

공기 양정(air lift) 펌프를 응용한 슬러지 배출장치에 대한 연구

안 갑 환* · 박 영 식

*부산가톨릭대학교 산업환경시스템학부 · 대구대학교 보건과학부
(2004년 8월 24일 접수; 2004년 10월 16일 채택)

Application of Air Lift Pump for Sludge Discharger

Kab-Hwan Ahn* and Young-Seek Park

*School of Ind. Hygiene & Environ. System. Eng., Catholic University of Busan, Busan 609-323, Korea
Division of Health Science, Daegu University, Daegu 705-714, Korea
(Manuscript received 24 August, 2004; accepted 16 October, 2004)

Sludge discharger applied the principle of the air lift pump was investigated experimentally for the different design(diameter of discharge pipe, diameter and height of the inside and outside wall) and operating parameters(air flow rate, water level). And it was conducted that performance comparison about sludge discharger and conventional air lift pump. The result indicated that discharged liquid were increased with the increase of air flow rate and water level and decrease distance between inside and outside wall. The discharge pressure was increased with an increase of air flow rate and a decrease of the diameter of the discharge pipe, for both the sludge discharger and the airlift pump. The discharge pressures of the sludge discharger were 3-6 times higher than those of the air lift pump.

Key Words : Sludge Discharger, Air Lift Pump, Slugging Flow, Sludge, Discharge pressure

1. 서 론

공기 양정(air lift)펌프는 공기를 이용하여 액체를 인위적으로 양수하는 장치로써 일반적인 펌프 시스템에 비해 효율이 낮아 널리 사용되지는 않고 있으나¹⁾, 양수 조작이 어려운 곳이나 물밀의 탐사, 특히 수중의 부서지기 쉬운 침전물을 손상시키지 않고 제거하거나 회전 임펠러를 손상시킬 수 있는 혼합물의 이송에 이용하는 특수한 양수 펌프이다. 공기 양정 펌프는 회전 또는 가동부가 없기 때문에 내식성이 필요하거나 특히 유지보수가 어려운 가혹한 환경에서 용이하게 이용할 수 있는 장점을 지니고 있어 최근에는 심해저의 광물자원으로 각광받고 있는 망간 단괴의 수력펌핑에 의한 채광기술로 각광받고 있다^{2,3)}.

환경분야에서 공기 양정 펌프가 적용되는 분야는 주로 수중폭기에 의한 호소⁴⁾나 상수원의 수질개선⁵⁾과 폐수처리장 침전조의 반송슬러지를 반송시키는

데⁶⁾ 사용된다.

그 중에서 수중폭기용으로는 산기관식(미국식)과 간헐식(양수통식; 일본식)을 사용하고 있으며, 그 중에서 종래의 공기 양정 방식(air lift)을 응용한 간헐식이 국내의 댐 등지에 많이 설치 운영되고 있다⁷⁾.

생물학적 폐수 처리 공정 중 하나인 고정 생물막 반응기 하부에는 유입수 속에 포함되어 있는 슬러지와 반응조로부터 탈리되어 발생하는 슬러지로 인해 슬러지가 계속 쌓이게 되어 이를 저장할 수 있는 슬러지 포트를 설치하게 되는데, 슬러지 포트에 퇴적되는 슬러지를 주기적으로 빼주지 않으면 반응기 전체가 혐기화되는 등 정상적인 운전이 불가능해진다^{8,9)}. 작은 하·폐수처리장에서 슬러지를 반송시키기 위하여 공기 양정 펌프를 사용하는 경우 배출되는 공기의 양을 조절하기 힘들고 운전자가 공기 양정 펌프에 적절한 양의 공기를 공급해주어야 하는데 공기가 적게 공급되면 펌프의 운전이 중지된다¹⁰⁾.

최근에 고정생물막 반응조 하부에 축적된 슬러지를 배출시키기 위하여 고정생물막 반응기 하부에

Corresponding Author : Young-Seek Park, Division of Health Science, Daegu University, Daegu 705-714, Korea
Phone : +82-53-650-8043
E-mail : yspark@daegu.ac.kr

간헐식 수증폭기 장치를 응용한 슬러지 배출장치를 운전한 결과 기존의 공기 양정 펌프보다 성능이 우수하고 반응조 하부의 축적된 슬러지를 주기적으로 제거할 수 있다고 보고한 연구결과가 있었다¹¹⁾.

본 연구에서는 생물학적 폐수처리 장치 내부의 슬러지를 효율적으로 배출하거나 침전조의 슬러지 배출을 원활하게 하기 위하여 간헐식 수증폭기 장치를 응용한 슬러지 배출장치를 개발하고자 하였다. 슬러지 배출 장치는 간헐식 수증폭기 장치와 원리는 같으나 구조를 간단하게 변형한 장치로서 주입하는 공기의 유량, 외벽의 크기, 내벽의 위치(외벽과 내벽 사이의 거리) 및 배출관경에 대한 기초실험을 수행하였으며 기존의 공기 양정 펌프와의 성능 비교를 통해 적용가능성을 고찰하였다.

2. 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프의 원리와 차이점

2.1. 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프 장치의 원리

슬러지 배출장치의 주요원리는 Kando의 발명과¹²⁾ Geyser pump¹³⁾ 또는 간헐식 수증폭기장치⁷⁾와 같으나 장치의 구조는 간단하다.

슬러지 배출장치와 종래의 공기 양정 펌프의 개요도를 Fig. 1에 나타내었다.

종래 공기 양정 펌프는 공기유입구(input air-line)과 배출관(discharge pipe)으로 구성되어 있어 장치

가 간단하며 운전원리는 아래와 같다.

공기가 공기유입구(input air-line)을 통하여 배출관(discharge pipe) 하부에 공급된다. 공기가 적절한 유속으로 공급되면 기포가 배출관에서 형성된다. 배출관 내부와 외부의 밀도차이 때문에 액체가 위로 밀려 올라가게 된다.

슬러지 배출장치는 크게 배출관, 공기 chamber, 공기배출구와 공기유입구로 구성되어 있다. 슬러지 배출장치의 공기 chamber는 내부 벽과 외부 벽 사이의 공간과 내벽과 배출관 사이의 공간으로 이루어져 있으며, 공기탱크의 역할을 한다. 배출관은 공기 chamber의 중간에 위치에 있으며, 공기유출구와 슬러지 유입부가 하부에 있다. 슬러지 배출장치는 아래와 같은 방법으로 운전된다.

공기가 공기유입구로 들어와서 공기유출구와 배출관 사이의 공기-물 계면에 도달될 때까지 공기 chamber에 차게 된다. 공기 chamber에 모아진 공기는 공기유출구를 통해 피스톤 모양으로 한번에 빠져나가게 되면서 배출관을 통해 하부의 슬러지-물 혼합물이 공기에 뒤따라 배출되고 다시 공기가 공기 chamber에 모아지고 배출되는 과정을 반복하며, 공기가 공기 chamber에 모아지는 시간동안은 슬러지가 배출되지 않기 때문에 간헐적으로 운전된다¹²⁾.

2.2. 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프 장치의 차이

슬러지 배출장치는 외벽에 주입된 공기가 외벽

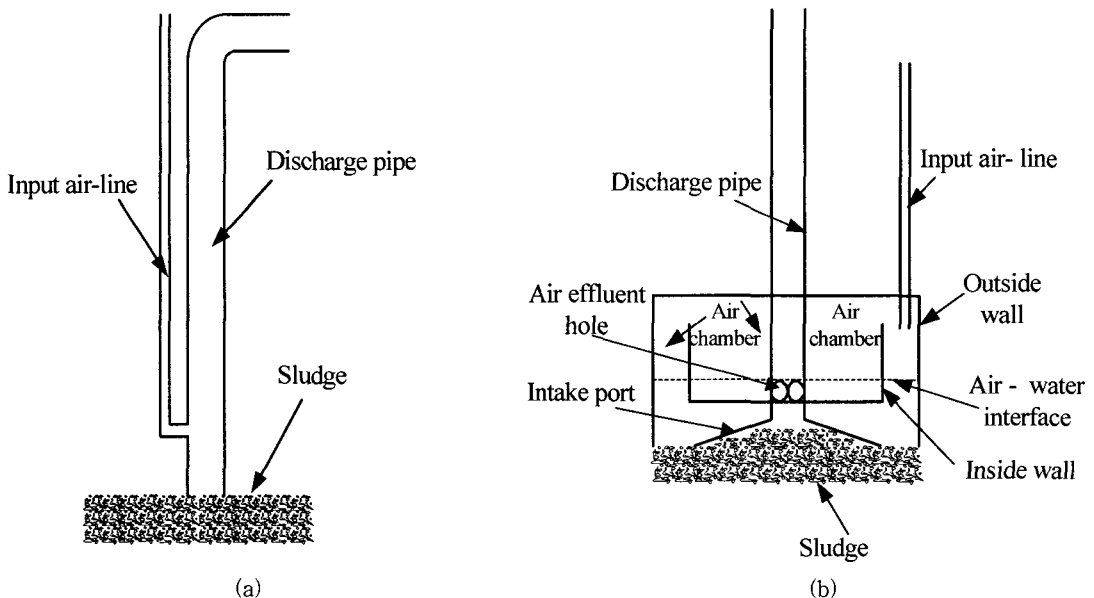


Fig. 1. Schematic diagram of the conventional air lift pump and sludge discharger.
(a) Air lift pump, (b) Sludge discharger

상단부터 점차로 누적되어 공기배출구 위치까지 외벽 내부 수면이 하강하게 되면 내부 공기 전체가 다수의 공기배출구를 통해 일시에 거대한 공기 덩어리(slugged air)를 유지하며 배출된다(Fig. 2 (a)). 이러한 형태의 공기흐름을 slugging flow라고 하는데, 거대한 공기 덩어리가 배출관 내에서 피스톤 작용을 하여 높은 압력으로 배출됨으로서^{14,15)}, 관의 하부에 있는 점도가 높은 액체나 일반 슬러지는 물론, 모래, 토사 등 비중이 큰 슬러지도 수면보다 훨씬 더 높은 위치까지 배출시킬 수 있다¹⁶⁾.

이에 반해 공기 양정 펌프는 주입된 공기가 파이프를 통해 작은 공기방울이 그대로 배출된다. 이러한 형태의 공기흐름을 bubble flow라고 하는데(Fig. 2(b)), 낮은 압력으로 공기가 연속적으로 배출되기 때문에 배출되는 물의 양은 상대적으로 많으나 비중이 있는 물질의 배출에는 용이하지 않으며, 배출 압력이 낮아 수면보다 높은 곳까지는 배출되지 않는다¹⁶⁾. 결국 슬러지 배출 장치와 공기 양정 펌프는 공기를 이용한다는 면에서만은 같으나 이용하는 형태에 있어 차이가 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1. 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프

슬러지 배출장치는 배출 관경에 따라 외벽과 내벽 등이 각각 필요하고, 동일한 배출 관경에 대해서도 실험 조건에 따라 내벽 및 외벽의 크기가 모두

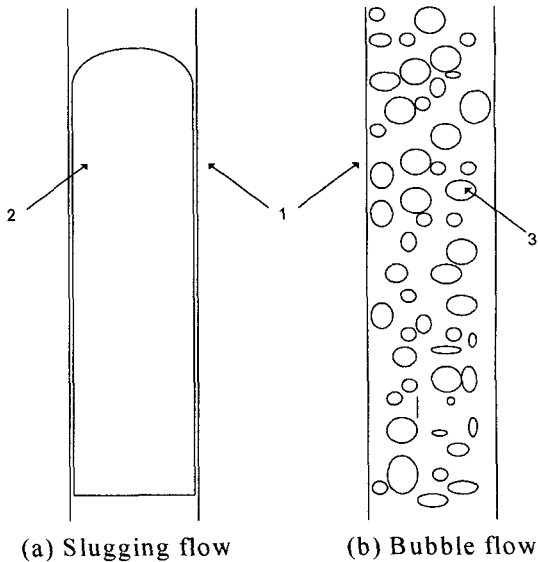


Fig. 2. Schematic diagram of difference on slugging and bubble flow of the air.
1: Discharge pipe 2: Air slugging
3: Air bubble

다르므로 실험할 항목에 따라 필요한 장치를 각각 제작하였다. 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프는 내부의 공기흐름을 효과적으로 관찰하기 위해 투명 아크릴을 사용하여 Fig. 1 (a)와 (b) 같이 제작하였는데, 배출관경(슬러지 배출장치, 공기 양정 펌프)을 15-50mm까지 변화시키고 각 관경별 다양한 크기의 외벽 및 내벽을 원형(슬러지 배출장치)으로 제작하여 실험에 사용하였다.

3.2. 슬러지 배출 실험

슬러지 배출 실험은 Fig. 3에 도시한 바와 같이 아크릴로 제작된 수조에 슬러지 배출 장치를 넣고 진행하였는데, 이러한 형태의 장치를 실험 조건에 맞는 크기별로 제작하여 다양한 조건에서 실험하였다. 공기는 air compressor로 주입하였는데 공기 유량계를 부착하여 유량을 조절하였고, 배출되는 슬러지의 배출 압력을 측정하기 위해 배출관의 상단에 압력계를 부착하였으며, 또한 장치 상단에 슬러지 수집기를 부착하여 슬러지 배출장치에 의해 배출되는 슬러지를 수집하였다.

먼저 공기 유량계로서 원하는 공기 유량을 조절 한 후 배출장치로 공기를 주입하면서 배출되는 물 또는 슬러지의 부피를 측정하였는데, 이때 배출 시간은 2분으로 하였으며, 외벽 내의 공기가 완전히 배출되는 정도, 배출 압력 및 슬러지 층의 부유 정도를 관찰하였다.

3.3. 분석 및 측정

배출량 측정은 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프를 통해 배출되는 물과 슬러지를 메스실린더로 양을 측정하였으며, 슬러지 농도는 시료분석은 Stan-

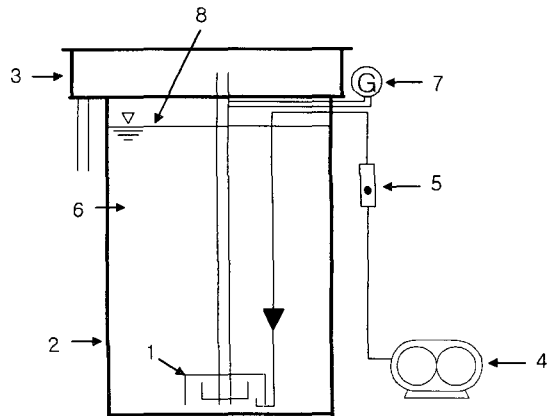


Fig. 3. Schematic apparatus of experimental process.
1: Sludge discharger 2: Storage tank
3: Sludge collector 4: Air compressor
5: Air flow meter 6: Water
7: Pressure gauge 8: Water level

ard Methods¹⁷⁾에 따라 행하였고, 배출된 슬러지의 고형물량(g)은 슬러지 농도에 배출된 부피를 곱하여 계산하였다. 배출압력은 두 장치의 배출관 끝에 압력계를 장착하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 배출관경과 공기량의 영향

슬러지 배출장치의 기본적인 운전 조건을 확립하기 위해 아크릴로 높이 25cm인 장치를 제작하여 액위(water level)를 23cm로 고정시키고 배출관경 15, 20, 25mm에 대한 배출 실험을 수행하였는데, 배출시 공기와 물의 흐름을 관찰하기 위해 슬러지가 아닌 물만을 대상으로 실험하였다. 장치는 Fig. 1 (b)와 동일하게 설치하였고, 배출관 전체 높이는 30cm, 모든 조건에서 외벽의 높이는 5cm, 내벽의 높이는 3cm로 고정하였으며, 내벽과 외벽의 높이 차이는 1cm로 일정하게 유지하였다.

4.1.1. 배출관경 15mm에서의 배출 실험

액위 23cm, 배출관경 15mm에서 외벽 직경 160mm에 대해 내벽 직경 40, 50, 60, 70, 90, 100 및 140mm을 각각 설치하고 공기량을 2.5, 5, 7.5 및 10L/min으로 변화시키면서 2분간 운전하여 나오는 배출량을 측정하여 Fig. 4 (a)에 도시하였다.

그림에서 보듯이 동일 조건에서 공기량이 많을수록 배출되는 물의 양 또한 증가하였으며, 내벽이 커짐에 따라 배출량도 증가한다는 것을 알 수 있었다. 공기량이 많으면 외벽의 부피를 채우는데 걸리는 시간이 상대적으로 작아 2분당 배출되는 횟수가 많아지므로 배출되는 물의 양도 많아지게 된다. 동일한 외벽(160mm)에서 내벽이 커진다는 것(40mm → 140mm)은 외벽과 내벽 사이의 거리가 작아지는 것이며, 이는 외벽을 채운 공기가 공기배출구를 통해 배출됨과 동시에 다시 채워지는 물이 들어오는 유입구가 작아진다는 것을 의미하는데, 좁은 틈을 통해 물이 순간적으로 들어오게 되면 넓은 틈을 통해 들어올 때보다 속도가 빨라지게 되어 더 큰 힘으로 공기를 밀어내게 되고 결국 공기는 더 큰 힘으로 배출되어 배출량 또한 많아지는 것으로 사료되었다.

실험시 공기 배출 현상을 관찰한 결과 외벽 내공기가 완전히 배출되지 않고 외벽 상단부터 약 15mm 정도는 공기층으로 유지되는 것을 볼 수 있었는데, 이는 외벽 크기에 비해 배출관의 물 층 부피가 작아 외벽내의 공기가 완전히 빠져나가기 전에 공기층이 대기와 접하게 되어 더 이상의 공기배출이 일어나지 않는 것으로 사료되었다. 따라서 배출관경과 수위 등을 고려하여 적절한 크기의 외벽을 선택하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

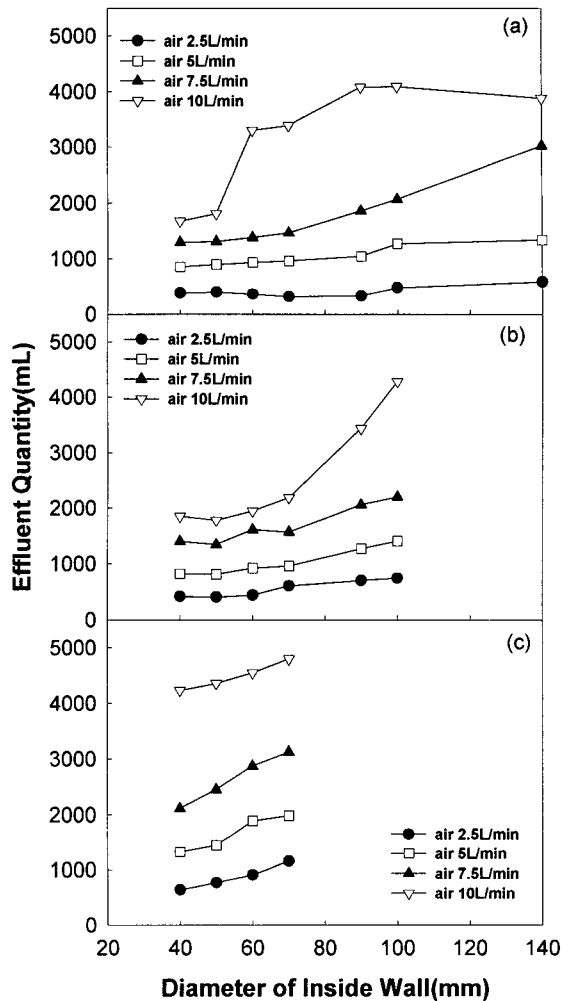


Fig. 4. Effluent quantity of water on variation of inside wall diameter and air flow rate. (Liquid level, 23cm; Diameter of discharge pipe, 15mm)
 (a) Diameter of outside wall, 160mm
 (b) Diameter of outside wall, 120mm
 (c) Diameter of outside wall, 80mm

배출관경 15mm에서 외벽 직경을 120mm로 하여 내벽 직경 40, 50, 60, 70, 90 및 100mm에서 배출 실험을 수행한 결과를 Fig. 4 (b)에, 외벽 직경이 80mm 일 때 내벽 직경 40, 50, 60 및 70mm에서의 결과는 Fig. 4 (c)에 도시하였다. 외벽 직경 120 및 80mm에서의 결과는 Fig. 4. (b)와 (c)에서 보는 바와 같이 공기량이 많을수록, 또한 내벽의 크기가 클수록 물의 배출량은 많은 것으로 나타나 외벽 직경 160mm 일 때와 같음을 알 수 있었다. 외벽 직경 160, 120 및 80mm에서의 배출량을 비교해 보면 동일한 공기량에서 외벽이 작을수록 물의 배출량이 많은 것을

알 수 있는데, 이는 외벽이 작을수록 동일 시간동안 펌핑되는 횟수가 많아지기 때문에 상대적으로 배출량 또한 많아진다고 사료되었다.

배출관경 15mm 실험에서 2분 동안 외벽을 가득 채운 공기가 배출되는 횟수를 고려하여 1회 배출당 유출되는 물의 양을 계산하여 Fig. 5에 도시하였다.

1회 펌핑당 배출되는 물의 양을 보면 공기량 증가에 따라 배출량은 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났는데, 이로서 소량의 공기만으로도 많은 양의 공기를 공급할때와 같은 효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 공기량을 증가시킨다면 펌핑되

는데 소요되는 시간이 짧아져 일정 시간동안 배출되는 물의 양이 상대적으로 많아질 뿐이라는 것을 알 수 있었다. 그러나 장치가 커졌을 경우에 작은 양의 공기만을 공급한다면 기액간의 평형을 깨뜨릴 수 있는 최소한의 driving force를 충족시키는데 시간이 많이 소요되므로 적절한 공기량을 유지하는 것이 필요할 것으로 사료되었다. 내벽의 크기(40-140mm)에 따른 1회 펌핑당 배출되는 물의 양을 보면 상기 결과와 같이 내벽이 커질수록 배출량이 많아지는 것으로 나타나 내벽과 외벽 사이의 거리가 작을수록 효과적인 것을 알 수 있었다. 그러나 이 또한 슬러지로 인해 막힐 것을 대비하여 최소한의 공간은 두는 것이 바람직할 것으로 사료되었다. 다른 조건은 일정하고(내벽 직경, 60mm; air flow rate, 5L/min) 외벽 직경이 160, 120 및 80mm 일 때 1회 펌핑당 배출되는 물의 양을 계산한 결과 각각 약 70, 40 및 35mL/회 정도로 외벽 직경이 클 때 더 많은 양이 배출되는 것을 알 수 있었다.

4.1.2. 배출관경 20와 25mm에서의 배출 실험

상기 배출관경 15mm에서 실험과 동일한 조건에서 배출관경을 20mm로 하여 외벽 직경 160, 120 및 80mm에서 각각 물에 대한 배출 실험을 수행하였다. 각각의 조건에서 2분간 운전하여 배출된 물의 양을 비교한 실험 결과, Fig. 6에서 보는 것과 같이 공기량이 많을수록, 내벽의 크기가 클수록 배출되는 물의 양 또한 큰 것으로 나타나 배출관경 15mm에서의 결과와 유사하였다.

액위 23cm, 배출관경을 25mm로 하여 외벽 직경 160, 120 및 80mm에서 2분간 슬러지 배출 장치를 운전하여 배출된 물의 양을 측정하여 Fig. 7에 도시하였는데, 배출관경 15mm와 20mm의 결과와 유사한 것으로 나타났다.

실험시 현상을 살펴보면, 배출관경 15mm에서는 외벽 직경 160mm에서 외벽 위로부터 약 20mm 정도, 외벽 직경 80mm에서 약 15mm 정도가 항상 공기층으로 유지되었고, 배출관경 20mm에서는 외벽 직경 160mm에서 약 10mm 정도가 항상 공기층으로 유지되는 것이 관찰되어 완전히 배출되지 않는 것을 알 수 있었으나, 배출관경 25mm에서는 외벽 내 잔류 공기량이 전혀 없이 완전 배출되는 것으로 나타나 배출관경에 따라 배출 공기량이 다르다는 것을 확인할 수 있었다.

배출관경 20mm와 25mm에서 1회 펌핑당 배출되는 물의 양을 계산한 결과 배출관경 15mm와 같은 결과를 얻었다.

4.2. 액위 변화에 따른 배출 실험

액위 변화에 따른 슬러지 배출장치의 성능 비교

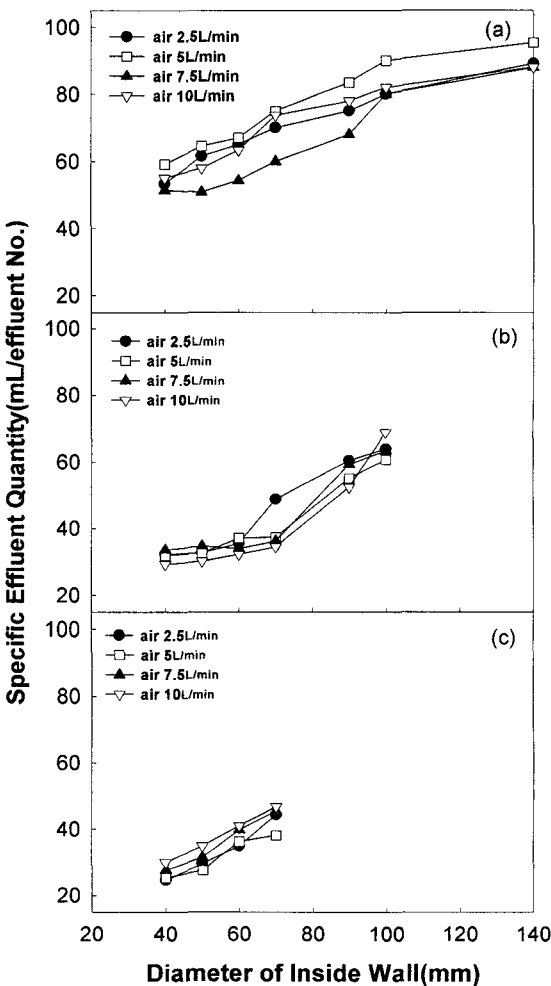


Fig. 5. Specific effluent quantity of water on variation of inside wall diameter and air flow rate. (Liquid level, 23cm; Diameter of discharge pipe, 15mm)
 (a) Diameter of outside wall, 160mm
 (b) Diameter of outside wall, 120mm
 (c) Diameter of outside wall, 80mm

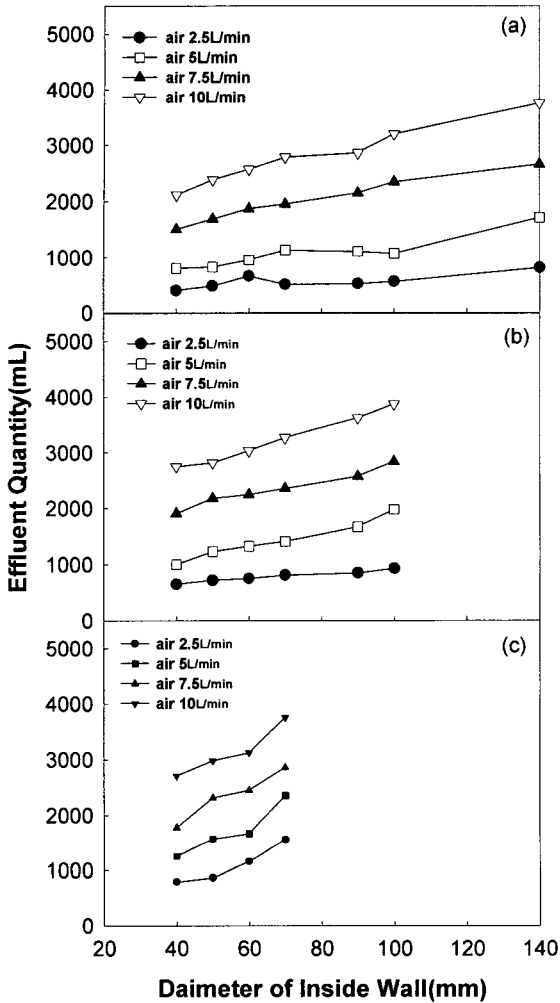


Fig. 6. Effluent quantity of water on variation of inside wall diameter and air flow rate. (Liquid level, 23cm; Diameter of discharge pipe, 20mm)
 (a) Diameter of outside wall, 160mm
 (b) Diameter of outside wall, 120mm
 (c) Diameter of outside wall, 80mm

를 위해 수면을 23, 53 및 83cm로 변화시키면서 배출관경 20mm에서 물을 대상으로 한 배출 실험을 수행하였다(Fig. 8). 이때 사용한 외벽 및 내벽의 직경은 각각 160 및 140mm이었고, 외벽 높이는 50mm, 내벽은 외벽보다 10mm 낮게 설치하였으며, 배출 시간은 2분, 배출관 끝은 수면 위로 7cm 높게 설치하였다.

그림에서 보듯이 배출관경, 외벽 및 내벽이 동일한 조건에서 액위가 높아질수록 배출량 또한 높아진다는 것을 알 수 있었으며, 공기량 2.5L/min에서 액위 23cm와 83cm에서의 배출량이 각각 820 및 1825mL 인데 비해 공기량 10L/min에서는 각각 3950

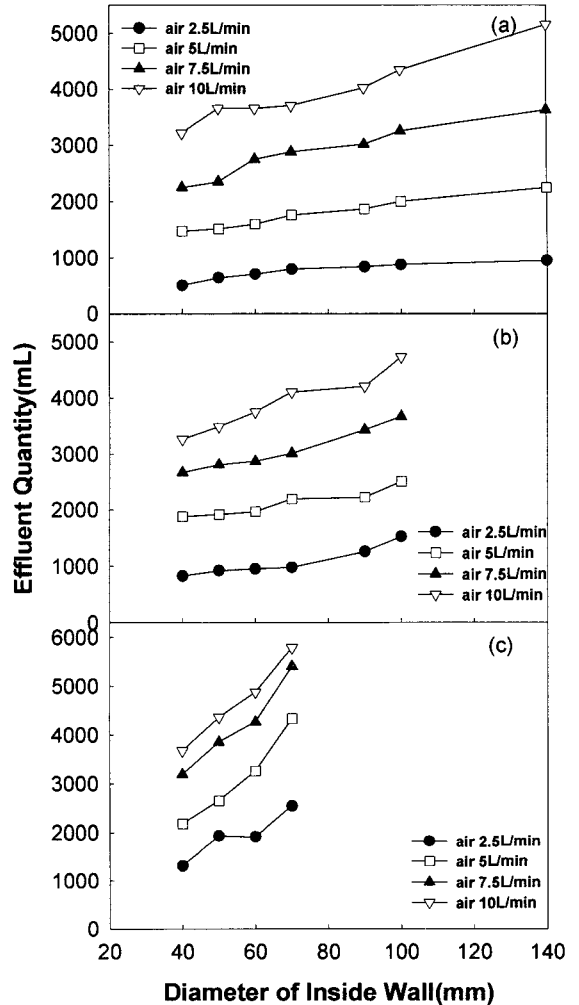


Fig. 7. Effluent quantity of water on variation of inside wall diameter and air flow rate. (Liquid level, 23cm; Diameter of discharge pipe, 20mm)
 (a) Diameter of outside wall, 160mm
 (b) Diameter of outside wall, 120mm
 (c) Diameter of outside wall, 80mm

및 7700mL로서, 배출량 증가의 폭은 공기량이 작을 때보다 많을 때가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 수심이 깊어질수록 강해지는 수압과 공기압의 차이가 커짐으로 인해 외벽을 채운 공기의 배출시 수심이 얇을 때보다 더 큰 힘으로 배출되기 때문인 것으로 사료되었다. 이와 같은 결과는 종래의 공기 양정 펌프에서 잠수율(액위)이 증가됨에 따라 양수 성능이 증가하였다는 김 등²⁾의 연구결과와 일치하였다.

4.3. 배출 높이에 따른 배출 실험

슬러지 배출장치를 이용하였을 때 수면 위로 배

출 가능한 높이에 관한 특성을 고찰하고자 비교적 낮은 23cm의 액위를 기준으로 수면 위로 배출관을 7cm, 37cm 및 67cm까지 높여서 물에 대한 배출 실험을 수행하였다. 본 실험장치는 배출관경 20mm, 외벽 직경 160mm 및 내벽 직경 140mm이었으며, 외벽 높이는 50mm, 내벽은 이보다 10mm 낮게 설치하였고, 배출시간은 2분으로 하였다. 배출 높이 변화에 따른 배출량을 도시한 Fig. 9를 보면, 액위가 23cm일 때 배출관이 수면위로 높이 올라갈수록 배출량이 큰 폭으로 감소한다는 것을 알 수 있는데, 배출관이 액위보다 3배 정도 높은 위치인 수면위로 67cm 높이 설치된 경우에는 전혀 배출되지 않았다. 한편 동일한 배출관경(20mm)에서 실험한 종래의 공기 양정 펌프의 경우 배출높이가 7cm에서 조금

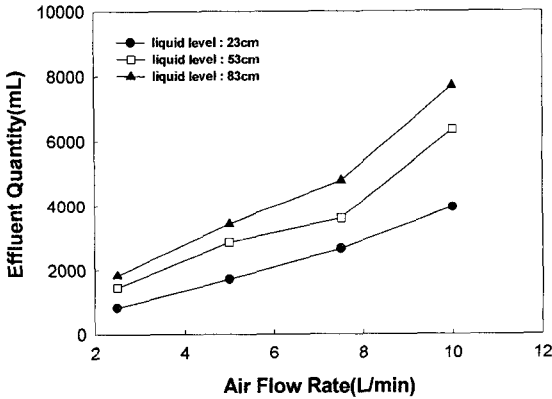


Fig. 8. Effluent quantity of water on variation of liquid level (Diameter of outside wall, 160mm; Diameter of inside wall, 140mm; Diameter of discharge pipe, 20mm).

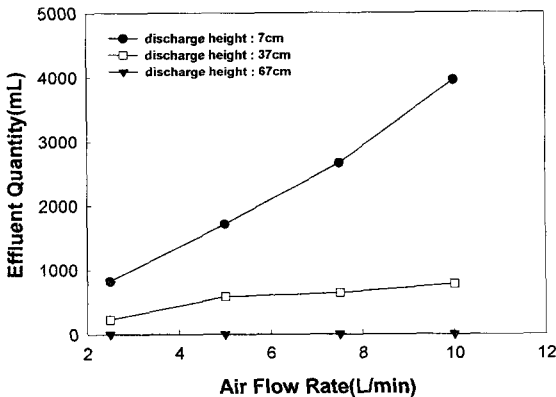


Fig. 9. Effluent quantity of water on variation of discharge height (Diameter of outside wall, 160mm; Diameter of inside wall 140mm; Diameter of discharge pipe, 20mm).

배출되는 것이 관찰되었을 뿐 37cm와 63cm에서는 전혀 배출되지 않는 현상이 관찰되어 슬러지 배출 장치의 운전조건이 더 나음을 알 수 있었다.

4.4. 슬러지 배출 장치 외벽 높이 변화에 따른 배출 실험

슬러지 배출 장치의 외벽 높이에 따른 배출 성능을 비교하기 위해 장치를 크게 제작하여 액위 90cm에서 배출관경 25mm으로 배출 실험을 수행하였는데, 외벽 지름을 160mm, 내벽 지름을 140mm로 하였으며, 내벽 높이는 실험한 외벽 높이(50-180mm)보다 10mm 낮게 설치하였다. 실험은 2분간 수행하였고, 주입 공기는 5L/min으로 일정하게 유지하였으며, 배출관은 수면보다 10cm 더 높이 설치하였다.

Fig. 10에서 보듯이 외벽의 높이가 낮을수록 2분 동안 배출된 물의 양은 많았는데, 이는 외벽의 높이가 높아 부피가 증가하게 되면 같은 공기량에서 외벽을 채우는데 상대적으로 많은 시간이 소요되기 때문에, 일정시간당 배출되는 물의 양을 비교하였을 때는 외벽의 크기가 작은 것이 펌핑 횟수가 많아지므로 배출량이 많아지게 되는 것이다. 1회 펌핑당 배출되는 물의 양을 보면, 외벽의 부피가 커서 한꺼번에 배출되는 공기의 양이 상대적으로 많은 쪽인 높은 외벽 조건에서 더 많은 물이 배출되는 것으로 나타났다. 그러나 외벽 높이가 140 및 190mm에서의 실험에서 배출되는 공기는 외벽 위쪽 끝으로부터 각각 10 및 60mm 높이까지 공기가 완전 배출되지 않고 계속 공기층으로만 유지되는 것을 확인할 수 있었으며, 이로서 액위 90cm, 배출관경 25mm의 조건에서는 외벽의 지름을 160mm로 하였을 때 배출될 수 있는 높이의 한계가 130mm이며, 더 이상 높

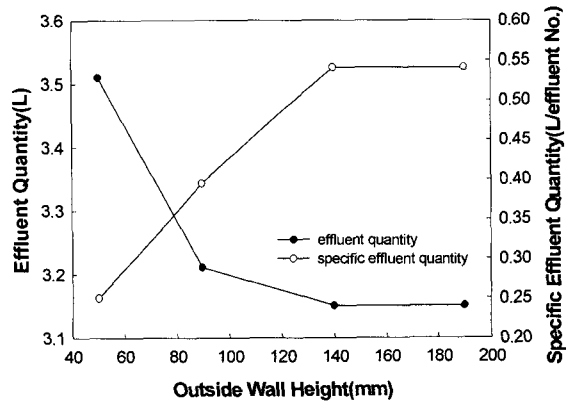


Fig. 10. Quantity of water on variation of outside wall height (Diameter of outside wall, 250mm; Diameter of inside wall, 130mm; Diameter of discharge pipe, 30mm).

게 하는 것은 장치 제조비만 많이 소요될 뿐 장치 성능에는 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있었다.

4.5. 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프 성능 비교
4.5.1. 물 배출 비교

Fig. 1에서와 같은 형태로 높이 100cm의 장치를 제작하여 관경을 25, 40 및 50mm로 변화시키면서 두 장치에 대한 비교를 하였는데, 액위 90cm에서 외벽 직경을 160mm, 내벽 직경을 140mm로 고정하였으며, 외벽 높이는 50mm이었고 내벽은 외벽보다 10mm 낮게 설치하였다. 배출관 끝은 수면위로 10cm 높게 설치되었다.

물에 대해 2분간 슬러지 배출 장치를 운전하여 배출된 물의 양을 측정하여 Fig. 11(a)에 도시하였다. 그림에서 보듯이 배출량이 가장 많은 것은 배출관경 40mm이었으며, 배출관경 25mm에서는 공기량의 증가에 따라 배출량 또한 증가하였고, 배출관경 50mm에서는 공기량 5L/min까지 배출량이 매우 작다가 그 이후로는 큰 폭으로 증가하였다.

배출관경 50mm의 결과에서 공기량 5L/min까지 배출량이 매우 작은 것으로 보아 상기 배출관경에서는 기액 평형을 깨고 원활한 air slugging을 유발시키는데 최소한 5L/min 이상의 공기량이 필요한

것으로 판단되었으며, 그 이상의 공기량에서 넓은 관경으로 인해 물의 배출량이 크게 증가하는 것으로 사료되었다. 또한 배출관경 40mm까지는 공기량 2.5L/min에서도 air slugging 유발이 가능하여 효과적인 장치의 운전이 가능한 것으로 판단되었다. 실제로 배출관경 50mm에서는 낮은 공기량(5L/min 이하)으로 운전할 때 air slugging이 발생은 되었으나 완전하게 관 전체를 밀고 올라가지 못하는 현상이 관찰되었으며, 이로 인해 피스톤 작용이 원활하지 못해 배출시 힘이 약하다는 것을 알 수 있었다.

관경 25, 40 및 50mm에서 일반적인 공기 양정 형태로 운전할 때 배출되는 물의 양을 측정하기 위해 상기와 동일한 조건으로 장치를 운전하여 그 결과를 Fig. 11 (b)에 도시하였다.

공기 양정 펌프에서는 관경이 작을수록 배출량이 많았으며, 관경 40mm에서는 공기량 2.5L/min에서, 관경 50mm에서는 2.5 및 5L/min에서 전혀 배출되지 않는 것으로 나타났다. 실험시 관을 따라 배출되는 공기방울을 관찰해 보았을 때, 25mm의 비교적 작은 관경에서는 일반적인 공기 양정 형태로 관 끝에서 공기를 주입하더라도 작은 관경으로 인해 공기 방울들이 합체되는 현상이 나타났으며, 이로 인해 자연스럽게 air slugging도 유발되는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 넓은 관경인 50mm에서는 이러한 현상이 발생되지 않아 5L/min 이하의 공기량에서는 수면보다 10cm 높은 배출관까지 물을 상승시키지 못하여 전혀 배출되지 않는 것으로 나타났다.

상기 Fig. 11에서 보듯이 관경이 작은 25mm에서는 슬러지 배출장치보다 공기 양정 형태의 배출량이 매우 높은 것으로 나타났는데, 이는 작은 관경에서는 공기 양정 형태로 운전하더라도 배출관 내에서 자연스럽게 공기 방울이 합체되어 slugging을 유발시키기 때문이다. 따라서 슬러지 배출 장치보다 외벽을 채우는데 시간이 소요되지 않고 주입하는 공기가 연속적으로 배출될 수 있는 공기 양정 펌프가 배출량이 크게 증가하게 되는 것이다.

공기 양정 펌프에서의 이와 같은 결과는 배출관 내부의 공기 유동형태가 bubble 흐름보다는 churn-turbulent 흐름으로 천이하기 직전의 slugging 흐름에서 배출량이 가장 좋은 효율을 얻을 수 있다고 보고한 결과와 일치하였다²⁾.

그러나 Table 1에 나타낸 것과 같이 배출시 발생되는 압력을 보면, 배출관경 25mm에서 공기량이 10L/min에서 슬러지 배출장치는 2352Pa의 압력으로 배출된 것에 반해 공기 양정 펌프는 490Pa로서 약 5배 정도 차이가 있는 것으로 나타났는데, 이로서 작은 관경에서 운전되는 공기 양정 펌프에서 발생하는 air slugging 현상은 이로 인해 힘의 증가는 다

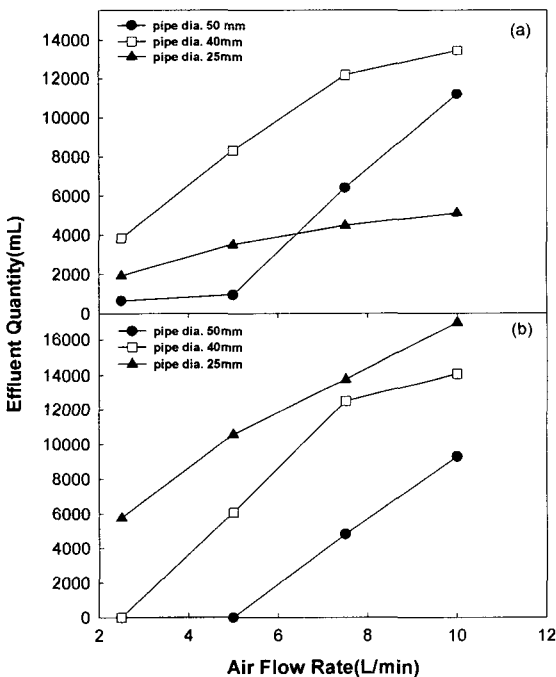


Fig. 11. Effluent quantity of water on variation of discharge pipe(Liquid level, 90cm; Diameter of outside wall, 160mm; Diameter of inside wall, 140mm).
(a) Sludge discharger (b) Air lift pump

소 생겨도 슬러지 배출장치에서처럼 외벽에 차 있던 공기가 일시에 배출되면서 발생하는 힘보다는 매우 낮은 것을 알 수 있었다. 따라서 슬러지 배출 장치를 이용하면 배출되는 부피는 작더라도 공기 양정 펌프 보다 더 큰 비중을 가지는 슬러지를 더 높은 위치까지 배출시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

낮은 공기량에서 물의 배출 성능이 낮았던 관경 50mm에서의 슬러지 배출장치 압력 또한 588~784 Pa로서 관경 25mm의 공기 양정 펌프 배출압력보다 높았으며, 물이 전혀 배출되지 않은 관경 40 mm에서 공기량 2.5L/min, 관경 50mm에서 공기량 2.5 및 5L/min에서는 배출압력이 전혀 측정되지 않았다.

4.5.2 슬러지 배출실험

부산 S 하수처리장의 소화슬러지를 대상으로 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프의 슬러지 배출 성능 비교실험을 수행하였다. 슬러지 높이 25cm를 포함하여 전체 100cm의 액위(장치 높이 90cm에 관경 25mm인 슬러지 배출 장치와 공기 양정 펌프를 각각 설치하여 공기량 10L/min에서 2분간 배출 실험한 결과를 Table 2에 나타내었다. 이때 슬러지 배출 장치의 외벽의 직경은 120mm, 내벽의 직경은 100mm 이었고, 외벽의 높이가 50mm, 내벽은 외벽보다 10mm 낮게 설치하였으며, 배출관은 수면위로 20cm

높게 설치하였다.

소화 슬러지에서 슬러지 배출 장치와 공기 양정 펌프를 2분간 운전한 결과인 Table 2를 보면, 배출량이 각각 7.2L 및 16.8L로서 공기 양정 펌프가 약 2.5배 많았으나, 이때의 슬러지 농도는 각각 12,500 mg/L 및 3,872mg/L로서 슬러지 배출 장치가 약 3 배 정도 높다는 것을 알 수 있었다. 배출된 슬러지 무게는 슬러지 배출 장치와 공기 양정 펌프가 각각 45g 및 32g로 슬러지 배출 장치에서의 배출량이 더 많았으며, 배출시 배출관에서 측정된 압력은 배출 장치가 2059Pa, 공기 양정 펌프가 392Pa인 것으로 나타났다.

슬러지를 배출시키는 관점에서 보면 높은 농도의 슬러지만을 배출시키는 것이 바람직하므로 상기 결과를 통해 전체 배출 부피는 작으면서 고농도의 슬러지가 배출되는 슬러지 배출 장치가 공기 양정 펌프에 비해 성능이 매우 우수하다는 것을 알 수 있었다. 또한 배출시 압력을 보면 슬러지 배출 장치가 약 5배 정도 높게 나타나, 동일 조건에서 본 배출 장치가 공기 양정 펌프에 비해 높은 수면 위로 슬러지를 보낼 수 있다는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

- 1) 동일한 외벽크기에서 공기량이 많을수록, 슬러

Table 1. The difference of discharge pressure on sludge discharger and air lift pipe

Discharge pipe (mm)	Air flow rate (L/min)	Discharge pressure(Pa)	
		Sludge discharger	Air lift pump
50	2.5	588	0
	5	588	0
	7.5	588	196
	10	784	196
40	2.5	980	0
	5	980	196
	7.5	1176	294
	10	1176	294
25	2.5	1372	294
	5	1764	294
	7.5	2156	392
	10	2352	490

Table 2. Comparison of sludge discharger and air lift pump on discharge of sludge

Items	Sludge discharger	Air lift pump
Initial sludge concentration (mg/L)	19,023	19,023
Effluent sludge concentration (mg/L)	12,500	3,872
Effluent volume (L)	7.2	16.8
Total effluent sludge amount (g)	45	32
Discharge pressure (Pa)	2058	392

지 배출 장치의 내벽은 수평 방향으로 외벽과의 거리가 가까울수록 공기 chamber를 채우는 데 걸리는 시간이 짧아져 배출량이 많았으나, 슬러지를 대상으로 할 때에는 슬러지로 인해 막힐 우려가 있으므로, 최소 10mm 정도 거리를 두어야 한다. 수직 방향으로 거리 또한 10mm 정도 거리를 두는 것이 가장 효과적이었다.

- 2) 슬러지 배출장치의 배출 성능은 액위가 증가할수록, 공기량이 증가할수록 증가하였다.
- 3) 동일한 외벽과 내벽 지름에서 슬러지 배출 장치의 외벽이 높을수록 공기 포집에 걸리는 시간이 많이 소요되고 외벽의 내부에 채워진 공기가 완전히 배출되지 않아 비효율적이었다. 따라서 액위, 배출관경 및 공기량 등에 따라 적절한 크기의 외벽을 선택하여야 한다.
- 4) 슬러지 배출장치와 공기 양정 펌프의 물 배출 비교에서 슬러지 배출장치의 경우 최적 배출관 직경이 존재하지만 공기 양정 펌프의 경우 배출관 지름이 좁을수록 공기의 slugging 흐름 발생으로 인해 배출량이 증가하고 배출관 지름이 커지면 다시 bubble 흐름으로 변화되었다.
- 5) 소화슬러지 배출실험에서 슬러지 배출 장치와 공기 양정 펌프를 비교해 보면, 배출되는 물의 양은 공기 양정 펌프가 많으나 배출압력은 배출 장치가 약 5배 정도 높았으며, 또한 배출되는 슬러지의 농도도 배출장치가 높게 나타났다. 슬러지 배출 관점에서 보면 고농도의 슬러지만을 작은 부피로 배출시킬 수 있는 슬러지 배출 장치의 성능이 훨씬 우수한 것으로 판단되었다.

실험실 규모의 슬러지 배출장치 실험에서 슬러지 배출 장치의 성능이 종래의 공기 양정 펌프보다 우수한 것으로 나타나 적용가능성이 있지만 생물학적 폐수처리 장치 내부의 슬러지를 효율적으로 배출하거나 침전조의 슬러지 배출에 적용하기 위해서는 pilot 규모의 연구를 거쳐 실제 장치나 시설에서의 실험이 필요할 것으로 사료되었다.

참고 문헌

- 1) 조완제, 정예나, 2000, 심해저 망간단괴의 탐사와 채광 시스템, 부경대학교 학사학위논문, 26-29pp.
- 2) 김동균, 이철재, 배석태, 조대환, 1999, 공기양정 (Air-Lift) 펌프의 양수특성에 관한 연구, 한국해양공학회지, 13(3-II), 14-21.
- 3) 윤치호, 권광수, 기민기, 성인모 1996, 심해저 망

간단과 공기양광시스템의 정상유동분석에 의한 동력특성 연구, 한국자원공학회지, 33(6), 421-427.

- 4) 전항배, 이태용, 이성우, 이경식, 1994, 수중폭기에 의한 저수지 수질 개선에 대한 연구, 대한환경공학회 춘계학술발표회 논문초록집, 55-57pp.
- 5) 김선규, 이병두, 창국, 송호영, 이용우, 김석규, 석관수, 2001, 수중폭기에 의한 상수원 수질개선 효과분석, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회 논문집, 77-80pp.
- 6) (주)삼화기술단, 1985, 오수정화시설, 한국이공학사, 48-53pp.
- 7) 최돈혁, 강호, 1998, 수중폭기장치 운영에 따른 호소의 수질변화, 한국수질보전학회지, 14(1), 47-56.
- 8) Korea Institute of Construction Technology, 1996, Purification technology of stream water quality using gravel and waste materials (waste concrete, tire), Seoul, Korea, 1-40pp.
- 9) Kim, S. W., 2001, Application of porous concrete blocks to water purification in small urban stream, MSc Thesis, Kyeonghi University, Kyeonghi Province, Korea, February.
- 10) Eddy, N., 2002, New pump technology may improve small package plant treatment, Small Flows Quarterly, 3(1), 18-21.
- 11) Park, Y. S., J. H. Moon, D. S. Kim and K. H. Ahn, 2004, Treatment of a polluted stream by a fixed-bed biofilm reactor with sludge discharger and backwashing system, Chemical Engineering Journal, 99, 265-271.
- 12) Kando, M., 2000, Airlift pump apparatus and method, US. Patent No. 1,662,060.
- 13) National Environmental Services Center (NESC), 2003, West Virginia University, http://www.nesc.wvu.edu/nsfc/pdf/SFQ/SFQ_w02.pdf.
- 14) Kunii, D. and O. Levenspiel, 1991, Fluidization Engineering, 2nd eds. Butterworth-Heinemann Press, 132-134pp.
- 15) Fan, L. S., 1989, Gas-Liquid-solid Fluidization Engineering, Butterworth Publishers, 251-256pp.
- 16) Geyserpump Tech. co., 2004, <http://www.geyserpump2.com/prod02.htm>.
- 17) APHA, AWWA, WPCF, 1992, Standard method for the examination of water and wastewater, 18th ed.