



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโค”

โดย ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

และ

ศูนย์เครือข่ายเทคโนโลยีเนื้อสัตว์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มีนาคม พ.ศ.2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโค”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทสรุปโครงการวิจัย	IX
บทคัดย่อภาษาไทย	XIII
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	XIV
1.ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-1
1.1 วัตถุประสงค์	1-2
1.2 ขอบเขต	1-2
1.3 กรอบแนวคิด	1-3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-3
1.5 เป้าหมาย	1-4
1.6 หน่วยงานที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	1-4
2.การทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 การประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดเนื้อในต่างประเทศและในประเทศไทย	2-1
2.2 การวัดคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิคต่างๆ	2-2
2.3 การใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพเนื้อ	2-3
3.วิธีการดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 วิธีการวิจัย	3-1
3.1.1 การศึกษาวิธีการจัดเกรดเนื้อโคและและเทคนิคการวัดระดับไขมันแทรกตามมาตรฐาน ของประเทศต่างๆและของประเทศไทย	3-1
3.1.1.1 มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) และแคนาดา	3-2
3.1.1.2 มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (Japanese BMS)	3-4
3.1.1.3 มาตรฐานของประเทศไทย: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.)	3-6
3.1.1.4 มาตรฐานของประเทศไทย: สหกรณ์โคนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน (KU-Beef)	3-7
3.1.1.5 มาตรฐานของประเทศไทย: สหกรณ์โคนมโพธิ์โพธิ์ (Thai-French Beef)	3-8
3.1.2 การวัดปริมาณไขมันแทรกในเนื้อด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ	3-9
3.1.2.1 การกำหนดและสร้างดัชนีการวัดระดับไขมันแทรก	3-9
3.1.2.2 การทดสอบเทคนิคประมวลผลภาพด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB 7.0	3-10

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
3.1.2.3 การพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพด้วย Visual C++ บน Microsoft Visual Studio.NET (2008)	3-10
3.1.2.4 การทดสอบและปรับปรุงการทำงานของซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้น	3-11
3.1.2.5 โครงสร้างระเบียบวิธีการคำนวณ (Algorithm)	3-11
3.1.3 รายละเอียดการคำนวณที่ใช้ในเทคนิคการประมวลผลภาพ	3-13
3.1.3.1 รูปแบบข้อมูลภาพที่ใช้ในการวิจัย	3-13
3.1.3.2 องค์ประกอบของข้อมูลภาพแบบดิจิทัล	3-13
3.1.3.3 การเลือกบริเวณที่กำหนดให้เป็นพื้นที่วัดปริมาณไขมันแทรก	3-14
3.1.3.4 การแปลงข้อมูลภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา	3-15
3.1.3.5 การคำนวณหาค่าจุดตัดระดับสีเทา	3-16
3.1.3.6 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรกและการแสดงผล	3-18
3.1.3.7 การจัดเกรดคุณภาพเนื้อตามปริมาณไขมันแทรกและการแสดงผล	3-19
3.2 แผนการวิจัย	3-21
4.ผลการวิจัย	4-1
4.1 การทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ(MATLAB) กับภาพสังเคราะห์	4-1
4.1.2 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวนอน (Horizontal Strips)	4-3
4.1.3 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวตั้ง (Vertical Strips)	4-7
4.1.4 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบตารางหมากรุก (Chess-Board or Cross Strips)	4-11
4.2 การทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ(MATLAB) กับภาพสังเคราะห์แบบอื่นๆ	4-15
4.2.1 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบจุดสีขาวที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Random Distribution)	4-16
4.2.2 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบจุดสีขาวที่มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Distribution)	4-19
4.3 การทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ(MATLAB) กับภาพตัวอย่างจริงจาก TF-Beef	4-20
4.3.1 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์ค่าระดับไขมันแทรกและผลวิเคราะห์ทางสถิติ	4-20
4.3.2 ผลการวัดค่าดัชนีการกระจายตัวของไขมันแทรก (Dispersion Index Measurements)	4-31

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
4.4 การทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ (MATLAB) กับภาพตัวอย่างจริงจาก KU-Beef	4-32
4.4.1 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์ค่าระดับไขมันแทรกและผลวิเคราะห์ทางสถิติ	4-32
4.4.2 ผลการวัดค่าดัชนีการกระจายตัวของไขมันแทรก (Dispersion Index Measurements)	4-41
4.5 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรกระหว่างเนื้อ TF-Beef และ KU-Beef	4-42
4.6 การทดสอบซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้น (Meat Marbling 1.0) กับภาพตัวอย่างจริง	4-43
4.6.1 ผลการทดสอบการทำงาน Meat Marbling 1.0 (ก่อนการปรับปรุง)	4-43
4.6.2 ผลการทดสอบการทำงาน Meat Marbling 1.0 (หลังการปรับปรุง)	4-46
5.สรุปผลและวิจารณ์	5-1
6.เอกสารอ้างอิง	6-1
7.ภาคผนวก	7-1

สารบัญภาพ

รูปที่

หน้า

3.1 แผนภาพแสดงวิธีการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน USDA.....	3-2
3.2 แผนภาพแสดงระดับคะแนนของปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน USDA.....	3-3
3.3 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน ของประเทศญี่ปุ่น(Japanese BMS).....	3-4
3.4 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน ของประเทศไทย (มกอช).....	3-6
3.5 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน ของสหกรณ์โคนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน (KU-Beef).....	3-7
3.6 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน ของสหกรณ์โคนมโพธิ์ยางคำ (Thai-French Beef).....	3-8
3.7 ฟังก์ชันแสดงโครงสร้างระเบียบวิธีการคำนวณที่ใช้ทดสอบบน MATLAB และ นำไปใช้ในซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้น (Meat Marbling 1.0).....	3-12
3.8 การเลือกพื้นที่สนใจ (ROI).....	3-14
3.9 การแปลงข้อมูลภาพสี (RGB) เป็นข้อมูลภาพระดับสีเทาและสีปฐมภูมิ R, G และ B.....	3-15
3.10 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพระดับสีเทาที่มีการแบ่งโซนที่ชัดเจน ระหว่างพื้นหลังของภาพและวัตถุในภาพ.....	3-16
3.11 การหาจุดตัดค่าระดับสีเทา (Threshold level) จากฮิสโตแกรม เพื่อใช้แยกภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำ.....	3-17
3.12 การเปลี่ยนภาพระดับสีเทา (Gray scale) ให้เป็นภาพขาวดำ (Binarized image) ด้วยค่า Threshold.....	3-18
3.13 การแสดงผลการคำนวณหาพื้นที่สีขาวและค่าดัชนีการกระจายตัว.....	3-19
4.1 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัว ของสีขาวในแนวนอนที่มีจำนวนแถบเป็น 2 และ 4 แถบตามลำดับ.....	4-3
4.1 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัว ของสีขาวในแนวนอนที่มีจำนวนแถบเป็น 5 และ 10 แถบตามลำดับ.....	4-4
4.1 (c) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัว ของสีขาวในแนวนอนที่มีจำนวนแถบเป็น 20 และ 40 แถบตามลำดับ.....	4-5

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.2 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบแถบขาวสลับดำในแนวนอน (Horizontal Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างกัน.....	4-6
4.3 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวตั้งที่มีจำนวนแถบเป็น 2 และ 4 แถบตามลำดับ.....	4-7
4.3 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวตั้งที่มีจำนวนแถบเป็น 5 และ 10 แถบตามลำดับ.....	4-8
4.3 (c) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวตั้งที่มีจำนวนแถบเป็น 20 และ 40 แถบตามลำดับ.....	4-9
4.4 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบแถบขาวสลับดำในแนวตั้ง (Vertical Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างกัน.....	4-10
4.5 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุกขนาด 2x2 และ 4x4	4-11
4.5 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และ มีการวางตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุกขนาด 8x8 และ 16x16	4-12
4.5 (c) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุกขนาด 32x32 และ 64x64	4-13
4.6 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบตารางหมากรุก (Chess-Board or Cross Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างกัน.....	4-14
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์ ทั้ง 3 แบบ (Horizontal, Vertical and Cross Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างกัน.....	4-14
4.8 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 1% และ 5 % มีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform Random Distribution)	4-16
4.8 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 10 % และ 15 % มีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform Random Distribution)	4-17
4.9 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบกระจายแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform Random Distribution) ที่มีจำนวนจุดสีขาวต่างกัน	4-18
4.10 ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับพื้นที่ 10 % และมีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบกระจายจุกตัว (2D-Weibull Distribution)	4-19

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.11 ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวยกกับสีดำ 10 % และมีการกระจายตัวของจุดสีขาวยกแบบกระจุกตัว (2D-Extreme Value Distribution)	4-19
4.12 การเลือกบริเวณพื้นที่ (ROI) ที่จะทำการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อ	4-21
4.13 (a) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 3.0	4-22
4.13 (b) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 3.5.....	4-23
4.13 (c) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 4.0.....	4-24
4.13 (d) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 4.5.....	4-25
4.14 (a) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าปริมาณไขมันแทรกที่วัดได้จากการประมวลผลภาพตัวอย่างเนื้อ Rib-eye จาก Thai-French Beef ที่กำหนดเกรดมาจากผู้เชี่ยวชาญของสหกรณ์การผลิตโคเนื้อ โพนยางคำ	4-26
4.14 (b) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าปริมาณไขมันแทรกที่วัดได้จากการประมวลผลภาพตัวอย่างเนื้อ Rib-eye จาก Thai-French Beef โดยการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ	4-27
4.15 การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยต่อค่าความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญกับการจัดเกรดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ.....	4-29
4.16 ผลการวัดค่าการกระจายตัวของไขมันแทรก (Dispersion Index) ของกลุ่มตัวอย่าง TF	4-31
4.17 (a) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ KU-Beef G1.....	4-33
4.17 (b) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ KU-Beef G2.....	4-34
4.17 (c) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ KU-Beef G3.....	4-35

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 (a) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวัดวิเคราะห์ปริมาณของไขมันแทรก จากตัวอย่างเนื้อ Rib-eye จาก KU-Beef ที่กำหนดเกรดมาจากผู้เชี่ยวชาญ ของสหกรณ์การผลิตโคเนื้อกำแพงแสน.....	4-36
4.18 (b) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการวัดวิเคราะห์ปริมาณของไขมันแทรก จากตัวอย่างเนื้อ Rib-eye จาก KU-Beef โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ	4-37
4.19 การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยต่อค่าความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์ ไขมันแทรกของกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญกับการจัดเกรดด้วย เทคนิคการประมวลผลภาพ.....	4-39
4.20 ผลการวัดค่าการกระจายตัวของไขมันแทรก (Dispersion Index) ของกลุ่มตัวอย่าง KU-Beef.....	4-41
4.21 เปรียบเทียบค่าปริมาณไขมันแทรกในเนื้อในภาพรวมจากตัวอย่างของสหกรณ์ผู้ผลิตโคเนื้อ กำแพงแสน (KU-beef) และสหกรณ์ผู้ผลิตโคเนื้อโพนยางคำ(Thai-French Beef)	4-42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Quality Grades และค่า BMS: (ที่มา-Japanese BMS)	3-5
3.2 เปรียบเทียบมาตรฐาน USDA กับมาตรฐาน Japanese BMS: (ที่มา-Japanese BMS).....	3-5
3.3 เกณฑ์การจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรก (Thai-French Beef).....	3-20
3.4 เกณฑ์การจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรก (KU-Beef)	3-20
4.1 เปรียบเทียบผลการจัดเกรดจากปริมาณไขมันแทรกโดยผู้เชี่ยวชาญกับ เทคนิคการประมวลผลภาพ.....	4-28
4.2 เกณฑ์การกำหนดระดับชั้นคุณภาพและค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรก ประจำแต่ละช่วงชั้น (TF)	4-30
4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของการจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญกับผลจากการ จัดเกรดโดยเทคนิคการประมวลผลภาพ.....	4-30
4.4 เปรียบเทียบผลการจัดเกรดจากปริมาณไขมันแทรกโดยผู้เชี่ยวชาญกับ เทคนิคการประมวลผลภาพ.....	4-38
4.5 เกณฑ์การกำหนดระดับชั้นคุณภาพและค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรก ประจำแต่ละช่วงชั้น (KU)	4-40
4.6 เปรียบเทียบผลของการจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญ (KU-Beef) กับเทคนิคการประมวลผลภาพ.....	4-40

บทสรุปโครงการวิจัย

สัญญาเลขที่ RDG 5220039

ชื่อโครงการ “การพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโค”

หัวหน้าโครงการ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ (02)326-4550 โทรสาร (02) 326-4550 อีเมล kjnirudh@kmitl.ac.th, nirudh@yahoo.com

ความสำคัญ/ความเป็นมา

การประเมินคุณภาพและจัดเกรดเนื้อของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมเนื้อโค ด้วยการประเมินหาปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อบริเวณสันนอกหรือ Rib-eye แล้วจัดระดับคะแนน (Marbling score and grading) ปัจจุบันมีวิธีการที่ใช้กันอยู่ทั่วไปทั้งในและต่างประเทศ คือการใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการพิจารณาเนื้อเป็นผู้ประเมินและจัดระดับคุณภาพ โดยการวัดสีเนื้อและไขมันแล้วพิจารณาด้วยการมองเห็น (Visual appraisal) กับชุดภาพตัวอย่างที่ใช้เป็นมาตรฐานในลักษณะของภาพต้นแบบพร้อมตัวเลขระบุคุณภาพประจำแต่ละระดับ (Level score) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ได้เริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้เป็นเครื่องมือในการวัดปริมาณไขมันแทรกและจัดเกรดเนื้อแล้ว ส่วนประเทศอื่นๆ เช่น สหรัฐอเมริกามีพัฒนาการทางเทคโนโลยีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ก้าวหน้าไปมาก แต่ยังไม่มีการนำมาใช้อย่างจริงจังเหมือนในกรณีของประเทศญี่ปุ่น สำหรับประเทศไทยนั้นกล่าวได้ว่ายังไม่มีเทคนิคการวัดและขาดเครื่องมือวัดที่จะใช้ในการหาปริมาณไขมันแทรกและจัดเกรดเนื้อได้ทันตามพัฒนาการทางเทคโนโลยีดังกล่าว (นอกจากการนำเข้าจากต่างประเทศ) อย่างไรก็ตามด้วยองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการประมวลผลภาพที่มีการวิจัยและประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกสาขา อีกทั้งพัฒนาการและความสามารถของคอมพิวเตอร์ปัจจุบันมีสูงมากในราคาที่ถูกลงพร้อมกับราคาของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ถูกลงอย่างมากเช่นเดียวกัน จึงทำให้เทคนิคดังกล่าวมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพเพื่อกำหนดเกรดของเนื้อจากข้อมูลภาพแบบดิจิทัล สำหรับกลุ่มเกษตรกรและสหกรณ์ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคในประเทศไทย โดยมีแนวคิดหลักประการแรกคือ เพื่อพัฒนาวิธีการวัดวิเคราะห์และจัดเกรดของเนื้อให้มีความถูกต้องมากขึ้นโดยนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ ประการต่อมา เป็นการพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยหรือทดแทนวิธีการประเมินแบบดั้งเดิมที่ใช้การพิจารณาด้วยสายตาของผู้ประเมินแต่เพียงอย่างเดียวซึ่งมีความผิดพลาดและเกิดความไม่เป็นธรรมจากการคิดมูลค่าของเนื้อโคที่ผิดไปจากมูลค่าที่แท้จริง ประการสุดท้าย การใช้ซอฟต์แวร์

คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และจัดเกรดเนื้อ ทำให้มีความสะดวก รวดเร็วในการทำงานและสามารถจัดเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์และข้อมูลภาพสำหรับใช้ในกระบวนการ ตรวจสอบแบบย้อนกลับได้ ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของระบบมาตรฐานและระบบคุณภาพที่ใช้กันในระดับสากล

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาวิธีการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคจากการวัดปริมาณและการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อบริเวณ Rib-eye โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์
2. เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่มีฟังก์ชันการวิเคราะห์สอดคล้องกับดัชนีชี้วัดที่ได้กำหนดขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดแทนวิธีการทางเคมีและทดแทนวิธีการพิจารณาด้วยการมองและตัดสินใจตามประสบการณ์เฉพาะบุคคลของผู้เชี่ยวชาญ
3. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพกับวิธีการใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน

ผลการวิจัย

1. ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อโค สามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์ภาพบริเวณ Rib-eye โดยการแยกพื้นที่สีขาวซึ่งเป็นส่วนที่เป็นไขมันแทรกและพื้นที่สีแดงซึ่งเป็นส่วนของเนื้อแดง โดยความถูกต้องของการวัดขึ้นอยู่กับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพเพื่อแยกพื้นที่ทั้งสองส่วนของภาพออกจากกันเป็นหลัก นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ได้แก่ คุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพและการจัดแสงขณะถ่ายภาพเป็นต้น
2. การประเมินคุณภาพและจัดเกรดเนื้อสามารถใช้ตัวแปรอื่นนอกเหนือจากค่าปริมาณไขมันแทรกได้เช่น ค่าการกระจายตัวของไขมันแทรก โดยผลจากการทดสอบกับภาพจริงแสดงให้เห็นว่าในทุกตัวอย่างมีค่าการกระจายตัวของไขมันแทรกที่ดี ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการจัดเกรดเนื้อจากค่าปริมาณไขมันแทรกอย่างเดียว (ตามมาตรฐาน) ถือได้ว่าเพียงพอ
3. การทดสอบกับตัวอย่างภาพจริงของเนื้อจากสหกรณ์โคเนื้อ โพนยางคำ (Thai-French Beef) และจากสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน (KU-Beef) แสดงให้เห็นถึง ค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันแทรกโดยรวมของเนื้อจากสหกรณ์โพนยางคำมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันแทรกโดยรวมของเนื้อจากสหกรณ์กำแพงแสน ($TF = 19.36 \% > KU = 11.53\%$) และค่าสูงสุดที่วัดได้จากตัวอย่างเนื้อของทั้งสองสหกรณ์มีค่าไม่เกิน 30%

4. จากการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบผลการประเมินและจัดเกรดเนื้อในกรณีการใช้ผู้เชี่ยวชาญกับกรณีการใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพกับข้อมูลภาพตัวอย่างชุดเดียวกันแสดงให้เห็นว่า การใช้สายตามนุษย์ (ผู้เชี่ยวชาญ) ในการประเมินระดับไขมันแทรกและการจัดเกรดเนื้อ มีความคลาดเคลื่อนสูงและมีค่าความแปรปรวนของปริมาณไขมันแทรกที่วัดได้สูงมากเมื่อเทียบกับกรณีการใช้เทคนิคประมวลผลภาพ
5. ได้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพสำหรับใช้เป็นเครื่องมือวัดปริมาณไขมันแทรกและจัดเกรดเนื้อ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับช่วยในการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคในประเทศไทย
2. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกษตรกรและสหกรณ์ จะได้รับผลประโยชน์อย่างเป็นธรรม เมื่อมีการใช้วิธีการประเมินและจัดระดับคุณภาพที่ถูกต้องตามความเป็นจริงโดยอาศัยเทคนิคและเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้น
3. ผู้ผลิต ผู้แปรรูป ผู้จำหน่ายและผู้บริโภคชั้นสุดท้าย สามารถทราบข้อมูลเชิงคุณภาพของเนื้อโคได้ทันทีจากข้อมูลภาพถ่ายในกระบวนการผลิตและข้อมูลภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสำเร็จรูป ณ จุดจำหน่าย หรือ อาจได้จากข้อมูลคุณภาพที่ได้รับการประเมินและบันทึกไว้แล้วจากระบบการตรวจสอบแบบย้อนกลับ
4. เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นนี้เป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพที่สามารถพัฒนาและสร้างขึ้นมาใช้ได้เองภายในประเทศสามารถทดแทนหรือลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้ ซึ่งในอนาคตสามารถนำเอาเทคนิคอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพและการวัดที่พัฒนาให้มีความสามารถและมีความถูกต้องดีขึ้นมาปรับใช้ได้

หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. กลุ่มเกษตรกรและสหกรณ์การเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเนื้อโค
2. ผู้ผลิตเนื้อโคสำหรับการส่งออกและจำหน่ายภายในประเทศ
3. ผู้ประกอบการขายเนื้อโคทั้งปลีกและส่ง
4. หน่วยงานราชการและองค์กรที่เกี่ยวข้องในการกำหนดมาตรฐานและการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เนื้อโค

การประชาสัมพันธ์

1. การนำเสนองานวิจัยแบบโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 17-18 ธันวาคม 2552 ณ โรงแรมรามารการเค็นส์ กรุงเทพมหานคร จัดการประชุมโดยศูนย์เครือข่ายเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. การนำเสนองานวิจัยแบบโปสเตอร์ในการประชุมวิชาการเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 17-18 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมรามารการเค็นส์ กรุงเทพมหานคร จัดการประชุมโดยศูนย์เครือข่ายเทคโนโลยีเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. กำลังอยู่ในระหว่างการเรียบเรียงผลการวิจัยทั้งหมดเพื่อส่งลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ (International Journal) ในสาขาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งคาดว่าจะได้รับการลงตีพิมพ์ได้หลังจากปิดโครงการวิจัยแล้ว

การพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโค

Development of Image Analysis Software for Beef Quality Grading

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโค จากการวัดปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพหาสัดส่วนของพื้นที่ระหว่างบริเวณที่เป็นไขมันแทรกและบริเวณที่เป็นเนื้อแดงจากภาพถ่ายหน้าตัดของเนื้อบริเวณ Rib-eye ทดแทนวิธีจัดเกรดเนื้อจากการประเมินด้วยสายตามนุษย์ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนสูง เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ข้อมูลภาพสัณเคราะห์ที่ทราบค่าสัดส่วนที่แน่นอนของพื้นที่สีขาวและสีดำซึ่งแทนพื้นที่ของไขมันแทรกและเนื้อแดงตามลำดับ จำนวนทั้งหมด 18 รูปแบบที่แตกต่างกันจะนำมาทดสอบพร้อมกับข้อมูลภาพจริงจากตัวอย่างของสหกรณ์โคเนื้อโพธิ์ยางคำ (Thai-French Beef) จำนวน 259 ตัวอย่าง และสหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน (KU-Beef) จำนวน 148 ตัวอย่าง ผลการทดสอบกับภาพสัณเคราะห์พบว่าเทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามารถคำนวณหาค่าสัดส่วนของพื้นที่สีขาวและสีดำได้อย่างถูกต้อง และผลการทดสอบกับภาพตัวอย่างจริงพบว่า ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อที่วัดได้จากทั้งสองสหกรณ์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 30% โดยค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันแทรกของตัวอย่างจากสหกรณ์โคเนื้อโพธิ์ยางคำ ($TF = 19.36\%$) มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันแทรกของตัวอย่างจากสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน ($KU = 11.53\%$) นอกจากนั้น ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของตัวอย่างเนื้อทั้งหมดที่ได้รับการจัดเกรดจากผู้เชี่ยวชาญทั้งสองสหกรณ์พบว่ามีความแปรปรวนของปริมาณไขมันแทรกที่วัดได้ในทุกกลุ่มตัวอย่างสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแปรปรวนของปริมาณไขมันแทรกที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการจัดเกรดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการวิเคราะห์ภาพสามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดแทนการใช้สายตามนุษย์เพื่อลดความผิดพลาดในการประเมินและจัดเกรดเนื้อได้

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การวัดปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ, การจัดเกรดเนื้อ, Rib-eye

Development of Image Analysis Software for Beef Quality Grading

Abstract

This research proposes development of image processing software as a tool for meat grading purpose. The technique relies on analysis and measurement of meat marbling from image of the Rib-eye area. In contradict to a conventional technique, human error from visual appraisal is diminished or even eliminated by using computer vision system. To examine an accuracy of the proposed technique, a number of synthetic images with known ratio of white and dark area had been tested. Additionally, real data of 259 Rib-eye images from Thai-French Beef and 148 from KU-Beef were tested. The test results show that in case of synthetic image data, the proposed technique proofs accurate measurement of all. In case of testing on real image data, the technique can probe and indicate that averaged value of marbling fat from TF-Beef (TF=19.36%) is higher than that of KU-Beef (KU=11.53%), whereas the maximum values of marbling fat measured from both do not exceed 30%. Moreover, meat grading results from the expert of both have statistically high variance of marbling score than that of the results from image processing. Those results illustrate that the proposed technique has potential to apply as a tool of meat grading task.

