พอลินุเคราะห์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

หลังจากที่การทดลอง เอ็นเอ็มอาร์ (NMR - Nuclear Magnetic Resonance) ได้เริ่มประสบผลสำเร็จในปี พ.ศ. 2489 โดยคณะวิจัยสองคณะที่มิได้สัมพันธ์กันเลย คือคณะของบลอคและคณะของเพอร์เซลล์ [1],[2] ความรู้ในด้านนี้ก็เริ่มเจริญก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในเรื่องต่างๆ ได้อย่างมากมาย เช่น ในการหาปริมาณน้ำมัน น้ำ หรือไขมัน ในสารหรือวัตถุบางประเภท เช่น ในเมล็ดข้าวโพด นมผง หรือในเมล็ดพืชที่สามารถสกัดน้ำมันมาใช้ประโยชน์ การทำเอ็นเอ็มอาร์สเปกโตรสโคปี (NMR spectroscopy) ซึ่งมีประโยชน์มากในทางด้านเคมีและชีวเคมี เช่น ในการหาลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล และที่กำลังเป็นที่สนใจในขณะนี้ได้แก่ การสร้างภาพโดยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ (NMR Imaging) ซึ่งใช้ประโยชน์มากในการศึกษาการทำงานและความผิดปกติของอวัยวะของสิ่งมีชีวิต

อย่างไรก็ดีในวิทยานิพนธ์นี้จะได้กล่าวถึงโดยละเอียดเฉพาะด้านการสร้างภาพโดยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ที่กำลังเป็นที่สนใจอยู่เท่านั้น

<u>การประมวลผลเป็นภาพด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์</u>

การประมวลผลเชิงภาพด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ เป็นการสร้างภาพแสดงความหนาแน่นของโปรตอน ที่มีอยู่ในอินทรีย์วัตถุทุกประเภท รวมทั้งร่างกายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพของภาคตัดขวาง (cross section) ของวัตถุตัวอย่าง หรือของอวัยวะของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะหากใช้วิธีการและเครื่องคอมพิวเตอร์ (coumputer) ที่มีคุณภาพสูงมากพอแล้ว เราจะได้ภาพที่เป็นรูปภาพสามมิติของอวัยวะภายในที่สนใจโดยไม่ต้องใช้วิธีผ่าตัดออกมาดูเลยทีเดียว

หลักการสร้างภาพ

กระบวนการสร้างภาพนี้ ทำได้โดยวางวัตถุตัวอย่างลงในสนามแม่เหล็กที่มีความลาดเชิงเส้น (linear gradiant magnetic field) แล้วกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กที่แกว่งกวัดด้วยความถี่วิทยุ (radio frequency oscillating magnetic field) ในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งโดยหลักการเอ็นเอ็มอาร์ ถ้าใช้ความถี่ที่เหมาะสมแล้วจะทำให้วัตถุตัวอย่างแผ่สนามที่ความถี่วิทยุออกมา และเมื่อตรวจวัดสัญญาณแม่เหล็กที่แผ่ออกมาแล้วนำไปวิเคราะห์ โดยวิธีการแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transformation) แล้ว ก็จะได้ข้อมูลซึ่งแสดงถึงความหนาแน่นของโปรตอนในวัตถุนั้น ซึ่งนำมาแสดงผลเป็นภาพได้

การประมวลผลเป็นภาพด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์นั้น เป็นวิธีที่ได้รับความสนใจจากทางการแพทย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ปราศจากอันตรายในด้านใดๆ ทั้งยังมีความสามารถในการแยกรายละเอียดสูง และยังมีความสามารถที่จะเลือกพิจารณาเฉพาะชนิดของสารที่กำลังสนใจอยู่ได้อีกด้วย โดยเฉพาะ ถ้าหากว่าจะนำไปเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการสร้างภาพอื่น ๆ เช่น เครื่องเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์โทมกราฟฟี่ (X - ray computerized tomography) แล้วจะพบว่าจะต้องใช้รังสีเอ็กซ์ลายผ่านตัวอย่างหรือสิ่งมีชีวิตนั้นเป็นเวลานานพอสมควร ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ แต่ถ้าใช้วิธีเอ็นเอ็มอาร์แล้วจะไม่มีปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเลย

ศักย์ภาพในการใช้งานวิธีนี้นั้น ยังรวมถึงความสามารถถึงการแยกแยะค่าเวลาแห่งการผ่อนคลาย (relaxation time) ที่แตกต่างกันของโมเมนต์แม่เหล็กของนิวเคลียส ซึ่งนั่นหมายถึงว่ามันสามารถที่จะแยกเนื้อเยื่อที่เป็นมะเร็งออกจากเนื้อเยื่อที่เป็นปกติได้ เนื่องจากว่าเนื้อเยื่อทั้งสองชนิดนี้จะมีค่าเวลาแห่งการผ่อนคลายแตกต่างกัน [3],[4]

โมเมนต์แม่เหล็กที่สำคัญที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โมเมนต์แม่เหล็กที่ได้จากโปรตอนที่ประกอบขึ้นเป็นน้ำในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

พัฒนาการของการสร้างภาพด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์

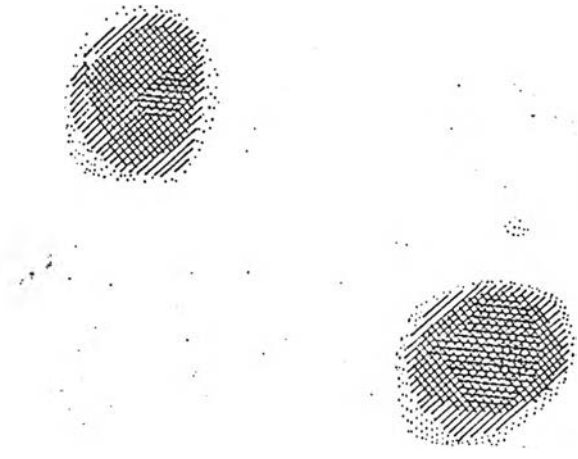
ผู้ที่ได้เสนอแนะแนวคิดเกี่ยวกับการประมวลผลเป็นภาพด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ ได้แก่ พี.ซี.ลาเตอบัวร์ (P.C.Lauterbur) [4],[5] และ ดามาเดียน (Damadian) [5] ซึ่งได้แสดงไว้ในปี พ.ศ.2513 ว่า วิธีการทางด้านเอ็นเอ็มอาร์นี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาการแจกแจงความหนาแน่นของโมเมนต์แม่เหล็กของสารตัวอย่างได้ทั้งในหนึ่ง สอง และสามมิติ

วิธีการซึ่ง พี.ซี.ลาเตอบัวร์ และดามาเดียน ได้แสดงไว้นี้มีหลักการพื้นฐานอยู่ที่ว่า ให้วางวัตถุตัวอย่างลงในสนามแม่เหล็กที่มีความลาดอย่างเชิงเส้น (linear magnetic field gradients) ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นสเปคตรัมของการเรโซแนนซ์ (resonance) ครั้งหนึ่งๆนั้น จะแสดงถึงการแจกแจงความหนาแน่นของโมเมนต์แม่เหล็กของนิวเคลียส (nuclear magnetic moment) ในแต่ละตำแหน่งความเข้มสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นภาพฉาย (projection) จากสามมิติของความหนาแน่นของโมเมนต์แม่เหล็กของนิวเคลียสไปยังแกนที่วางอยู่ในทิศทางเดียวกับความลาดของสนามแม่เหล็กที่เป็นหนึ่งมิติ

เมื่อทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยเปลี่ยนทิศทางของความลาดของสนามแม่เหล็กไปทุกๆครั้ง จนกระทั่งได้จำนวนของภาพฉายในหนึ่งมิติ ในทิศทางต่างๆ มากเพียงพอแล้ว ก็เป็นไปได้ที่จะทำการคำนวณย้อนกลับมา เพื่อให้ได้การแจกแจงความหนาแน่นของโมเมนต์แม่เหล็กของนิวเคลียส ในสอง หรือสามมิติ (การนำภาพฉายของวัตถุมาคำนวณกลับเป็นภาพนี้รู้จักกันดีในเรื่อง image reconstruction techniques, ลาเตอบัวร์เองเรียกวิธีการนี้ว่า Zeugmatography ซึ่งมาจากคำในภาษากรีก Zeugma หมายถึง การนำมารวมกัน [4]) ซึ่งความละเอียดของภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพฉายในทิศทางต่างๆกัน

ในปี พ.ศ. 2515 ลาเตอบัวร์ ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างภาพในสองมิติขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งสามารถสร้างได้ทั้งภาพที่แสดงถึงการแจกแจงความหนาแน่นของโมเมนต์แม่เหล็กของนิวเคลียส และภาพแสดงการแจกแจงของค่าเวลาแห่งการผ่อนคลายของมัน วัตถุตัว

อย่างที่ใช้เป็นหลอดแก้วขนาด 1 มิลลิเมตร บรรจุน้ำเข้าเต็มจำนวนสองหลอด ภาพที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1.1 [4]



รูปที่ 1.1 หนึ่งในจำนวนภาพแรกๆที่สร้างขึ้นมาได้ แสดงให้เห็นการแจกแจงในสองมิติของความหนาแน่นของโปรตอนที่อยู่ในหลอดทดลองที่บรรจุน้ำไว้สองหลอด [4]

นอกจากกลุ่มของลาเตอบัวร์ แล้วในระยะใกล้เคียงกัน ก็มีกลุ่มงานอื่น ๆ ที่ทำการศึกษาในเรื่องเดียวกันนี้อยู่อีกเหมือนกัน [4] ได้แก่ กลุ่มของแมนฟิลด์ (Mansfield) และกลุ่มของฮินชอว์ (Hinshaw) แห่งนอทติงแฮม (Nottingham) ประเทศอังกฤษ กลุ่มของฮัทชิสัน (Hutchison) แห่งอะเบอร์ดีน (Aberdeen) ประเทศอังกฤษ และกลุ่มของ เอินส์ (Ernst) ในซูริกส์ (Zurich) ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งต่างก็ประสบความสำเร็จในการสร้างภาพโดยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ เช่นกัน แต่อย่างไรก็ดีในช่วงแรกๆ นี้ กระบวนการที่ใช้ยังต้องใช้เวลาในการทำงานมากและใช้งานได้กับวัตถุต้องอย่างขนาดเล็กเท่านั้น

ต่อมา ฮินชอว์ [4] ก็ประสบความสำเร็จในการสร้างภาพในขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยในปี พ.ศ.2520 เขาได้ทำการทดลองสร้างภาพภาคตัดขวางของแขนท่อนล่างของมนุษย์และสัตว์ที่ยังมีชีวิตที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 8 เซนติเมตร ภาพที่สร้างขึ้นมานี้ประกอบด้วย 128 x 128 จุดภาพ นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการทำงานยังลดลงจากประมาณสองชั่วโมงเป็นประมาณ 10 นาที

วิธีการในปัจจุบัน

เมื่อวิชาการและเทคนิคในการสร้างภาพได้เริ่มต้นขึ้นแล้วจากจุดนี้ก็มีผู้ที่ได้พัฒนาวิชาการในด้านนี้ไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านความคมชัดของภาพและความเร็วในการทำงานจนกระทั่งมีความสามารถในการสร้างภาพตัดขวางของร่างกายมนุษย์ได้ใกล้เคียงกับระบบเอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์เทอร์โมกราฟฟี่ ทำให้เป็นที่สนใจกันมากในวงการแพทย์

นอกจากนี้เทคนิคในการสร้างภาพก็ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งใช้ภาพฉายของความหนาแน่นของโปรตอนหลายชุดมาประกอบกันตำแหน่งเป็นภาพ ก็มีเทคนิคใหม่ซึ่งสามารถสร้างภาพขึ้นมาได้ ซึ่งสามารถให้ภาพออกมาได้โดยตรงทั้งภาพสองและสามมิติ

วิธีการที่ปรับปรุงใหม่นี้จะใช้วิธีวัดสัญญาณ เอฟไอดี (FID - Free Induction Decay) ออกมาโดยตรงแล้วไปผ่านการแปลงแบบฟูเรียร์ในลักษณะต่างๆ ตามแต่ว่าจะใช้เทคนิคแบบใด ซึ่งวิธีการนี้นอกจากจะแสดงความหนาแน่นของโปรตอนได้แล้วยังสามารถแสดงถึงค่าพารามิเตอร์อื่นของเอ็นเอ็มอาร์ เช่น ค่าเวลาแห่งการผ่อนคลาย ได้อีกด้วย

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้กล่าวถึง หฤษฎีพื้นฐานของเอ็นเอ็มอาร์ การสร้างภาพโดยใช้วิธีเอ็นเอ็มอาร์ และโดยเฉพาะวิธีการและเทคนิคในการแปลงแบบฟูเรียร์ซึ่งเป็นวิธีการหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากว่าเทคนิคนี้เป็นวิธีที่ให้คุณภาพของภาพสูงและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องการสร้างภาพโดยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ ซึ่งในส่วนนี้จะมีการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้น เพื่อใช้ทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง โดยข้อมูลของการทดลองจะได้มาจากการทดลองที่ทำไว้ก่อนแล้ว และบันทึกลงในแฟ้มข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์ แล้วจึงให้โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้อ่านขึ้นมาทำการประมวลผลอีกต่อ

เพื่อ และผลของการวิเคราะห์ออกแสดงเป็นรูปภาพ

ในส่วนการประมวลผลนี้ เนื่องจากข้อมูลที่บันทึกไว้ชุดหนึ่งๆนั้นมีเป็นจำนวนมาก หากจะนำวิธีการแปลงแบบฟูเรียร์อย่างไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transformation) มาใช้แล้วจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานมาก จึงได้นำเทคนิควิธีการทำการแปลงแบบฟูเรียร์อย่าง เร็ว (Fast Fourier Transformation) เข้ามาใช้ในการประมวลผล ซึ่งจะทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลงอย่างมาก จนเป็นที่น่าพอใจ และนอกจากการประมวลผลโดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์แล้วยังได้พัฒนาวิธีการแสดงภาพในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้แสดงภาพที่ได้จากการประมวลผลได้อย่างถูกต้องและเข้าใจได้ง่ายตามความต้องการอีกด้วย

เหตุที่ในส่วนการประมวลผลและการแสดงผลออกมารูปภาพนี้ ได้มีการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเองโดยเฉพาะ เนื่องจากว่าในปัจจุบันยังไม่ปรากฏว่ามีผู้ผลิตโปรแกรมสำเร็จรูปรายใดผลิตโปรแกรมที่มีความสามารถเช่นนี้ออกจำหน่าย และการเขียนโปรแกรมขึ้นเองนี้ยังทำให้สามารถนำโปรแกรมไปพัฒนาต่อเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ ซึ่งแตกต่างจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ไม่สามารถแก้ไขหรือพัฒนาปรับปรุงโปรแกรมได้

ในการทดลองที่ปฏิบัตินี้จะใช้หลอดแก้ว 3 หลอด บรรจุน้ำเต็มเป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยรัศมีของวัตถุตัวอย่างรวมกันไม่เกิน 1 นิ้ว ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าสามารถสร้างภาพแสดงความแตกต่างของโปรตอนของน้ำในหลอดทดลองทั้งสามให้เห็นแยกจากกันได้เป็นที่น่าพอใจ