

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิธีการวิเคราะห์หกราควาท

วิธีมาตรฐานของเอโอเอซี ซึ่งใช้ 10 มล. น้ำยา 1% โซเดียมไดโครโอไนท์ + 0.1 N โซลฟไฟ 10 มล. เป็นตัวทำให้เกิดสีในน้ำที่มีหกราควาทและวัดที่ A 600 นม. ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ จากการศึกษาค้นคว้าวิธีวิเคราะห์หกราควาท (23) พบว่า

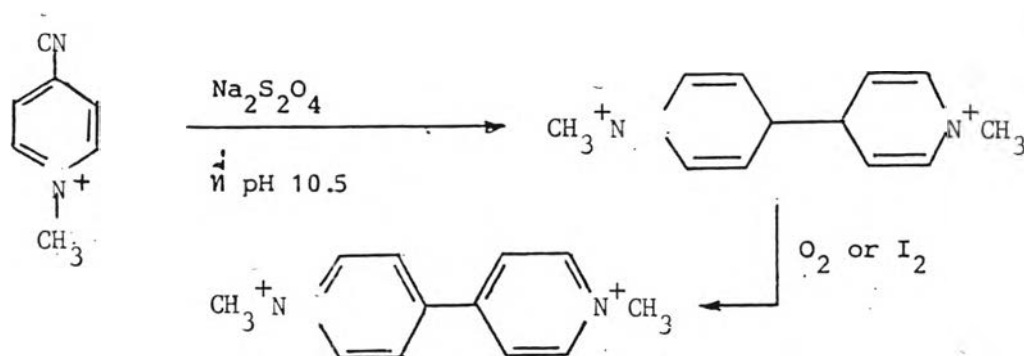
ก. วิธีของเอโอเอซีให้ค่า A ที่ต่ำมาก และสีไม่คงตัว ความเข้มข้นของสีลดลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การวัด ทำได้ลำบากและทำให้มีความคลาดเคลื่อนของการวัดเป็นไปได้อย่างสูง

ข. น้ำยาโซเดียมไดโครโอไนท์มีอายุการใช้งานสั้นมาก ไม่เกินสองชั่วโมงต้องเตรียมขึ้นใหม่ทุกครั้งของการวัด นับเป็นข้อยุ่งยากข้อหนึ่งของการปฏิบัติ

ค. น้ำยาโซเดียมไดโครโอไนท์ ถ้ามีมากเกินพอกไป ทำให้สีที่ได้ไม่คงตัว และในบางกรณีอาจไม่เกิดสีขึ้นเลย ในการวัดสีจึงได้ใช้น้ำยาดังกล่าวเข้มข้น 0.2% แทน 1% ตามวิธีของเอโอเอซี

ง. ภาวะด่างที่สูงขึ้นทำให้สีคงตัวได้ดีกว่า ในโครงการนี้จึงได้ใช้ 0.5 N NaOH แทน 0.1 N NaOH ตามวิธีของเอโอเอซี

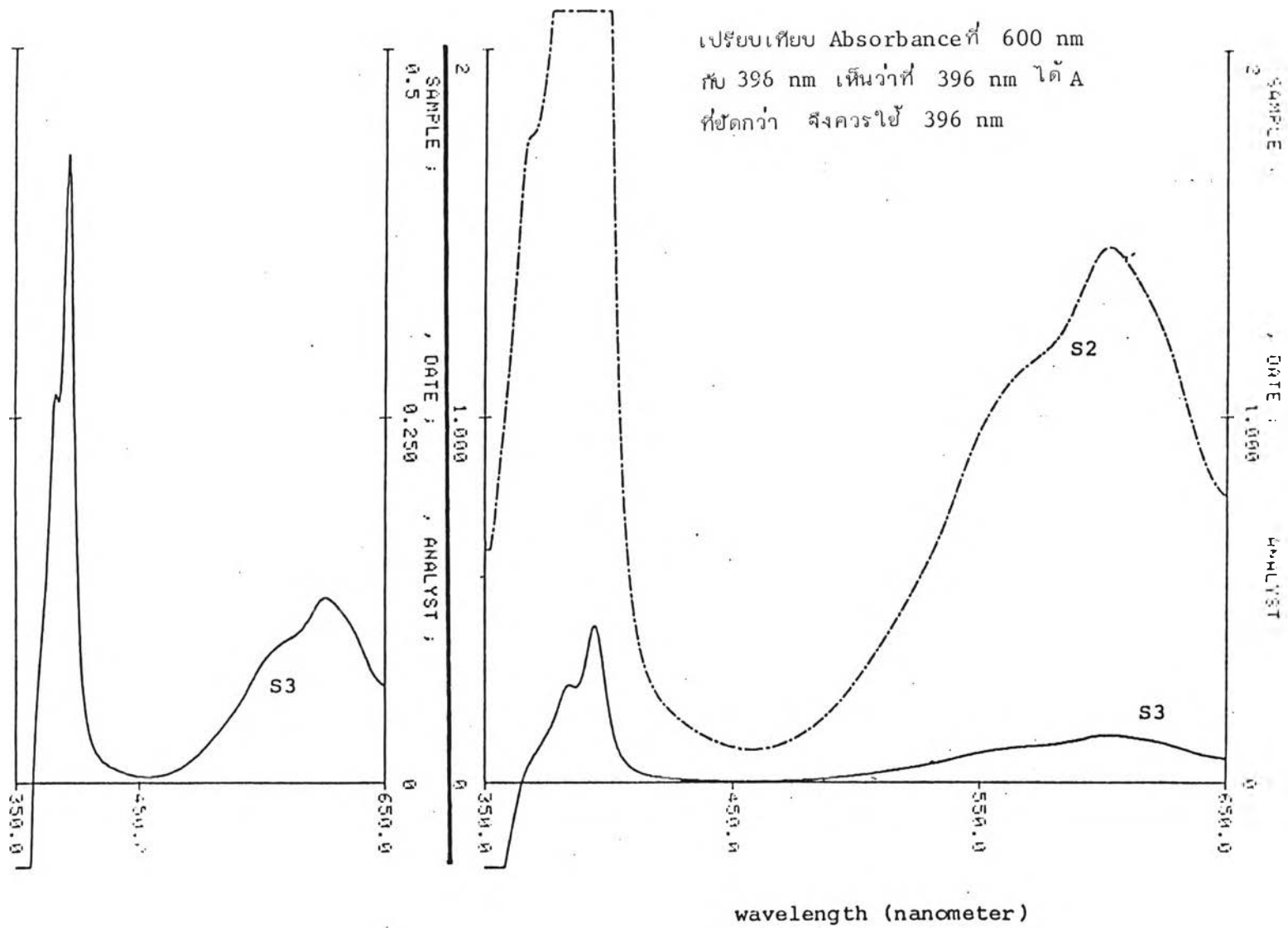
จ. สารออกซิไดซ์ เช่น ออกซิเจนละลายในน้ำ เป็นตัวรบกวนที่สำคัญ ถ้าผสมอยู่นานไปออกซิเจนละลายจะออกซิไดซ์โซเดียมไดโครโอไนท์ได้ ทำให้สีจางหายไป จึงต้องรีบอ่านค่า A ทันทีเมื่อผสมโดยการคว่ำทวงายหลอดใส่สารละลาย (ให้เกิดปฏิกิริยา) เรียบร้อยแล้ว อิทธิพลของสารออกซิไดซ์ เช่น ออกซิเจน และไอโอดีนที่ทำให้สีน้ำเงินจางหายไปได้แสดงในรูปที่ 5.1 (23)



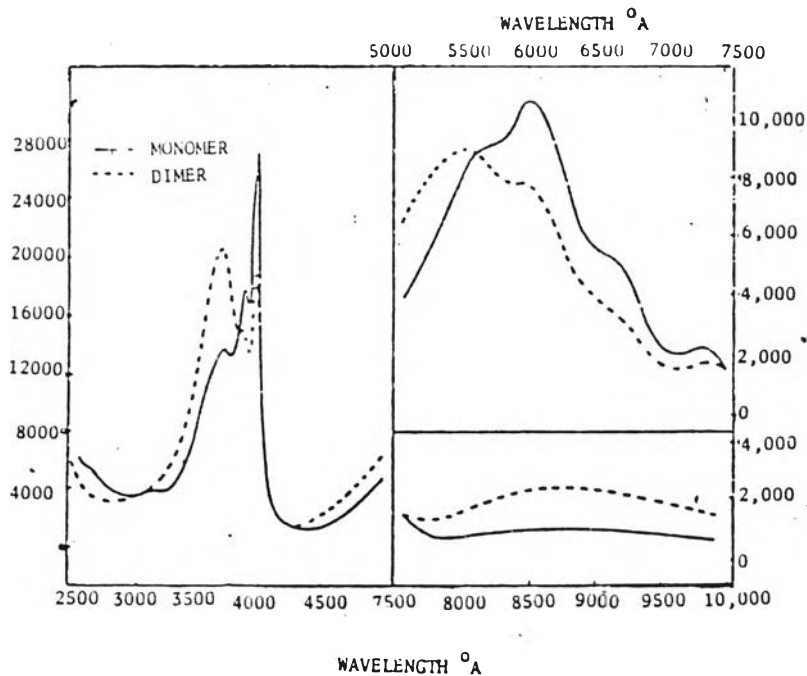
รูปที่ 5.1 อิทธิพลของ O_2 และ I_2 ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีของพหุราคควอท (23)

รูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยใช้เครื่องสแกนสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในที่นี้ได้ใช้ตัวอย่างน้ำสารละลายสกัดจากโรงงานไอซีไอก่อนการเติมน้ำเงิน (S1) 20 มล. และน้ำยาไตโรโคโนท์ 4 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มล พบว่าอ่านค่า A ไม่ได้ด้วยสปีความเข้มข้นมากเกินไป จึงได้ทำการเจือจางลงขั้นตอน ใช้ S2 เจือจาง 1 ต่อ 50 เป็น S2) และใช้ S2 เจือจางต่ออีก 1 ต่อ 50 (เป็น S3)

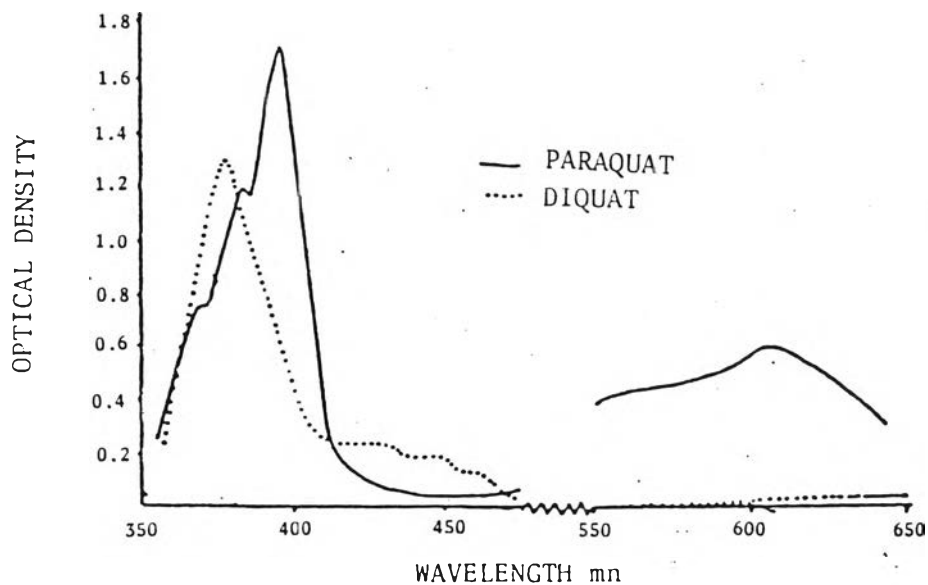
เห็นได้ชัดว่า การดูดกลืนแสงที่ 396 นม. สูงกว่าที่ 600 นม. อนึ่งปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับการทดลองของ Calderbank และ Kosower and Cotter (รูปที่ 5.3) การวัดที่ 396 นม. น่าจะให้ความแม่นยำสูงกว่าการวัดโดยวิธีเอโอเอซีเดิม



รูปที่ 5.2 การดูดกลืนแสงในกระบวนการวิเคราะห์พาราควอตที่คลื่นแสงต่าง ๆ



(a) after CALDERBANK



(b) after KOSOWER and COTTER

รูปที่ 5.3 การดูดกลืนแสงของ monomer และ dimer ของ methyl viologen cation radical ในน้ำ (23)

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดพาราควอทของดิน

พาราควอทเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีประจุบวก จึงเป็นสารที่สามารถให้ออมนได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเกิดการแตกตัวในน้ำ และจากลักษณะสมบัตินี้เองจึงทำให้พาราควอทเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี โดยมีความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility) สูงถึง 2.7×10^6 ไมโครโมล/ลบตม⁽¹⁹⁾ และพร้อมที่จะถูกดูดซับโดยอนุภาคดินที่มีประจุลบ ขบวนการที่เป็นกลไกในการดูดซับพาราควอทของอนุภาคดินได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุบวก และการดูดติดผิว

พาราควอทจะเข้าไปแทนที่อนุภาคประจุบวกที่มีอยู่ในผลึกของดินในขบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างดินกับสารกำจัดวัชพืชที่มีปัจจัยที่มีอิทธิพลคือ (19) ก) พีเอช ข) การปรับสภาพดินล่วงหน้า ค) ความเข้มข้นของดิน และ ง) ลักษณะสมบัติเฉพาะตัวและปริมาณของสารกำจัดศัตรูพืช กล่าวคือ ค่าพีเอชจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความหนาแน่นหรือปริมาณของประจุไฮโดรเจนซึ่งเป็นประจุบวกในอนุภาคดินในบางสภาวะการเพิ่มหรือลดพีเอชในดินจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของสาร เช่น จากการศึกษาของ Best et al.(19) พบว่าหากในสภาวะที่เป็นกรดลำดับความสามารถของการเข้าแทนที่ของ ประจุแคลเซียม พาราควอท และไดควอท จะเป็นพาราควอท \geq ไดควอท $>$ แคลเซียม แต่หากเพิ่มปริมาณไฮดรอกไซด์ซึ่งทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น ลำดับความสามารถในการแทนที่จะเป็น แคลเซียม $>$ พาราควอท \geq ไดควอท ส่วนการปรับสภาพดินล่วงหน้านั้น ในการนำดินมาผ่านสารละลายบางชนิดเช่น โซเดียมคาร์บอเนต จะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของอนุภาคดินเพิ่มขึ้น และเนื่องจากพาราควอทเป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีประจุตั้งที่กล่าวไปแล้ว และดินที่ไ้ใช้ในการกำจัดก็มีการแตกตัวให้ประจุ การแลกเปลี่ยนอออนระหว่างประจุในอนุภาคของดิน และพาราควอทจึงเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของปริมาณสารทั้งสอง และปัจจัยจากลักษณะเฉพาะตัวของสารกำจัดวัชพืช จากการศึกษาของ Bailey และ White (19) พบว่าความแตกต่างของลักษณะทางเคมีของโมเลกุลของสารกำจัดศัตรูพืชที่มีผลต่อการดูดซับของดินได้แก่

- ลักษณะของ functional group
- ลักษณะของ substituting group ที่มีผลต่อพฤติกรรมของ functional group
- ตำแหน่งของ substituting group ที่มีผลต่อ functional group

สำหรับขบวนการดูดติดผิวในการกำจัดพาราควอทโดยใช้ดิน จากการศึกษาโดย X-ray diffraction (19) พบว่าพาราควอทจะถูกยึดอยู่ในช่องว่างภายในของดินโดยที่ระนาบของวงแหวนไพริดีลขนานกับแผ่นซิลิเกต และโดยทั่วไปความสามารถในการดูดติดผิวของดินนอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของดินแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 5.1 แล้ว การดูดติดผิวของดินโดยทั่วไปยังขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ ก) อุณหภูมิ ข) พีเอช ค) ความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ในสารละลาย

ตารางที่ 5.1 อัตราการดูดติดผิวของดินชนิดต่าง ๆ (12)

ประเภทของดิน	อัตราการดูดติดผิว (มก.พาราควอทต่อกรัมดินเหนียว)
Sandy loam Soil	0
Grade Hydrite 10	0-0.3
Georgia Kaolinite	2.0-2.5
National Standard Bentonite	80-100

จากผลการทดลองกำจัดพาราควอทในช่วงพีเอช 5-9 ปรากฏว่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดของดินทั้งสามชนิด ทั้งนี้เนื่องมาจากพาราควอทแตกตัวได้ไม่ตึงในพีเอชซึ่งดินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุได้ดีกล่าวคือ หากพิจารณาจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของดินแล้ว ประสิทธิภาพการดูดติดผิวของดินควรจะสูงขึ้นเมื่อพีเอชลดลง แต่หากพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะตัวของพาราควอทที่แตกตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปัจจัยของพีเอชที่มีต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามการทดลองพบแนวโน้มที่ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มสำหรับตัวอย่างที่ใช้ดินแกลลีสอนในการกำจัด

ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นเดียวกันจะแปรตามปริมาณของดินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Birell (19) ซึ่งพบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินโดยเลขกวดินมอนท์โมริลโลไนท์จะแปรตามความเข้มข้นของดิน และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณดินเท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเมื่อความเข้มข้นของพาราควอทในสารละลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการถึงจุดอิ่มตัวของดินที่ใช้กำจัดจะเห็นได้จากปริมาณพาราควอทที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพาราควอทมากขึ้น

จากการศึกษาองค์ประกอบของดินทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลองโดยวิธี X-ray diffraction พบว่าดินที่สามารถกำจัดพาราควอทได้ดี เป็นดินที่มีโอกาสพบแร่มอนท์โมริลโลไนท์ซึ่งเป็นแร่ที่มีอัตราการดูดติดผิวพาราควอทสูง (ดังแสดงในตารางที่ 5.1) เป็นองค์ประกอบอยู่สูงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Weber et al (19) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินทำให้ทราบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองทั้งสามชนิดเป็นดินที่มีแร่ชนิดเดียวเป็นองค์ประกอบ ประกอบกับเป็นดินที่ไม่ได้ผลัดมา เพื่อการศึกษาวิจัยโดยเฉพาะองค์ประกอบและส่วนผสมของดินซึ่งไม่คงที่จากสาเหตุดังกล่าวจึงอาจทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวของดินแต่ละชนิดมีความแปรปรวน ทั้งนี้หากใช้ดินมอนท์โมริลโลไนท์บริสุทธิ์ในการทำทดลองแล้ว ความสามารถในการดูดติดผิวควรจะมี isotherm เป็นรูป H Type ที่มีค่าค่าอนข่างใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มปริมาณดินในการกำจัดพาราควอท

อนึ่ง ในการที่เกิดความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกำจัดพาราควอทในช่วงความเข้มข้น 100-300 ส่นล และ 500-2,000 ส่นล นั้นสืบเนื่องมาจากการตรวจวัดพาราควอทที่ความเข้มข้นต่ำ (100-300 ส่นล) สามารถใช้ตัวอย่างน้ำที่ได้จาก การทดลองตรวจวัดโดยตรง แต่ในการทดลองช่วง (500-2,000 ส่นล) จะต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างก่อน ค่าที่ได้จากการคำนวณจึงมีช่วงความแตกต่างสูงกว่าการตรวจวัดจากน้ำตัวอย่างโดยตรง

5.3 การกำจัดพาราควอทโดยถ่านเอซี

การกำจัดพาราควอทโดยใช้ถ่านเอซีแบบวิธีแบทช์ ถึงแม้จะให้ความสามารถในการดูดติดผิว (กรัมพาราควอท/กรัมถ่าน) สูงในช่วง 0.05 ถึง 1.05 ก/ก แต่น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถสัดวงจรและยังมีพาราควอทสูงเกินกว่าจะระบายทิ้งได้ การกำจัดพาราควอทโดยใช้ถ่านเอซีจึงควรใช้วิธีต่อเนื่องในคอลัมน์ถ่าน และในการทดลองปริมาตรของเกล็ดถ่าน

$= 2.03 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ความหนาแน่นของถ่านในคอสมันเท่ากับ 335 ก/ลบดม. จึงได้น้ำหนัก
 ของถ่านในคอสมัน $= 2.03 \times 10^{-3} \times 335 \times 10^3 = 680$ กรัม ในกรณีนี้ น้ำเข้ามี
 พาราควอท 200 ส่นล และถึงจุดหยุดการเดินคอสมัน (breakthrough point) ที่ 17 ซม.
 และอัตราป้อนน้ำ $3.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ชม}$ หรือ $7.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ชม}$ จะได้ปริมาณน้ำที่ป้อนเข้า
 ระบบ เท่ากับ $7.09 \times 10^{-3} \times 17 \times 1,000 = 120.53$ ล. สำหรับพาราควอทที่ถูกดูดซับไป
 จึงมีค่าเท่ากับ $120.53 \times 200 \div 1,000 = 24.106$ ก หรือเทียบเท่า 0.035 กรัม
 พาราควอท/กรัมถ่านเอซี

ในทำนองเดียวกันสำหรับกรณีพาราควอท 50 ส่นล และอัตราการป้อนน้ำเข้า $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ชม}$ ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านเอซีจึงมีค่า 0.031 กรัมพาราควอท/กรัมเกล็ดถ่าน
 เอซี

ดังนั้นในการใช้ถ่านเอซีกำจัดพาราควอท จึงควรเปลี่ยนเกล็ดถ่านเมื่อความสามารถ
 ในการดูดติดผิวลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้สองวิธี วิธีแรกโดยการวิเคราะห์หาปริมาณพาราควอท
 ในน้ำที่ผ่านคอสมัน และอีกวิธีหนึ่งคือคำนวณจากความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านที่เท่ากับ
 ประมาณ 0.03 ก/ก ซึ่งวิธีนี้จะต้องทราบความเข้มข้นของพาราควอทในน้ำที่ป้อนคอสมันตลอดเวลา
 และอาจจะยุ่งยาก หากความเข้มข้นของน้ำทิ้งมีค่าแปรผันตลอดเวลา

5.4 ขั้นตอนที่เหมาะสมในการกำจัดพาราควอท

ในการศึกษาการกำจัดพาราควอทในครั้งนี้ จุดประสงค์หลักเพื่อคัดเลือกวิธีและสาร
 ที่เหมาะสม และประหยัดเพื่อใช้กำจัดพาราควอทในน้ำทิ้งจากแหล่งอุตสาหกรรม จากผลการศึกษา
 ที่ได้จะเห็นได้ว่า เนื่องจากพาราควอทและดินต่างก็เป็นสารที่มีประจุ โดยเฉพาะดินที่ใช้ใน
 การศึกษา เป็นสารธรรมชาติที่มีองค์ประกอบไม่คงที่เหมือนสารแลกเปลี่ยนประจุที่ผลิตขึ้น การกำหนด
 ขั้นตอนในการกำจัดพาราควอทจึงอาศัยผลจากการทดลองเป็นหลัก โดยใช้การกำจัดด้วยดินประกอบกัน
 กับการกำจัดด้วยถ่านเอซีเพื่อให้ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีพาราควอทหลงเหลืออยู่น้อยมากจนไม่สามารถ
 ตรวจพบ และสามารถระบายออกสู่แหล่งรับน้ำสาธารณะได้อย่างปลอดภัย ขั้นตอนการกำจัด
 พาราควอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ขั้นตอนการกำจัดพลาควอทที่ความเข้มข้น 100-500 ส่นล

ความเข้มข้นของพลาควอทในน้ำทิ้ง (ส่นล)	สารที่ใช้ในการกำจัด	ปริมาณ มก/ลบตม	ขั้นตอนการกำจัด
100	ดินเบนโทไนท์	2,000	ใช้ดินกำจัดเพียงขั้นตอนเดียว
101-300	ดินเบนโทไนท์	3,000	ใช้ดินกำจัดเป็นขั้นตอนแรก แล้วล้างผ่านการกำจัดโดยใช้ถ่านเอซี
301-500	ดินเบนโทไนท์ ถ่านเอซี	2 x 3,000	ใช้ดินกำจัดเป็นขั้นตอนแรก น้ำทิ้งจะมีปริมาณพลาควอทลดลงเหลือประมาณ 300 มก/ลบตม (น้ำทิ้งเริ่มต้น 500 ส่นล) แล้วจึงกำจัดโดยใช้ดินอีกครั้ง แล้วทำการกำจัดโดยใช้ถ่านเอซีเป็นขั้นตอนสุดท้าย

การกำจัดพลาควอทที่มีปริมาณต่ำหรือประมาณ 100-500 มก/ลบตม ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นของพลาควอทที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตและบรรจุในสภาพปกติ การแบ่งการบำบัดเป็นหลายขั้นตอนสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้ง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานทำให้สามารถตรวจวัดปริมาณพลาควอทในน้ำทิ้งก่อนทำการกำจัดและสามารถเลือกขั้นตอนในการกำจัดให้เหมาะสมตามปริมาณพลาควอทที่อยู่ในน้ำทิ้งได้

เพื่อป้องกันการผิดพลาดอันเนื่องมาจากองค์ประกอบของดินซึ่งเลือกใช้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำสุด 50×10^{-8} ก/ก ในการคำนวณหาปริมาณดินในการกำจัด ดังนั้นหากต้องการกำจัดน้ำทิ้งที่มีพลาควอทอยู่ 2,000 ส่นล จนปริมาณพลาควอทในน้ำที่ผ่านการบำบัดเหลือต่ำสุดจนตรวจไม่พบจะต้องใช้ดินเบนโทไนท์ในปริมาณ 40 ก/ลบตม หรือ 40 กก/ลบตม และจากการทดลองใช้ดินเบนโทไนท์ 40 ก/ลบตม ในการกำจัดสารละลายที่มีความเข้มข้น 2,000 ส่นล ปรากฏว่าสามารถกำจัดพลาควอทในสารละลายจนไม่สามารถตรวจพบ และผลของน้ำที่ผ่านการกำจัดด้วยดินเบนโทไนท์มาผ่านการกำจัดด้วยดินเบนโทไนท์มาผ่านการกำจัดโดยถ่านเอซีกครั้งหนึ่งเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถกำจัดพลาควอทได้จนหมด ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองพบว่า การกำจัดโดยผ่านคอลัมน์ถ่านเอซีกสามารถกำจัดพลาควอทในช่วงปริมาณสูงถึง 200 มก/ลบตม ให้เหลือต่ำสุดจนตรวจไม่พบได้เช่นกัน

ดินที่ใช้ในการกำจัดพลาควอทควรเป็นดินที่มีปริมาณมอนทอร์มิลโลไนท์ซึ่งเป็นแร่ที่มีความสามารถในการดูดซับพลาควอทสูง จากการศึกษานอกเหนือจากดินเบนโทไนท์จากไอซีไอ ซึ่งเป็นดินที่ใช้ในการกำจัดน้ำทิ้งของบริษัสดังกล่าวที่มีแนวโน้มที่จะมีองค์ประกอบของมอนทอร์มิลโลไนท์อยู่สูงและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีแล้วนั้นดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่นซึ่งเป็นดินที่มีขายกันตามท้องตลาด (ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นในขบวนการตกตะกอน) และราคาถูก (8 บาท/กก) ก็เป็นดินอีกชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกับดินเบนโทไนท์จากไอซีไอ เนื่องจากมีร่องค้ำประกอบที่คล้ายคลึงกันประกอบกันและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดพลาควอทที่ 100-200 ส่นล จึงสมควรจะพิจารณาเป็นสารที่มีความเหมาะสมในการกำจัดพลาควอทในน้ำทิ้ง