บทที่ 5

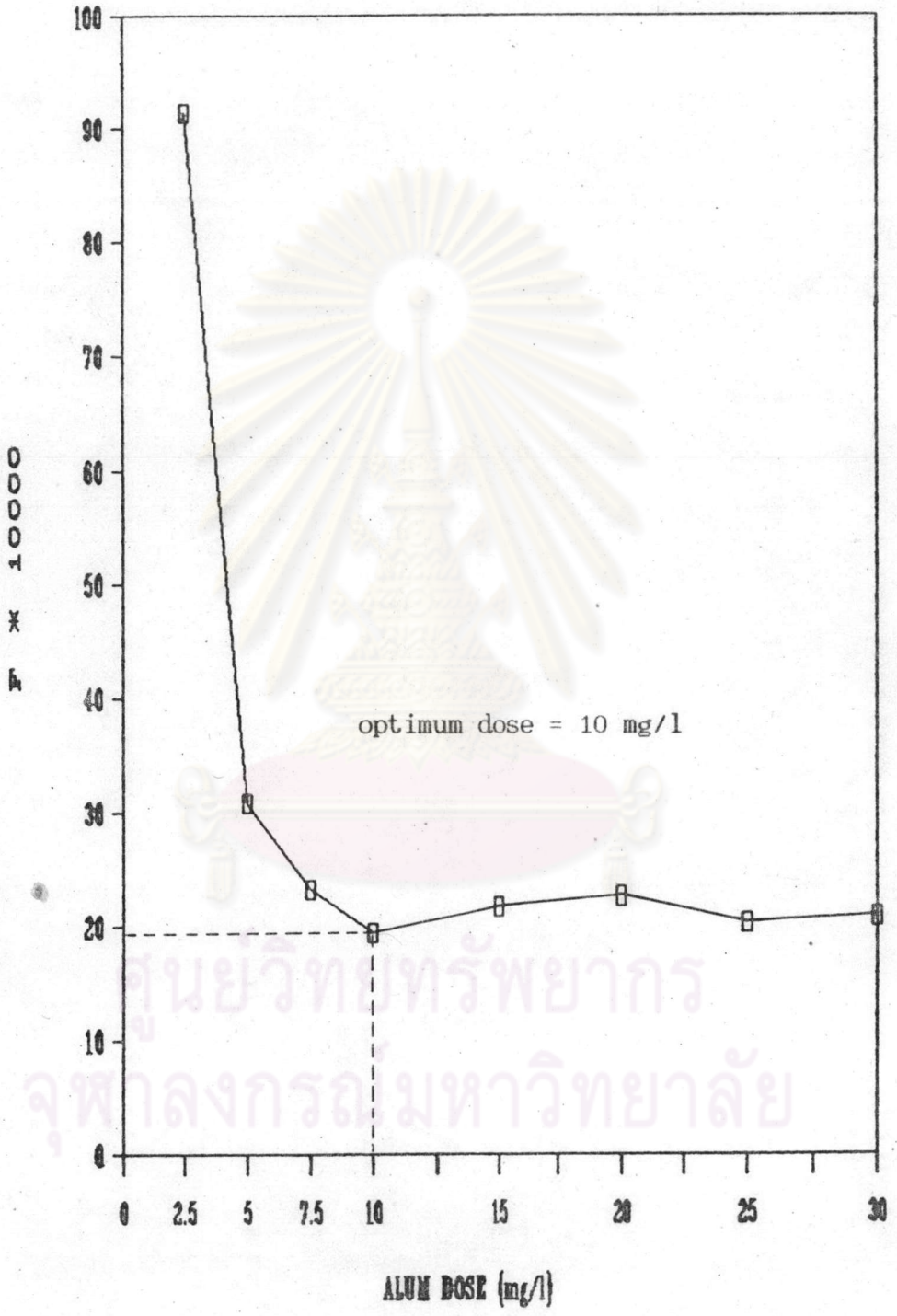
ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การทดลองหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก

เนื่องจากในการทดลอง ใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็กที่มีชั้นทรายหนาเพียง 4 ซม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ทรายกรองที่มีขนาดสัมฤทธิ์ต่ำๆ โดยใช้เพียง 0.235 มม และใช้อัตราการกรองประมาณ 3.95 ลบ ม/ตร ม-ชม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการกรองขึ้นได้ และเพื่อเน้นให้ความแตกต่างทางด้านการสูญเสียเฮดมีค่าชัดเจนยิ่งขึ้น

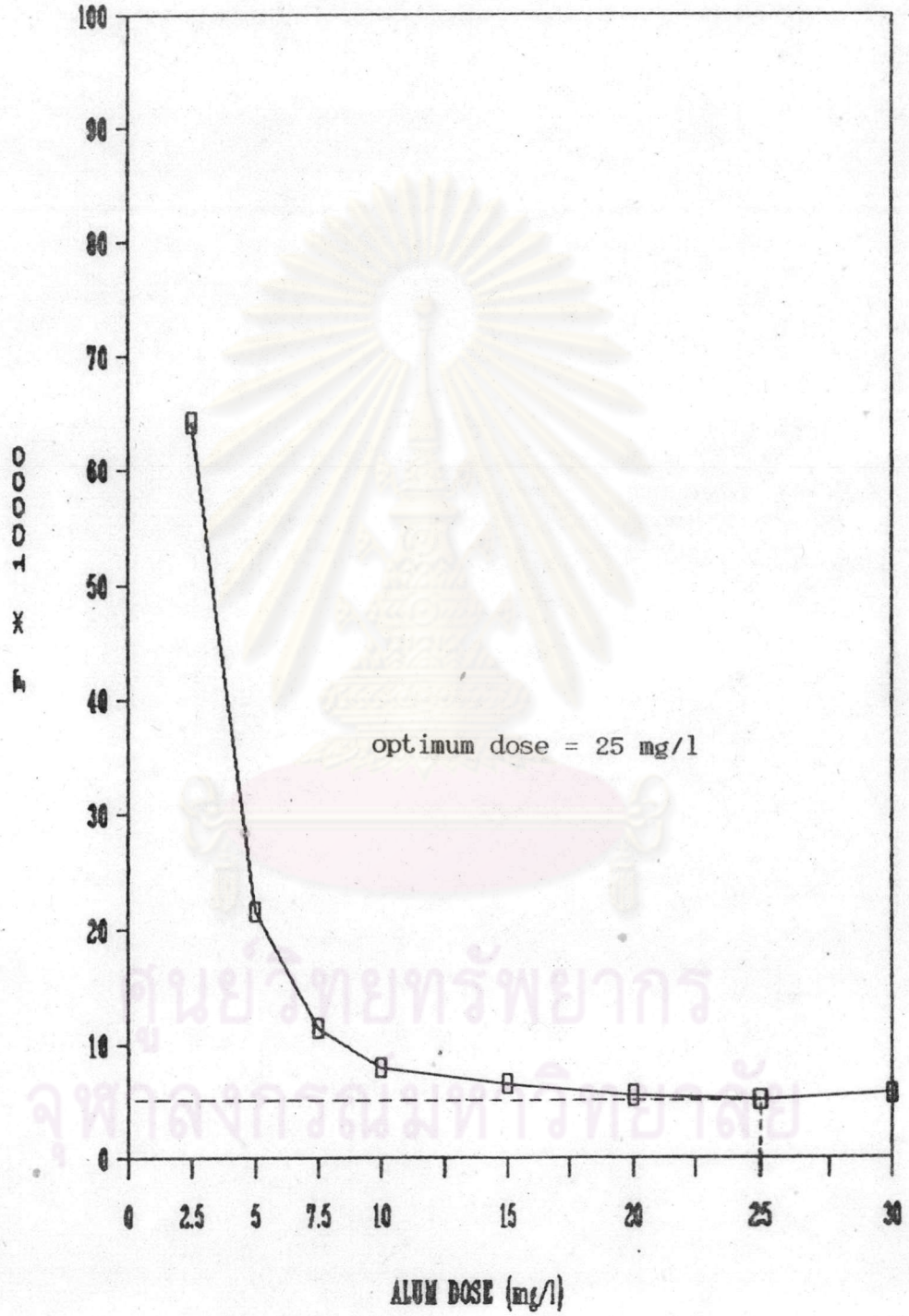
ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ ก.1 ถึง ก.3 ของภาคผนวก ก ซึ่งสามารถแสดงผลเปรียบเทียบในลักษณะของกราฟเชิงเส้น ได้ดังรูปที่ 5.1 ถึง 5.3 สำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า โดยทั่วไปแล้วระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองจะมีค่าต่ำลงเมื่อใช้สารส้มในปริมาณที่สูงขึ้น แต่ปริมาณสารส้มที่มากเกินพอก็มิได้ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนัก แต่กลับจะทำให้ค่าการสูญเสียเฮดมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากมีปริมาณฟล็อคที่เข้ามาอุดตันมากขึ้น ดังนั้นเราจึงใช้ค่าดัชนีการกรองเพื่อเปรียบเทียบหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่จะสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้ แต่ไม่ทำให้การสูญเสียเฮดมีค่าสูงจนเกินไป ซึ่งที่ปริมาณสารส้มดังกล่าวจะให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด จากรูปที่ 5.1 ถึง 5.3 สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด สำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU คือ 10 , 25 และ 25 มก/ล ตามลำดับ

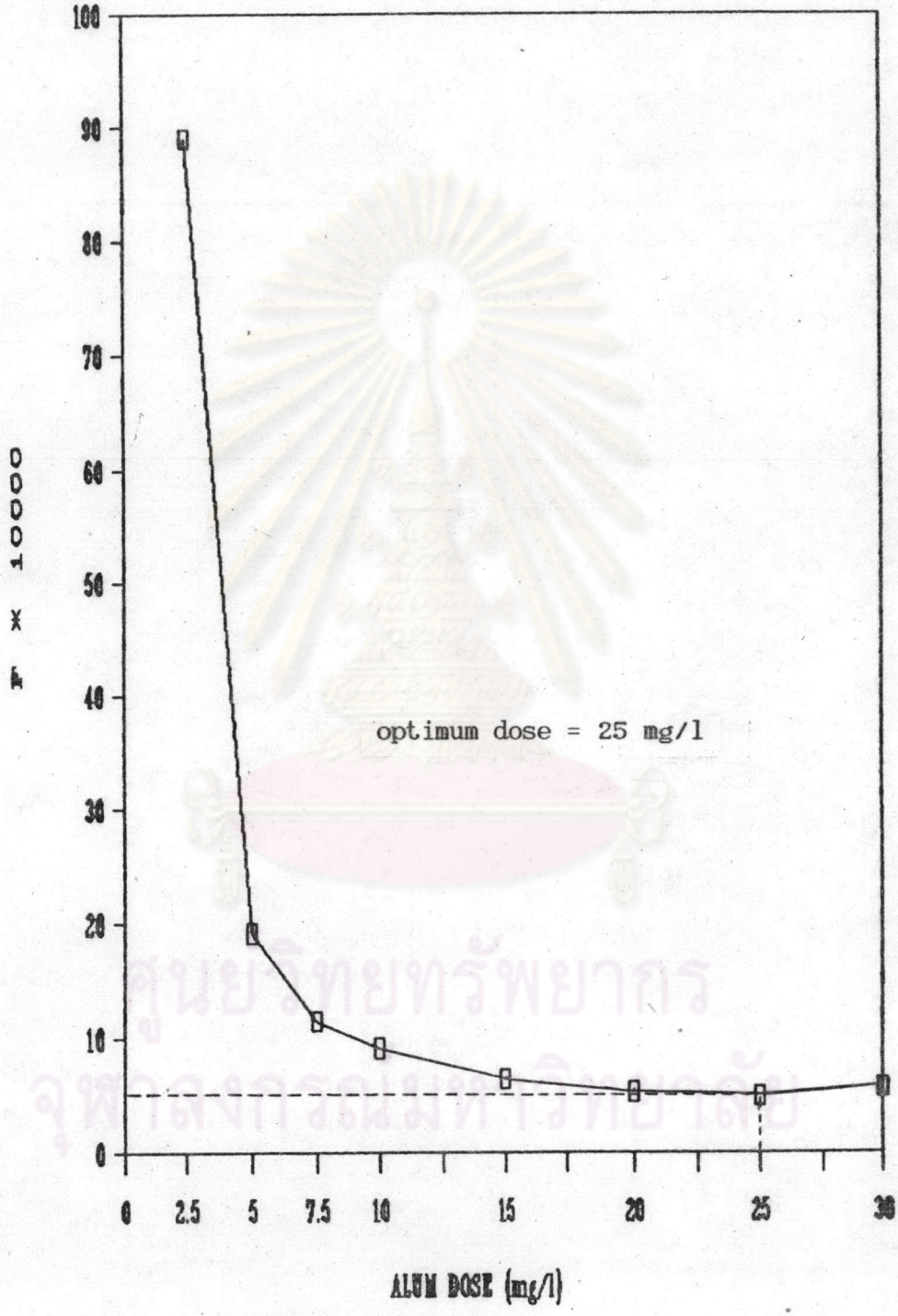


รูปที่ 5.1 ค่าดัชนีการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ค่าดัชนีการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU



รูปที่ 5.3 ค่าดัชนีการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU

5.2 การทดลองหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง

ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ ข.1 ถึง ข.27 ของภาคผนวก ข และสามารถแยกพิจารณาผลได้ดังนี้คือ

5.2.1 ผลต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง และอายุการกรอง

ในการทดลอง กำหนดระดับความขุ่นที่ยอมรับของน้ำที่ผ่านการกรองไว้เท่ากับ 1 NTU ผลการทดลองสามารถแยกการพิจารณาตามระดับความขุ่นของน้ำดิบ ได้ดังนี้

5.2.1.1 ระดับความขุ่น 10 NTU

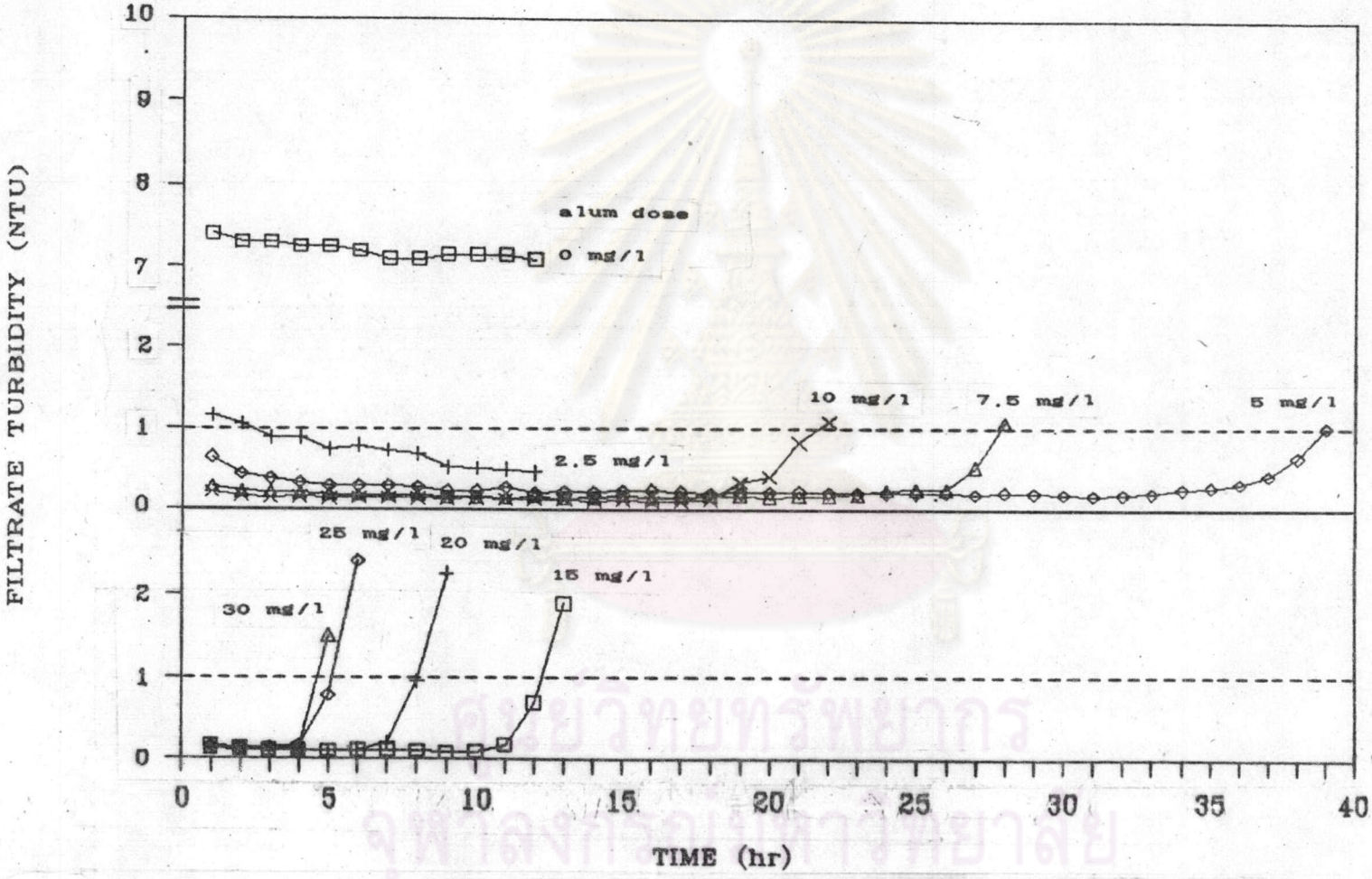
ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.4 จากรูปจะเห็นว่าเครื่องกรองสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพได้ภายใน 1 ชั่วโมง เมื่อใช้ปริมาณสารส้มตั้งแต่ 5 มก/ล ขึ้นไป จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารส้มที่สูงขึ้นจะทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองดีขึ้น แต่ก็จะทำให้อายุการกรองต่ำลงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสารส้มที่มากกว่า 7.5 มก/ล ไม่ได้ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปริมาณสารส้มที่ใช้จึงควรอยู่ในช่วง 5-7.5 มก/ล โดยจะมีอายุการกรองประมาณ 27-38 ชั่วโมง

5.2.1.2 ระดับความขุ่น 50 NTU

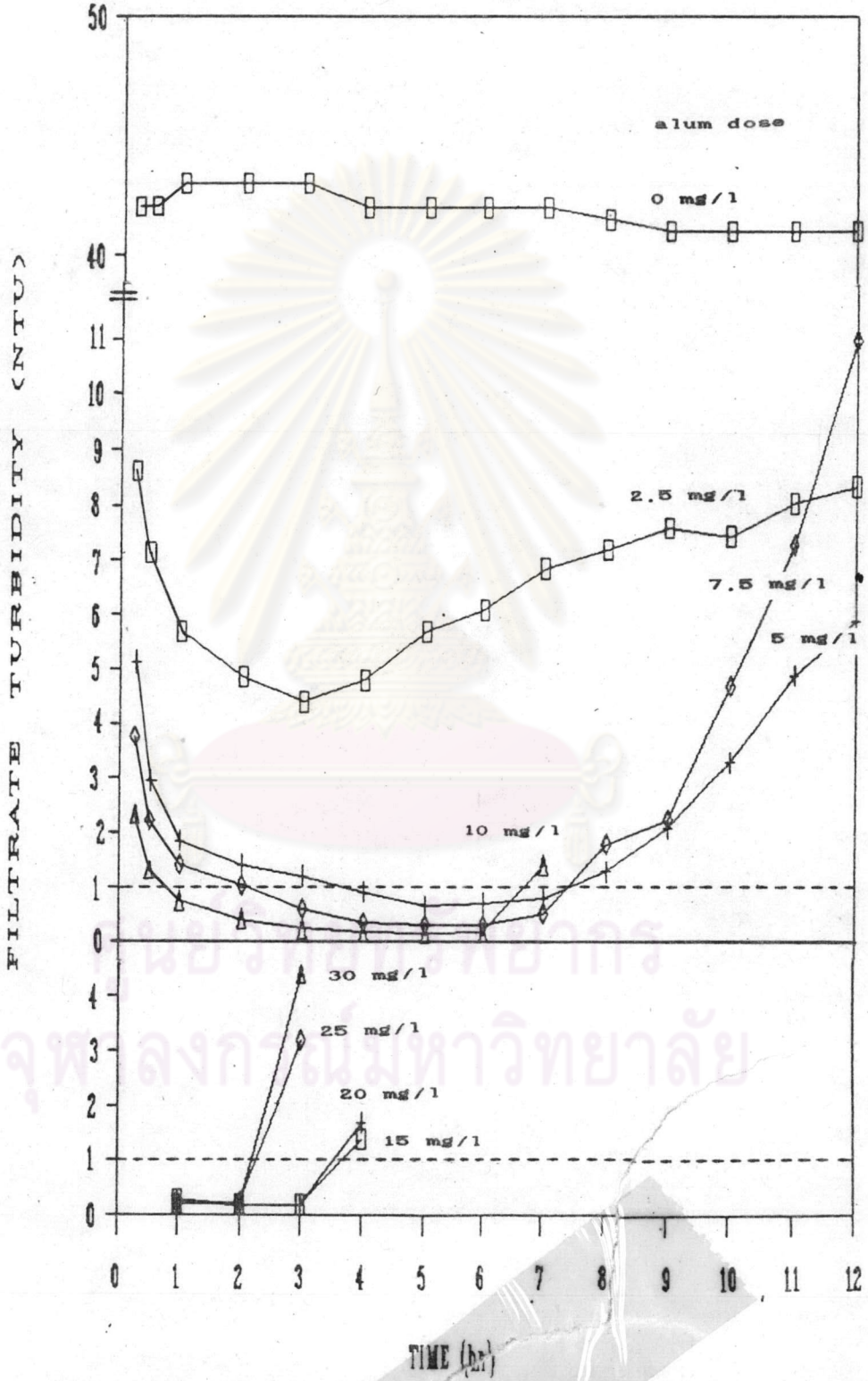
ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ในทำนองเดียวกันจะเห็นว่าปริมาณสารส้มที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 10-15 มก/ล โดยจะมีอายุการกรองต่ำลง เหลือเพียง 3-6 ชั่วโมง

5.2.1.3 ระดับความขุ่น 100 NTU

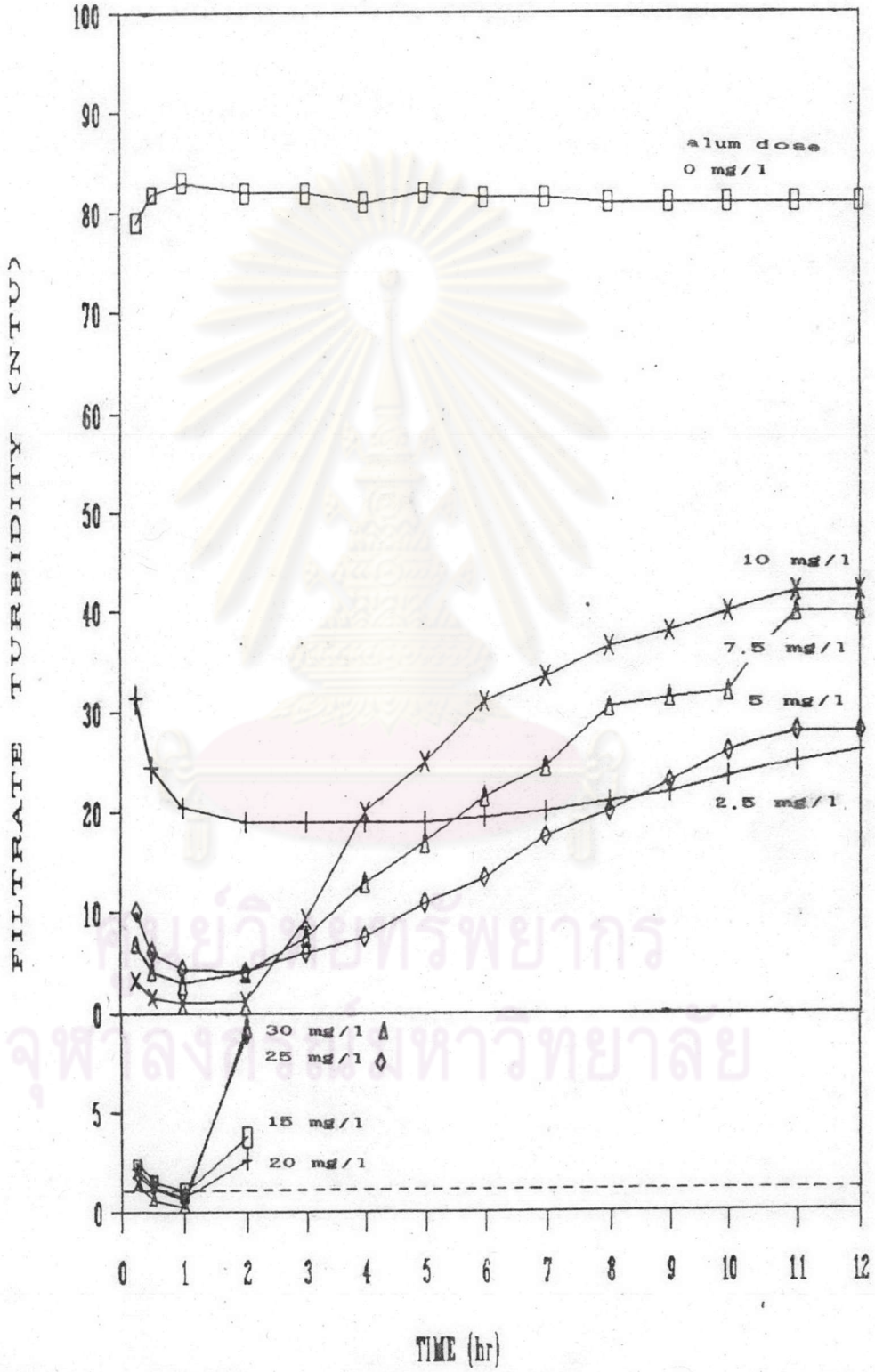
ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.6 ในทำนองเดียวกันจะเห็นว่าปริมาณสารส้มที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 15-30 มก/ล แต่อายุการกรองจะต่ำลงอย่างมาก คือเหลือเพียง 1 ชั่วโมงเท่านั้น



รูปที่ 5.4 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU



รูปที่ 5.5 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU



รูปที่ 5.6 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU

5.2.2 ผลต่ออัตราการสูญเสียเฮด

รูปที่ 5.7 ถึง 5.9 แสดงการสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU ตามลำดับ

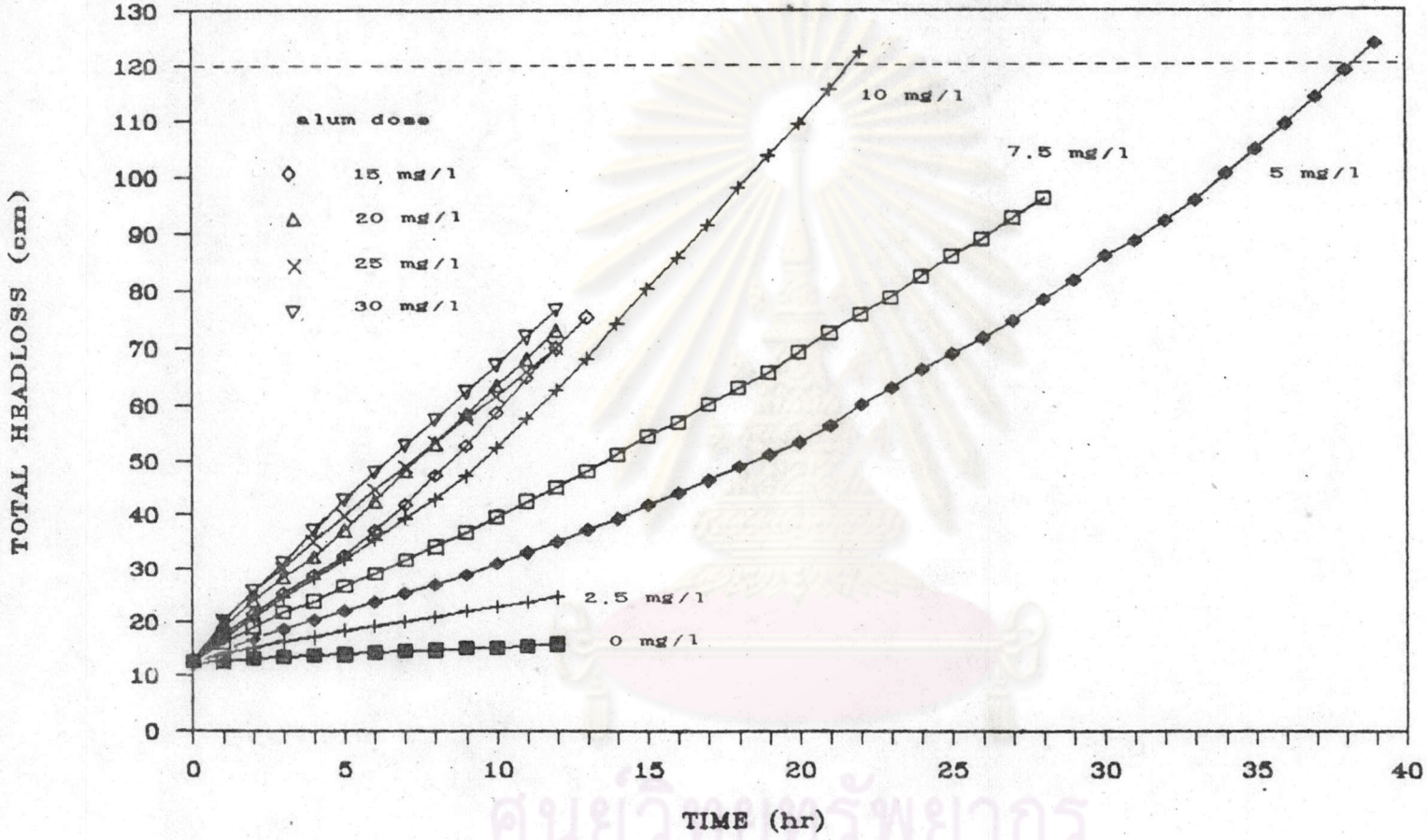
จากรูปสามารถสรุปแนวโน้มทั่วไปได้ว่า อัตราการสูญเสียเฮด(ความลาดชันของเส้นกราฟ)มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสารส้มที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนในช่วงปริมาณสารส้ม 0-10 มก/ล แต่ในช่วงปริมาณสารส้ม 10-30 มก/ล เส้นกราฟอาจมีลักษณะขัดแย้งอยู่บ้าง ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของอัตราการสูญเสียเฮดในช่วงนี้ มีค่าไม่มากนัก และยังมีความคลาดเคลื่อนซึ่งมีสาเหตุมาจากการปรับวาล์วควบคุมอัตราไหล ที่อาจกระทำได้ไม่คงที่ ในทุกการทดลองและตลอดช่วงการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการสูญเสียเฮดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับความขุ่นของน้ำดิบด้วย ทั้งนี้เนื่องจากระดับความขุ่นของน้ำดิบ และปริมาณสารส้มที่สูง จะทำให้เกิดฟล็อคที่เข้ามาอุดตันในชั้นกรองในปริมาณมาก จึงทำให้อัตราการสูญเสียเฮดมีค่าสูงด้วย

จากรูปที่ 5.4 ถึง 5.9 พบว่า การสิ้นสุดการกรองของเครื่องกรองนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากเบรคธรูทุกการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่เหมาะสมของเครื่องกรองที่มีโครงร่างของสารกรอง(filter media configurations)ดังกล่าวข้างต้น นั่นคือในการทดลองนี้ใช้ทรายกรองที่มีขนาดสัมฤทธิ์ใหญ่เกินไป ดังนั้นจึงควรที่จะลดขนาดของทรายกรองลง เพื่อให้เกิดความสามารถในการต้านทานการหลุดลอดของอนุภาคความขุ่นออกจากชั้นสารกรองได้ดียิ่งขึ้น อันจะเป็นการป้องกันการเกิดเบรคธรูอย่างรวดเร็วของเครื่องกรอง แต่ในขณะเดียวกันการใช้เม็ดสารกรองขนาดเล็กก็จะทำให้การสูญเสียเฮดมีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งก็อาจทำให้อายุการกรองต่ำได้เช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่อันสำคัญอย่างยิ่งของวิศวกรผู้ออกแบบ ในการตัดสินใจเลือกใช้ ชนิด ขนาด และความหนาของสารกรอง เพื่อให้สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพและเครื่องกรองมีอายุยาวนาน(เกิดเบรคธรูในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับการใช้เฮดที่มีอยู่จนหมด) และในการออกแบบก็จะต้องคำนึงถึงการจัดเรียงตัวของเม็ดสารกรองภายหลังการล้างย้อนด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคละเคล้าที่บริเวณรอยต่อของสารกรอง

นอกจากนี้ การใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ก็จะส่งผลให้เกิดเบรคธรูได้ง่ายด้วย เนื่องจากสารส้มจะทำให้เกิดฟล็อคที่มีแรงยึดเกาะต่ำ โดยเฉพาะฟล็อคที่เกิดจากกลไกแบบกวาดและในการใช้งานยังจำเป็นต้องใช้สารส้มในปริมาณที่สูงเพื่อให้สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพ

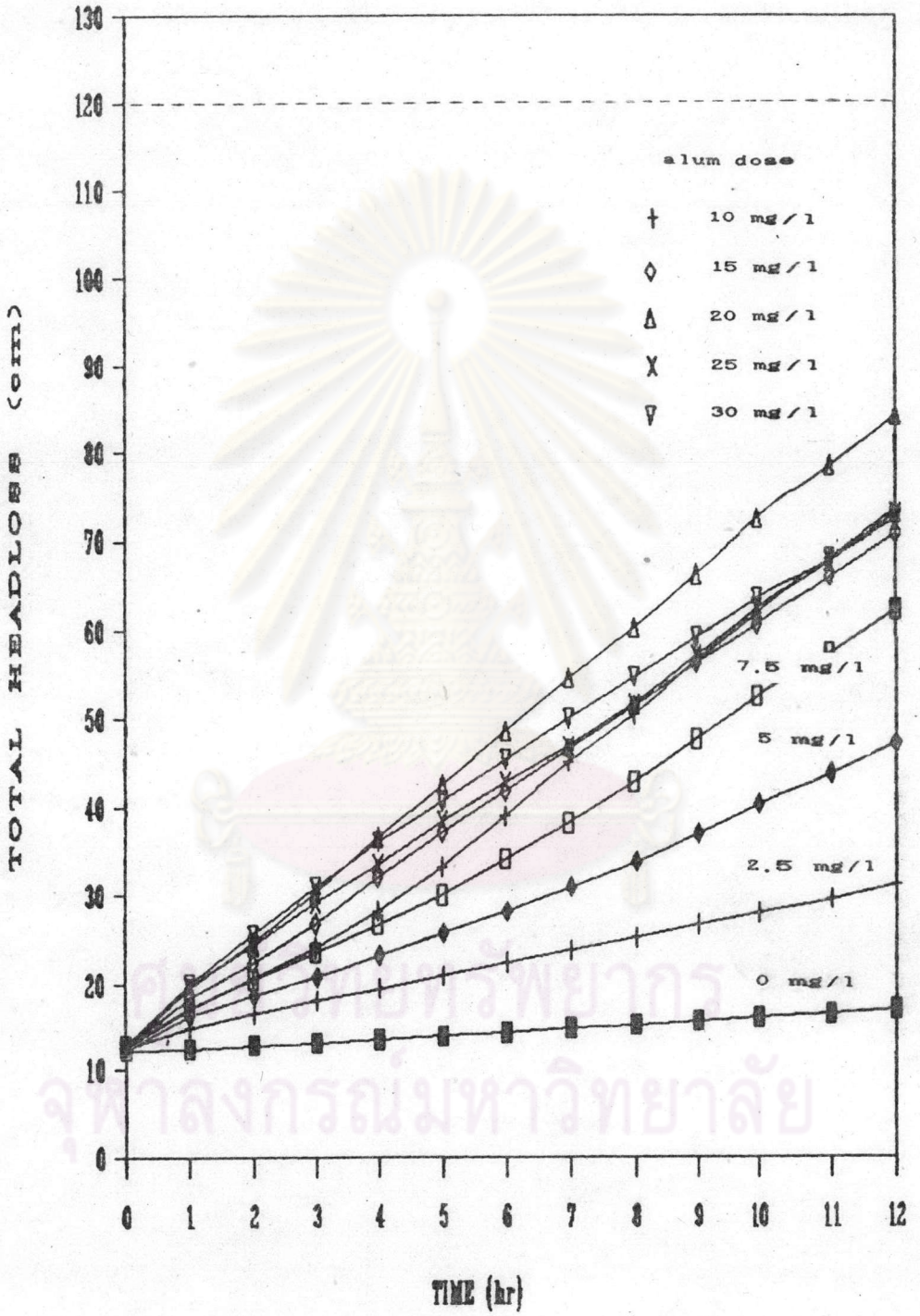
อันจะเป็นการสนับสนุนให้เกิดกลไกแบบกวาดได้ง่ายยิ่งขึ้น และยังเป็นการเพิ่มปริมาณฟล็อคอีกด้วย Hudson (27) รายงานว่าปริมาณฟล็อคเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารส้มที่สูงขึ้น ทำให้ช่องว่างภายในชั้นกรองถูกบรรจุและเกิดเบรคธรูอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ปริมาณฟล็อคยังแปรตามระดับความขุ่นของน้ำดิบ ซึ่งก็จะส่งผลให้เกิดเบรคธรูได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน ด้วยเหตุนี้น้ำดิบที่มีระดับความขุ่นสูงจึงมีโอกาสเกิดเบรคธรูได้ง่ายและรวดเร็วกว่าน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นต่ำ

พิจารณาโดยรวมถึงผลของปริมาณสารส้มต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง พบว่าคุณภาพน้ำจะดีขึ้นเมื่อใช้สารส้มในปริมาณที่สูงขึ้น และปริมาณสารส้มที่ใช้จะสูงขึ้นถ้าระดับความขุ่นของน้ำดิบมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์จนสามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดีได้ แต่ปริมาณสารส้มและระดับความขุ่นของน้ำดิบที่สูงขึ้นจะสนับสนุนให้เกิดกลไกแบบกวาดมากยิ่งขึ้นและจะส่งผลให้อายุการกรองต่ำลงด้วย ดังจะเห็นได้ว่าที่ระดับความขุ่น 10 NTU และปริมาณสารส้มที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 มก/ล เครื่องกรองมีการใช้เฮดที่มีอยู่(120 เซนติเมตร) ได้อย่างเต็มที่ก่อนที่เครื่องกรองจะเกิดเบรคธรูมากกว่าการทดลองอื่นๆ(ดูรูปที่ 5.4 - 5.9 ประกอบการพิจารณา) นั่นคือเราอาจกล่าวได้ว่าที่ระดับความขุ่นของน้ำดิบและปริมาณสารส้มดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเกิดกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และแบบผสม ซึ่งให้ฟล็อคที่มีแรงยึดเกาะสูงกว่าฟล็อคที่เกิดจากกลไกแบบกวาด จึงมีโอกาสเกิดเบรคธรูน้อยกว่า ดังนั้นจึงอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าระบบการกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสที่ใช้เครื่องกรองที่มีโครงร่างของสารกรองและอัตราการกรองดังกล่าวแล้ว และใช้สารส้มเป็นสารโคแอกกูแลนต์ สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 NTU โดยใช้สารส้มในช่วงปริมาณ 5-7.5 มก/ล โดยทำการล้างย้อนเพียงวันละ 1 ครั้ง แต่ระบบนี้ไม่เหมาะสำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นสูง (50 และ 100 NTU) เนื่องจากต้องใช้สารส้มในปริมาณสูง และมีอายุการกรองต่ำ ต้องทำการล้างย้อนบ่อยครั้งขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำดิบที่มีคุณภาพสูงจะให้น้ำที่ผ่านการกรองที่มีคุณภาพดีกว่าน้ำดิบที่มีคุณภาพต่ำ

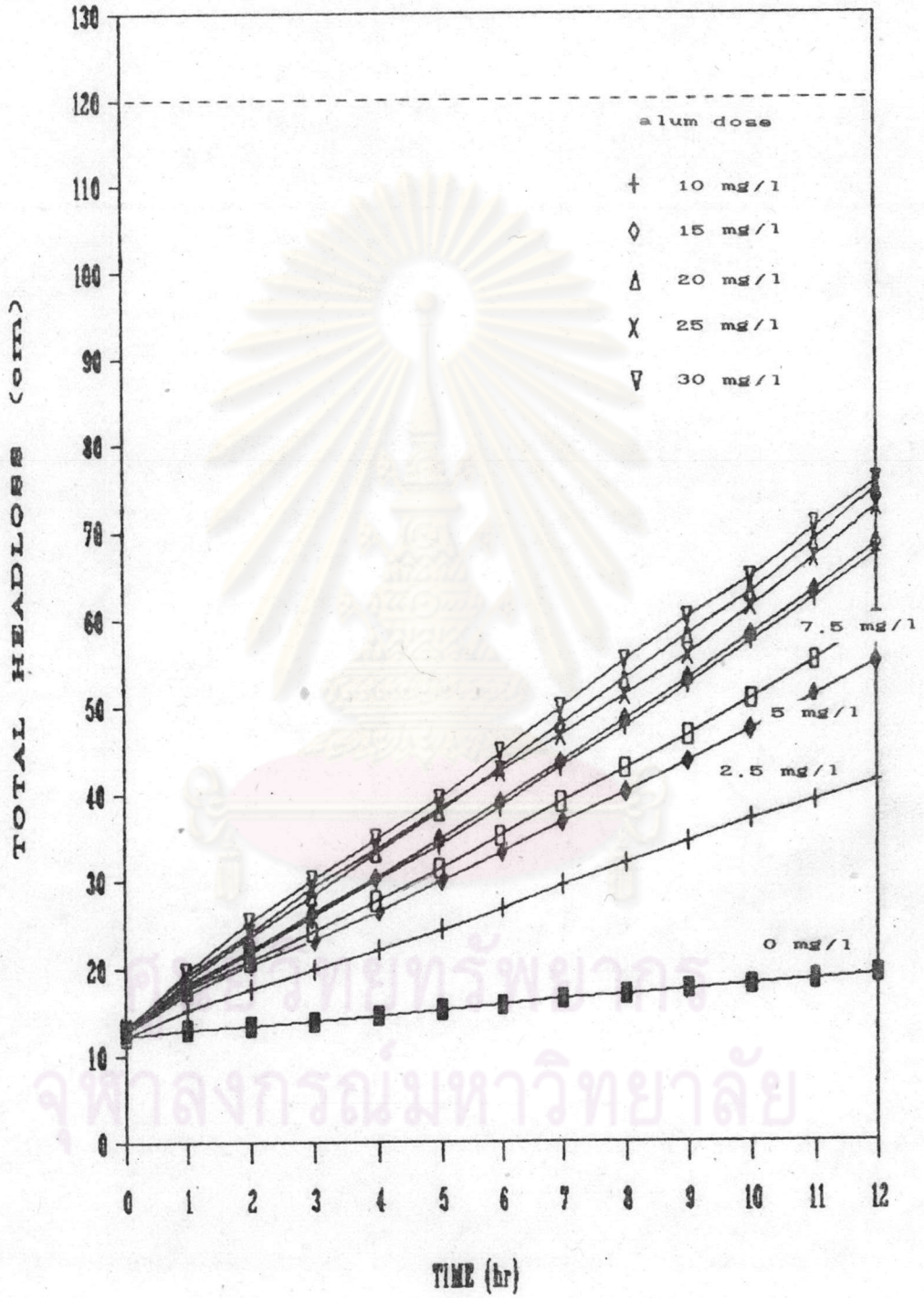


รูปที่ 5.7 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



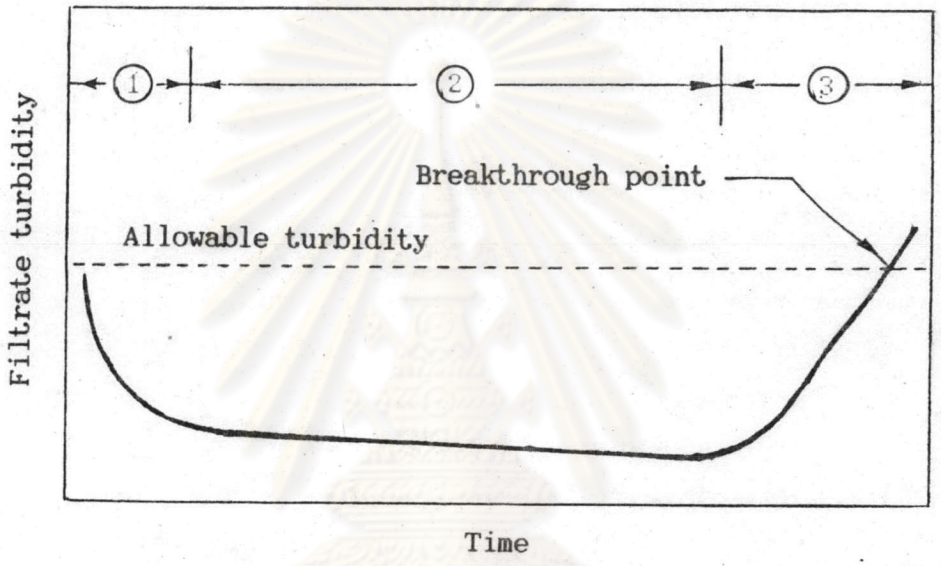
รูปที่ 5.8 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU



รูปที่ 5.9 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU

เมื่อพิจารณาลักษณะเส้นกราฟของ Breakthrough curve อย่างละเอียด จะสามารถแสดงลักษณะทั่วไปของเส้นกราฟ ได้ดังรูปที่ 5.10

จากเส้นกราฟเบรคธรู ซึ่งสามารถแบ่งช่วงกราฟออกได้เป็น 3 ช่วง คือ Ripening หรือ Working-in stage , Working stage และ Breakthrough stage



① Ripening or Working-in stage

② Working stage

③ Breakthrough stage

รูปที่ 5.10 ลักษณะเส้นกราฟเบรคธรู

ในช่วง Ripening คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองอาจยังไม่ดีนัก เนื่องจากการจับอนุภาคความขุ่นยังเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ มีการหลุดลอดผ่านชั้นสารกรองลงมาของอนุภาคความขุ่นบางส่วน ดังนั้นในช่วงนี้ ชั้นทรายจึงรับภาระอนุภาคความขุ่นสูงกว่าปกติ ทำให้อัตราการสูญเสียเฮดในช่วงนี้มีค่าสูง แต่ในช่วงนี้คุณภาพน้ำที่ผ่านการกรองจะดีขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเข้าสู่ช่วง Working ซึ่งคุณภาพน้ำจะค่อนข้างคงที่ และอาจดีขึ้นบ้างเล็กน้อย ทั้งนี้น่าจะเป็นผลที่เกิดจาก Straining ในชั้นกรอง ในช่วงนี้อัตราการสูญเสียเฮดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งเข้าสู่ตอนท้ายของช่วงนี้ ซึ่งการอุดตันจะเกิดขึ้นถึงระดับหนึ่งจนทำให้แรงเฉือนเนื่องจากการไหลผ่านชั้นสาร

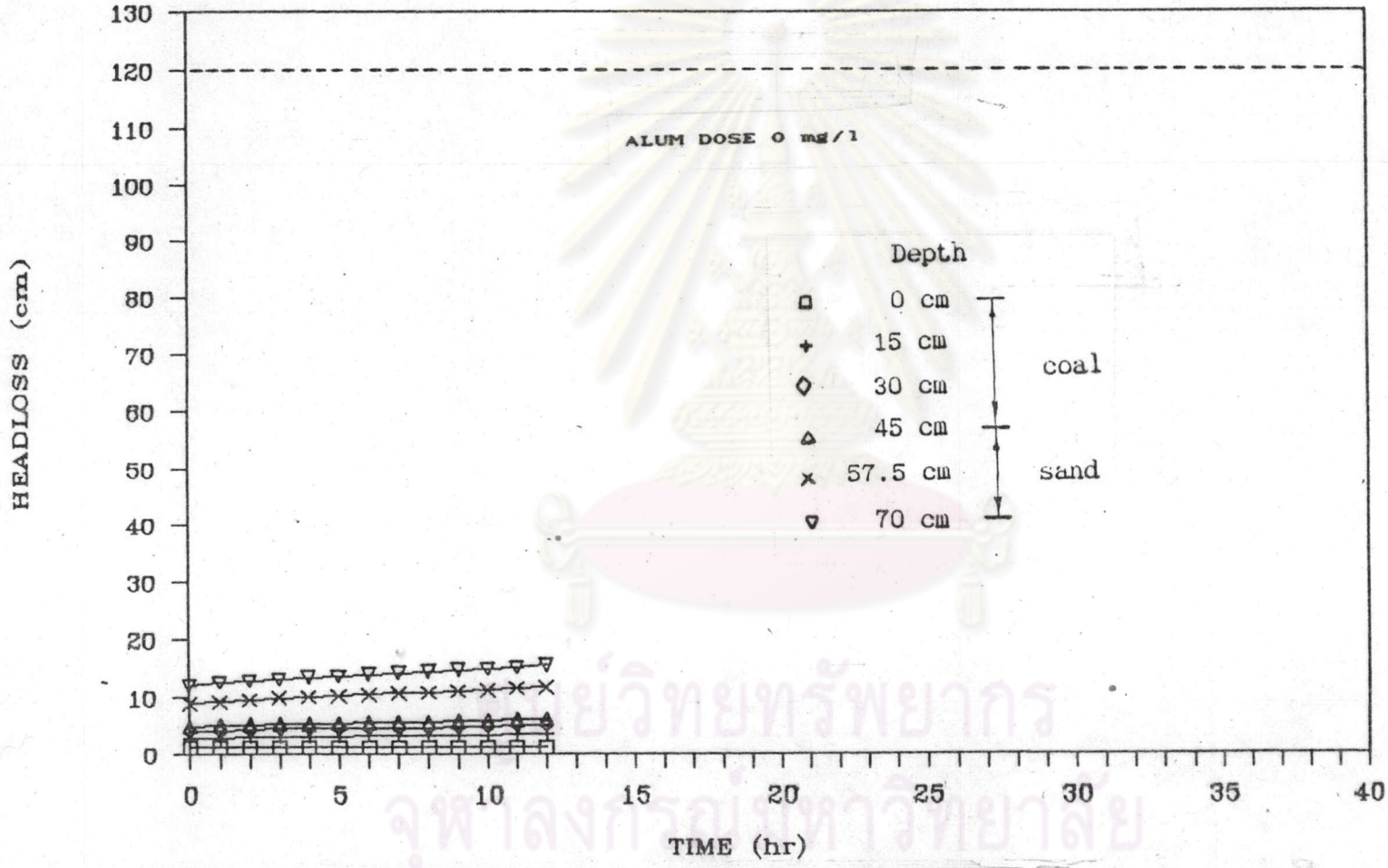
กรองของน้ำมีค่าสูงขึ้น จนสามารถผลักดันให้อนุภาคความขุ่นหลุดลอดลงมายังชั้นสารกรองที่อยู่ล่างลงมาเป็นลำดับ นั่นคือในช่วงนี้ชั้นทรายจะต้องรับภาระอนุภาคความขุ่นสูงขึ้นทำให้อัตราการสูญเสียเฮดในช่วงนี้มีค่าสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง จนกระทั่งเกิดเบรคธรูของอนุภาคความขุ่นออกจากชั้นสารกรองจนถึง Breakthrough point จึงเป็นอันสิ้นสุดอายุการกรอง

5.2.3 การอุดตันภายในชั้นสารกรอง

รูปที่ 5.11 แสดงการสูญเสียเฮดในแต่ละชั้นสารกรอง (ระยะลึก 0-45 ซม เป็นชั้นถ่านแอนทราไซต์ และ 45-70 ซม เป็นชั้นทรายซิลิกา) ที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 NTU(ในที่นี้ผู้วิจัยขอแสดงรูปกราฟเฉพาะระดับความขุ่น 10 NTU เนื่องจากมีระยะเวลาการกรองยาวนาน สามารถเห็นลักษณะเส้นกราฟได้ชัดเจนกว่า)

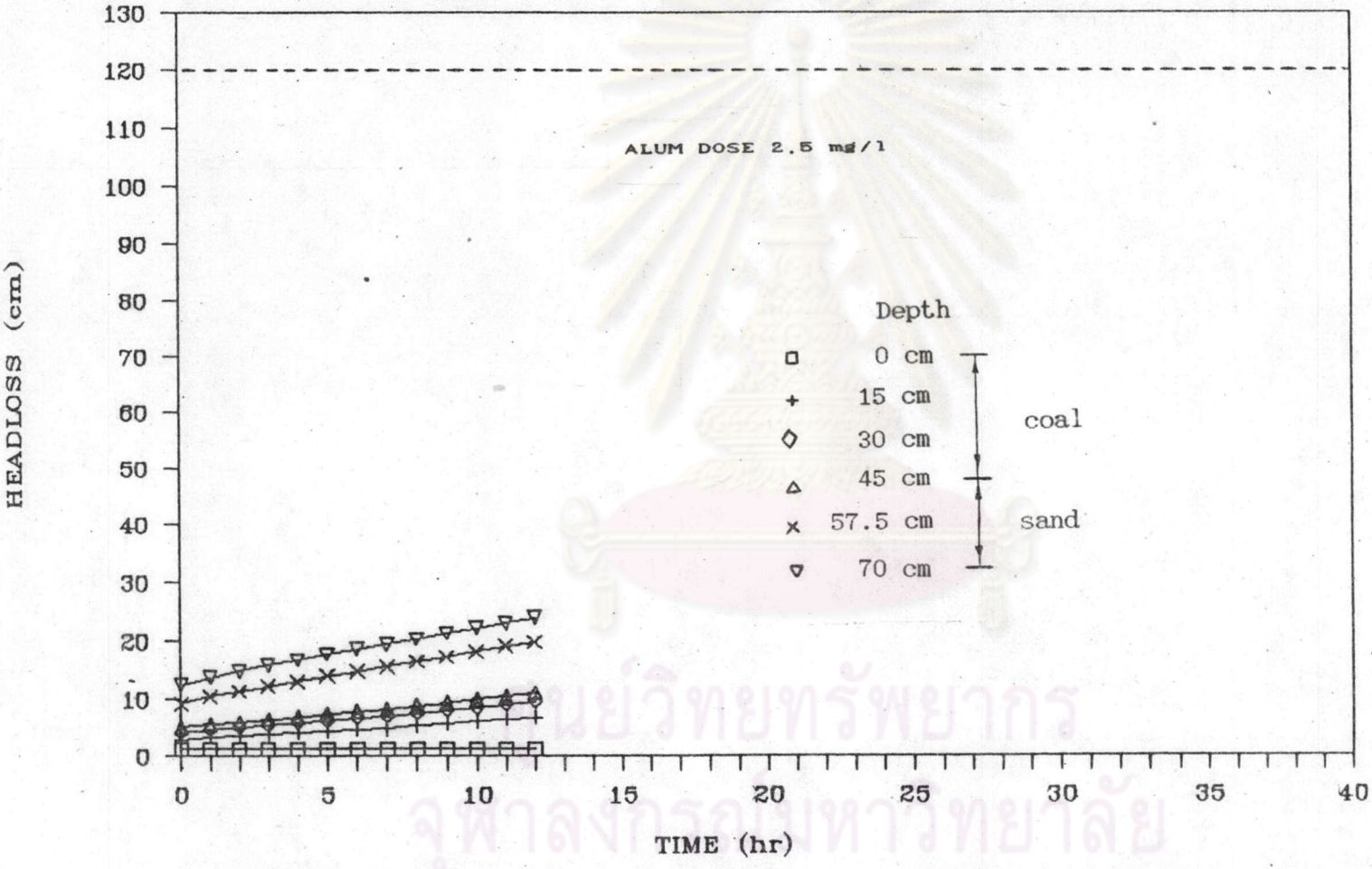
จากรูปจะเห็นว่า การอุดตันส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในชั้นถ่านมากกว่าชั้นทราย ทั้งนี้เพราะ ชั้นถ่านซึ่งเป็นชั้นกรองแรกจะทำหน้าที่สร้างฟล็อคคูเลชัน และเก็บกักฟล็อคที่เกิดขึ้นไว้ภายในช่องว่าง จึงทำให้มีระดับการอุดตันสูง ส่วนชั้นทรายจะทำหน้าที่เป็นชั้นกรองชั้นที่ 2 ที่รับภาระอนุภาคความขุ่นบางส่วนที่หลุดลอดออกจากชั้นถ่านลงมา ทำให้น้ำที่ผ่านการกรองมีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ชั้นทรายยังช่วยพยุงมิให้ฟล็อคที่เกิดขึ้นหลุดออกจากชั้นถ่านเร็วเกินไป ทำให้มีการใช้ช่องว่างภายในชั้นถ่านได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาการอุดตันในแต่ละชั้นสารกรอง พบว่า การอุดตันส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณผิวหน้าชั้นแรกๆ ของชั้นถ่านและชั้นทราย ทั้งนี้เนื่องจากการเรียงตัวตามธรรมชาติของสารกรองภายหลังการล้างย้อน ที่มีการเรียงตัวแบบละเอียด-หยาบ ทำให้ชั้นแรกๆ มีเม็ดสารกรองที่ละเอียดกว่า จึงมีช่องว่างภายในชั้นกรองน้อยกว่า และมีความสามารถในการจับอนุภาคความขุ่นได้ดีกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



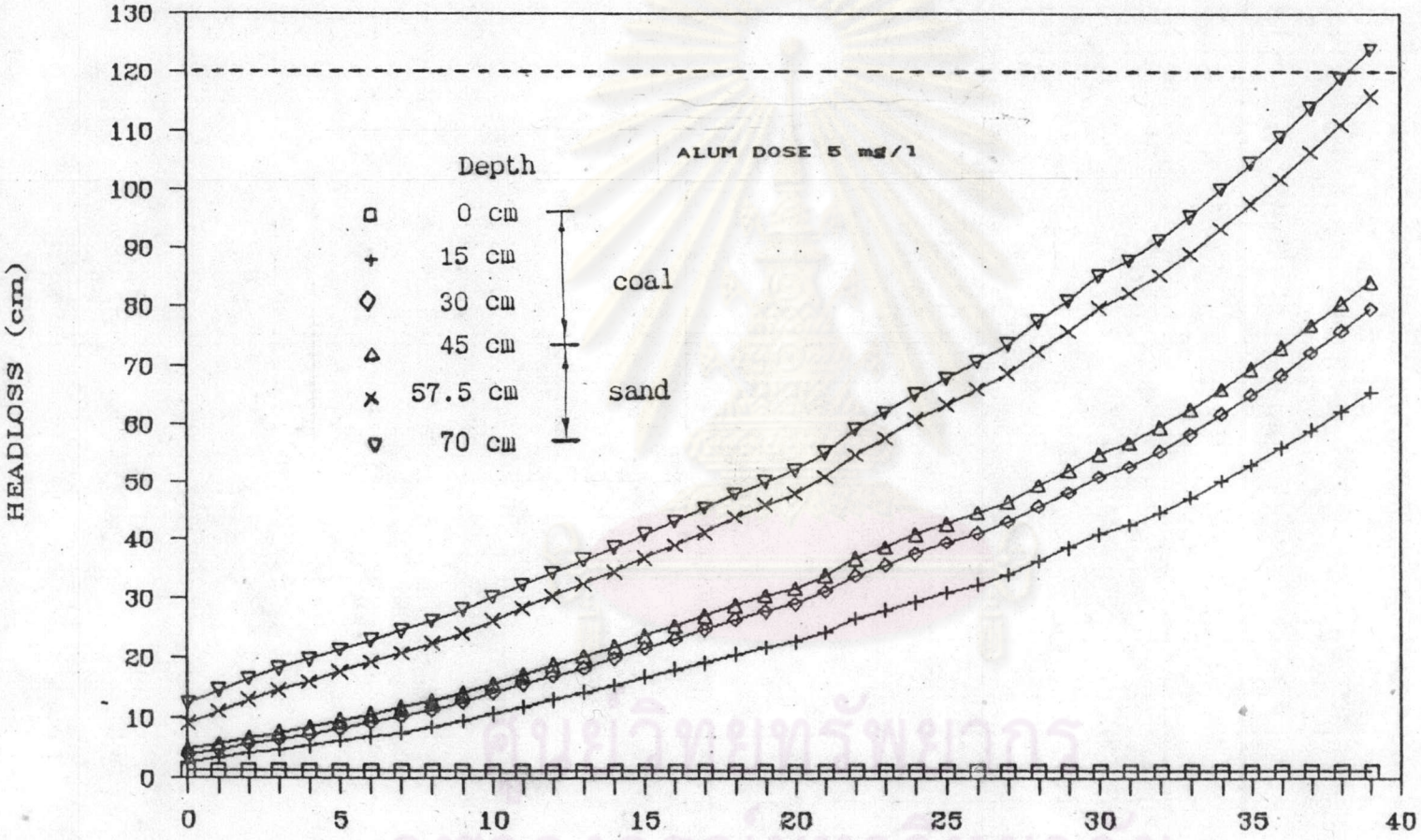
รูปที่ 5.11 การสูญเสียเฮดในแต่ละชั้นกรองที่แต่ละปริมาณสารส้มสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

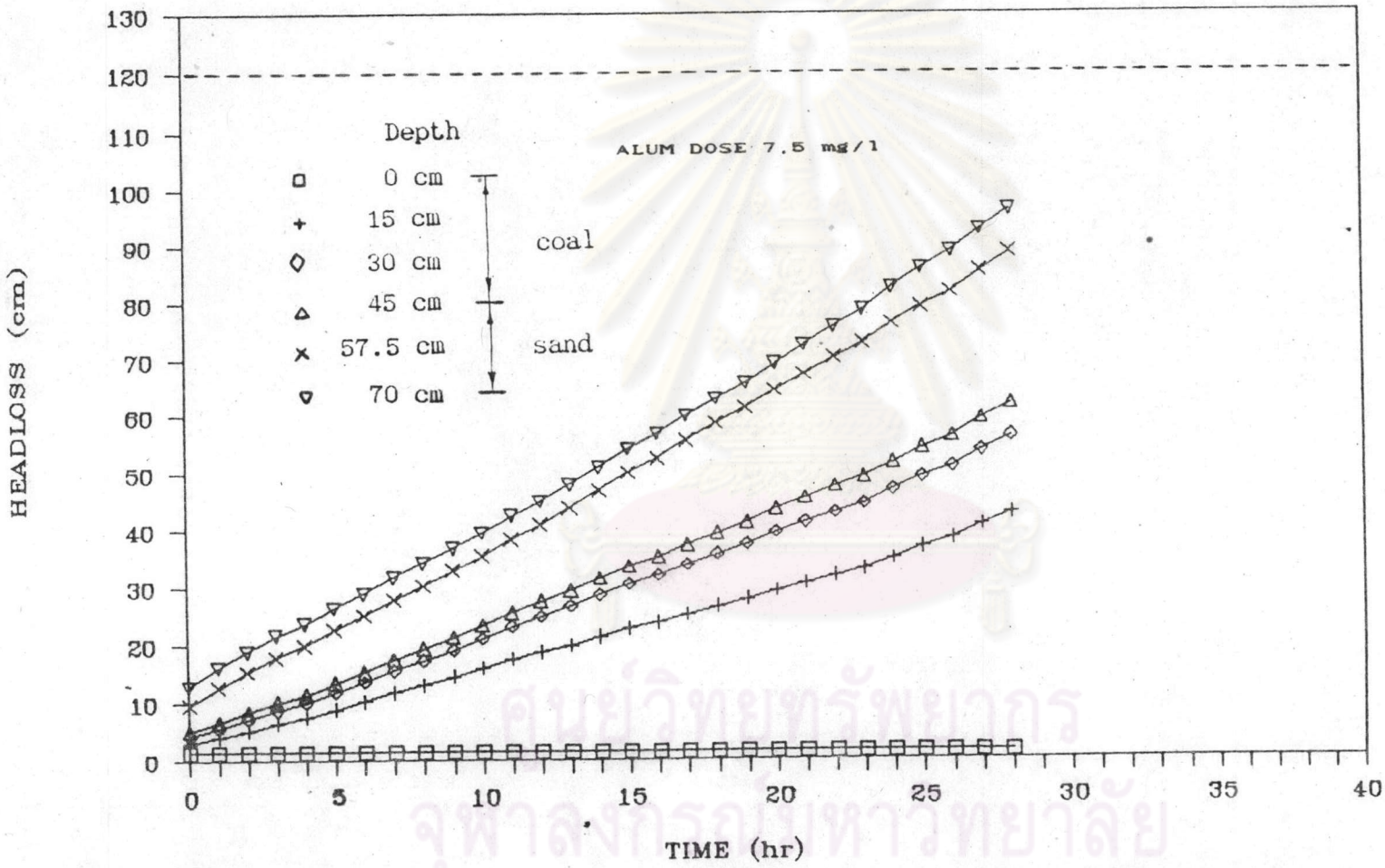


รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

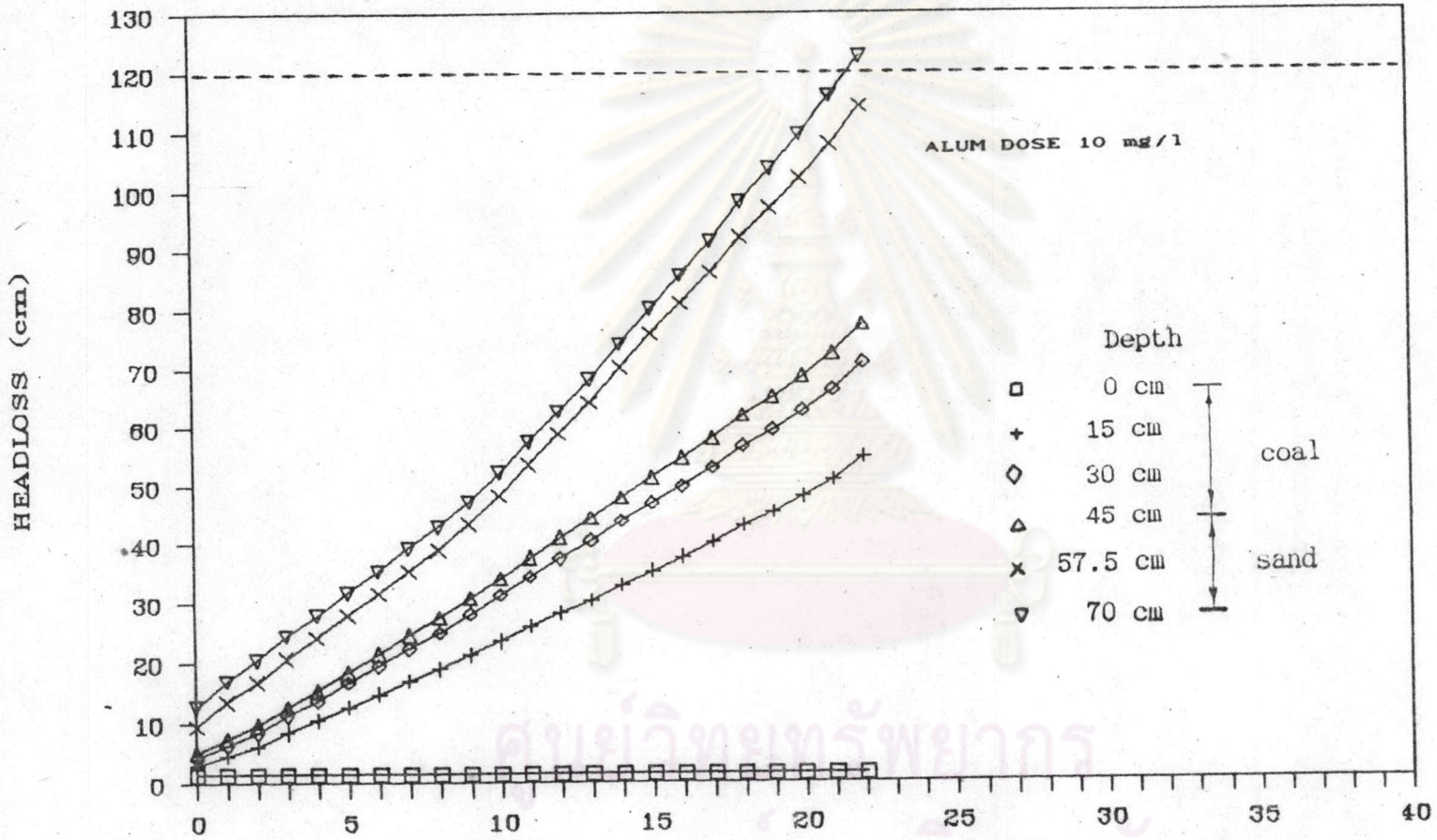

ALUM DOSE 5 mg/l
Depth
0 cm
15 cm
30 cm
45 cm
57.5 cm
70 cm
coal
sand
HEADLOSS (cm)
TIME (hr)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
0
5
10
15
20
25
30
35
40

รูปที่ 5.11 (ต่อ)



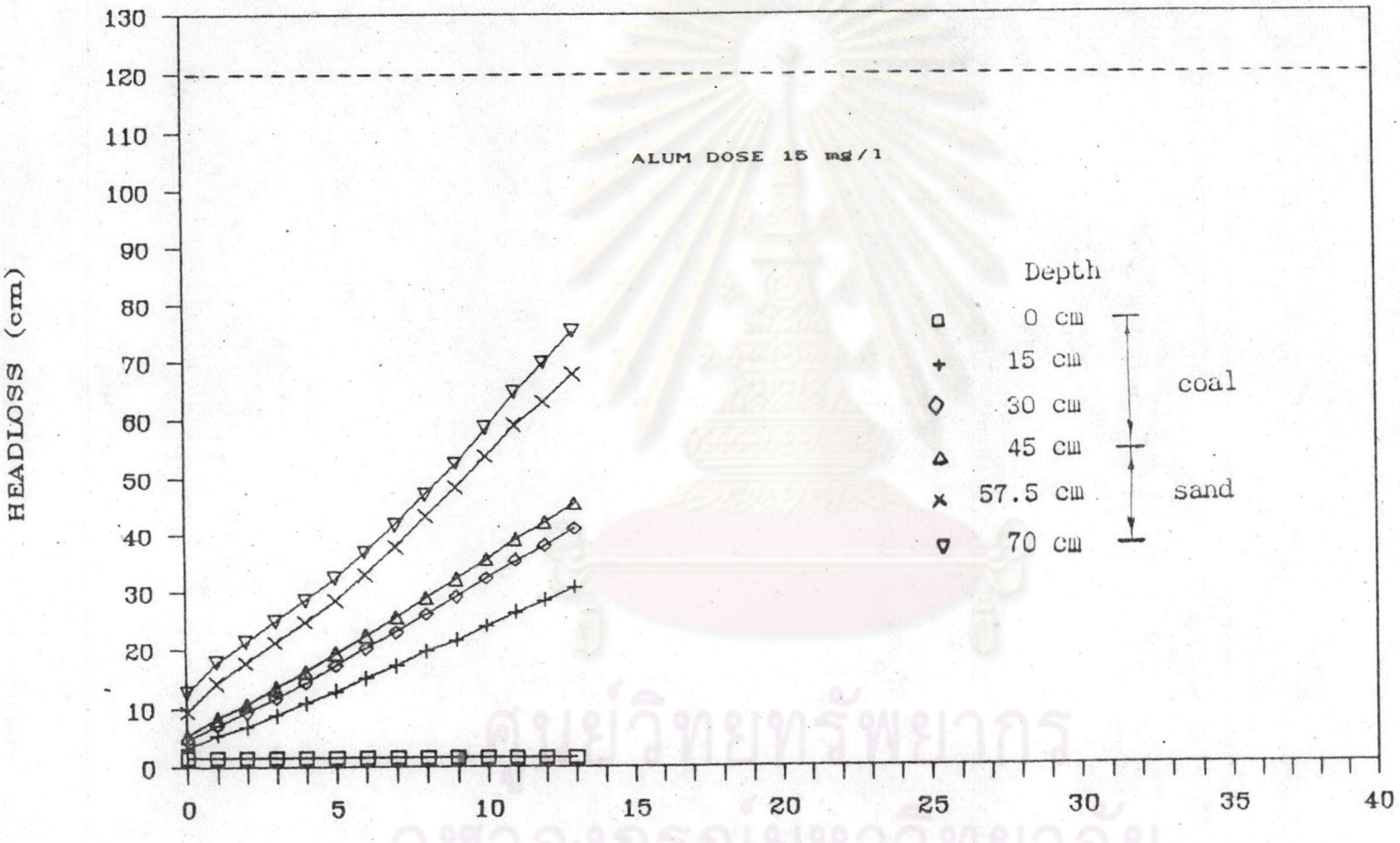
รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



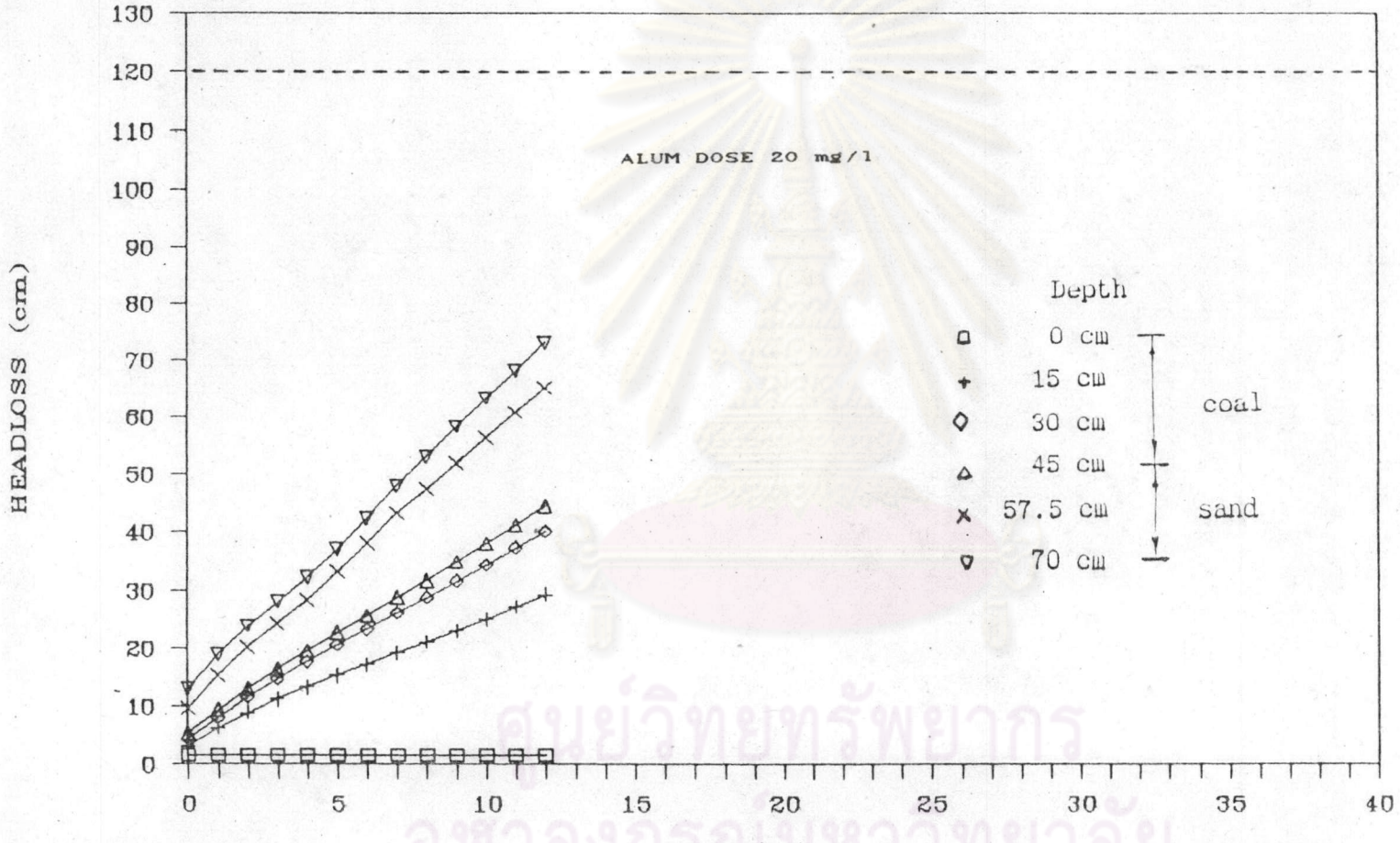
รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



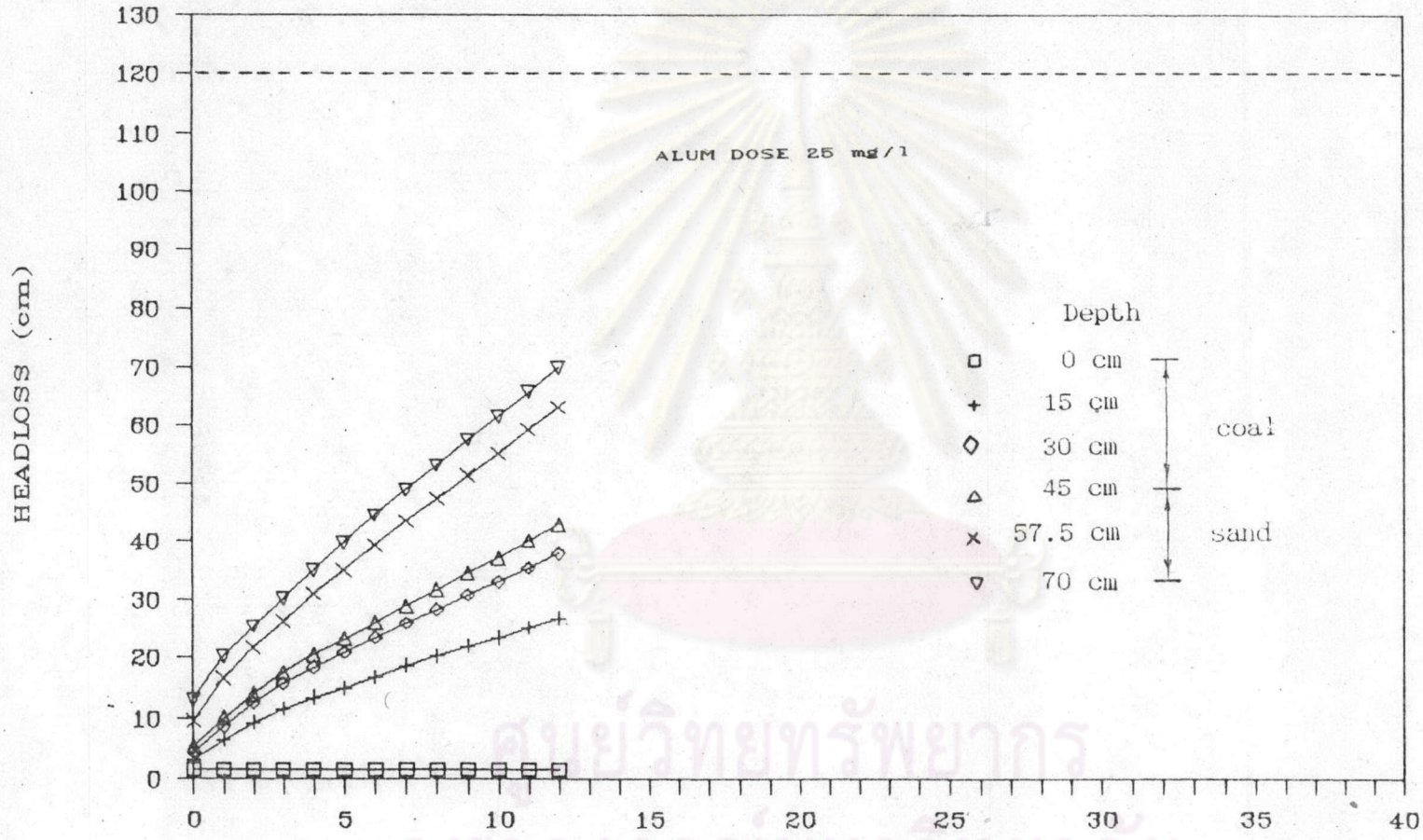
รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



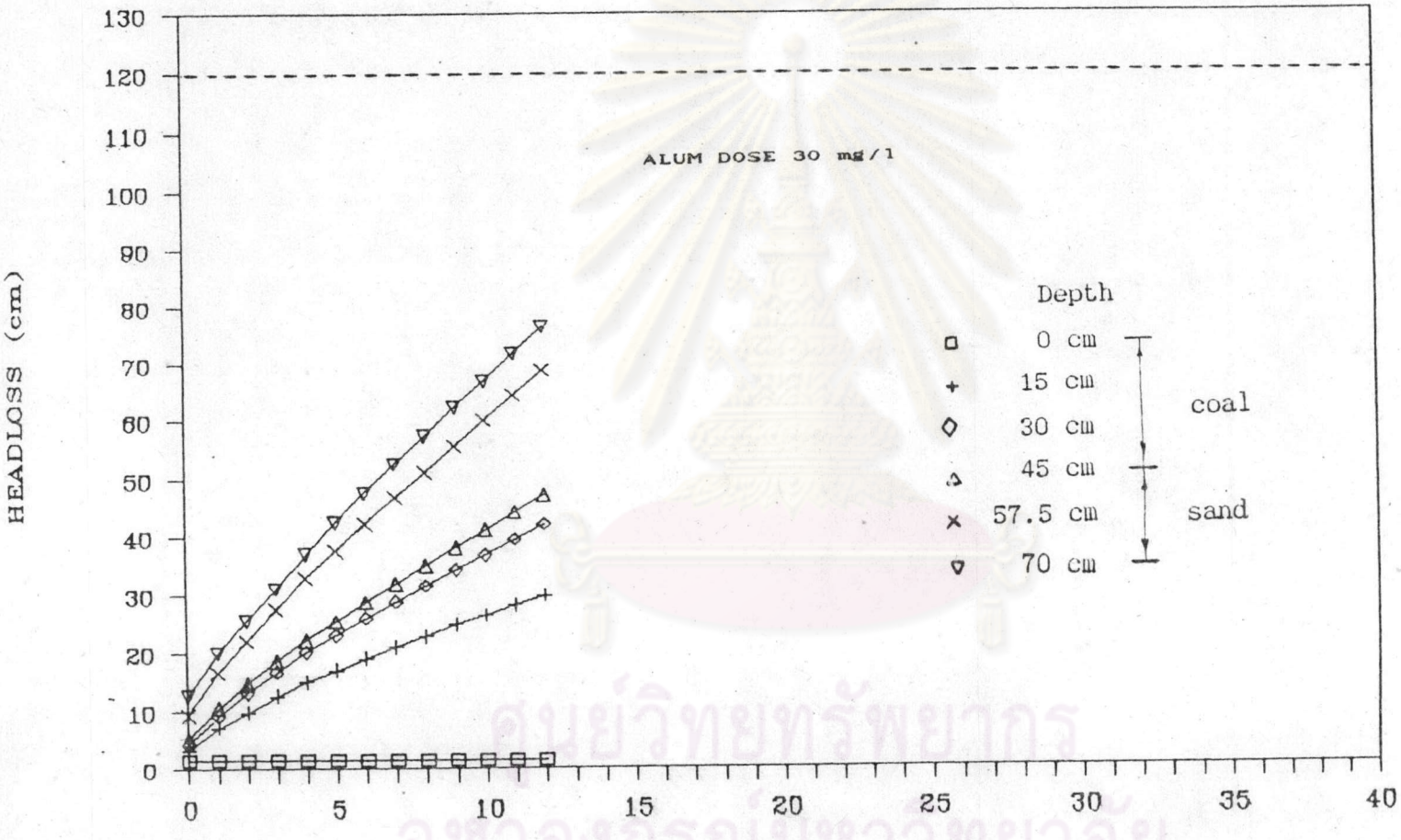
รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 การใช้ค่าดัชนีการกรองเปรียบเทียบ

เพื่อความสะดวกในการตัดสินใจเลือกปริมาณสารส้มสำหรับการทดลองนี้ จึงใช้ค่าดัชนีการกรองเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ และใช้สมการของ Ives ดังนี้

$$F = (H*C)/(t*v*C_o)$$

ในที่นี้ F คือ ค่าดัชนีการกรอง

t คือ อายุการกรอง , ชม

H คือ ค่าการสูญเสียเฮดทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดอายุการกรอง , ม

v คือ อัตราการกรอง , ม/ชม

C_o คือ ระดับความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบ , NTU

C คือ ระดับความขุ่นเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการกรอง ตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงสุดท้ายของการกรอง , NTU

ในการหาค่าดัชนีการกรองนี้ จะพิจารณาเฉพาะการทดลองที่สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพได้เท่านั้น ผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณค่าดัชนีการกรอง

ระดับความขุ่น (NTU)	ค่าดัชนีการกรอง , $F*10^5$								
	ปริมาณสารส้ม (มก/ล)								
	0	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30
10	-	-	9.1	(7.2)	11.0	10.2	15.7	22.5	11.8
50	-	-	-	-	4.3	(3.9)	4.0	5.9	5.5
100	-	-	-	-	-	17.6	13.2	15.7	(10.0)

จากตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด สำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU คือ 7.5 , 15 และ 30 มก/ล ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงนำค่าปริมาณสารส้มดังกล่าวนี้ ไปใช้ในการศึกษาถึงผลของอัตราการกรองต่อไป

5.2.5 การเปรียบเทียบปริมาณสารส้ม เมื่อใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็กและขนาดจำลอง

ในการวิจัยนี้ ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้ค่าดัชนีการกรอง ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก กับผลที่ได้เมื่อใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง ส่วนการเปรียบเทียบการใช้ค่าดัชนีการกรอง และการทดลองจาร์เทสต์ สามารถศึกษารายละเอียดได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 17 และ 28

จากการทดลองเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม โดยใช้ค่าดัชนีการกรองเป็นค่าเปรียบเทียบ ในการทดลองที่ 4.4.1 ซึ่งใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก และในการทดลองที่ 4.4.2 ซึ่งใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง สามารถสรุปปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด ได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด

ระดับความขุ่น (NTU)	ปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุด (มก/ล)	
	โดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก	โดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง
10	10	7.5
50	25	15
100	25	30

เนื่องจากในการทดลองที่ 4.4.1 ใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็กที่ใช้ชั้นทรายกรอง หนาเพียง 4 ซม เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4.4.2 ซึ่งใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลองที่ประกอบด้วยชั้นถ่านขนาดสัมฤทธิ์ 1.22 มม หนา 45 ซม และชั้นทรายขนาดสัมฤทธิ์ 0.575 มม หนา 25 ซม ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้พยายามชดเชยความลึกที่น้อยกว่า โดยใช้เม็ดทรายที่มีขนาดสัมฤทธิ์ต่ำๆ เพื่อให้เกิดการกรองที่ดีขึ้น และสามารถเห็นความแตกต่างทางด้านการสูญเสียเฮดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้นในการทดลองที่ 4.4.1 จึงใช้เม็ดทรายที่มีขนาดสัมฤทธิ์เพียง 0.235 มม

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่า ปริมาณสารส้มที่ให้ค่าดัชนีการกรองต่ำที่สุดจากการทดลองที่ 4.4.1 และ 4.4.2 มีความแตกต่างกันอยู่บ้าง ทั้งนี้เนื่องจาก เงื่อนไขในการทดลองที่แตกต่างกัน อาทิเช่น โครงร่างของสารกรอง อัตราการกรอง เป็นต้น ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณสารส้มที่ต้องการ นั่นคือ ถ้าชั้นกรองมีความหนามาก สารกรองมีขนาดเล็ก รวมถึงอัตราการกรองที่ต่ำ ย่อมทำให้การกรองนั้นมีความต้องการสารส้มในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ จึงควรทำการทดลองเพื่อหาปริมาณสารส้มโดยใช้เครื่องกรองจริง หรือเครื่องกรองขนาดจำลองที่มีเงื่อนไขการทดลองเหมือนกับของจริง แต่ในทางปฏิบัติ การทดลองดังกล่าวอาจกระทำได้ยาก สิ้นเปลืองเวลา และค่าใช้จ่าย ดังนั้นการทดลองโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็กจึงเข้ามามีส่วนช่วยในการทดสอบเบื้องต้น เพื่อควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในระบบการกรองโดยตรง เนื่องจากสามารถกระทำได้ง่าย สะดวก ประหยัด และรวดเร็ว และผลที่ได้ก็มีค่าแตกต่างไปไม่มากนัก นั่นคือ ตามความเห็นของผู้วิจัยคิดว่าการทดลองโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็กยังมีความเหมาะสมในการใช้ทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในโรงกรองน้ำแบบกรองโดยตรง แต่ค่าปริมาณสารส้มดังกล่าวก็เป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงโดยประมาณ ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อนำไปใช้งาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้ออกแบบและผู้ควบคุมงานผลิตน้ำประปา

5.3 การทดลองศึกษาถึงผลของอัตราการกรอง

ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ ข.1, ข.4, ข.10, ข.15, ข.19, ข.27-ข.39ของภาคผนวก ข และสามารถแยกพิจารณาผลได้ดังนี้ คือ

5.3.1 ผลต่อคุณภาพน้ำที่ผ่านการกรอง และอายุการกรอง

รูปที่ 5.12 ถึง 5.14 แสดงระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรอง ที่แต่ละอัตราการกรอง สำหรับระดับความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าเมื่ออัตราการกรองสูงขึ้น จะทำให้ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการกรองที่สูงทำให้น้ำไหลเร็วขึ้น โอกาสที่อนุภาคจะสัมผัสกับเม็ดสารกรองจึงลดลง ดังนั้นอนุภาคจึงสามารถผ่านชั้นสารกรองลงมาได้ลึกกว่า นอกจากนี้ อนุภาคที่เกาะติดกับเม็ดสารกรองอยู่แล้วก็จะถูกแรงเฉือนเนื่องมาจากการไหลเร็วของน้ำ ผลักดันให้หลุดออกมาได้ง่ายด้วย

เมื่อพิจารณาถึงอายุการกรอง พบว่า เมื่ออัตราการกรองสูงขึ้นจะทำให้เครื่องกรองมีโอกาสเกิดเบรคธรูได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น อายุการกรองจึงต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวของเม็ดสารกรอง และช่องว่างภายในชั้นกรองของเครื่องกรองถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยปริมาณฟล็อคที่เข้ามาในอัตราที่สูง ดังนั้นจึงทำให้อายุการกรองของเครื่องกรองต่ำลง แต่เมื่อพิจารณาในเชิงของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ต่อหน่วยพื้นที่เมื่อสิ้นสุดอายุการกรองดังแสดงในตารางที่5.3

ตารางที่ 5.3 ปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อสิ้นสุดอายุการกรอง

ระดับความขุ่น (NTU)	ปริมาณน้ำที่ผลิตได้(ลบ ม/ตร ม)		
	อัตราการกรอง(ลบ ม/ตร ม-ชม)		
	10	15	20
10	280	270	260
50	40	60	40
100	20	15	10

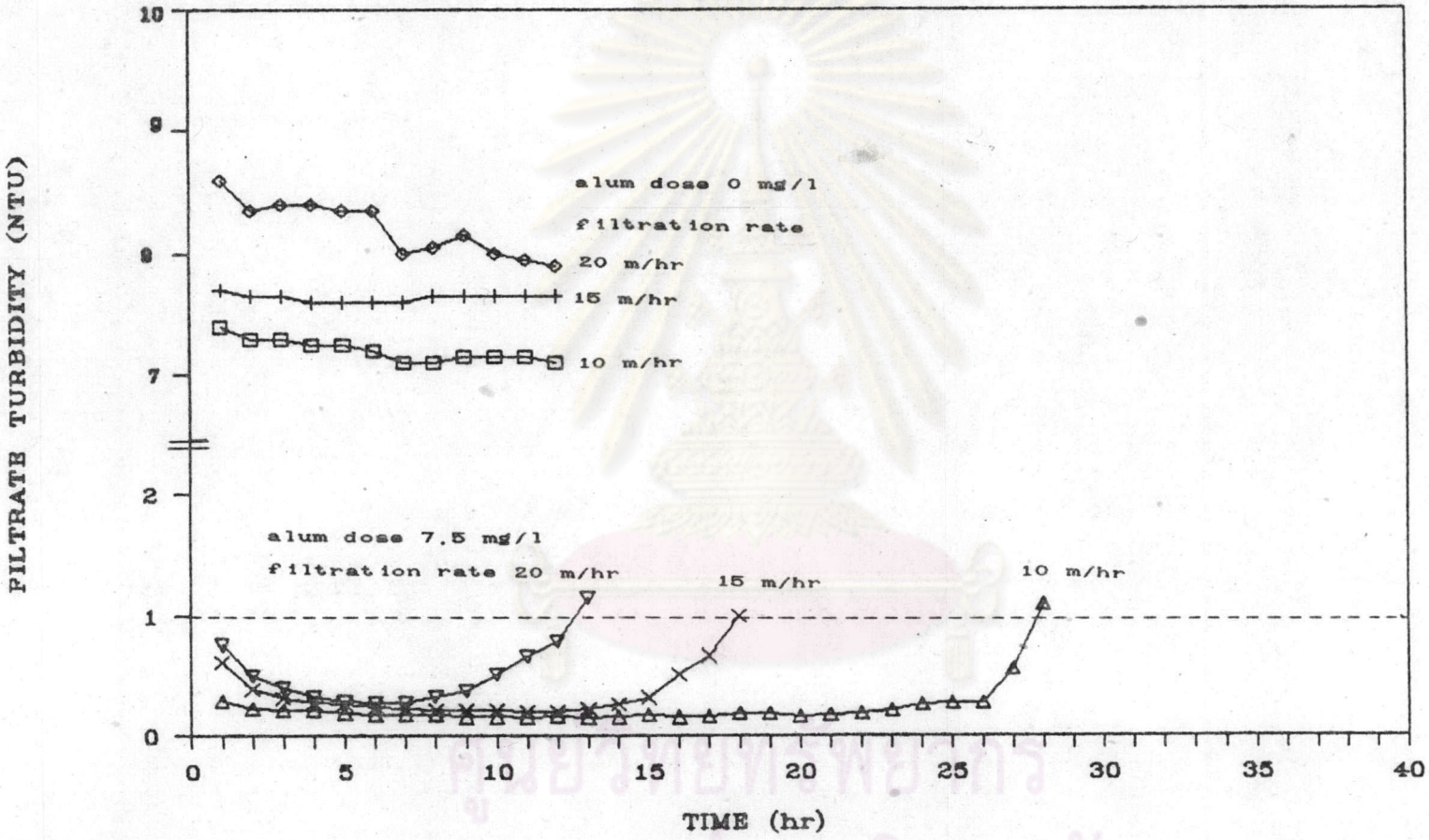
จากตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าการเพิ่มอัตราการกรองให้สูงขึ้นในช่วง 10-20 ลบ ม/ตร ม-ชม ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตน้ำได้รวดเร็วขึ้นโดยที่มิได้ทำให้ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ใน 1 ช่วงอายุการกรองลดลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 NTU แต่จะเห็นความแตกต่างยิ่งขึ้นเมื่อระดับความขุ่นของน้ำดิบมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากมีอายุการกรองต่ำนั่นเอง และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของปริมาณน้ำล้างย้อนต่อปริมาณน้ำที่ผลิตได้เมื่อกำหนดให้ทำการล้างย้อนโดยให้มีการขยายตัวของชั้นกรอง 35 % เป็นเวลา 7.5 นาที จะได้ว่าปริมาณน้ำล้างย้อนในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 7.175 ลบ ม/ตร ม และจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำล้างย้อน ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำล้างย้อน

ระดับความขุ่น (NTU)	เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำล้างย้อน(%)		
	อัตราการกรอง(ลบ ม/ตร ม-ชม)		
	10	15	20
10	2.6	2.7	2.8
50	18	12	18
100	36	48	72

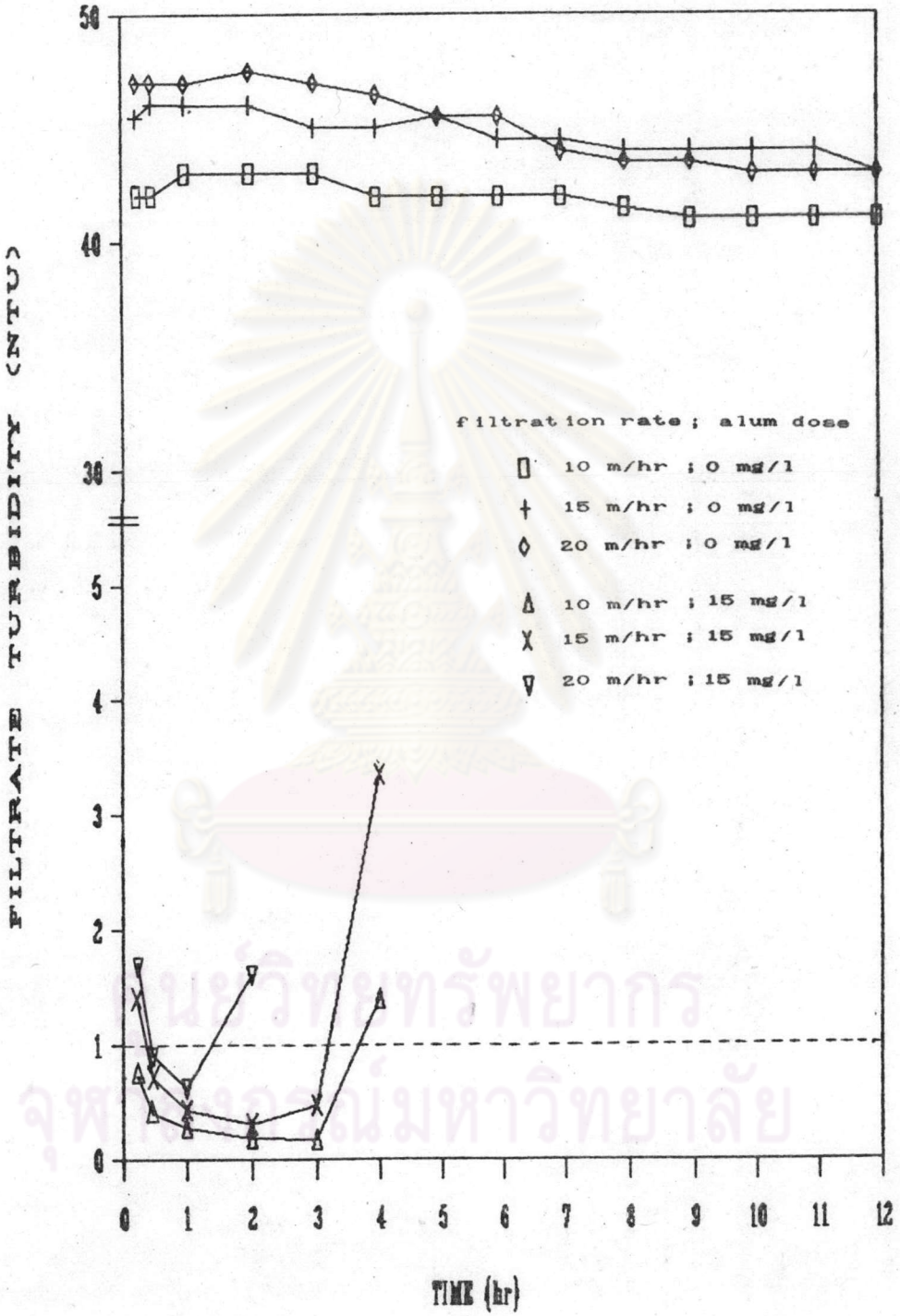
จากตารางที่ 5.4 จะเห็นว่าระบบการกรองโดยตรงนี้สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับน้ำดิบที่มีค่าระดับความขุ่น 10 NTU เนื่องจากมีอายุการกรองยาวนานและมีค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำล้างย้อนต่ำเพียงไม่เกิน 3 % แต่สำหรับน้ำดิบที่มีค่าระดับความขุ่นสูงจะมีอายุการกรองต่ำ มีค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำล้างย้อนสูงและต้องทำการล้างย้อนบ่อยครั้ง

กล่าวโดยสรุปถึงผลของอัตราการกรอง ที่มีต่อระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองและอายุการกรองจะเห็นว่า อัตราการกรองที่สูงขึ้นจะทำให้สามารถผลิตน้ำได้มากและรวดเร็วขึ้น แต่ก็จะทำให้ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองมีค่าสูงขึ้นและอายุการกรองต่ำลง ต้องทำการล้างย้อนบ่อยครั้งขึ้น ดังนั้นในการออกแบบโดยทั่วไปซึ่งมักต้องการอัตราการกรองที่สูงแต่ก็ต้องคำนึงถึงค่าระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองและอายุการกรองของเครื่องกรองด้วย

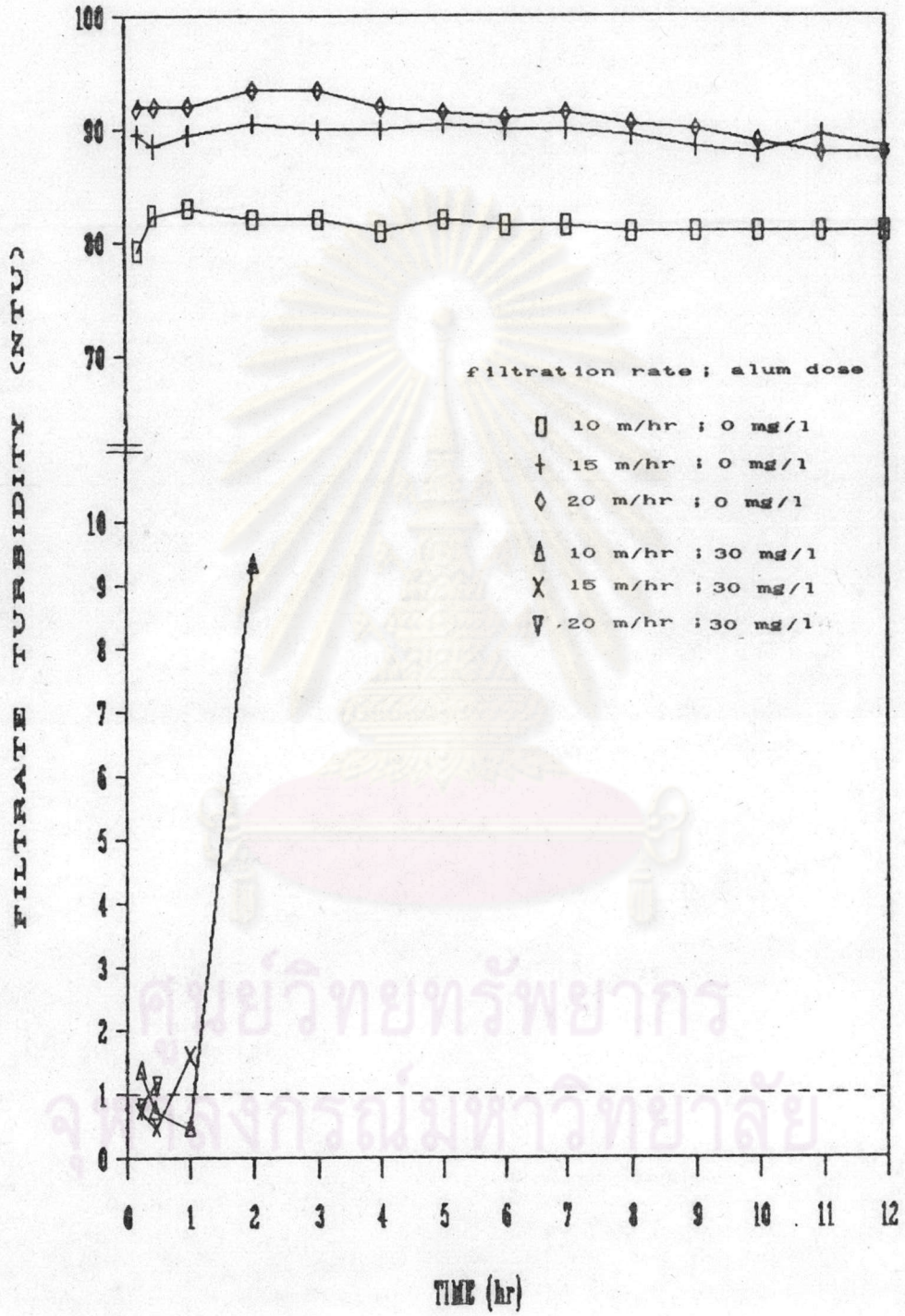


รูปที่ 5.12 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU

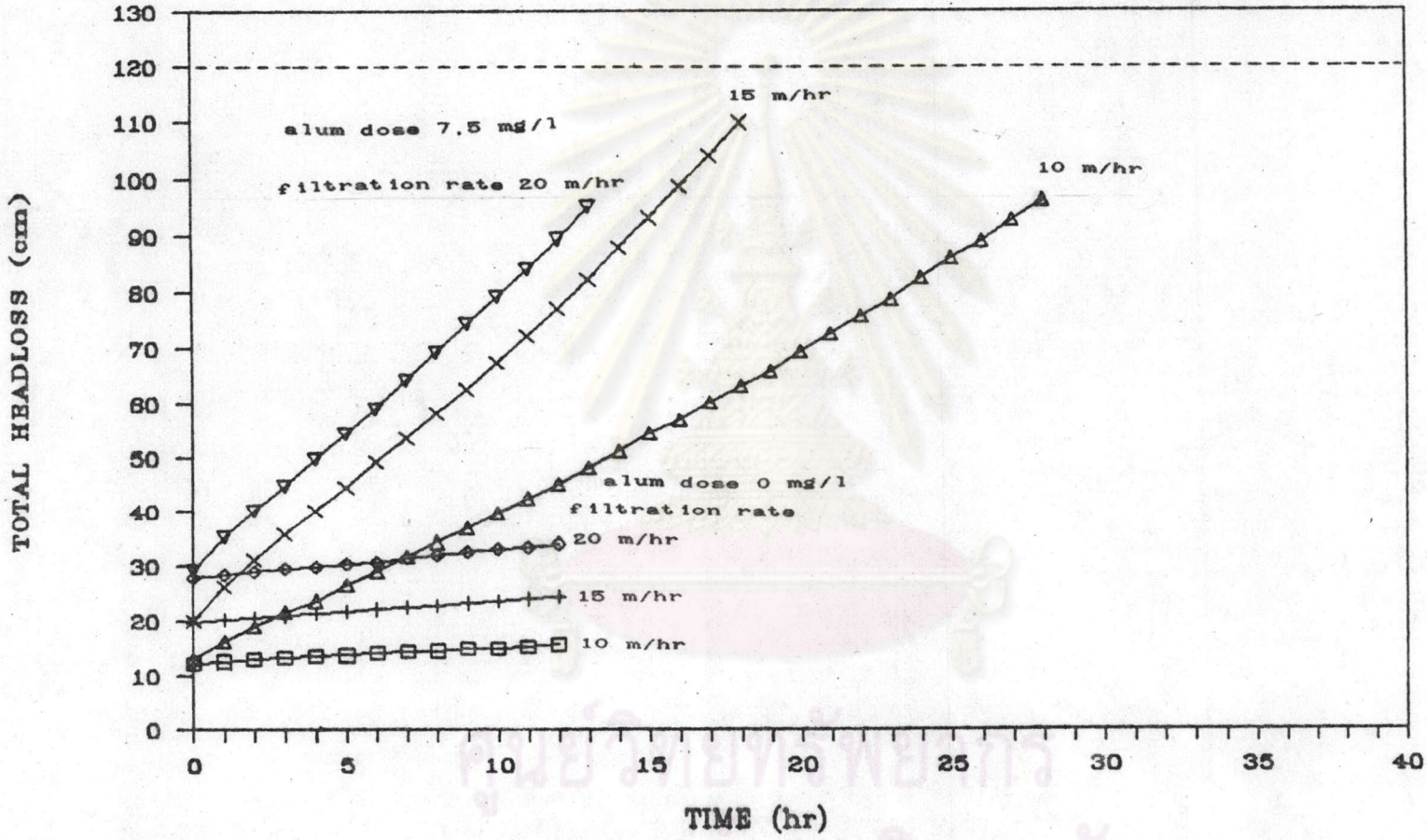


รูปที่ 5.14 ระดับความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU

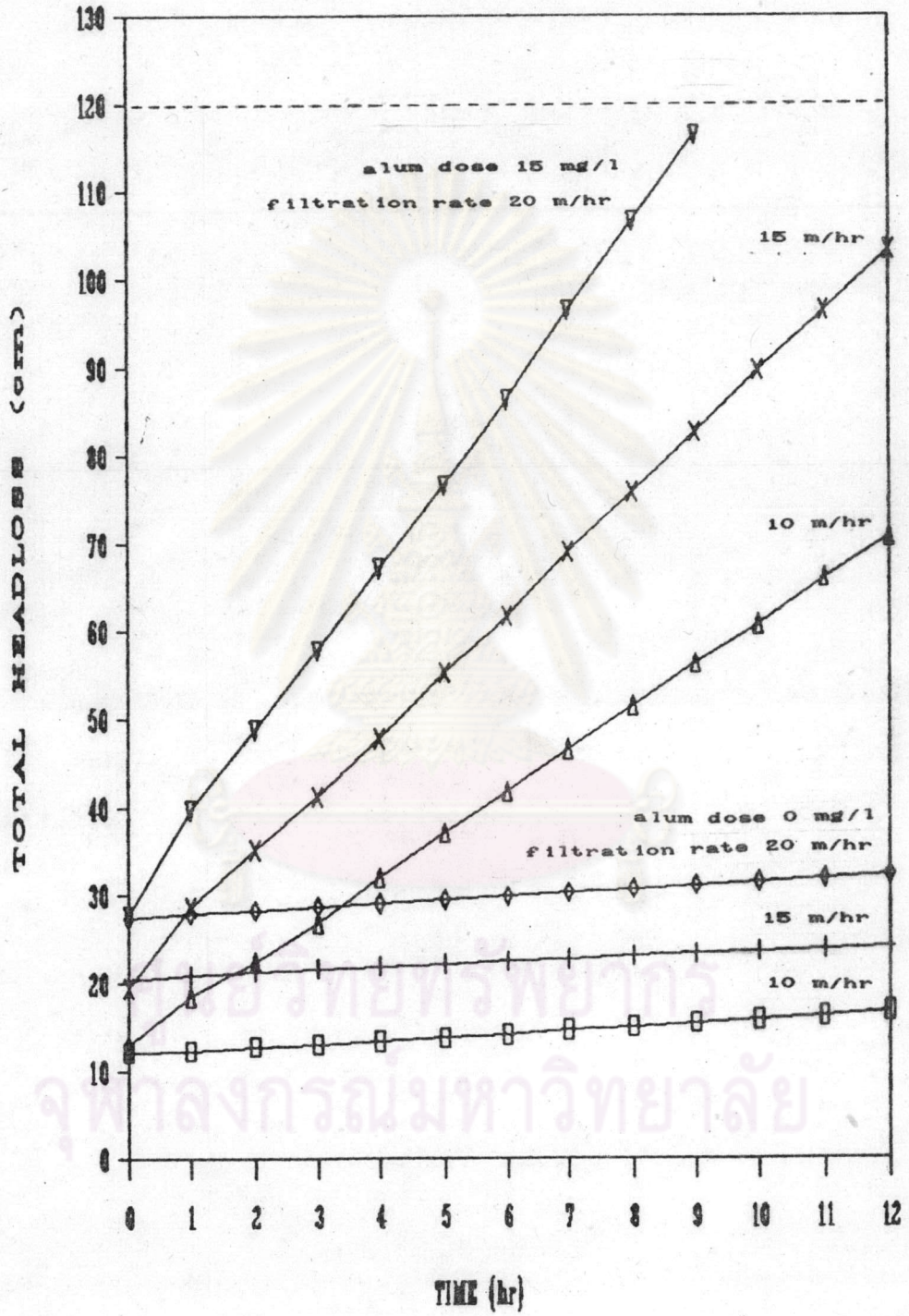
5.3.2 ผลต่ออัตราการสูญเสียเฮด

รูปที่ 5.15 ถึง 5.17 แสดงการสูญเสียเฮดทั้งหมด ที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU ตามลำดับ จากรูปสามารถสรุปแนวโน้มทั่วไปได้ว่า อัตราการกรองที่สูงขึ้น มีผลทำให้การสูญเสียเฮดเริ่มต้น และอัตราการสูญเสียเฮด (ความลาดชันของเส้นกราฟ) มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการกรองที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณฟล็อคที่เข้ามาอุดตันในชั้นกรองต่อหน่วยเวลามีค่ามากขึ้น ดังนั้นอัตราการสูญเสียเฮดจึงมีค่าสูงขึ้นด้วย

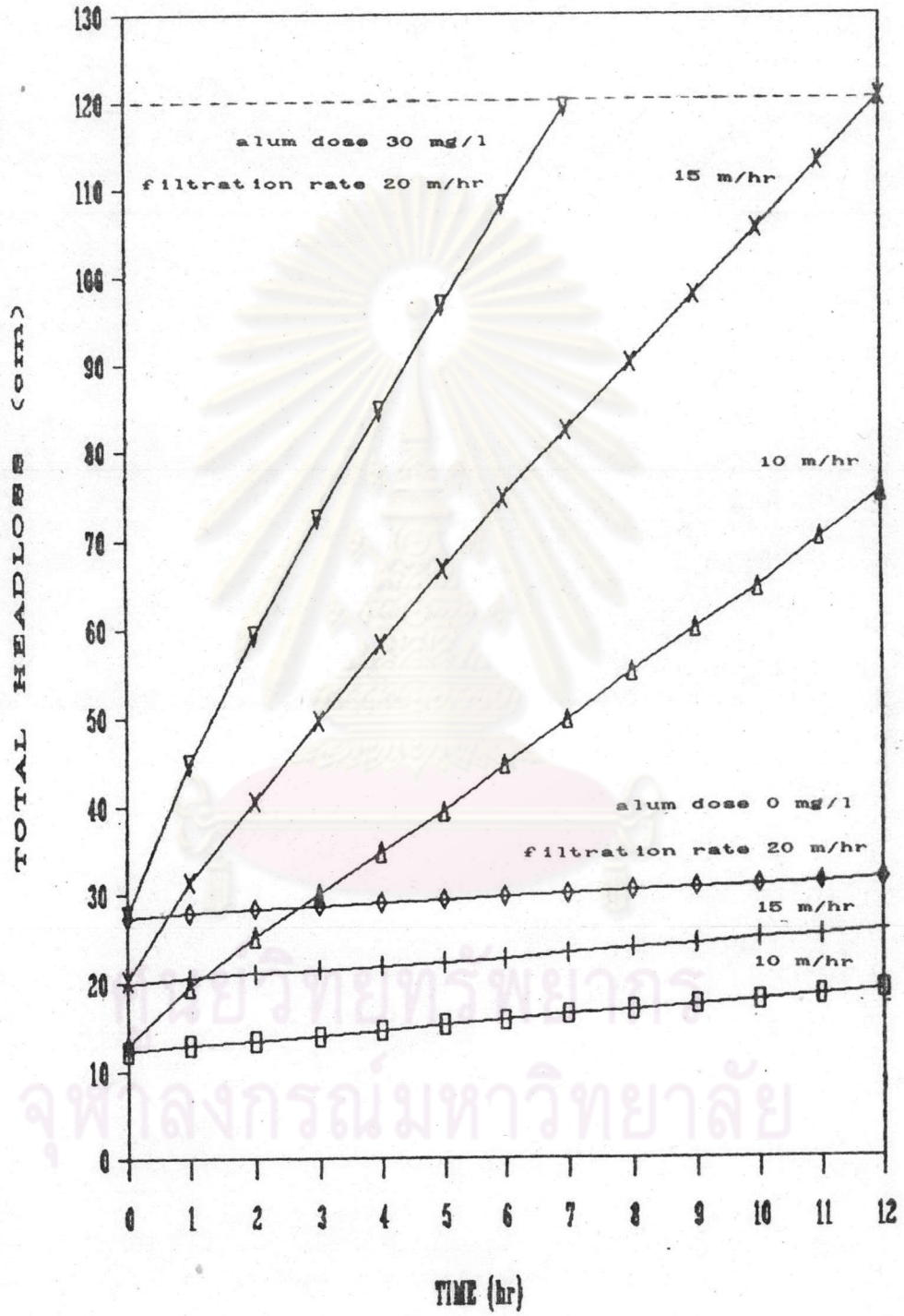
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.15 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 10 NTU



รูปที่ 5.16 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 50 NTU



รูปที่ 5.17 การสูญเสียเฮดทั้งหมดที่แต่ละอัตราการกรองสำหรับระดับความขุ่น 100 NTU

5.3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

จากตารางที่ ข.1 , ข.10 , ข.19 , ข.28 , ข.29 , ข.32 , ข.33 ข.36 และ ข.37 ของภาคผนวก ข เมื่อนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่แต่ละระดับความขุ่นของน้ำดิบและอัตราการกรองโดยไม่ต้องมีการเติมสารส้มให้กับน้ำดิบ ซึ่งค่าประสิทธิภาพดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงสุดท้ายของการกรอง ผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

ระดับความขุ่น (NTU)	ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น (%)		
	อัตราการกรอง (ลบ ม/ตร ม-ชม)		
	10	15	20
10	28.0	23.5	17.9
50	16.2	10.8	10.2
100	18.5	10.5	9.1

จากตารางที่ 5.5 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระดับความขุ่นของน้ำดิบ ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากโอกาสในการสัมผัสและเกาะติดของอนุภาคความขุ่นกับเม็ดสารกรอง ซึ่งเกิดขึ้นได้ไม่เท่ากัน นั่นคือ สำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นต่ำจะมีจำนวนอนุภาคน้อย ทำให้มีโอกาสอย่างมากในการที่จะเลือกใช้ประโยชน์ของพื้นที่ผิวของเม็ดสารกรอง แต่สำหรับน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นสูงจะมีจำนวนอนุภาคอยู่มาก ทำให้เกิดการแย่งชิงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ผิวของเม็ดสารกรอง รวมถึงการผลักกันระหว่างอนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกัน ทำให้เกิดการขัดขวางการสัมผัสและเกาะติดของอนุภาคความขุ่นกับเม็ดสารกรอง ดังนั้นน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นสูงจึงมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่ำกว่าน้ำดิบที่มีระดับความขุ่นต่ำ

5.4 การล้างย้อน

ในการทดลองนี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำล้างย้อนภายในเวลา 7.5 นาที เพื่อคำนวณหาอัตราการล้างย้อนเฉลี่ย ได้ผลการทดลองดังนี้

การล้างย้อนสำหรับโครงร่างสารกรองที่ประกอบด้วยชั้นล่านที่มีขนาดสัมฤทธิ์ 1.22 มม สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.23 หนา 45 ซมและชั้นทรายที่มีขนาดสัมฤทธิ์ 0.575 มม สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.10 หนา 25 ซม โดยให้มีการขยายตัวของชั้นกรอง 35 % (อยู่ในช่วง 30-40 %) ซึ่งในการขยายตัวนี้ เป็นการขยายตัวของชั้นล่าน 39 % และชั้นทราย 28 % ได้ค่าอัตราการล้างย้อนเฉลี่ย เท่ากับ 57.4 ลบ ม/ตร ม-ซม

ในการทดลอง จากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่า การล้างย้อนโดยอาศัยแรงเฉือนเนื่องจากการไหลของน้ำล้างย้อนเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถทำให้สิ่งสกปรกบางส่วนที่จับแน่นอยู่บนเม็ดสารกรองหลุดออกมาได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีอุปกรณ์สำหรับเป่าหรือกวนชั้นสารกรองในขณะที่มีการลอยตัว เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนและขัดสีกันของเม็ดสารกรอง จนสิ่งสกปรกดังกล่าวหลุดออกมาได้

นอกจากนี้ ในการปิดวาล์วควบคุมน้ำล้างย้อน ก็ไม่ควรปิดวาล์วอย่างทันทีทันใด เพราะจะทำให้เม็ดสารกรองที่ลอยตัวอยู่ตกลงมาอย่างรวดเร็ว ไม่มีการขัดประสานกันของเม็ดสารกรอง ทำให้ชั้นกรองพองตัวอยู่ และอาจทรุดตัวได้ในขณะทำการกรอง อันเป็นสาเหตุให้เกิดเบรคธรูได้ง่าย ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงควรปิดวาล์วควบคุมน้ำล้างย้อนอย่างช้าๆ เพื่อให้เม็ดสารกรองเกิดการขัดประสานและจัดเรียงตัวอย่างเต็มที่ ก่อนทำการกรองต่อไป

5.5 สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยพยายามควบคุมและดำเนินการทดลองให้เป็นไปอย่างดีที่สุดเท่าที่กระทำได้ แต่ผลการทดลองที่ได้ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น

1. ความเสื่อมสมรรถภาพของเครื่องวัดความชุ่น

2. สิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่ในน้ำประปาซึ่งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะของน้ำดิบ การอุดตันภายในชั้นสารกรอง รวมถึงโอกาสเบรคธรูของเครื่องกรองด้วย

3. การควบคุมอัตราไหลโดยการปรับวาล์วควบคุม อาจกระทำได้ไม่คงที่ ในทุกการทดลอง และตลอดช่วงการทดลอง

4. สิ่งสกปรกที่ติดค้างบนเม็ดสารกรองที่การล้างย้อนไม่สามารถขจัดออกได้หมดทำให้ช่องว่างภายในชั้นกรองลดน้อยลง ค่าการสูญเสียเฮดสูงขึ้น และเครื่องกรองมีโอกาสเกิดเบรคธรูได้ง่ายขึ้นด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย