

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน หลักการ และเหตุผล

กรมควบคุมมลพิษ และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย(2538) ได้ให้คำจำกัดความของสลัดจ์ไว้ว่า "สลัดจ์ เป็นของแข็งที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสียและจมสะสมตัวอยู่เบื้องล่าง หรือของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมีและเกิดการตกตะกอน หรือกลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา"

2.1.1 ประเภทของสลัดจ์

2.1.1.1 สลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปา

ส่วนใหญ่ของสลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปาเกิดจากระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารเคมี และการไอน้ำขาวเพื่อแก่น้ำกระด้าง โดยเป็นระบบที่ใช้สารโคแอกกูเลชันถึง 70 เปอร์เซ็นต์ (Borohardt et al, 1981 อ้างถึงใน Teerawat Luangurai, 1990) สลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปามีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1). การตกตะกอนขั้นแรก

เมื่อใช้แหล่งน้ำผิวดินมาผลิตน้ำประปา ถ้าแหล่งน้ำผิวดินนั้นมีสารปนเปื้อนอยู่มาก การนำมาตกตะกอนก่อนจะช่วยลดปริมาณของแข็งที่จะไปสะสมในหน่วยบำบัดที่อยู่ถัดมา ซึ่งสารที่สามารถจมตัวเหล่านี้ประกอบไปด้วย ทรายละเอียด, ดินตะกอน, ดินเหนียวและผลผลิตที่เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์

2). ถังตกตะกอนหลังจากการทำโคแอกกูเลชัน

ตะกอนส่วนนี้มักจะเป็นสลัดจ์ที่เกิดจากการทำโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารส้มหรือสารประกอบเหล็กบางตัว หรือสารเคมีอื่นๆ เช่น พีเอซีแอล หรือ ซิลิกาแกมมันต์ ฯลฯ

2.1.1.2 สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย

สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้เป็น สลัดจ์ขั้นต้น, สลัดจ์ขั้นที่สอง หรือสลัดจ์ชีวภาพ และสลัดจ์เคมี(USEPA, 1987).

1). สลัดจ์ขั้นต้น

สลัดจ์ขั้นต้นเป็นสลัดจ์ที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นต้น มักจะประกอบไปด้วยของแข็งอินทรีย์(organic solids), กรวดทราย(grit) และสารอนินทรีย์ละเอียด(inorganic fines)(WEF และ ASCE, 1992)

2). สลัดจ์ขั้นที่สอง

สลัดจ์ขั้นที่สองเป็นสลัดจ์ชีวภาพ ประกอบด้วยผลผลิตที่ถูกเปลี่ยนมาจากของเสียละลายซึ่งออกมาจากการบำบัดขั้นต้นและอนุภาคที่หลุดออกมา สลัดจ์ขั้นที่สองจะเกิดขึ้นโดยกระบวนการบำบัดต่างๆ เช่น แอ๊กทิเวเต็ดสลัดจ์, ระบบโปรยกรอง(trickling filter) และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ(rotating biological contactor) สลัดจ์ชีวภาพนี้จะทำให้เข้มข้น(thicken) หรือลดน้ำ(dewater)ได้ยากกว่าสลัดจ์ขั้นต้น(WEF และ ASCE, 1992)

3). สลัดจ์เคมี

สลัดจ์เคมีเป็นผลมาจากการเติมเกลือของอะลูมิเนียมหรือเหล็กและปูนขาวเพื่อปรับปรุงการกำจัดของแข็งแขวนลอยหรือเพื่อใช้ในการตกตะกอนฟอสฟอรัส สลัดจ์เคมีมักจะเกิดขึ้นพร้อมๆกับสลัดจ์ขั้นต้นหรือสลัดจ์ชีวภาพ หรือแยกไปเกิดในการบำบัดขั้นที่สาม บางครั้งจะมีการใช้ปูนขาวในการตกตะกอนขั้นแรกและในขั้นที่สามเมื่อต้องการแก้ความกระด้างของน้ำเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่(USEPA, 1987)

2.1.2 ลักษณะทั่วไปของสลัดจ์

เพื่อให้การบำบัดและการกำจัดสลัดจ์มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องรู้อถึงลักษณะของสลัดจ์ สลัดจ์มีลักษณะแตกต่างกันค่อนข้างกว้าง เนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น แหล่งที่มา, ชนิดของของแข็งแขวนลอย, อายุของสลัดจ์ และกรรมวิธีที่ทำให้เกิดสลัดจ์(วงศ์พันธ์ ลิมปะเสนีย์, 2537) ดังที่จะได้แยกกล่าวตามแหล่งที่มา และกรรมวิธีที่ทำให้เกิดสลัดจ์ดังนี้

2.1.2.1 สลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปา

Kawamura(1991)ได้กล่าวว่าลักษณะของสลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปาแตกต่างกันในแต่ละแห่ง เนื่องจากลักษณะของน้ำดิบ, ชนิดและปริมาณของโคแอกกูแลนต์และสารเคมีที่ใช้เสริม(chemical aids)ในการทำโคแอกกูแลนต์ ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของตัวอย่างสลัดจ์สารส้มและตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของสลัดจ์ปูนขาว

ตารางที่ 2.1 ลักษณะต่างๆ ของสลัดจ์สารส้มจากโรงประปา(Kawamura, 1991)

BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Total Solids (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ and Inert (%)	Organics (%)
30-300	30-5000	6-8	0.1-4.0	15-40	35-70	15-25

ตารางที่ 2.2 ลักษณะต่างๆ ของสลัดจ์ปูนขาวจากโรงประปา(Kawamura, 1991)

CaCO ₃ (%)	Ca(OH) ₂ (%)	Mg(OH) ₂ (%)	SiO ₂ and Inert (%)
85-93	0-1	0.5-8	2-5

2.1.2.2 สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย

สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียก็มีลักษณะที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับสลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งจะได้แยกกล่าวต่อไปดังนี้

1). สลัดจ์ชั้นต้น

สลัดจ์ชั้นต้นมีสีเทาและมีกลิ่นน้ำรังเกียจ ถ้าหากผ่านการย่อยสลายมาอย่างดีจะมีสีดำ มีลักษณะเป็นเม็ดและมีกลิ่นเหมือนน้ำมันดิน จะมีพีเอชใกล้เคียงกับ 7 สลัดจ์ที่ย่อยสลายแล้วจะตากแห้งได้เร็วกว่าสลัดจ์ที่ไม่ได้ย่อยสลาย (Negulescu, 1958)

2). สลัดจ์ชั้นที่สอง

สลัดจ์ที่ได้จากถังกรองชีวะมีสีน้ำตาลและมีลักษณะเป็นฟูน ถ้าการบำบัดเป็นแบบอัตราต่ำ(low rate)จะมีซากท่อนอนในปริมาณมาก และมีกลิ่นที่น้ำรังเกียจมาก การระบายน้ำจะไม่ดีนัก และจะต้องผ่านการย่อยสลายมาก่อน ควรจะนำไปย่อยสลายร่วมกับสลัดจ์ชั้นต้น ส่วนสลัดจ์จากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีลักษณะเป็นฟูน และตากแห้งได้ช้าแม้จะใช้ตากเป็นชั้นบางๆ ถ้าหากระบบบำบัดทำงานได้ดีสลัดจ์จะมีสีออกน้ำตาลทองและมีกลิ่นคล้ายดิน สลัดจ์ประเภทนี้จะย่อยสลายได้ง่ายที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส(Negulescu, 1958)

3). สลัดจ์เคมี

ลักษณะของสลัดจ์เคมีขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของน้ำเสีย, พีเอช, การทวนผสม, เวลาในการทำปฏิกิริยา และโอกาสในการรวมตะกอน(WEF และ ASCE, 1992) โดยทั่วไปการเติมปูนขาวจะทำให้การทำชั้น(thickening) และการรีดน้ำ(dewatering) ของสลัดจ์ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการเติมสารเคมีจะทำให้ปริมาณของสลัดจ์ที่เกิดมีมากขึ้น(USEPA, 1987)

2.1.3 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของสลัดจ์ควรจะต้องนำมาพิจารณาเพื่อหาขอบเขตความเป็นไปได้ และเงื่อนไขในการย่อยสลายและการกำจัดสลัดจ์

2.1.3.1 สี และ กลิ่น

สลัดจ์ที่ย่อยสลายดีแล้วจะมีสีดำและมีกลิ่นคล้ายน้ำมันดิน สลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมีสีน้ำตาลและมีกลิ่นคล้ายซากพืช (Negulescu, 1958)

2.1.3.2 ความเข้มข้นของของแข็ง

สัดส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งและของเหลวในสลัดจ์มักจะอธิบายโดยความเข้มข้นของของแข็งในรูป มก./ล. หรือเปอร์เซ็นต์ของของแข็ง หากสมมุติว่าสลัดจ์มีแรงโน้มถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.0

$$10,000 \text{ มก./ล.} = 1 \% \text{ ของแข็ง} \quad (\text{น.น./น.น.})$$

สลัดจ์ที่มีส่วนประกอบของของแข็งน้ำหนักมาก เช่น มูลขาว หรือ ฟล็อกของเหล็ก จะมีแรงโน้มถ่วงจำเพาะที่สูงกว่านี้

ของแข็งทั้งหมดในสลัดจ์เป็นผลรวมของของแข็งที่ละลายและของแข็งแขวนลอย สามารถบอกความเข้มข้นในรูปของเปอร์เซ็นต์ของความชื้น ดังนี้

$$\% \text{ ของแข็ง} = 100 - \% \text{ ความชื้น}$$

2.1.3.3 ความชื้นบรรจุ (moisture content)

Negulescu(1958) กล่าวว่าความชื้นของสลัดจ์หรือปริมาณน้ำที่บรรจุอยู่มีความสำคัญมากต่อการเลือกกระบวนการ(การย่อยสลาย, การแยกน้ำ)และการขนส่ง ความชื้นบรรจุจะพิจารณาจากน้ำหนักของสลัดจ์ที่หายไปจากการระเหยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสลัดจ์แห้ง

$$\text{ความชื้น(เปอร์เซ็นต์)} = (100 \times \text{น้ำหนักที่หายไป}) / \text{น้ำหนักในตอนเริ่มแรก}$$

2.1.3.4 แรงโน้มถ่วงจำเพาะ และ การระเหยง่าย (volatilization)

Vesilind (1975)กล่าวไว้ว่าถ้าแรงโน้มถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักวัสดุต่อปริมาตรที่เท่ากับน้ำ สลัดจ์ส่วนใหญ่มีค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับ 1.0 ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักของน้ำ สลัดจ์เค็มจะหนักมากกว่า ในขณะที่สลัดจ์ชีวภาพจะน้อยกว่า 1.01 อย่างไรก็ตามค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์น้ำเสียแทบทั้งหมดใกล้เคียงกับน้ำ

ค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะสามารถคำนวณได้จาก

$$1/S_s = W_1/S_1 + W_2/S_2 + \dots + W_i/S_i \quad (2-1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} S_s &= \text{แรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์} \\ W_i &= \text{น้ำหนักของส่วนประกอบที่ } i \text{ ในสลัดจ์ และ} \\ S_i &= \text{แรงโน้มถ่วงจำเพาะของส่วนประกอบ } i \end{aligned}$$

USEPA (1987) ได้กล่าวไว้ว่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรวดทรายและอนุภาคละเอียดที่เจือปนในสลัดจ์ อนุภาคที่เป็นสารอนินทรีย์จะมีค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะประมาณ 2.5-2.9 ค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์ที่ประกอบด้วยสารระเหยง่ายแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3

ค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์ชีวภาพแบบฟิล์มตรึง (fixed film biological sludge) โดยทั่วไปจะสูงกว่าสลัดจ์แบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ จะเห็นได้ชัดจากค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์ที่ต่ำกว่า และมีความเร็วในการจมตัวที่สูงกว่า แรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดลงของอัตราส่วนของน้ำและการเพิ่มอัตราส่วนของสารเจือปน (USEPA, 1987)

ตารางที่ 2.3 แรงโน้มถ่วงจำเพาะของสลัดจ์ (USEPA, 1987)

ประเภทสลัดจ์	ความระเหยง่าย (เปอร์เซ็นต์)	ช่วงของค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะ (กรัม/มล.)
RPS	75-80	1+0.010 (%TSS) to 1+0.012 (%TSS)
WAS	80-85	1+0.007 (%TSS) to 1+0.012 (%TSS)
TF & RBC	75-80	1+0.015 (%TSS) to 1+0.025 (%TSS)
RPS + WAS	75-85	1+0.004 (%TSS) to 1+0.006 (%TSS)

RPS = raw primary sludge. (สลัดจ์ขั้นต้น)

WAS = waste activated sludge. (ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์)

TF = trickling filter. (ระบบโปรยกรอง)

RBC = rotating biological contactor. (ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ)

2.1.3.5 ขนาดของอนุภาค

Vesilind (1975) กล่าวว่าวัสดุสังเคราะห์ไม่เพียงแต่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดหรือรูปร่างที่แตกต่างกันมากมาย แต่ยังรวมถึงขนาดจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสภาพการทดสอบ ซึ่งทำให้การวัดทำได้ค่อนข้างยาก

USEPA (1987) กล่าวว่าโดยทั่วไปเป็นที่รู้กันว่าขนาดของอนุภาคเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อความสามารถในการแยกน้ำ ในขณะที่ขนาดของอนุภาคเล็กลง พื้นที่ผิวและอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของมวลสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้

- แรงผลึก (repulsion) ระหว่างอนุภาคสูงขึ้น เนื่องจากประจุลบบนพื้นที่ผิวที่มีมากขึ้น

- แรงดึงดูด (attraction) ระหว่างน้ำและผิวของอนุภาคมีมากขึ้นอันเนื่องมาจากมีตำแหน่งสำหรับการเชื่อมต่องานเคมีมากขึ้น

สังเคราะห์ชั้นต้นจะมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าสังเคราะห์ชั้นที่สอง(USEPA, 1987) ขนาดของอนุภาคในสังเคราะห์มีผลต่อกระบวนการตกแห้ง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าจะลดน้ำได้ง่ายกว่าบนลานตาก (Coackley และ Allos, 1962 อ้างถึงใน Luong, 1968)

2.1.3.6 ความสามารถในการแยกน้ำ หรือการระบายน้ำ

ความสามารถในการแยกน้ำหรือระบายน้ำของสังเคราะห์จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายในการแยกน้ำออกจากสังเคราะห์ โดยการแยกน้ำออกจากสังเคราะห์นั้นมักจะมีการปรับสภาพของสังเคราะห์ก่อน เพื่อช่วยให้มีการแยกน้ำได้ง่ายขึ้น วิธีที่มักใช้ในการปรับสภาพได้แก่ การเติมสารเคมีและการใช้ความร้อน การเติมสารเคมีเป็นวิธีที่ประหยัดกว่า(วงค์พันธ์ ลิมปะเสนีย์, 2537) การหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

- การทำจาร์เทสต์

จาร์เทสต์ เป็นวิธีที่ใช้เพื่อคัดเลือกสารปรับสภาพจากหลายๆ ชนิดและหาปริมาณการเติมที่เหมาะสม จาร์เทสต์เป็นวิธีที่ง่ายในการทดสอบและมักจะถูกใช้ในการประมาณการขั้นต้นถึงปริมาณการเติมสารปรับสภาพและคิดราคาค่าใช้จ่าย

- ความต้านทานจำเพาะ(specific resistance, r)

ความต้านทานจำเพาะเป็นค่าที่แสดงถึงความยากง่ายในการกรองของสังเคราะห์ (เสริมพล รัตสุข, 2524 และ Eckenfelder, 1989) ค่าความต้านทานจำเพาะมักจะใช้เป็นตัววัดความสามารถในการลดน้ำได้ของสังเคราะห์(USEPA, 1987) สังเคราะห์ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำจะสามารถลดน้ำได้ง่ายกว่าสังเคราะห์ที่มีค่าความต้านทานจำเพาะสูง ตารางที่ 2.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะของ

สลัดจ์กับขนาดอนุภาคของสลัดจ์ และตารางที่ 2.5 แสดงช่วงของค่าความต้านทานจำเพาะของสลัดจ์ประเภทต่าง ๆ

- Capillary Suction Time(CST)

CST จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความยากง่ายในการแยกส่วนของน้ำออกจากของแข็งอินทรีย์ในสลัดจ์ โดยจะเป็นการวัดเวลาที่ต้องการสำหรับให้ส่วนของของเหลวในสลัดจ์เดินทางเป็นระยะทางที่คงที่ค่าหนึ่ง(USEPA, 1987) สลัดจ์ที่ส่วนของของเหลวใช้เวลาเดินทางน้อยกว่า(ค่า CST ต่ำกว่า)จะแยกน้ำได้ง่ายกว่าสลัดจ์ที่ส่วนของของเหลวใช้เวลาเดินทางนานกว่า(CST สูงกว่า)

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานจำเพาะกับขนาดอนุภาคของสลัดจ์ (USEPA, 1987)

เสณาคูณยกกลางเฉลี่ย (ไมครอน)	ความต้านทานจำเพาะ (วินาที ² /กรัม)	อนุภาคทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ตัวอย่างเดิม(ยังไม่ผ่านการแยกย่อย)	10.4×10^9	
> 100	2.3×10^9	10.2
5-100	4.6×10^9	75.5
1-5	13.8×10^9	8.5
< 1		5.9

ตารางที่ 2.5 ช่วงของค่าความต้านทานจำเพาะของสลัดจ์ประเภทต่าง ๆ (USEPA, 1987)

Type of Sludge	Specific Resistance (sec ² /g)
Raw	$10-30 \times 10^3$
Raw (coagulated)	$3-10 \times 10^7$
Digested	$3-30 \times 10^9$
Digested (coagulated)	$2-20 \times 10^7$
Activated	$4-12 \times 10^9$

2.1.3.7 การจมตัว(settling)

ความเร็วในการจมตัวของสลัดจ์ชนิดหนึ่งๆ จะเป็นส่วนกลับกับความเข้มข้นของของแข็งในสลัดจ์เท่านั้น ถ้าหากความเข้มข้นของของแข็งมากสลัดจ์จะจมตัวด้วยอัตราที่ช้าลง ดังนั้นกล่าวได้ว่าสลัดจ์เจือจางจมตัวได้เร็วกว่าและสลัดจ์เข้มข้นจมตัวได้ช้ากว่า

ความสามารถในการจมตัวของสลัดจ์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ โดยเฉพาะในการ
ดำเนินงานกับระบบบำบัดแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

2.1.3.8 การกระจายตัวของน้ำ(distribution of water)

Heukelekian และ Weisberg (1956) ได้แนะนำไว้ว่าน้ำในสลัดจ์จะมีทั้งในรูป
อิสระหรือในรูปที่ผูกติด (bound,bind) อยู่กับของแข็งซึ่งน้ำที่ถูกผูกติด (bound water)จะไม่แยกแข็งที่ 0
องศาเซลเซียส

มีการพิจารณาน้ำในสลัดจ์แบบอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียง โดยแบ่งเป็น 4
ประเภท

- 1). น้ำอิสระ(free water) ไม่ยึดติดกับของแข็งในสลัดจ์และสามารถกำจัดออกได้
ง่ายด้วยการจมตัวโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง
- 2). น้ำในฟล็อก(floc water) เป็นน้ำที่ถูกดัก(trapped)อยู่ในฟล็อกสามารถ
กำจัดออกได้โดยอาศัยการแยกน้ำแบบเครื่องกล
- 3). น้ำแคปิลลารี(capillary water) เป็นน้ำซึ่งเกาะติดอยู่ในอนุภาค สามารถบีบ
ออกจากอนุภาคเหล่านี้ได้โดยทำให้เสียรูปด้วยการใช้แรงอัดและเกิดการอัดตัว
- 4). น้ำในอนุภาค(particle water) เป็นน้ำซึ่งถูกยึดโดยกลไกทางเคมีภายในแต่
ละอนุภาค

สำหรับแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ทั่วไป ประเภทของน้ำซึ่งกระจายตัวในสลัดจ์แสดงไว้
ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การกระจายตัวของน้ำในแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

ประเภท	% ปริมาตร
น้ำอิสระ(free water)	75
น้ำในฟล็อก(floc water)	20
น้ำแคปิลลารี(capillary water)	2
น้ำในอนุภาค(particle water)	2.5
ของแข็ง (solids)	0.5
รวม	100 %

2.1.4 การบำบัดสลัดจ์

ในการบำบัดน้ำเสียและการผลิตน้ำประปาจะมีสลัดจ์เกิดขึ้นด้วยเสมอ สลัดจ์เหล่านี้มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มาก อีกทั้งยังมีปริมาณมาก ทำให้ไม่สะดวกในการเอาไปทิ้งเนื่องจากจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง จึงต้องนำไปลดปริมาณก่อนด้วยวิธีการต่างๆ กระบวนการบำบัดสลัดจ์จึงเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบบำบัดน้ำเสียและระบบผลิตน้ำประปา

ระบบบำบัดสลัดจ์โดยทั่วไปประกอบด้วยหน่วยกำจัด 3 หน่วย คือ การทำข้น (thickening), การปรับเสถียร (stabilization) และการรีตน้ำ (dewatering) (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524)

2.1.4.1 การทำข้น

การเพิ่มความเข้มข้นของสลัดจ์จะทำให้มีปริมาตรสลัดจ์น้อยลง ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าก่อสร้างในขั้นปรับเสถียรและรีตน้ำได้มาก การเพิ่มความเข้มข้นของสลัดจ์นี้หากมีปริมาณสลัดจ์ไม่มาก อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ เนื่องจากจะลดค่าใช้จ่ายในขั้นปรับเสถียรและการรีตน้ำได้ไม่มาก

การเพิ่มความเข้มข้นของสลัดจ์อาจทำได้หลายวิธี คือ การทำให้ลอย(floatation), การทำข้นโดยแรงโน้มถ่วง(gravity thickening), การหมุนเหวี่ยง(centrifugation), การทำข้นโดยสายพานแรงโน้มถ่วง(gravity belt thickening), และการทำข้นโดยทรงกระบอกหมุน(rotating drum thickening) (WEF และ ASCE, 1992)

2.1.4.2 การปรับเสถียรสลัดจ์

การปรับเสถียรสลัดจ์เป็นการปรับเปลี่ยนสภาพของสลัดจ์ให้อยู่ในสภาพเสถียร ใ้มากที่สุด คือให้มีอินทรีย์สารน้อยหรืออยู่ในรูปที่เฉื่อย (inert) ไม่เน่าเหม็น วิธีต่างๆ ที่ใช้ได้แก่ การย่อยแบบแอนแอโรบิก, การย่อยแบบแอโรบิก, การทำปุ๋ย(composting), การปรับเสถียรโดยใช้ปูนขาว(lime stabilization), และการบำบัดร้อน(heat treatment) (Metcalf และ Eddy, 1991)

2.1.4.3 การรีตน้ำออกจากสลัดจ์

การรีตน้ำเป็นหน่วยปฏิบัติการหน่วยหนึ่งที่ใช้ในการลดความชื้นที่อยู่ในสลัดจ์ การใช้ประโยชน์จากการรีตน้ำอาจจะได้ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (Metcalf และ Eddy, 1991)

1. เมื่อสลัดจ์มีปริมาณลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเอาสลัดจ์ไปกำจัด
2. สลัดจ์ที่ผ่านการรีตน้ำแล้วจะสามารถจัดการได้ง่ายกว่าสลัดจ์ที่เป็นของเหลวหรือที่กักไอน้ำ
3. การรีตน้ำจะมีความจำเป็นเมื่อต้องการนำสลัดจ์ไปเข้าเตาเผา เนื่องจากต้องลดปริมาณน้ำในสลัดจ์ เพื่อให้สลัดจ์เผาไหม้ได้ง่าย

4. เมื่อจะต้องนำสลัดจ์ไปหมักทำปุ๋ย จะต้องทำการรีดน้ำก่อน เพื่อลดความชื้นเปลี่ยนแปลงในการใช้สารเคมี

5. ในบางกรณีการลดความชื้นส่วนเกิน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นและไม่ให้เกิดการเน่า

6. การรีดน้ำออกจากสลัดจ์ก่อนนำสลัดจ์ไปฝังกลบในหลุมที่ฝังกลบเฉพาะสลัดจ์(monofills) เพื่อลดการเกิดของน้ำชะซึม (leachate) ออกจากสลัดจ์

การรีดน้ำสามารถจะแยกออกได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะของการใช้งาน ดังจะได้อธิบายต่อไปนี้ (WEF และ ASCE, 1992 ; USEPA, 1987)

1). การรีดน้ำแบบเครื่องกล

เป็นการรีดน้ำโดยอาศัยเครื่องจักรกลเพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการรีดน้ำ แต่อาจจะต้องเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการยึดเกาะระหว่างอนุภาคของของแข็งที่ขึ้น ตัวอย่างของเครื่องรีดน้ำแบบนี้ ได้แก่ เครื่องรีดน้ำแบบหมุนเหวี่ยง, เครื่องอัดกรองแบบสายพาน(belt filter presses), และเครื่องรีดน้ำแบบ อัดกรองใต้ความดัน(pressure filter presses)

2). การรีดน้ำแบบธรรมชาติ

การรีดน้ำแบบนี้จะอาศัยธรรมชาติช่วยในการแยกน้ำออกจากสลัดจ์ ซึ่งได้แก่ ลานตากทราย, ลานตากปูพื้น (pave drying bed), ลานตากแบบใช้ตัวกลางเทียม (artificial media drying beds) หรือ ลานตากแบบโลหะสาน (wedge-wire drying beds), ลานตากแบบใช้เครื่องสูบลมสุญญากาศ (vacuum-assisted drying beds) และสระกักสลัดจ์ (sludge lagoons)

WPCF(1987) กล่าวว่าระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ที่ออกแบบมาในช่วงหลังๆ ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีแยกน้ำโดยอาศัยเครื่องจักรกลนั้นมีข้อเสีย เช่น มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน, การใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูง และใช้ต้นทุนสูง ในขณะที่ต้นทุนด้านพลังงานสูงขึ้นเรื่อยๆ การใช้ลานตากสลัดจ์จะยังมีความคุ้มค่ามากกว่า และเนื่องจากในการศึกษานี้จะทำการทดลองเกี่ยวกับลานตากสลัดจ์เพราะฉะนั้นจะได้กล่าวรายละเอียดเฉพาะเรื่องของลานตากสลัดจ์ในหัวข้อถัดไป

2.1.5 ลานตากสลัดจ์

การแยกน้ำออกจากสลัดจ์ด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและอาศัยธรรมชาติมากที่สุด โดยที่น้ำจะแยกออกจากสลัดจ์ที่ตากอยู่บนลานตากได้ 2 ทาง (Eckenfelder, 1966) คือ

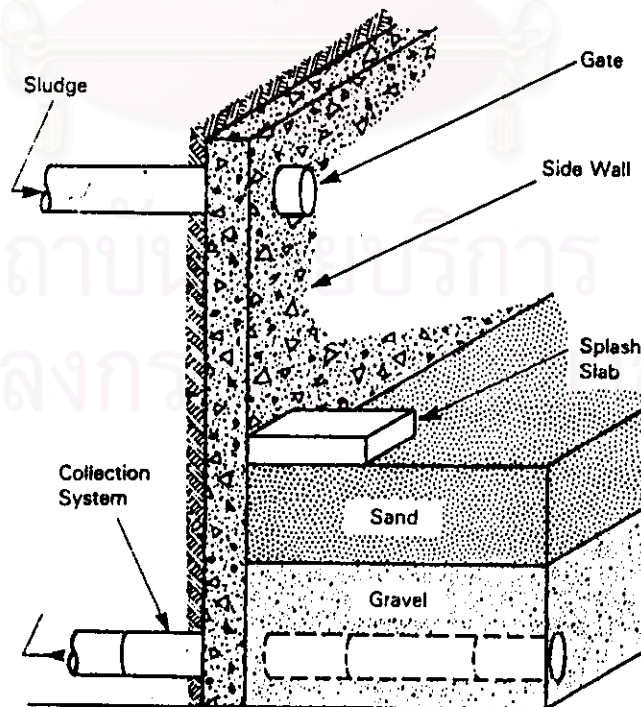
(1). โดยการซึมผ่านชั้นกรอง แล้วไหลออกทางท่อระบายข้างล่าง การกรองโดยทั่วไปจะสิ้นสุดภายใน 1-3 วัน เมื่อชั้นทรายเริ่มอุดตัน เนื่องจากอนุภาคของของแข็งเข้าไปแทรกระหว่างช่องทราย สลัดจ์จะมีความเข้มข้นของของแข็งประมาณ 15-35 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของแข็งที่มีอยู่ในสลัดจ์ตอนเริ่มตาก

(2). โดยการระเหยของน้ำ ซึ่งอาศัยพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์, การพัดพาของลม และระดับความชื้นในอากาศในบริเวณที่ตกสไลด์จ์ ซึ่งการระเหยของน้ำออกจากสไลด์จ์จะมีค่าน้อยกว่าการระเหยของผิวน้ำตามธรรมชาติ USEPA (1987) กล่าวว่าอัตราการระเหยจากสไลด์จ์จะมีค่าประมาณ 0.6 ของอัตราการระเหยของผิวน้ำตามธรรมชาติและ Eckenfelder(1966)กล่าวถึงค่าดังกล่าวว่าเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการระเหยของผิวน้ำตามธรรมชาติ

การใช้ลานตากได้มีการใช้มากกว่า 70 ปีแล้ว (WEF และ ASCE, 1992) ถ้าหากมีการออกแบบและดำเนินการที่ดีระบบจะมีความไว (sensitive) ต่ำต่อความเข้มข้นของของแข็งที่เข้ามา และจะให้ก้อนสไลด์จ์ที่แห้งมากกว่าการรีดน้ำแบบเครื่องกล ถึงแม้ว่าการแยกน้ำโดยใช้ลานตากสไลด์จ์จะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศมาก(WPCF, 1987) และยังคงเป็นปัญหาใหญ่ ดังนั้นการใช้หลังคาคลุมจะช่วยลดผลกระทบดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามได้มีการสร้างลานตากสไลด์จ์ที่มีหลังคาคลุมน้อยมาก เนื่องจากราคาที่แพงและมีความยากลำบากในการโยกย้ายสไลด์จ์ไปทิ้ง รูปที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของลานตากสไลด์จ์ และตารางที่ 2.7 ได้แสดงถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้ลานตากในการรีดน้ำ

2.1.5.1 กลไกการแข็งตัวของสไลด์จ์

Eckenfelder(1966) กล่าวถึงการแข็งตัวของสไลด์จ์ว่า ในระยะแรกที่ใส่สไลด์จ์ลงในลานตาก ปริมาณความชื้นในสไลด์จ์ยังสูงและผิวน้ำของสไลด์จ์จะเบี่ยง ทำให้การระเหยของน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สูงและมีอัตราที่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.2 อัตราการระเหยช่วงนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสไลด์จ์ โดยจะมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของผิวน้ำตามธรรมชาติ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับ



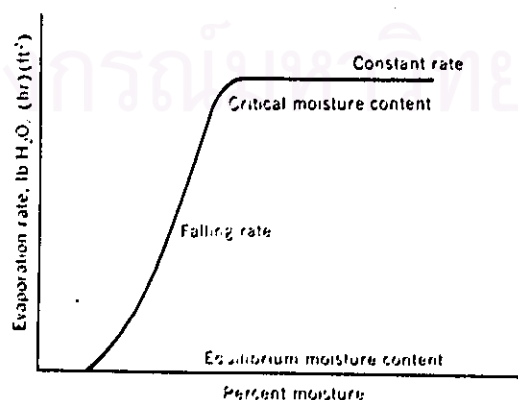
รูปที่ 2.1 รายละเอียดของลานตากสไลด์จ์ (USEPA,1987)

โมเลกุลของของแข็งในสลัดจ์มีมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกันในมวลน้ำปกติ การระเหยจะคงที่ในลักษณะนี้จนถึงจุด ๆ หนึ่งที่เรียกว่า ความชื้นบรรจุกฤต (critical moisture content)

หลังจากจุดนี้แล้วอัตราการระเหยจะเริ่มลดลงและเข้าสู่ช่วง "อัตราการระเหยลดลง" (falling rate period) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราน้ำขึ้นมกบนผิวหน้าของสลัดจ์จะไม่เร็วเท่ากับอัตราการระเหยคงที่ดังกล่าว อัตราการแข็งตัวของสลัดจ์ในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับ ความหนาของชั้นสลัดจ์ สมบัติทางฟิสิกส์และเคมี รวมทั้งสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น การแข็งตัวจะเกิดต่อไปจนถึงจุดที่มี "ความชื้นสมดุล" (equilibrium moisture content) ซึ่งที่จุดนี้ความชื้นในชั้นสลัดจ์จะสมดุลกับความชื้นในอากาศในขณะนั้น ทำให้ไม่มีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอีกต่อไป(อัตราการระเหยเท่ากับอัตราการดูดซึมน้ำจากอากาศ)

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ลานตากสลัดจ์ (WEF และ ASCE, 1992)

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาต้นทุนการก่อสร้างต่ำสำหรับระบบเล็ก ๆ (ในกรณีที่มีการรองพื้นและการควบคุมน้ำชะซึมไม่สำคัญนักและที่ดินสามารถหาได้ง่าย)	1). การออกแบบไม่มีความแน่นอน
2. ไม่ต้องดูแลเอาใจใส่มากในการดำเนินการ และไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญมากนัก	2). ต้องการพื้นที่มาก
3. ใช้พลังงานต่ำ	3). สลัดจ์ที่จะนำมาตากควรจะปรับให้เสถียรก่อน
4. มีความไว (sensitivity) น้อยต่อความเปลี่ยนแปลงของสลัดจ์	4). มีผลกระทบจากสภาพอากาศมาก
5. ใช้สารเคมีน้อย	5). อาจเป็นที่รังเกียจต่อชุมชน
6. กากสลัดจ์ (sludge cake) มีความแห้งมาก	6). ต้องการแรงงานมากในการขนสลัดจ์ออกไปทิ้ง
	7). ต้องระวังเกี่ยวกับการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน
	8). ค่าเชื้อเพลิงและการจัดหาเครื่องประกอบในการทำความสะอาดระบบ
	9). ปัญหาเรื่องกลิ่นและมลพิษ



รูปที่ 2.2 การระเหยของสลัดจ์ (Eckenfelder, 1966)

2.1.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการตากสลัดจ์

การรีดน้ำออกจากสลัดจ์โดยใช้ลานตากสลัดจ์นั้นต้องอาศัยธรรมชาติมาก ดังนั้นประสิทธิภาพของลานตากสลัดจ์จึงขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศในบริเวณที่ทำการตากสลัดจ์ นอกจากนี้ความหนาของชั้นสลัดจ์ที่ตากและลักษณะของสลัดจ์ก็มีผลต่อการตากสลัดจ์ด้วย ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

1). สภาพดินฟ้าอากาศ

WEF และ ASCE(1992) กล่าวถึงผลจากสภาพดินฟ้าอากาศที่มีต่อการตากสลัดจ์ว่า สภาพดินฟ้าอากาศมีผลต่อการรีดน้ำโดยใช้ลานตาก เวลาที่ใช้ตากสลัดจ์จะสั้นลงในพื้นที่ที่มีการส่องแสงจากดวงอาทิตย์มาก, อัตราการตกของฝนต่ำ และความชื้นในอากาศต่ำ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่มีปริมาณลมพัดมากและมีความเร็วลมมากก็จะมีผลทำให้อัตราการระเหยจากลานตากสลัดจ์ดีขึ้น

2). ความลึกของชั้นสลัดจ์ที่ทำการตาก (depth of application)

ความลึกของชั้นสลัดจ์ที่ตากบนลานตากสลัดจ์มีผลต่ออัตราการระเหย ทั้งนี้การตากสลัดจ์เป็นชั้นบางๆ ทำให้แห้งเร็วกว่าการตากเป็นชั้นหนา แต่การตากสลัดจ์เป็นชั้นบางก็มีผลเสีย เช่น ต้องเพิ่มความถี่ในการดำเนินการและการบำรุงรักษามากขึ้น, เกิดการสูญเสียน้ำของลานตากมากขึ้นอันเนื่องมาจากความบอบบางในการเก็บขนกากสลัดจ์ไปกำจัด และทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น(USEPA, 1987) ซึ่งความลึกที่เหมาะสมในตำราหลายเล่มก็กล่าวไว้ไม่เหมือนกัน แต่โดยทั่ว ๆ ไปความลึกที่มักใช้ในการตากสลัดจ์คือ 200 มม. ถึง 300 มม. (Qasim, 1986)

3). ลักษณะของสลัดจ์

ลักษณะของสลัดจ์เองนั้นถือได้ว่ามีผลค่อนข้างมากต่อการตากสลัดจ์ ซึ่งสามารถแยกกล่าวเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

- การย่อย

WEF และ ASCE (1992) ได้กล่าวไว้ว่าสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยจะเกิดรอยแตก(crack) ขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้มีพื้นที่ที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้น, เกิดการระเหยน้ำมากขึ้น และทำให้หน้าผานสามารถระบายออกไปได้ง่ายตามรอยแตกเหล่านี้ และสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนแบบโน้มที่จะระบายน้ำได้ดีกว่าสลัดจ์ที่ย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนั้นการย่อยสลัดจ์ยังให้ผลดีในการลดกลิ่นและฆ่าแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคด้วย

- ชนิดของสลัดจ์

USEPA (1987) รายงานไว้ว่าสลัดจ์ดิบชั้นต้นที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมักจะแยกน้ำได้ง่ายที่สุด รองลงมาได้แก่สลัดจ์ชั้นต้นที่ย่อยสลายและปรับสภาพแล้วและสลัดจ์แบบแยกที่เวตต์ สลัดจ์จะแยกน้ำได้ยากขึ้น

- ความเข้มข้นของของแข็ง

ในกรณีที่มีความหนาในการตากสลัดจ์เท่ากัน สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะต้องใช้เวลาในการตากมากกว่าสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นของของแข็งน้อยกว่า (คมศิโรตม์ แก้วตั้งขึ้น, 2526)

- ความยากง่ายในการแยกน้ำ

สลัดจ์ที่สามารถระบายน้ำได้ง่าย จะใช้เวลาในการตากน้อยกว่าสลัดจ์ที่ระบายน้ำได้ยาก

2.2 การศึกษาที่ผ่านมา

Swanwick, Lussignea และ Baskerville (1962) ได้กล่าวเกี่ยวกับลานตากสลัดจ์ว่า

1). ความต้านทานจำเพาะของสลัดจ์ซึ่งใช้ในการทำนายความสามารถในการกรองของสลัดจ์บนเครื่องกรองสุญญากาศ(vacuum filters)และเครื่องอัดกรอง(filter presses) สามารถนำมาใช้ทำนายค่าความสามารถในการระบายน้ำของสลัดจ์บนลานตากได้

2). จากการศึกษาที่ Hogsmill Valley และ Rye Meads ซึ่งมีการใช้เครื่องสูบน้ำจำนวนมากและทำให้สลัดจ์ชั้นต้นที่ผ่านการย่อยสลายแล้วมีค่าความต้านทานจำเพาะที่สูง ได้มีการทดลองเพื่อศึกษาผลดังกล่าว ซึ่งผลที่ได้ก็สนับสนุนข้อแนะนำที่ว่าการใช้เครื่องสูบน้ำจะมีผลต่อลักษณะการแยกน้ำได้ของสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำที่ใช้งานจริงยังเป็นไปไม่ได้เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบ อาทิเช่น อัตราส่วนของสลัดจ์ที่ถูกความรุนแรงของแรงเฉือน(shearing forces) ระหว่างที่ผ่านเครื่องสูบน้ำ

3). ในการทดลองเกี่ยวกับลานตากสลัดจ์ จะสร้างลานขนาดเล็กเพื่อความประหยัดในการก่อสร้างและประหยัดพื้นที่ และก็จำกัดปริมาณของสลัดจ์ที่ต้องการในการทดลอง แต่ในทางตรงกันข้ามเนื่องจากการตากสลัดจ์ปกติจะปล่อยสลัดจ์ลงลานตากหนาประมาณ 12 นิ้ว ระดับของชั้นสลัดจ์นี้จะลดลงไปประมาณ 9 นิ้ว และกำแพงของลานตากขนาดเล็กจะต้องคำนึงถึงเกี่ยวกับการขวางกั้นทางลมที่จะไปสัมผัสกับผิวหน้าของสลัดจ์ด้วย

Randall et al(1971) กล่าวว่าวิธีการกำจัดสลัดจ์ทำได้ยากและยังพบว่าสลัดจ์ชีวภาพซึ่งเกิดขึ้นในการบำบัดขั้นที่สอง มีปริมาณมาก, ความเข้มข้นต่ำ และยังยากในการบำบัดมากกว่าสลัดจ์ชั้นต้น ไม่เพียงแต่ปริมาณที่มากขึ้น ราคาในการกำจัดสลัดจ์ก็เพิ่มขึ้นมากกว่ากระบวนการอื่นในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้จากการศึกษาที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่าราคาของการจัดการกับสลัดจ์มีมูลค่า 21 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของราคาทั้งหมดในการเดินระบบและบำรุงรักษา ราคาเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับวิธีการกำจัดที่ใช้ การใช้วิธีแบบไม่ใช่เครื่องจักรกล เช่น ลานตากและสระเก็บกัก(lagoons) มีความคุ้มทุนที่สุด

สลัดจ์ชั้นที่สองยากในการทำให้เข้มข้นและยากในการกำจัด เนื่องจากเกือบทั้งหมดประกอบด้วยส่วนเกินของจุลชีพที่เจริญเติบโตขึ้นในระหว่างการบำบัดแบบชีวภาพ จุลชีพเหล่านี้ประกอบไปด้วยน้ำและเกาะกันอย่างแข็งแรง ทำให้มีลักษณะเป็นเจล(gel) มีปริมาณน้ำมากและมีความต้านทานต่อการแยกน้ำจากการศึกษาพบว่าสลัดจ์จากระบบแยกที่เวเต็ดสลัดจ์ยากที่สุดและแพงที่สุดในการแยกน้ำ โดยเฉพาะเมื่อผ่านการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก

สมบัติที่สำคัญที่สุดของสลัดจ์ในการแยกน้ำคือ ลักษณะการระบายน้ำ และมีนิยามเป็น 2 ส่วน คือ - อัตราการระบายน้ำ และ - ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สามารถระบายได้ อัตราการระบายมีความสำคัญเมื่อใช้การแยกน้ำแบบเครื่องกล เช่น เครื่องกรองสูญญากาศ ในทางตรงกันข้าม ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ระบายได้จะมีความสำคัญมากที่สุดเมื่อใช้การแยกน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง(gravity dewatering) อย่างเช่น ลานตากสลัดจ์และการระเหยจะเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมเวลาในการตาก

การระบายน้ำของสลัดจ์แบบแยกที่เวเต็ดสลัดจ์โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเกิดขึ้นโดย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเกิดในขณะที่สลัดจ์จมตัวและอัดตัวแน่น(settles and compacts) ซึ่งจะเกิดผลในการลดอัตราการระบายเมื่อการอัดตัวเกิดขึ้น หลังจากนั้นน้ำในสลัดจ์จะระบายโดยผ่านทางช่องทางการระบาย ขั้นตอนทั้งสองเกิดขึ้นโดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของของแข็งหรือความลึกของสลัดจ์ที่ใสในลานตาก

ช่วงวิกฤติของสลัดจ์แบบแยกที่เวเต็ดในการแยกน้ำโดยใช้แรงโน้มถ่วงคือการสร้างช่องทางการระบายผ่านชั้นสลัดจ์ที่อัดตัว ถ้ามีสารประกอบบางอย่างในสลัดจ์ขัดขวางการสร้างช่องทาง(path) ช่วงที่ 2 ของการระบายจะใช้เวลานานออกไป ซึ่งจะทำให้ต้องใช้เวลาในการแยกน้ำนานขึ้น แต่ยังคงน้อยกว่าสลัดจ์ที่มีวัสดุประเภทชอบน้ำ(hygroscopic material) มากๆ

ปัจจัยที่มีผลต่อการค้างของน้ำ(retention of water) ปริมาณน้ำที่ค้างต่อหน่วยของแข็งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น จนถึงความเข้มข้นประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยจึงเป็นปัจจัยตัวแรกที่มีผลต่อการค้างของน้ำของสลัดจ์แบบแยกที่เวเต็ดสลัดจ์ ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการค้างของน้ำคือ mixed liquor biological oxygen demand (BOD)

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระบาย อัตราการระบายไม่ขึ้นกับความหนาของชั้นสลัดจ์ พบว่าขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของแข็งมาก

สรุปก็คือ การระบายโดยแรงโน้มถ่วงของสลัดจ์ มี 2 ขั้นตอน 1). เกิดขณะสลัดจ์จมตัวและอัดตัวบนลานตาก 2). เริ่มเมื่อเกิดการระบายโดยซึมผ่านสลัดจ์ที่จมตัวแล้ว

ความเข้มข้นของของแข็งมีผลมากที่สุดต่อความสามารถในการระบาย

Walaki(1976) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบลานตากสลัดจ์ กล่าวไว้ว่าน้ำจะหายไปจากลานตากโดยกลไก 2 อย่าง คือ

- 1). การระบายผ่านชั้นทราย
- 2). การระเหย

อย่างไรก็ตามน้ำสามารถกลับเข้าไปในสลัดจ์ได้อีกเนื่องจากฝนตกถ้าลานตากนั้นไม่มีหลังคาคลุม สำหรับวิธีการออกแบบนั้นมักจะใช้สมการของ WPCF(1959)(ดูตารางที่ 2.8)ซึ่งพื้นที่ผิวที่ต้องการจะหาได้จากสมการ 2-2

$$\text{พื้นที่} = \text{จำนวนประชากร} \times \text{อัตราภาระ} \quad (2-2)$$

วิธีนี้ค่อนข้างง่ายในการนำมาใช้ แต่ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการตากสลัดจ์ วิธีที่มีเหตุผลถูกพัฒนาโดย Swanwick, 1963 (อ้างถึงใน Walski, 1976) ซึ่งได้ทดลองตากสลัดจ์และพบว่าการระบายน้ำจะเสร็จสมบูรณ์ในเวลา 12 ถึง 48 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับความชื้นบรรจุและลักษณะของสลัดจ์ ได้วัดค่าความชื้นบรรจุหลังจากการระบายน้ำ และค่าความชื้นบรรจุหลังปล่อยให้เกิดการระเหยจนได้กาสลัดจ์ที่แห้งตามที่ต้องการ ซึ่งความแตกต่างของความชื้นบรรจุหลังจากการระบายกับหลังปล่อยให้เกิดการระเหย(คือปริมาณน้ำที่จะหายไปโดยการระเหย) จากการทดลองได้พบว่าอัตราการระเหยเฉลี่ยจากสลัดจ์เปียกมีค่าประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของผิวน้ำอิสระ และประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์ของผืนที่ตากจะระบายผ่านชั้นสลัดจ์ส่วนที่เหลืออีก 57 เปอร์เซ็นต์จะถูกสลัดจ์ดูดซึมไว้และหายไปโดยการระเหย

ตารางที่ 2.8 พื้นที่ที่ต้องการสำหรับลานตาก (WPCF, 1959 อ้างถึงใน Walski, 1976)

Sludge	Square Feet Per Capita	
	Open Beds	Covered Beds
Primary digested	1.0 - 1.5	0.75 - 1.0
Primary and humus digested	1.25 - 1.75	1.0 - 1.25
Primary and activated digested	1.75 - 2.5	1.25 - 1.5
Primary and chemically precipitated digested	2.0 - 2.5	1.25 - 1.5

Lovett et al(1983) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของอายุสลัดจ์และส่วนประกอบของสับสเตรต ที่มีต่อการจมน้ำและลักษณะการแยกน้ำของแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ ทดลองในถังปฏิกรณ์แอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ซึ่งมีส่วนเติมอากาศ 9 ลิตรและส่วนตกตะกอน 1 ลิตร ปฏิบัติการให้อายุของสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 4, 5, 8, 11, 13, 18 และ 20 วัน โดยเอาปริมาตรของน้ำสลัดจ์ออกในแต่ละวัน ใช้สารละลายจากผลิตภัณฑ์เนื้อเข้มข้น (meat concentrate solution) เพื่อทำให้คล้ายกับการดำเนินการบำบัดน้ำเสียของโรงฆ่าสัตว์ และได้กล่าวถึงผลจากการทดลองที่ได้ดังนี้

1). เกี่ยวกับการจมน้ำของสลัดจ์ ได้อ้างถึงการศึกษาของ Bisogni และ Lawrence (1971) ซึ่งรายงานไว้ว่า ที่อายุสลัดจ์ต่ำๆ การจมน้ำของของแข็งเกิดได้ดีเมื่ออายุสลัดจ์ลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม Ford และ Eckenfelder(1967) ได้รายงานไว้ว่าการจมน้ำของของแข็งเกิดได้ไม่ดีขณะที่อายุสลัดจ์ลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากการใช้สลิปสเตรทที่แตกต่างกัน

2). จากการศึกษาผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อการกรอง โดยอ้างถึงการศึกษาของ Kavanagh (1980) ที่กล่าวว่า ความสามารถในการกรองจะถูกปรับปรุงโดยอายุสลัดจ์ที่มากขึ้นได้ และในการทดลองนี้ก็ได้ผลที่เหมือนกัน นอกจากนั้นในการทดสอบการปรับสภาพของตัวอย่างโดยใช้อายุสลัดจ์ 5, 7 และ 20 วัน แสดงให้เห็นว่าโพลีอิเล็กโทรไลต์แบบไม่มีประจุและแบบประจุลบจะไม่ค่อยได้ผลในการปรับปรุงความสามารถในการกรองของแอกทิเวเตดสลัดจ์ที่ทดลอง การใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุบวกมีประสิทธิผลกว่าและจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอายุสลัดจ์ คือที่อายุสลัดจ์ 5 วันพบว่าไม่ได้ปรับปรุงความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง ในขณะที่อายุสลัดจ์ 7 และ 20 วันทำให้ความต้านทานจำเพาะต่อการกรองลดลงได้มาก

คมศิลา แก้วตั้งขึ้น(2526) ได้ทำการทดลองตากสลัดจ์จากระบบผลิตน้ำประปาของโรงกรองน้ำบางเขน โดยศึกษาผลของความหนาของชั้นสลัดจ์, ความเข้มข้นของของแข็งที่นำมาตากและผลจากการตากสลัดจ์แบบในร่มและแบบกลางแจ้ง ซึ่งให้ผลของการทดลองดังนี้

1). อิทธิพลของความเข้มข้นของของแข็งต่อการตากสลัดจ์ให้แห้ง

จากการทดลองตากสลัดจ์ที่ความเข้มข้นของของแข็ง 3 ค่า คือ 13.18, 6.85 และ 5.20 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าในแต่ละครั้งจะใช้เวลาตากต่างกัน แต่เปรียบเทียบที่ความหนาของสลัดจ์ใกล้เคียงกัน สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นของของแข็งมากกว่าจะใช้เวลาในการตากมากกว่าสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นของของแข็งต่ำกว่าประมาณ 2 - 3 เท่า ทั้งกรณีที่ตากแบบในร่มและกลางแจ้ง ทั้งนี้เพราะสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นสูง การเคลื่อนตัวของน้ำขึ้นสู่ผิวหน้าสลัดจ์เพื่อระเหยไปในอากาศ จะเป็นไปในอัตราที่ช้ามากกว่าสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของของแข็งในสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นมากจะมีมากกว่าในสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นน้อย

สำหรับการระบายน้ำออกจากสลัดจ์ทางด้านล่างของถังก็มีผลเช่นเดียวกัน สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูง การระบายน้ำออกทางด้านล่างของถังจะใช้เวลานานกว่าสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งเหตุผลก็เป็นเช่นเดียวกัน

2). อิทธิพลจากความหนาของสลัดจ์ต่อการตากสลัดจ์ให้แห้ง

จากการทดลองตากสลัดจ์ที่ความหนาต่างกันคือ 30, 25 และ 20 เซนติเมตร แม้ว่าความเข้มข้นของของแข็งที่เริ่มตากจะต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของของแข็งเท่า ๆ กัน โดยชั้นสลัดจ์มีความหนาต่างกัน สลัดจ์ที่มีความหนาน้อยกว่าจะมีการแห้งตัวเร็วกว่า

Unno et al. (1983) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่า CST โดยใช้เครื่อง CST ที่มี sensor อยู่จำนวนหลายตัวติดตั้งเรียงกันในแนวเส้นตรง(linear measured Capillary Suction Time; LCST) โดยกล่าวไว้ว่ากระบวนการกรองในการวัด CST ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การกรองของสลัดจ์ และการแทรกซึม (penetration) ของน้ำที่ผ่านการกรองของสลัดจ์ไปสู่กระดาษกรอง ค่า LCST ที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับกำลังสองของระยะทางระหว่างขอบด้านในของทรงกระบอกบรรจุสลัดจ์กับตำแหน่งของตัววัด(sensor)บนกระดาษกรอง ในการวัดค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองด้วยชุดกรวยบูคเนอร์ ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความดัน และได้สรุปว่า CST ควรจะสัมพันธ์กับความสามารถในการกรองของสลัดจ์ภายใต้ความดันที่สมมูลกัน

Katsiris และ Kouzeli-Katsiri (1987) ได้ศึกษากลไกการกรองของสลัดจ์ชีวภาพ โดยดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำบรรจุที่ถูกยึด(bound water content)ไว้ น้ำในสลัดจ์จะคงอยู่ใน 2 สถานะ คือ ในรูปอิสระ และ ในรูปที่ถูกยึดไว้โดยสถานะของแข็งทั้งโดยการยึดไว้ด้วยการดูดซับบนผิวอนุภาค และ/หรือที่อยู่ภายในโพรงแคบและช่องแคบเกล็ดน้ำ ที่ติดอยู่ในสลัดจ์แสดงพฤติกรรมคล้ายกับการดูดซับของไอออน สารโคเอกกูแลนต์ทุกตัวและโพลีอิเล็กโทรไลต์มีผลในการลดค่าความต้านทานการกรอง และปริมาณน้ำที่ถูกยึดไว้ โดยการเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำด้วยสารโคเอกกูแลนต์ที่ถูกดูดซับ

สมบัติของสลัดจ์ที่มีผลต่อการแยกน้ำคือพื้นที่ผิวที่มากมายมหาศาลของอนุภาคที่เล็กมากๆ และลักษณะธรรมชาติและองค์ประกอบของผิวอนุภาคสลัดจ์ อ้างถึงงานของ Coackley(1955) ที่พบว่าอนุภาคสลัดจ์ถูกปกคลุมด้วยโปรตีน

วิธีที่รายงานไว้ในการศึกษาที่มานๆ มาอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าน้ำที่ถูกยึดไว้จะไม่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำอิสระ พบว่าปริมาณน้ำที่ถูกยึดไว้เพิ่มขึ้นเมื่อลดความเข้มข้นของของแข็ง และจากความพยายามที่จะให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำในสลัดจ์ ดังนั้นน้ำที่ถูกยึดไว้ได้ถูกวัดเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าแรกและค่าที่สองของจุดความชื้นวิกฤตที่สังเกตจากการแห้งตัวตามธรรมชาติของสลัดจ์ และได้อธิบายไว้ว่าจุดวิกฤตแรกจำกัดความเป็นความชื้นบรรจุในสลัดจ์เมื่อน้ำอิสระถูกกำจัดออกไป ในขณะที่จุดวิกฤตที่สองเป็นช่วงของการกำจัดน้ำแคปิลลารีและน้ำซึ่งถูกดูดซับไว้

USEPA (1987) กล่าวถึงในส่วนที่เกี่ยวกับการใช้ลานตากในการแยกน้ำออกจากสลัดจ์ ซึ่งพอจะสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

- 1). อัตราการระเหยจะเป็นฟังก์ชันกับสภาพอากาศประจำท้องถิ่นและลักษณะผิวหน้าของสลัดจ์ ในการตากสลัดจ์เมื่อเกิดเปลือก(crust)เคลือบบนผิวหน้าสลัดจ์จะขัดขวางการระเหย และอัตราการระเหยมีค่าประมาณ 0.6 เท่าของการระเหยจากผิวดาดระเหย(pan evaporation) แต่เมื่อเกิดรอยแยก(crack) บนผิว

หน้าของสลัดจ์ที่ตาก จะทำให้อัตราการระเหยใกล้เคียงกับอัตราการระเหยจากผิวดินเนื่องมาจากการเพิ่มของพื้นที่ผิวหน้าของสลัดจ์

2). กรณีสลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ ประมาณ 25 - 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดจะถูกกำจัดออกไปโดยการระบายลงด้านล่าง การใช้โพลีเมอร์ที่เหมาะสมจะสามารถเร่งให้เกิดการรวมกลุ่ม(agglomeration)ของอนุภาคและเพิ่มปริมาณน้ำที่จะระบายได้ การใช้โพลีเมอร์ปรับสภาพจะลดปริมาณน้ำที่ต้องระเหยและทำให้สามารถเพิ่มค่าการระเหยของแข็งได้

Dick R. I.(1988) กล่าวว่าสมบัติทางกายภาพของสลัดจ์จะมีผลโดยตรงในทางปฏิบัติต่อหลายกระบวนการที่ใช้ในการจัดการกับสลัดจ์ เช่นการทำชั้น และการแยกน้ำ ขอบเขตของการแยกน้ำจากสลัดจ์จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง, การใช้ประโยชน์จากการหมักทำปุ๋ย, ปริมาตรและความจุที่สามารถรับได้ในหลุมฝังกลบและความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการนำไปเผา

กระบวนการทำชั้นสลัดจ์และการแยกน้ำสลัดจ์ถูกควบคุมโดยกำลังของความอัดตัวได้และความชื้นได้ ทั้งสองพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย

แรงลากดึงของของเหลวที่มีต่อของแข็งในกระบวนการทำชั้นจะต้านทานการหลุดตัวของชั้นสลัดจ์ แต่แรงลากดึงกรณีการแยกน้ำจะช่วยให้เกิดการหลุดตัว

ค่าความต้านทานจำเพาะเป็นส่วนกลับของความซึมได้ ถ้าความดันที่ใช้ในการกรองแยกน้ำเปลี่ยนไป ค่าความต้านทานจำเพาะจะเปลี่ยนไปด้วย และกระบวนการแยกน้ำที่ใช้ความดันต่างมากมาย เพื่อให้ระดับการแยกน้ำสูงขึ้น จะยังทำให้ค่าใช้จ่ายแพงขึ้นไปด้วย

Novak J. T. et al. (1988) ได้ศึกษาถึงการอุดตันที่เกิดขึ้นในระหว่างการกรอง และได้รายงานไว้ว่าความต้านทานทั้งหมดต่อการกรองถูกแยกเป็นความต้านทานที่สร้างโดยการนอนกันสะสม(deposit)ของกากชั้นกรอง, R_c และ ความต้านทานโดยตัวกลางกรอง, R_m ความต้านทานของกากก็คือ "ความต้านทานจำเพาะ" หรือ "ความต้านทานต่อหน่วยมวลแห้งที่จมกองตัวต่อหน่วยพื้นที่"

Novak ได้เสนอผลว่า เมื่อทดลองกับสลัดจ์ 5 ประเภท มีเพียงประเภทเดียวที่เกิดการอุดตัน คือ สลัดจ์ที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ แสดงว่าสลัดจ์ดังกล่าวน่าจะยากที่สุดจาก 5 ชนิด ในการแยกน้ำ

ขนาดของอนุภาคจะเป็นตัวชี้ที่สำคัญของแนวโน้มในการอุดตันของสลัดจ์ สลัดจ์ที่เน่ามักจะมีสมบัติในการแยกน้ำที่เร็วกว่าสลัดจ์สด เมื่อเกิดการตันอัตราการแยกน้ำจากสลัดจ์จะช้ากว่าเมื่อทำนายโดยข้อมูลขนาดอนุภาคอย่างเดียว สลัดจ์เน่าจะมีผลให้อัตราการกรองลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นโดยการเพิ่มของค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง โดยพบว่าผลจากขนาดอนุภาคที่เล็กลง

การอุดตันของกากเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนย้ายของอนุภาคละเอียดและลดความโปร่งของกาก ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการใช้ความดัน

Vesilind P. A.(1988) กล่าวว่ามียหลายวิธีที่ถูกแนะนำในการวัดความสามารถในการแยกน้ำของ สลัดจ์ ซึ่งแต่ละวิธีก็ไม่ได้รับการยอมรับ

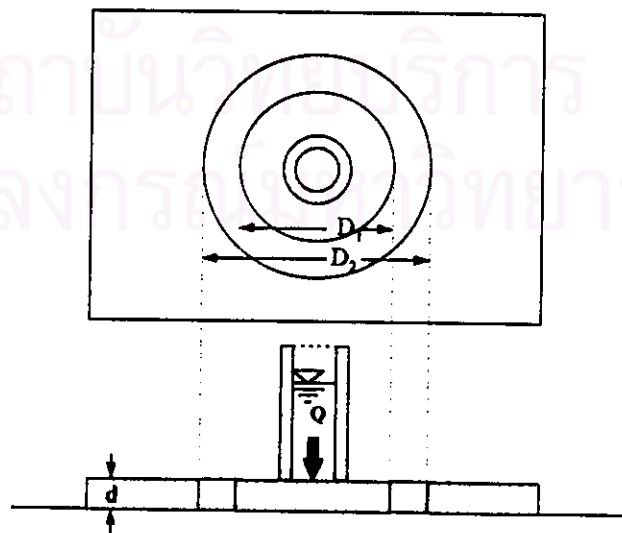
วิธีแรกที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาสมบัติของสลัดจ์คือ ความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนการวิเคราะห์ความดันลดสำหรับการไหลผ่านตัวกลางพรุนโดยสมการของ Darcy วิธีนี้ยังคงมีข้อเสียคือยุ่งยากและใช้เวลามาก การวัดโดย CST ถูกพัฒนาโดย Gale และ Baskerville(1968, อ้างถึงโดย vesilind, 1988) ซึ่งเร็วและง่ายในการพิจารณาความสามารถในการแยกน้ำของสลัดจ์ อีกทั้งไม่ต้องการความชำนาญ มีแนวโน้มที่จะนำมาใช้แทนการหาความต้านทานจำเพาะ แต่ CST เป็นการทดสอบที่ขึ้นอยู่กับกาลังเกิดและไม่มีทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความสามารถในการแยกน้ำของสลัดจ์มาสนับสนุน

Vesilind จึงได้ศึกษาและเสนอแบบจำลองสำหรับการวัด CST โดยพิจารณาความเร็วในการเดินทางของของเหลวผ่านจุด 2 จุด(รูปที่ 2.3) และได้เสนอสมการ

$$t = \frac{[(D_2^2 - D_1^2)(\pi d/AP)][\mu c/\chi]}{(2-3)}$$

โดยที่

- t = เวลาที่ของเหลวเดินทางจาก D_1 - D_2 (ดูรูปที่ 2.3)
 = CST ; วินาที
 d = ความหนาของกระดาษ
 A = พื้นที่ใต้ปลอกทรงกระบอกและที่สลัดจ์บนกระดาษไหลผ่าน
 P = แรงดูดแคปิลลารี
 μ = ความหนืด



รูปที่ 2.3 แผนภาพของพารามิเตอร์บางตัวที่ใช้ในเครื่องวัด CST (Vesilind, 1988)

C	=	ความเข้มข้นของของแข็งในสลัดจ์
X	=	ค่าคงที่ความสามารถในการกรอง

จากสมการ Vesilind กล่าวว่าจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของตัวเครื่อง อาทิเช่น ระยะระหว่าง sensors, ความหนาของกระดาษ, ขนาดของทรงกระบอกที่ใช้ และ การขับน้ำของกระดาษ ส่วนหลังจะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวกับตัวอย่างสลัดจ์คือ ความหนืด, ความเข้มข้นของของแข็ง และค่าคงที่ความสามารถการกรอง

Vesilind ได้กล่าวว่าการศึกษาก่อนๆ ที่พยายามหาความสัมพันธ์ของ CST และความต้านทานจำเพาะ ไม่สำเร็จเนื่องจากไม่ใช่ค่า CST ที่จะสัมพันธ์กับค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง แต่ควรจะเป็นค่าคงที่ความสามารถการกรอง นอกจากนี้ไม่อาจจะเปรียบเทียบค่า CST ระหว่างสลัดจ์จากโรงบำบัดหนึ่งกับสลัดจ์จากแห่งหนึ่งได้ ส่วนการทดสอบความต้านทานจำเพาะต่อการกรองพบว่าเป็นอิสระจากความเข้มข้นของของแข็ง และเนื่องจาก CST ขึ้นอยู่กับตัวแปรเช่นความเข้มข้นของของแข็งในสลัดจ์ ไม่มีความหมายที่จะหาความสัมพันธ์ของ CST และความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง

Suruou และ Cetin(1989) ได้ทำการศึกษาลักษณะของอุณหภูมิจาก, พีเอช และความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในถังเติมอากาศที่มีผลต่อความสามารถในการกรองและความสามารถในการอัดตัวได้ (compressibility) โดยได้ทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องปริมาตร 2 ลิตร ใส่น้ำเสียสังเคราะห์เติมอากาศในช่วงเวลา 23 ชั่วโมง หยุดเติมอากาศแล้วชดเชยน้ำส่วนที่หายไปด้วยน้ำกลั่น ทำการเติมอากาศอีกเพื่อผสมให้เข้ากัน และแยกทิ้งน้ำ 1/5 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ จะได้อายุสลัดจ์เท่ากับ 5 วัน หยุดเติมอากาศหลังจากทิ้งน้ำเสียและปล่อยให้สลัดจ์จมตัว 30 นาที แยกน้ำใสส่วนบนโดยการกักน้ำเติมน้ำป้อนและน้ำประปาที่ลดคลอรีนแล้วให้ได้ปริมาตร 2 ลิตร และเติมอากาศอีกครั้ง ทำตามรอบเหล่านี้จนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะคงตัว หลังจากนั้นจึงทำการทดลองตามขอบเขตที่กำหนดคือ ใช้อุณหภูมิ 15, 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ; ใสพีเอช 5.7, 7.2, 8.2 และ 9.0 ; และความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 5.0 มล./ล. โดยคงพารามิเตอร์อื่นๆ ในขณะที่ทำการทดลองกับพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง ๆ จากการทดลองพบว่า

1). กรณีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ ค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองจะเพิ่มขึ้น และค่าความสามารถในการอัดตัวได้จะลดลงจนต่ำสุดที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส และจะกลับเพิ่มขึ้นอีกเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ความสามารถในการอัดตัวได้จะสูงสุดที่ 35 องศาเซลเซียสเนื่องจากที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสมีค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์(Sludge Volume Index) สูง(ประมาณ 120มล./ก.) สลัดจ์ที่มีค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์สูง (อ้างจาก Heukelekian และ Weisberg, 1956) จะมีปริมาณน้ำบรรจุอยู่ในรูปน้ำฟล็อก ซึ่งสามารถกำจัดออกได้ง่าย ส่วนที่อุณหภูมิอื่นๆ อีก 4 ค่าฟล็อกจะบรรจุน้ำแคปิลลารี(capillary

water) เท่าๆ กับน้ำฝือก การกำจัดโดยการกรองจะทำได้ยากมากกว่า ดังนั้นสลัดจ์จึงมีความสามารถในการอัดตัวได้ต่ำกว่า

- 2). ในการดำเนินการเกี่ยวกับพีเอช เมื่อพีเอชภายในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นสลัดจ์จะมีความสามารถในการกรองลดลง การเพิ่มของพีเอชในถังปฏิกรณ์จะเป็นเหตุให้สลัดจ์มีความสามารถในการอัดตัวได้สูงขึ้น
- 3). ในทางตรงกันข้ามถังปฏิกรณ์ที่มีค่าออกซิเจนละลายต่ำจะทำให้ความสามารถในการกรองได้ของสลัดจ์ลดลง ค่าออกซิเจนละลายที่สูงกว่าจะทำให้ความสามารถในการกรองได้สูงขึ้น และได้คุณภาพน้ำออก (effluent) ที่ดีขึ้นรวมทั้งสลัดจ์มีความสามารถในการอัดตัวได้เพิ่มขึ้น

Teerawat Luangurai (1990) ได้ทำการทดลองปรับสภาพ (conditioning) สลัดจ์จากโรงกรองน้ำบางเขนเพื่อหาความเหมาะสมในการนำสลัดจ์มาแยกน้ำบนลานตาก โดยสลัดจ์ที่นำมาทดลองเป็นสลัดจ์จากถังตกตะกอนรวมกับน้ำล้างยอนจากถังกรอง และใช้สารปรับสภาพ 3 ชนิด คือ ปูนขาว, แมกนาฟลือก 26 และเฟอร์ริกคลอไรด์ เมื่อหาค่าปริมาณจ่ายสารที่เหมาะสมแล้ว และเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สารปรับสภาพ เมื่อเปรียบเทียบทางด้านราคาลงทุน และราคาดำเนินการและบำรุงรักษา พบว่าแมกนาฟลือก 26 ให้ผลดีที่สุด รองลงมาได้แก่ การไม่ใช้สารปรับสภาพ, การใช้เฟอร์ริกคลอไรด์และการใช้ปูนขาวตามลำดับ โดยที่การใช้แมกนาฟลือก 26 จะใช้เงินลงทุนขั้นต้นต่ำสุด แต่มีค่าดำเนินการสูงกว่ากรณีการไม่ใช้สารปรับสภาพ นอกจากผลการทดลองดังกล่าวแล้ว จะได้กล่าวถึงข้อมูลต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ในบททดลองนี้อีกดังนี้

- 1). ผืนที่ตกลงมาไม่มีผลต่อการใช้งานของลานตากอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดรอยแตกของก้อนสลัดจ์ภายใน 1 วัน ซึ่งทำให้ผืนสามารถไหลผ่านไปได้
- 2). เมื่อค่าภาระของแข็ง(solids loading) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการระบายน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นช่วงเวลาตากแห้งของสลัดจ์บนลานตากจะขึ้นอยู่กับค่าภาระของแข็ง(โดยที่ค่าภาระของแข็ง คือค่าปริมาตรของสลัดจ์คูณกับเปอร์เซ็นต์ของของแข็งในสลัดจ์นั้นๆต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย) ซึ่งก็คือผลจากความเข้มข้นของของแข็งและความหนาของสลัดจ์ที่ตากแห้งดังกล่าวถึงมาแล้ว

Lee และ Hsu(1992) ได้ศึกษาถึงการไหลของของเหลวในการใช้เครื่อง capillary suction apparatus และอ้างถึงงานของ Gale และ Baskerville (1967) ว่าในการวัด CST น้ำที่กรองจะเคลื่อนที่ในทางยาวของเส้นใย(grain)ได้เร็วกว่าในทางขวาง และพบว่าจะแตกต่างกันประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองนี้ของ Lee และ Hsu ได้รายงานว่ค่า CST มากขึ้นเมื่อความหนืดของของเหลวเพิ่มขึ้น และ/หรือเมื่อแรงตึงผิวลดลง และเป็นที่ยืนยันว่าเมื่อเกิดขึ้นจากจะทำให้ CST เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และถ้าหากมีอนุภาคของของแข็งมากขึ้นเวลาที่ใช้จะมากขึ้นในการเดินทางของพื้นผิวเปียก (wet front) ระหว่าง 2 จุดคงที่

Agerbaek และ Keiding (1993) กล่าวว่าแนวคิดเกี่ยวกับความต้านทานจำเพาะอยู่บนพื้นฐานกฎของคาร์ซี และมักจะถูกแปลความหมายไปในลักษณะที่ว่าด้วยกำลังและอำนาจของของเหลว (hydrodynamics) ล้วนๆ โดยไม่คำนึงถึงผลของพีเอชและความนำไฟฟ้าที่มีต่อความต้านทานจำเพาะ โดยในการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าประจุไฟฟ้ามีผลอย่างมากต่อการแยกน้ำของสารแขวนลอยเบนโทไนท์ และความต้านทานจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปลี่ยนพีเอชหรือความนำไฟฟ้า มีการเข้าใจกันว่ากระบวนการนี้มีพื้นฐานอยู่บนความต้านทานต่อการกรองของน้ำไหลผ่านช่องว่างของกากชั้นกรอง ดังนั้นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในสลัดจ์จึงดูเหมือนจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ นักสังเกตบางคนแนะนำสมบัติอื่นๆของอนุภาคแขวนลอยมีความสำคัญต่อรูปแบบความต้านทานต่อการไหล มีการแนะนำว่าจำนวนของประจุอิสระและ ζ -potential ของคอลลอยด์มีผลต่อการแยกน้ำ

กล่าวได้ว่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรองเพิ่มเมื่อเพิ่มพีเอช และลดเมื่อเพิ่มความนำไฟฟ้า ความต้านทานจำเพาะเพิ่มเมื่อค่าพีเอชเพิ่มจนถึงค่าคงตัวที่พีเอชค่าหนึ่ง การเพิ่มพีเอชต่อไปจะไม่มีผลต่อการวัดค่าความต้านทานจำเพาะต่อการกรอง เป็นที่น่าสังเกตว่าขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าไม่ได้แยกน้ำง่ายกว่าอนุภาคขนาดเล็ก เนื่องจากมีการอัดตัวที่ดีกว่าของอนุภาคในกากชั้นกรองทำให้แยกน้ำได้ยากกว่า เขายังถึงงานของ Tiller et al (1964) ว่าความต้านทานจำเพาะเพิ่มเมื่อลดความเข้มข้นของสลัดจ์

ค่าความต้านทานจำเพาะขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้และกากตะกอนต่อหน่วยปริมาตรของน้ำที่กรอง พารามิเตอร์อื่นๆขึ้นอยู่กับความชื้นของกราฟที่สร้างขึ้นและเชื่อว่าเป็นค่าคงที่

เขาได้กล่าวถึงงานของ Laursen et al.(1991)ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่แบบอิเล็กโตรออสโมติก(electroosmotic movement)ในช่องโพรงของสลัดจ์จากน้ำเสียเปรียบเทียบกับตัวกลางพรุนแบบอื่นๆ ผลการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่บรรยายในบทความนี้มีความสำคัญมากต่อการแยกน้ำจากสลัดจ์ โดยเฉพาะสลัดจ์จากน้ำเสียชุมชนที่ประจุลบฟล็อกเป็นลบ

Lee และ Hsu (1993) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดชั้นกากในการใช้เครื่อง capillary suction apparatus และได้รายงานว่าเมื่อเกิดชั้นกากบนกระดาษกรอง เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จะมากขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีอนุภาคมมากขึ้น และ/หรือค่าเฉลี่ยของความต้านทานจำเพาะสูงขึ้น CST จะมากขึ้นด้วย และความต้านทานจำเพาะจะขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้เป็นอย่างมาก

Tosun et al (1993) ศึกษาถึงความต้านทานจำเพาะของกากสลัดจ์และได้กล่าวไว้ในงานวิจัยว่าในรอบ 10 ปีมีการใช้การกรองแบบแรงดันในการแยกน้ำจากสลัดจ์เพิ่มขึ้น และเนื่องจากสลัดจ์แทบทั้งหมดตกในการกรอง การปรับสภาพด้วยสารเคมีจึงมักจะถูกใช้ก่อนการกรอง

มีพารามิเตอร์อยู่ 3 ตัวที่มักถูกใช้ในการบอกลักษณะของสลัดจ์คือ

- 1). Buchner-funnel filtration time (Tenney et al., 1970 อ้างถึงใน Tosun, 1993)
- 2). Capillary Suction Time (CST) (Baskerville and Gale., 1968 ; vesilind., 1988 อ้างถึงใน Tosun, 1993)
- 3). Specific Cake Resistance(Coackley and Jones., 1956 ; Swanwick and Davidson., 1961 ; Gale., 1967 ; Kavanagh., 1980 อ้างถึงใน Tosun, 1993)

Tosun ได้อ้างถึงรายงานของ Christensen และ Dick (1985) ว่ามีหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานจำเพาะของเค้ก(average specific cake resistance) คือ

- ความเข้มข้นของของแข็งในสลัดจ์ ; s
- เวลาที่เริ่มอ่านและการอ่านปริมาตรน้ำที่กรองได้
- วิธีในการพิจารณามวลแห้งของเค้กต่อหน่วยปริมาตรของน้ำที่กรอง ; c

ในการวิเคราะห์เมื่อสลัดจ์ถูกเทลงในกรวยบุคเนอร์ ส่วนใหญ่ของของแข็งจะจมตัวลงข้างล่างและเกิดเป็นกากชั้นกรอง ซึ่งเป็นผลมาจากทั้งการใช้แรงดันสุญญากาศและการตกตะกอน หลังจากช่วงเวลาหนึ่งผ่านไป ชั้นน้ำใสที่อยู่เหนือกากชั้นกรองเกือบจะปราศจากของแข็งและหลังจากนั้นกระบวนการจะเหมือนการไหลผ่านชั้นอัดตัว(packed bed)มากกว่าจะเป็นการกรองธรรมดา ถ้าช่วงเวลานี้อัตราส่วนมากในเวลาที่ใช้ทั้งหมด กระบวนการทั้งหมดไม่ควรพิจารณาเป็นการกรอง แต่ควรจะเป็นการแยกน้ำจากกาก(cake dewatering)และจุดเริ่มของช่วงนี้จะยากในการกำหนดหา

เขาได้ทำการทดลองหา specific cake resistance โดยมีสมมุติฐานว่ากลไกที่เกิดขึ้นเป็นแบบ multiphase filtration theory และใช้กระดาษกรอง 2 ชนิด คือ Whatman #40 (pore size = 8 μm) และ Whatman #41 (pore size = 20-25 μm) และสร้างกราฟระหว่าง v/v กับ v ผลชี้ให้เห็นว่าความชันของเส้นกราฟ v/v กับ v ขึ้นอยู่กับผลของกระดาษกรองอย่างมากเหมือนกับที่ทำนายโดย multiphase filtration theory. และได้สรุปไว้ว่า ปัจจัยที่ควบคุมการกรองไม่ใช่ความต้านทานของกากแต่เป็นความต้านทานของหน้าสัมผัสของกากกับตัวรองรับ(cake septum interface)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย