หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีของเครื่องกรองแบบทริคลิ่งฟิลเตอร์หรือระบบลานกรอง

2.1 ประวัติความเป็นมา

ใน ค.ศ.1973 ROBERTS ได้สำรวจความเป็นมาของ Trickling filter ได้พบว่าสำหรับ Low rate trickling filter ซึ่งได้ใช้หินหยาบ ๆ เป็นตัวกลางในเริ่มแรกของการสร้างนั้น Low rate trickling filter ได้ถูกนำไปพิจารณาใช้อย่างกว้างขวาง ตอนช่วงศตวรรษที่ 18 ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ และก็ได้มีทฤษฎีจำนวนมากได้อธิบายเกี่ยวกับระบบกำจัดแบบ Trickling filter นี้นับแต่นั้นมา และก็ได้มีการใช้ระบบกำจัดแบบนี้กับชุมชนในตอนกลางศตวรรษที่ 20 เพราะว่าได้มีการทำการวิจัยกันอย่างกว้างขวางแล้ว เกี่ยวกับระบบ Trickling filter นี้ หลังจากนั้นได้มีการออกแบบก่อสร้าง และเริ่มปฏิบัติงานของระบบแล้วอย่างจริงจัง

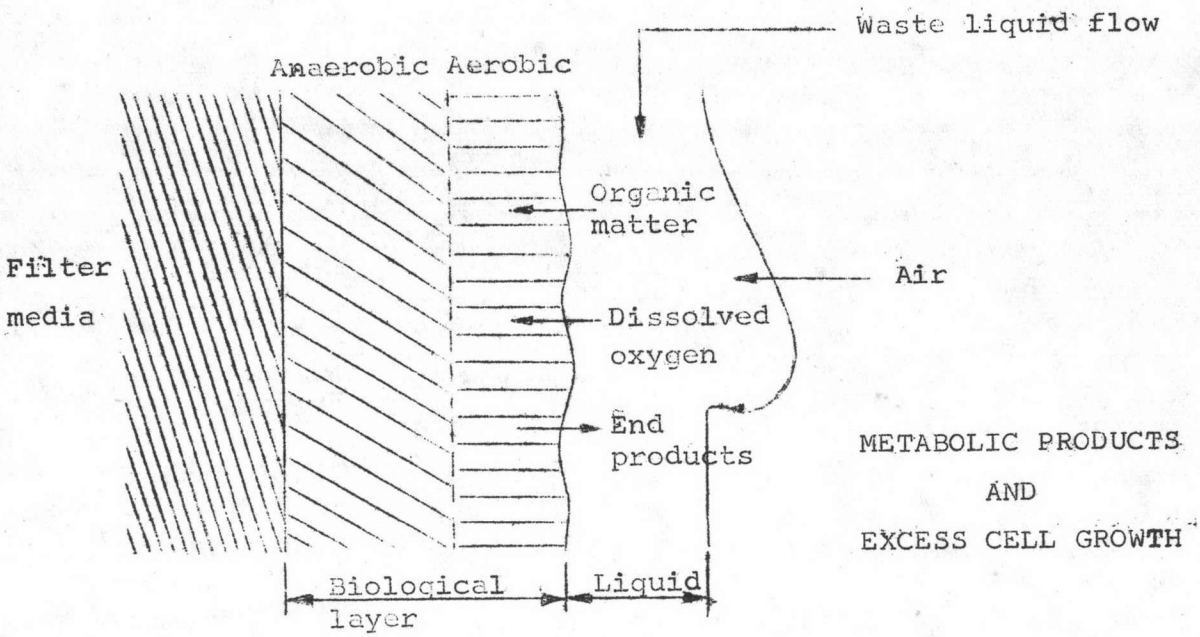
2.2 หลักการทั่วไป

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยระบบ Trickling filter อาศัยปฏิกิริยาชีวเคมี (Biochemical reaction) แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic action) โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อใช้เป็นพลังงานในการเจริญเติบโต และสร้างเซลล์ใหม่ ดังในสมการที่ (ก) และ (ข)

$$\text{Organics} + O_2 + \text{Bacteria} \longrightarrow CO_2 + H_2O + NO_3^- + SO_4^= + \text{Energy} \quad (ก)$$

$$\text{Organics} + \text{Energy} + \text{Bacteria} \longrightarrow \text{More bacteria} \quad (ข)$$

Trickling filter เป็นเครื่องกรองกำจัดน้ำเสีย โดยมีวัตถุตัวกลางที่ให้พวกจุลินทรีย์เกาะเจริญเติบโตบนผิว เพราะได้รับอาหารที่อยู่ในน้ำเสียและอากาศผ่านผิวตัวกลางอยู่ตลอดเวลา ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : แสดง SCHEMATIC DIAGRAM OF TRICKLING FILTER PROCESS
(K.L.SCHULZE, WATER & SEWAGE WORKS, MARCH, 1960)

น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางที่เป็นหินที่อยู่กับที่ ทำให้เกิดเป็นเมือกบาง ๆ (Film) เคลือบผิวของตัวกลาง ซึ่งเมือกบาง ๆ นี้ มีพวกจุลินทรีย์ต่าง ๆ อยู่มาก อาทิ เช่น Bacteria, Protozoa, Fungi จะกินสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียที่ผ่านผิวนั้นเป็นอาหาร นอกจากนี้จุลินทรีย์พวกอื่นที่พบบนผิวตัวกลางก็มีพวก Sludge worms, ตัวอ่อนแมลง, Rotifers และอื่น ๆ อีก สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย และสารละลายออกซิเจน (Dissolved Oxygen) ที่อยู่รอบ ๆ ผิวของตัวกลาง จะถูกพวกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ ขบวนการนี้นับเป็นระบบกำจัดที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment) ซึ่งความจริงแล้วนับว่าเป็นระบบ Facultative ซึ่งมีทั้ง Aerobic และ Anaerobic activity พวกจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิวตัวกลาง

ส่วนบน ๆ ของ Filter จะเจริญเติบโตเร็วกว่าพวกที่อยู่ชั้นส่วนล่าง ๆ ของ Filter เพราะสารอินทรีย์จะค่อย ๆ ถูกใช้ไปโดยจุลินทรีย์ตามผิวตัวกลางที่ผ่านลงไปเรื่อย ๆ เมื่อพวกจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโต (Microbial growth) มาก ๆ ออกซิเจนผ่านเข้าไปไม่ถึงผิวในของ film ก็จะเริ่มตาย และหลุดออกมาให้เห็นทางด้านน้ำทิ้งออก แล้วไม่นานก็จะเกิดการอุดตันขึ้นตามช่องว่างของตัวกลาง เรียกว่า Ponding ทำให้ประสิทธิภาพของ Filter ลดลง และเกิดกลิ่นของสภาวะ Anaerobic ขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไขเมื่อเกิด Ponding

2.3 ผลที่เกี่ยวกับระบบของ Trickling Filter

2.3.1 ผลของ BOD_5 และ Hydraulic loading

หลังจากได้วิเคราะห์ผลตัวเลขที่ได้จากการปฏิบัติ NRC (1946) ได้สรุปว่า Hydraulic loading มีผลเล็กน้อยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการกำจัด SCHULZE (1960) ได้รายงานว่า Filter performance จะไม่ลดลงในเทอมของเปอร์เซนต์ของ BOD_5 ที่ถูกลดลงนั้น ถ้ามีการเพิ่มของ BOD_5 loading และได้สรุปว่า Hydraulic loading เป็นตัวควบคุม Filter performance ซึ่งจากการทดลองของเขาโดยการเพิ่ม BOD_5 loading ขึ้นเป็น 2 เท่า ได้ประสิทธิภาพการกำจัดเท่าเดิม แต่ถ้าเพิ่ม Hydraulic loading ขึ้น เมื่อแฟคเตอร์อื่นคงที่ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง FAIRALL (1956) ได้ตรวจสอบเกี่ยวกับทางสถิติที่เกี่ยวพันของ Loading ที่ใช้ และ Filter performance ได้สรุปว่า ความเข้มข้นของน้ำโสโครก (Sewage) ไม่ได้เป็นตัวประกอบของประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ให้ลดลง อย่างไรก็ตาม GALLER and GOTAAS (1964) พบว่า การ Applied BOD_5 มีความเกี่ยวพันอย่างยิ่งกับ Filter performance และว่า Hydraulic loading rate ก็ไม่ได้เป็นตัวประกอบที่สำคัญ INGRAM (1959) กล่าวว่า ค่า BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกจะขึ้นอยู่กับ BOD_5 applied มากกว่า Hydraulic loading

