

## 深層曝氣裝置에 있어서 氣泡의 形態와 舉動

### The Shape and Behavior of Bubbles in the Deep Shaft System

金 煥 起\* · 梁 奉 龍\*\*  
Kim, Whan Ki · Yang, Bong Yong

#### Abstract

The experimental study on the shape and behavior of bubbles in U-tube deep shaft of 32 m has been performed. According to the results in this paper, the equivalent spherical diameter of bubbles was 0.422-0.722cm and the shape of bubbles was almost ellipsoidal for bubbles to be generated to single-orifice of diameter 0.06cm in the downcomer of the deep shaft system. Gas hold-up and gas-liquid contact area of bubbles in the deep shaft was decreased in accordance with depth, Also downcomer velocity of bubbles was slower than circulation velocity of liquid and riser velocity of bubbles was fast than circulation velocity. The bubble-size-distribution of bubbles in the deep shaft was the logarithmic probability distribution. The number of bubbles in the deep shaft was decreased in accordance with depth and the number of bubbles in the downcomer is more than the bubbles in the riser.

#### 要 旨

깊이 32m인 심층포기장치에서 氣泡의 形態와 舉動에 관하여 實驗研究를 실시하였다. 研究 結果에 의하면, 심층포기장치의 下向管에 설치된 0.06cm의 單一 오리피스徑에서 발생하는 氣泡의 球體積 相當徑( $D_v$ )은 0.422-0.722cm이고 氣泡의 形狀은 橢圓體이었다. 氣泡 滯留量과 氣-液 接觸面積은 심층포기장치의 水深이 增加할수록 減少하였으며, 氣泡의 下降速度는 液體의 循環유속보다 작고, 氣泡의 上昇速度는 液體의 循環유속보다 약간 크게 나타났다. 심층포기장치내의 氣泡分布는 거의 代數定規分布를 나타내고 있으며, 또한 氣泡의 갯수는 水深이 增加할수록 減少하며, 下向管이 上向管에 비하여 많았다.

#### 1. 序 論

今世紀初 이래로 살수여상법과 活性 슬러지법이

有機性 廢水處理에 適用되어<sup>(1)</sup>왔으며 또 이들의 效율을 增大시키고 經濟的인 處理를 위하여 여러가지 變法이 동시에 개발되고 있다.

\*正會員 · 全北大學校 工科大學 教授

\*\*正會員 · 全北大學校 大學院 博士過程

有機性 廢水를 處理하는 變법중 포기조 單位 부피당 微生物 濃度를 높게 유지시킬 수 있는 획기적인 廢水處理工法이 生物學的 流動層(biological fluidised bed, BFB)工法인데, 生物學的 流動層 工法은 0.1-0.5 mm 정도의 작은 매디에 부착된 微生物의 流動에 의하여 微生物과 廢水를 接觸시켜 處理하는 方式으로 外國의 많은 學者들에 의하여 그 효과가 立證되었으며 國內에서도 糞尿 및 酒精 廢水등의 高濃度 有機廢水處理에 있어서 그 효율이 일반 活性슬러지法보다 월등히 우수하다는 것을 立證한 바 있다<sup>(2-4)</sup>.

그러나 生物學的 流動層 工法에 있어서 문제점은 최적의 流動特性을 유지하기에는 그 운전법이 까다롭고, 또한 높은 微生物 濃度를 필요로 하는 生物膜에 의한 廢水處理이기 때문에 高濃度 有機性 廢水處理시에는 일반 活性슬러지法에 비하여 多量の 酸素 供給이 요구된다는 것이다.

이를 解決하기 위하여 歐美에서는 純酸素 供給 方式을 採擇하고 있으나 國內에서는 純酸素 사용시 運轉經費의 增加와 安全性 問題로 그 適用이 어려운 실정이므로 高濃度の 酸素를 多量 供給할 수 있는 새로운 포기장치의 開發이 요구되고 있다<sup>(5)</sup>.

한편 水中에서 酸素 溶解度를 높이려는 시도는 1930年代부터 加壓方式에 의해서 행하였으나 이 方法은 電力消費面에서 非經濟的이므로 크게 관심을 끌지 못하였다.

그러나 最近에 水中의 靜水壓을 利用하여 높은 酸素 傳達효과를 얻을 수 있는 심층포기장치(deep shaft system)가 廢水處理工程에 活用되고 있는데, 이 심층포기장치는 깊은 水深을 갖는 U型管(U-tube) 혹은 二重管(concentric tube)形態로서 적절한 위치에서 空氣를 注入하면 上向管과 下向管의 氣泡 滯留量에 起因하는 밀도류에 의하여 液體循環이 유도되므로 電力消費面에서 매우 經濟的인 포기장치로 알려져있다.

이러한 심층포기장치를 이용한 廢水處理工程으로는 1974年 英國의 Billingham에 都市下水를 處理하기 위한 二重管型 심층포기공정의 Pilot plant가 최초로 設置되었으며 현장에 도입된 것은 1975年 獨逸 Emlichleim의 전분공장 廢水處理를 目的으로 建設된 것이 처음이다.

심층포기장치에 대하여 研究한 結果를 살펴보면,

Bolton 등은 전분공장 廢水를 處理하기 위하여 設置된 깊이 100 m, 직경 1.1 m인 二重管型 심층포기장치에서 液體循環 流速이 0.9-1.5 m/sec일 때 酸素 傳達 효율은 純酸素 포기방식과 거의 비슷한 65-90 %까지 가능함을 확인하였으며, Hemming은 심층포기장치의 管内에서 氣泡合體現象이 일어나지 않는 한 酸素의 溶解度는 靜水壓 및 空氣量에 비례하며 管内의 기-액 接觸時間은 3-5분 정도로서 기-액 接觸時間이 10초 이내인 일반 散氣式 포기장치에 비하여 氣泡의 滯留時間이 길어지므로 높은 酸素 溶解度를 얻을 수 있다고 하였다<sup>(6)</sup>.

Robinson은 기존 下水處理場의 工程 改善을 위하여 設置된 水深 60 m의 U型 심층포기장치에서 酸素 傳達 速度가 일반 散氣式 포기장치의 0.1-0.2 Kg-O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·hr보다 큰 1.5 Kg-O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·hr이었으며 酸素 利用 효율면에서도 5-15%의 範圍를 갖는 散氣式 포기장치에 비하여 50-60%의 높은 효율을 나타내었다고 보고하였다<sup>(7)</sup>.

現在까지 研究된 바에 의하면 심층포기장치의 酸素 傳達 효율은 3.6-5.5 Kg-O<sub>2</sub>/kw·hr로서 機械式 또는 散氣式 포기장치의 酸素傳達효율 0.5-1.0 Kg-O<sub>2</sub>/kw·hr에 비하여 매우 월등함을 알 수 있다.

그러나 심층포기장치는 水壓을 받게 되므로서 微生物相에 影響을 주며 또한 심층포기장치 流出水의 고액분리를 위해서는 일반 沈澱法으로는 어려워 加壓浮上과 같은 특수한 방법이 요구된다고 하였다<sup>(8, 9)</sup>.

그래서 본 研究室에서는 그동안 고액분리 및 微生物相 變動과 같은 심층포기장치의 短點을 改善할 수 있으며 동시에 生物學的 流動層의 간접포기 방법으로 심층포기장치를 응용코져 몇가지 研究를 시도한 바 있다<sup>(10)</sup>.

한편 氣泡의 下降과 上昇이 분명히 구분되는 심층포기장치에서 氣泡群의 舉動을 推定하고 氣泡群의 性質을 밝혀 심층포기장치의 循環 特性 및 酸素 傳達 特性을 糾明하기 위한 심층포기장치에서의 液體의 循環, 氣泡의 運動特性등에 대한 基礎的인 研究의 蓄積이 요구된다.

그러므로 본 研究에서는 심층포기장치내의 氣泡와 循環水間의 動力學의 特性檢討에 필요한 基礎的 內容과 氣泡의 分布特性 및 氣泡의 樣態에 대하여 實驗的 檢討과 理論的 檢證에 중점을 두고

遂行하였다.

## 2. 實驗裝置 및 方法

研究를 수행하기 위하여 製作한 심층포기장치는 그림 1과 같다. 그림 1에서 심층포기장치는 U-型管 形態이며 내경 50 mm인 PVC재질의 管으로 總 水深 32 m(지하 12 m, 지상 20 m)이다. 심층포기장치 上部는 270×150×600 mm의 四角形 水槽를 아크릴로 製作하여 上·下向管을 서로 연결하였다.

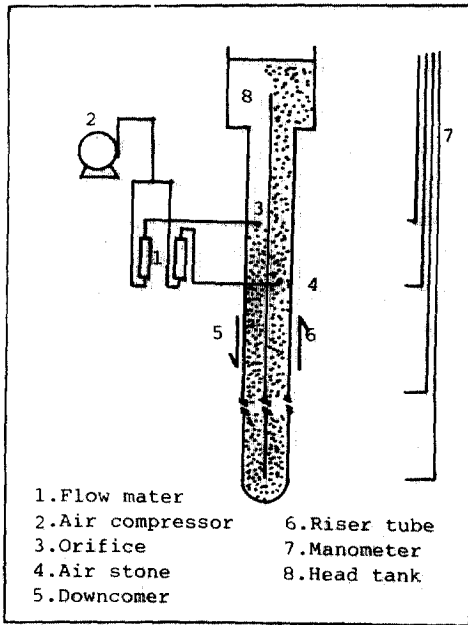


그림 1. Schematic diagram of deep shaft.

심층포기장치에 있어서 下向管의 空氣注入은 일반적으로 전체 水深의 1/3地點이 採擇되고 있으나, 本 裝置는 비교적 小規模裝置이므로 水深 5 m 地點을 採擇하였고, 심층포기장치의 원활한 循環을 유지하기 위하여 上向管 水深 10 m 地點에서도 空氣를 注入시킬 수 있도록 空氣注入 裝置를 附着하였다.

裝置內의 注入空氣는 空氣 壓縮機로부터 發生되는 壓縮空氣를 流量計에 의하여 일정량 注入하였는데 散氣裝置는 氣泡의 크기 分布 解析에 誤差를 줄이기 위하여 지름 0.06 cm의 single orifice를 사

용하였으며 심층포기장치의 位置別 氣泡 滯留量 및 氣泡 갯수 分布를 測定하기 위하여 上向管과 下向管에 총 12개의 液注計를 설치하였다.

氣泡의 크기와 모양 및 移動速度의 測定은 氣泡 發生 地點과 水壓의 변화에 따른 氣泡形態를 測定하기 위하여 下向管 水深 5, 10, 20 m 地點과 上向管 水深 10, 15, 20 m 地點에 심층포기장치와 동일한 내경으로 된 투명 아크릴을 附着하고 마이크로 렌즈를 附着한 카메라(Nikon-FM2)로 사진 촬영하여 分析하였는데, 이 때 사용된 필름은 ASA 125 (Kodak, TRI-X Pan Film)이었으며 光源은 自然光과 人工照明을 並行하여 실시했다.

심층포기장치의 循環 特性和 酸素傳達 特性的 基礎 研究가 될 수 있도록 다음과 같은 實驗을 수행하였는데, 氣泡 滯留量은 인접된 液注計의 수두차가 그 區間에서의 氣泡量이므로 이 수두차를 각각 測定하여 區間別로 滯留量을 計算하였으며, 循環 및 混合時間의 測定은 下向管 상단에 追跡物質로서 4 M의 KCl용액 10 ml를 순간 注入하고 記錄計가 연결된 電氣 傳導度計(DKK, Model AO-6)를 이용하여 上向管 상단에서 測定하였다.

循環時間은 時間變化에 따라 追跡物質의 電氣 傳導도로 나타난 應答曲線으로 부터 각 Cycle의 所要時間을 평균한 값으로 구하였으며 混合時間은 각 Cycle의 정점을 연결하여 곡선이 정상상태값의  $\pm 5\%$  이내에 드는 時間으로 정하였다.

位置別 氣泡 갯수는 사진촬영에 의하여 測定된 氣泡 크기로 부터 구한 氣泡의 平均 體積과 液注計에 의해 測定된 氣泡 滯留量으로 부터 갯수로 換算하여 구하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 3.1 氣泡의 形態

#### (1) 氣泡의 扁平率

심층포기장치의 6개 地點(上向管 3개 地點, 下向管 3개 地點)에서 實驗條件에 따라 직경 0.06 cm의 單一 오리피스徑에서 發生된 氣泡가 심층포기장치 내에서 移動하는 形態를 사진촬영한 結果(부록), 氣泡의 形狀은 橢圓體形으로 나타났다.

橢圓體의 幾何學의 特性으로서 扁平率이 사용되는데 사진측정에 의해 確率의 解析으로 얻어진 氣泡의 長徑( $D_0$ ) 및 短徑( $D_b$ )으로부터 扁平率은 다음

식으로 구할 수 있다<sup>(11)</sup>.

$$Ee = D_b/D_a, \text{ 또는 } Ee' = D_b/D_v \quad (1)$$

$Ee, Ee' =$  扁平率

$D_a =$  氣泡의 長徑(cm)

$D_b =$  氣泡의 短徑(cm)

$D_v =$  球體積 相當徑 ( $= D_a^2 \cdot D_b$ )<sup>1/3</sup> (cm)

扁平率は 氣泡에 의한 레이놀드수(Reb)와 밀접한 관계를 나타내는데 레이놀드수가 작을수록 球에 가깝고 레이놀드수가 크면 버섯 모양의 氣泡이 되는데, Matsumoto에 의하면 單一 오리피스에서 발생하는 기포에 대하여 레이놀드 수와 扁平率과의 관계를 다음과 같이 나타내었다.

즉,

$$Reb < 250 \quad Ee = 1.0 \quad (2)$$

$$250 < Reb < 900 \quad Ee = 2.87Reb^{-0.194} \quad (3)$$

$$900 < Reb < 2500 \quad Ee = 5.69Reb^{-0.297} \quad (4)$$

$$2500 < Reb \quad Ee = 0.58 \quad (5)$$

$$Reb = D_v \cdot U_b / \nu \quad (6)$$

$D_v$  : 球體의 相當徑(m)

$U_b$  : 氣泡의 速度(m/sec)

$\nu$  : 液體의 動粘性係數(m<sup>2</sup>/sec)

로 표시된다.

本 研究의 경우, 심층포기장치의 位置에 다른 循環유속, 空氣注入量別 氣泡 扁平率의 平均값은 表 1에 표시되어 있다.

表 1에서 보는 바와 같이 實驗結果에 의하면 氣泡의 扁平率은 0.316-0.621 범위이었으며, 식 (1)에 의하여 계산된 球體의 相當徑은 0.422-0.722(cm)이었다.

한편, 레이놀드 수가 增加되면 扁平率은 감소되고 레이놀드 수가 감소되면 扁平率은 증가되기 때문에 레이놀드 수(Reb)와 氣泡의 扁平率(Ee)과의 關係를 파악하기 위해 식(4)에 의하여 扁平率을 계

산한 결과, 레이놀드 수가 900일 경우에 扁平率은 0.755, 레이놀드 수가 2500일 경우에 扁平率은 0.57을 나타냈다.

따라서 本 研究에서 氣泡의 扁平率은 0.621이하이므로 레이놀드 수가 900 이상임을 알 수 있는데, 扁平率이 0.621일 경우 식 (6)에 의하여 계산한 레이놀드 수는 1734이었다.

그러므로 깊이 32 m인 本 實驗裝置에서 레이놀드 수와 氣泡의 扁平率에 의한 氣泡의 形態는 橢圓體임을 알 수 있으며 氣泡에 의한 레이놀드 수는 1734이상이었다.

### (2) 氣泡 滯留量

管內의 氣泡 滯留量(gas hold-up)은 기-액 혼상 계층에 체류하는 氣體量의 부피분율이다. 심층포기장치의 上向管과 下向管의 氣泡 滯留量은 液體가 管路를 따라 흐를 때 管의 側壁에 連結된 mamometer의 수두차를 이용하여 구할 수 있다<sup>(13)</sup>.

실험에 의해 측정된 각 조건별 mamometer에 의한 수두차는 表 2와 같으며 이 測定값과 식 (7)을 이용하여 각 區間別 氣泡 滯留量을 圖示한 것은 그림 2와 같다.

$$Eg = \frac{H}{L} \quad (7)$$

$Eg =$  氣泡 滯留量의 分率

$H =$  수두차(m)

$L =$  구간 길이(m)

그림 2에 나타난 바와 같이 심층포기장치에서의 位置別 氣泡 滯留量은 下向管에서는 氣泡이 下降할수록 減少하고 上向管에서는 氣泡이 上昇할수록 增加하는데 이는 氣泡이 下降할수록 심층포기장치의 水壓에 의하여 氣泡의 體積이 減少하고 液體속으로 物質傳達이 增加되기 때문이라 판단된다.

表 1.  $Ee$  due to circulation time and air flow rate.

(cm)

Air flow rate(1/min)		Circulation velocity (m/sec)	Depth of downcomer			Depth of riser		
Downcomer	Riser		5 m	15 m	20 m	20 m	15 m	10 m
1	16	0.52	0.472	0.611	0.517	0.404	0.416	0.472
1	24	0.59	0.621	0.399	0.428	0.356	0.381	0.465
1	32	0.67	0.397	0.404	0.613	0.365	0.462	0.316
2	32	0.57	0.371	0.450	0.424	0.356	0.412	0.480

表 2. Water head gradient due to manometer.

Distance (m)	Air flow rate(1/min) Ad/Ar (m)			
	1/16	1/24	1/32	2/24
5-10	0.18	0.15	0.12	0.24
10-15	0.32	0.27	0.23	0.42
15-20	0.43	0.37	0.32	0.56
20-25	0.51	0.45	0.39	0.67
25-30	0.58	0.50	0.44	0.76
30-32	0.60	0.52	0.45	0.79
32-34	1.17	1.21	1.35	1.51
34-39	1.16	1.20	1.34	1.50
39-44	1.14	1.18	1.31	1.49
44-49	1.09	1.14	1.25	1.41
49-54	1.02	1.08	1.18	1.30
54-59	0.93	1.00	1.09	1.16
59-64	0.53	0.57	0.65	0.65

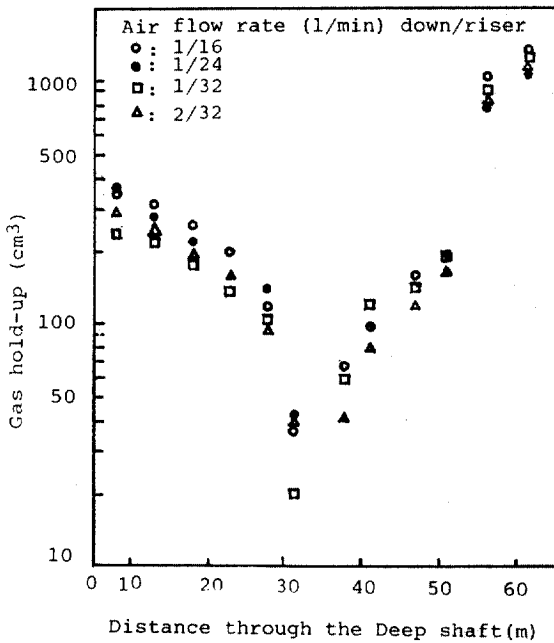


그림 2. Gas hold-up through the deep shaft.

반면, 上向管에서는 氣泡가 上昇할수록 浸蝕포기 장치의 水壓이 減少되어 氣泡의 體積이 增加하고 液體속에서 氣體가 석출되어 上昇氣泡에 附着되기 때문에 氣泡 滯留量이 增加한다.

浸蝕포기장치에서 液體의 循環速度는 上·下向

管이 동일하나 氣泡의 移動速度를 左右하는 氣泡의 흐름은 서로 다른 방향으로 작용하므로 下向管에서 氣泡는 上向管에 비하여 滯留時間이 길어지므로 氣泡의 合體現象이 增加되어 浸蝕포기장치의 循環 安定性を 喪失하게 된다.

한편 浸蝕포기장치는 二重管型和 U型管으로 大別되는데 U型管의 浸蝕포기장치는 下向管의 氣泡 滯留量이 上向管에 비하여 크게 나타나므로 循環에는 불리한 점이 있다. 그러나 二重管型은 下向管의 液體 流速이 上向管에 비하여 크므로 U型管에서 나타나는 下向管의 氣泡 滯留量 增加를 防止할 수 있다고 생각된다.

(3) 氣泡의 갯수

氣泡의 合體現象 및 物質傳達 特性 糾明에 필요한 區間別 氣泡의 갯수를 구하기 위하여 앞의 結果로 부터 유추한 概略의인 條件別 球體積 相當徑과 氣泡 滯留量에 의하여 單位 부피당의 氣泡의 갯수로 換算한 結果는 表 3과 같다.

표 3. Number of bubble for a unit volume.

Interval (m)	Air flow rate(1/min) Downcomer/Riser			
	1/16	1/24	1/32	2/33
5-10	462	567	577	601
10-15	322	387	479	356
15-20	227	271	311	237
20-25	151	205	206	170
25-30	130	125	141	101
30-32	92	124	70	79
32-34	45	24	27	17
34-39	36	47	79	66
39-44	86	92	154	80
44-49	95	106	144	121

表 3에 의하면 上向管과 下向管에서 수심이 깊을수록 氣泡의 갯수가 減少하는 경향을 나타내고 있으나 下向管의 경우가 上向管의 경우보다 氣泡의 갯수가 많은 것을 알 수 있다.

이것은 下向管의 氣泡 移動速度가 上向管의 氣泡 移動 速度보다 작은 까닭으로 氣泡의 滯留時間이 下向管에서 길기 때문인 것으로 생각된다.

이와 같은 結果는 液體의 循環과 物質傳達에 중요한 因子로 작용할 것으로 推測되므로 物質傳達

糾明을 위해서는 氣泡의 精確한 갯수판별과 이 氣泡에 대한 舉動을 더욱 研究해야 할 것으로 생각 된다.

(4) 기-액 接觸面積

本 實驗에서 觀察된 氣泡은 橢圓體이므로 사진 測定에 의하여 精確적 해석으로 얻어진 氣泡의 長徑  $D_a$  및 短徑  $D_b$ 로 부터 하나의 氣泡에 대하여 氣泡의 表面積( $S_b$ )와 球體積 相當徑( $D_v$ )는 다음식에 의해 계산할 수 있다.

氣泡의 體積( $V_b$ ):

$$V_b = \pi/6 \cdot D_a^2 \cdot D_b = \pi/6 \cdot D_v^3 \quad (8)$$

氣泡의 表面積( $S_b$ ):

$$S_b = \pi/2 \cdot D_a^2 + \pi/4 \cdot D_b^2/e \cdot \ln(1+e/1-e)$$

$$e = \{(D_a^2 - D_b^2)/D_a^2\}^{1/2} \quad (9)$$

氣泡의 球體積 相當徑( $D_v$ ):

$$D_v = (D_a^2 \cdot D_b)^{1/3} \quad (10)$$

한편 氣泡의 合體現象 및 物質傳達을 糾明하기 위하여 氣泡의 球體積 相當徑과 氣泡 滯留量을 토대로 각 區間別 氣泡의 表面積 즉 기-액 接觸面積을 구한 結果는 그림 3과 같다.

그림 3에 의하면 氣泡의 總 表面積은 上·下向管에서 수심이 깊을수록 減少되는 것으로 나타났는데 이는 氣泡의 合體現象에 의한 氣泡數의 減少와 氣泡 크기의 增大에 따른 表面積 減少에 기인하는 것으로 Hemming의 結果와 일치하고 있다<sup>(4)</sup>.

下向管에서 수심 30 m 地點까지는 일정한 比率로 氣泡의 總 表面積이 減少하나 32 m 地點에 있어서는 氣泡의 總 表面積이 30 m 地點의 약 절반으로 減少하였다. 이것은 심층포기장치의 最下端 부위에서 급격히 方向轉換에 의한 氣泡의 合體現象이 다른 부위에서 보다 심하게 나타나는 것을 의미하며 이는 심층포기장치의 設計時 고려되어야 할 사항이라고 推測된다.

따라서 심층포기장치의 物質傳達 效율을 증대시

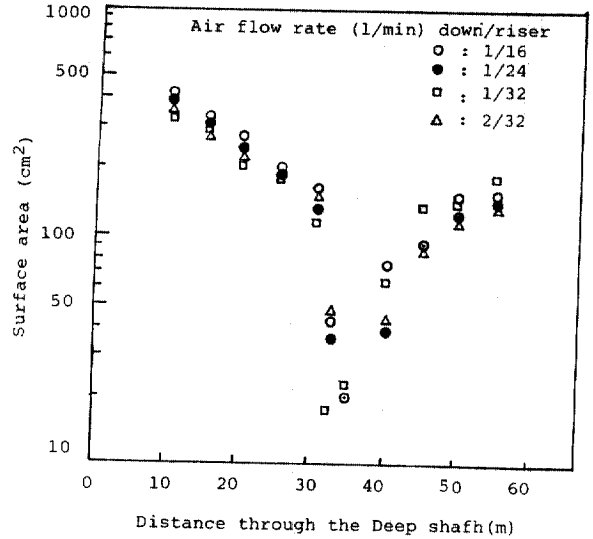


그림 3. Surface area of bubble on the deep shaft.

키고 循環特性을 양호하게 하기 위한 條件은 氣泡의 合體現象을 防止할 수 있는 方法을 강구하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 氣泡의 上昇速度

(1) 氣泡의 上昇速度

靜止水中的 單一氣泡에 대해서는 Haberman 등 많은 學者들에 의하여 研究가 進行되어 氣泡 上昇速度, 抵抗係數, 레이놀드 수등을 중심으로 하여 氣泡 舉動特性을 밝혔다.

本 實驗에서 氣泡은 심층포기장치의 下向管 수심 5 m 地點에서 0.06 cm의 직경을 가진 單一 오리피스로부터 連續的으로 發生되며 심층포기장치의 液體는 빠른 循環과 함께 복잡한 運動을 하고 있다. 이 때문에 靜止水中的 氣泡舉動에 비하여 복잡하므로 氣泡의 舉動을 定量的으로 표시하기 위해서는 많은 實驗值를 얻어 이것을 平均的으로 處理하는 것이 필요하다.

表 4. Average riser velocity of bubble.

Air flow rate(1/min)		Circulation velocity (m/sec)	Depth of downcomer			Depth of riser		
Downcomer	Riser		5 m	15 m	20 m	20 m	15 m	10 m
1	16	0.52	30.7	28.7	27.9	56.5	58.4	62.6
1	24	0.59	37.8	33.7	29.8	57.3	66.8	72.9
1	32	0.67	45.4	43.7	38.5	70.1	73.4	81.6
2	32	0.57	29.7	31.8	39.1	68.3	73.6	77.1

심층포기장치의 氣泡에 대하여 사진 撮影으로  
겉보기 氣泡 移動速度를 測定한 結果는 表 4와 같  
다.

表 4에 의하면 下向管의 경우 氣泡의 移動 速度  
는 液體의 循環速度보다 작은 27.9-45.4 cm/sec이며,  
上向管의 경우는 氣泡의 移動 速度는 56.5-81.6 cm/  
sec로 液體의 循環 速度 52-67 cm/sec보다 약간 높  
게 나타났다.

이것은 下向管의 경우 氣泡의 浮力에 의한 上昇  
力과 液體의 下降速度가 서로 상충되었기 때문에  
液體의 流速보다 작게 나타났으며 반대로 上向管  
에서는 氣泡의 上昇速度에 液體의 上昇速度가 加  
算되어 보다 빠르게 나타나고 있다.

### (2) 氣泡의 分布 特性

靜止水 중에서 單一 오리피스로 부터 發生하는  
氣泡徑과 流速에 따른 氣泡의 生成形態를 살펴보  
면 다음의 세가지 範圍로 나눌 수 있다<sup>(45)</sup>.

1) 靜力學 氣泡生成-空氣 流速에 관계없이 일정  
한 크기의 氣泡生成

2) 連續적으로 느린 氣泡生成-空氣流量이 약간  
增加하면 氣泡의 갯수는 그다지 변화하지 않으나  
氣泡徑은 增加한다.

3) 連續적이고 빠른 氣泡生成-空氣 流速이 커지  
면서 生成氣泡의 크기는 空氣 流速에 무관하며 크  
고 작은 종류의 氣泡生成

本 實驗에서 오리피스 직경 0.06 cm의 경우에 대  
하여 空氣 噴射流速 條件이 약 5,897 cm/sec-11,795  
cm/sec이었는데 平均 球體積 相當徑이 0.422-0.722  
cm의 範圍로서 上述한 3)의 경우에 包含되었다.

한편, 靜止水에서 오리피스경이 일정한 경우 空  
氣의 流速에 따라 氣泡 生成 平均徑이 影響을 받  
게 되나 심층포기장치와 같이 液體의 循環速度가  
약 50 cm/sec이상의 빠른 속도로 이동하는 液體狀  
에서 生成되는 氣泡는 단순히 空氣 流量에 따라  
生成 氣泡徑이 변화는 것이 아니라 주변 條件 즉  
液體의 循環速度에 따라 氣泡徑이 변하게 된다.

液體의 循環速度에 따라 변하게 되는 發生氣泡  
의 크기를 살펴보면 그림 4와 같은데 液體의 循環  
速度가 增加할수록 發生되는 氣泡의 크기는 작아  
지는 경향을 나타낸다.

이는 심층포기장치에서 液體 循環 流速이 增加  
되면 심층포기장치에서 氣泡 合體現象이 減少되기

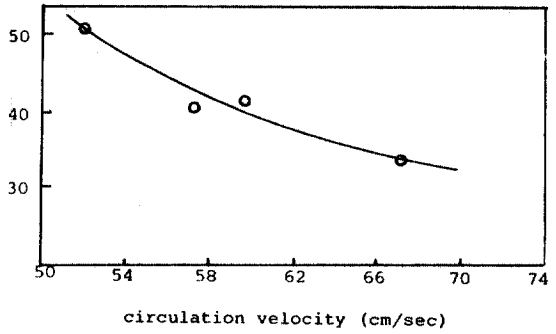


그림 4. Relation between the diameter of bubble and cir-  
culation velocity.

때문에 氣泡徑이 減少되는 것으로 추정된다.

한편 심층포기장치에서 位置 및 空氣量에 따른  
發生 氣泡徑과 갯수빈도를 파악하기 위하여 氣泡  
徑의 分布를 代數確率紙에 예시한 結果는 그림 5  
와 같다.

그림 5에서 보는 바와 같이 심층포기장치의 氣  
泡徑 分布는 대체로 代數定規分布를 이루나 上向  
管은 析出氣泡과 유속에 의한 氣泡의 파괴등으로  
인하여 크기 分布가 넓고 불규칙하므로 下向管의  
경우가 上向管의 경우보다 代數定規分布에 가까웠  
다.

氣泡의 크기 分布를 보면 下向管의 경우가 上向

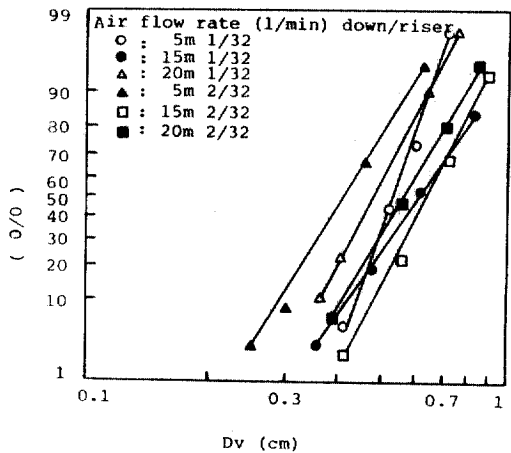


그림 5. Bubble-size distribution.

表 5. Equivalent spherical diameter due to air flow rate.

(cm)

Air flow rate(1/min)		Downcomer			Riser		
Downcomer	Riser	5 m	15 m	20 m	20 m	15 m	10 m
1	16	0.519	0.572	0.582	0.614	0.706	0.722
1	24	0.451	0.506	0.531	0.554	0.642	0.671
1	32	0.422	0.455	0.505	0.531	0.604	0.626
2	32	0.450	0.590	0.608	0.631	0.651	0.719

관의 경우보다 작게 나타나는데 이는 下向관의 氣泡가 下降함에 따라 氣泡의 合體現象이 增加되기 때문에 氣泡徑에 있어서 약간의 增加가 나타나고 上向管에서는 氣泡가 上昇함에 따라 氣泡徑의 크기가 增加되고 또한 물속에 溶解되어 있는 酸素가 석출되어 既存 氣泡와의 合體現象이 나타나므로 氣泡徑에 있어서 약간 크게 나타나는 것으로 생각된다.

이를 檢證하기 위하여 심층포기장치의 位置別 球體積 相當徑의 平均값을 앞의 계산식을 이용하여 구한 結果는 表 5와 같다.

表 5의 結果에서 單位 부피당 氣泡의 직경은 氣泡의 合體現象에 의하여 下向管에서 수심이 깊을수록 증가되고 上向管에서는 氣泡가 上昇함에 따라 析出된 氣泡가 上昇氣泡에 附着되므로 직경이 增加한다고 생각된다.

#### 4. 結 論

심층포기장치의 下向管에 직경 0.06 cm의 單一 오리피스를 設置하여 심층포기장치내의 流體가 循環할 때 發生되는 氣泡의 形態와 舉動에 관하여 研究한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 氣泡의 平均 球體積相當徑은 0.422-0.722 cm였으며 氣泡의 扁平率이 0.316-0.621로 氣泡形狀은 橢圓體였다.

2) 氣泡 滯留量과 기-액 接觸面積은 上向管·下向管 모두 수심이 增加할수록 減少한다.

3) 氣泡의 갯수는 下向管이 上向管에 비하여 많았고 수심이 깊을수록 갯수는 減少하였다.

4) 심층포기장치에서 氣泡의 上昇·下降速度는 下向管에서는 流體의 循環流速보다 작고 上向管에서는 循環流速보다 약간 높게 나타났다.

5) 심층포기장치의 氣泡 分布는 거의 代數定規 分布이었다.

#### 參 考 文 獻

1. Ardern, E., & Rockett, W. T., "Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters" *J. soc. Chem. Ind.*, Vol. 33, 1914; reprinted in *J. Proc. Inst. Sew. Parif.*, Vol. 3, p.175, 1954.
2. Mulcahy, L. T., "Mathematical Model of the Fluidised Bed Biofilm Reactor", univ. of Massachusetts, June 1978.
3. 金煥起 외, "BFB에 의한 糞尿處理의 研究", 大韓土木學會論文集 제 3권 제 2호, 1984.
4. 金煥起 외, "生物學的 流動層을 利用한 主정페수의 處理에 관한 研究", 화학공학 Vol. 23, No. 6, December 1985, pp.369-377.
5. Sutton, P. M., W. K., Kos, P., and Dunning P. R., "Door-Oliver's Oxitron system Fluidised-Bed Water and Wastewater Treatment Process, Biological Fluidised Bed Treatment of water and Wastewater", WRC, pp.285-300, 1981.
6. Bolton, D. H. and Bouchard, J. P., "The Application of the ICI Deep Shaft Process to Industrial Effluents", 31th Purdue Industrial Waste Confererce. Purdue University, pp.344-351, 1976.
7. Robinson, M. S., "A Pilot-plant Evaluation of a Deep Shaft Linked to conventional Aeration without Inter-stage Settlement to Give a Fully-Nitrified Effluent", *Wat. Pollut. Control*, pp.70-86, 1980.
8. Cox, G. L., "Use of the Deep-shaft Process In uprating and Extending Existing Sewage-Treatment Works," *Wat. Pollut. Control*, pp.70-86, 1980.
9. 金煥起 외, "水中 조류 제거를 위한 加壓浮上에 있어서 氣泡의 양태에 관한 研究", 大韓土木學會論文集, 제 4권 제 4호, 1984. 12, pp.79-93.
10. 金煥起 외, "生物學的 流動層을 利用한 廢水 處理에 있어서의 심층포기장치에 의한 酸素傳達시스템", 大韓土木學會論文集, 1988. 3.
11. 松本·中村, "單一 오리피스에 의해 發生한 氣泡의 成長과 酸素移動에 관한 研究", 日本土木學會論文, No 175, pp.48-58, 1970.
12. 兄木·前中, "靜止水液中을 상승하는 單一氣泡의 形態



및 上昇速度에 관하여” 日本化學工學, No 125, No 4, pp.254-264, 1961.

13. 김주봉 외, “Bubble Column에 있어서의 Gas hold-up에 미치는 浮遊物의 影響에 관한 研究”, 化學工學, 제 9권 제 1호, pp.31-36, 1971.

14. Hemming, M. L., “General Biological Aspects of Waste

-water Treatment including the Deep-shaft Process”, *Wat. pollut. control*, pp.312-325, 1979.

15. 松本·中村, “단일공에서 發生한 氣泡의 性状과 분포 특성에 대하여”, 日本土木工學會論文, No 260, pp.75-87, 1977.

〈附 錄〉

(단위 : cm)

(단위 : cm)

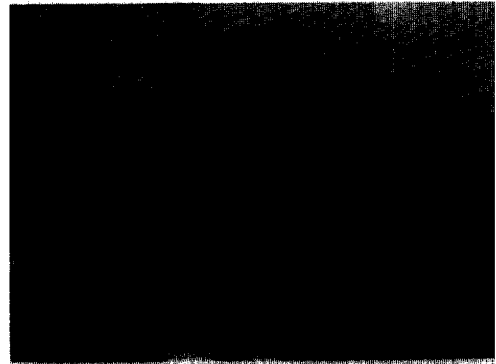


사진 1. 上向管 氣泡의 形態

○측정위치 : 상향관 수심 20m  
공기량 : 상향관 : 1l/min, 하향관 : 24l/min.

사진 2. 下向管 氣泡의 形態

○측정위치 : 하향관 수심 20m  
공기량 : 상향관 : 1l/min, 하향관 : 24l/min.

(接受 : 1989. 8. 11)