

상수원수의 고도정수처리 공정 파일럿 운전 연구 Operation of Advanced Water Treatment Processes for Downstream River Source Water

왕창근* · 오상은†
Chang-Keun Wang* · Sang-Eun Oh †

강원대학교 바이오자원환경학과 · *충남대학교 환경공학과
Department of Biological Environment, Kangwon National University
*Department of Environmental Engineering, Chungnam National University

(2011년 11월 2일 접수, 2011년 12월 23일 채택)

Abstract : Down Stream K River has high COD (4-10 mg/L) and high NH₃-N concentration (3.5 mg/L during winter period). Although NH₃-N itself is not reported harmful at this level, it must be removed to meet drinking water standard (0.5 mg/L). We constructed a pilot plant modifying the processes of conventional drinking water facilities. Prechlorination and powdered activated carbon (PAC) dechlorination was adopted prior to a flocculation tank to remove ammonia and prevent disinfection byproducts (DBPs) formation. Also, GAC processes was included after sand filter to remove residual DOC. This pilot having a capacity of 36 ton/day was operated for one year. The GAC processes were successful to remove ammonia and many organic pollutants (DOC, MBAS, UV-254 nm absorbance, etc). Influent DOC concentrations were very high as 3~6 mg/L throughout the plant operation. It was impossible to achieve 1.0 mg/L effluent DOC, indicating that bed depth (2 m) should be increased to achieve more strict DOC quality standards. When Cl₂ dose was well controlled (Cl₂/NH₃-N ratio 10~11 on a weight basis), NH₃-N removal was 98% and THMs was very low possibly due to low free residual chlorine and PAC dechlorination.

Key Words : GAC, Adsorption, Pilot Plant, Breakpoint Chlorination

요약 : 상수원인 K강 하류부에서의 COD (4~10 mg/L)는 매우 높으며 암모니아성질소의 농도(겨울철 3.5 mg/L) 또한 매우 높다. 암모니아 자체는 이 농도 범위에서 인체에 독성을 주지는 않지만 우리나라 먹는물 기준인 0.5 mg/L로 맞추어져야 한다. 본 연구에서는 K강 상수원을 고도처리 하고자 기존의 일반적인 상수처리공정을 수정하여 파일럿플랜트를 제작하여 운전하였다. 암모니아를 제거하고 염소소독 부산물 일부 제거를 위하여 파괴점 염소주입 및 분말활성탄 투여 공정을 응집 전 공정에 넣었다. 또한 모래여과 공정 다음에 입상활성탄공정을 넣어 미량 잔류유기물을 제거하고자 하였다. 파일럿플랜트는 36톤/일 규모이며 1년 동안 운전이 되었다. 본 수정된 공정을 통하여 암모니아를 제거하고 여러 유기물질(DOC, MBAS, UV-254 nm absorbance 등)들을 제거할 수 있었다. 유입 DOC 농도는 유입기간 동안 3~6 mg/L 계속 높았으며 1 mg/L로 낮추기 위해서는 GAC 필터의 2 m 높이는 낮은 것으로 판단되었다. 파괴점 염소주입에서 투입 염소농도가 잘 주입이 되었을 때 암모니아의 제거는 98%이상이었으며 낮은 유리 잔류염소 농도와 분말활성탄 투여로 트리할로메탄(THM)은 낮게 검출되었다.

주제어 : 입상활성탄, 흡착, 파일럿 플랜트, 파괴점 염소주입

1. 서론

고도의 산업화, 도시화와 농업생산량의 증가는 반대급부로 자정능력의 한계를 넘어 우리의 식수원인 강과 지하수를 오염시키고 있다. 국민에게 양질의 안심하고 먹을 수 있는 깨끗한 물을 공급하고 국민보건 향상을 도모하기 위하여 전 세계적으로도 많은 고도정수처리공정이 개발되어 왔고 우리나라에서도 많은 투자와 노력을 기울이고 있다.

우리나라 지표수인 K강 하류부에서 취수하는 상수원수는 겨울철 암모니아성질소 농도가 최고 3.5 mg/L까지 검출되고 있고 BOD, COD 또한 높은 실정이다. 기존의 응집/침전/여과 공정의 정수공정으로 제거가 곤란한 이취미물질, 트리할로메탄생성능(THMFP), 암모니아성 질소(NH₃-N), 음이온 계면활성제(MBAS) 등은 전염소, 오존, 활성탄, 생물학적 처리

등의 고도처리공정을 도입하여 제거하는 것이 효과적이다. 이러한 미량의 유기오염물질의 효과적인 제거에 관한 연구가 각 process별로 지난 수십년에 걸쳐 활발하게 진행되어 왔다. 활성탄의 수처리에의 적용 역사는 1930년초부터 미국에서 이취미물질을 제거할 목적으로 처음 사용된 것으로 알려져 있으며, 그 후 유럽에서 탈 염소의 목적으로 사용되었다.^{1,2)}

우리나라의 경우 먹는물기준으로 암모니아성 질소 0.5 mg/L 이하로 규제하고 있는데 암모니아 자체는 유해성이 낮으나 암모니아가 주로 동물의 배설물로부터 유래하므로 암모니아의 검출로서 수원과 배출원의 근접정도를 알 수 있기 때문이다. 암모니아성질소를 제거하는 방법으로 역삼투법, 증류, 이온교환법, ammonia stripping, 파괴점염소주입, 전기투석법, 전기화학적처리, 생물학적방법(Biological activated

† Corresponding author E-mail: ohsangeun@kangwon.ac.kr Tel: 033-250-6449 Fax: 033-243-6640

carbon 등) 등이 있으나^{3,4)} 1, 2개의 최소한의 공정을 추가하여 일반정수장에서 안전하게 암모니아를 제거할 수 있는 방법은 파괴점 염소주입이다. 기존 정수장에서 염소를 주입하여 암모니아를 제거하고 있으나 알맞지 않은 염소주입으로 인하여 트리할로메탄(THM)과 같은 소독부산물(DBP)의 발생이 우려될 뿐만 아니라 맛, 냄새, 욕조에서 염소로 인한 눈 자극 등으로 수도물의 불신을 가중시키고 있는 실정이다.^{5,11,12)}

본 연구는 기존 정수공정인 응집/침전/여과 공정의 처리한계를 보완하여 양질의 음용수를 생산하도록 하기 위한 고도정수처리 공정을 도입함에 있어 36 톤/일 규모의 Pilot Plant를 1년간 운전하였다. Pilot Plant는 염소 및 분말활성탄 주입-응집·침전-모래여과-GAC 공정으로 구성되었고 이의 운전과 각 공정에서의 처리능의 비교 분석을 통해 파괴점염소주입과 분말활성탄 공정의 기본설계와 활성탄 흡착시설의 설계요소 및 최적의 공정 설계 자료를 도출하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 원수 수질현황

본 연구가 행해진 K정수장은 K강 하류의 표류수를 취수하여 정수하고 있으며 기존 정수처리 공정으로 응집, 응결, 침전, 여과, 소독공정으로 구성되어 있다. 상수 원수인 K강 하류 표류수를 2회 채취하여 분석한 결과 COD가 11~19 mg/L, 암모니아 0.2~3.5 mg N/L, SS는 24~26 mg/L이었고 중금속이 미량 검출되고 있다. 원수에서 탁도, $KMnO_4$ 소비량, NH_3-N , SS, MBAS 등의 항목들의 농도가 대체로 높게 관찰되었으므로 이들 항목을 중심으로 고도정수처리 pilot 공정을 통한 제거효과를 조사하고자 하였다.

2.2. Pilot plant 설치 및 운전

Pilot Plant는 원수 저장조-염소 및 분말활성탄 주입-응집·침전-모래여과-GAC 공정으로 구성되었으며 고도 정수 Pilot Plant 실험장치의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

Pilot Plant 운전에 따른 모든 설계제원 산출에서 가장 중요한 항목은 일정량의 유량을 각 공정에 주입하는 것이다.

Table 1. Operating conditions of GAC adsorber

A/C (GAC)	EBCT (min)	Bed Depth (cm)	Flow Rate (m^3/day)	Linear Velocity (m/day)	Bed Depth (cm)	Column Diameter (cm)
	11.76	200	12	244.9	280	25

입상활성탄 통과유량은 각각에 유량계를 설치하여 일정량의 유량을 통과시키고, 염소($Ca(OCl)_2$), 분말활성탄(PAC), NaOH, ALUM은 투여 농도에 맞게 정량주입펌프를 사용하였다. 분말활성탄(PAC)은 국산활성탄을 사용 10 ppm을 주입하였다. 입상활성탄 통과 유량은 각 12 톤/일(총 36 톤/일(12×3 (column 개수)))을 처리하였다. 활성탄 종류는 GAC1은 외산 F400 (coal base)을 GAC2·GAC3는 국산활성탄(coal base)을 사용하여 실험을 수행하였으며 GAC의 운전 조건은 Table 1에 나타내었다. 각 반응조의 체류시간은 저류조 42분, Pre-chlorination 반응조 10분, PAC mixing조 7분, pH 조정조 7분, 응결조 40분, 침전조 155분으로 하였으며 모래여과조의 선속도 204 m/d로 설계하였다.

2.3. 실험방법 및 조건

본 Pilot Plant는 기존정수장의 유입수(원수)를 이용하여 염소 및 분말활성탄 주입, 응집·침전, 모래여과, GAC 공정을 채택하여 원수 및 각 공정의 처리수(침전수, 여과수, GAC1, GAC2, GAC3)를 가지고 실험을 수행하였다. 본 Pilot Plant 실험은 전술한 바와 같이 K 강하류수를 원수로 하였으며 2월말 활성탄 Column 3개중 2개만 가동시키고 실험을 계속 수행해오다 7월 14일 나머지 하나의 Column (GAC 3)을 채우고 가동을 시작하였다. ALUM 주입은 JAR TEST 실험결과에 의해 60~80 mg/L를 주입하였으며 최적의 pH는 7.1~7.5로 맞추었다. 주기적으로 Jar test를 실시하였으며 응결조에서 플러의 형성을 직접 확인하면서 주입량을 수정하였다. NaOH 주입은 pH감소에 따라 자동 주입되도록 하였다. 염소 주입 농도는 암모니아성질소 농도의 변화에 맞추어 초기 10 mg/L를 주입하다가 27 mg/L, 다시 20 mg/L로 줄였다.

2.4. 분석방법

고도정수처리의 유형, 처리 효율, 운전 조건, 적정설계기준

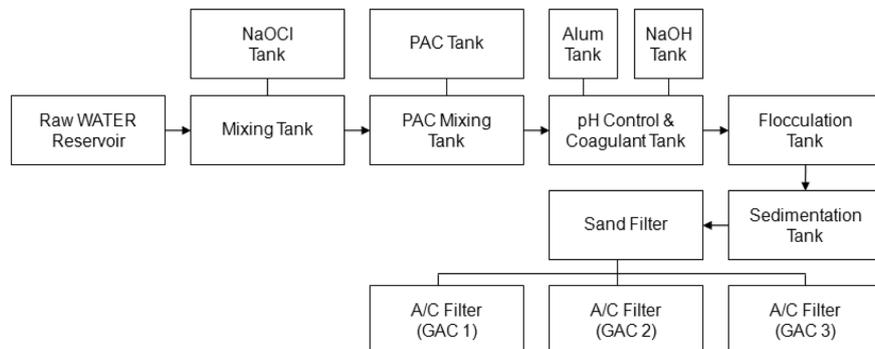


Fig. 1. Schematic diagram of the pilot plant.

의 도출을 위해 수질 조사 항목으로 pH, 암모니아성 질소 (NH₃-N), 탁도, 부유물질(TSS & VSS), 음이온 계면활성제 (MBAS), KMnO₄ 소비량, 용존유기탄소(DOC) 등을 선정하였다. THMs는 Liquid-Liquid Extraction법으로 HP5890 GC/HP5970 MSD를 이용하여 분석하였다. 시료는 원수, 침전조, 모래여과조, GAC1, 2, 3 유출수를 채취하여 4℃에 보관하였으며 모든 시료는 채취 후 즉시 분석하는 것을 원칙으로 하였다. pH, 온도, 탁도는 pilot 현장에서 즉시 분석하였고 각 항목별 분석은 수질오염공정시험법 및 Standard Methods에 준하여 수행하였다.^{6,7)}

3. 결과 및 고찰

3.1. 파괴점염소주입에 의한 질소, THM 및 알루미늄 변화

3.1.1. 유입수 온도 변화

본 파일럿은 겨울철인 2월에 운전을 시작하여 1년 동안 가동이 되었으며 그때 유입수 수온의 변화는 최소 2℃에서 최대 27℃까지 변화를 보였다(Fig. 2). 본 Pilot Plant는 미생물을 이용하는 공정이 없으므로 측정된 수온의 범위에서 온도에 대한 큰 영향은 없을 것으로 판단하였다.

3.1.2. 암모니아성질소 제거

겨울철 원수의 암모니아성질소의 농도는 최고 3.5 mg/L로서 먹는물기준을 상회하고 있으며 이를 제거하기 위한 방안으로 본 연구에서는 Prechlorination에 의한 파괴점염소주입 방법과 바로 후단에 분말활성탄 투입 공정을 적용하였다. 염소 반응시간 10분, 분말 활성탄 반응조 7분으로 파일럿이 설계되었고 암모니아성질소의 제거특성은 Fig. 3에 나타내었다. 운전 초기 10 mg/L의 염소를 계속적으로 투입하였을 경우 암모니아성 질소 농도가 대략 1 mg/L가 제거되어 먹는물기준(0.5 mg N/L)을 초과함을 알 수 있다. 또한 유입수의 암모니아성질소의 농도가 시간에 따라 변화하므로 염소의 투입을 부분적으로 달리 하였으며 암모니아성질소 농도

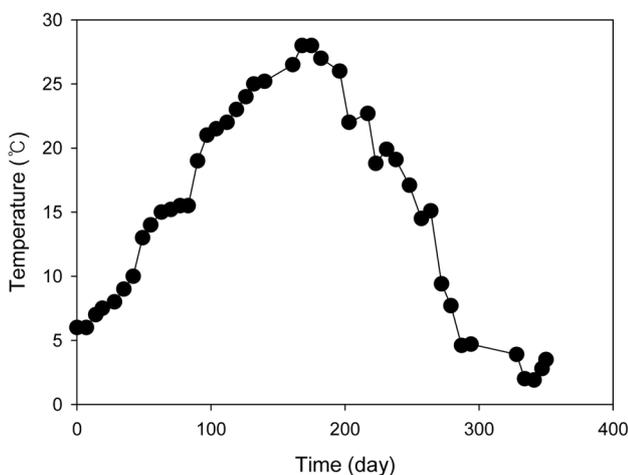


Fig. 2. Temperature of influent during experimental periods.

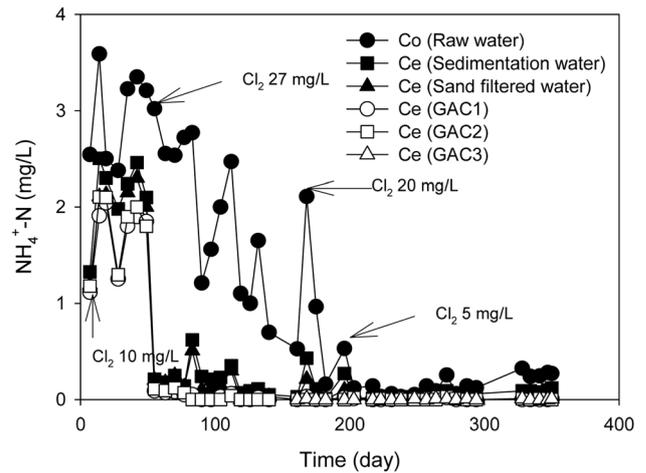


Fig. 3. Removal of ammonia over time with different doses of chlorine concentration (Korea's drinking water standard: 0.5 mg NH₄⁺-N/L).

의 10배 가량의 염소 즉 27 mg/L, 20 mg/L을 투입한 결과 암모니아성 질소 98% 이상의 제거효율을 보여주고 있다. 회분식 파괴점염소주입 실험 결과 Cl₂ : NH₃-N = 1 : 10-11이었다.⁸⁾

암모니아의 완전분해에 요하는 이론염소량은 Cl₂ : NH₃-N = 1 : 7.6이다.³⁾ 일반적으로 Cl₂와 NH₃-N의 무게비가 5인점과 파괴점(7.6) 사이에서 클로라민의 일부는 NCl₃로 변환되고, 나머지 클로라민들은 산화질소(N₂O)나 질소가스(N₂)로 산화되고 또한 염소는 염소이온으로 환원된다. 파괴점을 지나 염소를 계속 투입하면 유리잔류염소가 비례적으로 증가한다. 그러나 원수 수질의 오염도가 높은 상황에서 염소를 필요이상 투입할 시 THM등 염소소독부산물의 생성위험이 있다. 유리 염소(HOCl)와 활성탄의 반응은



와 같이 진행된다. 여기에서 C*는 활성탄 표면의 탄소성분이며 C*O는 생성된 표면 산화물(Surface Oxide)로서 활성탄의 흡착능력을 저하시킨다.⁹⁾ 본 연구에서는 PAC를 투입하여 염소소독부산물 및 후속 GAC공정에 악영향을 주는 잔류염소를 제거하고 후속 GAC공정에 의해 미량유기오염물질을 제거할 수 있을 것으로 판단하였다.

3.1.3. THM 및 THMFP

본 연구에서 Prechlorination 방법에 의하여 수중의 암모니아를 제거하므로 유리잔류염소에 의하여 생성되는 염소부산물을 모니터링하는 것은 중요하다. 염소부산물(Chlorination DBPs)인 THMs (Trihalomethanes)는 나뭇잎, 동물의 사체, 배설물 등이 축적된 부식토로부터 용출된 부식질이 투입된 염소와 반응하여 생성된다. 이는 동물에 대한 발암성으로 알려져 있어 먹는물기준에서 0.1 mg/L로 규제하고 있다. 본 pilot plant 실험 결과 여름철의 경우 암모니아성질소 농도는 낮으나 염소를 과량 넣은 경우 즉 free chlorine이 수중에 과

Table 2. THM production by prechlorination process and its removal by GAC (unit: ppb)

Day	119	126	133	140	182	203
Sand filtered water	-	-	-	0.221	0.52	0.59
GAC1 (F400)	-	-	-	0.12	0.25	0.3
GAC2 (Korea Brand)	-	-	-	-	0.24	0.35
GAC3 (Korea Brand)	-	-	-	-	0.21	0.25

량 존재하는 경우에도 생성 THMs 농도는 매우 낮았다(Table 2). 이는 PAC 투입으로 인한 dechlorination과 함께 응집, 침전, 여과에 소요되는 시간이(3시간 정도) THM 생성에 충분하지 못함에 기인한 것으로 판단된다. 특히 GAC를 거친 후에는 완전한 dechlorination으로 전염소에 의한 THM 발생은 무시할 수 있다. 따라서 충분한 염소, 충분한 반응시간, 적정온도, 적정 pH에서의 THMFP가 공정 선택 및 설계요소 도출에 중요하다고 판단되었다. 극미량 발생된 THM의 GAC 처리효율 결과는 Table 2에 나타내었다. 활성탄공정에서의 여과수에 대한 THM의 처리효율은 GAC1, GAC2의 경우 4개월 경과 후 대략 25%에서 7개월 경과 후 10% 정도의 제거효율을 보였다. 중간에 설치한 GAC3의 경우 여과수에 대한 제거효율은 초기 60%의 제거효율을 보이며 조금씩 과파로 접근하고 있다.

THMFP (Trihalomethane formation potential) 즉 트리할로메탄 생성능은 Standard Method에 의거 충분한 염소투여, 적정온도(25℃), 충분한 반응시간(7일), 적정 pH를 맞추어 측정하였으며 THMFP는 최대생성 가능 THM 농도라 할 수 있다. THM 생성은 pH와 온도에 의해 증가되며 반응 시간이 길수록 일반적으로 THM 생성은 증가한다. 본 연구 결과 THMFP는 침전, 여과 공정에서 평균 10~50%, 평균 20%의 제거효율을 나타내었다(Table 3).

3.1.4. 용존 알루미늄(Al) 농도 변화

Pilot Plant에 유입되는 원수를 이용하여 Jar-test를 실시한 결과 응집제로서 alum의 최적 주입량은 약 70 mg/L이었으며 본 Pilot Plant 실험에 그 농도를 적용하여 실험하였다. 또한 응결조에서 플러의 생성을 확인하였으며 플러 생성을 보면서 alum의 농도를 조금씩 달리하였다. 알루미늄을 함유하고 있는 alum의 주입 농도가 아주 높으며 알루미늄의 먹는 물기준을 0.2 mg/L로 규제하고 있어 운전 기간 동안 알루미

늄의 농도를 모니터링하였으며 알루미늄이 성분인 alum 70 mg/L를 주입하였지만 원수의 알루미늄 농도는 0.017~0.039 mg/L일 때 침전수, 여과수, GAC1, GAC2, GAC3 농도는 최저 0.013 mg/L에서 최고 0.058 mg/L로 음용수질기준 0.2 mg/L를 훨씬 못 미치는 결과가 나왔다. 이는 pH 중성영역에서 대부분 알루미늄 성분이 침전이 되기 때문으로 판단된다.

3.1.5. 탁도 및 부유물질(SS)

Pilot Plant 실험기간 중 7~9월 사이에 원수 탁도가 최고 30 NTU까지 높았으나 응집제 주입율이 적절할 때 침전여과 공정에서 70~98%의 대부분의 탁도유발물질이 제거되었다. 활성탄 시설의 1차적 목적은 탁도 제거가 아니라 미량 유기 및 무기오염물제거에 두어야 하므로 최적응집제 주입을 통한 침전, 여과 과정에서의 탁도 제거의 극대화는 GAC 효율향상을 위해 필요한 것으로 사료된다. Pilot Plant 운전기간 중 부유물질의 변화는 탁도제거의 경향과 비슷하였다. 원수의 TSS가 9월에 최고 60 mg/L, VSS는 20 mg/L까지 나왔으며 제거효율은 침전, 여과 공정에서 50~98%의 제거효율을 보여 주고 있다. 여과수에 대한 활성탄 공정에서의 TSS의 제거효율은 응집제 주입율이 적절할 때 70%까지의 추가적인 SS 제거효과가 있어 GAC처리 이후에 SS(탁도 등)측면에서 매우 양호한 수질을 달성할 수 있었다.

3.2. 입상활성탄의 처리 특성 및 처리율 비교

3.2.1. KMnO₄ 소비량 및 DOC

KMnO₄ 소비량의 제거효율은 Fig. 4에 나타내었다. KMnO₄

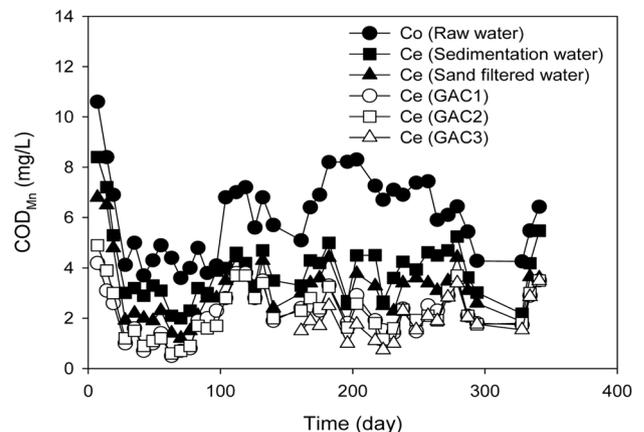


Fig. 4. Removal of CODMn in the pilot plant (Korea's drinking water standard: 10 mg/L).

Table 3. Trihalomethane forming potential (THMFP) in each process (unit: ppb)

Day	119	126	133	140	182	203
Raw water	41.88	27.26	53.33	75.17	49.16	56.16
Settled water	39.45	26.56	39.12	70.65	47.65	41.97
Sand filtered water	28.78	25.47	22.68	60.40	45.32	41.93
GAC1 (F400)	15.22 (63%)	16.06 (41%)	18.28 (65%)	48.9 (35%)	34.08 (31%)	39.12 (30%)
GAC2 (Korea Brand)	21.19 (48%)	14.85 (46%)	18.12 (66%)	54.1 (28%)	27.49 (44%)	40.1 (29%)
GAC3 (Korea Brand)	-	-	-	24.77 (67%)	20.36 (58%)	35.42 (37%)

소비량은 엄밀한 의미에서 유기물 및 일부 무기물을 나타내는 지표로서 CODcr, 총유기탄소(TOC), 용존 유기탄소(DOC)와 밀접한 관련이 있다. 본 연구기간 중의 $KMnO_4$ 소비량은 침전 여과공정에서 35~70%가 제거되었으며 GAC1, GAC2는 200일이 지난 후 여과수에 대해 22~30%의 제거효율을 보이고 있다. 운전가동초기 GAC3의 $KMnO_4$ 소비량의 제거효율은 50~60%의 제거 효율을 나타내었다.

3.2.2. DOC 및 UV-254 Absorbance

Fig. 5(a)는 용존유기탄소(DOC)의 처리효과를 나타낸 것이며 침전여과 공정에서 35~45%의 제거효율을 나타내고 있다. GAC3의 경우 여과수에 대한 운전 초기 제거율이 50~60%이며 GAC1, GAC2의 경우 4개월 경과후로 20~30%의 제거효율을 보이고 있다. DOC는 부식질(Humic Substances)과 부식질과 유사한 고분자 물질로 구성되며 활성탄 세공에서는 물질 확산 계수가 매우 작다. 새로운 활성탄을 충전하여 흡착능이 최대로 되어 있는 운전 초기에도 물질확산 저항으로 Bed Depth가 작을 경우 조기파과 형태의 파과곡선을 가질 수 있다. 따라서 Pilot Plant에서와 같은 2.0 m의 Bed Depth는 충분치 못하므로 이의 증가가 필요하다.

UV-254 Absorbance의 제거효율은 Fig. 5(b). 13에 나타내었다.

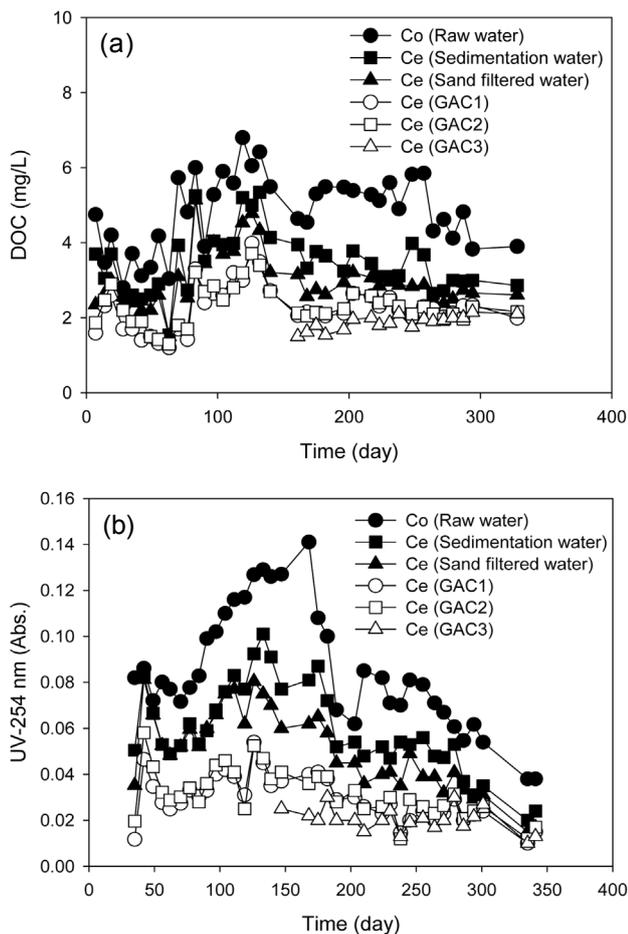


Fig. 5. Removal of DOC and UV-254 absorbance in the pilot plant.

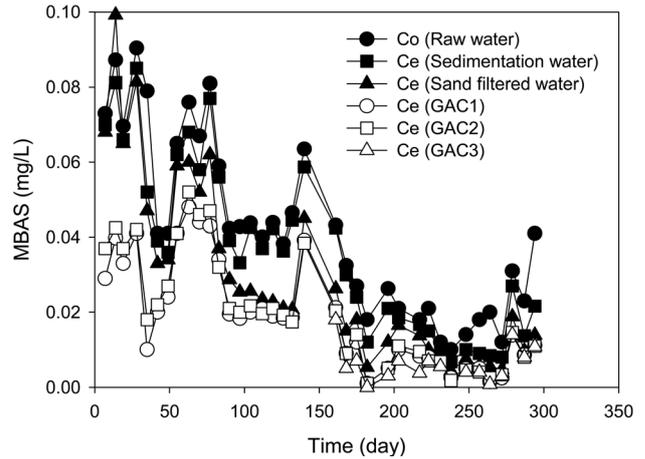


Fig. 6. Removal of MBAS in each process in the pilot plant (Korea's drinking water standard: 0.5 mg/L).

UV-254 Absorbance는 침전 여과 공정에서 대략 25~50%의 제거효율을 보여주고 있다. 여과수에 대한 활성탄 흡착 제거율은 GAC1, GAC2에 상관없이 30~50%의 제거효율을 나타내다가 189일 이후로 25~30%로 제거효율이 낮아졌다. GAC3의 경우 여과수에 대한 활성탄흡착능은 50~69%의 제거효율을 나타냈다.

3.2.3. 음이온계면활성제(MBAS)

음이온계면활성제는 응집효과의 감소와 함께 혼화지, 침전지, 여과지 등에 거품을 발생시켜 운전에 장애를 유발시키며 또한 기존 처리공정으로 제거가 어려운 물질이나 오존 및 활성탄에 의하여 쉽게 제거되는 물질로 보고 있다. 본 연구에서 MBAS는 침전지에서 2~10%, 여과지까지 10~30%의 제거효율을 보여주고 있고 여과수에 대한 활성탄 흡착에 의한 제거율은 활성탄의 종류에 관계없이 대략 60%의 제거효율을 보이다가 Pilot Plant 운전 110일 이후로 20~30%로 효율이 저하 되었다. 운전 중간에 설치한 GAC3의 초기 제거율의 경우는 60~80%의 높은 제거효율을 보여준다. 원수에 대한 고도정수처리 Pilot Plant의 총 MBAS 제거효율은 초기에 70~90%이다. MBAS는 물질확산 속도가 느려 입상활성탄(GAC) 흡착 처리시 Bed Depth가 본 Pilot Plant에서와 같이 2 m로 작을 경우 세공내 세공내 물질확산 저항에 의해 충분히 제거되지 않고 파과가 일어나므로 충분한 Bed Depth가 필요하다.

4. 결론

K 강하류 상수원수에 대하여 전염소처리/분말활성탄/응집·침전/여과/GAC배열의 Pilot test 결과를 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 입상활성탄 흡착공정에 의해 DOC, CODMn, UV-254, MBAS 등에 대해 비교적 효율은 양호하였으나 K 강하류 상

수원수의 오염도가 심각하고 DOC, MBAS는 mass transfer 가 느려 물질확산 저항으로 조기 파과가 일어나 pilot plant 설계 높이인 Bed depth 2 m는 짧은 것으로 판단하였다.

2) 파괴점염소농도 10배 정도를 Pilot plant에 적절한 염소를 투여하였을 경우 암모니아성질소의 제거효율은 98%이상이었다.

3) Pilot 운전 중 원수중의 암모니아의 농도가 낮을 때 전 염소를 과량 투여하였을 경우에도 THM의 농도는 매우 낮았으며 이는 PAC투입으로 인한 dechlorination과 응집, 침전, 여과에 소요되는 시간이 3시간 정도로 THM 형성에 충분하지 못함에 기인한 것으로 판단된다. GAC를 거친 후에는 완전한 dechlorination으로 전염소에 의한 THM발생은 무시할 수 있었다.

4) 파괴점염소주입은 원수의 암모니아성질소의 농도가 먹는물기준(0.5 mg/L)을 초과할 때 겨울철에만 실시하는 것이 바람직하다.

5) 암모니아 제거를 목적으로 파괴점염소주입 공정과 잔류 염소의 제거, 미량이지만 THM생성의 억제, DOC의 전처리로서 후속 GAC 운전기간 연장 등의 목적으로 후속 분말활성탄 (PAC)공정을 기존 정수공정 앞부분에 위치시키고 최종적으로 주공정인 GAC로 DOC (THM 전구물질 포함) 및 미량유기물질을 제거하는 공정은 겨울철, 저온, 고 암모니아를 함유한 상수원수의 효과적 처리를 위한 공정 배열로 판단된다.

사사

이 논문은 강원대학교 환경연구소의 지원으로 수행되었습니다.

KSEE

참고문헌

- Hassler, J. W., "Activated Carbon," Chemical Publishing Co., New York(1974).
- 채선하, "용존유기물질 특성에 따른 소독 부산물 생성과 입상활성탄 흡착," 박사학위논문, 충남대학교(2004).
- James, M. Montgomery, "Water Treatment Principles and Design," John Wiley & Sons Inc(1985).
- USEPA, "Nitrogen control," USEPA, Washington D.C. (1994).
- 최승일, "살균 및 부산물 관리·상수처리 이론 및 설계," 제 11차 환경공학분야 산학협동공개강좌, pp. 3~16(1996).
- 동화기술, "수질오염·폐기물 공정시험방법," 동화기술(1992).
- APHA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 18th ed., American Public Health Association, Washington D.C.(1992).
- 오상은, 왕창근, "파괴점 염소주입에 의한 NH₃-N 제거 및 THM 생성의 최소화를 위한 PAC dechlorination," 한국수질보전학회지, **13**(2), 137~144(1997).
- Walter, J. Weberm Jr., "Physicochemical Processes for Water Quaility Control," Wiley-Interscience(1972).
- Paul, N. C., "Carbon Adsorption Handbook," Ann Arbor Science Publisher(1978).
- Babi, K. G., Koumenidesa, K. M., Nikolaoua, A. D., Makria, C. A., Tzoumerkasb, F. K., and Lekkasa, T. D., "Pilot study of the removal of THMs, HAAs and DOC from drinking water by GAC adsorption," *Desalination*, **210**, 215~224(2007).
- Centers for Disease control and prevention Home page, http://www.cdc.gov/safewater/publications_pages/thm.pdf