แบบจำลองคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา
Water Quality Model of Physico-chemical and BOD in Songkhla Old-Town Coast

ธิวาริ โอภิธากร[1*], สุทธิสา ยาอีด[2]
Thiwari Ophithakorn[1*], Sutisa Yaeed[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาและเพื่อพัฒนาแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา ขอบเขตพื้นที่วิจัยกำหนดชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาและบริเวณใกล้เคียงในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีกับค่าบีโอดีพิจารณาเป็นช่วงเวลาตามฤดูกาล ได้แก่ (1) ฤดูแล้ง (เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม) (2) ก่อนฤดูฝน (เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม) (3) ก่อนฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม) และ (4) ฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม) ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีกับค่าบีโอดีที่ถูกคัดเลือกวิเคราะห์จากค่าสัมประสิทธิ์สหพหุคูณยกกำลังสอง โดยพิจารณาค่า R^2 มากกว่า 0.5 ที่ปรากฏมากกว่าหนึ่งครั้ง การทวนสอบทำโดยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา โดยการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลในช่วงก่อนฤดูฝนและฤดูฝน พบว่าค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความเค็มและออกซิเจนละลายสามารถใช้ในการประเมินแนวโน้มค่าบีโอดีได้ ซึ่งพารามิเตอร์การตรวจวัดทางกายภาพ-เคมีที่ถูกคัดเลือกเหล่านี้มีความสอดคล้องกับบีโอดีในทางทฤษฎี ตรวจวัดได้ง่าย ไม่มีขั้นตอนซับซ้อน และเวลาที่ใช้ในการประเมินผลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจวัดด้วยบีโอดี

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ, บีโอดี, แบบจำลอง, ชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา, ทะเลสาบสงขลา

Abstract

The main objectives of this research were to study correlation between physico-chemical water quality and BOD in Songkhla old-town coast and to develop the correlation model of the physico-chemical water quality and BOD in Songkhla old-town coast. The scope of this research area defined in the Songkhla old-town coast and nearby Songkhla Lake. Analysis of the relationship between physico-chemical water quality and BOD considered periodic season including (1) dry season (February to March), (2) before rainy season (April to May), (3) before rainy season (July to August) and (4) rainy season (November to December). The correlation between physico-chemical water quality and BOD were selected from values of multiple correlation coefficient square which is considered by $R^2 > 0.5$ that presented more than once. Verification was carried out by analyzing the water quality in the coast of Songkhla old-town coast by sampling sea water in before rainy season and rainy season. The results founded that pH, salinity and DO could be used to assess trends of BOD. The physico-chemical parameters, that were selected, were theoretically associated with BOD, easy to detect, uncomplicated procedure and less evaluation time when compare to the measurement with BOD.

Keyword: Water quality, BOD, Model, Songkhla Old-Town coast, Songkhla lake

[1]วิทยาลัยนวัตกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาวิทยาเขตสตูล มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
[2]คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
[*]**Corresponding author, E-mail:** thiwari.op@skru.ac.th

บทนำ

ทะเลสาบสงขลาเป็นทะเลสาบที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทยมีอาณาเขตติดต่อพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ สงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช เป็นแหล่งนิเวศทางทะเลที่สำคัญ มีการทำประมง การเลี้ยงกุ้ง การทำการเกษตร การเลี้ยงสัตว์เพื่อการค้า โรงงานอุตสาหกรรม แหล่งท่องเที่ยว และที่ตั้งของชุมชนโดยรอบพื้นที่ (Chesoh and Lim, 2008; Riumcharoen et al., 2008) แบ่งเป็นทะเลสาบตอนบน ทะเลสาบตอนกลาง และทะเลสาบตอนล่าง (Chesoh and Lim, 2008) โดยทะเลสาบสงขลาตอนล่างตลอดจนถึงปากทะเลสาบเป็นพื้นที่ที่มีทางออกติดต่อสู่อ่าวไทย (Angsupanich and Rakkheaw, 1997; Chesoh and Lim, 2008; Riumcharoen et al., 2008) และเป็นพื้นที่ของชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ทั้งเป็นแหล่งน้ำด้านการประมง การคมนาคม แหล่งท่องเที่ยว เป็นแหล่งที่ตั้งของชุมชน ท่าเรือขนาดเล็กและท่าเรือน้ำลึกเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ ด้วยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาคือการเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียชุมชนและกิจกรรรมทางน้ำในพื้นที่ ซึ่งล้วนเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนและการสะสมของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำทั้งสิ้น มีรายงานผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลาตอนล่างรวมไปถึงพื้นที่ปากทะเลสาบพบว่ามีปริมาณของสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมลงและทรัพยากรสัตว์น้ำลดลง โดยสาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งมาจากน้ำทิ้งชุมชน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และโรงงานอุตสาหกรรม (Riumcharoen et al., 2008)

สารอินทรีย์เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (AWWARF, 1993) เกิดขึ้นจากกิจกรรมทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ที่เกิดขึ้นภายในและโดยรอบแหล่งน้ำ (Kanokkantapong et al., 2006) โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำมาจากการกระทำของมนุษย์เป็นสำคัญ (Filella, 2009) สารอินทรีย์ก่อให้เกิดปัญหามากมายเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ ก่อให้เกิดการลดการส่องผ่านของแสงสู่ท้องน้ำ เป็นแหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเน่าเสีย เป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของวัชพืชน้ำอย่างรวดเร็ว และลดคุณภาพชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ (Pinney et al., 2000; Bojcevska, and Tonderski, 2007; Li et al., 2008) การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในทะเลสาบสงขลาโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 ได้มีการรายงานด้วยค่าบีโอดีเป็นพื้นฐาน โดยนิยามว่าเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษพืชผักผลไม้ วัชพืช สบู่ สารซักฟอก อุจจาระ ปัสสาวะ ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ บริเวณใดที่มีค่าบีโอดีมาก หมายถึง บริเวณนั้นมีความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ปนเปื้อนสูง (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2552)

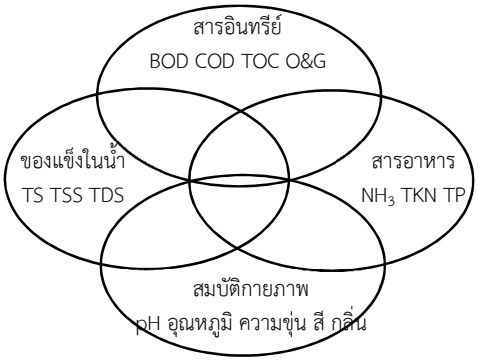
ค่าบีโอดีที่วัดได้เป็นค่าที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ โดยใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 ℃ เป็นการวัดความต้องการออกซิเจนทั้งหมดในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในแหล่งน้ำ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, และ เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 2536) ดังนั้นการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำเพื่อประเมินปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีจึงต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 5 วันในการรายงานผลและมีขั้นตอนในการดำเนินการวิเคราะห์ที่ต้องอาศัยอุปกรณ์และผู้ปฏิบัติงานที่มีความเชี่ยวชาญ ด้วยเหตุนี้เพื่อให้การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำสามารถปฏิบัติได้ง่าย รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถประยุกต์ใช้กับชุมชนเพื่อการมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำโดยประเมินค่าบีโอดีด้วยสมการคณิตศาสตร์อย่างง่ายได้ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีในทะเลสาบสงขลาตอนล่างและชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาอันเป็นพื้นที่รองรับน้ำเสียที่สำคัญ เพื่อใช้เป็นตัวช่วยในการประเมินค่าบีโอดีตามแนวชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาให้เกิดความสะดวกมากขึ้น โดยใช้การคัดเลือกความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีด้วยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหพหุคูณยกกำลังสองซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่แล้วในปัจจุบัน (Gyawali, 2013) แต่เนื่องจากยังไม่เคยมีข้อมูลการสำรวจคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา และยังไม่เคยมีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ในทะเลสาบสงขลาตอนล่างมาก่อน รวมทั้งความสัมพันธ์ในการศึกษาโดยส่วนใหญ่มีความจำเพาะพื้นที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง (Worrall and Burt, 2007) ผลงานวิจัยจึงเป็นประโยชน์ในการเป็นองค์ความรู้ใหม่ในการเริ่มการสำรวจคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาและเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการพัฒนาการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาในอนาคตได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

แบบจำลองเป็นตัวแทนของวัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ หรือระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการคาดการณ์ การอธิบายลักษณะให้สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นหรือเพื่อบ่งบอกสิ่งที่มีผลกระทบต่อระบบหลักในการสร้างแบบจำลองมาจากการสร้างแบบจำลองมโนภาพที่นึกขึ้นในสมองถึงโครงสร้างและพฤติกรรมของระบบออกมาในแบบที่แตกต่างและมีความสับสนอยู่ และเป็นจุดเริ่มต้นนำไปสู่การพัฒนาเป็นแบบจำลองแผนภาพ ซึ่งเป็นภาพวาดแทนความสัมพันธ์ของกระบวนการและระบบต่างๆ ที่มีความเป็นระเบียบแบบแผน มีความชัดเจนและสามารถถ่ายทอดความคิดให้คนอื่นเข้าใจได้มากขึ้น แต่ยังไม่สามารถบอกลักษณะการทำงานของระบบได้โดยต้องอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวเลขซึ่งสามารถแสดงถึงปริมาณที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงได้ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2539) และด้วยปฏิสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่าการตรวจวัดสารอินทรีย์ในน้ำ ของแข็งในน้ำ สมบัติทางกายภาพและสารอาหารในน้ำ มีความเชื่อมโยงกันดังแสดงในภาพ 1 จึงได้มีการศึกษาความสัมพันธ์เพื่อพัฒนาแบบจำลองในการทำนายคุณภาพน้ำไว้เพื่อประโยชน์มากมาย



ภาพ 1 ปฏิสัมพันธ์ของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ
ที่มา: ดัดแปลงจาก The University of Georgia extension (2016)

Fadini et al. (2004) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียพบว่า COD DOC และ BOD ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เช่น BOD = 0.4589COD + 4.6417 COD = 4.1794DOC – 1.8015 และ BOD = 2.0626DOC – 5.7170 ที่ R^2 เท่ากับ 0.96 0.88 และ 0.91 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียเข้าบ่อเติมอากาศ โดยนำมาใช้ประเมินค่าพารามิเตอร์แทนการตรวจวัดได้เป็นทางเลือกในการลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สำหรับพารามิเตอร์ที่ต้องทำการวัดเป็นประจำทุกวันหรือขาดแคลนเครื่องมือ

Worrall and Burt (2007) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของสีในน้ำ (หน่วย Hazen) และ DOC จากแหล่งน้ำ 44 แหล่งในประเทศอังกฤษ พบว่า DOC = $0.379\text{Colour}^{0.83}$ ที่ R^2 เท่ากับ 0.72 (n = 477) โดยความสัมพันธ์ที่ได้มีความจำเพาะต่อแหล่งน้ำและการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล

Ophithakorn et al. (2011) ได้ทำการทำนาย SCOD ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ของเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยการใช้แบบจำลองที่พัฒนาด้วยโปรแกรม STELLA ในการประเมินค่า COD ในน้ำออกจากระบบด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและทำนายค่า SCOD ด้วยสมการเส้นตรง SCOD =

1.7173COD – 114.48 สำหรับบ่อหมักและ SCOD = 0.2047COD + 11.38 สำหรับบ่อบึงประดิษฐ์ที่ R^2 เท่ากับ 0.77 และ 0.75 ตามลำดับ พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้ทำนาย SCOD ในน้ำออกจากระบบบำบัดได้ที่ R^2 เท่ากับ 0.89

Gyawali et al. (2012) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (ULU) และพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในพื้นที่คลองอู่ตะเภาด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่า SS NH_3 และ FCB มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินเขตเมือง ที่ SS = 209.09-0.442ULU NH_3 = 2.03 + 0.006ULU และ FCB = 61648.47 + 299.93 ULU ที่ R^2 เท่ากับ 0.56 0.68 และ 0.72 ตามลำดับ ซึ่งสมการที่ได้สามารถใช้ทำนายคุณภาพน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเมืองได้

Ophithakorn et al. (2013) ได้ทำการทำนาย TTHM ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ของเทศบาลนครหาดใหญ่ด้วยค่า DOC โดยทำนายค่า TTHM ด้วยสมการเส้นตรงที่พัฒนาไว้สำหรับประเมินค่า TTHM จาก DOC ในน้ำทั้งฤดูร้อนและฤดูฝนโดย Inthanuchit (2009) TTHM = 83.397DOC - 13.245 TTHM = 69.686DOC + 1.936 และโดย Srimuang (2010) TTHM = 77.59DOC + 83.854 TTHM = 138.18DOC ที่ R^2 > 0.9 พบว่าแบบจำลองที่ Inthanuchit (2009) และ Srimuang (2010) พัฒนาขึ้นมาสามารถนำมาช่วยทำนาย TTHM ที่อาจเกิดขึ้นในน้ำปล่อยออกจากระบบบำบัดได้ เป็นประโยชน์ในการควบคุมการทำงานและคาดการณ์ปริมาณ DOC ในน้ำที่ปล่อยออกจากระบบบำบัดโดยไม่ต้องทำการตรวจวัด TTHM โดยตรง

วิธีดำเนินการวิจัย

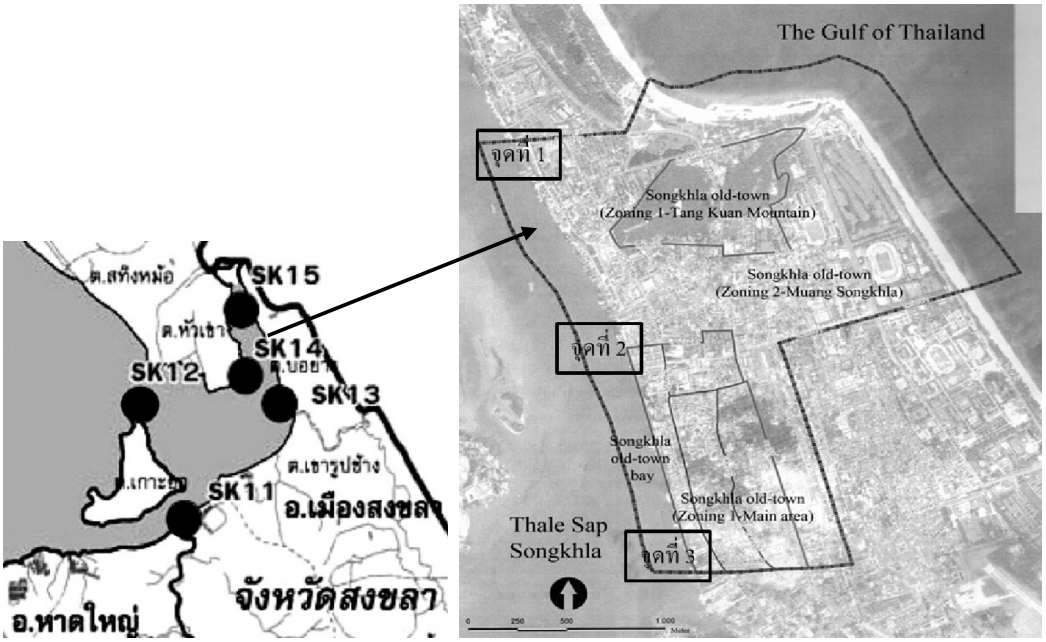
1. การหาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีของทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

หาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีของทะเลสาบสงขลาตอนล่างจากข้อมูลทุติยภูมิจากการสำรวจคุณภาพน้ำของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 ตั้งแต่ปี 2547-2557 ครอบคลุมพื้นที่ตามตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำ SK11 SK12 SK13 SK14 และ SK15 ดังแสดงในภาพ 2 ซึ่งมีตำแหน่งของชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาเป็นบริเวณติดชายฝั่งตำบลบ่อยางตั้งอยู่ระหว่างตำแหน่ง SK13 และ SK15 การหาความสัมพันธ์ทำโดยการสร้างแผนภาพการกระจายเพื่อดูลักษณะการกระจายและแนวโน้มของจุดเทียบกับแนวเส้นตรงและพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหพหุคูณยกกำลังสอง (R^2) เพื่อวิเคราะห์ค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรตามว่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต้นได้ถูกต้องเท่าไร ซึ่งในการศึกษาจะพิจารณาค่า R^2 ที่มากกว่า 0.5 เป็นสำคัญ (AWWARF, 1993) และมีข้อกำหนดพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับการวิจัยนี้ว่าควรมีค่า R^2 ที่มากกว่า 0.5 จำนวน 2 ครั้งขึ้นไป เพื่อหลีกเลี่ยงการเลือกความสัมพันธ์ที่อาจเกิดขึ้นโดยบังเอิญ โดยทำการวิเคราะห์ค่า R^2 ของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและบีโอดี 4 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่ 1 ฤดูแล้ง เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ช่วงที่ 2 ก่อนฤดูฝน เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม ช่วงที่ 3 ก่อนฤดูฝน เดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม และช่วงที่ 4 ฤดูฝน เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม อ้างอิงตามช่วงเวลาการสำรวจคุณภาพน้ำของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16

2. การสำรวจคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาและการหาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีของชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดำเนินการ 4 ครั้ง คือ ในช่วงก่อนฤดูฝน เดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม จำนวน 2 ครั้ง และในช่วงฤดูฝนเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม จำนวน 2 ครั้ง การเก็บตัวอย่างน้ำทะเลชายฝั่งในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคมเพื่อใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำในช่วงก่อนฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงฤดูที่ยาวนานที่สุดในช่วงปี มิถุนายนถึงตุลาคม และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลชายฝั่งในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายนเพื่อใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการแปรปรวนของคุณภาพน้ำมากที่สุด โดยพิจาณาว่าความสัมพันธ์ที่ได้จะแสดงผลของความความสัมพันธ์ที่เกิดในช่วงเวลาส่วนใหญ่ตามการแบ่งฤดูของปี และแสดงผลของความความสัมพันธ์ที่ช่วงเวลาที่มีปัจจัยกระทบต่อความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นมากที่สุดของปี โดยการเก็บในภาชนะพลาสติกชนิด Polyethylene ด้วยวิธีการแบบจ้วง จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมี ได้แก่ Temperature (water; °C) DO (mg/L) pH แล้วเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นที่ 4°C จนกระทั่งนำตัวอย่างมา

วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ-เคมีอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Salinity (ppt) Conductivity (ms/cm) Turbidity (FAU) DO (mg/L) TS (mg/L) SS (mg/L) TDS (mg/L) TP (mg/L) NO_2-N (mg/L) NO_3-N (mg/L) NH_3-N (mg/L) และ BOD (mg/L) วิธีการตาม Standard Methods for the examination of water & wastewater 22st edition (APHA, 2012) โดยแบ่งตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างจากระยะทางจากถนนชลเจริญถึงถนนกำแพงเพชร อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา เป็น 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพ 2 นำผลการวิเคราะห์มาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพ-เคมี เช่น Temperature DO pH TS SS NO_3-N NO_2-N กับสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา โดยใช้การพิจารณาเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ปัจจุบันกับความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจริงของพื้นที่แวดล้อมโดยรอบอ้างอิงตามตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ SK11 SK12 SK13 SK14 และ SK15 ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 จากข้อมูลทุติยภูมิ ย้อนหลังตั้งแต่ปี 2547-2557 ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้



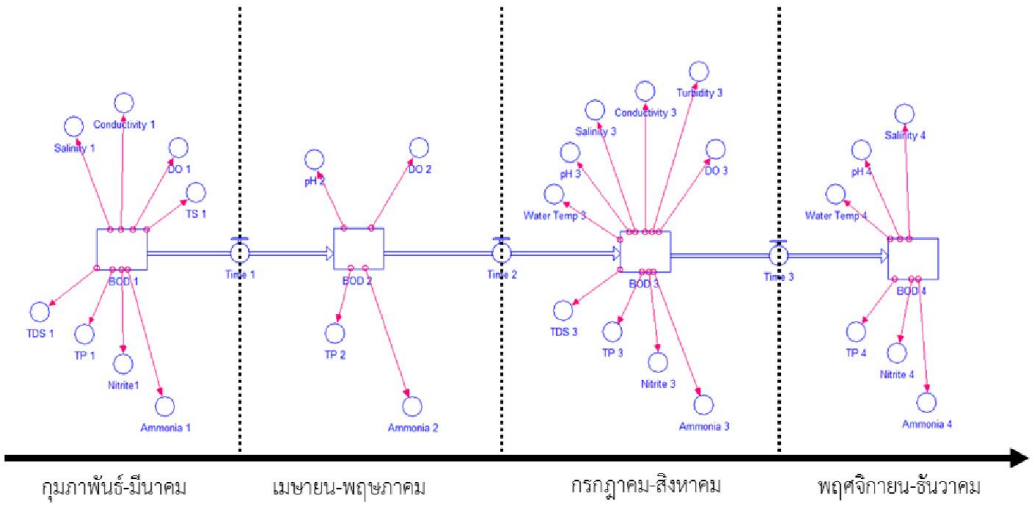
ภาพ 2 ตำแหน่งสำรวจคุณภาพน้ำและจุดเก็บตัวอย่างน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา
ที่มา: ดัดแปลงจาก สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2552); ภาคีคนรักเมืองสงขลาสมาคม (2557)

สรุปผลการวิจัย

1. ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีของทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีจากการสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและพิจารณาคัดกรองความสัมพันธ์ด้วยสัมประสิทธิ์การทำนายค่า R^2 โดยอ้างอิงพารามิเตอร์ ได้แก่ Temperature (water) pH Salinity Conductivity Turbidity DO TS SS TDS TP NO_2-N NO_3-N NH_3-N และ BOD พบว่าช่วงที่ 1 ฤดูแล้ง เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม พารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าของ BOD ได้แก่ BOD-Salinity BOD-Conductivity BOD-DO BOD-TS BOD-TDS BOD-TP BOD-NO_2-N และ BOD-NH_3-N ช่วงที่ 2 ก่อนฤดูฝน เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าของบีโอดี ได้แก่ BOD-pH BOD-DO BOD-TP และBOD-NH_3-N ช่วงที่ 3 ก่อนฤดูฝน เดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม พารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าของบีโอดี ได้แก่ BOD-Temperature BOD-pH BOD-Salinity BOD-Conductivity BOD-Turbidity BOD-DO BOD-TDS

BOD-TP BOD-NO_2-N และBOD-NH_3-N และช่วงที่ 4 ฤดูฝน เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม BOD-Temperature BOD-pH BOD-ความเค็ม BOD-TP BOD-NO_2-N และBOD-NH_3-N โดยสามารถแสดงเป็นแบบจำลองแผนภาพแทนผลลัพธ์จากการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีทั้ง 4 ฤดูได้ดังภาพ 3 โดยพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าบีโอดีของทะเลสาบสงขลาตอนล่างที่มีความซ้ำซ้อนกันตลอดทั้ง 4 ฤดู คือ TP และ NH_3-N รองลงมาเป็นค่า pH Salinity DO และ NO_2-N ซึ่งมีความซ้ำซ้อนกัน 3 ฤดู



ภาพ 3 แบบจำลองแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีตลอดปี

2. คุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาและการหาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีของชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา

ด้วยเหตุผลที่ยังไม่เคยมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาในอดีตที่ผ่านมา ในการศึกษาจึงมีชุดข้อมูลชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาจำนวนน้อยและยังคงเป็นงานวิจัยแรกๆ ที่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา จำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ของทะเลสาบสงขลาตอนล่างที่มีการสำรวจและบันทึกข้อมูลไว้มากกว่า 10 ปี เป็นความสัมพันธ์ฐานที่ใช้ในการอ้างอิงและเปรียบเทียบ โดยพิจารณาว่าชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาเป็นส่วนหนึ่งในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง โดยชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของทะเลสาบสงขลาตอนล่าง โดยผลการเปรียบเทียบด้วยความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในปี 2558 จากการตรวจวิเคราะห์น้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ 3 จุด ได้แก่ ท่าแพขนานยนต์ ท่าเรือแหล่งพระราม และ ท่าเรือข้างโรงแรมเลคอินน์ โดยอ้างอิงพารามิเตอร์ตามรายงานคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลาของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 จำนวน 4 ครั้ง คือ ในช่วงก่อนฤดูฝน เดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม จำนวน 2 ครั้ง และในช่วงฤดูฝนเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม จำนวน 2 ครั้ง และพิจารณาคัดเลือกความสัมพันธ์ที่ซ้ำซ้อนกันในแต่ละช่วงฤดูของทะเลสาบสงขลาและชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา โดยพบความสัมพันธ์ของสภาพทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีในช่วงก่อนฤดูฝน คือ pH Salinity Conductivity Turbidity DO TDS NO_2-N และ NH_3-N และในช่วงฤดูฝน คือ pH Salinity DO และ TP ดังนั้นความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ และสามารถบ่งชี้ความเชื่อมโยงพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด คือ pH Salinity และ DO ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ปรากฏซ้ำซ้อน 3 ฤดูกาลในทะเลสาบสงขลาตอนล่างตลอดเวลา 11 ปี จากข้อมูลทุติยภูมิของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 และยังคงปรากฏในการตรวจคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาทั้ง 2 ฤดู ในปีปัจจุบัน โดยแสดงค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาได้ดังตาราง 1 และสมการความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางกายภาพ-เคมีและค่าบีโอดีชายฝั่งเมืองเก่าสงขลาในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำปี 2558 ดังตาราง 2

ตาราง 1 คุณภาพน้ำชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา

พารามิเตอร์	ฤดู	จุดเก็บตัวอย่าง		
		จุดที่ 1 ท่าแพขนานยนต์สงขลา	จุดที่ 2 ท่าเรือแหล่งพระราม	จุดที่ 3 ท่าเรือข้างโรงแรมเลคอินน์
Temperature (water) (°C)	ก่อนฤดูฝน	30.2±0.1	30.1±0.0	29.6±0.1
	ฤดูฝน	30.3±0.1	31.0±0.1	30.2±0.1
pH	ก่อนฤดูฝน	8.10±0.1	7.40±0.3	8.00±0.0
	ฤดูฝน	7.4±0.1	7.4±0.2	7.2±0.1
Salinity (ppt)	ก่อนฤดูฝน	28.4±1.7	23.6±2.4	27.6±1.6
	ฤดูฝน	3.8±0.1	2.6±0.2	2.3±0.1
Conductivity (ms/cm)	ก่อนฤดูฝน	47.5±0.1	40.3±0.6	46.3±0.4
	ฤดูฝน	7.4±0.3	5.1±0.7	4.6±0.4
Turbidity (FAU)	ก่อนฤดูฝน	16±6	31±2	7±2
	ฤดูฝน	22±3	25±2	26±2
DO (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	7.6±0.0	5.2±0.1	5.9±0.2
	ฤดูฝน	3.2±0.0	3.2±0.4	2.8±0.1
TS (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	29,610±1,878	25,140±2,100	28,520±1,478
	ฤดูฝน	3,729±807	2,579±278	2,320±418
SS (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	11±3	37±1	17±5
	ฤดูฝน	29±8	29±7	30±8
TDS (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	29,600±1,778	25,100±2,121	28,500±1,485
	ฤดูฝน	3,700±884	2,550±201	2,290±544
TP (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	0.11±0.0	0.11±0.4	0.12±0.0
	ฤดูฝน	11±0.1	11±0.7	10±0.0
NO_2-N (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	0.15±0.01	0.16±0.02	0.13±0.01
	ฤดูฝน	0.67±0.04	0.44±0.01	0.63±0.07
NO_3-N (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	2.75±0.6	3.59±0.9	1.86±0.6
	ฤดูฝน	24.36±0.6	4.23±0.6	9.30±0.3
NH_3-N (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	0.4±0.0	5.3±0.2	0.7±0.2
	ฤดูฝน	0.3±0.0	0.1±0.0	0.7±0.1
BOD (mg/L)	ก่อนฤดูฝน	0.8±0.1	4.8±0.2	1.1±0.2
	ฤดูฝน	0.9±0.1	0.7±0.1	0.6±0.2

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ของค่าบีโอดีกับ pH ความเค็ม และ DO

ความสัมพันธ์	ช่วงฤดูกาล	สมการ	ค่าสัมประสิทธิ์สหพหุคูณยกกำลังสอง
BOD - pH	ก่อนฤดูฝน	BOD=-5.8721pH+48.231	0.9958
	ฤดูฝน	BOB=1pH-6.600	0.5714
BOD - Salinity	ก่อนฤดูฝน	BOD=-0.8629Salinity+25.129	0.9921
	ฤดูฝน	BOB=0.1905Salinity+0.181	0.9796
BOD - DO	ก่อนฤดูฝน	BOD=-1.3895DO+10.895	0.5926
	ฤดูฝน	BOD=0.5DO-0.8	0.5714

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าสมการที่ได้ในการวิจัยนี้เป็นกลุ่มสมการกลุ่มหนึ่งที่มีความถี่ของความสัมพันธ์ที่เกิดซ้ำๆ ที่พิสูจน์พบได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์จากการพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและใช้ค่า R^2 มากกว่า 0.5 ในการคัดเลือกความสัมพันธ์สอดคล้องกับวิธีการในงานวิจัยของ Fadini et al. (2004) Ophithakorn et al. (2011) Gyawali et al. (2012) และ Ophithakorn et al. (2013) แต่สมการที่ได้ยังไม่มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้เพื่อการคำนวณค่าบีโอดีได้ตลอดทุกกรณี วิธีการคัดเลือกความสัมพันธ์ด้วยค่า R^2 เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์แบบจำลองแต่ในบางครั้งค่า R^2 อาจมีความเอนเอียงเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ฤดูกาล (Worrall and Burt, 2007; Gyawali, 2013) พื้นที่ และอัตราการไหล (Worrall and Burt, 2007) ซึ่งอาจต้องใช้วิธีการทางสถิติอื่นในการปรับค่าหรือใช้การหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการอื่น เช่น ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในแบบสมการที่มีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัว (Gyawali, 2013)

ข้อเสนอแนะและการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ความสัมพันธ์ที่ปรากฏในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากอดีตถึงปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของบีโอดีกับค่าความเป็นกรดด่าง บีโอดีกับค่าความเค็ม และบีโอดีกับค่าออกซิเจนละลายที่ปรากฏมีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเลือกใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าบีโอดีแทนการวัดค่าบีโอดีโดยตรง โดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.5 ซึ่งอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ การตรวจวัด pH Salinity และ DO เป็นการตรวจวัดทางกายภาพอย่างง่ายที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน ใช้เวลาไม่นานในการวัดและประเมินผล ทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องมือในแบบภาคสนามที่รวดเร็วและให้ผลทันทีได้ ซึ่งหากมีความจำเป็นต้องทำการประเมินคุณภาพน้ำเพื่อการเฝ้าระวังเป็นประจำหรือมีตัวอย่างจำนวนมาก การใช้แบบจำลองที่ได้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการตรวจวัดได้แต่สมการที่ได้ยังมีความจำเพาะเจาะจงต่อพื้นที่และฤดูกาล และพารามิเตอร์แต่ละตัวอาจได้รับอิทธิพลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสภาพแวดล้อมได้ จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการนำไปใช้และรายงานผล ในการศึกษาเพื่อพัฒนาสมการให้มีความซับซ้อนจริงตามธรรมชาติอาจใช้การวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์ในแบบสมการที่มีหลายตัวแปรหรือการใช้สถิติแบบอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “แบบจำลองคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีและบีโอดีในอ่าวเมืองเก่าสงขลา” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปี 2557 ตามสัญญาเลขที่ 66/2557

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และเพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ. (2536). **ปฏิบัติการอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย** (พิมพ์ครั้งที่ 1). สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2539). **Environmental impact assessment modeling**. (เอกสารจัดทำเพื่อประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม ณ ศูนย์วิจัยฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม 11-15 มีนาคม 2539 หน้า 189-232).

ภาคีคนรักเมืองสงขลาสมาคม. (2557). **ความเป็นมาของโครงการพัฒนาเมืองเก่าสงขลา**. สารภาคีคนรักเมืองสงขลาสมาคม, ฉบับที่ 1 (เดือนพฤษภาคม).

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16. (2552). **สถานการณ์คุณภาพแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่จังหวัดสงขลา** (Online). http://reo16.mnre.go.th/reo16/doc_announce /detail/25, 2 ตุลาคม 2558.

American Public Health Association (APHA), (Ed.), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2012). **Standard methods for the examination of water and wastewater** (22nd edition). Washington DC.

Angsupanich, S. and Rakkheaw, S. (1997). Seasonal variation of phytoplankton community in Thale Sap Songkhla, A lagoonal lake in southern Thailand. **Netherlands Journal of Aquatic Ecology**, 30 (4), 297-307.

American Water Works Association Research Foundation (AWWARF). (1993). **Characterization of natural organic matter and its relationship to treatability**. American Water Works Association. U.S.A.

Bojcevska, H. and Tonderski, K. (2007). Impact of loads, season, and plant species on the performance of a tropical constructed wetland polishing effluent from sugar factory stabilization ponds. **Ecological Engineering**, 29, 66-76.

Chesoh, S. and Lim, A. (2008). Forecasting fish catches in the Songkhla Lake basin. **ScienceAsia**, 34, 335-340.

Fadini, P. S., Jardim, W. F. and Guimaraes, J. R. 2004. Evaluation of organic load measurement techniques in a sewage and waste stabilization pond. **Journal of Brazilian Chemical Society**, 15 (1), 131-135.

Filella, M. (2009). Fresh water: which NOM matters? **Environmental Chemistry Letters**, 7, 21-35.

Gyawali, S., Techato, K., Yuangyai, C., and Monprapussorn, S. (2012). "The Influence of urbanization on water quality of U-tapao river, Thailand". In the 3 rd **International Conference on Green and Sustainable Innovation (3rd ICGSI 2012): Life Cycle Thinking towards Green Energy, Ecology and Sufficiency**. May 24-26, 2012, Chiang Mai, Thailand.

Gyawali, S. (2013). **Integrating land use planning and surface water quality for revier basin management: a case study of U-tapao river basin, Thailand**. Doctoral dissertation, Environmental Management, Prince of Songkla University.

Kanokkantapong, V., Marhaba, T. F., Pavasant, P., and Panyapinyophol, B. (2006). Characterization of haloacetic acid precursors in source water. **Journal of Environmental Management**, 80, 214-221.

Li, J., Wen, Y., Zhou, Q., Xingjie, Z., Li, X., Yang, S. and Lin, T. (2008). Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Bioresource Technology**, 99, 4990–4996.

Ophithakorn, T., Suksaroj, T. T. and Suksaroj, C. (2011). “Reduction of organic matter in stabilization and free water surface constructed wetland of Hat Yai city municipality, Thailand”. In **the 4 th Environmetal Technology and Management Conference (4th ETMC 2011): Present and Future Challenges in Environmental Sustainability**. November 3-4, 2011, Bandung, Indonesia, EET10, 1-15.

Ophithakorn, T., Suksaroj, C and Suksaroj, T. (2013). “Organic matter in free water surface constructed wetland of Hat Yai water reclamation plant”. In **ASSURE 2013 International Conference (ASSURE 2013): Towards a sustainable earth system environment in Asis Pacific and beyond**. May 16-18, 2013, Songkhla, Thailand, 17-21.

Pinney, M. L., Westerhoff, P. K. and Baker, L. (2000). Transformations in dissolved organic carbon through constructed wetlands. **Water Research**, 34 (6), 1897-1911.

Riumcharoen, C., Booncrongcheep, J., Chusuwan, W. and Sompongchaiyakul, P. (2008). **Water and Sediment Quality in Pak Panang Bay and Off Songkhla Lake Mouth**. Southern Marine and Coastal Resources Research Center. Technical Paper no. 24/2008.

The University of Georgia extension. (2016). **Understanding laboratory wastewater tests: I. Organics (BOD, COD, TOC, O&G)** (Online). http://extension.uga.edu/publications /files/pdf/C%20992_3.PDF.

Worrall, F. and Burt, T. P. (2007). Trends in DOC concentration in Great Britain. **Journal of Hydrology**, 346, 81-92.