

Q^{For}QM

Management

www.tpaemagazine.com



March-April 2017 Vol.23 No.222

Magazine for Executive Management

PULSE Reflex Acoustic Camera

กล้องถ่ายภาพเสียง

กล้องถ่ายภาพเสียงใช้ระบุแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมีการประมวลผลแบบ Real-Time ประกอบด้วยไมโครโฟนรับเสียงและกล้องถ่ายภาพ ใช้งานง่าย สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่เสียงรบกวน (noise mapping)

Brüel & Kjær



- ★ ใช้ค้นหาการเกิดปัญหา BSR (Buzz, Squeak, Rattle) ในอุตสาหกรรมยานยนต์
- ★ ระบุตำแหน่งกำเนิดเสียงรบกวน (Noise Source Identification - NSI) ในห้องโดยสารรถยนต์และอากาศยาน

- ★ ตรวจสอบการไหลของเสียงรบกวนผ่านช่องหรือรอยรั่วต่างๆ

สนใจติดต่อ

คุณอรรดา 08-1372-0180
คุณสิทธินันท์ 086-577-7577

Quality System

- การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

Quality Management

- การร่วมทุนระหว่าง “Tencent” กับ “Tesla”
- เทคโนโลยีพลิกธุรกิจ...ชี้ชะตาโลก
- Generation C ปรากฏการณ์ใหม่เจนใหม่ จับอินไซด์คนคอนเนค



บริษัท เมเชอร์ทรอนิกส์ จำกัด
www.measuretronix.com



www.measuretronix.com
/bruel-and-kjaer



9 770859 099005

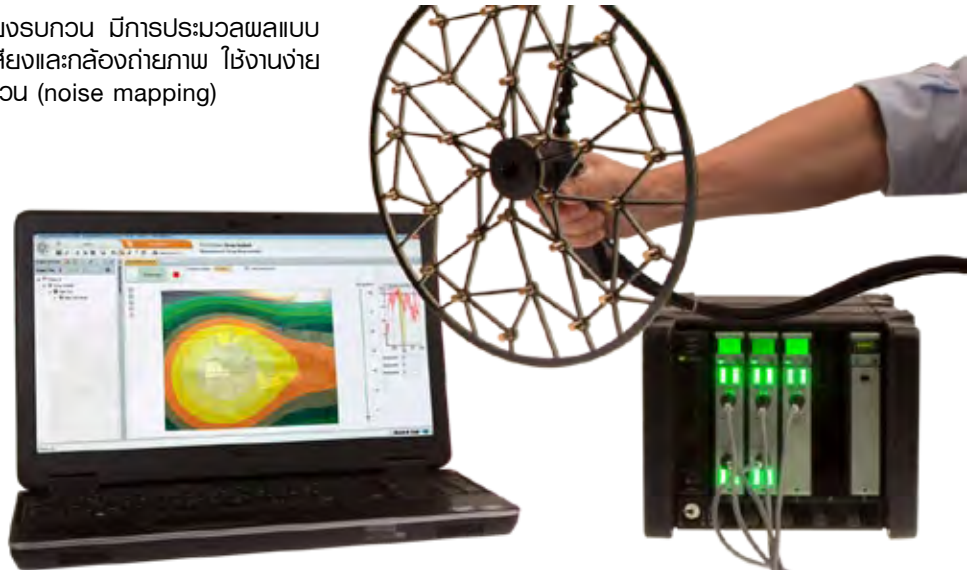
Brüel & Kjaer Type 9712 PULSE Reflex Acoustic Camera กล้องถ่ายภาพเสียง

กล้องถ่ายภาพเสียงใช้ระบุแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน มีการประมวลผลแบบ Real-Time ประกอบด้วยไมโครโฟนรับเสียงและกล้องถ่ายภาพ ใช้งานง่าย สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่เสียงรบกวน (noise mapping)

สอบถามเพิ่มเติมติดต่อ :

คุณอัจฉรา 081-372-0180

คุณสิริกันต์ 086-577-7577



ผู้เรียบเรียง เขมพัฒน์ ตันตวิวัฒน์กุล
ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเสียงและการสั่นสะเทือน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



บริษัท เมเชอร์โรนิกซ์ จำกัด
www.measuretronix.com



www.measuretronix.com/
bruel-and-kjaer

Brüel & Kjaer Type 9712

PULSE Reflex Acoustic Camera

ชุดเครื่องมือและแผงไมโครโฟนขนาดมือถือ สำหรับค้นหาจุดกำเนิดเสียงรบกวน โดยการสร้างแผนภาพของเสียงในแบบ Real-Time ตลอดย่านความถี่กว้าง ตัวแผงไมโครโฟนสามารถติดตั้งคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับแสดงแผนภาพของเสียงในพื้นที่ที่เสียงเข้าไปในเวลาจริง อบรมการใช้งานเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำการค้นหาแหล่งกำเนิดเสียง ถ่ายภาพ และบันทึกวิดีโอ ของเหตุการณ์ที่น่าสนใจและพื้นที่มีปัญหา เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป สามารถย้อนดูภาพที่บันทึกได้ทันทีเพื่อดูความถูกต้อง ในขณะที่กำลังปรับตั้งค่าใช้งาน เช่น กำหนดช่วงความถี่



การใช้งาน

- ใช้ค้นหาการเกิดปัญหา BSR (Buzz, Squeak, Rattle) ในอุตสาหกรรมยานยนต์
- ระบุตำแหน่งกำเนิดเสียงรบกวน (Noise Source Identification: NSI) ในห้องโดยสารรถยนต์และอากาศยาน
- ตรวจสอบการเล็ดลอดของเสียงรบกวนผ่านช่อง หรือรอยร้าวต่าง ๆ



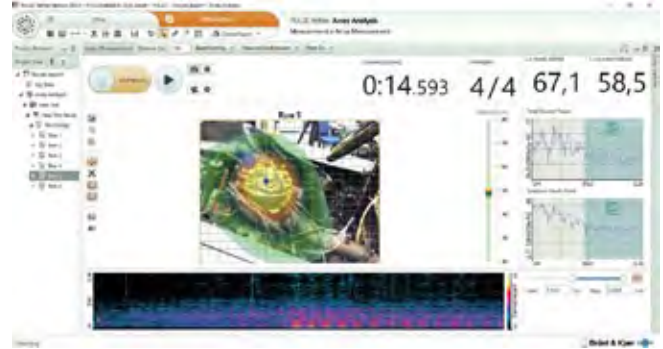
คุณลักษณะ

ในชุดเครื่องมือประกอบด้วยแผงไมโครโฟนเฉพาะ 30 ตัว มีแผ่นปิดด้านหลังถอดได้เพื่อการวัดเสียงแบบ Near Field และ Far Field โดยใช้ได้ทั้งแบบ Beamforming และ Holography มีขนาดเล็กพอเหมาะ สะดวกใช้ในพื้นที่จำกัด มีกล้องวิดีโอในตัวเพื่อดูภาพ Real-Time และบันทึกพร้อมกับแผนภาพเสียง ในชุดยังมีเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลรุ่น LAN-XI ทำงานด้วยแบตเตอรี่ได้ต่อเนื่อง 2.5 ชั่วโมง พร้อมกล่องเก็บเครื่องมือกันน้ำ

ความสามารถ

- วัดความถี่ตลอดย่านกว้างโดยใช้ Beamforming และ SONAH
- แสดงแผนภาพเสียงรบกวนซ้อนบนภาพวิดีโอหรือภาพถ่าย
- สามารถแสดง Spectrogram เพื่อช่วยในการระบุและวิเคราะห์เหตุการณ์ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ
- เปิดเครื่องพร้อมใช้งานใน 20 วินาที
- วัดค่าพร้อมบันทึกเสียงและวิดีโอแต่ละเหตุการณ์

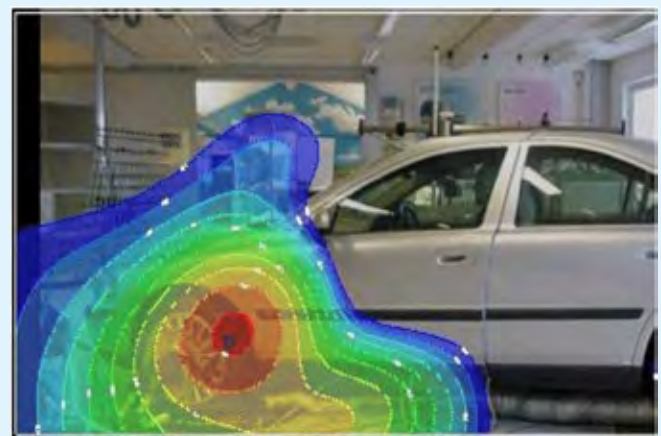
- แสดงกราฟ Sound Pressure, Sound Intensity และ Sound Power
- ควบคุมการทำงานแบบรีโมทผ่าน Tablet
- จับภาพหน้าจอบน Tablet เพื่อบันทึก
- ซอฟต์แวร์ PULSE Reflex Array Analysis จัดทำ เก็บบันทึกข้อมูล และตรวจสอบบน PC



เนื่องจากทำงานแบบ Real-Time กล้องถ่ายภาพเสียงจึงเหมาะสำหรับใช้สร้างแผนภาพเสียงรบกวนของวัตถุเคลื่อนที่ และเหตุการณ์ชนิดเกิดเป็นห้วง ๆ ได้ คุณสามารถเดินถือแผงไมโครโฟนเพื่อบันทึกวิดีโอ หรือยึดแผงไมโครโฟนกับขาตั้งกล้องอยู่กับที่ก็ได้ กล้องถ่ายภาพเสียงตรวจวัดเสียงความถี่ย่านกว้างโดยใช้เทคโนโลยี Acoustic Beamforming และ Statistically Optimized Near-Field Holography (SONAH)

กล้องถ่ายภาพเสียง: อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียง

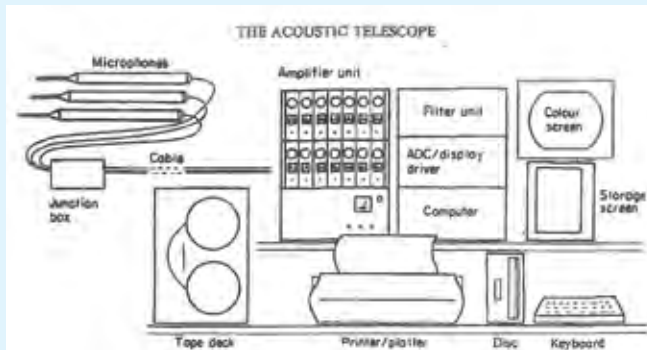
การควบคุมเสียงรบกวน เป็นโจทย์ที่มีความท้าทายสูงสำหรับวิศวกรและนักวิจัย เป็นที่รู้กันดีว่าการควบคุมการเกิดเสียงรบกวนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นสามารถทำได้โดยดำเนินการแก้ไขปัญหาที่แหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง ถึงแม้ว่าความรู้ด้านวิทยาศาสตร์จะช่วยให้วิศวกรสามารถพยากรณ์การเกิดเสียงได้แม่นยำในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การเกิดเสียงรบกวนซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์แบบของผลิตภัณฑ์ก็สามารถก่อให้เกิดเสียงรบกวนได้ ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้มีความยากที่จะคาดเดาได้ว่าเสียงรบกวนดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นจากชิ้นส่วนใด ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นอุปกรณ์เพื่อใช้ระบุแหล่งกำเนิดเสียงขึ้น อุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่าไมโครโฟนอาร์เรย์ (microphone array) บทความนี้จะกล่าวถึงหลักการทำงานของไมโครโฟนอาร์เรย์ รวมถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งถูกเรียกอย่างกว้าง ๆ ว่า **เทคนิค Noise Source Identification: NSI** โดยมีการแสดงผลในรูปของแผนที่เสียงรบกวนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การระบุตำแหน่งการเกิดเสียงรบกวน (NSI)

ไมโครโฟนอาร์เรย์ถูกเรียกอย่างหนึ่งว่า **เสาอากาศเสียง** (acoustic antenna) สืบเนื่องมาจากหลักการที่ใช้ในการระบุแหล่งกำเนิดเสียงนั้นมีพื้นฐานเดียวกันกับการออกแบบเสาอากาศเพื่อรับคลื่นวิทยุ ไมโครโฟนอาร์เรย์ระบบหนึ่งจะประกอบไปด้วยเซนเซอร์

(sensor) ซึ่งก็คือ ไมโครโฟนสำหรับตรวจจับสัญญาณเสียง โครงสร้างของอาเรย์ที่ใช้ยึดจับเซนเซอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ชุดผสมเก็บสัญญาณและส่วนประมวลผล เทคโนโลยีไมโครโฟนอาเรย์นั้นถูกคิดค้นขึ้นมาในช่วงทศวรรษที่ 1980s ไมโครโฟนอาเรย์ระบบแรกนั้นถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ.1975 โดย J.Billingsly และ R.Kinns (ดูรูปที่ 2) และได้รับชื่อเรียกว่า **กล้องมองเสียงระยะไกล** (acoustic telescope) ในยุคแรกของการพัฒนานั้นไมโครโฟนอาเรย์ถูกใช้เพื่อการตรวจจับเสียงและวิเคราะห์การเกิดเสียงรบกวนของเครื่องบินและรถไฟเป็นหลัก



รูปที่ 2 ระบบไมโครโฟนอาเรย์ The Acoustic Telescope ^[1]

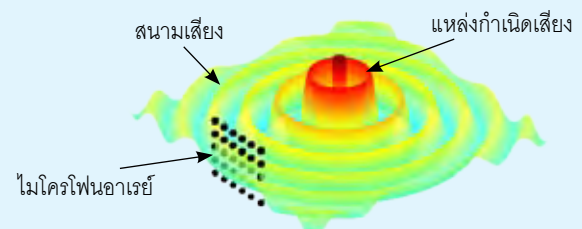
ต่อมาในปี ค.ศ.1999 บริษัท GFal Tech GmbH ได้ทำการรวมกล้องถ่ายภาพเข้ากับไมโครโฟนอาเรย์และนำเสนอผลิตภัณฑ์ดังกล่าวขึ้นครั้งแรกในงานแสดงสินค้าเมืองฮานโอเวอร์ โดยใช้ชื่อผลงานว่า **กล้องถ่ายภาพเสียง** (acoustic camera) ดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างไรก็ตาม กล้องถ่ายภาพเสียงของ GFal เวอร์ชันแรกนี้มีข้อบกพร่องอยู่มาก และถูกแก้ไขให้มีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างสูงสุดแล้วในเวอร์ชันปัจจุบัน

หลักการทำงาน

เสียง คือ คลื่นกลซึ่งเดินทางผ่านตัวกลางคืออากาศ โดยมีจุดเริ่มต้นที่แหล่งกำเนิดเสียงและแพร่กระจายออกไป การเดินทางของคลื่นนั้นเป็นการส่งผ่านพลังงานจากแหล่งกำเนิดออกไปตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น การส่งผ่านพลังงานดังกล่าวนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศกลับไปกลับมา เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ให้ผู้อ่านพิจารณาว่ามีแหล่งแบบขั้วเดียว (monopole source) กำลังกำเนิดคลื่นซึ่งมีความถี่ใด ๆ ความถี่หนึ่งขึ้น ณ จุดอ้างอิงหนึ่ง การแพร่หรือการเดินทางของคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบขั้วเดียวบนระนาบนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 พื้นผิวในภาพนั้นแสดงความดันของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ณ เวลาชั่วขณะที่ทำการศึกษา ในทางเทคนิคแล้ว ความดันอากาศที่กล่าวถึงไปนั้นหากถูกตรวจจับ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งจะถูกเรียกว่า **ความดันเสียง** (sound pressure) และหากพิจารณาความดันเสียงตลอดทั่วพื้นที่ของการแพร่ของเสียงในชั่วขณะเดียวกันแล้วพื้นผิวของความดันดังกล่าวจะถูกเรียกว่า **สนามเสียง** (sound field) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 กล้องถ่ายภาพเสียงโดยบริษัท GFal ^[2]



รูปที่ 4 การแพร่ของเสียงจากแหล่งกำเนิดแบบขั้วเดียว และการตรวจจับสนามเสียงโดยไมโครโฟนอาเรย์ โดยสีของพื้นผิวคือความดันเสียง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

การตรวจจับสนามเสียงนั้นสามารถทำได้โดยการใช้ไมโครโฟนจำนวนมากกว่า 1 ตัว วางเรียงกันในรูปแบบที่มีความเหมาะสมกับความถี่ของสนามเสียง จุดสีดำซึ่งเรียงเป็นระนาบในรูปที่ 4 นั้น คือ ไมโครโฟนอาเรย์ในขณะทำการตรวจจับสนามเสียง สัญญาณเสียงที่ถูกตรวจจับได้โดยไมโครโฟนทุกตัวจะถูกนำมาประมวลผลร่วมกัน และผลของการประมวลผลนั้นจะนำไปสู่การระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงได้ สำหรับเทคนิคการประมวลผลสัญญาณสำหรับไมโครโฟนอาเรย์นั้น สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ อันได้แก่ เทคนิคการสร้าง빔เพื่อรับเสียง (acoustic beamforming) และการสร้างโฮโลแกรมของเสียง (acoustic holography) ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดในหัวข้อถัดไปของบทความนี้

ความหลากหลายของไมโครโฟนอาเรย์

ไมโครโฟนอาเรย์ที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันนี้มีอยู่หลายรูปแบบ คือ ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ มีการจัดเรียงไมโครโฟนเป็นเส้นตรง จัดเรียงเป็นกริดสี่เหลี่ยมบนระนาบ และเป็นวงกลมบนระนาบ ไปจนถึงมีไมโครโฟนติดตั้งบนทรงกลม เมื่อมีหลากหลายเช่นนี้คำถามคือเราจะมีการเลือกใช้อย่างไรให้เหมาะสมกับการใช้งาน ? ส่วนนี้ของบทความมีคำตอบ

ในด้านพื้นฐานของอาเรย์นั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญของไมโครโฟนอาเรย์มีอยู่ 2 พารามิเตอร์ คือ **ขนาดของอาเรย์** และ **ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ (ไมโครโฟน)** เนื่องจากไมโครโฟนอาเรย์ถูกใช้ในการตรวจจับสนามเสียง ดังนั้น พารามิเตอร์ดังกล่าวจะต้องมีความ

เหมาะสมกับสนามเสียงที่จะทำการตรวจจับ ในทางทฤษฎีนั้นไมโครโฟนอาร์เรย์จะสามารถตรวจจับสนามเสียงที่มีความถี่สูงสุดได้เมื่อความยาวคลื่นของสนามเสียงมีขนาดใหญ่มากกว่าระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและไมโครโฟนเกินกว่าขนาดของอาร์เรย์ (ความยาวคลื่นของสนามเสียงสามารถคำนวณได้จาก $c_0 = f \lambda$ โดย λ คือ ความยาวคลื่นของสนามเสียง c_0 คือ ความเร็วของเสียงในอากาศซึ่งมีค่าประมาณ 343 เมตรต่อวินาที และ f คือ ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง) นั่นหมายความว่า ขนาดและระยะห่างระหว่างไมโครโฟนของอาร์เรย์นั้นเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่ที่อาร์เรย์สามารถใช้งานได้นั่นเอง หากนำอาร์เรย์ไปใช้งานเกินช่วงความถี่ที่กล่าวไว้ข้างต้น จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า **สเปเชียลเอเลียซซิง** (spatial aliasing) อันจะส่งผลให้ไม่สามารถรับรองความถูกต้องของการแปลผลจากการประมวลผลสัญญาณได้^[3]

รูปที่ 5 แสดงการใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์เพื่อระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนซึ่งเกิดจากกังหันลม ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ถึง 3.5 เมตร ทำให้ไมโครโฟนอาร์เรย์ดังกล่าวสามารถตรวจจับสนามเสียงซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 100 ถึง 5,000 Hz^[4] รูปที่ 6 แสดงการใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ซึ่งติดตั้งอยู่บนพื้นที่ที่เครื่องบินบินผ่านเพื่อระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนจากการบินผ่านของเครื่องบิน ซึ่งช่วยให้การแก้ไขปัญหาเสียงรบกวนสามารถทำได้ตรงจุดและมีประสิทธิภาพ^[5]



รูปที่ 5 เสียงรบกวนซึ่งเกิดจากกังหันลมนั้นมีแหล่งกำเนิดอยู่ที่บริเวณปลายใบกังหันและบริเวณฮับ

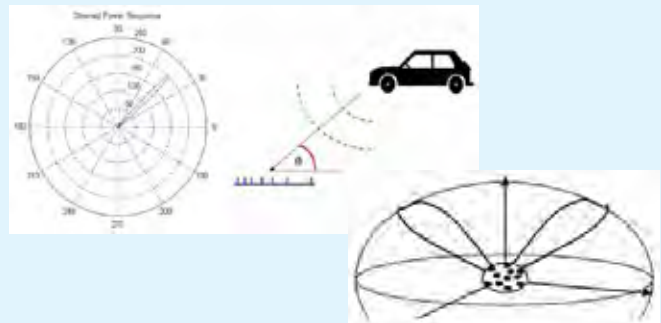


รูปที่ 6 การใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ช่วยให้ทราบตำแหน่งการเกิดเสียงรบกวนของเครื่องบินที่เฉพาะเจาะจงได้

นอกเหนือจากด้านพื้นฐานแล้ว มิติของไมโครโฟนเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการระบุตำแหน่งของอาร์เรย์เช่นกัน การจำแนกไมโครโฟนอาร์เรย์ตามมิติของการจัดเรียงไมโครโฟนมีดังนี้ 1) **ไมโครโฟนอาร์เรย์แบบ 1 มิติ หรืออาร์เรย์เชิงเส้น** (linear array) 2) **ไมโครโฟนอาร์เรย์แบบ 2 มิติ หรืออาร์เรย์เชิงระนาบ** (planar array) และ 3) **ไมโครโฟนอาร์เรย์แบบ 3 มิติ ซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกลม** (spherical array) จำนวนมิติของอาร์เรย์ที่มากขึ้นจะทำให้สามารถจำแนกทิศทางของแหล่งกำเนิดเสียงได้มากขึ้นตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น อาร์เรย์ 1 มิติ จะมีความสามารถในการระบุทิศทางบนระนาบในช่วง 0-180 องศา ซึ่งเป็นมุมเปิดอ้างอิงด้านกว้างของอาร์เรย์ (ดูรูปที่ 7) และไม่สามารถระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งอยู่สูงหรือต่ำกว่าระนาบที่อาร์เรย์ติดตั้งอยู่ สำหรับอาร์เรย์ 2 มิติ นั้นจะมีความสามารถในการจำแนกแหล่งกำเนิดเสียงบนระนาบ ในช่วง 0-360 องศา (รอบทิศทางของอาร์เรย์บนระนาบ) แต่ก็ยังมีข้อจำกัด คือ ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งอยู่สูงหรือต่ำกว่าระนาบที่อาร์เรย์ติดตั้งได้ สำหรับอาร์เรย์ 3 มิติ นั้นจะมีความสามารถใช้ระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงได้ในทุกทิศทาง



รูปที่ 7 ไมโครโฟนอาร์เรย์แบบระนาบ (2D) และทรงกลม (3D)



รูปที่ 8 บีมรับเสียงที่สร้างขึ้นจากอาร์เรย์แบบระนาบ (บน) และทรงกลม (ล่าง) เพื่อใช้ระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง

การสร้างบีมและการสร้างโฮโลแกรม

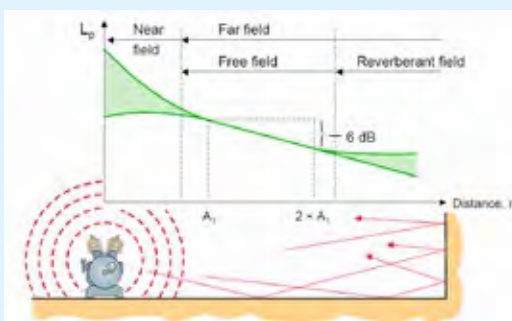
การสร้างบีมเพื่อรับเสียง (acoustic beamforming) และการสร้างโฮโลแกรมของสนามเสียงหรือโฮโลกราฟี (Nearfield Acoustic Holography: NAH) เป็นการจัดกลุ่มเทคนิคการประมวลผลสัญญาณอย่างกว้าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิด

เสียง ทั้ง 2 เทคนิคนี้มีหลักการทำงานที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ดังที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้

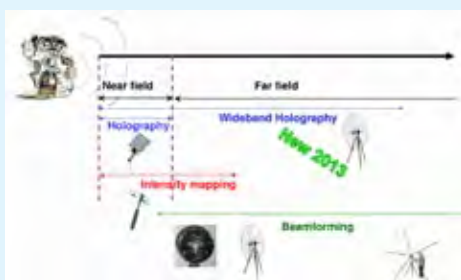
เทคนิค Beamforming มีแนวคิดพื้นฐานดังนี้ คือ โดยปกติไมโครโฟนจะรับเสียงจากทุกทิศทาง ซึ่งทำให้ไม่สามารถจำแนกได้ว่าเสียงที่ถูกตรวจจับด้วยไมโครโฟนนั้นเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดซึ่งอยู่ที่ใดของไมโครโฟน การใช้เทคนิค Beamforming จะเป็นการจำกัดทิศทางการรับเสียงของไมโครโฟนให้อยู่ในมุมตามต้องการผลพลอยได้ก็คือ ทำให้เราสามารถทราบได้ว่าแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ทางทิศใดของไมโครโฟน การจำกัดทิศทางนี้ที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค Beamforming นี้ถูกเรียกว่า **การหมุน빔ด้วยอิเล็กทรอนิกส์** (electronic steering beam)

สำหรับเทคนิค NAH นั้นจะเป็นการประมาณค่าของแหล่งกำเนิดเสียงผ่านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีแบบจำลองการแพร่ของเสียงรวมอยู่ในการคำนวณดังกล่าว นอกจากนั้นแล้วความแตกต่างที่สำคัญระหว่างเทคนิค NAH กับ Beamforming คือ Beamforming จะใช้ข้อมูลจากการตรวจจับสนามเสียงไกล (farfield) ในขณะที่สำหรับเทคนิค NAH นั้นใช้ข้อมูลจากการตรวจจับสนามเสียงใกล้ (nearfield) ในการประมวลผล

รูปที่ 9 แสดงการจำแนกสนามเสียง โดยสนามเสียงใกล้นั้นจะมีความแปรปรวนของระดับความดันเสียงมากกว่าช่วงสนามเสียงไกล ในการใช้เทคนิค Beamforming นั้น อาเรย์จะต้องถูกวางในตำแหน่งสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นช่วง Free Field และในทำนองเดียวกัน อาเรย์จะต้องถูกติดตั้งอยู่ในช่วง Near Field จึงจะสามารถใช้เทคนิค NAH ได้อย่างเหมาะสม รูปที่ 10 แสดงภาพรวมของไมโครโฟนอาเรย์รุ่นต่าง ๆ ซึ่งถูกออกแบบมาให้ใช้งานในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ในหัวข้อถัดไปจะเป็นการอธิบายหลักการเบื้องต้นของทั้งสองเทคนิคที่กล่าวมา



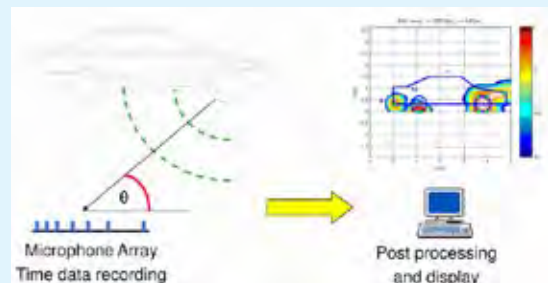
รูปที่ 9 แสดงการเกิดสนามเสียงใกล้และไกล



รูปที่ 10 อาเรย์ชนิดต่าง ๆ และสนามเสียงที่เหมาะสมกับการใช้งาน

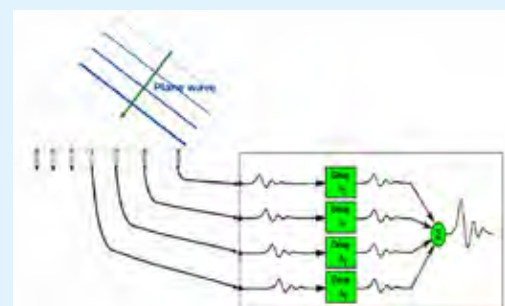
Beamforming

การระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงโดยเทคนิค Beamforming นั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ รูปที่ 11 แสดงความพยายามที่จะใช้ไมโครโฟนอาเรย์เพื่อระบุตำแหน่งเสียงรบกวนซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณช่วงล่างของรถยนต์ในการนี้มีการวางเซนเซอร์ (ไมโครโฟน) จำนวนหนึ่งเรียงกันเป็นเส้นตรงบนระนาบอ้างอิง (พื้น) เพื่อตรวจจับสนามเสียงซึ่งอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากยางรถยนต์ท่อไอเสีย และเครื่องยนต์ เป็นต้น ในกรณีศึกษาที่สมมติให้มีกำเนิดเสียงอยู่ห่างออกไปจากอาเรย์โดยทำมุม θ อ้างอิงตามแนวยาวของอาเรย์ รูปที่ 12 แสดงเหตุการณ์ขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่มาถึงอาเรย์ซึ่งจะสามารถอนุมานได้ว่าไมโครโฟนตัวด้านขวาสุดจะตรวจจับคลื่นเสียงได้ก่อนตัวถัดไปทางด้านซ้าย หรือในอีกนัยหนึ่งสัญญาณเสียงซึ่งเซนเซอร์ถัดไปทางด้านซ้ายตรวจจับได้นั้นเป็นสัญญาณเสียงที่มีลักษณะเหมือนกับที่ถูกตรวจจับได้โดยไมโครโฟนตัวด้านขวาสุดหากแต่มีการหน่วงเวลาให้ช้าไป (delay) ซึ่งการหน่วงเวลานั้นจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างไมโครโฟนแต่ละตัวเทียบกับตัวด้านขวาสุด

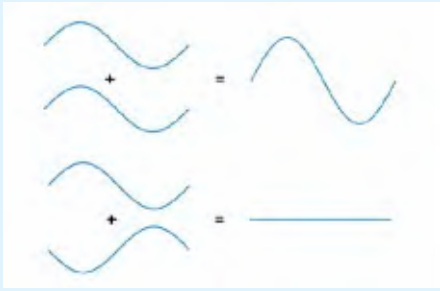


รูปที่ 11 แสดงการเกิดสนามเสียงใกล้และไกล

การเลื่อนของสัญญาณคลื่นที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้นสามารถพิจารณาได้เป็นการเลื่อนของมุมเฟสของคลื่น ด้วยหลักการที่ว่าการรวมกันของคลื่นที่มีมุมเฟสตรงกันจะให้ผลลัพธ์ คือ คลื่นที่มีขนาดแอมพลิจูดสูง นั้นหมายความว่าหากมีการชดเชยการเลื่อนของคลื่นให้มีมุมเฟสตรง ซึ่งค่าการเลื่อนดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากมุม θ กัน ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์แล้วจะทำให้เกิดขนาดของการรวมกันสูงที่สุด โดยค่าชดเชยดังกล่าวสามารถคำนวณล่วงหน้าและจะใช้เป็นดัชนีในการระบุทิศทางของแหล่งกำเนิดคลื่น เทคนิคที่กล่าวมานี้รู้จักกันดีในชื่อ **Delay-and-Sum Beamforming** หรือ **DS Beamforming** รูปที่ 13



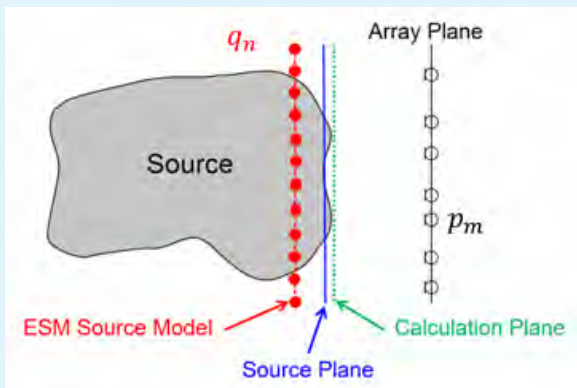
รูปที่ 12 สัญญาณเสียงที่ถูกตรวจจับได้โดยไมโครโฟนแต่ละตัว



รูปที่ 13 การรวมกันของคลื่นความถี่เดียวกันและมีมุมเฟสตรงกันจะเป็นการเสริมกัน (บน) และจะหักล้างกันอย่างสมบูรณ์เมื่อเฟสต่างกัน 180 องศา (ล่าง)

Near-Field Acoustic Holography: NAH

เทคนิค NAH จะมีความซับซ้อนในเชิงทฤษฎีมากกว่าเทคนิค Beamforming แนวคิดพื้นฐานของเทคนิคนี้ คือ การใช้ข้อมูลสนามเสียง (ใกล้) ที่ตรวจจับได้โดยไมโครโฟนอาร์เรย์ในการประมาณค่าแบบย้อนกลับผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า **ปัญหาผกผันของการเคลื่อนที่ของคลื่น** (inverse radiation problem) ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาผกผันคือเทคนิคที่เรียกว่า **Equivalent Source Method: ESM**^[6] สมมติฐานที่ถูกกำหนดขึ้นในเทคนิค ESM มีดังนี้คือ สมมติให้แหล่งกำเนิดเสียงที่เราสนใจนั้นประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดเสียงสมมติ เรียงรายอยู่เป็นแถวดังแสดงด้วยจุดสีแดงในรูปที่ 14 โดยระยะห่างของอาร์เรย์ (array plane) ไปจนถึงแหล่งกำเนิด (source plane) จะถูกกำหนดในซอร์สเพลนโดยผู้ใช้งานอาร์เรย์



รูปที่ 14 สัญญาณเสียงที่ถูกตรวจจับได้โดยไมโครโฟนแต่ละตัว

จากรูปที่ 14 ตัวแปร p_m หมายถึง ความดันเสียงที่ถูกตรวจจับได้โดยไมโครโฟนตัวที่ m และตัวแปร q_n คือ **ความแรงของแหล่งกำเนิด** (source strength) ตัวที่ n ตามลำดับ โดยสมมติให้มีจำนวนของกำเนิดเสียงจำนวนมากได้ตามข้อแนะนำของเทคนิคในการคำนวณความแรงถูกนิยามไว้อย่างหละหลวม ซึ่งในบทความนี้หมายถึงความเร่งเชิงปริมาตร (volume acceleration) มีหน่วยเป็น (เมตรต่อวินาที)² เมื่อแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค ESM แล้วผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถนำมาแปลผลเพื่อแสดงอยู่ในรูปไฮโดแกรมของความ

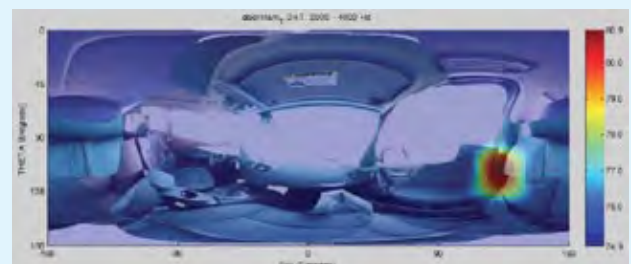
ดันเสียง (sound pressure) ความเร็วอนุภาค (particle velocity) ความเข้มเสียง (sound intensity) และกำลังเสียง (sound power) อย่างไรก็ตามก็ทำตามต้องการ จะเห็นได้ว่าเทคนิค NAH นั้นสามารถให้พารามิเตอร์การตรวจวัดที่หลากหลายมากกว่า Beamforming ซึ่งจำกัดอยู่ที่ความดันเสียง รูปที่ 15 แสดงการตรวจวัดความเข้มเสียงโดยใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ชนิดระนาบ



รูปที่ 15 การใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ตรวจวัด Sound Intensity ด้วยเทคนิค NAH

แผนที่เสียงรบกวน (noise mapping)

ผลลัพธ์จากการประมวลผลสัญญาณโดยใช้เทคนิค Beamforming และ NAH นั้นจะถูกนำเสนอในรูปแบบของแผนที่เสียงรบกวน ซึ่งคือการนำพารามิเตอร์ทางเสียงซึ่งได้จากการคำนวณ เช่น ระดับความดันเสียง และระดับความเข้มเสียง มาทำการซ้อนทับลงบนภาพถ่ายของบริเวณที่สนใจซึ่งถูกถ่ายมาอย่างมีสอดคล้องกันกับการตรวจจับสนามเสียง รูปที่ 16 แสดงแผนที่เสียงซึ่งได้การใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ชนิดทรงกลม แกนนอนของภาพแสดงมุมตามแนวระนาบ (azimuth angle) และแกนตั้งของภาพแสดงมุมยก (elevation angle) โดยมุมทั้งสองนั้นอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางของอาร์เรย์ ทางด้านขวาของภาพแสดงแถบสีไล่เรียงจากสีน้ำเงินเข้มไล่ไปยังสีแดงเข้ม ซึ่งใช้แสดงระดับความดันเสียงในช่วง 74.9 dB ถึง 80.9 dB เมื่อพิจารณาสีในภาพจะพบว่าส่วนใหญ่แสดงในโทนสีน้ำเงิน ซึ่งหมายถึงว่าระดับเสียงภายในพื้นที่ห้องโดยสารส่วนมากอยู่ที่ระดับ 74.9 dB – 76.0 dB โดยประมาณ ยกเว้นบริเวณด้านล่างของขอบประตูหลังซึ่งแสดงเป็นสีแดงเข้ม การแสดงผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า บริเวณดังกล่าวนั้นมีระดับความดันเสียงสูงกว่าบริเวณอื่น และจากแผนที่เสียงนี้สามารถระบุได้ว่าบริเวณด้านล่างของประตูหลังมีโอกาสูงที่จะเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน



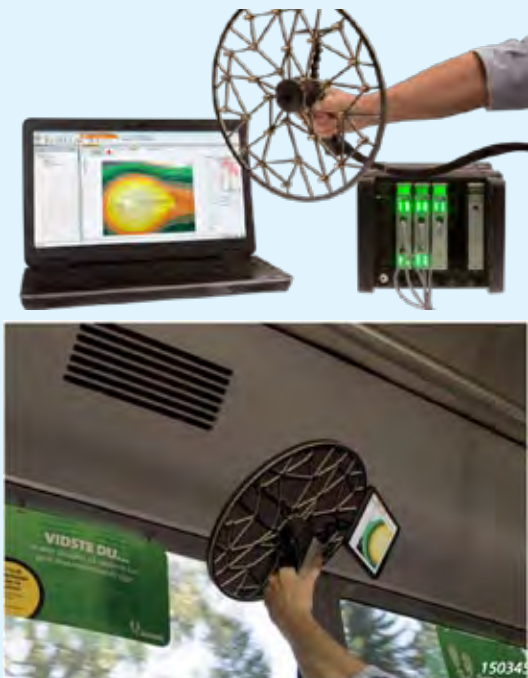
รูปที่ 16 แผนที่เสียงจาก Spherical Array

ถึงแม้ว่าแผนที่เสียงรบกวนจะสามารถช่วยให้วิศวกรสามารถค้นหาที่มาของเสียงได้ การแปลผลข้อมูลและการตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อให้การใช้กล้องถ่ายภาพเสียงรบกวนอย่างมีประสิทธิภาพนั้นอาจไม่ใช่เรื่องที่ตรงไปตรงมามากนัก ผู้ใช้งานควรมีความเข้าใจและใช้เวลาในการสร้างประสบการณ์

Brüel & Kjaer Type 9712

Type 9712 หรือ PULSE Reflex Acoustic Camera (รูปที่ 17) เป็นกล้องถ่ายภาพเสียงซึ่งออกแบบโดยบริษัท Brüel & Kjaer มีลักษณะเป็นอาร์เรย์แบบระนาบวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร และประกอบไปด้วยไมโครโฟนจำนวน 30 ตัว สำหรับตรวจจับสนามเสียง ^[7] Type 9712 ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้กับเทคนิค Beamforming และ NAH โดยย่านความถี่ใช้งานคือ 1 kHz ถึง 12 kHz เมื่อใช้ร่วมกับเทคนิค Beamforming และ 140 Hz ถึง 3 kHz เมื่อใช้ร่วมกับเทคนิค NAH

Type 9712 มาพร้อมกับโปรแกรมประมวลผล Pulse Reflex Array Analysis ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลและแสดงผลการคำนวณ โดยสามารถเลือกแสดงผลเป็นระดับแรงดันเสียง (Sound Pressure Level: SPL) ระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity Level: SIL) หรือกำลังเสียง (sound power) ได้ตามต้องการ



รูปที่ 17 Type 9712 Pulse Reflex Acoustic Camera

Brüel & Kjaer Type 8606

Type 8606 (รูปที่ 18) เป็นไมโครโฟนอาร์เรย์แบบทรงกลม มีความสามารถในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงแบบ 3 มิติ Type 8606 ประกอบไปด้วยไมโครโฟนจำนวน 36 ตัว กระจายอย่าง

สม่ำเสมออยู่ทั่วพื้นผิวของทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 195 มิลลิเมตร พร้อมด้วยกล้องถ่ายภาพ จำนวน 12 ตัว ทำการถ่ายภาพรอบทิศทางด้วยมุมมองแบบทรงกลมอาร์เรย์ถูกออกแบบมาให้มีขนาดพอเหมาะที่จะใช้ตรวจจับแหล่งกำเนิดเสียงภายในห้องโดยสารรถยนต์ ^[8]



รูปที่ 18 Type 8606 Spherical Microphone Array และการทำงานในการระบุแหล่งกำเนิดเสียงในห้องโดยสารรถยนต์

สำหรับเทคนิคการประมวลผลสัญญาณที่ใช้กับ Type 8606 นั้น คือ เทคนิค Beamforming ที่เรียกว่า **Filter and Sum: FAS** และ **Spherical Beamforming (SHARP)** ซึ่งทั้งสองเทคนิค ทำงานได้ดีในย่านความถี่ 200 Hz ถึง 6,400 Hz เมื่อไม่นานมานี้เทคนิคการประมวลผล NAH สำหรับอาร์เรย์ทรงกลมนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นและได้มีการทดลองใช้ระบุตำแหน่งรั้วซึมของเสียงรบกวนบนห้องโดยสารของเครื่องบิน หากแต่ยังไม่ได้ถูกพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบเชิงพาณิชย์

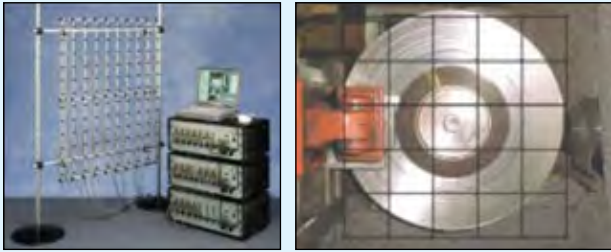
ส่วนต่อไปของบทความนี้จะเป็นการนำกรณีศึกษาที่น่าสนใจจำนวน 2 กรณี มาเล่าสู่กันฟังเพื่อผู้อ่านได้เห็นแนวทางในการใช้งานไมโครโฟนอาร์เรย์ในการแก้ไขปัญหาเรื่องเสียงรบกวน

กรณีศึกษาที่ 1 การสืบหาสาเหตุการเกิดเสียง Squeal ของจานเบรก Uรียัท Meneta Advanced Shims Technology ^[9]

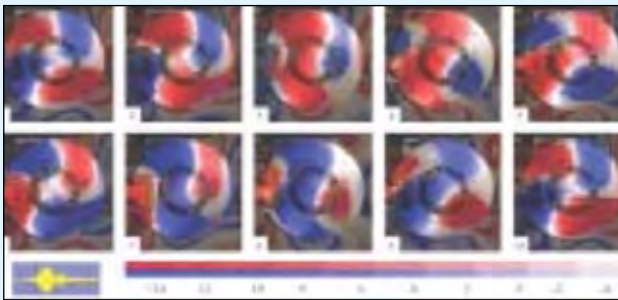
เสียง Squeal เป็นเสียงที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก และเป็นสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่งของการส่งคืนผลิตภัณฑ์แน่นอนว่า Squeal Noise นี้เป็นหัวข้อวิจัยที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่งจากบริษัทผลิตผ้าเบรกทั่วโลก

บริษัท Meneta ได้ทำการใช้เทคนิค NAH ในการตรวจวัดรูปร่างการสั่นซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด Squeal ของผลิตภัณฑ์ โดยมีการใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์แบบระนาบ ประกอบด้วยไมโครโฟนจำนวน 100 ตัว ร่วมกับการใช้กล้องถ่ายภาพความเร็วสูงซึ่งมีความสามารถ

ในการบันทึกภาพถึง 16,000 เฟรมต่อวินาทีในการเก็บข้อมูลภาพสัญญาณเสียงที่ตรวจจับได้นั้นถูกนำมาผ่านการคำนวณด้วยเทคนิค Spatial Transform of SoundField: STSF เพื่อสร้างโฮโลแกรม และนำไปสู่การคำนวณความเร็วของการสั่นสะเทือนที่ผิวของจานเบรกรวมถึงความเข้มเสียงที่เกิดขึ้น และทำให้ทราบถึงรูปร่างการสั่นของจานเบรกเป็นผลลัพธ์สุดท้าย



รูปที่ 19 ไมโครโฟนอาร์เรย์แบบแผงที่ใช้ในการวิจัยดังกล่าว (ซ้าย) และภาพถ่ายสำหรับใช้สร้างแผนที่เสียงรบกวน



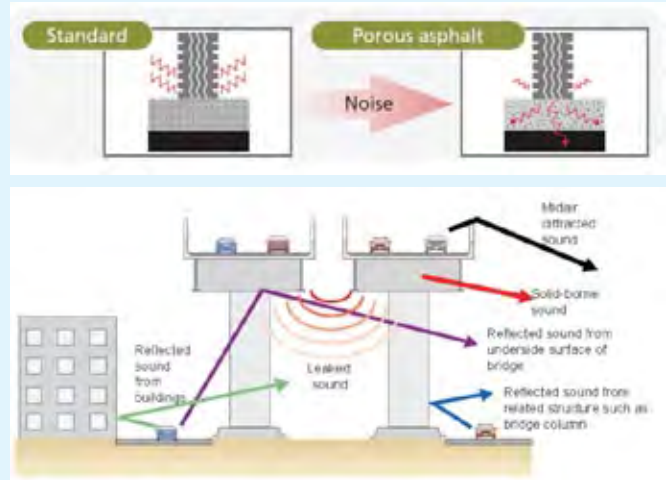
รูปที่ 20 รูปร่างการสั่นของจานเบรกที่มีความถี่ 1,856 Hz คำนวณจากสนามเสียงซึ่งตรวจจับได้โดยไมโครโฟนอาร์เรย์

จุดเด่นของการใช้เทคนิคโฮโลกราฟีในกรณีศึกษานี้ คือ ความสามารถในการประมาณความเร็วของการสั่นสะเทือนที่ผิวของจานเบรกในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว (transient) ซึ่งเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนชนิดเลเซอร์ไม่สามารถทำได้ ข้อมูลรูปร่างการสั่นของจานเบรกถูกใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท Meneta ต่อไป

กรณีศึกษาที่ 2 การลดเสียงรบกวนบนท้องถนน

บริษัท Nippon Expressway Research Institute Company Limited (NEXCO RI) ^[10]

บริษัท NEXCO RI เป็นบริษัทที่ปรึกษาก่อสร้างทางด่วนและทางยกระดับชั้นนำของประเทศญี่ปุ่น มีเป้าหมายที่จะลดเสียงรบกวนซึ่งเกิดจากการจราจร (traffic noise) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วการลดเสียงรบกวนจากการจราจรนั้นทำได้โดยใช้ผนังกันเสียง (sound insulation wall) และการปูพื้นด้วยแผ่นปูพื้นที่มีรูพรุนทำจากวัสดุแอสฟัลต์ (porous asphalt pavement)



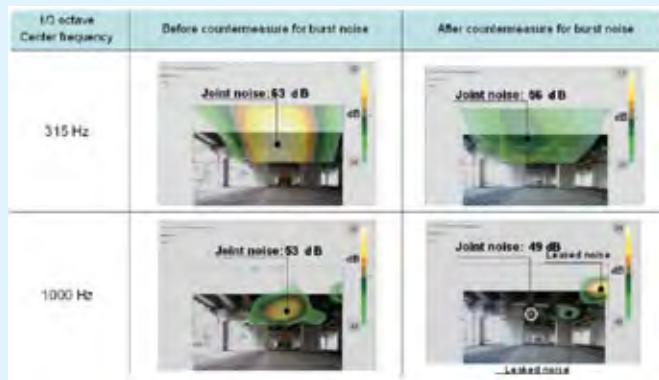
รูปที่ 21 การลดเสียงรบกวนโดยแผ่นปูพื้น Asphalt แบบมีรูพรุน (บน) และสาเหตุการเกิดเสียงรบกวนจากการจราจร (ล่าง)

ด้วยความหนาแน่นของการจราจรที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันส่งผลให้ระดับเสียงรบกวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อค้นหาจุดที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดเสียงรบกวน เพื่อดำเนินการแก้ไขอย่างมีประสิทธิภาพทางบริษัท NEXCO RI ได้ใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ ขนาด 3 เมตร ประกอบด้วยไมโครโฟนจำนวน 42 ตัว ในการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง 21 ไมโครโฟนอาร์เรย์ถูกติดตั้งเป็นระยะห่าง 100 เมตร จากบริเวณที่มีเสียงดังและถูกตั้งสมมติฐานว่าเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน



รูปที่ 22 ไมโครโฟนอาร์เรย์ซึ่งบริษัท NEXCO RI เป็นเจ้าของ

ผลจากการตรวจวัดชี้ให้เห็นว่า มีการรั่วไหลของเสียงรบกวนจากบริเวณช่องว่างระหว่างทางยกระดับทั้งสองด้าน ทางบริษัทจึงดำเนินการติดตั้งผนังกันเสียงเข้าที่บริเวณพื้นที่เปิดโล่งระหว่างทางยกระดับทั้งสอง รูปที่ 23 แสดงให้เห็นถึงการลดลงของเสียงรบกวนอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนทำการปิดช่องว่างดังกล่าว บริษัท NEXCO RI ได้ใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ในการช่วยให้ข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาเสียงรบกวนจากการจราจรมากกว่า 10 กรณีต่อปี



รูปที่ 23 ผลการตรวจวัดระดับเสียงรบกวนเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการ ปิดช่องว่างระหว่างทางยกระดับ

สรุป

บทความนี้ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพัฒนาการของไมโครโฟนอาร์เรย์ หลักการทำงานเบื้องต้น และแนวทางการประยุกต์ใช้ จะเห็นได้ว่า ไมโครโฟนอาร์เรย์เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้บุคลากรในฝ่ายวิจัยหรือหน่วยงาน ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเกิดเสียงรบกวนสามารถวินิจฉัยและสืบหา ต้นตอของเสียงรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การทำงาน ไมโครโฟนอาร์เรย์นั้นไม่ได้ตรงไปตรงมามากนักเนื่องจากเบื้องหลังการ แสดงผลนั้นมีการคำนวณซ่อนอยู่มากในระดับหนึ่ง ดังนั้น ผู้ใช้งานจึง ควรทำความเข้าใจกับการทำงานของเครื่องมือ สร้างประสบการณ์ให้กับตัวเอง และตั้งข้อสังเกตต่อผลที่ได้รับจากซอฟต์แวร์ประมวลผล จึงจะนำไปสู่การใช้งานไมโครโฟนอาร์เรย์เพื่อวินิจฉัยแหล่งกำเนิดเสียง รบกวนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Billingsley and R. Kinns, "The acoustic telescope," *J. Sound Vib.*, vol. 48, no. 4, pp. 485-510, Oct. 1976.
- [2] U. Michel, "HISTORY OF ACOUSTIC BEAMFORMING," in *1st Berlin Beamforming Conference*, 2006, pp. 1-17.
- [3] F. Fahy and J. Walker, Eds., *Advanced Applications in Acoustics, Noise & Vibration*. London: Taylor & Francis, 2004.
- [4] Bruel & Kjaer, "PRODUCT DATA: PULSE™ Array Acoustics Wind Turbines Moving Source Beamforming BZ-5941." [Online]. Available: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2493.ashx>. [Accessed: 15-May-2017].
- [5] Bruel & Kjaer, "PRODUCT DATA: PULSE Array Acoustics , Flyover Moving Source Beamforming BZ-5940," 2012. [Online]. Available: <https://www.bksv.com/media/doc/bp2537.pdf>. [Accessed: 15-May-2017].
- [6] Bruel & Kjaer, "PRODUCT DATA: PULSE Array - based Noise Source Identification Solutions." [Online]. Available: <https://www.bksv.com/media/doc/bp2144.pdf>. [Accessed: 15-May-2017].
- [7] Bruel & Kjaer, "PRODUCT DATA: PULSE Reflex Acoustic Camera." [Online]. Available: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2534.ashx>. [Accessed: 15-May-2017].
- [8] Bruel & Kjaer, "PRODUCT INFORMATION: Spherical Beamforming Systems." [Online]. Available: <https://www.bksv.com/media/doc/bn0690.pdf>. [Accessed: 15-May-2017].
- [9] Meneta Advanced Shims Technology A/S, "CASE STUDY: Brake Squeal Investigations using Acoustic Holography." [Online]. Available: <https://www.bksv.com/media/doc/ba0618.pdf>. [Accessed: 15-May-2017].
- [10] Nippon Expressway Research Institute Company Limited, "CASE STUDY: Reducing Environmental Road Noise, Japan." [Online]. Available: <https://www.bksv.com/media/doc/bn0998.pdf>. [Accessed: 15-May-2017].

สนใจสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม ติดต่อได้ที่: คุณอัจฉรา 081-372-0180
คุณสิริกัณฑ์ 086-577-7577



บริษัท เมเชอร์โทรนิคส์ จำกัด

2425/2 ถนนลาดพร้าว ระหว่างซอย 67/2-69 แขวงสะพานสอง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2514-1000; 0-2514-1234 โทรสาร 0-2514-0001; 0-2514-0003
Internet: <http://www.measuretronix.com> E-Mail: info@measuretronix.com