

# MBR공정 유출수의 화학응집에 의한 인 제거 조건 비교 연구

박인건, 이강유, 엄태영, 양진호, 최민아, 임경호\*  
공주대학교 건설환경공학부, 방재연구센터  
\*공주대학교 건설환경공학부  
e-mail: khlm@kongju.ac.kr

## A Comparative Study of Phosphorus Removal Condition by PAC Coagulation of Membrane Effluent

In-Gun Park, Kang-Yu Lee, Tae-Young Eom,  
Jin-Ho Yang, Min-A Choi, Kyeong-Ho Lim\*  
Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju University  
\*Disaster Prevention Research Center, Kongju University

### 요 약

본 논문에서는 MBR 공정 유출수의 화학응집에 따른 특성을 알아보기 위하여 A2O공정 하수처리수를 대상으로 막의 공극 크기와 약품 교반시간 및 응집·침전시간에 따른 인 제거 효율을 조사하였다. 막 여과 전후의 시료에 대한 응집실험결과 막 여과 전후의 응집제 투입에 따른 인 제거효율은 막 여과 전 90%와 비교했을 때 각각 74.5, 71.2, 62.6%로 최고 37.4%까지 큰 차이를 보였으며 이것은 막 여과로 인하여 시료 내 존재하는 콜로이드성 물질들의 입자 크기가 작아져 응집반응을 위한 응집핵 형성에 영향을 주었기 때문이며 막의 공극 크기가 작을수록 인 제거 효율도 감소하는 것으로 나타났다. 완속 교반과 침전시간을 길게 할수록 인 제거 효율이 증가하였다. 침전시간이 10분일 경우는 인 제거 효율이 막 여과 후의 시료에 대해서 각각 45.3, 35.1, 52.0%로 인 제거가 상당히 불안정하였고 60분일 경우에는 각각 83.4, 85.1, 80.7%로 탁월한 인 제거가 일어난 것을 알 수 있었다.

### 1. 서 론

공공수역의 수질 개선 및 관리를 위하여 종전에는 생물화학적산소요구량(BOD)을 주요 수질인자로 활용하였으나 다양한 화학물질의 사용, 수역 내 부영양화로 인한 자연적인 유기물질 생성·증가 및 난분해성 유기물질 유입 등의 변화되는 오염원으로 인해 관리지표의 변화가 요구되었다. 이에 따라 화학적산소요구량(COD)과 총인(T-P)이 새로운 관리지표로 떠오르게 되었고, 특히 총인에 대해서는 4대강 사업의 후속대책으로 총인 농도를 규제하는 2단계 수질 오염 총량제가 실시중이며 2012년 1월 1일부터는 구역에 따라 최대 0.2mg/L까지 규제하는 방향으로 계획되어 있다.[1]

일반적으로 하수에서 인을 제거하기 위하여 생물학적 방법, 화학적 방법, 그리고 생물화학적 방법과 화학적 방법을 병행한 인 제거 방법이 있다.[2] 생물학적 인 제거 방법은 하수처리에서 광범위하게 사용되고 있는데 미생물에 흡수되어 제거 가능한 인의 양에는 한계가 있어 대략 1mg/L의 농도를 생물처리

공정에서 획득 가능한 한계 인 농도로 보는 것이 일반적이다.[3] 따라서 고효율의 인 제거를 위해서는 화학적인 방법의 추가적 도움이 필요하다. 이와 관련하여 현재 환경부에서는 강화되는 방류수 수질기준의 총인 농도를 준수하기 위하여 공공하수처리시설에 신규시설, 기존시설 개량 및 보완 등을 통해 인 처리를 위한 화학적 처리시설 및 여과시설을 설치하는 ‘인 처리시설 설치사업’이 진행되고 있는데 [4] 이 경우하수처리시설 현황에 따라 적절한 인 처리 방법을 선정하여야 한다.

화학응집은 응집제를 주입하여 수중의 전기적 반발력을 갖는 콜로이드성 물질을 불안정화 시킨 뒤 침강성이 큰 Macro-floc으로 만들어 침전·제거하는 공정으로 응결핵으로 작용하는 충분한 양의 콜로이드성 물질이 존재하여야 효과적 응집이 일어난다. 하지만 근래 적용성이 커지면서 설치시설이 대폭 늘고 있는 MBR 공법의 경우 처리수의 SS 농도가 매우 낮아 응집을 위한 핵이 부족할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 실제 하수처리장 A2O공정의 방류수를 공극의 크기가 서로 다른 막으로 여과한

처리수를 가지고 인 제거를 위한 응집실험을 실시하여 PAC 투입농도, 교반시간, 침전시간 등에 따른 인 제거 성능을 비교, 검토하였다.

2. 실험 재료 및 방법

천안시의 S-하수처리장에서 운전 중인 A2O공정의 방류수를 3개의 공극이 서로 다른 막으로 여과한 시료를 대상으로 응집실험을 실시하였다. 막으로 여과하지 않은 시료의 SS, COD, TP 농도는 각각 10mg/L, 28mg/L, 3.25mg/L이었다. 실험에 이용한 막은 국내에 적용된 대표적인 MBR 공법에서 채택한 막이며 막의 특성은 Table 1과 같다.(이하 공극의 크기에 따라 M1, M2, M3으로 표시함.) 막 모듈은 현재 수처리에 사용중인 중공사막과 쥘대를 일체로 하여 실험실에서 직접 제작하였으며, 여과방식은 A2O공정의 유출수에 막 모듈을 침지시켜 Master-Flux 펌프를 이용해 여과하였다. 실험에 사용된 응집제는 PAC(poly aluminum chloride)로 삼우화학 제품을 사용하였고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>함량은 17%이며 비중은 1.30이다. 실험의 오차를 줄이기 위해 응집제는 40배 희석 후 사용하였고, 응집실험은 Jar tester를 이용하였다. 시료 1L를 Jar에 담아 PAC를 투입하고 Jar tester에서 125rpm으로 1분간 급속교반, 45rpm으로 완속교반 10분 후 30분간 정지한 상등액을 분취하였다. 응집 전후 시료의 TP를 Standard Method에 따라 분석하였다. 또한 완속교반과 침전시간에 따른 인 제거 특성을 파악하기 위해 완속교반 시간을 10, 15, 20, 25분으로, 침전시간을 10, 30, 60분으로 변화시켜 실험하였다. 실험조건은 Table 2와 같다.

[Table 1] Characteristic of membrane

Type	Pore size(μm)	Material	Module Type	Manufacture
M 1	0.25	PTFF	Hollow Fiber	S, Japan
M 2	0.10	PVDF	Hollow Fiber	K, Korea
M 3	0.04	PVDF	Hollow Fiber	G, USA

[Table 2] Experimental conditions

Sample	Mixing Time(min)		Settling Time(min)	PAC Dose(ppm)
	rapid mixing	slow mixing		
A2O Eff & Membrane Filtrates	1	10, 15, 20, 25	10, 30, 60	5, 10, 15, 20, 25, 30

3. 결과 및 고찰

3.1. PAC 투입 농도에 따른 인 제거 특성

PAC 투입 농도에 따른 인 제거 효율은 Fig. 1과 같이 나타났다. PAC 투입 농도가 증가할수록 인 제거 효율이 계속 증가하여 25ppm일 때 총인 농도가 0.2mg/L까지 감소하였으며 PAC를 30ppm의 농도로 투입하였을 때 인 제거율 증가량은 크지 않았다. 공극의 크기가 서로 다른 막으로 여과한 시료의 응집 실험에 대한 인 제거효율은 Fig. 2와 같다. M1, M2, M3으로 여과한 시료에 대한 인 제거 최고효율은 응집제 투입 농도가 25, 20, 20ppm일 때 74.5, 71.2, 62.6%로 막의 공극이 작을수록 인 제거 효율도 감소하는 것을 확인하였다. 이것은 막 여과 전 시료의 응집제 투입 농도 25ppm일 때 인 제거효율 90%와 비교했을 때 상당량 감소한 것이다. 막 여과 전·후의 인 제거 효율이 차이가 나는 것은 막 여과로 인하여 시료 내 존재하는 콜로이드성 물질들의 입자 크기 분포와 입자 수가 작아져 응집반응을 위한 응집핵 형성에 영향을 준 것으로 판단된다.

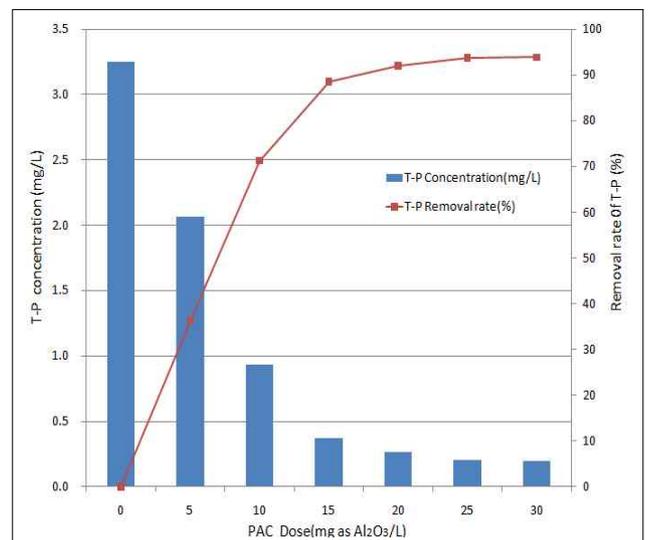


Fig. 1. Effect of PAC concentraion on the removal of phosphorous from the A2O effluent

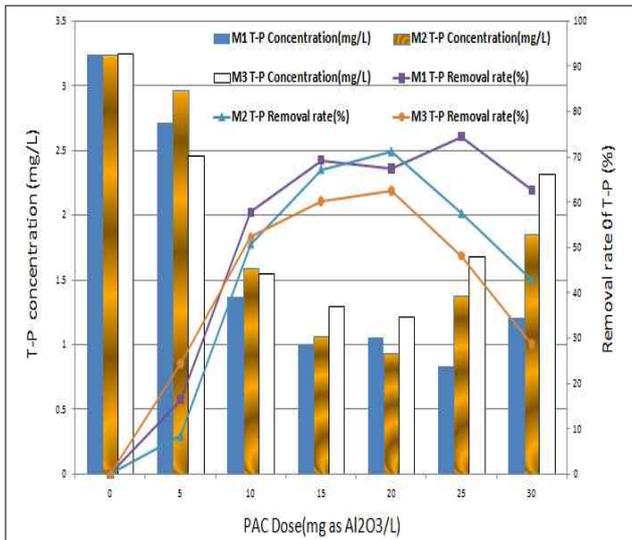


Fig. 2. Effect of PAC concentraion on the removal of phosphorous from membrane filtrates

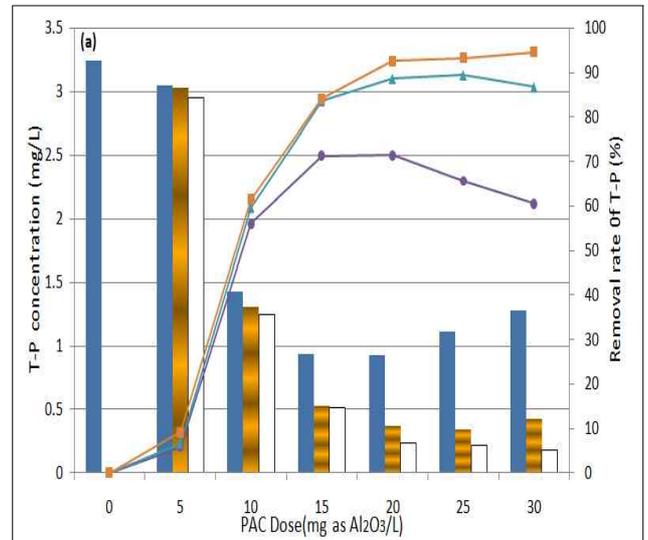
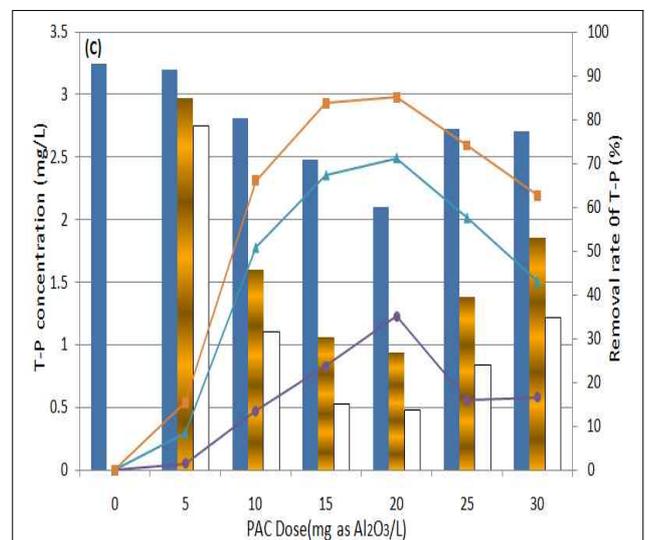
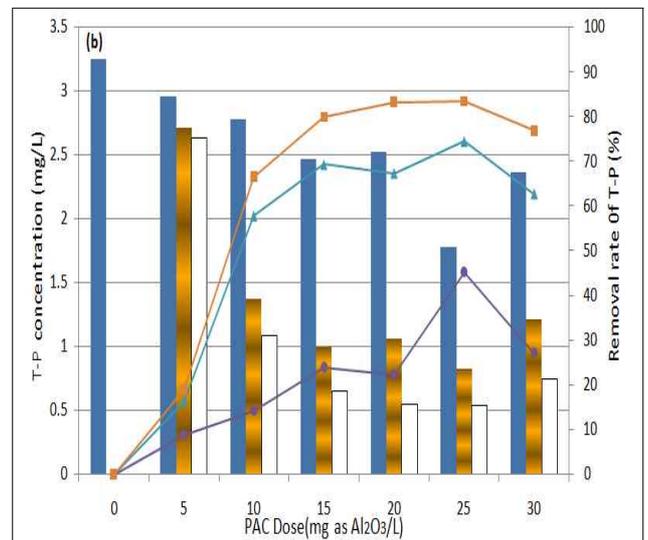
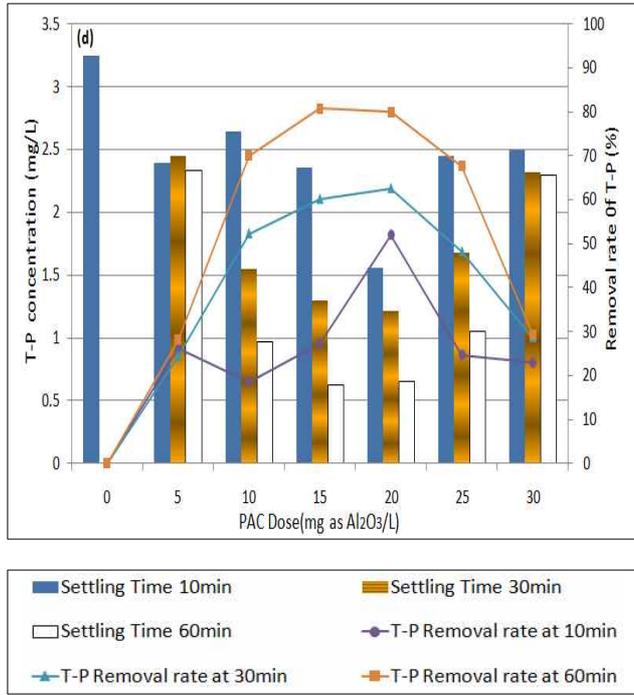


Fig. 3. Effect of settling time in coagulation on the removal of phosphorous from (a) A2O effluent, (b) M1 filtrate, (c) M2 filtrate, (d) M3 filtrate in 10min of slow mixing.

### 3.2. 교반시간과 침전시간에 따른 인 제거 특성

교반시간과 침전시간은 응집반응에서 중요한 인자이다. 먼저 응집제 투입 후 완속교반 시간에 따른 인 제거효율은 완속교반 시간이 길수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이 결과는 선행연구 결과와 부합되는 것이다. 허재용(2006) 등은 완속교반이 진행됨에 따라 플러크의 사이즈가 증가한다고 발표하였고 김충일(2007) 등도 완속교반 시간이 늘어날수록 잔류탁도가 낮아지는 경향을 나타냈다고 하였다. 따라서 본 실험에서 사용한 완속교반 시간의 범위 내에서는 25분까지 시간을 충분히 설정하는 것이 화학적 인 제거에 유리하다. 다음으로 침전시간에 따른 인 제거 특성은 Fig. 3과 같다. 막 여과 후의 M1, M2, M3 시료에 대해서 침전시간이 10분일 경우 인 제거 최고효율은 45.3, 35.1, 52.0%로 가장 낮았고, 정치시간 30분과 60분을 비교 했을 때 큰 차이가 나지는 않았지만 60분일 때 가장 높았으며 각각 83.4, 85.1, 80.7%이다. 앞에서 언급하였듯이 막 여과수는 SS농도가 낮아 응집이 효과적으로 이루어 지지 않아서 인 제거 효율이 낮는데 이 경우, 침전시간을 충분히 설정하는 것이 인 제거율을 높이는 데 도움이 될 것으로 판단한다. 이태관(2000) 등에 의하면 처리효율이 높으면 정치시간이 효율에 미치는 영향이 미비하지만 처리효율이 낮을 경우 침전시간이 길어질수록 제거 효율이 커진다.





#### 4. 결론

실제 하수처리장 A2O공정의 방류수를 공극의 크기가 서로 다른 막으로 여과한 처리수를 대상으로 응집실험을 실시하여 PAC 투입농도, 교반시간, 침전시간 등의 인자가 인 제거에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며 결론은 다음과 같다.

- 1) 화학적 응집 시 인 제거 효율은 응집제 투입농도가 25ppm에서 가장 크게 나타났다.
- 2) 막 여과 전후의 시료수에 대한 응집실험 결과 여과한 후의 인 제거율이 16-28% 정도 감소하였으며 막 공극의 크기가 작을수록 인 제거 효율도 감소하였다. 따라서 MBR공정 후단에 화학적 인 제거 공정을 도입할 경우, 막의 공칭공경에 대한 고려가 선행되어야 하며 적절한 응결핵이 제공될 수 있도록 배려해야 한다.
- 2) 완속교반 시간과 정지시간이 길어질수록 인 제거효율이 증가한다. 완속교반 시간이 길면 거대플록의 형성에 유리한 것으로 판단된다. 특히 침전시간의 경우, 응결핵의 농도가 큰 A2O공정 유출수에서는 30분보다 길어져도 인 제거 효과의 증가가 크지 않지만 막 여과수에서는 침전시간이 길어질수록 인 제거 효과도 커지는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- [1] 환경부, 하수처리시설 총인 처리강화 시범운영 연구, (2009).
- [2] Gründer, B., "Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserbehandlung," expert Verlag, (2001).
- [3] Rittmann, B.E., and McCarty, P.L., Environmental Biotechnology, McGraw-Hill Korea(한역판), 579~590, (2002).
- [4] 환경부, 하수처리장 인 처리시설 설치 가이드북, (2011).
- [5] 허재용, 강익중, 이상화, "응집 공정상에서 플록의 성장 특성 고찰", Korea Chem. Eng. Res., Vol. 44, No. 2, 207-215(2006).
- [6] 김충일, 한무영, 김하룡, 김용하, "플록형성공정에서 교반강도 및 교반시간의 변화가 침전효율에 미치는 영향", 제33회 대한토목학회 정기 학술대회, 3754-3757(2007).
- [7] 이태관, 진정숙, "교반시간이 Microcystis aeruginosa 응집에 미치는 영향", J. of NERI Vol.5, No.1, 109-117(2000).
- [8] 황응주, 천효창, "생물공정 처리수의 PAC(Poly Aluminum Chloride) 응집에 의한 고효율 인 제거 특성", 대한환경공학회지 673-678(2009).
- [9] R. J. Banu, K. U. Do, I. T. Yeom, "Phosphorus removal in low alkalinity secondary effluent using alum", Int. J. Environ. Sci. Tech., 5(1), 93-98(2008).
- [10] 김관엽, 김지훈, 김영훈, 김형수, "침지형 MBR 공정에서 응집제가 여과성능에 미치는 영향", Membrane Journal, Vol. 16, No. 3, 182-187(2006)
- [11] 한승우, 정철우, 강임석, "정수처리용 합성 무기고분자 Al(III)계 응집제의 응집특성", 한국환경과학회지, 8(6), 717-724(1999).
- [12] 한승우, 강임석, "응집공정을 이용한 하수처리수 중의 인 제거 Mechanism), 대한환경공학회지, 774-779(2010).