

จาก รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ ถึง ตอร์ปิโดความเร็วสูง

น.ต. สุระ บรรจงจิตร

ประจำแผนกสื่อสาร กองสื่อสาร กองเรือยุทธการ

.....

กีฬากอล์ฟเป็นกีฬาที่เป็นที่นิยมอย่างหนึ่งของทหารเรือ ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้วกีฬากอล์ฟอาจถูกมองว่าเป็นกีฬาสำหรับชนชั้นสูงเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก แต่การที่หน่วยงานทหารเรือที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่และมักมีสนามกอล์ฟหรือสนามฝึกซ้อมกอล์ฟเป็นของตนเอง ทำให้ทหารเรือในพื้นที่สามารถเล่นกอล์ฟได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก หรือแม้กระทั่งในหมู่ทหารเรือที่ตีกอล์ฟไม่เป็น กีฬากอล์ฟก็ยังเป็นที่รู้จักเป็นอย่างดี และอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งของกีฬากอล์ฟที่ทุกคนรู้จักคุ้นเคยกันดี ก็คือลูกกอล์ฟกลมๆ นั่นเอง มาถึงตรงนี้หลายคนไม่ว่าจะเป็นนักกอล์ฟมือโปร หรือมือใหม่ หรือแม้กระทั่งผู้ที่ยังไม่เคยตีกอล์ฟก็คงพอจะนึกภาพออกว่าลูกกอล์ฟนั้นนอกจากจะกลมแล้ว ยังมีรอยบุ๋มอยู่โดยรอบอีกด้วย ผู้อ่านหลายท่านคงเคยสงสัยว่า รอยบุ๋มเหล่านั้นมีไว้เพื่ออะไร และตอนนี้ท่านผู้อ่านก็คงกำลัง



ลูกกอล์ฟกับรอยบุ๋ม

สงสัยอยู่จากข้อบ่งชี้ที่ว่า รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟนั้น มีความเกี่ยวข้องกับตอร์ปิโดความเร็วสูงอย่างไร ซึ่งบทความนี้นอกจากจะอธิบายที่มาและวัตถุประสงค์ของรอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟแล้ว ยังจะเชื่อมโยงความเกี่ยวข้องระหว่างการดัดแปลงพื้นผิวเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์เช่น รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟกับการปรับแต่งปีกเครื่องบินรบสมรรถนะสูง ไปจนถึงเทคโนโลยีซึ่งอยู่เบื้องหลังของการพัฒนาตอร์ปิโดความเร็วสูงอีกด้วย

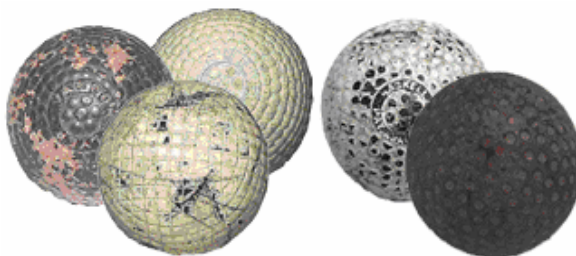
ที่มาของรอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ

ท่านนักกอล์ฟหลายท่านที่กำลังอ่านบทความนี้คงพอจะทราบว่ารอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟนั้น มีไว้เพื่อช่วยให้ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศได้ไกลขึ้น ซึ่งอาจฟังดูไม่สมเหตุผลผลเท่าไร เนื่องจากเราได้รับการสั่งสอนมาตั้งแต่สมัยเด็กๆ ว่าวัตถุผิวเรียบจะมีแรงเสียดทานน้อยกว่าวัตถุที่มีผิวขรุขระ แต่แล้วลูกกอล์ฟกลับมีรอยบุ๋มอยู่เต็มลูกเพื่อช่วยให้มันถูกตีไปได้ไกลขึ้น มันจะเป็นไปได้อย่างไร แต่มันก็เป็นไปแล้ว



ลูกกอล์ฟสมัยแรก

ทำจากหนังเขี้ยวเรียบ

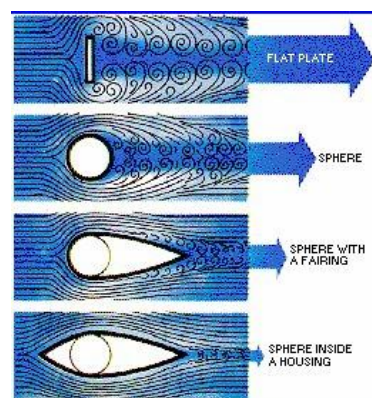


ต่อมาการผลิตลูกกอล์ฟได้วิวัฒนาการเป็นแบบมีรอยตัด (ซ้าย) และเริ่มมีลูกกอล์ฟแบบมีรอยบุ๋มรุ่นแรกๆ (ขวา) เมื่อร้อยกว่าปีที่ผ่านมา

กีฬากอล์ฟเป็นกีฬาเก่าแก่ มีประวัติยาวนานหลายร้อยปี และผ่านการพัฒนามามากมาย มีหลายประเทศที่อ้างว่าตนเป็นผู้คิดค้นกีฬากอล์ฟขึ้น รวมไปถึงประเทศจีนที่มีการอ้างเมื่อไม่นานมานี้ว่ามีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ว่ามีการคิดค้นและเล่นกีฬาที่ประกอบด้วยลูกบอลและไม่ตีคล้ายกอล์ฟมากกว่าสองพันปีแล้ว แต่เนื่องจากกีฬาที่ประกอบด้วยลูกบอลและไม่ตีนั้นมีหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นฮอกกี้ โครเค่ คริกเก็ต ฯลฯ ทำให้เป็นการยากที่จะระบุว่าใครเป็นผู้คิดค้นกีฬากอล์ฟขึ้นก่อนกันแน่ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่ากีฬากอล์ฟมีต้นกำเนิดมาจากสกอตแลนด์ เดิมทีนั้นลูกกอล์ฟเป็นลูกกลมผิวเรียบธรรมดา แต่บรรพชนนักกอล์ฟรุ่นต่อ ๆ มาได้สังเกตว่าลูกกอล์ฟเก่าที่มีรอยตะปุ่มตะป่ำจากการถูกตีซ้ำแล้วซ้ำเล่าเป็นเวลานานนั้นสามารถตีไปได้ไกลกว่าลูกกอล์ฟผิวเรียบธรรมดา และเนื่องจากในกีฬากอล์ฟนั้น ระยะที่เพิ่มขึ้นมาแม้เพียงไม่กี่สิบหลาอาจช่วยเพิ่มความได้เปรียบของนักกอล์ฟได้ จึงเริ่มมีการทดลองผลิตลูกกอล์ฟที่จงใจให้มีรอยตัดและรอยตะปุ่มตะป่ำแบบต่างๆ ขึ้น จนกระทั่งเมื่อร้อยกว่าปีที่ผ่านมาได้มีการคิดค้นลูกกอล์ฟที่มีรอยบุ๋มแบบที่ใช้ในปัจจุบัน แต่การพัฒนายังคงดำเนินต่อไป ผู้ผลิตลูกกอล์ฟยังคงทดลองผลิตลูกกอล์ฟที่มีรอยบุ๋มขนาดต่าง ๆ ที่ความลึกต่างกัน เพื่อหารูปแบบรอยบุ๋มที่ช่วยให้ลูกกอล์ฟไปได้ไกลที่สุด โดยในปัจจุบันลูกกอล์ฟมีรอยบุ๋มประมาณ ๓๐๐-๔๕๐ รอย ขึ้นอยู่กับขนาดของรอยบุ๋มและการออกแบบของผู้ผลิต ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าการที่รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ ช่วยให้ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ไปได้ไกลขึ้นนั้น มาจากประสบการณ์การลองผิดลองถูกและการทดลองนับร้อยๆ ปีนั่นเอง

รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟกับอากาศพลศาสตร์

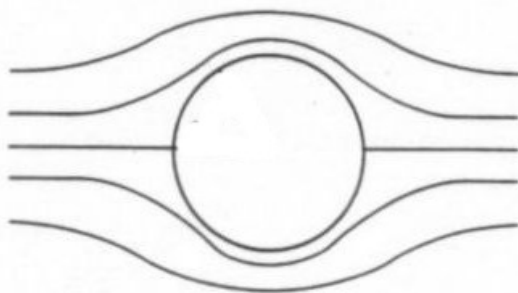
ประวัติศาสตร์อันยาวนานของกีฬากอล์ฟและประสบการณ์ของนักกอล์ฟหลายชั่วอายุคนช่วยยืนยันว่ารอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟช่วยให้ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศได้ไกลขึ้น แต่คำถามที่ตามมาก็คือ รอยบุ๋มช่วยให้ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ในอากาศได้ไกลขึ้นอย่างไร ซึ่งหากผู้อ่านเคยเรียนวิชาพลศาสตร์ของไหล คงเคยได้ยินเกร็ดเล็กน้อยเกี่ยวกับรอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟกับระยะทางที่เพิ่มขึ้นของลูกกอล์ฟ แต่สำหรับผู้่านที่ไม่ได้เรียนสายวิศวกรรมศาสตร์ ก็อาจพลาดเกร็ดนั้นไปได้



แรงต้านบนวัตถุรูปร่างต่างๆ

ขึ้นชื่อว่ากลศาสตร์ของไหลกับอากาศพลศาสตร์ อาจทำให้หลายคนระลึกถึงประสบการณ์เลวร้ายสมัยเรียน หรือบางคนที่ไม่เคยเรียนหรือยังไม่ได้เรียนก็คงเคยได้ยินกิตติศัพท์เกี่ยวกับความยากของวิชาดังกล่าวมาบ้าง แต่เราสามารถอาศัยทฤษฎีพื้นฐานของกลศาสตร์ของไหลและอากาศพลศาสตร์ในการอธิบายหลักการของรอยบ่มบนลูกกอล์ฟอย่างคร่าว ๆ ได้โดยไม่ต้องลงลึกไปถึงการคำนวณที่ซับซ้อน โดยในขั้นแรกจากการพิจารณาแรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟขณะถูกตีให้ลอยในอากาศจะพบว่ามีความเกี่ยวข้องกับหลักๆ อยู่สามแรง ได้แก่ แรงดึงดูดของโลก แรงต้าน และแรงเนื่องจากการหมุนของลูกกอล์ฟ

หน้าที่หลักของรอยบ่มบนลูกกอล์ฟคือการช่วยลดแรงต้าน แต่ทำไมวัตถุที่มีรอยบ่มจึงสามารถลดแรงต้านได้มากกว่าวัตถุผิวเรียบ? คำตอบอยู่ที่การไหลของของไหลผ่านวัตถุ โดยทั่วไปแล้ว ของไหลผ่านวัตถุด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียง จะเกิดแรงต้านหลักได้สองแบบ คือแรงต้านจากความเสียดทาน และแรงต้านจากความดัน โดยแรงต้านจากความเสียดทานขึ้นอยู่กับพื้นผิวของวัตถุที่ขนานหรือทำมุมไม่ตั้งฉากกับเส้นทางการไหล ส่วนแรงต้านจากความดัน ขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างเช่น วัตถุเพรียวลมแบบปีกเครื่องบินจะมีแรงต้านจากความเสียดทานมากกว่า ในขณะที่ลูกกอล์ฟที่เป็นวัตถุทรงกลม แรงต้านหลักที่กระทำต่อลูกกอล์ฟในอากาศคือแรงต้านจากความดัน

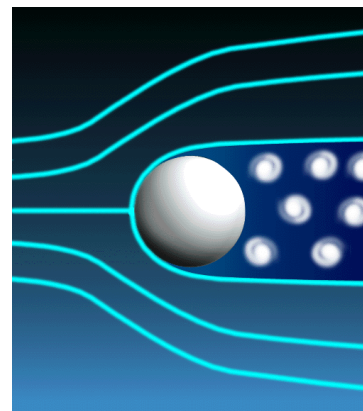


การไหลแบบไม่มีความหนืดเลข ความดันด้านหน้ากับความดันด้านหลังจะเท่ากัน

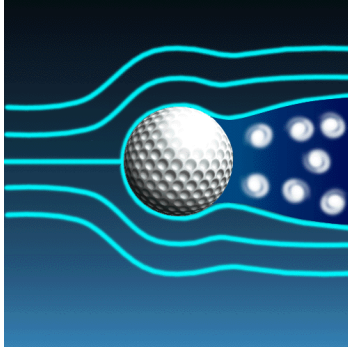
ในทางทฤษฎีนั้น การไหลของของไหลที่ไม่มีความหนืด ผ่านวัตถุทรงกลมผิวเรียบ จะไม่เกิดแรงต้านจากความดันเลย เนื่องจากมวลของไหลผ่านวัตถุจะไหลกลับมาบรรจบกันที่ด้านหลังของวัตถุ ทำให้ความดันด้านหน้าของวัตถุจะเท่ากับความดันด้านหลัง แต่ในความเป็นจริงแล้ว ไม่มีของไหลใดที่ไม่มีความหนืดเลย การไหลของ

อากาศผ่านลูก

กอล์ฟก็เช่นกัน ความหนืดของอากาศจะทำให้แนวทางการไหลไม่กลับมาบรรจบกัน แต่การไหลจะแยกออกจากกันที่ท้ายลูกกอล์ฟ เรียกว่า Flow Separation และบริเวณที่การไหลของอากาศแยกตัวออกจะเกิดเป็นมวลอากาศปั่นป่วน หรือ Turbulent ขึ้น ซึ่งบริเวณ Turbulent นี้จะมีความดันอากาศต่ำกว่าด้านหน้าของลูกกอล์ฟ ทำให้เกิดแรงต้านจากความดันขึ้น แรงต้านจากความดันนี้เอง ที่เป็นแรงต้านหลักที่ชะลอความเร็วของลูกกอล์ฟในอากาศ



การไหลของอากาศที่แยกออกบริเวณท้ายลูกกอล์ฟ เกิดเป็นมวลอากาศปั่นป่วน



รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟช่วยลด Flow Separation บริเวณท้ายลูก

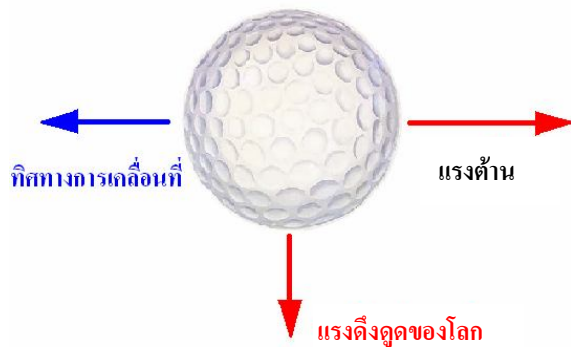
รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ ทำให้แรงต้านจากความเสียดทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดการไหลของอากาศแบบ turbulent ขึ้นโดยรอบพื้นผิวลูกกอล์ฟ การไหลแบบ Turbulent นี้จะทำให้การแยกตัวของการไหล หรือ Flow Separation เกิดช้าลง ส่งผลให้มวลอากาศ Turbulent ความดันต่ำท้ายลูกกอล์ฟมีขนาดเล็กลงด้วย ด้วยเหตุนี้รอยบุ๋มจึงช่วยลดแรงต้านจากความดัน ซึ่งเป็นแรงต้านหลักของลูกกอล์ฟในอากาศได้

การสร้างแรงยกของลูกกอล์ฟ

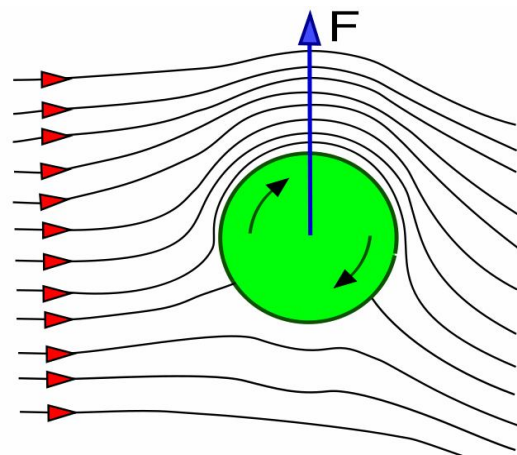
แรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟในอากาศอีกอย่างหนึ่ง นอกจากแรงต้านที่ทำให้ความเร็วของลูกกอล์ฟลดลงแล้ว ยังมีแรงดึงดูดของโลกที่คอยดึงให้ลูกกอล์ฟตกกลับลงมา รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ นอกจากจะช่วยลดแรงต้านแล้ว ยังมีส่วนช่วยในการสร้างแรงยกเพื่อช่วยให้ลูกกอล์ฟไปได้ไกลขึ้นอีกด้วย

โดยทั่วไปเรามักคุ้นเคยกับการสร้างแรงยกจากปีกเครื่องบิน แต่การสร้างแรงยกบนวัตถุกลมๆ ไม่มีปีก สามารถทำได้เช่นกัน โดยการหมุนวัตถุนั้นด้วยความเร็วสูงขณะเคลื่อนที่ผ่านของไหล ทำให้เกิดแรงแมกนัส (Magnus Force) ขึ้น แบบเดียวกับการเตะลูกบอลแบบไซด์โค้ง หรือการตีตวัดลูกปิงปองให้โค้ง ทิศทางของแรงแมกนัสขึ้นขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของอากาศและทิศทางการหมุนของวัตถุ ดังนั้นหากนักกอล์ฟสามารถตีหมุนลูกได้ถูกทิศทาง ก็จะช่วยสร้างแรงยกให้ลูกกอล์ฟไปได้ไกลขึ้น

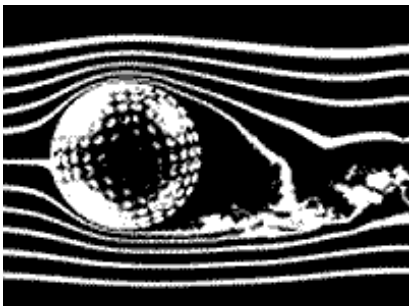
แรง Magnus Force เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความเร็วมวลอากาศและความดันอากาศรอบวัตถุที่หมุนขณะเคลื่อนที่ผ่านของไหล เมื่อลูกกอล์ฟมีการหมุนขณะเคลื่อนที่ พื้นผิวของลูกกอล์ฟ



แรงที่กระทำต่อลูกกอล์ฟ ได้แก่ แรงต้านและแรงดึงดูดของโลก



ทิศทางของแรง Magnus เกิดขึ้นกับวัตถุหมุนที่เคลื่อนที่ผ่านมวลอากาศ



การไหลของอากาศผ่านลูกกอล์ฟที่หมุนในอุโมงค์ลม

จะทำให้การไหลของมวลอากาศโดยรอบเปลี่ยนไป โดยพื้นผิวด้านที่หมุนเข้าหาผู้เล่น (ไปในทางเดียวกับการไหลของมวลอากาศผ่านลูกกอล์ฟ) จะทำให้อากาศไหลผ่านด้านนั้นด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ในขณะที่พื้นผิวด้านตรงข้ามจะหมุนสวนทางกับทิศทางการไหลของมวลอากาศ ทำให้ความเร็วของมวลอากาศบริเวณนั้นลดลง ซึ่งความแตกต่างของความเร็วมวลอากาศจะทำให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศขึ้น ตามหลักการของ Bernoulli โดยบริเวณที่มวลอากาศไหลเร็วกว่า จะทำให้ความดัน

อากาศบริเวณนั้นลดลง นอกจากนี้การหมุนของลูกกอล์ฟยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Flow Separation โดยพื้นผิวด้านที่หมุนไปในทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศจะทำให้มวลอากาศแยกตัวจากพื้นผิวช้ากว่า ส่งผลให้ทิศทางการไหลของมวลอากาศท้ายลูกกอล์ฟเปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของมวลอากาศ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของลูกกอล์ฟในทิศทางตรงข้ามขึ้น ซึ่งทั้งความแตกต่างของความเร็วมวลอากาศและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมนี้ เป็นหลักการเดียวกับการสร้างแรงยกของปีกเครื่องบิน ดังนั้นการตีลูกกอล์ฟให้หมุนในทิศทาง Back Spin หรือให้ด้านบนของลูกกอล์ฟหมุนเข้าหาผู้เล่น จะสามารถช่วยสร้างแรงยกให้แก่ลูกกอล์ฟลูกกลมๆ ได้ และไม้กอล์ฟก็ได้ออกแบบมาให้ทำมุมเพื่อทำให้เกิดการตีแบบ Back Spin เพื่อช่วยให้ลูกกอล์ฟหมุนในทิศทางที่จะสร้างแรงยก โดยรอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟจะทำให้มวลอากาศ “เกาะติด” ผิวลูกกอล์ฟได้มากขึ้น ทำให้เกิดแรง Magnus Force

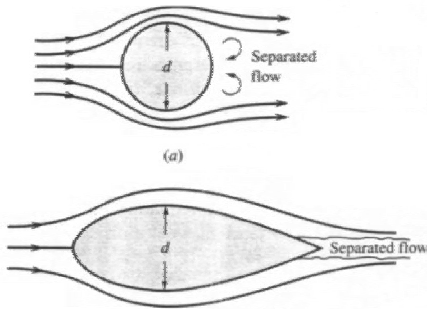
มากกว่าลูกกอล์ฟแบบผิวเรียบธรรมดา แต่ในกรณีนี้ก็เหมือนกับดาบสองคม คือแรงยกจะเพิ่มขึ้นหากผู้ตีสามารถตีลูกแบบ Back Spin ได้ถูกต้อง แต่ถ้าไม้กอล์ฟทำมุมไม่ดีขณะกระทบลูกกอล์ฟ ทำให้ลูกกอล์ฟหมุนในทิศทางอื่น เช่น Slice หรือ Hook ก็จะทำให้ลูกกอล์ฟมีทิศทางการเคลื่อนที่เินไปมากขึ้นด้วย



ไม้กอล์ฟถูกออกแบบมาให้ตีลูกแบบ Back Spin

รอยบุ๋มบนวัตถุอื่น?

กล่าวโดยสรุปได้ว่า รอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ ช่วยเพิ่มระยะตีให้ลูกกอล์ฟมากขึ้นด้วยการลดแรงต้านและเพิ่มแรงยก แต่ทำไมเราจึงพบรอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟเท่านั้น แต่วัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านของไหลอื่นๆ เช่น ปีกเครื่องบิน หรือตัวเรือดำน้ำ กลับมีผิวเรียบ ไม่มีรอยบุ๋มแต่อย่างใด คำตอบอยู่ที่ลักษณะของแรงต้านที่กระทำต่อวัตถุนั้น โดยวัตถุที่มีลักษณะเพรียว หรือมีพื้นผิวส่วนใหญ่นานกับทิศทางการไหลของของไหล



เปรียบเทียบการเกิด Flow Separation ระหว่าง
วัตถุทรงกลมกับวัตถุเพียวลม

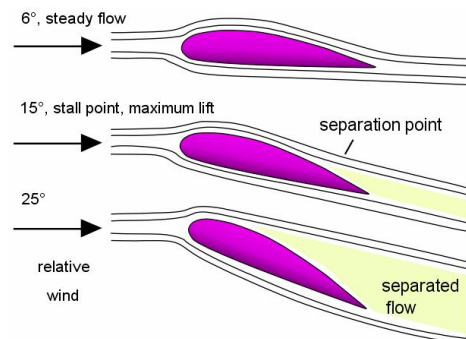
(ไม่ว่าจะเป็นอากาศหรือน้ำ) จะเกิดแรงต้านจากความเสียดทานมากกว่าแรงต้านจากความดัน (ที่เกิดจาก Flow Separation) ทำให้การเพิ่มรอยบวมเพื่อลดแรงต้านจากความดันไม่เกิดผลดีมากนัก และยังจะเกิดผลเสียขึ้นอีก เนื่องจากรอยบวมจะเพิ่มแรงต้านจากความเสียดทานให้เพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ดี นอกจากรอยบวมบนลูกกอล์ฟแล้ว ยังมีการปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวในรูปแบบอื่นอีกเพื่อสร้างมวลอากาศปั่นป่วนเพื่อลด Flow Separation ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่อุปกรณ์สร้าง Vortex บนปีกเครื่องบิน ซึ่งประโยชน์

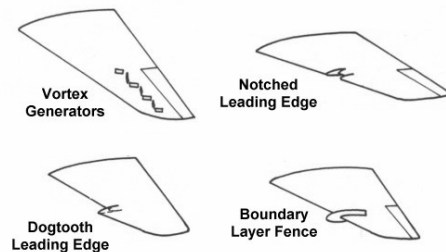
ของอุปกรณ์สร้าง Vortex คือการลด Flow Separation เมื่อปีกเครื่องบินทำมุมปะทะสูง และช่วยเพิ่มการควบคุมเครื่องที่ความเร็วต่ำ

โดยปกติแล้ววัตถุที่มีรูปร่างเพียวลมทั่วไป เช่นปีกเครื่องบิน จะเกิด Flow Separation น้อยมาก และขนาดของแรงยกที่กระทำกับปีกเครื่องบินจะเพิ่มขึ้นเมื่อปีกมีมุมปะทะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปีกเครื่องบินทำมุมปะทะเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง จะทำให้การไหลของอากาศมีลักษณะคล้ายการไหลผ่านวัตถุป้าน และเกิด Flow Separation มากขึ้น ส่งผลให้แรงยกลดลงจนทำให้ปีก Stall ได้ หน้าที่ของอุปกรณ์สร้าง Vortex บนปีกเครื่องบิน คือการสร้างมวลอากาศหมุนวนหรือ Vortex ขึ้นบริเวณพื้นผิวของปีกเครื่องบิน ทำให้การไหลของอากาศ “เกาะติด” ปีกเครื่องบินได้มากขึ้นที่มุมปะทะสูง และช่วยลด Flow Separation ที่มุมปะทะสูง คล้ายกับที่รอยบวมบนลูกกอล์ฟช่วยลด Flow Separation ห้ายลูกกอล์ฟ

ลักษณะของอุปกรณ์สร้าง Vortex บนปีกเครื่องบิน มีหลายรูปแบบ ได้แก่ Vortex Generator, Wing Fence, Leading Edge Extension และ Leading Edge Notch ซึ่งแต่ละแบบมีหลักการการทำงานคล้ายกัน คือช่วยสร้าง Vortex บริเวณปีกเครื่องบิน เพื่อช่วยให้อากาศเกาะติดกับปีกเครื่องบินได้นานขึ้นและลด Flow Separation ทำให้สามารถควบคุมเครื่องได้ดีขึ้นที่ความเร็วต่ำ และช่วยเพิ่มมุมปะทะของปีกก่อนที่จะ Stall หรือสูญเสียแรงยก

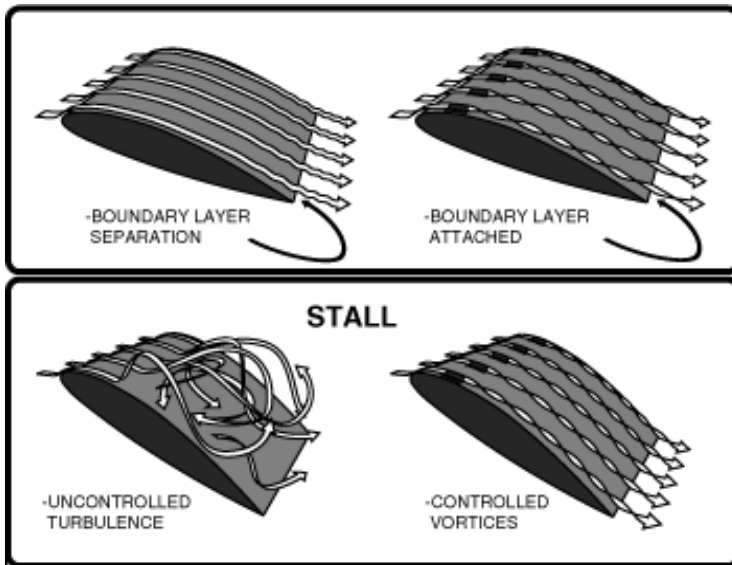


Flow Separation เพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมปะทะของปีกเพิ่มขึ้น



การดัดแปลงปีกเพื่อสร้าง Vortex แบบต่างๆ

เดิมทีอุปกรณ์สร้าง Vortex บนปีกเครื่องบินเป็นหนึ่งในความพยายามแก้ปัญหาเฉพาะหน้าของผู้ออกแบบและสร้างเครื่องบิน ในกรณีที่เครื่องบินต้นแบบมีคุณสมบัติบางประการที่ยอมรับไม่ได้หรือต้อง

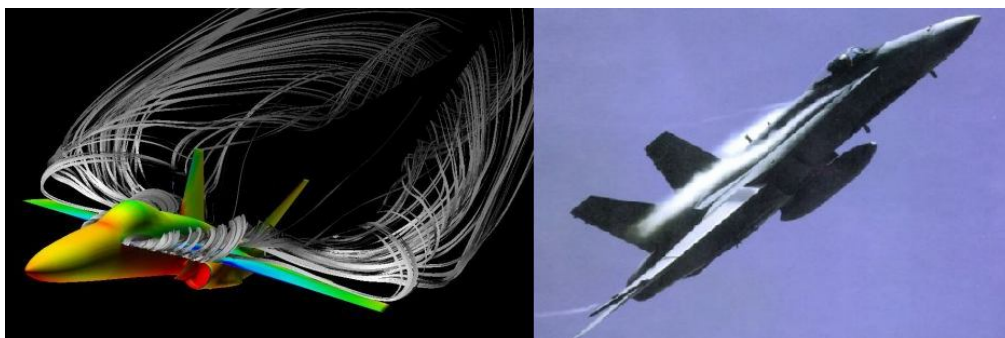


ปีกที่ติดตั้ง Vortex Generator (ขวา) ช่วยให้เกิด Flow Separation ช้าลง

ได้รับการปรับปรุง เช่น การใช้ทางวิ่งขึ้น-ลงยาวเกินไป การเกิด Stall ที่มุมปะทะต่ำเกินไป หรือความต้องการเพิ่มการควบคุมเครื่องที่ความเร็วต่ำ ซึ่งการปรับเพิ่มอุปกรณ์เสริมบางอย่างสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักของเครื่องบินหรือเริ่มทำการออกแบบกันใหม่ จนกระทั่งต่อมาเมื่อมีความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์สร้าง Vortex เพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการผนวกรวมอุปกรณ์สร้าง Vortex หลายรูปแบบตั้งแต่ขั้นตอน

การออกแบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสร้างเครื่องบินรบสมรรถนะสูง

อุปกรณ์สร้าง Vortex มักพบในเครื่องบินรบที่ต้องการมุมปะทะสูงและความคล่องตัวในการทำ Dog Fight เช่นการติดตั้ง Leading Edge Extension (LEX) บนเครื่องบิน MIG-29, F-16 และเครื่องบิน F/A-18 เป็นต้น ประโยชน์ที่ได้จากการติดตั้ง LEX นั้นคล้ายกับการติดตั้งอุปกรณ์สร้าง Vortex อื่นๆ คือช่วยให้การไหลของอากาศ “เกาะติด” ปีกมากขึ้น เพื่อเสริมความคล่องตัวและเพิ่มความสามารถในการบังคับเครื่องที่มุมปะทะสูงหรือที่ความเร็วต่ำ และในปัจจุบันก็เริ่มมีการติดตั้งอุปกรณ์สร้าง Vortex เช่น Vortex Generator และ Wing Fence บนเครื่องบินพาณิชย์ และเครื่องบินเล็กมากขึ้น เพื่อช่วยเพิ่มการควบคุมเครื่องที่ความเร็วต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการนำเครื่องขึ้นและร่อนลง



ภาพจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แสดงการทำงานของ LEX บน บ. F/A-18 เทียบกับ Vortex ที่เกิดขึ้นบนเครื่องจริง

การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในอากาศกับการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงใต้น้ำ

การเคลื่อนที่ใต้น้ำมักมีความเร็วไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในอากาศ ดังนั้นจึงไม่พบการดัดแปลงพื้นผิวของเรือดำน้ำและตอร์ปิโดในลักษณะของการดัดแปลงพื้นผิวของปีกเครื่องบินหรือการสร้างรอยบุ๋มบนผิวลูกกอล์ฟ แต่ในปัจจุบันก็มีการศึกษาเพื่อหาวิธีการลดแรงต้านอันมหาศาลของน้ำ เพื่อใช้ประโยชน์กับการเคลื่อนที่ใต้น้ำด้วยความเร็วสูง



ภาพการเกิด Cavitation จากใบจักร



ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับใบจักรเนื่องจาก Cavitation

ปรากฏการณ์หนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ใต้น้ำด้วยความเร็วสูง คือปรากฏการณ์ Cavitation โดยทั่วไปแล้วการเกิด Cavitation เป็นสิ่งที่วิศวกรออกแบบเรือพยายามหลีกเลี่ยง เนื่องจากการเกิด Cavitation นอกจากจะลดประสิทธิภาพการทำงานของใบจักรแล้ว ยังสร้างความเสียหายให้แก่ใบจักร และก่อให้เกิดเสียงดังใต้น้ำ อันจะทำให้เรือรบหรือเรือดำน้ำถูกตรวจจับได้ง่ายอีกด้วย

ปรากฏการณ์ Cavitation ใต้น้ำ เกิดจากการที่ความดันในน้ำลดลงจนกระทั่งต่ำกว่าความดันไอของน้ำ ณ อุณหภูมิปกติ หรือพลังงานของน้ำถูกเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำบริเวณนั้นเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ สาเหตุหนึ่งของการเกิด Cavitation คือการที่ใบจักรเรือหมุนด้วยความเร็วสูง จนน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกับใบจักรเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้ความดันน้ำบริเวณนั้นลดต่ำกว่าความดันไอ และเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอในลักษณะของฟองอากาศ แต่เนื่องจากใบจักรเรือมีการเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม ทำให้น้ำบริเวณอื่นโดยรอบที่มีความดันสูงกว่ายุบตัวเข้ามาหาฟองอากาศความดันต่ำนั้นอย่างรวดเร็ว และเกิดเป็นคลื่น Shock Wave ขึ้น ซึ่งทำให้เกิดเสียงดัง และทำความเสียหายให้แก่ใบจักรได้

ถึงแม้ว่าปรากฏการณ์ Cavitation จะมีผลเสียในแง่ของการออกแบบใบจักรและระบบขับเคลื่อนของเรือ แต่ก็มีคนนำปรากฏการณ์นี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการตัดโลหะใต้น้ำและการทำความสะอาดตัวเรือได้แนวหน้าโดยไม่ต้องนำเรือเข้าอู่แห้งหรือใช้สารเคมีใด ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

การนำปรากฏการณ์ Cavitation มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกอย่างหนึ่ง คือการนำมาประยุกต์ใช้ในการลดแรงต้านของน้ำ เพื่อนำไปใช้กับอาวุธใต้น้ำความเร็วสูง หรือยานใต้น้ำความเร็วสูง ซึ่งเทคโนโลยีใหม่นี้ยังอยู่ในช่วงของการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงโดยนักวิทยาศาสตร์และสถาบันวิจัยกองทัพเรือของหลายประเทศ

Supercavitation กับ การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงใต้น้ำ

ความเร็วสูงสุดของตอร์ปิโดที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบธรรมดาในปัจจุบันอยู่ที่ ๕๐-๖๐ นอต (ประมาณ ๑๐๐ กม./ชม.) โดยความเร็วดังกล่าวถูกจำกัดด้วยแรงต้านของน้ำและกำลังของระบบขับเคลื่อน ซึ่งแรงต้านนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความหนาแน่นของน้ำ รูปร่างของวัตถุ และความเร็วการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านน้ำ เนื่องจากน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศหลายร้อยเท่า ทำให้วัตถุที่เคลื่อนที่ใต้น้ำต้องประสบกับแรงต้านที่สูงกว่าแรงต้านของอากาศหลายร้อยเท่าไปด้วย โดยขนาดของแรงต้านจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ยกกำลังสอง นอกจากนี้ กำลังขับเคลื่อนที่ใช้ในการเอาชนะแรงต้านจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ยกกำลังสาม* หมายความว่า การเพิ่มความเร็วจนสองเท่า จะต้องใช้กำลังขับเคลื่อนเพิ่มขึ้นถึงแปดเท่า ($2^3 = 8$) เพื่อเอาชนะแรงต้านของน้ำ ซึ่งในอดีตความพยายามที่จะเพิ่มความเร็วการเคลื่อนที่ใต้น้ำมักเป็นการปรับปรุงรูปร่างของวัตถุให้เพรียวน้ำมากขึ้น และเพิ่มกำลังของระบบขับเคลื่อน แต่ในปัจจุบันการพัฒนาด้านรูปร่างและระบบขับเคลื่อนใต้น้ำกำลังจะถึงขีดจำกัด ทำให้เริ่มมีแนวคิดที่จะเพิ่มความเร็วด้วยการลดแรงต้านใต้น้ำขึ้นมาแทน

ปรากฏการณ์ Cavitation นำมาใช้ประโยชน์ในการลดแรงต้านใต้น้ำได้ เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศนั้นน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำมาก และหากสามารถสร้างและควบคุม Cavitation ใต้น้ำให้ใหญ่พอที่จะครอบคลุมขนาดของวัตถุได้หมด ก็จะทำให้พื้นผิวของวัตถุนั้นไม่สัมผัสกับมวลน้ำเลย ทำให้สามารถช่วยลดแรงต้านได้อย่างมาก โดย Cavitation ขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมวัตถุใต้น้ำนี้เรียกอีกอย่างได้ว่า Supercavitation

การสร้าง Supercavitation เพื่อช่วยลดแรงต้านในการเคลื่อนที่ใต้น้ำ อยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์มาหลายสิบปีแล้ว แต่การควบคุม Supercavitation ในสมัยนั้นยังคงเป็นปัญหา และถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Control) และมีการศึกษาปรากฏการณ์ Supercavitation เพิ่มขึ้นเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับ

*แรงต้านในการเคลื่อนที่ผ่านของไหล และกำลังขับเคลื่อนในการเอาชนะแรงต้านนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_d$$

$$P_d = F_d v = \frac{1}{2} \rho v^3 A C_d$$

โดยที่

F_d คือ แรงต้าน

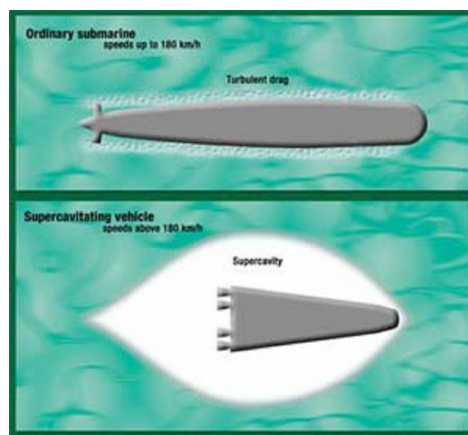
P_d คือ กำลังขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรงต้านนั้น

C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้าน

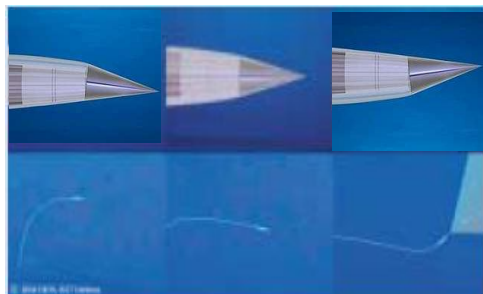
A คือ พื้นที่หน้าตัด

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

v คือ อัตราเร็วการเคลื่อนที่



ภาพจำลองเปรียบเทียบวัตถุเคลื่อนที่ใต้น้ำแบบธรรมดา (บน) กับวัตถุที่ถูกห่อหุ้มด้วย Supercavitation (ล่าง)

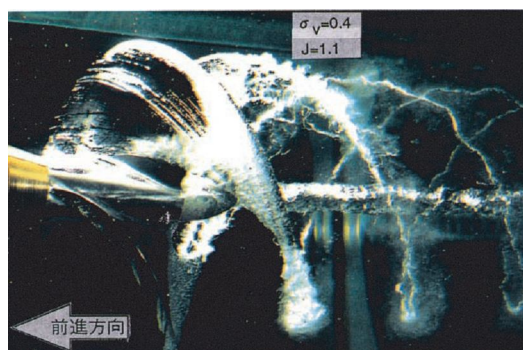


แนวคิดอย่างหนึ่งในการควบคุมการหั่นเลี้ยววัตถุความเร็วสูงที่ใช้ปรากฏการณ์ Supercavitation คือการปรับหันทิศทางส่วนหัว

ปรากฏการณ์นี้ แต่การควบคุม Supercavitation ให้เสถียร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่และการหันเลี้ยวของวัตถุใต้น้ำก็ยังคงเป็นเรื่องยาก และการนำมาใช้ประโยชน์จริงก็ยังคงจำกัด

เทคนิคการสร้าง Supercavitation สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การออกแบบส่วนหัวของวัตถุให้แหวกน้ำ และเกิด Supercavitation ขึ้นได้เองเมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเพียงพอ หรือการเติมอากาศเข้าไปใน Cavitation เพื่อช่วยเพิ่มขนาดของโพรงอากาศในกรณีนี้

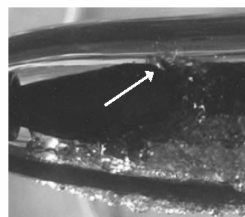
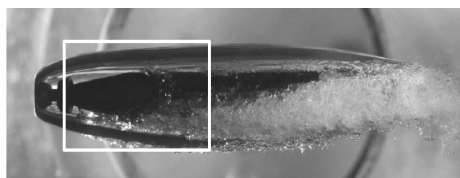
วัตถุมีความเร็วต่ำ (วิธีการเติมอากาศนี้เรียกว่า Artificial Supercavitation หรือ Ventilated Supercavitation) ซึ่งการสร้าง Supercavitation ทั้งสองวิธีนั้นตัววัตถุต้องมีความเร็วต้นสูงเพียงพอ



เมื่อ Cavitation ห่อหุ้มใบจักรทั้งใบจะไม่สร้างความเสียหายให้แก่ใบจักร

การนำ Supercavitation มาใช้ประโยชน์อย่างหนึ่งในปัจจุบัน คือการนำมาใช้กับใบจักรเรือเร็ว เพื่อช่วยลดแรงต้านในการหมุนใบจักรผ่านน้ำ โดยใบจักรที่ใช้ Supercavitation จะมีลักษณะขอบใบที่แหวกน้ำออกและสร้างโพรงอากาศห่อหุ้มใบจักรทั้งใบ และการที่โพรงอากาศแบบ Supercavitation มีขนาดใหญ่พอที่จะยุบตัวลงหลังใบจักร ทำให้ตัวใบจักรไม่ได้รับความเสียหายจากการยุบตัวของโพรงอากาศแบบที่เกิดขึ้นกับ Cavitation บนใบจักรธรรมดา

การใช้ประโยชน์จาก Supercavitation อีกอย่างหนึ่ง คือการใช้ลดแรงต้านสำหรับอาวุธใต้น้ำและยานใต้น้ำ ซึ่งในปัจจุบันได้มีหลายประเทศที่ครอบครองหรือกำลังศึกษาวิจัยอาวุธความเร็วสูงที่ใช้ปรากฏการณ์ Supercavitation ในการเพิ่มความเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการสร้าง Supercavitation แบบที่เกิดขึ้นเอง เช่น ปืนใต้น้ำและจรวดใต้น้ำ หรือแบบ Artificial Supercavitation เช่นตอร์ปิโดความเร็วสูงที่ปล่อยแก๊สออกมาสร้าง Supercavitation ขึ้น



การทดลองสร้าง Artificial Supercavitation โดยบริเวณลูกศรแสดงจุดที่ปล่อยแก๊สออกมา



ดอร์ปีโคนำวิถีความเร็วสูงกว่า ๑๐๐ นอต
อาจกลายเป็นอาวุธชนิดใหม่ในอีกไม่กี่ปี

อย่างไรก็ดี อาวุธ Supercavitation ความเร็วสูงในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดหลายประการ ทั้งด้านเสถียรภาพของการเคลื่อนที่ การควบคุมทิศทาง ระยะยิง และการนำวิถีเข้าหาเป้า ทำให้อาวุธ Supercavitation ความเร็วสูงในปัจจุบันยังเป็นเพียงอาวุธยิงตรงที่ยังไม่มีระบบนำวิถีและไม่สามารถหันเลี้ยวได้ แต่การพัฒนาเทคโนโลยีและศึกษาปรากฏการณ์ Supercavitation เพิ่มเติมอาจทำให้สามารถสร้างระบบบังคับทิศทางและนำวิถีอาวุธ Supercavitation ได้น้ำที่ความเร็วกว่า ๑๐๐ นอตได้ในอนาคตอันใกล้

บทส่งท้าย

จากรอยบุ๋มบนลูกกอล์ฟ จนถึงรอยหยักบนปีกเครื่องบิน และฟองอากาศรอบดอร์ปีโคนความเร็วสูง ถึงแม้จะมีประวัติและความเป็นมาที่แตกต่างกัน และโดยผิวเผินแล้วดูเหมือนจะไม่มี ความเกี่ยวข้องกัน เลย แต่ก็มิใช่วัตถุประสงค์ใกล้เคียงกัน คือการปรับปรุงความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ ในตัวกลางที่ต่างกัน เพื่อช่วยลดแรงต้าน ทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลขึ้น มีความเร็วสูงขึ้น เพิ่มความคล่องตัวในการควบคุม หรือเพื่อเพิ่มแรงยกในความเร็วที่ต่ำจนกระทั่งโดยปกติแล้วจะไม่สามารถสร้างแรงยกได้เพียงพอ

นอกจากนี้การศึกษาที่มาของการปรับปรุงพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ ในบทความนี้ ยังสะท้อนให้เห็นถึง ความเปลี่ยนแปลงในการพัฒนาเทคโนโลยี จากการลองผิดลองถูกในอดีตเมื่อหลายร้อยปีก่อน มาเป็น การวิจัยและพัฒนาที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันและอนาคต แสดงให้เห็นว่าในโลกปัจจุบันที่การแข่งขันมีแต่จะเพิ่มมากขึ้น การปรับปรุงพัฒนาขีดความสามารถก็ต้องเปลี่ยนจากการลองผิดลองถูกมา เป็นการศึกษาวิจัยอย่างเป็นระบบมากขึ้นไปด้วย การเพิ่มขีดความสามารถของกองทัพก็เช่นเดียวกัน การให้ความรู้แก่กำลังพลในฐานะผู้ใช้อุปกรณ์หรือผู้ตามที่ดีเพียงอย่างเดียว นั้นไม่เพียงพออีกต่อไป จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาความรู้ใหม่ๆ ควบคู่ไปด้วย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการพึ่งพาตนเอง และเพื่อพัฒนาขีดความสามารถของกองทัพให้ทันต่อการแข่งขันที่รวดเร็วขึ้นในโลกปัจจุบัน



เอกสารอ้างอิง

Munson, Bruce ; Okiishi, Theodore and Young, Donald. **Fundamental of Fluid Mechanics**. 3rd Edition. New York : John Wiley & Sons, 1997.

<http://www.aerospacweb.org/question/aerodynamics/q0215.shtml>

<http://www.articlesextra.com/supercavitation-torpedoes.htm>

[http://www.centennialofflight.gov/essay/Theories of Flight/Vortex/TH15.htm](http://www.centennialofflight.gov/essay/Theories%20of%20Flight/Vortex/TH15.htm)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation>

http://en.wikipedia.org/wiki/Golf_ball