

# การพัฒนาแอปพลิเคชันทำนายระดับความหวานของส้มโอ ผ่านสมาร์ทโฟนด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

Development of an application for forecasting the sweetness of pomelo  
on smartphone using deep learning technique

ณัฐวดี หงษ์บุญมี<sup>1\*</sup> และ พีรยุทธ ขุนบุญ<sup>1</sup>

Nattavadee Hongboonmee<sup>1\*</sup> and Perayut Khunbun<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อพัฒนาโมเดลทำนายความหวานส้มโอโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก 2) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันทำนายความหวานส้มโอสำหรับใช้งานบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน การดำเนินงานเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างภาพส้มโอจำนวน 4 ประเภท ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวาหวาน พันธุ์ขาวแตงกวาไม่หวาน พันธุ์ท่าช้อยหวาน และพันธุ์ท่าช้อยไม่หวาน จำนวนภาพทั้งหมด 600 ภาพ โดยการนำภาพมาวิเคราะห์และสร้างโมเดลจำแนกภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบคอนโวลูชัน ผลการศึกษพบว่าโมเดลจากโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมีประสิทธิภาพสูง สามารถจำแนกระดับความหวานส้มโอได้อย่างแม่นยำ โดยได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องคิดเป็นความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 97 เปอร์เซ็นต์ จึงนำโมเดลดังกล่าวไปพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน โดยแอปพลิเคชันจะทำการเรียกใช้โมเดลผ่านชุดคำสั่งเพื่อวิเคราะห์ระดับความหวานจากภาพถ่ายของส้มโอ การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชัน พบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกภาพและวัดระดับความหวานส้มโอได้จริง โดยที่มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยถึง 81.25 เปอร์เซ็นต์ และผลการประเมินความพึงพอใจของระบบโดยผู้ใช้งานอยู่ในระดับพึงพอใจระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการช่วยทำนายความหวานของส้มโอได้ ช่วยเพิ่มความสะดวกรวดเร็วต่อการใช้งานอีกทั้งเป็นการส่งเสริมการขาย และสร้างความเชื่อมั่นในตัวผลิตภัณฑ์ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอได้อีกทางหนึ่ง

**คำสำคัญ:** การทำนายความหวานส้มโอ การจำแนกภาพ โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน การเรียนรู้เชิงลึก

## Abstract

The objectives of this research were 1) to develop a pomelo sweet forecasting model using deep learning technique, 2) to develop an application for forecasting pomelo sweetness level for using on smartphone with android operating system, and 3) to assess the satisfaction of the application. This research was conducted by collecting 600 sample images of four pomelo types such as sweet Khawtaengkwa, unsweetened Khawtaengkwa, sweet

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

<sup>1</sup> Faculty of Science, Naresuan University

\* Corresponding author. E-mail: nattavadeeho@nu.ac.th

Thakhoi and unsweetened Thakhoi. The sample images were analyzed and generated classifier models using a deep convolutional neural network. The results showed that the model of the convolutional neural network had a high efficiency, which was able to classify pomelo sweetness levels with the average accuracy of 97%. Therefore, this model was used to develop a user interface for a smartphone application, whereby the application ran the model through a series of instructions to analyze the sweetness levels of the pomelo images. The performance evaluation showed that the application was able to classify images and the sweetness levels of pomelo with average accuracy of 81.25%. The results of the system satisfaction assessment by users were good level with an average of 4.19. The experimental results indicate that an application can classify effectively sweetness levels of pomelo with convenience and speed. In addition, it helps to promote sale and confidence for the products from pomelo farmers.

**Keywords:** forecasting sweetness pomelo, image classification, convolutional neural network, deep learning

## บทนำ

ส้มโอเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยชื่อสามัญในภาษาอังกฤษคือ pomelo ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาเนเธอร์แลนด์ คือ pompelmoes ซึ่งแปลว่า ส้มที่ลูกเท่าฟักทอง (Achravittayakun, 2001) แหล่งกำเนิดอยู่ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายสายพันธุ์ (Manipphan, 2018) เช่น พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าซ้อย พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ขาวใหญ่ และพันธุ์ทองดี เป็นต้น ส้มโอเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์หลากหลายและมีสรรพคุณทางยาในการรักษาโรคต่างๆ เพราะอุดมไปด้วยวิตามินซีซึ่งเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมากและมีวิตามินแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายอีกหลายชนิด

ปัญหาหลักของการบริโภคส้มโอ คือ การเลือกส้มโอที่มีคุณภาพ มีความหวานที่เหมาะสมกับการบริโภค ถ้าต้องการวัดค่าความหวานด้วยวิธีการมาตรฐาน คือ การใช้เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความหวานเรียกว่า Brix refractometer (Neonics, 2019) หน่วยวัดที่ได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์บริกซ์ (% Brix) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำตาลซูโครสในสารละลาย

วิธีการวัดต้องมีการปอกผลสดเพื่อนำน้ำมาสกัดทำการวัดความหวานซึ่งไม่สะดวกต่อผู้บริโภคและผู้ขายในการนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน โดยสภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน การวัดความหวานเพื่อขายผลสดเกษตรกรจะพิจารณาจากคุณลักษณะของส้มโอประกอบไปด้วย สีของผิว รูปร่างของผล และใช้วิธีเคาะส้มโอเพื่อฟังเสียงความหนาแน่น เป็นต้น ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และทักษะของผู้ปฏิบัติงานเพื่อแยกแยะและตัดสินใจถ้าขาดความชำนาญอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการเลือกคุณภาพของสินค้าที่มีลักษณะตามความต้องการได้ จึงเป็นเรื่องยากสำหรับประชาชนทั่วไปในการตรวจสอบคุณภาพส้มโอ ถ้ามีเครื่องมือที่ใช้งานง่ายและสามารถช่วยตรวจสอบความหวานส้มโอได้ก็จะช่วยให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถตรวจสอบความหวานส้มโอได้ด้วยตนเองเบื้องต้นอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าความหวานมีการนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการวัดค่าความหวาน เช่น Pompanomchai, Ja, & Supainun (2016) ใช้การถ่ายภาพของสับปะรด

ในห้องทดลอง จากนั้นผ่าชิ้นเนื้อเพื่อคั้นน้ำแล้วทำการวัดค่าความหวานด้วยเครื่อง Brix refractometer เพื่อวัดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ปริกซ์ ทำการแยกประเภทของสับปะรดด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) ซึ่งให้ค่าความเชื่อมั่นที่ 83.08 เปอร์เซ็นต์ Khairunniza-Bejo, & Kamarudin (2011) วัดความหวานของมะม่วงโชคอนันต์ โดยใช้คุณสมบัติของสีแบบ HSB จำนวนภาพที่ใช้ทดลองทั้งหมด 180 ภาพ แบ่งข้อมูลภาพฝึกสอน 50 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลทดสอบ 50 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนการฝึกจะวิเคราะห์แถบสี ความอิ่มตัว และความสว่าง โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ผลการศึกษาพบว่าโมเดลมีความแม่นยำ 95.67 เปอร์เซ็นต์ Gaticaa, Bestb, Ceronic, & Lefranc (2013) ได้นำเสนอการจำแนกภาพผลมะกอกโดยการวิเคราะห์ภาพต้นมะกอกใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการรู้จำภาพ พบว่ามีความแม่นยำในการจำแนก 97 เปอร์เซ็นต์ Kauri, Kaleka, & Singh (2017) ได้มีการนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพของผลไม้เพื่อใช้วัดค่าความหวาน โดยผลไม้ที่เลือกศึกษา คือ แอปเปิลและลูกแพร์ ในการวิเคราะห์นั้นจะมีการตัดชิ้นเนื้อเพื่อทำการวิเคราะห์ความเต่งตึง ขนาด สี และรูปร่าง ใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ผลของการวิจัยพบว่าโมเดลให้ค่าความแม่นยำ 91.86 เปอร์เซ็นต์ Kausar, Sharif, Park, & Shin (2018) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (convolutional neural network: CNN) เข้ามาช่วยในการจำแนกประเภทของภาพผลไม้ ทดลองกับภาพผลไม้จำนวน 55,244 ภาพ จำนวน 81 หมวดหมู่ ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมีความแม่นยำ

ในการจำแนกประเภทของภาพถึง 98.88 เปอร์เซ็นต์ Lim, & Chuah (2018) นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการจำแนกชนิดทุเรียนด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมีความแม่นยำในการจำแนก 81.25 เปอร์เซ็นต์ จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้นนั้นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การใช้การประมวลผลภาพเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ค่าความหวาน โดยขั้นตอนวิธีการที่เข้ามาใช้ร่วมกันที่น่าสนใจขั้นตอนหนึ่ง คือ ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกคอนโวลูชัน ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถเรียนรู้ข้อมูล เพื่อตัดสินใจต่อปัญหาต่างๆ ได้ด้วยตนเองแบบอัตโนมัติ ทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากๆ ได้โดยใช้ประโยชน์จากความเร็วของการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบัน เหมาะสมกับการนำไปใช้วิเคราะห์ระดับความหวานผลไม้

ด้วยเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีที่ทำงานผ่านสมาร์ตโฟนเข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการวัดระดับความหวานส้มโอ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ 1) เพื่อพัฒนาโมเดลทำนายความหวานส้มโอโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก 2) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันทำนายความหวานส้มโอแบบอัตโนมัติบนสมาร์ตโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และ 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันทำนายระดับความหวานของส้มโอที่นำเสนอจะประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เพื่อวัดความหวานของส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาและพันธุ์ท่าซอย และนำ

โมเดลการจำแนกภาพที่ได้มาพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อให้มีความง่ายต่อการใช้งาน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการยกระดับคุณภาพชีวิตและเป็นการส่งเสริมการขายให้กับเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอต่อไป

### วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการวัดความหวานส้มโอจากภาพถ่ายส้มโอ โดยเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เป็นการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่สามารถแยกแยะคุณลักษณะ (feature) ของวัตถุที่มองเห็น เช่น สี ขอบภาพ การตัดกันของสี แล้วนำคุณลักษณะมาประกอบกัน เพื่อระบุคุณสมบัติของสิ่งที่มองเห็น เช่น เมื่อมองเห็นรูปภาพส้มโอ การคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน สามารถแสดงคำตอบได้ว่าภาพส้มโอมีคุณลักษณะ คือ มีความหวานอยู่ในระดับใด เป็นต้น และจากการศึกษา งานวิจัยก่อนหน้านี้ (Kausar, Sharif, Park, & Shin, 2018; Lim, & Chuah, 2018) ที่มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันกับการจำแนกข้อมูล โดยแสดงให้เห็นว่าข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน คือ สามารถวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์ได้อย่างแม่นยำ โดยความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน มีความแม่นยำมากกว่า 80 เปอร์เซนต์ ดังนั้นด้วยคุณสมบัติที่ดีของ

โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน งานวิจัยนี้จึงนำมาประยุกต์ใช้สำหรับสร้างโมเดลเพื่อจำแนกระดับความหวานของส้มโอ

การศึกษานี้เน้นไปที่ส้มโอสองสายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาและพันธุ์ท่าซ้อย ดำเนินการฝึกสอนโมเดลให้จำแนกภาพส้มโอทั้งหมด 4 ประเภท เพื่อให้สามารถจำแนกภาพได้ทั้งส้มโอหวานและส้มโอไม่หวาน จึงได้ออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานไว้ดังนี้ 1) การรวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูล 2) การสร้างโมเดลจำแนกภาพส้มโอ 3) การประเมินประสิทธิภาพโมเดล 4) การพัฒนาระบบ และ 5) การทดสอบและประเมินผลการใช้ระบบ แสดงรายละเอียดได้ดัง (Figure 1)

### การรวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลรูปภาพ ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาส้มโอสองสายพันธุ์ที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวาของจังหวัดชัยนาทและพันธุ์ท่าซ้อยของจังหวัดพิจิตร จากนั้นทำการวัดระดับความหวานของส้มโอด้วยเครื่อง Brix refractometer (Figure 2) ซึ่งเป็นเครื่องวัดความหวานผลไม้ และสามารถตรวจสอบความหวานหรือปริมาณน้ำตาลในผลไม้สำหรับผลิตผลทางการเกษตรได้ (Waes, Baert, Carlier, & Bockstaele, 1998; Boonchuay, Amloy, & Preechaburana, 2018; Manipphan, 2018) ทำการแบ่งระดับความหวานออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ 1) ความหวาน 0-8.99 เปอร์เซนต์บริกซ์ (% Brix) คือ ส้มโอไม่หวาน และ 2) ความหวานตั้งแต่ 9 เปอร์เซนต์บริกซ์ (% Brix) ขึ้นไป คือ ส้มโอหวาน

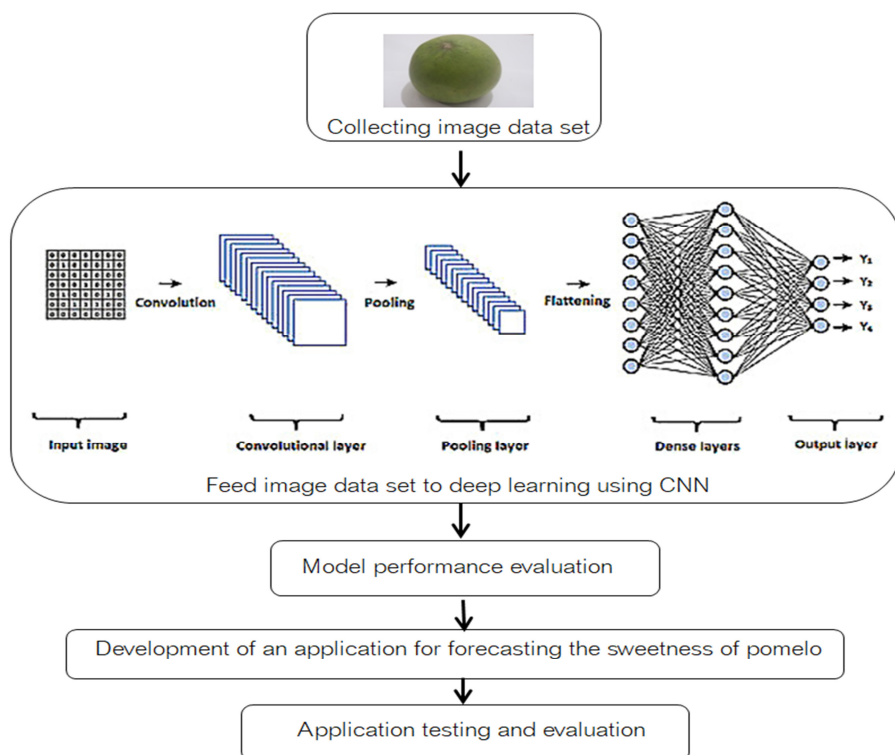


Figure 1 The framework of application development.

โดยรวมชุดข้อมูลภาพที่ศึกษาทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ 1) ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาหวาน 2) ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาไม่หวาน 3) ส้มโอพันธุ์ท่าช้อยหวาน และ 4) ส้มโอพันธุ์ท่าช้อยไม่หวาน กลุ่มตัวอย่างประเภทละ 150 ภาพ จำนวนรูปภาพทั้งหมด 600 ภาพ ดำเนินการถ่ายภาพกลุ่มตัวอย่าง

โดยใช้พื้นหลังเป็นกระดาษขาว และถ่ายด้วยกล้องจากโทรศัพท์ โหมดการถ่ายภาพตั้งแบบอัตโนมัติ (auto mode) ระยะห่างจากส้มโอประมาณ 15-20 เซนติเมตร โดยเก็บไฟล์ภาพเป็นไฟล์ .JPG ทั้งหมดขนาดของรูปภาพ คือ 224×224 พิกเซล ดัง (Table 1)



Figure 2 Brix refractometer.

**Table 1** The pomelo image data used in the model development.

| pomelo type              | data set image example                                                            | sweetness level Brix (%) | total (images) |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------|
| sweet Khawtaengkwa       |  | $\geq 9$                 | 150            |
| unsweetened Khawtaengkwa |  | 0-8.99                   | 150            |
| sweet Thakhohi           |  | $\geq 9$                 | 150            |
| unsweetened Thakhohi     |  | 0-8.99                   | 150            |
| summary                  |                                                                                   |                          | 600            |

### การสร้างโมเดลจำแนกภาพ

การสร้างโมเดลจำแนกภาพส้มโอ เป็นการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บรวบรวมภาพมาเข้ากระบวนการเรียนรู้เชิงลึกแบบโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) ที่เป็นโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกประเภทหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการวิเคราะห์รูปภาพ (Jmour, Zayen, & Abdelkrim, 2018; Butploy, & Boonying, 2020) โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) รูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างเฉพาะตัว ออกแบบมาเพื่อเพิ่มความสามารถในการประมวลผลที่มีความซับซ้อน มีความเหมาะสมกับลักษณะข้อมูลประเภทที่ไม่มีโครงสร้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ภาพ

การเก็บรวบรวมภาพถ่ายส้มโอแบ่งเป็น 4 ประเภท และนำภาพถ่ายของแต่ละประเภทมาแบ่งแยกเป็นชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบ จากนั้นนำชุดข้อมูลฝึกสอนไปทำการฝึกฝนการเรียนรู้ โดยจะฝึกสอนด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกให้ผลลัพธ์

เป็นไปตามชุดข้อมูลต้นฉบับ จากนั้นนำโมเดลที่ได้ฝึกฝนไปใช้งาน โดยการป้อนภาพในชุดข้อมูลทดสอบให้โมเดลประมวลผล และจะแสดงผลลัพธ์เป็นประเภทส้มโอออกมา โดยอ้างอิงจากชุดข้อมูลฝึกที่ได้ฝึกฝนไว้

โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันที่นำมาใช้สร้างโมเดลประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ (Figure 3) ได้แก่ 1) input layer ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลเป็นการนำภาพที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลส้มโอหวานและส้มโอที่ไม่หวานจำนวน 4 ประเภท มาทำการเรียนรู้ข้อมูลเพื่อสร้างเป็นโมเดลในการจำแนกภาพ 2) hidden layer เป็นชั้นซ่อนที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลประกอบด้วยโครงสร้างแบบ convolutional และ pooling layer โดยในขั้นตอนนี้จะใช้อัลกอริทึม MobileNet ที่ทำการเรียนรู้ข้อมูลมาทำการตรวจหาคุณลักษณะเด่นของภาพ เพื่อใช้ในการแยกประเภท ในขั้นตอนต่อไป 3) hidden layer ชั้นโครงสร้างแบบ fully connected layer คือ ชั้นที่ใช้เพื่อการจำแนกรูปภาพ (classification) และ 4) ชั้นสุดท้ายของ

กระบวนการ CNN คือ output layer เป็นชั้นที่บอกว่า ภาพนี้ควรจำแนกเป็นอะไรหรือเป็น class อะไร

เครื่องมือในการสร้างโมเดลได้แก่ไลบรารี Tensorflow และภาษา Python

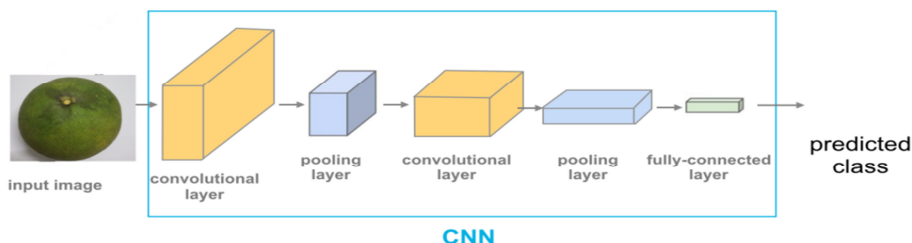


Figure 3 The CNN architecture.

### การประเมินประสิทธิภาพโมเดล

การประเมินประสิทธิภาพโมเดลจำแนกภาพส้มโอ โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบแบบหลักการทำงานของ 10-fold cross validation ซึ่งจะมีข้อมูลชุดทดสอบทั้งหมด 60 รูปภาพ ในแต่ละ fold จากนั้นจะทำการหาเปอร์เซ็นต์ค่าความแม่นยำในการจำแนกประเภทภาพ และแสดงผลลัพธ์ที่จำแนกได้ว่าเป็นคลาสบวก (positive class: P) หรือคลาสลบ (negative class: N) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถมีได้ 4 แบบ คือ true positive (TP), false positive (FP), true negative (TN) และ false negative (FN) หลังจากได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละ fold จะทำการหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ค่าความถูกต้องทั้ง 10-fold เพื่อเป็นการวัดประสิทธิภาพโมเดล ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถูกต้อง (accuracy) ได้ดังสมการที่ (1) (Pattansarn, & Sriwiboon, 2020)

$$\text{Accuracy} = \frac{(\text{TP} + \text{TN})}{(\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN})} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ true positive (TP) คือ คลาสบอกว่าจริงและทำนายว่าจริง  
true negative (TN) คือ คลาสบอกว่าไม่จริงและทำนายว่าไม่จริง  
false positive (FP) คือ คลาสบอกว่าจริงและทำนายว่าไม่จริง  
false negative (FN) คือ คลาสบอกว่าไม่จริงและทำนายว่าจริง

### การพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบเป็นขั้นตอนของการนำโมเดลจำแนกภาพที่ได้ไปใส่ในแอปพลิเคชัน โดยดำเนินการออกแบบระบบดัง (Figure 4) การทำงานของระบบนั้นผู้ใช้ทำการถ่ายภาพส้มโอที่ต้องการทราบระดับความหวานด้วยกล้องสมาร์ทโฟน แอปพลิเคชันจะทำการประมวลผลและจำแนกภาพด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อตรวจสอบว่าเป็นรูปภาพประเภทใด และทำการแสดงผลลัพธ์ด้วยการระบุพันธุ์ส้มโอและระดับความหวานที่ตรวจพบพร้อมแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องกลับมาแสดงผลที่หน้าจอแอปพลิเคชัน

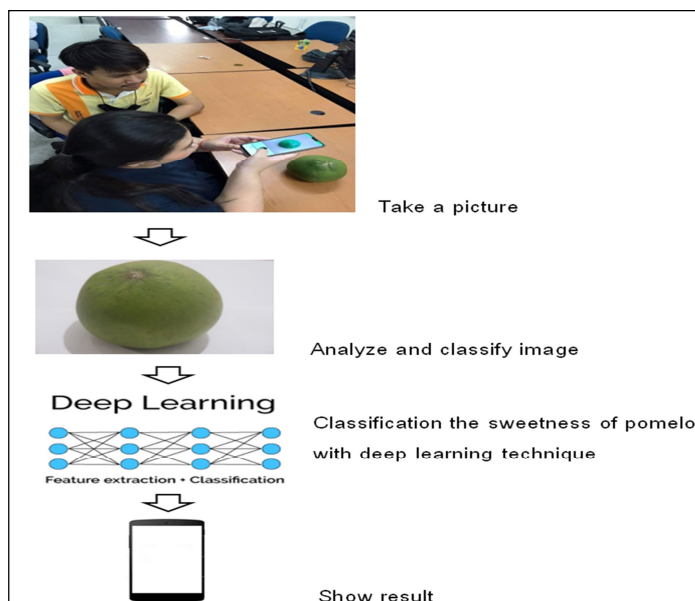


Figure 4 The application workflow.

ดำเนินการพัฒนาระบบในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน เครื่องมือในการพัฒนาใช้โปรแกรม Android Studio และภาษา Java เป็นภาษาหลักในการพัฒนา โดยนำโมเดลจำแนกภาพที่ผ่านการฝึกสอนเรียบร้อยแล้วเข้าโปรแกรม Android Studio เพื่อเรียกใช้ประมวลผลในแอปพลิเคชันต่อไป

**การทดสอบและประเมินผลการใช้ระบบ**

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ประกอบด้วยขั้นตอนที่จะทดสอบข้อมูลนำเข้ากระบวนการประมวลผลและผลลัพธ์ความแม่นยำการวัดระดับความหวานส้มโอของแอปพลิเคชัน ส่วนการประเมินผลการใช้ระบบใช้วิธีการทดสอบ black box testing แบบ UAT (user acceptance test) ด้วยการให้ประชากรกลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานและทำการประเมินผลระบบ ทำการ

สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยการหาความถูกต้อง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### ผลการศึกษา

การสรุปผลการศึกษามีวิเคราะห์ผลการศึกษได้ ดังต่อไปนี้

### ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมเดล

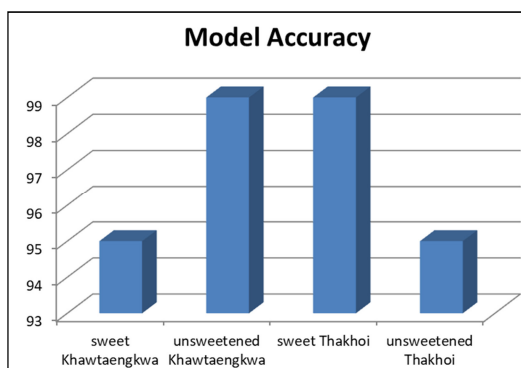
ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมเดลในโปรแกรม Python ร่วมกับไลบรารี TensorFlow โดยการใช้ fold10 ในการทดสอบ และใช้ข้อมูลชุดทดสอบ ซึ่งมีทั้งหมด 60 รูปภาพต่อ 1 fold จะเห็นได้ว่าโมเดลที่ทำการเรียนรู้โดยอัลกอริทึม MobileNet มีผลลัพธ์ค่าความถูกต้องเฉลี่ยของโมเดลเท่ากับ 97 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) ดังนั้นจึงได้ผลว่าการเรียนรู้ข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึม MobileNet มีประสิทธิภาพความแม่นยำ

อยู่ในระดับดี จึงนำโมเดลนี้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันวิเคราะห์ความหวานส้มโอ จากภาพถ่ายบนสมาร์ตโฟนต่อไป นอกจากนี้จากรายละเอียดผลการศึกษาใน (Table 2) สามารถ

แสดงเป็นแผนภูมิภาพแท่งได้ดัง (Figure 5) พบว่าการจำแนกภาพส้มโอขาวแตงกวาไม่หวาน และส้มโอท่าช้อยหวาน มีค่าความถูกต้องของการจำแนกสูงสุด คือ 99 เปอร์เซ็นต์

**Table 2** The classification results of model.

| model constants             | pomelo type              | accuracy (%) |
|-----------------------------|--------------------------|--------------|
| Architecture=MobileNet_1.0, | sweet Khawtaengkwa       | 95.00        |
| Metrics= Accuracy,          | unsweetened Khawtaengkwa | 99.00        |
| Epoch=500                   | sweet Thakhoi            | 99.00        |
|                             | unsweetened Thakhoi      | 95.00        |
|                             | average                  | 97.00        |



**Figure 5** The accuracy of the model.

### ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันทำนายความหวานส้มโอจากภาพถ่ายประกอบด้วยส่วนแสดงผล ได้แก่ หน้าจอหลัก หน้าจอถ่ายภาพ หน้าจอวิเคราะห์แสดงผลลัพธ์ และหน้าจอข้อมูลเกี่ยวกับส้มโอ แสดงรายละเอียดดังนี้ เมื่อเข้าสู่หน้าจอหลักแอปพลิเคชันและต้องการทำนายความหวานส้มโอ ผู้ใช้งานต้องใช้กล้องสมาร์ตโฟนถ่ายภาพส้มโอจากนั้นแอปพลิเคชัน

จะเรียกใช้การประมวลผลจากโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้ฝึกสอนไว้เพื่อวิเคราะห์ภาพส้มโอและแสดงผลลัพธ์พร้อมแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่หน้าจอ ถ้าเลือกที่ข้อมูลเกี่ยวกับส้มโอ ระบบจะแสดงข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับส้มโอ ดังตัวอย่างใน (Figure 6)

การทดสอบการทำงานจริงของแอปพลิเคชันดำเนินการทดสอบถ่ายภาพส้มโอผ่านกล้องสมาร์ตโฟนจำนวนประเภทละ 20 ครั้ง ซึ่งการทดสอบนี้เป็นภาพส้มโอที่ยังไม่เคยฝึกสอนมาก่อน (unseen data) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชัน ได้ผลการทดลองดังนี้ ส้มโอที่แอปพลิเคชันสามารถทำนายได้ถูกต้องมากที่สุดได้แก่ ส้มโอท่าช้อยหวาน ส่วนส้มโอที่ทำนายได้ถูกต้องน้อยที่สุด ได้แก่ ส้มโอขาวแตงกวาหวานและส้มโอท่าช้อยไม่หวาน ซึ่งการจำแนกข้อมูลส้มโอที่ผิดพลาดอาจเนื่องจากสาเหตุดังนี้ 1) ส้มโอขาวแตงกวาหวานกับไม่หวานมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน และภาพของส้มโอท่าช้อยหวานกับไม่หวานมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันทำให้การวิเคราะห์

ผลออกมาผิดพลาดได้ 2) จากการทดลองพบว่าแสงและเงาระหว่างการถ่ายภาพส้มโอ มีส่วนเกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพทำให้โมเดลประมวลผลคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน ส่วนผลการ

ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันทำนายความหวานส้มโอในภาพรวมปรากฏว่ามีค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 81.25 เปอร์เซนต์ รายละเอียดดัง (Table 3) และ (Figure 7)

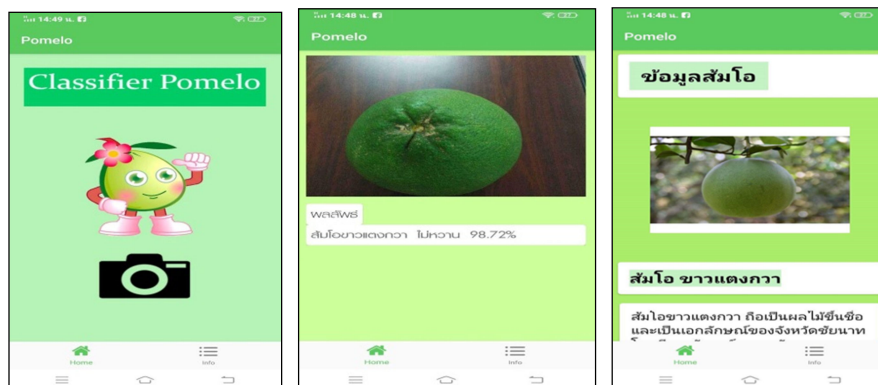


Figure 6 Displays of the application screen and usage.

การทดสอบการทำงานจริงพบข้อจำกัดของแอปพลิเคชัน คือ 1) กล้องสมาร์ทโฟนต้องมีความละเอียดของภาพที่สูงเพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถวิเคราะห์ภาพได้อย่างแม่นยำ 2) การถ่ายภาพจะต้องเป็นภาพส้มโอทั้งลูกและไม่มีวัตถุอื่นอยู่ในภาพจึงจะสามารถประมวลผลได้ และ 3) การประมวลผลภาพควรถ่ายภาพในสถานที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ

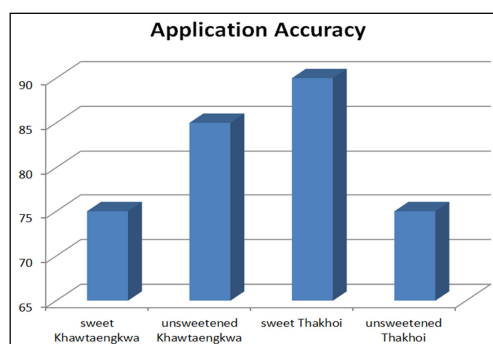


Figure 7 The accuracy of the application.

Table 3 The classification results of application.

| pomelo type              | correct prediction | incorrect prediction | accuracy (%) |
|--------------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| sweet Khawtaengkwa       | 15                 | 5                    | 75.00        |
| unsweetened Khawtaengkwa | 17                 | 3                    | 85.00        |
| sweet Thakhoi            | 18                 | 2                    | 90.00        |
| unsweetened Thakhoi      | 15                 | 5                    | 75.00        |
| average                  |                    |                      | 81.25        |

## ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน

การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดผลการใช้งานแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาความพึงพอใจ ใช้วิธีการเลือกจากผู้ที่ใช้สมาร์ทโฟนในชีวิตประจำวัน จำนวน 30 คน ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มตัวอย่างจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีจำนวน 3 คน และกลุ่มตัวอย่างจากนักศึกษามหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง โดยใช้การสุ่มอย่างง่ายเลือกกลุ่มตัวอย่างที่สมัครใจเข้าร่วมประเมินผลการใช้ระบบ จำนวน 27 คน ทดลองใช้แอปพลิเคชันแล้วทำแบบสอบถามประเมินผลการใช้งานจำนวน 3 ด้าน

ประกอบด้วย ด้านตรงต่อความต้องการของผู้ใช้ (functional requirement test) ด้านความถูกต้องของการทำงานของแอปพลิเคชัน (functional test) และด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน (usability test) กำหนดเกณฑ์ในการประเมินและเปรียบเทียบตามวิธีของลิเคิร์ต (Likert scale) (Phisachphen, & Ongkhunarak, 2013) โดยประกอบด้วยมาตราอันดับเชิงคุณภาพ 5 ระดับ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวัดค่ากลางของข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และวัดการกระจายของข้อมูลโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

**Table 4** The results of user satisfaction assessment.

| assessment list             | mean ( $\bar{X}$ ) | standard deviation (S.D.) | translation of results level |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|
| functional requirement test | 4.23               | 0.42                      | good                         |
| functional test             | 4.03               | 0.48                      | good                         |
| usability test              | 4.30               | 0.46                      | good                         |
| average                     | 4.19               | 0.45                      | good                         |

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานของกลุ่มตัวอย่างได้ผลดัง (Table 4) ความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับดี ( $\bar{X}$ =4.19, S.D.=0.45) โดยผลการประเมินด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมีค่ามากที่สุด ( $\bar{X}$ =4.30, S.D.=0.46) แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันนี้สามารถช่วยในการอำนวยความสะดวกในการทำนายความหวานส้มโอได้เป็นอย่างดี

## อภิปรายผล

จากผลการทดลอง (Table 2) จะเห็นว่าผลการพัฒนาโมเดลจำแนกภาพ มีค่าความถูกต้องเฉลี่ย

97 เปอร์เซนต์ แสดงถึงประสิทธิภาพในการสร้างโมเดลจำแนกความหวานส้มโอด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liao, Cai, Xu, & He (2019); Sinha, & El-Sharkawy (2019) ที่แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกแบบโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) ด้วยอัลกอริทึม MobileNet มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลประเภทรูปภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนขอประสิทธิภาพการจำแนกความหวานส้มโอของแอปพลิเคชัน (Table 3) พบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกและวัดระดับความ

หวานส้มโอ โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 81.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทำนายที่ผิดพลาด ส่วนใหญ่เกิดจากส้มโอที่นำมาทดสอบมีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น ส้มโอขาวแตงกวาหวานกับไม่หวานมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบข้อจำกัดของแอปพลิเคชัน คือ ถ้าผลของส้มโอมีสีออกเหลืองมากเกินไปการทำนายที่ได้จะมีข้อผิดพลาดสูง เพราะตัวอย่างที่ใช้ในการเรียนรู้ส้มโอสีเหลืองนั้นมีน้อย ซึ่งถ้าจะให้การทำนายมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น มีข้อเสนอแนะคือ ควรมีการรวบรวมชุดข้อมูลภาพที่ใช้เรียนรู้ของส้มโอเพิ่มเติม โดยงานวิจัยของ Butploy, & Boonying (2020) พบข้อสังเกตเดียวกัน คือ ชุดข้อมูลภาพที่ใช้เรียนรู้มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพความแม่นยำในการทำนายของโมเดล

จากผลการทดลอง (Table 4) จะเห็นว่าผลการประเมินความพึงพอใจของระบบโดยผู้ใช้งาน มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 แสดงว่าแอปพลิเคชันนี้สามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการทำนายความหวานส้มโอได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kasemsin, & Yolai (2020); Petagon, & Pantho (2020) ที่แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ช่วยให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีความสะดวกสบายกับผู้ใช้งานมาก เมื่อถ่ายภาพผลส้มโอ แอปพลิเคชันก็จะแสดงผลได้ว่าส้มโอหวานหรือไม่หวานทันทีที่ทางหน้าจอ อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพใช้โทรศัพท์มือถือที่มีกล้องถ่ายรูปก็สามารถที่จะใช้งานได้ ทำให้สะดวกในการที่จะนำไปใช้ในชีวิตประจำวันทั้งเกษตรกรเองและผู้บริโภคมากขึ้น

## สรุป

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงการนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกร่วมกับการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ระดับความหวานส้มโอผ่านการถ่ายภาพจากกล้องสมาร์ตโฟน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบความหวานส้มโอได้อย่างง่ายสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยใช้หลักการเรียนรู้เชิงลึกแบบโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) การศึกษาเริ่มจากการเก็บรวบรวมกลุ่มตัวอย่างภาพส้มโอ โดยแบ่งประเภทที่ต้องการจำแนกออกเป็น 4 ประเภท ประเภทละ 150 ภาพ จำนวนภาพทั้งหมด 600 ภาพ จากนั้นนำภาพไปสร้างโมเดลจำแนกภาพด้วยกระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เลือกใช้อัลกอริทึม MobileNet พัฒนาโมเดลตามหลักการ 10-fold cross validation เครื่องมือในการพัฒนาโมเดล ได้แก่ ไบรารี Tensorflow และภาษา Python ผลการพัฒนาโมเดลจำแนกภาพ พบว่าโมเดลมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 97 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นนำโมเดลไปพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้โปรแกรม Android Studio และภาษา Java ผลการทดสอบการใช้งานจริงของแอปพลิเคชัน พบว่าแอปพลิเคชันสามารถจำแนกและวัดระดับความหวานส้มโอได้จริง โดยที่มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยถึง 81.25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดสอบแอปพลิเคชันด้วยวิธีทดสอบ black box testing แบบ user acceptance test สามารถสรุปผลได้ว่าแอปพลิเคชันทำนายความหวานส้มโอสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องครบถ้วน ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานที่มีต่อ

แอปพลิเคชันอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.19 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45 แอปพลิเคชันนี้จะช่วยให้ผู้ที่ไม่มีความเชี่ยวชาญสามารถตรวจสอบระดับความหวานส้มโอได้ด้วยตนเอง และช่วยให้เกิดประโยชน์ในการยกระดับสำหรับการใช้เทคโนโลยีในด้านการเกษตรเพื่อส่งเสริมการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพของเกษตรกรต่อไป

แนวทางการพัฒนาในอนาคต คือ การพัฒนาในส่วนที่ยังพบข้อจำกัด ได้แก่ เพิ่มจำนวนของข้อมูลในการฝึกสอน และการปรับปรุงกระบวนการพัฒนาโมเดล เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันแบบ MobileNet เท่านั้น ดังนั้นหากมีการเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกภาพของการเรียนรู้เชิงลึกแบบอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อให้การฝึกสอนโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- Achravittayakun, W. (2001). *Growing pomelo*. Bangkok: Kasetsarn Publishing. (in Thai)
- Boonchuay, S., Amloy, S., & Preechaburana, P. (2018). Surface plasmon resonance refractometer based on smartphone platforms. *Thaksin University Journal*, 21(3), 124-131.
- Butploy, N., & Boonying, S. (2020). Classification of Benjapakee Buddha amulets image by deep learning. *RMUTSB Academic Journal*, 8(1), 100-111.
- Gaticaa, G., Bestb, S., Ceronic, J., & Lefranc, G. (2013). Olive fruits recognition using neural networks. *Procedia Computer Science*, 17(2013), 412-419.
- Jmour, N., Zayen, S., & Abdelkrim, A. (2018). Convolutional neural networks for image classification. *International Conference on Advanced Systems and Electrical Technologies* (pp. 397-402). Tunisia: IEEE.
- Kasemsin, W., & Yolai, J. (2020). The development of demonstration kit for intramuscular injection needle display via smartphone inventor application. *RMUTSB Academic Journal*, 8(1), 112-125.
- Kauri, P., Kaleka, S., & Singh, C. (2017). Image analysis technique for automatic characterization of fruits and measurement the sweetness. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 5(7), 954-964.
- Kausar, A., Sharif, M., Park, J., & Shin, D. (2018). Pure-CNN: A framework for fruit images classification. *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)* (pp. 404-408). USA: American Council on Science and Education.
- Khairunniza-Bejo, S., & Kamarudin, S. (2011). Chokanan mango sweetness determination using HSB color space. *Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling & Simulation* (pp. 216-221). Malaysia: Nottingham Trent University.
- Liao, J., Cai, L., Xu, Y., & He, M. (2019). Design of accelerator for MobileNet convolutional neural network based on FPGA. *IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC 2019)* (pp. 1392-1396). China: IEEE.
- Lim, G., & Chuah, J. (2018). Durian types recognition using deep learning techniques. *IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC 2018)* (pp. 183-187). Malaysia: IEEE.

- Manipphan, N. (2018). *Growing and breeding pomelo*. Bangkok: Promote the Career of Diamond Publishing. (in Thai)
- Neonics. (2019). *Brix refractometer*. Retrieved 14 September 2019, from: <http://www.neonics.co.th>
- Pattansarn, N., & Sriwiboon, N. (2020). Image processing for classifying the quality of the Chok-Anan mango by simulating the human vision using deep learning. *Journal of Information Science and Technology*, 10(1), 24-29.
- Petagon, R., & Pantho, O. (2020). Drone for detecting forest fires using deep learning technique. *Sripatum Review of Science and Technology*, 12(1), 65-78.
- Phisachphen, R., & Ongkhunarak, P. (2013). *Operational research*. Bangkok: SE-ED Ucation. (in Thai)
- Pornpanomchai, C., Ja, A., & Supainun, K. (2016). Pineapple sweetness measurement by digital image processing. *Proceeding of 2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2016)* (pp. 638-646). Chiang Mai: Maejo University. (in Thai)
- Sinha, D., & El-Sharkawy, M. (2019). Thin MobileNet: An enhanced MobileNet architecture. *IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)* (pp. 280-285). USA: IEEE.
- Waes, C., Baert, J., Carlier, L., & Bockstaele, E. (1998). A rapid determination of the total sugar content and the average inulin chain length in roots of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(1), 107-110.