

# การประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัลสำหรับ ตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ในน้ำจืด

## Application of a Webcam and Image Processing Techniques for Measuring Total Ammonia and Nitrite Concentrations in Freshwater

เจษฎา อีสหะ<sup>1\*</sup> วราร์ เทพาหุดี<sup>2</sup> รุ่งพฤทธิ จงเจริญสุข<sup>2</sup> ธนิต เบี้ยแก้ว<sup>2</sup> ธนพล ปันดี<sup>2</sup>

Jesada Is-haak<sup>1\*</sup> Wara Taparhudee<sup>2</sup> Roongparit joongjaraunsuk<sup>2</sup> Thanit biakaew<sup>2</sup> Tanapon pandee<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การทดลองประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัล เปรียบเทียบกับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในน้ำจืด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ผลการศึกษาพบว่าคือ เมื่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในน้ำของสารตัวอย่างอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 98.44 ในขณะที่วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 97.81 และเมื่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในน้ำของสารตัวอย่างมีค่ามากกว่า 1.0 ถึง 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยไม่ทำการเจือจางสารตัวอย่าง) พบว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 80.94 ในขณะที่วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 96.89 ในการทดสอบวัดความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำของสารตัวอย่าง ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 91.29 ในขณะที่วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 91.15 และเมื่อระดับความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำของสารตัวอย่างมีค่ามากกว่า 0.25 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยไม่ทำการเจือจางสารตัวอย่าง) พบว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 70.54 ส่วนวิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 99.65 จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัล มาประเมินความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในน้ำจืดได้

**คำสำคัญ :** การประยุกต์, กล้องเว็บแคม, เทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัล, แอมโมเนียรวม, ไนไตรท์, น้ำจืด

### Abstract

Application of a webcam and image processing techniques for measuring total ammonia and nitrite in freshwater was developed and compared with a spectrophotometer. Various concentrations of total ammonia and nitrite in the water were determined. Results of the study showed that when total ammonia concentrations in water samples ranged between 0 to 1.0 mg/l, an accuracy of using a spectrophotometer was 98.44 %, while using the developed system was 97.81 %. When total ammonia concentrations in water samples were greater than 1.0 to 4.0 mg/l (without dilution of the water samples), an accuracy of using the spectrophotometer was 80.94 %, while using the developed system was 96.89 %. In the nitrite concentration measurement, ranged between 0 to 0.25 mg/l, the use of spectrophotometer was 91.29 % accuracy, while using the developed system was 91.15 %. When the nitrite concentrations in water samples were greater than 0.25 to 1.0 mg/l (without dilution of the water sample), an accuracy of using the spectrophotometer was 70.54 %, while using the developed system was 99.65 %. From the above results indicate that it is possible to apply a webcam and image processing techniques for measuring total ammonia and nitrite concentrations in freshwater.

**Keywords :** Application, Webcam, Image Processing Techniques, Total Ammonia, Nitrite,

Freshwater

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา 13000

Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry,  
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Prakhonsiyutthaya 13000

<sup>2</sup> ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok, Bangkok.  
10900

\* Corresponding author. E-mail: abee\_sunnee@hotmail.co.th

## บทนำ

ปัจจุบันในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น คุณภาพน้ำนับเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลถึงความล้มเหลวหรือความล้มเหลวต่อผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ (เจษฎา,2546) ซึ่งสาเหตุที่มาของการเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำภายในบ่อ พอสรุปได้มาจาก 3 สาเหตุหลักๆ คือ 1) ปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดจากแหล่งน้ำที่นำมาใช้ตั้งแต่เริ่มต้น คุณภาพน้ำไม่ดีตั้งแต่เริ่มแรก (มันสิน และไพพรรณ, 2544) 2) ปัญหาที่เกิดขึ้นในบ่อในช่วงระหว่างการอนุบาล หรือระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งอาจเกิดจากการจัดการที่ผิดพลาดภายในบ่อ เช่นการเปลี่ยนถ่ายน้ำไม่เพียงพอ การให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไปจนความต้องการของสัตว์น้ำ และการสะสมของสารอินทรีย์บริเวณพื้นก้นบ่อ (Boyd,1995) 3) ปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดจากคุณภาพดินภายในบ่อ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้ โดยทำให้คุณภาพน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อเนื้อถึงสัตว์น้ำที่เลี้ยงได้ เช่น ดินเปรี้ยว หรือเกิดจากการจัดการบ่อในระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำ (ยนต์,2542) ปัญหาดังกล่าวข้างต้นเป็นสิ่งที่นักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยด้านคุณภาพน้ำจะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของสัตว์น้ำ (Boyd and Tucker,1992) ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยและมุ่งสู่เป้าหมายแห่งความสำเร็จในระบบการเลี้ยงปัจจุบัน ผู้เลี้ยงจะต้องให้ความสนใจต่อการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เพื่อประเมินคุณสมบัติของน้ำว่ามีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากน้อยเพียงใด ปัจจุบันการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสามารถที่จะวิเคราะห์ได้เกือบทุกพารามิเตอร์ โดยใช้เครื่องมือที่ทันสมัยมาช่วย ซึ่งจะมีความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ในขณะเดียวกันเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวมีราคาค่อนข้างแพง อาจจะทำให้เกิดความยากลำบากของผู้เลี้ยงรายย่อย โดยเฉพาะการตรวจวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียรวม และค่าไนโตรเจนในน้ำ เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งใช้เทคนิคการดูดกลืนแสง เพื่ออ่านค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายตัวอย่าง และต้องนำค่าดังกล่าวไปเทียบค่าในสมการอีกครั้งหนึ่งเพื่ออ่านค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม และไนโตรเจนของสารละลายตัวอย่างนั้น ๆ ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่คณะผู้วิจัยเล็งเห็นว่า จะสามารถสร้างความสะดวก รวดเร็ว มีความแม่นยำและทดแทนการนำเข้าอุปกรณ์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศได้ คือ การทดลองประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการ

ประมวลผลจากภาพดิจิทัลมาประมวลผลวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม และไนโตรเจนน้ำจืด ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาการศึกษาทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย : เครื่องบันทึกภาพใช้กล้องเว็บแคมขนาดความละเอียด 13.0 เมกะพิกเซล (Mega Pixels), คอมพิวเตอร์ (Microsoft Window 8, Processor 1.30 Ghz, Memory (Ram) 5G, System type 32-bit operating system) กล้องควบคุมแสงทำประกอบจากแผ่นอะครีลิกสีขาว ภายนอกติดด้วยแผ่นสติ๊กเกอร์สีดำ ภายในมีหลอดLED เปล่งแสงสีขาวและหลอดทดลองสำหรับใส่สารละลายตัวอย่าง โปรแกรมที่ใช้ในการทำงานและประมวลผลคือ โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้แสดงใน Figure 1

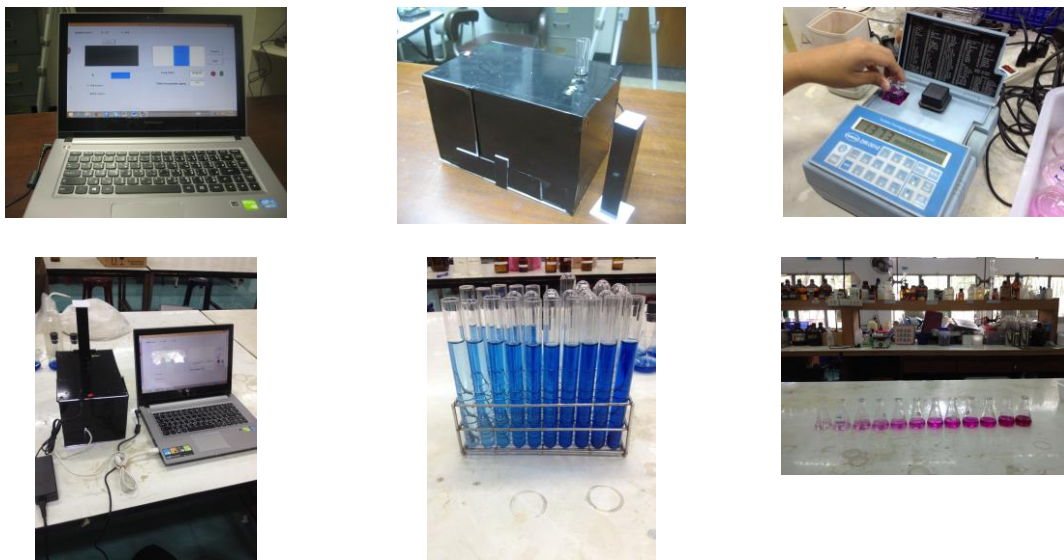


Figure 1 Materials for Total ammonia and Nitrite concentration measurement

การทดลองในครั้งนี้จะทำการทดลองประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัลเปรียบเทียบกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สำหรับตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนโตรเจนน้ำจืด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังนี้ คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5 และ 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นของไนโตรเจน 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.50 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยจะทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างของแอมโมเนียรวม ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และทำการหาพหุคูณมาตรฐาน (Standard curve) ของแอมโมเนียรวม ตามวิธีของ APHA *et al* (1995) และทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างของไนโตรเจน ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ และทำการหาพหุคูณมาตรฐาน (Standard curve) ของไนโตรเจน ตามวิธีของ APHA *et al* (1995)

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นด้วยการเปิดโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์เพื่อรองรับการประมวลผล แล้วนำสารละลายตัวอย่างมาบรรจุใส่ในหลอดทดลองจนถึงเส้นที่กำหนด จากนั้นนำหลอดดังกล่าวมาหย่อนลงในกล่องสีดำตามรูปที่กำหนด เปิดไฟให้แสงภายในกล่องสว่าง ขั้นตอนต่อไปให้ทำการเลือกกดปุ่มในโปรแกรมว่าจะทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม หรือ ค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ และให้ทำการปรับฉากหลังหลอดภายในกล่องให้สอดคล้องกับสีของสารละลายตัวอย่าง โดยให้ปรับฉากหลังเป็นสีขาวหากต้องการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม และให้ปรับฉากหลังหลอดเป็นสีม่วงชมพูหากต้องการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนไตรท์ เมื่อทำการกดปุ่มเลือกประเภทของการประมวลผลและปรับเปลี่ยนฉากหลังเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อไปให้กดปุ่ม Analyze โปรแกรมก็จะอ่านค่าสีอาร์จีบี (RGB) ซึ่งสามารถบอกความแตกต่างของสีได้มากกว่า 16 ล้านสี แล้วเก็บรวบรวมไว้เป็นค่าสีมาตรฐาน โปรแกรมจะประมวลภาพถ่ายของสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาประมวลค่าสี RGB และโปรแกรมก็จะสามารถบอกได้ว่าสารละลายนั้น ๆ มีความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม หรือ ค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ ปริมาณเท่าใด ดัง Figure 2

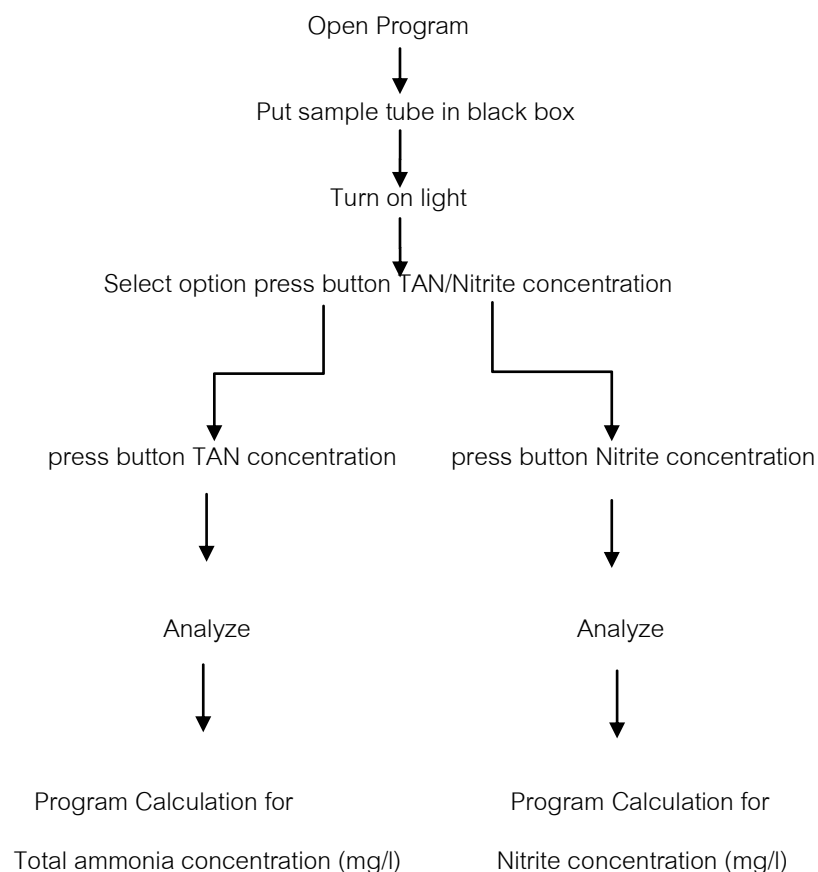
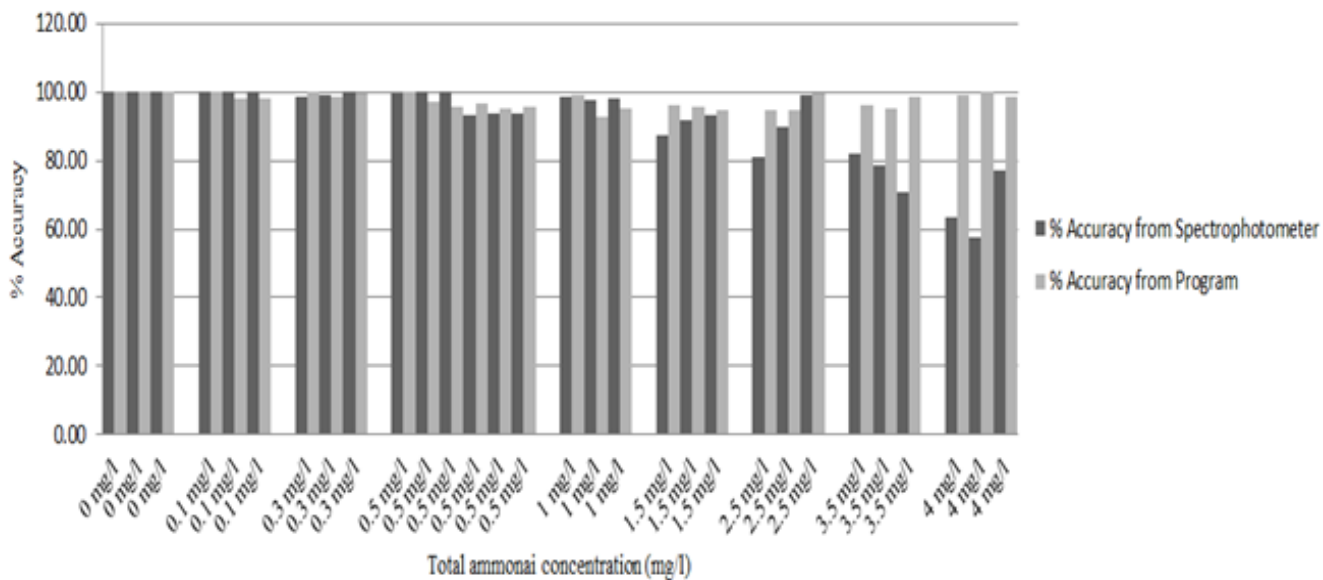


Figure 2 Flow chart showing of basic steps in TAN and Nitrite concentration measurement system

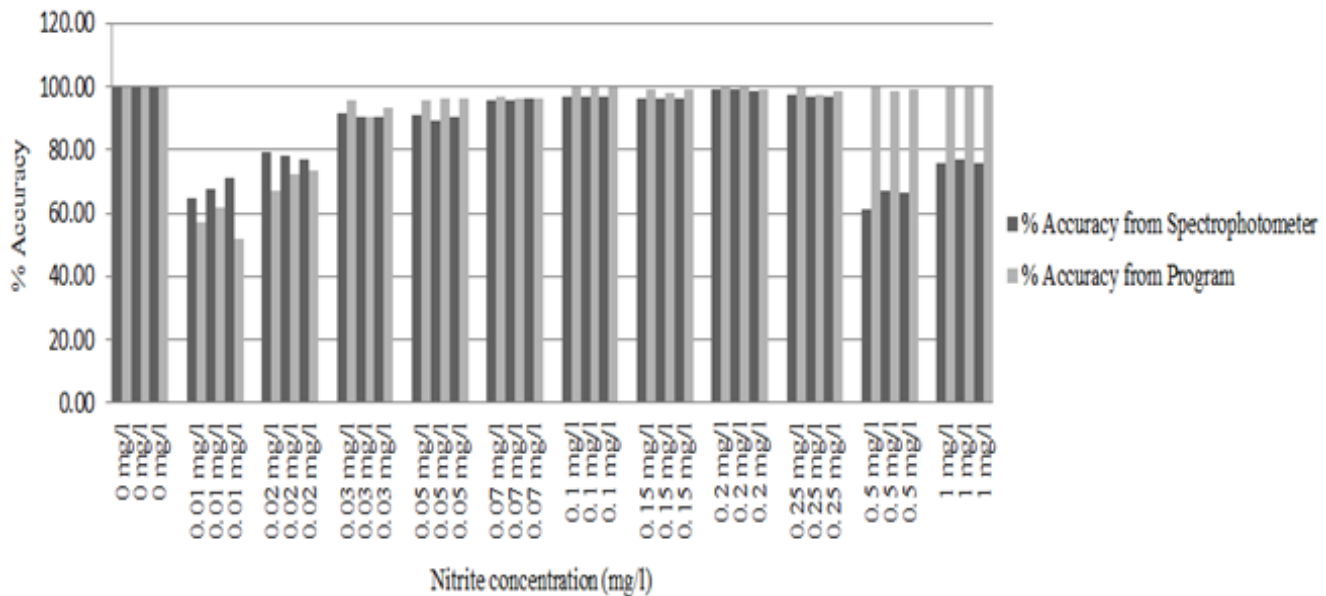
### ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัล เปรียบเทียบกับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์สำหรับตรวจวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในน้ำจืด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ได้แสดงไว้ใน Figure 3 ผลการทดลองพบว่าเป็นที่ เมื่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในน้ำของสารละลายตัวอย่างอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 98.44 ในขณะที่วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 97.81 และเมื่อระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในน้ำของสารละลายตัวอย่างมีค่ามากกว่า 1.0 ถึง 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยไม่ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่าง) พบว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 80.94 ในขณะที่วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 96.89



**Figure 3** Application of a webcam and image processing techniques for measuring total ammonia in freshwater was developed and compared with a spectrophotometer. Various concentrations of total ammonia in the water were determined.

สำหรับการทดสอบวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำจืดของสารละลายตัวอย่าง ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ได้แสดงไว้ใน Figure 4 ผลการทดลองพบว่าเป็นที่ เมื่อระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำของสารละลายตัวอย่างอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 91.29 ในขณะที่วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 91.15 และเมื่อระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำของสารละลายตัวอย่างมีค่ามากกว่า 0.25 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (โดยไม่ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่าง) พบว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 70.54 ส่วนวิธีการที่ประยุกต์ขึ้นอ่านค่ามีความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 99.65



**Figure 4** Application of a webcam and image processing techniques for measuring nitrite in freshwater was developed and compared with a spectrophotometer. Various concentrations of nitrite in the water were determined

จากผลการศึกษาในข้างต้นชี้ให้เห็นว่าวิธีการที่ประยุกต์ขึ้นมาสามารถอ่านค่าสีได้มีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่าการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเฉพาะในระดับที่ความเข้มข้นของสารละลายสูง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่ามีข้อจำกัดในการอ่านค่า absorbance อยู่ โดยพบว่า การอ่านค่า absorbance ของสารละลายแอมโมเนียรวมด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์จะมีความแม่นยำสูงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และการอ่านค่าการดูดกลืนแสง absorbance ของสารละลายไนไตรท์ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์จะมีความแม่นยำสูงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งเป็นเกณฑ์ทั่วไปที่นักวิเคราะห์คุณภาพน้ำนำมาใช้ในการสร้างทำกราฟมาตรฐาน standard curve และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียรวมสูงกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสารละลายไนไตรท์สูงกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์อ่านค่าการดูดกลืนแสง absorbance ผิดพลาดจากความเข้มข้นจริงมาก ดังนั้นแนวทางปฏิบัติในปัจจุบันจึงมีการแก้ปัญหาโดยการนำสารละลายดังกล่าวมาเจือจางเพื่อให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียรวม และสารละลายไนไตรท์ มีค่าต่ำกว่า 1.0 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการปกติต่อไป ซึ่งวิธีการนี้ก็มีความยุ่งยากซับซ้อนพอสมควร และอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ในขั้นตอนการเจือจาง (dilute) สารละลายตัวอย่าง ซึ่งจะส่งผลให้การอ่านค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม และไนไตรท์ผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการที่ประยุกต์ขึ้นมาจะสามารถช่วยแก้ปัญหา ในด้านความถูกต้องแม่นยำและสร้างความสะดวกรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องนำสารละลายตัวอย่างมาเจือจาง

และเมื่อประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ ประโยชน์ทางเศรษฐกิจหรือทางสังคมพบว่า

- 1) ต้นทุนการผลิตเครื่องมืออุปกรณ์มากเมื่อเทียบกับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2) สามารถเป็นทางเลือกให้กับนักวิเคราะห์คุณภาพน้ำและเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อนำมาทดแทนหรือลดการนำเข้าเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศได้

3) เป็นทางเลือกที่จะช่วยให้เกษตรกร ฟาร์มเอกชน และนักวิชาการ ทำงานได้สะดวกรวดเร็วขึ้น

4) ปัจจุบันยังไม่เคยมีสินค้าประเภทเดียวกันนี้อยู่ในตลาดเลย ซึ่งคาดว่าเมื่อได้เผยแพร่นวัตกรรมชิ้นนี้ออกสู่สังคมแล้ว จะเป็นที่น่าสนใจและเป็นที่ต้องการของผู้ที่อยู่ในวงการทันที

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัล มาประเมินความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในน้ำจืดได้

## สรุป

การประยุกต์ใช้กล้องเว็บแคมและเทคนิคการประมวลผลจากภาพดิจิทัลมาประเมินความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมและไนไตรท์ในน้ำจืดเพื่อทดแทนการใช้เครื่อง spectrophotometer สามารถนำมาใช้งานได้จริง มีความแม่นยำสูง และไม่จำเป็นต้องมีการนำน้ำตัวอย่างมาเจือจางในกรณีที่มีความเข้มข้นสูงๆ และที่สำคัญสามารถเป็นทางเลือกให้กับนักวิเคราะห์คุณภาพน้ำและเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อนำมาทดแทนหรือลดการนำเข้าเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศได้

ระดับของการพัฒนาของนวัตกรรมชิ้นนี้ พบว่า วิธีการที่ประยุกต์ขึ้นมาได้ผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และได้ให้เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการคุณภาพน้ำได้ทดลองใช้และประเมินผลการใช้งานดู พบว่ามีความประทับใจมากและมีความต้องการใช้มาก

## คำขอบคุณ

ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ คุณสุรพล สืบเสาะ เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการคุณภาพน้ำภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำและให้ความสะดวกต่อการทดลองในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อใช้ในการทดลองครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

เฉษฐา อิศหะ. 2546. เอกสารคำสอน การเลี้ยงปลา. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา  
หน้า 398 น.

มันสิน ตันกุลเวศน์ และไพพรรณ พรประภา. 2544. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลา  
และสัตว์น้ำอื่น ๆ (เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ). ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์.  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 319 น.

ยนต์ มุสิก. 2542. คุณภาพน้ำกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ น.5-35. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการพัฒนา  
ศักยภาพของผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.  
กรุงเทพฯ.

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution  
Control Federation (APHA) 1995. Standard Methods for the Examination of Water and  
Wastewater. 20<sup>th</sup> edition United Book Press, Maryland. 1,220 p.

Boyd, C.E. 1995. Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture. Chapman and Hall, New York. 348.

Boyd, C.E., Tucker, C.S., 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture.

Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.