

อุปกรณ์สร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิวแบบสามมิติและตรวจวัด ความหยาบของพื้นผิวโดยเทคนิคเชิงแสงและโครงข่ายประสาทเทียม

Surface Topography and Surface Roughness Measurement

Equipment Using Light Technique and Neural Network

กฤษณะ เทพารักษ์ และวีรชัย อัสวเมธาพันธ์*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Kritsana Teeparuk and Weerachai Asawamethapant*

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

Rangsit Centre, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนออุปกรณ์สร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิวแบบสามมิติและตรวจวัดความหยาบของพื้นผิวโดยเทคนิคเชิงแสงและโครงข่ายประสาทเทียม โดยอุปกรณ์ที่นำเสนอประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและส่วนชุดประมวลผลสัญญาณ ซึ่งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดจะทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุในแต่ละจุด หลังจากนั้นสัญญาณของค่าความเข้มแสงในแต่ละจุดจะถูกส่งต่อไปยังชุดประมวลผลสัญญาณเพื่อคำนวณหาค่าความสูงของแต่ละจุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งความสูงของผิววัสดุในแต่ละจุดนั้นจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความหยาบของผิววัสดุและสร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติในลำดับต่อไป ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์ atomic force microscope (AFM) ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ที่งานวิจัยนี้นำเสนอ และผู้วิจัยได้เลือกวัสดุตัวอย่าง 5 ชนิด ได้แก่ stainless steel, aluminum ขัดหยาบ, aluminum ขัดหยาบผิวมัน, aluminum ขัดหยาบผิวมันอบสีดำ และ HDD recording media disk ในการตรวจวัด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม 7 โครงข่าย เพื่อค้นหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการสร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติของพื้นผิววัสดุตัวอย่างแต่ละชนิด จากผลงานวิจัยพบว่าภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่บทความนี้ได้นำเสนอทับภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติที่ได้จากอุปกรณ์ AFM ของวัสดุตัวอย่างทุกชนิดมีความใกล้เคียงกัน และค่าความหยาบของผิววัสดุที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดที่บทความนี้นำเสนอมีความแตกต่างจากอุปกรณ์ AFM มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 15

คำสำคัญ : ภาพลักษณะพื้นผิวแบบสามมิติ, การตรวจวัดความหยาบ, เทคนิคเชิงแสง, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

This paper proposes surface topography and surface roughness measurement equipment using light technique and neural network. The proposed equipment includes two main parts, i.e. detection unit and signal processing unit. The detection unit is designed to measure the intensity of light scattering from each point in material surface. Then the signals such as light scattering intensity from the detection unit are transferred to the signal processing unit in order to calculate the height of each point in material surface by neural network. After that, the data of the height of each point are calculated, and then are transformed to be surface roughness and surface topography, respectively. Here, we have used atomic force microscope (AFM) to verify the measurement results from our proposed equipment. And we have selected 5 surface sample materials such as stainless steel, rough surface aluminum, rough surface glassy aluminum, rough surface glassy black aluminum, HDD recording media disk for the measurement. Furthermore, we have designed 7 structures of neural networks in order to find the most suitable neural network for creating the surface topography of each sample. From all results, we have found that the surface topography of all samples measured by the proposed equipment are similar to those measured by AFM. Moreover, the ranges of the error of surface roughness measured by both equipments are less than 15 percent.

Key words: topography, roughness measurement, light technique, neural network

1. บทนำ

ด้วยความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้มีการคิดค้นและประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กในระดับอนุภาคขึ้นมา โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์เหล่านั้นมีอยู่หลายระบบ เช่น optical microscope, scanning tunneling microscope (STM), atomic force microscope (AFM), transmission electron microscope (TEM), scanning electron microscope (SEM) ซึ่งอุปกรณ์กลุ่มนี้จะมีประสิทธิภาพสูง และมีราคาที่สูงตามไปด้วย บางประเภทจึงมีราคาอยู่ในหลักหลายล้านบาท [1]

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้นำเสนออุปกรณ์สร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิวแบบสามมิติ และตรวจวัดความหยาบของพื้นผิววัสดุ ซึ่งใช้องค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ เทคนิคเชิงแสงและการประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม อีกทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการประดิษฐ์เครื่องต้นแบบในงานวิจัยนี้เป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด มีโครงสร้างและส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ทำให้สามารถประกอบใช้งานได้ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานทางแสงทั่วไป จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ

อุปกรณ์สร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติและตรวจวัดความหยาบของพื้นผิววัสดุที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในบทความนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนชุดอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งใช้เทคนิคเชิงแสง และส่วนประมวลผลสัญญาณซึ่งใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยชุดอุปกรณ์ตรวจวัดจะทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุในแต่ละจุด หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงในแต่ละจุดจะถูกส่งต่อไปยังชุดประมวลผลสัญญาณเพื่อคำนวณหาค่าความสูงของแต่ละจุดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยความสูงของผิววัสดุแต่ละจุดจะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความหยาบของผิววัสดุและสร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิวแบบสามมิติ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อออกแบบอุปกรณ์

2.1 Bidirectional reflectance distribution function (BRDF)

BRDF เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของแสงตกกระทบบนผิววัสดุ และแสงที่กระเจิงออกจากผิววัสดุ โดยใช้ Kirchhoff approximation และกฎการอนุรักษ์พลังงานเป็นพื้นฐานในการแจกแจงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง ณ มุมต่าง ๆ ที่แสงตกกระทบและความเข้มแสง ณ มุมต่าง ๆ ที่แสงกระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุ โดยมีหลักการอนุรักษ์พลังงานช่วยอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ว่าพลังงานแสงที่ตกกระทบลงบนผิววัสดุจะเท่ากับพลังงานที่ถูกดูดซับไว้ในเนื้อวัสดุรวมกับพลังงานแสงที่กระเจิงออกจากผิววัสดุ และยังคงรวมไปถึงพลังงานแสงที่ทะลุผ่านผิววัสดุ (ในกรณีวัสดุโปร่งแสงหรือ โปร่งใส) โดยมุมและความเข้มแสงที่กระเจิงออกจากผิววัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับ

กับ คุณสมบัติของผิววัสดุ เช่น ค่าความสามารถในการดูดซับแสง ค่าความหยาบของผิววัสดุ ค่าดัชนีหักเหของผิววัสดุ และค่าความยาวคลื่นแสง ดังนั้น BRDF จึงเป็นฟังก์ชันของค่าความเข้มแสงตกกระทบมุมของแสงตกกระทบ ความเข้มแสงที่กระเจิงออกมา มุมของแสงที่กระเจิงออกมา ค่าดัชนีหักเหของวัสดุ พื้นที่ที่แสงส่องสว่างลงบนผิววัสดุ และมุมกว้างที่อุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่ง BRDF นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการกระเจิงเชิงแสงบนผิววัสดุได้หลายชนิด โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน [2,3]

ในบทความนี้จะเน้นการศึกษาแบบจำลอง BRDF back scattering ของ Li และ Torrance [4] ซึ่งเป็นการศึกษารูปแบบแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุหยาบด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังฟังก์ชันที่ 1 และสมการที่ 2

เมื่อนำฟังก์ชันที่ 1 มาเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบแสงที่ตกกระทบบนผิววัสดุและแสงที่กระเจิงออกจากผิววัสดุ โดยจำลองอุปกรณ์ตรวจวัดเข้าด้วยจะได้สมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2

$$BRDF_{\lambda}(\Phi_i, \Omega_i, \Omega_s, \theta_a, \Phi_s, m, A) \quad (1)$$

$$BRDF = \frac{L_s}{E_i} = \frac{\frac{\partial^2 \Phi_s \partial m}{\partial \Phi_i \partial \Omega_s}}{\frac{\partial \Phi_i}{\partial A}} = \frac{\partial \Phi_s \partial m}{\Phi_i \cos \theta_a \partial \Omega_s} \approx \frac{\Phi_s m}{\Phi_i \cos \theta_a \Omega_s} \quad (2)$$

โดย Φ_s คือ Scattering flux

Ω_s คือ มุมหลักที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

θ_a คือ มุมกว้างที่อุปกรณ์ตรวจวัด

Φ_i คือ Incident flux

m คือ ค่าดัชนีหักเหของวัสดุ

A คือ พื้นที่ที่แสงส่องสว่างลงบนผิววัสดุ

L_s คือ ค่าความเข้มแสงที่สะท้อนทั้งหมดในทิศทาง Ω_s

E_i คือ ค่าความเข้มแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นผิววัสดุ

โดย Φ_s หาได้จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$\Phi_s = \frac{\left(\sec \theta_i \frac{1 + \cos(\theta_i + \theta_s)}{\cos \theta_i + \cos \theta_s} \right)^2 S_r \sqrt{\pi} \exp \left(- \frac{\left(\frac{2\pi}{\lambda} (\sin \theta_i - \sin \theta_s) \right)^2 S_r^2}{4\sigma^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_i + \cos \theta_s) \right)^2} \right)}{\left(\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_i + \cos \theta_s) \right) L\sigma^2} \quad (3)$$

โดย S_r คือ ระยะสัมพัทธ์ของความหยาบบนพื้นผิววัสดุ

L คือ ระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นผิววัสดุ

λ คือ ความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบพื้นผิววัสดุ

σ คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความหยาบของพื้นผิววัสดุ

θ_i คือ มุมของแสงตกกระทบ

θ_s คือ มุมของแสงที่กระเจิง

2.2 ความรู้พื้นฐานเรื่องโครงข่ายประสาทเทียม

ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks) มีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและการทำงานคล้ายคลึงกับเซลล์สมองในระบบประสาทของมนุษย์ ซึ่งระบบโครงข่ายประสาทเทียมได้นำข้อดีของเซลล์สมองมาใช้ คือ ความสามารถในการจำแนกลักษณะสิ่งของที่มีความใกล้เคียงกัน ความสามารถในการเรียนรู้จากประสบการณ์ และความสามารถในการแปลความหมายของสัญลักษณ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ป้อนเข้าไปนั้นจะมีความผิดพลาดอยู่บ้าง

ส่วนประกอบภายในของโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นหัวใจหลักในการประมวลผลคือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่

มีขอบเขตจำกัด และมีอยู่มากมายหลายชนิด เช่น ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ hard limit, hard limit สมมาตร, logarithmic sigmoid, linear, basis, hyperbolic tangent sigmoid โดยแต่ละแบบจะมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียมจึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมต่อข้อมูล เพื่อให้ผลการประมวลผลจากโครงข่ายประสาทเทียมมีความผิดพลาดน้อยที่สุด [5-8]

โดยที่ผ่านมาได้มีกลุ่มผู้วิจัยชาวต่างประเทศหลายกลุ่มได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อคำนวณหาค่าความเรียบของวัสดุและศึกษารูปแบบของแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุ เช่น Rothe และคณะ [9] ได้ศึกษารูปแบบของแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุที่มีความเรียบต่าง ๆ กัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบของพื้นผิววัสดุและรูปแบบของแสงที่กระเจิงออกมาโดยใช้ CMOS photo detector array ตรวจวัดและได้นำรูปแบบแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุนี้ มาคำนวณหาค่าความเรียบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

นอกจากนี้ Akbari และ Milani [10] ยังได้ออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจวัดความเรียบของพื้นผิววัสดุโดยระบบที่ไม่สัมผัสกับพื้นผิววัสดุ ซึ่งใช้การประมวลผลภาพโดยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นหลักในการหาค่าความเรียบของพื้นผิววัสดุ ซึ่งหน้าที่ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือจดจำรูปแบบของภาพที่ได้จากกล้องกำลังขยายสูงซึ่งได้ตรวจวัดความหยาบของพื้นผิววัสดุแล้ว เมื่อระบบได้จดจำรูปแบบภาพแล้ว ระบบก็จะสามารถหาค่าความเรียบพื้นผิววัสดุได้เมื่อตรวจวัดครั้งต่อไป

ด้วยความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นส่วนประมวลผลข้อมูลของงานวิจัยนี้ โดยให้ความสำคัญความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุเป็นข้อมูลขาเข้า และความสูงของของพื้นผิววัสดุ ณ จุดนั้น ๆ เป็นข้อมูลขาออก ซึ่งความสูงในแต่ละจุดนี้เอง จะถูกนำมาสร้างเป็นภาพสามมิติและใช้ในคำนวณหาค่าความหยาบของพื้นผิววัสดุ

3. การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดและระบบประมวลผลสัญญาณในงานวิจัยนี้

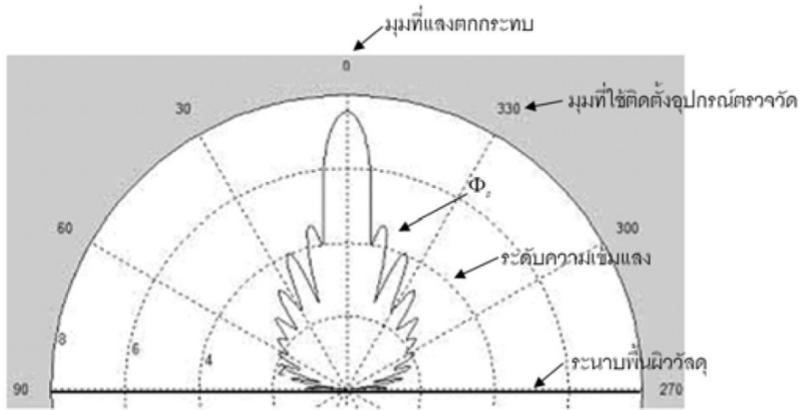
3.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัด

จากการศึกษาของงานวิจัยของ Li และ Torrance [4] ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลอง BRDF แสดงลักษณะความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุหยาบ เพื่อศึกษารูปแบบของแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุ โดยในบทความนี้ได้มีการกำหนดค่าตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ดังนี้ Ω_s เท่ากับ $0-180^\circ$, θ_a เท่ากับ 13° , λ เท่ากับ 526 nm , m เท่ากับ 1.525 , A เท่ากับ $2.5 \mu\text{m}^2$, E_i เท่ากับ 22 mW , L เท่ากับ 12.54 mm , σ เท่ากับ $10 \mu\text{m}$, $15 \mu\text{m}$ และ $20 \mu\text{m}$, θ_i เท่ากับ 0° นอกจากนี้แล้วตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของวัสดุ โดยผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง BRDF ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้นแสดงในรูปที่ 1 และ 2

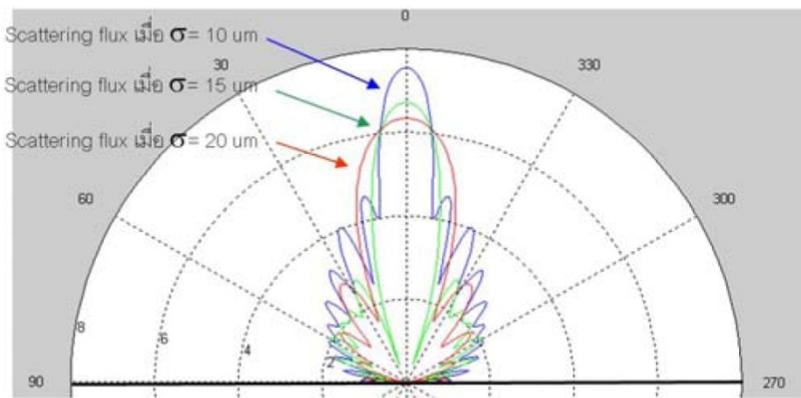
รูปที่ 1 แสดงถึงลักษณะของความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุ ในกรณีที่มีค่า σ เท่ากับ $10 \mu\text{m}$ โดยกำหนดให้ θ_i เท่ากับ 0° รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของ σ ตั้งแต่ 10 , 15 และ $20 \mu\text{m}$ จากผลของแบบจำลอง BRDF ที่แสดงลักษณะความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุหยาบโดย

เส้นทึบจะแสดงถึง Φ_s และวงเส้นประแสดงถึงระดับของความเข้มแสงที่กระเจิงออกจากผิววัสดุ

จากรูปที่ 1 และ 2 พบว่ารูปแบบความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุมีลักษณะไม่แน่นอนและกระจายตัวอยู่ในแนวระนาบครึ่งวงกลมรอบ ๆ บริเวณที่แสงตกกระทบ โดยรูปแบบของความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาในแต่ละกรณีนั้น จะสมมาตรกันระหว่างด้านซ้ายและด้านขวา แต่มีความกว้างของการกระเจิงแสงที่แตกต่างกัน และตำแหน่งยอดของระดับความเข้มแสงที่มีค่ารองลงมาจะอยู่ในมุมที่แตกต่างกันด้วย และยังพบอีกว่าในทุกกรณีระดับความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุจะมีค่าสูงสุดที่มุม 0° หรือมุมที่ตั้งฉากกับผิววัสดุ ดังนั้นชุดอุปกรณ์ตรวจวัดจึงต้องสามารถรับค่าความเข้มแสงได้ 180° เพื่อรองรับการกระจายตัวของแสงที่กระเจิงออกมาจากพื้นผิววัสดุที่มีค่าความหยาบแตกต่างกัน อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงที่ใช้ในงานวิจัยคือโฟโตไดโอดจำนวน 14 ตัว ซึ่งวางเรียงกันเป็นระนาบครึ่งวงกลมโดยผู้วิจัยออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดในงานวิจัยนี้ (รูปที่ 3) และสร้างเป็นเครื่องต้นแบบ (รูปที่ 4) ซึ่งอุปกรณ์นี้มีส่วนประกอบและหน้าที่หลัก ๆ คือ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ความยาวคลื่นแสง 526 นาโนเมตร กำลัง 22 มิลลิวัตต์ ทำหน้าที่ปล่อยลำแสงเลเซอร์ผ่านไปยังชุดหลอดเลนส์วัตถุเพื่อปรับขนาดจุดแสงให้เหมาะสมด้วยชุดควบคุมขนาดจุดแสงโฟโตไดโอด 14 ตัว ทำหน้าที่วัดค่าความเข้มแสงและจะถูกปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมกับชุด DAQ ด้วยชุดขยายสัญญาณ โดย DAQ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นตัวเลขค่าความเข้มแสง XY-TABLE ทำหน้าที่เคลื่อนชิ้นงานไปยังตำแหน่งที่ต้องการและชุดคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องมือทั้งหมด



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω_s และ Φ_i เมื่อค่า σ เท่ากับ $10 \mu\text{m}$



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω_s และ Φ_i เมื่อค่า σ เท่ากับ $10 \mu\text{m}$ $15 \mu\text{m}$ และ $20 \mu\text{m}$

การเก็บข้อมูลทำโดยระบุนั้นที่ที่ต้องการตรวจวัด จากนั้นคำนวณหาจำนวนจังหวะการเคลื่อนที่ให้ XY-TABLE ดังสมการที่ 4

$$Ct = \frac{Ar}{St} \quad (4)$$

โดย Ct คือ จำนวนจังหวะการเคลื่อนที่บนแกน X, Y

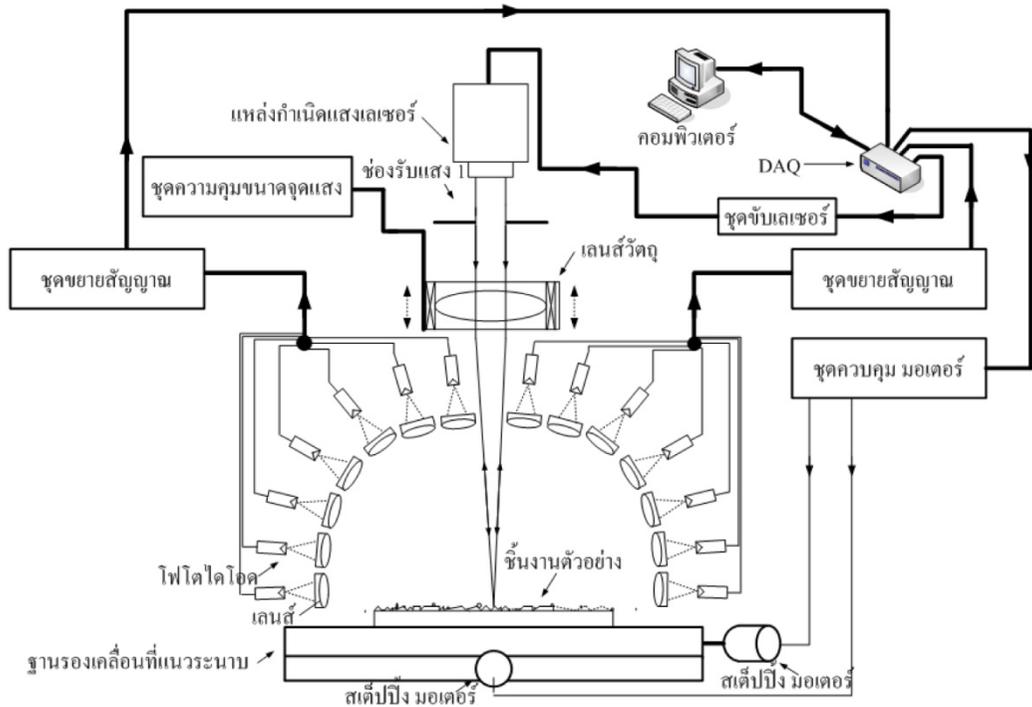
Ar คือ ความกว้าง, ยาว ของพื้นที่ที่ต้องการตรวจวัด

St คือ ความละเอียดของสเต็ปมิ่งมอเตอร์ ($2.5 \mu\text{m}$)

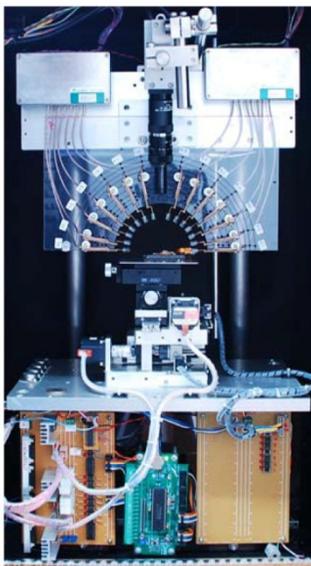
เช่น พื้นที่ 1 mm^2 XY-TABLE จะต้องเคลื่อนที่ใน

แนวแกน X 400 จังหวะและแนวแกน Y 400 จังหวะ

ชุดข้อมูลที่จะนำไปใช้งานประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน คือ ตำแหน่งในแนวแกน X ของพื้นผิว ตำแหน่งในแนวแกน Y ของพื้นผิว และตัวเลขค่าความเข้มแสงจากโฟโตไดโอดแต่ละตัว ณ ตำแหน่งพื้นผิวนั้น ๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บเป็นชุด ๆ ตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของ XY-TABLE การเก็บข้อมูลพื้นผิววัสดุสามารถทำได้โดยปล่อยลำแสงเลเซอร์ให้ตกกระทบผิววัสดุ ในขณะที่เคลื่อนชิ้นงานตัวอย่างไปตามแนวแกน X และ Y ทีละจุดเพื่อเก็บข้อมูลที่ละเอียด โดยมีโปรแกรม LabVIEW ควบคุมการเคลื่อนที่และ



รูปที่ 3 โครงสร้างของระบบตรวจวัดความเข้มแสงในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4 เครื่องต้นแบบของระบบสร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติและตรวจวัดความหยาบของผิววัสดุ

เก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังนั้นจากตัวอย่างข้างต้น การจะเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ 1 mm^2 นั้นจะต้องเก็บข้อมูลถึง 160,000 ชุด

3.2 การออกแบบระบบประมวลผลสัญญาณ

การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมวลผลหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต ผู้วิจัยจำเป็นต้องทราบรูปแบบข้อมูลทั้งสองก่อนว่ามีลักษณะอย่างไร เพื่อเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบโครงข่ายประสาทเทียมให้เหมาะสม

จากการเก็บข้อมูลความเข้มแสงของชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ (1) stainless steel (2) aluminum ขัดหยาบ (3) aluminum ขัดหยาบผิวมัน (4) aluminum ขัดหยาบผิวมันอบสีดำ และ (5) HDD recording media disk ผู้วิจัยพบว่าข้อมูลความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิวของวัสดุจะมีการกระจายตัว

แบ่งเป็น 2 กลุ่ม อย่างชัดเจน คือ กลุ่มที่ 1 โฟโตไดโอดสามารถวัดความเข้มแสงได้ครบทุกตัว ส่วนกลุ่มที่ 2 โฟโตไดโอดสามารถวัดความเข้มแสงได้เพียงบริเวณรอบ ๆ แหล่งกำเนิดแสงเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมด 3 ชนิด ดังนี้

3.2.1 ชนิดที่ 1 คือ hyperbolic tangent sigmoid (HT) ซึ่งเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีขอบเขตจำกัดและมีการลดลงของฟังก์ชัน โดยจะเหมาะกับข้อมูลที่มีการกระจายตัวสูงและมีค่าในย่านติดลบถึงบวก

3.2.2 ชนิดที่ 2 คือ radial basis function (RBF) ซึ่งเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีขอบเขตจำกัดและไม่มีการลดลงของฟังก์ชัน (monotone no decreasing) โดยจะเหมาะกับข้อมูลที่มีการกระจายตัวต่ำและเกาะกลุ่มกัน อีกทั้งมีค่าในย่านบวก

3.2.3 ชนิดที่ 3 คือ linear function (LF) ซึ่งเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีลักษณะเป็นสมการเส้นตรง ทำให้เหมาะกับการประมาณค่าเอาต์พุต

นอกจากนี้ จำนวนชั้นซ่อนเร้นและจำนวนของโหนดในแต่ละชั้นซ่อนเร้นยังต้องมีจำนวนที่เหมาะสมกับจำนวนสาขาอินพุต หากไม่เหมาะสมก็ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมนั้น ๆ ค่อยประสิทธิภาพได้ [11] และในบทความนี้ผู้วิจัยได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ feed-forward back propagation (FBP) ในการคำนวณหาค่าความสูงแต่ละจุด โดยผู้วิจัยทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความแตกต่างกันทั้งหมด 7 แบบ เพื่อศึกษาว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบใดเหมาะสมที่สุด

โครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดประกอบด้วย 3 ส่วน คือ (1) input layer (2) hidden layer และ (3) output-layer โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอน 3 ชนิด คือ (1) hyperbolic tangent sigmoid (HT) (2) linear function (LF) และ (3) radial basis function (RBF) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 7 แบบ มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1) โดยสัญลักษณ์ NN ในตารางหมายถึง neural network

ตารางที่ 1 สรุปโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 7 โครงข่าย

	NN 1	NN 2	NN 3	NN 4	NN 5	NN 6	NN 7
Hidden layer 1	HT	HT	HT	RBF	RBF	RBF	HT
Hidden layer 2	LF	LF	HT	LF	LF	RBF	RBF
Hidden layer 3	-	-	LF	-	-	LF	LF
Node in Layer 1	7	14	14	7	14	14	14
Node in Layer 2	1	1	7	1	1	7	7
Node in Layer 3	-	-	1	-	-	1	1

โดยการเตรียมข้อมูลเพื่อประมวลผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้ดังนี้ คือ ค่าความเข้มแสงที่กระเจิงออกมาจากผิววัสดุในแต่ละจุด

ทั้งหมด 14 ค่า ตามจำนวนของโฟโตไดโอดจะถูกนำไปเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบไว้เป็นชุด ซึ่งแต่ละชุดจะถูกอ้างอิงถึงความสูงของผิววัสดุ 1 ค่า

โดยจะถูกคำนวณออกมาภายใน 1 รอบการประมวลผล ดังนั้นพื้นที่ 1 mm^2 จะมีการประมวลผลทั้งหมดบนโครงข่ายประสาทเทียม 160,000 รอบ และจะได้ค่าความสูงของพื้นผิวทั้งหมด 160,000 จุด

ในบทความนี้ตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการเรียนรู้และตรวจสอบระบบโครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกตรวจวัดความสูงของแต่ละจุดบนพื้นผิวด้วยเครื่อง AFM ซึ่งลักษณะข้อมูลจากตัวอย่างทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกถูกใช้เพื่อสอนให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้และปรับค่าน้ำหนักจนได้ความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ และกลุ่มที่สองจะถูกใช้เพื่อทดสอบระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้นำมาใช้ประมวลผลเพื่อหาความสูงของพื้นผิววัสดุในแต่ละจุด ซึ่งเมื่อได้ความสูงของพื้นผิววัสดุครบทุกจุดแล้ว ข้อมูลความสูงของทุก ๆ จุดจะถูกนำมาคำนวณด้วย สมการที่ 5 และ 6 เพื่อหาค่าเฉลี่ยความหยาบของผิววัสดุ (s_a) และรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองความหยาบของพื้นผิววัสดุ (s_q) หลังจากนั้นความสูงของพื้นผิววัสดุแต่ละจุดจะถูกนำไปสร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติ โดยการรวมข้อมูลความสูงของแต่ละจุดกับข้อมูลตำแหน่งของจุดนั้นเพื่อพอร์ทค่าความสูงของข้อมูลพื้นผิววัสดุตามตำแหน่งของข้อมูลนั้น ๆ ทุกจุด เมื่อข้อมูลครบก็จะได้ภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติในขอบเขตที่ทำการตรวจวัด โดยแต่ละจุดจะเปรียบเสมือนพิกเซลของภาพ

โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าของ S_a และ S_q สามารถคำนวณจาก

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l)| \quad (5)$$

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} [z(x_k, y_l)]^2} \quad (6)$$

โดย z คือ ความสูงของผิววัสดุแต่ละจุด

M คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในแกน x

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในแกน y

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทำการพิจารณาค่าความผิดพลาดในรูปแบบของ $s_a \text{ Error}$ และ $s_q \text{ Error}$ จากผลการตรวจวัดของเครื่องต้นแบบที่บทความนี้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM ดังแสดงในสมการที่ 7 และ 8

$$s_a \text{ Error} = \left| \frac{s_a(\text{Proposed}) - s_a(\text{AFM})}{s_a(\text{AFM})} \times 100\% \right| \quad (7)$$

$$s_q \text{ Error} = \left| \frac{s_q(\text{Proposed}) - s_q(\text{AFM})}{s_q(\text{AFM})} \times 100\% \right| \quad (8)$$

โดย $s_a(\text{Proposed})$ คือ ค่า s_a ที่ได้จากระบบที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ

$s_a(\text{AFM})$ คือ ค่า s_a ที่ได้จากเครื่อง AFM

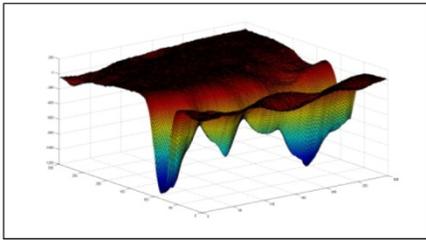
$s_q(\text{Proposed})$ คือ ค่า s_q ที่ได้จากระบบที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ

$s_q(\text{AFM})$ คือ ค่า s_q ที่ได้จากเครื่อง AFM

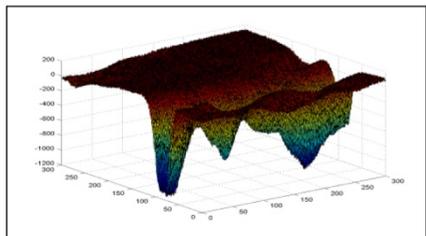
4. การทดสอบเครื่องต้นแบบที่ได้นำเสนอในบทความนี้

เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทดสอบเครื่องต้นแบบกับวัสดุตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง คือ (1) stainless steel (2) aluminum ขัดหยาบ (3) aluminum ขัดหยาบผิวมัน (4) aluminum ขัดหยาบผิวมันอบสีดำ และ (5) HDD recording media disk และกำหนดขนาดพื้นที่การตรวจวัดเท่ากับ $750 \mu\text{m}^2$ โดยวัสดุตัวอย่างทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้เพื่อสอนโครงข่ายประสาทเทียม และกลุ่มที่สองใช้เพื่อทดสอบเครื่องต้นแบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

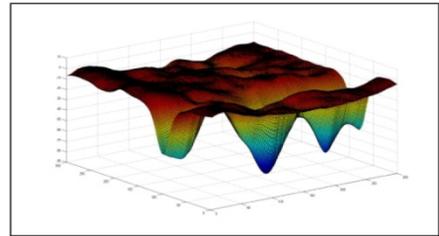
โดยรูปที่ 5-9 แสดงผลการทดสอบเครื่องต้นแบบกับวัสดุตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด โดยในแต่ละรูปจะ



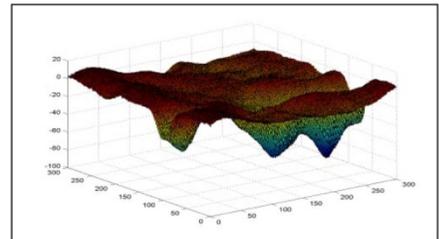
(ก)



(ข)



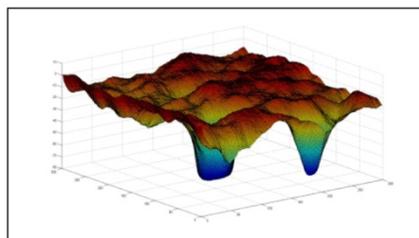
(ก)



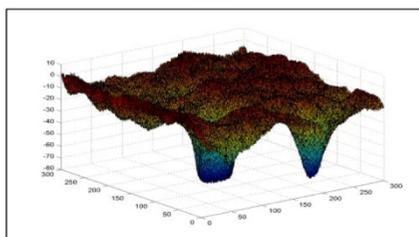
(ข)

รูปที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 stainless steel (ก) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM ค่า (ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่บทความนี้เสนอ โดยใช้โครงข่ายที่ 4

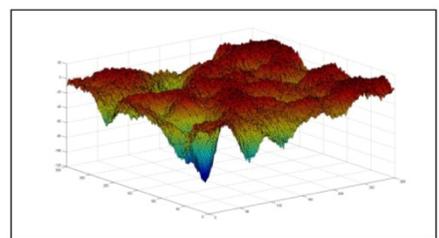
รูปที่ 7 ตัวอย่างที่ 3 aluminum ขัดหยาบผิวมัน (ก) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM (ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่บทความนี้เสนอโดยใช้โครงข่ายที่ 2



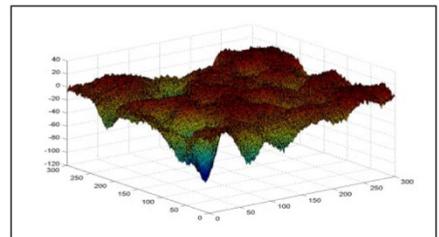
(ก)



(ข)



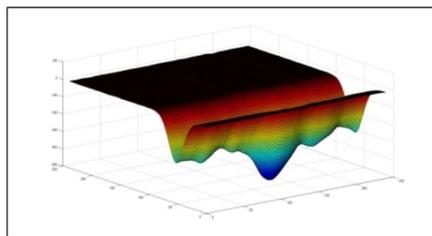
(ก)



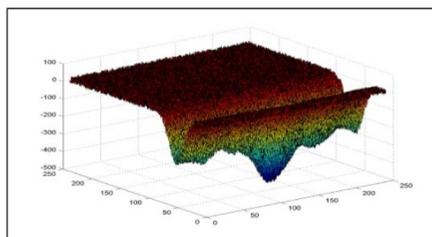
(ข)

รูปที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 aluminum ขัดหยาบ (ก) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM (ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่บทความนี้เสนอโดยใช้โครงข่ายที่ 2

รูปที่ 8 ตัวอย่างที่ 4 aluminum ขัดหยาบผิวมันอบสีดำ (ก) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM (ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่บทความนี้เสนอโดยใช้โครงข่ายที่ 2



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 ตัวอย่างที่ 5 HDD recording media disk
(ก) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM
(ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่
บทความนี้แนะนำเสนอโดยใช้โครงข่ายที่ 4

คัดเลือกเอาผลจากโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุด
จากโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 7 แบบ (ตารางที่ 1)
เพื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยเครื่อง AFM
สำหรับวัสดุ ตัวอย่างแต่ละชนิด ซึ่งเมื่อพิจารณาจาก
ทั้ง 5 รูปแล้วพบว่าภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบ
สามมิติที่ได้จากการตรวจวัดของเครื่องต้นแบบที่ได้
นำเสนอกับภาพที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง AFM
มีลักษณะใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ จากผลการทดสอบอุปกรณ์กับ
วัสดุตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด จะเห็นว่ามิโครงข่ายประสาท
เทียมเพียง 2 โครงข่าย ที่เหมาะกับวัสดุตัวอย่าง คือ
โครงข่ายประสาทเทียมที่ 2 (NN 2) และโครงข่าย
ประสาทเทียมที่ 4 (NN 4) โดยโครงข่ายประสาท
เทียมที่ 4 (NN 4) จะเหมาะกับตัวอย่างที่ผิวสามารถ
สะท้อนแสงได้ดีมาก ได้แก่ stainless steel และ HDD

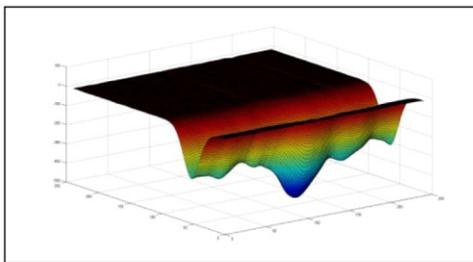
recording media disk ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมที่ 2
(NN 2) นั้นจะเหมาะกับกลุ่มตัวอย่างที่ผิวสามารถ
สะท้อนแสงได้ดีปานกลาง ได้แก่ aluminum ขัดหยาบ
aluminum ขัดหยาบผิวมัน และ aluminum ขัดหยาบ
ผิวมันอบสีดำ

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของโครงข่ายประสาท
เทียมที่ 2 และ 4 พบว่ามีส่วนที่แตกต่างกัน คือ ส่วน
ของฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 ซึ่งโครงข่าย
ประสาทเทียมที่ 2 ใช้ HT เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ส่วน
โครงข่ายประสาทเทียมที่ 4 ใช้ RBF เป็นฟังก์ชันถ่าย
โอนตามลำดับ

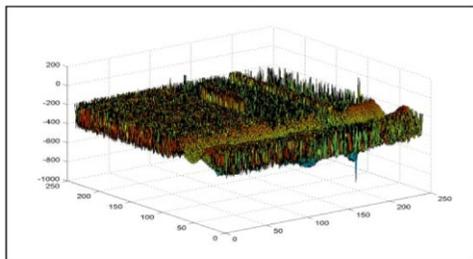
เมื่อพิจารณาถึงหน้าที่ของฟังก์ชันถ่ายโอนทั้ง
สองแบบ พบว่า HT เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีขอบเขต
จำกัด และมีการลดลงของฟังก์ชัน จึงทำให้ HT
เหมาะกับข้อมูลที่มีการกระจายตัวสูงและมีค่าในย่าน
ติดลบถึงบวก ดังนั้นข้อมูลความเข้มแสงจากกลุ่ม
ตัวอย่างที่สอง ได้แก่ aluminum ขัดหยาบ aluminum
ขัดหยาบผิวมัน และ aluminum ขัดหยาบผิวมันอบสี
ดำ จึงถูกประมวลผลได้ดี เพราะความเข้มแสงที่เป็น
อินพุตของโครงข่ายประสาทมีการกระจายตัวของ
ความเข้มแสงได้เป็นมุมกว้าง เนื่องจากผิววัสดุ
สะท้อนแสงได้ดีปานกลาง โฟโตไดโอดจึงสามารถ
ตรวจวัดความเข้มแสงได้ในลักษณะกระจายตัว

แต่ในทางกลับกัน RBF เป็นฟังก์ชันถ่าย
โอนที่มีขอบเขตจำกัดและไม่มีการลดลงของฟังก์ชัน
จึงทำให้ RBF เหมาะกับข้อมูลที่มีการกระจายตัวต่ำ
และเกาะกลุ่มกันอีกทั้งมีค่าในย่านบวก ดังนั้นข้อมูล
ความเข้มแสงจากกลุ่มตัวอย่างแรก ได้แก่ stainless
steel และ HDD recording media disk จึงถูกประมวล
ผลได้ดีเพราะความเข้มแสงที่เป็นอินพุตของโครงข่าย
ประสาทเทียมมีการกระจายตัวของความเข้มแสงได้
ต่ำและเกาะกันเป็นกลุ่มเนื่องจากผิววัสดุสะท้อนแสง

ได้ดีมาก โฟโตไดโอดจึงสามารถตรวจวัดความเข้มแสงได้ในลักษณะเกาะกลุ่มใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดแสง ส่วนรูปที่ 10 เป็นรูปที่แสดงตัวอย่างของภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติที่ได้จากการตรวจวัดของเครื่องต้นแบบโดยการเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่เหมาะสมของวัสดุตัวอย่างชนิดที่ 5 HDD recording media Disk ซึ่งรูปที่ 10 (ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่บทความนี้นำเสนอโดยใช้โครงข่ายที่ 5 (NN 5) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่เหมาะสมในการประมวลผลสำหรับวัสดุชนิดนี้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM ในรูปที่ 10 (ก) จะเห็นว่ามีความผิดพลาดอยู่มากไม่มีความคล้ายคลึงกันเลย



(ก)



(ข)

รูปที่ 10 ตัวอย่างที่ 5 HDD recording media disk (ก) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM (ข) คือ ผลการตรวจวัดจากเครื่องต้นแบบที่บทความนี้นำเสนอโดยใช้โครงข่ายที่ 5 ซึ่งไม่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตารางที่ 1 พบว่าฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 และ 2 ของ NN 4 และ NN 5 นั้นจะเหมือนกันคือทั้ง 2 แบบ ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน RBF ในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน LF ในชั้นซ่อนเร้นที่ 2 ตามลำดับ แต่โครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันในส่วนของจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 ซึ่ง NN 4 มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 เท่ากับ 7 โหนด ส่วน NN 5 มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 เท่ากับ 14 โหนด ตามลำดับ โดยกรณีของวัสดุตัวอย่างชนิดที่ 5 HDD recording media disk นั้น NN 4 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ส่วน NN 5 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่เหมาะสม

ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่าสำหรับวัสดุตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ในงานวิจัยนี้ จำนวนโหนดและจำนวนชั้นของชั้นซ่อนเร้นในโครงข่ายประสาทเทียมอื่นนอกเหนือจาก NN2 และ NN 4 จะมีขนาดไม่เหมาะสมต่อชุดข้อมูล เนื่องจากค่าน้ำหนักจากการสุ่มขึ้นมาใช้ในแต่ละสาขามีจำนวนไม่เหมาะสมต่อการใช้สอนโครงข่ายในขั้นตอนการเรียนรู้ ทำให้โครงข่ายมีการลู่ออกหาข้อมูลที่ถูกต้องช้าและมีโอกาสผิดพลาดที่สูง

นอกจากนี้ ตารางที่ 2 เป็นตารางที่แสดงค่า s_a และ s_q รวมทั้งค่าความผิดพลาดในรูปแบบของ s_a Error และ s_q Error จากผลการตรวจวัดของเครื่องต้นแบบที่บทความนี้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM โดยการเลือกโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับวัสดุตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด นั้น อ้างอิงจากผลที่ได้จากรูปที่ 5-9 และจากการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าสำหรับทุก ๆ ชนิดของวัสดุทดสอบที่ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดแล้วนั้น ค่า

ความผิดพลาดในรูปแบบของ s_a error และ s_q error ที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 15 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าความหยาบของพื้นผิวของวัสดุตัวอย่าง

ทั้ง 5 ชนิดที่ตรวจวัดได้จากทั้งสองอุปกรณ์มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 ค่า s_a , s_q และค่าความผิดพลาดจากผลการตรวจวัด (s_a Error และ s_q Error) ของเครื่องต้นแบบที่บทความนี้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM

Sample	S_a (AFM) [μm]	S_a (Proposed) [μm]	S_a Error [%]	S_q (AFM) [μm]	S_q (Proposed) [μm]	S_q Error [%]
1	128.10	124.88	2.51	215.40	216.27	0.40
2	15.59	15.14	2.89	19.21	18.89	1.66
3	15.25	14.76	3.21	19.98	17.27	13.56
4	12.75	11.86	6.98	18.90	17.87	5.45
5	43.33	48.98	13.04	97.26	90.92	6.52

5. สรุป

บทความนี้นำเสนออุปกรณ์สร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิวแบบสามมิติและตรวจวัดความหยาบของพื้นผิวโดยเทคนิคเชิงแสงและโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ FBP ที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปประมวลผลเพื่อสร้างภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติและตรวจวัดความหยาบของผิววัสดุ 2 โครงข่าย คือ

5.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ FBP ชนิดที่ 2 (NN 2) ซึ่งมีชั้นซ่อนเร้น 2 ชั้น โดยฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นที่ 1 เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน HT และมีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่ 1 เท่ากับ 7 โหนด ส่วนในชั้นที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน LF และมีจำนวนโหนดในชั้นจำนวน 1 โหนด ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้จะเหมาะกับผิววัสดุที่สะท้อนแสงได้ดีปานกลาง เช่น ผิว aluminum

5.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบ FBP ชนิดที่ 4 (NN 4) โครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้มีชั้นซ่อนเร้น 2 ชั้น โดยฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นที่ 1 เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน RBF จำนวน 7 โหนด และในชั้นที่ 2 เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน LF และมีจำนวนโหนดในชั้นจำนวน 1 โหนด ตามลำดับ โครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้จะเหมาะกับผิววัสดุที่สะท้อนแสงได้ดีมาก เช่น ผิว stainless steel

โดยในการทดสอบกับวัสดุตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดพบว่าค่าความผิดพลาดของความหยาบของพื้นผิวของวัสดุทุกชนิดจากผลการตรวจวัดของเครื่องต้นแบบที่บทความนี้นำเสนอเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจากเครื่อง AFM มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 15 นอกจากนี้ภาพแสดงลักษณะพื้นผิววัสดุแบบสามมิติของวัสดุตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ที่ได้จากการตรวจวัดจากทั้งสองอุปกรณ์มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบของงานวิจัยนี้ยังต่ำมากเมื่อ

เปรียบเทียบกับราคาเครื่อง AFM ที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าเราสามารถนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปประกอบใช้งานในห้องวิจัยพื้นฐานได้

อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ตรวจวัดที่นำเสนอนี้ยังมีส่วนที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดมาจากฝุ่นละอองในอากาศบริเวณที่ใช้ตรวจวัดแรงดันสะท้อนรอบข้าง หรือระบบประมวลผลเอง ซึ่งผู้วิจัยยังต้องพัฒนาต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจวัดให้มากขึ้น โดยผู้วิจัยหวังว่าจะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2552

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัญชนา ธนชยานนท์, 2546, การประยุกต์ TEM ในงานวัสดุศาสตร์และงานวิศวกรรม, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- [2] Rauwendaal, R., 2000, Bidirectional reflectance distribution function (BRDF), J. Graphics Tools 5(2): 25-32.
- [3] Renliang, X.U., 2000, Particle Characterization: Light Scattering Methods, Kluwer Academic Publishers, New York, 420 p.
- [4] Li, H. and Torrance, K.E., 2005, An experimental study of the correlation between surface roughness and light scattering for rough metallic surface, In Duparre, A. Singh, B. and Gu, Z.H. (Eds.), Advanced Characterization Tech-

niques for Optics, Semiconductors, and Nanotechnologies II, Proc. SPIE 5878: 5878--32.

- [5] Agrawal, G., Frost, J.D. and Chameau, C.L.A., 1994, Data analysis and modeling using artificial neural network, pp. 1441-1444, In Gulhati, S.K. (Ed.), Proceedings of XIII International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering 4, New Delhi.
- [6] Gershenson, C., 2011, Artificial Neural Networks for Beginners, Report, Sussex, 8 p.
- [7] Stergiou, C. and Siganos, D., Neural Networks, Available Source: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html, January 16, 2012.
- [8] ฤทธิศักดิ์ จิตรงาม และมารีนา มะหฺนึ, 2544, โครงการประชาสัมพันธ์แบบแพร่กลับ, ว. ปารีชาต 14: 34-39.
- [9] Rinder, T., 2000, Surface identification using angle resolved light scatter measurement, Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks - IJCNN 2000, 6: 67-72.
- [10] Akbari, A.A. and Milani, A., 2006, An effective image based surface roughness estimation approach using neural network, Automation Congress, WAC '06, World Date of Conference.
- [11] กำพล วาสนาพงศ์พันธุ์, 2548, โครงการประชาสัมพันธ์สำหรับการแปลท่ามือหนึ่งในภาษามือไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 87 น.