สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฒ
สารบาญอักษรย่อ	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สิ่งที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ค่าเวลาของการผ่อนคลาย T_2 และ T_2^* (T_2, T_2^* Relaxation time)	4
2.2 รูปแบบการตอบสนองของอิเล็กตรอนต่อสนามแม่เหล็กหลัก	5
2.2.1 พาราแมกเนติก (Paramagnetism)	5
2.3 หุ่นจำลอง (Phantom) ที่ใช้เพื่อการควบคุมคุณภาพ (Quality control)	6
2.4 พารามิเตอร์ของการควบคุมคุณภาพ (Quality control) เครื่องเอ็มอาร์ไอ (MRI) ที่ศึกษา	6
2.4.1 การตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (Magnetic field homogeneity)	7
2.4.2 การตรวจสอบความสม่ำเสมอบนภาพ (Image uniformity)	8
2.4.3 การตรวจสอบสัดส่วนของสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio หรือ SNR)	9
2.5 วิธีการประเมินธาตุเหล็กสะสมด้วยวิธีวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ (T_2* mapping)	10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 12
3.1 วัสดุอุปกรณ์ 12
3.2 วิธีการศึกษา 13
3.2.1 การสร้างและตรวจสอบหุ่นจำลองน้ำ (Uniform phantom) 13
3.2.1.1 การสร้างหุ่นจำลองน้ำ 13
3.2.1.2 การตรวจสอบหุ่นจำลองน้ำ 13
3.2.2 การตรวจสอบพารามิเตอร์ทั้งสามและการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ที่ทำการเก็บข้อมูลทั้ง 2 ชุดภายใต้ภาวะที่กำหนด 15
3.2.2.1 การวัดค่าพารามิเตอร์การตรวจสอบความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (Magnetic field homogeneity) กับการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ภายใต้ภาวะปกติ และภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กหลักหลักใน 7 ระดับ 15
3.2.2.2 การวัดค่าพารามิเตอร์การตรวจสอบความสม่ำเสมอบนภาพ (Image Uniformity) กับการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ภายใต้ภาวะปกติ และภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กหลักหลักใน 7 ระดับ 18
3.2.2.3 การวัดค่าพารามิเตอร์การตรวจสอบสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio หรือ SNR) กับการวัดค่า T_2* บนภาพเอ็มอาร์ภายใต้ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า NSA (number of signal average) 7 ระดับ 19
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ 20

บทที่ 4 ผลการทดลอง 21
4.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) กับค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลอง 23

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เจล ภายใต้ภาวะปกติ และภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กหลักใน 7 ระดับ

4.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) กับค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจล ภายใต้ภาวะปกติ และภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กใน 7 ระดับ 29

4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (SNR) กับค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลอง ภายใต้ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า NSA 7 ค่า คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 NSA 34

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 36

เอกสารอ้างอิง 39

ภาคผนวก 43

ภาคผนวก ก การสร้างหุ่นจำลองน้ำ (Uniform phantom) 44

ภาคผนวก ข ผลการตรวจสอบหุ่นจำลองน้ำ (Uniform phantom) ในระยะเวลา 3 เดือน 47

ภาคผนวก ค ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลที่มีการหมุนทั้ง 7 ครั้ง ในภาวะปกติและภาวะที่มีการรบกวนสนามแม่เหล็กหลัก 7 ระดับ 50

ภาคผนวก ง สคริปต์โปรแกรม MATLAB เพื่อการหาค่าการควบคุมคุณภาพเครื่องเอ็มอาร์ไอสำหรับพารามิเตอร์ทั้ง 3 และเพื่อการหาค่า T_1, T_2 และ T_2* 54

ภาคผนวก จ แผนภาพลำดับพัลส์ที่ใช้ในงานวิจัย 69

ประวัติผู้เขียน 74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การตอบสนองของอิเล็กตรอนต่อสนามแม่เหล็กรูปแบบต่างๆ	5
2	จำนวนของอิเล็กตรอนที่อยู่แบบเดี่ยวๆ ของอนุภาคแบบ Transition Metal และ Lanthanide Metal	6
3	แสดงค่าเวลาการผ่อนคลาย ที่เหมาะสมของหุ่นจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเวลาการผ่อนคลายของเนื้อเยื่อมนุษย์	6
4	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างภาพเอ็มอาร์เพื่อการตรวจสอบพารามิเตอร์ทั้งสาม และเพื่อการวัดค่า T_2*	16
5	แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และค่าเฉลี่ยของค่า T_2* ในแต่ละความเข้มข้นจากการหมุนทั้งหมด ภายใต้ ภาวะปกติและภาวะที่สนามแม่เหล็กหลักถูกรบกวน 7 ระดับ	23
6	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง เพื่อศึกษาผลของค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ที่มีผลต่อค่า T_2* เฉลี่ย	26
7	แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยวิธีฟิชเชอร์ ของค่า T_2* ในกลุ่มของความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) ทั้ง 8 กลุ่ม	27
8	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) และค่า T_2* เฉลี่ยในแต่ละความเข้มข้นจากการหมุนทั้งหมด ภายใต้ภาวะปกติและภาวะที่สนามแม่เหล็กหลักถูกรบกวน 7 ระดับ	29
9	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง เพื่อศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของภาพ (PIU) และระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ที่มีผลต่อค่า T_2* เฉลี่ย	30
10	แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยวิธีฟิชเชอร์ ของค่า T_2* ในกลุ่มของเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ทั้ง 8 กลุ่ม	30
11	แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Percent coefficient of variation, %CV) ของค่า T_2*	32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละความเข้มข้นภายใต้ภาวะที่สนามแม่เหล็กหลักถูกรบกวนแตกต่างกัน

12 แสดงค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (SNR) และค่าเฉลี่ยของค่า T_2* ในแต่ละความเข้มข้น ภายใต้ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า NSA 7 ค่า 34

13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง เพื่อศึกษาผลของค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวน (SNR) และระดับความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ที่มีผลต่อค่า T_2* เฉลี่ย 35

14 แสดงช่วงค่า T_1 และ T_2 มาตรฐานของ รายงานเอเอพีเอ็มเลขที่34 (AAPM Report No.34) ค่า T_1 และ T_2 ของหุ่นจำลองเอซีอาร์ (ACR phantom) ค่า T_1 และ T_2 ของหุ่นจำลองของบริษัทฟิลิปส์ (philips phantom) ค่า T_1 และ T_2 ของหุ่นจำลองตัวอย่าง (model phantom) ค่า T_1 และ T_2 ของหุ่นจำลองน้ำในช่วงระยะเวลา 3 เดือน 49

15 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้นที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการหมุนครั้งที่ 1 50

16 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้นที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการหมุนครั้งที่ 2 51

17 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้นที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการหมุนครั้งที่ 3 51

18 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้นที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการหมุนครั้งที่ 4 52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

19 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้น ที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการ หมุนครั้งที่ 5 52

20 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้น ที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการ หมุนครั้งที่ 6 53

21 ตารางแสดงค่า T_2* ที่วัดได้จากหุ่นจำลองเจลในแต่ละความเข้มข้น ที่ระดับค่าความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆจากการ หมุนครั้งที่ 7 53

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1	หุ่นจำลองน้ำที่ภายในประกอบด้วยสาละลายนิกเกิลคลอไรด์ 10 มิลลิโมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 75 มิลลิโมลาร์ ในภาชนะที่ประดิษฐ์ขึ้น	12
2	หุ่นจำลองเจลที่เติมเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride, $FeCl_3.6H_20$) ให้มีความเข้มข้นต่างกัน 8 ความเข้มข้น ในภาชนะที่ประดิษฐ์ขึ้น	13
3	แสดงขึ้นตอนการคำนวณค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลัก บนภาพเอ็มอาร์ชนิดเฟส จากการสแกนหุ่นจำลองน้ำที่เอคโคที่หนึ่ง (TE = 10 มิลลิวินาที) และเอคโคที่สอง (TE = 13 มิลลิวินาที) ภายในบริเวณที่สนใจ	17
4	แสดงแสดงขั้นตอนการำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพบนภาพเอ็มอาร์ชนิดแมกนิจูด จากการสแกนหุ่นจำลองน้ำภายในบริเวณที่สนใจ	18
5	แสดงขั้นตอนการคำนวณค่าสัดส่วนสัญญาณภาพต่อสัญญาณรบกวนบนภาพเอ็มอาร์ชนิดแมกนิจูด จากการสแกนหุ่นจำลองน้ำภายในบริเวณที่สนใจ	19
6	ความแตกต่างระหว่างภาพเอ็มอาร์ชนิดแมกนิจูด และภาพเอ็มอาร์ชนิดเฟส ที่เอคโคที่ 10 และ 13 มิลลิวินาที ซึ่งมีค่าความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กหลักตั้งแต่ 0.37 ppm ถึง 1.30 ppm	21
7	แสดงการลดลงของค่า T_2* เฉลี่ยแบบเอกโปเนนเชียล เมื่อฟิตกราฟกับความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) จากการเก็บข้อมูลภายใต้ภาวะปกติ หรือสนามแม่เหล็กหลักมีความไม่สม่ำเสมอเท่ากับ 0.37 ppm	24
8	แสดงการเพิ่มขึ้นของค่า R2* หรือค่า 1/T_2* ของค่า T_2* เฉลี่ยแบบเป็นเส้นตรง เมื่อฟิตกราฟกับความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) จากการเก็บข้อมูลภายใต้ภาวะปกติ หรือสนามแม่เหล็กหลักมีความไม่สม่ำเสมอเท่ากับ 0.37 ppm	25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

9	การเปลี่ยนแปลงของค่า T_2* แต่ละความเข้มข้นภายใต้ภาวะปกติ และภาวะที่สนามแม่เหล็กหลักถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกในระดับต่างๆ	28
10	การเปลี่ยนแปลงของค่า T_2* แต่ละความเข้มข้น ภายใต้ระดับค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สม่ำเสมอบนภาพ (PIU) ระดับต่างๆ	31
11	การนำค่าเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอบนภาพ (PIU) มาพล๊อตกราฟกับค่าความไม่สม่ำเสมอ ของสนามแม่เหล็กหลัก (ppm) เมื่อค่าทั้งสองที่ตำแหน่งเดียวกันได้จากการตรวจสอบที่ภาวะเดียวกัน	33
12	รูปการออกแบบโครงสร้างของหุ่นจำลองน้ำ ประกอบไปด้วยส่วนฝาปิดด้านบนและส่วนบรรจุสารละลายที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร และเส้น ผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร	44
13	รูปการออกแบบส่วนฝาปิดด้านบนของหุ่นจำลองน้ำ ที่มีความหนา 1 เซนติเมตรบริเวณตรงกลางเจาะรูเกลียว 2 รูและปิดรูเกลียวด้วยหางปลาแบบพลาสติก	45
14	ขั้นตอนการผสมสารละลาย การตรวจสอบสารละลายก่อนการบรรจุ และหุ่นจำลองน้ำที่สร้างเสร็จ	45
15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของสัญญาณในภาพ (signal intensity) กับค่า TI ทั้ง 12 ค่า เพื่อหาค่า T_1 ของหุ่นจำลองตัวอย่าง (model phantom) และหุ่นจำลองของบริษัทฟิลิปส์ (philips phantom)	47
16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของสัญญาณในภาพ (signal intensity) กับค่า TE ทั้ง 8 ค่า เพื่อหาค่า T_2 ของหุ่นจำลองตัวอย่าง (model phantom) และหุ่นจำลองของบริษัทฟิลิปส์ (philips phantom)	48
17	แผนภาพแสดง Inversion Recovery pulse sequence	69
18	แผนภาพแสดง Spin Multi echo pulse sequence	70
19	แผนภาพแสดง Multi Turbo Field Echo pulse sequence	71

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

20 แผนภาพแสดง Dual Gradient echo pulse sequence 72
21 แผนภาพแสดง Double spin echo pulse sequence 73

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญอักษรย่อ

cm	Centimeter
%CV	Percent Coefficient of Variation
mm	Millimeter
ms	Millisecond
MRI	Magnetic Resonance Imaging
M_{xy}	Transverse Magnetization
M_z	Longitudinal Magnetization
NSA	Number of Signal Average
ROI	Region of Interest
RF	Radio Frequency
SI	Signal Intensity
SNR	Signal to noise ratio
ppm	Part per million
PIU	Percent Image Uniformity
T1	Longitudinal Relaxation Time
T2,T2*	Transverse Relaxation Time
TE	Echo Time
TR	Repetition Time
IR	Inversion Recovery Time
max.	Maximum Intensity of Region of Interest
min.	Minimum Intensity of Region of Interest
SD	Standard Deviation

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved