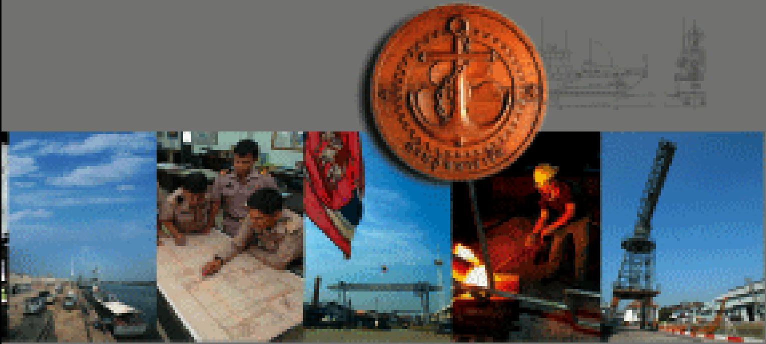
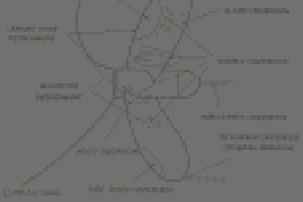
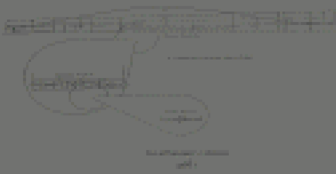


วารสารกรมอู่ทหารเรือ

ISSN : 0857 - 4766

ฉบับพิเศษ มกราคม 2547





6 σ กับการบริหารงานช่างของกรมอู่ทหารเรือ

นาวาเอก เอก สารสาส
รองผู้อำนวยการกองแผนและประมาณการช่าง
กองแผนและประมาณการช่าง อู่ราชนาวีมหิดลอดุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20180

Capt. Aik Sarasart
Planning and Estimating Division, Mahidol Adulyadej Naval Dockyard,
The Royal Thai Naval Dockyard Tumbol Sattahip, Amphur Sattahip, Chonburi 20180

บทคัดย่อ

สภาพการทำงานราชการทุกวันนี้ มีความเปลี่ยนแปลง มีการนำดัชนีการวัดผลการปฏิบัติงานในรูปแบบต่าง ๆ เข้ามาใช้มากขึ้น การทำงานแบบเดิม ๆ ไม่อาจทำให้ระบบราชการอยู่รอดได้ จึงต้องมีการนำเทคนิคบริหารจัดการต่าง ๆ มาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของหน่วยงาน การนำระบบบริหารจัดการของภาคธุรกิจมาปรับใช้น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เพราะหน่วยงานในภาคธุรกิจจะอยู่ในกระแสของการแข่งขันตลอดเวลา หน่วยงานราชการ อาจไม่ล้มหายตายจากไปถ้าไม่พัฒนา แต่หน่วยงานราชการที่สามารถปรับตัวและพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเท่านั้น จึงจะเป็นหน่วยงานที่เจริญเติบโตในด้านคุณภาพ ได้รับการยอมรับและคงอยู่ได้ด้วยความสง่างาม

ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ภาคธุรกิจ ได้มีการนำเครื่องมือในการบริหารงานสมัยใหม่เข้ามาใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในช่วงเวลาที่ผ่านมา กรมอู่ทหารเรือก็ได้รับเอาเครื่องมือในการบริหารบางชนิด มาปรับใช้ให้เหมาะสมในหน่วยงานของตน เช่นนำระบบบริหารงาน ISO 9002 Version 1994 มาใช้ที่อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ เวลาผ่านไป ภาคเอกชนมีการนำเครื่องมือการบริหารแบบใหม่ ๆ เข้ามาใช้ในการบริหารมากขึ้น และประสบความสำเร็จตามสมควร กรมอู่ทหารเรือในฐานะหน่วยบริหารงานช่างที่สำคัญที่สุดของกองทัพเรือ คงจะอยู่เฉยไม่ได้ ทั้งนี้เพื่อพัฒนาหน่วยงานของตนให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลเท่าเทียมกับภาคเอกชน ในกระบวนเครื่องมือการบริหารงานระดับก้าวหน้านั้น มีอยู่ชิ้นหนึ่งที่เห็นว่าน่าจะเหมาะสมและเป็นประโยชน์มากกับกรมอู่ทหารเรือ เข้าใจได้ง่าย ไม่เป็นวิชาการมากจนผู้ที่ไม่เคยเรียนบริหารธุรกิจไม่เข้าใจ และที่สำคัญไม่เสียงบประมาณในส่วนของการขอการรับรอง และสามารถปรับใช้กับระบบที่มีอยู่แล้ว เช่น ISO ได้โดยไม่ต้องละทิ้งระบบเดิมเพื่อเข้าหาระบบใหม่ เครื่องมือชิ้นนั้นมีชื่อว่า 6 σ หรือ Six Sigma ซึ่งปัจจุบัน บริษัทในภาคเอกชนในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ได้เลือกที่จะนำเครื่องมือนี้เข้ามาช่วยในการบริหารงานของตน เรื่องนี้จะให้ความรู้โดยสังเขปว่า เครื่องมือชนิดนี้คืออะไร มีความเป็นมาอย่างไร และจะสามารถนำมาปรับใช้งานได้อย่างไร

กล่าวนำ

ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ภาคธุรกิจ ได้มีการนำเครื่องมือในการบริหารงานสมัยใหม่เข้ามาใช้เป็นจำนวนมาก อาทิ ISO 9000, Reengineering, Key Performance Indicator (KPI), Balanced Scorecard (BSC), Total Quality Management (TQM), Hoshin Kanri เป็นต้น ซึ่งในช่วงเวลาที่ผ่านมา กรมอู่ทหารเรือก็ได้รับเอาเครื่องมือในการบริหารบางชนิด มาปรับใช้ให้เหมาะสมในหน่วยงานของตน เช่น นำระบบบริหารงาน ISO 9002 Version 1994 มาใช้ที่อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ ซึ่งถือเป็นหน่วยงานแรกของกองทัพเรือที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานดังกล่าว เวลาผ่านไป ภาคเอกชนมีการนำเครื่องมือการบริหารแบบใหม่ ๆ เข้ามาใช้ในการบริหารงานมากขึ้น และประสบความสำเร็จตามสมควร กรมอู่ทหารเรือในฐานะหน่วยบริหารงานช่างที่สำคัญที่สุดของกองทัพเรือ คงจะอยู่เฉยไม่ได้ ทั้งนี้ เพื่อพัฒนาหน่วยงานของตนให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเท่าเทียมกับภาคเอกชน การจะคงเพียงแค่ ISO 9002 Version 1994 ไว้ คงจะทำให้กรมอู่ทหารเรือเป็นผู้ตามแทนที่จะเป็นผู้นำ การที่จะปรับเปลี่ยนไปเป็น ISO 9001 Version 2000 ก็เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แต่ก็จะประสบปัญหาเกี่ยวกับงบประมาณในการขอรับการรับรองอย่างที่เคยเป็นมาแล้ว ลำพังแค่ 5 ส. ซึ่งกรมอู่ทหารเรือเป็นหน่วยงานแรกของกองทัพเรือที่ได้นำมาใช้นั้น คงไม่ทำให้ระบบบริหารงานช่างของกรมอู่ทหารเรือไปได้ไกลนัก เนื่องจากเป็นเพียงเครื่องมือระดับพื้นฐาน แต่อย่างไรก็ตาม 5 ส. ก็เป็นการสร้างฐานที่ดีสำหรับการที่จะก้าวไปหาเครื่องมือการบริหารที่ก้าวหน้า

มากขึ้น ในกระบวนเครื่องมือการบริหารงานระดับก้าวหน้านั้น มีอยู่ชิ้นหนึ่งที่ผู้เขียนเห็นว่า น่าจะเหมาะสมและเป็นประโยชน์มากกับกรมอู่ทหารเรือ เข้าใจได้ง่าย ไม่เป็นวิชาการมากจนผู้ที่ไม่เคยเรียนบริหารธุรกิจไม่เข้าใจ เนื่องจากเป็นการพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตโดยตรง ไม่ได้มาจากห้องเรียนอย่างที่ระบบบางระบบเช่น Balanced Scorecard เป็น และที่สำคัญไม่เสียงบประมาณในส่วนของการขอการรับรอง และสามารถปรับใช้กับระบบที่มีอยู่แล้ว เช่น ISO ได้โดยไม่ต้องละทิ้งระบบเดิมเพื่อเข้าหาระบบใหม่ เครื่องมือชิ้นนั้นมีชื่อว่า 6 σ หรือ Six Sigma ซึ่งเครื่องมือในการบริหารชิ้นนี้ มีต้นกำเนิดจากบริษัท Motorola และต่อมาภายหลัง บริษัท General Electric ได้นำมาใช้ และยังประโยชน์สูงสุดให้กับบริษัทจน Jack Welch ประธานเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารของ GE ได้รับการยกย่องในระดับโลกมาแล้ว และปัจจุบัน บริษัทในภาคเอกชนในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ได้เลือกที่จะนำเครื่องมือนี้เข้ามาช่วยในการบริหารงานของตน เช่นบริษัทการบินไทย และบริษัทยูนิไทย ชิปยาร์ด แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง เป็นต้น จึงเป็นที่น่าสนใจว่า เครื่องมือชนิดนี้คืออะไร มีความเป็นมาอย่างไร และจะสามารถนำมาใช้งานได้อย่างไร

Six Sigma คืออะไร

คำว่า Sigma (σ) นำมาจากวิชาสถิติ มันคือ สิ่งที่ถูกเรียกว่า *“ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน”* หรือค่า Standard Deviation นั่นเอง ในเรื่องนี้ มันจะบอกระดับของเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการทำงาน (หรืออีกนัยหนึ่ง อาจคิดเป็นจำนวนชิ้นของงานที่ต้อง Rework หรือ “ทำใหม่” ก็ได้) เป็นจำนวนชิ้นต่องาน 1,000,000 ชิ้น หรือ Defects Per Million Opportunities ซึ่งถ้าจะกล่าวโดยย่อก็คือ ในระดับ 0 σ ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดทางทฤษฎีนั้น จะมีของเสียเกิดขึ้นในสายการผลิต ประมาณ 933,193 ชิ้นต่อการผลิต 1,000,000 ชิ้น ซึ่งในทางปฏิบัติคงจะไม่มีบริษัทหรือหน่วยงานระดับนี้อยู่ในโลก ในระดับ 1 σ นั้น จะมีของเสียประมาณ 691,462 ชิ้นต่อการผลิต 1,000,000 ชิ้นเช่นกัน ที่ระดับ 2 σ จะมีของเสียเกิดขึ้นในสายการผลิต ประมาณ 308,538 ชิ้น ที่ระดับ 3 σ ซึ่งถือว่าเป็นระดับของหน่วยงานค่อนข้างแนวหน้า จะมีของเสียประมาณ 66,807 ชิ้น ที่ 4 σ มีของเสียเหลือเพียง 6,210 ชิ้นในล้าน ซึ่งน่าจะเป็นอัตราส่วนที่ถือว่าน่าทึ่ง แต่ก็ยังไม่ใช่ที่สุด ที่ 5 σ ของเสียเหลือเพียง 233 ชิ้น และที่ระดับสุดยอด คือ 6 σ ซึ่งนำมาเป็นชื่อของเครื่องมือบริหารงานชิ้นนี้ มีของเสียเพียง 3.4 ชิ้นเท่านั้น! และนั่นเป็นเป้าหมายที่สูงสุดของทุกบริษัทที่นำระบบ Six Sigma เข้าไปช่วยในการบริหาร พยายามจะไปให้ถึง แต่อย่างไรก็ตาม ไม่มีคำว่า Zero Defect จากสายการผลิตในระบบ Six Sigma เนื่องจากในทางปฏิบัติจริงๆ แล้ว ไม่มีทางที่จะเป็นเช่นนั้นได้ จะมีก็แต่ในตำราหรือทฤษฎีเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ไปถึงมือลูกค้าจะต้องเป็น Zero Defect

ที่กล่าวมาแล้วนั้น บางท่านอาจจะเห็นว่า Six Sigma ก็น่าจะเป็นการประยุกต์วิชาสถิติเท่านั้น แต่ไม่ใช่อย่างที่คิด Six Sigma ถือว่าเป็นปรัชญาทางการบริหารที่มุ่งเน้นที่จะลดความผิดพลาดในการทำงาน ลดของเสียที่จะเกิดขึ้นในการทำงาน โดยการสร้างระบบการวัดผลที่เป็นตัวเลขขึ้นมาเพื่อให้ดูแล้วเข้าใจในทันทีว่า สมรรถนะของกระบวนการนั้น ดีหรือไม่ดีอย่างไร และสิ่งที่พยายามแก้ไขนั้น ตรงเป้าและได้ผลจริงหรือไม่ โดยดูจากค่านี้เป็นเกณฑ์ เชื่อหรือไม่ว่าจริงๆ แล้ว การกระทำทุกอย่างในโลกนี้สามารถวัดเป็นค่าได้หมด ซึ่งบางทีเราก็ไม่ทันรู้ตัว ยกตัวอย่างเช่น ทุกครั้งที่ท่านไปยังสถานที่ใดที่หนึ่ง ท่านจะมองดู แล้วเทียบกับสถานที่แบบเดียวกันที่ท่านได้เคยไปมาก่อนและเกิดความประทับใจ แล้วท่านก็จะบอกได้ว่า ที่นี่ถือว่าดีสำหรับท่านหรือไม่ นี่เป็นสถิติเช่นกัน เพียงแต่ว่าค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยที่อยู่ในใจคุณนั้น คุณไม่

สามารถอธิบายออกมาเป็นตัวเลขได้ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์เคยพูดไว้ว่า “สิ่งใดที่ท่านไม่สามารถวัดได้ แสดงว่าท่านไม่ได้เข้าใจในสิ่งนั้น” Six Sigma จะเป็นระบบที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานทุกอย่างวัดเป็นค่าออกมาได้ และค่านั้น จะเป็นมาตรฐานที่ทุกคนเข้าใจได้ และก็จะสามารถแก้ไขให้ดีขึ้นได้ โดยมีค่านั้น เป็นตัววัดว่า สิ่งที่ได้ทำไปนั้น ดีขึ้นหรือไม่ดีถึงระดับที่ควรจะพอใจแล้วหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่นในสายการผลิตขนมปัง โรงงานทั่ว ๆ ไปในระดับ 3 σ จะผลิตขนมปังไหม้ 66,807 ชิ้นจากการผลิตล้านชิ้น ซึ่งแน่นอนว่า ขนมปังไหม้เหล่านั้น จะต้องถูกเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพที่ปลายสายการผลิตโยนทิ้งไป ถึงมือลูกค้าไม่ได้ และนั่นคือเงินลงทุนที่โยนทิ้งไปอย่างไร้ค่า เช่นนี้ หากต้นทุนการผลิตเริ่มต้นตกชิ้นละ 1 บาท หมายความว่า เราโยนเงินจำนวน 66,807 บาททิ้งลงกองขยะไปแล้ว และแล้วต้นทุนผลิตขนมปังดี จะกลายเป็นอันละ 1,000,000/(1,000,000-66,807) = 1.072 บาท หากขายอันละ 2 บาท บริษัทนี้จะมีรายได้เท่ากับ 1,866,386 บาท คือกำไร 866,386 บาท หรือร้อยละ 86.64 ซึ่งก็นับว่าดี แต่ในขณะเดียวกันโรงงานที่ทำระบบ Six Sigma และปัจจุบันอยู่ที่ระดับ 4 σ จะทำขนมปังไหม้เพียง 6,210 ชิ้น ก็หมายความว่าที่บริษัทนี้ ต้นทุนผลิตขนมปังจะปรับเป็นอันละ 1,000,000/(1,000,000-6,210) = 1.0062 บาท และรายได้จากการขายจะเป็น 1,987,580 บาท กำไรคิดเป็นร้อยละ 98.76 จะเห็นได้ว่ากำไรมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดจากระดับ σ ที่ต่างกันเพียงขั้นเดียว

สำหรับที่กล่าวในตอนต้นว่า ระบบนี้สามารถปรับใช้ได้กับระบบที่มีอยู่เดิมแล้วได้ ก็เนื่องด้วยเหตุที่ว่า ระบบนี้ เป็นการหาทางปรับแก้ปัญหาที่ตัวต้นเหตุโดยตรง ดังนั้นผลที่ได้จากการดำเนินการคือขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะสามารถปรับแก้ที่เอกสารตัวเดิมที่มีอยู่แล้วได้ จึงไม่ต้องละทิ้งระบบที่วางไว้เดิม แต่อาจจะมีการปรับแก้เอกสารในระดับล่างบางส่วนเท่านั้น ซึ่งก็เหมือนกับการทบทวนระบบเดิมให้มีความทันสมัยขึ้น โดยใช้เครื่องมือชิ้นใหม่นี้เข้ามาช่วยในการดำเนินการ

ในรูปแบบของบริษัทนั้น บางบริษัทเลือกที่จะทำผลกำไรมากกว่าเดิมโดยการค้นคิดผลิตภัณฑ์ที่แหวกแนวใช้เทคโนโลยีสุดยอด แย่งตัวพนักงานที่เก่งกาจสามารถ มาจากบริษัทอื่นด้วยการเสนอเงินเดือนที่แพงลิ่วให้กับเขา แต่ไม่สนใจในระบบการผลิตของตนเองมากนัก แต่ในขณะเดียวกัน อีกบริษัทหนึ่งกลับไปมุ่งเน้นที่จะไม่ทำข้อผิดพลาด ไม่ปล่อยให้วัตถุดิบการผลิตสูญเสียไปอย่างไร้ค่า ไม่ทำให้มีข้อผิดพลาดในการผลิตหรือการบริการ ไม่ละเลยที่จะทำสิ่งที่ดีที่สุด ไม่ละเลยที่จะสืบหรือสอบถามความต้องการอันแท้จริงของลูกค้ามันอาจดูไม่น่าสนุกไม่น่าตื่นเต้นและเป็นที่จดจำมากนัก ผลิตภัณฑ์ที่มาจากบริษัทหลัง อาจดูเชยไปบ้าง เทคโนโลยีที่ใช้อาจไม่สุดยอด แต่เป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ ทนทานวางใจได้ ต้นทุนต่ำกว่าเนื่องจากอัตราของเสียจาก

การผลิตแทบไม่มี คุ้มค่าเงินที่ลูกค้าจ่ายไป เมื่อหักกลบลบหนี้กันแล้ว บริษัทหลัง จะอยู่ในฐานะที่ดีกว่า และบริษัทหลังนี้ คือสิ่งที่ Six Sigma ต้องการให้เป็น ในระบบ Six Sigma จะไม่มีการบริหารจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้น หากแต่จะค้นให้พบต้นตอของปัญหา แล้วขจัดมันทิ้งไป และที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งคือ ไม่พยายามที่จะแก้ไขปัญหาทุกอย่างในเวลาเดียวกัน หรือไม่พยายามทำใครคนหนึ่งให้เป็นซูเปอร์แมนผู้พิทักษ์โลกโดยการแก้ทุกปัญหา วิธีนั้นไม่เคยได้ผล แต่จะแก้ไขปัญหาเพียงทีละปัญหาให้ลุล่วง หลังจากปัญหาแรกลุล่วงไปด้วยดีและที่สำคัญ ไม่ย้อนกลับมาอีก จึงเริ่มแก้ปัญหาอันอื่นต่อไป ด้วยคนอีกชุดหนึ่ง และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ เป็นระบบที่ผู้บริหารจะต้องลงมาเล่นด้วยอย่างจริงจัง ไม่ใช่แค่สั่งงานผู้รับมอบหมายแล้วก็ลืมๆ มันไป

Six Sigma ไม่ใช่ระบบที่เอาไว้คุยโม้โอ้อวดกับใครต่อใครว่า ฉันทำนะ ฉันได้ใบรับรองนะ เพราะว่า Six Sigma ไม่ต้องมีการรับรองโดยหน่วยงานใดๆ ทั้งสิ้น สามารถทำได้โดยเป็นความลับทั้งหมดขึ้นกับองค์กรเองว่าจะทำเอาจริงเอาจังขนาดไหน ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติอย่างถูกต้องและจริงจัง คือประสิทธิภาพและประสิทธิผลของหน่วยงานที่เพิ่มขึ้น วัดเป็นค่าแสดงออกมาได้ ต้นทุนที่ใช้ต่ำลง ลูกค้ายอมรับ หน่วยเหนือขึ้นไปยอมรับ และนั่นถือว่าเป็นใบรับรองที่จริงแท้แน่นอนกว่าใบรับรองแบบไหนและจากใครทั้งสิ้น และในส่วนของผู้ทำโครงการเอง ก็จะมีแฟ้มบุคคล หรือ Portfolio ไว้คอยบันทึกถึงความสำเร็จที่พวกเขาได้ทำมันขึ้นมา และจะนำมาเป็นตัวหลักในการพิจารณาโบนัสหรือความดีความชอบสำหรับบุคคลเหล่านั้นด้วยในบางบริษัทที่เอาจริงเอาจังกับเรื่องนี้มาก ๆ เช่น บริษัท General Electric นั้น ผู้ที่ไม่เคยเป็น Black Belt หรือเคยเป็นแต่มีผลงานในโครงการ Six Sigma น้อยกว่าที่กำหนดจะไม่มีทางเติบโตในบริษัทได้เลย !

เท่าที่กล่าวมาทั้งหมดแล้วนั้น คงจะทำให้ท่านได้เห็นเป้าหมายที่ระบบ Six Sigma ต้องการไปให้ถึง

บุคลากรกับ Six Sigma

ส่วนที่สำคัญที่สุดของงานทุกงาน และในขณะเดียวกันก็เป็นตัวแปรที่ถือว่า มีความเป็นเสถียรน้อยที่สุด คือ บุคลากร สำหรับการเริ่มทำโครงการ Six Sigma ของหน่วยงานใด ๆ นั้น จุดเริ่มแรกที่สุดคือ ผู้บริหารระดับสูงต้องมีความอยากที่จะทำจริง ๆ ไม่ใช่แค่เป็นแฟชั่นหรือตามแนวโน้มวัตถุนิยม เห็นเขามีก็อยากมีบ้าง อย่างนี้โครงการจะอยู่ไม่ได้นาน แล้วสุดท้ายก็จะเหมือนกับ QCC ที่ล้มหายตายจากไปแล้ว อยากอย่างเดียวก็ไม่พอ ต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบด้วย (ซึ่งอาจมีการหาผู้เชี่ยวชาญในเรื่องนี้จากภายนอกมาบรรยาย หรือส่งบุคลากรออกไปรับการอบรมภายนอกแล้วกลับมาอบรมผู้บริหารอีกที) รู้ถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการทำโครงการ มีศรัทธา คือทำแล้วไม่เลิก กัดแล้วไม่ปล่อย ผู้บริหารระดับรอง ๆ ลงมาต้องมีทัศนคติที่ดี พร้อมที่จะเอาไหนเอากันกับผู้บริหารระดับสูง ถ้าได้เท่านี้ไม่น้อยกว่านี้ ก็ถือว่าโครงการจะไปได้สวย ถ้าน้อยกว่านี้ก็ควรยกเลิกโครงการเสีย ไม่ต้องทำ เพราะนโยบายในการทำ Six Sigma ต้องเริ่มต้นจาก Top Down เท่านั้นจึงจะไปรอด ส่วนหลังจากนั้น จึงจะเป็น Bottom Up โดย Top จะ Keep an eye on และ Hands on อย่างสม่ำเสมอ

นอกจากตัวผู้บริหาร ซึ่งจะต้องทำหน้าที่สนับสนุนโครงการอย่างเต็มที่แล้ว ต่อไปคือผู้ปฏิบัติและผู้ช่วยเหลือ ซึ่งจะเน้นที่ผู้บริหารระดับกลางเป็นสำคัญ ซึ่งในภาษาของ Six Sigma จะเรียกพวกนี้เหมือนยูโด คือ ผู้ดำเนินโครงการหรือตัวหลักจริง ๆ ของโครงการหนึ่ง ๆ จะถูกเรียกว่า Black Belt ส่วนผู้ร่วมในโครงการจะเรียกว่า Green Belt Black Belt และ Green Belt จะเป็นตัวหลักในการดำเนินการในโครงการ Six Sigma แต่ละโครงการ และ

ในส่วนของผู้บริหารที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้บริหารสูงสุดซึ่งดูแลโครงการ จะเรียกว่า Executive Champion ส่วนผู้บริหารระดับรองลงมาที่มีหน้าที่คอยเป็นผู้ชี้นำ ให้คำมั่น และเตรียมงานเพื่อการเริ่มต้นของโครงการจะเรียกว่า Deployment Champion และผู้บริหารที่ได้รับมอบหน้าที่ดูแล Black Belt และโครงการของพวกเขา ช่วย Black Belt ในการขจัดอุปสรรคในการทำโครงการออกไป สร้างกลไกที่เอื้อประโยชน์ต่อการทำงาน จัดขอบข่ายให้เหมาะสม จัดหางบประมาณที่พอเพียงในการทำโครงการวัดค่าการทำงาน ประเมินผล คนนี้จะถูกเรียกว่า Project Champion ซึ่งทั้ง Deployment Champion และ Project Champion จะต้องเป็นผู้บริหารระดับสูงที่ถือว่า เป็นบุคลากรระดับสุดยอดของหน่วยงาน ที่ถูก Executive Champion คัดเลือกสำหรับงานสุดยอดอย่างนี้โดยเฉพาะ

คนสำคัญอีกคนหนึ่ง จะเป็นผู้เชี่ยวชาญด้าน Six Sigma โดยตรง มีความรู้ในด้านสถิติดี เป็นผู้เลือก และเป็นครูฝึกให้กับผู้เป็น Black Belt เป็นผู้ช่วย Champion คัดเลือกโครงการดี ๆ มาทำ คน ๆ นั้นถูกเรียกว่า Master Black Belt ซึ่งในเบื้องต้นของโครงการ อาจเป็นการจ้างจากที่ปรึกษาภายนอกองค์กร แต่หลังจากนั้นไปสักพักหนึ่ง เมื่อได้เริ่มโครงการไปแล้ว จนมีโครงการหลายๆ โครงการที่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เมื่อนั้นก็จะมี Black Belt ที่ทำงานสำเร็จจำนวนหนึ่ง ในจำนวน Black Belt เหล่านั้น คนหนึ่งที่เก่งที่สุดจะถูกเลือกมาเป็น Master Black Belt แทนคนแรกซึ่งจะต้องถึงเวลาอำลา เพราะเขาเป็นคนจากภายนอกองค์กร

อย่างที่กล่าวมาแล้วช่วงต้น Black Belt จะเป็นพนักงานในระดับกลางเท่านั้น เพราะพนักงานระดับกลางจะคุ้นเคยกับงานทั้งในระดับล่างและบน

แต่ Black Belt จะได้รับอำนาจในการทำงานจาก Champion มาก และเป็นผู้ที่ทำงานให้กับโครงการ Six Sigma อย่างเต็มเวลา (เช่นเดียวกับ Master Black Belt) ถือเป็นงานในหน้าที่ประจำไปเลย จนกว่าโครงการของตนเองจะเสร็จสิ้น ส่วน Green Belt หรือบุคคลในทีมงานนั้น จะทำโครงการเพียงนอกเวลาเท่านั้น และมีอำนาจหน้าที่น้อยกว่า Black Belt มาก สิ่งที่แตกต่างระหว่าง Champion และพวกมี Belt คือ Champion จะรับผิดชอบว่าจะทำอะไรให้สำเร็จ ส่วนพวกมี Belt จะรับผิดชอบว่าจะทำอย่างไรให้สำเร็จในเวลาที่กำหนด สิ่งที่แปลกอย่างหนึ่งคือ Black Belt นั้น มักจะไม่ได้มาจากหน่วยงานย่อยที่กำลังประสบปัญหาที่ต้องแก้ไข แต่จะมาจากสายงานอื่น แต่ Green Belt มักจะมาจากสายงานนั้นโดยตรงเนื่องจากต้องรู้ในเทคนิคพิเศษในสายงาน ทั้งนี้เพื่อสร้างระบบให้เป็นแบบ Cross-Functional ที่จะเอื้อประโยชน์ในการที่สามารถแก้ไขปัญหาแบบข้ามสายงานได้อย่างรวดเร็ว

เมื่อมองที่จุดนี้ จะเห็นได้ว่า Six Sigma จะแตกต่างกับ TQM มาก ตรงที่ TQM จะพยายามใช้คนหมู่มาก และในสายงานเดียวๆ กันในการพิจารณาแก้ปัญหา ซึ่งคล้ายกับ QCC แต่ Six Sigma จะมองว่า มากคนมากความ จึงพยายามใช้คนน้อยที่สุดในการแก้ปัญหา ให้ผู้มีหน้าที่หลักในการแก้ปัญหาได้รับ Authority เต็มที่จาก Champion เพื่อให้การแก้ปัญหาเป็นไปอย่างลุล่วง มี Authority ถึงขนาดที่ว่า สามารถเชิญตัว Champion เองให้เข้ามาร่วมในการประชุมแก้ไขปัญหาได้ หากปัญหานั้นเกี่ยวข้องกับตัว Champion ด้วย ซึ่งในสังคมอย่างประเทศไทย การที่คนคนเดียวมีอำนาจสั่งการขนาดนี้ น่าจะได้ผลดีกว่าในทางปฏิบัติ เห็นเป็นรูปธรรมชัดเจนกว่าการแก้ไขปัญหาระบบกลุ่มใหญ่ ซึ่งไม่มีใครมี Authority จริง ๆ สักคน

เมื่อคัดเลือกบุคคลต่าง ๆ ได้แล้ว ก็ถึงเวลาที่จะต้องเริ่มงานกัน

หลักการทำ Six Sigma อย่างย่อ

หลักการ และถือเป็นขั้นตอนการทำโครงการ Six Sigma คือแนวคิดของ DMAIC ซึ่งย่อมาจาก Define, Measure, Analyze, Improve และ Control ซึ่งจะขอกล่าวตามลำดับดังนี้

Define คือการกำหนดปัญหา หาว่าปัญหานั้นจริงๆ แล้วคืออะไร เช่นคุณปวดฟัน นั่นไม่ใช่ปัญหาที่แท้จริง ต้องหาให้ได้ว่าปัญหาแท้ๆ อยู่ที่ฟันผุจนถึงรากฟันแล้ว หรือฟันคุดกันแน่ ต่อไปคือพิจารณาว่าปัญหาที่เลือกจะทำเป็นโครงการนั้นจะต้องคุ้มค่า ตรงประเด็น เป็นเรื่องสำคัญจริงๆ ไม่ใช่เรื่องง่ายๆ หรือเรื่องพื้นๆ ที่ทำสำเร็จแล้ว ก็ไม่เห็นผลอะไรที่เด่นชัด หรือเป็นเรื่องที่มี Cost Effectiveness ต่ำ คือเสียเงินทำโครงการไปตั้งมากมาย แต่ได้ผลลัพธ์กลับมาไม่คุ้มเงินที่เสียไป โดยทั้งนี้ต้องมุ่งเน้นที่การแก้ไขปัญหาที่เกิดกับกระบวนการสำคัญ กระบวนการที่ส่งผลต่อคุณภาพงาน กระบวนการที่ส่งผลต่อความต้องการ ความคาดหวัง และความพึงพอใจของลูกค้าอย่างมาก กระบวนการที่สิ้นเปลืองต้นทุนมาก กระบวนการที่ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัย เป็นต้น

Measure คือการวัดขีดความสามารถของกระบวนการ ซึ่งในระบบ Six Sigma จะวัดที่ทางเข้าและทางออกของกระบวนการ โดยการวัดตัวที่สำคัญ (Key) ของกระบวนการ ซึ่งเรียกว่า Key Process Input Variable (KPIV) และ Key Process Output Variable (KPOV) ตามลำดับ KPIV ที่นิยมคิดถึงกันมากที่สุดก็หนีไม่พ้น Man, Machine, Material, Method, Management, Money, Information และ Timing ซึ่งหนึ่งหรือหลายอย่างใน 8 อย่างนี้มักจะตรงเป้าเกือบทุกครั้ง แต่จะเหมาหมดไม่ได้ เหวี่ยงแหเกินไป เพราะชื่อก็บอกแล้วว่าเป็น Key จึงต้องเลือกตัวที่เป็น Key จริงๆ สำหรับปัญหาหนึ่งๆ ส่วน KPOV ก็มักจะเป็นพวก ผลผลิต คุณภาพ ต้นทุน ความปลอดภัย ความสบายใจ สิ่งแวดล้อม และจริยธรรม ตามสูตร PQCDSMEE หรืออาจเป็นอะไรอย่างอื่น เช่น ผลกำไร, จำนวนงานที่สำเร็จในช่วงเวลา (อันนี้อยู่ในข่ายยิ่งมากยิ่งดี) หรืออัตราของเสีย ต้นทุน (อันนี้ยิ่งน้อยยิ่งดี) หรือ คุณภาพคงเส้นคงวา ไม่หวือหวาขึ้นลงตามอำเภอใจ (อันนี้ยิ่งคงที่ยิ่งดี) อะไรทำนองนี้เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตอยู่ว่า KPOV มักจะเป็นตัวโยงไปถึงตัวปัญหาบั้นปลายสุดที่เราต้องการแก้ ดังนั้น ถ้าเลือก KPIV ผิด KPOV และปัญหาบั้นปลายจะไม่ได้รับการแก้หรือดีขึ้นเล็กน้อย ไม่คุ้มค่ากับที่จะลงทุนลงแรงไป ดังนั้นอย่าหลงประเด็น โครงการให้แก้ไขอะไร ก็จงพยายามแก้ไขอันนั้นเท่านั้น ปัญหาที่พบอื่นจะถือว่าเป็นข้อมูลในการที่จะทำโครงการ Six Sigma อันต่อไปเท่านั้น

Analyze การวิเคราะห์กระบวนการ เป็นการพิสูจน์ว่า KPIV ที่เลือกมาแล้วนั้น เป็น KPIV ที่แท้จริง มีผลต่อ KPOV จริง ถ้าควบคุม KPIV ตัวนี้ได้ KPOV และปัญหาของเราก็จะถูกควบคุมอย่างอยู่หมัด มีความเสถียร ตรงนี้เป็นการใช้เครื่องมือประเภท Problem Solving Tools ต่างๆ ทางด้าน Industrial Engineering และ Business Administration เข้ามาช่วยให้เห็นความเป็นไปได้อย่างชัดเจน เป็นกราฟหรือตัวเลขที่เข้าใจได้ง่าย เช่นการใช้วิชาจำพวก Reliability Management, Statistical Process Control, Design of Experiment, Quality Function Deployment, Activity Based Cost Analysis หรืออาจยากขนาดใช้ Finite Element Simulation แบบ NASA ใช้ หรืออาจง่ายแค่ Fish bone diagram หรือผังก้างปลาอย่างที่เคยใช้ใน QCC ก็ได้ ไม่จำเป็นว่าต้องใช้วิชาที่ยากสุดขีดสำหรับเราทั้งๆ ที่ไม่เข้าใจถ่องแท้ มันจะเหมือนกับซื้อโทรศัพท์มือถือราคาแพงไว้ใช้ทั้งๆ ที่ใช้แค่โทรและโชว์ ใช้ฟังก์ชั่นอื่นไม่เป็นเลย อันนั้นไร้ค่าและไร้ซึ่งสติปัญญา แต่ถ้าไม่รู้อะไรสักอย่าง ก็ไม่ต้องกลัวอย่างน้อยระบบนี้ก็มี Master Black Belt คอยให้การชี้แนะเรื่องนี้ได้อยู่แล้ว จะว่าง่ายก็ไม่ง่ายยากก็ไม่ยาก แต่ก็ต้องพัฒนาตนเองพอสมควรถ้าไม่รู้และนี่คือสิ่งที่ Motorola ผู้ให้กำเนิด Six Sigma ภูมิใจมากที่ได้สร้างระบบนี้ขึ้นมา เพราะคนที่ทำโครงการ Six Sigma จะต้องเรียนรู้อยู่เสมอเพื่อทำโครงการให้ได้ อันเป็นผลให้บังเกิด Learning

Organization ในภาพรวมด้วย ไม่มีใครแก่เกินเรียน อันนี้เป็นเรื่องจริง

DMA เป็นขั้นตอนที่อาจต้องทำซ้ำไปมาหลายเที่ยว จนได้ KPIV ตัวจริงออกมา ไม่จำเป็นว่าต้องทำหนเดียว และการหา KPIV ตัวจริงให้พบเป็นขั้นตอนที่ถือว่ายากที่สุดของการทำโครงการ Six Sigma

Improve การพัฒนา เมื่อได้ KPIV ตัวจริงแล้ว ต่อไปคือการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้ดีขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อขจัดปัญหาที่ทำให้ต้องมาทำโครงการ Six Sigma อันนี้เสียให้สิ้นซาก โดยการพัฒนาวิธีการทำงานใหม่ๆ เปลี่ยนเครื่องจักรตัวใหม่ พัฒนาวิธีการฝึกฝนบุคลากรใหม่ แล้วแต่ว่า KPIV คืออะไร ทั้งนี้เพื่อควบคุมระดับของ KPIV ให้ต่ำหรือหายไปเลย ไม่ให้ส่งผลต่อ KPOV อีก ยกตัวอย่างกรณีของการเล่นกอล์ฟ ค่าปกติของคุณอยู่ที่ 48-48 ซึ่งคุณคิดว่าน่าจะทำได้ดีกว่านี้ จากการประเมินค่าตนเอง ทั้งสุขภาพ อุปกรณ์ เวลาในการฝึกซ้อมในแต่ละวัน อาหารการกิน การใช้ชีวิตประจำวัน ฯลฯ พบว่า คุณน่าจะมีศักยภาพในการลดสกอร์ลงเหลือประมาณ 44-44 ก็มาประเมินตนเองต่อ คือหา KPIV และ KPOV ในที่สุดพบว่าจะเป็นเช่นนั้นได้ คุณจะต้องทำให้ค่าเฉลี่ยของการไดรว์จากแท่นทีออฟแล้วลูกคงอยู่ในแฟร์เวย์ขึ้นจาก 70% ไปเป็น 75% และต้องทำให้ค่าเฉลี่ยการพัตในแต่ละหลุม จาก 2.8 พัตเหลือประมาณ 2.2 พัต และจากการวิเคราะห์ สิ่งที่คุณต้องทำคือการเปลี่ยนจุดตั้งลูกในการทีออฟใหม่ เพราะคุณมักชอบไดรว์ลูกแบบ Outside in ลองเปลี่ยนพัตเตอร์ใหม่เพราะที่คุณใช้อยู่นั้นน้ำหนักไม่เหมาะกับ Stroke การพัตของคุณ อะไรทำนองนี้

Control การควบคุม คือควบคุมระดับความสำเร็จเอาไว้ให้คงที่ อาจเป็นด้วยการปรับรื้อเอกสารขั้นตอนและวิธีการทำงานใหม่ ให้เป็นไปตามที่เราได้ทำการศึกษาปัญหามา จัดการตรวจประเมินเป็นระยะว่า มีการนำขั้นตอนและวิธีการทำงานนั้นไปใช้อย่างจริงจัง การติดตั้ง Hardware ต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบ เป็นต้น ยกตัวอย่างต่อเนื่องกับการตีกอล์ฟในหัวข้อที่แล้ว การที่คุณจะคงสภาพสกอร์ 44-44 ไว้ คือซ้อมการทีออฟมากขึ้นร้อยละ 20 เพื่อหาความแม่นยำ ต้องซ้อมพัตบนกรีนซ้อมมากขึ้นร้อยละ 15 และซื้อพรมไปปูที่บ้านเพื่อให้สามารถซ้อมพัตได้มากขึ้นในช่วงเวลาว่างตอนกลางคืน เป็นต้น

สรุป

สภาพการทำงานราชการทุกวันนี้มีความเปลี่ยนแปลงมาก มีการนำดัชนีการวัดผลการปฏิบัติงานในรูปแบบต่างๆ เข้ามาใช้มากขึ้น การทำงานแบบเดิมๆ ไม่อาจทำให้ระบบราชการอยู่รอดได้ จึงต้องมีการนำเทคนิคการบริหารจัดการต่างๆ มาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของหน่วยงาน การนำระบบบริหารจัดการของภาคธุรกิจมาปรับใช้น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เพราะหน่วยงานในภาคธุรกิจจะอยู่ในกระแสของการแข่งขันตลอดเวลา วิธีการบริหารจัดการของพวกเขาจึงต้องมีประสิทธิภาพและมีความทันสมัยอยู่เสมอ มิฉะนั้นจะไม่สามารถแข่งขันกับหน่วยงานอื่นได้ และอาจเป็นผลให้หน่วยงานของตนเองถึงกับล้มหายตายจากไปจากโลกธุรกิจ หน่วยงานราชการ อาจไม่ล้มหายตายจากไปถ้าไม่พัฒนา แต่หน่วยงานราชการที่สามารถปรับตัวและพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเท่านั้น จึงจะเป็นหน่วยงานที่เจริญเติบโตในด้านคุณภาพ ได้รับการยอมรับ และคงอยู่ได้ด้วยความสง่างาม

บรรณานุกรม

1. Six Sigma พลังพลิกฟื้นธุรกิจ โดย Subir Chowdhury เรียบเรียงโดย สุริยะ เลิศวัฒนะพงษ์ชัย
2. Managing Six Sigma โดย F.W.Breyfogie III, J.M,Cupella และ B.Meadows
3. The Six Sigma Handbook โดย P.thomas
4. ชำแหละ Sig Sigma โดย ดร.วรภัทร์ ภู่เจริญ และคณะ

Web Site

1. http://mu.motorola.com
2. http://www.ge.com/sixsigma

การหาสมรรถนะของเรือในทะเล

ดร.อัณณพ ปาลวัฒน์วิไชย ผู้อำนวยการ เอส.เจ.สถาปัตย์ บริษัท จำกัด
ผศ.บรรยงวุฒิ จุลละโพธิ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล นครปฐม 73170

Dr.Annop Palawatvichai Director S.J. Satapat Co.,Ltd.
Assist. Prof. Bunyongwut Chulapoti Faculty of Engineering, Mahidol University
Tumbol Salaya, Amphur Phuttamonthon, Nakhonpathom 73170

สัญลักษณ์

a, b	*สัมประสิทธิ์ใช้ในตาราง (3)*
Ai, Bi, Ck	*สัมประสิทธิ์โพลีโนเมียนหาได้จากการฟิตเชบิเชฟ*
B	*ความกว้างของเรือ*
BN	*หมายเลขบิวฟอร์ต (Beaufort Number)*
C_B	*สัมประสิทธิ์แท่งตัน*
C_{RAW}	*สัมประสิทธิ์ความต้านทานเพิ่มเติมอันเนื่องจากการสะท้อนของคลื่น* $= (\Delta R_{reflection} x L) / (\rho g B^2 x \xi^2_a)$ *สัมประสิทธิ์ตัวนี้เกิดจากคลื่นเองเมื่อไม่มีการเคลื่อนตัวของเรือในคลื่นที่เป็นระเบียบ*
C_{TAW}	*สัมประสิทธิ์ความต้านทานเพิ่มเติม อันเนื่องจากการเคลื่อนไหวของเรือและการสะท้อนของคลื่นที่เป็นระเบียบ* $(R_{TAW}\ x L) / (\rho g B^2 x \xi^2_a)$
C_x	*สัมประสิทธิ์ลม*
F_n	*หมายเลขฟรู้ด (Froude number)*
g	*ความเร่งจากแรงดึงดูดโลก*
T	*กินน้ำลึกของเรือ*
$H_{1/3}$	*ความสูงนัยยะสำคัญของคลื่น*
kyy	*รัศมีไจเรชั่นตามยาวของเรือ*
L	*ความยาวของเรือ*
n	*ดรรชนีความเร็วใน* $R \alpha V^n$ *หรือ* $P \alpha V^{n+1}$
Po	*กำลังการขับเคลื่อนของเรือในน้ำนิ่ง*
Ro	*ความต้านทานของเรือในน้ำนิ่ง*
ΔR	*ความต้านทานเพิ่มเติม*
(ΔR) *head*	*ความต้านทานเพิ่มเติมเมื่อคลื่นลมปะทะตรงหัวเรือ*
(ΔR) *oblique*	*ความต้านทานเพิ่มเติมของเรือเมื่อคลื่นลมปะทะทำมุมกับทิศทางเรือ*
(ΔR) *reflection*	*ความต้านทานเพิ่มเติมของเรือจากคลื่นเมื่อไม่มีการเคลื่อนไหวของเรือในคลื่นที่เป็นระเบียบ บางครั้งเรียกความต้านทานเพิ่มเติมเนื่องจากการสะท้อนคลื่น*
(ΔR) *wave*	*ความต้านทานเพิ่มเติมของเรือจากคลื่นไร้ระเบียบ*
(ΔR) *wind*	*ความต้านทานเพิ่มเติมของเรือเนื่องจากลม*
Th	*การเพิ่มขึ้นของแรงผลัก*
Vo	*ความเร็วเรือในน้ำนิ่ง*
Vr	*ความเร็วสัมพัทธ์ของลมเมื่อกระทำต่อความเร็วเรือ*
Vwind	*ความเร็วลม*
X_1	*ความยาวคลื่นต่อความยาวเรือ*
X_2	*ความยาวเรือต่อกินน้ำลึกเรือ*
X_3	*สัมประสิทธิ์แท่งตัน*
α	*ทิศทางคลื่นที่กระทำต่อทิศทางเรือที่มุมปะทะตรงหน้าเรือ* $\alpha = 180^o$
β	*ทิศทางจริงของลมที่กระทำต่อทิศทางเรือ* $\beta = 180^o$ *เมื่อลมปะทะตรงหน้าหัวเรือ*
ξa	*แอมปลิจูดของคลื่น*
ηo	*สัมประสิทธิ์ใบจักรในน้ำนิ่ง*
Δ_η	*การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ใบจักร (โปรดดูรูป 37)*
λ	*ความยาวคลื่น*
$_{RS}$	*แฟคเตอร์ลดทิศทางคลื่น*
$_{RW}$	*แฟคเตอร์ลดทิศทางลม*
ρ	*ความหนาแน่นมวลของน้ำ*
Th	*สัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของแรงผลัก* $= (Th\ x\ L) / (\rho\ g B^2 x \xi^2_a)$

1. บทนำ

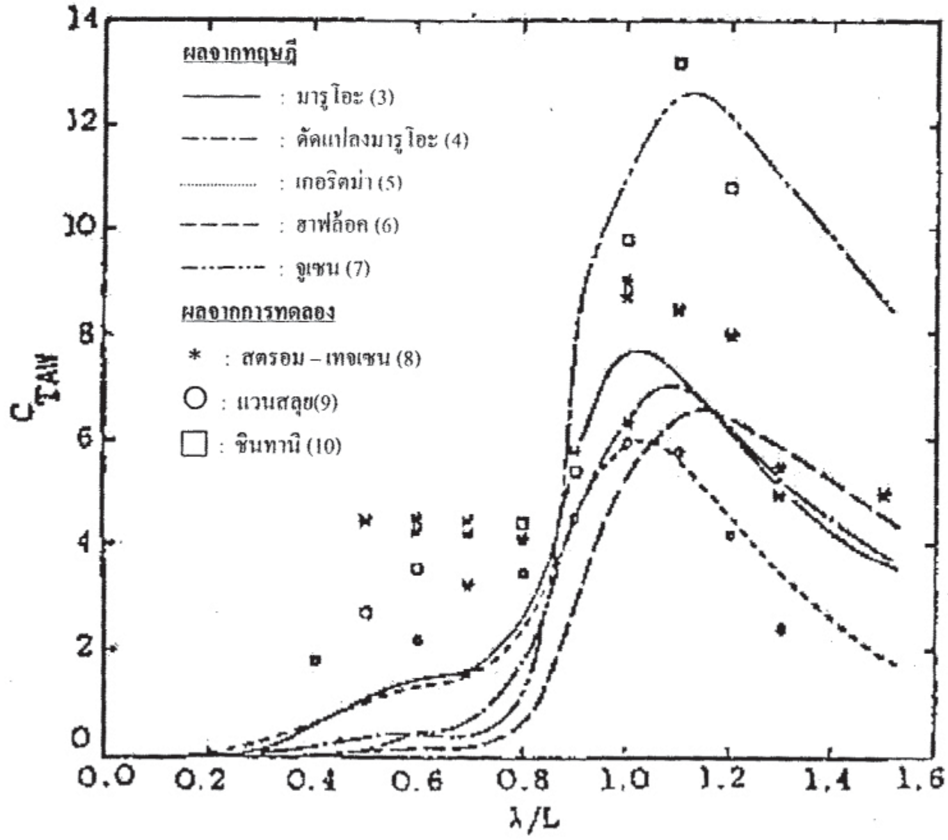
มีเหตุผลมากมายที่ตอบได้ว่าทำไมถึงต้องการทราบถึงความเร็วสูญเสีย (Speed Loss) ในกรณีที่เรือวิ่งโดยใช้กำลังคงที่ หรือในอีกมุมมองหนึ่งคือกำลังที่เพิ่มขึ้น (Power increased) ในการรักษาความเร็วของเรือให้คงที่เมื่อเจอสภาพทะเลจริง

ในทางวิชาการแล้วมองว่าเมื่อเรือแล่นอยู่ในทะเลจริงจะเกิดความต้านทานเพิ่มเติม (Added resistance) นอกเหนือจากความต้านทานของเรือในน้ำนิ่งและความต้านทานอากาศที่มีอยู่แล้ว ดังนั้นในเอกสารนี้จะเป็นการศึกษาถึงความต้านทานเพิ่มเติมอันเนื่องจากลม (Wind added resistance, ΔRwind) และความต้านทานเพิ่มเติมอันเนื่องจากคลื่น (Wave added resistance, ΔRwave) ทั้งคู่เป็นผลมาจากสภาพอากาศและทะเล ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นดรรชนีในการวัดสมรรถนะของเรือ

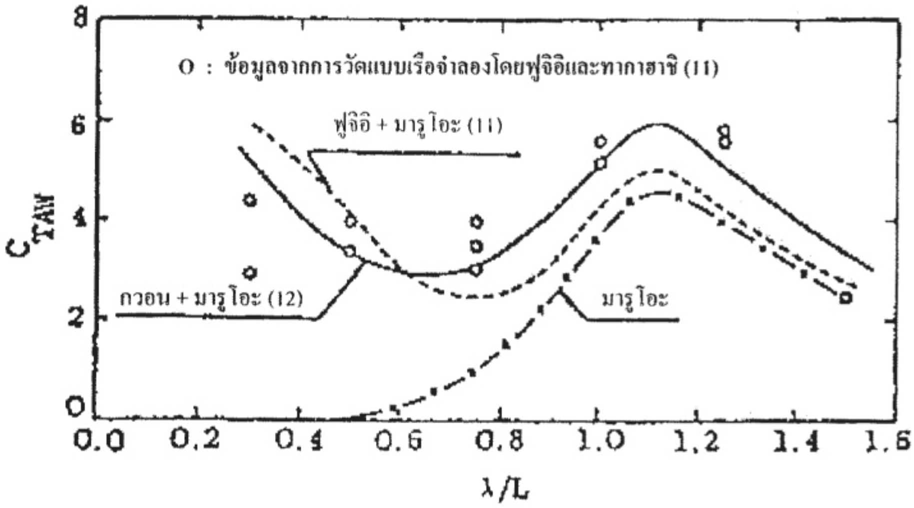
ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีระบบตรวจสภาพอากาศเพื่อการเดินเรือ (Weather routeing systems) ซึ่งอาจติดตั้งที่ตัวเรือเองหรือบนฝั่งก็ตาม และนิยมใช้ในการวางแผนเลือกเส้นทางเหมาะสมในการเดินเรือ แต่ทุกระบบยังมีข้อด้อยคือไม่สามารถหาสมรรถนะของเรือได้อย่างถูกต้องเมื่อเจอสภาพทะเลที่เลวร้าย ผู้บังคับเรือหรือกัปตันยังคงต้องใช้ความสามารถเฉพาะตัวในการตัดสินใจลดความเร็วเรือลงหรือเปลี่ยนเส้นทางเดินเรือใหม่ โปรแกรมสำเร็จรูปบางอันอาจหาความเร็วเหมาะสมที่ใช้ในการเดินทาง การปรับแต่งถังอับเฉาเพื่อให้มีความได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์โดยคงความปลอดภัยของเรือเอาไว้สูงสุด ฯลฯ วงจรจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อสามารถวิเคราะห์สมรรถนะของเรือได้ในยามที่เจอสภาพอากาศเลวร้ายด้วย

2. สถานภาพทางวิชาการในอดีตและปัจจุบัน

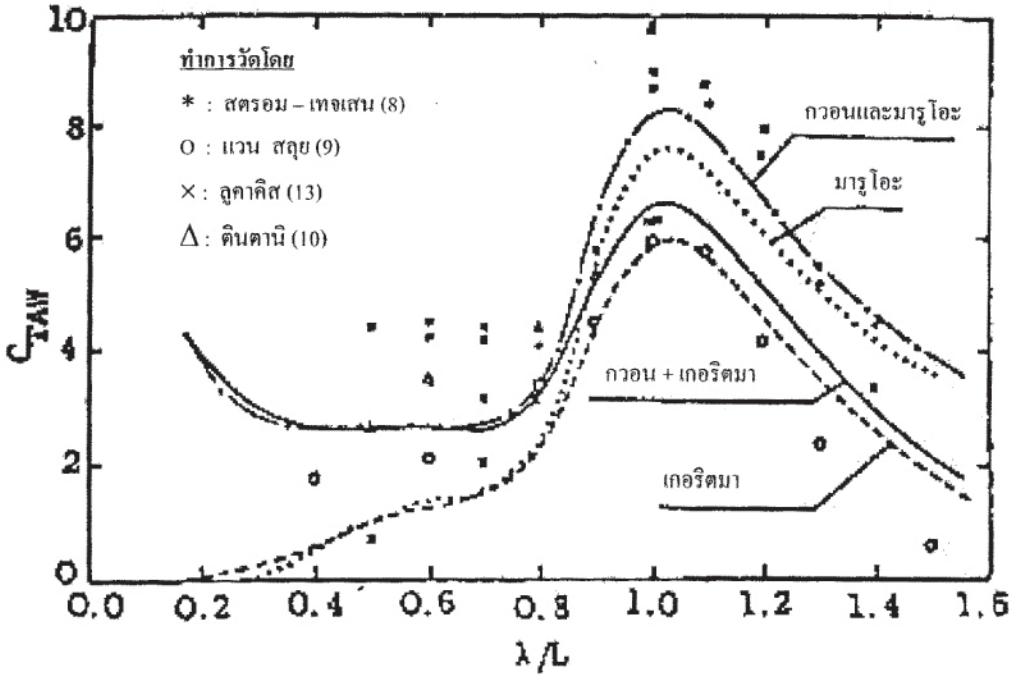
คณะกรรมการทางด้านอาการเคลื่อนไหวและสมรรถนะของเรือ (International Towing Tank Conference, ITTC) ได้มีรายงานและการประชุมอย่างสม่ำเสมอถึงวิธีการหลากหลายที่ใช้คำนวณหาความต้านทานเพิ่มเติมของลมและคลื่นในสภาพที่วิ่งปะทะตรงหัวเรือ [2] นอกจากนี้ยังมีการทบทวนผลที่ได้จากการทดลองในถังทดลองหลายแห่งทั่วโลกเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวโดยเฉพาะจากในการประชุมทั่วโลกครั้งที่ 15 (พ.ศ. 2521) และครั้งที่ 16 (พ.ศ. 2524) ซึ่งเปรียบเทียบเอาไว้ในรูป (1) เป็นผลจากงานของ [3] ถึง [10] ทุกทฤษฎีที่ใช้แสดงให้เห็นว่าค่าของความต้านทานเพิ่มเติมมีค่าน้อยกว่าที่ควรเป็นในช่วงอัตราส่วนของความยาวคลื่นต่อความยาวเรือ (λ/L) น้อยกว่า 0.8 สำหรับเรือที่มีสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) = 0.8



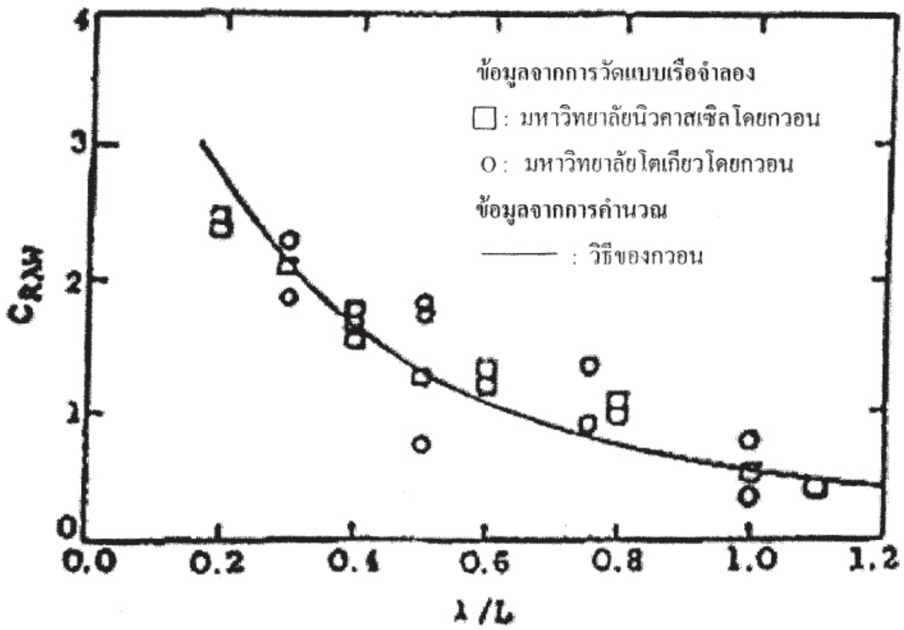
รูป (1) เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดและการคำนวณสัมประสิทธิ์ความต้านทานเพิ่มเติม(Added resistance) จากทฤษฎีเมื่อเรือเจอคลื่นที่เป็นระเบียบวิ่งปะทะหัวเรือ สัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) = 0.8 หมายเลขฟรู้ด (Froude number) = 0.15



รูป (2) เปรียบเทียบค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณได้ของสัมประสิทธิ์ความต้านทานเพิ่มเติมรวมเมื่อเรือเจอคลื่นที่เป็นระเบียบปะทะหัวเรือ เรือน้ำมันที่ใช้มีสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) = 0.846 หมายเลขฟรู้ด (Froude number) = 0.12



รูป (3) เปรียบเทียบค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณได้ของสัมประสิทธิ์ความต้านทานเพิ่มเติมรวมเมื่อเรือเจอคลื่นที่เป็นระเบียบปะทะหัวเรือ เรือที่ใช้มีสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) = 0.8 หมายเลขฟรู้ด (Froude number) = 0.15



รูป (4) ความต้านทานเพิ่มเติมรวมอันเนื่องมาจากการสะท้อนคลื่นเมื่อเรือเจอคลื่นที่เป็นระเบียบวิ่งปะทะหัวเรือ

สัมประสิทธิ์แท่งตัน = 0.8 สำหรับ O

สัมประสิทธิ์แท่งตัน = 0.83 สำหรับ □

หมายเลขฟรู้ด = 0.10

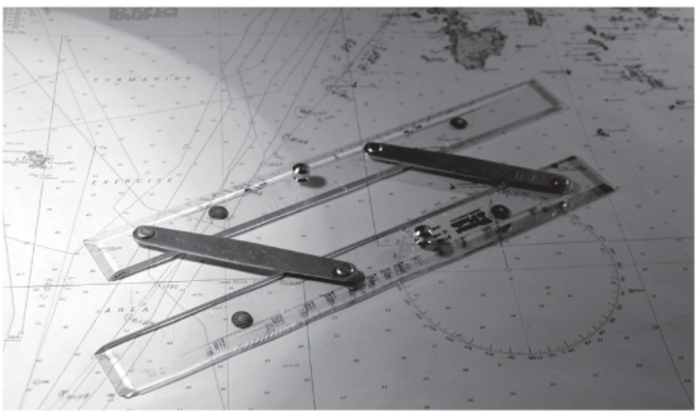
ต่อมามีบางหน่วยงานได้เสนอวิธีปรับปรุงการคำนวณขึ้นมาใหม่โดยเน้นที่คลื่นซึ่งมีความยาวต่ำผลบางค่าของรูปที่ (1) มาแสดงพร้อมกับผลการคำนวณโดยใช้วิธีของมารูโอและเกอริตม่า วิธีทั้งและมีการสะท้อนของคลื่นทำให้เกิดความต้านทานเพิ่มเติม รูป (2) แสดงถึงผลดังกล่าวที่ทดลองกับเรือน้ำมัน มีสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) = 0.846 [11, 12] ส่วนในรูป (3) ได้ดึงเอาคู่รวมเอาผลจากการสะท้อนของคลื่นในการกระทำให้เกิดความต้านทานเพิ่มเติมเปรียบเทียบกับวิธีของกวอน

รูป (4) เป็นการวัดความต้านทานเพิ่มเติมของคลื่นได้จากการทดลองในถังทดลอง แบบจำลองที่ใช้ศึกษาสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งใน 6 องศาอิสระของการเคลื่อนที่เพื่อใช้วัดความต้านทานเพิ่มเติมของคลื่นอันเกิดจากการสะท้อนของคลื่น

3. วิธีการ

ผู้ที่ทำการศึกษาถึงการสูญเสียความเร็วของเรืออย่างเป็นระบบโดยการทดลองกับเรือจริงคือศาสตราจารย์อาร์ทเซน (Aertssen, G.) เมื่อปี พ.ศ. 2512 โดยที่ได้คำตอบในรูปของความยาวเรือ หมายเลขบิวฟอร์ต ทิศทางของลมและคลื่นที่กระทำกับเรือ [14]

ต่อมาศาสตราจารย์ทาวซิน (R.L. Towsin) และคณะได้ทำการศึกษาในเรื่องดังกล่าวและได้คำตอบของการสูญเสียความเร็วสำหรับเรือน้ำมัน (ทั้งในสภาพเรือเบาและบรรทุกเต็มที่) เรือคอนเทนเนอร์หลายขนาด โดยใช้หมายเลขบิวฟอร์ตเป็นตัวแปร [15] วิธีการของศาสตราจารย์ทาวซิน และคณะได้ใช้การหาความต้านทานเพิ่มเติมของคลื่นจากการดัดแปลงวิธีการของมารูโอะ และใช้วิธีการหาความต้านทานลมเพิ่มเติมจากวิธีของแวนเบอเลกุม [16] จากนั้นความต้านทานเพิ่มเติมรวมที่ได้เปลี่ยนเป็นเปอร์เซนต์ของการสูญเสียความเร็วใช้การภายใต้สมมติฐานว่าแรงผลัก (Thrust) มีค่าคงที่และ RAO (Response Amplitude Operator) สำหรับความต้านทานเพิ่มเติมโยงเข้ากับหมายเลขบิวฟอร์ต โดยใช้สเปคตรัมของ ITTC ผลที่ได้ทำให้ประมาณออกมาเป็นเปอร์เซนต์ได้โดยมีตัวแปรเพียงหมายเลขบิวฟอร์ตและปริมาตรระวางในน้ำเท่านั้น ผลกระทบของทิศทางลมและคลื่นสามารถคำนวณโดยใช้แฟคเตอร์ค่าลดลงทิศทาง (Weather direction reduction factors) หาได้จาก [14] ในรูปของหมายเลขบิวฟอร์ตสำหรับคลื่นลมที่ปะทะหัวเรือโดยตรง ปะทะด้านกราบและตามคลื่น-ลม ได้โดยสะดวก



ข้อด้อยของ [15] ในการใช้งานมีดังนี้

1) ใช้ได้กับรูปร่างตัวเรือจำกัดเท่านั้น โดยเฉพาะเมื่อต้องการการคำนวณอย่างละเอียด

2) สมมติฐานที่ใช้กำหนดให้มีแรงผลัก (Thrust) คงที่เท่านั้น

3) ความหยาบของการใช้แฟคเตอร์ค่าลดลงทิศทาง (Weather direction reduction factors)

มาตราฐานของอนุกรมการเคลื่อนไหว (Standard Seakeeping Series) [17] ได้เสนอความต้านทานเพิ่มเติม (Added resistance) ในรูปของตารางสำหรับอนุกรม 60 เอาไว้โดยมีค่าหมายเลขฟรู้ดและความสูงนัยยะสำคัญของคลื่นในย่านที่เรือใช้งาน

ข้อดีของการใช้มาตราฐานอนุกรมดังกล่าวครอบคลุมหลายรูปแบบทางเรือที่เหมาะต่อการใช้งานและมีจำนวนพารามิเตอร์ของการเคลื่อนไหวเหมาะสมแต่ข้อด้อยมีดังนี้

1) ความต้านทานเพิ่มเติมในย่านของความยาวคลื่นที่สั้นค่อนข้างต่ำเกินไปและในย่านของความยาวคลื่นที่มากค่อนข้างสูงเกินไป

2) อัตราส่วนความสูงนัยยะสำคัญของคลื่นต่อความยาวเรือมีในย่าน 0.015 ถึง 0.10 เท่านั้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงสภาพทะเลที่รุนแรงสำหรับเรือขนาดใหญ่เท่านั้น จึงเหมาะสำหรับหมายเลขบิวฟอร์ต (Beufort number) สูงกว่า 7

3) ให้ผลคำนวณสำหรับกรณีคลื่นปะทะหัวเรือเท่านั้น

มาตราฐานของอนุกรมการเคลื่อนไหวไม่ได้รวมความต้านทานเพิ่มเติมของลมเอาไว้อนึ่งจากสภาพความเป็นจริงแล้วพบว่าความยาวคลื่นที่สั้นมีผลต่อความต้านทานเพิ่มเติมของเรือที่มีรูปร่างอ้วนค่อนข้างมาก

4. ความต้านทานเพิ่มเติม (Added resistance) เมื่อคลื่นลมปะทะตรงหัวเรือสำหรับเรืออนุกรม 60

ในที่นี้พิจารณาว่าความต้านทานเพิ่มเติมเกิดจากลม (ΔRwind) และคลื่น (ΔRwave) ซึ่งกระทำต่อเรืออนุกรม 60 จำนวน 6 ลำ โดยที่เรือต้นแบบที่ใช้มีค่าสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) ตั้งแต่ 0.60 จนถึง 0.80 (ทั้งสภาวะเรือบรรทุกเต็มที่และใช้อับเฉา) ย่านหมายเลขฟรู้ดตั้งแต่ 0.10 จนถึง 0.30 ย่านความยาวเรือตั้งแต่ 100 เมตรจนถึง 400 เมตร ส่วนสภาพคลื่นลมเป็นไปตามหมายเลขบิวฟอร์ตจนถึงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 รูป (5) แสดงถึงขั้นตอนที่ใช้ในการคำนวณ

เริ่มจากงานของแวน เบอร์เลกุม [16, 25, 26] ซึ่งกำหนดให้ความต้านทานเพิ่มเติมของลมที่ปะทะตรงหัวเรือ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐานเป็น

$$10^6 \ \Delta Rwind = 0.615\ C_x L^2 V_r^2 \qquad ....(1)$$

เมื่อ	$\Delta Rwind$	*มีหน่วยเป็นเมกกะนิวตัน (MN)*
	L	*เป็นความยาวของเรือ (เมตร)*
	V_r	*เป็นความเร็วสัมพัทธ์ของลม (เมตร/วินาที)*
	C_x	*สัมประสิทธิ์ลมปะทะตรงหัวเรือ มีค่าขึ้นกับประเภทของเรือและอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดขวางรับลม (A_T / L^2)*

ความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขบิวฟอร์ต ความเร็วลมและความสูงนัยยะสำคัญของคลื่นเป็นไปตามสเปคตรัมของเพียร์สัน และมอสโควิซ ซึ่งกำหนดไว้ว่า

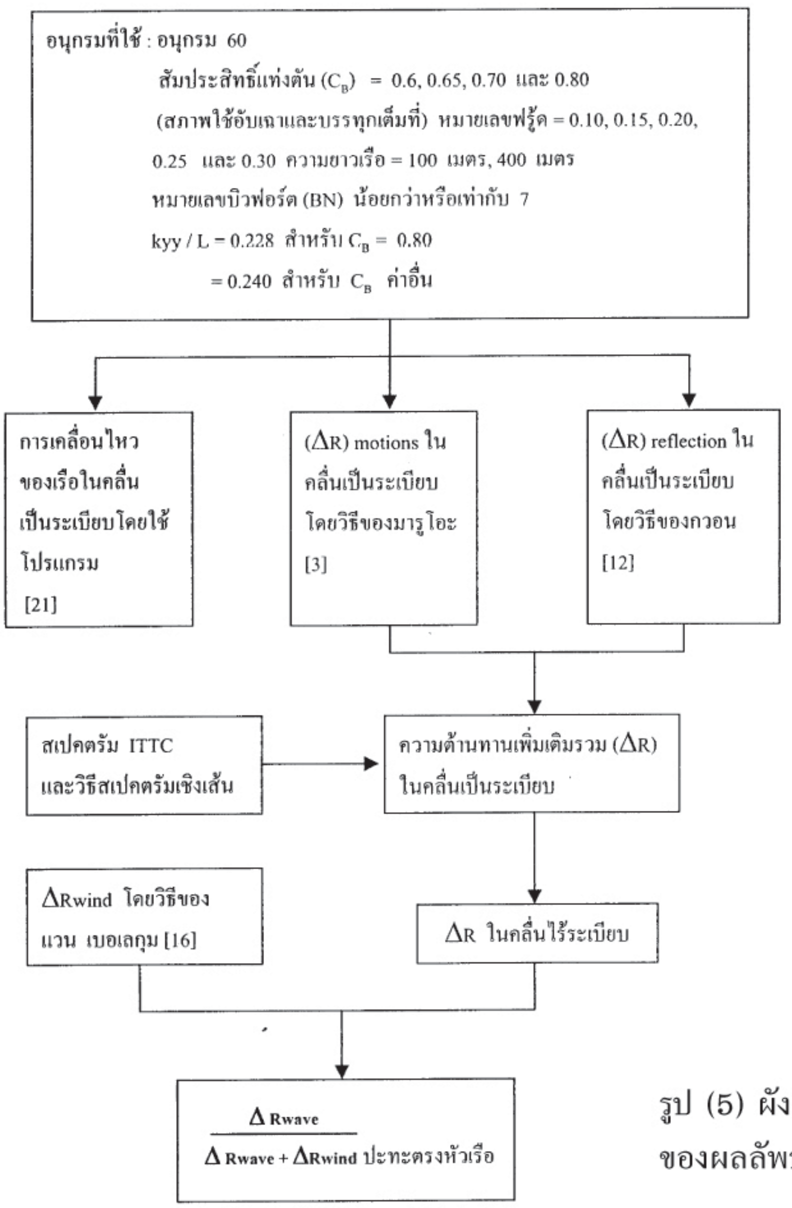
$$H_{1/3} = 0.02133 \ V^{2}_{wind}$$

โดยที่ความสูงนัยยะสำคัญของคลื่น $H_{1/3}$ *มีมิติเป็นเมตรและความเร็วลมมีมิติเป็น เมตร/วินาที*

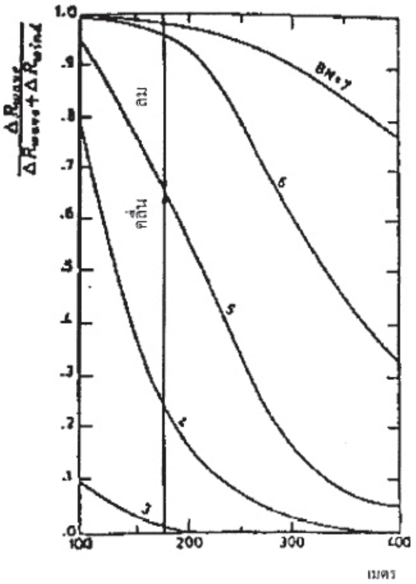
ผลการคำนวณแสดงไว้ให้ดูในรูป (6) ถึง (32) โดยแยกตามสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) *หมายเลขบิวฟอร์ต และหมายเลขฟรู้ด ทั้งนี้ไดอะแกรมที่แสดงไว้เป็นการพล้อตอัตราส่วนของ*

$$\frac{\Delta R_{wave}}{\Delta R_{wave} + \Delta R_{wind}} \quad \text{เทียบกับความยาวของเรือ } (L)$$

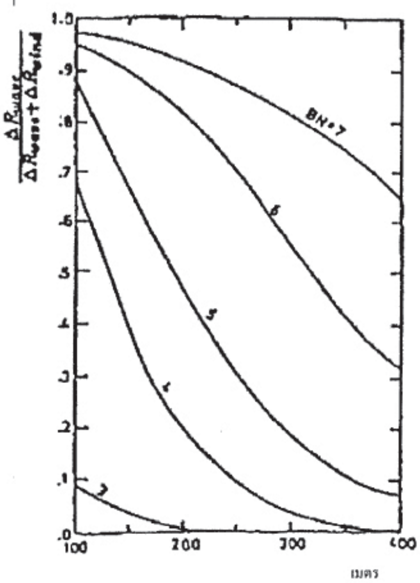
เนื่องจากไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยวิธีอื่นใดเท่าที่มีการตีพิมพ์ออกมานอกจาก คาโดมัทสุและคณะ [20] ทำการทดลองในเรือ 4 ประเภทคือ เรือสินค้าทั่วไป เรือสินค้าเทกอง เรือคอนเทนเนอร์ และเรือบรรทุกรถยนต์ เรือทั้งหมดอยู่ในย่านความยาวตั้งแต่ 80 ถึง 270 เมตร และมีสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) ตั้งแต่ 0.56 ถึง 0.83 รูป (33) แสดงผลเปรียบเทียบของวิธีโดยทาวซินและคาโดมัทสุ



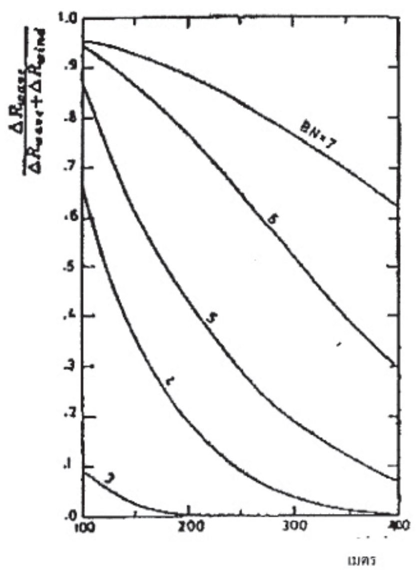
รูป (5) ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณของผลลัพธ์ในรูป (6) ถึง (32)



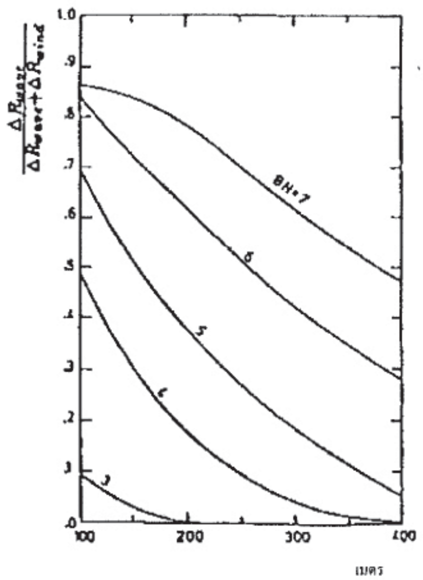
รูป (6) $C_B = 0.60$ ($F_n = 0.1$, ปกติ)



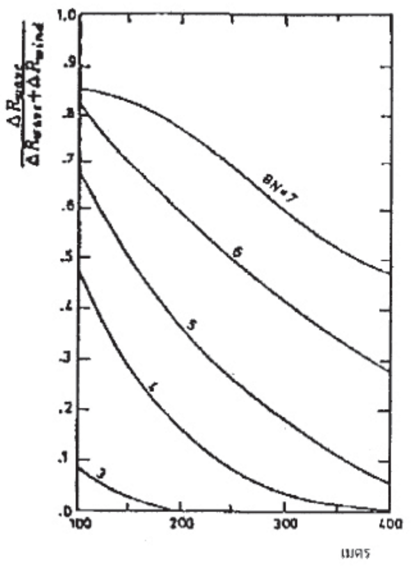
รูป (7) $C_B = 0.60$ ($F_n = 0.15$, ปกติ)



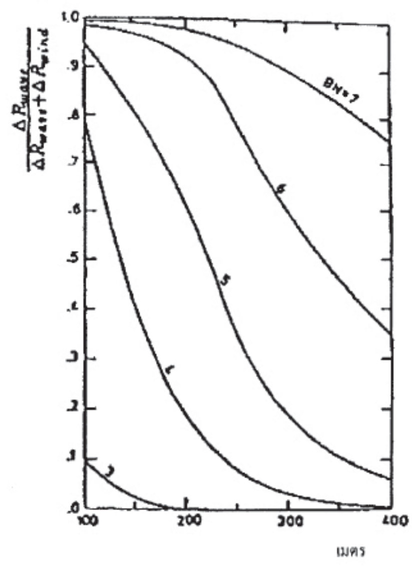
รูป (8) $C_B = 0.60$ ($F_n = 0.20$, ปกติ)



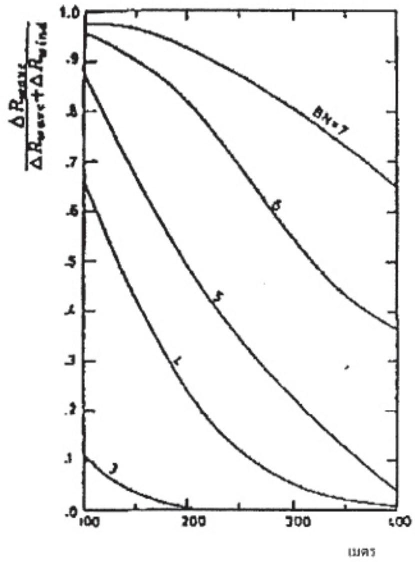
รูป (9) $C_B = 0.60$ ($F_n = 0.25$, ปกติ)



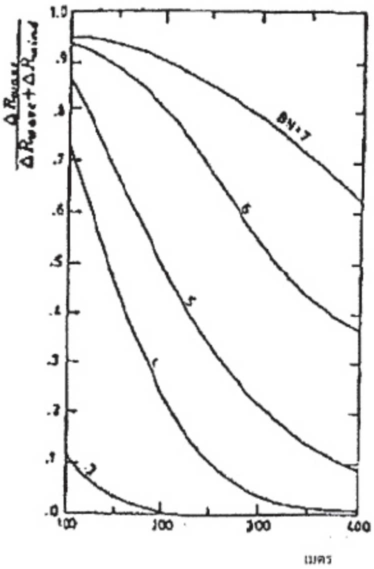
รูป (10) $C_B = 0.60$ ($F_n = 0.30$, ปกติ)



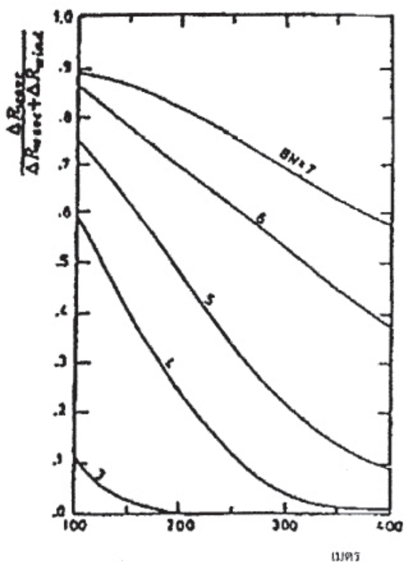
รูป (11) $C_B = 0.65$ ($F_n = 0.1$, ปกติ)



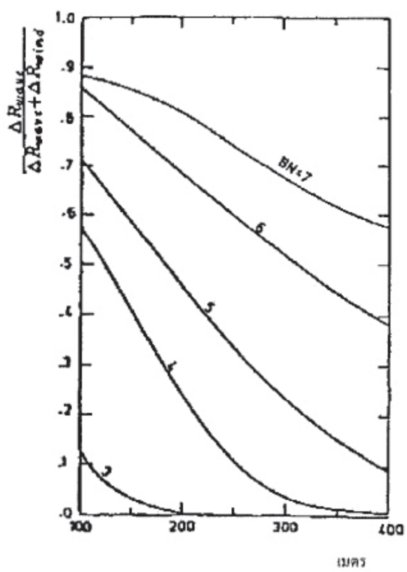
รูป (12) C_B= 0.65 (F_n= 0.15, ปกติ)



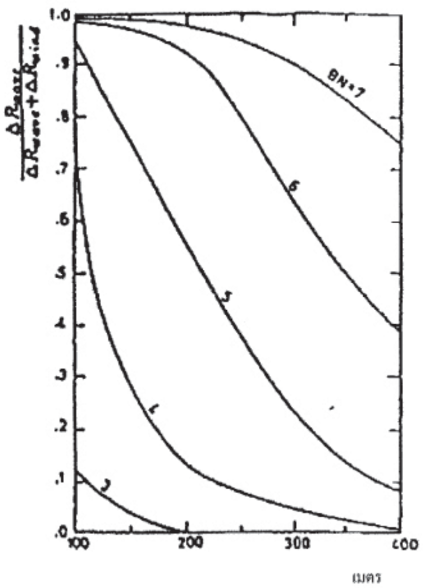
รูป (13) C_B= 0.65 (F_n= 0.25, ปกติ)



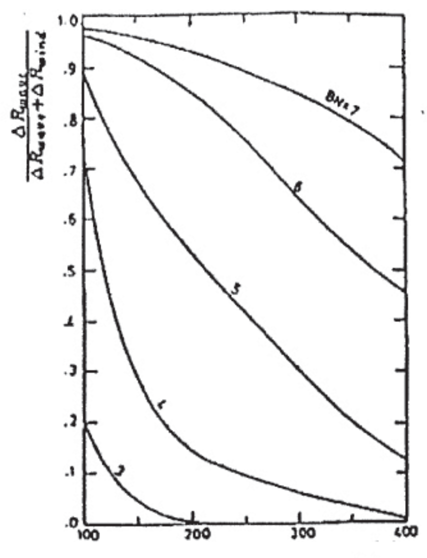
รูป (14) C_B= 0.65 (F_n= 0.25, ปกติ)



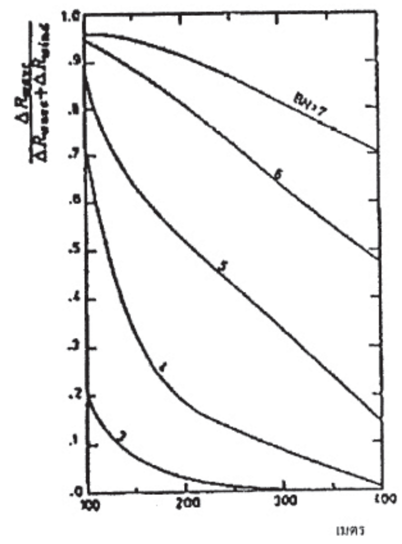
รูป (15) C_B= 0.65 (F_n= 0.30, ปกติ)



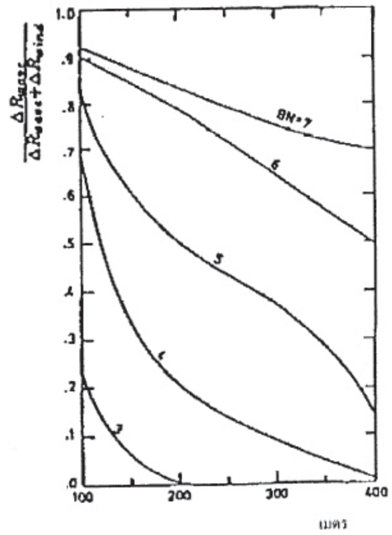
รูป (16) C_B= 0.70 (F_n= 0.1, ปกติ)



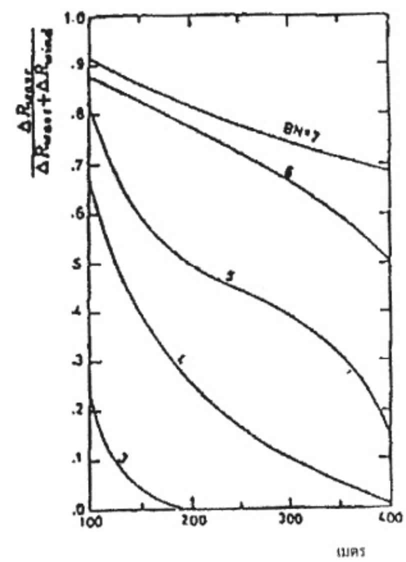
รูป (17) C_B= 0.70 (F_n= 0.15, ปกติ)



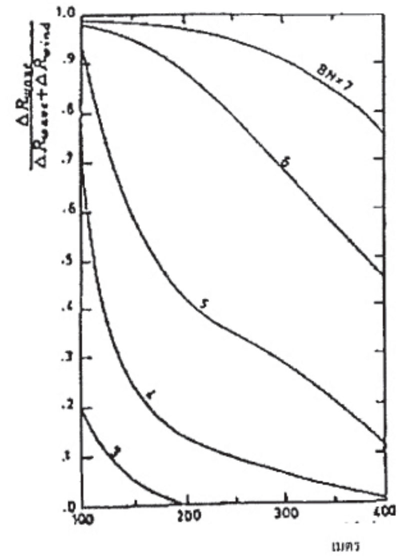
รูป (18) C_B = 0.70 (F_n = 0.20, ปกติ)



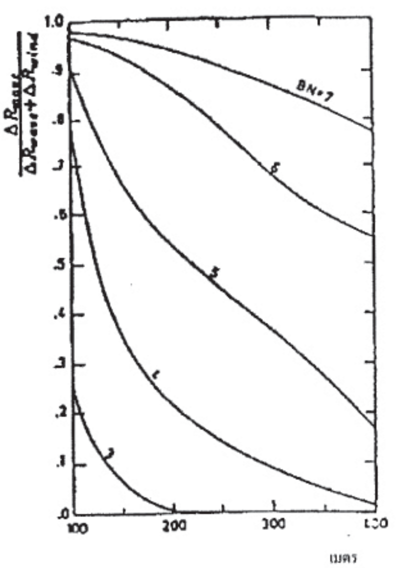
รูป (19) C_B = 0.70 (F_n = 0.25, ปกติ)



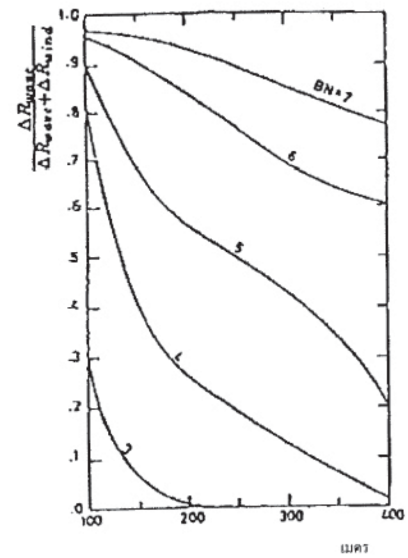
รูป (20) C_B = 0.70 (F_n = 0.30, ปกติ)



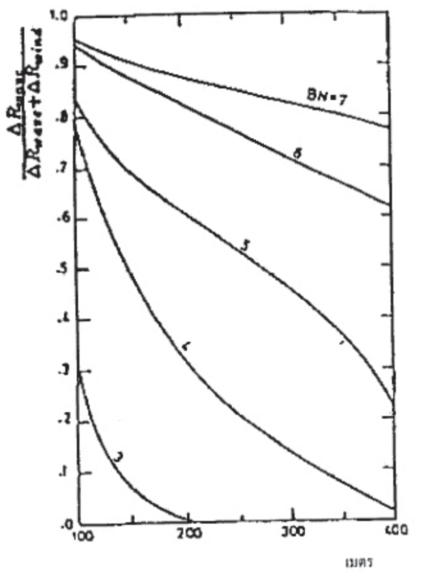
รูป (21) C_B = 0.75 (F_n = 0.1, ปกติ)



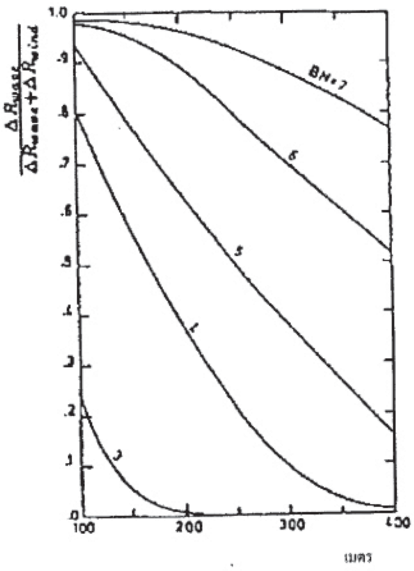
รูป (22) C_B = 0.75 (F_n = 0.15, ปกติ)



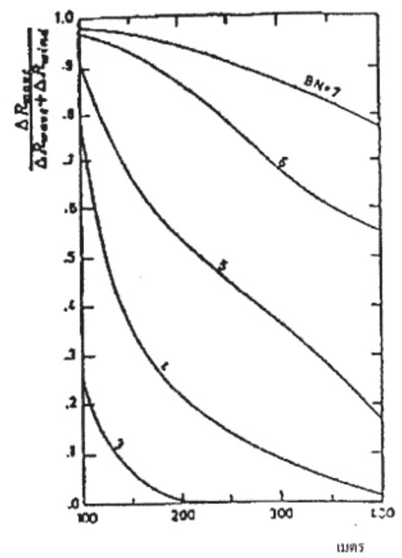
รูป (23) C_B = 0.75 (F_n = 0.20, ปกติ)



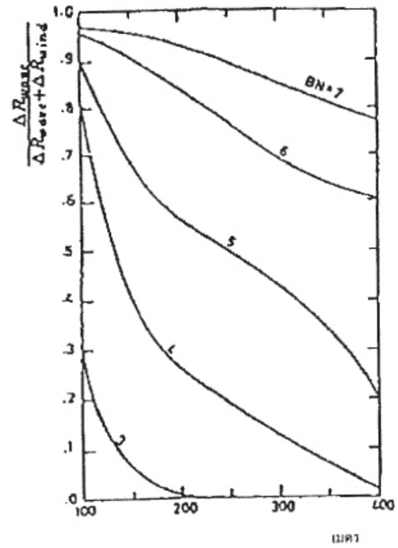
รูป (24) $C_B = 0.75$ ($F_n = 0.25$, ปกติ)



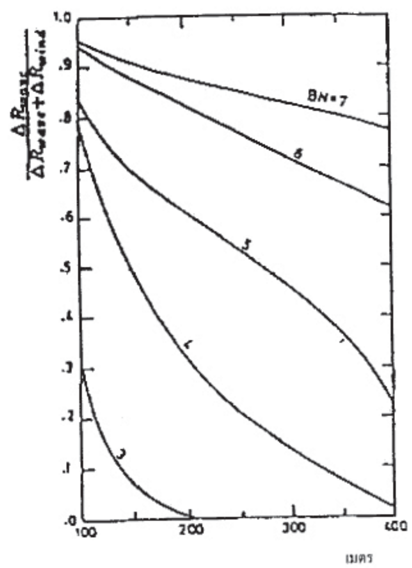
รูป (25) $C_B = 0.80$ ($F_n = 0.1$, บรรทุกเต็มที่)



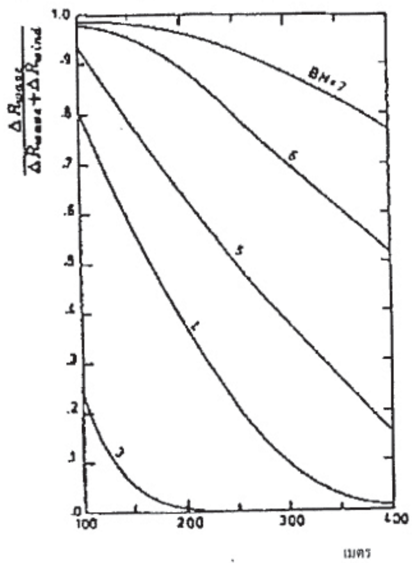
รูป (26) $C_B = 0.80$ ($F_n = 0.15$, บรรทุกเต็มที่)



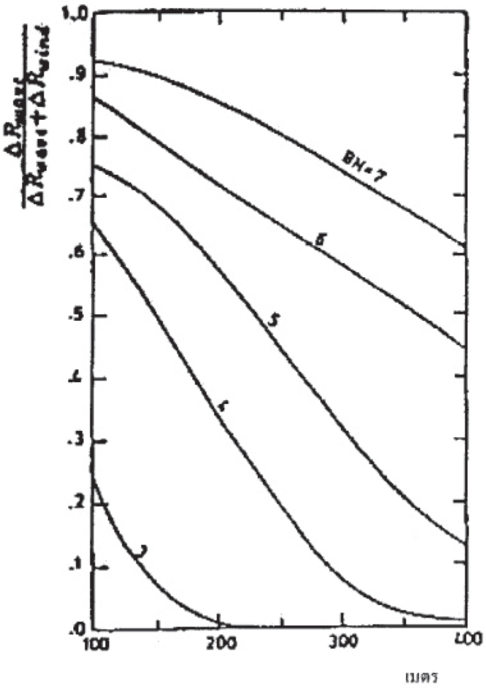
รูป (27) $C_B = 0.80$ ($F_n = 0.20$, บรรทุกเต็มที่)



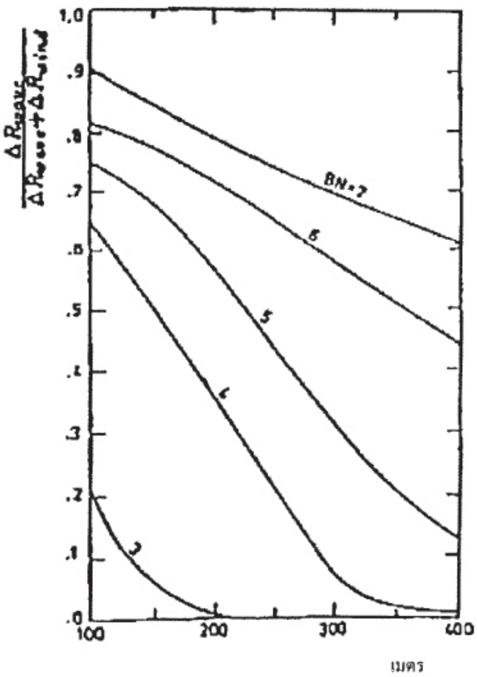
รูป (28) $C_B = 0.80$ ($F_n = 0.25$, บรรทุกเต็มที่)



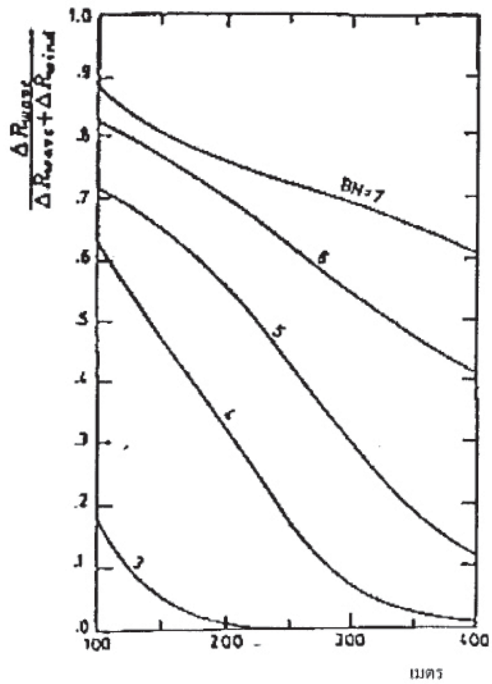
รูป (29) $C_B = 0.80$ ($F_n = 0.1$, ใช้อับเฉา)



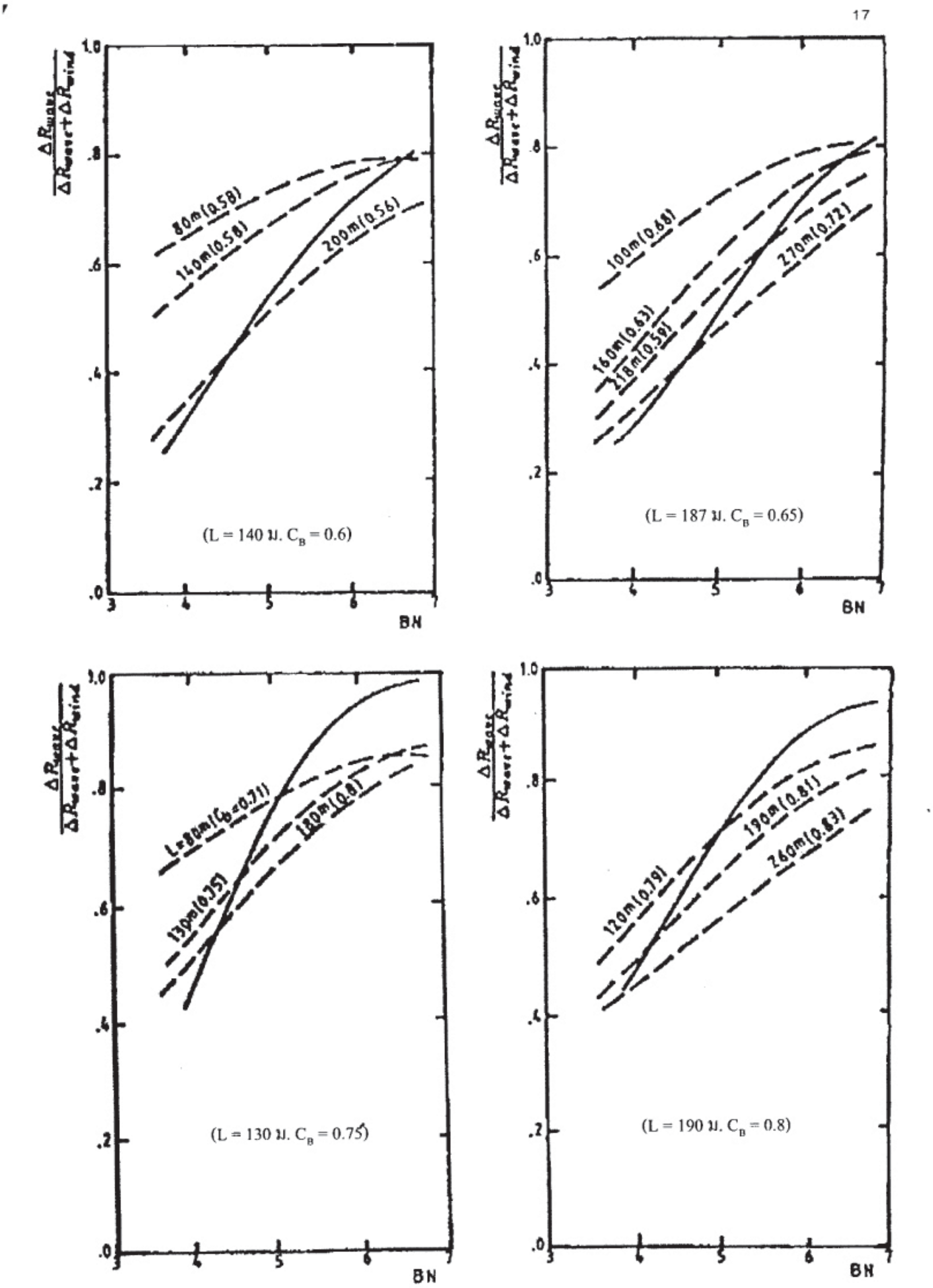
รูป (30) C_B= 0.80 (F_n= 0.15, ใช้อับเฉา)



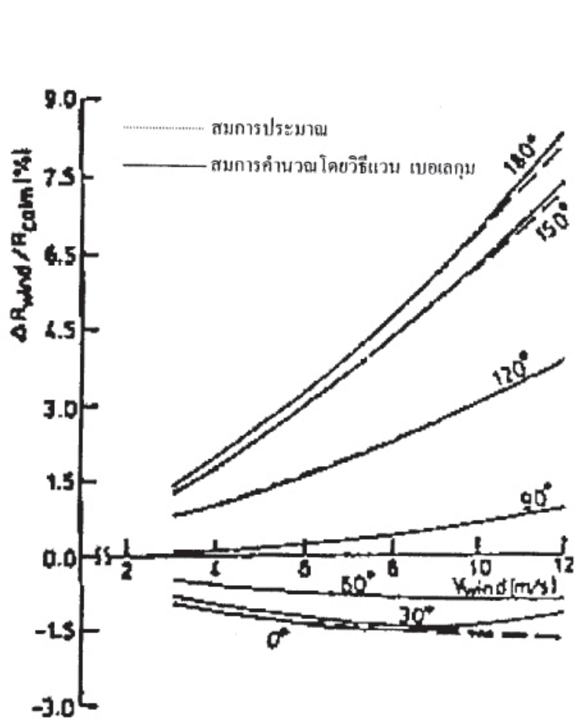
รูป (31) C_B= 0.80 (F_n= 0.20, ใช้อับเฉา)



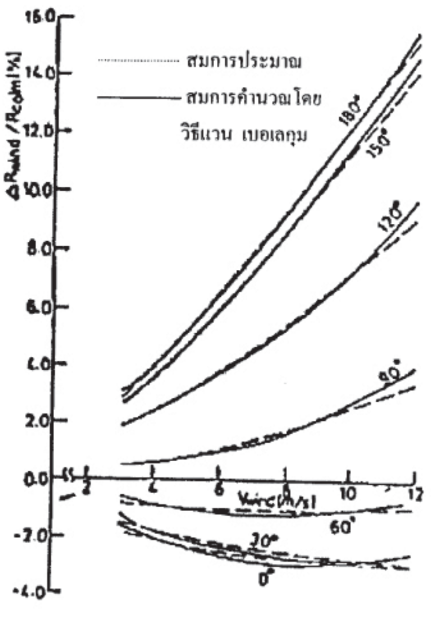
รูป (32) C_B= 0.80 (F_n= 0.25, ใช้อับเฉา)

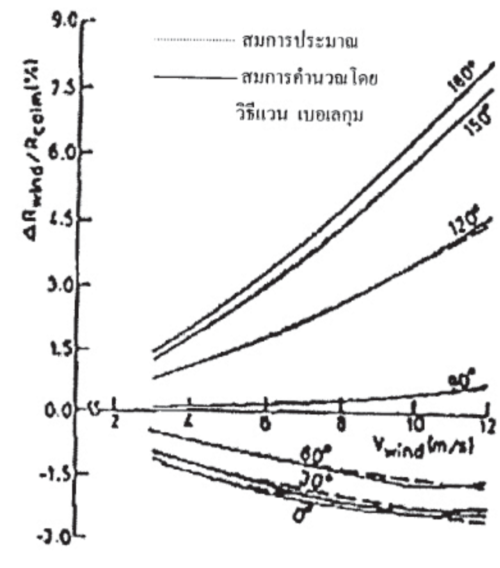


รูป (33) เปรียบเทียบวิธีที่เสนอวิธีของคาโดมัทสุสำหรับ
คลื่นลมปะทะตรงหัวเรือที่ความเร็วใช้การของเรือ



รูป (34) เปรียบเทียบที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของแวน เบอเลกุม และวิธีประมาณสำหรับเรือ VLLC ในสภาพบรรทุกเต็มที่ความเร็วเรือ 15 นอต





รูป (35) เปรียบเทียบผลที่คำนวณ โดยวิธีของแวน เบอเลกุม และวิธีประมาณสำหรับเรือ VLCC ในสภาพใช้อับเฉา ความเร็วเรือ 16.7 นอต

รูป (36) เปรียบเทียบผลที่คำนวณโดยวิธีของ แวน เบอเลกุม และวิธีประมาณสำหรับ เรือคอนเทนเนอร์ ความเร็วใช้การ 21 นอต

จากการเปรียบเทียบพบว่าความต้านทานเพิ่มเติมเนื่องจากลมและคลื่นตั้งแต่หมายเลขบิวฟอร์ต 4 ถึง 7 ชี้ให้เห็นว่าภายใต้ความยาวเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์แท่งตัน (C_B) เดียวกัน ค่าของ $\dfrac{\Delta\ Rwave}{\Delta\ Rwave + \Delta\ Rwind}$ มีค่าต่ำกว่าที่ควรเป็นที่หมายเลขบิวฟอร์ต 4 และมีค่าสูงกว่าที่ควรเป็น สำหรับหมายเลขบิวฟอร์ต 7 ผลดังกล่าวเห็นชัดว่ามาจากความชันของเส้นโค้งซึ่งเป็นผลมาจากสมมติฐานที่ใช้ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง นัยยะสำคัญของคลื่นในแต่ละหมายเลขบิวฟอร์ต คาโดมัทสุใช้ความสัมพันธ์ที่แนะนำโดย ITTC จากการประชุมครั้งที่ 12 ซึ่งให้ความสัมพันธ์ความเร็วลมในช่วง 20 ถึง 60 น้อต หมายเลขบิวฟอร์ตตั้งแต่ 5 ถึง 11 ความสัมพันธ์ที่ใช้เป็นแบบเชิงเส้น ในขณะที่ทาวซินใช้ความสัมพันธ์ของเพียร์สัน-มอสโควิท ซึ่งให้ความสัมพันธ์ตลอดย่านแต่ให้ค่านัยยะสำคัญของคลื่นต่ำสำหรับหมายเลขบิวฟอร์ตต่ำกว่า 7 สำหรับหมายเลขบิวฟอร์ตสูงจะให้ค่านัยยะสำคัญของคลื่นสูงกว่า ทั้งสองวิธีควรจะให้คำตอบเดียวกันที่หมายเลขบิวฟอร์ตเท่ากับ 7

กล่าวโดยสรุปแล้วทั้งสองวิธีของทาวซินและวิธีของคาโดมัทสุให้ผลที่เหมือนกันถ้าใช้สเปคตรัมของคลื่นลมเหมือนกันทั้งสองวิธียังชี้ให้เห็นว่าหมายเลขบิวฟอร์ตยังคงมีความสำคัญและยังคงใช้งานได้ดีอย่างไรก็ดีวิธีของคาโดมัทสุไม่สามารถใช้ได้กับคลื่นลมที่กระทำทิศทางเฉียงกับเรือ แต่วิธีของทาวซินสามารถใช้ได้โดยการใช้แฟคเตอร์ค่าลดลงทิศทาง

5. แฟคเตอร์ค่าลดลงทิศทาง (Direction reduction factors) สำหรับความต้านทานเพิ่มเติมเนื่องจากลมและคลื่นกระทำเป็นมุมกับทิศทางเรือ

5.1 คลื่นเมื่อกระทำมุมกับทิศทางเรือ

จากการใช้ผลการทดลองอนุกรมเรือ 60 ในคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากและวิ่งทำมุมกับทิศทางเรือซึ่งมีรายละเอียดอยู่ใน [18, 19, 23, 29] แบบจำลองจำนวน 14 ลำ วิ่งในความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน 5 ขนาดและ 5 ทิศทาง แบบจำลองครอบคลุม

$L/B\ =\ 5.5$ *ถึง* 8.5

$C_B\ =\ 0.5$ *ถึง* 0.80

$L/T\ =\ 11$ *ถึง* 24

หมายเลขฟรู้ด $=\ 0.10$ *ถึง* 0.25

แบบจำลองสามารถขับเคลื่อนด้วยตัวเองได้และมีการวัดแรงผลัก (Thrust) ตลอดจนแรงบิด (Torque) กำหนดนิยามของแฟคเตอร์ ค่าลดลดทิศทางในทะเล ไว้ดังนี้

$$\mu_{RS} = \frac{\text{ความต้านทานเพิ่มเติมในคลื่นที่วิ่งทำมุม}}{\text{ความต้านทานเพิ่มเติมเมื่อคลื่นวิ่งปะทะตรงหัวเรือ}}$$

จากนิยามที่กำหนดจะเห็นได้ว่ามองความต้านทานที่เกิดขึ้นเป็นอัตราส่วนของแรงผลักซึ่งเมื่อใช้โพลีโนเมียลเข้าฟิตจะได้ว่า

$$\mu_{RS} = Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \quad (2)$$

โดยที่ $Y_1 = \sum_{i=1}^{7} A_i X_1^{i-1}$

$$Y_2 = \sum_{i=1}^{7} B_j X_2^{j-1}$$

$$Y_3 = \sum_{k=1}^{8} C_k X_3^{k-1}$$

A_i , B_j, C_k *สัมประสิทธิ์โพลีโนเมียลได้จากการใช้เชบิเชฟ (chebyshev minimax polynomial)*

λ, L, T, C_B *ความยาวคลื่น,ความยาวเรือ, กินน้ำลึกเรือและสัมประสิทธิ์แท่งตัน*

τ_h *สัมประสิทธิ์การเพิ่มแรงผลัก*

$= (Th \times L) / (\rho g B^2 x \xi^2_a)$

Th *การเพิ่มขึ้นของแรงผลัก*

α *ทิศทางของคลื่นกระทำต่อเรือ*

($\alpha = 180^\circ$ สำหรับคลื่นปะทะตรงหัวเรือ)

ตาราง (1) แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการฟิตเส้นโค้งโพลีโนเมียนซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดีสำหรับการใช้งาน

ตาราง (1)

Fn = 0.20	C_B = 0.70	L / T = 17.50	α = 130°
λ / L	Y_1 จากแบบจำลอง	Y_1 จากเส้นโค้งที่ใส่	เศษเหลือ
0.600	0.8800E+01	0.8775E+01	0.2484E-01
0.700	0.5775E+01	0.5800E+01	-0.2484E-01
0.800	0.3121E+01	0.3097E+01	0.2484E-01
0.900	0.1212E+01	0.1237E+01	-0.2484E-01
1.000	0.2926E+00	0.3006E+00	-0.8035E-02
1.100	0.1048E+00	0.7998E-01	0.2484E-01
1.200	0.2647E+00	0.2425E+00	0.2225E-01
1.300	0.4312E+00	0.4536E+00	-0.2242E-01
1.400	0.4354E+00	0.4602E+00	-0.2484E-01
1.500	0.1515E+00	0.1336E+00	0.1789E-01
1.600	-0.5024E+00	-0.5272E+00	0.2484E-01
1.700	-0.1432E+01	-0.1432E+01	-0.3387E-03
1.800	-0.2500E+01	-0.2475E+01	-0.2484E-01

Fn = 0.20	α = 130˚		λ / L = 0.90
เศษเหลือ	Y_2 จากแบบจำลอง	Y_2 จากเส้นโค้งที่ใส่	เศษเหลือ
14.250	0.1867E+01	0.1865E+01	0.1703E-02
15.000	0.1633E+01	0.1635E+01	-0.1703E-02
16.000	0.1341E+01	0.1340E+01	0.1703E-02
17.000	0.1097E+01	0.1097E+01	-0.1713E-03
17.500	0.1000E+01	0.1002E+01	-0.1703E-02
18.000	0.9243E+00	0.9255E+00	-0.1256E-02
19.000	0.8282E+00	0.8268E+00	0.1391E-02
20.000	0.7896E+00	0.7879E+00	0.1703E-02
20.750	0.7865E+00	0.7863E+00	0.2020E-03
22.000	0.8102E+00	0.8119E+00	-0.1703E-02
23.000	0.8458E+00	0.8441E+00	0.1703E-02
24.000	0.8885E+00	0.8902E+00	-0.1703E-02

Fn = 0.20	α = 130˚		λ / L = 0.90
C_B	Y_3 จากแบบจำลอง	Y_3 จากเส้นโค้งที่ใส่	เศษเหลือ
0.550	0.6954E+00	0.7146E+00	-0.1923E-01
0.575	0.8691E+00	0.8498E+00	0.1923E-01
0.600	0.1059E+01	0.1078E+01	-0.1912E-01
0.625	0.1252E+01	0.1271E+01	-0.1923E-01
0.650	0.1320E+01	0.1301E+01	0.1923E-01
0.675	0.1175E+01	0.1176E+01	-0.9061E-03
0.700	0.1000E+01	0.1019E+01	-0.1923E-01
0.725	0.9812E+00	0.9620E+00	0.1923E-01
0.750	0.1040E+01	0.1023E+01	0.1672E-01
0.775	0.1034E+01	0.1053E+01	-0.1923E-01
0.800	0.8303E+00	0.8111E+00	0.1923E-01

ตาราง (2) แฟคเตอร์ค่าลดทิศทางของคลื่น (Wave Direction Reduction Factor, μ_{RS})

หมายเลข บิวฟอร์ต	H1/3 (เมตร) ค่าเฉลี่ย	α องศา	VLCC Laden	(Fn = 0.13) สภาพใช้อับเฉา	คอนเทนเนอร์ (Fn = 0.21)
		180 (ปะทะตรงหัวเรือ)	1.00	1.00	1.00
		150	0.85	0.84	1.00
7	4.36 ~ 5.67	120	0.58	0.53	0.67
	< 5.06 >	90	0.33	0.28	0.33
		60	0.22	0.18	0.21
		30	0.27	0.28	0.25
		0	0.17	0.21	0.18
		180	1.00	1.00	1.00
		150	0.75	0.75	1.16
6	2.68 ~ 3.75	120	0.41	0.39	0.79
	< 3.23 >	90	0.27	0.23	0.61
		60	0.20	0.23	0.59
		30	0.41	0.50	0.60
		0	0.20	0.34	0.57
		180	1.00	1.00	1.00
		150	0.68	0.75	1.18
5	1.80 ~ 2.23	120	0.41	0.42	0.77
	< 2.01 >	90	0.27	0.25	0.73
		60	0.28	0.25	0.73
		30	0.45	0.50	1.14
		0	0.23	0.35	0.73
		180	1.00	1.00	1.00
		150	0.89	0.90	0.98
4	0.79 ~ 1.43	120	0.59	0.63	0.93
	< 1.10 >	90	0.39	0.45	0.48
		60	0.98	0.99	0.98
		30	0.99	0.99	0.99
		0	0.99	0.99	0.99
	0.40 ~ 0.55				
3	<0.49>	0 ~ 180	1.00	1.00	1.00

ตาราง (2) เป็นผลการคำนวณแฟคเตอร์ค่าลดทิศทางสำหรับเรือ VLCC (ทั้งในสภาพใช้อับเฉาและบรรทุกเต็มที่) ซึ่งเป็นเรือรูปร่างอ้วน และเรือคอนเทนเนอร์ซึ่งมีรูปร่างเพรียวโปรดสังเกตว่าเนื่องจากแฟคเตอร์ค่าลดทิศทาง (μ_{RS}) แตกต่างกันน้อยมากในเรือทั้งสองรูปแบบ ดังนั้นค่าที่แสดงในตาราง (2) ถึงใช้ได้กับเรือเกือบทุกประเภท

5.2 ลมกระทำเป็นมุมกับทิศทางเรือ

ความต้านทานเพิ่มเติมอันเนื่องมาจากลมไม่ว่าจะมีความรุนแรงเท่าใดและมาจากทิศทางใดก็ตาม ส่งผลต่อส่วนที่อยู่เหนือน้ำของเรือเสมอ และถือตามการคำนวณโดยวิธีของแวน เบอร์เลกุม [16] ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสะดวกและรวดเร็ว

ประเภทของเรือที่ใช้ยังคงเป็นเรือ VLCC ยาว 336 เมตรและเรือคอนเทนเนอร์ยาว 274 เมตร มีความเร็วใช้การตามจริง ผลที่ได้คิดเทียบเป็นเปอร์เซนต์กับความต้านทานในน้ำนิ่ง (R_{calm}) โดยไม่รวมความต้านทานลม

ดังนั้น

$$\frac{100\Delta Rwind}{Rcalm} = aV^{b}wind \qquad ....(3)$$

เมื่อ $\Delta Rwind$ = *ความต้านทานเพิ่มเติมเนื่องจากลมเมื่อพัดทำมุมกับทิศทางเรือ*

$Rcalm$ = *ความต้านทานในน้ำนิ่ง ไม่รวมความต้านทานลม*

$Vwind$ = *ความเร็วลมเป็น เมตร/วินาที*

a และ b = *ค่าคงที่ดูได้จากตาราง (3)*

β = *ทิศทางของลมสัมพัทธ์กับทิศทางเรือ ($\beta = 180^\circ$ สำหรับลมปะทะตรงหัวเรือ)*

ความแม่นยำของสมการ (3) ดูได้จากรูป (34) ถึง (36) โดยการใช้ร่วมกับตาราง (3) โปรดระลึกไว้ว่าถ้าใช้กับเรือต่างประเภทและขนาดต้องมีการสร้างตาราง (3) ใหม่ขึ้นมาโดยการใช้อุโมงค์ลมทดสอบสำหรับค่าที่ $\beta = 180^\circ$ เป็นค่าความต้านเพิ่มเติมเมื่อลมปะทะตรงที่หัวเรือ ในตารางให้ค่าหมายเลขบิวฟอร์ตตั้งแต่ 3 ถึง 7 เอาไว้ส่วนตาราง (4) ให้ค่าของแฟคเตอร์ลดทิศทางสำหรับลม (μ_{RW}) เอาไว้ โดยนิยามจาก

$$(\mu_{RW}) = \frac{\text{ความต้านทานลมเมื่อกระทำเป็นมุมกับทิศทางเรือ}}{\text{ความต้านทานลมเมื่อปะทะตรงหัวเรือ}}$$

$$= \frac{\Delta\ Rwind\ \text{ที่มุม}\ \beta}{\Delta\ Rwind\ \text{ที่มุม}\ \beta = 180^\circ}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่า Rcalm ในสมการ (3) อาจหลีกเลี่ยงการใช้สมการ (3) และหาได้จากสมการ

$$10^{6}\ (\Delta\ Rwind)\ \text{ทำมุม} = (\mu_{RW})\ 0.615\ C_X L^2 V_r^2 \qquad .....(4)$$

ตาราง (3) ค่าของ a และ b

β (องศา)	VLCC(Fn = 0.13) สภาพบรรทุกหนัก		สภาพใช้อับเฉา		เรือคอนเทนเนอร์ (Fn = 0.21)	
	a	b	a	b	a	B
180	0.3241	1.29	0.7579	1.21	0.3619	1.26
150	0.3128	1.26	0.6545	1.24	0.3046	1.30
120	0.2032	1.18	0.4577	1.20	0.1944	1.27
90	0.0091	1.86	0.0654	1.58	0.0209	1.39
60	-0.3205	0.44	-0.8248	0.08	-0.2526	0.78
30	-0.4823	0.52	-0.9500	0.46	-0.5777	0.58
0	-0.6434	0.40	-1.3320	0.33	-0.7783	0.48

ตาราง (4) ค่าของแฟคเตอร์ลดทิศทาง (Direction Reduction Factor, μ_{RW}) สำหรับความต้านทานลม

หมายเลขบิวฟอร์ต (BN)	VLCC (Fn = 0.13) สภาพบรรทุกหนัก			สภาพใช้อับเฉา			เรือคอนเทนเนอร์ (Fn = 0.21)		
	3	5	7	3	5	7	3	5	7
β = 180˚	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
150	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
120	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
90	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
60	-0.3	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2
30	-0.5	-0.2	-0.2	-0.5	-0.2	-0.2	-0.6	-0.3	-0.3
0	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5	-0.2	-0.2	-0.7	-0.4	-0.3

6. อาการสนองตอบของสมรรถนะต่อความต้านทานเพิ่มเติม

อาการสนองตอบของเรือต่อความต้านทานเพิ่มเติม อันเนื่องจากลมและคลื่นขึ้นอยู่กับระบบควบคุมเครื่องจักรใหญ่และความเอาใจใส่ของทีมงาน อย่างไรก็ตามในบทนี้จะพิจารณาถึงสถานะการณ์สำคัญ 3 ประการ

1) การสูญเสียความเร็วที่แรงผลักคงที่

2) การเพิ่มกำลังของเครื่องจักรใหญ่ที่ความเร็วเรือคงที่

3) การสูญเสียความเร็วที่กำลังของเครื่องจักรใหญ่คงที่

สองหัวข้อแรกมีการวิเคราะห์ไว้ใน [16] แต่การพยายามรักษาแรงผลักของใบจักรไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ

โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มกำลังของเครื่องจักรเพื่อรักษาความเร็วเรือเอาไว้มักมีแต่ในกรณีของเรือประจำที่ต้องรักษาตารางเวลาอย่างเคร่งครัดเท่านั้น ดังนั้นกรณีส่วนมากที่มักเกิดขึ้นคือการสูญเสียความเร็วเมื่อใช้กำลังคงที่มากกว่า อาทิเช่น กรณีเรือสินค้าเทกองเจอคลื่นลมแรง จำเป็นต้องลดความเร็วลง

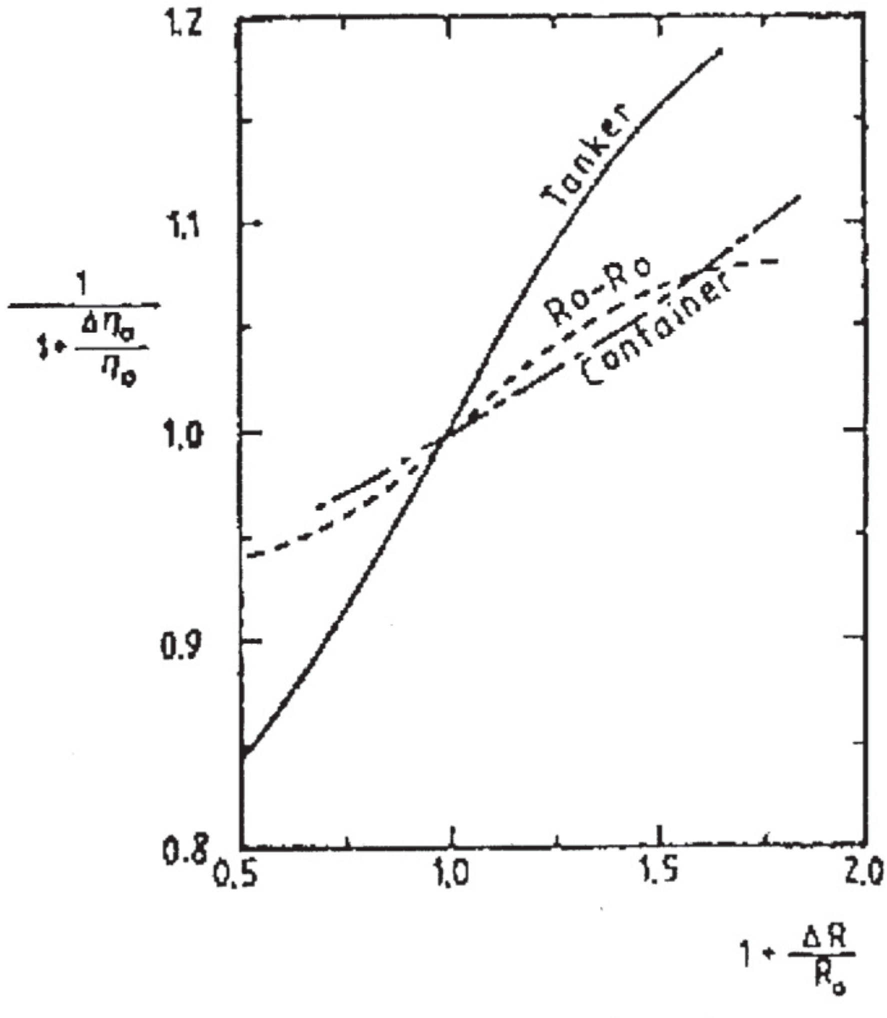
6.1 การเพิ่มกำลังของเครื่องจักรที่ความเร็วเรือคงที่

แวน เบอร์เลกุม [16] กำหนดให้

$$\frac{\Delta P}{P_o} = \frac{1 + \frac{\Delta R}{Ro}}{1 + \frac{\Delta \eta_o}{(\eta o)_o}} -1 \qquad (5)$$

ΔP คือ การเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องจักรจากกำลังเดิม Po เพื่อรักษาความเร็วเรือในจังหวะเดียวกันนี้ความต้านทานของเรือเพิ่มขึ้น ΔR

$\Delta \eta_o$ เป็นการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพใบจักรจากเดิม $(\eta_o \frac{\Delta P}{Po})$ ซึ่งเป็นผลมาจากภาระที่เปลี่ยนแปลงไปในใบจักร [16] ได้ให้ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔR / Ro และ $\Delta \eta_o$ / $(\eta_o)_o$ สำหรับใบจักรเรือน้ำมันและใบจักรเรือโร-โร ไดอะแกรมดังกล่าวแสดงไว้ในรูป (37) โดยเพิ่มประสิทธิภาพใบจักรของเรือคอนเทนเนอร์ลงไว้ด้วย



รูป (37) ผลการกระทบของความต้านทานเพิ่มเติมที่มีต่อประสิทธิภาพใบจักร

6.2 การสูญเสียความเร็วเรือที่กำลังเครื่องจักรคงที่

โดยการสมมติให้ความต้านทานเรือแปรผันตามความเร็วเรือยกกำลัง n

$$R \quad \alpha \quad V^n$$

และให้กำลังแปรเปลี่ยนดังนี้

$$Po = kV^{n+1}$$

เมื่อความต้านทานของเรือเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องจักรที่ใช้รักษาความเร็วเรือ จึงเป็น

$$P = Po\left(1 + \frac{\Delta P}{Po}\right)$$

โดยที่ $\frac{\Delta P}{Po}$ *คำนวณได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (5) ดังนั้น*

$$P = \left(1 + \frac{\Delta P}{Po}\right) kV^{n+1}$$

ด้วยกำลังเครื่องจักรเท่าเดิมนี้ สมมติให้ความเร็วเรือเมื่อไม่มีความต้านทานเพิ่มเติมเป็น V_1 *และเมื่อรวมความต้านทานเพิ่มเติมเป็น* V_2

จะได้ว่า

$$P = kV_1^{\,n+1} = \left(1 + \frac{\Delta P}{Po}\right) kV^{\,n+1}$$

และ

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(1 + \frac{\Delta P}{Po}\right)^{-\frac{1}{n+1}}$$

ถ้า $\frac{\Delta P}{Po}$ *มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ 1.00 สามารถใช้ทฤษฎีไบโนเมียลได้ว่า*

$$\frac{V_2}{V_1} \cong 1 - \frac{1}{n+1}\left(\frac{\Delta P}{Po}\right)$$

และ

$$\frac{V_1 - V_2}{V_1} \cong \frac{1}{n+1} \quad \frac{\Delta P}{Po} = \frac{\Delta V}{V} \qquad \text{...... (6)}$$

สมการ (6) แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของการสูญเสียความเร็วเรือเป็น $(n+1)^{-1}$ *เท่าของกำลังเครื่องจักรใหญ่ที่ต้องเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาความเร็วเรือเอาไว้ให้คงที่อนึ่ง ทาวซิน [27] ได้ให้ค่าดังต่อไปนี้เอาไว้*

VLCC สภาพบรรทุกเต็มที่	: $n = 1.91$
VLCC สภาพใช้อับเฉา	: $n = 2.40$
เรือคอนเทนเนอร์	: $n = 2.16$

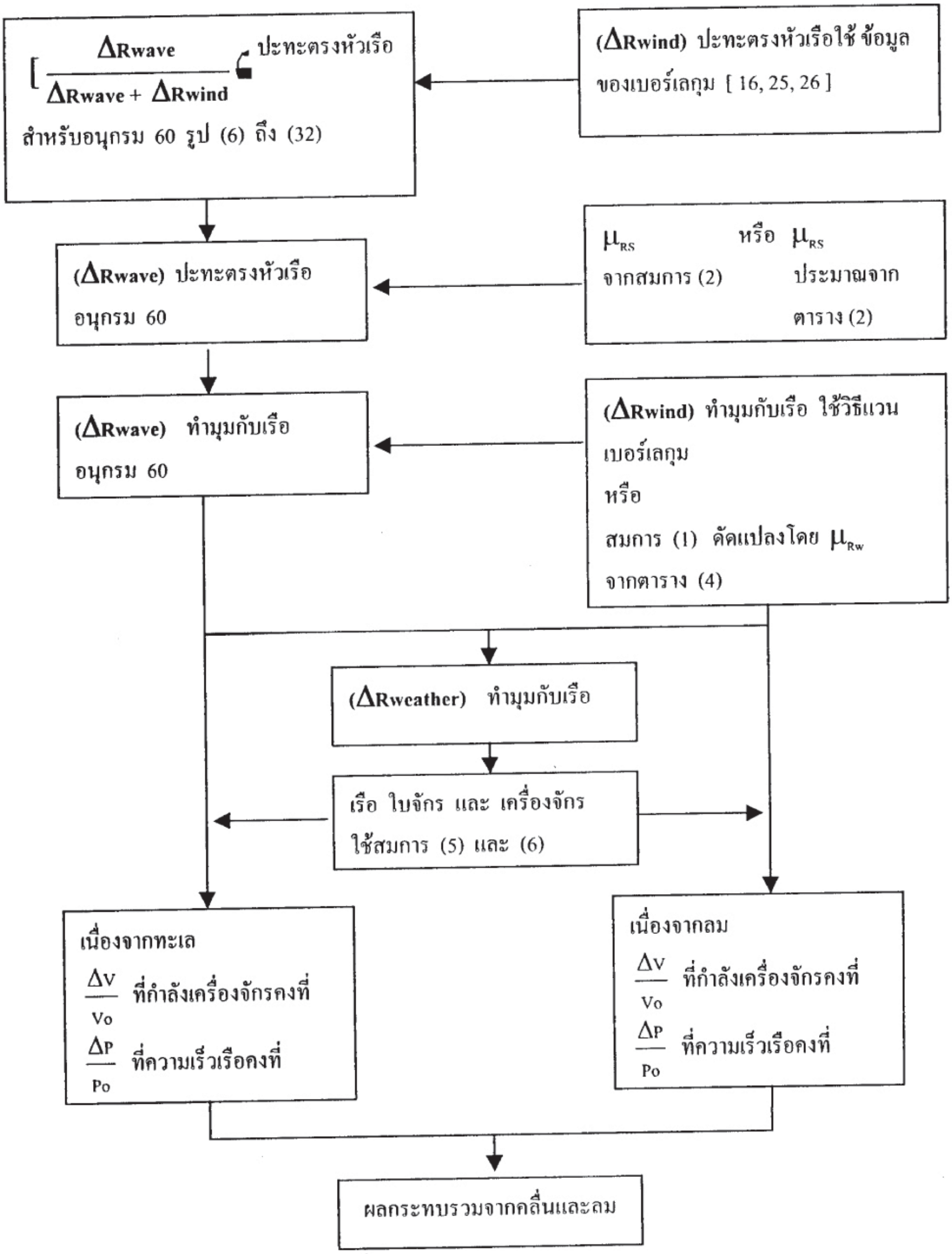
7. สรุป

รูป (38) แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนในการหาผลกระทบของสภาพทะเลที่มีต่อความเร็วและสมรรถนะเรือ ข้อมูลของลมและคลื่นอาจดูได้จาก (31, 32) จำแนกตามพื้นที่ทะเลฤดูกาลและเดือน โดยบอกถึงทิศทางของคลื่นและลมเอาไว้

ตัวอย่างการคำนวณของเรือ VLCC ในสภาพบรรทุกเต็มที่แสดงไว้ในตาราง (5) สังเกตได้ว่าเมื่อคลื่นลมปะทะตรงหัวเรือที่หมายเลขบิวฟอร์ต 5 จะมีการสูญเสียความเร็วเรือ 2% และถ้าต้องการรักษาความเร็วเรือเอาไว้ต้องเพิ่มกำลังเรือขึ้นอีก 5.8% (ซึ่งหมายถึงต้องเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น) ในทางปฏิบัติแล้วเรือ VLCC คงจะไม่เพิ่มกำลังแต่ยอมให้ความเร็วเรือลดลง

โดยทั่วไปแล้วลมมีผลต่อความต้านทานเพิ่มเติมของเรือมากกว่าคลื่นโดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาวะเรือเบา แต่การวิ่งเรือให้ทำมุมกับคลื่นช่วยลดความต้านทานเพิ่มเติมของเรือลงได้มากกว่าความต้านทานเพิ่มเติมของลม

อย่างไรก็ดีความต้านทานเพิ่มเติมจากคลื่นลมที่กล่าวมานี้ไม่ว่าจะเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตามยังคงถือได้ว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความต้านทานเพิ่มเติมที่เกิดจากความหยาบผิวของเรือซึ่งไปเพิ่มความต้านทานโดยรวมของเรืออีกหลายเท่าและติดไปกับเปลือกเรืออีกนาน



รูป (38) ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณความต้านทานเพิ่มเติมที่ความเร็วเรือคงที่ การสูญเสียความเร็วเรือที่กำลังเครื่องจักรคงที่ การเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องจักรเพื่อรักษาความเร็วคงที่

ตาราง (5) ตัวอย่างการคำนวณสำหรับเรือ VLCC ในสภาพบรรทุกเต็มที่

รายการ	การคำนวณและผลลัพธ์	วิธี
ความยาวเรือ	336 เมตร	
สัมประสิทธิ์แท่งตัน	0.8	
หมายเลขฟรู้ด (ความเร็ว)	0.13 (7.7 เมตร / วินาที)	
ทิศทางคลื่นที่กระทำต่อเรือ ($\propto$)	120°	
ความเร็วจริงของลม	10 เมตร / วินาที	
หมายเลขบิวฟอร์ต	5	$H_{1/3} = 0.02133\ V^{2}_{wind}$
ทิศทางลมที่กระทำต่อทิศทางเรือ (β)	120°	
(1) ความต้านทานเรือในน้ำนิ่ง	1.945 เมกกะนิวตัน	
(2) ΔRwave/(ΔRwave + Δwind)	$0.29 + \frac{0.36-0.29}{0.15-0.10} \times 0.03 = 0.332$	รูป (25) และ (26)
(3) (ΔRwind) ปะทะตรงหัวเรือ	$0.615 \times 10\text{-}6 \times 0.007 \times (336)^{2} \times (15.4)^{2}$	สมการ (1)
	= 0.115 เมกกะนิวตัน	หมายเหตุ 15.4 เมตร / วินาที เป็นความเร็วสัมพัทธ์
(4) (ΔRwave) ปะทะตรงหัวเรือ	(2) x (3) / (1 - (2)) = 0.057 เมกกะนิวตัน	
(5) แฟคเตอร์ลดทิศทางคลื่น (μ_{RS})	0.41	ตาราง (2) หรือสมการ (2)
(6) (ΔRwave) ทำมุมกับเรือ	(4) x (5) = 0.023 เมกกะนิวตัน	
(7) แฟคเตอร์ลดทิศทางลม (μ_{RW})	0.5	ตาราง (4)
(8) (ΔRwind) ทำมุมกับเรือ	(3) x (7) = 0.058 เมกกะนิวตัน	อาจใช้สมการ (3)
(9) (ΔRweather) ทำมุมกับเรือ	(6) + (8) = 0.08 เมกกะนิวตัน	$0.2032 \times 10^{1.18} \times 1.945 / 100 = 0.0598$ เมกกะนิวตัน
(10) 1 + (ΔR / Ro)	1 + (9) / (1) = 1.041	
(11) $1 / [1 + (\Delta\eta / \eta_{o})]$	1.016	
(12) ΔP / Po	(10) x (11) - 1 = 0.058 = 5.8%	รูป (37)
(13) ΔV / V	[1 / (n + 1) / (ΔP / Po) =	สมการ (5)
	(1 / 2.91) x (12) = 0.02 = 2%	สมการ (6)

เอกสารอ้างอิง

1. Meek, M& Ward, G.: 'Ship Performance and Contractual Requirements.' Proc.NEC 100 Centenary Conf. on Marine Propulsion NECIES May 15-17 1984.
2. Seakeeping and Powering Performance Committees ITTC, Esp.15th & 16th ITTC Proceedings 1978, 1981.
3. Maruo, H.: 'The Excess Resistance of a Ship in Rough Seas', ISP Vol.4, No.35, 1957.
4. Nakamura, S. & Fujii, H.: 'Nominal Speed Loss of Ships in Waves'. PRADS-Int. Symp.Practical Design in Shipbuilding, Tokyo, 1977.
5. Gerritsma, J. & Beukelman, W.: 'Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo Ship', ISP, Vol.19, No.217, 1972.
6. Havelock, T.H.: 'Drifting Force on a Ship Among Waves, Philosophical Magazine, Vol.33, 1942.
7. Joosen, W.P.A.: 'Added Resistance of Ships in Waves', Proceedings of the 6th Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington DC, 1966.
8. Strom-Tejsen, J., Yeh, H.Y.H. & Moran, D.D.: 'Added Resistance in Waves', Trans. SNAME Vol.81, 1972.
9. van Sluijs, M.F. & Flokstra, C.: 'Effect of forward Draught Variation on Performance of full Ships in Ballasted Condition', Netherland Ship Research Centre TNO Report 179S, 1973.
10. Shintani, A.: 'Influence of Ship Form Particulars on Resistance Increase in Regular in Regular Waves', Jnl.of Kansai Soc.of Naval Arch., Japan, No.139, 1971.
11. Fujii. H. & Takahashi, T.: 'Experimental Study on the Resistance Increase of a Ship in Regular Oblique Waves', Proc.14th ITTC, 1975.
12. Kwon, Y.J.: 'The Effect of Weather, 'Particularly Short Sea Waves , on Ship Speed Performance', PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, 1982.
13. Loukakis, T.A.: 'Computer Aided Prediction of Seakeeping Performance in Ship Design, Dept.of Nav.Arch. & Mar.Eng., M.I.T. Report 70-3, 1970.
14. Aertssen, G.: 'Service Performance and Trials at Sea, App. V Perf.Committee, 12th ITTC, 1969.
15. Townsin, R.L. & Kwon, Y.J.: 'Approximate Formulae for the Speed Loss Due to Added Resistance in Wind and Waves', Trans.RINA, Vol.125, 1983.
16. van Berlekom, W.B.: 'Wind Forces on Modern Ship Forms-Effects on Performanc, Trans.NECIES, Vol97, 1981.
17. Loukakis, T.A. & Chryssostomidis C.: Seakeeping standard Series for Cruiser-Stern Ships. Trans. SNANE, Vol.83, 1975.
18. Moor, D.I. & Murdey, D.C.: Motions and Propulsion of Single Screw Models in Head Seas, Trans.RINA,Vol.110, 1968.
19. Moor, D.I., Murdey, D.C.: Motions and Propulsion of Single Screw Models in Head Seas, Part II, Trans.RINA,Vol.112, 1970.
20. Kadomatsu, K., Inoue, Y. & Takarada, N.: 'Influence of Ship form Characteristics on Speed Loss in Wind and Waves, Jnl.of Soc.of Naval Aarch.of Japan, Vol.169, 1988.
21. Meyers, W.G., Sheridan, D.J. & Salvesen, N.: 'NSRDC Ship-motion and Sea-load Computer Program, NSRDC Report 3376, 1975.
22. Baree, M.S.: 'Added Power Required by Ships in Bad Weather, PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, 1985.
23. Vossers, G., Swaan, W.A. & Rijjken, H.: 'Experiments with Series 60 Models in Waves, Trans.SNAME Vol.68, 1960.
24. NAG: 'Curve and Surface Fitting', NAG Fortran Lib. Manual, NAC Ltd., 1977.
25. van Berlekom, W.B.: 'Tragardh, P. & Dellhag A.: 'Large Tankers-Wind Coeffcients and speed Loss Due to Wind and Sea, Trans.RINA Vol.117, 1975.
26. van Berlekom, W.B.: 'Involuntary Speed Loss at Sea', Fist WEGEMT Graduate School, Advanced Ship Design Techniques, University of Newcastle upon Tyne, Sept.1978.

27. Townsin, R.L. & Svensen, T.: 'Monitoring Speed and Power for Fuel Economy', 'Symp.Shipboard Energy Conservation' 80, SNAME, Sept.1980.

28. Svensen, T.: 'A Techno-economic Model of ship Operation with Special Reference to Hull and Propeller Maintenance in the Face of Uncertainty', PhD Thesis, University of Newcastle upon Tyne, 1983.

29. Todd, F.H.: 'Series 60 Methodical Experiments with Models of Single-screw Merchant Ship', DTMB report 1712, July 1963.

30. Takaishi, Y., Matsumoto, T. & Ohmatsu, S.: 'Winds and Models of the North Pacitic Ocean 1964-1973 (and other Papers of the Ship Research Institute, Japan)', March 1980.

31. Hogben, N. & Lumb, F.E.: 'Ocean Wave Statistics, HMSO for NPL 1967.

32. 'Admiralty Routeing Charts (wind and current data by month and ocean)', HMSO.

33. Townsin, R.L. & Dey, S.K.: 'The Correlation of Roughness Drag with Surface Characteristics', Proc. Int. Workshop on Marine Roughness and Drag, RINA March 1990.