บทที่ 3
การแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการแยกบริเวณสมองออกจากเนื้อเยื่อห่อหุ้มอื่น ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอ การแยกบริเวณสมองจะตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าเนื้อสมองทั้งหมดมีที่มาทางคัภพวิทยา (embryology) จากเนื้อเยื่อชิ้นเดียวกันเรียกว่า neural tube และมีความต่อเนื่องเป็นชิ้นเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นกระบวนการที่ทำการตรวจสอบค่าความเข้มแสงเพื่อระบุชนิดของเนื้อเยื่อร่วมกับการตรวจสอบความต่อเนื่องของเนื้อเยื่อดังกล่าวน่าจะสามารถแยกบริเวณที่เป็นสมองออกจากเนื้อเยื่อโดยรอบที่มีลักษณะของสัญญาณใกล้เคียงกันได้

ชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่ใช้ในการศึกษาและวิจัยนี้ได้มาจากเครื่องถ่ายภาพเอ็มอาร์ไอของโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ซึ่งเป็นเครื่องจากบริษัท General Electric รุ่น Signa มีความแรงของสนามแม่เหล็ก 1.5 เทสลา รับสัญญาณภาพหลังการกระตุ้น (Time echo, TE) เป็นเวลา 9 มิลลิวินาที และทำการวัดซ้ำทุก ๆ 500 มิลลิวินาที ภาพที่ได้จะมีขนาดของจุดภาพ (voxel) ตามแนวกว้าง ความยาว และหนาเป็น 1 x 1 x 2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แต่ละจุดภาพให้ค่าของสัญญาณที่วัดในความละเอียด 16 บิต แนวการรับสัญญาณเพื่อสร้างแผ่นภาพเป็นแนวขนานกับใบหน้า (coronal plane) ซึ่งแผ่นภาพเหล่านี้ไม่มีช่องว่างคั่นระหว่างแผ่น ภาพเหล่านี้ถูกดึงออกจากเครื่องถ่ายภาพเอ็มอาร์ไอโดยใช้โปรแกรมของเครื่องเองชื่อ ximg กำหนดให้เครื่องทำการเก็บข้อมูลแต่ละภาพเป็น raw matrix ที่มีส่วนนำของแฟ้มข้อมูล (file header) บรรจุรายละเอียดของภาพ ภาพดังกล่าวจะถูกส่งผ่านอินทราเน็ตไปยังอุปกรณ์เพื่อบันทึกลงแผ่นข้อมูล CD-R สำหรับนำมาใช้ในงานวิจัย

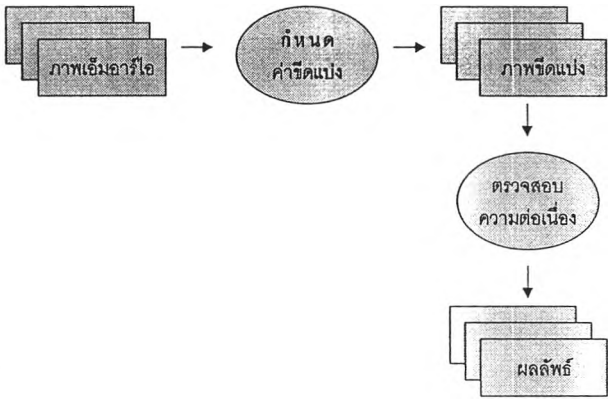
โดยทั่วไปชุดภาพเอ็มอาร์ไอจะมีจำนวน 60 ภาพซึ่งแสดงภาคตัดขวางของศีรษะตั้งแต่ส่วนหน้าไปจนถึงส่วนหลัง ค่าของสัญญาณของจุดภาพจะถูกกำหนดเป็นปริมาณค่าความเข้มแสงเพื่อการแสดงผล ภาพเอ็มอาร์ไอจะถูกแสดงเป็นภาพระดับเทา (gray scale image) โดยที่ค่าของสัญญาณที่เป็นศูนย์จะให้ค่าความเข้มแสงน้อยที่สุดและแสดงผลเป็นสีดำสนิทในขณะที่ค่าของสัญญาณที่มากกว่าศูนย์จะแสดงผลเป็นเฉดสีเทา ค่าของสัญญาณที่ให้ค่าความเข้มแสงมากกว่าจะแสดงผลเป็นเฉดสีเทาที่อ่อนกว่า (สว่างกว่า) ค่าของสัญญาณที่ให้ค่าความเข้มแสงน้อยกว่า

ภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ของชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งเป็นภาพในแนวหน้าสุดและหลังสุดของศีรษะมักจะมีบริเวณที่เป็นบริเวณสมองค่อนข้างน้อยหรือไม่มีเลย (ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของศีรษะด้วย) ถ้าหากมีบริเวณที่เป็นสมองปรากฏในภาพก็มักจะมีค่าของสัญญาณของจุดภาพบริเวณสมองในภาพนั้นมากกว่าค่าของสัญญาณของจุดภาพของบริเวณสมองของภาพอันดับกลาง ๆ บริเวณ

สมองที่ปรากฏในภาพอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ จึงมีเฉดสีเทาอ่อนกว่าปรกติ เพราะฉะนั้นภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ดังกล่าวจะไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของบริเวณสมองที่พบมีพื้นที่น้อยและค่าความเข้มแสงที่ผิดเพี้ยนไปจากค่าปรกติ

3.1 แนวความคิดการแยกบริเวณสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอ

การแยกบริเวณสมองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อแยกจุดภาพของบริเวณสมองในภาพเอ็มอาร์ไอออกจากส่วนอื่นที่ไม่ต้องการ ค่าขีดแบ่งที่ดีที่สุดจะถูกกำหนดจากการวิเคราะห์ชุดภาพเอ็มอาร์ไอ บริเวณที่ปรากฏในภาพหลังการประมวลผลด้วยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งอาจปรากฏเป็นบริเวณเดี่ยวหรือปรากฏเป็นหย่อมที่ไม่ต่อเนื่องถึงกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากเนื้อสมองมีต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อชิ้นเดียวกันดังนั้นจึงต้องมีความต่อเนื่องเชื่อมถึงกันเป็นชิ้นเดียวกันในมุมมอง 3 มิติ เพราะฉะนั้นบริเวณที่ปรากฏในภาพภายหลังการประมวลผลด้วยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งจะถูกนำไปตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณระหว่างแผ่นภาพเพื่อคัดเลือกและกำหนดเป็นบริเวณสมองที่ครบถ้วนสมบูรณ์ในที่สุด แนวความคิดการแยกบริเวณสมองแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แนวความคิดการแยกบริเวณสมอง

3.2 การศึกษาภาพเอ็มอาร์ไอ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาชุดภาพเอ็มอาร์ไอจำนวน 9 ชุดซึ่งมีความหลากหลายของข้อมูลจำนวนหนึ่ง การพัฒนาขึ้นตอนวิธีการแยกบริเวณสมองจะอยู่บนพื้นฐานของการศึกษาและการวิเคราะห์ภาพเอ็มอาร์ไอที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย ชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้ในการวิจัยสรุปดังตารางที่ 1

*ตารางที่ 1 ชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้ในงานวิจัย**

ชุดภาพ	จำนวนภาพ	หมายเหตุ
E4602S7	60	ไม่มีข้อมูล
E4913S9	60	ไม่มีข้อมูล
E5602S7	28	ชาย อายุ 13 ปี เส้นเลือดของเยื่อหุ้มสมองโป่งพอง
E6270S2	60	หญิง อายุ 28 ปี ป่วยเป็นโรคลมชัก (EPILEPSI)
E6430S4	60	หญิง อายุ 8 เดือน เป็นไข้แล้วมีอาการชัก (Complex febrite seizure)
E6475S4	60	หญิง อายุ 28 ปี มีอาการน่าสงสัยว่าจะเป็นเนื้อสมองตายระยะต้น
E7052	59	หญิง อายุ 38 ปี อาการปรกติ
E7127S7	60	หญิง อายุ 1.5 ปี เป็นโรคในกลุ่ม FRONTO ETHMOIDAL ENCEPHALOMENINGOCELE
E7127S8	60	ชุดภาพอีกชุดหนึ่งของผู้ป่วยกรณี E7127S7

หมายเหตุ

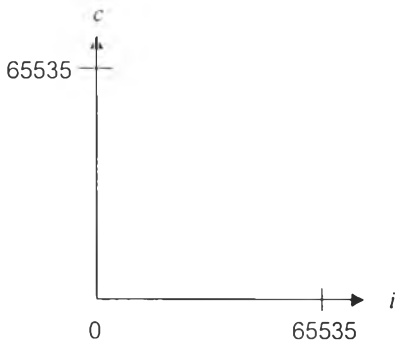
* ชุดภาพเอ็มอาร์ไอทั้งหมดเป็นภาพชนิด T1 ถ่ายในแนวระนาบที่ขนานกับใบหน้า (coronal plane) บันทึกสัญญาณหลังการกระตุ้น (Time echo, TE) เป็นเวลา 9 มิลลิวินาที และทำการวัดซ้ำทุก ๆ 500 มิลลิวินาที ขนาดของจุดภาพ (voxel) ตามแนวกว้าง ความยาว และหนาเป็น 1 x 1 x 2 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ความละเอียดของสัญญาณ 16 บิต

3.2.1 ฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอ

ในการศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณของภาพเอ็มอาร์ไอจะกำหนดให้ค่าสัญญาณของจุดภาพแทนปริมาณค่าความเข้มแสงของจุดภาพเพราะฉะนั้นจะใช้ฮีสโตแกรมเป็นเครื่องมือสำหรับศึกษาค่าสัญญาณเหล่านี้ ภาพเอ็มอาร์ไอที่มีขนาด 256 x 256 จุดภาพซึ่งแต่ละจุดภาพมีความละเอียดของค่าสัญญาณ 16 บิตจะให้ฮีสโตแกรมที่แกนนอนแทนค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 0-65535 และแกนตั้งแทนจำนวนจุดภาพที่ความเข้มแสงเดียวกันตั้งแต่ 0-65535 จุด สำหรับเนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปจะมีการอ้างอิงเกี่ยวกับฮีสโตแกรมบ่อยครั้งจึงนำมาสรุปไว้ตอนต้นดังนี้

แกนค่าความเข้มแสง หมายถึงแกนนอน (แกน *i*) ของฮีสโตแกรม
แกนค่าจำนวนจุด หมายถึงแกนตั้ง (แกน *c*) ของฮีสโตแกรม
ค่าความเข้มแสง หมายถึงค่าในแกน *i* ของฮีสโตแกรม

ค่าจำนวนจุด หมายถึงค่าในแกน *c* ของฮีสโตแกรม



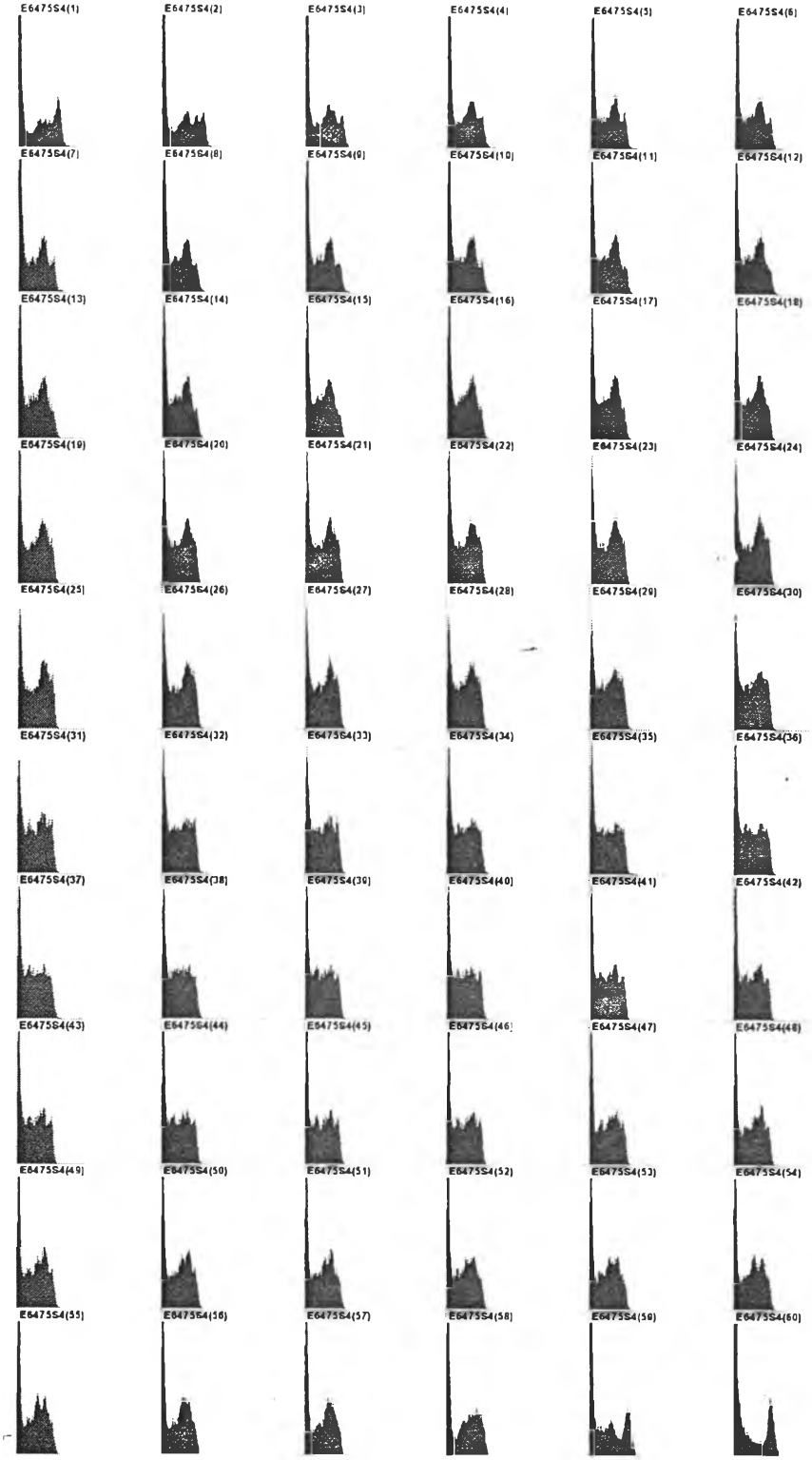
รูปที่ 17 การอ้างอิงในฮีสโตแกรม

การศึกษาเบื้องต้นทำให้ทราบว่าภาพเอ็มอาร์ไอที่ใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัยมีค่าความเข้มแสงของจุดภาพอยู่ระหว่าง 0 – 1163 และค่าความเข้มแสงจะเกาะกลุ่มกันอยู่ช่วงต้นของฮีสโตแกรมดังแสดงในรูปที่ 18 ในรูปนี้เป็นฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอ 60 ภาพจากชุดภาพ E6475S4 แกน i แสดงค่าความเข้มแสงระหว่าง 0 – 511 และแกน c แสดงค่าจำนวนจุดตั้งแต่ 0 – 1023 ทั้งแกน i และแกน c ได้ละไว้ไม่แสดงในรูป

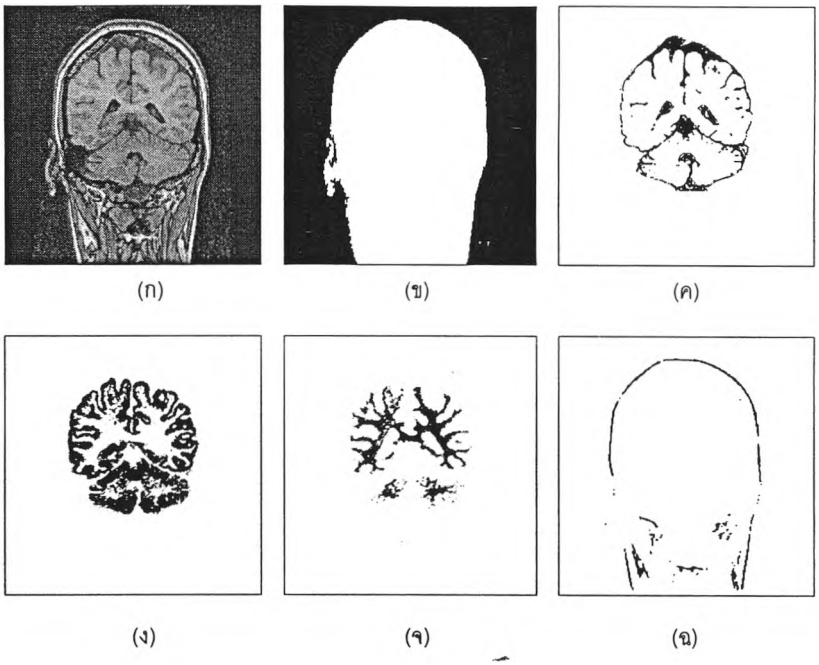
3.2.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอและการปรากฏในฮีสโตแกรม

ลักษณะของค่าจำนวนจุดและการเกาะกลุ่มกันของค่าจำนวนจุดที่ช่วงค่าความเข้มแสงต่าง ๆ กันที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจะทำให้ทราบได้ว่าภาพเอ็มอาร์ไอนั้นประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไรบ้าง โดยทั่วไปแล้วภาพเอ็มอาร์ไอสมองจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ช่องว่างอากาศ, csf, gray matter, white matter และไขมัน เนื้อสมองซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการแยกบริเวณนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็น gray matter และ white matter รวมกัน ส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมองแสดงดังในรูปที่ 19

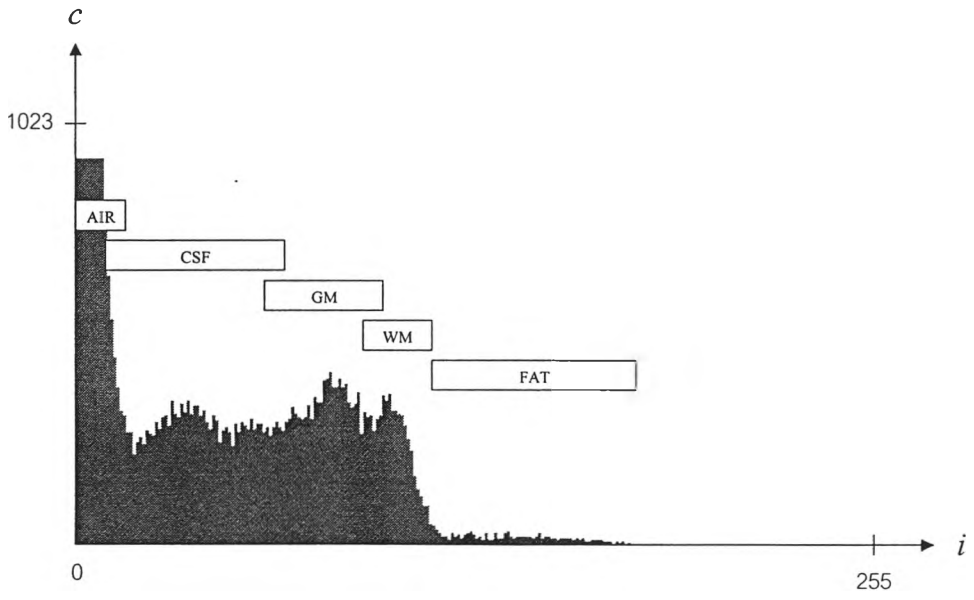
ส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมองจะมีค่าความเข้มแสงแตกต่างกันไป ส่วนที่เป็นช่องว่างอากาศ, csf, gray matter, white matter และไขมันจะมีค่าความเข้มแสงเรียงจากน้อยไปหามากตามลำดับ ช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบเหล่านี้สามารถแสดงในฮีสโตแกรมได้ดังรูปที่ 20



รูปที่ 18 ฮีสโตแกรมของชุดภาพ E6475S4



รูปที่ 19 ส่วนต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมองภาพที่ 40 จากชุดภาพ E6270S2 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) บริเวณช่องว่างอากาศ (ค) บริเวณ csf (ง) บริเวณ gray matter (จ) บริเวณ white matter (ฉ) บริเวณไขมัน



รูปที่ 20 ส่วนต่าง ๆ ของภาพเอ็มอาร์ไอสมองภาพที่ 40 จากชุดภาพ E6270S2 แสดงบนฮีสโตแกรม

3.2.3 การศึกษาค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมอง

จากการศึกษาส่วนประกอบต่าง ๆ ในชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างของการวิจัย ทำให้สามารถสรุปค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ได้ดังตารางที่ 2

*ตารางที่ 2 ค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ ของสมอง**

ชุดภาพ	ค่าที่วัด	ส่วนประกอบ				
		Air	Csf	Gm	Wm	Fat
E4602S7 ภาพ 42	ค่าเฉลี่ย	6	28	71	91	200
	ช่วง	0-15	16-41	64-81	75-103	125-232
	SD	2.65	7.42	12.71	9.84	22.05
E4913S9 ภาพ 30	ค่าเฉลี่ย	8	46	115	143	255
	ช่วง	3-33	31-64	82-142	112-166	-
	SD	6.48	9.54	11.22	12.65	-
E5602S7 ภาพ 16	ค่าเฉลี่ย	5	69	139	185	196
	ช่วง	0-21	46-88	110-162	165-201	149-254
	SD	5.66	12.69	16.31	15.26	27.78
E6270S2 ภาพ 31	ค่าเฉลี่ย	3	35	80	103	175
	ช่วง	0-12	18-113	62-114	73-119	91-200
	SD	3.32	18.44	11.49	9.85	19.52
E6430S4 ภาพ 33	ค่าเฉลี่ย	4	68	166	197	-
	ช่วง	0-39	47-106	118-207	161-233	-
	SD	7.62	20.74	23.43	24.17	-
E6475S4 ภาพ 15	ค่าเฉลี่ย	2	42	97	129	-
	ช่วง	0-25	20-9	76-126	110-145	-
	SD	4.9	11.09	15.87	10.77	-
E7052 ภาพ 22	ค่าเฉลี่ย	6	40	116	166	-
	ช่วง	0-25	22-56	94-149	142-186	-
	SD	4.8	10.77	17.46	12.61	-
E7127S7 ภาพ 23	ค่าเฉลี่ย	11	71	148	162	> 255
	ช่วง	0-39	46-99	121-175	136-186	-
	SD	8.31	13.19	16367	11.87	-
E7127S8 ภาพ 30	ค่าเฉลี่ย	10	63	136	122	> 255
	ช่วง	0-35	37-89	76-190	96-150	-
	SD	6.86	13.38	18.47	12.45	-

* คำนวณจากภาพเดียวกันที่แสดงส่วนประกอบครบถ้วน

ในการแยกบริเวณสมองด้วยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งนั้นสามารถทำได้ถ้าทราบค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบที่เป็น gray matter และ white matter สำหรับชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่แตกต่างกันจะมีค่าความเข้มแสงของ gray matter และ white matter แตกต่างกันได้ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2 การที่จะหาค่าขีดแบ่งสำหรับส่วนประกอบดังกล่าวจึงต้องอิงกับชุดภาพและการวิเคราะห์ที่ได้จากชุดภาพนั้น

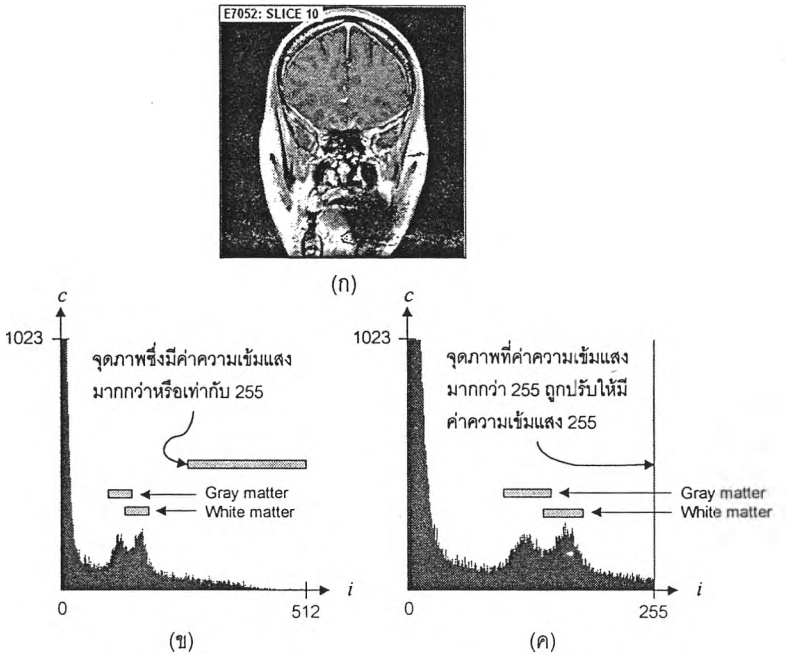
ความแม่นยำของการวิเคราะห์ชุดภาพเพื่อหาตัวแทนของช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบที่สนใจจะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดภาพของส่วนประกอบที่ต้องการที่นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสถิติ ถ้าจำนวนตัวอย่างของประชากรที่เลือกมาสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติมีมากจะทำให้ความแม่นยำของค่าสถิติมีมากขึ้นด้วย ในทางปฏิบัติการเลือกประชากรจุดภาพที่แทนส่วนประกอบ gray matter และ white matter จากภาพเอ็มอาร์ไอเพื่อนำมาวิเคราะห์นั้นไม่แจ้งชัดเพราะตำแหน่งของ gray matter และ white matter ไม่แน่นอนและยังแปรผันกับลำดับของภาพและชุดภาพ อีกทั้งบริเวณ gray matter และ white matter ก็เป็นบริเวณที่ยังไม่ทราบในขณะนี้

รูปแบบของการวิเคราะห์อีกแนวหนึ่งซึ่งต่างออกไปจากการวิเคราะห์ทางสถิติคือการหาจำนวนกลุ่มและคุณลักษณะของกลุ่มโดยใช้จำนวนประชากรในกลุ่มเป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ซึ่งขยายความได้ว่า "ด้วยประชากรที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ กันจะจัดประชากรเป็นกลุ่มโดยให้ประชากรในกลุ่มเดียวกันมีคุณลักษณะเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด และกำหนดคุณลักษณะของกลุ่มเพื่อให้กลุ่มมีจำนวนประชากรมากที่สุด" การวิเคราะห์ในแนวนี้จะสอดคล้องกับฮีสโตแกรมเนื่องจากว่าฮีสโตแกรมสามารถแสดงได้ทั้งคุณลักษณะ จำนวนประชากร และแนวโน้มความเข้าพวกกันทางคุณลักษณะของประชากร ในที่นี้กลุ่มจะหมายถึงส่วนประกอบในภาพเอ็มอาร์ไอ และคุณลักษณะของกลุ่มก็คือค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบในภาพเอ็มอาร์ไอ

3.2.4 การวิเคราะห์ฮีสโตแกรมเพื่อจำแนกส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอ

จากการประเมินตารางที่ 2 เกี่ยวกับค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบในภาพเอ็มอาร์ไอสมองของชุดภาพที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยสรุปได้ว่า เนื้อสมองซึ่งประกอบด้วย gray matter และ white matter จะมีค่าความเข้มแสงอยู่ไม่เกิน 255 เพราะฉะนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะพิจารณาส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมองในช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 0 – 255 เท่านั้น สำหรับส่วนประกอบที่ไม่ใช่เนื้อสมองและมีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 255 ขึ้นไปจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันและถูกกำหนดให้มีค่าความเข้มแสง 255 (เพื่อให้กลุ่มที่จัดใหม่มีคุณลักษณะเหมือนกัน) การพิจารณาส่วนประกอบของเนื้อสมองในช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 0 – 255 และการปรับเนื้อเยื่อที่มีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 255 ขึ้นไปให้มีค่าความเข้มแสง 255 จะไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงของเนื้อสมองโดยใช้ฮีสโตแกรมเนื่องจากส่วน

ประกอบที่เป็นเนื้อสมองยังคงปรากฏครบถ้วนในฮีสโตแกรม รูปที่ 21 แสดงฮีสโตแกรมของภาพที่ 10 จากชุดภาพ E5072 รูป (ข) เป็นฮีสโตแกรมซึ่งแสดงช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 0 – 511 และรูป (ค) เป็นฮีสโตแกรมซึ่งแสดงช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 0 – 255 ส่วนประกอบที่เป็น gray matter และ white matter ซึ่งปรากฏในฮีสโตแกรมรูป (ข) ก็ปรากฏในฮีสโตแกรมรูป (ค) สำหรับเนื้อเยื่อที่มีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 255 ขึ้นไปที่ปรากฏในฮีสโตแกรมรูป (ข) หลังจากถูกจัดกลุ่มแล้วจะปรากฏเป็นเนื้อเยื่อที่มีค่าความเข้มแสง 255 เพียงค่าเดียวดังในฮีสโตแกรมรูป (ค) ค่าจำนวนจุดของเนื้อเยื่อที่มีค่าความเข้มแสง 255 ของฮีสโตแกรมรูป (ค) เท่ากับผลรวมของค่าจำนวนจุดที่ค่าความเข้มแสงมากกว่าหรือเท่ากับ 255 ของฮีสโตแกรมรูป (ข)

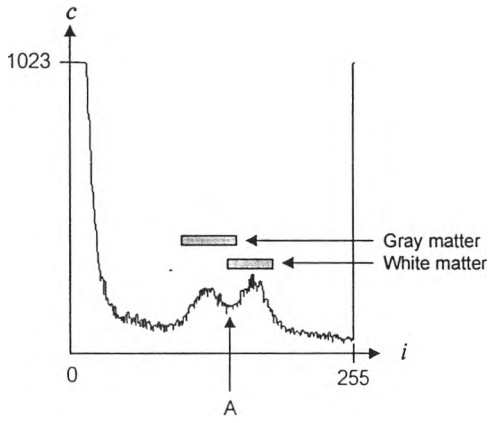


รูปที่ 21 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอสมอง (ก) ภาพต้นฉบับจากชุดภาพ E7052 ภาพที่ 10 (ข) ฮีสโตแกรมของภาพ ก. (ค) ฮีสโตแกรมของภาพ ก. ซึ่งเนื้อเยื่อที่ค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 255 ขึ้นไปถูกปรับให้เป็น 255

ตามที่ได้กล่าวคำจำกัดความเกี่ยวกับกลุ่มว่ากลุ่มคือการจัดประชากรที่มีคุณลักษณะคล้ายกันให้เข้าพวกกัน เมื่อจัดกลุ่มตามคำจำกัดความนี้กับประชากรที่มีคุณลักษณะหลากหลายจะได้ว่าการจัดกลุ่มอาจได้จำนวนกลุ่มมากกว่าหนึ่ง กลุ่มจะประกอบด้วยประชากรที่มีคุณลักษณะสามารถจัดอยู่จำพวกเดียวกันได้ ประชากรที่มีคุณลักษณะตรงกับคุณลักษณะของกลุ่มจะมีจำนวนมากที่สุด ประชากรที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับคุณลักษณะของกลุ่มจะมีจำนวนรองลงไป การจัดกลุ่มของจุดภาพที่เป็นเนื้อเยื่อของส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมองจะมีความสัมพันธ์คล้ายกับการจัดกลุ่มของประชากรที่ได้กล่าวตอนต้น ช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ จะมีความสอดคล้องกับกลุ่มที่

ปรากฏเป็นยอดในฮีสโตแกรม อาจกล่าวได้ว่าจุดสูงสุดในยอดที่พบในฮีสโตแกรมคือค่าความเข้มแสงที่เป็นตัวแทนของคุณลักษณะของส่วนประกอบนั้น ยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจะสามารถใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ว่ามีจำนวนกลุ่มของส่วนประกอบอยู่เท่าใด

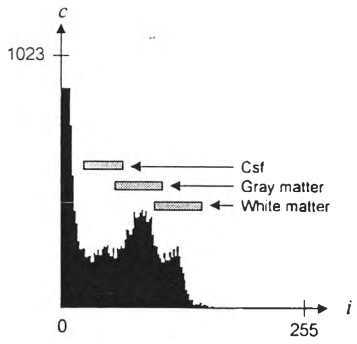
จากการศึกษาช่วงค่าความเข้มแสงของชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยจะพบว่าจุดภาพบางส่วนในส่วนประกอบ gray matter จะมีค่าความเข้มแสงคาบเกี่ยวกับส่วนประกอบที่เป็น white matter (ดูตารางที่ 2) การคาบเกี่ยวกันของค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบชนิดอื่นก็ยังเป็นไปได้เช่น การคาบเกี่ยวกันทางค่าความเข้มแสงระหว่างส่วนประกอบ csf และ gray matter หรือระหว่างส่วนประกอบ white matter และ fat เป็นต้น เมื่อกำหนดช่วงค่าความเข้มแสงให้ครอบคลุมส่วนประกอบที่เป็น gray matter ทั้งหมดก็อาจได้บริเวณที่เป็นส่วนประกอบของ white matter บางส่วนและของ csf บางส่วนออกมาด้วย หรือเมื่อกำหนดช่วงค่าความเข้มแสงให้ครอบคลุมส่วนประกอบที่เป็น white matter ทั้งหมดก็อาจได้บริเวณที่เป็นส่วนประกอบของ gray matter บางส่วนออกมาด้วย เป็นต้น เนื่องจากฮีสโตแกรมสามารถแสดงได้เพียงค่าความเข้มแสงและค่าจำนวนจุดเท่านั้น การตัดสินที่จะแยกส่วนประกอบสองกลุ่มที่มีค่าความเข้มแสงบางส่วนคาบเกี่ยวกันคือการหาจุดที่ดีที่สุดในช่วงค่าความเข้มแสงที่คาบเกี่ยวกันที่ทำให้สูญเสียบริเวณในส่วนประกอบทั้งสองน้อยที่สุด และจุดที่ดีที่สุดนี้คือ *ค่าความเข้มแสงที่ให้ค่าจำนวนจุดน้อยที่สุดสำหรับช่วงที่คาบเกี่ยวกัน* หรือเรียกว่า *จุดต่ำสุดร่วมของส่วนประกอบ*



รูปที่ 22 จุดที่ดีที่สุดที่จะแบ่งแยกส่วนประกอบสองชนิดที่มีค่าความเข้มแสงคาบเกี่ยวกัน จุด A เป็นจุดต่ำสุดของส่วนประกอบ gray matter และ white matter ที่มีช่วงค่าความเข้มแสงคาบเกี่ยวกัน

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงของฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอโดยมีการจัดกลุ่มค่าความเข้มแสงตามค่าการเกาะกลุ่มของค่าจำนวนจุดจะทำให้ทราบจำนวนและช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบของเนื้อเยื่อในภาพเอ็มอาร์ไอ ฮีสโตแกรมที่ทำให้สามารถแยกส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมองได้ชัดเจนได้แก่ฮีสโตแกรมที่แสดงกลุ่มของส่วนประกอบ csf, gray matter และ white

matter และสามารถหาจุดต่ำสุดร่วมของส่วนประกอบได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างของฮีสโตแกรมลักษณะนี้แสดงดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 ฮีสโตแกรมของภาพที่ 7 จากชุดภาพ E6475S4 ที่แสดงกลุ่มของส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter ครบ

3.2.5 การศึกษาลักษณะของภาพเอ็มอาร์ไอในชุดภาพเดียวกัน

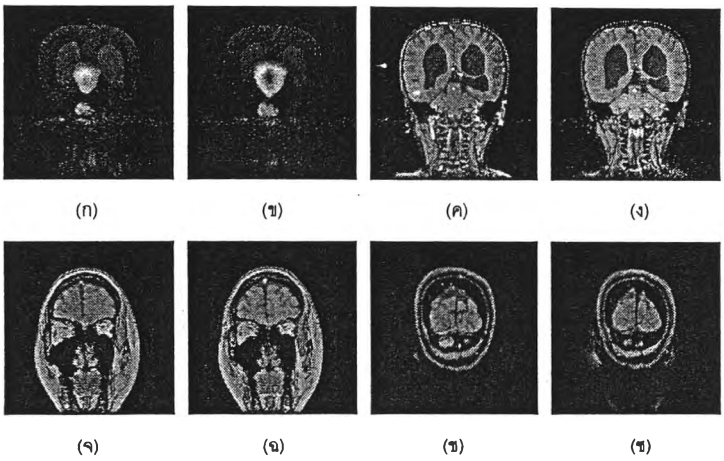
นอกเหนือจากการศึกษาค่าความเข้มแสงของภาพเอ็มอาร์ไอโดยใช้ฮีสโตแกรมเป็นเครื่องมือแล้ว การศึกษาอื่น ๆ ในเชิงที่เกี่ยวกับลักษณะทางสรีระของสมองมีข้อสรุปดังนี้

1) ภาพในอันดับแรกและอันดับสุดท้ายอาจมีส่วนที่เป็นสมองอยู่น้อยหรือไม่มีเลยขึ้นอยู่กับขนาดศีรษะของผู้ป่วยและระยะการถ่ายภาพในแนวหน้าสุด - หลังสุดของเครื่องถ่ายภาพเอ็มอาร์ไอ หากศีรษะเล็กกว่าระยะการถ่ายภาพแนวหน้าสุด - หลังสุดของเครื่องถ่ายภาพจะได้ภาพในอันดับแรกและสุดท้ายเป็นช่องว่างอากาศ หากศีรษะมีขนาดใหญ่พอกับระยะการถ่ายภาพหน้าสุด – หลังสุดจะได้ภาพในอันดับแรกและสุดท้ายเป็นเนื้อเยื่อของบริเวณหน้าสุดและหลังสุดของศีรษะ หากศีรษะมีขนาดใหญ่กว่าระยะการถ่ายภาพหน้าสุด – หลังสุดของระยะการถ่ายภาพจะได้ภาพในอันดับแรกและสุดท้ายมีบริเวณของสมองส่วนหน้าและส่วนหลังตามลำดับ รูปที่ 24 แสดงบริเวณสมองที่ปรากฏในภาพอันแรกและสุดท้ายของชุดภาพเอ็มอาร์ไอสองชุด สำหรับชุดภาพ E4602S7 ภาพ (ก)-(ข) เป็นภาพในสองอันดับแรกซึ่งไม่มีบริเวณของสมองอยู่เลย ภาพ (ค) – (ง) เป็นภาพสองอันดับสุดท้ายซึ่งในชุดภาพนี้เห็นบริเวณสมอง สำหรับชุดภาพ E6270S2 ภาพ (จ)-(ฉ) เป็นภาพสองอันดับแรกซึ่งมีบริเวณของสมองส่วนหน้าปรากฏอยู่ และภาพ (ช)-(ซ) เป็นภาพสองอันดับสุดท้ายซึ่งมีบริเวณของสมองส่วนหลังปรากฏอยู่

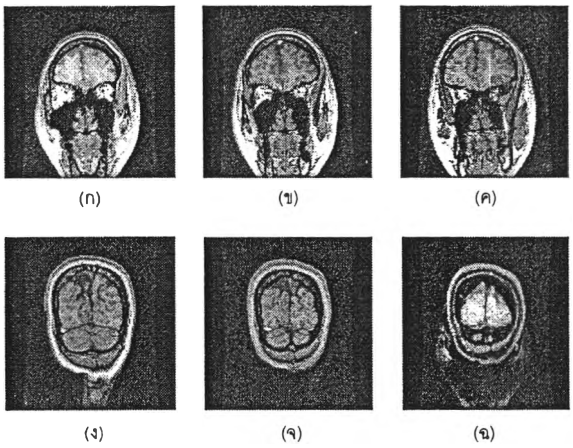
2) ชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่ภาพในอันดับแรกมีบริเวณของสมองส่วนหน้าหรือภาพในอันดับสุดท้ายมีบริเวณของสมองส่วนหลังจะพบว่าบริเวณสมองในภาพอันดับต้น ๆ และอันดับท้ายมีค่าความเข้มแสงของเนื้อสมองมากกว่าภาพในอันดับกลางเล็กน้อย รูปที่ 25 เป็นภาพเอ็มอาร์ไอจากชุดภาพ

E6270S2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาพในอันดับต้น ๆ และอันดับท้าย ๆ ของชุดภาพเอ็มอาร์ไอมีค่าความเข้มแสงของบริเวณที่เป็นสมองมากกว่าภาพในอันดับกลาง รูปที่ 26 แสดงฮีสโตแกรมของภาพที่สอดคล้องกันในรูปที่ 25

3) บริเวณส่วนใหญ่ของสมองจะอยู่ค่อนไปทางส่วนบนของภาพ

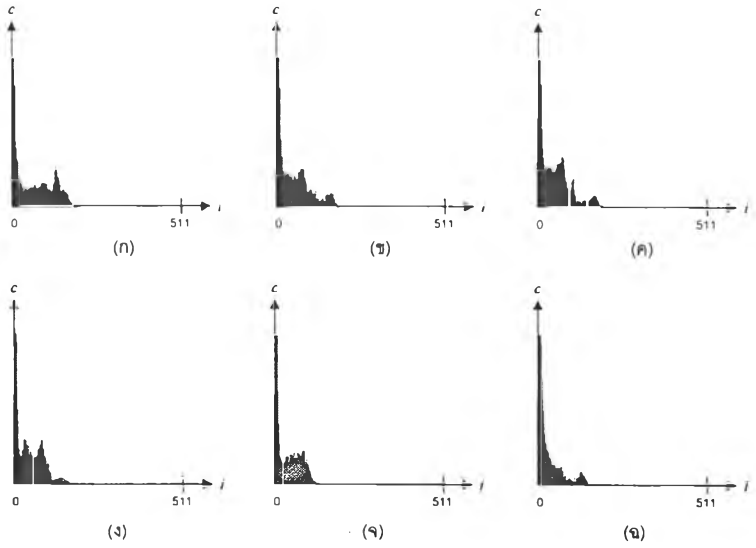


รูปที่ 24 ภาพสองอันดับแรกและสองอันดับสุดท้ายจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอ (ก)-(ข) ภาพที่ 1 และ 2 จากชุดภาพ E4602S7 (ค)-(ง) ภาพที่ 59 และ 60 จากชุดภาพ E4602S7 (จ)-(ฉ) ภาพที่ 1 และ 2 จากชุดภาพ E6270S2 (ช)-(ซ) ภาพที่ 59 และ 60 จากชุดภาพ E6270S2



รูปที่ 25 ภาพอันดับที่ 1-4-7-54-57-60 จากชุดภาพ E6270S2

I 18996390



รูปที่ 26 ฮีสโตแกรมของภาพอันดับที่ 1-4-7-54-57-60 จากชุดภาพ E6270S2

3.3 การใช้ฮีสโตแกรมเพื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของเนื้อสมอง

ฮีสโตแกรมซึ่งสร้างจากการคำนวณทุกจุดภาพในภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งเรียกว่า *ฮีสโตแกรมปรกติ* ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดค่าขีดแบ่ง จากการศึกษาฮีสโตแกรมปรกติของชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างของการวิจัยพบว่า

1) การกำหนดค่าขีดแบ่งของส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมองซึ่งจะต้องหาจุดต่ำสุดร่วมของส่วนประกอบ csf – gray matter และ gray matter – white matter ฮีสโตแกรมปรกติไม่มีความสม่ำเสมอของค่าจำนวนจุดในช่วงค่าความเข้มแสงที่คาบเกี่ยวกันของส่วนประกอบเหล่านั้นทำให้ไม่พบจุดต่ำสุดร่วมของส่วนประกอบทั้งสอง

2) ส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter ไม่ปรากฏเป็นยอด (กลุ่ม) ที่เด่นชัดในฮีสโตแกรมปรกติเพราะทุกจุดภาพในภาพเอ็มอาร์ไอได้ถูกนำมาคำนวณเพื่อสร้างฮีสโตแกรม จุดภาพบางบริเวณมีค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่างค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบหลัก gray matter – white matter หรือ csf – gray matter หรือช่องว่างอากาศ – csf จุดภาพเหล่านี้ก่อให้เกิดเป็นยอดแทรกระหว่างยอดของส่วนประกอบหลักทำให้ความแตกต่างของค่าสูงสุดต่ำสุดของยอดของส่วนประกอบหลักมีน้อยลง หากจุดภาพเหล่านั้นมีจำนวนมากก็จะทำให้ยอดของส่วนประกอบหลักเกิดความกลมกลืนกันจนหาขอบเขตไม่ได้

3) หากสัดส่วนของจำนวนจุดภาพของส่วนประกอบที่มีค่าความเข้มแสงคาบเกี่ยวกันมีค่าต่างจากอัตรา 1:1 มากจะทำให้ความสูงขอดยอดของส่วนประกอบแตกต่างกันมาก และอาจกลมกลืนกันจนไม่เห็นจุดต่ำสุด

จากเหตุผลทั้ง 3 จึงทำให้เกิดประเด็นว่าทำอย่างไรจึงจะปรับลดผลกระทบเพื่อให้ได้ฮีสโตแกรมที่มีความสมบูรณ์สำหรับการกำหนดค่าขีดแบ่งของส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมอง แนวทางที่จะลดผลกระทบดังกล่าวมีดังนี้

1) การกำหนดขอบเขตเป็นบริเวณที่เล็กลงและนำจุดภาพในกรอบเล็ก ๆ ที่กำหนดมาสร้างฮีสโตแกรมซึ่งเรียกว่า *ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย*

2) การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมเพื่อให้ค่าจำนวนจุดบริเวณค่าความเข้มแสงที่คาบเกี่ยวกันมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดช่วง ฮีสโตแกรมที่ได้ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดให้มีความต่อเนื่องเรียกว่า *ฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด*

3) ใช้เกาเซียนฟิลเตอร์ (กรองผ่านต่ำ) ก่อนการคำนวณฮีสโตแกรมเพื่อปรับลดความแปรปรวนของค่าความเข้มแสงของจุดภาพ ทำให้จุดภาพบริเวณเล็ก ๆ ที่ครอบคลุมโดยแมสก์ของเกาเซียนมีค่าความเข้มแสงเกาะกลุ่มกันมากขึ้น (ต่างกันน้อยลง)

3.3.1 ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย

การกำหนดบริเวณย่อยในภาพเอ็มอาร์ไอเพื่อให้ครอบคลุมส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมอง (gray matter และ white matter) เพื่อการสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยนั้นในทางปฏิบัติมักจะเกิดคำถามว่าจะกำหนดบริเวณเป็นขนาดเท่าใดและจะสร้างฮีสโตแกรมอย่างไรจึงจะให้ผลออกมาดีที่สุด การกำหนดขนาดของบริเวณย่อยต่างกันมีผลสรุปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของการกำหนดขนาดของบริเวณย่อยสำหรับการสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย

การกำหนดบริเวณย่อยที่ใหญ่	การกำหนดบริเวณย่อยที่เล็ก
1. เพิ่มโอกาสในการพบส่วนประกอบมากกว่าหนึ่งชนิดในบริเวณเดียวกัน หากการกำหนดบริเวณทำให้พบยอดของส่วนประกอบมากกว่า 1 ยอดทำให้สามารถหาจุดต่ำสุดร่วมของยอดของส่วนประกอบที่พบในฮีสโต-แกรมได้	1. ลดโอกาสการพบส่วนประกอบต่างชนิดกันในบริเวณเดียวกัน หากการกำหนดบริเวณทำให้พบส่วนประกอบเพียง 1 ชนิดจะทำให้ปรากฏเพียง 1 ยอดในฮีสโตแกรมทำให้ไม่สามารถพิจารณาจุดต่ำสุดร่วมของยอดได้

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลของการกำหนดขนาดของบริเวณย่อยสำหรับการสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย

การกำหนดบริเวณย่อยที่ใหญ่	การกำหนดบริเวณย่อยที่เล็ก
2. เพิ่มโอกาสการพบส่วนประกอบที่ไม่ต้องการ ซึ่งยอดของส่วนประกอบที่ไม่ต้องการอาจไปแทรกอยู่ระหว่างยอดของส่วนประกอบหลักที่ต้องการทำให้จุดต่ำสุดร่วมของส่วนประกอบที่ต้องการไม่ชัดเจน	2. ลดโอกาสการพบส่วนประกอบที่ไม่ต้องการ
3. หากความแตกต่างของพื้นที่ของบริเวณที่เป็นส่วนประกอบคนละชนิดมีมากจะทำให้สัดส่วนความสูงของยอดของส่วนประกอบแตกต่างกันมาก เช่น ถ้าภาพเอ็มอาร์ไอมีพื้นที่ของบริเวณที่เป็น gray matter มากกว่าบริเวณที่เป็น white matter มากจะทำให้ยอดของ gray matter ที่ปรากฏในฮีสโต-แกรมมีความสูงมากกว่ายอดของ white matter	3. ทำให้สัดส่วนความสูงของยอดของส่วนประกอบต่างชนิดกันใกล้เคียงกันได้ถึงแม้ว่าส่วนประกอบเหล่านั้นจะมีขนาดพื้นที่ในภาพเอ็มอาร์ไอต่างกันก็ตาม ทั้งนี้เพราะโอกาสที่จะพบบริเวณของส่วนประกอบต่างชนิดกันในสัดส่วนพื้นที่เท่า ๆ กันในบริเวณย่อยมีมากกว่า

ข้อสรุปที่กล่าวในตารางที่ 3 ทำให้เห็นว่าการกำหนดบริเวณย่อยและการสร้างฮีสโตแกรมจากบริเวณย่อยมีได้หลายแนวทาง แนวทางสำหรับการกำหนดขนาดของบริเวณย่อยและการสร้างฮีสโต-แกรมของบริเวณย่อยสำหรับงานวิจัยนี้จะยึดตามหลักเกณฑ์ดังนี้

1) กำหนดบริเวณย่อยเพื่อให้ครอบคลุมส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter อันเป็นส่วนประกอบหลักที่จะใช้กำหนดค่าขีดแบ่งในการแยกบริเวณด้วยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่ง

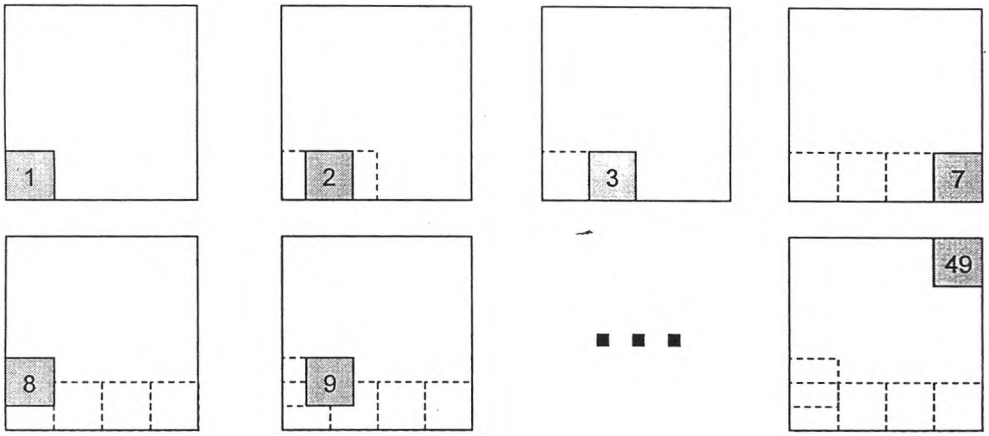
2) กำหนดบริเวณย่อยด้วยขนาดที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของพื้นที่ของส่วนประกอบต่างชนิดกันที่ปรากฏในบริเวณย่อยมีค่าใกล้เคียงกัน

3) อาจกำหนดบริเวณย่อยมากกว่าหนึ่งแห่งในภาพเอ็มอาร์ไอเพื่อให้ครอบคลุมส่วนประกอบของ csf, gray matter และ white matter มากที่สุดหากไม่สามารถเลือกบริเวณเดียวตามข้อ 2.

4) หากต้องกำหนดบริเวณย่อยมากกว่าหนึ่งบริเวณตามข้อ 2. และบริเวณย่อยที่กำหนดนั้นอยู่ติดกันจะกำหนดบริเวณย่อยเพิ่มขึ้นอีกบริเวณในตำแหน่งที่มีจะทับซ้อนกันของบริเวณย่อยที่อยู่ติดกัน

เพื่อเพิ่มโอกาสในการพบส่วนประกอบต่างชนิดกันที่ในบริเวณเดียวกันอาจพบได้ที่ตำแหน่งรอยต่อของบริเวณย่อย

5) หากต้องกำหนดบริเวณย่อยมากกว่าหนึ่งบริเวณตามข้อ 2. แล้วจะสร้างฮีสโตแกรมสำหรับแต่ละบริเวณเหล่านั้น แล้วนำฮีสโตแกรมของบริเวณเหล่านั้นทั้งหมดมาสร้างเป็นฮีสโตแกรมใหม่ ซึ่งมีค่าจำนวนจุดเป็นค่ามากที่สุดของค่าจำนวนจุดในแต่ละฮีสโตแกรมของบริเวณเหล่านั้นดังรูปที่ 28

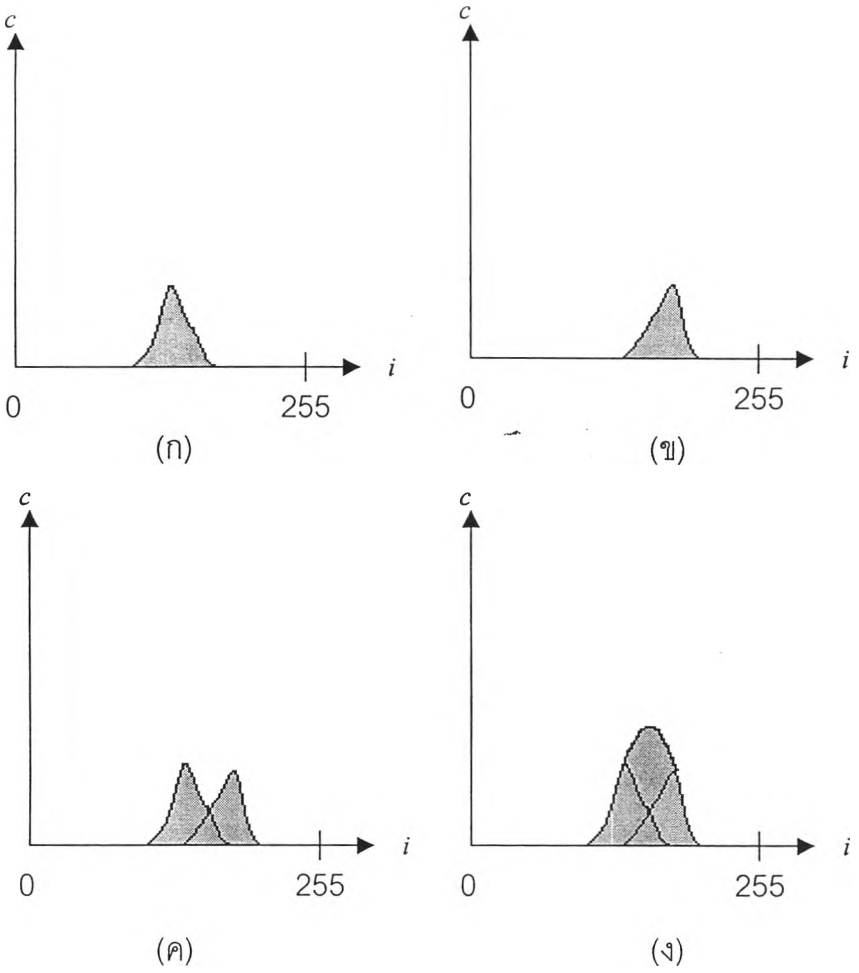


รูปที่ 27 บริเวณย่อยขนาด 64x64 จุดภาพในภาพเอ็มอาร์ไอขนาด 256x256 จุดภาพ บริเวณย่อยจะมีได้ทั้งหมด 49 บริเวณ

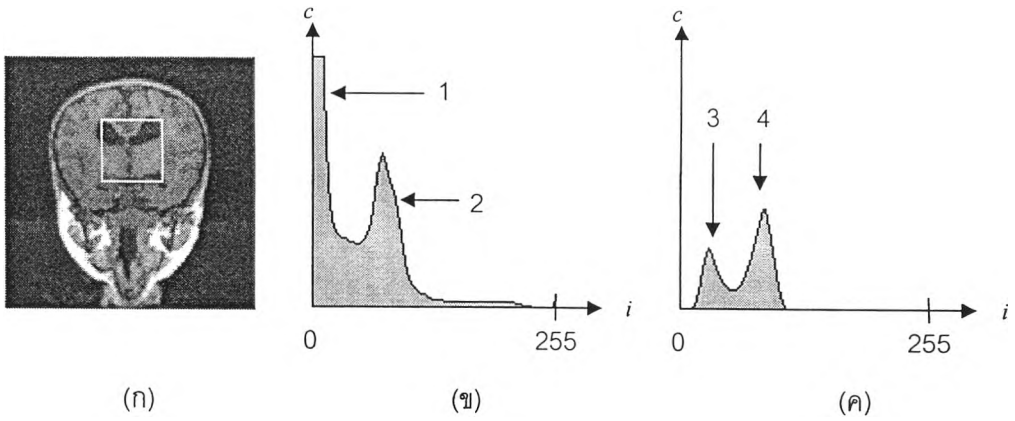
งานวิจัยนี้เลือกที่จะกำหนดตำแหน่งบริเวณย่อยขนาด 64x64 จุดภาพแบบคงที่และบริเวณย่อยแต่ละบริเวณสามารถเหลื่อมกันได้ครึ่งหนึ่งเพราะฉะนั้นบริเวณย่อยจึงมีได้ทั้งหมด 49 บริเวณดังแสดงในรูปที่ 27 การสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยจะต้องระบุว่าจะใช้บริเวณย่อยตำแหน่งใดบ้างสำหรับการสร้างฮีสโตแกรม

เนื่องจากการเลือกบริเวณย่อยสามารถทำได้มากกว่าหนึ่งบริเวณเพื่อให้ครอบคลุมถึงส่วนประกอบที่สนใจ เพราะฉะนั้นจึงอาจมีกรณีที่เป็นไปได้ที่การเลือกบริเวณย่อยเพื่อให้ครอบคลุมส่วนประกอบที่สนใจนั้นบริเวณย่อยบริเวณแรกครอบคลุมส่วนประกอบชนิดแรกมากกว่าส่วนประกอบชนิดที่สองและบริเวณย่อยบริเวณที่สองครอบคลุมส่วนประกอบชนิดที่สองมากกว่าส่วนประกอบชนิดแรก ฮีสโตแกรมที่สร้างจากสองบริเวณในลักษณะเช่นนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 28 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยที่เลือกทั้งหมดคือการรวมฮีสโตแกรมที่สร้างจากแต่ละบริเวณย่อยเข้าด้วยกันในลักษณะการใช้ค่ามากที่สุดของค่าจำนวนจุดที่ได้จากแต่ละฮีสโตแกรมดังในรูป (ค) การรวมกันแบบนี้ยังคงทำให้ยอดของแต่ละส่วนประกอบปรากฏเป็นสองยอดในฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยทั้งหมด การรวม

ค่าจำนวนจุดของแต่ละฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยแทนที่จะใช้ค่ามากที่สุดจะให้ผลไม่พึงประสงค์ดังในรูป (ง) กล่าวคือเกิดการรวมกันของยอดของส่วนประกอบสองชนิดเข้าด้วยกันเป็นยอดเดียว



รูปที่ 28 การสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยจากฮีสโตแกรมของแต่ละบริเวณย่อย (ก) เป็นฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยแรก (ข) เป็นฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยที่สอง (ค) การสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยโดยเลือกใช้ค่ามากที่สุดของค่าจำนวนจุดของแต่ละฮีสโตแกรมบริเวณย่อยแรกและบริเวณย่อยที่สอง (ง) การสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยใช้ผลบวกของค่าจำนวนจุดของแต่ละฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยแรกและบริเวณย่อยที่สอง



รูปที่ 29 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมปรกติและฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยของชุดภาพ E4602S7 ภาพที่ 41 (ก) ภาพเอ็มอาร์ไอต้นฉบับ (ข) ฮีสโตแกรมปรกติของภาพ ก. (ค) ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมในภาพ ก.

ได้มีการทดสอบกับภาพที่ 41 จากชุดภาพ E4602S7 โดยการสร้างฮีสโตแกรมปรกติและฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยโดยใช้บริเวณที่ 31 ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 29 จะเห็นว่าฮีสโตแกรมปรกติในรูป (ข) จะมียอดปรากฏสองยอดได้แก่ยอดหมายเลข 1 เป็นส่วนประกอบของช่องว่างอากาศ และยอดหมายเลข 2 เป็นส่วนประกอบของ gray matter รวมกับ white matter ในขณะที่ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยจะปรากฏยอดสองยอดเหมือนกันคือยอดหมายเลข 3 เป็นส่วนประกอบ csf และยอดหมายเลข 4 เป็นส่วนประกอบของ gray matter รวมกับ white matter ส่วนประกอบที่เป็น csf นั้นจะมองไม่เห็นยอดเลยถ้าใช้ฮีสโตแกรมปรกติแต่จะเห็นชัดเจนถ้าใช้ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย สำหรับส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างอากาศนั้นไม่ปรากฏในฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยเพราะบริเวณย่อยไม่ได้ครอบคลุมส่วนที่เป็นช่องว่างอากาศ

3.3.2 ฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด

ฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดจะสามารถสร้างได้จากฮีสโตแกรมปรกติโดยการเฉลี่ยค่าจำนวนจุด ณ ค่าความเข้มแสงหนึ่ง ๆ กับค่าจำนวนจุด ณ ค่าความเข้มแสงที่มากกว่าและน้อยกว่าที่อยู่ติดกัน การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดสามารถทำได้ตามสมการ (3.1) ตลอดช่วงค่าความเข้มแสง

การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดอาจใช้วิธีการอื่น ๆ นอกเหนือจากที่วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ วิธีการใหม่ควรให้การเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนจุดต่อค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นทีละค่าเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

สำหรับตัวอย่างข้อมูลค่าจำนวนจุดก่อนและหลังการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดซึ่งคัดเลือกจากภาพที่ 7 ของชุดภาพ E5072 ในช่วงค่าความเข้มแสง 101-120 แสดงดังตารางที่ 4

$$a_n = (c_{n-1} + c_n + c_{n+1}) / 3 \qquad \ldots(3.1)$$

โดยที่

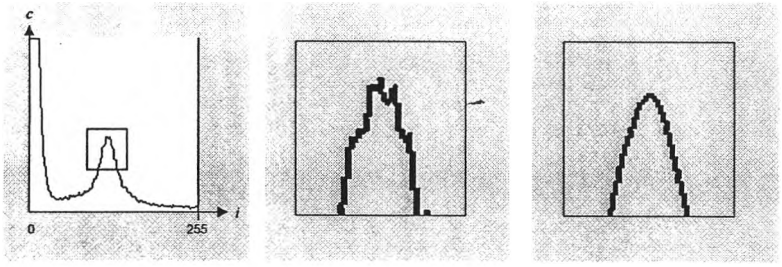
n เป็นค่าความเข้มแสงช่วง 1 – 65534

c_n เป็นค่าจำนวนจุดที่ค่าความเข้มแสง = n ในฮีสโตแกรมปรกติ

a_n เป็นค่าจำนวนจุดที่ค่าความเข้มแสง = n ในฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด

$a_0 = a_1$

$a_{65535} = a_{65534}$



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 30 การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมโดยใช้การเฉลี่ยค่า 3 จุด (ก) ฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอ แสดงเฉพาะช่วงค่าความเข้มแสง 0 - 255 (ข) ภาพขยายของเส้นกราฟฮีสโตแกรมบริเวณยอดที่เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อสมองจะเห็นส่วนที่ไม่ราบเรียบอย่างชัดเจน และ(ค) ภาพที่บริเวณเดียวกันหลังจากทำการปรับเส้นกราฟฮีสโตแกรมจำนวน 10 รอบ

ตารางที่ 4 ค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมปรกติและฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของชุดภาพเอ็ม-อาร์ไอ E5072 ภาพที่ 7 แสดงเฉพาะช่วงค่าความเข้มแสง 101 – 120

ค่าความเข้มแสง	ฮีสโตแกรมปรกติ		ฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด	
	ค่าจำนวนจุด	ระยะห่างระหว่างขั้น	ค่าจำนวนจุด	ระยะห่างระหว่างขั้น
101	227	-	218	-
102	209	18	199	19
103	172	37	180	19
104	153	19	162	18
105	159	-6	144	18
106	120	39	127	17
107	113	7	112	15
108	89	24	99	13

ตารางที่ 4 (ต่อ) ค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมปรกติและฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของชุดภาพเอ็มอาร์ไอ E5072 ภาพที่ 7 แสดงเฉพาะช่วงค่าความเข้มแสง 101 – 120

ค่าความเข้มแสง	ฮีสโตแกรมปรกติ		ฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด	
	ค่าจำนวนจุด	ระยะห่างระหว่างขั้น	ค่าจำนวนจุด	ระยะห่างระหว่างขั้น
109	93	-4	88	11
110	69	24	78	10
111	81	-12	70	8
112	65	16	63	7
113	40	25	57	6
114	59	-19	53	4
115	54	5	49	4
116	57	-3	45	4
117	35	22	41	4
118	40	-5	37	4
119	27	13	34	3
120	31	-4	32	2

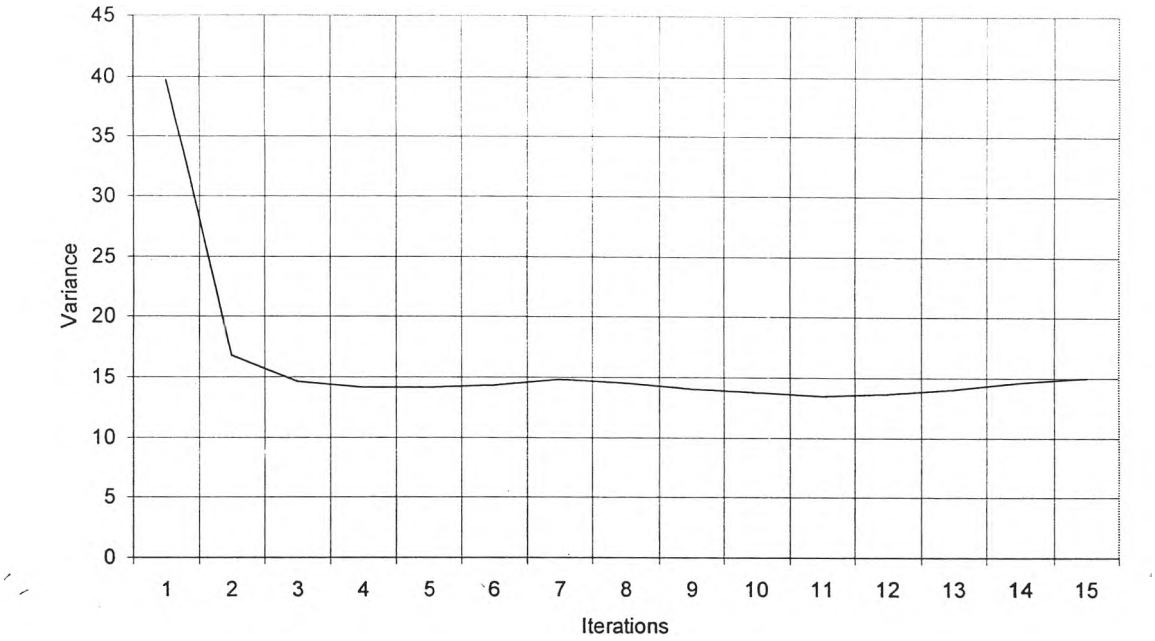
การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดตามสมการ (3.1) อาจกระทำได้มากกว่าหนึ่งครั้งเพื่อให้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนจุดเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ความแปรปรวนของค่า d ตามสมการ (3.2) จะใช้เป็นดัชนีในการทดสอบจำนวนครั้งที่เหมาะสมสำหรับการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดและความแปรปรวนของค่า d ตามสมการ (3.2) โดยกำหนดช่วงค่าความแข้มแสงต่าง ๆ กันจะได้กราฟดังรูปที่ 31

$$d_n = c_{n+1} - c_n \qquad \ldots(3.2)$$

n เป็นค่าความเข้มแสงมีค่าได้ตั้งแต่ 0 – 255

c_n เป็นค่าจำนวนจุดที่ค่าความเข้มแสง = n

d_n เป็นค่าความแตกต่างของค่าจำนวนจุดที่ค่าความเข้มแสง n+1 และ n



รูปที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดและความแปรปรวนของค่า d ในฮีสโตแกรมปรกติของภาพที่ 7 จากชุดภาพ E6270S2

จากกราฟจะเห็นว่าความแปรปรวนของค่า d ค่อนข้างคงที่เมื่อปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด 5 ครั้ง และไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดเป็นจำนวนครั้งมากกว่านี้ ค่าที่เหมาะสมจึงเป็นค่าใด ๆ ที่มากกว่า 5 อย่างไรก็ตามการเลือกจำนวนครั้งในการปรับค่าเฉลี่ยที่มากขึ้นทำให้การประมวลผลช้าลงและได้ผลที่ไม่ต่างกันมากนัก เพื่อให้เกิดความมีเสถียรภาพของการประมวลผลโดยใช้ได้กับชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่หลากหลายจึงกำหนดจำนวนครั้งของการประมวลผลไว้ที่ 10 ครั้ง (จากการทดสอบมากที่สุด 15 ครั้ง)

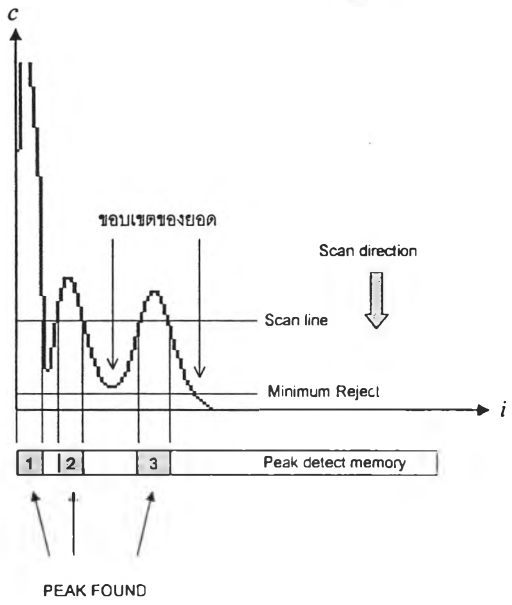
3.3.3 การเตรียมฮีสโตแกรมสำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบภาพเอ็มอาร์ไอสมอง

ตามที่ได้นำเสนอในตอนต้นว่าการใช้ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยทำให้เห็นยอดของส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอปรากฏชัดเจน และการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมทำให้ค่าจำนวนจุดมีความสม่ำเสมอตลอดช่วงค่าความเข้มแสงที่คาบเกี่ยวกันของส่วนประกอบ ทั้งการประยุกต์ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยและฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดจะถูกนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์จุดต่ำ

สุดร่วมของส่วนประกอบในภาพเอ็มอาร์ไอ ฮีสโตแกรมที่จะกล่าวอ้างอิงในส่วนถัดไปจะสร้างโดยการประยุกต์ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยและการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด

3.3.4 การหาส่วนประกอบที่ปรากฏในฮีสโตแกรม

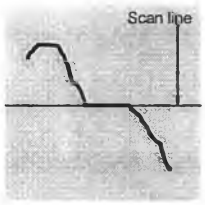
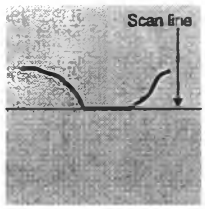
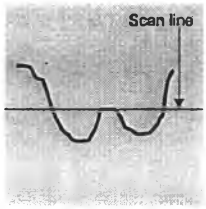
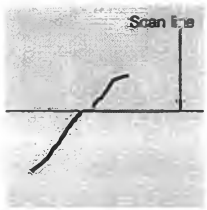
การหาส่วนประกอบที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจะทำให้ทราบว่าภาพเอ็มอาร์ไอสมองนั้นมีส่วนประกอบอยู่จำนวนเท่าใดและปรากฏอยู่ที่ช่วงค่าความเข้มแสงเท่าใด การหาส่วนประกอบที่ปรากฏในฮีสโตแกรมหรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าการหายอดคือการตรวจสอบความชันของเส้นกราฟฮีสโตแกรมให้ได้จุดสูงสุดต่ำสุดและขอบเขตของยอดว่าเริ่มและสิ้นสุดที่ใด ขอบเขตของยอดจะถูกกำหนดโดยจุดต่ำสุดร่วมของส่วนประกอบซึ่งปันจุดที่กำลังมีการเปลี่ยนแปลงความชันของค่าจำนวนจุดเป็นตรงกันข้าม หรืออาจถูกกำหนดโดยจุดปลายที่มีค่าจำนวนจุดเป็นศูนย์



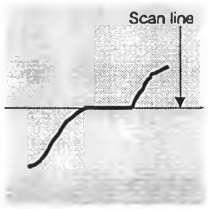
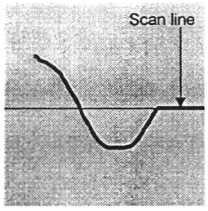
รูปที่ 32 การหายอดของส่วนประกอบในฮีสโตแกรม

การหายอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจะกำหนดเส้นแนวนอนเรียกว่า scan line และกำหนดให้เส้นนี้มีทิศทางการเคลื่อนที่จากส่วนบนของฮีสโตแกรมลงมาถึงเส้น minimum reject เมื่อ scan line ตัดกับเส้นกราฟฮีสโตแกรมจะทำการตรวจสอบจุดตัดเทียบกับค่าที่เก็บใน peak detect memory เพื่อตัดสินว่าจุดตัดที่เกิดบนเส้น scan line เป็นยอดใหม่หรือเป็นส่วนของยอดที่เคยพบมาแล้ว peak detect memory เป็นตัวแปรอะเรย์เพื่อใช้จำยอดและขอบเขตที่ปรากฏจากการตรวจสอบจุดตัดของตำแหน่ง scan line ที่อยู่เหนือกว่า การตรวจสอบจุดตัดจะกระทำในทิศทางจากซ้ายไปขวาของ scan line จุดตัดของ scan line และเส้นกราฟฮีสโตแกรมมีได้หลายลักษณะดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การตัดกันของ scan line และเส้นกราฟฮีสโตแกรม

ลักษณะการตัดกัน	คำอธิบาย
1. 	จุดตัดบน scan line เป็นเส้นตรงเชื่อมกับยอดทางซ้าย เพราะฉะนั้นจะถือว่าเส้นตรงนี้เป็นของยอดทางซ้ายและจะขยายขอบเขตของยอดทางซ้ายเพื่อให้ครอบคลุมส่วนของเส้นตรงนี้
2. 	จุดตัดบน scan line เป็นเส้นตรงเชื่อมระหว่างยอดทางซ้ายและยอดทางขวา เพราะฉะนั้นจะแบ่งเส้นเชื่อมออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน และขยายขอบเขตของยอดทางซ้ายและยอดทางขวาออกไปตามระยะที่แบ่ง
3. 	จุดตัดบนเส้น scan line เป็นจุดหรือเส้นตรงซึ่งไม่เป็นส่วนหนึ่งของยอดทางซ้ายและยอดทางขวา กรณีนี้จะถือว่าจุดตัดหรือเส้นตรงนั้นเป็นยอดใหม่
4. 	จุดตัดบนเส้น scan line เป็นส่วนหนึ่งของยอดทางขวา เพราะฉะนั้นจะถือว่าจุดตัดนี้เป็นของยอดทางขวาและจะขยายขอบเขตของยอดทางขวาให้ครอบคลุมจุดตัดนี้

ตารางที่ 5 (ต่อ) การตัดกันของ scan line และเส้นกราฟฮีสโตแกรม

ลักษณะการตัดกัน	คำอธิบาย
5. 	จุดตัดบน scan line เป็นเส้นตรงเชื่อมกับยอดทางขวา เพราะฉะนั้นจะถือว่าจุดเส้นตรงนี้เป็นของยอดทางขวาและจะขยายขอบเขตของยอดทางขวาให้ครอบคลุมเส้นตรงนี้
6. 	จุดตัดบน scan line เป็นจุดหรือเส้นตรงซึ่งไม่เชื่อมกับยอดใด ๆ และจุดหรือเส้นตรงนี้อยู่ขวาสุดของภาพเพราะฉะนั้นจะกำหนดให้จุดตัดหรือเส้นตรงนั้นเป็นยอดใหม่

3.3.5 ปัญหาที่พบเกี่ยวกับการหายอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม

ยอดของส่วนประกอบที่ต้องการให้ปรากฏในฮีสโตแกรมเพื่อการวิเคราะห์ช่วงค่าความเข้มแสงของเนื้อสมองได้แก่ยอดของส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter จากการทดสอบหายอดในฮีสโตแกรมจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยพบว่ามีจำนวนยอดตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 3 ยอด การที่จำนวนยอดไม่เท่ากับ 3 ได้ก่อให้เกิดความกำกวมในการระบุชนิดของยอดว่ายอดที่เกิดขึ้นเป็นยอดของส่วนประกอบอะไรแน่ ทำไมจึงมียอดขาดหายไปหรือมียอดเกินมา การที่จำนวนยอดผันแปรไม่ใช่จำนวน 3 อาจเกิดจากหลายเหตุผลต่อไปนี้เช่น

1) พบจำนวนยอดน้อยสำหรับภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ของชุดภาพเนื่องจากมีส่วนประกอบไม่ครบถ้วนเช่นไม่มีส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมอง และถ้าหากภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ มีบริเวณสมองปรากฏก็จะมีค่าความเข้มแสงมากกว่าภาพในอันดับกลาง

2) มียอดน้อย ๆ เกิดขึ้นแทรกอยู่ระหว่างยอดของส่วนประกบ ยอดน้อย ๆ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนจุดโดยมีช่วงเกิน 3 ค่าความเข้มแสงที่ติดกัน ขนาดของกรอบสำหรับการปรับเฉลี่ยค่า

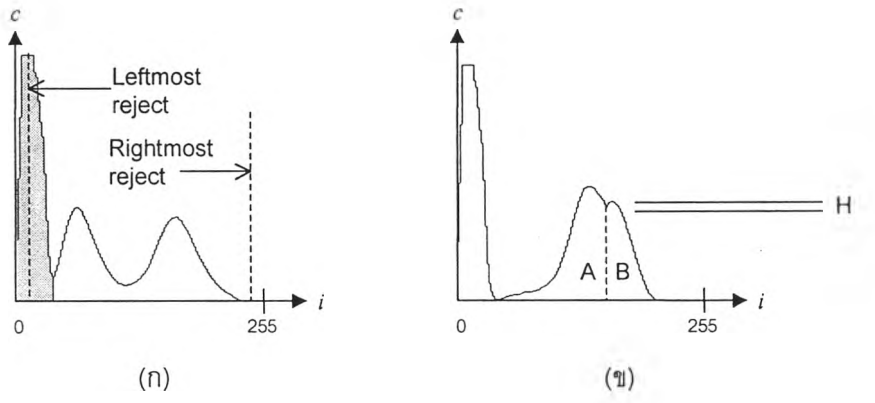
จำนวนจุดกำหนดไว้สำหรับปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดในช่วงค่าความเข้มแสง 3 ค่าที่ติดกันเท่านั้น (ดูสมการ 3.1) จึงไม่สามารถลดยอดเล็กในลักษณะนี้ได้

แนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นสรุปได้ดังนี้

1) ไม่ใช้ภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ของชุดภาพเอ็มอาร์ไอสำหรับการวิเคราะห์ฮีสโตแกรม จำนวนของภาพที่จะถูกตัดทิ้งขึ้นอยู่กับการพิจารณาโดยคนซึ่งคนจะพิจารณาและกำหนดได้ว่าภาพในอันดับต้น ๆ และท้ายจำนวนกี่ภาพที่ไม่มีบริเวณเนื้อสมองอยู่ การพิจารณาของบุคคลยังอาจระบุได้ว่าภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ กี่ภาพที่มีความผิดเพี้ยนของค่าความเข้มแสงของบริเวณที่เป็นเนื้อสมอง อย่างไรก็ตามการกำหนดจำนวนภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ที่จะไม่ต้องนำมาใช้วิเคราะห์เป็นจำนวนที่แน่นอนแทนการพิจารณาของคนก็สามารถทำได้และได้ผลดี

2) กำหนดเป็นค่าความสูงที่ปรับแต่งได้ว่าจะรวมยอดที่พบเข้ากับยอดข้างเคียงที่อยู่ทางซ้ายหรือทางขวาเมื่อความสูงของยอดที่พบ (ใช้ค่าน้อยที่สุดของ ผลต่างของจุดสูงสุด-จุดต่ำสุดทางซ้าย หรือผลต่างของจุดสูงสุด-ต่ำสุดทางขวา ของยอด) น้อยกว่าค่าที่กำหนด

3) การกำจัดยอดของส่วนประกอบที่ไม่ได้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ออกไป(ถ้ามี) ยอดของส่วนประกอบนี้ได้แก่ยอดของส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างอากาศซึ่งปรากฏทางซ้ายสุดของฮีสโตแกรมและยอดของส่วนประกอบไขมันหรืออื่น ๆ ที่มีค่าความเข้มแสงมากกว่าหรือเท่ากับ 255 การกำจัดยอดของส่วนประกอบนี้ใช้การกำหนดค่าความเข้มแสงคงที่สองค่าตรงบริเวณที่เป็นช่องว่างอากาศและบริเวณที่เป็นไขมันตามลำดับ ค่าความเข้มแสงคงที่จะกำหนดจากการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงของช่องว่างอากาศและไขมันของชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย (ดูตารางที่ 2)

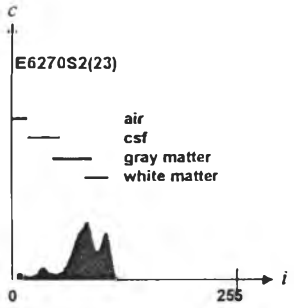
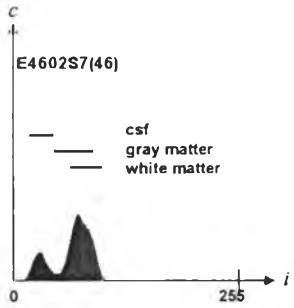


รูปที่ 33 การแก้ปัญหาเกี่ยวกับยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม (ก) การกำจัดยอดที่ไม่ได้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ (ข) การกำหนดความสูงน้อยที่สุดของยอด

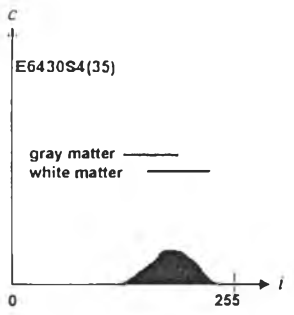
3.3.6 การกำหนดชนิดของยอดที่พบในฮีสโตแกรม

ยอดที่พบในฮีสโตแกรมซึ่งสร้างจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยมีหลายลักษณะดังสรุปในตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าฮีสโตแกรมจากชุดภาพบางชุดแสดงยอดของส่วนประกอบครบถ้วน 3 ยอด บางชุดแสดงยอดของส่วนประกอบ 2 ยอดได้แก่ยอด csf และยอดรวม gray - white matter และบางชุดแสดงยอดของส่วนประกอบเพียงยอดเดียวได้แก่ยอดรวม gray - white matter

ตารางที่ 6 สรุปลักษณะของยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย

ลักษณะของยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม	คำอธิบาย
1. 	เป็นฮีสโตแกรมของภาพที่ 23 จากชุดภาพ E6270S2 ยอดของส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter ปรากฏครบถ้วนทั้ง 3 ยอด
2. 	เป็นฮีสโตแกรมของภาพที่ 46 จากชุดภาพ E4602S7 ปรากฏยอดของส่วนประกอบ csf และยอดรวม gray - white matter

ตารางที่ 6 (ต่อ) สรุปลักษณะของยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย

ลักษณะของยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม	คำอธิบาย
3. 	เป็นฮีสโตแกรมของภาพที่ 35 จากชุดภาพ E6430S4 ปรากฏยอดรวม gray - white matter

การวิเคราะห์เพื่อกำหนดว่ายอดที่เกิดขึ้นเป็นส่วนประกอบชนิดใดจะใช้หลักการต่อไปนี้เป็นเกณฑ์

1) ส่วนประกอบของภาพเอ็มอาร์ไอสมองที่พบในฮีสโตแกรมจะเรียงลำดับตามค่าความเข้มแสงน้อยไปหามากได้แก่ csf, gray matter และ white matter เมื่อพบยอด 3 ยอดในฮีสโตแกรม (ไม่รวมส่วนประกอบช่องว่างอากาศและไขมัน) ก็สามารถสรุปได้ว่ายอดที่พบตามลำดับจากซ้ายไปขวาคือ csf, gray matter และ white matter (ดูตารางที่ 7)

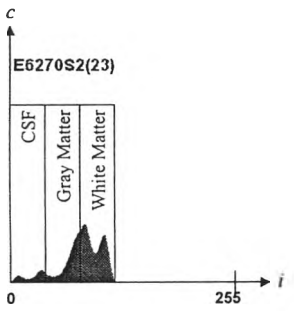
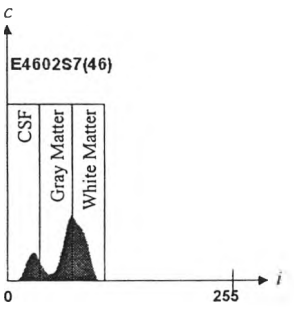
2) ส่วนประกอบ gray matter มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกับ white matter และมักจะมีค่าความเข้มแสงจะคาบเกี่ยวกันอยู่ บางชุดภาพที่ค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบทั้งสองใกล้เคียงกันและมีช่วงที่คาบเกี่ยวกันมากทำให้แนวโน้มที่ยอดของส่วนประกอบทั้งสองจะรวมกันเป็นยอดเดียวเป็นไปได้สูง เพราะฉะนั้นยอดทางขวาสุดที่พบในฮีสโตแกรมมีแนวโน้มที่จะเป็นของส่วนประกอบ white matter (ถ้า gray matter และ white matter เป็นยอดที่แยกจากกัน) หรือยอดรวม gray - white matter (ถ้า gray matter และ white matter ไม่เป็นยอดที่แยกจากกัน) อย่างใดอย่างหนึ่ง

3) การสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยจะกำหนดให้กรอบของบริเวณย่อยครอบคลุมส่วนประกอบที่เป็น gray matter และ white matter ส่วนประกอบนี้จึงควรจะพบเสมอในฮีสโตแกรม เพราะฉะนั้นยอดทางขวาสุดจึงควรเป็นยอด white matter หรือยอดรวม gray matter – white matter (ถ้า gray matter และ white matter ไม่เป็นยอดที่แยกจากกัน)

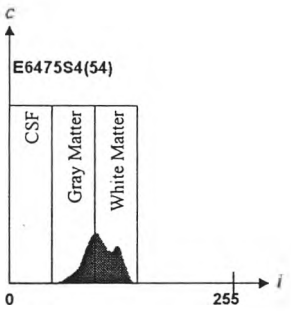
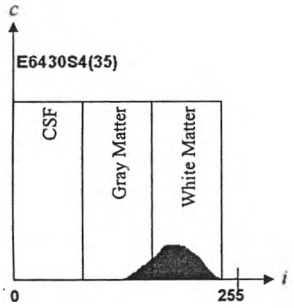
4) ส่วนประกอบที่เป็น csf มีพื้นที่จำนวนน้อยกว่าส่วนประกอบชนิดอื่น ถ้าชุดภาพเอ็มอาร์ไอมีพื้นที่ของส่วนประกอบ csf น้อยและช่วงค่าความเข้มแสงที่คาบเกี่ยวระหว่างส่วนประกอบ csf และ gray matter มีมากอาจทำให้ไม่พบยอดของ csf ในฮีสโตแกรมเนื่องจากถูกกลืนไปกับยอดที่เป็นส่วนประกอบ gray matter

5) เมื่อพบยอด 2 ยอดในฮีสโตแกรมจะมีกรณีที่เป็นไปได้ 2 กรณีคือกรณีแรกยอดแรกเป็น csf และยอดที่สองเป็นยอดรวม gray matter – white matter หรือกรณีที่สองยอดแรกเป็น gray matter และยอดที่สองเป็น white matter ถ้าตั้งสมมุติฐานว่าค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและใช้สมมุติฐานนี้กับก็ส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter ก็อาจแบ่งช่วงค่าความเข้มแสงตั้งแต่ช่องว่างอากาศไปจนถึง white matter ออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กันและกำหนดให้ส่วนที่แบ่งเป็นบริเวณ csf, gray matter และ white matter ตามลำดับ (โดยถือว่าช่องว่างอากาศมีช่วงค่าความเข้มแสงแคบมาก) จากนั้นใช้เงื่อนไขการตรวจสอบชนิดของยอดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เงื่อนไขการตรวจสอบเพื่อการกำหนดชนิดของยอดที่พบในฮีสโตแกรม

กรณีที่พบ	การระบุชนิดของยอดที่พบ
1. 	เมื่อพบ 3 ยอดและยอดแรกตกอยู่ในบริเวณ csf ให้ถือว่า • ยอดแรกเป็น csf • ยอดที่สองเป็น gray matter • ยอดที่สามเป็น white matter
2. 	เมื่อพบ 2 ยอดและยอดแรกตกอยู่ในบริเวณ csf ให้ถือว่า • ยอดแรกเป็น csf • ยอดที่สองเป็นยอดรวม gray – white matter(ไม่ว่ายอดที่สองจะจะตกอยู่ในบริเวณ gray matter หรือ white matter)

ตารางที่ 7 (ต่อ) เงื่อนไขการตรวจสอบเพื่อการกำหนดชนิดของยอดที่พบในฮีสโตแกรม

กรณีที่พบ	การระบุชนิดของยอดที่พบ
3. 	เมื่อพบ 2 ยอดและยอดทั้งสองตกอยู่ในบริเวณ gray matter หรือ white matter อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างก็ถือว่า • ยอดแรกเป็น gray matter • ยอดที่สองเป็น white matter
4. 	เมื่อพบเพียง 1 ยอดและยอดนั้นตกอยู่ในบริเวณ gray matter หรือ white matter ก็ถือว่ายอดนั้นเป็นยอดรวม gray - white matter

3.3.7 การกำหนดค่าขีดแบ่งของเนื้อสมองจากยอดที่พบในฮีสโตแกรม

การวิเคราะห์ฮีสโตแกรมที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้เป็นการวิเคราะห์สำหรับภาพเอ็มอาร์ไอหนึ่งภาพ ชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งประกอบด้วยภาพจำนวนมากและถึงแม้จะได้ตัดภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ในชุดภาพเดียวกันออกไปไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ก็ยังคงเหลือภาพจำนวนหนึ่งที่ต้องผ่านการวิเคราะห์ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ซึ่งเป็นช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบหลัก csf, gray matter และ white matter อาจเป็นคุณลักษณะเฉพาะที่ได้จากภาพนั้นและอาจแตกต่างกันไปตามลำดับภาพและลักษณะทางสรีระของสมอง เพราะฉะนั้นเพื่อให้ค่าที่วิเคราะห์ได้เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดสำหรับชุดภาพนั้นจึงจะนำค่าเหล่านั้นจากแต่ละภาพมาเฉลี่ยเป็นค่ากลางโดยใช้สมการ (3.3)-(3.8) เพื่อจะใช้กำหนดค่าขีดแบ่งต่อไป

$$csfl_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{d=sb}^{se} csfl_d \quad \text{...(3.3)}$$

$$csfr_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{d=sb}^{se} csfr_d \quad \text{...(3.4)}$$

$$gml_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{d=sb}^{se} gml_d \quad \text{...(3.5)}$$

$$gmr_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{d=sb}^{se} gmr_d \quad \text{...(3.6)}$$

$$wml_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{d=sb}^{se} wml_d \quad \text{...(3.7)}$$

$$wmr_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{d=sb}^{se} wmr_d \quad \text{...(3.8)}$$

โดยที่

sb	ตำแหน่งของภาพเริ่มต้นที่ใช้วิเคราะห์ฮีสโตแกรม
se	ตำแหน่งของภาพสุดท้ายที่ใช้วิเคราะห์ฮีสโตแกรม
N	จำนวนภาพ = se – sb + 1
$csfl_d$	ค่าความเข้มแสงทางซ้ายของ csf ของภาพลำดับที่ d
$csfr_d$	ค่าความเข้มแสงทางขวาของ csf ของภาพลำดับที่ d
gml_d	ค่าความเข้มแสงทางซ้ายของ gray matter ของภาพลำดับที่ d
gmr_d	ค่าความเข้มแสงทางขวาของ gray matter ของภาพลำดับที่ d
wml_d	ค่าความเข้มแสงทางซ้ายของ white matter ของภาพลำดับที่ d
wmr_d	ค่าความเข้มแสงทางขวาของ white matter ของภาพลำดับที่ d

ค่าขีดแบ่งของเนื้อสมองคือช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบ gray matter ถึง white matter ซึ่งอาจเลือกใช้ค่าบางค่าจากสมการข้างบนดังแสดงในสมการ (3.9) และ (3.10)

ช่วงค่าขีดแบ่งของเนื้อสมองคือถึงค่า gml_{avg} ถึง wmr_{avg} ...(3.9)

หรือ

ช่วงค่าขีดแบ่งของเนื้อสมองคือค่า $csfr_{avg}$ ถึง wmr_{avg} ...(3.10)

3.4 การแยกบริเวณสมองโดยใช้ค่าขีดแบ่งจากการวิเคราะห์ฮีสโตแกรม

การใช้ค่าขีดแบ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ฮีสโตแกรมตามที่กล่าวในขั้นตอนที่แล้วจะเป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับเลือกจุดภาพในภาพเอ็มอาร์ไอที่เป็นบริเวณเนื้อสมอง เมื่อนำค่าขีดแบ่งที่วิเคราะห์ได้ไปใช้ในการประมวลผลโดยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งกับภาพเอ็มอาร์ไอแล้วจุดภาพที่ถูกเลือก (มีค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วงที่กำหนด) จะถูกกำหนดให้เป็นสีขาวและจุดภาพที่ไม่ได้ถูกเลือกจะถูกกำหนดให้เป็นสีดำ ภาพที่ได้จากการประมวลผลโดยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่งจึงมีลักษณะเป็นภาพขาวดำซึ่งเรียกว่า *ภาพขีดแบ่ง* ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้สีขาวจะมีค่าความเข้มแสง 255 และสีดำมีค่าความเข้มแสงเป็น 0 ภาพขีดแบ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 34 ส่วนที่เป็นบริเวณเนื้อสมองจะเห็นเป็นสีขาวและส่วนที่ไม่ใช่เนื้อสมองจะเห็นเป็นสีดำ จากภาพจะเห็นว่านอกจากจะมีเนื้อเยื่อของบริเวณสมองซึ่งเป็นที่ต้องการแล้วยังมีเนื้อเยื่อส่วนที่ไม่ใช่บริเวณสมองปรากฏอยู่ด้วย เช่น เนื้อเยื่อในบริเวณที่ต่ำกว่าสมอง เป็นต้น เนื้อเยื่อเหล่านั้นมีทั้งที่ปรากฏเป็นบริเวณอิสระและเป็นบริเวณที่เชื่อมกับเนื้อสมอง

(ก) (ข)

รูปที่ 34 ภาพขีดแบ่งที่สร้างจากภาพเอ็มอาร์ไอโดยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่ง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพขีดแบ่ง

3.4.1 การพบเนื้อเยื่อส่วนที่ไม่ต้องการในภาพขีดแบ่งและการแก้ปัญหา

การที่เนื้อเยื่อส่วนเกินปรากฏในภาพขีดแบ่งเพราะมีค่าความเข้มแสงอยู่ระดับเดียวกันกับค่าความเข้มแสงของเนื้อสมอง เนื้อเยื่อเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและจะต้องถูกกำจัดออกด้วยวิธีการประมวลผลภาพดิจิตอลที่เหมาะสม วิธีประมวลผลภาพดิจิตอลที่จะเลือกเพื่อกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินนี้ได้แก่ วิธีการยุบตัว การใช้วิธีการยุบตัวกับภาพขีดแบ่งจะมีผลเกิดขึ้นดังนี้

1) บริเวณที่เป็นสีขาวในภาพขีดแบ่งจะมีขนาดเล็กลง ส่วนเกินที่เป็นบริเวณอิสระจะถูกทำให้เล็กลง ถ้าส่วนเกินที่เป็นบริเวณอิสระมีขนาดเล็กกว่าขนาดของแมสก์การยุบตัวจะมีพื้นที่เล็กลงจนเป็นศูนย์ (ถูกกำจัดออกไป)

2) ถ้าส่วนเกินที่มีการเชื่อมต่อกับบริเวณเนื้อสมอง รอยเชื่อมนั้นจะถูกทำให้บางลง ถ้าส่วนแคบที่สุดของรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดของแมสก์รอยเชื่อมนั้นจะขาดจากกัน เมื่อรอยเชื่อมขาดจากกันทำให้บริเวณเนื้อเยื่อส่วนเกินที่เคยเชื่อมกับบริเวณเนื้อสมองแยกเป็นอิสระจากบริเวณเนื้อสมอง

การใช้วิธีการยุบตัวกับภาพขีดแบ่งไม่ได้มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดบริเวณส่วนเกินออกจนหมด เพราะในทางปฏิบัติจะต้องกำหนดขนาดของแมสก์ใหญ่มากและจะเกิดผลเสียทางด้านรูปทรงบริเวณสมองที่ผิดเพี้ยนตามมา วิธีการยุบตัวจะใช้เพียงเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวในข้อ 2. เป็นหลัก สำหรับบริเวณเนื้อเยื่อส่วนเกินที่ถูกกำจัดออกไม่หมดเมื่อถึงขั้นตอนตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมองจะไม่ถูกเลือกสรรเพราะว่าได้ถูกทำให้เป็นอิสระไม่เชื่อมกับบริเวณสมองนั่นคือถูกกำจัดออกไปโดยปริยาย

3.4.2 แมสก์ของการยุบตัว

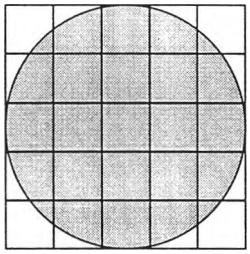
แมสก์ของการยุบตัวจะใช้เป็นรูปวงกลมเพื่อให้การยุบตัวของบริเวณสีขาวในภาพขีดแบ่งมีความสมมาตรในทุกทิศทาง การกำหนดขนาดของแมสก์ใหญ่เล็กต่างกันมีผลดังสรุปในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลเมื่อกำหนดขนาดของแมสก์การยุบตัวต่าง ๆ กัน

สิ่งที่กระทบ	ขนาดของแมสก์เล็ก	ขนาดของแมสก์ใหญ่
บริเวณสีขาวในภาพขีดแบ่ง	มีการยุบตัวน้อย	มีการยุบตัวมาก
การคืนตัวของบริเวณสีขาวเมื่อประมวลผลต่อด้วยวิธีการขยายตัว	ผิดเพี้ยนน้อย	ผิดเพี้ยนมากเนื่องจากเสียรูปทรงดั้งเดิม
การกำจัดบริเวณอิสระ	บริเวณอิสระที่เล็กกว่าขนาดของแมสก์ถูกกำจัดออกหมด บริเวณที่ใหญ่กว่าหรือมีรูปทรงไม่ครอบคลุมโดยแมสก์จะมีขนาดเล็กลง ขนาดของแมสก์ที่ใหญ่กว่าจะกำจัดบริเวณที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่า	
การทำให้รอยเชื่อมบริเวณส่วนเกินและบริเวณเนื้อสมองขาดจากกัน	ถ้าส่วนที่แคบที่สุดของรอยเชื่อมมีขนาดเล็กกว่าขนาดของแมสก์รอยเชื่อมนั้นจะถูกทำให้ขาดจากกัน กรณีอื่น ๆ รอยเชื่อมจะมีขนาดบางลง	

แมสก์ของการยุบตัวจะต้องถูกกำหนดอย่างเหมาะสมเพื่อให้กำจัดส่วนเกินที่ไม่ต้องการออกไปให้ได้มากที่สุดและในขณะเดียวกันก็ต้องไม่ทำให้เสียรูปทรงของบริเวณเดิมมากเกินไปจนกระทั่งการชดเชยบริเวณที่หดตัวลงด้วยวิธีการขยายตัวเกิดการผิดเพี้ยน ขนาดของแมสก์ที่ทดสอบและเหมาะสมสำหรับชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการวิจัยจะเป็นขนาด 5 x 5 แต่อย่างไรก็ตาม

ขนาดแมสก์ก็สามารถปรับได้ตามความเหมาะสมกับลักษณะของชุดภาพ ลักษณะแมสก์ของการยุบตัวแสดงดังรูปที่ 35 และลักษณะของภาพขีดแบ่งเมื่อประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวแสดงดังรูปที่ 36



0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

(ก) (ข)

รูปที่ 35 แมสก์ของการยุบตัวขนาด 5x5 (ก) แมสก์รูปวงกลม (ข) ค่าที่กำหนดในแมสก์รูปวงกลม

สำหรับแมสก์รูปวงกลมในรูปที่ 35 นั้นสร้างโดยสมการ (3.11)

$$mask_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } h^2 + k^2 < half^2 \\ & \text{กรณีอื่นนอกเหนือจากข้างบน} \end{cases} \quad \ldots (3.11)$$

โดยที่ masksize คือขนาดของแมสก์

$mask_{ij}$ คือค่าในแมสก์แถวที่ i และหลักที่ j

$$half = \frac{masksize}{2}$$

$$h = i - half$$

$$k = j - half$$

(ก) (ข)

รูปที่ 36 ภาพขีดแบ่งเมื่อประมวลด้วยวิธีการยุบตัว กำหนดขนาดแมสก์เป็น 5 x 5

3.5 การตรวจสอบความต่อเนื่องและการเลือกสรรบริเวณที่เป็นสมอง

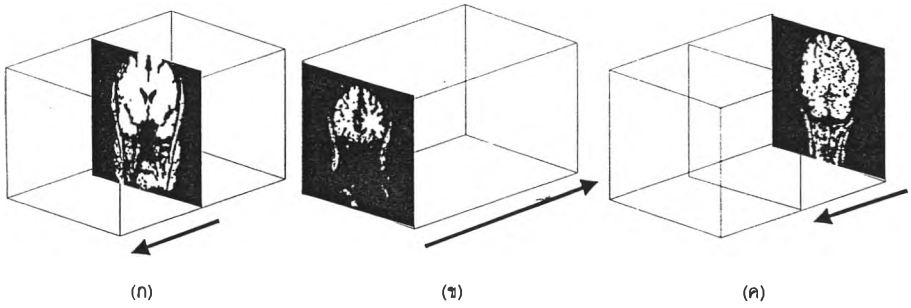
บริเวณที่ปรากฏในภาพขีดแบ่งหลังการประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวจะถูกนำมาตรวจสอบความต่อเนื่องเพื่อเลือกสรรเป็นบริเวณสมอง ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าสมองเกิดมาจากเนื้อเยื่อชิ้นเดียวกันจึงมีความต่อเนื่องถึงกันไปทุกส่วน ลักษณะของสมองอุปมาเหมือนบอลลูนที่ถูกเป่าให้โตเต็มที่และปล่อยให้แฟบลงบรรจุอยู่ในบริเวณจำกัดจึงเกิดเป็นรอยหยักขดอยู่ทั่วบริเวณผิวรอบนอก เมื่อมองภาคตัดขวางของสมองในลักษณะแผ่นบาง ๆ รอยหยักที่ผิวสมองจะเป็นส่วนที่เว้าลึกเข้าไปในบริเวณสมอง สำหรับภาพบางภาพส่วนที่เว้าลึกเข้าข้างในจากด้านหนึ่งอาจไปบรรจบกับส่วนที่เว้าลึกจากอีกด้านหนึ่งทำให้เนื้อสมองบริเวณรอยหยักกลายเป็นเกาะ เมื่อมองแบบ 2 มิติเนื้อสมองในเกาะจะไม่เชื่อมต่อกับบริเวณเนื้อสมองหลักในภาพแผ่นนั้น อย่างไรก็ตามเมื่อมองแบบ 3 มิติเนื้อสมองในเกาะจะเชื่อมกับบริเวณเนื้อสมองหลักในภาพแผ่นเดียวกันผ่านทางแผ่นภาพที่ติดกันได้ การตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณที่เป็นสมองคือการหาความต่อเนื่องของบริเวณเนื้อสมองหลักและบริเวณเนื้อสมองที่เป็นเกาะในภาพขีดแบ่งเดียวกับในชุดภาพเอ็มอาร์ไอนั้น

การประมวลผลเพื่อทดสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมองจะเริ่มจากภาพขีดแบ่งในอันดับกลางแทนที่จะเริ่มจากภาพในอันดับต้นหรือท้าย ในที่นี้จะตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับการกำหนดจุดเริ่มต้นของการตรวจสอบบริเวณสมองว่าสมองจะเป็นบริเวณที่มีพื้นที่ใหญ่ที่สุด ภาพในอันดับกลางมีบริเวณสมองที่ค่อนข้างแน่นอนและมีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงมีความกำกวมน้อยกว่าบริเวณสมองที่พบในภาพจากอันดับต้นหรือท้ายซึ่งมีผลกระทบจากปัจจัยเชิงลบ เช่น ลักษณะทางสรีระของสมองมีตำแหน่งไม่แน่นอน อาจมีหรือไม่มีบริเวณสมองในภาพอันดับต้นหรือท้าย เป็นต้น ลำดับการตรวจสองความต่อเนื่องของบริเวณสมองแสดงดังรูปที่ 37 และการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมองแสดงเป็นตัวอย่างดังรูปที่ 38 ในรูปนี้แสดงตัวอย่างภาพขีดแบ่ง 3 ภาพ a-b-c เรียงตัวในอันดับจากต้นไปท้ายและแสดงผลที่ได้จากการประมวลผลแต่ละขั้นตอน (ภาพขีดแบ่งทั้ง 3 ภาพเป็นภาพจำลองจากภาพจริง กำหนดสีและเส้นขอบเพื่อให้สามารถมองเห็นได้ง่ายในการนำเสนอเท่านั้น) สำหรับขั้นตอนวิธีการตรวจสอบความต่อเนื่องและเลือกสรรบริเวณที่เป็นสมองจากภาพขีดแบ่งเป็นดังนี้

ขั้นตอนวิธีการตรวจสอบความต่อเนื่องและเลือกสรรบริเวณที่เป็นสมอง

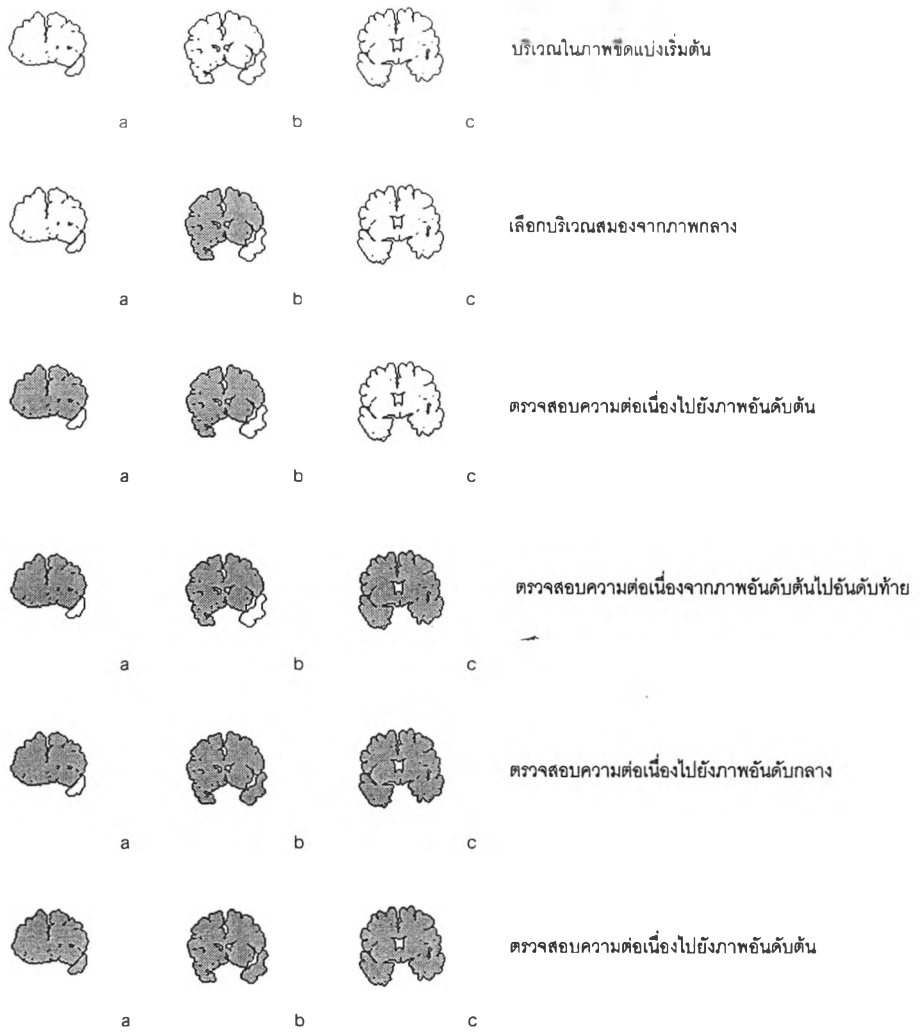
1) กำหนดค่า (label) ให้กับบริเวณที่ปรากฏในภาพขีดแบ่งทุกภาพด้วยค่า L_0
2) เลือกภาพขีดแบ่งในอันดับกลางจากชุดภาพและกำหนดให้เป็นภาพปัจจุบัน
3) เลือกบริเวณที่มีพื้นที่มากที่สุดในภาพปัจจุบัน และกำหนดค่า L_1 ให้กับบริเวณนี้
4) เลือกภาพขีดแบ่งก่อนหน้าภาพปัจจุบัน 1 ภาพ และกำหนดให้เป็นภาพปัจจุบัน

5) สำหรับแต่ละบริเวณที่ปรากฏในภาพปัจจุบัน หากพบว่าทับซ้อนกับบริเวณที่มีค่า L_r ในภาพที่แล้วให้กำหนดค่า L_r กับบริเวณที่กำลังตรวจสอบอยู่ ให้สำรวจทุกบริเวณที่ปรากฏในภาพปัจจุบันจนครบ
6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4. จนกระทั่งถึงภาพแรกในชุดภาพ
7) เลือกภาพขีดแบ่งหลังภาพปัจจุบัน 1 ภาพและกำหนดให้เป็นภาพปัจจุบัน
8) ทำแบบเดียวกับขั้นตอนที่ 5.
9) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 7 จนกระทั่งถึงภาพสุดท้ายในชุดภาพ
10) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4. – 5. จนกระทั่งถึงภาพในอันดับกลาง
11) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4. –10. จนกระทั่งไม่มีการกำหนดค่าให้กับบริเวณใด ๆ อีก

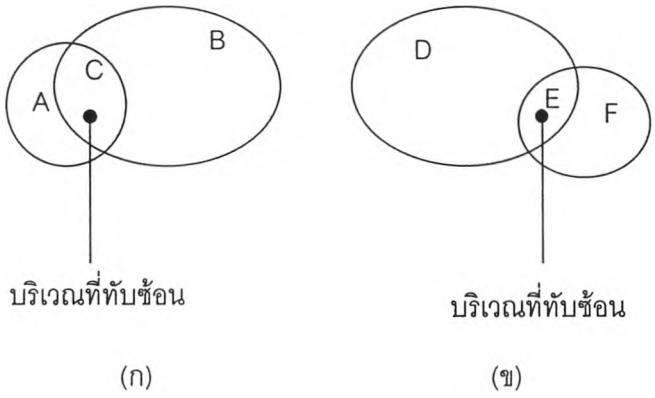


รูปที่ 37 ลำดับการประมวลผล 1 รอบ

การพิจารณาการทับซ้อนกันของบริเวณระหว่างแผ่นภาพเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังมากเป็นพิเศษเพราะหากเงื่อนไขที่ใช้ในการพิสูจน์การทับซ้อนไม่รัดกุมก็อาจทำให้บริเวณที่ไม่น่าจะใช่บริเวณสมองแต่บังเอิญทับซ้อนกับบริเวณสมองแม้เพียง 1 จุดภาพก็จะถูกรวมรวมเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของสมองได้ เมื่อประมวลผลกลับไปกลับมาหลายเที่ยวก็จะกลายเป็นว่าบริเวณส่วนเกินมีการเชื่อมต่อถึงกันเองและเชื่อมต่อกับบริเวณสมองด้วยทำให้ผลลัพธ์ผิดพลาดเป็นอย่างมาก เพื่อให้การพิสูจน์การทับซ้อนของบริเวณมีความรัดกุมจึงจะกำหนดเงื่อนไขไว้ว่า บริเวณที่ทับซ้อนจะต้องมีอัตราส่วนของพื้นที่ที่ทับซ้อนต่อพื้นที่ที่เล็กที่สุดที่กำลังตรวจสอบไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดจึงจะถือว่าบริเวณที่ทับซ้อนเป็นบริเวณที่ต่อเนื่องถึงกัน สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ค่าสัดส่วนที่กำหนดเป็น 15% ตัวอย่างเพื่อการพิจารณาการทับซ้อนของบริเวณแสดงดังรูปที่ 39 จากรูปบริเวณ A จะทับซ้อนกับบริเวณ C ถ้า C/(B+C) > 15% หรือบริเวณ D จะทับซ้อนกับบริเวณ F ถ้าE/(E+F) > 15%



รูปที่ 38 การตรวจสอบความต่อเนื่อง



รูปที่ 39 การพิจารณาบริเวณที่ทับซ้อนกัน

3.5.1 ปัญหาที่พบเกี่ยวกับการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณที่เป็นสมอง

ถึงแม้ว่าจะได้มีการปรับภาพขีดแบ่งด้วยวิธีการยุบตัวเพื่อให้บริเวณที่เป็นสมองโดดเด่นและแยกเป็นอิสระจากส่วนที่ไม่ต้องการอันจะทำให้กระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามข้อด้อยบางประการที่ยังหลงเหลือในภาพขีดแบ่งทำให้กระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องทำงานผิดพลาดมีดังนี้

1) สำหรับบางชุดภาพมีการเชื่อมถึงกันระหว่างเนื้อสมองและส่วนที่ไม่ใช่สมองด้วยรอยเชื่อมทั้งบางและหนา รอยเชื่อมเหล่านี้ปรากฏในภาพขีดแบ่งเพราะจุดภาพบริเวณรอยเชื่อมเป็นของส่วนประกอบที่มีช่วงค่าความเข้มแสงคาบเกี่ยวกับช่วงค่าความเข้มแสงของเนื้อสมอง รอยเชื่อมที่มีขนาดบางมักถูกกำจัดออกได้ด้วยการยุบตัวในภาพขีดแบ่ง ในขณะที่รอยเชื่อมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกไม่หมด ส่วนที่ไม่ใช่สมองที่เชื่อมกับบริเวณสมองด้วยรอยเชื่อมนั้นเมื่อกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องพบว่าเชื่อมถึงบริเวณสมองก็จะถูกเลือกให้ปรากฏในผลลัพธ์

2) ส่วนที่ไม่ใช่สมองที่อยู่บริเวณลำคอ (ส่วนล่างในภาพเอ็มอาร์ไอ) ปรากฏเป็นบริเวณกว้างหลายแผ่นภาพติดต่อกัน ถ้าส่วนที่ไม่ใช่สมองในบริเวณลำคอเชื่อมกับบริเวณสมองในภาพขีดแบ่งแม้เพียงภาพใดภาพหนึ่งก็จะถูกรวบรวมเลือกให้ปรากฏในผลลัพธ์หลังการประมวลผลในกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณที่เป็นสมอง

3) บริเวณสมองที่ปรากฏในภาพอันดับต้น ๆ หรือท้าย ๆ มักจะมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากบริเวณสมองที่ปรากฏในภาพเหล่านี้จะมีค่าความเข้มแสงมากกว่าบริเวณสมองในภาพอันดับกลาง ๆ

จุดหลักของปัญหาที่พบในการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณที่เป็นสมองคือการที่บริเวณสมองมีการต่อเชื่อมกับบริเวณที่ไม่ใช่สมองโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมต่อกับเนื้อเยื่อบริเวณลำคอทำให้ผลที่ได้ภายหลังการประมวลผลมีเนื้อเยื่อบริเวณลำคอปรากฏในภาพผลลัพธ์ทุกภาพ ซึ่งถ้าหากพิจารณาอย่างผิวเผินในแง่ของพื้นที่ที่ปรากฏหลังการประมวลผลเทียบกับพื้นที่ของบริเวณสมองจริง ๆ แล้วก็ดูเหมือนว่าการประมวลผลให้อัตราการผิดพลาดมากมายทั้งที่จริง ๆ แล้วเนื้อสมองอาจเชื่อมต่อกับเนื้อเยื่อบริเวณลำคอที่ภาพขีดแบ่งเพียงหนึ่งภาพเท่านั้นและเนื้อเยื่อบริเวณลำคอในภาพขีดแบ่งภาพอื่นก็ถูกเลือกมาเพราะการเชื่อมต่อกับเนื้อเยื่อบริเวณลำคอของแผ่นภาพที่ติดกัน

แนวทางการป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะเป็นดังนี้

1) พยายามกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอที่ปรากฏในภาพขีดแบ่งทุกภาพก่อนการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณที่เป็นสมองเพื่อลดโอกาสที่บริเวณที่ไม่ใช่สมองจะถูกเลือกในภาพผลลัพธ์

2) พัฒนาขั้นตอนวิธีที่จะแยกรอยเชื่อมของบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมอง

3) ปรับค่าแก้ความเข้มแสงของบริเวณสมองในภาพอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ให้อยู่ในช่วงเดียวกับบริเวณสมองในภาพอันดับกลาง ๆ

3.5.2 การกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอ

เนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอที่หลงเหลืออยู่และถูกกำจัดออกไม่หมดในการประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวจะต้องถูกกำจัดออกเพื่อลดผลอันไม่พึงประสงค์อันเป็นผลกระทบของกระบวนการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมอง ตามที่ได้กล่าวในตอนต้นว่าบริเวณสมองจะปรากฏอยู่ค่อนไปทางส่วนบนของภาพเอ็มอาร์ไอเพราะฉะนั้นจะพิจารณากำจัดบริเวณส่วนเกินในส่วนครึ่งล่างของภาพ บริเวณที่ตรวจพบว่าเป็นบริเวณอิสระไม่เชื่อมต่อกับบริเวณสมองและอยู่ครึ่งล่างของภาพจะถูกกำจัดทิ้งไป อย่างไรก็ตามบริเวณสมองในภาพบางภาพอาจมีขนาดใหญ่และปรากฏทั้งครึ่งบนและครึ่งล่างของภาพ กระบวนการตรวจสอบจะต้องทราบและไม่กำจัดบริเวณสมองที่ปรากฏในครึ่งล่างของภาพ

ก่อนเริ่มกระบวนการกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินจะต้องหาบริเวณสมองในภาพให้พบและกันไว้เป็นบริเวณต่างหากที่จะไม่ต้องถูกตรวจสอบ การบ่งชี้บริเวณสมองจะอยู่บนสมมุติฐานว่า

1) บริเวณสมองที่ต่อเชื่อมเป็นบริเวณเดียวจะมีขนาดพื้นที่ใหญ่ที่สุดเทียบกับพื้นที่รวมของบริเวณที่ปรากฏในภาพ

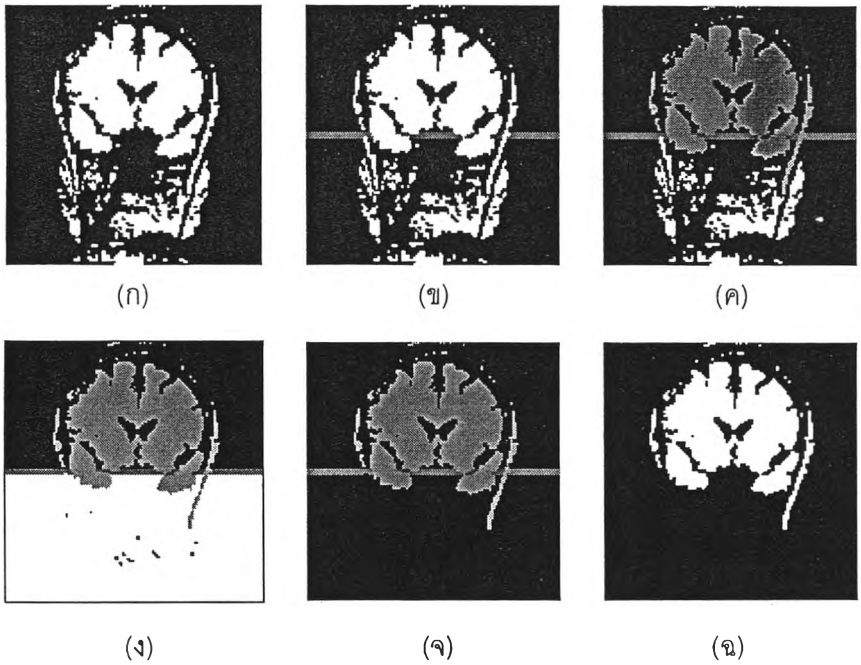
2) บริเวณสมองที่มีมากกว่าหนึ่งบริเวณและไม่ต่อเชื่อมถึงกัน (ปรากฏในภาพอันดับต้น ๆ) เมื่อรวมบริเวณสมองเหล่านั้นเข้าด้วยกันจะมีขนาดพื้นที่ใหญ่ที่สุดเทียบกับพื้นที่รวมของบริเวณที่ปรากฏในภาพ

เป็นที่น่าสังเกตว่าการระบุบริเวณสมองจะต้องกำหนดเพื่อให้ความน่าจะเป็นในการที่สมองจะถูกกำจัดออกมีน้อยที่สุด สมมุติฐานข้อ 2 ได้ตั้งขึ้นเพื่อรองรับกรณีที่สมองไม่ได้ปรากฏเป็นบริเวณเดี่ยวซึ่งมักจะเกิดขึ้นในภาพอันดับต้น ๆ ของชุดภาพ กรณีนี้ถึงแม้บริเวณที่มีพื้นที่มากที่สุดจะเป็นสมอง แต่ก็มีแค่ส่วนเดียวไม่ครบถ้วน ในทางปฏิบัติจะกำหนดเป็นอัตราส่วนของบริเวณที่มีพื้นที่มากที่สุดเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดในภาพ ถ้าบริเวณที่มีพื้นที่มากที่สุดมีแนวโน้มของอัตราส่วนเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดต่างจากค่า 1 มาก ๆ ก็มีแนวโน้มว่าอาจมีบริเวณสมองอีกบริเวณหนึ่งซึ่งไม่ต่อเชื่อมถึงกันกับบริเวณสมองซึ่งมีพื้นที่มาก

ที่สุด บริเวณที่มีพื้นที่เป็นอันดับรองลงไปก็ควรถูกกำหนดให้เป็นบริเวณสมองด้วย การกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอได้แสดงเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 40

ขั้นตอนวิธีการกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอ

1) กำหนดค่า (label) ให้กับบริเวณทั้งหมดที่มีในภาพด้วยค่า L_0 และค่าของพื้นหลังด้วยสีดำ
2) กำหนดเส้นแบ่งครึ่งกึ่งกลางภาพ
3) กำหนดค่าของบริเวณที่มีพื้นที่มากที่สุดในภาพให้เป็นค่า L_1 (สมมุติฐาน 1) หากบริเวณที่มีพื้นที่มากที่สุดมีขนาดไม่ถึง 75 % ของบริเวณทั้งหมด ก็ให้กำหนดค่าของบริเวณที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับ 2 ด้วยค่า L_1 เช่นกัน (สมมุติฐาน 2)
4) กำหนดค่าของบริเวณที่อยู่สูงกว่าเส้นกึ่งกลางภาพหรือคาบเกี่ยวกับเส้นถึงกลางภาพให้มีค่าเป็น L_1
5) ระบายบริเวณ (floodfill) พื้นหลังที่อยู่ต่ำกว่าเส้นกึ่งกลางภาพด้วยค่า L_0
6) ระบายบริเวณพื้นหลังที่อยู่ต่ำกว่าเส้นกึ่งกลางภาพด้วยค่าสีดำ
7) เปลี่ยนค่าของบริเวณที่มีค่าเป็น L_1 ให้เป็น L_0 ดังเดิม



รูปที่ 40 การกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) กำหนดเส้นกึ่งกลางภาพ (ค) กำหนดค่าให้บริเวณสมองตามสมมุติฐาน 1-2 (ง) ระบายบริเวณพื้นหลังที่ต่ำกว่าเส้นกึ่งกลางด้วยค่า L_0 (จ) ระบายบริเวณพื้นหลังที่ต่ำกว่าเส้นกึ่งกลางด้วยค่าสีดำ (ฉ) เปลี่ยนค่าของบริเวณที่เป็น L_1 ให้เป็น L_0

3.5.3 การแยกรอยเชื่อมของบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมอง

บริเวณที่ไม่ใช่สมองที่อยู่บริเวณลำคอหรือที่อื่น ๆ และเชื่อมอยู่กับบริเวณสมองด้วยรอยเชื่อม ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินกว่าความสามารถในการทำให้บริเวณทั้งสองแยกจากกันของการประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัว รอยเชื่อมนี้จะมีลักษณะเป็นแนวหรือเป็นร่อง การทำให้รอยเชื่อมแยกจากกันซึ่งได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้การประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวหลาย ๆ ครั้ง แต่ละครั้งกำหนดขนาดแมสก์การยุบตัวต่างกันไปจากมากไปน้อย เริ่มแรกเมื่อกำหนดขนาดแมสก์ของการยุบตัวให้ใหญ่มากจะเมื่อประมวลผลจะมีการกัดกร่อนบริเวณมาก เมื่อประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวกับภาพขีดแบ่งต้นฉบับจะทำให้บริเวณที่เคยเชื่อมกันด้วยรอยเชื่อมอย่างหนาแยกจากกันเป็นสองบริเวณ จากนั้นจะประมวลผลรอบต่อ ๆ มาโดยกำหนดขนาดของแมสก์เล็กลงเรื่อย ๆ และกระทำกับภาพขีดแบ่งต้นฉบับเสมอ ผลของการประมวลผลในรอบที่ติดกันจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบว่าบริเวณใดที่แต่เดิมไม่เคยเชื่อมถึงกันในการประมวลผลครั้งก่อนหน้านี้มาเชื่อมต่อถึงกันในการประมวลผลในครั้งนี้ก็จะทำเส้นแบ่งครึ่งตรงรอยที่เชื่อมถึงกัน การประมวลผลจะสิ้นสุดเมื่อทำไปถึงรอบที่ขนาดของแมสก์เล็กลงที่สุด

ขั้นตอนการแยกรอยเชื่อมของบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมอง

1) กำหนดให้ภาพขีดแบ่งภาพแรกเป็น "ภาพต้นฉบับ" ของการประมวลผลปัจจุบัน กำหนดขนาดเริ่มต้นและสิ้นสุดของแมสก์ของการยุบตัว ให้ขนาดเริ่มต้นของแมสก์ใหญ่กว่าขนาดเมื่อสิ้นสุด

2) ประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวกับ "ภาพต้นฉบับ" โดยใช้แมสก์ขนาดเท่ากับค่าเริ่มต้น บริเวณที่เป็นผลลัพธ์จากการประมวลให้กำหนดค่า (label) เป็นเลขลำดับที่ต่างกัน เก็บผลลัพธ์ไว้เป็นภาพใหม่ชื่อว่า "ภาพเปรียบเทียบ"

3) ปรับขนาดของแมสก์ให้เล็กลง 1 ขั้น ประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัวกับ "ภาพต้นฉบับ" แต่ละบริเวณที่เป็นผลลัพธ์จากการประมวลผลให้นำไปตรวจสอบโดยการทาบกับบริเวณใน "ภาพเปรียบเทียบ"

   3.1 ถ้าบริเวณทาบกันได้สนิทและไม่ทับซ้อนกับบริเวณอื่นใน "ภาพเปรียบเทียบ" ให้กำหนดค่า (label) ของบริเวณที่กำลังตรวจสอบเป็นค่าเดียวกับบริเวณใน "ภาพเปรียบเทียบ"

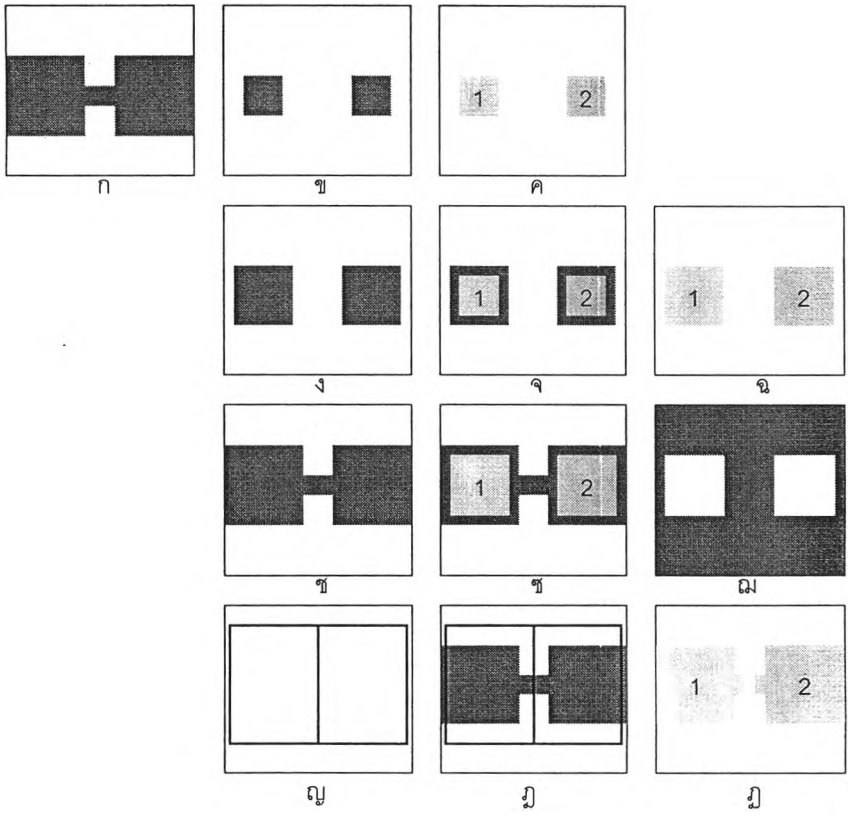
   3.2 ถ้าบริเวณที่กำลังตรวจสอบไม่ทับซ้อนกับบริเวณใด ๆ ในภาพเปรียบเทียบให้กำหนดค่าของบริเวณนั้นขึ้นใหม่ด้วยเลขลำดับ

   3.3 ถ้าบริเวณที่กำลังตรวจสอบทับซ้อนกับบริเวณมากกว่าหนึ่งบริเวณ ให้คำนวนหาเส้นแบ่งแยกและแบ่งแยกบริเวณที่กำลังตรวจสอบ เส้นแบ่งแยกนี้คือ *เส้นโครงร่าง* หรือ *เส้นบาง* ซึ่งได้จากการประมวลผลด้วยวิธี "การทำให้บาง" ของบริเวณที่เป็นพื้นหลังของภาพต้นฉบับภายในกรอบ

ของบริเวณที่กำลังตรวจสอบ สำหรับบริเวณที่ถูกแบ่งแยกออกไปเป็นบริเวณย่อยให้กำหนดค่าของบริเวณนั้นด้วยค่าเดียวกับบริเวณในภาพเปรียบเทียบในตำแหน่งที่สอดคล้องกัน

4) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งขนาดของแมสก์เท่ากับที่กำหนดให้สิ้นสุดการประมวลผล

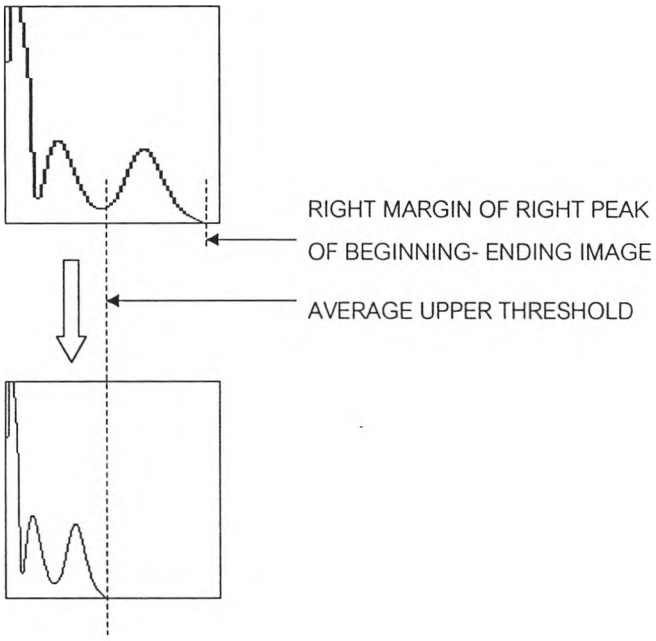
ขั้นตอนการแยกรอยเชื่อมของบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมองแสดงในรูปที่ 41 ใน (ก) เป็นภาพขาวดำต้นฉบับ (ข) เมื่อกำหนดขนาดแมสก์ของการยุบตัวด้วยค่าเริ่มต้นซึ่งทำให้บริเวณในภาพ ก แยกจากกันเป็น 2 บริเวณ (ค) กำหนดค่าให้กับบริเวณทั้งหมด (ง) เมื่อกำหนดขนาดแมสก์ของการยุบตัวให้เล็กลงกว่าในภาพ ข บริเวณที่เป็นผลลัพธ์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น (จ) เมื่อนำบริเวณในภาพ ง ไปทับกับบริเวณในภาพ ค ก็ยังคงทับกันได้สนิท (ฉ) ทำการกำหนดค่าให้กับบริเวณใหม่ที่ใหญ่ขึ้นด้วยค่าของบริเวณที่ไปทับซ้อนในภาพ ค (ช) กำหนดขนาดแมสก์ของการยุบตัวให้เล็กลงกว่าในภาพ ง บริเวณที่เป็นผลลัพธ์มีขนาดใหญ่ขึ้นและเริ่มปรากฏว่าสองบริเวณเชื่อมเข้าหากัน (ซ) เมื่อนำบริเวณในภาพ ช ไปทับซ้อนกับบริเวณในภาพ ฉ พบว่าบริเวณในภาพ ช เกิดการทับซ้อนกันมากกว่าหนึ่งบริเวณในภาพ ฉ (ฌ) เป็นส่วนที่เป็นพื้นหลังของภาพ ฉ (ญ) เส้นโครงร่างของภาพ ฌ (ฎ) เมื่อนำเส้นโครงร่างในภาพ ญ มาทาบกับภาพ ช (ฎ) การทำให้บริเวณทั้งสองขาดจากกันตรงตำแหน่งที่ทับซ้อนกับเส้นโครงร่างและทำการกำหนดค่าให้กับบริเวณใหม่ที่แยกจากกันด้วยค่าของบริเวณที่ไปทับซ้อนในภาพ ฉ



รูปที่ 41 ขั้นตอนการประมวลผลเพื่อแยกรอยเชื่อมของบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมอง

3.5.4 การปรับแก้ค่าความเข้มแสงของบริเวณสมองในภาพอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ

เป็นที่สังเกตว่าภาพในอันดับต้นและท้าย (ประมาณ 1-3 ภาพ) ของชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่นำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้มีค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่เป็นบริเวณสมองมากกว่าภาพในอันดับกลาง ๆ ซึ่งความผิดเพี้ยนนี้เป็นผลที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพเอ็มอาร์ไอเอง (ทายาท ดีสุดจิต, สัมภาษณ์. มกราคม 2540) แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ชุดภาพเอ็มอาร์ไอมีความสมบูรณ์มากที่สุดสำหรับการแยกบริเวณในงานวิจัยนี้จึงจะปรับช่วงค่าความเข้มแสงในฮีสโตแกรมของภาพในอันดับต้น-ท้ายเพื่อให้ช่วงค่าความเข้มแสงของส่วนที่เป็นบริเวณสมองสมองอยู่ในระดับเดียวกับช่วงค่าความเข้มแสงของบริเวณสมองในภาพอันดับกลาง ในการปรับช่วงค่าความเข้มแสงนั้นจะปรับค่าความเข้มแสงของจุดภาพเป็นสัดส่วนโดยให้ขอบขวาของยอดที่เป็นส่วนประกอบ white matter ตรงกับค่าขีดแบ่งบนซึ่งได้จากการคำนวณฮีสโตแกรม การปรับแก้ค่าความเข้มแสงแสดงได้ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 การปรับสเปกตรัมค่าความเข้มแสง

3.6 ภาพรวมของกระบวนการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติ

จากแนวความคิดการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติที่ได้กล่าวในตอนต้นผนวกกับปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษาและทดสอบการแยกบริเวณสมองจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอจนกระทั่ง

นำไปสู่การปรับปรุงแนวคิดในครั้งแรกเพื่อให้ได้ขั้นตอนการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมซึ่งนำเสนอดังในรูปที่ 43 - รูปที่ 45 ประเด็นหลักของการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสรุปได้ดังนี้

1) การมองส่วนประกอบที่ปรากฏในฮีสโตแกรมของสมองเป็นกลุ่มของส่วนประกอบที่ต้องการและกลุ่มของส่วนประกอบที่ไม่ต้องการ กลุ่มของส่วนประกอบที่ต้องการในการประมวลผลได้แก่ csf, gray matter และ white matter มีช่วงค่าความเข้มแสงระหว่าง 0 – 255 เพราะฉะนั้นจึงสามารถปรับลดความละเอียดของภาพเอ็มอาร์ไอที่ใช้ในขั้นตอนการประมวลผลจาก 16 บิตเหลือ 8 บิต

2) การปรับค่าความเข้มแสงของภาพเอ็มอาร์ไอในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ ให้อยู่ระดับเดียวกับภาพในอันดับกลางเพื่อทำให้สามารถใช้ภาพได้มากที่สุดสำหรับการแยกบริเวณสมองเพื่อให้ได้บริเวณสมองที่สมบูรณ์มากที่สุด

3) การกำหนดกรอบของบริเวณในภาพเอ็มอาร์ไอและการหาฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยรวมทั้งการใช้การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมเพื่อให้ส่วนประกอบของสมองปรากฏเป็นยอดที่ชัดเจนในฮีสโตแกรม

4) การกำหนดค่าขีดแบ่งของส่วนประกอบที่เป็นเนื้อสมองจากการวิเคราะห์ยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม โดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ตามกรณีศึกษาที่ได้ศึกษาชุดภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งนำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย

5) การนำค่าขีดแบ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละภาพมาเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมสำหรับใช้กับทั้งชุดภาพ

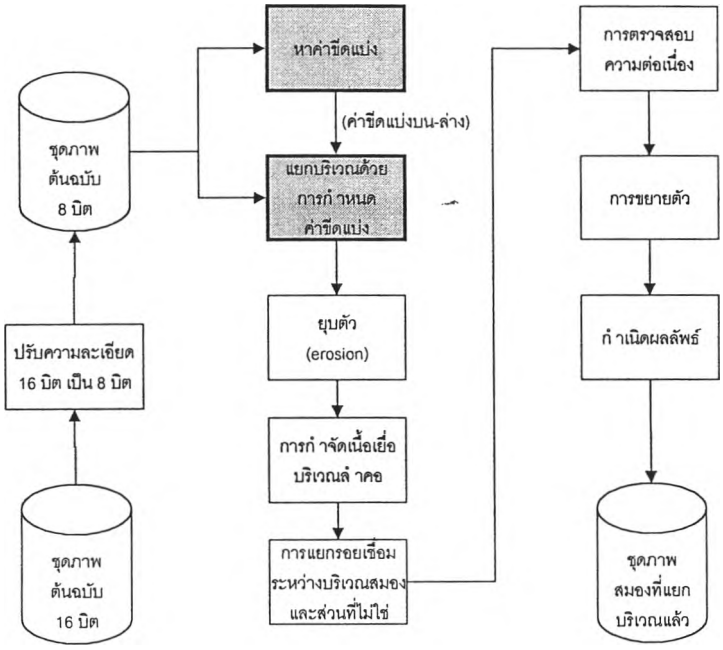
6) การใช้วิธีการยุบตัวกับภาพขีดแบ่งเพื่อทำให้เกิดการแบ่งแยกที่ชัดเจนขึ้นของบริเวณต่าง ๆ ที่ปรากฏในภาพขีดแบ่ง โดยเฉพาะการแบ่งแยกระหว่างบริเวณสมองกับส่วนอื่น ๆ ไม่ใช้แมสก์ที่ใหญ่เกินไปจนทำให้เกิดการผิดเพี้ยนเสียรูปทรงของบริเวณสมอง

7) การกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณที่ต่ำกว่าสมอง (บริเวณลำคอ) เพื่อลดโอกาสที่เนื้อเยื่อส่วนเกินนั้นจะถูกตรวจสอบและสำคัญผิดว่าเป็นบริเวณสมอง

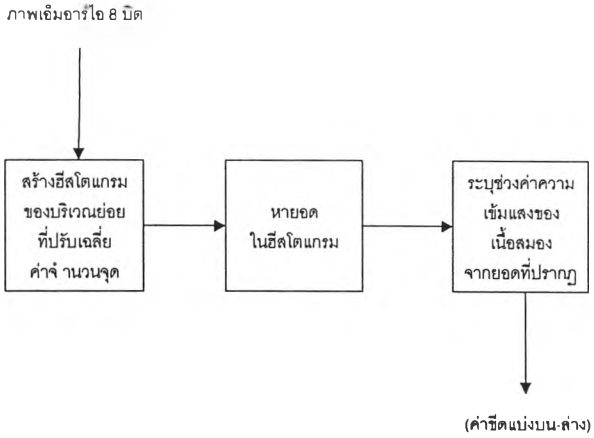
8) การแยกรอยเชื่อมระหว่างบริเวณสมองและส่วนที่ไม่ใช่สมองเพื่อทำให้ได้บริเวณสมองที่ถูกต้องและลดโอกาสที่จะเกิดการเชื่อมต่อไปถึงเนื้อเยื่อส่วนที่ไม่ใช่สมองอื่น ๆ ในขั้นตอนการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมอง

9) การตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมองของบริเวณที่ปรากฏในภาพขีดแบ่งตามสมมุติฐานว่าบริเวณสมองจะใหญ่ที่สุดในภาพ ภาพที่ดีที่สุดสำหรับเป็นจุดเริ่มต้นการตรวจสอบความต่อเนื่องคือภาพในอันดับกลางชุดภาพเนื่องจากมีบริเวณสมองมากที่สุด

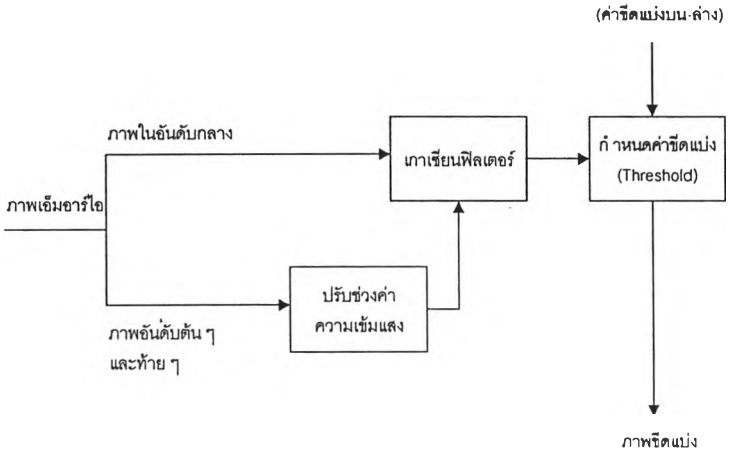
10) การใช้วิธีการขยายตัวของบริเวณที่เลือกเพื่อขดเชยขนาดของบริเวณสมองที่เล็กลงในขั้นตอนการประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัว



รูปที่ 43 ภาพรวมกระบวนการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 44 การหาค่าขีดแบ่งของเนื้อสมอง



รูปที่ 45 การแยกบริเวณด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง