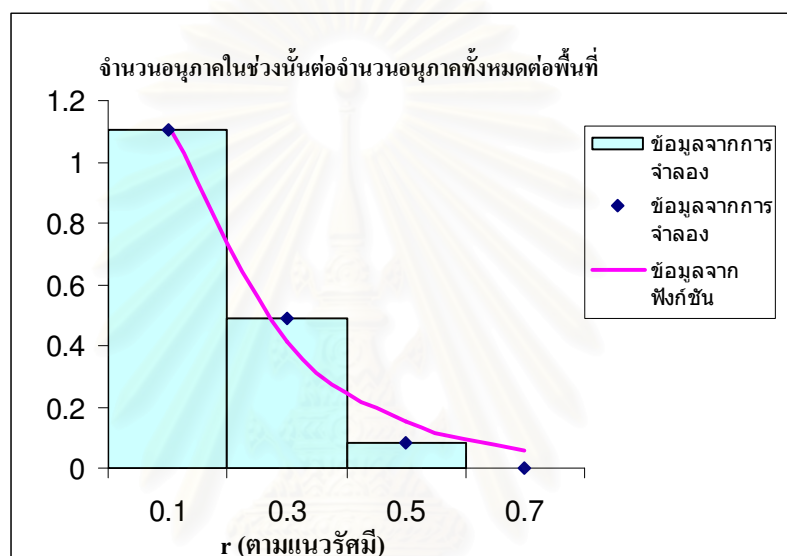
เนื่องจากในช่วงชั้นที่ 1, 2, 6, 7 และ 8 ไม่มีอนุภาคอยู่เลยจึงพิจารณาในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ที่มีอนุภาคดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจำนวนอนุภาคที่อยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง ชั้นที่ 5 มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคตามแนวรัศมี พบว่าช่วงรัศมีใกล้จุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ของ

แต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นของอนุภาคมาก และน้อยลงเมื่อไกลจากจุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ออกไป ดังนั้น จึงเลือกรูปแบบฟังก์ชัน Exponential ในการพิจารณาการกระจายตามแนวรัศมี

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.05433 \times 10^{-2} \quad (4.18)$$

$$h(r) = e^{(0.584756 - 4.78662 r)} \quad (4.19)$$



รูปที่ 4.3 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของจำนวนอนุภาคตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชันสำหรับข้อมูลชุดที่ 2

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตาม แกน Z จะนับจำนวนอนุภาคในแต่ละระดับชั้น เพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันแจกแจงความหนาแน่น $g(z)$ โดยมีตารางแจกแจงความหนาแน่นตามแกน Z ดังแสดงในตาราง

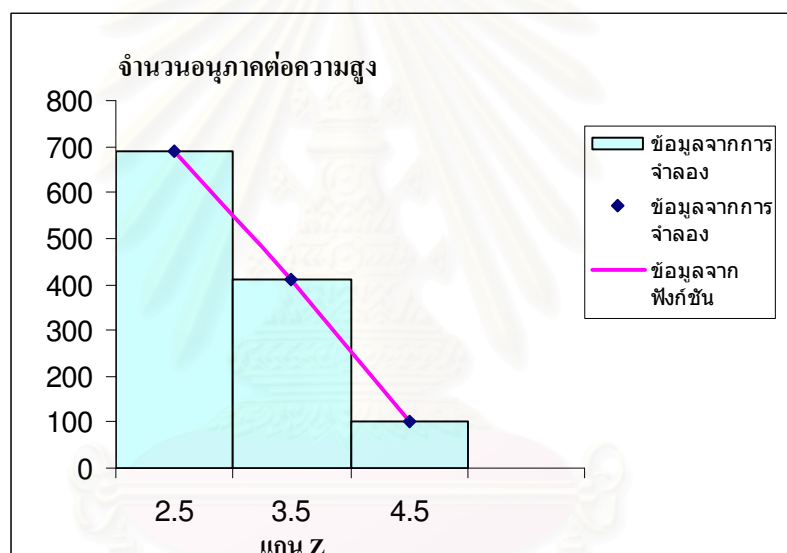
ตารางที่ 4.4 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 2

z (จุดกึ่งกลางความสูง)	จำนวนอนุภาคต่อความสูง
2.5	688
3.5	411
4.5	101

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแกน z (ตารางที่ 4.4) พบว่าจำนวนอนุภาคจะอยู่ในชั้นที่ 3 มากที่สุด ส่วนในชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากในชั้นที่ 3 และ 4 นั้น อนุภาคอยู่ในชั้นของของเหลว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้ามากเพราะมีแรงต้าน จึงทำให้อนุภาคไม่ตกถึงชั้นที่ 1 กับ 2 ส่วนชั้นที่ 6, 7 และ 8 นั้น ไม่มีจำนวนอนุภาคอยู่เลย เพราะได้ตกผ่านช่วงชั้นนั้นแล้ว สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชัน Polynomial (ฟังก์ชันพหุนาม) ในการพิจารณาการกระจายตามแกน z เนื่องจากค่าของฟังก์ชันนี้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจำลองมากที่สุด ทำการ fit curve โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.23573 \times 10^{-8} \quad (4.20)$$

$$g(z) = -16.50000z^2 - 178.00000z + 1236.12000 \quad (4.21)$$



รูปที่ 4.4 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงจำนวนตามแนวแกน Z จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 2

ในการพิจารณาความสูงกับจำนวนอนุภาคแล้วทำการ plot ค่าข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ fit ได้ ซึ่งถ้านำฟังก์ชันทั้ง 2 มาคูณกันจะได้ว่า

$$f(x, y, z) = (-16.50000 \cdot z^2 - 178.00000 \cdot z + 1236.12000) \cdot e^{(0.584756 - 4.78662 r)} \quad (4.22)$$

ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของ $a = 1, b = 4.11070$ หรือ $A = 4.11070$

$$n(z, r) = 4.11070(-16.50000z^2 - 178.00000z + 1236.12000) \cdot e^{(0.584756 - 4.78662 r)} \quad (4.23)$$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าขนาดรัศมีที่แตกต่างกันของอนุภาคสามารถจำลองได้ด้วยฟังก์ชันดังสมการ 4.23 ฟังก์ชันดังกล่าวจึงเป็นฟังก์ชันที่ใช้อธิบายลักษณะการกระจายอนุภาคของข้อมูลชุดที่ 2

ข้อมูลชุดที่ 3 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.002 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยอนุภาค 800 อนุภาคพร้อมกันโดยจะเว้นระยะการปล่อยทีละ 800 อนุภาคในเวลา 0.4 วินาที ส่วนครั้งสุดท้ายปล่อย 900 อนุภาค ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้นหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงจำนวนว่าเป็นฟังก์ชันดังนี้คือ $f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2$ ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำนี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของอนุภาคตามแนวแกน x แกน y แกน z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น และมีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค สำหรับข้อมูลชุดที่ 3 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร

แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงจำนวน	แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงจำนวน
0.25	0.25	0.25	1,256	1.25	0.25	0.25	1,248
0.25	0.75	0.25	1,248	1.25	0.75	0.25	1,256
0.25	1.25	0.25	1,256	1.25	1.25	0.25	1,256
0.25	1.75	0.25	1,245	1.25	1.75	0.25	1,232
0.75	0.25	0.25	1,248	1.75	0.25	0.25	1,256
0.75	0.75	0.25	1,256	1.75	0.75	0.25	1,245
0.75	1.25	0.25	1,248	1.75	1.25	0.25	1,242
0.75	1.75	0.25	1,256	1.75	1.75	0.25	1,256

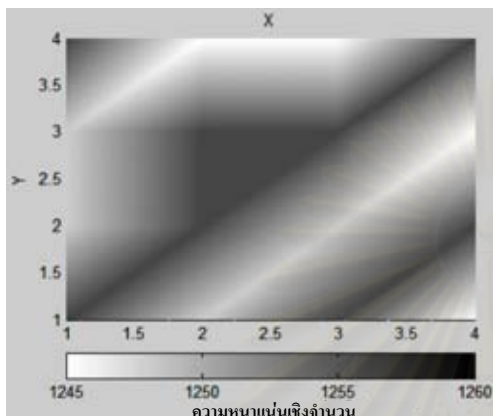
จากตารางที่ 4.5 พบว่าจำนวนอนุภาคกระจายไปทั่วในชั้นล่างสุด (ชั้นที่ 1) การที่อนุภาคทั้งหมดอยู่ในชั้นที่ 1 ทำให้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาในแกน x และ y แต่เน้นพิจารณาในแกน z เพียงแกนเดียว ดังนั้นจึงเลือกใช้ฟังก์ชัน $f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2$

ทำการ fit curve ใน โปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 2.4981 \times 10^7 \quad (4.24)$$

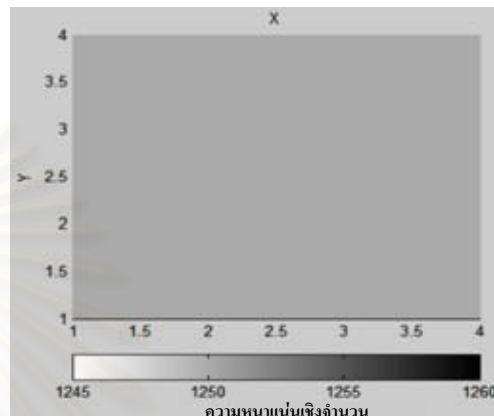
$$f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1 z + a_2)^2 \quad (4.25)$$

$$f(x, y, z) = k(z) = 5.0048 \times 10^{-5} (1.0359 \times 10^{-5} z + 6.0122 \times 10^{-5}) \quad (4.26)$$



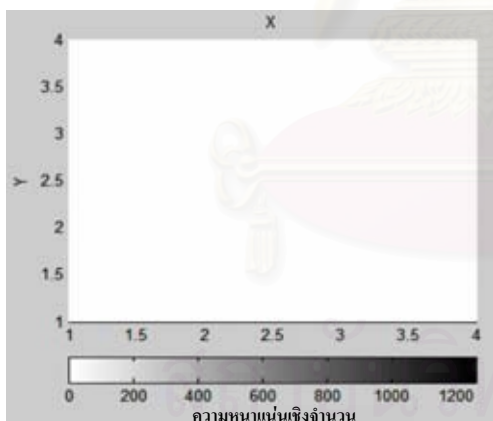
รูปที่ 4.5 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากการจำลองบนระนาบ xy
ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



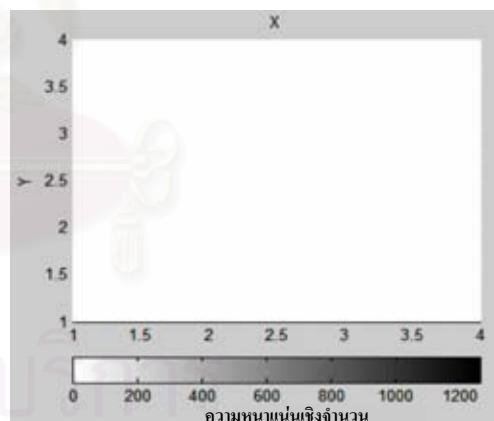
รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากฟังก์ชันบนระนาบ xy
ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



รูปที่ 4.7 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

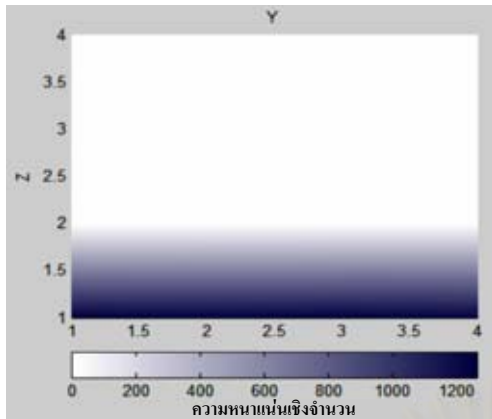
จากการจำลองบนระนาบ xy
ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



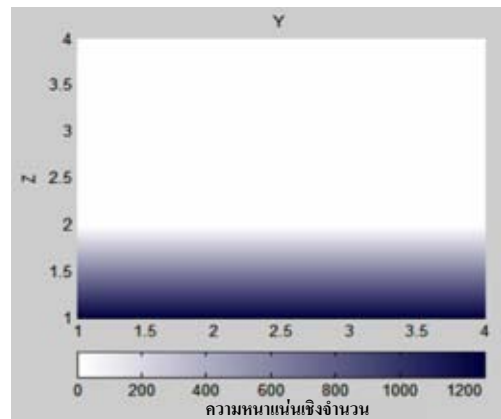
รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากฟังก์ชันบนระนาบ xy
ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3

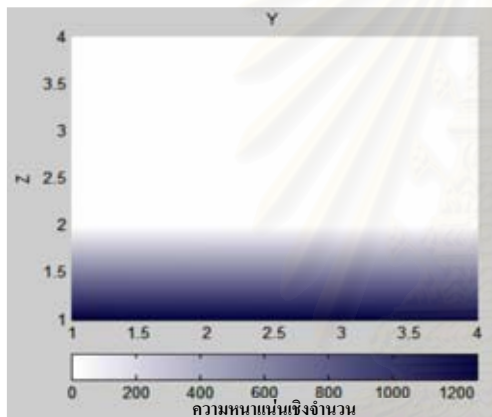
ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.7 และลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3 ได้รูปเหมือนรูปที่



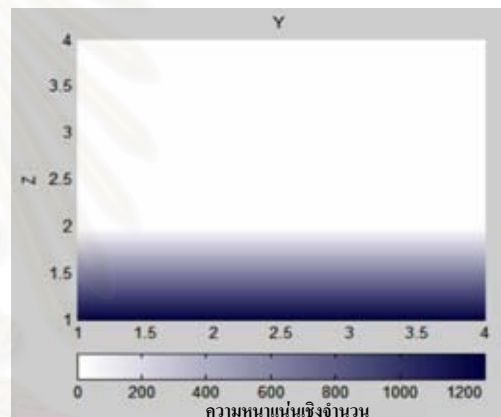
รูปที่ 4.9 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



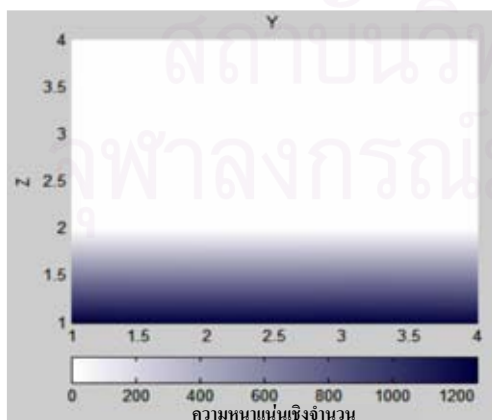
รูปที่ 4.10 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



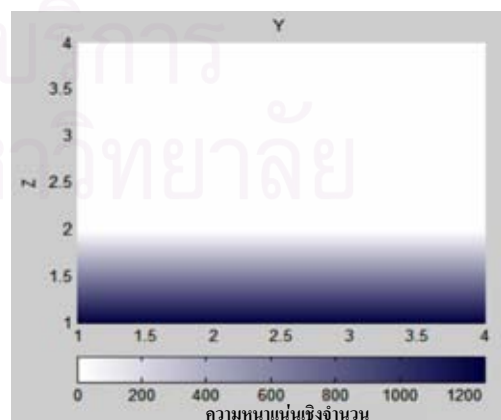
รูปที่ 4.11 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



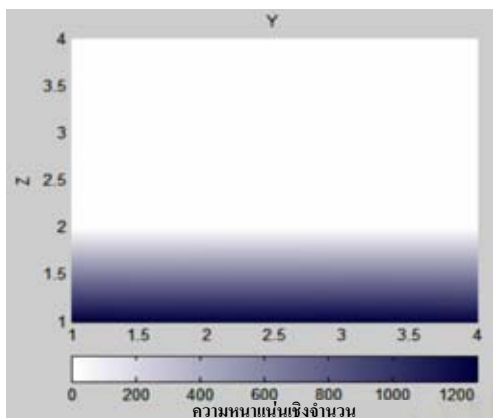
รูปที่ 4.12 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



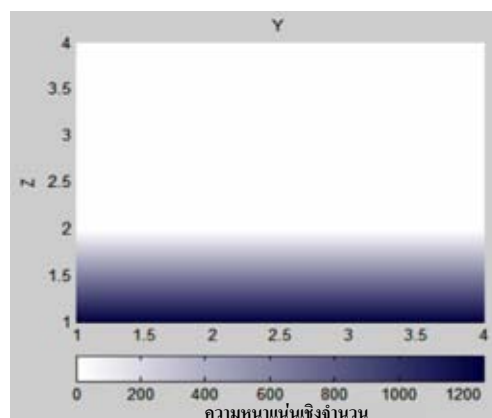
รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



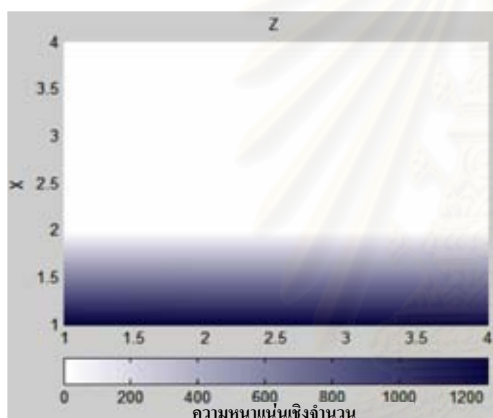
รูปที่ 4.14 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



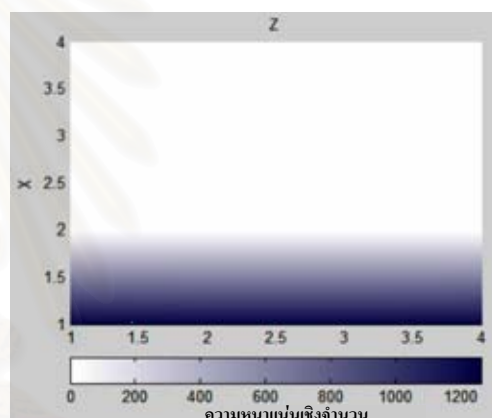
รูปที่ 4.15 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



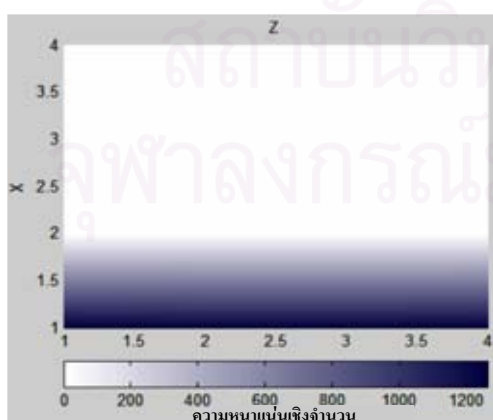
รูปที่ 4.16 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



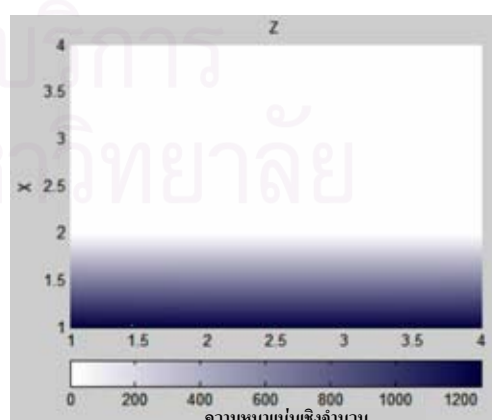
รูปที่ 4.17 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



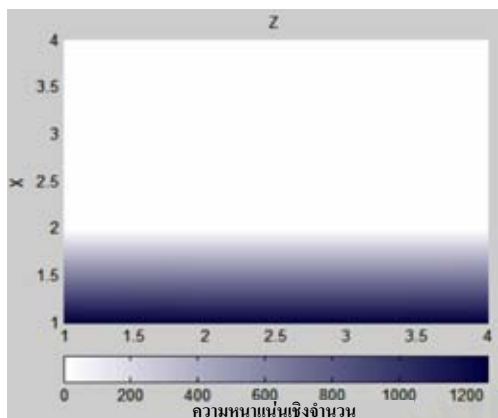
รูปที่ 4.18 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



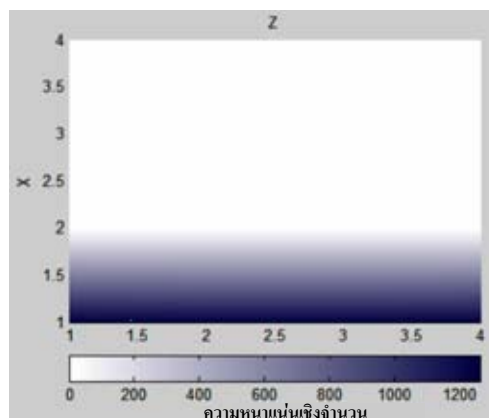
รูปที่ 4.19 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



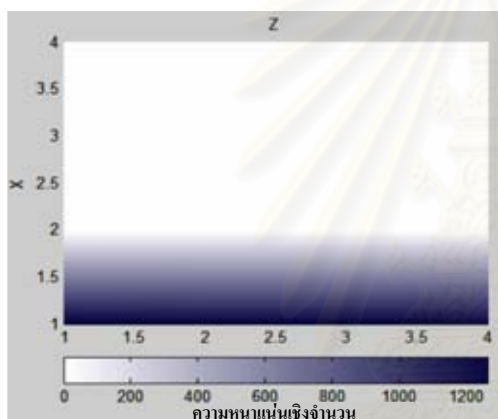
รูปที่ 4.20 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



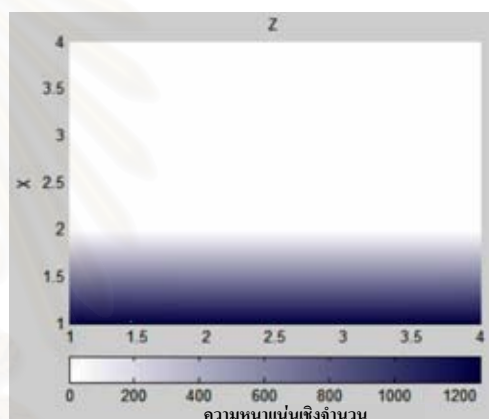
รูปที่ 4.21 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



รูปที่ 4.22 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



รูปที่ 4.23 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3



รูปที่ 4.24 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 3

สำหรับพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงจำนวน และจากการเปรียบเทียบภาพกราฟก็แสดงการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากแบบจำลองและจากฟังก์ชัน ในแต่ละชั้นเมื่อพิจารณาบนระนาบ xy พบว่าในการจำลองการกระจายตัวของอนุภาคมีผลให้ค่าความหนาแน่นที่แต่ละจุดมีความแตกต่างเล็กน้อย ขณะที่ค่าที่ได้จากฟังก์ชันมีค่าสม่ำเสมอเพียงค่าเดียว

อนึ่งลักษณะการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปล่อยอนุภาคในแบบจำลองมีความไม่สอดคล้องกับการกระจายสม่ำเสมอซึ่งเป็นสมมติฐานเบื้องต้น ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้ น่าจะเกิดจากการปล่อยอนุภาคที่ไม่เป็นแบบสุ่มซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดของข้อมูลตั้งต้นที่ป้อนให้กับ LESIM ส่วนแกน x และ y พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเลย

ข้อมูลชุดที่ 4 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร โดยจะเว้นระยะการปล่อยอนุภาคในระยะเวลาที่ทำการสุ่ม ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น หากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงจำนวนเป็น 3 ฟังก์ชันมีค่าดังนี้คือ $f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2$ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของอนุภาคตามแนวแกน x แกน y แกน z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น และมีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค สำหรับข้อมูลชุดที่ 4 ซึ่งพิจารณาแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร แกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตรและแกน z ในช่วง 0.25 เมตร

แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงจำนวน	แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงจำนวน
0.25	0.25	0.25	1,176	1.25	0.25	0.25	1,224
0.25	0.75	0.25	1,208	1.25	0.75	0.25	1,344
0.25	1.25	0.25	1,272	1.25	1.25	0.25	1,136
0.25	1.75	0.25	1,088	1.25	1.75	0.25	1,072
0.75	0.25	0.25	1,440	1.75	0.25	0.25	1,096
0.75	0.75	0.25	1,280	1.75	0.75	0.25	1,368
0.75	1.25	0.25	1,416	1.75	1.25	0.25	1,504
0.75	1.75	0.25	1,128	1.75	1.75	0.25	1,224

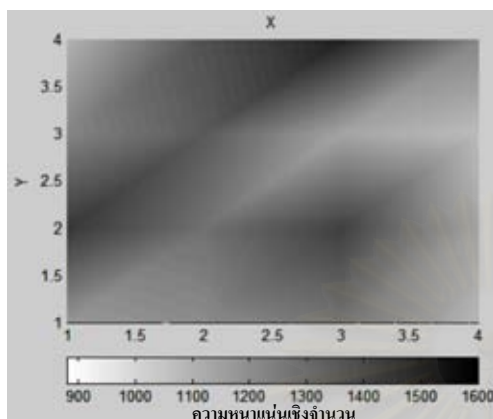
จากตารางที่ 4.6 พบว่าจำนวนอนุภาคกระจายชั้นล่างสุด (ชั้นที่ 1) ซึ่งกระจายไปทั่วส่งผลให้ฟังก์ชันต้องพิจารณาทั้งแกน x, y และ z จึงเลือกใช้ฟังก์ชัน $f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2$ ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงกำลังสอง

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

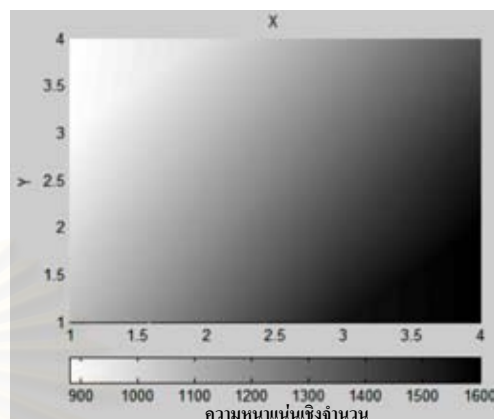
$$\varepsilon^2 = 8.30109 \times 10^1 \quad (4.27)$$

$$f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2 \quad (4.28)$$

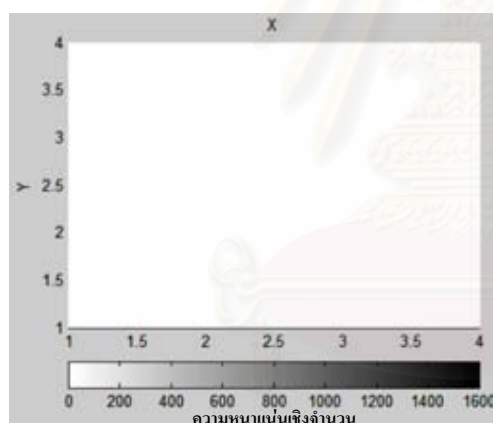
$$f(x, y, z) = (4.00598 \times 10^{-2} x - 4.60278 \times 10^{-1})^2 (1.58587 \times 10^{-2} y + 7.49832 \times 10^{-2})^2 (5.07916 \times 10^{-3} z + 9.21015 \times 10^{-2})^2 \quad (4.29)$$



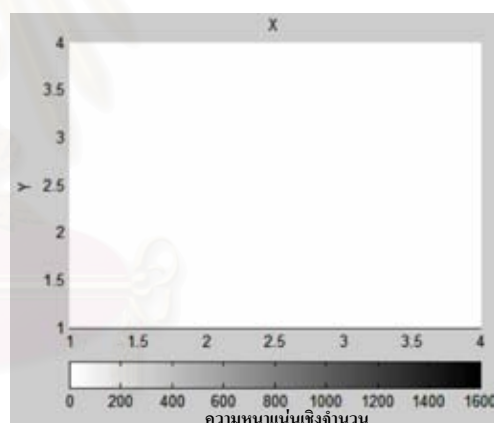
รูปที่ 4.25 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



รูปที่ 4.26 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

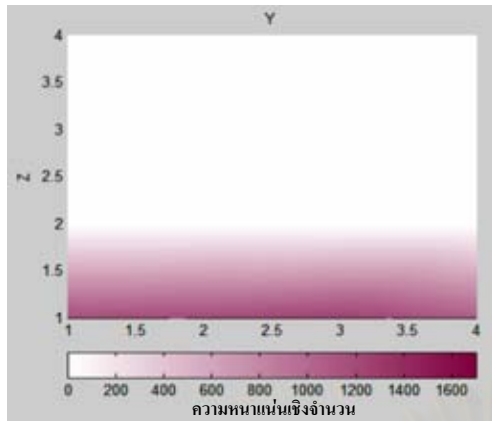


รูปที่ 4.27 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

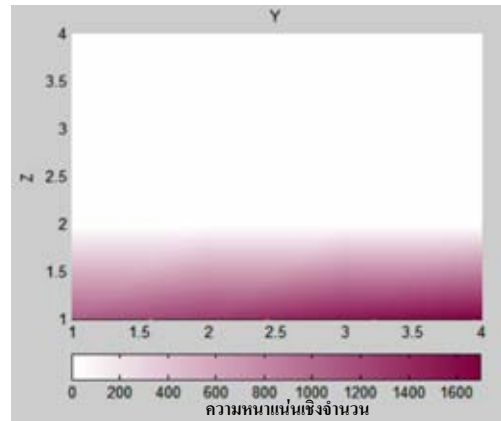


รูปที่ 4.28 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

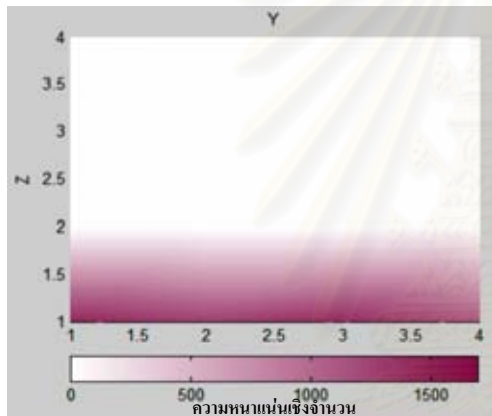
ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.27 และลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.28



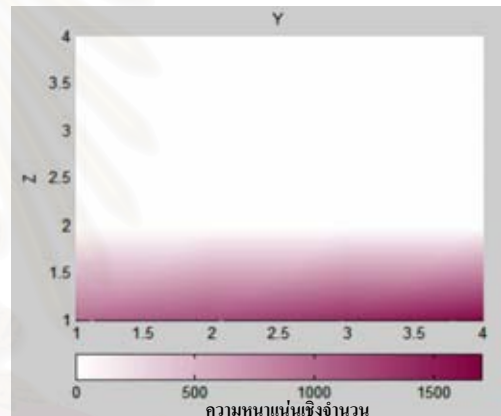
รูปที่ 4.29 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



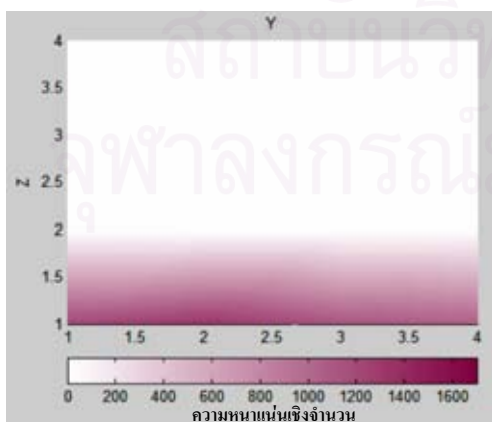
รูปที่ 4.30 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



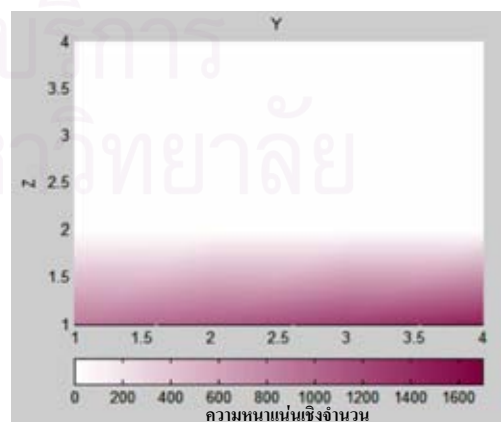
รูปที่ 4.31 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



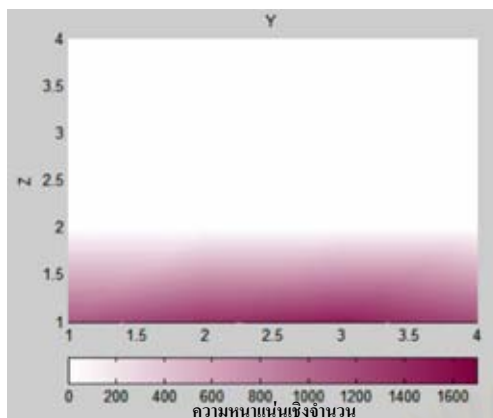
รูปที่ 4.32 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



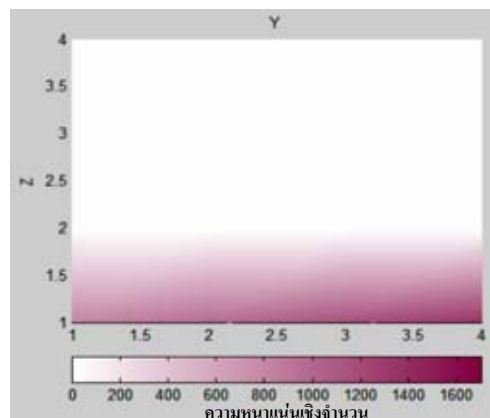
รูปที่ 4.33 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



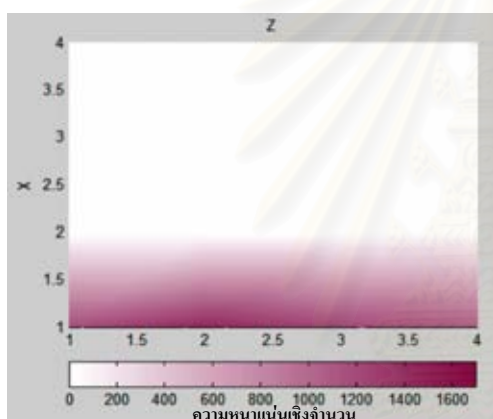
รูปที่ 4.34 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



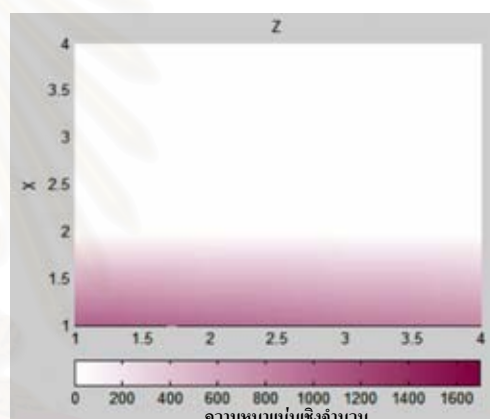
รูปที่ 4.35 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



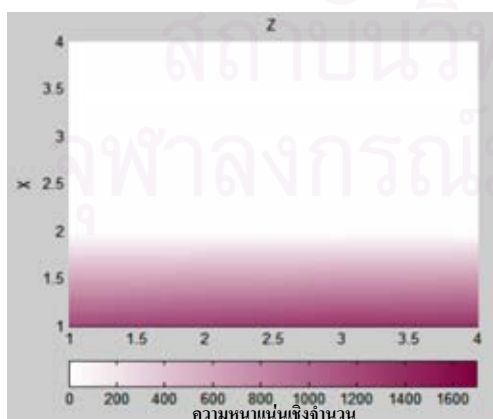
รูปที่ 4.36 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



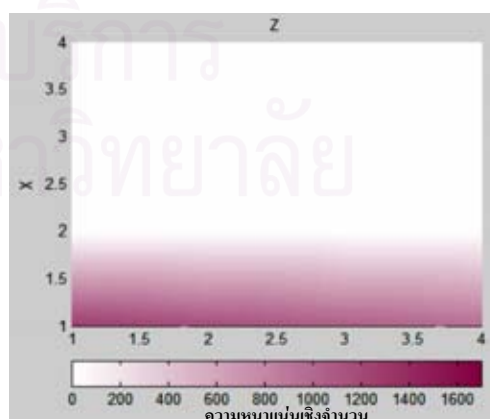
รูปที่ 4.37 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



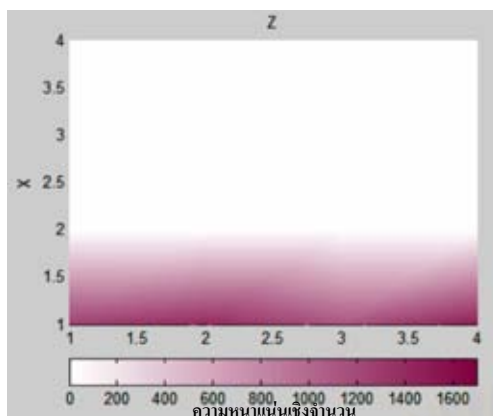
รูปที่ 4.38 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



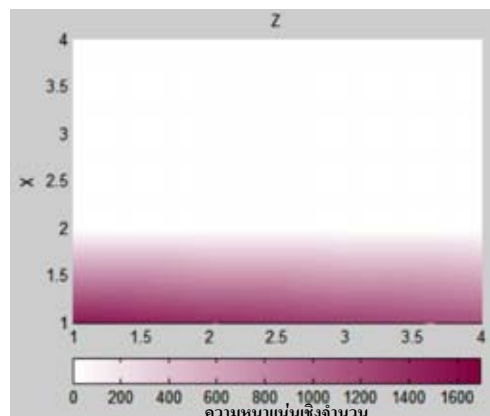
รูปที่ 4.39 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



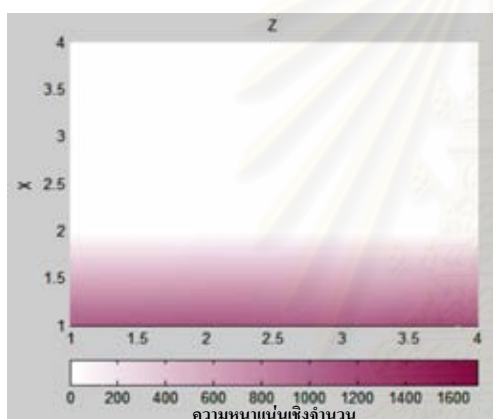
รูปที่ 4.40 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้
จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4



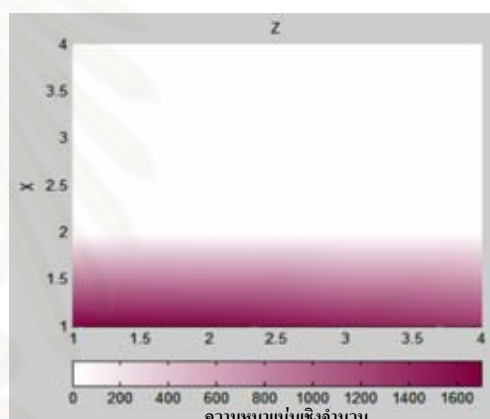
รูปที่ 4.41 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

รูปที่ 4.42 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

รูปที่ 4.43 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากการจำลองบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

รูปที่ 4.44 ลักษณะการกระจายของอนุภาคที่ได้

จากฟังก์ชันบนระนาบ zx ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 4

สำหรับพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงจำนวน และจากการเปรียบเทียบภาพกราฟสีแสดงการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากแบบจำลองและจากฟังก์ชัน ในแต่ละชั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ค่าที่คำนวณได้ จากแบบจำลองกับฟังก์ชันมีความใกล้เคียงกันมากทั้งแกน x , y และ z

อนึ่งให้สังเกตว่าลักษณะการกระจายความหนาแน่นดังจำลองได้โดย LESIM ในกรณีนี้มีความสม่ำเสมอกว่าในกรณีที่แล้ว (ข้อมูลชุดที่ 3) อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายความหนาแน่นที่บรรยายด้วยฟังก์ชันมีลักษณะไม่คงที่กล่าวคือมีค่าที่น้อยที่มุมด้านหนึ่งขณะที่มีค่ามากที่สุดตรงข้าม ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นผลจากการเลือกใช้ฟังก์ชันเส้นตรงในการพิจารณาความหนาแน่นในแกน x และแกน y ลักษณะเช่นนี้ชี้ให้เห็นว่าฟังก์ชันเส้นตรงไม่น่าจะเป็นฟังก์ชันที่ดีที่สุดในการบรรยายความหนาแน่นในกรณีนี้

4.2 ความหนาแน่นเชิงมวล

การพิจารณามวลในการกระจายตัวของอนุภาค ซึ่งจะทำการนำเสนอผลของข้อมูลชุดที่ 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 5 มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคคงที่เท่ากับ 0.005 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.16785×10^{-3} กิโลกรัม และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น ซึ่งหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่เกี่ยวกับมวล โดยทำการบรรยายความหนาแน่นเชิงมวลว่าเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันคูณกันกล่าวคือ $f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r)$ โดยที่เราจะทำการหาค่า $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ ในที่นี้จะสมมติให้ตกในรัศมี r ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของ cell มากนักซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของมวลตามแนวรัศมีดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 5 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5

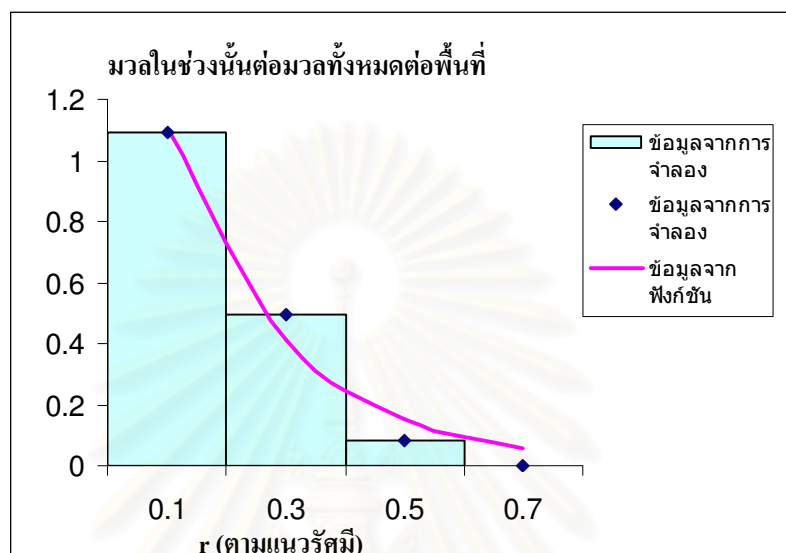
r	มวลในช่วงนั้นต่อมวลทั้งหมดต่อพื้นที่			
	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	รวมเฉลี่ย 8 ชั้น
0.1	2.84387	2.52973	3.46674	1.10504
0.3	1.34329	1.41285	1.15558	0.48897
0.5	0.21680	0.23789	0.20485	0.08244
0.7	0	0	0	0

เนื่องจากในช่วงชั้นที่ 1, 2, 6, 7 และ 8 ไม่มีอนุภาคอยู่เลยจึงพิจารณาในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ที่มีอนุภาคดังตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า มวลของอนุภาคจะอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง ชั้นที่ 5 มีลักษณะการกระจายตัวของมวลตามแนวรัศมี พบว่าช่วงรัศมีใกล้จุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ของแต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นของมวลมาก และน้อยลงเมื่อไกลจากจุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ออกไป ดังนั้น จึงเลือกรูปแบบฟังก์ชัน Exponential ในการพิจารณาการกระจายตามแนวรัศมี

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.40272 \times 10^{-2} \quad (4.30)$$

$$h(r) = e^{(0.61160 - 4.97963r)} \quad (4.31)$$



รูปที่ 4.45 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของมวลตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 5

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแกน Z ในแต่ละระดับชั้น เพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันแจกแจงความหนาแน่น $g(z)$ โดยมีตารางแจกแจงความหนาแน่นตามแกน Z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.8 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 5

z (จุดกึ่งกลางความสูง)	มวลต่อความสูง
2.5	2.60074
3.5	1.97973
4.5	0.4209

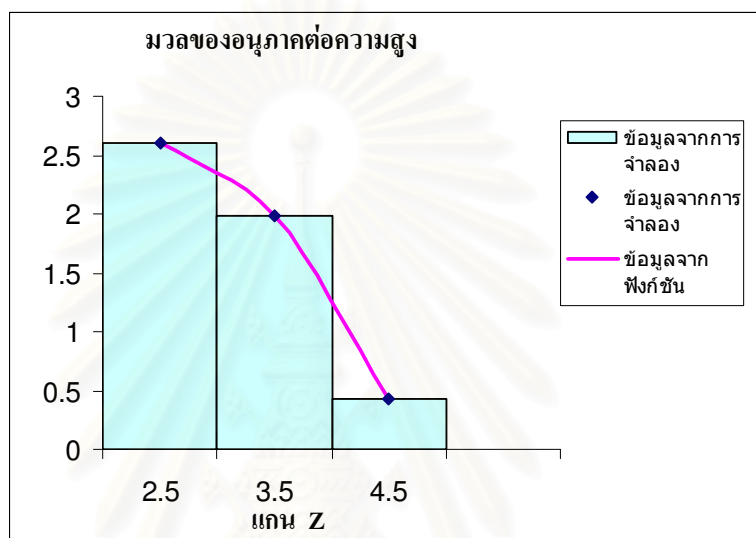
สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแกน z (ตารางที่ 4.8) พบว่ามวลของอนุภาคจะอยู่ในชั้นที่ 3 มากที่สุด ส่วนในชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากในชั้นที่ 3 และ 4 นั้น มวลของอนุภาคอยู่ในชั้นของเหลว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้ามากเพราะมีแรงต้าน จึงทำให้อนุภาคไม่ตกถึงชั้นที่ 1 กับ 2 ส่วนชั้นที่ 6, 7 และ 8 นั้น ไม่มีมวลอยู่เลย เพราะได้ตกผ่านช่วง

ชั้นนั้นแล้ว สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชัน Polynomial (ฟังก์ชันพหุนาม) ในการพิจารณาการกระจายตามแกน z เนื่องจากค่าของฟังก์ชันนี้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจำลองมากที่สุด

ทำการ fit curve โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.32554 \times 10^{-8} \quad (4.32)$$

$$g(z) = -0.4689z^2 + 2.1924z + 0.0502 \quad (4.33)$$



รูปที่ 4.46 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแนวแกน Z

จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 5

ในการพิจารณาความสูงกับมวลแล้วทำการ plot ค่าข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ fit ได้ซึ่งถ้านำฟังก์ชันทั้ง 2 มาคูณกันจะได้ว่า

$$f(x, y, z) = (-0.4689z^2 + 2.1924z + 0.0502) \cdot e^{(0.61160 - 4.97963r)} \quad (4.34)$$

โดยที่ $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ เมื่อประมาณ

$$\int f(x_i, y_j, z_k) \partial V_{ijk} \cong \sum_{ijk} f(x_i, y_j, z_k) \cdot V_{ijk} = F \quad (4.35)$$

โดยเหตุอันเนื่องมาจากการประมาณมีความเป็นไปได้ว่าปริมาณ F ที่คำนวณได้จะมีค่าต่างไปจากอนุภาคจริงในระบบ m ดังนั้น ค่าฟังก์ชัน $f(x, y, z)$ จะต้องถูกปรับแต่งด้วยปริมาณคงที่เฉพาะ A ทำให้ได้ $F(x, y, z)$ โดยที่

$$F(x, y, z) = A \cdot f(x, y, z) \quad (4.36)$$

และ

$$\sum_{ijk} F(x, y, z) = m \quad (4.37)$$

สำหรับปริมาณคงที่ A ดังกล่าวนี้หาได้โดยพิจารณาว่า

$$m = \sum_{ijk} F(x_i, y_j, z_k) = \sum_{ijk} A \cdot f(x_i, y_j, z_k) \cdot \Delta V \quad (4.38)$$

$$m = \left[A \cdot \left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \cdot \Delta A \right) \right] \quad (4.39)$$

$$A = \frac{m}{\left[\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \cdot \Delta A \right) \right]} \quad (4.40)$$

โดยที่ให้ $\Delta A =$ พื้นที่วงแหวน และ $\Delta Z =$ ความสูงของแต่ละเซลล์

อย่างไรก็ตามเพื่อให้เหมาะสมกับการเปรียบเทียบข้อมูลในแกน Z และแกน r จะพิจารณากำหนดให้

$$m = a \cdot \sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \quad (4.41)$$

หรือ

$$a = \frac{m}{\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \right)} \quad (4.42)$$

ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ b ที่ต้องคูณกับฟังก์ชัน $h(r)$ โดยที่ $b = \frac{A}{a}$

ดังนั้น จะแยกได้ว่าความหนาแน่นเชิงมวล

$$m(z, r) = [a \cdot g(z)] \cdot [b \cdot h(r)] \quad (4.43)$$

$$m(z, r) = [a \cdot g(z)] \cdot \left[\frac{A}{a} \cdot h(r) \right] \quad (4.44)$$

ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของ $a = 1, b = 4.64143$ หรือ $A = 4.64143$

ทำให้สามารถเขียนสมการความหนาแน่นเชิงมวลของอนุภาคได้ว่า

$$m(z, r) = 4.64143(-0.4689z^2 + 2.1924z + 0.0502) \cdot e^{(0.6116 - 4.996r)} \quad (4.45)$$

จากการพิจารณาข้อมูล จะเห็นว่า ข้อมูลในชุดที่ 1 กับ ข้อมูลในชุดที่ 5 มีความสัมพันธ์กัน โดยข้อมูลในชุดที่ 1 เปลี่ยนจากการนับจำนวนอนุภาคมาเป็นการนับจำนวนมวลแทน ซึ่งรูปแบบของฟังก์ชันที่ได้นี้มีความคล้ายคลึงกับข้อมูลในชุดที่ 1 คือ ถ้านำฟังก์ชันที่ได้จากข้อมูลในชุดที่ 1 มาคูณด้วย ค่า $\rho(4/3\pi r^2)$ แล้ว จะได้รูปแบบของฟังก์ชันดังสมการที่ (4.45) พอดี

ซึ่งฟังก์ชันที่ได้นี้ ให้ผลลัพธ์ไปในทางเดียวกับข้อมูลจริง จึงสามารถนำฟังก์ชันนี้มาใช้อธิบายการกระจายตัวของมวล สำหรับข้อมูลในชุดที่ 5

ข้อมูลชุดที่ 6 มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-400 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.13394×10^{-3} กิโลกรัม, กลุ่มอนุภาคที่ 401-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.006 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 7.20204×10^{-3} กิโลกรัม, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,200 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.16785×10^{-3} กิโลกรัม และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที แบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น ซึ่งหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงมวลว่าเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันคูณกัน กล่าวคือ $f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r)$ โดยที่ $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ ในที่นี้จะสมมติให้ตกในรัศมี r ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของ cell มากนักซึ่งข้อมูลที่ได้ทำนี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของมวลตามแนวรัศมีดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 6 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5

r	มวลในช่วงนั้นต่อมวลทั้งหมดต่อพื้นที่			
	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	รวมเฉลี่ย 8 ชั้น
0.1	2.8319	2.4562	3.4667	1.09436
0.3	1.3792	1.4186	1.1555	0.49417
0.5	0.1976	0.2491	0.2048	0.08145
0.7	0	0	0	0

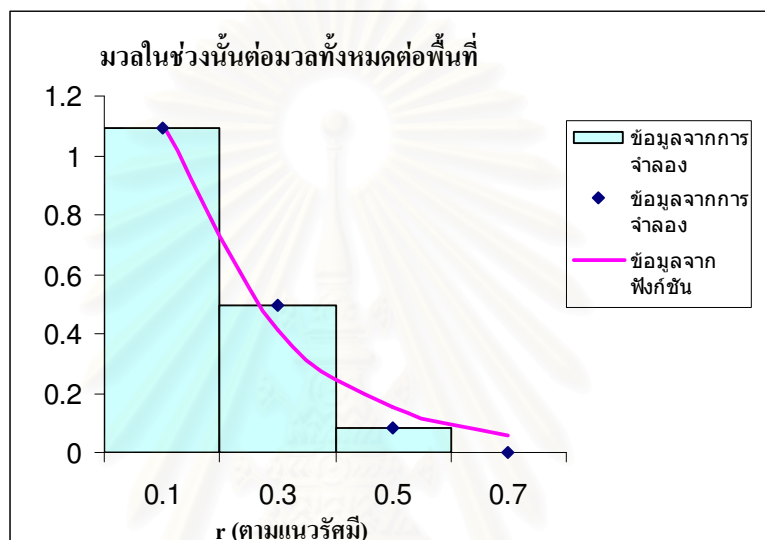
เนื่องจากในช่วงชั้นที่ 1, 2, 6, 7 และ 8 ไม่มีอนุภาคอยู่เลยจึงพิจารณาในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ที่มีอนุภาคดังตารางที่ 4.9 จะเห็นว่า มวลของอนุภาคจะอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง ชั้นที่ 5 และลักษณะการกระจายตัวของมวลตามแนวรัศมี พบว่าช่วงรัศมีใกล้จุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ของแต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นของมวลมาก และน้อยลงเมื่อไกลจากจุดศูนย์กลาง

ปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ออกไป ดังนั้น จึงเลือกรูปแบบฟังก์ชัน Exponential ในการพิจารณาการกระจายตามแนวรัศมี

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.16157 \times 10^{-2} \quad (4.46)$$

$$h(r) = e^{(0.57564 - 4.74269r)} \quad (4.47)$$



รูปที่ 4.47 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของมวลตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 6

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแกน Z จะนับมวลในแต่ละชั้น เพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันแจกแจงความหนาแน่น $g(z)$ โดยมีตารางแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแกน Z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.10 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 6

z(จุดกึ่งกลางความสูง)	มวลต่อความสูง
2.5	2.92776
3.5	2.05282
4.5	0.42095

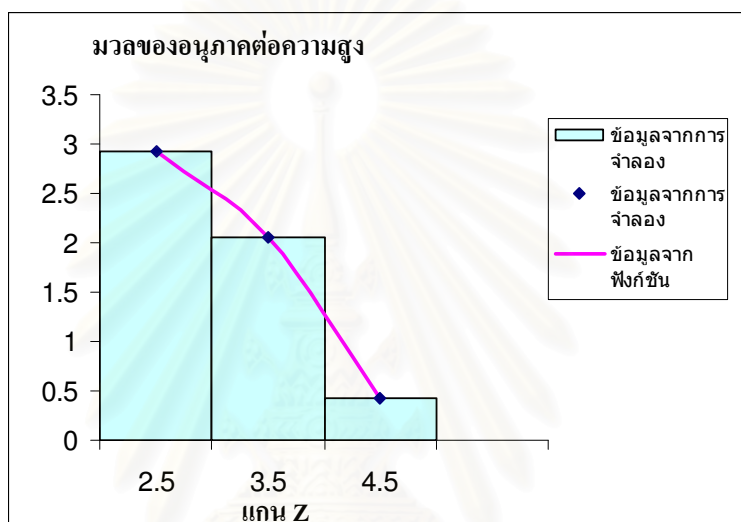
สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแกน z (ตารางที่ 4.10) พบว่ามวลของอนุภาคจะอยู่ในชั้นที่ 3 มากที่สุด ส่วนในชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากในชั้นที่ 3 และ 4 นั้น มวลของอนุภาคอยู่ในชั้นของเหลว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้ามากเพราะมีแรงต้าน จึง

ทำให้อนุภาคไม่ตกถึงชั้นที่ 1 กับ 2 ส่วนชั้นที่ 6, 7 และ 8 นั้น ไม่มีมวลอยู่เลย เพราะได้ตกผ่านช่วงชั้นนั้นแล้ว สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชัน Polynomial (ฟังก์ชันพหุนาม) ในการพิจารณาการกระจายตามแกน z เนื่องจากค่าของฟังก์ชันนี้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจำลองมากที่สุด

ทำการ fit curve โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 7.6450 \times 10^{-9} \quad (4.48)$$

$$g(z) = -0.3785z^2 + 1.3958z + 1.8036 \quad (4.49)$$



รูปที่ 4.48 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงมวลตามแนวแกน Z

จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 6

ในการพิจารณาความสูงกับมวลแล้วทำการ plot ค่าข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ fit ได้ซึ่งถ้านำฟังก์ชันทั้ง 2 มาคูณกัน จะได้ว่า

$$f(x, y, z) = (-0.3785z^2 + 1.3958z + 1.8036) \cdot e^{(0.57564 - 4.74269r)} \quad (4.50)$$

ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของ $a = 1, b = 4.02150$ หรือ $A = 4.02150$

$$m(z, r) = 4.02150(-0.3785z^2 - 1.3958z + 1.8036) \cdot e^{(0.57564 - 4.74269r)} \quad (4.51)$$

จากการพิจารณาข้อมูล พบว่า ขนาดของรัศมีที่มีความแตกต่างกันส่งผลให้ค่าของมวลมีความแตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามรูปแบบของฟังก์ชันที่ได้นี้ (สมการที่ 4.51) ให้ผลลัพธ์ไปในทางเดียวกับข้อมูลจริง จึงสามารถนำฟังก์ชันนี้มาใช้อธิบายการกระจายตัวของมวล สำหรับข้อมูลในชุดที่ 6

ข้อมูลชุดที่ 7 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) จะทำการพิจารณามวลซึ่งมีมวลรวมเท่ากับ 2.73078 กิโลกรัม โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.002 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.66742×10^{-4} กิโลกรัม, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.13394×10^{-3} กิโลกรัม, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 9.00255×10^{-4} กิโลกรัม ทำการปล่อยอนุภาค 800 อนุภาค พร้อมกันซึ่งมีมวลรวมเท่ากับ 0.21339 กิโลกรัม และจะทำการเว้นระยะการปล่อยต่อมาอีก 800 อนุภาคในเวลา 0.4 วินาที ซึ่ง 800 อนุภาค ต่อมาจะมีมวลรวมเท่ากับ 1.70715 กิโลกรัม ส่วนครั้งสุดท้ายปล่อย 900 อนุภาค ซึ่งมีมวลรวมเท่ากับ 0.81022 กิโลกรัม ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น หากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงมวลว่าเป็นฟังก์ชันดังนี้คือ $f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2$ ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำนี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายมวลตามแนวแกน x แกน y แกน z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค และมีมวลรวมทั้งหมด 2.73078 กิโลกรัม สำหรับข้อมูลชุดที่ 7 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตรและ ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร

แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงมวล	แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงมวล
0.25	0.25	0.25	1.37079	1.25	0.25	0.25	1.36359
0.25	0.75	0.25	1.36359	1.25	0.75	0.25	1.37079
0.25	1.25	0.25	1.36572	1.25	1.25	0.25	1.37079
0.25	1.75	0.25	1.36145	1.25	1.75	0.25	1.32944
0.75	0.25	0.25	1.36359	1.75	0.25	0.25	1.36572
0.75	0.75	0.25	1.37079	1.75	0.75	0.25	1.36145
0.75	1.25	0.25	1.36359	1.75	1.25	0.25	1.35638
0.75	1.75	0.25	1.38066	1.75	1.75	0.25	1.37079

จากตารางที่ 4.11 พบว่ามวลของอนุภาคกระจายไปทั่วในชั้นล่างสุด (ชั้นที่ 1) การที่มวลทั้งหมดอยู่ในชั้นที่ 1 ทำให้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาในแกน x และ y แต่เน้นพิจารณาในแกน z เพียงแกนเดียว ดังนั้นจึงเลือกใช้ฟังก์ชัน $f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2$ สำหรับพิจารณาการ

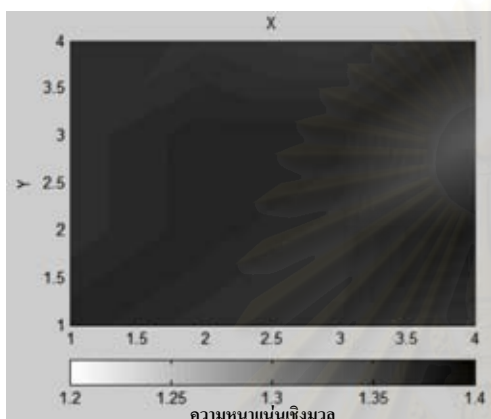
กระจายความหนาแน่นเชิงมวล

ทำการ fit curve ใน โปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

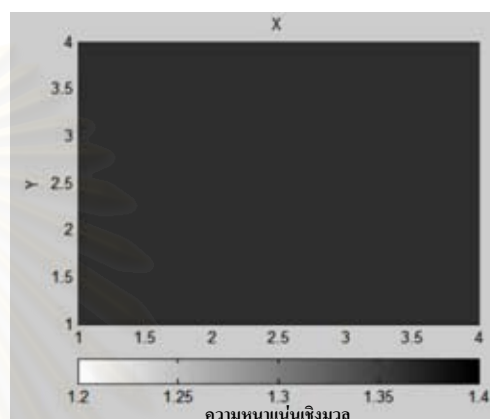
$$\varepsilon^2 = 2.00000 \times 10^1 \quad (4.52)$$

$$f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2 \quad (4.53)$$

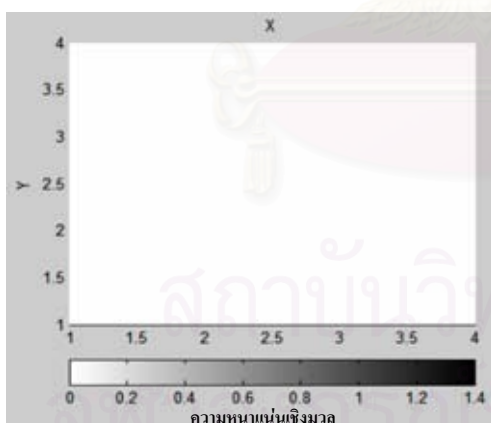
$$f(x, y, z) = k(z) = 5.45344 \times 10^{-1} (9.28473 \times 10^{-6} z + 1.35414)^2 \quad (4.54)$$



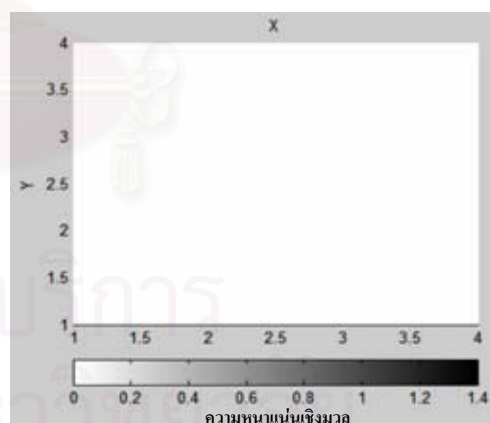
รูปที่ 4.49 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



รูปที่ 4.50 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7

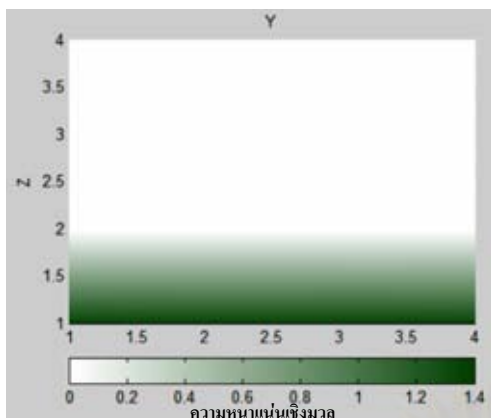


รูปที่ 4.51 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7

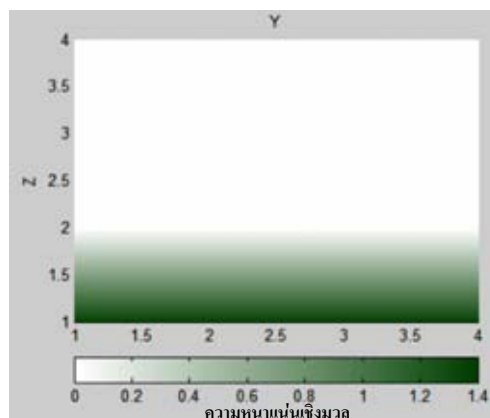


รูปที่ 4.52 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7

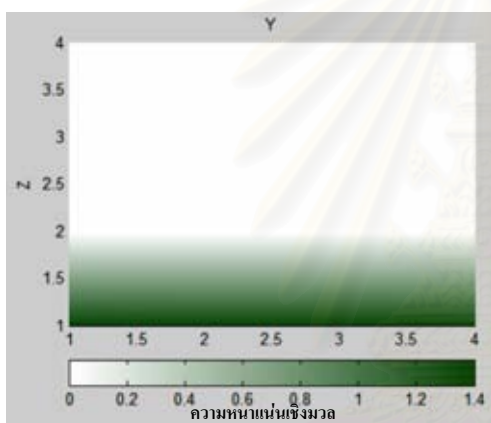
ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.51 และลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.52



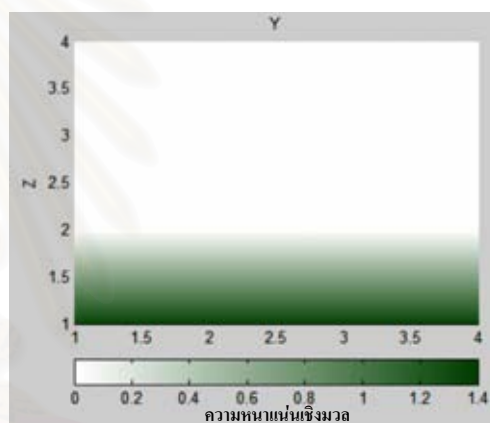
รูปที่ 4.53 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



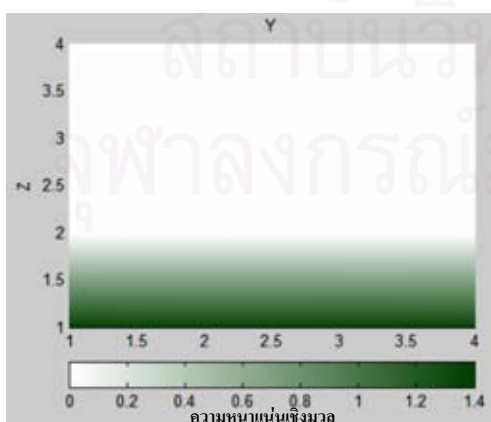
รูปที่ 4.54 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



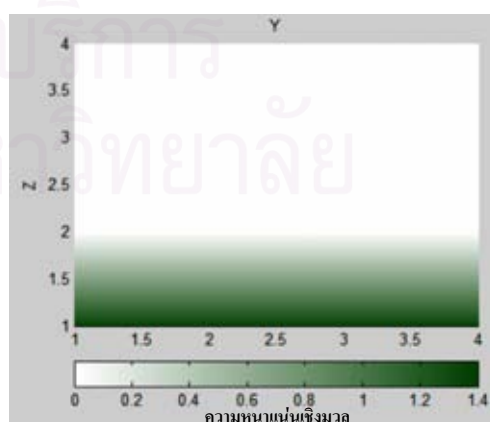
รูปที่ 4.55 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



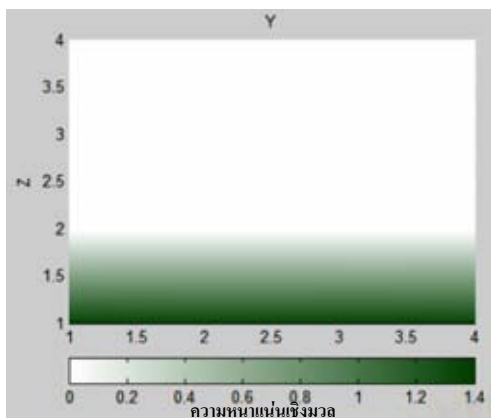
รูปที่ 4.56 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



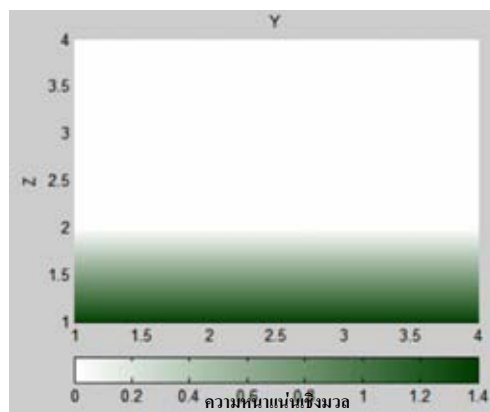
รูปที่ 4.57 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



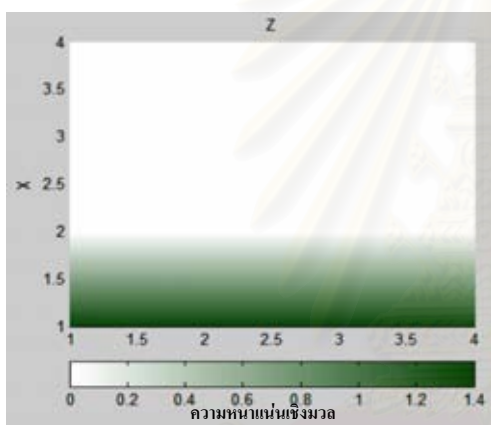
รูปที่ 4.58 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



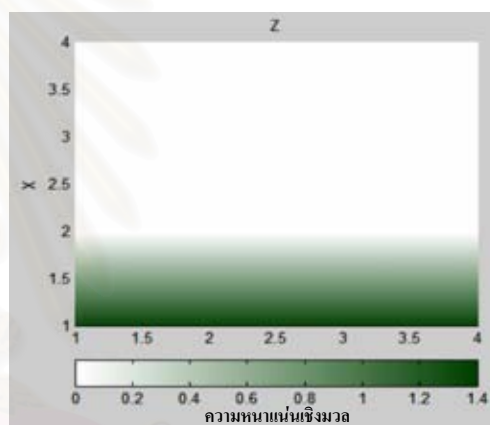
รูปที่ 4.59 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



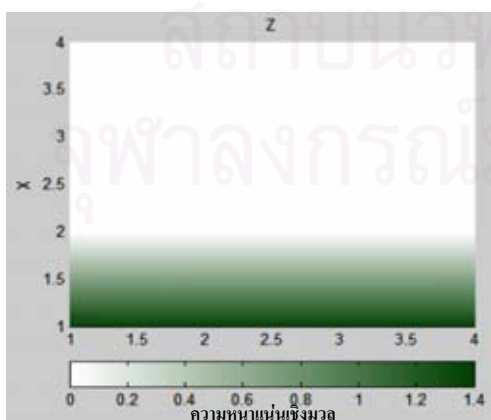
รูปที่ 4.60 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



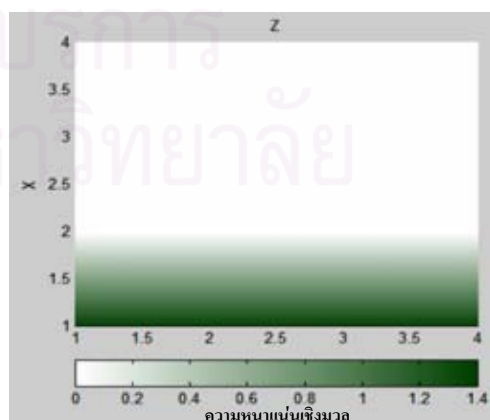
รูปที่ 4.61 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



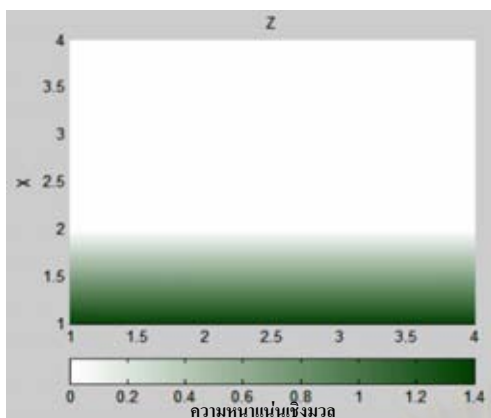
รูปที่ 4.62 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



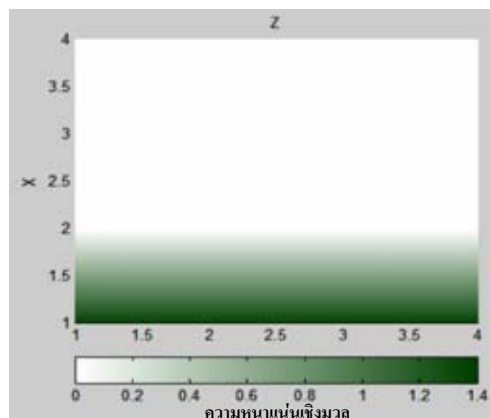
รูปที่ 4.63 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



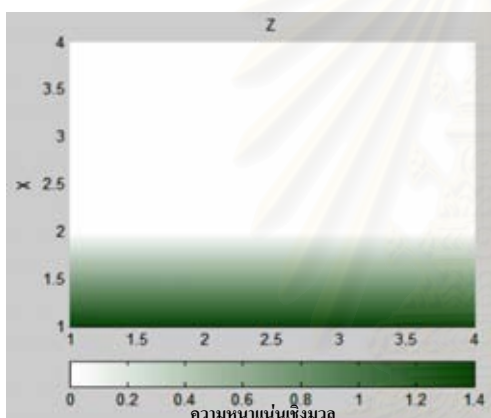
รูปที่ 4.64 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



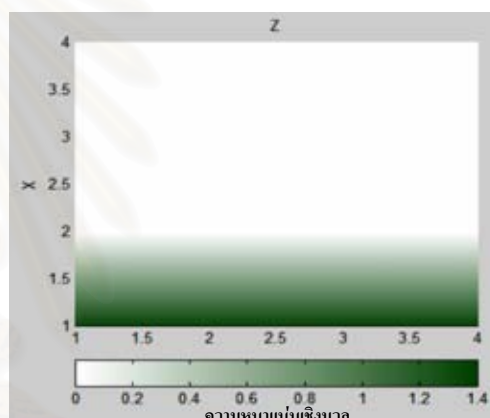
รูปที่ 4.65 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



รูปที่ 4.66 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



รูปที่ 4.67 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7



รูปที่ 4.68 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 7

สำหรับพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงมวล และจากการเปรียบเทียบภาพกราฟสีแสดงการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากแบบจำลองและจากฟังก์ชัน ในแต่ละชั้นเมื่อพิจารณาแกน z พบว่าในแบบจำลองมีการกระจายตัวของอนุภาคมีความใกล้เคียงกันมากและมีลักษณะแตกต่างเพียงเล็กน้อย ส่วนแกน x และ y พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเลย ลักษณะการกระจายของอนุภาคบนระนาบ xy ในกรณี ข้อมูลชุดที่ 7 นี้คล้ายกันกับของข้อมูลชุดที่ 3 แต่ข้อมูลจากการจำลองโดย LESIM มีลักษณะสม่ำเสมอกว่า ทำให้ฟังก์ชันที่ใช้สอดคล้องกับการจำลองดีกว่า

ข้อมูลชุดที่ 8 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) ซึ่งจะทำให้การพิจารณามวลซึ่งมีมวลรวมเท่ากับ 6.17843 กิโลกรัม โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.13394×10^{-3} กิโลกรัม, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 9.00255×10^{-4} กิโลกรัม, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.16785×10^{-3} กิโลกรัม โดยจะเว้นระยะการปล่อยอนุภาคในระยะเวลาที่ทำการสูบล้ม ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสูบล้มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น หากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงมวลว่าเป็นฟังก์ชันดังนี้คือ $f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2$ ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำนี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายมวลตามแนวแกน x แกน y แกน z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค และมีมวลรวมทั้งหมด 6.17843 กิโลกรัม สำหรับข้อมูลชุดที่ 8 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตรและ ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร

แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงมวล	แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงมวล
0.25	0.25	0.25	3.10435	1.25	0.25	0.25	3.07554
0.25	0.75	0.25	2.90776	1.25	0.75	0.25	3.30494
0.25	1.25	0.25	3.23959	1.25	1.25	0.25	2.84534
0.25	1.75	0.25	2.67196	1.25	1.75	0.25	2.74878
0.75	0.25	0.25	3.49299	1.75	0.25	0.25	2.61354
0.75	0.75	0.25	3.11315	1.75	0.75	0.25	3.38230
0.75	1.25	0.25	3.38950	1.75	1.25	0.25	3.64477
0.75	1.75	0.25	2.66502	1.75	1.75	0.25	3.19638

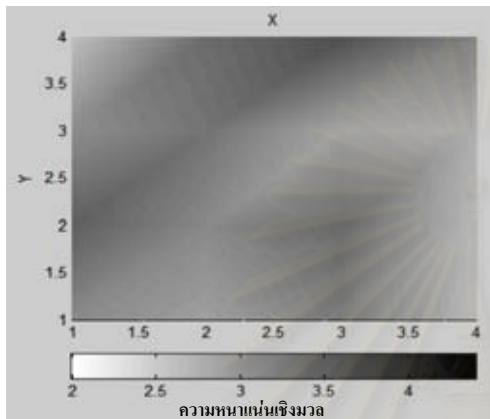
จากตารางที่ 4.12 พบว่ามวลของอนุภาคจึงจะจัดกระจายไปทั่ว ส่งผลให้ฟังก์ชันต้องพิจารณาทั้งแกน x, y และ z จึงเลือกใช้ฟังก์ชัน $f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2$ ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงกำลังสอง

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

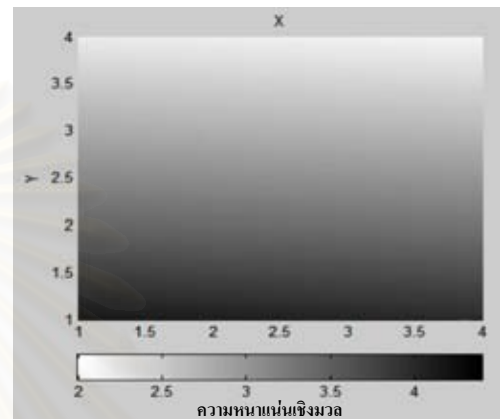
$$\varepsilon^2 = 8.11269 \quad (4.55)$$

$$f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2 \quad (4.56)$$

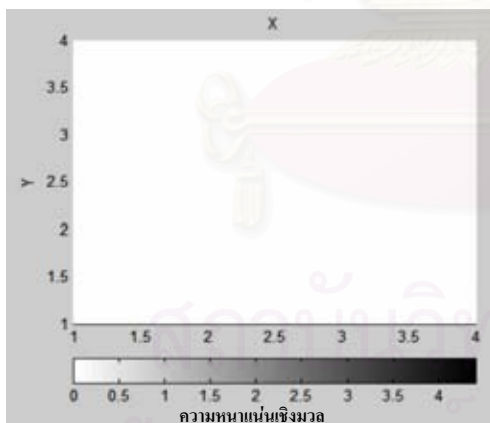
$$f(x, y, z) = (-2.56373 \times 10^{-1}x + 1.48098)^2 (-1.20127 \times 10^{-2}y + 8.79999 \times 10^{-1})^2 (-9.93288 \times 10^{-3}z + 8.83405 \times 10^{-1})^2 \quad (4.57)$$



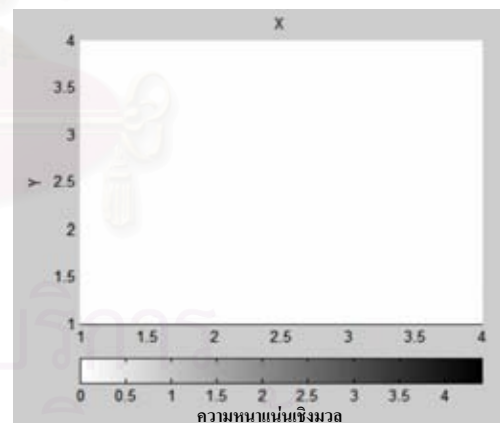
รูปที่ 4.69 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



รูปที่ 4.70 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8

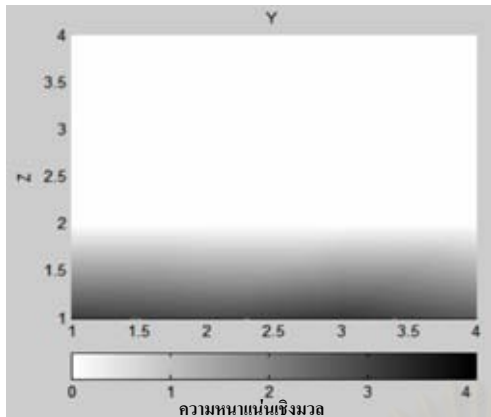


รูปที่ 4.71 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8

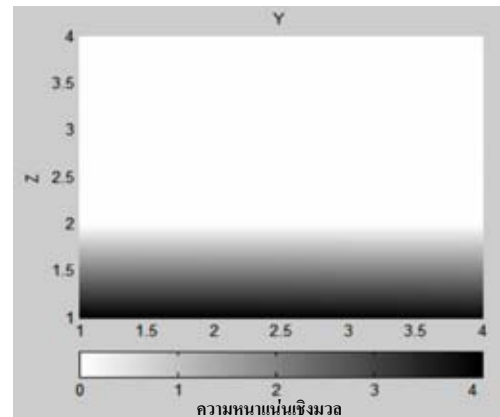


รูปที่ 4.72 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8

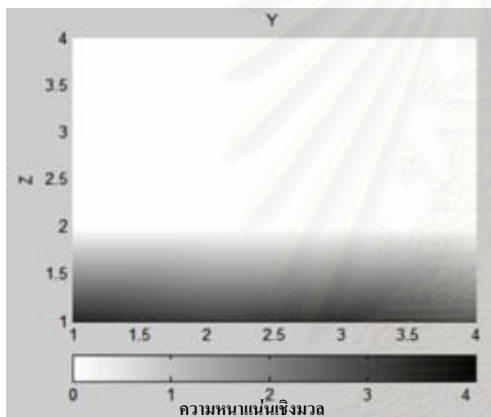
ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.71 และลักษณะการกระจายมวลที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.72



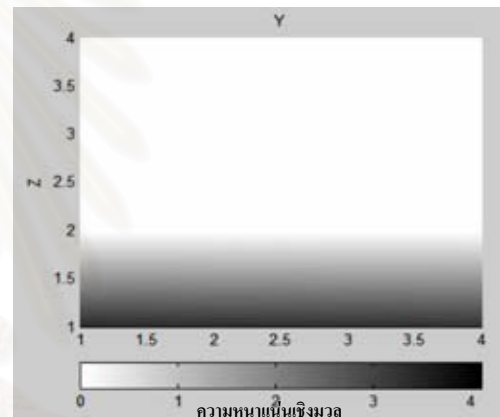
รูปที่ 4.73 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



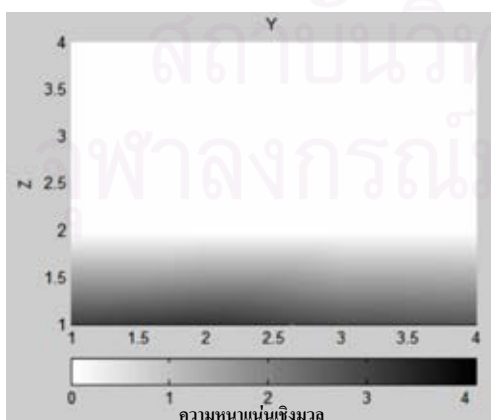
รูปที่ 4.74 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



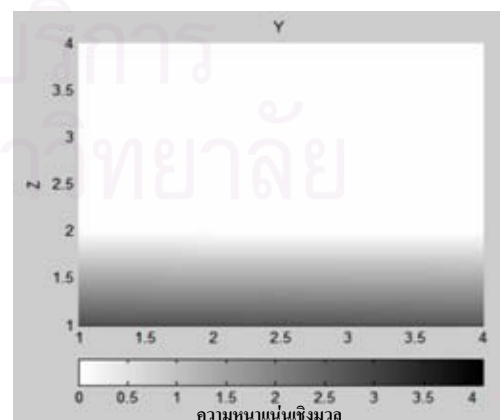
รูปที่ 4.75 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



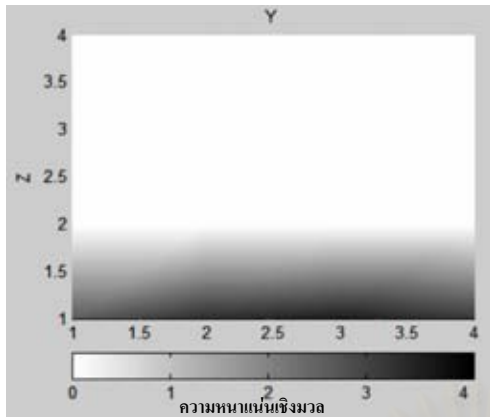
รูปที่ 4.76 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



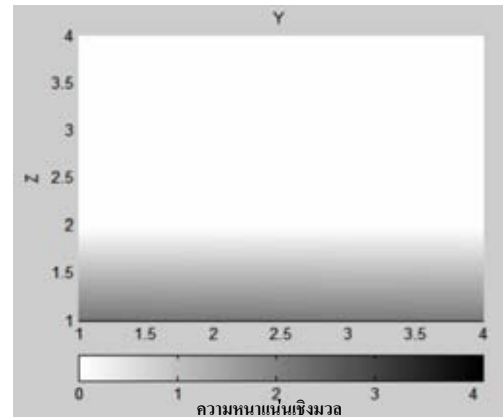
รูปที่ 4.77 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



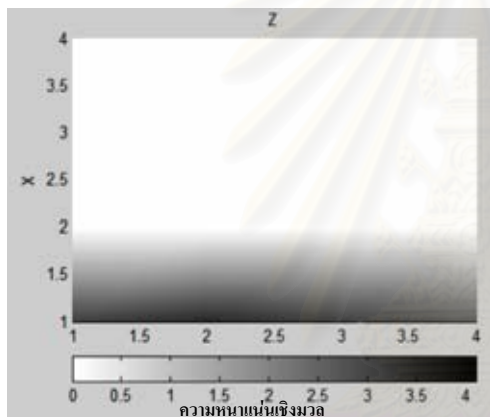
รูปที่ 4.78 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



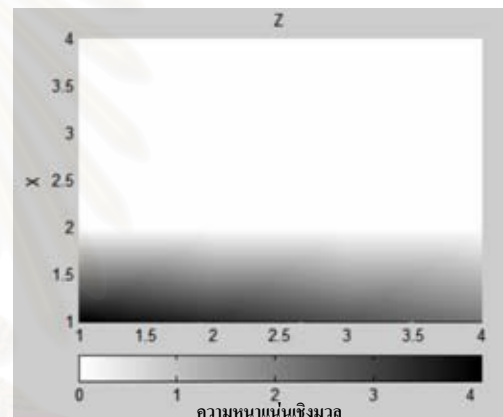
รูปที่ 4.79 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



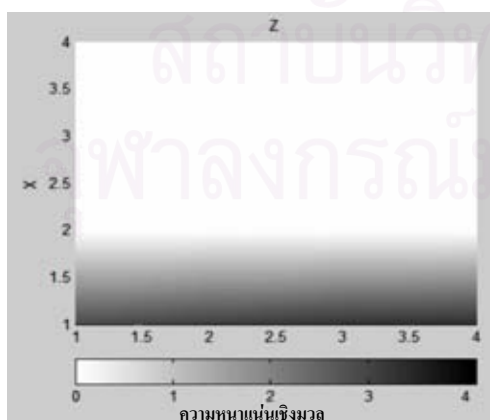
รูปที่ 4.80 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



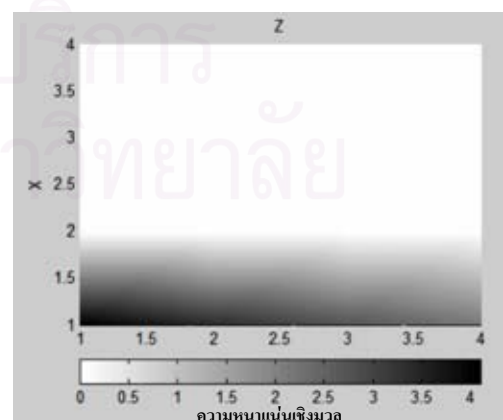
รูปที่ 4.81 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



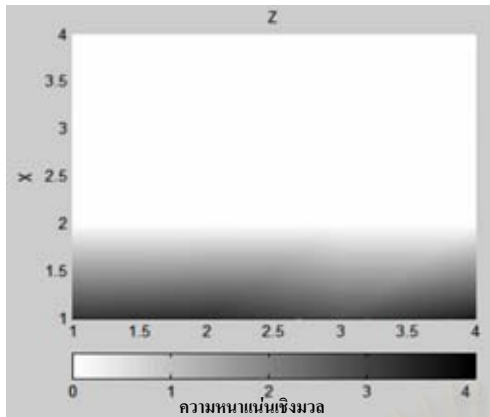
รูปที่ 4.82 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



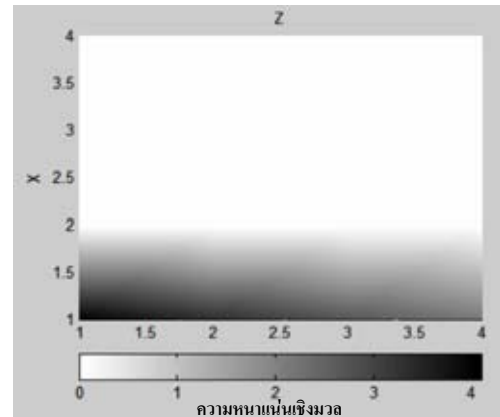
รูปที่ 4.83 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



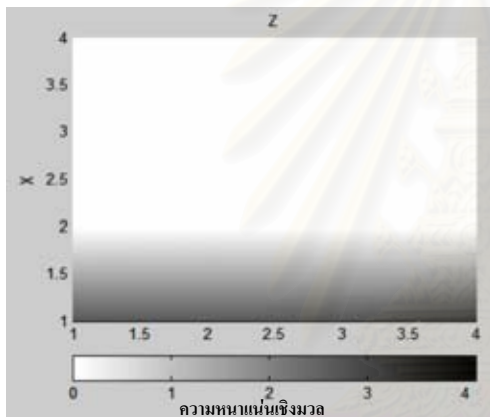
รูปที่ 4.84 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



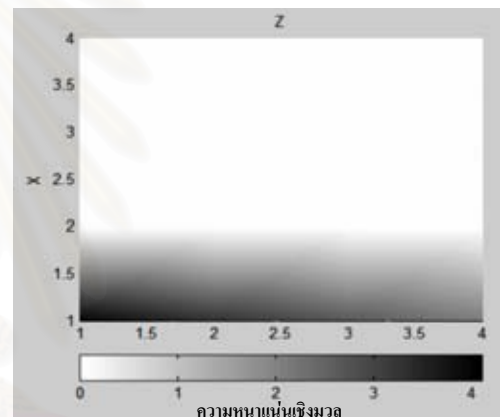
รูปที่ 4.85 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



รูปที่ 4.86 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



รูปที่ 4.87 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
การจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8



รูปที่ 4.88 ลักษณะการกระจายมวลที่ได้จาก
ฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 8

สำหรับพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงมวล และจากการเปรียบเทียบภาพกราฟสีแสดงการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากแบบจำลองกับฟังก์ชันในแต่ละชั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ค่าที่คำนวณได้ จากแบบจำลองกับฟังก์ชันมีความใกล้เคียงกันมากทั้งแกน x , y และ z คล้ายกันกับของข้อมูลชุดที่ 4 ลักษณะการกระจายไม่คงที่ซึ่งได้จากฟังก์ชันชี้ว่าฟังก์ชันเส้นตรงสำหรับการกระจายตามแกน x และ y น่าจะไม่ใช่ฟังก์ชันที่ดีที่สุดสำหรับการกระจายอนุภาคของข้อมูลชุดนี้

4.3 ความหนาแน่นเชิงพลังงาน

การพิจารณาพลังงานในการกระจายตัวของอนุภาค ซึ่งจะทำการนำเสนอผลของข้อมูลชุดที่ 9, 10, 11 และ 12 ตามลำดับ ดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 9 มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคคงที่เท่ากับ 0.005 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.16785×10^{-3} กิโลกรัม มีค่าพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 6.35805×10^3 จูล และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น ซึ่งหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่เกี่ยวกับพลังงานความร้อน จะทำการใช้สูตร $Q = mc \Delta t$ เพื่อที่จะทำการบรรยายความหนาแน่นเชิงพลังงาน ว่าเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันคูณกันกล่าวคือ $f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r)$ โดยที่ $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ ในที่นี้จะสมมติให้ตกในรัศมี r ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของ cell มากนักซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายถึงลักษณะการกระจายของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมีดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 9 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5

r	พลังงานความร้อนในช่วงนั้นต่อพลังงานความร้อนทั้งหมดต่อพื้นที่			
	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	รวมเฉลี่ย 8 ชั้น
0.1	2.84401	2.52922	3.46674	1.10504
0.3	1.34326	1.41263	1.15558	0.48898
0.5	0.21655	0.23812	0.20485	0.08244
0.7	0	0	0	0

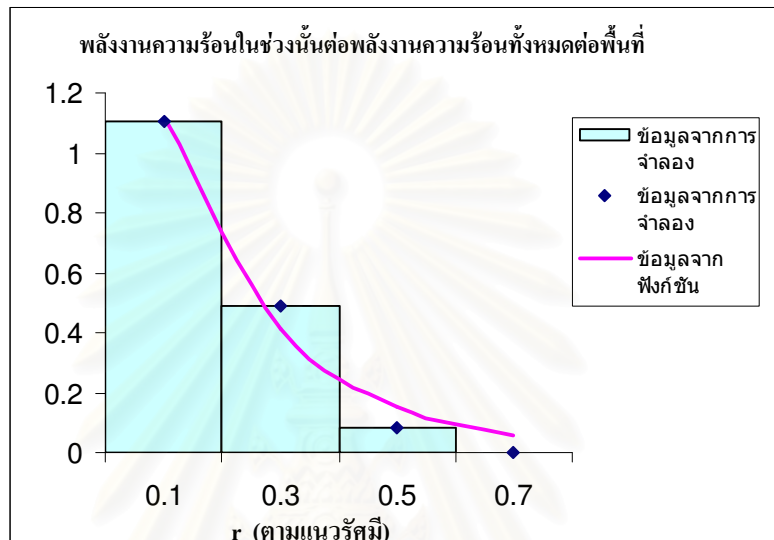
เนื่องจากในช่วงชั้นที่ 1, 2, 6, 7 และ 8 ไม่มีอนุภาคอยู่เลยจึงพิจารณาในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ที่มีอนุภาคดังตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าพลังงานความร้อนจะอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง ชั้นที่ 5 และลักษณะการกระจายของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมี พบว่าช่วงรัศมีใกล้จุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ของแต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นเชิงพลังงานมาก และน้อยลงเมื่อไกลจากจุดศูนย์กลาง

ปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ออกไป ดังนั้น จึงเลือกรูปแบบฟังก์ชัน Exponential ในการพิจารณาการกระจายตามแนวรัศมี

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.40272 \times 10^{-2} \quad (4.58)$$

$$h(r) = e^{(0.59711 - 4.82245r)} \quad (4.59)$$



รูปที่ 4.89 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมีที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 9

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแกน Z ในแต่ละระดับชั้นเพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันแจกแจงความหนาแน่น $g(z)$ โดยมีตารางแจกแจงความหนาแน่นตามแกน Z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.14 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานความร้อนตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 9

z (จุดกึ่งกลางความสูง)	พลังงานความร้อนต่อความสูง
2.5	3.80467×10^6
3.5	2.97342×10^6
4.5	6.40515×10^5

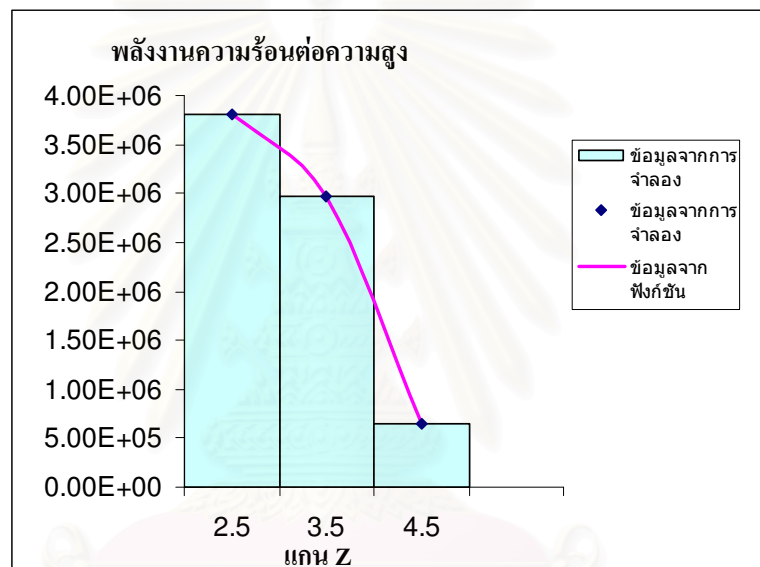
สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นตามแกน z (ตารางที่ 4.14) พบว่าพลังงานความร้อนในชั้นที่ 3 มีมากที่สุด ส่วนในชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากในชั้นที่ 3 และ 4 นั้น

อนุภาคอยู่ในชั้นของเหลว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้ามากเพราะมีแรงต้าน จึงทำให้อนุภาคไม่ตกถึงชั้นที่ 1 กับ 2 ส่วนชั้นที่ 6, 7 และ 8 นั้น ไม่มีพลังงานความร้อนเลย เพราะได้ตกผ่านช่วงชั้นนั้นแล้ว สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชัน Polynomial (ฟังก์ชันพหุนาม) ในการพิจารณาการกระจายตามแกน z เนื่องจากค่าของฟังก์ชันนี้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจำลองมากที่สุด

ทำการ fit curve โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 3.03577 \times 10^{-18} \quad (4.60)$$

$$g(z) = -7.49500 \times 10^5 z^2 + 3.66700 \times 10^6 z - 6.83125 \times 10^5 \quad (4.61)$$



รูปที่ 4.90 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแนวแกน Z จากการจำลอง และจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 9

ในการพิจารณาความสูงกับพลังงานความร้อนแล้วทำการ plot ค่าข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ fit ได้ซึ่งถ้านำฟังก์ชันทั้ง 2 มาคูณกันจะได้ว่า

$$f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r) \quad (4.62)$$

$$f(x, y, z) = (-7.49500 \times 10^5 z^2 + 3.66700 \times 10^6 z - 6.83125 \times 10^5) \cdot e^{(0.59711 - 4.82245r)} \quad (4.63)$$

โดยที่ $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ เมื่อประมาณ

$$\int f(x_i, y_j, z_k) \partial V_{ijk} \cong \sum_{ijk} f(x_i, y_j, z_k) \cdot V_{ijk} = F(x_i, y_j, z_k) \quad (4.64)$$

โดยเหตุอันเนื่องมาจากการประมาณมีความเป็นไปได้ว่าปริมาณ F ที่คำนวณได้จะมีค่าต่างไปจากค่าพลังงานความร้อนจริงในระบบ Q ดังนั้นค่าฟังก์ชัน $f(x, y, z)$ จะต้องถูกปรับแก้ด้วยปริมาณคงที่เฉพาะ A ทำให้ได้ $F(x, y, z)$ โดยที่

$$F(x, y, z) = A \cdot f(x, y, z) \quad (4.65)$$

และ
$$\sum_{ijk} F(x, y, z) = Q \quad (4.66)$$

สำหรับปริมาณคงที่ A ดังกล่าวนี้หาได้โดยพิจารณาว่า

$$Q = \sum_{ijk} F(x_i, y_j, z_k) = \sum_{ijk} A \cdot f(x_i, y_j, z_k) \cdot \Delta V \quad (4.67)$$

$$Q = \left[A \cdot \left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \cdot \Delta A \right) \right] \quad (4.68)$$

$$A = \frac{Q}{\left[\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^n h(r_j) \cdot \Delta A \right) \right]} \quad (4.69)$$

โดยที่ให้ $\Delta A =$ พื้นที่วงแหวน และ $\Delta Z =$ ความสูงของแต่ละเซลล์

อย่างไรก็ตามเพื่อให้เหมาะสมกับการเปรียบเทียบข้อมูลในแกน Z และแกน r จะพิจารณากำหนดให้

$$Q = a \cdot \sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \quad (4.70)$$

หรือ
$$a = \frac{Q}{\left(\sum_{i=1}^m g(z_i) \cdot \Delta Z \right)} \quad (4.71)$$

ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ b ที่ต้องคูณกับฟังก์ชัน $h(r)$ โดยที่ $b = \frac{A}{a}$

ดังนั้นจะแยกได้ว่าความหนาแน่นเชิงพลังงาน

$$Q(z, r) = [a \cdot g(z)] \cdot [b \cdot h(r)] \quad (4.72)$$

$$Q(z, r) = [a \cdot g(z)] \cdot \left[\frac{A}{a} \cdot h(r) \right] \quad (4.73)$$

ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของ $a = 1, b = 4.16444$ หรือ $A = 4.16444$

ทำให้สามารถเขียนสมการความหนาแน่นเชิงพลังงานของอนุภาคได้ว่า

$$Q(z, r) = 4.16444 \left(-7.49500 \times 10^5 z^2 + 3.66700 \times 10^6 z - 6.83125 \times 10^5 \right) \cdot e^{(0.59711 - 4.82245 r)} \quad (4.74)$$

จากการพิจารณาข้อมูลจะเห็นว่า ข้อมูลชุดนี้มีค่ารัศมีของอนุภาคคงที่ ดังนั้น ผลของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำการพิจารณา ซึ่งฟังก์ชันที่ได้นี้ (สมการที่ 4.74) ให้ผลลัพธ์ไปในทางเดียวกับข้อมูลจริง จึงสามารถนำฟังก์ชันนี้มาใช้อธิบายการกระจายตัวของมวล สำหรับข้อมูลในชุดที่ 9 ได้ดี

ข้อมูลชุดที่ 10 มีจำนวนอนุภาค 1,200 อนุภาค ลักษณะการตกเป็นสายน้ำ (Continuous Melt Jet) โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-400 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.13394×10^{-3} กิโลกรัม และพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 3.25532×10^3 จูล, กลุ่มอนุภาคที่ 401-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.006 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 7.20204×10^{-3} กิโลกรัม และพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 1.09872×10^4 จูล, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,200 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.16785×10^{-3} กิโลกรัม และพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 6.35805×10^3 จูล และการปล่อยอนุภาคจะปล่อยทุกๆ 0.001 วินาที แบบสุ่มในระนาบ xy ในระบบซึ่งมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 3.5-4.5 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 7 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 1 เมตร, ยาว 1 เมตร และ สูง 1 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 8 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น ซึ่งหากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่เกี่ยวกับพลังงานความร้อน จะทำการใช้สูตร $Q = mc \Delta t$ เพื่อที่จะทำการบรรยายความหนาแน่นเชิงพลังงานว่าเป็นผลคูณของ 2 ฟังก์ชันคูณกันคือ $f(x, y, z) = g(z) \cdot h(r)$ โดยที่ $r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ ในที่นี้จะสมมติให้ตกในรัศมี r ไม่ไกลจากจุดศูนย์กลางของ cell มากนักซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายลักษณะการกระจายของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมีดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลรัศมีเฉลี่ยในระนาบ xy ตามแนวรัศมีรอบเส้นผ่านศูนย์กลางของ jet สำหรับข้อมูลชุดที่ 10 มีทั้งหมด 8 ชั้น พิจารณาเพียงช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5

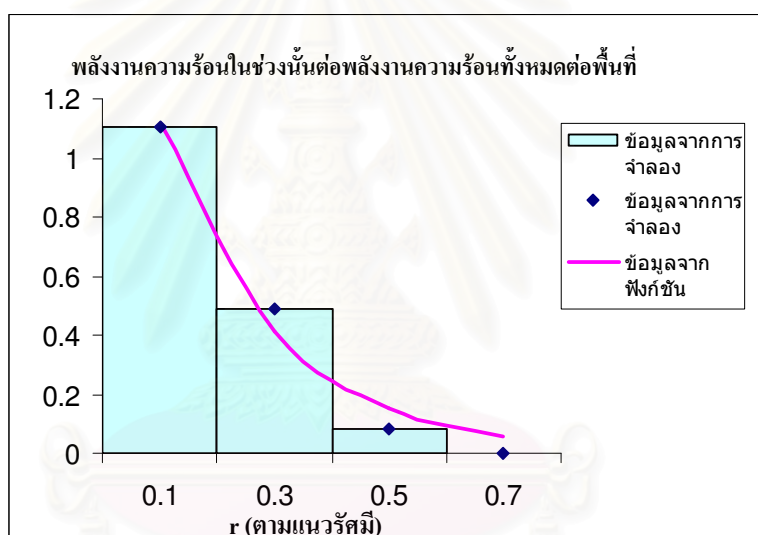
r	พลังงานความร้อนในช่วงนั้นต่อพลังงานความร้อนทั้งหมดต่อพื้นที่			
	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	รวมเฉลี่ย 8 ชั้น
0.1	2.8320	2.4562	3.4667	1.0943
0.3	1.3798	1.4184	1.1555	0.4942
0.5	0.1972	0.2492	0.2048	0.0814
0.7	0	0	0	0

เนื่องจากในช่วงชั้นที่ 1, 2, 6, 7 และ 8 ไม่มีอนุภาคอยู่เลยจึงพิจารณาในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ที่มีอนุภาคดังตารางที่ 4.15 จะเห็นว่า พลังงานความร้อนจะอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง ชั้นที่ 5 และลักษณะการกระจายตัวของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมี พบว่าช่วงรัศมีใกล้จุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ของแต่ละชั้นจะมีความหนาแน่นเชิงพลังงานมาก และน้อยลงเมื่อไกลจากจุดศูนย์กลางปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ออกไป ดังนั้น จึงเลือกรูปแบบฟังก์ชัน Exponential ในการพิจารณาการกระจายตามแนวรัศมี

ทำการ fit curve ใน โปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 1.16120 \times 10^{-2} \quad (4.75)$$

$$h(r) = e^{(0.57599 - 4.74348r)} \quad (4.76)$$



รูปที่ 4.91 ลักษณะสัดส่วนการกระจายโดยเฉลี่ยของพลังงานความร้อนตามแนวรัศมี
ที่ได้จากการจำลองและจากฟังก์ชัน สำหรับข้อมูลชุดที่ 10

สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแกน Z จะนับพลังงานความร้อนในแต่ละระดับชั้นเพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันแจกแจงความหนาแน่น $g(z)$ โดยมีตารางแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแกน Z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.16 การแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานความร้อน
ตามแนวแกน Z สำหรับข้อมูลชุดที่ 10

z(จุดกึ่งกลางความสูง)	พลังงานความร้อนต่อความสูง
2.5	4.31379×10^6
3.5	3.08882×10^6
4.5	6.40515×10^5

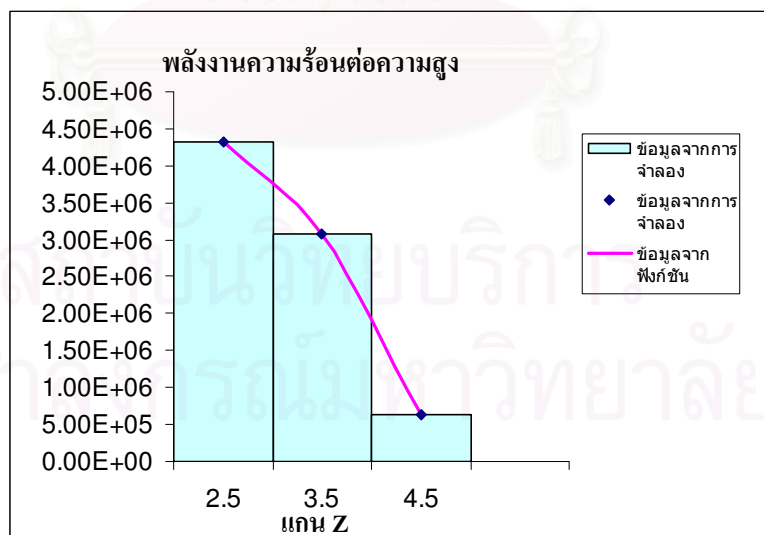
สำหรับการแจกแจงความหนาแน่นตามแกน z (ตารางที่ 4.16) พบว่าพลังงานความร้อนในชั้นที่ 3 มีมากที่สุด ส่วนในชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากในชั้นที่ 3 และ 4 นั้นอนุภาคอยู่ในชั้นของเหลว ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้ามากเพราะมีแรงต้าน จึงทำให้อนุภาคไม่ตกถึงชั้นที่ 1 กับ 2 ส่วนชั้นที่ 6 , 7 และ 8 นั้น ไม่มีพลังงานความร้อนเลย เพราะได้ตกผ่านช่วงชั้นนั้นแล้ว

สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชัน Polynomial (ฟังก์ชันพหุนาม) ในการพิจารณาการกระจายตามแกน z เนื่องจากค่าของฟังก์ชันนี้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจำลองมากที่สุด

ทำการ fit curve โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะได้ผลดังต่อไปนี้

$$\varepsilon^2 = 2.89998 \times 10^{-9} \quad (4.77)$$

$$g(z) = -6.11667 \times 10^5 z^2 + 2.44504 \times 10^6 z + 2.02412 \times 10^6 \quad (4.78)$$



รูปที่ 4.92 ลักษณะการแจกแจงความหนาแน่นเชิงพลังงานตามแนวแกน Z
จากการจำลองและจากฟังก์ชันสำหรับข้อมูลชุดที่ 10

ในการพิจารณาความสูงกับพลังงานความร้อนแล้วทำการ plot ค่าข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ fit ได้ซึ่งถ้านำฟังก์ชันทั้ง 2 มาคูณกันจะได้ว่า

$$f(z, r) = (-6.11667 \times 10^5 z^2 + 2.44504 \times 10^6 z + 2.02412 \times 10^6) \cdot e^{(0.57599 - 4.74348 r)} \quad (4.79)$$

ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของ $a = 1, b = 4.16444$ หรือ $A = 4.16444$

$$Q(z, r) = 4.16444(-6.11667 \times 10^5 z^2 + 2.44504 \times 10^6 z + 2.02412 \times 10^6) \cdot e^{(0.57599 - 4.74348 r)} \quad (4.80)$$

จากการพิจารณาข้อมูล พบว่า ขนาดของรัศมีที่มีความแตกต่างกันส่งผลให้ค่าของพลังงานความร้อนมีความแตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามรูปแบบของฟังก์ชันที่ได้นี้ (สมการที่ 4.80) ให้ผลลัพธ์ไปในทางเดียวกับข้อมูลจริง จึงสามารถนำฟังก์ชันนี้มาใช้อธิบายการกระจายตัวของมวลสำหรับข้อมูลในชุดที่ 10 ได้ 4.05803×10^6

ข้อมูลชุดที่ 11 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) จะทำการพิจารณาค่าพลังงานความร้อนซึ่งมีค่าพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 4.05803×10^6 จูล และมวลรวมเท่ากับ 2.73078 กิโลกรัม โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.002 เมตร มีมวลแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.66742×10^{-4} กิโลกรัมและพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.06914×10^2 จูล, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.13394×10^{-3} กิโลกรัมและพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 3.25532×10^2 จูล, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 9.00255×10^{-4} กิโลกรัม และพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 1.37333×10^3 จูล ทำการปล่อยอนุภาค 800 อนุภาค พร้อมกันซึ่งมีมวลรวมเท่ากับ 0.21339 กิโลกรัม และจะทำการเว้นระยะการปล่อยต่อมาอีก 800 อนุภาคในเวลา 0.4 วินาที ซึ่ง 800 อนุภาค ต่อมาจะมีมวลรวมเท่ากับ 1.70715 กิโลกรัม ส่วนครั้งสุดท้ายปล่อย 900 อนุภาค ซึ่งมีมวลรวมเท่ากับ 0.81022 กิโลกรัม ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ กว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น หากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงพลังงาน ว่าเป็นฟังก์ชันดังนี้คือ $f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1 z + a_2)^2$ ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำนี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายการกระจายของพลังงานความร้อนตามแกน x, y และ z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค มีมวลรวมทั้งหมด 2.73078 กิโลกรัม และมีค่าพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 4.05803×10^6 จูล สำหรับข้อมูลชุดที่ 11 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร และ ในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร

แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงพลังงาน	แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงพลังงาน
0.25	0.25	0.25	2.03695×10^6	1.25	0.25	0.25	2.02631×10^6
0.25	0.75	0.25	2.02644×10^6	1.25	0.75	0.25	2.03695×10^6
0.25	1.25	0.25	2.02937×10^6	1.25	1.25	0.25	2.03695×10^6
0.25	1.75	0.25	2.02324×10^6	1.25	1.75	0.25	1.97522×10^6
0.75	0.25	0.25	2.02631×10^6	1.75	0.25	0.25	2.02937×10^6
0.75	0.75	0.25	2.03695×10^6	1.75	0.75	0.25	2.02334×10^6
0.75	1.25	0.25	2.02631×10^6	1.75	1.25	0.25	2.01566×10^6
0.75	1.75	0.25	2.05185×10^6	1.75	1.75	0.25	2.03695×10^6

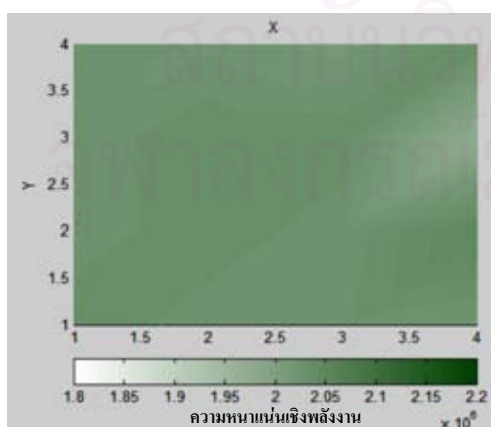
จากตารางที่ 4.17 พบว่าพลังงานความร้อนกระจายไปทั่วในชั้นล่างสุด (ชั้นที่ 1) การที่พลังงานความร้อนทั้งหมดอยู่ในชั้นที่ 1 ทำให้ไม่จำเป็นต้องพิจารณาในแกน x และ y แต่เน้นพิจารณาในแกน z เพียงแกนเดียว ดังนั้นจึงเลือกใช้ฟังก์ชัน $f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2$ สำหรับพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงพลังงาน

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

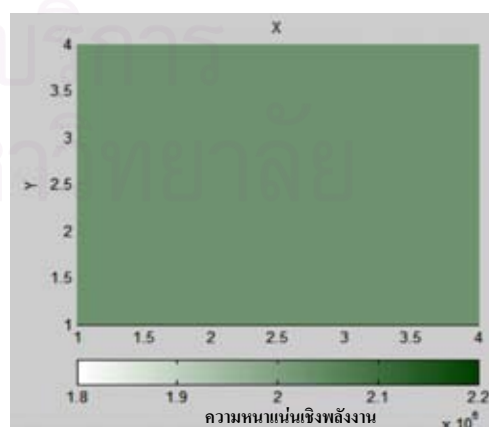
$$\varepsilon^2 = 2.00000 \times 10^1 \quad (4.81)$$

$$f(x, y, z) = k(z) = a_0(a_1z + a_2)^2 \quad (4.82)$$

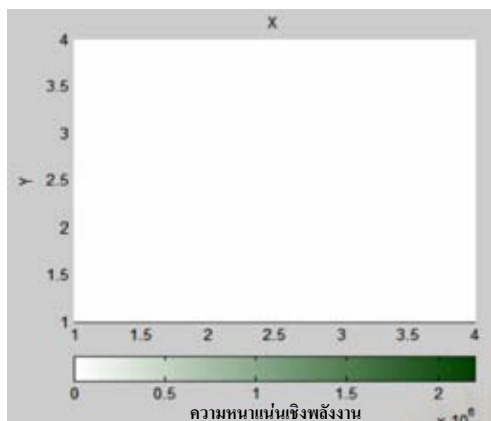
$$f(x, y, z) = k(z) = 5.54050 \times 10^{-1} (9.43800 \times 10^{-6} z + 1.34346)^2 \quad (4.83)$$



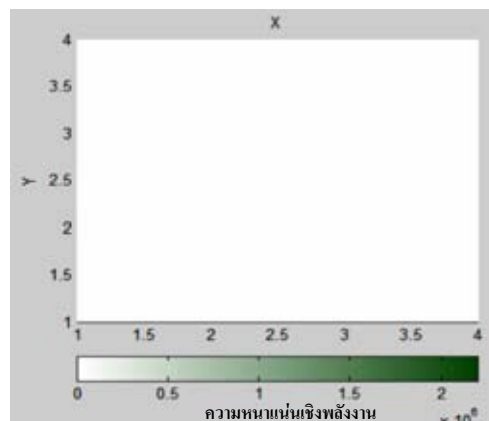
รูปที่ 4.93 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



รูปที่ 4.94 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11

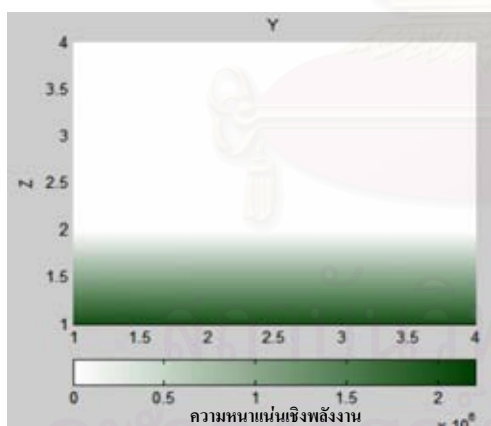


รูปที่ 4.95 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy
ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11

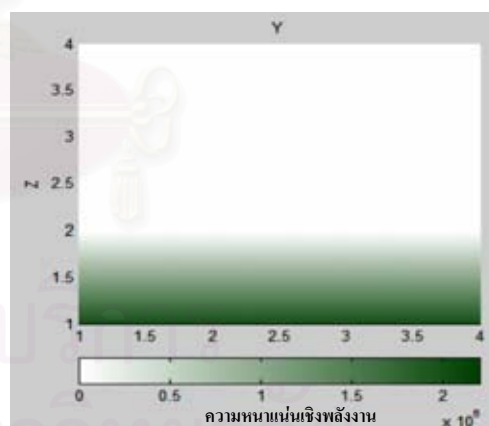


รูปที่ 4.96 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy
ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11

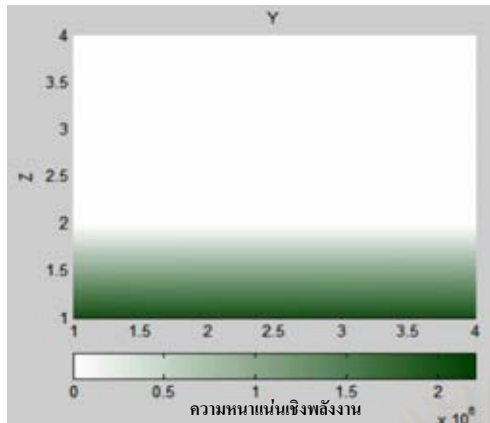
ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.95 และลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.96



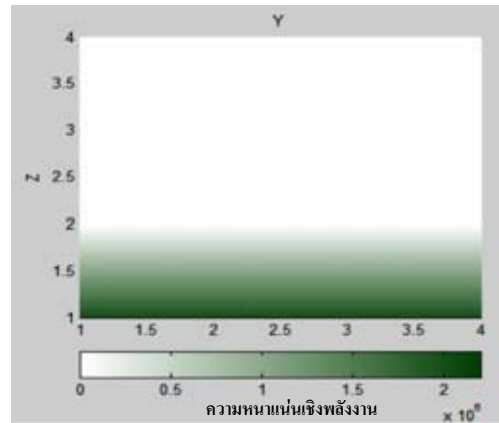
รูปที่ 4.97 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



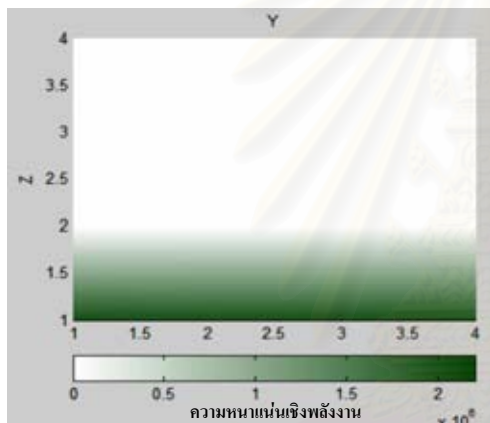
รูปที่ 4.98 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



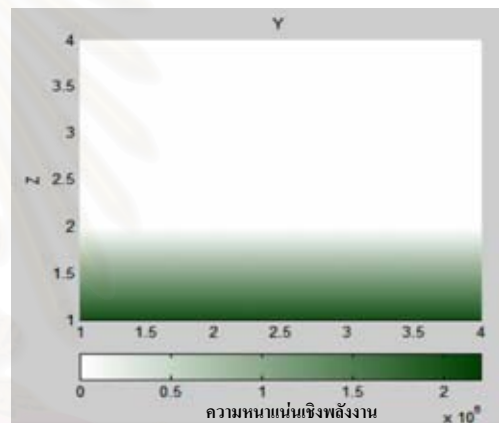
รูปที่ 4.99 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



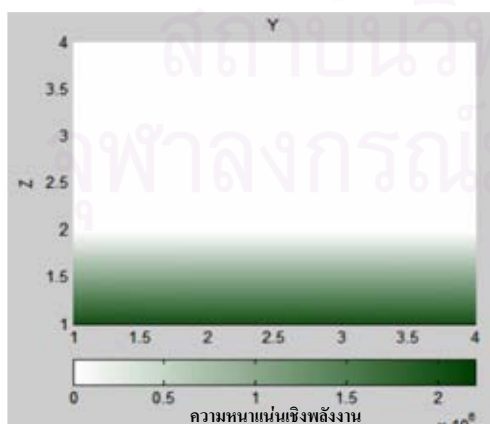
รูปที่ 4.100 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



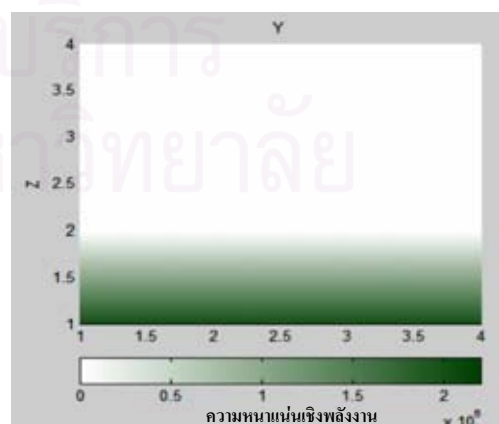
รูปที่ 4.101 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



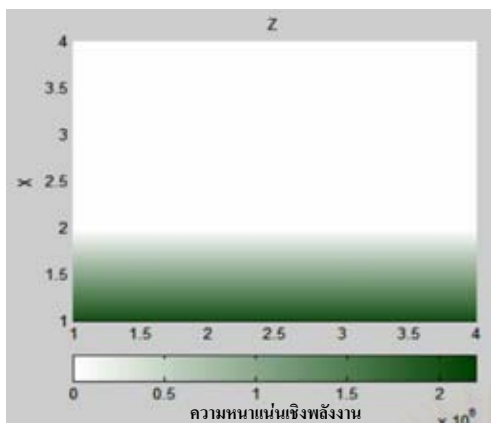
รูปที่ 4.102 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



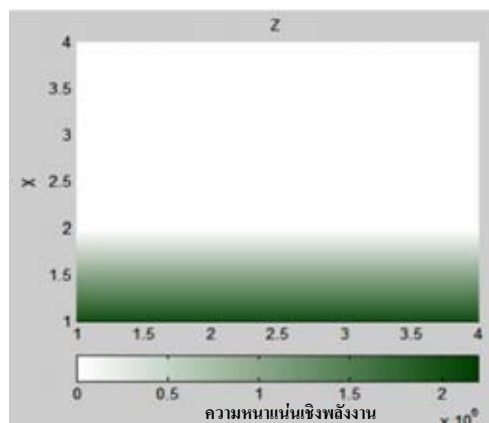
รูปที่ 4.103 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



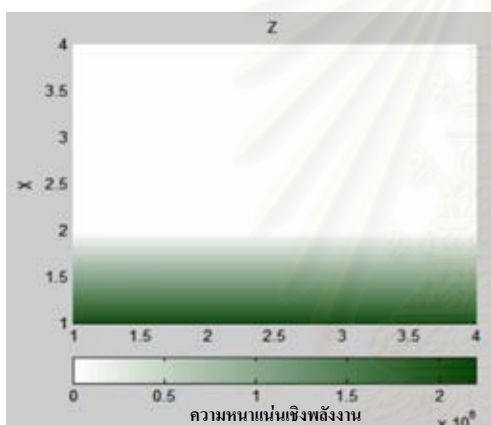
รูปที่ 4.104 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



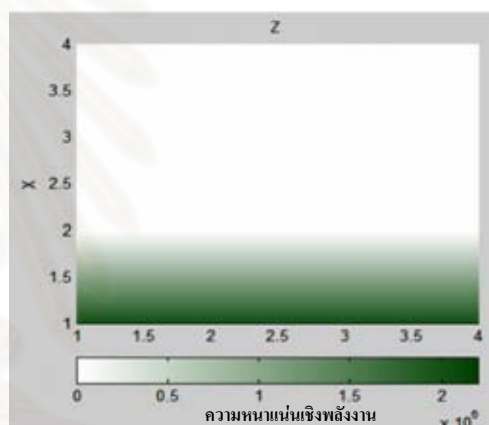
รูปที่ 4.105 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xz
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



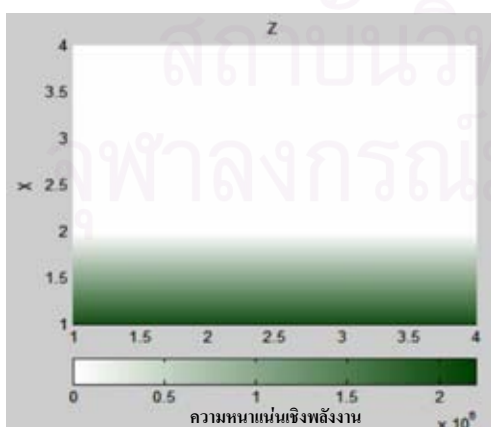
รูปที่ 4.106 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xz
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



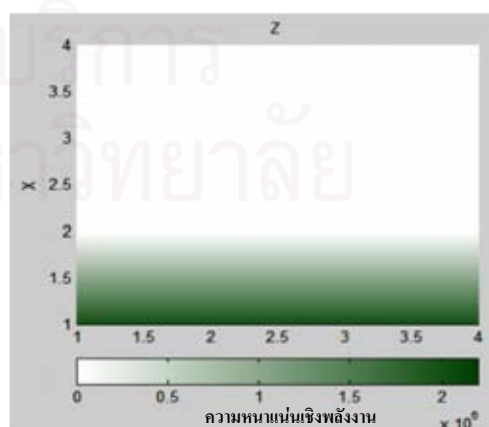
รูปที่ 4.107 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xz
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



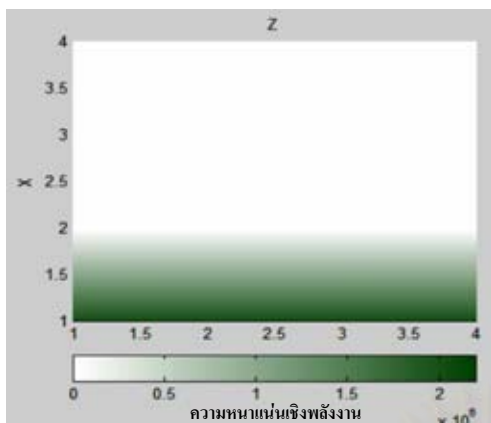
รูปที่ 4.108 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xz
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



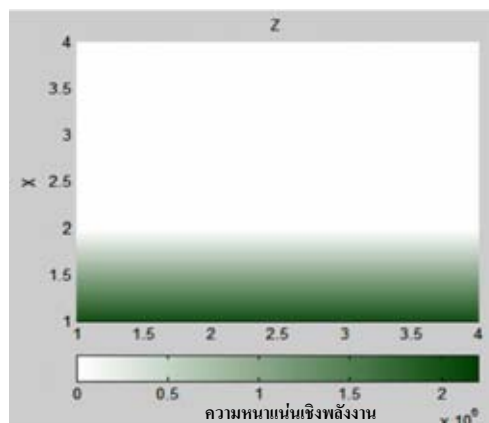
รูปที่ 4.109 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xz
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



รูปที่ 4.110 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xz
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



รูปที่ 4.111 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 (y=2) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11



รูปที่ 4.112 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 (y=2) สำหรับข้อมูลชุดที่ 11

จากการเปรียบเทียบภาพกราฟสีแสดงการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากแบบจำลองกับฟังก์ชัน ในแต่ละชั้น เมื่อพิจารณาแกน z พบว่าในแบบจำลองการกระจายพลังงานความร้อนของอนุภาคมีความใกล้เคียงกันมากและมีลักษณะแตกต่างเพียงเล็กน้อย ส่วนแกน x และ y พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเลย ในกรณีนี้สรุปได้ว่าฟังก์ชันที่ใช้สามารถบรรยายการกระจายความหนาแน่นพลังงานความร้อนของข้อมูลชุดที่ 11 ได้ดี

ข้อมูลชุดที่ 12 มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค ลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก (Descending Cloud) ซึ่งจะทำให้การพิจารณาค่าของพลังงานความร้อนซึ่งมีค่าพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 9.30098×10^6 จูล และมีมวลรวมเท่ากับ 6.17843 กิโลกรัม โดยขนาดรัศมีอนุภาคแต่ละอนุภาคไม่คงที่ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีอยู่ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มอนุภาคที่ 1-800 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.004 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 2.13394×10^{-3} กิโลกรัมและพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 3.25533×10^3 จูล, กลุ่มอนุภาคที่ 801-1,600 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.003 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 9.00255×10^{-4} กิโลกรัมและพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 1.37334×10^3 จูล, กลุ่มอนุภาคที่ 1,601-2,500 มีรัศมีของอนุภาคเท่ากับ 0.005 เมตร มีมวลในแต่ละอนุภาคเท่ากับ 4.16785×10^{-3} กิโลกรัมและพลังงานแต่ละอนุภาคเท่ากับ 6.35806×10^3 จูล โดยจะปล่อยอนุภาคในระยะเวลาที่ทำการสุ่มไว้ ซึ่งการปล่อยอนุภาคจะปล่อยแบบสุ่มในระนาบ xy เป็นการสุ่มในช่วง 0-2 เมตร ส่วนในแกน z อยู่ในระดับเดียวกันหมดคือ 1.8 เมตร ปริมาตรของระบบจะแบ่งออกเป็นปริมาตรย่อยลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ความกว้าง 0.5 เมตร, ยาว 0.5 เมตร และ สูง 0.5 เมตร ซึ่งจะทำให้มีทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 16 ชั้น หากพิจารณาฟังก์ชัน F ที่บรรยายความหนาแน่นเชิงพลังงาน ว่าเป็นฟังก์ชันดังนี้คือ $f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2$ ซึ่งข้อมูลนี้ได้ทำการใช้ช่วงเวลา 1.7 sec ซึ่งจะบรรยายการกระจายของพลังงานความร้อนตามแกน x , y และ z ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลการกระจายตัวตามแนวแกน x, y, z ที่มีปริมาตรสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ 64 ชั้น มีจำนวนอนุภาค 2,500 อนุภาค มีมวลรวมทั้งหมด 6.17843 กิโลกรัม และมีค่าพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 9.30098×10^6 จูล สำหรับข้อมูลชุดที่ 12 ได้ทำการพิจารณาในแกน x ในช่วง 0.25-1.75 เมตร ในแกน y ในช่วง 0.25-1.75 เมตร และในแกน z ในช่วง 0.25 เมตร

แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงพลังงาน	แกน x	แกน y	แกน z	ความหนาแน่นเชิงพลังงาน
0.25	0.25	0.25	4.67517×10^6	1.25	0.25	0.25	4.63075×10^6
0.25	0.75	0.25	4.37627×10^6	1.25	0.75	0.25	4.97436×10^6
0.25	1.25	0.25	4.87866×10^6	1.25	1.25	0.25	4.28418×10^6
0.25	1.75	0.25	4.02119×10^6	1.25	1.75	0.25	4.13850×10^6
0.75	0.25	0.25	5.25686×10^6	1.75	0.25	0.25	3.93348×10^6
0.75	0.75	0.25	4.68579×10^6	1.75	0.75	0.25	5.09002×10^6
0.75	1.25	0.25	5.10107×10^6	1.75	1.25	0.25	5.48655×10^6
0.75	1.75	0.25	4.01173×10^6	1.75	1.75	0.25	4.81525×10^6

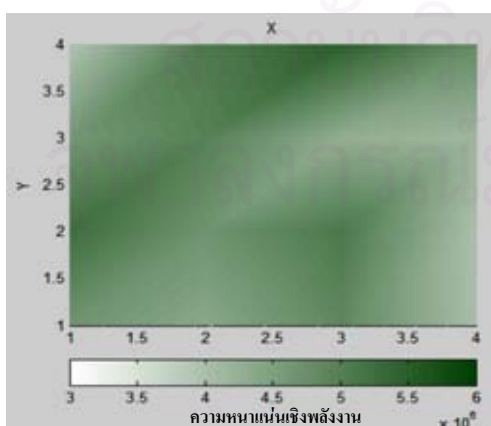
จากตารางที่ 4.18 พบว่าพลังงานความร้อนกระจกระบายไปทั่ว ส่งผลให้ฟังก์ชันต้องพิจารณาทั้งแกน x, y และ z จึงเลือกใช้ฟังก์ชัน $f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z)$ $= (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2$ ซึ่งเป็นสมการเส้นตรงกำลังสอง

ทำการ fit curve ในโปรแกรมจะได้ผลดังต่อไปนี้

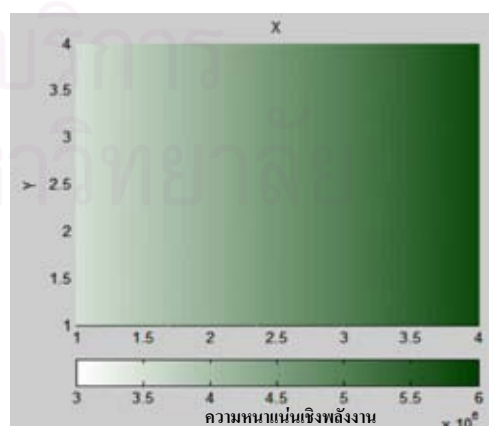
$$\varepsilon^2 = 8.29871 \times 10^1 \quad (4.84)$$

$$f(x, y, z) = g(x) \cdot h(y) \cdot k(z) = (a_0x + a_1)^2 \cdot (a_2y + a_3)^2 \cdot (a_4z + a_5)^2 \quad (4.85)$$

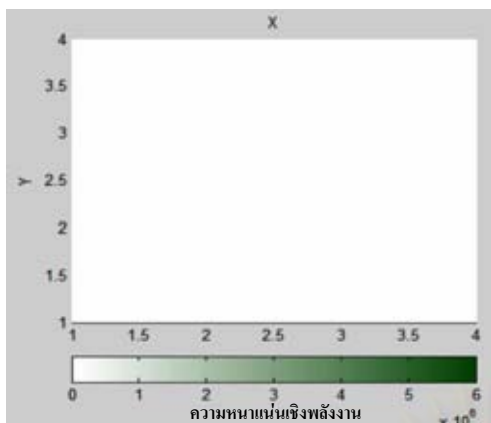
$$f(x, y, z) = (2.59990 \times 10^{-3}x - 1.02590 \times 10^2)^2 (9.99396 \times 10^{-4}y + 4.91164 \times 10^{-3})^2 (3.91388 \times 10^{-4}z + 5.86702 \times 10^{-3})^2 \quad (4.86)$$



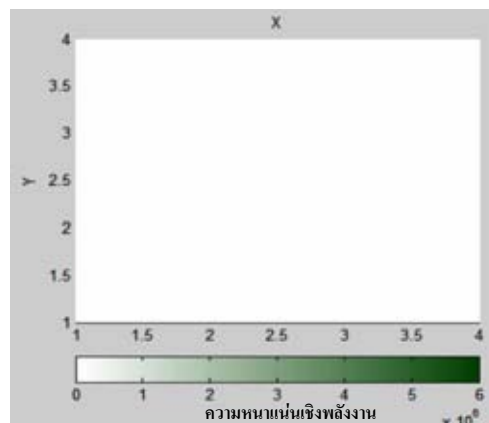
รูปที่ 4.113 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



รูปที่ 4.114 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 1 ($z=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12

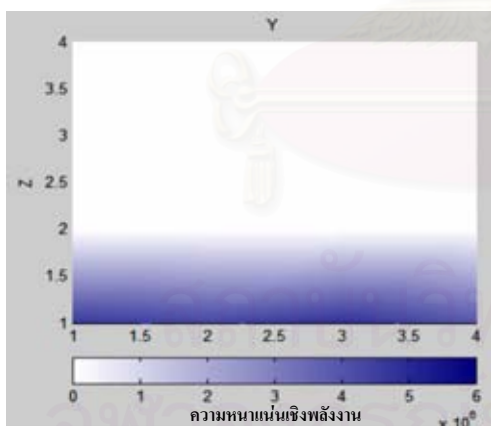


รูปที่ 4.115 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy
ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12

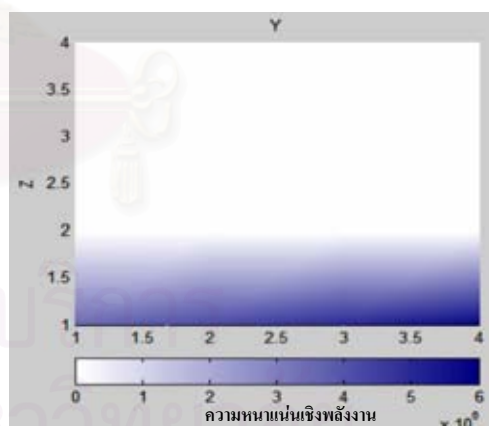


รูปที่ 4.116 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy
ชั้นที่ 2 ($z=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12

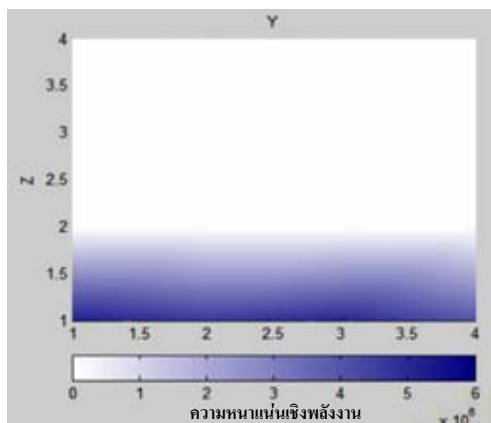
ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากการจำลองบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.115 และลักษณะการกระจายพลังงานความร้อนที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ xy ชั้นที่ 3 ($z=1.5$), ชั้นที่ 4 ($z=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12 ได้รูปเหมือนรูปที่ 4.116



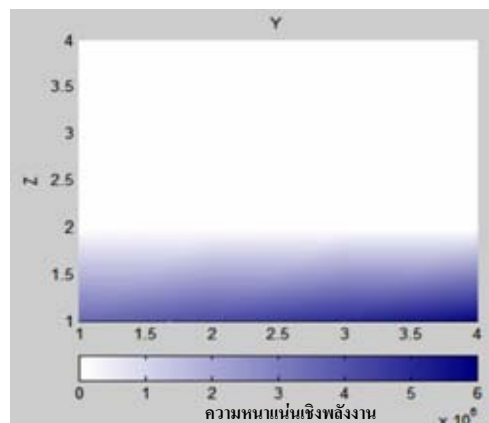
รูปที่ 4.117 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



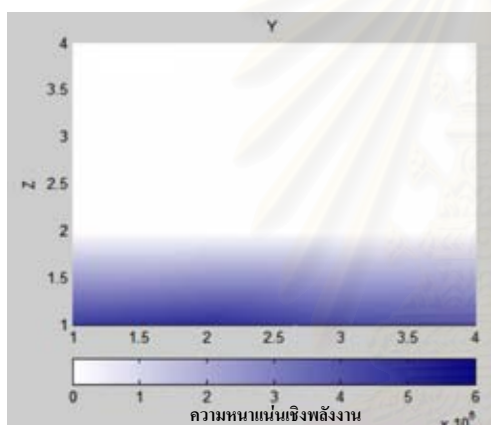
รูปที่ 4.118 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 1 ($x=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



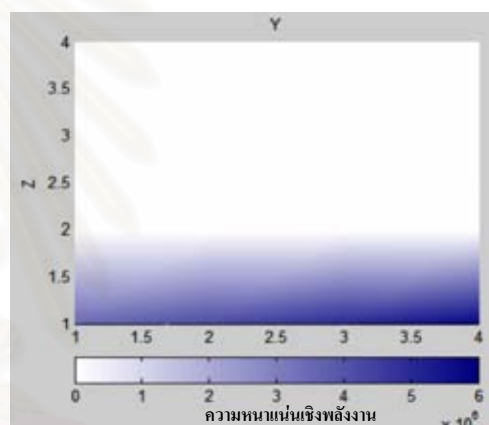
รูปที่ 4.119 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



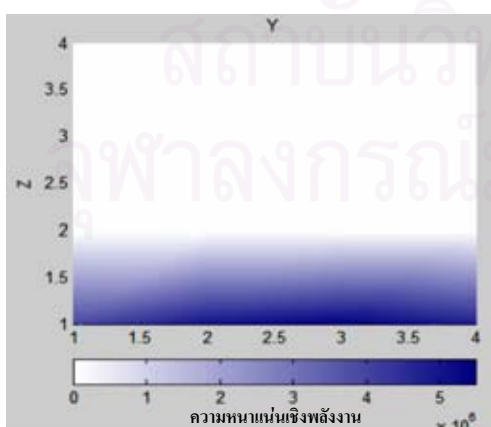
รูปที่ 4.120 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 2 ($x=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



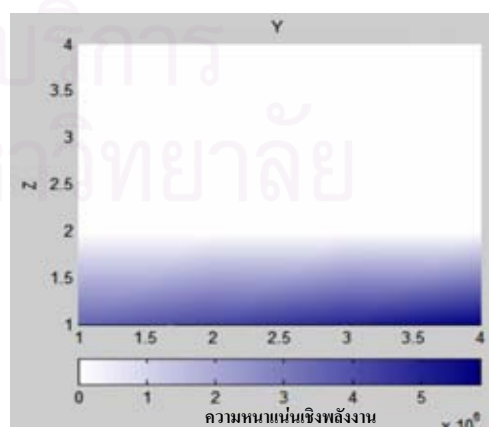
รูปที่ 4.121 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



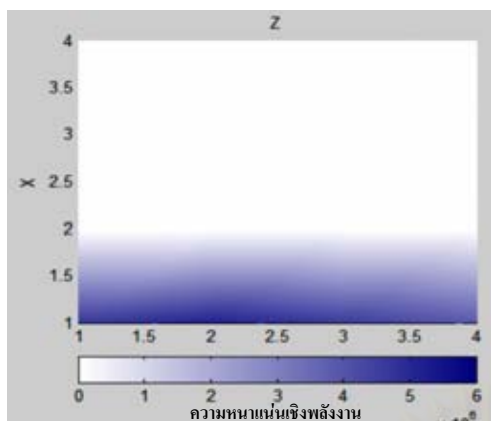
รูปที่ 4.122 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 3 ($x=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



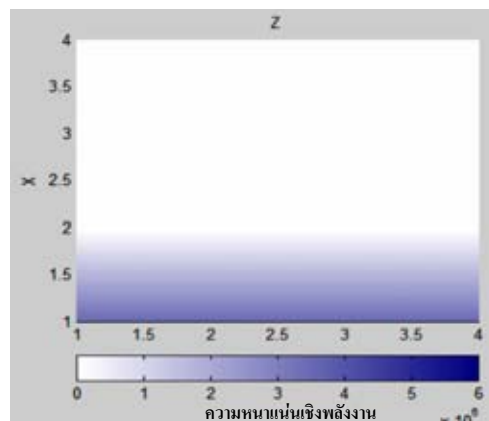
รูปที่ 4.123 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



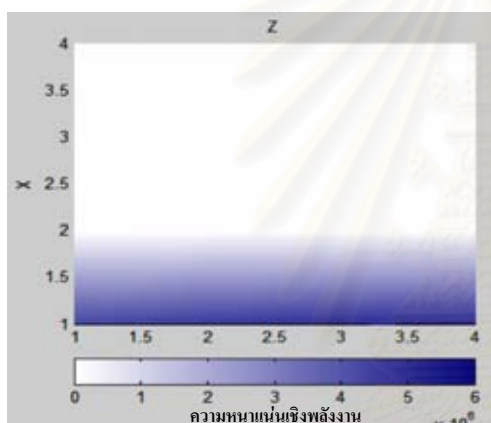
รูปที่ 4.124 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ yz
ชั้นที่ 4 ($x=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



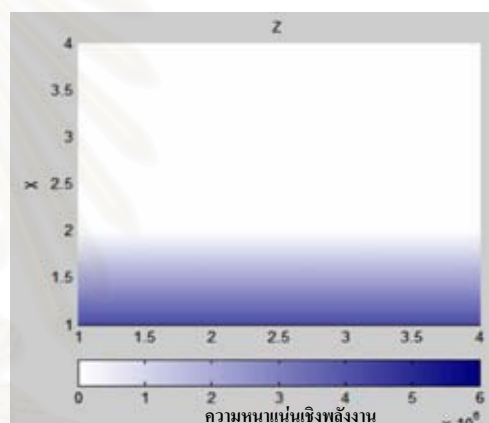
รูปที่ 4.125 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



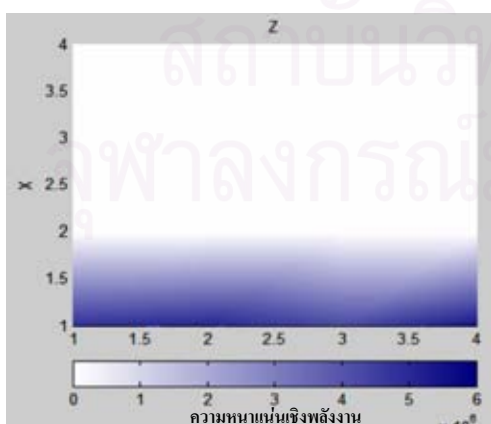
รูปที่ 4.126 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 1 ($y=0.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



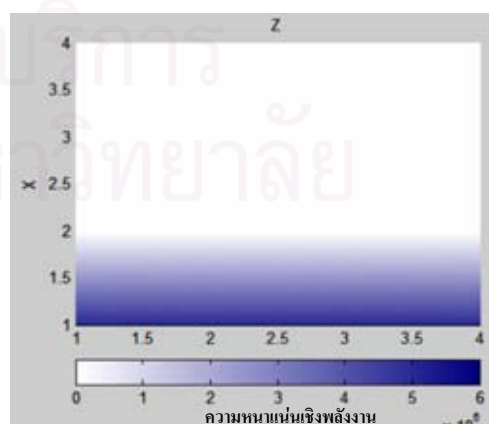
รูปที่ 4.127 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



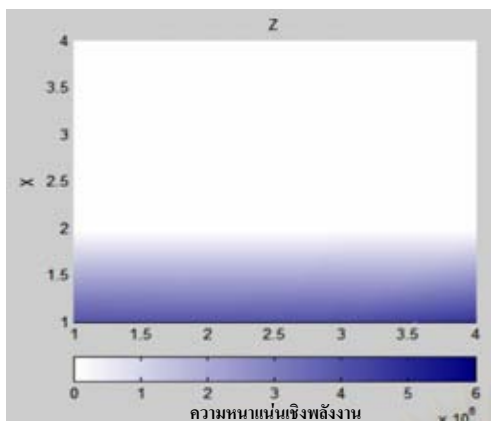
รูปที่ 4.128 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 2 ($y=1$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



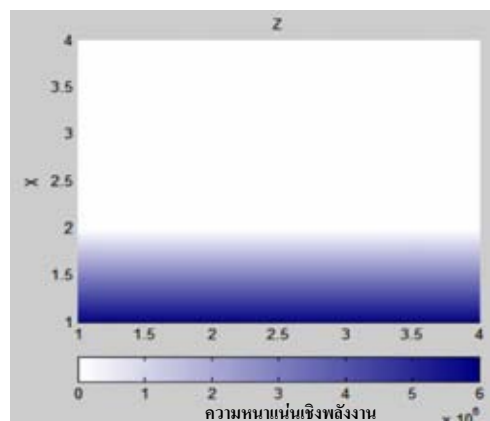
รูปที่ 4.129 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



รูปที่ 4.130 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 3 ($y=1.5$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



รูปที่ 4.131 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากการจำลองบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12



รูปที่ 4.132 ลักษณะการกระจายพลังงานความร้อน
ที่ได้จากฟังก์ชันบนระนาบ zx
ชั้นที่ 4 ($y=2$) สำหรับข้อมูลชุดที่ 12

สำหรับพิจารณาการกระจายความหนาแน่นเชิงพลังงาน และจากการเปรียบเทียบภาพกราฟก็แสดงการกระจายความหนาแน่นที่ได้จากแบบจำลองกับฟังก์ชัน ในแต่ละชั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับฟังก์ชันมีความใกล้เคียงกันมาก ทั้งแกน x , y และ z อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายความหนาแน่นพลังงานบนระนาบ xy ที่ได้ซึ่งมีลักษณะไม่คงที่ชี้ให้เห็นชัดว่าฟังก์ชันเส้นตรงน่าจะไม่เหมาะสมกับการใช้บรรยายความหนาแน่นเชิงพลังงานของข้อมูลชุดที่ 12 นี้

บทที่ 5

บทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปผลการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฟังก์ชันแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียว สิ่งสำคัญประการหนึ่งซึ่งต้องพิจารณาในลำดับแรก คือ ต้องทราบถึงลักษณะการตกของอนุภาคเชื้อเพลิง ซึ่งสนใจลักษณะการตกเพียง 2 แบบ คือ การตกลงมาแบบสายน้ำ และ การตกลงมาแบบกลุ่มหมอก ในการพิจารณาการกระจายของอนุภาคได้นำรูปแบบของข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยชุดข้อมูลทั้งหมด 12 ชุด โดยแบ่งย่อยเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ความหนาแน่นเชิงจำนวน ความหนาแน่นเชิงมวล และความหนาแน่นเชิงพลังงาน

ผลจากการพิจารณาความหนาแน่นเชิงจำนวน สำหรับข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 อนุภาคมีการกระจายอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 ถึง 5 โดยในช่วงชั้นที่ 3 จะมีจำนวนอนุภาคมากที่สุด ช่วงชั้นที่ 4 และ 5 จะน้อยลงตามลำดับ เพราะในช่วงชั้นที่ 3 และ 4 เป็นชั้นของของเหลว มีแรงหน่วงทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ได้ช้าลง และถ้ามองตามแนวรัศมีในแต่ละชั้น ความหนาแน่นของอนุภาคจะมากในช่วงใกล้จุดศูนย์กลางและน้อยลงเมื่อไกลจุดศูนย์กลางออกไป เนื่องจากข้อมูลทั้งสองชุดมีลักษณะการตกแบบสายน้ำ ฟังก์ชันที่ใช้ในการพิจารณาจึงพิจารณาทั้งแกน z และแกน r แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรัศมีของอนุภาคจะมีผลทำให้ความเร็วในการตกมีความแตกต่างกัน โดยขนาดรัศมีของอนุภาคใหญ่จะตกได้เร็วกว่า ขนาดรัศมีของอนุภาคที่เล็กกว่า จึงทำให้จำนวนอนุภาคของข้อมูลชุดที่ 2 ไปกองอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 นั้นมากกว่า ส่งผลทำให้สมการที่ได้มานั้นมีความแตกต่างกันดังสมการ $n(z, r) = 4.641(-112.500z^2 + 526.000z + 12.125) \cdot e^{(0.61160 - 4.97963r)}$ และสมการ $n(z, r) = 4.11070(-16.50000z^2 - 178.00000z + 1236.12000) \cdot e^{(0.584756 - 4.78662r)}$ ซึ่งมีความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือมีค่า ε^2 นั้นไม่เกิน 10% ส่วนข้อมูลชุดที่ 3 และ 4 มีลักษณะการตกแบบกลุ่มหมอก ข้อมูลชุดที่ 3 อนุภาคกระจัดกระจายไปทั่ว ได้ค่าตามสมการ $f(x, y, z) = 5.0048 \times 10^{-5} (1.0359 \times 10^{-5} z + 6.0122 \times 10^{-5})$ ซึ่งมีความผิดพลาดที่สูงเนื่องจากกระจายไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ในข้อมูลชุดที่ 4 อนุภาคจะกระจายเกาะกลุ่มเป็นช่วงๆ เนื่องจากมีการปล่อยอนุภาคในระยะเวลาแบบสุ่ม จะได้ดังสมการ $f(x, y, z) = (4.00598 \times 10^{-2} x - 4.60278 \times 10^{-1})^2 (1.58587 \times 10^{-2} y + 7.49832 \times 10^{-2})^2 (5.07916 \times 10^{-3} z + 9.21015 \times 10^{-2})^2$ ซึ่งมีความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือมีค่า ε^2 นั้นไม่เกิน 10%

ผลจากการพิจารณาความหนาแน่นเชิงมวล ทำการนับจำนวนมวลต่อปริมาตรแทน ซึ่งนำผลการทดลองจากข้อมูลชุดความหนาแน่นเชิงจำนวนมาทำการหามวล โดยถ้าค่าความหนาแน่นของอนุภาคเท่ากันมวลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าของรัศมี ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีผลไปในทางเดียวกับความหนาแน่นเชิงจำนวน

ผลจากการพิจารณาความหนาแน่นเชิงพลังงาน ทำการนับพลังงานความร้อนของอนุภาคต่อปริมาตรแทนซึ่งนำผลการทดลองจากข้อมูลชุดความหนาแน่นเชิงมวลมาทำการหาพลังงาน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีผลไปในทางเดียวกับความหนาแน่นเชิงจำนวน

สำหรับการพิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคนั้น การเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีของอนุภาคจะมีผลทำให้ความเร็วในการตกมีความแตกต่างกัน โดยขนาดรัศมีของอนุภาคใหญ่จะตกได้เร็วกว่าขนาดรัศมีของอนุภาคที่เล็กกว่า ส่วนลักษณะในการตกของอนุภาค พบว่าในการตกแบบกลุ่มหมอก จะมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ดังนั้นในการพิจารณาการกระจายตัวของอนุภาคต้องพิจารณาทั้งแกน x , y และ z ซึ่งแตกต่างกับการตกแบบเป็นสายน้ำ ที่เน้นพิจารณาการกระจายตัวในแกน z มากกว่า เนื่องจากตกเป็นสาย ทำให้แกน x และ y ไม่มีผลมากนัก และสำหรับเวลาในการปล่อยอนุภาคจะไม่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคในแกน x และ y แต่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคในแกน z คือ ถ้าช่วงเวลาในการปล่อยอนุภาคคงที่ จะทำให้การกระจายตัวในแกน z สม่ำเสมอ แต่ถ้าช่วงเวลาในการปล่อยอนุภาคเป็นแบบสุ่มจะทำให้การกระจายตัวในแกน z ไม่สม่ำเสมอ และเกิดการเกาะกลุ่มเป็นช่วง ๆ โดยปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้รูปแบบของฟังก์ชันในแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างกัน

ส่วนการพิจารณารูปแบบฟังก์ชันของการตกเป็นสายน้ำนั้น จะต้องพิจารณาอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันคูณกัน ซึ่งค่าที่ได้จากฟังก์ชันนั้นมีค่าไม่เท่ากับข้อมูลจริง ดังนั้นจึงมีการคูณกับค่าคงที่เพื่อจะทำการปรับแก้ไขฟังก์ชันให้มีค่าเท่ากับค่าของข้อมูลจริง แต่รูปแบบฟังก์ชันของการตกแบบกลุ่มหมอกนั้น ถ้ารูปแบบที่ทำการพิจารณามีความสม่ำเสมอในการปล่อยก็อาจไม่จำเป็นต้องพิจารณาการกระจายของอนุภาคบนระนาบ xy ให้พิจารณาเพียงแกน z (ความสูงอย่างเดียว) แต่ถ้ามีการปล่อยแบบไม่สม่ำเสมอควรจะทำการศึกษาแกน x , แกน y และ แกน z ด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณ พบว่าในกรณีที่รูปแบบฟังก์ชันเป็นเชิงเส้น หรือ กรณีที่ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นที่ไม่ซับซ้อนมากนัก จะทำการหารูปแบบฟังก์ชันได้ดี เพราะค่า ϵ^2 ที่ได้นั้นค่าน้อยมาก ส่วนในกรณีที่ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นที่มีความซับซ้อน เช่น รูปแบบของการตกแบบสายน้ำ เป็นฟังก์ชันที่ไม่เชิงเส้นที่มีความซับซ้อนมาก เมื่อทำการหารูปแบบฟังก์ชันออกมาจึงไม่ดี เพราะค่า ϵ^2 ที่หาได้นั้นมีค่ามากกว่า ส่วนรูปแบบของการตกแบบกลุ่มหมอก เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่มีความซับซ้อน ทำให้ค่าฟังก์ชันที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนกับค่าข้อมูลจริงได้มาก จากการวิเคราะห์ผลการ

จำลองและลักษณะฟังก์ชันที่ได้ชี้ให้เห็นว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นซึ่งเน้นใช้ฟังก์ชันเส้นตรง ฟังก์ชันพหุนาม และฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ไม่ซับซ้อน (มีตัวแปรไม่มากนัก) มีข้อจำกัดไม่สามารถบรรยายการกระจายตัวของอนุภาคที่มีรูปแบบหลากหลายหรือความแตกต่างเทียบกับตำแหน่งที่พิจารณาสูง อย่างไรก็ตามหากรูปแบบการกระจายของอนุภาคเป็นแบบง่ายๆแล้วโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นก็สามารถใช้บรรยายการกระจายของอนุภาคได้อย่างสอดคล้องซึ่งแสดงว่าแนวคิดการสร้างฟังก์ชันเพื่อบรรยายการกระจายของอนุภาคจริงมีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง หากแต่ความซับซ้อนและจำนวนตัวแปรที่ใช้พิจารณายังคงเป็นปัญหาที่ต้องพัฒนาและแก้ไขในลำดับต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

รูปแบบฟังก์ชันแจกแจงการกระจายตัวของอนุภาคที่ได้จากการทำวิจัยนี้เป็นแบบคร่าวๆ และมีความคลาดเคลื่อนของฟังก์ชันอยู่ แต่จัดได้ว่ามีความถูกต้องและน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง หากต้องการฟังก์ชันแจกแจงการกระจายตัวของอนุภาคที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นสามารถทำได้โดยการพิจารณาผลกระทบต่างๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ทั้งแกน x และ y , แรงต้านในแกน x และ y , การชนกันของอนุภาค, ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจากสารหล่อเย็น และรูปทรงของอนุภาค เพื่อให้ฟังก์ชันแจกแจงการกระจายตัวของอนุภาคที่ได้มีความคล้ายคลึงกับสภาพกระจายที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น

ในการสร้างฟังก์ชันการแจกแจงสมบัติสำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงในของไหลสถิตสถานะเดียวสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาสมบัติการกระจายของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ความหนาแน่นเชิงจำนวน ความหนาแน่นเชิงมวล และความหนาแน่นเชิงพลังงาน สำหรับงานวิจัยที่ต้องดำเนินงานต่อไปนั้น ควรทำการวิจัยสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น โมเมนต์ดัมของอนุภาค, พลังงานจลน์ของอนุภาค, พลังงานศักย์ของอนุภาค และพลังงานภายในในระบบ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางปฏิบัติสูงสุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เต็มศิริ ป้อมประภา. การจำลองการเดือดเป็นชั้นฟิล์มที่เกิดกับเวลาบนพื้นผิววัตถุทรงกลม.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

วิทยา วัชรวิทยากุล. ภาษาและการโปรแกรม C. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น,
2545.

สมศรี จรุงเรือง. ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

सानนท์ เจริญฉาย. โปรแกรมภาษา C จำนวนสถิติ. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหา
จุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย วัดมหาธาตุ , 2545.

อรพิน ประวัตติบริสุทธิ. คู่มือเรียนภาษา C. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ provision, 2547.

ภาษาอังกฤษ

Jens-Georg Reich. C Curve Fitting and Modeling for Scientists and Engineering. 1st ed McGraw-
Hill, 1992.

Lamarsh, J.R. Introduction to Nuclear Engineering. 2nd ed. New York : Adios-Wesley, 1983.

Steven C. Chapra and Raymond P. Canale. Numerical Methods for Engineers. McGraw-Hill,
1995.

Stewart. Calculus for Scientists and Engineering. 3rd ed. McGraw-Hill, 1994.

Sunchai Nitsuwankosit. LESIM User's Manual. Thermal Hydraulics and Safety Research
Division. Korea Atomic Energy Research Institute. Korea, 2003.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกิตติพงษ์ ปิยะจนารถ เกิดที่กรุงเทพมหานคร วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2522 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เข้าศึกษาต่อภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย