

수중격벽을 이용한 슬러지이송

Sludge Transportation by the Submerged Barrier

박석균* · 강선홍

Park, Suk Gyun* · Kang, Seon-Hong

광운대학교 환경공학과

(2006년 8월 16일 논문 접수; 2006년 12월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The submerged barrier, employed in a reactor, divided a reactor into sludge settling zone and mixing zone according to flow type. In spite of mixing in the mixing zone, the lower part of sludge settling zone than the top of barrier was in a steady flow due to the barrier, which prevented the turbulent flow, produced from the mixing zone, from being diffused into the sludge settling zone. Therefore, the sludges in the mixing zone flowed backward over the barrier into the upper part of the sludge settling zone by turbulent flow and settled down in the sludge settling zone by the force of gravity. When barrier/water level ratio was 0.5, most sludges almost did not settle down in the sludge settling zone because the sludges were directly affected by the turbulent flow, generated from mixer in the mixing zone. At 0.63 of barrier/water level ratio, sludge in the middle part of sludge settling zone rocked from side to side weakly. And sludge in the lower part became piled up on the bottom over this ratio. After 10minutes of sludge settling, the lower part of sludge settling zone was over 5000mg/L of sludge concentration although initial sludge concentration was 2300mg/L. By using the submerged barrier and the flow types, it could transfer sludge from this to that.

Key words: Sludge, Barrier, Return, Steady flow, Turbulent flow, SBR

주제어: 슬러지, 격벽, 반송, 층류, 난류, SBR

1. 서 론

A₂O 계열은 유기물, 질소 및 인의 제거를 위해서 혐기조, 무산소조, 호기조 등을 다단으로 설치하고, 침전지를 별도로 두고 있기 때문에 넓은 처리장 면적과 많은 시설비가 요구된다. 이러한 문제점을 극복하

기 위해 한 개의 반응조안에서 유기물, 질소, 인 제거 및 슬러지침전을 함께 수행할 수 있는 SBR공법이 개발되었다. 그러나 기존의 SBR은 운전공정의 한계(혐기공정이 없음)로 인하여 영양염류에 대한 처리율이 A₂O 계열에 비해 낮은 단점이 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 SBR의 전단부에 선택조를 설치하고 순환펌프를 이용하여 슬러지를 선택조로 재순환시킴

*Corresponding author Tel: +83-2-940-5075, Fax: +82-2-911-2033, Email: k2lp@hanmail.net (Park, S.G)

으로써 기존 SBR 반응조의 단점을 극복한 개량형 SBR들이 개발되었다. 그러나 이들 SBR은 A₂O 계열 처럼 슬러지반송을 위해서 펌프 및 배관과 같은 별도 시설이 추가되므로 구조가 매우 복잡하고, 운전이 어려우며, 운영비 및 초기시설비의 상승 문제와 더불어 유지관리에 대한 어려움들이 발생하였다. 본 연구의 목표는 별도의 배관 및 펌프 등과 같은 슬러지 이송 장치를 구비하지 않고 조내에서 발생하는 기존의 혼합에너지를 이용하여 슬러지를 반응조 앞단으로 이송시키는 방법을 개발하는데 있다.

1.1. 혼합에 요구되는 동력

무산소조와 혐기조는 반응조내 슬러지를 부유시킬 수 있는 동력으로 수면에서의 난류가 최소화될 수 있도록 교반되어야 한다. 또한 교반과정 중 와류의 발생되지 않도록 설계되어야 한다. Reynolds(1982)는 Eq. 1에서 보여주는 바와 같이 MLSS를 이용하여 활성슬러지공정의 교반에 필요한 동력식을 제시하였다.

$$P/V = 0.00094(\mu)^{0.3}(MLSS)^{0.298} \quad (1)$$

여기서

$\mu = 1.0087$ at 20°C

P = 물에 가해지는 동력, N-m/s

V = 반응조 체적, m³

P/V = kilowatts per 1000L

MLSS = mg/L

교반에 보통 이용되는 장치는 1) 기계식 교반장치, 2) 압축 공기에 의한 교반장치, 3) 방해벽에 의한 우회식 교반장치 등으로 구분되는데 이 중에서 기계적 교반이 가장 일반적으로 이용되고 있다. Camp(1955)의 연구에 따르면 혼합도는 물에 가해지는 동력에 기초를 두고 있으며 속도구배를 이용하여 혼합도를 측정하였다. 기계식 혹은 공기식 교반을 위한 속도구배 공식은 아래와 같다.

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (2)$$

여기서

G = 속도구배, sec⁻¹

W = 반응조 단위체적당 물에 가해지는 동력, N-m/s-m³

μ = 물의 절대점성, 10 에서, $\mu = 0.00131$ N-s/m²

임펠러의 회전에 의해 액체에 전달되는 동력은 Rushton 등(1947, 1950, 1952, 1953)이 제시한 관계식으로 구할 수 있다. 난류($N_{Re} > 10,000$)에 있어서 방해판이 부착된 탱크에서, 임펠러에 의해 가해지는 동력은 Eq. 3으로 구할 수 있다. 방해판이 없는 정방형 탱크에 전달되는 동력은 방해판이 있는 정방형, 또는 원형 탱크에 전달되는 동력의 75% 정도이다.

$$P = K_T n^3 D_i^3 \rho \quad (3)$$

여기서

K_T = 난류에 있어서의 임펠러 상수

n = 회전속도, rps

D_i = 임펠러 직경, m

공기식 혼합조의 속도구배의 변화는 공기유량을 변화시켜서 얻을 수 있다. 공기식 혼합은 유입유량변화의 영향을 받지 않으며 그 수두손실은 오히려 작다. 필요한 동력을 물에 가해주기 위해 이용되는 공기유량은 Eq. 4를 이용하여 구할 수 있다.

$$P = C_1 C_a \log \left(\frac{b + C_2}{C_2} \right) \quad (4)$$

P = 동력, N-m/s

$C_1 = 3904$

$C_2 = 10.4$

C_a = 운전온도와 운전압력 하에서 공기유량, m³/min

b = 산기관의 깊이, m

1.2. 수중격벽이 적용된 하수처리공정

반응조내 슬러지는 물의 흐름에 따라 이동하고 중력에 의해 침전된다. 또한 슬러지는 물의 흐름에 상관없이 반응조에서 층류와 난류의 차이에 의해서도 이동될 수도 있다. United Industries, Inc(1990)은 별도의 침전조와 슬러지반송펌프를 설치하지 않고도 난류에서 층류로의 변화를 이용한 내장형 침전지가 설

치된 산화구(BOAT)를 개발하였다. BOAT는 수중벽과 weir에 의해 내장형침전지와 기존의 산화구로 나누어진다. 범양건설(1999)에 의해 개발된 PSBR(Pumyang Sequencing Batch Reactor)은 유출장치없이 처리수를 배출하기 위해서 수중에 격벽을 설치하였다. 수중격벽과 유출부의 벽면 사이에 슬러지가 침전 및 농축되기 때문에 이들 슬러지가 유출되는 것을 방지하기 위해서 처리수를 유출하기 전에 펌프를 이용하여 반송시킨다.

2. 실험재료 및 방법

본 실험은 3개의 실험으로 구성되었다. 실험 1에서는 교반기로 임펠러가 이용되었고, 실험 2에서는 교반기로 산기기가 이용되었다. 그리고 실험 3에서는 2개의 격벽이 이용되었다.

2.1. 실험방법 1

반응조의 폭, 높이, 길이는 각각 10cm, 40cm, 40cm이었다. 격벽은 반응조안에 위치하며, 위 아래로 자유롭게 이동이 가능하다. Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 격벽은 반응조를 슬러지침전지역과 혼합지역으로 나눈다. 슬러지침전지역의 길이는 10cm이고, 혼합지역의 길이는 30cm이다. 그리고 혼합지역에는 3개의 교반기가 설치되었다. 각 교반기는 3개의 paddle을 가지고 있으며, 각 paddle의 폭은 4.5cm, 높이는 3cm이었다. 교반기를 작동시키고, 격벽높이를 변화시키면서 슬러지의 움직임 관찰하였다. 슬러지는 S처리장에서 채취되었으며 농도는 3000mg/L로 조절되었다.

2.2. 실험방법 2

반응조의 폭, 높이, 길이는 각각 28cm, 40cm,

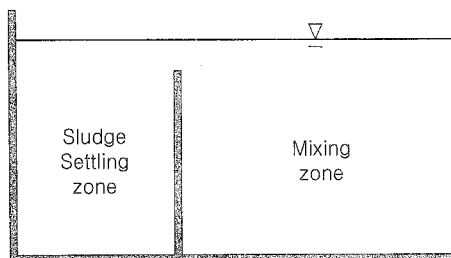


Fig. 1. Two zones divided by the submerged barrier.

60cm이었다. 격벽은 반응조안에 설치되었으며 높이는 18cm이다. 이 격벽은 좌우로 자유롭게 이동이 가능하며, 반응조를 슬러지침전지역과 혼합지역으로 나눈다. 그리고 혼합지역의 교반을 위해 활성슬러지공정에서 이용되는 것과 유사한 산기기를 4개 설치하였다. 산기기가 작동하는 동안 슬러지침전지역의 길이를 최소 45cm에서 최대 55cm 변화시키거나 수위를 최저 19cm에서 22cm로 조절하면서 슬러지의 거동을 관찰하였다. 슬러지는 J 하수처리장에서 채취되었으며, 농도는 2300mg/L로 조정되었다.

2.3. 실험방법 3

반응조는 실험 2에 사용된 반응조와 동일하다. 수위는 19cm이고 2개의 격벽이 반응조안에 설치되었다. 첫 번째 격벽인 격벽 1은 반응조의 바닥위에 위치하며 상, 하 이동이 가능하다. 두 번째 격벽인 격벽 2는 높이가 18cm이고 물속에 잠겨졌다. 2개의 격벽에 의해 반응조는 3개의 지역으로 나누어졌다. 격벽 1의 높이를 조절하면서 슬러지의 움직임을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험 1

일반적으로 반응조안에 있는 슬러지는 물의 흐름에 따라 움직이면서 중력에 의해 침전된다. 그러나 난류와 층류를 이용할 경우 물의 흐름에 상관없이 원하는 방향으로 슬러지만을 움직일 수 있다. 난류는 반응기에 설치된 교반기에 의해 생성된다. 따라서 물속에서 교반기가 작동하게 되면 물의 흐름은 난류로 변하게 된다. 그리고 어떤 지역이 교반기에 의해 발생하는 난류로부터 분리된다면 이 지역은 층류를 유지할 수 있다. 본 연구에서는 난류를 막기 위한 방법으로 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 물속에 격벽을 설치하였다. 이렇게 물속에 잠긴 격벽은 반응조를 2개 지역(교반기가 설치된 지역과 설치되지 않은 지역)으로 나눈다. 전자는 혼합지역이고 후자는 슬러지침전지역이다. 혼합지역에 설치된 각 교반기에는 높이가 3cm이고 폭이 4.5cm인 paddle이 3개 달려 있다. 각 paddle의 회전속도는 5rpm이다. Eq. 3을 이용하여 계산된 각 교반기의 동력은 0.088W이다. 반응

조내 baffle이 없는 장방형 반응기에 전달되는 동력은 baffle이 설치된 반응기의 75%이므로 혼합지역으로 전달되는 총 동력은 0.185W이다. 그리고 동력/부피 (P/V)는 11.6W/m³으로, Reynolds(1982)가 제시한 Eq. 1에 의해 계산된 값(10.2W/m³)보다 더 컸다.

혼합지역에서의 교반에도 불구하고 슬러지침전지역 중 격벽의 최상부보다 낮은 지역은 격벽에 의해 층류상태가 유지되었다. 따라서 혼합지역 내 슬러지는 발생하는 난류에 의해 슬러지침전지역의 상부로 이송된 후 중력에 의해 하부로 침전되었다.

슬러지침전지역은 슬러지의 움직임에 따라 1) 혼합지역에서 생성되는 난류에 의해 슬러지가 회전 운동하는 슬러지 거동지역 2) 난류의 영향에 의해 슬러지가 약간씩 유동하는 불안정슬러지지역 3) 혼합지역에서 발생하는 난류에 영향을 받지 않으며 중력에 의해 슬러지가 침전 및 농축되는 슬러지 안전지역으로 구분될 수 있다.

격벽 대 수면높이비가 0.5 이하일 때, Table 1에서 보여주는 바와 같이 슬러지침전지역내 거의 모든 슬러지는 혼합지역에서 발생하는 난류에 직접적으로 영향을 받기 때문에 거의 침전하지 않았다. 이와 같은 이유로 슬러지침전지역의 MLSS는 혼합지역의 MLSS와 거의 비슷하였다. 격벽 대 수면높이비가 0.63일 때, 슬러지침전지역의 중간부에 위치한 슬러지는 좌, 우로 약하게 흔들렸다. 그리고 하부에 위치한 슬러지들은 바닥에 축적되었다. 격벽 대 수면높이비가 0.75인 경우에는 슬러지침전지역의 하부에서 슬러지가 안정적으로 농축되어 침전 10 이후 슬러지침전지역의 하부 슬러지농도는 5000mg/L을 넘었다. 상기와 같은 결과로부터 격벽 대 수면높이 비가 약 0.6 이상인 경우에만 혼합지역에서 발생하는 난류에 영향을 받지 않고 슬러지혼합지역내에서 슬러지가 침전됨을 알 수 있었다.

3.2. 실험 2

실험 2는 실험 1과는 다르게 혼합지역내에 임펠러 대신 산기기를 교반기로 사용하였다. 산기기도 임펠러와 같은 기계식 교반기처럼 물속에 혼합동력을 전달시킬 수 있는 교반기로 사용이 가능하며 동력조절은 산기량을 변화시키면서 얻을 수 있다.

본 실험은 산기기의 동력을 고정시키고 혼합지역의 부피를 다양하게 변화(18.6-33.9L)시켜면서 슬러지의 거동을 관찰하였다. 실험에 적용된 혼합동력은 변화되는 혼합지역의 최소동력값들의 평균(0.23W)으로 Eq. 1을 이용하여 각 슬러지혼합지역의 부피들로부터 도출되었다. 0.23W의 동력을 얻기 위해서는 7.4L/min의 산기량이 필요하지만(Eq. 3을 이용), 본 실험에서는 산기량조절에 대한 한계에 기인하여 이론적 산기량보다 약간 적은 6.8L/min의 산기량이 이용되었다. 따라서 산기식 교반기에 의해 생성된 혼합동력은 0.22W이었다. 그리고 이 동력 값은 혼합지역이 부피변화에 관계없이 동일하게 적용되었으며 모든 경우에서 완벽한 슬러지 혼합이 관찰되었다. 또한 혼합지역의 평균부피가 26.3L이므로 평균 P/V는 8.4 W/m³이었으며 평균 속도구배(G)는 80sec⁻¹이었다. 이 속도구배값은 AWWA(1969)에서 제시하는 값(90sec⁻¹)보다 약간 작았다(Fig. 2). Fig. 2는 속도구배, 온도 및 단위부피당 전달되는 동력들의 관계를 보여주고 있다. 본 실험에 적용된 속도구배는 AWWA에서 제시하는 값보다 약간 작았지만 Metcal과 Eddy(1991)이 제시하는 값보다는 컸다. Metcal과 Eddy은 슬러지를 완전히 부유시키기 위한 산기량으로 20~30L/min-m³을 제시하였다.

슬러지 침전지역의 길이와 격벽높이를 각각 5cm와 18cm로 고정시키고, 수위를 22cm부터 19cm까지 변화시키면서 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 슬러지침

Table 1. Sludge movement in sludge settling zone according to hb/hw ratio

L _{ss}	h _w	h _b	h _w /h _b	h _{msz}	h _{usz}	h _{ssz}	특징
0.1	0.4	0.15	0.38	0.12	0.03	-	슬러지가 거의 침전되지 않고 혼합됨.
0.1	0.4	0.20	0.50	0.15	0.05	-	슬러지의 움직임이 h _w /h _b 가 0.38인 경우 보다 작음.
0.1	0.4	0.25	0.63	0.15	0.08	0.02	슬러지가 바닥에 축적됨.
0.1	0.4	0.30	0.75	0.18	0.06	0.06	슬러지가 중력에 의해 농축됨.

여기서, L_{ss} = 슬러지침전지역의 길이(m), h_w = 수면높이(m), h_b = 격벽높이(m), h_{msz} = 슬러지거동지역의 높이(m), h_{usz} = 불안정슬러지지역의 높이(m), h_{ssz} = 슬러지안전지역의 높이(m)

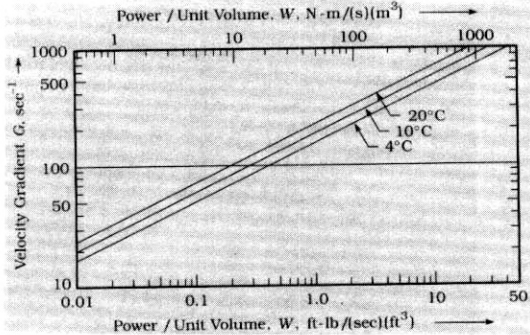


Fig. 2. Mixing power requirements (AWWA, 1969).

전지역내 슬러지의 움직임을 관찰하였다. h_b/h_w 가 0.82인 경우, 임펠러를 사용하면서 h_b/h_w 가 0.75인 실험 1의 결과와 비슷한 슬러지침전특성을 보였다. h_b/h_w 의 차이에도 불구하고 이와 같은 결과가 나타나는 이유는 임펠러의 회전운동에 의해 발생하는 상향류가 산기기에 의해 발생하는 상향류보다 약하기 때문이다. 따라서 산기기에 의한 슬러지침전지역의 상부내 슬러지의 움직임은 임펠러의 경우보다 산기기를 사용하였을 때가 더 컸다.

h_b/h_w 가 0.82에서 0.95로 증가할 때 슬러지 불안전지역의 높이는 5cm에서 3cm으로 60% 감소하였다. 슬러지 불안전지역의 높이가 감소하는 이유는 슬러지 거동지역내 난류 강도가 점점 약해지기 때문이다. h_b/h_w 가 0.95 일때 슬러지 거동지역의 높이는 격벽높이의 33%를 차지하고 있지만, h_b/h_w 가 0.82인 경우에 비해 슬러지의 움직임이 매우 작았다.

슬러지 침전지역의 길이를 10cm으로 고정시키고 슬러지의 움직임을 관찰한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 h_b/h_w 가 0.84인 경우에는 슬러지 안전지역이 생성되지 않았다. h_b/h_w 가 0.88인 경우의 슬러지 안전지역의 높이와 Fig. 3에서 h_b/h_w 가 0.82인 경우의 슬러지 안전지역의 높이는 같았다. 이는 슬러지 침전지역의 면적이 h_b/h_w 처럼 슬러지 침전에 많은 영향을 미치는 주요인자임을 의미한다. 또한 Fig. 4와 Fig. 3을 비교해 보았을 때, h_b/h_w 가 증가할수록 Fig. 4의 각 지역의 높이는 Fig. 3에서의 각 지역의 높이들과 비슷해졌다. h_b/h_w 가 0.88에서 0.95로 증가할 때 슬러지안전지역의 높이는 0cm에서 8cm로 증가되었으며 슬러지거동지역의 높이 18cm에서 7cm로 61% 감소하였다.

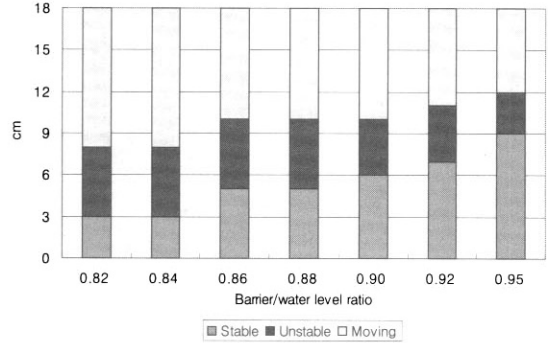


Fig. 3. Each zone height when the length of sludge settling zone was 5cm.

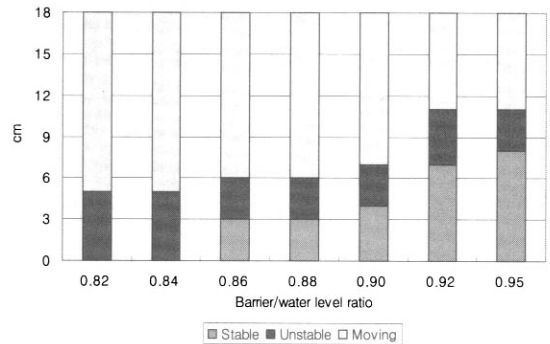


Fig. 4. Each zone height when the length of sludge settling zone was 10cm.

혼합지역의 길이(15cm) 대 슬러지 침전지역의 길이(45cm)비가 0.33이고, h_b/h_w 가 0.88이하인 경우 슬러지 침전지역에서 슬러지는 침전되지 않았다. h_b/h_w 가 낮은 경우 혼합지역의 교반에 의한 영향으로 슬러지 침전지역의 바닥까지 와류가 발생되었다. h_b/h_w 가 0.95일때 불안전슬러지지역 내 슬러지는 간헐적인 상·하 움직임을 보였다. 그리고 격벽높이가 0.82에서 0.95로 증가함에 따라 슬러지 거동지역의 높이는 Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 18cm에서 7cm로 감소하였다.

실험반응조의 길이는 고정되어 있기 때문에 슬러지침전지역의 길이가 길어짐에 따라 혼합지역의 길이는 짧아진다. 또한 모든 실험에서 동일한 교반동력(P)으로 교반기를 작동했기 때문에 혼합지역의 길이가 55cm에서 45cm로 줄어들며 따라 G(속도구배)는 7sec^{-1} 에서 95sec^{-1} 으로 증가하였다. 안전슬러지지역의 높이는 상기에서 언급한 바와 같이 혼합지역의 G

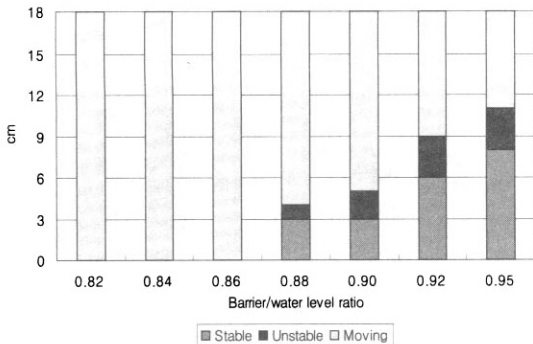


Fig. 5. Each zone height when the length of sludge settling zone was 15cm.

와 안전슬러지지역의 길이와 격벽의 높이비 (h_b/h_w) 등에 의한 영향을 받으며, 이들 인자 중 격벽의 높이비는 Fig. 3~Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 가장 중요한 영향인자로 작용하였다. G(속도구배)도 격벽비와 같이 주요 영향인자지만 현장에서 슬러지교반에 이용되는 G값은 일정한 범위내에서 운전되기 때문에 실제 공정운전에 G값에 의한 영향은 미미하다.

상기에서도 언급된 바와 같이 혼합지역에서 생성되는 대부분의 난류가 격벽에 막히기 때문에, 슬러지 침전지역에 대한 설계에서 h_b/h_w 는 가장 중요한 설계 인자이다. 또한 슬러지 침전지역의 길이(또는 슬러지 침전지역의 길이 대 반응조의 길이비)도 슬러지침전에 영향을 미치기 때문에 h_b/h_w 가 동일한 경우에도 슬러지 침전지역의 길이가 길어짐에 따라 슬러지 거동지역의 높이가 증가되었다(Fig. 6). 슬러지 거동지역의 높이가 높아진다는 것은 혼합지역에서 생성된 난류에 의한 영향이 커지는 것을 의미하기 때문에 격벽설계 시 슬러지 침전지역의 길이를 반드시 고려해야 한다.

격벽 위의 슬러지 침전지역은 혼합지역에서 생성되는 난류의 영향을 직접적으로 받는다. Fig. 7은 격벽위에 위치하는 슬러지 침전지역의 부피(V_{on})와 각 지역의 높이에 대한 관계를 보여준다. V_{on} 이 증가될 때 난류의 영향을 직접적으로 받는 슬러지 거동지역의 높이는 Fig. 7의 빗금친 타원부분에서 보여주는 바와 같이 일정한 경향을 보였다. 그러나 슬러지 안전지역과 불안정 슬러지지역의 경우에는 격벽위의 V_{on} 보다 슬러지 침전지역의 바닥면적이 이들 지역의 슬러지층높이에 더 큰 영향을 주기 때문에 슬러지 거동

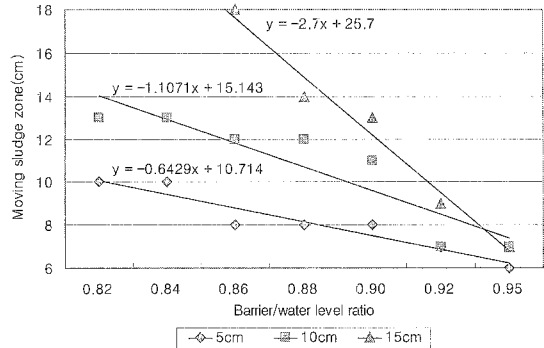


Fig. 6. Relationship between h_b/h_w ratio and h_{msz} .

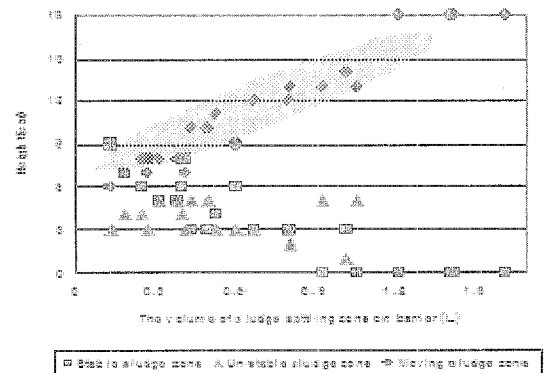


Fig. 7. Each zone height according to V_{on} .

지역과 같은 일정한 경향을 보이지는 않았다. 격벽위의 각 슬러지 침전지역의 부피가 동일할 경우 슬러지 침전지역내 슬러지는 슬러지침전지역의 면적이 넓어짐에 따라 난류에 더 큰 영향을 받았다(Table 2). 이와 같은 이유로 슬러지 안전지역과 불안정슬러지지역 내에서의 슬러지층의 높이는 V_{on} 과 상관성이 크지 않는 것으로 드러났다.

h_b/h_w 를 0.95, L_{SS}/L_R 를 0.33으로 고정시킨 후 10분 동안 혼합지역을 교반시켰다. 그리고 30분 동안 슬러지침전지역과 혼합지역내 슬러지를 침전시킨 결과 슬러지침전지역의 슬러지계면층의 높이는 7.5cm, 혼합지역의 슬러지계면층의 높이는 5cm이었다. 혼합지역이 슬러지 침전지역에 비해 부피가 크므로 혼합지역에서 슬러지 침전지역으로 이송된 슬러지량은 혼합지역의 슬러지량에 비해 무시될 만큼 작다. 그리고 슬러지 침전지역과 혼합지역의 슬러지는 동일한 SVI를 가지고 있기 때문에 Eq. 5를 이용하여 슬러지 침전지역에 침전된 슬러지량을 계산할 수 있었다. 슬러지

Table 2. Each zone height according to L_{ss} and Von

V _{on} (L)	L _{ss} (cm)	h _{ssz} (cm)	h _{usz} (cm)	h _{msz} (cm)
0.13	4.5	9	3	6
0.19	4.5	7	4	7
0.25	4.5	6	4	8
0.27	9.5	8	3	7
0.32	4.5	5	5	8
0.38	4.5	5	5	8
0.40	9.5	6	4	8
0.41	14.5	8	3	7
0.44	4.5	3	5	10
0.50	4.5	3	5	10
0.53	9.5	4	3	11
0.61	14.5	6	3	9
0.67	9.5	3	3	12
0.80	9.5	3	3	12
0.81	14.5	3	2	13
0.93	9.5	0	5	13
1.02	14.5	3	1	14
1.06	9.5	0	5	13
1.22	14.5	0	0	18
1.42	14.5	0	0	18
1.62	14.5	0	0	18

침전지역의 MLSS는 혼합지역의 MLSS보다 1.5배 높은 3500mg/L이었다.

난류에 의한 영향으로 슬러지침전지역의 평균 슬러지농도는 혼합지역의 슬러지농도와 거의 동일하였다. 따라서 불안전슬러지지역의 슬러지농도가 혼합지역에 비해 20% 증가했을 때 Fig. 8에서 보여주는 바와 같이 슬러지 안전지역 내 슬러지농도는 5300mg/L가 되었다. 이 농도는 혼합지역의 슬러지농도의 2배가 넘는 수치로 슬러지가 안정적으로 침전 및 농축되었음을 의미한다.

$$H' = \frac{XH_0}{X_M} \tag{5}$$

여기서

H = 슬러지계면층의 높이(m)

H₀ = 침전컬럼 높이(m)

X_M = 침전된 슬러지농도(mg/L)

슬러지 침전지역내 슬러지의 침전에 영향을 주는 주요인자인 격벽높이 및 슬러지침전지역의 길이와 슬러지안전지역의 관계는 Fig. 9에서 보여주는 바와

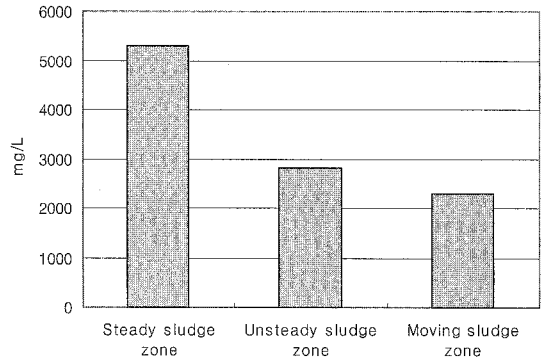


Fig. 8. The average sludge concentration in each zone.

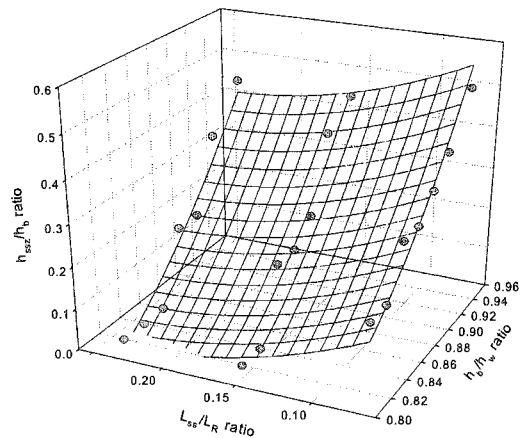


Fig. 9. Relationship among L_{ss}/L_R, h_b/h_w and h_{ssz}/h_b.

같이 두 인자와 좋은 상관성을 보여주었다(L_R = 반응조의 길이). 그리고 이들의 상관성은 Eq. 6로 표현될 수 있다(r² = 0.93). Eq. 6은 슬러지 침전지역내 슬러지함량을 추측하는데 유용하게 이용될 수 있다

L_{ss}/L_R과 hb/h_w과 h_{msz}/h_b의 관계는 Fig. 10에서 보여준다. 상기에서도 언급된 바와 같이 h_{msz}/h_b는 난류에 의한 영향을 의미한다. 그리고 이들의 관계는 Eq. 7으로 수식화 될 수 있다(r² = 0.94). 실제 현장에서 h_{msz}/h_b는 교반기의 형태, 교반기의 위치 및 교반 강도 등에 따라 다른 값을 보일 수 있다.

$$h_{msz} / h_b = 2.45e^{-0.5 \left\{ \left(\frac{X - 0.82}{0.1} \right)^2 + \left(\frac{Y - 0.85}{0.45} \right)^2 \right\}} \tag{6}$$

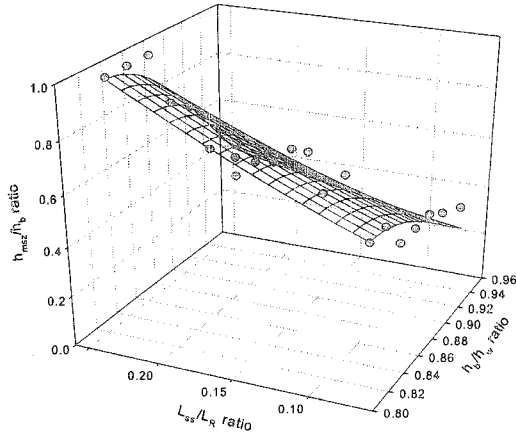


Fig. 10. Relationship among L_{ss}/L_r , h_b/h_w and h_{msz}/h_b .

3.3. 실험 3

일반적인 활성슬러지공정에서 슬러지의 흐름은 물의 흐름방향과 동일하므로 시간이 지남에 따라 슬러지들은 반응조 밖으로 유출된다. 따라서 슬러지들을 물의 흐름 방향과 반대로 이송시키기 위해서는 별도의 슬러지 이송장치가 필요하다. 실험 1과 실험 2의 결과에서와 같이 수중에 설치된 격벽과 수류형태를 이용하면 물의 흐름방향에 관계없이 슬러지를 원하는 방향으로 이송시킬 수 있다. Fig. 11은 유입수가 A지역에 유입되고, A지역, B지역 그리고 C지역에서 모두 교반이 이루어지지 않았을 때 반응조내 슬러지와 물의 흐름이 어떤 방향인지를 보여주고 있다. 그러나 C지역에서만 교반이 이루어지는 경우에는 물의 흐름 방향에 상관없이 C지역내의 슬러지는 격벽 2를 넘고, 격벽 1의 하단과 반응조의 바닥사이의 공간을 통과하여 A지역으로 이송되었다. Fig. 11과 Fig. 12에서 보여주는 두 방법을 이용할 경우 슬러지를 원하는 방향으로 자유롭게 이송시킬 수 있다. 따라서 이와 같은 방법을 통해 수처리공정에서 슬러지 반송장치없이 슬러지를 이송할 수 있는 새로운 방법을 제시할 수 있다. 따라서 상기 방식을 이용하는 수처리공정의 장점은 소요 부지가 작으며, 운영과정에서 발생하는 기계적 문제점들이 적다. 또한 유지비용과 에너지를 줄일 수 있다. 그리고 무엇보다 격벽 1과 격벽 2가 기존 SBR에 설치될 경우 C지역에서 A지역이나 B지역으로 슬러지가 이송되고, 이렇게 이송된 슬러지들은 C지역의 호기과정동안 생성되는 NO_x 들이 A지역이나

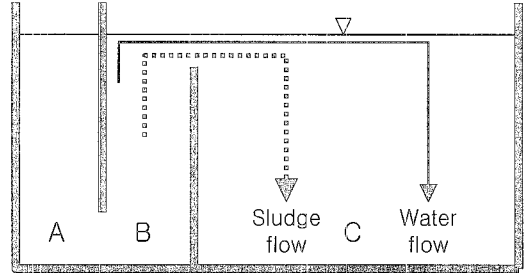


Fig. 11. Sludge flow and water flow when there is mixing in A and B zone or no all zones.

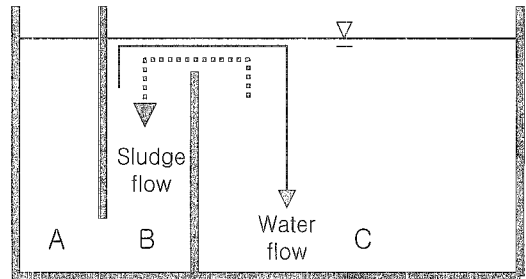


Fig. 12. Sludge flow and water flow when there is no mixing in B zone.

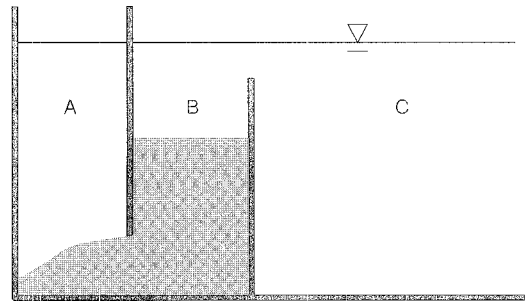


Fig. 13. Sludge transportation through the space between bottom and the lower part of barrier 1.

B지역으로 유입되는 것을 막을 수 있기 때문에 인체에 한계를 보이는 일반 SBR의 단점을 극복할 수 있다. 결과적으로, A지역이나 B지역의 하부는 C지역의 산기공정에 상관없이 인방출에 유리한 혐기성조건이 생성된다. 이들 지역에서 방출된 인은 수리학적 흐름에 따라 C지역으로 이송될 수 있다. 그리고 방출된 인은 C지역의 호기과정동안 제거된다(Park, 2003).

Fig. 13에서 보여주는 바와 같이 난류에 의해 C지역에서 B지역으로 이송된 슬러지들이 축적됨으로써

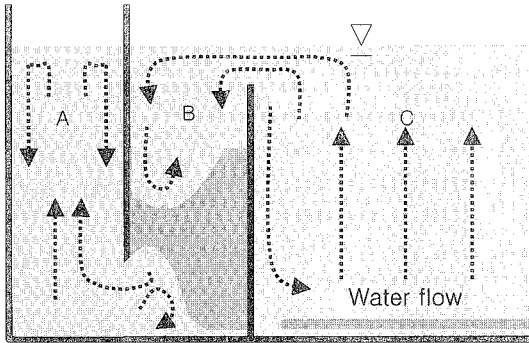


Fig. 14. Sludge's movement in B zone.

발생되는 압력에 의하여 B지역내 슬러지가 A지역으로 이송되는데 일부 한계가 있었다. 이와 같은 이송은 격벽 1의 하부와 바닥사이의 거리와 무관하며, B지역의 슬러지계면층 높리와 침전된 슬러지량과도 무관하였다. 이와 같은 한계현상은 슬러지들 사이의 마찰력, 점성 및 중력 등에 의한 것으로 사료된다.

Fig. 13에서 보여주는 바와 같이 B지역에서 A지역으로의 슬러지이송에 중력에 의한 한계가 있기 때문에, A지역에 상향류를 발생시켜 슬러지이송이 향상될 수 있는지를 파악하였다. Fig. 14에서 보여주는 바와 같이 A지역에 상향류를 발생시킬 경우, B지역의 하부에서만 교반이 발생되었고, B지역내 일부 슬러지가 A지역으로 이송되었다. 따라서 A지역에 적절한 상향류와 간헐적 교반은 B지역내 슬러지를 A지역으로 이송시키는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

수중격벽은 반응조를 물의 흐름형태에 따라 슬러지침전지역과 혼합지역으로 나눈다. 격벽 대 수면높이비와 슬러지혼합지역길이 대 반응조길이비는 슬러지침전지역을 설계하는데 가장 중요한 인자들이다. 수중격벽과 호기공정동안 생성되는 난류를 이용하여 별도의 슬러지이송장치없이 슬러지를 원하는 지역으로 이송할 수 있다. 따라서 이와 같은 방법을 통해 활성슬러지공정에서 슬러지반송장치없이 슬러지를 이

송할 수 있는 새로운 방법을 제시할 수 있다. 이 방법은 별도의 동력을 요구하지 않으며, 기존 반응조에 격벽설치가 쉽기 때문에 현장적용이 용이하다. 따라서 상기 방식을 이용할 경우 수처리공정의 소요 부지가 작아지며, 운영과정에서 발생하는 기계적 문제점들이 적어진다. 또한 유지비용과 에너지를 줄일 수 있다. 무엇보다 수중격벽이 SBR에 적용될 경우 기존 SBR이 가지고 있는 인 제거에 대한 어려움을 극복할 수 있다.

참고문헌

1. 범양건설, 1999, PSBR (Pumyang Sequencing Batch Reactor), <http://www.pycon.co.kr/PSbr.htm>
2. American Water Works Association (AWWA) 1969, Water Treatment Plant Desing, New York: AWWA.
3. Camp, T. R., 1955, Flocculation and flocculation basins. *Trans. ASCE* 120: 1
4. Metcal and Eddy, Inc., 1991, Wastewater engineering: collection, treatment and disposal and reuse. 3rd ed. New York, McGraw-Hill.
5. M. M. M. El Telbany, and A. J. Reynolds, 1982, The empirical description of turbulent channel flows *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 25(1), Issue 1, pp. 77-86.
6. Park Suk Gyun, 2003, Apparatus and method for purifying wastewater using back overflowed sludge, US2003/0136732 A1, Patent Application Publication U.S.
7. Reynolds, T. D., 1982, Unit operation and process in environmental engineering, Boston: PWS Publishing Company.
8. Rushton, J. H., 1952, Mixing of liquid in chemical processing. *Ind. and Eng. Chem.* 44(12), p. 2931.
9. Rushton, J. H. Bissell, E. S., Hesse, H. C., and Everett, H. J., 1947, Designing and utilization of internal fittings for mixing vessels. *Chem. Engr. Progr.* 43(12), p. 649.
10. Rushton, J. H., Costich, E. W., and Everett, H. J., 1950, Power characteristics of mixing impellers, Part 1 and 2. *Chem. Eng. Progr.*, 46(8), p. 395.
11. Rushton, J. H., and Oldshue, J. Y., 1953, Mixing theory and practice, Part 1 and 2. *Chem. Eng. Progr.* 49, p. 161.
12. United Industries, Inc., 1990, <http://www.ui-inc.com/>