

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1. ความเป็นมา

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่นิยมบริโภคมาช้านานและแพร่หลายไปทั่วโลก ด้วยความต้องการที่สูงดังกล่าว กาแฟจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย ด้วยแหล่งเพาะปลูกที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อคุณภาพของกาแฟที่ได้ต่างกันเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพดิน ระดับความสูงของพื้นที่ สภาพอากาศ ปริมาณฝนและความชื้น ปริมาณแสงสว่าง โดยเกณฑ์ที่นิยมใช้กำหนดคุณภาพของเครื่องดื่มกาแฟของนักชิมประกอบด้วย กลิ่น (Aroma) ความเข้มข้น (Body) รสชาติ (Taste) และกลิ่น-รสที่เหลือหลังกลืน (After taste) ซึ่งในการได้มาของกาแฟที่มีคุณภาพดี ผู้ผลิตจำเป็นต้องให้ความใส่ใจตั้งแต่ขั้นตอนการปลูก การเก็บผลกาแฟ การคัดแยก และการคั่วเมล็ดกาแฟ อย่างไรก็ตามในบางแหล่งปลูกยังพบปัญหาที่ว่าเกษตรกรยังคงอาศัยความเคยชินและความรวดเร็วในการเก็บผลกาแฟโดยใช้วิธีการรูดเก็บผลจากกิ่ง ซึ่งทำให้ผลกาแฟที่ได้มีความสุขไม่สม่ำเสมอและส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการคั่วที่ให้ระดับการคั่วของเมล็ดกาแฟไม่สม่ำเสมอเช่นกัน นอกจากนี้ความเป็นกรดของเมล็ดกาแฟยังส่งผลต่อคุณภาพและราคาของกาแฟได้เช่นกัน ซึ่งทั้งสองตัวแปรดังกล่าว ยังมีความสัมพันธ์กับระดับของการคั่วที่สามารถสังเกตได้จากสีที่ต่างกันอีกด้วย

ความเป็นกรด (Acidity) ของกาแฟ เป็นลักษณะที่กาแฟให้รสชาติความเปรี้ยวที่ช่วยกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกกระปรี้กระเปร่า ช่วยส่งผลการรับรู้รสชาติของกาแฟที่ชุ่มฉ่ำจากกรดอินทรีย์ที่เปรี้ยวแบบผลไม้โดยเกิดจากการแตกตัวของโปรตอนจากกรดไปยังตัวรับรสของลิ้น ในแง่คุณภาพ ผู้บริโภคนิยมรสชาติความเป็นกรดที่นุ่มนวลในปาก ไม่ฝาดไม่เปรี้ยวเกินไป มีความหวานตามธรรมชาติของกาแฟ โดยแสดงความสมดุลของรสเปรี้ยว หวาน เค็ม และขมไปพร้อมกัน ความเป็นกรดของกาแฟสัมพันธ์กับบริเวณที่เพาะปลูกทั้งในแง่ของระดับความสูงและดินที่ใช้ โดยปริมาณกรดในกาแฟจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับระดับในการคั่วเมล็ดกาแฟ เครื่องที่ใช้คั่ว และวิธีการชงกาแฟ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าความเป็นกรดของกาแฟเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการกำหนดคุณภาพ ราคา และความนิยมของกาแฟในท้องตลาดได้ การตรวจสอบความเป็นกรดจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นต่ออุตสาหกรรมกาแฟเช่นกัน

การวิเคราะห์ความเป็นกรดในกาแฟจะตรวจสอบในรูปของความเป็นกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบไทเทรต และวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในสารละลายขณะไทเทรตด้วยเครื่อง pH meter เพื่อนำค่า pH ที่ได้กับปริมาตรของไทเทรนต์ ไปสร้าง

กราฟการไทเทรต (Titration curve) เพื่อหาปริมาตรที่จุดสมมูลของกราฟสำหรับนำมาคำนวณค่าความเป็นกรดต่อไป วิธีดังกล่าวให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ ขั้นตอนไม่ซับซ้อน และให้ผลดีกว่าการไทเทรตแบบปกติที่อาศัยการสังเกตการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่จุดยุติ เนื่องจากกาแพเป็นเครื่องมือที่มีสีเข้ม จึงสังเกตการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่าได้ยากซึ่งส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ pH meter ในการอ่านสัญญาณนั้น จำเป็นต้องมีขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibration) ของเครื่อง pH meter ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานก่อนการใช้งานเสมอ อีกทั้งหลังใช้งานแล้วเสร็จ ขั้วไฟฟ้าที่ใช้จะต้องถูกเก็บไว้ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เพื่อรักษาสภาพและยืดอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า ด้วยขั้นตอนดังกล่าวจึงเป็นการเพิ่มเวลาในการปฏิบัติงานและเพิ่มการใช้สารเคมีมากขึ้น นอกจากนี้ แม้ว่าจะสามารถใช้เทคนิคการไทเทรตแบบวัดสัญญาณด้วยแสง (Photometric titration) ซึ่งเป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เปลี่ยนไปขณะไทเทรตแม้สารตัวอย่างจะมีสี แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) สำหรับวัดการดูดกลืนแสง จัดเป็นเครื่องวิเคราะห์ทางเคมีที่มีราคาสูงและมีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายพกพา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาและประดิษฐ์กล่องวัดค่าแม่สีสำหรับการตรวจวัดค่าแม่สี RGB (Red, Green, Blue) ที่ทำงานร่วมกับการถ่ายภาพดิจิทัลด้วยโทรศัพท์มือถือ และประมวลผลค่าแม่สีของภาพถ่ายด้วยแอปพลิเคชันที่ดาวน์โหลดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งกล่องวัดค่าแม่สีดังกล่าว จะช่วยควบคุมสภาวะในการถ่ายภาพให้คงที่ซึ่งกระทำภายใต้สภาวะที่ควบคุมเป็นความเข้มแสง ระยะเวลาโฟกัส ปริมาณตัวอย่างด้วยกล่องตรวจวัดค่าแม่สีที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง สามารถใช้งานกับโทรศัพท์มือถือหลายขนาด หลากหลายยี่ห้อ-รุ่น มีขนาดกะทัดรัด แข็งแรง ใช้งานได้สะดวก สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย และมีค่าใช้จ่ายในการประดิษฐ์ไม่สูงนัก เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องมือมาตรฐานที่มีราคาสูง ด้วยวิธีการนี้จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากของการใช้เครื่องมือราคาแพง จึงทำให้ผู้ประกอบการรายย่อยสามารถเข้าถึงการตรวจสอบคุณภาพของผลเชอร์รี่กาแพที่เกี่ยวข้อง หรือเมล็ดกาแพั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้ในการหาความเป็นกรดได้ในกาแพแล้ว ยังสามารถใช้หาความเป็นกรดในเครื่องดื่มชนิดอื่นที่มีสีได้ด้วย เช่น น้ำผลไม้ น้ำอัดลม เครื่องดื่มชูกำลัง เป็นต้น และผู้วิจัยยังได้ประยุกต์กล่องตรวจวัดค่าแม่สีโดยใช้โทรศัพท์มือถือดังกล่าวสำหรับตรวจวัดความสุขของผลไม้อื่น ๆ เพื่อให้ได้ระดับความสุขที่สม่ำเสมออีกด้วย

นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอการนำหลักการวิเคราะห์แบบฉีดไหล (Flow Injection Analysis; FIA) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์แบบไทเทรตแทนวิธีการไทเทรตแบบปกติที่ใช้อุปกรณ์เครื่องแก้ว ได้แก่ บิวเรตต์และขวดรูปชมพู่ เนื่องจากเทคนิค FIA เป็นเทคนิคที่ใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณน้อยในระดับไมโครลิตร ในขณะที่การไทเทรตแบบปกติใช้สารเคมีปริมาณค่อนข้างสูง (ระดับมิลลิลิตร) อีกทั้งระบบ FIA ยังใช้อุปกรณ์ที่ทนทานต่อการแตกหักและสารเคมีได้

มากกว่า จึงลดความเสี่ยงต่อการแตกหักของเครื่องแก้วขณะทำการทดลองได้ ยิ่งไปกว่านั้น เทคนิค FIA ยังสามารถวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความเป็นอัตโนมัติที่สูงกว่าอีกด้วย

2. ความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่เป็นแหล่งเพาะปลูกกาแฟที่สำคัญของประเทศไทย อีกทั้งคุณภาพกาแฟของเชียงใหม่ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคกาแฟทั่วประเทศและทั่วโลก กาแฟจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของจังหวัด ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของกาแฟให้ได้รสชาติที่ดีถูกปากผู้บริโภคและมีคุณภาพคงที่สม่ำเสมอจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมสินค้าประจำจังหวัดต่อไป จากรายละเอียดที่ได้กล่าวมาในหัวข้อความเป็นมาจึงอาจกล่าวได้ว่างานวิจัยนี้ จะสามารถเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากของการใช้เครื่องมือราคาแพง ทำให้ผู้ประกอบการรายย่อยสามารถเข้าถึงการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตที่เก็บเกี่ยว หรือเมล็ดกาแฟคั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องตรวจวัดในเทคนิคการวิเคราะห์แบบไทเทรตที่ประยุกต์เข้ากับการวิเคราะห์แบบฉีดยาเพื่อตรวจหาความเป็นกรดในกาแฟรวมถึงเครื่องดื่มอื่น ๆ ที่มีสี โดยเป็นการวัดสัญญาณค่าแม่สี RGB ของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะไทเทรต ด้วยวิธีดังกล่าวจึงเป็นการประยุกต์อุปกรณ์สื่อสารในชีวิตประจำวันอย่างโทรศัพท์มือถือมาใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย สามารถเคลื่อนย้ายพกพาได้สะดวก มีค่าใช้จ่ายที่ประหยัดมากขึ้น ปราศจากขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐานและการเก็บรักษาที่ยุ่งยากของเครื่องมือ มีขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่รวดเร็ว ไม่ซับซ้อน และมีความอัตโนมัติมากขึ้น ลดปริมาณสารเคมีและของเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์ได้มากขึ้น อีกทั้งยังลดการแตกหักของอุปกรณ์ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและประดิษฐ์กล่องวัดค่าแม่สีให้เหมาะสมต่อการตรวจวัดค่าแม่สีของสารละลาย โดยมีขนาดกะทัดรัด และทนทาน รองรับการใช้งานร่วมกับโทรศัพท์มือถือหลายรุ่นยี่ห้อ หลายรุ่น และหลายขนาด
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการวัดค่าแม่สีด้วยแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือแทนการใช้เครื่องวัดสีสำหรับตรวจสอบคุณภาพของผลเชอร์รี่กาแฟ ความเป็นกรดของกาแฟรวมถึงเครื่องดื่มอื่น ๆ ที่มีสี และการสุกของผลไม้
3. เพื่อให้ผู้ประกอบการร้านกาแฟ สามารถนำข้อมูลจากการวิจัยไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพของเมล็ดกาแฟคั่ว ให้สอดคล้องและตรงกับความต้องการของผู้บริโภคอย่างแท้จริงได้

4. ได้ระบบการตรวจวิเคราะห์ความเป็นกรดของกาแฟและเครื่องดื่มอื่น ๆ ที่มีสีโดยใช้อุปกรณ์ ราคาประหยัด มีขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายพกพาได้ง่าย อีกทั้งยังประหยัดสารเคมีทั้งในกระบวนการตรวจวิเคราะห์และการเก็บรักษาอุปกรณ์

ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านเนื้อหา

- 1.1 ออกแบบ ประดิษฐ์ และศึกษาประสิทธิภาพของกล่องวัดค่าแม่สีที่สร้างขึ้น
- 1.2 ใช้แอปพลิเคชัน Rgb color picker บนโทรศัพท์มือถือและใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab ในการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดกาแฟและการสุกของผลไม้
- 1.3 ศึกษาหาค่าความเป็นกรดในกาแฟด้วยวิธีการไทเทรตโดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหล
- 1.4 ประยุกต์ใช้โทรศัพท์มือถือสำหรับการตรวจวัดค่าแม่สีของจุดยุติขณะไทเทรตเพื่อหาความเป็นกรดในกาแฟ

2. ขอบเขตประชากร

- 2.1 เมล็ดกาแฟที่ใช้ในการศึกษาเป็นพันธุ์อาราบิก้า (Arabica) ที่มาจากประเทศลาว ดอยแม่สลอง ดอยอินทนนท์ ขุนลาว ห้วยฮ่อม ดอยช้าง และขุนช่างเคี่ยน และตรวจสอบความสม่ำเสมอในการคั่วเมล็ดกาแฟของโรงคั่วกาแฟในเขต จังหวัดเชียงใหม่
- 2.2 ผลไม้ที่นำมาตรวจสอบความสุก ได้แก่ กล้วยหอม และมะม่วงหาวมะนาวโห่
- 2.3 น้ำผลไม้เป็นยี่ห้อที่เป็นที่รู้จักที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

3. ขอบเขตตัวแปร

- 3.1 ประสิทธิภาพของกล่องวัดค่าแม่สีที่สร้างขึ้น
- 3.2 คุณภาพของผลเชอร์รี่กาแฟ การสุกของผลไม้ และเมล็ดกาแฟคั่ว
- 3.3 ระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตที่อาศัยการไหลโดยอ่านสัญญาณค่าแม่สี RGB ด้วยแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือ
- 3.4 ค่าความเป็นกรด (Acidity) ในเครื่องดื่มที่มีสี เช่น กาแฟและน้ำผลไม้

4. ขอบเขตเวลา

กุมภาพันธ์ 2561 – กันยายน 2561

5. ขอบเขตพื้นที่

5.1 ภาควิชาเคมีและ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

5.2 ร้านกาแฟ Cafe Caliente ต.หายยา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (เจ้าของคือ คุณชนทัต ภัททิยธรรม)

5.3 โรงกาแฟจากขุนช่างเคี่ยน ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (เจ้าของคือ คุณบรรจง แซ่ย่าง)

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ประโยชน์ด้านความรู้

1.1 สามารถหารกรดในกาแฟด้วยวิธีการไทเทรตโดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหล ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ประมาณสารน้อย มีความไว และความแม่นยำสูงกว่าการไทเทรตแบบปกติการไทเทรตโดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเป็นการไทเทรตในระบบปิดจึงสามารถควบคุมสถานะในการทดลอง ลดการระเหย รวมไปถึงป้องกันการรั่วไหลของสารได้ดีกว่าการไทเทรตปกติ

1.2 สามารถประยุกต์ใช้โทรศัพท์มือถือที่ทำงานร่วมกับกล่องวัดค่าแม่สี โดยการหาจุดยุติของการหารกรดในกาแฟด้วยวิธีการไทเทรต ซึ่งเป็นวิธีการแม่นยำ และลดข้อผิดพลาดสำหรับตัวอย่างที่มีสีเข้ม สังเกตสีที่จุดยุติยากได้ รวมไปถึงการใช้โทรศัพท์มือถือสามารถใช้งานได้สะดวก และพกพาได้ง่าย

1.3 ได้กล่องวัดค่าแม่สี ซึ่งใช้โทรศัพท์มือถือ เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบสีของผลเซอร์รี่ และเมล็ดกาแฟทดแทนการใช้เครื่องวัดสีซึ่งมีราคาสูง

1.4 ได้ผลงานวิจัยสำหรับการนำเสนอในที่ประชุมทางวิชาการเพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ให้แก่ผู้ที่สนใจ

2. ประโยชน์ด้านการพัฒนา

2.1 เกิดการพัฒนาแนวคิดและนวัตกรรมในการผลิตเครื่องมืออย่างง่ายขึ้นใช้เองเพื่อทดแทนการสั่งซื้อจากต่างประเทศ

2.2 ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการรายย่อยได้มีเครื่องมือในการตรวจสอบคุณภาพของผลผลิต

2.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาชุดตรวจวัดทางเคมีแบบง่ายและประหยัด สำหรับตรวจสอบคุณภาพกาแฟเพื่อลดค่าใช้จ่าย และเป็นทางเลือกให้เกษตรกรเข้าถึงได้ง่ายขึ้น

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการไหล (Flow - Based Analysis, FBA) หมายถึง วิธีการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องวิธีหนึ่ง โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการฉีดสารตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ เข้าไปในกระแสตัวพา (Carrier) ซึ่งอาจเป็นรีเอเจนต์ หรือตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องภายในระบบท่อพลาสติก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาดเล็กโดยปราศจากฟองอากาศคั้น อัตราการไหลของสารเคมีนี้จะคงที่ ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยใช้เครื่องสูบลูกสูบซึ่งเรียกว่าปั๊มเพอริสตาติก (Peristaltic pump) สารตัวอย่างจะเข้าผสมกับกระแสตัวพา ซึ่งระดับของการผสมกัน (Degree of mixing) จะถูกควบคุมโดยการแพร่กระจายที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ เช่น ขนาดและความยาวของท่อเล็ก ๆ อัตราการไหลของตัวพา ปริมาตรของสารตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดที่ใช้พันท่อผสม เป็นต้น แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยน pH และกระแสไฟฟ้า เป็นต้น กระแสตัวพาจะพาเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดเป็นช่วงตัวอย่าง (Sample zone) แพร่ไหลไปตามท่อจนกระทั่งไหลเข้าสู่โฟลเซลล์ (Flow cell) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องตรวจวัด (Detector)

2. แอปพลิเคชัน Rgb color picker คือแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือที่ผู้วิจัยดาวน์โหลดโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่บอกรายละเอียด ค่าแม่สีระบบ RGB (R สีแดง, G สีเขียว, B สีน้ำเงิน)

3. แอปพลิเคชัน Color match คือแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือที่ผู้วิจัยดาวน์โหลดโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ใช้แปลงค่าแม่สีที่วัดได้จากเครื่อง Hunter Lab ($L^*a^*b^*$) เป็นค่าแม่สีระบบ RGB

4. ค่า RGB-based value คือ ค่าที่เกิดจากผลคูณของค่าแม่สี R, G และ B ที่วัดได้จากแอปพลิเคชัน โดยแต่ละแม่สีจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-255 การคูณกันดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความละเอียดของจำนวนสีที่จะเกิดขึ้นได้มากถึง 16.78 ล้านสี จึงเป็นการเพิ่มความละเอียดของสัญญาณในการวิเคราะห์ทางเคมีได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามกรณีแม่สีใดแม่สีหนึ่งที่วัดได้มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อนำมาคูณจะทำให้ค่า RGB-based value มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น ค่าแม่สี R, G และ B แต่ละค่าที่วัดได้จะต้องบวกด้วย 1 เสมอ

5. ระบบสี $L^*a^*b^*$ คือระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$)