บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิธีวิเคราะห์พาราควอท

วิธีการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ก) วิธีอันเป็นทางการของเอโอเอซี (Association of official Analytical Chemists, AOAC) ข) ซีแพค (Collaborative International Pesticide Analytical Council Handbook, CIPAC) และ ค) อีพีเอ (U.S. Environmental Protection Agency, EPA-Manual of Chemical Methods fcr Pesticides and Devices)(23)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีเอโอเอซี (AOAC) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในการตรวจวัดปริมาณพาราควอทในน้ำ ดิน และพืช โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความเข้มของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของพาราควอทกับโซเดียมไดไธโอไนท์ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งความเข้มของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณของพาราควอทที่มีอยู่ในตัวอย่าง ปริมาณของพาราควอทสามารถวิเคราะห์ได้จากการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากสารละลายมาตรฐานพาราควอทที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน และเทียบสีที่ความยาวคลื่นแสง 600 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

ถึงแม้วิธีการวัดดังกล่าวจะเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง แต่ก็ได้พบภายหลังว่ามีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์สูง จึงทำการศึกษาหาวิธีการที่สามารถให้ผลได้แม่นยำขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าทางภาควิชาเคมีวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(4ได้ทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์พาราควอทขึ้น และสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีของเอโอเอซีที่ใช้กันอยู่เดิม ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงใช้วิธีที่ทางภาคเคมีวิเคราะห์ได้พัฒนาขึ้นในการวิเคราะห์หาปริมาณพาราควอทตลอดการทำการศึกษาวิจัย

4.2 สารละลายพาราควอท

4.2.1 สารละลายมาตรฐานพาราควอท

สารละลายสต๊อก (stock solution) ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/

มิลลิลิตรของพาราควอทที่ใช้ในการทำกราฟมาตรฐานในการทดลอง เตรียมขึ้นโดยใช้พาราควอทไดคลอไรด์บริสุทธิ์ (pure paraguat dichloride', $C_{14}H_{14}N_2Cl_2$ (mol. wt., 257.2, 72.4 % cation) ซึ่งอบที่ 100°ซ เป็นเวลา 5 ชม. และทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ ในปริมาณ 0.0864 กรัมละลายในสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride solution) จนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใช้สารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ 2.5 มิลลิลิตร เจือจางให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตรโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ จะได้สารละลายมาตรฐานที่คงตัวในสภาวะปกติ

4.2.2 ความเข้มข้นพาราควอทที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของพาราควอทที่เหมาะสมในการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในภาคสนาม จึงได้เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานที่ผลิตและจำหน่ายพาราควอท ซึ่งในที่นี้ได้ใช้น้ำทิ้งของบริษัทไอซีไอ เอเชียติก (เกษตร) จำกัด และพบว่าพาราควอทในตัวอย่างน้ำอยู่ระหว่าง 4.6 ถึง 26.17 ส่วนล้าน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 12.13 ส่วนล้าน (หรือ มก./ลบ.ดม) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของพาราควอทในน้ำทิ้งจากโรงงานบรรจุพาราควอท

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	6	7
ปริมาณพาราควอท (ส่วนล้าน)	26.17	9.74	7.9	8.3	4.6	6.67	21.53

การที่ปริมาณพาราควอทในน้ำทิ้งอยู่ในปริมาณต่ำ จากการตรวจสอบจากทางโรงงานพบว่า เป็นน้ำที่ผ่านการกำจัดมาแล้ว จึงได้สมมติความเข้มข้นของพาราควอทที่ใช้ในการทดลองในช่วง 100, 200, 300 และ 500 ส่วนล้าน ตามลำดับ และในกรณีที่มีการถ่ายระบายสารละลายสต๊อกพาราควอทออกโดยเปรียบพลันอาจมีความเข้มข้นสูงถึง 2,000 ส่วนล้าน จึงเพิ่มความเข้มข้นของพาราควอทที่ใช้ในการทดลองที่ 1,000 และ 2,000 ส่วนล้านด้วย

4.2.3 สารละลายพาราควอทที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อความสะดวกและความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง การวิจัยนี้จึงใช้น้ำทิ้งสังเคราะห์มาเป็นตัวแทนในการทดลอง สามารถเตรียมขึ้นโดยใช้น้ำกลั่นเจือจางสารละลายสต๊อกพาราควอทมาตรฐานที่รู้ความเข้มข้นแล้ว ในที่นี้ได้ใช้สารละลายสต๊อกพาราควอทจากบริษัทไอซีไอ เอเชียติก (เกษตร) จำกัด ซึ่งเป็นสารละลายที่ยังไม่ได้เติมสีน้ำเงินลงไป[1] ทั้งนี้ไม่อาจใช้พาราควอทที่ขายกันอยู่ในท้องตลาด หรือพาราควอทที่ได้เติมสีน้ำเงินแล้วเป็นสารละลายพื้นฐานสำหรับการวิจัย ซึ่งจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดเชิงบวกในการอ่านค่าพาราควอท เพราะค่าที่อ่านได้จะมากกว่าที่เป็นจริงอันเป็นผลมาจากสีน้ำเงินที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากพาราควอท

จากการตรวจวัดสารละลายพาราควอทเข้มข้น (ที่ยังไม่ได้เติมสี) พบว่ามีความเข้มข้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณพาราควอท 300 ก/ลบ.ดม พีเอชประมาณ 1.3 ทั้งนี้เนื่องจากพาราควอทมีความคงตัวในสารละลายที่เป็นกรด

4.3 การกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินประเภทต่าง ๆ

การทดลองกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินประเภทต่าง ๆ เป็นการทดลองหาพีเอชและปริมาณตลอดจนชนิดของดินที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกำจัดพาราควอท การศึกษาครั้งนี้ดินที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ดินเบนไทไนท์จากบริษัท ไอซีไอ เอเชียติก (เกษตร) จำกัด ดินเบนไทไนท์จากประเทศญี่ปุ่น และดินแกมมีออน เอิร์ท โดยใช้กรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอช ผลการทดลองกำจัดพาราควอทของดินทั้งสามชนิดสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1 การกำจัดพาราควอทด้วยดินเบนไทไนท์ (ไอซีไอ)

การกำจัดพาราควอทกระทำโดยใช้ดินเบนไทไนท์ (ไอซีไอ) เป็นสารกำจัดโดยใช้ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก./ลบ.ดม. ในการกำจัดพาราควอท

---

[1] เป็นกฎของรัฐที่ต้องเติมสีน้ำเงินลงไปในสารกำจัดวัชพืชพาราควอทที่โดยลักษณะสมบัติมีลออกน้ำตาลเหลือง (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถชี้บ่งได้ทันทีว่าเป็นอันตรายห้ามนำไปรับประทาน สีน้ำเงินนี้จะถูกวัดได้ในกระบวนการวิเคราะห์พาราควอทให้ผลเป็นบวก แม้ว่าตัวอย่างน้ำจะไม่มีพาราควอทอยู่เลย (23)

แต่ละความเข้มข้น ซึ่งในการนี้ได้ใช้ความเข้มข้นของพาราควอทในน้ำสังเคราะห์ที่ 100, 200, 300, 500, 1,000 และ 2,000 ส่วนล้าน ผลของการทดลองจะกล่าวโดยสรุปแยกตามปริมาณความเข้มข้นของพาราควอทส่วนประสิทธิภาพของการกำจัด จากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเมื่อความเข้มข้นของพาราควอทเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัด

ก) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100 ส่วนล้าน

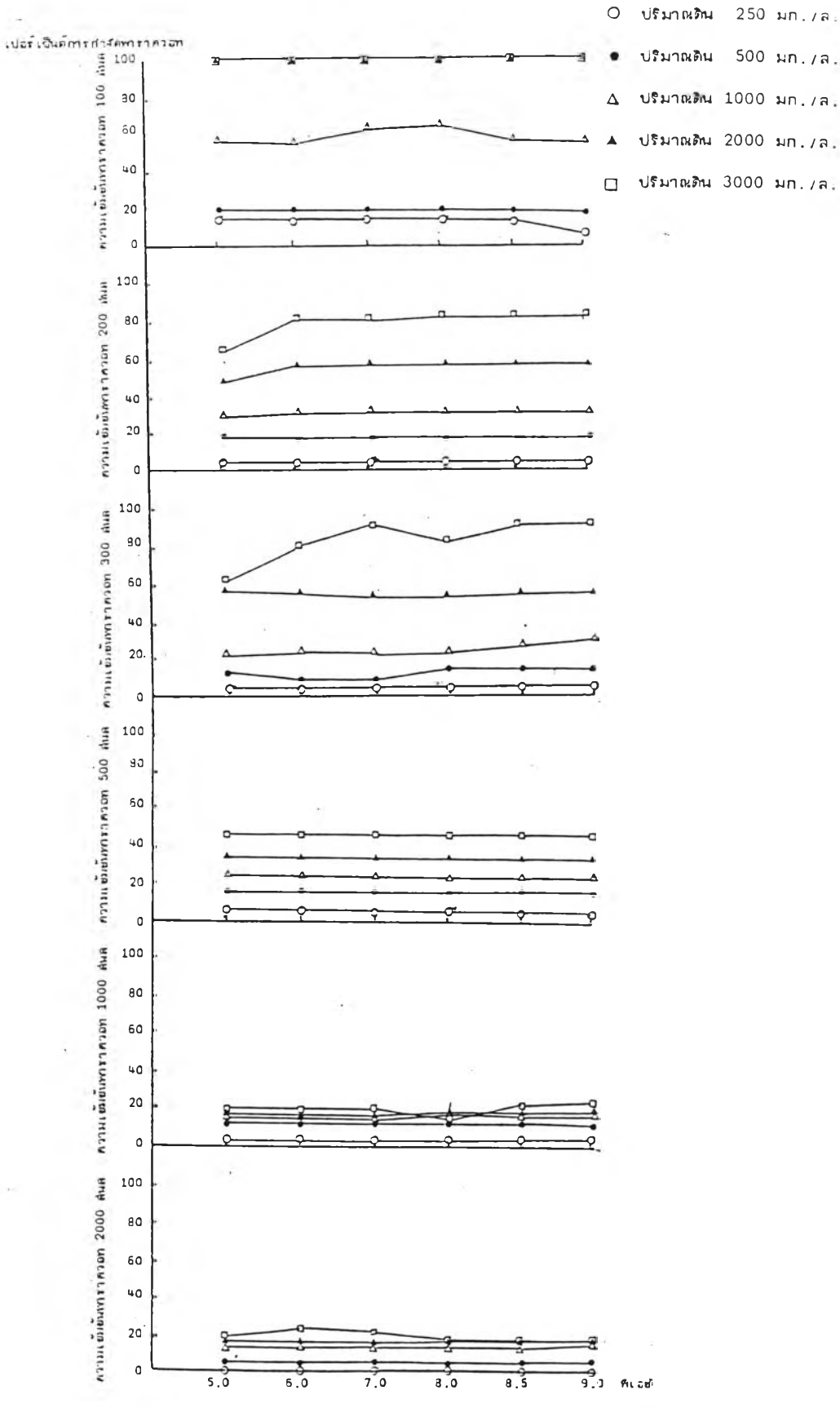
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญต่อการกำจัด ปริมาณพาราควอทที่เหลือในน้ำหลังจากผ่านการกำจัดจะแปรผกผันกับปริมาณดินที่ใช้โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 15, 19, 60 และ 100 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000 และ 2,000 มก/ลบดม. ตามลำดับ ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ระหว่าง $38\text{-}60 \times 10^{-3}$ ก/ก ความชุ่นอยู่ระหว่าง 0.25-7.7 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนระหว่าง 1.5-14 มล/100 มล. แปรตามปริมาณดินที่ใช้และความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ระหว่างน้อยกว่า 0.1 ถึง 0.5 ซม./วินาที รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ค

ข) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 200 ส่วนล้าน

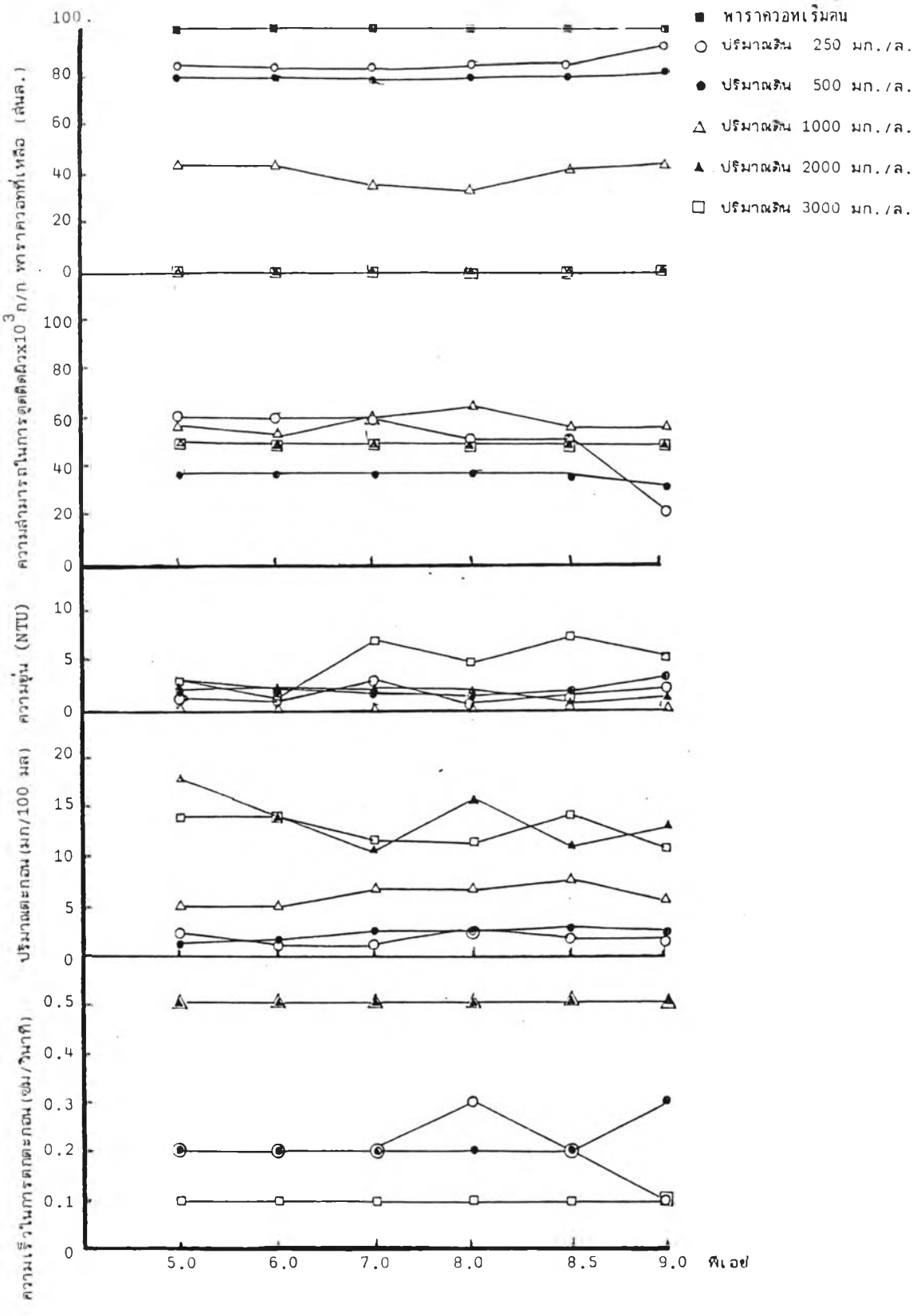
จากรูปที่ 4.3 ปริมาณพาราควอทที่เหลืออยู่ในน้ำหลังจากผ่านการบำบัดมีค่า 35.0 ส่วนล้าน โดยใช้ปริมาณดิน 3,000 มก/ลบดม พีเอชจะไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัด ประสิทธิภาพการกำจัดจะแปรตามปริมาณดินที่เพิ่มขึ้นและมีค่าประมาณร้อยละ 3.5, 17.0, 30, 57 และ 80.5 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ตามลำดับ 1.8-2.4 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ในช่วง 2.0-11.0 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ส่วนความเร็วในการจมตัวของตะกอนมีค่าน้อยกว่า 0.1 ซม/วินาที เมื่อใช้ปริมาณดิน 250 และ 500 มก/ลบดม และอยู่ในช่วง 0.2-0.6 ซม/วินาที ที่ปริมาณดิน 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม

ค) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 300 ส่วนล้าน

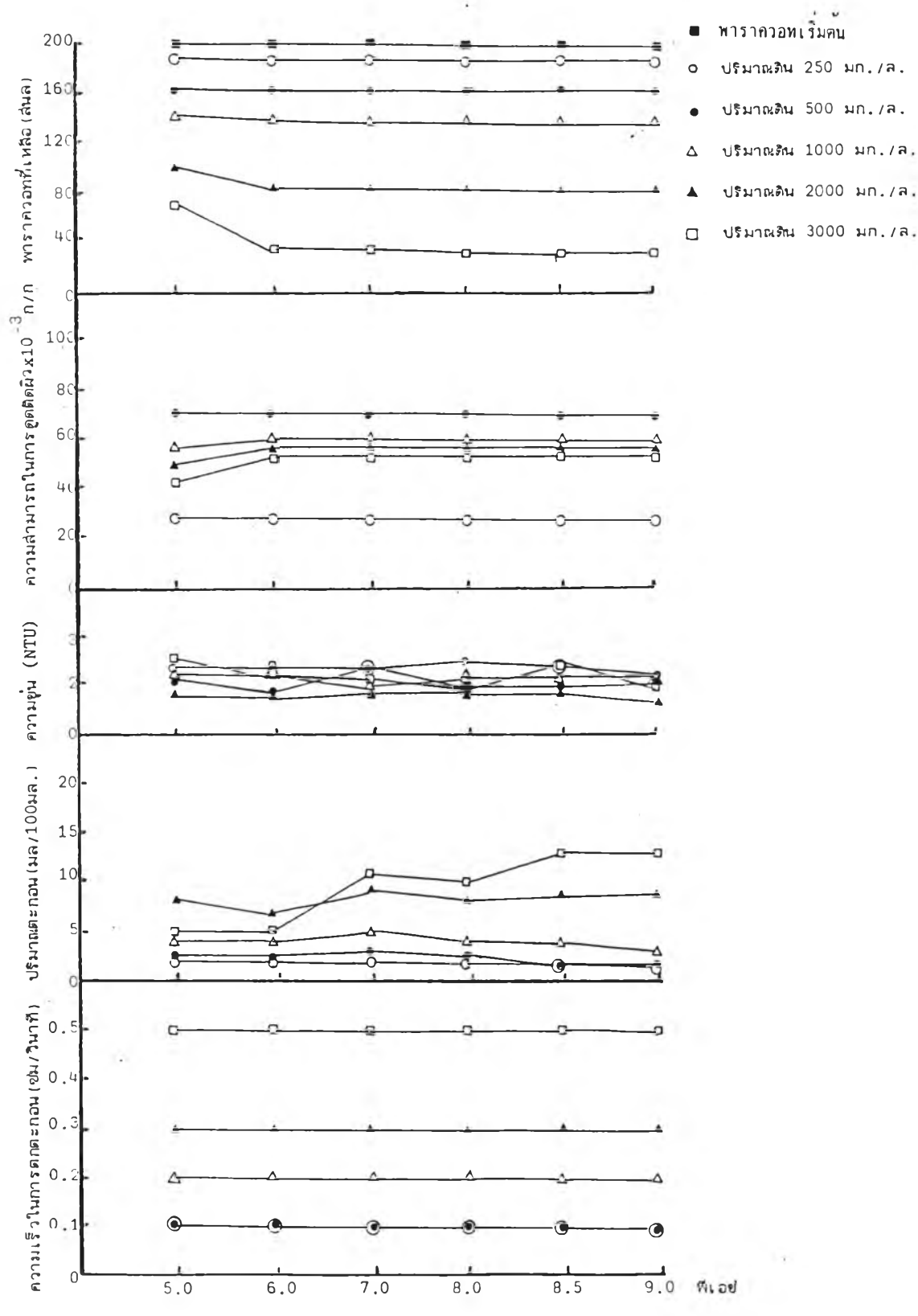
จากรูปที่ 4.4 ปริมาณพาราควอทที่เหลือต่ำสุดหลังจากผ่านการกำจัดมีค่า 27.0 ส่วนล้าน ที่ปริมาณดิน 3,000 มก/ลบดม ค่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญต่อการกำจัด แต่ในการใช้ดินปริมาณ



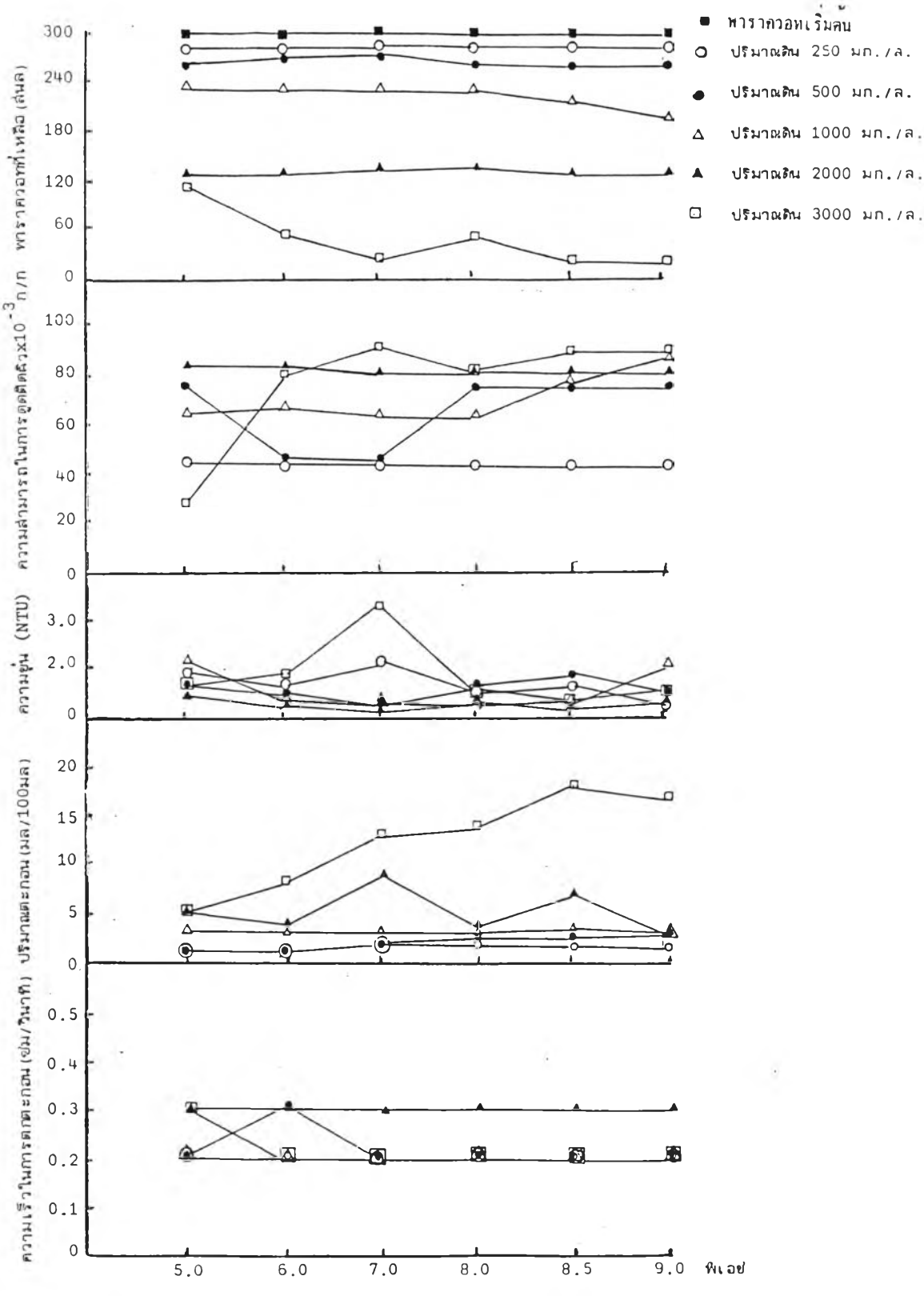
รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-2000ส่วนล.
โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซ์ไอ



รูปที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 100 ส่วน. โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ



รูปที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 200 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ



รูปที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 300 ส่วน ล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ

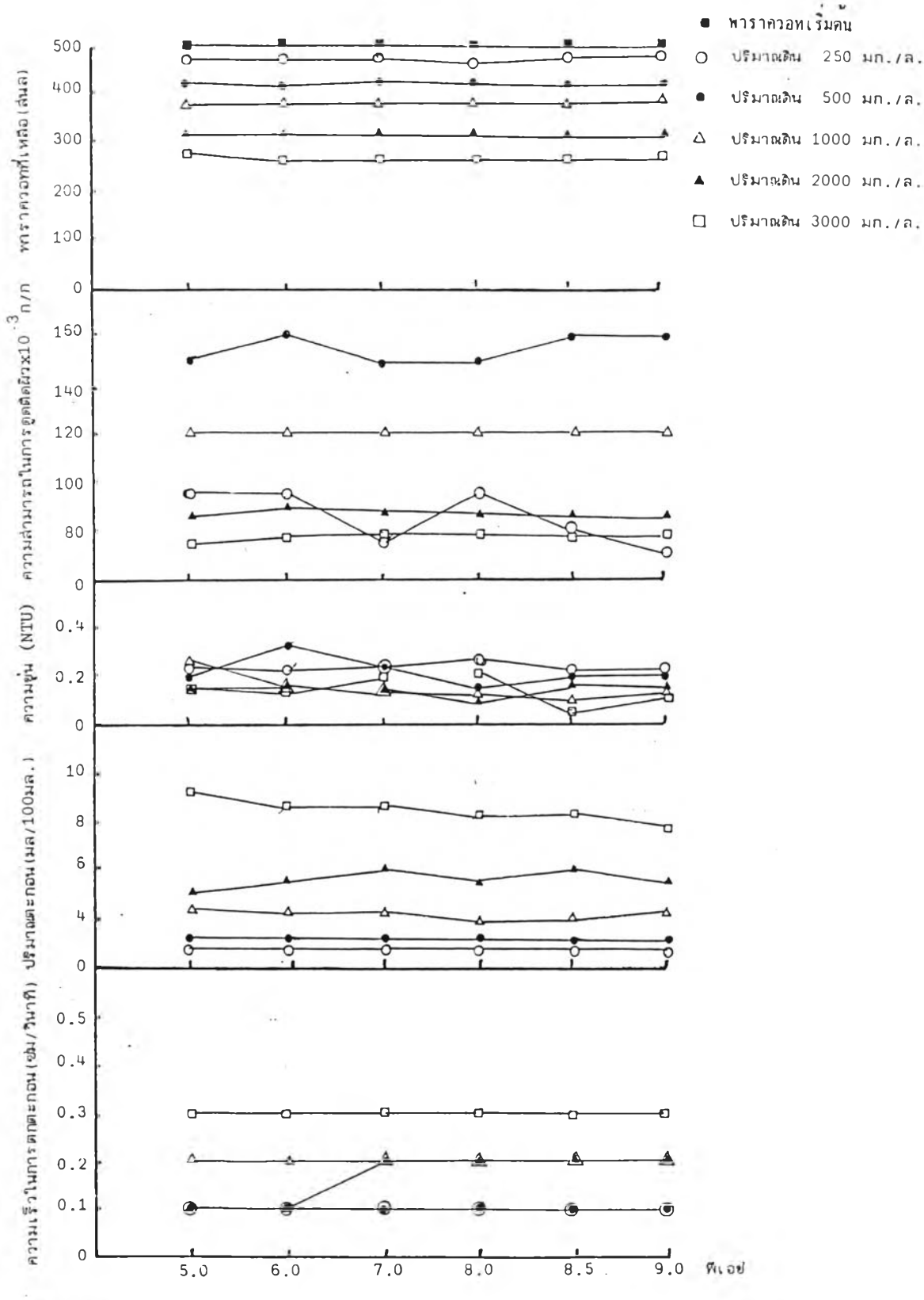
3,000 มก/ลบดม ในการกำจัดจะเกิดการแปรปรวนของประสิทธิภาพการกำจัดที่พีเอชต่าง ๆ ซึ่งผลดังกล่าวจะปรากฏกับความสามารถในการดูดติดผิว ค่าความขุ่น และปริมาณตะกอนอีกด้วย ประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าเป็นร้อยละ 3.7, 7.4, 21.5 และ 53.7 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000 และ 2,000 มก/ลบดม ส่วนประสิทธิภาพของการใช้ปริมาณดิน 3,000 มก./ลบดม จะอยู่ในช่วงร้อยละ 61.1-90.7 โดยมีค่าสูงสุดที่พีเอช 7 และต่ำสุดที่พีเอช 5 ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 44-91x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ระหว่าง 0.7-8.0 เอ็นทียู มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่ปริมาณดิน 3,000 มก/ลบดม ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 2-14 มล/100 มล แบ่งตามปริมาณดินที่ใช้ ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 0.2-0.3 ซม/วินาที

ง) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 500 ส่วนล

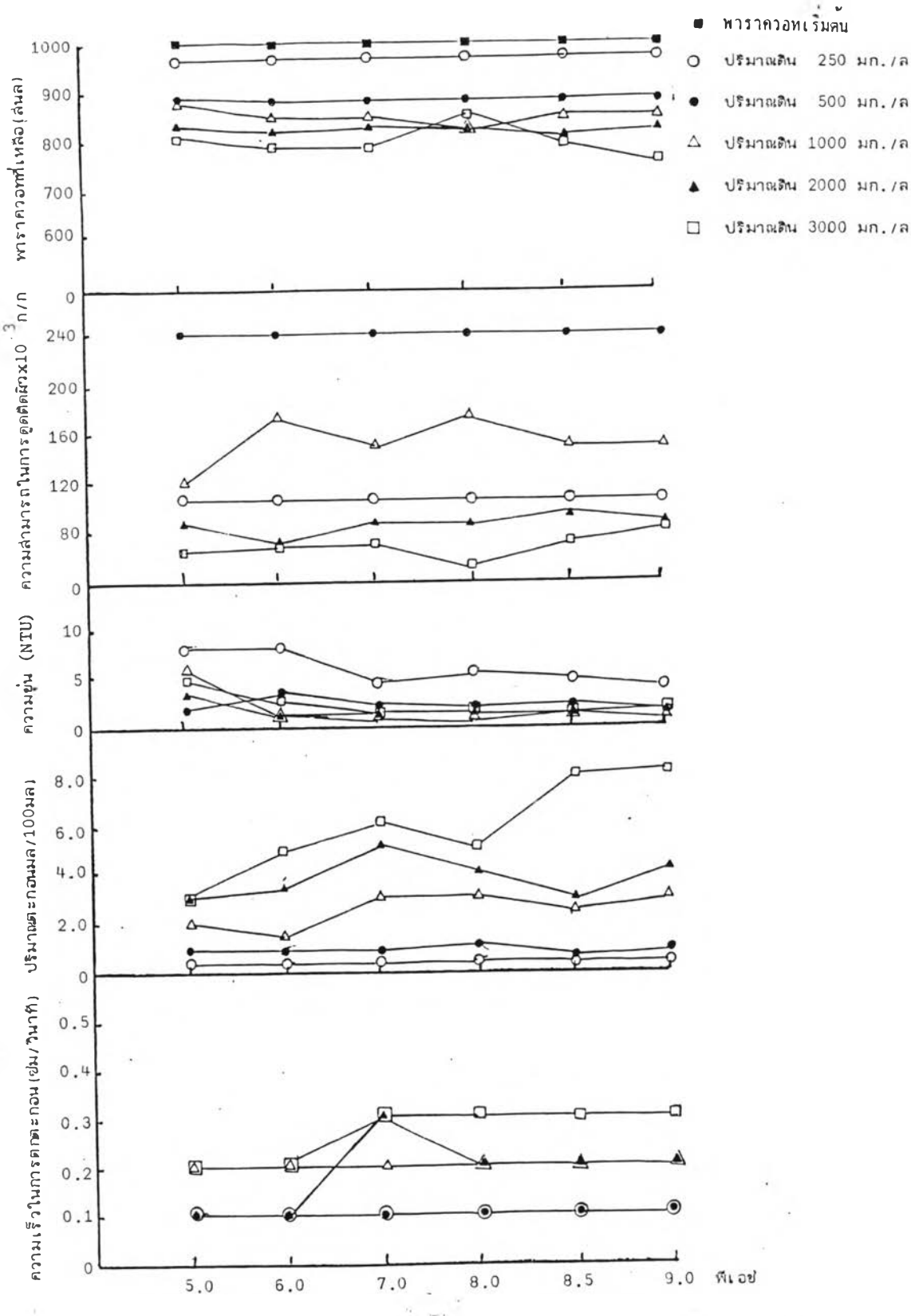
จากรูปที่ 4.5 ปริมาณพาราควอทที่เหลือต่ำสุดจากการใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม มีความเข้มข้น 264 ส่วนล ที่พีเอชประมาณ 7 ค่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเป็นร้อยละ 4.8, 16.0, 24.0, 36.0 และ 47.2 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ตามลำดับ ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 87-160x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ระหว่าง 2.5-3.2 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 1.0-9.0 มล/100 มล. แปรตามปริมาณดินที่ใช้ ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ระหว่างน้อยกว่า 0.1-0.3 ซม/วินาที

จ) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 1,000 ส่วนล

จากรูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 2.7-21.3 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 2.7, 12.0, 15.3, 17.3 และ 21.3 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม โดยแปรตามปริมาณดิน และสามารถกำจัดพาราควอทให้เหลือต่ำสุด 787 ส่วนล โดยใช้ดิน 3,000 มก/ลบดม ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ระหว่าง 71-108x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ในช่วง 1.4-8.1 เอ็นทียู มีความขุ่นสูงเมื่อใช้ปริมาณดินต่ำ ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 0.2-6.0 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.1-0.3 ซม/วินาที



รูปที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 500 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ



รูปที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 1000 ส่วนล. โดยใช้ดิน.บนโทไนท์ไอซีไอ

การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 2,000 ส่วนล

จากรูปที่ 4.7 ปริมาณพาราควอทที่เหลือต่ำสุด 1780 ส่วนล โดยใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม ประสิทธิภาพการกำจัดแปรตามปริมาณดินที่ใช้ ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ระหว่าง 0-100x10^{-3} ก/ก และมีความแปรปรวนในแต่ละพีเอช ความชุ่นใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 1.0-1.6 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ในช่วง 0.3-4.5 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 0.3-4.5 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.1 ถึง 0.5 ซม/วินาทีแปรตามปริมาณดินเช่นกัน

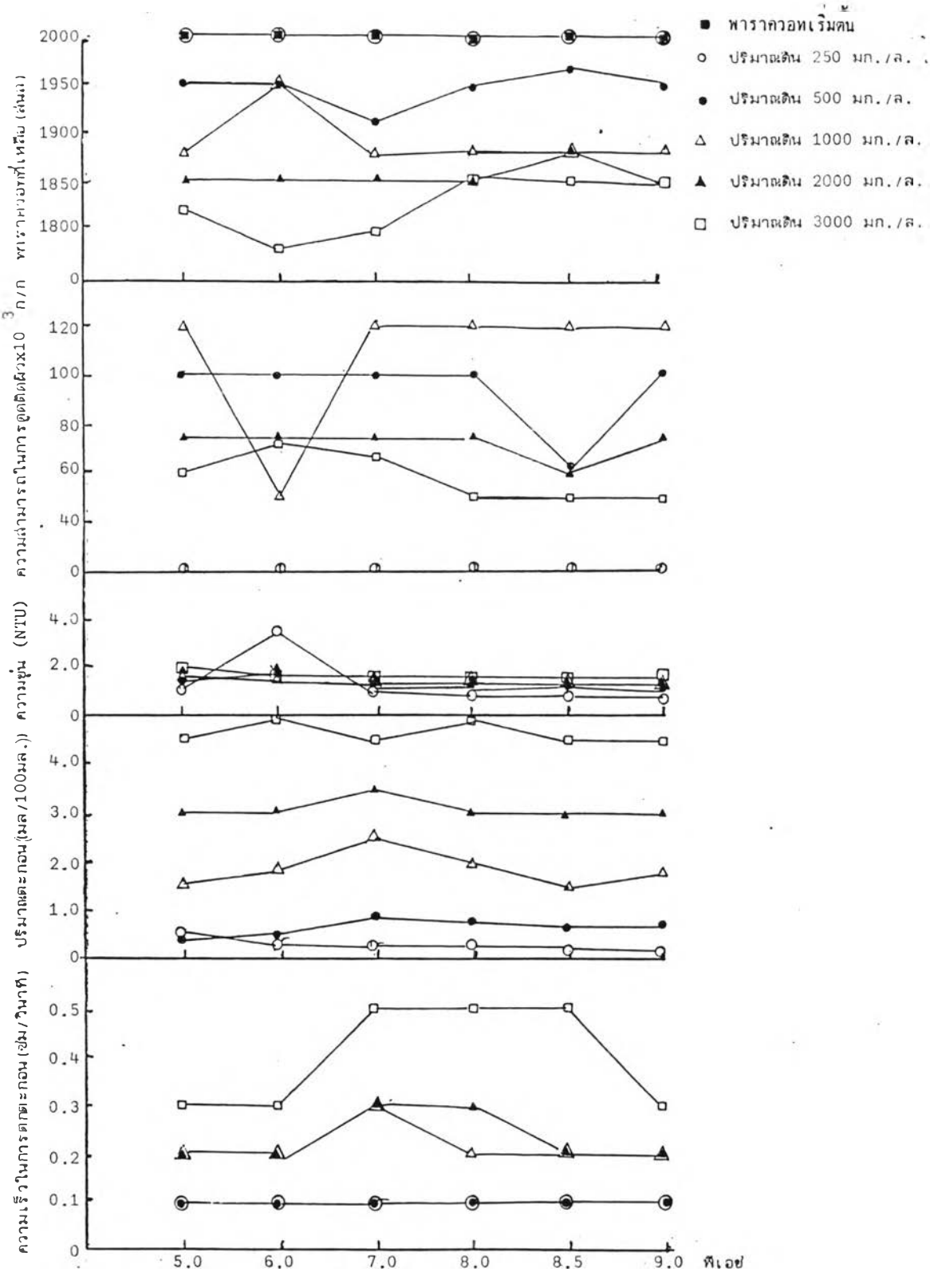
4.3.2 <u>การกำจัดพาราควอทด้วยดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น</u>

การทดลองกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินเบนโทไนท์จากประเทศญี่ปุ่น ทำการทดลองเช่นเดียวกับการกำจัดโดยใช้เบนโทไนท์ (ไอซีไอ)

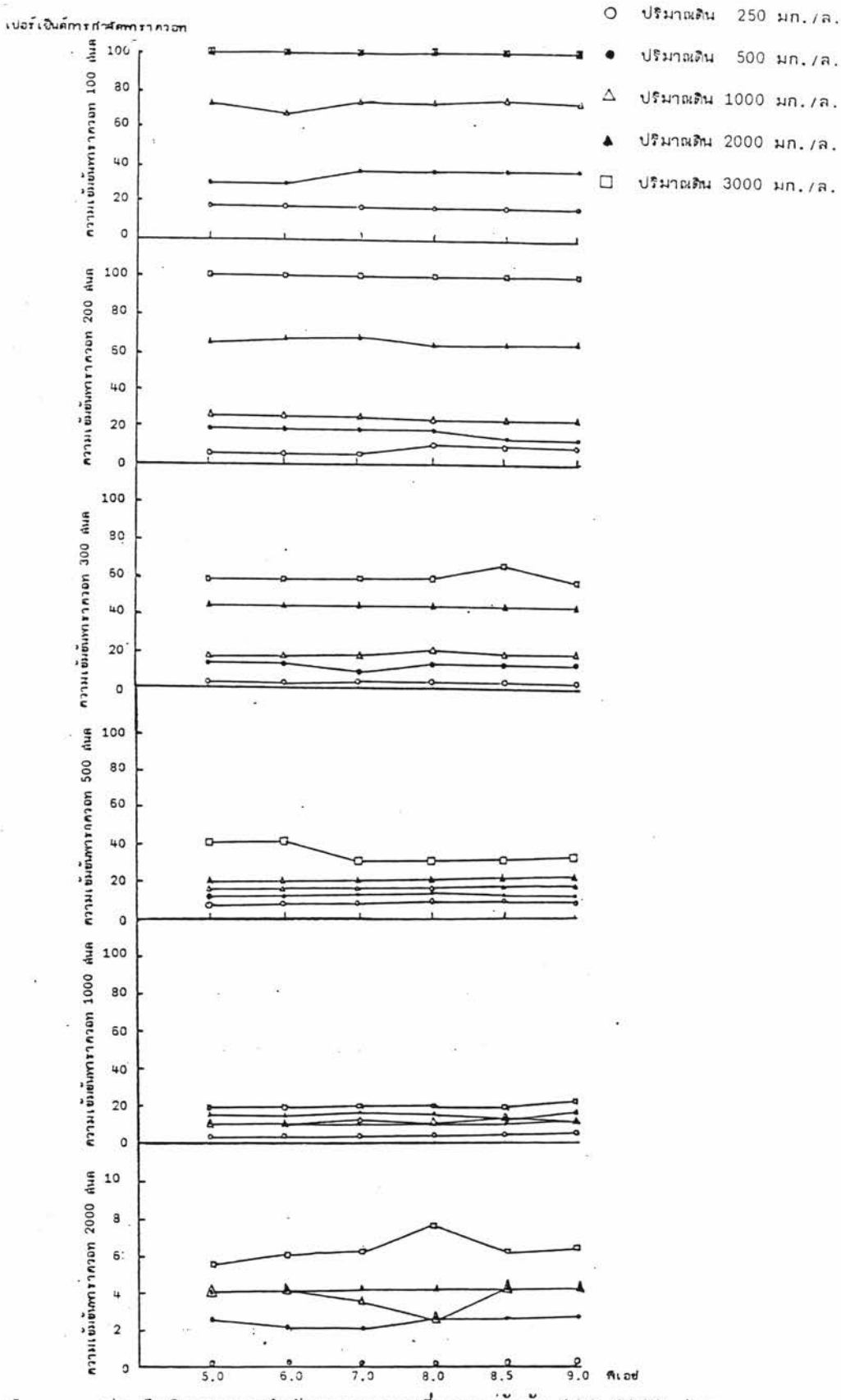
จากรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของพาราควอทเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด แต่ในการกำจัดพาราควอทความเข้มข้น 2,000 มก/ล ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างจะมีความแปรปรวนในแต่ละค่าของพีเอช รายละเอียดของผลการทดลองจะกล่าวโดยสรุปแยกตามปริมาณความเข้มข้นของพาราควอทดังนี้

ก) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100 ส่วนล

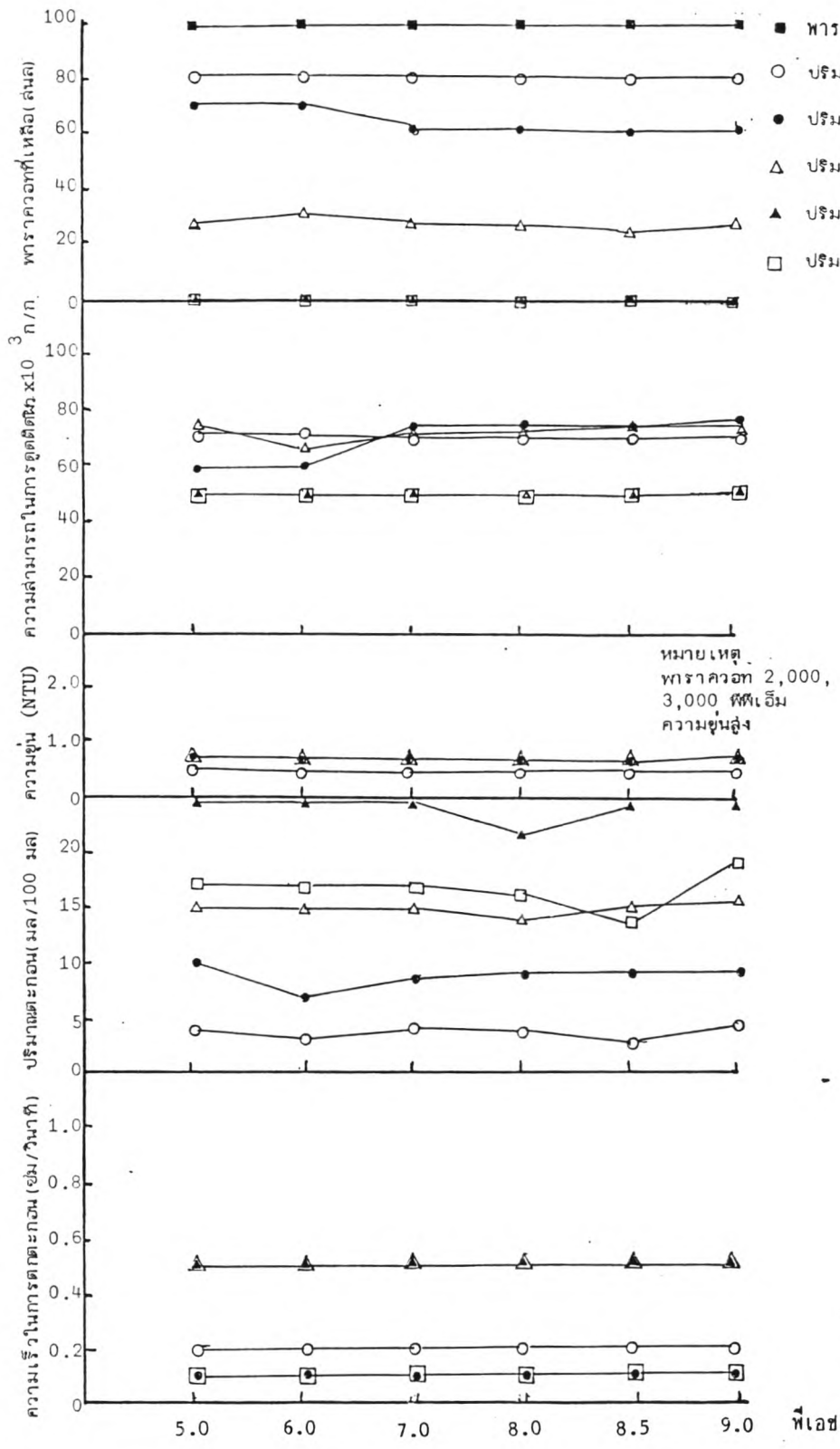
จากรูปที่ 4.9 พบว่าการใช้ดินเบนโทไนท์จากประเทศญี่ปุ่นตั้งแต่ปริมาณ 2,000 มก/ลบดม ขึ้นไป สามารถลดปริมาณพาราควอทในน้ำจนตรวจไม่พบ และมีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 18, 30, 68, 100 และ 100 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม โดยที่พีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัด ความสามารถในการดูดติดผิวมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 50-76x10^{-3} ก/ก ส่วนความชุ่นจะมีค่าสูงมากที่ความเข้มข้นของดิน 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 3.0-25 มล/100 มล โดยปริมาณตะกอนจะแปรตามปริมาณดินในช่วง 250-2,000 มก/ลบดม และลดลงที่ 3,000 มก/ล ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 0.5 ซม/วินาที



รูปที่ 4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 2000 ส่วน/ล้าน โดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-2000 ppm โดยใช้ดินเบนโทไนท์ จากญี่ปุ่น



รูปที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 100 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น

ข) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 200 ส่วนล

จากรูปที่ 4.10 การใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม สามารถกำจัดพาราควอทจนไม่สามารถตรวจพบได้ และมีประสิทธิภาพการกำจัดเป็นร้อยละ 5, 19, 27, 68.5 และ 100 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม โดยพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญต่อการกำจัด ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ระหว่าง 40-76x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ในช่วง 0.6-1.6 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 3.0-9.0 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ส่วนความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 0.5 ซม/วินาที

ค) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 300 ส่วนล

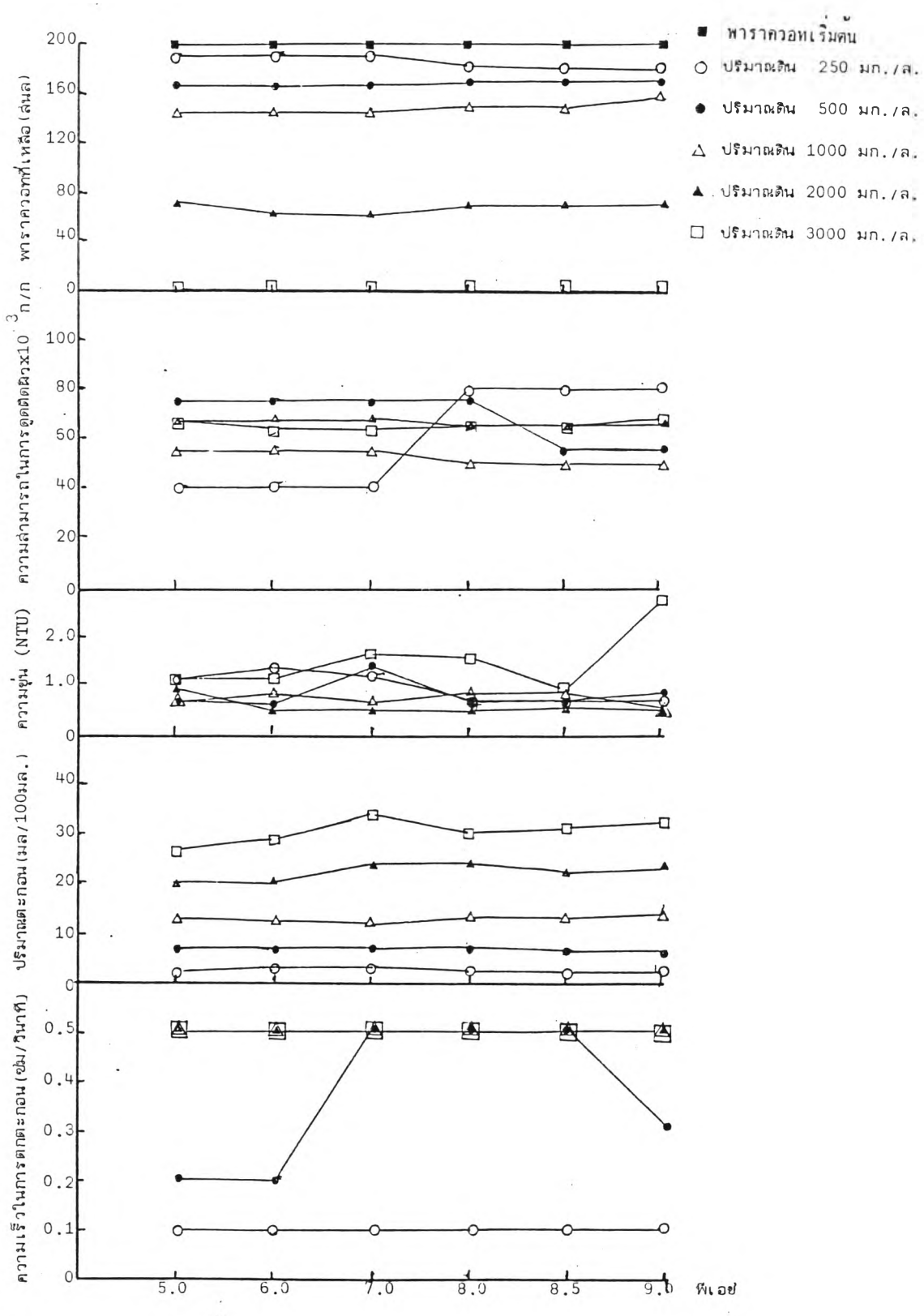
จากรูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดพาราควอทมีค่าร้อยละ 3.7, 7.7, 19.3, 44.0 และ 59 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม โดยพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการกำจัด และสามารถกำจัดพาราควอทได้เหลือต่ำสุด 123 ส่วนล โดยใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 44-76x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ระหว่าง 0.8-1.8 เอ็นทียู ปริมาณตะกอน 2.5-28.0 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 0.5 ซม/ วินาที

ง) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 500 ส่วนล

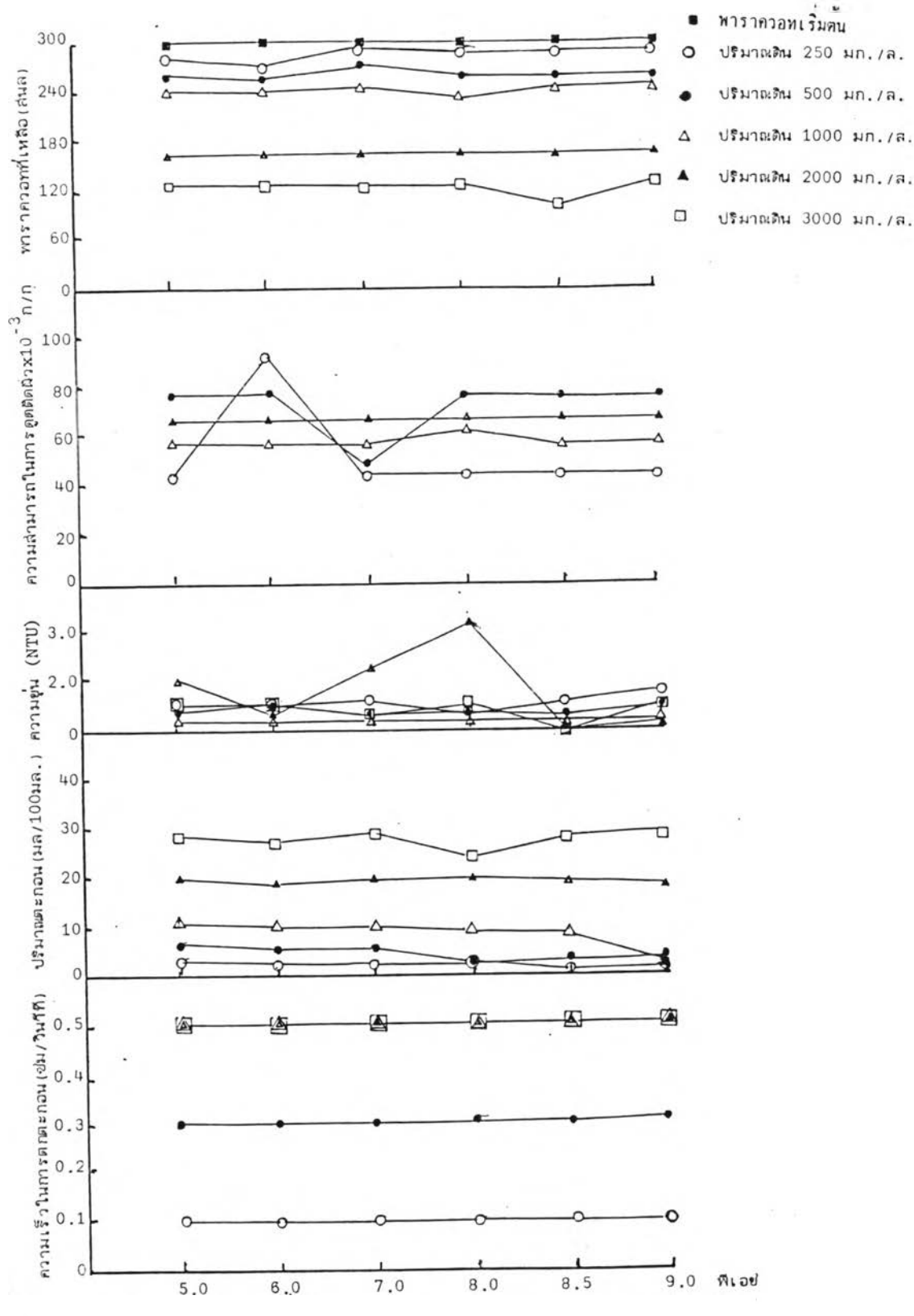
จากรูปที่ 4.12 ความสามารถในการกำจัดพาราควอทที่ปริมาณดินต่าง ๆ ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดเป็น 8.4, 11.6, 16.0, 20.4 และ 40.8 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ตามลำดับ พีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 51-168x10^{-3} ก/ก ความขุ่นระหว่าง 0.8-15 เอ็นทียู ปริมาณตะกอน 1.5-17.0 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 0.5 ซม/วินาที

จ) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 1,000 ส่วนล

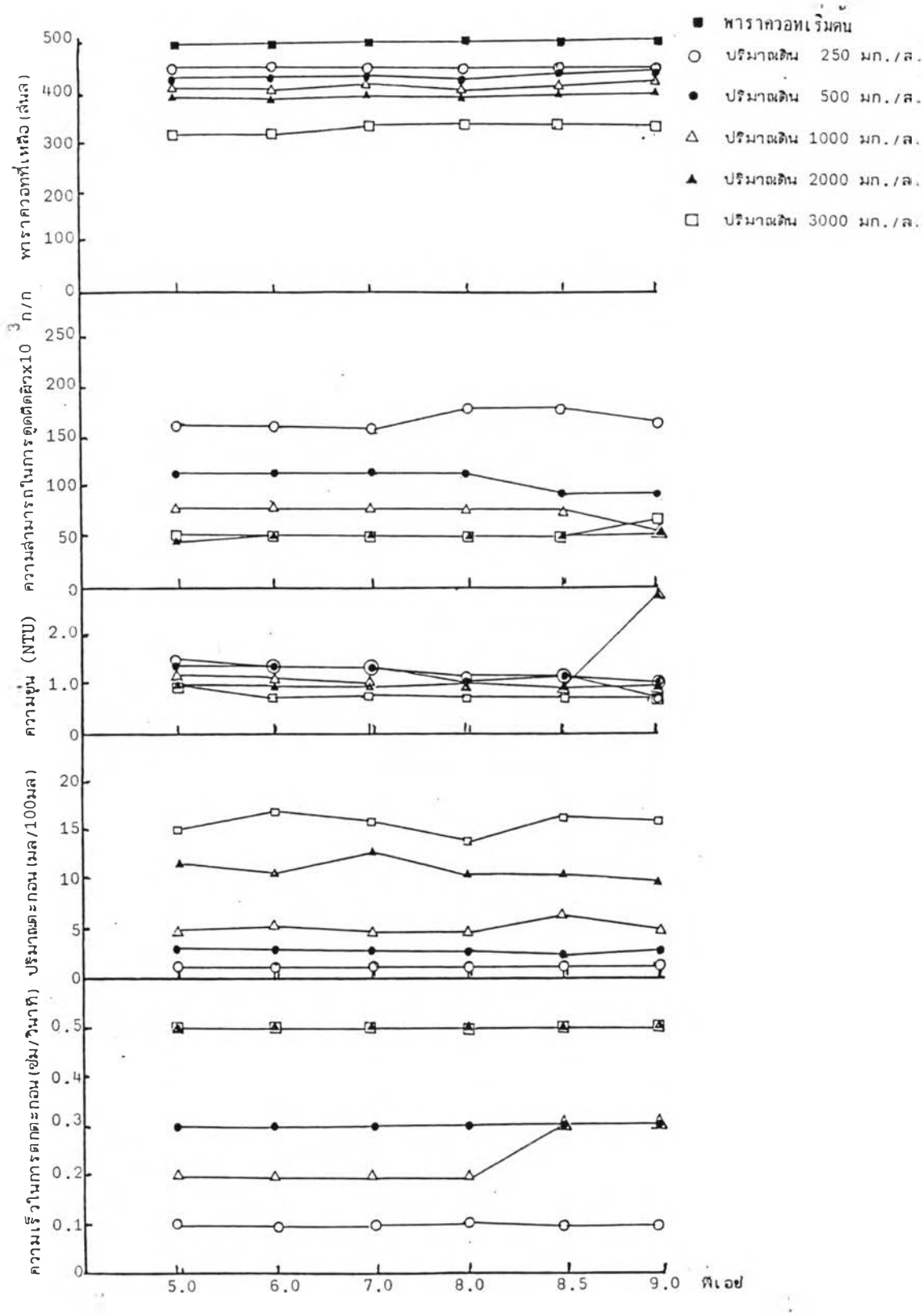
จากรูปที่ 4.13 การใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่นในการกำจัดพาราควอท สามารถลดปริมาณพาราควอทให้เหลือต่ำสุด 814 ส่วนล โดยใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม ประสิทธิภาพ



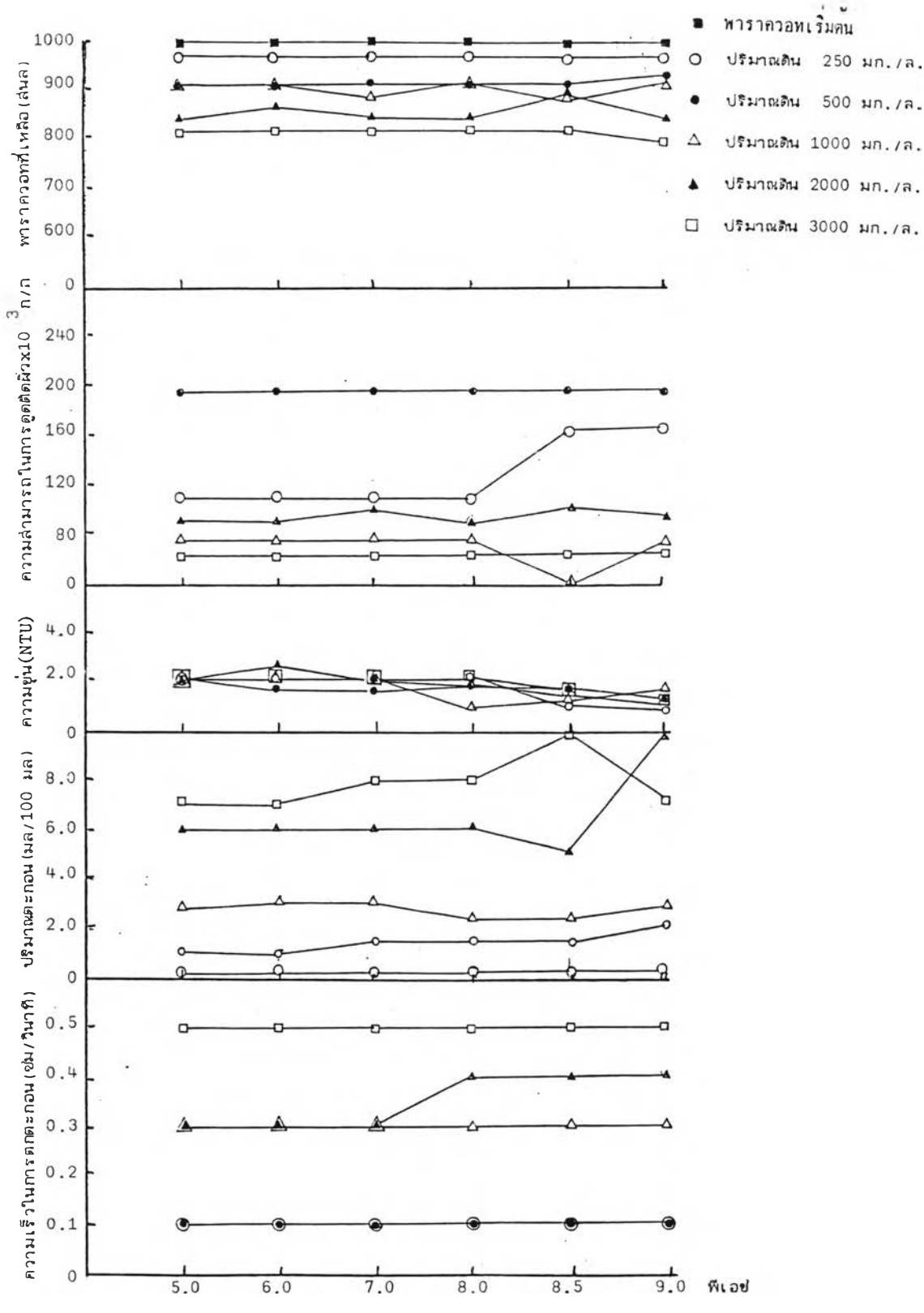
รูปที่ 4.10 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 200 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น



รูปที่ 4.11 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 300 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น



รูปที่ 4.12 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 500 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น



รูปที่ 4.13 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 1000 ส่วน/ล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น

การกำจัดร้อยละ 2.8, 9.7, 11.0, 15.5 และ 18.6 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ตามลำดับ โดยค่าพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัด ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 62-194x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ระหว่าง 1.7-2.5 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 0.5-8.0 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอน 0.1-0.5 ซม/วินาที

ข) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 2,000 ส่วนล

จากรูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ปริมาณดินต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยสามารถกำจัดพาราควอทได้ต่ำสุดเหลือ 1,880 ส่วนล และมีประสิทธิภาพเป็นร้อยละ 0, 2.0, 3.5, 4.0 และ 6.0 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม พีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัด ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 40-80x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ระหว่าง 1.8-3.9 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ในช่วง 0.8-6.0 มล/100 มล และความเร็วในการจมตัวของตะกอน 0.3-0.5 ซม/วินาที

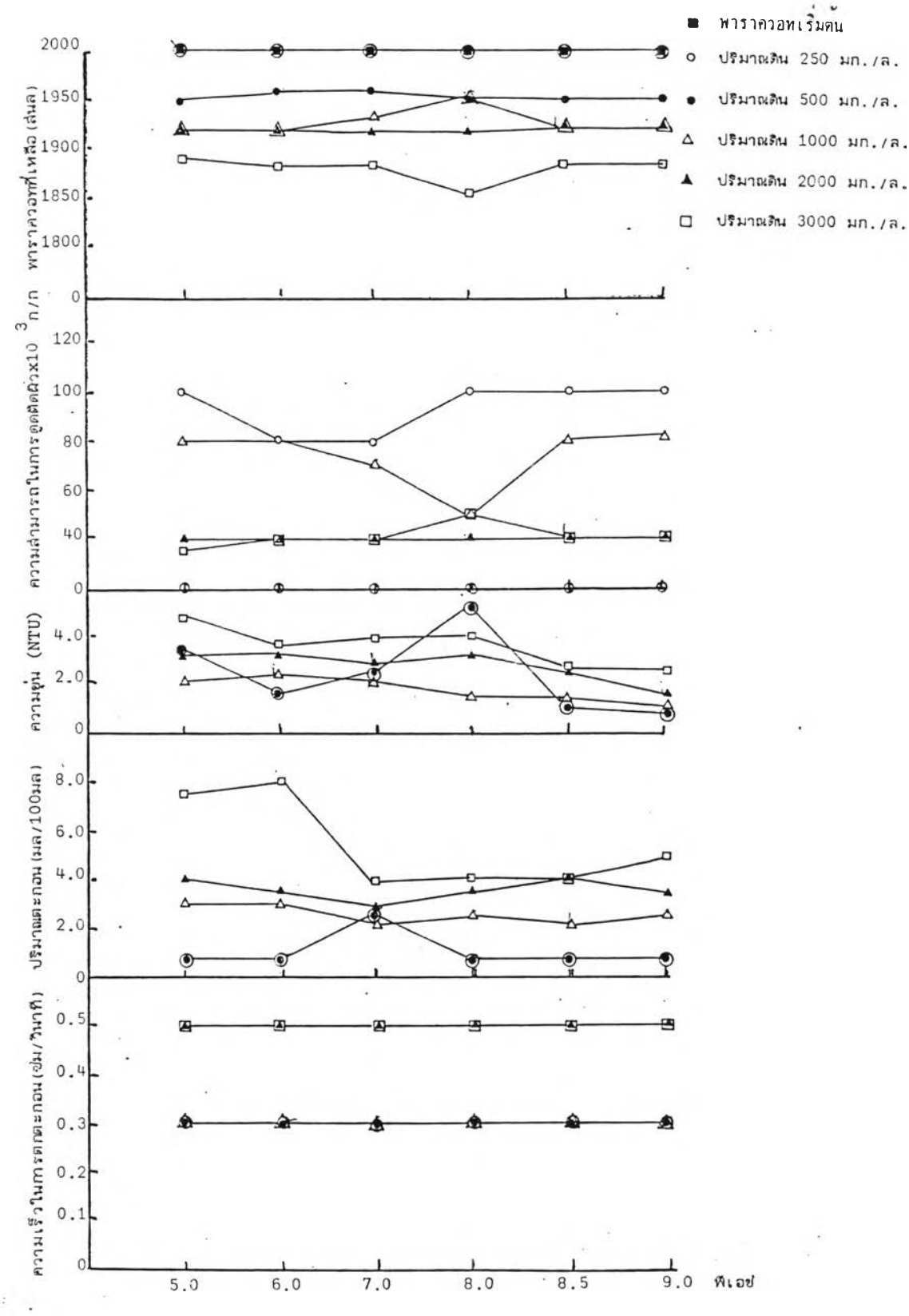
4.3.3 <u>การกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินแกลลีออน</u>

การทดลองกำจัดพาราควอทโดยใช้ดินแกลลีออน กระทำในวิธีเดียวกับการทดลองกำจัดพาราควอทด้วยดินเบนโทไนท์จากไอดาโฮ และดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น

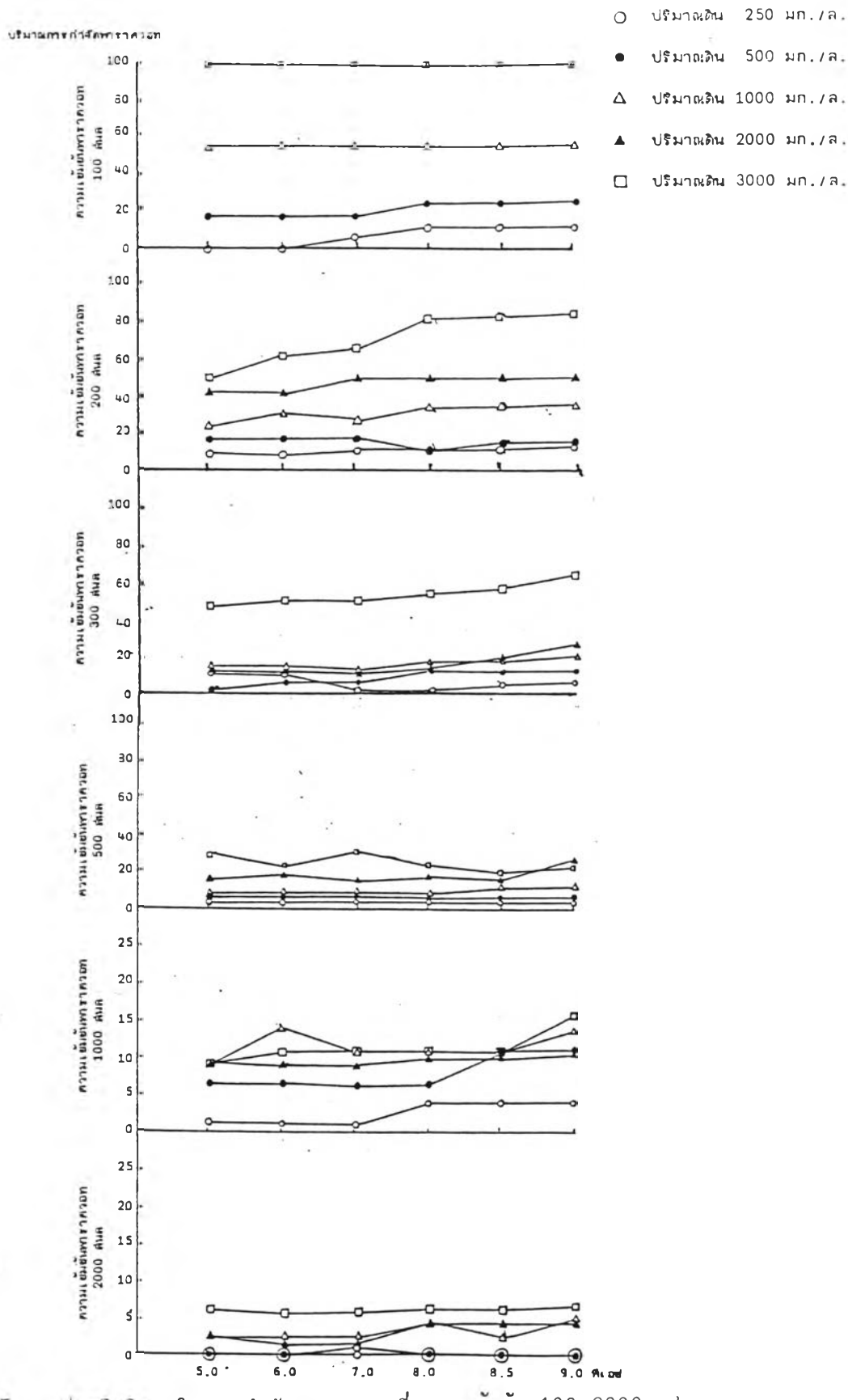
จากรูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเมื่อความเข้มข้นของพาราควอทเพิ่มขึ้น และพีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัด ผลการทดลองสามารถสรุปโดยแยกตามความเข้มข้นของปริมาณพาราควอทได้ดังนี้

ก) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100 ส่วนล

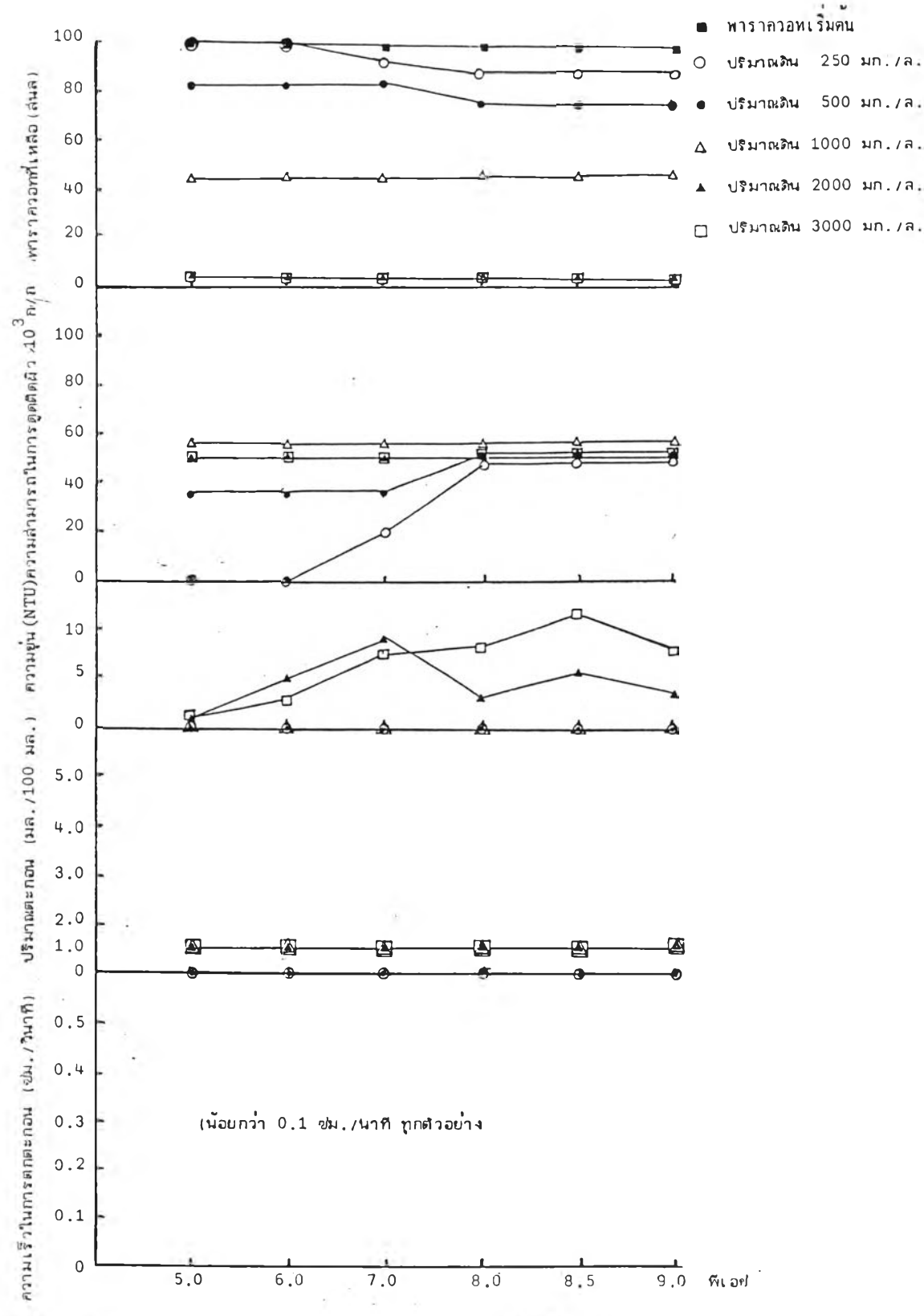
จากรูปที่ 4.16 เห็นได้ว่าที่ปริมาณดิน 2,000 มก/ลบ ขึ้นไปสามารถกำจัดพาราควอทจนตรวจไม่พบและประสิทธิภาพในการกำจัดเป็นร้อยละ 0, 18.0, 56.0, 100 และ 100 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม พีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการกำจัดความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 0-56x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่



รูปที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 2000 ส่วนล. โดยใช้ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 100-2000 ppb. โดยใช้ดินแกลสีออน เอิร์ท



รูปที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 100 ส่วนล. โดยใช้ดินเกลือออน เอิร์ท

ระหว่าง 0.6-5.0 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนต่ำอยู่ระหว่างน้อยกว่า 0.1-1 มล/100 มล ความเร็วในการจมตัวของตะกอนต่ำกว่า 0.1 ซม/วินาทีทุกตัวอย่าง

ข) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 200 ส่วนล

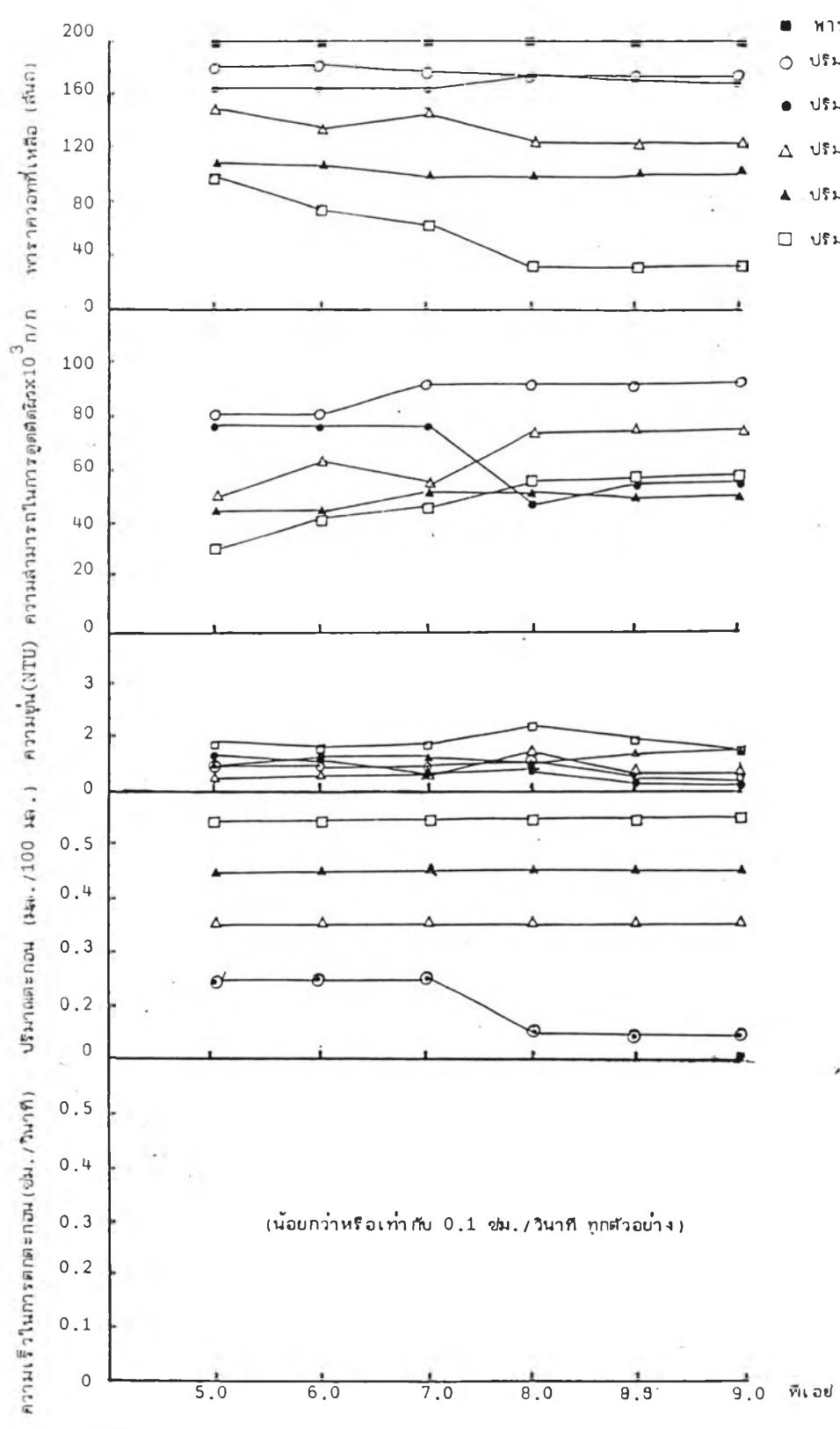
จากรูปที่ 4.17 การใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม สามารถลดพาราควอทจนเหลือ 33 ส่วนล ประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าร้อยละ 10, 19, 27.5, 51.0 และ 83.5 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม พีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดในช่วงที่ใช้ดิน 250-2,000 มก/ลบดม แต่ในการใช้ดิน 3,000 มก/ลบดม ประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่ม ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ระหว่าง 46-92x 10^{-3} ก/ก ความขุ่น 0.8-1.9 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ในช่วง 0.2-0.5 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 ซม/วินาทีทุกตัวอย่าง

ค) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 300 ส่วนล

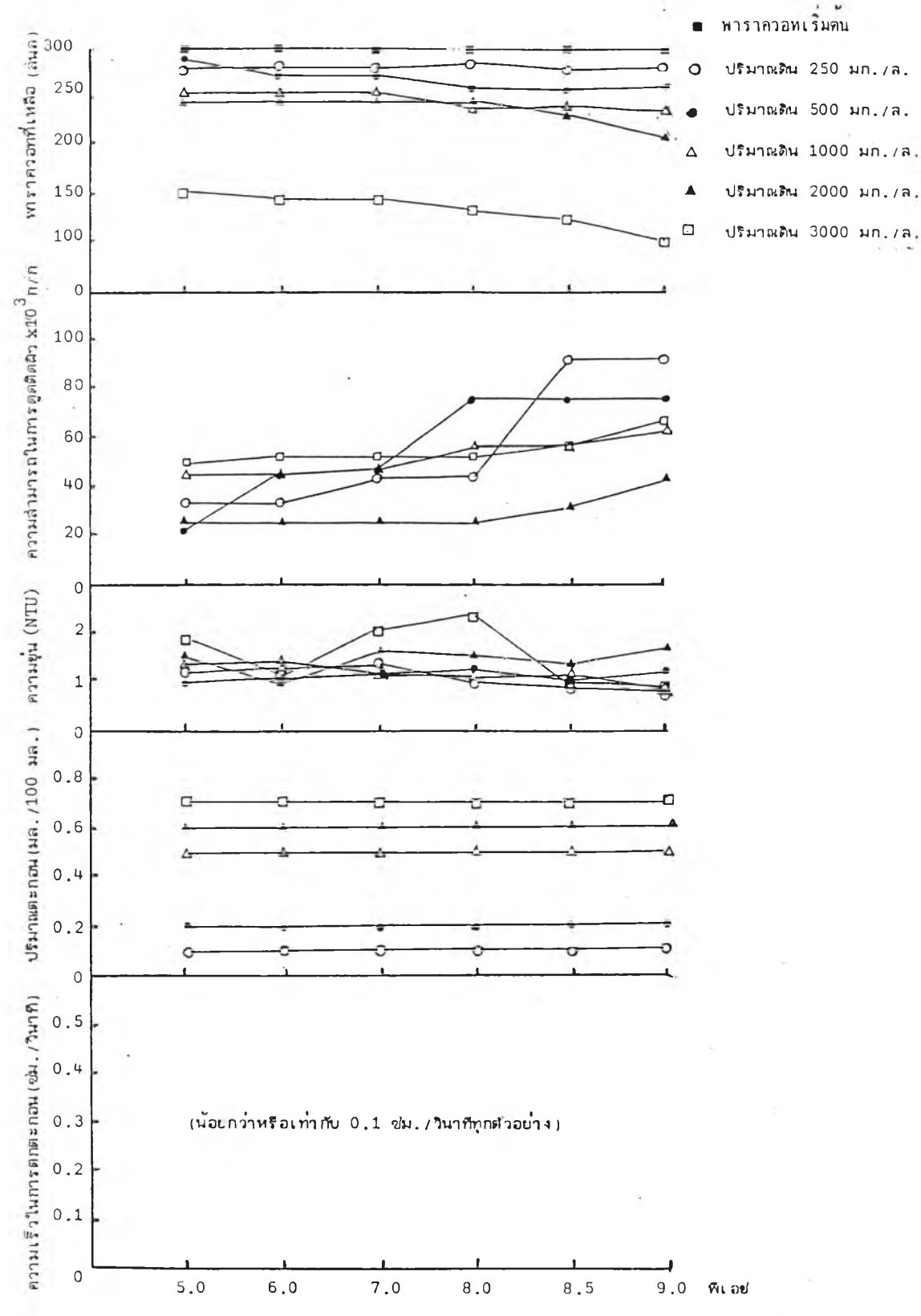
จากรูปที่ 4.18 ปริมาณพาราควอทที่เหลือต่ำสุดหลังการกำจัดมีค่า 100 ส่วนล โดยใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าร้อยละ 5.4, 12.6, 20.7, 29.3 และ 66.7 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม พีเอชไม่มีผลอย่างมีนัยที่สำคัญในการกำจัดที่ปริมาณดิน 250, 500 และ 1,000 มก/ลบดม แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มในการใช้ดินที่ปริมาณ 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง 44-92x10^{-3} ก/ก ความขุ่นอยู่ระหว่าง 0.8-1.7 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ในช่วง 0.2-0.8 มล/100 มล แปรตามปริมาณดิน ความเร็วในการจมตัวของตะกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 ซม/วินาทีทุกตัวอย่าง

ง) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 500 ส่วนล

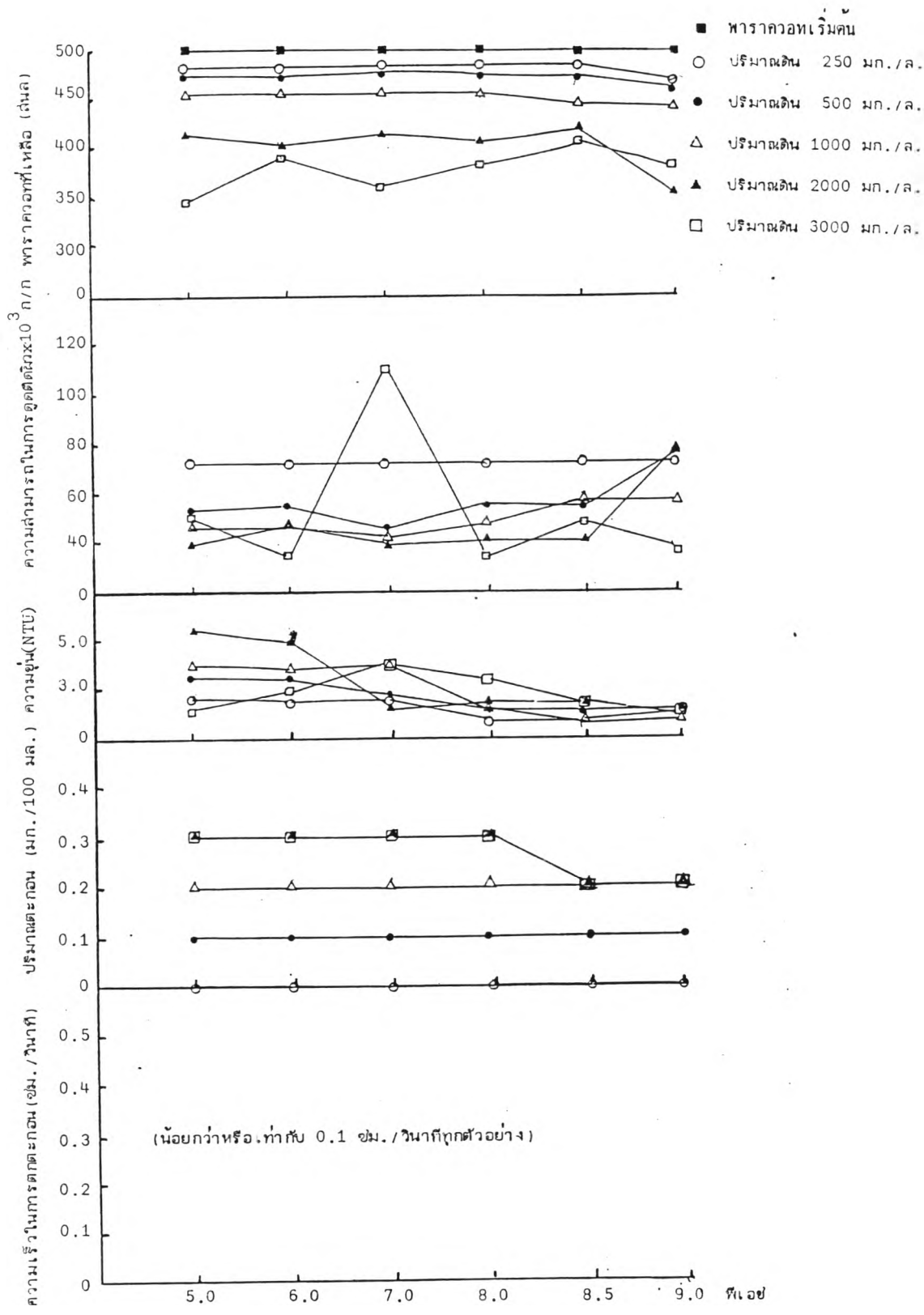
จากรูปที่ 4.19 ปริมาณพาราควอทที่เหลือต่ำสุดหลังจากผ่านการกำจัดประมาณ 348.0 ส่วนล ที่ปริมาณดิน 3,000 มก/ลบดม ประสิทธิภาพในการกำจัดเป็นร้อยละ 3.6, 7.1, 11.6, 15.0 และ 30.4 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม ประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณดิน 2,000



รูปที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 200 ppm. โดยใช้ดินแกลลีออนเอิร์ท



รูปที่ 4.18 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 300 ส่วนล. โดยใช้ดินแกลลีออนเอิร์ท



รูปที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 500 ส่วน โดยใช้ดินแกลลีออกเอิร์ท

และ 3,000 มก/ลบดม ความยุ่นอยู่ในช่วงระหว่าง 1.7-4.6 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง น้อยกว่า 0.1-0.3 มล/100 มล ความเร็วในการจมตัวของตะกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 ซม/วินาที ทุกตัวอย่าง ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง $40\text{-}110 \times 10^{-3}$ ก/ก

ฉ) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 1,000 ส่วนล

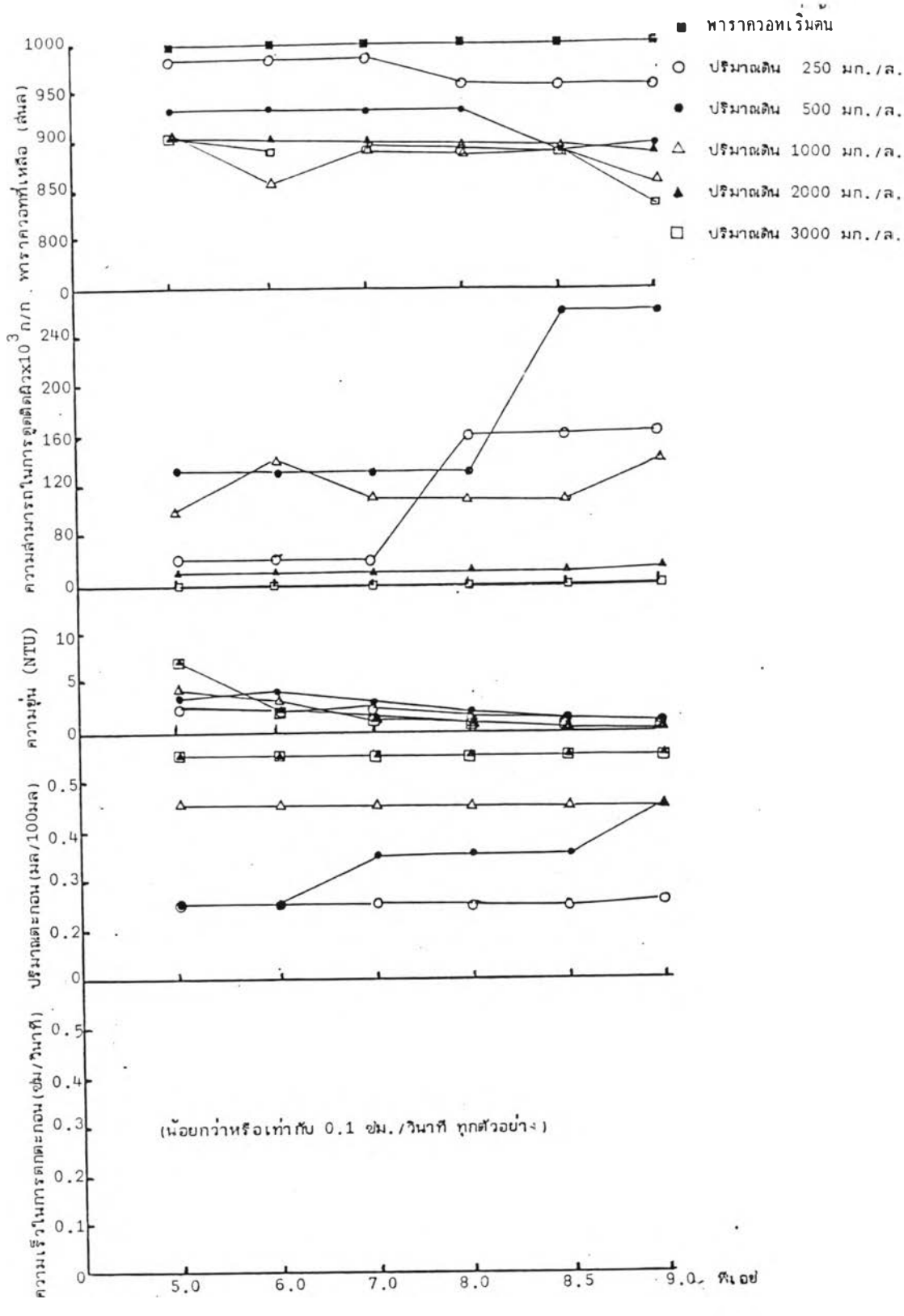
จากรูปที่ 4.20 ปริมาณพาราควอทต่ำสุดจากการกำจัดโดยใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม มีค่า 836 ส่วนล ประสิทธิภาพในการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5-16.4 โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 4.0, 11.0, 14.1, 11.0 และ 16.4 ที่ปริมาณดิน 250, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มก/ลบดม และมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่ม ความสามารถในการดูดติดผิวมีค่าแปรปรวนอยู่ในช่วง $60\text{-}136 \times 10^{-3}$ ก/ก ความยุ่นมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 2.5-4.2 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 0.2-0.3 มล/100 มล ความเร็วในการจมตัวของตะกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 ซม/วินาทีทุกตัวอย่าง

ช) การกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้น 2,000 ส่วนล

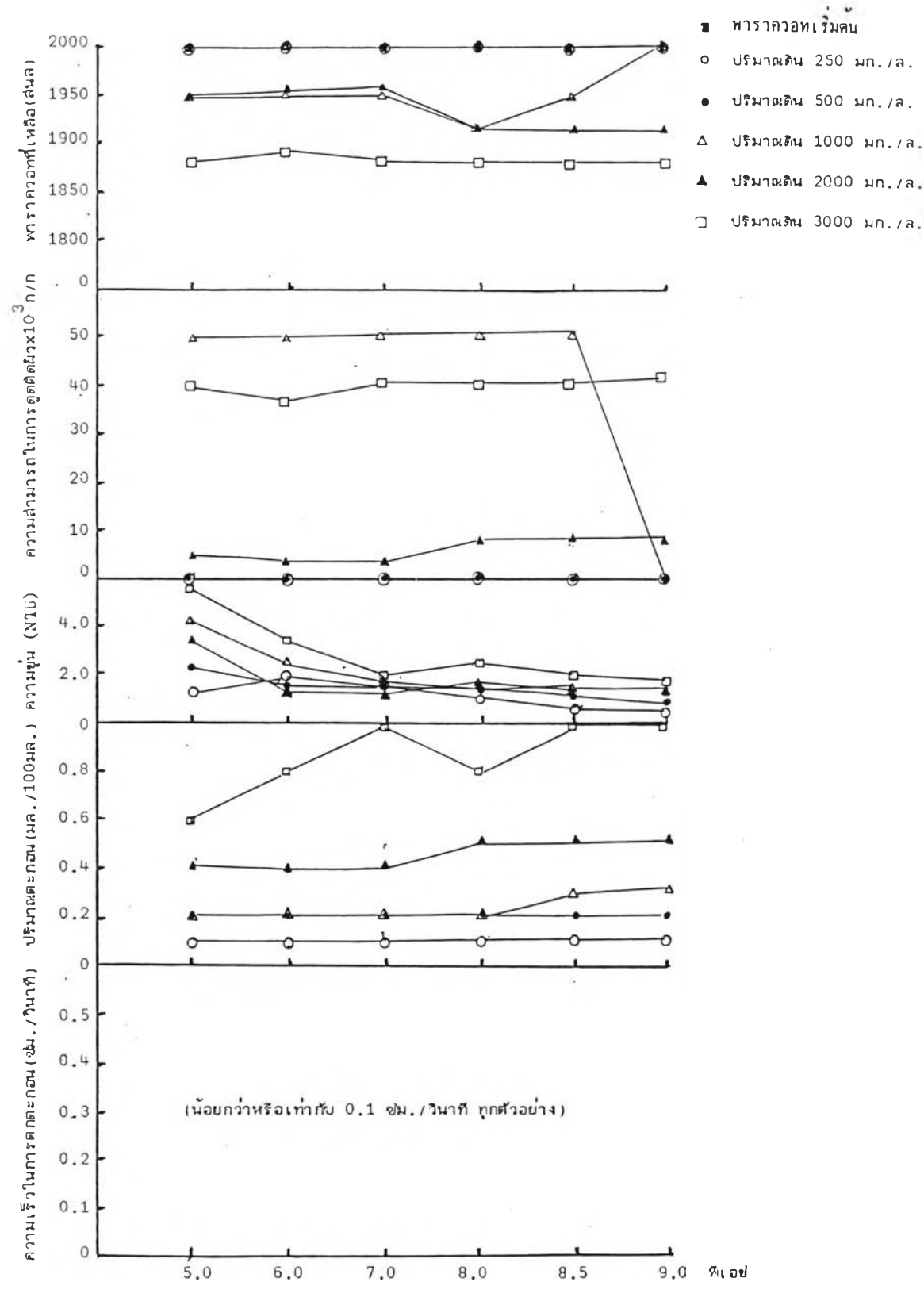
จากรูปที่ 4.21 ความสามารถในการกำจัดพาราควอทอยู่ในเกณฑ์ต่ำ โดยมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่างร้อยละ 0-6 และสามารถกำจัดพาราควอทเหลือต่ำสุด 1880 ส่วนล โดยใช้ดินในปริมาณ 3,000 มก/ลบดม ความสามารถในการดูดติดผิวอยู่ในช่วง $0\text{-}60 \times 10^{-3}$ ก/ก ความยุ่นอยู่ในช่วง 1.6-3.5 เอ็นทียู ปริมาณตะกอนอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 มล/100 มล ความเร็วในการจมตัวของตะกอนน้อยกว่า 0.1 ซม/วินาทีทุกตัวอย่าง

4.3.4 <u>การเปรียบเทียบการกำจัดโดยใช้ดินประเภทต่าง ๆ</u>

จากรูปที่ 4.22 ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ดินเบนโทไนท์จากไอซีไอ ดินเบนโทไนท์จากญี่ปุ่น และดินแกลลีออน พบว่าที่ความเข้มข้นของพาราควอทต่ำ ๆ ได้แก่ 100 และ 200 ส่วนล ดินเบนโทไนท์จากประเทศญี่ปุ่นมีประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการดูดติดผิวของแร่เมตะฮาโลไยท์สามารถจัดสารโพลาที่มีความเข้มข้นต่ำได้ดี แต่ในการกำจัดพาราควอทที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ เช่นนี้โดยเฉพาะพาราควอท 100 ส่วนล ดินทั้ง 3 ชนิดก็สามารถกำจัดพาราควอทจนไม่สามารถตรวจสอบพบได้เช่นเดียวกัน ส่วนในน้ำที่มีความเข้มข้นของพาราควอทสูงขึ้นได้แก่ที่ 300, 500, 1,000



รูปที่ 4.20 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 1000 ส่วนล โดยใช้ดินแกลลีออนเอิร์ท

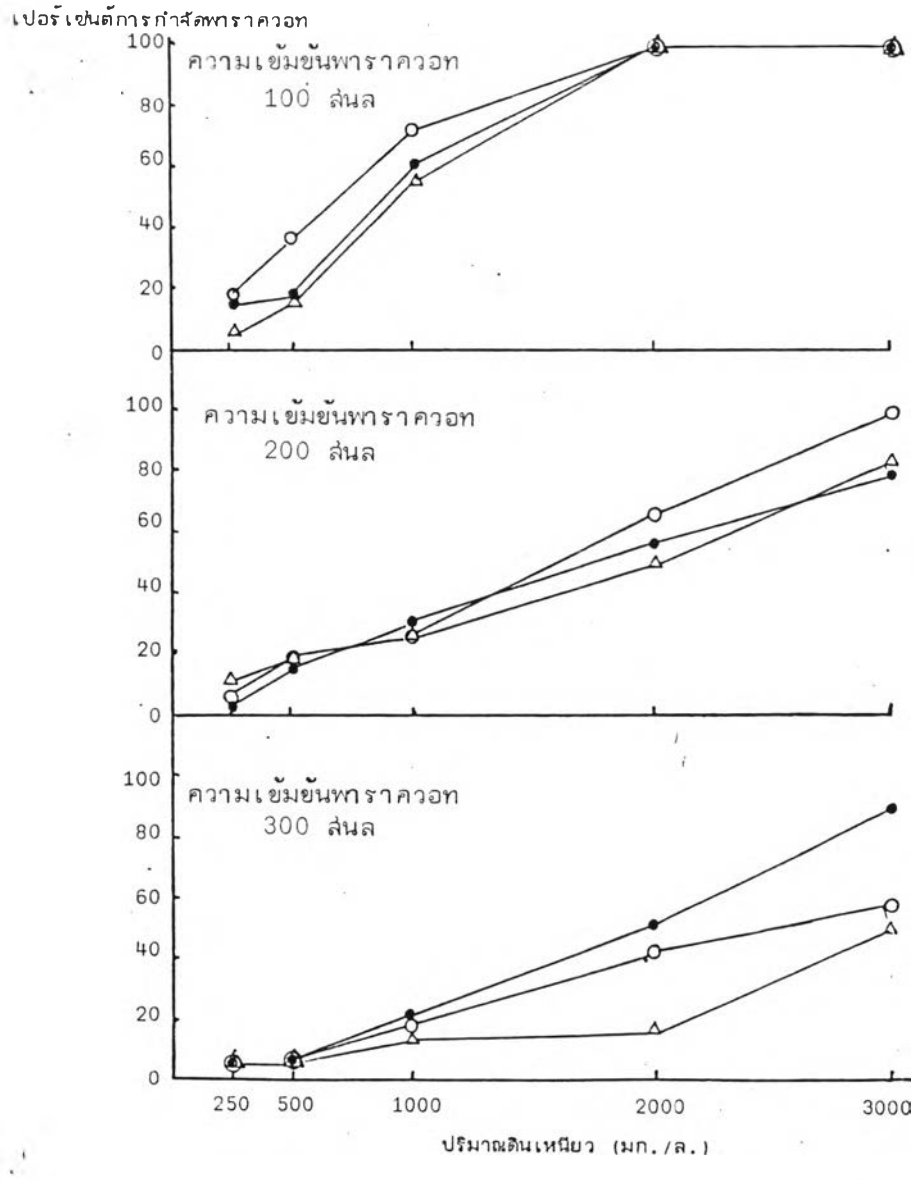


รูปที่ 4.21 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการกำจัดพาราควอท ความเข้มข้น 2000 ส่วนล. โดยใช้ดินแกลลีออนเอิร์ท

● ดินเบนโทไนท์จาก ไอซีไอ (BENTONITE (ICI))

○ ดินเบนโทไนท์จากประเทศญี่ปุ่น (BENTONITE (JAPAN))

△ ดินแกลลีออนเอิร์ท (GALEON EARTH)

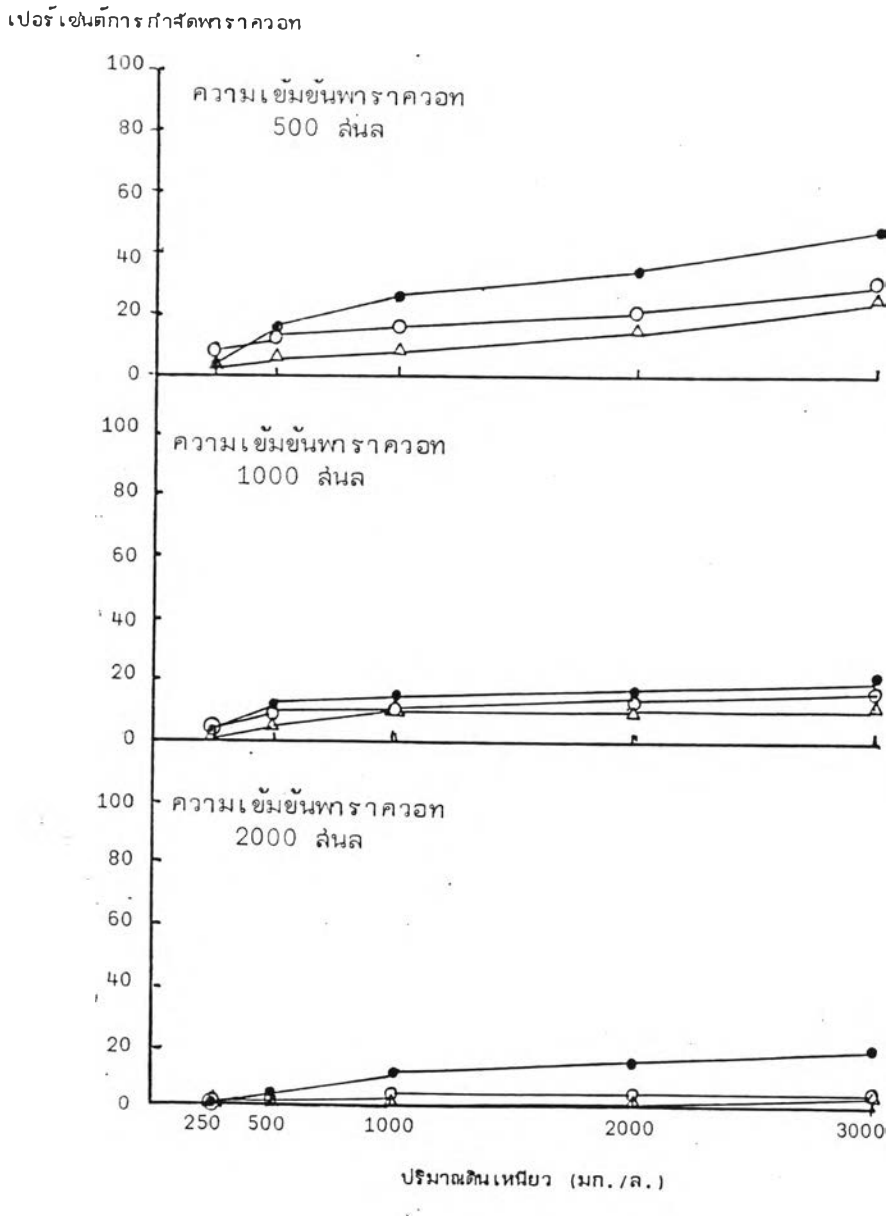


รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้ดินเบนโทไนท์ไอซีไอ ดินเบนโทไนท์ญี่ปุ่น และดินแกลลีออนเอิร์ท

● ดินเบนโทไนท์จาก ไอซีไอ (BENTONITE (ICI))

○ ดินเบนโทไนท์จากประเทศญี่ปุ่น (BENTONITE (JAPAN))

△ ดินแกสลีออนเอิร์ท (GALEON EARTH)



รูปที่ 4.22 (ต่อ)

และ 2,000 ส่วนล้าน ดินเบนโทไนท์จากไอซีไอมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด การเปรียบเทียบตัวแปรในการกำจัดพาราควอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

4.3.5 การกำจัดพาราควอทโดยใช้เกล็ดถ่านเอซี (Activated Carbon, AC)

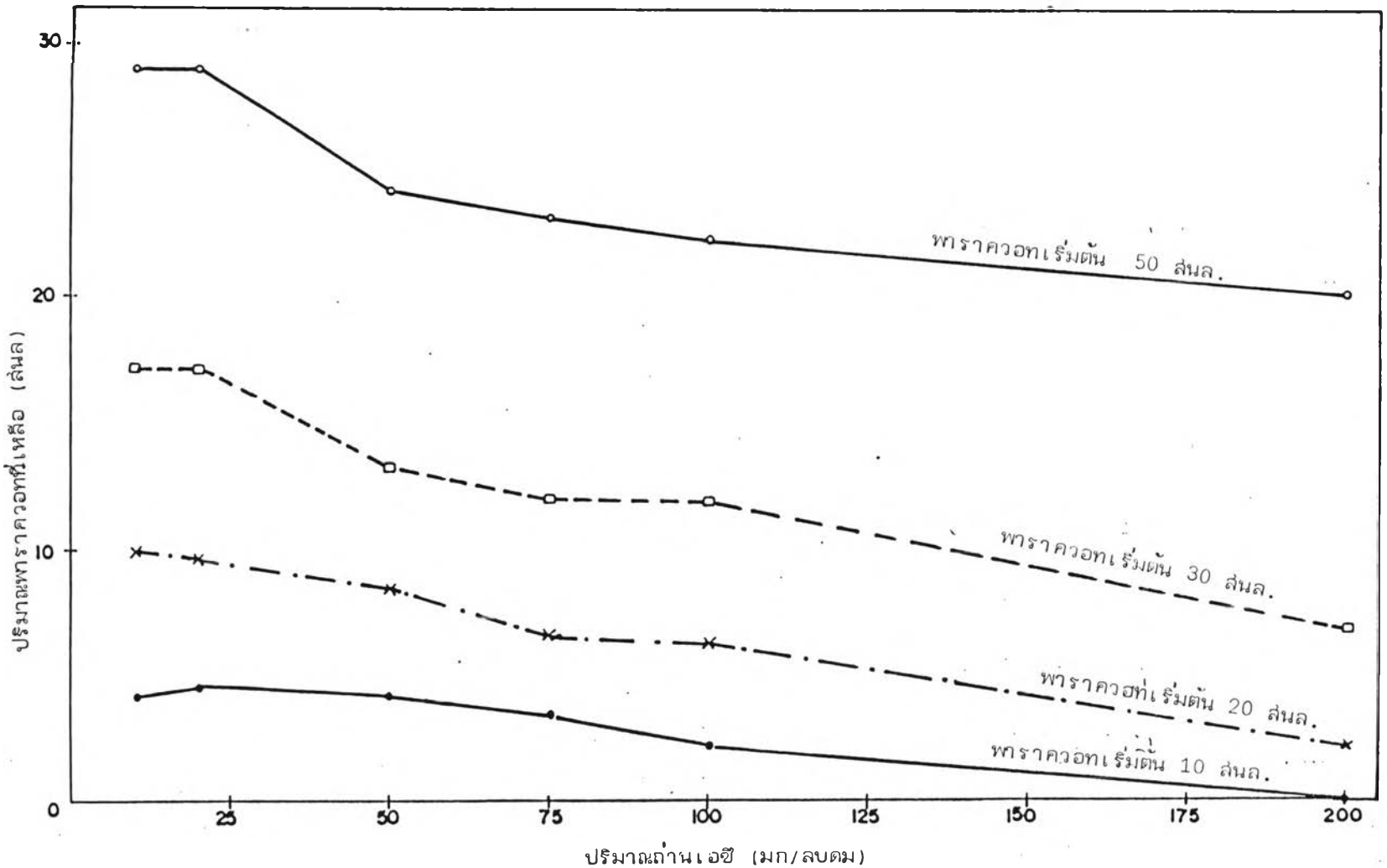
การศึกษาการกำจัดพาราควอทโดยใช้ถ่านแอ็คทิเวเต็ดคาร์บอนแบบเกล็ด (เอซี) มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ถ่านเอซีเป็นสารกำจัดพาราควอทออกจากน้ำทิ้งเป็นขั้นสุดท้ายเพื่อให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีปริมาณพาราควอทต่ำจนสามารถระบายออกสู่แหล่งรับน้ำทิ้งสาธารณะได้โดยปลอดภัย การศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การกำจัดพาราควอทโดยวิธีแบทช์ และการกำจัดโดยวิธีการต่อเนื่อง ทั้งนี้มุ่งเฉพาะการทดลองกับน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีพาราควอทอยู่ในเกณฑ์ต่ำที่ 50 และ 200 ส่วนล้าน ผลการกำจัดสามารถสรุปได้ดังนี้

ก. การกำจัดพาราควอทโดยวิธีแบทช์

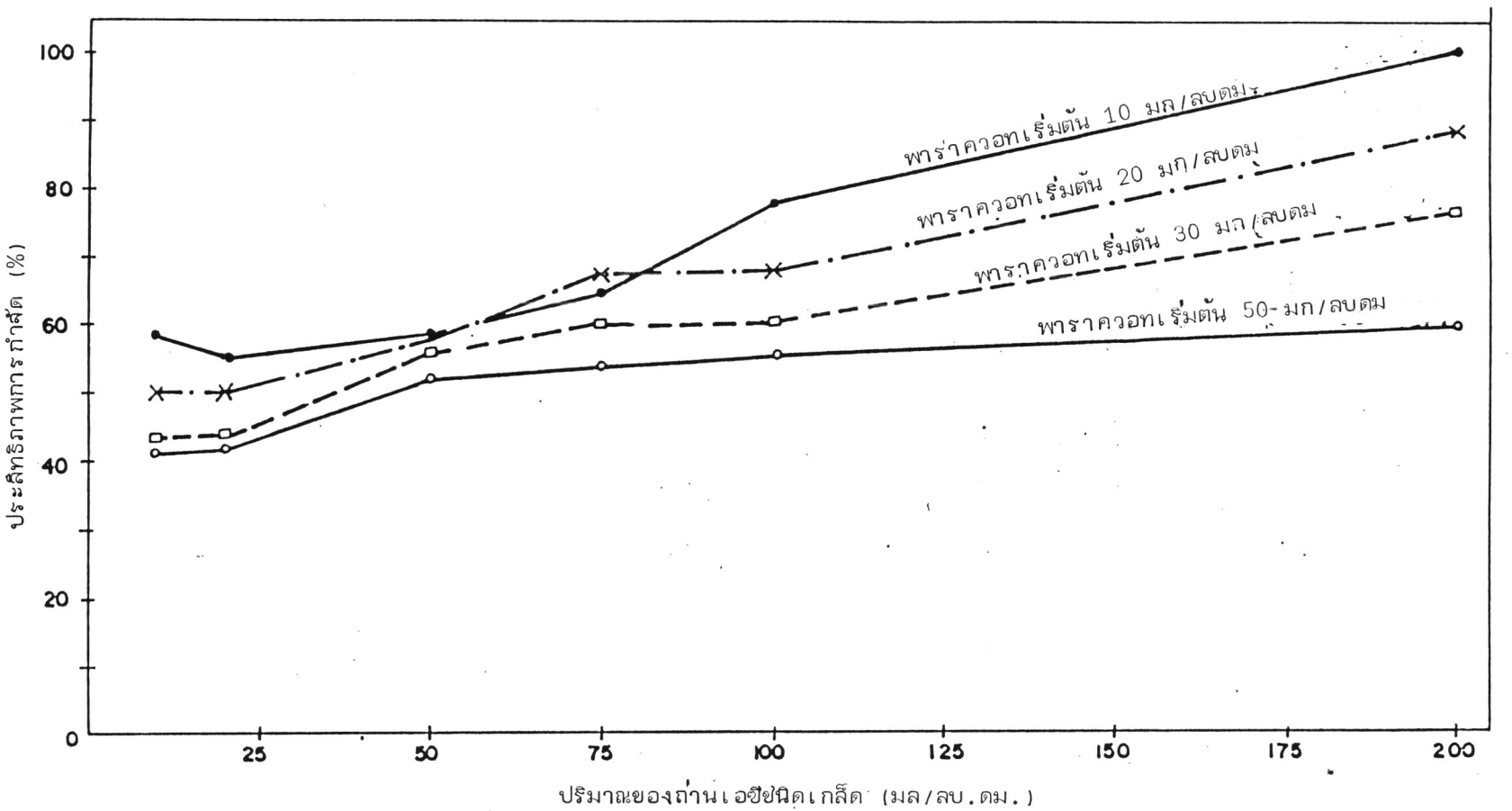
การทดลองโดยใช้วิธีแบทช์เป็นการหาศักยภาพของถ่าน NORIT ROW 0.8 SUPRA ในการดูดจับพาราควอท โดยให้ถ่านสัมผัสกับน้ำที่มีสารพาราควอทภายใต้การกวนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.23-4.24

ข. การกำจัดพาราควอทในน้ำโดยวิธีการต่อเนื่อง

การศึกษาในขั้นตอนนี้ใช้ทดลองกับน้ำที่มีปริมาณพาราควอท 50 ส่วนล้าน และ 200 ส่วนล้าน โดยใช้คอลัมน์ถ่านขนาด 2 นิ้ว x 1.5 เมตร และมีปริมาณเกล็ดถ่านสูง 1.00 ม. และใช้อัตราการป้อนน้ำเข้าคอลัมน์เท่ากับ 3.5 $ม^3/ม^2/ชม$ (1.43 gpm/ft^2) สำหรับน้ำที่มีความเข้มข้นพาราควอท 200 ส่วนล้าน ใช้อัตราการป้อนน้ำเข้า 6 $ม^3/ม^2/ชม.$ (2.46 gpm/ft^2) สำหรับปริมาณพาราควอท 50 ส่วนล้าน จากการศึกษาพบว่าสามารถผลิตน้ำที่ไม่มีพาราควอทจนกระทั่งเดินเครื่องไปได้ 17 และ 35 ชั่วโมงตามลำดับ หลังจากจุดนี้จึงเริ่มมีพาราควอทเล็ดลอดออกไปดังแสดงใน Breakthrough curve ของรูปที่ 4.25 และ 4.26 ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4



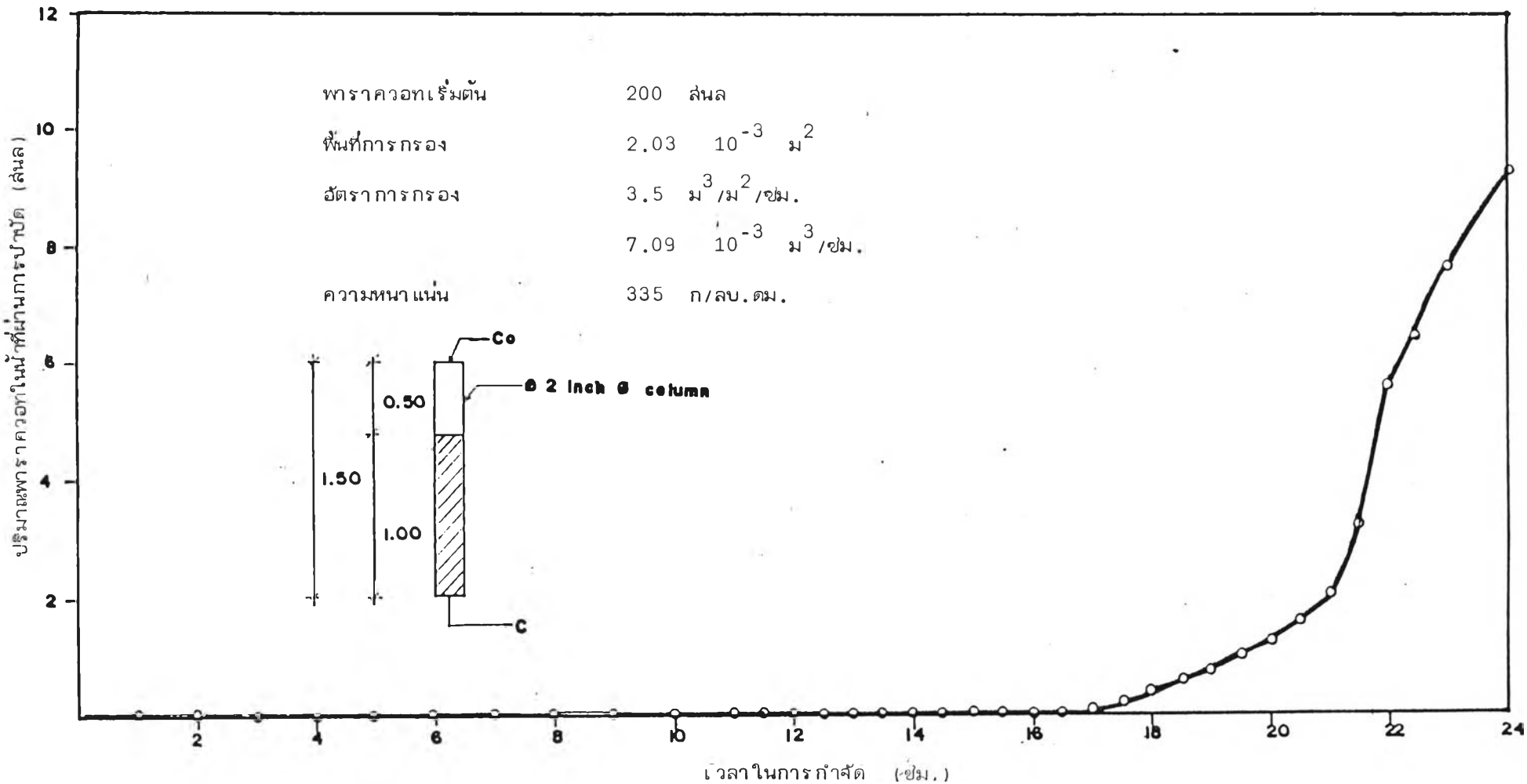
รูปที่ 4.23 ปริมาณพาราควอทที่เหลือในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ถ่านเอชีแบบแบทช์



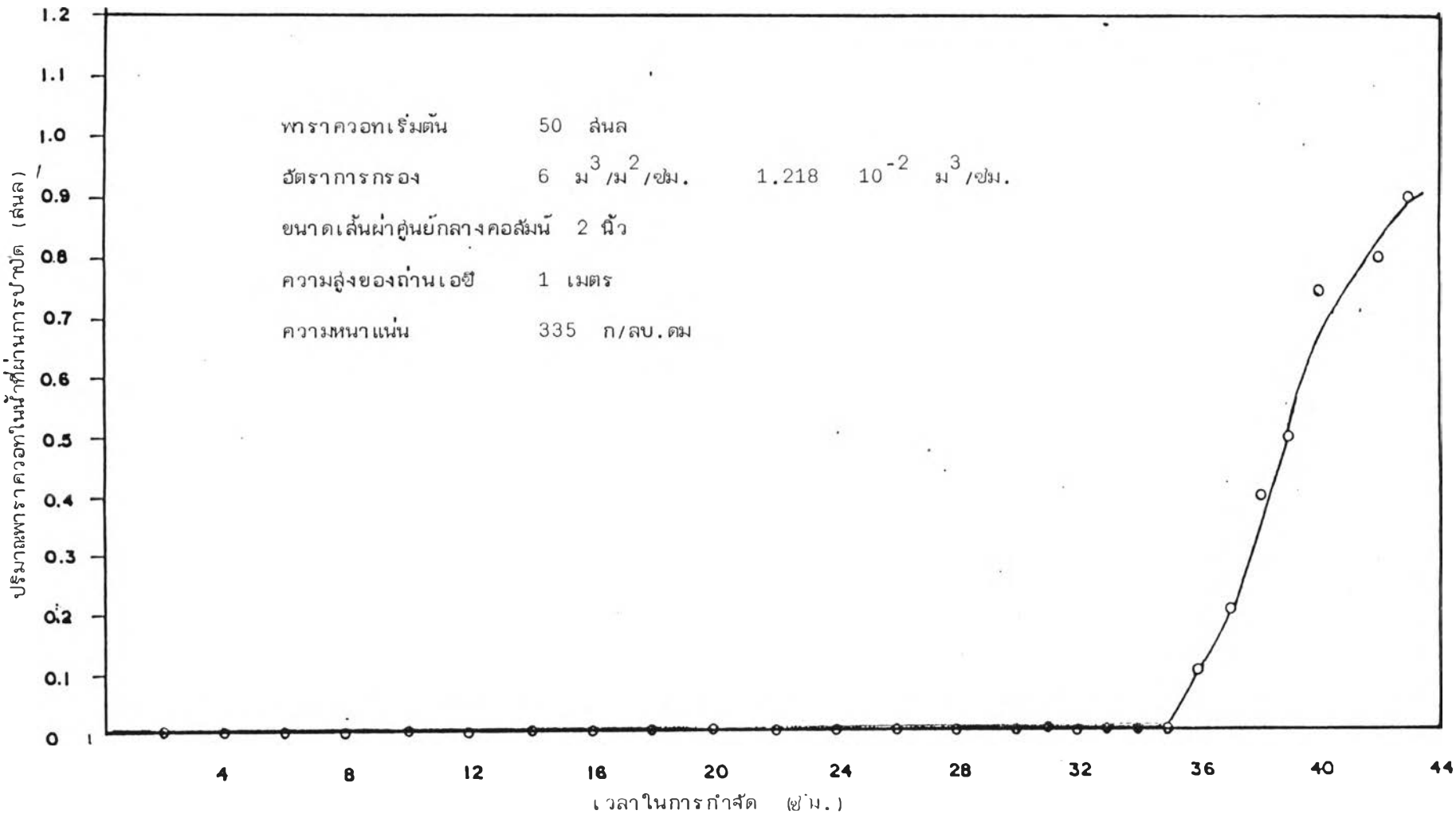
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดพาราควอทโดยใช้ถ่านเอซีโดยวิธีแบบแบทช์

ตารางที่ 4.2 ผลการกำจัดพาราควอทด้วยเกล็ดถ่านเอชีโดยวิธีแบทช์

พาราควอทเริ่มต้น (ส่นล)	ถ่านเอชี (มก/ลบดม) / ตัวแปร	10	20	50	75	100	200
10	พาราควอทที่เหลือ (ส่นล)	4.2	4.5	4.2	3.4	2.2	ตรวจไม่พบ
	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	58	55	58	66	78	100
	ความสามารถในการดูดติดผิว (ก/ก)	0.58	0.275	0.116	0.088	0.078	0.05
20	พาราควอทที่เหลือ (ส่นล)	10	9.7	8.5	6.6	6.4	2.2
	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	50	50	57.5	68	68	89
	ความสามารถในการดูดติดผิว (ก/ก)	1	0.515	0.230	0.197	0.136	0.089
30	พาราควอทที่เหลือ (ส่นล)	17	17	13.2	12	12	6.8
	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	43	43	56	60	60	77
	ความสามารถในการดูดติดผิว (ก/ก)	1.3	0.65	0.336	0.28	0.18	0.116
50	พาราควอทที่เหลือ (ส่นล)	29	29	24	23	22	20
	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	42	42	52	54	56	60
	ความสามารถในการดูดติดผิว (ก/ก)	2.1	1.05	0.52	0.36	0.26	0.15



รูปที่ 4.25 การกำจัดพาราควอทโดยใช้การผ่านคอลัมน์ถ่านเอชี ที่พาราควอทเริ่มต้น 200 ส่นล อัตราการกรอง 3.5 $ม^3/ม^2/ชม.$



รูปที่ 4.26 การกำจัดพาราควอทโดยใช้การผ่านคอลัมน์ถ่านเอชี ที่พาราควอทเริ่มต้น 50 ส่วนล อัตราการกรอง 6 ม^3/ม^2 ชม.)

ตารางที่ 4.3 การกำจัดพาราควอทด้วยคอลัมน์ถ่าน (อัตรากรองช้ากว่า)

การใช้งาน	:	ต่อเนื่อง
ขนาดคอลัมน์ถ่าน	:	Ø 2" x 1.50 ม.
พื้นที่หน้าตัดคอลัมน์	:	2.03×10^{-3} ม.^{2}
ความสูงถ่าน	:	1.00 ม.
ปริมาตรถ่าน	:	2.03×10^{-3} ม^3
ความหนาแน่นถ่านในคอลัมน์	:	335 ก./ล.
น้ำหนักถ่านในคอลัมน์	:	0.680 กก. หรือ 680 กรัม
อัตราการกรอง	:	3.5 ม^3/ม.^{2}/ชม. หรือ 7.09×10^{-3} ม.^{3}/ชม.
พาราควอทเริ่มต้น	:	C_0 = 200 ส่วนล.

ชม.ที่	พาราควอทในน้ำทิ้ง	ชม. ที่	พาราควอทในน้ำทิ้ง
1	ตมพ.	15	ตมพ
2	"	15.5	"
3	"	16	"
4	"	16.5	"
5	"	17	น้อยมาก
6	"	17.5	"
7	"	18	0.3
8	"	18.5	0.5
9	"	19	0.7
10	"	19.5	1.0
10.5	"	20	1.2
11.	"	20.5	1.5
11.5	"	21	2.0
12	"	21.5	3.2
12.5	"	22	5.6

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ช่ม.ที่	ทราควอทในน้ำทิ้ง	ช่ม. ที่	ทราควอทในน้ำทิ้ง
13	ตมพ	22.5	6.4
13.5	"	23	7.6
14	"	23.5	8.4
14.5	"	24	9.3

ตารางที่ 4.4 การกำจัดพาราควอทด้วยคอลัมน์ถ่าน (อัตราเร็วกว่า)

รายละเอียด : เหมือนตาราง 4.9

อัตรากรอง : 6ม^3/ม^2/ชม. หรือ 1.218 x 10^{-2} ม^3/ชม.

พาราควอทเริ่มต้น : C_0 = 50 ส่วนล.

ชม.ที่	พาราควอทในน้ำทิ้ง (ส่วนล.)	ชม.ที่	พาราควอทในน้ำทิ้ง (ส่วนล.)
1-10	ตรวจไม่พบ	38	0.4
11-20	"	39	0.5
21-30	"	40	0.7
31-35	"	41	0.75
36	0.1	42	0.8
37	0.2	43	0.9