

การวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ โดยการดูดกลืนแสงยูวี

แสวง เกิดประทุม¹ บุญชู สีลาขจรจิต¹ เอกชัย ธรรมสัตย์¹ ทรงเกียรติ รอดแดง¹ สายชล เสถียรดี¹
บุญเดือน มงคลแอลง¹ สุพัฒน์ นวลโกฏ¹ ศรีวิชัย สู้สุข¹ นรา สุระพัฒน์โกคา^{1*}

บทคัดย่อ

สารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสามารถดูดกลืนแสงยูวีซี (UVC) ช่วงความยาวคลื่น 200 – 280 นาโนเมตร งานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ (Total Organic Carbon, TOC) กับปริมาณแสงยูวีที่ถูกดูดกลืน พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงตามสมการ $y = 31.05A + 1.94$ โดยค่า y เป็นปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ (TOC) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ค่า A เป็นค่าการดูดกลืนแสง UV ของสารละลาย (UV - Absorbance) $A = \log I_0/I$ เป็นความเข้มแสงยูวีหลังส่องผ่านน้ำกลั่น (UV - Transmittance of pure water) และ I เป็นความเข้มแสงยูวีหลังส่องผ่านน้ำตัวอย่าง (UV - Transmittance of Sample) ความสัมพันธ์ในรูปแบบของฟังก์ชันดังกล่าวมีค่าความแม่นยำ $R^2 = 0.996$ กับการทดลองที่ใช้สารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐานที่เตรียมจาก Potassium hydrogen phthalate ช่วงความเข้มข้น 0.25 ถึง 48 มิลลิกรัมต่อลิตร และได้ทำการทดลองทวนสอบการวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัด โดยวัดค่า TOC ด้วยยูวีซีเทียบกับการใช้เครื่องวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ยี่ห้อ SHIMASU รุ่น TOC - 4100 พบค่าความสัมพันธ์ของการวัดเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มีค่าความแม่นยำ $R^2 = 0.980$ ซึ่งแสดงว่าวิธีการวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำด้วยวิธีการดูดกลืนแสงยูวีจากการทดลองสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ในน้ำซึ่งจะทำให้ราคาของเครื่องวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำมีราคาถูกกว่าระบบการวัดคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ ด้วยการเผาไหม้แล้ววัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัด NDIR (Non Dispersive Infrared) แล้วคำนวณกลับเป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ (TOC)

คำสำคัญ : ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ

¹ ฝ้ายวิศวกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เลขที่ 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า

อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์: 0-25779000 ต่อ 9252 โทรสาร: 0-25775257

*ผู้รับผิดชอบหลัก e-mail: waterkm@live.com

DETERMINATION OF TOTAL ORGANIC CARBON IN WATER BY UV-LIGHT ABSORPTION TECHNIQUE

Sawaeng Gerdpratoon¹ Boonchu Leelakajohnjit¹ Ekachai Thammasat¹ Songkiat Roddeang¹
Saichon Satiendee¹ Boontheun Mongkolthalaeng¹ Suphat Nongoust¹ Saiwichai Susuk¹
Nara Suprapatpoka^{1*}

Abstact

Organic compound with carbon dissolved can absorb ultraviolet - light wavelength 200-280 nanometers known as UVC. This research studied the relationship between concentration of total organic carbon (TOC) in water and absorption of UV light. The research found that there is a linear relationship as $y = 31.05A + 1.94$ where “y” is concentration of TOC in milligram per liter and “A” is UV absorbance of solution. “A” equals to $\log(I_0/I)$ where I_0 is UV transmittance of distilled water and “I” is UV transmittance of sample. The function has high coefficient of determination, $R^2 = 0.996$. The function was obtained from experiments using standard organic carbon solution made from potassium hydrogen phthalate concentration 0.25 - 48 milligrams per liter. The verification was also made by comparing with TOC measurement of treated waste water using the analyzer (SHIMASU, TOC - 4100). There was the linear relationship, $R^2 = 0.980$. The result show that TOC in water can be measured by UV absorption and can be applied as an economical TOC analyzer in water, which is cheaper than the TOC analyzer using the non dispersive infrared (NDIR) process.

Keywords : Total organic carbon (TOC)

¹ฝ่ายวิศวกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เลขที่ 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์: 0-25779000 ต่อ 9252 โทรสาร: 0-25775257

*ผู้นิพนธ์หลัก e-mail: waterkm@live.com

บทนำ

การวัดคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Total organic Carbon, TOC) โดยปกติ มักใช้วิธีการเผา น้ำตัวอย่างในเตาเผาอุณหภูมิสูง เพื่อให้คาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเกิดสันดาปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แล้ววัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จากการเผาตัวอย่างด้วยระบบการดูดกลืนแสงอินฟราเรด NDIR (Non Dispersive Infrared) ซึ่งกระบวนการวัดด้วยรังสีดังกล่าว มีขั้นตอนมาก และต้องมีการควบคุมยุ่งยาก ทำให้เครื่องวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ (TOC) มีราคาแพง

งานวิจัยนี้จะเป็นการทดลองเพื่อวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ (TOC) โดยวิธีการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต ของสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) กับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เพื่อใช้ในการพัฒนาเป็นเครื่องมือวัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ และน้ำเสียที่มีราคาถูกกว่าต่อไป

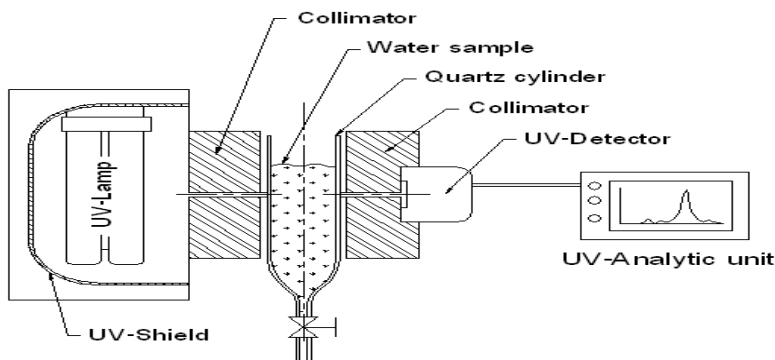
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในน้ำเสียกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดต่างๆ
2. เพื่อศึกษาหาแนวทางการประยุกต์ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการตรวจติดตามค่าปริมาณคาร์บอน

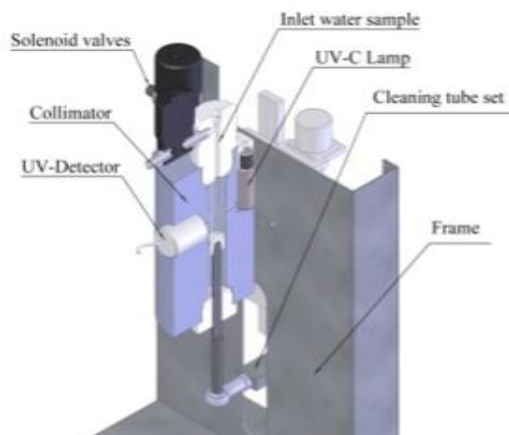
รวมในน้ำ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ใช้หลอดกำเนิดแสงยูวีหือ Philips ขนาด 9 วัตต์ หลอดบรรจุตัวอย่างที่ทำด้วยหลอด Quartz ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 22 มิลลิเมตร ติดตั้งตามรูปที่ 1 เครื่องวัดแสงยูวีและหัววัดแสงยูวีเอ ยูวีบี ยูวีซี อย่างละ 1 ชุด เครื่องวัดแสงยูวีหือ Avantes รุ่น Avaspec – EDU วัดความเข้มแสง ยูวีในหน่วยมิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร โดยทำการวัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านน้ำกลั่นเป็น ความเข้มแสงอ้างอิง I₀ แล้วทำการวัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านน้ำตัวอย่าง I นำค่าที่ได้ทั้งสองไปคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) $\text{Log} = I_0/I$ แล้วนำค่าที่ได้ไปหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ (TOC)



รูปที่ 1 แผนการแสดงการวัดการดูดกลืนแสงยูวี



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) แสดงแบบภาพตัดของชุดวัดแสง (ข) ชุดวัดการดูดกลืนแสงยูวี พร้อมอุปกรณ์ควบคุม

1.1 การศึกษาแสงยูวีที่เหมาะสมที่ถูกดูดกลืนโดยสารละลายคาร์บอน

เนื่องจากแสงยูวีมีความยาวคลื่น 200 – 400 นาโนเมตร จึงทำการศึกษาว่าสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำดูดกลืนแสงยูวี ในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ที่จะนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ ที่มีอำนาจแจกแจงได้ดี โดยใช้แสงยูวีเอ ยูวีบี และยูวีซี ที่มีความยาวคลื่น 315 – 400, 280 – 315 และ 200 – 280 นาโนเมตร [1] ตามลำดับ โดยใช้อุปกรณ์ และรูปแบบการวัด ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ทำการทดลองกับสารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐานที่เตรียมจากโปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate) ค่าวนเป็นความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ 1, 3, 5, 10, 15, 30, 50, 70, 90, และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l as carbon) วัดหาค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV absorbance) $\text{Log } I/I_0$ คือความเข้มแสงยูวีหลังส่องผ่านน้ำกลั่น I คือค่าความเข้มแสงยูวีหลังส่องผ่านสารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐาน โดยใช้หัววัดแสงยูวีเอ ยูวีบี ยูวีซี นำผลที่ได้หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงยูวี (UV – absorbance) กับความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ ในสารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐาน

1.2 การศึกษาความแม่นยำในการวัดคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำด้วยวิธีการดูดกลืนแสงยูวีซี

จากการทดลองที่ 1.1 พบว่าการดูดกลืนแสงยูวีซีของสารละลายคาร์บอนอินทรีย์มีอำนาจแจกแจงดีกว่าการดูดกลืนแสงยูวีเอและยูวีบี จึงทำการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของการดูดกลืนแสงยูวีซีของสารละลายคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์เป็นสมการเชิงเส้นที่จะนำไปใช้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นเพื่อการเปรียบเทียบเส้นเปรียบเทียบกับมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อการวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำตัวอย่าง

การทดลองใช้เครื่องมือและวิธีการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 ตามทฤษฎีที่ 1.1 และ 1.2 โดยใช้สารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐานที่เตรียมจากสารละลายโปแตสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (Potassium hydrogen phthalate) ความเข้มข้นที่คำนวณเป็นความเข้มข้นของคาร์บอน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/l as carbon แต่ละความเข้มข้นทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าเฉลี่ยความสามารถในการดูดกลืนแสงยูวี (UV-absorbance) ของแต่ละความเข้มข้น

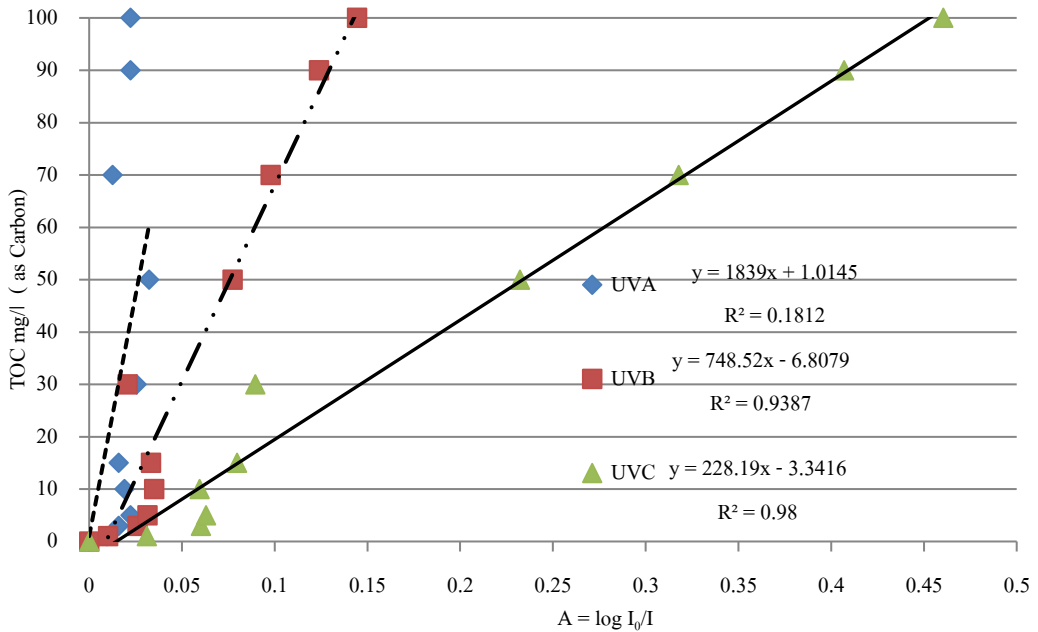
1.3 การทวนสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ

การทวนสอบความแม่นยำในการวัดเปรียบเทียบกับเครื่อง SHIMASU รุ่น TOC-4100 ซึ่งใช้วิธีการวัดโดยการเผาสารตัวอย่างในเตาอุณหภูมิสูงแล้ววัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย NDIR ทำการทดลองเพื่อทวนสอบความแม่นยำโดยใช้สารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐานที่เตรียมจากสารละลายโปแตสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (Potassium hydrogen phthalate) หาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมาตรฐานเพื่อการเปรียบเทียบดังรูปที่ 5 มีความแม่นยำ $R^2 = 99.9\%$ จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำที่เตรียมจากโปแตสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตมาวัดค่าคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำทวนสอบกับเครื่อง SHIMASU รุ่น TOC - 4100

ผลการวิจัย

2.1 การศึกษาแสงยูวีที่เหมาะสมที่ถูกดูดกลืนโดยสารละลายคาร์บอนอินทรีย์

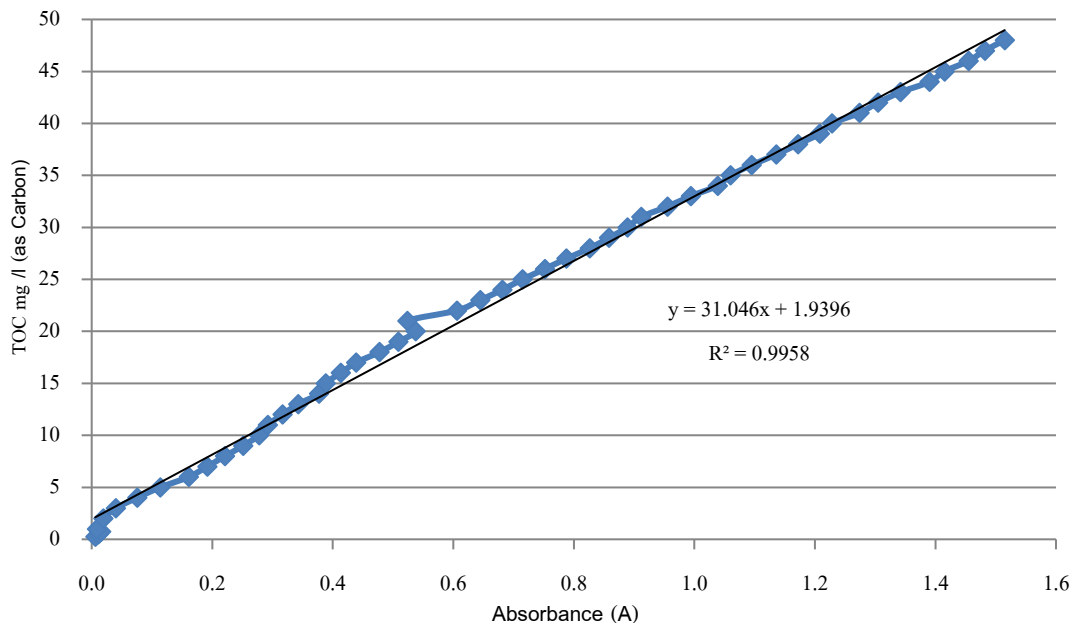
พบว่า การดูดกลืนแสงยูวีของสารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐานแปรผันกับความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในสารละลายมาตรฐานที่มีอำนาจจางเจดิกกว่ายูวีเอ และยูวีบี สามารถนำไปใช้เพื่อการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การดูดกลืนแสงยูวีของสารละลายคาร์บอนอินทรีย์มาตรฐานจำแนกตามแสงยูวีชนิดต่างๆ

2.2 การศึกษาความแม่นยำในการวัดคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำด้วยวิธีการดูดกลืนแสงยูวีซี

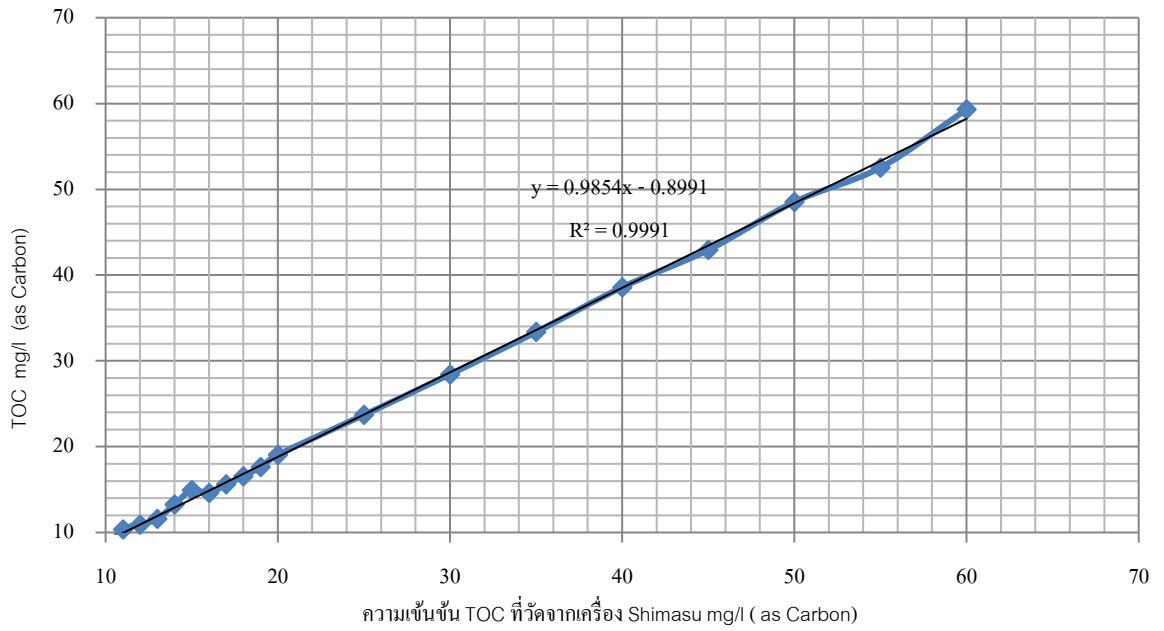
พบว่าความแม่นยำในการวัดคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำด้วยวิธีการดูดกลืนแสงยูวีซีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ดังรูปที่ 4 เพื่อใช้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นเพื่อการเปรียบเทียบมาตรฐานเพื่อการวิเคราะห์ $y = 31.04x + 1.939$ ซึ่งมีค่าความแม่นยำของข้อมูลในรูป $R^2 = 99.5\%$



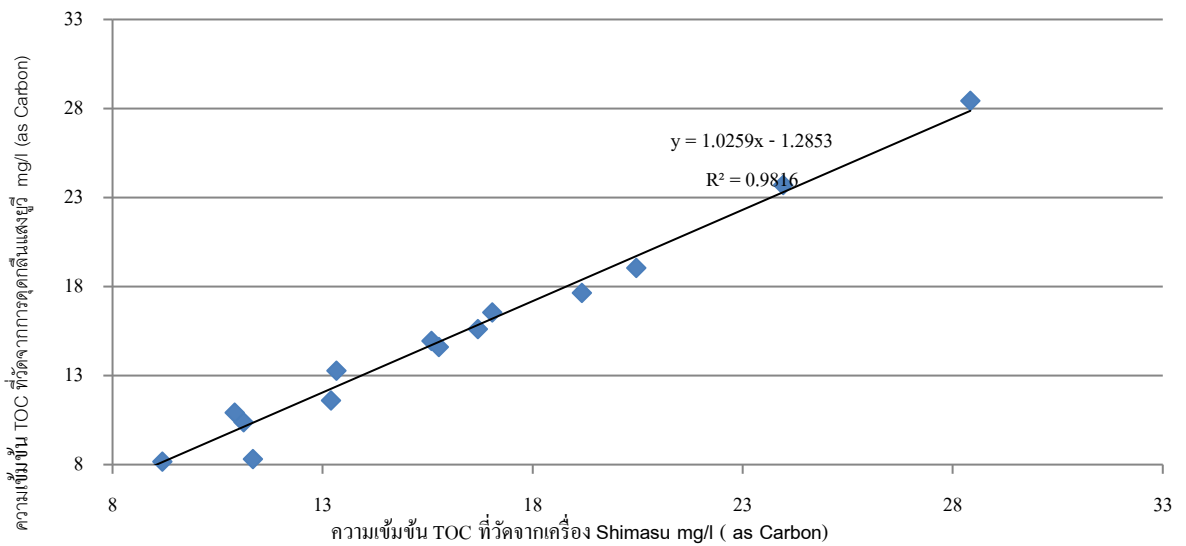
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์เชิงเส้นมาตรฐานเปรียบเทียบ (Calibration curve) ของวิธีการวัดค่า TOC แบบการดูดกลืนแสงยูวีซีทีที่ทำการศึกษา

2.3 การทดสอบความแม่นยำในการวัดค่าความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ

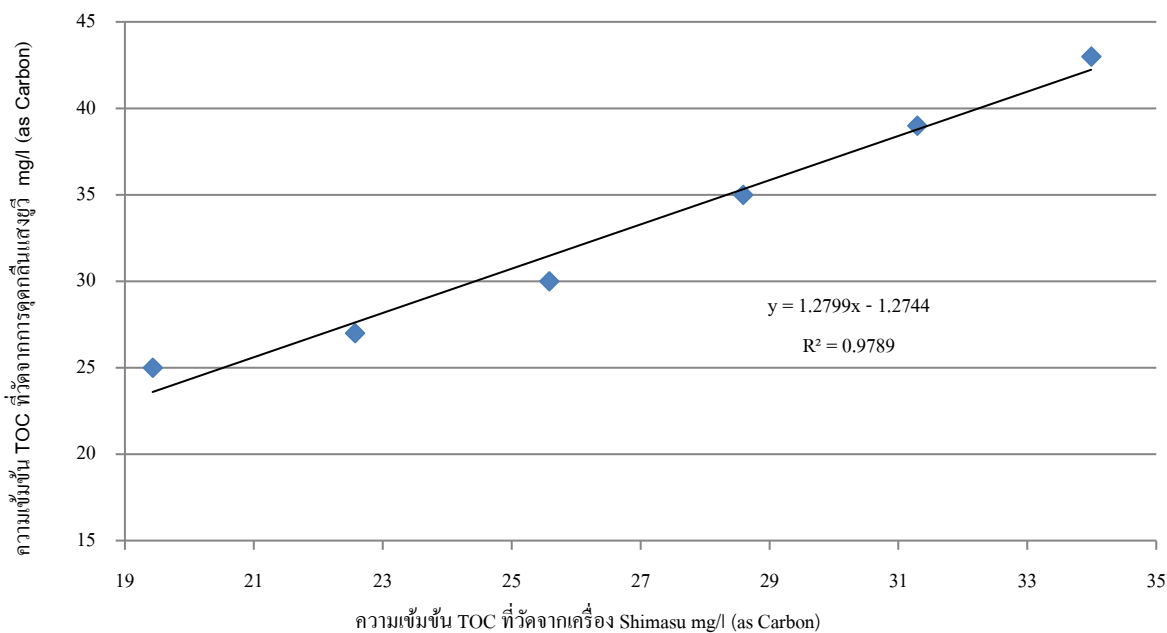
พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมาตรฐานเพื่อการเปรียบเทียบดังรูปที่ 1.5 มีความแม่นยำ $R^2 = 99.9\%$ จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานคาร์บอนในน้ำที่เตรียมจากโปแตสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต มาวัดค่าคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำทดสอบกับเครื่อง SHIMASU รุ่น TOC - 4100 ได้ผลการทดสอบเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นดังรูปที่ 6 ซึ่งมีความแม่นยำจากการทดสอบ $R^2 = 98.1\%$ และทดสอบวัดค่า TOC โดยใช้น้ำเสียพบมีความสัมพันธ์เชิงเส้นในการทดสอบดังรูปที่ 7 ค่าความแม่นยำ $R^2 = 97.8\%$



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นมาตรฐานเปรียบเทียบ(Calibration curve) ของเครื่อง Shimadzu



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการทวนสอบการวัด TOC ด้วยวิธีการดูดกลืนแสงยูวีกับการวัดด้วย เครื่อง Shimadzu โดยใช้สารละลาย TOC มาตรฐาน



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบการวัด TOC ด้วยวิธีการดูดกลืนแสงยูวีกับการวัดด้วยเครื่อง Shimadzu โดยใช้น้ำเสีย

สรุปผลการทดลอง

การวัดความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำ (TOC) โดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี มีค่าความแม่นยำที่สามารถพัฒนาเป็นเครื่องมือวัด TOC ได้ แต่ถ้าเป็นการวัด TOC ในน้ำเสียควรต้องกำจัดความขุ่นโดยการกรองก่อนเพราะความขุ่นอาจปิดบังแสงยูวี ทำให้แสงยูวีลดลง โดยการกระเจิง (Scattering) ของแสงทำให้วัดค่าการดูดกลืนแสงยูวีสูงกว่าความเป็นจริง และที่ความเข้มข้นของ TOC สูงๆ (สูงกว่า 30 มิลลิกรัม) จะมีความขุ่นที่เกิดจาก TOC ที่ทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าความเป็นจริง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาผลกระทบของผลกระทบกับการวัดค่า TOC โดยวิธีนี้ เช่น ความขุ่น, ความกระด้าง, ปริมาณเหล็ก, แมงกานีส, ไนโตรเจน, ออกซิเจนละลาย ว่ามีผลต่อการวัดค่า TOC โดยวิธีนี้มากน้อยเพียงใด (Interfere)

เอกสารอ้างอิง

Willy J. Masschelein “Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation” CRC Press, Washington, D.C.:2002.

Brian A. Schumacher “Methods for Determination of Total Organic Carbon (TOC)” Ecological Risk Assessment Support Center Office of Research and Development US. Environmental Protection Agency: 2002.

Robert J. Huston, R.B. Ralph Marquez, and Kathleen Harthett Waite “Total Organic Carbon (TOC) Guidance Manual” Water Supply Division Texas Commission on Environmental

Quality: 2002