



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการสร้างโมเดลและการพยากรณ์คลื่นในทะเล

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

โดย

ดร.ธวัช วีรุตติพงศ์ และคณะผู้วิจัย

1 พฤศจิกายน 2542

รายการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการสร้างโมเดลและการพยากรณ์คลื่นในทะเล

คณะผู้วิจัย	สังกัด	
1. ดร.ธวัช	วิรัตน์พงศ์	Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology
2. นอ.สอง	เอกมหาชัย	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
3. ดร.สมบูรณ์	พรพิเนตพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4. นท.กตัญญู	ศรีตังนันท์	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
5. นท.ประสิทธิ์	จันทร์	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
6. นต.บงกต	สโมสร	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
7. รท.วิริยะ	เหลื่องอร่าม	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
8. นายสมบูรณ์	เล็กผลิผล	ผู้เชี่ยวชาญกรมอุตุนิยมวิทยา
9. นายเกรียงไกร	ก่อวัฒนา	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
10. นายธวัช	แทนทำนุ	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
11. นายเกียรติชาย	ชัชวาล์วงศ์	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
12. นายสัมพันธ์	ไทยเครือวัลย์	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
13. นายประวิทย์	แจ่มปัญญา	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
14. นายทวีวัฒน์	นิลเพชรรัตน์	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
15. นายภูเวียง	ประคำมินทร์	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
16. นายบุญธรรม	ตั้งกล้าเลิศ	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
17. นางสาวสุกัญญาณี	ยะวิญชาญ	กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
18. นายวัฒนา	กันบัว	กองตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
19. Mr.Paul	Wittmann	FNMO
20. Dr.Ming	Xue	CAPS

สนับสนุนโดย
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการสร้างโมเดลและการพยากรณ์คลื่นในทะเล ได้ดำเนินการมาตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นโครงการภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ท่านรองปลัดกระทรวงคมนาคม นายสมิทร ธรรมสโรช ผู้ริเริ่มเสนอความเห็นว่าการอุดมศึกษา ควรจะมีการสร้างโมเดลคลื่นในเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามันและมีขีดความสามารถในการพยากรณ์คลื่นล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำด้วย โครงการนี้จึงได้เริ่มขึ้นมาคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อดีตปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม นายเกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา ที่เห็นความสำคัญให้การสนับสนุนและได้ชี้แนะให้มาติดต่อที่สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณ ศ.นพ.วิจารณ์ พานิช ดร.กำจร มงคลกุล และ รศ.สุชาดา ชินะจิตร ที่มองเห็นประโยชน์จากโครงการนี้ ให้การสนับสนุนและช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว จนทำให้โครงการนี้ประสบความสำเร็จลงได้คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ Max Planck Institute ของประเทศเยอรมันนี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Dr.Susan Haselmann และ Mr.Podzun ที่รับให้ สกว. เป็นสมาชิกของ Wam group และได้จัดส่ง source code ของ WAM รวมทั้งคู่มือการใช้งานมาให้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย ขอขอบคุณ Physical Oceanography Archive Center ของ Jet Propulsion Laboratory และ European space Agency ที่ได้ให้ข้อมูลสูงคลื่นจากดาวเทียม TOPEX / POSEIDON และดาวเทียม ERS-1 และ ERS-2 ขอขอบคุณโครงการ SEAWATCH สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้ข้อมูลสูงคลื่นที่วัดจากทุ่นลอย ขอขอบคุณ Meteorological and Environmental Library ของ US Navy ที่ได้จัดส่งข้อมูลมาให้ตลอดการทำงานของโครงการและยังคงให้ต่อหลังจากเสร็จสิ้นโครงการ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จัดส่งข้อมูลมาให้ตลอดการทำงานของโครงการและยังคงให้ต่อหลังจากเสร็จสิ้นโครงการ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากหน่วยงานที่กล่าว ข้างต้นคณะผู้วิจัยได้รับมาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ซึ่งต้องขอขอบคุณในความช่วยเหลือไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คำนำ

โครงการนี้ได้เริ่มขึ้นตามคำปรารภของ อธิการบดีกรมอุตุนิยมวิทยา คือ คุณสมิทธ ธรรมสโรช เมื่อคราวที่ท่านเดินทางมาเยี่ยมชมกิจการของ Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology ที่ Pasadena, California, USA ในปี 1994 โดยท่านมาร่วมอยู่ในคณะของท่าน รมช. กระทรวงคมนาคม คือ คุณสมศักดิ์ เทพสุทินและท่านรองปลัด สมบัติ อุทัยสง โดยคุณสมิทธ ได้บอกให้ทราบถึงความต้องการ ocean wave model เพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์คลื่นในเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามัน โดยในขณะนั้นได้มีโครงการที่พยายามสร้าง wave model เอง โดยทีมนักวิจัยของเมืองไทย ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ แต่ยังไม่ได้ผลดีพอที่จะนำไปใช้งานจริงได้

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อให้ดำเนินการวิจัยและพัฒนา ocean wave model เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานจริงเป็นประจำได้ โดยกำหนดเวลาในการทำการวิจัยรวม 3 ปี ลักษณะพิเศษของโครงการนี้ก็คือ มีการนำผู้ใช้คือ กรมอุตุนิยมวิทยาและกรมอุทกศาสตร์ ทหารเรือ มาร่วมทำการวิจัยและพัฒนาตั้งแต่เริ่มต้น จนถึงสิ้นสุดโครงการ นอกจากนี้ได้มีผู้เชี่ยวชาญจาก Jet Propulsion Lab (JPL), Fleet Numerical and Meteorological and Oceanography Center (FNMOOC) ของ US Navy และ Center of Analysis and Prediction of Storms (CAPS) มาร่วมอยู่ในทีมงานด้วย

โครงการนี้ไม่ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อสร้าง ocean wave model ใหม่เอง เพราะ ocean wave model เป็นของที่สลับซับซ้อนมากจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้เป็นจำนวนมากมาร่วมกันทำ และต้องใช้เวลานานมากกว่า 3 ปี และยังไม่แน่ว่าจะสามารถทำได้สำเร็จหรือเปล่า ดังนั้นวิธีการทำงานของโครงการนี้ก็คือ ศึกษา ocean wave model ที่ใช้งานและได้ผลดีที่ต่างประเทศ และนำมาปรับปรุงเพื่อนำมาใช้งานในเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ทั้งนี้เพราะว่า ocean wave model เป็น generic model กล่าวคือ เมื่อสามารถใช้ได้ผลดีในเขตหนึ่งแล้ว สามารถนำมาปรับปรุงใช้งานในเขตอื่นได้ทั่วโลก แนวทางอันนี้เชื่อว่าจะทำให้งานวิจัยและพัฒนาประสบความสำเร็จจนสามารถนำไปใช้งานได้ภายในเวลา 3 ปี

ในช่วงเสนอโครงการและในช่วงการดำเนินงานในช่วงแรกมีแผนที่จะศึกษา wave model 2 model คือ ocean wave model WAM ซึ่งพัฒนาจากทีมงานวิจัยของ Max Plank Institute

ของประเทศเยอรมันและ wave watch ซึ่งอยู่ในช่วงกำลังพัฒนาอยู่ที่กรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศอเมริกา คือ NOAA และจะทำการคัดเลือกเอามาใช้งานจริงเพียง 1 model ในปีที่สาม อย่างไรก็ตาม ในช่วงเริ่มทำงานมีเหตุวิกฤตการลดค่าเงินบาทขึ้นทำให้ต้องลดทีมงานที่อเมริกาส่งเพื่อตัดค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนแผนการทำงานโดยพิจารณาเลือกเพียง 1 model ตั้งแต่ต้นโดยได้คัดเลือก WAM model เพราะ model เป็นที่ยอมรับ และนำมาใช้งานเป็นประจำแล้วเกือบทั่วโลก ส่วน model wave watch กำลังอยู่ในช่วงพัฒนา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องตัดทีมงานของ NOAA ออกไป

การดำเนินงานของโครงการนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้มีการทำงานประสานงาน และร่วมมือกันดีระหว่างผู้เชี่ยวชาญที่ต่างประเทศ และผู้ใช้หรือผู้เชี่ยวชาญที่ประเทศไทย รวมถึงอาจารย์จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เนื่องจากทีมงานวิจัยได้ผลิตผลการวิจัยและข้อมูลต่าง ๆ มากมายนอกช่วงการทำงาน ทำให้ไม่สามารถนำมาเสนอได้หมดในรายงานนี้ อย่างไรก็ตาม ผู้สนใจ อาจจะขอดูผลงานที่เหลือทั้งหมดได้ที่รายงานผลทุก 6 เดือนของโครงการ และข้อมูลที่เก็บอยู่ใน data base ของทีมงานวิจัยทุกท่าน ผลงานจากโครงการนี้ได้นำไปใช้งานจริงแล้วที่กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ และกำลังอยู่ในช่วงทดลองการใช้งานที่กรมอุตุนิยมวิทยา

การสร้างโมเดลและการพยากรณ์คลื่นในทะเล

ธวัช วรรตติพงษ์ และทีมงานที่ FNMOG, CAPS, กรมอุตุนิยมวิทยา และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

การสร้างและการทดสอบโมเดลของคลื่นในเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ได้จัดทำเสร็จเรียบร้อยแล้วโดยโมเดลดังกล่าวได้จัดทำโดยการนำ wam model ที่ได้มาจาก Max Plank Institute ของประเทศเยอรมนี มาทำการดัดแปลงเพื่อให้ใช้ได้กับเขตอ่าวไทย และทะเลอันดามัน โมเดลของคลื่นนี้ ได้ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์คลื่นโดยใช้ข้อมูลพยากรณ์ลมที่ได้มาจาก Master Environmental Library ของ US, Department of Defense ซึ่งสามารถพยากรณ์ล่วงหน้า 120 ชม. และมี resolution 100 กม. นอกจากนี้ทีมงานได้ทดลอง RUN ข้อมูลลมที่มี resolution 40 กม. ด้วย แม้จะ resolution ของโมเดลจะสามารถทำได้ดีกว่า 45 กม. ชัดจำกัดขึ้นขึ้นอยู่กับ resolution ของลมที่ได้ซึ่งคาดว่าในอนาคตทางกรมอุตุนิยมวิทยาจะสามารถให้ข้อมูลลมพยากรณ์ที่มี resolution ถึง 25 กม. ได้

ผลของการคำนวณและพยากรณ์ความสูงของคลื่นในเขตประเทศไทย ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จากทุ่นลอยของโครงการ SEAWATCH ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และ เปรียบเทียบกับข้อมูลจากดาวเทียม TOPEX และ ดาวเทียม ERS-2 ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นความแม่นยำของโมเดลที่ทำได้เทียบเท่ากับ international standard

ได้มีการฝึกอบรมทีมงานที่เมืองไทยจนสามารถใช้โปรแกรมของโมเดลคลื่นนี้ในระบบ manual และ semi automatic mode นอกจากการใช้โมเดลในเขตประเทศไทยแล้ว เรายังมีข้อความสามารถที่จะดัดแปลงโมเดลให้ใช้ได้ในพื้นที่ไหนก็ได้ในโลกนี้ โมเดลของคลื่นนี้ ได้ถูกนำไปใช้งานจริงเป็นประจำที่กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ทหารเรือ และกำลังอยู่ในช่วงทดลองการใช้งานที่กรมอุตุนิยมวิทยา

การสร้างโมเดลและการพยากรณ์คลื่นในทะเล

ธวัช วรรตติพงศ์

Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, California, USA

ทีมงานจาก FNMOG, CAPS, กรมอุตุนิยมวิทยา, กรมอุทกศาสตร์ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การทำการวิจัยและพัฒนาของโครงสร้างโมเดลและการพยากรณ์คลื่นในทะเล ได้เสร็จสิ้นลงแล้วเมื่อ วันที่ 31 ตุลาคม 2542 รวมเวลาทำงานวิจัย 2 ปี 9 เดือน โดยผลงานที่ได้จากโครงการนี้ได้นำไปใช้งานจริงเป็นประจำทุกวัน ที่กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ นอกจากนี้ทางกองทัพเรือได้นำ ผลของการพยากรณ์คลื่นไปติดบน webpage ของกองทัพเรือเป็นประจำทุกวันด้วย อาจจะกล่าวได้ว่าหน่วยงานที่ทำงานทางด้านพยากรณ์คลื่นนี้จะเป็นหน่วยงานถาวรของกองทัพเรือ ซึ่งตรงกับจุดมุ่งหมายของ สกว. ที่ต้องการให้ผลของการวิจัย และพัฒนาได้ถูกนำไปใช้งานจริงและเป็นประโยชน์ต่อสังคม

สำหรับกรมอุตุฯ ได้มีนักอุตุฯ จากกองพยากรณ์อากาศและกองตรวจอากาศ, กรมอุตุฯ เข้าร่วมทำงานวิจัย และร่วมรับการฝึกอบรมการใช้โปรแกรมพยากรณ์คลื่น จนสามารถทำได้ด้วยตัวเองทั้งระบบ manual และระบบ semi automatic mode รวม 5 ท่าน และที่สามารถทำเฉพาะแบบ Semi automatic mode อีก 3 ท่าน ขณะนี้กรมอุตุฯ กำลังอยู่ในช่วงทดลองการใช้งาน โปรแกรมพยากรณ์คลื่นนี้อยู่ และผลไม่เป็นที่แน่ชัดว่ากองไหนจะรับผิดชอบทำงานทางด้านพยากรณ์คลื่นโดยใช้โปรแกรมพยากรณ์คลื่นที่ได้รับไปจากโครงการนี้ อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการ RUN โปรแกรมพยากรณ์คลื่นได้ถูกนำเสนอที่ห้อง brief room ของกรมอุตุฯ เกือบทุกวัน เป็นที่น่ายินดีในการประชุมทางวิชาการ 2 ครั้ง คือ The 9th International Conference on Advanced Science and Technology Exchange with Thailand ที่จัดขึ้นที่ Washington, D.C. เมื่อวันที่ 21 - 22 พฤษภาคม 2542 และการประชุมที่จัดขึ้นอีกครั้งที่โรงแรม Empress กรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 21 - 22 กรกฎาคม 2542 โครงการนี้ได้รับการคัดเลือกเป็นโครงการ

ตัวอย่างที่ถือว่าเป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จและได้ไป present โครงการนี้ในที่ประชุมรวมของการประชุมทั้ง 2 ครั้ง

ผลงานหลักของโครงการนี้พอจะสรุปได้ตามลำดับดังนี้

1. ได้ทำการศึกษาและคัดเลือก ocean wave โมเดล คือ WAM โมเดลมาเป็นโมเดลหลัก เพื่อนำมาดัดแปลงใช้กับพื้นที่ของประเทศไทย ได้ทำการติดต่อของ WAM source code จาก Mas Plank Institute ของประเทศเยอรมันนี และ สกว. ได้จดทะเบียนเป็น WAM user อย่างถูกต้อง ทีมงานที่อเมริกาและทีมงานที่เมืองไทย ได้ร่วมกันดัดแปลง WAM โมเดลที่ได้มาจนสามารถใช้ได้ในเขตอ่าวไทย และทะเลอันดามัน และได้ทดลอง RUN และ ตรวจสอบผลจนเป็นที่พอใจแล้วจึงจัด workshop เพื่อฝึกสอนทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติต่อทีมงานจนมีผู้สามารถใช้ wam โมเดลได้รวมทั้งสิ้น 12 ท่าน นอกจากนี้ได้ทำการฝึกสอนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถให้ใช้ wam โมเดลนอกเขตประเทศไทย หรือในเขตพื้นที่ที่ไหนก็ได้ในโลกนี้

2. เนื่องจากการพยากรณ์ความสูงของคลื่นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพยากรณ์ลม และทีมงานยังไม่สามารถเอาข้อมูลลมจากโครงการ supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยา เพราะโครงการล่าช้า (ปรากฏว่าหลังจากโครงการนี้สิ้นสุดลงเมื่อเดือนตุลาคม 2542 โครงการ supercomputer ก็ยังไม่เสร็จและไม่มีข้อมูลลม) ดังนั้นทีมงานที่อเมริกาจึงได้ติดต่อ Defense Modelings Simulation Office ของ US Department of Defense เพื่อขอเป็นสมาชิกและขอรับข้อมูลพยากรณ์อากาศอย่างเป็นทางการจาก Master Environmental Library (MEL) โดยขอให้ MEL ใส่ชื่อของกองทัพเรือของประเทศไทย และกรมอุตุนิยมวิทยาเข้าไปใน computer system ของ MEL และให้ส่งข้อมูลมาให้โดยอัตโนมัติทุกวัน เป็นที่น่ายินดีว่าได้รับการตอบรับเป็นสมาชิกและส่งข้อมูลมาให้โดยไม่ต้องเสียเงิน เนื่องจากเรามีปัญหาทางด้าน networking ที่เมืองไทยทำให้การส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติจากอเมริกามีปัญหาในบางครั้ง ทำให้ต้องเปลี่ยนเป็นวิธี link จากเมืองไทยเข้าไปหา MEL แทน ซึ่งได้ผลดี และได้ทำติดต่อกันมาเกือบทุกวัน ตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงปัจจุบันและยังทำต่อไปอีกหลังจากโครงการได้เสร็จสิ้นลงแล้ว

3. ได้ทำการ RUN WAM โมเดลโดยใช้ข้อมูลลมที่มี resolution 110 กิโลเมตร ที่สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้ 5 วัน นอกจากนี้ยังได้ RUN โมเดลโดยใช้ข้อมูลลมที่มี resolution 45 กิโลเมตรแต่สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้ แค่ 2 วัน ในการตรวจสอบความแม่นยำของโมเดลจะใช้ข้อมูลทั้ง 2 อย่าง แต่จะเน้นการใช้ข้อมูล 110 กิโลเมตรมากกว่าในอนาคต เมื่อ supercomputer

ของกรมอุตุนิยมวิทยาได้ติดตั้งใช้งานเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราจะมีข้อมูลที่มี resolution 2.5 กิโลเมตร และพยากรณ์ล่วงหน้าถึง 5 วัน

4. เพื่อทดสอบความแม่นยำของโมเดล ได้มีการเปรียบเทียบข้อมูลที่คำนวณได้จากโมเดล กับข้อมูลที่วัดได้ จาก 3 แหล่ง คือ ข้อมูลที่วัดโดยดาวเทียม TOPEX, ดาวเทียม ERS-2 และข้อมูลที่วัดจากทุ่นลอย ของโครงการ SEAWATCH ของสภาวิจัยแห่งชาติ โดยได้ทำการเปรียบเทียบเป็นเวลามากกว่า 1 ปี จากผลการเปรียบเทียบสรุปได้ว่า ความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ของ international standard การพยากรณ์ในช่วง 24 ชม.แรกจะมีความแม่นยำสูง และความแม่นยำจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อช่วงการพยากรณ์นานขึ้นเป็น 48 ชม. และ 72 ชม. ตัว WAM โมเดลเองมีความถูกต้องดี (ถ้าใช้ในเขตนํ้าลึกกว่า 10 เมตร) ดังนั้นความแม่นยำของการพยากรณ์จึงขึ้นอยู่กับความแม่นยำของข้อมูลที่ใส่เข้าไป เนื่องจากข้อมูลที่ได้จาก MEL เป็น Global data ซึ่งบางครั้งอาจมีความคลาดเคลื่อนในเขตอ่าวไทย ดังนั้นจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเมื่อโครงการ supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะสามารถให้ข้อมูลลมพยากรณ์ที่มีความละเอียดสูงและมีความถูกต้องมากขึ้น

5. ได้ทำการปรับแต่ง parameter ของโมเดลโดยเฉพาะอย่างยิ่ง bottom friction เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่การใช้งานในเขตอ่าวไทย และได้ทำการศึกษาข้อจำกัดของโมเดลในเขตนํ้าตื้น โดยได้พบว่าโมเดลจะมีความแม่นยำสูงในเขตนํ้าลึกกว่า 30 เมตร และความแม่นยำจะค่อย ๆ ลดลง และจะลดลงอย่างรวดเร็วมากเพื่อนํ้าตื้นกว่า 10 เมตร ดังนั้นโมเดลจะใช้ไม่ได้ในเขตใกล้ชายฝั่ง การปรับปรุงโมเดลเพื่อให้ใช้ได้ ในเขตนํ้าตื้นกว่า 10 เมตร จำเป็นต้องใช้เวลาในการวิจัยอีกมาก และจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญพิเศษมาช่วยด้วย ซึ่งงานนี้อยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของโครงการนี้

6. ทางด้านกิจกรรมทางวิชาการและการเผยแพร่ผลงานทีมงานได้มี publication รวม 2 ฉบับ ได้มีการประชุมสัมมนาและแถลงผลงานต่อสถาบันการศึกษา, หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง, ในงานประชุมทางวิชาการ, รายการโทรทัศน์และสถานีวิทยุรวมทั้งสิ้น 24 ครั้ง ได้จัดให้มีการทำ workshop และฝึกอบรมรวมทั้งสิ้น 4 ครั้ง

Ocean Wave Modeling and Forecasting

Tawatt Veruttipong

Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology

4800 Oak Grove drive, Pasadena, CA 91109, USA.

Team member from FNMOC, CAPS, Hydrological Department, Thai
Meteorological Department and Prince Songkla University

Abstract

The development, validation and calibration of the ocean wave model for the Gulf of Thailand and Andaman Sea was completed. The model was modified from the WAM model obtained from Max Plank Institute, Germany. This wave model has been used to forecast ocean wave height in conjunction with an input forecast wind data. The wind data was obtained from the Master Environmental Library (MEL), US Department of Defense. The 100-km and 45-km resolution ocean wave forecasting systems were successfully operated and tested. Even though, the model could be used at a higher (better) resolution than 45-km resolution, the limitation is still at the resolution of the available input wind data. It is expected that Thai Meteorological Department could produce a five-day forecast wind data with 25- km resolution soon.

The forecast wave height obtained from the model has been compared with three independent observation data: buoy data obtained from the SEAWATCH project of National Research Council and data from the TOPEX and ERS-2 satellites. The comparison results reveal that the accuracy of the forecast wave height obtained from our model is the same as of an international standard.

The workshop and hand-on training sessions were conducted with the end-users and team member in Thailand so that they are able to use the ocean wave forecast system in both manual and semi-automatic modes. Besides using the model in the region of Thailand, the team in Thailand has the capability of modifying the model for any region in the world. The model developed from this project has been used operationally at the Weather forecast Department, Royal Thai Navy and is in the testing stage at the Thai Meteorological Department.

Ocean Wave Modeling and Forecasting

Tawatt Veruttipong

Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology
4800 Oak Grove drive, Pasadena, CA 91109, USA.

Team member from FNMOC, CAPS, Hydrological Department, Thai
Meteorological Department and Prince Songkla University

Executive Summary

The three-year research and development on the ocean wave modeling and forecasting was completed. The model developed from this project has been used operationally at the Weather Forecast Department, Royal Thai Navy. The forecast data is also shown daily on the Royal Thai Navy Website. The ocean wave forecasting is now become a permanent task of the Royal Thai Navy. This should support the goal of the Thai Research Fund that wishes to see result from its research funding to be used by end-users and benefit to the public. For the Thai Meteorological Department (TMD), There were meteorologists from Weather Forecast Section and Weather Observation Section working in this project. Several hand-on training were provided to the meteorologist at the TMD and they are now able to run the WAM program on both manual and semi-automatic modes. The TMD is now in the process of accessing and testing the model. It is not certain which section of the TMD will take responsibility on the ocean wave forecast using this WAM model. Nevertheless, the ocean wave height forecast produced by the WAM model has been presented in the weather forecast brief room of the TMD everyday.

It is a pleasure to inform that this project has been selected as one of the successful projects (two projects were selected) in two conferences: The 9th International Conference on the Advanced Science and Technology Exchange with Thailand at Washington D.C. on May 21-22, 1999 and the same conference at Bangkok, on July 21-22, 1999. Our team member were invited to present the highlights of this project in the plenary sessions of both conferences.

Significant Events and Major Accomplishments

1. Selection and Modification of the Ocean Wave model

Various ocean wave models had been investigated. The WAM model developed by Max Plank Institute had been selected and will be used throughout these

project's activities. Thai Research Fund (TRF) sent a letter to request for a WAM source code from the Max Plank Institute and the request was granted. The WAM source code was sent to TRF which was then forward to the team member. The TRF has also been registered as an official WAM user since 1997 and is eligible for a free software upgrade in the future. The WAM model was modified by the team so that it could be used for ocean wave prediction in the Gulf of Thailand and the Andaman Sea. After the WAM program was working and results were properly evaluated, workshop was conducted with the team member in Thailand on basic theory and hand-on training on how to use the WAM program. In addition, the team in Thailand was trained to be able to modify the WAM model for any region in the world.

2. Acquisition of the Forecast Wind data

In order to forecast a wave height, WAM program needs a forecast surface wind data. Since the supercomputer project at the TMD is delayed and it is not certain when will it be able to provide the wind data to this project. Therefore it is essential to find the wind data from other sources. Our team member had contacted Defense Modeling and Simulation Office, US Department of Defense and requested for the forecast wind data form the Master Environmental Library (MEL) and the request was accepted. We also asked MEL to automatically push the wind data to the computers at the Royal Thai Navy and TMD. We are also able to manually access wind data from MEL if there is a problem with the automatic down-loading system.

3. Running WAM at Low and High Resolutions

The team in Thailand had successfully run the WAM program using both five-day forecast 100-km resolution wind data and two-day forecast 45-km resolution. In the future, we should be able to use a more accurate five-day forecast, 25-km resolution wind data from the TMD supercomputer.

4. Validation of the Model

In order to test the accuracy of our model, we compared our predicted results to three independent observation data which are: the buoy data from the SEAWATCH project of National Research Council and two observation data from TOPEX and ERS-2 satellites. The comparison results reveal that the accuracy of our predicted data is within international standard. The accuracy of the wave forecast is dependent upon the forecast skill of the Numerical Weather Prediction (NWP) model. In general, the forecast skill will decrease with forecast time. Currently the WAM is using surface wind prediction from the MEL global NWP model, with a grid resolution of about 100 km. It is hoped that the a regional NWP model will be implemented operationally on the TMD supercomputer. This model will be able to forecast mesoscale phenomena such

as coastal winds, sea breeze, and tropical storms. It is hoped that the wind data from the TMD mesoscale NWP model will provide a more accurate wind forecasts which will resulted in a more accurate prediction of the ocean wave height in the future.

5. Model Calibration

The model has been calibrated and tested so that it will work properly in the Gulf of Thailand. There was also a study on the limitation for the WAM model for a shallow water and it is found that the error of the WAM model increases very rapidly when the depth of the ocean floor is less than ten meters. In order to make the program work reasonably well in the shallow water, it requires a major modification of the model and related computer source code, which is beyond the scope of this project.

6. Educational and Public Relation Activities

Several of our team member have involved in many educational and public relation activities. We have two papers presented in two conferences in Bangkok. Our team member presented results from our model to audiences at universities, government agencies and technical meetings in Thailand. We were also received invitations for interviews and participated in several TV and radio show programs and newspapers as well.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
คำนำ	(2)
บทคัดย่อ	(4)
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	(5)
ABSTRACT	(8)
EXECUTIVE SUMMARY	(9)
สารบัญ	(12)
สารบัญรูป	(14)
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีของโมเดลคลื่นในทะเล	5
2.1 ทฤษฎีแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Wave Model (WAM)	5
2.2 ข้อจำกัดของ WAM	14
3. วิธีการดำเนินการ	24
3.1 การพัฒนา WAM โมเดล	24
3.2 การศึกษาโครงสร้างของการทำงานของ WAM โมเดล	25
3.3 ขั้นตอนการทำงานอย่างสังเขป	30
3.4 การทดสอบเทียบข้อมูลความลึกของท้องทะเล	31
3.5 การ RUN Model เพื่อทดสอบ	32
3.6 ขั้นตอนการทำงานของ WAM อย่างละเอียด	35
3.7 การพัฒนา Script File	39
3.8 การจัดเก็บข้อมูลไว้เพื่อการศึกษาในอนาคต	39
3.9 การพัฒนารูปแบบการแสดงผลของภาพที่ได้จากการ RUN Model	40
3.10 The Implementation of the Numerical Weather Prediction (NWP)	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. การทดสอบ WAM Program	43
4.1 Comparison with TOPEX data	43
4.2 Comparison with ERS-2 data	44
4.3 การเปรียบเทียบกับข้อมูลหุ่นของสทววิจัย	61
5. การนำผลงานไปใช้งานจริง	67
5.1 การใช้งานที่กรมอุทกศาสตร์ ทหารเรือ	67
5.2 การทดลองการใช้งานที่กรมอุตุนิยมวิทยา	68
6. กิจกรรมทางวิชาการ และการเผยแพร่ผลงาน	69
6.1 สิ่งตีพิมพ์	69
6.2 การประชุมสัมมนาและแสดงผลงาน	69
6.3 การฝึกอบรม	71
7. References	73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1a การทดสอบแบบจำลองด้วยความเร็วลม 5 ม/วินาที บนพื้นน้ำที่ลึกสม่ำเสมอ 99 ม. เมื่อเวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง	15
รูปที่ 1b การทดสอบแบบจำลองด้วยความเร็วลม 5 ม/วินาที บนพื้นน้ำที่ลึกสม่ำเสมอ 99 ม. เมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง	16
รูปที่ 1c การทดสอบแบบจำลองด้วยความเร็วลม 5 ม/วินาที บนพื้นน้ำที่ลึกสม่ำเสมอ 99 ม. เมื่อเวลาผ่านไป 32 ชั่วโมง	17
รูปที่ 2a การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการปรับค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ($C_1 = 0.019-0.057$) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นด้วยความเร็วลม 10 ม./วินาที และความลึกเท่ากับ 5-30 ม.	18
รูปที่ 2b การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการปรับค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ($C_1 = 0.019-0.057$) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นด้วยความเร็วลม 20 ม./วินาที และความลึกเท่ากับ 5-30 ม.	19
รูปที่ 2c การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการปรับค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ($C_1 = 0.019-0.057$) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นด้วยความเร็วลม 30 ม./วินาที และความลึกเท่ากับ 5-30 ม.	19
รูปที่ 3a การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็ว เท่ากับ 30 ม/วินาที ความลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5-30 ม. และสัมประสิทธิ์ ความเสียหายคงที่เท่ากับ 0.019	20
รูปที่ 3b การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็ว เท่ากับ 30 ม/วินาที ความลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5-30 ม. และสัมประสิทธิ์ ความเสียหายคงที่เท่ากับ 0.038	21
รูปที่ 3c การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็ว เท่ากับ 30 ม/วินาที ความลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5-30 ม. และสัมประสิทธิ์ ความเสียหายคงที่เท่ากับ 0.057	21
รูปที่ 4 เปรียบเทียบความสูงคลื่นจาก WAM และทฤษฎี	23

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนในการ Run Model อย่างง่าย ๆ	30
รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนในการ Run Model โดยวิธี Coarse Grid และ Fine Grid	34
รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของภาพนิ่งที่ได้จากการ Run Model ในพื้นที่ Coarse Grid	41
รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างของภาพนิ่งที่ได้จากการ Run Model ในพื้นที่ Fine Grid	41
รูปที่ 9 WAM Wave Heights and Directions 06Z03NOV1997	46
รูปที่ 10 WAM Wave Heights and Directions 06Z03NOV1997	47
รูปที่ 11 NOGAPS Surface Wind 00Z03NOV1997	48
รูปที่ 12 NOGAPS Surface Wind 00Z03NOV1997	49
รูปที่ 13a TOPEX Tracks (m) Comparisons Nov. 1-2, 1997	50
รูปที่ 13b TOPEX Tracks (m) Comparisons Nov. 3-4, 1997	51
รูปที่ 13c TOPEX Tracks (m) Comparisons Nov. 5-6, 1997	52
รูปที่ 13d TOPEX Tracks (m) Comparisons Nov. 7-8, 1997	53
รูปที่ 13e TOPEX Tracks (m) Comparisons Nov. 9-10, 1997	54
รูปที่ 14 TOPEX/WAM Wave Height (m) Comparisons Nov. 1-10', 1997	55
รูปที่ 15a ERS-2 Tracks (m) Comparisons Nov. 3-4, 1997	56
รูปที่ 15b ERS-2 Tracks (m) Comparisons Nov. 5-6, 1997	57
รูปที่ 15c ERS-2 Tracks (m) Comparisons Nov. 7-8, 1997	58
รูปที่ 15d ERS-2 Tracks (m) Comparisons Nov. 9-10, 1997	59
รูปที่ 16 ERS-2.Wave Heigh (m) Comparisons Nov. 1-10, 1997	60
รูปที่ 17 ตัวอย่างเปรียบเทียบการคำนวณของ WAM กับทุนของสทาวิจัย	63
รูปที่ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากทุนระยะของกับ WAM1 และ (Nested Grid)	64
รูปที่ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการ Run Model กับทุนลอย เกาะช้าง	65
รูปที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการ Run Model กับทุนลอย เกาะภูเก็ต	66

1. บทนำ

ความแม่นยำของการพยากรณ์ความสูงของคลื่นในทะเล มีผลต่อเศรษฐกิจและในช่วงที่มีพายุอาจมีผลต่อชีวิตของผู้ที่มีภารกิจหรือชีวิตประจำที่เกี่ยวข้องกับทะเล เช่น ชาวประมง, การท่องเที่ยวทางทะเล, การก่อสร้างแถบชายฝั่ง เป็นต้น การพยากรณ์ผิดพลาด เช่น ทำนายคลื่นสูงเกินไป ทำให้ชาวประมงหรือบริษัทท่องเที่ยวไม่กล้านำเรือออกไปทำให้คนเหล่านี้ขาดรายได้ ในทางกลับกันถ้าทำนายคลื่นต่ำเกินไปจะทำให้เกิดความเดือดร้อนหรืออาจจะทำให้มีการสูญเสียชีวิตได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นเกือบทุกปี นอกจากนี้การที่เราสามารถพยากรณ์ได้ล่วงหน้าถึง 72 ชั่วโมง มีความจำเป็นสำหรับการวางแผนงานของผู้ที่มีภารกิจกับทะเลด้วย ความสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การนำไปใช้ทางการทหารซึ่งนอกจากจะใช้ในเขตอ่างไทยแล้วโครงการนี้จะฝึกให้สามารถปรับปรุง model ให้ใช้ในเขตไหนก็ได้ในโลกนี้ เช่น พม่า เวียดนาม และมหาสมุทรอินเดีย เป็นต้น

ปัจจุบันเมืองไทยยังไม่มี Ocean wave model ที่ทำพิเศษสำหรับเมืองไทยและใช้ประกอบการพยากรณ์ความสูงของคลื่นในน่านน้ำของประเทศไทย ในต่างประเทศ เช่น สหรัฐ ยุโรป และญี่ปุ่น เขาจะมี model ที่ทำสำหรับพยากรณ์คลื่นภายในขอบเขตประเทศของเขา และใช้ supercomputer หรือ high performance workstation มา run model เพื่อใช้ในการพยากรณ์คลื่นล่วงหน้าถึง 72 ชม. โดยความแม่นยำใน 24 ชม.แรกจะสูงมากและความแม่นยำจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อนานออกไปถึง 72 ชม. โดย model ที่ใช้ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นที่ใช้อยู่ทั่วโลกส่วนใหญ่เอามาจาก program หลักอันเดียว และนำมาดัดแปลงใส่ข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ของแต่ละประเทศดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาและดัดแปลง model เพื่อนำมาใช้งานสำหรับเขตน่านน้ำของประเทศไทย นอกจากนี้เราควรมีขีดความสามารถที่จะดัดแปลง model ให้สามารถใช้งานในเขตต่างๆ ได้ทั่วโลก ซึ่งสิ่งนี้มีความสำคัญสำหรับกองทัพเรือของประเทศไทยจุดประสงค์หลักของโครงการนี้ก็คือ การสร้าง ocean wave model สำหรับเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามันและนำ model นี้มาใช้ในการพยากรณ์ความสูงของคลื่นให้ได้ล่วงหน้าภายใน 72 ชม. โครงการนี้ไม่ได้ develop wave model ใหม่ เพราะเป็นงานใหญ่มากและค่าใช้จ่ายสูงมากแต่นำ model ที่ได้ทดสอบกันแล้วว่ามีแม่นยำสูงและกำลังใช้งานอยู่ที่อเมริกาและยุโรป มาดัดแปลงเพื่อใช้กับเมืองไทย การใช้ wave model เพื่อพยากรณ์ความสูงคลื่น จะต้องมีข้อมูลพยากรณ์ของความเร็วลม เป็น input data โดยข้อมูลความเร็วลมนี้นี้จะมาจาก 2 แหล่งคือ จาก data base ของทีมที่อเมริกาและจาก supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยาของเมืองไทย เนื่องจากในช่วงเริ่ม

โครงการนี้ supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยา ยังติดตั้งไม่แล้วเสร็จ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลลมจากกองทัพเรือของอเมริกาที่จัดหาและทำการติดต่อขอข้อมูลโดยทีมงานที่อเมริกา

ลักษณะพิเศษของโครงการนี้คือ จะมี end user ของเมืองไทยมาร่วมทำงานตั้งแต่ต้น และจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างทีมงานที่เมืองไทยและทีมงานที่อเมริกา โดยกลุ่มในประเทศไทย มาจาก กรมอุตุนิยมวิทยา, กรมอุทกศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ส่วนกลุ่มจากอเมริกา มาจาก 3 สถาบัน คือ Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC) ของ United States Navy, Center for Analysis and prediction of Storms (CAPS), และจาก Jet Propulsion Laboratory (JPL)

เป้าหมายที่สำคัญอันหนึ่งของโครงการนี้ก็คือ การเอาผลงานที่ได้จากการวิจัยนี้ไปใช้งานจริงให้เร็วที่สุด และ model นี้ได้เข้าไปติดตั้งอย่างถาวรในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและได้นำไปใช้งานเป็นประจำทุกวัน ดังนั้นการที่มี end user ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบในการทำงานทางด้านพยากรณ์ความสูงของคลื่นมาร่วมงานตั้งแต่ต้น จะมีส่วนช่วยให้เป้าหมายของโครงการนี้ประสบความสำเร็จได้มากขึ้น ทีมงานของจากอเมริกาจะเป็นกลุ่มคนที่มีประสบการณ์โดยตรงกับ wave model ที่เรากำลังจะนำมาปรับปรุงแก้ไขและใช้งาน ดังนั้นทีมงานนี้จะกำลังสำคัญในการทำ training และการช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ซึ่งจะต้องมีแน่นอนตลอดช่วงการทำโครงการนี้ ทีมงานที่อเมริกายังมี program support ต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบให้การ RUN program และการแสดงผลรวมถึงการเขียน script file เพื่อใช้ในการอ่านข้อมูลต่าง ๆ นอกจากนี้เราต้องการ connection ของทีมงานที่อเมริกาเพื่อติดต่อขอข้อมูล ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการพยากรณ์ความสูงของคลื่น ดังนั้นการมีทีมงานที่มีประสบการณ์มาร่วมด้วยจะช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นว่างานของโครงการจะทำได้สำเร็จแน่นอน โมเดลหลักที่ทีมงานของโครงการนี้ได้เลือกมาคือ WAM โมเดลซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกและได้นำไปใช้งานจริง ๆ ในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งอเมริกา, ยุโรป และญี่ปุ่น WAM โมเดลได้เริ่มทำการ durlope ร่วมกันของทีมงานนักวิจัยหลายประเทศ โดยได้รับการสนับสนุนจาก Max Plank Institute ของประเทศเยอรมันนี่ สถาบันแห่งนี้เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ของ WAM โมเดล สิ่งแรกที่โครงการนี้ทำก็คือ ได้ทำหนังสือไปยัง Max Plank Institute เพื่อขอ source code ของ WAM model และขอจดทะเบียนเป็นสมาชิกของ WAM group เพื่อขอสิทธิใช้ WAM program รวมทั้งรับข่าวสารต่าง ๆ รวมทั้งการ upgrade WAM program ในอนาคตด้วย ทาง สกว. ได้เป็นสมาชิกของ WAM group เพียงหน่วยงานเดียวในประเทศไทย และได้รับ WAM source code โดยไม่ต้องเสียเงิน

ทีมงานของอเมริกา และทีมงานที่เมืองไทยได้ร่วมกันพัฒนา WAM program ที่ได้รับมา เพื่อให้ใช้งานได้สำหรับในเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามันจนสำเร็จ และได้มีการเปิดทำ workshop ที่เมืองไทย เพื่อทำการฝึกสอนทั้งภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ รวมทั้งการใช้งานจริง ๆ ของ WAM program จนทีมงานทุกคนสามารถเข้าใจและใช้ program นี้ได้นอกจากนี้ยังมีขีดความสามารถที่จะดัดแปลง WAM program ให้ใช้งานได้ในเขตต่าง ๆ ไปได้ทั่วโลก

สิ่งต่อไปที่จะต้องทำก็คือ การหาข้อมูลลมมาป้อนให้ทีมงานทุกคนเป็นประจำทุกวัน ตลอดช่วง 3 ปีของการทำงานวิจัย เพื่อใช้ในการพยากรณ์ความสูงของคลื่นล่วงหน้าเป็นเวลา 3 - 5 วัน เนื่องจากเราไม่สามารถเอาข้อมูลลมจาก supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากโครงการ supercomputer ยังไม่เสร็จ ดังนั้นทางทีมงานที่อเมริกาได้ติดต่อกับ Master and Environmental Library (MEL) ของ US Department of Defense เพื่อขอรับข้อมูลลมพยากรณ์ในเขตประเทศไทย (และเขตอื่น ๆ เกือบทั่วโลกด้วย) ทุกวันเป็นเวลาต่อเนื่องกันตลอดช่วงทำโครงการ ปรากฏว่าทาง MEL ได้ตอบรับให้เราได้เป็นสมาชิกและรับข้อมูลลมต่อเนื่องมาตลอดจนเสร็จสิ้นโครงการ โดยไม่ต้องเสียเงิน ปัจจุบันนี้หลังจากโครงการได้เสร็จสิ้นลงแล้วก็ยังคงรับข้อมูลได้ต่อไปเรื่อย ๆ และได้รับทราบว่าจะมีเขาเพิ่งเปิดให้คนทั่วไปขอเข้าไปรับข้อมูลได้แล้ว

สิ่งสำคัญถัดไปก็คือ การทดสอบความแม่นยำของโมเดลและการ calibrate model ในส่วนของการทดสอบความแม่นยำของโมเดลทีมงานได้นำผลที่ได้จากการ RUN WAM โมเดลไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้ 3 แบบ ที่เป็นอิสระและไม่ขึ้นต่อกัน ข้อมูลที่วัดได้เหล่านี้คือ

1. ข้อมูลที่วัดได้จากดาวเทียม TOPEX
2. ข้อมูลที่วัดได้จากดาวเทียม ERS-1 และ ERS-2
3. ข้อมูลที่วัดได้จากทุ่นลอยของโครงการ SEAWATCH ของสภาวิจัยแห่งชาติ

เนื่องจากในเขตอ่าวไทยหลายแห่งเป็นเขตนํ้าตื้นซึ่ง WAM program จะให้ผลที่คลาดเคลื่อนทีมงานจึงได้ทำการศึกษาข้อจำกัดของ WAM โมเดลในเขตนํ้าตื้น ซึ่งปรากฏว่า WAM โมเดลจะมีข้อผิดพลาดมากถ้าหากว่านํ้าตื้นมากกว่า 10 เมตร หลังจากได้ทำการตรวจสอบ calibrate และศึกษา WAM โมเดลจนเป็นที่เข้าใจและเป็นที่พอใจแล้ว ในช่วงปีที่ 3 ได้มีการนำ WAM โมเดลไปติดตั้งและใช้งานจริงที่กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ เป็นประจำทุกวัน จนถึงปัจจุบันนี้ นอกจากนั้นทางกองทัพเรือได้ดัดแปลง WAM โมเดล เพื่อเอาไปใช้งานจริง ๆ นอกเขตประเทศไทยด้วย ผลการ RUN WAM โมเดล ได้นำไปติดไว้ที่ website ของกองทัพเรือทุกวันด้วย ระบบการทำงานของ

WAM โมเดล จะติดตั้งใช้งานทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ semi automatic mode ซึ่ง program จะรับข้อมูลเอง run เอง และพิมพ์ผลออกมาเอง โดยใช้ input data น้อยที่สุด ส่วนอีกระบบจะเป็น manual mode ซึ่งจะใช้ back-up system ในกรณีที่ระบบแรกมีปัญหา การทำงานของ program ได้ทำงานมาด้วยดีเรื่อย ๆ จนถึงปี 2000 ได้เกิดมีปัญหารื่อง Y2K เล็กน้อย และได้ทำการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว เป็นที่น่ายินดีที่ปัจจุบันนี้ WAM โมเดลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาจากโครงการนี้ได้เข้าไปมีส่วนสำคัญในงานประจำของกองทัพเรือและได้ใช้งานจริง ๆ เป็นประจำต่อไปเรื่อย ๆ

ส่วนทางด้านกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย WAM program กำลังอยู่ในช่วงทดลองการใช้งาน อย่างไรก็ตามได้มีการนำเสนอผลที่ได้จากการ RUN WAM โมเดลที่ห้อง brief room ของกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยทุกวัน

2. ทฤษฎีของโมเดลคลื่นในทะเล

2.1 ทฤษฎีแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Wave Model (WAM)

การพยากรณ์คลื่นที่เกิดจากลมในรุ่นแรก (First generation) ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปี 1960 ถึงต้นปี 1970 โดยหลักการการใช้หลักสมดุลของพลังงานที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะที่เกี่ยวกับรูปแบบการสมดุลของสเปกตรัม โดยแบบจำลองเหล่านี้ถูกสมมติให้องค์ประกอบต่าง ๆ ของคลื่นยุติสมมติฐานแบบหนึ่งมิติของสเปกตรัม-ความถี่ (frequency spectrum) ของ Phillips และความสัมพันธ์ของความสมดุลในแต่ละทิศทาง ด้วยเหตุนี้การโตขึ้นของคลื่นจึงถูกจำกัดด้วยองค์ประกอบของค่าสูงสุดของสเปกตรัมที่อยู่ข้างเคียง

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบแล้วว่า สมมติฐานของ Phillips นั้นไม่เกิดขึ้นในธรรมชาติ บริเวณที่มีความถี่สูง ๆ ของสเปกตรัม ไม่ได้เพียงขึ้นอยู่กับกระบวนการแตกของคลื่น (white capping) เท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับพลังงานลมที่ให้แก่คลื่น และบริเวณที่มีความถี่ต่ำก็จะมี การถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน ในลักษณะของปฏิสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear interaction) ปัจจัยเหล่านี้ทำให้การพยากรณ์คลื่นในรุ่นแรก ๆ ประมาณพลังงานจากลมต่ำเกินไป และประมาณผลของปฏิสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นต่ำไปเกือบเท่าตัว

ในช่วงทศวรรษ 1970 Mitsuyasu (1968) และ (1969) และ Hasselmann และคณะ (1973) ได้ทำการทดลองวัดการโตขึ้นของคลื่น Shyder และคณะ (1981) และ Hasselmann และคณะ (1986) ทำการวัดพลังงานจากลมที่ให้กับคลื่นโดยตรง ทำให้ได้ความสัมพันธ์ใหม่เกี่ยวกับสมดุลของสเปกตรัม ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อมาจนเป็นการพยากรณ์คลื่นในรุ่นที่สอง (Second generation) อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ยังถูกจำกัดด้วยการพิจารณาเทอมไม่เชิงเส้น อย่างง่ายด้วยการระบุรูปร่างของสเปกตรัมของคลื่นให้มีความถี่สูงกว่า ความถี่ที่จุดยอด (peak frequency) ทำให้ได้รูปร่างของสเปกตรัมเป็นแบบ quasi-universal ที่ใช้ได้กับสนามลมพื้นผิว (synoptic wide field) แม้กระทั่งแบบจำลองนี้ก็ยังไม่สามารถพยากรณ์คลื่นที่เกิดจากสภาพอากาศแปรปรวนอย่างรุนแรงได้ เช่น พายุหมุน หรือ Fronts เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปัญหาในช่วงของการเปลี่ยนแปลงจากคลื่นในทิศทางลม (windsea) ไปเป็น swell อีกด้วย

ข้อด้อยของแบบจำลองรุ่นที่สองได้รับการศึกษา (SWAMP, 1985) และพบว่าถึงแม้แบบจำลองทั้งรุ่นที่หนึ่งและสองจะสามารถปรับตัวแปรเสริม (parameters) ต่าง ๆ เพื่อให้ได้คลื่นที่

สอดคล้องกับที่วัดจริงในสนาม แต่แบบจำลองทั้งสองก็ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในงานปฏิบัติการจริงที่มีสภาวะอากาศที่แปรปรวนตลอดเวลา

นอกจากนี้ยังพบว่า การคำนวณในแบบจำลองรุ่นที่สองมีความยุ่งยากมาก จึงเสนอให้มีการพัฒนาแบบจำลองรุ่นที่สาม (Third generation) ขึ้น ซึ่งมีการคำนวณที่ง่ายกว่า (SWAMP, 1985) โดยทำการคำนวณสเปกตรัม จากสมการพื้นฐานของการถ่ายเทสเปกตรัม (spectral transport) การดำเนินงานในส่วนนี้เป็นไปภายใต้โครงการ WAM (Wave Modeling) ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการศึกษา sea Wave Modeling project (SWAMP) เสร็จสิ้นลง

เป็นที่น่าสนใจว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดระหว่างการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์คลื่นกับการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม (Janssen และคณะ 1997) โดยที่ข้อมูลจากดาวเทียมถูกใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองการพยากรณ์คลื่น และในทำนองเดียวกับผลการพยากรณ์คลื่นถูกใช้เป็นอันดับแรกในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม นอกจากนี้ รายละเอียดของสภาพการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำในมหาสมุทรที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์คลื่น มีความสำคัญต่อการแก้ไขผลจากการแปลสัญญาณเรดาร์

WAM รุ่นที่สามนี้ ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยในปัจจุบันเป็น cycle ที่ 4 ซึ่งเทอมพลังงานจากลมอยู่บนพื้นฐานของ Janssen (1991) ขณะที่ใน cycle ที่ 1 ถึง 3 อยู่บนพื้นฐานของ Synder (1981) WAM ได้รับการนำไปปฏิบัติงานจริงในหลาย ๆ หน่วยงานของหลายประเทศ ได้แก่ European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) ประเทศอังกฤษ Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC) ประเทศสหรัฐอเมริกา Atmospheric Environment Service (AES) ประเทศแคนาดา Max-Planck Institute for Meteorology ประเทศเยอรมัน Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut ประเทศเนเธอร์แลนด์ ฯลฯ

สาระสำคัญของ WAM รุ่นที่สาม

ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับรูปร่างของสเปกตรัม อาจจำแนกออกเป็นสองขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง แยกตัวแปรเสริมแบบไม่เชิงเส้นในฟังก์ชันแหล่งกำเนิด (source function) ให้มีอันดับอิสระ (degree of freedom) เท่ากันสเปกตรัมของมันเอง (hasselmann, 1981 และ Young และคณะ 1987) ซึ่งพบว่าถ้าไม่เท่ากันจะทำให้การคำนวณไม่มีเสถียรภาพ อย่างไรก็ตาม

ตามการคำนวณแบบไม่เชิงเส้นใช้เวลามาก แม้ว่าเป็นการคำนวณในยุคปัจจุบันที่ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูง

ขั้นตอนที่สอง การสมดุลของพลังงานจะต้องสิ้นสุดลงด้วยฟังก์ชันการสลายพลังงาน ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Komen และคณะ (1984) โดยที่ตัวแปรเสริม ในสมการการสลายพลังงานจะถูกปรับให้เหมาะสมเพียงครั้งเดียว เพื่อให้สอดคล้องกับการโตของคลื่นที่วัดได้จริงในสนามในกรณีที่ถูกจำกัดด้วยระยะทางที่ลมพัด (fetch-limited) และกับสเปกตรัมของ Pierson-Moskowitz ที่สภาวะคลื่นที่มีพัฒนาการโดยสมบูรณ์ (fully developed sea)

เมื่อฟังก์ชันแหล่งกำเนิดได้รับการทดสอบแล้วข้างต้น แบบจำลองรุ่นที่ 3 นี้ สามารถถูกนำไปแบบเป็นพยากรณ์คลื่นที่ทุก ๆ สภาพอากาศได้โดยไม่มีเงื่อนไข และไม่ต้องปรับค่าของตัวแปรเสริมใด ๆ อีก

สมการของ WAM ในกรณีน้ำลึก

พัฒนาการของสเปกตรัม (F) ของคลื่นในสองมิติจะเป็นฟังก์ชันของเส้นรุ้ง (ϕ) และเส้นแวง (λ) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วย สมการสมดุลของพลังงาน คือ

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \bar{\mathbf{v}} \cdot \nabla F = S$$

เมื่อ $\bar{\mathbf{v}}$ คือเวกเตอร์ความเร็วของกลุ่มคลื่น (group velocity) S เป็นฟังก์ชันแหล่งกำเนิด และ t เป็นเวลา เทอมด้านซ้ายมือของสมการแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นโดยการพา (advection) การหาคำตอบของมันเป็นปัญหาที่นักคณิตศาสตร์ให้ความสนใจ ขณะที่เทอมด้านขวามือคือคุณสมบัติทางกายภาพที่อธิบายพลศาสตร์ของคลื่น สมการข้างต้นสามารถกระจายได้เป็น

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial (\phi \cos \phi F)}{\partial \phi} + \frac{\partial (\lambda F)}{\partial \lambda} + \frac{\partial (\theta F)}{\partial \theta} = S$$

โดยที่ $F = F(f, \theta, \phi, \lambda, t)$ เป็นฟังก์ชันของความถี่ (f) ทิศทางการเคลื่อนที่ (θ) ซึ่ง วัดตามเข็มนาฬิกา เทียบกับทิศเหนือจริง

ϕ, λ, θ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ไปตามความโค้งของโลก (great circle path) ในที่นี้

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{d\phi}{dt} = \frac{V}{R} \cos \theta \\ \lambda &= \frac{d\lambda}{dt} = \frac{V}{R \cos \phi} \sin \theta \\ \theta &= \frac{d\theta}{dt} = \frac{V}{R} \sin \theta \tan \phi\end{aligned}$$

ในที่นี้ V คือ ความเร็วของกลุ่มคลื่น มีค่าเท่ากับ $g/4\pi f$

g คือ ความโน้มถ่วงของโลก และ

R คือ รัศมีของโลก

ฟังก์ชันแหล่งกำเนิด (S) เป็นการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในการเคลื่อนที่ของกลุ่มคลื่นสามารถแสดงได้ด้วย

$$S = S_m + S_{nl} + S_{ds}$$

โดยที่ S_m คือการถ่ายเทพลังงานลมสู่คลื่น

S_{nl} คือการถ่ายเทพลังงานเนื่องจากการปฏิสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น

S_{ds} คือการสลายของพลังงานเนื่องจากการแตกของคลื่น (white capping)

ความหมายของแต่ละเทอมในฟังก์ชันแหล่งกำเนิด มีดังต่อไปนี้

การถ่ายเทพลังงานลมสู่คลื่น (S_m) เริ่มพัฒนาโดย Snyder และคณะ (1981) และถูกพัฒนาต่อมาโดย Komen และคณะ (1984) ซึ่งแสดงในรูปของ friction velocity ($u_* = \sqrt{(\tau/\rho)}$) ที่อธิบายด้วยทฤษฎีชั้นซิดผิว (boundary layer) สำหรับ WAM cycle 4 นี้ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานทางทฤษฎีของ Janssen's quasi-linear ของการกำเนิดคลื่นจากลม (Janssen, 1989 และ 1991) คือ

$$S_m = \beta F$$

เมื่อ
$$\beta = \max \left\{ 0, 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left(28 \frac{u_*}{c} \cos \theta_w - 1 \right) \right\} \omega$$

และ
$$\omega = 2\pi f$$

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำทะเล

c = ความเร็ววิกฤต (phase velocity) ของคลื่น

θ_w = มุมระหว่างทิศทางของลมกับทิศทางคลื่น

การคำนวณความเค้นเฉือนของลมที่กระทำต่อผิวน้ำ (τ_w) สามารถอธิบายเป็นลำดับได้ดังต่อไปนี้

ความเค้นเฉือนของลม (τ) หาได้จาก

$$\tau = C_D U^2 (L)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์แรงฉุด C_D สำหรับความเร็วลม (U) ที่ความสูง 10 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล คือ

เมื่อ
$$C_D = \left\{ \frac{k}{\ln(L/z_o)} \right\}^2$$

$$z_o = \frac{\alpha \tau / g}{\sqrt{(1 - \tau_w / \tau)}}$$

ในที่นี้ L คือ ความสูงเฉลี่ยเหนือผิวน้ำ

α หาได้จากความสัมพันธ์ Charnock สำหรับแรงฉุดที่กระทำต่อคลื่น

K คือค่าคงที่ von Karman

ความเค้นเหนี่ยวนำสำหรับคลื่น (wave induced stress, τ_w) ในทิศทางของลมหาได้จาก

$$\tau_w = \rho_w \int \omega \gamma(F \cos(\theta - \varphi)) df d\theta$$

เมื่อ φ คือทิศทางของลม

สมการข้างต้นได้รับการทดสอบและพบว่าให้คำตอบที่สอดคล้องกับการโตขึ้นของคลื่นที่เกิดจากกลุ่มคลื่นต่างๆ ในสภาพของลมต่างๆ กัน

การสลายพลังงานเนื่องจากการแตกของคลื่น (S_{ds}) ถูกเสนอโดย Komen และคณะ (1984) คือ

$$S_{ds} = 2.33 \times 10^{-5} \varpi \left(\frac{\omega}{\varpi} \right)^2 \left(\frac{\bar{\alpha}}{\alpha_{PM}} \right)^2 F$$

เมื่อ ϖ = ความถี่เฉลี่ย $= E^{-1} \iint F(f, \theta) \omega df d\theta$

และ E = พลังงานทั้งหมด $= \iint F(f, \theta) df d\theta$

$$\bar{\alpha} = E (\bar{\omega})^4 g^{-2}$$

และ $\alpha_{PM} = 3.02 \times 10^{-3}$ ซึ่งคือค่า $\bar{\alpha}$ ของสเปคตรัมจาก Person-Moskowitz

จากรายงานพบว่าถ้าแทน $\bar{\omega}$ ด้วยส่วนกลับคาบเฉลี่ยจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของการคำนวณ ทำให้สามารถใช้ขั้นเวลา (time step) ที่ใหญ่ขึ้นได้

การถ่ายเทพลังงานเนื่องจากปฏิสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น (S_{nl}) คือการแลกเปลี่ยนพลังงานแบบไม่เชิงเส้นและแบบอนุรักษณ์ ระหว่าง resonant quadruplet ขององค์ประกอบของคลื่นที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการเกิดกำรที่กำหนดให้ เทอมนี้มีความซับซ้อนมาก ซึ่งถูกใช้ในการพยากรณ์คลื่นจริงโดยการคำนวณด้วยวิธี discrete interaction operator parameterization ที่เสนอโดย Hasselmann และคณะ (1985) ในส่วนนี้ต้องใช้เวลาการคำนวณมากถึงแม้ว่าจะใช้เครื่องคำนวณที่มีความเร็วสูงก็ตาม รายละเอียดสามารถศึกษาได้จาก WAMDIG (1988)

สมการ WAM ในเขตน้ำตื้น

ในกรณีของน้ำตื้นจำเป็นต้องนำการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องทะเล (S_{bf}) มาพิจารณาด้วย นอกจากนี้การรั่วซึมที่ท้องทะเลและความยืดหยุ่นของตะกอนท้องทะเลสามารถนำมาร่วมพิจารณาในฟังก์ชันแหล่งกำเนิดได้ สมการการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานจะแปรเปลี่ยนไปตามความลึก (D) ซึ่งได้มาจากการศึกษาของ JONSWAP โดย Hasselmann และคณะ (1973) แสดงได้ดังนี้

$$S_{bf} = \frac{\Gamma}{g^2} \frac{\omega^2}{\sinh^2 kD} F$$

โดยที่ Γ = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของตะกอนท้องทะเล โดยทั่วไปถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $0.038 \text{ m}^2/\text{s}^3$

$$\omega \sqrt{gk \tanh(kD)}$$

นอกจากนี้เทอมต่าง ๆ ในแบบจำลองในเขตน้ำลึก ต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับพฤติกรรมทางกายภาพ ซึ่งขอกกล่าวโดยย่อ ดังต่อไปนี้

1. ความเร็วกลุ่ม (V) ในน้ำลึกซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.5\omega/k$ จะถูกแทนด้วย

$$V = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kD} \left(1 + \frac{2kD}{\sinh 2kD} \right)$$

2. ในสมการของ S_{in} ตัวประกอบ β ของพลังงานลมสู่คลื่น และความเร็วคลื่น c ในเทอมของ (u/c) จะเปลี่ยนแปลงไปตามความลึก

3. การสลายพลังงานเนื่องจากการแตกของคลื่น (white capping) เทอมของความถี่ถูกแสดงด้วย wave number, k คือ

$$S_{ab} = 2.36 \times 10^{-5} \hat{\omega}(k / \hat{k})(\hat{\alpha} / \hat{\alpha}_{pm}) F$$

$$\text{โดยที่} \quad \hat{k} = \sqrt{\frac{1}{E} \int (F(k) / \sqrt{k}) dk}$$

$$\text{เมื่อ} \quad \hat{\alpha} = E \hat{k}^2 \text{ ซึ่ง } \hat{\alpha} \rightarrow \hat{\alpha} \text{ เมื่อ } \hat{k} D \rightarrow \infty$$

4. ต้องพิจารณาเพิ่มเติมการเลี้ยวเบน ($\dot{\theta}_D$) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลึกได้ด้วย (Phillips, 1977) คือ

$$\dot{\theta} = \dot{\theta}_{gc} + \dot{\theta}_D$$

เมื่อ $\dot{\theta}_{gc}$ = การหักเหของคลื่นไปตามส่วนโค้งของโลก (great circle refraction)

$$\text{และ } \dot{\theta}_D = \frac{1}{kR} \frac{\partial \omega}{\partial D} \left(\sin \theta \frac{\partial D}{\partial \phi} - \frac{\cos \theta}{\cos \phi} \frac{\partial D}{\partial \lambda} \right)$$

5. การคำนวณในส่วนของปฏิสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น จะถูกปรับให้ถูกต้องด้วยตัวประกอบ R (Hasselmann, 1981) ซึ่งใช้ได้ในช่วงจำกัด ($kD > 0.8$) เท่านั้น

$$S_{nl}(\text{finite depth}) = R(kD) s_{nl}(\text{deep water})$$

การหาคำตอบเชิงตัวเลข

การหาคำตอบเชิงตัวเลขของสมการสมดุลของพลังงาน กระทำโดยวิธี Time-centered implicit integration scheme ซึ่งพบว่า ขั้นเวลา (time step) สอดคล้องกับวิวัฒนาการของคลื่นที่มีความถี่ต่ำ ทำให่วิธี integration ให้ผลเช่นเดียวกับเทคนิค simple forward integration สำหรับคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า วิธีนี้จะให้คำตอบของ quasi-equilibrium spectrum

สมการ implicit second order centered difference (ไม่รวมเทอมของการพา) คือ

$$F_{n+1} = F_n + \frac{\Delta t}{2} (s_{n+1} + s_n)$$

เมื่อ n = time level รายละเอียดศึกษาเพิ่มเติมได้จาก WAMDIG (1988)

ในทางปฏิบัติเราแบ่งการคำนวณออกเป็น 25 ความถี่ ($f_l = 0.0418$ Hz, $f_{n+1} = 1.1f_n$, $f_{\max}/f_{\min} = 9.8$) ใน 12 ทิศทางของทุก ๆ 30 องศา โดยให้ชั้นเวลามีค่าอยู่ระหว่าง 10-20 นาที ซึ่งพบว่าสามารถใช้ได้แม้กระทั่งกับองค์ประกอบที่มีความถี่สูง ๆ

2.2 ข้อจำกัดของ WAM

ประโยชน์สำคัญประการหนึ่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์การพยากรณ์คลื่น (WAM) คือ การพยากรณ์คลื่นเพื่องานวิจัย โดยแบบจำลองฯ รุ่นที่ 3 cycle 4 นี้สามารถใช้ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นในเขตนํ้าตื้นที่ได้รับอิทธิพลจากความเสียดทานที่ท้องทะเลได้

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน (S_{hf}) (Hasselmann และคณะ 1973) คือ

$$S_{hf} = -\frac{\Gamma}{g^2} \frac{\omega^2}{\sinh^2 kD} F$$

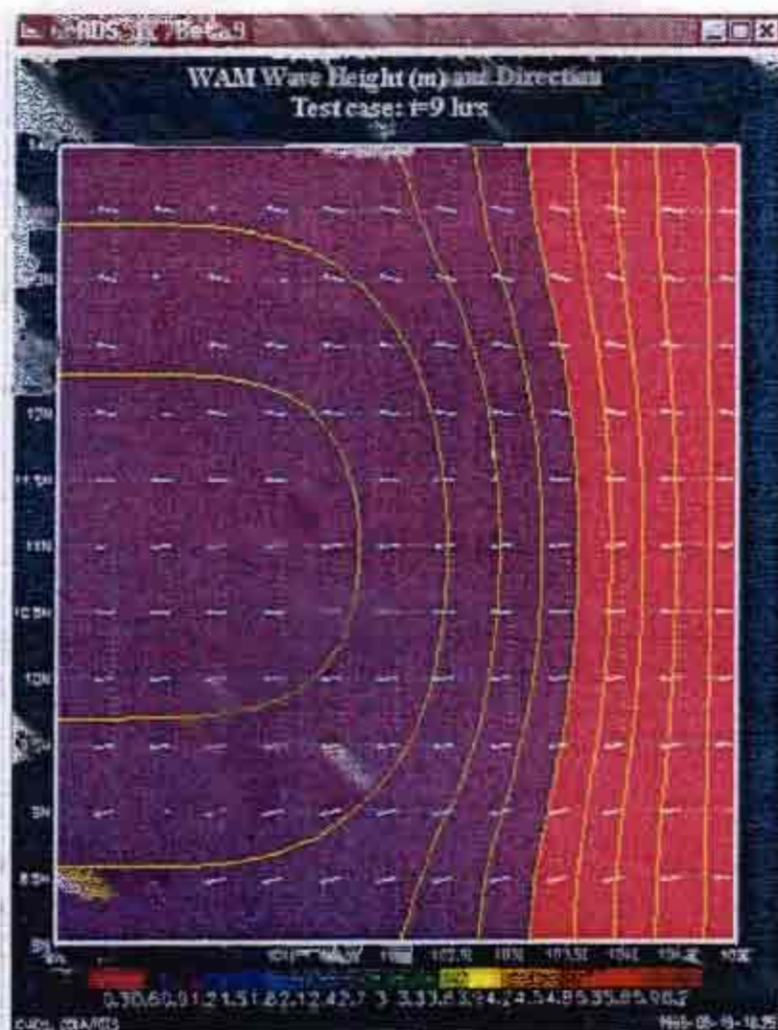
โดยที่ Γ คือ ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของตะกอนท้องทะเล สำหรับการพยากรณ์โดยทั่วไปกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $0.038 \text{ m}^2/\text{s}^3$ อย่างไรก็ตามสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับภูมิประเทศได้

เนื่องจากท้องทะเลด้านอ่าวไทยเป็นเขตนํ้าตื้นชายฝั่งทวีป (continental shelf) มีความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 30 เมตร โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งจะมีความตื้นมาก ดังนั้นเพื่อศึกษาข้อจำกัดการใช้งานของแบบจำลองคณิตศาสตร์การพยากรณ์คลื่นบริเวณชายฝั่ง การวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบบจำลองฯ ภายใต้ง่ายอย่างง่าย กล่าวคือ กำหนดให้พื้นผิวทะเลเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาด $6^\circ \times 6^\circ$ (ประมาณ 600×600 ตร.กม.) และสี่เหลี่ยมมุมฉากทั่วทั้งพื้นที่ทดสอบ (model domain) ในการคำนวณแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย ๆ (grid) ขนาด $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (ประมาณ 25×25 ตร.กม) ค่าตอบที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ฯ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

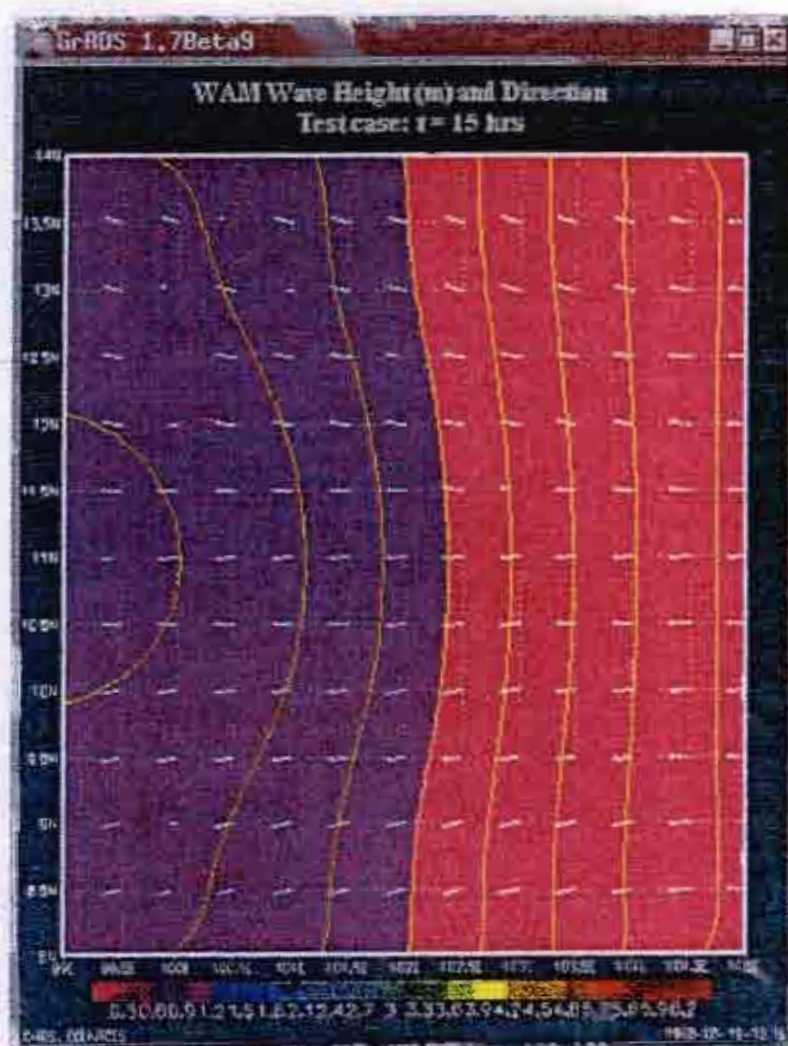
ในการศึกษานี้แบ่งการทดสอบออกเป็น 12 กรณี โดยในแต่ละกรณีกำหนดให้ลมพัดสม่ำเสมอด้วยความเร็วคงที่ ผ่านพื้นน้ำที่มีความลึกคงที่ ความเร็วที่ใช้มีค่าเท่ากับ 10 20 และ 30 เมตร / วินาที ในแต่ละกรณีความลึกมีค่าเท่ากับ 5 10 20 และ 30 เมตร ค่าความสูงคลื่นที่ใกล้ จุดกำเนิดลม (fetch ~ 50 km) และตำแหน่งที่คลื่นมีพัฒนาการ โดยสมบูรณ์ (fully developed sea) ถูกนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์เพื่อหาอิทธิพลของความลึกที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างความสูงคลื่น ความเร็วลม และระยะทางที่ลมพัด (fetch, F)

ผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองฯ พบว่าให้คำตอบที่สมเหตุสมผล โดยคลื่นที่มีขนาดเล็กเมื่อระยะทางที่ลมพัดน้อย และโตขึ้นเป็นลำดับตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น และพบว่าพัฒนาการของคลื่นจะขึ้นกับระยะเวลาที่ลมพัด (duration, t_d) สำหรับระยะเวลาที่เหมาะสมคลื่นจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) ในการศึกษานี้ทำการทดสอบแบบจำลองฯ โดยเริ่มต้นด้วยสเปกตรัมของ JONSWAP ซึ่งจะให้คลื่นสูงประมาณ 1 ม. ขั้นตอนนี้เรียกว่า cold start รูปที่ 1a ถึง c แสดงผลการพยากรณ์การพัฒาของคลื่นในน้ำลึกมาก ($D=99\text{m}$) จากลมที่พัดด้วยความเร็วคงที่ 5 ม.

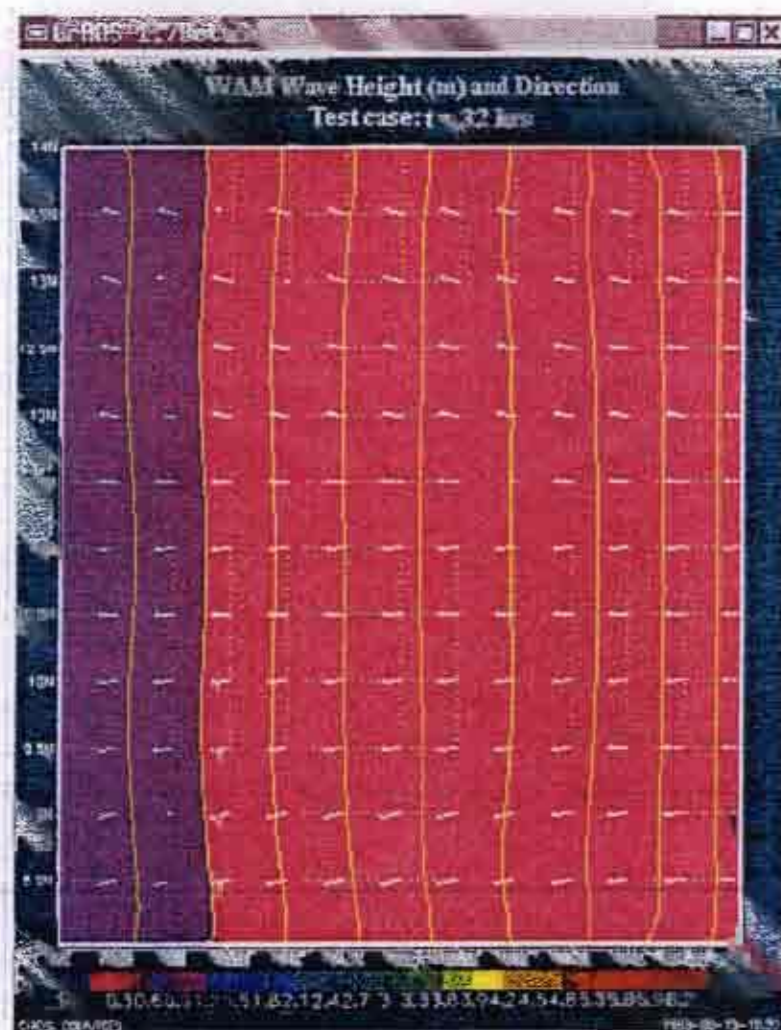
จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง (รูปที่ 1a) คลื่นบริเวณที่ใกล้จุดกำเนิดลมมีพัฒนาการค่อนข้างสมบูรณ์ ขณะที่บริเวณกึ่งกลางพื้นที่ของแบบจำลอง ยังไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมากนัก ผิวน้ำค่อยๆปรับตัวขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง (รูปที่ 1b) และเมื่อเวลาผ่านไป 32 ชั่วโมง (รูปที่ 1c) พบว่าพัฒนาการของคลื่นเป็นไปอย่างสมบูรณ์ทั่วทั้งพื้นที่ของแบบจำลองฯ



รูปที่ 1a การทดสอบแบบจำลองฯ ด้วยความเร็วลม 5 ม/วินาที บนพื้นน้ำที่ลึกสม่ำเสมอ 99 ม
เมื่อเวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง



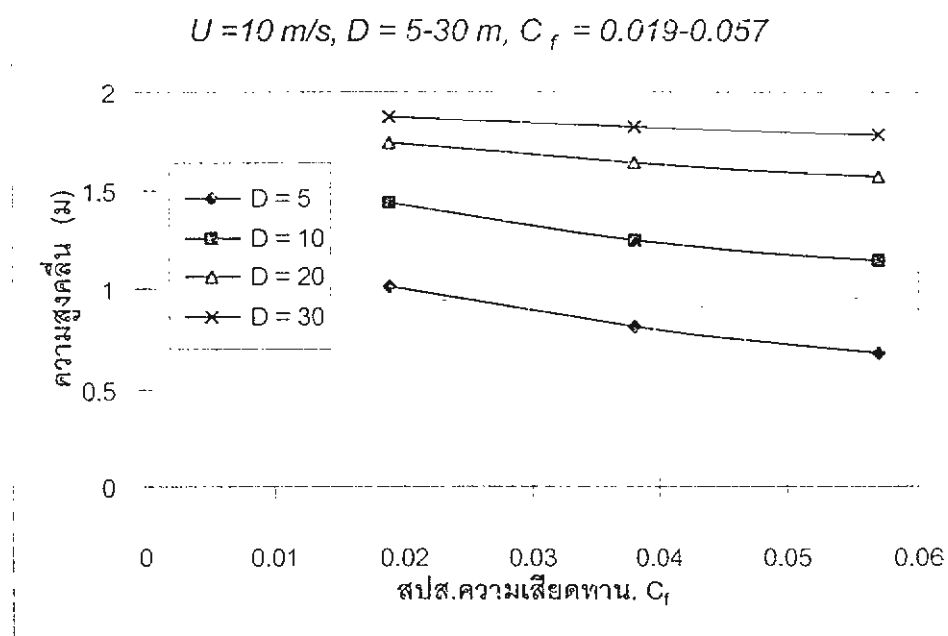
รูปที่ 1b. การทดสอบแบบจำลองด้วยความเร็วลม 5 ม/วินาที บนพื้นน้ำที่ลึกสม่ำเสมอ 99 ม
เมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง



รูปที่ 1c การทดสอบแบบจำลองด้วยความเร็วลม 5 ม/วินาที บนพื้นที่ลึกลึกน้ำเสมอ 99 ม
เมื่อเวลาผ่านไป 32 ชั่วโมง

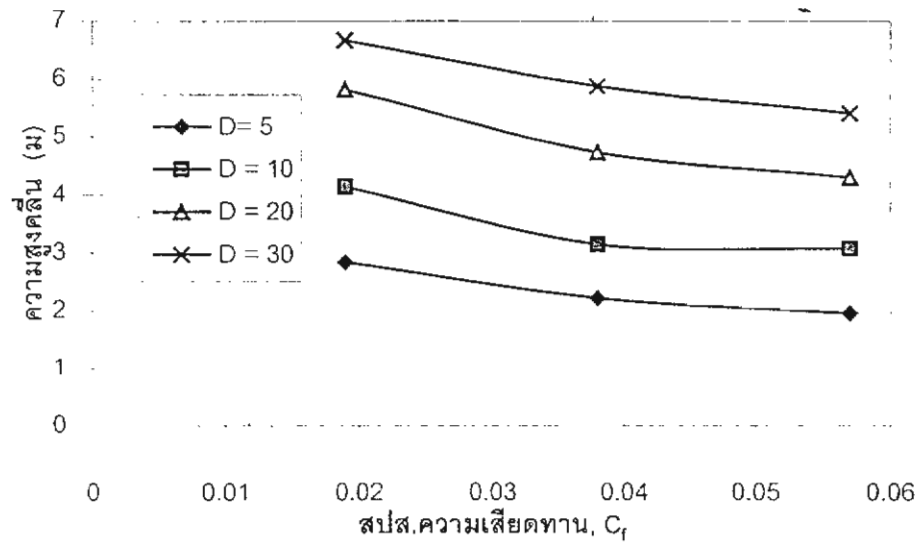
(model domain) อย่างไรก็ตามพบว่า ที่ขอบของแบบจำลอง (model boundary) มีพัฒนาการของคลื่นช้ากว่าบริเวณตอนกลาง ดังนั้นจึงควรระมัดระวังการพยากรณ์ความสูงคลื่นบริเวณที่ใกล้กับขอบเขตของแบบจำลองฯ ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการปรับตัวเข้าสู่ความสม่ำเสมอ (uniformity) จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วลม 5 ม/วินาที ในน้ำลึก 99 ม การเข้าสู่ความสม่ำเสมอใช้เวลาอยู่ระหว่าง 20-40 ชั่วโมง โดยความสูงคลื่นมีค่าประมาณ 0.41 ม

ด้วยเงื่อนไขการทดสอบข้างต้น สภาพไว (sensitivity) ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (Γ หรือ C_f) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่น ได้รับการศึกษาโดยการปรับ C_f ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.019-0.057 และนำค่าความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกรณีมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูงขึ้น ความสูงคลื่นที่คำนวณได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับที่คาดหมายไว้ (รูปที่ 2a - 2c) ดังนั้นการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายให้เหมาะสมกับภูมิประเทศจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 2c แบบจำลองฯ ให้ผลการคำนวณที่ไม่เสถียรเมื่อความเร็วลมเท่ากับ 30 ม/วินาที และความลึกเท่ากับ 5 ม จากการทดสอบที่ความลึกต่างๆจำนวนมาก ได้ข้อสังเกตว่าควรระมัดระวังในการใช้แบบจำลองฯ พยากรณ์คลื่นในบริเวณที่น้ำตื้นกว่า 7 ม



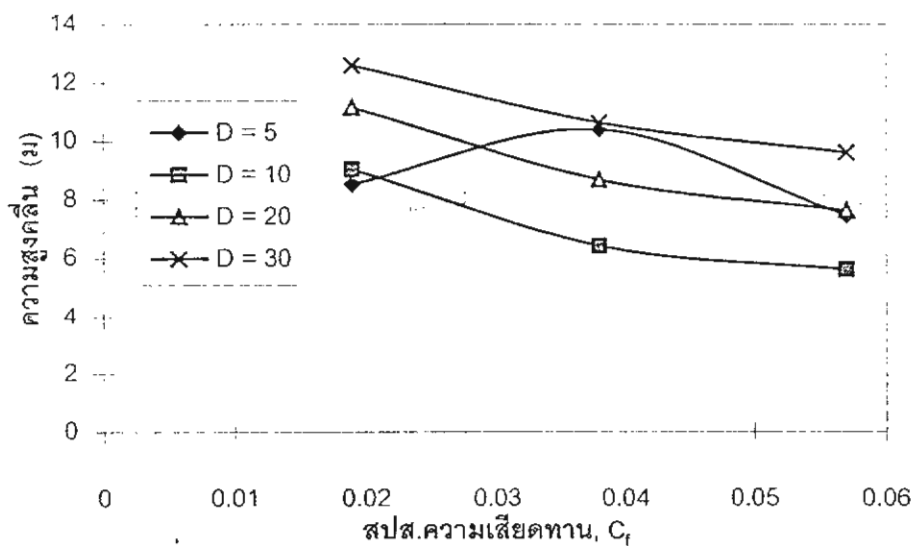
รูปที่ 2a การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการปรับค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ($C_f=0.019-0.057$) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นด้วยความเร็วลม 10 ม/วินาที และความลึกเท่ากับ 5-30 ม

$$U = 20 \text{ m/s}, D = 5-30 \text{ m}, C_f = 0.019-0.057$$



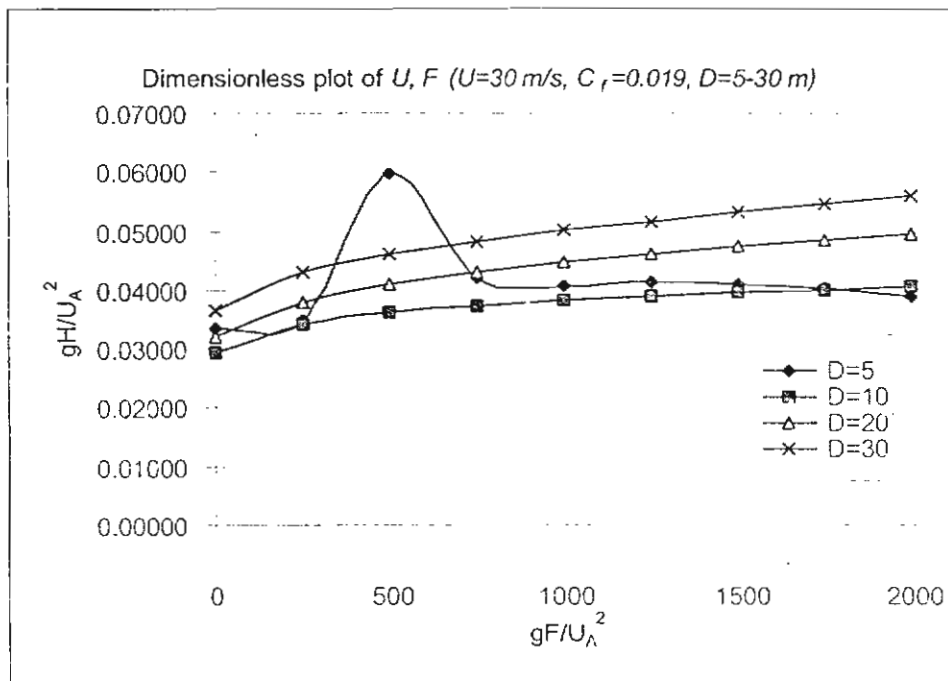
รูปที่ 2b การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการปรับค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ($C_f=0.019-0.057$) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นด้วยความเร็วลม 20 ม/วินาที และความลึกเท่ากับ 5-30 ม

$$U = 30 \text{ m/s}, D = 5-30 \text{ m}, C_f = 0.019-0.057$$

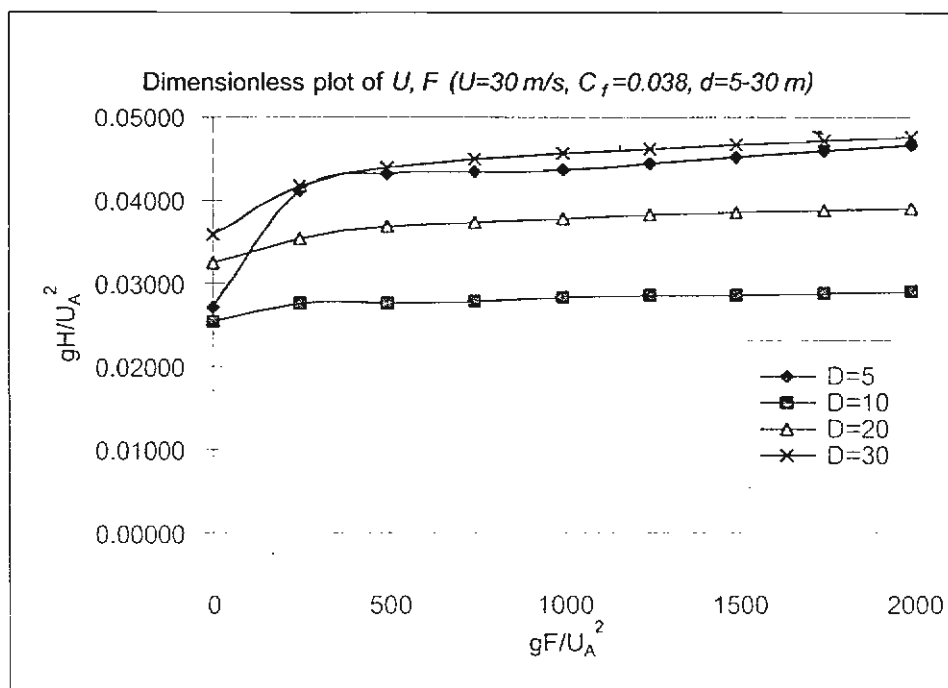


รูปที่ 2c การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่ได้จากการปรับค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ($C_f=0.019-0.057$) ในการพยากรณ์ความสูงคลื่นด้วยความเร็วลม 30 ม/วินาที และความลึกเท่ากับ 5-30 ม

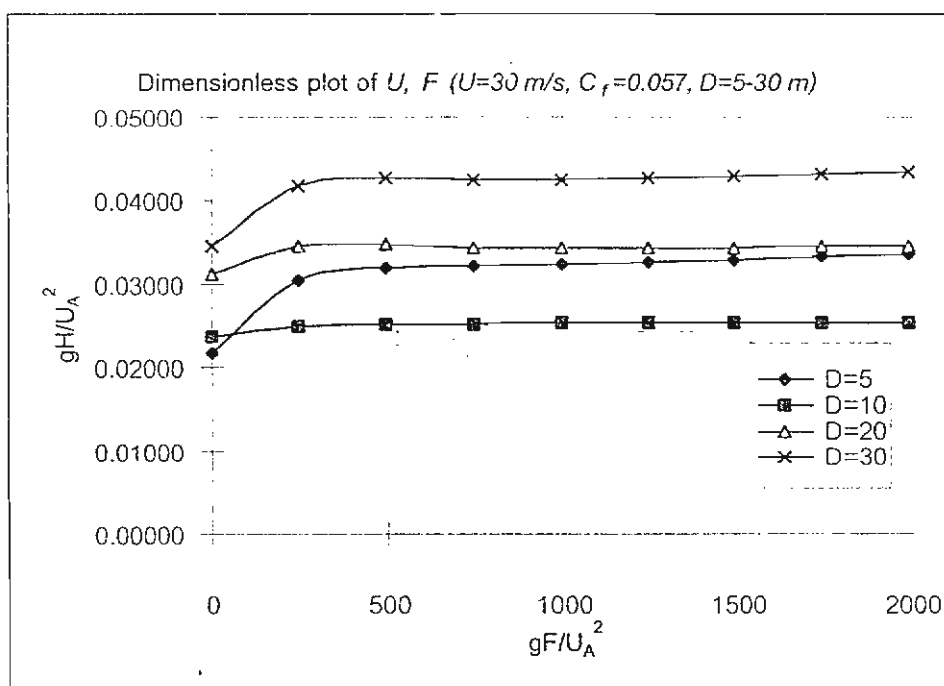
เนื่องจากมีหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการพยากรณ์คลื่น (U, t_d, F, D, H) การแสดงผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี จึงแสดงในรูปตัวแปรเสริมไร้มิติ (dimensionless parameters คือ gH/U_A^2 , gF/U_A^2 และ gD/U_A^2) เมื่อ U_A (m/s) = $0.71U^{1.23}$ ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์ความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็วเท่ากับ 30 ม/วินาที เมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าแตกต่างกัน ($C_f=0.019-0.057$) ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3a ถึง c ซึ่งพบว่าทั้งสามกรณีให้ผลการพยากรณ์ที่ไม่เสถียรเมื่อความลึกน้ำเท่ากับ 5 ม



รูปที่ 3a การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็วเท่ากับ 30 ม/วินาที ความลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5-30 ม และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่เท่ากับ 0.019



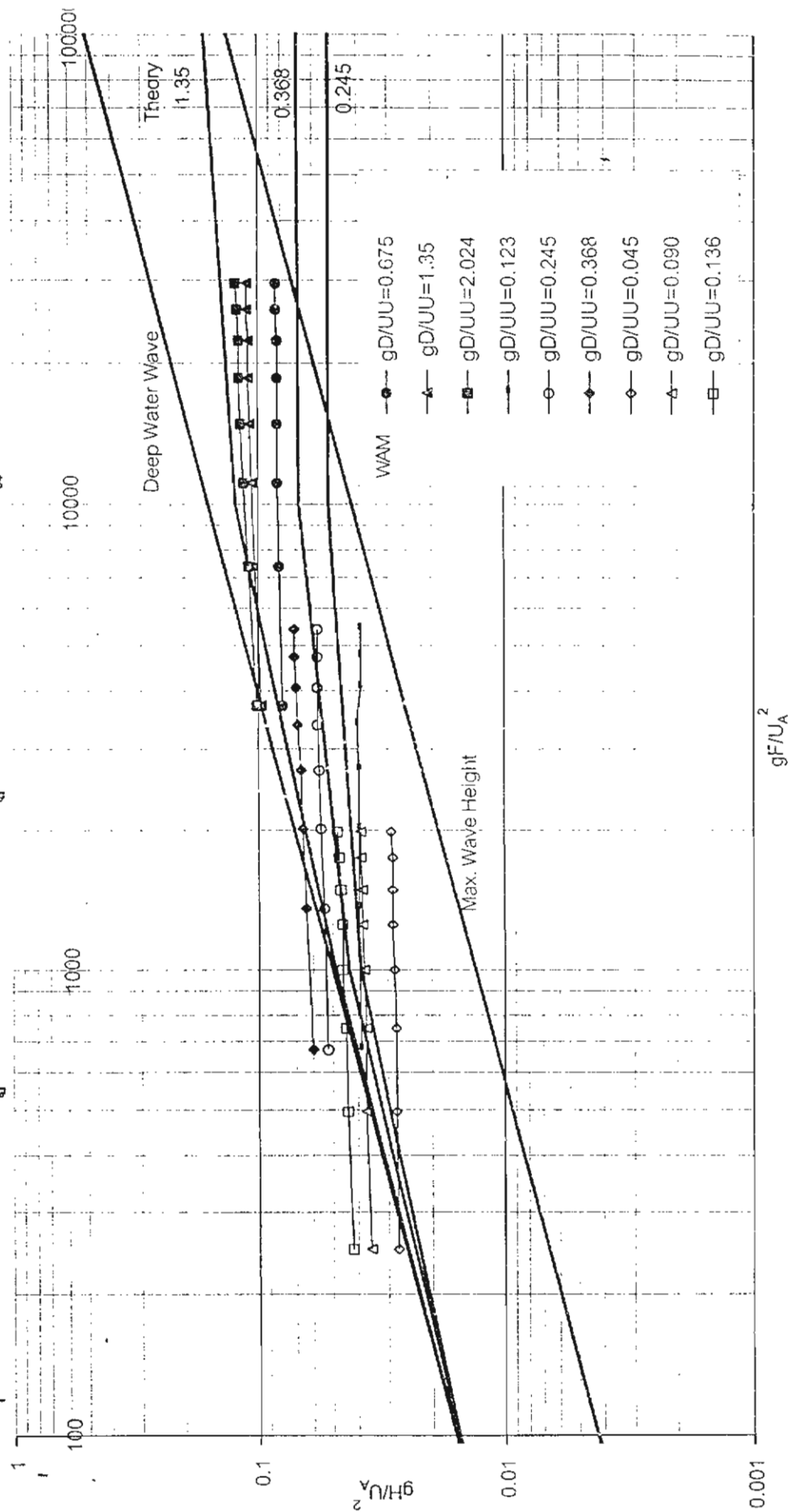
รูปที่ 3b การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็วเท่ากับ 30 ม/วินาที ความลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5-30 ม และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่เท่ากับ 0.038



รูปที่ 3c การเปรียบเทียบความสูงคลื่นที่มีพัฒนาการอย่างสมบูรณ์ จากลมที่มีความเร็วเท่ากับ 30 ม/วินาที ความลึกเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 5-30 ม และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่เท่ากับ 0.057

ในการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์กับค่าทางทฤษฎี สามารถกระทำได้โดยการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรเสริมไว้มิติทั้งสาม (gH/U_A^2 , gF/U_A^2 และ gD/U_A^2) ลงในกราฟ log-log และเปรียบเทียบกับเส้นโค้งทางทฤษฎี ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองฯ ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับคำตอบทางทฤษฎี ซึ่งตกอยู่ภายในขอบเขตระหว่างคลื่นในน้ำลึก (deep water wave) และความสูงคลื่นสูงสุด โดยความสูงคลื่นที่คำนวณได้จะไม่เกินค่าความสูงที่เป็นไปได้ ทั้งนี้พบว่าที่ระยะทางลมพัดมาก ๆ ในน้ำตื้น แบบจำลองฯ จะให้ความสูงคลื่นที่ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี ขณะที่ในน้ำที่ลึกมาก ความสูงคลื่นที่คำนวณได้จะสูงกว่าทฤษฎี และสำหรับในกรณีที่ระยะทางลมพัดน้อย ๆ ในน้ำตื้น แบบจำลองฯ จะให้ความสูงคลื่นสูงกว่าค่าทางทฤษฎีเสมอ

รูปที่ 4 เปรียบเทียบความสูงคลื่นจาก WAM และทฤษฎี



3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การพัฒนา WAM โมเดล

โครงการนี้ไม่ได้ develop wave model ใหม่เพราะเป็นงานใหญ่มากและค่าใช้จ่ายสูงแต่จะนำ model ที่ได้ทดสอบกันแล้วว่ามีความแม่นยำสูงและกำลังใช้งานอยู่ที่อเมริกาและยุโรป มาดัดแปลงเพื่อใช้กับเมืองไทย การใช้ wave model เพื่อพยากรณ์ความสูงคลื่น จะต้องมีความรู้ของความเร็วลม เป็น input data โดยข้อมูลความเร็วลมนี้จะมาจาก 2 แหล่งคือจาก data base ของทีมที่อเมริกาและจาก supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยาของเมืองไทย เนื่องจากในช่วงเริ่มโครงการนี้ supercomputer ของกรมอุตุนิยมวิทยา ยังติดตั้งไม่แล้วเสร็จ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลลมจากกองทัพเรือของอเมริกาที่จัดหาและทำการติดต่อขอข้อมูลโดยทีมงานที่อเมริกา

โมเดลหลักที่ทีมงานของโครงการนี้ได้เลือกมาคือ WAM โมเดลซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รับการยอมรับทั่วโลก และได้นำไปใช้งานจริง ๆ ในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งอเมริกา, ยุโรป และ ญี่ปุ่น WAM โมเดลได้เริ่มทำการ develop ร่วมกันของทีมงานนักวิจัยหลายประเทศ โดยได้รับการสนับสนุนจาก Max Plank Institute ของประเทศเยอรมันนี สถาบันแห่งนี้เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ของ WAM โมเดล สิ่งแรกที่โครงการนี้ทำก็คือ ได้ทำหนังสือไปยัง Max Plank Institute เพื่อขอ source code ของ WAM model และขอจดทะเบียนเป็นสมาชิกของ WAM group เพื่อขอสิทธิ์ใช้ WAM program รวมทั้งรับข่าวสารทั้งการ upgrade WAM program ในอนาคตด้วย ทาง สกว ได้เป็นสมาชิกของ WAM group เพียงหน่วยงานเดียวในประเทศไทย และได้รับ WAM source code โดยไม่ต้องเสียเงิน

ทีมงานของอเมริกา และทีมงานที่เมืองไทยได้ร่วมกันพัฒนา WAM program ที่ได้รับมา เพื่อให้ใช้งานได้สำหรับในเขตอ่าวไทยและทะเลอันดามันจนสำเร็จ และได้มีการเปิดทำ workshop ที่เมืองไทย เพื่อทำการฝึกสอนทั้งภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ รวมทั้งการใช้งานจริง ๆ ของ WAM program

3.2 การศึกษาโครงสร้างของการทำงานของ WAM โมเดล

เนื่องจากใน Software Model เป็น Software ที่ประกอบด้วยตัวแปรและค่า Parameters ต่าง ๆ จำนวนมาก เมื่อตัวแปรและ Parameters เหล่านั้นมีการเปลี่ยนแปลง ก็จะเป็นผลให้ค่าที่ได้จากการคำนวณของ Model เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งในแนวทางที่ให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น หรือผิดพลาดไปเลยก็ได้ รวมไปถึงวัตถุประสงค์ของโครงการที่จะปรับปรุง Global Wave Model ที่ได้รับมาให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่แถบและน้ำตื้นอย่างในอ่าวไทย ดังนั้นจึงใช้เวลาในช่วงเริ่มต้นของโครงการทำความเข้าใจ ผลกระทบของ Parameters ต่าง ๆ ที่มีผลต่อ ผลการคำนวณของ Model

3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการ Run Model แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ

1. ข้อมูลความลึกของท้องทะเล ช่วงแรกของโครงการได้จากแผ่น CD-ROM ชื่อ Global Relief Data ซึ่งทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลโดย National Geophysical Data Center ของประเทศสหรัฐอเมริกาหลังจากที่โครงการได้ดำเนินการไประยะหนึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลความลึกบางส่วนโดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือเข้ามาแก้ไขข้อมูลในส่วนของอ่าวไทย ซึ่งมีความถูกต้องมากกว่า

2. ข้อมูลลมที่ความสูง 10 เมตรจากระดับน้ำทะเล

ลักษณะของแฟ้มข้อมูล เป็นแฟ้มข้อมูลที่ถูกเก็บในรูปแบบที่เรียกว่า TAR File Format เมื่อทำการแตกข้อมูลออกจะประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลย่อย ที่เก็บข้อมูลลมที่ระดับความสูง 10 เมตรจากระดับน้ำทะเล ที่เวลาต่าง ๆ ในส่วนของ u และ v Component ส่วนการรับข้อมูลสามารถรับดังกล่าวได้ที่ Homepage ของ Master Environment Library ที่ <http://mel.dmsomil> สำหรับความถี่ของข้อมูลขึ้นอยู่กับการ Update Homepage ของ Master Environment Library ซึ่งปัจจุบันจะทำการ Update วันละ 1 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 19.00 น.

3.2.2 Software ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการ Run Model

1. ระบบปฏิบัติการ Linux Redhat Release 5.1 (Manhattan) Kernel 2.0.34 on an i386

2. Fortran Compiler GNU77
3. GrADS (Grid Analysis and Display System) Version 1.3.6
4. ระบบปฏิบัติการ Windows 95 or 98
5. ACDSee Version 2.3 3.2 bits
6. GIF Construction Set 32 bits
7. WS_FTP File Transfer Client for Windows 95 and Windows NT Version 4.04 96.08.21
8. Netscape Communicator 4.5 for Windows 95 or 98

3.2.3 ค่า Parameter หลักที่ใช้ใน WAM

1. เพิ่ม PARALL.H (Parameter for array dimensions file)

ชื่อตัวแปร	ชนิด	ความหมาย
NGX	จำนวนเต็ม	Number of longitudes in grid $(=(\text{Long.x}(1/\text{XDELLO}^*)))+1)$
NGY	จำนวนเต็ม	Number of latitudes in grid $(=(\text{Lat.x}(1/\text{XDELLA}^*)))+)$
NBLO	จำนวนเต็ม	Number of blocks
NIBLO	จำนวนเต็ม	Number of points in block $(\sim \text{NGX} \times \text{NGY})$

*XDELLO = Grid Increment of Longitude (Degree)

**XDELLA = Grid increment for Latitude (Degree)

2. เพิ่ม PREP(REG).FRM (User Input of Preproc)

ชื่อตัวแปร	ชนิด	ความหมาย
XDELLA	จำนวนจริง	Grid Increment for Latitude (Degree)
XDELLO	จำนวนจริง	Grid Increment for Longitude (Degree)
AMOSOP	จำนวนจริง	Most Southern Latitude in Grid Matrix
AMONOP	จำนวนจริง	Most Northern Latitude in Grid Matrix
AMOWEP	จำนวนจริง	Most Western Longitude in Grid Matrix

AMOEAP	จำนวนจริง	Most Eastern Longitude in Grid Matrix
OUTLAT&OUTLONG	จำนวนจริง	ตำแหน่งโคออดิเนต (in Degree of Latitude & Longitude) ที่ จะทำการคำนวณ SPECTRA
IBOUNC	จำนวนเต็ม	Flag for the Course Grid = 1 information for a Nested (Fine) Grid will be Generated
IBOUNF	จำนวนเต็ม	Flag for the Fine Grid = 1 This is a Find Grid run, Boundary Information is Expected from a Previous Coarse Grid run
AMOSOC	จำนวนจริง	Southern - Most Latitude of Nest
AMONOC	จำนวนจริง	Northern - Most Latitude of Nest
AMOWEC	จำนวนจริง	Western - Most Longitude of Nest
AMOEAC	จำนวนจริง	Eastern - Most Longitude of Nest

3. เพิ่ม PREP (REG).JOB (Script to run the WAM Preprocessor)

WAM : Directory of WAM Model

4. เพิ่ม PREP (REG).mak (Make Library File) เพิ่ม PRES (REG),FRM (User Input of Preset)

ชื่อตัวแปร	ชนิด	ความหมาย
IDATEA	YYMMDDHHMM	Start Date of Run
IDELWI	จำนวนเต็ม	Timestep on Input Wind File (Seconds)

5. เพิ่ม PRES(REG).JOB (Script to Cold Start WAM)

WND : Directory of Wind File

WAN : Directory of WAM Model

6. เพิ่ม READTOPO.F (Reformat of Topography for WAM Model)

ชื่อตัวแปร	ชนิด	ความหมาย
nc	จำนวนเต็ม	Number of Column = NGX
nr	จำนวนเต็ม	Number of Row = NGY

nb	จำนวนเต็ม	= (Number of Lat. or Lon. x 12)+1
delx	จำนวนจริง	Grid Increment for Longitude (Degree) = XDELLO
dely	จำนวนจริง	Grid Increment for Latitude (Degree) = XDELLA
xlats	จำนวนจริง	Most Southern Latitude in Grid Matrix = AMOSOP
xlatn	จำนวนจริง	Most Northern Latitude in Grid Matrix = AMONOP
xloni	จำนวนจริง	Left Longitude in Grid Matrix = AMOWEP
xlonr	จำนวนจริง	Right Longitude in Grid Matrix = AMOEAP

7. แฟ้ม WAM(REG).FRM

IDATEA	จำนวนเต็ม	Start Date of Run
IDATEE	จำนวนเต็ม	End Date of Run
IDELPRO	จำนวนเต็ม	Propagation Timestep
IDELT	จำนวนเต็ม	Source Timestep
IDELWO	จำนวนเต็ม	Output Wind Timestep
IDELWI	จำนวนเต็ม	Timestep on Input Wind File
IDELINT	จำนวนเต็ม	Integrated Parameter of Total Sea
IDELINS	จำนวนเต็ม	Integrated Parameter of Swell
IDELSPT	จำนวนเต็ม	Spectra of Total Sea
IDELSPS	จำนวนเต็ม	Spectra of Swell
IDELRES	จำนวนเต็ม	Output Files and Restart Files are Saved
ICASE	จำนวนเต็ม	Propagation Option 1 Spherical Otherwise Cartesian Propagation
ISHALLO	จำนวนเต็ม	Shallow Water Flag 1 Deep Otherwise Shallow Water Model
IREFRA	จำนวนเต็ม	Refraction Option 0 If Refraction is not used 1 If Depth Refraction is used 2 If Depth and Current Refraction is used

ITEST	จำนวนเต็ม	Test Output Level >0 For Output upto Subroutine Level 0 No Test Output
ITESTB	จำนวนเต็ม	Test Output Level Blocks >0 For Block Level Test Output if ITEST>0
IREST	จำนวนเต็ม	Restart Option 1 Restart Files are Saved Otherwise Files are not Saved
IBOUNC	จำนวนเต็ม	Course Grid Option 1 For Course Grid Output Otherwise no Boundary Points
IBOUNF	จำนวนเต็ม	1 For Fine Grid Input Otherwise no Boundary Point

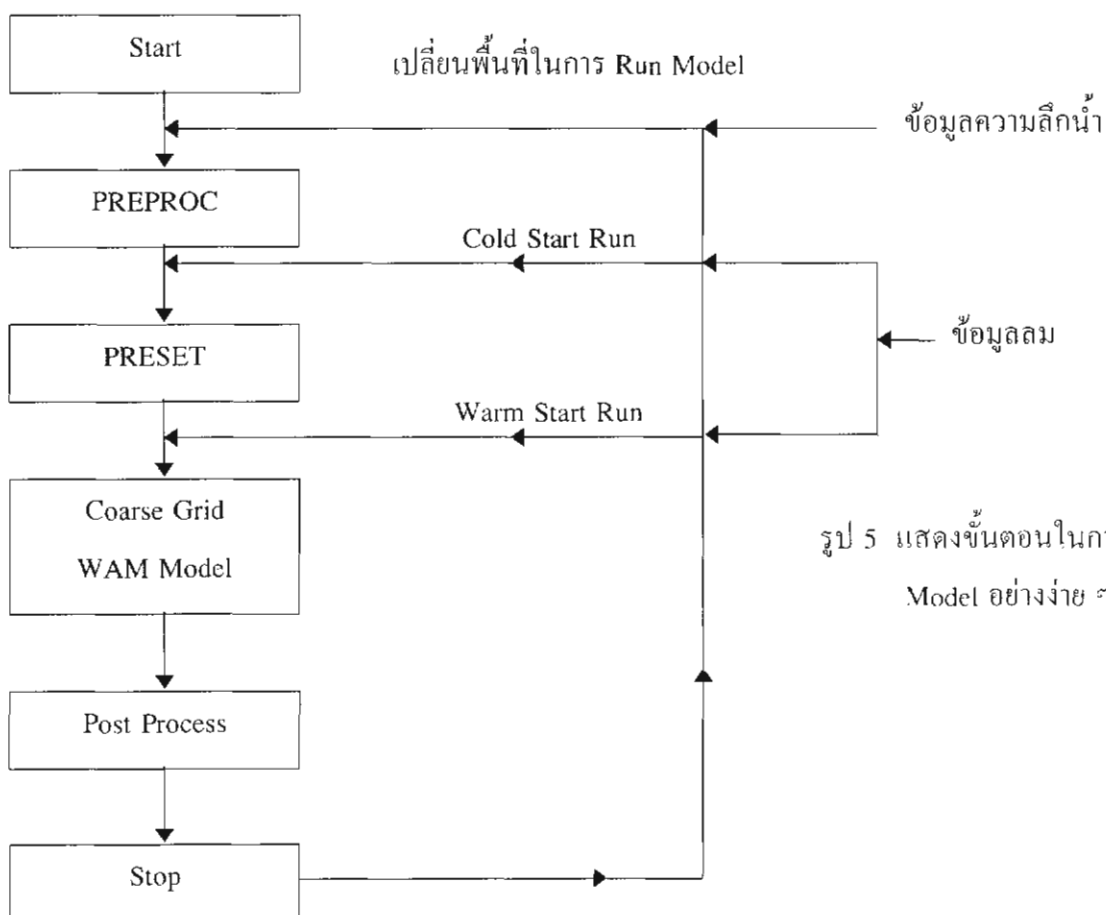
8. เพิ่ม WAM(REG).JOB (Script to Run WAM)

WND : Directory of Wind File

WAMDIR : Directory of WAM Model;

3.8 ขั้นตอนการทำงานอย่างสังเขป

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า Software Model เป็น Software ที่ประกอบด้วยตัวแปร และค่า Parameter ต่าง ๆ จำนวนมาก ดังนั้นการที่จะ Run Model ให้ได้ผลตามวิธีการที่ถูกต้อง จึงมีขั้นตอนและรายละเอียดปลีกย่อยต่าง ๆ ให้ทำการศึกษาค้นคว้าก่อนข้างมาก โดยสามารถสรุป ขั้นตอนในการ Run Model เบื้องต้นได้ดังนี้



รูป 5 แสดงขั้นตอนในการ Run Model อย่างง่าย ๆ

PREPROC เพื่อเตรียมข้อมูลพื้นที่ความลึกของท้องทะเลในบริเวณที่ต้องการ Run Model ให้อยู่ในรูปแบบที่ Model ต้องการ จะทำเมื่อเป็นการ Run Model ครั้งแรกที่ยังไม่เคยมีการ Run มาก่อน หรือในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนพื้นที่ที่จะ Run Model

PRESET เพื่อสร้างพลังงานเริ่มต้นที่จะทำให้เกิดคลื่นในทะเล จากข้อมูลลมที่ระดับความสูง 10 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล

Coarse Grid WAM Model เพื่อคำนวณความสูงคลื่นที่เกิดจากข้อมูลลมที่ความสูง 10 เมตร ผลที่ได้จะถูกเก็บอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลฐานสอง (Binary Files)

Post Process เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลฐานสอง (Binary Files) ให้อยู่ในลักษณะที่สามารถทำความเข้าใจแก่ผู้ใช้ได้ง่ายยิ่งขึ้น เช่น แสดงผลในรูปแบบของภาพนิ่ง หรือ ภาพเคลื่อนไหว

Cold Start Run เป็นการ Run Model โดยใช้ข้อมูลลมที่ระดับความสูง 10 เมตร สร้างหลังงานเริ่มต้นให้กับท้องทะเลในการ Run Model ครั้งใหม่ ซึ่งจะใช้ในกรณีที่ข้อมูลลมที่ใช้ในการ Run ขาดความต่อเนื่อง

Warm Start Run เป็นการ Run Model โดยใช้ข้อมูลพลังงานของท้องทะเลที่ได้จากการ Run Model ครั้งก่อนเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการ Run Model ครั้งต่อไป ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบเมื่อข้อมูลของลมในแต่ละครั้งที่ทำการ Run Model มีความต่อเนื่องกันเท่านั้น

3.4 การทดสอบเทียบข้อมูลความลึกของท้องทะเล

ในส่วนแรกของ Software Model จะมีความต้องการข้อมูลความลึกของท้องทะเลในบริเวณที่จะทำการ Run Model เพื่อนำเข้าไปใช้ในการคำนวณ ซึ่งข้อมูลความลึกของท้องทะเลนี้เป็นหนึ่งในข้อมูลหลักซึ่งจะมีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณมาก ข้อมูลที่โครงการได้นำมาใช้ในเบื้องต้นได้มาจาก CD-Rom ชื่อ Global Relief Data ซึ่งทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลโดย National Geophysical Data Center ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเมื่อนำมาใช้ก็ให้ผลการคำนวณที่อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลคลื่นที่ได้มาจากการตรวจวัดโดยหน่วยงานต่าง ๆ แต่เนื่องจากข้อมูลความลึกของท้องทะเลดังกล่าวเป็นข้อมูลโดยตรง ดังนั้นเพื่อความถูกต้องของข้อมูลในส่วนนี้จึงได้ทำการสอบเทียบข้อมูลความลึกน้าระหว่างข้อมูลที่ได้จาก CD-ROM และข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยมีวิธีการและพื้นที่ในการสอบเทียบ ดังนี้

- ใช้ข้อมูลความลึกของท้องทะเลที่สำรวจโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือเป็นมาตรฐาน

- กำหนดพื้นที่ที่ใช้ทำการสอบเทียบตั้งแต่ แลตติจูด 11°40' เหนือ -13°35' เหนือ ลองจิจูด 99°41' ตะวันออก-101°03' ตะวันออก

- กำหนดจุดในพื้นที่ดังกล่าวจำนวน 241 จุดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ
- อ่านค่าความลึกน้ำจากข้อมูลของกรมอุทกศาสตร์ และจาก CD-Rom ในจุดที่ตรงกัน เปรียบเทียบกันแบบจุดต่อจุด

หลังจากที่ได้ทำการสอบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้มาจากทั้งสองแหล่งแล้ว พบว่าข้อมูลความลึกของท้องทะเลที่ได้มาจากทั้งสองแหล่งไม่แตกต่างกันมากนัก และนอกจากนี้ได้นำข้อมูลจากทั้งสองแหล่งไปเป็นข้อมูลตั้งต้นในการ Run Model โดยใช้ค่าตัวแปร และ Parameters อันเหมือนกันทั้งหมด ผลความสูงคลื่นที่ได้จากการ Run Model โดยใช้ข้อมูลทั้งคู่มิค่าใกล้เคียงกัน n ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลจากทั้งสองแหล่งคือจาก กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ และ CD-Rom Global Relief Data ของ National Geophysical Data Center สามารถนำมาใช้ Run Model ได้

3.5 การ Run Model เพื่อทดสอบ

3.5.1 Run Model ที่ได้รับมาแรกสุดตามขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 5 คือ Run Model แบบ Coarse Grid ในพื้นที่ที่สนใจเพียงครั้งเดียว แล้วนำข้อมูลความสูงคลื่นที่ได้จากการ Run Model ไปเปรียบเทียบกับ ข้อมูลความสูงคลื่นที่ได้จากการตรวจวัดโดยทุ่นลอยที่มีอยู่ในบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ผลที่ได้จากการพิจารณาเปรียบเทียบจะพบว่ามีผลผิดพลาดเกิดขึ้นมากในบริเวณขอบของพื้นที่ที่ทำการ Run Model เนื่องจากไม่มีข้อมูลจากภายนอกขอบซึ่งจะมีอยู่จริงในธรรมชาติป้อนเข้าไปให้กับ Model ในขณะที่ทำการคำนวณ

3.5.2 เมื่อพบข้อผิดพลาดในการ Run Model ด้วยวิธีดังกล่าว และด้วยความร่วมมือจากทีมงานในอเมริกาซึ่งได้พัฒนา Script Program ในการ Run Model ใหม่เมื่อประมาณ 8 ธ.ค.40 โดยจะเพิ่มการ Run Model เป็นสองครั้ง โดยที่ครั้งแรกเป็นการ Run Model ในพื้นที่กว้างกว่าบริเวณที่ต้องการข้อมูลจริง ใช้ความละเอียดในการ Run ต่ำ และช่วงเวลาในการคำนวณแต่ละครั้งค่อนข้างห่าง (Coarse Grid) เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการ Run Model หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการ Run Model ในพื้นที่กว้างดังกล่าว มาสร้างเป็นข้อมูลของพื้นที่ขอบของบริเวณที่ต้องการ (Boundary Condition) แล้วทำการ Run Model ในบริเวณที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ความละเอียดสูง และช่วงเวลาในการคำนวณแต่ละครั้งถี่ขึ้นเพื่อให้ได้ความถูกต้องมากที่สุด (Fine Grid)

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการ Run Model แบบใหม่นี้ โดยเฉพาะใน ส่วนของ Fine Grid กับข้อมูลความสูงคลื่นที่ได้จากการตรวจวัดโดยทุ่นลอยแล้วพบว่ามีความ ถูกต้องกว่าแบบเดิมมาก โดยเฉพาะในบริเวณขอบของพื้นที่ที่ต้องการ

แต่วิธีในการ Run Model แบบนี้จะมีข้อเสีย คือ เวลาที่ใช้ในการ Run Model เพื่อให้ได้ข้อมูลแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นกว่าเดิมเกือบเท่าตัว ซึ่งก็จะสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่ม ประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการ Run Model