

고탁도시 DAF 정수장의 운영 및 진단

Operation and Diagnosis of DAF Water Treatment Plant at Highly Turbid Raw Water

권순범^{1,*} · 안효원¹ · 강준구¹ · 손병용²

Kwon, Soon-Buhm^{1,*} · Ahn, Hyo-Won¹ · Kang, Jun-gu¹ · Son, Byong-Yong²

1 한국수자원공사 국제상하수도연구소

2 한국수자원공사 황성권건설단

(2003년 9월 12일 접수; 2004년 2월 2일 최종수정논문채택)

Abstract

DAF process has been designed considering raw water quality characteristics in Korea. Although direct filtration is usually operated, DAF is operated when the freshwater blooms occur or raw water turbidity become high. Pre-sedimentation is prepared in case when raw water turbidity is very high by rainstorms. A main feature of this plant is that the operation mode can be changed (controlled) based on the characteristics of raw water to optimize the effluent quality and the operation costs. Treatment capacity (surface loading rate) and efficiency of DAF was found to be better than conventional sedimentation process. Moreover, low-density particles (algae and alum flocs) are easily separated while it is difficult to remove in sedimentation. One of the main concerns in adoption of DAF (Dissolved-Air-Flotation) process is a high raw water turbidity problem. That is, DAF is not adequate for raw water, which is more turbid than 100NTU. In order to avoid this problem, pre-sedimentation basins are prepared in DAF plant to decrease the turbidity of DAF influent. For simulation of the actual operation, bench and full-scale tests were performed for highly turbid water conditions. Consequently, DAF process coupled with sedimentation is suggested that pre-sedimentation with optimum coagulation prior to DAF would be appropriate.

Key words: dissolved air flotation, pre-sedimentation, highly turbid water

주제어: 주제어: 용존공기부상, 예비침전지, 고탁도

1. 서론

용존공기부상법(Dissolved Air Flotation: DAF)을 적

용한 정수장에서 중요하게 고려되어야 할 사항에 하나
가 고탁도 원수의 처리이다. 유입원수의 탁도가 100
NTU 이상 상승 할 경우 DAF를 이용시 효과적인 정
수처리가 어려워지게 된다(Janssen, 1993). 국내 최초

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0380, Fax: +82-42-860-0399, E-mail: chester@kowaco.or.kr (Kwon, S.B.)

로 DAF공정을 적용한 W 광역상수도의 경우 이러한 문제점을 해결하기 위해 소규모 예비침전지(Pre-sedimentation basin)를 이용하여 고탁도 원수를 DAF 공정이 처리할 수 있는 수준으로 낮추도록 설치되어 있다. 예비침전지의 기능은 고탁도 처리뿐 아니라 배출수의 침강분리, PAC(Powdered Activated Carbon) 접촉조 등 복합기능으로 설치되어 있으며, 예비침전지의 체류시간은 1시간으로, 고탁도시 초기 혼화를 거친 원수는 14개의 baffle로 구성된 수리학적 응집(hydraulic baffled channel)을 거쳐 예비침전지로 보낸다. 예비침전지 유출수는 분배조를 거친후 DAF 혼화기로 유입되며, DAF조에서 부상분리된다. 이러한 고탁도 운영조건 설정하기 위해 인공조제수 및 실제 장마철 고탁도 원수를 이용하여 Bench scale 실험, 실제 현장 실험을 수행하였으며, 고탁도처리시 DAF 공정에서 진단을 통한 운영상의 고려사항에 대해 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. DAF 정수장 현황

W 광역상수도의 정수처리공정은 호소수(횡성댐)의 원수 수질특성(저탁도, 조류 등)을 고려, 고효율이며 Compact한 공정인 DAF process를 적용하여 200,000m³/day 규모로 건설되었다. 이 정수장의 수원인 횡성댐의 취수탑의 현재 수질은 장마철 일부시기를 제외한 년중 대부분 약 8NTU이며, 장래 수질 예측결과, 평균탁도는 약 8NTU이하로 나타났으며, 취수원인 횡성댐의 수위가 낮을 경우 및 폭우 등으로 인한 고탁도 발생시는 최고 158NTU로 추정되었다(한국수자원공사, 1998). 이러한 예측은 호소수를 수원으로하는 타 정수장의 유입수질 분석결과(년중 약 90~99%가 탁도 10NTU 이하) 등을 비슷한 결과를 나타내고 있다. 그러나 조류, 고탁도 및 분말활성탄 투입 등의 경우에는 DAF 시설 단독 혹은 소규모의

Table 1. The design criteria of DAF Plant

Step	Variables	Design Value	Remark
DAF Flash Mixer	Type	Pump Diffusion	
	Retention Time	1.65-3.29sec	
	G Value	315-913sec	Design G Value = 750sec ⁻¹
	G · t	1004-1575	400-1600
Pre-sedimentation flocculation			
Pre-sedimentation	Type	Hydraulic Flocculation (Helicoidal type)	3stage, tapered flocculation
	G Value	20-60sec ⁻¹	10-70sec ⁻¹
	Pre-sedimentation Basin (4 Basin)		
	Effective Depth	2.5m	3.0-4.5m
	L/W	4:1	3-8:1
	Retention Time	64-129min	1.5-4h
Surface Loading	28-56m/d	30-60m/day	
Horizontal Velocity	0.49-0.97m/min	0.6-1.2m/min	
DAF Flocculation			
Dissolved Air Flotation (DAF)	Type	Axial Type Hydrofoil	
	Retention Time	16.3-24.5min	20-40min
	G Value	20-90sec ⁻¹	20-90sec ⁻¹
	DAF		
	Surface Loading	10-15m/h	10-15m/h (Purac, Leopold) 12m/hr (AWWA)
	Recycle	6-10%	5-10%
Length (width)	9.6m (9.1)	Below 12m	
Height	2.5m	About 3m	

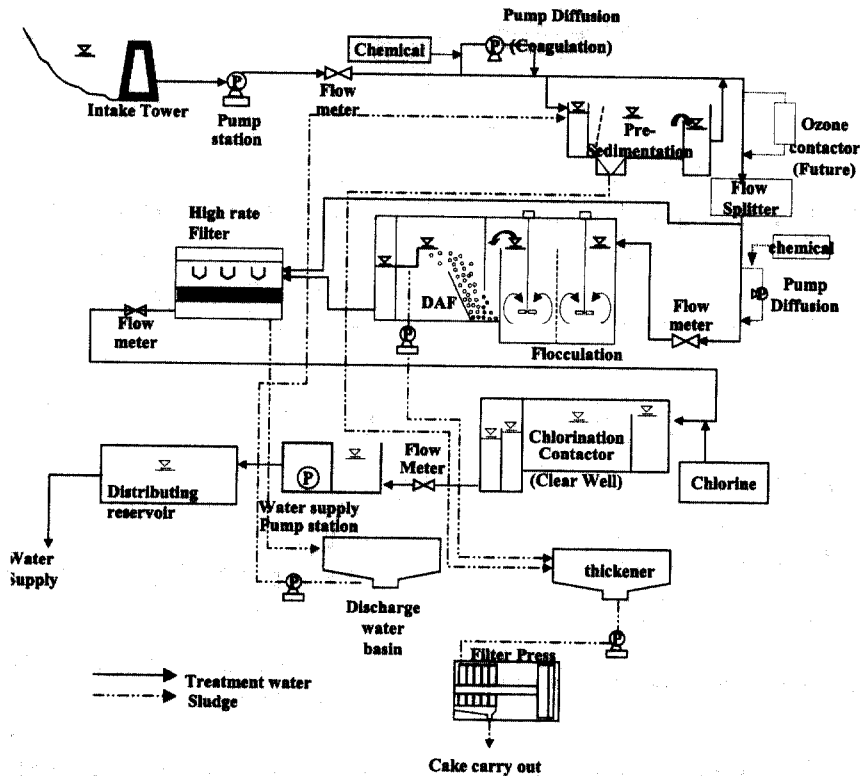


Fig. 1. Schematic diagram of Wonju water treatment plant.

예비침전지를 연계 운영할 수 있도록 공정계획을 수립, 전체 수처리공정에 대한 안정성을 확보토록 하였다. 운영모드에 따른 정수장 설계인자와 공정의 개략도는 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

예비침전지는 설계계념상 평상시에는 역세척수 침전지로 사용하며, 경우에 따라서는 DAF와 여과의 전처리 공정으로, 고탁도시 탁도부하 감소, TOC 제거, 맛과 냄새제거, 철·망간제거를 위한 접촉시간 확보 등의 기능을 갖는다. 예비침전지의 응집공정은 수리학적 방법(baffled channel)에 의해 이루어지며, 응집수로는 3단으로 구분된 14개의 baffle로 구성된다. DAF 시설 전처리를 위한 혼화 및 응집조건은 DAF에 적합한 pinpoint-floc을 생성시키는 것이 매우 중요하며, 이에 적합한 순간 혼화방식인 pump diffusion 방식의 혼화기와 체류시간 약 20분, 속도경사(G) 20~90sec⁻¹의 2단 응집을 위한 Hydrofoil Type 응집기가 적용되었다.

