

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ปรับปรุงประสิทธิภาพได้สำหรับปัญหาที่มีหลายระดับ
ความละเอียด: กรณีศึกษาการจำลองสนาม



นายสิทธิกร ถาวรรัตนวิช

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PARALLEL PROGRAM DEVELOPMENT WITH ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING
FOR MULTI-SCALE PROBLEM: A CASE STUDY OF TSUNAMI SIMULATION



Mr. Sittikorn Thawornrattanawanit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ปรับปรุงประสิทธิภาพได้ สำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด: กรณีศึกษาการ จำลองสึนามิ
โดย	นายสิทธิกร ถาวรรัตนวิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัมย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัมย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐภูมิ หนูไพโรจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูวงศ์ อุทโยภาศ)

สิทธิกร ถาวรรัตนวณิช : การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ปรับปรุงประสิทธิภาพ
ได้สำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด: กรณีศึกษาการจำลองสึนามิ.
(PARALLEL PROGRAM DEVELOPMENT WITH ADAPTIVE PERFORMANCE
TUNING FOR MULTI-SCALE PROBLEM: A CASE STUDY OF TSUNAMI
SIMULATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมือนสิน, อ.
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัศมี, 120 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคำนวณแบบ
ขนานบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมจำลองสึนามิเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากการ
จำลองสึนามิเป็นปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด เมื่อนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณแบบ
ขนานจะมีความซับซ้อนในการออกแบบโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงควรมีระเบียบ
วิธีการจัดการงานสำหรับโปรแกรมคำนวณแบบขนานจากกรณีศึกษา ด้วยการเก็บข้อมูลการ
ทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงานด้วยข้อมูลตัวอย่างจากการทดสอบ จากนั้นหา
ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงเวลากับรูปแบบในการแบ่งงาน ขนาดของปัญหา และค่าใช้จ่าย
อื่นที่เกิดขึ้นสำหรับการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล เพื่อให้โปรแกรมสามารถ
ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาในการคำนวณลดลงอันเนื่องมาจากการกระจายงานที่
สม่ำเสมอตามลักษณะการทำงานของโปรแกรม เหมาะสมกับขนาดของปัญหา และระบบคลัส
เตอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา :วิศวกรรมคอมพิวเตอร์... ลายมือชื่อนิสิต :สิทธิกร ถาวรรัตนวณิช.....
สาขาวิชา :วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :ดร. วีระ เหมือนสิน.....
ปีการศึกษา :2553..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :อาณัติ เรืองรัศมี.....

5170494321 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS: PARALLEL PROGRAM / ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING / MULTI-SCALE PROBLEM / TSUNAMI SIMULATION / TUNAMI

SITTIKORN THAWORNATTANAWANIT : PARALLEL PROGRAM DEVELOPMENT WITH ADAPTIVE PERFORMANCE TUNING FOR MULTI-SCALE PROBLEM: A CASE STUDY OF TUSNAMI SIMULATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. VEERA MUANGSIN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. ANAT RUANGRASSAMEE, Ph.D., 120 pp.

Parallel computing, using many processors working together, aims to compute faster or to compute the larger problem size. Because of several factors, the increasing number of processors may not be efficient to reduce the computation time. The factors that affect the performance of parallel program depend on partitioning, granularity, and the number of processors. The load balancing to fit the size of the problem, the behavior of parallel program, and the cluster computer are the consideration. This thesis studies the factors that affect the efficiency of the parallel program using a case study of tsunami simulation. Because the tsunami simulation is a multi-scale problem or a multi-level resolution problem, the parallel program development are the complexity in designing and improving program. The experiment tries to find the methodology to manage the parallel program that increased efficiency and reduced computation time. The methodology can improve the parallel program by adjusting the partitioning to fit the size of the problem with the load balancing by the behavior of the program.

Department : ..Computer Engineering.. Student's Signature :
Field of Study : ..Computer Engineering.. Advisor's Signature :
Academic Year :2010..... Co-Advisor's Signature :

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน โดยบุคคลสองท่านแรกที่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์ ให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งชี้แนะแนวทางและทัศนคติที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ อีกท่านหนึ่งคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาณัติ เรืองรัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการทดลองในวิทยานิพนธ์ ทั้งยังจัดการทรัพยากรต่าง ๆ ให้ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วย

ลำดับต่อมาขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตยวัฒน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุชงค์ อุทโยภาส กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบพระคุณผู้ดูแลระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ทั้งสองระบบที่ใช้ทำการทดลองในวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA ของศูนย์ไทยกริดแห่งชาติ สำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ ประเทศไทย และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ของศูนย์ GSIC (Global Scientific Information and Computing Center) สถาบันเทคโนโลยีโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณบุคคลดังต่อไปนี้ นายเกษม ตริตระการ นายธีรยุทธ โกสินทร์ นางสาวเปรมจิต อภิเมธีธำรง นายกิตติพัฒน์ วิโรจน์ศิริ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนายอาทิตย์ อินทวิ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก รวมถึงเพื่อน ๆ และพี่ ๆ ร่วมห้องปฏิบัติการทุกคน ที่คอยรับฟังและให้คำปรึกษาทั้งเรื่องวิทยานิพนธ์และการดำเนินชีวิตในมหาวิทยาลัย ทำให้มีความสุขและสนุกสนานกับการศึกษาในภาควิชาตลอด 2 ปีที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจและให้การอุปการะในทุกด้าน อยู่เสมอมา รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาตลอดช่วงชีวิตที่ผ่านมา ทำให้มีความรู้เป็นอาวุธติดตัวเรื่อยมาจนถึงทุกวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.7 ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์	6
1.8 ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 แนวคิดของงานวิจัย	38
3.1 แนวคิดหลัก	38
3.2 ระเบียบวิธีการจัดการงาน	41
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผลการวิจัย	56
4.1 การทดลอง	56
4.2 การวิเคราะห์ผล	65
บทที่ 5 การประเมินผลงานวิจัย	92
5.1 การประเมินผล	92
5.2 ผลการประเมิน	97
5.3 สรุปผลการประเมิน	99

บทที่ 6 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
6.1 สรุปงานวิจัย.....	101
6.2 สิ่งที่ได้จากการวิจัย.....	102
6.3 ประโยชน์ของระเบียบวิธีการจัดการงาน	102
6.4 แนวทางการวิจัยต่อ.....	102
รายการอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก. Configuration file ของโปรแกรม	106
ภาคผนวก ข. โปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน.....	113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	120



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 พิกัดของบริเวณที่สนใจที่จะนำมาคำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสีนามิ	22
ตารางที่ 2-2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการคำนวณที่มีการเรียกใช้งานซ้ำ ๆ ตลอดการทำงานจากการจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับของพื้นที่โซน 2111 และโซน 2121	33
ตารางที่ 3-1 ขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดของปัญหาทั้งหมด	49
ตารางที่ 4-1 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน	56
ตารางที่ 4-2 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ	57
ตารางที่ 4-3 ชื่องานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ของแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน	58
ตารางที่ 4-4 ค่าตัวแปรของส่วนการทำงานในโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ	79
ตารางที่ 4-5 เวลาเฉลี่ยของส่วนการทำงานในโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ	79
ตารางที่ 4-6 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ	80
ตารางที่ 4-7 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละโซนของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ	81
ตารางที่ 4-8 ค่าตัวแปรของส่วนการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน	82
ตารางที่ 4-9 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน	83
ตารางที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทำงานของแต่ละระดับความละเอียดต่อขนาดปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ	84
ตารางที่ 4-11 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน	86
ตารางที่ 4-12 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน	86

ตารางที่ 4-13 ปริมาณข้อมูล จำนวนครั้งในการรับส่งข้อมูล และเวลาที่ใช้ของการติดต่อสื่อสาร ภายในระดับความละเอียดของโปรแกรม	87
ตารางที่ 4-14 ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกในระดับความละเอียด	88
ตารางที่ 4-15 เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกในระดับความละเอียด.....	89
ตารางที่ 4-16 ลำดับการทำงานที่มีการรวบรวมข้อมูลของโปรแกรม.....	90
ตารางที่ 4-17 ลำดับการทำงานของโปรแกรมเพื่อประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงาน.....	91
ตารางที่ 5-1 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบก่อนและหลังการแบ่งงาน.....	93
ตารางที่ 5-2 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงาน	94
ตารางที่ 5-3 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียด.....	95
ตารางที่ 5-4 การวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลในการติดต่อสื่อสารภายนอกในระดับความละเอียด	95
ตารางที่ 5-5 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกในระดับความละเอียด.....	96
ตารางที่ 5-6 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลในแต่ละลำดับการทำงานของการคำนวณ แบบหนึ่งโชน.....	96
ตารางที่ 5-7 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลในแต่ละลำดับการทำงานของการคำนวณ แบบหลายโชน.....	97
ตารางที่ 5-8 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโชน 2111	97
ตารางที่ 5-9 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโชน 2112.....	97
ตารางที่ 5-10 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโชน 2151	98
ตารางที่ 5-11 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโชน 2121	98
ตารางที่ 5-12 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโชน 2211	98
ตารางที่ 5-13 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโชน 2321	98
ตารางที่ 5-14 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของการคำนวณแบบหลายโชน.....	99
ตารางที่ 5-15 เวลาที่ใช้ในการทำงานจริงของชุดทดสอบด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA.....	99
ตารางที่ 5-16 อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน	100

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ลักษณะปัญหาในการแบ่งงานสำหรับการคำนวณแบบขนาน	3
รูปที่ 2-1 โปรแกรมคำนวณแบบขนาน (Parallel program)	7
รูปที่ 2-2 โปรแกรมคำนวณแบบลำดับ (Sequential program)	7
รูปที่ 2-3 ลักษณะของ Message passing model	8
รูปที่ 2-4 จำลองการควบคุมกลุ่มงานหรือหน่วยประมวลผลของ MPI_COMM_WORLD	9
รูปที่ 2-5 ลักษณะของ Data parallel model	11
รูปที่ 2-6 ลักษณะการแบ่งด้วยของเขตของปัญหา.....	11
รูปที่ 2-7 ลักษณะการแบ่งด้วยวิธีการทำงาน	11
รูปที่ 2-8 ตัวอย่างการบันทึกผลจากชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วย MPIP	12
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการรายงานผลจากการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม MPIView	13
รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการบันทึกผลจากชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วย IPM	14
รูปที่ 2-11 ตัวอย่างของการรายงานผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย IPM.....	14
รูปที่ 2-12 ตัวอย่างของการรายงานผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย IPM (ต่อ)	15
รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการแบ่งข้อมูลตามแถวเพื่อใช้จำลองสปีดด้วยการคำนวณแบบขนาน.....	16
รูปที่ 2-14 การหาค่าตอบของตำแหน่งใด ๆ ของโปรแกรม.....	20
รูปที่ 2-15 ตัวอย่างระดับความละเอียดของข้อมูลบริเวณที่คำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสปีด..	21
รูปที่ 2-16 ความละเอียดที่ต่างกันของแต่ละระดับ.....	23
รูปที่ 2-17 พื้นที่ของบริเวณสนใจในการจำลองสปีด	24
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างกรณีเกิดแผ่นดินไหวได้มหาสมุทร	25
รูปที่ 2-19 ลำดับการคำนวณของโปรแกรมจำลองสปีดด้วยการคำนวณแบบลำดับ	26
รูปที่ 2-20 ลำดับการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบลำดับในสถานการณ์คำนวณ	29
รูปที่ 2-21 ลำดับการทำงานเมื่อพัฒนาโปรแกรมเป็นการคำนวณแบบขนาน.....	30
รูปที่ 2-22 การแบ่งงานของโปรแกรมจำลองสปีดด้วยการคำนวณแบบขนาน	30
รูปที่ 2-23 ตัวอย่างการทำ Page Flipping	31
รูปที่ 2-24 ลำดับการทำงานของโปรแกรมจำลองสปีดด้วยการคำนวณแบบขนาน	35
รูปที่ 2-25 รูปแบบของโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้	36

รูปที่ 3-1 การทดลองที่ต้องทำเพื่อทดสอบการคำนวณ..... 40

รูปที่ 3-2 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง cpu_time..... 42

รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง MPI_Wtime..... 44

รูปที่ 3-4 ลำดับการทำงานและประสานการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน 47

รูปที่ 3-5 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร m_jnq (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร n_jnq (รูปขวา) ให้ระดับ R2 50

รูปที่ 3-6 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb ให้ระดับ R3 และ R4 50

รูปที่ 3-7 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร mb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร nb (รูปขวา) ให้ระดับ R3 และ R4..... 51

รูปที่ 3-8 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R3 และ R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb และค่าตัวแปร zb ให้ระดับ R2 และ R3 51

รูปที่ 3-9 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร ma (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร na (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1..... 52

รูปที่ 3-10 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร zb ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1 52

รูปที่ 3-11 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร ma และ na ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4 53

รูปที่ 3-12 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร za, zb (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4 53

รูปที่ 3-13 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dma และ dna ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4 54

รูปที่ 3-14 การส่งข้อมูลระหว่างกันของแต่ละระดับความละเอียด 54

รูปที่ 3-15 การรวบรวมข้อมูลของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล 55

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละโหนดด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME..... 60

รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละระดับความละเอียดด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME 60

รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่ในโหนดแต่ละโหนด ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA..... 61

รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของ
 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการ
 ทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA..... 61

รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของ
 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน ด้วยการ ทำงานบนระบบคลัสต์
 เตอร์ TSUBAME 62

รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของ
 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการ
 ทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME 62

รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณหนึ่งโซน
 63

รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสองโซน
 64

รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสามโซน
 64

รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสี่โซน
 65

รูปที่ 4-11 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITAIL กับขนาดของปัญหาโดยรวม..... 66

รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด..... 66

รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด 67

รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมด..... 67

รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด..... 68

รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมด..... 68

รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด 68

รูปที่ 4-18 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน NLMASS กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วน
 ของพื้นที่น้ำ..... 69

รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน NLMMT กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของ
 พื้นที่น้ำ..... 69

รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITIAL กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละ
 ระดับความละเอียด 71

รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ_S2C กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด.....	71
รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด	72
รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด	72
รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INTERQT กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล	73
รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล	73
รูปที่ 4-26 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล	73
รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_3 กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล	74
รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล	75
รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล	75
รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAMO กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล.....	76
รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_1 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล.....	76
รูปที่ 4-32 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_2 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล.....	77
รูปที่ 4-33 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน Send กับปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร	78
รูปที่ 4-34 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน Recv กับปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร	78
รูปที่ 4-35 ลำดับการทำงานที่ไม่ต้องมีการรอรับข้อมูล (รูปซ้าย) และลำดับการทำงานที่ต้องมีการรอรับข้อมูล (รูปขวา).....	78

รูปที่ 5-1 เวลาที่ใช้ อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพ กับจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้.....	100
รูปที่ ก-1 ตัวอย่างโครงสร้าง Configuration file.....	107
รูปที่ ก-2 โครงสร้าง Configuration file สำหรับข้อมูลพื้นที่มากกว่าหนึ่งโซน.....	112
รูปที่ ข-1 โครงสร้างของโปรแกรมจำลองสัญญาณด้วยการคำนวณแบบขนาน	113
รูปที่ ข-2 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดกมลาของโซน 2111.....	114
รูปที่ ข-3 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดกมลาของโซน 2111	115
รูปที่ ข-4 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดป่าตองของโซน 2111	115
รูปที่ ข-5 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดป่าตองของโซน 2111	116
รูปที่ ข-6 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดเขาหลักของโซน 2121	116
รูปที่ ข-7 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดเขาหลักของโซน 2121	117
รูปที่ ข-8 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดปะการังของโซน 2121	117
รูปที่ ข-9 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดปะการังของโซน 2121	118
รูปที่ ข-10 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดคึกคักของโซน 2121	118
รูปที่ ข-11 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน ณ ตำแหน่งริมหาดคึกคักของโซน 2121.....	119

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การคำนวณแบบขนานเป็นการใช้หน่วยประมวลผลจำนวนมากช่วยกันทำงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้นหรือเพื่อให้สามารถทำงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้น (Speedup) วัดได้จาก เวลาที่โปรแกรมทำงานเมื่อใช้หน่วยประมวลผลตัวเดียวหารด้วยเวลาที่โปรแกรมทำงานเมื่อใช้หน่วยประมวลผลหลายตัว ($\text{Speedup} = \text{Sequential_time} / \text{Parallel_time}$) ดังนั้นเมื่อใช้หน่วยประมวลผล n ตัว เวลาที่ใช้ก็ควรจะลดลง n เท่า ($\text{Speedup} = n$) อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าน้อยกว่า n อันเนื่องมาจากปัจจัยหลาย ๆ อย่าง นั่นหมายความว่า จำนวนหน่วยประมวลผลที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถลดเวลาในการทำงานของโปรแกรมได้อย่างเต็มที่ เราจึงวัดประสิทธิภาพ (Efficiency) ของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น หารด้วยจำนวนหน่วยประมวลผล ($\text{Efficiency} = \text{Speedup} / n$) โดยทั่วไปประสิทธิภาพของโปรแกรมคำนวณแบบขนานจะลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อใช้หน่วยประมวลผลมากขึ้น

ทั้งนี้ ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน ได้แก่ วิธีการแบ่งงาน (Partitioning) ความละเอียดในการแบ่งงาน (Granularity) การกระจายงานให้หน่วยประมวลผลอย่างสม่ำเสมอ (Load balancing) การประสานการทำงาน (Synchronization) และการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล (Communication) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการทำงานของโปรแกรม เช่น การแบ่งงานเป็นชิ้นใหญ่เกินไปและมีการกระจายงานที่ไม่สม่ำเสมอ (Load imbalance) จะทำให้หน่วยประมวลผลทำงานได้ไม่เต็มที่ (Low utilization) ในทางตรงกันข้ามการแบ่งงานละเอียดเกินไปอาจทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการประสานการทำงานและการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล ดังนั้น เมื่อใช้หน่วยประมวลผลจำนวนมากขึ้นสัดส่วนของเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจริง ๆ จะลดลง ในขณะที่สัดส่วนของเวลาที่เสียไปเนื่องจากค่าใช้จ่ายอื่น (Overhead) จะเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการทำงานจึงลดลง การที่จะทำให้ประสิทธิภาพและความเร็วเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องปรับตัวแปรต่าง ๆ เช่น จำนวนหน่วยประมวลผล วิธีการแบ่งงาน และความละเอียดในการแบ่งงาน โดยคำนึงถึงการกระจายงานที่สม่ำเสมอ การประสานการทำงาน และการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล ให้เหมาะสมกับขนาดของปัญหา ลักษณะการทำงานของโปรแกรม และขีดความสามารถของระบบคอมพิวเตอร์แบบขนานที่ใช้ (หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยความจำสำรอง และระบบเครือข่าย) เมื่อนำโปรแกรมเดียวกันไปทำงานบน

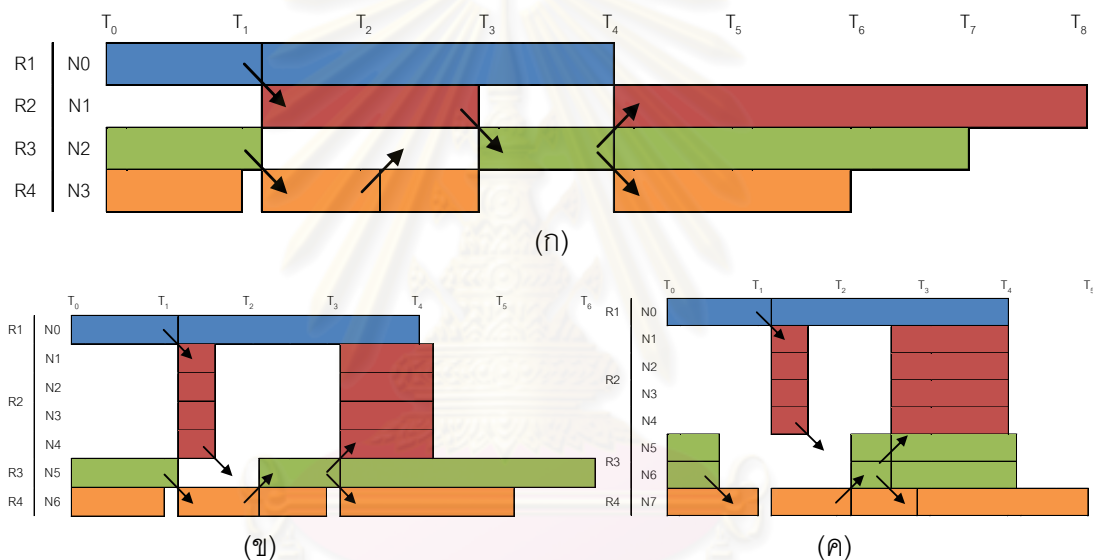
ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีสถาปัตยกรรมต่างกันหรือมีประสิทธิภาพต่างกัน ก็จำเป็นต้องปรับตัวแปรเหล่านั้นให้เข้ากับแต่ละระบบด้วย ทั้งนี้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์เท่านั้น

การปรับปรุงประสิทธิภาพของโปรแกรมโดยขึ้นอยู่กับระบบคอมพิวเตอร์ที่เปลี่ยนไปอาจทำได้โดยการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมเพื่อหารูปแบบของการคำนวณและการสื่อสาร แล้วนำมาหาวิธีแบ่งงานที่จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยนำค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นมาพิจารณาด้วย ซึ่งสามารถทำได้ไม่ยาก ถ้าหากโปรแกรมมีความซับซ้อนไม่มากนัก อย่างไรก็ตาม เมื่อคอมพิวเตอร์มีความเร็วเพิ่มขึ้น ปัญหาที่ถูกลำบากให้คอมพิวเตอร์คำนวณก็ยิ่งทวีความซับซ้อนมากขึ้นไปด้วย ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจำลองเหตุการณ์ (Simulation) ซึ่งแต่เดิมใช้แบบจำลอง (Model) แยกกันระหว่างการจำลองในระดับมหภาค (Macroscale) และระดับจุลภาค (Microscale) แล้วต่อมามีการนำมารวมกันเรียกว่า ปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด (Multi-scale problem) เป็นปัญหาที่พบบ่อยในการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองทางฟิสิกส์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล ความร้อน ไฟฟ้า และทางแสงของวัสดุ แบบจำลองทางเคมี เพื่อศึกษารายละเอียดของอะตอมในโครงสร้างของสสาร อธิบายกลไกการเคลื่อนที่และการชนกันของอะตอม หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่าง ๆ เพื่อเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำนายเหตุการณ์ล่วงหน้า เป็นต้น ซึ่งแบบจำลองต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ใช้วิธีการคำนวณหลายแบบที่แตกต่างกันมารวมกันตามระดับความละเอียดของปัญหาที่ต้องการศึกษา โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างกันในแต่ละระดับความละเอียดด้วย จึงทำให้เกิดเป็นระบบที่มีความซับซ้อนในการคำนวณ ซึ่งเมื่อนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคำนวณแบบขนานแล้ว จะเป็นการเพิ่มความซับซ้อนในการออกแบบ การวิเคราะห์ และการปรับปรุงประสิทธิภาพของโปรแกรม

การจำลองสื่อนามิเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดคลื่นสื่อนามิเพื่อใช้ประโยชน์ในการเตือนภัยสื่อนามิในจุดเสี่ยงที่ต้องการความรวดเร็วในการคำนวณ แต่เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีการคำนวณที่ซับซ้อนจึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการคำนวณ และด้วยลักษณะการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ระเบียบวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข FDM (Finite Difference Method) ที่มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นหลายระดับความละเอียดที่ซ้อน ๆ กัน โดยมีความละเอียดในแต่ละระดับและวิธีการคำนวณในแต่ละระดับที่แตกต่างกัน แต่มีความสัมพันธ์กันในแต่ละระดับความละเอียดด้วย จึงเป็นการเพิ่มความซับซ้อนในการกระจายงานให้สม่ำเสมอ และทำให้มีการสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผลมากในการคำนวณแบบขนาน

ด้วยลักษณะของปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดที่มีความขึ้นต่อกันของข้อมูลระหว่างระดับความละเอียด เมื่อนำมาพัฒนาการทำงานเป็นการคำนวณแบบขนานแล้วพบว่าจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลระหว่างระดับความละเอียดที่มีความขึ้นต่อกัน ซึ่งรูปแบบการแบ่งงานที่แตกต่าง

กันมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูล โดยเวลาในการรอคิดจาก เวลาที่ผู้ส่งทำงานก่อนการส่งข้อมูล ลบด้วยเวลาที่ผู้รับทำงานก่อนการรับข้อมูลในช่วงการรอ ที่สัมพันธ์กับขนาดของปัญหาที่ได้รับบริการแบ่งให้แต่ละหน่วยประมวลผล ดังนั้นการหารูปแบบการแบ่งงานจึงต้องทำการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละส่วนการทำงานที่สัมพันธ์กับขนาดของปัญหา และนำมาใช้ประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานด้วยรูปแบบการแบ่งงานต่าง ๆ เพื่อหารูปแบบการแบ่งงานที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้เร็วที่สุดตามเวลาที่กำหนดไว้โดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลรวมน้อยที่สุด หรือสามารถหารูปแบบการแบ่งงานที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้เร็วที่สุดโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลรวมตามที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 1-1 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้เมื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบการแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียดสำหรับการคำนวณแบบขนาน



รูปที่ 1-1 ลักษณะปัญหาในการแบ่งงานสำหรับการคำนวณแบบขนาน

งานวิจัยนี้จึงได้นำโปรแกรมจำลองสัญญาณมาเป็นกรณีศึกษาและทดสอบเพื่อหาระเบียบวิธีการจัดการงาน (Methodology) ที่ทำให้โปรแกรมคำนวณแบบขนานสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และใช้เวลาในการคำนวณลดลง ด้วยการปรับโครงสร้างข้อมูลของโปรแกรม (Data configuration) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการคำนวณ และตามขีดความสามารถของระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ เพื่อนำไปใช้ในระบบเตือนภัยสัญญาณที่มีต้องการความเร็วในการคำนวณ และเพื่อนำระเบียบวิธีการจัดการงานที่มีประสิทธิภาพมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดอื่น ๆ ต่อไป โดยสามารถกำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการทำงานที่เร็วที่สุดได้ และสามารถกำหนดเวลาที่ใช้ทำงานเพื่อหาจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ให้น้อยที่สุดในการทำงานให้ทันเวลาที่กำหนดได้ ทั้งนี้

แนวคิดในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้คือ ทำการเก็บข้อมูลการทำงานของกรณีศึกษาด้วยปัญหาเพียงส่วนหนึ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ได้เป็นรูปแบบในการทำงานของกรณีศึกษา และใช้รูปแบบที่ได้มาทำนายการทำงานของกรณีศึกษากับปัญหาทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประเมินด้วยรูปแบบการทำงานที่วิเคราะห์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงานของการคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้การจำลองสื่อนามิเป็นกรณีศึกษา ด้วยวิธีการแบ่งงานและการกระจายงานอย่างสม่ำเสมอ และการลดปริมาณการสื่อสารและการประสานการทำงาน ตามข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ และข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ โดยสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างข้อมูลของโปรแกรมในแต่ละระดับความละเอียดตามขีดความสามารถของระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและความเร็วในการคำนวณแบบขนานเพิ่มขึ้น และเพื่อนำระเบียบวิธีการจัดการงานมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับโปรแกรมจำลองสื่อนามิด้วยการคำนวณแบบขนานเท่านั้นซึ่งเป็นปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งานในระบบเตือนภัยสื่อนามิ ซึ่งมีข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการคำนวณ
2. การทดสอบความเร็วในการคำนวณแบบขนานด้วยโปรแกรมจำลองสื่อนามิ เป็นการทดสอบการคำนวณบนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME เท่านั้น ซึ่งเป็นระบบที่เปิดให้ใช้งานจริง ไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทำงานได้

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. ปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด (Multi-scale problem) เป็นปัญหาที่พบบ่อยในการคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยลักษณะของปัญหาประเภทนี้คือ เป็นกรการวิเคราะห์และการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยข้อมูลหลาย ๆ ระดับที่มีความละเอียดของข้อมูลต่างกัน และใช้วิธีการคำนวณที่แตกต่างกันตามระดับความละเอียดของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องแม่นยำขึ้น โดยตัวอย่างของปัญหาประเภทนี้ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ

ได้แก่ แบบจำลองทางฟิสิกส์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล ความร้อน ไฟฟ้า และทางแสงของวัสดุ แบบจำลองทางเคมีเพื่อศึกษารายละเอียดของอะตอมใน โครงสร้างของสสาร อธิบายกลไกการเคลื่อนที่และการชนกันของอะตอม หรือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำนายเหตุการณ์ ล่วงหน้า เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จึงนำการจำลองสีนามิมาเป็นกรณีศึกษาในการ ออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งโปรแกรมจำลองสีนามิที่นำมา ศึกษาประกอบด้วย โปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ และโปรแกรม จำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

2. การปรับปรุงประสิทธิภาพได้ (Adaptive performance tuning) เป็นการศึกษาและ วิเคราะห์การทำงานของโปรแกรม เพื่อหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและ ความเร็วในการคำนวณ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของการ แบ่งงานที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุง ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานได้

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับและแบบ ขนาน เพื่อให้ทราบถึงค่าตัวแปร และส่วนการคำนวณต่าง ๆ ของโปรแกรมที่สามารถ ปรับแต่งได้
2. ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน เพื่อให้ได้การคำนวณที่รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น
3. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการคำนวณ และการจัดการ งานที่คำนวณแบบขนาน โดยหาปัจจัยที่มีผลต่อการแบ่งงานและการกระจายงานของ โปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน และหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน
4. ทำการวางแผนและออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงาน โดยเน้นที่วิธีการแบ่งงานและ การกระจายงานอย่างสม่ำเสมอ และการลดปริมาณการสื่อสารและการประสานการ ทำงาน โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบที่นำมาใช้ทำการคำนวณด้วย โดยจะ ทดสอบกับระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME
5. นำระเบียบวิธีการจัดการงานที่ได้ออกแบบไว้ มาทำการทดสอบและวัดประสิทธิภาพ จากอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นของแต่ละระเบียบวิธีการจัดการงานที่ได้ออกแบบไว้ และ เปรียบเทียบผลออกมาเป็นกราฟที่เข้าใจได้ง่าย

6. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละระเบียบวิธีการจัดการงานที่ผ่านการทดสอบ เพื่อหาระเบียบวิธีการจัดการงานที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น
7. สรุปผลการทดลองและนำเสนอระเบียบวิธีการจัดการงานที่มีประสิทธิภาพ มาเป็นระเบียบวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการจัดการงานของการคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด และจัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระเบียบวิธีการจัดการงานของการคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด ซึ่งใช้โปรแกรมจำลองสื่อนามิด้วยการคำนวณแบบขนานเป็นกรณีศึกษา โดยสามารถปรับเปลี่ยนโครงแบบข้อมูลของโปรแกรมได้ตามขีดความสามารถของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ เพื่อให้ได้ความเร็วในการคำนวณและประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น โดยสามารถนำระเบียบวิธีที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดอื่น ๆ ได้ อีกทั้งได้ใช้ประโยชน์จากการใช้งานทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ และส่วนของกรณีศึกษาสามารถนำมาพัฒนาเป็นระบบเตือนภัยที่จำลองสื่อนามิแบบเรียลไทม์ได้

1.7 ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทดังต่อไปนี้ บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งกล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา รวมถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดของงานวิจัย บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและวิเคราะห์ผลการวิจัย บทที่ 5 กล่าวถึงการประเมินผลงานวิจัย และบทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.8 ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

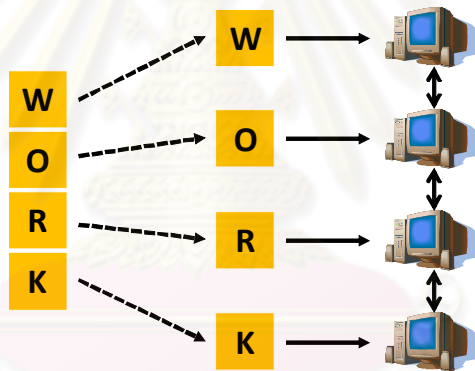
ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง “Parallel Program Development for Tsunami Simulation with the Message Passing Interface” โดยสิทธิกร ถาวรรัตนวณิช, กิตติพัฒน์ วิโรจน์ศิริ, วีระ เหมือนสิน และอาณัติ เรืองรัมย์ นำเสนอในงานประชุมวิชาการ “14th International ANNUAL Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE 14)” ณ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ระหว่างวันที่ 24 - 25 มีนาคม 2553 และได้นำเสนอส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ในการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ First ECTI Graduate Workshop on High Performance Distributed Computing ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันที่ 16 กรกฎาคม 2553

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

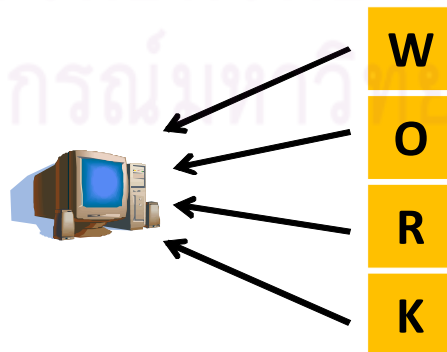
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนาน (Parallel program development)

โปรแกรมคำนวณแบบขนาน (Parallel program) เป็นการใช้นิยหน่วยประมวลผลจำนวนมากช่วยกันทำงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้นหรือเพื่อให้สามารถทำงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ด้วยการแบ่งปัญหาใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อย ๆ หลาย ๆ ส่วน แล้วกระจายให้แต่ละหน่วยประมวลผลหลาย ๆ เครื่องช่วยกันทำงานพร้อมกันดังรูปที่ 2-1 ซึ่งเป็นการพัฒนาการทำงานมาจากโปรแกรมคำนวณแบบลำดับ (Sequential program) ที่เป็นการทำงานด้วยการแก้ปัญหาทีละคำสั่งดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-1 โปรแกรมคำนวณแบบขนาน (Parallel program)

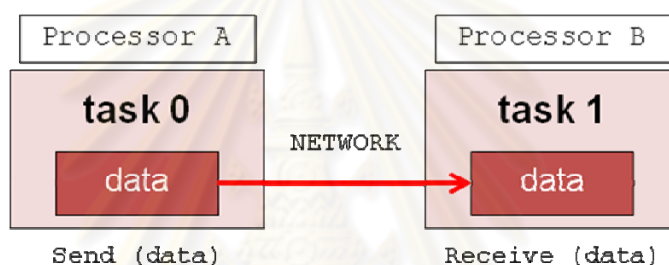


รูปที่ 2-2 โปรแกรมคำนวณแบบลำดับ (Sequential program)

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนาน [1] ในงานวิจัยนี้มีรูปแบบการคำนวณแบบ Data parallel model เป็นหลัก และมีการเขียนโปรแกรมแบบที่ใช้การสื่อสารแบบ Message passing model ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1.1 Message Passing Model

เป็นแบบวิธีการสร้างโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ใช้โดยทั่วไป สำหรับการพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ทำงานบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ ลักษณะของ Message passing model เป็นการใช้องค์ประกอบประมวลผลหลาย ๆ เครื่องที่มีหน่วยความจำเป็นของตัวเอง ช่วยกันทำงานไปพร้อมกันสำหรับปัญหาเดียวกัน โดยแต่ละหน่วยประมวลผลใช้การส่งข้อความระหว่างกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสานการทำงานขณะประมวลผลดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ลักษณะของ Message passing model

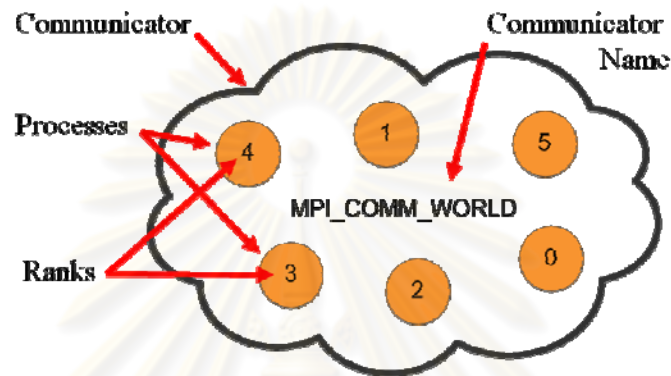
สำหรับการพัฒนาโปรแกรมแบบขนานด้วย Message passing model จะอาศัยไลบรารีของ Message Passing Interface (MPI) ที่สนับสนุนภาษาในการเขียนโปรแกรมได้หลายภาษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การเขียนภาษา C++ ในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนาน

2.1.1.2 Message Passing Interface Library

Message Passing Interface หรือ MPI Library [2], [4], [5] เป็นชุดคำสั่งมาตรฐานของ Message Passing Model ซึ่งมีไว้สำหรับการสร้างโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย Message Passing Model คือมีการติดต่อกันระหว่างหน่วยประมวลผลด้วยการส่งข้อความที่มีชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารระหว่างเครือข่ายของแต่ละหน่วยประมวลผล ที่จะถูกระบุไว้อย่างชัดเจน (Explicit Parallelism) โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย MPI นั้น สามารถนำไปใช้งานบนระบบหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันได้ง่าย

การทำงานของ MPI จะเป็นการแยกโปรแกรมออกเป็นกลุ่มงานให้ทำงานตามหน่วยประมวลผลย่อย ๆ ที่จะมีหมายเลขกำกับเฉพาะสำหรับแต่ละหน่วยประมวลผลหรือแต่ละกลุ่มงาน โดยจะไม่มีกรซ้ำกันของหมายเลขกำกับ ซึ่งใน MPI จะเรียกหมายเลขกำกับนี้ว่า Ranks

หรือ Process ID ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึงจำนวนหน่วยประมวลผล ลบด้วยหนึ่ง (n-1) และมี Communicator เป็นตัวระบุหมายเลขกำกับให้กลุ่มงาน และดำเนินการติดต่อหรือส่งข้อความถึงกันระหว่างหน่วยประมวลผล สำหรับโปรแกรมพื้นฐานทั่วไปจะใช้ MPI_COMM_WORLD เป็นชื่อ Communicator สำหรับการติดต่อหรือส่งข้อความกันระหว่างหน่วยประมวลผลสำหรับทุกกลุ่มงานของโปรแกรกดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 จำลองการควบคุมกลุ่มงานหรือหน่วยประมวลผลของ MPI_COMM_WORLD

การใช้งาน MPI สามารถใช้งานกับชุดคำสั่งภาษา C++ และชุดคำสั่งภาษา FORTRAN ซึ่งในโปรแกรมจำลองสื่อนามิด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ จะใช้งาน MPI ผ่านชุดคำสั่งภาษา C++ โดยนำเข้าแฟ้มข้อมูล mpi.h ในส่วนหัวของโปรแกรม เพื่อเรียกใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ ของ MPI โดยฟังก์ชันที่นำมาใช้งานในโปรแกรม มีดังต่อไปนี้

1. MPI_Init – ใช้เพื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมที่ใช้งาน MPI เพื่อเริ่มการทำงานของ Library และกำหนดค่า Environment ต่าง ๆ ของ MPI
2. MPI_Finalize – ใช้เพื่อสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมที่ใช้งาน MPI โดยส่งสัญญาณให้ MPI runtime library จบการทำงานของ MPI อย่างสมบูรณ์แบบ
3. MPI_Abort – ใช้เพื่อยกเลิกการทำงานของโปรแกรมที่ใช้งาน MPI ให้หยุดการทำงานทุก ๆ หน่วยประมวลผล ซึ่งจะเรียกใช้งานใช้ ก็ต่อเมื่อโปรแกรมไม่สามารถเริ่มต้นการทำงานของ MPI ได้อย่างสมบูรณ์
4. MPI_Comm_size – ใช้เพื่อรับค่าจำนวนของหน่วยประมวลผลทั้งหมดที่ใช้งานด้วย MPI

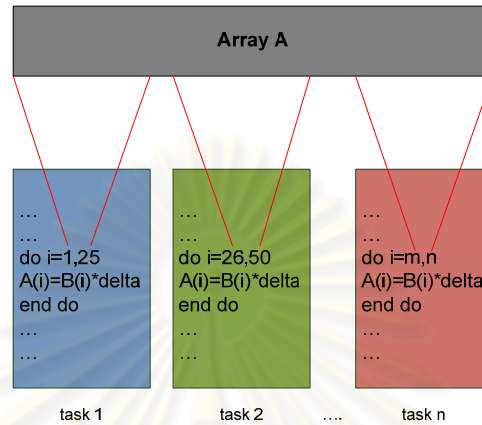
5. MPI_Comm_rank – ใช้เพื่อรับค่าหมายเลขกำกับของหน่วยประมวลผล เพื่อระบุส่วนของงานที่จะให้แต่ละหน่วยประมวลผลทำงาน
6. MPI_Barrier – ใช้เพื่อให้การทำงานของหน่วยประมวลผลหยุดการทำงาน และจะเริ่มทำงานอีกต่อไปพร้อมกันในทุกหน่วยประมวลผล เมื่อมีการเรียกใช้งานฟังก์ชัน MPI_Barrier นี้ครบทุกหน่วยประมวลผล
7. MPI_Wtime – ใช้เพื่อรับค่าเวลาในหน่วยวินาทีของหน่วยประมวลผลที่ถูกใช้งานโดย MPI
8. MPI_Isend – ใช้ในการส่งข้อความถึงบัฟเฟอร์ของหน่วยประมวลผล ปลายทางแบบ non-blocking คือเมื่อหน่วยประมวลผลทำการส่งข้อความไปยังปลายทางแล้ว ก็จะทำงานต่อไปได้ทันที โดยไม่รอว่าการส่งข้อความนี้จะเสร็จเรียบร้อยหรือไม่
9. MPI_Irecv – ใช้ในการรับข้อความจากบัฟเฟอร์ของหน่วยประมวลผลต้นทางแบบ non-blocking คือเมื่อหน่วยประมวลผลได้รับข้อความจากต้นทางแล้ว ก็จะทำงานต่อไปได้ทันที โดยไม่รอว่าการส่งข้อความนี้จะเสร็จเรียบร้อยหรือไม่
10. MPI_Wait – ใช้สำหรับรอให้ MPI ที่ส่งหรือรับข้อความแบบ non-blocking ทำงานจนเสร็จสมบูรณ์
11. MPI_Waitall – ใช้สำหรับรอให้ MPI ทำงานในทุก ๆ การเชื่อมต่อเสร็จสมบูรณ์

2.1.1.3 Data parallel model

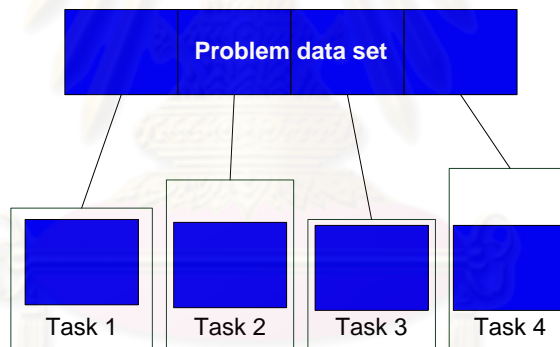
เป็นแบบวิธีการสร้างโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่เน้นปัญหาที่มีการคำนวณแบบเดียวกันบนชุดข้อมูลที่มีอยู่ในรูปแบบอาร์เรย์ (Array) โดยใช้ในการแบ่งย่อยชุดข้อมูลออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อส่งให้แต่ละหน่วยประมวลผลทำการคำนวณดังรูปที่ 2-5 ซึ่งในงานวิจัยนี้ชนิดของปัญหาที่มีความเป็นอิสระของข้อมูล (Data independence) จึงสามารถนำวิธีการนี้มาใช้ในการแบ่งปัญหาออกเป็น ส่วน ๆ ซึ่งประกอบด้วย 2 วิธีการ ดังนี้

1. การแบ่งด้วยของเขตของปัญหา (Domain Decomposition) เป็นการแบ่งข้อมูลของปัญหาออกเป็น ส่วน ๆ ให้มีขนาดเล็กลงตามลักษณะของข้อมูล เพื่อแบ่งให้แต่ละหน่วยประมวลผลช่วยกันทำงานดังรูปที่ 2-6

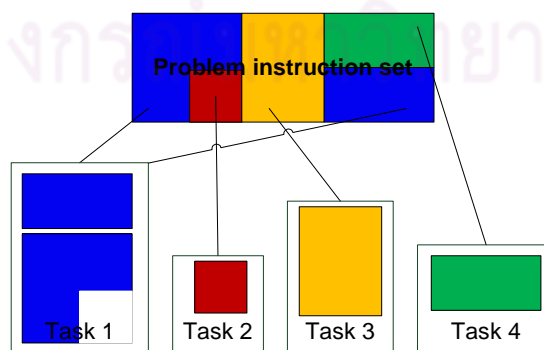
2. การแบ่งด้วยวิธีการทำงาน (Functional Decomposition) เป็นการแบ่งการคำนวณที่ต่างกันของปัญหาออกเป็นส่วน ๆ เพื่อแบ่งให้แต่ละหน่วยประมวลผลช่วยกันทำงานดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-5 ลักษณะของ Data parallel model



รูปที่ 2-6 ลักษณะการแบ่งด้วยของเซตของปัญหา



รูปที่ 2-7 ลักษณะการแบ่งด้วยวิธีการทำงาน

2.1.2 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน (MPI Profiling)

การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานนี้ เป็นการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมในเชิงสถิติ เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละส่วนการทำงานในโปรแกรมว่าส่วนการทำงานแต่ละส่วนใช้เวลาในการทำงานมากน้อยเพียงใดในแต่ละรอบการคำนวณ ซึ่งการเก็บข้อมูลการทำงานนี้เป็นกระบวนการที่จะช่วยให้ทราบปัญหาของโปรแกรมที่สามารถปรับแต่งประสิทธิภาพได้ โดยแนวทางในการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน ในงานวิจัยนี้จะใช้งานชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรม 2 โปรแกรมดังนี้

2.1.2.1 MpiP Version 3.1.2 (Lightweight, Scalable MPI Profiling) and MpiPView Version 2.02

MpiP [6], [7] เป็นชุดการทำงานขนาดเล็กสำหรับโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย MPI ทำการเก็บข้อมูลเชิงสถิติเกี่ยวกับการทำงานของฟังก์ชัน MPI ในโปรแกรมที่เขียนด้วยชุดคำสั่งภาษา C++ สามารถนำมาติดตั้งและใช้งานได้สะดวกในทรัพยากรที่แตกต่างกันอย่างรวดเร็วบนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME โดยผลที่ได้จาก MpiP นี้ถูกรายงานออกมาเป็นแฟ้มข้อมูลที่มีรายละเอียดของการทำงานในแต่ละส่วนของการเรียกใช้งานฟังก์ชัน MPI ต่าง ๆ ของโปรแกรม ซึ่งการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมจำลองสี่นามิแบบขนานนี้ ฟังก์ชัน MPI ที่ถูกเก็บผลการทำงานขึ้นมา มีดังนี้คือ MPI_Barrier MPI_Isend MPI_Irecv MPI_Wait และ MPI_Waitall ซึ่งถูกบันทึกและรายงานผลการทำงานของโปรแกรมออกมาเป็นรูปแบบของข้อความที่สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้ดังรูปที่ 2-8

```

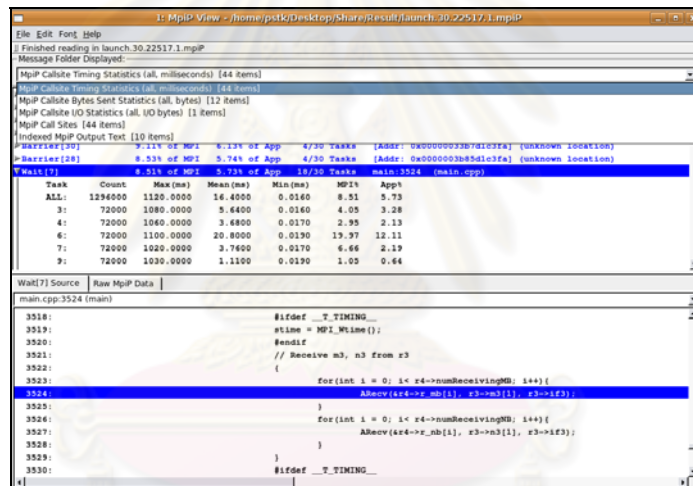
@ mpiP
@ Command : /fs/home/veera_mu/ming/work/200909/p200909/ptunami/koshi4bp/launch
@ Version : 3.1.2
@ MPIP Build date : Nov 1 2009, 22:59:40
@ Start time : 2009 11 04 09:27:35
@ Stop time : 2009 11 04 09:44:54
@ Timer Used : gettimeofday
@ MPIP env var : [null]
@ Collector Rank : 0
@ Collector PID : 5280
@ Final Output Dir : .
@ Report generation : Single collector task
@ MPI Task Assignment : 0 compute-1-8.local
@ MPI Task Assignment : 1 compute-1-8.local
@ MPI Task Assignment : 2 compute-1-8.local
@ MPI Task Assignment : 3 compute-1-8.local

-----
@--- MPI Time (seconds) -----
-----
Task AppTime MPITime MPI%
0 1.04e+03 787 75.74
1 1.04e+03 136 13.08
2 1.04e+03 919 88.42
3 1.04e+03 805 77.47
* 4.16e+03 2.65e+03 63.68

```

รูปที่ 2-8 ตัวอย่างการบันทึกผลจากชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วย MpiP

ข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์ได้จากผลการเก็บข้อมูลด้วย MpiP คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานระหว่างการทำงานของฟังก์ชัน MPI กับการทำงานของจริงของโปรแกรม จำนวนการเรียกใช้งานฟังก์ชัน MPI ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้งของการเรียกใช้งานฟังก์ชัน MPI และปริมาณการสื่อสารกันของแต่ละครั้งที่เรียกใช้งานฟังก์ชัน MPI โดยรายงานผลของการทำงานแยกกันในแต่ละหน่วยประมวลผล แต่ในการศึกษาและวิเคราะห์ผลที่จะได้รับความสะดวกมากขึ้นนั้น สามารถใช้โปรแกรม MpiPView [8] มาช่วยในการดูผลของการเก็บข้อมูลการทำงานจาก MpiP เพื่อให้การวิเคราะห์ผลทำได้ง่ายขึ้น โดยโปรแกรมทำการจัดการแบ่งผลของการเก็บข้อมูลเป็นส่วน ๆ ที่สามารถเลือกดูได้ และเรียงลำดับของผลให้ตามสัดส่วนของระยะเวลาที่ฟังก์ชัน MPI ทำงานจากมากไปน้อย ที่สามารถดูรายละเอียดย่อยของการทำงานนั้น ๆ ในแต่ละงานที่แบ่ง พร้อมทั้งแสดงถึงตำแหน่งของการเรียกใช้งานฟังก์ชัน MPI จากในโค้ดของโปรแกรม ตามรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการรายงานผลจากการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม MpiPView

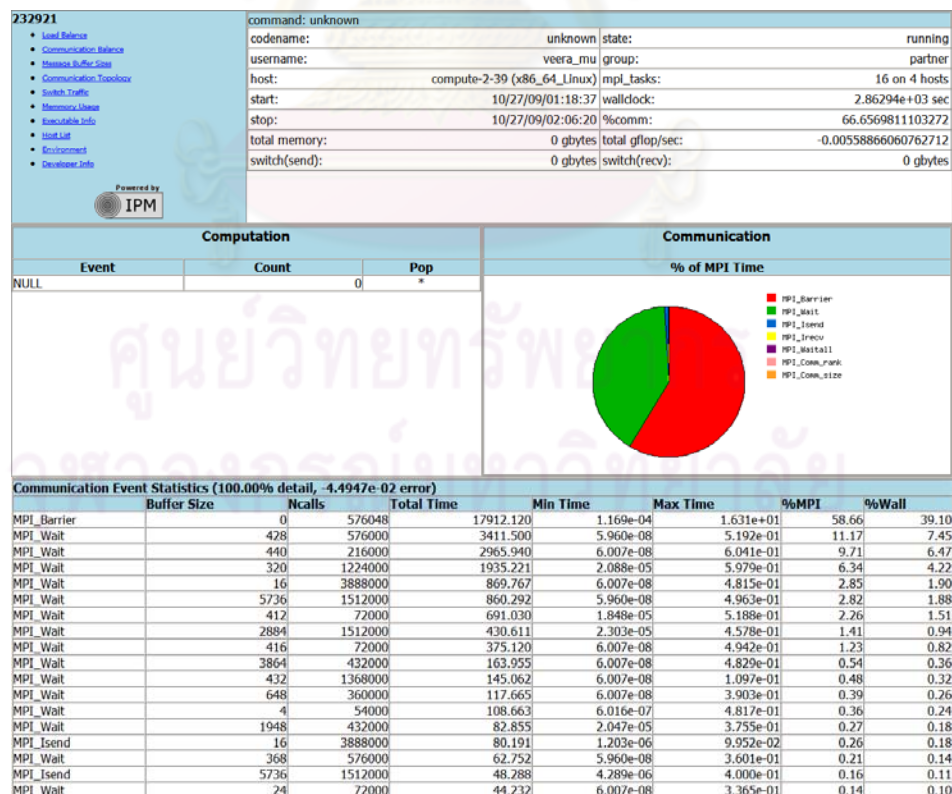
2.1.2.2 IPM Version 0.980 (Integrated Performance Monitoring) and Ploticus Version 2.41

IPM [9], [10] เป็นชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่สามารถใช้งานได้ง่าย และมีขนาดเล็ก สามารถติดตั้งลงบนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME เพื่อให้ทำการเก็บผลการการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ใช้ MPI ในการควบคุมการทำงาน โดยผลการการทำงานของโปรแกรมที่ได้จาก IPM จะแตกต่างกับ MpiP ตรงที่ผลการรายงานที่ได้จาก IPM จะออกมาเป็นรูปแบบของแฟ้มข้อมูล XML ซึ่งจะเป็นดังรูปที่ 2-10 และจะใช้โปรแกรม Ploticus [11] ในการแปลงข้อมูลของผลการการทำงานของโปรแกรมที่ได้ให้

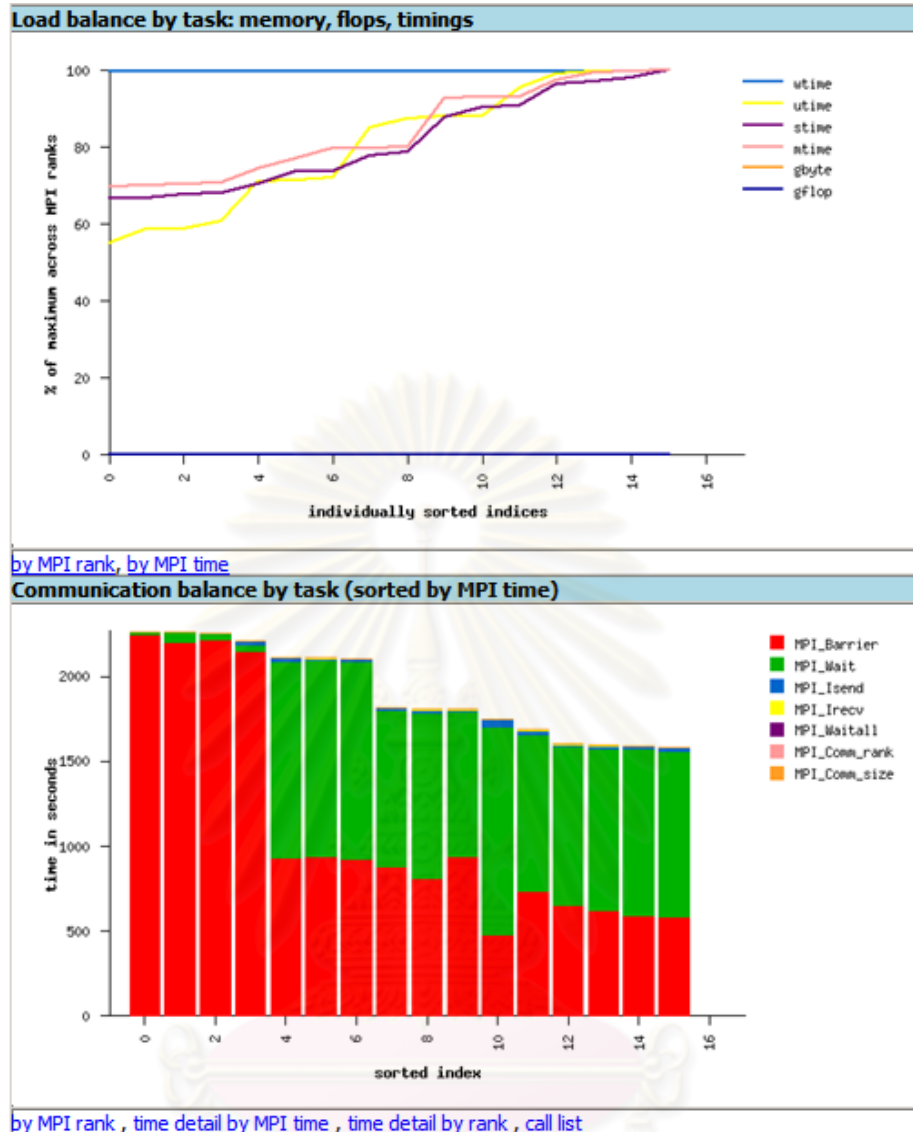
ออกมาเป็นรูปภาพที่แสดงเป็นแฟ้มข้อมูลเว็บเพจ เพื่อให้ทำการวิเคราะห์ที่ข้อมูลได้สะดวกขึ้น โดยการแสดงผลจะเป็นไปตามตัวอย่างดังรูปที่ 2-11 และรูปที่ 2-12

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<ipm_job_profile>
<task ipm_version="0.980" cookie="1256581117.688157" mpi_rank="0" mpi_size="16" stamp_init="1256581117.688157" stamp_final="1256583980.609330" username="veera_mu" groupname="partner" flags="688062600" pid="6609" >
<job nhosts="4" ntasks="16" start="1256581117" final="1256583980" cookie="1256581117.688157" code="unknown" >232921</job>
<host mach_name="unknown" mach_info="x86_64_Linux" >compute-2-39</host>
<perf wtime="2.86292e+03" utime="7.84320e+02" stime="1.824e+03" mtime="2.25221e+03" gflop="-1.00000e+00" gbyte="0.00000e+00" ></perf>
<switch bytes_tx="0.00000e+00" bytes_rx="0.00000e+00" > </switch>
<region label="ipm_noregion" nexits="2" wtime="4.8503e+06" utime="8.6270e+02" stime="1.7575e+03" mtime="2.2603e+03" >
  <hpm api="DISABLED" ncounter="1" eventset="0" gflop="-1.0000e-09" >
<counter name="NULL" > 0 </counter>
</hpm>
<func name="MPI_Comm_rank" count="1" > 1.0245e-07 </func>
<func name="MPI_Comm_size" count="1" > 1.0803e-07 </func>
<func name="MPI_Isend" count="45000" > 1.5162e+00 </func>
<func name="MPI_Irecv" count="45000" > 2.6424e-01 </func>
<func name="MPI_Wait" count="45000" > 6.0878e+01 </func>
<func name="MPI_Waitall" count="45000" > 4.0152e-02 </func>
<func name="MPI_Barrier" count="36003" > 2.1977e+03 </func>
</region>
```

รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการบันทึกผลจากการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วย IPM



รูปที่ 2-11 ตัวอย่างของการรายงานผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย IPM



รูปที่ 2-12 ตัวอย่างของการรายงานผลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานด้วย IPM (ต่อ)

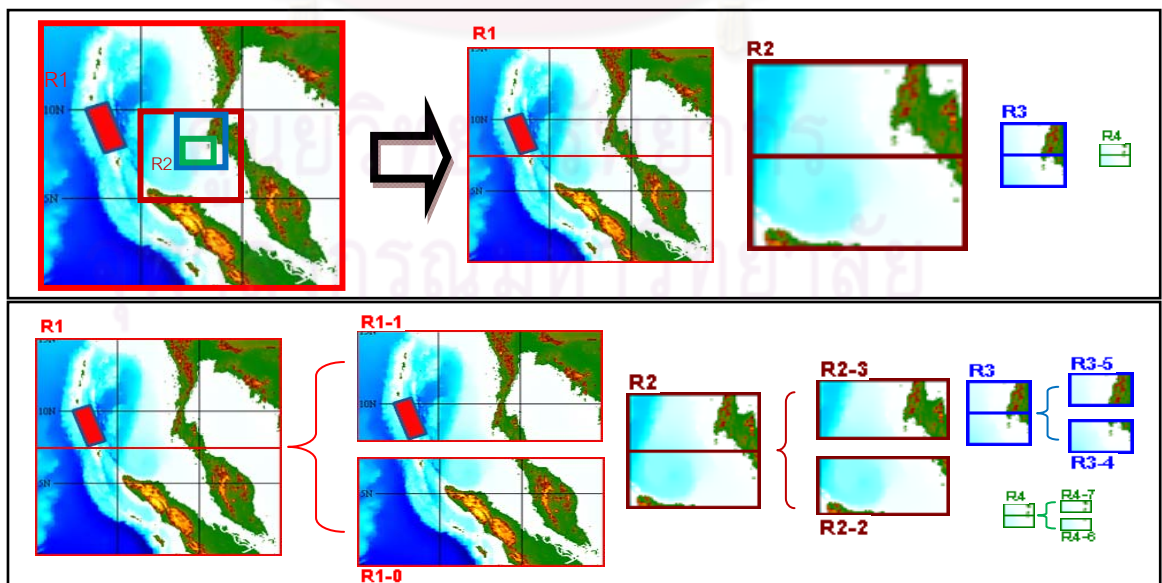
นอกจากการใช้งาน MpiP และ IPM ในการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมแล้ว จะทำการแทรกฟังก์ชัน MPI_Wtime ลงในโปรแกรม เพื่อให้ได้เวลาต้นและปลายของการทำงานในส่วนที่ต้องการเก็บระยะเวลาในการทำงาน ผลต่างของเวลาก็จะได้เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละส่วน ซึ่งผลที่ได้จากการแทรกฟังก์ชันดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงระยะเวลาการทำงานของแต่ละส่วนในโปรแกรม และนำไปวิเคราะห์เพื่อทำการปรับรูปแบบของการจัดการงานและปรับปรุงประสิทธิภาพต่อไป

2.1.3 การปรับแต่งและวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน (Performance Tuning)

การปรับแต่งประสิทธิภาพของโปรแกรม สามารถจัดการได้ในส่วนของรูปแบบการแบ่งงาน ที่ถูกส่งไปคำนวณแบบขนานจากในแฟ้มจัดเก็บข้อมูล โดยเน้นที่วิธีการแบ่งงานและการกระจายงานให้หน่วยประมวลผลอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดปริมาณการสื่อสารและการประสานการทำงานระหว่างหน่วยประมวลผล ซึ่งจะใช้การปรับตัวแปรต่าง ๆ เช่น จำนวนหน่วยประมวลผล ลักษณะการแบ่งงานและการกระจายงาน การประสานการทำงานและการสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล ให้เหมาะสมกับขนาดของงาน ลักษณะการทำงานของโปรแกรม และขีดความสามารถของระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณแบบขนาน ส่วนการวัดประสิทธิภาพของโปรแกรมคำนวณแบบขนานนี้วัดจากอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น (Speedup) และค่าประสิทธิภาพของการทำงาน (Efficiency)

2.1.3.1 วิธีการแบ่งงานและการกระจายงาน (Partitioning and Load Balancing)

ในการคำนวณแบบขนานนั้น จะจำเป็นต้องแบ่งข้อมูลที่จะทำการคำนวณออกเป็น ส่วน ๆ เพื่อให้แต่ละหน่วยประมวลผลทำการคำนวณแต่ละส่วนไปพร้อม ๆ กัน โดยวิธีการแบ่งงานนั้นสามารถทำได้ทั้งตามคอลัมน์และตามแถว แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้การแบ่งข้อมูลตามแถวมาใช้ในการหารูปแบบของการจัดการงาน เนื่องจากทำการคำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานได้รวดเร็วกว่าการแบ่งข้อมูลตามคอลัมน์ อีกทั้งสามารถนำข้อมูลมาเชื่อมต่อกันได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการแบ่งข้อมูลตามคอลัมน์



รูปที่ 2-13 ตัวอย่างการแบ่งข้อมูลตามแถวเพื่อใช้จำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

โปรแกรมจำลองสินามิตัวด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ สามารถปรับแต่งการแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียดได้ โดยจากรูปที่ 2-13 พื้นที่ในทุกระดับความละเอียดได้ถูกแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน ที่แต่ละส่วนนั้นจะถูกคำนวณด้วยหน่วยประมวลผลแยกกันตามส่วน ซึ่งหากข้อมูลมีจำนวนพื้นที่ทั้งหมด 4 ระดับ และแต่ละส่วนไม่มีการแบ่งพื้นที่คำนวณเลย ก็ใช้หน่วยประมวลผลทั้งหมด 4 หน่วย แต่ถ้าในแต่ละระดับความละเอียดแบ่งออกเป็นสองส่วน ก็ใช้หน่วยประมวลผลทั้งหมด 8 หน่วย โดยการทำงานของโปรแกรมนี้สามารถระบุได้ว่าต้องการแบ่งข้อมูลในแต่ละระดับความละเอียดออกเป็นกี่ส่วน และสามารถเลือกที่จะเพิ่มจำนวนพื้นที่ที่สนใจในแต่ละระดับความละเอียดได้ ในการคำนวณเพื่อจำลองสินามิต่อแต่ละครั้ง จากนั้นเพิ่มจัดเก็บข้อมูล

โดยรูปแบบของการแบ่งงานที่จะทำให้เกิดการกระจายงานอย่างสม่ำเสมอของโปรแกรมจำลองสินามิตัวด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีความซับซ้อนของข้อมูลที่นำมาคำนวณ และส่งผลต่อความเร็วในการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีดังนี้คือ

1. ขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่มีขนาดไม่เท่ากัน ทำให้การแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียดต้องปรับเปลี่ยนตามขนาดของพื้นที่ที่สนใจ
2. ความละเอียดของแต่ละระดับความละเอียดที่มีความแตกต่างกัน โดยที่พื้นที่ระดับ R4 มีความละเอียดเป็น 3 เท่าของพื้นที่ระดับ R3 ที่พื้นที่ระดับ R3 มีความละเอียดเป็น 3 เท่าของพื้นที่ระดับ R2 และที่พื้นที่ระดับ R2 มีความละเอียดเป็น 8 เท่าของพื้นที่ระดับ R1
3. หลักการที่ใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกันระหว่างระดับความละเอียดของพื้นที่ระดับ R1 ที่ใช้การคำนวณด้วยสมการเชิงเส้นด้วยการจำลองระยะไกล กับระดับความละเอียดของพื้นที่ระดับ R2 R3 และ R4 ที่ใช้การคำนวณด้วยสมการไม่เชิงเส้นด้วยการจำลองระยะใกล้
4. จำนวนรอบของการคำนวณที่มีความแตกต่างกัน โดยการคำนวณของการจำลองระยะไกล ในส่วนการคำนวณหลักมีการเรียกใช้งานในทุก ๆ 4 รอบการคำนวณ ยกเว้นส่วนการคำนวณผลให้การคำนวณของการจำลองระยะใกล้ที่มีการเรียกใช้งานทุก ๆ รอบการคำนวณ ขณะที่ในการคำนวณของการจำลองระยะไกล ในทุกส่วนการคำนวณมีการเรียกใช้งานทุก ๆ รอบการคำนวณ

ฉะนั้นการแบ่งงานและกระจายงานให้สม่ำเสมอ นั้น จำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ของโปรแกรมจำลองขึ้นมาด้วยการคำนวณแบบขนานให้ได้ ซึ่งใช้การแบ่งงานที่ดูจากขนาดของพื้นที่ในการคำนวณ ที่แบ่งให้แต่ละหน่วยประมวลผลทำงานเท่า ๆ กัน โดยต้องหาอัตราการแบ่งงานระหว่างการจำลองระยะไกล และการจำลองระยะใกล้ ออกมาเป็นระเบียบ วิธีการจัดการงานสำหรับงานที่มีความซับซ้อนของพื้นที่ในการคำนวณ

2.1.3.2 อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น (Speedup)

ในการทดสอบประสิทธิภาพของการคำนวณแบบขนานที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบลำดับ สามารถทำได้โดยการใช้อัตราความเร็วที่เพิ่มขึ้น (S_p) [12] ที่หาได้จาก

$$S_p = \frac{T_s}{T_p} \quad \text{เมื่อ}$$

S_p	อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ p หน่วยประมวลผล โดยค่า S_p ยิ่งมากยิ่งดี
p	จำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการคำนวณ
T_s	เวลาที่ใช้ในการทำงานของการคำนวณแบบลำดับ
T_p	เวลาที่ใช้ในการทำงานของการคำนวณแบบขนานเมื่อใช้ p หน่วยประมวลผล

2.1.3.3 ประสิทธิภาพของการทำงาน (Efficiency)

จากค่าอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น จะสามารถหาค่าประสิทธิภาพของการทำงานได้จาก

$$E_p = \frac{S_p}{p} = \frac{T_s}{p T_p} \quad \text{เมื่อ}$$

E_p	ประสิทธิภาพของการทำงาน โดยค่า E_p มียิ่งมากยิ่งดี
S_p	อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ p หน่วยประมวลผล
p	จำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการคำนวณ
T_s	เวลาที่ใช้ในการทำงานของการคำนวณแบบลำดับ
T_p	เวลาที่ใช้ในการทำงานของการคำนวณแบบขนานเมื่อใช้ p หน่วยประมวลผล

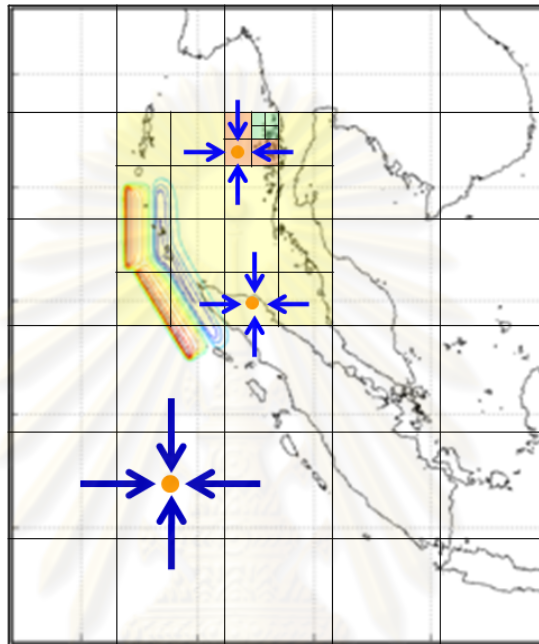
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ (TUNAMI program)

โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ หรือโปรแกรมทูนามิ (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of tsunamis หรือ TUNAMI) [13] เป็นโปรแกรมจำลองสึนามิที่เขียนด้วยชุดคำสั่งภาษา FORTRAN (FORmula TRANslation) และเป็นโปรแกรมที่ใช้การคำนวณแบบลำดับ (Sequential Program) ซึ่งเป็นผลงานวิจัยของ Dr.Fumihiko Imamura แห่งมหาวิทยาลัยโตโฮกุ (Tohoku University) ประเทศญี่ปุ่น กับ Dr. Ahmet Cevdet Yalciner และผู้ช่วยนักวิจัย Gulizar Ozyurt แห่งมหาวิทยาลัยมิดเดิล อีสต์ เทคนิคัล ประเทศตุรกี และผศ.ดร.อาณัติ เรืองรัศมี ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหว และการสั่นสะเทือน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผู้นำมาปรับปรุงและพัฒนาต่อเพื่อนำมาใช้ในการเตือนภัยสึนามิจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในเขตมหาสมุทรอินเดีย โดยเมื่อนำมาใช้งานแล้วถือว่าเป็นโปรแกรมจำลองสึนามิ ที่ได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและแม่นยำ เป็นที่น่าพอใจที่สุด แต่โปรแกรมนี้อาจใช้เวลาในการจำลองสึนามิแต่ละกรณีประมาณ 4 - 6 ชั่วโมง ทั้งนี้จะขึ้นกับขนาดของแต่ละระดับความละเอียดของพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณ และสมรรถนะของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ โดยการนำโปรแกรมจำลองสึนามิไปใช้มีด้วยกัน 2 วิธี ซึ่งวิธีแรกเป็นการนำไปคำนวณกรณีที่เกิดขึ้นได้จำนวนมาก แล้วเก็บผลลัพธ์ไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจเตือนภัย เมื่อเกิดแผ่นดินไหวในกรณีที่ใกล้เคียงกับที่เคยจำลองไว้ ซึ่งกรณีต่าง ๆ ที่ต้องการจำลองนั้นมีจำนวนมากกว่า 1,000 กรณี ส่วนวิธีที่สองเป็นการนำไปคำนวณทันทีที่เกิดแผ่นดินไหว เพื่อประกอบการตัดสินใจเตือนภัยที่แม่นยำกว่าที่ได้จากกรณีที่คำนวณไว้ล่วงหน้า ซึ่งวิธีนี้จำเป็นต้องคำนวณให้เร็ว

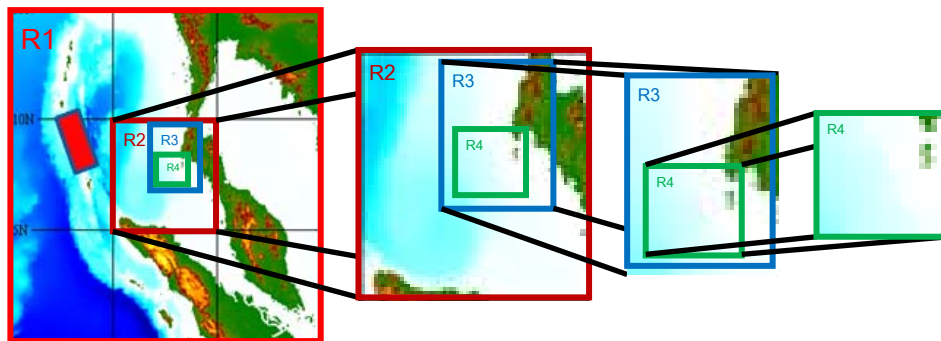
ในการคำนวณของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับนี้ ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ การจำลองคลื่นสึนามิระยะไกลในระบบพิกัดทรงกลม หรือการจำลองระยะไกล (Far-field Tsunami Simulation in Spherical Coordinate System) และการจำลองคลื่นสึนามิระยะใกล้ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน หรือการจำลองระยะใกล้ (Near-field Tsunami Simulation in Cartesian Coordinate System) ด้วยการคำนวณที่ใช้ระเบียบวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขชื่อว่า Finite Difference Method ที่การหาคำตอบของตำแหน่งที่สนใจนั้น หาได้จากคำตอบของบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งที่สนใจ ณ เวลาก่อนหน้า ดังที่แสดงให้เห็นจากรูปที่ 2-14 เนื่องจากในแต่ละบริเวณมีความต้องการความละเอียดของข้อมูลที่ต่างกัน เช่น พื้นที่ชายฝั่งต้องการความละเอียดในการคำนวณมากกว่าพื้นที่กลางมหาสมุทร และเมื่อความละเอียดของ

ข้อมูลสูงขึ้น ก็ใช้เวลาในการคำนวณก็มากขึ้นด้วย ดังนั้นโปรแกรม TUNAMI จึงใช้วิธีการคำนวณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-scale) ที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างการคำนวณในแต่ละระดับความละเอียดที่บริเวณรอยต่อของพื้นที่ เพื่อให้ได้การคำนวณที่ถูกต้องแม่นยำ และมีความต่อเนื่องกันของข้อมูลในแต่ละระดับความละเอียด



รูปที่ 2-14 การหาคำตอบของตำแหน่งใด ๆ ของโปรแกรม

โดยในแต่ละระดับความละเอียดจะถูกเรียกว่า Region ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ R1, R2, R3 และ R4 แทนแต่ละระดับความละเอียดดังรูปที่ 2-15 เป็นการแสดงตัวอย่างของข้อมูลบริเวณที่นำมาคำนวณ ที่มีด้วยกันทั้งหมด 4 ระดับความละเอียด ซึ่งเมื่อทำการคำนวณเพื่อจำลองการเกิดคลื่นสึนามิแล้ว ผลการจำลองที่ได้ตามความละเอียดของการคำนวณที่แตกต่างกันนี้ขึ้นกับลักษณะการนำไปใช้งานในการเตือนภัย โดยพื้นที่ที่มีระดับความละเอียดมากที่สุดนั้น เมื่อระบุให้โปรแกรมทำการคำนวณเพื่อให้ น้ำทะเลท่วมขึ้นชายฝั่งทะเลได้ (Run-up) ภาพการจำลองสึนามิที่ได้ออกมานั้น จะสามารถบอกถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับพื้นที่ชายฝั่งได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้จะเรียกพื้นที่บริเวณที่มีความละเอียดมากที่สุด หรือพื้นที่ระดับ R4 ว่า “โซน” ซึ่งโปรแกรมนี้เป็นการคำนวณที่เจาะจงไปบนพื้นที่เพียงจุดเดียวในพื้นที่ระดับ R4 ที่มีพื้นที่ระดับ R3 R2 และ R1 ครอบคลุมอยู่ เมื่อต้องการเปลี่ยนการคำนวณในพื้นที่ระดับ R4 ไปยังตำแหน่งอื่น โปรแกรมจำลองสึนามิก็ต้องทำการคำนวณใหม่ตามพื้นที่ที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2-15 ตัวอย่างระดับความละเอียดของข้อมูลบริเวณที่คำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิ

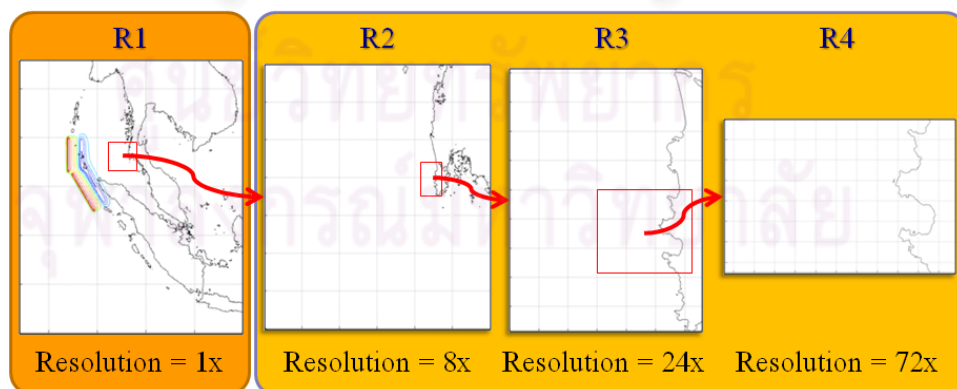
เนื่องจากโปรแกรม TUNAMI สามารถทำงานได้เพียงที่ละโซนดังรูปที่ 2-15 ดังนั้นหากต้องการทำการจำลองสึนามิในหนึ่งกรณีของการเกิดแผ่นดินไหวใต้ทะเล โดยให้ครอบคลุมพื้นที่ดังที่กำหนดในตารางที่ 2-1 จำเป็นต้องทำการคำนวณพื้นที่ทั้งหมด 18 โซน ดังนี้

1. โซน 2111 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 211 > 2111
2. โซน 2112 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 211 > 2112
3. โซน 2121 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 212 > 2121
4. โซน 2122 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 212 > 2122
5. โซน 2131 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 213 > 2131
6. โซน 2141 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 214 > 2141
7. โซน 2151 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 215 > 2151
8. โซน 2152 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 215 > 2152
9. โซน 2153 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 21 > 215 > 2153
10. โซน 2211 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 22 > 221 > 2211
11. โซน 2212 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 22 > 221 > 2212
12. โซน 2213 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 22 > 221 > 2213
13. โซน 2311 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 23 > 231 > 2311
14. โซน 2312 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 23 > 231 > 2312
15. โซน 2313 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 23 > 231 > 2313
16. โซน 2321 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 23 > 232 > 2321
17. โซน 2322 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 23 > 232 > 2322
18. โซน 2323 ใช้ข้อมูลในระดับความละเอียดหมายเลข 1 > 23 > 232 > 2323

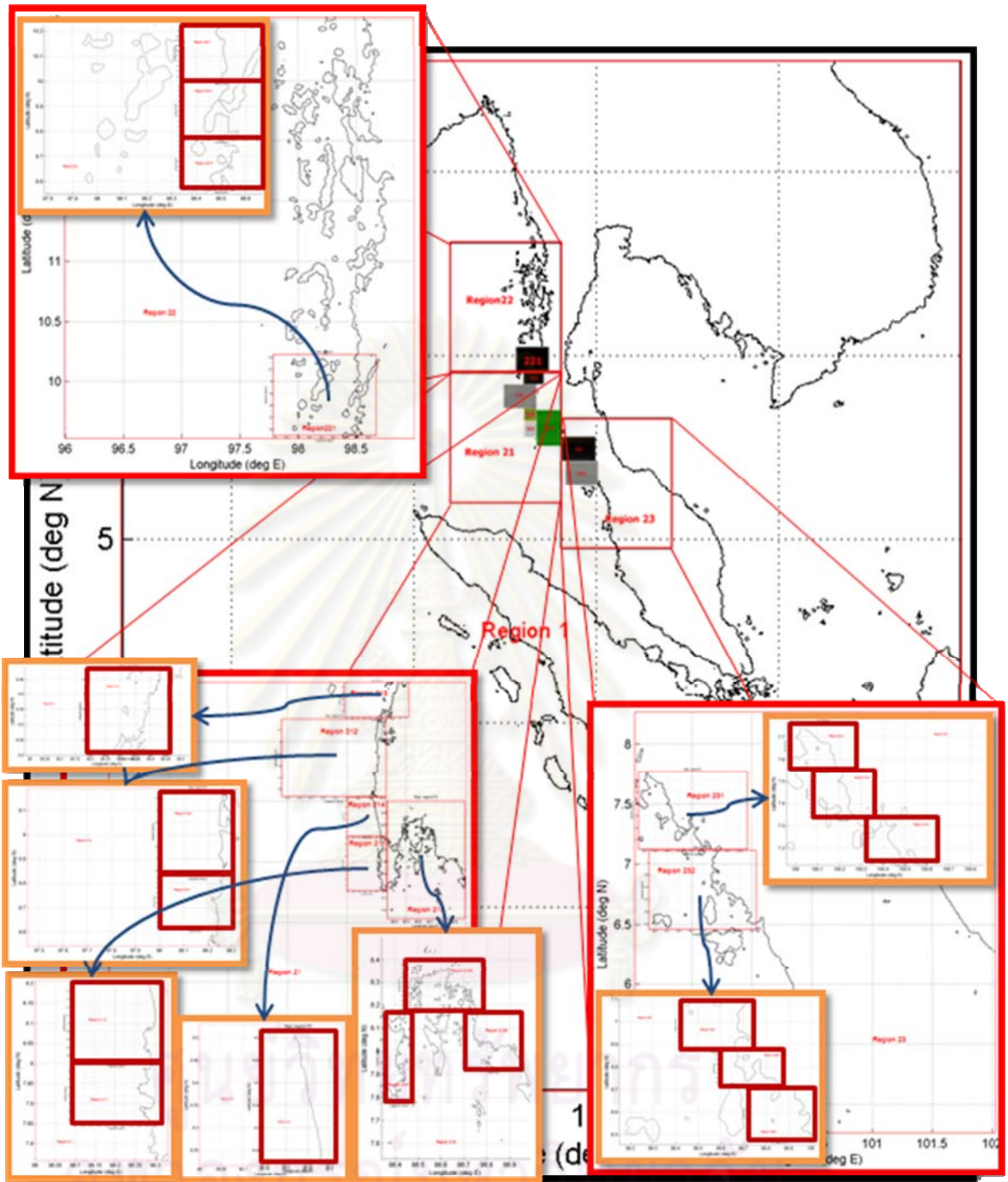
ตารางที่ 2-1 พิกัดของบริเวณที่สนใจที่จะนำมาคำนวณด้วยโปรแกรมจำลองสนาม

ระดับ ความ ละเอียด	หมายเลข	ความละเอียด		ขอบเขต												ขนาด ข้อมูลตาม แกน		ตำแหน่งบนระดับความ ละเอียดที่น้อยกว่า			
				ละติจูด						ลองจิจูด											
		จาก			ถึง			จาก			ถึง			X	Y	จาก		ถึง			
		'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°			'	"	X	Y	X	Y
R1	1	2	0	-10	0	0	18	0	0	87	0	0	110	0	0	690	840	-	-	-	-
R2	21	0	15	5	59	45	9	30	0	95	59	45	99	0	0	721	841	271	481	360	585
	22	0	15	9	31	45	13	2	0	95	59	45	99	0	0	721	841	271	587	360	691
	23	0	15	4	45	45	8	16	0	99	1	45	102	2	0	721	841	362	444	451	548
R3	211	0	5	7	45	25	8	12	30	97	59	55	98	20	0	241	325	482	424	561	531
	212	0	5	8	32	25	9	11	30	97	26	55	98	20	0	637	469	350	612	561	767
	213	0	5	9	11	55	9	29	30	97	58	55	98	32	0	397	211	478	770	609	839
	214	0	5	8	12	55	8	32	0	97	59	55	98	20	0	241	229	482	534	561	609
	215	0	5	7	31	55	8	30	0	98	20	25	98	59	30	469	697	564	370	719	601
	221	0	5	9	32	55	10	13	30	97	47	0	98	40	15	639	487	430	6	642	167
	231	0	5	7	7	25	7	46	15	99	3	25	99	58	0	655	466	8	568	225	722
	232	0	5	6	27	55	7	6	45	99	8	55	100	2	0	637	466	30	410	241	564
R4	2111	0	1.667	7	50	58	8	0	0	98	5	28	98	19	0	487	325	68	68	229	175
	2112	0	1.667	8	0	18	8	12	0	98	5	28	98	19	0	487	421	68	180	229	319
	2121	0	1.667	8	36	58	8	50	0	98	0	8	98	18	0	643	469	400	56	613	211
	2122	0	1.667	8	50	18	9	11	0	98	0	8	98	19	0	679	745	400	216	625	463
	2131	0	1.667	9	12	18	9	29	0	98	11	28	98	28	0	595	601	152	6	349	205
	2141	0	1.667	8	13	18	8	31	0	98	8	28	98	19	0	379	637	104	6	229	217
	2151	0	1.667	7	47	18	8	10	0	98	21	28	98	29	0	271	817	14	186	103	457
	2152	0	1.667	8	10	18	8	24	0	98	26	28	98	47	0	739	493	74	462	319	625
	2153	0	1.667	7	55	18	8	10	0	98	42	28	98	57	0	523	529	266	282	439	457
	2211	0	1.667	10	0	18	10	13	0	98	20	28	98	40	0	703	457	403	330	636	481
	2212	0	1.667	9	46	18	10	0	0	98	20	28	98	40	0	703	493	403	162	636	325
	2213	0	1.667	9	34	18	9	46	0	98	20	28	98	40	0	703	421	403	18	636	157
	2311	0	1.667	7	33	18	7	46	0	99	4	28	99	23	0	667	457	14	312	235	463
	2312	0	1.667	7	20	18	7	33	0	99	10	28	99	28	0	631	457	86	156	295	307
	2313	0	1.667	7	8	18	7	20	0	99	25	28	99	45	0	703	421	266	12	499	151
	2321	0	1.667	6	53	18	7	6	0	99	25	28	99	45	0	703	457	200	306	433	457
2322	0	1.667	6	43	18	6	53	0	99	35	28	99	53	0	631	349	320	186	529	301	
2323	0	1.667	6	29	18	6	43	0	99	43	28	100	1	0	631	493	416	18	625	181	

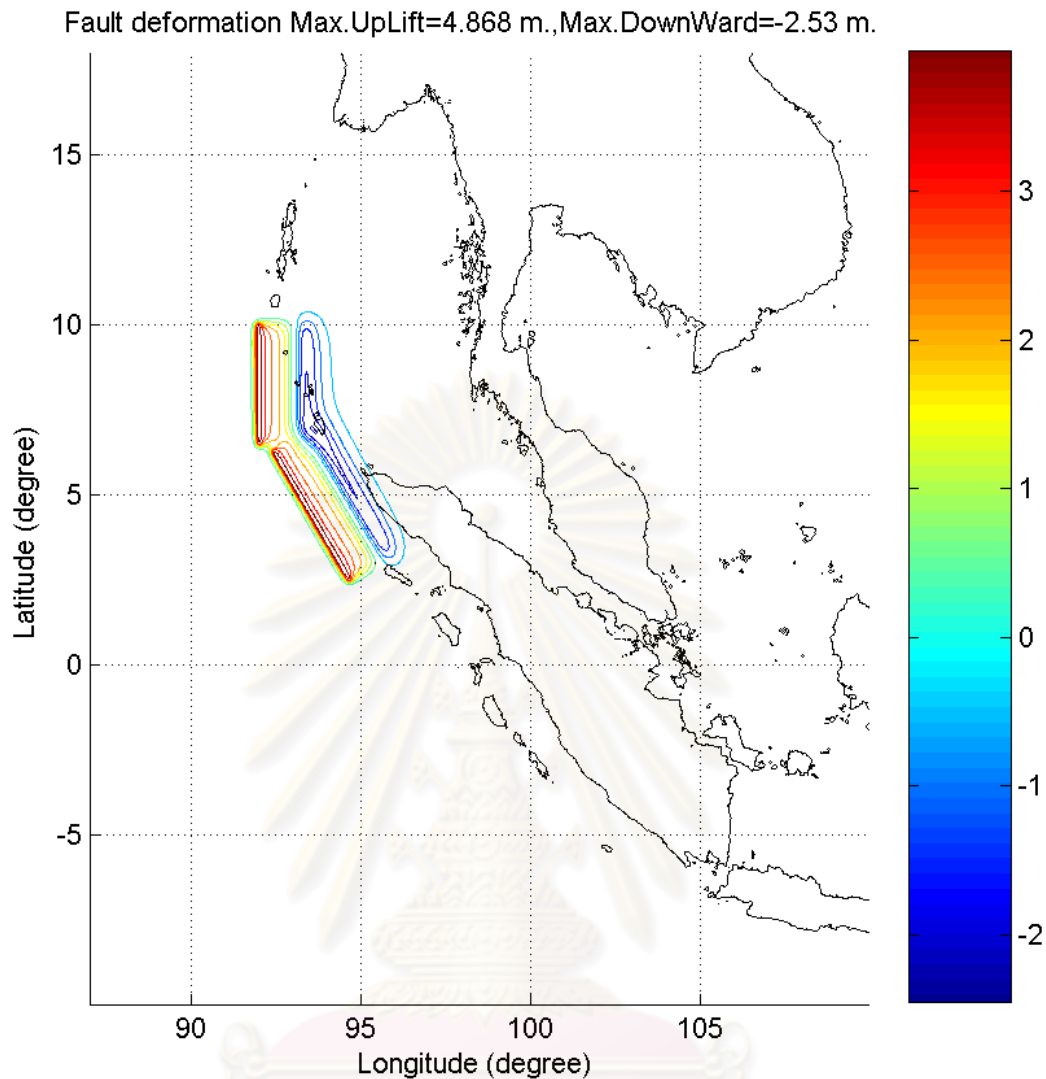
ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสึนามิ ได้มีการเก็บและสร้างข้อมูลจำลองสำหรับการคำนวณขึ้นมาจากข้อมูลที่สำรวจไว้จริง โดยมี ผศ.ดร.อาณัติ เรืองรัมย์ และนิสิตภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผู้จัดทำข้อมูลส่วนนี้ขึ้นมาเป็นแฟ้มข้อมูล ซึ่งแฟ้มข้อมูลของระดับความสูงคลื่นผิวน้ำจะถูกเรียกว่า Deform และแฟ้มข้อมูลของระดับความลึกของน้ำทะเลเรียกว่า Region พร้อมทั้งระบุพิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละบริเวณ ความละเอียดที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละบริเวณ ตำแหน่งของพื้นที่ภายในของแต่ละบริเวณ และระบุนี้อของพิกัดต่าง ๆ เป็นหมายเลขที่จะแสดงถึงระดับความละเอียดและลำดับของพื้นที่นั้น ๆ ที่จะใช้เป็นข้อมูลในการจำลองสึนามิตามตารางที่ 2-1 ที่แสดงข้อมูลของพิกัดพื้นที่ทั้งหมด 30 พื้นที่ ซึ่งแบ่งตามความละเอียดออกเป็น 4 ระดับ ที่มีพื้นที่ระดับ R4 เป็นพื้นที่ที่มีระดับความละเอียดมากที่สุดอยู่ 18 พื้นที่ ถูกครอบคลุมโดยพื้นที่ระดับ R3 ทั้งหมด 8 พื้นที่ และพื้นที่ระดับ R2 ทั้งหมด 3 พื้นที่ โดยทุกพื้นที่จะอยู่ซ้อน ๆ กันตามระดับความละเอียดภายในพื้นที่ระดับ R1 ซึ่งระดับความละเอียดจากพื้นที่ระดับ R1 ไป R2 เพิ่มขึ้น 8 เท่า จากพื้นที่ระดับ R2 ไป R3 และจากพื้นที่ระดับ R3 ไป R4 เพิ่มขึ้น 3 เท่า ตามรูปที่ 2-16 ที่แสดงความละเอียดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่ระดับ R1 ซึ่งข้อมูลนี้ได้แสดงให้เห็นค่าพิกัดในแนวเส้นละติจูดกับลองจิจูด และค่าพิกัดในการคำนวณตามแกนแนวนอน (X) กับแกนแนวตั้ง (Y) เพื่อใช้ระบุตำแหน่งการคำนวณของแต่ละพื้นที่ลงในโปรแกรม เมื่อนำข้อมูลมาพิกัดลงบนแผนที่จะได้ดังรูปที่ 2-17 แสดงให้เห็นการซ้อนกันของข้อมูลในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้เส้นกรอบแสดงขอบเขตของบริเวณต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นที่ที่มีระดับความละเอียดต่ำกว่า ส่วนรูปที่ 2-18 เป็นตัวอย่างข้อมูลระดับความสูงคลื่นผิวน้ำเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณ ที่แสดงความสูงต่ำของคลื่นตามแถบสีทางด้านขวา



รูปที่ 2-16 ความละเอียดที่ต่างกันของแต่ละระดับ

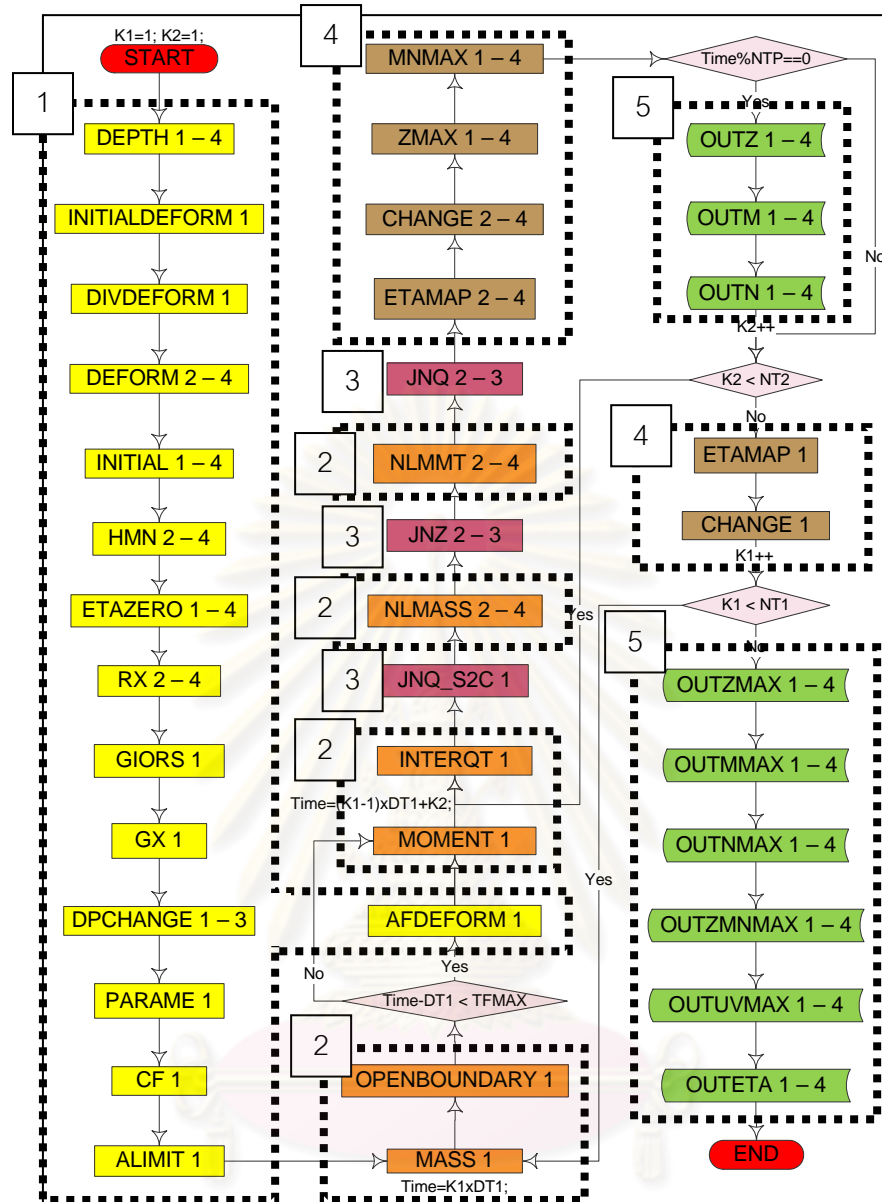


รูปที่ 2-17 พื้นที่ของบริเวณสนใจในการจำลองสึนามิ



รูปที่ 2-18 ตัวอย่างกรณีเกิดแผ่นดินไหวใต้มหาสมุทร

ในการจำลองสัณนามิของโปรแกรมนี้ จะใช้หลักการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัม (Conservation of Mass and Momentum) ทั้งการจำลองทั้งระยะไกลและการจำลองระยะใกล้ โดยในการจำลองระยะไกลจะคำนวณด้วยสมการเชิงเส้น (Linear Equations) ขณะที่การจำลองระยะใกล้จะคำนวณด้วยสมการไม่เชิงเส้น (Nonlinear Equations) โปรแกรมจะทำการคำนวณด้วยหลักการอนุรักษ์มวลก่อนแล้วจึงคำนวณด้วยหลักการอนุรักษ์โมเมนตัม แต่ในระหว่างนั้นจะมีขั้นตอนของการแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกในระดับความละเอียดแทรกอยู่ระหว่างการคำนวณ โดยมีลำดับการทำงานของโปรแกรมจะเป็นดังรูปที่ 2-19 ที่ใช้เส้นที่บแทนลำดับการทำงานของโปรแกรม และตัวเลข 1 – 4 ที่ระบุไว้แทนระดับความละเอียดทั้ง 4 ระดับที่จะถูกคำนวณในแต่ละลำดับการทำงาน



รูปที่ 2-19 ลำดับการคำนวณของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ เมื่อวิเคราะห์ตามลักษณะการทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนที่หนึ่งแสดงถึงลำดับการทำงานที่ทำการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ โดยในการทำงาน DEPTH เป็นการอ่านค่าระดับความลึกน้ำทะเล (HZ) จากแฟ้มข้อมูล region และในการทำงาน DIVDEFORM และ DEFORM เป็นการอ่านค่าเริ่มต้นของระดับความสูงคลื่นผิวน้ำ (Z) จากแฟ้มข้อมูล deform ส่วนการทำงาน INITIALDEFORM INITIAL HMN ETAZERO RX GIOR GX DPCHANGE PARAME CF ALIMIT และ AFDEFORM เป็นการกำหนดค่าตัว

แปรเริ่มต้นและค่าคงที่ต่าง ๆ ในการคำนวณ โดยในส่วนนี้ทำงานเพียงรอบเดียว เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานเท่านั้น

2. ส่วนที่สองแสดงถึงลำดับการทำงานที่ทำการคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น (M, N) และค่าระดับความสูงคลื่นผิวน้ำตามหลักการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัม โดยมีการทำงาน MASS OPENBOUNDARY MOMENT และ INTERQT เป็นการคำนวณของพื้นที่ระดับ R1 ที่คำนวณด้วยสมการเชิงเส้นสำหรับการจำลองระยะไกล และการทำงาน NLMASS และ NLMMT เป็นการคำนวณของพื้นที่ระดับ R2 R3 และ R4 ที่คำนวณด้วยสมการไม่เชิงเส้นสำหรับการจำลองระยะใกล้
3. ส่วนที่สามแสดงถึงลำดับการทำงานที่ทำการแลกเปลี่ยนผลการคำนวณระหว่างพื้นที่ในบริเวณรอยต่อของแต่ละระดับความละเอียด โดยการทำงาน JNQ_S2C เป็นการส่งค่าระดับความสูงคลื่นผิวน้ำจากพื้นที่ระดับ R1 ให้กับพื้นที่ระดับ R2 ส่วนการทำงาน JNZ เป็นการส่งค่าระดับความสูงคลื่นผิวน้ำจากพื้นที่ระดับ R3 ให้กับพื้นที่ระดับ R2 และจากพื้นที่ระดับ R4 ให้กับพื้นที่ระดับ R3 และการทำงาน JNQ เป็นการส่งทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจากพื้นที่ระดับ R2 ให้กับพื้นที่ระดับ R3 และจากพื้นที่ระดับ R3 ให้กับพื้นที่ระดับ R4
4. ส่วนที่สี่แสดงถึงลำดับการทำงานที่ทำการเก็บผลการคำนวณต่าง ๆ ก่อนทำการบันทึกค่าลงแฟ้มข้อมูล หลังจากทำการคำนวณเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยมีการทำงาน ZMAX และ MNMAX เป็นการเก็บค่าสูงสุดของทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและระดับความสูงคลื่นผิวน้ำ การทำงาน ETAMAP เป็นการเก็บค่าเวลาที่คลื่นมาถึง ณ ตำแหน่งใด ๆ บนพื้นที่ และการทำงาน CHANGE เป็นการคัดลอกผลการคำนวณของเวลาปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นค่าในการคำนวณของเวลาถัดไป
5. ส่วนที่ห้าแสดงถึงลำดับการทำงานที่ทำการบันทึกผลการคำนวณลงแฟ้มข้อมูล โดยมีการทำงาน OUTZ, OUTM และ OUTN เป็นการบันทึกผลของทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นและค่าระดับความสูงคลื่นผิวน้ำลงแฟ้มข้อมูลตามช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งค่าระดับความสูงคลื่นผิวน้ำจะถูกนำมาสร้างเป็นภาพจำลองการเกิดคลื่นสึนามิที่ใช้ในการเตือนภัย และการทำงาน OUTZMAX, OUTMMAX, OUTNMAX, OUTZMNMAX, OUTUVMAX และ OUTETA เป็นการบันทึกผลการคำนวณสูงสุดของค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงแฟ้มข้อมูล

โดยในการทำงานของโปรแกรมนี้ ได้แบ่งช่วงเวลาที่ทำการจำลองออกเป็นขั้น ๆ (Timesteps) เพื่อทำการคำนวณค่าของพื้นที่ระดับ R1 ทุก ๆ 4 วินาที และคำนวณค่าของพื้นที่ระดับ R2, R3 และ R4 ทุก ๆ วินาที ซึ่งจะทำการจำลองเหตุการณ์เป็นเวลา 36,000 วินาที หรือ 10 ชั่วโมงนับจากเวลาที่เกิดแผ่นดินไหว และทำการบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการสร้างภาพจำลองสึนามิ ทุก ๆ 60 วินาที หรือ 1 นาที ซึ่งค่าของเวลาต่าง ๆ นี้ สามารถปรับเปลี่ยนได้จากตัวแปรในโปรแกรม โดยค่าเวลาต่าง ๆ ที่ได้กำหนดมานี้ เป็นค่าเวลาที่ทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้กำหนดขึ้นมาไว้ตามความเหมาะสมในการจำลองสึนามิเพื่อการเตือนภัย แต่เนื่องจากการเตือนภัยสึนามินั้น นอกจากต้องมีความถูกต้องแม่นยำแล้ว ยังต้องการประสิทธิภาพในการคำนวณที่รวดเร็ว ซึ่งในการจำลองสึนามิเพื่อเตือนภัยนั้นควรใช้เวลาไม่เกินห้าสิบนาที ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่จะทำให้การจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ สามารถคำนวณได้โดยใช้เวลาในการคำนวณที่ลดลงเป็นอย่างมาก

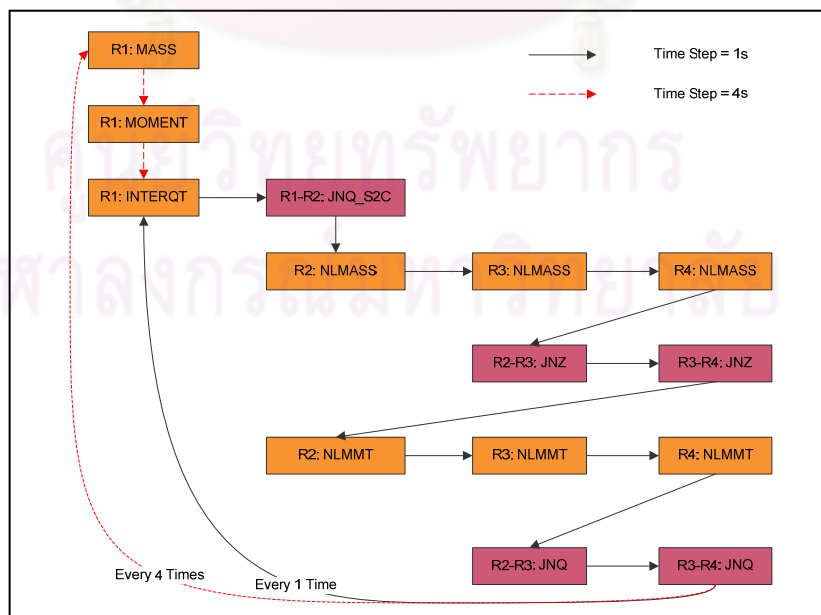
2.2.2 โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน (Parallel Tsunami Simulation Program)

เนื่องจากโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ใช้เวลาประมาณ 4 - 6 ชั่วโมงต่อการคำนวณหนึ่งโซน ถ้าต้องคำนวณการเกิดสึนามิด้วยพื้นที่ทั้งหมด 18 โซน ด้วยกรณีของการเกิดแผ่นดินไหวมากกว่า 1,000 กรณี ก็ต้องใช้เวลามากกว่า 18,000 เท่าบนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องเดียว และได้ผลการคำนวณที่ซ้ำซ้อนกันในหนึ่งกรณี จึงได้นำโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับนี้มาพัฒนาให้เป็นการคำนวณแบบขนาน ที่ช่วยให้มีประสิทธิภาพและความเร็วในการจำลองสึนามิเพิ่มขึ้น

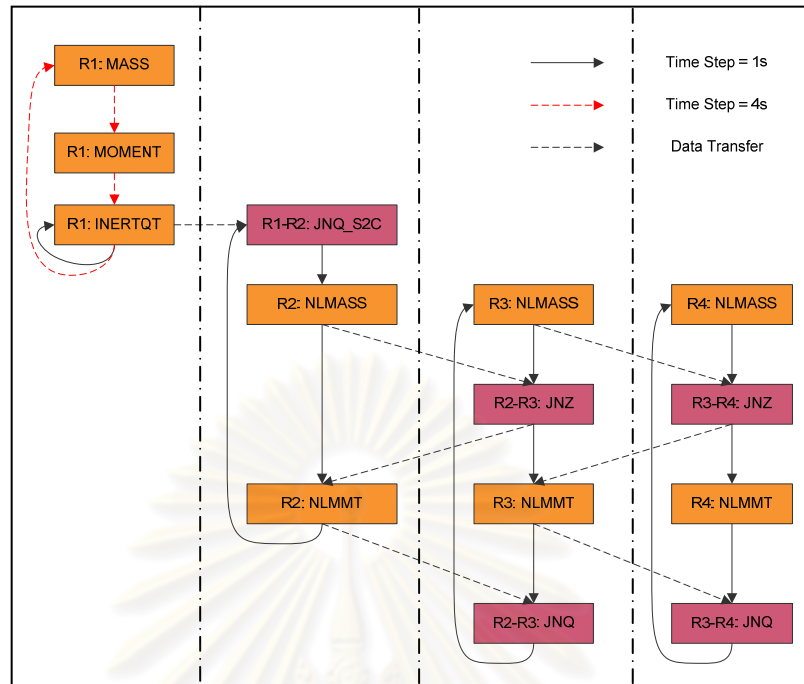
การคำนวณการเกิดคลื่นสึนามิของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ เป็นการพัฒนาและปรับปรุงการคำนวณจากโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้ Message Passing Interface (MPI Library) มาช่วยในการคำนวณแบบขนาน ซึ่งเป็นโครงงานทางวิศวกรรมเรื่อง “โปรแกรมแบบขนานเพื่อจำลองการเกิดคลื่นสึนามิ” [14] ของนายกิตติพัฒน์ วิโรจน์ศิริ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2550 โดยมี ผศ. ดร. วีระ เหมืองสิน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน เพื่อให้ประสิทธิภาพของโปรแกรมจำลองสึนามิดีขึ้น และให้สามารถคำนวณได้แม่นยำเหมือนโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับเดิม แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่ลดลง เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่อย่างสูงสุด ในการทำงานบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ (Cluster computer) ซึ่งตัวโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ ได้ทำการทดสอบบนระบบคลัสเตอร์ TERA ของ Thai National Grid Center ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย และระบบคลัสเตอร์

TSUBAME ของ GSIC Center ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียว (Tokyo Institute of Technology หรือ TiTech) ประเทศญี่ปุ่น โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานจะใช้ส่วนการคำนวณจากโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ที่เขียนด้วยชุดคำสั่งภาษา FORTRAN แต่การเรียกใช้งานส่วนการคำนวณและการควบคุมการทำงานแบบขนานด้วย MPI เขียนด้วยชุดคำสั่งภาษา C++

แนวทางในการแก้ปัญหาด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ ประกอบด้วยสองขั้นตอน โดยขั้นแรกเป็นการแบ่งการคำนวณออกตามพื้นที่ที่ระดับความละเอียดต่าง ๆ และให้แต่ละหน่วยประมวลผลรับผิดชอบการคำนวณในหนึ่งระดับความละเอียด ซึ่งการแบ่งการคำนวณแบบขนานจำเป็นต้องคำนึงถึงการเชื่อมต่อของข้อมูล หรือการใช้งานข้อมูลร่วมกันภายนอกระดับความละเอียดดังรูปที่ 2-20 ที่แสดงให้เห็นลำดับการทำงานของกรคำนวณแบบลำดับที่แยกย่อยให้เห็นถึงลำดับการทำงานในส่วนที่มีการเชื่อมต่อกันของข้อมูลภายนอกระดับความละเอียด และจากรูปที่ 2-21 ที่แสดงถึงลำดับการทำงานด้วยการคำนวณแบบขนานที่จะแยกกันทำงานด้วยแต่ละหน่วยประมวลผล ที่ใช้เส้นยาวสลับลั้นเป็นแนวแบ่งการทำงานของแต่ละหน่วยประมวลผล ใช้เส้นทึบสีเข้มแทนลำดับการทำงานที่จะทำทุก ๆ รอบการทำงาน ใช้เส้นประสีอ่อนแทนลำดับการทำงานที่ทำทุก ๆ 4 รอบการทำงาน และใช้เส้นประสีเข้มแทนการส่งผ่านข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผล ซึ่งจากลักษณะของการคำนวณที่แยกออกตามระดับความละเอียดของพื้นที่ที่เกือบสมบูรณ์ และมีการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันเฉพาะรอยต่อ จึงสามารถทำการแบ่งการคำนวณตามระดับความละเอียดได้สำหรับการคำนวณแบบขนาน

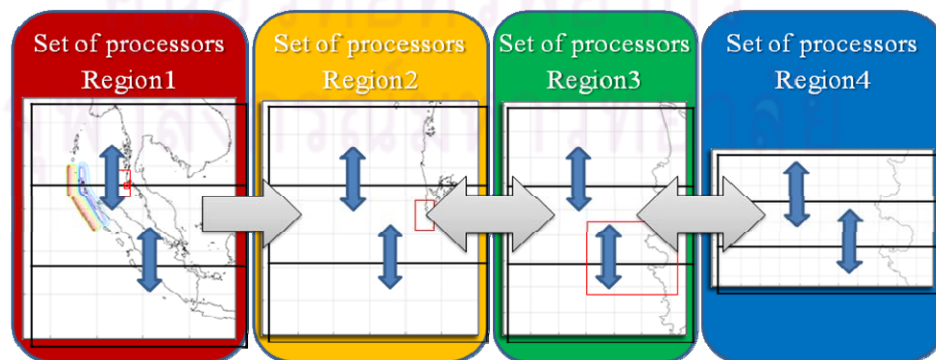


รูปที่ 2-20 ลำดับการทำงานของกรคำนวณแบบลำดับในส่วนการคำนวณ



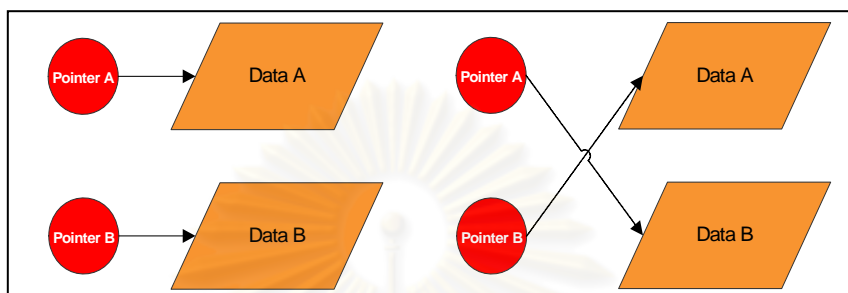
รูปที่ 2-21 ลำดับการทำงานเมื่อพัฒนาโปรแกรมเป็นการคำนวณแบบขนาน

ส่วนขั้นที่สองเป็นการแบ่งการคำนวณในพื้นที่เดียวกันออกเป็นหลาย ๆ งาน เพื่อให้แต่ละหน่วยประมวลผลรับผิดชอบในการคำนวณ ซึ่งการแบ่งการคำนวณแบบนี้ช่วยลดขนาดของพื้นที่ในการคำนวณต่อหนึ่งหน่วยประมวลผลที่ทำให้ระยะเวลาการคำนวณลดลงด้วย แต่ด้วยความยากในการแบ่งงานให้ได้ประสิทธิภาพและความเร็วอันเนื่องมาจากความซับซ้อนของปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด จึงต้องทำการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมโดยละเอียดเพิ่มเติม นั่นคือเมื่อทำตามสองขั้นตอนแล้วได้เป็นการแบ่งงานตามรูปที่ 2-22



รูปที่ 2-22 การแบ่งงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

นอกจากนั้นการพัฒนาโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนานนี้ ได้ใช้วิธี Page Flipping ดังรูปที่ 2-23 ที่เป็นวิธีการสลับตัวแปรที่ชี้ตำแหน่งของข้อมูลในตัวแปรแทนการเขียนทับข้อมูลในตัวแปรทั้งหมด มาทำงานแทนการทำงาน CHANGE ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ลดลงจาก $O(mn)$ เป็น $O(1)$



รูปที่ 2-23 ตัวอย่างการทำ Page Flipping

จากการวิเคราะห์ความซับซ้อนเชิงเวลา (Time complexity) ในการคำนวณของแต่ละส่วนย่อยของโปรแกรมที่มีการทำงานซ้ำ ๆ ตลอดการทำงาน ซึ่งเป็นส่วนการคำนวณหลักของโปรแกรม โดยที่กำหนดให้ m คือความยาวของข้อมูลตามแกน X และ n คือความยาวของข้อมูลตามแนวแกน Y ได้เป็นค่าบิกโอ (Big O notation) ดังนี้

1. ส่วนที่ทำการคำนวณตามหลักการอนุรักษมวลและโมเมนตัม ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนการคำนวณที่ใช้ในการจำลองระยะไกล และการจำลองระยะใกล้
 - MASS ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$
 - OPENBOUNDARY ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(m+n)$
 - MOMENT ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$
 - INTERQT ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$
 - NLMASS ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$
 - NLMMT แบ่งการทำงานออกเป็นสองขั้นตอนคือ NLMMT1 และ NLMMT2 ใช้ระยะเวลาในการทำงานส่วนการคำนวณละ $O(mn)$
2. ส่วนที่ทำการเชื่อมต่อกันของข้อมูลภายนอกในระดับความละเอียด
 - JNQ_S2C ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(m+n)$
 - JNZ ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(m+n)$
 - JNQ ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(m+n)$

3. ส่วนที่ทำการจัดการผลการคำนวณ

- CHANGE ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$
- ZMAX และ MNMAX ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$
- OUTZ OUTM และ OUTN ใช้ระยะเวลาในการทำงาน $O(mn)$

เมื่อทำการวัดระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละส่วนการคำนวณในแต่ละรอบการทำงาน (Timestep) ด้วยพื้นที่โซน 2111 และโซน 2121 ได้ผลการทำงานตามตารางที่ 2-2 โดยแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการคำนวณที่มีการเรียกใช้งานซ้ำ ๆ ตลอดการทำงานจากการจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับของพื้นที่โซน 2111 และโซน 2121 ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า แต่ละส่วนการคำนวณใช้เวลาในการทำงานมากน้อยเพียงใด โดยส่วนการคำนวณ ZMAX และ MNMAX แทนด้วยส่วนการทำงาน MAX ส่วนการคำนวณ OUTZ OUTM และ OUTN แทนด้วยส่วนการทำงาน OUTB และส่วนการคำนวณ OUTZMAX, OUTMMAX, OUTNMAX, OUTZMNMAX, OUTUVMAX และ OUTETA แทนด้วยส่วนการทำงาน OUTMAX

โดยส่วนการคำนวณของโปรแกรมนั้นประกอบด้วย ส่วนที่ทำการคำนวณตามหลักการอนุรักษมวลและโมเมนตัม และส่วนที่ทำการเชื่อมต่อกันของข้อมูลภายนอกในระดับความละเอียด จะทำการคำนวณทั้งหมด 36,000 รอบ ในระดับพื้นที่ระดับ R2 R3 และ R4 แต่ในระดับความละเอียดพื้นที่ระดับ R1 ทำการคำนวณทั้งหมด 9,000 รอบ และส่วนที่ทำการจัดการผลการคำนวณที่ต้องมีการเขียนข้อมูลลงเพิ่มข้อมูลของทั้ง 4 ระดับความละเอียด ซึ่งต้องทำงานทั้งหมด 600 รอบ และส่วนกำหนดค่าเบื้องต้นและส่วนที่ทำการเขียนผลลัพธ์สูงสุดต่าง ๆ ของการคำนวณทำงานเพียงหนึ่งรอบ เมื่อรวมระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำงานทั้งหมดแล้ว จึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการคำนวณแต่ละครั้งที่ทำการจำลองสึนามิเป็นเวลานานมากตามระยะเวลาที่ต้องการจำลองและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียด

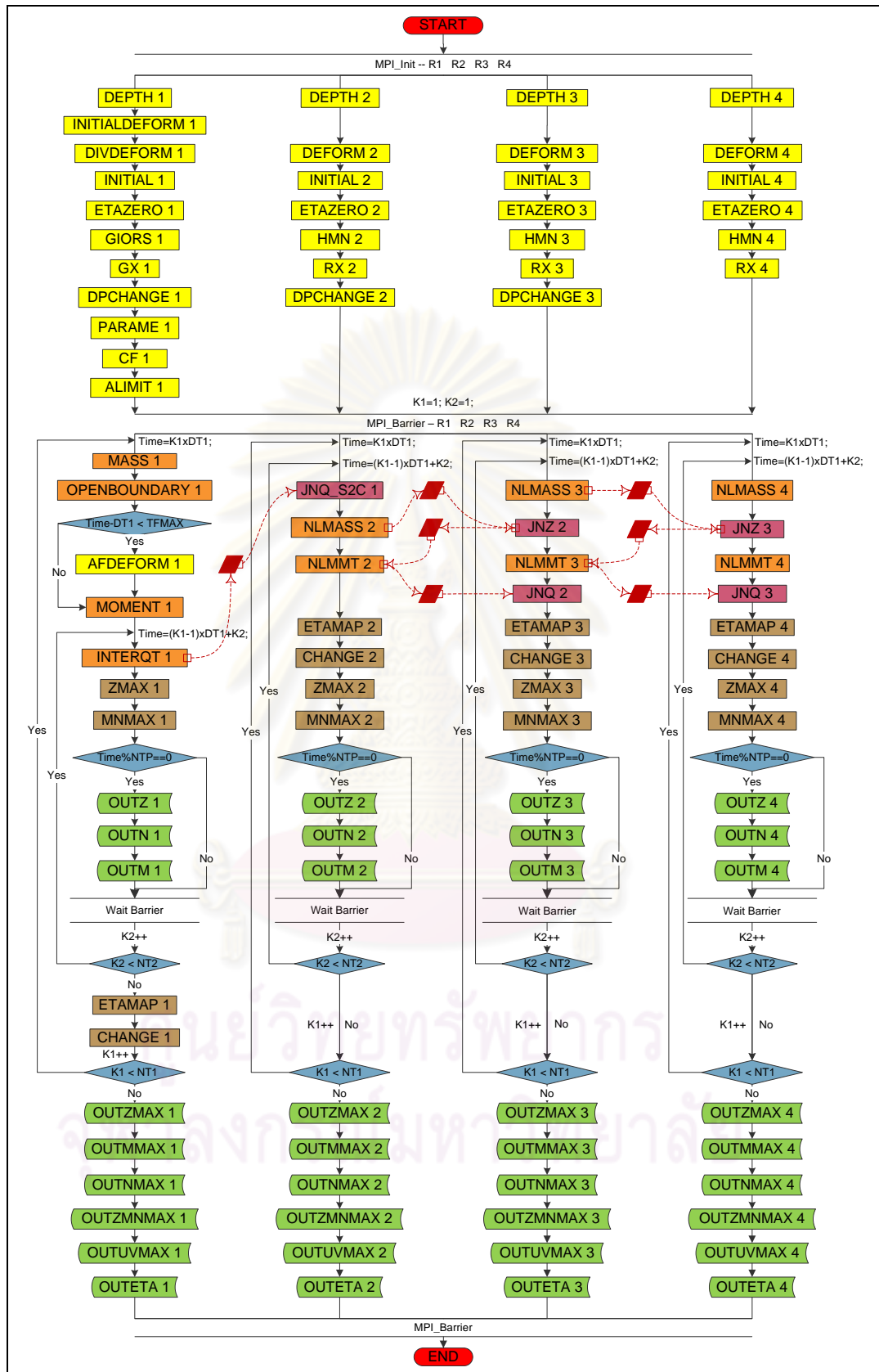
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการคำนวณที่มีการเรียกใช้งานซ้ำ ๆ ตลอดการทำงานจากการจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับของพื้นที่โซน 2111 และโซน 2121

พื้นที่	ฟังก์ชัน	จำนวนรอบ	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน (วินาที)			
			โซน 2111		โซน 2121	
			เวลารวม	เวลาเฉลี่ย	เวลารวม	เวลาเฉลี่ย
R1-R4	INITIAL	1	1.330	1.330	1.700	1.700
R1	MASS	9000	62.259	0.006918	58.835	0.006537
R1	OPENBOUNDARY	9000	2.046	0.000227	2.189	0.000243
R1	MOMENT	9000	139.495	0.015499	137.773	0.015308
R1	INTERQT	36000	504.199	0.014006	483.037	0.013418
R1	JNQ_S2C	36000	10.380	0.000288	10.129	0.000281
R2	NLMASS	36000	297.165	0.008255	291.829	0.008106
R3	NLMASS	36000	36.863	0.001024	140.067	0.003891
R4	NLMASS	36000	77.268	0.002146	145.040	0.004029
R2	JNZ	36000	5.054	0.000140	8.221	0.000228
R3	JNZ	36000	3.592	0.000100	6.205	0.000172
R2	NLMMT	36000	7,344.722	0.204020	7,218.833	0.200523
R3	NLMMT	36000	891.235	0.024757	3,601.958	0.100054
R4	NLMMT	36000	1,764.622	0.049017	3,310.396	0.091955
R2	JNQ	36000	3.983	0.000111	6.055	0.000168
R3	JNQ	36000	3.551	0.000099	4.722	0.000131
R2	CHANGE	36000	407.279	0.011313	400.067	0.011113
R3	CHANGE	36000	52.432	0.001456	200.602	0.005572
R4	CHANGE	36000	107.533	0.002987	203.914	0.005664
R1	MAX	36000	572.768	0.015910	573.358	0.015927
R2	MAX	36000	611.812	0.016995	611.684	0.016991
R3	MAX	36000	80.343	0.002232	298.889	0.008302
R4	MAX	36000	160.317	0.004453	297.979	0.008277
R1	OUTB	600	373.477	0.622462	372.594	0.620990
R2	OUTB	600	388.917	0.648195	386.988	0.644980
R3	OUTB	600	55.964	0.093273	188.922	0.314870
R4	OUTB	600	102.707	0.171178	187.418	0.312363
R1	CHANGE	9000	97.575	0.010842	95.323	0.010591
R1-R4	OUTMAX	1	86.860	86.860	107.561	107.561
TOTAL		1	14,250.710	14,250.710	19,356.971	19,356.971

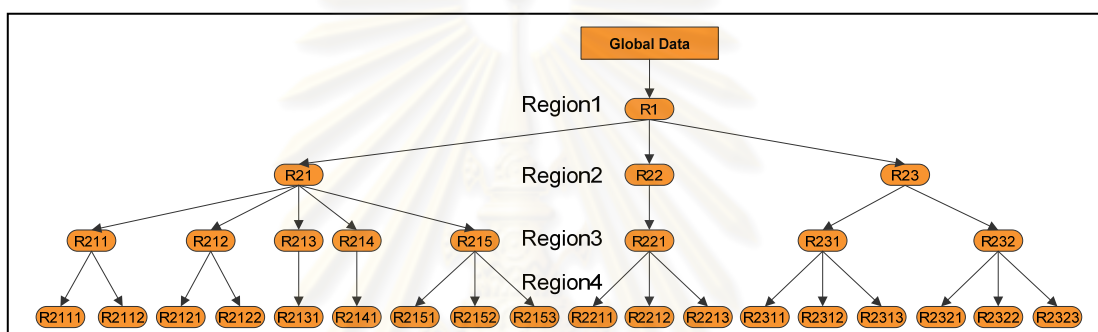
เมื่อวิเคราะห์ส่วนการคำนวณของลำดับการทำงานที่สามารถนำมาปรับปรุงเป็นการคำนวณแบบขนานได้แล้ว ลำดับการทำงานทั้งหมดของการคำนวณแบบขนานจะเป็นดังรูปที่ 2-24 ที่ใช้เส้นทึบแทนลำดับการทำงานของโปรแกรม ใช้เส้นประแทนการส่งข้อมูลภายนอกในระดับความละเอียด และตัวเลข 1 - 4 แทนระดับความละเอียดทั้ง 4 ระดับ ซึ่งรายละเอียดและลำดับการทำงานของโปรแกรมเป็นดังนี้คือ

1. ก่อนที่โปรแกรมจะเริ่มดำเนินการทำงาน จะใช้โปรแกรมแบ่งการคำนวณ (Splitter) เพื่อกำหนดขอบเขตของข้อมูลในแต่ละหน่วยประมวลผลต้องรับผิดชอบตามจำนวนงานที่แบ่งในแต่ละระดับความละเอียด พร้อมทั้งระบุหมายเลขของแต่ละขอบเขตด้วยจากแฟ้มโครงแบบข้อมูลของโปรแกรม
2. เมื่อเริ่มต้นเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม แต่ละหน่วยประมวลผลจะทำการตรวจสอบหมายเลขของงานที่รับผิดชอบให้ตรงกับหมายเลขตามขอบเขตของข้อมูลจากแฟ้มโครงแบบข้อมูลของโปรแกรม ว่าต้องคำนวณในระดับความละเอียดใด และที่ตำแหน่งใดบนระดับความละเอียดนั้น
3. จากนั้นแต่ละหน่วยประมวลผลเริ่มทำงานในส่วนการจัดการค่าเริ่มต้นในการคำนวณของแต่ละหน่วยประมวลผลได้ทันที เนื่องจากในส่วนนี้ไม่มีการเชื่อมต่อกันของข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผล
4. เมื่อจะเข้าสู่ลำดับการทำงานในส่วนการคำนวณหลัก จะให้ทุกหน่วยประมวลผลหยุดการทำงานก่อนเพื่อรอให้ทำงานในส่วนนี้ไปพร้อม ๆ กัน เพราะระหว่างการทำงานจะมีการเชื่อมต่อและส่งผ่านข้อมูลกันระหว่างหน่วยประมวลผล ที่จะมีผลต่อผลลัพธ์ในการคำนวณ และมีการรอให้ทำงานพร้อม ๆ กันในการคำนวณของแต่ละหน่วยประมวลผลเมื่อทำงานเสร็จในทุก ๆ รอบการคำนวณ
5. ก่อนจะสิ้นสุดการทำงาน ส่วนคำนวณในทุกหน่วยประมวลผลก็จะหยุดการทำงาน เพื่อรอที่จะสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมพร้อม ๆ กัน เพราะก่อนจบโปรแกรม จะมีการลบค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด



รูปที่ 2-24 ลำดับการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

โดยเพิ่มโครงสร้างข้อมูลของโปรแกรม (Config.xml) เป็นเพิ่มข้อมูลที่บ้านที่โครงสร้างข้อมูลของพื้นที่ในการคำนวณด้วยรูปแบบเพิ่มข้อมูล XML (eXtensible Markup Language) [15] ซึ่งเป็นรูปแบบเพิ่มข้อมูลที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้ง่าย และมีคลัง (Library) สำหรับจัดการเพิ่มข้อมูลที่แพร่หลาย โดยใช้โครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้ดังรูปที่ 2-25 ที่มีรากของต้นไม้ เป็นข้อมูลหลักของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และมีลูกของรากเป็นข้อมูลของพื้นที่ระดับ R1 ที่จะมีลูกเป็นพื้นที่ระดับ R2 R3 และ R4 ที่มีระดับความละเอียดที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ ซึ่งจะกำหนดพื้นที่การคำนวณของแต่ละหน่วยประมวลผล กำหนดจำนวนการแบ่งการคำนวณในแต่ละพื้นที่ และการกำหนดชื่อเพิ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ



รูปที่ 2-25 รูปแบบของโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้

ในการทดสอบโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนานที่เคยมีการทดสอบมาก่อนหน้านี้ ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ส่วน คือ

1. การทดสอบผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของการจัดแบ่งงาน – ในการทดสอบนี้จะทำการกำหนดจำนวนของงานที่แบ่งให้คงที่ และทำการปรับเปลี่ยนในส่วนของจำนวนการแบ่งตามคอลัมน์ และตามแถว โดยรูปแบบของการจัดทำงานและการแบ่งงานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม ได้ใช้การทดสอบกับรูปแบบของปัญหาเพียงโซนเดียว และทำการแบ่งงานโดยให้พื้นที่ระดับ R1 แบ่งเป็น 2 ส่วนตามแถวเท่านั้น ส่วนพื้นที่ระดับ R2 R3 และ R4 แบ่งพื้นที่โดยใช้ค่า 40,000 เป็นตัวหารขนาดของพื้นที่ให้ได้เป็นจำนวนงานที่แบ่ง
2. การทดสอบผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของวิธีการสั่งงาน – ในการทดสอบนี้จะทำการกำหนดจำนวนของงานที่แบ่งให้คงที่ และทำการเปรียบเทียบการทำงานของโปรแกรมที่มีการทำงานซ้อนทับกันของการคำนวณและการสื่อสาร (Overlapping) และโปรแกรมที่ไม่มีการทำงานซ้อนทับกันของการคำนวณและ

การสื่อสาร (Non-overlapping) โดยใช้รูปแบบของการจัดการงานและการแบ่งงานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมเหมือนเดิม

3. การทดสอบผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบที่แตกต่างกัน – ในการทดสอบนี้ จะทำการกำหนดจำนวนของงานที่แบ่งให้คงที่ และทำการทดสอบในระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทดสอบด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA เทียบกับระบบคลัสเตอร์ TSUBAME โดยใช้รูปแบบของการจัดการงานและการแบ่งงานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมเหมือนเดิม
4. การทดสอบความสามารถในการขยายขนาดของปัญหา – ในการทดสอบนี้ทำการเปรียบเทียบการทำงานของโปรแกรมเมื่อมีจำนวนของงานที่แบ่ง และจำนวนการแบ่งตามคอลัมน์ และตามแถวที่แตกต่างกัน โดยมีรูปแบบของปัญหาเพียงชนิดเดียว และไม่คำนึงถึงรูปแบบของการแบ่งงาน

ผลการทดสอบจากการพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมจำลองสัญญาณที่ได้นั้น ในเรื่องของความเร็วในการคำนวณ สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังไม่มียุทธวิธีในการจัดการงานเพื่อหารูปแบบในการแบ่งงานในการคำนวณแบบขนานที่แน่นอนและชัดเจน โดยในการคำนวณแบบขนานนี้มีความซับซ้อนของข้อมูลที่น่ามาคำนวณในแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งข้อมูลที่น่ามาคำนวณได้ถูกแบ่งตามระดับความละเอียดของข้อมูล มีความละเอียดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่แตกต่างกัน มีจำนวนรอบในการทำงานที่แตกต่างกันของการจำลองระยะใกล้กับการจำลองระยะไกล และสามารถจัดการแบ่งงานของแต่ละระดับความละเอียดได้ อีกทั้งยังเพิ่มจำนวนพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่จะให้ทำการคำนวณในแต่ละครั้งได้ด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องหารูปแบบของการแบ่งงานและการกระจายงานที่เหมาะสมในการคำนวณแบบขนาน เพื่อสร้างเป็นระเบียบวิธีในการจัดการงานมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แนวคิดของงานวิจัย

3.1 แนวคิดหลัก

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดที่ทำให้ได้ความเร็วในการคำนวณและมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น โดยทำการปรับตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเร็วและประสิทธิภาพในการคำนวณ โดยเน้นที่วิธีแบ่งงานและการกระจายงานให้สม่ำเสมอ และการลดปริมาณการสื่อสารและการประสานการทำงาน ทั้งนี้ สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามขีดความสามารถของระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำงาน ข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ และข้อกำหนดของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ด้วย โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์เป็นกรณีศึกษา และใช้ระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถที่ต่างกันอย่าง ระบบคลัสเตอร์ TERA ของ Thai National Grid Center และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ของ Tokyo Institute of Technology โดยมีเป้าหมายคือ เพื่อออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงานในการคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาการคำนวณแบบหลายระดับความละเอียด ที่ใช้ในการหารูปแบบของการแบ่งงานให้กับปัญหา จำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ และเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม โดยงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการแก้ปัญหา แนวคิดในการทดสอบ แนวคิดในการออกแบบ และแนวคิดในการประเมินผลดังนี้

3.1.1 แนวคิดในการแก้ปัญหา

แนวคิดในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1. ศึกษาลักษณะการทำงานของทั้งโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบลำดับและด้วยการคำนวณแบบขนาน เพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับการทำงานของโปรแกรม ด้วยการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงาน
2. เพื่อให้สามารถแบ่งงานได้อย่างสม่ำเสมอ จำเป็นต้องสามารถวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละชิ้น และเวลาที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งอาจไม่เท่ากันในระบบคอมพิวเตอร์แบบขนานแต่ละระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้การวัดประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของระบบคอมพิวเตอร์แบบขนานที่จะใช้ก่อน แล้วนำผลลัพธ์ที่วัดได้มาเป็นส่วนประกอบในการแบ่งงาน

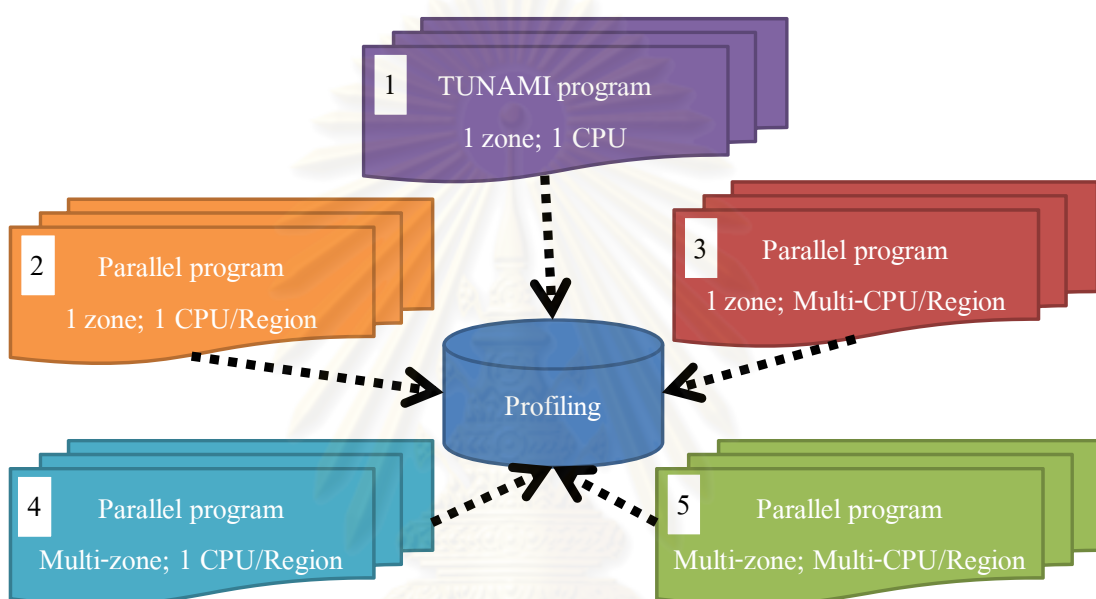
3. ในโปรแกรมจำลองสีนามีด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหลายโชนพร้อมกันเพื่อลดเวลาในการทำงาน ซึ่งต่างจากโปรแกรมจำลองสีนามีด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้การคำนวณทีละหนึ่งโชน ทำให้มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นในการคำนวณเนื่องจากต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแต่ละระดับความละเอียดด้วย จึงต้องกำหนดรูปแบบของการทดสอบให้ครอบคลุมทั้งการคำนวณแบบหนึ่งโชนและแบบหลายโชน
4. เมื่อมีข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ ต้องสามารถหารูปแบบของการแบ่งงานสำหรับปัญหาทั่วไปที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้อยู่ภายใต้จำนวนหน่วยประมวลผลที่กำหนดด้วยเวลาที่ใช้ในการทำงานเร็วที่สุด
5. เมื่อมีข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ ต้องสามารถหารูปแบบของวิธีการแบ่งงานสำหรับปัญหาทั่วไปที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ทันเวลาที่กำหนดด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลที่น้อยที่สุด

3.1.2 แนวคิดในการทดสอบ

แนวคิดในการทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้ใช้ข้อกำหนดในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการคำนวณบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ทั้งสองระบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของการคำนวณบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์แต่ละแบบ ที่ทำให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริงของแต่ละส่วนการทำงาน (Calculation task) และทราบระยะเวลาหรือค่าใช้จ่ายอื่นที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล (Communication overhead) ของรูปแบบการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 3-1 ที่ประกอบด้วยการทดสอบทั้งหมด 5 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสีนามีด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้การคำนวณหนึ่งโชนด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วย
2. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสีนามีด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหนึ่งโชน และใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย
3. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสีนามีด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหนึ่งโชน แต่ใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลมากกว่าหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย

4. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหลายโชนพร้อมกัน และใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย
5. ทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณหลายโชนพร้อมกัน แต่ใช้การแบ่งงานโดยใช้จำนวนหน่วยประมวลผลมากกว่าหนึ่งหน่วยต่อหนึ่งพื้นที่ย่อย



รูปที่ 3-1 การทดลองที่ต้องทำเพื่อทดสอบการคำนวณ

ในการทดสอบข้อ 1 จะเป็นการทดสอบการคำนวณที่ไม่มีการติดต่อระหว่างหน่วยประมวลผล เพื่อให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริง และใช้เป็นฐานเวลาในการเปรียบเทียบความเร็วในการคำนวณที่เพิ่มขึ้น ส่วนในการทดสอบข้อ 2 - 5 จะเป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบระยะเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริงของแต่ละหน่วยประมวลผล โดยวิธีการแบ่งงานให้แต่ละหน่วยประมวลผลสำหรับพื้นที่ย่อยนั้น จะพิจารณาจากขนาดของพื้นที่ในการคำนวณแต่ละระดับความละเอียด โดยอ้างอิงจากระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณของแต่ละระดับความละเอียดที่ได้จากการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรม

3.1.3 แนวคิดในการออกแบบ

แนวคิดในการออกแบบระเบียบวิธีการจัดการงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน มีดังนี้

1. วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาของแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรม ที่จะได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการคำนวณจริงกับค่าใช้จ่ายอื่น
2. ทดสอบตามแนวคิดเพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Performance parameters) สำหรับโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา เช่น ความเร็วในการคำนวณ (Processor speed) และความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Network bandwidth) เป็นต้น
3. นำค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบมาปรับโครงสร้างแบบข้อมูลของโปรแกรมตามข้อกำหนดในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ หรือจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการทำงาน
4. ทดสอบการทำงานด้วยโครงสร้างแบบข้อมูลของโปรแกรมที่ได้ปรับแต่งตามค่าประสิทธิภาพที่ได้

3.1.4 แนวคิดในการประเมินผล

แนวคิดในการประเมินผลการทำงานของระเบียบวิธีการจัดการงานที่ได้คือ ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบลำดับมาเป็นกรณีเปรียบเทียบสำหรับการทำงานของโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนานที่ทำการปรับรูปแบบของการแบ่งงานตามลักษณะของปัญหา และข้อกำหนดต่าง ๆ ในโปรแกรมจากระเบียบวิธี เพื่อนำมาทดสอบบนระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ทั้งสอง ตามข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ หรือข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ โดยทำการทดสอบกับลักษณะของปัญหาต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ใช้ในการเตือนภัยสึนามิ เพื่อวิเคราะห์ว่าระเบียบวิธีการจัดการนี้ มีค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานได้จริง

3.2 ระเบียบวิธีการจัดการงาน

ระเบียบวิธีการจัดการงาน (Methodology) เป็นรูปแบบหรือวิถีทางที่ไว้จัดการกับงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงกระบวนการสร้างระเบียบวิธีการจัดการงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียด ที่นำการจำลองสถานการณ์มาเป็นกรณีศึกษา ด้วยวิธีการแบ่งงานที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้ตามขนาดของปัญหา ลักษณะการทำงานของโปรแกรม และตามความสามารถของเครื่องที่ใช้ ที่มีเรื่องเวลากับจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ใน

การทำงานเป็นข้อกำหนดของการจัดการงาน และจากแนวคิดของงานวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งระเบียบวิธีจัดการงานจึงต้องมีการวางแผนและออกแบบระเบียบวิธีจัดการงาน ซึ่งประกอบด้วย

3.2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาของแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรม

การศึกษาลักษณะการทำงานของโปรแกรม จำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลการทำงานในแต่ละส่วนการทำงาน เพื่อให้ทราบเวลาที่ใช้และประสิทธิภาพของเครื่องที่ใช้ อีกทั้งเพื่อหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ไปกับลักษณะการทำงานของโปรแกรมด้วย โดยทำการวิเคราะห์การทำงานจากทั้งโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ และโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน บนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

3.2.1.1 การวิเคราะห์โปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนานทำการพัฒนาด้วยรูปแบบการแบ่งตัวของเซตของปัญหาและด้วยวิธีการทำงาน จึงจำเป็นต้องศึกษาเวลาที่ใช้ทำงานของแต่ละส่วนการทำงาน ที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของปัญหาโดยทำการแทรกคำสั่ง `cpu_time` ที่ใช้ในการจับเวลาไปในแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรมหดงรูปที่ 3-2 เป็นตัวอย่างของการแทรกคำสั่งเข้าไปในโปรแกรม

```

REALstime, etime, ttime
call cpu_time(stime)
C   Call subroutine
call cpu_time(etime)
ttime=ttime+(etime-stime)

```

รูปที่ 3-2 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง `cpu_time`

โดยการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมนี้ ได้ถูกวิเคราะห์การทำงานของแต่ละส่วนการทำงานออกมาตามระดับความละเอียดตามนี้ คือ

1. ระดับความละเอียด R1 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
 - MASS, MOMENT, OPENBOUNDARY, AFDEFORM
 - INTERQT
 - ZMAX, MNMAX
 - OutputZ, OutputM, OutputN

- ETAMAP, CHANGE
 - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta
2. ระดับความละเอียด R2 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
- NLMASS, NLMMT, JNQ_S2C
 - ETAMAP, CHANGE
 - ZMAX, MNMAX
 - OutputZ, OutputM, OutputN
 - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta
3. ระดับความละเอียด R3 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
- NLMASS, NLMMT, JNZ, JNQ
 - ETAMAP, CHANGE
 - ZMAX, MNMAX
 - OutputZ, OutputM, OutputN
 - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta
4. ระดับความละเอียด R4 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้
- NLMASS, NLMMT, JNZ, JNQ
 - ETAMAP, CHANGE
 - ZMAX, MNMAX
 - OutputZ, OutputM, OutputN
 - Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta

ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในส่วนการทำงานเบื้องต้น (INITIAL) ไม่ถูกระบุแยกตามระดับความละเอียดเนื่องจากเป็นการทำงานร่วมกันของทุกระดับความละเอียด ซึ่งข้อมูลของพื้นที่บริเวณที่ทำการจำลองสนามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานนี้ ได้ใช้ข้อมูลตามตารางที่ 2-1 ทั้งหมดในการทำงานเพื่อทำเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานที่แตกต่างกันของในพื้นที่การ

จำลองสีนามิ โดยทำการจำลองทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำเอาข้อมูลเวลาที่ใช้น้อยที่สุด มาวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงานต่อไป

3.2.1.2 การวิเคราะห์โปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

สำหรับโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนานจะทำการเก็บข้อมูลการทำงานของส่วนการทำงานด้วยการแทรกการคำสั่ง MPI_Wtime ลงในแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรมที่ต้องการเก็บข้อมูลเวลาดังรูปที่ 3-3 เป็นตัวอย่างของการแทรกคำสั่งเข้าไปในโปรแกรม

```
double stime, etime, ttime;

#ifdef __T_TIMING__
    stime = MPI_Wtime();
#endif

//Call subroutine
#ifdef __T_TIMING__
    etime = MPI_Wtime();
    ftime = ftime + etime - stime;
#endif
```

รูปที่ 3-3 การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมด้วยการแทรกคำสั่ง MPI_Wtime

จากการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมนี้ ได้วิเคราะห์การทำงานของแต่ละส่วนการทำงานออกมาตามระดับความละเอียดตามนี้ คือ

1. ระดับความละเอียด R1 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้

- INITIAL, S_BARRIER
- send1, send2, send3
- wait1, wait2, wait3
- recv1, recv2
- preMASS, postMASS, preMOMENT, postMOMENT
- AFDEFORM, OPENBOUND, INTERQT
- ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
- OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER

2. ระดับความละเอียด R2 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้

- INITIAL, S_BARRIER
- send1, send2, send3, send4, send5
- wait1, wait2, wait3, wait4, wait5
- recv1, recv2, recv3, recv4, recv5
- JNQ_S2C
- preNLMASS, postNLMASS
- preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2
- ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
- OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER

3. ระดับความละเอียด R3 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้

- INITIAL, S_BARRIER
- send1, send2, send3, send4, send5, send6
- wait1, wait2, wait3, wait4, wait5, wait6
- recv1, recv2, recv3, recv4, recv5, recv6
- JNZ, JNQ
- preNLMASS, postNLMASS
- preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2
- ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
- OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER

4. ระดับความละเอียด R4 ประกอบด้วยส่วนการทำงานดังนี้

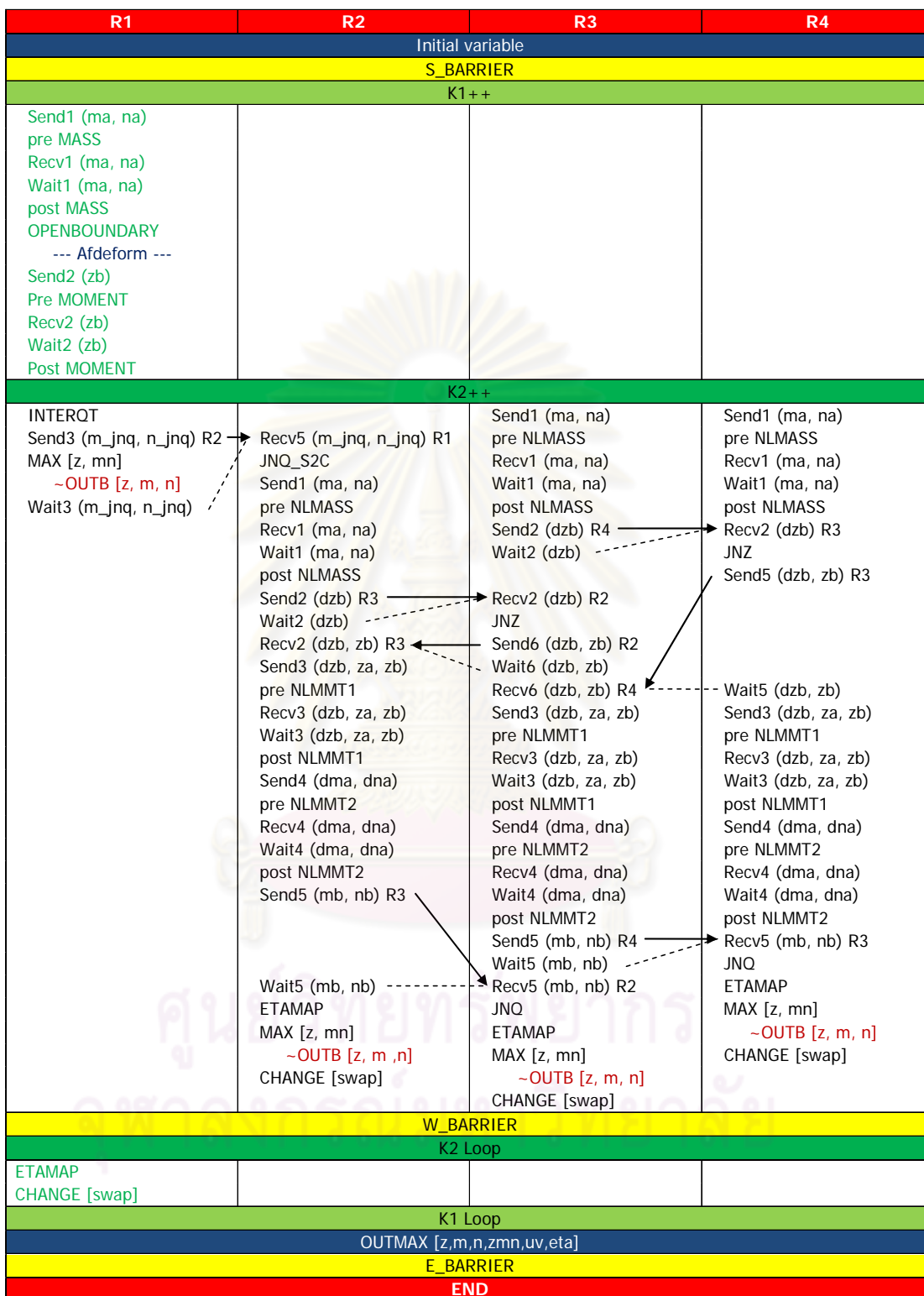
- INITIAL, S_BARRIER
- send1, send3, send4, send5
- wait1, wait3, wait4, wait5
- recv1, recv2, recv3, recv4, recv5
- JNZ, JNQ
- preNLMASS, postNLMASS
- preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2

- ETAMAP, CHANGE, MAX, OUTB
- OUTMAX, E_BARRIER, W_BARRIER

ซึ่งในการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมแบบขนานนี้ ได้แบ่งการทำงาน ออกเป็นส่วนการทำงานตามหลักการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานได้ดังนี้

1. ส่วนที่ไม่สามารถลดเวลาการทำงานได้จากการเพิ่มหน่วยประมวลผล
 - INITIAL, AFDEFORM, OPENBOUNDARY
 - JNQ_S2C, JNZ, JNQ
 - CHANGE
2. ส่วนที่สามารถลดเวลาการทำงานได้จากการเพิ่มหน่วยประมวลผล
 - preMASS, postMASS
 - preMOMENT, postMOMENT
 - INTERQT
 - preNLMASS, postNLMASS
 - preNLMMT1, postNLMMT1
 - preNLMMT2, postNLMMT2
 - ETAMAP, MAX
 - OUTB, OUTMAX
3. ส่วนการรับส่งข้อมูลกันระหว่างหน่วยประมวลผลที่ใช้เวลาเพิ่มขึ้น เมื่อใช้จำนวนหน่วยประมวลผลมากขึ้น
 - send, wait, recv
4. ส่วนที่ต้องรอการทำงานกันระหว่างหน่วยประมวลผลเพื่อเริ่มการทำงาน ขึ้นต่อไปพร้อม ๆ กัน
 - S_BARRIER, W_BARRIER, E_BARRIER

จากการแบ่งการทำงานของแต่ละส่วนการทำงานตามหลักการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานแล้วพบว่า ส่วนการทำงานที่ทำให้ใช้เวลาลดลง และส่วนการรับส่งข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผลที่ทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นนั้น จำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ตามลักษณะการทำงานของแต่ละส่วนการทำงานต่อไป



รูปที่ 3-4 ลำดับการทำงานและประสานการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน

เมื่อวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมตามลำดับการทำงานและการประสานการทำงาน
ทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิแบบขนาน ได้เป็นขั้นตอนการทำงานของโปรแกรกดังรูปที่ 3-4 ที่
แสดงลำดับการทำงานและประสานการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณ
แบบขนานที่แตกต่างกันตามแต่ละระดับความละเอียด

ส่วนแนวทางในการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน ที่ใช้
งานชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรม MPI และ IPM สามารถทำได้ด้วยการนำชุดคำสั่ง
สำเร็จรูปที่ได้การพัฒนามาทำการคอมไพล์เข้าไปในโปรแกรม เพื่อแทรกคำสั่งที่ใช้เก็บข้อมูลการ
ทำงานของคำสั่ง MPI ที่ถูกเรียกใช้งานโดยโปรแกรม เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาของ
โปรแกรมตามรูปแบบการนำเสนอผลของชุดการเก็บข้อมูลการทำงานของแต่ละโปรแกรม

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมได้เรียบร้อยแล้ว ก็นำมาคิดเป็นค่า
ซึ่งนำหน้าสำหรับการทำงานด้วยข้อมูลในระดับความละเอียดต่าง ๆ ที่ส่งผลให้การได้รับหน่วย
ประมวลผลในการทำงานแตกต่างกันขึ้นกับระดับความละเอียดของปัญหา

3.2.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหา

เมื่อใช้ปัญหาในการทำงานที่แตกต่างกัน ขนาดของปัญหามีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการ
ทำงานในแต่ละระดับความละเอียด การหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงเวลากับขนาดของ
ปัญหานั้น สามารถหาได้จากการเก็บข้อมูลการทำงานโดยอ้างอิงจากขนาดของปัญหาในแต่ละ
ตัวอย่างที่นำมาทดสอบของเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของปัญหา โดยขนาดของปัญหา
สำหรับการจำลองสึนามิมีขนาดของปัญหาตามตารางที่ 3-1 แสดงขนาดของปัญหาในแต่ละระดับ
ความละเอียดของปัญหาทั้งหมด จากการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิแล้ว
พบว่าประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาของโปรแกรมนั้น สามารถแบ่งส่วนการ
ทำงานที่มีความสัมพันธ์กับขนาดปัญหาได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด (Grid size)
ของแต่ละระดับความละเอียด คือ คิดทั้งส่วนของพื้นน้ำและพื้นดิน ซึ่งประกอบด้วย
ส่วนการทำงาน INITIAL, MAX, ETAMAP, CHANGE, OUTB, OUTMAX
2. ส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ
(Sea area) ของแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงาน MASS,
MOMENT, NLMASS, NLMMT
3. ส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะบริเวณขอบของ
ปัญหาของแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงาน OPEN
BOUNDARY, INTERQT, JNQ_S2C, JNZ, JNQ

แต่เนื่องจากส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาเฉพาะ บริเวณขอบของปัญหาใช้เวลาในการทำงานน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ทั้งหมด และขนาดของขอบของปัญหาก็สัมพันธ์กับขนาดของปัญหาทั้งหมด จึงทำการวิเคราะห์ร่วมกันกับส่วนการทำงานที่มีประสิทธิภาพเชิงเวลาขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

ตารางที่ 3-1 ขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดของปัญหาทั้งหมด

Region levels	Region	No. of Grid		Grid size (Units)	Sea area (units)	Region levels	Region	No. of Grid		Grid size (Units)	Sea area (units)
	ID	X	Y				ID	X	Y		
R1	1	690	840	579,600	449,678		2122	679	745	505,855	440,115
R2	21	721	841	606,361	547,045		2131	595	601	357,595	246,310
	22	721	841	606,361	496,667		2141	379	637	241,423	154,148
	23	721	841	606,361	299,396		2151	271	817	221,407	125,652
R3	211	241	325	78,325	67,620		2152	739	493	364,327	152,237
	212	637	469	298,753	275,475		2153	523	529	276,667	131,121
	213	397	211	83,767	60,977		2211	703	457	321,271	182,585
	214	241	229	55,189	41,759		2212	703	493	346,579	190,094
	215	469	697	326,893	187,636		2213	703	421	295,963	146,077
	221	639	487	311,193	234,716		2311	667	457	304,819	107,779
	231	655	466	305,230	90,912		2312	631	457	288,367	140,935
	232	637	466	296,842	210,574		2313	703	421	295,963	103,332
R4	2111	487	325	158,275	131,692		2321	703	457	321,271	249,792
	2112	487	421	205,027	179,132		2322	631	349	220,219	107,433
	2121	643	469	301,567	248,562		2323	631	493	311,083	250,013

3.2.3 การวิเคราะห์การติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

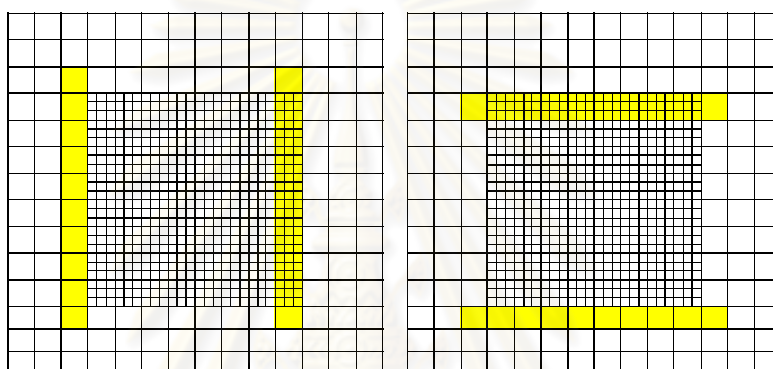
เนื่องจากการทำงานของโปรแกรมมีการคำนวณข้อมูลที่มีความขึ้นต่อกันของข้อมูล (Data dependency) จึงต้องมีส่วนการทำงานที่รับส่งข้อมูลกันระหว่างหน่วยประมวลผลของโปรแกรม ได้แก่ send wait และ recv เพื่อติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน โดยประสิทธิภาพเชิงเวลานั้นขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนที่ต้องมีการติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเท่านั้น ซึ่งอยู่บริเวณขอบของปัญหาที่อยู่ติดกันของแต่ละระดับความละเอียด จากการวิเคราะห์สามารถจำแนกการติดต่อสื่อสารของโปรแกรมได้ดังนี้

3.2.3.1 การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียด (Inter communication)

การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียดนั้น เป็นการส่งข้อมูลจากระดับความละเอียดหนึ่งไปยังอีกระดับความละเอียดหนึ่งที่อยู่ติดกันเท่านั้น โดยข้อมูลที่ส่งนั้นอยู่บริเวณขอบของการเชื่อมต่อข้อมูลที่เกิดจากความขึ้นต่อกันของข้อมูลในการคำนวณ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ลักษณะการทำงานออกได้ดังนี้

1. การส่งข้อมูลจากระดับ R1 ไประดับ R2

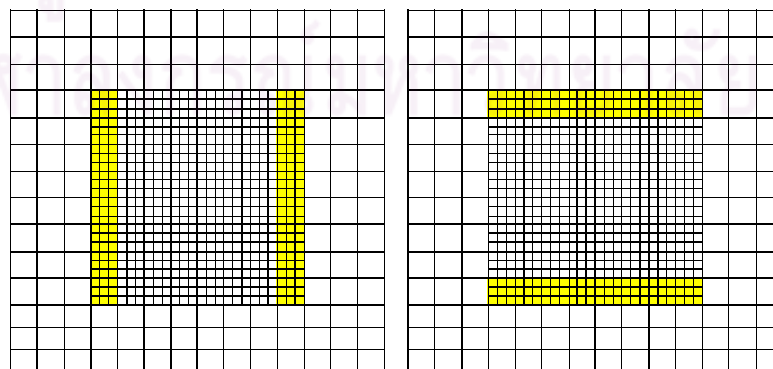
a. $[m_jmq, n_jmq]$ – เป็นค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน JNQ_S2C



รูปที่ 3-5 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร m_jmq (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร n_jmq (รูปขวา) ให้ระดับ R2

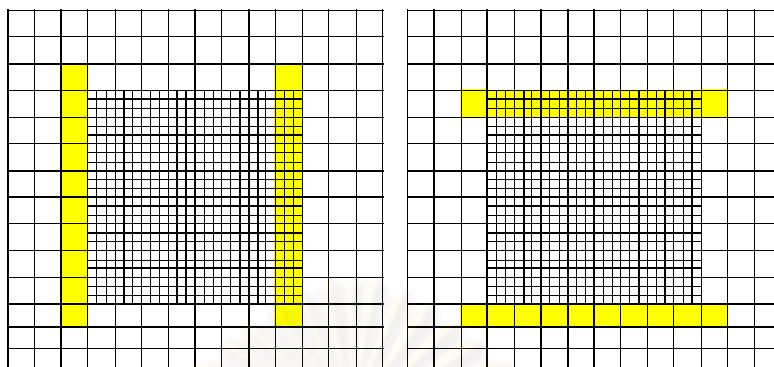
2. การส่งข้อมูลจากระดับ R2 ไประดับ R3 และการส่งข้อมูลจากระดับ R3 ไประดับ R4

a. $[dzb]$ – เป็นค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน JNZ



รูปที่ 3-6 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb ให้ระดับ R3 และ R4

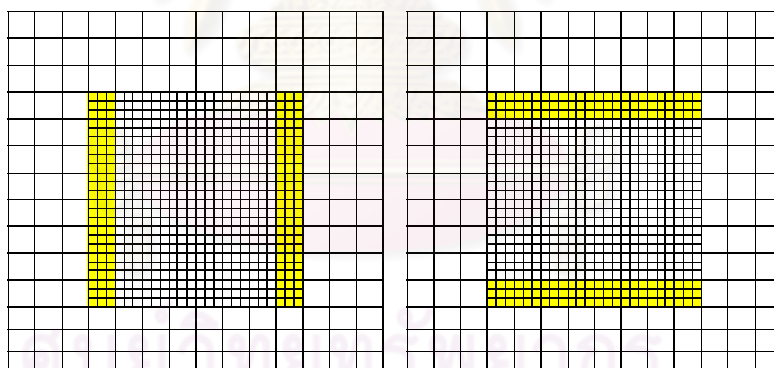
b. [mb, nb] – เป็นค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน JNQ



รูปที่ 3-7 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R2 และ R3 ต้องส่งค่าตัวแปร mb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร nb (รูปขวา) ให้ระดับ R3 และ R4

3. การส่งข้อมูลจากระดับ R4 ไประดับ R3 และการส่งข้อมูลจากระดับ R3 ไประดับ R2

a. [dzb,zb] – เป็นค่าตัวแปรที่ได้จากการทำงาน JNZ



รูปที่ 3-8 บริเวณข้อมูลที่ระดับ R3 และ R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb และค่าตัวแปร zb ให้ระดับ R2 และ R3

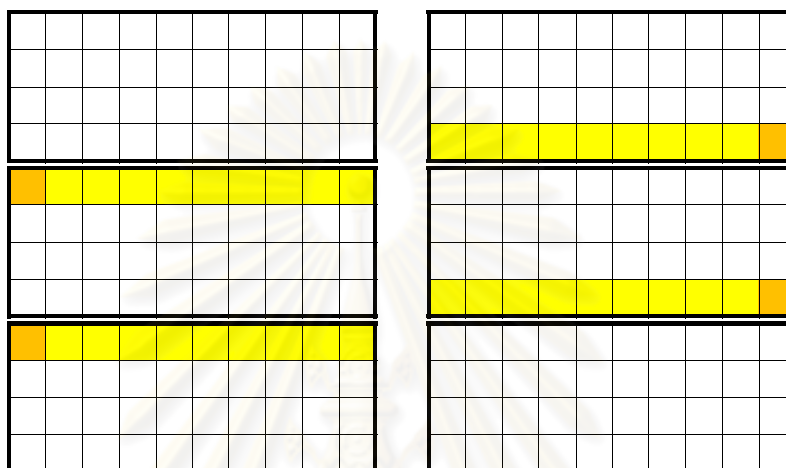
3.2.3.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในของแต่ละระดับความละเอียด (Intra communication)

การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในของแต่ละระดับความละเอียดจะทำงานก็ต่อเมื่อมีการแบ่งงานให้ในระดับความละเอียดนั้น ๆ เพื่อลดขนาดของปัญหาให้เกิดความสม่ำเสมอในการกระจายงาน การติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในของแต่ละระดับความละเอียดนั้น

เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ที่อยู่ติดกันเท่านั้น โดยลักษณะของพื้นที่ที่ถูกแบ่งนั้นสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนล่าง (ส่วนที่ 0) ส่วนกลาง (ส่วนที่ 1 ถึง n-1) และส่วนบน (ส่วนที่ n-1) ที่มีการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามส่วนของพื้นที่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ลักษณะการทำงานออกได้ดังนี้

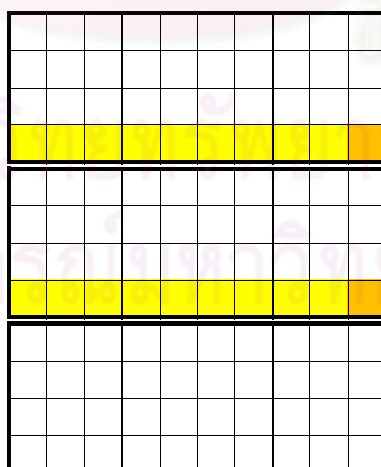
1. การส่งข้อมูลระหว่างกันภายในระดับ R1

a. [ma,na] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน MASS



รูปที่ 3-9 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร ma (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร na (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1

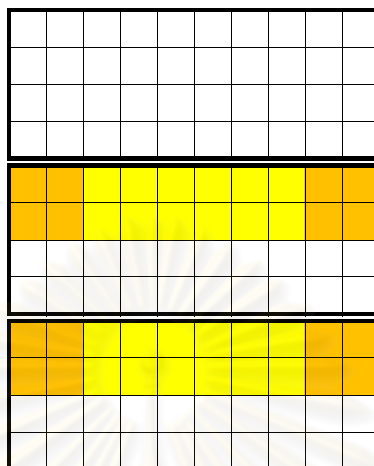
b. [zb] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน MOMENT



รูปที่ 3-10 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R1 ต้องส่งค่าตัวแปร zb ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R1

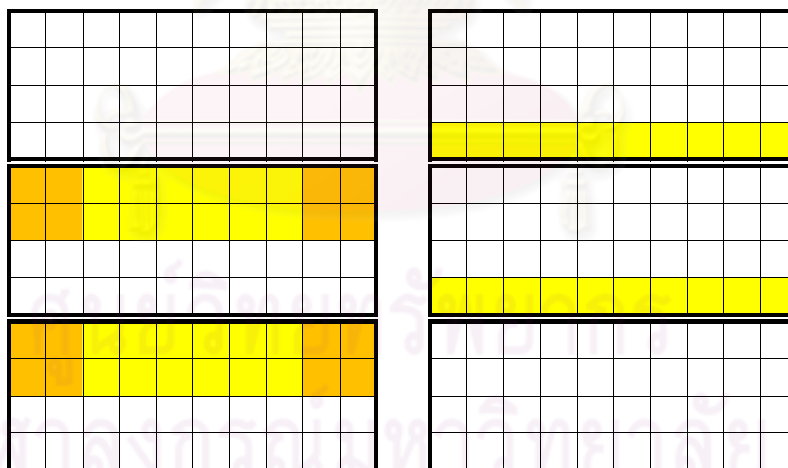
2. การส่งข้อมูลระหว่างกันภายในระดับ R2, R3 และ R4

a. [ma,na] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน NLMASS



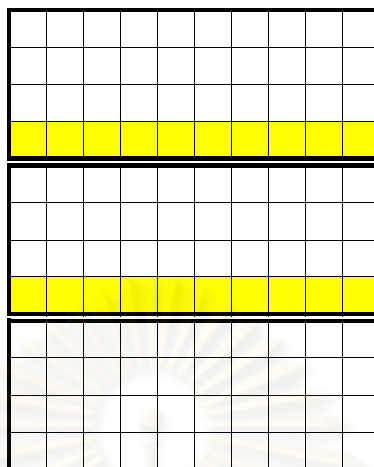
รูปที่ 3-11 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร ma และ na ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4

b. [dzb, za, zb] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน NLMMT1



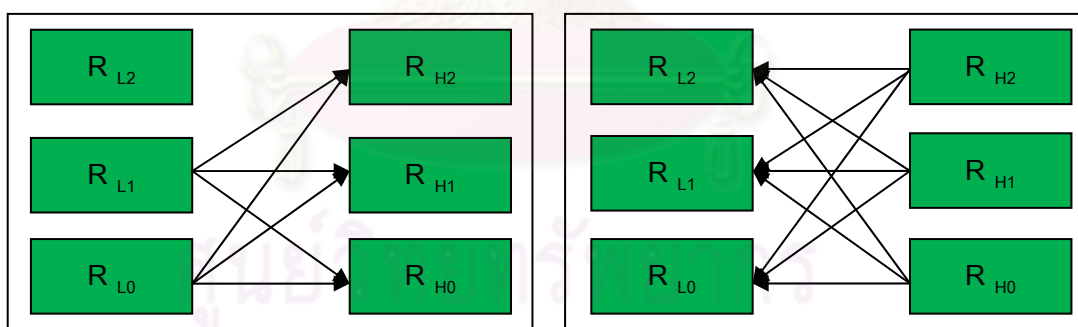
รูปที่ 3-12 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dzb (รูปซ้าย) และค่าตัวแปร za, zb (รูปขวา) ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4

c. [dma, dna] – เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับการทำงาน NLMMT2



รูปที่ 3-13 บริเวณข้อมูลส่วนย่อยที่ระดับ R2, R3, R4 ต้องส่งค่าตัวแปร dma และ dna ให้ส่วนย่อยที่อยู่ติดกันในระดับ R2, R3, R4

3.2.3.3 การแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียด เมื่อมีการแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียด



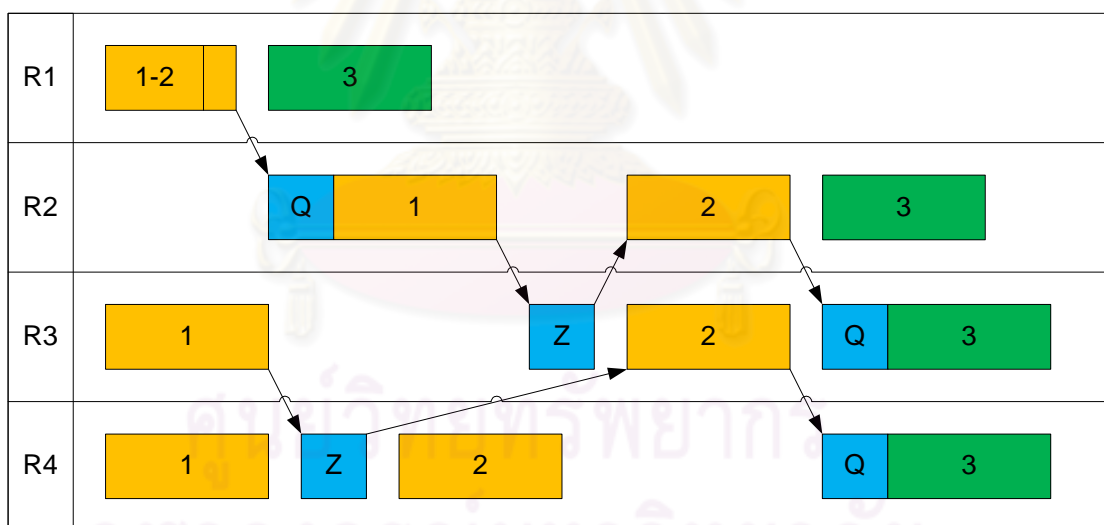
รูปที่ 3-14 การส่งข้อมูลระหว่างกันของแต่ละระดับความละเอียด

จากการแบ่งงานในแต่ละระดับความละเอียด ทำให้ลักษณะของการแลกเปลี่ยนข้อมูลภายนอกของแต่ละระดับความละเอียดที่ถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ นั้น มีรูปแบบของการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันตามขอบเขตที่อยู่ติดกันของแต่ละระดับความละเอียด โดยสามารถแบ่งรูปแบบของการส่งข้อมูลได้เป็น การส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า (R_L) ไประดับที่มีความละเอียดสูงกว่า (R_H) ที่เป็นการส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่าเฉพาะส่วนที่มีขอบเขต

ติดกับระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าเท่านั้น ไปยังทุกส่วนของระดับที่มีความละเอียดสูงกว่า ส่วนที่ไม่มีขอบเขตติดกับระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าจะไม่มี การส่งข้อมูล และการส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าไประดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า เป็นการส่งข้อมูลจากระดับที่มีความละเอียดสูงกว่าทุกส่วน ไปยังทุกส่วนของระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่าดังรูปที่ 3-14

3.2.3.4 การรองรับข้อมูลของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

เนื่องจากโปรแกรมมีการคำนวณข้อมูลที่มีความขึ้นต่อกันของข้อมูล ทำให้จำเป็นต้องมีการรองรับข้อมูลจากการติดต่อสื่อสารในแต่ละครั้งให้เรียบร้อยก่อนการทำงานในลำดับต่อไป เพื่อลดระยะเวลาในการรองรับข้อมูลดังกล่าวจึงได้ทำการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่ใช้ในการรองรับข้อมูลในแต่ละครั้งของการติดต่อสื่อสารตามรูปที่ 3-15 ที่ใช้ตัวเลข 1 กับ 2 แทนการทำงานในส่วนที่ทำการคำนวณตามหลักการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัม และตัวเลข 3 แทนการทำงานส่วนที่ทำการจัดการผลการคำนวณ ส่วนตัวอักษร Q และ Z แทนการทำงานส่วนที่ทำการเชื่อมต่อกันของข้อมูลภายนอกในระดับความละเอียด และใช้เส้นที่มีหัวลูกศรบอกทิศทางการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผลที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดของแต่ละระดับความละเอียด



รูปที่ 3-15 การรองรับข้อมูลของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 การทดลอง

4.1.1 รูปแบบของการทดลอง

จากแนวคิดในการทดสอบได้นำมาทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมซึ่งมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.1.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ได้นำข้อมูลของพื้นที่จริงที่สำหรับการจำลองสีนามิบางส่วนมาทำการทดสอบโดยให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงของทุกระดับความละเอียดจากในตารางที่ 2-1 และตารางที่ 3-1 โดยนำมาเฉพาะค่าที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรม ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-1 ที่แสดงขนาดและพิกัดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้สำหรับการทดลองของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน แต่สำหรับการทดลองของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับได้ใช้ข้อมูลทั้งหมดตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

Region levels	Region ID	No. of Grid		Grid size (units)	Sea area (units)	The coordinate of grid on overlapped region			
						From		To	
		X	Y	X	Y	X	Y		
R1	1	690	840	579,600	449,678	-	-	-	-
R2	21	721	841	606,361	547,045	271	481	360	585
	22	721	841	606,361	496,667	271	587	360	691
R3	211	241	325	78,325	67,620	482	424	561	531
	212	637	469	298,753	275,475	350	612	561	767
	221	639	487	311,193	234,716	430	6	642	167
R4	2111	487	325	158,275	131,692	68	68	229	175
	2112	487	421	205,027	179,132	68	180	229	319
	2121	643	469	301,567	248,562	400	56	613	211
	2211	703	457	321,271	182,585	403	330	636	481

ตารางที่ 4-2 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับ
โปรแกรมจำลองสึนามิตัวด้วยการคำนวณแบบลำดับ

Region levels	Region ID	No. of Grid		Grid size (units)	Sea area (units)	The coordinate of grid on overlapped region			
		X	Y			From		To	
						X	Y	X	Y
R1	1	690	840	579,600	449,678	-	-	-	-
R2	21	721	841	606,361	547,045	271	481	360	585
	22	721	841	606,361	496,667	271	587	360	691
	23	721	841	606,361	299,396	362	444	451	548
R3	211	241	325	78,325	67,620	482	424	561	531
	212	637	469	298,753	275,475	350	612	561	767
	213	397	211	83,767	60,977	478	770	609	839
	214	241	229	55,189	41,759	482	534	561	609
	215	469	697	326,893	187,636	564	370	719	601
	221	639	487	311,193	234,716	430	6	642	167
	231	655	466	305,230	90,912	8	568	225	722
	232	637	466	296,842	210,574	30	410	241	564
R4	2111	487	325	158,275	131,692	68	68	229	175
	2112	487	421	205,027	179,132	68	180	229	319
	2121	643	469	301,567	248,562	400	56	613	211
	2122	679	745	505,855	440,115	400	216	625	463
	2131	595	601	357,595	246,310	152	6	349	205
	2141	379	637	241,423	154,148	104	6	229	217
	2151	271	817	221,407	125,652	14	186	103	457
	2152	739	493	364,327	152,237	74	462	319	625
	2153	523	529	276,667	131,121	266	282	439	457
	2211	703	457	321,271	182,585	403	330	636	481
	2212	703	493	346,579	190,094	403	162	636	325
	2213	703	421	295,963	146,077	403	18	636	157
	2311	667	457	304,819	107,779	14	312	235	463
	2312	631	457	288,367	140,935	86	156	295	307
	2313	703	421	295,963	103,332	266	12	499	151
	2321	703	457	321,271	249,792	200	306	433	457
2322	631	349	220,219	107,433	320	186	529	301	
2323	631	493	311,083	250,013	416	18	625	181	

เมื่อนำข้อมูลตัวอย่างที่ได้มาจัดตามรูปแบบของการทดสอบได้เป็นชุดข้อมูลสำหรับทำการทดลองตามตารางที่ 4-3 ที่แสดงชื่องานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด โดยมีตัวอักษร z ระบุจำนวนโซนที่คำนวณพร้อมกัน ตัวอักษร x ระบุว่าจำนวนหน่วยประมวลผลต่อหนึ่งระดับความละเอียด และตัวอักษร p ระบุลำดับของชุดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่มีจำนวนและพิกัดโซนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-3 ชื่องานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ของแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ
โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

Region id. (Num of region)	Number of processor per region			
	1	2	3	4
2111 (4)	$z1-1x-p1$ (4)	$z1-2x-p1$ (8)	$z1-3x-p1$ (12)	$z1-4x-p1$ (16)
2112 (4)	$z1-1x-p2$ (4)	$z1-2x-p2$ (8)	$z1-3x-p2$ (12)	$z1-4x-p2$ (16)
2121 (4)	$z1-1x-p3$ (4)	$z1-2x-p3$ (8)	$z1-3x-p3$ (12)	$z1-4x-p3$ (16)
2211 (4)	$z1-1x-p4$ (4)	$z1-2x-p4$ (8)	$z1-3x-p4$ (12)	$z1-4x-p4$ (16)
2111/2112 (5)	$z2-1x-p1$ (5)	$z2-2x-p1$ (10)	$z2-3x-p1$ (15)	$z2-4x-p1$ (20)
2111/2121 (6)	$z2-1x-p2$ (6)	$z2-2x-p2$ (12)	$z2-3x-p2$ (18)	$z2-4x-p2$ (24)
2121/2211 (7)	$z2-1x-p3$ (7)	$z2-2x-p3$ (14)	$z2-3x-p3$ (21)	$z2-4x-p3$ (28)
2111/2112/2121 (7)	$z3-1x-p1$ (7)	$z3-2x-p1$ (14)	$z3-3x-p1$ (21)	$z3-4x-p1$ (28)
2111/2112/2211 (8)	$z3-1x-p2$ (8)	$z3-2x-p2$ (16)	$z3-3x-p2$ (24)	$z3-4x-p2$ (32)
2111/2121/2211 (9)	$z3-1x-p3$ (9)	$z3-2x-p3$ (18)	$z3-3x-p3$ (27)	$z3-4x-p3$ (36)
2111/2112/2121/2211 (10)	$z4-1x$ (10)	$z4-2x$ (20)	$z4-3x$ (30)	$z4-4x$ (40)

4.1.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ (TUNAMI Program)
2. โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน (Parallel Tsunami Simulation Program)
3. โปรแกรมเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน MPI และ MPIView

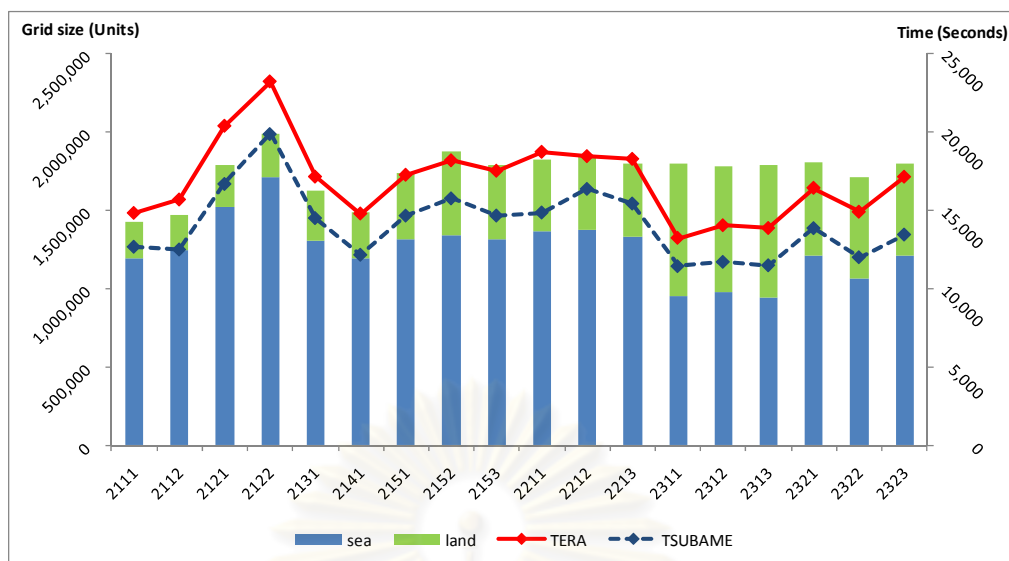
4. โปรแกรมเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน IPM และ Ploticus
5. ระบบคลัสเตอร์ TERA (TERA Cluster, Thai National Grid Center, Thailand) [16], [17], [18] – เป็นระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ขนาด 800 หน่วยประมวลผล ด้วยซีพียู Intel EM64T Xeon 5050 3.00 GHz (6 GFlops) มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด 4,800 Gflops ใช้ระบบปฏิบัติการ Rocks Clusters 4.2.1 มีพื้นที่เก็บข้อมูลขนาด 5 เทราไบต์ มีการเชื่อมต่อภายในแบบ Gigaband และมีเครื่องส่วนหนึ่งจำนวน 32 โหนดที่เชื่อมต่อภายในแบบ Infiniband
6. ระบบคลัสเตอร์ TSUBAME (TSUBAME Cluster, Tokyo Institute of Technology, Japan) [19], [20] – เป็นระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ Sun Fire x4600 ขนาด 10,368 หน่วยประมวลผล ด้วยซีพียู AMD x86_64 Opteron Dual Core 2.4 GHz (4.8 GFlops) มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด 49,868.8 Gflop/s ใช้ระบบปฏิบัติการ SuSE Linux Enterprise Server 9 มีพื้นที่จัดเก็บข้อมูลขนาด 21 เทราไบต์ มีการเชื่อมต่อภายในแบบ Infiniband

4.1.2 ผลการทดลอง

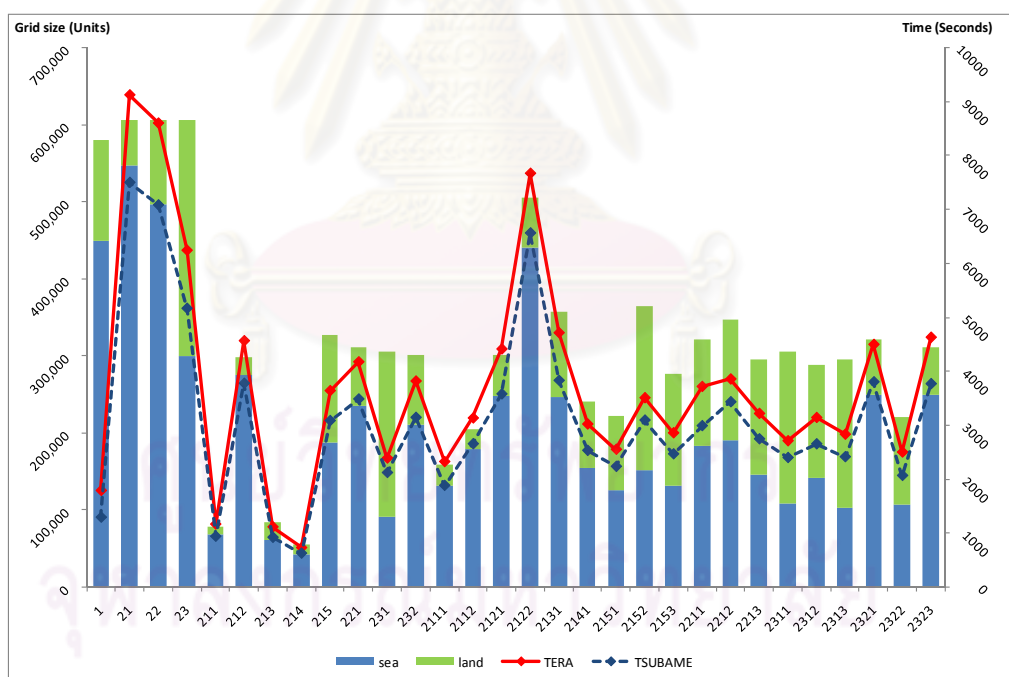
4.1.2.1 การทดลองด้วยโปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

การทดลองนี้ใช้โปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้การคำนวณหนึ่งโซนด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วย ด้วยการทดลองบนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME โดยใช้ข้อมูลทั้งหมดของการจำลองสินามิเพื่อนำมาเป็นฐานเวลาในการเปรียบเทียบและระยะเวลาที่ใช้จริง

จากรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2 ใช้กราฟแท่งสะสมแสดงขนาดของปัญหาที่มีกราฟแท่งสี่เหลี่ยมช่วงล่างแทนขนาดของข้อมูลพื้นน้ำ ส่วนกราฟแท่งสี่เหลี่ยมช่วงบนแทนขนาดของข้อมูลพื้นดิน และกราฟเส้นที่บแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA ส่วนกราฟเส้นประแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ซึ่งกราฟได้แสดงหน่วยของขนาดปัญหาเป็นจำนวนจุด และแสดงหน่วยของเวลาเป็นหน่วยวินาที

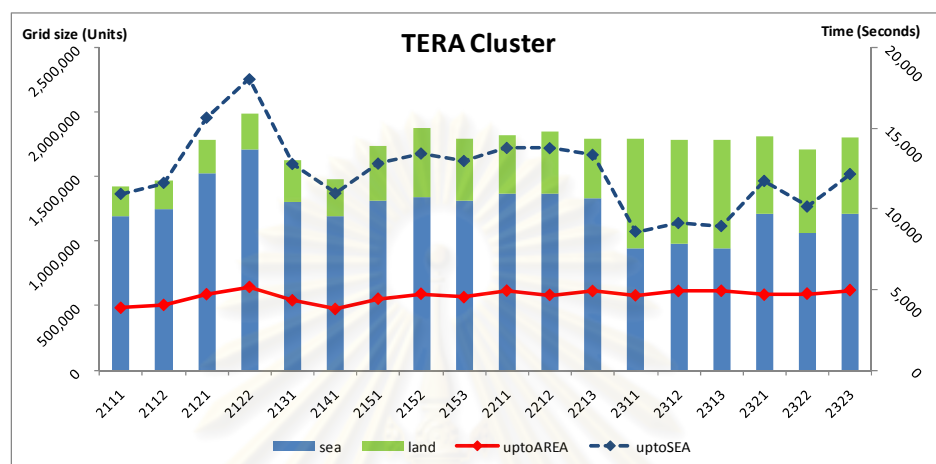


รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละขั้นตอนด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

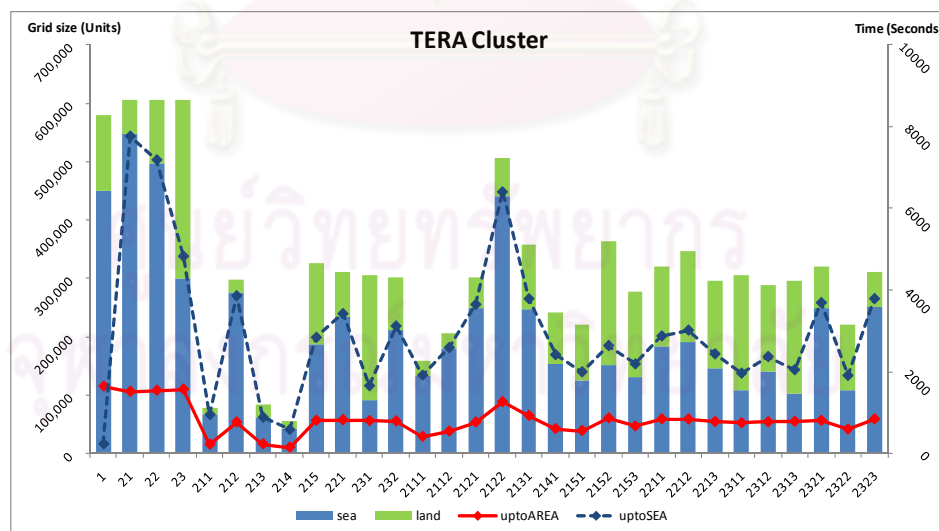


รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละระดับความละเอียดด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

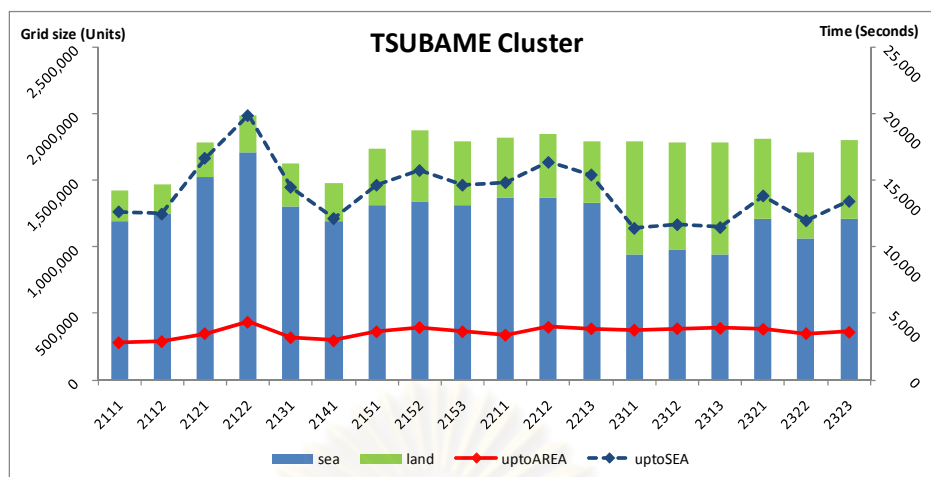
จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหา สามารถจำแนก เวลาที่ใช้งานได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ เวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของ ปัญหาทั้งหมด และเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะ พื้นที่น้ำด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME



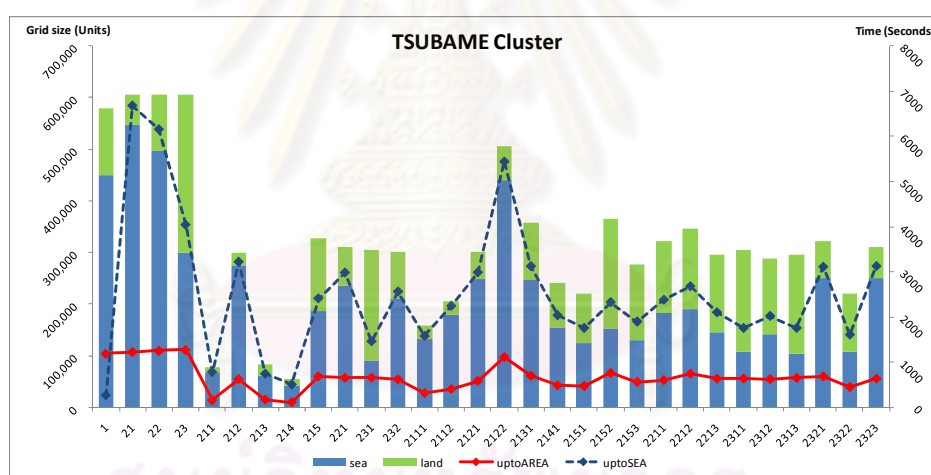
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน ด้วยการดำเนินงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA



รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการดำเนินงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA



รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME



รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

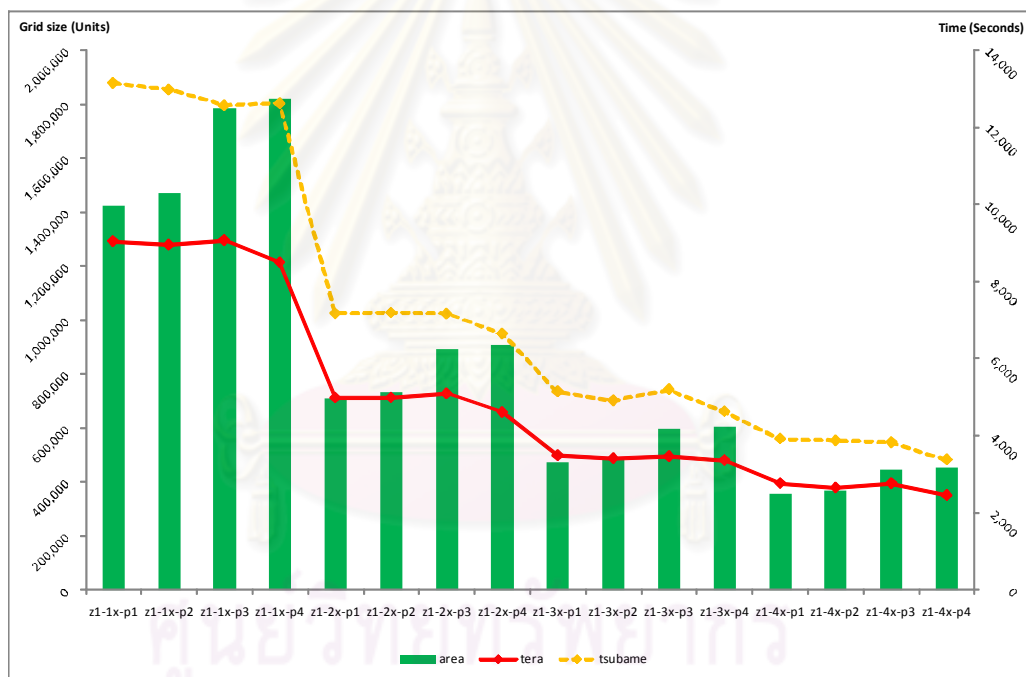
จากรูปที่ 4-3 ถึงรูปที่ 4-6 ที่ใช้กราฟเส้นที่บแทนเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด และกราฟเส้นประแทนเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำ โดยมีกราฟแท่งสะสมแสดงขนาดของปัญหาที่มีกราฟแท่งสีเข้มช่วงล่างแทนขนาดของข้อมูลพื้นน้ำ ส่วนกราฟแท่งสีอ่อนช่วงบนแทน

ขนาดของข้อมูลพื้นดิน โดยพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละรูปนั้นแปรผันตามกับขนาดของปัญหาที่ขึ้นต่อกันตามที่ได้จำแนกไว้

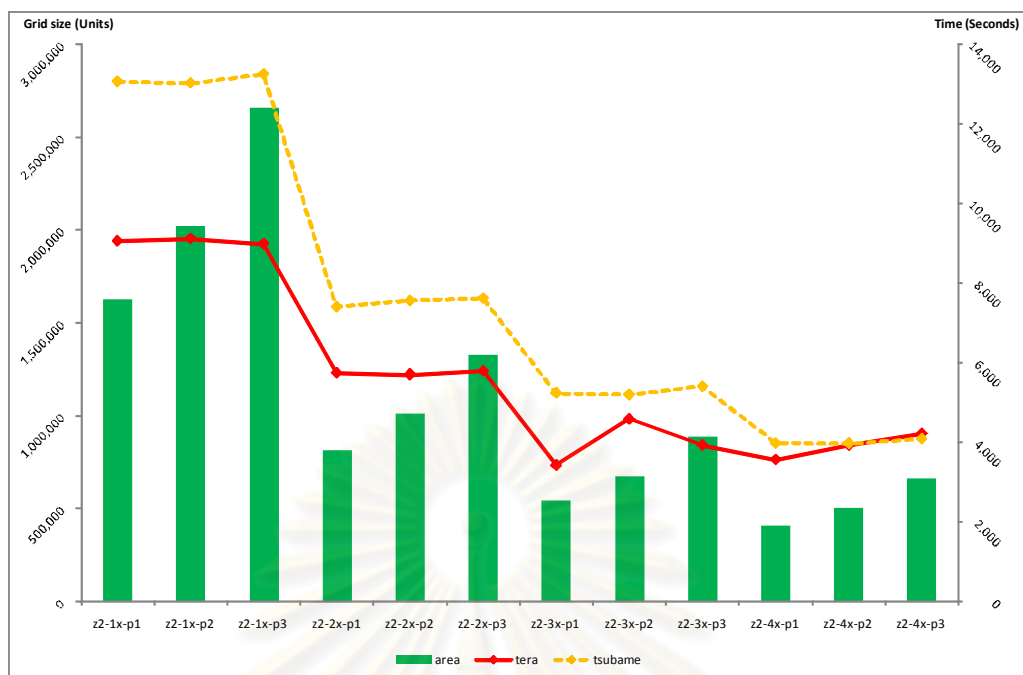
4.1.2.2 การทดลองด้วยโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนาน

การทดลองใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณตามแนวคิดในการทดสอบข้อ 2 – 5 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งออกด้วยจำนวนของหน่วยประมวลผล

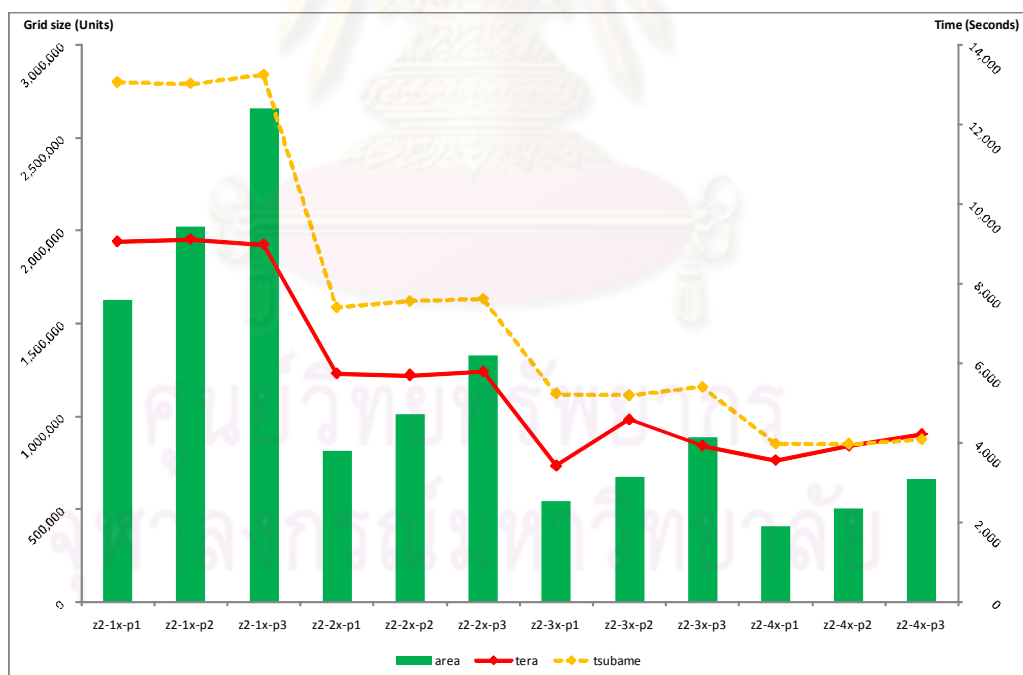
จากรูปที่ 4-7 ถึงรูปที่ 4-10 ใช้กราฟแท่งแสดงขนาดของปัญหาทั้งหมด และกราฟเส้นสีแดงแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA ส่วนกราฟเส้นสีเหลืองแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ซึ่งกราฟได้แสดงหน่วยของขนาดปัญหาเป็นจำนวนจุด และแสดงหน่วยของเวลาเป็นหน่วยวินาที



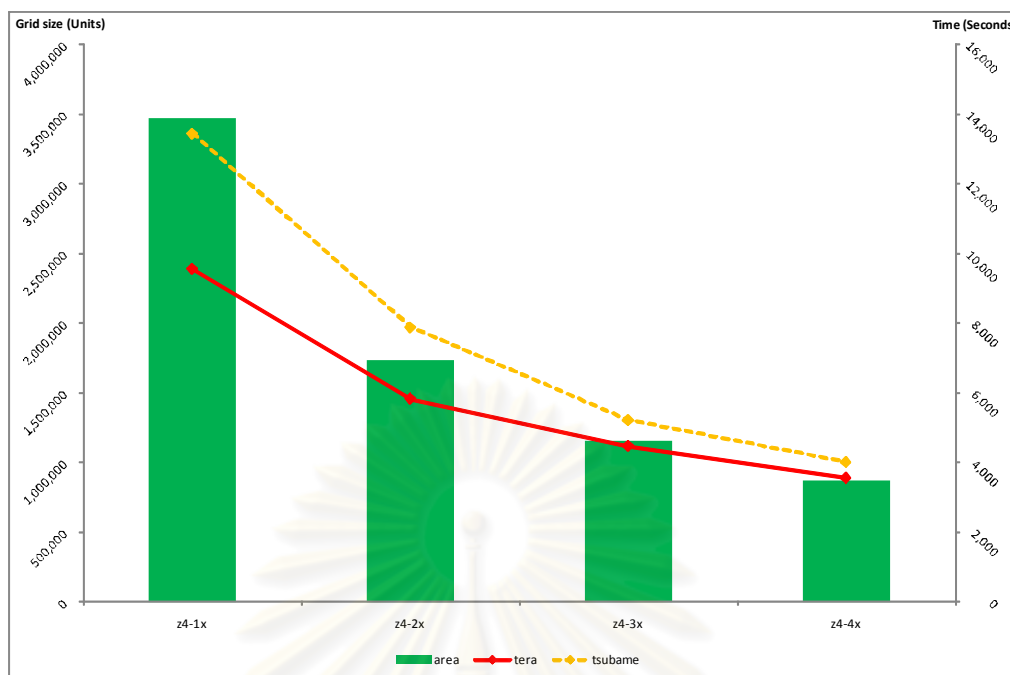
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณหนึ่งโชน



รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสองโหนด



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสามโหนด



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสี่โซน

4.2 การวิเคราะห์ผล

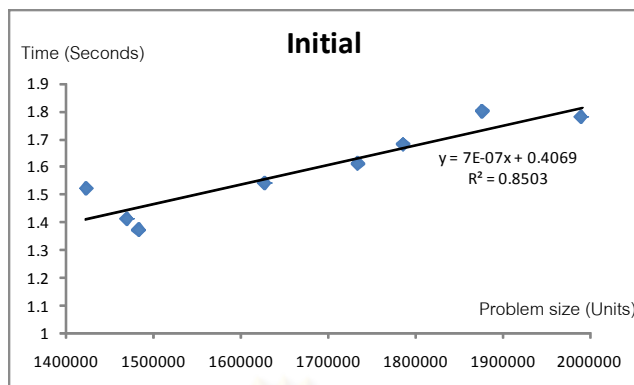
การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมด้วยข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลการทำงานของโปรแกรม โดยทำการวิเคราะห์ผลเฉพาะข้อมูลที่ได้จากการทดลองบนระบบคลัสเตอร์ TERA เท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานของโปรแกรม พบว่าสามารถจำแนกผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.2.1.1 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาโดยรวมทั้ง 4 ระดับความละเอียด

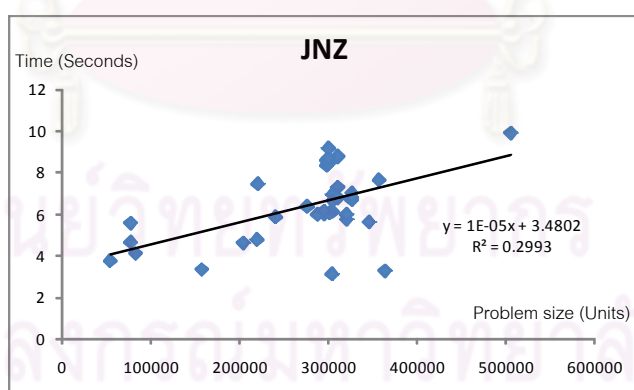
ส่วนการทำงาน INITIAL ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาโดยรวมทั้ง 4 ระดับความละเอียด ตามรูปที่ 4-11 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาโดยรวมมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงานนี้ คือ $T = 0.0000007At + 0.4988$ และมีค่า $R^2 = 0.4538$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า At คือขนาดของปัญหาโดยรวม



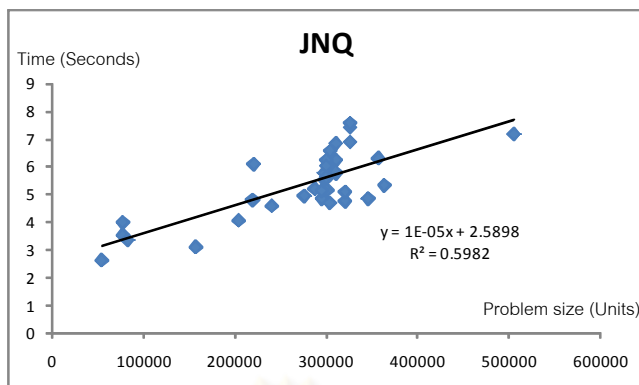
รูปที่ 4-11 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITIAL กับขนาดของปัญหาโดยรวม

4.2.1.2 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

ส่วนการทำงาน JNZ และ JNQ สำหรับระดับความละเอียด R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด ตามรูปที่ 4-12 และรูปที่ 4-13 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน JNZ คือ $T = 0.00001A + 0.4802$ ที่มีค่า $R^2 = 0.2993$ และสมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน JNQ คือ $T = 0.00001A + 2.5898$ ที่มีค่า $R^2 = 0.5982$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A คือขนาดของปัญหาทั้งหมด

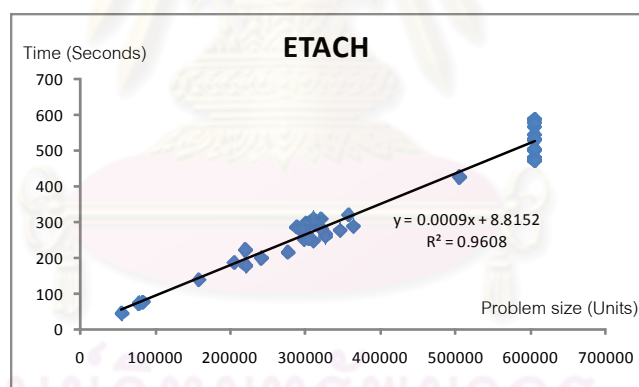


รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด



รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

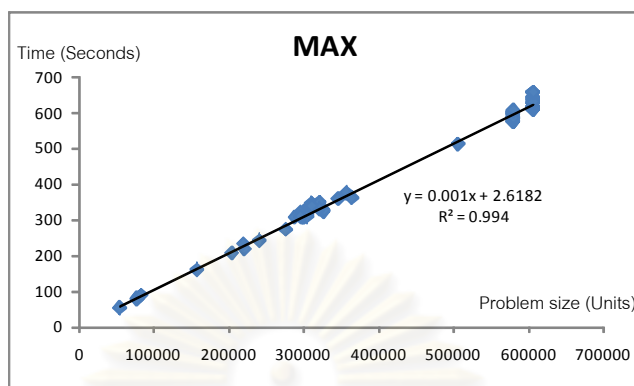
ส่วนการทำงาน ETACH (ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด ตามรูปที่ 4-14 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน ETACH คือ $T = 0.0009A + 8.8152$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9608$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A คือขนาดของปัญหาทั้งหมด



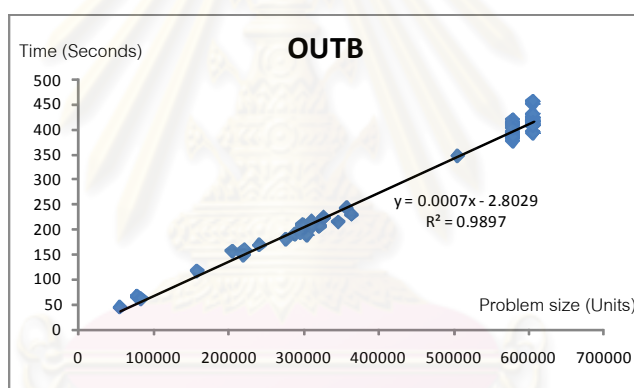
รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

ส่วนการทำงาน MAX (ZMAX, MNMAX) OUTB(OutputZ, OutputM, OutputN) และ OUTMAX (Outputzmax, Outputmmax, Outputnmax, Outputzmnmax, Outuvmax, Outeta) สำหรับทุกระดับความละเอียดที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด ตามรูปที่ 4-15 ถึงรูปที่ 4-17 รูปที่ 4-14 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน MAX คือ $T = 0.001A + 2.6182$ ที่มีค่า $R^2 = 0.994$ ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน OUTB คือ $T = 0.0007A - 2.8029$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9897$ และได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วน

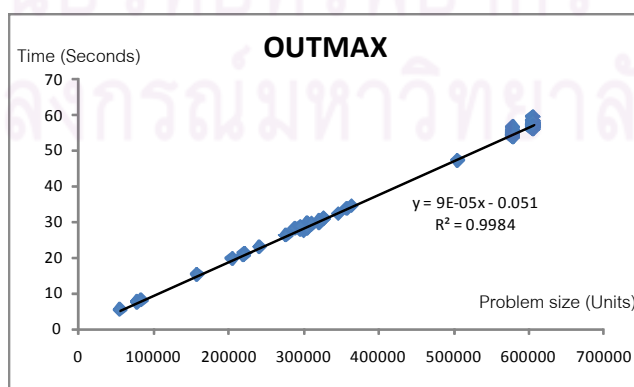
การทำงาน OUTMAX คือ $T = 0.00009A - 0.051$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9984$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A คือขนาดของปัญหาทั้งหมด



รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด



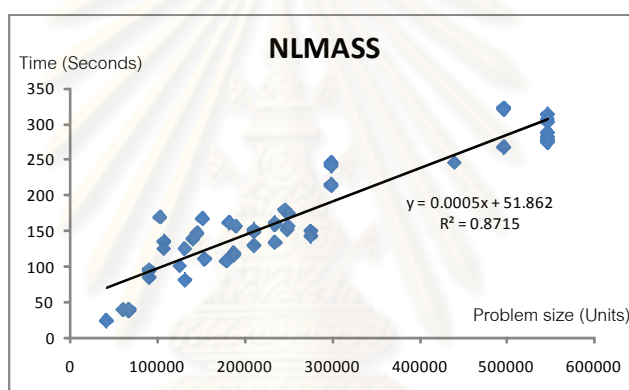
รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมด



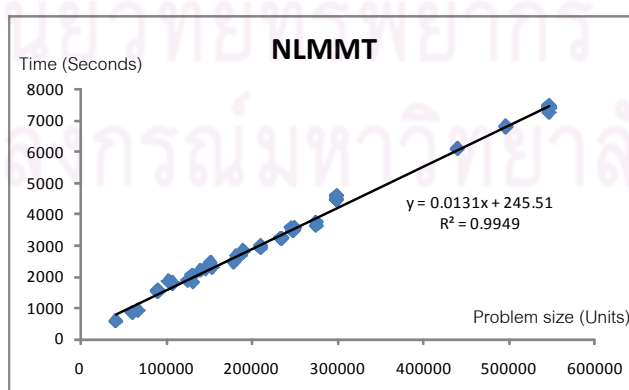
รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

4.2.1.3 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด

ส่วนการทำงาน NLMASS และ NLMMT สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นที่น้ำ ตามรูปที่ 4-18 และรูปที่ 4-19 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นที่น้ำมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน NLMASS คือ $T = 0.0005As + 51.862$ และมีค่า $R^2 = 0.8715$ และสมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน NLMMT คือ $T = 0.0131As + 245.51$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า As คือขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นที่น้ำ (ค่า s คืออัตราส่วนของพื้นที่น้ำ)



รูปที่ 4-18 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน NLMASS กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นที่น้ำ



รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน NLMMT กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นที่น้ำ

4.2.1.4 ส่วนการทำงานที่ไม่ขึ้นกับขนาดของปัญหา และส่วนการทำงานที่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของเวลาและขนาดของปัญหาได้

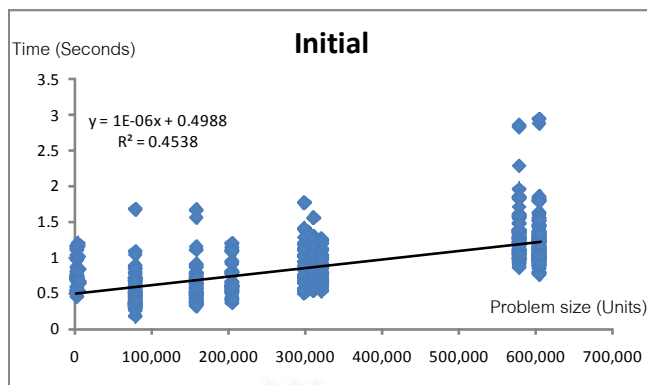
ส่วนการทำงาน MAMO (MASS, OPENBOUNDARY, AFDEFORM, MOMENT) INTERQT และ ETACH (ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R1 และส่วนการทำงาน JNQ_S2C สำหรับระดับความละเอียด R2 ที่ไม่สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาได้ เนื่องจากส่วนการทำงานที่ระดับความละเอียดนั้นมีขนาดของปัญหาเพียงขนาดเดียว จึงหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาที่ใช้ทำงานแทน ได้ค่าเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAMO เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 210.5527 วินาที ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.3604 ได้ค่าเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INTERQT เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 500.6954 วินาที ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 19.0497 ได้ค่าเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH1 เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 130.43 วินาที ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.432 และได้ค่าเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ_S2C เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.6902 วินาที ที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.6939

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิตัวด้วยการคำนวณแบบขนาน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานของโปรแกรม พบว่าสามารถจำแนกผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

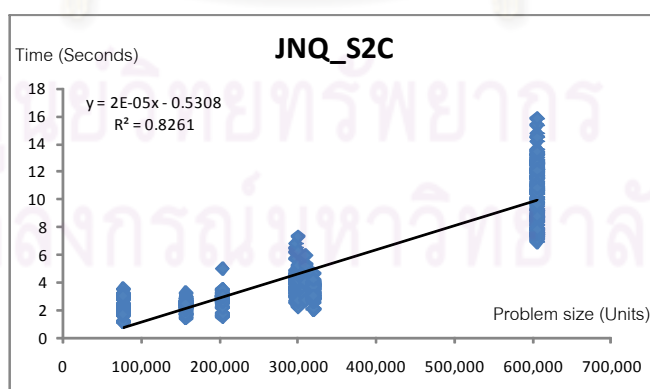
4.2.2.1 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

ส่วนการทำงาน INITIAL สำหรับทุกระดับความละเอียดที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ตามรูปที่ 4-20 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน INITIAL คือ $T = 0.000001A + 0.4988$ ที่มีค่า $R^2 = 0.4538$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A คือขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

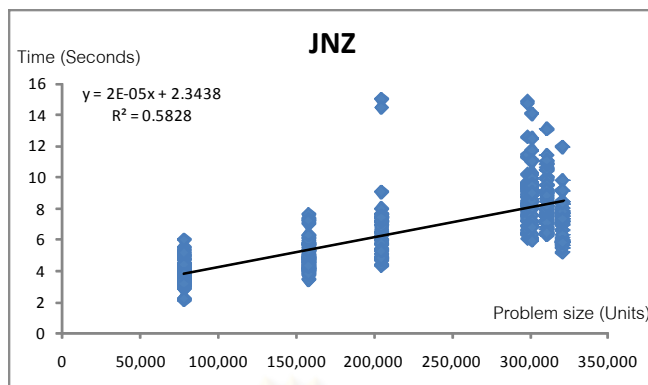


รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITIAL กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

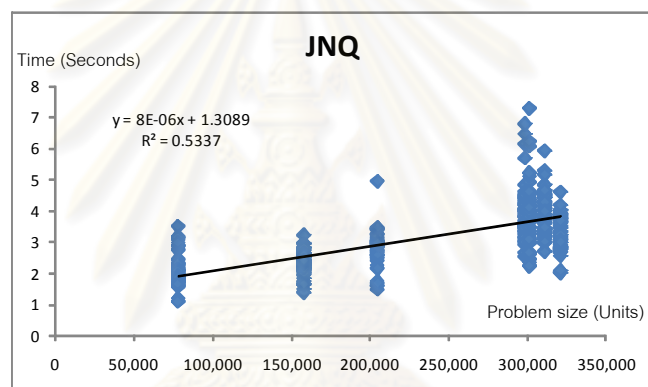
ส่วนการทำงาน JNQ_S2C JNZ และ JNQ สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ตามรูปที่ 4-21 ถึงรูปที่ 4-23 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาทีที่ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน JNQ_S2C คือ $T = 0.00002A - 0.5308$ ที่มีค่า $R^2 = 0.8272$ ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน JNZ คือ $T = 0.00002A + 2.3438$ ที่มีค่า $R^2 = 0.5828$ และได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน JNQ คือ $T = 0.000008A + 1.3089$ ที่มีค่า $R^2 = 0.5337$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A คือขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด



รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ_S2C กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด



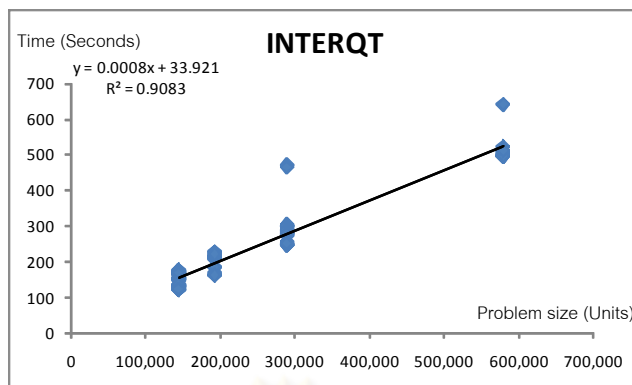
รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด



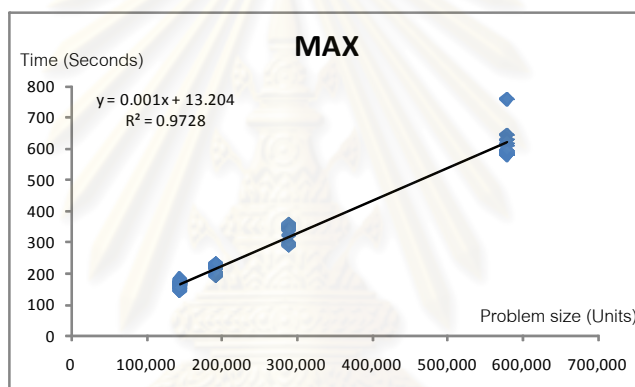
รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

4.2.2.2 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

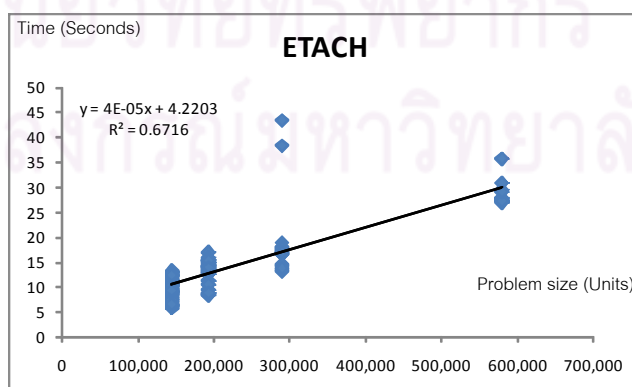
ส่วนการทำงาน INTERQT MAX และ ETACH (ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R1 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ตามรูปที่ 4-24 ถึงรูปที่ 4-26 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน INTERQT คือ $T = 0.0008A_p + 33.921$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9083$ ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน MAX คือ $T = 0.001A_p + 13.204$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9728$ และได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน ETACH คือ $T = 0.00004A_p + 4.2203$ ที่มีค่า $R^2 = 0.6716$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A_p คือขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล



รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INTERQT กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

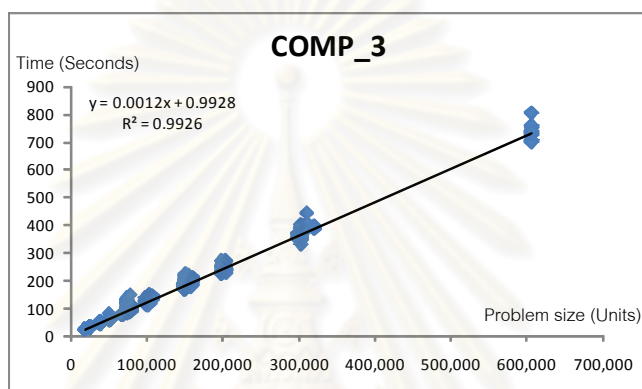


รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล



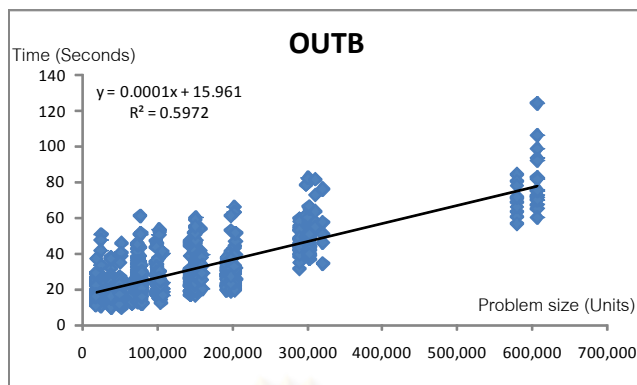
รูปที่ 4-26 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

ส่วนการทำงาน COMP_3 (MAX, ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ตามรูปที่ 4-24 ถึงรูปที่ 4-26 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน COMP_3 คือ $T = 0.0012A_p + 0.9928$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9728$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A_p คือขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

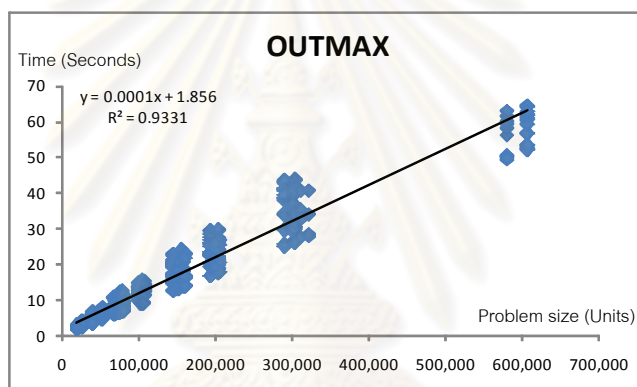


รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_3 กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

ส่วนการทำงาน OUTB และ OUTMAX สำหรับทุกระดับความละเอียดที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ตามรูปที่ 4-28 และรูปที่ 4-29 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน OUTB คือ $T = 0.0001A_p + 15.961$ ที่มีค่า $R^2 = 0.5972$ และได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน OUTMAX คือ $T = 0.0001A_p + 1.856$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9331$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A_p คือขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล



รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

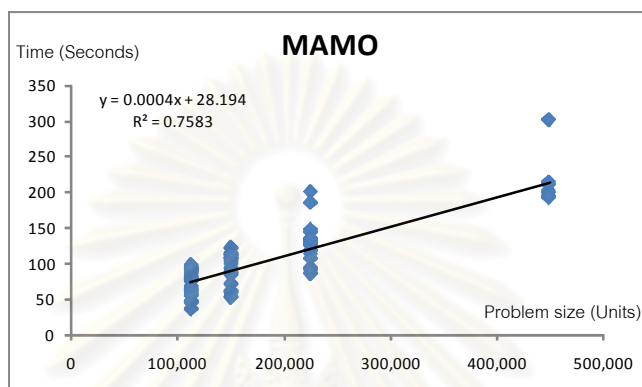


รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

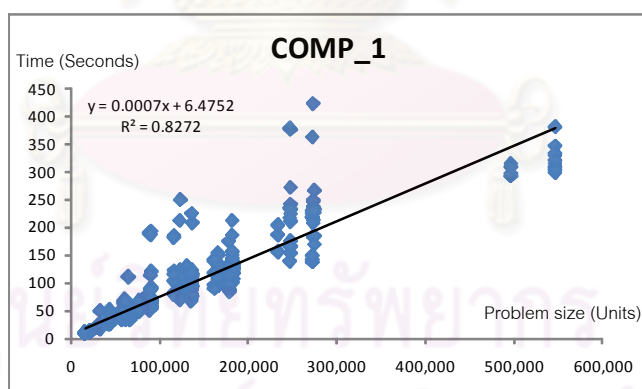
4.2.2.3 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล

ส่วนการทำงาน MAMO (preMASS, postMASS, preMOMENT, postMOMENT, AFDEFORM, OPENBOUND) สำหรับระดับความละเอียด R1 ส่วนการทำงาน COMP_1 (preNLMASST, postNLMASST) และ COMP_2 (preNLMMT1, postNLMMT1, preNLMMT2, postNLMMT2) สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล ตามรูปที่ 4-30 ถึงรูปที่ 4-32 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน MAMO คือ $T = 0.0004Aps + 28.194$ ที่มีค่า $R^2 = 0.7583$ ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน COMP_1 คือ

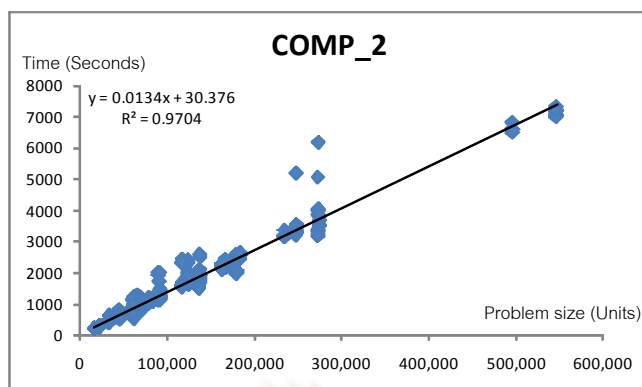
$T = 0.0007Aps + 6.4752$ ที่มีค่า $R^2 = 0.8272$ และได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน COMP_2 คือ $T = 0.0134Aps + 30.376$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9704$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า Aps คือขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล (ค่า s คืออัตราส่วนของพื้นน้ำ)



รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAMO กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล



รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_1 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล

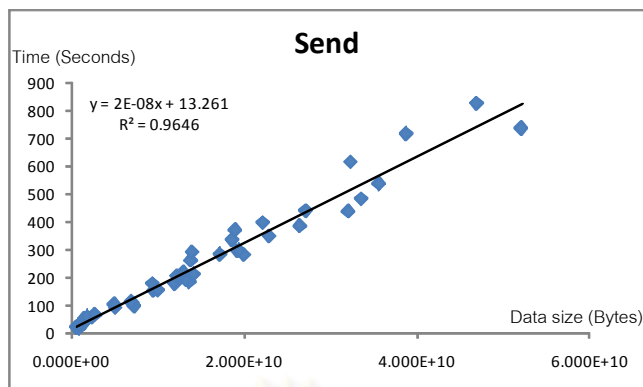


รูปที่ 4-32 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_2 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล

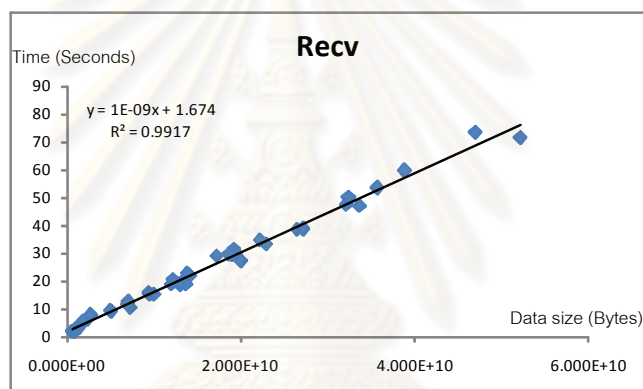
4.2.2.4 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับปริมาณข้อมูลในแต่ละครั้งของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

ส่วนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล อันได้แก่ Send (MPI_Send) และ Recv (MPI_Recv) สำหรับทุกระดับความละเอียดที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร ตามรูปที่ 4-33 และรูปที่ 4-34 ที่มีแกน x แทนปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสารมีหน่วยเป็น Bytes และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน Send คือ $T = 0.00000002B + 13.261$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9646$ ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน Recv คือ $T = 0.000000001B + 1.674$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9917$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า B คือปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร ซึ่งหาค่าได้จากขนาดของปัญหาที่ต้องส่งหรือรับข้อมูล (Length) คูณกับขนาดของตัวแปร (Variable size, 4 Bytes) และคูณกับจำนวนครั้งที่ต้องส่งหรือรับข้อมูล (Timestep)

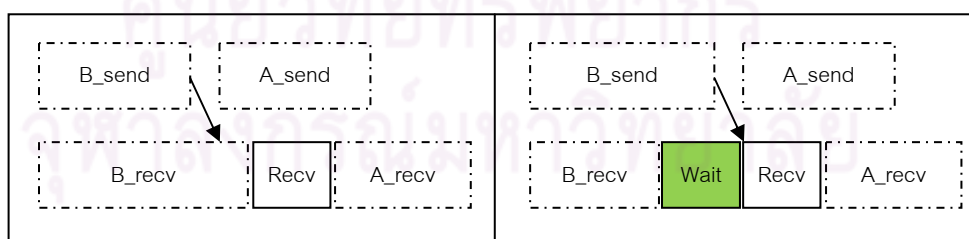
ส่วนการทำงานที่เกี่ยวกับการรอรับข้อมูลและการรอทำงานพร้อมกันระหว่างหน่วยประมวลผล อันได้แก่ Wait (MPI_wait) และ Barrier (S_Barrier, W_Barrier, E_Barrier) สำหรับทุกความละเอียด สามารถหาเวลาที่ใช้งานได้จากการคำนวณเวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการทำงานของแต่ละช่วงที่ต้องมีการรอกันระหว่างหน่วยประมวลผล ที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาและลักษณะของการแบ่งงานให้กับแต่ละหน่วยประมวลผล ดังรูปที่ 4-35 ที่แสดงให้เห็นว่า ถ้าเวลาที่ใช้ในการทำงานของหน่วยประมวลผลที่ต้องการรับข้อมูล น้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของหน่วยประมวลผลที่ทำการส่งข้อมูล เวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผลมีค่าเท่ากับผลต่างของเวลาดังกล่าว



รูปที่ 4-33 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน Send กับปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 4-34 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน Recv กับปริมาณข้อมูลของการติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 4-35 ลำดับการทำงานที่ไม่ต้องมีการรอรับข้อมูล (รูปซ้าย) และลำดับการทำงานที่ต้องมีการรอรับข้อมูล (รูปขวา)

4.2.3 สรุปผลการวิเคราะห์

4.2.3.1 สรุปผลการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ เมื่อนำสมการเชิงเส้น $Y = aX + b$ และค่าเฉลี่ยสำหรับการประมาณเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานต่าง ๆ ตามตารางที่ 4-4 และตารางที่ 4-5 มาใช้ประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

ตารางที่ 4-4 ค่าตัวแปรของส่วนการทำงานในโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

Region	Function	a	b	R ²	Y	X
R1-4	INITIAL	7.00E-07	0.4988	0.4538	T	At
R3 R4	JNZ	0.00001	0.4802	0.2993	T	A
R3 R4	JNQ	0.00001	0.25898	0.5982	T	A
R2 R3 R4	NLMASS	0.0005	51.862	0.8715	T	As
R2 R3 R4	NLMMT	0.0131	245.51	0.9949	T	As
R2 R3 R4	ETACH	0.0009	8.8152	0.9608	T	A
R1 R2 R3 R4	MAX	0.001	2.6182	0.994	T	A
R1 R2 R3 R4	OUTB	0.0007	-2.8029	0.9897	T	A
R1 R2 R3 R4	OUTMAX	0.00009	-0.051	0.9984	T	A

ตารางที่ 4-5 เวลาเฉลี่ยของส่วนการทำงานในโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

Region	Function	Average (seconds)	SD
R1	MAMO	210.5527	18.3604
R1	INTERQT	500.6954	19.0497
R1	ETACH	130.43	11.432
R2	JNQ_S2C	10.6902	0.6939

เพื่อพิสูจน์ว่าส่วนการทำงานของโปรแกรมสามารถนำมาวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานได้ ด้วยการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมและนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลากับขนาดของปัญหาด้วยลักษณะที่แตกต่างกันตามการทำงานของส่วนการทำงานนั้น ๆ ได้ และนำรูปแบบของการวิเคราะห์ไปใช้สำหรับโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานต่อไปได้ โดยผลการประมาณเวลาที่ได้นี้ สามารถทำได้ด้วยการคิดผลรวมสมการของแต่ละส่วนการทำงาน

ที่ถูกเรียกใช้ในแต่ละระดับความละเอียด และนำเวลาที่ได้ในแต่ละระดับความละเอียดมารวมกันตามโซนที่ใช้คำนวณ ซึ่งผลที่ได้นั้นเป็นไปตามตารางที่ 4-6 และตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-6 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรม
จำลองสินามิตัวด้วยการคำนวณแบบลำดับ

Region	X	Y	A (area)	As (sea)	s (Ratio)	Compute time
1	690	840	579,600	449,678	0.7758	1,878.926
21	721	841	606,361	547,045	0.9022	9,387.565
22	721	841	606,361	496,667	0.8191	8,702.424
23	721	841	606,361	299,396	0.4938	6,019.538
211	241	325	78,325	67,620	0.8633	1,438.583
212	637	469	298,753	275,475	0.9221	4,862.771
213	397	211	83,767	60,977	0.7279	1,362.986
214	241	229	55,189	41,759	0.7567	1,024.175
215	469	697	326,893	187,636	0.5740	3,744.420
221	639	487	311,193	234,716	0.7542	4,342.161
231	655	466	305,230	90,912	0.2978	2,370.267
232	637	466	296,842	210,574	0.7094	3,974.939
2111	487	325	158,275	131,692	0.8320	2,526.627
2112	487	421	205,027	179,123	0.8737	3,298.387
2121	643	469	301,567	248,562	0.8242	4,504.380
2122	679	745	505,855	440,115	0.8700	7,663.122
2131	595	601	357,595	246,310	0.6888	4,625.589
2141	379	637	241,423	154,148	0.6385	3,057.360
2151	271	817	221,407	125,652	0.5675	2,615.571
2152	739	493	364,327	152,237	0.4179	3,364.440
2153	523	529	276,667	131,121	0.4739	2,839.704
2211	703	457	321,271	182,585	0.5683	3,660.491
2212	703	493	346,579	190,094	0.5485	3,831.198
2213	703	421	295,963	146,077	0.4936	3,095.398
2311	667	457	304,819	107,779	0.3536	2,598.545
2312	631	457	288,367	140,935	0.4887	3,004.881
2313	703	421	295,963	103,332	0.3491	2,514.066
2321	703	457	321,271	249,792	0.7775	4,574.506
2322	631	349	220,219	107,433	0.4878	2,364.573
2323	631	493	311,083	250,013	0.8037	4,549.902

ตารางที่ 4-7 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละโซนของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

ZONE	At (area)	Actual time (second)	Estimate time (second)			%error
			Initial	Compute	Summary	
2111	1,422,561	14,800.600	1.495	15,231.702	15,233.196	2.923
2112	1,469,313	15,657.021	1.527	16,003.461	16,004.989	2.222
2121	1,786,281	20,360.141	1.749	20,633.643	20,635.392	1.352
2122	1,990,569	23,193.150	1.892	23,792.384	23,794.276	2.592
2131	1,627,323	17,117.371	1.638	17,255.067	17,256.705	0.814
2141	1,482,573	14,762.561	1.537	15,348.026	15,349.563	3.976
2151	1,734,261	17,233.980	1.713	17,626.482	17,628.195	2.287
2152	1,877,181	18,158.930	1.813	18,375.352	18,377.164	1.202
2153	1,789,521	17,492.090	1.751	17,850.615	17,852.367	2.060
2211	1,818,425	18,701.871	1.772	18,584.003	18,585.774	0.621
2212	1,843,733	18,422.510	1.789	18,754.710	18,756.499	1.813
2213	1,793,117	18,251.789	1.754	18,018.909	18,020.663	1.266
2311	1,796,010	13,212.120	1.756	12,867.277	12,869.033	2.597
2312	1,779,558	14,014.570	1.744	13,273.613	13,275.358	5.275
2313	1,787,154	13,837.090	1.750	12,782.798	12,784.547	7.607
2321	1,804,074	16,403.061	1.762	16,447.910	16,449.672	0.284
2322	1,703,022	14,875.260	1.691	14,237.977	14,239.668	4.273
2323	1,793,886	17,109.520	1.755	16,423.306	16,425.061	4.000

จากผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละโซนของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการประมาณเวลาที่ใช้นั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.62% โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 7.61% กับ 0.28% ตามลำดับ ด้วยรูปแบบการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของส่วนการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรมกับขนาดของปัญหาที่ใช้ เพื่อสร้างเป็นสมการเชิงเส้นที่ใช้หาค่าเวลาการทำงานของส่วนการทำงานทุกส่วนและนำมาประมาณค่าเวลาที่ใช้ทำงานทั้งหมด สามารถประมาณค่าเวลาที่ใช้ได้ใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้จริง จึงได้นำรูปแบบการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ มาประยุกต์ใช้กับการประมาณเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานต่อไป

4.2.3.2 สรุปผลการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน สามารถสรุปค่าตัวแปรในสมการเชิงเส้นสำหรับการประมาณเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งได้ใช้รูปแบบการวิเคราะห์ที่เหมือนกับการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

$$Y = aX + b$$

ตารางที่ 4-8 ค่าตัวแปรของส่วนการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

Region	Function	a	b	R ²	Y	X
R1 R2 R3 R4	Initial	1.00E-06	0.4988	0.4538	T	A
R1	MAMO (Comp_1)	0.0004	28.194	0.7583	T	Aps
R1	ETACH (Comp_1)	0.00004	4.2203	0.5972	T	Ap
R1	INTERQT (Comp_2)	0.0008	33.921	0.9083	T	Ap
R1	MAX (Comp_3)	0.001	13.204	0.9728	T	Ap
R2	JNQ_S2C	2.00E-05	-0.5308	0.8261	T	A
R3 R4	JNZ	2.00E-05	2.3438	0.5828	T	A
R3 R4	JNQ	8.00E-06	1.3089	0.5337	T	A
R2 R3 R4	Comp_1	0.0007	6.4752	0.8272	T	Aps
R2 R3 R4	Comp_2	1.34E-02	30.376	0.9704	T	Aps
R2 R3 R4	Comp_3	0.0012	0.9928	0.9926	T	Ap
R1 R2 R3 R4	OUTB	0.0001	15.961	0.5972	T	Ap
R1 R2 R3 R4	OUTMAX	1.00E-04	1.856	0.9331	T	Ap
R1 R2 R3 R4	Send	2.00E-08	13.261	0.9646	T	B
R1 R2 R3 R4	Recv	1.00E-09	1.674	0.9917	T	B

เมื่อทำการแทนค่าตัวแปรในสมการสำหรับการประมาณเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานต่าง ๆ ตามระดับความละเอียดของปัญหา จะได้ผลของการประมาณค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-9 ที่แสดงเวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงานด้วยขนาดปัญหาที่แตกต่างกันตามระดับความละเอียด โดยหาเวลาที่ใช้ทำงานทั้งหมดของทุกส่วนการทำงานในแต่ละระดับความละเอียด เพื่อเทียบหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในแต่ละระดับความละเอียดออกมาเป็นอัตราส่วนการทำงานที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความละเอียด

ตารางที่ 4-9 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรม
จำลองสีนามิตัวด้วยการคำนวณแบบขนาน

Region	A	s	Initial	JNZ	JNQ	Comp_1	Comp_2	Comp_3	OUTB	OUTMAX	Total time
1	579,600	0.7758	1.078	-	-	235.470	497.601	592.804	73.921	59.816	1,460.690
21	606,361	0.9022	1.105	-	11.596	389.407	7,360.779	728.626	76.597	62.492	8,630.602
22	606,361	0.8191	1.105	-	11.596	354.142	6,685.714	728.626	76.597	62.492	7,920.273
23	606,361	0.4938	1.105	-	11.596	216.052	4,042.282	728.626	76.597	62.492	5,138.752
211	78,325	0.8633	0.577	3.910	1.936	53.809	936.484	94.983	23.794	9.689	1,125.181
212	298,753	0.9221	0.798	8.319	3.699	199.308	3,721.741	359.496	45.836	31.731	4,370.928
213	83,767	0.7279	0.583	4.019	1.979	49.159	847.468	101.513	24.338	10.233	1,039.291
214	55,189	0.7567	0.554	3.448	1.750	35.707	589.947	67.220	21.480	7.375	727.479
215	326,893	0.5740	0.826	8.882	3.924	137.820	2,544.698	393.264	48.650	34.545	3,172.610
221	311,193	0.7542	0.810	8.568	3.798	170.776	3,175.570	374.424	47.080	32.975	3,814.003
231	305,230	0.2978	0.804	8.448	3.751	70.114	1,248.597	367.269	46.484	32.379	1,777.845
232	296,842	0.7094	0.796	8.281	3.684	153.877	2,852.068	357.203	45.645	31.540	3,453.093
2111	158,275	0.8320	0.657	5.509	2.575	98.660	1,795.049	190.923	31.789	17.684	2,142.845
2112	205,027	0.8737	0.704	6.444	2.949	131.861	2,430.624	247.025	36.464	22.359	2,878.430
2121	301,567	0.8242	0.800	8.375	3.721	180.469	3,361.107	362.873	46.118	32.013	3,995.476
2122	505,855	0.8700	1.005	12.461	5.356	314.556	5,927.917	608.019	66.547	52.442	6,988.301
2131	357,595	0.6888	0.856	9.496	4.170	178.892	3,330.930	430.107	51.721	37.616	4,043.787
2141	241,423	0.6385	0.740	7.172	3.240	114.379	2,095.959	290.700	40.103	25.998	2,578.293
2151	221,407	0.5675	0.720	6.772	3.080	94.432	1,714.113	266.681	38.102	23.997	2,147.896
2152	364,327	0.4179	0.863	9.630	4.224	113.041	2,070.352	438.185	52.394	38.289	2,726.977
2153	276,667	0.4739	0.775	7.877	3.522	98.260	1,787.397	332.993	43.628	29.523	2,303.976
2211	321,271	0.5683	0.820	8.769	3.879	134.285	2,477.015	386.518	48.088	33.983	3,093.357
2212	346,579	0.5485	0.845	9.275	4.082	139.541	2,577.636	416.888	50.619	36.514	3,235.399
2213	295,963	0.4936	0.795	8.263	3.677	108.729	1,987.808	356.148	45.557	31.452	2,542.429
2311	304,819	0.3536	0.804	8.440	3.747	81.921	1,474.615	366.776	46.443	32.338	2,015.083
2312	288,367	0.4887	0.787	8.111	3.616	105.130	1,918.905	347.033	44.798	30.693	2,459.072
2313	295,963	0.3491	0.795	8.263	3.677	78.808	1,415.025	356.148	45.557	31.452	1,939.725
2321	321,271	0.7775	0.820	8.769	3.879	181.330	3,377.589	386.518	48.088	33.983	4,040.976
2322	220,219	0.4878	0.719	6.748	3.071	81.678	1,469.978	265.256	37.983	23.878	1,889.311
2323	311,083	0.8037	0.810	8.565	3.798	181.484	3,380.550	374.292	47.069	32.964	4,029.533

เนื่องจากภาระงานที่แตกต่างกันของระดับ R1 กับระดับ R2 R3 R4 ที่มีส่วนการทำงานที่ใช้เวลาทำงานไม่สอดคล้องกับระดับอื่น ๆ จึงจำเป็นต้องหาอัตราส่วนของส่วนการทำงานที่ระดับ R1 กับระดับอื่น ๆ ด้วยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ต่อหนึ่งจุดพื้นที่การทำงานของแต่ละระดับความละเอียดมาเทียบกันตามตารางที่ 4-10 ที่แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้นาฬิกาของ

ปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ เพื่อให้ทราบอัตราส่วนการทำงานของระดับ R1 ซึ่งผลที่ได้คือระดับ R1 ใช้เวลาในการทำงานเพียง 1/5 ของระดับอื่น ๆ โดยประมาณ

ตารางที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ทำงานของแต่ละระดับความละเอียดต่อขนาดปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำ

Region	A	As	Comp. time	Time / As	R1:R234
1	579,600	449,678	1,460.690	0.003248	
21	606,361	547,045	8,630.602	0.015777	0.2059
22	606,361	496,667	7,920.273	0.015947	0.2037
23	606,361	299,396	5,138.752	0.017164	0.1892
211	78,325	67,620	1,125.181	0.016640	0.1952
212	298,753	275,475	4,370.928	0.015867	0.2047
213	83,767	60,977	1,039.291	0.017044	0.1906
214	55,189	41,759	727.479	0.017421	0.1864
215	326,893	187,636	3,172.610	0.016908	0.1921
221	311,193	234,716	3,814.003	0.016249	0.1999
231	305,230	90,912	1,777.845	0.019556	0.1661
232	296,842	207,898	3,453.093	0.016610	0.1955
2111	158,275	131,692	2,142.845	0.016272	0.1996
2112	205,027	179,123	2,878.430	0.016070	0.2021
2121	301,567	248,562	3,995.476	0.016074	0.2021
2122	505,855	440,115	6,988.301	0.015878	0.2046
2131	357,595	246,310	4,043.787	0.016417	0.1978
2141	241,423	154,148	2,578.293	0.016726	0.1942
2151	221,407	125,652	2,147.896	0.017094	0.1900
2152	364,327	152,237	2,726.977	0.017913	0.1813
2153	276,667	131,121	2,303.976	0.017571	0.1849
2211	321,271	182,585	3,093.357	0.016942	0.1917
2212	346,579	190,094	3,235.399	0.017020	0.1908
2213	295,963	146,077	2,542.429	0.017405	0.1866
2311	304,819	107,779	2,015.083	0.018696	0.1737
2312	288,367	140,935	2,459.072	0.017448	0.1862
2313	295,963	103,332	1,939.725	0.018772	0.1730
2321	321,271	249,792	4,040.976	0.016177	0.2008
2322	220,219	107,433	1,889.311	0.017586	0.1847
2323	311,083	250,013	4,029.533	0.016117	0.2015

ในการระบุจำนวนหน่วยประมวลผลให้กับปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดนั้น จำเป็นต้องหาค่า Threshold ที่ใช้ในการแบ่งขนาดปัญหาที่ต้องการให้แต่ละหน่วยประมวลผล

รับผิดชอบเสียก่อน โดยค่า Threshold นี้ คิดจากขนาดของปัญหาโดยรวมทั้งหมดที่ใช้หารด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลทั้งหมดที่ใช้ในการทำงาน ทั้งนี้ จำนวนหน่วยประมวลผลทั้งหมดที่ใช้ต้องไม่ถูกกำหนดให้มากหรือน้อยเกินไป และขนาดของปัญหาที่ระดับ R1 ได้ทอดอัตราส่วนการทำงานด้วยการคูณ $1/5$

$$\text{Threshold} = \frac{As_{R1}(1/5) + As_{R2} + As_{R3} + As_{R4} + \dots + As_{Rn}}{\text{Number of processor}}$$

จากนั้นจึงนำค่า Threshold ที่ได้มาหาจำนวนการแบ่งขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียด โดยขนาดของปัญหาที่ระดับ R1 ต้องทอดอัตราส่วนการทำงานด้วยการคูณ $2/5$ และนำขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดมาหารด้วยค่า Threshold เพื่อให้ได้จำนวนหน่วยประมวลผลต่อระดับความละเอียด

$$p = \frac{As_{Rn}}{\text{Threshold}}$$

โดยค่า p เป็นจำนวนหน่วยประมวลผลที่แต่ละระดับความละเอียดได้รับเพื่อแบ่งงาน ซึ่งการแบ่งงานของโปรแกรมนี้ ใช้วิธีการแบ่งตามแนวนอน จึงสามารถนำค่า p ไปหารขนาดของปัญหาตามแนวตั้ง (Y) ที่ทำให้ได้ขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานคือ

$$Ap = \text{len}X * \frac{\text{len}Y}{p}$$

เมื่อได้ค่า Ap ซึ่งเป็นขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานเรียบร้อยแล้วก็นำมาคิดหาเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานต่าง ๆ ด้วยสมการของส่วนการทำงานนั้น ๆ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการประมาณค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมต่อไป

หลังจากการวิเคราะห์ในส่วนของการประมาณค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณแล้ว ลำดับถัดมาคือการวิเคราะห์ค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผลที่ได้จำแนกไว้เป็นสองส่วน คือ การติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียด และการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำงานส่วนนี้ขึ้นกับปริมาณของข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน ที่สามารถหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (B) ได้ตามตารางที่ 4-11 และตารางที่ 4-12 ที่คำนวณค่า B เพื่อนำไปใช้ในสมการเชิงเส้นสำหรับประมาณเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

$$B = \text{length} * V_size * \text{Timestep} * \text{Row}$$

ตารางที่ 4-11 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิตัวด้วยการคำนวณแบบขนาน

Intra	Variable	To	length	V_size	Timestep	Row
R1	ma	Up	lenX	4	9000	1
	na	Down	lenX	4	9000	1
	zb	Down	lenX	4	9000	1
R234	ma(x)	Up	lenX	4	36000	2
	na(x)	Down	lenX	4	36000	2
	dzb(x)	Up	lenX	4	36000	2
	za(x)	Down	lenX	4	36000	1
	zb(x)	Down	lenX	4	36000	1
	dma(x)	Down	lenX	4	36000	1
	dna(x)	Down	lenX	4	36000	1

ตารางที่ 4-12 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสีนามิตัวด้วยการคำนวณแบบขนาน

Inter	Variable	To	Length	V_size	Timestep	Row
R1	m_jnq(y)	R2	Yo+2	4	36000	2
	n_jnq(x)	R2	Xi+2	4	36000	2
R2	dzb(y)	R3	Yo	4	36000	2
	dzb(x)	R3	Xi	4	36000	2
	mb(y)	R3	Yo+2	4	36000	2
	nb(x)	R3	Xi+2	4	36000	2
R3	dzb(y)	R4	Yo	4	36000	2
	dzb(x)	R4	Xi	4	36000	2
	dzb(y)	R2	Yn	4	36000	2
	zb(x)	R2	Xi	4	36000	2
	mb(y)	R4	Yo+2	4	36000	2
	nb(x)	R4	Xi+2	4	36000	2
R4	dzb(y)	R3	Yn	4	36000	2
	zb(x)	R3	Xi	4	36000	2

การติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดสามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนบน (Top) ส่วนกลาง (Middle) และส่วนล่าง (Bottom) ที่มีปริมาณของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่ง (B) คงที่ตามขนาดของปัญหาตามแนวนอน (X) และจำนวนครั้งที่ทำการรับส่งข้อมูล (S, R) ได้เป็น เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดตามตารางที่ 4-13 โดยให้เลือกใช้ตาม ลักษณะการแบ่งงานของแต่ละระดับความละเอียด

ตารางที่ 4-13 ปริมาณข้อมูล จำนวนครั้งในการรับส่งข้อมูล และเวลาที่ใช้ของการติดต่อสื่อสาร ภายในระดับความละเอียดของโปรแกรม

R	X	B	Intra_1				Bottom Comm (P=2)				Intra_2				Middle Comm (P>2)				Intra_1				Intra_2				TOP Comm (P=2)							
			S		R		Intra_1		Intra_2		S		R		Intra_1		Intra_2		S		R		Intra_1		Intra_2		S		R		Intra_1		Intra_2	
			S	R	S	R	Intra_1	Intra_2	S	R	S	R	Intra_1	Intra_2	S	R	S	R	Intra_1	Intra_2	S	R	S	R	Intra_1	Intra_2	S	R	S	R	Intra_1	Intra_2		
1	690	2.484E+07	1	1	0	1	15.457	1.699	2	2	1	1	30.913	15.457	1	1	1	0	15.457	13.758														
21	721	1.038E+08	2	2	2	4	34.231	43.185	4	4	6	6	68.461	102.692	2	2	4	2	34.231	64.906														
22	721	1.038E+08	2	2	2	4	34.231	43.185	4	4	6	6	68.461	102.692	2	2	4	2	34.231	64.906														
23	721	1.038E+08	2	2	2	4	34.231	43.185	4	4	6	6	68.461	102.692	2	2	4	2	34.231	64.906														
211	241	3.470E+07	2	2	2	4	31.328	34.745	4	4	6	6	62.655	93.983	2	2	4	2	31.328	59.238														
212	637	9.173E+07	2	2	2	4	33.723	37.254	4	4	6	6	67.445	101.168	2	2	4	2	33.723	63.914														
213	397	5.717E+07	2	2	2	4	32.271	35.733	4	4	6	6	64.542	96.813	2	2	4	2	32.271	61.080														
214	241	3.470E+07	2	2	2	4	31.328	34.745	4	4	6	6	62.655	93.983	2	2	4	2	31.328	59.238														
215	469	6.754E+07	2	2	2	4	32.707	36.190	4	4	6	6	65.413	98.120	2	2	4	2	32.707	61.930														
221	639	9.202E+07	2	2	2	4	33.735	37.267	4	4	6	6	67.469	101.204	2	2	4	2	33.735	63.937														
231	655	9.432E+07	2	2	2	4	33.831	37.368	4	4	6	6	67.663	101.494	2	2	4	2	33.831	64.126														
232	637	9.173E+07	2	2	2	4	33.723	37.254	4	4	6	6	67.445	101.168	2	2	4	2	33.723	63.914														
2111	487	7.013E+07	2	2	2	4	32.815	36.304	4	4	6	6	65.631	98.446	2	2	4	2	32.815	62.142														
2112	487	7.013E+07	2	2	2	4	32.815	36.304	4	4	6	6	65.631	98.446	2	2	4	2	32.815	62.142														
2121	643	9.259E+07	2	2	2	4	33.759	37.292	4	4	6	6	67.518	101.277	2	2	4	2	33.759	63.985														
2122	679	9.778E+07	2	2	2	4	33.977	37.520	4	4	6	6	67.953	101.930	2	2	4	2	33.977	64.410														
2131	595	8.568E+07	2	2	2	4	33.469	36.988	4	4	6	6	66.937	100.406	2	2	4	2	33.469	63.418														
2141	379	5.458E+07	2	2	2	4	32.162	35.619	4	4	6	6	64.324	96.487	2	2	4	2	32.162	60.867														
2151	271	3.902E+07	2	2	2	4	31.509	34.935	4	4	6	6	63.018	94.527	2	2	4	2	31.509	59.592														
2152	739	1.064E+08	2	2	2	4	34.339	37.900	4	4	6	6	68.679	103.018	2	2	4	2	34.339	65.118														
2153	523	7.531E+07	2	2	2	4	33.033	36.532	4	4	6	6	66.066	99.099	2	2	4	2	33.033	62.568														
2211	703	1.012E+08	2	2	2	4	34.122	37.672	4	4	6	6	68.243	102.365	2	2	4	2	34.122	64.693														
2212	703	1.012E+08	2	2	2	4	34.122	37.672	4	4	6	6	68.243	102.365	2	2	4	2	34.122	64.693														
2213	703	1.012E+08	2	2	2	4	34.122	37.672	4	4	6	6	68.243	102.365	2	2	4	2	34.122	64.693														
2311	667	9.605E+07	2	2	2	4	33.904	37.444	4	4	6	6	67.808	101.712	2	2	4	2	33.904	64.268														
2312	631	9.086E+07	2	2	2	4	33.686	37.216	4	4	6	6	67.373	101.059	2	2	4	2	33.686	63.843														
2313	703	1.012E+08	2	2	2	4	34.122	37.672	4	4	6	6	68.243	102.365	2	2	4	2	34.122	64.693														
2321	703	1.012E+08	2	2	2	4	34.122	37.672	4	4	6	6	68.243	102.365	2	2	4	2	34.122	64.693														
2322	631	9.086E+07	2	2	2	4	33.686	37.216	4	4	6	6	67.373	101.059	2	2	4	2	33.686	63.843														
2323	631	9.086E+07	2	2	2	4	33.686	37.216	4	4	6	6	67.373	101.059	2	2	4	2	33.686	63.843														

การติดต่อสื่อสารภายนอกในระดับความละเอียดสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนการส่งข้อมูลจากระดับความละเอียดต่ำไปสูง ($L > H$) และส่วนการส่งข้อมูลจากระดับความละเอียดสูงไปต่ำ ($H > L$) มีปริมาณของข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (B) ขึ้นกับลักษณะและจำนวนของการแบ่งงานให้กับขนาดของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดตามตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกในระดับความละเอียด

Region	Xi	Yi	Yo	Yn	o	Inter_1	Inter_2	Inter_3	Inter_4
						B (L > H)	B (H > L)	B (L > H)	B (H > L)
21	90	105	105	105	1	5.731E+07	-	-	-
22	90	105	105	105	1	5.731E+07	-	-	-
23	90	105	105	105	1	5.731E+07	-	-	-
211	80	108	108	108	1	5.414E+07	-	5.530E+07	5.414E+07
212	212	156	156	156	1	1.060E+08	-	1.071E+08	1.060E+08
213	132	70	70	70	1	5.818E+07	-	5.933E+07	5.818E+07
214	80	76	76	76	1	4.493E+07	-	4.608E+07	4.493E+07
215	156	232	232	232	1	1.117E+08	-	1.129E+08	1.117E+08
221	213	162	162	162	1	1.080E+08	-	1.092E+08	1.080E+08
231	218	155	155	155	1	1.074E+08	-	1.086E+08	1.074E+08
232	212	155	155	155	1	1.057E+08	-	1.068E+08	1.057E+08
2111	162	108	108	108	1	7.776E+07	5.443E+07	7.891E+07	-
2112	162	140	140	140	1	8.698E+07	6.365E+07	8.813E+07	-
2121	214	156	156	156	1	1.066E+08	7.574E+07	1.077E+08	-
2122	226	248	248	248	1	1.365E+08	1.040E+08	1.377E+08	-
2131	198	200	200	200	1	1.146E+08	8.611E+07	1.158E+08	-
2141	126	212	212	212	1	9.734E+07	7.920E+07	9.850E+07	-
2151	90	272	272	272	1	1.043E+08	9.130E+07	1.054E+08	-
2152	246	164	164	164	1	1.181E+08	8.266E+07	1.192E+08	-
2153	174	176	176	176	1	1.008E+08	7.574E+07	1.020E+08	-
2211	234	152	152	152	1	1.112E+08	7.747E+07	1.123E+08	-
2212	234	164	164	164	1	1.146E+08	8.093E+07	1.158E+08	-
2213	234	140	140	140	1	1.077E+08	7.402E+07	1.089E+08	-
2311	222	152	152	152	1	1.077E+08	7.574E+07	1.089E+08	-
2312	210	152	152	152	1	1.043E+08	7.402E+07	1.054E+08	-
2313	234	140	140	140	1	1.077E+08	7.402E+07	1.089E+08	-
2321	234	152	152	152	1	1.112E+08	7.747E+07	1.123E+08	-
2322	210	116	116	116	1	9.389E+07	6.365E+07	9.504E+07	-
2323	210	164	164	164	1	1.077E+08	7.747E+07	1.089E+08	-

ตารางที่ 4-15 เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด

R	N	n	Inter_1		Inter_2		Inter_3		Inter_4	
			SendTO	RecvBY	SendTo	RecvBy	SendTo	RecvBy	SendTo	RecvBy
21	1	1	14.4072	1.7313	-	-	-	-	-	-
22	1	1	14.4072	1.7313	-	-	-	-	-	-
23	1	1	14.4072	1.7313	-	-	-	-	-	-
211	1	1	14.3439	1.7281	-	-	14.3669	1.7293	14.3439	1.7281
212	1	1	15.3807	1.7800	-	-	15.4037	1.7811	15.3807	1.7800
213	1	1	14.4245	1.7322	-	-	14.4476	1.7333	14.4245	1.7322
214	1	1	14.1596	1.7189	-	-	14.1826	1.7201	14.1596	1.7189
215	1	1	15.4959	1.7857	-	-	15.5189	1.7869	15.4959	1.7857
221	1	1	15.4210	1.7820	-	-	15.4440	1.7832	15.4210	1.7820
231	1	1	15.4095	1.7814	-	-	15.4325	1.7826	15.4095	1.7814
232	1	1	15.3749	1.7797	-	-	15.3980	1.7808	15.3749	1.7797
2111	1	1	14.8162	1.7518	14.3496	1.7284	14.8392	1.7529	-	-
2112	1	1	15.0005	1.7610	14.5340	1.7376	15.0236	1.7621	-	-
2121	1	1	15.3922	1.7806	14.7759	1.7497	15.4152	1.7817	-	-
2122	1	1	15.9912	1.8105	15.3404	1.7780	16.0143	1.8117	-	-
2131	1	1	15.5535	1.7886	14.9832	1.7601	15.5765	1.7898	-	-
2141	1	1	15.2079	1.7713	14.8450	1.7532	15.2309	1.7725	-	-
2151	1	1	15.3461	1.7783	15.0869	1.7653	15.3692	1.7794	-	-
2152	1	1	15.6226	1.7921	14.9141	1.7567	15.6456	1.7932	-	-
2153	1	1	15.2770	1.7748	14.7759	1.7497	15.3000	1.7760	-	-
2211	1	1	15.4844	1.7852	14.8104	1.7515	15.5074	1.7863	-	-
2212	1	1	15.5535	1.7886	14.8796	1.7549	15.5765	1.7898	-	-
2213	1	1	15.4152	1.7817	14.7413	1.7480	15.4383	1.7829	-	-
2311	1	1	15.4152	1.7817	14.7759	1.7497	15.4383	1.7829	-	-
2312	1	1	15.3461	1.7783	14.7413	1.7480	15.3692	1.7794	-	-
2313	1	1	15.4152	1.7817	14.7413	1.7480	15.4383	1.7829	-	-
2321	1	1	15.4844	1.7852	14.8104	1.7515	15.5074	1.7863	-	-
2322	1	1	15.1388	1.7679	14.5340	1.7376	15.1618	1.7690	-	-
2323	1	1	15.4152	1.7817	14.8104	1.7515	15.4383	1.7829	-	-

สำหรับการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด จำเป็นต้องทราบตัวแปรต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้ คือ ขอบเขตตามแกนนอนและแกนตั้งที่อ้างอิงความยาวตามแกนของระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า (X_i, Y_i) ขอบเขตตามแกนตั้งที่อ้างอิงความยาวจากการแบ่งงานบนระดับความละเอียดที่ต่ำกว่า (Y_o) ขอบเขตตามแกนตั้งที่อ้างอิง

ความยาวจากการแบ่งงานบนระดับความละเอียดของระดับนั้น ๆ (Y_n) จำนวนหน่วยประมวลผลของระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า (N) จำนวนหน่วยประมวลผลของระดับที่มีความละเอียดสูงกว่า (n) และจำนวนขอบเขตของระดับความละเอียดที่สูงกว่าที่ถูกแบ่งโดยจำนวนหน่วยประมวลผลของระดับที่มีความละเอียดต่ำกว่า (o) เพื่อนำมาหาเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดได้ ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-16 ลำดับการทำงานที่มีการรับข้อมูลของโปรแกรม

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
R1	INITIAL	R1_1	R1_2	-	-	-	-	-	OUTMAX	MAX TIME
R2		W1	R2_1	W4	R2_2	R2_3	-	-		
R3		R3_1	W2	R3_2	W5	R3_3	W7	R3_4		
R4		R4_1	W3	R4_2	R4_3	W6	R4_4	-		

จากตารางที่ 4-16 แสดงลำดับการทำงานเพื่อหาเวลาที่ใช้ทำงานทั้งหมดของโปรแกรม โดยลำดับของการทำงานในแต่ละระดับความละเอียดนั้นมีการรับข้อมูลระหว่างกันในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป จึงต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการรับข้อมูลตามช่วงเวลาของแต่ละระดับความละเอียดที่มีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนการทำงาน INITIAL และ OUTMAX ของทุกระดับความละเอียด
- R1_1 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_1 Comp_2 Intra_1 Intra_2 และ Inter_1(Send)
- R1_2 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน MAX และ OUTB
- R2_1 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน JNQ_S2C Comp_1 Intra_1 และ Inter_1
- R2_2 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_2 Intra_2 Inter_3(Recv) และ Inter_4(Send)
- R2_3 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_3 และ OUTB
- R3_1 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_1 Intra_1 และ Inter_1(Send)
- R3_2 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน JNZ Inter_1(Recv) และ Inter_3(send)
- R3_3 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_2 Intra_2 Inter_2(Recv) และ Inter_3(Send)
- R3_4 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน JNQ Comp_3 และ OUTB
- R4_1 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_1 และ Intra_1

- R4_2 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน JNZ Inter_1(Recv) และ Inter_2(send)
- R4_3 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน Comp_2 และ Intra_2
- R4_4 ประกอบด้วยส่วนการทำงาน JNQ Comp_3 Inter_3(Recv) และ OUTB
- W1 รอรับข้อมูลจาก R1 หลังจากเสร็จการทำงาน R1_1
- W2 รอรับข้อมูลจาก R2 หลังจากเสร็จการทำงาน R2_1
- W3 รอรับข้อมูลจาก R3 หลังจากเสร็จการทำงาน R3_1
- W4 รอรับข้อมูลจาก R3 หลังจากเสร็จการทำงาน R3_2
- W5 รอรับข้อมูลจาก R4 หลังจากเสร็จการทำงาน R4_2
- W6 รอรับข้อมูลจาก R3 หลังจากเสร็จการทำงาน R3_3
- W7 รอรับข้อมูลจาก R3 หลังจากเสร็จการทำงาน R2_2
- MAXTIME เป็นการเลือกเวลาที่มากที่สุดของการทำงานมาเป็นค่าประมาณเวลาที่ใช้

ตารางที่ 4-17 ลำดับการทำงานของโปรแกรมเพื่อประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงาน

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
R1	INITIAL	R1_1	R1_2	-	-	-	-	-	OUTMAX	MAX TIME
R2		W1	R2_1	W4	R2_2	R2_3	-	-		
R3		R3_1	W2	R3_2	W5	R3_3	W7	R3_4		
R41		R4_1_1	W3_1	R4_1_2	R4_1_3	W6_1	R4_1_4	-		
R42		R4_2_1	W3_2	R4_2_2	R4_2_3	W6_2	R4_2_4	-		

เมื่อนำผลการประมาณค่าเวลาที่ใช้ในแต่ละส่วนการทำงานทั้งหมดมาแทนค่าลงในลำดับการทำงานของโปรแกรม ตามข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้สำหรับการทำงานกับชุดปัญหาที่ต้องการ เพื่อหารูปแบบการแบ่งงานของปัญหาและนำมาประมาณเวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด หรือข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้สำหรับการทำงานกับชุดปัญหาที่ต้องการ เพื่อหารูปแบบของการแบ่งงานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ต้องใช้มาประมาณเวลาที่ใช้งานให้ใกล้เคียงกับเวลาที่ต้องการได้สำหรับการคำนวณหลายโชนพร้อมกัน สามารถทำได้ด้วยการเพิ่มลำดับการทำงานของระดับความละเอียดที่เพิ่มขึ้นมาดังตารางที่ 4-17 เพื่อวิเคราะห์หาค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานที่เพิ่มขึ้นจากการคำนวณหลายโชนพร้อมกันตามที่ต้องการ ให้ได้เป็นเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม

บทที่ 5 การประเมินผลงานวิจัย

5.1 การประเมินผล

ในการประเมินผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ได้นำเอาข้อมูลส่วนที่เหลือจากการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมมาใช้ในการทดสอบตามข้อกำหนดต่าง ๆ ในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการทำงาน และการกำหนดเวลาที่ใช้ในการทำงานกับชุดปัญหาที่ต้องการด้วยรูปแบบการทำงานที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งมีรายละเอียดของการประเมินผลดังนี้

5.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผล

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลนี้ ได้เลือกใช้ข้อมูลเดียวกับการทดลองมาใช้เป็นชุดปัญหาเพื่อทดสอบความถูกต้องแม่นยำของรูปแบบการวิเคราะห์ และสามารถทำการประมาณเวลาที่ทำงานของโปรแกรมได้

5.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผล

การประเมินผลงานวิจัยนี้ ใช้ระบบคลัสเตอร์ TERA เท่านั้น ในการทดสอบการทำงานด้วยโปรแกรมจำลองสีนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน และนำผลการทำงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ตามรูปแบบที่ได้ เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ใช้ในการทำงานที่ได้จากการประมาณเวลาตามรูปแบบของการวิเคราะห์

5.1.3 รูปแบบของการประเมินผล

การจัดชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบตามข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผล และเวลาที่ใช้ในการทำงาน โดยจำนวนหน่วยประมวลผลให้กำหนดตามขนาดของปัญหาที่ใช้ และเวลาที่ใช้ในการทำงานไม่เกิน 40 นาที สามารถแบ่งเป็นชุดทดสอบต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ทดสอบข้อมูลไซน 2111 ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 15 หน่วย
- ทดสอบข้อมูลไซน 2112 ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 16 หน่วย
- ทดสอบข้อมูลไซน 2151 ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 17 หน่วย
- ทดสอบข้อมูลไซน 2121 ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 20 หน่วย
- ทดสอบข้อมูลไซน 2211 ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 24 หน่วย
- ทดสอบข้อมูลไซน 2321 ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 19 หน่วย

- ทดสอบการคำนวณแบบหลายโซนด้วยข้อมูลโซน 2111 2112 2121 และ 2221 รวมกัน ที่กำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานไว้ 46 หน่วย

สำหรับการแบ่งงานให้กับแต่ละระดับความละเอียด ได้ทำการหาค่า Threshold ที่ใช้ในการหาจำนวนหน่วยประมวลผลในแต่ละระดับความละเอียด ซึ่งได้ค่า Threshold ประมาณ 80,000 และมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละระดับความละเอียดตามตารางที่ 5-1 แล้วทำการวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงานในแต่ละระดับความละเอียดด้วยสมการจากตารางที่ 4-4 ซึ่งได้ค่าเวลาที่ใช้ตามตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-1 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบก่อนและหลังการแบ่งงาน

Region	X	Y	A	s	p	Yp	Ap	Aps	Xi	Yi	Yn	Yo
1	690	840	579,600	0.7758	4	210	144,900	112,420	-	-	-	-
21	721	841	606,361	0.9022	8	106	76,426	68,950	90	105	14	105
22	721	841	606,361	0.8191	8	106	76,426	62,601	90	105	14	61
23	721	841	606,361	0.4938	6	141	101,661	50,196	90	105	18	105
211	241	325	78,325	0.8633	1	325	78,325	67,620	80	108	108	103
212	637	469	298,753	0.9221	4	118	75,166	69,310	212	156	39	31
215	469	697	326,893	0.5740	3	215	100,835	57,880	156	232	72	75
221	639	487	311,193	0.7542	6	82	52,398	39,521	213	162	27	101
232	637	466	296,842	0.7094	4	128	81,536	57,841	212	155	43	12
2111	487	325	158,275	0.8320	2	163	79,381	66,049	162	108	54	108
2112	487	421	205,027	0.8737	3	141	68,667	59,992	162	140	47	140
2151	271	817	221,407	0.5675	2	376	101,896	57,828	90	272	126	30
2121	643	469	301,567	0.8242	4	118	75,874	62,538	214	156	39	93
2211	703	457	321,271	0.5683	6	77	54,131	30,764	234	152	26	77
2321	703	457	321,271	0.7775	5	92	64,676	50,287	234	152	31	79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงาน

Region	Ap	Aps	Initial	JNZ	JNQ	Comp_1	Comp_2	Comp_3	OUTB	OUTMAX
1	144,900	112,420	1.078	-	-	83.178	149.841	158.104	30.451	16.346
21	76,426	68,950	1.105	-	11.596	54.740	954.306	92.704	23.604	9.499
22	76,426	62,601	1.105	-	11.596	50.296	869.229	92.704	23.604	9.499
23	101,661	50,196	1.105	-	11.596	41.612	703.002	122.986	26.127	12.022
211	78,325	67,620	0.577	3.910	1.936	53.809	936.484	94.983	23.794	9.689
212	75,166	69,310	0.798	8.319	3.699	54.992	959.130	91.192	23.478	9.373
215	100,835	57,880	0.826	8.882	3.924	46.991	805.968	121.995	26.045	11.940
221	52,398	39,521	0.810	8.568	3.798	34.140	559.957	63.870	21.201	7.096
232	81,536	57,841	0.796	8.281	3.684	46.964	805.445	98.836	24.115	10.010
2111	79,381	66,049	0.657	5.509	2.575	52.710	915.433	96.250	23.899	9.794
2112	68,667	59,992	0.704	6.444	2.949	48.470	834.269	83.393	22.828	8.723
2151	101,896	57,828	0.720	6.772	3.080	46.955	805.271	123.268	26.151	12.046
2121	75,874	62,538	0.800	8.375	3.721	50.252	868.385	92.042	23.548	9.443
2211	54,131	30,764	0.820	8.769	3.879	28.010	442.614	65.950	21.374	7.269
2321	64,676	50,287	0.820	8.769	3.879	41.676	704.222	78.604	22.429	8.324

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดตามปริมาณข้อมูลของการรับส่งในแต่ละระดับความละเอียด โดยสามารถหาปริมาณข้อมูลในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดด้วยสมการจากตารางที่ 4-11 และหาเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดด้วยค่าจากตารางที่ 4-13 ซึ่งได้ค่าเวลาที่ใช้ตามตารางที่ 5-3 และต่อด้วยการวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดตามปริมาณข้อมูลของการรับส่งในแต่ละระดับความละเอียด โดยสามารถหาปริมาณข้อมูลในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดด้วยสมการจากตารางที่ 4-12 และหาเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดด้วยค่าจากตารางที่ 4-14 ซึ่งได้ค่าเวลาที่ใช้ตามตารางที่ 5-4 และตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-3 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียด

Region	X	Y	p	A	B	Intra_1	Intra_2
1	690	210	4	144,900	2.484E+07	29.876	14.938
21	721	106	8	76,426	1.038E+08	59.746	89.620
22	721	106	8	76,426	1.038E+08	59.746	89.620
23	721	141	6	101,661	1.038E+08	59.749	89.623
211	241	325	1	78,325	3.470E+07	-	-
212	637	118	4	75,166	9.173E+07	59.746	89.619
215	469	215	3	100,835	6.754E+07	59.748	89.623
221	639	82	6	52,398	9.202E+07	59.744	89.617
232	637	128	4	69,641	7.013E+07	59.747	89.620
2111	487	163	2	79,381	7.013E+07	29.873	56.399
2112	487	141	3	68,667	7.013E+07	59.746	89.619
2151	271	376	2	101,896	3.902E+07	59.749	89.623
2121	643	118	4	75,874	9.259E+07	59.746	89.620
2211	703	77	6	54,131	1.012E+08	59.745	89.617
2321	703	92	5	64,676	1.012E+08	59.745	89.618

ตารางที่ 5-4 การวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด

Region	Xi	Yo	Yn	o	Inter_1	Inter_2	Inter_3	Inter_4
					B (L > H)	B (H > L)	B (L > H)	B (H > L)
21	90	105	14	1	5.731E+07	-	-	-
22	90	61	14	2	3.110E+07	-	-	-
23	90	105	18	1	5.731E+07	-	-	-
211	80	103	108	2	4.118E+07	-	4.176E+07	5.270E+07
212	212	31	39	3	3.946E+07	-	4.003E+07	6.998E+07
215	156	75	72	3	4.406E+07	-	4.464E+07	6.653E+07
221	213	101	27	2	5.976E+07	-	6.034E+07	9.043E+07
232	212	12	43	3	3.398E+07	-	3.456E+07	6.451E+07
2111	162	108	54	1	7.776E+07	3.888E+07	7.891E+07	-
2112	162	140	47	1	8.698E+07	3.686E+07	8.813E+07	-
2151	90	30	126	3	2.160E+07	4.925E+07	2.218E+07	-
2121	214	93	39	2	5.760E+07	4.205E+07	5.818E+07	-
2122	226	111	248	3	6.451E+07	1.040E+08	6.509E+07	-
2211	234	77	26	2	5.587E+07	4.118E+07	5.645E+07	-
2321	234	79	31	2	5.645E+07	4.262E+07	5.702E+07	-

ตารางที่ 5-5 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด

Region	Xi	Yo	Yn	N	n	Inter_1		Inter_2		Inter_3		Inter_4	
						SendTO	RecvBY	SendTO	RecvBY	SendTO	RecvBY	SendTO	RecvBY
21	90	105	14	4	8	115.2579	1.7313	-	-	-	-	-	-
22	90	61	14	4	8	111.0646	1.7051	-	-	-	-	-	-
23	90	105	18	4	6	86.4434	1.7313	-	-	-	-	-	-
211	80	103	108	8	1	14.0847	1.7152	-	-	14.0962	1.7158	114.5206	13.8136
212	212	31	39	8	4	56.2005	1.7135	-	-	56.2466	1.7140	117.2854	13.9519
215	156	75	72	8	3	45.9187	1.7181	-	-	45.9561	1.7186	116.7325	13.9242
221	213	101	27	8	6	86.7372	1.7338	-	-	86.8063	1.7343	120.5571	14.1155
232	212	12	43	6	4	50.7975	1.7080	-	-	50.8395	1.7086	87.3074	10.4311
2111	162	108	54	1	2	29.6324	1.7518	14.0386	1.7129	29.6785	1.7529	-	-
2112	162	140	47	1	3	45.0016	1.7610	13.9983	1.7109	45.0707	1.7621	-	-
2151	90	30	126	3	2	29.7730	1.6956	46.2553	5.5952	29.7980	1.6962	-	-
2121	214	93	39	4	4	57.6520	1.7316	56.4078	6.8642	57.6981	1.7322	-	-
2122	226	111	248	4	1	14.5512	1.7385	61.3614	7.1119	14.5628	1.7391	-	-
2211	234	77	26	6	6	86.2706	1.7299	84.5081	10.2911	86.3398	1.7304	-	-
2321	234	79	31	4	5	71.9498	1.7304	51.4272	6.2551	72.0074	1.7310	-	-

สุดท้ายนำค่าเวลาที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละส่วนตามรูปแบบการวิเคราะห์ มาลำดับการทำงานตามตารางที่ 4-16 เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละส่วนการทำงานของแต่ละชุดการทดสอบตามตารางที่ 5-6 และทำการลำดับการทำงานด้วยการคำนวณแบบหลายโซนพร้อมกันของข้อมูลโซน 2111 โซน 2112 โซน 2121 และโซน 2221 ได้เวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละส่วนการทำงานที่ใช้เวลาตามระดับความละเอียดที่ขึ้นต่อกันดังตารางที่ 5-7

ตารางที่ 5-6 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละลำดับการทำงานของการคำนวณแบบหนึ่งโซน

Wait	Direction	Timing	Zone 2111	Zone 2112	Zone 2121	Zone 2151	Zone 2211	Zone 2321
W1	R1 > R2	T0 > T2	393.091	393.091	393.091	393.091	388.898	364.277
W2	R2 > R3	T1 > T3	439.952	424.583	405.770	418.715	407.228	347.145
W3	R3 > R4	T1 > T3	0.859	-9.405	49.742	29.809	92.400	74.565
W4	R3 > R2	T3 > T4	19.722	19.722	66.279	56.556	97.108	65.797
W5	R4 > R3	T3 > T5	-438.374	-412.697	-447.914	-420.548	-409.328	-345.981
W6	R3 > R4	T5 > T6	434.419	472.075	585.440	456.638	623.303	460.275
W7	R2 > R3	T4 > T7	192.287	176.896	67.394	393.091	334.936	-26.492

ตารางที่ 5-7 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลในแต่ละลำดับการทำงานของการคำนวณแบบหลายโซน

Wait	Direction	Timing	Zone 2111	Zone 2112	Zone 2121	Zone 2211
W1	R1 > R2	T0 > T2	504.156			504.156
W2	R2 > R3	T1 > T3	562.216		518.269	522.486
W3	R3 > R4	T1 > T3	45.860	20.228	18.445	40.689
W4	R3 > R2	T3 > T4	66.279			97.108
W5	R4 > R3	T3 > T5	-559.734		-561.980	-576.298
W6	R3 > R4	T5 > T6	603.464	650.503	717.287	790.272
W7	R2 > R3	T4 > T7	311.062		165.850	334.936

5.2 ผลการประเมิน

จากการวิเคราะห์รูปแบบของการทำงานของโปรแกรม และนำค่าเวลาต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์มาประมาณค่าเวลาที่ใช้ทั้งหมดสำหรับแต่ละชุดทดสอบ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมจำลองสัญญาณด้วยการคำนวณแบบขนานด้วยพื้นที่แต่ละโซนตามตารางที่ 5-8 ถึงตารางที่ 5-14

ตารางที่ 5-8 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2111

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1	1.105	393.091	188.555	-	-	-	-	-	16.346	1855.254
21		393.091	130.303	19.722	1160.162	116.308	-	-		
211		83.442	439.952	19.722	0.000	967.875	192.287	134.525		
2111		82.583	0.859	21.300	971.831	434.419	124.477	-		

ตารางที่ 5-9 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2112

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1	1.105	393.091	188.555	-	-	-	-	-	16.346	1855.254
21		393.091	130.303	19.722	1160.162	116.308	-	-		
211		98.811	424.583	19.722	0.000	983.266	176.896	134.525		
2112		108.215	0.000	22.204	923.887	472.075	110.932	-		

ตารางที่ 5-10 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2151

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1	1.105	393.091	188.555	-	-	-	-	-	16.346	1957.499
21		393.091	162.137	56.556	1162.377	116.308	-	-		
212		136.513	418.715	56.556	0.000	930.984	231.393	165.888		
2121		106.703	29.809	54.723	894.894	456.638	154.195	-		

ตารางที่ 5-11 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2121

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1	1.105	393.091	188.555	-	-	-	-	-	16.346	1944.485
21		393.091	172.418	66.279	1162.925	116.308	-	-		
212		159.740	405.770	66.279	0.000	1095.531	67.394	132.320		
2121		109.998	49.742	24.134	958.005	585.440	121.074	-		

ตารางที่ 5-12 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2211

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1	1.105	388.898	188.555	-	-	-	-	-	16.346	1899.390
22		388.898	198.485	97.108	1081.140	116.308	-	-		
221		180.155	407.228	97.108	0.000	746.205	334.936	102.985		
2211		87.755	92.400	95.007	532.230	623.303	92.934	-		

ตารางที่ 5-13 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโซน 2321

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1	1.105	364.277	188.555	-	-	-	-	-	16.346	1642.470
22		364.277	158.855	65.797	881.641	149.113	-	-		
221		175.987	347.145	65.797	0.000	908.134	0.000	127.956		
2211		101.422	74.565	66.962	793.840	460.275	106.651	-		

ตารางที่ 5-14 การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของการคำนวณแบบหลายโซน

Region	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Total
1		504.156	188.555	-	-	-	-	-		
21		504.156	186.503	66.279	1279.162	116.308	-	-		
22		504.156	198.485	97.108	1081.140	116.308	-	-		
211		128.443	562.216	19.722	0.000	1014.657	311.062	134.525		
212		172.391	518.269	66.279	0.000	1113.312	165.850	132.320		
221	1.105	180.155	522.486	97.108	0.000	746.205	334.936	102.985	16.346	2188.076
2111		82.583	45.860	21.300	971.831	603.464	124.477	-		
2112		108.215	20.228	22.204	923.887	650.503	110.932	-		
2121		109.998	18.445	66.515	958.005	717.287	121.044	-		
2211		87.755	40.689	95.007	532.230	790.272	92.934	-		

เมื่อนำชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบมาทำการประมวลผลจริง ด้วยการแบ่งงานตามที่ได้วิเคราะห์จากรูปแบบการทำงานของโปรแกรม โดยสามารถเก็บผลการทำงานของโปรแกรม จำลองสัณนิด้วยวิธีการคำนวณแบบขนานด้วยพื้นที่แต่ละโซนได้ตามตารางที่ 5-15 ที่นำค่าประมาณของเวลาที่ใช้ทำงานจากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เพื่อพิสูจน์ความถูกต้องและแม่นยำของรูปแบบการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 5-15 เวลาที่ใช้ในการทำงานจริงของชุดทดสอบด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA

Job name	Num. proc (CPUs)	Estimate time (sec.)	Actual time (sec.)	Different time (sec.)	% error
Zone 2111	15	1855.254	1811.164	44.090	2.434
Zone 2112	16	1855.254	1886.574	31.320	1.660
Zone 2151	17	1957.499	2295.402	337.903	14.721
Zone 2121	20	1944.485	1948.951	3.565	0.183
Zone 2211	24	1899.390	1897.961	1.429	0.075
Zone 2321	19	1642.470	1761.898	119.4281	6.778
Zone 2111/2112/2121/2211	46	2188.076	3497.770	1309.693	37.443

5.3 สรุปผลการประเมิน

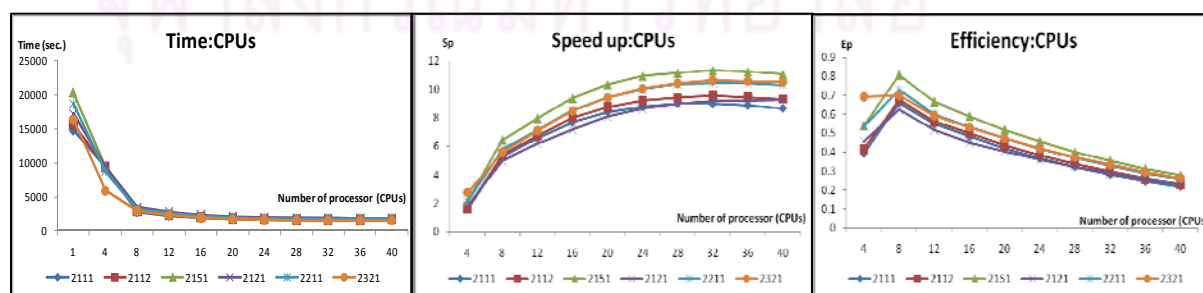
ผลการประเมินที่ได้จากการทดสอบพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 37.443% และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.075% ซึ่งผลความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ คาดว่าเกิดจากขณะที่ทำการทดสอบด้วยการประมวลผลจริงไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบได้

เนื่องจากใช้การทดสอบบนระบบคลัสเตอร์สาธารณะที่ไม่สามารถกำหนดสภาพแวดล้อมเบื้องต้นก่อนทำการทดสอบได้

ตารางที่ 5-16 อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน

ZONE	CPU	Actual time (sec.)		Sp	Ep
		Sequential	Parallel		
2111	15	14,800.60	1811.16	8.172	0.545
2112	16	15,657.02	1886.57	8.299	0.519
2121	17	20,360.14	2295.40	8.870	0.522
2151	20	17,233.98	1948.95	8.843	0.442
2211	24	18,701.87	1897.96	9.854	0.411
2321	19	16,403.06	1761.90	9.310	0.490

สำหรับอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานเมื่อเทียบกับโปรแกรมคำนวณแบบลำดับจากตารางที่ 5-16 พบว่าอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นในการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 8.891 และประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 0.488 เนื่องจากโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานเป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปใช้ในระบบเตือนภัยสึนามิแบบเรียลไทม์ที่มีความต้องการเพิ่มอัตราเร็วในการทำงานมากกว่าการคำนึงถึงจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานจึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานต่ำลงเมื่อเทียบกับการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ และจากรูปที่ 5-1 แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานเมื่อใช้จำนวนหน่วยประมวลผลเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 4 ถึง 40 หน่วย ด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบและรูปแบบการแบ่งงานด้วยค่า Threshold



รูปที่ 5-1 เวลาที่ใช้ อัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพ กับจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้

บทที่ 6

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปงานวิจัย

การเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรมด้วยข้อมูลตัวอย่างจากการทดสอบ เพื่อหาระเบียบวิธีการจัดการงานสำหรับโปรแกรมคำนวณแบบขนานจากกรณีศึกษาการจำลองสีนามิ โดยการหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงเวลากับรูปแบบในการแบ่งงาน ขนาดของปัญหา และค่าใช้จ่ายอื่นที่เกิดขึ้นสำหรับการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผล ที่สามารถนำมาวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงานในลำดับการทำงานของโปรแกรมด้วยรูปแบบการแบ่งงานแบบต่าง ๆ จากการกำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ และนำมาวิเคราะห์หาเวลาที่ใช้ทั้งหมดที่ดีที่สุด หรือนำมาวิเคราะห์หาจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้จากรูปแบบการแบ่งงานแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับปัญหาทั่วไปนั้นๆ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามเวลาที่กำหนดและใช้จำนวนหน่วยประมวลผลน้อยที่สุด

จากผลการทดลองและการประเมินพบว่า ระเบียบวิธีการจัดการงานนี้สามารถนำมาใช้งานสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากการทำงานจริงกับเวลาที่ได้จากการประมาณด้วยระเบียบวิธีการของงานวิจัย ได้ผลการประเมินที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 37.443% และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดอยู่ที่ 0.075% ซึ่งผลความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ คาดว่าเกิดจากขณะที่ทำการทดสอบด้วยการประมวลผลจริงไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบได้ เนื่องจากใช้การทดสอบบนระบบคลัสเตอร์สาธารณะที่ไม่สามารถกำหนดสภาพแวดล้อมเบื้องต้นก่อนทำการทดสอบได้

สำหรับกระบวนการในการนำระเบียบวิธีการจัดการงานที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับปัญหาที่มีหลายระดับความละเอียดด้วยกรณีศึกษาอื่น หรือการนำกรณีศึกษาไปใช้งานกับระบบคลัสเตอร์อื่น ๆ ก็สามารถทำได้ตามขั้นตอนการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ได้ด้วยการนำเอากรณีย่อยไปประมวลผลตามการทดลอง แล้วทำการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการหาเวลาที่ใช้ของแต่ละส่วนการทำงานของโปรแกรม และนำมาสร้างเป็นรูปแบบในการวิเคราะห์ผลสำหรับทุกกรณี จากนั้นจึงทำการทดสอบการทำงานของรูปแบบที่ได้กับกรณีที่เหลือจากการทดลอง เพื่อประเมินผลตามข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพของการทำงานที่ดีที่สุด

6.2 สิ่งที่ได้จากการวิจัย

สิ่งที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้แก่

1. การพัฒนาโปรแกรมคำนวณแบบขนานสำหรับกรณีศึกษาการจำลองสีนามิเพื่อนำไปใช้ในระบบเตือนภัยสีนามิแบบเรียลไทม์
2. แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีระเบียบวิธีการจัดการงานแล้วสามารถทำให้โปรแกรมคำนวณแบบขนานมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนานที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของการแบ่งงาน เพื่อหารูปแบบที่ทำให้โปรแกรมทำงานได้ตามข้อกำหนดในเรื่องของจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ และข้อกำหนดในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการทำงาน

6.3 ประโยชน์ของระเบียบวิธีการจัดการงาน

ระเบียบวิธีการจัดการงาน เป็นรูปแบบหรือวิถีทางสำหรับการจัดการงานของโปรแกรมคำนวณขนานที่ทำให้โปรแกรมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ด้วยรูปแบบการแบ่งงานที่ทำให้มีการกระจายงานอย่างสม่ำเสมอ และสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการทำงานจากการกำหนดจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้งาน หรือหาวิธีการจัดการงานเพื่อแบ่งงานให้กับโปรแกรมด้วยรูปแบบต่าง ๆ ที่ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ภายในเวลาที่กำหนดได้ด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลที่น้อยที่สุด

6.4 แนวทางการวิจัยต่อ

1. นำเอาระเบียบวิธีการที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยสำหรับกรณีศึกษาอื่น ๆ หรือแก้ไขปัญหามีลักษณะของปัญหาเป็นปัญหาประเภทที่มีหลายระดับความละเอียด เพื่อให้ได้ระเบียบวิธีการแบบต่าง ๆ ตามลักษณะของปัญหานั้นนำไปใช้งานได้จริง
2. ปรับปรุงระเบียบวิธีการที่ได้จากงานวิจัยให้สามารถใช้งานได้สะดวกมากขึ้น หรือทำการพัฒนาเครื่องมือเฉพาะมาช่วยจัดการระเบียบวิธีการให้เป็นอัตโนมัติมากขึ้น ตั้งแต่กระบวนการในการเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรม การใช้งานเครื่องมือช่วยเหลือต่าง ๆ ในการเก็บข้อมูล การทำการทดลองด้วยตัวอย่างของปัญหา ไปจนถึงการวิเคราะห์ผลเพื่อให้ได้เป็นระเบียบวิธีการที่ใช้งานได้

รายการอ้างอิง

- [1] Michael J. Quinn. Parallel Programming in C with MPI and OpenMP (International Edition). Oregon State University McGraw-Hill Inc, 2004.
- [2] Samphel Norden. Index for Parallel and Distributed Computing Note [Online]. Available from: <http://www.geocities.com/SiliconValley/Vista/4015/pdcindex.html> [2009, October 9]
- [3] Wikipedia, the free encyclopedia. Message Passing Interface [Online]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Message_Passing_Interface [2010, March 18]
- [4] Blaise Barney, Lawrence Livermore National Laboratory. Message Passing Interface (MPI) [Online]. Available from: <https://computing.llnl.gov/tutorials/mpi/> [2010, March 18]
- [5] SP Parallel Programming Workshop, Maui High Performance Computing Center Message Passing Interface (MPI) [Online]. Available from: <http://www.mhpcc.edu/training/workshop/mpi/MAIN.html> [2010, March 18]
- [6] Sourceforge. mpiP: Lightweight, Scalable MPI Profiling [Online]. Available from: <http://mpip.sourceforge.net/> [2010, March 18]
- [7] Jeffrey S. Vetter and Michael O. McCracken. Statistical Scalability Analysis of Communication Operations in Distributed Applications [Online]. Center for Applied Scientific Computing Lawrence Livermore National Laboratory USA. Available from: <http://mpip.sourceforge.net/statistical-scalability-analysis-of.pdf> [2010, March 18]
- [8] Center for Applied Scientific Computing, Lawrence Livermore National Laboratory. MpiPView, Tool Gear [Online]. Available from: https://computation.llnl.gov/casc/tool_gear/mpipview.html [2010, March 18]
- [9] Sourceforge. IPM – Overview [Online]. Available from: <http://ipm-hpc.sourceforge.net/overview.html> [2010, March 18]
- [10] Han D.K. and Jones T.R., Lawrence Livermore National Laboratory. MPI Profiling [Online]. Available from: <https://computation.llnl.gov/people/trj/publications/ucrl-tr-209658.pdf> [2010, March 18]

- [11] Sourceforge. Ploticus [Online]. Available from: <http://ploticus.sourceforge.net/doc/welcome.html> [2010, March 18]
- [12] Wikipedia, the free encyclopedia. Speedup [Online]. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Speedup> [2010, March 18]
- [13] Imamura, F., Yalciner, A. C., and Ozyurt, G. Tsunami Modeling Manual (TUNAMI model) [Online]. Disaster Control Research Center (DCRC) Tohoku University Japan, 2006. Available from: <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/projects/manual-ver-3.1.pdf> [2010, March 18]
- [14] กิตติพัฒน์ วิโรจน์ศิริ และวีระ เหมือนสิน. โปรแกรมแบบขนานเพื่อจำลองการเกิดคลื่นสึนามิ (Parallel Tsunami Simulation Program). โครงการทางวิศวกรรม วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [15] Kranf site: research. Small simple cross-platform free and fast C++ XML Parser [Online]. Available from: <http://www.applied-mathematics.net/tools/xmlParser.html> [2010, March 18]
- [16] Thai National Grid Center (TNGC). Tera Cluster [Online]. Available from: <http://tera.thaigrid.or.th/drupal/> [2010, March 18]
- [17] ClusterKit. Thai National Grid Project [Online]. Available from: http://www.clusterkit.co.th/tera_cluster.php [2010, March 18]
- [18] Rock Clusters. Tera Cluster [Online]. Available from: <http://www.rocksclusters.org/rocks-register/details.php?id=1167> [2010, March 18]
- [19] Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology. What is Tsubame? [Online]. Available from: <http://www.gsic.titech.ac.jp/en/tsubame> [2010, March 18]
- [20] TOP500 Supercomputing Sites. Tsubame Grid Cluster [Online]. Available from: <http://www.top500.org/system/8026> [2010, March 18]



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. Configuration file ของโปรแกรม

ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม

ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณโดยหลักประกอบด้วย

1. Z – การกระจัดของผิวน้ำในแกน Z
2. M – คลื่นในแนวแกน X
3. N – คลื่นในแนวแกน Y
4. DZ – ความลึกของน้ำ
5. DM – ความลึกของน้ำบริเวณหน้าคลื่นในแนวแกน X
6. DN – ความลึกของน้ำบริเวณหน้าคลื่นในแนวแกน Y

โดยที่ a หลังตัวแปรต่าง ๆ แทนค่าของตัวแปรนั้น ณ เวลา t-1 และ b หลังตัวแปรต่าง ๆ แทนค่าของตัวแปรนั้น ณ เวลา t

การเตรียมเพิ่มโครงแบบข้อมูลของโปรแกรม

เพิ่มโครงแบบข้อมูลของโปรแกรม (Data configuration file) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรม เพื่อให้สะดวกในการปรับเปลี่ยนข้อมูลสำหรับปัญหาที่มีหลายกรณีในการคำนวณ แทนการกำหนดค่าลงในโปรแกรมโดยตรง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้เพิ่มข้อมูลด้วยรูปแบบโครงสร้าง XML (eXtensible Markup Language File) หรือรูปแบบของรากต้นไม้ มาใช้ในการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ของปัญหาในแต่ละระดับความละเอียดสำหรับโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน ที่บรรจุตัวแปรต่าง ๆ ที่มีในโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ ซึ่งมีโครงสร้างหลักดังนี้

- <PTUNAMI>...</PTUNAMI> ข้อมูลทั่วไปทั้งหมดต้องถูกระบุภายใน tag นี้
- <REGION1>...</REGION1> ข้อมูลของ R1 ต้องถูกระบุใน tag นี้ ซึ่งอยู่ภายใต้ <PTUNAMI>...</PTUNAMI>
- <REGION2>...</REGION2> ข้อมูลของ R2 ต้องถูกระบุใน tag นี้ ซึ่งอยู่ภายใต้ <REGION1>...</REGION1>
- <REGION3>...</REGION3> ข้อมูลของ R3 ต้องถูกระบุใน tag นี้ ซึ่งอยู่ภายใต้ <REGION2>...</REGION2>

- <REGION4>...</REGION4> ข้อมูลของ R4 ต้องถูกระบุใน tag นี้ ซึ่งอยู่ภายใน <REGION3>...</REGION3>

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<PTUNAMI>
...
  <REGION1>
  ...
    <REGION2>
    ...
      <REGION3>
      ...
        <REGION4>
        ...
          </REGION4>
        </REGION3>
      </REGION2>
    </REGION1>
  </PTUNAMI>

