

## รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

-----

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนากระบวนการตรวจวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรตามมาตรฐานสากล
2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนากระบวนการตรวจวิเคราะห์ ปุ๋ย พืช ดิน และน้ำ  
กิจกรรมที่ 5 : การพัฒนาชุดทดสอบอย่างง่าย (Test Kit) เพื่อใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของปัจจัยการผลิต
3. ชื่อการทดลองที่ 5.3 : การวิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่าย คลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำ  
: Research and Development of Water Test kits to Determine Chloride Carbonate Bicarbonate Nitrate and Phosphate in Water
4. คณะผู้ดำเนินงาน  
ชื่อหัวหน้าโครงการ : นางสาววรรณรัตน์ ชูติบุตร สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
หัวหน้าการทดลอง : นางสาวจิตติรัตน์ ชูชาติ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
ผู้ร่วมงาน : นางสาวเจนจิรา เทเวศร์วรกุล สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสาวพจมาลย์ ภูสาร สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสาวณัฐชา จิตต์สะอาด สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสาวสุภา โปธิจันทร์ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.  
นางสาวจรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ สังกัด กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กปผ.

### 5. บทคัดย่อ

วิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางการเกษตร พัฒนาชุดตรวจสอบ คลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต โดยดัดแปลงประยุกต์ใช้วิธี Argentometric และ Indicator Method และชุดตรวจสอบไนเตรท และฟอสเฟต ประยุกต์ใช้วิธี Brucine และวิธี Ascorbic acid ตามลำดับ ตามตามวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการ ลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่ใช้ ทดสอบการเกิดสี และพัฒนาแผ่นเทียบสี และจัดทำเป็นชุดตรวจสอบ หาความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตในน้ำด้วยชุดตรวจสอบกับผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตในน้ำที่วิเคราะห์ด้วยชุดตรวจสอบ มีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.983\*\*, 0.890\*\*, 0.876\*\*, 0.893\*\* และ 0.865\*\* ตามลำดับ ตามลำดับ ซึ่งทำให้ชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยเกษตรกรจำนวน 20 ราย พบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ในน้ำด้วยชุดตรวจสอบมีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 70

Research and development of test kits to determine Chloride, Carbonate, Bicarbonate, Nitrate and Phosphate in water was conducted at Chemical research group laboratory. These test kits were modified by Argentometric method, Indicator method, Brucine method and Ascorbic method respectively following standard method for water laboratory. The objectives of this research were to apply the standard method of chloride carbonate and bicarbonate analysis in the laboratory for simply and rapidly insitu method and to develop test kits for screening agricultural water that contain the several level of chloride carbonate and bicarbonate. The analysis results of the test kits were compared with those of the standard method using correlation analysis. The results showed that there were positive relationship between the results of the test kits and those of the standard method in laboratory. The correlation coefficient ( $r$ ) of chloride carbonate and bicarbonate in water were 0.983\*\*, 0.890\*\*, 0.876\*\*, 0.890\*\* and 0.867\*\* respectively, indicated that test kits had high accurately results more than 80%. Meanwhile research in field from 20 farmers showed that the accuracy analysis of test kits had high accurately results more than 70%. It can be concluded that the results of chloride carbonate and bicarbonate from the test kits were accurated and can be used in field.

## 6. คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม น้ำจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตพืช เนื่องจากน้ำเป็นตัวละลายธาตุอาหารในดินและปุ๋ย เพื่อเป็นอาหารแก่พืช และเป็นตัวนำธาตุอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของพืช คุณภาพน้ำและปริมาณน้ำจึงมีความสำคัญ เมื่อพืชขาดน้ำจะไม่สามารถเจริญเติบโต ผลผลิตต่ำและอาจตายได้ หรือหากมีน้ำแต่คุณภาพไม่ดีพืชก็ไม่เจริญเติบโต หรือในบางครั้งก็ทำให้สมบัติดินเสื่อมลงอีกด้วย การประเมินคุณภาพน้ำทางการเกษตรให้มีความสำคัญกับเกลือที่เป็นอันตรายกับพืช ได้แก่ คลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต โดยแหล่งน้ำทางการเกษตรกรรมจะต้องมีคลอไรด์ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร หากมีปริมาณคลอไรด์เกินในน้ำที่ใช้ในการเกษตร จะทำให้เกิดผลกระทบกับพืชอาจทำให้ใบและรากของพืชไหม้ การเจริญเติบโตหยุดชะงัก หรือตายได้ (White and Broadley, 2001) ในขณะเดียวกันปริมาณคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ที่มีอยู่ในน้ำจะเป็นตัวบ่งชี้ความแตกต่างของน้ำ ในสภาพปกติของแหล่งน้ำธรรมชาติ จะมีปริมาณไบคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ น้ำที่มีความเป็นต่างเกิดจากคาร์บอเนตอย่างเดียวจะมีค่าพีเอชมากกว่า 9.4 ส่วนน้ำที่มีค่าความเป็นต่างเกิดจากคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตรวมกัน จะมีค่าพีเอชมากกว่า 8.3 น้ำชลประทานที่มีไบคาร์บอเนตสูง จะทำให้เกิดสีขาวเกาะติดที่ใบหรือผลซึ่งทำให้ราคาผลผลิตตกต่ำ นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตในน้ำ จะใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของแหล่งน้ำ โดยนำมาประเมินค่า Residual Sodium Carbonate (RSC) ซึ่งเป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต แคลเซียมและแมกนีเซียม หากมีการใช้น้ำที่มีสภาพเป็นต่างมาใช้รดพืชต่างๆ ไป จะส่งผลให้ดินมีสภาพเป็นต่าง ธาตุเหล็กและจุลธาตุอื่นๆ ละลายออกมาได้น้อย การดูที่ใช้จุลธาตุในพืชลดลงเป็นสาเหตุให้พืชเกิดอาการเหลืองซีด (chlorosis) ได้ (FAO, 1985; WHO, 2011; Burow *et al.*, 2017) การ

วิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ คาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนตในน้ำ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อบ่งบอกคุณภาพน้ำซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมักพบในแหล่งน้ำธรรมชาติ ไนโตรเจนแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งอยู่ในรูปปุ๋ยเคมี ส่วนอีกชนิดหนึ่งคือ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ได้ โดยขบวนการที่เรียกว่า Mineralization ส่วนฟอสฟอรัสในน้ำ จะอยู่ในรูปต่างๆ กันของฟอสเฟต การปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำอาจเกิดจากการเติมฟอสฟอรัสลงไปในน้ำ เช่น การใช้ปุ๋ยเคมีในการเกษตร นอกจากนี้ยังมาจากการใช้ผงซักฟอก หรือน้ำยาล้างจานที่อยู่ในรูปฟอสเฟต และโพลีฟอสเฟต โดยไนเตรท และฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำนั้นเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ และมักพบว่าเป็น Growth Limiting Nutrient ของแหล่งน้ำ ดังนั้น การปนเปื้อนของแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีไนเตรทและฟอสเฟตที่มีปริมาณสูง จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว และในขณะเดียวกันแหล่งน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของไนเตรทในปริมาณที่สูง สามารถก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ โดยเฉพาะในเด็กทารกทำให้เกิดโรค Methenoglobinemia ซึ่งในน้ำดื่ม กำหนดให้ไม่ควรมีไนเตรทเกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และแหล่งน้ำทางการเกษตรไม่ควรมีไนเตรทเกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (FAO, 1985; WHO, 2011) ในขณะที่ค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตของแหล่งน้ำทางการเกษตรไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (EPA, 2005)

ในปัจจุบันการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ คาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนตไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำจะต้องดำเนินการในห้องปฏิบัติการตามวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำของ American Public Health Association, the American Water Works Association and the Water Environment Federation (APHA, AWWA and WEF) (2012) และ United States Environmental Protection Agency (EPA) (1971) ซึ่งต้องใช้สารเคมี และเจ้าหน้าที่ที่มีความชำนาญ เกษตรกรไม่สามารถปฏิบัติได้เอง การพัฒนาชุดตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์คลอไรด์ คาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนต จึงมีความสำคัญในปัจจุบัน เพื่อให้เกษตรกรสามารถทราบผลการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว และสามารถตรวจสอบได้เอง ลดระยะเวลาการส่งตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ ลดการใช้สารเคมี พร้อมทั้งสามารถประเมินคุณภาพน้ำและความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ทันที ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์ คาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนตในน้ำ จึงเป็นพัฒนาการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่ใช้อุปกรณ์ที่มีการใช้งานง่าย สะดวกรวดเร็ว มีความแม่นยำ และสามารถพกพาไปใช้งานในภาคสนามได้

## 7. วิธีดำเนินการ

### อุปกรณ์

#### 1. เครื่องมือและวัสดุวิทยาศาสตร์

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เครื่องแก้วและวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาชุดตรวจสอบ

#### 2. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ phenolphthalein indicator, methyl red indicator, Ethanol, Standard silver nitrate solution, Potassium chromate, Sodium hydroxide, Sulfuric acid, Sodium chloride, Brucine และ Ascorbic acid

### 3. ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทางการเกษตรแหล่งต่างๆ

#### วิธีการ

1. พัฒนาชุดตรวจสอบอย่างง่ายคลอไรด์ คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำ โดยใช้หลักการวิเคราะห์และวัดปริมาณเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยซิลเวอร์ไนเตรท (Argentometric Method) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตในน้ำด้วยวิธีอินดิเคเตอร์ (Indicator Method) วิเคราะห์ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) โดยใช้วิธี Brucine ตามวิธีมาตรฐานของ EPA (1971) และวิเคราะห์ฟอสเฟต (ในรูป Orthophosphates ได้แก่  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) ด้วยวิธี Ascorbic acid ตามวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำของ (1971) (APHA, AWWA and WEF, 2012)

2. ปรับเปลี่ยนและประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และลดการใช้สารเคมี ลดระยะเวลาลดขั้นตอนที่ยุ่งยาก เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์

3. ทำการทดสอบวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ในตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้น และตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ จำนวนไม่ต่ำกว่า 50 ราย เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ กับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากชุดตรวจสอบ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยชุดตรวจสอบกับวิธีของห้องปฏิบัติการ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (The Coefficient of Correlation, r)

4. ทำการทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบกับผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 50 ราย โดยใช้ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ตามระดับความเข้มข้นของคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต เป็นตัวอย่างน้ำทดสอบ

5. ทำการทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบจริงในภาคสนาม โดยเกษตรกรเกษตรกรจำนวนมากกว่า 20 ราย

6. ทำการปรับปรุงและพัฒนาชุดตรวจสอบจนได้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พร้อมวิเคราะห์ความคุ้มค่าข้อดี และข้อจำกัด เปรียบเทียบต้นทุนการวิเคราะห์ ระยะเวลาการวิเคราะห์ ความยากง่ายหรือความสะดวกของใช้งาน

ระยะเวลา (เริ่มต้น-สิ้นสุด) ตุลาคม 2558 – กันยายน 2561

สถานที่ดำเนินงาน

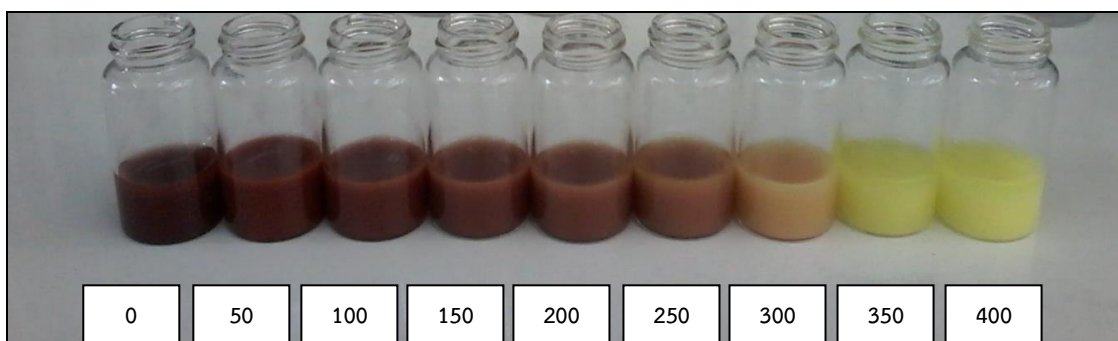
กลุ่มงานวิเคราะห์ระบบตรวจสอบคุณภาพดินและน้ำ กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

### 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

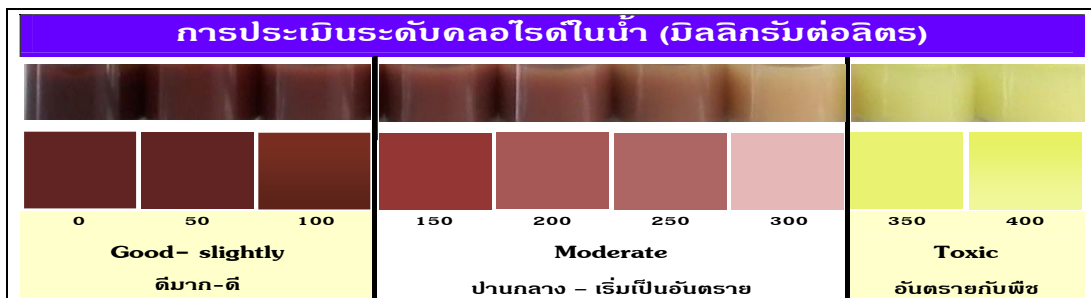
## 1. การพัฒนาและทดสอบชุดตรวจสอบคลอไรด์

### 1.1 วิจัยพัฒนาและจัดทำชุดตรวจสอบคลอไรด์

พัฒนาชุดตรวจสอบคลอไรด์ โดยลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่ใช้ จากวิธีมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ Argentometric Method (APHA, AWWA and WEF, 2012) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ทดสอบสัดส่วนของน้ำและสารเคมี จนได้สัดส่วนของตัวอย่างน้ำ จำนวน 5 มิลลิลิตร โพแทสเซียมไดโครเมต จำนวน 4 หยด และซิลเวอร์ไนเตรท จำนวน 1 มิลลิลิตร ทดสอบการเกิดสีตามความเข้มข้นของคลอไรด์ (ภาพที่ 1) พัฒนาแผ่นเทียบสีเพื่อใช้ประเมินคุณภาพน้ำตามเกณฑ์ดีมาก - ดี ปานกลาง - เริ่มอันตราย และเป็นอันตรายกับพืช (FAO, 1985; WHO, 2011; Burow *et al.*, 2017) พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบคลอไรด์ ตามภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 1 การทดสอบการเกิดสีของคลอไรด์ตามความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เรียงจากซ้ายไปขวา



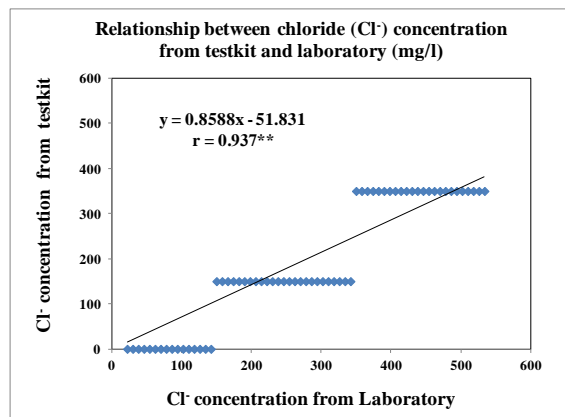
ภาพที่ 2 การพัฒนาแผ่นเทียบสีตามระดับของคุณภาพน้ำ ดีมาก-ดี, ปานกลาง - เริ่มเป็นอันตรายกับพืช และเป็นอันตรายกับพืช



ภาพที่ 3 ชุดตรวจสอบคลอไรด์ที่ได้พัฒนาขึ้น

1.2 การทดสอบชุดตรวจสอบคลอไรด์กับตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ ตั้งแต่ 0 - 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 65 ตัวอย่าง

ทดสอบตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ตั้งแต่ 0 - 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 65 ตัวอย่าง ด้วยชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้นหาความสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (testkit) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ ( $r=0.937^{**}$ ,  $N=65$ ,  $p < 0.001$ ) ดังนั้น ชุดตรวจสอบอย่างง่ายคลอไรด์ที่ได้พัฒนาขึ้น ให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูง (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

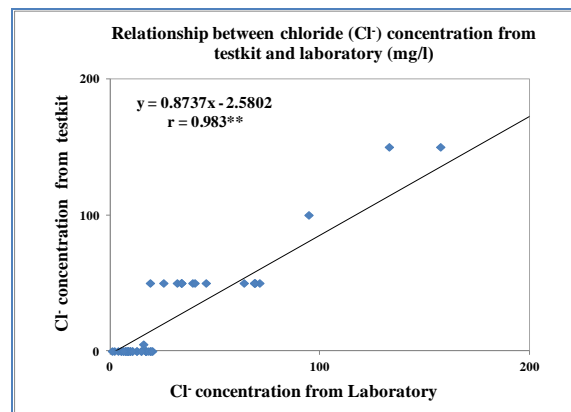
1.3 การทดสอบชุดตรวจสอบคลอไรด์กับตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ

ทดสอบตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ น้ำสระ น้ำบาดาล น้ำคลอง น้ำบ่อ และน้ำประปา จำนวน 52 ตัวอย่างที่มีค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการดังตารางที่ 1 มาทดสอบด้วยชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้น หาความสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (testkit) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง กับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ ( $r=0.983^{**}$ ,

N=52,  $p < 0.001$ ) โดยตั้งนั้นชุดตรวจสอบอย่างง่ายคลอไรด์ ที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูง สามารถนำมาใช้เป็นชุดตรวจสอบตัวอย่างน้ำได้ (ภาพที่ 5)

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ จำนวน 52 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

แหล่งน้ำ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย		
		pH	ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	คลอไรด์ ( $\text{mg}/\text{l}$ )
น้ำสระ	28	7.9	355	16.3
น้ำบาดาล	14	7.8	1535	213.2
น้ำคลอง	5	7.9	556	46.6
น้ำบ่อ	2	8.3	763	145.4
ประปา	3	7.3	477	69.2

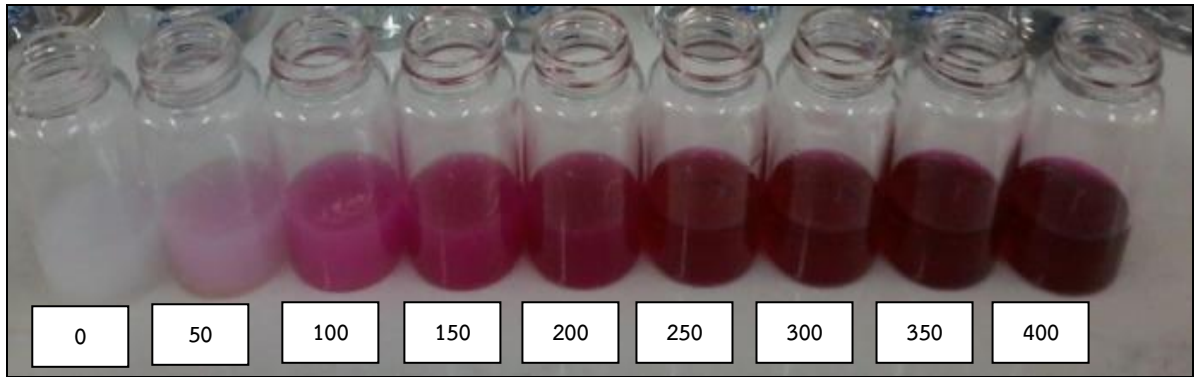


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

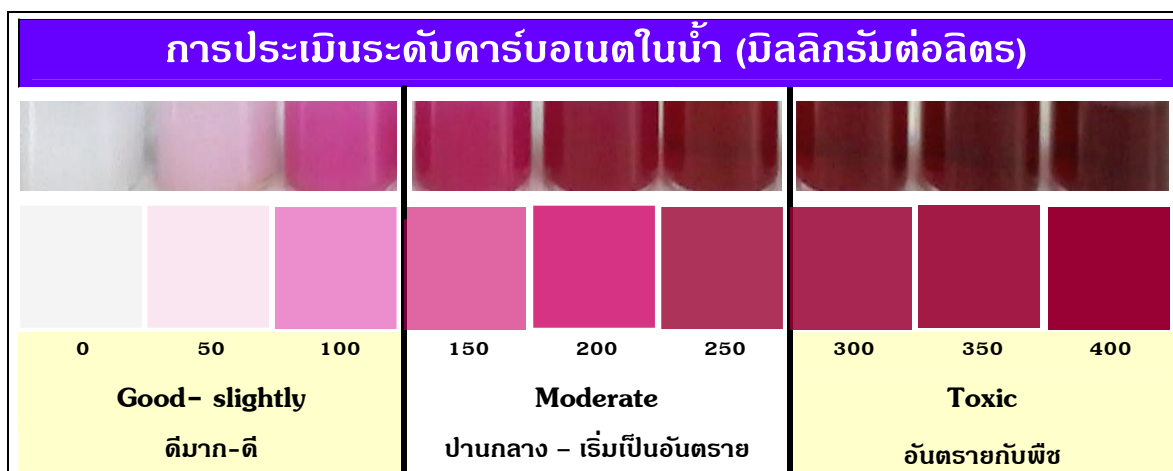
## 2. การพัฒนาและทดสอบชุดตรวจสอบคาร์บอน

### 2.1 วิจัยพัฒนาและจัดทำชุดตรวจสอบคาร์บอน

พัฒนาชุดตรวจสอบคาร์บอนจากหลักการวิเคราะห์ด้วยวิธี Indicator Method (APHA, AWWA and WEF, 2012) โดยลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมี เช่นเดียวกับการพัฒนาชุดตรวจสอบคลอไรด์ จนได้สัดส่วนของตัวอย่างน้ำ จำนวน 5 มิลลิลิตร และฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์จำนวน 1 มิลลิลิตร ทดสอบการเกิดสีตามความเข้มข้นของคาร์บอน (ภาพที่ 6) พัฒนาแผ่นเทียบสีเพื่อใช้ประเมินคุณภาพน้ำตามเกณฑ์ดีมาก - ดีปานกลาง - เริ่มอันตรายกับพิษ และเป็นอันตรายกับพิษ (FAO, 1985; WHO, 2011; Burow *et al.*, 2017) พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบคาร์บอน ตามภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 6 การทดสอบการเกิดสีของคาร์บอนตามความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เรียงจากซ้ายไปขวา



ภาพที่ 7 การพัฒนาแผ่นเทียบสีตามระดับของคุณภาพน้ำ ดีมาก-ดี, ปานกลาง และเป็นอันตรายกับพืช

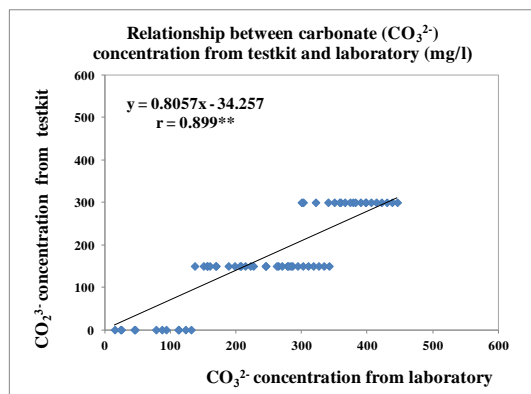


ภาพที่ 8 ชุดตรวจสอบคาร์บอนที่ได้พัฒนาขึ้น



## 2.2 การทดสอบชุดตรวจสอบคาร์บอนเนตกับตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนเนต ตั้งแต่ 0 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 62 ตัวอย่าง

ทดสอบตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนเนตตั้งแต่ 0 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 62 ตัวอย่าง ด้วยชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้น หาความสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ ( $r=0.899^{**}$ ,  $N=62$ ,  $p < 0.001$ ) มี ดังนั้นชุดตรวจสอบอย่างง่ายคาร์บอนเนต ที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูง (ภาพที่ 9)



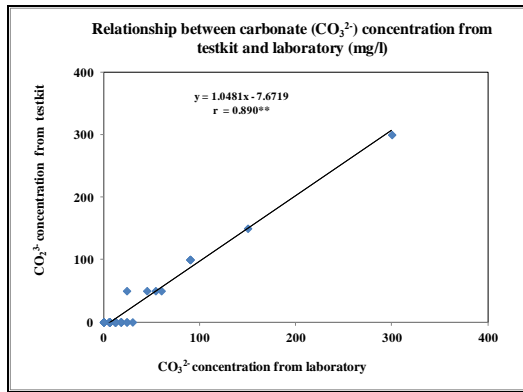
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

## 2.3 การทดสอบชุดตรวจสอบคาร์บอนเนตกับตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ

ทดสอบตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ น้ำบ่อ น้ำคลอง น้ำบาดาล และน้ำประปา จำนวน 52 ตัวอย่างที่มีค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการดังตารางที่ 2 มาทดสอบด้วยชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้น หาความสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (testkit) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง กับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ ( $r=0.890^{**}$ ,  $N=52$ ,  $p < 0.001$ ) โดยดังนั้นชุดตรวจสอบอย่างง่ายคาร์บอนเนต ที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูง สามารถนำมาใช้เป็นชุดตรวจสอบตัวอย่างน้ำได้ (ภาพที่ 10)

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ จำนวน 52 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

แหล่งน้ำ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย		
		pH	ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	คาร์บอนเนต (mg/l)
น้ำบ่อ	15	7.5	1134	62.0
น้ำคลอง	30	7.7	1472	9.0
น้ำบาดาล	3	7.8	762	2.0

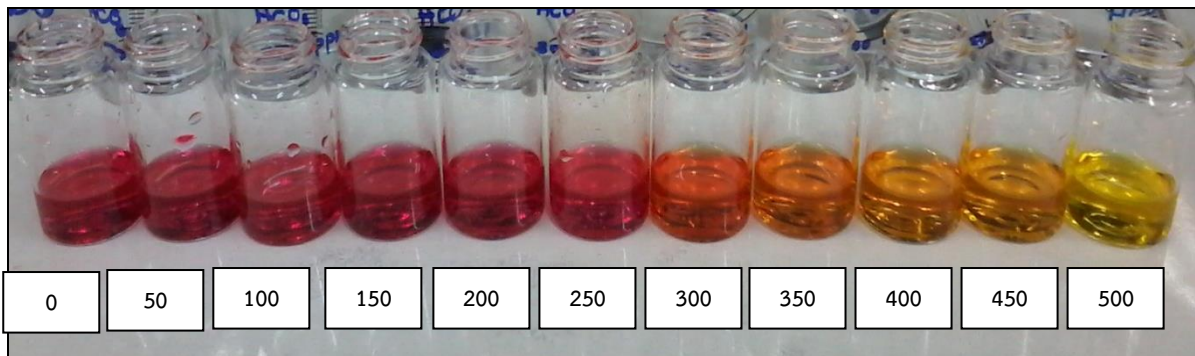


ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

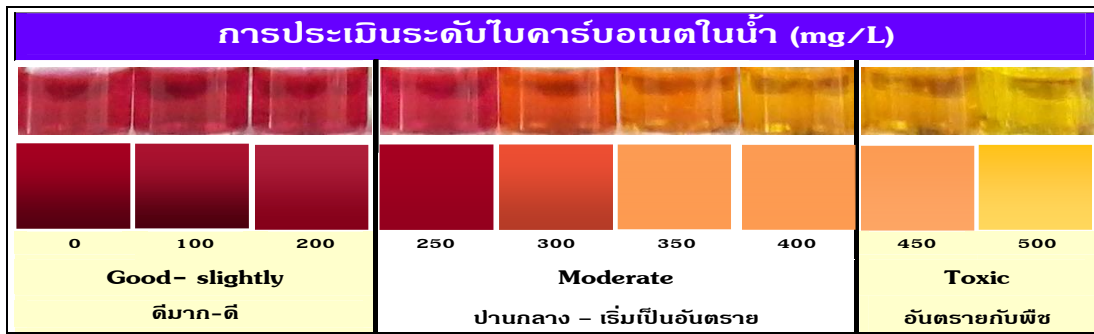
### 3. การพัฒนาและทดสอบชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนต

#### 3.1 วิจัยและพัฒนาชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนต

พัฒนาชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยวิธี Indicator Method (APHA, AWWA and WEF, 2012) โดยการไทเทรตตัวอย่างน้ำด้วยกรดซัลฟิวริกโดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ โดยลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำและสารเคมีเช่นเดียวกับชุดตรวจสอบคลอไรด์และคาร์บอเนต โดยใช้ตัวอย่างน้ำ จำนวน 5 มิลลิลิตร เมทิลเรด จำนวน 3 หยด กรดซัลฟิวริก จำนวน 3 หยด ทดสอบการเกิดสีตามความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต (ภาพที่ 11) พัฒนาแผ่นเทียบสีเพื่อใช้ประเมินคุณภาพน้ำตามเกณฑ์ดีมาก - ดี ปานกลาง - เริ่มอันตรายกับพิษ และเป็นอันตรายกับพิษ (FAO, 1985; WHO, 2011; Burow *et al.*, 2017) พัฒนาเป็นชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนต ตามภาพที่ 12 และ 13



ภาพที่ 11 การทดสอบการเกิดสีของไบคาร์บอเนตตามความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เรียงจากซ้ายไปขวา



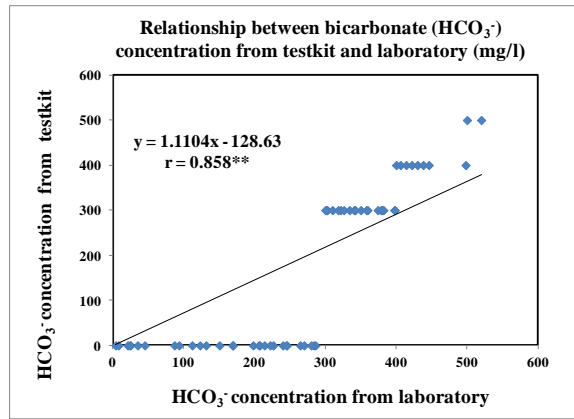
ภาพที่ 12 การพัฒนาแผ่นเทียบสีตามระดับของคุณภาพน้ำ ดีมาก-ดี, ปานกลาง, เริ่มเป็นอันตราย และเป็นอันตรายกับพืช



ภาพที่ 13 ชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนตที่ได้พัฒนาขึ้น

### 3.2 การทดสอบชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนตกับตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของคาร์บอเนตตั้งแต่ 0 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 58 ตัวอย่าง

ทดสอบตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตตั้งแต่ 0 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 58 ตัวอย่าง ด้วยชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้น เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่าผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (testkit) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ ( $r=0.858^{**}$ ,  $N=58$ ,  $p < 0.001$ ) มี ดังนั้นชุดตรวจสอบอย่างง่ายไบคาร์บอเนต ที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูง (ภาพที่ 14)



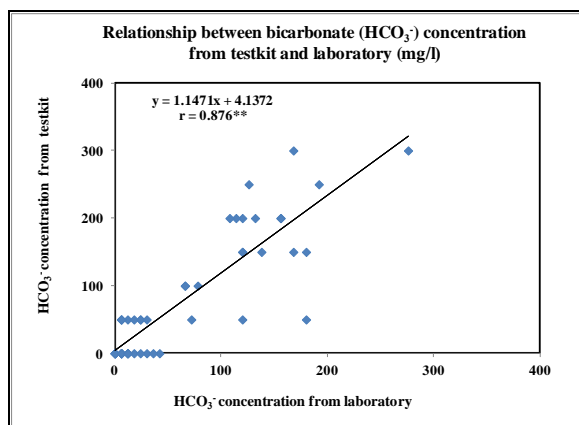
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

### 3.3 การทดสอบชุดตรวจสอบไบคาร์บอเนตกับตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ

ทดสอบตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ น้ำบ่อ น้ำคลอง น้ำบาดาล และน้ำประปา จำนวน 51 ตัวอย่างที่มีค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการดังตารางที่ 3 มาทดสอบด้วยชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้น หาความสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (testkit) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง กับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีในห้องปฏิบัติการ ( $r=0.876^{**}$ ,  $N=51$ ,  $p < 0.001$ ) โดยตั้งนั้นชุดตรวจสอบอย่างง่ายไบคาร์บอเนต ที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูงสามารถนำมาใช้เป็นชุดตรวจสอบตัวอย่างน้ำได้ (ภาพที่ 15)

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ จำนวน 51 ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

แหล่งน้ำ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย		
		pH	ค่าการนำไฟฟ้า ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	ไบคาร์บอเนต (mg/l)
น้ำบ่อพักสวนกล้วยไม้	11	8.1	1084	150.5
น้ำบ่อ	8	6.7	74	15.8
น้ำสระ	25	6.6	226	21.4
น้ำบาดาล	4	7.5	291	157.5
น้ำคลอง	3	7.1	140	90.0

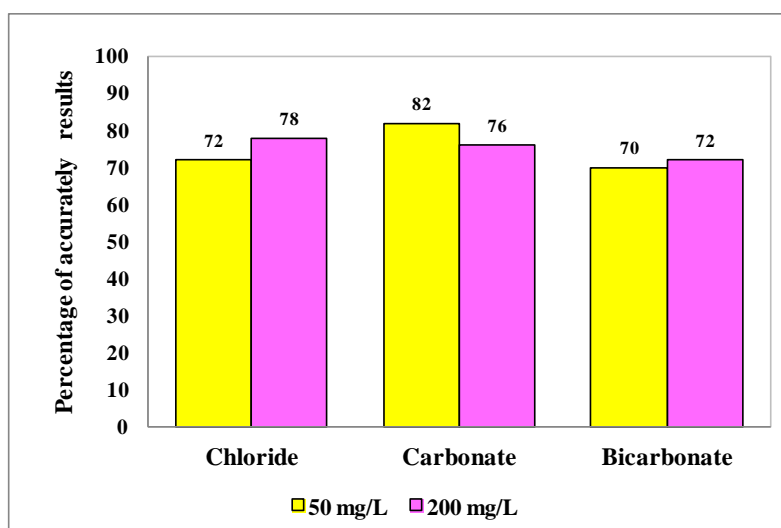


ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

### 3.4 ทำการทดสอบการใช้งานจริงของชุดตรวจสอบโดยใช้ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้น และตัวอย่างน้ำแหล่งต่างๆ ในพื้นที่จริงของเกษตรกร

#### 1) ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยใช้ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้น

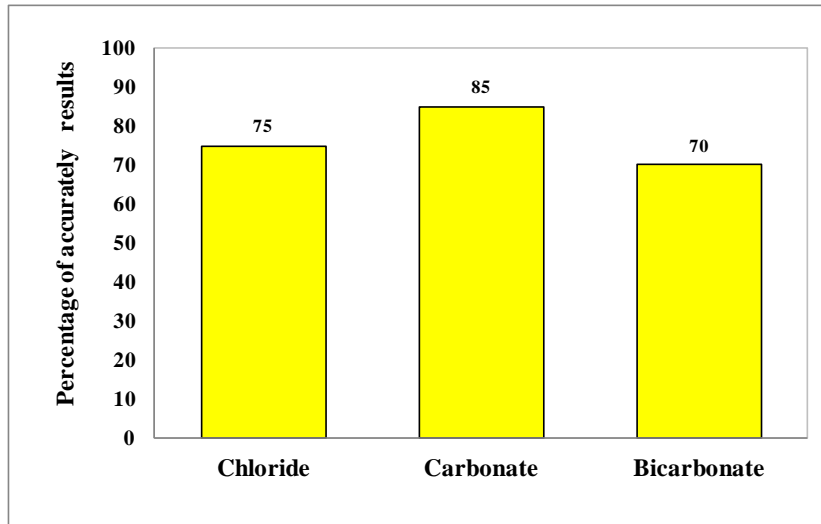
ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยผู้ใช้งานซึ่งเป็นบุคคลทั่วไปจำนวน 50 ราย โดยมีการใช้ตัวอย่างน้ำที่ห้องปฏิบัติการได้เตรียมขึ้นที่มีความเข้มข้นของ คลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการใช้ชุดตรวจ พบว่า ผู้ใช้งานชุดตรวจสอบจำนวน 50 ราย มีการรายงานผลการทดสอบ คลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ของตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรถูกต้อง จำนวน 36 41 และ 35 รายคิดเป็นร้อยละ 72 82 และ 70 ตามลำดับ ในขณะที่มีการรายงานผลการทดสอบคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ของตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรถูกต้อง จำนวน 39 38 และ 36 รายคิดเป็นร้อยละ 78 76 และ 72 ตามลำดับ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ร้อยละของผู้ทดสอบที่รายงานผลถูกต้อง โดยใช้ตัวอย่างน้ำทดสอบที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 50 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 2) ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยใช้น้ำจากแหล่งต่างๆ ในพื้นที่ของเกษตรกร

ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยผู้ใช้งานซึ่งเป็นเกษตรกรจำนวน 20 ราย โดยใช้ตัวอย่างน้ำทดสอบจากแหล่งน้ำต่างๆ ในพื้นที่ของเกษตรกร ผลการตรวจสอบพบว่า ผู้ใช้งานชุดตรวจสอบจำนวน 20 ราย มีการรายงานผลการทดสอบคลอไรด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตในน้ำ ถูกต้องจำนวน 15 17 และ 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 75 85 และ 70 ตามลำดับ (ภาพที่ 17)

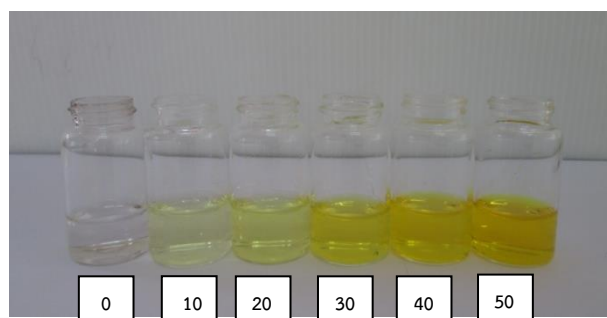


ภาพที่ 17 แสดงร้อยละของผู้ทดสอบที่รายงานผลถูกต้องในภาคสนาม

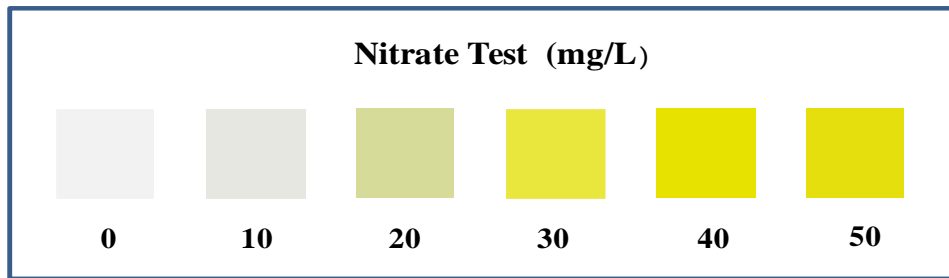
## 4. การพัฒนาและทดสอบชุดตรวจสอบอย่างง่ายในตรท

### 4.1 วิจัยพัฒนา และจัดทำชุดตรวจสอบในตรท

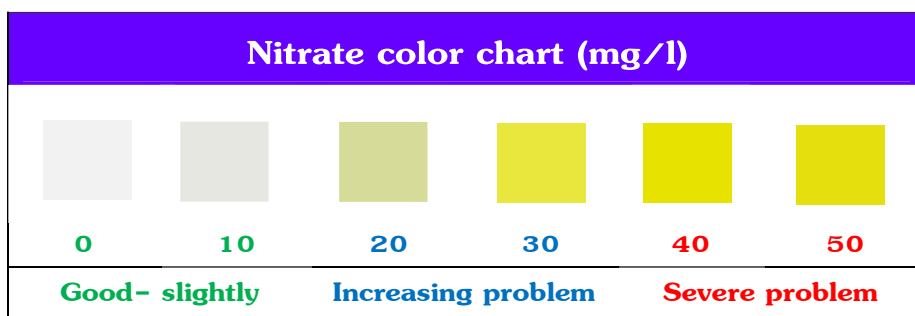
พัฒนาชุดตรวจสอบในตรท โดยปรับลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่ใช้ จากวิธีที่มาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้สัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมี ดังต่อไปนี้ ตัวอย่างน้ำ 2 มิลลิลิตร สารละลาย Sodium chloride 30% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร สารละลาย Sulfuric acid ปริมาตร 2 มิลลิลิตร สารละลาย Brucine - sulfanilic acid ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทดสอบการเกิดสีของในตรทตามความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เทียบกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งพัฒนาแผ่นเทียบสีสำหรับวิเคราะห์ในตรท (ภาพที่ 18 และ 19) รวมทั้งปรับปรุงแผ่นเทียบสีให้สอดคล้องกับคำแนะนำคุณภาพน้ำทางการเกษตร (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 18 การทดสอบการเกิดสีของไนเตรทที่ปรับลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำและสารเคมีความเข้มข้น 0 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



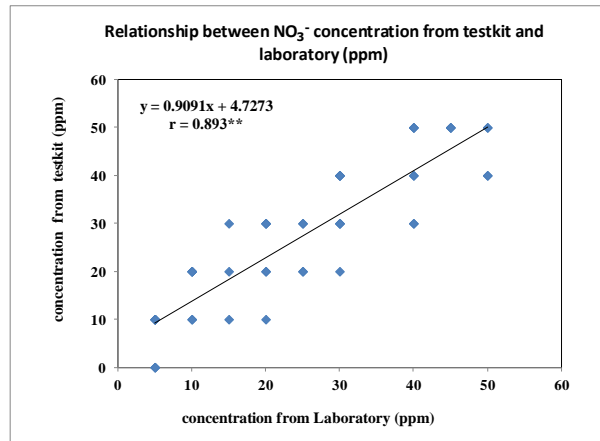
ภาพที่ 19 การพัฒนาแผ่นเทียบสี



ภาพที่ 20 การปรับปรุงแผ่นเทียบสีตามคุณภาพของน้ำ ดีมาก - ดี, ปานกลาง - เริ่มอันตรายกับพืช และอันตรายกับพืช

#### 4.2 เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทของชุดตรวจสอบ กับวิธีวิเคราะห์มาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

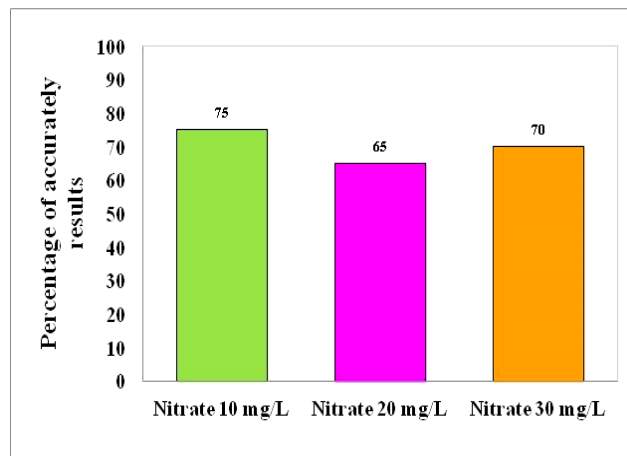
ทดสอบการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นความเข้มข้น 5 – 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์ไนเตรทด้วยชุดตรวจสอบ และผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (The Coefficient of Correlation, r) พบว่า ผลการวิเคราะห์ไนเตรทด้วยชุดตรวจสอบมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับวิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.893\*\* ตามลำดับ ดังนั้น ชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทางการเกษตรใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมากกว่าร้อยละ 80 (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยชุดตรวจสอบ (Test kit) และผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

#### 4.3 ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้แผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นกับผู้ใช้งานจำนวน 12 ราย

ผลการวิเคราะห์ไนเตรทโดยใช้แผ่นเทียบสีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าผู้ใช้งานชุดตรวจสอบมีการรายงานผลการใช้แผ่นเทียบสีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 65 ตามภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การใช้งานชุดตรวจสอบโดยวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้แผ่นเทียบสีที่พัฒนาขึ้นกับผู้ใช้งานจำนวน 12 ราย

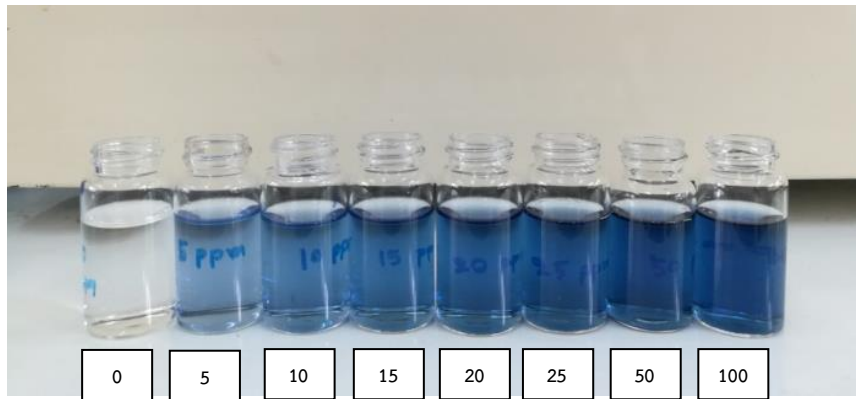
### 5. วิจัยพัฒนา และจัดทำชุดตรวจสอบฟอสเฟต

#### 5.1 พัฒนาชุดตรวจสอบฟอสเฟต โดยลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่ใช้ จากวิธีที่มาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

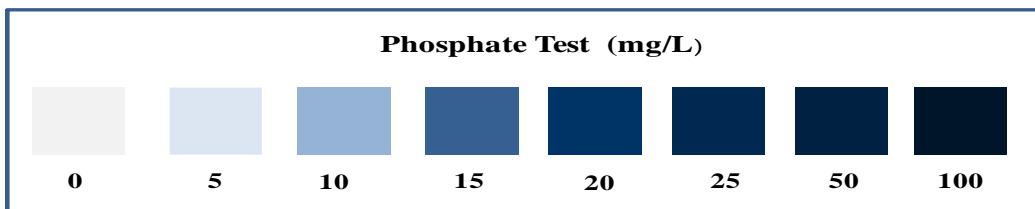
ซึ่งได้สัดส่วนของตัวอย่างน้ำ และสารเคมี ดังต่อไปนี้ ตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร สารละลาย Ascorbic acid ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทดสอบการเกิดสีของฟอสเฟตตามความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัม



ต่อลิตร เทียบกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งพัฒนาแผ่นเทียบสีสำหรับวิเคราะห์ฟอสเฟต (ภาพที่ 23 และ 24)



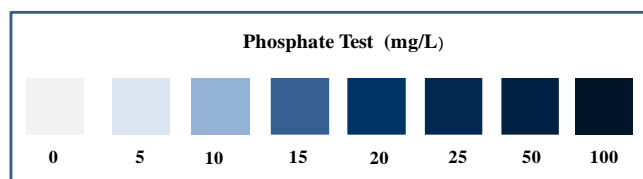
ภาพที่ 23 การทดสอบการเกิดสีของฟอสเฟตที่ปรับลดสัดส่วนของตัวอย่างน้ำและสารเคมีความเข้มข้น 0 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 24 การพัฒนาแผ่นเทียบสี

### 5.2 การปรับปรุงชุดตรวจสอบและแผ่นเทียบสี

ปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดตรวจสอบ ประกอบด้วย แผ่นเทียบสี ทำการปรับปรุงโดยแบ่งตามเกณฑ์ ต่ำ ปานกลาง และสูง ปรับอุปกรณ์ให้มีแผ่นเทียบสีอยู่ข้างขวดทำปฏิกิริยา ตามคุณภาพของน้ำ ดีมาก - ดี, ปานกลาง - เริ่มอันตรายกับพืช และอันตรายกับพืช



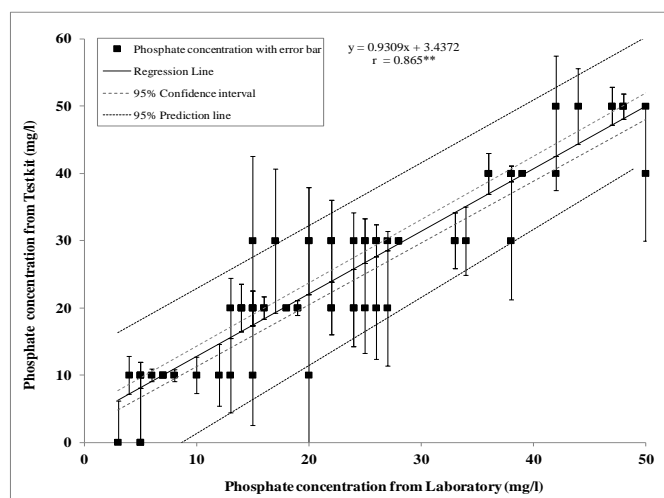
Phosphate

100	High	Phosphate (mg/L)
50		
20		
15	Moderate	
10		
5	Low	
0		

ภาพที่ 25 การปรับปรุงแผนเทียบสีตามคุณภาพของน้ำ ดีมาก - ดี, ปานกลาง - เริ่มอันตรายกับพืช และอันตรายกับพืช

### 5.3 ทดสอบการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์ฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำ

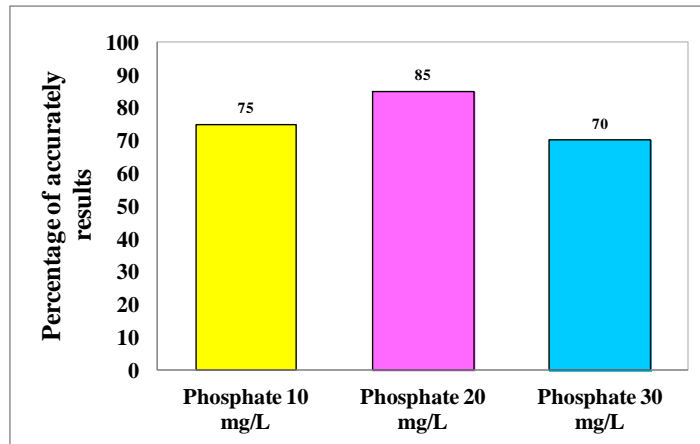
ทดสอบการใช้ชุดตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้น โดยให้ตัวอย่างน้ำมีปริมาณฟอสเฟต ระหว่าง 0-50 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวอย่างน้ำทางการเกษตร จำนวนรวม 70 ตัวอย่าง ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตด้วยชุดตรวจสอบ และผลการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการ พบว่า ผลการวิเคราะห์ฟอสเฟตด้วยชุดตรวจสอบมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.865\*\* ทำให้ชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทางการเกษตรใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสูง (ภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 ผลการใช้งานชุดตรวจสอบวิเคราะห์ฟอสเฟตในตัวอย่างน้ำเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

### 5.4 ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยเกษตรกรจำนวน 20 ราย

ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยผู้ใช้งานซึ่งเป็นเกษตรกรจำนวน 20 ราย โดยใช้ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้น โดยมีปริมาณฟอสเฟต 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการ使用中ตรวจสอบ พบว่า มีผู้ใช้งานชุดตรวจสอบฟอสเฟต รายงานผลการทดสอบฟอสเฟตในน้ำ ถูกต้องจำนวน 15, 17 และ 14 ราย คิดเป็นร้อยละ 75, 85 และ 70 ตามลำดับ (ภาพที่ 27) และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ ตามช่วงความเข้มข้นของฟอสเฟต ได้แก่ ช่วงความเข้มข้น 0 - 20, 20 - 40 และมากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงความเข้มข้นละ 20 ตัวอย่าง พบว่า ผลการวิเคราะห์ฟอสเฟตด้วยชุดตรวจสอบมีความถูกต้องร้อยละ 70, 75 และ 75 ตามลำดับ (ตารางที่ 4)



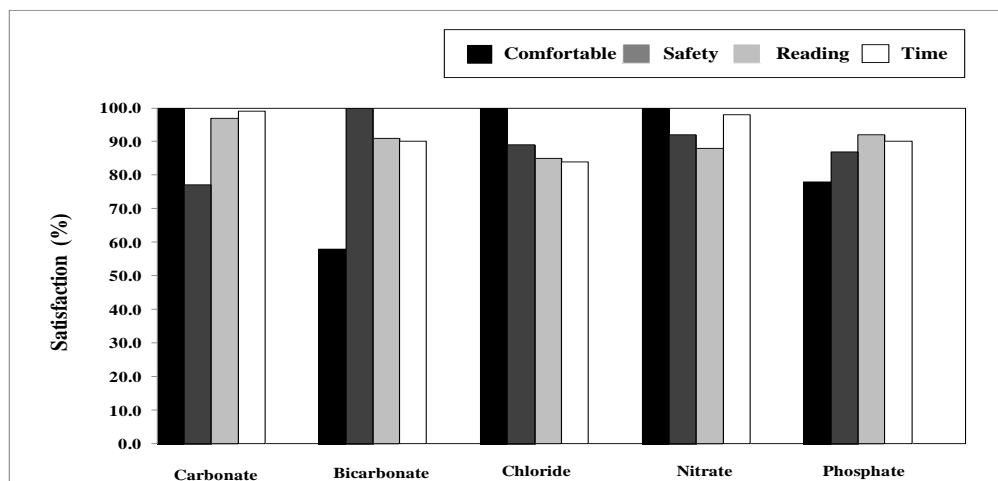
ภาพที่ 27 ทดสอบการใช้งานชุดตรวจสอบโดยผู้ใช้งานซึ่งเป็นเกษตรกรจำนวน 20 ราย โดยใช้ตัวอย่างน้ำที่เตรียมขึ้นโดยมีปริมาณฟอสเฟต 10, 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4 การทดสอบความถูกต้องของการใช้ชุดตรวจสอบ จากผู้ใช้งานชุดตรวจสอบ 20 ราย

Ranges	no. of samples	Phosphate test kit			no. of samples
		False (-)	False (+)	True	
0 - 20 mg/l	20 (100%)	3 (15%)	3 (15%)	14 (70%)	20 (100%)
20 - 40 mg/l	20 (100%)	3 (15%)	2 (10%)	15(75%)	20 (100%)
>40 mg/l	20 (100%)	2 (10%)	3 (15%)	15 (75%)	20 (100%)
Total	60 (100%)	8(13%)	8(13%)	44 (74%)	60 (100%)

### 5.5 การสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดสอบใช้งาน

เมื่อนำชุดตรวจสอบไปใช้งานจริงโดยเกษตรกรในภาคสนาม พบว่า มากกว่าร้อยละ 70 ของผู้ใช้งานทั้งหมด เห็นว่าชุดตรวจสอบมีความสะดวกในการใช้งาน การอ่านผลการทดสอบง่ายมีความชัดเจนมาก เวลาในการทดสอบ และรูปแบบของชุดตรวจสอบมีความเหมาะสมมาก (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 การสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานชุดตรวจสอบอย่างง่าย

### 5. เปรียบเทียบข้อดี ข้อจำกัด และต้นทุนของวิธีวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบ (Test Kit) กับวิธีของห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชุดตรวจสอบ พบว่า ชุดตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น มีต้นทุนค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่าง 36.64 – 53.36 บาท ซึ่งประหยัดกว่าการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่มีราคาค่าวิเคราะห์ 90 - 250 บาท

**ตารางที่ 4** เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีวิเคราะห์ของชุดตรวจสอบ (Test Kit) กับวิธีของห้องปฏิบัติการ

วิธีของ Test Kit	วิธีของห้องปฏิบัติการ
1. ใช้เวลาในการตรวจสอบประมาณ 5 นาที	1. ใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่น้อยกว่า 15 นาที
2. วิธีการตรวจใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ง่าย สะดวก และราคาไม่แพง ได้แก่ หลอดฉีดยา หลอดหยด ขวดทดสอบขนาด 10 มิลลิลิตร	2. วิธีการวิเคราะห์ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้งานยาก และมีราคาแพง ได้แก่ Burette Pipette และ Volumetric flask, Erlenmeyer Flask, กรวยกรองแก้ว
3. ผู้ใช้ไม่ต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญมาก่อนเกษตรกรสามารถตรวจสอบได้เอง	3. ผู้ใช้ต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญ
4. ขั้นตอนไม่สลับซับซ้อน	4. ขั้นตอนการวิเคราะห์ละเอียด
5. ต้นทุนการผลิต - คลอไรด์ 36.64 บาท - คาร์บอนเนต 36.64. บาท - ไบคาร์บอนเนต 45.23 บาท - ไนเตรท 50.64 บาท - ฟอสเฟต 53.36 บาท	5. ต้นทุนการวิเคราะห์ของห้องปฏิบัติการ - คลอไรด์ ราคา 110 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง - คาร์บอนเนต ราคา 90 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง - ไบคาร์บอนเนต ราคา 90 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง - ไนเตรท ราคา 250 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง - ฟอสเฟต ราคา 250 บาท ต่อ 1 ตัวอย่าง
6. ชุดตรวจสอบมีขนาดพกพา สามารถใช้ในงานภาคสนาม และทราบผลวิเคราะห์ทันที	6. เกษตรกรต้องเดินทางมาส่งน้ำที่กลุ่มวิจัย เกษตรเคมีและรอยคยผลวิเคราะห์เป็นเวลานาน

**9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**

ผลการวิเคราะห์คลอไรด์ คาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนต ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำด้วยชุดตรวจสอบ มีความสัมพันธ์อย่างสูงยิ่งทางสถิติกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (r) เท่ากับ 0.983\*\*, 0.890\*\*, 0.876\*\* 0.893\*\* และ 0.865\*\* ตามลำดับ ซึ่งทำให้ชุดตรวจสอบที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลถูกต้องตรงกับผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมากกว่าร้อยละ 80 สามารถนำมาใช้เป็นชุดตรวจสอบตัวอย่างน้ำได้จริง หลังจากนั้นนำไปชุดตรวจสอบไปใช้งานจริงโดยเกษตรกรจำนวน 20 คน ในภาคสนาม ผลการใช้ชุดตรวจสอบพบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ คาร์บอนเนต ไบคาร์บอนเนต ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำมีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 70

**10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์**

1) หน่วยงานของกรมวิชาการเกษตรใช้เพื่อสนับสนุนบริการประชาชน เช่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1-8 กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

2) เกษตรกรกลุ่มผู้ปลูกผักไฮโดรพอนิกส์ กัลยไม้ สามารถนำชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำไปใช้เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำ ช่วยลดความเสียหายจากการใช้น้ำที่มีเกลืออันตรายละลายอยู่อย่างสะดวก รวดเร็ว

3) ชุดตรวจสอบจัดทำขึ้นโดยใช้อุปกรณ์อย่างง่าย มีวิธีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน เกษตรกรหรือผู้ที่ต้องการใช้งานสามารถตรวจสอบได้เอง สามารถพกพาไปใช้งานในภาคสนามได้อย่างสะดวก ให้ผลการตรวจสอบเบื้องต้นที่ถูกต้อง รวดเร็ว ทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการส่งตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ

## 11. เอกสารอ้างอิง

American Public Health Association, the American Water Works Association and the Water Environment Federation (APHA, AWWA and WEF). 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22<sup>nd</sup> ed. Washington D.C. American Public Health Association. 1360 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1985. *Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage paper 29 Rev 1*. FAO Rome. 188 p.

United States Environmental Protection Agency (EPA) 1971. *Method 352.1: Nitrogen, Nitrate (Colorimetric, Brucine) by Spectrophotometer*. 6 p.

United States Environmental Protection Agency (EPA). 2005. *Nitrogen and Phosphorus in Agricultural Streams*. 6 p.

World Health Organization (WHO). 2011. *Guideline for drinking-water quality*. World Health Organization, Geneva. 564 p.