และปริมาณของ BOD_5 applied เข้า Filter จะถูกคิดในเทอมของ Hydraulic loading เหมือนกับว่า Hydraulic loading เป็นตัวชี้ค่าของ High organic loading ECKENFELDER (1961) ว่าค่าของการกำจัด BOD_5 จะสัมพันธ์กับค่าของ Hydraulic loading ถ้า Hydraulic loading สูงขึ้น ค่าของการกำจัด BOD_5 ก็จะลดลง และสรุปว่า ค่า Hydraulic loading จะเป็นแฟคเตอร์ใหญ่สำคัญกว่าค่าของ BOD_5 loading ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัด BOD_5 ROSS (1970) ได้แสดงว่า ค่า BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกจะเป็นค่าประมาณโดยตรงกับส่วนกลับของอัตราไหลที่ Higher loading แต่การกำจัด BOD_5 จะเป็นอิสระจาก loading ที่ Low flow rate

2.3.2 ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของ Trickling filter เพราะอุณหภูมิมีผลต่อ Microbial activity และอัตราการกำจัดค่า BOD_5 SCHROEPFER (1952) พบว่า อุณหภูมิของน้ำเสียเป็นสิ่งสำคัญที่เป็นตัวควบคุมอัตราการกำจัดค่า BOD_5 GALLER and GOTAAS (1964) ได้ศึกษาพบว่า ผลของอุณหภูมิที่เกิดในช่วง 2 3 องศาเซลเซียส ถึง 32 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่ Activity ของพวกจุลินทรีย์ และจะลด Activity ลงเมื่ออุณหภูมิน้อยกว่าหรือมากกว่าที่กล่าว SANDERS (1964) พบว่า จำนวนของจุลินทรีย์บนเมือกตัวกลางที่ 20 องศาเซลเซียส มากกว่าที่ 30 องศาเซลเซียส ECKENFELDER (1967) พบว่า อัตราของปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Rate of biochemical reaction) จะเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิจนถึงขีดสูงสุดของอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีกจะทำให้อัตราของปฏิกิริยาทางชีวเคมีลดลง ฉะนั้นจึงสรุปว่า อุณหภูมิมีผลกระทบต่อ Activity ของพวกจุลินทรีย์ในระบบ Trickling filter

2.3.3 ผลของอาหารเสริม

ในการกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีใช้ออกซิเจนโดยทั่วไป แบกทีเรียต้องได้อาหารเสริมสร้าง (Nutrients) อย่างพอเพียง จึงจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาหารเสริมซึ่งมีผลทำให้มีการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ในTrickling filter ได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen = N) และฟอสฟอรัส (Phosphorus = P) BALAKRISHNAN and ECKENFELDER (1966) ได้สรุปว่า การ Nitrification ได้เกิดมีสองขั้นตอน อย่างเช่น การ Oxidation ของแอมโมเนีย (Ammonia)เป็นไนไตรท (Nitrite) และการ Oxidation ของไนไตรทเป็นไนเตรท (Nitrate) การเพิ่มขึ้นของ Hydraulic loading จะมีผลทำให้เปอร์เซนต์ของการ Nitrification ลดลง และในขณะเดียวกันนี้จำนวนเปอร์เซ็นของการ Nitrification จะเพิ่มขึ้นตามความลึกจากจุดที่รับน้ำเสียลงมา และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ขาดไป จากอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ค่า $BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$ สามารถเพิ่มได้โดยใช้สารอนินทรีย์เคมีประกอบ SAWYERS and Others (1955) ได้ยืนยันแสดงการใช้แอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$ และแอมโมเนียมไฮดร็อกไซด์ (NH_4OH) สำหรับเพิ่ม N และใช้ไดโปตัสเซี่ยมโฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) และโปตัสเซี่ยมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) สำหรับเพิ่ม P

2.3.4 ผลของการหมุนเวียน

ถึงแม้ว่าได้มีการใช้การหมุนเวียน (Recirculation) มากในทางปฏิบัติของระบบ Conventional trickling filter GALLER and GOTAAS (1964) ได้แสดงให้เห็นว่า การหมุนเวียนไม่มีผลมากนักในการเพิ่มค่า BOD_5 ที่ถูกจำกัดออกไป ในเมื่อเราได้เพิ่มการหมุนเวียนในอัตราที่มากกว่าหรือเท่ากับ 4 เท่า-

ของน้ำทิ้งที่เข้า Filter PEARSON (1965) ได้กล่าวถึงผลที่เกิดจากการหมุนเวียน ดังนี้

1. ทำให้อาหารเสริมพวกสารอนินทรีย์ (Inorganic nutrients) เป็นแหล่งของ max.growth

2. เป็นการเจือจางน้ำทิ้งที่เข้า Filter ซึ่งอาจมีระดับถึงการ Inhibition

3. เป็นการกำหนดถึงค่าที่เหมาะสมของความเข้มข้นของน้ำที่เข้า Filter

4. เป็นการเพิ่ม Hydraulic loading rate ของผิวตัวกรอง (Surface filter) ทำให้มีความเปียกชื้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพวกจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่บนผิวตัวกลางในการกำจัดน้ำเสียที่ผ่าน

HANUMANULU (1970) ได้ศึกษาผลกระทบของการหมุนเวียนของ Filter ที่ลึก และพบว่ามีพวกจุลินทรีย์เพิ่มมากตามชั้นล่างมากกว่าเดิมที่ไม่มีการหมุนเวียนเลย

2.3.5 ผลของแบบ, ขนาด และความสูงของตัวกลาง

Trickling filter ปกติใช้หินเป็นตัวกลาง ส่วน Filter ที่ใช้พวก Plastic เป็นตัวกลาง จะนิยมใช้ในประเทศที่พัฒนา เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า BOD_5 สูงสำหรับน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและน้ำทิ้งจากโรงงาน Filter ที่ใช้ Plastic เป็นตัวกลางจะใช้ Loading ที่สูงกว่า Filter ที่ใช้หินเป็นตัวกลาง

ขนาด (Size) ของตัวกลางมีผลต่อ Filter performance McKINNEY (1962) กล่าวว่า การเลือกใช้ขนาดของหินตัวกลางเป็นผลมาจากลักษณะของน้ำเสียนั้น เช่น ถ้าเป็น High organic leading ก็ควรจะเลือกใช้หินขนาดใหญ่

อย่างไรก็ตาม Filter ที่ใช้ Plastic เป็นตัวกลาง กำลังเป็นที่นิยมกันมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะ Plastic มีน้ำหนักเบา, High specific surface area และมีช่องว่างมาก ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า BOD_5 สูง และประหยัด

ในแง่ของราคาทั้งหมดเมื่อคิดถึงช่วงเวลาทำงานอีกนาน

ความสูงของตัวกลาง (Depth of media) นับเป็นตัวประกอบที่สำคัญตัวหนึ่ง VELZ (1948) ว่าอัตราของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกตามความสูงต่าง ๆ ของตัวกลาง เป็นแบบ First order reaction SCHULZE (1957) กล่าวว่า ความสูงของตัวกลางเป็นตัวจักรใหญ่ที่ควบคุมประสิทธิภาพ การกำจัด BOD_5 ของFilter เพราะว่าความสูงมีความสัมพันธ์กับRetention time ของน้ำเสียที่ผ่าน Filter McKINNEY (1962) บอกว่า เปอร์เซนต์ของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกจะไม่สม่ำเสมอตลอดความสูง เพราะเขาพบว่า ค่าของ BOD_5 จะถูกกำจัดออกในตอนส่วนบนของความสูง 3 ฟุตแรก และจะแสดงการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นในชั้นส่วนบนของตัวกลาง กล่าวว่าจำนวนเปอร์เซนต์ของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกจะไม่คงที่ตลอดกับความสูงของตัวกลาง โดยGALLER and GOTAAS (1964) ได้วิเคราะห์สำหรับความสูงช่วงจาก 2.0 ฟุต ถึง 8.5 ฟุต ได้สรุปว่า ส่วนของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกง่ายจะถูกกำจัดในชั้นส่วนบนของตัวกลาง และจะกระจายความหนาแน่นของความเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ในตัวกลางส่วนนั้น ASKEW (1970) ได้สรุปสนับสนุนว่า จำนวน BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกไปจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อความสูงของตัวกลางถูกเพิ่มขึ้นด้วย จาก 6 ฟุต ถึง 7 ฟุต (1.8 m. to 2.1 m.)ซึ่งผลนี้ได้จาก Filter ที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนช่วยยืนยัน

2.3.6 ผลของเวลา

EDEN และผู้ร่วมงานของเขา (1964) ได้หาผลของเวลา (Retention time) ที่มีต่อสำหรับตัวกลางที่ใช้หินใน Trickling filter ได้พบว่าถ้าให้มีเวลายาวนาน ก็จะทำให้คุณภาพของน้ำทิ้งที่ได้รับการกำจัดแล้วดีขึ้น SHEIKH (1970) พบว่า มี Mathematical relationship ระหว่าง Liquid retention time, Hydraulic loading, Depth และ Surface area of filter ฉะนั้นจึงสรุปว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของ Trickling filter ในรูปของการกำจัดสารอินทรีย์ (Organic removal) ที่ความสูงต่าง ๆ ส่วนมากขึ้นกับ Retention time ด้วย

2.4 แบบสูตรสำเร็จของ Trickling Filters

สูตรสำเร็จ (Empirical) ที่เกี่ยวข้องกับ Trickling filter นั้น ต้องเข้าใจถึงความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับ Filter ในรูปแบบของทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้มีผู้คิดค้นสูตรสำเร็จต่าง ๆ ของ Trickling filter ดังจะกล่าวต่อไปนี้

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, NRC (1946) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการหาสูตรที่มีความเกี่ยวพันของประสิทธิภาพของ Filter กับ BOD_5 loading ที่ใช้ และตัวประกอบการหมุนเวียน (Recirculation factor) สูตรนี้ได้ถูกนำมาใช้ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จากการ Operating Data ของ Plant Serving Military

$$E = \frac{1}{1 + m\left(\frac{W}{VF}\right)^{n}}$$

เมื่อ

E = Efficiency of the filter, %

W = BOD_5 loading, $g.\ day^{-1}$

V = Volume of medium, m^3

m = Constant, 0.014

n = Constant, 0.5

F = Recirculation factor = $\frac{R + 1}{(0.1\ R + 1)^2}$

R = Recirculation ratio

VELZ (1948) ได้บอกว่า ค่าของ การกำจัด BOD_5 ต่อหนึ่งหน่วยความสูงเป็นสัดส่วนกับค่า BOD_5 ที่เหลืออยู่ และยังเสนอว่า Trickling filter ทั้งหมดมีค่าอัตราการแยกเอาออกของสารอินทรีย์ (Organic matter) ต่อชั้นของความสูง เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ ซึ่งเราวัดอยู่ในเทอมของการกำจัดออก (Removability)

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-KD}$$

$$\frac{L_e}{L_i} = 0.784 \times 10^{-K_{20}D}$$

เมื่อ

L_e = BOD_5 of effluent, mgl^{-1}

L_i = BOD_5 of influent, mgl^{-1}

D = Depth of filter, feet

K_{20} = Removal rate constant (= 0.15)

RANKIN (1953) ได้กล่าวถึงสูตรที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งได้จัดตั้งขึ้นโดย Public health engineers ของ Upper Mississippi และ Great Lakes States (Ten States Standards for Sewage Works)

$$E = \frac{\frac{r}{i} + 1}{1.5 + \frac{r}{i}}$$

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

เมื่อ

E = Efficiency of the filter

r = Recirculation flow

i = Plant influent rate

RANKIN (1955) ได้ปรับปรุงความสัมพันธ์อื่น ๆ ของ Filter อีก สำหรับประเทศอังกฤษ ซึ่งส่วนมากใช้ Low rate trickling filter เนื่องมาจากสภาวะอากาศ และความเข้มข้นของน้ำทิ้งมีมาตรฐานพอใช้ได้

$$S_2 = \frac{S_1}{3 + 2R}$$

เมื่อ

S_1 = BOD_5 of setted sewage , $lb.day^{-1}$

S_2 = BOD_5 of settled filter effluent, $lb.day^{-1}$

R = Recirculation ratio

FAIRALL (1956) ได้ปรับปรุงสูตรใช้สำหรับ Filter ที่ไม่มีการ Recirculation ของระบบ Trickling filter โดยได้ข้อมูลตัวเลข (Data) มาจาก 44 Plants ใน Upper Mississippi Valley

$$\frac{L_e}{L_i} = 1.102 \left[\frac{V}{Q}\right]^{-0.322}$$

เมื่อ

L_e = Effluent BOD_5 from the secondary settling tank

V = Volume of filter media, 1000 cu.ft.

Q = Plant hydraulic flow rate, MGD.

HOWLAND (1958) ได้ปรับปรุงสูตรของ VELZ โดยมีค่าของอัตราไหลและอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวด้วย และว่าอัตราของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกไปเป็นฟังก์ชั่น (Function) ของเวลาที่ได้ผ่านตัวกลาง

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-K_{20}D/Q^{2/3}}$$

004750

และ $K_T = K_{20}\,(1.035)^{T-20}$

เมื่อ

$\frac{L_e}{L_i}$ = Percent BOD_5 removal

K = First order reaction constant

D = Depth of filter, feet

Q = Hydraulic loading, gallons day^{-1}

T = Temperature of sewage, °C

I17362039

SCHULZE (1960) ได้ให้ค่าคงที่สำหรับสมการดังนี้

$$\frac{L_e}{L_i} = 10^{-0.3b(D/Q^{0.67})}$$

เมื่อ

L_e = Final effluent BOD_5, mgl^{-1}

Q = Hydraulic loading, MGAD

D = Depth of filter, feet

$b = 1.035^{(T-20)}$

ECKENFELDER (1961) ได้พบว่า เมื่อกที่เคลือบเกาะบนผิวของตัวกลางจะมีปรากฏอยู่มากหรือน้อยและจุดที่เกิดขึ้น จะแปรตามความสูงของ Filter เพราะว่ามีส่วนประกอบของสารในน้ำทิ้งที่ย่อยสลายง่ายส่วนมากจะถูกย่อยสลายไปโดยเร็วโดยแบคทีเรีย ECKENFELDER ได้ค้นคิดสูตรที่ให้ค่าของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดไป จะลดน้อยลงตามความสูง

$$\frac{L_e}{L_i} = \frac{100}{(1 + R)\left[1 + \frac{kD^{1-m}}{Q^n}\right] - R}$$

เมื่อ

$\frac{L_e}{L_i}$ = BOD_5 removal, %

D = Depth of medium, feet

Q = Hydraulic loading, MGAD

R = Recirculation ratio

สำหรับตัวกลางที่เป็นหิน ค่า

$k = 2.50$

$m = 0.33$

$n = 0.5$

สูตรนี้ไม่คำนึงถึงค่าของการกำจัด Organic loading

GALLER and GOTAAS (1964) ได้รวบรวม Data คิดค้นสูตรขึ้นสำหรับ Trickling filter โดยมีตัวแปรเปลี่ยนอิสระได้แก่ Recirculation, Temperature, Hydraulic rate, Depth, และ Organic load

Without recirculation

$$L_e = \frac{1.298\ L_i^{0.98}\ Q^{0.12}}{(1 + D)^{0.67}\ T^{0.15}}$$

เมื่อ

L_e = BOD_5 of effluent, lb $acre^{-1} day^{-1}$

L_i = BOD_5 of influent, lb $acre^{-1} day^{-1}$

Q = Hydraulic loading, MGAD

D = Depth of filter, feet

T = Temperature of sewage, °C

BALAKRISHNAN (1969) ได้เปลี่ยนแปลงแก้ไข ECKENFELDER'S Trickling Filter Formulation เป็น

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.00362\, A_v^{0.644}\, L_i^{0.54}\, D/Q^{0.5}}$$

เมื่อ

Q = Hydraulic loading rate, MGAD

D = Depth of filter, feet

A_v = Specific surface area available for biological growth, $ft.^2\ ft.^{-3}$

LAMB and OWEN (1970) ได้ปรับปรุงสูตรของ Trickling filter จาก Data ซึ่งประกอบไปด้วย **Strength** ของ Influent และ Effluent ของ Filter, Variable organic และ Hydraulic loading, อุณหภูมิ และ **Specific** surface area ของตัวกลาง

$$\frac{BOD_E}{BOD_I - BOD_E} = \frac{F}{VS}\, 7.2\, e^{-0.09(T-15)}$$

เมื่อ

BOD_E = BOD_5 of effluent, mgl^{-1}

BOD_I = BOD_5 of influent, mgl^{-1}

F = Flow, $m^3 day^{-1}$

V = Volume of medium, m^3

S = Specific surface area of medium, $m^2 m^{-3}$

T = Temperature of sewage, °C

TUCEK and Others (1971) ได้ค้นคิดขึ้นโดยใช้ Dimenision-less numbers สำหรับ Filter ที่มี Recirculation และไม่มี Recirculation อีกด้วย Dimensionless numbers ที่กล่าวนี้มีความเกี่ยวพันกับ Hydraulic loading, Influent BOD_5, Effluent BOD_5, ความสูงของ Filter และ Recirculation

สำหรับ Filter without recirculation

$$X_1 = \frac{S_o - S_2}{S_o}$$

$$X_2 = \frac{kD}{q}$$

เมื่อ

X_1, X_2 = Dimensionless numbers

S_o = Initial BOD_5 , mgl^{-1}

S_2 = Final BOD_5 , mgl^{-1}

k = Constant (found by experiment) $0.1417\ day^{-1}$

D = Depth of filter , m

q = Hydraulic loading , $m^3m^{-2}day^{-1}$

สำหรับ Filter with recirculation

$$X_{1S} = \frac{S_S - S_2}{S}$$

$$X_{2S} = \frac{kD}{q_S}$$

เมื่อ

X_{1S}, X_{2S} = Dimensionless numbers

S_S = BOD_5 of mixture , mgl^{-1}

S_2 = Final BOD_5 , mgl^{-1}

q_S = Hydraulic loading , $m^3m^{-2}day^{-1}$

ซึ่งค่า S_S และ q_S หาได้จาก

$$S_S = \frac{S_o + RS_2}{1 + R}$$

และ $q_S = q\ (1 + R)$

เมื่อ R = Recirculation ratio

BRUCE and MERKENS (1973) ได้คันคิดสูตรที่มีความสัมพันธ์กันเอง Filter ขึ้นอยู่กับ First order reaction kineties ประสิทธิภาพของ BOD_5 ที่ถูกจำกัดออกมีความเกี่ยวเนื่องกับ Sewage loading, Specific surface area และ Sewage Temperature มีสมการดังนี้

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.037 \times 1.08^{(T-15)} A_v/Q}$$

เมื่อ

L_e = BOD_5 of effluent , mgl^{-1}

L_i = BOD_5 of influent , mgl^{-1}

Q = Hydraulic loading , $m^3m^{-3}day^{-1}$

A_v = Specific surface area , m^2m^{-3}

T = Temperature of sewage , °C

สูตรนี้สามารถใช้ได้กับ Strong domestic sewage และ High rate filtration