Keywords: Image processing, Marbling fat measurement, Meat grading, Rib-eye

การพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโค

Development of Image Analysis Software for Beef Quality Grading

1.ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดเนื้อโคของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมเนื้อโค โดยการวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันนอกเพื่อประเมินหาปริมาณเนื้อแดงและการวัดระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ Rib-eye ด้วยวิธีการจัดระดับคะแนน (Marbling score and grading) ปัจจุบันมีความจำเป็นมากขึ้นทั้งในส่วนของการผลิต การจำหน่ายและการส่งออก โดยต้องใช้วิธีการที่มีมาตรฐานและเชื่อถือได้ รวมทั้งยังต้องเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับกันระหว่างผู้ผลิต ผู้จำหน่ายและผู้บริโภค ทั้งนี้วิธีการที่ใช้กันอยู่ทั่วไปขณะนี้ คือการใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านการพิจารณาเนื้อแบบต่างๆเป็นผู้ประเมินและจัดระดับคุณภาพ (Monin, G. 1998; *Meat Technology Update: Newsletter* 2/04. 2004; *Meat Technology Update: Newsletter* 3/05. 2005) โดยการวัดสีของเนื้อและไขมันของเนื้อตัวอย่างที่ต้องการจัดระดับคุณภาพ แล้วพิจารณาด้วยการมองเห็น (Visual inspection and appraisal) กับชุดภาพตัวอย่างที่ใช้เป็นมาตรฐานในลักษณะของภาพต้นแบบพร้อมตัวเลขระบุคุณภาพประจำแต่ละระดับ (Level score) เช่นมาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตและส่งออกเนื้อประเทศญี่ปุ่น (Japanese Meat Grading Association-BMS. 1998) สมาคมผู้ผลิตและส่งออกเนื้อสหรัฐอเมริกา (USDA-BMS. 1996) มาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตและส่งออกเนื้อประเทศออสเตรเลีย (Meat Standard Australia-MSA) และมาตรฐานของประเทศนิวซีแลนด์ (New Zealand Meat Product Board) เป็นต้น จากนั้นผู้เชี่ยวชาญจะทำการกำหนดระดับคุณภาพด้วยการตัดสินใจตามประสบการณ์เฉพาะบุคคล (Experience-based decision making) ทำให้มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนในการระบุคุณภาพและอาจเกิดความแตกต่างกันในระหว่างผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน (Tan, J. 2004) นอกจากนี้แล้วเมื่อมีปริมาณของตัวอย่างที่ต้องพิจารณาเป็นจำนวนมาก ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดมากขึ้นจากการที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างได้อย่างแม่นยำเหมือนกันทุกครั้งและเกิดความเหนื่อยล้าจากการมองเห็นภาพ (Sadasivan, S. et al. 2007) อย่างไรก็ตาม ปัญหาดังกล่าวในบางประเทศได้รับการแก้ไขบ้างแล้วเช่น ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาได้เริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านการวัดและวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer vision system) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรมากขึ้น (Brosnan, T. et al. 2004) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้เป็นระบบสนับสนุนหรือทดแทนวิธีการวัดแบบดั้งเดิมในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโค เพื่อลดความผิดพลาดจากการพิจารณาด้วยสายตาตามมนุษย์ในการวัดและกำหนดเกรดคุณภาพ (Toraichi, K. et al. 2002) ส่วนในประเทศไทยนั้นใช้วิธีการประเมินและจัดเกรดคุณภาพเนื้อด้วยการตัดสินใจตามประสบการณ์เฉพาะบุคคลเป็นหลักและยังขาดเครื่องมือวัดและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องสำหรับการวัดและวิเคราะห์เพื่อการประเมินคุณภาพ ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่เป็นธรรมต่อเกษตรกรผู้ผลิตโคหรือผู้บริโภคได้ ซึ่งหากเกษตรกรผู้ผลิตและแปรรูป

รวมทั้งผู้ส่งออกในอุตสาหกรรมผลิตเนื้อโคต้องการจัดเกรดคุณภาพเนื้อให้ได้มาตรฐานแล้ว จำเป็นต้องซื้อซอฟต์แวร์สำเร็จรูปราคาแพงจากต่างประเทศ ทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราจากการนำเข้าเทคโนโลยีการวัดและวิเคราะห์จากต่างประเทศทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ตามปริมาณการเติบโตของตลาด ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการประเมินคุณภาพและจัดเกรดของเนื้อโค ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โดยพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพที่มีระเบียบวิธีคำนวณในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยและทดแทนการพิจารณาด้วยสายตาของมนุษย์แต่เพียงอย่างเดียว เพื่อลดความผิดพลาดและทำให้มีความสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งมีความสามารถในการทำซ้ำกันโดยมีความถูกต้องในระดับเดียวกัน (Accuracy and repeatability) ซึ่งสายตาของมนุษย์ไม่สามารถทำได้ (Basset, R. et al. 2002)

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคจากการวัดปริมาณและการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อบริเวณ Rib-eye โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์
2. เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่มีฟังก์ชันการวิเคราะห์สอดคล้องกับดัชนีชี้วัดที่ได้กำหนดขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดแทนวิธีการทางเคมีและทดแทนวิธีการพิจารณาด้วยการมองและตัดสินใจตามประสบการณ์เฉพาะบุคคลของผู้เชี่ยวชาญ
3. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินเกรดเนื้อโคด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพกับวิธีการใช้บุคคลผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษามาตรฐาน การกำหนดดัชนีชี้วัด วิธีการวัดและประเมินเพื่อการจัดเกรดของเนื้อโคที่ใช้ในต่างประเทศเปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันที่มีใช้กันอยู่ในประเทศไทย
2. กำหนดดัชนีชี้วัดเชิงคุณภาพด้วยการวัดปริมาณและการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อสำหรับการประเมินและจัดเกรดเนื้อโค
3. พัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่มีฟังก์ชันการวิเคราะห์สอดคล้องกับดัชนีชี้วัดที่ได้กำหนดขึ้น
4. เปรียบเทียบผลการประเมินของตัวอย่างชุดเดียวกันด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพกับผลที่ได้จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำการทดสอบ แก้ไข และปรับปรุงซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้นให้มีความถูกต้องและสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก

1.3 ทฤษฎี สมมุติฐาน หรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินคุณภาพเพื่อกำหนดเกรดของเนื้อโคที่ได้จากการวัดและบันทึกข้อมูลภาพแบบดิจิทัลสำหรับกลุ่มเกษตรกรและสหกรณ์ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อ โคในประเทศ โดยมีกรอบแนวคิดหลักประการแรกคือ เพื่อการพัฒนาวิธีการวัดวิเคราะห์และกำหนดเกรดของเนื้อ โคให้มีความถูกต้องมากขึ้นและมีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับโดยการนำเทคโนโลยีทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังขาดเครื่องมือวัดที่เป็นมาตรฐาน ประการต่อมา เป็นการพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยหรือทดแทนวิธีการประเมินแบบดั้งเดิมที่ใช้การพิจารณาด้วยสายตาของผู้ประเมินแต่เพียงอย่างเดียวซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดและความไม่เป็นธรรมจากการคิดมูลค่าของเนื้อโคที่ผิดไปจากมูลค่าที่แท้จริง โดยปัญหาในลักษณะดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขและจัดการได้ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ประการสุดท้าย การใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และกำหนดเกรดนั้น ทำให้มีความสะดวกรวดเร็วในการทำงานและสามารถจัดเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์และข้อมูลภาพสำหรับใช้ในกระบวนการตรวจสอบแบบย้อนกลับได้ ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของระบบมาตรฐานและระบบคุณภาพที่ใช้กันในระดับสากล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีการและเครื่องมือสำหรับใช้ในการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคในประเทศไทย
2. ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพสำหรับใช้ในการประเมินและจัดระดับคุณภาพเนื้อโคที่สามารถพัฒนาและสร้างขึ้นใช้ได้เองภายในประเทศสามารถทดแทนหรือลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้
3. เกษตรกร สหกรณ์ และองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคจะได้รับผลประโยชน์สูงสุดและเป็นธรรม เมื่อมีการใช้วิธีการประเมินและจัดระดับคุณภาพที่ถูกต้องตามความเป็นจริงจากมาตรฐาน วิธีการและเครื่องมือที่เป็นที่ยอมรับกันทั้งระบบ
4. ผู้ผลิต ผู้แปรรูป ผู้จำหน่ายและผู้บริโภคชั้นสุดท้าย สามารถทราบข้อมูลเชิงคุณภาพของเนื้อโคได้ทันทีจากข้อมูลภาพถ่ายในกระบวนการผลิตและข้อมูลภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสำเร็จรูป (Package) ณ จุดจำหน่าย หรืออาจได้จากข้อมูลคุณภาพที่ได้รับการประเมินและบันทึกไว้แล้วจากระบบการตรวจสอบแบบย้อนกลับ

1.5 เป้าหมาย

1. กำหนดดัชนีชี้วัดเชิงปริมาณและคุณภาพสำหรับใช้ในการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคในประเทศไทย
2. สร้างเครื่องมือที่เป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ สำหรับใช้ในการประเมินและจัดเกรดเนื้อโคตามข้อ 1. โดยทดลองนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์การบันทึกภาพและการจัดเก็บข้อมูลแบบดิจิทัล
3. นำเสนอวิธีการวัดและประเมินคุณภาพแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัสดุ(Non Intrusive and Non Destructive Test and Measurement) มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อโคในประเทศไทย
4. ข้อมูลดิบของภาพและข้อมูลที่ได้จากกรวิเคราะห์ภาพ สามารถทำการจัดเก็บและเรียบเรียงเพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพิ่มเติมส่วนหนึ่งของระบบข้อมูลผลิตภัณฑ์ในกระบวนการตรวจสอบแบบย้อนกลับได้

1.6 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. กลุ่มเกษตรกรและสหกรณ์การเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตโคเนื้อ
2. ผู้ผลิตเนื้อโคสำหรับการส่งออกและจำหน่ายภายในประเทศ
3. ผู้ประกอบการขายเนื้อโคทั้งปลีกและส่ง
4. ซูเปอร์มาร์เก็ตและร้านค้าสะดวกซื้อสมัยใหม่ที่มีการจำหน่ายเนื้อโค
5. หน่วยงานราชการและองค์กรที่เกี่ยวข้องในการกำหนดมาตรฐานและการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

2.การทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดของเนื้อในต่างประเทศและในประเทศไทย

การประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดของเนื้อโคในต่างประเทศนั้น เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่างกลุ่มเกษตรกรและผู้ผลิตกับหน่วยงานของรัฐบาลเพื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานขึ้นสำหรับใช้ภายในประเทศและเพื่อการส่งออก เช่นในประเทศสหรัฐอเมริกาได้เริ่มขึ้นในปี ค.ศ.1906 ระหว่างรัฐบาลสหรัฐท้องถิ่นกับรัฐบาลกลางโดยกระทรวงการเกษตรสหรัฐ (USDA) โดยมีการออกมาตรฐานกำกับตั้งแต่การผลิตในระดับฟาร์มปศุสัตว์ไปจนถึงระดับผู้บริโภคขั้นสุดท้าย (Frederick K., Ray. *Meat Inspection and Grading: ANSI-3974*) ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวในเบื้องต้นนั้น ยังไม่ครอบคลุมไปถึงการกำหนดระดับคุณภาพหรือการจัดเกรดของเนื้อ จนกระทั่งในปี ค.ศ.1996 กระทรวงการเกษตรสหรัฐได้มีการกำหนดมาตรฐานที่ครอบคลุมรายละเอียดจนถึงขั้นการจัดเกรดของเนื้อ จากการวัดปริมาณของเนื้อแดงและไขมันแทรกในกล้ามเนื้อชิ้นมาใช้งานถึงปัจจุบันคือ USDA-1996 (Daryl, T. *Beef Grading, Beef Facts*)

ในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีระบบการประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดของเนื้อโคจากการวัดปริมาณเนื้อแดงและไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ โดยกำหนดไว้อย่างละเอียดถึง 12 ระดับ คือมาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตและส่งออกเนื้อประเทศญี่ปุ่น (Japanese Meat Grading Association-BMS) นอกจากนั้นแล้ว ยังมีมาตรฐานเฉพาะที่กำหนดขึ้นใช้สำหรับเนื้อที่ผลิตจากโคพันธุ์พื้นเมืองของผู้ผลิตบางรายในประเทศญี่ปุ่น เช่น Wagyu beef หรือ Kobe beef (*Information about Wagyu and Kobe beef*) เป็นต้น

ส่วนประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์นั้น มีการจัดมาตรฐานในลักษณะคล้ายกันกับมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นแต่มีการกำหนดระดับขั้นของคุณภาพไว้น้อยกว่าของประเทศญี่ปุ่นและมีการเทียบกับมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาคือ มาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตและส่งออกเนื้อประเทศออสเตรเลีย (Meat Standard Australia- MSA) และมาตรฐานของประเทศนิวซีแลนด์ (New Zealand Meat Product Board-Guide to Beef Carcass Classification)

อย่างไรก็ตาม การดำเนินการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานต่างๆ ของประเทศผู้ผลิตและส่งออกเนื้อโคดังที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด ใช้วิธีการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดพื้นฐานร่วมกับการใช้สายตาของมนุษย์เป็นหลัก ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนและไม่แน่นอนในการประเมินสูง ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีในการวัดและประเมินคุณภาพแบบใหม่ที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่าและสามารถทำกระบวนการตรวจสอบย้อนกลับได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งและเริ่มมีการนำมาใช้มากขึ้นในบรรดาประเทศดังกล่าว (Chandraratne, M.R. et al. 2003)

สำหรับมาตรฐานการประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดของเนื้อโคของประเทศไทยในปัจจุบันนี้ จากการตรวจสอบเบื้องต้นกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเช่น กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (มาตรฐานสินค้าปศุสัตว์, กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) สหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) สหกรณ์โคเนื้อโปนยางคำ (สหกรณ์ผู้ผลิตเนื้อโคโปนยางคำ) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม-สมอ.) และสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ-มกอช) เป็นต้น พบว่ามีมาตรฐานกำหนดขึ้นมาให้อยู่ 3 มาตรฐานคือ มาตรฐานกลางของ มกอช. ซึ่งอ้างอิงกับมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA), มาตรฐานของสหกรณ์โคเนื้อกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU-Beef) และมาตรฐานของ สหกรณ์โคเนื้อโปนยางคำ (Thai-French Beef) จากการศึกษารายละเอียดในเบื้องต้นของทั้งสามมาตรฐานดังกล่าว พบว่า วิธีการจัดเกรดเนื้อนั้นใช้ผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกฝนมาโดยตรงเฉพาะกับเนื้อที่ผลิตได้ของแต่ละสหกรณ์ ทำการประเมินและจัดเกรดด้วยการพิจารณาเทียบกับภาพตัวอย่าง (Visual appraisal) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันทั่วไปเช่นเดียวกันกับมาตรฐานในต่างประเทศ อย่างไรก็ตามในบางประเทศเช่น ญี่ปุ่นได้เริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดเกรดเนื้อแล้ว โดยมีข้อดีคือช่วยลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์ลงได้ ซึ่งจะได้นำเสนอรายละเอียดต่อไป

2.2 การวัดคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิคต่างๆ

การประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดของเนื้อคือกระบวนการวัดทางวิทยาศาสตร์แบบหนึ่งที่จะต้องสามารถระบุตัวแปรที่ต้องการวัดหรือดัชนีบ่งชี้คุณภาพให้แสดงออกมาในเชิงปริมาณเพื่อการเปรียบเทียบได้ (Quantitative information) โดยการกำหนดตัวแปรเชิงปริมาณในลักษณะต่างๆเช่น สีของเนื้อและไขมัน ปริมาณและขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ การเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ปริมาณของส่วนที่เป็นเนื้อแดงและไขมันแทรก ซึ่งจัดได้ว่าเป็นตัวแปรปฐมภูมิ (Japan Carcass Grading Standards, 1998) หรืออาจกำหนดตัวแปรเชิงปริมาณในลักษณะอื่นๆที่ได้จากการคำนวณเพิ่มเติมจากตัวแปรพื้นฐานดังกล่าวซึ่งจัดได้ว่าเป็นตัวแปรทุติยภูมิ (Murasawa, N. et al. 2008) เป็นต้น

กระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแปรเชิงปริมาณดังกล่าวข้างต้น นอกเหนือไปจากการวัดเชิงเปรียบเทียบโดยการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว การวัดและวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี (Chemical analysis) เป็นวิธีมาตรฐานและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุดในการใช้ประเมินคุณภาพของเนื้อผ่านตัวแปรชี้วัดได้หลายตัว (Herrero, A.M. 2008) อย่างไรก็ตามวิธีทางเคมีนั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อนในการวิเคราะห์รวมทั้งการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ ซึ่งอาจใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูงไม่เหมาะกับการใช้งานในบางลักษณะเช่น การตรวจสอบเพื่อประเมินและการควบคุมคุณภาพเนื้อในกระบวนการผลิต ตลอดจนการประเมินคุณภาพระหว่างการส่งมอบในการจำหน่ายทั้งส่งและปลีกในร้านสะดวกซื้อ (Butcher shop) เป็นต้น ดังนั้นวิธีการทางเลือกแบบอื่นที่มีความสะดวกรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและสามารถใช้ทดแทนวิธีทางเคมีได้โดยมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันและเป็นที่ยอมรับได้ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

2.3 การใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพเนื้อ

การนำเทคโนโลยีทางการวัดและวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer vision system) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปเนื้อสัตว์ในต่างประเทศนั้นกำลังได้รับความสนใจและมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากขึ้นซึ่งสถานการณ์ของงานวิจัยในขณะนี้ ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การค้นหาเทคนิคแบบต่างๆที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ เช่น งานวิจัยของ *Kushida K.* และคณะ (*Kushida, K. et al. 1999*) นำเสนอวิธีการคำนวณหาปริมาณเนื้อแดงและไขมันแทรกด้วยเทคนิคการแยกพื้นที่ของแต่ละส่วนจากภาพ พร้อมกับการคำนวณค่าองค์ประกอบทางเรขาคณิต (Geometric parameters) ของภาพต้นฉบับที่ถูกแยกส่วนออกเป็นภาพแบบไบนารี (Binarized image) เทียบกับภาพตัวอย่างมาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมีเข้ามาช่วย

ส่วนงานวิจัยเพิ่มเติมจากนักวิจัยกลุ่มเดิมโดย *Kushida K.* และคณะในปี ค.ศ. 2000 (*Kushida, K. et al. 2000*) นำเสนอวิธีการคำนวณและเปรียบเทียบหาปริมาณเนื้อแดงและไขมันแทรกด้วยเทคนิคการแยกพื้นที่ของแต่ละส่วนจากภาพแบบไบนารี (Binarized image) ที่ได้จากอุปกรณ์การวัดและบันทึกภาพต่างชนิดกันแล้วคำนวณอ้างอิงแบบสหสัมพันธ์กับผลการวัดทางเคมีวิเคราะห์เพื่อการกำหนดเกรด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากเครื่องมือวัดแต่ละชนิดกับผลทางเคมี

ในขณะที่งานวิจัยของ *Slosarz P.* และคณะ (*Slosarz, P. et al. 2004*) นำเสนอการวัดและประเมินคุณภาพของเนื้อแกะจากการคำนวณปริมาณพื้นที่ของเนื้อแดงและไขมันแทรกจากภาพแบบไบนารี (Binarized image) ขององค์ประกอบภาพในแต่ละแม่สี (L-a-b and RGB) ร่วมกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีเปรียบเทียบกัน

นอกเหนือไปจากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแบบพื้นฐานแล้ว ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่ได้มีการนำเอาเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) มาประยุกต์ใช้เพิ่มเติม เช่น งานวิจัยของ *Shiranita K.* และคณะ (*Shiranita, K. et al. 2000*) ได้นำเสนอการประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดเนื้อโคจากลักษณะการกระจายของฮิสโตแกรมของพื้นที่ภาพบริเวณเนื้อแดงกับพื้นที่ภาพบริเวณไขมันแทรกภายในพื้นที่ที่สนใจการวิเคราะห์ (Region of Interest: ROI) ของ Rib-eye โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ในการจำแนกและจัดเกรดเนื้อร่วมกับฐานข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญเป็นเกณฑ์อ้างอิง

นอกจากนั้น ยังมีการนำเอาเทคนิคทางด้านสถิติมาใช้ร่วมกับเทคนิคทางด้านปัญญาประดิษฐ์เช่นงานวิจัยล่าสุดในขณะนี้โดย *Qiao J.* และคณะ (*Qiao, J. et al. 2007*) ได้นำเสนอการประเมินคุณภาพและกำหนดเกรดเนื้อหมูจากการประมวลผลภาพที่ได้จากการวัดและบันทึกข้อมูลภาพแบบหลายย่านความถี่ที่ครอบคลุมเกินขอบเขตที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Hyperspectral: 430-1000 nm) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของภาพ (Principal Component Analysis: PCA) ซึ่งจะลดขนาด

ข้อมูลภาพต้นฉบับแบบHyperspectral ลง แล้วใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นตัวจำแนกและจัดกลุ่มของข้อมูลที่ลดขนาดลงดังกล่าวแล้วนั้นออกเป็นระดับคุณภาพเนื้อเยื่อต่างๆ ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้เป็นต้น

อย่างไรก็ตามเทคนิคต่างๆเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงตลอดเวลาเพื่อให้มีความถูกต้องและง่ายขึ้นในการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติมากที่สุด ส่วนเทคนิคที่มีความซับซ้อนสูงอาจไม่เหมาะสมเสมอไปในการนำไปใช้จริง ดังนั้นแนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพงานในวิจัยนี้จะเลือกเทคนิคที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถปรับปรุงได้ตามต้องการรวมทั้งสามารถนำเอาเทคนิคอื่นๆที่ก้าวหน้ามากขึ้นมาปรับใช้ร่วมกันได้ในอนาคต ซึ่งในที่นี้ได้เลือกวิธีการคำนวณหาปริมาณเนื้อแดงและไขมันแทรกด้วยเทคนิคการแยกส่วนพื้นที่ภาพเป้าหมาย (ROI) ด้วยเทคนิค (Local Adaptive Threshold Determination) (Wayne, N. C.1986; Sauvola, J. et al. 2000) โดยสามารถคำนวณหาค่าตัดแยกระดับของภาพสีเทาได้ดีและสามารถลดผลของความไม่สม่ำเสมอของแสงสว่างที่ตกกระทบบลงบนพื้นที่ที่จะทำการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดีดังรายละเอียดที่จะนำเสนอในขั้นตอนวิธีการทดลองในหัวข้อต่อไป

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

ในหัวข้อนี้ ลำดับแรกจะเป็นการนำเสนอการศึกษามาตรฐานของประเทศต่างๆ และของประเทศไทย รวมทั้งเทคนิคการวัดและประเมินเพื่อจัดเกรดคุณภาพเนื้อโคจากงานวิจัยที่มีมาก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวกับการใช้ภาพเนื้อตัวอย่าง (Standard template) และการใช้เทคนิคประมวลผลภาพเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ จากนั้นจะเป็นการกำหนดและสร้างดัชนีวัดที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขมันแทรกในเนื้อเพื่อใช้สำหรับจัดเกรด จากนั้นจะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการจัดเกรดสำหรับงานวิจัยนี้ และลำดับสุดท้ายจะเป็นการอธิบายถึงแผนการวิจัย

3.1.1 ศึกษาวิธีการจัดเกรดเนื้อโคและเทคนิคการวัดระดับไขมันแทรกตามมาตรฐานของประเทศต่างๆและของประเทศไทย

มาตรฐานและเทคนิคการจัดเกรดคุณภาพเนื้อโคจากระดับไขมันแทรก (Marbling score) ได้มีการพัฒนาและกำหนดใช้มานานแล้วในต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มประเทศที่มีการผลิตเนื้อเพื่อการบริโภคและส่งออกเป็นหลักเช่น กลุ่มประเทศในแถบอเมริกาเหนือ กลุ่มประเทศในยุโรป ประเทศญี่ปุ่น ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานของแต่ละประเทศจะมีข้อกำหนดและรายละเอียดเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป แต่ทุกมาตรฐานดังกล่าวข้างต้นมีวิธีการประเมินและจัดเกรดเนื้อเหมือนกันคือ ใช้ผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดีและต้องผ่านการทดสอบจนได้รับใบอนุญาต มาเป็นผู้พิจารณาและจัดเกรดเนื้อ โดยใช้การพิจารณาจัดเกรดด้วยสายตา (Visual appraisal) ร่วมกับการใช้เครื่องมือวัดบางชนิดช่วย เช่น การใช้เครื่องวัดสีของเนื้อและสีของไขมันแล้วนำไปเทียบกับตารางที่มีตัวเลขกำหนดระดับคุณภาพไว้แล้ว รวมทั้งการพิจารณาภาพเนื้อตัวอย่างที่จะจัดเกรดเปรียบเทียบกับภาพตัวอย่างที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน (Standard template) แล้วทำการตัดสินใจกำหนดเกรดให้กับภาพเนื้อที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น (ยกเว้นในประเทศญี่ปุ่นปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ มาใช้เป็นเครื่องมือช่วยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญแล้ว ส่วนในประเทศอื่น ๆ นั้นเริ่มมีการนำไปทดลองใช้บ้างแต่ส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัย) สำหรับประเทศไทยนั้น ได้เริ่มมีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เนื้อโค (มกอช.6001-2547-เนื้อโค) ขึ้นใช้เมื่อไม่นานมานี้โดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) เป็นหลัก นอกจากนั้นยังมีมาตรฐานของสหกรณ์โคนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (KU-Beef) และสหกรณ์โคนมโพธิ์ยางคำ (Thai-French Beef) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการประเมินคุณภาพและจัดเกรดเนื้อของผู้ผลิตโคเนื้อจากทั้งสองสหกรณ์ดังกล่าว ยังคงใช้วิธีการจัดเกรดเนื้อด้วยการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ เช่นเดียวกันกับที่ใช้ในมาตรฐานของต่างประเทศดังรายละเอียดข้างต้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถมองเห็นและ

เปรียบเทียบรายละเอียดของการกำหนดเกรดเนื่องจากระดับไขมันแทรกในเนื้อของมาตรฐานแต่ละประเทศได้ จึงต้องมีการนำแผนภาพตัวอย่างมาตรฐานมาแสดง โดยในงานวิจัยนี้ได้นำมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) และมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (Japanese BMS) มาใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานของประเทศไทยดังนี้

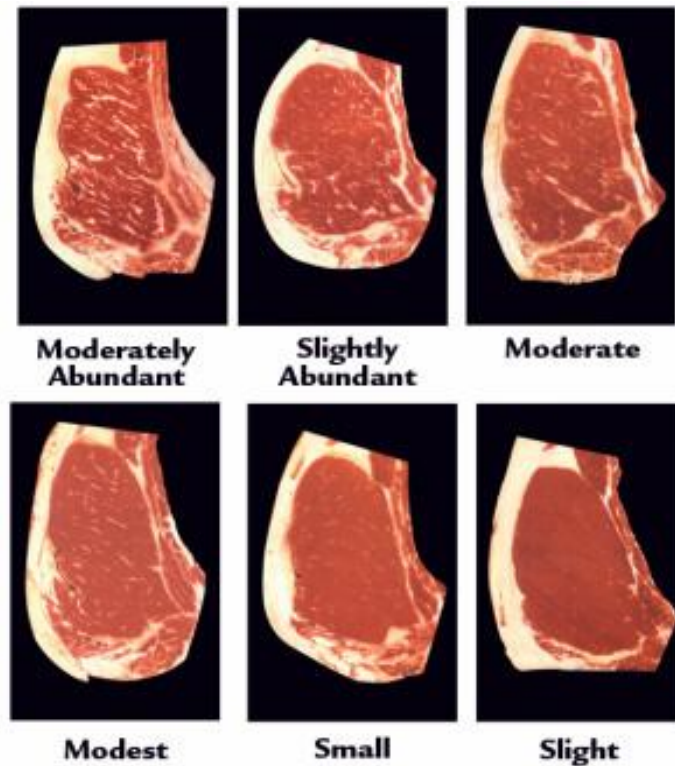
3.1.1.1 มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) และแคนาดา

มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) ได้กำหนดคุณภาพเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกออกเป็น 2 ลักษณะคือ ในส่วนของผู้บริโภคและในส่วนของผู้กำหนดเกรดเนื้อดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งการพิจารณาระดับคุณภาพของเนื้อจากมุมมองของผู้บริโภคจะถูกกำหนดไว้เพื่อให้สอดคล้องต่อการพิจารณาในการเลือกซื้อ โดยได้กำหนดไว้ 4 เกรดจากต่ำสุดไปสูงสุดคือ USDA Standard, USDA Select, USDA Choice และ USDA Prime ตามลำดับ ส่วนการพิจารณาในมุมมองของผู้จัดเกρνนั้นจะกำหนดไว้ที่ 8 ระดับคะแนนแต่ในทางปฏิบัติมักจะใช้กันอยู่ที่ 6 ระดับดังแผนภาพแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจัดตามปริมาณไขมันแทรก (Marbling Scores) จากค่าต่ำสุดไปจนถึงค่าสูงสุดคือ Slight, Small, Modest, Moderate, Slightly Abundant และ Moderately Abundant ตามลำดับ

CANADA	Marbling Score	UNITED STATES
Canada Prime	Abundant	USDA Prime
	Moderately Abundant	
	Slightly Abundant	
Canada AAA	Moderate	USDA Choice
	Modest	
	Small	
Canada AA	Slight	USDA Select
Canada A	Trace	USDA Standard
	Practically Devoid	

The Canadian marbling standards were changed in 1996 to mirror the copyrighted marbling standards of the United States. The minimum marbling standards used for USDA Prime (slightly abundant), Choice (small) and Select (slight) are the same minimum standards used in Canada to segregate the youthful quality carcasses into Canada Prime, AAA and AA respectively.

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงวิธีการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน USDA : (ที่มา-USDA)

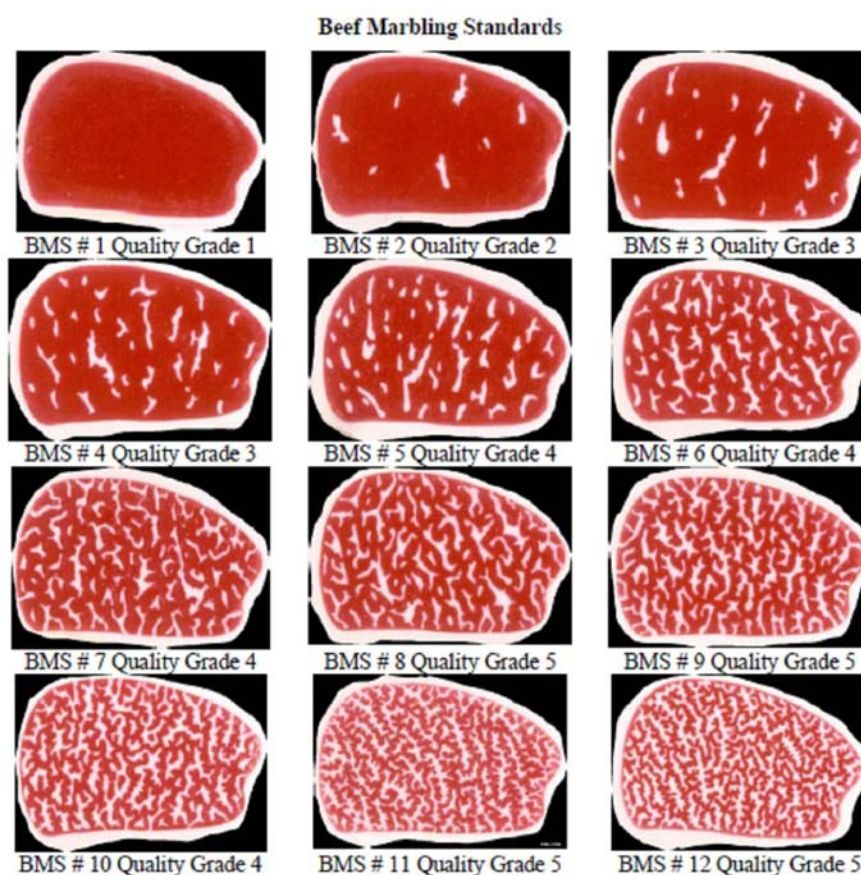


รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงระดับคะแนนของปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน USDA : (ที่มา-USDA)

จากแผนภาพแสดงระดับคะแนนของปริมาณไขมันแทรกในรูปที่ 3.2 นั้นจะถูกใช้เป็นภาพอ้างอิงสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการให้คะแนนหรือจัดเกรดเนื้อ นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องมือในการอ้างอิงเพื่อทราบคะแนนหรือปริมาณไขมันแทรกในมุมมองของผู้บริโภค ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคสามารถทราบได้ว่าเกรดเนื้อที่เลือกไปนั้นมีระดับคะแนนหรือปริมาณของไขมันแทรกในเนื้ออยู่มากหรือน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามจากแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.1 นั้นเป็นการประเมินค่าหรือให้คะแนนระดับไขมันแทรกในเชิงคุณภาพจากการพิจารณาภาพเนื้อ Rib-eye ในรูปที่ 3.2 โดยผู้เชี่ยวชาญที่ใช้การรับรู้และการฝึกจากการมองด้วยสายตาตามนุษย์มาวัด (Quantitative measurement by visual appraisal) และให้ค่าออกมาในลักษณะการเปรียบเทียบ (Linguistic description) ซึ่งวิธีการนี้ยังไม่สามารถทำให้ทราบค่าของปริมาณไขมันแทรกที่แท้จริงได้นอกจากการใช้เครื่องมือหรือเทคนิคการวัดในเชิงปริมาณแบบอื่นเข้ามาช่วย

3.1.1.2 มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (Japanese BMS)

มาตรฐานการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกของประเทศญี่ปุ่น (*Japanese Beef Marbling Standard-BMS*) ได้กำหนดคุณภาพเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกออกเป็น 5 ระดับคุณภาพ(Quality Grades) และ 12 ระดับคะแนนย่อย (*Beef Marbling Standards-BMS*) คือ Quality Grade 1, Quality Grade 2, Quality Grade 3, Quality Grade 4 และ Quality Grade 5 แทนระดับไขมันแทรกจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุดตามลำดับ โดยในระดับคุณภาพทั้ง 5 นั้นสามารถเทียบเป็นค่าระดับไขมันแทรกออกได้เป็น 12 ระดับจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุดคือ BMS#1 ไปจนถึง BMS#12 ตามลำดับแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 3.3 ซึ่งสามารถสรุปออกมาเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Quality Grades และค่า BMS ได้ดังตารางที่ 3.1 และเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ USDA ได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งในกรณีมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินและจัดเกรดเช่นเดียวกัน และต้องการเครื่องมือหรือเทคนิคการวัดเชิงปริมาณเข้ามาช่วยในกรณีที่ต้องการทราบปริมาณของไขมันแทรกที่แท้จริง



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐาน
ของประเทศญี่ปุ่น (Japanese BMS): (ที่มา-Japanese BMS)

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Quality Grades และค่า BMS: (ที่มา-Japanese BMS)

CLASSIFICATION OF BEEF MARBLING GRADE

	Grade	BMS No.
5	Excellent	No. 8 – No. 12
4	Good	No. 5 – No. 7
3	Average	No. 3 – No. 4
2	Below Average	No. 2
1	Poor	No. 1

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบมาตรฐาน USDA กับมาตรฐาน Japanese BMS: (ที่มา-Japanese BMS)

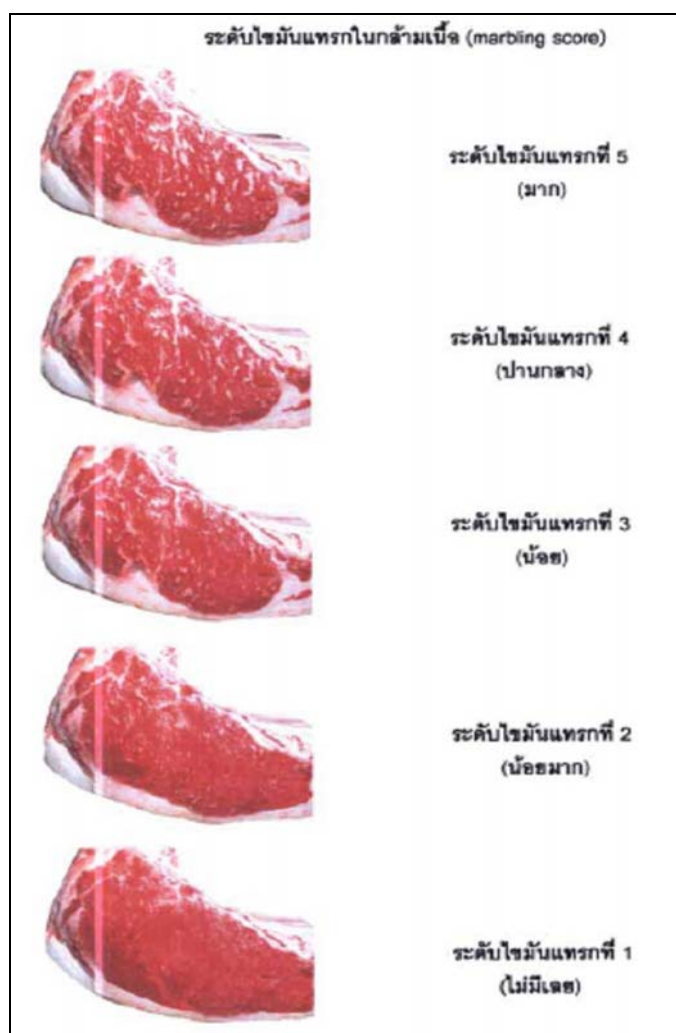
Equivalence of U.S. and Japanese Marbling Scores

U.S.D.A. Quality Grade	U.S.D.A. Marbling Score*	BMS Number	Japanese Quality Grade
	Extremely Abundant 50+	11 or 12	5
	Extremely Abundant 0-49	10	5
	Very Abundant 50-99	9	5
	Very Abundant 0-49	8	5
	Abundant	7	4
	Moderately Abundant	6	4
Prime	Slightly Abundant	5	3
	Moderate	4	3
	Modest	3	3
Choice	Small		
Select	Slight		
	Traces		

- There are no official grades above Abundant in the USDA specifications. The terms Very Abundant and Extremely Abundant are arbitrary.
 - Abundant ⁰⁰⁻⁹⁹ (AB)
 - Moderately abundant ⁰⁰⁻⁹⁹ (MAB)
 - Slightly abundant ⁰⁰⁻⁹⁹ (SLAB)
 - Moderate ⁰⁰⁻⁹⁹ (MD)
 - Modest ⁰⁰⁻⁹⁹ (MT)
 - Small ⁰⁰⁻⁹⁹ (SM)
 - Slight ⁰⁰⁻⁹⁹ (SL)
 - Traces ⁰⁰⁻⁹⁹ (TR)
 - Practically devoid ⁰⁰⁻⁹⁹ (PD)

3.1.1.3 มาตรฐานของประเทศไทย: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.)

ประเทศไทยได้เริ่มมีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เนื้อโค (มกอช.6001-2547-เนื้อโค) ขึ้นใช้โดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช) เมื่อปี พ.ศ.2547 โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) เป็นหลัก เพื่อใช้เป็นมาตรฐานกลางในการจัดเกรดเนื้อโคที่ผลิตในประเทศไทย ซึ่งมีการกำหนดระดับคะแนนตามปริมาณไขมันแทรกในเนื้อออกเป็น 5 ระดับ คือ ระดับไขมันแทรกที่ 1 ถึงระดับไขมันแทรกที่ 5 แทนค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุดตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3.4 และในการจัดเกรดเนื้อตามมาตรฐานของประเทศไทย ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาและขาดเครื่องมือวัดค่าในเชิงปริมาณ



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐานของประเทศไทย (มกอช): (ที่มา-มกอช.6001-2547-เนื้อโค)

3.1.1.4 มาตรฐานของประเทศไทย: สหกรณ์โคนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน (KU-Beef)

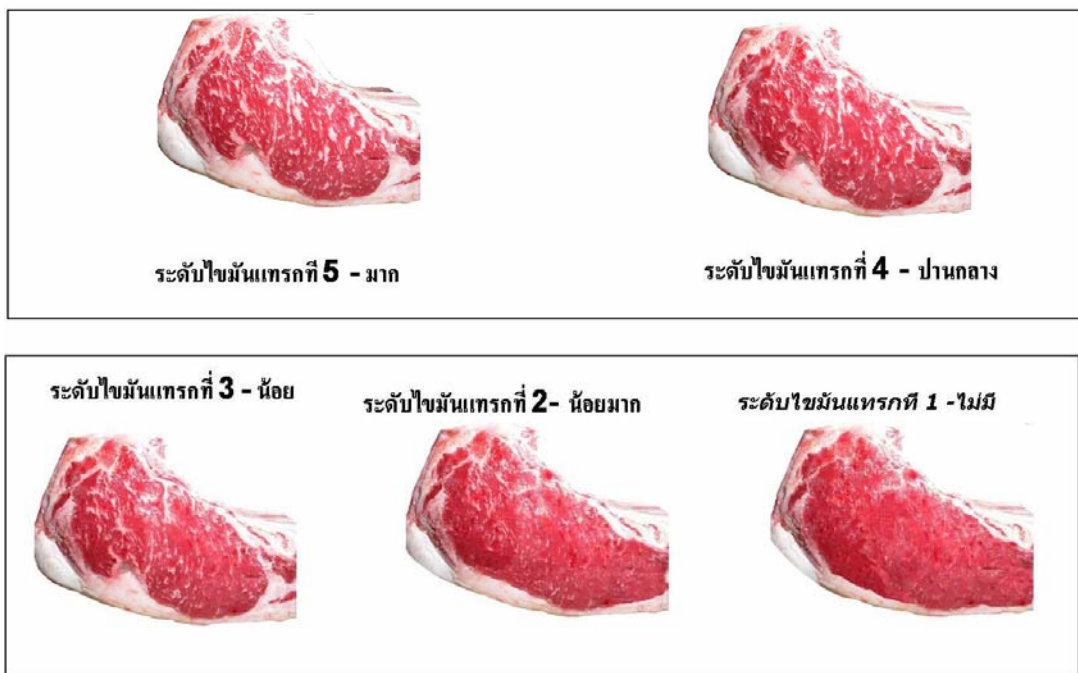
นอกจากมาตรฐานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เนื้อโค(มกอช.6001-2547-เนื้อโค) ที่ได้กำหนดขึ้นมาใช้เป็นมาตรฐานกลางแล้ว ยังมีมาตรฐานอื่นที่กำหนดขึ้นมาใช้เฉพาะกลุ่ม เช่น มาตรฐานของสหกรณ์โคนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน (KU-Beef) ที่สร้างขึ้นสำหรับใช้จัดเกรดเนื้อโคสายพันธุ์กำแพงแสนที่ผลิตโดยกลุ่มสมาชิกภายในสหกรณ์หรือกลุ่มเกษตรกรรายอื่นๆที่ผลิตโคเนื้อสายพันธุ์กำแพงแสน มีการกำหนดระดับคะแนนตามปริมาณไขมันแทรกในเนื้อออกเป็น 6 ระดับ คือ ระดับไขมันแทรก 0 ไปจนถึงระดับไขมันแทรก 5 แทนค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุดตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยมีการใช้สัญลักษณ์คำว่า “ดาว” แทนค่าระดับคะแนนคือ 0-5 ดาวแทนระดับไขมันแทรก 0-5 ตามลำดับ และในการจัดเกรดเนื้อตามมาตรฐานของ KU-Beef นั้นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกกับการพิจารณาเนื้อ KU-Beef เป็นการเฉพาะและยังขาดเครื่องมือวัดค่าในเชิงปริมาณเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐานของสหกรณ์โคนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน (KU-Beef) : (ที่มา- สหกรณ์โคนมกำแพงแสน)

3.1.1.5 มาตรฐานของประเทศไทย: สหกรณ์โคนมโพนยางคำ (Thai-French Beef)

มาตรฐานการจัดเกรดเนื้อโคที่สร้างขึ้นมาใช้เฉพาะสำหรับสหกรณ์โคนมโพนยางคำและกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตโคเนื้อพันธุ์ผสมระหว่างสายพันธุ์ไทยและสายพันธุ์ชาโรเลต์ โดยมีการกำหนดระดับคะแนนตามปริมาณไขมันแทรกในเนื้อออกเป็น 5 ระดับ คือ ระดับไขมันแทรก 1 ไปจนถึง 5 แทนค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุดตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งมาตรฐานนี้ได้รับการนำไปเป็นต้นแบบมาตรฐานกลาง (มกอช) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติเนื้อโคที่ผลิตได้จากสหกรณ์ฯ มักจะมีปริมาณไขมันแทรกตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป รวมทั้งมีการกำหนดเกรดเป็น 4 ระดับคือ 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 ตามลำดับ และในการจัดเกรดเนื้อตามมาตรฐานของสหกรณ์โคนมโพนยางคำ (Thai-French Beef) ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกกับการพิจารณาเนื้อโพนยางคำเป็นการเฉพาะในการพิจารณาจัดเกรด โดยที่ยังขาดเครื่องมือการวัดปริมาณไขมันแทรกออกมาเป็นค่าเชิงตัวเลข เช่นเดียวกันกับมาตรฐานของอื่นๆ



รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรกในเนื้อตามมาตรฐานของสหกรณ์โคนมโพนยางคำ (Thai-French Beef): (ที่มา- สหกรณ์โคนมโพนยางคำและ-มกอช.6001-2547-เนื้อโค)

3.1.2 การวัดปริมาณไขมันแทรกในเนื้อด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

การวัดปริมาณไขมันแทรกในเนื้อด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพนั้น เป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการวัดและประเมินผลข้อมูลเชิงคุณภาพจากภาพถ่ายดิจิทัล ให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ดังนั้นจึงมีขั้นตอนและวิธีการแปลงผลข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพในกล้องดิจิทัล (CCD, CMOS) ให้เป็นค่าตัวเลขที่สามารถใช้ในการคำนวณและเปรียบเทียบได้ จากการพิจารณาภาพเนื้อ Rib-eye จะพบว่าบริเวณที่เป็นส่วนของไขมันแทรกนั้นมีสีแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่เป็นส่วนของเนื้อแดง ดังนั้นถ้าแยกส่วนบริเวณที่มีสีแตกต่างกันดังกล่าวออกจากกันได้โดยทราบค่าพื้นที่ของทั้งสองส่วนนั้นและพื้นที่ทั้งหมด จะสามารถคำนวณหาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ของทั้งสองได้หรือสามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าเชิงตัวเลขอื่นๆเพื่อการใช้ประเมินคุณภาพเนื้อเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

3.1.2.1 กำหนดและสร้างดัชนีการวัดระดับไขมันแทรก

การกำหนดตัวแปรและการสร้างดัชนีการวัดที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคุณภาพและจัดเกรดที่สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพได้ ได้แก่

- (1) การวัดปริมาณไขมันแทรก (Marbling Fat) โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างพื้นที่สีขาวกับพื้นที่สีดำภายในบริเวณที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้เป็นตัวแทนของภาพทั้งหมดในการวัดวิเคราะห์และจัดเกรดนิยามโดยสมการที่ (1)

$$\text{Marbling Fat (\%)} = (\text{White Pixels Area} / \text{Total ROI Area}) \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่ $\text{Total ROI Area} = \text{White Pixels Area} + \text{Black Pixel Area}$

- (2) การกระจายของพื้นที่หรือจุดสีขาว ซึ่งกำหนดจากการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของตำแหน่งพิกัดฉาก (Cartesian coordinate) ที่มีแถบหรือจุดสีขาววางตัวอยู่ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง โดยค่าดัชนีจะแปรตาม ปริมาณของแท่งฮิสโตแกรม (Histogram bins) ซึ่งการมีจำนวนแท่งฮิสโตแกรมมากหมายถึงมีการกระจายอย่างทั่วถึงมาก ซึ่งนิยามโดยสมการที่ (2)

$$Dispersion Index (\%) = \frac{NWH}{TH} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ *NWH* คือ *Number of white dots occupy histogram bins*

และ *TH* คือ *Total histogram bins*

โดยทั่วไปจะคิดจากการวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของตำแหน่งพิกัดฉากทั้งในแนวนอน (x) และแนวตั้ง (y) ดังนั้นดัชนีวัดการกระจายจึงสามารถประมาณค่าได้จากองค์ประกอบทั้ง 2 ส่วน ซึ่งนิยามโดยสมการที่ 3

$$Dispersion Index (\%) = \left[\left(\frac{NWH_x}{TH_x} \right)^2 + \left(\frac{NWH_y}{TH_y} \right)^2 \right]^{1/2} \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

3.1.2.2 การทดสอบวิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพโดยใช้

MATLAB 7.0 โดย

- (1) สร้างชุดคำสั่งที่ทำงานตามระเบียบวิธีการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ บนซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อการคำนวณทางวิทยาศาสตร์และจำลองทางวิศวกรรม (MATLAB 7.0)
- (2) ทดสอบระเบียบวิธีการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ กับภาพสังเคราะห์
- (3) ทดสอบระเบียบวิธีการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ กับภาพแบบจำลองมาตรฐาน
(ในที่นี้ใช้ภาพมาตรฐานของ KU-Beef)
- (4) ทดสอบระเบียบวิธีการวิเคราะห์และประมวลผลภาพกับภาพจริง (Thai-French Beef และ KU Beef)

3.1.2.3 พัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่มีฟังก์ชันการวิเคราะห์สอดคล้องกับดัชนีชี้วัดที่ได้กำหนดขึ้น

โดย

- (1) ออกแบบข้อกำหนดเบื้องต้นของซอฟต์แวร์ที่จะสร้างขึ้น โดยมีความสามารถในการวิเคราะห์ตามดัชนีบ่งชี้คุณภาพที่กำหนดขึ้น และคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้เป็นหลัก
- (2) สร้างซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพที่มีการติดตั้งระเบียบวิธีการวิเคราะห์ตามข้อ 3.2.1 ด้วยภาษา Visual C++ บนเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์ Microsoft Visual Studio.NET (2008)

3.1.2.4 ทดสอบ แก้ไข และปรับปรุงซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้นเพื่อให้มีการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและทำงานได้อย่างสมบูรณ์

- (1) ทดสอบกับภาพจากตัวอย่างจริง (จาก KU-Beef, Thai-French Beef) เปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ภาพจากตัวอย่างจริงชุดเดียวกัน
- (2) ปรับปรุงขั้นสุดท้ายเพื่อให้ผู้ใช้งาน ได้รับความสะดวกและพึงพอใจมากที่สุด

การทดสอบเทคนิคที่นำเสนอไปแล้วนั้น สามารถดำเนินการเบื้องต้นก่อนเป็นลำดับแรกโดยใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์และจำลองทางวิศวกรรม คือ MATLAB 7.0 เพื่อทำการประเมินหาเทคนิคการคำนวณแบบต่างๆและเลือกใช้วิธีที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำวิธีการดังกล่าวไปพัฒนาเป็นชุดคำสั่ง (Coding) ลงบนซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพที่จะสร้างขึ้น

3.1.2.5 โครงสร้างระเบียบวิธีการคำนวณ (Algorithm)

โครงสร้างระเบียบวิธีการคำนวณสามารถสรุปเป็นผังงานแสดงดังรูปที่ 3.7 โดยขั้นตอนต่างๆทั้งหมดในผังงานดังกล่าวจะนำไปใช้ในการทดสอบกับตัวอย่างภาพสังเคราะห์ (ที่ทราบค่าต่างๆแล้ว) เพื่อประเมินความถูกต้องของขั้นตอนต่างๆในการคำนวณ จากนั้นทำการแก้ไขและปรับปรุงจนสามารถคำนวณได้อย่างถูกต้องแล้วจึงนำไปทดสอบกับภาพถ่ายจากตัวอย่างจริง และระเบียบวิธีที่ได้ในขั้นสุดท้ายดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการสร้างซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพสำหรับใช้งานจริงต่อไป โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ในเทคนิคการประมวลผลภาพดังนี้



รูปที่ 3.7 ฟังงานแสดงโครงสร้างระเบียบวิธีการคำนวณที่ใช้ทดสอบบน MATLAB และนำไปใช้ในซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้น (Meat Marbling 1.0)

3.1.3 รายละเอียดการคำนวณที่ใช้ในเทคนิคการประมวลผลภาพ

3.1.3.1 รูปแบบข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัย

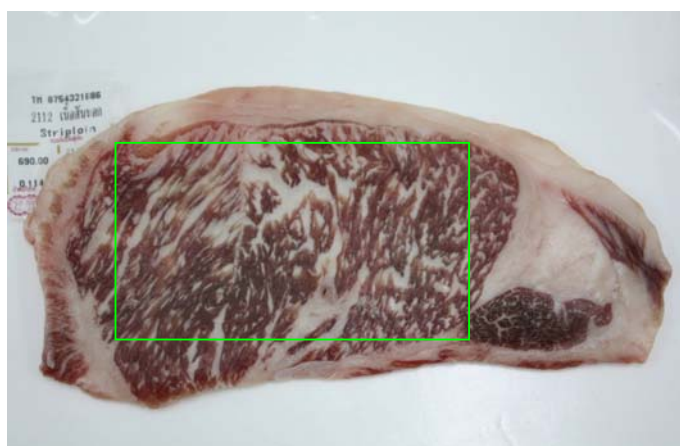
ข้อมูลภาพดิจิทัลที่ใช้กันในระบบสารสนเทศปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น BMP (Bitmap), GIF (Graphic Interchange Files), PNG (Portable Network Graphics), TIFF (Tagged Image File Format) และ JPEG (Joint Photographic Experts Group) เป็นต้นซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป เช่น ชนิด BMP มีข้อดีคือ เป็นรูปแบบข้อมูลดิบที่ได้จากอุปกรณ์ถ่ายภาพ (CCD) โดยตรงและไม่มีการบีบอัดเพื่อลดขนาดของข้อมูล ข้อมูลที่ได้จึงมีความถูกต้องและครบถ้วนมากที่สุด แต่เป็นข้อเสียในตัวคือ ขนาดข้อมูลที่ได้จากภาพมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบข้อมูลภาพชนิดอื่น (เมื่อภาพมีขนาดเดียวกัน) ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลที่มีความจุสูงมากและไม่สะดวกในการถ่ายโอนข้อมูล ในขณะที่ข้อมูลภาพชนิด JPEG (หรือ JPG) นั้นใช้เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล โดยสามารถคงความละเอียดถูกต้องของข้อมูลไว้ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลดิบก่อนการบีบอัด จึงมีขนาดข้อมูลที่ได้เล็กกว่าข้อมูลดิบมากทำให้สะดวกในการถ่ายโอนและจัดเก็บโดยเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่ามาก นอกจากนั้นอุปกรณ์กล้องถ่ายภาพดิจิทัลปัจจุบันได้ออกแบบมาใช้กับข้อมูลภาพชนิดนี้เป็นมาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกข้อมูลภาพชนิด JPEG ใช้ในการทดสอบเทคนิคประมวลผลภาพในการวัดปริมาณไขมันแทรกและใช้เป็นข้อมูลภาพที่จะนำมาประมวลผลและจัดเก็บบนซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นต่อไป

3.1.3.2 องค์ประกอบของข้อมูลภาพแบบดิจิทัล

ข้อมูลภาพดิจิทัลประกอบด้วยหน่วยภาพย่อยหรือ Pixels ที่ประกอบกันขึ้นเป็นภาพ ในแต่ละ Pixel ประกอบด้วยหน่วยข้อมูลที่มีขนาดความจุเป็นบิต โดยมีการกำหนดขนาดด้วยความกว้าง (Width), ความสูง (Height) และความลึกของข้อมูล (Bit Depth) เป็น $(W \times H \times D)$ ในกรณีของภาพสี JPEG แบบมาตรฐาน จะมีความลึกของข้อมูลภาพเป็น 24 bits ($3 \times 8 \text{ bits} = 24$) ซึ่งประกอบด้วย Pixels ของแม่สีปฐมภูมิ 3 สี คือ แดง, เขียวและน้ำเงิน (Red, Green, Blue: RGB) และข้อมูลภาพจาก Pixels แต่ละแม่สีเรียกว่าข้อมูลภาพสีเดี่ยวหรือที่เรียกว่าภาพโมโนโครม (Monochromatic image) และมีความลึกเท่ากับ 8 bits ดังนั้นการแทนค่าระดับความเข้มหรือความสว่างของ Pixels แต่ละสีจึงสามารถแทนได้ทั้งหมดเท่ากับ 256 ระดับ ($L = 2^N$, $N = 8$, $L \in [0, 255]$) โดยหลักการเดียวกัน ภาพสี RGB จึงสามารถแทนค่าระดับความเข้มของภาพจากแม่สีทั้ง 3 ผสมกันได้ทั้งหมดเท่ากับ ($L = 2^N$, $N = 24$, $L \in [0, 1.67\text{e}+07]$) ในกรณีของภาพสีเดี่ยวและภาพระดับสีเทา (Gray scale image) นั้นรูปแบบภาพจะระบุเพียงความกว้างและความสูงของภาพเท่านั้น ($Width \times Height$) โดยสามารถแทนค่าระดับความเข้มได้ 256 ระดับ จากรายละเอียดของประเภทข้อมูลภาพดังกล่าว เราสามารถนำข้อมูลภาพทุกสีมาประมวลผลภาพได้ซึ่งขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน (Application) และเทคนิคการประมวลผลภาพที่นำมาใช้

3.1.3.3 การเลือกบริเวณที่กำหนดให้เป็นพื้นที่ในการวัดปริมาณไขมันแทรก(Region of Interest: ROI)

ในการวิเคราะห์ภาพจากภาพตัวอย่าง (JPEG) นั้นจะทำการประมวลผลเฉพาะบริเวณที่เลือกเท่านั้น คือ บริเวณที่เรียกว่า ROI (Region of Interest) ตัวอย่างเช่น บริเวณที่เลือกไว้ภายในกรอบสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 3.8 (a) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันในมาตรฐานของประเทศไทยและในงานวิจัยของประเทศญี่ปุ่น (Shiranita, K. et al. 2000) อย่างไรก็ตาม วิธีการอื่นที่มีการใช้กันคือการเลือกพื้นที่เฉพาะบริเวณด้านในของRib-eye โดยอาศัยความสามารถของซอฟต์แวร์ช่วย (อาจเป็นแบบ Manual หรือแบบ Automatic) ในการลบขอบภาพของไขมันหุ้มโดยรอบออกทั้งหมด (Chen, K. et al. 2008) ซึ่งมีข้อดี คือทำให้การวัดปริมาณไขมันแทรกทำได้ อย่างถูกต้องมากขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคแบบแรกในซอฟต์แวร์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นในรุ่นแรก (ในที่นี้ใช้ชื่อว่า Meat Marbling 1.0) และเทคนิคแบบที่สองนั้นจะเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาขีดความสามารถของซอฟต์แวร์เพิ่มเติมในรุ่นต่อไป



(a)



(b)

รูปที่ 3.8 การเลือกพื้นที่สนใจ (ROI): (a) แบบกรอบสี่เหลี่ยม, (b) แบบลบขอบไขมัน

3.1.3.4 การแปลงข้อมูลภาพสี (RGB) ให้เป็นข้อมูลภาพระดับสีเทา(Gray scale)

ข้อมูลภาพชนิด JPEG ที่ได้จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลนั้น เป็นภาพที่ประกอบไปด้วยข้อมูลที่แบ่งออกเป็น 3 สีปฐมภูมิคือ RGB (Red, Green, and Blue Components แสดงดังรูปที่ 3.9 แถวล่าง) เมื่อนำข้อมูลภาพมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบเชิงปริมาณในงานวิจัยนี้ต้องมีการแปลงค่าสีจากภาพเดิมให้เป็นภาพที่มีค่าเป็นระดับสีเทา (Gray scale รูปที่ 3.9 แถวบน-ภาพกลาง) ก่อนโดยใช้สมการที่ (4) ก่อนแล้วนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

$$Gray = [(0.2989 \cdot R) + (0.5870 \cdot G) + (0.1140 \cdot B)] \dots \dots \dots (4)$$

โดยที่ R = ค่าระดับความเข้มของภาพใน Pixel ข้อมูลภาพปฐมภูมิสีแดง และ $R \in [0, 255]$

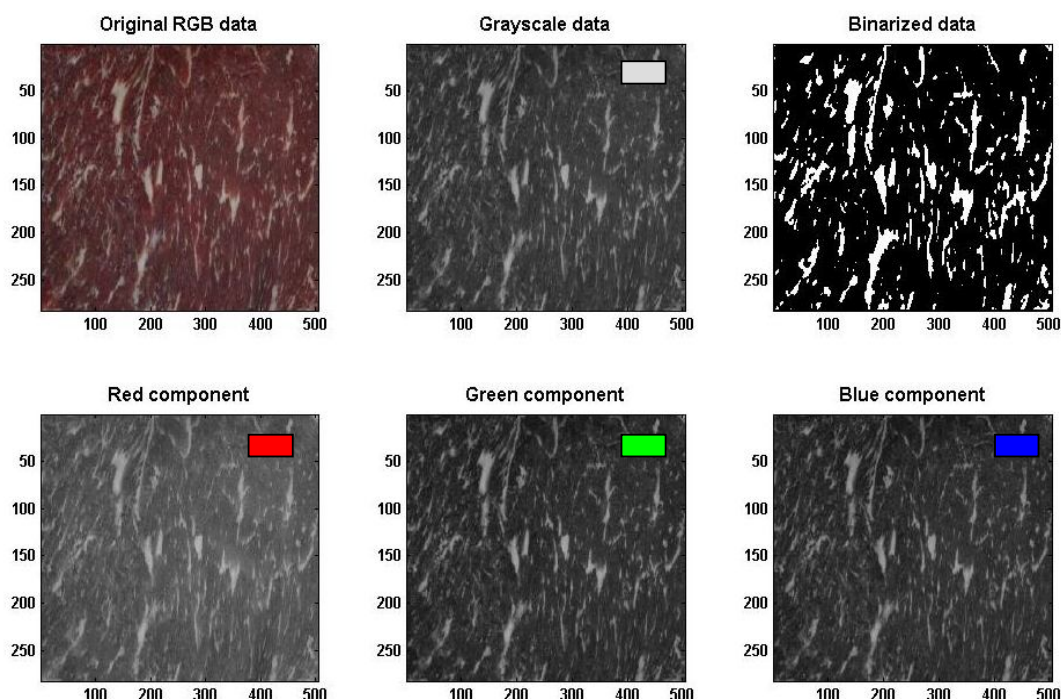
G = ค่าระดับความเข้มของภาพใน Pixel ข้อมูลภาพปฐมภูมิสีเขียว และ $G \in [0, 255]$

B = ค่าระดับความเข้มของภาพใน Pixel ข้อมูลภาพปฐมภูมิน้ำเงิน และ $B \in [0, 255]$

และค่าระดับสีเทาที่ได้จะอยู่ในช่วง 0-255 เช่นเดียวกัน หรือ $Gray \in [0, 255]$

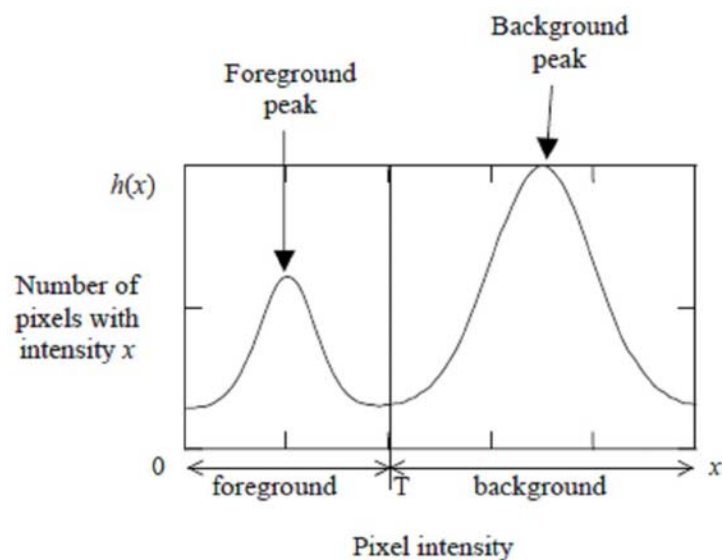
ซึ่งค่าระดับสีเทาหรือความเข้ม = 0 หมายถึง จุดที่มีความสว่างต่ำที่สุดหรือเป็นสีดำ

และค่าระดับสีเทาหรือความเข้ม = 255 หมายถึง จุดที่มีความสว่างสูงสุดหรือเป็นสีขาว



รูปที่ 3.9 การแปลงข้อมูลภาพสี (RGB) เป็นข้อมูลภาพระดับสีเทาและสีปฐมภูมิ R, G และ B

นอกจากการใช้ข้อมูลค่าระดับสีจากภาพทั้ง 3 สีแล้ว เราอาจเลือกใช้ข้อมูลค่าระดับสีเดียวเพียงบางสีหรือที่เรียกว่าภาพแบบโมโนโครม (Monochromatic image) มาใช้ได้เช่นเดียวกันโดยมีหลักการคือ เลือกใช้ข้อมูลค่าระดับสีที่มีอิทธิพลต่อสีจริงของภาพน้อยที่สุด เช่น อาจใช้เฉพาะข้อมูลค่าระดับความเข้มของภาพสีปฐมภูมิจาก Pixel ส่วนสีเขียวหรือ Pixel ส่วนสีน้ำเงินมาใช้ได้ เนื่องจากภาพสีจริงของเนื่อนั้นมีน้ำหนักส่วนใหญ่อยู่ที่องค์ประกอบของค่าระดับความเข้มสีแดง ดังนั้นการเลือกใช้ข้อมูลภาพจากค่าระดับสีเขียวหรือสีน้ำเงินเพียงสีเดียวจึงสามารถทำให้การแปลงเป็นข้อมูลภาพระดับสีเทา สามารถแสดงความแตกต่างระหว่างสีของเนื้อแดงกับสีของไขมันแทรกได้อย่างชัดเจน และส่งผลให้แผนภาพฮิสโตแกรมมีการแบ่งโซนพร้อมกับมียอดที่ชัดเจนเช่นเดียวกัน (ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.10) ซึ่งจะทำให้การประมวลผลภาพในขั้นตอนต่อไปสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น



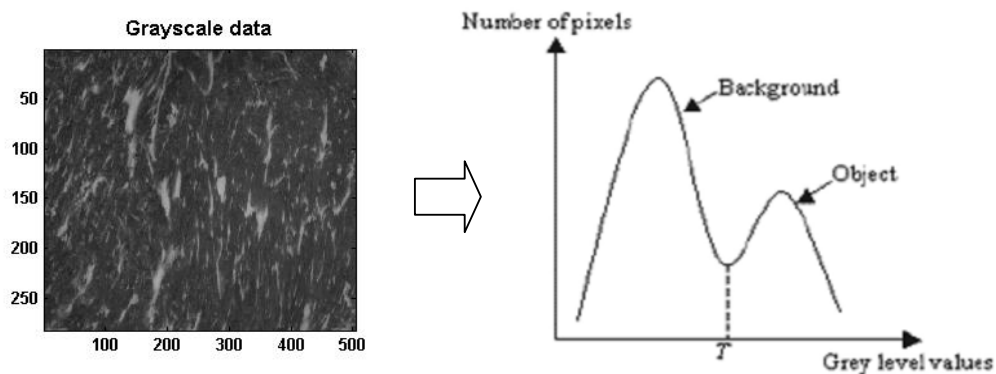
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพระดับสีเทาที่มีการแบ่งโซนที่ชัดเจนระหว่างพื้นหลังของภาพและวัตถุในภาพ

3.1.3.5 การคำนวณหาค่าจุดตัดสำหรับการแบ่งภาพค่าระดับสีเทาออกเป็น 2 ส่วน

(Threshold level determination)

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการคิดค้นเทคนิคการคำนวณหาค่าระดับตัด (Threshold level) สำหรับใช้ในการแยกส่วนพื้นที่ภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค Local Adaptive Threshold (Wayne, N. C.1986; Sauvola, J. et al. 2000) ที่สามารถหาค่าจุดตัดที่ดีโดยมีขั้นตอนการคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน

และสามารถนำไปติดตั้ง (Coding and implementation) ใช้งานได้ง่าย ซึ่งหลักการแยกส่วนภาพโดยใช้ค่า Threshold มีดังนี้



รูปที่ 3.11 การหาจุดตัดค่าระดับสีเทา (Threshold level) จากฮิสโตแกรม
เพื่อใช้แยกภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำ

จากรูปที่ 3.11 เราสามารถแสดงข้อมูลภาพระดับสีเทาในเชิงสถิติได้โดยใช้แผนภาพฮิสโตแกรมและจากฮิสโตแกรมจะเห็นว่าข้อมูลภาพมีการแบ่งส่วนกันอย่างชัดเจนระหว่างสีพื้นและสีของวัตถุในภาพ ในที่นี้คือสีของเนื้อแดงซึ่งค่อนข้างดำและสีของไขมันแทรกซึ่งมีสีขาว ดังนั้นถ้าเลือกตำแหน่งของค่า Threshold (T) ได้อย่างเหมาะสมแล้วจะสามารถแยกส่วนภาพระดับสีเทาออกเป็นภาพขาวดำที่เป็นส่วนของเนื้อแดงและไขมันแทรกได้ถูกต้อง

จากรูป ภาพขาวดำ $B(x, y)$ ที่ได้จากการแยกภาพระดับสีเทา $G(x, y)$ ออกเป็น 2 ส่วนด้วยค่า Threshold (T) แสดงดังสมการที่ (5)

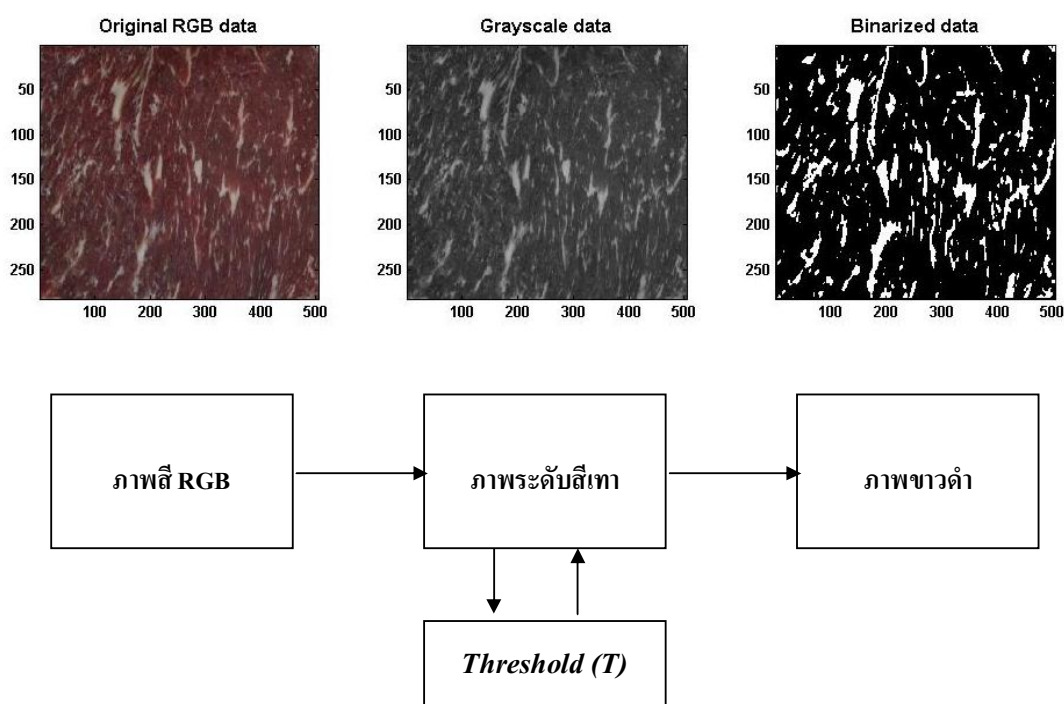
$$B(x, y) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{if } G(x, y) \leq T \\ 255 & \text{otherwise} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

โดยกำหนดค่าจุดตัดระดับ (T) จากสมการที่ (6)

$$T(x, y) = m(x, y) + k \cdot \sigma(x, y) \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ $m(x, y)$ คือค่าเฉลี่ยประจําพื้นที่ย่อย (Local Mean) ภายในพื้นที่ ROI ของภาพและ $\sigma(x, y)$ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระดับสีเทาภายในพื้นที่ย่อย (Local SD) และ k คือค่าองค์ประกอบจากการทดลอง (Empirical factor) เพื่อให้สามารถกำหนดค่า $T(x, y)$ ได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะภาพที่จะทำ

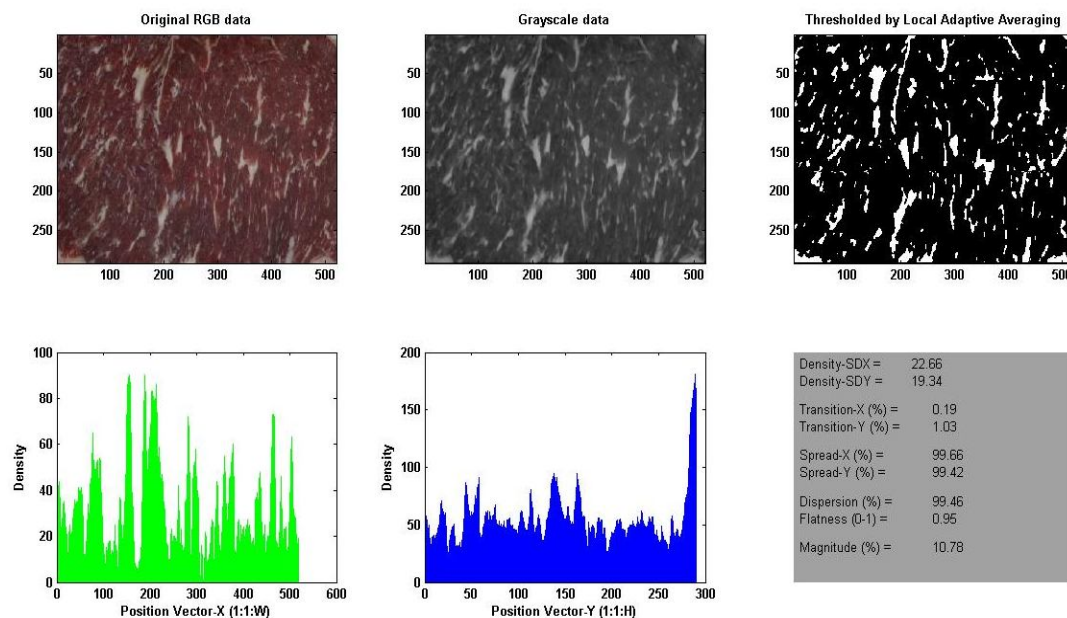
การแบ่งส่วนเป็นภาพขาวดำ [32] เมื่อได้ค่า $T(x, y)$ แล้วนำไปใช้ในสมการที่ (5) จะได้ภาพขาวดำที่มีการแบ่งส่วนของพื้นที่สีขาวและสีดำอย่างชัดเจน (Binarized image) ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนภาพระดับสีเทา (Gray scale) ให้เป็นภาพขาวดำ (Binarized image) ด้วยค่า Threshold

3.1.3.6 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรกและการแสดงผล

เมื่อได้ข้อมูลภาพขาวดำที่มีการแยกส่วนระหว่างพื้นที่สีขาวและพื้นที่สีดำแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนับจำนวน Pixels ภาพสีขาว, จำนวน Pixels ภาพสีดำและจำนวน Pixels ทั้งหมดใน ROI จากนั้นคำนวณอัตราส่วนจำนวน Pixels สีขาวต่อจำนวน Pixels ทั้งหมด โดยใช้สมการที่ (1) จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกในเนื้อ (Marbling Fat: 0-100%) นอกจากนั้นคำนวณหาดัชนีการกระจายตัว (Dispersion Index: 0-100%) ของ Pixels สีขาวทั้งหมดที่วางตัวอยู่ภายใน ROI โดยใช้สมการที่ (3) และทำการแสดงผลภาพที่ประมวลผลเสร็จแล้วพร้อมข้อมูลที่วัดได้ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การแสดงผลการคำนวณหาพื้นที่สีขาวและค่าดัชนีการกระจายตัว

3.1.3.7 การจัดเกรดคุณภาพเนื้อตามปริมาณของไขมันแทรกที่วัดได้ การแสดงผลและจัดเก็บข้อมูล

เมื่อได้ค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรกในเนื้อแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการจัดเกรดเนื้อจากค่าเปอร์เซ็นต์ของไขมันแทรกที่วัดได้โดยใช้เกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนดขึ้น สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ มาตรฐานกลาง (มกอช), มาตรฐานสหกรณ์โคเนื้อโพนยางคำ (Thai-French Beef), และมาตรฐานสหกรณ์โคเนื้อมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน (KU-Beef) การทดสอบการจัดเกรดในงานวิจัยนี้ได้มีการใช้ตัวอย่างเนื้อจาก Thai-French Beef และ KU-Beef ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์จากทั้งสองสหกรณ์มาทดลองจัดเกรดจากค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันแทรกที่วัดได้ ดังตารางที่ 3.3 และ 3.4 สำหรับตัวเลขที่แสดงในตารางทั้งสองนั้นเป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรกจากตัวอย่างที่ได้รับมาทั้งหมดจะทำให้ทราบค่าต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ ซึ่งพบว่าตัวอย่างเนื้อจากทั้งสองสหกรณ์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 30% ดังนั้นเราสามารถกำหนดช่วงของระดับคะแนนในแต่ละเกรดได้โดยขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นคุณภาพหรือเกรดที่ต้องการ โดยรายละเอียดผลการทดสอบทั้งหมดจะแสดงในหัวข้อผลการวิจัยในบทถัดไป

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรก (Thai-French Beef)

เกรด (TF)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	การกำหนดช่วงค่า%ในการจัดเกรด
G1.0	0%	5%	$0\% \leq G1.0 < 5\%$
G2.0	5%	10%	$5\% \leq G2.0 < 10\%$
G3.0	10%	15%	$10\% \leq G3.0 < 15\%$
G3.5	15%	20%	$15\% \leq G3.5 < 20\%$
G4.0	20%	25%	$20\% \leq G4.0 < 25\%$
G4.5	25%	-	$G4.5 \geq 25\%$

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์การจัดเกรดเนื้อจากปริมาณไขมันแทรก (KU-Beef)

เกรด (KU)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	การกำหนดช่วงค่า%ในการจัดเกรด
G0	0%	5%	$0\% \leq G0 < 5\%$
G1	5%	10%	$5\% \leq G1 < 10\%$
G2	10%	15%	$10\% \leq G2 < 15\%$
G3	15%	20%	$15\% \leq G3 < 20\%$
G4	20%	25%	$20\% \leq G4 < 25\%$
G5	25%	-	$G5 \geq 25\%$

3.2 แผนการวิจัย

ในการทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณเพื่อวัดค่าเปอร์เซ็นต์และการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อตามผังงานในรูปที่ 3.14 นั้น จะต้องมีการทดสอบความถูกต้องของเทคนิคที่ใช้ก่อน โดยทดสอบกับภาพสังเคราะห์ที่ทราบค่าสัดส่วนที่แน่นอนระหว่างพื้นที่สีขาวและสีดำซึ่งแทนบริเวณของไขมันแทรกและบริเวณของเนื้อแดงตามลำดับ รวมทั้งยังได้กำหนดให้ภาพสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นมานั้น มีรูปแบบการกระจายตัวของพื้นที่สีขาวและสีดำในลักษณะต่างๆกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบของภาพสังเคราะห์ไว้ 4 ลักษณะคือ การวางตัวของพื้นที่สีขาวและสีดำแบบแถบในแนวนอน, การวางตัวของพื้นที่สีขาวและสีดำแบบแถบในแนวตั้ง, การวางตัวของพื้นที่สีขาวและสีดำแบบตารางหมากรุก และการวางตัวของจุดสีขาวบนพื้นที่สีดำที่มีการกระจายตัวของจุดสีขาวในเชิงสถิติแบบต่างๆ ได้แก่ การกระจายแบบสุ่ม (2D-Uniform Random Distribution), การกระจายแบบ Weibull (2D-Weibull Distribution), และการกระจายตัวแบบ Extreme (2D-Extreme Value Distribution) จากนั้นจะเป็นการทดสอบเทคนิคดังกล่าวกับข้อมูลภาพจริงที่ได้จากภาพถ่ายของตัวอย่าง ได้แก่ ภาพจากตัวอย่างของสหกรณ์ผู้ผลิตโคเนื้อโพธิ์ยางคำ (Thai-French Beef) และภาพจากตัวอย่างของสหกรณ์ผู้ผลิตโคเนื้อกำแพงแสน (KU-Beef) พร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลที่ได้ในเชิงสถิติ ส่วนการทดลองในลำดับสุดท้ายจะเป็นการทดลองการทำงานของซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้นโดยมีการติดตั้งระเบียบวิธีการคำนวณตามโครงสร้างผังงานในรูปที่ 3.14 ซึ่งในที่นี้ได้ตั้งชื่อไว้คือ Meat Marbling 1.0 ดังแผนการทดลองดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ (MATLAB) กับภาพสังเคราะห์ (Synthetic Image Data Test)

ทดลองกับภาพที่มีขนาด 400x400 pixels แทนพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ซึ่งภายในบริเวณของภาพดังกล่าวประกอบด้วยพื้นที่สีขาวและสีดำที่มีสัดส่วนต่างกันแทนค่าสัดส่วนปริมาณไขมันแทรกต่อปริมาณเนื้อแดง นอกจากนั้นยังมีรูปแบบการกระจายของบริเวณพื้นที่ที่แถบหรือจุดสีขาวในลักษณะต่างๆกันเพื่อใช้ทดสอบการวัดค่าดัชนีการกระจายตัว โดยมีรูปแบบภาพสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้รวม 5 กลุ่มต่างๆกัน ได้แก่ กลุ่มภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวนอนและแนวตั้ง กลุ่มภาพสังเคราะห์แบบตารางหมากรุก กลุ่มภาพสังเคราะห์แบบสุ่มที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอและ กลุ่มภาพสังเคราะห์แบบสุ่มที่มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ ผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2

(2) การทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ (MATLAB) กับภาพถ่ายจริงจาก Thai-French Beef

ทดลองกับภาพถ่ายจากตัวอย่างจริงขนาด 1125x750 pixels ซึ่งเป็นภาพสีแบบ RGB ขนาด 24 บิต โดยทดสอบกับภาพถ่ายอย่างเป็นจำนวนทั้งสิ้น 391 ตัวอย่าง (ได้รับการจัดเกรดจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว = 259 ตัวอย่าง + ยังไม่ได้รับการจัดเกรด = 132 ตัวอย่าง) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในเชิงสถิติของผลที่ได้จากการ

ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพกับผลที่ได้จากการใช้ผู้เชี่ยวชาญ ในการวัดวิเคราะห์และจัดเกรดคุณภาพเนื้อจากภาพตัวอย่างจาก Thai-French Beef ชุดเดียวกัน ผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่ 4.2.3

(3) การทดสอบวิธีระเบียบวิธีการคำนวณ (MATLAB) กับภาพตัวอย่างจริงจาก KU-Beef

ทดลองกับภาพถ่ายจากตัวอย่างจริงขนาด 1125x750 pixels ซึ่งเป็นภาพสีแบบ RGB ขนาด 24 บิต โดยทดสอบกับภาพตัวอย่างเป็นจำนวนทั้งสิ้น 148 ตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบในเชิงสถิติของผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพกับผลที่ได้จากการใช้ผู้เชี่ยวชาญ ในการวัดวิเคราะห์และจัดเกรดคุณภาพเนื้อจากภาพตัวอย่างจาก KU-Beef ชุดเดียวกัน ผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่ 4.2.4

(4) การวิเคราะห์ในเชิงสถิติของผลการทดสอบที่ได้จาก MATLAB (Non-Parametric Statistical Analysis)

เป็นการวัดคุณภาพของการจัดกลุ่มข้อมูลในเชิงสถิติ ในที่นี้เป็นการวัดแนวโน้มการเข้าสู่ศูนย์กลางของข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มโดยผู้เชี่ยวชาญ เปรียบเทียบกับแนวโน้มการเข้าสู่ศูนย์กลางของข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในหัวข้อที่ 4.2.3 และ 4.2.4

(5) การเปรียบเทียบผลการวัดระดับไขมันแทรกในเนื้อระหว่างตัวอย่างของ TF และ KU

เป็นการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ระดับไขมันแทรกในเนื้อเฉลี่ยโดยรวมจากตัวอย่างทั้งหมดระหว่าง TF-Beef และ KU-Beef เพื่อประเมินว่าเนื้อโคที่ผลิตได้จากทั้งสองสหกรณ์นั้นมีค่าระดับไขมันแทรกแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่

(6) การวัดการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อระหว่างตัวอย่างของ TF และ KU

เป็นการวัดระดับการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อจากตัวอย่างทั้งหมดระหว่าง TF-Beef และ KU-Beef เพื่อประเมินว่าเนื้อโคจากทั้งสองสหกรณ์นั้นมีความสม่ำเสมอของไขมันแทรกในเนื้อแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่

(7) การทดสอบซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้น (Meat Marbling 1.0) กับภาพตัวอย่างจริง

เป็นการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบความถูกต้องของผลการวัดและวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลของการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์และจำลองทางวิศวกรรม (MATLAB 7.0) นอกจากนั้น ยังเป็นการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์เพื่อหาจุดบกพร่องต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานและทำการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อให้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพสามารถทำงานและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบแสดงในหัวข้อที่

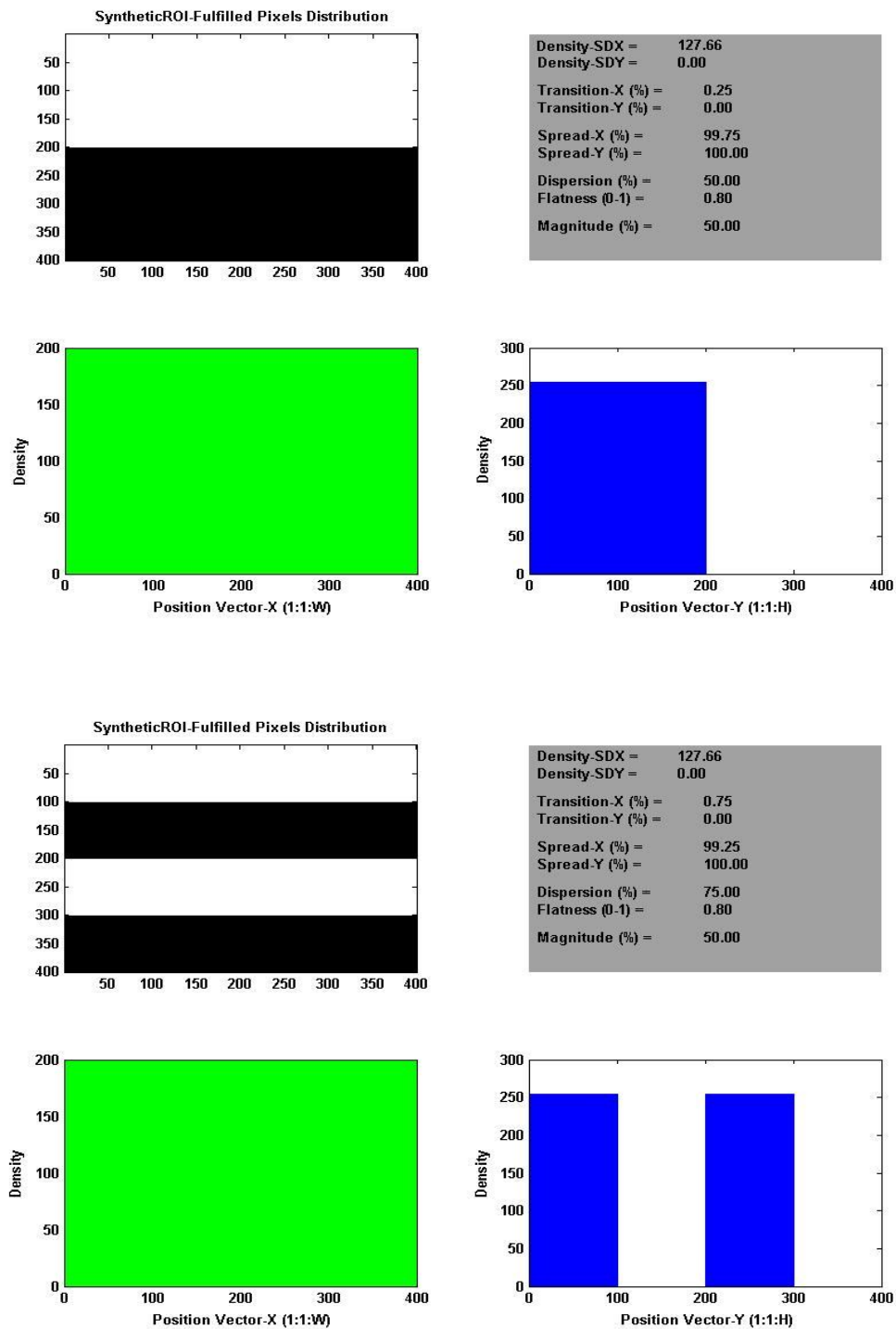
4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบระเบียบวิธีการคำนวณ (MATLAB) กับภาพสังเคราะห์ (Synthetic Image Data)

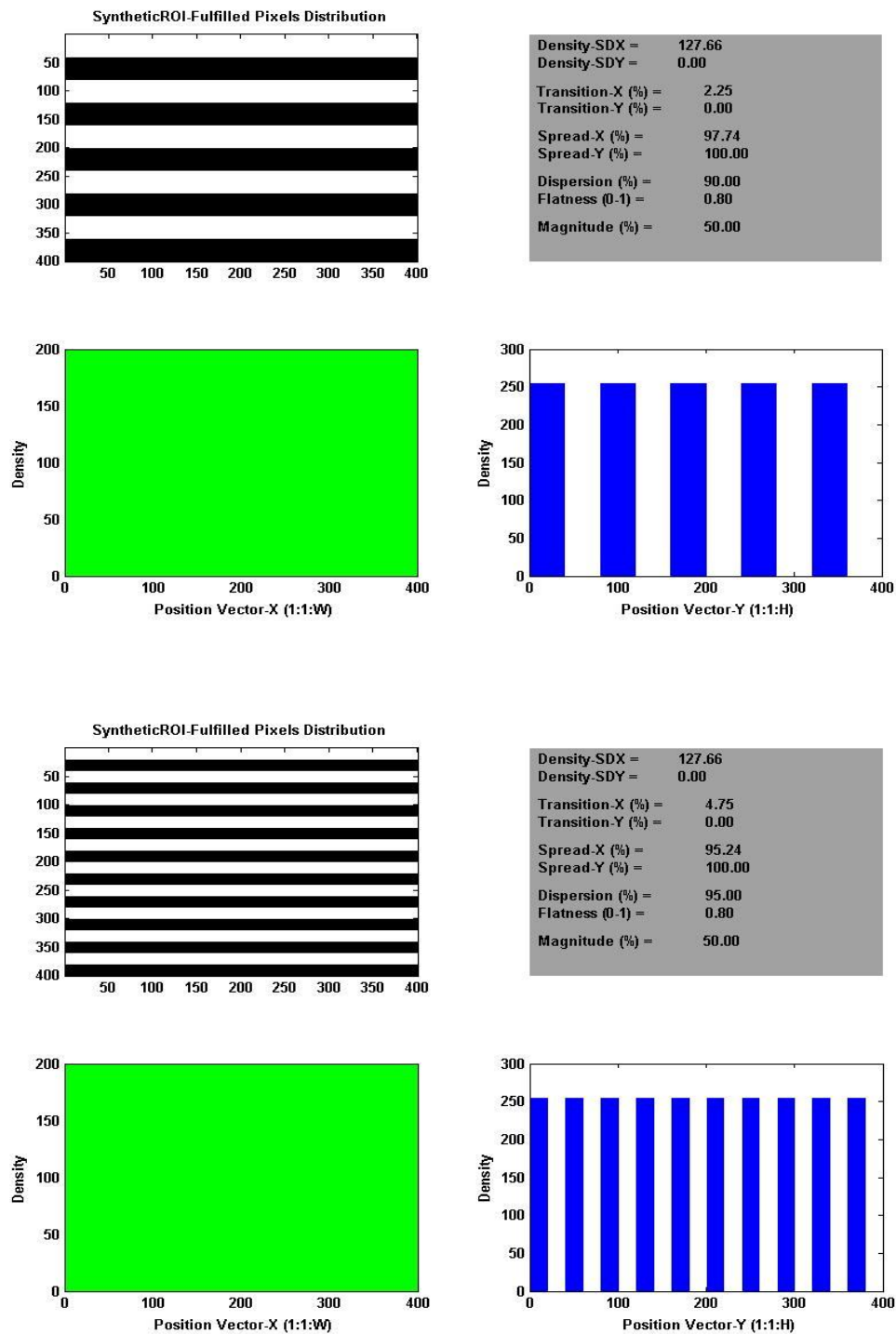
เพื่อที่จะทำการประเมินความถูกต้องของระเบียบวิธีการคำนวณที่จะนำไปใช้สำหรับการวัดและวิเคราะห์ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ ทั้งปริมาณของสัดส่วนระหว่างพื้นที่ของไขมันแทรกกับพื้นที่ของเนื้อแดง รวมทั้งการหาการกระจายตัวของพื้นที่ของไขมัน จะต้องทดสอบเบื้องต้นกับภาพสังเคราะห์ที่สามารถทราบปริมาณที่แน่นอนของสัดส่วนระหว่างพื้นที่สีขาว (แทนไขมัน) กับสีดำ (แทนเนื้อแดง) ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ รวมทั้งการกระจายตัวของพื้นที่สีขาวในรูปแบบต่างๆกัน (18 แบบ) ซึ่งประเมินระดับของการกระจายตัวกำหนดด้วยค่าดัชนีตั้งแต่ 0-100% แทนปริมาณการกระจายตัวจากค่าต่ำสุดไปค่าสูงสุดตามลำดับ จากผลการทดสอบทั้งหมด พบว่า ภาพของพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของสีขาวและดำแบบตารางหมากรุกและการกระจายตัวของสีขาวแบบสุ่ม (uniform random distribution) นั้นมีค่าดัชนีการกระจายสูงสุด (ideal case) ในขณะที่ภาพของพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของพื้นที่สีขาวที่ไม่ทั่วถึงหรือมีการกระจุกตัวในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของภาพจะมีค่าดัชนีการกระจายตัวต่ำสุด ปริมาณของสัดส่วนของพื้นที่สีขาว (ไขมันแทรก) ต่อพื้นที่สีดำ (เนื้อแดง) แสดงด้วยสัญลักษณ์ Magnitude (%), ดัชนีการกระจายแสดงด้วยสัญลักษณ์ Dispersion (%), ความสม่ำเสมอของการกระจายแสดงด้วยสัญลักษณ์ Density SDX และ Density SDY แทนค่าค่าความสม่ำเสมอของการกระจายในแนวนอน (แกน x) และแนวตั้ง (แกน y) ตามลำดับ โดยที่ค่าดังกล่าวยิ่งต่ำยิ่งดีซึ่งหมายถึงมีความสม่ำเสมอของการกระจายของจุดสีขาวอยู่สูง นอกจากนั้นแผนภาพฮิสโตแกรมที่แสดงด้วยกราฟสีเขียวและน้ำเงินแสดงแทนปริมาณและการกระจายของจุดขาวในแกนแนวนอน (แกน x) และแกนตั้ง (แกน y) ตามลำดับ กล่าวโดยสรุปคือ ค่าดัชนีการกระจายตัวที่วัดได้จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสม่ำเสมอและทั่วถึงของบริเวณสีขาวตลอดพื้นที่ที่สนใจ (ROI) ทั้งหมด ตัวอย่างของภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50 % ที่มีการกระจายตัวของสีขาวเป็นแบบแนวนอน (แสดงดังรูปที่ 4.1(a)-(c)), การกระจายตัวของสีขาวเป็นแบบแนวตั้ง (แสดงดังรูปที่ 4.3(a)-(c)), การกระจายตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุก (แสดงดังรูปที่ 4.5(a)-(c)) และแบบสุ่มสม่ำเสมอ (แสดงดังรูปที่ 4.8(a)-(b)) ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีการกระจายของภาพสังเคราะห์แต่ละแบบแสดงผลการวัดได้ดังรูปที่ 4.2, 4.4 และ 4.6 ตามลำดับโดยสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบดัชนีการกระจายตัวทั้ง 3 แบบดังรูปที่ 4.7 กล่าวโดยสรุปสำหรับการวัดค่าดัชนีการกระจายคือ ยังมีจำนวนแถบของสีขาวมากขึ้นและวางตัวอย่างสม่ำเสมอเท่าๆกันตลอดพื้นที่ที่ทำการวัดวิเคราะห์มากเพียงใด ค่าดัชนีการกระจายยิ่งมีค่ามากขึ้นและเข้าใกล้ 100% จากกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่า การกระจายตัวแบบตารางหมากรุก (แสดงดังรูปที่ 4.5(a)-(c)) มีการกระจายตัวดีที่สุด นอกจากนั้นยังได้มีการสร้างภาพสังเคราะห์ที่มีการกระจายตัวแบบอื่นๆมาใช้ในการทดสอบเพิ่มเติมได้แก่ ภาพสังเคราะห์การกระจายตัวแบบสุ่มสม่ำเสมอ (Uniform random distribution), ภาพสังเคราะห์การกระจายตัวแบบ Weibull (Weibull distribution) และภาพสังเคราะห์การกระจายตัวแบบ Extreme value (Extreme value distribution) เป็นต้น ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ภาพสังเคราะห์การกระจายตัวแบบสุ่มสม่ำเสมอมีแนวโน้มการกระจายตัวที่ดีในลักษณะเดียวกันกับภาพสังเคราะห์การกระจาย

ตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุก โดยมีค่าดัชนีการกระจายตัวเข้าใกล้ 100% เมื่อมีจำนวนจุดมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยรายละเอียดของผลการทดสอบแต่ละส่วนแสดงดังต่อไปนี้

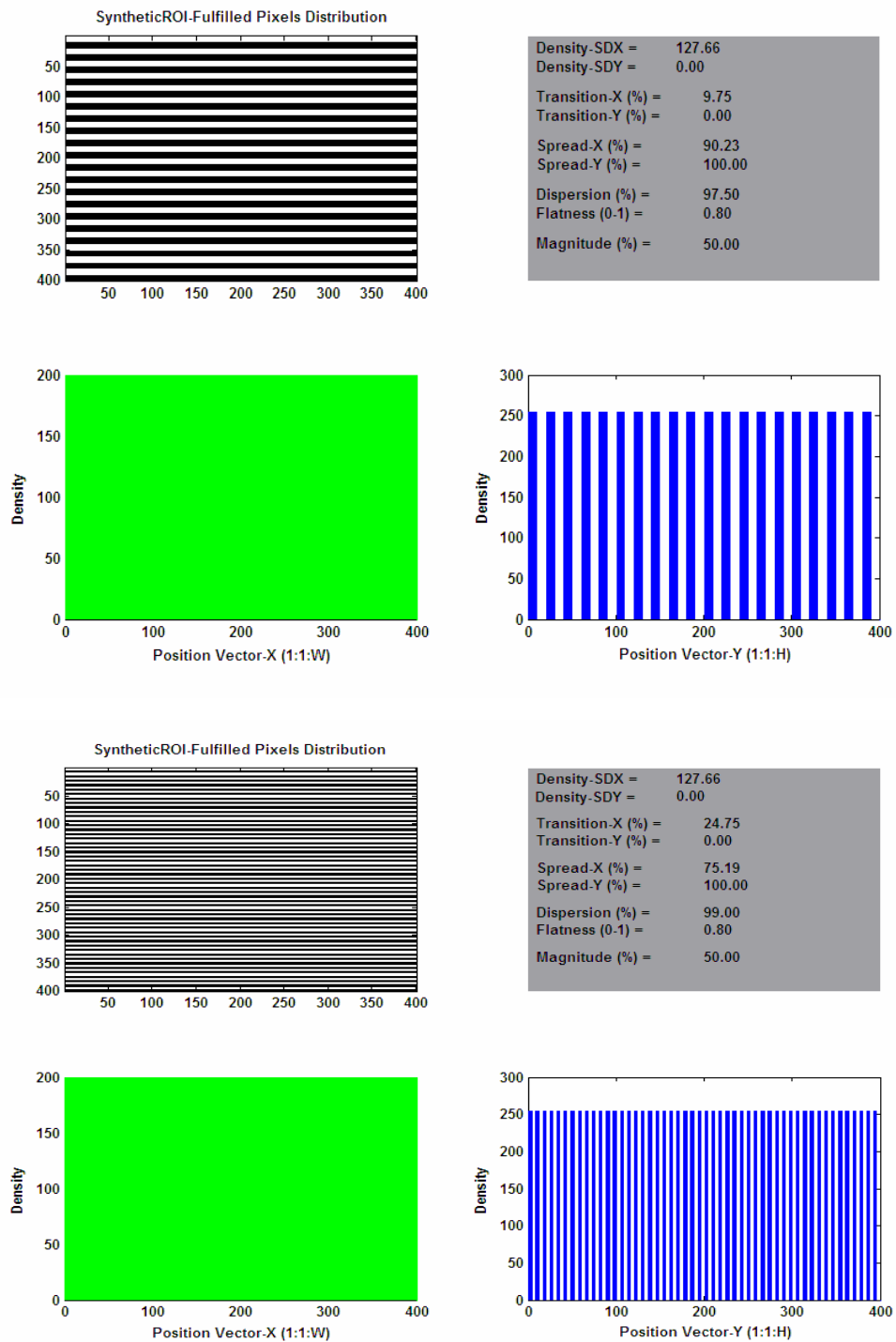
4.1.2 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวนอน (Horizontal Strips)



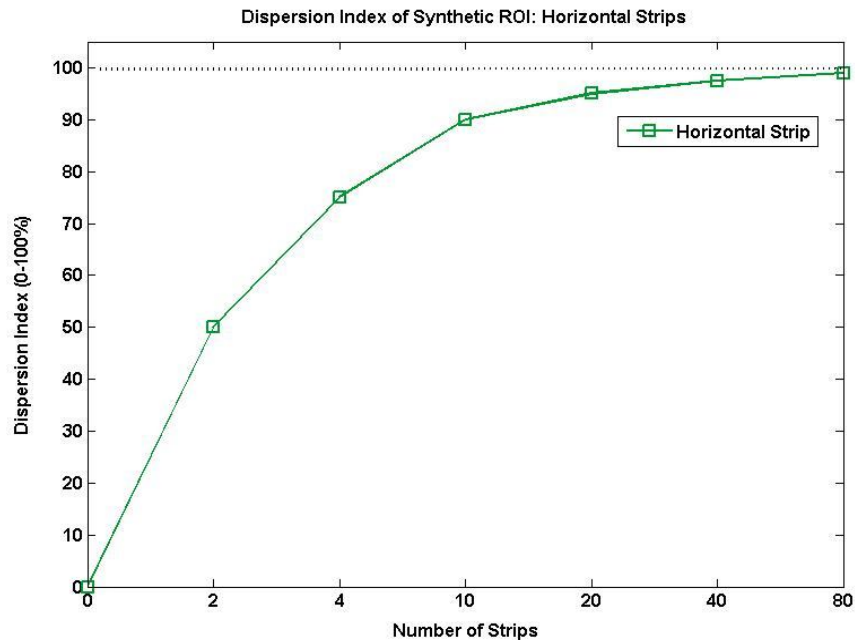
รูปที่ 4.1 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวนอนที่มีจำนวนแถบเป็น 2 และ 4 แถบตามลำดับ



รูปที่ 4.1 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวนอนที่มีจำนวนแถบเป็น 5 และ 10 แถบตามลำดับ



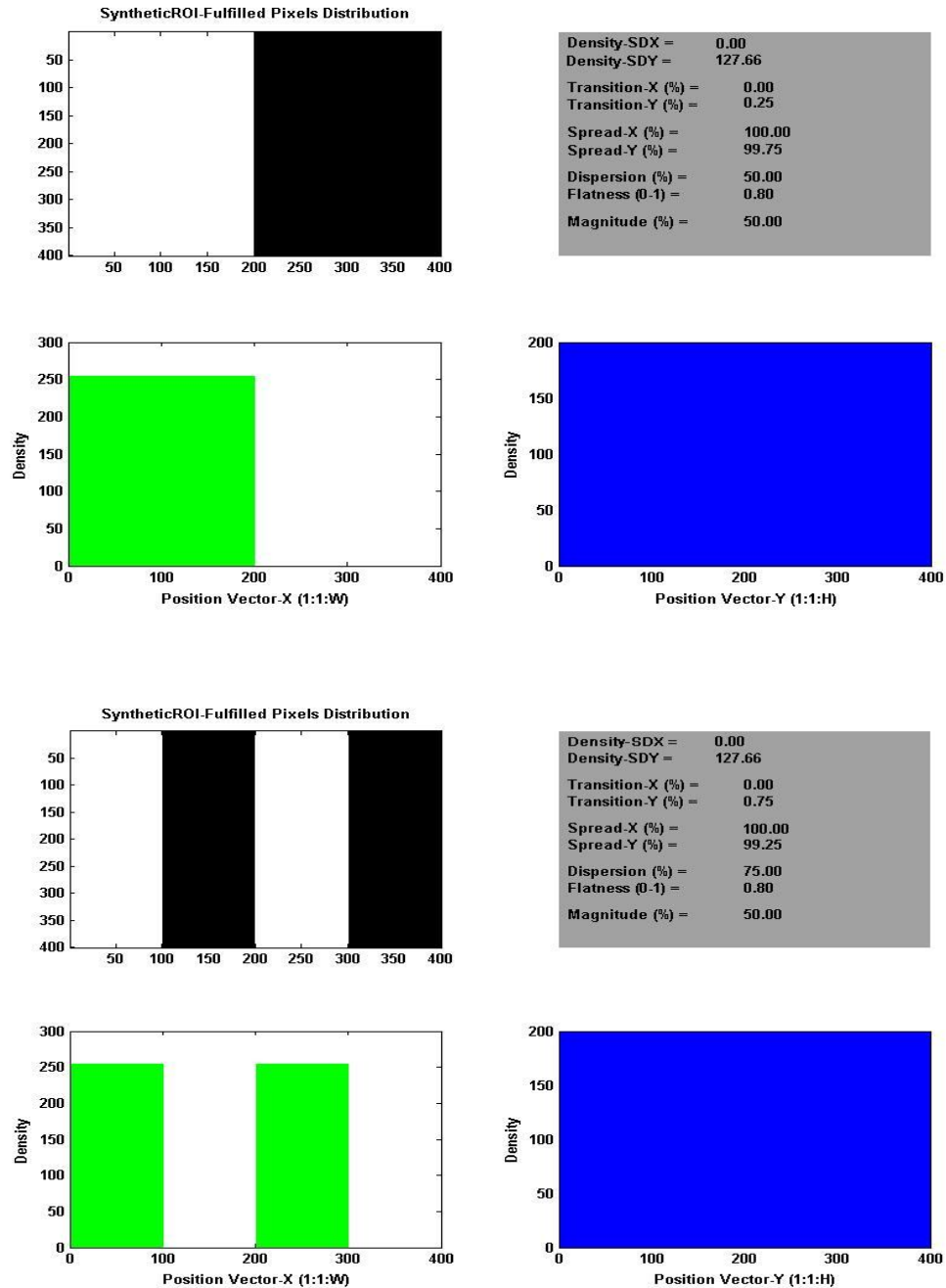
รูปที่ 4.1 (c) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวนอนที่มีจำนวนแถบเป็น 20 และ 40 แถบตามลำดับ



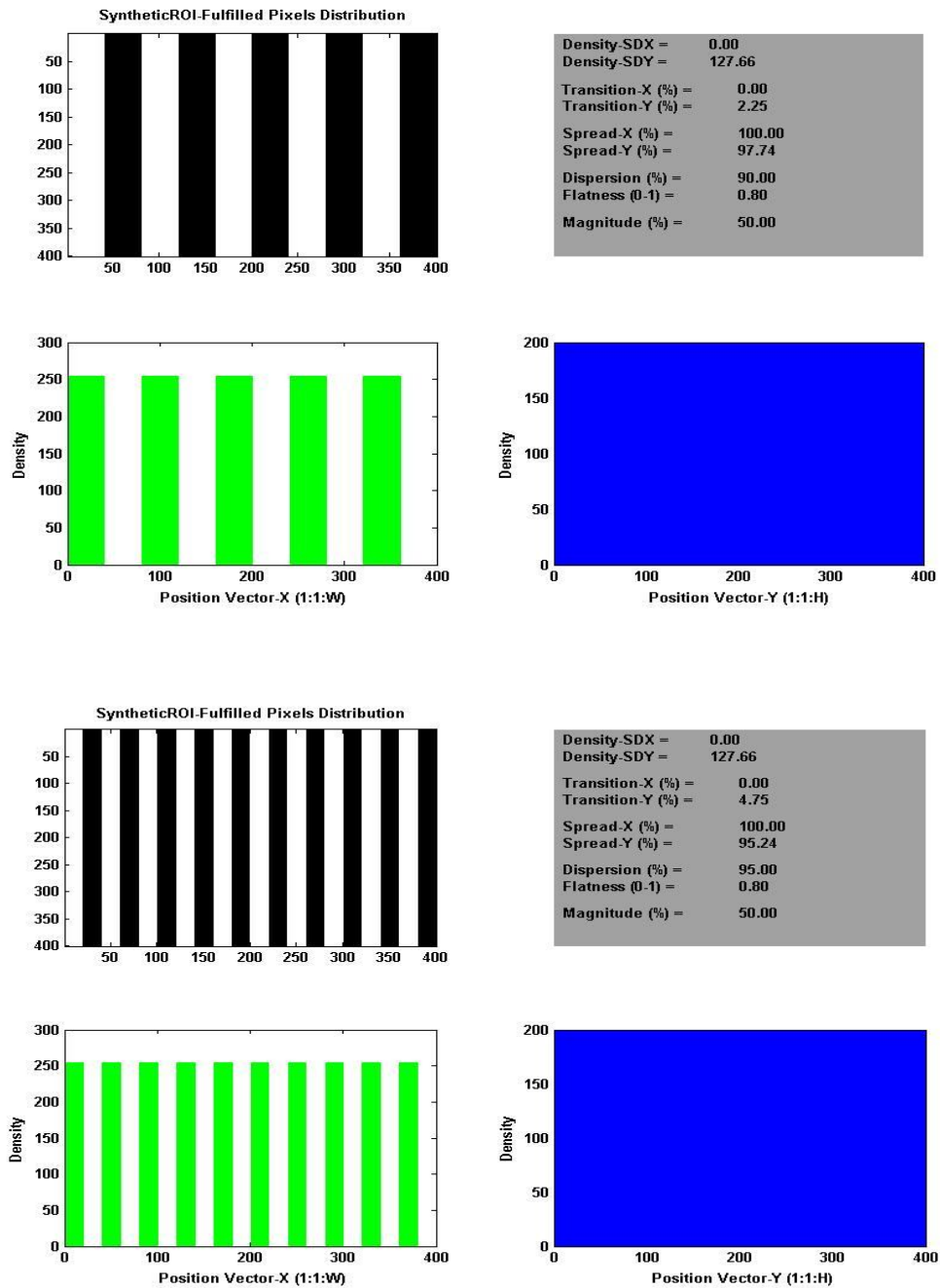
รูปที่ 4.2 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบแถบขาวสลับดำ
ในแนวนอน (Horizontal Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างกัน

ผลการทดลองวัดค่าดัชนีการกระจายตัว (Dispersion Index) ของภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50 % ที่มีการกระจายตัวของพื้นที่สีขาวเป็นแบบแถบสลับกับสีดำ แสดงดังรูปที่ 4.2(a)-(c) ค่าดัชนีการกระจายตัวของภาพที่วัดได้โดยใช้สมการที่(3)นั้น จะแปรตามจำนวนแถบและความสม่ำเสมอภายในพื้นที่ของภาพ (ROI) ซึ่งสามารถแสดงแนวโน้มของค่าดัชนีได้ดังรูปกราฟที่ 4.2 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีการกระจายตัวมีค่าเป็น 90% เมื่อมีจำนวนแถบในแนวนอนเท่ากับ 10 (รูปที่ 4.1 (b)) และมีค่าดัชนีการกระจายตัวเกินกว่า 90% เมื่อจำนวนแถบเพิ่มขึ้น 2 เท่า หรือที่ 20 แถบ (รูปที่ 4.1 (c)) และเข้าใกล้ 100% เมื่อจำนวนแถบเพิ่มขึ้นเป็น 80 แถบ ซึ่งลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการกระจายตัวตามรูปกราฟที่ 4.2 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับจำนวนแถบที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อมีจำนวนแถบมากขึ้นหรือมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ค่าดัชนีจะมีค่าเข้าใกล้ 100% ซึ่งวิธีการวัดในลักษณะดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินคุณภาพการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อแดง ให้สามารถแปลผลเชิงคุณภาพออกมาเป็นค่าในเชิงปริมาณสำหรับการเปรียบเทียบได้ นอกเหนือไปจากปริมาณไขมันแทรก (อัตราส่วนของพื้นที่สีขาวต่อพื้นที่สีดำเป็น %) ที่สามารถวัดออกมาได้เป็นค่าเชิงปริมาณในเบื้องต้น

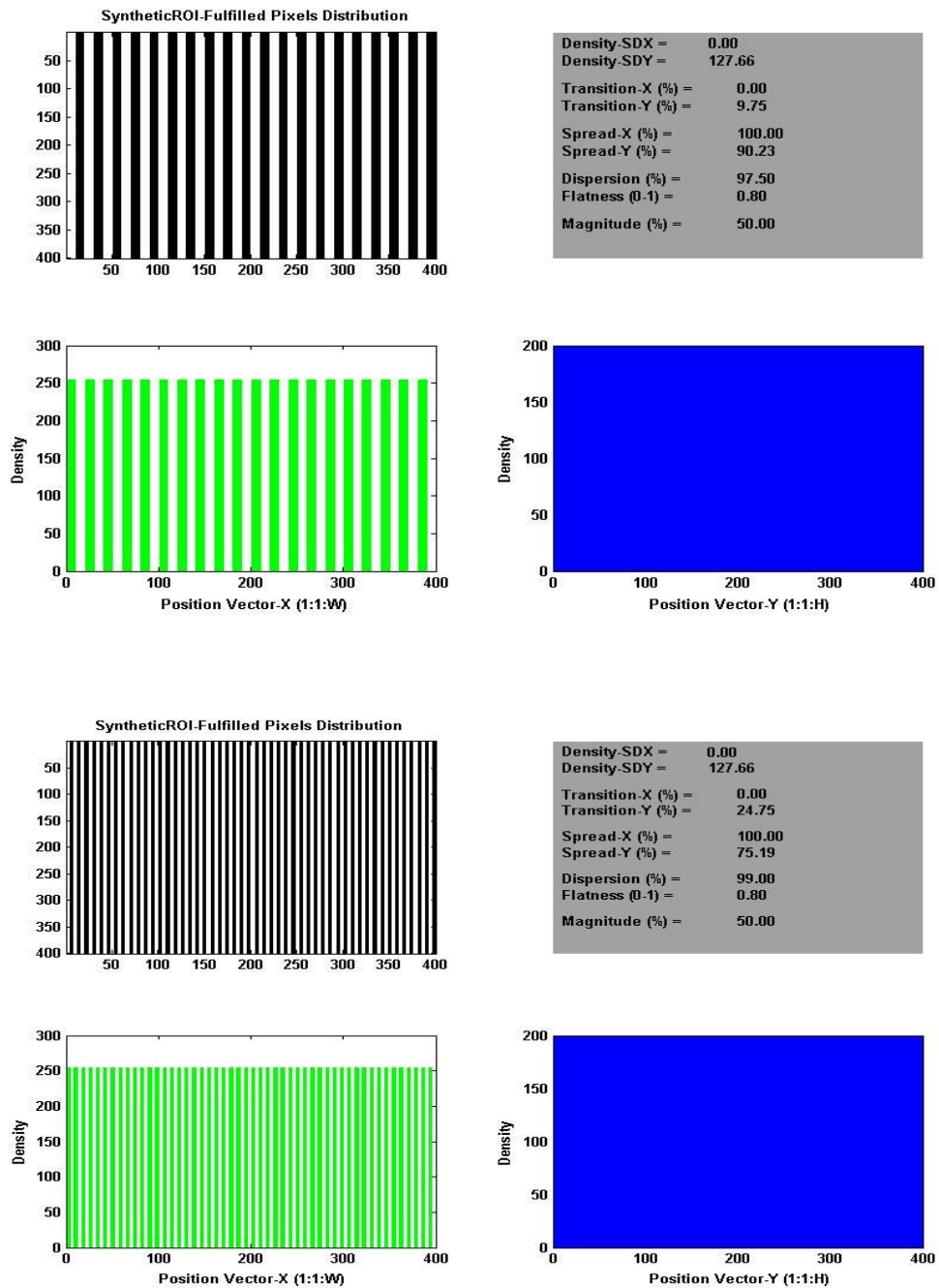
4.1.3 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวตั้ง (Vertical Strips)



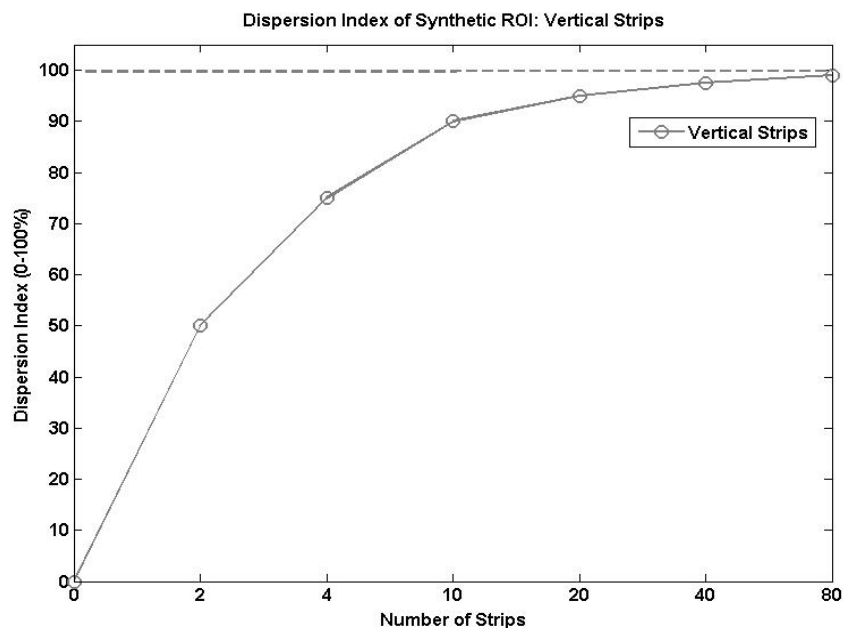
รูปที่ 4.3 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวตั้งที่มีจำนวนแถบเป็น 2 และ 4 แถบตามลำดับ



รูปที่ 4.3(b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวตั้งที่มีจำนวนแถบเป็น 5 และ 10 แถบตามลำดับ



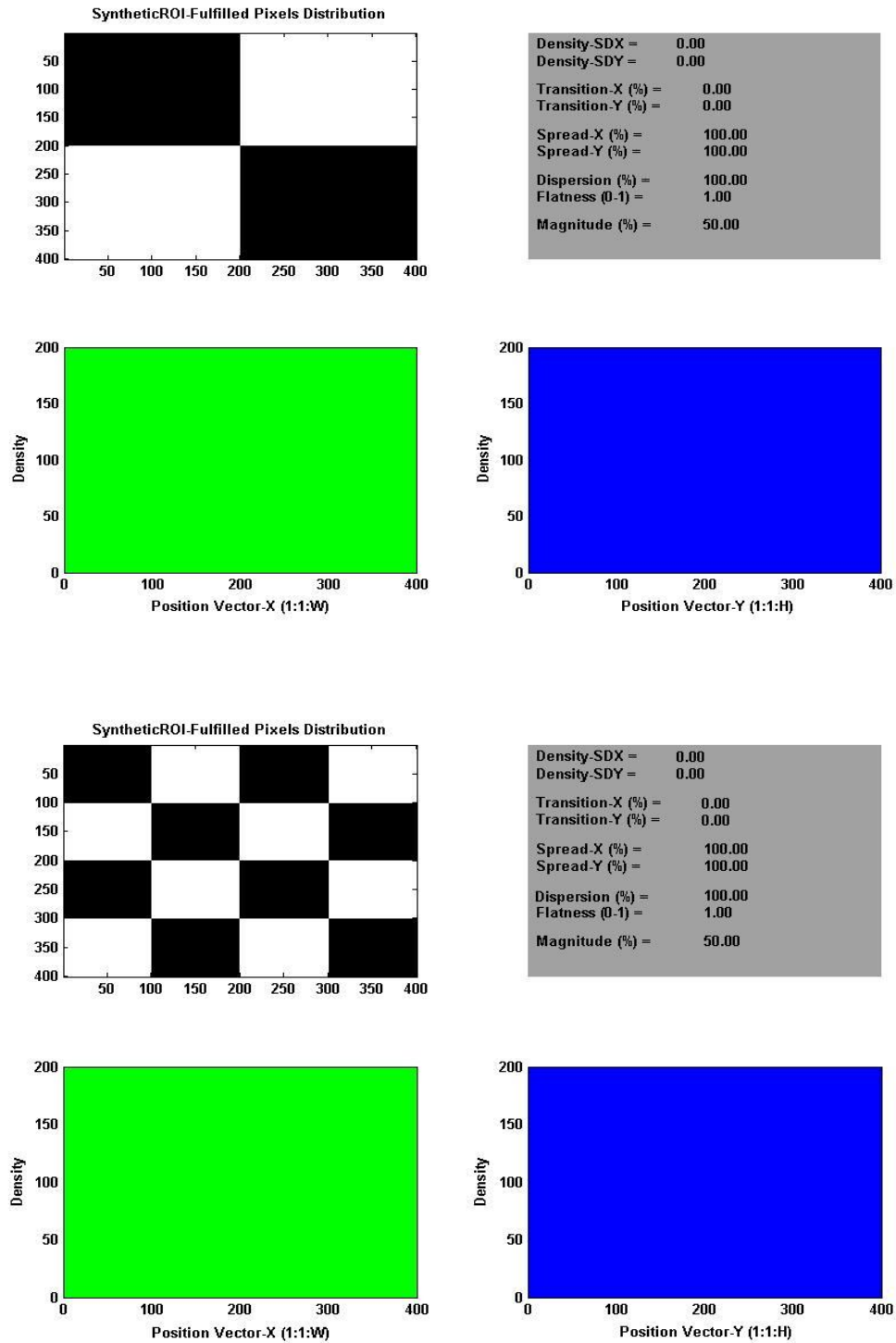
รูปที่ 4.3(c) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวในแนวตั้งที่มีจำนวนแถบเป็น 20 และ 40 แถบตามลำดับ



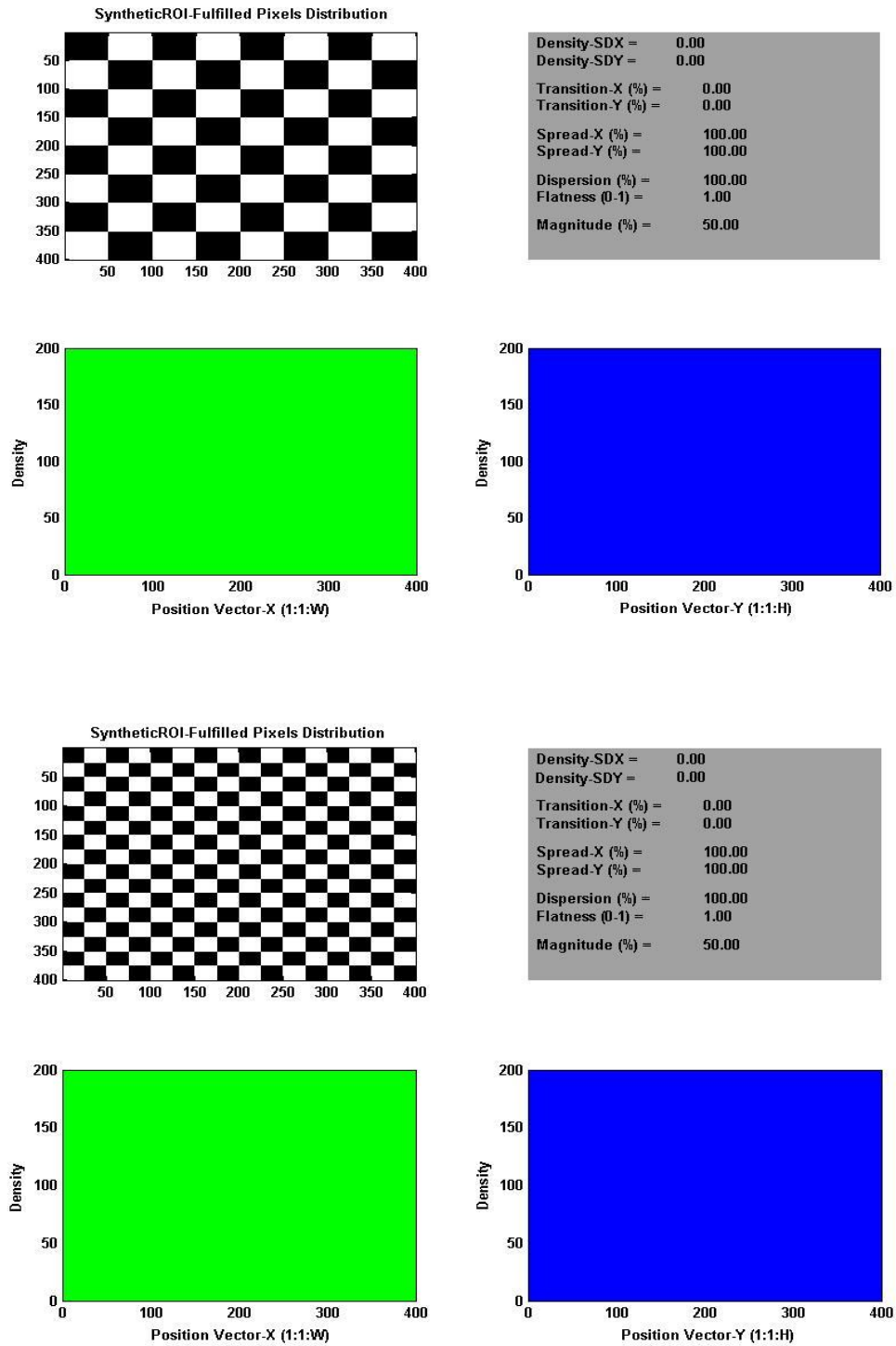
รูปที่ 4.4 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบแถบขาวสลับดำ
ในแนวตั้ง (Vertical Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างกัน

ผลการทดลองวัดค่าการกระจายตัวบนภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50 % ที่มีการกระจายตัวของสีขาวเป็นแบบแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 4.3 (a)-(c) โดยที่ค่าดัชนีการกระจายตัวที่วัดได้จากการใช้สมการที่ (3) นั้น จะแปรตามจำนวนแถบและความสม่ำเสมอภายในพื้นที่ของภาพ (ROI) เช่นเดียวกันกับภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวนอน ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีเมื่อเทียบกับจำนวนแถบบนภาพสังเคราะห์แบบแถบในแนวตั้ง สามารถแสดงได้ดังรูปกราฟที่ 4.4 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีการกระจายตัวมีค่าเป็น 90% เมื่อมีจำนวนแถบในแนวตั้งเท่ากับ 10 (รูปที่ 4.3 (b)) และมีค่าดัชนีการกระจายตัวเกินกว่า 90% เมื่อจำนวนแถบเพิ่มขึ้น 2 เท่า หรือที่ 20 แถบ (รูปที่ 4.3 (c)) เมื่อมีจำนวนแถบบนภาพมากขึ้นหรือมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ค่าดัชนีจะมีค่าเข้าใกล้ 100% ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการกระจายตัวตามรูปกราฟที่ 4.4 มีลักษณะแบบเดียวกันกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการกระจายตัวของภาพสังเคราะห์แบบแนวนอน

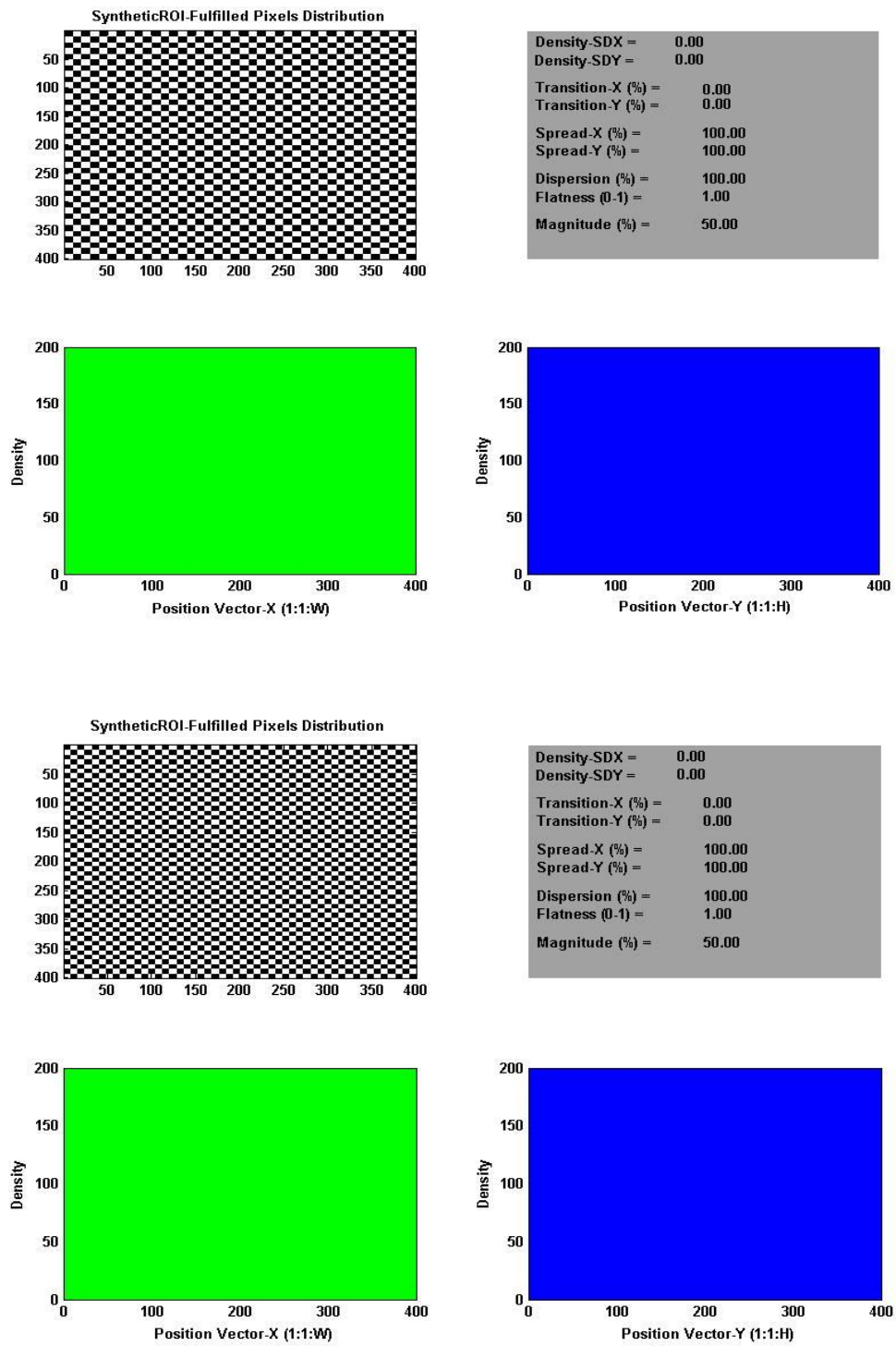
4.1.4 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบตารางหมากรุก (Chess-Board or Cross Strips)



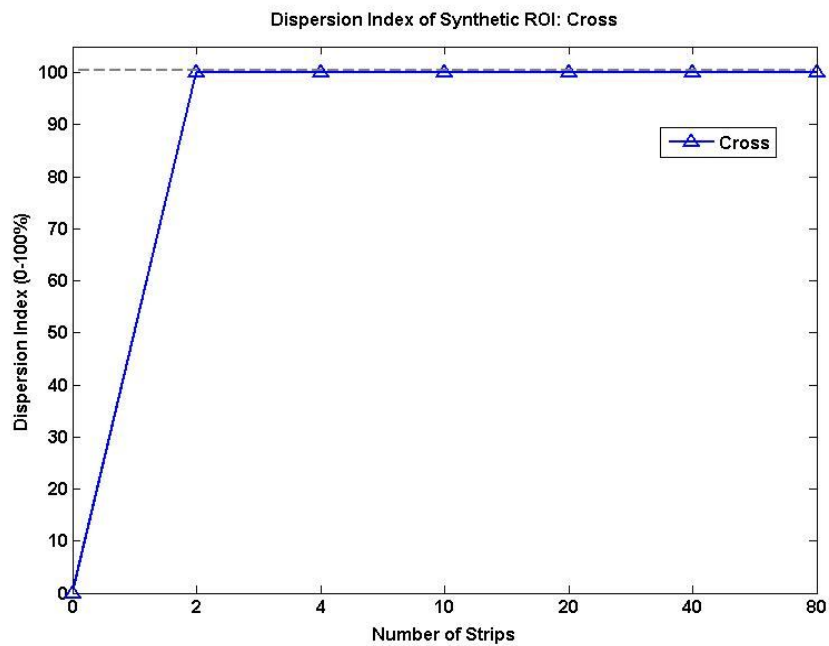
รูปที่ 4.5 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุกขนาด 2x2 และ 4x4



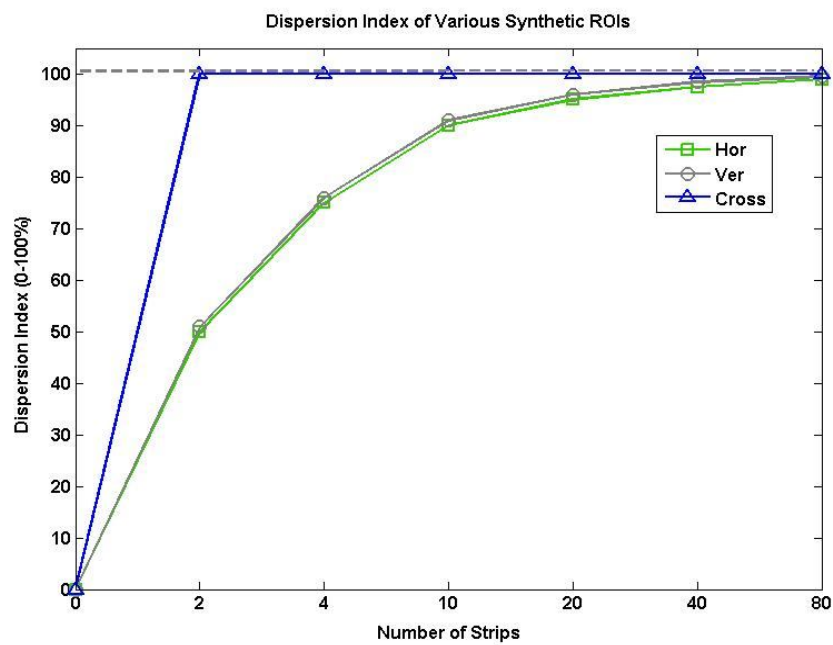
รูปที่ 4.5 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุกขนาด 8x8 และ 16x16



รูปที่ 4.5 (c) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50% และมีการวางตัวของสีขาวแบบตารางหมากรุกขนาด 32x32 และ 64x64



รูปที่ 4.6 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบตารางหมากรุก (Chess-Board or Cross Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างๆกัน



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์ทั้ง 3 แบบ (Horizontal, Vertical and Cross Strips) ที่มีจำนวนแถบต่างๆกัน

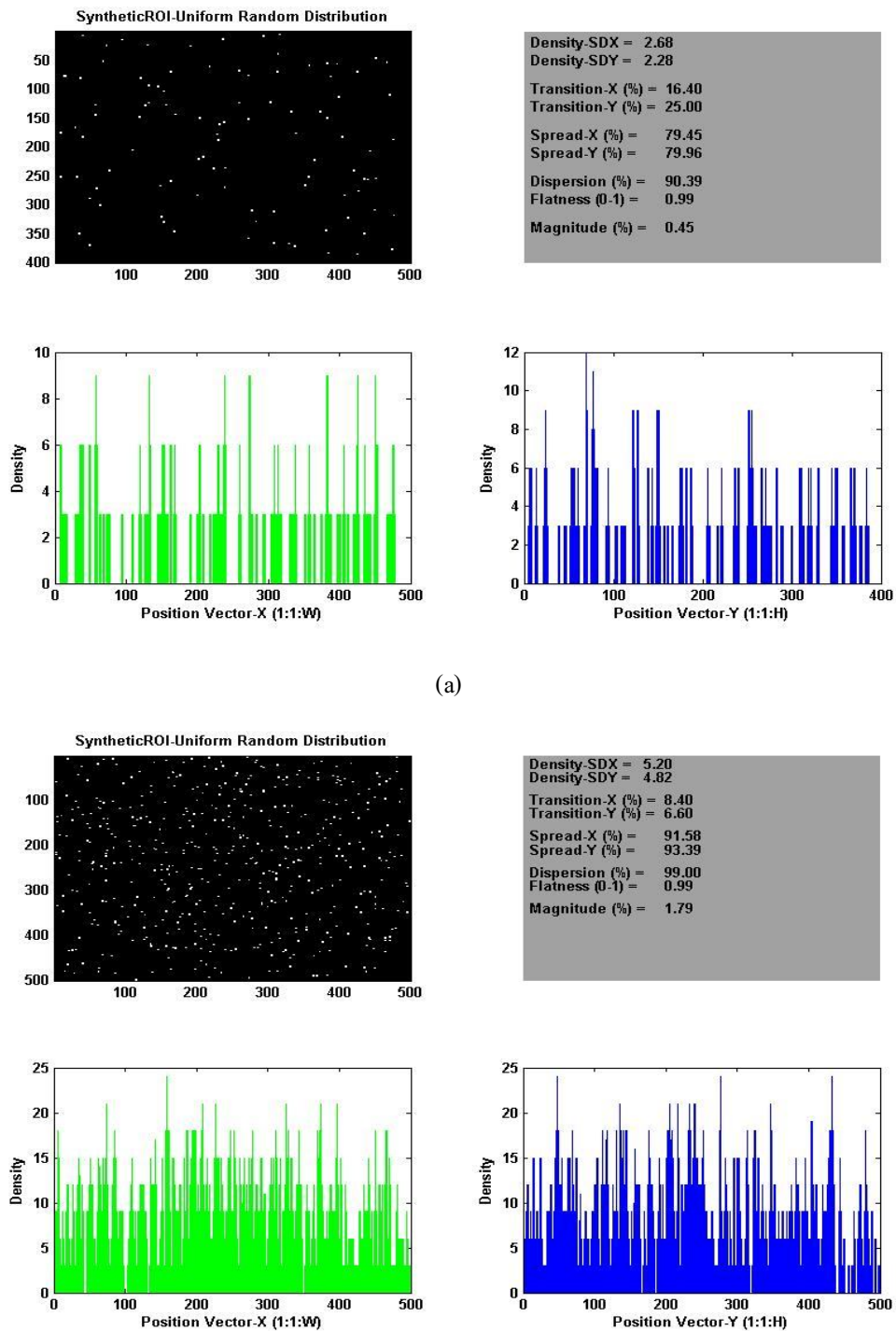
ผลการทดลองวัดค่าการกระจายตัวของภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50 % ที่มีการกระจายตัวของสีขาวเป็นแบบตารางหมากรุกแสดงดังรูปที่ 4.5 (a)-(c) โดยที่ค่าดัชนีการกระจายตัวที่วัดได้จากการใช้สมการที่ (3) นั้น จะแปรตามจำนวนแถบทั้งแนวดิ่งและแนวนอนหรือแปรตามจำนวนชิ้นส่วนพื้นที่ที่สลับสีจตุรัสย่อยๆทั้งหมดที่บรรจุอยู่ในพื้นที่ของภาพ (ROI) ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการกระจายตัวที่วัดได้เมื่อเทียบกับจำนวนแถบในแนวดิ่งและแนวนอน สามารถแสดงได้ดังรูปกราฟที่ 4.6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีการกระจายตัวมีค่าเป็น 100% เมื่อมีจำนวนแถบในแนวดิ่งและแนวนอนตั้งแต่ 2 (หรือเท่ากับจำนวนชิ้นส่วนพื้นที่ที่สลับสีจตุรัสย่อยรวมกัน 4 รูปภายในพื้นที่ ROI) ขึ้นไป (รูปที่ 4.5 (a)) และมีค่าดัชนีการกระจายตัวเท่ากับ 100% ตลอดสำหรับทุกค่าของจำนวนแถบในแนวดิ่งและแนวนอนตั้งแต่ 2 ขึ้นไป (รูปที่ 4.5 (a)-(c)) ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการกระจายตัวตามรูปกราฟที่ 4.6 เป็นลักษณะการกระจายตัวแบบอุดมคติคือมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอโดยสมบูรณ์และคิดเป็นค่าดัชนีการกระจายตัวได้สูงสุด เท่ากับ 100% ซึ่งสอดคล้องกันกับข้อมูลเชิงคุณภาพที่สามารถมองเห็นและประเมินได้จากภาพ

นอกจากนั้นผลการวัดค่าดัชนีการกระจายตัวที่ได้จากภาพสังเคราะห์ทั้ง 3 แบบ สามารถเปรียบเทียบและแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งภาพสังเคราะห์การกระจายตัวของพื้นที่สีขาวแบบตารางหมากรุก มีค่าดัชนีการกระจายตัวดีที่สุด (Ideal case) ในขณะที่ค่าดัชนีการกระจายตัวของภาพสังเคราะห์แบบแถบทั้งแนวดิ่งและแนวนอนมีค่าเท่ากันในทุกจำนวนแถบและมีค่าดัชนีต่ำกว่าภาพสังเคราะห์ตารางหมากรุกในช่วงจำนวนแถบน้อย สำหรับในช่วงที่จำนวนแถบสูงขึ้นมาๆ ภาพสังเคราะห์แบบแถบทั้งแนวดิ่งและแนวนอนจะให้ค่าดัชนีการกระจายตัวที่ดีขึ้นและสูงเท่ากับภาพสังเคราะห์ตารางหมากรุก

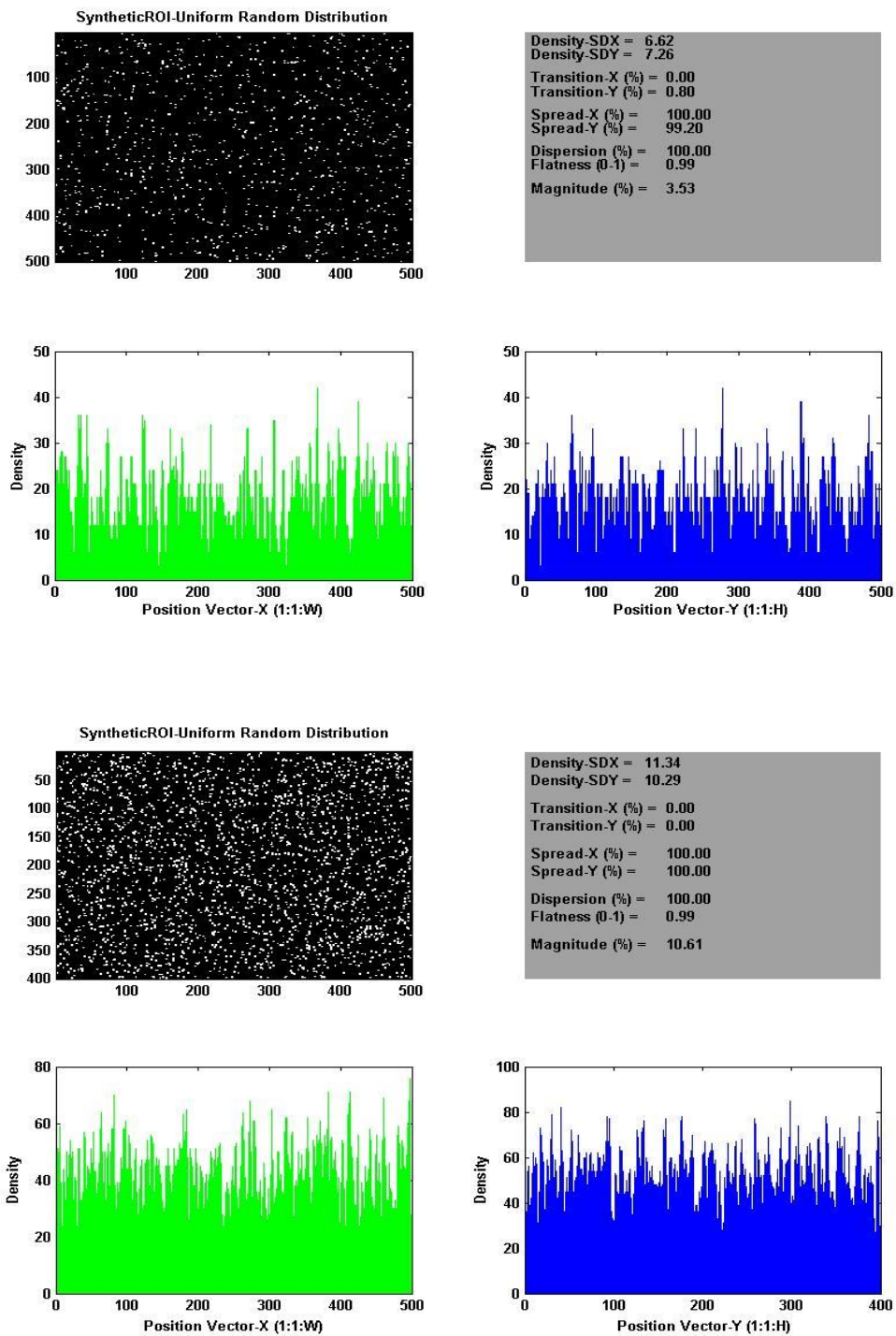
4.2 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบอื่นๆ

จากผลการทดลองวัดค่าดัชนีการกระจายตัว (Dispersion Index) ของภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 50 % ที่มีการกระจายตัวของพื้นที่สีขาวเป็นแบบแถบสลับกับสีดำในแนวดิ่งและแนวนอน รวมทั้งการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบตารางหมากรุกในหัวข้อที่แล้วนั้น เป็นการทดสอบความถูกต้องของวิธีการประเมินและค่าดัชนีที่ได้จากการวัดโดยใช้สมการที่ (3) กับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งผลที่ได้ อาจไม่เพียงพอหรือไม่สะท้อนสภาพความเป็นจริงได้อย่างใกล้เคียง ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบวิธีการประเมินดังกล่าวนี้ด้วยข้อมูลภาพสังเคราะห์แบบอื่นๆเพิ่มเติมก่อนที่จะนำวิธีการนี้ไปใช้ทดสอบกับภาพที่ได้จากตัวอย่างจริงของ Rib-eye ต่อไป สำหรับตัวอย่างภาพสังเคราะห์แบบอื่นที่จะนำมาใช้ทดสอบเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้ได้แก่ ภาพสังเคราะห์การกระจายของจุดสีขาวบนพื้นที่สีดำ ซึ่งมีทั้งแบบการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (Two Dimensional Uniform Random Distribution) และแบบการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ (Two Dimensional Non-Uniform Random Distribution) โดยมีเป้าหมายของการทดสอบคือ ค่าดัชนีการกระจายตัวที่วัดได้จากภาพสังเคราะห์ที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอควรจะมีค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับ 100% ในขณะที่ค่าดัชนีที่วัดได้จากภาพสังเคราะห์ที่มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอควรจะมีค่าน้อยกว่า 100% และสอดคล้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพที่สามารถมองเห็นและประเมินได้จากภาพอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นได้ในผลการทดลองดังนี้

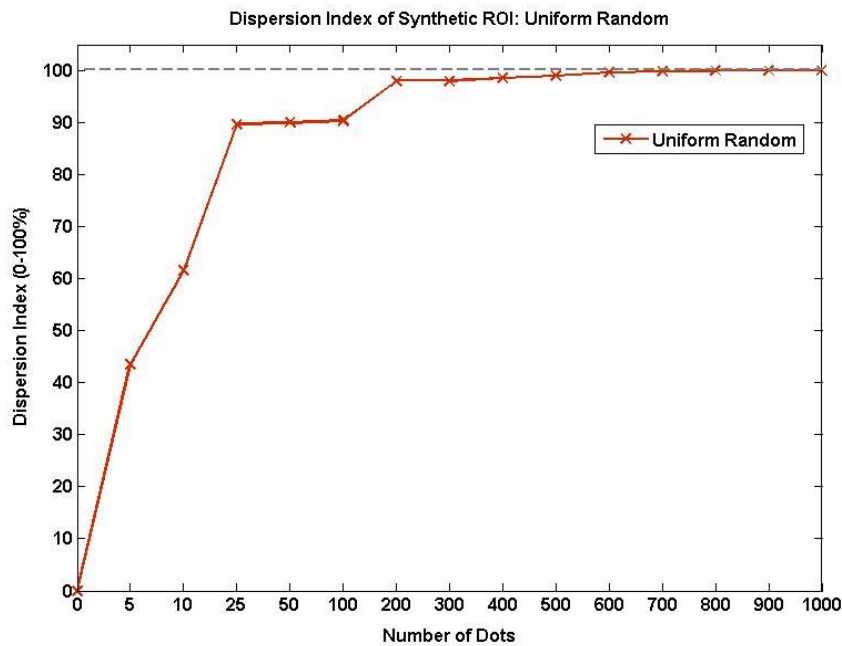
4.2.1 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบจุดสีขาวที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Random Distribution)



รูปที่ 4.8 (a) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 1% และ 5 % มีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform Random Distribution)



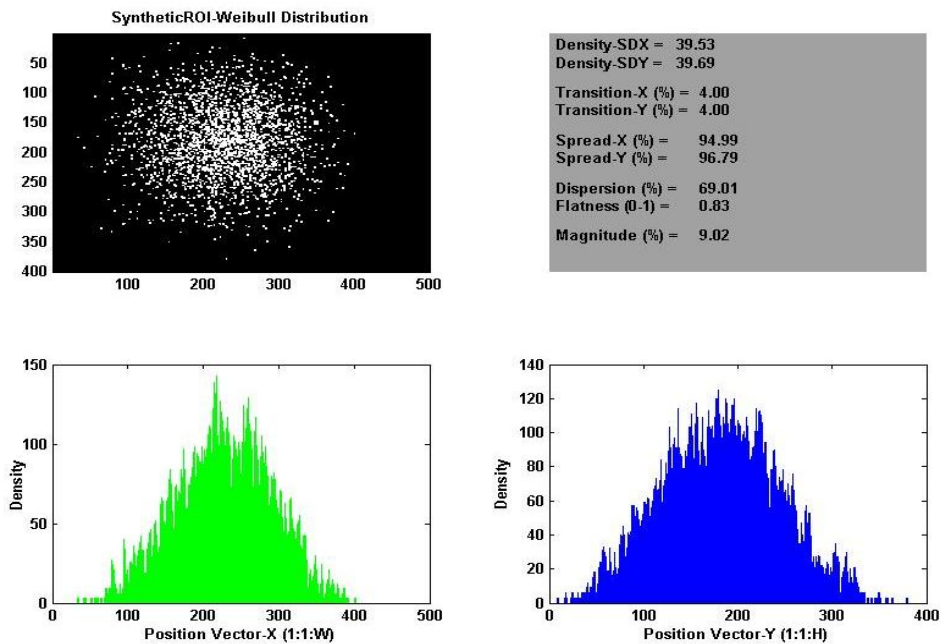
รูปที่ 4.8 (b) ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 10 % และ 15 %
 มีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform Random Distribution)



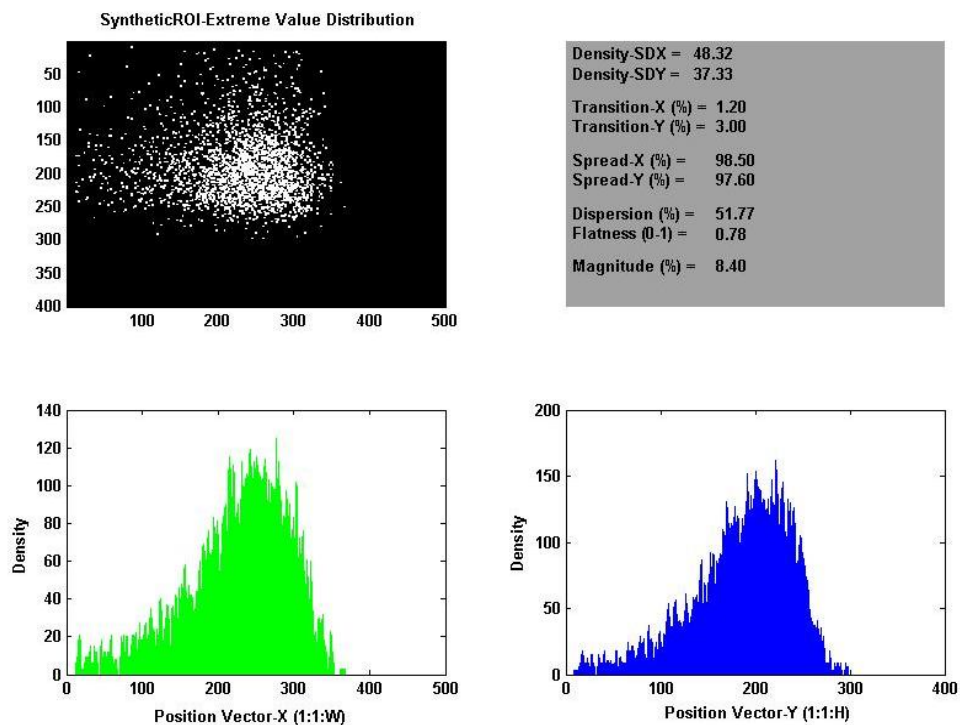
รูปที่ 4.9 แสดงค่าดัชนีการกระจายของพื้นที่สีขาวจากภาพสังเคราะห์แบบกระจายแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform Random Distribution) ที่มีจำนวนจุดสีขาวต่างกัน

ผลการทดลองวัดค่าดัชนีการกระจายตัว (Dispersion Index) ของภาพสังเคราะห์แบบจุดสีขาวที่มีการกระจายตัวแบบสุ่มสม่ำเสมอ (2D-Uniform random distribution) แสดงดังรูปที่ 4.8(a)-(b) ค่าดัชนีการกระจายตัวของภาพที่วัดโดยใช้สมการที่ (3) จะแปรตามจำนวนจุดและความสม่ำเสมอภายในพื้นที่ของภาพ (ROI) ขนาด 400 x 500 pixels ซึ่งสามารถแสดงแนวโน้มของค่าดัชนีได้ดังรูปกราฟที่ 4.9 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีการกระจายตัวมีค่าเป็น 90% เมื่อมีจำนวนจุดเท่ากับ 25 จุดกระจายตัวในพื้นที่ ROI (รูปที่ 4.8 (a)) และมีค่าดัชนีการกระจายตัวมากกว่า 90% เมื่อจำนวนจุดเพิ่มขึ้นเกิน 2 เท่า หรือเริ่มที่ 50 จุดขึ้นไป (รูปที่ 4.8 (b)) และเข้าใกล้ 100% เมื่อจำนวนจุดเพิ่มมากขึ้นเกิน 100 จุด ซึ่งลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการกระจายตัวตามรูปกราฟที่ 4.9 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับจำนวนจุดที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกันกับภาพสังเคราะห์แบบแถบและแบบตารางหมากรุก อย่างไรก็ตามเมื่อมีจำนวนจุดมากขึ้นหรือมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ค่าดัชนีจะมีค่าเข้าใกล้ 100% ซึ่งการกระจายตัวของจุดสีขาวในภาพดังกล่าวนี้มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงตามลักษณะการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อ มากกว่าภาพสังเคราะห์แบบอื่นๆ เนื่องจากการเกิดขึ้นของไขมันแทรกในเนื้อตามธรรมชาตินั้น จะมีการกระจายตัวและแทรกตัวอยู่ทั่วๆ ไปตามบริเวณรอบๆ เส้นใยกล้ามเนื้อ ดังนั้นการวัดค่าการกระจายตัวของไขมันแทรกจากภาพ (โดยใช้สมการที่ (3)) ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่สามารถมองเห็นและประเมินได้ด้วยจากภาพถ่าย สามารถนำไปใช้แปรผลเชิงคุณภาพให้ออกมาเป็นค่าในเชิงปริมาณสำหรับการเปรียบเทียบเพื่อการประเมินคุณภาพการกระจายตัวของไขมันแทรกในเนื้อได้นอกเหนือไปจากการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไขมันแทรก ที่สามารถวัดออกมาเป็นค่าเชิงปริมาณได้ในเบื้องต้น

4.2.2 ผลการทดสอบกับภาพสังเคราะห์แบบจุดสีขาวที่มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Distribution)



รูปที่ 4.10 ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับพื้นที่ 10 % และมีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบกระจุกตัว (2D-Weibull Distribution)



รูปที่ 4.11 ภาพสังเคราะห์ของพื้นที่ที่มีค่าสัดส่วนระหว่างสีขาวกับสีดำ 10 % และมีการกระจายตัวของจุดสีขาวแบบกระจุกตัว (2D-Extreme Value Distribution)

เพื่อเป็นการทดสอบวิธีการวัดดัชนีการกระจายตัวเพิ่มเติม จึงต้องทดสอบกับภาพสังเคราะห์การกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงภาพสังเคราะห์แบบจุดสีขาวที่มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอแบบซึ่งมีการกระจาย 2 มิติ แบบ Weibull (2D-Weibull distribution) และแบบ Extreme value (2D-Extreme value distribution) ตามลำดับ ซึ่งผลการวัดค่าสัดส่วนพื้นที่จุดสีขาวต่อพื้นที่สีดำ (%) และการวัดค่าดัชนีการกระจายตัวของจุดสีขาวบนพื้นที่สีดำ ผลที่ได้จากการของภาพทั้ง 2 ได้ค่าสัดส่วนพื้นที่จุดสีขาวต่อพื้นที่สีดำเป็น 9.0% และ 8.4% โดยประมาณ และได้ค่าดัชนีการกระจายตัวเป็น 69% และ 58% ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าดัชนีการกระจายที่วัดได้จากภาพสังเคราะห์ที่มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ และสอดคล้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพที่สามารถประเมินได้จากภาพว่า การกระจายตัวของจุดสีขาวไม่สม่ำเสมอและไม่ทั่วถึงตลอดพื้นที่ ROI

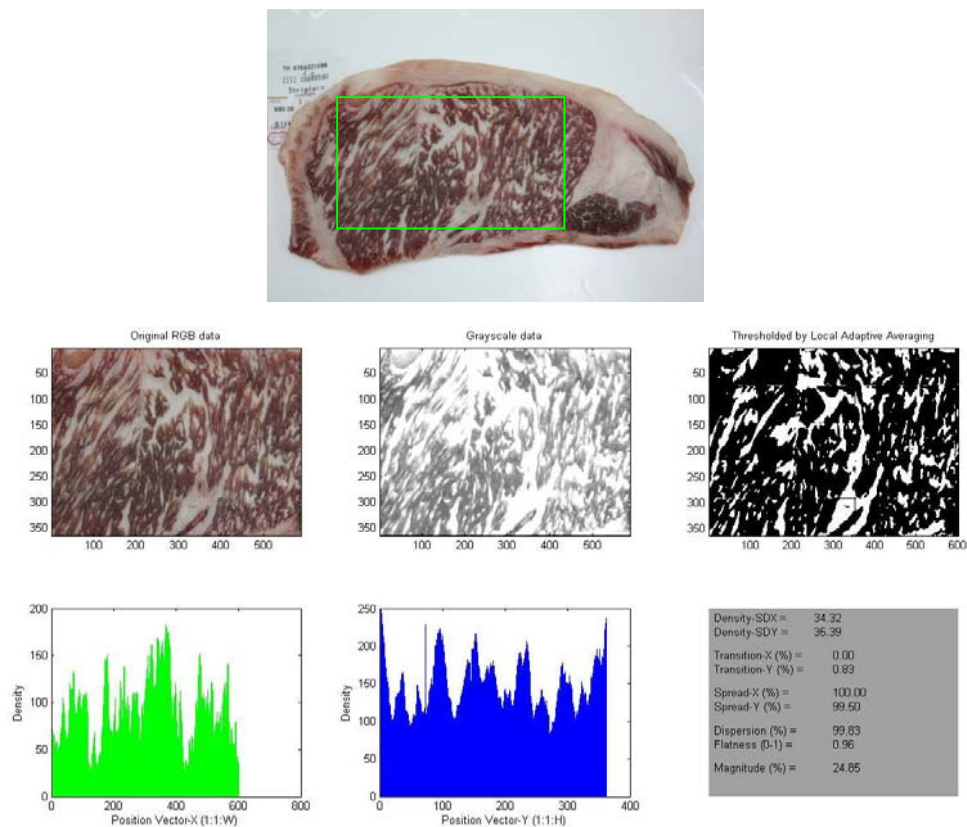
4.3 ผลการทดสอบระเบียบวิธีวิธีการคำนวณ (MATLAB) กับภาพถ่ายอย่างจริงจาก Thai-French Beef

4.3.1 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์การระดับไขมันแทรกและผลวิเคราะห์ทางสถิติ

(Percentage of Marbling Fat Measurements and Statistical Analysis Results)

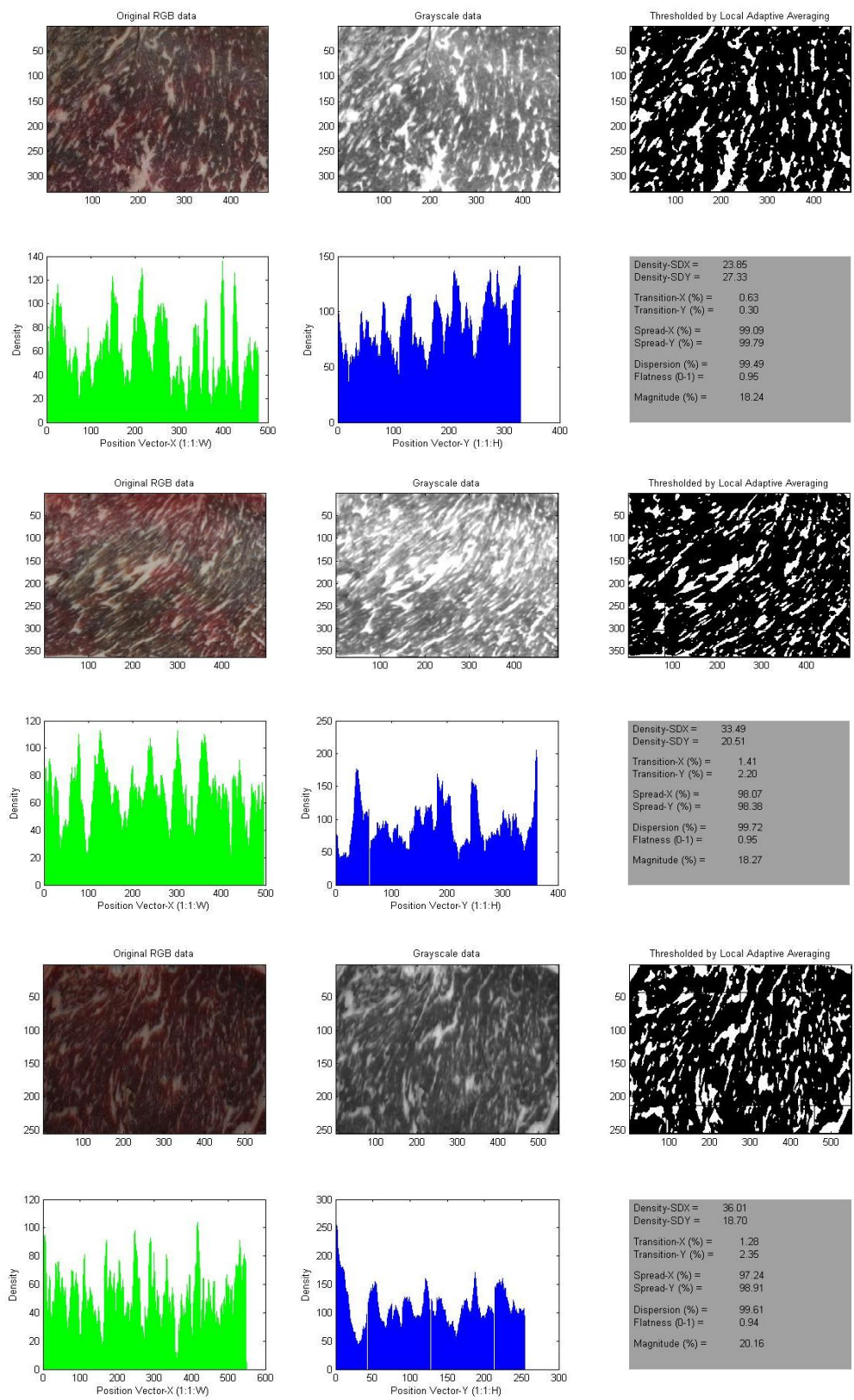
เมื่อทำการทดสอบระเบียบวิธีวิธีการคำนวณที่จะนำไปใช้สำหรับการวัดและวิเคราะห์ปริมาณไขมันแทรกในเนื้อกับภาพสังเคราะห์แล้วจะต้องทำการทดสอบกับภาพที่ได้จากตัวอย่างจริง สำหรับการทดลองกับภาพจริงในหัวข้อนี้ใช้ภาพถ่ายจากตัวอย่างเนื้อบริเวณ Rib-eye ที่ได้จากสหกรณ์การผลิตโคเนื้อโพนองคำ (Thai-French Beef) จำนวนทั้งสิ้น 391 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างคือ กลุ่มที่ 1 ทั้งหมดได้รับการประเมินและจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญแล้ว (Labeled) แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย คือ G3.0, G3.5, G4.0 และ G4.5 แทนกลุ่มที่มีปริมาณไขมันแทรกจากน้อยไปมากตามลำดับ รวมเป็นจำนวนทั้งหมด 259 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ 2 ซึ่งยังไม่ได้รับการประเมินและจัดเกรด (Unlabeled) เป็นจำนวนทั้งสิ้น 132 ตัวอย่าง โดยการเลือกพื้นที่ที่สนใจจากภาพ (ROI: Region of Interest-พื้นที่ภายในกรอบสีเขียว) มาทำการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.12 เมื่อทำการวัดปริมาณไขมันแทรกและจัดเกรดโดยเทคนิคการประมวลผลภาพแล้ว วิเคราะห์ผลในเชิงสถิติเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญกับกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการจัดเกรดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งจะแสดงผลการเปรียบเทียบด้วยค่าทางสถิติ (Non-parametric statistical analysis) และแผนภาพฮิสโตแกรม พร้อมทั้งค่าดัชนีวัดคุณภาพของการจัดกลุ่มข้อมูลหรือแนวโน้มการรวมกลุ่มกันของข้อมูลในแต่ละเกรด (คุณภาพของการจัดเกรด) นอกจากนั้นค่าดัชนีการกระจายตัวของไขมันแทรกที่วัดได้จากเทคนิคการวิเคราะห์ภาพจากทุกกลุ่มตัวอย่างจะแสดงผลอยู่ในกราฟเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบ ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ภาพ Rib-eye จากสหกรณ์การผลิตโคเนื้อโพนองคำด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพแสดงดังรูปที่ 4.13(a)-(d) ตามกลุ่มการจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญไว้แล้ว คือ G3.0, G3.5, G4.0 และ G4.5 ตามลำดับ โดยปริมาณของไขมันแทรกแสดงด้วยสัญลักษณ์ Magnitude (%), ค่าดัชนีการกระจายตัวของไขมันแทรกแสดงด้วยสัญลักษณ์ Dispersion (%) ซึ่งค่านี้ยิ่งสูงยิ่งดี, ความสม่ำเสมอของการกระจายแสดงด้วยสัญลักษณ์ Density-SDX และ Density-SDY แทนค่าความสม่ำเสมอของการกระจายในแนวนอน (แกน x) และในแนวตั้ง (แกน y) ตามลำดับ โดยที่ค่าดังกล่าวยิ่งต่ำ

ยิ่งดี ซึ่งหมายถึงมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของจุดสีขาวอยู่สูง นอกจากนั้นแผนภาพฮิสโตแกรมที่แสดงด้วยกราฟสีเขียวและน้ำเงินแสดงแทนปริมาณและการกระจายตัวของจุดขาวในแกนนอน (แกน x) และในแนวแกนตั้ง (แกน y) ตามลำดับ ส่วนผลการเปรียบเทียบเชิงสถิติของการวัดวิเคราะห์และจัดเกรดโดยผู้เชี่ยวชาญกับการวัดวิเคราะห์และจัดเกรดโดยเทคนิคการประมวลผลภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14(a) และ 4.14(b) ตามลำดับ ส่วนค่าดัชนีการกระจายตัวของไขมันแทรกพร้อมรายละเอียดผลการทดสอบ จะอยู่ในหัวข้อผลการทดสอบดัชนีการกระจายตัวของตัวอย่างจากสหกรณ์การผลิตโคเนื้อ โพนยางคำ



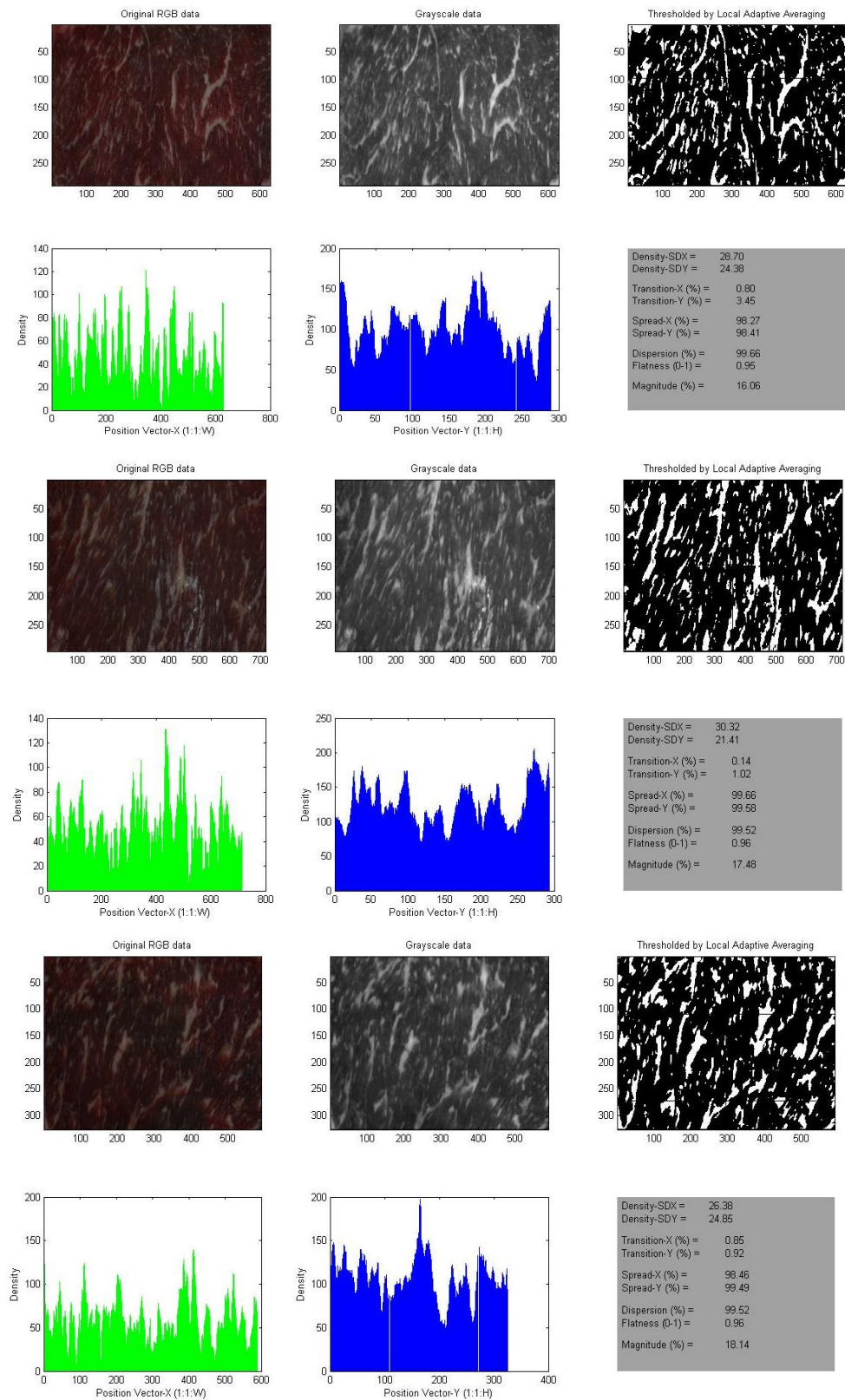
รูปที่ 4.12 การเลือกบริเวณพื้นที่ (ROI) ที่จะทำการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อ

Thai-French Beef: Labeled G3.0



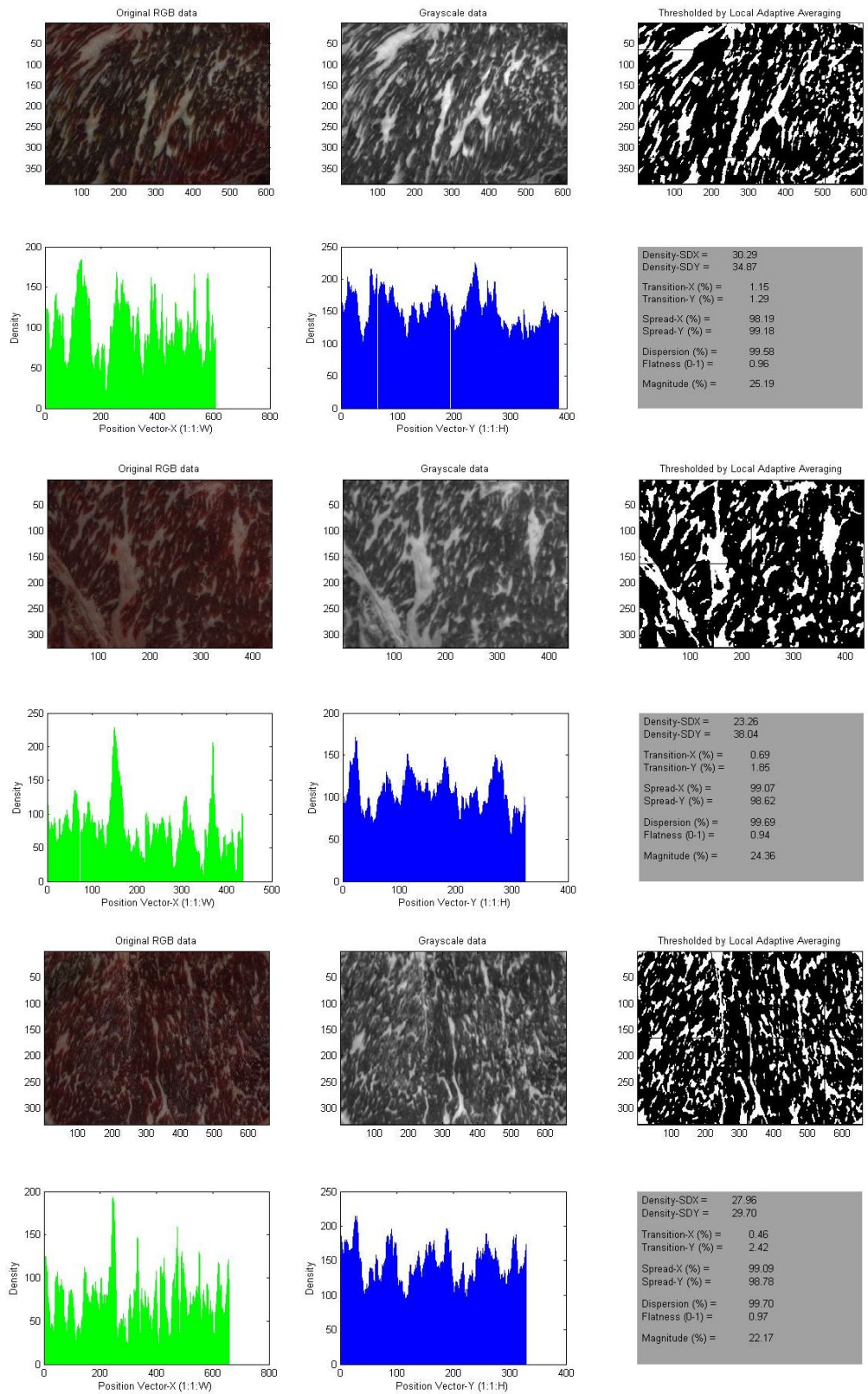
รูปที่ 4.13 (a) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 3.0

Thai-French Beef: Labeled G3.5



รูปที่ 4.13 (b) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 3.5

Thai-French Beef: Labeled G4.0



รูปที่ 4.13 (c) ตัวอย่างผลการวัดวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายของไขมันแทรกในเนื้อจากภาพ TF-Grade 4.0