

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 การทดลอง

4.1.1 รูปแบบของการทดลอง

จากแนวคิดในการทดสอบได้นำมาทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมซึ่งมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

4.1.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ได้นำข้อมูลของพื้นที่จริงที่สำหรับการจำลองสินามิบางส่วนมาทำการทดสอบโดยให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงของทุกระดับความละเอียดจากในตารางที่ 2-1 และตารางที่ 3-1 โดยนำมาเฉพาะค่าที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรม ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-1 ที่แสดงขนาดและพิกัดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้สำหรับการทดลองของโปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบขนาน แต่สำหรับการทดลองของโปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบลำดับได้ใช้ข้อมูลทั้งหมดตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 พิกัดและขนาดของพื้นที่ในแต่ละระดับความละเอียดที่ใช้ในการทดลองสำหรับโปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

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
โปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

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
	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

เมื่อนำข้อมูลตัวอย่างที่ได้มาจัดตามรูปแบบของการทดสอบได้เป็นชุดข้อมูลสำหรับการทดลองตามตารางที่ 4-3 ที่แสดงชื่องานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด โดยมีตัวอักษร z ระบุจำนวนโซนที่คำนวณพร้อมกัน ตัวอักษร x ระบุว่าจำนวนหน่วยประมวลต่อหนึ่งระดับความละเอียด และตัวอักษร p ระบุลำดับของชุดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่มีจำนวนและพิกัดโซนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-3 ชื่องานและจำนวนหน่วยประมวลผลที่ใช้ของแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

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 MpiP และ MpiPView

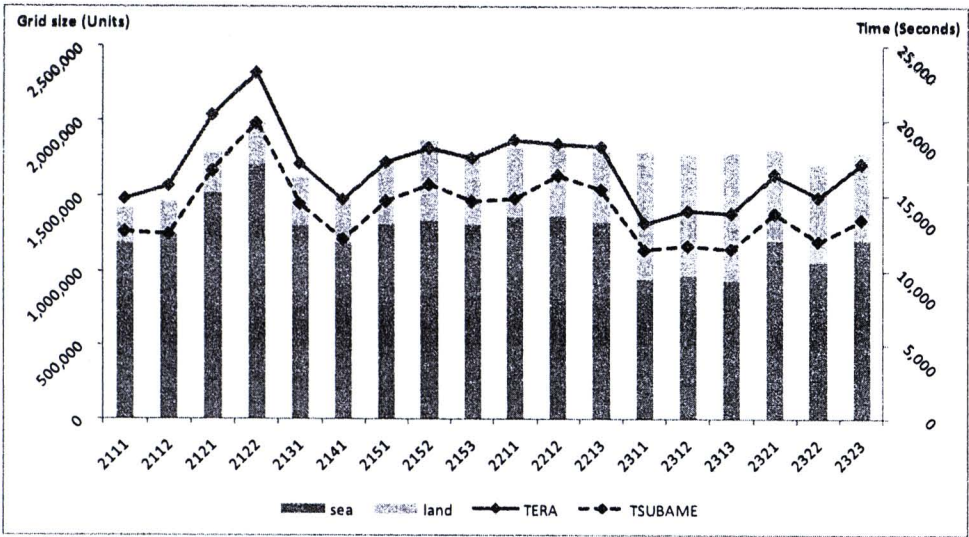
4. โปรแกรมเก็บข้อมูลการทำงานของโปรแกรมคำนวณแบบขนาน IPM และ Ploticus
5. ระบบคลัสเตอร์ TERA (TERA Cluster, Thai National Grid Center, Thailand) [16], [17], [18] – เป็นระบบคลัสเตอร์คอมพิวเตอร์ขนาด 800 หน่วยประมวลผล ด้วยซีพียู Intel EM64T Xeon 5050 3.00 GHz (6 GFlops) มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด 4,800 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

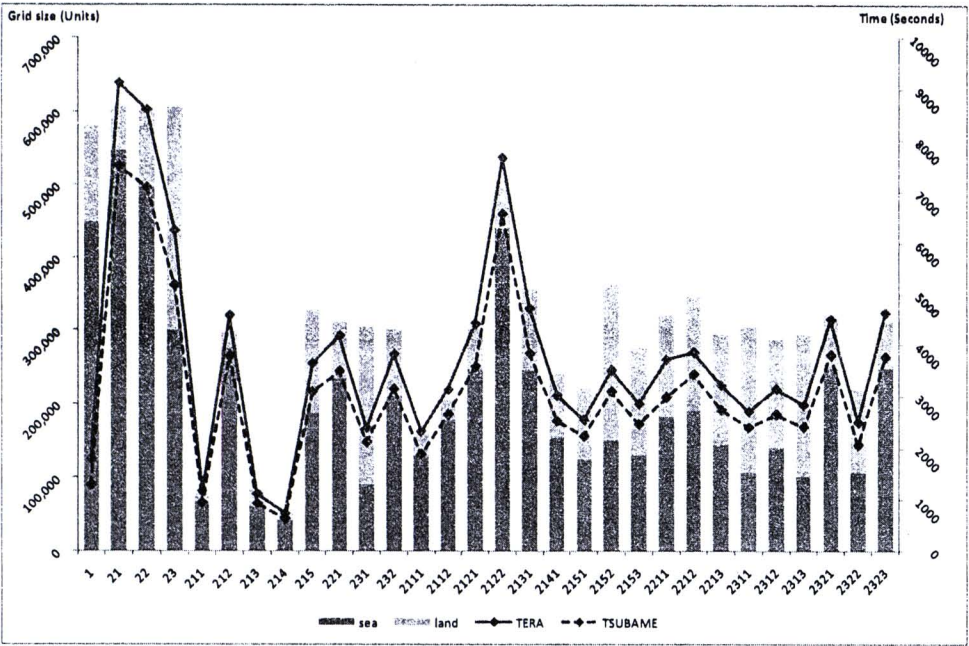
4.1.2.1 การทดลองด้วยโปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

การทดลองนี้ใช้โปรแกรมจำลองสินามิด้วยการคำนวณแบบลำดับที่ใช้การคำนวณหนึ่งโซนด้วยจำนวนหน่วยประมวลผลหนึ่งหน่วย ด้วยการทดลองบนระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME โดยใช้ข้อมูลทั้งหมดของการจำลองสินามิเพื่อนำมาเป็นฐานเวลาในการเปรียบเทียบและระยะเวลาที่ใช้จริง

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

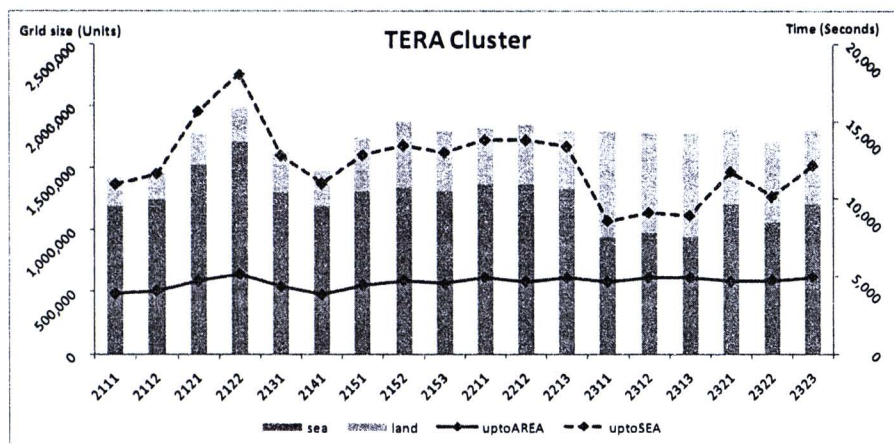


รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละโซนด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

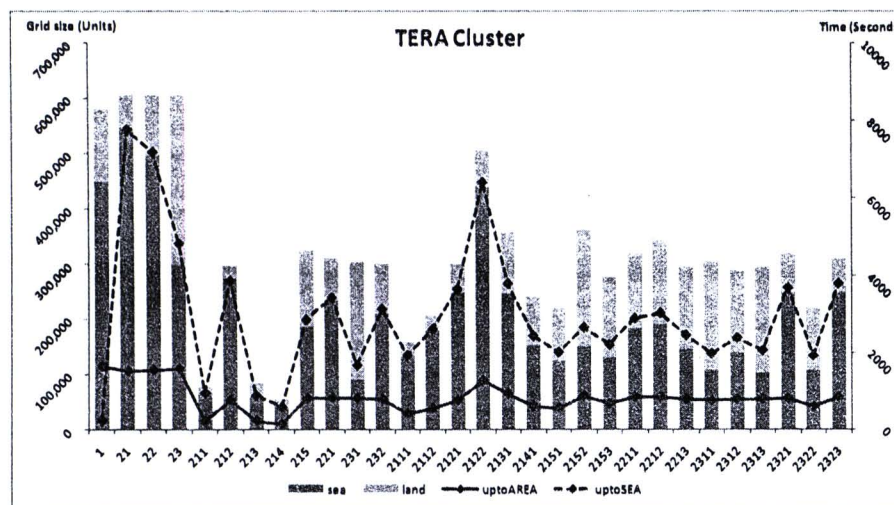


รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาแต่ละระดับความละเอียดด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

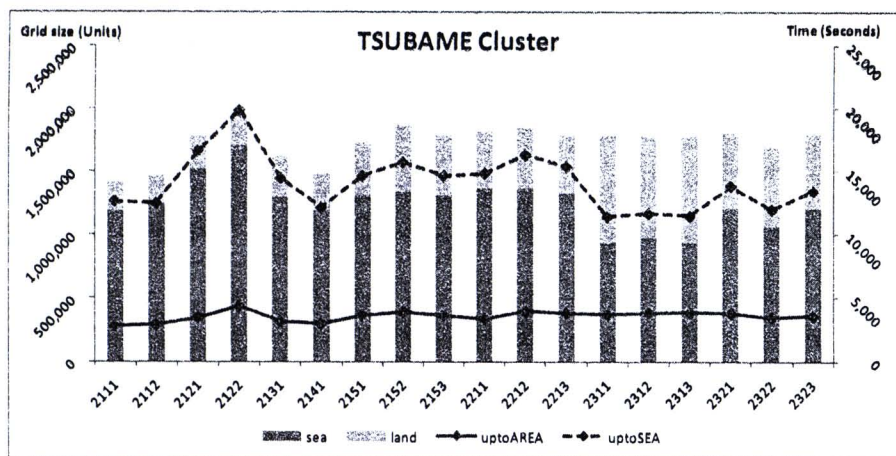
จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหา สามารถจำแนกเวลาที่ใช้งานได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ เวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด และเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA และระบบคลัสเตอร์ TSUBAME



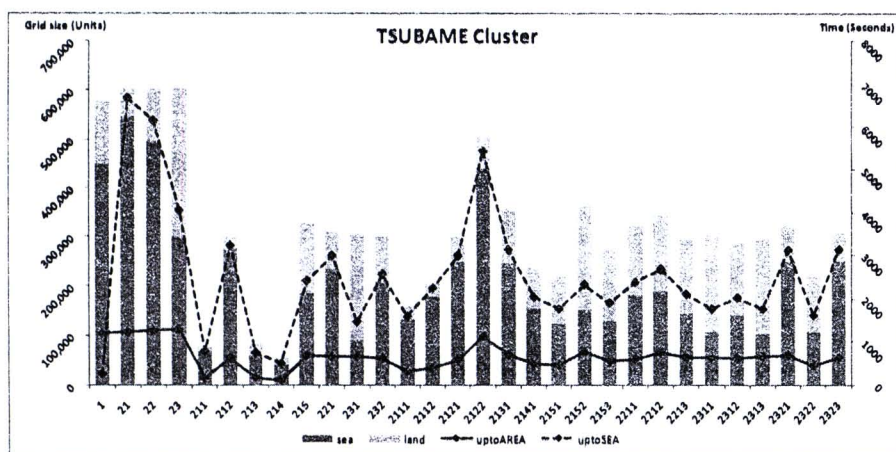
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA



รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TERA



รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด
เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละโซน
ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME



รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด
เวลาที่ใช้ของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำในแต่ละระดับความละเอียด
ด้วยการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ TSUBAME

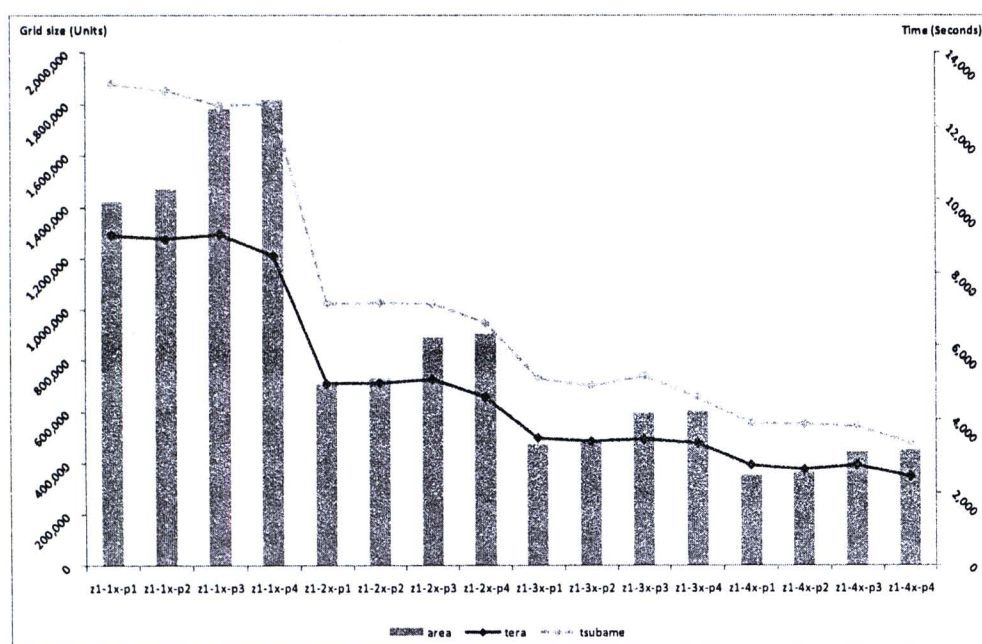
จากรูปที่ 4-3 ถึงรูปที่ 4-6 ที่ใช้กราฟเส้นทึบแทนเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด และกราฟเส้นประแทนเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะพื้นที่น้ำ โดยมีกราฟแท่งสะสมแสดงขนาดของปัญหาที่มีกราฟแท่งสีเข้มช่วงล่างแทนขนาดของข้อมูลพื้นน้ำ ส่วนกราฟแท่งสีอ่อนช่วงบนแทน

ขนาดของข้อมูลพื้นดิน โดยพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละรูปนั้นแปรผันตามกับขนาดของปัญหาที่ขึ้นต่อกันตามที่ได้จำแนกไว้

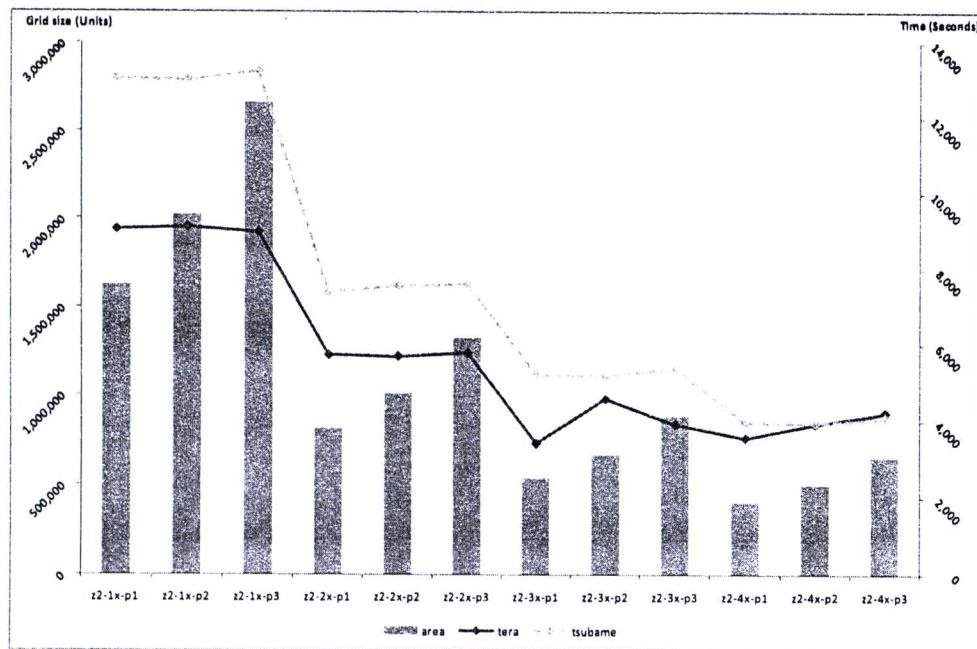
4.1.2.2 การทดลองด้วยโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนาน

การทดลองใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยการคำนวณแบบขนานที่ใช้การคำนวณตามแนวคิดในการทดสอบข้อ 2 – 5 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งออกด้วยจำนวนของหน่วยประมวลผล

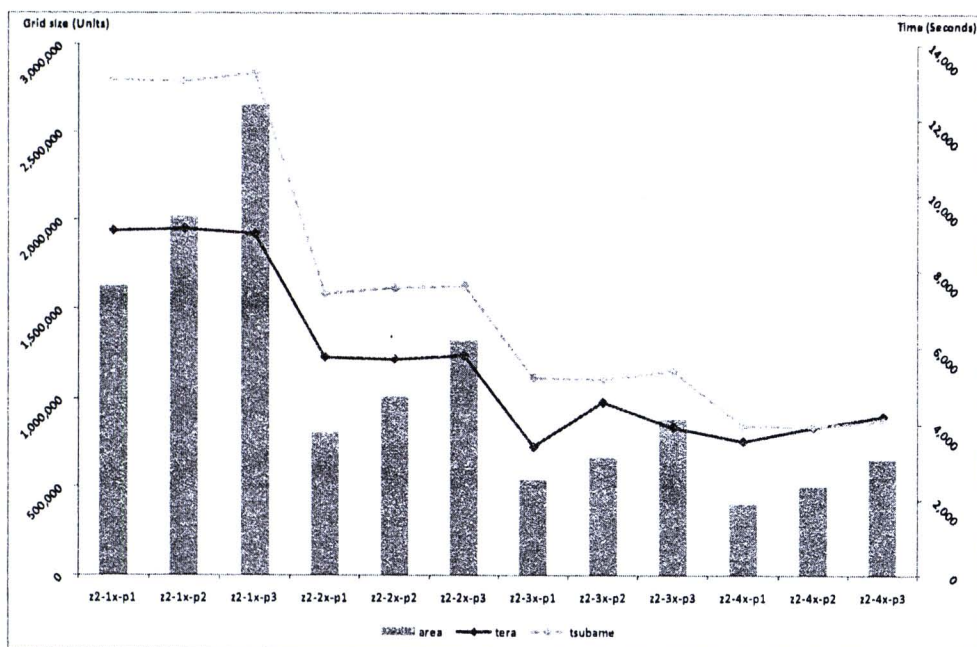
จากรูปที่ 4-7 ถึงรูปที่ 4-10 ใช้กราฟแท่งแสดงขนาดของปัญหาทั้งหมด และกราฟเส้นสี่เหลี่ยมแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยระบบคลัสเตอร์ TERA ส่วนกราฟเส้นสี่เหลี่ยมแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยระบบคลัสเตอร์ TSUBAME ซึ่งกราฟได้แสดงหน่วยของขนาดปัญหาเป็นจำนวนจุด และแสดงหน่วยของเวลาเป็นหน่วยวินาที



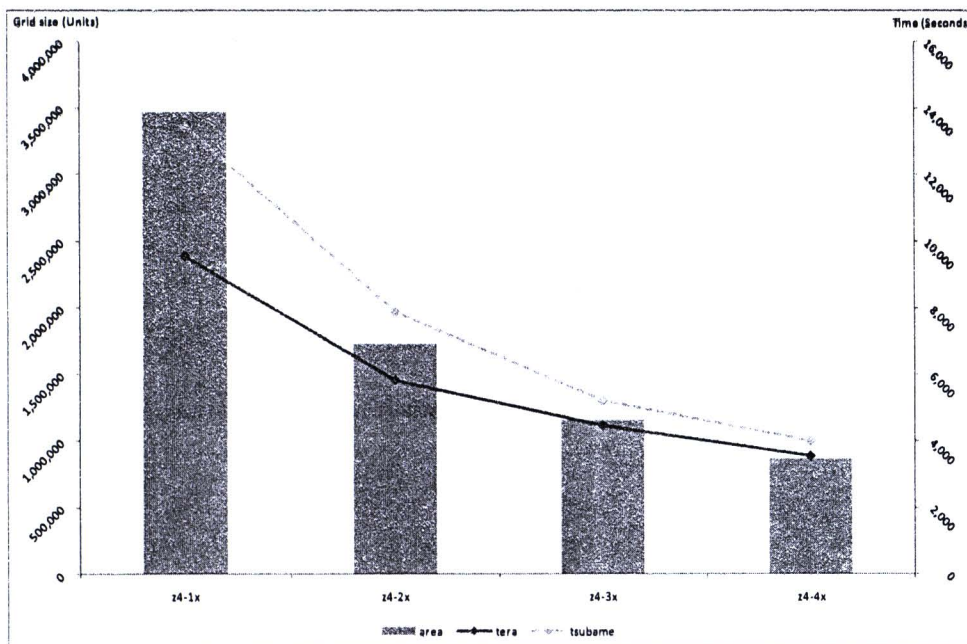
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณหนึ่งโซน



รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสองโหนด



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสามโหนด



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานสำหรับการคำนวณสีโทน

4.2 การวิเคราะห์ผล

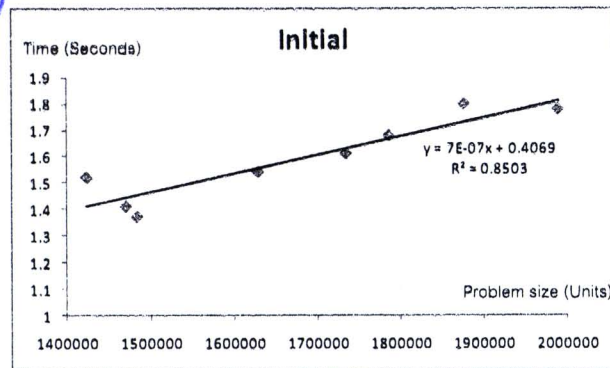
การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมด้วยข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลการทำงานของโปรแกรม โดยทำการวิเคราะห์ผลเฉพาะข้อมูลที่ได้จากการทดลองบนระบบคลัสเตอร์ TERA เท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสีนามิตด้วยการคำนวณแบบลำดับ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่สูงขึ้นกับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานของโปรแกรม พบว่าสามารถจำแนกผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.2.1.1 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาโดยรวมทั้ง 4 ระดับความละเอียด

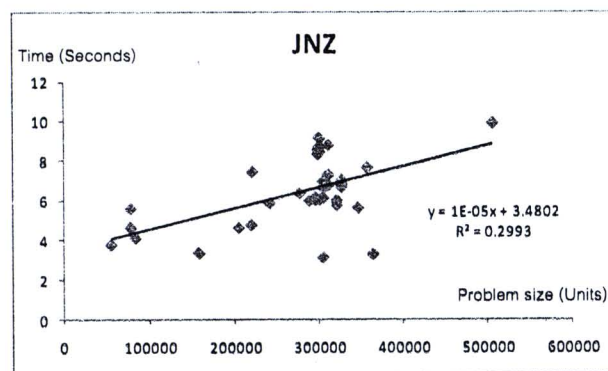
ส่วนการทำงาน INITIAL ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาโดยรวมทั้ง 4 ระดับความละเอียด ตามรูปที่ 4-11 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาโดยรวมมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงานนี้ คือ $T = 0.0000007At + 0.4988$ และมีค่า $R^2 = 0.4538$ โดยมีค่า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



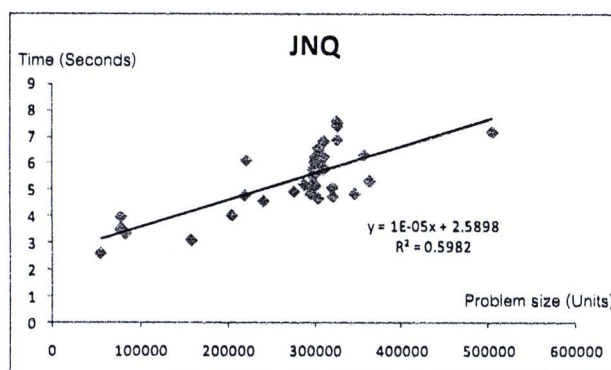
รูปที่ 4-11 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITAIL กับขนาดของปัญหาโดยรวม

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

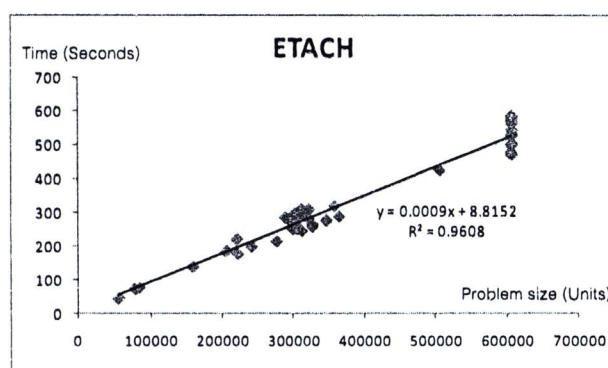


รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด



รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

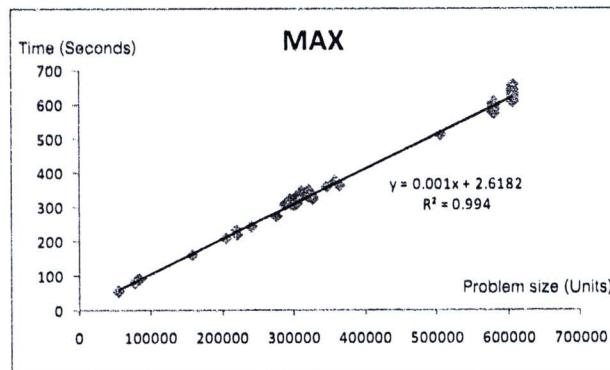
ส่วนการทำงาน ETACH (ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมด ตามรูปที่ 4-14 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน ETACH คือ $T = 0.0009A + 8.8152$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



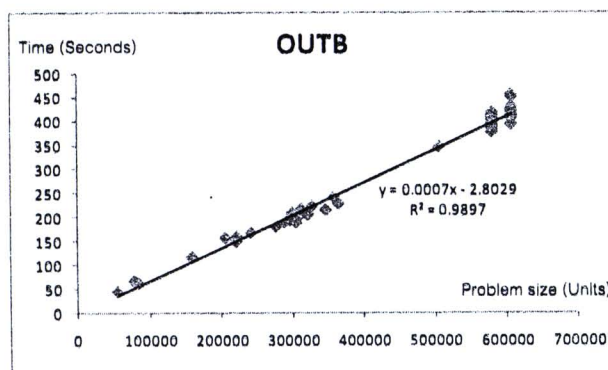
รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

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

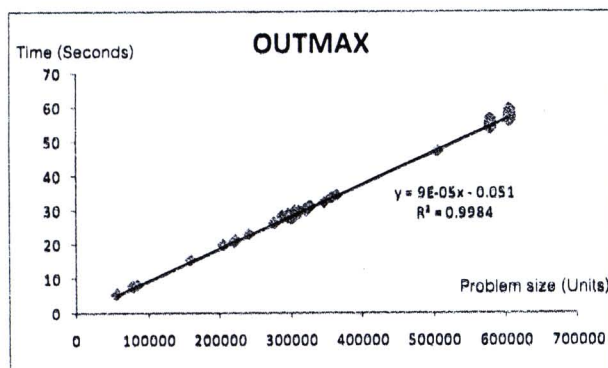
การทำงานของ OUTMAX คือ $T = 0.00009A - 0.051$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9984$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า A คือขนาดของปัญหาทั้งหมด



รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด



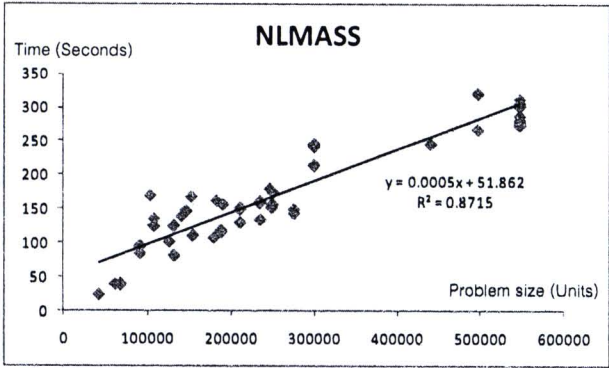
รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมด



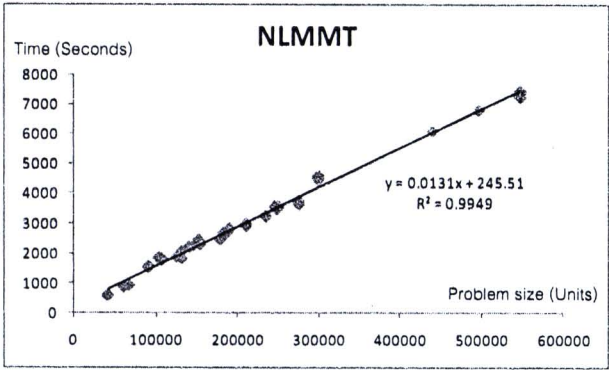
รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมด

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 $T = 0.0131As + 245.51$ และมีค่า $R^2 = 0.9949$ 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

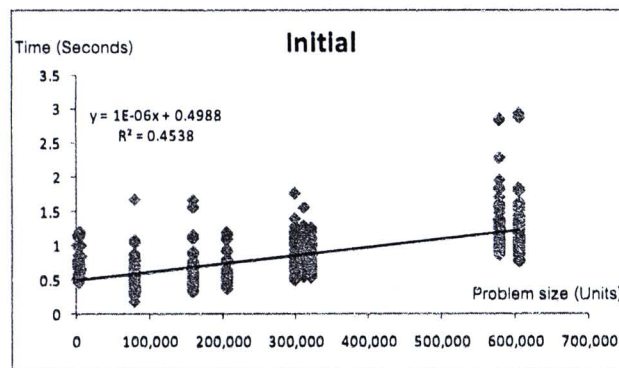
ส่วนการทำงาน MAMO (MASS, OPENBOUNDARY, AFDEFORM, MOMENT) INTERQT และ ETACH (ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R1 และส่วนการทำงาน JNQ_S2C สำหรับระดับความละเอียด R2 ที่ไม่สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาได้ เนื่องจากส่วนการทำงานที่ระดับความละเอียดนั้นมีขนาดของปัญหาเพียงขนาดเดียว 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 การวิเคราะห์ผลการทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลาที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานของโปรแกรม พบว่าสามารถจำแนกผลการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับขนาดของปัญหาตามส่วนการทำงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

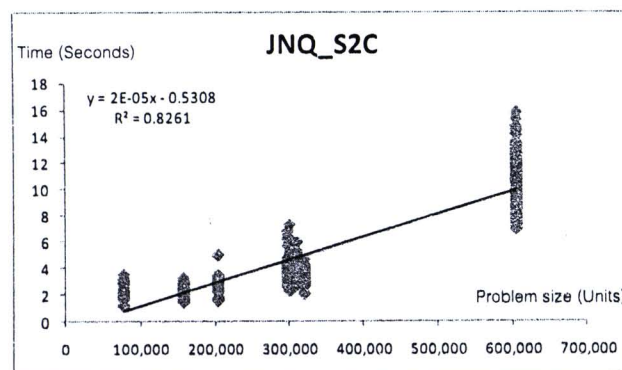
4.2.2.1 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

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

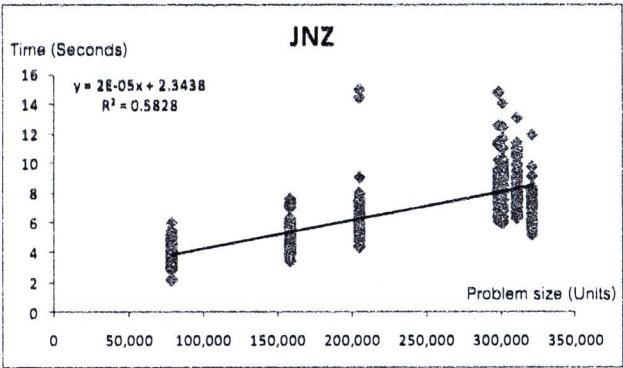


รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน INITIAL
กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

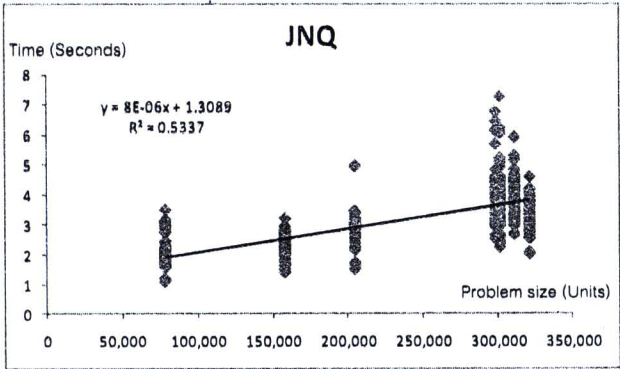
ส่วนการทำงาน JNQ_S2C JNZ และ JNQ สำหรับระดับความละเอียด R2 R3 R4 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด ตามรูปที่ 4-21 ถึงรูปที่ 4-23 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาทีได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน 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



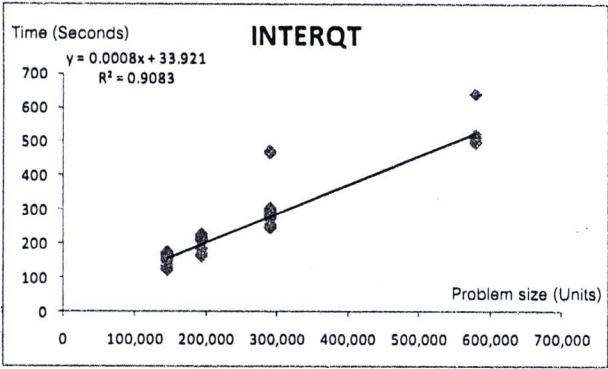
รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNZ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด



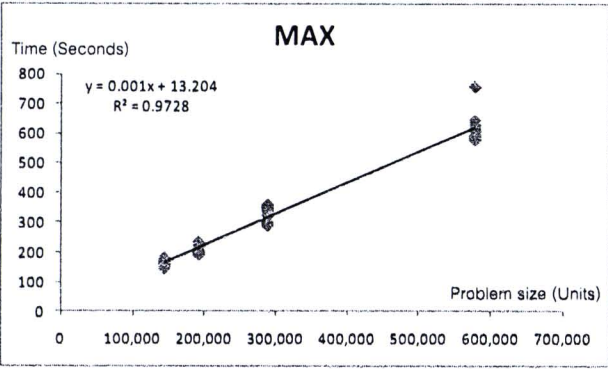
รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน JNQ กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละระดับความละเอียด

4.2.2.2 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

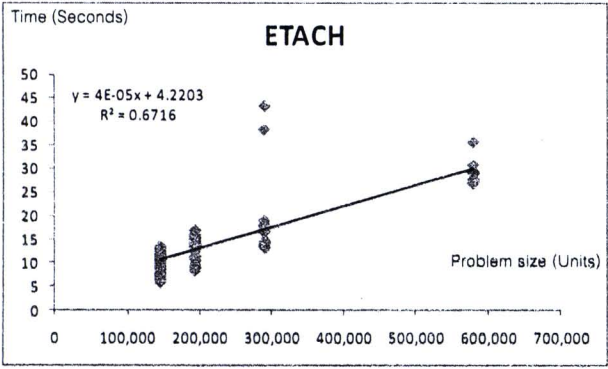
ส่วนการทำงาน INTERQT MAX และ ETACH (ETAMAP, CHANGE) สำหรับระดับความละเอียด R1 ที่เวลาที่ใช้ในการทำงานขึ้นกับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล ตามรูปที่ 4-24 ถึงรูปที่ 4-26 ที่มีแกน x แทนขนาดของปัญหาทั้งหมดมีหน่วยเป็นจุด และมีแกน y แทนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีหน่วยเป็นวินาที ได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน 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

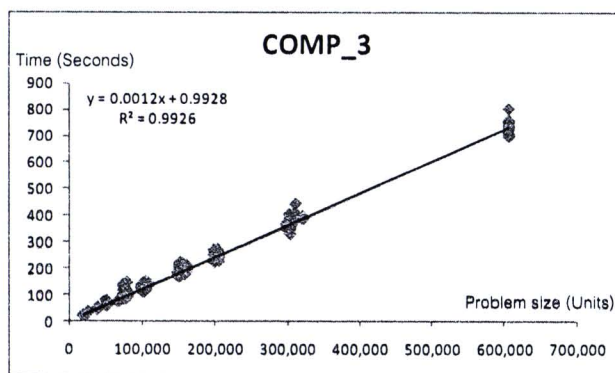


รูปที่ 4-25 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล



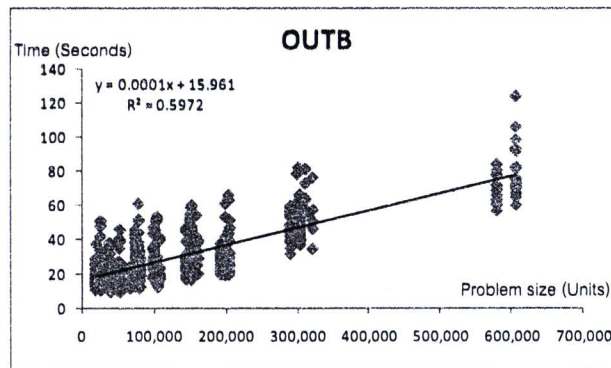
รูปที่ 4-26 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน ETACH กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

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 $T = 0.0012Ap + 0.9928$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9728$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า Ap คือขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

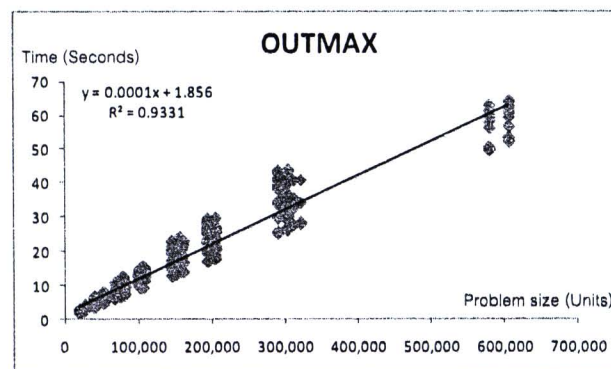


รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_3 กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

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



รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTB กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

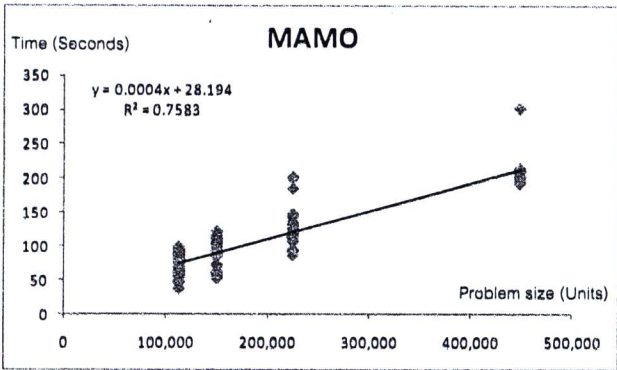


รูปที่ 4-29 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน OUTMAX กับขนาดของปัญหาทั้งหมดในแต่ละหน่วยประมวลผล

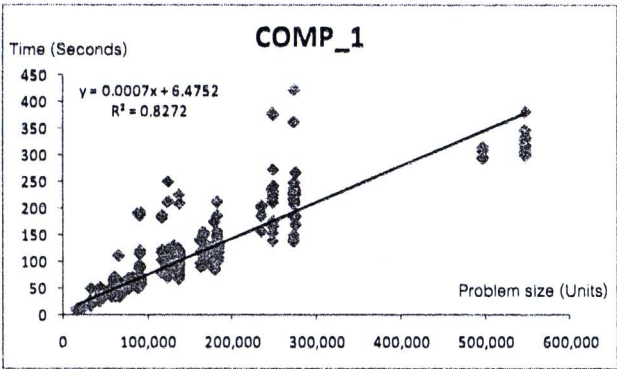
4.2.2.3 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล

ส่วนการทำงาน MAMO (preMASS, postMASS, preMOMENT, postMOMENT, AFDEFORM, OPENBOUND) สำหรับระดับความละเอียด R1 ส่วนการทำงาน COMP_1 (preNLMAS, postNLMAS) 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

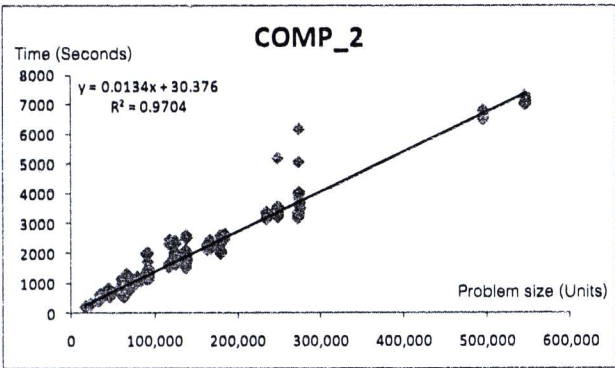
$T = 0.0007Aps + 6.4752$ ที่มีค่า $R^2 = 0.8272$ และได้สมการเชิงเส้นสำหรับส่วนการทำงาน COMP_2 คือ $T = 0.0134Aps + 30.376$ ที่มีค่า $R^2 = 0.9704$ โดยมีค่า T คือเวลาที่ใช้ และค่า Aps คือขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล (ค่า s คืออัตราส่วนของพื้นน้ำ)



รูปที่ 4-30 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน MAMO กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล



รูปที่ 4-31 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_1 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล

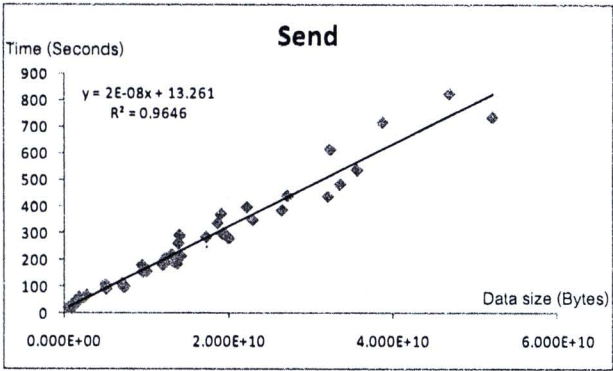


รูปที่ 4-32 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของส่วนการทำงาน COMP_2 กับขนาดของปัญหาเฉพาะส่วนของพื้นน้ำในแต่ละหน่วยประมวลผล

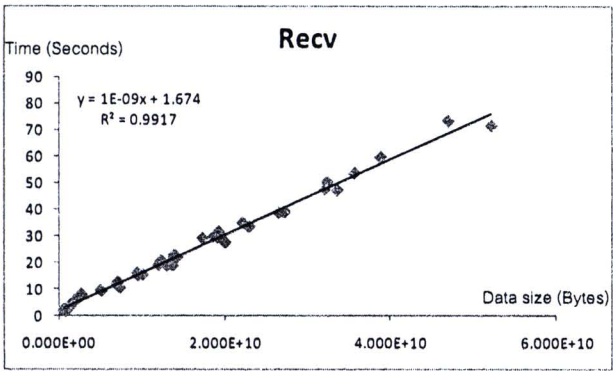
4.2.2.4 ส่วนการทำงานที่ขึ้นกับปริมาณข้อมูลในแต่ละครั้งของการติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยประมวลผล

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)

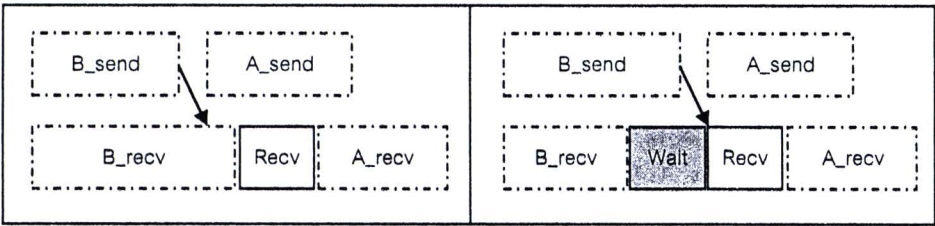
ส่วนการทำงานที่เกี่ยวกับการรอรับข้อมูลและการรอทำงานพร้อมกันระหว่างหน่วยประมวลผล อันได้แก่ Wait (MPI_wait) และ Barrier (S_Barrier, W_Barrier, E_Barrier) สำหรับทุกระดับความละเอียด สามารถหาเวลาที่ใช้งานได้จากการคำนวณเวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการทำงานของแต่ละช่วงที่ต้องมีการรอกันระหว่างหน่วยประมวลผล ที่ขึ้นกับขนาดของปัญหาและลักษณะของการแบ่งงานให้กับแต่ละหน่วยประมวลผล 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	NLMAS	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 ผลการประมาณเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

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	13,273.813	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 ซึ่งได้ใช้รูปแบบการวิเคราะห์เหมือนกับการวิเคราะห์การทำงานของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบลำดับ

$Y = aX + b$

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
จำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

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 ที่แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ขนาดของ

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 ทั้งนี้จำนวนหน่วยประมวลผลทั้งหมดที่ใช้ต้องไม่ถูกกำหนดให้มากหรือน้อยเกินไป 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 ไปหารขนาดของปัญหาตามแนวดิ่ง (Y) ที่ทำให้ได้ขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานคือ

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

เมื่อได้ค่า Ap ซึ่งเป็นขนาดของปัญหาที่ถูกแบ่งงานเรียบร้อยแล้ว ก็นำมาคิดหาเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนการทำงานต่าง 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 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

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
	dzbx(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 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียดของโปรแกรมจำลองสึนามิด้วยการคำนวณแบบขนาน

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	dzby(y)	R3	Yo	4	36000	2
	dzbx(x)	R3	Xi	4	36000	2
	mb(y)	R3	Yo+2	4	36000	2
	nb(x)	R3	Xi+2	4	36000	2
R3	dzby(y)	R4	Yo	4	36000	2
	dzbx(x)	R4	Xi	4	36000	2
	dzby(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	dzby(y)	R3	Yn	4	36000	2
	zb(x)	R3	Xi	4	36000	2

ตารางที่ 4-13 ปริมาณข้อมูล จำนวนครั้งในการรับส่งข้อมูล และเวลาที่ใช้ของการติดต่อสื่อสาร
ภายในระดับความละเอียดของโปรแกรม

R	X	B	Intra_1		Intra_2		Bottom Comm (P=2)		Intra_1		Intra_2		Middle Comm (P=2)		Intra_1		Intra_2		TOP Comm (P=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	2.464E+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	64.905
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	59.236
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	59.236
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	65.119
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	64.269
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

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

ตารางที่ 4-14 ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายนอกระดับความละเอียด

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 (Xi, Yi) ขอบเขตตามแกนตั้งที่อ้างอิงความยาวจากการแบ่งงานบนระดับความละเอียดที่ต่ำกว่า (Yo) 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		R1_1	R1_2	-	-	-	-	-	OUTMAX	
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 INTIAL 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		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 เพื่อวิเคราะห์ค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานที่เพิ่มขึ้นจากการคำนวณหลายโชนพร้อมกันตามที่ต้องการ ให้ได้เป็นเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดของโปรแกรม