

บทที่ ๔

ผลการทดลองและการวิจารณ์

การเก็บข้อมูลที่ใช้ได้จริงของการวิจัยครั้งนี้ใช้เวลาประมาณ ๖ เดือน ช่วงแรกตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน ๒๕๒๕ จนถึงปลายเดือน มีนาคม ๒๕๒๖ ช่วงที่สองเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม ๒๕๒๖ จนถึงเดือน กันยายน ๒๕๒๖. แผนการทดลองเดิมในการทดสอบการตกตะกอนของตะกอนเลน จะเป็นการเก็บติดต่อกันทุกวัน แต่มีอุปสรรคหลายอย่างเช่น อุปกรณ์ทดสอบชำรุด ต้องทำการซ่อมแซม, พนักงานที่ทำกราดักน้ำตะกอนจากถังเดิมอากาศไม่สบาย เพราะการสูบน้ำจากระบบมาซึ่งทำการทดลอง เป็นงานที่หนักมาก, มีการเพิ่มจำนวนตัวแปรที่จะเก็บ ทำให้เวลาที่ต้องใช้ทดสอบในแต่ละวัน ต้องกินเวลานานมาก ถ้ามีอุปสรรคใด ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถเริ่มต้นตั้งแต่เช้า ก็จะทำให้ไม่เสร็จในวันนั้น จึงต้องงดไป, ในวันเสาร์และอาทิตย์บางวัน ไม่มีพนักงานมาทำงาน ไม่สามารถที่จะดักน้ำตะกอนมาทำการทดลองได้ เป็นต้น. การทดสอบจึงพยายามทำให้ดีที่สุดใน และทำการเก็บน้ำตัวอย่างแต่ละวันของสัปดาห์ ให้มีความถี่เท่ากัน เพราะการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำทิ้งจะครบวงจรใน ๑ สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง ก็ควรจะมียังครบวงจรใน ๑ สัปดาห์ด้วย. ในช่วงสุดท้ายของการเก็บข้อมูล จะเป็นการตรวจสอบการทำงานของถังตกตะกอน เพื่อให้ทราบว่าทฤษฎีที่ใช้เป็นหลักในการอ้างอิงคือทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็ง (solid flux theory) กับการทำงานของถังตกตะกอนจริง จะมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด.

๔.๑ ลักษณะประชากรจุลชีพในถังเดิมอากาศ

ชนิดของจุลชีพและลำดับของการเจริญพันธุ์ที่พบในถังเดิมอากาศตามปกติ จะเป็นไปตามที่ได้บรรยายไว้ในหัวข้อ ๔.๔. การสังเกตลักษณะประชากรจุลชีพจากกล้องจุลทรรศน์จะใช้วิธีเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลชีพที่เป็นส่วนประกอบหลัก และสังเกตอย่างบางตัวเท่านั้น เช่น แบคทีเรียที่มีการเติบโตแบบกระจาย (dispersed growth, dpg), โปรโตซัวชนิดกึ่งก้าน (Stalk ciliates), โปรโตซัวชนิดมีขน (ciliates), โปรโตซัวชนิดมีหนวด (flagellates) แบคทีเรียซูเกลีย (Zoogloea ramigera) เป็นต้น. ทั้งนี้เพราะการตรวจดูความเปลี่ยนแปลงโดยละเอียดทำได้ยาก ใช้เวลานานและควรทำโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านจุลชีววิทยาโดยเฉพาะ.

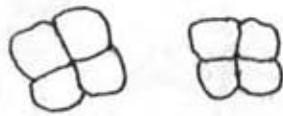
จากบันทึกผลการตุกคล้องจุลทัศน์ (ภาคผนวกที่ ๗) ซึ่งทำไปพร้อมกับการทดสอบ การตกตะกอน (Settling test) ของตะกอนเลน พอดีเรียบเรียงโดยย่อได้ดังนี้

ตอนเริ่มการวิจัย (พฤศจิกายน ๒๕๒๕) ลักษณะประชากรจุลชีพเป็นไปตามปกติ มีการเติบโตแบบกระจาย ตั้งแต่ถึงเดิมอากาศที่หนึ่ง จนถึงถึงเดิมอากาศที่สี่. ต่อมาเนื่องจากมีการหยุดเครื่องเดิมอากาศที่สี่ เป็นช่วง ๆ เพื่อทำการก่อสร้างหลังคาปิดโรงบำบัดน้ำทิ้ง จึงเกิดมีตะกอนเลนลอยขึ้นบนผิวหน้า ดังที่สี่เป็นบางวัน แต่ไม่พบความผิดปกติของลักษณะประชากรจุลชีพอย่างใด.

ความเปลี่ยนแปลงของลักษณะประชากรจุลชีพ เริ่มเป็นที่สังเกตได้ เมื่อมีการหยุดผลิตเบียร์ติดต่อกัน ๔ วัน เนื่องในวันขึ้นปีใหม่ (๓๑ ธันวาคม ๒๕๒๕ - ๓ มกราคม ๒๕๒๖) การเจริญเติบโตแบบกระจายลดลง โปรโตซัวชนิดต่าง ๆ สามารถแสดงอาการแข็งแรงว่องไว ในถึงเดิมอากาศต้น ๆ. หลังจากนั้น เมื่อมีการผลิตเบียร์และส่งน้ำทิ้งเข้าสู่โรงบำบัด เกิดการเติบโตแบบกระจายอย่างรุนแรง ตั้งแต่ถึงเดิมอากาศครั้งแรกไปจนถึงถึงสุดท้าย โปรโตซัวชนิดมิซันจะว่ายวนเวียนทั่วไป ไปเกาะตามก้อนปุ๋ย. วันต่อมาเกิดโปรโตซัวชนิดกึ่งก้านขึ้นอย่างมากมาย ในถึงเดิมอากาศท้าย ๆ พบโรติเฟอร์ที่กำลังมีความเคลื่อนไหวดี. หลังจากนั้นประมาณ ๑ สัปดาห์ การเติบโตแบบกระจายก็จะลดลงสู่สภาวะปกติ ปริมาณโปรโตซัวชนิดกึ่งก้านและโรติเฟอร์ก็ค่อย ๆ ลดลงด้วย.

ราวกลางเดือนมกราคม มักพบโปรโตซัวชนิดมีหนวด เคลื่อนไหวอยู่ตามบริเวณถึงเดิมอากาศที่สองและสาม. มีกลุ่มของเซลล์ที่ติดกันเป็น ๔ ก้อน (รูปที่ ๕.๑ ก) ซึ่งต่อมาสันนิษฐานว่าเป็นยีสต์ที่กำลังแบ่งตัวลอยอยู่ทั่วไป เป็นเวลา ๑ สัปดาห์ก็หายไป. ถึงเดิมอากาศดังที่สี่ พบว่ามีจุลชีพจำพวกเส้นใยคล้ายรา (รูปที่ ๕.๑ ง) ลอยอยู่ในฟองและในน้ำตะกอนทั่วไป.

ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ จนถึงต้นเดือนมีนาคม มักพบแบคทีเรียซูเกสีย อยู่ทั่วไปในถึงเดิมอากาศ ดังที่สี่ถึงถึงที่หก. โปรโตซัวชนิดมิซันลดจำนวนลง แต่ชนิดที่ปรากฏตอนนี้มีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากโปรโตซัวชนิดมิซัน ที่เกิดขึ้นตอนเดือนมกราคม คือมี "ขา" ยาวกว่า. พบโปรโตซัวชนิดกึ่งก้านน้อยมาก.



ก. กลุ่มของ เซลล์ที่สันนิษฐานว่าเป็น
ยีสต์ที่กำลังแบ่งตัว



ข. โปรโตซัวชนิดมีขนแบบธรรมดา



ค. โปรโตซัวชนิดมีขนแบบมี "ขา" ยาว

รูปที่ ๔.๑ แสดงภาพวาดของจุลชีพบางตัวที่พบในถังเติมอากาศ

จากผลการตรวจสอบลักษณะประชากรจุลชีพ สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำทิ้ง. ปริมาณจุลชีพอย่างหนึ่งจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับปริมาณจุลชีพอีกอย่างหนึ่ง ตามลูกโซ่อาหารดังนั้น จึงพอจะอธิบายเหตุของการเปลี่ยนแปลงนี้ตามหลักของ การสมดุลทางนิเวศวิทยา ของสิ่งมีชีวิตได้ ดังนี้

เมื่อน้ำทิ้งเข้าสู่ถังเติมอากาศ แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอาหารจากน้ำทิ้ง แล้วโปรโตซัวกับสัตว์ชั้นกลางจะกินแบคทีเรียอีกทีหนึ่ง. เมื่อปริมาณน้ำทิ้งลดลงอาหารที่เข้าสู่ระบบลดลง ทำให้ปริมาณของแบคทีเรียที่เติบโตแบบกระจายลดลงด้วย. โปรโตซัวแบบกึ่งก้าน และโรติเฟอร์ซึ่งกินแบคทีเรียที่กระจายลอยไปมานี้ จะขาดอาหาร แล้วตายลดจำนวนลง ให้ออกซิเจนกับปริมาณอาหารที่เหลือน้อย แต่โปรโตซัวชนิดมีขน ซึ่งยังชีพร่วมกับแบคทีเรียที่จับกันเป็นกลุ่ม ก็ยังคงเติบโตต่อไปได้ สภาพทางนิเวศวิทยา ก็จะเข้าสู่สมดุลใหม่อีกอันหนึ่ง.

เมื่อน้ำทิ้งเข้าสู่โรงบำบัดด้วยอัตราปกติอีกครั้งหนึ่ง การเติบโตแบบกระจายของแบคทีเรียก็จะเกิดขึ้น. เพราะจุลชีพที่กินแบคทีเรียชนิดนี้เป็นอาหารเหลือน้อย การเพิ่มจึงต้องมากกว่าจำนวนปกติ แต่เมื่อเวลาผ่านไป โปรโตซัวแบบกึ่งก้านพร้อมทั้งโรติเฟอร์ก็จะสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นจนทัน และกินพวกแบคทีเรียนี้ได้ทัน. จุลชีพชนิดอื่น ที่มีไค์กล่าวถึงก็จะมีเพิ่มและ

ลดจำนวนไปด้วยกันตามหลักสมมูลแห่งนี้ เวศวิทยาณี จนกระทั่งเวลาผ่านไปพอสมควร ระบบก็จะเข้าสู่สมมูลปกติ อีกครั้งหนึ่ง.

การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ของน้ำทิ้งนี้ เกิดขึ้นเป็นประจำทุกอาทิตย์ เพราะในช่วงวันเสาร์และวันอาทิตย์ จะหยุดการผลิตเบียร์ น้ำทิ้งมีปริมาณน้อย ในวันจันทร์จึงจะมีน้ำทิ้งเข้าสู่โรงบำบัดด้วยอัตราปกติ. ยิ่งมีการหยุดผลิตเบียร์นานขึ้น ผลกระทบต่อโรงบำบัดน้ำทิ้งอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ของน้ำทิ้งนี้ ก็จะรุนแรงตามไปด้วย เช่น ตอนขึ้นปีใหม่ เป็นต้น.

การเกิดจุลชีพแบบเส้นใยในถังเติมอากาศดังที่ใช้นั้น สันนิษฐานว่าเนื่องมาจากการหยุดเครื่องเติมอากาศ เป็นช่วง ๆ จึงเปิดโอกาสให้จุลชีพแบบนี้เติบโตได้ บริเวณผิวหน้าน้ำ.

ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลชีพในระยะหลังนั้น ก็ควรมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของโรงบำบัดน้ำทิ้งบางอย่าง แต่ไม่สามารถที่จะบ่งชี้สาเหตุได้อย่างชัดเจน เพราะมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกิดขึ้นพร้อมกันไป.

จากรายงานการวิจัยของ Wu, Y.C., and Nsieh, S.N.⁽³⁾, Palm, J.C., Jenkin, D., and Parker, D.S.⁽²²⁾, Chao, A.C., and Keinath, T.M.⁽²³⁾

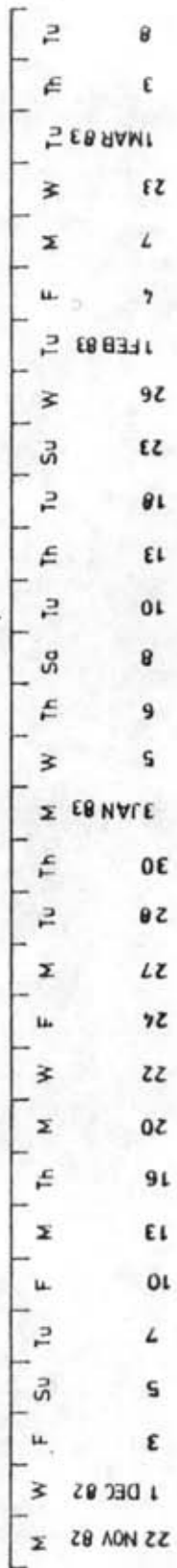
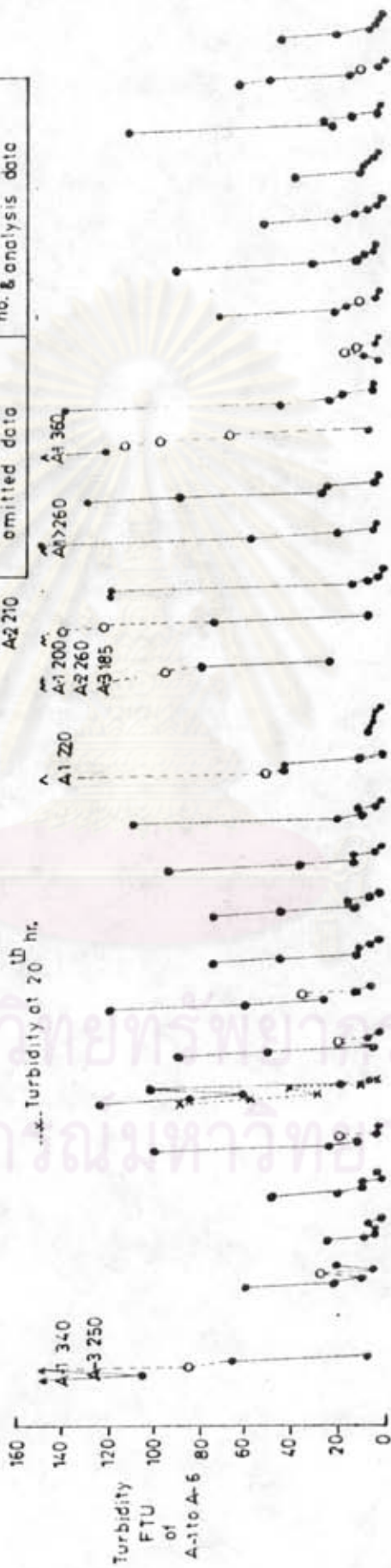
พบว่าลักษณะประชากรจุลชีพในถังเติมอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวกำหนดต่าง ๆ เช่น ค่าสัดส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ปริมาณธาตุไนโตรเจน เป็นต้น.

ดังนั้นผลการตรวจสอบลักษณะประชากรจุลชีพและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ของการวิจัยครั้งนี้จึงสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมา หากแต่ลักษณะประชากรจุลชีพที่เกิดขึ้น มิได้เหมือนกันทีเดียว ทั้งนี้ย่อมขึ้นกับ ความแตกต่างของระบบบีเอพี กับระบบธรรมชาติ รวมทั้งคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของน้ำทิ้งที่แตกต่างกันด้วย.

๔.๒ ความขุ่น

ความขุ่นของน้ำส่วนบนจากการตกตะกอนของน้ำตะกอนจากถังเติมอากาศวัดได้ ดังรูปที่ ๔.๒

จากการสังเกตการตกตะกอนในกระบอกตวงขนาด ๑ ลิตร จะเห็นว่ามีส่วนแขวนลอยเหลืออยู่ในน้ำส่วนบนน้อยมาก ลักษณะของความขุ่นที่เกิดขึ้นคล้ายกับพวกสารคอลลอยด์ (colloid). เมื่อนำน้ำส่วนบนไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าน้ำที่มีความขุ่นสูงจะมีแบคทีเรียที่เติบโตแบบกระจาย



รูปที่ ๔.๒ แสดงความขุ่นของน้ำจากถังเก็บอากาศแต่ละถัง หลังจากทิ้งไว้ ๓๐ นาที

อยู่เป็นจำนวนมากตามส่วน ซึ่งจะไม่ตกตะกอน แม้ว่าเจดิ่งทิ้งไว้ค้างคืน ความขุ่นก็จะลดลงเพียงเล็กน้อย (วันที่ ๑๓ ธันวาคม ๒๕๒๔). ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ความขุ่นที่เกิดขึ้น หลังจากการตกตะกอนแล้วนั้น มีสาเหตุใหญ่มาจากแบคทีเรียที่เติบโตแบบกระจาย นอกนั้นก็อาจจะมาจากสารที่จุลชีพขับออกมาในขณะทำงาน หรือมาจากสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย. ระดับความขุ่นจะเปลี่ยนแปลงจากมากที่สุดในดั้งเดิมอากาศที่หนึ่ง แล้วลดลงไปตามลำดับในถังถัดไปจนเกือบใส ที่ดั้งเดิมอากาศ หดิ่งสุดท้าย.

เมื่อดูวงจรการเปลี่ยนแปลงของความขุ่น จะพบว่ามักจะสูงในวันจันทร์หรือวันอังคารแล้วค่อย ๆ ลดต่ำลง จนใสในตอนกลางสัปดาห์ หรือเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งน้ำทิ้งเข้าสู่โรงบำบัดอีกครั้งหนึ่ง หลังจากการหยุดผลิตเบียร์ตามเทศกาล. ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับผลการตรวจสอบทางจุลชีววิทยา ซึ่งจะพบว่ามีการเติบโตแบบกระจายสูงกว่าปกติ เมื่อมีการส่งน้ำทิ้งเข้าสู่โรงบำบัด หลังจากที่มีการลดอัตราการส่งลงเป็นระยะเวลาหนึ่ง ความขุ่นที่เกิดขึ้นนี้สามารถถูกกรองออกด้วยกระดาษกรอง (glass fibre filter, GF/c) ได้บางส่วน.

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีผู้ทำการวัดความขุ่นของน้ำหลังจากการตกตะกอนเพียงแต่มีผู้เก็บรวบรวมข้อมูลของการเกิด การไม่รวมเป็นก้อนปุย (deflocculation) ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับการเกิดความขุ่น เนื่องจากการเติบโตแบบกระจายนี้. Pipe, W.O. (2) ได้พบว่า การไม่รวมเป็นก้อนปุยนี้เกิดขึ้น โดยมีสาเหตุที่มองเห็นได้ชัดเจน เช่น มีการเพิ่มปริมาณและความเข้มข้นของน้ำทิ้งอย่างกระชั้นชิด, เครื่องเติมอากาศหยุดเป็นเวลานาน, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า ๐.๓ มก./ล. เป็นต้น.

เมื่อดูการทำงานของถังเติมอากาศดังแรก จะเห็นว่าเป็นการนำจุลชีพจากถังเติมอากาศ หดิ่งสุดท้าย กลับเข้ามาสู่ระบบใหม่. การเปลี่ยนแปลงสภาพจากการเติมอากาศเปล่า ๆ นี้ มารับสารอาหารทันที อาจจะทำให้พิจารณาว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพอย่างกระชั้นชิดอย่างหนึ่ง จึงเกิดการไม่รวมเป็นก้อนปุยขึ้น ดังนั้นการเจริญเติบโตแบบกระจายนี้ นับหนึ่งก็ควรจะถือว่าเป็นการไม่รวมเป็นก้อนปุยได้ด้วย.

ดังนั้น ความขุ่นที่เกิดขึ้นในถังเติมอากาศต้น ๆ และที่เกิดขึ้นหลังจากที่มีการลดปริมาณน้ำทิ้งเนื่องจากการหยุดผลิตเบียร์ ก็พอจะสอดคล้องกับสาเหตุการเกิดการไม่รวมเป็นก้อนปุย ในระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ แบบธรรมดา. ส่วนการที่ความขุ่นลดลงเมื่อผ่านไปถังถัดไปนั้น ก็อาจจะตั้งข้อสันนิษฐานว่า เกิดจากการที่แบคทีเรียลดการเจริญพันธุ์แล้ว จับตัวกันเป็นก้อนปุยอย่างหนึ่ง

หรือเกิดจากการลดจำนวนลง เนื่องจากถูกกินโดยจุลินทรีย์ชั้นสูงกว่าอีกประการหนึ่ง.

๔.๓ ดัชนีปริมาตรตะกอนเลน (sludge volume index)

จากการทดลองวัดค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลน ของถังเติมอากาศแต่ละถัง ในวันแรก ๆ พบว่า เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำตะกอนค่อนข้างสูง (๗๐๐๐ - ๘๐๐๐ มก./ล.) ดังนั้น แทบจะ ไม่มีการลดปริมาตรตะกอนเมื่อดังทิ้งไว้ ๓๐ นาที. ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลนที่วัดได้ จะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของน้ำตะกอนแต่อย่างเดียวกัน ที่ความเข้มข้นของน้ำตะกอนใกล้เคียงกัน ก็จะมี ดัชนีปริมาตรตะกอนเลนใกล้เคียงกันด้วย. จึงไม่มีผลในการ เปรียบเทียบความสามารถในการ จมตัวของตะกอนเลนเท่าใด (ดูรูปที่ ๔.๓ - ๔.๔). ต่อมาจึงมีการจัดดัชนีปริมาตรตะกอนเลน ของน้ำตะกอน ที่ถูกเจือจางลงมาจากความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วย.

๔.๓.๑ ปริมาตรตะกอนเลน เมื่อเวลา ๓๐ นาที ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

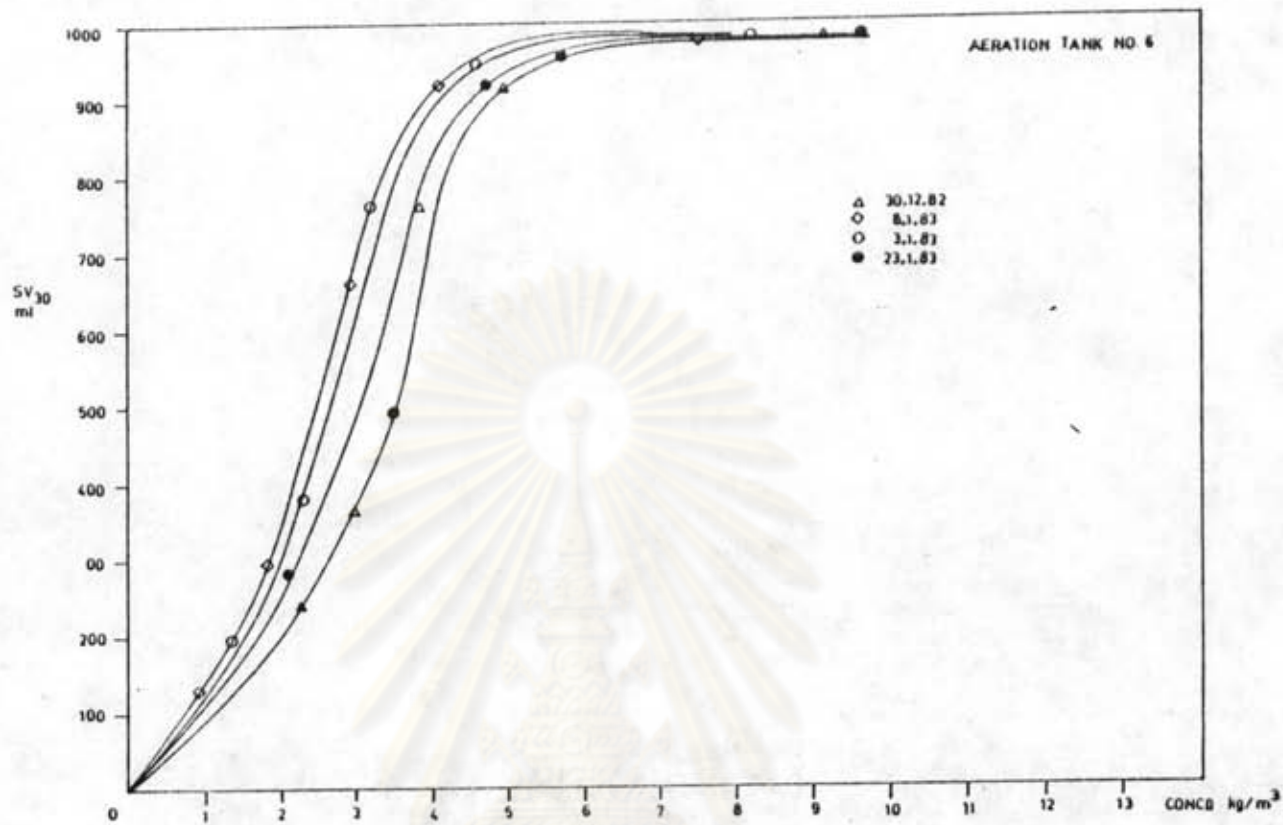
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาตรตะกอน จะเปลี่ยนแปลงคล้าย ๆ กัน คือ จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นต่ำ และอัตราการเพิ่มปริมาตรจะเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ตะกอนแถมจะไม่ตกเลยเมื่อความเข้มข้น สูงกว่า ๔๐๐๐ มก./ล. โดย เฉลี่ย.

๔.๓.๒ การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลน อันเนื่องมาจากความเข้มข้น

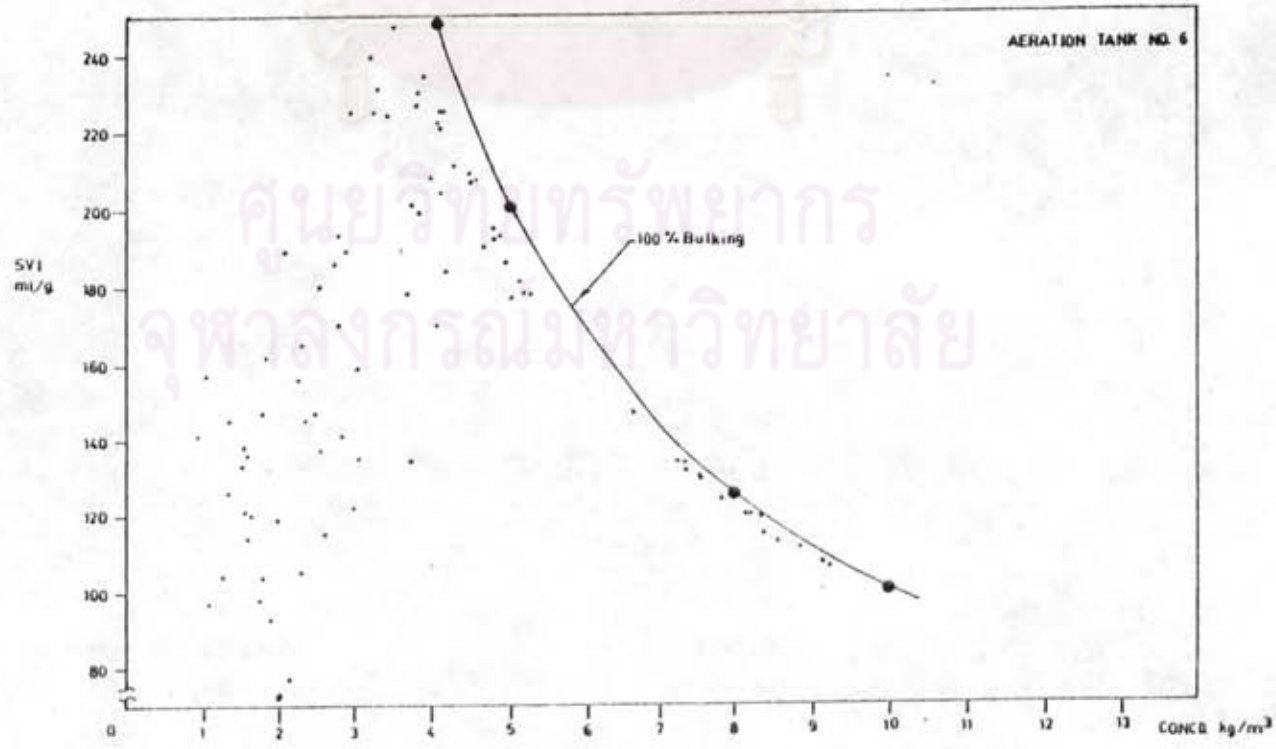
ดัชนีปริมาตรตะกอนเลนจะสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำตะกอนเพิ่มจาก ๑๐๐๐ มก./ล. ไปจนถึงจุดสูงสุด ที่ความเข้มข้นประมาณ ๓๔๐๐ มก./ล. และหลังจากนั้น จะค่อย ๆ ลดต่ำลงไปที่ใกล้เคียงกับแนวเส้นการไม่ตกตะกอนเลย.

๔.๓.๓ ดัชนีปริมาตรตะกอนเลนจำเพาะ (specific sludge volume index)

จากการที่ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลนเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้น การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการจมของตะกอนเลน ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ย่อมได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง การกำหนดค่าความเข้มข้นขึ้นค่าหนึ่ง แล้วนำค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลนมาเปรียบเทียบกัน จึง อาจจะเป็นวิธีหนึ่งที่พอใช้ได้. เมื่อดูกราฟแสดงปริมาตรตะกอนเลนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะเห็น ว่าเส้นกราฟส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มเดียวกันไป ซึ่งหมายความว่าตะกอนเลนที่มีค่าดัชนีปริมาตร ตะกอนเลนต่ำกว่า ที่ความเข้มข้นต่ำ จะมีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลนต่ำกว่าที่ความเข้มข้นสูงด้วย. ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลนของน้ำตะกอนที่มีความเข้มข้น ๓๐๐๐ มก./ล.



รูปที่ ๔.๓ แสดงตัวอย่างค่าปริมาตรตะกอนเลน เมื่อเวลา ๓๐ นาที ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน



รูปที่ ๔.๔ แสดงค่าดัชนีมีปริมาตรตะกอนเลน (SVI) ของน้ำตะกอน ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูล (ภาคผนวกที่ ๔). เกณฑ์พิจารณาเลือกความเข้มข้นคือ จุดที่ค่าปริมาตรตะกอนเลนสูงพอที่จะบอกความแตกต่างได้ชัดเจน และไม่สูงเกินไป จนเข้าใกล้ เส้นของการไม่ตกตะกอนเลย.

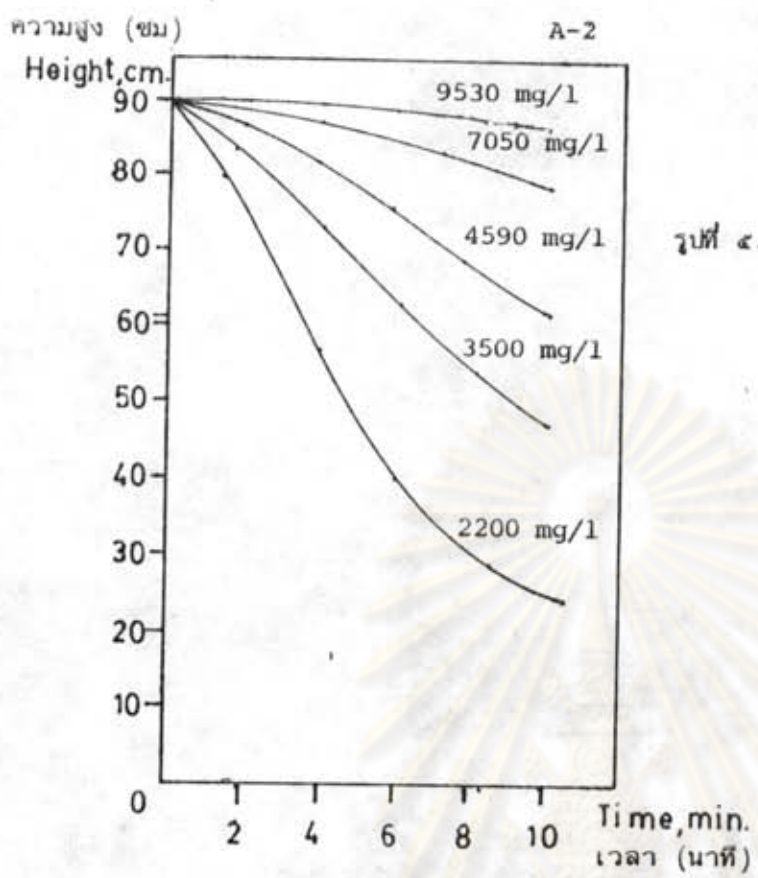
จากรายงานของ Rachwal, A.J. et al⁽⁵¹⁾, White, M.J.D.⁽⁵²⁾ ได้ผลสรุปอย่างชัดเจนว่า ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมวลแขวนลอยและค่าความเข้มข้น ที่ใช้วัดค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลน ควรจะต่ำกว่า ๔๐๐๐ มก./ล. ปัจจุบันมีการใช้ค่าปริมาตรตะกอนเจือจาง (DSV) แทนค่า SVI เนเยอร์มัน เมื่อความเข้มข้นของมวลแขวนลอยสูงเกินไป.

จากรายงานของ Sezgin⁽⁵³⁾ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลน กับความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้น ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน. ดังนั้นการให้ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเลนจำเพาะ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการจมของตะกอนเลน ของโรงบำบัดน้ำทิ้งเดียวกัน จึงควรจะเป็นวิธีที่มีความเชื่อถือได้พอสมควร.

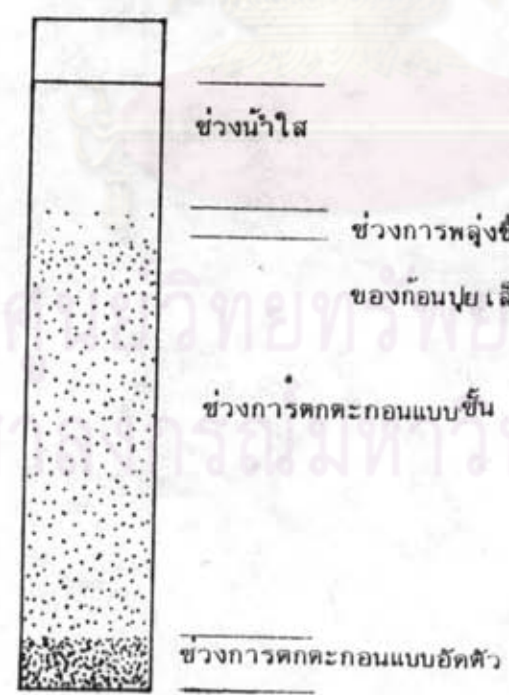
๔.๔ ความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้น (Zone settling velocity)

๔.๔.๑ ข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับการทดสอบการจมของตะกอนเลน เมื่อนำน้ำตะกอนเหลวในกระบอกตกตะกอนพร้อมกับเดินตัวกวน ตะกอนจะค่อย ๆ จมลงอย่างช้า ๆ ในขณะเดียวกันก็มีการรวมตัวกันเป็นก้อนปุยที่ใหญ่ขึ้น. อัตราการจมจะเร็วขึ้นจนถึงความเร็วคงที่อันหนึ่งภายในเวลาประมาณ ๓๐ นาที. ในขณะที่มีการจมเกิดขึ้น จะมีก้อนปุยขนาดเล็กแทรกขึ้นมาตามช่องของก้อนปุยขนาดใหญ่ ซึ่งจะถูกแรงดันขึ้นเหนือขึ้นของการตกตะกอนประมาณ ๒-๓ ซม. แล้วจึงจมลงอีกครั้งหนึ่ง. ถ้าหากทำการทดสอบน้ำตะกอนที่มีความเข้มข้นสูง ประมาณ ๖๐๐๐ มก./ลิตร. ขึ้นไป จะเกิดขึ้นที่มีการอัดตัวแน่น มองเห็นได้ค่อนข้างชัดเจน ที่บริเวณก้นกระบอกตกตะกอน. ถ้าทำการทดสอบน้ำตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ๘๐๐๐ มก./ล. ก็ให้เห็นเป็นการอัดตัวลงเฉย ๆ ไม่มีการเกิดก้อนปุย. รูปกราฟของการจม แทนจะเป็นเส้นตรง (ดูตัวอย่างรูปที่ ๔.๔). การวัดค่าความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้น จะใช้ค่าจากกราฟในช่วงที่เป็นเส้นตรง ประมาณนาทีที่ห้าถึงนาทีที่แปด.

๔.๔.๒ สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตะกอน กับความเข้มข้นของน้ำตะกอน

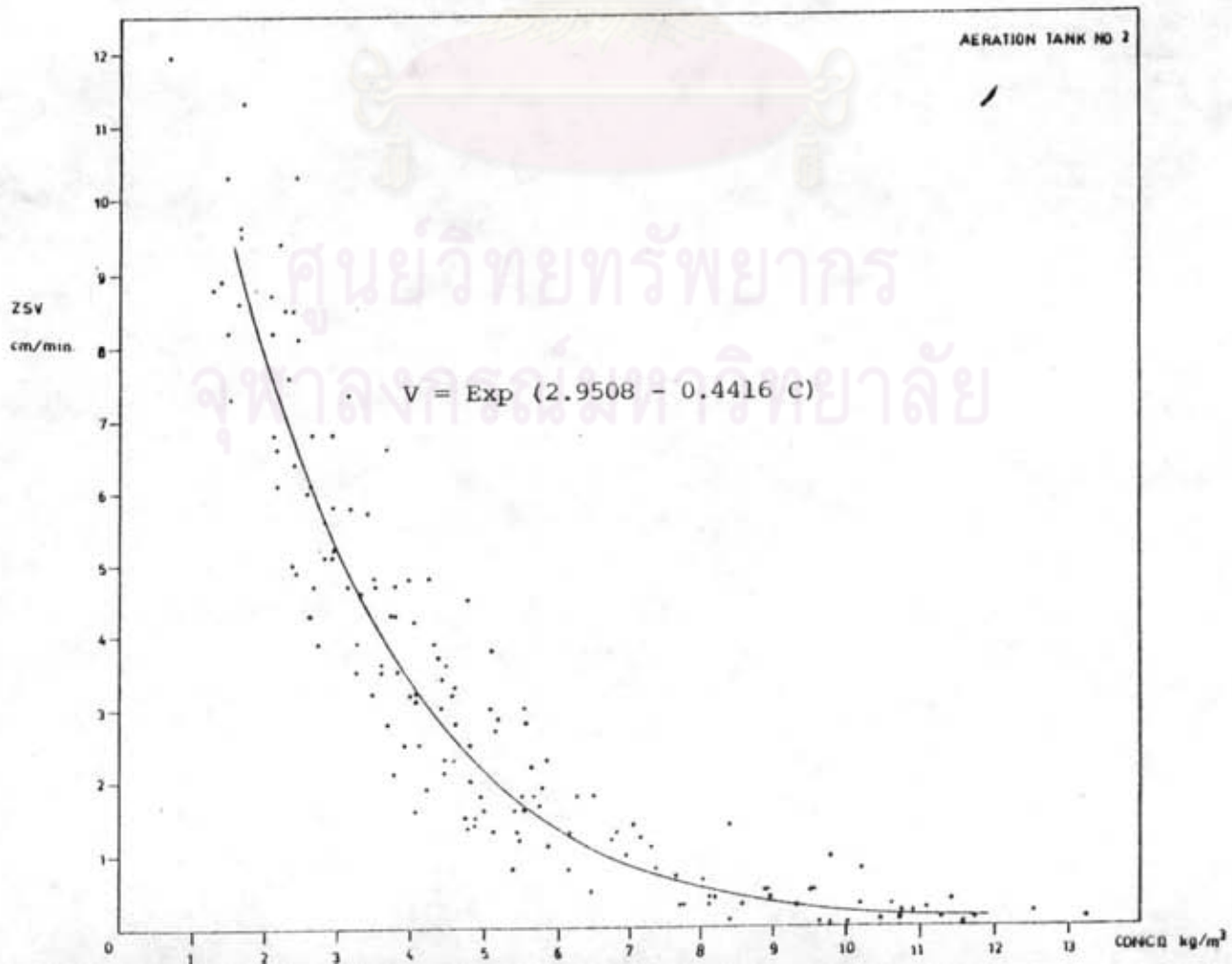
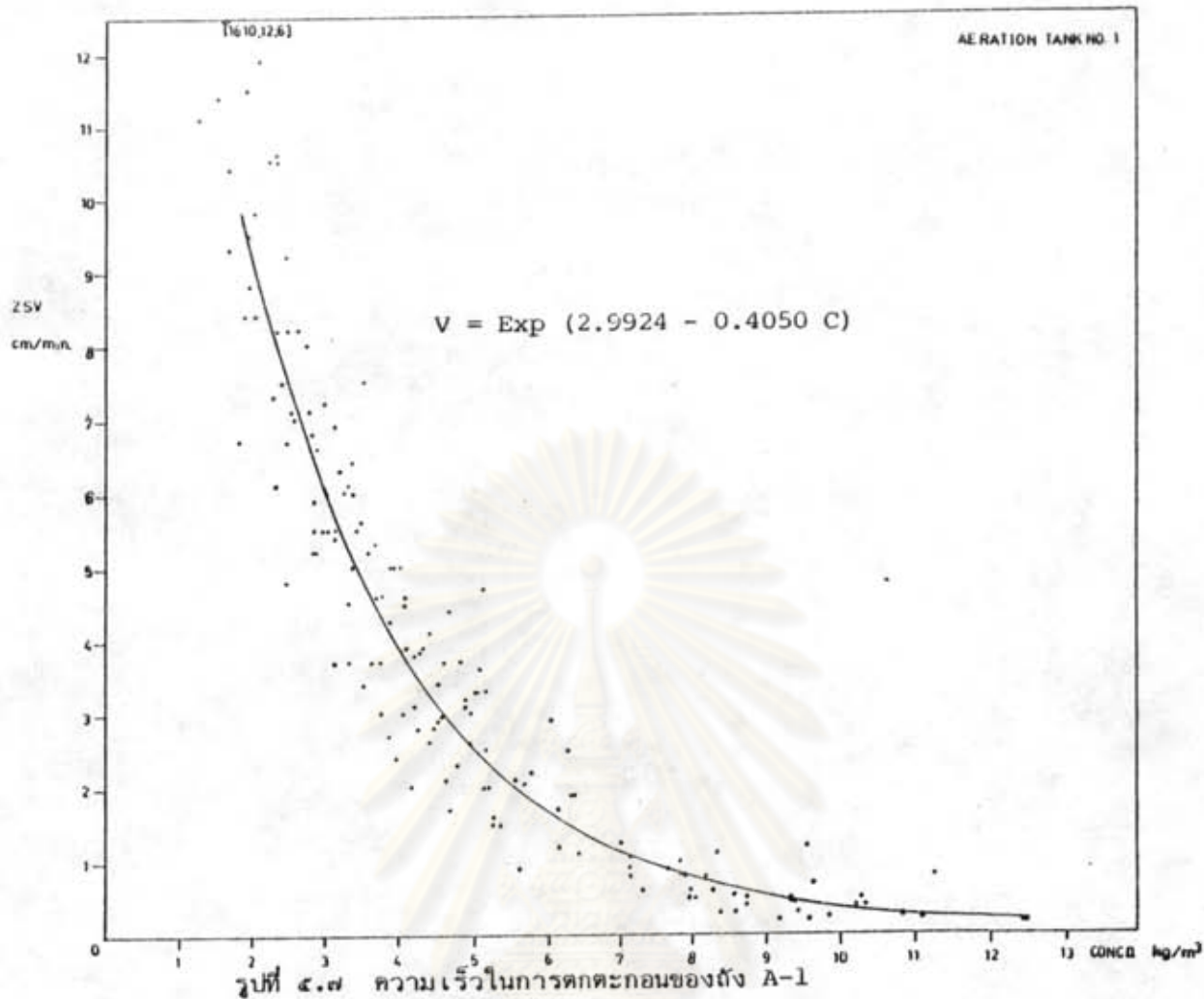


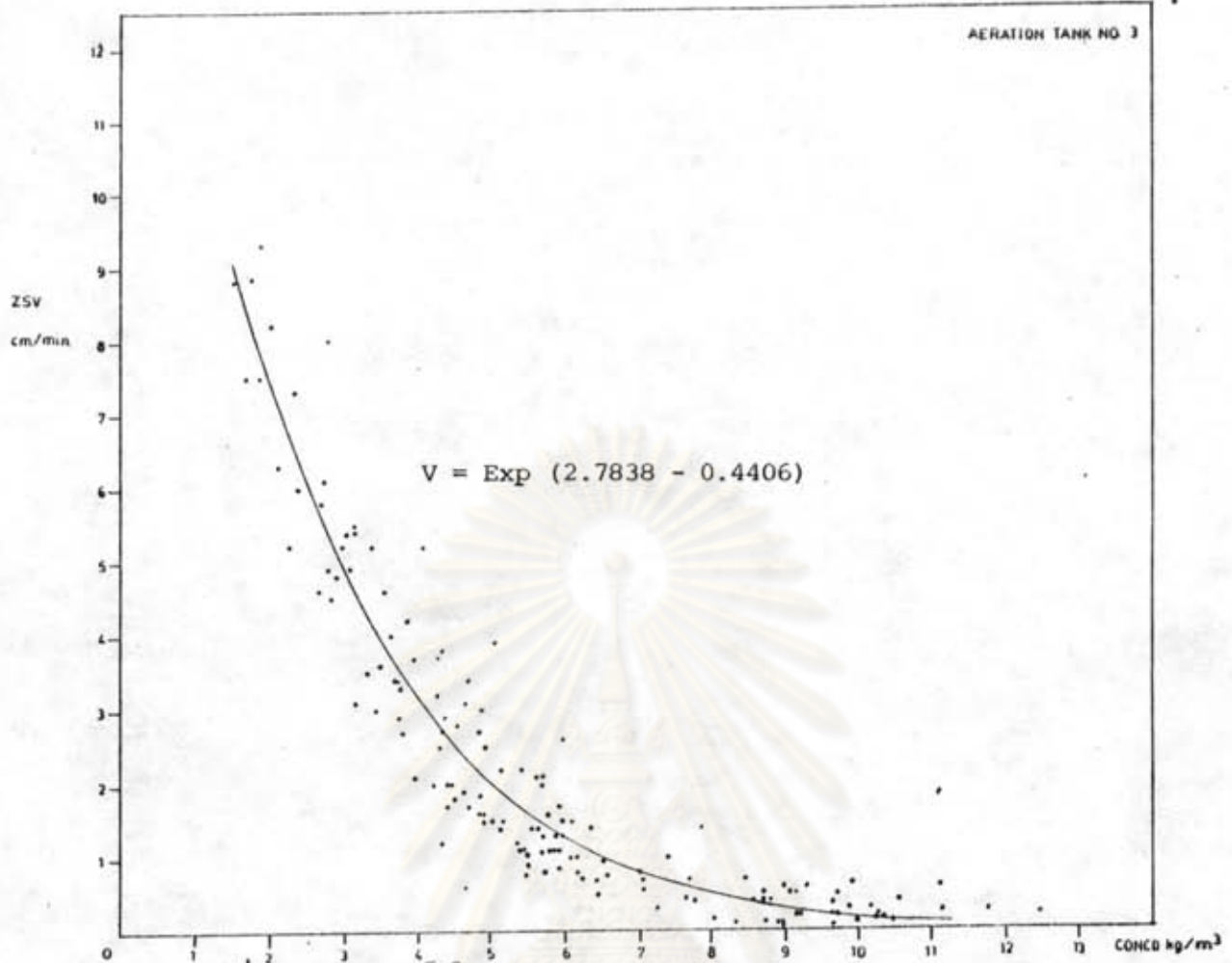
รูปที่ ๔.๔ แสดงตัวอย่างกราฟของการตกตะกอนของน้ำตะกอนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ของถังเดิมอากาศดังที่ ๒



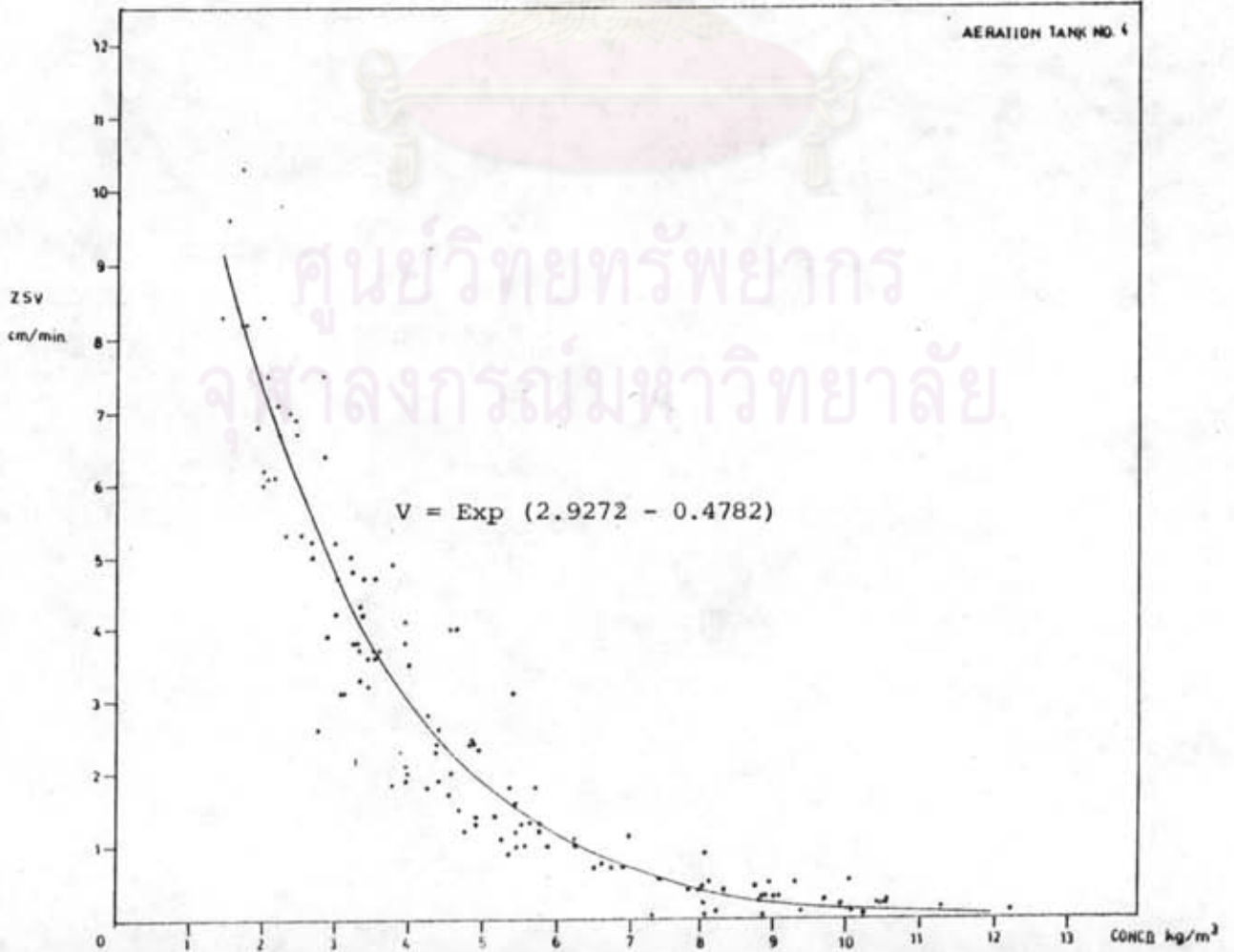
รูปที่ ๔.๖ แสดงปรากฏการณ์ของการตกตะกอนในกระบอกตกตะกอน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

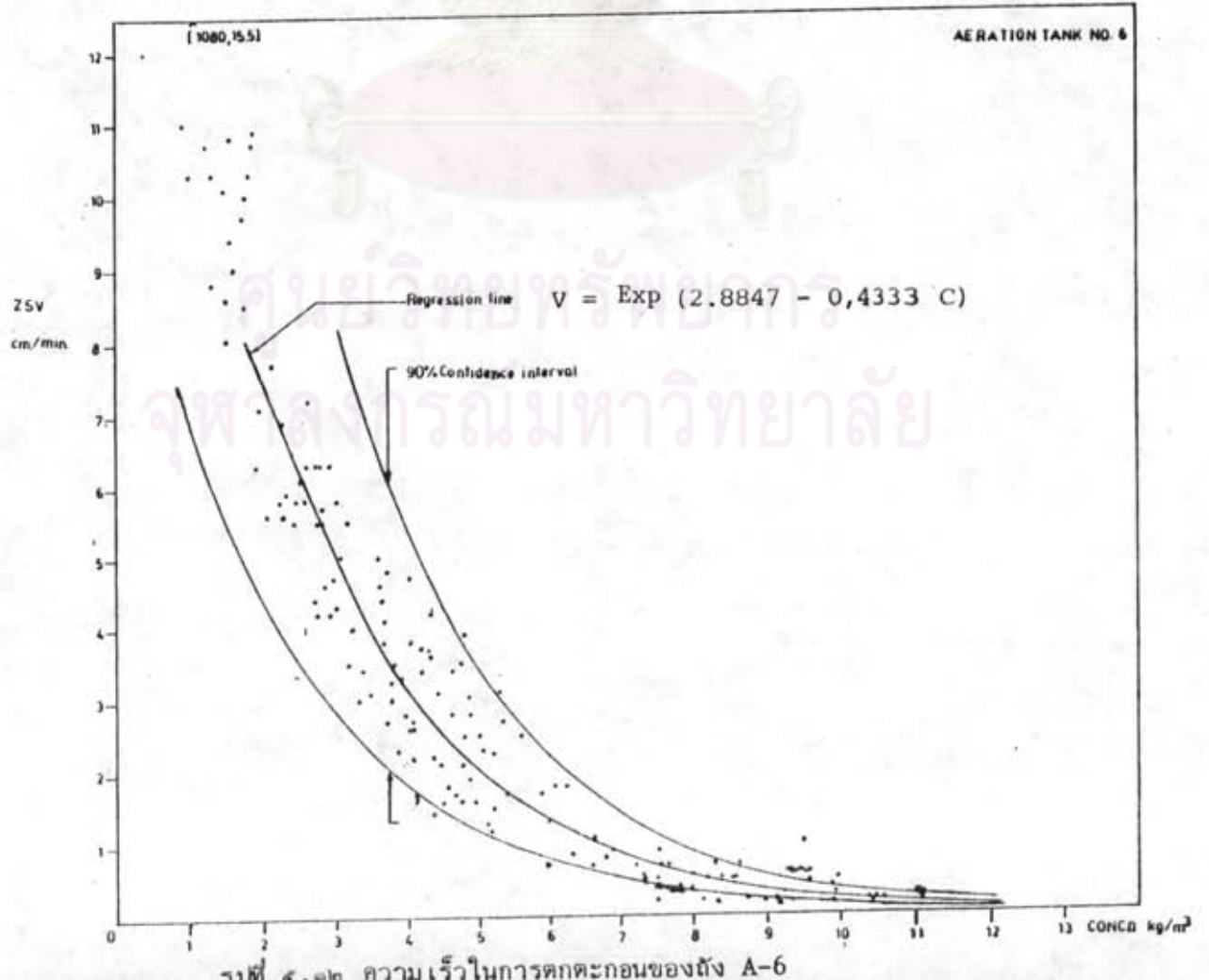
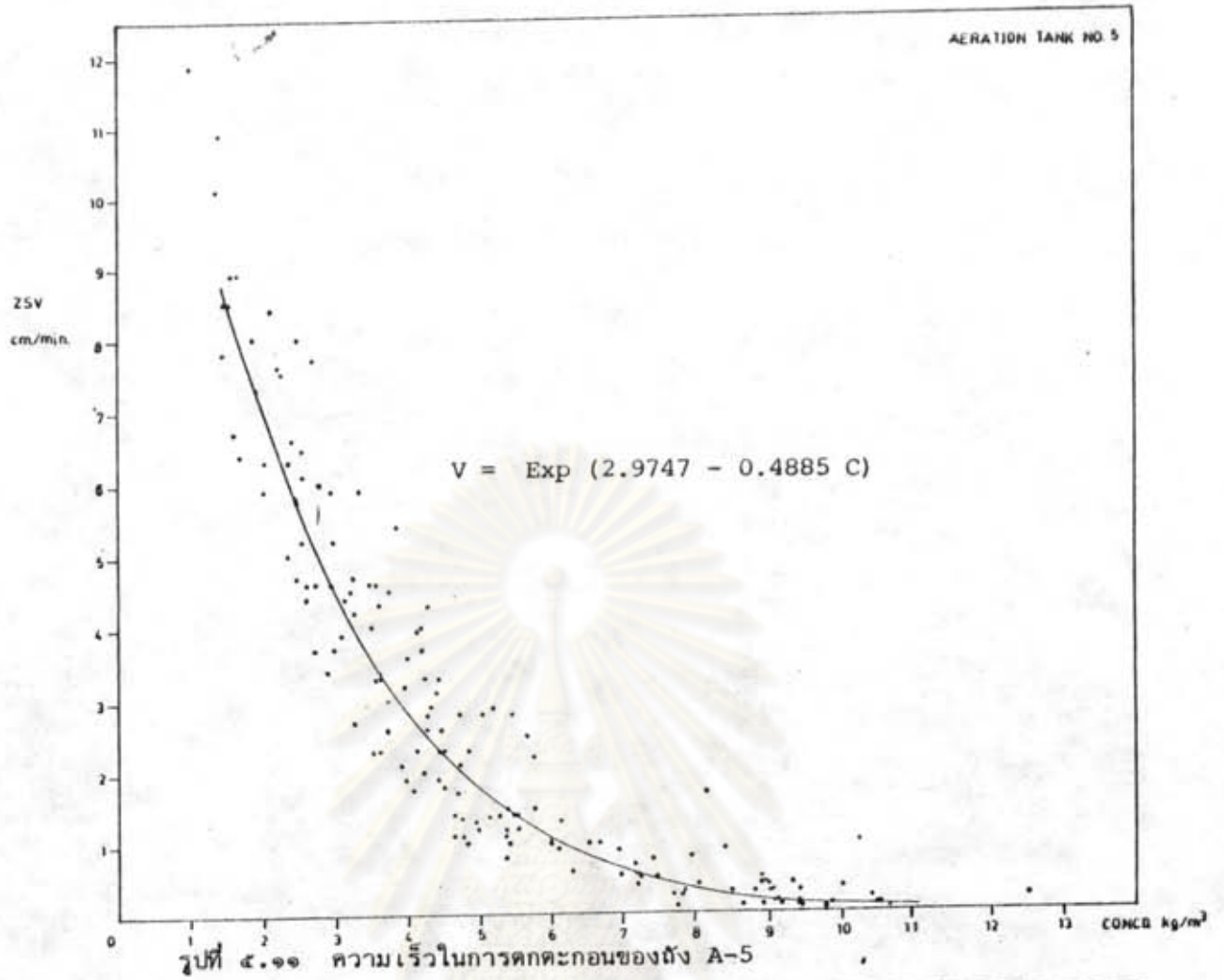




รูปที่ ๕.๔ ความเร็วในการตกตะกอนของถัง A-3



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จากการวิเคราะห์การถดถอยในรูปแบบต่าง ๆ พบว่ารูปของสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตะกอนเลนจากดั้งเดิมอากาศทั้งหกดั้ง คือ สมการเอกซโปเนนเชียลและสมการไฮเปอร์ลิก ดังตารางที่ ๔.๑ (ทฤษฎีและสูตรการคำนวณดูได้จากภาคผนวกที่ ๑๑). เมื่อพิจารณาในแง่การนำไปใช้ รูปของสมการเอกซโปเนนเชียลจะใช้ได้สะดวกกว่า จึงเลือกสมการเอกซโปเนนเชียลเป็นสมการของความเร็วในการตกตะกอน ของตะกอนเลนจากดั้งเดิมอากาศทั้งหกดั้ง.

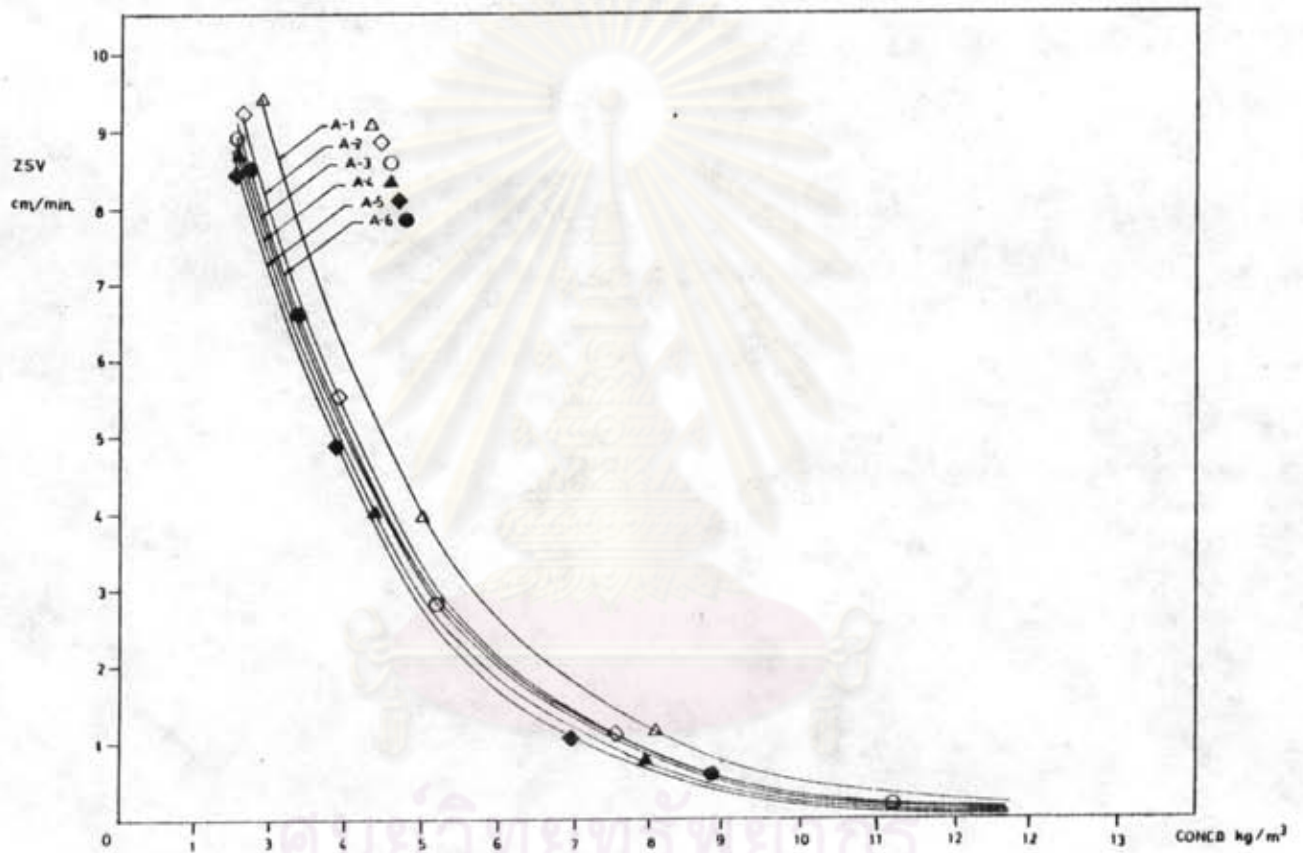
ตารางที่ ๔.๑ แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอย ตามรูปสมการต่าง ๆ
(Log-Hyp-Power-Exp) พร้อมทั้งสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์
(Correlation coefficient)

| A.T.NO. ITEM | | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 |
|-----------------|---|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| LOG. | N | ๑๕๐ | ๑๔๘ | ๑๔๕ | ๑๒๔ | ๑๔๙ | ๑๔๙ |
| | A | ๑๒.๔๒๖๑ | ๑๐.๔๕๙๘ | ๙.๓๕๓๒ | ๙.๖๒๑๒ | ๙.๗๕๗๐ | ๑๐.๘๗๕๔ |
| | B | -๕.๖๗๖๖ | -๕.๗๐๗๑ | -๕.๒๘๖๖ | -๕.๕๖๑๘ | -๕.๕๕๖๒ | -๕.๐๖๕๒ |
| | R | -๐.๙๒๓๖ | -๐.๙๑๙๓ | -๐.๙๑๓๔ | -๐.๙๓๒๕ | -๐.๙๒๙๖ | -๐.๙๔๐๔ |
| EXP. | N | ๑๕๐ | ๑๔๘ | ๑๔๕ | ๑๒๔ | ๑๔๙ | ๑๔๙ |
| | A | ๒.๙๙๒๔ | ๒.๙๕๐๘ | ๒.๗๘๓๘ | ๒.๙๒๗๒ | ๒.๙๗๔๗ | ๒.๘๘๔๗ |
| | B | -๐.๕๐๕๐ | -๐.๕๔๑๖ | -๐.๕๕๐๖ | -๐.๕๗๘๒ | -๐.๕๘๘๕ | -๐.๕๓๓๓ |
| | R | -๐.๙๔๕๒* | -๐.๙๓๘๔* | -๐.๙๐๐๕ | -๐.๙๓๖๖ | -๐.๙๔๑๗ | -๐.๙๖๓๕ |
| POW. | N | ๑๕๐ | ๑๔๘ | ๑๔๕ | ๑๒๔ | ๑๔๙ | ๑๔๙ |
| | A | ๓.๘๓๑๘ | ๓.๙๔๓๒ | ๔.๑๖๖๘ | ๔.๐๖๕๗ | ๓.๙๐๗๔ | ๓.๕๖๒๐ |
| | B | -๑.๙๒๒๗ | -๒.๑๘๕๖ | -๒.๓๗๕๗ | -๒.๓๘๔๔ | -๒.๒๘๓๖ | -๑.๘๘๗๒ |
| | R | -๐.๙๒๐๑ | -๐.๘๙๕๓ | -๐.๘๙๒๔ | -๐.๙๑๔๔ | -๐.๙๐๔๓ | -๐.๙๒๕๗ |
| HYP. | N | ๑๕๐ | ๑๔๘ | ๑๔๕ | ๑๒๔ | ๑๔๙ | ๑๔๙ |
| | A | -๑.๕๕๕๕ | -๑.๑๘๓๕ | -๑.๗๒๑๑ | -๑.๖๓๒๙ | -๑.๓๖๕๖ | -๐.๘๖๕๑ |
| | B | ๒๑.๓๕๕๑ | ๑๗.๖๖๒๓ | ๑๘.๖๐๕๗ | ๑๗.๙๑๗๐ | ๑๖.๗๕๘๒ | ๑๕.๗๓๕๖ |
| | R | ๐.๙๒๙๒ | ๐.๙๒๑๘ | ๐.๙๔๕๐* | ๐.๙๔๓๗* | ๐.๙๔๐๔ | ๐.๙๓๙๐ |

Note * highest correlation.

๕.๔.๓ การเปรียบเทียบความเร็วในการตกตะกอนของตะกอนเลนจากถัง เติมอากาศ
แต่ละถัง โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากผลการการทดลอง

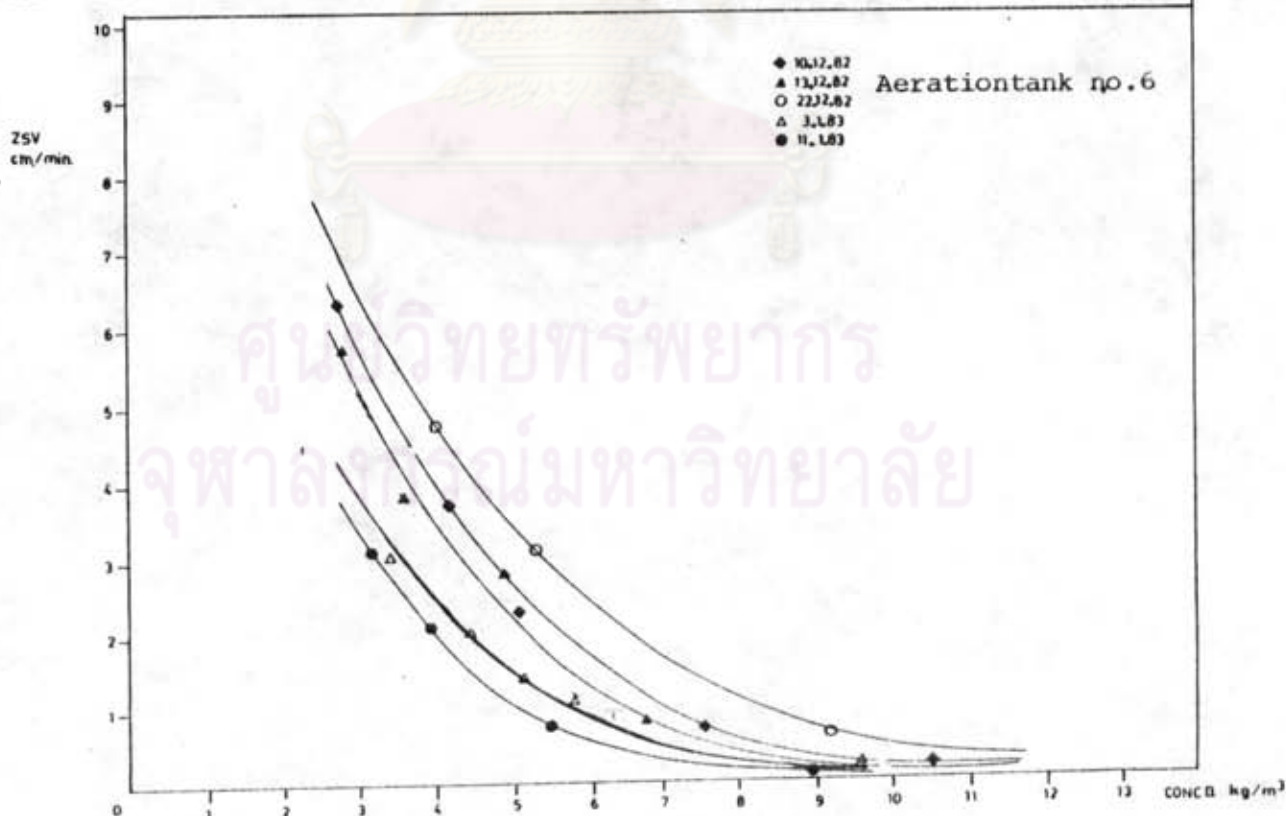
ลำดับความเร็วในการตกตะกอน จะเป็นดังนี้คือ ถังเติมอากาศถังแรกจะตกตะกอนเร็วที่สุด แล้วย่อย ๆ ลดลงตามลำดับ จนถึงถังที่ห้า แล้วเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในถัง เติมอากาศถังที่หก



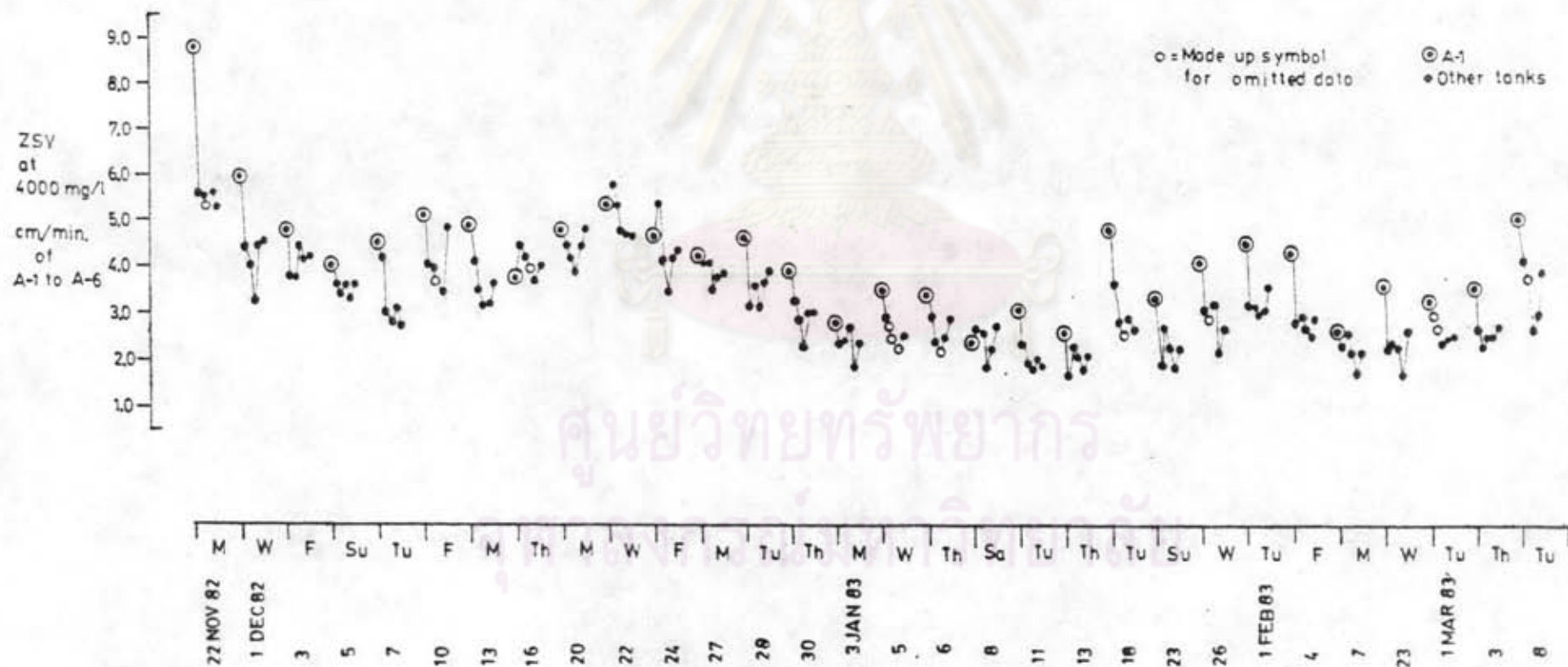
รูปที่ ๕.๑๓ แสดงเส้นโค้งเฉลี่ยของความเร็วในการตกตะกอนของถังเติมอากาศ
 แต่ละถัง

๔.๔.๔ การเปรียบเทียบ ความเร็วในการตกตะกอนในแต่ละวัน โดยใช้ค่าความเร็วในการตกตะกอนจำเพาะ

จากการสังเกตจากเส้นโค้งของความเร็วในการตกตะกอน พบว่ามีลักษณะเป็นแนวเดียวกันไป จะพาดกันบ้างในกรณีที่มีความเร็วใกล้เคียงกัน แสดงว่าตะกอนเดิมที่ตกตะกอนเร็วกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ จะมีแนวโน้มที่จะตกตะกอนเร็วกว่าที่ความเข้มข้นสูงด้วย (รูปที่ ๔.๑๔ และภาคผนวกที่ ๔). การใช้ค่าความเร็วในการตกตะกอนที่ความเข้มข้นค่าใดค่าหนึ่งจะสามารถใช้เป็นตัวแทนลำดับความสามารถในการตกตะกอนของแต่ละเส้นโค้งได้อย่างคร่าว ๆ ซึ่งจะทำให้ยุ่งยากขึ้น เมื่อต้องการเปรียบเทียบข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วในการตกตะกอนของการวิจัยครั้งนี้ ส่วนหนึ่งจะใช้วิธีกำหนดความเข้มข้นไว้ที่ ๔๐๐๐ มก./ล. แล้วนำความเร็วในการตกตะกอนแบบขั้น ที่ความเข้มข้นนี้มาเปรียบเทียบกัน. การเลือกใช้ค่าความเข้มข้น ๔๐๐๐ มก./ล. มีหลักเกณฑ์ว่า เป็นความเข้มข้นที่สูงพอที่จะทำให้เกิดขึ้นในการตกตะกอนชัดเจน ทำให้วัดความเร็วได้โดยมีความถูกต้องสูง แต่ไม่สูงจนเกินไป จนทำให้ค่าความเร็วในการตกตะกอนต่ำจนความแตกต่างมีน้อย ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้.



รูปที่ ๔.๑๔ แสดงแนวเดียวกัน ของเส้นโค้งของความเร็วในการตกตะกอน



รูปที่ ๕.๑๕ ความเร็วในการตกตะกอนแบบขึ้นของตะกอนเลนจากถังเดิมอากาศแต่ละถัง ที่ความเข้มข้น ๕๐๐๐ มก./ล.

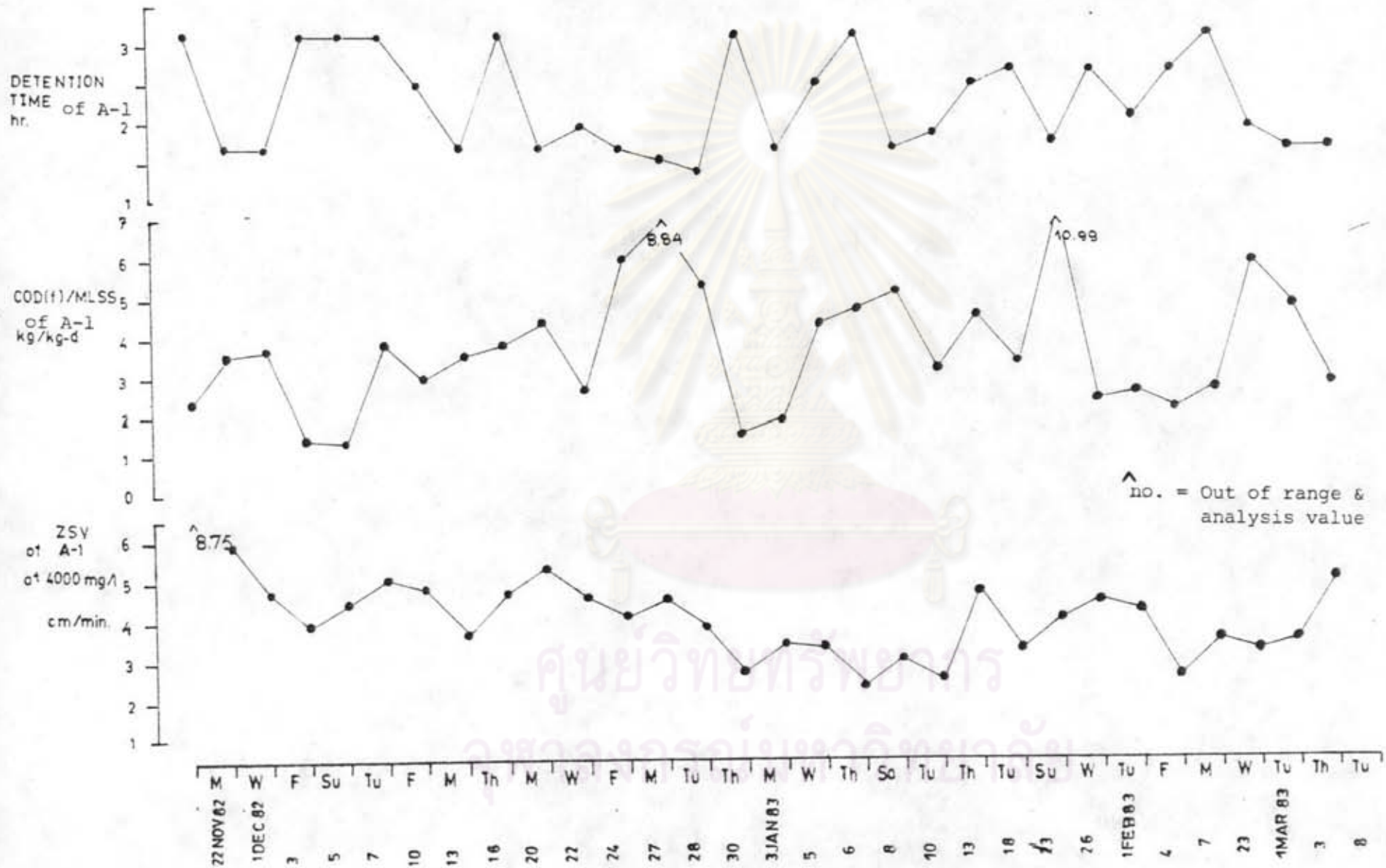
๔.๕ องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการจมของตะกอนเลน

๔.๕.๑ ลักษณะประชากรจุลชีพ

ในการพิจารณาว่าด้วยความเร็วในการจม (รูปที่ ๔.๑๓) จะเห็นว่าความเร็วในการตกตะกอนลดลงเรื่อย ๆ จากดังที่หนึ่งไปถึงดังที่สี่ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทำงานของระบบบีเอพีที่ได้วางไว้ว่า ดังแรกจะมีสารอาหารเข้าในปริมาณสูง เพื่อสร้างสภาวะที่อำนวยความสะดวกให้แบคทีเรียที่ทำให้เกิดปุ๋ย. ส่วนดังถัดมามีสารอาหารเหลืออยู่น้อย และแบคทีเรียจำพวกเส้นใยมักจะเจริญเติบโตได้ในช่วงดังเหล่านี้, จึงทำให้ความเร็วในการตกตะกอนลดลง. ในดังช่วงสุดท้ายนั้น ความเร็วในการตกตะกอนจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งตามหลักการทำงานจะอธิบายไว้ว่าเป็นการเติมอากาศเปล่า ๆ แบคทีเรียแบบเส้นใยจะตายและมีปริมาณลดลง.

