บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการทำการทดลองสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ การศึกษาเบื้องต้นและ ช่วงทำการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

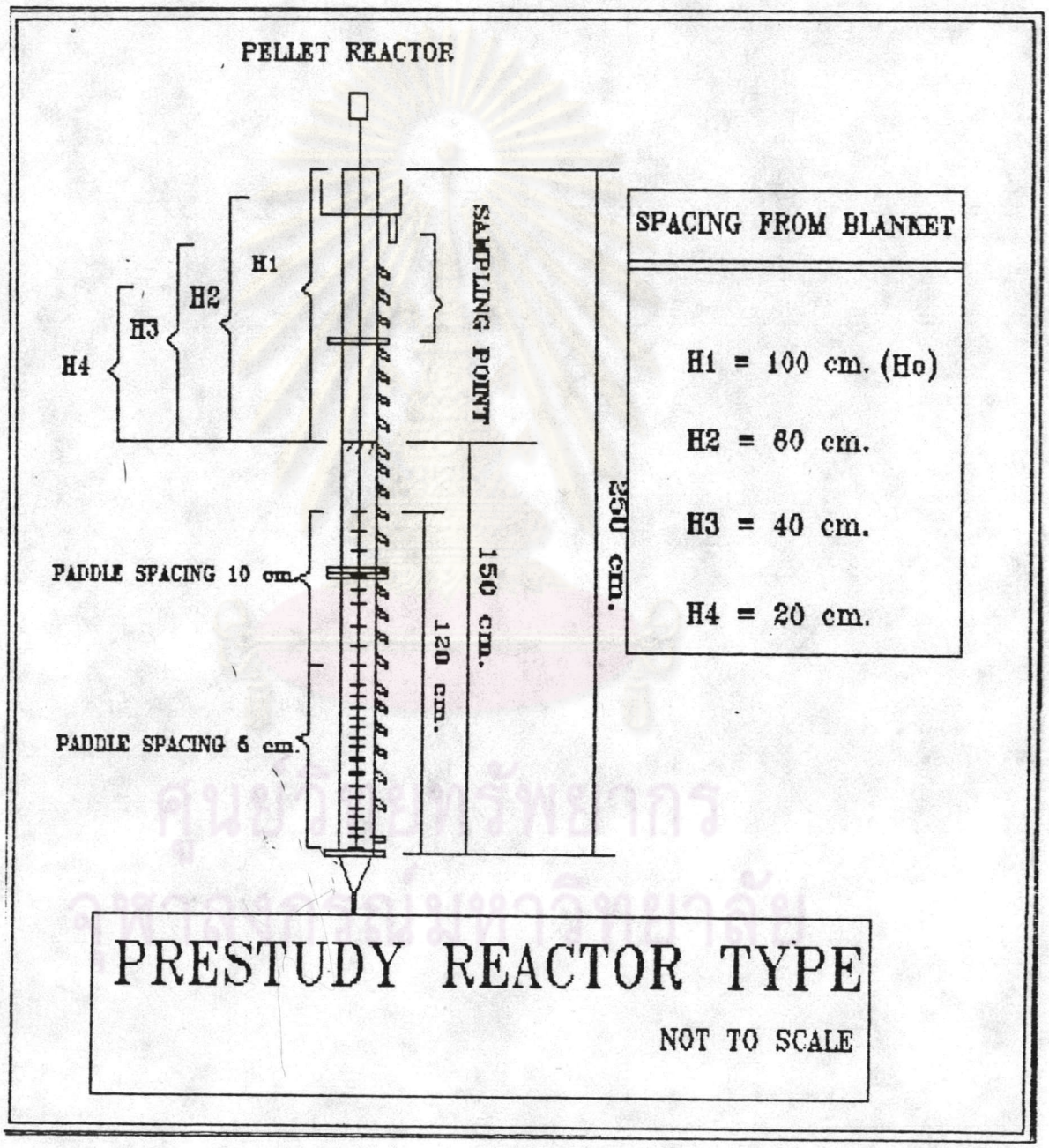
4.1 การศึกษาเบื้องต้น

เป็นการทดลองเพื่อหาระดับความขุ่นที่ออกมาจากระบบที่ยอมรับได้ เมื่อปริมาณสารโคแอกกูแลนท์ (PACl) เปลี่ยนแปลง โดยใช้ปริมาณสารสมานตกตะกอน (anionic-polymer) คงที่ ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปกำหนดความสูงของชั้นน้ำใสคงที่ (H_o) ที่เหมาะสมเหนือชั้นเม็ดตะกอนในการทดลองในช่วงต่อไป

สำหรับการศึกษาเบื้องต้นนี้ทำที่ความสูง 150 ซม. ความเร็วไหลขึ้นที่ 40 ซม./นาที จัดรูปแบบช่วงห่างใบพัดเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงล่างมีใบพัดห่าง 5 ซม. เป็นระยะ 60 ซม. และช่วงบนมีใบพัดห่าง 10 ซม. เป็นระยะ 60 ซม. รวมเป็นช่วงใบพัดทั้งสิ้น 120 ซม. เหลือระยะห่างจากใบพัดอันบนสุดถึงตอนบนสุดของชั้นเม็ดตะกอนอีก 30 ซม. ดังรูป 4.1 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวัดความขุ่นที่ระดับ 20, 40, 60 และ100 ซม. ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1และรูปที่ 4.2

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ PACl ให้น้ำผลิตมีความขุ่นที่ไม่แตกต่างกันมากนัก (การเก็บตัวอย่างน้ำผลิตทำทุกๆ 1ชม. ' นำค่าความขุ่นได้ ณ ชั่วโมงที่ 6 มาพิจารณาเนื่องจากเป็นค่าที่ได้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่มากที่สุด) กล่าวคือปริมาณความขุ่นในแต่ละ H_o ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณ PACl แต่ขึ้นอยู่กับความสูงชั้นน้ำใส(ค่าความขุ่นที่ทดลองไม่มีแนวโน้มสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับปริมาณ PACl ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือที่ปริมาณ PACl ที่เพิ่มขึ้น ความขุ่นออกจากระบบไม่ได้ลดลงอย่างเป็นสัดส่วนกัน ทั้งนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าที่ระดับอัตราการไหลขึ้นสูงและปริมาณโพลีเมอร์ต่ำๆ (40 ซม./นาทีและ 0.1 มก./ล. ตามลำดับ) ความชัดเจนเนื่องจากปริมาณ PACl จะเห็นได้ค่อนข้างยากขึ้น) คือ ที่ระดับ 20, 40, 60 และ 100 ซม.ความ

ชุ่นที่ได้จะมีค่าเปลี่ยนจากมากไปหาน้อย(ดังตารางที่ 4.1และรูป4.2)โดยพบว่าที่ระดับ 20,40 และ 60 ซม. ค่าความชุ่นยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่มาก ซึ่งเมื่อเทียบกับระดับ 100 ซม. ในกรณี

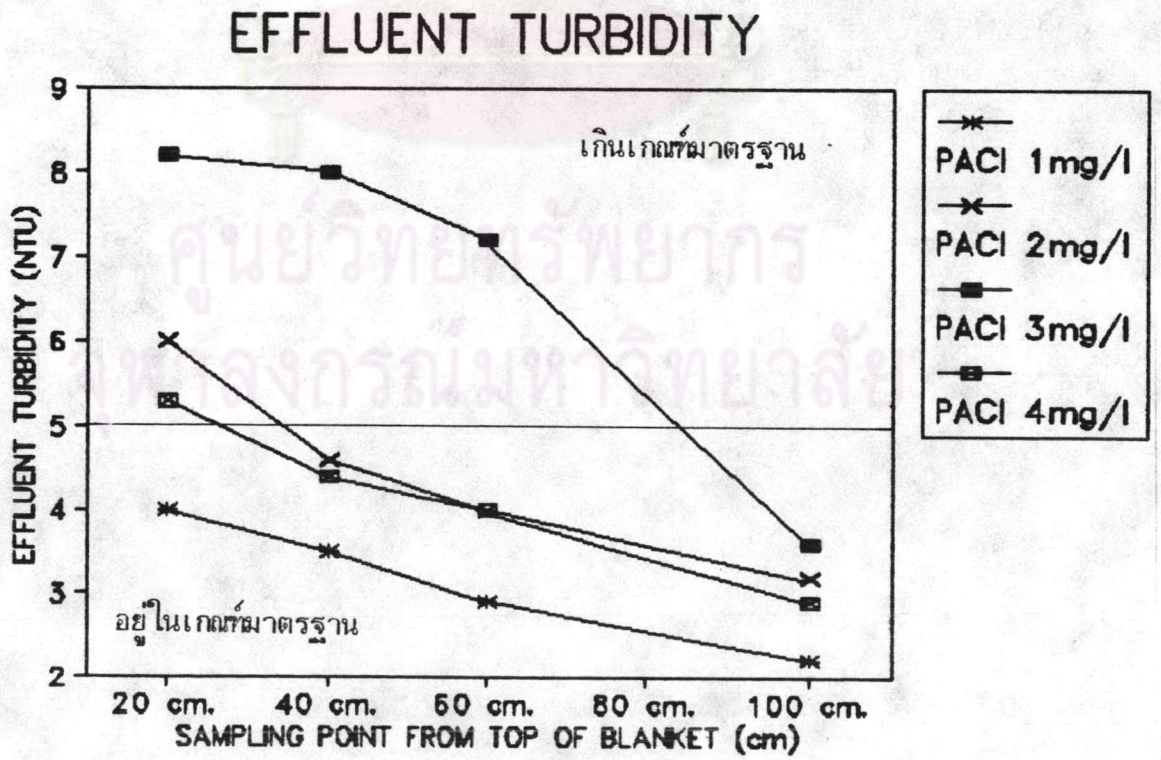


รูปที่ 4.1 รูปแบบอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.1 ค่าความขุ่นที่ความสูงของชั้นน้ำใส (H_o) ต่างๆ(NTU)

ปริมาณสารเคมี	ความสูงของชั้นน้ำใส (H_o)			
PACl	20 ซม.	40 ซม.	60 ซม.	100 ซม.
1	4	3.5	2.9	2.2
2	6	4.6	4	3.2
3	8.2	8	7.2	3.6
4	5.3	4.4	4	2.9

หมายเหตุ: ใช้โพลีเมอร์ 0.1 มก./ล. ในทุกๆการทดลอง



รูปที่ 4.2 อิทธิพลของความสูงชั้นน้ำใส (H_o)

นี้ถึงแม้ในระดับ 60 กับ 100 ซม. จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่การเปลี่ยนแปลงในระดับ 100 ซม.มีค่าต่ำกว่า จึงคาดว่าที่ระดับ 100 ซม. น่าจะเป็นระดับที่ใช้ในการทดลองช่วงที่สองได้ดีที่สุด เพราะเป็นระดับที่สามารถรองรับผลของการเปลี่ยนแปรงต่างๆได้ดี และคาดว่าที่ระดับดังกล่าวจะให้ค่าความขุ่นน้ำผลิตที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งจะทำการทดลองในช่วงต่อไป

4.2 ช่วงทำการทดลอง

เมื่อได้ความสูงชั้นน้ำใส (H_o=100 ซม.) ที่ต้องการแล้ว ระดับดังกล่าวจะถูกใช้เป็นระยะคงที่สำหรับการทดลอง เพื่อหาความขุ่นที่ออกจากระบบในช่วงนี้ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของการทดลองดังรูปที่ 4.3 ก,ข,ค และง

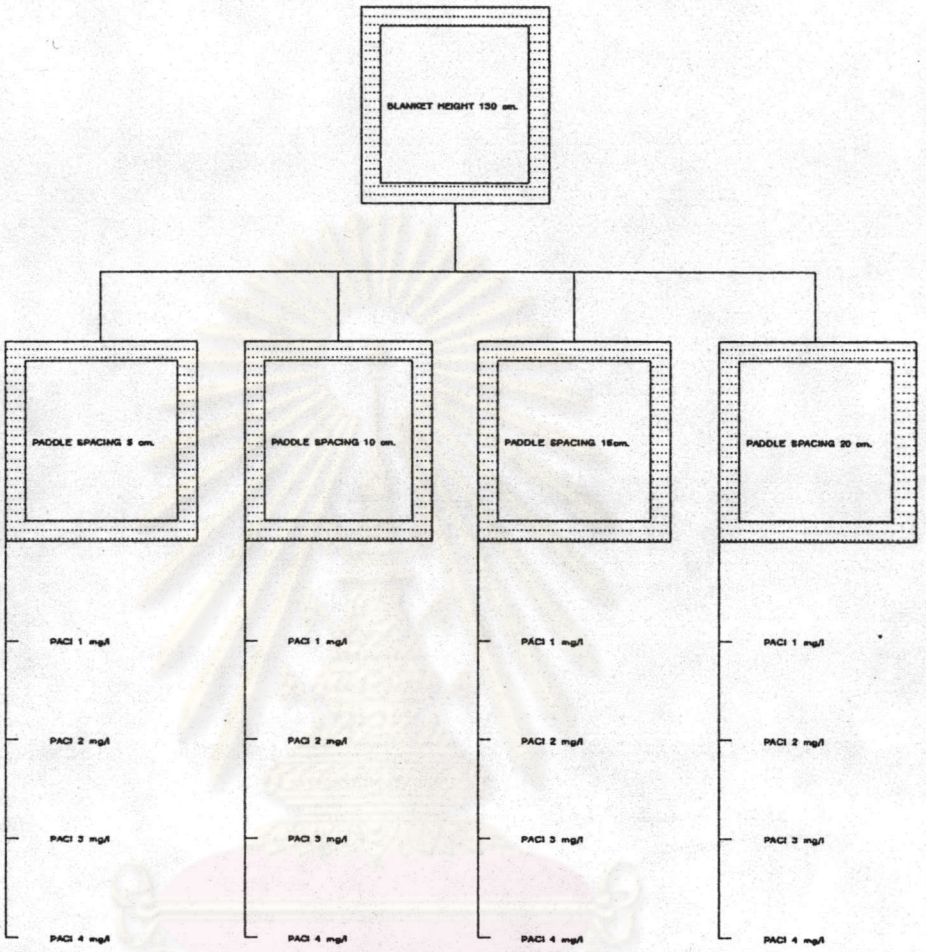
การทดลองมีการกวนช้าโดยการใช้มอเตอร์กวนช้าคงที่ที่ 5 รอบ/นาที อัตราเร็วน้ำไหลขึ้นที่ 40 ซม./นาที ใช้ปริมาณโพลีเมอร์ประจุลบ .1 มก./ล. ใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ 50 NTU. คงที่ตลอดการทดลอง และจากที่กล่าวมาในบทตอนต้น เมื่อคิดรวมตัวแปรต่างๆที่ต้องการศึกษาจะต้องทำการทดลองทั้งสิ้น 64 การทดลอง

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ผลของตัวแปรที่ศึกษาต่อความขุ่น

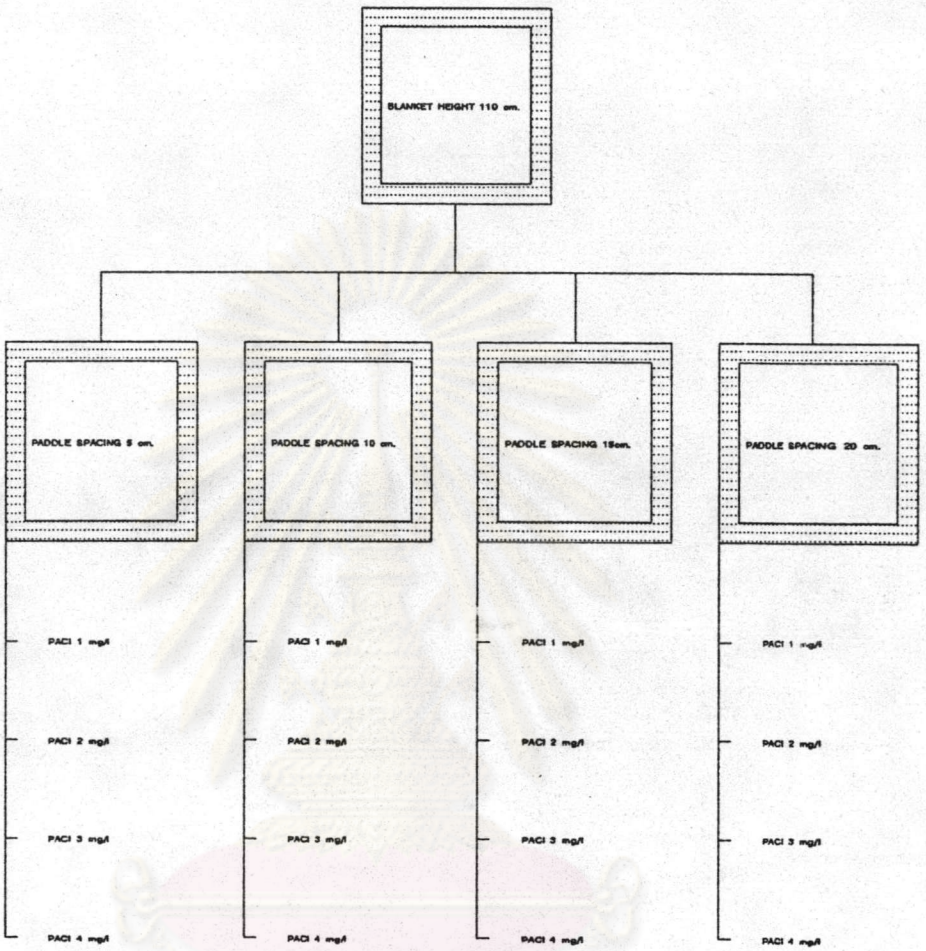
4.3.1.1 ผลของ PACl ต่อความขุ่น

จากรูปที่ 4.4 ก,ข,คและ ง จะเห็นความสัมพันธ์ของปริมาณ PACl ที่ระดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน และช่วงห่างใบพัดที่เวลาต่างๆไม่เด่นชัดโดยเฉพาะที่ปริมาณ PACl 1 และ 2 มก./ล. ซึ่งเป็นปริมาณสารที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามสามารถเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ได้ชัดเจนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณ PACl 1 กับ 4 มก./ล. สามารถคิดประสิทธิภาพการบำบัดในรูปของ NTU. ได้เท่ากับ 84%และ 85 % (เมื่อคิดจากน้ำเข้าระบบที่ 50 NTU.)ตามลำดับ (ดูภาคผนวก ก.)



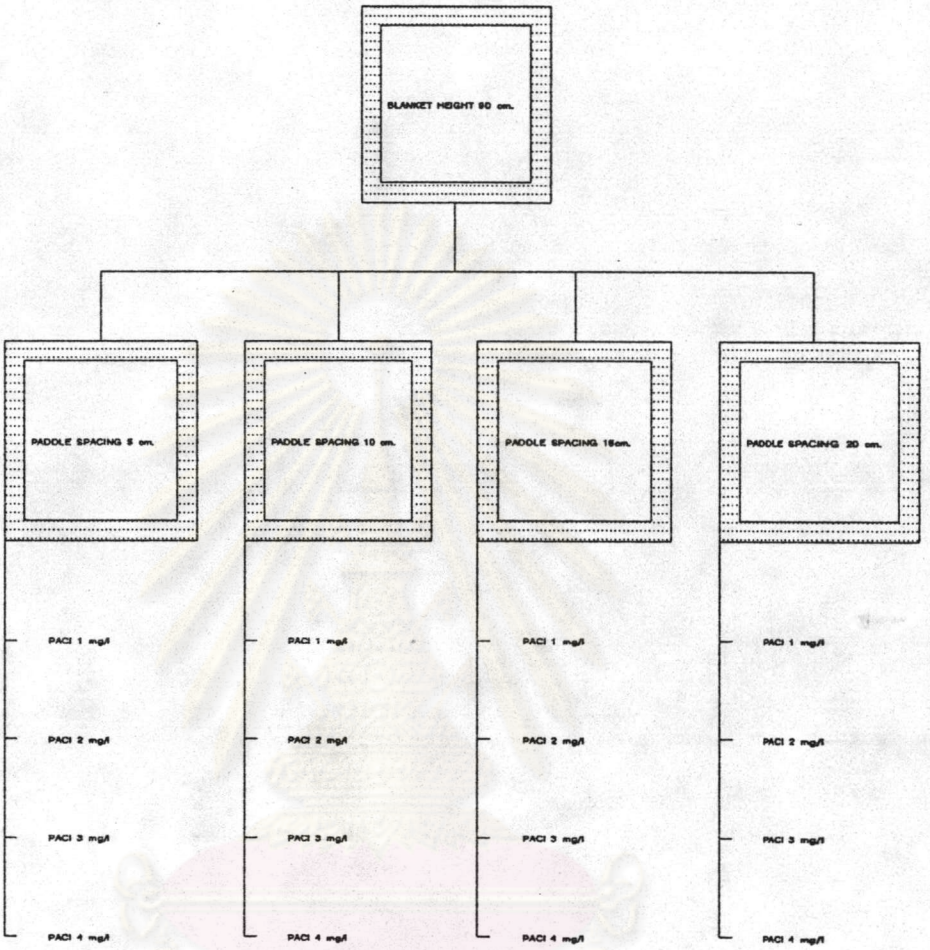
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 (ก.) ขั้นตอนการทดลองเมื่อระดับชั้นเม็ดตะกอน 130 ซม.



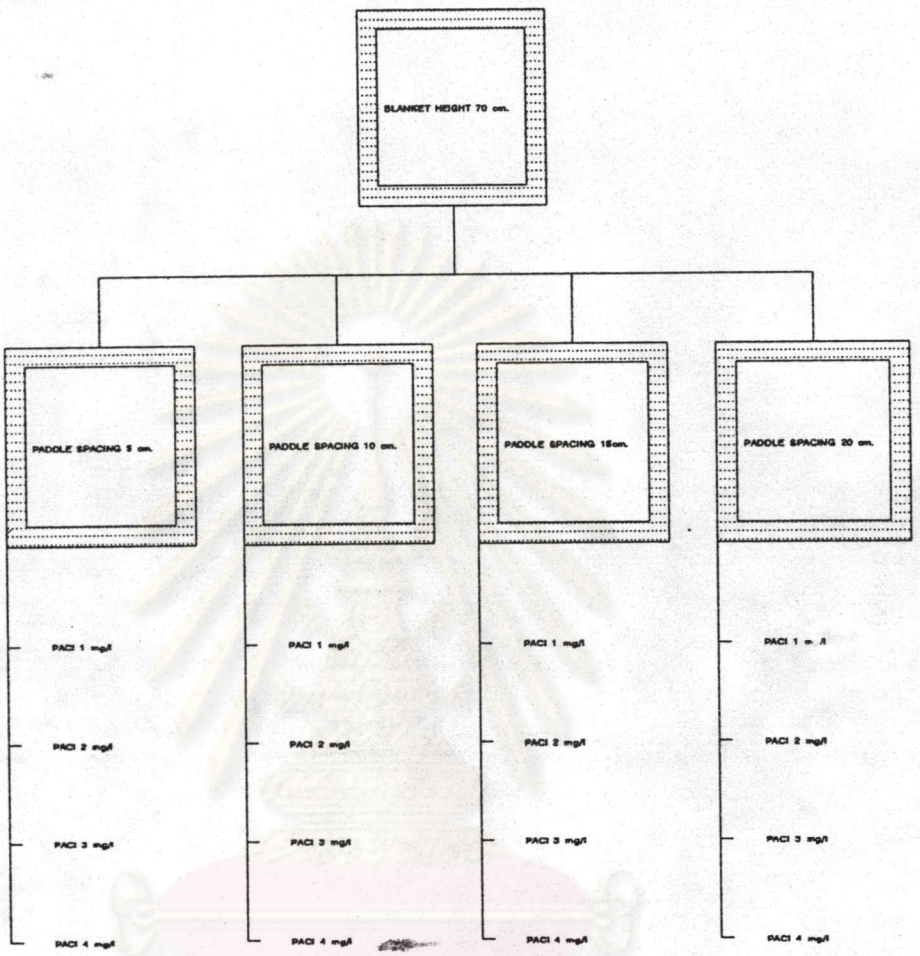
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 (ข.) ขั้นตอนการทดลองเมื่อระดับชั้นเม็ดตะกอน 110 ซม.



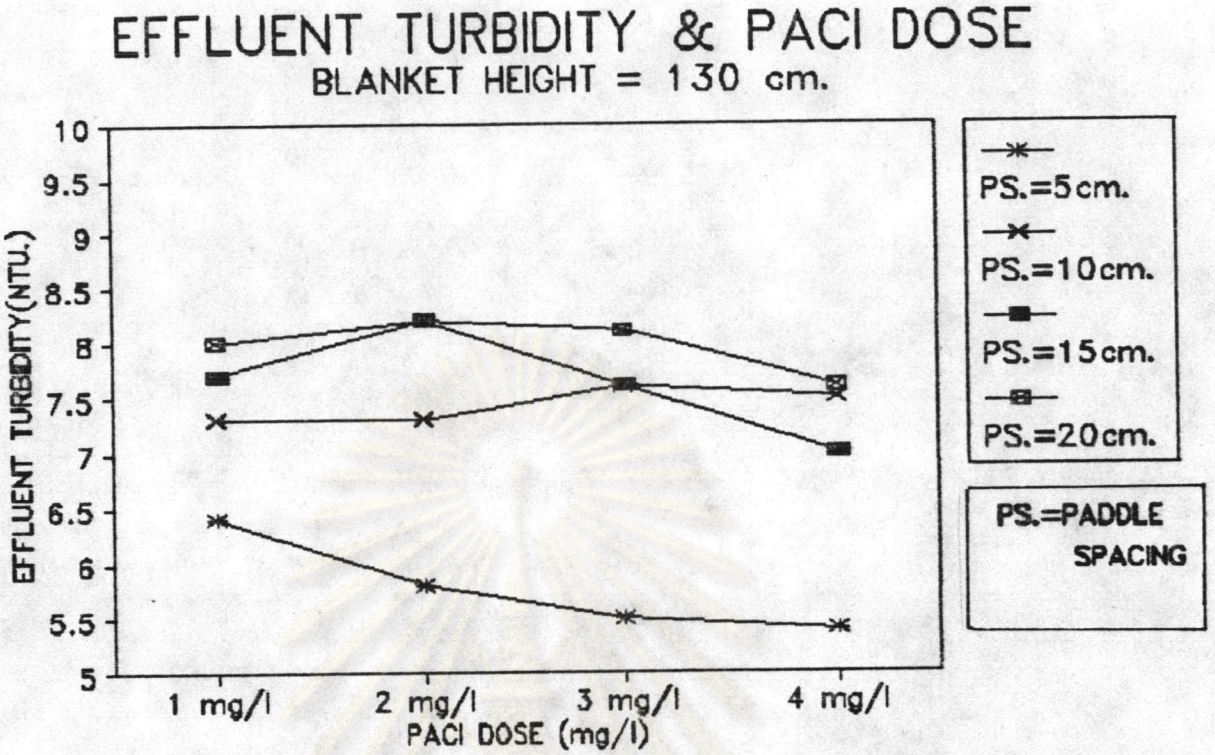
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 (ค.) ขั้นตอนการทดลองเมื่อระดับชั้นเม็ดตะกอน 90 ซม.

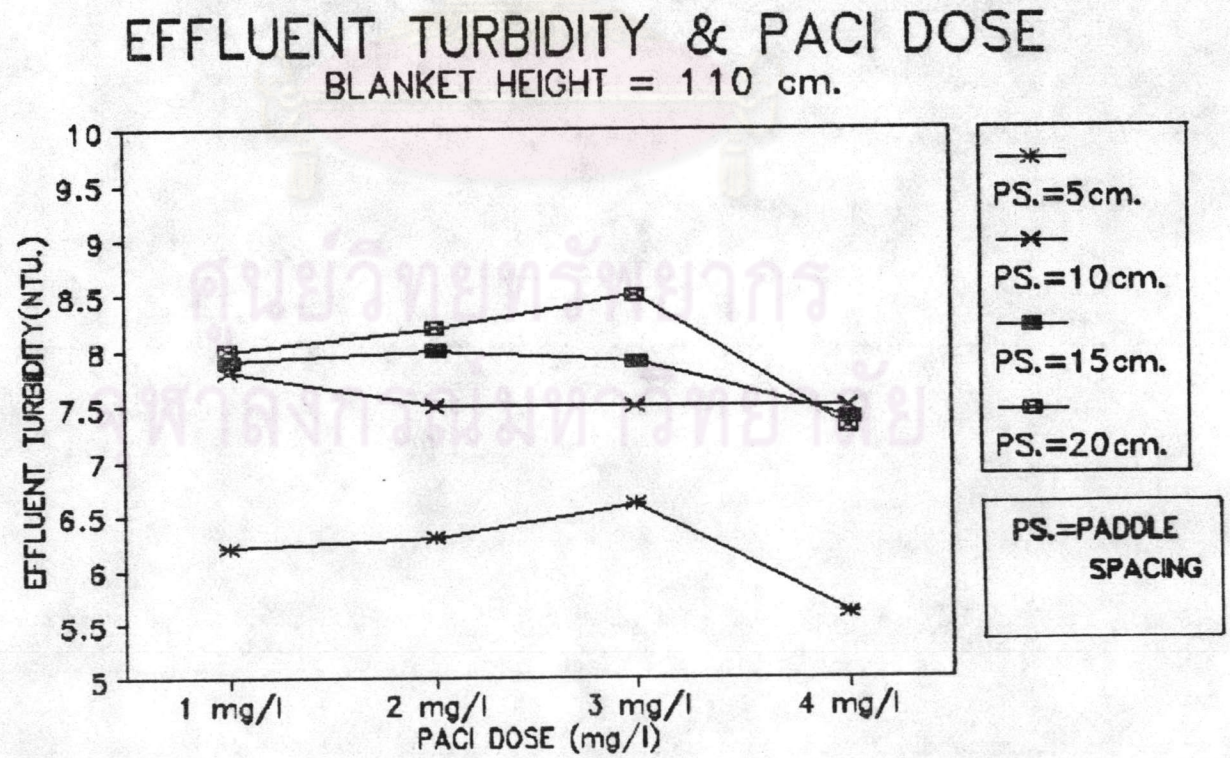


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

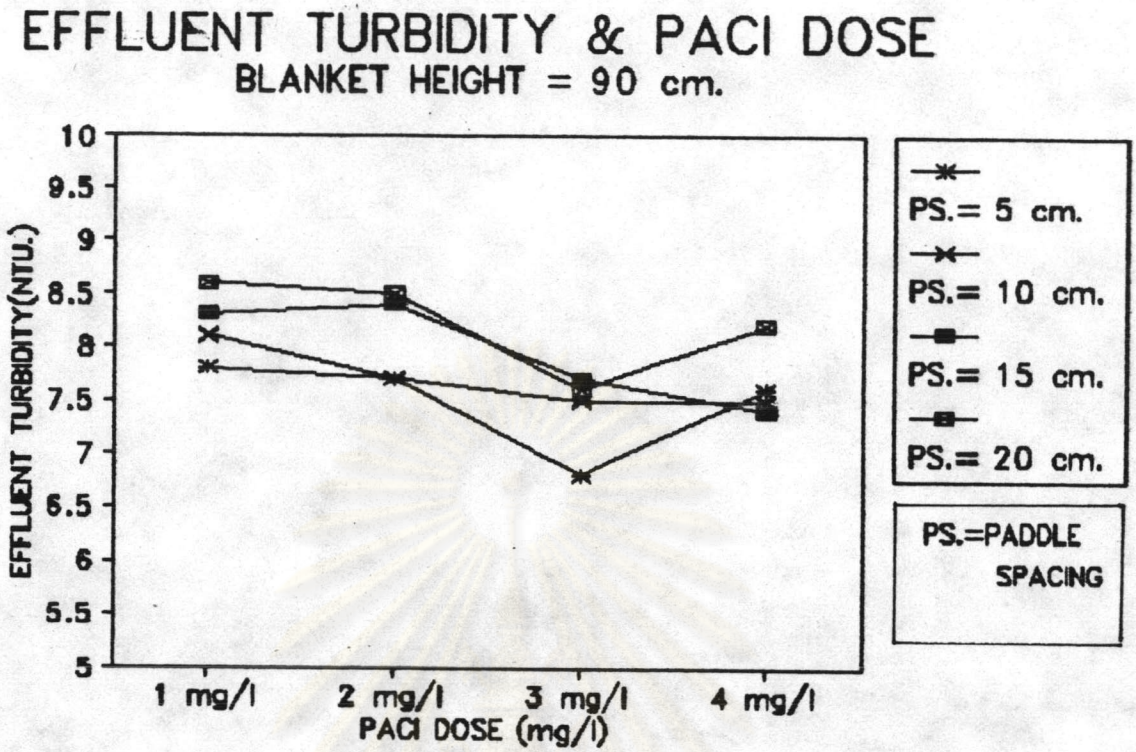
รูปที่ 4.3 (ง.) ขั้นตอนการทดลองเมื่อระดับชั้นเม็ดตะกอน 70 ซม.



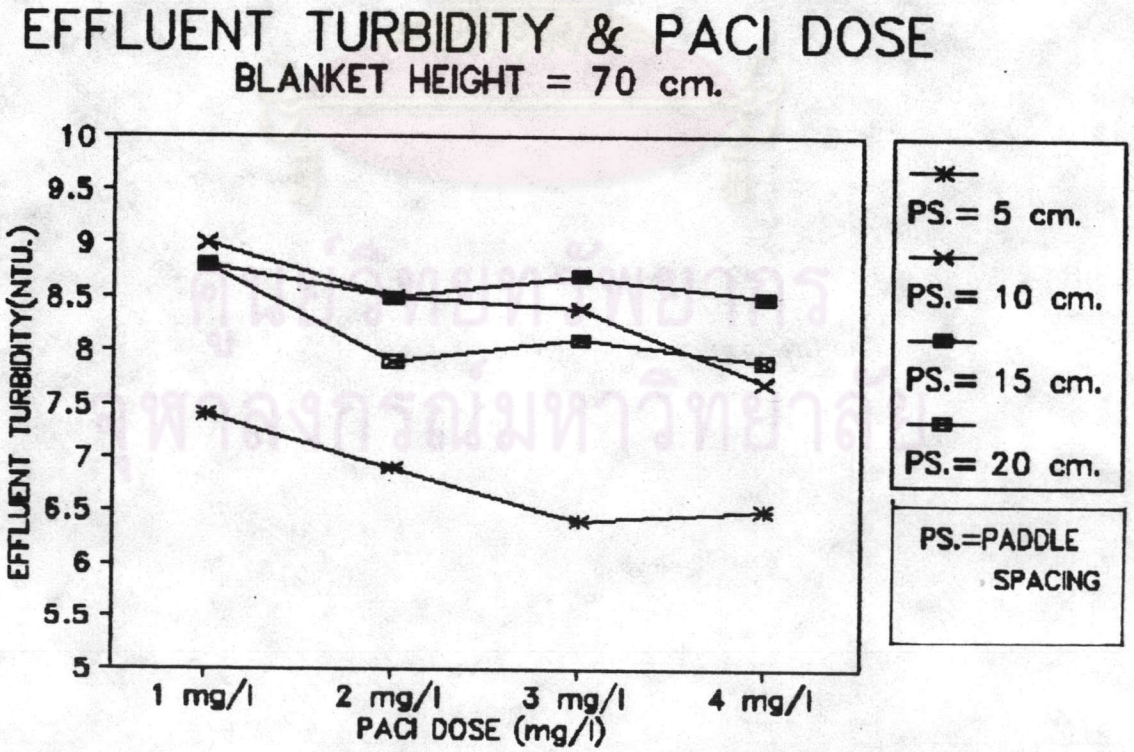
รูปที่ 4.4 ก. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบโดยใช้ PAC1 ค่าต่างๆ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 130 ซม.



รูปที่ 4.4 ข. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบโดยใช้ PAC1 ค่าต่างๆ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 110 ซม.



รูปที่ 4.4 ค. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบโดยใช้ PAC1 ค่าต่างๆ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 90 ซม.



รูปที่ 4.4 ง. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบโดยใช้ PAC1 ค่าต่างๆ เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 70 ซม.

4.3.1.2 ผลของช่วงห่างใบพัดต่อประสิทธิภาพกำจัดความขุ่น

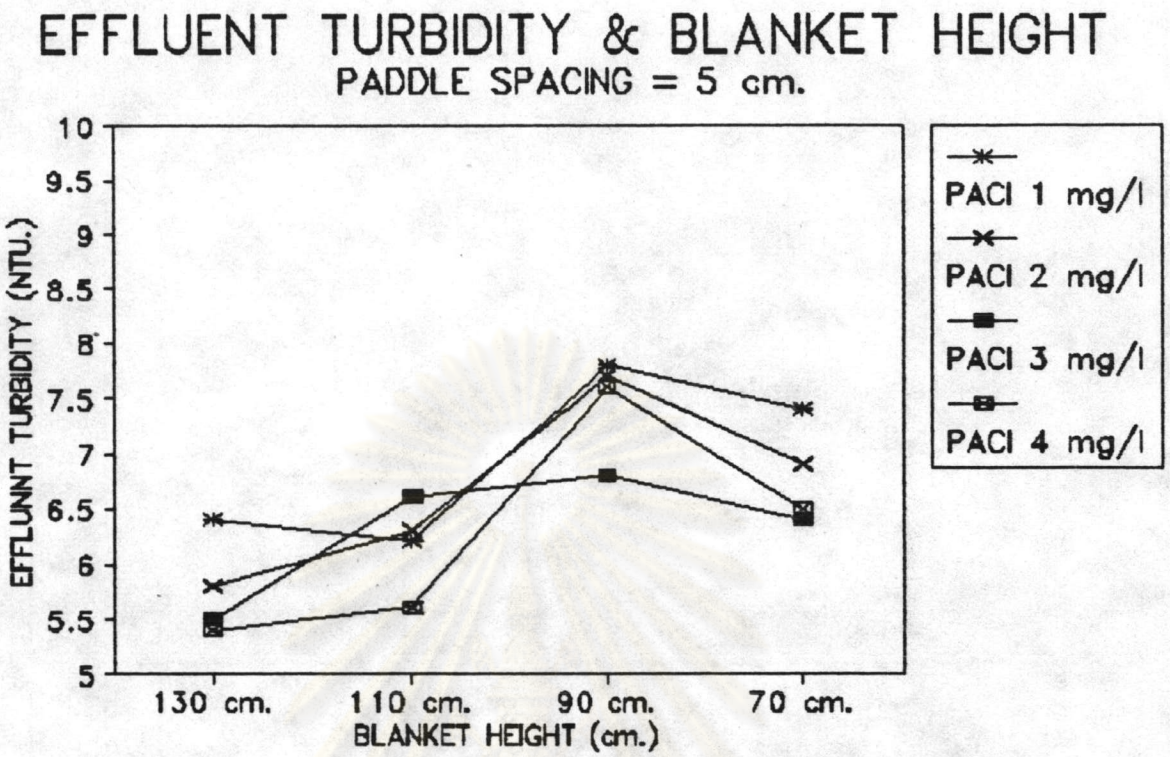
จากที่กล่าวมาข้างต้น ได้ทำการทดลองที่ช่วงห่างใบพัด 4 ค่า คือ 5 , 10 ,15 และ 20 ซม. โดยทำการเปลี่ยนตัวแปรต่างๆอันได้แก่ ปริมาณ PACl 4 ค่า , ระดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน 4 ค่า และทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับมาตรฐาน(H_o) 1 เมตร จากชั้นเม็ดตะกอน ทุกๆ 1 ซม. เป็นเวลา6 ซม. ซึ่งมากพอที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่

จากผลการทดลอง(ดูรูปที่ 4.5ก,ข,ค และง.) พบว่าที่ช่วงห่างใบพัดถี่ๆจะให้ค่าความขุ่นออกจากระบบที่ดีกว่าช่วงห่างมาก กล่าวคือที่ช่วงห่างใบพัด 5 และ 10 ซม. (ซึ่งมีค่า NTU. ของน้ำผลิต ใกล้เคียงกัน) สามารถคิดประสิทธิภาพของระบบได้เท่ากับ 86 % (เมื่อคิดจากน้ำเข้าระบบที่ 50 NTU.) ในขณะที่ระดับ 15 และ 20 ซม. สามารถคิดประสิทธิภาพของระบบได้เท่ากับ 84 % ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากพลังงานเข้าสู่ระบบที่เกิดจากใบพัดที่มีความถี่มากมีความเหมาะสมต่อระบบมากกว่ารูปแบบใบพัดที่มีความถี่น้อยกว่า ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะส่งผลให้ระบบของเม็ดตะกอนเกิด และทำงานได้ดีกว่าซึ่งเราสามารถดูได้จากค่าความขุ่นที่วัดได้

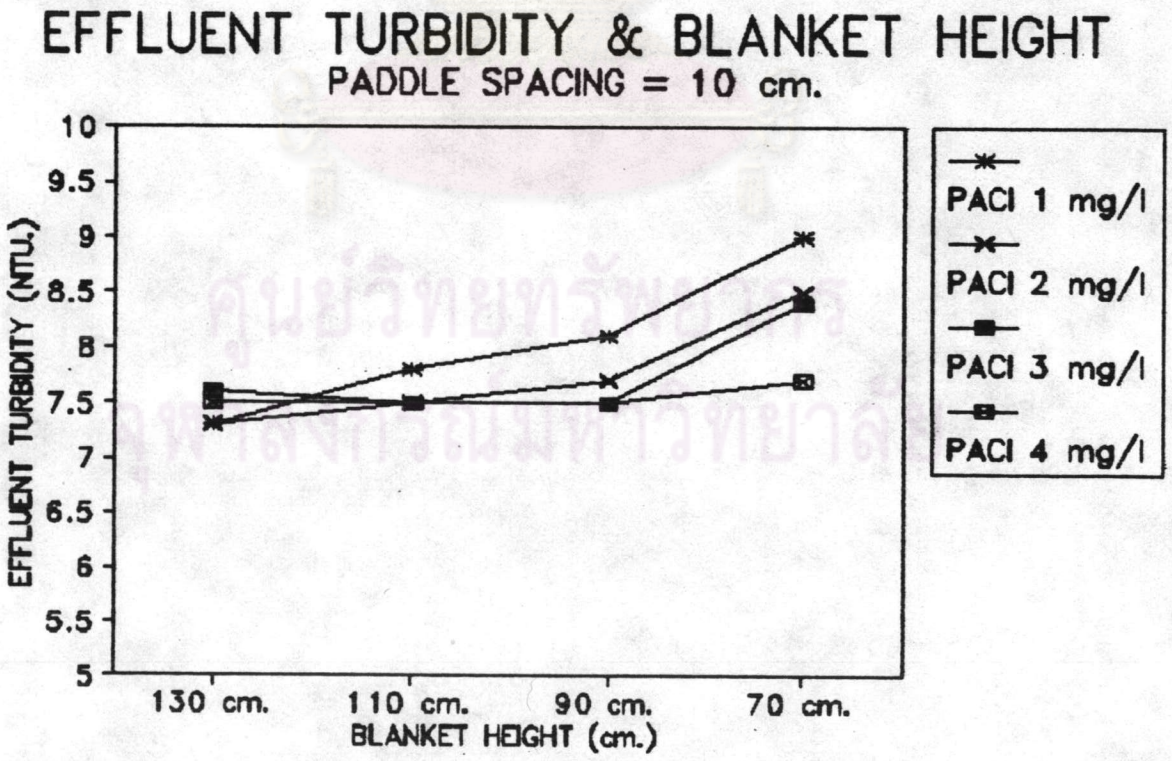
4.3.1.3 ความสัมพันธ์ชั้นเม็ดตะกอนต่อความขุ่นที่ออกจากระบบ

ทำการทดลองที่ระดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน 4 ระดับ คือ 130 , 110 , 90 และ 70 ซม. (รูปที่ 4.5) โดยในแต่ละระดับชั้นเม็ดตะกอนใช้ปริมาณ PACl 4 ค่า และช่วงห่างใบพัด 4 ช่วง ทำการเก็บตัวอย่างที่ความสูงชั้นน้ำใส(H_o) 1 เมตร จากชั้นเม็ดตะกอนในทุกๆชั่วโมง ทำการวัดความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น HACH MODEL 2100A

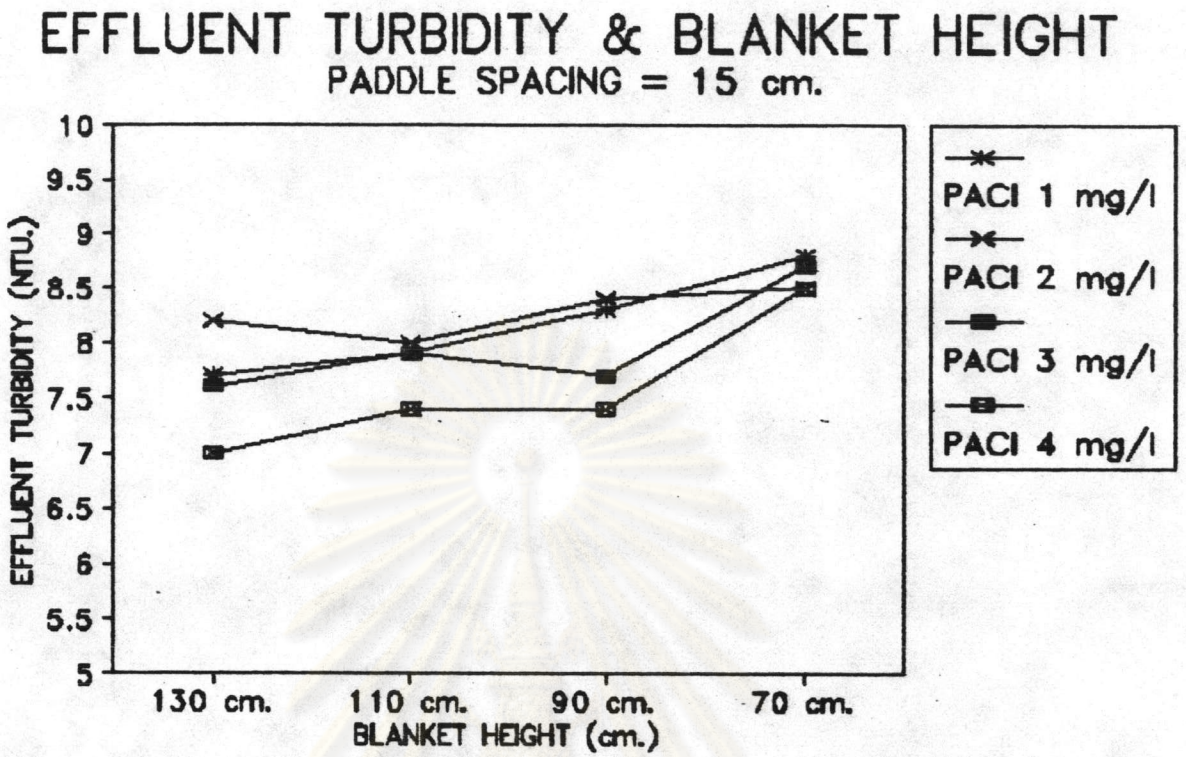
จากผลการทดลองพบว่าระดับชั้นเม็ดตะกอนที่สูงกว่าจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีกว่าโดยเฉพาะเมื่อช่วงห่างใบพัดเท่ากับ 5 ซม.แต่ถ้าช่วงห่างใบพัดมากกว่า 5 ซม. ไม่มีนัยสำคัญมากนัก กล่าวคือที่ความสูงชั้นเม็ดตะกอน 110 และหรือ 130 ซม. ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าที่ระดับชั้นเม็ดตะกอน 70 และหรือ 90 ซม.สามารถคิดประสิทธิภาพการบำบัดในรูป NTU. เท่ากับ 84% และ85 % (เมื่อน้ำเข้าระบบที่ 50 NTU.)ตามลำดับดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ก,ข,ค และ ง.



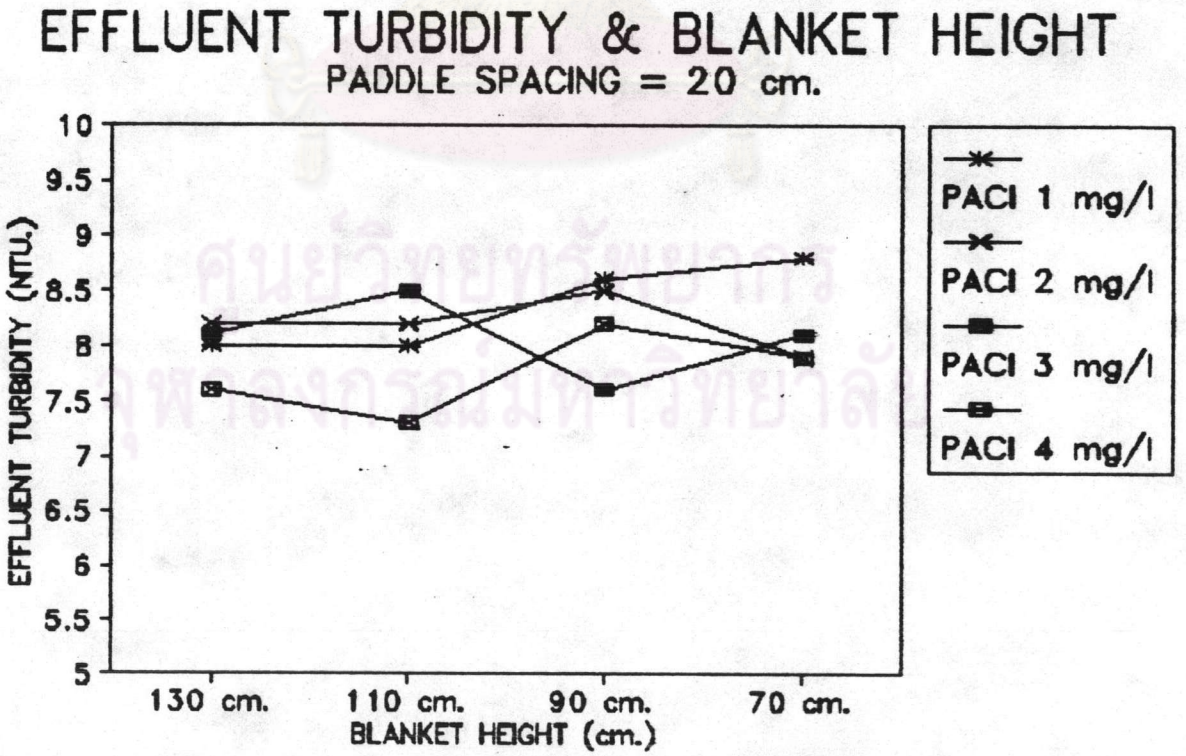
รูปที่ 4.5 ก. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบในแต่ละดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน เมื่อพิจารณาที่ช่วงห่างใบพัด 5 ซม.



รูปที่ 4.5 ข. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบในแต่ละดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน เมื่อพิจารณาที่ช่วงห่างใบพัด 10 ซม.



รูปที่ 4.5 ค. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบในแต่ละดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน เมื่อพิจารณาที่ช่วงห่างใบผัด 15 ซม.



รูปที่ 4.5 ง. ค่าความขุ่นที่ออกจากระบบในแต่ละดับความสูงชั้นเม็ดตะกอน เมื่อพิจารณาที่ช่วงห่างใบผัด 20 ซม.

4.3.2 ผลของตัวแปรต่างๆต่ออัตราเร็วในการตกตะกอน

ในการทดลองนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนจำนวน 4 จุดที่เว้นระยะเท่ากันตลอดช่วงความสูงของชั้นเม็ดตะกอน โดยทำการเก็บทุกๆชั่วโมงเป็นเวลา 6 ชม. ติดต่อกัน และทำการวัดความเร็วจมตัวของเม็ดตะกอนในภาระบอกตวงขนาด 1000 มล. จับเวลาการเคลื่อนที่ลงของเม็ดตะกอนที่ระยะทาง 10 ซม.

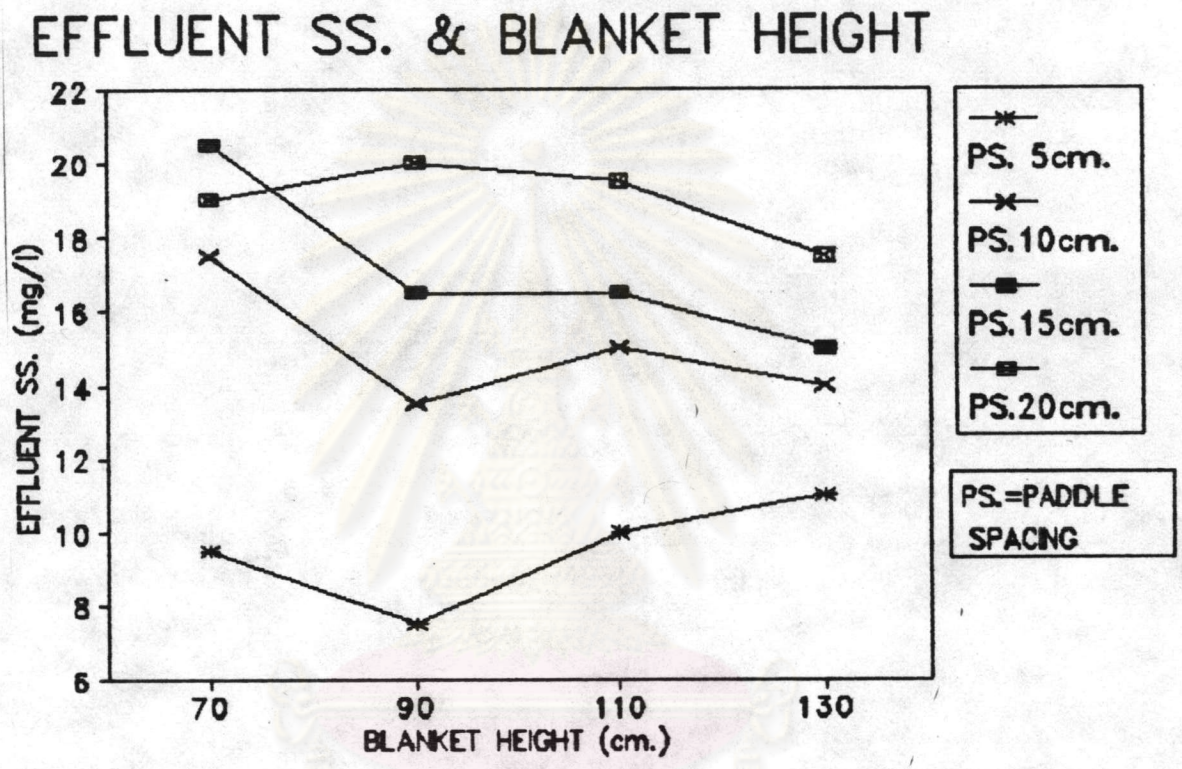
จากผลการทดลอง พบว่าอัตราเร็วในการจมตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา และยังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาที่ระดับส่วนบนสู่ส่วนล่างของชั้นเม็ดตะกอนที่ทำการศึกษา ณ.ความสูงนั้นๆ(รูปในภาคผนวก ข.และค.) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราเร็วในการจมตัวมีความสัมพันธ์ที่ไม่เด่นชัดกับปริมาณ PAC1 ,ช่วงห่างใบพัด และความสูงชั้นเม็ดตะกอน จากการทดลองนี้เมื่อพิจารณาที่ชั่วโมงที่ 6 ของการเดินระบบจะได้อัตราการจมตัวของเม็ดตะกอนที่มีค่าจากน้อยไปมากเท่ากับ 122 และ 215 ซม./นาที ตามลำดับ

หมายเหตุ วิธีการวัดความเร็วจมตัวอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการเลือกกลุ่มเม็ดตะกอนมาวัดความเร็วของแต่ละบุคคลอาจไม่ตรงกัน ข้อมูลที่ได้หากจะนำไปใช้ก็ควรนำไปใช้อย่างระมัดระวัง

4.3.3 ผลของตัวแปรต่างๆต่อขนาดเม็ดตะกอน

ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างเม็ดตะกอนที่ได้ตามวิธีในข้อ 4.3.2 มาทำการวัดขนาดโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์

พบว่า ขนาดของเม็ดตะกอนเพิ่มขึ้นตามเวลา และ มีรูปแบบของขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาจากส่วนบนชั้นเม็ดตะกอนไปสู่ส่วนล่างชั้นเม็ดตะกอน (รูปในภาคผนวก ง. และจ.) จากการวัดขนาดเม็ดตะกอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์และเมื่อพิจารณาที่ชั่วโมงที่ 6 จะได้เม็ดตะกอนมีขนาดจากน้อยไปมากเท่ากับ 0.34 และ .53 มม. ตามลำดับ) สำหรับความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่ๆมีผลออกมาคล้ายกับผลของอัตราการจมตัวดังกล่าวแล้วข้างต้น



รูปที่ 4.6 เอสเอส ที่ออกจากระบบที่ความสูงชั้นเม็ดตะกอนต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ผลของตัวแปรต่างๆต่อเอสเอสที่ออกจากระบบ

ในการวัดค่าเอสเอส ของน้ำออกจากระบบ จะทำการเก็บตัวอย่างที่จุดเก็บน้ำออกจากระบบเพียงที่เดียว ทำเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(steady state) แล้วเท่านั้น ผู้วิจัยจึงทำการเก็บที่ชั่วโมงที่ 6 และวัดโดยการกรองผ่านกระดาษ GF/c นำไปอบที่อุณหภูมิ 103°C 1 ชม.หลังจากผ่านการอบนำไปทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในเดสิเกเตอร์ (desiccator) คำนวนหาน้ำหนักสารที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณตัวอย่างที่ใช้ ในหน่วย มก./ล.

สูตรคำนวน

$$\text{มก./ล.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น(ก.GF/C)} \times 10^6}{\text{ลบ.ซม. ตัวอย่างที่ใช้}}$$

จากผลการทดลอง (ดูรูปที่ 4.7) พบว่าระบบมีเอสเอส ออกอยู่ในช่วง 6.5-21 มก./ล. อนึ่งในความสูงชั้นเม็ดตะกอนเดียวกันเอสเอสมีความสัมพันธ์กับช่วงห่างของใบพัดมากกว่าตัวแปรอื่น โดยจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อช่วงห่างของใบพัดน้อยที่สุด และในทางตรงกันข้ามจะมีค่ามากขึ้นเมื่อใบพัดมีช่วงห่างมากขึ้น จากผลดังกล่าวจะสอดคล้องกับผลของค่าความขุ่นในตอนต้นที่กล่าวมาแล้ว รูปที่ 4.6

4.3.5 ผลของตัวแปรต่างๆต่อเปอร์เซ็นของแข็งในสลัดจ์ที่วัดก่อนและหลังตกตะกอน

ในการศึกษาเปอร์เซ็นต์ของแข็งของสลัดจ์ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับบนของชั้นเม็ดตะกอน โดยเก็บสองตัวอย่าง ตัวอย่างหนึ่งจะนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยตรง แต่อีกตัวอย่างหนึ่งจะตั้งให้ตกตะกอนในกรวยตกตะกอน Imhoff cone เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำตัวอย่างมาทำการหาเอสเอส เพื่อนำค่าที่ได้มาเทียบหาเปอร์เซ็นต์ของแข็ง

จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งในสลัดจ์ก่อนทำการตกตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 3-6% และหลังจากตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 25-40 % (รูปในภาคผนวก ฉ. และช.) ซึ่งไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่เด่นชัดนักระหว่างเปอร์เซ็นต์ของแข็งกับตัวแปรที่ศึกษาต่างๆ แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้มานี้ก็พอที่จะสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า เม็ดตะกอนมีการจมตัวและอัดตัวได้ดีมากโดยใช้เวลาสั้นๆเพียง 30 นาที ซึ่งเป็นข้อดีในการที่จะกำจัดกากนี้ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย