DDG-1000 ตัวเรือ Tumblehome ในอดีตสู่เทคโนโลยีเรือรบแห่งอนาคต

เนื่องด้วยผู้เขียนเองมีความชื่นชอบในด้านนาวาสถาปัตย์จึงได้พยายามหาความรู้เทคโนโลยีใหม่ ๆ สำหรับเรือรบ ประกอบกับเมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๐ ได้มีโอกาสเข้าเรียนในหลักสูตรชั้นต้นนายทหารเรือพรรคกลิน หนึ่งในนั้นมีหัวข้อวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเรือรบ ซึ่งได้ให้นายทหารนักเรียนศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองแล้วนำเสนอหน้าชั้นเรียนพร้อมทั้งส่งข้อมูลเอกสารเป็นรูปเล่ม กระผมจึงได้ใช้เวลาหาข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสร้างเรือรบสมัยใหม่ที่น่าสนใจ และได้มาสะดุดตากับรูปทรงของเรือรบในโครงการเรือ DDG-1000 ของกองทัพเรือสหรัฐฯ ที่มีลักษณะแตกต่างจากเรือรบทั่ว ๆ ไป รวมถึงการใส่เทคโนโลยีสมัยใหม่ลงไปในเรือชนิดที่ยังไม่เคยมีประเทศใดทำมาก่อน ประกอบกับงบประมาณของโครงการนี้ที่สูงมากยิ่งทำให้โครงการนี้น่าสนใจเป็นอีกเท่าตัว

บทความนี้จะเป็นการแนะนำทุกท่านให้ได้รู้จักกับโครงการเรือ DDG-1000 ตัวเรือรบรูปทรง Tumblehome ที่เคยมีการใช้งานในอดีต ทำไมถึงเอารูปทรงเรือที่ใช้งานเมื่อศตวรรษที่แล้วนำกลับมาใช้ใหม่แล้วใส่เทคโนโลยีที่ก้าวหน้าที่สุดในขณะนี้เข้าไปในเรือรบ อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้โครงการของเรือรบที่ทรงอานุภาพทางทะเลที่หมายจะครองทะเลให้ได้เหมือนกับเรือประจัญบาน (BB) ชั้น Iowa-Class Battleship ในอดีต หรือการเอามาทดแทนเรือฟริเกตชั้น Oliver Hazard Perry Class frigates ที่โครงการฯ ต้องหยุดชะงักเหลือเพียงแค่ ๓ ลำเท่านั้น จากที่ต้องการทั้งหมด ๓๒ ลำ ระยะเวลาในการดำเนินการตั้งแต่ ปี ค.ศ.๒๐๐๙ จนถึงปัจจุบัน

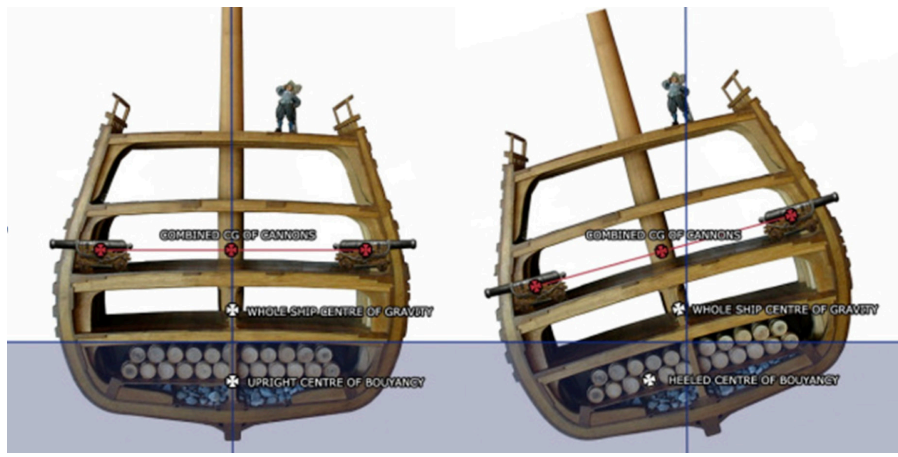
การใช้งานเรือรูปแบบ Tumblehome ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องด้วย ทร.สหรัฐฯ ได้มีการนำรูปแบบเรือชนิดนี้กลับมาทำใหม่ตั้งแต่ปี ค.ศ.๒๐๐๙ ซึ่งตัวเรือดังกล่าวไม่ได้รับความนิยมในการต่อเรือตั้งแต่ปี ค.ศ.๑๙๐๐ เป็นต้นมา มีหลายสาเหตุด้วยกันที่ไม่มีการใช้งานตัวเรือประเภทนี้ เช่น เนื้อที่ใช้สอยบริเวณดาดฟ้าหลักมีน้อย การทรงตัวของเรือไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเรือแบบ Flare ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เป็นต้น แต่สิ่งที่น่าสนใจคือ รูปทรงของตัวเรือประเภทนี้สามารถหลบหลีกเรดาห์ได้ดี ทร.สหรัฐฯ จึงได้จัดตั้งโครงการ DDG-1000 ซึ่งเป็นโครงการที่ได้นำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาบรรจุไว้ภายในเรือ ทำให้โครงการนี้ได้รับความสนใจด้วยคำถามที่ว่าทำไมตัวเรือที่ดูแปลกตาเมื่อศตวรรษที่ผ่านมาได้ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยเทคโนโลยีอันทันสมัย

ก่อนอื่นเรามาทำความเข้าใจเรื่องเสถียรภาพการทรงตัวของเรือผิวน้ำ (Stable Equilibrium) เกิดขึ้นได้อย่างไร โดยแรงที่เกี่ยวข้องกับการทรงตัวของเรือผิวน้ำประกอบด้วยแรงลอยตัว และน้ำหนักของเรือ แรงลอยตัวเกิดจากส่วนของตัวเรือที่ “จม” อยู่ในน้ำหรือแทนที่น้ำนั่นเอง (ตามกฎของอาร์คิมิดีส คนเดียวกับที่กระโดดขึ้นร้องยูเรก้าจากอ่างอาบน้ำ) ส่วนน้ำหนักของเรือมาจากมวลของเรือทั้งหมดทั้งส่วนที่อยู่เหนือน้ำและใต้น้ำ โดยปกติแล้วจุดศูนย์ถ่วงของเรือผิวน้ำจะอยู่

สูงกว่าจุดศูนย์กลางของแรงลอยตัว เนื่องจากน้ำหนักโครงสร้างตัวเรือส่วนที่อยู่เหนือน้ำจะส่งผลต่อความสูงของจุดศูนย์ถ่วง ในขณะที่จุดศูนย์กลางของแรงลอยตัวเกิดจากส่วนของตัวเรือที่จมอยู่ในน้ำเท่านั้น อย่างไรก็ดี ในขณะที่เรือเอียงไปข้างใดข้างหนึ่งจะทำให้ส่วนที่จมอยู่ใต้น้ำเปลี่ยนไป ส่งผลให้จุดศูนย์กลางของแรงลอยตัวเคลื่อนที่ตามไปด้วย ในขณะที่จุดศูนย์ถ่วงของน้ำหนักเรือยังคงอยู่ที่จุดเดิม ซึ่งการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงลอยตัวนี้ทำให้เกิดแขนโมเมนต์ที่ดึงเรือกลับไปตั้งตรงอยู่ได้ ดังนั้นหากจุดศูนย์ถ่วงของเรือยิ่งอยู่ต่ำก็จะทำให้เรือมีการทรงตัวที่ดีมากยิ่งขึ้น เมื่อเรือเอียงจะทำให้จุดศูนย์กลางแรงลอยตัวเคลื่อนที่และดึงให้เรือกลับไปตั้งตรงเช่นเดิม กล่าวคือ เป็นการทรงตัวของเรือในช่วงที่เมื่อเรือเอียงไปแล้วสามารถกลับมาตั้งตรงในสถานะแบบ Equilibrium ได้เหมือนเดิมโดยอัตโนมัติ (โดยเรือไม่เอียงจนคว่ำ)

ข้อดีของตัวเรือแบบ Tumblehome คือการลดมวลบริเวณกราบเรือที่มีความสูง ทำให้จุดศูนย์ถ่วงของเรืออยู่ต่ำลง อย่างไรก็ดีการที่ตัวเรือเหนือแนวน้ำมีความกว้างที่ลดลงก็ทำให้ส่วนที่จมน้ำเพิ่มขึ้นในด้านที่เรือเอียงมาขนาดลดลงไปด้วย ดังนั้นถึงแม้ว่าตัวเรือแบบนี้จะช่วยลดความสูงของจุดศูนย์ถ่วง แต่ในขณะเดียวกันตัวเรือแบบ Tumblehome ก็ลดการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงลอยตัวเมื่อเรือเอียงไปด้วย ทำให้กลายเป็นการลด Dynamic Stability ส่งผลให้เรือเอียงข้างเป็นอย่างมากเมื่อมีคลื่นลมแรง หรือเมื่อเรือหันเลี้ยวด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้หากมีรูรั่วในตัวเรือเนื่องจากความเสียหายจากการรบ หรืออุบัติเหตุตัวเรือเหนือแนวน้ำที่จมลงจะทำหน้าที่สร้างแรงลอยตัวขึ้นมาทดแทนแรงลอยตัวที่สูญเสียไป ซึ่งหากตัวเรือเหนือแนวน้ำมีรูปร่างสอบเข้าจะทำให้ส่วนที่จะแทนที่น้ำต้องจมลงมากขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาตรที่เพียงพอในการสร้างแรงลอยตัวขึ้นทดแทน

ด้วยเหตุนี้เราจึงเห็นเรือผิวน้ำในปัจจุบันใช้รูปทรงตัวเรือแบบตัววี หรือแบบ Flare (บานออก) มากกว่าตัวเรือแบบ Tumblehome ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาตร และเพิ่มแรงลอยตัวในขณะที่ตัวเรือเหนือแนวน้ำจมลงแทนที่น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรือขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างตัวเรือสูง มักนิยมใช้ตัวเรือแบบ Flare เพื่อเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงลอยตัว มากกว่าการใช้ตัวเรือแบบ Tumblehome ที่พยายามลดจุดศูนย์ถ่วง อย่างไรก็ดี ผลข้างเคียงของการใช้ตัวเรือแบบ Tumblehome เพื่อช่วยเพิ่มแรงลอยตัวโดยเฉพาะบริเวณหัวเรือจะทำให้หัวเรือโยนขึ้นลงขณะฟันคลื่นซึ่งทำให้เกิดความล้าของตัวเรือ และคนที่ปฏิบัติงานภายในเรือ แต่เวลาโดนยิงหรือเมื่อมีความเสียหาย (Damage) จะจมเร็วมาก เนื่องจากแรงลอยตัวที่เหลือหลังจากโดนยิง หรือแรงลอยตัวสำรอง (Reserve Buoyancy) มีน้อย และเวลาเรือเริ่มจมพื้นที่



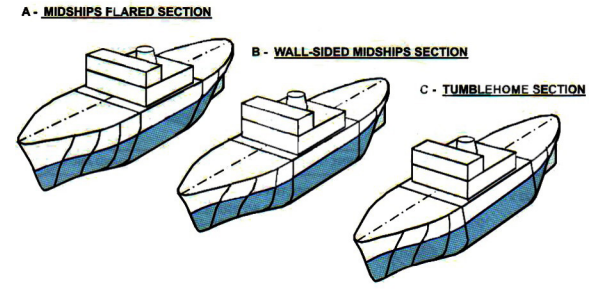
หน้าตัด (Water plane) จะลดลงเรื่อย ๆ ส่งผลต่อการทรงตัวของเรือ ถ้าจะทำให้มีความสามารถในการทรงตัวเรือขณะเรือเกิดความเสียหาย หรือการทรงตัวในสถานะที่แรงลอยตัวไม่สมบูรณ์ดังเดิม (Damage Stability) มีมากพอ ก็ทำได้ด้วยใช้การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ แต่กระทำได้ยากต้องออกแบบให้ความสามารถการทรงตัวสถิตของเรือในน้ำนิ่ง (Intact Stability) มีมากกว่าปกติซึ่งอาจส่งผลต่อการเคลื่อนไหวของเรือเป็นไปได้ยาก (Severer Motion) และต้องมีการแบ่งคอมพาร์ทเม้นค่อนข้างแน่น โดยเฉพาะท้ายเรือ (หมายถึงซอยคอมพาทเม้นให้ถี่ขึ้น) อีกทั้งยังต้องควบคุมน้ำหนักเรือที่เพิ่มขึ้นหลังการใช้งาน (Service Life Weight Growth) อย่างระมัดระวังจากการออกแบบ

วิวัฒนาการการออกแบบเรือ “Tumblehome”

นาวาสถาปนิกออกแบบทำให้ด้านข้างของลำตัวเรือสอบเข้าจากด้านบนของเส้นแนวน้ำ หรือแคบเข้าด้านในซึ่งเรียกว่า “Tumblehome” จนถึงยุค ค.ศ.๑๘๙๐ ที่ถือได้ว่าเป็นเรือรบที่ทันสมัยที่สุดในสมัยนั้น แต่แนวคิดรูปทรงเรือแบบนี้นั้นสามารถหลีกเลี่ยงการสะท้อนกลับเรดาร์ เพื่อหลบขีปนาวุธบินที่ขนานไปกับพื้นผิวของน้ำ เพื่อการหลีกเลี่ยงตัวเรือแบบ Wall Side เรือรบล่าสุด เช่น DDG 51 จึงได้สร้างเปลือกหุ้มลำตัวซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดการออกแบบข้างเรือเป็นเรือแบบ Wall Side คือการเลือกใช้รูปแบบเรือแบบ Tumblehome แนวคิดของเรือลำนี้ได้รับการนำเสนออย่างกว้างขวางโดยสื่อมวลชนในฐานะส่วนหนึ่งของแนวคิดเกี่ยวกับเรือใหม่ ๆ ในช่วงเปลี่ยนศตวรรษที่ ๒๐ กองทัพเรือใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางจากสถาปัตยกรรม Tumblehome มีปรากฏบันทึกทางประวัติศาสตร์ของรูปทรงเรือที่ได้รับการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาการล่ม และการจมน้ำอย่างรวดเร็ว และได้เกิดประเด็นและแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ในการใช้แบบเรือลำนั้น สำหรับการพัฒนาเรือสมัยใหม่

เรือ Ironclad มีตัวเรือแบบ Tumblehome และกราบเรือต่ำ เหมาะกับการใช้งานในแม่น้ำแต่ไม่เหมาะกับสภาพคลื่นลมในทะเลในช่วงสงคราม Civil War ภาพถ่าย ในเดือนตุลาคม ค.ศ.๑๘๖๒

ในช่วงปลายปี ค.ศ.๑๘๙๐ มีแนวคิดด้านสถาปัตยกรรมเรือรบ ซึ่งลำตัวของเรือส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบ Wall side เหนือแนวน้ำ หรือก้มเพียงเล็กน้อยจากผนังด้านในและค่อนข้างมีกินน้ำลึกน้อย มีแนวคิดซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งคือ มีด้านลำตัวลาดชันเข้าด้านในแบบ Tumblehome ซึ่งกินน้ำลึกมากขึ้น



รูปแสดงการเปรียบเทียบตัวเรือแบบ Flared, Wall Side และ Tumblehome ช่วงบริเวณกลางลำเรือ

Flare หมายถึง ระยะทางระดับที่บ่งความโค้งด้านข้างเรือเทียบกับแนวเส้นกึ่งกลางเช่นเดียวกับ Tumblehome แต่เป็นการโค้งออกจากแนวกึ่งกลางลำเรือ การเรียกชื่อจะมีลักษณะเช่นเดียวกับ Tumblehome คือ ต้องระบุว่าเป็นระยะ Flare ตรงส่วนใดของเรือ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วบริเวณหัวเรือของเรือทั่วไปจะมีลักษณะเป็น Flare ในขณะที่บริเวณกลางลำเหนือแนวน้ำมักมีลักษณะเป็น Tumblehome

บันทึกการใช้เรือ Tumblehome ในสงครามทางเรือ

การยาตราเรือของกองทัพเรือรัสเซียที่ยุทธการ Tsushima ในปี ค.ศ.๑๙๐๕ (ดังได้สรุปไว้ในตาราง A) เรือรบที่ใหญ่ และใหม่ที่สุดของรัสเซียที่นำมาใช้ในการรบมีตัวเรือแบบ Tumblehome (Suvaroff, Borodino, Alexander III) โดนโจมตีอย่างรุนแรงจากการต่อสู้ตั้งแต่ต้น และถูกทำลายลงในวันแรก เช่น เรือ Alexander III ที่โดนเรือขนาดเล็กกว่าของกองทัพเรือญี่ปุ่นโจมตีอย่างหนักโดยในคืนนั้นและในวันถัดไปเป็นเรื่องยากที่จะสรุปเกี่ยวกับรูปแบบความเสียหายของเรือ เนื่องจากการกระจายของกลุ่มกระสุนจากปืนเรือญี่ปุ่นไปยังกองเรือรัสเซียทำให้เกิดความเสียหาย ไม่มีรูปแบบแน่นอน ลูกกระสุนปืนใหญ่ที่โดนเปลือกเรือเป็นบริเวณกว้าง ทำให้เกิดความเสียหายที่ซับซ้อนขึ้น จนทำให้น้ำทะเลรั่วไหลเข้าเรือ เกิดไฟไหม้ ตัวเรือฉีกขาด และมีการกระจัดกระจายของทีมป้องกันความเสียหายอย่างโกลาหล ทำให้ตัวเรือค่อย ๆ จมลงอย่างช้า ๆ

เรือ Alexander III ของ ทร.รัสเซีย

ซึ่งมีแนวโน้มที่จะพาลูกเรือจมลงไปกับเรือด้วย เพราะช่องทางประตูที่ออกดาดฟ้าไปได้ยาก เรือ Suvaroff ไม่มีผู้รอดชีวิต เรือ Borodino มีผู้รอดชีวิตเพียง ๑ คน เรือ Alexander III มีผู้รอดชีวิต ๔ คน สรุปมีผู้รอดชีวิตทั้งหมด ๕ คน จากจำนวนกว่า ๒,๔๐๐ คน เรือ Alexander III เริ่มจมลงจากการยิงด้วยปืน ๖ นิ้ว ของเรือญี่ปุ่นในเวลาเพียงไม่กี่นาที

Table A: Russian Battleships at Tsushima

Name	Rated Class	Metric Tons	Trial Speed, knots	Launch Date	Crew	Main Guns
Suvaroff	1st	13,510	17.5	1902	830	4x12"
Alexander III	1st	13,510	17.5	1902	830	4x12"
Borodino	1st	13,510	17.5	1902	830	4x12"
Orel	1st	13,510	17.5	1902	830	4x12"
Osliaba	1st	12,675	18.0	1898	900	4x10"
Sissoi Veliki	2nd	10,400	15.7	1894	586	4x12"
Navarin	2nd	10,200	15.9	1891	622	4x12"
Nicholas I	2nd	9,679	14.0	1889	623	2x12"
Aparakin	3rd	4,120	16.0	1896	404	3x10"
Seniavin	3rd	4,960	16.0	1896	404	3x10"
Ushakov	3rd	4,120	16.0	1896	404	3x10"

ตาราง A แสดงกำลังรบทางเรือของรัสเซียในยุทธการ Tsushima

Table B: Fate of Russian Battleships

Name	Tumblehome	Heavily Shelled	Torpedo Hits	Fate	% Crew Lost
Kniaz Suvaroff	Yes	Yes	3	Capsized	100
Alexander III	Yes	Yes		Capsized	99
Borodino	Yes	Yes		Capsized	99
Orel	Yes	Yes		Surrendered	5
Osliaba	Yes	Yes		Slow Capsized	57
Sissoi Veliki	No	Yes	1	Sank slowly	small
Navarin	No	Yes	4	Sank Rapidly	99
Nicholas I	No			Surrendered	small
Aparakin	No			Surrendered	small
Seniavin	No			Surrendered	small
Ushakov	No	Yes		Scuttled	20

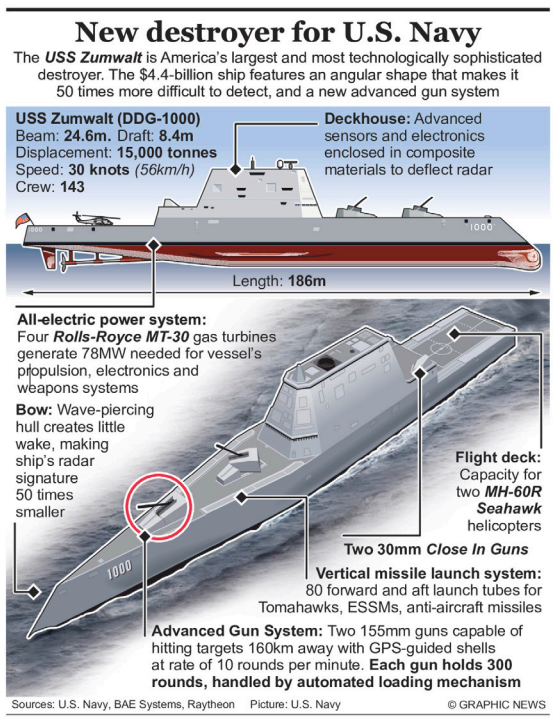
ตาราง B แสดงกำลังรบทางเรือของรัสเซียในยุทธการ Tsushima เรือที่ใช้แบบ Tumblehome ที่มีเกราะหนา และความสูญเสีย

การวิเคราะห์ทางเทคนิคของการทรงตัวเรือเมื่อเกิดความเสียหายของเรือแบบ Tumblehome

เรือแบบ Tumblehome ใช้งานได้เป็นอย่างดีโดยเรือจะมีการทรงตัวที่ดี เมื่อไม่มีสงคราม หรือในขณะที่เรือไม่ได้รับความเสียหาย ปัจจัยสำคัญสำหรับการทรงตัวเรือเมื่อเกิดความเสียหายก็คือพื้นที่แนวน้ำ และจำนวนอัตราการลอยของเรือที่เหลืออยู่ พื้นที่แนวน้ำของเรือทำให้เรือตั้งขึ้น อัตราการลอยของเรือทำให้เรือยังสามารถลอยอยู่ได้ เรือ Wall side เมื่อถูกทำลายที่บริเวณใต้แนวน้ำ เรือจมลงในขณะที่ด้านข้างของตัวเรือยังตั้งตรงอยู่ พื้นที่แนวน้ำที่ไม่เสียหายจะมีแรงพยุงให้เรือสามารถรักษาแรงลอยตัวอยู่ได้ ส่วนเรือ Tumblehome จะมีพื้นที่แนวน้ำ และอัตราการลอยตัวที่น้อยกว่า อัตราการจมลงจึงมากกว่า น้ำจะสามารถเข้ามาในเรือด้วยอัตรา

ที่มากกว่า ความเสียหายที่มากกว่าเกิดจากการที่เปิดช่องระบายอากาศบริเวณดาดฟ้า จะยิ่งทำให้น้ำทะเลเข้าเรือได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยรวมแล้วเรือ Tumblehome มีอัตราการลอยสำรองน้อยกว่าเรือ Wall side อยู่แล้ว และยิ่งน้อยเป็นพิเศษเมื่อเรือกำลังจะจม ส่วนเรือแบบ Flare จะมีลักษณะที่ตรงกันข้ามคือ จะมีอัตราการลอยตัวสำรองที่ดีเมื่อเรือกำลังจะจม ทำให้เรือจมได้ช้ากว่าแบบอื่น ๆ

ด้วยเหตุผลที่ด้อยกว่าทางด้าน Ship Stability ของเรือแบบ Tumblehome แต่มีเหตุผลใดที่ยังได้รับคัดเลือกมาเป็นแบบตัวเรือที่เต็มไปด้วยเทคโนโลยีอันทันสมัยอีกครั้งหนึ่ง ในโครงการเรือ DDG-1000



ภาพแสดงคุณลักษณะของเรือโครงการเรือ DDG-1000 (USS Zumwalt)

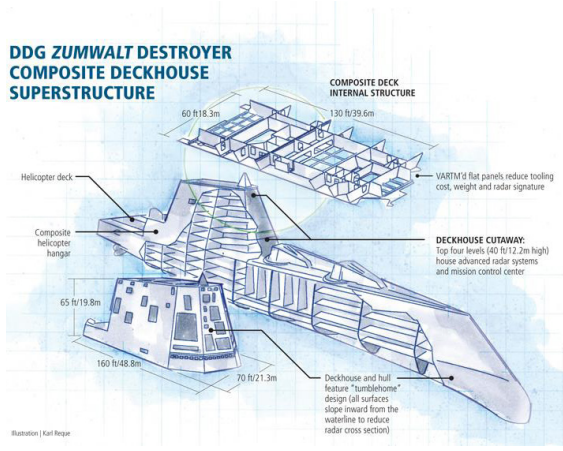
ตัวเรือแบบ Tumblehome

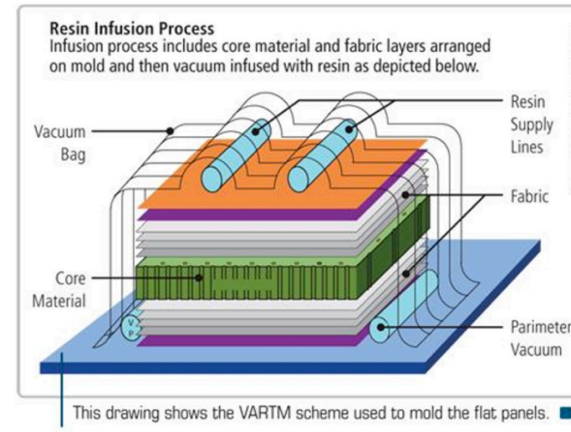
ตัวเรือจะเป็นแบบ Tumblehome คือ จะมีลักษณะเหมือนใบมีดที่แหวกไปในน้ำ ตัวเรือส่วนใหญ่จะจมอยู่ใต้น้ำ ความกว้างของลำเรือจะน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาว และมีทวนหัวที่เรียวแหลม แบนเหมือนใบมีด ตัวเรือส่วนที่เหนือแนวน้ำจะสอบเข้า แทนที่จะบานออกเหมือนเรือทั่ว ๆ ไป รูปทรงของตัวเรือแบบนี้จะทำให้เรือแหวกกระแสคลื่นได้ดีกว่ารูปทรงเรือแบบอื่น ๆ ซึ่งการออกแบบตัวเรือแบบนี้ จะแตกต่างจากเรือในยุคหลังของ ทร.สหรัฐฯ ที่มักจะเป็นแบบ Catamaran หรือ Trimaran ที่เน้นยกลำตัวของเรือเกือบทั้งหมดให้พ้นน้ำในขณะที่เรือแล่น เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างลำเรือกับน้ำ แต่ตัวเรือแบบ Tumblehome นั้นกลับตรงกันข้ามคือ ตัวเรือส่วนใหญ่จมอยู่ใต้น้ำ อาศัยเพียงรูปทรง และความราบเรียบของแผ่นเหล็กตัวเรือ เป็นตัวแหวกกระแสน้ำ ก่อให้เกิดการไหลอันราบเรียบ ซึ่งนอกจากจะทำให้เรือแล่นไปได้รวดเร็วแล้ว ยังลดเสียงใต้น้ำ เพิ่มคุณสมบัติด้าน Stealth เนื่องจากตัวเรือส่วนใหญ่จมอยู่ใต้น้ำ ส่วนที่เป็นเก๋งเรือ (Super Structure) นอกจากนี้ยังช่วยให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยอีกด้วย เนื่องจากจะไม่เกิดกระแสคลื่นไหลวน (Turbulence Flow) รอบลำเรือในขณะเรือเดิน และไม่ต้องใช้พลังงานมากในการเร่งความเร็ว เพื่อให้เรือมีแรงยกเหมือนกับเรือ Catamaran หรือ Trimaran สามารถทำความเร็วได้ถึง ๓๐ นอต แต่จากข้อด้อยของตัวเรือแบบ Tumblehome ในอดีตที่มีเกี่ยวกับ Ship Stability และประวัติการรบในอดีตที่มีจมได้ง่ายเมื่อถูกยิง ได้รับการชดเชยด้วยการแบ่งซอยคอมพาทเม้นต์ให้ถี่ขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการลอยเมื่อเรือถูกโจมตี

ในส่วนของ Deckhouse หรือ Superstructure จะมีทั้งหมด ๗ ชั้น โดย ๓ ชั้นล่างจะทำมาจากเหล็ก แต่จะต้องลดการตรวจจับจากเรดาห์ เพราะฉะนั้นอีก ๔ ชั้นด้านบนจึงทำมาจากวัสดุคอมโพสิตแบบประกบเข้าด้วยกัน (Sandwich Panel) โดยใช้ Flat-table tool โดยรูปแบบในการทำกระบวนการ Vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM) ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดในแม่พิมพ์ชนิด (VARTM) ที่ใช้แบบเดียวกับการทำโครงสร้างอากาศยาน โดยแกน (Core) ที่ใช้ในโครงการนี้ ไม้บัลซ่า หรือโฟม ส่วนวัสดุที่ใช้ฉาบผิวคือ

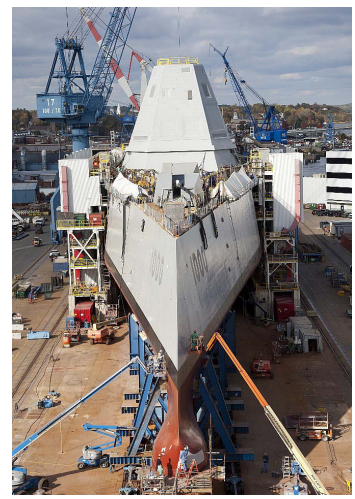
คาร์บอน/ไวนิลเอสเทอร์ เป็นแผ่นประกบแบบแซนวิช จะทำให้ Superstructure มีความแข็งแรง และน้ำหนักลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุจากเหล็ก

รูปทรงแปลกตากับขนาดอันใหญ่โต ปรากฏเป็นเงาทะมึนขณะถูกลากจูงออกจากบริเวณอู่ต่อเรือบาร์ธไอออนเวิร์ค (Bath Iron Works) ของกลุ่มเจเนอรัลไดนามิกส์ (General Dynamics) แล่นช้า ๆ ไปตามแม่น้ำเคนเนเบ็ก (Kennebec) ในรัฐเมน ภายใต้อุณหภูมิที่เย็นจัดเพื่อออกสู่ทะเลเปิด ท่ามกลางเสียงไชโยโห่ร้องของบรรดาเจ้าหน้าที่ และพนักงานอู่ต่อเรือเก่าแก่ราว ๒๐๐ คน นี่คือเรือรบแห่งอนาคต เรือพิฆาตยักษ์รูปทรงแปลกตาย้อนยุคเป็นเรือพิฆาตขนาดใหญ่โตมหึมาที่สุดเท่าที่เคยสร้างมา ซึ่งจะเป็นเรือรบแห่งอนาคตของ ทร.สหรัฐฯ และยังเป็นศูนย์รวมแห่งเทคโนโนยีเรือรบชั้นนำของโลก ได้ออกแล่นในทะเลแอตแลนติกเป็นครั้งแรก ในวันจันทร์ที่ ๗ ธันวาคม ค.ศ.๒๐๑๖ ซึ่งได้กลายเป็นการเปิดประวัติศาสตร์หน้าใหม่ของอุตสาหกรรมต่อเรือ และกองทัพเรือทั่วโลก





ภาพแสดงการแบ่งคอมพาร์ทเม้นต์ (ซ้าย) และภาพแสดงแบบในการทำกระบวนการ VARTM (ขวา) เรือ DDG-1000



ภาพแสดงเรือ DDG 1000 ขณะอยู่ในอู่ต่อเรือบาร์ธไอออนเวิร์ค (Bath Iron Works) จาก Associated Press/Robert F Bukaty. Bukaty.

ภาพเรือพิฆาต USS Zumwalt จาก Associated Press/Robert F Bukaty.

อู่ต่อเรือเก่าแก่ริมฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติกแห่งนี้ ให้กำเนิดเรือรบมานับจำนวนไม่ถ้วน เรือจำนวนมากจากที่นี่เคยเข้าร่วมในการยกพลขึ้นบกที่หาดนอร์มังดี ประเทศฝรั่งเศสเมื่อ ๗๐ ปีที่แล้ว รวมทั้งเรือพิฆาต และเรือลาดตระเวนที่ประจำการอยู่ในปัจจุบัน แต่ยังไม่เคยสร้างเรือรบรุ่นใดที่มีรูปลักษณ์ประหลาดล้ำ และมีขนาดใหญ่โตระดับนี้มาก่อน

ปืนใหญ่ ๑๕๕ มิลลิเมตร แบบก้าวหน้า

เรือ DDG-1000 ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งสิ้น ตั้งแต่การขับเคลื่อน ไปจนถึงการควบคุมความเสถียรของลำเรือโดยไม่ต้องพูดถึงระบบอาวุธ ซึ่งไฮไลท์สำคัญที่สุดอาจจะเป็น ปืน ๑๕๕ มิลลิเมตร แคลิเบอร์เดียวกันกับปืนใหญ่สนามทั่วไป แต่เป็น Advanced Gun System หรือ “ระบบปืนใหญ่ก้าวหน้า” ที่อยู่ระหว่างการพัฒนาในขั้นตอนสุดท้าย โดย BAE Systems เพื่อติดตั้งบนเรือพิฆาตพันธุ์ใหม่นี้โดยเฉพาะ นอกจากจะยิงด้วยกระสุนมาตรฐานจำเพาะแล้ว บริษัทล็อกฮีดมาร์ติน (Lockheed Martin) กำลังพัฒนากระสุนพิเศษอีกชนิดหนึ่งสำหรับปืน ๑๕๕ มิลลิเมตร บนเรือ DDG-1000 ที่เรียกว่า GPS-guided long-range และ Long Range Land Attack Projectile LRLAP โดยกระสุนยิงโจมตีเป้าหมายบนบกจากระยะไกล เป็นกระสุนความแม่นยำสูงมีระยะยิงพลาดเป้าหมาย ในเส้นรอบวงเพียง ๕๐ เมตร หรือแคบกว่านั้น สามารถยิงได้ไกลถึง ๑๐๙ กิโลเมตร (๕๙ ไมล์ทะเล) และกำลังพัฒนาต่อไปเพื่อเพิ่มอำนาจการยิงที่จะทำให้ “ปืนใหญ่เรือจะต้องไม่พลาดเป้า” รวมไปถึงป้อมปืนแบบ Stealth ซึ่งกระบอกปืนสามารถเก็บเข้าไปภายในป้อมปืนได้โดยสมบูรณ์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการล่องหนของเรือ นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานได้แบบอัตโนมัติตั้งแต่ขั้นตอนการบรรจุกระสุนไปจนถึงขั้นตอนการยิง ทำให้ไม่ต้องใช้กำลังพลมากในการบรรจุลูกปืนเช่นปืนรุ่นเก่า ๆ และสามารถบรรจุไว้ในเรือได้มากถึง ๙๐๐ นัด แต่มีข่าวออกว่าปืน ๑๕๕ มิลลิเมตร LRLAP นี้ อาจต้องมีการทบทวนการใช้งานใหม่เนื่องจากกระสุนมีราคาแพงเกินไป (นัดละประมาณ ๑ ล้านเหรียญสหรัฐฯ) ทร.สหรัฐฯ จำเป็นจะต้องหาทางออกประเด็นนี้ให้เร็วที่สุด บางที

อาจพัฒนานำปืน Railgun มาติดทดแทนปืน ๑๕๕ มิลลิเมตร ก็เป็นได้ เรายังคงต้องติดตามข่าวกันต่อไปครับ

สำหรับต่อต้านเรือผิวน้ำและอากาศยาน RIM-๑๖๒ Evolved Sea Sparrow Missiles (ESSM)

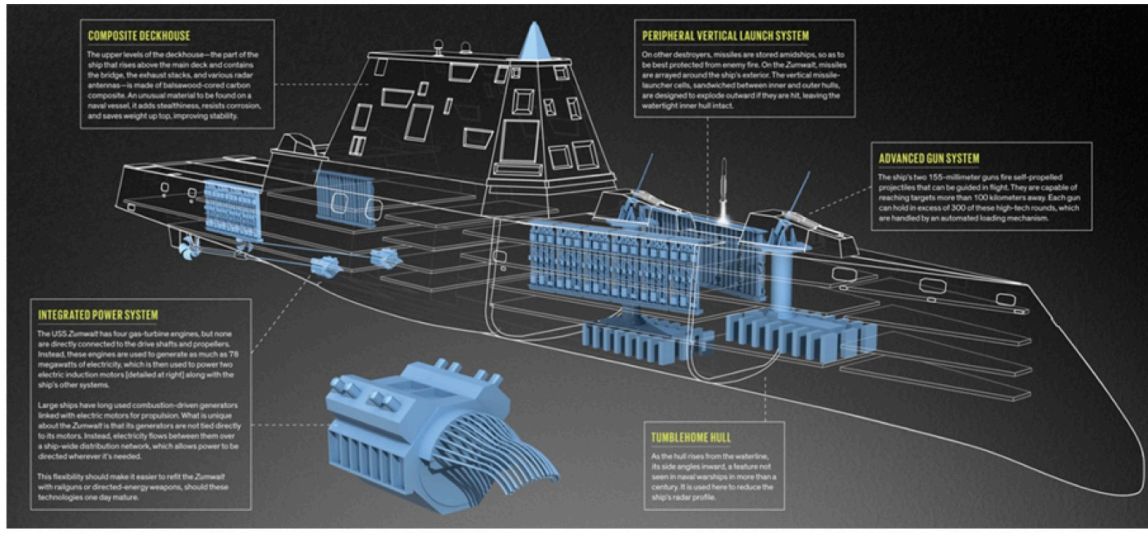
เรือ USS Zumwalt มีโรงเก็บท้ายเรือ บรรทุกเฮลิคอปเตอร์ขนส่ง/ปราบเรือดำน้ำ "ซีฮอว์ก" หรือระดับเดียวกัน จำนวน ๒ ลำ ภาพจาก Associated Press/Robert F Bukaty.

ระบบอาวุธปล่อยนำวิถีแนวตั้งแบบสุดล้ำ

ระบบ Peripheral Vertical Launch System (PVLS) นั้นเป็นระบบปล่อยอาวุธปล่อยนำวิถีในแนวตั้ง และเนื่องจากขนาดของเรือ DDG-1000 นั้น ถือว่าไม่ได้มีขนาดใหญ่มาก โดยเฉพาะในส่วนของความกว้าง ทำให้พื้นที่ในการติดตั้งอาวุธปล่อยฯ นั้นมีน้อย อีกทั้งความกังวลในเรื่องของความแข็งแรงของตัวเรือ เมื่อบริเวณที่เก็บอาวุธปล่อยฯ เกิดระเบิดนั้นมีมาก จึงได้มีการออกแบบระบบ PVLS นี้ขึ้นมา โดยระบบนี้จะเป็นลักษณะของโมดูลที่ใช้เก็บอาวุธปล่อยฯ แบบแยกออกจากกัน ลูกอาวุธปล่อยฯ แต่ละลูกจะถูกเก็บแยกไว้ในกล่องอย่างอิสระ ซึ่งกล่องนี้จะถูกวางไว้บริเวณเปลือกเรือชั้นนอก และออกแบบให้มีช่องทางในการระบายแรงระเบิดออกสู่นอกตัวเรือแทนที่จะอัดตัวเรือให้ฉีกขาด และป้องกันไม่ให้ลูกอาวุธปล่อยฯ ลูกอื่น ๆ ระเบิดตาม หากลูกอาวุธปล่อยฯ ลูกใดลูกหนึ่งหรือหลาย ๆ ลูกเกิดระเบิดขึ้น ไม่ว่าจากการถูกโจมตี หรือระเบิดขึ้นเองก็ดี อาวุธปล่อยฯ ที่สามารถบรรจุลงในระบบ PVLS ได้นั้น ได้แก่ อาวุธปล่อยฯ แบบเดียวกับที่ติดตั้งบนเรือฟริเกตชุดเรือหลวงนเรศวรของราชนาวีไทย ขีปนาวุธทางยุทธวิธี Tomahawk อันเลื่องชื่อ สำหรับทำลายเป้าหมายบนบก และจรวดปราบเรือดำน้ำ ASROC (Anti-Submarine Rocket) ซึ่งมีจำนวนช่องบรรจุทั้งหมด ๘๐ ช่อง โดย ESSM สามารถบรรจุได้ ๔ ลูกต่อช่อง และจรวด BMG-109 Tomahawk กับ ASROC บรรจุได้ ๑ ลูกต่อช่อง โดยจรวดร่อนรุ่นใหญ่ (BMG-109 Tomahawk) ที่ติดหัวรบนิวเคลียร์ได้ และยิงได้ไกลตั้งแต่ ๑,๓๐๐ – ๒,๕๐๐ กิโลเมตร ระบบท่อยิง MK 57 ยังใช้ยิงจรวดมาตรฐาน RIM-66 ซึ่งเป็นจรวดยิงโจมตีระยะปานกลาง (๗๐-๑๖๔ กิโลเมตร) ขนาดเล็กกว่าจรวดโทมาฮอว์กแต่ละท่อยิงบรรจุได้ถึง ๒ ลูก

เรดาร์ตรวจการณ์สมัยใหม่

เรดาร์แบบ Dual Band Radar (DBR) บนเรือ DDG-1000 นั้นจะเป็นรุ่น AN/SPY-3 ของ Raytheon ที่แพร่คลื่นในย่าน X-Band และเรดาร์ AN/SPY-4



ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งอาวุธปล่อยนำวิถีระบบ PVLS ปืนหลักและระบบขับเคลื่อนของ เรือ DDG - 1000

ของบริษัท Lockheed Martin ที่แพร่คลื่นในย่าน S-Band ซึ่งต่อมาได้มีแนวความคิดที่จะเปลี่ยนเรดาร์ AN/SPY-4 ไปเป็น Air Missile Defense Radar (AMDR) ซึ่งยังอยู่ในขั้นตอนเริ่มแรกของการพัฒนา

เรดาร์ AN/SPY-3 เป็นเรดาร์แบบ Multi-Function Radar (MFR) แพร่คลื่นในย่าน X-Band มีความยาวคลื่น ๘ – ๑๕ เซนติเมตร และมีความถี่ ๒ – ๔ GHz เหมาะกับการตรวจจับอากาศยานขนาดใหญ่ อาวุธปล่อยนำวิถี และเรือผิวน้ำ ส่วนเรดาร์ AN/SPY-4 เป็นเรดาร์ประเภท Volume Search Radar แพร่คลื่นในย่าน S-Band ซึ่งจะมีความยาวคลื่น ๒.๕ – ๔ เซนติเมตร และมีความถี่ ๘ – ๑๒ GHz ทำให้เรดาร์ในย่าน S Band นี้มีขีดความสามารถในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก เช่น เรือผิวน้ำขนาดเล็ก อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น

สำหรับ Air Missile Defense Radar (AMDR) นั้น เป็นเรดาร์รุ่นใหม่ล่าสุด ที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการตรวจจับ และแยกแยะเป้าต่าง ๆ ในแบบที่เรดาร์ทั่ว ๆ ไปทำไม่ได้ เช่น ยานรบที่วิ่งอยู่ในพื้นที่รกทึบบนผืนแผ่นดิน ขีปนาวุธที่วิ่งเรี่ยน้ำ อากาศยาน และเรือรบที่วิ่งฝ่าสายฝน นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการถูกตรวจจับคลื่นเรดาร์ และการก่อกวนจากฝ่ายตรงข้ามด้วย

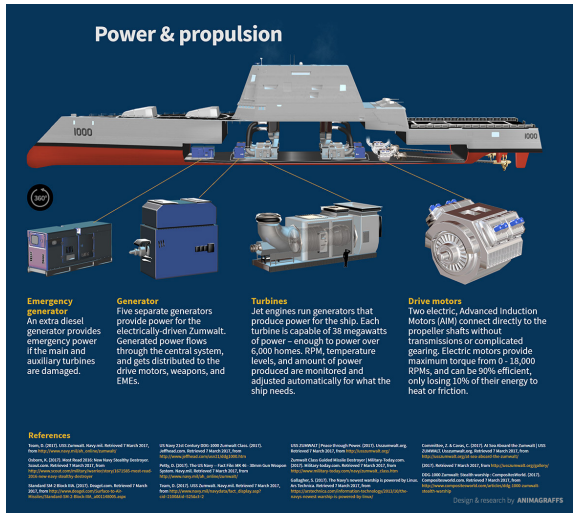
โดยเรดาร์และเซนเซอร์ต่าง ๆ ทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ใน Super Structure ที่มีชื่อเรียกว่า Integrated Deckhouse & Apertures เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการตรวจจับจากฝ่ายตรงข้าม และรักษาคุณสมบัติ Stealth ของตัวเรือเอาไว้

โซนาร์อันทันสมัย

โซนาร์ของเรือ DDG-1000 นั้นจะประกอบไปด้วยโซนาร์แบบ AN/SQS-60 ซึ่งมีคลื่นความถี่ปานกลางสำหรับตรวจจับเรือดำน้ำ และตอร์ปิโด โซนาร์แบบ AN/SQS-61 ซึ่งมีคลื่นความถี่สูง สำหรับตรวจจับทุ่นระเบิด โซนาร์ทั้งสองนี้ติดตั้งอยู่บริเวณโดมโซนาร์หัวเรือ มีรัศมีตรวจจับคลอบคลุม ๓๖๐ องศา นอกจากนี้ก็ยังมีโซนาร์ลากท้าย (Tow Array Sonar) แบบ AN/SQR-20 สำหรับตรวจสอบสภาพพื้นท้องทะเล และสภาพแวดล้อมในทะเล ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกควบคุมและประมวลผลโดยระบบ Integrated Undersea Warfare ที่มีความสามารถในการแยกแยะเป้าใต้น้ำ ต่อต้านทุ่นระเบิด และตอร์ปิโด

การจัดการพลังงานภายในเรือและระบบขับเคลื่อน

แนวความคิดแบบใหม่ของการจัดการพลังงานในเรือรบรุ่นใหม่ ๆ ของ ทร.สหรัฐฯ ก็คือการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมในการจัดสรรพลังงานให้เหมาะสมกับภารกิจ เช่น ในสถานีรบ ระบบ Integrated Power System (IPS) จะจัดสรรพลังงานเพื่อให้พอเพียงกับระบบอำนวยการรบทั้งหมด เช่น ปืน อาวุธปล่อยนำวิถี และเรดาร์ เพื่อไม่ให้เกิดการติดขัดอันเนื่องมาจากการขาดแคลนพลังงานในระหว่างการรบ ซึ่งระบบทุกระบบในเรือจะใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานทั้งหมด แม้กระทั่งระบบขับเคลื่อน ก็ยังเป็นระบบที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ Rolls-Royce MT30 ขนาด ๓๖ MW จำนวน ๒ เครื่อง และเครื่องยนต์ดีเซลฉุกเฉินอีก ๒ เครื่อง จะมีหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนให้กับ IPS เพียงอย่างเดียวและ IPS จะทำหน้าที่แจกจ่ายพลังงานไปยังแหล่งที่ต้องการพลังงานตามโปรแกรมที่ได้ควบคุมไว้



ภาพแสดงระบบไฟฟ้าและระบบขับเคลื่อนของเรือ DDG - 1000

หัวใจที่สำคัญที่สุดของเรือ

Total Ship Computing Environment Infrastructure (TSCEI) คือหัวใจที่สำคัญที่สุดของเรือ เนื่องจาก TSCEI นั้นเป็นทั้งแนวคิด ซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งหมดในเรือ แนวความคิดหลักของระบบนี้ก็คือ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์แบบ Client-Server ในการควบคุมและประมวลผลการทำงาน และการสั่งการของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมีเครื่อง client ที่ติดตั้งอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของเรือทำหน้าที่แสดงผลและรับคำสั่ง เพื่อส่งผ่านไปยังเครื่อง server ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผล และส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือส่งกลับไปให้ผู้ใช้ ผู้ใช้หรือกำลังพลเรือสามารถที่จะใช้งานโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ใด ๆ จากที่ใด ๆ ก็ได้ภายในเรือที่ติดตั้งเครื่อง Client ไว้ เพราะเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องสามารถเรียกโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์นั้น ๆ ขึ้นมาใช้งานได้ เหมือนการเปิดโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Windows อย่างไรอย่างนั้น ดังนั้นหากเครื่อง Client ส่วนใดส่วนหนึ่งถูกโจมตีเสียหาย ก็ยังสามารถสั่งการ และควบคุมเรือได้จากส่วนอื่น ๆ ภายในเรือ

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ภายในเรือก็ยังมีส่วนสั่งการรวมที่เรียกว่า Mission Control Center ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ Client หลายเครื่องตั้งไว้รวมกัน ผู้บังคับการเรือสามารถสั่งการ และรับรายงานสถานการณ์ต่าง ๆ ได้จากภายในห้องนี้ โดยมีเจ้าหน้าที่จากทุกส่วนรับคำสั่งอยู่ภายในห้องนี้ ทั้งแผนกเดินเรือ อาวุธ ยุทธการ สื่อสาร และแม้แต่แผนกช่างกล ดังนั้นการสั่งการในการปฏิบัติภารกิจทั้งหมดทั้งมวลจึงเป็นไปอย่างชัดเจน และรวดเร็วกว่าระบบเดิม ๆ เป็นอย่างมาก

ทางด้านสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ TSCEI ได้ออกแบบไว้ให้เป็นสถาปัตยกรรมแบบเปิด (Open Architecture Computing Environment) หมายความว่า ในอนาคตเมื่อเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาไปตามกฎของมัวร์ (Moore's Law) เรือก็ยังสามารถอัพเกรดทั้งซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ให้ทันสมัยได้ไม่ยาก ไม่เหมือนระบบควบคุมสั่งการของเรือรบรุ่นเก่า ๆ ที่ต้องรื้อกันยกแผง ซึ่งนั่นทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และปรับปรุงเรือในระยะยาวลดลงเป็นอย่างมาก

การป้องกันความเสียหาย

การป้องกันความเสียหายในเรือ DDG-1000 จะเป็นระบบอัตโนมัติทั้งหมด ด้วยการอาศัยเซนเซอร์ตรวจจับต่าง ๆ กล้องวงจรปิด ระบบคอมพิวเตอร์ และระบบดับไฟอัตโนมัติ จุดประสงค์ก็เพื่อลดความผิดพลาดในการป้องกันความเสียหายด้วยคน เพิ่มความรวดเร็วและแน่นอนให้กับการป้องกันความเสียหาย และลดจำนวนพลประจำเรือ เพราะไม่จำเป็นต้องใช้กำลังพลประจำหน่วยซ่อมมากมาย ดังเช่นเรือรบในอดีต โดยระบบนี้จะช่วยจำกัดขอบเขตความเสียหายได้รวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังช่วยควบคุมการแพร่กระจายของความเสียหายไม่ให้แพร่กระจายออกไปยังห้องข้างเคียงได้ด้วย ระบบนี้เรียกว่า Automatic Damage Control

ความสามารถในการล่องหน

ความต้องการหลักอีกอย่างของเรือ DDG-1000 คือความสามารถในการล่องหน (Stealth Capability) เพื่อที่จะแทรกซึมเข้าไปยังชายฝั่งของข้าศึกให้ได้ใกล้ที่สุดโดยไม่ถูกตรวจจับ ดังนั้นการออกแบบทุกอย่างของเรือลำนี้จึงต้องคำนึงถึงเรื่อง Stealth เป็นหัวใจสำคัญ เริ่มจากโครงสร้างตัวเรือแบบ Tumblehome ที่ช่วยทำให้เรือเคลื่อนที่ได้อย่างเงียบเชียบลด Acoustic Signature ตัวเรือส่วนใหญ่ที่จมอยู่ในน้ำช่วยลดอุณหภูมิของเรือ และปล่องไอเสียที่มีน้ำคอยหล่อระบายความร้อนเพื่อลด Thermal Emission รูปทรง Super Structure ที่ช่วยลด และเบี่ยงเบนการสะท้อนของคลื่นเรดาร์ และเปลือกเรือที่ฉาบด้วยคาร์บอนเพื่อดูดซับคลื่นเรดาร์ ลำกล้องปืนที่สามารถเก็บซ่อนในป้อมปืนได้ และเรดาร์ที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการตรวจจับจากเรดาร์ของฝ่ายตรงข้าม ทั้งหมดนี้ทำให้เรือขนาด ๑๕,๖๑๒ ตัน ยาว ๑๘๐ เมตรนี้ กลายเป็นเรือประมงลำจิ๋วในจอเรดาร์ของฝ่าศึกได้เลยทีเดียว และเมื่อประกอบกับเรดาร์ DBR ที่มีประสิทธิภาพด้วยแล้ว ทำให้สามารถตรวจพบเรือและอากาศยานข้าศึกได้ก่อนที่ผู้มุ่งประสงค์ร้ายนั้นจะทันรู้ตัวว่ามีเรือลำนี้เข้าไปใกล้ ซึ่งเมื่อเห็นก่อนก็สามารถยิงได้ก่อน นั่นจึงเป็นข้อได้เปรียบที่สุดของเรือ DDG-1000

เรือ DDG-1000 มีแผนขึ้นระวางประจำการจำนวน ๓ ลำ ประกอบด้วย เรือซูมวอลต์ (USS Zumwalt, DDG-1000) สร้างขึ้น ณ อู่ต่อเรือ Bath Iron Works เมือง Bath มลรัฐ Maine ขึ้นระวางประจำการ เมื่อวันที่ ๑๕ ตุลาคม ค.ศ.๒๐๑๖ เรือไมเคิลมอนซูร์ (USS Michael Monsoor, DDG 1001) ขึ้นระวางประจำการเมื่อวันที่ ๒๙ มกราคม ค.ศ.๒๐๑๙ และ เรือลินดอน บี จอห์นสัน (USS Lyndon B Johnson, DDG 1002) จะขึ้นระวางประจำการภายใน ปี ค.ศ.๒๐๑๙ สร้างที่อู่ต่อเรือ Ingalls Shipbuilding ของบริษัท Northrop Grumman ในมลรัฐ Mississippi

ความเป็นมาโครงการเรือ DDG-1000
(ข้อมูลจาก Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer : Congressional Research Service)

โครงการเรือ DDG-1000 เริ่มต้นขึ้นในต้นปี ค.ศ.๑๙๙๐ โดยต้องการให้เป็นเรือพิฆาตที่สามารถปฏิบัติภารกิจได้หลากหลาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเน้นการยิงสนับสนุนทางทะเล (เข้าสู่ฝั่ง) (Naval Surface Fire Support : NSFS) และการปฏิบัติการในบริเวณชายฝั่งทะเลหรือมหาสมุทร

แต่เดิมโครงการนี้ถูกกำหนดชื่อ DD-21 ซึ่งหมายถึงเรือพิฆาตในศตวรรษที่ ๒๑ ในเดือนพฤศจิกายน ค.ศ.๒๐๐๑ โครงการดังกล่าวได้รับการปรับโครงสร้างและเปลี่ยนชื่อเป็น DD (X) ซึ่งหมายถึงเรือพิฆาตที่มีการออกแบบและกำลังพัฒนา ในเดือนเมษายน ค.ศ.๒๐๐๖ ชื่อโครงการได้เปลี่ยนไปเป็น DDG-1000 อีกครั้งซึ่งหมายถึงเรือพิฆาตอาวุธปล่อยนำวิถีพร้อมหมายเลขเรือ ๑๐๐๐

โครงการ DDG-1000 เดิมทีตั้งใจจะมาแทนที่เรือประจัญบานชั้นไอโอว่าที่สร้างขึ้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่ ๒ และปลดระวางประจำการไปในช่วงต้นทศวรรษ ๑๙๙๐ (ในช่วงปี ค.ศ.๑๙๘๐ เรือชั้นนี้ได้รับการปรับปรุงทั้งสี่ลำ และได้เข้าประจำการอีกครั้งในช่วง ปี ค.ศ.๑๙๘๒ –

ค.ศ.๑๙๘๘) เพื่อทดแทนความสามารถในการยิงปืนขนาดใหญ่ของเรือชั้นไอโอว่า โดยมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่าเพื่อดำรงขีดความสามารถในการปฏิบัติการป้องกันชายฝั่ง และเพื่อการนำเทคโนโลยีใหม่ที่หลากหลายมาใช้งานบนเรือในอนาคตได้

เรือ DDG-1000 มีการลดจำนวนกำลังพลทั้งหมดลงเหลือ ๑๗๕ นาย (กำลังพลประจำเรือ ๑๔๗ นาย และปฏิบัติการทางอากาศ ๒๘ นาย) เมื่อเทียบกับเรือพิฆาตและเรือลาดตระเวนที่มีระบบ Aegis ซึ่งมีกำลังพลถึง ๓๐๐ นาย ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการปฏิบัติราชการและการส่งกำลังบำรุง เนื่องจากได้มีการใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ Integrated Electric-Drive Propulsion System ซึ่งเทคโนโลยีอัตโนมัตินี้เองที่ช่วยให้สามารถลดจำนวนกำลังพลประจำเรือลง ในขณะที่ระวางขับน้ำเต็มที่ ประมาณ ๑๕,๖๑๒ ตัน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเรือพิฆาตและเรือลาดตระเวน ที่มีระบบ Aegis ถึง ๖๔% (ระวางขับน้ำประมาณ ๙,๕๐๐ ตัน)

DDG-1000 จำนวน ๒ ลำได้รับการจัดหาในปีงบประมาณ ค.ศ.๒๐๐๗ ในปีงบประมาณ ค.ศ.๒๐๑๙ ทร.สหรัฐฯ ส่งยอดงบประมาณประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ (จำนวน ๒ ลำ) รวม ๙,๒๔๒.๓ ล้านเหรียญสหรัฐฯ ลำที่ ๓ ของ DDG-1000 มีการจัดซื้อในปีงบประมาณ ค.ศ.๒๐๐๙ ปีงบประมาณ ค.ศ.๒๐๑๙ ทร.สหรัฐฯ ส่งยอดงบประมาณประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อราคา ๓,๗๘๙.๙ ล้านเหรียญสหรัฐฯ โดยทั้ง ๓ ลำสร้างขึ้นที่อู่ Northrop Grumman Shipbuilding (NGSB) โดยมีบริษัท Raytheon เป็นคู่สัญญาหลักในระบบ Combat System ซึ่งประกอบไปด้วย Collection of sensors, Computers, Related Software, Displays, and Weapon Launchers แต่ต้องดูกันต่อไปว่าหลังจากนั้นงบประมาณที่ตั้งไว้จะเพียงพอหรือไม่อย่างไร

การลดจำนวนการจัดซื้อเรือในโครงการ DDG-1000

เดิม DDG-1000 มีความต้องการจัดหาจำนวน ๓๒ ลำ ก่อนจะถูกลดจำนวนลงเหลือ ๑๖ ถึง ๒๔ ลำ มาเป็น ๗ ลำ และสุดท้ายเหลือ ๓ ลำ ถ้าเปรียบเทียบกับเครื่องบินรบ ก็อาจเปรียบได้กับเครื่องบิน ยุคที่ ๕ (GEN.5) F-35 อะไรจะเป็นสาเหตุให้ต้องมีการลดจำนวนลงอย่างมาก จากงบประมาณที่บานปลายและวิเคราะห์ได้ว่ามีการฝ่าฝืนกฎหมาย Nunn-McCurdy ตั้งแต่ต้นโครงการ แล้วกฎหมาย Nunn-McCurdy ที่ว่านี้คืออะไร ?

ปลายเดือนกรกฎาคม ค.ศ.๒๐๐๘ มีการพลิกล็อคครั้งใหญ่ของแผนการจัดหาเรือพิฆาต ทร.สหรัฐฯ ออกมาประกาศว่าต้องการยุติการจัดซื้อเรือ DDG-1000 และดำเนินการจัดหาเรือ DDG-51 ต่อ โดยอธิบายว่าการตัดสินใจในครั้งนี้มาจากการที่ ทร.สหรัฐฯ ได้รับการจัดหาเรือ DDG-1000 จำนวน ๒ ลำ แล้วระบุว่าได้ประเมินสภาพแวดล้อมการปฏิบัติการในอนาคต และกำหนดว่าการจัดซื้อเรือพิฆาตในตอนนี้จำเป็นต้องเน้นสามภารกิจหลักคือ : Open-Ocean Antisubmarine Warfare (ASW)) Countering Anti-Ship Cruise Missiles (ASCMs) และ Countering Ballistic Missiles แม้ว่า DDG-1000 จะสามารถปฏิบัติภารกิจสองของภารกิจแรกได้ แต่ภารกิจที่สามจำเป็นต้องปรับปรุงเรือเพิ่มเติม ดังนั้น ทร.สหรัฐฯ จึงได้ข้อสรุปว่าการออกแบบเรือ DDG-51 สามารถปฏิบัติภารกิจทั้งสามนี้ได้อย่างเพียงพอ และจะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการออกแบบเรือ DDG-1000

ทร.สหรัฐฯ จึงมีข้อเสนอที่จะหยุดการจัดหาเรือ DDG-1000 และดำเนินการจัดหา DDG-51 ต่อไปในการนำเสนองบประมาณปี ค.ศ.๒๐๑๐ ซึ่งถูกส่งไปยังสภาคองเกรสในปี ค.ศ.๒๐๐๙ สภาคองเกรสได้ดำเนินการอนุมัติในหลักการยุติการจัดหาเรือ DDG-1000 โดยให้เหลือจำนวน ๓ ลำในงบประมาณปี ค.ศ.๒๐๑๐ และมีการจัดหาเรือจากโครงการเรือ DDG-51 อีกครั้ง

เมื่อมองย้อนกลับไป การวางแผนการจัดซื้อเรือพิฆาตของกองทัพเรือในปี ค.ศ.๒๐๐๘ เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงการสิ้นสุดของยุคหลังสงครามเย็น (ในระหว่างนั้น ทร.สหรัฐฯ มุ่งเน้นไปที่การวางแผนในการปฏิบัติการ

ในน่านน้ำชายฝั่งกับกองกำลังทางบก และทางทะเลของประเทศต่าง ๆ เช่น อิหร่าน และเกาหลีเหนือ) และการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมด้านความปลอดภัยระหว่างประเทศเป็นสถานการณ์ใหม่ที่มีการแข่งขันที่สูงขึ้น ในขณะที่กำลังรบทางเรือจากประเทศคู่แข่งมีความใกล้เคียงกัน เช่น จีน และรัสเซีย

จากงบประมาณที่บานปลาย จะแสดงได้จากตาราง Table A-1 ซึ่งรวมประมาณการงบประมาณการจัดหาเรือ DDG – 1000 ทั้ง ๓ ลำ ดังที่ปรากฏในการยื่นงบประมาณประจำปีของ ทร.สหรัฐฯ ที่เพิ่มขึ้น ๔,๒๑๘.๔ ล้านเหรียญสหรัฐฯ หรือ ๔๗.๐% นับตั้งแต่งบประมาณปี ค.ศ. ๒๐๐๙ จนถึง ค.ศ.๒๐๒๐

Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer Programs: Background and Issues for Congress

Table A-1. Estimated Combined Procurement Cost of DDG-1000, DDG-1001, and DDG-2002

In millions, rounded to nearest tenth, as shown in annual Navy budget submissions

Budget submission	Estimated combined procurement cost (millions of dollars)	Change from prior year's budget submission	Cumulative change from FY2009 budget submission
FY09	8,977.1	—	—
FY10	9,372.5	+395.4 (+4.4%)	+395.4 (+4.4%)
FY11	9,993.3	+620.8 (+6.6%)	+1,016.2 (+11.3%)
FY12	11,308.8	+1,315.5 (+13.2%)	+2,331.7 (+26.0%)
FY13	11,470.1	+161.3 (+1.4%)	+2,493.0 (+27.8%)
FY14	11,618.4	+148.3 (+1.3%)	+2,641.3 (+29.4%)
FY15	12,069.4	+451.0 (+3.9%)	+3,092.3 (+34.4%)
FY16	12,288.7	+219.3 (+1.8%)	+3,311.6 (+36.9%)
FY17	12,738.2	+449.5 (+3.7%)	+3,761.1 (+41.9%)
FY18	12,882.0	+143.8 (+1.1%)	+3,904.0 (+43.5%)
FY19	13,032.2	+150.2 (+1.2%)	+4,055.1 (+45.1%)
FY20	13,195.5	+163.3 (+1.3%)	+4,218.4 (+47.0%)

Source: Table prepared by CRS based on data in annual Navy budget submissions.

ตาราง Table A-1 รวมประมาณการงบประมาณการจัดหาเรือ DDG – 1000 ทั้ง ๓ ลำ ตั้งแต่ปี ค.ศ.๒๐๐๙ – ค.ศ.๒๐๒๐ (FY หมายถึง ปีงบประมาณ) ข้อมูลงบประมาณประจำปี ของ ทร.สหรัฐฯ จาก Congressional Research Service : CRS

ตรงนี้มีประเด็นน่าคิดครับ เพราะมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องอยู่คือ กฎหมายที่ชื่อ Nunn-McCurdy (ตั้งชื่อเล่นของกฎหมายนี้ตามวุฒิสมาชิก และสมาชิกสภาผู้แทนราษฎรที่เป็นคนเสนอเพื่อเป็นการให้เกียรติครับ เป็นวัฒนธรรมของสหรัฐฯ เอง) กฎหมายนี้ออกมาตั้งแต่ปี ค.ศ.๑๙๘๒ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการพัฒนาอาวุธของสหรัฐฯ สูงขึ้นทุกที โดยกฎหมายกำหนดว่าโครงการพัฒนาที่ต้องใช้งบประมาณมากกว่าประมาณการ ๑๕% ต้องแจ้งต่อสภาคองเกรสให้ทราบ และถ้าเพิ่มขึ้นมากกว่า ๒๕% แล้วจำเป็นต้องหยุดดำเนินโครงการ ยกเว้นแต่ว่ารัฐมนตรีกลาโหมจะส่งรายงานที่บ่งบอกถึงความสำคัญของโครงการต่อความมั่นคงของสหรัฐฯ หรือไม่มีทางเลือกอื่นที่ถูกกว่านี้อีกแล้ว นอกจากนั้นยังต้องให้เหตุผลสนับสนุนถึงค่าใช้จ่ายของโครงการที่ประเมินใหม่ว่าสมเหตุสมผล และมีการปรับปรุงการบริหารโครงการให้เหมาะสม แต่ก็ไม่ทราบเหตุผลว่าโครงการ DDG-1000 ผ่านกฎหมาย Nunn-McCurdy และล่วงเลยมาจนถึงปีงบประมาณ ค.ศ.๒๐๒๐ ได้อย่างไร ผู้เขียนวิเคราะห์ว่าอาจเป็นเรื่องของความมั่นคงของชาติ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัยใส่เข้าไปในเรือรบทำให้ สหรัฐฯ ไม่อาจที่จะถอยหลังออกจากโครงการนี้ได้ ส่วนการลดจำนวนเรือจาก ๓๒ ลำ เหลือแค่เพียง ๓ ลำ ด้วยเรื่องงบประมาณที่บานปลายประกอบกับความจำเป็นด้านยุทธการ ทร.สหรัฐฯ จึงเลือกไปใช้เรือจากโครงการ DDG-51 แทน ซึ่งตอบโจทย์ทางด้านงบประมาณ และด้านยุทธการมากกว่า

การดำเนินการที่ผ่านมา

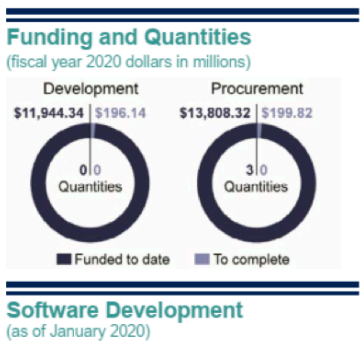
อู่ต่อเรือฯ เรือ DDG-1000 อยู่ในระหว่างดำเนินการเสร็จสิ้นในส่วนของระบบตัวเรือ กลจักรและไฟฟ้า (Hull, Mechanical, and Electrical HM&E) สำหรับเรือทั้งสามลำการส่งมอบเรือ (HM&E) ของอู่ต่อเรือฯ เกิดขึ้นล่าช้ากว่ากำหนด ๑๘ เดือน ส่วนหนึ่งเป็นเพราะปัญหาการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าของเรือ DDG-1001 (เป็นเรือลำที่สองในชั้นนี้) โดยหลังจากการทดลองเรือในทะเล (SAT) ทร.สหรัฐฯ ได้ตรวจพบหนึ่งในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันหลักของเรือได้รับความเสียหาย ความเสียหายนั้นมากเพียงพอที่จะให้ ทร.สหรัฐฯ เลือกที่จะเปลี่ยนเครื่องยนต์และส่งไปซ่อมโดยอู่ต่อเรือฯ ทำการส่งมอบเรือ DDG-1001 ในเดือนเมษายน ปี ค.ศ.๒๐๑๘ และนำเครื่องไฟฟ้าฯ ใหม่มาทดแทนในเดือนสิงหาคม ปีเดียวกัน

ทร.สหรัฐฯ มีกำหนดการรับมอบเรือ DDG-1000 ขั้นสุดท้าย ทั้งระบบตัวเรือ กลจักร และไฟฟ้า (HM&E)

รวมถึงระบบอำนวยการรบ ในเดือนพฤษภาคม ค.ศ.๒๐๑๙ กำหนดรับมอบขั้นสุดท้ายของ DDG-1000 ในเดือนกันยายน ค.ศ.๒๐๒๐ อย่างไรก็ตาม ทร.สหรัฐฯ ยังคงทำงานเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่ร้ายแรง โดยมีคณะกรรมการการสำรวจและตรวจสอบ และได้ระบุไว้ว่าเรือทั้งสองลำตรวจพบข้อบกพร่องที่ร้ายแรงมากกว่า ๓๒๐ ครั้ง หลังจากอู่ต่อเรือฯ ส่งมอบ DDG-1000 (HM&E) มาแล้วในช่วงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. ๒๐๑๖ และตรวจพบอีก ๒๔๖ ครั้ง หลังจากที่ ทร.สหรัฐฯ ดำเนินการทดสอบทดลองเรือ DDG-1000 ในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ.๒๐๑๘ ปัญหาเหล่านี้จะเป็นตัวชี้วัดว่าเรือจะไม่มีความสามารถอย่างเต็มที่เมื่อเรือเข้าประจำการในกองทัพเรือ

เพื่อจำกัดความล่าช้าของการสร้างเรือ DDG-1000 และ DDG-1001 ทร.สหรัฐฯ ได้อนุญาตให้บริษัทผู้สร้างเรือของตนมีส่วนร่วมกับเรือ DDG-1002 ซึ่งเป็นเรือลำที่สาม และลำสุดท้ายของชั้นซึ่งอยู่ระหว่างการสร้าง ทร.สหรัฐฯ ยังไม่ทราบว่าการดำเนินการจะล่าช้ากว่ากำหนดการสร้างเรือ DDG-1002 หรือไม่ แต่ระบุว่าโดยทั่วไปแล้วชิ้นส่วนอะไหล่ต่าง ๆ สามารถยืม และแทนที่ได้โดยไม่ทำให้เกิดความล่าช้า ทร.สหรัฐฯ ได้กำหนดการส่งมอบเรือ DDG-1002 (HM&E) ในเดือนมีนาคม ค.ศ.๒๐๒๐ ตามด้วยการส่งมอบขั้นสุดท้าย (รวมระบบอำนวยการรบ) ในเดือนกันยายน ค.ศ.๒๐๒๒

ข้อมูลล่าสุดจากรายงานต่อคณะกรรมการรัฐสภาของ United States Government Accountability Office เกี่ยวกับโครงการ DDG-1000 ในเดือนมิถุนายน ค.ศ.๒๐๒๐ หน้า ๑๒๒-๑๒๓ ได้สรุปงบประมาณของเรือทั้ง ๓ ลำนี้ไว้สำหรับการพัฒนาจำนวน ๑๑,๙๔๔.๓๔ ล้านเหรียญสหรัฐฯ การจัดซื้อจัดจ้างจำนวน ๑๓,๘๐๘.๓๒ ล้านเหรียญสหรัฐฯ คิดเป็นจำนวนเงินรวม ๒๕,๗๕๒.๖๖ ล้านเหรียญสหรัฐฯ คิดเป็นเงินไทยประมาณ ๘๐๓,๘๙๕.๐๓ ล้านบาท (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศธนาคารแห่งประเทศไทยวันที่ ๑๙ ตุลาคม พ.ศ.๒๕๖๓ ๓๑.๒๑๖ บาท/ดอลลาร์สหรัฐฯ) คิดเล่น ๆ ว่างบประมาณก้อนนี้สามารถจัดหาเรือหลวงภูมิพลอดุลยเดช ได้ ๕๓ ลำ (งบประมาณลำละประมาณ ๑๕,๐๐๐ ล้านบาท) และ สามารถจัดหาเรือหลวงประจวบคีรีขันธ์ ได้ ๑๔๖ ลำ (งบประมาณลำละประมาณ ๕,๕๐๐ ล้านบาท)



Program Performance (fiscal year 2020 dollars in millions)

	First Full Estimate (01/1998)	Latest (09/2019)	Percentage change
Development	$2,624.96	$12,140.48	+362.5%
Procurement	$37,476.80	$14,008.14	-62.6%
Unit cost	$1,253.18	$8,716.20	+595.5%
Acquisition cycle time (months)	128	285	+122.7%
Total quantities	32	3	-90.6%

Total quantities comprise 0 development quantities and 3 procurement quantities.

ตารางแสดงงบประมาณของโครงการ DDG-1000 ข้อมูลจาก Report to Congressional Committees of United States Government Accountability Office เดือน มิถุนายน ค.ศ.๒๐๒๐

ตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ.๒๐๒๐ โครงการนี้ยังคงดำเนินต่อไป ยังคงมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สำคัญที่เหลืออยู่ มีการส่งมอบระบบการรบ (Combat Systems) ของเรือ DDG-1000 ในเดือนเมษายน ค.ศ.๒๐๒๐ ซึ่งล่าช้ามา ๖ เดือนจากปีที่แล้ว ทำให้เรือลำนี้ส่งมอบล่าช้ารวม ๒ ปี ส่วนเรือ DDG-1001 นั้น ล่าช้าไปโดยมีแผนการส่งมอบระบบการรบในเดือนสิงหาคม ค.ศ.๒๐๒๐ เจ้าหน้าที่โครงการฯ ระบุว่าได้ใช้บทเรียนจากเรือ

DDG-1000 จะทำให้สามารถส่งมอบระบบการรบที่สมบูรณ์โดยใช้เวลาอย่างน้อยที่สุดใน ๓ ปี สำหรับเรือ DDG-1001 ภายในเดือนกันยายน ค.ศ.๒๐๒๒

ในเดือนมกราคม ค.ศ.๒๐๑๘ ทร.สหรัฐฯ ได้เปลี่ยนชั้นเรือจากภารกิจโจมตีบก (Land Attack) ไปเป็น Offensive Surface Strike และยังปรับปรุงในเอกสารเกี่ยวกับภารกิจใหม่ในเดือนกรกฎาคม ค.ศ.๒๐๑๘ ให้สามารถปฏิบัติการ Surface Strike Mission ใน ๕ ปีถัดไป โดย ทร.สหรัฐฯ ของบประมาณเพิ่มเติมจำนวน ๑๖๐ ล้านเหรียญฯ สำหรับเพิ่ม ๔ ระบบใหม่ให้กับเรือชุดนี้อันประกอบไปด้วย ระบบขีปนาวุธ ๒ ระบบ (two missile systems) ระบบสื่อสาร (a communications system) และระบบข่าวกรอง (an intelligence system) โดยจะติดตั้งทั้ง ๓ ลำ ภายในปีงบประมาณ ค.ศ.๒๐๒๓ โดยค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและติดตั้งระบบทั้ง ๔ นี้ จะอยู่นอกเหนือไปจากงบประมาณจัดซื้อจัดจ้างของโครงการ DDG-1000

ความคิดเห็นจากสำนักงานโครงการเรือ DDG-1000

ในเดือนมีนาคม ค.ศ.๒๐๒๐ เรือ DDG-1000 มีระบบการรบ (Combat System) ที่เพียงพอ จากการติดตั้งและการใช้งานภายในเรือจะทำให้ไปสู่การพัฒนา และการบูรณาการในเฟสของการทดสอบทดลองเรือในทะเล โดยในปี ค.ศ.๒๐๑๙ เรือ DDG-1000 ใช้เวลาในการทดสอบในทะเลมากกว่า ๑๐๐ วัน เพื่อคงขีดความสามารถในการสนับสนุนการปฏิบัติการของกองเรือ และเรือ DDG-1001 เสร็จสิ้นการทดสอบความพร้อมรบในเดือนมีนาคม ค.ศ.๒๐๒๐ และเรือ DDG-1002 นั้น อยู่ระหว่างการก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์แล้วร้อยละ ๙๓ โดยมีการบูรณาการระบบใหม่ที่เพิ่มขีดความสามารถในการโจมตีเป้าหมายอีกด้วย

แน่นอนว่าการพัฒนาเทคโนโลยีที่ยังไม่สมบูรณ์ต้องมีการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้ได้ตามความต้องการใช้งานในตอนออกแบบ ทำให้ต้องใช้เวลาในการทดสอบทดลองในการใช้งานจริง เพื่อให้ระบบนั้น ๆ เสร็จสมบูรณ์กับงบประมาณก้อนโตที่มีค่าประมาณหนึ่งในสี่ของ GDP ประเทศไทย คงต้องติดตามกันต่อไปว่าโครงการ DDG-1000 จะลงเอยอย่างไร กับเทคโนโลยีที่เรียกว่าที่สุดของเรือรบแห่งอนาคต ระบบต่าง ๆ ภายในเรือจะเป็นไปตามที่หวังไว้หรือไม่ และจะมีประเทศอื่น ๆ ที่สนใจจะสร้างโครงการเรือคล้าย ๆ DDG-1000 แบบของ ทร.สหรัฐฯ อีกหรือไม่ และเรามีโอกาสได้เห็นตัวเรือรบรูปทรงในอดีตที่มีรูปร่างแปลกตาจะสามารถแสดงศักยภาพแข่งขันกับเรือรบในยุคปัจจุบันได้ดีขนาดไหน เวลาเท่านั้นจะเป็นเครื่องพิสูจน์เรือชุดนี้ “DDG-1000 ตัวเรือ Tumblehome ในอดีตสู่เทคโนโลยีเรือรบแห่งอนาคต”

อ้างอิง

- Stable Equilibrium, Intact Stability, Damage Stability
จาก วิชาการทรงตัวทางขวางเรือ น.อ.ผศ.สมศักดิ์ แจ่มแจ้ง
- ภาพเรือ Ironclad
ที่มา http://steamboattimes.com/civil_war_ironclads.html
- บันทึกการใช้เรือ Tumblehome ในสงครามทางเรือ
ที่มา Tumblehome Warships โดย Philip d. Sims, Member Department of the Navy, NAVSEA. and James S. Webster, Member, Gibbs & Cox, Inc., Arlington, VA
- ภาพแสดงการแบ่งคอมพาร์ทเม้นต์ (ซ้าย) และภาพแสดงแบบในการทำกระบวนการ VARTM (ขวา)
ที่มา http://www.compositesworld.com/articles/DDG-1000-zumwalt-stealth-warship
- ภาพแสดงระบบไฟฟ้าและระบบขับเคลื่อนของ เรือ DDG-1000
ที่มา thaimilitaryandasianregion.wordpress.com Design & Research by ANIMAGRAFFS
- ข้อมูลเรือ DDG-1000 Zumwalt Class
ที่มา https://www.naval-technology.com/projects/dd21/
https://www.navy.mil/ah_online/zumwalt/index.html#
https://allhands.navy.mil/Features/Zumwalt
https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a28582223/zumwalt-destroyers-history-parts-future/
https://topdesignbuilders.blogspot.com/2017/10/zumwalt-design-builders.html
- ความเป็นมาโครงการเรือ DDG-51 และ DDG-1000 จาก Congressional Research Service report ณ วันที่ ๑๐ ตุลาคม ค.ศ.๒๐๑๙
https://fas.org/sgp/crs/weapons/RL32109.pdf
- ข้อมูลรายงานต่อคณะกรรมการรัฐสภา ของ United States Government Accountability Office เกี่ยวกับโครงการ DDG-1000 (หน้า ๑๒๒ -๑๒๓)
https://www.gao.gov/assets/710/707359.pdf#page131
United States Government Accountability Office
https://www.gao.gov/