วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 : หน้า 95-104 (2559)
www.eeat.or.th

ผลของกรดเอทิลีนไดเอมินเททระอะซีติกเอซิด (อีดีทีเอ) และกรดไนตริโลไทรอะซีติกเอซิด (เอนทีเอ) ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำด้วยหญ้าเนเปียร์แคระ

Effect of Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) and Nitrilotriacetic Acid (NTA) on Cadmium Removal by Hydroponics with Moff Dwarf Napier Grass (**Pennisetum purpureum** CV. MOTT)

Monthira Sukcharoen* and Pantawat Sampanpanish**[*]
มนทิรา สุขเจริญ* และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช**[*]
*หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
**สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330;
โปรแกรมวิจัยการจัดการสารพิษในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330;
หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมและการทำเหมือง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
[*]E-mail : pantawat.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของกรดเอทิลีนไดเอมินเททระอะซีติกเอซิด (EDTA) และกรดไนตริโลไทรอะซีติกเอซิด (NTA) ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำด้วยหญ้าเนเปียร์แคระ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดการทดลองที่ 1 คือ ชุดควบคุม ไม่มีการเติมสารละลายแคดเมียม และสารคีเลต 2) ชุดการทดลองที่ 2 คือ ชุดควบคุม มีการเติมสารละลายแคดเมียมแต่ไม่มีการเติมสารคีเลต 3) ชุดการทดลองที่ 3 เติมสารละลายแคดเมียมและ EDTA ในอัตราส่วน 1:0.5 และอัตราส่วน 1:1 โมล 4) ชุดการทดลองที่ 4 เติมสารละลายแคดเมียมและ NTA ในอัตราส่วน 1:0.5 และอัตราส่วน 1:1 โมล และ 5) ชุดการทดลองที่ 5 เติมสารละลายแคดเมียมและ EDTA ร่วมกับ NTA ในอัตราส่วน 1:0.5 โมล และอัตราส่วน 1:1 โมล ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 1, 15, 30, 45, 60, 75, 90 และ 105 วัน เพื่อหาปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) และส่วน

เหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) ของหญ้าเนเปียร์แคระ ผลการทดลองในทุกชุดการทดลอง พบว่า หญ้าเนเปียร์แคระมีความสามารถในการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) มากกว่าส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่า สารคีเลตทั้งสองชนิดมีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมไปสะสมไว้ในหญ้าเนเปียร์แคระ โดยในชุดการทดลองที่เติม EDTA และชุดการทดลองที่เติม NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล มีปริมาณการสะสมแคดเมียมได้สูงที่สุดในส่วนใต้น้ำ (ราก) เท่ากับ 889.31 และ 638.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ที่เวลา 30 วัน ตามลำดับ และชุดการทดลองที่เติม EDTA และชุดการทดลองที่เติม NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล มีปริมาณการสะสมแคดเมียมได้สูงที่สุดในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) เท่ากับ 256.97 และ 255.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ที่เวลา 30 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การเติม EDTA มีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมได้ดีกว่า NTA

คำสำคัญ : แคดเมียม; อีดีทีเอ; เอนทีเอ; หญ้าเนเปียร์แคระ; การฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนโดยการใช้พืช

Abstract

The effects of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and nitrilotriacetic acid (NTA) on cadmium removal by hydroponics with Moff dwarf napier grass (**Pennisetum purpureum** CV. MOTT) were studied. The experimental design was separated into 5 groups: 1) uncontaminated water (control). 2) contaminated water without addition of chelating agent (control). 3) contaminated water with EDTA addition in the ratio of 1:0.5 and 1:1 mole. 4) contaminated water with NTA addition in the ratio of 1:0.5 and 1:1 mole. 5) contaminated water with both EDTA and NTA addition in the ratio of 1:0.5 and 1:1 mole. Plants and water samples were collected at 1, 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 105 days, respectively. Cd levels in contaminated water and two parts of the plant: shoot (stem and leaves) and root were analyzed by AAS. Results showed that Cd accumulation in root in all experimental groups was higher than Cd accumulation in shoot. Cd concentration in plants grown in contaminated water with EDTA and NTA addition was higher than that in the control groups. It indicates that EDTA and NTA addition increases cadmium uptake by Moff dwarf napier grass. The highest Cd concentrations of 889.31 and 638.98 mg/kg at 30 days were found in root with EDTA and NTA, respectively. The highest Cd concentrations of 256.97 and 255.25 mg/kg at 30 days were found in shoot with EDTA and NTA, respectively. Therefore, it can be implies that EDTA had greater effect on cadmium uptake than NTA.

Keywords : Cadmium; EDTA; NTA; Moff dwarf napier grass; Phytoremediation

บทนำ

ปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำของประเทศไทยนั้นอยู่ในภาวะวิกฤติหลายพื้นที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกิจกรรมการทำเหมืองที่เกิดจากกระบวนผลิต และการทิ้งของเสียอันตรายที่ไม่ได้รับการจัดการที่ถูกต้อง รวมทั้งกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการเปิดหน้าดินเพื่อการเพาะปลูก ทำให้โลหะหนักมีการแพร่กระจายลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำซึ่งมักมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแหล่งน้ำ ในจำพวกโลหะนั้น แคดเมียมถือได้ว่าเป็นหนึ่งในโลหะหนักที่ร้ายแรงเมื่อมีการปนเปื้อน จากกรณีปัญหาตัวอย่างการปนเปื้อนแคดเมียมในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ได้มีการสำรวจสภาพพื้นที่ และเก็บตัวอย่างคุณภาพสิ่งแวดล้อม และพบการปนเปื้อนแคดเมียมในแหล่งน้ำสูงถึง 0.3-0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร [1] ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่นำน้ำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค รวมทั้งเกษตรกรนำน้ำจากลำห้วยแม่ตาวมาใช้ในการเพาะปลูก จากปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักที่เกิดขึ้นนั้นควรได้รับการแก้ไข ทางเลือกหนึ่ง คือ การใช้พืชในการบำบัดสารมลพิษดังกล่าว ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำเทคโนโลยีการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยพืช (Phytoremediation) และด้วยวิธีการปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) มาใช้ในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้หญ้าเนเปียร์แคระ (**Pennisetum purpureum** cv. Mott) เป็นตัวกลางในการดูดดึงแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งหญ้าเนเปียร์แคระนั้นเป็นพืชชีวมวล (Biomass) ที่กำลังได้รับความสนใจในการผลิตพลังงานทดแทน (Renewable energy) เนื่องจากมีต้นทุนในการปลูกต่ำ ให้ผลผลิตต่อไร่สูง ดูแลรักษาง่าย และเจริญเติบโตเร็ว อีกทั้งงานวิจัยครั้งนี้ จะนำพืชมาช่วยแก้ไขปัญหาโลหะหนักที่ตกค้างหรือปนเปื้อนในน้ำร่วมกับการใช้สารคีเลต (Chelating agent) ซึ่งเป็นการศึกษาความสามารถของสาร EDTA และ NTA เพื่อช่วยดูดดึงแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการศึกษาจึงคาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่จริงที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในน้ำ ดิน และดินตะกอนท้องน้ำได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความสามารถของหญ้าเนเปียร์แคระในการดูดดึงแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบแคดเมียมไนเตรท ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) ละลายอยู่ และมีการใช้สารคีเลตได้แก่ กรดเอทิลีนไดเอมินเททระอะซีติกเอซิด (EDTA) และกรดไนตริโลไทรอะซีติกเอซิด (NTA) ช่วยในการดูดดึงไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การเตรียมพืชทดลอง

พืชที่คัดเลือกใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ หญ้าเนเปียร์แคระ (**Pennisetum purpureum** cv. Mott) ซึ่งได้จากการขยายพันธุ์ด้วยวิธีการปักชำ โดยทำการคัดเลือกกิ่งพันธุ์ที่มีขนาด และความยาวใกล้เคียงกันนำมาปักชำในดิน จากนั้นดูแลรักษาให้น้ำทุกวันประมาณ 4 สัปดาห์ ในโรงเรือนเพาะชำ และทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 3 ต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมสะสม โดยการย่อยด้วยกรดไนตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Acid digestion) ด้วยเครื่องไมโครเวฟ (Microwave) ตามวิธีการของ USEPA method 3052 [2] แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์บชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer; AAS)

การดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสม

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการเตรียมสารละลายจากสารประกอบแคดเมียมไนเตรทเททระไฮเดรต ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ใช้ศึกษาเท่ากับ 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) และใช้ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 1.2 ลิตรต่อหนึ่งภาชนะปลูก โดยมีการสังเกตระดับน้ำในภาชนะทดลอง เมื่อลดลงได้มีการเติมน้ำเพื่อรักษาปริมาตรให้เท่ากับ 1.2 ลิตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง (จำนวน 3 ซ้ำ) ซึ่งใช้เวลาในการศึกษารวม 30 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cadmium; TCd)

2. การศึกษาผลของสาร EDTA และ NTA ต่อการดูดดึงแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการเตรียมสารละลายจากสารประกอบแคดเมียมไนเตรทเททระไฮเดรต ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้น โดยใช้ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์จำนวน 1.2 ลิตร ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง คือ 105 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในวันที่ 1, 15, 30, 45, 60, 75, 90 และ 105 วัน ของการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง (จำนวน 3 ซ้ำ) ดังนี้

2.1 ชุดการทดลองที่ 1 คือ ชุดควบคุม ไม่มีการเติมสารละลายแคดเมียม และสารคีเลต

2.2 ชุดการทดลองที่ 2 คือ ชุดควบคุม มีการเติมสารละลายแคดเมียมแต่ไม่มีการเติมสารคีเลต

2.3 ชุดการทดลองที่ 3 เติม ($Cd(No_3)_2.4H_2O$) และ EDTA ในอัตราส่วน 1:0.5 และอัตราส่วน 1:1 โมล

2.4 ชุดการทดลองที่ 4 เติม ($Cd(No_3)_2.4H_2O$) และ NTA ในอัตราส่วน 1:0.5 และอัตราส่วน 1:1 โมล

2.5 ชุดการทดลองที่ 5 เติม ($Cd(No_3)_2.4H_2O$) และ EDTA ร่วมกับ NTA ในอัตราส่วน 1:0.5 โมล และอัตราส่วน 1:1 โมล

การเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์

1. การเก็บตัวอย่างพืช โดยเก็บตัวอย่างหญ้าเนเปียร์แคระทุกๆ 15 วัน จนถึง 105 วัน นำมาล้างน้ำให้สะอาด 3-4 ครั้ง ล้างน้ำกลั่น 1 ครั้ง จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 ชั่วโมง และนำมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนใต้น้ำ (ราก) และส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) ชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้ง ทำการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างพืชที่ผ่านการบดละเอียดแล้ว ชั่งน้ำหนัก 0.5 กรัม ย่อยด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ร้อยละ 65 จำนวน 8 มิลลิลิตร กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ร้อยละ 30 จำนวน 2 มิลลิลิตร การวิเคราะห์ใช้วิธีการของ USEPA method 3052 [2] ด้วยเครื่องไมโครเวฟ และทำการตรวจวัดหาปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total cadmium)

2. การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายแคดเมียมไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชด้วยแสงซินโครตรอน (Synchrotron) ซึ่งเป็นการศึกษาการกระจายตัว การส่งผ่าน และการสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของพืชโดยใช้ระบบลำเลียงแสงที่ 6 (BL6b) สถาบันแสงวิจัยซินโครตรอน (2555) [3] ด้วยเทคนิค micro-XRF/XRD โดยใช้แสงซินโครตรอนในย่านรังสีเอกซ์ครอบคลุมตั้งแต่พลังงาน 2–10 keV จากแม่เหล็กสองขั้วของวงกักเก็บอิเล็กตรอนขนาด 1.2 GeV ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและตรวจวัดการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระ ด้วยโครงสร้างการเรืองแสงของรังสีเอกซ์จากแสงซินโครตรอน (Synchrotron) ส่วนการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ด้วยแสงซินโครตรอน (Synchrotron) ได้ทำการเก็บตัวอย่างหญ้าเนเปียร์แคระที่เวลา 30 และ 105 วัน (ช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง) นำมาล้างน้ำให้

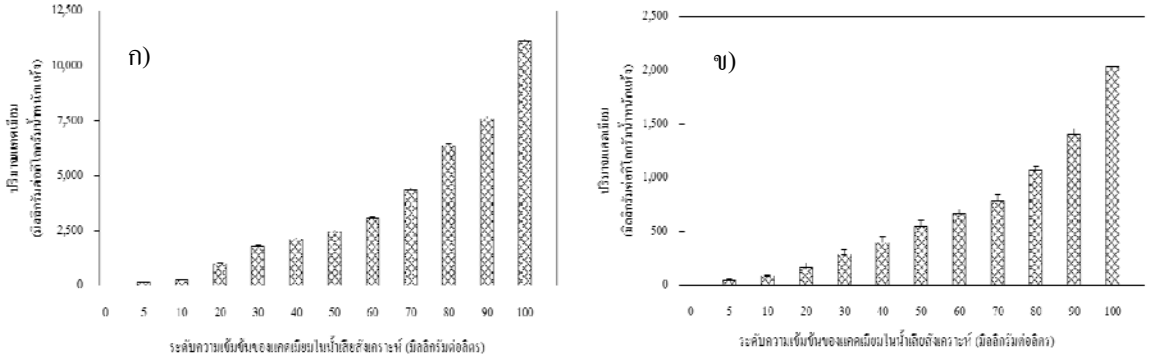
สะอาด 3-4 ครั้ง ล้างน้ำกลั่น 1 ครั้ง นำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บและรักษาตัวอย่างพรรณไม้ (Herbarium) โดยใช้กระดาษพับครึ่งสำหรับวางตัวอย่างหญ้าเนเปียร์แคระที่จะอัดบนแผงอัดพรรณไม้ (Plant press) ขนาด 30 x 50 เซนติเมตร นำไปตากแดดโดยการตั้งแผงอัดพรรณไม้ขึ้นเป็นเวลา 3-5 วัน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยแสงซินโครตรอน (Synchrotron)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) ของหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า หญ้าเนเปียร์แคระมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) เท่ากับ 148.33, 264.67, 994.67, 1,776.93, 2,127.20, 2,444.83, 3,065.50, 4,353.73, 6,357.00, 7,607.47 และ 11,137.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ดังรูปที่ 1 ก) สำหรับปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) เท่ากับ 43.87, 83.97, 163.67, 286.30, 398.67, 546.83, 663.07, 787.30, 1,069.00, 1,401.34 และ 2,030.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ดังรูปที่ 1 ข)

ทั้งนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการสะสมแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระระหว่างส่วนใต้น้ำ (ราก) และส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) พบว่า ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำมีค่ามากกว่าส่วนเหนือน้ำอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับการศึกษาของ Wojcik et al. (2005) [4] ที่ทำการศึกษาปริมาณการสะสมของแคดเมียมด้วยต้น **Thlaspi caerulescens** ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระดับความเข้มข้นแคดเมียมเท่ากับ 500 ไมโครโมลาร์ ที่ระยะเวลา 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า ต้น **Thlaspi caerulescens** มีการสะสมแคดเมียมในส่วนที่เป็นรากมากกว่าส่วนของลำต้น นอกจากนี้จากการศึกษาในครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าการสะสมของแคดเมียมทั้งหมดในหญ้าเนเปียร์แคระที่ปลูกในน้ำเสียสังเคราะห์ ยังพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการสะสมแคดเมียมมากที่สุด แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น ปริมาณการสะสมแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกัลปพฤกษ์ คงเมือง (2553) [5] ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัด



รูปที่ 1 ก) ปริมาณแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) ของหญ้าเนเปียร์แคระ และ
ข) ปริมาณแคดเมียมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) ของหญ้าเนเปียร์แคระ

แคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น ปริมาณการสะสมแคดเมียมในผักตบชวาจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และระดับความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ 40-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) มีความเป็นพิษต่อพืชทดลองจนแสดงอาการผิดปรกติจากความเป็นพิษของแคดเมียม เช่น มีการเปลี่ยนสีของใบตั้งแต่ สีเหลือง น้ำตาล หรือแห้งทั้งใบ พืชเกิดอาการแคระแกนและตาย ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เมื่อพิจารณาถึงความสามารถของหญ้าเนเปียร์แคระที่สามารถอยู่รอดได้ตลอดการทดลองที่ต้องมีการเติมสารคีเลตในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งสารคีเลตอาจจะช่วยดูดดึงแคดเมียมได้มากขึ้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ส่งผลต่อการเติบโตของหญ้าเนเปียร์แคระหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และมีอาการแสดงความเป็นพิษน้อยที่สุด ดังนั้นระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

ผลของ EDTA และ NTA ต่อการดูดดึงแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระ

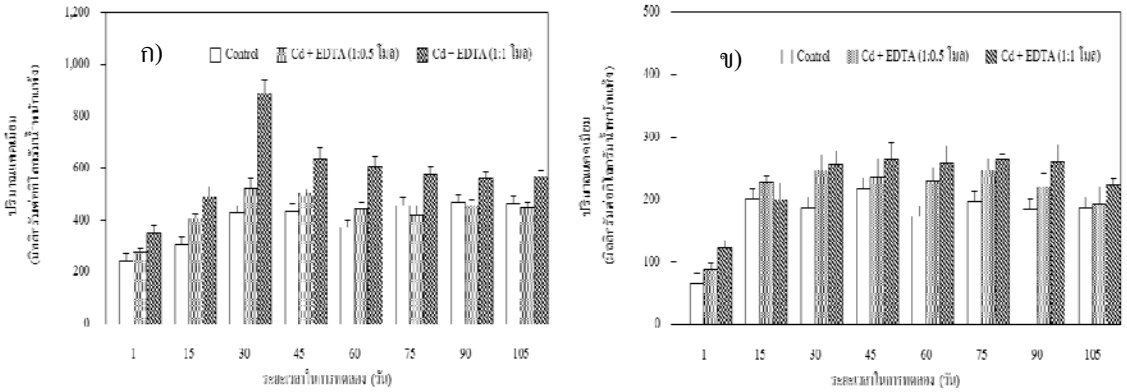
ผลของ EDTA และ NTA ต่อการดูดดึงแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระ ศึกษาได้จากการตรวจวิเคราะห์ค่าปริมาณการสะสมแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระ โดยทำการศึกษาปริมาณการสะสมแคดเมียมของหญ้าเนเปียร์แคระ 2 ส่วน คือ ส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) และส่วนใต้น้ำ (ราก) ในทุกช่วงระยะเวลาการทดลอง คือ 1, 15, 30, 45, 60, 75, 90 และ 105 วัน ซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมของหญ้าเนเปียร์แคระเมื่อเติม EDTA

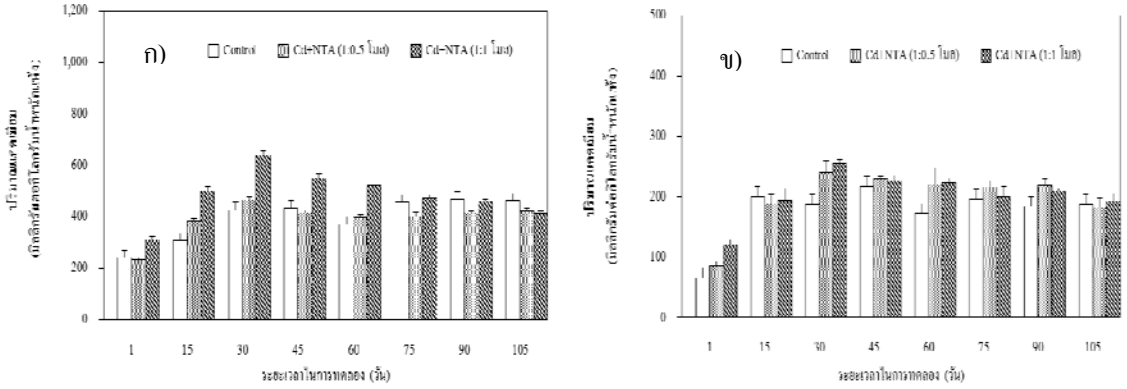
จากผลการศึกษา พบว่า ชุดการทดลองที่เติม EDTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล มีผลต่อการดูดดึงแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มากที่สุดในทุกระยะเวลาของการทดลอง โดยมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) เท่ากับ 349.10, 489.23, 889.31, 632.84, 607.73, 575.07, 559.05 และ 567.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับของระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 2 ก) สำหรับปริมาณการสะสมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) เท่ากับ 122.79, 199.80, 256.97, 264.50, 259.05, 263.88, 260.45 และ 222.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับของระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 2 ข) โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมสาร EDTA มีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมไปไว้ในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระเพิ่มมากขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai and Chen (2004) [6] ซึ่งได้ทำการศึกษาการใช้สาร EDTA ในการช่วยเพิ่มการดูดดึงแคดเมียม สังกะสี และตะกั่ว ด้วยการปลูกพืชทดลอง ได้แก่ ต้น **Dianthus chinensis** และต้น **Vetiver zizanioides** ผลการศึกษาพบว่าสาร EDTA ช่วยในการดูดดึงโลหะหนักได้ดีขึ้น โดยมีการสะสมโลหะหนักมากในรากมากกว่าลำต้นและใบ

2. ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมของหญ้าเนเปียร์แคระเมื่อเติม NTA

ผลการศึกษา พบว่า ชุดการทดลองที่เติม NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล มีผลต่อการดูดดึงแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มากที่สุดในทุกระยะเวลาการทดลอง เช่นเดียวกับการเติมสาร EDTA หากแต่มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) เท่ากับ 311.11, 500.86, 638.98, 549.97, 521.72, 472.39, 458.53 และ 411.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับของระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 3 ก) สำหรับปริมาณการสะสมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) เท่ากับ 120.73, 194.83, 255.25, 226.87, 223.04, 200.99, 209.13 และ 193.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับของระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 3 ข) แสดงให้เห็นได้ว่า การเติมสาร NTA มีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมไปไว้ในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hseu et al. (2013) [7] ที่ได้



รูปที่ 2 ก) ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) (ชุดการทดลองที่เติม EDTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล) และ ข) ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) ของหญ้าเนเปียร์แคระ (ชุดการทดลองที่เติม EDTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล)



รูปที่ 3 ก) ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) (ชุดการทดลองที่เติม NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล) และ ข) ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) ของหญ้าเนเปียร์แคระ (ชุดการทดลองที่เติม NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล)

ศึกษาการใช้สารคีเลต 2 ชนิด คือ EDDS และ NTA ในการสะสมโลหะหนักแคดเมียม โดยใช้พืช **Ipomoea aquatic** Forsk. พบว่า การเติมสารคีเลต EDDS และ NTA ช่วยเพิ่มการสะสมแคดเมียมได้ดีขึ้น

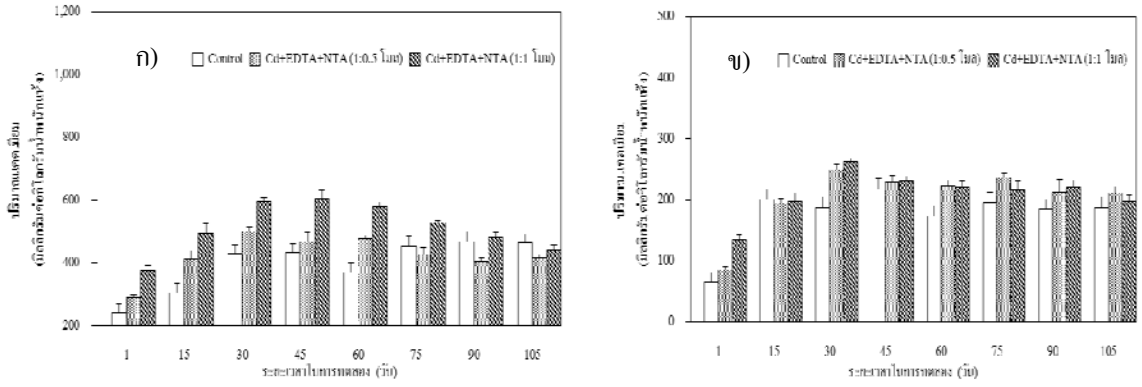
3. ปริมาณการดูดดึงแคดเมียมของหญ้าเนเปียร์แคระเมื่อเติม EDTA ร่วมกับ NTA

จากผลการศึกษา พบว่า ชุดการทดลองที่เติม EDTA ร่วมกับ NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล มีผลต่อการดูดดึงแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มากที่สุดในทุกระยะเวลาการทดลอง โดยมีปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) เท่ากับ 377.13, 493.97, 596.59, 606.25, 580.44, 528.57, 483.05 และ 442.04 มิลลิกรัมต่อ

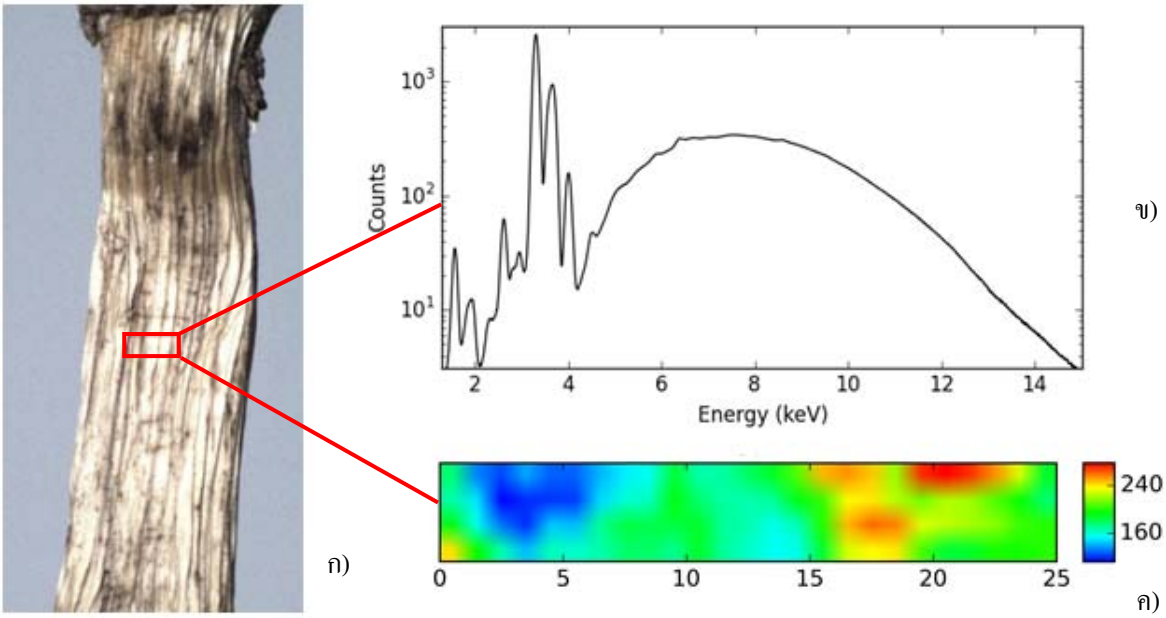
กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับของระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 4 ก) สำหรับปริมาณการสะสมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) เท่ากับ 135.53, 197.88, 263.25, 231.05, 220.50, 217.02, 219.68 และ 198.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับของระยะเวลาเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 4 ข) โดยทุกระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มของการสะสมแคดเมียมลดลงเมื่อระยะเวลาของการทดลองเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเติมสาร EDTA ร่วมกับ CA มีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมไปไว้ในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lombi et al. (2001) [8] ที่ได้ศึกษาการใช้สาร EDTA เพื่อเพิ่มความสามารถในการสะสมของพืช 2 ชนิด คือ ต้น **Thaaspi caeruscens** และต้น **Zea mays** L. ผลการศึกษาพบว่า สาร EDTA ช่วยเพิ่มความสามารถในการสะสมแคดเมียมในพืชทั้งสองชนิดได้

การเคลื่อนที่ของแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระด้วยแสงซินโครตรอน

ผลจากชุดการทดลองที่มีการเติมสาร EDTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล มีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งผลดังกล่าวได้นำมาศึกษาการสะสมแคดเมียม โดยการวิเคราะห์ใช้ระบบลำเลียงแสงที่ 6 (BL6b) ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (micro-XRF/XRD) ซึ่งเป็นการตรวจวัดดูการสะสม และการกระจายตัวของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งนี้การสะสมแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระ ทั้งในส่วนใต้น้ำ (ราก) และส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) จากผลการวิเคราะห์ไม่สามารถวัดการสะสมของแคดเมียมได้ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระมีปริมาณความเข้มข้นต่ำ หากแต่สามารถตรวจพบการเคลื่อนที่ และสะสมของธาตุอื่นๆ ในส่วนต่างๆ ของหญ้าเนเปียร์แคระ ได้แก่ อาร์กอน (Ar) แคลเซียม (Ca) คลอรีน (Cl) และโพแทสเซียม (K) (ดังรูปที่ 5 ก-ค) ซึ่งธาตุที่พบมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงกว่าแคดเมียม นอกจากนี้ยังพบว่า แคลเซียมมีการสะสมมากที่สุดในส่วนของลำต้น รองลงมาคือ ส่วนใบ และส่วนราก ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณการสะสมแคลเซียมที่ต่ำแสดงด้วยสีน้ำเงิน และปริมาณการสะสมแคลเซียมที่สูงแสดงด้วยสีแดง (Limit of detection = 150-200 ppm)



รูปที่ 4 ก) ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนใต้น้ำ (ราก) (ชุดการทดลองที่เติม EDTA ร่วมกับ NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล) และ ข) ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้น และใบ) ของหญ้าเนเปียร์แคระ (ชุดการทดลองที่เติม EDTA ร่วมกับ NTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล)



รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ของแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระด้วยแสงซินโครตรอน
ก) ส่วนลำต้นของหญ้าเนเปียร์แคระ
ข) การสะสมของธาตุ อาร์กอน (Ar) แคลเซียม (Ca) คลอรีน (Cl) และโพแทสเซียม
ค) การกระจายตัวของแคลเซียมในส่วนของลำต้นของหญ้าเนเปียร์แคระ

สรุป

จากผลการทดลองในทุกชุดการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในทุกชุดการทดลองที่เติมสารคีเลต พบว่าการเติมสารคีเลตมีส่วนช่วยให้หญ้าเนเปียร์แคระมีความสามารถในการดูดดึงแคดเมียมเพิ่มขึ้น จากการพิจารณาปริมาณสะสมแคดเมียมในหญ้า เนเปียร์แคระโดยมีปริมาณการสะสมแคดเมียมไว้ในส่วนใต้น้ำ (ราก) ได้มากกว่าในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) ซึ่งชุดการทดลองที่เติมสารละลายแคดเมียมและ EDTA ในอัตราส่วน 1:1 โมล สามารถดูดดึงแคดเมียมได้มากที่สุดตลอดระยะเวลา 105 วัน ในส่วนของชุดการทดลองที่เติมสารละลายแคดเมียมและ NTA และชุดการทดลองที่เติมสารละลายแคดเมียมและ EDTA ร่วมกับ NTA นั้นสามารถดูดดึงแคดเมียมได้น้อยลงมาตามลำดับ และมีปริมาณการสะสมแคดเมียมมากสุดที่ 30 วัน ทั้งในส่วนใต้น้ำ (ราก) และในส่วนเหนือน้ำ (ลำต้นและใบ) อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการเติมสาร EDTA มีส่วนช่วยในการดูดดึงแคดเมียมในหญ้าเนเปียร์แคระได้มากที่สุด ในอัตราส่วนการเติมสาร 1:1 ผลจากการศึกษาพบว่า พืชมีการดูดดึงแคดเมียม (Uptake) โดยรากพืช และการเคลื่อนย้ายสู่ส่วนต่างๆ ของพืช (Translocation) ซึ่งเป็นกลไกการบำบัดโลหะหนักด้วยพืช เรียกว่า “Phytoextraction” หรือ “Phytoaccumulation” [9] จึงสามารถนำผลการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ ดิน และดินตะกอนท้องน้ำบริเวณพื้นที่การทำเหมืองแร่ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนโปรแกรมวิจัย ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการวิจัยฯ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยแสงซิน โครตรอนที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Primary Industries and Mines. Cadmium Contamination in Environment, Mae Sot district, Tak province [Online]. 2006. http://www.dpim.go.th/laws/article?catid=122&articleid=309 [2016, January 25] (in Thai)

[2] USEPA. 1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Method. 3052, Washington D.C., USA.

[3] Synchrotron Light Research Institute. Beamline BL6b Micro X-ray Fluorescence. [Online]. 2012. Available from: http://www.slri.or.th [2016, March 20] (in Thai)

[4] Wójcik, M., Vangronsveld, J. and Tukiendorf, A. 2005. Cadmium tolerance in Thlaspi caerulescens: I. Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium. Environ. Exp. Bot. 53(2): 151-161.

[5] Kongmuang, K. and Sampanpanish, P. 2010. Effect of EDTA and Citric acid on cadmium uptake by water Hyacinth. Mae Fah Luang symposium on the occasion of the 12th anniversary Mae Fah Luang university following the legacy of H.R.H. the Princess Mother. Chiang Rai, Thailand. (in Thai)

[6] Lai, H. Y. and Chen, Z. S. 2004. Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. Chemosphere. 55(3): 421-430.

[7] Hseu, Z. Y., Jien, S. H., Wang, S. H. and Deng, H. W. 2013. Using EDDS and NTA for enhanced phytoextraction of Cd by water spinach. J. Environ. Manage. 117: 58-64.

[8] Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J. and McGrath, S. P. 2001. Phytoremediation of heavy metal–contaminated soils. J. Environ. Qual. 30(6): 1919-1926.

[9] Sampanpanish, P. 2015. Phytoremediation. Chulalongkorn University Printing House, Chulalongkorn University. (in Thai)