วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)
ปีที่ 19 ฉบับที่ 1: มกราคม-มีนาคม 2562

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร

Decision Supporting Systems for Agriculture Planning

จีรศักดิ์ พุ่มเจริญ (Jeerasak Phumcharoen)[1]* กมลวรรณ แตงสุข (Kamonwan Tangsuk)**
ลักษนันท์ พลอยวัฒนาวงศ์ (Luxsanan Ploywattanawong)***

(Received: *June 22, 2018*; Revised: *September 7, 2018*; Accepted: *September 12, 2018*)

บทคัดย่อ

ประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยทำอาชีพเกษตรกร โดยพืชเศรษฐกิจที่นิยมสำหรับการเพาะปลูกมีความหลากหลาย ได้แก่ ข้าว อ้อย ข้าวโพด และผลไม้เมืองร้อน ดังนั้น พื้นที่ประเทศไทยส่วนใหญ่ทำการเกษตรทำให้เกษตรกรมีผลผลิตหลายระดับตั้งแต่การจำหน่ายภายในประเทศ ส่งออกต่างประเทศ หนึ่งในสาเหตุหลักของเกษตรกรไทยเกิดจากปัญหาการขาดข้อมูลที่ทันสมัย ดังนั้น หากนำเทคโนโลยีที่นำมาช่วยในการเกษตร เช่น ข้อมูลทางการเกษตร องค์ความรู้ เทคนิคการเพาะปลูก จะช่วยส่งผลให้ได้ผลผลิตที่มีมาตรฐานตามเกณฑ์ของตลาดภาคการเกษตร ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตรสามารถช่วยแก้ไขปัญหาด้านการวางแผนการเพาะปลูกให้เกิดประสิทธิภาพ จุดเด่นของระบบสามารถช่วยวิเคราะห์ คาดการณ์ สนับสนุนการตัดสินใจในการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตรและคำนวณค่าใช้จ่ายในการเกษตร หลังจากการใช้งานจริงพบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด

ABSTRACT

Most of the people in Thailand are agriculturists. There are many economic plants including rice, corns, and tropical fruits. Therefore, most of the areas in Thailand are used for agriculture which results in various types from domestics to export sales. One of the main of the problems of agriculturists is that the current information is not available for the user. Therefore, if the technologies could be applied to help agriculture such as agriculture information, knowledge, cultivation technique, they will help to improve the quality of the product to meet the market standard. The decision support system for agriculture plan could be used to help solving the planning problem. The main advantage of the system is the analysis feature that predicts the most profitable plants and calculates the cost. After the deployment, the satisfactions from the user is in the highest level.

คำสำคัญ: ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ การวางแผนทางการเกษตร การเกษตรบูรณาการ

Keywords: Decision supporting systems, Agriculture planning, Agricultural integration

---

[1] *Correspondent author: jeerasak.ph@rmutsb.ac.th*

** อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*

*** นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ*

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังก้าวเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีที่สำคัญ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงเศรษฐกิจฐานความรู้ (Knowledge Economy) ในระดับโลก ซึ่งเป็นระบบเศรษฐกิจในอนาคตที่มีการสร้างสรรค์และนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม โดยผนวกความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การนำเทคโนโลยีสื่อสารและเครือข่ายสังคม ทำให้ทั่วโลกก้าวเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจดิจิทัลซึ่งใช้เทคโนโลยีเป็นกลไกในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจส่งผลอย่างมากต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย รัฐบาลให้ความสำคัญสนับสนุนการพัฒนาระดับชาติ ดังแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม มุ่งเน้นการพัฒนาระยะยาวอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับการจัดทำยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีดิจิทัลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้รัฐบาลกำหนดแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม โดยกำหนดภูมิทัศน์ดิจิทัล [1] ให้มีเป้าหมาย 4 ระยะประกอบด้วย ระยะที่ 1 ลงทุนและสร้างฐานรากในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล (Digital Foundation) ระยะที่ 2 ทุกภาพส่วนของประเทศไทยมีส่วนร่วมในเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัลตามแนวทางประชารัฐ (Digital Thailand I: Inclusion) ระยะที่ 3 ก้าวสู่ดิจิทัลไทยแลนด์ที่ขับเคลื่อนและใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมดิจิทัลได้อย่างเต็มศักยภาพ (Digital Thailand II: Full Transformation) และระยะที่ 4 ประเทศไทยอยู่ในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว สามารถใช้เทคโนโลยีดิจิทัล สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจและคุณค่าทางสังคมอย่างยั่งยืน (Global Digital Leadership) โดยมีการวางแผนการพัฒนารัฐบาลดิจิทัลให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นต่อบริบทของโลก เพื่อให้เป็นรัฐบาลดิจิทัลมุ่งพัฒนาโดยนำเทคโนโลยี Virtual Reality (VR) และ Augmented Reality (AR), Advanced Geographic Information System, Big Data, Open Any Data, Smart Machines/Artificial Intelligence, Cloud Computing, Cyber Security, Internet of Things, Block Chain/Distributed Ledger Technology มาปรับใช้ในงานทุกภาคส่วนของประเทศ [2]

นอกจากนั้นยังให้ความสำคัญในการพัฒนาขีดความสามารถเชิงดิจิทัลภาครัฐด้านการเพิ่มประสิทธิภาพภาคเกษตรเป็นอีกเป้าหมายของภาครัฐมีแนวทางการบูรณาการข้อมูลระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและนำมาวิเคราะห์ เพื่อสามารถให้ข้อมูลแก่เกษตรกรผ่านช่องทางที่เหมาะสม รายบุคคล และให้บริการที่ตรงกับความต้องการของเกษตรกรในเชิงรุก นำมาซึ่งประโยชน์สูงสุดในเชิงคุณภาพและปริมาณ นโยบายและการวางแผนพัฒนาภาครัฐบาลข้างต้น ทำให้เห็นถึงความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมเกษตรที่มีสัดส่วนต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ถึงร้อยละ 12 และการส่งออกสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมีมูลค่ากว่า 1.3 ล้านล้านบาท (คิดเป็นร้อยละ 17 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด) [3] แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันเกษตรกรไทยประสบปัญหาผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ไม่สูง รายได้เกษตรกรต่ำเนื่องจากขาดความรู้ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ขาดข้อมูลเชิงลึกด้านการตลาดสำหรับวางแผนการผลิต รวมถึงการผลิตสินค้าเกษตรให้มีคุณภาพ ปัญหาดังกล่าวจะลดลงได้ด้วยการจัดการทรัพยากร อาศัยเทคโนโลยีในการวางแผนการเพาะปลูก การใช้ปัจจัยการผลิตให้เหมาะสม การนำเทคโนโลยีมาควบคุมกระบวนการผลิตให้เกิดมาตรฐาน และสามารถติดตามสภาพอากาศ เพื่อให้การดูแลการผลิตมีประสิทธิภาพและแม่นยำในการจัดการผลิตเกษตรกรรมผสมผสาน [4] เป็นแนวทางของการทำเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm) ดังนั้นการเกษตรไทยจะสามารถพัฒนาให้เทียบเท่านานาประเทศได้นั้น ต้องมีการบูรณาการเศรษฐกิจดิจิทัลและเศรษฐกิจสีเขียว: โอกาสในการพัฒนาที่ยั่งยืน [5] อย่างในต่างประเทศ ทำให้เทคโนโลยีสารสนเทศด้านการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นอันจะขาดมิได้ในการพัฒนาการเกษตรประเทศไทยในอนาคต เนื่องจากสารสนเทศ คือ องค์ความรู้ทางเทคโนโลยีต่างๆ ที่จะนำมาให้เกิดมูลค่าและสามารถพัฒนาองค์ความรู้ทั้งในด้านการวางแผนการเพาะปลูก การผลิต และการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การพัฒนา

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร (DSS-AP) มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวในการวางแผนระดับต้นในการเพาะปลูก ส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจในเทคนิคการเพาะปลูก เกษตรกรสามารถนำความรู้และแนวคิดประสบการณ์ทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ของตนเองให้เกิดความเหมาะสม และสอดคล้องกับการพัฒนาขีดความสามารถเชิงดิจิทัลภาครัฐด้านการเพิ่มประสิทธิภาพภาคเกษตร

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอหัวข้อตามลำดับ สำหรับส่วนที่สอง กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สาม วิธีดำเนินการวิจัย ส่วนที่สี่ ผลการดำเนินการวิจัย และส่วนที่ห้า สรุปผลการวิจัย

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างและสภาพการณ์ทางการเกษตรไทยประกอบด้วยปัจจัยพื้นฐานสำคัญที่ส่งผลต่อการทำเกษตรของไทย ดังนี้ 1) ความหลากหลายทางชีวภาพและพันธุกรรมพืช/สัตว์ ด้วยตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ทำให้ประเทศไทยมีความหลากหลายทางชีวภาพสูงแห่งหนึ่งของโลก แต่ปัจจุบันการทำลายธรรมชาติ และการเกษตรสมัยใหม่ส่งผลให้ความหลากหลายนั้นลดลง 2) การใช้สารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ย ซึ่งปัญหานี้ส่งผลต่อเกษตรกรโดยตรงทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งดิน น้ำ อากาศ การปนเปื้อนของเคมีภัณฑ์ 3) แรงงานภาคการเกษตร ปัจจุบันแรงงานภาคการเกษตรลดน้อยลงส่งผลต่อการผลิตและการเพาะปลูก ทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ [6] จากปัญหาภาคเกษตรข้างต้นทำให้มีแนวคิดเกษตรอัจฉริยะขึ้น เป็นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ในยุคสารสนเทศร่วมกับการเติบโตของอุตสาหกรรมเกษตร กลายเป็นระบบจัดการพืชแบบผสมผสาน (Integrated Crop Management) ที่เหมาะกับพืชแต่ละชนิด สามารถช่วยกำหนดการวางแผน ตัดสินใจ จากการพิจารณาวิเคราะห์ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศถึงประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และความเป็นไปได้ในการวางแผนการเพาะปลูกของเกษตรกร

1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems: DSS) คือ ระบบสารสนเทศที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจการวางแผนการทำงาน ในลักษณะมีโครงสร้างไม่ชัดเจน โดยดึงข้อมูลมาจากหลายแหล่งเพื่อช่วยในการตัดสินใจและมีลักษณะยืดหยุ่นตามความต้องการของผู้ใช้ สามารถช่วยให้ผู้ใช้ตัดสินใจปัญหาได้ทั้งลักษณะมีโครงสร้าง ไม่มีโครงสร้าง และรวมถึงลักษณะกึ่งโครงสร้าง [7] ปัญหาแบบมีโครงสร้างส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานประจำ ปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างเกิดจากความไม่แน่นอน ความผันผวนของสภาพแวดล้อมเศรษฐกิจหรือภายนอกองค์กร และจากงานไม่ประจำ ปัญหาที่มีลักษณะกึ่งโครงสร้าง เกิดจากปัญหาที่มีโครงสร้างแต่ผิดไปจากงานประจำบ้าง เป็นต้น สำหรับโดยทั่วไปองค์กรส่วนใหญ่จะนำระบบสนับสนุนการตัดสินใจ มาใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจ วิเคราะห์ปัญหาในลักษณะกึ่งโครงสร้างและไม่มีโครงสร้าง ซึ่งแตกต่างจากระบบสารสนเทศประเภทอื่น ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สามารถนำเสนอข้อมูลเพื่อเป็นทางเลือก ช่วยวิเคราะห์ปัญหา และผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ให้กับผู้ใช้ เช่น ในประเทศจีนมีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจและแอพพลิเคชันมาบูรณาการร่วมกับงานด้านต่างๆ แบ่งออกเป็น 4 ด้านดังนี้ 1) ภาคเศรษฐกิจมหภาคและการกำหนดนโยบายสาธารณะ 2) ภาคอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม 3) ด้านธรรมชาติ การจัดการทรัพยากรระบบนิเวศและการป้องกันสิ่งแวดล้อม 4) การดำเนินงานขององค์กรการจัดการ [8]

การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ดี จะต้องสามารถตอบสนองต่อการนำไปใช้ด้านการพยากรณ์วางแผนเชิงกลยุทธ์ และสามารถที่จะนำไปปฏิบัติได้ เป้าหมายของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ และการประยุกต์ใช้ในองค์การส่วนใหญ่มักจะใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยมีจุดมุ่งหมายหลัก 3 ประการ ได้แก่ การตัดสินใจแบบกึ่ง

โครงสร้างและแบบไม่มีโครงสร้าง ความสามารถในการปรับปรุงความต้องการที่เปลี่ยนไป ง่ายต่อการเรียนรู้และนำมาใช้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังสามารถแสดงผลในรูปของข้อความ รูปภาพ และตัวเลข

คุณลักษณะของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายสาขา โดยระบบสามารถจัดการข้อมูลจำนวนมากจากแหล่งต่างๆ รวมถึงภาคธุรกิจ [9] สามารถให้คำตอบทั้งในรูปตัวอักษรและกราฟิก เพื่อเพิ่มความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น และสนับสนุนการวิเคราะห์แบบเจาะลึก การหาทางเลือกที่ดีที่สุด ทางเลือกที่น่าพอใจ และทางเลือกที่เกิดจากประสบการณ์ สามารถดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลได้หลายชนิด เช่น การวิเคราะห์ "what - if" การเปลี่ยนแปลงสมมติฐานของปัญหาและสังเกตผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับคำตอบ การใช้แบบจำลอง การเลียนแบบคุณลักษณะของระบบจริง การวิเคราะห์เทคนิคการแสวงหาเป้าหมาย และการหาข้อมูลจากปัญหาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนดไว้

จากข้อดีและคุณลักษณะข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการนำระบบสนับสนุนการตัดสินใจมาใช้ในด้านการเกษตร เพื่อวางแผนการเพาะปลูกทำให้เกษตรกรเข้าใจและสามารถเป็นข้อมูลในการตัดสินใจภาคการเกษตรได้อย่างเหมาะสม

2. การประยุกต์ใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนทางการเกษตร

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่ยุคประเทศไทย 4.0 เพื่อให้พัฒนาเทคโนโลยีเทียบเท่านานาประเทศ หลายภาคส่วนพยายามนำเทคโนโลยีด้านต่างๆ มาสนับสนุนการทำงานในหลากหลายด้าน แม้แต่ในภาคเกษตรกรรมที่เป็นเสมือนหัวใจหลักของการส่งออกและต้นทางการผลิตของสินค้าอื่นๆ ทั้งภายในภายนอกประเทศ รัฐบาลจึงมีนโยบายมุ่งพัฒนาองค์ความรู้ งานวิจัย และเกษตรกรในประเทศให้มีความสามารถ เพื่อพัฒนาระบบเกษตรให้เป็นเกษตรอัจฉริยะด้วยการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่นำสมัยมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในภาคการเกษตร ทำให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการเกษตร เป็นระบบสารสนเทศหนึ่งที่สามารถช่วยให้เกษตรเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [10] อันเป็นระบบเทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกมาประมวลผลให้เป็นประโยชน์กับการวางแผนดำเนินการเพาะปลูกพืชแก่เกษตรกร เช่น การนำข้อมูลพยากรณ์อากาศและปฏิทินเพาะปลูกมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลร่วมกัน อาจมาจากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง หรือการดึงข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมาใช้ร่วมประมวลผลบนระบบ เพื่อให้ได้สารสนเทศที่ช่วยในการคาดการณ์ระยะลงกล้า การให้ปุ๋ย คาดการณ์น้ำ [11-12] ปริมาณผลผลิต เสนอแนะวันที่ควรเก็บเกี่ยวหรือขนส่งผลผลิต ตลอดจนพยากรณ์และเตือนภัยการระบาดของแมลงศัตรูพืช เป็นต้น งานวิจัยในต่างประเทศได้มีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจให้เป็นรูปแบบของซอฟท์แวร์คำนวณบนเว็บไซต์หรือแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นรูปแบบของเทคโนโลยีที่สามารถเข้าถึงและใช้งานได้สะดวกมากขึ้น ส่งผลให้การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่มีเกษตรกรเป็นผู้ใช้มีความเป็นไปได้สูงขึ้น เช่น ทีมนักวิทยาศาสตร์นานาชาติได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (DSSAT) สำหรับประเมินการผลิต การใช้ทรัพยากรและความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการผลิตพืชที่แตกต่างกัน DSSAT เป็นซอฟท์แวร์ไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถจำลองการเพาะปลูกจากฐานข้อมูล เพื่อให้เกษตรกรทราบถึงสภาพอากาศ ดิน และพืชผล โดยการใช้ DSSAT ในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (สำหรับการเพาะเลี้ยงเฉพาะพื้นที่ การวางแผนฟาร์ม และนโยบายระดับภูมิภาค) นอกจากนี้ระบบมีศักยภาพในการช่วยเกษตรกรตัดสินใจ สามารถลดเวลาและทรัพยากรบุคคลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การตัดสินใจทางเลือกที่ซับซ้อน [13]

สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีสนับสนุนการตัดสินใจด้านการเกษตรที่เหมาะสมกับบริบทท้องถิ่น ควรคำนึงถึงความต้องการของเกษตรกร ปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละปี สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ระบบสนับสนุน

การตัดสินใจด้านการเกษตรจึงควรมุ่งเน้นส่งเสริมการให้ข้อมูลการตัดสินใจล่วงหน้าที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสภาพอากาศ การวางแผนด้านการเพาะปลูก การคำนวณต้นทุนและปริมาณที่เกษตรกรได้รับ โดยอาจอยู่ในรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ แอพพลิเคชันสำหรับส่งข้อมูลพยากรณ์อากาศ และระบบสารสนเทศสำหรับการวางแผนตัดสินใจข้อมูลการเพาะปลูกล่วงหน้า (และอาจรวมถึงย้อนหลัง) ที่มีความละเอียดในระดับท้องถิ่น และพืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกอยู่ในท้องถิ่น ซึ่งมีข้อมูลหลักที่ใช้ในการเกษตรโดยเฉพาะ งานวิจัยระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการเกษตรระดับท้องถิ่นในต่างประเทศมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การเขียนโปรแกรมเชิงเส้นหลายขั้นตอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนการปลูกพืชตามนโยบายเกษตรร่วมฉบับใหม่ ตามนโยบายเกษตรร่วมของสหภาพยุโรป ซึ่งครอบคลุมระยะเวลาตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 2015 – 2020 เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการนำระบบสารสนเทศเข้ามาใช้ในการวางแผนการเพาะปลูกพืชที่เหมาะสม สามารถคำนวณค่าเงินอุดหนุนขั้นต่ำตามกฎทางเศรษฐกิจ [14] ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการประหยัดน้ำทางการเกษตร [15] การประยุกต์ใช้และการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางเกษตรในประเทศจีน [16] ศึกษาการติดตามพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้การตรวจจับระยะไกลและ GIS ในมณฑลชานซีประเทศจีน [17] การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจอย่างชาญฉลาดสำหรับระบบการป้องกันนิเวศวิทยา [18] ระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยอาศัยระบบเซ็นเซอร์หลายแบบเพื่อการจัดการเรือนกระจกอย่างยั่งยืน เป็นอีกงานวิจัยในด้านเกษตรอัจฉริยะที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจอย่างมาก เพื่อสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพ ลดปริมาณสารพิษจากการเกษตร และสามารถควบคุมปัจจัยการเพาะปลูกได้อย่างเหมาะสม [19] การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการผลิตแบบบูรณาการในการเกษตร เพื่อการเกษตรและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ด้วยการใช้วิธีการ “Systemic” สามารถใช้งานกับข้อมูลขนาดใหญ่โดยใช้ประโยชน์จากข้อเท็จจริง การจัดการศัตรูพืชตามแนวทางการผลิตแบบผสมผสาน การออกแบบระบบอาศัยการวิเคราะห์สองมิติหลักที่มีความซับซ้อนคือ มิติองค์กร และมิติทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาธรรมชาติ การดูแลด้านการเพาะปลูกพืช ซึ่งระบบสามารถวิเคราะห์ความต้องการในช่วงแรกและช่วยให้เกษตรกรสามารถกำหนดความต้องการใช้งานและไม่ต้องการใช้งานบนระบบ จากฐานข้อมูลและความรู้โดยดำเนินการบนเทคโนโลยีเว็บและภายใต้การประมวลผลที่เป็นปัจจุบัน [20]

จากการศึกษาทฤษฎี แนวความคิด นโยบายประเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นถึงการให้ความสำคัญกับการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมภาคการเกษตร เพื่อแก้ไขปัญหาแก่เกษตรกรในการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การคัดแยกผลผลิต การลดต้นทุน การรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม การควบคุมสิ่งแวดล้อมภายนอกในการเพาะปลูก การคาดการณ์ด้านต่างๆ รวมถึงระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร ให้เกษตรกรสามารถสร้างผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพอย่างเหมาะสม [21]

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร หรือ DSS-AP ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา PHP และนำข้อมูลจากหน่วยงานทางการเกษตรมาใช้ในการวิเคราะห์หาแนวโน้มการคาดการณ์ของประเภทข้อมูล เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลนำข้อมูลในการสนับสนุนการตัดสินใจเป็นรูปแบบรายงานหลากหลายมิติแก่เกษตรกร ซึ่งช่วยให้เกษตรกรสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในการเพาะปลูกพืชช่วงถัดไป ด้านการเก็บเกี่ยวผลผลิต การจัดจำหน่าย และช่องทางการตลาดได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของตลาดภาคการเกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้ดำเนินการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตร เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลหาแนวโน้มการคาดการณ์ข้อมูลพืชอย่างข้าวและอ้อย ซึ่ง

เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย โดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุน เพิ่มความสามารถในการวางแผนการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำความรู้และแนวคิดประสบการณ์ทางการเกษตรมาผสมผสานร่วมกับระบบสารสนเทศ เพื่อประยุกต์ใช้ในการวางแผนเพาะปลูกบนพื้นที่ของตนเองให้เกิดประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังสามารถช่วยลดปัญหาการสูญเสีย ก่อให้เกิดความมั่นคง และช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร โดยนำโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลมาช่วยในการวิเคราะห์หาแนวโน้มการคาดการณ์ประเภทข้อมูลพืชอายุสั้น คือ ข้าวและอ้อย ในส่วนพื้นที่กลุ่มที่มีการเพาะปลูกพืชทั้งสองชนิดจำนวนมากต่อปี จึงเลือกพื้นที่ 7 ตำบล ของอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ด้วยปัจจัยหลายประการในการเลือกพื้นที่บริเวณนี้เป็นกลุ่มเป้าหมายของงานวิจัย อันเนื่องมาจากจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจอย่าง ข้าว อ้อย เป็นหลักการทั้งเพื่อการบริโภคในประเทศ และการแปรรูปเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตอาหารประเภทอื่นๆ เช่น แปรรูปข้าวเป็น แป้ง เก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับเป็นเมล็ดพันธุ์ปลูก แปรรูปอ้อยเป็นน้ำตาลทราย แปรรูปน้ำตาลทรายเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำตาลทราย น้ำเชื่อม นอกจากนั้นของเสียจากทั้งสองสิ่งยังถูกนำมาต่อยอดในการผลิตก๊าซชีวภาพ การพัฒนาระบบดังกล่าวจะช่วยลดความเสี่ยง สร้างแหล่งความรู้นำพาเกษตรกรไปสู่การทำเกษตรอัจฉริยะตามนโยบายรัฐ และพัฒนาระบบการตัดสินใจสำหรับการวางแผนการเพาะปลูกให้แก่เกษตรกรได้อย่างเหมาะสม สามารถแบ่งข้อมูลข้าวออกเป็น 2 ชนิด คือ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง และแต่ละชนิดมีข้าวอีกหลากหลายพันธุ์ ส่วนข้อมูลอ้อยจะเป็น อ้อยโรงงาน ซึ่งระบบสามารถแสดงข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปีพ.ศ. 2556-2560 ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบตารางสกุลไฟล์ .xlsx ทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานการเกษตร ข้อมูลภาวการณ์ผลิตพืช ข้อมูลสถิติของการเกษตร มีการแบ่งตามไตรมาสในแต่ละปี ข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้ง 7 ตำบลในอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และนำเสนอรายงานในรูปแบบกราฟบนระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตรได้ เช่น กราฟพื้นที่ กราฟวงกลม กราฟแท่ง กราฟเส้น เป็นต้น นอกจากนั้นระบบสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตข้าวและอ้อย เพื่อใช้ในการวางแผนตัดสินใจในการเพาะปลูกพืชของเกษตรกรได้อย่างเหมาะสม โดยความสามารถของระบบแบ่งออกเป็น 6 ระบบย่อย ดังนี้

1. ระบบข้อมูลพื้นฐานการเกษตร สามารถจัดการและแสดงข้อมูลเกี่ยวกับปีที่มีการเพาะปลูก ประเภทพืช ชื่อพันธุ์ จำนวนครัวเรือนเกษตร เนื้อที่ปลูกต่อไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตต่อไร่ของเกษตรกรทั้งหมดในอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี

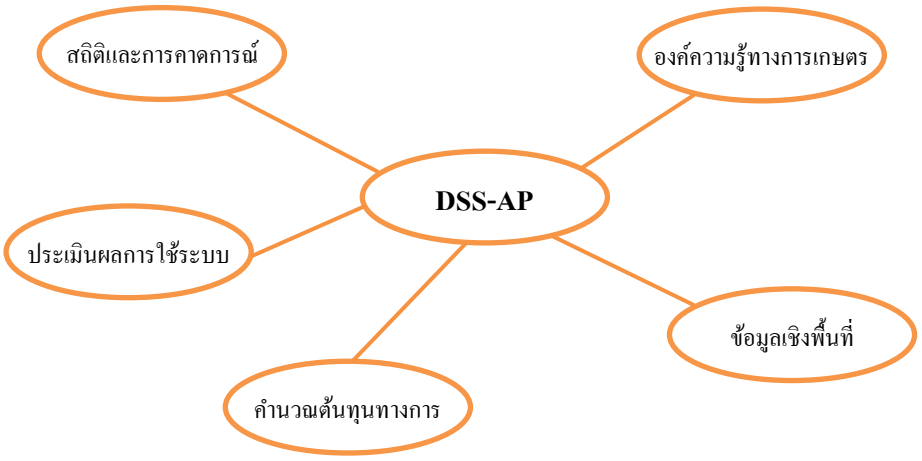
2. ระบบรายงานข้อมูลภาวการณ์ผลิตพืช สามารถจัดการและแสดงข้อมูลเดือน ปี ประเภทพืช ชนิดพืช ชื่อพันธุ์ ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ต่อกิโลกรัม ผลผลิตเฉลี่ย/เนื้อที่เก็บเกี่ยวต่อกิโลกรัม ราคาที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)

3. ระบบรายงานสถิติทางการเกษตร สามารถจัดการและแสดงข้อมูลรายงานเป็นไตรมาส ช่วงปีเพาะปลูก ประเภทพืช ชนิดพืช ชื่อพันธุ์ ราคาที่เกษตรกรข้าว ขายได้เฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)

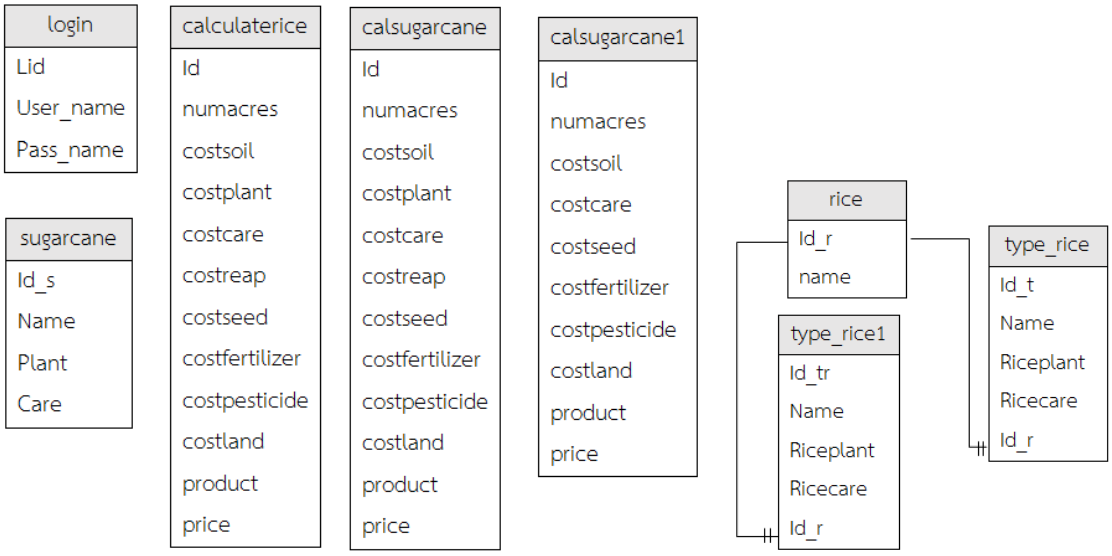
4. ระบบเทคนิคการเพาะปลูก สามารถจัดการและแสดงข้อมูลพันธุ์ข้าว ชนิดของพันธุ์ข้าว การปลูกข้าวและการดูแลรักษา การใช้ปุ๋ยในไร่นา การปลูกพืชที่ยั่งยืน การดูแลรักษาพืช

5. ระบบรายงานข้อมูลเชิงพื้นที่ 7 ตำบล ประกอบด้วย ย่านยาว วังลึก สามชุก หนองผักนาก บ้านสระ หนองสะเดา กระเสียว สามารถจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟพื้นที่

6. ระบบคำนวณต้นทุนการผลิต สามารถจัดการและคำนวณต้นทุนการผลิตพืชให้เกิดความเหมาะสม จากฐานข้อมูลภายในระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร



ภาพที่ 1 แผนภาพกระแสข้อมูลของระบบ DSS-AP



ภาพที่ 2 Entity Relationship Diagram ของระบบ DSS-AP

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตรได้มีการพัฒนาอย่างเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากการลงสำรวจพื้นที่ ขอคำแนะนำและสัมภาษณ์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นของเกษตรกรจากเจ้าหน้าที่เกษตรอำเภอ เกษตรกร ข้อมูลการส่งออกเพาะปลูกในระดับประเทศ ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางเทคโนโลยีสารสนเทศ จากนั้นดำเนินการออกแบบโครงสร้างระบบ ดังภาพที่ 1 แผนภาพกระแสข้อมูลของระบบ DSS-AP และทำการพัฒนาระบบดังภาพที่ 2 ทดลองให้เกษตรและเจ้าหน้าที่เกษตรอำเภอใช้งาน ปรับปรุงแก้ไข จัดทำคู่มือการใช้งาน สำรวจความพึงพอใจในการใช้งานระบบ ส่งมอบระบบ ดำเนินการอบรมเกษตรกรในการใช้งานระบบและถ่ายทอดองค์ความรู้ในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการเกษตร

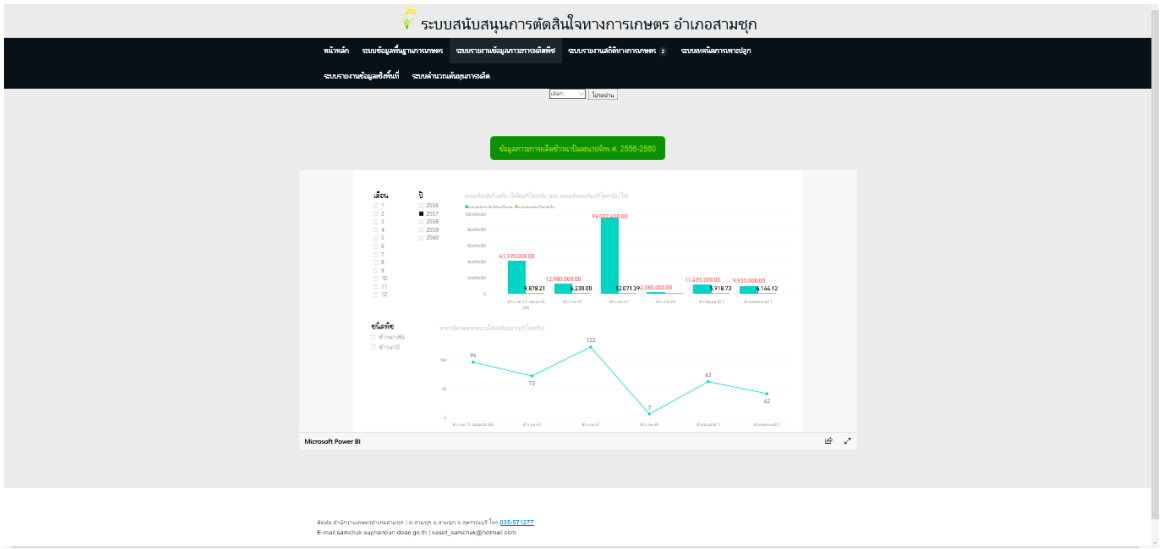
ผลการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ผลลัพธ์ของโปรแกรม และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งอยู่ในขั้นตอนของการทดสอบระบบ รายละเอียดผลการวิจัยมีดังนี้

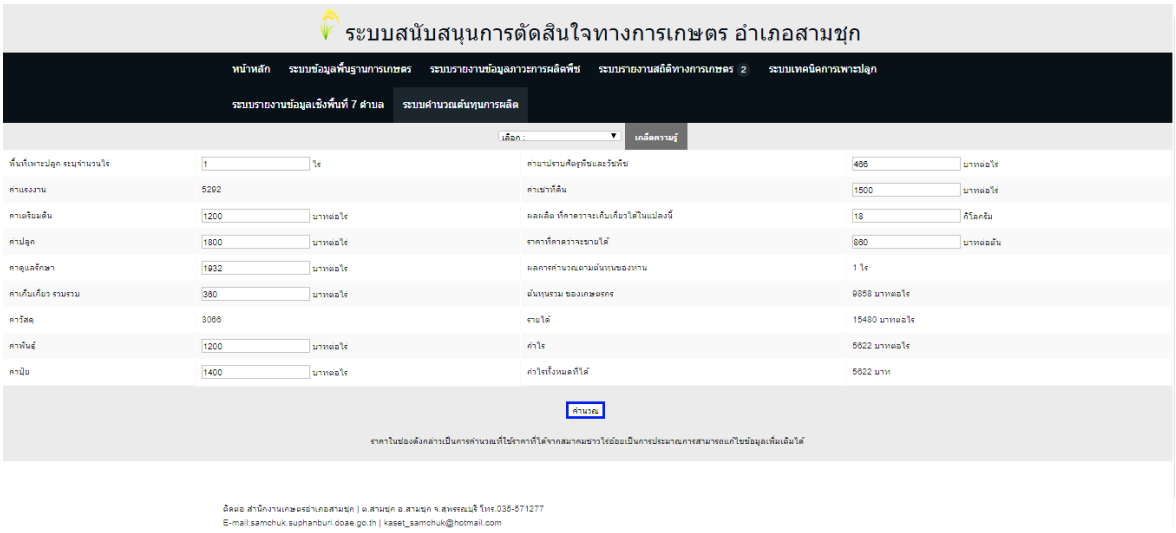
1. ผลการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบ โดยประกอบไปด้วย 6 ระบบย่อยในการประมวลผลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร ได้แก่ ระบบข้อมูลพื้นฐานการเกษตร ระบบรายงานข้อมูลภาวการณ์ผลิตพืช ระบบรายงานสถิติทางการเกษตร ระบบเทคนิคการเพาะปลูก ระบบรายงานข้อมูลเชิงพื้นที่ 7 ตำบล ระบบคำนวณต้นทุนการผลิต ซึ่งได้ออกแบบและพัฒนาให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกรระดับท้องถิ่น ตัวอย่างการทำงานของระบบมีดังนี้

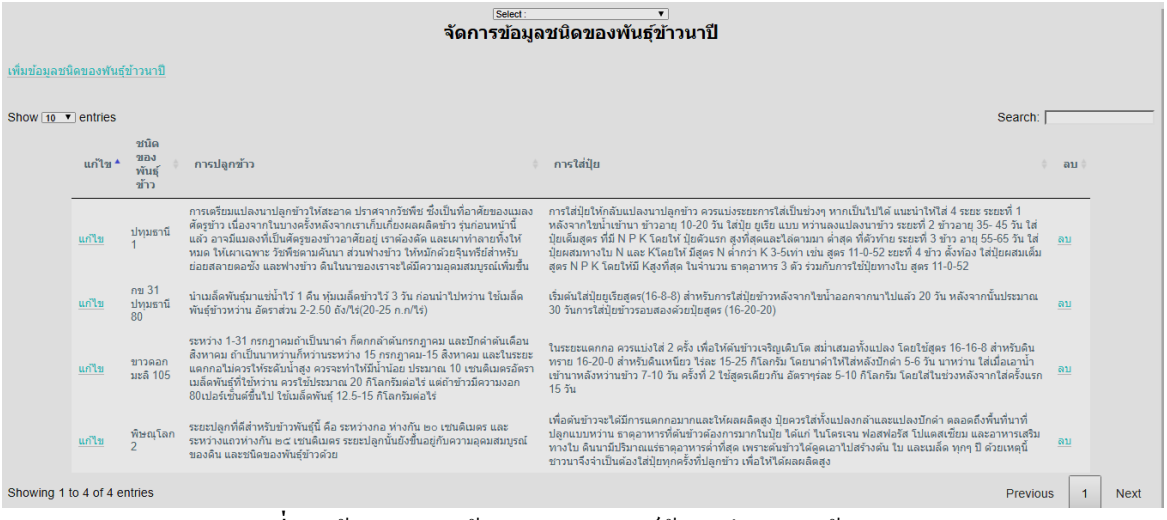
ภาพที่ 3 หน้าแรกของระบบ



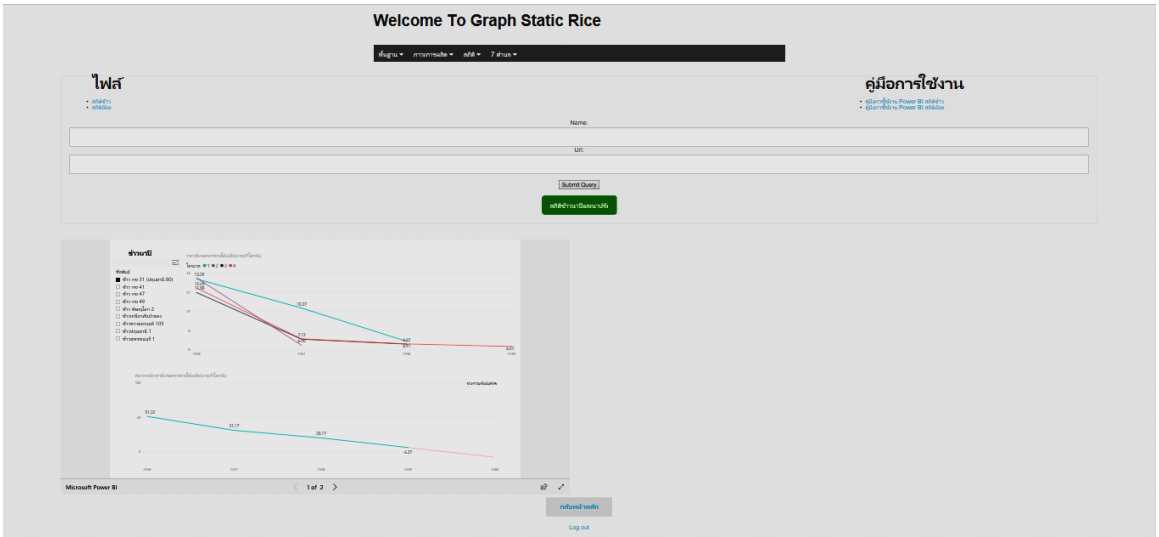
ภาพที่ 4 หน้าจอระบบรายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืช เกี่ยวกับพันธุ์ข้าว



ภาพที่ 5 หน้าจอระบบคำนวณต้นทุนการผลิตอ้อยปลูกใหม่



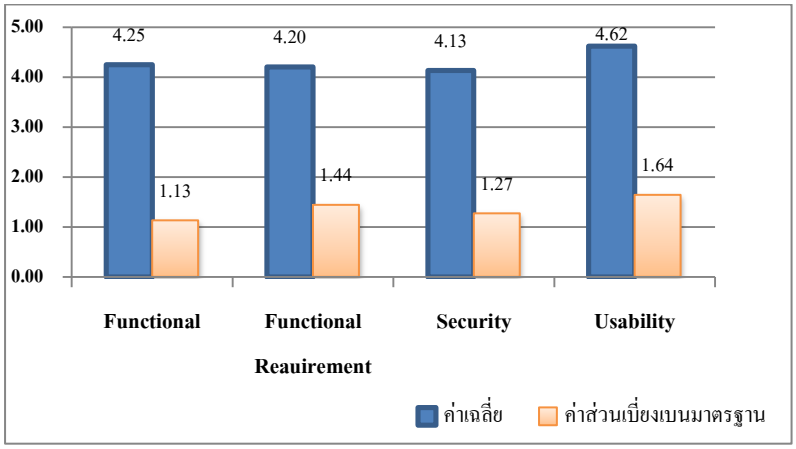
ภาพที่ 6 หน้าการจัดการข้อมูลชนิดของพันธุ์ข้าวนาปี สำหรับผู้ดูแลระบบ



ภาพที่ 7 หน้าการจัดการกราฟสถิติข้าว สำหรับผู้ดูแลระบบ

2. สรุปผลแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตร

เมื่อนำระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตรไปให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งาน และให้ทำแบบประเมินความพึงพอใจ กลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง เป็นเพศชายจำนวน 20 คน และเพศหญิงจำนวน 30 คน จากนั้นนำผลการประเมินไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ปรากฏผลลัพธ์ในด้านต่างๆ ซึ่งนำเสนอในรูปแบบกราฟ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กราฟสรุปผลแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ

การหาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบนั้น ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการหาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ลักษณะของแบบสอบถามเป็นแบบมาตรส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แบ่งเป็น 5 ระดับ โดยมีการให้คะแนนรวมแบบอันตรภาคชั้น (Interval Scale) ดีมาก 5 คะแนน ดี 4 คะแนน ปานกลาง 3 คะแนน น้อย 2 คะแนน น้อยที่สุด 1 คะแนน จากนั้นนำมาหาระดับคะแนนเฉลี่ยและใช้สูตร เพื่อกำหนดความสำคัญเกี่ยวกับความพึงพอใจของผู้ใช้บทเรียน ดังนี้

ก) พิสัย = ค่าสูงสุดของข้อมูล – ค่าต่ำสุดของข้อมูล *(1)*

= 5 – 1

= 4

ข) ความกว้างของอันตรภาคชั้น = พิสัย / จำนวนชั้น *(2)*

= 4 / 5

= 0.8

แสดงคะแนนเฉลี่ยได้ ดังนี้

4.21 – 5.00 แสดงว่า มีความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ดีมาก

3.41 – 4.20 แสดงว่า มีความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ดี

2.61 – 3.40 แสดงว่า มีความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ปานกลาง

1.81 – 2.60 แสดงว่า มีความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์น้อย

1.00 – 1.80 แสดงว่า มีความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์น้อยที่สุด

ในการแปลความหมายคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ เป็นที่นิยมให้เป็นคะแนนตามลำดับความเข้ม หรือความหนักเบา หรือทิศทางของคำตอบ โดยให้คะแนนเป็น 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเรียกแบบสอบถามประเภทนี้ว่าเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale)

จากผลการประเมินความพึงพอใจโดยภาพรวมในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ซึ่งพบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability) ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 รองลงมาคือ ด้านการใช้งานได้ตามฟังก์ชันของระบบ (Functional) ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25 ด้านตรงความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Requirement) ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 และด้านความปลอดภัย (Security) ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนการเกษตรประกอบด้วยผู้ใช้งานระบบ 2 กลุ่มได้แก่ ผู้ดูแลระบบ และเกษตรกรซึ่งจัดเป็นผู้ใช้ทั่วไป ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบออกเป็น 6 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบข้อมูลพื้นฐานการเกษตร ระบบรายงานข้อมูลภาวการณ์ผลิตพืช ระบบรายงานสถิติทางการเกษตร ระบบเทคนิคการเพาะปลูก ระบบรายงานข้อมูลเชิงพื้นที่ 7 ตำบล ระบบคำนวณต้นทุนการผลิต ซึ่งพัฒนาฟังก์ชันการทำงานให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานทั้ง 2 กลุ่มมากที่สุด ทั้งในส่วนของการจัดการและการนำเสนอให้เกษตรสามารถเข้าใจได้ง่าย พัฒนาด้วยภาษา PHP และนำซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ข้อมูลมาช่วยในการวิเคราะห์หาแนวโน้มการคาดการณ์ของประเภทข้อมูลระบบที่พัฒนาขึ้นถูกทดสอบโดยผู้พัฒนา ผู้ใช้งานระบบโดยตรง และดำเนินการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบดังกล่าว พบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability) ในระดับมากที่สุด สามารถสนับสนุนการตัดสินใจแก่เกษตรกรในการเพาะปลูกพืช เก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลนำข้อมูลเป็นรูปแบบรายงานหลากหลายมิติแก่เกษตรกร ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเพาะปลูกพืชช่วงถัดไปได้อย่างเหมาะสม ลดปัญหาการขาดทุนและสอดคล้องกับความต้องการของตลาดภาคการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

1. Ministry of Digital Economy and Society. Digital Thailand. Bangkok: Ministry of Digital Economy and Society; 2016.
2. Electronic Government Agency. Thailand's digital government development plan, 2017-2021. Bangkok: Electronic Government Agency; 2018.
3. Commerce TMo. Export statistics 2014. Bangkok: Thai Ministry of Commerce; 2017.
4. Davies G, Casady W, Massey R. Precision agriculture: an introduction. Water Quality Focus Guide. WQ450; 1998.
5. Ciocoiu CN. Integrating digital economy and green economy: opportunities for sustainable development. Theoretical and Empirical Researches in Urban Management. 2011; 1:33-43.
6. Kraipinit Y. New agricultural management of Thailand. VRU Research and Development Journal Humanities and Social Science 2017; 12:115-127.
7. Turban E. Decision support and expert systems: management support systems. Prentice Hall PTR; 1993.
8. Tian J, Wang Y, Li H, Li L, Wang K. DSS development and applications in China. Decision support systems. 2007; 4:2060-2077.

9. Klein M, Methlie L. Knowledge-based decision support systems with applications in business: a decision support approach: John Wiley & Sons; 2009.
10. Schneider GM. System and method for developing a farm management plan for production agriculture. Google patents; 2006.
11. Lilburne L, Watt J, Vincent K. A prototype DSS to evaluate irrigation management plans. Computers and electronics in agriculture 1998; 3:195-205.
12. Andreu J, Capilla J, Sanchís E. AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. Journal of Hydrology 1996; 3:269-291.
13. Jones JW, Tsuji GY, Hoogenboom G, Hunt LA, Thornton PK, Wilkens PW, et al. Understanding Options for Agricultural Production. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. Dordrecht: Springer Netherlands 1998; 157-177.
14. Galán-Martín Á, Pozo C, Guillén-Gosálbez G, Vallejo AA, Esteller LJ. Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. Land use policy 2015; 48:515-524.
15. Wu Y, Liu W, Fan Z. Decision support systems for agricultural water-saving. Chinese Journal of Decision Making and Decision Support Systems 1996; 2:31-36.
16. Tian J, Wang Y, Li H. Applications and development of DSS in China. Working Paper, Xian Jiaotong University; 2004.
17. Yuliang Q, Buzhou M, Jiuliang F. Study on monitoring farmland by using remote sensing and GIS in Shanxi China. Advances in Space Research 2000; 7:1059-1064.
18. Lu S, Wang J, Ren Y, Gao Z. Development of intelligent decision system for regional constructional patterns of eco-economic protection forest system. Acta Ecologica Sinica. 1996; 6:602-606.
19. Aiello G, Giovino I, Vallone M, Catania P, Argento A. A decision support system based on multisensor data fusion for sustainable greenhouse management. Journal of Cleaner Production. 2018; 172:4057-4065.
20. Perini A, Susi A. Developing a decision support system for integrated production in agriculture. Environmental Modelling & Software 2004; 9:821-829.
21. Stafford JV. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research 2000; 3:267-275.