การกำเนิดเสียงของโซนาร์ที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ

Sonar Sound Generation that Affects Underwater Object Detection

อัศนัย ไทรบุญจันทร์[1]
Atsanai Saibuchan[1]

Received : January 28, 2021
Revised : May 3,2021
Accepted : May 5,2021

บทคัดย่อ

อุปกรณ์โซนาร์แบบ Active เครื่องแรกถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Alexander Behm ในปี ค.ศ.1913 ตั้งแต่นั้นมาการใช้งานเสียงใต้น้ำมีความแพร่หลายและมีความสำคัญมากขึ้นโดยเฉพาะด้านการสำรวจและการสงคราม จากนั้นก็มีการพัฒนาต่อยอดเพื่อจุดประสงค์การใช้งานที่หลากหลาย เช่น Sidescan Sonar, Sub- bottom Profiler, MultiBeam Echo Sounder, Forward Looking Sonar, Single-Beam Echo Sounder ฯลฯ การใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดต้องคำนึงถึงปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลางการเดินทางของเสียง และคุณลักษณะของเป้าหมายที่เสียงสะท้อนกลับมา บทความนี้จะกล่าวถึงการกำเนิดเสียงของโซนาร์ที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ โดยจะเน้นให้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยแรก คือ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการใช้งานเสียงในโซนาร์ คุณสมบัติต่าง ๆ ของเสียงจากแหล่งกำเนิด เช่น ความถี่ ความแรง รูปร่าง และความยาวช่วงเสียง ต่างส่งผลต่อคุณสมบัติในการตรวจจับรูปลักษณ์ใต้น้ำโซนาร์ เช่น ขนาด ระยะทาง จำนวน และรูปร่างของวัตถุ ความเข้าใจเกี่ยวกับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ปรากฏในบทความนี้สามารถนำมาประยุกต์กับการใช้งานอุปกรณ์โซนาร์ทุกประเภทที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้

คำสำคัญ: การตรวจจับด้วยเสียง, การตรวจจับใต้น้ำ, เสียงใต้น้ำ

[1]กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Department of Hydrographic Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy
Email: ianasta@hotmail.com

Abstract

The first active sonar was invented by Alexander Behm, a German physicist in 1913, since then this equipment influences the practical and importance of underwater acoustic usability especially in survey and military purpose. After that, many types of sonar were developed for different purposes such as Sidescan Sonar, Sub-bottom Profiler, MultiBeam Echo sounder, Forward Looking Sonar, Single-Beam Echo Sounder. To use these sonar systems with the fullest capability, there are 3 main factors that have to be concerned which are sound wave generated from Transducer, sound medium and target characteristics. This article will focus on the sonar acoustic generation that effects underwater object detection which emphasis on the first factor, the sound wave from Transducer, which is the basis of using the sonar sound. The characteristics of the sound produced by sonar such as frequency, amplitude, shape and pulse can determine the sonar object detection capabilities such as size, distance, number and shape. The understanding of underwater sound in this article can be applied for any type of the sonar system used in the present.

Keywords: sound detection, underwater detection, underwater acoustic

1. บทนำ

การใช้งานเสียงใต้น้ำมีการบันทึกมาตั้งแต่สมัย ค.ศ.1490 แต่การใช้งานเสียงใต้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพโดยอุปกรณ์โซนาร์แบบ Active นั้นเริ่มในปี ค.ศ.1913 อุปกรณ์โซนาร์แบบ Active เครื่องแรกถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Alexander Behm เพื่อใช้หยั่งความลึกน้ำเป็นหลัก นับแต่นั้นมาอุปกรณ์เสียงใต้น้ำถูกพัฒนาขึ้นเป็นลำดับเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น โซนาร์เพื่อใช้งานทางทหารแบบต่าง ๆ ทั้งที่ติดตั้งในเรือผิวน้ำและเรือดำน้ำ, โซนาร์ที่ใช้ในการประมง, โซนาร์สำหรับการสำรวจทั้ง MultiBeam Echo Sounder, Sidescan Sonar, Sub-bottom Profiler หรือโซนาร์ที่ใช้เพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ เช่น Forward Looking Sonar, Single-Beam Echo Sounder เป็นต้น แม้จะมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่หลากหลายแต่จุดประสงค์หลักในการใช้งานโซนาร์คือการตรวจจับเป้าหมายอย่างใดอย่างหนึ่งและต่างก็ใช้คลื่นเสียงเพื่อการตรวจจับเป้าหมายนั้นๆ การตรวจจับวัตถุใต้น้ำนั้นมีปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา 3 ปัจจัยคือ การกำเนิดเสียง, การเคลื่อนที่ของเสียงในตัวกลาง, และการสะท้อนเสียงของเป้าหมาย เนื้อหาในบทความนี้เน้นเรื่องการกำเนิดเสียงว่าเสียงที่ถูกผลิตออกมามีคุณสมบัติอย่างไรและคุณสมบัติแต่ละอย่างจะส่งผลอย่างไรกับการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจว่าค่าคุณสมบัติต่างๆ ของเสียงโซนาร์นั้นจะส่งผลอย่างไรกับการตรวจจับวัตถุใต้น้ำเพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้

กับระบบโซนาร์ที่ตนใช้งานอยู่ ทั้งนี้การที่จะตั้งค่าการใช้งานโซนาร์ให้สามารถตรวจจับวัตถุใต้น้ำได้ทุกประเภท ทุกขนาด ทุกทิศทาง ทุกระยะ ในปัจจุบันยังไม่มีโซนาร์ระบบใดสามารถทำได้ ดังนั้นการใช้งานโซนาร์ให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจึงต้องเรียนรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบโซนาร์ที่ตนมีและทำการปรับแต่งการตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับ

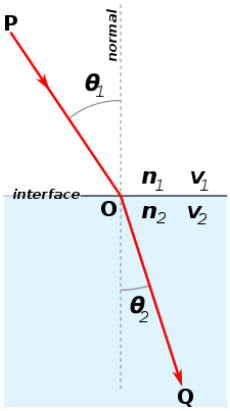
2. คุณลักษณะของเสียงใต้น้ำ

ในการเรียนรู้เกี่ยวกับเสียงใต้น้ำสิ่งแรกที่เราควรทำความเข้าใจคือ คุณลักษณะพื้นฐานของเสียงใต้น้ำ ซึ่งมีดังนี้

2.1 เสียงเป็นคลื่นไหวสะเทือน (Seismic Wave) ประเภท P-Wave (Pressure Wave หรือ Primary Wave) คลื่นเสียงมีการถ่ายทอดพลังงานผ่านการบีบอัดและคลายตัวของโมเลกุลในตัวกลางในทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป ดังนั้นเสียงจึงต้องใช้ตัวกลาง เช่น อากาศ น้ำ หรือพื้นดิน ในการเคลื่อนที่ [1]

2.2 เมื่อเสียงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจะมีการกระจายตัว (กระจายพลังงาน) ออกไปในทุกทิศทาง[1] ถึงแม้สามารถใช้อุปกรณ์เพื่อกำหนดทิศทาง (Project) เสียงได้ แต่ไม่สามารถทำให้เป็นลำคลื่นเช่นเดียวกับแสงได้ อีกทั้งเมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางจะเกิดการสูญเสียพลังงานให้กับอนุภาคต่าง ๆ ในตัวกลางทำให้พลังงานเสียงลดลงตามระยะทางที่เสียงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิด

2.3 เมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการ หักเห (Refraction) หรือสะท้อนกลับ (Reflection) ตามกฎของ Snell's Law คือ $\frac{\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\sin\theta_2}{V_2}$ เมื่อ θ_1, θ_2 คือ มุมตกกระทบของเสียงที่ทำกับเส้นปกติในตัวกลางที่ 1 และ 2 และ V_1, V_2 คือ ความเร็วเสียงในตัวกลางที่ 1 และ 2 [2]



รูปที่ 1 การหักเหของเสียงตามกฎของ Snell's Law [5]

2.4 เมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 แหล่ง เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกันเมื่อมาบรรจบกันจะเกิดการแทรกสอดของคลื่น (Interference) ทำให้เกิดการเสริม (บัพ หรือ Node) หรือหักล้าง (ปฏิบัพ หรือ Antinode) พลังงานของคลื่นเสียงได้ [2]

2.5 คุณสมบัติหลักของคลื่นเสียงขึ้นอยู่กับค่า ความถี่ (Frequency) ความยาวคลื่น (Wave Length) และ ความเข้ม (Amplitude) ของเสียง

2.6 ความเร็วเสียงใต้น้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เสียงเดินทางผ่าน ซึ่งมีปัจจัยขึ้นอยู่กับความเค็ม อุณหภูมิ และความกดอากาศ จากข้อมูลที่ตรวจวัดโดยอุปกรณ์ CTD (Conductivity, Temperature, and Depth Sensor) ทำให้สามารถทำการคำนวณค่าความเร็วเสียงในน้ำได้ โดยใช้สมการของ Coppens (Kinsler et al., 1982) [2] คือ

$$C(Z,T,S) = 1449.05+T[4.57-T(0.0521-0.00023*T)]+[1.333-T(0.0126-0.00009*T)](S-35)+\Delta Z$$

เมื่อค่า T คือ อุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

S คือ ค่าความเค็มในหน่วย Parts per thousand (ppt)

Z คือ ค่าความลึกในหน่วย กม.

และ $\Delta(Z)$ มีค่า $\approx 16.3Z+ 0.18Z^2$

สมการนี้มีความถูกต้องเมื่อละติจูดมีค่าเท่ากับ 45° สำหรับละติจูดอื่นๆ ค่า Z จะถูกแทนที่โดย $Z \times (1 - 0.0026 \times \cos(2\varphi))$ เมื่อ φ คือค่าละติจูด

2.7 เมื่อเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดไปกระทบวัตถุและเกิดการสะท้อนกลับ คุณสมบัติการสะท้อนของเสียงใต้น้ำสามารถคำนวณได้โดยสมการโซนาร์ (Sonar Equation)

$$SNR = SL - 2TL + TS - (NL - AG)$$

เมื่อ SNR คือ อัตราสัญญาณต่อเสียงรบกวน (Signal to Noise Ratio)

SL คือ พลังงานของคลื่นเสียงที่ส่งออกไป (Source Level)

TL คือ การสูญเสียพลังงานคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง (Transmission Loss)

TS คือ ค่าการสะท้อนของเป้า (Target Strength)

NL คือ เสียงรบกวน (Noise Level)

AG คือ การกรองเสียงรบกวน (Array Gain หรือ Directivity Index, DI)

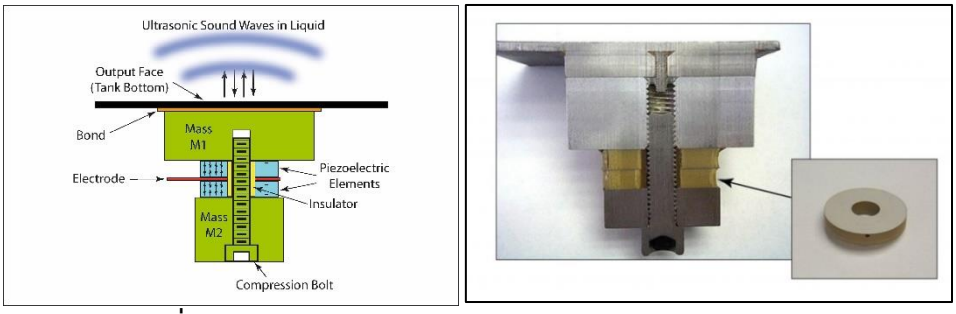
2.8 การใช้งานโซนาร์แบบ Active ตัว Transducer จะทำการส่งเสียงออกไปเป็น ห้วง (Pulse) แต่ละห้วงจะมีความยาว 1 ช่วงเวลา (τ ,Pulse Duration) เสียงจะเดินทางไปกระทบเป้าหมายและสะท้อนเป้าหมายกลับมายังส่วนที่รับเสียง (Receiver) ระยะเวลาที่เสียงใช้เดินทางไป - กลับ (t) จะบ่งบอกระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงเป้าหมาย ส่วนเสียงที่สะท้อนกลับมาจากเป้าหมายจะมีการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของโซนาร์

3. การสร้างคลื่นเสียงโซนาร์

โซนาร์แบบ Active จะมีการสร้างและส่งคลื่นเสียงออกไปเป็น ห้วง (Pulse) เพื่อให้กระทบเป้าหมายและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ เสียงในแต่ละห้วงจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสร้างคลื่นเสียง ดังนี้

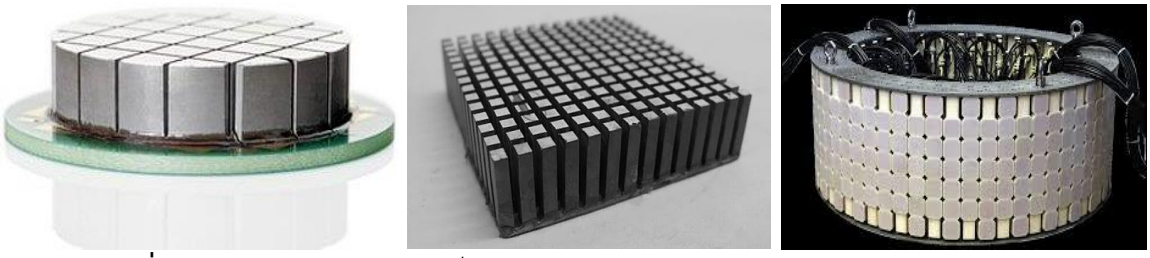
3.1 แหล่งกำเนิดเสียง

โดยปกติแล้วเสียงของอุปกรณ์โซนาร์จะถูกสร้างและส่งจากส่วนของอุปกรณ์ที่เรียกว่า Transducer ซึ่งภายในของ Transducer นั้นจะถูกบรรจุไว้ด้วยวัตถุที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียง แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ Magnetostrictive, Piezoelectric และ Electrostrictive [2] วัตถุเหล่านี้ใช้หลักการเดียวกันในการกำเนิดเสียง คือ การส่งผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังวัตถุที่มีคุณลักษณะเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าหรือแม่เหล็ก ทำให้วัตถุนั้นเกิดการหดและขยายตัว เกิดความสั่นสะเทือนเป็นเสียงตามความถี่ที่ต้องการ อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับเสียงใช้หลักการเดียวกันกับการส่งเสียง คือ วัตถุจะทำการรับเสียงและเกิดการสั่นสะเทือนตามรูปแบบของเสียงที่รับมาจากนั้นจึงเปลี่ยนแรงสั่นสะเทือนนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามความถี่และความแรงของคลื่นเสียงต่อไป



รูปที่ 2 ภาพหน้าตัดของ Transducer แบบ Piezoelectric [7]

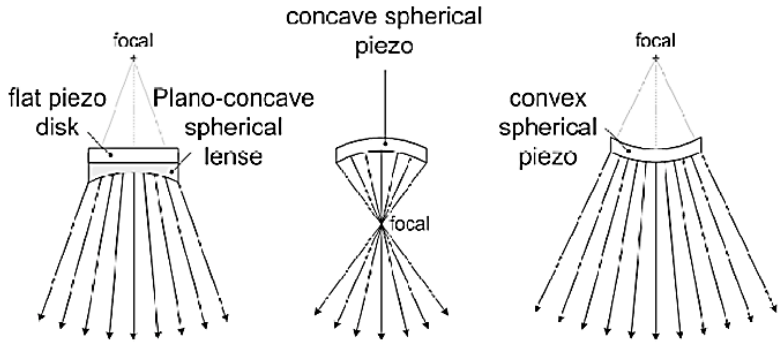
แหล่งกำเนิดเสียง 1 แหล่ง (1 Unit) ก่อให้เกิดคลื่นเสียง 1 คลื่น แหล่งกำเนิดเสียงหลาย ๆ ตัวนำมาเรียงติดต่อกันเป็นแถวเรียกว่า Array หัวส่งสัญญาณเสียง Transducer 1 หัว สามารถประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดเสียงเพียง 1 Unit, 1 Array หรือ หลายๆ Array ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้งาน (ดังรูปที่ 3) โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์โซนาร์ จะมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 แหล่ง เนื่องจากสามารถทำการควบคุมคุณลักษณะ (Characteristics) และทิศทาง (Projection) ของเสียงได้ดีกว่าการใช้แหล่งกำเนิดเสียงเพียงแหล่งเดียว



รูปที่ 3 การเรียงตัวของ Unit เป็น Array ภายในหัว Transducer แบบต่าง ๆ [7] [8]

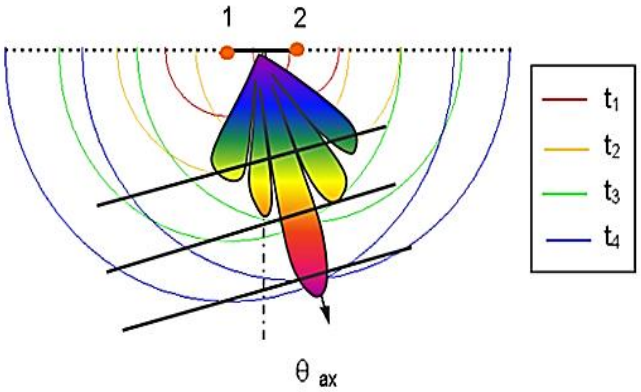
3.2 รูปร่างของเสียง

สำหรับรูปร่าง (รูปทรงและทิศทาง) ของเสียงที่เคลื่อนที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้น โดยปกติแล้วเสียงจะกระจายตัวออกในทุกทิศทางแบบ 3 มิติจากแหล่งกำเนิดเสียง รูปแบบและทิศทางของเสียงขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งทางกายภาพ (Mechanic) และปัจจัยทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) ของ Transducer ในทางกายภาพรูปทรงของเสียงที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดเสียงสามารถกำหนดได้โดยมุมและระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละ Unit ใน Array ของ Transducer ในทางอิเล็กทรอนิกส์จะควบคุมการส่งสัญญาณไฟฟ้าให้แหล่งกำเนิดเสียงแต่ละ Unit ใน Transducer ส่งเสียงออกมาเป็นจังหวะไม่พร้อมกันโดยการหน่วงเวลา ซึ่งจะทำให้เสียงที่ออกมาเกิดการ บัพ (Node) และ ปฏิบัพ (Antinode) ที่มุมต่างกันตามการหน่วงของเวลา ทำให้สามารถกำหนดทิศทางคลื่นเสียงได้ การสร้างหรือการควบคุมรูปแบบ (รูปทรง) ของเสียงเรียกว่า Beam Forming และการควบคุมทิศทางของเสียงนี้เรียกว่าเทคนิค Beam Steering



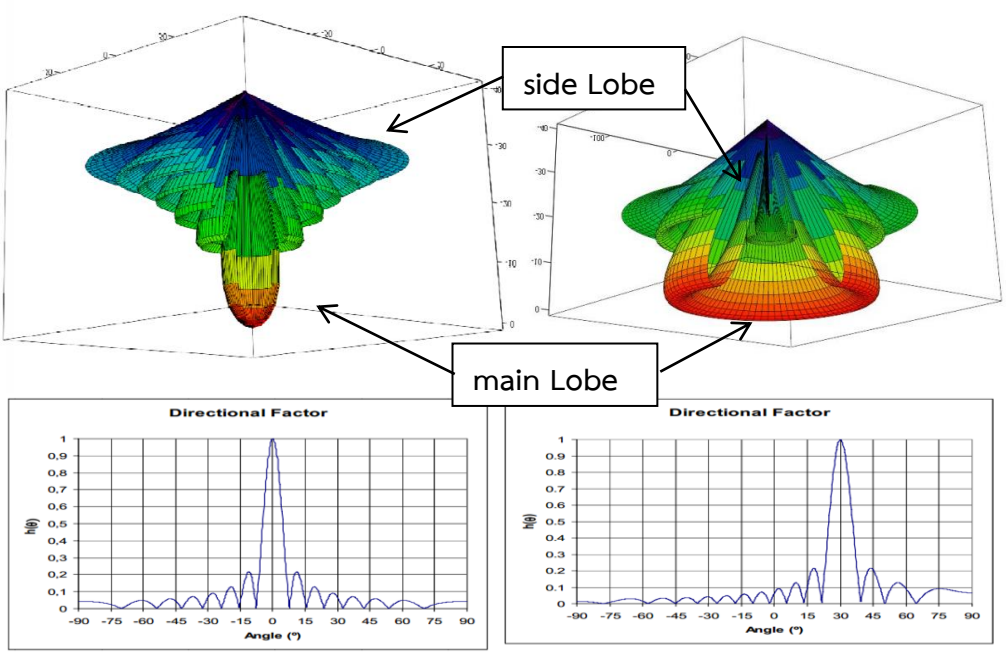
ก) แบบราบ+เลนส์เว้า ข) แบบเว้า ค) แบบนูน

รูปที่ 4 รูปแบบและทิศทางของเสียงของ Transducer จากปัจจัยทางกายภาพ [9]



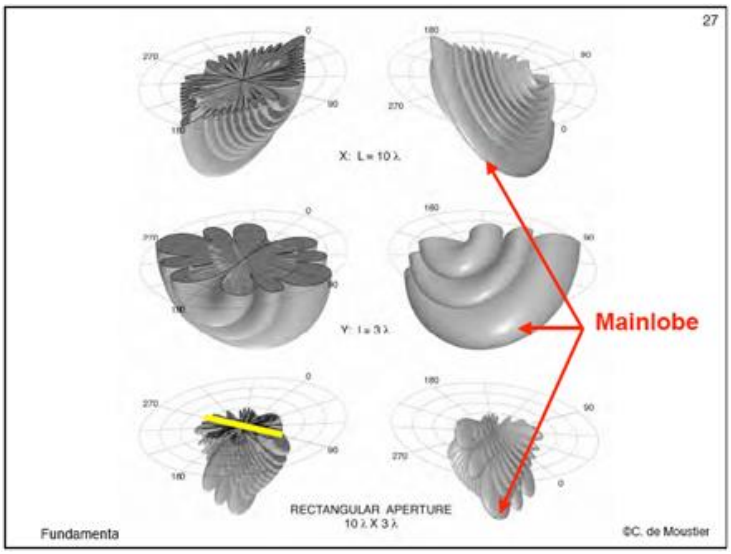
รูปที่ 5 รูปแบบและทิศทางของเสียงของ Transducer จากปัจจัยทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) (โดยการหน่วงเวลากำเนิดเสียงที่เวลา t_1 t_2 t_3 t_4) [2]

ในการสร้างคลื่นเสียง แหล่งกำเนิดเสียง 1 ตัว (1 Unit) สร้างเสียง 1 ครั้ง จะก่อให้เกิดคลื่นเสียง 1 กลีบ (1 Lobe) หากมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 ตัว และโดยการใช้เทคนิค Beam Forming และ Beam Steering ก็จะก่อให้เกิดคลื่นเสียงที่มีจำนวนหลาย Lobe ได้ จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ามี Lobe หลาย Lobe อันเนื่องมาจากมีแหล่งกำเนิดเสียงหลาย Unit ใน Transducer โดย Lobe ที่มีลักษณะใหญ่กว่า Lobe อื่นๆ เรียกว่า Main Lobe ส่วน Lobe เล็ก ๆ ด้านข้างเรียกว่า Side Lobe (หรือ Secondary Lobe) ในการใช้งานนั้น Transducer อันหนึ่งๆ อาจสามารถสร้าง Main Lobe มากกว่า 1 Lobe ก็ได้ ส่วนที่เป็น Main Lobe นั้นคือ ส่วนที่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละแหล่งใน Transducer เกิดการเสริม (บัพ หรือ node) กันมากที่สุด ทำให้สัญญาณเสียงมีความเข้มสูง คุณลักษณะที่สำคัญของ Lobe คือความกว้างของ Lobe เรียกว่า Beam Width และมุมหรือทิศทางของ Lobe ซึ่งจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ กัน จากรูปที่ 6 Transducer ตัวเดียวกันที่ใช้เทคนิค Beam Steering จะก่อให้เกิด Lobe ในลักษณะต่าง ๆ กันขึ้นมา ดังจะเห็นได้ว่า Transducer ก) พลังงานเสียงจะพุ่งไปในมุมดิ่ง ส่วน Transducer ข) พลังงานเสียงจะพุ่งไปในมุม 30° จากมุมดิ่ง



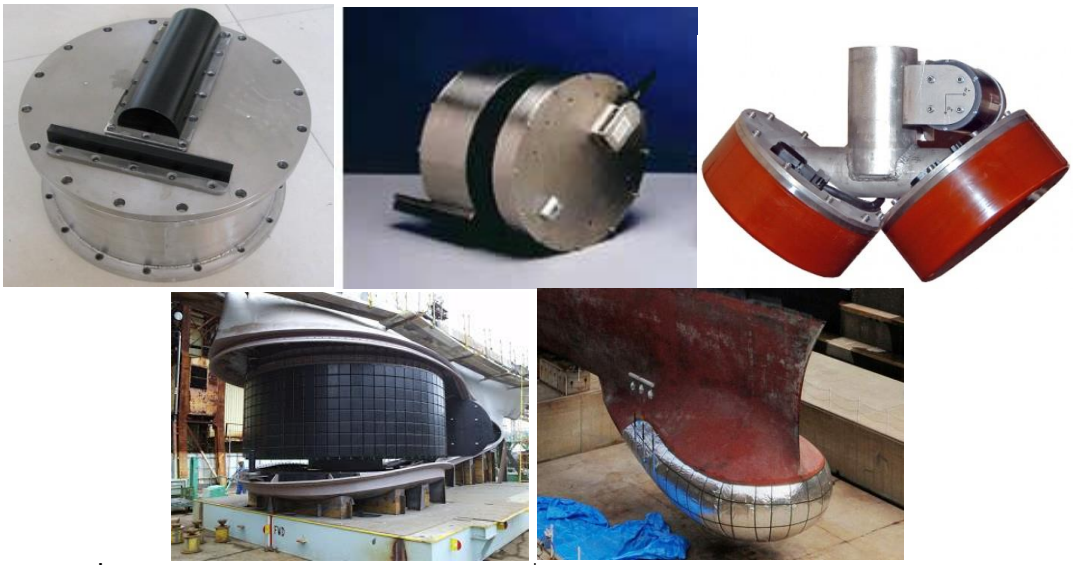
ก) แนวคลื่นเสียงตั้งฉากกับพื้นผิว Transducer ข) แนวคลื่นเสียงทำมุม 30° กับ Transducer

รูปที่ 6 รูปแบบของ Lobe ในแบบ 3 มิติ [2]



รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพการกำเนิดเสียงเป็น Lobe แบบต่าง ๆ [2]

จากที่ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับการกำเนิดเสียงของโซนาร์ การออกแบบเสียงที่มีลักษณะแตกต่างกันเพื่อตอบสนองการใช้งานที่ต่างกันทำให้ Transducer ของโซนาร์นั้นมีความแตกต่างกันทั้งรูปทรงและขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับประเภทการใช้งาน โดยปกติแล้ว Transducer ที่ใช้กับคลื่นความถี่ต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่า Transducer ที่ใช้กับคลื่นความถี่สูง



รูปที่ 8 ตัวอย่าง Transducer แบบต่าง ๆ ที่มีลักษณะรูปทรงและขนาดต่างกัน [10] [11]

4. คุณสมบัติของเสียงโซนาร์

เสียงที่ถูกส่งออกมาจาก Transducer นั้นถึงแม้จะออกมาจากแหล่งเดียวกันก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันได้ โดยคุณสมบัติของเสียงที่ถูกส่งออกมาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ความถี่ (Frequency, $\mathbf{f}$) และ ความยาว (Length, λ) คลื่นเสียง [1]

เสียงเป็นคลื่นกลรูปแบบหนึ่ง สำหรับเสียงใต้น้ำนั้นความเร็วเสียงจะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปร ความกดอากาศ อุณหภูมิ และความเค็ม ของน้ำ ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้แล้ว นอกจากนี้ความเร็วเสียงใต้น้ำยังมีความสัมพันธ์กับค่าของ ความถี่ และ ความยาวคลื่นเสียง ดังสมการ

$$\mathbf{v} = \mathbf{f}\lambda$$

เมื่อ $\mathbf{v}$ คือ ค่าความเร็วเสียงใต้น้ำในหน่วย เมตร/วินาที

$\mathbf{f}$ คือ ค่าความถี่เสียงหรือจำนวนลูกคลื่นต่อ 1 วินาที มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์

λ คือ ค่าความยาวคลื่นเสียงมีหน่วยเป็นเมตร

จากสมการจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วเสียงเท่ากัน คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงความยาวคลื่นจะน้อย และคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำความยาวคลื่นจะมาก ความถี่หรือความยาวคลื่นของเสียงนี้คือตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุของโซนาร์ คุณสมบัติของคลื่นเสียงที่เป็นผลมาจากความถี่และความยาวคลื่นมีดังนี้

4.1.1 คลื่นเสียงความถี่สูงจะถูกดูดซับพลังงานจากอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำง่ายกว่าความถี่ต่ำ [3] [4] นั่นหมายถึงที่พลังงานเท่ากัน คลื่นเสียงความถี่สูงจะเคลื่อนที่ออกห่างจากแหล่งกำเนิดได้น้อยกว่าคลื่นเสียงความถี่ต่ำ แต่คลื่นเสียงความถี่สูงจะมีความอ่อนไหว (Sensitive) กับการตรวจจับ คือสามารถสะท้อนกับวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือมีค่าการสะท้อนน้อยๆ ได้ดี คลื่นเสียงชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานในน้ำที่ไม่ลึกมากหรือตรวจจับวัตถุที่ระยะใกล้และต้องการความละเอียดของเป้าสูง เช่น การใช้งานสำรวจหยั่งน้ำ การสำรวจหาวัตถุใต้น้ำ การสำรวจสายเคเบิลหรือระเบิดใต้น้ำ

4.1.2 คลื่นเสียงความถี่ต่ำจะสามารถเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดเสียงได้ไกล มีความสามารถในการทะลุทะลวงอานุภาคตะกอนในน้ำได้ดีกว่าคลื่นเสียงความถี่สูง แต่มีความอ่อนไหว (Sensitive) น้อยไม่สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กหรือมีค่าการสะท้อนต่ำได้ [3] [4] โดยปกติแล้วคลื่นเสียงจะมีค่าความน่าจะเป็นในการตรวจจับวัตถุน้อยลงเมื่อตรวจจับวัตถุที่มีขนาดยาวน้อยกว่าช่วงความยาวคลื่นเสียงมากขึ้น คลื่นเสียงความถี่ต่ำนี้เหมาะกับการใช้งานในน้ำลึก เช่น การสำรวจความลึกในมหาสมุทร การตรวจจับเป้าหมายในน้ำระยะไกล เป็นต้น หรือการใช้งานที่ต้องการความสามารถทะลุทะลวงสูง เช่น การสำรวจหาชนิดและความหนาชั้นตะกอนใต้น้ำ การสำรวจหาวัตถุใต้ชั้นตะกอน เป็นต้น

นอกจากนี้ปัจจัยความถี่ (ความยาว) ของคลื่นเสียงยังส่งผลโดยตรงทางกายภาพกับตัว Transducer คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ตัว Transducer จะมีขนาดเล็ก ส่วนคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจำเป็นต้องใช้ Transducer ที่มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย

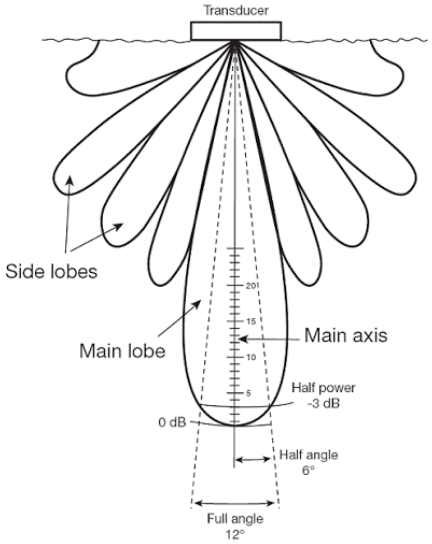
4.2 แอมพลิจูด (Amplitude)

แอมพลิจูดคือ ครึ่งหนึ่งของความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง ที่แสดงถึงความเข้มของเสียง (Intensity) หรือความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความเข้มหรือ

ความดังของเสียงก็ยิ่งมาก ค่าแอมพลิจูดนี้ใช้บ่งบอกถึงพลังงานของคลื่นเสียง โดยปกติแล้วในเสียงที่มีความถี่เท่ากัน เสียงที่มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าจะสามารถเดินทางได้ไกลกว่าเสียงที่มีค่าแอมพลิจูดน้อยกว่า แต่การใช้แอมพลิจูดมากๆ ก็ต้องใช้พลังงานสูงและตัวระบบโซนาร์ต้องแข็งแรงพอที่จะรองรับพลังงานได้ การใช้พลังงานเสียงที่น้อยเกินไปอาจทำให้เสียงเดินทางไปได้ไม่ไกล หรือสะท้อนกลับวัตถุบางประเภทไม่ได้ แต่การใช้พลังงานเสียงที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดการสะท้อนเสียงแบบ Reverberation ทำให้แยกแยะเป้าได้ยาก

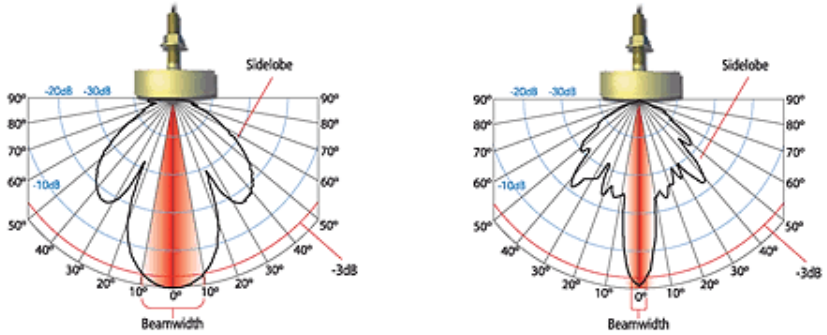
4.3 ความกว้างของคลื่นเสียง (Beam Width)

ค่า Beam Width ของคลื่นเสียง โดยปกติแล้วคือความกว้างทางมุมของคลื่นเสียงที่มีระดับเสียงสัมพันธ์กับค่า Half Power (ค่ากำลังงานครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของพลังงานที่แพร่ออกตามทิศทางของกำลังงานสูงสุด) โดยอ้างอิงกับแกนของคลื่นเสียง (Beam Axis) โดยที่ค่าของ Beam Width นั้นจะมีหน่วยเป็น องศา หรือเรเดียน (Radian) [2]



รูปที่ 9 ค่า Beam Width ของคลื่นเสียง [12]

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าหากค่า Beam Width ต่างกันจะส่งผลให้ลักษณะของ Main Lobe ต่างกัน คลื่นเสียงที่มี Beam Width กว้างจะให้มุมคลื่นเสียงที่ส่งออกไปกว้าง ทำให้มีพื้นที่ที่คลื่นเสียงตกกระทบ (Beam Footprint หรือ Ensonified Area) กว้าง สามารถตรวจจับครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ คลื่นเสียงที่มี Beam Width น้อยจะทำให้คลื่นเสียงที่ส่งออกไปมีมุมแคบ ทำให้มีพื้นที่ที่คลื่นเสียงตกกระทบน้อย สามารถตรวจจับครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย แต่ที่พลังงานและความถี่เท่ากันคลื่นเสียงที่มี Beam Width น้อยจะมีระยะตรวจจับไกลกว่าคลื่นเสียงที่มี Beam Width กว้าง เนื่องจากมีการกระจายและสูญเสียพลังงานเสียงน้อยกว่า อีกทั้งยังให้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากกว่า



รูปที่ 10 ลักษณะของ main Lobe ที่มีค่า Beam Width ต่างกัน [13]

4.4 ความกว้างช่วงความถี่คลื่น (Band Width)

ความกว้างช่วงความถี่คลื่น คือ ช่วงหรือช่องความถี่เสียงที่ Transducer (ทั้งภาคส่งและภาครับ) ของโซนาร์สามารถใช้งานได้ โดย เมื่อให้ f_0 คือค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) และ f_1 และ f_2 คือค่าความถี่ที่มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด ค่า Band Width คือค่าช่องความถี่ระหว่างความถี่เหล่านี้ (ดูรูปที่ 11 ประกอบ) โดยมีค่า $w = f_2 - f_1$ (หน่วยเป็น Hz) [2]

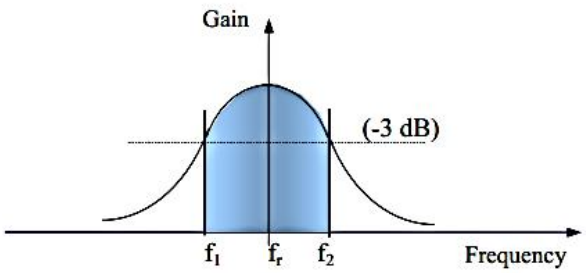
ค่าปัจจัยคุณภาพของ Transducer (Transducer's Quality Factor, Q) คือ

$$Q = \frac{f_0}{w}$$

จากสมการ ค่า Q และ w จะแปรผกผันกัน ดังนั้นเพื่อให้การส่งคลื่นเสียงมีประสิทธิภาพ ตัวTransducer ควรจะส่งสัญญาณที่มีค่าใกล้กับ Resonance Frequency มากที่สุด และมีค่า Band Width น้อยที่สุดเพื่อให้ได้ค่า Quality Factor สูง

ในการรับสัญญาณเสียง Transducer จะต้องมีความสามารถที่ดีในการแยกแยะสัญญาณเสียงที่ต้องการออกจากเสียงอื่นๆ และรับค่าความถี่เสียงตามที่กำหนดได้ ค่า Band Width ของ Transducer (w) ควรจะ มีค่า $w \geq 1/\tau$ เมื่อ τ คือค่าความยาวช่วงสัญญาณ (Pulse Duration)

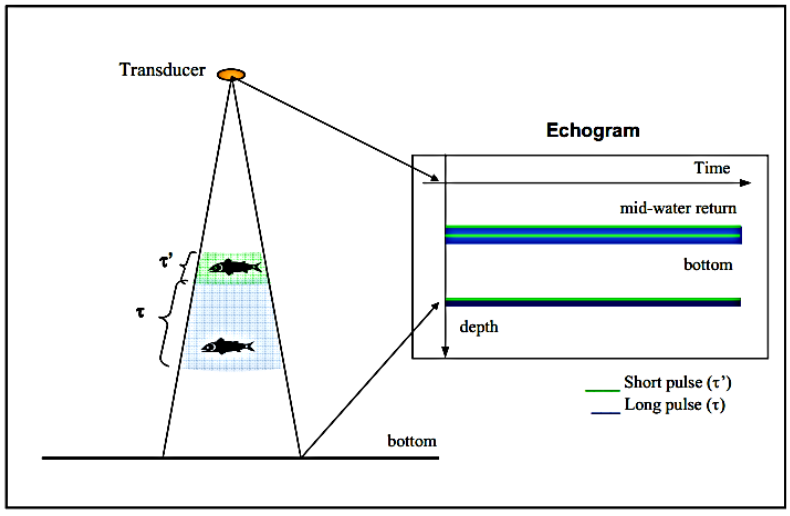
ผลคือ Transducer สำหรับส่งคลื่นเสียงที่ดีจะต้องมีค่า Q สูง เพื่อให้สามารถส่งเสียงที่มีความถี่ตรงตามที่ต้องการได้มากที่สุด และ Transducer ที่รับสัญญาณเสียงจะต้องมีค่า Q ต่ำ เพื่อให้สามารถรับเสียงในช่วงความถี่ที่กว้างได้



รูปที่ 11 ช่องความถี่ของ Transducer [2]

4.5 ความยาวช่วงสัญญาณ (Pulse Length)

ความยาวช่วงสัญญาณเป็นตัวแปรที่ระบุปริมาณพลังงานของสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในน้ำ เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากัน (ค่าแอมพลิจูดเท่ากัน) เสียงที่มี Pulse Length ยาวมากกว่าจะมีพลังงานสูงกว่าและจะเคลื่อนที่ไปในน้ำได้ระยะทางไกลกว่า เพื่อให้การส่งสัญญาณเสียงจาก Transducer ในช่วงความถี่เรโซแนนซ์เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ค่าความยาวช่วงสัญญาณควรจะมีค่าอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของค่าช่วงเวลาธรรมชาติ (Natural Period) [2] เพื่อให้เสียงมีพลังงานเพียงพอที่จะส่งไปได้ไกล แต่หากใช้ช่วงสัญญาณที่ยาวเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถทำการแยกแยะวัตถุที่ตรวจจับออกจากกันได้ วัตถุ 2 ชิ้นที่อยู่ในแนวเดินทางของคลื่นเสียงจะถูกตรวจพบว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียวกันหากวัตถุนั้นมีขนาดน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่า Pulse Length วัตถุทั้ง 2 ชิ้นจะถูกตรวจพบแยกจากกันก็ต่อเมื่อวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าค่าครึ่งหนึ่งของ Pulse Length จากรูปที่ 12 สัญญาณโซนาร์สะท้อนกลับจากเป้าหมาย 2 ประเภท คือ ปลา 2 ตัวและพื้นน้ำ จากภาพ Echogram เส้นสีเขียวเกิดจากการสะท้อนเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณ τ' และเส้นสีน้ำเงินเกิดจากการสะท้อนเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณ τ จะเห็นได้ว่าแถบเส้นสีน้ำเงินสะท้อนกลับมา 3 เส้น คือ สะท้อนปลา 2 ตัวและพื้น ส่วนเส้นสีเขียวมีแถบเส้นเพียง 2 แถบคือสะท้อนจากปลาทั้ง 2 ตัวที่รวมกันเป็นวัตถุ 1 ชิ้น และพื้น เนื่องจากความยาวช่วงสัญญาณที่ยาวทำให้สัญญาณเสียงไม่สามารถแยกแยะปลาทั้ง 2 ตัวออกจากกันได้



รูปที่ 12 ความละเอียดของการตรวจจับที่เป็นผลมาจากค่าความยาวช่วงสัญญาณ [2]

4.6 ความครอบคลุม (Coverage)

ความครอบคลุม คือ ขนาดของพื้นที่ที่ถูกตรวจจับได้โดยคลื่นเสียงจาก Transducer ซึ่งก็คือพื้นที่ที่อยู่ภายในคลื่นเสียงรูปทรงต่าง ๆ ที่ถูกส่งออกมา โดยพื้นที่ที่สะท้อนสัญญาณเสียงเรียกว่า Footprint และมีขนาดเท่ากับ

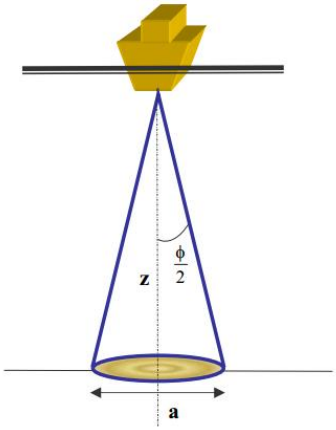
$$a = 2 * z * \tan\frac{\emptyset}{2}$$; เมื่อคลื่นเสียงเป็นรูปทรงกรวย

เมื่อ a คือ ค่าของพื้นที่ที่สะท้อนสัญญาณเสียง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

z คือ ค่าความลึก หรือระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นเมตร

$\emptyset$ คือ ค่า Beam Width ของคลื่นเสียง มีหน่วยเป็นเรเดียน

สมการข้างต้นนี้สามารถใช้ได้กับการกำเนิดเสียงที่เป็นทรงกรวย แต่หากเสียงนั้นไม่เป็นรูปทรงกรวย แต่เป็นรูปทรงอื่นเช่น รูปพัด (รูปที่ 7) ก็สามารถทำการปรับสมการให้เหมาะสมได้โดยพิจารณาจากมุม $\emptyset$ ในด้านกว้างและยาวที่จุดกำเนิดของเสียง จากสมการจะสังเกตได้ว่าเมื่อเสียงมีระยะห่างจากจุดกำเนิดเสียงมากขึ้นจะครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น



รูปที่ 13 พื้นที่ความครอบคลุมของสัญญาณเสียง [2]

5. คุณสมบัติของเสียงกับการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ

คุณสมบัติต่าง ๆ ของเสียงส่งผลต่อความสามารถในการตรวจจับวัตถุใต้น้ำของโซนาร์ ดังนี้

5.1 ขนาดของวัตถุที่ตรวจจับได้

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุขนาดต่าง ๆ กันคือ ความถี่หรือความยาวคลื่นเสียง เสียงที่มีความถี่สูง (ความยาวคลื่นน้อย) จะมีความอ่อนไหวสูง สามารถตรวจจับวัตถุที่ความหนาแน่นต่ำมีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดได้แต่ก็ทำให้เสียงเกิดการกระจายพลังงานได้ง่ายกว่าทำให้สามรถเดินทางได้ไกล ในขณะที่เสียงที่มีความถี่ต่ำ (ความยาวคลื่นมาก) สามารถเดินทางได้ไกลกว่าแต่มีความละเอียดในการตรวจจับวัตถุน้อย นอกเหนือจากความสามารถในการเดินทางแล้วคลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง สามารถส่งสัญญาณเสียงผ่านชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่นต่ำเพื่อสำรวจวัตถุที่อยู่ภายใต้ตะกอนได้ โดยข้อพิจารณาสำคัญคือปกติแล้วคลื่นเสียงจะมีความเป็นไปได้ในการตรวจจับวัตถุน้อยหากวัตถุนั้นมีขนาดน้อยกว่าความยาวคลื่นเสียง

5.2 ทิศทางในการตรวจจับ

ทิศทางในการตรวจจับวัตถุของโซนาร์ขึ้นอยู่กับรูปทรงและมุมของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไป คลื่นเสียงที่ถูกส่งออกจาก Transducer อาจมีรูปทรงแบบทรงกรวย ทรงพัดหรือรูปทรงอื่นใดก็ได้ แต่ไม่ว่าคลื่นเสียงที่ใช้จะเป็นรูปทรงใด แนวเส้นทางในการเดินทางของเสียงนั้นจะเกิดการเบี่ยงเบนไปตามกฎการเคลื่อนที่ของ Snell's Law เสียงที่ถูกส่งออกในจาก Transducer ในแนวดิ่งหรือแนวระนาบมักจะมีการเบี่ยงเบนน้อย แต่เสียงที่ทำมุมเฉียงจากมุมดิ่งหรือแนวระนาบจะได้รับผลกระทบจากกฎของ Snell's Law มากกว่า ดังนั้นในการใช้งานเสียง เมื่อเราทราบระยะและทิศทางคร่าวๆ ของเป้าหมาย (รวมถึงทราบความเร็วเสียงใต้น้ำที่ความลึกต่าง ๆ) เราสามารถกำหนดมุมของเสียงจาก Transducer ให้เหมาะสมเพื่อให้ส่งเสียงไปยังตำบลที่ที่เป็นเป้าหมายได้ใกล้เคียงที่สุด โซนาร์สามารถทราบมุมแบริงและความลึกของวัตถุที่เป็นเป้าหมายได้โดยอาศัยมุมที่เสียงสะท้อนกลับมายังตัว Receiver ของโซนาร์ ส่วนที่เป็น Receiver ของโซนาร์นั้นถูกออกแบบมาให้สามารถรับเสียงที่สะท้อนกลับมาจากเป้าหมายที่มุมต่าง ๆ กันเพื่อให้สามารถแยกแยะทิศทางที่เสียงสะท้อนกลับมาและคำนวณทิศทางของเป้าหมายได้

5.3 ระยะทางในการตรวจจับ

ระยะทางที่เสียงสามารถเคลื่อนที่ไปในน้ำได้เกิดจากปัจจัยหลักๆ 3 อย่างคือ ความแรง (ดัง) ของเสียง ความยาวคลื่นเสียง และค่าความยาวช่วงสัญญาณของเสียง กล่าวคือ เสียงที่มีพลังงานมากกว่า (ดังกว่า) จะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่าเสียงที่มีพลังงานน้อยกว่า หากเสียงจากแหล่งกำเนิดมีพลังงานเท่ากัน เสียงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่า และหากเสียงมีพลังงานและความยาวคลื่นเท่ากัน เสียงที่มีค่าความยาวช่วงสัญญาณมากกว่าจะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่า การคำนวณระยะโดยโซนาร์นั้นใช้สมการทั่วไปคือ $s = v*(t/2)$ เมื่อ s คือระยะทางจาก Transducer ถึงเป้าหมายในหน่วยเมตร v คือค่าความเร็วเสียงมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที และ t คือเวลาที่เสียงใช้เดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจนถึงเวลาที่สะท้อนวัตถุกลับมายังตัวรับเสียง ในการใช้งานโซนาร์ต้องมีการประมาณระยะของเป้าหมายเพื่อนำมาพิจารณาความถี่ในการปล่อยคลื่นเสียง (จำนวน Pulse ต่อวินาที) การปล่อยคลื่นเสียงที่ใช้ความถี่มากเกินไปจะทำให้คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังเป้าหมายเกิดความสับสนเนื่องจากการสะท้อนกลับไปมาของเสียง (เกิด Reverberation) และไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเสียงที่สะท้อนกลับมาถูกปล่อยออกไปในเวลาใด

5.4 การแยกแยะเป้าหมาย

การตรวจจับวัตถุขนาดต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียงเป็นสำคัญ แต่การแยกแยะวัตถุหลายชิ้นที่อยู่ใกล้กันออกจากกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย ความยาวช่วงสัญญาณ (Pulse Length) เป็นหลักการใช้คลื่นเสียงที่มีช่วงสัญญาณยาวมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแยกแยะเป้าหมาย ออกจากกันได้ คือโซนาร์จะตรวจจับเป้าหมายหลายเป้าที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มได้เป็นเป้าหมายเดียว ความสามารถในการแยกแยะวัตถุออกจากกันนั้นมีความสำคัญกับการใช้งานบางประเภทที่ต้องการความละเอียดทางปริมาณ เช่น การแยกแยะจำนวนของวัตถุใต้น้ำ การประมาณจำนวนสัตว์น้ำ เป็นต้น ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้า

คลื่นเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณมากจะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่าคลื่นเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณน้อย แต่ความสามารถในการแยกแยะวัตถุก็น้อยด้วยเช่นกัน

5.5 ความครอบคลุมพื้นที่ในการตรวจจับด้วยเสียง

ขนาดพื้นที่ในการตรวจจับโดยใช้โซนาร์จะขึ้นอยู่กับค่าความครอบคลุม (Coverage) ของเสียง ซึ่งค่าความครอบคลุมนี้เป็นผลมาจากรูปทรงของเสียง (Beam Shape) และระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียง จากหัวข้อที่กล่าวถึงในหัวข้อความครอบคลุมเมื่อเสียงเดินทางไกลจากแหล่งกำเนิดมากขึ้นจะเกิดการขยายครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้หากให้พลังงานกับการกำเนิดเสียงเท่ากัน เสียงที่มีค่าความกว้างของคลื่นเสียง (Beam Width) น้อย จะเดินทางได้ไกลกว่าเสียงที่มีค่า Beam Width มาก เพราะเกิดการกระจายตัวและสูญเสียพลังงานในการเดินทางน้อยกว่า แต่ค่า Beam Width ที่น้อยก็จะทำให้ขนาดพื้นที่ในการตรวจจับน้อยลงเช่นเดียวกัน

6. การประยุกต์ใช้

ความรู้เกี่ยวกับการกำเนิดเสียงของโซนาร์นี้มีประโยชน์กับผู้ใช้งานโซนาร์ทุกประเภท และหากนำมาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมจะช่วยให้สามารถใช้งานโซนาร์ให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น โซนาร์ที่ถูกผลิตออกมาเพื่อการใช้งานบางชนิดผู้ใช้งานไม่สามารถปรับแต่งการตั้งค่าการใช้งานได้ แต่บางชนิดผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งการตั้งค่าการใช้งานได้หลายแบบตามความต้องการ ดังนั้นหากผู้ใช้งานมีความเข้าใจในหลักการพื้นฐานจะช่วยให้ผู้ใช้เกิดความเข้าใจในการตั้งค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์โซนาร์ว่าตัวแปรต่าง ๆ จะส่งผลอย่างไรต่อการใช้งาน สำหรับการใช้งานโซนาร์ของกองทัพเรือนั้นมีทั้งการใช้เพื่อการจับเป้าหมายทั้งบนพื้นท้องทะเลและเป้าหมายที่อยู่กลางน้ำ ยกตัวอย่างในการตรวจจับเป้าหมายที่อยู่บนพื้นท้องทะเล เช่น การใช้ Sidescan Sonar การค้นหากับระเบิด หิน หรือวัตถุต่าง ๆ ที่วางอยู่บนพื้นท้องทะเล เหมาะกับการใช้โซนาร์ซึ่งใช้ความถี่สูง มีมุมกวาดรูปแบบพัดขวางทิศทางเคลื่อนที่ของเรือ สามารถตรวจจับพื้นที่ทางข้างได้กว้าง ให้ภาพพื้นผิวทะเลที่ชัดเจน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้งานคือความเร็วของเรือและความลึกของน้ำซึ่งต้องมีความสัมพันธ์กับความถี่การส่งสัญญาณ เพราะถ้าหากเรือเร็วเกินไปรูปที่ได้ก็จะขาดความต่อเนื่อง (เกิด GAP) อีกส่วนที่ต้องคำนึงถึงคือ Beam Width หากค่า Beam Width มากก็จะครอบคลุมพื้นที่มากทำให้สำรวจเต็มพื้นที่ได้เร็วแต่ก็ลดความละเอียดของข้อมูลลง หากเป้าหมายที่วางอยู่บนพื้นน้ำนั้นจมตัวลงไปอยู่ใต้พื้นโคลนหรือพื้นทราย การใช้งาน Sidescan Sonar แบบ High Frequency จะไม่สามารถตรวจจับเป้าหมายเหล่านี้ได้ จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนไปใช้โหมด Low Frequency ซึ่งสามารทะลุทะลวงชั้นตะกอนได้แต่ก็ให้ความละเอียดของภาพน้อย เป็นต้น ในส่วนของการใช้งานโซนาร์เพื่อตรวจจับวัตถุที่อยู่กลางน้ำนั้น เช่น โซนาร์ตรวจจับเรือดำน้ำ ในเบื้องต้นหากผู้ใช้ไม่สามารถประมาณตำบลที่เป้าหมายได้เลยก็ต้องใช้การส่งสัญญาณออกไปแบบสุ่ม กระจายหรือกวาดออกไปรอบตัวซึ่งก็ขาดทั้งความแม่นยำและระยะตรวจจับ แต่หากสามารถประมาณว่าเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับคืออะไร มีขนาดเท่าไหร่ อยู่ในทิศทางและ

ความลึกเท่าใด ก็สามารถเลือกตั้งค่าการใช้งานโซนาร์ให้เหมาะสมกับเป้าหมายได้ โดยการเลือกใช้ความถี่, Beam Width, Pulse Length, Beam Shape รวมถึงมุมและความลึกที่ส่งเสียงออกไป เป็นต้น

7. สรุป

การใช้งานเสียงใต้น้ำโดยอุปกรณ์โซนาร์นั้นมีการออกแบบเพื่อใช้งานในหลากหลายจุดประสงค์ เช่น การหยั่งความลึกน้ำ การค้นหาเป้าหมายใต้น้ำ การสื่อสารใต้น้ำ หรือการสำรวจเป้าหมายใต้ชั้นตะกอนใต้น้ำ แต่ไม่ว่าเป้าหมายในการใช้งานจะเป็นอย่างไร เสียงจากอุปกรณ์โซนาร์ต่างก็มีคุณสมบัติเบื้องต้นเช่นเดียวกัน การที่ผู้ใช้งานมีความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยให้สามารถใช้งานอุปกรณ์โซนาร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีความเข้าใจถึงข้อดี ข้อเสีย ในการเลือกใช้คุณสมบัติคลื่นเสียงแบบต่าง ๆ กัน โดยเมื่อผู้ใช้งานมีการประมาณลักษณะของเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับด้วยโซนาร์ เช่น ขนาด จำนวน ความลึกและทิศทางของเป้า รวมถึงขนาดพื้นที่ตรวจจับ ก็สามารถเลือกใช้ชนิดของโซนาร์และการตั้งค่าการใช้งานที่เหมาะสมได้ อย่างไรก็ตามเนื้อหาในบทความนี้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของเสียงของโซนาร์ หากต้องการทำความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์โซนาร์อย่างถี่ถ้วนจำเป็นต้องศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม เนื่องจากระบบโซนาร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในรูปแบบของ Hardware และ Software เพื่อให้การใช้งานโซนาร์เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การออกแบบเสียงให้มีหลายความถี่ใน 1 Pulse การส่งเสียงแต่ละ Pulse ให้มีความถี่แตกต่างกันต่อเนื่องกัน หรือการส่งคลื่นเสียงออกเป็นหลายรูปทรง เป็นต้น อีกทั้งยังต้องทำความเข้าใจกับปัจจัยสำคัญอีก 2 ปัจจัยคือ การเดินทางของเสียงในตัวกลางและคุณลักษณะของวัตถุที่สะท้อนเสียงกลับมา ซึ่งก็มีความสำคัญต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำไม่แพ้ปัจจัยการกำเนิดเสียง

รายการอ้างอิง

[1] Fahy F, Walker J. Fundamentals of noise and vibration. 1st ed. London: CRC Press; 1998.

[2] International Hydrographic Department. Manual on Hydrography: Publication C-13. 1st ed. Monaco: International Hydrographic Bureau; 2005.

[3] Hydrographic Office. General Instructions for Hydrographic Surveys. 17th ed. [Taunton]: Hydrographer of the Navy; 1996.

[4] U.S. Army Corps of Engineers. Hydrographic Surveying: EM-1110-2-1003. Washington: Department of the Army; 2002.

[5] Snell's_law [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2020 [updated 2021 Mar 7; cited 2020 Dec 10]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Snell's_law

[6] Fuchs J. Ultrasonics – Transducers – Piezoelectric Hardware [Internet]. Ohio: Cleaning Technologies Group; 2012 [cited 2020 Dec 10]. Available from: https://techblog.ctgclean.com/2012/01/ultrasonics-transducers-piezoelectric-hardware/.

[7] Atlas Elektronik. ASO – 713/723 Hull-Mounted Active Sonar [Internet]. Bremen: Atlas Elektronik; 2020 [cited 2020 Dec 11]. Available from: https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/011_ASO.pdf

[8] Sonar Technology and Hydroacustics with Piezo Transducers [Internet]. Lederhose: PIEZO TECHNOLOGY; 2020 [cited 2020 Dec 11]. Available from: https://www.piceramic.com/en/ applications/high-power-ultrasound/sonar-technology-hydroacoustics/.

[9] Toal DJF, Nolan S. A low directivity ultrasonic sensor for collision avoidance and station keeping on inspection-class AUVs. Journal of marine engineering and technology [Internet]. 2008 [cited 2020 Dec 12];2008(11):35-45. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Using-geometric-de-focusing-to-increase-transducer-beam-width-at-higher-frequencies_fig2_233508675

[10] HZ SONIC. DBS300 Multi-beam depth-sounding transducer array [Internet]. Wuxi Jiangsu: HZ SONIC; 2015 [cited 2020 Dec 13]. Available from: http://www.hzsonic.com/products/acoustic-emissionreceiving-array/dbs300-multi-beam-depth-sounding-transducer-array/.

[11] Comrade Misfit. Ping Time [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2008 [cited 2020 Dec 13]. Available from: http://www.shipbucket.com/forums/viewtopic.php?t=20&start=420

[12] Cornell University. A General Guide for Deriving Abundance Estimates from Hydroacoustic Data [Internet]. [place unknown]: Cornell University; 2020 [cited 2020 Dec 10]. Available from: http://www.acousticsunpacked.org/AcousticBackground/AcousticTransducers.html

[13] Raymarine. Choosing a Transducer [Internet]. [place unknown]: Raymarine; 2020 [cited 2020 Dec 11]. Available from: https://www.raymarine.com/view/index-id=197.html