# บันทึกข้อความ

**ส่วนราชการ** กกศ.รร.นฝ.ยศ.ทอ. (โทร.๒–๒๙๐๗)

**ที่** ..... **วันที่** ๒๕ ม.ค.๖๗

**เรื่อง** ขอส่งบทความวิชาการ

เรียน หก.กกศ.รร.นฝ.ยศ.ทอ.

๑. ตามคู่มือการประกันคุณภาพการศึกษาสถานศึกษา ยศ.ทอ. มาตรฐานที่ ๒ ได้มีการกำหนดตัวบ่งชี้ ๒.๒ ผลงานวิจัยหรือผลงานวิชาการ และคำแนะนำจากผลการตรวจของ คณก.ตรวจประกันคุณภาพการศึกษาภายในของ รร.นฝ.ฯ ให้มีการส่งเสริมการเขียนบทความทางวิชาการของบุคลากร รร.นฝ.ฯ นั้น

๒. ตามข้อ ๑ ดิฉันขอส่งบทความทางวิชาการ เรื่อง “Directed-Energy Weapons : form star war to the future weapons” ซึ่งได้เขียนร่วมกับ น.ท.สุเชาว์ อุดชาชน ตำแหน่ง หัวหน้าแผนก ๕ กองข่าวกรองการเฝ้าตรวจและลาดตระเวน สำนักข่าวกรอง กรมข่าวทหารอากาศ และได้ตีพิมพ์ในหนังสือข่าวทหารอากาศ ปีที่ ๘๓ ฉบับที่ ๑๑ เดือนพฤศจิกายน ๒๕๖๖ (ตอนที่ ๑/๒) และหนังสือข่าวทหารอากาศ ปีที่ ๘๓ ฉบับที่ ๑๒ เดือนธันวาคม ๒๕๖๖ (ตอนที่ ๒/๒) ตามแนบ

จึงเรียนมาเพื่อทราบและพิจารณาต่อไป

น.ท.หญิง .....

อจ.กกศ.รร.นฝ.ยศ.ทอ.

เรียน ผอ.รร.นฝ.ยศ.ทอ.

เพื่อทราบและพิจารณาต่อไป

น.อ.หญิง .....

หก.กกศ.รร.นฝ.ยศ.ทอ.

๓๐ ม.ค.๖๗

ทราบแล้ว

น.อ. ศีรพงศ์ ศ.

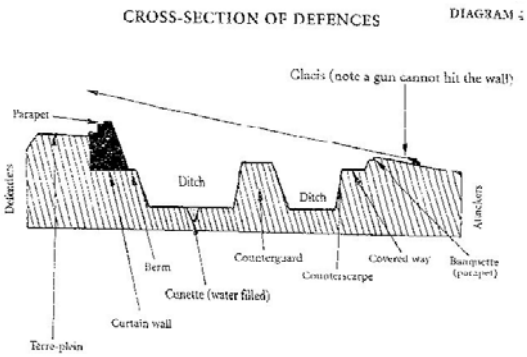
ผอ.รร.นฝ.ยศ.ทอ.

๓๐ ม.ค.๖๗

น.ท.สุเชาว์ อุดชาชน และ น.ท.หญิง ดาราภรณ์ โคสิริวิวัฒน์



เทคโนโลยีและสงครามมีประวัติศาสตร์ที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกันมายาวนาน การพัฒนาด้านเทคโนโลยีมักนำไปสู่การขับเคลื่อนนวัตกรรมและยุทธวิธีทางทหาร ในขณะที่ความต้องการได้เปรียบเหนือฝ่ายตรงข้ามในสงครามก็กระตุ้นความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเช่นกัน เช่น ตัวอย่างของการประดิษฐ์ดินปืนของประเทศจีนในศตวรรษที่ ๙ นำไปสู่การพัฒนาอาวุธปืน, การปฏิวัติการทำสงครามในสงครามโลกครั้งที่ ๒ กระตุ้นการพัฒนาด้านการบิน การสื่อสาร เรดาร์ การเข้ารหัส และอาวุธนิวเคลียร์, ยุคสงครามเย็นนำไปสู่การแข่งขันทางอวกาศ (Space Race) เป็นต้น




**ภาพที่ ๑** การประดิษฐ์ดินปืนของประเทศจีนในศตวรรษที่ ๙
นำไปสู่การพัฒนาอาวุธปืนและการปฏิวัติการทำสงคราม

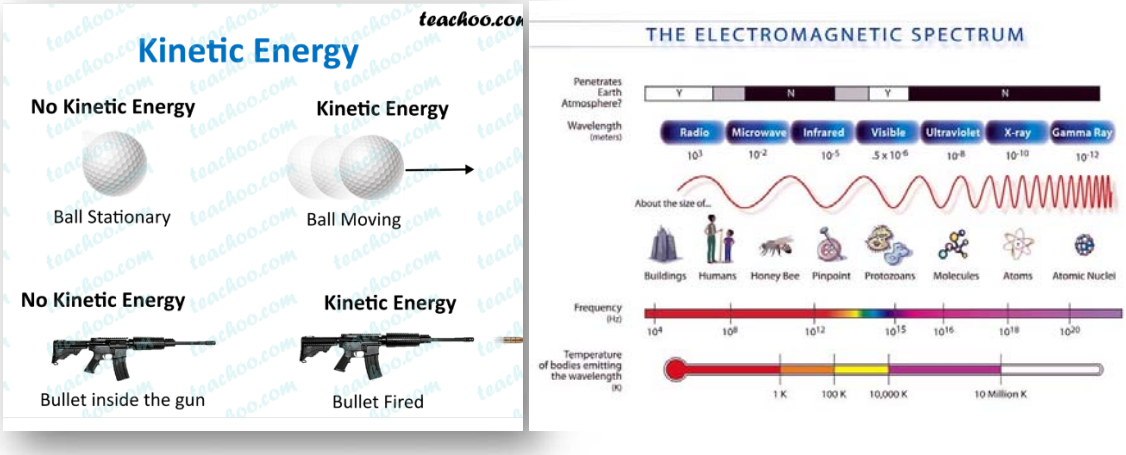
**ภาพที่ ๒** อาวุธที่ใช้ในสงครามโลกครั้งที่ ๒

ปัจจุบันเทคโนโลยียังคงมีบทบาทสำคัญในการทำสงคราม ความก้าวหน้าในด้านต่าง ๆ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ การโจมตีทางไซเบอร์ การใช้โดรนและระบบไร้คนขับอื่น ๆ ได้เปลี่ยนวิธีการสู้รบในสงคราม ทำให้กองทัพมีความสามารถในการโจมตีอย่างแม่นยำโดยไม่ทำให้พลเรือนตกอยู่ในความเสี่ยง การพัฒนาเทคโนโลยีระบบการป้องกันต่าง ๆ ก็ตามมา เช่น ระบบป้องกันขีปนาวุธ และระบบป้องกันภัยทางอากาศในอนาคต ซึ่ง Directed-Energy Weapons (DEWs) เทคโนโลยีแห่งความหวัง ก็กำลังจะเข้ามาปฏิวัติการทำสงครามอีกครั้ง

## ๑. ความเป็นมา

ต้องแนะนำก่อนว่า อาวุธในโลกนี้มีอยู่ ๒ แบบ คือ Kinetic Energy Weapon และ Direct Energy Weapon

**Kinetic Energy Weapon** คือ อาวุธโจมตีพลังงานจลน์ หรืออาวุธแบบดั้งเดิม เป็นอาวุธที่ใช้กันอยู่ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและทุกคนรู้จักเป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเรียก Traditional / Conventional หรือตั้งชื่อให้ใหม่เป็น Rocket ตั้งแต่ปืนกลจนถึงมิสไซน์ จรวดและขีปนาวุธ ก็เป็นอาวุธประเภทเดียวกัน คืออาวุธที่ใช้พลังทำลายจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น การระเบิดหัวกระสุนให้วิ่งไปปะทะเป้าหมาย โดยอาวุธเหล่านี้สามารถทำงานร่วมกับหัวรบเคมี นิวเคลียร์ หรือชีวภาพ (Jasani, 1987) ที่ใช้งานกันแพร่หลายในปัจจุบัน




**ภาพที่ ๓** Kinetic Energy Weapon และ Direct Energy Weapon

**Directed-Energy Weapons** หรือ อาวุธโจมตีพลังงานตรง (ผู้เขียน : ๒๕๖๖) เอกสารสำนักงานวิจัยแห่งรัฐสภาสหรัฐฯ CSR (Congressional Research Service, 2022) ให้ความหมายไว้ว่า “คืออาวุธที่ทำให้ไร้ความสามารถ สร้างความเสียหาย หยุดการทำงาน หรือทำลายอุปกรณ์ สิ่งอำนวยความสะดวก และ/หรือบุคลากรของศัตรู” ซึ่งเป็นอาวุธที่ใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเข้มข้นแทนอาวุธโจมตีพลังงานจลน์ (Kinetic Energy Weapon) ประกอบด้วยเลเซอร์พลังงานสูง High-Energy Lasers (HELs) และอาวุธไมโครเวฟกำลังสูง High-Powered Microwave (HPM)” ซึ่งอาวุธ Directed-Energy อื่น ๆ นอกเหนือจากการใช้เลเซอร์และคลื่นไมโครเวฟอยู่นอกขอบเขตของการพัฒนาด้วยข้อจำกัดเรื่องของความคุ้มค่าและการใช้งานได้จริงทางทหาร

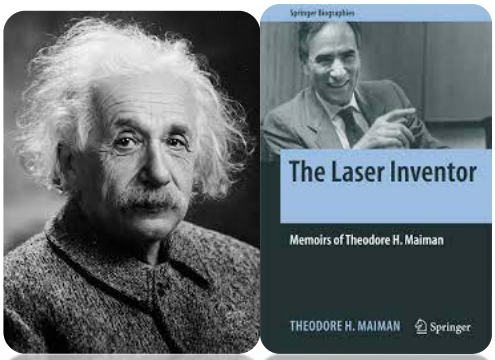
**ตารางที่ ๑** เปรียบเทียบ Kinetic Energy Weapon และ Direct Energy Weapon

| Conventional Weapons | Directed-Energy Weapons |
|---|---|
| Readily available with reloading | May have to wait to recharge between uses |
| Inoperable when ammunition depletes | Can always operate when power is available |
| Heavy ammunition – limits aircraft maneuverability (reduces loiter time) | Lightweight – allows for aircraft maneuverability (increases loiter time) |
| Reliable and reputable | New and untested |
| Expensive ammunition | Expensive R&D, but no ammunition cost |
| About 1 mps for bullets and 2 mps for missile[16] | About 186,000 mps (speed of light) |
| Generally less discriminate (less precision) | Generally more discriminate (precise accuracy) |

หากเปรียบเทียบ Kinetic energy weapon และ Direct energy weapon อาวุธแบบดั้งเดิมต้องโหลดกระสุน ซึ่งความเร็วสูงสุดที่มนุษยชาติสร้างได้คือ Hypersonic (มากกว่าเสียงประมาณ ๕ เท่า) และต้องใช้เวลาในการวิ่งหาเป้าหมาย แต่ Direct energy weapon เคลื่อนที่ด้วยระดับความเร็วแสง (ประมาณ ๙ แสนเท่า) ด้วยค่าใช้จ่ายในการพัฒนาที่แพงแสนแพง แลกกับค่าใช้จ่ายต่อการยิงที่ถูกมาก เปรียบเทียบราคาระเบิดที่ใช้จริงในสมรภูมิต่าง ๆ อยู่ในหลักล้านเหรียญ ค่าใช้จ่ายของ DEWs ต่อการยิง ๑ ครั้ง อยู่ที่ไม่เกิน ๑ เหรียญดอลลาร์สหรัฐเท่านั้น[๑]

การเดินทางของ DEWs ยาวนานนับย้อนไปได้ถึงตำนานเหตุการณ์อาร์คิมิดีส (Mirrors of Archimedes) เล่ากันว่าอาร์คิมิดีสได้สร้างกระจกขนาดใหญ่ที่สามารถปรับความยาวโฟกัสได้ เพื่อสะท้อนแสงแดดไปยังเรือของกองเรือโรมันขณะบุกโจมตีเมืองซีราคิวส์[๒] เพื่อทำให้เรือลุกไหม้ นักประวัติศาสตร์เชื่อว่าอาร์คิมิดีส รู้จักเลนส์ที่สร้างจากกระจก เขาจึงตรึงลำแสงไว้ที่จุดเดียวได้นานพอที่จะจุดไฟได้ เรื่องราวของรังสีอายุ ๒,๒๐๐ ปีนี้ ได้รับการเล่าขานผ่านจักวรรดิโรมันตะวันออกในอีกหลายร้อยปีต่อมา

**ภาพที่ ๔** Mirrors of Archimedes




**ภาพที่ ๕** อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ และ ธีร์โอดอ ไมน์แมน

ปี ค.ศ.๑๙๑๗ (พ.ศ.๒๔๖๐) อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันตีพิมพ์บทความที่อธิบายหลักการทางทฤษฎีที่อยู่เบื้องหลังการปล่อยแสงกระตุ้น ซึ่งเป็นพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของเลเซอร์ จนมาถึงปี ค.ศ.๑๙๖๐ (พ.ศ.๒๕๐๓) ธีร์โอดอ ไมน์แมน (Theodore H. Maiman) สาธิตการสร้างเลเซอร์ที่ใช้งานได้สำเร็จ และได้สร้างประโยชน์แก่มนุษยชาติเป็นอย่างมากทั้งวงการวิทยาศาสตร์ ทางการแพทย์ และเทคโนโลยี

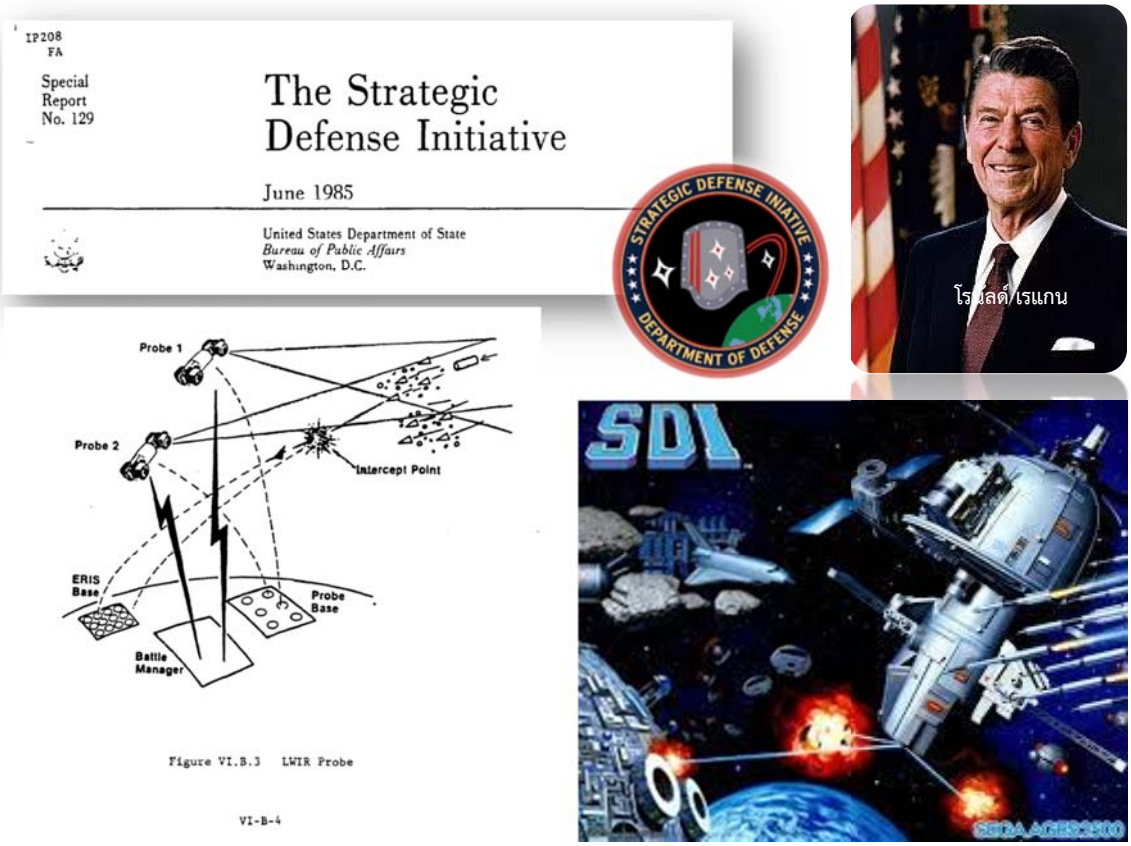
---

[๑] (ผู้เขียน : ๒๕๖๖) ประมาณการจาก DEWs ๑ นัด ใช้ปริมาณไฟฟ้า ๔ เมกะวัตต์ (Megawatt : MW) ด้วยเวลา ๔ วินาที เปรียบเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าครัวเรือน ๑ Unit = ๑๐๐๐ W / ๑ ชั่วโมง = ๕ บาท

[๒] (travelshelper) ซีราคิวส์ (Syracuse) เป็นเมืองมหาอำนาจแห่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียนในสมัยโบราณ ที่มีอายุกว่า ๒,๗๐๐ ปี และเป็นบ้านของนักคณิตศาสตร์และวิศวกรผู้ยิ่งใหญ่อย่างอาร์คิมิดีส ตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ของซิซิลี UNESCO ได้กำหนดให้เมืองซีราคิวส์ เป็นมรดกโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.๒๐๐๕

**ภาพที่ ๖** เปรียบเทียบเครื่องกำเนิด LASER เครื่องแรกของโลกของไมน์แมน กับ Pen Laser Pointer ในปัจจุบัน (พ.ศ.๒๕๖๖)

จากอาร์คิมิดีสถึงไอน์สไตน์ และไอน์สไตน์ถึงไมน์แมน หากไมน์แมนมีชีวิตอยู่จนได้เห็น Laser Pointer พัฒนามาจนขนาดเท่าฝ่ามือ ไมน์แมนคงจะต้องปลื้มใจมาก ขณะเดียวกันเราก็นึกไม่ถึงว่า Laser Pointer ในมือ หากเพิ่มกำลังไฟสักแสนเท่า[๓] จะกลายร่างเป็นอาวุธได้[๔]




**ภาพที่ ๗** โครงการ Strategic Defense Initiative (SDI) ของประธานาธิบดี Ronald Reagan

---

[๓] Laser Pointer ใช้กำลังไฟประมาณ 1W ในขณะที่อาวุธแสงเลเซอร์ใช้กำลังไฟ 100Kw(แสนวัต) ขึ้นไป

[๔] ข้อบ่งใช้ทั่วไป จึงไม่ควรใช้อุปกรณ์ยิงแสงเลเซอร์โดยตรงที่ตาตนเอง เพราะแสงเหล่านี้มีอันตรายต่อดวงตา ควรเก็บอุปกรณ์เหล่านี้ให้พ้นมือเด็ก หรือหลีกเลี่ยงสถานที่ที่มีแสงเลเซอร์และการใช้อุปกรณ์เลเซอร์

หลังจากปี ค.ศ.๑๙๖๐ (พ.ศ.๒๕๐๓) เป็นต้นมา สหรัฐอเมริกาและสหภาพโซเวียตเริ่มทำการวิจัยและพัฒนาอาวุธเลเซอร์เพื่อการทหาร จนกระทั่งในปี ค.ศ.๑๙๘๓ (พ.ศ.๒๕๒๖) สหรัฐอเมริกาได้พัฒนาการริเริ่มป้องกันทางยุทธศาสตร์ Strategic Defense Initiative (SDI) หรือเรียกอย่างไม่เป็นทางการว่า “Project Star Wars” เป็นโครงการที่ริเริ่มโดยประธานาธิบดี Ronald Reagan โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาระบบป้องกันขีปนาวุธข้ามทวีป (intercontinental ballistic missile : ICBM) ที่สามารถปกป้องการโจมตีด้วยนิวเคลียร์ที่อาจเกิดขึ้นจากสหภาพโซเวียต แนวคิดคือการใช้เลเซอร์พลังงานสูงติดตั้งบนดาวเทียมหรือแท่นโคจรอื่น ๆ เพื่อทำลายขีปนาวุธที่เข้ามา ก่อนจะไปถึงเป้าหมายบนพื้นดิน โครงการ SDI ยังรวมถึงการพัฒนาระบบสกัดกั้นขีปนาวุธภาคพื้นดินและเทคโนโลยีอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบป้องกันขีปนาวุธ ซึ่งรัฐบาลสหรัฐสูญเสียงบประมาณไปเป็นจำนวนมาก และแม้ว่าโครงการจะไม่บรรลุเป้าหมาย แต่ “Project Star war” ก็มิได้สูญเปล่า เพราะโครงการ Star war ได้กลายเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในระบบป้องกันขีปนาวุธในยุคต่อมา รวมถึงเทคโนโลยี DEWs ด้วย

**ภาพที่ ๘** การพัฒนาอาวุธ DEWs เพื่อติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ของกองทัพสหรัฐ

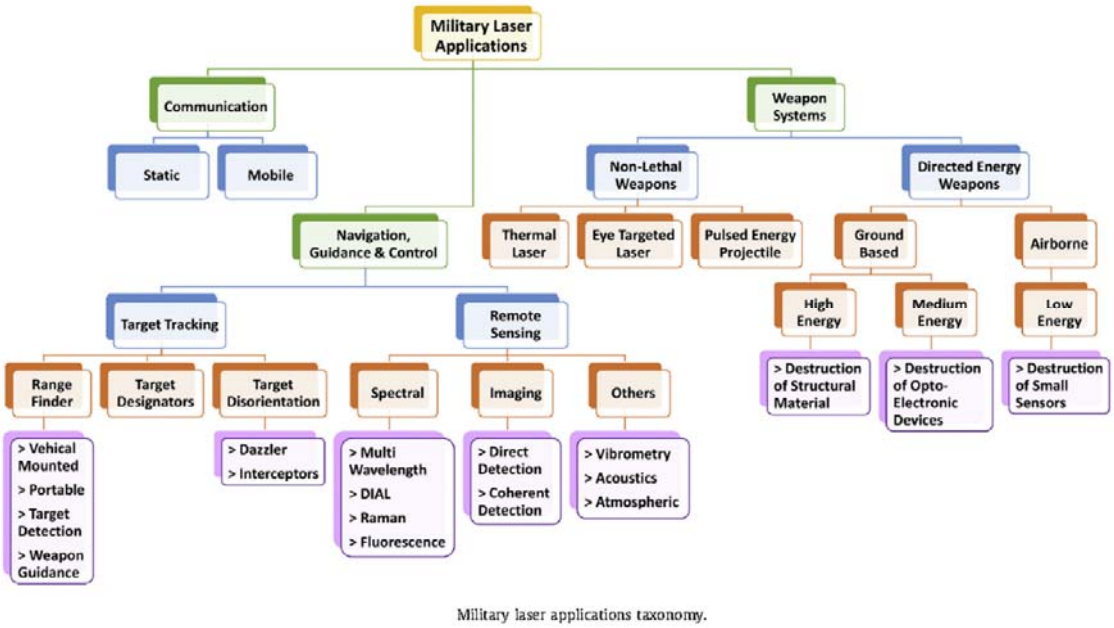
ปี ค.ศ.๑๙๙๐ (พ.ศ.๒๕๓๓) การพัฒนาอาวุธไมโครเวฟกำลังสูง (HPM) เริ่มต้นขึ้นโดยมุ่งเน้นที่การใช้ปิด/หยุดการทำงานหรือทำลายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ปี ค.ศ.๒๐๐๐ (พ.ศ.๒๕๔๓) กองทัพสหรัฐเริ่มทดสอบภาคสนาม HELs ในการต่อต้านอากาศยานและต่อต้านขีปนาวุธ

ปี ค.ศ.๒๐๑๐ (พ.ศ.๒๕๕๓) กองทัพเรือสหรัฐทดสอบ HELs ติดตั้งบนเรือเพื่อต่อต้านเรือขนาดเล็กและอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

ปัจจุบัน สหรัฐฯ ยังคงลงทุนในเทคโนโลยีป้องกันขีปนาวุธ รวมถึง DEWs ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์การป้องกันประเทศโดยรวม

## ๒. ประเภทของ Directed-Energy Weapons




Military laser applications taxonomy.

**ภาพที่ ๙** ภาพรวมของการพัฒนา DEWs ทางการทหาร

**Directed-Energy Weapons**[๕] หรือ อาวุธโจมตีพลังงานตรง แบ่งออกได้เป็น

๒.๑ เลเซอร์ (Laser Weapons)

๒.๒ ไมโครเวฟ (Microwave Weapons)

๒.๓ ลำแสงอนุภาค (Particle Beam Weapons)

๒.๔ พลาสมา (Plasma Weapons)

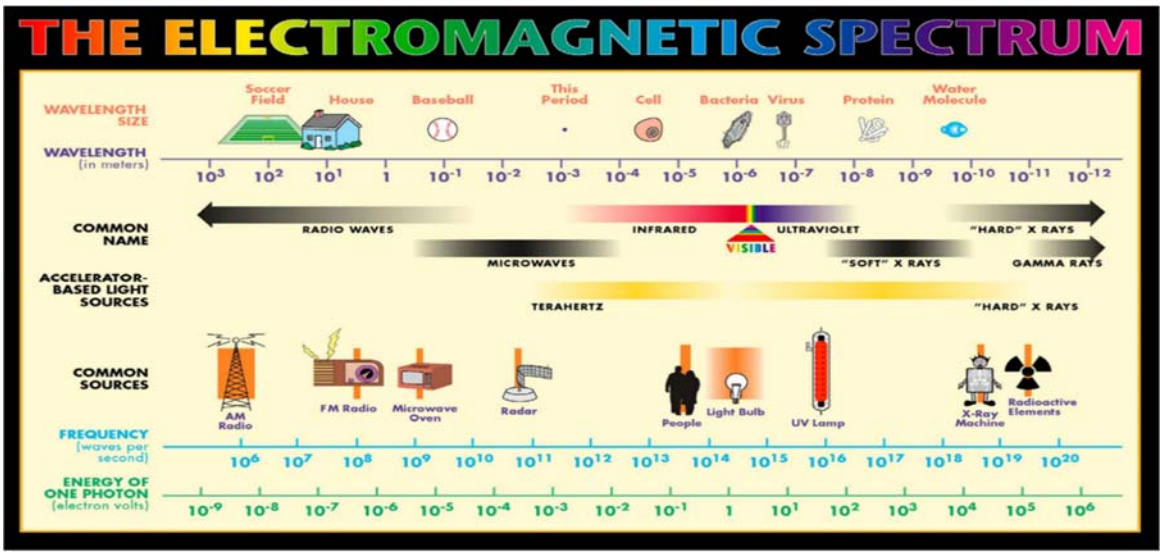
๒.๕ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแรงสูง (Electromagnetic Pulse (EMP) Weapons)

จากภาพที่ ๙ ภาพรวมของการพัฒนา DEWs ทางการทหาร แบ่งเป็น การพัฒนาเพื่อการสื่อสาร (Communication) และการพัฒนาเพื่อเป็นอาวุธ (Weapon System) แม้ DEWs จะมีหลายประเภท แต่ที่ได้รับการพัฒนาหรืออยู่ระหว่างการพัฒนาเพื่อใช้งานจริงมีเพียง ๒ ประเภทแรก คือ Laser และ Microwave

ภาพที่ ๑๐ แสดงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเลเซอร์จะใช้ย่านความถี่ในระดับที่สายตามนุษย์มองเห็น เทคโนโลยีเลเซอร์ที่สหรัฐอเมริกา รัสเซีย และสาธารณรัฐประชาชนจีนได้พัฒนาเพื่อใช้งานทางทหารอยู่คือ High-Energy Lasers (HELs) และ High-Powered Microwave (HPM) ที่น่าสนใจคือเทคโนโลยีเลเซอร์กำลังสูงนี้ แม้จะยังพูดไม่ได้ว่าสำเร็จในวงการทหาร แต่กลับประสบความสำเร็จอย่างสูงในวงการแพทย์ สำหรับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าย่านที่สายตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นคืออินฟาเรด คลื่นไมโครเวฟจะอยู่ในย่านนี้ ที่เราคุ้นชินคือการทำงานของเครื่องไมโครเวฟที่ปล่อยพลังงานทะลุถ้วยไปทำให้โมเลกุลของน้ำร้อนและใช้ประโยชน์ในการอุ่นอาหาร

---

[๕] อาวุธเสียงโซนิคและเสียงอัลตราโซนิค Sonic and ultrasonic weapons ไม่ถือเป็น Directed-Energy Weapons ตามนิยามของ Congressional Research Service เนื่องจากเสียงไม่ใช่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่




**ภาพที่ ๑๐** สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

Directed-Energy Weapons อีก ๓ ประเภทนอกเหนือจากนั้น คือ อาวุธลำแสงอนุภาค (Particle beam weapons), และอาวุธคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic pulse (EMP) weapons) แม้จะมีความพยายามในการทำวิจัย พัฒนาต้นแบบเพื่อใช้ทางทหาร แต่ไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายด้วยเหตุผลหลายประการ อาวุธ EMP ได้รับการพัฒนาและทดสอบแล้ว ในการใช้งานอาจมีข้อเสียและเกี่ยวข้องกับข้อพิจารณาด้านจริยธรรมทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในวงกว้างได้

## ๓. ขีดความสามารถและข้อจำกัด

DEWs เป็นเทคโนโลยีทางทหารประเภทหนึ่งที่ใช้รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อสร้างความเสียหายหรือทำลายเป้าหมาย มีขีดความสามารถ ข้อจำกัดที่หลากหลาย

๓.๑ **ขีดความสามารถ** ที่เหนือกว่าอาวุธแบบดั้งเดิม ได้แก่

**Power and Range** DEWs มีความสามารถในการผลิตพลังงานได้มหาศาล มุ่งไปที่เป้าหมายเฉพาะได้ พลังงานและระยะของ DEWs จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของอาวุธ ระยะของ DEWs มากกว่าของอาวุธทั่วไป บางชนิดผลิตพลังงานได้ระดับเมกะวัตต์ ด้วยกำลังขับนี้ทำให้มีระยะทำการที่ไกลกว่าอาวุธแบบทั่วไปได้ถึงหลักร้อยกิโลเมตร ซึ่งทำให้ได้เปรียบในบางสถานการณ์

**Precision and Accuracy** การใช้ระบบนำทางด้วยเลเซอร์และเทคโนโลยีการกำหนดเป้าหมายอื่น ๆ ช่วยเพิ่มความแม่นยำของ DEWs ทำให้สามารถโจมตีเป้าหมายในพื้นที่เฉพาะ ลดความเสียหายที่ไม่ต้องการในการปฏิบัติการทางทหาร เป็นลักษณะเดียวกับการประโยชน์ทางการแพทย์เพื่อการผ่าตัดที่ต้องการความแม่นยำสูง

**Scalability and Adaptability** ความสามารถในการปรับขนาดให้เหมาะสมกับภารกิจ DEWs ทำได้ตั้งแต่การปิดการใช้งานยานพาหนะของศัตรูไปจนถึงการทำลายขีปนาวุธของข้าศึกที่เข้ามาโจมตี

**Speed and Reaction Time** เป็นอาวุธความเร็วแสง สามารถโจมตีเป้าหมายแทบจะในทันที ทำให้ได้เปรียบกว่าอาวุธทั่วไปซึ่งมีความล่าช้าระหว่างการยิงและการปะทะ นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ DEWs ยิงกระสุนที่พุ่งเข้ามาในเวลาไม่กี่วินาที ทำให้ได้เปรียบในสถานการณ์การป้องกันภัยทางอากาศ

**Non-Lethality** ตัวอย่างเช่น อาวุธไมโครเวฟ ซึ่งมีประโยชน์ในบางสถานการณ์ที่ไม่จำเป็นต้องก่ออันตรายถึงชีวิต ใช้สำหรับการควบคุมฝูงชน ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายหรือเจ็บปวด โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างถาวรต่อเป้าหมาย รวมถึงการทำลายหรือหยุดการทำงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

**Cost** แม้ว่าต้นทุนการพัฒนาเทคโนโลยีของจะมีมูลค่าสูง แต่ต้นทุนต่อการใช้งานจะต่ำกว่าต้นทุนของอาวุธทั่วไป DEWs สามารถใช้พลังงานจากไฟฟ้ามีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับกระสุนราคาแพงหรือวัสดุสิ้นเปลืองอื่น ๆ

๓.๒ **ข้อจำกัด** ได้แก่

**Power requirements** ต้องการแหล่งพลังงานจำนวนมาก ทำให้ต้องบรรทุกแหล่งพลังงานก่อให้เกิดข้อจำกัดในการเคลื่อนย้าย

**Atmospheric conditions** DEWs บางชนิดได้รับผลกระทบจากสภาพบรรยากาศ เช่น ความชื้นและหมอก ทำให้ใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

**Countermeasures** ฝ่ายตรงข้ามสามารถพัฒนามาตรการตั้งรับ เช่น การเคลือบสะท้อนแสงหรืออุปกรณ์รบกวน ซึ่งลดประสิทธิภาพของอาวุธหรือทำให้ไร้ประโยชน์ได้

**Cost** ค่าใช้จ่ายในการพัฒนา การฝึกอบรมบุคลากร และบำรุงรักษาแพง และยังต้องการการลงทุนด้านเวลาและทรัพยากรจำนวนมาก เป็นความท้าทายสำหรับประเทศที่มีทรัพยากรจำกัด

## ๔. ตัวอย่างการใช้งานในการปฏิบัติการจริง

แม้ DEWs จะถูกพัฒนามาเป็นเวลาหลายปี แต่การใช้ปฏิบัติงานจริงกลับอยู่ในวงจำกัด มีกองทัพสหรัฐฯ เป็นหลักในการวิจัยและพัฒนา ปัจจุบันมีอาวุธต้นแบบถูกคัดเลือกให้พัฒนาประสิทธิภาพต่อเพื่อใช้งานจริงจากแหล่งข้อมูลสาธารณะ ตัวอย่างเช่น

**ภาพที่ ๑๑** THOR Demonstrator และ Phaser Demonstrator

DEWs ประเภท HPM ได้แก่ Tactical High Power Operational Responder (THOR), Phaser High Powered Microwave หรือ Phaser และประเภท HEL ได้แก่ The High-Energy Laser Weapon System (HELWS) ติดตั้งกับรถลาดตระเวน Polaris MRZR (ATV) ทั้ง Phaser และ HELWS ถูกพัฒนาโดยบริษัท Raytheon กลุ่มนี้กำลังขนาดน้อยกว่า 100 Kw class เน้นใช้ short-range air base defense กับ C-UAS

The Self-Protect High-Energy Laser Demonstrator (SHiELD) เกิดจากการพัฒนาร่วมกันของ AFRL, บริษัท Boeing, Lockheed Martin และ Northrop Grumman เพื่อติดตั้งเป็น External Pod กับเครื่องบินของกองทัพอากาศตั้งแต่เครื่องบินขับไล่ F-15 Gen 4 จนถึง GEN 6 ที่กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา มุ่งหมายใช้ต่อต้านขีปนาวุธ Air to Air และ Ground to Air

**ภาพที่ ๑๒** SHiELD Prototype Rendering

**ภาพที่ ๑๓** Navy Installing More Directed Energy Weapons on DDGs

นอกจากนี้ ยังมีระบบ DEWs ที่ถูกกองทัพเรือสหรัฐฯ เลือกใช้ติดตั้งบนเรือได้แก่ The Laser Weapon System (LaWS) ที่ใช้เลเซอร์พลังงานสูงเพื่อทำลายหรือปิดการใช้งานเป้าหมาย ถูกนำไปใช้งานครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.๒๐๑๔ (พ.ศ.๒๕๕๗) บนเรือ USS Ponce ซึ่งเป็นเรือขนส่งสะเทินน้ำสะเทินบก

The Phalanx CIWS: The Phalanx Close-In Weapon System (CIWS) เป็น DEWs ที่พัฒนาโดยกองทัพเรือสหรัฐฯ เพื่อใช้งานการสกัดกั้นภัยคุกคาม โดยใช้ปืน Gatling นำทางด้วยเรดาร์เพื่อยิงขีปนาวุธและเครื่องบินที่เข้ามา ระบบนี้ถูกใช้บนเรือของกองทัพเรือสหรัฐฯ หลายลำ และได้รับการยกย่องว่าช่วยชีวิตคนนับไม่ถ้วน

กองทัพบกสหรัฐฯ มีการใช้งาน DEWs ที่สำคัญคือ Directed Energy Maneuver-Short Range Air Defense (DE M-SHORAD) กำลัง 50 KW ติดตั้งกับยานเกราะล้อยาง (Stryker Combat) สำหรับ C-UAS และ C-RAM, ระบบ Indirect Fire Protection Capability-High Energy Laser (IFPC-HEL) หรือรู้จักในชื่อ Valkyrie กับขนาดมากกว่า 250 KW class ใช้สำหรับ C-LACM (Counter Land Attack Cruise Missile) และ HEL MD: The High Energy Laser Mobile Demonstrator (HEL MD) เป็น DEW ที่ใช้เลเซอร์พลังงานสูงเพื่อทำลายภัยคุกคาม เช่น จรวดและปืนครก ได้รับการทดสอบในปฏิบัติการต่าง ๆ รวมถึงการสาธิตที่ประสบความสำเร็จในปี ค.ศ.๒๐๑๕ (พ.ศ.๒๕๕๘) ซึ่งยิงได้หลายเป้าหมาย

**ภาพที่ ๑๔** IRON BEAM : Israel's Rafael Demonstrator

ประเทศอิสรเอลพัฒนา The Iron Beam เป็น DEWs ที่ใช้เลเซอร์พลังงานสูงสำหรับ C-RAM ทดสอบในปฏิบัติการต่าง ๆ ใช้งานร่วมกับ Iron Dome and David's Sling เพื่อให้มีการป้องกันหลายชั้นจากภัยคุกคามจากขีปนาวุธและจรวด ปัจจุบันถูกนำไปใช้ตามแนวชายแดนและฉนวนกาซา

## ๕. ประโยชน์และภัยคุกคามต่อกองทัพอากาศ

นวัตกรรมและเทคโนโลยี Directed Energy Weapons (DEWs) มีความสำคัญและเป็นประโยชน์อย่างมากต่อกองทัพอากาศ ช่วยเพิ่มประสิทธิผลของการปฏิบัติการทางอากาศ มีความสามารถที่หลากหลาย สร้างความได้เปรียบในการครองอากาศ ทั้งในด้านความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น การโจมตีและประเมินผลการทำลายเป้าหมายแบบ Realtime การตอบสนองที่รวดเร็วในการต่อต้านการคุกคามของฝ่ายตรงข้ามหลายเป้าหมายพร้อมกัน และทำลายเป้าหมายที่เฉพาะช่วยลดความสูญเสียที่ไม่ต้องการ ลดเสี่ยงของการบาดเจ็บล้มตายของพลเรือน

หากฝ่ายตรงข้ามมีเทคโนโลยีครอบครองก่อน ขณะที่กองทัพอากาศไม่มีเทคโนโลยีและความสามารถในการป้องกัน DEWs ก็อาจกลายเป็นภัยคุกคามที่มีนัยสำคัญ เนื่องจากเครื่องบินและระบบป้องกันภัยทางอากาศที่มีอยู่ปัจจุบันไม่ได้ออกแบบมาเพื่อป้องกัน DEWs จึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีและยุทธวิธีใหม่ที่สามารถตอบโต้คุณสมบัติเฉพาะของ DEWs ที่สำคัญอย่างความเร็ว ระยะโจมตีไกล และความสามารถในการผ่านระบบป้องกันทางอากาศแบบเดิม การตรวจจับหรือสกัดกั้นการโจมตีที่เข้ามาจึงทำได้ยาก นอกจากนี้ DEWs สามารถใช้เพื่อรบกวนหรือปิดระบบที่สำคัญของเครื่องบิน ทำให้นักบินควบคุมเครื่องบินหรือหลบเลี่ยงการโจมตีที่เข้ามาได้ยากขึ้น เป็นสิ่งสำคัญสำหรับกองทัพอากาศที่จะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบถึงประโยชน์ ความสำคัญของการมีและครอบครองเทคโนโลยีทันสมัยที่ส่งผลต่อการได้มาซึ่งความได้เปรียบทางอากาศ และความเสี่ยงหรือภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นหากตามเทคโนโลยี หรือเข้าถึงเทคโนโลยีไม่ทันฝ่ายตรงข้าม

## ๖. DEWs กับอนาคตของกองทัพอากาศ

การที่กองทัพอากาศมีนวัตกรรมและเทคโนโลยีของ DEWs หมายถึงการมีเทคโนโลยีที่นำหน้าฝ่ายตรงข้าม ซึ่งมีความสำคัญต่อการรักษาความได้เปรียบที่เหนือกว่าในการครองอากาศ ในขณะเดียวกันการพัฒนาและการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยี DEWs มาใช้จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการรับมือภัยคุกคามรูปแบบใหม่ในอนาคตของกองทัพอากาศได้ ด้วยเหตุผลสามประการคือ

**ประการแรก** เทคโนโลยี DEWs ให้ความได้เปรียบกว่าอาวุธดั้งเดิมหลายประการตามที่ได้กล่าวไป ทั้งด้านความเร็วแสง ไม่ต้องบรรจุกระสุน การจัดการได้หลายเป้าหมายพร้อมกันด้วยระบบเดียว เช่น การป้องกันฝูงโดรนขนาดเล็ก C-UAS, C-RAM และ Air base Defense ทำให้มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่ามากขึ้นในการลงทุน

**ประการที่สอง** นอกจากความสามารถในการป้องกันแล้ว เทคโนโลยี DEWs ยังมีความสามารถในการโจมตีทางยุทธศาสตร์ที่สำคัญ ช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดความเสี่ยงต่อความสูญเสียของพลเรือนที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในภัยคุกคาม และลักษณะสงครามสมัยใหม่ที่มักมีเป้าหมายที่มีคุณค่าสูงในเขตเมืองและชุมชน

**ประการสุดท้าย** การพัฒนาและการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยี DEWs มาใช้ แสดงให้เห็นถึงความมุ่งมั่นของกองทัพอากาศเพื่อให้มีเทคโนโลยีที่มีศักยภาพนำหน้าฝ่ายตรงข้าม ในสภาพแวดล้อมการรักษาความปลอดภัยทั่วโลกที่ซับซ้อนมากขึ้นและมีการแข่งขันสูง จำเป็นอย่างยิ่งที่กองทัพอากาศจะต้องรักษาความได้เปรียบทางเทคโนโลยี ดังนั้นเทคโนโลยี DEWs สามารถมีบทบาทสำคัญในการบรรลุวัตถุประสงค์นี้ ดังนั้นกองทัพอากาศควรพิจารณานวัตกรรมและเทคโนโลยีของ DEWs เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกในการปรับปรุงขีดความสามารถของกองทัพอากาศให้ทันสมัยและแข็งแกร่งขึ้น การนำเทคโนโลยี DEWs มาใช้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อรักษาความได้เปรียบในการครองอากาศและอยู่นำหน้าฝ่ายตรงข้าม ซึ่งข้อได้เปรียบของเทคโนโลยี DEWs ในแง่ของประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และนวัตกรรมทางเทคโนโลยี จะทำให้ DEWs เป็นองค์ประกอบสำคัญของกองกำลังทางทหารสมัยใหม่

## ๗. ประเด็นความคิดสำคัญ (Takeaway)

ประเด็นสำคัญเกี่ยวกับนวัตกรรมและเทคโนโลยี DEWs มีดังนี้

๑. เทคโนโลยี DEWs มีศักยภาพในการปฏิวัติการทำสงครามสมัยใหม่ ให้การป้องกันที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงจากภัยคุกคามต่าง ๆ รวมถึงภัยคุกคามในอนาคตทเช่น อาวุธขีปนาวุธ (Missile) อาวุธความเร็วเหนือเสียง (Hypersonic weapon) และฝูงบินโดรนโจมตี (Swam Drones) เป็นต้น

๒. การพัฒนาและการใช้งาน DEWs จะเพิ่มขีดความสามารถของกองทัพอากาศอย่างมีนัยสำคัญ และสร้างข้อได้เปรียบเชิงกลยุทธ์เหนือฝ่ายตรงข้ามที่มีศักยภาพ

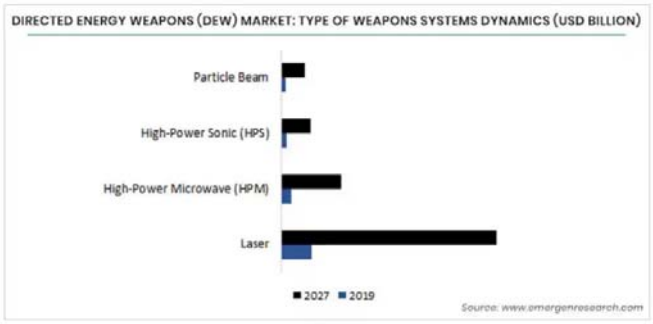
๓. เทคโนโลยี DEWs สามารถใช้ปฏิบัติการได้ในหลายมิติ รวมถึงทางอากาศ ทางบก และทางทะเลและอวกาศ ทำให้มีความหลากหลายสูง และสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพสนามรบที่เปลี่ยนแปลงไปในอนาคต

๔. เทคโนโลยี DEWs เป็นอีกทางเลือกที่คุ้มค่าและมีวิสัยทัศน์เมื่อเทียบกับอาวุธแบบดั้งเดิมอย่างขีปนาวุธและระเบิด แต่จำเป็นต้องมีการลงทุนจำนวนมากในการวิจัยพัฒนา จึงควรแสวงหาความร่วมมือกับประเทศพันธมิตรที่มีการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีนี้ รวมถึงการฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรกองทัพอากาศอันเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุด

# ๘. ภาพรวมตลาดอาวุธโจมตีพลังงานตรง (Directed-Energy Weapons Market Overview)

ข้อมูลจาก Directed Energy Weapons Market | Published Date: Oct 2020 | Report ID: ER_00245 | https://www.emergenresearch.com/industry-report/directed-energy-weapons-market

Emergen Research ได้ให้ข้อมูลว่าตลาดอาวุธโจมตีพลังงานตรงมีมูลค่าถึง ๑๓.๘๖ พันล้านเหรียญสหรัฐในปี ค.ศ.๒๐๑๙ (พ.ศ.๒๕๖๒) และมีแนวโน้มเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ในอัตราร้อยละ ๒๖.๘ โดยร้อยละ ๓๐.๕ ของการเติบโตอยู่ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก




ประเภทของ DEWs ที่มีการใช้งานกันแพร่หลายมากที่สุดคือ เลเซอร์ (Laser Weapons) รองลงมาคือคลื่นไมโครเวฟพลังงานสูง (High-Power Microwave), คลื่นเสียงพลังงานสูง (High-Power Sonic) และลำแสงอนุภาค (Particle Beam Weapons) ตามลำดับ (ในทางเทคนิคอาวุธเสียงโซนิคและเสียงอัลตราโซนิค Sonic and ultrasonic weapons ไม่ถือเป็น Directed-Energy Weapons คำอธิบายตามเชิงอรรถที่ ๔)

| PARAMETERS | DETAILS |
|---|---|
| The market size value in 2019 | USD 13.86 billion |
| CAGR (2020 - 2027) | 26.8% |
| The revenue forecast in 2027 | USD 93.20 billion |
| Base year for estimation | 2019 |
| Historical data | 2016-2018 |
| Forecast period | 2020-2027 |
| Quantitative units | Volume: Thousand Units, Revenue in USD Billion, and CAGR from 2020 to 2027 |
| Report coverage | Revenue forecast, company ranking, competitive landscape, growth factors, and trends |
| Segments covered | Type of Weapons Systems, End users, Materials used, Region |
| Regional scope | North America; Europe; Asia Pacific; Central & South America; MEA |
| Country scope | U.S.; Canada; Mexico; U.K.; Germany; France; Italy; Spain; China; India; Japan; South Korea; Brazil; Saudi Arabia; South Africa; Turkey |
| Key companies profiled | The Raytheon Company, The Boeing Company, BAE Systems, Northrop Grumman Corporation, Lockheed Martin, L-3 Communications Ltd, Moog Inc, Thales Group, Saab AB, Israel Aerospace Industries. |
| Customization scope | 10 hrs of free customization and expert consultation |

## ส่งท้ายจากผู้เขียน

บทความ “Directed-Energy Weapons : form star war to the future weapons” มีแรงบันดาลใจจากความยากลำบากในการค้นคว้าข้อมูลประกอบการปฏิบัติ บฝ.๓/๔-๑ การวิเคราะห์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางทหาร หลักสูตรเสนาธิการทหารอากาศ รุ่นที่ ๖๗ หัวข้อที่สัมมนา ๙ ได้รับมอบหมายคือ Direct Energy Weapon ซึ่งผู้เขียนเป็นประธานและเลขาในการสัมมนา บฝ. นี้ ด้วยเวลาและข้อมูลที่จำกัด ประกอบกับแหล่งข้อมูลที่เรียบเรียงเป็นภาษาไทยยังมีน้อยมาก ผู้เขียนค้นคว้าข้อมูลจากหลายแหล่งเพื่อแปล สรุปความและนำเสนอตามวัตถุประสงค์ของแบบฝึก จึงเกิดความ “เสียดาย” ในทุกสิ่งที่ขวนขวายมาเหล่านั้น ถือได้ว่าบทความนี้เป็นผลผลิตจากความเสียดาย จึงได้เรียบเรียงข้อมูลรวมถึงภาพประกอบขึ้นมาใหม่ให้สมบูรณ์ขึ้น หวังเพียงหากมีรุ่นน้องหรือผู้สนใจศึกษาและพบบทความนี้ ก็จะได้ไม่รู้สึกเหมือนที่ผู้เขียนเคยรู้สึก คือหาข้อมูลยากเหลือเกิน คุณค่าอันพึงมีจากบทความนี้ จึงขอมอบเป็นร่องรอยหลักฐาน ความร่วมมือร่วมใจกันมาในทุกกิจกรรม แด่สมาชิกสัมมนา ๙ ทุกท่าน ขอบคุณที่พวกเราได้เดินทางร่วมกันมาจนจบการศึกษา และได้ใช้ทุกสิ่งที่เรียนมาเพื่อประโยชน์ในการรับราชการต่อไป

**หลายครั้งที่เทคโนโลยีเกิดขึ้น แล้วนำไปใช้ทางการทหาร**
**หรือการพัฒนาทางทหารก็ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ และนำมาใช้เป็นประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติ**
**เพราะเทคโนโลยีและสงครามต่างขับเคลื่อนซึ่งกันและกัน**

ISSN 0125 6173

**เรียบเรียง** : ๒๘ ก.ย.๒๕๖๖
**บทความตีพิมพ์** : หนังสือข่าวทหารอากาศ ปีที่ ๘๓ ฉบับที่ ๑๑ เดือนพฤศจิกายน ๒๕๖๖ (ตอนที่ ๑/๒)
https://magazine.rtaf.mi.th/rtaf-magazine-2566-11/ และ
หนังสือข่าวทหารอากาศ ปีที่ ๘๓ ฉบับที่ ๑๒ เดือนธันวาคม ๒๕๖๖ (ตอนที่ ๒/๒)
https://magazine.rtaf.mi.th/rtaf-magazine-2566-12/

**สารบัญบทความ** (List of Contents)

- ⇨ **“Directed-Energy Weapons : form star war to the future weapons”**
  - ๑. ความเป็นมา
  - ๒. ประเภทของ Directed-Energy Weapons
  - ๓. ขีดความสามารถและข้อจำกัด
  - ๔. ตัวอย่างการใช้งานในการปฏิบัติการจริง
  - ๕. ประโยชน์และภัยคุกคามต่อกองทัพอากาศ
  - ๖. DEWs กับอนาคตของกองทัพอากาศ
  - ๗. ประเด็นความคิดสำคัญ (Takeaway)
  - ๘. ภาพรวมตลาดอาวุธโจมตีพลังงานตรง (Directed-Energy Weapons Market Overview)

  ส่งท้ายจากผู้เขียน
- ⇨ สารบัญภาพ (LIST OF FIGURES)
- ⇨ สารบัญตาราง (LIST OF TABLES)
- ⇨ เอกสารอ้างอิง (Reference)

**สารบัญภาพ** (List of Figures)



| | ภาพ | ที่มา |
|---|---|---|
| **ภาพที่ ๑** | การประดิษฐ์ดินปืนของประเทศจีนในศตวรรษที่ ๙ | https://pantip.com/topic/31403357 |
| **ภาพที่ ๒** | อาวุธที่ใช้ในสงครามโลกครั้งที่ ๒ | https://www.144smshop.com/product/4071/%E0%B9%82%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B8%E0%B8%98%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%97%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2-%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%81%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88-2-miniart-%E0%B8%82%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%94-1-35-mi35329-u-s-infantry-weapons |
| **ภาพที่ ๓** | Kinetic energy weapon<br>และ Direct energy weapon | https://www.teachoo.com/10340/3062/Kinetic-Energy/category/Concepts/<br>https://theconversation.com/directed-energy-weapons-shoot-painful-but-non-lethal-beams-are-similar-weapons-behind-the-havana-syndrome-167318 |
| **ภาพที่ ๔** | Mirrors of Archimedes | https://thelifeofarchimedes.weebly.com/archimedes-inventions-continued.html |
| **ภาพที่ ๕** | อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์<br>และ ธีร์โอดอ ไมน์แมน | |
| **ภาพที่ ๖** | เปรียบเทียบเครื่องกำเนิด LASER<br>เครื่องแรกของโลกของไมน์แมน<br>กับ Pen Laser Pointer<br>ในปัจจุบัน (พ.ศ.๒๕๖๖) | https://www.dsan.com/product/pen-style-laser-pointer/ |
| **ภาพที่ ๗** | โครงการ Strategic Defense Initiative (SDI)<br>ของประธานาธิบดี Ronald Reagan | https://www.pinterest.com/pin/570901690240804394/ |
| **ภาพที่ ๘** | การพัฒนาอาวุธ DEWs<br>เพื่อติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ (UAV)<br>ของกองทัพสหรัฐ | https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/16726633/project-moves-forward-to-use-uav<br>-laser-weapons-to-destroy-enemy-ballistic-missiles-in-boost-phase |
| **ภาพที่ ๙** | ภาพรวมของการพัฒนา DEWs ทางการทหาร | https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914719312231 |
| **ภาพที่ ๑๐** | สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า | https://targetedindividualscanada.com/2011/03/30/direct-energy-weapons-2/ |

| | ภาพ | ที่มา |
|---|---|---|
| **ภาพที่ ๑๑** | THOR Demonstrator และ Phaser Demonstrator | - U.S. Air Force, AFRL Directed Energy Directorate, press release, September 24, 2019 |
| **ภาพที่ ๑๒** | SHiELD Prototype Rendering | Lockheed Martin, Tactical Airborne Laser Weapon System, September 14,2020. |
| **ภาพที่ ๑๓** | Navy Installing More Directed Energy Weapons on DDGs | https://news.usni.org/2021/04/07/navy-installing-more-directed-energy-weapons-on-ddgs-conducting-land-based-laser-testing-this-year |
| **ภาพที่ ๑๔** | IRON BEAM : Israel's Rafael Demonstrator | - https://www.indiatoday.in/science/story/what-is-iron-beam-the-star-wars-like-missile-defense-system-tested-by-israel-1938825-2022-04-18<br>- https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2014-02-12/rafael-lifts-lid-laser-defense |



## **สารบัญตาราง** (List of Tables)

| | ตาราง | ที่มา |
|---|---|---|
| **ตารางที่ ๑** | เปรียบเทียบ Kinetic energy weapon และ Direct energyy weapon | https://thestrategybridge.org/the-bridge/2018/7/24/the-dawn-of-anti-personnel-directed-energy-weapons |

## **เอกสารอ้างอิง** (Reference)

Ahmed, S. A., Mohsin, M., & Ali, S. M. Z. (2020). *Survey and technological analysis of laser and its defense applications*. Optical Engineering, 59(7), 1-15. https://doi.org/10.1117/1.OE.59.7.071602

Air Force Technology. (n.d.). *The Evolution of Directed Energy Weapons*. Retrieved February 28,2023. https://www.airforce-technology.com/features/feature-the-evolution-of-directed-energy-weapons/

Emergen Research. (2020). *Directed Energy Weapons Market.* https://www.emergenresearch.com/industry-report/directed-energy-weapons-market

Kelley, M. S. (2022, November 14). *Directed Energy Weapons*. Defense Primer. Congressional Research Service. https://crsreports.congress.gov/search/IF1182.pdf

Maiman, T. H. (1960). *Stimulated optical radiation in ruby*. Nature, 187(4736), 493-494. https://doi.org/10.1038/187493a0

Mordor Intelligence. (2021). *Directed Energy Weapons (DEW) Market - Growth*, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026). https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/directed-energy-weapons-market

Rafael Advanced Defense Systems. (n.d.). *Iron Beam*. https://www.rafael.co.il/product/iron-beam/

Sayler, K. M. & Hoehn, J. R. (2022). *Defense Primer : Directed-Energy Weapons* (R46925). Congressional Research Service. https://crsreports.congress.gov/ product/pdf/R/R46925

Star War Template form: https://slidechef.net/