วารสารวิชาการ **มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**
ปีที่ 28 ฉบับที่ 3 เดือนกรกฎาคม - กันยายน 2551

การพัฒนาโปรแกรมพยากรณ์สีอาหาร: กรณีศึกษา การพยากรณ์สีของชิฟฟอนเค้ก Development of Food Color Prediction Program: A Case Study of Chiffon Cake

เจษฎา แก้ววิทย์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
E-mail: chesada__kae@utcc.ac.th

ไขแข จุลชาต
อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
E-mail: khaikhae__chu@utcc.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าสีของชิฟฟอนเค้ก ซึ่งควบคุมปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองในส่วนผสม โดยประยุกต์ใช้ Simple Linear Regression Model ในการพยากรณ์ค่าสี และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และรูปแบบของภาพ 3 มิติ ผลปรากฏว่าโปรแกรมให้ผลการพยากรณ์ค่าสีของเค้กที่มีการควบคุมปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองในช่วงต่างๆ สอดคล้องกับผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการอาหาร โดยปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองมีผลต่อค่าสีเหลืองของโมเดลสี CIE L* a* b* จากการนำโปรแกรมที่พัฒนานี้ไปใช้สามารถลดค่าใช้จ่ายวัตถุดิบและเวลาในการทดลองผลิตเค้กเมื่อมีการควบคุมปัจจัยน้ำมันถั่วเหลืองในห้องปฏิบัติการอาหาร

คำสำคัญ: โปรแกรมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าสี ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

Abstract

This research presents the development of a color predication program for chiffon cake using different controlled soybean oil levels. The application uses the simple linear regression model to illustrate the cake's color. In addition, the program shows the sum of squared prediction error, coefficient of determination for the chiffon cake, and the simulation of a 3-dimensional chiffon cake model. The results obtained show the compatibility between various controlled soybean oil levels in chiffon cake simulation models, and the real results in the food laboratory. The amount of soy bean oil that affects the intensity of yellow color is measured in the CIE L* a* b* color model. This research will be advantageous for reducing costs and the time to bake chiffon cake, as well as demonstrating the soy bean oil control effects on chiffon cake in the real food laboratory.

Keywords: Prediction Program, Simple Linear Regression Model, Sum of Squared Prediction Error, Coefficient of Determination

บทนำ

ในการเรียนการสอนวิชาเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ การคำนวณสูตรการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของเบเกอรี่ประเภทต่างๆ เช่น ขนมปัง คุ้กกี้ และเค้ก ซึ่งสีของเบเกอรี่ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกบริโภคของผู้บริโภค (Dubose, Carddello and Maller, 1980) จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่ามีหลายปัจจัยที่มีผลต่อสีของเบเกอรี่ อาทิ ปริมาณน้ำมันและความชื้น ชิฟฟอนเค้กเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีส่วนผสมหลายชนิดและมีขั้นตอนการผลิตที่ใช้เวลานาน เพื่อทดสอบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสีของชิฟฟอนเค้ก ต้องทำการทดลองผลิตหลายครั้ง ทำให้ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นเพื่อลดขั้นตอนการผลิต เวลา และค่าใช้จ่าย ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมแบบ 3 มิติ เพื่อใช้ในการจำลองรูปแบบและพยากรณ์ (Prediction) ค่าสีของชิฟฟอนเค้กที่ได้ควบคุมปัจจัยอิสระ คือ ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ Simple Linear Regression แบบ Least Squares Point Estimates (Bowerman and O'Connell, 1987) หาค่าพยากรณ์ค่าสีในปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองต่างๆ โดยนำข้อมูลค่าสีที่ปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองต่างๆ จากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่ทำการผลิตและวัดค่าสีของชิฟฟอนเค้กจากเครื่องวัดสีจริง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยที่ทำการพยากรณ์ เพื่อหาค่าของอีมัลชัน (Emulsion) สีในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น น้ำนม น้ำผลไม้ น้ำสลัด และน้ำซอสปรุงรสต่างๆ โดยใช้ทฤษฎีการกระจาย

ของแสง (McClements, Withida Chantrapornchai, and Clydesdale, 1998) ซึ่งเป็นวิธีการทางฟิสิกส์ เพื่อหาค่าของสีที่เกิดจากการทดลองวัดค่าการสะท้อนแสงของอีมัลชัน ด้วยเครื่องวัด Static Light Scattering Instrument วัดการดูดซึมแสงด้วยเครื่อง UV-visible Spectrophotometer และทำการพยากรณ์ค่าสีโดยใช้ทฤษฎี Kubelka-Munk จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างสี และเนื้อคลอโรฟิล (Cholorphyll Content) ในเมล็ดถั่วเหลืองที่กำลังสุก ซึ่งพยากรณ์ค่า a* ในโมเดลสีแบบ CIE L* a* b* โดยใช้ Regression Analysis (Sinnecker, et al., 2002) นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยที่หาความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะการจางของสีน้ำ Red Grapefruit เข้นข้นที่แช่แข็งไว้กับภาชนะที่ใช้เก็บ โดยใช้ Linear Regression ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Lee and Coates, 2002) แต่ยังไม่พบการนำเสนองานพัฒนาเครื่องมือประยุกต์ที่พยากรณ์ค่าสีของเค้กโดยมีการควบคุมตัวแปรอิสระ เพื่อหาขอบเขตค่าสีและปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีในเค้ก

ดังนั้นบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าพยากรณ์ค่าสีของชิฟฟอนเค้กที่ได้ควบคุมตัวแปรอิสระ โดยวิธีการ คือ ผลิตชิฟฟอนเค้กที่ควบคุมปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันถั่วเหลืองในส่วนผสม ในแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันถั่วเหลืองทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นอ่านค่าสีของเค้กด้วยเครื่องตรวจวัดค่าสี ซึ่งจะได้ค่าสีตามมาตรฐานที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยสถาบัน Commission Internationale d'Eclairage (CIE) โมเดลสีแบบ CIE L* a* b* เป็นโมเดลสีที่ถูกออกแบบให้ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์แสดงผลใดๆ ค่าของสีในโมเดลนี้ประกอบด้วยค่าแสงหรือความสว่างของวัตถุ L (Lightness) ค่า a แทนช่วงสีเขียวถึงสีแดง และค่า b แทนช่วงสีน้ำเงินถึงสีเหลือง (Ioannis, 1993) จากนั้นนำเข้าข้อมูลค่าสีชิฟฟอนเค้กเหล่านี้ไปที่ส่วนวิธี (Method) การพยากรณ์ค่าสีในช่วงต่างๆ พร้อมกันนี้ทำการแปลงค่าของโมเดลสี CIE L* a* b* ให้เป็นโมเดลสี CIE XYZ และโมเดลสี RGB ตามลำดับ ในขณะเดียวกันจะนำเข้าภาพและพื้นผิวของชิฟฟอนเค้กเข้าสู่โปรแกรมเพื่อทำการใส่สีให้กับภาพและพื้นผิวที่นำเข้า โดยสามารถปรับค่าสีตามค่าปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อหาค่าพยากรณ์สีของเค้กได้

ในการพัฒนาเครื่องมือนี้ผู้วิจัยเน้นการออกแบบ พัฒนาโปรแกรมเป็นเชิงวัตถุ เพราะมีข้อได้เปรียบด้านคุณสมบัติเชิงวัตถุหลายข้อ เช่น Encapsulation Reuse และInheritance นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำงานวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก และการออกแบบโปรแกรมเชิงวัตถุ ในการเรียนการสอน

ทฤษฎีและอัลกอริทึมในการพัฒนา

1. ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลและการพยากรณ์ค่าของสีเค้ก

1.1 ขั้นตอนการรับข้อมูลค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสีในแต่ละระดับของปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง และนำเข้าสู่โปรแกรมในรูปของ Text File

1.2 ขั้นตอนการหาค่าพยากรณ์ของสีชิฟฟอนเค้ก ในงานวิจัยนี้ใช้ Causal Forecasting Method คือ Regression Analysis แบบ Simple Linear Regression Model (Bowerman and O'Connell, 1987) ดังสมการ

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \quad \text{.....(1)}$$

$$b_1 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \quad \text{.....(2)}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad \text{.....(3)}$$

โดยค่าสีของชิฟฟอนเค้กเป็นตัวแปรตาม (y) ส่วนปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่ผสมในเค้กเป็นตัวแปรอิสระ (x) จำนวนตัวแปร (n) และค่าพยากรณ์สีของชิฟฟอนเค้ก ($\hat{y}$) สามารถหาค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม ($\bar{y}$) และค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ ($\bar{x}$) ดังสมการ

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \quad , \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad \text{.....(4)}$$

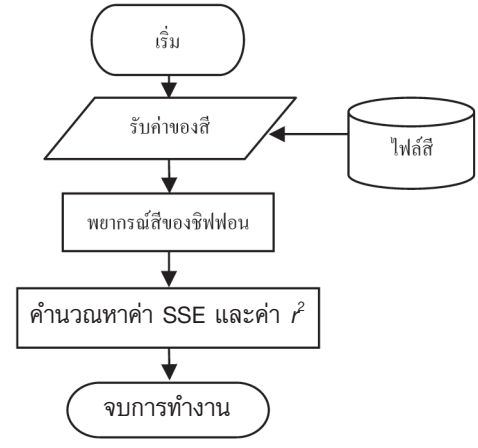
1.3 ขั้นตอนการหาความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เป็นไปตามสมการ ผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาด หรือ Sum of Squared Prediction Error (SSE) ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้ค่าของตัวแปรอิสระในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามดังสมการ

$$\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \text{.....(5)}$$

1.4 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจหรืออาร์สแควร์ (Coefficient of Determination, r^2) จากสมการ

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{.....(6)}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) คือ สัดส่วนของตัวแปรอิสระ (x) ที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (y) ได้ใน Simple Regression มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า x อธิบายการเปลี่ยนแปลงของ y ได้มาก ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ y ได้น้อย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าพยากรณ์และความคลาดเคลื่อน

2. ขั้นตอนแปลงค่าโมเดลสี CIE L*a*b* เป็นโมเดลสี RGB

จากสมการเกี่ยวกับการประมวลผลภาพสี (Color Image Processing) ของ Ioannis (1993) สามารถแก้สมการเพื่อหาความสัมพันธ์ของการแปลงค่าโมเดลสีแบบ CIE L* a* b* เป็นโมเดลสี CIE XYZ ดังสมการ

$$Y = \left(\frac{L^* + 16}{116}\right) \quad \text{.....(7)}$$

$$X = \left(\frac{a^*}{500}\right) + Y \quad \text{.....(8)}$$

$$Z = \left(\frac{Y - b^*}{200}\right) \quad \text{.....(9)}$$

โดย

$f(w) = (w)^3$ ในกรณีที่ w > 0.008856

$$f(w) = \frac{\left(w - \left(\frac{16}{116}\right)\right)}{7.787}$$

ในกรณีที่ w <= 0.008856

w แทนค่า X, Y, Z ซึ่งสามารถแสดงเป็นอัลกอริทึมการแปลงค่าได้ดังรูปที่ 2

```
Y = ( CIE-L* + 16 ) / 116
X = CIE-a* / 500 + Y
Z = Y - CIE-b* / 200

if ( Y^3 > 0.008856 ) Y = Y^3
else      Y = (Y - 16 / 116 ) / 7.787
if (X^3 > 0.008856 )  X = X^3
else      X = ( X - 16 / 116 ) / 7.787
if ( Z^3 > 0.008856 ) Z = Z^3
else      Z = ( Z - 16 / 116 ) / 7.787
```

รูปที่ 2 แสดงอัลกอริทึมการแปลงค่าของโมเดลสี CIE L* a* b* เป็น CIE XYZ

และจากสมการความสัมพันธ์ (Davies, 2005; Ioannis, 1993) ระหว่างโมเดลสีแบบ CIE XYZ กับโมเดลสี RGB ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น ดังนั้นสามารถแปลงแบบเชิงเส้นระหว่างกันได้โดยใช้ เมตริกซ์ 3X3 ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.24 & -1.54 & -0.50 \\ -0.97 & 1.88 & 0.04 \\ 0.06 & -0.02 & -1.06 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{.....(10)}$$

โดย

$f(w) = 1.055(w)^{\frac{1}{2.4}}$ -0.055

ในกรณีที่ w > 0.0031308

f (w) = 12.92(w)

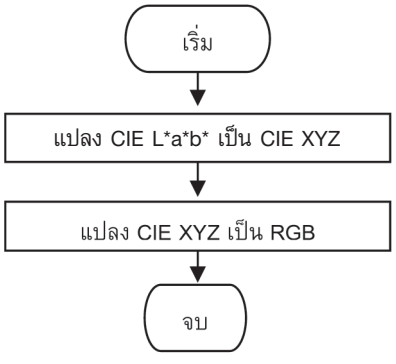
ในกรณีที่ w <= 0.0031308

w = (w)*255

- w แทนค่า R, G, B สามารถแสดงเป็นอัลกอริทึมในการแปลงค่าแสดงได้ดังรูปที่ 3

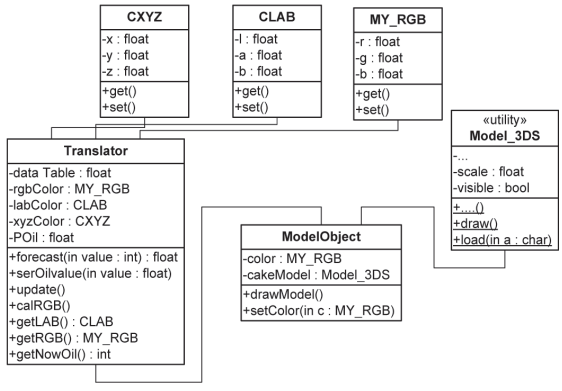
```
R = X *  3.24 + Y * -1.54 + Z * -0.50
G = X * -0.97 + Y *  1.88 + Z *  0.04
B = X *  0.06 + Y * -0.20 + Z *  1.06
if ( R > 0.0031308 ) R = 1.055 * ( R ^ ( 1 / 2.4 ) ) -
0.055
else    R = 12.92 * R
if ( G > 0.0031308 ) G = 1.055 * ( G ^ ( 1 / 2.4 ) ) -
0.055
else   G = 12.92 * G
if ( B > 0.0031308 ) B = 1.055 * ( B ^ ( 1 / 2.4 ) ) -
0.055
else    B = 12.92 * B
R = R * 255
G = G * 255
B = B * 255
```

รูปที่ 3 แสดงอัลกอริทึมการแปลงค่าของโมเดลสี CIE XYZ เป็น RGB



รูปที่ 4 ขั้นตอนการแปลงโมเดลสี

3. ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม



รูปที่ 5 Model Architecture

จากรูปที่ 5 แสดง UML Class Diagram ที่เป็นคลาสหลักของโปรแกรมคลาส ModelObject สร้างโมเดลของเค้ก โดยการเรียกใช้ Method Draw () ของคลาส Model__3DS และกำหนดสีของโมเดลเค้กจากค่า MY__RGB ที่ได้จากคลาส Translator ซึ่งทำหน้าที่แปลงค่า L* a* b* ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันถั่วเหลือง ที่รับค่าเข้ามาให้เป็น CIE XYZ และแปลง CIE XYZ เป็น RGB

ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. ผลิตชิฟฟอนเค้กโดยนักศึกษาและอาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารในห้องปฏิบัติการอาหารโดยควบคุมปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองในส่วนผสมเป็น 100 50 40 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยทำเค้ก 3 ก้อนต่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณส่วนผสมของน้ำมันถั่วเหลือง จากนั้นนำเค้กเข้าเครื่องอ่านค่าสี HunterLab Digital Color Difference Meter รุ่น DP-9000 ได้ค่าสีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าสีของชิฟฟอนเค้กที่มีการควบคุมปริมาณของน้ำมันถั่วเหลืองในส่วนผสม

Color			Procentage
L	a	b	of Oil
50.07	8.12	26.34	100
49.94	8.17	26.28	100
49.9	8.05	26.4	100
50.79	8.86	26	50
50.93	8.36	25.94	50
50.84	8.19	26	50
51.77	8.14	25.64	40
51.41	8	25.77	40
51.61	7.95	25.63	40
49.07	8.36	25.18	30
49.48	8.27	25.12	30
50.72	8.3	25.13	30

2. พัฒนาโปรแกรมในส่วนการพยากรณ์หาค่าสีจากสมการ 1 ถึง 3 โดยใช้ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อหาค่าผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาด (SSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2)

3. พัฒนาส่วนของโปรแกรมเพื่อนำโมเดลชิฟฟอนเค้กที่ได้ออกแบบจากโปรแกรมประยุกต์ 3D Studio MAX เข้ามายังโปรแกรมที่พัฒนาโดยใช้คลาสไลบรารี Model__3DS จากนั้นทำการใส่สีให้กับโมเดลและพื้นผิวโดยเรียกใช้คลาสไลบรารีของ Open GL ดังแสดงในรูปที่ 6

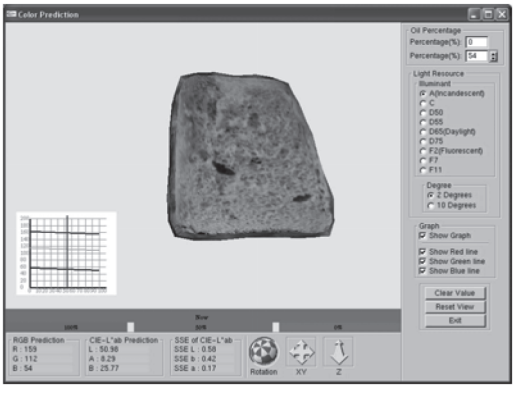
```
#include "modelObject.h"
modelObject::modelObject(void)
{           cakeModel.Load("test1.3DS");
            cakeModel.visible = true;}
modelObject::modelObject(MY_RGB c,char* name)
{           color = c;
            cakeModel.Load(name);
            cakeModel.visible = true;}
void modelObject::drawModel()
{
            glColor3ub(color.getRi(),color.getGi(),color.
getBi());
            cakeModel.scale = 0.06;
            cakeModel.Draw();
            glDisable(GL_TEXTURE_2D);}
int modelObject::LoadGLTextures()
{           return 0;}
void modelObject::setColor(MY_RGB c)
{           color = c;}
```

รูปที่ 6 ส่วนของโปรแกรมในการนำเข้าโมเดลแบบ 3DS และใส่ค่าสี

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองได้ค่าสีของชิฟฟอนเค้กจากการพยาการณ์ ตามสมการที่ 1 2 และ 3 ดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นค่าพยากรณ์สีของชิฟฟอนเค้กที่มีการลดปริมาณของน้ำมันถั่วเหลืองในส่วนผสม และได้นำค่าพยากรณ์หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจตามสมการที่ 6 ได้ค่าดังตารางที่ 3 พบว่าตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า b* กล่าวคือ เมื่อลดปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองลงค่า b* จะเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 7 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ L และ a* มีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าในการวิเคราะห์เบื้องต้นตัวแปรอิสระไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าโมเดลของสีทั้งสอง ซึ่งใช้ Simple Linear Regression Model ในการทำนายค่าได้

ในการทดลองได้ใช้โปรแกรมที่พัฒนาโดยภาษา C++ กับไลบราลีของ Open GL เพื่อพยากรณ์ค่าสีของเค้กจากค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง ผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาด และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 8



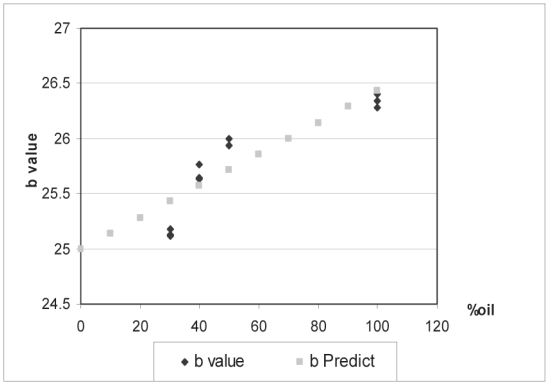
รูปที่ 8 โปรแกรมพยากรณ์ค่าสีของชิฟฟอนเค้กตามปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง

ตารางที่ 2 ค่าสีจากการพยากรณ์ที่ได้จากอัลกอริทึมของโปรแกรม

Color Prediction			Percentage of Oil
L Predict	a Predict	b Predict	
50.17	8.14	26.43	100
50.26	8.16	26.28	90
50.34	8.18	26.14	80
50.42	8.20	26.00	70
50.50	8.22	25.85	60
50.58	8.24	25.71	50
50.66	8.25	25.57	40
50.74	8.27	25.42	30
50.82	8.29	25.28	20
50.90	8.31	25.14	10
50.98	8.33	24.99	0

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากการพยากรณ์ของโปรแกรม

r^2 of Color Prediction		
L	a	b
0.071	0.049	0.768



รูปที่ 7 ค่าสีจริงและค่าสีพยากรณ์ของ b

จากผลการทดลองพบว่าวิธีการที่เสนอขึ้นอยู่กับข้อมูลผลการทดลองทางห้องปฏิบัติการทางอาหาร เพราะข้อมูลจะต้องมีนัยสำคัญทางสถิติที่น่าเชื่อถือ ซึ่งจะมีผลต่อการประมวลผลการพยากรณ์

แนวทางที่จะพัฒนาในอนาคต คือ การนำเสนออัลกอริทึมในการลดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ และนำเสนออัลกอริทึมที่พยากรณ์ค่าสีจากตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว เพื่อให้ผลการพยากรณ์ใกล้เคียงค่าสีจริงมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำโปรแกรมที่พัฒนานี้ไปใช้กับการพยากรณ์ค่าสีของอาหารประเภทอื่น เช่น ไส้กรอก คุ้กกี้ หรือ เบเกอรี่ประเภทต่างๆ ที่มีการควบคุมตัวแปรอิสระในการทดลอง

การประยุกต์ใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายวัตถุดิบ เวลาในการทดลองปฏิบัติการทางอาหารของนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ทางคณะวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย และได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูล และผลการทดลองทางห้องปฏิบัติการจาก ร.ศ.อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

บรรณานุกรม

Bowerman, B.L., and O'Connell, R.T. 1987. **Forecasting and Time Series: An Applied Approach.** 3rd ed. Belmont, CA: Duxbury Press.

Davies, E.R. 2000. **Image Processing for the Food Industry.** Singapore: World Scientific.

_____. 2005. **Machine Vision Theory, Algorithms, Practicali-ties.** 3rd ed. Amsterdam: Elsevier.

Dubose, C.N., Carddello, A.V., and Maller, O. 1980. "Effects of Colorants and Flavorants on Identification, Perceived Flavor Intensity, and Hedonic Quality of Fruit-Flavored Beverages and Cake." **Journal of Food Science** 45, 5: 1393-1399.

Ioannis, P. 1993. **Digital Image Processing Algorithms.** New York: Prentice-Hall.

Lee, H.S., and Coates, G.A. 2002. "Charecterization of Color Fade during Frozen Storage of Red Grapefruit Juice Concentrates." **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50, 14: 3988-3991.

McClements, D.J., Withida Chantrapornchai, and Clydesdale, F.M. 1998. "Prediction of Food Emulsion Color Using Light Scattering Theory." **Journal of Food Science** 63, 6: 935-39.

Priestley, M. 1996. **Practical Object-Oriented Design with UML.** New York: McGraw-Hill.

Sinnecker, P., et al. 2002. "Relationship between Color (Instrumental and Visual) and Chlorophyll Contents in Soybean Seeds during Ripening." **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50, 14: 3961-3966.

Mr. Chesada Kaewwit received his M.Sc. in Applied Statistics, majoring in Computer Science, from the National Institute of Development Administration (NIDA). He is currently a lecturer in the School of Science, University of the Thai Chamber of Commerce. His research interests are in computer graphics, data communication and networking, and Internet technology.

Ms. Khaikhae Chulajata received her M.Sc. in Applied Statistics, majoring in Computer Science, from the National Institute of Development Administration (NIDA). She is currently a lecturer in the School of Science, University of the Thai Chamber of Commerce. Her research interests are in system analysis and design, database management, and software development.