2.2. 실험방법

DAF bench scale test에 사용된 실험장치는 Jar tester에 용존공기 라인을 연결하여 Bench scale로 부상실험이 가능하도록 제작된 DAF Jar tester(Model: DBT6, EC Engineering)를 이용하여 부상실험 및 침전실험을 수행하였다. 본 장치에 사용된 Jar 형태는 198(H) 80(W) 80(L)mm 인 규격에 1L 용량을 가지며, Impeller는 40×60mm PBT를 사용하였다. 부상과 침전의 bench scale 조건에서 부상 실험시는 초기 급속혼화 G값은 1,000sec⁻¹로 1~3초간 급속 교반을 수행하였으며, 응집은 90, 70sec⁻¹로 각각 10분씩 2단계로 수행하였고, 침전실험에서는 초기 급속혼화시 1000sec⁻¹로 1~3초, 응집은 60, 40, 20sec⁻¹로 각각 10분씩 3단계로 수행 후 30분간 침전 후 시료를 채수하여 수질분석을 실시하였다.

한편 실제 장마철 고탁도 원수를 이용한 DAF 처리와 예비침전과 DAF의 연계 공정에 관한 실험은 기존 인공 조제수를 이용한 고탁도 실험과 동일하게 침전

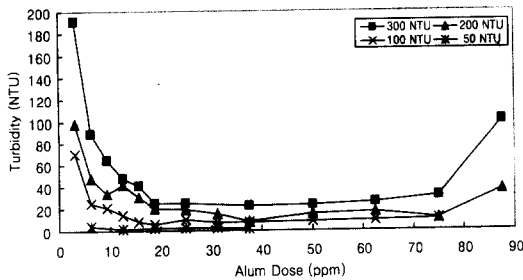


Fig. 2. Results of turbidity removal at Alum in DAF.

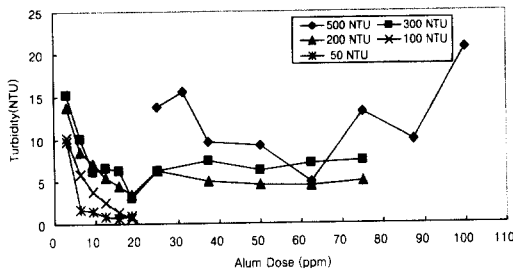


Fig. 3. Results of turbidity removal at Alum in Sedimentation.

및 부상 공정의 혼화 G Value 및 시간을 동일하게 주었으며, 실험에 사용된 DAF Bench 장치들은 인공조제수 실험에 비해 용량이 2배로 커진 2L Jar(210(H) 115(W) 115(L)mm)를 이용하여 실험을 수행하였고, 실험에 사용된 용존공기 포화수는 원주권 광역상수도 DAF 시설에 설치되어 있는 실제 규모의 Saturator(5 kg/cm²)에서 공급되는 가압수를 연속적으로 공급받아 부상시 사용하였다.

사용된 응집제는 Alum(Liquid Aluminium Sulfate, Al₂O₃ 8%), PAC(Poly Aluminium Chloride, Al₂O₃ 11%)를 이용하여 실제 고탁도 원수에 보다 효과적인 응집제 선정에 관한 실험도 수행하였다. 본 실험에 사용된 인공조제수는 일반 수돗물(Alkalinity: 19mg/L as CaCO₃, pH 6.5)에 Kaolin(Junsei Chemical, JAPAN)을 Spike하여 해당 탁도(50, 100, 200, 300NTU)의 시료를 제조하였고, 실제 장마철 고탁도 원수는 원주권 광역상수도에 유입되는 수원인 황성댐 원수에서 발생된 일시적인 장마철 고탁도 원수(Initial Turbidity: 137NTU)를 이용하여 실험을 수행하였다.

본 실험에서 분석을 위해 탁도계(2100N Turbidimeter, Hach), Particle Counter(WQA-200,

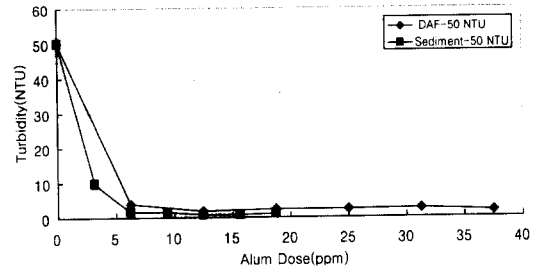


Fig. 4. Comparison of DAF with Sedimentation for Turbidity(50NTU) at Alum.

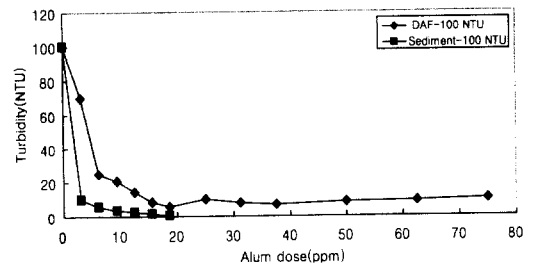


Fig. 5. Comparison of DAF with Sedimentation for Turbidity(100NTU) at Alum.

Stranco), Zeta-Potential Analyzer(Zetaphoremeter IV, CAD-Instrument) 등을 이용하여 탁도, Zeta 전위, 입자 계수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인공조제수를 이용한 실험

3.1.1. 부상 및 침전에서 약품량에 따른 처리 효율 평가

본 부상공정 실험에 사용된 인공조제수의 탁도는 Kaolin을 수돗물에 투입하여 50, 100, 200, 300NTU가 되게 하였다. 실험 결과 Fig. 2와 같이 고탁도 인공조제수에서 응집제 최적 주입량에 따른 처리수 탁도 결과를 동일한 조건에서 수행된 침전공정 Fig. 3과 비교시 Table 2와 같이 고탁도(50~300NTU) 전 부분(Fig. 4, 5, 6, 7)에서 상대적으로 침전공정이 부상공정에 비해 효과적인 것으로 나타났다.

응집제 주입량에 따른 탁도처리 효율 결과를 Particle Counter를 이용하여 응집제 주입에 따른 처리 결과와 비교하였다. 이는 탁도 유발 물질로 사용된

Table 2. Result of Optimum Alum dose & Turbidity in DAF & Sedimentation

Process Turbidity of Sample	DAF		Sedimentation	
	Effluent Turbidity (NTU)	Alum Dose(ppm)	Effluent Turbidity (NTU)	Alum Dose (ppm)
50	1.96	12.5	0.67	15.63
100	5.9	18.75	0.6	18.75
200	8.1	37.5	3.51	18.75
300	22	31.25	3.11	18.75

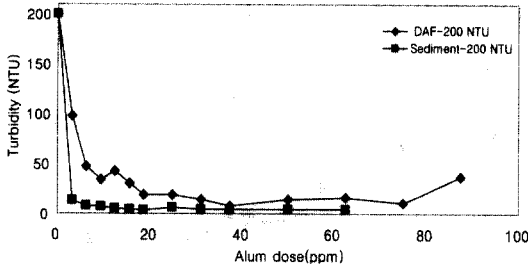


Fig. 6. Comparison of DAF with Sedimentation for Turbidity(200NTU) at Alum.

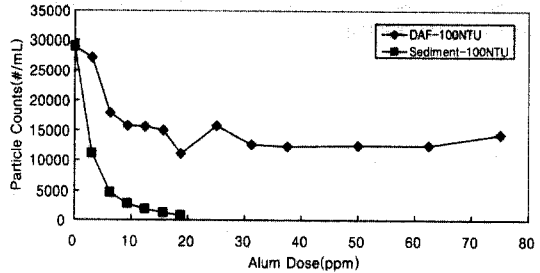


Fig. 9. Comparison of DAF with Sedimentation for particles (100NTU) at Alum.

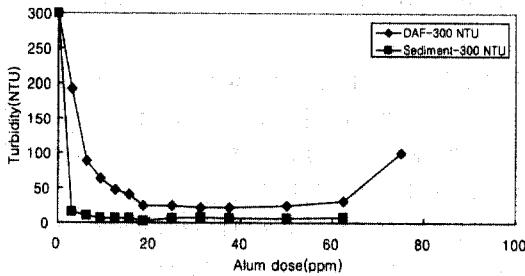


Fig. 7. Comparison of DAF with Sedimentation for Turbidity(300NTU) at Alum.

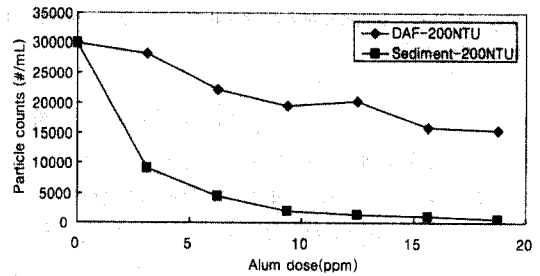


Fig. 10. Comparison of DAF with Sedimentation for particles (200TU) at Alum.

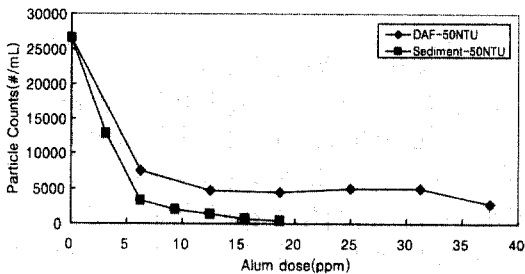


Fig. 8. Comparison of DAF with Sedimentation for particles (50NTU) at Alum.

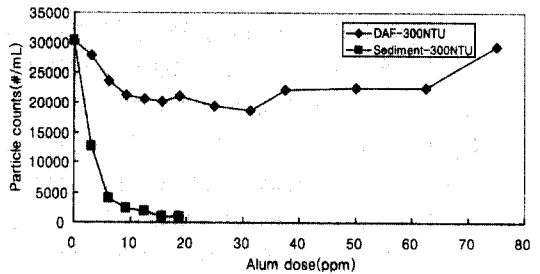


Fig. 11. Comparison of DAF with Sedimentation for particles (300NTU) at Alum.

Kaolin이 수중에서 미세한 입자상 물질인 5~50 μ m 크기의 입자 물질들의 누적개수를 이용하여 탁도 및

응집제 주입량에 따른 입자상 물질 개수를 비교하기 위한 목적으로 실험을 실시하였다. 실험 결과 탁도를

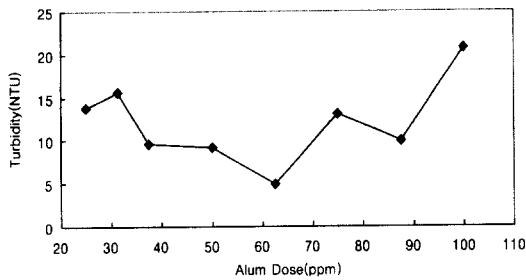


Fig. 12. Result of Turbidity removal at Alum in Sedimentation(500NTU).

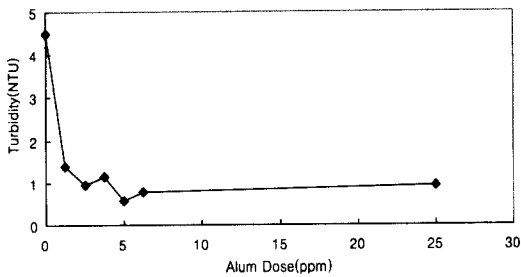


Fig. 13. Result of turbidity removal at Alum in DAF connected with Sedimentation.

기준으로 한 상기 실험의 결과와 마찬가지로 고탁도 공정에서도 Fig. 8, 9, 10, 11와 같이 침전 공정이 상대적으로 고탁도시 입자상 물질 제거에 유리함을 알 수 있었다. 이는 부상된 Float의 재침강도 처리효율을 떨어뜨리는 큰 요인으로 작용하였다. 그러므로 고탁도인 원수 처리에서는 DAF 공정에서 예비침전지 사용이 필요한 것으로 예상된다.

3.1.2 고탁도시 예비침전지와 DAF 연계운영 평가
인공조제수의 탁도를 Kaolin을 이용하여 500NTU로 제조 후 침전, DAF 공정을 연계하여 수행한 실험 결과 Fig. 12에서와 같이 초기 전 침전 공정에서 응집제 주입율을 Alum 62.5ppm(5mg/L as Al_2O_3) 주입시 500NTU 탁도의 인공조제수가 4.9NTU로 저하됨을 확인하였다. 처리수를 DAF 공정에 연계처리 하기 위해 동일 실험을 반복하여 상등수를 제조하여 충분한 시료를 만든 후 탁도를 측정한 결과 약 4.5NTU가 나타났다. 이를 DAF 공정을 이용하여 처리한 결과 Fig. 13에서와 같이 초기 4.5NTU의 처리수가 Alum 5ppm(0.4mg/L as Al_2O_3) 주입시 0.58NTU까지 떨어짐

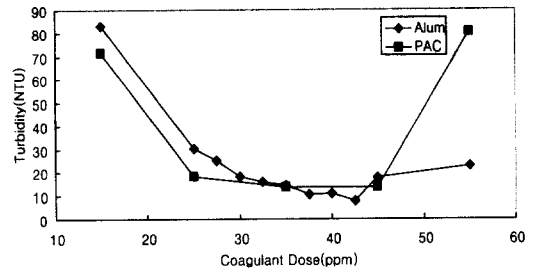


Fig. 14. Comparison of Alum with PAC for Turbidity removal in DAF.

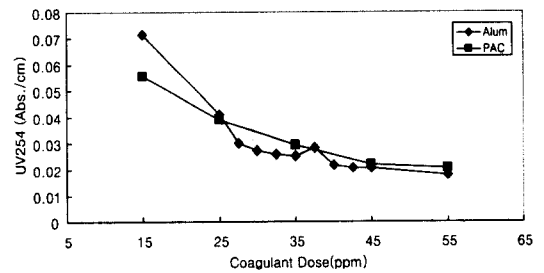


Fig. 15. Comparison of Alum with PAC for UV₂₅₄ in DAF.

을 확인할 수 있었다. 결국, 침전 및 부상공정을 단독으로 실험한 결과와 연계 공정을 적용한 고탁도 처리 실험을 비교시 침전-DAF 연계 공정이 보다 효과적인 결과를 확인할 수 있었다. 또한 약품주입량의 경우 초기 소규모 예비침전지 전단의 초기혼화에 적정 약품량을 주입하고 DAF 공정의 혼화에서는 최소의 응집제량으로도 충분한 처리효율을 나타내고 있었다.

3.2. 실제 고탁도 원수를 이용한 실험

3.2.1. 장마철 고탁도시 부상 공정 실험

본 실험에서는 H댐 상류에서 채수한 장마철 고탁도 원수(Initial Turbidity: 137NTU, Alkalinity: 18 mg/L as $CaCO_3$)를 DAF 공정을 이용하여 처리하기 위해 두가지 응집제를 이용하여 고탁도 원수처리시 DAF 공정에 적합한 응집제 선정을 위한 실험을 수행하였다. 실험 결과 Fig. 14와 같이 Alum 42.5ppm 주입시 처리수 탁도가 7.74NTU로 초기 탁도 대비 94.4%의 탁도 제거효율을 보였다. PAC의 경우는 35ppm 주입시 처리수 탁도는 13.5NTU로 초기 탁도 대비 90.1% 탁도 제거효율을 보였다. 이러한 결과

고탁도 원수에서 탁도 제거를 측면에서는 DAF 공정 이용시 Alum이 PAC에 비해 우수한 것으로 확인하였다. 또한 정수처리에서 DOC의 surrogate인 UV254를 측정된 결과 Fig. 15에서와 같이 Alum를 이용시 최적 응집제 주입 조건에서 PAC에 비해 상대적으로 낮은 UV254 값을 나타내었다. 이는 고탁도 실험시 원수의 pH가 약 6.5로 낮은 pH에서 Enhanced coagulation의 일부 영향으로 Alum에 의한 원수중 천연유기물의 제거가 증가한 것으로 판단된다. 이러한 현상을 평가하기 위해 응집제 종류별, 알칼리제를 사용하여 임의로 탁도 및 pH를 조정한 조제수를 대상으로 탁도 제거 효율을 평가한 결과 Alum에서 적정 pH 범위가 6이상인 것(Fig. 16)에 반해, PAC에서는 7.5이상(Fig. 17)으로 나타났으며, 침전과 부상을 비교한 결과 Alum에서 낮은 pH 범위에서 부상공정이 좋은 효율을 나타내었다(Fig. 16). 따라서 고탁도 저알카리의 원수의 처리에는 DAF공정에서 Alum이 유리할 것으로 판단된다.

3.2.2. 예비침전-DAF 연계 공정 적용
장마철 고탁도 원수(Initial Turbidity: 137 NTU)를

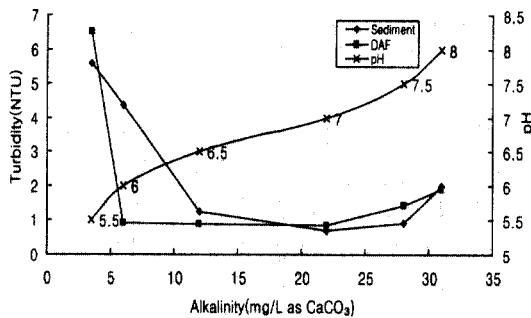


Fig. 16. Effect of pH for each process (LAS).

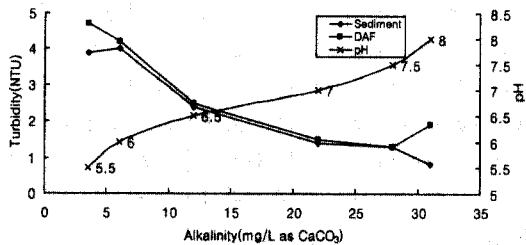


Fig. 17. Effect of pH for each process (PAC).

예비침전-DAF 연계 공정으로 처리하기 위해 고탁도 원수를 침전에서 최적 응집제 주입율을 결정한 후, 처리된 예비침전지의 처리수를 DAF 공정을 이용하여 처리하였다. 실험을 통한 응집제 주입 농도 40ppm일 때 예비침전지의 탁도제거 효율은 137NTU에서 1.4NTU로 약 98.9%로 나타났으며, 이러한 예비침전지의 처리수를 DAF 공정에서 처리하였을 경우 응집제 주입율 5ppm에서 Fig. 18과 같이 1.4NTU에서 0.45NTU로 나타났다. 따라서 상기의 인공조제수를 이용한 실험과 같이 고탁도 원수 처리시 DAF를 적용하기 위해서는 예비침전지의 사용이 유용하며, 또한 응집제 주입량의 경우 침전에서 최소화하여 DAF에서 최소로 주입하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

3.3. DAF에서의 고탁도 처리를 위한 진단

실제 정수장에서 통수 이전 부하 시운전을 위해 장마철 중탁도 원수를 임의로 H댐 취수탑을 통해 선택 취수하여 예비침전지를 사용하지 않은 DAF 처리효율 평가 실험을 실시하였다. 이때의 원수탁도는 20~

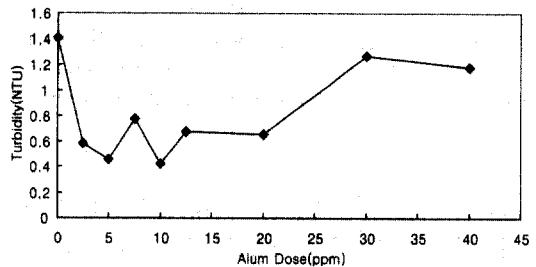


Fig. 18. Result of Raw Water Turbidity Removal at Alum in DAF Connected with Sed..

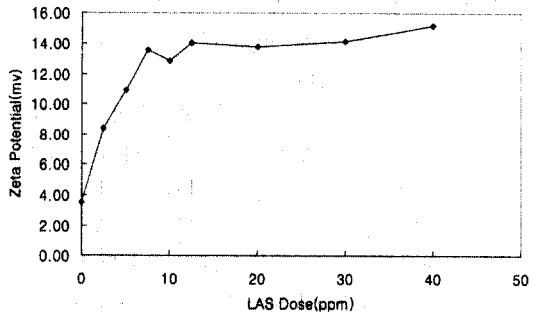


Fig. 19. Zeta-potential Various LAS dose Settled Water for DAF.

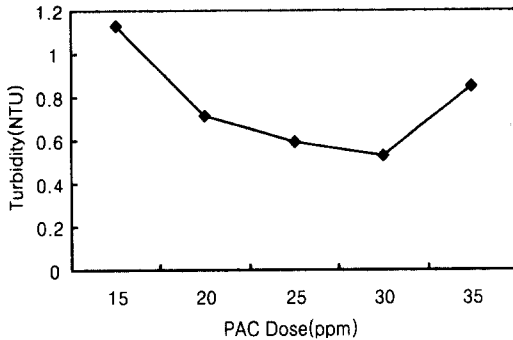


Fig. 20. Result of Jar test using PAC (Raw Water: 20NTU, Recycle Ratio: 10%, G Value: 70/50sec⁻¹, Flocculation Time 10/10min, Flotation Time: 3min, Lime Dose: 0.4mg/L as CaCO₃).

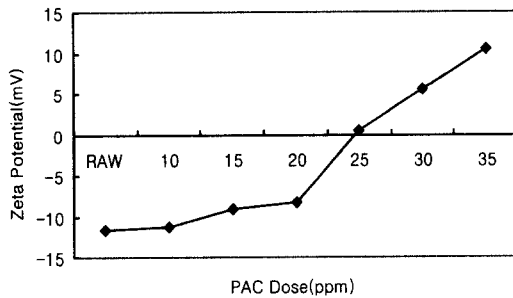


Fig. 21. Effect of Zeta-potential various PAC dose (Raw Water: 20NTU, Recycle Ratio: 10%, G Value: 70/50sec⁻¹, Flocculation Time 10/10min, Flotation Time: 3min, Lime Dose: 0.4mg/L as CaCO₃).

35NTU를 나타내고 있었으며, 이 원수를 대상으로 응집제(PAC) 주입량에 따른 DAF Jar test를 실시한 결과는 Fig. 20과 Fig. 21에 나타내었다. 실험결과 초기 원수 탁도 20NTU에서 응집제 30ppm 주입시 0.53NTU로 나타났으며, 응집제 주입량에 따른 Zeta Potential 변화는 -11.6~10.5mV로 나왔으며, 최적 탁도 0.527NTU(PAC Dose: 30ppm)일 때 Zeta Potential은 5.5mV인 것으로 나타났다.

상기의 결과를 바탕으로 실제 정수장에 응집제량을 선정하여 처리효율을 평가를 하였으나 실제 DAF 공정에서 처리수의 탁도는 2.02NTU를 나타내고 있었다. 이러한 원인을 파악하기 위해 단위공정별 진단 평가를 실시하였다. 우선, 실제 혼화기의 약품주입량을 평가하기 위해 SCM(Stream Current Monitor) 및 Zeta meter를 이용하여 평가한 결과 약품량이 정확히

주입되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 응집지 플럭형성의 적정성을 평가하기 위해 응집지 2단 DAF 유입부(Fig. 22)에서 Jar를 이용하여 취수한 플럭을 육안관찰 및 침강실험(Fig. 23)을 실시하여 상등액을 분석하였다. 이 때의 G값은 단별 65, 35sec⁻¹이었으며, 실험결과 적정 응집제 및 알카리제 농도에서 침강 후 상등액은 1NTU미만으로 나타났다. 따라서 플럭의 형성은 양호한 것으로 판단된다.

부상조의 Contact zone에서 플럭의 부상효율을 측정하기 위해 부상조의 Contact zone말단 Separation zone 입구에서 Jar를 이용하여 플럭의 부상효율을 측정한 결과, 약 3분 이후 Jar test에서의 처리효율을 만족하는 0.8NTU 미만의 처리수를 나타내었다. 따라서 처리수 수질저하의 문제는 Contact zone 이후의 Float의 재침강 결과로 판단되며, 저탁도에서 DAF의 처리수질 0.2NTU와는 차이를 보이고 있었다.

용하여 원수를 처리하기 때문에 기존 공정에 비해 빠른 시간 안에 원수를 처리할 수 있으며, 또한 기존 표준 공정에서 문제로 항상 대두되는 조류 역시 부상분리 공정을 통해 보다 쉽게 처리를 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 장마철의 기간중 일부 발생되는 고탁도 원수의 유입시 부상분리 공정은 기존 표준공정의 침전공정과 비교하여 탁도제거 처리효율이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이러 경우 DAF 처리수의 수질 향상을 위해 소규모 예비침전과 DAF 연계 공정 처리를 통해 처리가 가능하며, 약품량의 경우 예비침전지에서 약품투입량을 최적화하고, DAF 공정에 약품량을 최소화하는 것이 경제성 및 수질 측면에서 효율적인 것으로 판단된다. 또한 DAF 공정 단독으로 고탁도 처리효율 증가를 위해서는 Float 제거부의 최적화가 중요한 설계 및 운영인자인 것으로 나타났다.

참고문헌

따라서 Float의 재침강의 원인을 파악하기 위해 Skimmer를 분석한 결과, 고탁도시 많은 량의 Float를 제거하기 위해 Skimmer를 연속운전을 하였음에도 불구하고, Float beach의 높이가 수위보다 약 5cm 높고, Skimmer의 Blade가 고탁도에 의해 발생된 두꺼운 Float를 모두 제거하지 못하고 상단부 역류하였다 (Fig. 26). 이에 따라 Float가 기포층을 통과하여 재침강이 일어난 것으로 나타났다. 따라서 Float 제거부의 개선이 Float 부하가 높은 고탁도시 중요한 사항으로 판단되며, DAF 말단 월류언의 수위조절이 처리수질에 중요한 영향인자임을 확인하였다.

4. 결론

DAF 공정을 이용한 정수처리 시설은 기존의 표준 정수처리공정과 비교시 침전지 대신 부상분리조를 이

- 신홍식 (2002) DAF 도입배경 및 System 구성, 상하수도학회지, 16(4), pp. 373-380.
- 이선주, 권순범 (2002) 호소수를 이용한 용존공기부상분리 (DAF)의 효율에 관한 연구, 상하수도학회지, 16(3), pp. 341-349.
- 한국수자원공사(1998) 원주권 광역상수도사업 실시설계보고서. 한국수자원공사, pp. 82-187.
- American Water Works Association Research Foundation. (1998) *Treatment Process Selection for Particle Removal*, American Water Works Association, Denver, USA, pp. 83-132.
- Amato, T., Edzwald, J.K., Tobiasson, J.E., Dahlquist, J., and Hedberg, T. (2001) An integrated approach to dissolved air flotation, *Wat. Sci. Tech.*, 43(8), pp.19-26.
- Edzwald, J.K. (1995) Principles and applications of dissolved-air-flotation, *Wat. Sci. Tech.*, 31(3-4), pp. 1-23.
- Edzwald, J.K., Walsh, J.P., Kaminski, G.S. and Dunn, H.J. (1992) Flocculation and Air Requirements for Dissolved Air Flotation, *Jour. of the American Water Works Association*, 84(3), pp.92-100.
- Janssen, J.G. and Buekens, A. (1993) Assesment of Process Selection for Particle Removal in the Surface Water Treatment, *Aqua*, 21(5), pp. 279-288.
- J., Haarhoff, L.R.J. van Vuuren. (1995) Design Parameters for Dissolved Air Flotation in South Africa, *Wat. Sci. Tech.*, 31(3-4), pp. 203-212.

Kawamura S. (2000) *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. 2nd Ed. John Wiley & Sons Inc, USA, pp. 189-194.

Valade, M.T., Edzwald, J.K., Tobiason, J.E., Dahlquist, J.,

Hedberg, T., and Amato, T. (1996) Pretreatment Effects on Particle Removal by Flotation and Filtration and filtration, *Jour. of the American Water Works Association*, 88(12), pp. 35-47.