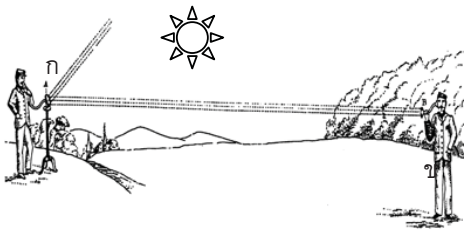


สัญญาณโฟโตอคูสติกและการประยุกต์ใช้งาน Photoacoustic Signal and Its Application

มีชัย โลหะการ¹

1. บทนำ (Introduction)

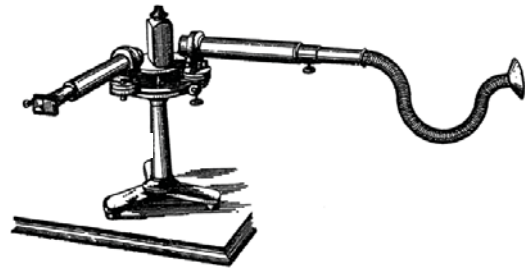
บทความวิชาการนี้นำเสนอเรื่องสัญญาณโฟโตอคูสติกและการประยุกต์ใช้งาน โดยโฟโตอคูสติก (Photoacoustic) มาจากคำว่า แสง (Photo) และเสียง (Acoustic) หมายถึง การสร้างเสียงจากแสง การศึกษาเกี่ยวกับแสงและเสียงเกิดขึ้นในปีพ.ศ.2423 เมื่อ อเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ (A. G. Bell) ทำทดลองความเป็นไปได้ในการสื่อสารด้วยเสียงโดยใช้แสง [1] เขาพบว่าเมื่อนำแสงที่มีความเข้มหรือถูกโฟกัสให้เป็นลำแสงนำมาผนวกกับเสียงแล้วส่งไปยังปลายทางซึ่งมีตัวรับแบบพิเศษจะสามารถได้ยินเสียงจากต้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 1 ตำแหน่ง ก เป็นตัวส่งที่มีฉากรับแสงอาทิตย์และผู้ส่งพูดใส่ท่อส่งเสียงซึ่งจะทำการผสมเสียงของผู้พูดกับแสงอาทิตย์ โดยลำแสงที่ออกจากตัวส่งถูกฉายไปยังตัวรับซึ่งจะทำการเปลี่ยนแสงเป็นเสียงดังนั้น ผู้รับ ณ ตำแหน่ง ข จะได้ยินเสียงหรือข้อความจากผู้ส่งได้



รูปที่ 1 การทดลองของอเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบลล์ [1]

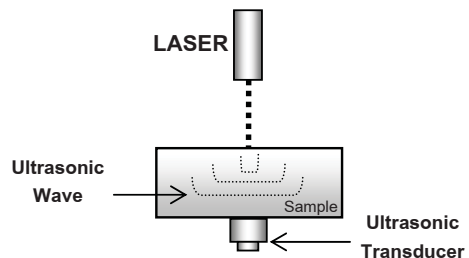
จากนั้นนักวิทยาศาสตร์ผู้หนึ่งยังได้พัฒนาเครื่องมือที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอคูสติก (Photoacoustic Effect) ดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องมือดังกล่าวมีปลายด้านหนึ่งใช้ในการรับแสงในขณะที่ปลายอีกด้านได้ออกแบบให้สามารถใช้หูแนบเพื่อฟังเสียงได้ จากการศึกษาเขาพบว่าวัตถุที่มีค่าการดูดกลืนแสง (Light Absorbing

Material) มักจะให้เสียงที่ดังกว่าวัตถุที่มีค่าการดูดกลืนแสงน้อย



รูปที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอคูสติก [1]

การศึกษาสัญญาณโฟโตอคูสติกยุคใหม่เริ่มขึ้นในปี พ.ศ.2523 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ ดี เอ ดัชชินส์ (D. A. Hutchins) [2] และปีพ.ศ.2531 โดยนักวิทยาศาสตร์ ชื่อ เซนน์ (Q. X. Chen) และคณะ [3] ได้ตีพิมพ์ผลงานที่อธิบายถึงการสร้างคลื่นอัลตราซาวด์ (Ultrasound) จากลำแสงเลเซอร์ (LASER) หลังจากนั้นวิธีการนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing : NDT) ดังแสดงในรูปที่ 3



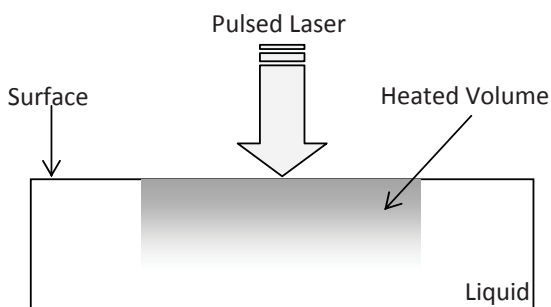
รูปที่ 3 การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้โฟโตอคูสติก

¹ อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
โทรศัพท์ 0-2913-2500 ต่อ 3331 E-mail: lohakanm@yahoo.com

วัสดุทดสอบ (Sample) ถูกยิงด้วยแสงเลเซอร์ที่ผิวทำให้เกิดคลื่นอัลตราซาวด์ในวัสดุ โดยมีทรานส์ดีวเซอร์ต่ออยู่อีกด้านของผิววัสดุซึ่งทำการเปลี่ยนคลื่นอัลตราซาวด์เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์จากประโยชน์จากการที่ไม่ทำลายวัสดุและมีความปลอดภัยอีกทั้งยังไม่มีการสึกค้ำนี้เองโฟโตอคูสติกจึงได้ถูกประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์อีกด้วย

2. การเกิดโฟโตอคูสติก (Photoacoustic Generation)

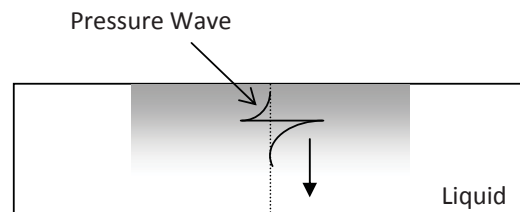
โฟโตอคูสติกสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของเหลวและก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 4 กลไกการเกิดมีหลายขั้นตอน กล่าวคือเมื่อวัสดุถูกพัลส์เลเซอร์จะเกิดการพังทลายของไดอิเล็กทริก (Dielectric Breakdown) ความเข้มของเลเซอร์ต้องมีค่ามากกว่า 10^6 Wcm^{-2} หากเป็นของเหลวที่บริเวณพื้นผิวที่เลเซอร์ตกกระทบอาจมีของเหลวบางส่วนที่กลายเป็นไอ (Vaporization Process) ในกรณีของน้ำจะใช้พลังงาน $2,600 \text{ Jcm}^{-3}$ ในการกลายเป็นไอ เมื่อเกิดความร้อนขึ้นบริเวณผิวจากการที่เลเซอร์ตกกระทบเป็นช่วง ๆ ของเหลวก็จะได้รับความร้อนเป็นช่วงจังหวะเช่นกันซึ่งก่อให้เกิดกระบวนการยืดหยุ่นความร้อน (Thermoelastic Process) อย่างไรก็ตามเลเซอร์ธรรมดาที่มีแสงต่อเนื่อง (Continuous Laser) จะไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอคูสติก



รูปที่ 4 กระบวนการยืดหยุ่นความร้อน

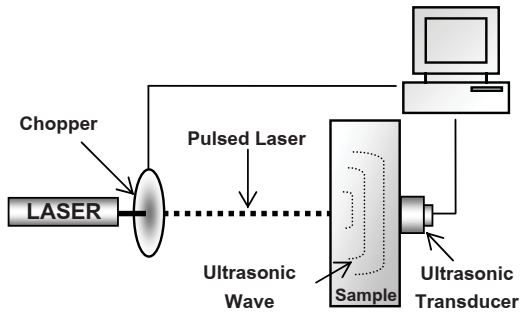
การที่มีความร้อนมาเกี่ยวข้องกับการเกิดคลื่นอัลตราซาวด์นั้นบางงานวิจัยจึงเรียกโฟโตอคูสติกในอีกชื่อว่าเทอร์โมอคูสติก (Thermoacoustic) [4] ความร้อน ณ

บริเวณที่เลเซอร์ตกกระทบจะเกิดความร้อนขึ้น (Heated Volume) และมีอุณหภูมิสูงที่สุด จากนั้นความร้อนจะกระจายตัวออกด้วยการพาความร้อน ดังนั้นบริเวณที่ไกลจากเลเซอร์จึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อความร้อนแพร่กระจายออกไปยังวัสดุในทุกทิศทางจะเกิดไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นทำให้เกิดกระบวนการอิเล็กโทรสตริกชัน (Electrostriction) คือการที่วัสดุสามารถเปลี่ยนแรงทางไฟฟ้าเป็นแรงทางกลได้เมื่อเกิดแรงขึ้นก็จะเกิดการกระจายความดัน (Irradiation Pressure) ดังแสดงในรูปที่ 5 คลื่นความดัน (Pressure Wave) เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบมีทิศการเคลื่อนที่ออกห่างจากจุดที่เลเซอร์ตกกระทบซึ่งการแพร่กระจายความดันเกิดจากแรงกด (Stress) เป็นหลักการพื้นฐานของการเกิดคลื่นอัลตราซาวด์



รูปที่ 5 การกระจายความดัน (Irradiation Pressure)

มีรายงานว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นเสียงในของเหลวเท่ากับ 30% [5] หมายความว่าหากปล่อยแสงที่มีพลังงาน 100% จะทำให้เกิดคลื่นอัลตราซาวด์เพียง 30% อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการสร้างพัลส์เลเซอร์กระทำได้อย่างจึงได้มีการคิดค้นการใช้ฉากเพื่อตัดแสง (Chopper) ทำการเปลี่ยนจากเลเซอร์แบบต่อเนื่องเป็นพัลส์เลเซอร์แสดงได้ดังรูปที่ 6 แสงเลเซอร์แบบต่อเนื่องถูกสร้างขึ้นจากก๊าซ Nd:YAG มีความยาวคลื่น (Wavelength) 1,064 nm ผ่านฉากตัดที่ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมจังหวะการยิงได้เช่น 20 Hz หรือ 40 Hz เมื่อพัลส์เลเซอร์ตกกระทบพื้นผิวของวัสดุจึงก่อให้เกิดคลื่นอัลตราซาวด์โดยเป็นไปตามกลไกดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

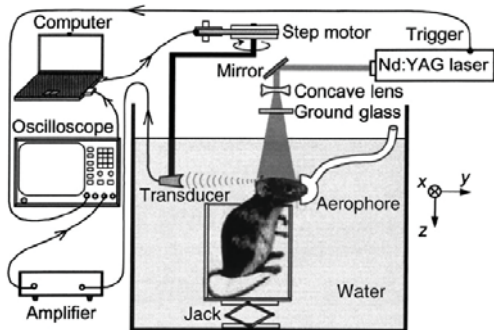


รูปที่ 6 การทดลองสร้างสัญญาณไฟฟ้าคูสติค

3. การประยุกต์ (Photoacoustic Application)

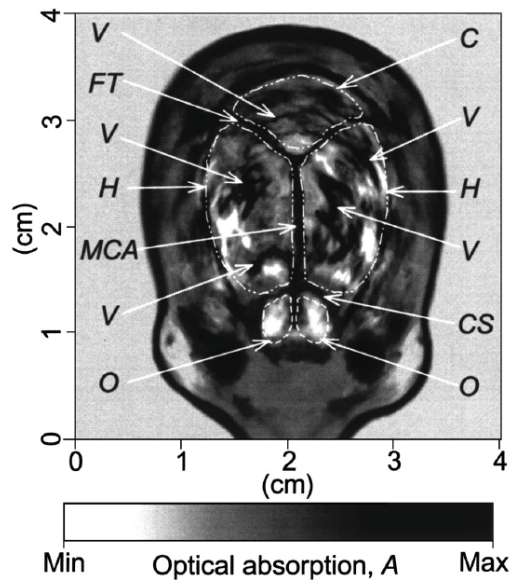
3.1 ไฟฟ้าคูสติคกับการสร้างภาพทางการแพทย์

การสร้างภาพทางการแพทย์มีประโยชน์มากต่อการวินิจฉัยโรค มีเทคนิคการสร้างภาพมากมายเช่น การใช้เครื่องซีที (Computerized Tomography: CT) หรือเครื่องอัลตราซาวด์ ปรากฏการณ์ไฟฟ้าคูสติคเป็นวิธีการใหม่ที่กำลังถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างภาพทางการแพทย์เพราะการสร้างภาพแบบนี้ได้รวมคุณประโยชน์ของแสงและเสียงเข้าด้วยกันกล่าวคือแสงให้ภาพที่มีคอนทราสต์สูง (High Contrast) ในขณะที่เสียงให้รายละเอียดของภาพ (Image Resolution) ดีมาก [4] ผู้นำในการวิจัยด้านนี้คือ ลิฮอง วี หวัง (Lihong V. Wang) แห่งห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยเท็กซัส เอ แอนด์ เอ็ม (Texas A&M University) ประเทศสหรัฐอเมริกา งานวิจัยที่โดดเด่นของเขาคือการสร้างภาพสมองของหนูขณะยังมีชีวิตดังรูปที่ 7 [6]



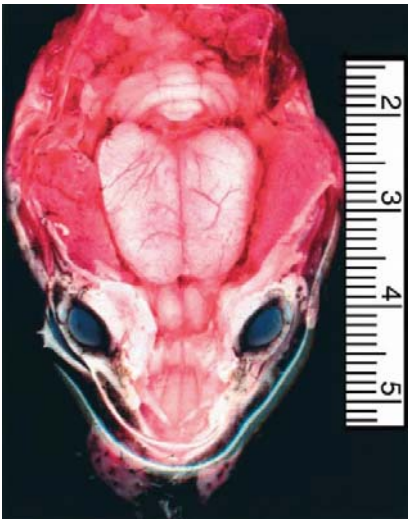
รูปที่ 7 การสร้างภาพสมองของหนูขณะมีชีวิต [6]

การทดลองได้นำหนูมาโกนขนบนหัวออกแล้วนำไปแช่อยู่ในน้ำ ทำให้อากาศ (Aerophore) เพื่อให้หนูหายใจได้ ใช้เลเซอร์ชนิด Nd:YAG พร้อมระบบนำแสงถูกจัดให้อยู่ด้านบนมีกระจกทำการสะท้อนแสงและเลนส์ช่วยในการกระจายแสงให้ตกกระทบที่หัวหนูอย่างทั่วถึง จากนั้นนำอัลตราซาวด์ทรานส์ดีวเซอร์ที่มีความถี่กลาง 20 MHz ยึดอยู่กับแท่นสแกนทำการรับสัญญาณอัลตราซาวด์ที่แพร่ออกมาจากหัวของหนู นอกจากนี้จำเป็นต้องหมุนอัลตราซาวด์ทรานส์ดีวเซอร์รอบหัวหนูทดลองจนครบ 360 องศา ทำให้ได้ข้อมูลโปรเจกชัน (Projection Data) เพื่อใช้ในการสร้างภาพ จากนั้นเมื่อคลื่นอัลตราซาวด์ถูกทรานส์ดีวเซอร์เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งเข้าสู่ตัวขยาย (Amplifier) เพื่อเพิ่มขนาดของสัญญาณก่อนเข้าดิิจิตอลออสซิลโลสโคปเพื่อทำการแสดงผลและเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลต่อไป นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ดังกล่าวยังใช้ควบคุมส่วนต่าง ๆ ของการทดลองให้สัมพันธ์กัน เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการคำนวณและสร้างภาพสมองของหนูแสดงได้ดังรูปที่ 8 สีดำแสดงถึงค่าการดูดกลืนแสงมากในขณะที่สีเทาแสดงถึงค่าการดูดกลืนแสงน้อย และสีขาวแสดงถึงค่าการดูดกลืนแสงต่ำสุด



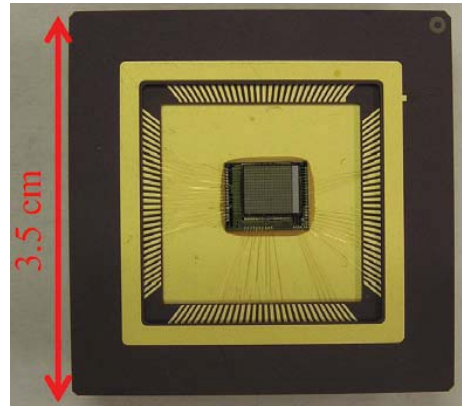
รูปที่ 8 ภาพที่สร้างจากสัญญาณไฟฟ้าคูสติค [6]

ส่วนต่าง ๆ ของสมองถูกชี้โดยลูกศร โดยหนูที่นำมาทดลองมีขนาดของสมองประมาณ $4 \times 2.5 \text{ mm}^2$ ภาพที่ได้มีความชัดเจนและเห็นรายละเอียดที่มีขนาดเล็กได้ โดยงานวิจัยนี้รายงานว่าสามารถตรวจจับวัสดุที่มีขนาด $30 \text{ }\mu\text{m}$ ได้ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองคณะผู้วิจัยได้ทำการเปิดกะโหลกของหนูแล้วถ่ายภาพไว้แสดงได้ดังรูปที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 8 กับรูปที่ 9 พบว่าการสร้างภาพจากสัญญาณโฟโตอคูสติกมีความถูกต้องและมีรายละเอียดของส่วนประกอบของสมองครบถ้วน นอกจากนี้สีสดส่วนของภาพยังคงมีความถูกต้องเช่นกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสรุปผลการทดลองว่าสามารถใช้สัญญาณโฟโตอคูสติกในการสร้างภาพสมองได้ถูกต้องและผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจจึงอาจประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพสมองมนุษย์ได้ในอนาคต



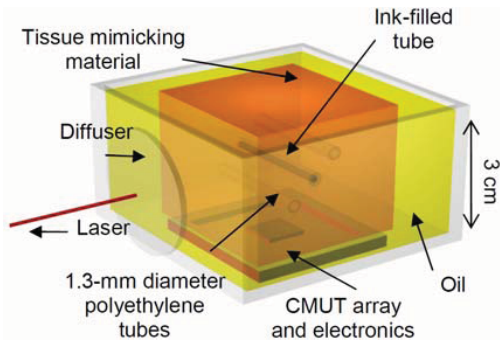
รูปที่ 9 ภาพถ่ายสมองโดยการเปิดกะโหลกของหนู [6]

การประยุกต์ใช้สัญญาณโฟโตอคูสติกในการสร้างภาพสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบ 2 มิติ (2D Ultrasonic Transducer Array) [7] ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ทรานสดิวเซอร์แบบ 2 มิติ [7]

ทรานสดิวเซอร์มีขนาดประมาณ $3.5 \times 3.5 \text{ cm}^2$ แต่ตัวตรวจจับมีขนาดเพียงประมาณ $4 \times 4 \text{ mm}^2$ วางอยู่ตรงกลางโดยมีวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์อยู่ด้านข้าง จุดเด่นของงานวิจัยนี้อยู่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นในการสแกนภาพให้ครบ 360 องศาเหมือนงานวิจัยก่อนหน้านี้คลื่นอัลตราซาวด์ที่ถูกเลเซอร์สร้างขึ้นจะถูกทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้รับได้หมดซึ่งจะส่งผลโดยตรงให้ภาพมีความละเอียดมากขึ้น ระบบที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 11 [7] ใช้ลำแสงเลเซอร์ที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 mm ให้พลังงาน 2.3 mJ ด้วยอัตราการยิง 10 ครั้งต่อวินาที ยิ่งเข้าสู่กล่องพลาสติกที่มีความสูงประมาณ 3 cm มีเนื้อเยื่อผสมเป็นวัสดุทดสอบโดยมีหลอดที่บรรจุน้ำมีอยู่ภายใน เนื้อเยื่อผสมถูกแช่อยู่ในน้ำมันจนท่วมถึงผิวด้านบน ใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบ 2 มิติ ที่มีความถี่กลางอยู่ที่ 5 MHz อันประกอบไปด้วยอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จิวขนาด $250 \times 250 \text{ }\mu\text{m}^2$ จำนวน 256 ตัววางอยู่ด้านล่างของวัสดุทดสอบอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบ 2 มิติ มีจุดที่น่าสนใจอีกประการคือสามารถเลือกใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จิวทำงานตัวเดียวหรือทั้งกลุ่มก็ได้



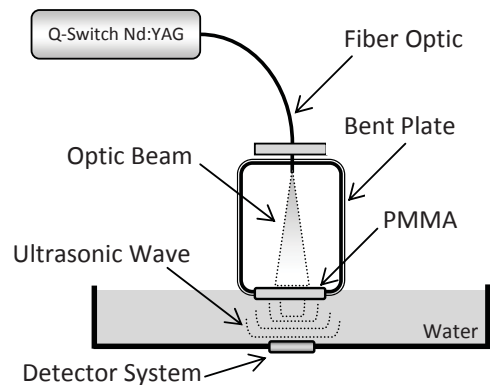
รูปที่ 11 ระบบการสร้างภาพจากทรานส์ดิวเซอร์ 2 มิติ [7]

คณะผู้วิจัยรายงานว่าการทดลองดังกล่าวสามารถใช้สัญญาณโฟโตอคูสติกในการตรวจจับท่อหมึกที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อผสมได้ นอกจากนี้สัญญาณดังกล่าวยังถูกนำมาสร้างภาพ 2 มิติเพื่อแสดงตำแหน่งของท่อหมึกได้อย่างถูกต้อง คณะผู้วิจัยสรุปว่าระบบนี้สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของภาพและลดระยะเวลาในการสแกนได้

3.2 โฟโตอคูสติกกับการหาค่าพารามิเตอร์ของวัสดุ

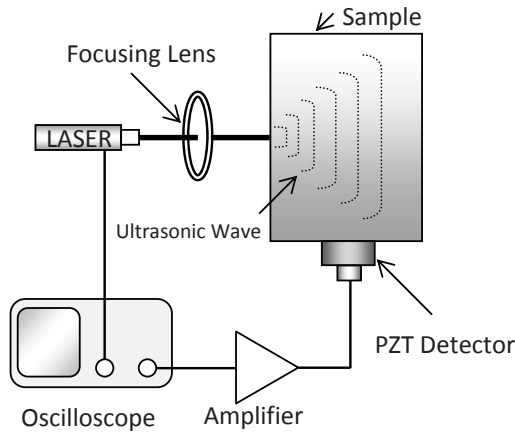
นอกจากการสร้างภาพจากสัญญาณโฟโตอคูสติกที่ใช้อัลตราโซนิกทรานส์ดิวเซอร์ยังมีการประยุกต์ใช้อีกแนวทางหนึ่งคือใช้หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวัสดุทดสอบซึ่งจุดเด่นของวิธีการนี้อยู่ที่สามารถวัดหาค่าพารามิเตอร์ได้โดยไม่ทำลายวัสดุ ดังงานวิจัยจากประเทศอังกฤษได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณอัลตราซาวด์ (Ultrasonic Attenuation Coefficient) และความเร็วของคลื่นอัลตราซาวด์ในวัสดุ โดยใช้อุณหภูมิมืดเป็นตัวแปรต้น ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองเป็นค่าเฉพาะตัวที่สำคัญของวัสดุ การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 12 [8] การทดลองดังกล่าวใช้เลเซอร์ Q-Switch ชนิด Nd:YAG ที่มีความยาวคลื่น 1,064 nm มีความกว้างของสัญญาณกระตุ้น 45 ns ให้พลังงาน 45 mJ ด้วยอัตราการยิง 20 ครั้งต่อวินาที อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ไม่ได้ปล่อยลำแสงเลเซอร์ให้กระทบวัสดุทดลองโดยตรง หากแต่ผ่านใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) ซึ่งลำแสงถูกส่งผ่านเข้าไปภายในกล่องที่สร้างขึ้นมาเฉพาะเพื่อลดแสงรบกวนจากภายนอกใช้ PMMA เป็นตัวดูดซับแสงแล้วส่งคลื่นอัลตราซาวด์ออกมา ในอ่างทดลองมีของเหลวบรรจุอยู่

โดยวัสดุทดสอบต้องถูกแช่ในของเหลว ด้านล่างของอ่างมีตัวตรวจจับคลื่นอัลตราซาวด์ และทำการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งต่อให้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยคณะผู้วิจัยนี้สรุปว่าค่าความเร็วและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่คำนวณได้มีความถูกต้องและสัมพันธ์กันตามทฤษฎีคาร์เมอร์-โครนิก



รูปที่ 12 การทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน [8]

ยิ่งไปกว่านั้นสัญญาณโฟโตอคูสติกยังใช้ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันดิบในน้ำที่นำเสนอบริการโดยคณะวิจัยจากประเทศอังกฤษ [9] โดยการวัดค่าความเข้มข้น (Concentration) ของของเหลวด้วยการทดลองที่แสดงในรูปที่ 13 ใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 1,550 nm โดยมีความกว้างของสัญญาณกระตุ้น 200 ns ให้พลังงาน 2.32 μJ ลำแสงเลเซอร์ผ่านเลนส์เพื่อโฟกัสลำแสงให้ตกกระทบที่วัสดุเกิดเป็นคลื่นอัลตราซาวด์แพร่กระจายผ่านของเหลวซึ่งประกอบด้วยน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมันดิบ โดยของเหลวดังกล่าวถูกเตรียมการขึ้นโดยให้ความเข้มข้น 400-890 mg l^{-1} คลื่นอัลตราซาวด์ถูกตรวจจับด้วย PZT ที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 13 การทดลองตรวจจับน้ำมันดิบที่ปนเปื้อนในน้ำ [9]

ผลการทดลองในตารางที่ 1 แสดงถึงผลการเพิ่มขึ้นของสัญญาณโฟโตอคูสติกเมื่อมีน้ำการปนเปื้อนสามารถสรุปได้ว่าสัญญาณโฟโตอคูสติกสามารถใช้ตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันดิบในของเหลวได้

ตารางที่ 1 การเพิ่มขึ้นของสัญญาณโฟโตอคูสติก [9]

Sample	Increase in photoacoustic signal (%)
Distilled water	0.0
4% Methanol	7.4
Oil 500 mg ^l ⁻¹	4.7
Combined sample	11.7

4. สรุป (Conclusion)

ปรากฏการณ์โฟโตอคูสติกเป็นการเปลี่ยนแสงให้กลายเป็นเสียงเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังค้นคว้าวิจัยในขณะนี้สัญญาณโฟโตอคูสติกสร้างได้จากยิงพัลส์เลเซอร์ไปยังสื่อที่เป็นก๊าซหรือของเหลว กลไกการเกิดที่สำคัญอยู่ที่ความร้อนจึงมีงานวิจัยบางชิ้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเทอร์โมอคูสติก เมื่อเกิดความร้อนขึ้นทำให้เกิดคลื่นความดันในของเหลวซึ่งก่อให้เกิดคลื่นอัลตราซาวด์แพร่กระจายไปยังวัสดุทดสอบและมีทรานสดิวเซอร์เป็นตัวเปลี่ยนคลื่นอัลตราซาวด์เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นนำไปทำการคำนวณหรือ

วิเคราะห์ต่อยอดด้วยคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้สัญญาณโฟโตอคูสติกมีประโยชน์ในด้านการทดสอบแบบไม่ทำลายและการสร้างภาพทางการแพทย์โดยภาพที่สร้างขึ้นมีคอนทราสต์สูงเนื่องจากคุณสมบัติของแสงและยังมีความละเอียดสูงจากคุณสมบัติของอัลตราซาวด์อาจกล่าวได้ว่าเป็นการรวมข้อดีของแสงและเสียงไว้ด้วยกัน ดังนั้นเนื้อเยื่อที่มีขนาดเล็ก (ประมาณ 30 ไมครอน) จึงสามารถมองเห็นได้ โดยจุดเด่นนี้เองจึงมีประโยชน์ต่อการตรวจหาโรคมะเร็งในระยะเริ่มต้นที่มีขนาดเล็กได้ดี ในขณะที่เครื่องตรวจประเภทอื่นกระทำไต่ยากกว่า ซึ่งจะสามารถช่วยแพทย์วินิจฉัยโรคได้ทันทั่วทั้งอันจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการรักษาผู้ป่วยได้มากขึ้น นอกจากนี้สัญญาณโฟโตอคูสติกยังสามารถใช้หาพารามิเตอร์ของวัสดุได้เช่น ความเร็วของอัลตราซาวด์ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน ความหนาแน่น รวมถึงค่าความเข้มข้นของเหลว และอื่น ๆ

จะเห็นว่าสัญญาณโฟโตอคูสติกเป็นแนวโน้มเทคโนโลยีใหม่ที่ผนวกข้อดีของแสงและเสียงไว้ด้วยกันซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสง แห่งห้องปฏิบัติการ PASS LAB (PhotoAcoustic Sensors and Systems LAB) ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำอันทรงคุณค่าในส่วนของทฤษฎีแสง

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] A. G. Bell, "Upon the Production of Sound by Radiant Energy," *Phil.Mag.*, vol. 11, pp. 510-528, 1881.
- [2] D. A. Hutchins, "Ultrasonic Generation by Pulsed Lasers," *Physical Acoustics*, pp. 21-123, 1988.
- [3] A. D. Q. X. Chen, R. J. Dewhurst and P. A. Payne, "Photoacoustic Probe for Intraarterial Imaging and Therapy," *Electronics Letters*, pp. 1632-1633, 1993.



- [4] L. V. Wang, "Ultrasound-medical biophotonic imaging: A review of acousto-optical tomography and photo-acoustic tomography," *Disease Markers*, vol. 19, pp. 123-138, 2004.
- [5] L. M. L. a. K. A. Naugolnykh, "Optical-Generation of Sound-Non-Linear Effects," *Soviet Physics Acoustics-Ussr*, vol. 37, pp. 357-371, 1981.
- [6] X. Wang, Y. Pang, G. Ku, X. Xie, G. Stoica, and L. V. Wang, "Noninvasive laser-induced photoacoustic tomography for structural and functional in vivo imaging of the brain," *Nature Biotechnology*, pp. 803-806, 2003.
- [7] I. O. Wygant, X. Zhuang, P. S. Kuo, D. T. Yeh, O. Oralkan, and B. T. Khuri-Yakub, "Photoacoustic imaging using a two-dimensional CMUT array," in *Ultrasonics Symposium, 2005 IEEE*, 2005, pp. 1921-1924.
- [8] B. E. Treeby, B. T. Cox, E. Z. Zhang, S. K. Patch, and P. C. Beard, "Measurement of Broadband Temperature-Dependent Ultrasonic Attenuation and Dispersion Using Photoacoustics," *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, IEEE Transactions on*, vol. 56, pp. 1666-1676, 2009.
- [9] P. Hodgson, K. M. Quan, H. A. MacKenzie, S. S. Freeborn, J. Hannigan, E. M. Johnston, F. Greig, and T. D. Binnie, "Application of pulsed laser photoacoustic sensors in monitoring oil contamination in water," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 29, pp. 339-344, 1995.