

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การทดลองขั้นเตรียมการ

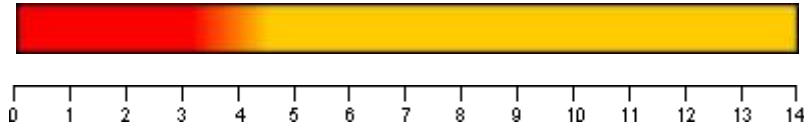
ในขั้นตอนการเตรียมการของโครงการประกอบไปด้วยส่วนย่อยสองส่วนคือ

1.1 การศึกษาหาสารอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นสารต้นแบบ

สำหรับโครงการนี้สารเคมีที่นำมาใช้เป็นอินดิเคเตอร์หรือสารทดสอบนั้น เป็นสารที่เป็นตัวแทนของสารเคมีอินทรีย์ และถือว่าเป็นสารต้นแบบแทนยาปราบศัตรูพืชที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้ อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ สามารถแบ่งออกกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่มคือ อินดิเคเตอร์ที่เป็นกลาง (neutral indicators) ซึ่งจะมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH กลาง ๆ คือ pH ประมาณ 7 อินดิเคเตอร์ที่ไวต่อความเป็นกรด (indicators sensitive to acids) ซึ่งจะมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH เป็นค่าต่ำ หรือเปลี่ยนสีที่ pH สูงกว่า 7 และ อินดิเคเตอร์ที่ไวต่อความเป็นด่าง (indicators sensitive to bases) ซึ่งจะมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH เป็นกรดคือ pH ต่ำกว่า 7

ทั้งนี้สำหรับโครงการฯ ได้พิจารณาเลือกใช้ สารที่นำมาเป็นอินดิเคเตอร์สองชนิดคือ

1. Methylene blue - เป็นสารที่มีสีน้ำเงินเมื่อละลายน้ำ ถึงแม้ว่าสารชนิดนี้สามารถมาเป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้เป็นอย่างดี สารชนิดนี้มีประจุกลางที่เป็นบวก ทำให้ถูกดูดซับด้วย Subsurface ได้โดยง่าย ทำให้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ในการใช้ 2D-tank เพื่อดูการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อน จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนชนิดของสาร แต่ยังตอบโจทย์วัตถุประสงค์ของโครงการเดิม
2. Methyl orange - เป็นสารอินทรีย์ มีสีแดงสดเมื่อละลายน้ำแต่สีจะเปลี่ยนไปตามค่า pH ดังแสดงในรูปที่ 3 มีลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติด้านเคมี-กายภาพเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะถือเป็นตัวแทนของสารเคมีอินทรีย์ที่ตกค้างในลักษณะชั้นดินแบบอิ่มตัวด้วยน้ำ



รูปที่ 3 สีของ Methyl Orange เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง pH

(ที่มา: http://www.scitech.net.au/moodle/file.php/1/Yenka_Workshop/Year_9/yenka/ph_testing/yenka_sims_ph_testing.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2557)

ตารางที่ 1 โครงสร้างและคุณสมบัติด้านเคมี-กายภาพเบื้องต้น

Dye	Chemical structure	Molecular formula	MW (g/mol)
Methyl orange		$(\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}=\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$	327.33

สาเหตุที่เลือกใช้ Methyl orange กับการศึกษาการเคลื่อนตัวของสารเปอร์ซัลเฟต และศึกษาอัตราการลดลงของสารเคมีอินทรีย์ต้นแบบนั้นมียู่ 4 สาเหตุ ดังนี้

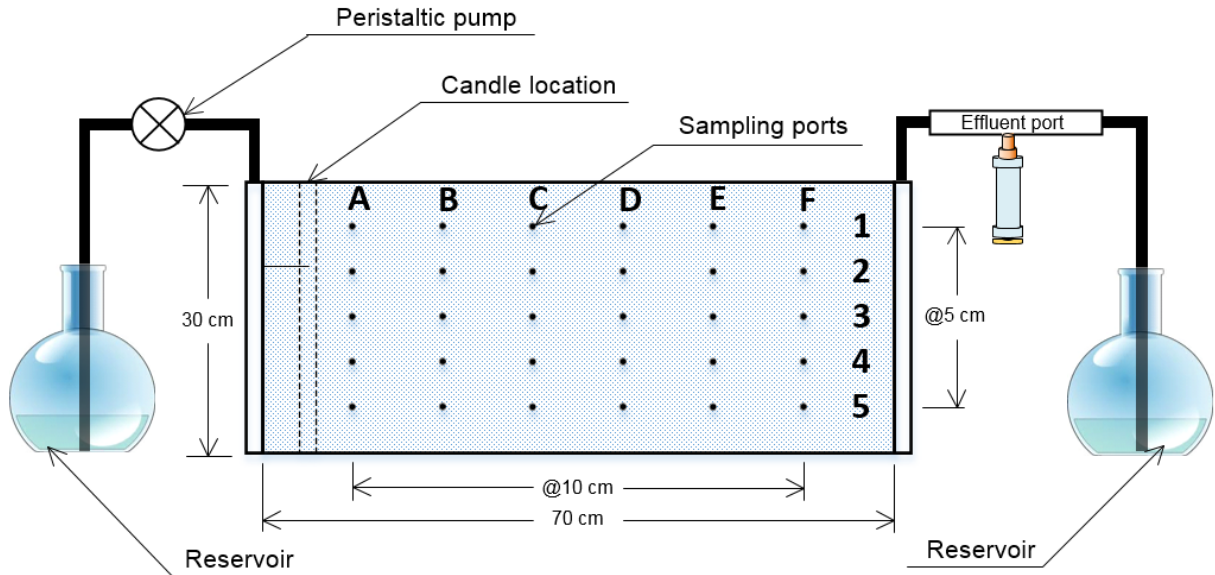
1. Methyl orange เป็นหนึ่งในสารจำพวก Azo dye หรือสารที่มีพันธะ $-\text{N}=\text{N}-$ และจากการศึกษาพบว่าประมาณ 15% ของสารเหล่านี้ที่ถูกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย และจะสูญหายไปจากกระบวนการบำบัด (Daneshvar et al., 2006; Inoue et al., 2006; Gomare et al., 2008) ซึ่งสารสีย้อมเหล่านี้โดยส่วนใหญ่ถูกหมักหมมในหลุมฝังกลบและอาจเป็นสาเหตุในการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่นแหล่งน้ำใต้ดินอันเป็นแหล่งผลิตน้ำดิบให้กับมนุษย์ต่อไปได้ (Riu et al., 1998; Sureshvar et al., 2010)
2. การกำจัดสารจำพวก Methyl orange ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางเพราะสารเหล่านี้ถือเป็นสารที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง อีกทั้งสารเหล่านี้ยังมีพิษโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ โดยที่สารเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยลงสู่ธรรมชาตินั้น ยากต่อการถูกทำลายโดยวิธีทางธรรมชาติหรือวิธีทางชีวภาพ (Coughlin et al., 1999; Guettai and Ait Amar, 2005; Puvaneswari et al., 2006; Peng et al., 2008) ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำลายสารเหล่านี้ให้อยู่ในรูป

ของโมเลกุลที่เล็กลงก่อน แล้วจึงใช้วิธีทางชีวภาพเพื่อให้การย่อยสลายสมบูรณ์แบบได้ผลผลิตเป็น CO_2 และ น้ำ (Gayathri et al., 2010; Pi et al., 2014)

3. สาร Methyl orange นั้นมีความเหมาะสมมากในการนำมาใช้ศึกษาการจำลองการเคลื่อนตัวเนื่องจากสารเหล่านี้มีสีที่ชัดเจน ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนสีเมื่อเจอค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เปลี่ยนไป แต่สารนี้ยังเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการดู ระยะและรัศมีการกระจายตัวภายหลังการบำบัดด้วยสารออกซิแดนท์
4. จากการทบทวนวรรณกรรมผู้วิจัยไม่พบบทความหรือรายงานการวิจัยใดๆ ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของ Methyl orange ด้วยวิธีการควบคุมการปล่อยของเปอร์ซัลเฟตที่ถูกกระตุ้นด้วยเหล็กศูนย์มาก่อน จึงทำให้หัวข้อนี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก

1.2 ออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับ 2D-Tank

การศึกษาประกอบการพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดสารเคมีอินทรีย์ต้นแบบแทนสารปราบศัตรูพืชโดย Controlled-release activated persulfate (เขียน Persulfate ใช้ร่วมกับ ZVI) ผู้วิจัยจะทำการจำลองชั้นดินโดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ (2D-Tank) แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.00 ม. x 0.45 ม. x 0.03 ม. (กว้าง x ยาว x หนา) ผนังของแบบจำลองจะทำด้วยกระจกหรือ Acrylic อย่างน้อยหนึ่งด้านเพื่อให้มองเห็นการเคลื่อนตัวของสารละลายภายในแบบจำลองตลอดเวลาและเพื่อให้สามารถตรวจสอบการเคลื่อนตัวของสารได้ ประกอบกับให้สามารถติดตามการสลายตัวภายหลังการถูกบำบัดโดย Controlled-release activated persulfate (เขียน Persulfate ใช้ร่วมกับ ZVI) ได้อย่างถูกต้อง ตัวกลางภายในแบบจำลองจะใช้ทราย Ottawa (ขนาด 20/30) ซึ่งเป็นทรายที่มีขนาดเม็ดมาตรฐาน เพื่อให้ทุกการทดลองสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง การบดอัดจะถูกควบคุมด้วยน้ำหนักของทรายและวิธีการบดอัดที่เป็นระบบ แบบจำลองนี้จะถูกออกแบบให้สามารถเก็บตัวอย่างได้ 3 ช่องทาง คือ ช่องทางที่สารถูกส่งเข้าระบบ ช่องทางที่สารถูกส่งออกจากระบบ และบริเวณตรงกลางของแบบจำลอง ซึ่งสารตัวอย่างจะถูกเก็บโดยเข็มฉีดยา อัตราการไหลเข้าสู่ระบบของสารละลายนั้นถูกควบคุมโดยปั๊มสุบชนิดรีด (Peristaltic pump) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชุดทดลอง 2D-Tank

1.3 การเตรียมสารเคมี

สารเคมีหลักซึ่งถือเป็นสารตั้งต้นที่เลือกใช้ในโครงการนี้มีดังต่อไปนี้

1.3.1 สารต้นแบบที่เลือกใช้คือ Methyl orange ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ มีสีแดงสดเมื่อละลายน้ำซึ่งถูกนำมาใช้ในการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการสลายตัวของสารดังกล่าวในการทดลองแบบ Batch ทั้งนี้จะมีการใช้สารชนิดนี้เป็นสารตัวแทนเพื่อดูการกระจายตัวของ Persulfate ในการบำบัดในสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำภายใน 2D-tank

1.3.2 สารออกซิแดนท์ที่เลือกใช้คือ Sodium Persulfate ซึ่งสามารถแตกตัวได้เป็น Persulfate anion ($S_2O_8^{2-}$) และเมื่อทำปฏิกิริยาร่วมกับตัวกระตุ้น จะได้สารออกซิแดนท์ที่มีอนุภาพสูงกว่าเดิมคือ Persulfate radical ($SO_4^{\cdot-}$)

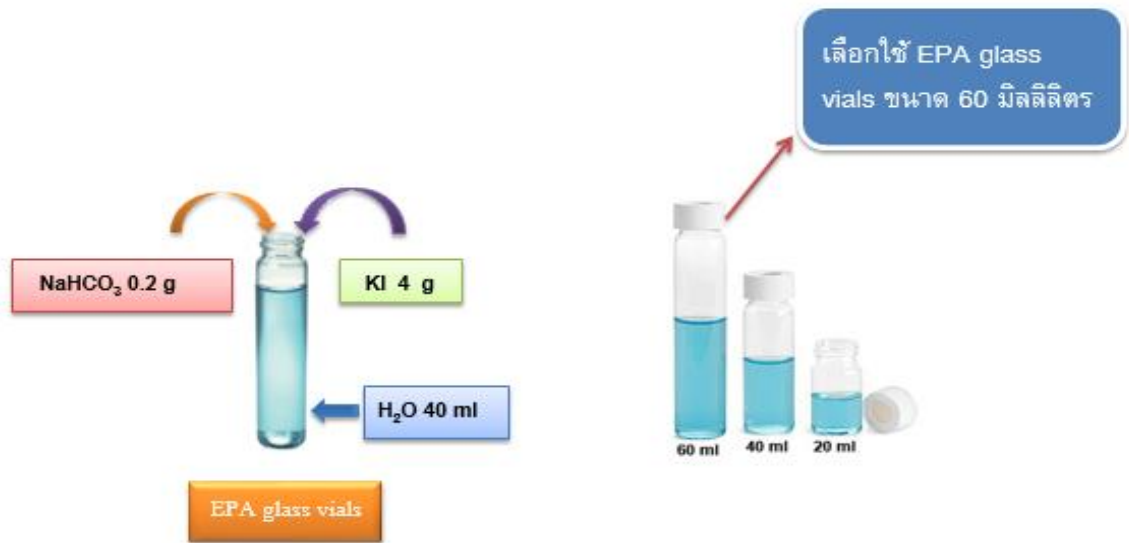
1.3.3 ตัวกระตุ้นที่สามารถใช้ได้นั้นมีหลายแบบ เช่น Hydrogen peroxide (H_2O_2) Fe^0 $Fe(II)$ หรือ $Fe(III)$) การเพิ่มค่าพีเอช การใช้ความร้อน เป็นต้นแต่เพื่อความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง ผู้วิจัยเลือกตัวกระตุ้น Fe^0 หรือ Zero-Valent Iron (ZVI) โดยจะทำการทดลองใช้ในลักษณะของ Controlled-release ด้วยเช่นกัน

1.3.4 สารเคมี และจีพี้ประกอบในการผลิต Controlled-release activated persulfate (เทียบ Persulfate ใช้ร่วมกับ ZVI) นั้นจะเป็นสารชนิดเดียวกันกับการทำเทียบไซ ซึ่งผู้วิจัยจะประยุกต์

อัตราส่วน Controlled-release persulfate มาจากงานของ Kambhu et al. (2012) ซึ่งเป็นงานที่ผู้วิจัยเป็นผู้ร่วมศึกษาในโครงการนั้นด้วย

1.4 การตรวจวัด ติดตามความเข้มข้นของสารเคมี

1.4.1 การวัดสีเปอร์ซัลเฟตนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนสีของสารละลายก่อนเนื่องจากโซเดียมเปอร์ซัลเฟตนั้นมีสีใส ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธี Colorimetric method ทำได้โดยการเตรียมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ประมาณ 0.2 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดรด์ (KI) 4 กรัม ละลายในน้ำตัวอย่าง 40 มิลลิลิตร ในขวด EPA ขนาด 60 มิลลิลิตรและตั้งทิ้งไว้ 15 นาที นำไปวัดสีโดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรดังสรุปในรูปที่ 5

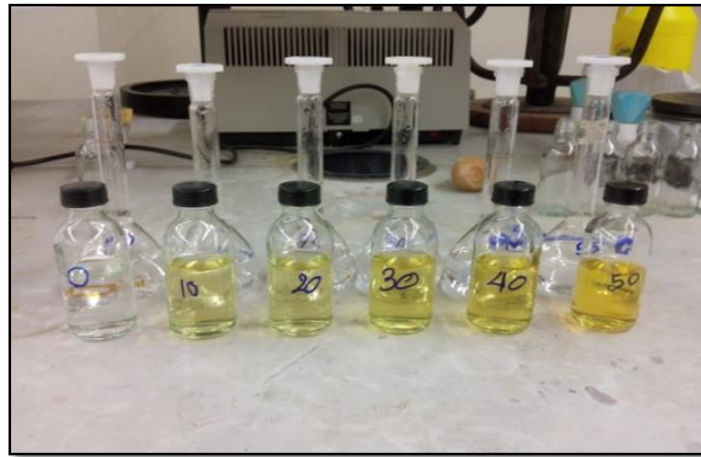


รูปที่ 5 แสดงวิธีหาค่าความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟต ด้วยวิธี Colorimetric Method

1.4.2 การตรวจวัดสารเคมีต้นแบบ Methyl Orange วัดสีโดยการนำผงของ Methyl Orange ไปละลายน้ำแล้วนำไปวัดสี ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 464 นาโนเมตร ซึ่งถือเป็นความยาวคลื่นแบบ isobestic (Parthasarathy and Sanghi, 1958; Al-Qaradawi and Salman, 2002)

1.4.3 การทำกราฟมาตรฐาน สามารถดำเนินการได้ตามชนิดของสารเคมีที่ต้องการติดตาม และจะต้องเตรียมสารใหม่ทุกครั้ง และทุกๆ วันเมื่อต้องการตรวจวัดตัวอย่างการวัดสาร

มาตรฐานนั้นจะคล้ายๆ กัน ซึ่งจะแสดงการทำกราฟมาตรฐานสำหรับสารเปอร์ซัลเฟตเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 6 การเตรียมสารละลายเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานของ Persulfate จะทำการเตรียมสารละลาย Persulfate ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม ต่อลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลาย Persulfate ที่ความเข้มข้น 0 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัม ต่อลิตร ตามลำดับ ทำการวัดค่าความเข้มข้นของ Persulfate ด้วยวิธี Colorimetric method โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร และจัดทำ จักรภาพมาตรฐานโดยให้ค่าการดูดกลืนแสงแทนแกน X และความเข้มข้นเป็นแกน Y และคำนวณหา ค่าสมการเส้นตรง $Y = mc + c$ กับค่า R^2

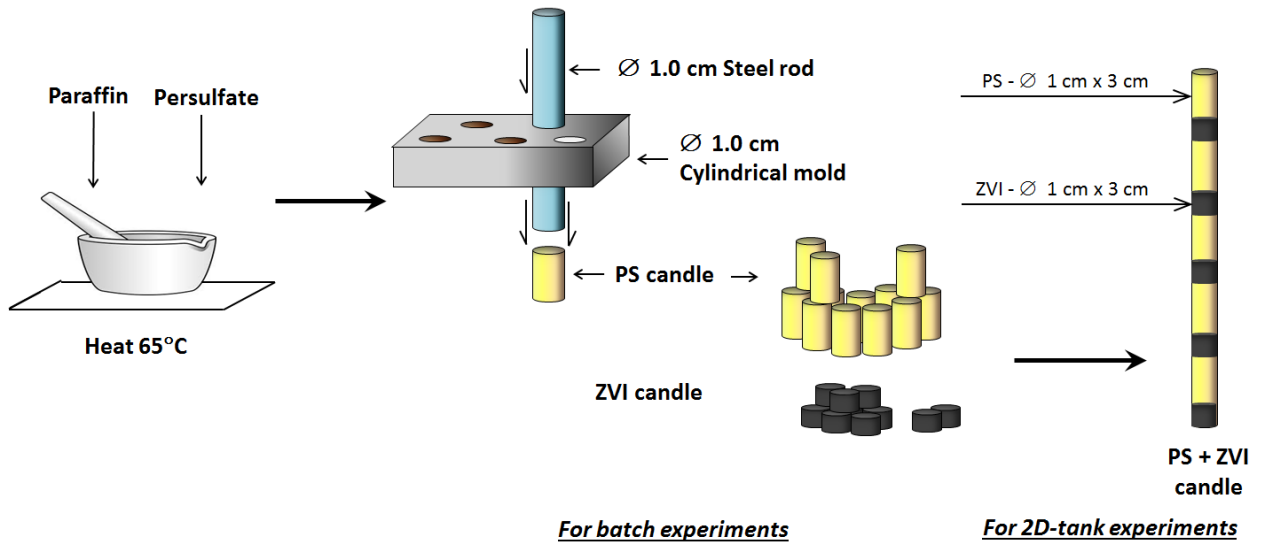


รูปที่ 6 แสดงการทำ Standard Curve ของเปอร์ซัลเฟต

2. การเตรียมเทียนควบคุมการปล่อย เปอร์ซัลเฟต และเทียนหลักศูนย์

หลักการผลิต Controlled-release activated persulfate (เทียนPersulfate ใช้ร่วมกับZVI) นั้นใช้ หลักการทำเทียนซึ่งประยุกต์มาจากงานของ Kambhu et al. (2012) โดยเทียนที่ทำนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การทำ Persulfate candle และการทำ ZVI candle (Fe^0) ซึ่งวิธีการทำเทียนจะใช้วิธีการทำ เช่นเดียวกันเปลี่ยนเพียงแค่ Sodium Persulfate เป็นหลักศูนย์ (Fe^0) อัตราส่วนของ Persulfate candle ที่ใช้นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 1: 1.75 ถึง 1: 3.50 (Paraffin: Sodium persulfate) ส่วนอัตราส่วนของเทียน ZVIที่ใช้นั้นมีค่า 1:4.7 (Paraffin: หลักศูนย์) โดยทั้งสองอัตราส่วนนั้นมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kambhu et al. (2012)

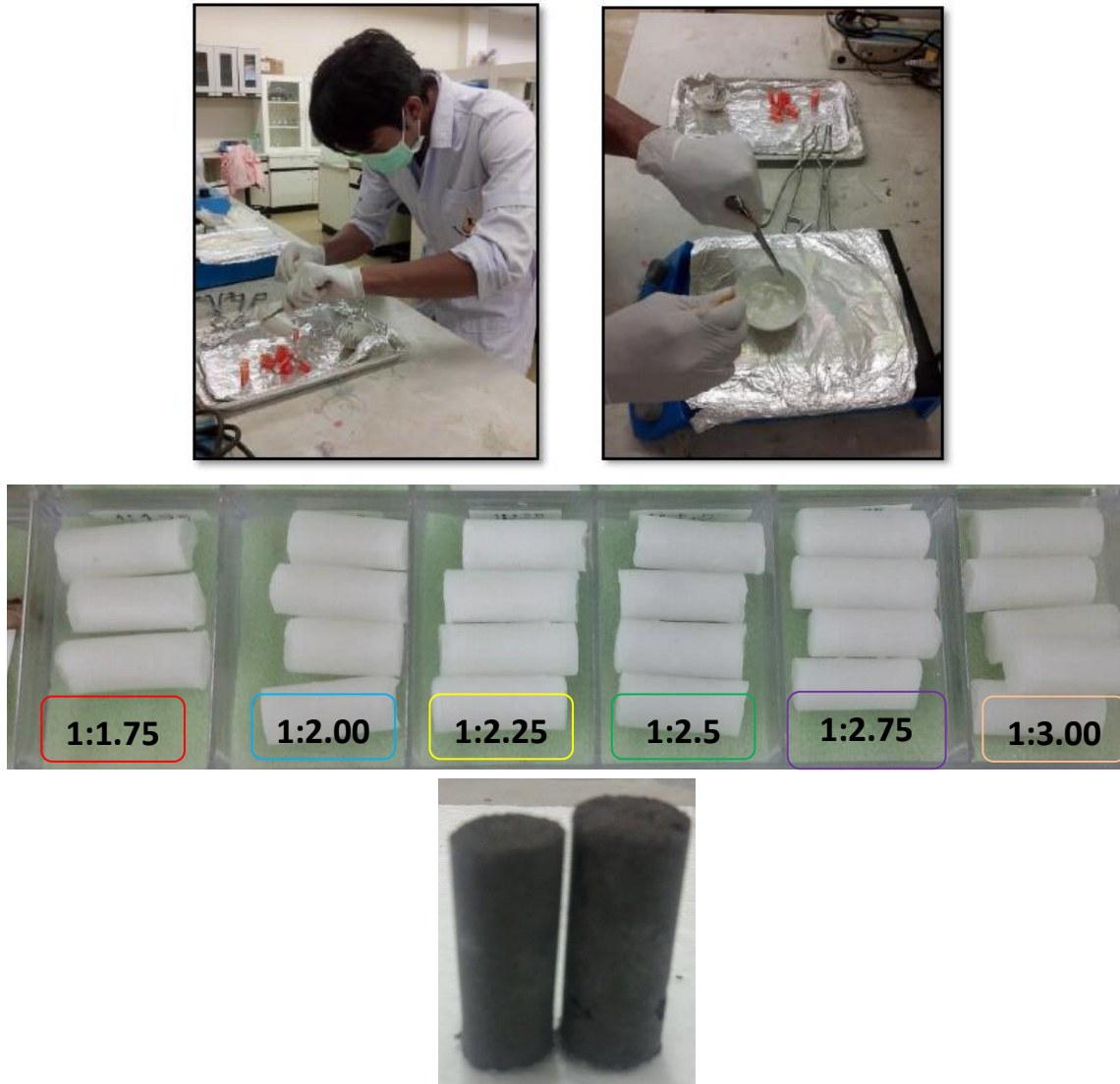
โดยจะชั่งน้ำหนักสุดท้ายของ Persulfate candle เป็นแท่งละ 5 g แต่ ZVI candle (Fe^0) จะแบ่งเป็น 2 ขนาดคือ 1.25 และ 2.5 g ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชุดแสดงการทำ Controlled-release activated persulfate(Persulfate and ZVI candle)

โดยมีวิธีการทำเทียนโดยละเอียดดังนี้

ขั้นตอนของการจัดทำ Persulfate candle ใช้หลอดพลาสติกโดยการจัดให้มีความยาวแท่งละ 3 เซนติเมตร และหุ้มด้านหนึ่งด้วยอะลูมิเนียมฟรอยด์ อัตราส่วนของการจัดทำเทียนจะใช้ขี้ผึ้งและโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ตามอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ 1:1.75 1:2.00 1:2.25 1:2.50 1.2.75 และ 1:3.00 (ขี้ผึ้งต่อโซเดียมเปอร์ซัลเฟต) วิธีการคือ ทำการหลอมขี้ผึ้งในถ้วยกระเบื้องโดยใช้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส จนละลายเป็นน้ำเหลวมีลักษณะใส และเติม Persulfate ลงไป แล้วคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทลงไปในแบบหล่อ และรอให้เทียนแข็งตัวโดยทิ้งไว้ 15 – 30 นาที การควบคุม Persulfate Candle จะทำการควบคุมที่ 5 กรัม เท่า ๆ กัน โดยการชั่ง ดังแสดงในรูปที่ 8



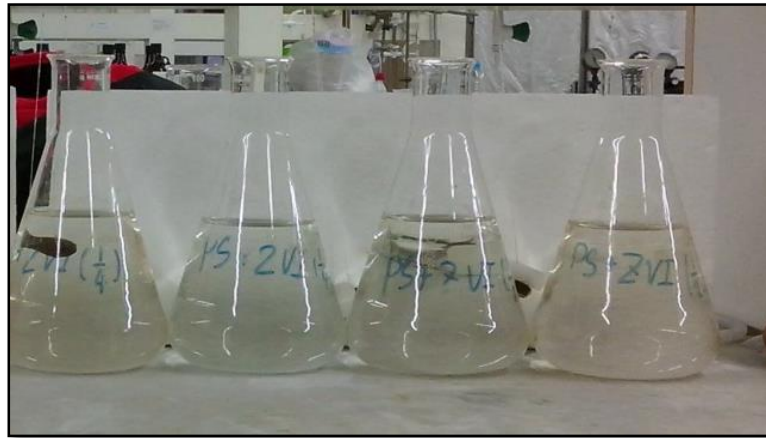
รูปที่ 8 แสดงการหล่อเทียนเปอร์ซัลเฟต เทียนเปอร์ซัลเฟตที่ทำเสร็จแล้วในแต่ละอัตราส่วน และ
เทียนหลักศูนย์

3. การทดลองแบบ Batch Experiment

3.1 การเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมของ PS และ ZVI

สัดส่วนที่เหมาะสมของเทียน PS และ ZVI นั้นเลือกมาได้จากการกระจายตัวของสาร Persulfate นำเทียนทั้งหมดที่ได้ทำมาทุกๆ อัตราส่วนมาใส่ลงใน Erlenmeyer Flask ที่บรรจุน้ำกลั่นอยู่ 200 มิลลิลิตร โดยแต่ละ Flask จะมีเทียนจำนวน 1 แท่ง จุ่มอยู่ แท่งเทียนจะต้องถูกผูกโดยเชือกด้าย และผูกไว้กับแท่งไม้ซึ่งจะถูกวางไว้ที่ปากขวด เทียนจะลอยอยู่กึ่งกลางระหว่างผิวน้ำกับก้นขวด Flask ใน

หนึ่งอัตราส่วนจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ (3 flasks) การทดลองนั้นจะเริ่มต้นเมื่อเริ่มจุ่มเทียน ดังรูปที่ 9 จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวัดค่าความเข้มข้นของเปอร์ซัลเฟตเทียบกับเวลา เมื่อถึงเวลาเก็บตัวอย่าง น้ำตัวอย่างจะถูกเก็บมาวัดโดยใช้วิธี Colorimetric method ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ปริมาณที่เก็บมานั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเปอร์ซัลเฟตที่มี หากมีความเข้มข้นในปริมาณสูง (ปล่อยให้เกิดการกระจายตัวมาเป็นเวลานาน) สารละลายจะถูกเก็บมาในปริมาณที่น้อยลง จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาพล็อตลงกราฟ



รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายตัวของเทียนเปอร์ซัลเฟต

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองย่อยเพื่อศึกษาการกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อมีตัวกระตุ้นในปริมาณต่างๆ ซึ่งแต่ละการทดลองจะใช้ Flow chart วิธีการทำเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนเพียงแค่ปริมาณของตัวกระตุ้น

การทดลองย่อยที่ 1 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อไม่มีตัวกระตุ้น

การทดลองย่อยที่ 2 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อมีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/4) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1.25 g

การทดลองย่อยที่ 3 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อมีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2.5 g

ผลการทดลองจะทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า จะเลือก Persulfate candle ที่มีอัตราส่วนเท่าไร และขนาดของ ZVI candle (Fe^0) เท่ากับเท่าไร เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

3.2 การประมาณอายุของ Persulfate candle

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินหาอายุของ Persulfate candle (Longevity study) โดยเทียนที่ศึกษานั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าเทียนขนาดเดิม แต่มีขนาดความบางเท่ากัน กล่าวคือ Persulfate candle อย่างเดียว 3 อัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm หนา 2 cm และ cap ด้วยเทียนเปล่าๆ หนา 0.5 cm ทั้งหัวและท้าย

Persulfate candle จะถูกนำมาต่อกับ ZVI candle โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วน Persulfate ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm หนา 2 cm และส่วนหลักศูนย์กลางอัตราส่วนตามที่เคยทำมาในรูปของเทียนขนาดเล็ก เอามาต่อกับ Persulfate candle ความหนาแน่นให้อ้างอิงตามขนาดของน้ำหนัก Persulfate candle แล้วหารด้วย 2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนขนาดของ Persulfate candle และ ZVI candle (Fe^0) จากนั้นให้อาเทียนทั้งสองประกบกันให้สนิท cap ด้วยเทียนเปล่าๆ หนา 0.5 cm ทั้งหัวและท้าย การทำเทียนนั้น จะใช้แบบหล่อที่มีความมัน เพื่อป้องกันการยึดติดกันของเทียนกับแบบหล่อ ซึ่งแบบหล่อจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอในการรับแรงดันเมื่อเทียนละลายเริ่มแข็งตัว

การศึกษากการกระจายตัวจะใช้ภาชนะขนาด 5 แกลลอน จำนวน 4 ถัง มีฝาปิดเพื่อป้องกันน้ำระเหยจากนั้นจึงจุ่มเทียนลง โดยบังคับให้เทียนจมตลอดเวลา และมีระยะประมาณครึ่งหนึ่งของระดับน้ำกับก้นถัง จากนั้นจึงปิดฝาตลอดเวลาเพื่อป้องกันการระเหย และระวังไม่ให้มีการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการทำการทดลอง การเก็บตัวอย่างนั้นจะเก็บในช่วงระยะเวลาที่ยาวกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ โดยแบ่งช่วงออกจากช่วงเวลาทั้งสิ้น 56 วัน โดยก่อนวัด ต้องยกเทียนขึ้นจากน้ำ และคนภายในถัง และทำการวัดความเข้มข้นด้วยวิธี Colorimetric method ต่อไป

สมการที่ใช้ในการประมาณการกระจายตัวของเปอร์ซัลเฟตในน้ำนั้นใช้สมการอัตราส่วนของความเข้มข้น (C_r) โดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความเข้มข้นกับปริมาตร ณ เวลาที่ต้องการทำนายกับ มวลสารเริ่มต้นที่จะทำนาย ดังสมการข้างล่าง

$$C_r = \frac{CV}{M}$$

อัตราส่วนความเข้มข้น (Cr) นี้จะนำมาแสดงในรูปของกราฟโดยใช้ non-linear regression to a 2-parameter power function โดยใช้โปรแกรม SigmaPlot จากกราฟจะทำให้เราสามารถทำนายได้ว่าสารที่เราต้องการศึกษาจะ Release ออกมามากที่สุดถึงประมาณวันที่เท่าไร (Christenson et al., 2012)

3.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่าง Methyl orange กับ Persulfate candle

นำเทียนทั้งหมดที่ได้ทำมาทุกๆ อัตราส่วนมาใส่ลงใน Erlenmeyer Flask ที่บรรจุสารละลาย Methyl orange ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อยู่ 200 มิลลิลิตร โดยแต่ละ Flask จะมีเทียนจำนวน 1 แท่ง จุ่มอยู่ แท่งเทียนจะต้องถูกผูกโดยเชือกด้าย และผูกไว้กับแท่งไม้ซึ่งจะถูกลงไว้ที่ปากขวด เทียนจะลอยอยู่กึ่งกลางระหว่างผิวน้ำกับก้นขวด Flask ในหนึ่งอัตราส่วนจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ (3 flasks) การทดลองนั้นจะเริ่มขึ้นเมื่อเริ่มจุ่มเทียน ดังรูปที่ 10 จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวัดค่าความเข้มข้นของ Methyl orange เทียบกับเวลา เมื่อถึงเวลาเก็บตัวอย่าง น้ำตัวอย่างจะถูกเก็บมาวัด โดยปริมาณที่เก็บมานั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Methyl orange ที่มี จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาพล็อตลงกราฟ

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลองย่อยเพื่อศึกษาดูการบำบัดสารละลาย Methyl Orange เมื่อเทียบกับเวลาเมื่อมีตัวกระตุ้นในปริมาณต่างๆ ซึ่งแต่ละการทดลองจะใช้ Flow chart วิธีการทำเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนเพียงแค่ปริมาณของตัวกระตุ้น

การทดลองย่อยที่ 1 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อไม่มีตัวกระตุ้น

การทดลองย่อยที่ 2 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อมีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/4) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1.25 g

การทดลองย่อยที่ 3 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อมีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2.5 g



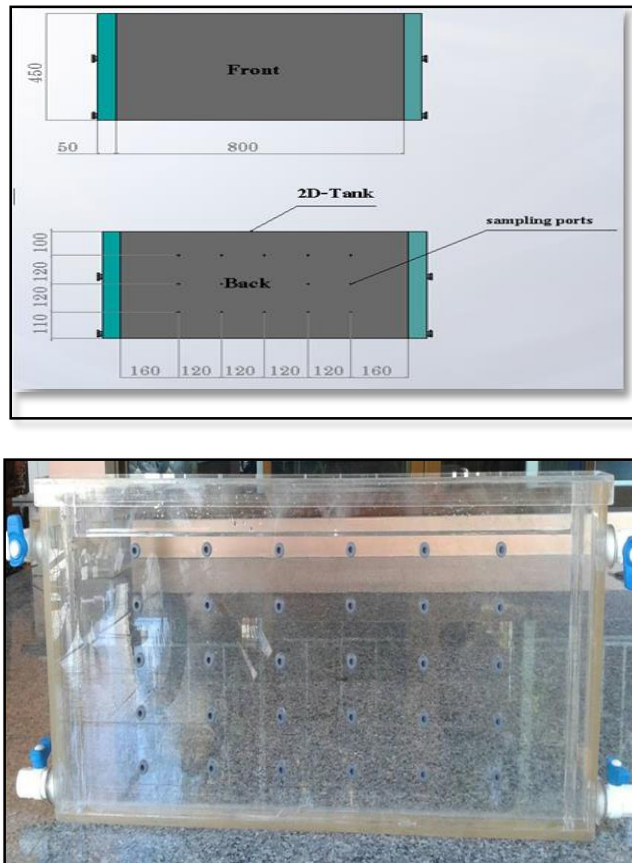
รูปที่ 10 แสดงการบำบัด Methyl Orange ของ Persulfate candle

4. การทดลองแบบ Transport experiment

4.1 การออกแบบและการสร้าง ถังจำลองการไหลของน้ำ 2 มิติ (2D-Tank)

ขนาดของ 2D-Tank แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.80 ม. x 0.45 ม. x 0.03 ม. (กว้างxยาวxหนา) ผนังของแบบจำลองจะทำด้วยกระจกหรือ Acrylic อย่างน้อยหนึ่งด้านเพื่อให้มองเห็นการเคลื่อนตัวของสารละลายภายในแบบจำลองตลอดเวลาและเพื่อให้สามารถตรวจสอบการเคลื่อนตัวของสารได้ ประกอบกับให้สามารถติดตามการสลายตัวของสารหลังการถูกบำบัดโดย Controlled-release activated persulfate (Persulfate and ZVI candle) ได้อย่างถูกต้อง ผนังด้านหน้าถูกเจาะรูจำนวนทั้งสิ้น 30 รู สำหรับเก็บตัวอย่างการเคลื่อนตัวของสารละลายในแบบจำลอง โดยแต่ละรูจะฝังจุกยางหรือ septum ตัวกลางภายในแบบจำลองโดยจะใช้ทราย Ottawa (ขนาด 20/30) ซึ่งเป็นทรายที่มีขนาดเม็ดมาตรฐาน เพื่อให้ทุกการทดลองสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง การบดอัดจะถูกควบคุมด้วยน้ำหนักของทรายและวิธีการบดอัดที่เป็นระบบ แบบจำลองนี้จะถูกออกแบบให้สามารถเก็บตัวอย่างได้ 3 ช่องทางคือ ช่องทางที่สารถูกส่งเข้าระบบ ช่องทางที่สารถูกส่งออกจากระบบ ซึ่งทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของถังจะมีลักษณะเป็น mixing chamber ซึ่งจุดประสงค์หลักที่มีคือ ต้องการให้กระจายตัวของ

น้ำไหลเข้าถัง 2D-Tank กระจายตัวได้เต็มความสูง ส่วนช่องทางสุดท้ายบริเวณตรงกลางของแบบจำลอง ซึ่งสารตัวอย่างจะถูกเก็บโดยเข็มฉีดยาตามที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น อัตราการไหลเข้าสู่ระบบของสารละลายนั้นถูกควบคุมโดยเครื่องสูบชนิดรีด (Peristaltic pump) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงการออกแบบ Transport experiment

ขั้นตอนในแต่ละการทดลองประกอบไปด้วย (1) การบดอัดวัสดุภายใน 2D-Tank ซึ่งจะใช้เป็นวัสดุมาตรฐานจำพวกทราย Ottawa (ขนาด 20/30 หรือ ขนาด 40/50) (2) การเริ่มลำเลียงสารละลาย CaCl_2 (Electrolyte Concentration) เข้าสู่ระบบเพื่อปรับความชื้นให้ตัวกลางมีการอุ้มน้ำแบบอิ่มตัวและเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้คงที่เป็นปริมาณอย่างน้อย 3 PV (3) การเริ่มทดลองโดยติดตามการเคลื่อนตัวของสาร Persulfate ภายใน 2D-Tank และ/หรือการถูกบำบัดของสารปราบศัตรูพืชที่เลือกใช้ (4) การเริ่มลำเลียงสารละลาย Methyl orange ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้สารตัวแทนที่ปนเปื้อนใน

ดินที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งผู้วิจัยจะตรวจสอบการสลายตัวของ Methyl orange โดยใช้ Persulfate candle เพื่อดูประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างค่อนข้างถี่ในช่วงแรกและช่วงเวลากว้างขึ้นในช่วงหลัง ทั้งนี้ทุกการทดลองจะได้รับ Electrolyte concentration เพียงแค่ 2 PV เท่านั้นเป็นอันเสร็จ การทดลอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของสารเทียบกับเวลา (จลนศาสตร์) และความเร็วของการไหลด้วย สารละลายจะถูกเก็บตัวอย่างที่ช่องเก็บตัวอย่างระหว่าง 2D-Tank โดยตัวอย่างจะถูกเก็บทั้งช่องเก็บตัวอย่างระหว่าง 2D-Tank และทางออกของ 2D-Tank การวิเคราะห์ความเข้มข้นของ Persulfate จะใช้วิธี Colorimetric method ในการทำปฏิกิริยาให้เกิดสี และวัดความเข้มข้นของสาร Persulfate และ Methyl orange ด้วย เครื่อง spectrophotometer

4.2 การศึกษาการกระจายตัวของ Persulfate candle และการสลายตัวของ Methyl Orange ในถังจำลองการไหล

ภายหลังจากบรรจุทรายลงใน 2D-Tank เรียบร้อยแล้ว จึงทำการบรรจุ Persulfate candle ลงไปใน 2D-Tank โดยตำแหน่งของเทียนอยู่ห่างจากช่องทางน้ำเข้า 3 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 12 ปล่อยให้สารละลาย Methyl orange ไหลผ่านแท่งเทียนจะทำให้ Persulfate กระจายตัวออกมา และเก็บตัวอย่าง Persulfate ด้วยเข็มฉีดยาขนาด 3 มม. จากจุดเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆ ใน Transport experiment จากนั้นวัดความเข้มข้นของ Methyl Orange ที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับเวลาโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อยเพื่อศึกษาการกระจายตัวของ Persulfate candle ใน Transport experiment เมื่อมีตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งแต่ละการทดลองจะใช้ Flow chart วิธีการทำเช่นเดียวกันแต่เพียงแค่มียตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle ทั้งการทดลองนี้จะทำให้ทรายนั่นอิ่มตัวด้วยน้ำก่อน และอีก 1 การทดลองย่อยจะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาการลดลงของ Methyl orange เมื่อมีการบำบัดด้วย Persulfate candle เมื่อมีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle

การทดลองย่อยที่ 1 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อไม่มีตัวกระตุ้น

การทดลองย่อยที่ 2 : การกระจายตัวของ Persulfate candle เมื่อมีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2.5 g

การทดลองย่อยที่ 3 : การลดลงของความเข้มข้น Methyl orange ภายหลังจาก 2D-tank ถูกทำให้อิ่มตัวด้วย Methyl orange ความเข้มข้น 100 มก./ล. และใส่ Persulfate candle ที่มีปริมาณตัวกระตุ้นเป็น (1/2) ของน้ำหนัก Persulfate candle ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2.5 g



รูปที่ 12 แสดงการทำการทดลอง Transport experiment และแสดงตำแหน่งของ Persulfate candle