จากการตรวจสอบสภาพจุลชีพในดังเติมอากาศ พบว่าในดังแรกจะมีแบคทีเรียเกิดขึ้นมากมาย พร้อมทั้งก้อนปุ๋ยก็จะประกอบไปด้วย แบคทีเรียตัวกลม ๆ เป็นส่วนใหญ่. ดังต่อ ๆ มาก็นจะมีจุลชีพพันธุ์อื่นเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ทำให้เกิดเส้นใยก็จะเพิ่มขึ้นด้วย. ดังนั้นลักษณะประชากรจุลชีพที่เกิดขึ้น ก็สอดคล้องกับการลดลงของความเร็วในการตกตะกอนที่วัดได้. ในดังช่วงหลังนั้น จากการประมาณด้วยตา พบว่าแบคทีเรียชนิดเส้นใย มีปริมาณใกล้เคียงกับดังที่สี่ ไม่ลดลง, มีพวกโปรโตซัว และสัตว์ชั้นกลางเพิ่มขึ้น. ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความเร็วในการตกตะกอนในดังเติมอากาศช่วงหลังอีกครั้งหนึ่งนั้น อาจจะไม่ได้อธิบายมาจากการลดลงของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดเส้นใย แต่เกิดขึ้นจากการที่มีสัตว์ที่มีระดับการดำรงชีวิตสูงกว่าและตัวใหญ่กว่า เกิดขึ้นทำให้ความเร็วในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น.

ศูนย์สัตวแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๔.๑๖ ตัวแปรอื่นที่อาจมีผลต่อความเร็วในการตกตะกอน

๔.๕.๒ สภาวะอื่น ๆ ของโรงบำบัดน้ำทิ้ง

จากการพยายามใช้ความเร็วจำเพาะในการตกตะกอนแบบขึ้น เพื่อเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบความเร็วในการตกตะกอนของแต่ละชุดของการทดสอบ พบว่า

ก. ความเร็วในการจมของตะกอนในแต่ละชุด ของการทดสอบ มีลักษณะเกาะกลุ่มกัน คือในวันที่ความเร็วในการจมสูงขึ้น ก็จะสูงขึ้นพร้อมกันทั้งหกถัง หรือถ้าต่ำลง ก็จะต่ำลงพร้อมกัน เป็นต้น (รูปที่ ๔.๑๔). จากการตรวจสอบการทำงานของถังเดิมอากาศ (หัวข้อที่ ๔.๒) พบว่าทั้งปฏิบัติการกำจัดสารอาหาร และทั้งอัตราการเกิดจุลชีพ จะเกิดขึ้นในถังคัดพันธุ์เกือบทั้งหมด ถ้าให้ถังเดิมอากาศดังอื่น ๆ มีการทำงานที่ค่อนข้างน้อย และไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเทียบกับการทำงานแบบถังคัดพันธุ์. ดังนั้นความเร็วในการจม ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะประชากรจุลชีพ และสภาวะแวดล้อมบางประการ ควรจะได้รับอิทธิพลมาจากถังคัดพันธุ์มาก. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความเร็วของการตกตะกอนของระบบ จึงควรมุ่งเน้นไปยังสภาวะของถังคัดพันธุ์เป็นหลัก.

ข. ในช่วงวันจันทร์หรือหลังจากที่มีการลดปริมาณน้ำทิ้งที่เข้าสู่โรงบำบัด ความเร็วในการตกตะกอนมักต่ำลง. เมื่อดูการตรวจสอบทางชีววิทยา ก็พอที่จะมีเหตุผลอธิบายได้ว่า มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะประชากรจุลชีพ โดยที่การเติบโตแบบกระจายลดลง ทำให้ปริมาณจุลชีพบางอย่างเปลี่ยนแปลงไป โปรโตซัวเริ่มมีการเคลื่อนไหวมากขึ้น ในถังเดิมอากาศช่วงต้น ๆ สิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุให้ความเร็วในการตกตะกอนต่ำลง แต่ก็ไม่สามารถที่ระบุชัดเจนไปว่า ตัวไหนหรือส่วนไหนที่มีผลโดยตรง.

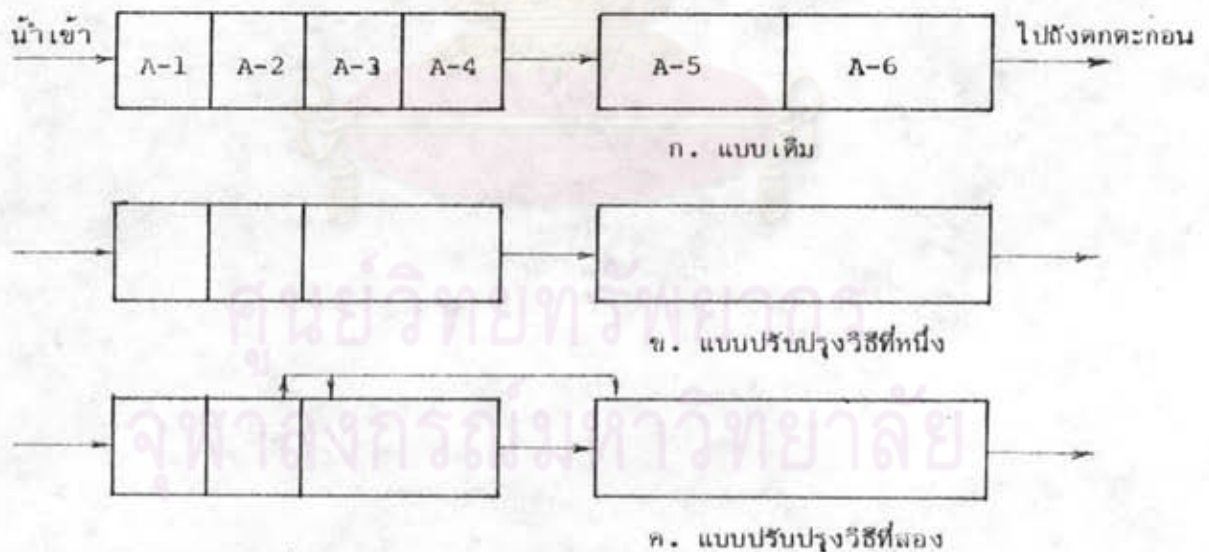
ค. ในการพยายามหาตัวแปรอื่น ที่มีผลต่อความสามารถในการตกตะกอน, ค่าสภาวะของถังคัดพันธุ์ ในด้านต่าง ๆ เช่น เวลาพักน้ำ อัตราการรับสารอาหาร ได้ถูกลงจุดร่วมกับความเร็วจำเพาะในการตกตะกอนแบบขึ้น ของถังคัดพันธุ์ (รูปที่ ๔.๑๖).

เมื่อดูจากกราฟ แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการจมกับตัวแปรต่าง ๆ นั้น ไม่อาจจะดูได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะสภาวะของระบบเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ. จนไม่มีตัวแปรใดที่จะมีอิทธิพลเด่นขึ้นมาจนเป็นที่สังเกตได้.

๔.๖ แนวคิดในการปรับปรุงระบบแอคทีเวทเดคสลิคจ์ แบบบีเอพี

จากข้อมูลความสามารถในการตกตะกอน และสภาวะในการทำงานของถังเติมอากาศแต่ละถัง พอจะสรุปได้ว่า การควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้เกิดลักษณะประชากรจุลชีพตามที่ต้องการ เป็นหัวใจที่สำคัญที่สุดของระบบนี้. แนวการปรับปรุงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดค่าใช้จ่ายลง อาจทำได้โดยการจัดสภาวะการทำงานของแต่ละถังเติมอากาศ ไม่ให้แบคทีเรียแบบเส้นใยเจริญเติบโตได้.

จะเห็นว่า ความสามารถในการตกตะกอน จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงถังเติมอากาศถังที่สาม สี่และห้า แสดงว่าสภาวะในถังเหล่านี้ เหมาะแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบเส้นใย. การเปลี่ยนแปลงสภาวะอาจทำได้โดยเปลี่ยนค่าอัตราส่วน สารอาหารต่อมวลจุลชีพ ซึ่งอาจทำได้โดยบดถังเติมอากาศบางถังร่วมกับถังอื่น ประการหนึ่ง หรือแบ่งทางเดินของน้ำทิ้งให้เข้าสู่ถังเติมอากาศแต่ละถังพร้อมกัน อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งจะเป็นประการใดควรที่จะมีการศึกษาถึงค่าตัวกำหนดต่าง ๆ ที่จะใช้และผลที่จะเกิดขึ้นตามมาอย่างรอบคอบ. (ดูรูปที่ ๔.๑๗)



รูปที่ ๔.๑๗ แสดงแนวความคิดในการปรับปรุงระบบบีเอพี ในช่วงถังเติมอากาศ

ผลจากการเปลี่ยนแปลงระบบบีเอพี เป็นแบบใดแบบหนึ่ง จะทำให้การพัฒนาลักษณะประชากรจุลชีพไปสู่จุลชีพชั้นสูงกว่าลดลง และความสามารถในการกำจัดสารอาหารให้ต่ำลงสุดก็น้อยลงด้วย ทั้งนี้เพราะมีจำนวนดังปฏิภริยาลดลง. แต่ลักษณะประชากรจุลชีพชั้นสูงก็มีใช้ เป็นสิ่งจำเป็นนัก หากไม่มีแบคทีเรียแบบเส้นใยเกิดขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการตกตะกอนดีอยู่แล้ว. สำหรับการกำจัดสารอาหารนั้น จากการศึกษาการทำงานจากระบบบีเอพี พบว่าถูกกำจัดไปเกือบหมด ในดังที่สี่หรือห้า ซึ่งดังที่เหลือก็มีได้ทำหน้าที่กำจัดสารอาหารอีกต่อไป การยุบจำนวนดังลงจึงมิได้กระทบกระเทือนต่อคุณลักษณะของน้ำที่บำบัดแล้วเท่าใด.

หากผลของการเปลี่ยนแปลงระบบเป็นที่น่าพอใจ ก็อาจจะพิจารณาตัดถังเติมอากาศออกบ้าง เป็นการลดค่าใช้จ่ายต่อไป เพราะหากสามารถควบคุมประชากรจุลชีพแบบเส้นใยได้อย่างดี ผลก็อาจจะทำให้การทำงานของถังเติมอากาศบางส่วน เป็นส่วนเกินไป.

การเปลี่ยนแปลงในแบบอื่น ๆ เช่น เปลี่ยนแนวการไหลโดยไม่ต้องยุบถัง ก็อาจจะเป็นสิ่งที่เหมาะสม ซึ่งก็ควรจะมีการค้นคว้าวิจัยในเรื่องเหล่านี้ โดยเฉพาะต่อไป.

๔.๘ ความเข้มข้น ณ จุดต่าง ๆ ภายในถังตกตะกอน

การเลือกเวลาที่จะเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อหาความเข้มข้นของมวลแขวนลอยจะใช้วิธีสุ่มเอาช่วงที่ขึ้นตะกอนมีความสูงต่าง ๆ กัน และดังตกตะกอนทำงานในสภาวะค่อนข้างคงที่ ซึ่งได้ผลดังรูปที่ ๔.๑๔ ก-๔.๑๔ ฉ พอดีจะสังเกตเห็นได้ผลดังนี้

ก. ความเข้มข้นที่ระดับเดียวกันของดังตกตะกอน จะใกล้เคียงกันโดยมีแนวโน้มว่า ความเข้มข้นบริเวณริมดังตกตะกอนจะสูงกว่าตรงกลางเล็กน้อย.

ข. ความสูงของชั้นตะกอนตรงกลางสูงกว่าตรงริมเล็กน้อย ค่อย ๆ ลาดต่ำจากตรงกลางไปริม.

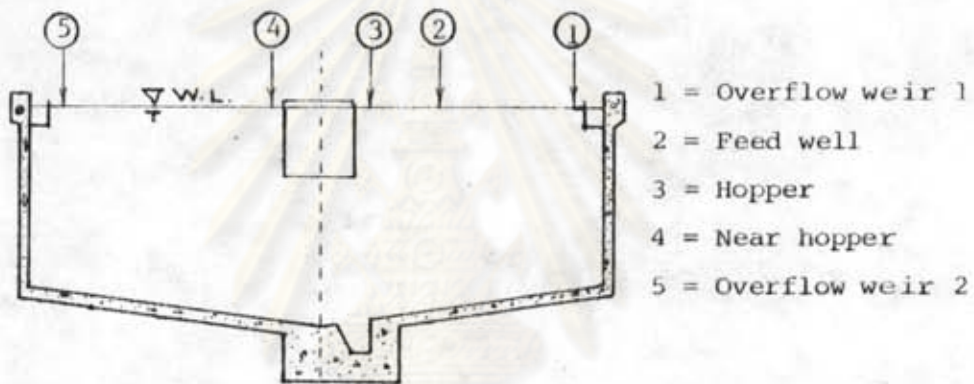
ค. ชั้นตะกอนเลนและชั้นน้ำใส มีการแบ่งชั้นกันชัดเจน เช่นเดียวกับที่พบในการทดสอบ โดยกระบอกตกตะกอน.

ง. ความเข้มข้นของตะกอนเลนค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องจากผิวของชั้นตะกอนเลนลงไปถึงกันดังตกตะกอน

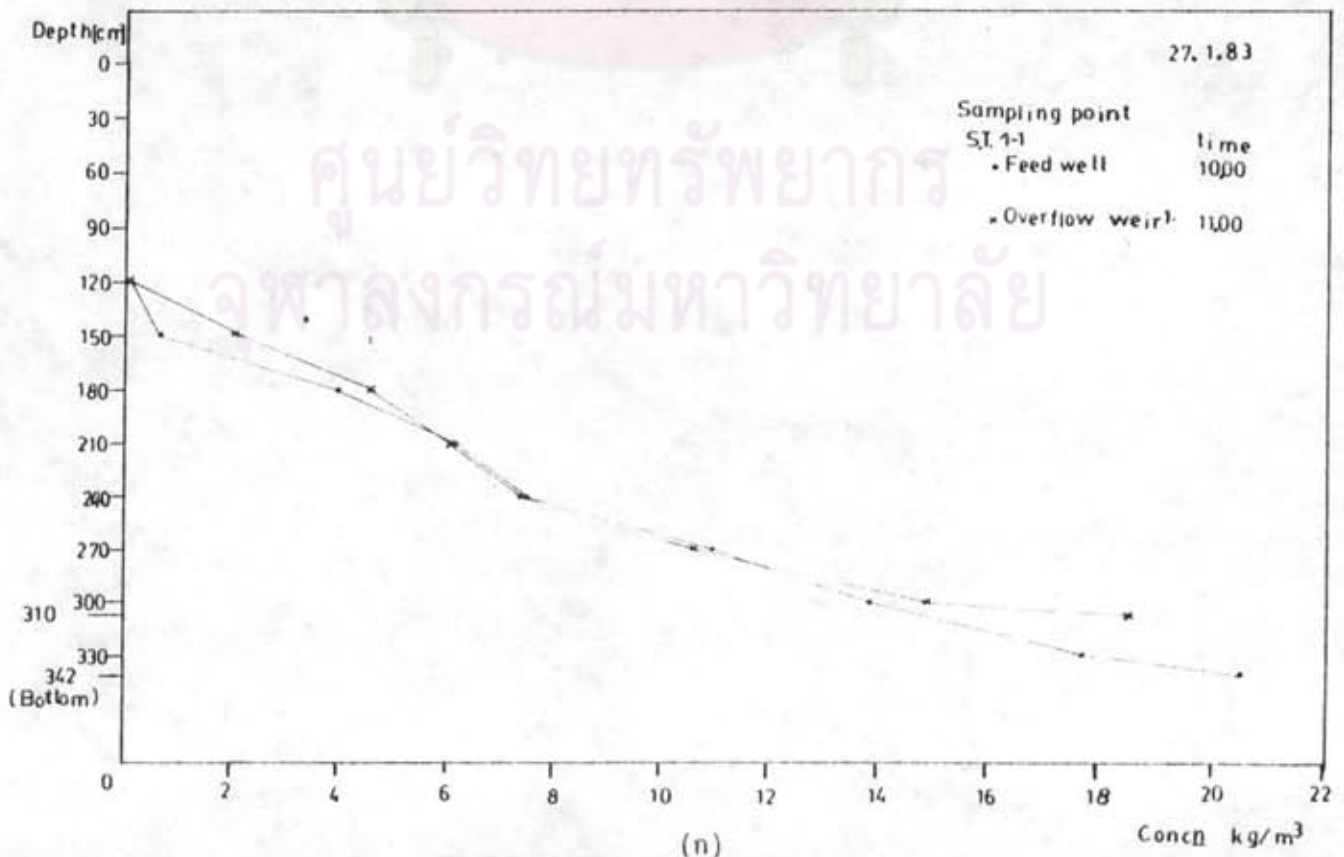
จ. แนวการเพิ่มของความเข้มข้นจะมีการหัก เพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็วที่บริเวณความเข้มข้นประมาณ ๘๐๐๐ - ๙๐๐๐ มก./ล. ซึ่งระดับนี้จะอยู่สูงจากกันดังประมาณ

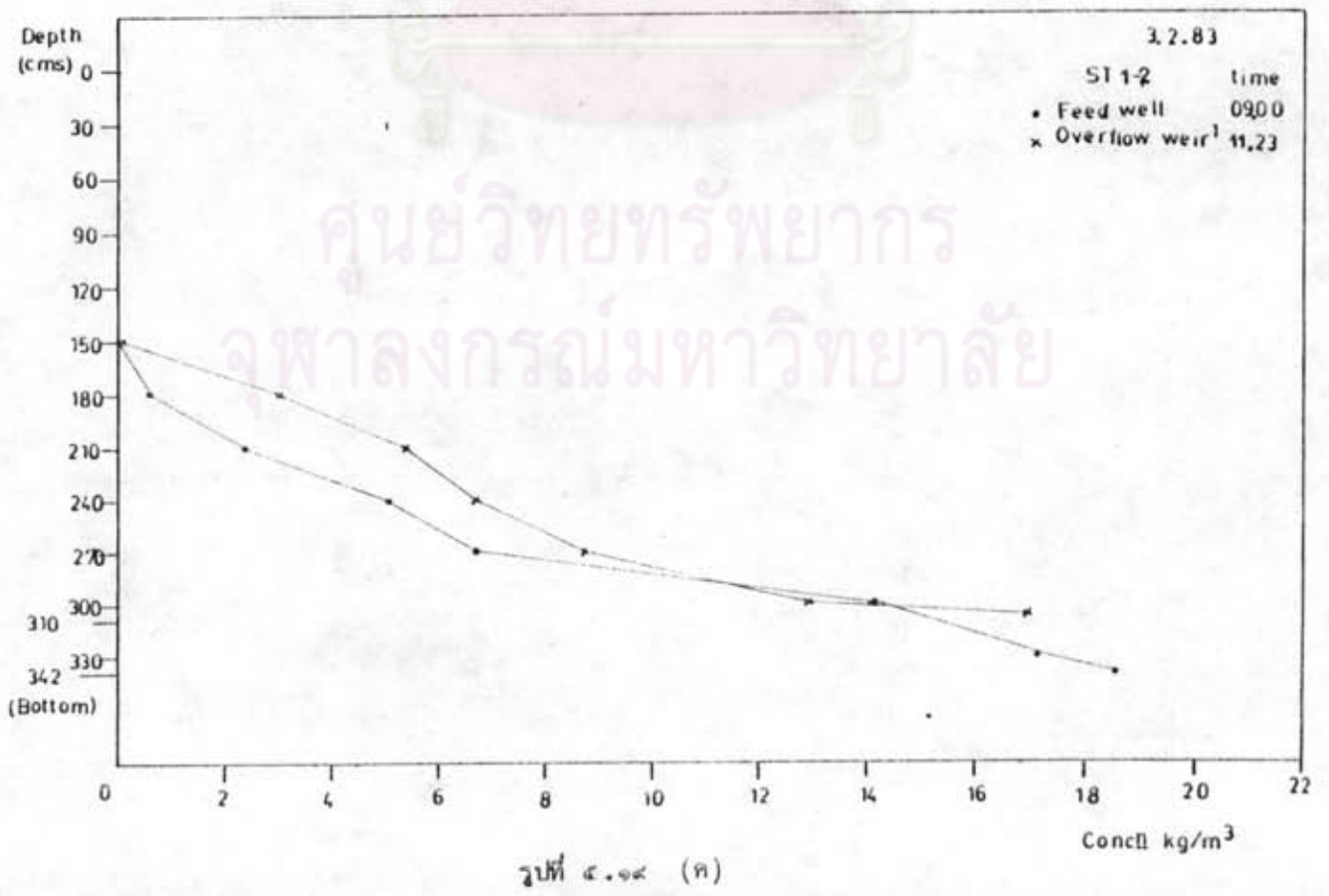
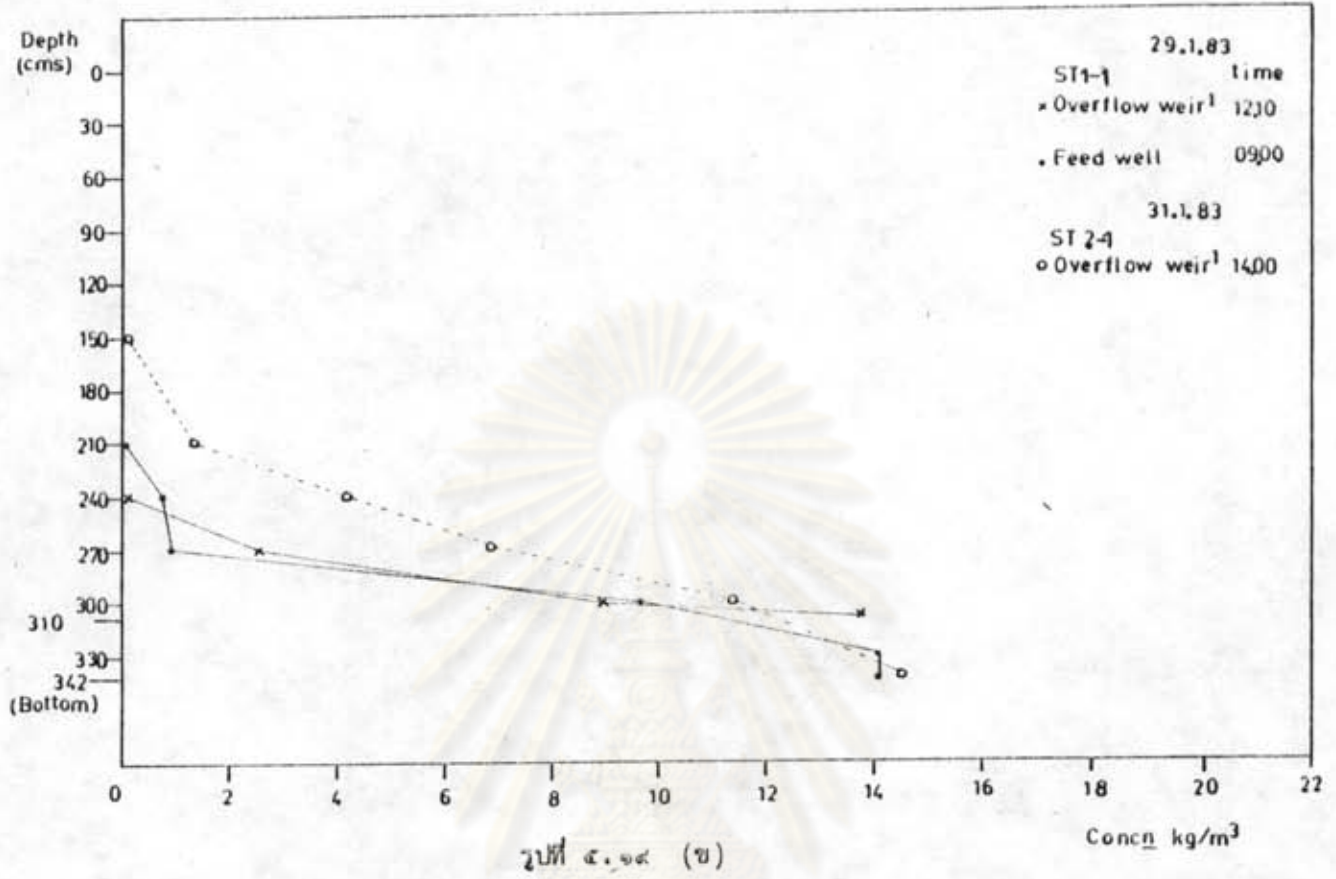
๖๐ - ๘๐ ซม. ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่า เป็นชั้นการเปลี่ยนแปลงจากการตกตะกอนแบบชั้น เป็นการตกตะกอนแบบอัดตัว (compressive settling). เมื่อดูกราฟของการตกตะกอนก็จะพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะ เส้นกราฟในช่วงความเข้มข้นระดับนี้เช่นกัน (รูปที่ ๔.๑๔)

จ. ความเข้มข้นของตะกอนเลนที่ดูออกจากกันดังตกตะกอน มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่วัดได้ที่กันดังตกตะกอน จากการคิดโดยใช้สมการสมดุลของมวลหาความเข้มข้นของมวลแขวนลอยขาออก แล้วเปรียบเทียบกับ ความเข้มข้นที่กันดังตกตะกอนพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ ๔.๒)

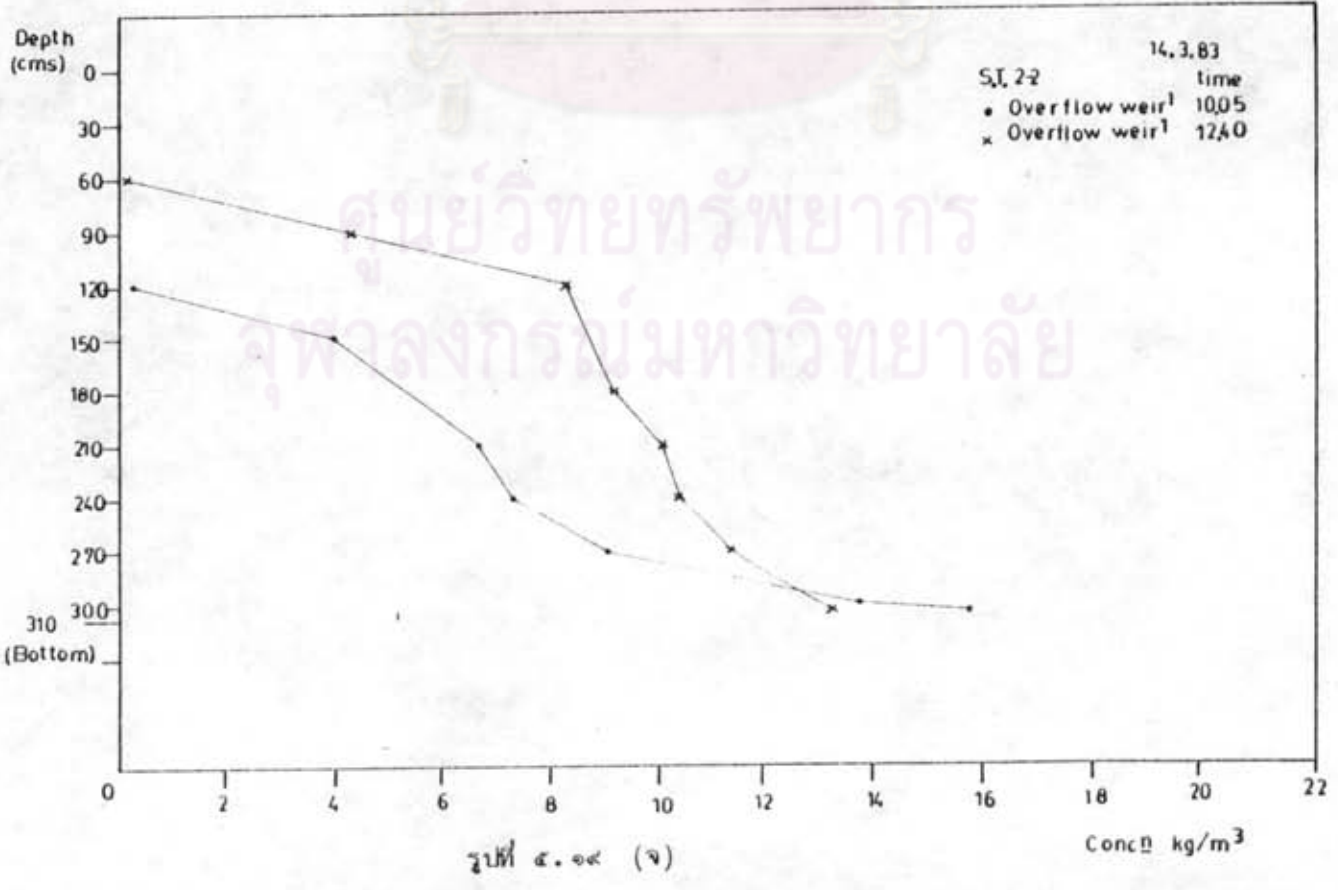
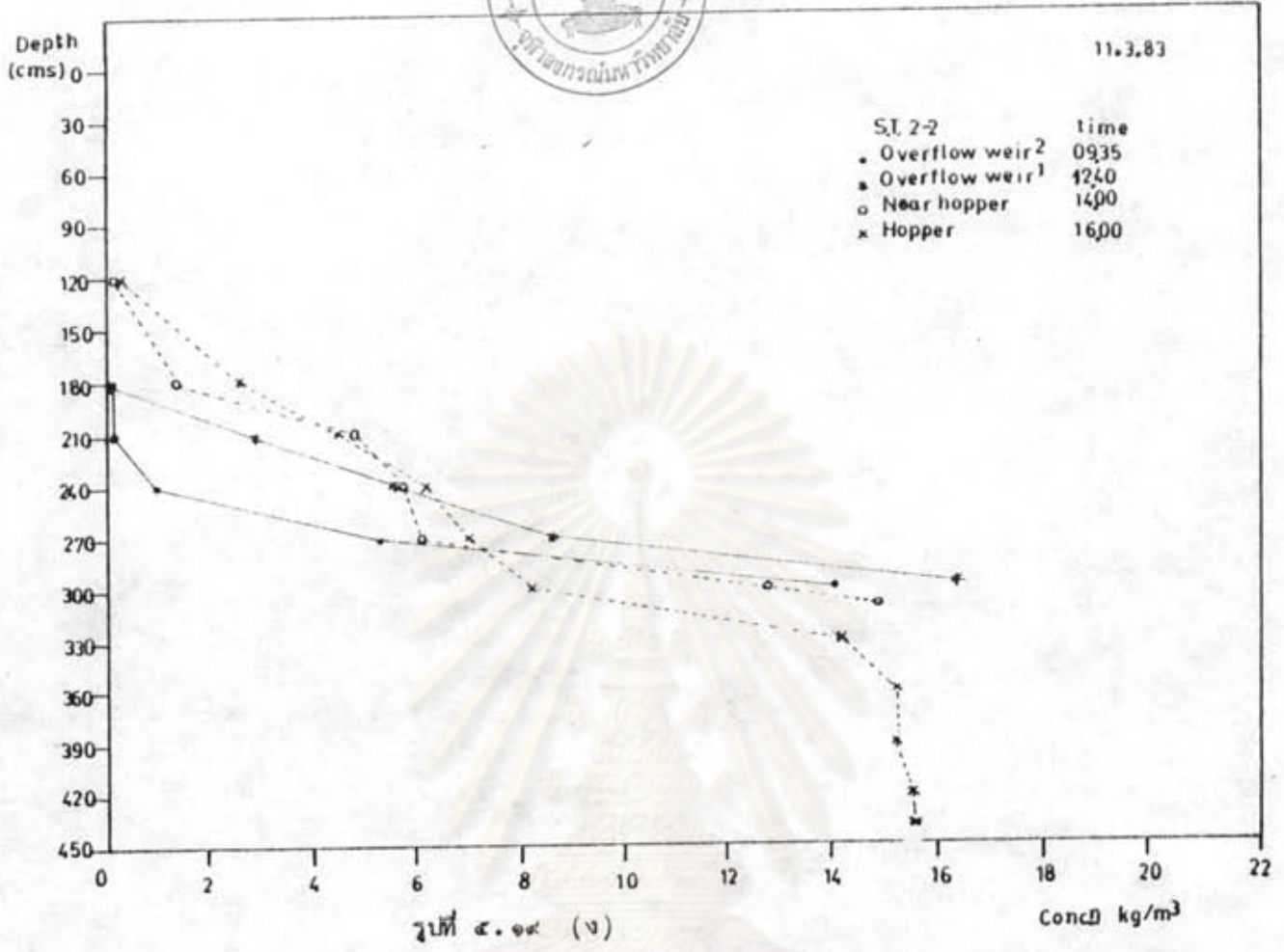


รูปที่ ๔.๑๔ แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ





ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ช. แบบของแนวความเข้มข้นของชั้นตะกอนไม่เหมือนกัน เช่นในวันที่ ๒๗ มกราคม กับวันที่ ๑๑ มีนาคม. มีความสูงของชั้นตะกอนเลนใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้นที่ได้ดังตักตะกอนของวันแรกสูงกว่าวันหลัง ในวันที่ ๒๔ มกราคม กับวันที่ ๑๔ มีนาคม. ความเข้มข้นขาออกใกล้เคียงกัน แต่ความสูงของชั้นตะกอนเลนไม่เท่ากัน เป็นต้น.

ตารางที่ ๕.๒ แสดงสภาวะการทำงานของถังตกตะกอน ขณะที่ทำการตรวจสอบการทำงานของถังตกตะกอน บางวัน

| ITEM | DATE | | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | ๑๑.๓.๕๓ | ๑๑.๓.๕๓ | ๑๑.๓.๕๓ | ๑๔.๓.๕๓ | ๑๔.๓.๕๓ |
| Time | ๐๘๓๕ | ๑๒๔๐ | ๑๔๐๕ | ๑๐๐๕ | ๑๒๔๐ |
| Influent flow, m ³ /hr | ๑๖๐ | ๑๖๐ | ๑๖๐ | ๑๕๐ | ๑๕๐ |
| Return F, m ³ /hr | ๑๒๕ | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๑๒๕ |
| R, m ³ /hr | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๑๑๐ |
| MLSS, mg/l | ๗๒๒๐ | ๗๕๓๐ | ๗๖๕๐ | ๕๕๐๐ | ๑๐๑๑๐ |
| ST. F % | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ |
| R % | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ | ๕๐ |
| S.T. NO. | ST.๒-๒ | ST.๒-๒ | ST.๒-๒ | ST.๒-๒ | ST.๒-๒ |
| Applied flux, kg/m ² -hr | ๕.๕๘ | ๕.๕๖ | ๕.๗๕ | ๖.๕๓ | ๘.๖ |
| Bulk vel., m/hr | ๐.๕ | ๐.๕ | ๐.๕ | ๐.๕ | ๐.๕๘๖ |
| Return conen ¹ , mg/l | ๑๕๐๕๐ | ๑๕๙๘๐ | ๑๕๕๕๐ | ๑๗๕๐๐ | ๑๗๗๐๐ |
| Bottom conen ² , mg/l | ๑๕๐๓๐ | ๑๖๓๕๐ | ๑๕๙๕๐ | ๑๕๗๕๐ | ๑๓๒๕๐ |

๑. โดยการคำนวณ
๒. โดยการเก็บตัวอย่างน้ำ

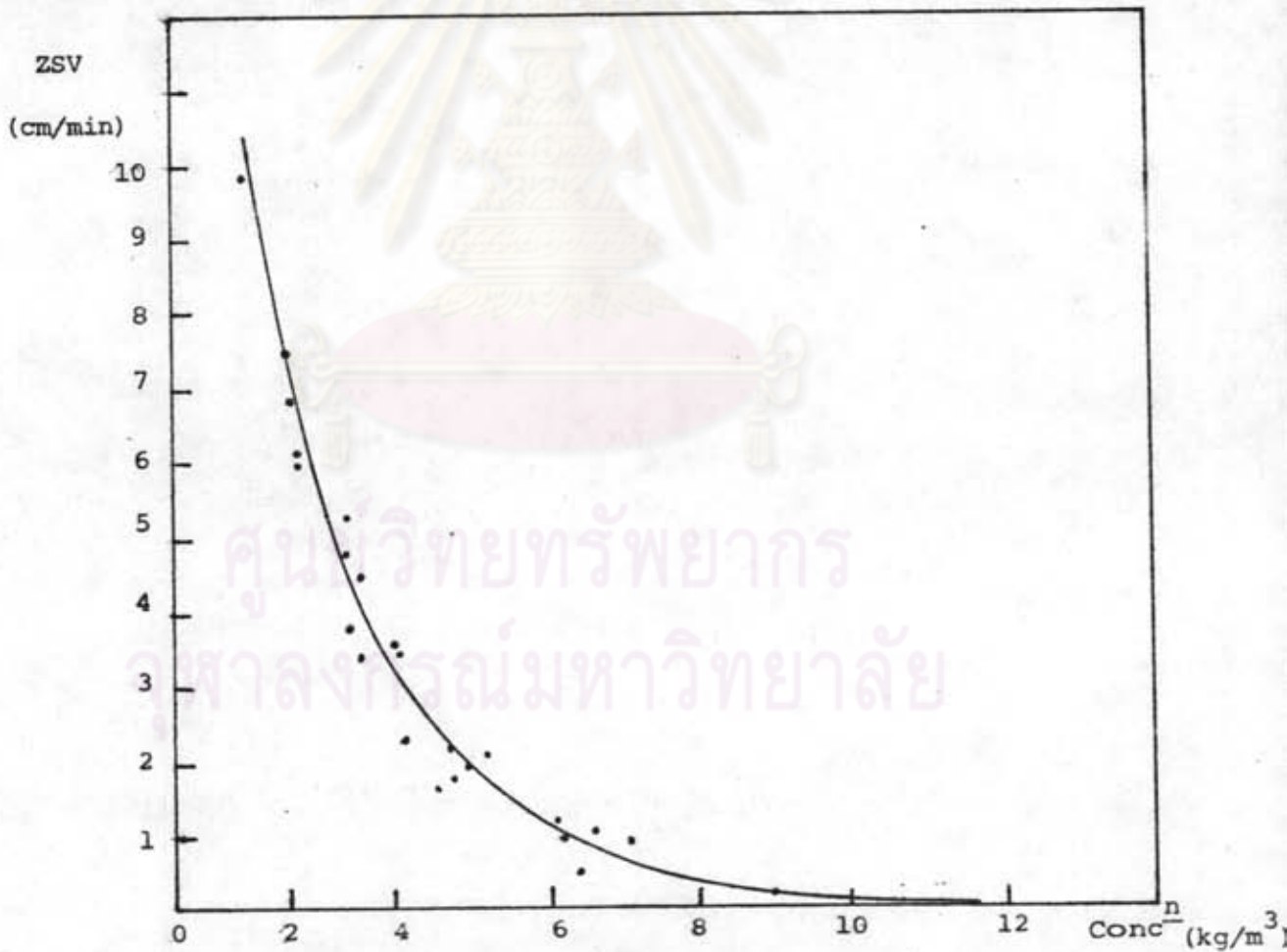
เมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบของ Resch, H. (49) และ Pflanz, P. (50)

ในการตรวจสอบแนวความเข้มข้นของมวลแขวนลอยในถังตกตะกอน ปรากฏว่าได้ผลคล้ายคลึงกัน คือ แนวความเข้มข้นของตะกอนเลนจะค่อย ๆ สูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อความลึกมากขึ้น และในระดับที่เท่ากัน ความเข้มข้นของตะกอนเลนจะใกล้เคียงกัน.

๔.๔ การหาค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด (limiting flux) ของถังตกตะกอน

จริง เปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากการทดสอบ โดยใช้ระบบอกตกตะกอน

การทดสอบทำที่สภาวะที่แตกต่างกันบ้างแบบ โดยการทดสอบหมายเลข ๑ ถึง ๓ ทำที่อัตราการรับน้ำตะกอน ๔๐, ๑๑๐, ๑๒๐ ม.^๓/ชม. ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำตะกอนค่อนข้างคงที่ ประมาณ ๔๐๐๐ มก./ล. และได้ทำการทดลองวัดความสูงของชั้นตะกอนเลนที่สภาวะสม่ำเสมอ ๗ อัตราเวียนตะกอนแต่ละค่าด้วย จึงได้กราฟของการทดลองดังรูปที่ ๔.๒๑ ส่วนการทดลองหมายเลข ๔ และ ๕ ทำที่อัตราการรับน้ำและความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำตะกอน เป็น ๑๑๐ ม.^๓/ชม. ๔๒๑๐ มก./ล. และ ๑๐๐ ม.^๓/ชม. ๔๔๔๐ มก./ล. ตามลำดับ เป็นการหาค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด แต่เพียงอย่างเดียว.



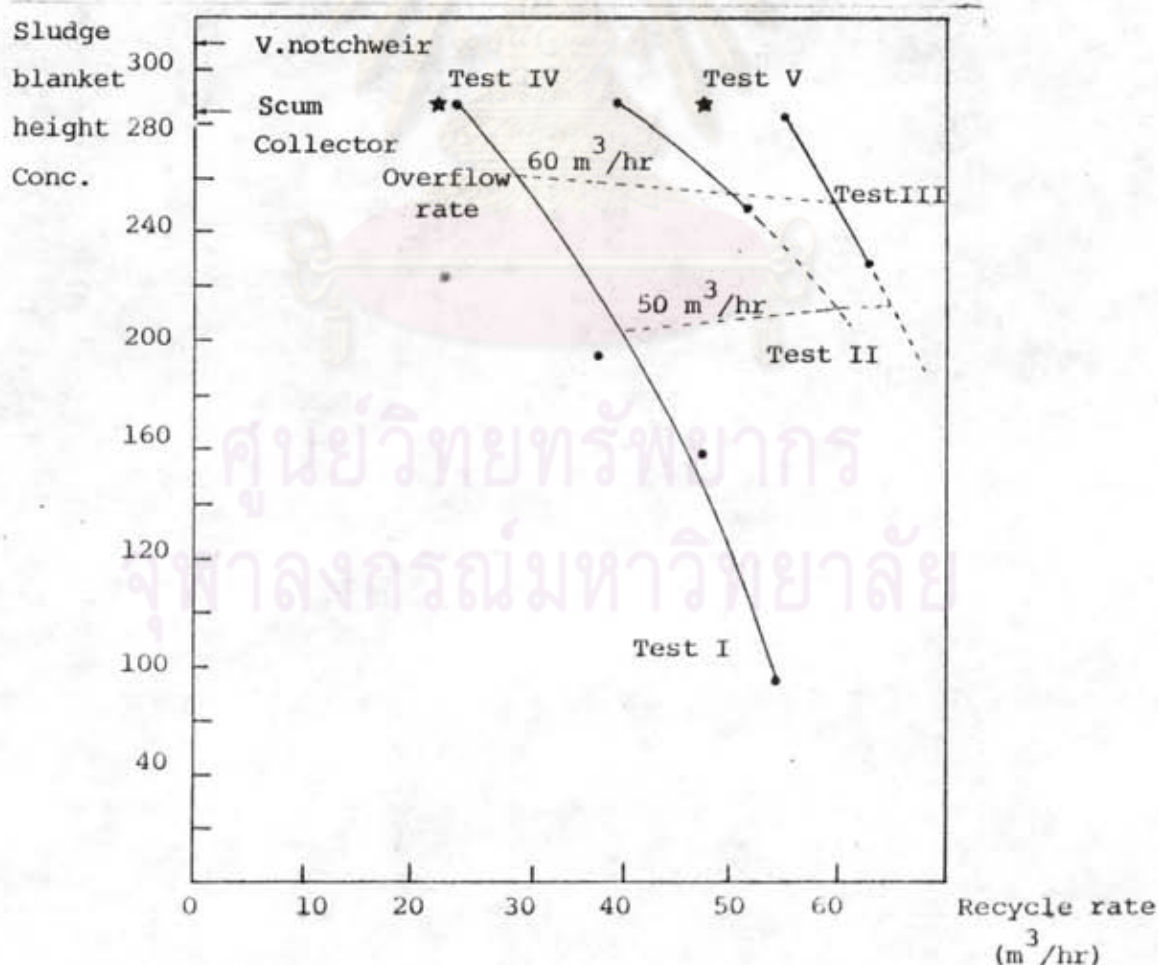
รูปที่ ๔.๒๐ ความเร็วในการตกตะกอนแบบชั้นของตะกอนเลนในช่วงทำการทดสอบหาค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด

(สิงหาคม ๒๕๒๖ - กันยายน ๒๕๒๖)

การทดสอบการตกตะกอนของตะกอนเลน ที่ความเข้มข้นของน้ำตะกอนระดับต่าง ๆ โดยใช้กระบอกตกตะกอนได้กระทำควบคู่กันไปด้วย เพื่อทำนายอัตราการรับมวลแข็งสูงสุด ที่ถึงตกตะกอนจะรับไว้ได้ ๗ อัตราเวียนตะกอนต่ำสุดที่ทำให้ตะกอนล้นออกจากถังตกตะกอนพอดี. ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาส่วนอัตราการรับมวลแข็งสูงสุดนี้ ความเร็วในการตกตะกอนที่วัดได้ จะใกล้เคียงกันตลอดการทดลองทั้งรูปที่ ๕.๒๐ ดังนั้น การนำข้อมูลของวันต่าง ๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน จึงอยู่ภายใต้สมมติฐานว่า คุณสมบัติในการตกตะกอนของตะกอนเลนไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก.

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูลพอจะรวบรวมได้ดังนี้

๑. เมื่อลดอัตราเวียนตะกอนลง โดยให้อัตราการรับน้ำตะกอนและความเข้มข้นของน้ำตะกอนคงที่ (คือสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งคงที่ด้วย) ชั้นตะกอนเลนจะเพิ่มสูงขึ้น. ในการทดสอบหมายเลข ๑ ถึง ๓ ที่ค่าอัตราเวียนตะกอนค่าหนึ่ง จะมีความสูงของชั้นตะกอนเลนที่สภาวะสม่ำเสมอ คงที่ค่าหนึ่งด้วย ดังรูปที่ ๕.๒๑



รูปที่ ๕.๒๑ ความสูงของชั้นตะกอนเลน ณ สัดส่วนอัตราการรับมวลแข็ง และอัตราเวียนตะกอนต่าง ๆ กัน

๒. ที่อัตราเวียนตะกอนที่เท่ากัน ชั้นตะกอนเลนจะสูงขึ้น เมื่ออัตราการรับน้ำ ตะกอนเพิ่มขึ้น (คืออัตราการรับมวลแข็งเพิ่มขึ้น).

๓. อัตราส่วนค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัดที่รับได้จริง ค่อค่าที่คำนวณได้จาก การทดสอบโดยใช้ระบอบตกตะกอน สำหรับการทดลองนี้มีค่าระหว่าง ๑.๒๖ - ๒.๓๓ โดยมีแนวโน้มว่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งคือ เมื่อค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งสูงขึ้น ค่าอัตราส่วนนี้จะลดลง ดังแสดงในตารางที่ ๔.๓

ตารางที่ ๔.๓ ผลการทดสอบการหาค่า สัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด ของ ดินตม ตะกอนจริง และค่าที่คำนวณได้จากการทดสอบ โดยใช้ระบอบตกตะกอน

| รายการ | การทดสอบที่ ๑ | การทดสอบที่ ๒ | การทดสอบที่ ๓ | การทดสอบที่ ๔ | การทดสอบที่ ๕ |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| อัตราการรับน้ำ, $m^3/ชม.$ | ๔๐ | ๑๑๐ | ๑๒๐ | ๑๑๐ | ๑๐๐ |
| อัตราการรับน้ำต่อพื้นที่, $m^3/m^2/ชม.$ | ๐.๘ | ๐.๘๗ | ๑.๐๖ | ๐.๘๗ | ๐.๘๘๔ |
| อัตราเวียนตะกอนค่าสุด, $m^3/ชม.$ | ๒๔.๔ | ๓๔ | ๔๔ | ๒๓.๗ | ๔๔.๔ |
| อัตราเวียนตะกอนค่าสุดต่อพื้นที่ $m^3/m^2-ชม.$ | ๐.๒๑๗ | ๐.๓๔๕ | ๐.๔๘๖ | ๐.๒๑ | ๐.๔๐๒ |
| สัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด ของ <u>ดินตม</u> ตะกอนจริง กก. / $m^2-ชม.$ | ๓.๔ | ๔.๘ | ๕.๓๑ | ๔.๐๔ | ๕.๒ |
| สัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด จากการทดสอบโดยใช้ระบอบตกตะกอน, กก. / $m^2-ชม.$ | ๒.๑๕ | ๓.๗ | ๔.๒ | ๒.๑ | ๓.๔ |
| อัตราส่วนค่าจริง/ค่าตามทฤษฎี | ๑.๘๑ | ๑.๓ | ๑.๒๖ | ๒.๓๓ | ๑.๕๓ |
| ความเข้มข้นตะกอนเวียนกลับ $mg./l.$ | ๑๘๓๐ | ๑๓๓๐ | ๑๐๔๑๐ | ๑๔๔๕๐ | ๑๒๕๒๐ |

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของ ดินตม ตะกอน ๑๑๓.๑ m^2 ปริมาตร ดินตม ตะกอน ๓๔๐ m^3

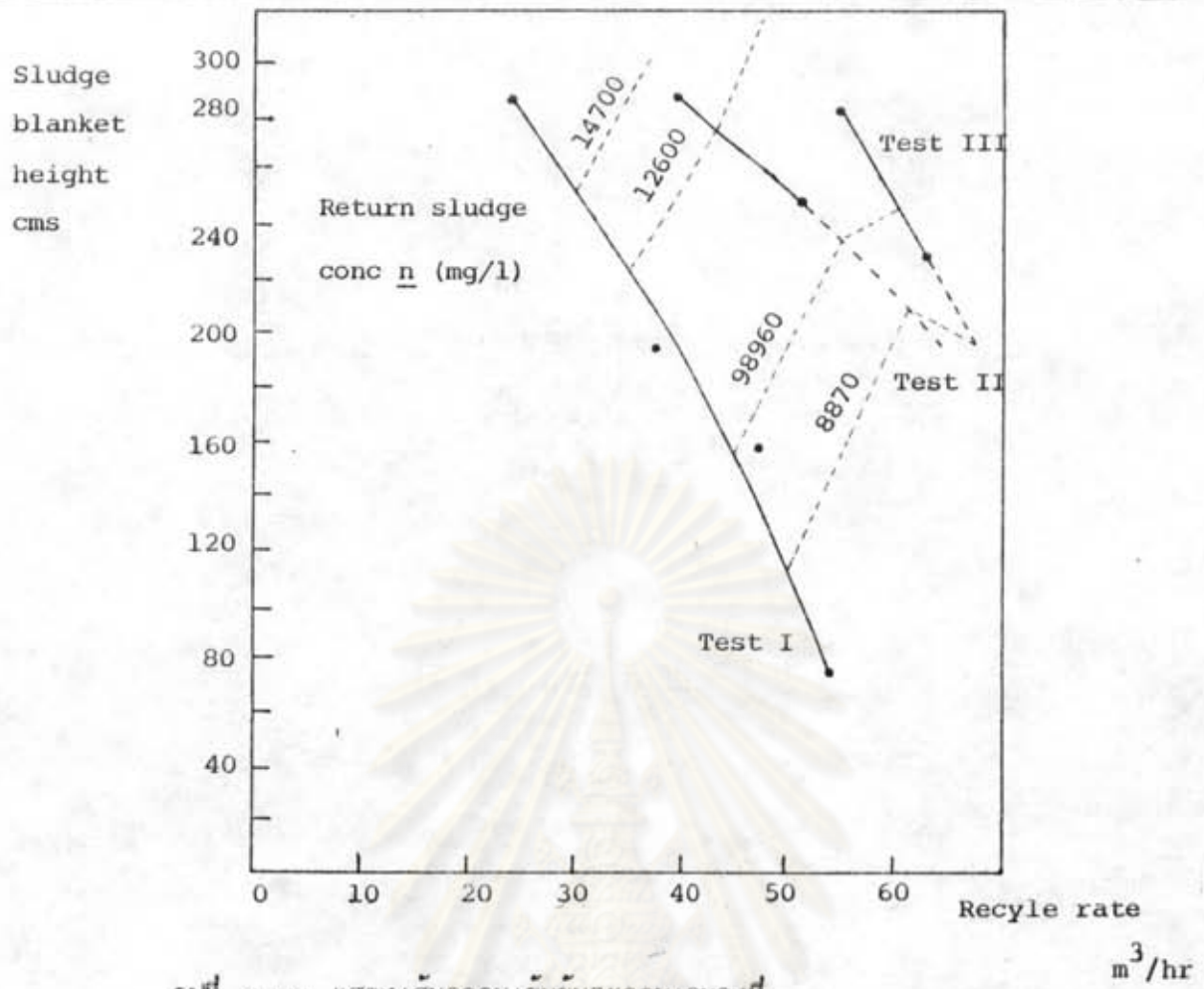
๔. การที่ตะกอนล้นจากถังตกตะกอน เกิดขึ้นจากการที่ชั้นตะกอนเลนสูงเกินกว่า ความสูงของถังตกตะกอน. ความสูงของถังตกตะกอนจึงควรมีผลต่อประสิทธิภาพและความสามารถในการรับมวลแข็งของถังตกตะกอน, ซึ่งจะทำให้ค่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัดของถังตกตะกอนจริงขึ้นกับความสูง ของถังตกตะกอนด้วย. ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้จึง เป็นค่าที่ใช้เฉพาะถังตกตะกอนแบบกลม ที่มีความสูงประมาณ ๓.๕ เมตร เท่านั้น.

๕. จากเส้นอัตราน้ำล้นผิวคงที่ ในกราฟรูปที่ ๔.๒๑ (หมายถึงการที่อัตราไหลของน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบคงที่) ชั้นตะกอนเลนจะมีความสูงค่อนข้างคงที่ เมื่อเพิ่มอัตราการเวียนตะกอน. การนี้พอจะวินิจฉัยได้ว่าการเพิ่มอัตราเวียนตะกอน แม้ว่าจะทำให้ดูเหมือนว่าถังตกตะกอนจะสามารถรับมวลแข็งได้มากขึ้น แต่ความเป็นจริงแล้วมวลแข็งที่เพิ่มขึ้น มาจากอัตราการรับน้ำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเวียนตะกอนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราเวียนตะกอนในสภาวะการทำงานจริง จึงไม่ก่อให้เกิดผลดีต่อการทำงานของถังตกตะกอนแต่อย่างใด. นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนเลนใต้ถังตกตะกอนที่อัตราน้ำล้นเท่ากันแล้ว ปรากฏว่าความเข้มข้นจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเวียนตะกอนขึ้น ดังตัวอย่างในตารางที่ ๒ ซึ่งหมายความว่า ถังตกตะกอนจะมีประสิทธิภาพในการทำให้ชั้นลดลง เมื่ออัตราเวียนตะกอนเพิ่มขึ้น.

ตารางที่ ๔.๔ แสดงความเข้มข้นของตะกอนเลนใต้ถังตกตะกอน ณ อัตราน้ำล้นผิว และอัตราเวียนตะกอนคู่หนึ่ง ๆ เมื่อความเข้มข้นของน้ำตะกอนค่อนข้างคงที่ ประมาณ ๔๐๐๐ มก./ล.

| อัตราเวียนตะกอน ม ^๓ /ชม. | ๓๐ | ๔๐ | ๕๐ | ๖๐ | ๖๕ |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| อัตราน้ำล้นผิว ม ^๓ /ชม. | | | | | |
| ๔๐ | — | ๑๑๐๐๐ | — | ๔๐๖๐ | ๔๒๓๐ |
| ๖๐ | ๑๓๔๐๐ | — | ๑๐๘๗๐ | ๑๐๐๐๐ | — |

๖. ความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถทำได้ของตะกอนเวียนกลับ คือความเข้มข้น ณ จุดที่ตะกอนล้น จะลดลงเมื่ออัตราการรับมวลแข็งสูงขึ้น จาก ๑๔๔๕๐ มก./ล. เหลือ ๑๐๔๑๐ มก./ล. ดังตารางที่ ๔.๔ หรือเมื่อรักษาให้ความเข้มข้นของตะกอนเวียนกลับให้คงที่ เมื่อมีการเพิ่มอัตราการรับมวลแข็ง ชั้นตะกอนเลนจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วดังรูปที่ ๔.๒๒



รูปที่ ๔.๒๒ แสดงเส้นความเข้มข้นตะกอนเลนคองที่

๗. อิทธิพลของความปั่นป่วนและการไหลของน้ำในถังตกตะกอน เมื่อพิจารณาการทดสอบหมายเลข ๔ และ ๕ ที่ความเข้มข้นของน้ำตะกอนเปลี่ยนไปจะเห็นว่าจุดที่ตะกอนล้นยังอยู่ในช่วงที่ควรจะเป็น เมื่อทำนายจากผลการทดสอบหมายเลข ๑ ถึง ๓ โดยใช้อัตราการรับมวลแข็งเป็นตัวกำหนด. ดังนั้นจึงพอจะแสดงได้ว่า ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไป ของการทดสอบหมายเลข ๔ และ ๕ ไม่มี ผลมากนัก ซึ่งหมายความว่าค่าอิทธิพลจากความปั่นป่วนอันเนื่องมาจากการไหลของน้ำมีอยู่น้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความปั่นป่วนในถังตกตะกอนเมื่ออยู่ในระดับต่ำอยู่แล้ว จึงไม่ทำให้เกิดผลอันใดที่เด่นชัด.

๘. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการทำงานของถังตกตะกอน ควรจะใช้อัตราการเวียนตะกอนต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพของถังตกตะกอนน้อยมาก. นอกจากนี้ชั้นตะกอนเลนยังไม่ควรสูงเกิน ๒ เมตร เพื่อเป็นหลักประกันว่าไม่เกิดการล้นของมวลแขวนลอย ในกรณีนี้อาจเกิดความผิดพลาดบางอย่างขึ้น. ดังนั้นอัตราน้ำล้น และความเข้มข้นของน้ำตะกอนจะเป็นตัวกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมในการทำงานของถังตกตะกอน. สำหรับน้ำตะกอนที่มีคุณสมบัติ เช่นเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ อัตราน้ำล้นที่เหมาะสมควรจะเป็น

$0.44 \text{ ม.}^3/\text{ม.}^2\text{-ชม.}$ (หรือ $40 \text{ ม.}^3/\text{ชม.}$ ตามกราฟรูปที่ ๔.๒๒) ที่ความเข้มข้นของน้ำตะกอน 4000 มก./ล. สำหรับการกำหนดค่าอัตราเวียนตะกอนที่เหมาะสมนั้น ควรจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนกันดังที่ต้องการ. จากการสังเกตระหว่างการทดสอบ ซึ่งใช้ค่าความเข้มข้นตะกอนเลนอยู่ในช่วงประมาณ $10,000 - 20,000 \text{ มก./ล.}$ ความเข้มข้นที่เหมาะสมควรจะอยู่ประมาณ $14,000 \text{ มก./ล.}$ เพราะถ้าหาสูงกว่านี้จะทำให้ตะกอนถูกกักอยู่ในถังตกตะกอนในปริมาณมาก และเป็นเวลานานเกินไป จะทำให้เกิดการเน่าเหม็นขึ้น และถ้าต่ำไปกว่านี้ก็จะเป็นการใช้ความสามารถในการทำให้เข้มข้น ของถังตกตะกอนไม่เต็มที่.

ผลการทดสอบนี้ โดยทั่วไปสอดคล้องกับผลการทดลองที่เคยมีผู้วิจัยมาบ้างแล้วจากรายงานของ White, M.J.D. (52) พบว่า สัดส่วนอัตราการรับมวลแห้งจำกัดของถังตกตะกอนภายใต้สภาวะจริงจะอยู่ในช่วง $\pm 20\%$ ของค่าที่ทำนายโดยทฤษฎีสัดส่วน อัตราการรับมวลแห้งเมื่อสัดส่วนอัตราการรับมวลแห้งอยู่ในระหว่าง $3.4 - 11.2 \text{ กก./ม.}^2\text{-ชม.}$ ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบครั้งนี้ในช่วงที่สัดส่วนอัตราการรับมวลแห้งสูงกว่า $4.4 \text{ กก./ม.}^2\text{-ชม.}$ ขึ้นไป.

จากการทดลองของ Gorge, D.B., and Keinath, T.M. ได้ผลว่าสัดส่วนอัตราการรับมวลแห้งจำกัดของกระบอกตกตะกอนแบบต่อเนื่องจะสูงกว่าค่าที่ทำนายโดยทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแห้ง.

การค้นคว้าของ Anderson, H.M., and Edwards, R.V. (42) พบว่าการเกิดความเป็นปูนในถังตกตะกอน มีผลต่อการทำนายการทำงาน ซึ่งทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแห้งมิได้ครอบคลุมไว้ โดยเฉพาะเมื่อมีอัตรารับน้ำสูงถึง $4.6 - 14.6 \text{ ม.}^3/\text{ม.}^2\text{-ชม.}$ ซึ่งเป็นอัตราที่สูงกว่าเกณฑ์การใช้งานปกติ

การค้นคว้าของ Tuntoolavest, M. (47) พบว่าอัตราน้ำดื่ม มีผลต่อการทำงานด้านการทำให้ใส (clarification) ของถังตกตะกอน.

เมื่อเปรียบเทียบค่าเกณฑ์ที่ได้จากการทดสอบ กับค่าที่ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนปกติปรากฏว่าอยู่ในช่วงเดียวกัน ดังตารางที่ ๔.๕

ตารางที่ ๔.๕ เปรียบเทียบเกณฑ์ของถังตกตะกอนปกติ และจากการทดสอบ

| รายการ | อัตราน้ำล้น ม. ^๓ /ม. ^๒ -ชม. | อัตราการรับมวลแข็ง กก./ม. ^๒ -ชม. |
|------------------|--|--|
| เกณฑ์ปกติ | ๐.๖๗ - ๑.๓๓ | ๔.๑ - ๖.๑ |
| เกณฑ์จากการทดสอบ | ๐.๔๔ | ๔.๐ - ๔.๑ |

๔.๔ การประยุกต์ทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งในการควบคุมและออกแบบถังตกตะกอนสุดท้าย

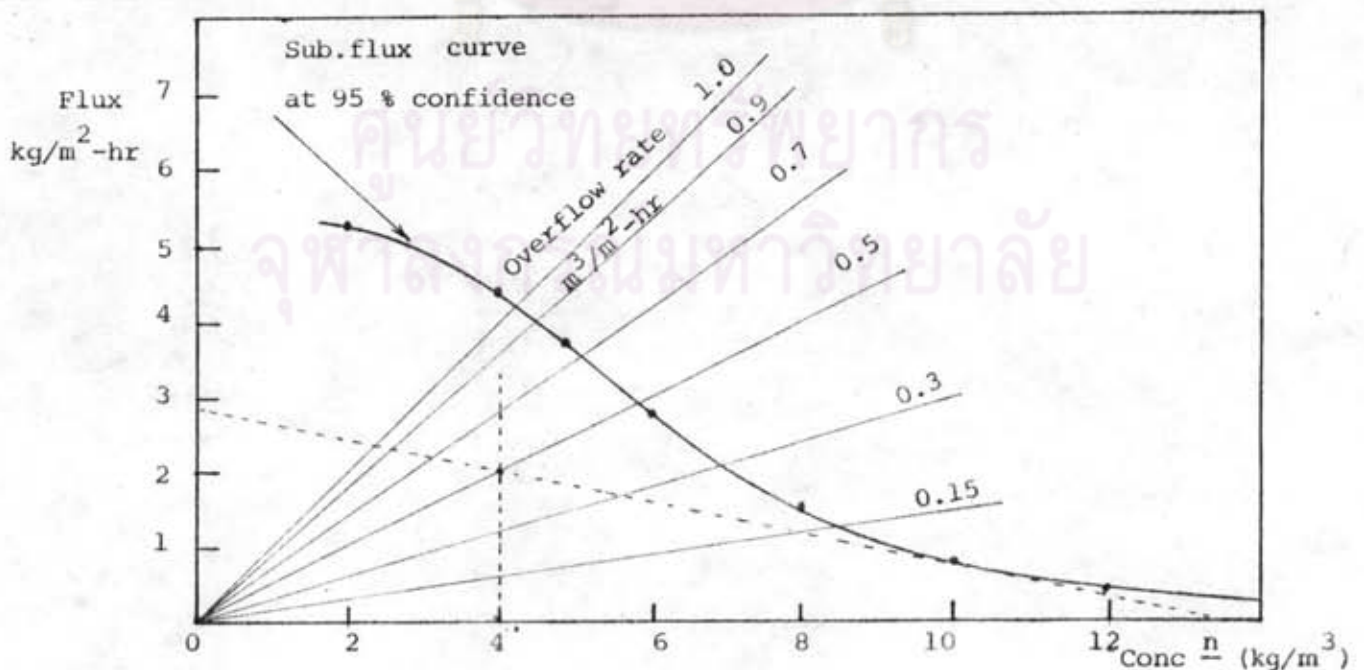
จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ในหัวข้อ ๔.๗ พอที่จะทำให้มองเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราเวียนตะกอนนั้น มิได้มีผลต่อประสิทธิภาพของถังตกตะกอนเท่าใด. ส่วนเกณฑ์ที่เหมาะสมในการควบคุมการทำงานของถังตกตะกอนก็อยู่ในช่วงมาตรฐาน ที่ใช้ในการออกแบบทั่วไป. ดังนั้นการหาค่าอัตราเวียนตะกอนที่เหมาะสมโดยใช้ทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งในการควบคุมการทำงานของถังตกตะกอนจึงเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็นนัก. อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการใช้เกณฑ์แต่อย่างเดียวยังมีข้อบกพร่องคือ ไม่ครอบคลุมถึงค่าความสามารถในการตกตะกอนของตะกอนเลน ซึ่งสามารถวัดออกมาในรูปของความเร็วในการตกตะกอน หรือตัวอื่น ๆ ที่มีผู้ศึกษาไว้. ทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็ง เป็นทฤษฎีที่ใช้คุณสมบัติในการตกตะกอนของตะกอนเลน เพื่อหาสภาวะที่พอเหมาะต่อการทำงานของถังตกตะกอน ซึ่งเป็นแนวคิดที่สมบูรณ์กว่าการใช้เกณฑ์ หากแต่ว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง มีความเบี่ยงเบนจากทฤษฎีพอสมควร ดังการทดสอบที่ได้ทำมา.

สาเหตุแห่งการเบี่ยงเบนของการทำงานของถังตกตะกอนจริงจากทฤษฎีนี้ เป็นการยากที่จะสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากองค์ประกอบอันไหนอย่างแน่นอน. เมื่อพิจารณาโดยรวม ๆ พอจะกล่าวได้ว่า เกิดจากความแตกต่างในธรรมชาติ พื้นฐานของการตกตะกอนแบบเป็นตอน (batch) ที่ใช้ในการหาค่าทางทฤษฎี กับการตกตะกอนแบบต่อเนื่อง (continuous) ที่ใช้ทำงานจริง. ความแตกต่างเหล่านี้พอจะยกตัวอย่าง โดยการรวบรวมผลจากที่มีผู้ศึกษาค้นคว้ามาทั้งหมด ได้แก่

ระดับความปั่นป่วนที่เกิดขึ้น ผลอันเนื่องมาจากมีความแตกต่างกันระหว่างความเข้มข้นในชั้นต่าง ๆ ของถังตกตะกอน ซึ่งไม่เกิดในกระบอกตกตะกอน, ความกดดันที่เกิดขึ้น เนื่องจากทั้งน้ำหนักของตะกอนเลน, ความสูงของถังตกตะกอน ซึ่งหากน้อยไปจะทำให้ตะกอนล้นก่อนถึงสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด เป็นต้น. สาเหตุแห่งความเบี่ยงเบนต่าง ๆ เหล่านี้ ควรจะมีผู้ศึกษาริวิจัยต่อ เพื่อให้ได้ความรู้ที่ชัดเจน ที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนให้เหมาะสมเจาะในการทำงานต่อไป.

เนื่องจากการใช้เกณฑ์หรือการใช้ทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งอย่างใดอย่างหนึ่งต่างก็มีข้อบกพร่องอยู่ ดังกล่าว และภายในระยะเวลาอันจำกัดก็เป็นการยากที่จะสามารถหาวิธีที่ได้ผลถูกต้องสมบูรณ์ มาใช้ได้, การประยุกต์ทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งต่อไปนี้ จึงเป็นเพียงความพยายามที่จะให้ได้ ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ออกแบบและควบคุมการทำงานของถังตกตะกอนได้ใกล้เคียงกับความพอดีมากที่สุด ภายใต้ขอบเขตความรู้เรื่องการทำงานของถังตกตะกอนที่มีอยู่ในปัจจุบัน และข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยในครั้งนี้.

จากผลการทดสอบการทำงานของถังตกตะกอนในหัวข้อ ๔.๔ พอที่จะกล่าวได้ว่าการออกแบบถังตกตะกอนตามวิธีของโยชิโอกา จะได้ถังตกตะกอนที่รับมวลแข็งได้มากกว่าที่ออกแบบไว้เป็นอัตราส่วนอยู่ในช่วง ๑.๒๖-๒.๓๓ ซึ่งพอจะถือได้ว่า เป็นค่าความปลอดภัยในการออกแบบถังตกตะกอน.



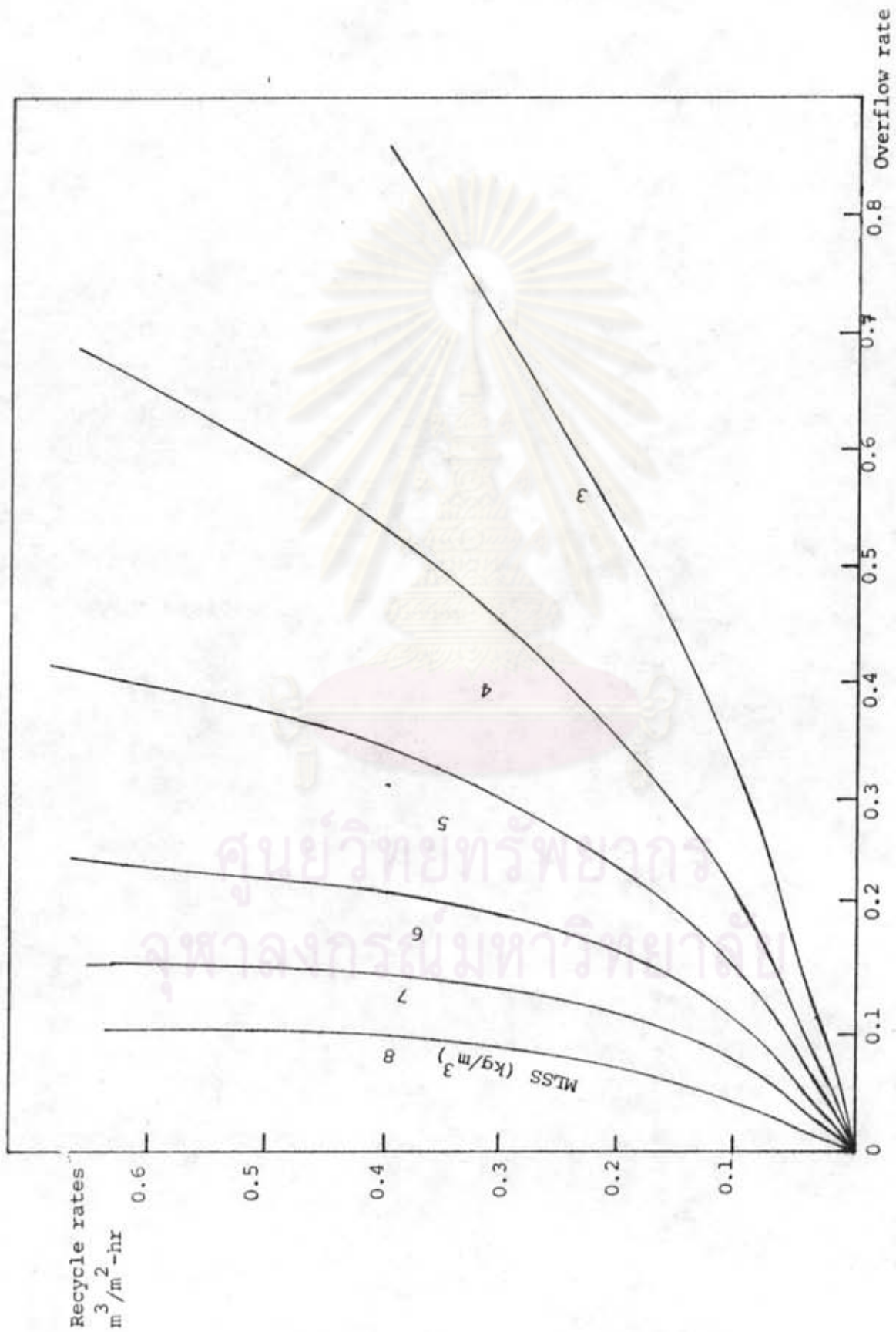
รูปที่ ๔.๒๓ แสดงการหาสัดส่วนอัตราการรับมวลแข็งจำกัด และอัตราเวียนตะกอนที่เหมาะสม โดยมีขีดความเชื่อมั่น ๙๕ %

ตารางที่ ๔.๖ อัตราเวียนตะกอนที่เหมาะสม (m^3/m^2 -ชม.) โดยทฤษฎีสัดส่วนอัตราการรับ
มวลแข็ง

| อัตรา น้ำล้น m^3/m^2 /ชม. | ความเข้มข้น กก./ m^3 | ๓ | ๔ | ๕ | ๖ | ๗ | ๘ | ๙ |
|-----------------------------------|---------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ๑๕ | ๐.๐๒๘ | ๐.๐๔๓ | ๐.๐๕๘ | ๐.๐๘๕ | ๐.๑๒๗ | ๐.๒๑๕ | Overloa ded | Overloa ded |
| ๓ | ๐.๐๖ | ๐.๐๘๘ | ๐.๑๕๘ | ๐.๒๕๕ | Overloa ded | Overloa ded | | |
| ๔ | ๐.๑๑๘ | ๐.๒๐๖ | ๐.๓๕๕ | Overloa ded | Overloa ded | | | |
| ๗ | ๐.๑๘๓ | ๐.๓๕๒ | ๐.๗ | Overloa ded | | | | |
| ๘ | ๐.๒๗๓ | ๐.๕๒๘ | Overloa ded | | | | | |
| ๑๐ | ๐.๓๑๕ | ๐.๖๓๑ | Overloa ded | | | | | |

ข้อเสนอแนะในการควบคุมและออกแบบถังตกตะกอนสุดท้าย ของระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์
แบบบีเอพี ที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานเบียร์ บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่จำกัดหรือระบบอื่น ๆ ที่มี
คุณลักษณะตะกอนเลนคล้ายคลึงกัน จะอยู่ที่ตารางที่ ๔.๒๓ ซึ่งได้จากการคำนวณอัตราการเวียน
ตะกอนกลับต่ำสุด ที่พอดีกับอัตรามวลแข็งของถังตกตะกอนที่ความเข้มข้นของตะกอนเลนและอัตรา
น้ำทิ้งเข้าสู่ระบบต่าง ๆ กัน โดยใช้จุดหมุน (pivot point ดังในตารางที่ ๔.๖) ค่าสัดส่วน
อัตราการยวบยัว เนื่องจากน้ำหนักของตะกอนเลน (subsidence flux) จะได้จากการใช้
ค่าขีดจำกัดล่าง ของความเร็วในการตกตะกอน ที่ความเชื่อมั่น ๙๐ เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ ๔.๑๔)
มาคำนวณ

จากรูปที่ ๔.๒๔ พอจะสังเกตได้ว่า ยิ่งความเข้มข้นของมวลแขวนลอยจากถังเติมอากาศ
มากขึ้นเท่าใด ค่าอัตราน้ำล้นที่เหมาะสมจะยิ่งต่ำลง มิฉะนั้นจะเกินความสามารถของถังตกตะกอน
ซึ่งหมายความว่าถังตกตะกอนของระบบที่ทำงานด้วยมวลแขวนลอยที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า จะมีขนาด
เล็กกว่า ถังตกตะกอนของระบบที่ทำงานด้วยความเข้มข้นสูงกว่า แม้ว่าจะมีปริมาณมวลแขวนลอย
และอัตราการรับสารอาหารเท่ากัน. ดังนั้นการออกแบบถังตกตะกอนที่เหมาะสมจะต้องขึ้นอยู่กับ
การออกแบบถังเติมอากาศด้วย. การหาค่าความเข้มข้นของมวลแขวนลอยที่ทำให้ราคารวมของ



รูปที่ ๔.๒๔ สภาวะการทำงานของถังตกตะกอนที่เหมาะสม โดยมีขีดความเข้มข้น

๔๔ เปอริเซ็นต์

ระบบทั้งดึงเติมอากาศและดึงตกตะกอนต่ำสุด จะเป็นวิธีที่เหมาะสมในการออกแบบระบบแอคติ -
เวทเตดสลัดจ์ ซึ่งก็สอดคล้องกับแนวความคิดที่ได้มีผู้ไว้แล้ว เช่น McHarg, W.H. (40)
Keinath, T.M. etal (38) เป็นต้น.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย