



## 저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

DAF 공정에서 입자계수기를 통한  
플로트 수거장치의 운전진단

Diagnosis of operation of float removal system  
using particle counter in DAF process

2014년 8월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

김 용 우

## 국 문 초 록

용존공기부상법(Dissolved Air Flotation, DAF)은 미세기포를 이용하여 수중의 입자를 부상시켜 제거하는 공정이다. 이는 일반적으로 급속혼화지, 플록형성지, 기포 발생장치, 부상분리조로 구성된다. 미세기포와 플록이 결합하여 형성된 플로트(float)는 수표면에 축적되며, 이는 수거장치에 의해 연속적으로 혹은 간헐적으로 제거된다. 플로트 수거장치는 반응조 전체에 걸쳐 운전되므로 적절치 못한 운전은 플로트의 침강을 야기하여 전체공정의 효율을 떨어뜨린다고 알려져 있다. 하지만 관련 연구 및 운전지침이 부족하여, 현장 실무자의 경험에 의존하여 운전되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은, 수거장치의 종류(hydraulic, chain - flight)별 운전조건 변경에 따른 처리효율 변화를 측정하여 최적 운전조건을 제시하는데 있다. 이를 위해 첫째, 입자의 거동 분석이 가능한 입자계수기(on - line particle counter)를 적용하여 공정의 효율을 평가하였다. 둘째, 수거장치의 적절한 운전주기를 결정하기 위해 플로트 층의 형성을 분석하였다. 이를 통해 수거장치의 종류별 최적 운전조건을 도출하였다.

연구결과, 다양한 운전조건에 따른 처리효율 변화를 입자계수기를 통해 정밀하게 측정할 수 있었다. 또한 샘플링의 위치별로 입자수를 측정함으로써, 공정 내 입자의 거동을 분석할 수 있었다. 이는 탁도값을 통해 전체공정의 효율을 진단하는 기존의 방법보다 입자계수기를 이용한

방법이 보다 정확함을 의미한다.

플로트 층이 최대 형성될 수 있는 한계 두께(본 연구에서는 약 8 cm)가 존재하였다. 또한 플로트 층의 두께가 최대 형성된 시점(본 연구에서는 약 16 분) 이후엔, 유출수의 입자수가 크게 증가하였다. 이는 최대 두께로 형성된 플로트 층에 새로이 부상된 플로트가 결합되지 못하고 하향유속에 의해 유출부로 배출되었기 때문이다. 따라서 플로트 층이 한계 두께로 형성되기 이전에 수거장치를 운전하여, 적절한 플로트 층을 유지하는 것이 필요하다.

수거장치의 종류에 상관없이, 플로트 층이 최대 두께로 형성되는데 소요되는 시간 보다 짧은 주기로 운전할 때 유출수의 입자수가 안정적으로 나타났다. 또한 운전주기가 길어질수록 공정의 처리효율이 높게 관찰되었다. 이는 충분한 시간동안 플로트가 농축되어 수거장치의 운전에 의한 충격에 견디는 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 DAF 공정에서 플로트 수거장치의 운전을 최적화하기 위한 기초적인 자료로 사용할 수 있을 것이다. 또한 입자계수기를 이용한 처리효율 측정방법은 수거장치 뿐 만 아니라 다른 구성요소의 운전을 진단하고 최적화하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어:** DAF, 플로트 수거장치, 입자계수기, 농축, Chain - flight, 수류식, 지속시간, 주기, 왕복횟수

**학 번:** 2012 - 23250

# 목 차

<b>1. 서론</b>	<b>1</b>
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	2
<b>2. 문헌 고찰 및 이론적 연구</b>	<b>3</b>
2.1 용존공기부상법(Dissolved Air Flotation)	3
2.1.1 용존공기부상법의 개요	3
2.1.2 용존공기부상법의 운전조건	4
2.2 용존공기부상법의 이론	6
2.2.1 용존공기부상의 이론의 발전	6
2.2.2 용존공기부상의 이론	9
2.3 DAF 분리조 내의 흐름 특성	16
2.4 플로트 수거장치	18
2.4.1 플로트 수거장치의 종류 및 특징	18
2.4.2 플로트 수거장치의 설계지침	21
<b>3. 실험장치 및 방법</b>	<b>22</b>
3.1 실험장치	22
3.1.1 플록형성지(flocculation basin)	22
3.1.2 반응조(reactor)	23
3.1.3 플로트 수거장치(float removal system)	25
3.2 실험방법	27
3.2.1 입자 개수 측정	27
3.2.2 탁도 측정	28

4. 입자계수기를 통한 DAF 공정의 진단	30
4.1 서론	30
4.2 실험방법 및 내용	30
4.3 실험결과	33
4.3.1 DAF 공정에서 반응조 내 입자 변화	33
4.3.2 DAF 공정에서 유출수 입자 변화	35
5. DAF 공정에서 반응조 내 플로트 층 형성	36
5.1 서론	36
5.2 실험방법 및 내용	36
5.3 실험결과	38
5.3.1 플로트 층 두께변화	38
5.3.2 플로트 층 형성에 따른 유출수 입자 변화	39
6. 다양한 플로트 수거장치의 운전 최적화	40
6.1 서론	40
6.2 실험방법 및 내용	40
6.2.1 Chain - flight 수거장치의 운전조건	40
6.2.2 Hydraulic 수거장치의 운전조건	42
6.3 실험결과	44
6.3.1 Chain - flight 운전에 따른 유출수 입자 변화	44
6.3.2 Hydraulic 운전에 따른 유출수 입자 변화	47
7. 결론	50
8. 참고문헌	52

# 표 목 차

Table 2.1	General guidelines for the operation of the bubble generation system (AWWA 1999, Kawamura 2000) --	5
Table 2.2	General guidelines for the operation of the rapid mixing and flocculation basin (한국수자원공사, 2006) --	5
Table 2.3	General concepts of proposed DAF models -----	10
Table 2.4	General guidelines for the design of the float removal systems (한국수자원공사, 2006) -----	21
Table 3.1	Summary of Flocculation basin -----	22
Table 3.2	Summary of continuous flotation system -----	24
Table 3.3	Specifications of On - line particle counter -----	28
Table 4.1	Experimental conditions -----	32
Table 6.1	Experimental conditions -----	42
Table 6.2	Experimental conditions -----	43

# 그 립 목 차

Fig. 2.1 Schematic diagram of dissolved air flotation process -----	4
Fig. 2.2 Single collector collision efficiency versus particle size for particle density of 1.005 g/cm <sup>3</sup> , bubble diameter of 34 $\mu$ m, and 15 $^{\circ}$ C -----	12
Fig. 2.3 Collision efficiency ( $\alpha_{bp}$ ) depending on bubble size -----	15
Fig. 2.4 Water velocity profiles in the central, longitudinal and vertical section of the separation zone for the increase of shaft wall height, the shaft length and the inclination of the shaft wall for pressure 5 atm, recycle ratio 10 %, hydraulic loading rate 11m/hr (lundh et al, 2002) -	17
Fig. 2.5 Hydraulic float removal system -----	19
Fig. 2.6 Chain - flight float removal system -----	20
Fig. 2.7 Beach rotating float removal system -----	20
Fig. 3.1 Schematic diagram (left) & Image photograph of flocculation basin (right) -----	22
Fig. 3.2 Schematic diagram (left) & Image photograph of continuous flotation system (right) -----	24
Fig. 3.3 Schematic diagram (left) & Image photograph of hydraulic float removal system (right) -----	25
Fig. 3.4 Image photograph of chain - flight removal system -----	26
Fig. 3.5 Schematic diagram of the particle counting method -----	28
Fig. 3.6 Measuring scattering light method -----	29
Fig. 4.1 Schematic diagram of continuous flotation system -----	31
Fig. 4.2 Number of particles under various operation conditions	



	at different sampling points -----	33
Fig. 4.3	Residual turbidity under various operation conditions at different sampling points -----	34
Fig. 4.4	Number of particles and turbidity under various operation conditions at effluent -----	35
Fig. 5.1	Image photograph of increasing depth of float layer ----	37
Fig. 5.2	Change of depth of float layer with time -----	38
Fig. 5.3	Change of number of particles with time -----	39
Fig. 6.1	Change of number of particles at Case 1 (interval 4 min, number of times 2 number, speed 30 m/hr) -----	45
Fig. 6.2	Change of number of particles at Case 2 (interval 8 min, number of times 4 number, speed 30 m/hr) -----	45
Fig. 6.3	Change of number of particles at Case 3 (interval 12 min, number of times 6 number, speed 30 m/hr) -----	46
Fig. 6.4	Change of number of particles at Case 4 (interval 16 min, number of times 8 number, speed 30 m/hr) -----	46
Fig. 6.5	Change of number of particles at Case 1 (interval 4 min, duration 3 min, water level 2 cm) -----	48
Fig. 6.6	Change of number of particles at Case 2 (interval 8 min, duration 6 min, water level 2 cm) -----	48
Fig. 6.7	Change of number of particles at Case 3 (interval 12 min, duration 9 min, water level 2 cm) -----	49
Fig. 6.8	Change of number of particles at Case 4 (interval 16 min, duration 12 min, water level 2 cm) -----	49

# 1. 서론

## 1.1 연구배경

용존공기부상법(Dissolved Air Flotation, DAF)은 미세기포를 이용하여, 수중의 입자를 부상시켜 제거하는 공정이다. 높은 수리학적 부하율, 짧은 체류시간 등의 장점으로, 최근 정수처리 및 해수 담수화 공정의 전처리, 자연수계 조류제거 등 여러 분야에 적용되고 있다. 공정의 효율향상을 위해, 많은 연구들이 입자를 효율적으로 부상시키는데 초점을 맞추어 수행되었다. 기포 - 입자간의 충돌효율 증대, 부상분리조 내 안정적인 흐름 형성, 기포특성 변화 등의 연구가 이에 포함된다.

한편, 부상시킨 기포 - 플록 결합체인 플로트를 제거하는 수거장치와 관련된 연구는 부족하다. 수거장치는 반응조 전체에 걸쳐서 움직이기 때문에, 그 움직임이 과하거나, 강하다면 공정 효율에 커다란 영향을 미친다. 그러나 대부분의 정수장에서, 수거장치는 실험이나 데이터에 의한 것이 아니라 관리자의 경험에 의존하여 운전되고 있다. 현재 수거장치를 운전하는데도, 권장운전속도 이외에는 특별한 지침이 없다.

따라서 운전속도 이외의 다른 세부사항의 영향을 파악하여 조절한다면, 수거장치의 운전 최적화에 큰 역할을 할 것으로 사료된다.

## 1.2 연구목적

본 연구의 목적은 수거장치의 운전조건 변경에 따른 효율변화를 측정하여 최적 운전조건을 제시하는데 있다. 세부 연구목적은 다음과 같다.

1. 입자계수기를 통한 DAF 공정의 진단
2. 반응조 내 플로트 층 형성 분석
3. 다양한 플로트 수거장치의 운전 최적화

## 2. 문헌고찰 및 이론적 연구

### 2.1 용존공기부상법 (Dissolved Air Flotation)

#### 2.1.1 용존공기부상법의 개요

용존공기부상법(Dissolve Air Flotation, DAF)에서 미세기포는 액체에 고압으로 공기를 용존 시키고, 용존 된 가압수가 대기압으로 압력이 낮아질 때 발생된다. 미세기포가 발생되는 동안 플록 형성공정을 거친 원수가 유입되고, 만약 플록 형성이 필요하지 않다면 직접 부상조로 유입되게 된다. 처리된 유출수의 일부만이 재순환되어 가압하여 공기에 의해 포화되고, 이렇게 포화된 가압수는 압력 저감 장치를 통하여 부상조 안에서 미세기포(10 ~ 100  $\mu\text{m}$ )의 형태로 분사되고, 이 미세기포들이 플록이 형성된 원수의 입자와 충돌 및 접촉한 후, 기포 - 입자 결합체를 형성하여 수면으로 부상하게 된다. 이러한 기포 - 입자 결합체는 스크레이퍼(scraper)나 웨어(weir)에 의해 제거되고, 정화된 깨끗한 처리수는 부상조 하단의 오리피스(orifice)를 통해 빠져나간다.

여러 부상법 중에서 용존공기부상법은 일반적인 침전공정과 비교하였을 때 여러 가지 장점을 가지고 있다. 특히, 플록 형성 시간이 적게 소요되므로 응집 시설의 면적을 단축시킬 수 있고, 침전공정에 비해 높은 수리학적 부하율(hydraulic loading rate)로 처리시간이 15분 이내로 매우 짧고, 처리상 설치면적이 매우 적게 소요되어 용지난 해소가 가능하다. 그리고 여과지속시간을 단축시키는 저비중 입자와 조류(algae)의 제거에 효과적이다(곽동희, 1997). 이러한 용존공기부상법은 1960년대

이후로 유럽을 중심으로 널리 사용되어져 왔으며, 그 공정의 개략도는 Fig. 2.1과 같다.

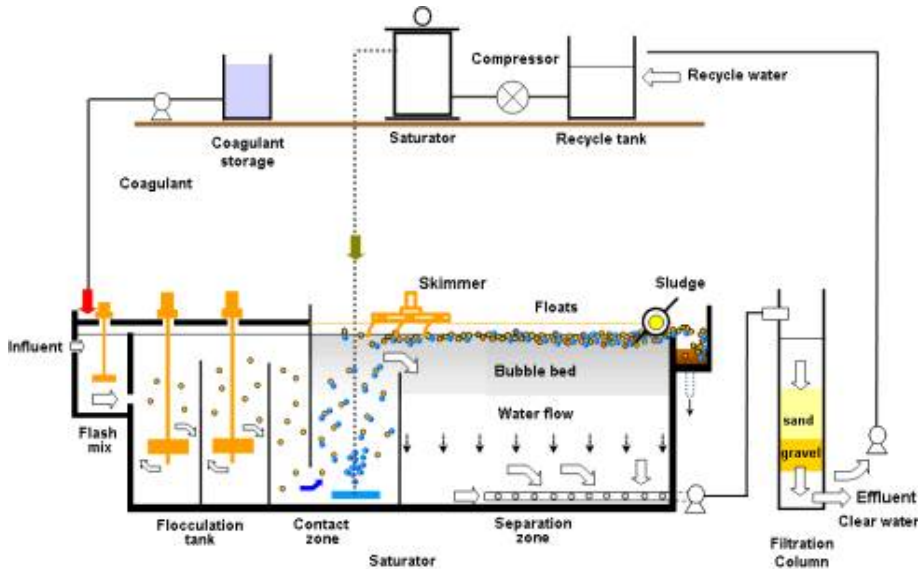


Fig. 2.1 Schematic diagram of dissolved air flotation process

### 2.1.2 용존공기부상법의 운전조건

DAF 공정에서 운전조건과 설계조건은 처리 효율과 밀접한 관계가 있다. 기포 발생장치의 운전조건으로는 압력, 회수율 등이 있다(AWWA, 1999). DAF 공정에서 기포발생장치는 일반적인 부상공정에서 권장하는 (AWWA, 1999) 범위를 포함한 반송비율 (6 ~ 10 %)과 운전압력(4 ~ 6 atm)으로 운전된다. Table 2.1은 AWWA 및 Kawamura가 권장하는 운전조건을 나타내고 있다.

DAF 공정의 전처리인 혼화 및 응집공정의 메커니즘은 침전공정의 것과 크게 차이가 없으나, 요구되는 플록의 특성이 달라 권장 운전조건이

다르다. 단일 포집자 충돌(single - collector collision) 이론에 따르면, DAF 공정에서는 플록의 크기가 약 32  $\mu\text{m}$  이상만 되면 기포와 플록간의 충돌효율은 100 %에 달한다. 또한, 작은 플록으로도 DAF 공정에서 양호한 부상분리가 가능하다고 알려져 있다 (Edzwald, 1992). 따라서 DAF 공정에서는 침전을 위한 sweep 플록(밀도 높은 플록)과는 다른 pin - point 플록인 비교적 작고 가벼운 플록만으로도 충분하다. Table 2.2는 한국수자원공사에서 권장하는 혼화 및 플록형성지의 운전조건을 나타내고 있다.

**Table 2.1 General guidelines for the operation of the bubble generation system (AWWA 1999, Kawamura 2000)**

Pressure	Recycle ratio	Hydraulic loading rate
4 ~ 6 atm	6 ~ 10 %	10 ~ 20 m/hr

**Table 2.2 General guidelines for the operation of the rapid mixing and flocculation basin (한국수자원공사, 2006)**

	Rapid mixing	Flocculation (1st stage)	Flocculation (2nd stage)
G ( $\text{sec}^{-1}$ )	$\geq 600$	60 - 80	40 - 60
t (min)	$\geq 1$	$\geq 5$	$\geq 5$

## 2.2 용존공기부상법의 이론

### 2.2.1 용존공기부상의 이론의 발전

#### (1) 포획효율의 중요성

Derjaguim과 Dukhin (1960)은 포획효율(capture efficiency or collection efficiency)  $E=EC \cdot EA \cdot ED$ 라고 정의하였으며 여기서 EC는 충돌효과(the collision efficiency), EA는 부착효율(attachment efficiency), ED는 기포-입자 안정효과(the stability efficiency)를 나타낸다. 위의 정의에서와 같이 부상분리의 원리는 기포와 입자의 충돌과 부착에 그 기초를 두며 정확한 DAF에 의해 물질의 처리 효율을 예측하기 위한 모델의 연구에서 포획효율은 가장 큰 비중을 차지한다.

최근까지도 정확한 기포와 입자간의 포획효율 정확하게 예측하기 위한 연구가 끝없이 진행되고 있으며 입자와 기포의 포획효율은 1) 기포 주변의 유체의 흐름 및 유체의 상태와 입자 움직임(LHI) 2) 입자와 기포 사이의 상호작용력(SHI)의 각각의 프로세스가 조합되어 결정된다.

기포 주변의 유체의 흐름은 stokes flow(점동류)와 potential flow(비점동류)로 분류하고, 유체 내에서 입자의 움직임은 관성력, 중력, 항력, 원심력, 부력에 의존하는데 LHI에서는 관성력과 중력 항력만이 고려된다. SHI에서의 기포와 입자의 작용하는 힘은 DLVO 이론에 기초를 두며 정전기력과 반데르발스 인력이 고려된다.

#### (2) 기포 주변의 유체의 흐름과 입자의 움직임에 관한 이론

기포의 입자에 대한 포획효율에 있어 주요 연구는 90년대 이전에는 1) non-brownian particles의 대류포획(convective capture) 2) brownian particles의 확산포획(diffusive capture)의 두 극단적인 경

우 중 하나에 초점을 맞추어 이론적 기술이 시도되었다.

부상공정에서 brownian particle 관점에서의 그 수학적 기초는 Smoluchowski (1917)에 의해서 시작되었으며, 그는 기포와 입자의 충돌효율을 수평전치(horizontal displacement)가 기포의 반지름과 입자의 반지름의 합보다 적다면 입자와 기포는 충돌하며 이 조건에서 충돌효율은  $EC=1$ 로서 정의하였다.

Non - brownian particles의 관점에서 처음으로 Langmuir와 Blodgett (1945)이 수리역학장(the hydrodynamic field)내에서 낙하하는 큰 물방울과 작은 물방울들 사이의 관성 - 수리역학적 상호작용을 고려하여 충돌효율을 정량화 하였으나 유체의 흐름을 고려하지 않았다. 유체의 흐름을 고려한 non - brownian particles의 관점에서의 연구는 처음으로 Sutherland (1948)에 의해서 분석되어졌으며, 그가 가정한 것은 작은 입자일수록 큰 기포의 주위의 potential flow stream lines을 따르며, 입자의 중앙이 기포 표면의 한 입자의 반지름 내에서 통과한다면 포획되고 충돌효율은  $EC=3(RP/RB)$ 로 정의하였다. 그 후 관성력이  $K>0.1$ 인 경우에서의 입자충돌에 관한 보편적인 연구는 Fonda & Herce (1966) 그리고 Micael & Norey (1977)가 이론을 정립하였다. 그 후 관성력에 관한 연구는 관성력이 매우 작은 범위까지 확대되었으며, 관성력이 무시될 만한 상황에서 입자의 움직임은 중력 및 항력에 의존하며 Flint & Howarth (1971) 및 Anfruns & Kitchener (1977) 등에 의해 정립되었고 관성력이  $K<0.1$  보다 작은 범위에서는 중력이 입자의 움직임을 좌우하여 충돌효율을 변화시키는 주요 요인이 된다는 것이다. 또한 Yoon & Luttrell (1989)은 Stokes flow에서 입자의 크기가 기포에 비해 상당히 작을 경우에 충돌효율은  $EC=3/2(RP/RB)$ 로 정량화 하였으며, 현재 SCCE (Single Collector Collision Efficiency) 모델에서 주요공식으로 인용된다.

또한 90년대에 이르러 기포 표면의 retardation의 정도에 따른 충돌효율의 영향에 대해 문제를 제기하였으며, Schulz (1992)는 기포표면의



retardation은 충돌효율을 약 10배 가량 감소시킨다고 발표하였으며, mobile(of free) 기포표면들의 조건하에서 기포 - 입자 충돌에 대한 시스템적인 실험적 연구조사는 Hewitt, Fomasiero, Relston (1995)등에 의해 최근까지 계속되고 있다.

### (3) 입자와 기포 사이에 상호 작용력에 관한 연구

Ives (1977)는 부상에서 입자와 기포의 정전기적 힘 (electrostatics forces)들이 중요한 역할을 하며, Derjaguin et al. (1961)과 Devivo et al. (1970) 및 Kitchner et al. (1977)등의 연구에서 정전기력에 대해 연구하였으며, Collins 와 Jameson는 주변유체 및 기포와 입자의 정전기적 특성에 따라 충돌효율이 극적으로 변화된다는 것을 실험으로 증명하였다.

### (4) 충돌효율을 예측하기 위한 궤도분석

유동함수로 표현되는 기포주위의 유체의 흐름과 입자의 움직임 및 입자와 기포사이의 상호 작용력을 모두 고려한 입자의 궤적에 관한 연구가 1970년대에 Spielman & Fitzpatrick (1972) 등에 의해서 정립되었고, 80, 90년대에 이르러 Dejaguin & Dukhin (1984), Schultz (1984) 및 Yoon & Luttrell (1992)외의 많은 연구자들이 유동함수를 유체의 흐름 (Reynold number)와 연결하여 보다 정확한 포집효율을 예측하기 위한 모델들을 개발하였다. 최근 DAF 분야에서 Okada et al. (1990)는 정전기력에 의해 강하게 영향을 받는 기포 주위의 입자들의 상대적인 궤도를 증명하였으나, 이와 같은 유동함수로부터 궤도분석을 DAF에 적용하기엔 1) DAF는 기포의 크기와 입자의 크기비가 기존부상과 차이가 있고 현재는 이로 인해 적용의 한계성을 드러내고 있으며 2) 유동함수는 입자의 확산에 있어 대류포획과 확산포획에 대해 단일화된 표현을 하기가 어렵다는 점이다.

Jaffrey & Onish (1984) 등이 두 입자의 충돌을 계산하는데 있어 새

로운 수학적 기법인 운동함수(mobility function)를 개발하여 부상에서 유동함수의 크기비의 한계를 극복하게 되었고 90년대 후반에 이르러 DAF 분야에서 Han & Dockko (1999) 및 Leppien (1999) 등은 이 운동함수를 기초로 하여 충돌/부착이론을 발표하였다.

또한 대류포획과 확산포획의 문제에 대한 단일화된 묘사를 위한 수리학적 노력이 시도되었는데 Melik & Fogler (1984) 및 Wang & Wen (1990)와 같은 연구자들이 the pair probability (Batchelor 1982)란 용어로서 quasi-steady 대류확산방정식의 해를 구하는 방식에 기초를 두었고 Zinchenko & Davis (1984)는 모든 입자 (또는 기포)크기에 대응할 수 있는 해를 도출하여 새로운 방식의 궤도분석을 완성하였다. 이로부터 충돌효율에 있어 입자와 기포의 크기비와 확산효과에 상관관계를 증명하고 있다. Loewenberg & Davis (1994)는 입자의 크기비가 작을수록 대류포획과 확산포획이 거의 동등하게 영향을 미치고 그로 인해 확산효과들의 중요성이 증가하고, 크기비가 작을 경우 대류포획이 우세함을 계산하였다. 유체내의 확산영향은 DAF에서 논란이 되고 있는 유체의 흐름에 대한 충돌효율의 단일화된 묘사를 구축하는데 기초가 될 것으로 판단되며 향후 반드시 연구가 되어야 할 것이다.

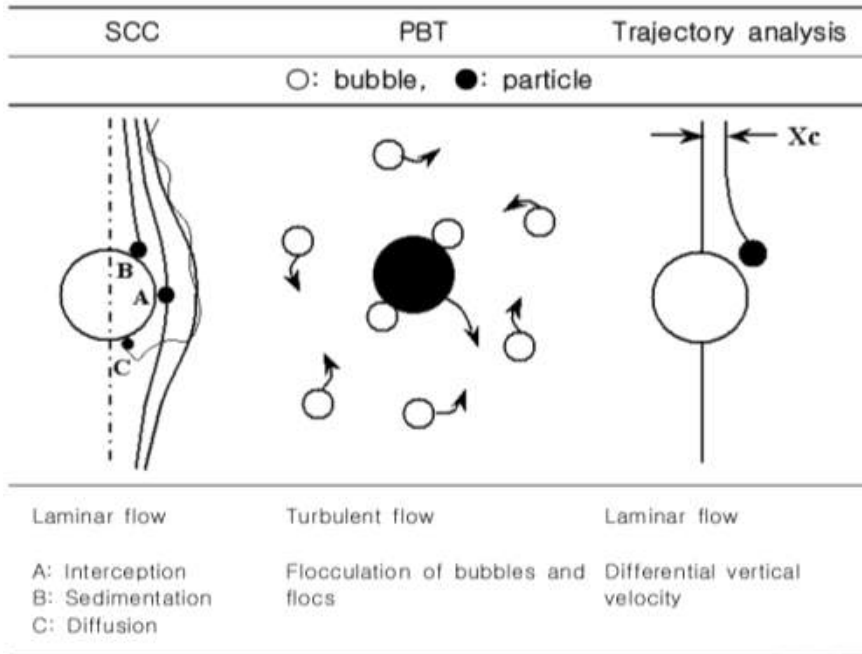
## 2.2.2 용존공기부상의 이론

DAF 반응조는 접촉조(contact zone), 분리조(separation zone)로 구성된다. 접촉조에서 미세기포와 플록의 충돌을 설명하기 위해, 세 가지 모델이 연구되었다.

Edzwald (1990)는 접촉구역에 있는 미세기포의 역할을 여과지에서의 모래 역할과 비슷하다고 보고, 기포를 부유입자의 포집자(collector)로 간주하였다. 또한 Tambo (1995)는 기포와 플록사이의 충돌을 설명하는 비균질 응집모델을 사용하였으며, Han (2001)은 궤적분석을 통하여

입자와 기포의 특성이 효율에 미치는 영향을 분석하였다. Table 2.3는 DAF 모델들의 일반적인 개념도를 나타내고 있다.

Table 2.3 General concepts of proposed DAF models



### (1) 단일 포집자 모델 (Single Collector Collision)

Edzwald (1990)는 입자들과 상승하는 기포 층 사이의 충돌은 여과층과 같은 물질전달이 일어난다고 간주하고 모델링을 실시하였다. 물질전달 방정식은 단독 기포를 포집하는 효율로서 표현된다. 단독 포집자 효율방정식은 접촉구역에서 미세기포의 개수농도에 따른 입자의 손실을 설명하기 위한 한 개의 종합적인 방정식을 만들 수 있다. 이 모델은 전체 물에서 기포의 표면으로부터 물질전달을 설명하고 있다. 입자들이 기포로 물질전달을 설명하는 단독 포집 효율방정식은 브라운 확산( $\eta_D$ ), 기

포가 상승할 때 일어나는 차단( $\eta_I$ ), 속도차 침전에 의한 기포와 입자와의 충돌( $\eta_S$ )과 관성( $\eta_{IN}$ )으로서 설명되며 이것들은 다음과 같다.

$$\eta_D = 6.18 \left( \frac{k_B T^0}{g (\rho_w - \rho_b)} \right)^{2/3} \left( \frac{1}{d_p} \right)^{2/3} \left( \frac{1}{d_b} \right)^2 \quad (\text{eq. 2.1})$$

$$\eta_I = \left( \frac{d_p}{d_b} + 1 \right) - \frac{3}{2} \left( \frac{d_p}{d_b} + 1 \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{d_p}{d_b} + 1 \right)^{-1} \quad (\text{eq. 2.2})$$

$$\eta_S = \left( \frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w - \rho_b} \right) \left( \frac{d_p}{d_b} \right)^2 \quad (\text{eq. 2.3})$$

$$\eta_{IN} = \left( \frac{g \rho_p \rho_w d_b d_p^2}{324 \mu^2} \right) \quad (\text{eq. 2.4})$$

여기서,  $k_B$ 는 Boltzman 상수,  $T_0$ 는 절대온도,  $d_p$ 는 입자 직경,  $d_b$ 는 기포의 직경,  $\rho_p$ 는 입자 밀도,  $\mu$ 는 물의 점성계수,  $\rho_w$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력가속도를 나타낸다.

관성에 의한 충돌은  $100 \mu\text{m}$  보다 작은 기포와 입자에 대해서는 중요하지 않으므로 여기에서는 무시하였다. 단독 기포의 총 입자 포집효율( $\eta_T$ )은 eq. 2.1부터 eq. 2.4를 합한 값으로 표현된다( $\eta_T = \eta_D + \eta_I + \eta_S$ ).

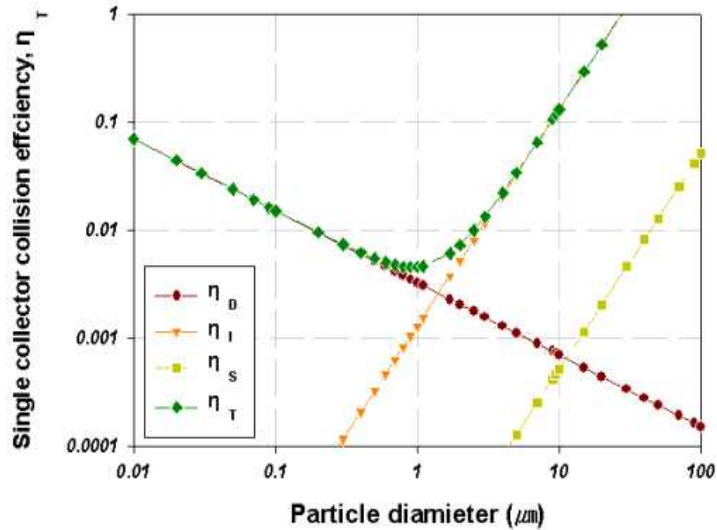


Fig. 2.2 Single collector collision efficiency versus particle size for particle density of 1.005 g/cm<sup>3</sup>, bubble diameter of 34 μm, and 15 °C

$\eta_T$ 는 단독 포집자의 충돌효율을 나타내며, 이것을 이용하여 입자와 기포 사이의 물질전달 충돌을 설명할 수 있다. 이러한 충돌은 접촉 구역에서 일어나므로 부상조의 변수로서 분류된다. 그러나 이것은 플록입자의 크기( $d_p$ )에 따라 달라지며 이것은 플록형성공정의 영향을 받는다. eq. 2.1 ~ 2.4는 입자의 크기에 대한 영향을 알아보는데 매우 유익하게 사용된다. 이러한 식으로부터  $\eta_T$ 값은 모든 경우에 있어  $d_b^{-2}$ 의 비율로 기포의 크기에 영향을 받는다. 그리고 입자의 크기에 대한 영향으로는 브라운 확산에서는  $d_p^{-2/3}$ , 차단과 속도차 침전에서는  $d_p^2$ 의 관계를 가지고 있다.

플록이 형성되면 입자의 밀도는 감소한다. 그러므로 플록의 밀도는 1.001 ~ 1.01 g/cm<sup>3</sup> 정도로서 물보다 무겁지 않다. 여기서 입자의 침전에 의해 기포와 발생하는 충돌은 기포( $\eta_S$ )로 그다지 중요하지 않은

메커니즘을 의미한다. 또한 이 모델은  $\eta_T$  값이 플록의 크기가  $1 \mu\text{m}$  근처에서 최소값을 가지며 플록의 크기가  $1 \mu\text{m}$  보다 작거나 큰 값에서는 증가하는 경향을 가진다는 것을 보여주고 있다.

$\eta_T$ 는 입자의 직경이  $1 \mu\text{m}$  보다 작은 경우에는 브라운 확산( $\eta_D$ )에 의해 지배되며 입자의 직경이  $1 \mu\text{m}$  보다 큰 경우에는 차단( $\eta_I$ )에 의해 지배된다.

## (2) 비균질 응집 모델 (Heterogenous Flocculation-Based Model)

Tambo(1995)는 입자의 응집동역학 모델과 비슷한 두 물질의 응집에 기초한 모델을 사용하여, 입자와 미세기포와 부착된 입자들과의 충돌에 관한 모델을 제시하였다. 위 모델에서, 충돌에 의하여 기포가 부착된 플록 입자의 개수변화를 나타내는 방정식 eq. 2.13와 기포가 부착되지 않은 입자의 변화를 나타내는 방정식 eq. 2.5가 제시되었다.

$$\frac{dN_{f,i}}{dt} = -kN_b(\alpha_{f,i}N_{f,i} - \alpha_{f,i-1}N_{f,i-1} - m_f) \quad (i = 1) \quad (\text{eq. 2.5})$$

$$\frac{dN_{f,0}}{dt} = -k\alpha_f N_b N_{f,0} \quad (i = 0) \quad (\text{eq. 2.6})$$

여기서,  $N_{f,i}$ 는  $i$  개의 기포가 부착된 플록입자들의 개수농도,  $N_{f,0}$ 는 기포가 한 개도 부착되지 않은 플록입자들의 개수농도,  $N_b$ 는 기포의 개수,  $\alpha_f$ 는 충돌부착 인자,  $\alpha_0$ 는 기포가 한개도 부착되지 않았을 때 충돌부착 인자,  $m_f$ 는 플록입자에 부착될 수 있는 미세기포의 최대 개수,  $k$ 는 물질 전달 충돌 메커니즘에 따라 변하는 동역학 계수를 나타낸다.

기포와 플록입자들 사이에서의 충돌은 접촉구역에서 유체전단(fluid shear)을 일으키는 난류흐름 상태에서 고려하여 모델을 만들었다. 이 충

돌 메커니즘은 다음과 같다.

$$k = aG(d_b + d_f)^3 = a\left(\frac{\epsilon}{\mu}\right)^{1/2}(d_b + d_f)^3 \quad (\text{eq. 2.7})$$

여기서, a는 상수, G는 평균속도경사,  $\epsilon$ 는 평균에너지 감소속도,  $\mu$ 는 점성계수,  $d_b$ 는 기포직경,  $d_f$ 는 플록직경을 나타낸다. 이 식에서 기포의 크기가 10 ~ 100  $\mu\text{m}$ 의 범위 (평균 40  $\mu\text{m}$ )로 고정되었기 때문에 플록의 크기가 증가함에 따라 충돌비율도 증가함을 eq. 2.7로부터 알 수 있다.

### (3) 궤적분석 (Trajectory Analysis)

Han (2001)은 입자와 기포의 정전기적 상호작용을 고려하여 궤적분석법을 사용하여 기포와 입자간의 충돌효율을 파악하였다. 여기서 eq. 2.16의 수리동역학적 함수를 이용하여 구하였다.

$$y' = \frac{dr}{d\theta} = s \frac{V_r}{V_\theta} = s \frac{-\cos\theta L(s, \lambda) V_{x12} - \frac{D_{12}}{kT} G(s, \lambda) \nabla\phi_{12}}{M(s, \lambda) \sin\theta V_{s12}} \quad (\text{eq. 2.8})$$

여기서 L, G, 그리고 M은 수리동역학적 함수이며 입자와 기포 중심간 거리(s)와 두 입자의 크기 비( $\lambda$ )에 의하여 결정되는 함수이다. r과  $\theta$ 는 극좌표 내 위치, V는 입자의 속도, D는 확산계수, k는 볼츠만 상수, T는 절대온도, 그리고  $\phi$ 는 입자간 상호 작용력을 의미한다.

eq. 2.16에서 기포 크기의 영향을 살펴보면 기포의 크기가  $\alpha_{bp}$ 에 미치는 영향은 입자가 안정화 또는 불안정화 될 경우에 대하여 계산하여

Fig. 2.3과 같이 나타냈다. 본 결과에서는 응집상태의 영향은 매우 큰 것으로 나타났다. 안정한 조건 ( $\zeta_p = -30$  mV)에서의 충돌효율은 매우 낮으나, 불안정한 조건 ( $\zeta_p = 0$  mV)에서의 충돌효율은 안정할 때보다 10 또는 100배 크다. 가장 큰 충돌효율을 나타내는 최적 기포크기는 입자의 크기에 따라 다르다. 작은 입자의 경우 높은 효율을 얻기 위하여 작은 기포가 필요하며, 마찬가지로 큰 입자에는 큰 기포가 필요하다.

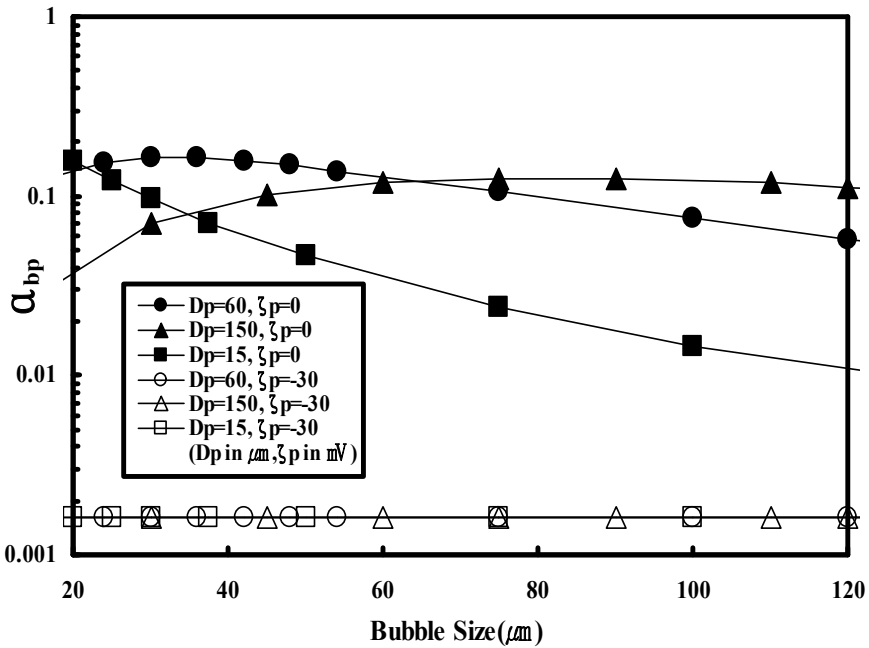


Fig. 2.3 Collision efficiency ( $\alpha_{bp}$ ) depending on bubble size



## 2.3 DAF 분리조 내의 흐름 특성

분리조(separation zone)의 흐름특성은 기포발생량과 수리학적 부하율 및 반응조 형상에 의해 크게 좌우된다. 그리고 흐름특성에 따라 DAF 공정의 효율이 크게 변화한다(Haarhoff & Edzwald 2004). Lundh (2001)에 의하면 분리조(separation zone)에서의 흐름은 층을 이루는 흐름(stratified flow structure)과 단락류(short-circuit flow structure)를 형성하는 흐름, 두 가지가 있다고 하였다. 첫 번째 흐름은 많은 양의 기포가 발생되고 수리학적 부하율이 낮은 경우에 해당되며, 두 번째 흐름은 기포의 발생량이 적은 경우와 빠른 수리학적 부하율에 기인한다고 보고 있다.

Fig. 2.4는 압력, 회수율, 수리학적 부하율이 동일한 상태에서 반응조 형상에 따른 분리조 내의 흐름특성을 나타내고 있다. 접촉조와 분리조 사이의 정류벽(shaft wall)이 수면에 가까울수록 분리조 내의 흐름은 plug flow와 같은 안정된 흐름을 보이고, 바닥에 가까울수록 불안정한 흐름을 나타낸다. 정류벽의 형상 및 기울기는 흐름에 별 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

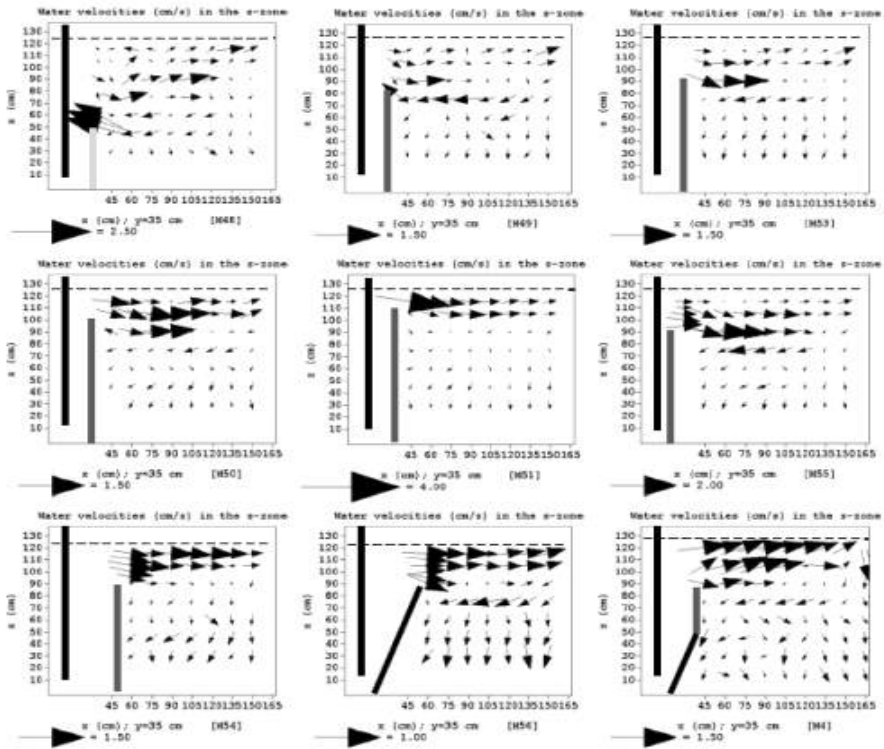


Fig. 2.4 Water velocity profiles in the central, longitudinal and vertical section of the separation zone for the increase of shaft wall height, the shaft length and the inclination of the shaft wall for pressure 5 atm, recycle ratio 10%, hydraulic loading rate 11 m/hr (lundh et al, 2002)

## 2.4 플로트 수거장치

### 2.4.1 플로트 수거장치의 종류 및 특징

DAF 반응조 내에서 미세기포와 플록의 결합체인 플로트는 수면으로 부상하여 층을 형성한다. 분리조 내에 안정된 수류를 형성하여 플로트 층의 이탈현상 즉, 부상된 플로트가 기포와 이탈됨으로써 다시 조의 하부로 침강하는 현상을 방지해야 한다. 이와 같은 이탈은 플로트 수거장치를 가동할 때 발생하므로, 장치의 운전에 유의해야 한다. 플로트 수거장치는 방식에 따라 크게 수리적인 방법과 스크레이퍼에 의한 기계적인 방법이 있다.

#### (1) 수류식 플로트 수거장치

수류에 의한 제거방법은 낮은 시설경비, 운전의 용이성, 유출수 수질에 미치는 영향의 최소화 등의 장점이 있으나, 높은 물의 손실(약 생산량의 2%)과 낮은 슬러지 고형물 함량(0.2 ~ 0.5%)의 단점이 있다. 이 방법은 연속적으로 혹은 간헐적으로 운전될 수 있다.

연속적으로 플로트를 제거하는 경우, 성공적인 운영을 위해 부상조의 수위를 일정하게 유지하는 것이 필요하다. 하지만 유입되는 원수의 유량은 일정하지 않아 인위적인 조작이 필요하다. 이를 위해 일부 정수장은 variable weir를 도입하여 수위를 일정하게 유지하고 있다. 조 내 수위가 일정 시간동안 낮아지면, 플로트가 굳어지고 이를 제거하기 위해 많은 양의 물이 필요하다.

간헐적으로 플로트를 제거하는 경우, 플로트는 부상조의 수면위에 농축되도록 일정시간이 주어진다. 플로트의 제거를 위해서 부상조 유출수

의 출구는 일정시간 동안 부분적으로 혹은 완전히 폐쇄되어 플로트를 수거부로 넘기도록 수류를 발생시킨다.



Fig. 2.5 Hydraulic float removal system

## (2) 기계식 플로트 수거장치

기계식 플로트 수거장치는 시설경비가 비싸지만, 수류식에 비해 낮은 물의 손실(약 생산량의 0.2 ~ 2.0 %)과 높은 슬러지 고형물 함량(1 ~ 4 %)의 장점이 있다.

기계식 플로트 수거장치의 종류는 크게 두 가지로 전폭 수집기(Chain-flight), 회전식 수집기(Beach rotating)가 사용되고 있다. 전폭 수집기는 부상조 전체 폭에 부착된 수집기 날개가 체인으로 연결되어 있다. 플로트는 천천히 밀려서 경사진 비치(beach)를 넘겨져서 슬러지 트라프로 보내진다.

회전식 수집기는 분리조 끝부분에 4 ~ 8 개의 날개를 가진 수집기의 회전 롤러가 연속적으로 플로트를 비치 쪽으로 밀어서 트라프로 보낸다.

플로트가 수집기에 의해 부딪치기 때문에 플로트 층에 교란이 일어날 수 있다. 그러므로 회전식 수집기는 점착력이 있고, 안정된 플로트를 제거하는 데 사용된다.



Fig. 2.6 Chain - flight removal system



Fig. 2.7 Beach rotating removal system

## 2.4.2 플로트 수거장치의 설계지침 (한국수자원공사, 2006)

약품혼화지, 플록형성지, 기포발생부 등의 DAF 세부공정은 설계 및 운전지침이 제시되어 있으나 플로트 수거장치의 경우 부족하거나 없다. Table 2.4는 플로트 수거장치의 설계지침을 정리한 것이다.

Table 2.4 General guidelines for the design of the float removal systems (한국수자원공사, 2006)

설계인자	설계지침
<p style="text-align: center;">월류식 플로트 수거장치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 부상조에서 수위변동은 부상조 처리수 뿐만 아니라 플로트 수집에 부정적인 영향을 미치므로 빈번한 수위조절 조작은 가능한 없어야 한다. 그러므로 수집기의 수평과 적절한 수위 조절이 중요하다.</li> </ul>
<p style="text-align: center;">기계식 플로트 수거장치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 색도가 높고 경도가 낮은 물에서 발생하는 플로트는 깨지기가 쉬우므로 30분 이내에 빼내야 한다. 이때에는 부상조의 전 길이를 왕복하는 회수장치를 설치하여 0.3 ~ 0.76 m/min의 속도로 운전되어야 한다.</li> </ul>

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

##### 3.1.1 플록형성지 (flocculation basin)

일반적인 DAF 공정에서 플록형성공정은 2 ~ 3단으로 설계되며 체류 시간(detention time)은 약 10 ~ 20 분이다(Gregory and Edzwald, 2010). 실험 장치는 아크릴로 제작하였으며 세부사항은 Table 3.1에 나타냈다. 아래 Fig. 3.1은 실험장치의 개략도와 실제 사진을 나타낸다.

Table 3.1 Summary of Flocculation basin

	Material	Shape	Width (m)	Length (m)	Height (m)	Volume (L)
Flocculation tank	Polyacrylate	Square	0.3	1.2	0.5	180

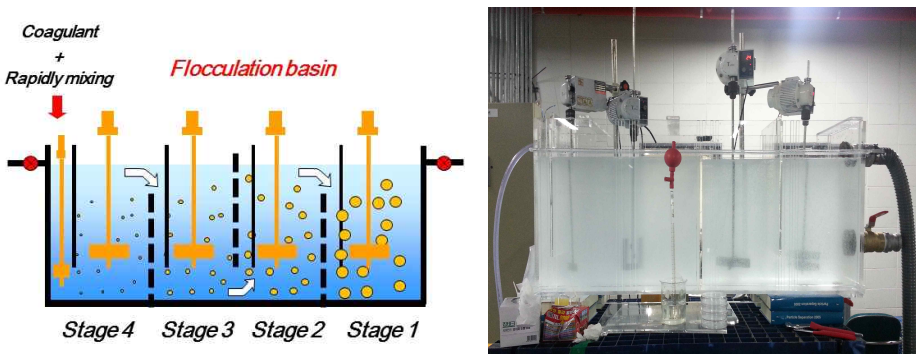


Fig. 3.1 Schematic diagram (left) & Image photograph of flocculation basin (right)

### 3.1.2 반응조(reactor)

DAF 공정에서 반응조(reactor)는 접촉조(contact zone), 분리조(separation zone), 플로트 수거장치(float removal system)로 구성된다.

과거 DAF 공정에서 접촉조와 분리조의 수리학적 부하율(hydraulic loading rate)은 각각 6 ~ 18 m/hr, 5 ~ 15 m/hr로 설계되어 기포의 이론적인 상승속도보다 느리게 운전되었다. 그러나 최근에는 분리조의 수리학적 부하율이 20 ~ 40 m/hr에 이르는 high loading rate DAF 공정으로 바뀌어 많은 양의 원수를 처리하고 있다. 또한 축소된 표면적에 따른 체류시간을 확보하기 위해 반응조의 깊이도 2.5 ~ 4.5 m로 깊어지고 있다(Gregory and Edzwald, 2010).

본 실험에서 제작한 반응조의 접촉조 수리학적 부하율은 50 m/hr이며 체류시간은 1.5 min이다. 분리조의 수리학적 부하율은 30 m/hr, 체류시간은 2.5 min, 장폭비는 1 : 2로 설계하였다. 반응조의 재질은 아크릴이며, 장치의 세부사항은 Table 3.2에 나타냈다. Fig 3.2의 좌측 사진은 반응조의 개략도, 우측 사진은 반응조의 분리조에 형성된 미세기포 층을 나타낸다.



Table 3.2 Summary of continuous flotation system

	Item	Loading rate (m/hr)	HRT (min)	Width (m)	Length (m)	Height (m)	Volume (L)
Reactor	Contact zone	50	1.5	0.1	0.12	1.25	13
	separation zone	30	2.5	0.1	0.19	1.25	22
	Sludge compartment	–	–	0.1	0.2	0.3	6

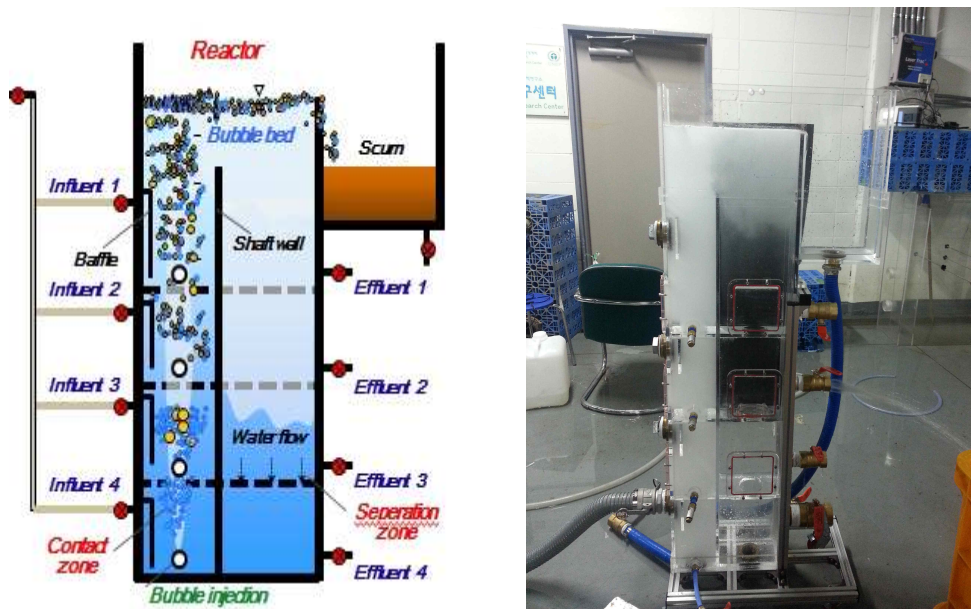


Fig. 3.2 Schematic diagram (left) & Image photograph of continuous flotation system (right)

### 3.1.3 플로트 수거장치(float removal system)

정수장에서 주로 운전 중인 수류식, chain - flight 수거장치를 제작하였다. 수류식은 기계적 장치 없이, 유출부의 밸브를 폐쇄하여 수류를 발생시켜 플로트를 제거한다. 본 연구에서, 플로트를 농축시키기 위해 반응조 상단을 기준으로 120 mm 위치로 수위를 설정하였다. 플로트를 제거하기 위해 간헐적으로 수위를 상승시켰으며, 이때 수위는 100 mm 이하로 설정하였다.

Chain - flight는 T자 모양의 flight를 제작하여 수동으로 운전하였다. Flight가 위치하는 반응조 상단에 눈금자를 부착하여 운전속도를 조절하였다. Flight의 재질은 아크릴이며, 크기는 W 150 mm × H 110 mm로 제작하였다. Fig 3.3은 수류식 수거장치의 개략도 및 실제 운전 사진을 나타낸다. Fig 3.4는 flight 및 실제 운전 사진을 나타낸다.

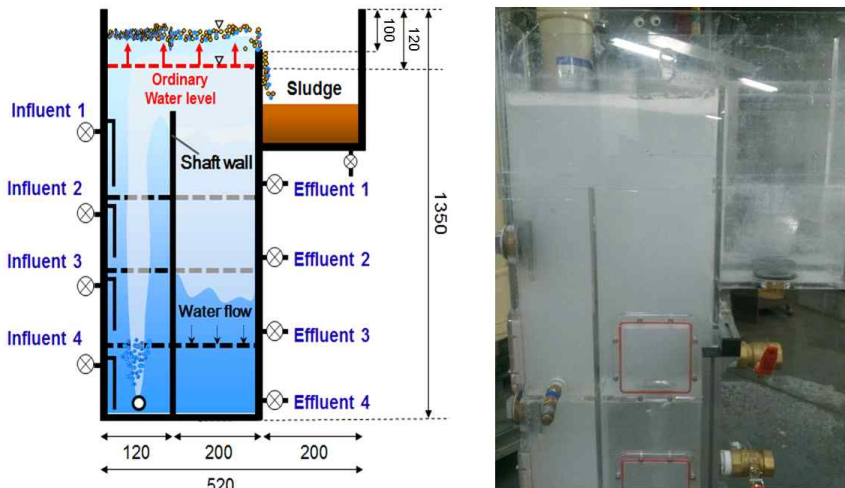


Fig. 3.3 Schematic diagram (left) & Image photograph of hydraulic float removal system (right)

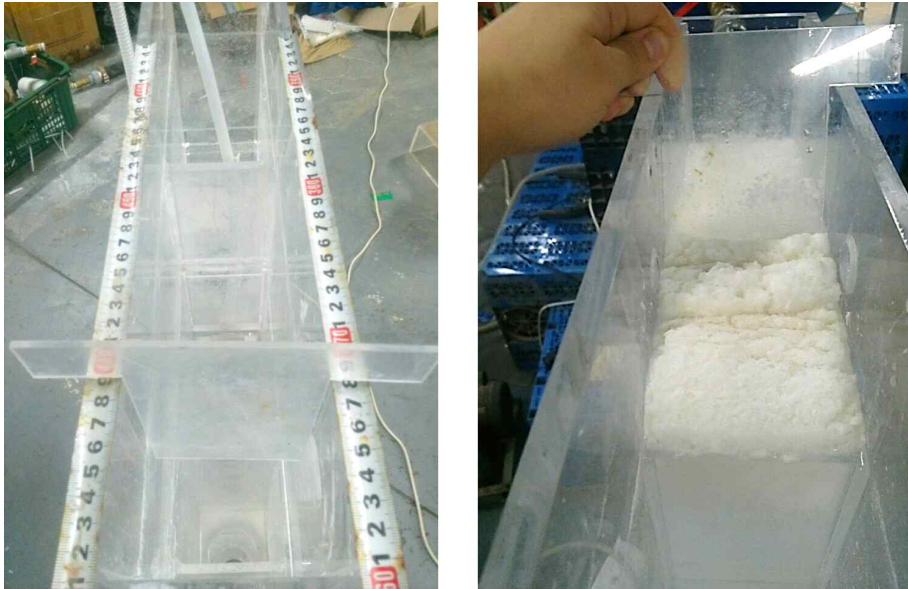


Fig. 3.4 Image photograph of chain - flight removal system

## 3.2 실험방법

### 3.2.1 입자 개수(number of particles) 측정

반응조 내 및 유출부의 입자개수 측정을 위해 On-line Particle Counter (Chemtrac Model PC2400D, USA)를 이용하였다. On-line Particle Counter는 사용자가 설정하는 8개의 측정 채널에 따른 입자의 크기 및 개수를 측정한다. 이 측정 장치는 측정 셀을 통과하는 입자들에 의해 반사 또는 흡수되는 빛의 강도변화를 감지하여 그 크기를 측정한다. 즉, 센서를 통과하는 입자에 의해 빛의 강도가 변화하고 이에 따른 pulse가 발생한다. 여기서 pulse의 수는 입자의 수를, pulse의 높이는 입자의 크기를 나타낸다. 일반적으로 이용되는 화상분석방법과 비교하여 정확도 대비 측정시간이 매우 짧다는 장점이 있다(Han et al, 2002).

시료의 샘플링 위치는 입자의 거동을 명확히 분석하기 위해 기포층의 영향을 받지 않는 곳으로 선정하였다. 또한 튜브에서 발생할 수 있는 입자의 크기 및 개수 변화에 대한 가능성을 최소화하기 위해 가능한 짧은 길이의 직선 튜브를 사용하였고, 샘플링 유량은 사용된 particle counter의 제조사에서 설정된 100 ml/min을 유지하기 위해 정량펌프를 사용 하였다. 정량펌프의 임펠러에 의한 입자의 크기 및 개수 변화를 막기 위하여 펌프의 전단부에 particle counter를 설치하였다.

측정 장치 및 측정 센서의 개요도는 Fig. 3.5과 같으며, Table 3.3에 장치의 사양을 나타내었다.

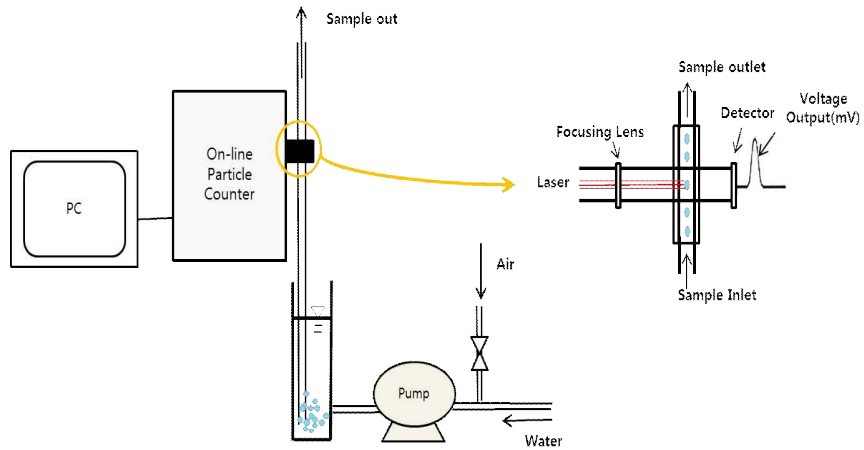


Fig. 3.5 Schematic diagram of the particle counting method

Table 3.3 Specifications of On-line particle counter

Detection method	Channel	Dynamic range	Flow rate (ml/min)
Light extinction	8	2 ~ 900 $\mu\text{m}$	100

### 3.2.2 탁도(turbidity) 측정

반응조 내 및 유출부에서 다항목 수질 모니터링 계측기기 (YSI6600V2)를 이용하여 실시간으로 탁도 변화를 측정하였다. 본 연구에서 사용한 탁도계는 산란광 측정방식으로 그 원리는 다음과 같다. Fig. 3.6과 같이 산란광 측정방식은 측정액 한쪽 면에 광을 주사하여 액중의 입자에 부딪쳐 산란되는 산란광을 90° 각도에서 측정한다. 이 광의 강도가 액중의 현탁물질의 농도에 비례하는 것을 이용한 것이다. 시료의 샘플링 위치는 입자의 거동을 명확히 분석하기 위해 기포층의 영향을 받

지 않는 곳으로 선정하였다.

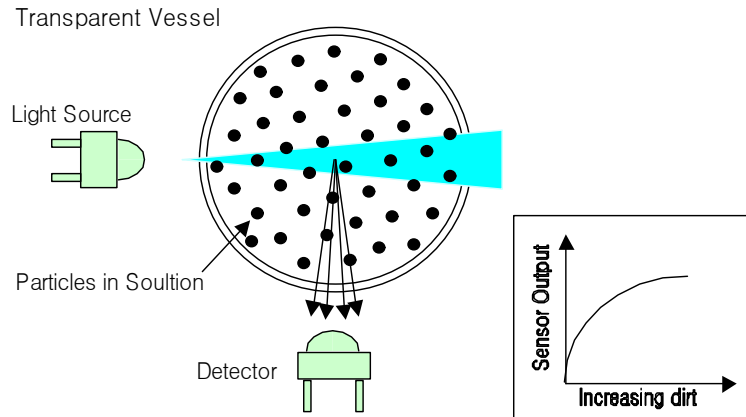


Fig. 3.6 Measuring scattering light method

## 4. 입자계수기를 통한 DAF 공정의 진단

### 4.1 서론

일반적으로 사용되고 있는 정수처리 평가는 대부분 유기물과 탁질 제거 효과로 탁질의 경우는 측정이 간단하기 때문에 탁도 값을 많이 이용한다. 그러나 수질변화나 수중 미생물의 거동을 파악하기에 탁도 만으로는 충분하지 않고 좀 더 민감하게 반응할 수질지표가 필요하다. 때문에 수중 입자들의 입자수와 크기분포에 대한 정보를 입자계수기를 통해 상세하게 얻고자 한다. 실제 많은 정수장의 여과지에서 유출수에 입자계수기를 적용하여 특정 크기의 입자수를 모니터링하고 있다. 또한 입자계수기를 이용하여 응집공정의 진단을 수행한 사례가 있다 (Han et al, 2002).

본 장에서는 DAF 공정에서 운전조건 변경에 따른 효율을 반응조 내 및 유출수에서 입자계수기와 탁도계를 이용하여 측정하였다.

### 4.2 실험방법 및 내용

Fig. 4.1은 실험에 사용한 장치의 모식도를 나타낸다. 원수 유입부를 통해 응집조로 유입된 물은 플록형성공정을 통해 반응조로 유입된다. 이때, 400 W 용량의 기포발생장치를 통해 토출되는 기포는 접촉조(contact zone)에서 입자와 충돌, 부착되어 분리조(separation zone) 상부에 플로트를 형성한다. 이때, 분리조에서는 일정 깊이의 기포층

(bubble bed)이 형성되며, 처리된 물은 반응조 우측 하단에 위치한 밸브(D)를 통해 유출된다. 본 실험에서는 유출수 및 반응조 하단 3개의 지점(A, B, C)에서 입자계수기와 다항목 수질 모니터링 계측기기를 이용하여 입자수 및 탁도를 측정하였다.

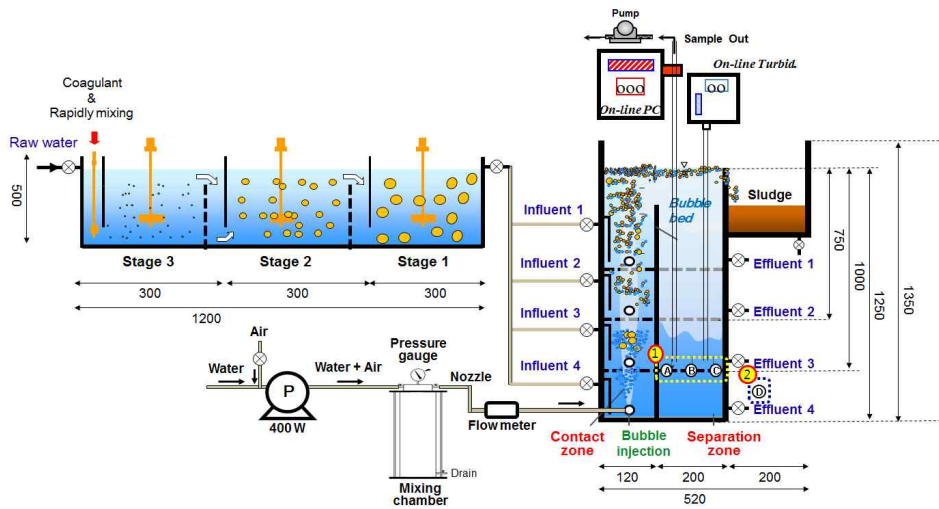


Fig. 4.1 Schematic diagram of continuous flotation system

실험에 사용한 현탁액은 카올린 파우더(Duksan Pure Chemicals 社, Korea)를 수돗물에 섞어 탁도를 30 NTU로 맞추었다. pH와 알칼리도는 각각  $H_2SO_4$ 와  $NaHCO_3$ 를 이용하여 pH 7.55 ~ 7.65, 50 ppm(as  $CaCO_3$ )으로 조정하였다. 응집제는  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , 1 % (w/v)를 사용하여 10 mg/L (as Al)를 주입하였다. 또한 응집 보조제인 NaOH 20 % 용액을 주입하여 pH를 일정하게 유지하였다.

플록형성공정은 3단으로 나누어 총 11분간 교반하였으며, 교반 속도는 각각 150 rpm에서 1분, 50 rpm에서 5분, 30 rpm에서 5분이다. 그리고 기포발생장치는 포화기의 압력과 회수율을 변경하여 미세기포를 주



입하였다. 세부 실험 조건은 아래 Table 4.1 에 나타내었다.

**Table 4.1 Experimental conditions**

항목	조건	비고
Saturator pressure	3, 5 bar	–
Recycle ratio	10, 30 %	–
Sampling points	Inside reactor	A, B, C (250 mm from the bottom)
	Effluent	D
Alk. (mg/L as CaCO <sup>3</sup> )	Synthetic	50
Coagulant dosage	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 18H <sub>2</sub> O	10 mg/L as Al
Coagulant aids	NaOH 20 %	–

## 4.3 실험결과

### 4.3.1 DAF 공정에서 반응조 내 입자 변화

Fig. 4.2는 운전조건 변경에 따른 입자수의 변화를 나타낸 그래프이다. X축은 입자계수기 측정위치를, Y축은 입자의 개수를 나타낸다. 공정의 전처리에서 비교적 큰 플록이 형성되어 반응조 내 기포층에 의해 포획, 부상됨을 고려하여 본 실험에서는 부상되지 못하고 유출되는 작은 크기의(2 ~ 20  $\mu\text{m}$ ) 입자에 대해서 집중적으로 분석하였다.

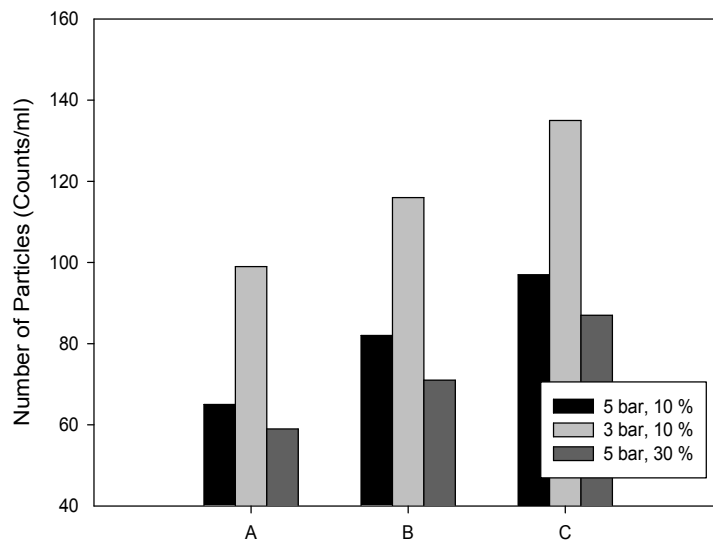


Fig. 4.2 Number of particles under various operation conditions at different sampling points

입자계수기를 통해 다양한 운전조건 및 측정위치에서 입자수를 민감하게 측정할 수 있었다. 세 가지 운전조건 모두에서, 반응조 후단으로 갈

수록 입자수가 증가하였다. 이는 반응조 내부 형상(정류벽)에 의한 것으로 판단된다. 운전조건 변경에 따른 결과는 일반적으로 압력이 높을수록 기포 크기가 작아지고 기포 발생량이 증가하며, 이는 처리효율 향상에 영향을 미친다(박용효, 2003)는 연구결과와 일맥상통한다.

Fig. 4.3은 Fig. 4.2와 동일한 운전조건 및 샘플링 위치에서 탁도를 측정한 결과이다. X축은 탁도계의 측정위치를, Y축은 탁도를 나타낸다.

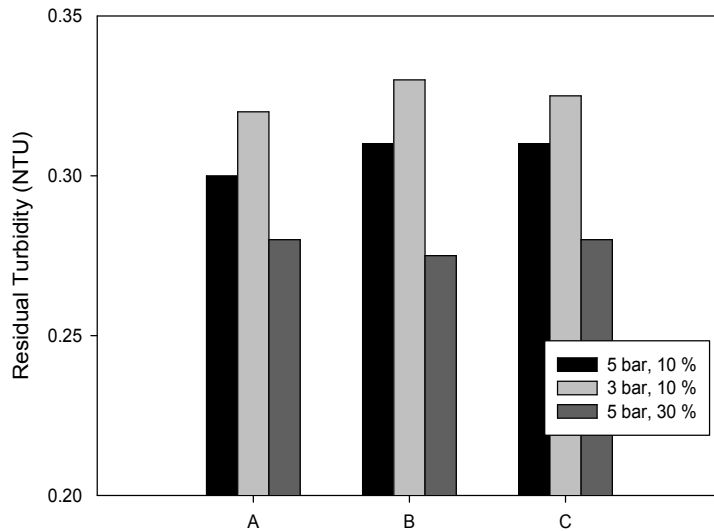
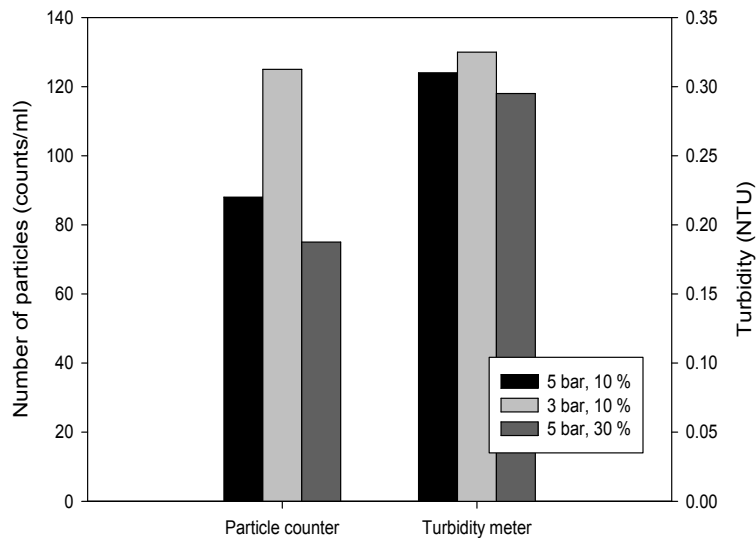


Fig. 4.3 Residual turbidity under various operation conditions at different sampling points

운전조건 변경에 따른 탁도 변화가 미미하게 나타났다. 이는 탁도계의 경우 저탁도(1 NTU 이하)의 시료 측정 시, 소수점 둘째자리에서 수치가 변하기 때문이다. 또한 탁도계는 측정위치에 따른 입자수 변화를 감지하지 못하였다. 이를 통해, 기존에 탁도값을 이용하여 실시한 공정의 진단을 입자계수기를 통해 더욱 정확하게 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4.3.2 DAF 공정에서 유출수 입자 변화

Fig. 4.4는 운전조건 변경에 따른 유출수의 입자수 및 탁도 변화를 살펴본 결과이다. X축은 측정 장치를, Y축은 입자수 및 탁도를 나타낸다.



**Fig. 4.4 Number of particles and turbidity under various operation conditions at effluent**

4.3.1절의 결과와 동일하게 입자계수기는 운전조건 변경에 따른 입자수 변화를 민감하게 측정하였으나, 탁도의 변화는 미미하게 나타났다. Fig. 4.2와 Fig. 4.4에서, 측정 위치에 따른 입자수를 비교한 결과 C 지점에서 D 지점으로 처리수가 이동하면서 입자수가 감소하였다. 이는 반응조 후단 C 지점에서 측정된 입자들의 일부가 기포에 의해 재부상 또는 하단으로 침강한 것으로 판단된다. 이를 통해, 입자계수기를 이용하여 공정 내 입자의 거동을 분석할 수 있음을 확인하였다.

## 5. DAF 공정에서 반응조 내 플로트 층 형성

### 5.1 서론

DAF 공정에서 부상된 플로트는 오래 부유하지 못하고 반응조 내로 침강한다. 침강한 플로트는 유출수 수질을 악화시킬 수 있으므로 적절한 시기 및 방법으로 제거해야 한다. 하지만 현재 수거장치의 운전에 대한 연구가 부족하여, 운전지침에 권장속도만 제시되어있다.

분리조 내 하향흐름이 존재하는 영역까지 플로트 층이 형성되면, 일부 플로트는 수류에 의해 조 하단으로 침강하여 공정의 효율을 저하시킬 것으로 예상된다. 때문에 본 장에서는 분리조 내 플로트 층 형성에 따른 유출수 입자변화를 측정하여 적절한 플로트 제거시기를 도출하고자 한다.

### 5.2 실험방법 및 내용

약품혼화 및 플록형성공정을 통해 반응조 내로 유입된 원수는 기포와 결합하여 플로트를 형성한다. 본 실험에서는 시간에 따른 반응조 내 플로트 층의 두께 및 유출수의 입자변화를 모니터링 하였다.

장치는 4장의 continuous flotation system을 사용하였다. 실험에 사용한 현탁액은 카올린 파우더(Duksan Pure Chemicals 社, Korea)를 수돗물에 섞어 탁도를 30 NTU로 맞추었다. pH와 알칼리도는 각각  $H_2SO_4$ 와  $NaHCO_3$ 를 이용하여 pH 7.55 ~ 7.65, 50 ppm(as  $CaCO_3$ )으로 조정하였다. 응집제는  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , 1 % (w/v)를 사용하여

10 mg/L (as Al)를 주입하였다. 또한 응집 보조제인 NaOH 20 % 용액을 주입하여 pH를 일정하게 유지하였다.

플록형성공정은 3단으로 나누어 총 11분간 교반하였으며, 교반 속도는 각각 150 rpm에서 1분, 50 rpm에서 5분, 30 rpm에서 5분이다. 그리고 기포발생장치는 포화기의 압력과 회수율은 3 bar, 30 %로 운전하였다. 본 실험은 햇빛, 바람 등의 외부요소가 플로트에 미치는 영향을 최소화하기 위해 실내에서 수행하였다. 아래 Fig. 5.1은 continuous flotation system의 연속적인 운전에 따른 플로트 층의 두께변화를 나타낸 사진이다.

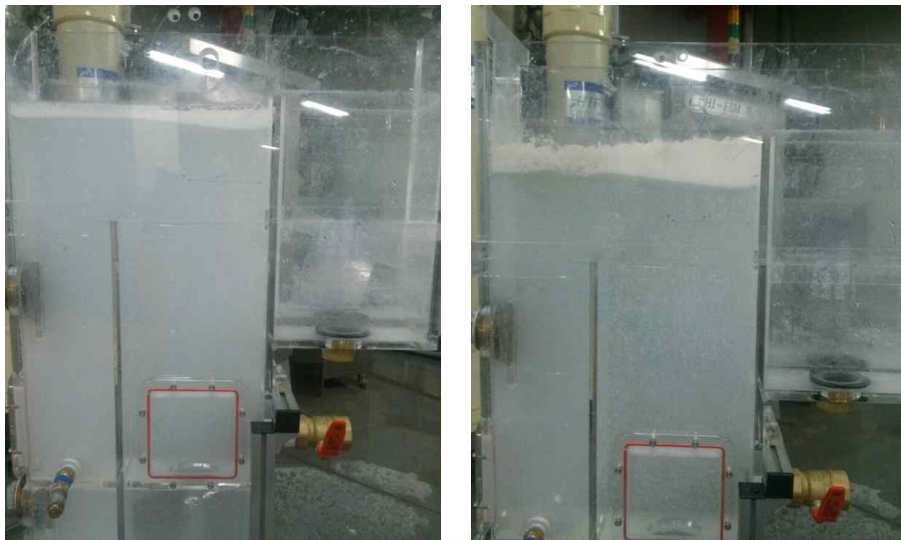


Fig. 5.1 Image photograph of increasing depth of float layer

## 5.3 실험결과

### 5.3.1 플로트 층 두께변화

Fig. 5.2는 continuous flotation system 운전 시간에 따른 플로트 층의 두께변화를 나타내었다. X축은 운전시간을, Y축은 플로트 층의 두께를 나타낸다. 본 실험조건에서 플로트 층은 1 분에 약 0.5 cm 두께로 형성되었다. System 운전 16 분 후에 플로트 층의 두께는 약 8 cm로 형성되었으며, 더 이상 증가하지 않았다. 플로트 층의 두께가 최대로 형성된 이후에 부상한 플로트는 층에 쌓이지 못하고 수류에 의해 분리조 하단으로 침강하는 것을 육안으로 확인하였다. 또한 기포발생장치의 장시간 운전으로 인해 발생하는 macro 기포에 의해, 플로트 층의 두께가 일시적으로 감소하기도 하였다(system 운전 56분 후).

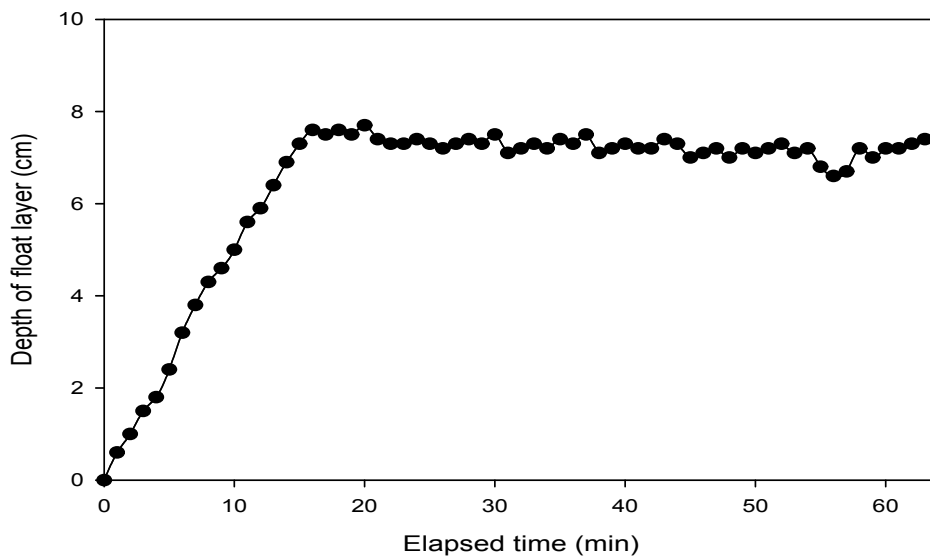


Fig. 5.2 Change of depth of float layer with time

### 5.3.2 플로트 층 형성에 따른 유출수 입자 변화

Fig. 5.3은 continuous flotation system 운전 시간에 따른 유출수의 입자변화 나타내었다. X축은 운전시간을, Y축은 입자 개수를 나타낸다. 공정의 전처리인 혼화, 플록형성지에서 비교적 큰 플록이 형성되어 반응조 내 기포층에 의해 포획, 부상됨을 고려하여 본 실험에서는 부상되지 못하고 수류에 의해 유출되는 큰 크기의(50 ~ 80  $\mu\text{m}$ ) 입자에 대해서 집중적으로 분석하였다. 플로트 층의 최대두께 형성 시점(본 연구에서는 약 16분)이후에, 유출수의 평균 입자수가 22개에서 81개로 크게 증가하였다. 이를 통해, 플로트 층이 최대두께로 형성되기 전에 수거장치를 운전하는 것이 필요하다고 판단된다.

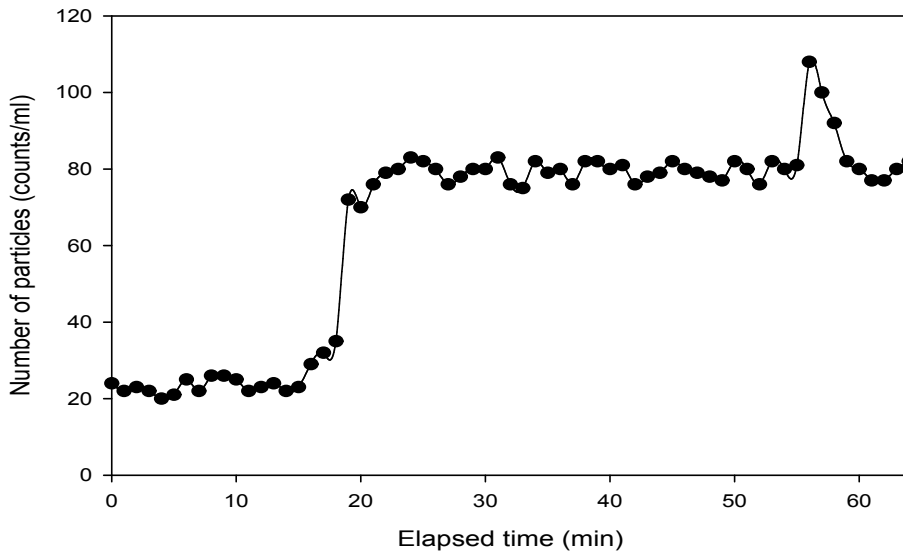


Fig. 5.3 Change of number of particles with time



## 6. 다양한 플로트 수거장치의 운전 최적화

### 6.1 서론

DAF 공정에서 발생한 플로트는 수리적, 기계적 방식으로 제거할 수 있다. 수리적 방식의 플로트 제거방법은 DAF 공정이 도입된 초창기에 스칸디나비아 및 핀란드에서 주로 도입된 방식으로 현재까지도 많이 사용되고 있다 (Rosen and Morse, 1976). 하지만 운전지침은 월류수위를 2 cm 이상으로 설정하는 것 이외에는 없다 (Stevenson, 1997).

기계적 방식의 플로트 제거방법에는 chain - flight, beach rotating 방식이 있으며, 장치의 운전과 관련된 연구는 없거나 부족하다. 때문에 수거장치는 실험이나 데이터에 의한 것이 아니라 관리자의 경험에 의존하여 운전되고 있다.

본 장에서는 수류식 및 chain - flight의 운전주기 변경에 따른 유출수의 입자변화를 측정하여 수거장치의 운전을 최적화하고자 하였다.

### 6.2 실험방법 및 내용

#### 6.2.1 Chain - flight 수거장치의 운전조건

전처리 공정을 통해 반응조 내로 유입된 원수는 기포와 결합하여 플로트를 형성한다. 본 실험에서는 주기를 변경하여 chain - flight 수거장치를 간헐적으로 운전하였으며, 시간에 따른 유출수의 입자변화를 모니터

링 하였다.

장치는 4장의 continuous flotation system을 사용하였다. 실험에 사용한 현탁액은 카올린 파우더(Duksan Pure Chemicals 社, Korea)를 수돗물에 섞어 탁도를 30 NTU로 맞추었다. pH와 알칼리도는 각각 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 NaHCO<sub>3</sub>를 이용하여 pH 7.55 ~ 7.65, 50 ppm(as CaCO<sub>3</sub>)으로 조정하였다. 응집제는 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 18H<sub>2</sub>O, 1 % (w/v)를 사용하여 10 mg/L (as Al)를 주입하였다. 또한 응집 보조제인 NaOH 20 % 용액을 주입하여 pH를 일정하게 유지하였다.

플록형성공정은 3단으로 나누어 총 11분간 교반하였으며, 교반 속도는 각각 150 rpm에서 1분, 50 rpm에서 5분, 30 rpm에서 5분이다. 그리고 기포발생장치는 포화기의 압력과 회수율은 3 bar, 30 %로 운전하였다. 본 실험은 햇빛, 바람 등의 외부요소가 플로트에 미치는 영향을 최소화하기 위해 실내에서 수행하였다.

수거장치의 운전속도는 지침에서 권장하는 30 m/h로 설정하였다. 5장에서 중요한 인자로 확인된 주기는, 플로트 층이 최대 두께를 형성하는데 소요되는 시간(본 연구에서는 약 16 분)보다 짧게 설정하였다. 또한 flight가 1회 운전 시 제거되는 플로트의 양이 제한적이므로, 주기에 따라 왕복횟수를 달리 설정하였다.

$$\begin{aligned} \text{왕복횟수(회)} &= \text{주기(min)} \times \text{단위시간 동안 형성되는 플로트의 두께(cm/min)} \\ &\div \text{flight 1회 운전 시 제거되는 플로트의 두께(cm/회)} \end{aligned}$$

세부조절 사항인 운전 주기 및 왕복횟수는 각 정수장의 원수 특성, 응집제 주입량, 반응조 형태, flight 깊이에 따라 달라 질 것이다. 세부 실험 조건을 아래 Table 6.1에 나타내었다.

**Table 6.1 Experimental conditions**

Operational conditions	Interval	Number of times	Speed
Case 1	4 min	2 number	30 m/hr
Case 2	8 min	4 number	
Case 3	12 min	6 number	
Case 4	16 min	8 number	

\* flight 1회 운전 시 제거되는 플로트의 두께: 1 cm/회

### 6.2.2 Hydraulic 수거장치의 운전조건

전처리 공정을 통해 반응조 내로 유입된 원수는 기포와 결합하여 플로트를 형성한다. 본 실험에서는 주기를 변경하여 hydraulic 수거장치를 간헐적으로 운전하였으며, 시간에 따른 유출수의 입자변화를 모니터링하였다.

실험장치, 실험에 사용한 현탁액, 응집제 주입량, 전처리 공정 및 기포 발생장치 운전조건 등은 chain-flight 수거장치의 것과 동일하다. 본 실험은 햇빛, 바람 등의 외부요소가 플로트에 미치는 영향을 최소화하기 위해 실내에서 수행하였다.

수거장치의 월류수위는 지침에서 권장하는 2 cm로 설정하였다. 운전 주기는 플로트 층이 최대두께를 형성하는데 소요되는 시간(본 연구에서는 약 16 분)보다 짧게 설정하였다. 또한 수류에 의해 플로트를 넘길 때, 단위시간 당 제거되는 플로트의 양이 제한적이므로, 주기에 따라 지속시간을 달리 설정하였다.

$$\begin{aligned} \text{지속시간}_{(\text{min})} &= \text{주기}_{(\text{min})} \times \text{단위시간 동안 형성되는 플로트의 두께}_{(\text{cm}/\text{min})} \\ &\div \text{단위시간 동안 제거되는 플로트의 두께}_{(\text{cm}/\text{min})} \end{aligned}$$

세부조절 사항인 운전 주기 및 지속시간은 각 정수장의 원수 특성, 응집제 주입량, 반응조 형태, 월류수위에 따라 달라 질 것이다. 세부 실험 조건을 아래 Table 6.2에 나타내었다.

**Table 6.2 Experimental conditions**

Operational conditions	Interval	Duration	Overflow level
Case 1	4 min	3 min	2 cm
Case 2	8 min	6 min	
Case 3	12 min	9 min	
Case 4	16 min	12 min	

\* 단위시간 동안 제거되는 플로트의 두께: 0.75 cm/min

## 6.3 실험결과

### 6.3.1 Chain - flight 운전 에 따른 유출수 입자 변화

Fig. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4는 chain - flight 수거장치의 운전조건 변경에 따른 유출수의 입자변화를 나타낸 그래프이다. X축은 continuous flotation system 운전시간을, Y축은 입자 개수를 나타낸다. 공정의 전 처리인 혼화, 플록형성지에서 생성된 비교적 큰 플록이 기포와 결합하여 형성된 플로트의 일부가 수거장치의 운전 에 의해 침강됨을 고려하여 본 실험에서는 비교적 큰 크기의(50 ~ 80  $\mu\text{m}$ ) 입자에 대해서 집중적으로 분석하였다.

수거장치의 주기가 길어질수록 처리효율이 안정적으로 나타났다 (4 분 주기: 37 개, 8 분 주기: 35 개, 12 분 주기: 31 개). 이는 플로트가 농축되어 수거장치의 운전 에 의한 충격에 견딜 수 있는 것으로 판단된다. 하지만 주기를 16 분으로 설정하여 운전 시, 입자수가 운전 초기에 (왕복횟수 1,2 회) 일시적으로 증가하였다. 이는 flight 이동 시 플로트 층의 최하단부가 밀려, 일부 플로트가 분리조 내 하향흐름에 의해 침강한 것으로 판단된다. 또한 모든 조건에서, 농축시간이 충분히 주어진 상단의 플로트 층을 제거 할 때 유출되는 입자수의 증가폭이 작았다.

이를 통해, 적절한 주기로 chain - flight 운전 시 유출수의 수질을 안정적으로 유지할 수 있음을 확인하였다. 주기는 플로트 층의 최대 두께 형성에 필요한 시간보다 짧은 선에서, 최대한 늘리는 것이 공정의 효율 및 장치의 운전비용 면에서 유리할 것으로 판단된다.

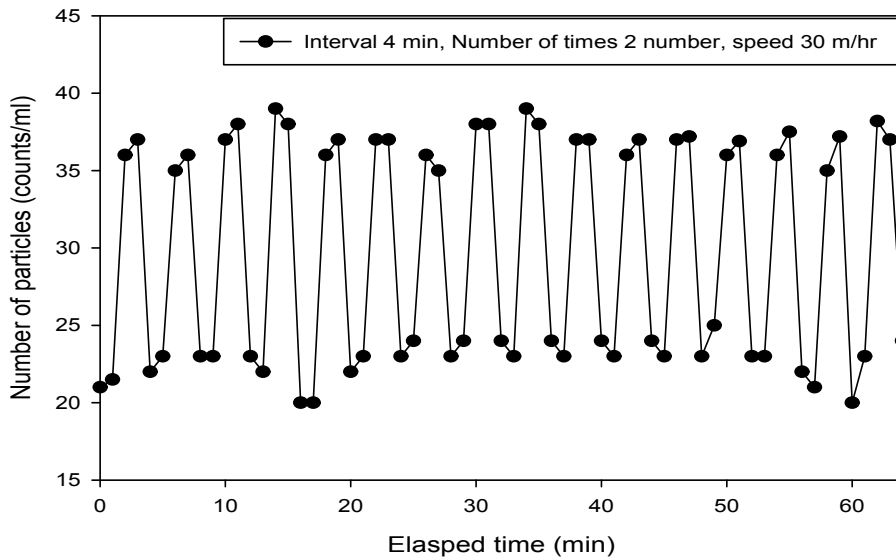


Fig. 6.1 Change of number of particles at Case 1  
(interval 4 min, number of times 2 number, speed 30 m/hr)

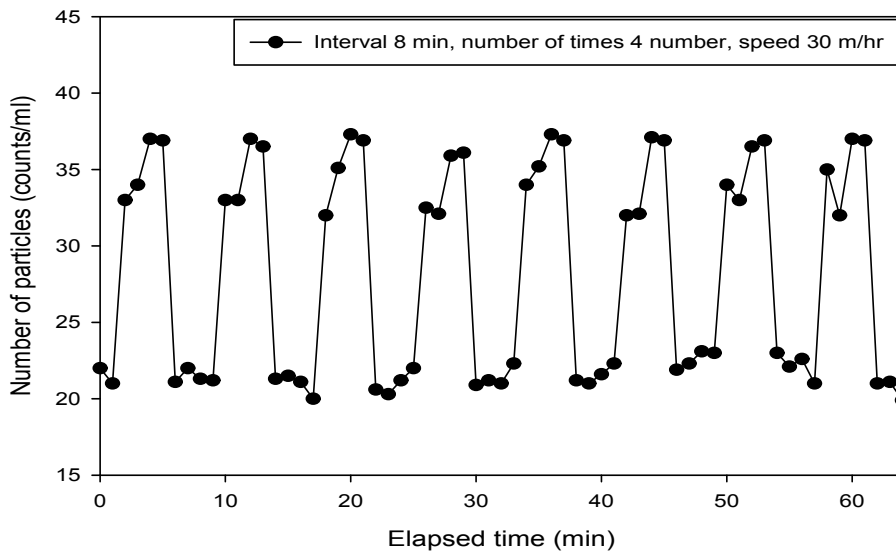


Fig. 6.2 Change of number of particles at Case 2  
(interval 8 min, number of times 4 number, speed 30 m/hr)

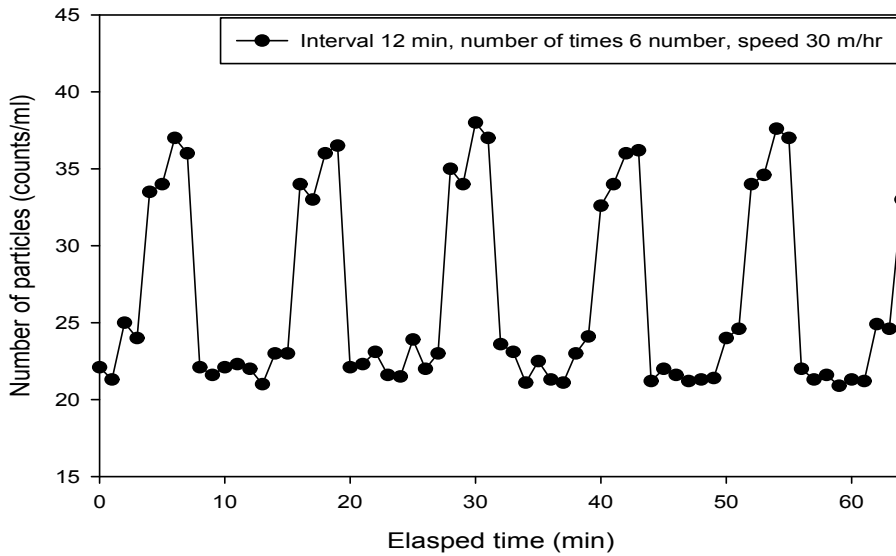


Fig. 6.3 Change of number of particles at Case 3  
(interval 12 min, number of times 6 number, speed 30 m/hr)

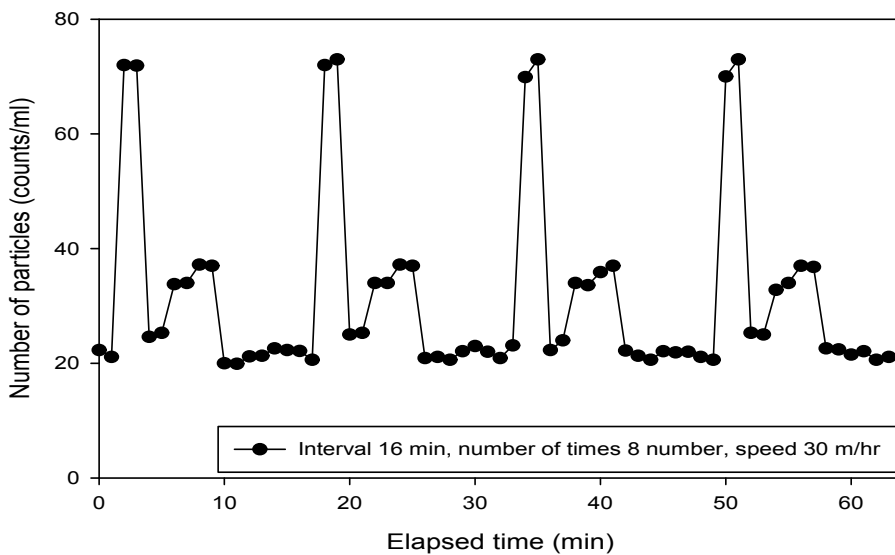


Fig. 6.4 Change of number of particles at Case 4  
(interval 16 min, number of times 8 number, speed 30 m/hr)

### 6.3.2 Hydraulic 운전 에 따른 유출수 입자 변화

Fig. 6.5, 6.6, 6.7, 6.8은 hydraulic 수거장치의 운전조건 변경에 따른 유출수의 입자변화를 나타낸 그래프이다. X축은 continuous flotation system 운전시간을, Y축은 입자 개수를 나타낸다. 공정의 전처리인 혼화, 플록형성지에서 생성된 비교적 큰 플록이 기포와 결합하여 형성된 플로트의 일부가 수거장치 운전 에 의해 침강됨을 고려하여 본 실험에서는 비교적 큰 크기의(50 ~ 80  $\mu\text{m}$ ) 입자에 대해서 집중적으로 분석하였다.

모든 운전조건에서, hydraulic 수거장치의 효율이 chain - flight 수거장치 보다 높게 나타났다. 이는 기계의 인위적인 움직임이 없어, 플로트 층에 전달되는 충격이 미미하기 때문으로 판단된다. 또한 chain - flight 운전 시 플로트가 하향으로 밀리는 현상도 발견되지 않았다. 때문에, hydraulic 방식에서 운전주기는 유출되는 입자 수에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다(4 분 주기: 26 개, 8 분 주기: 26 개, 12 분 주기: 25 개, 15 분 주기: 26 개). 단, 짧은 주기로 운전 시 수위 변경 횟수가 늘어 입자 수 증가 횟수도 늘어났다.

이를 통해 hydraulic 수거장치는 플로트 층이 가장 두껍게 형성되는데 필요한 시간(본 연구에서는 약 16 분)으로 주기를 설정하여 운전하는 것이 유출수 수질 및 운전 용이성에서 유리할 것으로 판단된다.



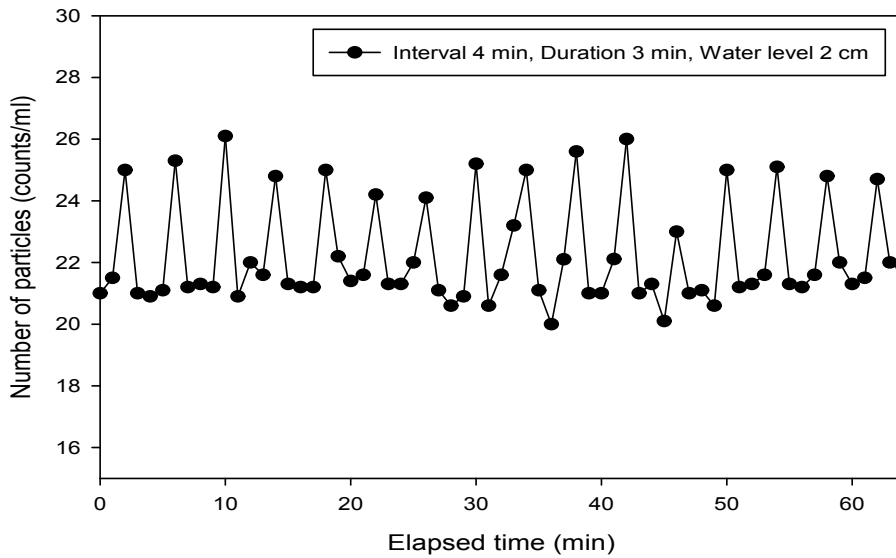


Fig. 6.5 Change of number of particles at Case 1 (interval 4 min, duration 3 min, water level 2 cm)

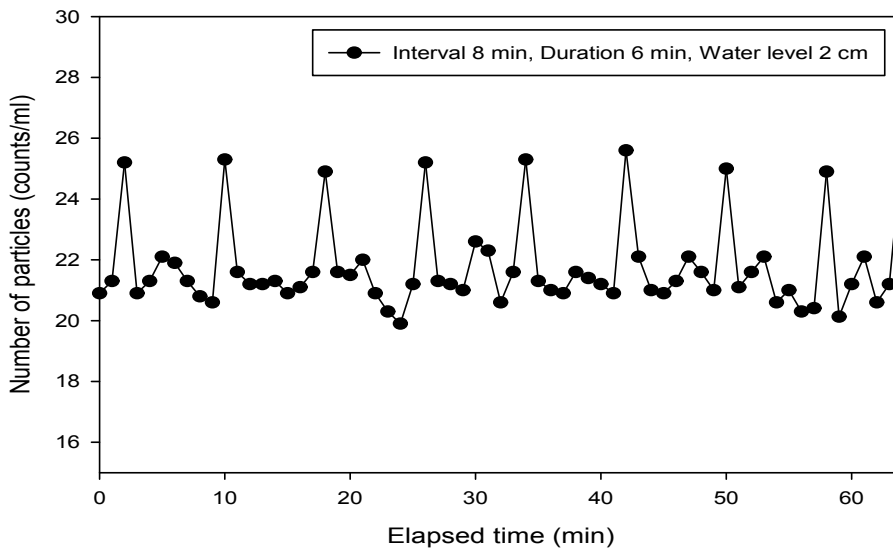


Fig. 6.6 Change of number of particles at Case 2 (interval 8 min, duration 6 min, water level 2 cm)

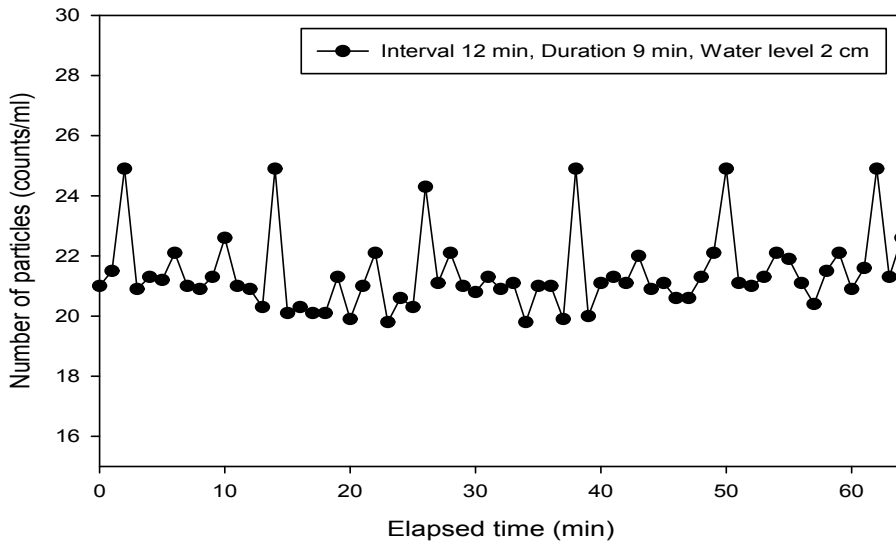


Fig. 6.7 Change of number of particles at Case 3 (interval 12 min, duration 9 min, water level 2 cm)

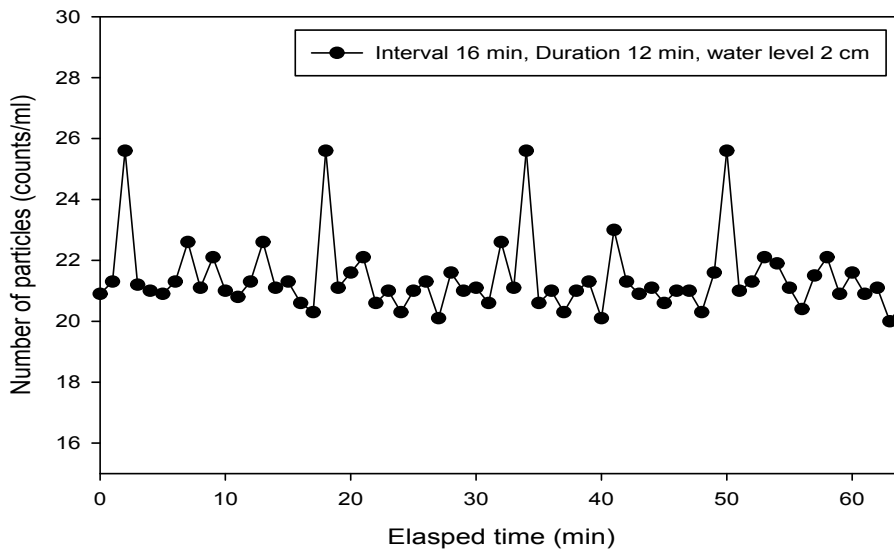


Fig. 6.8 Change of number of particles at Case 4 (interval 16 min, duration 12 min, water level 2 cm)

## 7. 결론

본 연구의 목적은 DAF 공정에서 입자계수기를 이용하여 플로트 수거 장치의 운전을 최적화하는데 있다. 이를 위해 입자계수기를 통한 DAF 공정의 진단 가능성을 확인하였으며, 플로트 수거장치의 운전주기를 파악하기 위하여 플로트 층의 형성을 분석하였다. 마지막으로 다양한 수거 장치의 세부조절 사항을 변경하여 운전 최적화를 실시하였다.

### 1. 입자계수기를 통한 DAF 공정의 진단

- 입자계수기를 이용하여 운전조건 변경에 따른 입자수를 민감하게 측정할 수 있었다. 또한 다양한 샘플링 위치에서, 입자수를 측정하여 공정 내 입자의 거동을 분석할 수 있었다. 반면 기존에 공정 진단에 사용 해온 탁도계는 처리수의(1 NTU 이하) 입자변화를 확연히 감지하는데 어려움이 있었다. 이를 통해, 기존에 탁도값을 이용하여 실시한 공정의 진단을, 입자계수기를 통해 더욱 정확하게 수행할 수 있을 것으로 판단 된다.

### 2. DAF 공정에서 반응조 내 플로트 층 형성

- 플로트 층이 최대로 형성될 수 있는 한계 두께가 존재하였다(본 연구에서는 약 8 cm). 한계 두께 형성 후에 부상한 플로트는 층에 쌓이지 못하고, 수류에 의해 유출부로 빠져나가 공정의 효율을 저하시켰다. 이를 통해, 플로트 수거장치는 플로트 층이 최대로 형성되는데 필요한 시간보다(본 연구에서는 약 16 분) 짧은 주기로 운전되어야함을 확인하였다.

### 3. 다양한 플로트 수거장치의 운전 최적화

- Chain - flight, hydraulic 수거장치의 운전주기 및 왕복횟수, 지속 시간을 변경하여 운전을 최적화 하였다. 장치에 상관없이, 플로트 층이 최대로 형성되는데 필요한 시간보다 짧은 주기로 운전 시 유출수의 수질이 안정적으로 나타났다. 또한 운전주기가 길어질수록, 수거장치의 운전 에 의한 공정의 효율저하를 최소화 할 수 있었다.

## 8. 참고문헌

곽동희 (1997). 정수장의 부상원인과 DAF공정의 적용, 박사학위논문, 전북대학교.

박용효 (2003). 용존공기부상공정에서 압력의 영향, 석사학위논문, 서울대학교.

안효원, 권순범, 곽동희 (2006). “DAF 공정을 적용한 정수처리 기술”, 한국수자원공사.

한무영 (2002). Particle counter를 이용한 정수장 응집공정의 진단 및 개선, Journal of Korea technological society of water and waste water treatment, Vol. 10, No. 3, pp. 25-35.

American Water Works Association (1999). “Water Quality and Treatment 5th Ed” , McGraw-Hill, USA.

Edzwald, J.K., Malley Jr., J.P., Yu, C. 1990 A conceptual model for dissolved air flotation in water treatment. Water Supply 8, 141-150

Edzwald, J.K., Walsh, J.P., Kaminski, G.S., Dunn, H.J. (1992). “Flocculation and air requirements for dissolved air flotation” Journal of the American Water Works

Association, Vol. 84, No. 3, pp. 92–100.

Fukushi. K., N. Tambo, and Y. Matsui. (1995). “A Kinetic model for dissolved air flotation in water and wastewater treatment” *Wat, Sci. Tech.*, Vol. 31, No. (3–4), pp. 37–48.

Gregory, R., Edzwald, J.K. (2010). “Sedimentation and flotation” In: Edzwald, J.K. (Ed.), *Water Quality and Treatment*, sixth ed. McGraw Hill, New York (Chapter 9).

Haarhoff, J. and Edzwald, J. K. (2004). “Dissolved air flotation modeling: insights and shortcomings” *Journal of Aqua*, Vol. 53, No. 3, pp. 127–150.

Han, M. Y. (2001). “Modeling of DAF: the effect of particle and bubble characteristics” *Journal of Water Supply: Research and Technology–AQUA*, Vol. 51, No. 2, pp.27–34.

Han, M.Y., Park Y.H and Yu T.J. (2002). “Development of new method of bubble size” *Wat. Sci. & Tech.: Water Supply*, Vol. 2, No. 2, pp. 77–83.

Kawamura, S. (2000). “Integrated design and operation of water treatment facilities” 2nd Ed., John Wiley & Sons Inc.

Lundh, M., Jönsson, L. and Dahlquist, J. (2001). "The flow structure in a separation zone of a DAF pilot plant and the relation with bubble concentration" *Wat. Sci. & Tech*, Vol. 43. No. 8, pp. 185–194.

Lundh, M., Jönsson, L. and Dahlquist, J. (2002). "The influence of contact zone configuration on the flow structure in a dissolved air flotation pilot plant" *Water Research*, Vol. 36, No. 6, pp. 1585–1595.

Rosen, B., and Morse, J.J. (1976), Practical experience with dissolved air flotation on various waters in Sweden and Finland, *Flotation for Water and Wastewater Treatment, Proceedings of a Water Research Conference, Felixstowe, 1977*, 338–338

Stevenson, D. G. (1997), *Water Treatment Unit Processes*, London: Imperial College Press.

# Abstract

DAF(Dissolved Air Flotation) is a process which removes particles in water, using micro bubbles. This normally consists of rapid mixing, flocculation, bubble generator and reactor. Successful DAF separation leaves the bulk of the contaminants floating on the surface of the reactor. This is called float and removed by float removal systems continuously or intermittently. Float removal system has been reported that it can deteriorate effluent quality, if it' s not operated in an appropriate manner. However, few relevant research and operational guidelines have been conducted and suggested. Therefore, float removal systems have been operated by operator' s empirical experience.

In this study, optimum operation condition was investigated by measuring efficiency under various operational conditiontions of float removal systems. In order to achieve this, particle counter has been applied for measuring efficiency of DAF process. Float layer formation was analyzed to figure out operation interval of float removal systems. Through this process, operation of float removal systems have been optimized.

Particle counter can measure number of particles with high



sensitivity under various operational conditions. In addition, it can measure number of particles at different sampling points, meaning it can analyze particle behavior in DAF process. Therefore, more accurate diagnosis of DAF process can be achieved by particle counter, replacing existing diagnostic which measures change of turbidity.

It was found that there is limit depth of float layer (in this study, it is approximately 8 cm). From the time when depth of float layer does not increase (in this study, it is approximately 16 min), number of particles at effluent starts to increase. After the time, newly floating float cannot form the layer and re-settle by flow to the bottom of reactor. It is encouraged to operate float removal system, before float layer forms until the limit depth.

Regardless of type of float removal system, number of particles at effluent was low and stable with interval shorter than the time needed for maximum float layer depth. In addition, longer interval leads to higher efficiency. Enrichment of float with longer interval can help it endure impact by operation of float removal system.

This results can be valuable information for operational guidelines for float removal systems in DAF process. In addition,

measuring number of particles, using particle counter can be applicable for optimization of other operational factors in the process.

**Keyword:** DAF, float removal system, particle counter, enrichment, Chain - flight, Hydraulic, duration, interval, number of times

**Student Number:** 2012 - 23250