การสร้างเครื่องสแกนภาพโดยเทคนิคการกำทอนแม่เหล็กแบบสนามต่ำ (ระยะที่ 2)

ชื่อผู้วิจัย/หน่วยงาน

นางจันทร์เพ็ญ โทมัส ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นายเอียน โทมัส ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นายธีระศักดิ์ จันทร์วิเมือง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการพัฒนาส่วนประกอบต่างๆ สำหรับเครื่องต้นแบบ MRI (Magnetic Resonance Imager) เพื่อใช้ถ่ายภาพการกระจายของไฮโดรเจนภายในตัวอย่างขนาดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ที่สนามแม่เหล็กความเข้มไม่เกิน 0.3 เทสลา โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ไม่ถึง 10% ที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ การทดสอบในเบื้องต้นเครื่องสามารถวัดสัญญาณ Magnetic Resonance ของนิวเคลียสไฮโดรเจนในตัวอย่างน้ำขนาด 6x6 เซ็นติเมตร ที่ความเข้มของสนามแม่เหล็ก 0.295 เทสลาและความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์ ระยะต่อไปจะทำการปรับปรุงส่วนการควบคุมความต่างศักย์และกระแสแก่แม่เหล็กให้คงที่ได้แบบอัตโนมัติ ลดสัญญาณรบกวน และทดสอบการสร้างภาพ

บทนำ

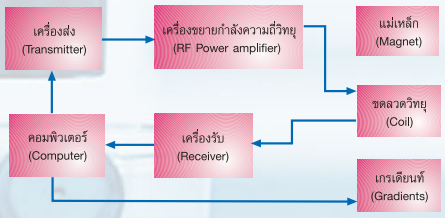
MRI (Magnetic Resonance Imaging) เป็นเทคนิคการถ่ายภาพภายในตัวอย่างแบบไม่บุกรุกและไม่ทำลาย ที่อาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็กของนิวเคลียสของธาตุ เช่น ไฮโดรเจน ซึ่งมีอยู่มากมายในน้ำและไขมันในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เมื่อวางตัวอย่างในสนามแม่เหล็กและกระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุความถี่ที่เหมาะสมกับนิวเคลียสที่ศึกษาและค่าสนามแม่เหล็กที่ใช้ นิวเคลียสจะส่งสัญญาณที่ความถี่เดียวกันออกมาหลังจากที่ปิดการกระตุ้นแล้ว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Nuclear Magnetic Resonance หรือ NMR เมื่อทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งในสารตัวอย่าง นิวเคลียสที่ตำแหน่งเหล่านั้น จะให้สัญญาณความถี่กำทอนที่แตกต่างกัน วิธีการแปลงฟูริเยร์ใช้วิเคราะห์หาความเข้มสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ และนำมาสร้างเป็นภาพ เนื่องจากอันตรกิริยาทางแม่เหล็กระหว่างนิวเคลียสกับโมเลกุลรอบข้าง สัญญาณ NMR ของนิวเคลียสที่มีสภาพแวดล้อมทางเคมีต่างกันจึงแตกต่างกัน เช่น สัญญาณจากน้ำของเนื้อเยื่อปกติจะต่างจากของเนื้องอก จึงทำให้ปัจจุบัน MRI กลายเป็นวิธีวินิจฉัยโรคหลักวิธีหนึ่งของแพทย์รังสีในโรงพยาบาลใหญ่ทั้งของรัฐและเอกชน เครื่องถ่ายภาพ MRI เป็นเครื่องมือที่ใช้ศาสตร์หลายอย่างร่วมกัน มีความซับซ้อนและมีราคาสูงมาก ราคาเครื่องรุ่นใหม่ที่ใช้ในโรงพยาบาลอยู่ในระดับ 100 ล้านบาทขึ้นไป แต่ศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้เป็นแบบที่มีใช้กันอยู่แล้ว เพียงยังไม่มีการวิจัยและพัฒนาในประเทศไทยอย่างแพร่หลายเพราะไม่ใช่เทคโนโลยีแบบแนวหน้า โครงการนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้และศักยภาพของการพัฒนาเครื่องต้นแบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในประเทศไทยที่อาจพัฒนาต่อไปในเชิงพาณิชย์สำหรับใช้ในโรงพยาบาลขนาดเล็กและใช้ในการวิจัยเพื่อพัฒนากำลังคนทางด้าน MRI

วัตถุประสงค์

สร้างต้นแบบเครื่อง MRI ที่สนามแม่เหล็กความเข้มไม่เกิน 0.3 เทสลา ความถี่ 11–13 MHz ความละเอียดภาพประมาณ 0.8 มิลลิเมตร สำหรับถ่ายภาพภายในตัวอย่างขนาดไม่เกิน 10 เซนติเมตร เช่น มือคน ผลไม้ สัตว์ขนาดเล็ก และเน้นใช้วัสดุที่หาได้ในประเทศ

ระเบียบวิธีวิจัย

เครื่อง MRI ที่สร้างประกอบด้วยระบบย่อย 7 ระบบ (รูปที่ 1 และ 2) วิธีวิจัยในแต่ละระบบย่อยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎี เขียนโปรแกรมคำนวณในการออกแบบ สร้างชิ้นส่วนต่างๆ ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข การเขียนโปรแกรมมีทั้งระดับภาษาเครื่องสำหรับควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาษา Turbo Pascal และ Kylix ในส่วนการคำนวณและเขียนโปรแกรมใช้งาน KKU-NECTEC MRI Scanner เมื่อทดสอบระบบย่อยทั้งหมดแล้วนั้นมาเชื่อมต่อกันเพื่อทดสอบทั้งระบบซึ่งกำลังอยู่ระหว่างดำเนินการ



รูปที่ 1 ผังภาพของระบบย่อยในเครื่อง MRI

รูปที่ 2 เครื่อง KKU-NECTEC MRI ที่กำลังพัฒนา (ก) ตัวจ่ายไฟแก่ขดลวดแม่เหล็กและตัวจ่ายไฟแก่ขดลวด Shims 6 ชุด (ข) แม่เหล็กพร้อมชุดขดลวดวิทยุ ขดลวดเกรเดียนท์และสารตัวอย่างอยู่ภายใน วางอยู่ระหว่างขั้ว มี Shims ติดอยู่บนหน้าขั้ว (ค) เครื่องขยายกำลังความถี่วิทยุ (ง) โต๊ะทำงานมีจอภาพแสดงโปรแกรม KKU-NECTEC MRI Scanner และมีวงจรบรรจุอยู่ใน 4 ลิ้นชัก จากบนเป็นคอมพิวเตอร์รวมทั้งโปรแกรมควบคุมการทำงาน ระบบจ่ายกำลังแก่ขดลวดเกรเดียนท์ ระบบส่งคลื่นวิทยุ และระบบรับสัญญาณวิทยุ (จ) เครื่องขยายสัญญาณเบื้องต้นวางอยู่ข้างขาแม่เหล็ก

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา จาก
ฝ่ายเครือข่ายการวิจัยและพัฒนา (RDD)
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
112 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 02-564-6900 ต่อ 2501-10 โทรสาร 02-564-6901..2

http://www.nectec.or.th/

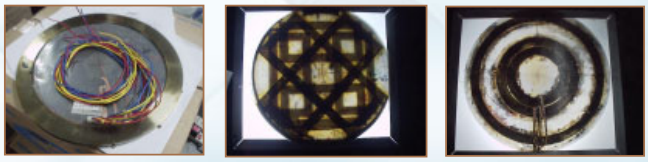
ผลการวิจัย

ผลงานในระยะที่ 2 เป็นการสานต่อจากระยะที่ 1 ซึ่งได้สร้างแม่เหล็กไฟฟ้าแกนเหล็กระยะห่างขั้ว 15.4 เซนติเมตร. ให้สนาม 0.3T ที่กระแสประมาณ 60A สร้างเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแก่แม่เหล็กสามารถจ่ายกระแส 0–100A ที่ความต่างศักย์ 0–145V และศึกษาการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานในการควบคุมและสร้างสัญญาณพัลซ์รูปร่างต่างๆ

ผลงานในระยะที่ 2 สำหรับระบบย่อยต่างๆ เป็นดังนี้ (ระบบรับส่งคลื่นวิทยุออกแบบให้ทำงานในช่วงความถี่ 10–14 เมกะเฮิรตซ์)
ระบบแม่เหล็ก ได้ปรับปรุงการระบายความร้อนให้แก่ขดลวดแม่เหล็ก ออกแบบและสร้าง Shims เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลักให้ครอบคลุมบริเวณกว้างมากขึ้นโดยทำ Passive Shims จากวงแหวนเหล็กอ่อน และ Active Shims ซึ่งเป็นขดลวดรูปแบบต่างๆ (รูปที่ 3) รวม 6 ชุด Shims เหล่านี้ติดไว้ที่หน้าขั้วแม่เหล็กทั้งสองขั้ว และได้สร้างตัวจ่ายกระแสในช่วง +2.8A แก่ขดลวด Shims (รูปที่ 2) การทดสอบเบื้องต้นโดยวิธี NMR พบว่า Shims เหล่านี้ช่วยให้สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในบริเวณที่กว้างขึ้น

ในส่วนของเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแก่ขดลวดแม่เหล็ก (รูปที่ 2) ได้ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมให้ค่าความต่างศักย์และค่ากระแสที่จ่ายคงที่ เพิ่มระบบป้องกันความไม่สมดุลของไฟสามเฟสที่ด้านขาเข้า วงจรควบคุมนี้ยังอยู่ในช่วงของการทดสอบและปรับปรุง
ระบบเกรเดียนท์และระบบขดลวดวิทยุ เกรเดียนท์เป็นชุดขดลวด 3 ชุดที่ให้สนามแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอในสามทิศทางตั้งฉากกัน ขดลวดวิทยุเป็นแบบโซลินอยด์กำทอนที่ความถี่ ~12 เมกะเฮิรตซ์ ทั้งหมดติดตั้งบนผิวทรงกระบอกซ้อนกันและวางอยู่ในแม่เหล็ก (รูปที่ 4 และ 2)
ระบบส่งคลื่นวิทยุและเครื่องขยายกำลังคลื่นวิทยุ สร้างพัลซ์คลื่นวิทยุที่มีรูปร่างตามที่กำหนดสำหรับการถ่ายภาพ MRI วงจรต่างๆ บรรจุอยู่ในลิ้นชักเครื่องส่งที่โต๊ะทำงาน เครื่องขยายกำลังคลื่นวิทยุสามารถขยายกำลังได้ถึง 180 วัตต์ (รูปที่ 2)
ระบบเครื่องรับสัญญาณ NMR (รูปที่ 2) รับสัญญาณ NMR จากตัวอย่างในขดลวดวิทยุผ่านเครื่องขยายสัญญาณเบื้องต้น ใช้หลักการของเครื่องรับวิทยุทั่วไป รับสัญญาณเป็นแบบ 2 ช่องมีเฟสต่างกัน 90 องศา ใช้เป็นสัญญาณจริงและสัญญาณจินตภาพสำหรับการแปลงฟูริเยร์ในการสร้างภาพ
ระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์และประมวลผล (รูปที่ 2 และ 5) ในคอมพิวเตอร์มีการ์ด ADC ใช้แปลงสัญญาณ NMR เป็นดิจิทัลเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล มีวงจรและโปรแกรม KKU-NECTEC MRI Scanner สำหรับควบคุมลำดับการเปิดปิดพัลซ์วิทยุ พัลซ์เกรเดียนท์และเครื่องรับสัญญาณ ทำการประมวลผลสัญญาณและสร้างภาพ

ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่อง MRI ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจจับสัญญาณ NMR ของตัวอย่างน้ำในขวดขนาด 6x6 เซนติเมตร ได้อย่างต่อเนื่องเป็นครั้งแรกเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2548 นี้ (รูปที่ 5ข) โดยใช้สนาม 0.295 เทสลา ที่กระแส 53.6A ความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์



ก ข ค

รูปที่ 3 (ก) ตัวอย่างขดลวด Shims
(ข) การประกอบขดลวด Shims
(ค) ขดลวด Shims หลังประกอบและต่อสายไฟแล้ววางอยู่ในวงแหวนเหล็กที่เป็น Passive Shim

รูปที่ 4 ขดลวดวิทยุ ขดลวดเกรเดียนท์ทั้งสามหลังพันด้วยผ้า ทาด้วยวานิช และโครงทองเหลืองสำหรับใช้ประกอบเข้าชุด

รูปที่ 5 (ก) ตัวอย่างหน้าต่างที่เปิดระหว่างการถ่ายภาพของโปรแกรม KKU-NECTEC MRI Scanner ภาพที่สร้างจะแสดงผลในช่องหน้าต่างด้านล่างทางซ้ายมือ (ข) สัญญาณ NMR ที่ตรวจจับได้อย่างต่อเนื่องเป็นครั้งแรก (วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2548)

สรุป

ผลงานในเบื้องต้นที่สามารถตรวจจับสัญญาณ NMR ได้นี้ได้สร้างความมั่นใจมากขึ้นว่าเครื่อง MRI ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถถ่ายภาพได้ในอนาคตอันใกล้