```

รูปที่ ก-1 ตัวอย่างโครงสร้าง Configuration file

รายละเอียดของแต่ละ tag ย่อย

PTUNAMI

```

<DT1 value="4.0" />
<DT value="1.0" />
<NT1 value="9000" />
<NT2 value="4" />
<NF value="1" />
<NR value="1" />
<GX value="0.0001" />

```

```
<GX1 value="10" />  
<GG value="9.81" />  
<NTP value="60" />  
<KP value="6" />  
<XG value="87.016666666667" />  
<YG value="-9.9833333333333" />  
<TIDE value="0.000" />  
<FM value="0.025" />  
<TIMEFAULT value="indianocean.dat" />  
<BASEINPUTPATH value="../data/" />  
<BASEOUTPUTPATH value="../output/" />  
<TEMPPATH value="../temp/" />
```

REGION1

```
<PCOL value="1" />  
<PROW value="1" />  
<IF1 value="690" />  
<JF1 value="840" />  
<DS1 value="2.0" />  
<NDP1 value="1" />  
<NP1 value="0" />  
<ROWF value="1" />  
<COLF value="2" />  
<REG1NAME value="region1.dat" />  
<DEF1_1NAME value="deform1_1.dat" />  
<DEF1_2NAME value="deform1_2.dat" />  
<ZM1NAME value="zm1" />  
<PZ1NAME value="pz1" />  
<PM1NAME value="pm1" />  
<PN1NAME value="pn1" />  
<MM1NAME value="mm1" />
```

```
<NM1NAME value="nm1" />  
<ZMN1NAME value="zmn1" />  
<OUTZDIR value="Z1" />  
<OUTMDIR value="M1" />  
<OUTNDIR value="N1" />
```

REGION2

```
<PCOL value="1" />  
<PROW value="1" />  
<IF2 value="721" />  
<JF2 value="841" />  
<DX2 value="463.8" />  
<TH2 value="0.0" />  
<NDP2 value="1" />  
<NP2 value="0" />  
<L12 index="1" value="271" />  
<L12 index="2" value="481" />  
<L12 index="3" value="360" />  
<L12 index="4" value="585" />  
<REG2NAME value="region2.dat" />  
<DEF2NAME value="deform2.dat" />  
<ZM2NAME value="zm2" />  
<PZ2NAME value="pz2" />  
<PM2NAME value="pm2" />  
<PN2NAME value="pn2" />  
<MM2NAME value="mm2" />  
<NM2NAME value="nm2" />  
<ZMN2NAME value="zmn2" />  
<OUTZDIR value="Z2" />  
<OUTMDIR value="M2" />  
<OUTNDIR value="N2" />
```

REGION3

```
<PCOL value="1" />
<PROW value="1" />
<IF3 value="637" />
<JF3 value="469" />
<DX3 value="154.6" />
<TH3 value="0.0" />
<NDP3 value="1" />
<NP3 value="0" />
<L23 index="1" value="350" />
<L23 index="2" value="612" />
<L23 index="3" value="561" />
<L23 index="4" value="767" />
<REG3NAME value="region3_kl.dat" />
<DEF3NAME value="deform3_kl.dat" />
<ZM3NAME value="zm3" />
<PZ3NAME value="pz3" />
<PM3NAME value="pm3" />
<PN3NAME value="pn3" />
<MM3NAME value="mm3" />
<NM3NAME value="nm3" />
<ZMN3NAME value="zmn3" />
<OUTZDIR value="Z3" />
<OUTMDIR value="M3" />
<OUTNDIR value="N3" />
```

REGION4

```
<PCOL value="1" />
<PROW value="1" />
<IF4 value="643" />
<JF4 value="469" />
```

```

<DX4 value="51.5" />
<TH4 value="-50.0" />
<NDP4 value="1" />
<NP4 value="0" />
<L34 index="1" value="400" />
<L34 index="2" value="56" />
<L34 index="3" value="613" />
<L34 index="4" value="211" />
<REG4NAME value="region4_kl.dat" />
<DEF4NAME value="deform4_kl.dat" />
<ZM4NAME value="zm4" />
<PZ4NAME value="pz4" />
<PM4NAME value="pm4" />
<PN4NAME value="pn4" />
<MM4NAME value="mm4" />
<NM4NAME value="nm4" />
<ZMN4NAME value="zmn4" />
<OUTZDIR value="Z4" />
<OUTMDIR value="M4" />
<OUTNDIR value="N4" />

```

ส่วนที่ใช้ในการระบุการแบ่งพื้นที่การคำนวณในแนวตั้งและแนวนอนของแต่ละระดับที่มีอยู่ใน tag ของ REGION1 REGION2 REGION3 และ REGION4 คือ

```

<PCOL value="1" />
<PROW value="1" />

```

สำหรับ Configuration file ที่ใช้ระบุของพื้นที่ในการคำนวณที่มีมากกว่าหนึ่งโซน จะมีโครงสร้างของ Configuration file ดังรูปที่ ก-2

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
```

```
<PTUNAMI>
```

```
...
```

```
  <REGION1>
```

```
    ...
```

```
      <REGION2>
```

```
        ...
```

```
          <REGION3>
```

```
            ...
```

```
              <REGION4>
```

```
                ...
```

```
                  </REGION4>
```

```
                <REGION4>
```

```
                  ...
```

```
                  </REGION4>
```

```
            </REGION3>
```

```
          <REGION3>
```

```
            ...
```

```
              <REGION4>
```

```
                ...
```

```
                </REGION4>
```

```
          </REGION3>
```

```
        </REGION2>
```

```
      <REGION2>
```

```
        ...
```

```
          <REGION3>
```

```
            ...
```

```
              <REGION4>
```

```
                ...
```

```
                </REGION4>
```

```
            </REGION3>
```

```
          </REGION2>
```

```
        </REGION1>
```

```
</PTUNAMI>
```

รูปที่ ก-2 โครงสร้าง Configuration file สำหรับข้อมูลพื้นที่มากกว่าหนึ่งโซน

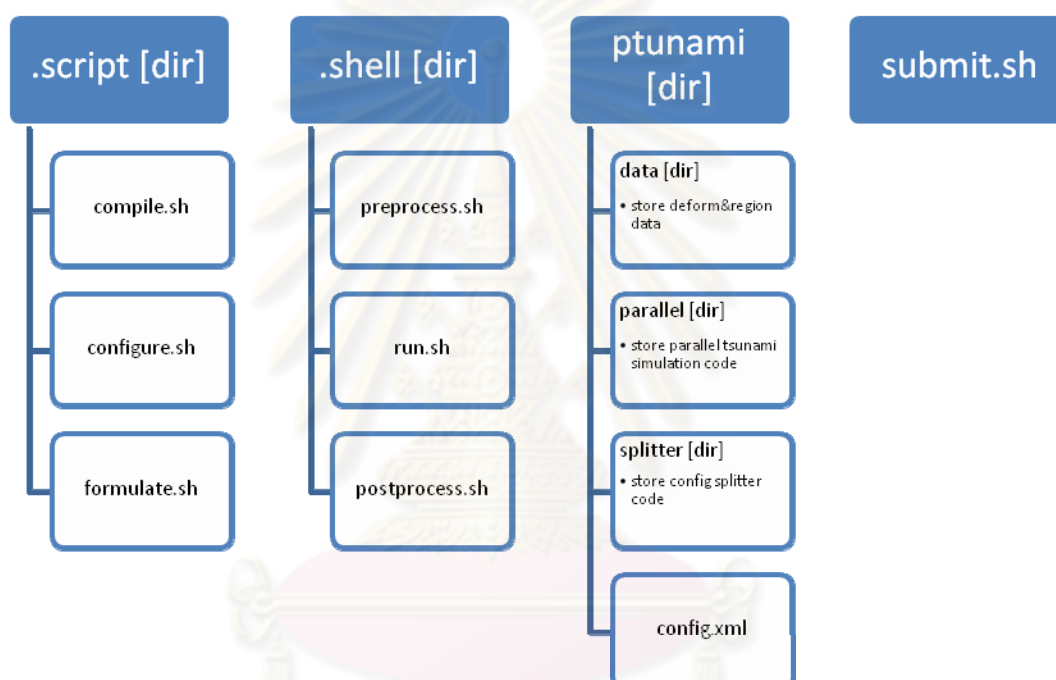
ภาคผนวก ข.

โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

Parallel Tsunami Simulation Manual

ส่วนประกอบของไฟล์

โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานประกอบด้วยไฟล์ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำงาน ดังรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 โครงสร้างของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

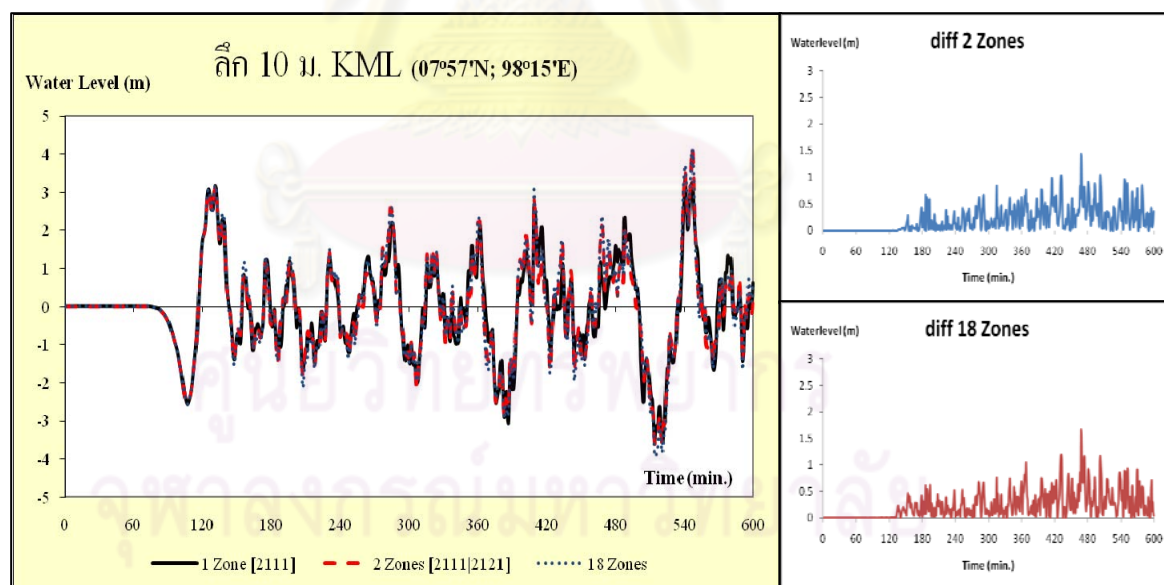
การใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานสามารถสั่งงานได้ด้วยคำสั่ง
./submit.sh [Cluster name] [Task name] [Config file] [TimeofJob]

- [Cluster name] – สามารถเลือกใช้งานได้ระหว่าง TERA หรือ TSUBAME
- [Task name] – ชื่องานสำหรับการส่งงานเข้าคิวบนคลัสเตอร์
- [Config file] – ตำแหน่งและชื่อของ Configuration file
- [TimeofJob] – กำหนดระยะเวลาสำหรับงานที่นานกว่า 30 นาที บน TSUBAME

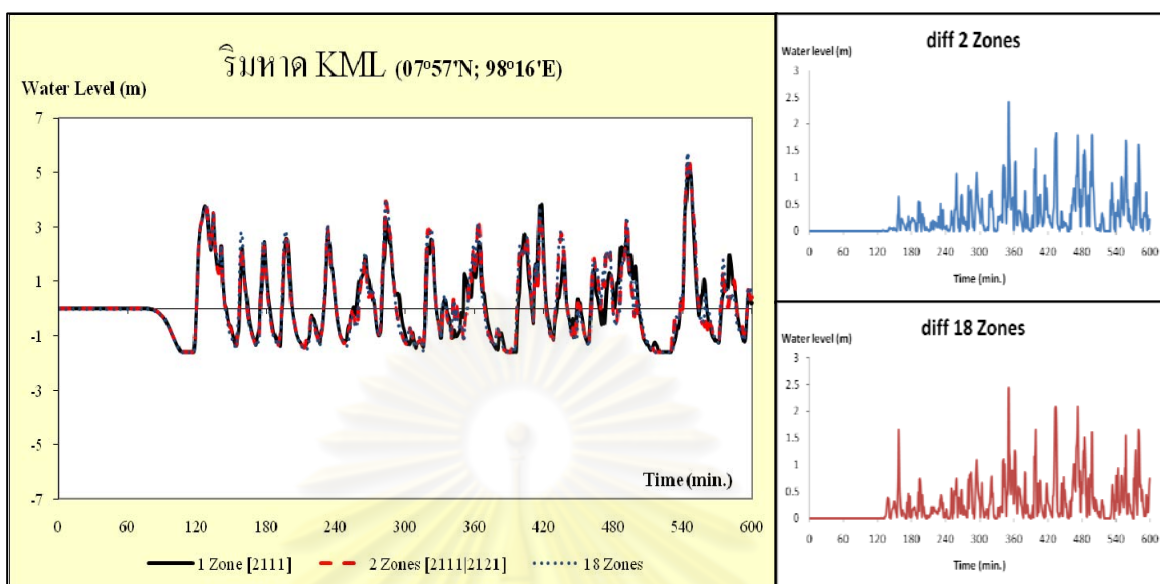
ผลการคำนวณของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

สำหรับผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนานในเรื่องความถูกต้องของผลการคำนวณเมื่อเทียบกับการคำนวณแบบลำดับแล้วพบว่า การคำนวณแบบขนานด้วยพื้นที่หนึ่งโซนมีผลการคำนวณถูกต้องตรงกับการคำนวณแบบลำดับ 100% ส่วนการคำนวณแบบขนานด้วยพื้นที่หลายโซนมีผลการคำนวณที่ต่างกับการคำนวณแบบลำดับในพื้นที่ระดับความละเอียด R2 R3 และ R4 เท่านั้น ซึ่งเป็นผลมาจากการรับข้อมูลจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างระดับความละเอียดที่มีเฉพาะที่ระดับความละเอียด R2 R3 และ R4 ยกตัวอย่างเช่น การคำนวณพื้นที่โซน 2111 และ 2121 พร้อมกัน ทำให้เกิดผลต่างของผลการคำนวณที่ได้จากการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซนที่ระดับความละเอียด R2 ตามรูปที่ ข-2 ถึงรูปที่ ข-11 ที่แสดงผลต่างของระดับน้ำในหน่วยเมตร ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปเป็นเวลา 600 นาที โดยใช้เส้นที่บแทนผลของการคำนวณแบบหนึ่งโซน และใช้เส้นประแทนผลของการคำนวณแบบหลายโซน ซึ่งมีเส้นประยาวแทนผลของการคำนวณแบบ 2 โซน และมีเส้นประสั้นแทนผลของการคำนวณแบบ 18 โซน พร้อมด้วยกราฟเส้นแสดงผลต่างของการคำนวณแบบหนึ่งโซน การคำนวณแบบหลายโซนทั้งสองแบบ

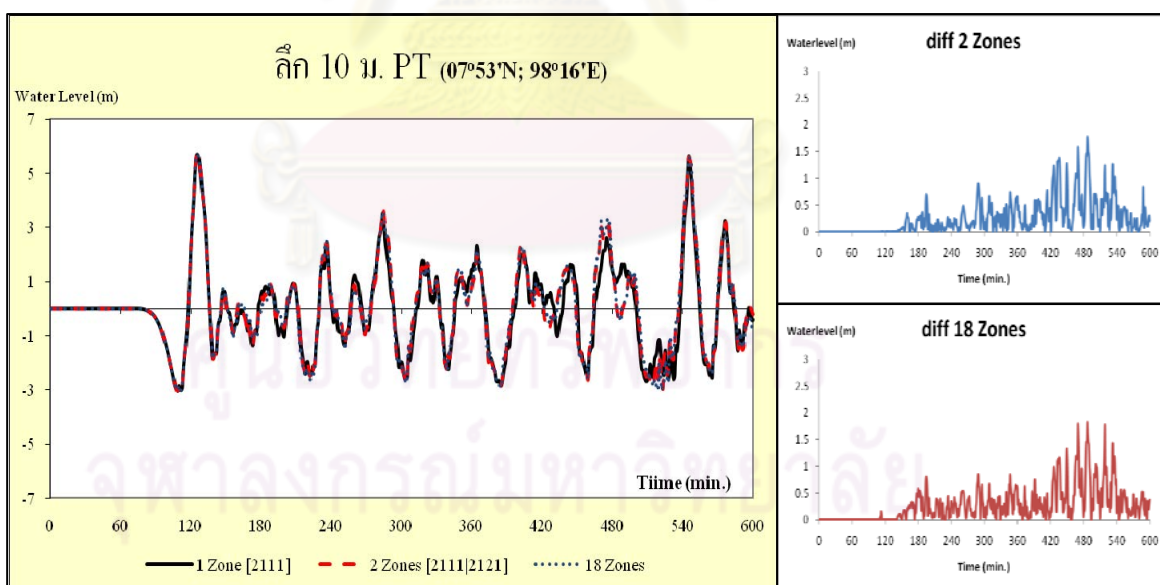


รูปที่ ข-2 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน

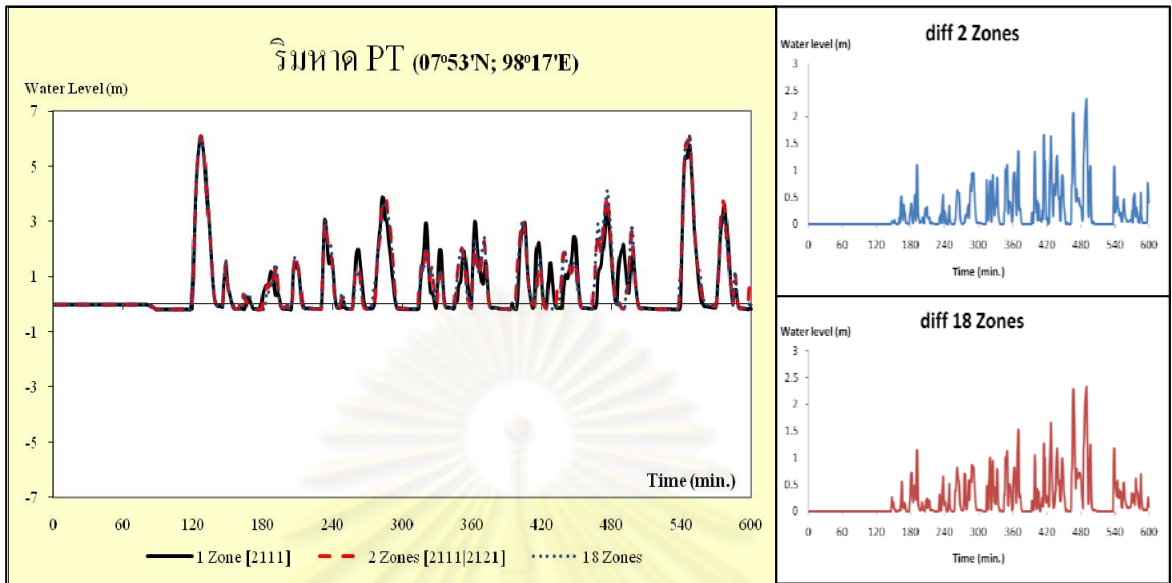
ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดกมลาของโซน 2111



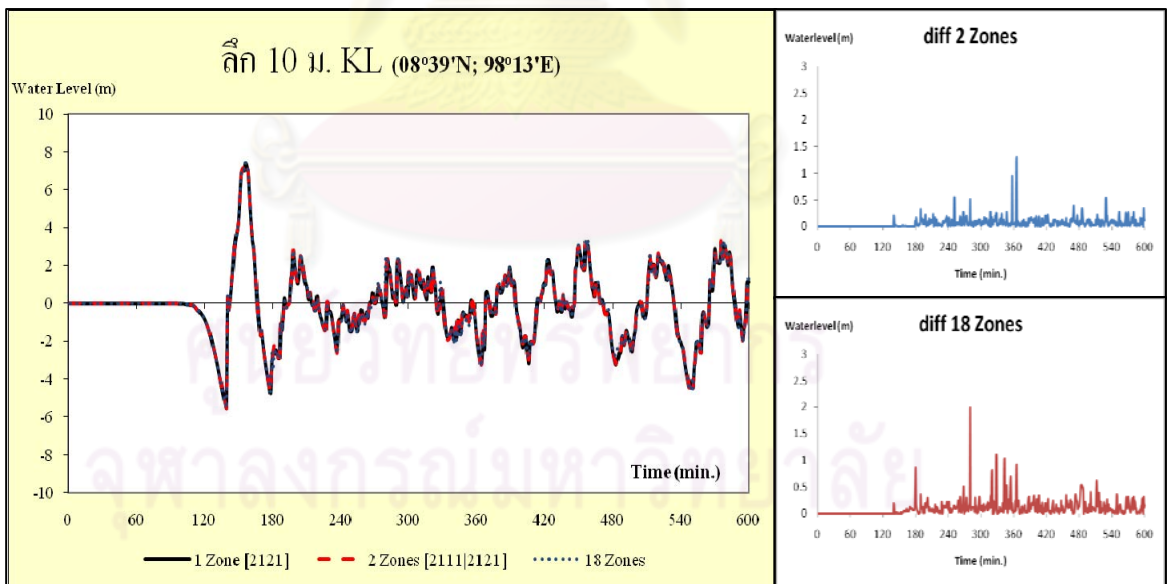
รูปที่ ข-3 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งริมหาดกมลาของโซน 2111



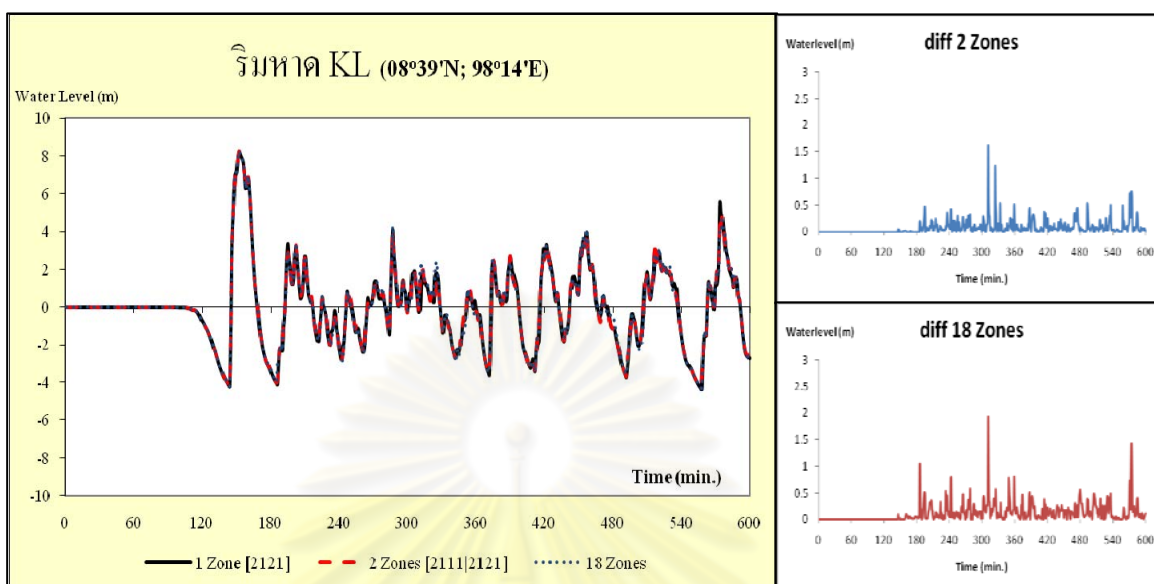
รูปที่ ข-4 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดป่าตองของโซน 2111



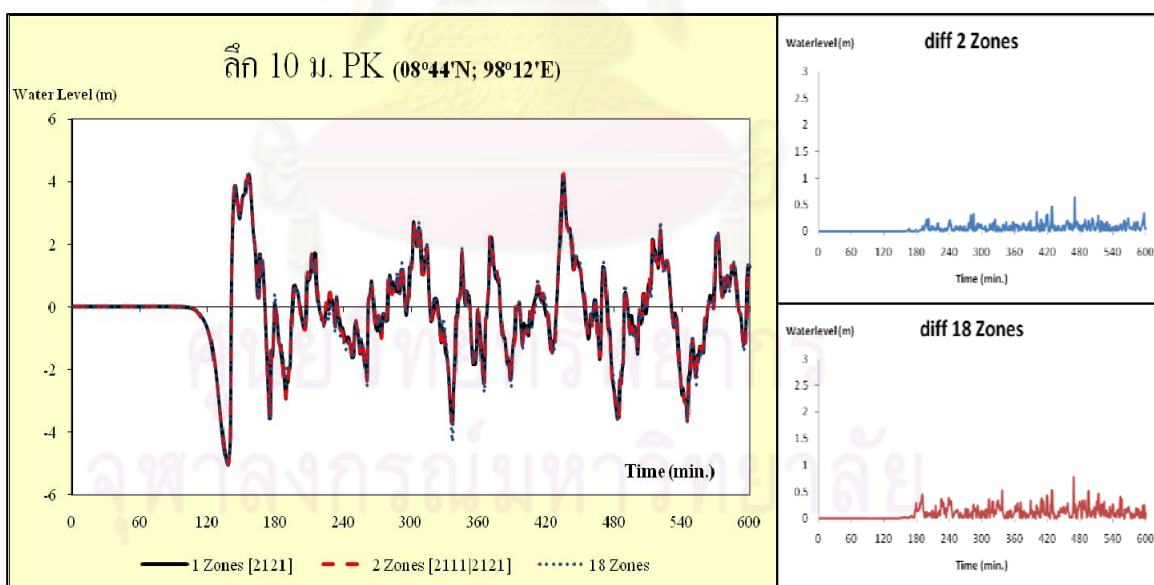
รูปที่ ข-5 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งริมหาดป่าตองของโซน 2111



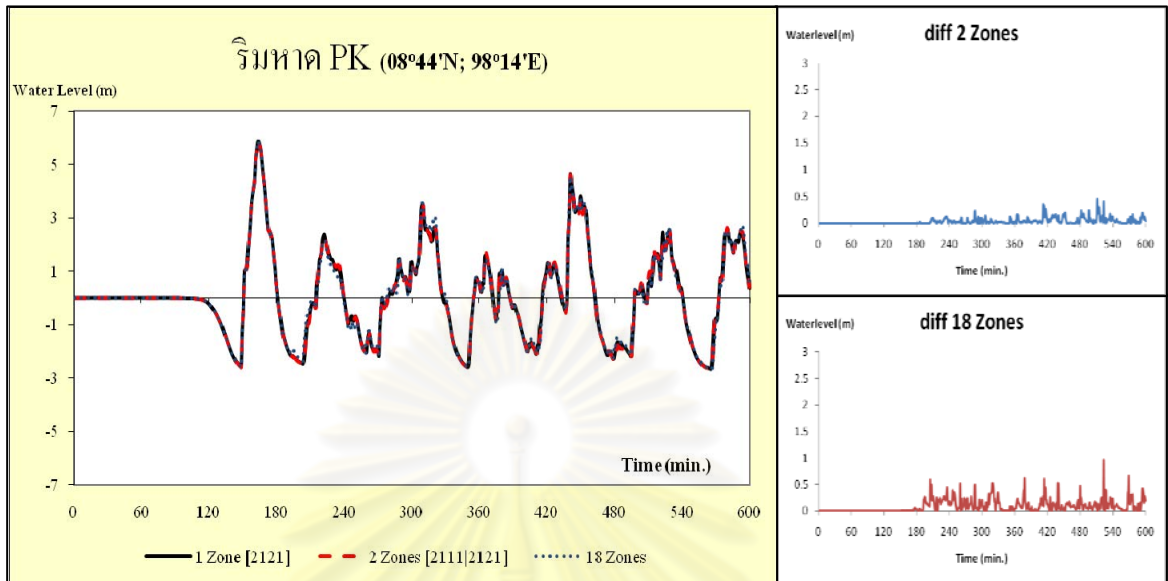
รูปที่ ข-6 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดเขาหลักของโซน 2121



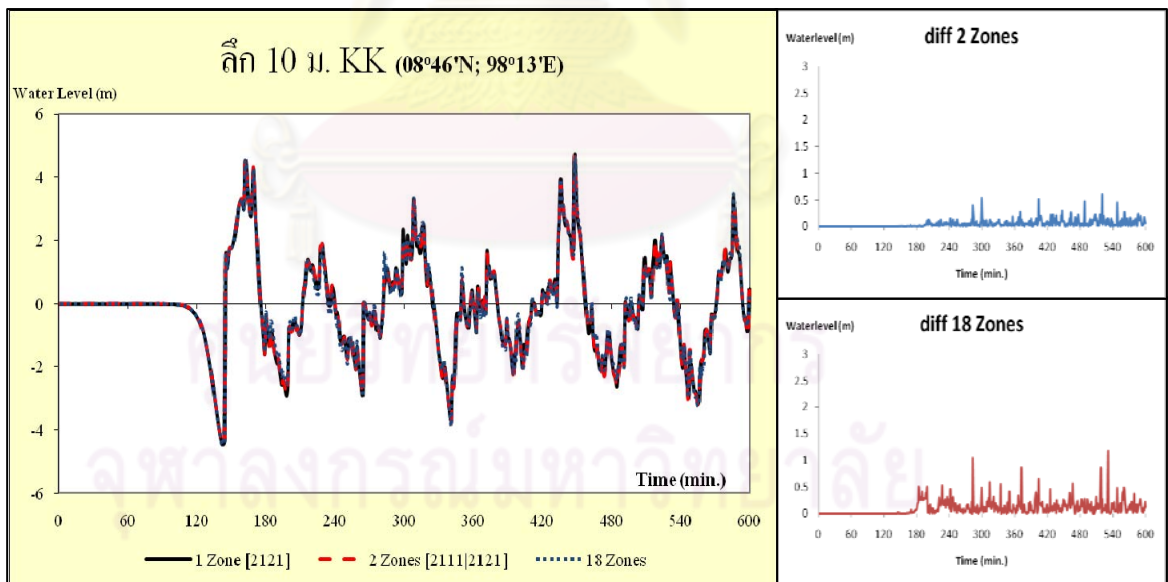
รูปที่ ข-7 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งริมหาดเขาหลักของโซน 2121



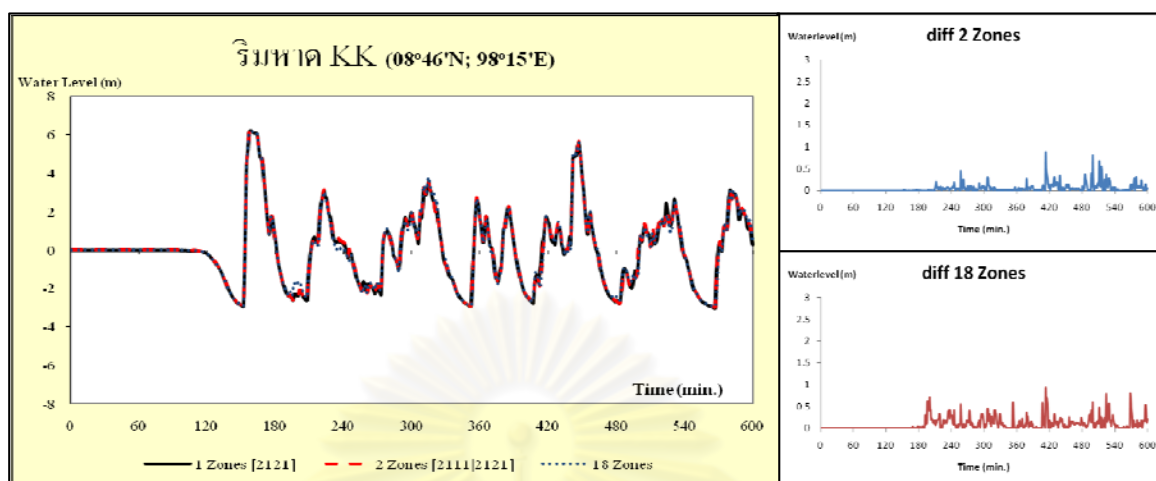
รูปที่ ข-8 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งลี้ก 10 เมตรจากหาดปะการังของโซน 2121



รูปที่ ข-9 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งริมหาดปะการังของโซน 2121



รูปที่ ข-10 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งลึก 10 เมตรจากหาดคึกคักของโซน 2121



รูปที่ ข-11 เปรียบเทียบผลการคำนวณแบบหนึ่งโซนกับการคำนวณแบบหลายโซน
ณ ตำแหน่งริมหาดคึกคักของโซน 2121

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิทธิกร ถาวรรัตนวณิช เกิดเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย