

การพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารเพื่อความปลอดภัยในกองกำลังความมั่นคงของประเทศ The Development of Communication Technology for National Security in the Defense Forces

บทความวิชาการ

วุฒิรงค์ คงวุฒิ¹, พัฒน์ศรัณย์ เลหาไพบูลย์², และ อรณิชา คงวุฒิ³

Wuttirong Kongwut, Phatsaran Laohhapaibon, and Ornnicha Kongwut

ฝูงบิน 203 กองบิน 2 กองทัพอากาศไทย ลพบุรี ประเทศไทย 15160¹

203 Squadron Wing Royal Thai Air Force, Lopburi, Thailand 15160

บุญพาวาสนาสง กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10160²

Boonpawassanasong, Bangkok, Thailand 10160

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี กาญจนบุรี ประเทศไทย 71190³

Department of Physics Faculty of Science and Technology Kanchanaburi Rajabhat University,

Kanchanaburi, Thailand 71190

E-mail: wuttirong-k@rtaf.mi.th¹, wirinwinu4289@gmail.com² and ornnicha.k@kru.ac.th³

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันระบบการสื่อสารมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการดำเนินการทางทหาร และการบังคับบัญชาการรบ ในยุคที่อาจเกิดสงคราม เครื่องมือสื่อสารทางทหารเชิงพื้นที่รวมถึงเครื่องมือเข้ารหัสเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้กองทัพสามารถสื่อสารได้อย่างปลอดภัยพร้อมกับมีความน่าเชื่อถือได้ เทคโนโลยีสื่อสารที่กำลังพัฒนามีส่วนจำเป็นสำหรับช่วยให้การบังคับบัญชาและการดำเนินการทางทหารมีประสิทธิภาพและสามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วในยุคที่อาจเกิดภาวะสงคราม บทความนี้เป็นการกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารทางทหารเพื่อให้สอดคล้องกับสงครามที่มีเครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Warfare) และเพื่อลดความซับซ้อนพร้อมป้องกันการถูกโจมตีของข้อมูล โดยในเบื้องต้นจะกล่าวถึงระบบเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี (Tactical Data Link) เป็นอย่างไร มีประโยชน์อะไร ถัดมาจะกล่าวถึง Link-TH กับ Link 16 คืออะไร เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในกองทัพ ข้อดี-ข้อเสีย และสุดท้ายจะกล่าวถึงแนวทางการพัฒนาโครงข่ายสัญญาณ Link-TH โดยการผลิตสัญญาณคลื่นเทระเฮิรตซ์ มาใช้ในการสื่อสารเพื่อเป็นระบบปฏิบัติการส่งผ่านชุดคำสั่งพร้อมข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ให้เป็นระบบแบบแผนเฉพาะของประเทศไทยในอนาคต โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาระบบโครงข่ายจากต่างประเทศ

วันที่รับบทความ : 25 มี.ค. 67

วันที่แก้ไขบทความ : 9 มิ.ย. 67

วันที่ตอบรับบทความ : 17 มิ.ย. 67

คำสำคัญ : สงคราม, สัญญาณ, ข้อมูล

Abstract

In today's world, communication systems play a crucial role in military operations and command and control during wartime. Military communication tools, including encrypted communication devices, are essential for secure and reliable communication within the armed forces. Developing communication technologies is imperative to enhance the efficiency of command and control operations. It also enables rapid response to evolving situations during wartime. This article discusses strategies for developing military communication technology to align with Network Centric Warfare and to mitigate complexity while preventing data breaches. Initially, it will discuss Tactical Data Links (TDLs), their benefits, and then delve into Link-TH and Link 16, their applications in the military, advantages, and disadvantages. Finally, it will propose a development strategy for the Link-TH signal network, utilizing terahertz wave signals for communication to establish a dedicated system tailored to the needs of Thailand's military without relying on foreign network infrastructure.

Keywords : War, Signal, Information

บทนำ

ในปัจจุบันกองทัพไทยยังคงใช้การสื่อสารด้วยเสียงผ่านวิทยุเป็นหลักในการปฏิบัติการทางทหาร ซึ่งมีข้อจำกัดในแง่ความเร็ว ปริมาณข้อมูล และความเสถียร

ต่อการถูกดักฟังและรบกวนสัญญาณ (รัชมณฑรา สมประสงค์, 2565) ในขณะที่ประเทศส่วนใหญ่ทั่วโลก โดยเฉพาะมหาอำนาจทางการทหารอย่างสหรัฐอเมริกา (สหรัฐฯ), สหพันธรัฐรัสเซีย (รัสเซีย), สาธารณรัฐประชาชนจีน (จีน) และองค์การสนธิสัญญาแอตแลนติกเหนือหรือพันธมิตรนาโต (North Atlantic Treaty Organisation: NATO) ปรับเปลี่ยนไปสู่การใช้ระบบการเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี (Tactical Data Link: TDL) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบดิจิทัลความเร็วสูงผ่านเครือข่ายคลื่นวิทยุที่มีการเข้ารหัส (Andersson, Jouannet, Amadori & Krus, 2021; Jagietto, 2022; Petrov, 2023)

TDL ช่วยเพิ่มการตระหนักรู้สถานการณ์ (Situation Awareness) โดยเชื่อมโยงหน่วยต่าง ๆ ในสนามรบให้เห็นภาพเดียวกันแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถแชร์ข้อมูลเป้าหมาย อาวุธ คำสั่ง และเซนเซอร์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (ธนรัฐ ณะสมบุรณ์, 2564) ระบบนี้ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของแนวคิดการทำสงครามที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Warfare) ซึ่งมุ่งเน้นการบูรณาการกำลังรบผ่านการแลกเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัล (Li, Wu, Jiang, & Zhu, 2022)

การพึ่งพาเทคโนโลยี TDL จากต่างประเทศ โดยเฉพาะจากชาติตะวันตกจำเป็นต้องได้รับความยินยอมจากประเทศเจ้าของเทคโนโลยี ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและอธิปไตยของประเทศในยามขัดแย้งเพราะประเทศเจ้าของอาจควบคุมหรือจำกัดการเข้าถึงได้ ดังตัวอย่างในความขัดแย้งรัสเซีย-ยูเครนที่ประเทศตะวันตกคว่ำบาตรการส่งออกสินค้าเทคโนโลยีสารสนเทศให้แก่รัสเซีย ดังนั้น เพื่อลดความเสี่ยงด้านความมั่นคงและป้องกันไม่ให้ความขัดแย้งระหว่างชาติมหาอำนาจส่งผลกระทบต่อระบบการสื่อสารและการควบคุมบังคับบัญชาของกองทัพไทย ประเทศไทยจึงควรพัฒนา TDL ขึ้นใช้เองโดยไม่พึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างชาติ

โดยประเทศไทยสามารถอาศัยประสบการณ์จากกองทัพอากาศที่ได้รับเทคโนโลยีนี้มาพร้อมกับการจัดหาเครื่องบิน Gripen จากราชอาณาจักรสวีเดน (สวีเดน) ซึ่งเป็นประเทศผู้บุกเบิกแนวคิดการรบแบบเครือข่ายและใช้ TDL มาตั้งแต่ทศวรรษ 1950 ก่อนชาติอื่น ๆ มาใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอดในระดับประเทศต่อไป (Andersson, Jouannet, Amadori, & Krus, 2021)

หน่วยงานที่ดูแลการพัฒนา

การพัฒนาระบบสื่อสารโดยใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์ อาจต้องเกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ด้วย ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลการใช้คลื่นความถี่วิทยุและกิจการโทรคมนาคมของไทยโดยอาจมีประเด็นที่ต้องพิจารณา (ณัชพนธ์ มีแสง, 2564) ดังนี้

1. การจัดสรรคลื่นความถี่ : การใช้งานคลื่นเทระเฮิรตซ์จำเป็นต้องได้รับการจัดสรรย่านความถี่ที่เหมาะสมจาก กสทช. เพื่อป้องกันการรบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ๆ และเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดในระดับสากล ซึ่งอาจต้องมีการประสานงานและยื่นขออนุญาตใช้งานคลื่นความถี่จาก กสทช. ก่อนการพัฒนา ระบบ Link-TH

2. การกำหนดมาตรฐานทางเทคนิค : กสทช. มีหน้าที่ในการกำหนดมาตรฐานและข้อกำหนดทางเทคนิคของอุปกรณ์และระบบสื่อสารเพื่อให้มีความปลอดภัยและมีคุณภาพ ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์จึงต้องคำนึงถึงมาตรฐานและระเบียบที่เกี่ยวข้องของ กสทช. เพื่อให้มั่นใจว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติสอดคล้องกับข้อกำหนด

3. ข้อยกเว้นสำหรับกิจการความมั่นคง : โดยทั่วไป การใช้คลื่นความถี่วิทยุต้องได้รับอนุญาตจาก กสทช. อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีกิจการเพื่อความมั่นคงของรัฐ เช่น การใช้งานเพื่อป้องกันประเทศของกองทัพ อาจได้รับการยกเว้นหรือมีข้อกำหนดพิเศษในการขออนุญาตใช้คลื่นความถี่ ซึ่งเป็นประเด็นที่อาจต้องมีการหารือและประสานงานกับ กสทช. เพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสม

4. ผลกระทบต่อภาคพลเรือน : แม้ระบบ Link-TH จะมุ่งเน้นการใช้งานทางการทหารแต่การใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์ อาจมีผลกระทบต่อการใช้งานคลื่นความถี่ของภาคพลเรือนด้วย เช่น อาจมีการรบกวนต่อระบบสื่อสารพลเรือนที่ใช้ย่านความถี่ใกล้เคียง ดังนั้นจึงอาจต้องมีการศึกษาและประเมินผลกระทบด้านการใช้คลื่นความถี่ร่วมกับ กสทช. เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

ดังนั้น ในการพัฒนาระบบสื่อสาร Link-TH โดยใช้เทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์นั้นกองทัพและหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงควรมีการประสานงานและปรึกษาร่วมกับ กสทช. ตั้งแต่ในขั้นตอนการวางแผนและออกแบบระบบ เพื่อให้มั่นใจว่าการพัฒนาเทคโนโลยีเป็นไปอย่างสอดคล้องกับกฎระเบียบ ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้คลื่นความถี่ในวงกว้างและสามารถนำไปสู่การใช้งานจริงได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพสูงสุด

Tactical Data Link เป็นอย่างไร

Tactical Data Link เป็นการพัฒนาการเชื่อมโยงข้อมูลภายใต้แนวคิดการสงครามแบบใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Warfare: NCW) ระบบเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี (Tactical Data Link: TDL) คือ การรับ/ส่งข้อมูลแบบดิจิทัลผ่านรูปแบบของข้อมูลมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน ด้วยขีดความสามารถในการรับ/ส่งข้อมูล

แบบตามเวลาจริง การป้องกันการรบกวนทางสัญญาณ และการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งทำให้กองทัพสามารถรับรู้สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปของการปฏิบัติการต่าง ๆ ร่วมกัน การกำหนดเป้าหมายและการพิสูจน์ทราบฝ่าย เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจทางการทหารได้อย่างทันทั่วทั้งและมีประสิทธิภาพ (ธนรัฐ ณะสมบุรณ์, 2564)

Link-TH กับ Link 16

1. Link-TH เป็นคำย่อของ Link Training & Simulation Thailand ซึ่งเป็นบริษัทที่ให้บริการด้านการฝึกและจำลองการบินโดยมีฐานที่ประเทศไทย บริษัทนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาและให้บริการเทคโนโลยีที่ใช้ในการฝึกการบินและการจำลองเครื่องบิน ซึ่งอาจรวมถึงการสร้างซอฟต์แวร์การจำลองบินและการสร้างโมเดลของเครื่องบินเพื่อใช้ในการฝึก ผู้บิน ผู้ทำงานด้านอากาศยานและบุคลากรทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย บริษัท Link Training & Simulation Thailand เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มบริษัท Link Training & Simulation ซึ่งเป็นผู้นำด้านการจำลองและฝึกการบินในระดับโลก โดยมีลูกค้าหลายประเทศทั่วโลกที่ได้รับการบริการจากบริษัทในกลุ่มนี้ รวมถึงการให้บริการในด้านการฝึกและจำลองการบินให้แก่กองทัพอากาศและองค์กรทางการบินทั่วโลก

2. Link 16 เป็นระบบการสื่อสารแบบพิเศษทางทหารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องบินทางอากาศ ยานยนต์ทางบก และทางเรือที่เป็นเครื่องที่ได้รับการติดตั้งระบบนี้ ถือว่าเป็นมาตรฐานที่สำคัญสำหรับการสื่อสารระหว่างพื้นที่ทางทหาร ระบบ Link 16 สามารถให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสถานะของศัตรูหรือข้อมูลยุทธศาสตร์แก่บุคคลในหน่วยงานที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้ง ความเร็ว ทิศทาง และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

เป้าหมายระบบ Link 16 ยังมีความสามารถในการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่ส่งระหว่างเครื่องบินหรือยานยนต์ที่เป็นสมาชิกของเครือข่าย Link 16 อีกด้วย ในทางปฏิบัติระบบ Link 16 เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการปฏิบัติการทางทหารทั้งในฐานะของอำนาจทางทหารและอำนาจการสื่อสารในระดับของระบบสารสนเทศทางทหาร

Link 16 สื่อสารผ่านคลื่น UHF L-Band และมีระบบป้องกันการถูกรบกวนสัญญาณจากข้าศึก โดยแต่ละหน่วยสามารถส่งข้อมูลการรบสื่อสารกันผ่านเสียงส่งภาพวิดีโอ ข้อมูลการนำร่อง และข้อมูลเป้าหมายผ่านการเข้ารหัส และการใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ในลักษณะกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping Spread Spectrum: FHSS) โดย Link 16 คือ Link หลักของกองกำลังสหรัฐ NATO และประเทศพันธมิตรของสหรัฐฯ อื่น ๆ ในการสื่อสารกัน (Liu & He, 2022) และ Link-TH มีคุณสมบัติไม่ได้ต่างจาก Link 16 มากนัก แต่มีขีดความสามารถในการแบ่งปันข้อมูลด้วยตนเองระหว่างหมู่บินหรือระหว่างหน่วยต่าง ๆ ในสนามรบมากกว่าเน้นการส่งข้อมูลไปมาระหว่างหน่วยในสนามรบ และกองบัญชาการแบบ Link 16 เพื่อแสดงให้เห็นภาพ ก็คือ ปกติเครื่องที่ติด Link 16 จะรับเป้าหมายจากศูนย์บัญชาการภาคพื้นดินหรือเครื่อง Air Borne Early Warning and Control System (AWACS) เพื่อเข้าทำลายเป้าหมาย (Tian, Li, & Chen, 2023) แต่เครื่องที่ติด Link-TH จะสามารถตรวจจับและแลกเปลี่ยนเป้าหมายกันเองหรือให้เครื่องลำหนึ่งคือเป้าอีกลำหนึ่งใช้อาวุธแทนก็ได้ ทำให้เครื่องในหมู่บินหนึ่งอาจจะเปิดเรดาร์เพียงบางลำเพื่อซ่อนพรางได้เช่นกัน โดยรวมแล้ว Link 16 จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ส่งข้อมูลได้ไกลกว่า และรองรับจำนวนหน่วยในเครือข่ายได้มากกว่า และสามารถปฏิบัติงานร่วมกับต่างชาติที่ใช้ Link 16

เป็นหลักได้ เช่น สหรัฐฯ หรือสาธารณรัฐสิงคโปร์ (สิงคโปร์) ในอาเซียน ซึ่งเป็นสิ่งที่ Link-TH ที่มีพื้นฐานมาจาก Link ของสวีเดนไม่สามารถทำได้ และในปัจจุบันเองสวีเดนก็กำลังรับ Link 16 เข้ามาเป็นมาตรฐานใหม่ของประเทศ เพื่อให้กองกำลังของตนสามารถปฏิบัติงานร่วมกับกองกำลัง NATO ได้ เช่น Gripen ที่ติดตั้ง Link 16 เพิ่มเติมจนสามารถปฏิบัติงานร่วมกับกองกำลังชาติอื่นในปฏิบัติการ Unified Protector เหนือสาธารณรัฐสังคมนิยมประชาชนอาหรับลิเบีย (ลิเบีย) ได้ในอนาคต สวีเดนกำลังเพิ่มความสำคัญของ Link 16 ในการปฏิบัติการของตนมากขึ้น แต่ปัญหาที่สำคัญของการใช้ Link 16 ก็คือ การที่ต้องได้รับอนุญาตจากผู้ดูแลให้ใช้เครือข่ายได้ทุกครั้ง ซึ่งในกรณีของประเทศไทย คือ United States Indo-Pacific Command (USINDOPACOM) (Cook, Kurth, Patterson, West, & Herbert, 2021) หรือกองบัญชาการกองทัพอากาศพื้นอินโด-แปซิฟิกจะเป็นผู้ควบคุมเครือข่าย Link 16 ในเอเชียทั้งหมด ดังนั้นผู้ใช้ Link 16 จำเป็นต้องได้รับการอนุมัติและได้รับรหัสผ่านจาก USINDOPACOM ของสหรัฐฯ ทุกครั้งที่มีการเปิดใช้ Link 16 โดย USINDOPACOM จะสามารถมองเห็นความเคลื่อนไหวเครื่องบินของไทยที่ใช้ Link 16 ได้นอกจากนั้นสหรัฐฯ ยังไม่อนุญาตให้มีการใช้ Link สอง Link ในเวลาพร้อม ๆ กัน เช่น ถ้าใช้ Link 16 จำเป็นต้องปิด Link-TH หรือถ้าใช้ Link-TH ก็จะไม่สามารถเปิด Link 16 ใช้งานพร้อมกันได้ เพื่อความปลอดภัยของการส่งข้อมูลซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญสำหรับชาติที่ต้องการใช้ Link 16 ซึ่งนั่นหมายถึง การที่ประเทศไทยจะไม่สามารถควบคุมและดูแล Link ของตนเองได้ทั้งหมด และต้องยกการดูแลให้กับสหรัฐฯ ในบางส่วน ถ้าต้องการใช้ Link 16 และการติดตั้ง Link 16 พร้อมกับ Link-TH นั้น ต้องได้รับอนุมัติจากสหรัฐฯ และอาจต้องมีค่าใช้จ่ายในการวิจัยและติดตั้ง Link-TH โดยอาจต้องใช้เงินหลายร้อยล้านบาท เนื่องจากต้องทำการวิจัยและรับรองการติดตั้ง Link-TH

บนอากาศยาน ซึ่งนับเป็นครั้งแรกของโลกบนอากาศยานนั้น ๆ สหรัฐฯ จึงมองแนวโน้มว่าจะเป็นการดีกว่าที่ประเทศไทยจะมาใช้ Link 16 เพื่อให้ใช้งานร่วมกับประเทศอื่น ๆ ได้ดีกว่าจะลงทุนใช้ Link ของตนเองและไม่สามารถปฏิบัติงานร่วมกับใครได้ ในปัจจุบันกองทัพอากาศจึงมีแนวทางในการใช้ Link สอง Link ควบคู่กันไป โดยเครื่องบินที่ได้รับอนุญาตจากผู้ผลิตให้เข้าถึง Mission Computer ได้นั้น กองทัพอากาศจะดำเนินการติดตั้ง Link-TH เพื่อให้เข้ามาในเครือข่าย เช่น บน Gripen (กองทัพอากาศ, 2564ก), Saab 340 AEW/ELINT, Alphajet, T-50TH, AT-6TH, และ F-5TH (Chuanran, 2020a) ในส่วนของ F-16 ผู่ 403 ที่ติดตั้ง Link 16 และไม่ได้รับอนุญาตให้แก้ไข Mission Computer นั้น จะใช้งาน Link 16 ระหว่างฝูงและกองบัญชาการภาคพื้นดินหรือใช้ในการปฏิบัติการร่วมกับชาติพันธมิตร เช่น สหรัฐฯ หรือสิงคโปร์เท่านั้น ถ้าต้องการสื่อสารกับ Gripen, Alphajet, T-50TH, AT-6TH หรือ F-5TH จะยังต้องใช้การสื่อสารผ่านวิทยุปกติอยู่เช่นเดิม ดังนั้นขีดความสามารถในการติดตั้ง Link-TH หรือการรับเทคโนโลยี Tactical Data Link จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญในการเลือกแบบเครื่องบินขับไล่แบบใหม่ที่จะมาทดแทน F-16ADF ผู่ 102 ที่กำลังจะปลดประจำการ ทำให้ผู้ที่เข้าแข่งขันต้องพยายามเสนอตัวเลือกและข้อเสนอเหล่านี้ให้กองทัพอากาศพิจารณา โดยเฉพาะจากสองตัวเต็งอย่าง F-16V และ Gripen E/F

คุณสมบัติและฟังก์ชันเฉพาะของ Link-TH ที่ทำให้แตกต่างจากระบบ Link 16:

1. ความสามารถในการแบ่งปันข้อมูลระหว่างหมู่บินหรือหน่วยในสนามรบ : Link-TH เน้นการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องบินในหมู่บินหรือหน่วยในสนามรบมากกว่าการส่งข้อมูลระหว่างหน่วยในสนามรบและกองบัญชาการแบบ Link 16 เช่น เครื่องบินที่ติด Link-TH จะสามารถตรวจจับและแลกเปลี่ยนเป้าหมายกันเองได้

โดยเครื่องลำหนึ่งถือคเป้าอีกลำหนึ่งสามารถใช้อาวุธแทนได้ ทำให้เครื่องในหมู่บินเปิดเรดาร์เพียงบางลำเพื่อซ่อนพรางได้ (Chuanran, 2020b; กองทัพอากาศ, 2564ข)

2. ความเข้ากันได้กับระบบ Link 16: Link-TH พัฒนาขึ้นจาก Tactical Data Link ของสวีเดน ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐาน Link 16 ที่ใช้โดยสหรัฐอเมริกา NATO และพันธมิตร ทำให้อาจไม่สามารถใช้งานร่วมกับระบบ Link 16 ได้โดยตรงจึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งหรือพัฒนาระบบเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้ (Cook, Varela, & Andersen, 2021)

3. การควบคุมโดยกองทัพไทย : ระบบ Link 16 อยู่ภายใต้การควบคุมของกองบัญชาการกองทัพอากาศภาคพื้นอินโด-แปซิฟิก (USINDOPACOM) ซึ่งจะอนุมัติการใช้งานและมอบรหัสผ่านให้ทุกครั้งที่มีการเปิดใช้ แต่ Link-TH จะถูกควบคุมโดยกองทัพไทยเองทำให้มีความคล่องตัวในการใช้งานและไม่ต้องพึ่งพาการอนุมัติจากต่างชาติ (Chuanran, 2020b)

4. ต้นทุนการพัฒนา : การพัฒนาและติดตั้ง Link-TH บนเครื่องบินรบของไทย เช่น Gripen, Alpha Jet, T-50TH เป็นต้น อาจต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก เนื่องจากเป็นการพัฒนาระบบขึ้นใหม่และต้องได้รับ

การรับรองความปลอดภัยก่อนติดตั้งบนอากาศยาน ในขณะที่การใช้ Link 16 ซึ่งเป็นระบบสำเร็จรูปอาจประหยัดต้นทุนในส่วนนี้ได้ (Chuanran, 2020a)

5. ความปลอดภัยของข้อมูล : เนื่องจาก Link-TH เป็นระบบที่พัฒนาโดยกองทัพไทยจึงอาจมีความปลอดภัยของข้อมูลและการเข้ารหัสที่เข้มงวดกว่า Link 16 ซึ่งเป็นระบบมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทำให้เสี่ยงต่อการถูกดักฟังหรือแฮ็กได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม Link 16 ก็มีการพัฒนาอย่างยาวนาน และมีมาตรการรักษาความปลอดภัยที่เข้มงวดเช่นกัน (Liu & He, 2022)

ทั้งนี้ กองทัพอากาศไทยมีแนวทางในการใช้ ทั้ง Link-TH และ Link 16 ควบคู่กันไปโดยติดตั้ง Link-TH บนเครื่องบินที่ได้รับอนุญาตให้เข้าถึง Mission Computer เช่น Gripen, Saab 340 AEW, Alpha Jet, หรือ T-50TH เป็นต้น ส่วนเครื่องบินที่ไม่สามารถแก้ไข Mission Computer เช่น F-16 จะใช้ Link 16 เพื่อสื่อสารภายในฝูงหรือปฏิบัติการร่วมกับชาติพันธมิตร ความสามารถในการติดตั้ง Link-TH หรือรับเทคโนโลยี Data Link จึงเป็นหนึ่งในเงื่อนไขการเลือกเครื่องบินรบรุ่นใหม่ของกองทัพอากาศในอนาคตด้วย (Chuanran, 2020a; กองทัพอากาศ, 2564ก, 2564ข)



ภาพที่ 1 Data Link Terminal บน Gripen

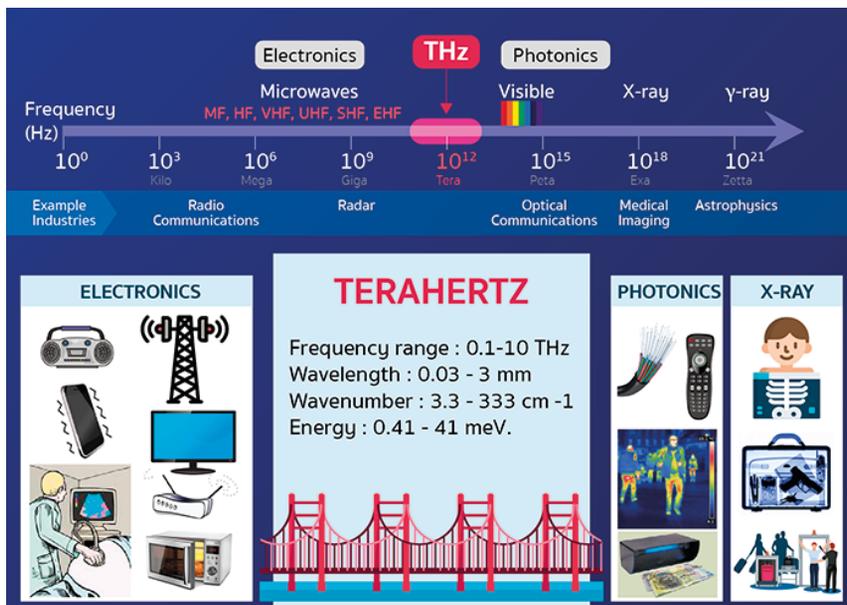
ที่มา : กองทัพอากาศ, 2564ข

แนวทางการพัฒนา Link-TH

ในมุมมองของผู้เขียนนั้นการพัฒนาคลื่นในการส่งสัญญาณเป็นอย่างแรกที่เหมาะสมทำ Link 16 และ Link-TH ที่ใช้การสื่อสารผ่านคลื่น UHF L-Band ซึ่งเป็นคลื่นวิทยุความถี่อยู่ที่ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3 กิกกะเฮิร์ตซ์ และใช้การเข้ารหัสแบบ Frequency Hoping หากทำการพัฒนาเพื่อให้เป็นเอกเทศควรใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเทระเฮิร์ตซ์ ซึ่งมีความละเอียดและมีความสามารถในการทะลุผ่านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเทระเฮิร์ตซ์คือย่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแถบช่วงคลื่นสุดท้ายที่นักวิทยาศาสตร์ และนักวิจัยกำลังศึกษาและพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และอุตสาหกรรม โดยคลื่นเทระเฮิร์ตซ์มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นไมโครเวฟและคลื่นอินฟราเรดหรือมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 30 ไมโครเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร และมีคุณลักษณะเด่นเฉพาะตัวของคลื่นความถี่ในย่านนี้คือ มีความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต (Non-ionizing) (Zhang, Li,

& Le, 2021; Wang et al., 2023) เนื่องจากมีพลังงานต่ำเมื่อเทียบกับคลื่นรังสีเอกซ์ (X-Ray) สามารถทะลุทะลวงผ่านวัสดุส่วนมากที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (Dielectric Materials) เช่น กระจก พลาสติก ผ้า และไม้ รวมถึงมีความสามารถในการตรวจจับและระบุชนิดของสารเคมี ที่น่าสนใจ เช่น กรดอะมิโน ยาปฏิชีวนะ หรือแม้กระทั่งสารตั้งต้นของวัตถุระเบิด ทำให้มีงานวิจัยและพัฒนา นำคลื่นความถี่ในย่านนี้มาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในศาสตร์ต่าง ๆ

ในด้านการสื่อสารโดยใช้สัญญาณคลื่นเทระเฮิร์ตซ์เป็นกระบวนการที่ใช้คลื่นไฟฟ้า โดยไม่ใช้สายเพื่อสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ มักนิยมใช้ในการสื่อสารแบบไร้สาย เช่น การส่งข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) หรือการสื่อสารทางโทรทัศนดิิจิทัล (DTV) ซึ่งมีลักษณะทางไฟฟ้าของคลื่นโดยมีความถี่สูง และคลื่นแบบไร้สายที่ใช้ในเครือข่ายนี้มีความสามารถในการแพร่กระจายได้กว้างขวางโดยไม่มีข้อกำหนดของตำแหน่งที่แน่นอน เป็นต้น (ศศิวิภา หาสุข, 2562)



ภาพที่ 2 การแสดงระดับคลื่นความถี่ของสัญญาณเทระเฮิร์ตซ์
 ที่มา : ศศิวิภา หาสุข, 2562

ความท้าทายและการพัฒนา

การนำเทคโนโลยีคลื่นเทระเฮิรตซ์มาใช้ในระบบสื่อสารทางการทหารอย่าง Tactical Data Link ถือเป็นแนวทางที่น่าสนใจและมีศักยภาพสูงในการยกระดับขีดความสามารถของกองทัพไทยให้ทัดเทียมกับประเทศชั้นนำและลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างชาติ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบ Link-TH โดยใช้คลื่นเทระเฮิรตซ์นั้น ยังมีความท้าทายและข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการที่ควรนำมาพิจารณาดังนี้

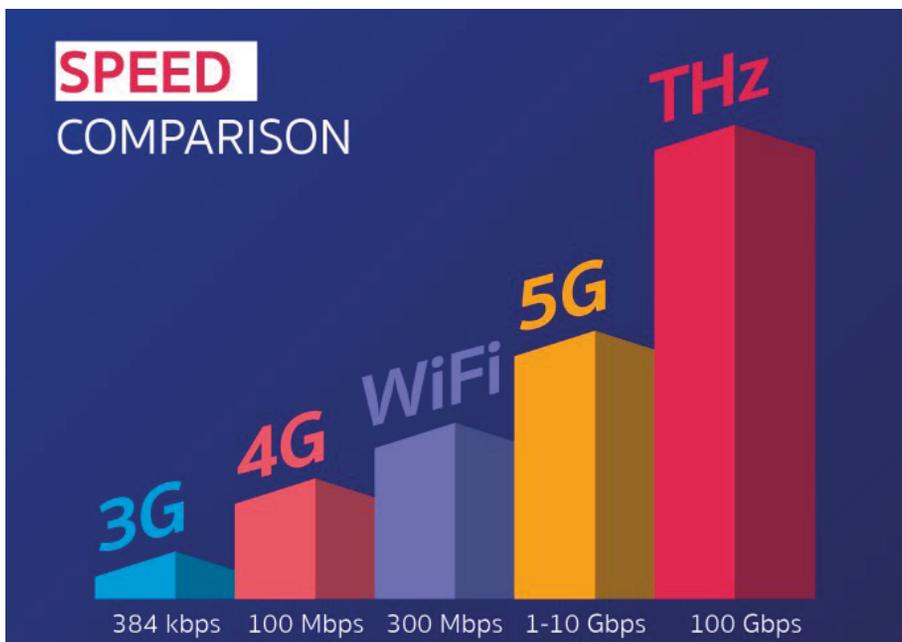
1. ระยะเวลาการสื่อสาร : คลื่นเทระเฮิรตซ์มีความยาวคลื่นสั้นและสูญเสียพลังงานได้ง่ายกว่าคลื่นความถี่วิทยุ จึงมีระยะเวลาการสื่อสารที่สั้นกว่า ซึ่งอาจจำกัดการใช้งานในภารกิจที่ต้องการส่งข้อมูลระยะไกล เช่น การลาดตระเวนหรือการประสานงานระหว่างหน่วยในพื้นที่กว้าง

2. การลดทอนสัญญาณ : คลื่นเทระเฮิรตซ์มีความเสี่ยงต่อการลดทอนสัญญาณและสูญเสียกำลังส่ง

เนื่องจากปัจจัยแวดล้อม เช่น ไอน้ำ ฝุ่นละออง และสภาพอากาศ ซึ่งอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพและความเสถียรของการสื่อสารลดลง โดยเฉพาะในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย

3. ต้นทุนการพัฒนา : การสร้างระบบ Link-TH ด้วยเทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์อาจมีต้นทุนในการวิจัยและพัฒนาสูงกว่าการใช้ระบบ Link 16 ที่เป็นมาตรฐานสากล เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ยังไม่แพร่หลาย และมีอุปกรณ์รองรับจำกัด จึงอาจต้องใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมากในการออกแบบและทดสอบระบบใหม่ทั้งหมด

4. ความเข้ากันได้กับระบบเดิม : การปรับเปลี่ยนไปใช้ Link-TH อาจทำให้เกิดปัญหาความเข้ากันไม่ได้กับอุปกรณ์และซอฟต์แวร์เดิมที่ใช้ระบบ Link 16 ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในการติดตั้ง จึงอาจส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติงานและงบประมาณในระยะสั้น



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลของคลื่นสัญญาณเทระเฮิรตซ์กับเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์ ในปัจจุบัน
ที่มา : ศศิวภา หาสุข, 2562

หากมองในแง่ผลประโยชน์ในระยะยาวการพัฒนา Link-TH ให้มีประสิทธิภาพสูงและตอบโจทย์การใช้งานจริงได้ ก็จะช่วยให้อุตสาหกรรมไทยมีระบบสื่อสารที่ทันสมัยปลอดภัย และครอบครองเทคโนโลยีที่เป็นอิสระไม่ต้องพึ่งพาหรือถูกควบคุมโดยต่างชาติ ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงปลอดภัยทางการทหารและเทคโนโลยีในระยะยาว รวมถึงรองรับการปฏิบัติการที่ใช้ข้อมูลเข้มข้นในอนาคต

ทั้งนี้ ผู้เขียนเสนอว่าควรมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของเทคโนโลยีทะเลิธเรอิตซ์ทั้งในด้านการขยายระยะสัญญาณ การต้านทานการรบกวน การประยุกต์ใช้งานจริง และการลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้สามารถนำศักยภาพของคลื่นทะเลิธเรอิตซ์มาใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และบรรลุเป้าหมายในการมีระบบ Tactical Data Link ที่เป็นเอกเทศสำหรับกองทัพไทยซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญของการปฏิรูปและพัฒนากองทัพให้ทันสมัยและแข็งแกร่งในระยะยาวต่อไป

บทวิเคราะห์

การพึ่งพาการอนุมัติจากสหรัฐฯ ในการใช้งาน Link 16 ของไทยนั้นสะท้อนให้เห็นถึงความท้าทายในการสร้างสมดุลระหว่างการควบคุมระบบการสื่อสารในระดับชาติกับความจำเป็นในการทำงานร่วมกับพันธมิตรต่างชาติ (Liu & He, 2022)

1. อธิปไตยทางไซเบอร์ : การที่ต้องได้รับอนุมัติจากต่างชาติในการใช้งานระบบสื่อสารภายในประเทศ อาจถือเป็นการลดทอนอธิปไตยทางไซเบอร์ (Cyber Sovereignty) ของชาติในระดับหนึ่ง เนื่องจากไม่สามารถกำหนดนโยบายและควบคุมการใช้งานได้อย่างเบ็ดเสร็จ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงและผลประโยชน์ของชาติในยามวิกฤต (Couture, 2022; Corballis & Soner, 2022)

2. ความเสี่ยงด้านความปลอดภัย : แม้ระบบ Link 16 จะมีการเข้ารหัสและป้องกันการแฮ็ค แต่การที่ชาติผู้ให้บริการสามารถเข้าถึงและควบคุมการใช้งานได้ ก็อาจเป็นช่องโหว่ให้เกิดการรั่วไหลหรือดักฟังข้อมูลสำคัญได้ ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่ต้องคำนึงถึงและจัดการอย่างรอบคอบ

3. ความยืดหยุ่นในการปรับแต่ง : การใช้ระบบ Link 16 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลอาจมีข้อจำกัดในการปรับแต่งให้สอดคล้องกับความต้องการเฉพาะทางยุทธวิธีของกองทัพไทย เนื่องจากต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้พัฒนาหลักในขณะที่ระบบ Link-TH ที่พัฒนาขึ้นเองนั้นสามารถออกแบบฟังก์ชันให้ตรงกับความต้องการได้มากกว่า (Chauhan & Gupta, 2019)

4. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจ : ระบบ Link 16 ในฐานะมาตรฐานสากลมีต้นทุนการพัฒนาที่กระจายไปยังผู้ใช้งานจำนวนมาก จึงอาจมีความคุ้มค่ามากกว่าการลงทุนพัฒนา Link-TH จากศูนย์ อย่างไรก็ตาม การพึ่งพาระบบต่างชาตินั้น ก็อาจมีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ บำรุงรักษา และฝึกอบรมในระยะยาวซึ่งต้องพิจารณาอย่างรอบด้าน

5. การถ่ายทอดเทคโนโลยี : แม้การพัฒนา Link-TH อาจมีต้นทุนสูงแต่กระบวนการนี้จะช่วยสร้างองค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่บุคลากรและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาขีดความสามารถในอนาคต (Balakrishnan & Lazer, 2023)

6. ข้อกฎหมายและข้อตกลงระหว่างประเทศ : การควบคุมการเข้าถึงเทคโนโลยี Link 16 โดยสหรัฐฯ อาจเป็นไปตามข้อกฎหมายและข้อตกลงระหว่างประเทศด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางการทหาร ซึ่งประเทศผู้รับต้องปฏิบัติตามเพื่อไม่ให้เกิดความขัดแย้งทางการทูตหรือการค้า (Dobrkovic, Iacob, & van Hillegersberg, 2018)

ทั้งนี้ การตัดสินใจเลือกใช้ระบบ Tactical Data Link จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ อย่างรอบด้าน ทั้งในแง่ความมั่นคง เทคโนโลยี งบประมาณ และความร่วมมือระหว่างประเทศ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อขีดความสามารถของกองทัพและผลประโยชน์ของชาติในระยะยาว (Hauge et al., 2020)

ในการพัฒนาระบบ Link-TH โดยใช้เทคโนโลยีคลื่นทะเลิธเรอิตซ์สำหรับการสื่อสารทางทหารของกองทัพไทยนั้น มีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี :

1. เพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล : คลื่นเทระเฮิรตซ์มีความถี่สูงและลักษณะการแพร่กระจายที่จำกัด ทำให้ยากต่อการดักจับและขโมยข้อมูลจากภายนอก
2. เพิ่มความจุข้อมูล : คลื่นเทระเฮิรตซ์มีแบนด์วิดท์กว้างกว่าคลื่นความถี่วิทยุ ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมาณมากและรวดเร็วขึ้น เหมาะสำหรับการรับส่งข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ภาพเรดาร์และวิดีโอ
3. ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างชาติ : การพัฒนา Link-TH ขึ้นเองช่วยให้กองทัพไทยมีอิสระในการใช้งานและปรับแต่งระบบโดยไม่ต้องขึ้นกับเงื่อนไขของประเทศผู้ผลิต ซึ่งเสริมสร้างความมั่นคงและอธิปไตยทางเทคโนโลยี
4. ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาในประเทศ : การลงทุนวิจัย Link-TH จะกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีสื่อสารภายในประเทศ ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญของการพึ่งพาตนเองทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในอนาคต

ข้อเสีย :

1. ระยะการสื่อสารจำกัด : คลื่นเทระเฮิรตซ์เดินทางได้ระยะสั้นกว่าคลื่นวิทยุจึงจำเป็นต้องมีสถานีรับส่งสัญญาณจำนวนมากเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ซึ่งอาจเพิ่มต้นทุนในการติดตั้งและบำรุงรักษา
2. มีความเสี่ยงต่อการรบกวนจากสภาพแวดล้อม : คลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถถูกดูดซับโดยไอน้ำ ฝุ่นละออง และสิ่งกีดขวางได้ง่ายจึงมีโอกาสเกิดการลดทอนสัญญาณและความผิดพลาดในการส่งข้อมูลเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม
3. ต้นทุนการพัฒนาสูงในระยะสั้น : การสร้างระบบ Link-TH ตั้งแต่ศูนย์ต้องใช้เงินลงทุนสูงในการวิจัยและพัฒนา รวมถึงการจัดซื้ออุปกรณ์และการฝึกอบรมบุคลากร ซึ่งอาจกระทบต่องบประมาณในระยะสั้น
4. ความเข้ากันได้กับระบบเดิม : การเปลี่ยนผ่านจาก Link 16 ไปสู่ Link-TH อาจมีความยุ่งยากในการเชื่อมต่อและแปลงสัญญาณระหว่างระบบเก่าและใหม่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความต่อเนื่องของการสื่อสารในระหว่างการเปลี่ยนผ่าน

บทสรุป

การใช้เทระเฮิรตซ์ (Terahertz) เป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการสื่อสารร่วมกับระบบ Link-TH โดยสรุปแนวทางการใช้งานได้ดังนี้

1. ความเร็วในการสื่อสาร : เทระเฮิรตซ์มีความถี่สูงกว่าคลื่นแสงเรียกได้ว่าเป็น “โอกาสได้เทคโนโลยี” ที่มีความสามารถในการให้ความเร็วในการสื่อสารที่สูงขึ้นซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร และการถ่ายโอนข้อมูลได้มากขึ้น
2. ความเป็นอิสระทางกายภาพ : คลื่นเทระเฮิรตซ์สามารถแพร่กระจายได้ในอากาศโดยไม่ต้อง มีการบังคับให้มีการมองเห็นตรงหน้าทำให้เครือข่ายสื่อสารแบบนี้มีความเป็นอิสระทางกายภาพสูง
3. ความปลอดภัย : การใช้เทระเฮิรตซ์ในการสื่อสารสามารถมองเห็นได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งทำให้เครือข่ายนี้มีความปลอดภัยจากการยืมและการดักฟังข้อมูลจากภายนอก
4. การใช้งานในสถานที่ที่มีความเสี่ยง : เทระเฮิรตซ์สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความปลอดภัย และการรบกวนจากคลื่นไฟฟ้าแบบไม่มีสายได้ เช่น โรงงาน หรือโรงพยาบาล
5. การใช้งานในสถานที่ที่ต้องการความเร็วสูง : เทระเฮิรตซ์สามารถให้ความเร็วในการสื่อสาร ที่สูงกว่าคลื่น Wi-Fi และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในสถานที่ที่ต้องการความเร็วสูง เช่น สนามบิน ห้องปฏิบัติการ หรือสถานที่ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความต้องการความเร็วสูง

ข้อเสนอแนะ

1. สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง : รัฐบาลและกองทัพควรจัดสรรงบประมาณและทรัพยากรอย่างเพียงพอเพื่อสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดและพัฒนาขีดความสามารถของระบบ Link-TH ให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป

2. เร่งพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีสื่อสาร : ควรมีการผลักดันให้สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัยผลิตและพัฒนาบุคลากรที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์และการสื่อสารทางทหาร เพื่อรองรับความต้องการของการพัฒนาระบบ Link-TH ในระยะยาว

3. สร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และมหาวิทยาลัย : การพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วน ทั้งในด้านการระดมทุน การแบ่งปันองค์ความรู้ และการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น จึงควรสร้างเครือข่ายความร่วมมือที่แข็งแกร่งระหว่างหน่วยงานวิจัยของรัฐ บริษัทเอกชนในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ และมหาวิทยาลัยชั้นนำเพื่อเร่งให้เกิดการพัฒนาที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

4. วางแผนการเปลี่ยนผ่านอย่างเป็นขั้นตอน : การแทนที่ระบบ Link 16 ด้วย Link-TH ควรทำอย่าง

ค่อยเป็นค่อยไปและมีการวางแผนอย่างรอบคอบ โดยอาจเริ่มจากการทดลองใช้ในหน่วยงานขนาดเล็กก่อน แล้วจึงขยายสู่การใช้งานในวงกว้างเมื่อมั่นใจในประสิทธิภาพและความเสถียรแล้ว พร้อมทั้งจัดการฝึกอบรมและซักซ้อมการใช้งานอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนผ่านที่ราบรื่นและไม่ส่งผลกระทบต่อขีดความสามารถของกองทัพ

การพัฒนาระบบ Link-TH ด้วยเทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์เป็นความท้าทายและโอกาสสำคัญสำหรับกองทัพไทยในการยกระดับการสื่อสารและการปฏิบัติการทางทหารให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด แม้จะมีอุปสรรคและต้นทุนที่ต้องเผชิญในระยะสั้น แต่หากมีความมุ่งมั่นและการดำเนินการอย่างเป็นระบบแล้ว ก็จะสามารถบรรลุเป้าหมายในการมีเทคโนโลยีที่เป็นเอกเทศและก้าวทันนานาประเทศได้ในที่สุดซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญของการเสริมสร้างความมั่นคงและอำนาจของชาติในโลกยุคดิจิทัลต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กองทัพอากาศ. (2564ก). Gripen และ Link-TH: ขีดความสามารถใหม่ของกองทัพอากาศไทย. *นิตยสารกองทัพอากาศ*, 64(3), 10-15.
- _____. (2564ข). *Link-TH vs. Link-16 คืออะไร ต่างกันอย่างไร ไทยใช้ Link ไหนดี*. สืบค้นเมื่อ 28 สิงหาคม 2566, จาก <https://thaiarmedforce.com/2021/01/10/link-th-vs-link-16/>
- ณัชพันธ์ มีแสง. (2021). *บทบาทและหน้าที่ของสำนักงาน กสทช. ต่อการจัดระเบียบสายสื่อสาร* (ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- ธนรัฐ ธนะสมบุญ. (2564). *แนวโน้มเทคโนโลยียานรบทางทหารปี ค.ศ. 2021-2030* (รายงานวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ). สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ.
- รัมณร่า สมประสงค์. (2565). *สมรรถนะดิจิทัลขององค์การทหาร : การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจและเชิงยืนยัน พหุระดับ* (ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- ศศิวิภา หาสุข. (บ.ก.). (2562). *“เทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์” กับการประยุกต์ใช้งานในประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อ 28 สิงหาคม 2566, จาก <https://www.nectec.or.th/research/research-project/terahertz-for-thailand.html>
- Andersson, K., Andersson, K., Jouannet, C., Amadori, K., & Krus, P. (2021). System of systems lessons to be learned in the development of air power for the future—a small state's perspective. *Aerospace Research Central*, 2022-1471.

- Balakrishnan, K., & Lazer, Z. (2023). *Aisa-Pacific defense and Security Outlook, Arming the region in the era of big Power Competition*. New York: Routledge.
- Chauhan, S., & Gupta, P. (2019). Tactical Data Links: A comparative study of Link 16 and indigenous systems. *Defence Science Journal*, 69(4), 376-382.
- Chuanran, C. (2020a). Royal Thai air force outlines procurement priorities. *Informit*.
- Chuanran, L. (2020b). Thailand's pursuit of indigenous Tactical Data Link: Development of Link-TH for RTAF fighter fleet. *Asian Military Review*, 28(6), 22-27.
- Cook, M., Varela, G., & Andersen, B. (2021). Interoperability challenges in Tactical Data Links: A comparative study of Link 16 and indigenous systems. *Journal of Defense Technology*, 17(3), 215-224.
- Cook, R., Kurth, K., Patterson, S., West, L., & Herbert, S., (2021). Creating an English development strategy for countries in the USINDOPACOM area of responsibility. In *Proceeding of the annual general Donald R. Keith memorial conference west point*.
- Corballis, T., & Sonar, M. (2022). Utopia of abstraction: Digital organizations and the promise of sovereignty. *Big Data & Society*, 9(1).
- Couture, J. M. (2022). Cyberspace as a domain of sovereignty: Implications for national security. *Journal of Information Warfare*, 21(1), 43-57.
- Dobrkovic, A., Iacob, M. E., & van Hillegersberg, J. (2018). Maritime pattern extraction and route reconstruction from AIS data. *International Journal of Data Science and Analytics*, 5(2), 111-136.
- Hauge, M., Holtzer, A., Drijver, F., Hegland, A. M., Barz, C., Kirchhoff, J., & Rogge, H. (2020). Inter-network interoperability for heterogeneous networks at the tactical edge. In *2020 Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS)* (p.1-7). Canberra : Australian Capital Territory.
- Li, J., Wu, J., Jiang, G., & Zhu, T. (2022). Joint optimization of UAV position, user association, and power control for space-air-ground networks with decode-and-forward relaying. *IEEE Wireless Communications Letters*, 11(1), 166-170.
- Liu, W., & He, Y., (2022). Application of US military data link in typical weapon and equipment. *Journal of engineering mechanics and machinery*. 7(3) 1-5
- Tian, W., Li, F., & Chen, C. (2023). Modeling and simulation of link 16 message distribution in operational application. In *IEEE 6th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT)* (p.886-890).
- Wang, Y., Xiong, Y., Chen, M., Liu, F., He, H., Ma, Q., Gao, P., Xiang, G., & Zhang, L., (2023). The biological effects of terahertz wave radiation-induced injury on neural stem cells. *iScience*. 26(10) 1-17
- Zhang, J., Li, S., & Le. W., (2021) Advance of terahertz technology in neuroscience: current status and a future perspective. *iScience*, 24(12).