

การตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสง (Environmental Monitoring Based Fiber Optic Sensor)

ภัทรพงศ์ รักน้อย, ผศ.ดร.ปรีชา ยูพาทิน,
รศ. สุวรรณ ฤธาราม และวิชาญ เติชธีระ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเส้นใยนำแสงมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแบบประมวลผลด้วยเครื่องโอทีดีอาร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจสอบเส้นใยนำแสงที่อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแสงภายในเส้นใยนำแสง กล่าวคือ การสะท้อนกลับของแสงที่จุดปลายของเส้นใยนำแสงนั้นจะมีอัตราส่วนของความเข้มแสงเป็นไปตามหลักของเฟรเนล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีหักเหของแสงและของตัวกลางที่สัมผัสที่ภาคตัดขวางด้านปลายของเส้นใยนำแสง จากหลักการนี้เอง จึงสามารถพิจารณาหรือตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมที่สนใจได้ที่บริเวณด้านปลายของเส้นใยนำแสง การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแสง เช่น ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เป็นต้น ผลจากการศึกษานี้ได้ทำการวัดความเข้มของสารละลายเอทานอลในน้ำ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของสารผสมนี้มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความเข้มแสงสะท้อนกลับที่วัดได้ นั่นคือ จากการพิจารณาความสัมพันธ์นี้ จะเห็นว่า สามารถนำไปเป็นข้อกำหนดในการสร้างเป็นเครื่องมือตรวจวัดต่อไปได้

Abstract

This paper presents the use of fiber optic sensor based on fiber optic remote sensing, using OTDR. The principle of the system is that when light is launched via a fiber optic, the reflection of light intensity is observed by OTDR. The change of environmental parameters occur may change the output light intensity and will be observed. Result obtained from tested samples such as the mixture of alcohol and water have shown that the change of remote detected parameters

* ห้องปฏิบัติการวิจัยออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

caused the change of the detected output intensity. The proposed device may improve to use as a fiber optic remote sensing instrument for environmental monitoring.

บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีของเส้นใยนำแสงได้เข้ามามีบทบาทมากทั้งทางด้านการสื่อสาร [1] อุปกรณ์การตรวจวัด [3] และอุปกรณ์วงจรรวมออปติก [3] ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีของเส้นใยนำแสงที่มีขนาดเล็ก และเบาปราศจากสัญญาณรบกวน (ในย่านคลื่นวิทยุ) ไม่ขึ้นกับความแปรปรวนของสภาพดินฟ้าอากาศ ทั้งยังเหมาะสำหรับทำเป็นอุปกรณ์การตรวจวัดระยะไกล (Remote sensing) มาก [4] งานวิจัยนี้กล่าวถึงวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสงเป็นอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ และทำเป็นหัววัด ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้งานแล้วดังรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง [5] ระบบที่ใช้ประกอบด้วยส่วนของการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณทางสิ่งแวดล้อมที่ใช้เส้นใยนำแสงและส่วนของการประมวลสัญญาณเพื่อรับสัญญาณและเก็บข้อมูลจากการวัดแล้วนำมาวิเคราะห์ การวัดด้วยเทคนิคนี้ เป็นการวัดระยะไกลที่สามารถครอบคลุมระยะทางได้ประมาณ 250 กิโลเมตร โดยไม่ต้องทำการขยายสัญญาณ ทั้งยังสามารถวัดตัวแปรได้มากกว่าหนึ่งตัวแปร ซึ่งหมายถึง สามารถวัดแบบหลายหน้าที่ (multiplex) ได้ นอกจากนั้น ยังสามารถทำงานแบบทันที (real time) พร้อมทั้งสามารถควบคุมและสั่งการเพื่อแก้ไขได้อีกด้วย จากการศึกษาระบบที่เป็นเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพน้ำระยะไกล โดยใช้หัววัดที่เชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงที่ทำการรับและส่งสัญญาณที่ติดต่อกับเครื่องประมวลสัญญาณ โอทีดีอาร์ พบว่า สัญญาณที่วัดได้ในรูปของการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของสารละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่วัดได้ ข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำมาทำการวิเคราะห์พร้อมกับทำการสอบเทียบข้อมูลจริงได้ จึงทำให้สามารถตรวจสอบ แก้ไข และควบคุมตัวแปรที่วัดได้ งานนี้เริ่มจากการกล่าวถึงหลักการทำงานของระบบ การทดลอง ผลที่ได้และบทสรุปของแนวโน้มการพัฒนาต่อไป

หลักการทำงาน

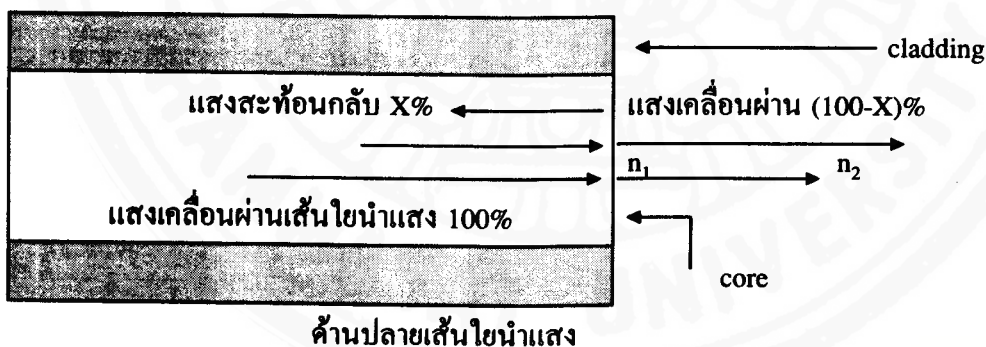
เมื่อพิจารณาการสะท้อนของแสงระหว่างรอยต่อของตัวกลางที่ 1 ที่บริเวณแกนกลาง (core) ของเส้นใยนำแสงซึ่งใช้สัญลักษณ์แทนค่าดัชนีหักเหเป็น n_1 และตัวกลางที่ 2 (อาจเป็นอากาศ หรือน้ำ หรือสารเคมี ที่ต้องทำการตรวจวัด ใช้สัญลักษณ์ n_2) ดังรูปที่ 1 โดยการสมมติให้แสงที่เคลื่อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงตัวกลางที่ 1 มีค่า 100% ส่วนของแสงที่สะท้อนกลับที่รอยต่อของตัวกลางแสงที่ 1 และตัวกลางแสงที่ 2 มีค่าเท่ากับ $x\%$ ดังนั้น แสงที่เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปได้ และเคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางที่ 2 จึงมีค่าเท่ากับ $(100-x)\%$ การสะท้อนแบบนี้เป็นไปตามสมการ

ของเฟรเนล (Fresnel formula) ซึ่งสามารถหาอัตราส่วนการสะท้อนแสง (r) ที่รอยต่อของตัวกลางได้จากสมการที่ 1 ซึ่งเท่ากับเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงได้ คือ

$$r = (n_1 - n_2 / n_1 + n_2)^2$$

เมื่อ n_1 และ n_2 เป็นดัชนีหักเหแสงในตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โอทีดีอาร์ (OTDR = Optical Time Domain Reflectometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบเส้นใยนำแสง เช่น ตรวจสอบความยาว ตรวจสอบการสูญเสียความเข้มแสงที่จุดต่าง ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบดังแผนผังตามรูปที่ 2 ภาคล่งจะส่งสัญญาณแสงที่เป็นสัญญาณพัลส์ของแสงป้อนเข้าสู่เส้นใยนำแสงโดยผ่านส่วนที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงขาเข้าและขาออก ซึ่งใช้อุปกรณ์จำพวก สวิตช์ทางแสงหรือคัปเปิลเลอร์ (coupler) ที่ภาครับสัญญาณแสงจะมีอะเวเลนซ์โฟโตดีเทคเตอร์ (APD = Avalanche Photodiode Detector) เป็นตัวรับแสงขาเข้า แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณซึ่งทำให้ได้สัญญาณที่สูงขึ้นก่อนเข้าสู่ภาคประมวลผล ที่ภาคประมวลผลจะบันทึกผลทุก ๆ คาบเวลา (t) ที่เทียบเท่ากับความยาวหนึ่งหน่วย (m) ผลการตรวจวัดแสงได้ด้วยการกราฟระหว่างระดับความเข้มแสงกับความยาวของเส้นใยนำแสงโดยแสดงผลออกทางจอภาพดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงการสะท้อนแสงที่บริเวณหัววัดเส้นใยนำแสง

เมื่อพัลส์ของแสงเคลื่อนผ่านไปบนเส้นใยนำแสงจะเกิดการกระเจิงกลับแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) จากจุดต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง การกระเจิงเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนของคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความเข้มแสงตามความยาวของเส้นใยนำแสง ดังนั้น เมื่อพัลส์ของแสงเคลื่อนที่ไปจนถึงจุดปลายสุดของเส้นใยนำแสงจะเกิดการสะท้อนกลับแบบเฟรเนลที่เป็นพัลส์ของแสงเล็ก ๆ เคลื่อนที่กลับเข้าสู่ภาครับของโอทีดีอาร์ หน่วยประมวลผลจะบันทึกค่าระดับความเข้มแสงกระเจิงกลับเป็นเดซิเบล (dB) ของทุก ๆ ช่วงความยาวเส้นใยนำแสงหนึ่งหน่วย (m) แล้วแสดงผลเป็นกราฟระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่จอภาพ จากรูปที่ 2 ภาคล

ตัดขวางตรงปลายสุดด้านเอาท์พุทของเส้นใยนำแสงจะสัมผัสกับตัวกลางแสงที่ 2 (อากาศ) ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของพัลส์ตามหลักเฟรเนลดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น กราฟที่ปรากฏบนจอโอทีดีอาร์จึงเห็นเป็นพัลส์ที่มีความสูงกว่าบริเวณใกล้เคียงมาก จากหลักการทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ทำให้เกิดแนวทางการประยุกต์ใช้เครื่องโอทีดีอาร์เพื่อทำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจหาสารเคมีบางชนิดในน้ำ ซึ่งในการทดลองนี้เน้นศึกษาการตรวจจับสารเคมีประเภทเอ็ททิลแอลกอฮอล์ในน้ำ เพราะเอ็ททิลแอลกอฮอล์เป็นสารเคมีจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดน้ำเสียได้ง่ายชนิดหนึ่ง

เมื่อเส้นใยนำแสงสัมผัสกับไฮโดรเจนออออนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้สองแบบ คือ เกิดการแพร่ของไฮโดรเจนออออนเข้าสู่เส้นใยนำแสงเมื่อสิ่งแวดล้อมภายนอกมีปริมาณไฮโดรเจนออออนมากกว่าภายในเส้นใยนำแสง แบบที่สองเกิดจากสูญเสียไฮโดรเจนออออนออกมา ทั้งสองแบบจะมีผลทำให้คุณสมบัติการนำแสงของเส้นใยนำแสงเปลี่ยนไปและเกิดการสูญเสียของแสงเพิ่มขึ้น น้ำและสารละลายบางชนิด เช่น สารละลายเอ็ททิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีไฮโดรเจนออออนเป็นส่วนประกอบ เมื่อเส้นใยนำแสงสัมผัสกับสารละลายนี้จึงมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป นั่นคือ บริเวณที่สัมผัสจึงมีดัชนีหักเหแสงเปลี่ยนไป

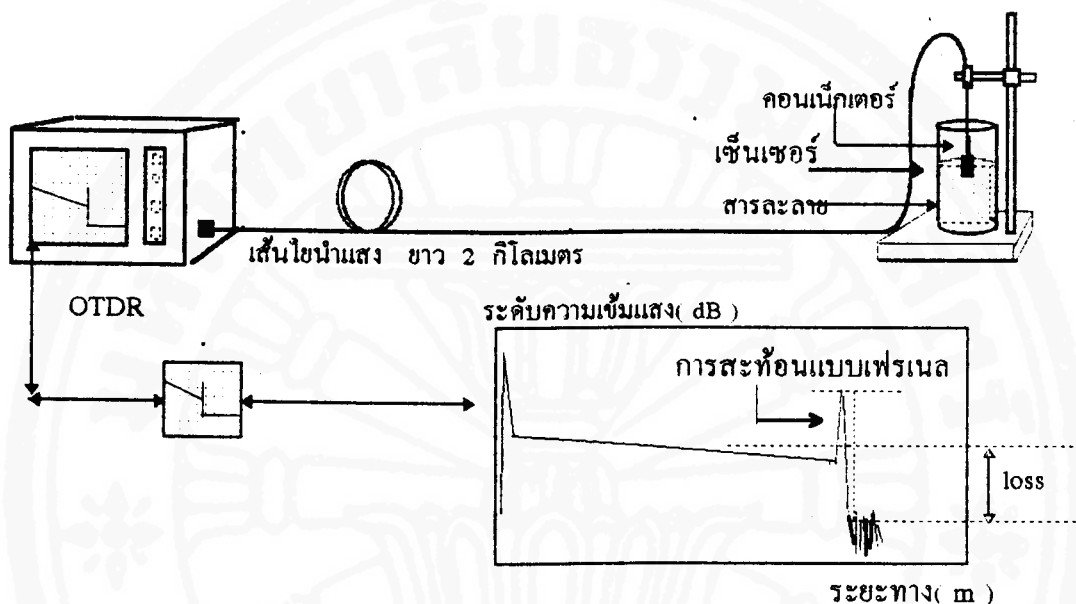
การทดลอง

การศึกษาและวิจัยนี้ ได้นำเส้นใยนำแสงแบบซิงเกิลโหมดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน ยาวประมาณ 2 กิโลเมตร เป็นตัวกลางนำสัญญาณแสง ปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับ โอทีดีอาร์ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจุ่มลงในสารละลายตัวอย่างดังรูปที่ 2 เลือกสัญญาณพัลส์แสงกว้างประมาณ 10-20 นาโนวินาที แล้วทำการทดลองกับสารละลายทั้งหมด 4 ชนิด คือ (ดังตารางที่ 1) สารละลายเอ็ททิลแอลกอฮอล์แบบเข้มข้น น้ำกลั่น น้ำเริ่มเสีย และสารละลายคลอรีนกับน้ำ ในการทดลองนี้ได้ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายแต่ละชนิดไว้ที่ 25 องศา

ตารางที่ 1 แสดงการทดลองวัดค่าการสะท้อนแบบเฟรเนลของสารละลายต่าง ๆ

ตัวกลางที่สัมผัสปลายเซ็นเซอร์	ระดับความเข้มแสงสะท้อนกลับ (dB)
น้ำกลั่น	19.1
น้ำเสีย	17.9
สารละลายแอลกอฮอล์ (เข้มข้น)	17.1
สารละลายคลอรีน (เข้มข้น)	18.3

ต่อจากนี้ได้ทดลองเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ จาก 1%, 10%, 25%, 50% จนถึง 70% ได้ผลการทดลองตามกราฟในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงระบบอุปกรณ์ของเครื่องมือที่ใช้ทดลอง

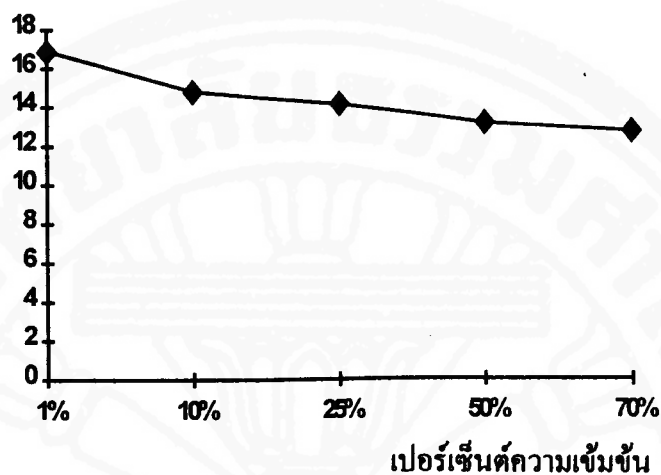
สรุป

จากผลการทดลองวัดการสะท้อนแสงแบบเฟรเนลที่จุดปลายด้านเอาท์พุทของเส้นใยนำแสงโดยใช้ โอทีดีอาร์ สรุปได้ว่า สารละลายแต่ละชนิดให้ผลการสะท้อนแสงแบบเฟรเนลแตกต่างกัน น้ำเสีย และน้ำกลั่นให้ผลการสะท้อนแสงแบบเฟรเนลต่างกันประมาณ 1 dB ความเข้มข้นของสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ในน้ำต่างกัน จะให้ผลการสะท้อนแสงแบบเฟรเนลต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับนั่นก็คือ การทดลองนี้ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างและพัฒนาเครื่องตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมพร้อมทั้งสร้างเสริมทักษะการปฏิบัติการทางออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การตรวจสอบคุณสมบัติเส้นใยนำแสงด้วยโอทีดีอาร์ การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสง และเป็นการส่งเสริมและพัฒนากิจการสร้างเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีทางด้านเส้นใยนำแสง นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานสำหรับการทำวิจัยในระดับสูงต่อไป

สำหรับการพัฒนาชุดทดลองนี้อาจทำได้ดังต่อไปนี้ คือ สามารถทำเป็นหัววัดแบบมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ทำเป็นระบบสมาร์ทเซ็นเซอร์ที่สามารถส่งข้อมูลไปกับเครือข่ายสื่อสารได้ เป็นต้น

ระดับความเข้มแสงสะท้อน
ที่จุดปลายเส้นใยนำแสง (dB)



รูปที่ 3 แสดงกราฟซึ่งเป็นผลของการวัดความเข้มขึ้นของสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ในน้ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.M. Senior, "Optical Fiber Communications", Prentice Hall International (UK) Ltd., UK., 1992.
- [2] E. Udd, Fiber Optic sensors : An Introduction for Engineers and Scientists", John Willey & Sons, Inc., New York, 1991.
- [3] R. Syms and J. Cozens, "Optical Guided Waves and Devices", McGraw-Hill, London, 1992.
- [4] J.P. Dakin, "The Distributed Optical Fiber Sensing Handbook", IFS Publications, UK., 1990.
- [5] ภัทรพงศ์ รักน้อย, "โอทีดีอาร์ เครื่องทดสอบเส้นใยนำแสง และการประยุกต์ใช้งาน", วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ม.บูรพา, ชลบุรี, 2538, หน้า 56-63.