

## การประยุกต์ใช้คลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์ในการควบคุมทางทะเล

### Applications of Terahertz Wave in Maritime Surveillance

อรณิชา คงวุฒิ<sup>1</sup> พัฒน์ศรีณีย์ เลหาไพบูลย์<sup>2</sup> และ วุฒิรงค์ คงวุฒิ<sup>3</sup>

Ornicha Kongwut<sup>1</sup> Phatsaran Laohhapaibon<sup>2</sup> and Wuttirong Kongwut<sup>3</sup>

Received: February 20, 2024

Revised: April 4, 2024

Accepted: April 5, 2024

#### บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันและเฝ้าระวังทางทะเล โดยมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์ (Terahertz) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีล้ำสมัยที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในวงการทหารและความมั่นคง ในส่วนแรกของบทความผู้เขียนได้อธิบายถึงความสำคัญของการเฝ้าระวังทางทะเลในบริบทของโลกปัจจุบันที่มีความซับซ้อนและหลากหลายมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นในแง่ของการจัดตั้งหน่วยงานเฉพาะทางของแต่ละประเทศ การสร้างความร่วมมือระหว่างชาติ ไปจนถึงบทบาทของกองทัพเรือในการลาดตระเวนเพื่อปกป้องและสนับสนุนกิจกรรมทางทะเลทั้งในยามสงครามและสันติภาพ ต่อมาผู้เขียนได้นำเสนอศักยภาพและประโยชน์ของการนำคลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์มาใช้ในงานด้านการทหาร โดยชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติพิเศษของคลื่นชนิดนี้ เช่น ความถี่สูง ความยาวคลื่นสั้น และความสามารถในการทะลุทะลวงวัตถุได้ดีจะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการสำรวจตรวจการณ์ให้กับกองกำลังทางเรือได้เป็นอย่างมาก ซึ่งจะนำไปสู่การป้องกันที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อการกระทำผิดกฎหมายหรือการรุกรานน้ำของชาติอื่น ในส่วนสรุปของบทความผู้เขียนได้ย้ำถึงผลกระทบเชิงบวกที่จะเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Department of Physics, Faculty of science and technology, Kanchanaburi Rajabhat University

E-mail: ornicha.k@kru.ac.th

<sup>2</sup>หจก.บุญพาวาสนาสง 84 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

Boonpawassanasong Partnership, 84 Bangkae, Bangkok

E-mail: wirinwinu4289@gmail.com

<sup>3</sup>นักบินประจำกองฝูงบิน 203 กองบิน 2 กองทัพอากาศไทย ลพบุรี

203 Squadron Wing Royal Thai Air Force Lopburi

E-mail: wuttirong\_k@rtaf.mi.th

คลื่นสัญญาณทะเลเอิร์ตซ์ในการลาดตระเวนและสำรวจตรวจการณ์ทางทะเลทั้งในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพ การลดความเสี่ยง การสร้างความปลอดภัย และการยกระดับการปฏิบัติงานโดยรวมของกำลังพลและ ยุทโธปกรณ์ในกองทัพเรือ ซึ่งจะส่งผลดีอย่างมหาศาลต่ออุตสาหกรรมทางทะเลในภาพรวม นอกจากนี้ผู้เขียน ยังมองว่าการพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นสัญญาณทะเลเอิร์ตซ์ให้ก้าวหน้าและแพร่หลายมากขึ้น จะเป็นความท้าทาย และโอกาสสำคัญที่ทุกฝ่ายควรจับตามองในอนาคตเพื่อการยกระดับการป้องกันและรักษาความมั่นคงทางทะเล ที่เข้มแข็งและทันสมัยอย่างแท้จริง โดยสรุปบทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดที่น่าสนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีคลื่นสัญญาณทะเลเอิร์ตซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันและเฝ้าระวังทางทะเลผ่านการ วิเคราะห์บริบทความท้าทายในปัจจุบัน ซึ่งให้เห็นถึงประโยชน์และความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานตลอดจน ผลกระทบเชิงบวกที่จะเกิดขึ้นต่อการปฏิบัติการและอุตสาหกรรมทางทะเลในภาพรวม ทั้งหมดนี้จึงเป็นประเด็น ที่น่าสนใจและสมควรแก่การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตเพื่อพัฒนาศักยภาพการป้องกันและรักษา ผลประโยชน์ทางทะเลให้มั่นคงและเจริญก้าวหน้าอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** ทะเลเอิร์ตซ์, ลาดตระเวนทางทะเล, กองทัพเรือ

### Abstract

The objective of this article is to present strategies to enhance efficiency in sea surveillance and monitoring, focusing on the application of Terahertz wave technology, a cutting-edge technology gaining wide interest in military and security sectors. In the first part of the article, the author discusses the importance of maritime surveillance in today's complex and diverse global context, whether in terms of establishing specialized agencies by each country, fostering international cooperation, or the role of naval forces in patrolling to protect and support maritime activities in both war and peacetime. The author then presents the potential and benefits of using Terahertz wave technology in military applications, highlighting its unique properties such as high frequency, short wavelength, and excellent penetrative abilities, which significantly enhance reconnaissance capabilities for naval forces, leading to more efficient protection against illegal activities or incursions into the territorial waters of other nations. In the concluding part of the article, the author emphasizes the positive impact of applying Terahertz wave technology in maritime surveillance and reconnaissance, aiming to increase efficiency, reduce risks, enhance security, and overall improve the operational capabilities of personnel and equipment in naval forces, which will greatly benefit the maritime industry as a whole. Furthermore, the author views the development of Terahertz wave technology as both a challenge and a significant opportunity that all parties should closely monitor in the future to elevate maritime security and ensure sustainable prosperity. In summary, this article presents intriguing ideas regarding the application of Terahertz wave technology to enhance efficiency in sea surveillance and monitoring, analyzing current challenges and potential benefits, which deserve further study and exploration to develop the potential of maritime security and prosperity sustainably in the future.

**Keywords:** Terahertz, Seaside Promenade, Navy

### 1. บทนำ

การลาดตระเวนทางทะเลของทหารเรือใช้ระบบหลายระบบที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ เช่น

1.1 ระบบนำทางและควบคุม ระบบนำทางเป็นส่วนสำคัญของการลาดตระเวนทางทะเล เรือทหารใช้ระบบ GPS (Global Positioning System) หรือ GLONASS (Global Navigation Satellite System) [1] เพื่อให้เกิดการนำทางและการควบคุมเรือได้อย่างแม่นยำ รวมถึงระบบ AIS (Automatic Identification System) สำหรับติดตามและรับรู้สารสนเทศของเรืออื่นในพื้นที่

1.2 ระบบสื่อสาร ระบบสื่อสารทำให้สามารถติดต่อและสื่อสารกับฐานทหารหรือหน่วยงานอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงระบบโทรคมนาคมแบบดาวเทียมและวิทยุ

1.3 ระบบตรวจจับและติดตาม เรือทหารมักมีระบบตรวจจับและติดตามช่วยให้เรือสามารถตรวจจับเรือรบหรือเรือรบพิเศษของฝ่ายตรงข้าม และติดตามการเคลื่อนไหวของเรือที่เป็นเป้าหมาย [2]

1.4 ระบบป้องกันทางอากาศ เรือทหารมักมีระบบป้องกันทางอากาศที่ช่วยให้เรือสามารถป้องกันตัวเองจากการโจมตีทางอากาศและทางทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ระบบป้องกันอากาศที่ใช้เรือเสมือน ระบบป้องกันโจมตีด้วยอาวุธ และระบบป้องกันการระเบิดใต้น้ำ

1.5 ระบบสัญญาณเตือนและการแผ่ระวัง เรือทหารมีระบบสัญญาณเตือนและการแผ่ระวังที่ช่วยให้เรือสามารถตรวจจับและตอบสนองต่อความเสี่ยงได้อย่างรวดเร็ว เช่น ระบบเรดาร์เตือนอันตราย ระบบสัญญาณเตือนสีแดงและระบบแผ่ระวังด้านโทรคมนาคม

1.6 ระบบการจำลองและการวางแผน เรือทหารบางแห่งมีระบบการจำลองและการวางแผนที่ช่วยให้สามารถวางแผนการดำเนินงานและการทำภารกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงระบบสนับสนุนการตัดสินใจ โดยระบบเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับการปฏิบัติการของเรือทหารและช่วยให้สามารถดำเนินการในสภาวะที่ปลอดภัย [3] และมีประสิทธิภาพได้อย่างสำเร็จ โดยมีการใช้งานผ่านระบบคลื่นโซนาร์ (Sonar) ซึ่งเป็นคำศัพท์ทางทะเลที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีเสียงเพื่อตรวจจับและติดตามวัตถุในทะเล [4] โดยเทคโนโลยีนี้จะถูกนำมาใช้ในการลาดตระเวนทางทะเลโดยเรือทหารหรือเรือดำน้ำ เพื่อการถ่ายภาพรวมของสภาพทะเลรอบตัว โดยคลื่นโซนาร์จะส่งสัญญาณเสียงออกไปทางทะเลและรับสัญญาณที่เกิดจากวัตถุต่าง ๆ ในน้ำกลับมายังตัวเครื่อง การใช้เทอร์เรดาร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการลาดตระเวนทางทะเลเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมทางทะเล เนื่องจากเทอร์เรดาร์มีบทบาทสำคัญในการประมงเชิงพาณิชย์ การสำรวจทางทะเล และการปฏิบัติการทางทหาร

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบขีดความสามารถของคลื่นเทอร์เรดาร์กับคลื่นโซนาร์

ลักษณะ	คลื่นเทอร์เรดาร์	คลื่นโซนาร์
การใช้งาน	ใช้ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Ultrasonic) ความถี่: 20 kHz ถึง 10 MHz (20,000 Hz ถึง 10,000,000 Hz)	ใช้ส่งและรับคลื่นเสียงเฉพาความถี่ (Acoustic) ความถี่: 20 Hz ถึง 20 kHz (20,000 Hz)
	<b>ความละเอียด:</b> สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กถึง 0.1 มิลลิเมตร และสามารถตรวจจับระยะทางได้ไกลถึง 10 เมตร	<b>ความละเอียด:</b> สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กถึง 1 มิลลิเมตร และสามารถตรวจจับระยะทางได้ไกลถึง 1 เมตร

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบขีดความสามารถของคลื่นทะเลเฮิร์ซกับคลื่นโซนาร์ (ต่อ)

สภาพอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม	<p>1. เดินทางผ่านน้ำที่มีอุณหภูมิสูงได้ดี โดยถูกดูดกลืนหรือสะท้อนกลับน้อย เหมาะสำหรับตรวจสอบหรือวิเคราะห์วัสดุในสภาวะอุณหภูมิสูง</p> <p>2. ทะลุผ่านวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำได้ดี ใช้อมองทะลุหรือถ่ายภาพภายในวัตถุได้</p> <p>3. มีความยาวคลื่นสั้นมาก (0.03-3 มิลลิเมตร) เมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่น ๆ ทำให้โต้ตอบกับวัตถุขนาดเล็กระดับโมเลกุลหรืออะตอมได้ดี เหมาะสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างในระดับจุลภาค</p>	<p>1. เดินทางผ่านน้ำได้ดี: คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านน้ำได้เร็วและไกลกว่าในอากาศ ทำให้โซนาร์เหมาะสำหรับการสำรวจใต้น้ำ ตรวจจับวัตถุ และหาระยะทางใต้ผิวน้ำ</p> <p>2. สะท้อนกลับเมื่อกระทบวัตถุ: เมื่อคลื่นโซนาร์ปะทะวัตถุ มันจะสะท้อนกลับมายังต้นกำเนิดคลื่น ซึ่งสามารถนำมาคำนวณระยะทางและทิศทางของวัตถุได้จากเวลาและความแรงของคลื่นสะท้อนที่ได้รับ</p> <p>3. ทะลุผ่านตะกอนและสิ่งปนเปื้อนในน้ำได้ดี: ความยาวคลื่นโซนาร์อยู่ในช่วง 0.75 ถึง 7.5 เซนติเมตร คลื่นโซนาร์สามารถทะลุผ่านตะกอนและสิ่งปนเปื้อนในน้ำได้ดี ช่วยให้สามารถสำรวจพื้นท้องน้ำหรือชั้นตะกอนใต้ผิวน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ</p>
การควบคุมและความแม่นยำ	มีความแม่นยำสูงและสามารถควบคุมได้ดีในการตรวจจับและติดตามวัตถุใต้น้ำ	มีความแม่นยำและความสามารถในการตรวจจับและติดตามวัตถุใต้น้ำอย่างเหมาะสม [5]
การใช้ในภารกิจทางทหาร	มักถูกใช้ในภารกิจทางทหารเพื่อตรวจจับเรือรบหรือเรือรบพิเศษ ของฝ่ายตรงข้ามและค้นหาวัตถุใต้น้ำ	มักถูกใช้ในภารกิจทางทหารเพื่อตรวจจับเรือรบหรือเรือรบพิเศษของฝ่ายตรงข้ามและค้นหาวัตถุใต้น้ำ แต่สามารถใช้งานได้ทั้งภารกิจทางทหารและการวิจัยทางทะเล
ความละเอียดเชิงพื้นที่ (ระยะใกล้)	0.1-1 มิลลิเมตร	1-10 เซนติเมตร
ระยะทางและความลึกในน้ำ	มิลลิเมตร ถึง เซนติเมตร	เมตร ถึง กิโลเมตร
การลดทอนสัญญาณในน้ำ	100-1,000 เดซิเบล/เมตร	0.1-1 เดซิเบล/เมตร

จากตารางเปรียบเทียบขีดความสามารถของคลื่นเทระเฮิรตซ์และคลื่นโซนาร์

### 1. การใช้งาน

1.1 คลื่นเทระเฮิรตซ์ใช้ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (Ultrasonic) มีความถี่ 20 kHz ถึง 10 MHz สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กถึง 0.1 มิลลิเมตร และระยะไกลถึง 10 เมตร

1.2 คลื่นโซนาร์ใช้ส่งและรับคลื่นเสียงเฉพาความถี่ (Acoustic) มีความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กถึง 1 มิลลิเมตร และระยะไกลถึง 1 เมตร

### 2. สภาพแวดล้อม

2.1 คลื่นเทระเฮิรตซ์เดินทางผ่านน้ำอุณหภูมิสูงได้ดี ทะลุผ่านวัสดุที่สะท้อนต่ำ และมีความยาวคลื่นสั้นมาก เหมาะสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

2.2 คลื่นโซนาร์เดินทางผ่านน้ำได้ดี สะท้อนกลับเมื่อปะทะวัตถุ ทะลุผ่านตะกอนได้ มีความยาวคลื่น 0.75-7.5 เซนติเมตร เหมาะสำหรับสำรวจใต้น้ำ

### 3. ความละเอียดและระยะทาง

3.1 คลื่นเทระเฮิรตซ์มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่า (0.1-1 มิลลิเมตร) แต่ระยะทางและความลึกในน้ำสั้นกว่า (มิลลิเมตร ถึง เซนติเมตร) เนื่องจากสัญญาณลดทอนมากในน้ำ (100-1,000 เดซิเบล/เมตร)

3.2 คลื่นโซนาร์มีความละเอียดต่ำกว่า (1-10 เซนติเมตร) แต่ใช้ได้ระยะไกลและลึกกว่า (เมตร ถึง กิโลเมตร) เพราะสัญญาณลดทอนน้อยในน้ำ (0.1-1 เดซิเบล/เมตร)

4. การใช้ทางทหาร ทั้งสองใช้ตรวจจับเรือและวัตถุใต้น้ำได้ แต่คลื่นโซนาร์ใช้ได้ทั้งทางทหารและการวิจัยทางทะเล

สรุปได้ว่า คลื่นเทระเฮิรตซ์เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงในระยะใกล้ ส่วนคลื่นโซนาร์เหมาะกับการสำรวจระยะไกลใต้น้ำและทะเล

## 2. ทฤษฎีและหลักวิชาการ

### 2.1 คลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์

นับตั้งแต่รังสีเอ็กซ์ได้ถูกค้นพบและนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มุมมองของของมนุษย์ได้เปลี่ยนไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง กระจ่างเดินทางใต้น้ำน้อยใหญ่เมื่อถูกลำแสงผ่านเครื่องฉายรังสีเอ็กซ์ สามารถเห็นได้ทะลุปรุโปร่ง ว่ามีการแอบซ่อนอาวุธหรือของมีคมหรือไม่ การตรวจวินิจฉัยโครงกระดูกหรืออวัยวะภายในไม่ว่าจะเป็นกระเพาะ ลำไส้ ปอด ตับ โดยการใช้อัลตราซาวด์มาช่วยได้แต่คลื่นเทระเฮิรตซ์จะสามารถนำไปสู่การมองเห็นที่ น่าสนใจยิ่งกว่า โดยคลื่นเทระเฮิรตซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ครอบคลุมในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.3-10 เทระเฮิรตซ์ [6] และมีสมบัติเช่นเดียวกับคลื่นวิทยุที่สามารถทะลุผ่านวัสดุต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลายชนิด เช่น พลาสติก ไวนิล กระจก ไขมัน ไม้ หิน เซรามิก หมอก เมฆ คิวบิก และวัตถุเป็นผงคล้ายแป้ง แต่ก็มีวัสดุบางประเภทที่คลื่นวิทยุไม่สามารถทะลุผ่านได้ เช่น โลหะต่าง ๆ และน้ำ นอกจากนี้เทระเฮิรตซ์ยังสามารถแสดงภาพ (Images) ของวัตถุ สิ่งของที่เคลื่อนที่ทะลุผ่านได้อีกด้วยซึ่งมีคุณสมบัติเดียวกับรังสีเอ็กซ์ [7] ข้อแตกต่างจากรังสีเอ็กซ์คือเทระเฮิรตซ์

ไม่มีผลต่อสิ่งของที่เคลื่อนที่ผ่านด้วยการกระตุ้นด้วยรังสี (Irradiation) [8] คลื่นสัญญาณเทระเฮิร์ตซ์ (Terahertz Waves) เป็นช่วงความถี่ของคลื่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่อเนื่องกับช่วงความถี่ระหว่างความถี่มิลลิเมตร (เรียกว่ามิลลิเมตรเทระเฮิร์ตซ์) และความถี่ในช่วงนิวเอตตาเฮิร์ตซ์ (เรียกว่าเทระเฮิร์ตซ์เทรนซิชัน) ซึ่งอยู่ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ดังรูปที่ 1 สามารถใช้ในการสร้างภาพถ่ายตรวจวัดความผิดปกติในวัตถุ เช่น การสร้างภาพเอกซเรย์โดยไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงของรังสีต่อสุขภาพของมนุษย์ที่อยู่ในระดับเดียวกันกับการใช้รังสีเอ็กซ์และแกมมาถ่ายภาพรังสี การวิจัยทางการแพทย์และอุตสาหกรรมได้ให้ความสนใจกับการใช้คลื่นเทระเฮิร์ตซ์ในการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานในหลายด้าน เช่น การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างภาพและการสแกนทางการแพทย์ นอกจากนี้การใช้คลื่นเทระเฮิร์ตซ์ยังสามารถใช้ในการสื่อสารและในด้านพลังงานได้อีกด้วย เช่น การตรวจสอบความปลอดภัยที่สนับสนุนโดยการสร้างภาพด้วยการสแกนเทระเฮิร์ตซ์ในสนามการแข่งขันวิชาการ และการตรวจสอบความปลอดภัยทางการทหาร และการตรวจค้นความปลอดภัยในสนามบิน โดยปัจจุบันเทคโนโลยีการสร้างภาพด้วยคลื่นเทระเฮิร์ตซ์อยู่ในขั้นตอนการพัฒนาและการวิจัยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีศักยภาพในการใช้งานหลายสาขาด้านอุตสาหกรรมและการวิจัยต่าง ๆ อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ คลื่นเทระเฮิร์ตซ์มีลักษณะทางฟิสิกส์และมีความถี่ที่แตกต่างจากคลื่นอื่น ๆ ในสเปกตรัมของคลื่น Electromagnetics อย่างชัดเจน

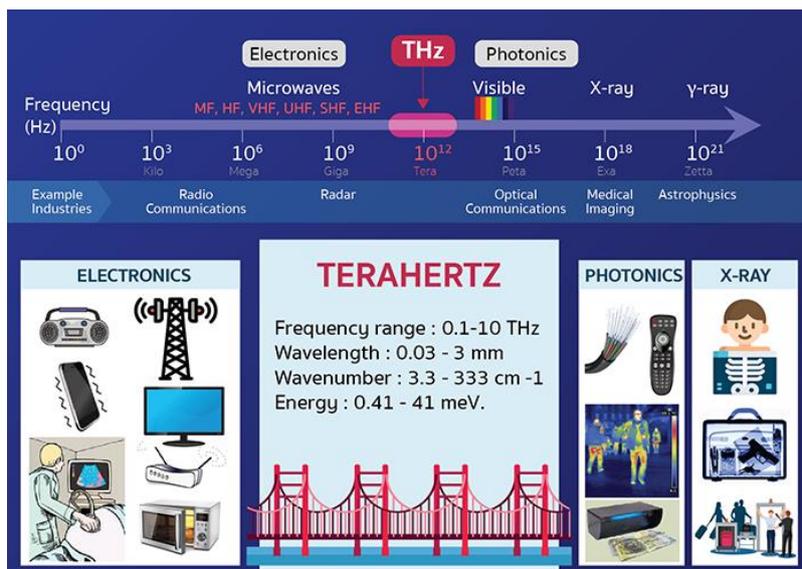
### 2.1.1 ลักษณะของคลื่นเทระเฮิร์ตซ์ มีดังนี้ [9, 10]

2.1.1.1 ความถี่สูง คลื่นเทระเฮิร์ตซ์มีความถี่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นอื่น ๆ ในสเปกตรัมอยู่ในช่วงระหว่างคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) และคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งทำให้ความสามารถแสดงผลข้อมูลหรือส่งข้อมูลที่มีความละเอียดสูงได้

2.1.1.2 การสะท้อนและการซึมผ่าน การซึมผ่านของคลื่นเทระเฮิร์ตซ์ไม่ได้หมายถึงการทะลุทะลวงอย่างสมบูรณ์เสมอไป แต่เป็นความสามารถในการเดินทางผ่านวัสดุได้ในระดับหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความถี่ของคลื่นโดยทั่วไป เมื่อความถี่ของคลื่นสูงขึ้นจะเกิด Attenuation หรือการสูญเสียพลังงานมากขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง อย่างไรก็ตามในบางกรณีคลื่นความถี่สูงอาจสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุบางชนิดได้ดีกว่าคลื่นความถี่ต่ำ ทำให้เกิดการซึมผ่านได้มากกว่าเมื่อคลื่นเทระเฮิร์ตซ์เดินทางมาถึงวัสดุอาจเกิดปรากฏการณ์ได้หลายอย่าง เช่น

- 1) การสะท้อน (Reflection) คลื่นบางส่วนถูกสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับผิววัสดุ
- 2) การซึมผ่าน (Transmission) คลื่นบางส่วนสามารถเดินทางผ่านวัสดุไปได้
- 3) การดูดซึม (Absorption) คลื่นบางส่วนถูกดูดซึมโดยวัสดุ ทำให้พลังงานลดลง

ปรากฏการณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ค่าการนำไฟฟ้า และความหนาแน่น เป็นต้น ข้อมูลเกี่ยวกับการสะท้อน การซึมผ่าน และการดูดซึมของคลื่นเทระเฮิร์ตซ์ในวัสดุต่าง ๆ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์โครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุ รวมถึงการประยุกต์ใช้ในด้านตรวจสอบวัสดุแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) แต่ก็สามารถถูกสะท้อนหรือถูกดูดซึมได้กับวัสดุบางชนิด



รูปที่ 1 ความถี่ของสัญญาณคลื่นเทระเฮิรตซ์และการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในภาคต่าง ๆ [11]

โดยข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญในการทำงานเพื่อสำรวจโครงสร้างของวัสดุหรือสำหรับการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ

2.1.1.3 การใช้งานในการสร้างภาพ คลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถใช้ในการสร้างภาพที่มีความละเอียดสูงของวัตถุอย่างเช่นในการสแกนภาพด้านการแพทย์ การตรวจวัดมะเร็ง หรือในการทดสอบวัสดุเพื่อหาคุณสมบัติทางฟิสิกส์

2.1.1.4 ความปลอดภัย คลื่นเทระเฮิรตซ์ไม่มีความเป็นอันตรายต่อมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม และถูกใช้ในงานวิจัยและประยุกต์ในหลาย ๆ ด้านโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

2.1.2 การสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์

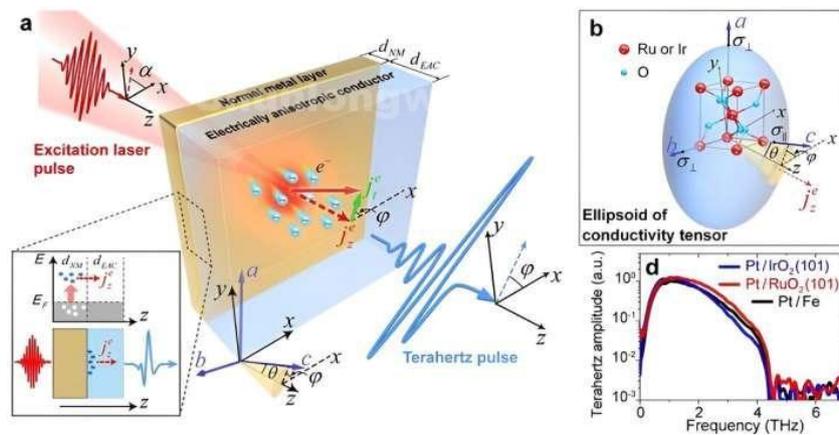
การสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีวิธีการสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ในปัจจุบันดังรูปที่ 2 ดังนี้

2.1.2.1 การใช้เลเซอร์ที่เก็บเอนเนอร์ตรงข้าม วิธีนี้ใช้เลเซอร์ในการสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์โดยใช้หลักการของการเก็บเอนเนอร์ตรงข้าม (Optical Rectification) โดยคลื่นเลเซอร์จะถูกส่งผ่านวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษในการสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์เมื่อได้รับแสงเลเซอร์ เมื่อแสงเลเซอร์เข้าสัมผัสกับวัสดุชนิดนี้ จะเกิดปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในวัสดุและส่งออกมาในรูปแบบของคลื่นเทระเฮิรตซ์ [12-13]

2.1.2.2 การใช้ทรานซิสเตอร์เพอร์รอร์มาลิน (Trans-Exclusionary Radical Feminist) นี้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงสัญญาณคลื่นอินฟราเรดเป็นคลื่นเทระเฮิรตซ์ได้ โดยจะทำการส่งและรับสัญญาณอย่างแม่นยำเพื่อสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์

2.1.2.3 การใช้เฟมโทเซกกันต์ (Femtosecond) เลเซอร์ เลเซอร์ที่มีระยะเวลาของแต่ละช่วงเฟมโทเอมิเตอร์สามารถสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ได้ โดยจะใช้การสั่นสะเทือนของอิเล็กตรอนในวัสดุเพื่อสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ [14-15]

2.1.2.4 การใช้ตัวส่งสัญญาณคลื่นเทระเฮิรตซ์ มีเครื่องมือที่สามารถสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ได้โดยตรงมักใช้เทคโนโลยีของไอซี (Integrated Circuit; IC) หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานในช่วงความถี่เทระเฮิรตซ์



รูปที่ 2 ตัวอย่างรูปแบบในการสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ [16]

## 2.2 การนำคลื่นเทระเฮิรตซ์มาใช้ประโยชน์ทางทหาร

ปัจจุบันการลาดตระเวนแผ่ระวังสำรวจทางทะเลในด้านทางทหารนั้นการใช้คลื่นสัญญาณโซนาร์กับทุ่นใต้น้ำเป็นหลักในการตรวจสอบวัตถุแปลกปลอม โดยคลื่นโซนาร์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นเสียงในการตรวจจับและติดตามวัตถุใต้น้ำ เช่น ในทะเล แม่น้ำ หรือบ่อน้ำ หลักการทำงานของคลื่นโซนาร์ดังรูปที่ 3

### 2.2.1 หลักการทำงานของคลื่นโซนาร์มีขั้นตอน [17] ดังนี้

2.2.1.1 การส่งสัญญาณ อุปกรณ์คลื่นโซนาร์จะส่งสัญญาณเสียงในรูปแบบของคลื่นเสียงไปยังสิ่งต่าง ๆ ในน้ำ สัญญาณเสียงนี้จะมีค่าและความเร็วที่ต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานและสภาพแวดล้อม

2.2.1.2 การสะท้อน เมื่อคลื่นเสียงกระทบกับวัตถุใต้น้ำ เช่น ปะการัง กำแพงน้ำ หรือเรือ จะเกิดการสะท้อนของคลื่นกลับมาถึงอุปกรณ์โซนาร์ อุปกรณ์จะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการส่งและรับสัญญาณเสียงนี้

2.2.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล อุปกรณ์คลื่นโซนาร์จะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับมาประมวลผลและสร้างภาพของสิ่งของที่อยู่ในน้ำ ภาพนี้จะแสดงให้เห็นรูปร่างและตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ ในน้ำ เช่น ปะการัง สัตว์น้ำ หรือเรือ

2.2.1.4 การแสดงผล ภาพที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะถูกแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ในรูปของภาพแผนที่ หรือแผนภาพที่บอกตำแหน่งของวัตถุที่ตรวจจับได้ในน้ำดังรูปที่ 3

2.2.1.5 การติดตามและการจำแนกแยก คลื่นโซนาร์สามารถใช้ในการติดตามและจำแนกแยกวัตถุต่าง ๆ ในน้ำ อุปกรณ์สามารถติดตามการเคลื่อนไหวของวัตถุนี้ตลอดเวลาและสามารถแยกแยะวัตถุที่ต่างกันออกจากกันได้ ซึ่งเป็นประโยชน์สำคัญในการตรวจจับและติดตามเรือหรือสำรวจสภาพทรัพยากรทางทะเล

คลื่นโซนาร์มีความสำคัญในการนำเสนอข้อมูลในน้ำที่สำคัญ โดยเฉพาะในการนำไปใช้ในงานทางทหาร เช่น ในการค้นหาเรือซึ่งจมอยู่ใต้ผิวน้ำ การติดตามเครื่องบินหรือเรือของศัตรู หรือการค้นหาวัตถุระเบิดใต้น้ำ นอกจากนี้คลื่นโซนาร์ยังมีการใช้ในงานทางภูมิทัศน์ทะเลและการวิจัยทางทะเลอื่น ๆ อีกด้วย

2.2.2 การนำสัญญาณคลื่นทะเลเรดาร์มาใช้ในงานทางทหารมีการใช้ในหลายแง่หลายรูปแบบ เช่น

2.2.2.1 การสื่อสาร คลื่นทะเลเรดาร์สามารถใช้ในการสื่อสารทางทหารได้โดยใช้เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งสามารถใช้งานในการสื่อสารระยะไกล และการสื่อสารระยะไกลก็เคียงกับในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน เช่น ในการสื่อสารระหว่างหน่วยทหารบนสนามรบ หรือการสื่อสารในสถานการณ์ที่มีการขัดจำกัดทางเทคนิคอื่น ๆ [18]

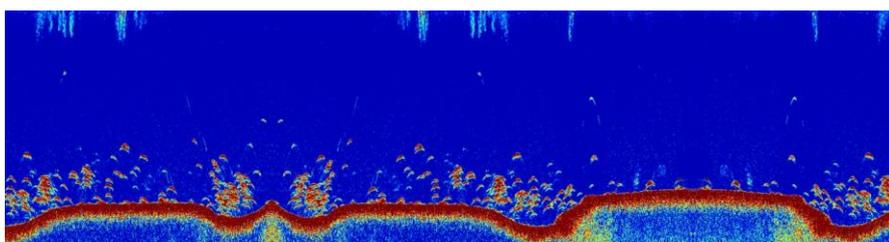
2.2.2.2 การร้องเรียนทางกฎหมาย คลื่นทะเลเรดาร์ใช้ในการร้องเรียนได้โดยใช้เทคโนโลยีการสร้างภาพด้วยคลื่นทะเลเรดาร์เพื่อช่วยในการตรวจสอบ และระบุตำแหน่งของศัตรูหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ซับซ้อน

2.2.2.3 การตรวจค้นและการนำค้น ในการทหารการใช้คลื่นทะเลเรดาร์สามารถนำมาใช้ในการตรวจค้นและการนำค้นในสภาพแวดล้อมที่เข้มงวด เช่น การตรวจค้นอาวุธ การตรวจค้นวัตถุต้องสงสัย หรือการค้นหาบุคคล

2.2.2.4 การตรวจวัดและการสร้างภาพ คลื่นทะเลเรดาร์ใช้ในการตรวจวัดและการสร้างภาพในสถานการณ์ที่ทหารต้องการข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ลึกซึ้งเพื่อการตัดสินใจ เช่น ในการตรวจวัดทรัพยากรธรรมชาติ การตรวจสอบโครงสร้างสำคัญ หรือการทำภารกิจที่ต้องการข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีการปกป้องที่สูง [19]

2.2.2.5 การสำรวจและการตรวจค้น: คลื่นทะเลเรดาร์ใช้ในการสำรวจพื้นที่โดยไม่ต้องมีการสัมผัส ซึ่งเหมาะสำหรับการตรวจค้นในสถานที่อันตรายหรือภายใต้เงื่อนไขที่เป็นอันตรายต่อการสัมผัสโดยร่างกายมนุษย์

2.2.2.6 การค้นหาและการกำจัดอุปกรณ์รบของฝ่ายตรงข้าม คลื่นทะเลเรดาร์ใช้ในการค้นหาและติดตามอุปกรณ์รบของฝ่ายตรงข้าม เช่น การติดตามการเคลื่อนไหวของศัตรูหรือการตรวจจับเครื่องบินที่ไมใช่ของฝ่ายเราในพื้นที่อากาศ



รูปที่ 3 เทคโนโลยี Compressed High-Intensity Radiated Pulse เป็นเทคโนโลยีโซนาร์ที่มีความก้าวหน้าที่สุดสำหรับการประมงและการเดินเรือทั่วไป การส่งสัญญาณเสียงแบบกวาดทำให้ได้ข้อมูลมากกว่า ทำให้ภาพเป้าหมายที่ได้สูงละเอียดและชัดเจนบนหน้าจอ [20]

การใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์ในงานด้านการทหารมีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถในการปฏิบัติการทางทหารภายใต้สถานการณ์ที่หลากหลายและท้าทาย แม้ว่าเทคโนโลยีนี้ยังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาและการวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้จริงในภาคสนาม แต่ก็มีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้ในการแผ่รังสีทางทะเลในอนาคตอันใกล้ ตามรายงานของนิตยสารเอเชียไทม์ในเดือนกันยายน คณะนักวิจัยจากประเทศจีนได้พัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีการตรวจจับเรือดำน้ำด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ระดับเทระเฮิรตซ์ (Terahertz-Based Submarine Detection Technology) ซึ่งถือเป็นความก้าวหน้าครั้งสำคัญในการยกระดับขีดความสามารถของการทำสงครามใต้น้ำ [21] นอกจากนี้ เทคโนโลยีดังกล่าวยังมีศักยภาพในการทำหยาการปฏิบัติการด้านเรือดำน้ำของสหรัฐอเมริกาอีกด้วย ระบบตรวจจับรุ่นใหม่ทำงานในย่านความถี่ระดับเทระเฮิรตซ์และมีความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของผิวน้ำที่มีขนาดเพียง 10 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงความถี่ต่ำในทะเลเปิดการระบุตำแหน่งของการเคลื่อนไหวเหล่านี้ทำให้สามารถระบุที่ตั้งของเรือดำน้ำและยังเป็นประโยชน์ในการรวบรวมข้อมูลข่าวกรองเพื่อวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเสียง (Noise Signatures) ซึ่งใช้ในการระบุรุ่นและประเภทของเรือดำน้ำ เทคโนโลยีนี้สามารถติดตั้งบนโดรนใต้น้ำ แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าอย่างก้าวกระโดดของจีนในด้านการตรวจจับเรือดำน้ำของสหรัฐฯ รวมถึงมีศักยภาพในการตอบโต้ปฏิบัติการลับเพื่อหลบหลีกการตรวจจับของเรือดำน้ำสหรัฐฯ

นอกจากนี้ เอเชียไทม์ยังรายงานในเดือนสิงหาคมว่า นักวิจัยจีนได้ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ในการระบุฟองอากาศขนาดเล็กที่เกิดจากเรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งก่อนหน้านี้แทบไม่เคยถูกนำมาใช้ในการตรวจจับ [22] พวกเขาค้นพบคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำมาก (Extremely Low Frequency - ELF) ที่เกิดจากฟองอากาศเหล่านี้ มีความชัดเจนมากกว่าสัญญาณที่ตรวจจับได้ด้วยเครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็กผิดปกติ (Magnetic Anomaly Detector) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ฟองอากาศเหล่านี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ขณะที่เรือดำน้ำเคลื่อนที่ ก่อให้เกิดการปั่นป่วนและลายเซ็นเฉพาะทางแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านปรากฏการณ์แมกนีโตไฮโดรไดนามิกส์ (Magnetohydrodynamics) แม้ว่าเทคนิคการตรวจจับเรือดำน้ำแบบนี้อาศัยการดักฟังเสียงจะเป็นที่รู้จักมานานแต่เพิ่งจะสามารถนำมาใช้ได้จริงเนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีต่าง ๆ การพัฒนาเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การประมวลผลและการทำงานอัตโนมัติของอุปกรณ์ ช่วยขยายขอบเขตของสัญญาณที่สามารถตรวจจับและแยกแยะได้ซึ่งในอดีตไม่สามารถทำได้

## 2.3 การนำคลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์ไปประยุกต์ใช้ในการแผ่ลาดตระเวนทางทะเลของกองทัพเรือ

2.3.1 การนำคลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์มาประยุกต์ใช้ในการลาดตระเวนทางทะเลของกองทัพเรือ มีศักยภาพในการเพิ่มขีดความสามารถและประสิทธิภาพในการปฏิบัติการกิจสำคัญอย่างมาก [23-25] ดังนี้

2.3.1.1 การตรวจจับและติดตามเรือ เทคโนโลยีคลื่นเทระเฮิรตซ์ช่วยให้สามารถตรวจจับและติดตามการเคลื่อนไหวของเรือในพื้นที่ปฏิบัติการได้อย่างแม่นยำ ทำให้กองทัพเรือสามารถแผ่รังสีการรบกวนหรือกิจกรรมที่นำส่งสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.3.1.2 การตรวจหาสารเคมีและวัตถุอันตราย คลื่นเทระเฮิรตซ์มีความสามารถในการทะลุทะลวงและจำแนกสารต่าง ๆ ในน้ำ ทำให้สามารถตรวจพบสารเคมีอันตรายหรือวัตถุระเบิดที่อาจถูกลักลอบนำเข้ามาในน่านน้ำ ช่วยป้องกันภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นต่อความมั่นคงทางทะเล

2.3.1.3 การระบุพฤติกรรมที่ผิดปกติ ด้วยความละเอียดสูงของคลื่นเทระเฮิรตซ์ในการตรวจจับ ทำให้สามารถสังเกตการเคลื่อนไหวของเรือและอาวุธที่ผิดแปลกไปจากรูปแบบปกติ ช่วยให้กองทัพเรือคาดการณ์และตอบสนองต่อภัยคุกคามที่อาจจะเกิดขึ้นได้อย่างทันที่

2.3.1.4 การค้นหาและกู้ภัย ในสถานการณ์ฉุกเฉิน เช่น เรือล่ม หรือคนตกทะเล คลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถช่วยค้นหาผู้ประสบภัยที่อยู่ในน้ำได้อย่างรวดเร็วเพิ่มโอกาสในการช่วยชีวิตและลดการสูญเสียชีวิต

2.3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพแวดล้อมทางทะเล คลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถรวบรวมข้อมูลสำคัญ เช่น อุณหภูมิ น้ำ ลักษณะพื้นทะเล และสภาพอากาศ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนยุทธศาสตร์และปฏิบัติการทางเรือให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.3.1.6 การรักษาความปลอดภัยในพื้นที่สำคัญ ระบบตรวจจับด้วยคลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถควบคุมการเข้าถึงพื้นที่หวงห้ามหรือฐานทัพเรือ ด้วยการระบุตัวตนและตรวจจับวัตถุที่ไม่ได้รับอนุญาต ช่วยเสริมความมั่นคงปลอดภัยให้กับกองทัพเรือ

การประยุกต์ใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์ในการลาดตระเวนทางทะเลจะช่วยยกระดับศักยภาพของกองทัพเรือในการปฏิบัติการรักษาดูแลทางทะเล การต่อต้านการกระทำผิดกฎหมาย และการให้ความช่วยเหลือมนุษยธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตลอดจนสร้างความมั่นคงให้กับผลประโยชน์ของชาติทางทะเลในภาพรวม นับเป็นการเพิ่มขีดความสามารถเชิงยุทธศาสตร์ที่สำคัญยิ่งให้กับกองทัพเรือ ในปัจจุบันการนำคลื่นเทระเฮิรตซ์มาใช้ในการแผ่รังสีลาดตระเวนทางทะเลของกองทัพมีเพียงเล็กน้อย ในการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพในการแผ่รังสี และควบคุมสถานการณ์พื้นที่ทะเลและน้ำในบริเวณใกล้เคียง โดยในบทความนี้ผู้เขียนมีความเห็นว่าการเปลี่ยนจากคลื่นโซนาร์ที่ใช้อยู่เดิมพัฒนาให้เป็นคลื่นเทระเฮิรตซ์ เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในทางทะเลให้กับกองทัพเรือประเทศไทย

2.3.2 การดัดแปลงคลื่นโซนาร์ให้เป็นคลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยมีวิธีการดังนี้

2.3.2.1 การใช้การเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Conversion) คลื่นโซนาร์สามารถถูกแปลงเป็นคลื่นเทระเฮิรตซ์โดยการใช้อุปกรณ์ที่สามารถแปลงความถี่ของคลื่นได้ เช่น การใช้การส่งผ่านสัญญาณไปยังอุปกรณ์ที่สามารถทำงานในช่วงความถี่เทระเฮิรตซ์ หรือการใช้การเพิ่มหรือลดความถี่ของคลื่นโซนาร์โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม

2.3.2.2 การใช้เลเซอร์ที่สร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ เลเซอร์สามารถถูกใช้ในการสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์โดยตรงโดยการใช้หลักการของการส่งและรับแสงเลเซอร์ที่มีความถี่สูงพอที่จะสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์

2.3.2.3 การสร้างคลื่นโดยตรง มีเครื่องมือที่สามารถสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์โดยตรง โดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น วัสดุชนิดหนึ่งที่เรียกว่าไพเริน (Pyrene) ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรดสามารถสร้างคลื่นเทระเฮิรตซ์ได้

การดัดแปลงคลื่นโซนาร์เพื่อให้เป็นคลื่นเทระเฮิรตซ์ต้องใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการทำงานในช่วงความถี่เทระเฮิรตซ์และการสร้างคลื่นที่มีความถี่สูงพอที่จะเป็นคลื่นเทระเฮิรตซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การดัดแปลงนี้ต้องใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและความละเอียดสูง

### 3.บทวิจารณ์และสรุป

การใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์ในการค้นหาทางทะเลสามารถเป็นทางเลือกที่น่าสนใจและมีประโยชน์ต่อกองทัพเรือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คลื่นโซนาร์ คลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถให้ข้อมูลที่มีความละเอียดและความคมชัดที่สูงกว่า ซึ่งสามารถช่วยในการตรวจจับภัยคุกคามทางทะเลได้ดีขึ้น ความสามารถในการแสดงภาพเทระเฮิรตซ์สามารถสร้างภาพที่มีความละเอียดสูง และมีความสามารถในการแสดงภาพที่ชัดเจนและระบุรายละเอียดได้ดี การทำงานในเงื่อนไขที่ซับซ้อนเทระเฮิรตซ์อาจมีความสามารถในการทำงานในเงื่อนไขที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม หรือมีการมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ หากต้องการใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์แทนคลื่นโซนาร์ จะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณที่สามารถรองรับคลื่นเทระเฮิรตซ์ อุปกรณ์เหล่านี้สามารถประสานกับระบบเซนเซอร์และซอฟต์แวร์ในเรือเพื่อแปลงและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ ในประเทศไทยมีบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ทางการเรือที่สามารถปรับปรุงและปรับใช้เทคโนโลยีคลื่นเทระเฮิรตซ์ได้ อาจมีการนำเข้าหรือผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้กับคลื่นเทระเฮิรตซ์ในราคาที่ไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์โซนาร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณเทระเฮิรตซ์ เช่น Ultrasonic Receivers หรือตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Waves) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง (ซึ่งมักจะเป็นคลื่นที่มีความถี่มากกว่า 20 kHz) อุปกรณ์นี้สามารถใช้งานในหลายแอปพลิเคชัน Ultrasonic Transducers คือ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้แปลงพลังงานระหว่างคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Waves) และพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์นี้สามารถทำหน้าที่ในทางที่ตรงกันข้ามได้คือ ในการแปลงคลื่นอัลตราโซนิกเป็นสัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นคลื่นอัลตราโซนิก

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Boudehenn C, Cexus JH, Abdelkader R, Lannuzel M, Jacq O, Brosset D, et al. Holistic approach of integrated navigation equipment for cybersecurity at sea. In: Proceedings of the International Conference on Cybersecurity; 2023 Mar 08; Wales. Wales: HAL openscience; 2022. p. 75-86.
- [2] ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ. แนวโน้มเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) ด้านความมั่นคงและการป้องกันประเทศ [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]; 2566 [เข้าถึงเมื่อ 12 ม.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://dtd.dti.or.th/xmlui/handle/123456789/4424?show=full>
- [3] ชนัตถพงศ์ เสื่องงามเอี่ยม, ศิริวิไล ธีระโรจนารัตน์. การหยังความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8. วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ม.ค. – ธ.ค. 2565;5(1):121-35.
- [4] Vadivel M, Vimal SP, Sivakumar VG, Baskar VV, Selvi M. Internet based defence surveillance robot to prevent intruder activities and auto combat system using sonar technology. In: Proceedings of the International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA); 2023 Mar 14-16; Uttarakhand. [place unknown]: IEEE; 2023.

- [5] อัครชัย ไทรบุญจันทร์. การกำเนิดเสียงของโซনারที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ. วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ม.ค. – ธ.ค. 2564;4(1):107-23.
- [6] Chen Y, He Y, Liu L, Tian Z, Zhang XC, Dai J. Plasma-based terahertz wave photonics in gas and liquid phases. *Photonics Insights* [Internet]. 2023 [cited 2023 Aug 14];2(3). Available from: <https://www.researching.cn/ArticlePdf/m00099/2023/2/3/R06.pdf> [DOI: 10.3788/PI.2023.R06]
- [7] สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]; [ม.ป.ป.]. เทระเฮิร์ตซ์: การเห็นที่ไม่ธรรมดา; 2553 [เข้าถึงเมื่อ 11 ม.ค. 2567]; [ประมาณ 1 น.]. เข้าถึงได้จาก: <http://nkc.tint.or.th/nkc53/content/nstkc53-004.html>
- [8] Wang Y, Xiong Y, Chen M, Liu F, He H, Ma Q, et al. The biological effects of terahertz wave radiation-induced injury on neural stem cells. *iScience* [Internet]. 2023 Jul 18 [cited 2023 Aug 14];26(10):107418. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37771661/>
- [9] Lee YS. *Principles of Terahertz Science and Technology*. New York, NY: Springer; 2009.
- [10] Pawar A, Sonawane DD, Erande KB, Derle DV. Terahertz technology and its applications. *Drug Invention Today* [Internet]. 2013 Jun [cited 2023 Sep 15];5(2):157–63. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/259139674\\_Terahertz\\_technology\\_and\\_its\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/259139674_Terahertz_technology_and_its_applications)
- [11] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ [อินเทอร์เน็ต]. ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ; 2563. “เทคโนโลยีเทระเฮิร์ตซ์” กับการประยุกต์ใช้งานในประเทศไทย; 2562 [เข้าถึงเมื่อ 21 ม.ค. 2567]; [ประมาณ 1 น.]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nectec.or.th/research/research-project/terahertz-for-thailand.html>
- [12] Kristensen MH, Hérault E, Zhai D, Skovsen E, Coutaz JL. Terahertz generation through optical rectification in reflection. *J Appl Phys* [Internet]. 2023 May [cited 2023 Sep 18];133(17). Available from: [https://www.researchgate.net/publication/370439269\\_Terahertz\\_generation\\_through\\_optical\\_rectification\\_in\\_reflection](https://www.researchgate.net/publication/370439269_Terahertz_generation_through_optical_rectification_in_reflection)
- [13] Guiramand L, Edouard J, Ropagnol X, Ozaki T, Blanchard F. Near-optimal intense and powerful terahertz source by optical rectification in lithium niobate crystal. *Photonics Res* [Internet]. 2021 Nov [cited 2023 Sep 31];10(2):340-6. Available from: <https://opg.optica.org/prj/fulltext.cfm?uri=prj-10-2-340&id=468399>
- [14] Tonouchi M. Simplified formulas for the generation of terahertz waves from semiconductor surfaces excited with a femtosecond laser. *J Appl Phys* [Internet]. 2020 Jun [cited 2023 Oct 8];127(24):245703. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/342376635\\_Simplified\\_formulas\\_for\\_the\\_generation\\_of\\_terahertz\\_waves\\_from\\_semiconductor\\_surfaces\\_excited\\_with\\_a\\_femtosecond\\_laser](https://www.researchgate.net/publication/342376635_Simplified_formulas_for_the_generation_of_terahertz_waves_from_semiconductor_surfaces_excited_with_a_femtosecond_laser)

- [15] Déchard J, Davoine X, Gremillet L, Bergé L. Terahertz emission from submicron solid targets irradiated by ultraintense femtosecond laser pulses. *Physics of Plasmas* [Preprint] 2020 May. [https://www.researchgate.net/publication/341342329\\_Terahertz\\_emission\\_from\\_submicron\\_solid\\_targets\\_irradiated\\_by\\_ultraintense\\_femtosecond\\_laser\\_pulses](https://www.researchgate.net/publication/341342329_Terahertz_emission_from_submicron_solid_targets_irradiated_by_ultraintense_femtosecond_laser_pulses)
- [16] Zhang S, Cui Y, Wang S, Chen H, Liu Y, Qin W, et al. Nonrelativistic and nonmagnetic terahertz-wave generation via ultrafast current control in anisotropic conductive heterostructures. *Advanced Photonics* [Internet]. 2023 Sep [cited 2023 Oct 31];5(05). Available from: [https://www.researchgate.net/publication/373888353\\_Nonrelativistic\\_and\\_nonmagnetic\\_terahertzwave\\_generation\\_via\\_ultrafast\\_current\\_control\\_in\\_anisotropic\\_conductive\\_heterostructures](https://www.researchgate.net/publication/373888353_Nonrelativistic_and_nonmagnetic_terahertzwave_generation_via_ultrafast_current_control_in_anisotropic_conductive_heterostructures)
- [17] Shi Q, He Z, Xu H, Gao J, Zhao P. Research on information transmission technology through the water-air interface combining a sonar and a radar. *IEEE Sens J* [Internet]. 2023 Apr [cited 2023 Nov 5];99(1). Available from: [https://www.researchgate.net/publication/368618892\\_Research\\_on\\_Information\\_Transmission\\_Technology\\_through\\_the\\_Water-air\\_Interface\\_Combining\\_a\\_Sonar\\_and\\_a\\_Radar](https://www.researchgate.net/publication/368618892_Research_on_Information_Transmission_Technology_through_the_Water-air_Interface_Combining_a_Sonar_and_a_Radar)
- [18] Huang Y, Shen Y, Wang J, From terahertz imaging to terahertz wireless communication. *Eng* [Internet]. 2023 Mar [cited 2023 Nov 13];22:106-24. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809922006361>
- [19] Niu X, Gu M, Zhu Y. Application and outlook of terahertz in various areas. In *Proceeding: Earth and space: From Infrared to Terahertz (ESIT 2022)* 2022; 2022 Sep 17-19; Nantong, China. Washington: SPIE; 2023.
- [20] Garmin [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]; [ม.ป.ป.]. โซนาร์สแกน Chirp; 2567 [เข้าถึงเมื่อ 28 สิงหาคม 2566]; [ประมาณ 1 น.]. เข้าถึงได้จาก <https://discover.garmin.com/th-TH/minisite/marine/chirp-technology/#chirp-scanning>
- [21] Janz C. Waving for the voice. *The Guardian* [Internet]. 2023 Sep 25 [cited 2023 Nov 15];2071: [about 1 p.]. Available from: <https://cpa.org.au/guardian/issue-2071/waving-for-the-voice/>
- [22] Asia Times [Internet]. Richmond: Asia Times. China claims breakthrough in US nuke sub detection. 2023 [updated 2023 Aug 16; cited 2023 Dec 2]; [about 1 p.]. Available from: <https://asiatimes.com/2023/08/china-claims-breakthrough-in-us-nuke-sub-detection/>
- [23] Keith, G. THZ imaging for nondestructive evaluation of coated metallic surfaces of naval system [Master's Thesis]. Monterey, CA: Naval postgraduate school Monterey; 2022.

- [24] Gamage C, Dinalankara DR, Samarabandu J, Subasinghe A. A comprehensive survey on the applications of machine learning techniques on maritime surveillance to detect abnormal maritime vessel behaviors. *WMU journal of maritime affairs* [Internet]. 2023 Jun [cited 2023 Nov 30];22(6): p.447-77. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/371914812\\_A\\_comprehensive\\_survey\\_on\\_the\\_applications\\_of\\_machine\\_learning\\_techniques\\_on\\_maritime\\_surveillance\\_to\\_detect\\_abnormal\\_maritime\\_vessel\\_behaviors](https://www.researchgate.net/publication/371914812_A_comprehensive_survey_on_the_applications_of_machine_learning_techniques_on_maritime_surveillance_to_detect_abnormal_maritime_vessel_behaviors)
- [25] Ardi FC. Implementation of integrated maritime surveillance system (IMSS) technology for the Indonesian navy in increasing the security of the jurisdictional marine area. *International journal of social and management studies*. 2023 Aug;4(4).