

# การศึกษาการจำลองการเขียน/การอ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยโปรแกรม GUI A Study of Writing/Reading Data Signal of HDDs with GUI-Based Simulation

นนทรรัฐ บำรุงเกียรติ<sup>1</sup> และชานนท์ วรวิสาร<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโปรแกรมจำลองเพื่อแสดงผลการเขียนและการอ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กโดยอาศัยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงด้วยโปรแกรม MATLAB (GUI) โดยโปรแกรมจำลองนี้ประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการสร้างภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงให้มีสภาพความเป็นแม่เหล็กตามลักษณะการเขียนข้อมูลระดับบิต การสร้างสัญญาณอ่านกลับร่วมกับการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ผลการจำลองจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กสอดคล้องกับบิตข้อมูลและลักษณะของสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากการใช้ภาพสื่อบันทึกข้อมูลจริงที่แตกต่างในแต่ละกรณี โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดจำนวนข้อมูลระดับบิตให้เป็นตามต้องการหรือเป็นแบบสุ่มได้ ซึ่งทำให้ผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กเข้าใจภาพรวมของระบบการบันทึกข้อมูลมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน, ภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริง, การจำลองการเขียน/การอ่านสัญญาณข้อมูล

## Abstract

This paper presents a simulation tool for demonstrating the writing and reading data signal of Hard Disk Drives (HDDs) in magnetic recording system using a real magnetic media image based on MATLAB tools. The simulation system consists of the magnetization generator with the real magnetic media image, readback signal generator and graphical user interface (GUI) structure. The simulation results show that the magnetization on real magnetic media image corresponds with the recorded bits and the readback signal can be generated in each case depends on magnetization. Moreover, the recorded bit number can be defined with either user or randomly, and simulation system also help who studied understand in overall of the magnetic recording systems.

**Keywords:** GUI, real magnetic media image, writing/reading information signal

## บทนำ

การศึกษาการประมวลผลสัญญาณ (signal processing) ในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก (magnetic recording system) เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการได้อย่างชัดเจนและถูกต้องนั้น ต้องอาศัยการพิจารณาผลลัพธ์หรือลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเกิดขึ้นจากแต่ละส่วนของระบบอย่างละเอียดเนื่องจากขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กที่สำคัญนั้นประกอบด้วยหลายส่วน อาทิเช่น กระบวนการการจำลองสื่อบันทึกข้อมูล กระบวนการเขียนข้อมูลลงสื่อบันทึกข้อมูลและการได้มาซึ่งสัญญาณอ่านกลับ กระบวนการตรวจสอบและแก้ไขความถูกต้องของข้อมูล เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นหลักการที่สำคัญต่อการศึกษาระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาหลักการและขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ของแต่ละส่วนอย่างละเอียด ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่มีเครื่องมือหรือโปรแกรมที่ใช้แสดงลักษณะของการจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างชัดเจนและง่ายต่อการศึกษาทำความเข้าใจ

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, E-mail: nontarat.brk@gmail.com

<sup>2</sup> วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, E-mail: kwchanon@kmitl.ac.th

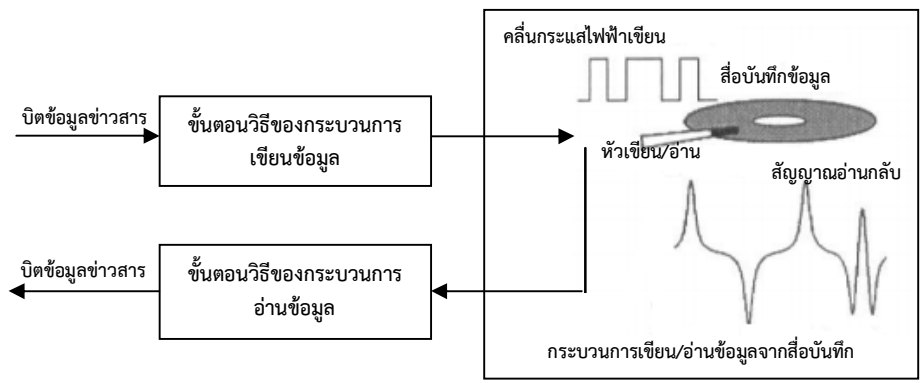
บทความนี้จึงนำเสนอโปรแกรม GUI สำหรับการจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยอาศัยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริง เพื่อเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์และสังเกตผลลัพธ์หรือลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตบางส่วนของระบบให้ชัดเจนยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ศึกษาเข้าใจกระบวนการเขียน/อ่านข้อมูลในระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยบทความนี้ได้นำเทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมาร่วมกับการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อนำมาสร้างเป็นโปรแกรมการจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB (GUI)

จากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลจากสื่อบันทึกข้อมูล ซึ่งนอกจากผู้ที่ศึกษาจะเข้าใจลักษณะการเขียน/อ่านข้อมูลในระดับบิตแล้วยังช่วยให้ผู้ศึกษาเข้าใจภาพรวมของระบบการบันทึกข้อมูลมากยิ่งขึ้นด้วย

**แบบจำลองของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก (Magnetic Recording System Model)**

ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถจำลองดังรูปภาพที่ 1 โดยมีกระบวนการต่าง ๆ เริ่มจากบิตข้อมูลข่าวสาร (message bits) จะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการเขียนข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย การเข้ารหัสโดยวงจรเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (error-correction code (ECC) encoder) ซึ่งเป็นกระบวนการเพิ่มบิตข้อมูลเข้าไปในบิตข้อมูลข่าวสารเพื่อช่วยในการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูล จากนั้นข้อมูลจะถูกแปลงเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าเขียน (write current waveform) ด้วยวงจรมอดูเลเตอร์ (modulator) ก่อนที่คลื่นกระแสไฟฟ้าเขียนจะถูกป้อนไปยังหัวเขียน เพื่อเขียนข้อมูลลงในสื่อบันทึกให้สื่อบันทึกมีสภาพความเป็นแม่เหล็กตามลักษณะของบิตข้อมูลที่ถูกบันทึก

สำหรับขั้นตอนของกระบวนการอ่านข้อมูลนั้น หัวอ่านจะทำการอ่านข้อมูลจากสื่อบันทึกที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งสัญญาณที่อ่านได้นั้นถูกเรียกว่าสัญญาณอ่านกลับ (readback signal) จากนั้นสัญญาณอ่านกลับจะถูกนำไปประมวลผลในขั้นตอนกระบวนการอ่านข้อมูล ได้แก่ วงจรการซิกตัวอย่างข้อมูล (sampling) วงจรปรับเท่า (equalizer) วงจรตรวจหา (detector) และจะถูกถอดรหัสอีกครั้งด้วยวงจรถอดรหัสแก้ไขข้อผิดพลาด (error-correction code (ECC) decoder) อีกครั้งหนึ่งก่อนกลับมาเป็นบิตข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้อง (Rosecamp et al, 2002)



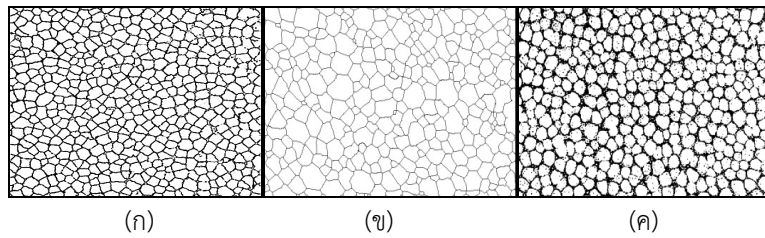
รูปภาพที่ 1 แบบจำลองของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก

จากรูปภาพที่ 1 แสดงแบบจำลองของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็ก โดยบทความนี้จะเป็นการสร้างโปรแกรม GUI ในส่วนของการกระบวนการเขียน/อ่านข้อมูลจากสื่อบันทึกข้อมูลเท่านั้นโดยเปลี่ยนแปลงบิตข้อมูลข่าวสารและภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงในแต่ละกรณี เพื่อตรวจสอบสัญญาณอ่านกลับที่ได้จากบิตข้อมูลและภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงในกรณีต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน

**ภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริง (Real Magnetic Media Image)**

เนื่องจากสื่อบันทึกจริงนั้นมีขนาดเล็กมาก การจำลองสื่อบันทึกสำหรับศึกษาระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กจึงเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนแรกในงานวิจัยเกี่ยวกับระบบการเขียนอ่านและการจำลองช่องสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงทำให้

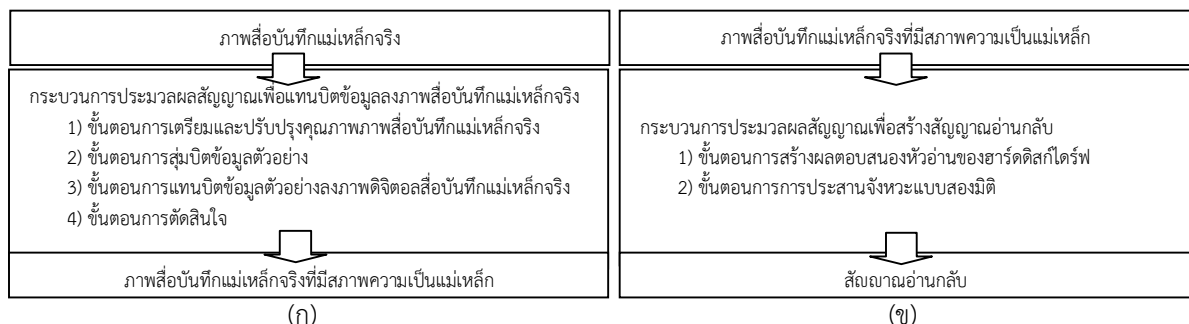
มีงานวิจัยที่ได้นำเสนอแนวความคิดเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองสื่อบันทึกขึ้น โดยอาศัยขั้นตอนวิธีต่าง ๆ เช่น การจำลองสื่อบันทึกโดยอาศัยหลักการของ Discrete Voronoi (Krishnan et al, 2009) การจำลองสื่อบันทึกด้วย Microcell (Chan et al, 2009) เป็นต้น ซึ่งเราพบว่าแบบจำลองสื่อบันทึกที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับลักษณะของสื่อบันทึกจริงไม่มากนัก เนื่องจากลักษณะการเรียงตัวของเกรน (grain) ในสื่อบันทึกก่อนการเขียนข้อมูลระดับบิตไม่เสมือนกับการเรียงตัวและขนาดของเกรนในสื่อบันทึกแม่เหล็กจริง ทำให้ผลการวิจัยนั้นมีความคลาดเคลื่อนแตกต่างจากลักษณะของสื่อบันทึกจริงที่ใช้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในโรงงานอุตสาหกรรม บทความนี้จึงนำเสนอการนำภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงและมีความแตกต่างกันมาใช้ทดสอบในโปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สร้างขึ้น เพื่อตรวจสอบลักษณะของสัญญาณอ่านกลับที่ได้ จากรูปภาพที่ 2 แสดงลักษณะของสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่แตกต่างกันและถูกนำมาใช้ทดสอบโปรแกรม GUI ที่สร้างขึ้นสำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาการจำลองช่องสัญญาณการบันทึกข้อมูลต่อไป



รูปภาพที่ 2 ลักษณะภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่แตกต่างกันและนำมาใช้ทดลองในโปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

**ขั้นตอนวิธีการสร้างภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก**

บทความนี้อาศัยกระบวนการเขียนข้อมูลระดับบิตลงสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงด้วยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงจากงานวิจัย (Bumrungrat et al, 2013) เพื่อให้ภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงนั้นมีลักษณะเหมือนมีสภาพความเป็นแม่เหล็กโดยได้อาศัยภาพดิจิทัลสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงมาเป็นภาพเริ่มต้นของกระบวนการและนำหลักการการประมวลผลภาพดิจิทัลที่เหมาะสมเข้าร่วมสร้าง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปภาพที่ 3 (ก) ซึ่งภาพสื่อบันทึกที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กนั้นจะถูกกำหนดให้มีความเป็นแม่เหล็กในสองสถานะนั่นคือ “1” กับ “-1” ก่อนทำการประสานจังหวะ (convolution) แบบสองมิติกับผลตอบสนองหัวอ่านเพื่อให้ได้สัญญาณอ่านกลับแสดงขั้นตอนกระบวนการประมวลผลสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณอ่านกลับจากภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงดังรูปภาพที่ 3 (ข)



รูปภาพที่ 3 (ก) ขั้นตอนวิธีการสร้างโปรแกรมจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริง และ (ข) ขั้นตอนวิธีการสร้างภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กจากบิตข้อมูลตัวอย่าง

### ขั้นตอนวิธีการสร้างสัญญาณอ่านกลับ

กระบวนการอ่านสัญญาณข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญผลตอบสนองของหัวอ่าน (Sensitivity function) (Yamashita et al, 2011) โดยผลตอบสนองดังกล่าวเมื่อนำไปประสานจังหวะแบบสองมิติ (2D Convolution) (Yamashita et al, 2011) กับภาพสื่อบันทึกจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก ดังสมการที่ 1

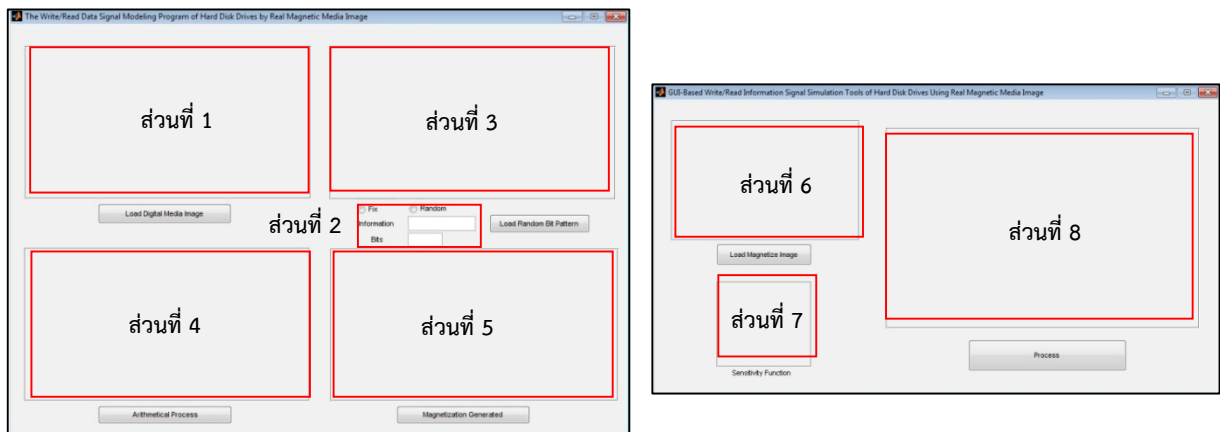
$$V(x,y) = \iint M(\xi,\eta)\psi(x-\xi,y-\eta)d\xi d\eta \tag{1}$$

เมื่อ  $M(x,y)$  คือ สภาพความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ของสื่อบันทึกข้อมูล และ  $\psi(x,y)$  คือ ผลตอบสนองหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และสัญญาณอ่านกลับนี้จะถูกนำไปใช้ประมวลผลสัญญาณร่วมกับขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ของระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กต่อไป

### วิธีการทดลอง

โปรแกรมจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงด้วยโปรแกรม MATLAB โดยทำการสร้างโปรแกรม GUI ใน 2 ลักษณะ คือ โปรแกรม GUI สำหรับจำลองการอ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และโปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียนสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงดังรูปภาพที่ 4

#### โครงสร้างโปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



(ก)

(ข)

#### รูปภาพที่ 4 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานโปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากรูปภาพที่ 4 (ก) แสดงลักษณะส่วนติดต่อผู้ใช้งานโปรแกรมจำลองการเขียนสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริง และรูปภาพที่ 4 (ข) แสดงลักษณะส่วนติดต่อผู้ใช้งานโปรแกรมจำลองการอ่านสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อสร้างสัญญาณอ่านกลับจากภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1: หน้าต่างแสดงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่ถูกนำมาใช้งาน โดยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่นำมาใช้งานนั้น ต้องเป็นภาพที่เห็นลักษณะโครงสร้างของเกรนและขอบของเกรนแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังตัวอย่างรูปภาพที่ 2 (ก), รูปภาพที่ 2 (ข) และรูปภาพที่ 2 (ค)

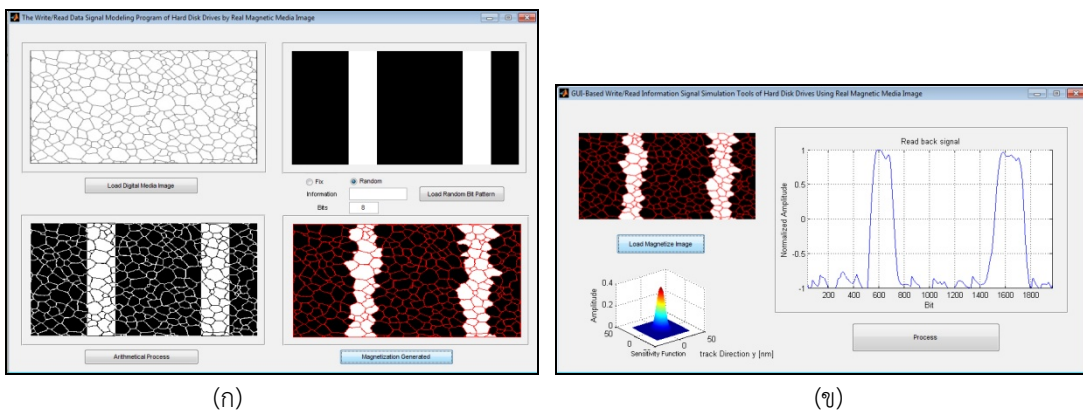
ส่วนที่ 2: ส่วนของการตั้งค่าบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึก ประกอบด้วย

- ตัวเลือกการกำหนดข้อมูลด้วยตนเอง (fix/information)
- ตัวเลือกการบันทึกข้อมูลแบบสุ่ม (random)
- จำนวนบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึก (bits) โดยจำนวนบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึกนั้นสามารถกำหนดได้อย่างอิสระ แต่การกำหนดจำนวนบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึกต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขความเป็นจริงของจำนวนเกรนต่อบิตเซลล์ (bit cell) นั่นคือ จำนวนเกรนของสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงต่อหนึ่งบิตเซลล์ ควรมีค่าประมาณ 4-5 เกรน

- ส่วนที่ 3: หน้าต่างแสดงภาพรูปแบบบิตข้อมูลที่ต้องการบันทึก โดยจะแสดงผลหลังจากการตั้งค่าในส่วนที่ 2
- ส่วนที่ 4: หน้าต่างแสดงผลการประมวลผลสัญญาณภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงกับรูปแบบบิตข้อมูลที่ถูกบันทึก
- ส่วนที่ 5: หน้าต่างแสดงผลพัลส์ภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กจากบิตข้อมูล
- ส่วนที่ 6: หน้าต่างแสดงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก
- ส่วนที่ 7: หน้าต่างแสดงลักษณะของผลตอบสนองของหัวอ่าน
- ส่วนที่ 8: หน้าต่างแสดงลักษณะของสัญญาณอ่านกลับ

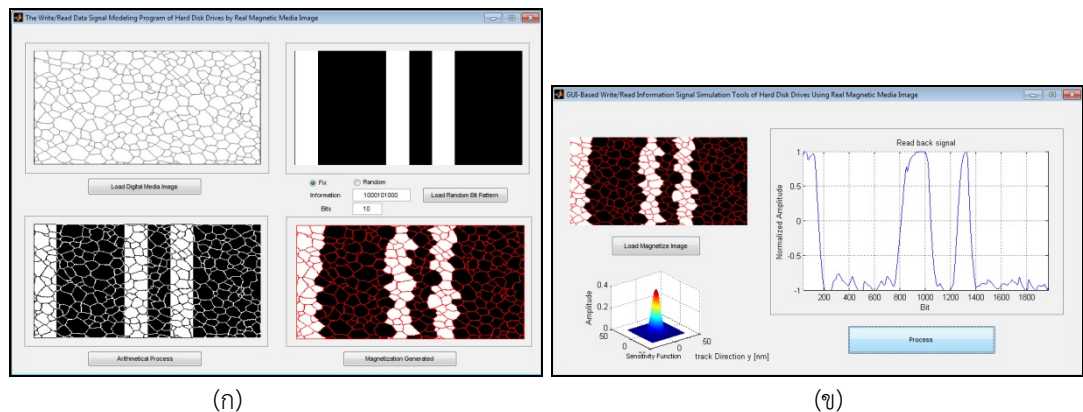
**ผลการทดลอง**

การทดลองจะดำเนินการทดสอบกับภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงจำนวน 2 ภาพ ในสถานการณ์การบันทึกข้อมูลลงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่แตกต่างกัน ตัวอย่างการทดสอบโปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงดังนี้



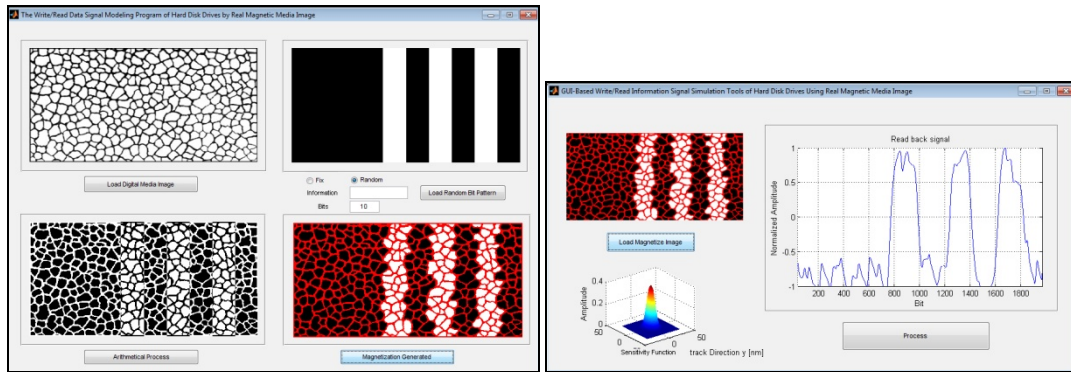
รูปภาพที่ 5 โปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เมื่อกำหนดรูปแบบบิตข้อมูลแบบสุ่ม จำนวน 8 บิต

จากรูปภาพที่ 5 (ก) แสดงผลการใช้งานโปรแกรมจำลองการเขียนสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงโดยกำหนดจำนวนบิตข้อมูลแบบสุ่ม จำนวน 8 บิต ซึ่งจากการทดลองพบว่า บิตข้อมูลที่บันทึกนั้น คือ 00100010 (พื้นที่สีดำ แทนบิตข้อมูล “0” และพื้นที่สีขาว แทนบิตข้อมูล “1”) และรูปภาพที่ 5 (ข) แสดงผลการใช้งานโปรแกรมจำลองการอ่านสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อสร้างสัญญาณอ่านกลับจากภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่ได้จากการใช้งานในรูปภาพที่ 5 (ก)



รูปภาพที่ 6 โปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เมื่อกำหนดบิตข้อมูลแบบกำหนดรูปแบบบิตข้อมูล จำนวน 10 บิต

จากรูปภาพที่ 6 (ก) แสดงผลการใช้งานโปรแกรมจำลองการเขียนสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงโดยกำหนดรูปแบบบิตข้อมูลจำนวน 10 บิต คือ 100101000 และรูปภาพที่ 6 (ข) แสดงผลการใช้งานโปรแกรมจำลองการอ่านสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อสร้างสัญญาณอ่านกลับจากภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่ได้จากการใช้งานในรูปภาพที่ 6 (ก)



(ก) (ข)  
**รูปภาพที่ 7** โปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์  
 เมื่อกำหนดบิตข้อมูลแบบสุ่ม จำนวน 10 บิต

จากรูปภาพที่ 7 (ก) แสดงผลการใช้งานโปรแกรมจำลองการเขียนสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงโดยกำหนดรูปแบบบิตข้อมูลแบบสุ่มจำนวน 10 บิต และรูปภาพที่ 7 (ข) แสดงผลการใช้งานโปรแกรมจำลองการอ่านสัญญาณข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อสร้างสัญญาณอ่านกลับจากภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่ได้จากการใช้งานในรูปภาพที่ 7 (ก)

**สรุปผลการทดลอง**

โปรแกรม GUI สำหรับจำลองการเขียน/อ่านสัญญาณข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยอาศัยภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแสดงผลการจำลองภาพสื่อบันทึกแม่เหล็กจริงที่ผ่านการเขียนข้อมูลให้มีสภาพความเป็นแม่เหล็กอย่างชัดเจนและถูกต้อง อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณอ่านกลับได้ ซึ่งจากการทดลองในสถานการณ์ต่าง ๆ นั้นพบว่าหากใช้ภาพสื่อบันทึกข้อมูลจริงที่ต่างกันเป็นภาพตั้งต้น จะให้สัญญาณอ่านกลับที่มีลักษณะต่างกันด้วย ซึ่งโปรแกรม GUI ที่สร้างขึ้นนี้เหมาะสำหรับนำไปเพื่อศึกษาหลักการประมวลผลสัญญาณขั้นต้นในระบบบันทึกข้อมูลเชิงแม่เหล็กอย่างมีประสิทธิภาพ

**กิตติกรรมประกาศ**

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี โดยให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยส่วนหนึ่งจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี และขอขอบคุณวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยและการทดลองนี้

**เอกสารอ้างอิง**

Bumrungrat, N., Warisarn, C., & Kovintavewat, P. (2013). A Magnetized Grain Modeling Method Based on the Image of Real Magnetic Grains for Two-Dimensional Magnetic Recording. **28th ITC-CSCC conference**, July 2013.

Chan, K.S., Miles, J.J., Hwang, E., Kumar, B.V.K.V., Zhu, J., Lin, W., & Negi, R. (2009). TDMR platform simulations and experiments. **IEEE Trans. Magn.**, 45 (10, Oct), 3837–3843.

- Krishnan, A.R., Radhakrishnan, R., Vasic, B., Kavcic, A., Ryan, W., & Erden, F. (2009). 2-D magnetic recording: Read channel modeling and detection. *IEEE Trans. Magn.*, 45 (10, Oct), 3830–3836.
- Rosecamp, T.A., Boerner, E.D., & Parker, G.J. (2002). Three-Dimensional modeling of perpendicular recording with soft underlayer. *Journal of Applied Physics*, 91 (10, May), 8366 - 8368.
- Yamashita, M., Osawa, H., Okamoto, Y., Nakamura, Y., Suzuki, Y., Miura, K., & Muraoka, H. (2011). Read/Write Channel Modeling and Two-Dimensional Neural Network Equalization for Two-Dimensional Magnetic Recording. *IEEE Trans. Magn.*, 47 (10, Oct), 3558–3561.