



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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](#)

이학석사 학위논문

고도정수처리공정에서 직접여과법에
의한 망간 제거와 탁도 저감 연구



2010년 2월

부경대학교 산업대학원

산업미생물학과

신 지 혜

신지혜의 이학석사 학위논문을 인준함.

2010年 2月



주 심	박사	최 태 진
위 원	박사	김 군 도
위 원	박사	이 명 숙



이학석사 학위논문

고도정수처리공정에서 직접여과법에
의한 망간 제거와 탁도 저감 연구

지도교수 이 명 숙

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2010년 2월

부경대학교 산업대학원

산업미생물학과

신 지 혜

목 차

목차	i
List of tables	iii
List of figures	iv
Abstract	v

I. 서론

1

1. 고도정수처리 공정	2
1) 고도정수처리기술의 정의	2
2) 고도정수처리기술의 종류	2
2. 망간의 일반적인 사항	6
1) 수중에서 망간의 거동	6
2) 망간 수질기준 현황	7
3) 수돗물 중 망간의 영향	8
4) 망간 제거 메커니즘	9
3. 직접여과법	11
4. 연구목표	13

II. 재료 및 방법

14

1. 시료 채취	14
2. 망간 측정법	14
3. 탁도 및 온도 측정법	14
4. 정수처리공정	14

1) 고도정수처리공정	14
2) 직접여과법	15
III. 결과 및 고찰	17
1. 원수 망간 검출 현황	17
2. 정수처리공정에 따른 망간 제거율 및 탁도 감소율 비교	20
1) 고도정수처리공정	20
2) 직접여과법	26
3) 정수처리공정에 따른 망간 제거율과 탁도 감소율 비교	31
IV. 요약	34
V. 감사의 글	36
VI. 참고문헌	37

List of Tables

Table 1. 망간의 국내외 수질기준	8
Table 2. Stoichiometry for Mn(II) oxidation by several oxidants	10
Table 3. A montly average Mn(II) and temperature of raw water in 2008	18
Table 4. Dissolved manganese concentration and removal rate of advanced water treatment processes	23
Table 5. Turbidity decrease rate of advanced water treatment	25
Table 6. Dissolved manganese concentration and removal rate of direct filtration	28
Table 7. Turbidity decrease rate of direct filtration	30

List of Figures

Figure 1. Advanced water treatment process.	16
Figure 2. Induction and application of direct filtration.	16
Figure 3. Variation Mn(II) and Temperature of raw water.	19
Figure 4. Mn(II) concentration and distribution characteristics of advanced water treatment processes.	21
Figure 5. Turbidity decrease rate of advanced water treatment.	25
Figure 6. Equipment for input polyamine.	26
Figure 7. Mn(II) concentration and removal rate characteristics of direct filtration.	27
Figure 8. Turbidity decrease rate of direct filtration	30
Figure 9. Total Mn(II) removal rate in advanced water treatment and direct filtration.	31
Figure 10. Dissolved Mn(II) removal rate in advanced water treatment and direct filtration.	32
Figure 11. Turbidity decrease rate in advanced water treatment and direct filtration.	33

Study of manganese removal and turbidity decrease by direct filtration method in advanced water treatment processes

Ji-Hye Shin

Department of Industrial Microbiology

Graduate School of Industry

Pukyong National University



Abstract

Ulsan Korea, HY Purification Plant introduced advanced water treatment in 1999 and has managed since then. But, it was difficult to remove manganese when recently manganese of high concentration was flew into purification plant in spring and autumn.

To solve this problem, direct filtration method was introduced in advanced water treatment. This method needs to add coagulant (polyamine) for filtration function in activated carbon process.

Manganese influx concentration was investigated for this study from January to December in 2008, we get following conclusion according to

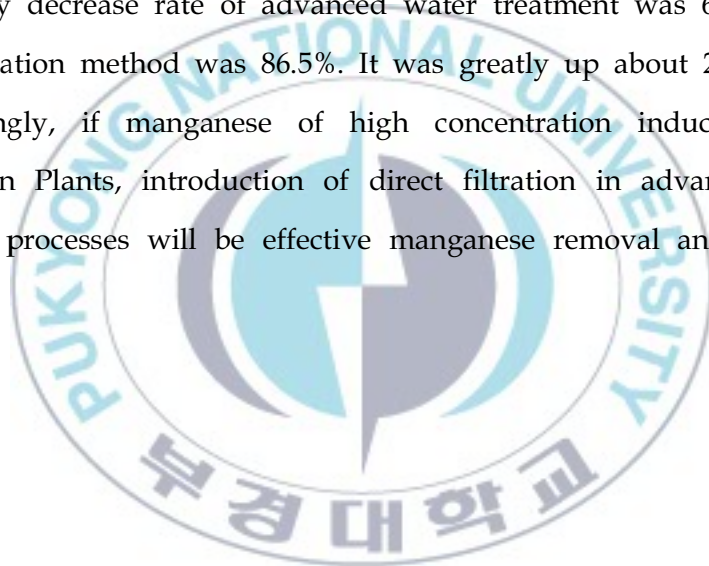
manganese removal rate and turbidity decrease rate in advanced water treatment and direct filtration method.

Manganese of high concentration was flew into purification plants in spring and autumn. Manganese concentration range was 0.005 mg/L ~ 0.297 mg/L and average was 0.055 mg/L.

Total manganese removal rate of advanced water treatment was 84.5%, it of direct filtration method was 93.1%. It was up about 9%.

Turbidity decrease rate of advanced water treatment was 66.6%, it of direct filtration method was 86.5%. It was greatly up about 20%.

Accordingly, if manganese of high concentration induces in HY Purification Plants, introduction of direct filtration in advanced water treatment processes will be effective manganese removal and turbidity decrease.



I. 서론

오늘날 현대사회가 당면한 가장 심각한 문제 중의 하나가 환경문제이고, 그 중에서도 인간생활과 가장 밀접한 부분이 수질문제이다. 급속한 산업화와 인구의 증가에 따라 환경오염이 심화됨으로 인해 상수원수의 수질이 점점 나빠지는 반면에 사람들의 복지에 대한 관심이 증대되면서 양질의 먹는물을 요구하게 되었다. 이에 대부분의 나라에서는 정책적으로 먹는물의 수질기준을 강화시키고 있는 추세이며, 오염물질 제어와 수질기준 강화·규제 등의 수질관리 측면의 대처와 아울러 효율적인 정수처리기술의 도입과 개발이 요구되어지고 있다¹⁾.

국내 정수처리기술은 90년대 초반부터 도입되기 시작한 고도정수처리공정이 10여 년간 전국 17개 정수장에서 운영 중에 있다²⁾. 우리나라의 주요 상수원인 낙동강, 금강 등의 수질이 나빠지면서 강 하류지역의 수질이 3급수 이하로 되어 일반적인 정수방법으로는 오염물질의 제거가 어려워졌고 1989년 이후 중금속, THM, 페놀사건, 벤젠 등 각종 수돗물 유기물질 오염사고가 다발하면서 낙동강을 원수로 하는 정수장에서 우선적으로 고도정수처리시설을 도입하게 되었다³⁾.

그러나 최근 고도정수처리공정을 운영하는 정수장에서 흑수에 의한 수질민원이 발생함에 따라 고도정수처리공정에서 망간이 완벽하게 제거되지 못하는 것을 알 수 있었다. 이에 고도정수처리공정에 직접여과법을 도입하여 망간 제거율과 탁도 감소율을 비교하고자 하였다.

1. 고도정수처리 공정

1) 고도정수처리기술의 정의

고도정수라는 말을 사용한 것은 그리 오래되지 않았고, 일본 후생성에서는 고도정수시설이란 통상의 정수방법으로는 충분히 대응할 수 없는 취기물질, THM 전구물질, 색도, 암모니아성 질소, 음이온 계면활성제 등의 처리를 목적으로 도입하는 활성탄처리시설, 오존처리시설 및 생물처리시설을 지칭한다고 정의하고 있다. 미국에서는 1991년 EPA가 제정한 National Primary Drinking Water Regulations를 통하여 미생물, 무기물질, 휘발성 유기화합물질, 살충제 등의 합성유기화합물질, 기타 유기화합물질 및 방사성물질들을 제거하기 위한 최적처리기술(Best Available Technology, BAT)으로 여러 가지 검증된 정수방법을 설정하여 처리목적에 따라 사용할 수 있도록 하는 개념으로 적용시키고 있다. 따라서 상수에서의 고도정수처리기술이란 기존의 정수처리 기법으로 완전히 제거되지 않아 안심하고 마실 수 있는 음용수의 수질목표 달성이 불가능한 여러 가지 유해물질들을 적절하게 처리하기 위해 도입하는 새로운 수처리기술을 총칭하여 말할 수 있으며, 이러한 고도정수처리기술에는 오존을 이용한 기술, 활성탄을 이용한 기술, 막분리 기능을 이용한 기술, 생물학적 처리 기능을 이용한 기술, 이온교환법을 이용한 기술, 고도산화법을 이용한 기술, 용존공기가압부상법(DAF)을 이용한 기술 등이 있다⁴⁾.

2) 고도정수처리기술의 종류

가. 오존처리기술

오존처리는 오존의 강력한 산화력을 이용하여 분해·제거하거나, 원수 중에 있는 미량 유기물질의 성상을 변화시킨 후 활성탄에 흡착시켜 제거하는 방법으로 활용할 수 있으며, THM 전구물질이나 맛·냄새물질의 제

거에 효과적이다. 또한 오존은 살균효과가 우수하여 소량의 접촉에 의해서도 대부분의 세균을 사멸시키며, 염소살균과는 다르게 THM 등의 유기염소계 화합물을 생성시키지 않아 이산화염소와 함께 대체살균제로서 사용할 수 있다⁴⁾.

나. 활성탄처리기술

종래의 급속여과를 중심으로 한 정수처리 설비는 응집, 침전, 여과라는 과정을 거쳐서 물리화학작용에 의하여 주로 현탁성 성분을 제거하는 것이다. 이것에 비하면 활성탄 처리설비는 코코넛 껍질이나, 석탄, 나무 등을 고온에서 탄화시켜 만든 활성탄의 내부에 무수한 세공들을 이용하여 흡착가능한 유해물질들은 제거하는 것으로서, KMnO_4 소비물질 등의 용해성 유기물질, THM 전구물질, 맛·냄새물질, 농약성분 등의 미량 유해물질을 제거할 목적으로 도입하는 것이다. 주로 용해성 성분을 제거하는 기능을 가지고 있는 점이 다른데, 저농도의 용해성 성분의 제거수단으로서 사용되고 있다. 최근 활성탄 처리시설은 안정된 활성탄의 흡착기능을 확보하고 생물활성탄으로서의 처리기능을 유효하게 작용시키는 기법이 사용되고 있다.

활성탄은 다공성으로서 내부에 무수한 세공이 있는데 세공의 층내부 표면적이 현저하게 크고 또한 그 표면이 불순물에 대하여 친수성을 갖게 된다. 따라서 피흡착 물질로서의 용해성 성분의 제거는 용해성 성분이 세공의 커다란 내부 표면에 흡착함으로써 이루어진다⁴⁾.

다. 막분리기술

막분리기술은 물리적으로 고액을 분리하는 기술로서 막분리 공정의 특징은 분리할 때 상(Phase) 변화를 수반하지 않고 단순히 압력차 혹은

압력차를 구동력(Driving force)으로 하여 분리 특성을 높일 수 있는 효율적인 분리방법이라 할 수 있다. 1950년대 이온교환을 이용한 해수의 탈염과 1960년대 셀룰로오스막에 의한 역삼투법을 이용한 해수의 담수화 기술로 발전한 이래 막의 개발이 지속적으로 이루어진 결과 불가능하였던 저분자량까지 제거할 수 있고 슬러지의 발생이나 소독제 등의 약품 소모가 적으며, 절대여과(Absolute Filtration)법이므로 사용하는 막의 종류에 따라 제거할 수 있는 오염물질의 크기나 성상의 한계가 명확하여 처리수의 목표수질에 만족할 수 있는 적합한 수준의 막분리 장치를 설치할 수 있다.

정수처리에 이용되어온 막분리법으로는 역삼투법(Reverse Osmosis, RO), 저압 RO, 또는 나노여과(NF), 한외여과법(Ultra Filtration, UF), 정밀여과법(Micro Filtration, MF) 등이 있다⁵⁾.

라. 고도산화기술(Advanced Oxidation Technology, AOT)

오존은 강한 산화력을 가진 불소와 OH라디칼 다음으로 높은 전위차(2.07volt)를 가지고 있다. 이론적으로 오존은 모든 유기물을 CO₂와 H₂O로 완전 분해하여야 하지만, 실제 대다수의 유기물과 반응이 느리거나 혹은 전혀 반응을 하지 않는 것이 일반적이라고 할 수 있다. 이와 같이 오존의 단점을 보완하기 위하여 오존과 산화제 등을 동시에 반응시켜 OH라디칼 생성을 가속화하여 유기물질들을 처리하는 방법을 고도산화기술(Advanced Oxidation Technology, AOT)이라 하며 정수처리에서 응용될 수 있는 AOT의 종류는 Ozone/high pH, Ozone/UV, TiO₂/UV, Ozone/H₂O₂(PEROXONE), H₂O₂/UV, Fe/H₂O₂, O₃/TiO₂, O₃/Electron Beam, O₃/Metallic Oxides 등의 방법들이 있다⁴⁾.

마. 생물막 처리공정

생물막 처리란 물속에 함유되어 있는 각종물질을 미생물의 활동에 따라서 분해 또는 응집시킴으로써 수도 원수 또는 하폐수 등을 처리하는 방법이다. 생물막 처리는 종래의 완속모래여과의 생물처리 원리와 같은 것으로서 담체 표면에 부착·증식하는 유기물 분해균이나 질산화 세균 등 호기성 미생물의 대사작용에 의해 BOD 성분, 이취미 물질, 암모니아성질소 등을 분해 제거한다. 담체로서는 생물의 부착면적을 크게 하기 위하여 벌집모양의 플라스틱제 허니컴튜브(Honeycomb Tube)방식, 구형 혹은 파쇄형의 섬유나 광물 등의 생물 담체를 사용하는 접촉시간 수십분의 생물산화방식, 회전체에 미생물을 증식시켜 이용하는 회전원판법이 있다⁵⁾.

바. 용존공기가압부상(DAF)에 의한 처리기술

오염물질의 일차적인 제거공정이라 할 수 있는 응집침전법이 처리 대상 물질에 대하여 한계를 지니고 있으며, 처리시간과 유효면적 면에서 경제적이지 못한 점을 감안하여 이를 대체할 수 있는 고도 정수기술의 단위공정으로서 용존공기가압부상(Dissolved Air Flotation : DAF) 시설이 있다. DAF는 기존의 단순한 부상분리에 의한 고액분리 처리가 아니라 고압하에서 높은 농도의 공기를 용해시키고 매우 미세한 크기(평균 40 μm)의 기포를 형성시키기 때문에 화학적 산화작용을 기대할 수 있으며, 휘발성 유기물질을 제거할 수 있는 이점이 있다. 그리고 DAF는 다른 고도정수처리공정과 연계하여 사용할 수 있는 이점도 있다. DAF 시설은 처리시간이 30분 이내로 기존의 침전방식(2~4시간)보다 훨씬 짧고, 기존의 정수처리방식에서의 문제점으로 지적되고 있는 냄새, 조류, 오일과 그리스, 합성세제, 철 및 마그네슘 등의 제거에 뛰어난 효과를 보인다. 특히 휘발성 유기오염물질 등의 미량 유기오염물질의 효율적인 제거가 가능하다. 한편 부상을

중심으로 하는 정수방법은 조류와 병원성 박테리아를 제거하므로 THMFP를 감소시키는 효과를 나타낸다. 또한 DAF에 의한 처리방식은 침전공정에서 사용되는 침전조보다 훨씬 처리장의 면적이 적게 소요되어 표면적 부하가 10배 정도 크며, 또한 완전자동화 공정으로 운영과 정비를 단순화시킬 수 있다는 경제적인 장점을 가지고 있다⁴⁾.

2. 망간의 일반적인 사항

1) 수중에서 망간의 거동

망간은 토양이나 호수 저층부로부터 여러 가지 화학반응으로 인하여 수중으로 용출되며 수중에 용존망간의 존재는 이산화탄소에 의한 영향을 많이 받는다. 혐기성 조건에서 유기물질이 미생물 활동으로 인하여 분해되면서 생성된 이산화탄소가 불용성으로 존재하는 망간을 환원시켜 수중으로 용해시키게 된다.



지표수의 경우 성층현상이 발생하는 부영양화된 저수지의 심층수에서 미생물 활동에 의해 혐기성 조건이 됨에 따라 저수지 저부의 토양 및 침전물에 존재하는 망간이 환원되어 용존성 2가 이온으로 용출되어 호소수 전체로 확산되며 2가 망간이온은 일반적인 호소수의 pH 범위에서 용존산소에 의해 쉽게 산화되지 않으므로 용해된 상태로 계속 상층으로 확산하게 되고 수중의 천연유기물과 결합하여 화합물을 형성하여 수중에 용존상태로 존재한다. 또한 복류수를 취수하는 경우, 유기물질이 많이 함유된 하천수가 여층을 통과하면서 용존산소가 소모되어 혐기성 상태가 되면 토양 및 하천바닥에 함유된 망간이 환원되어 용출된다. 따라서 복류수와 저수

지수를 수원으로 하는 상수도 시설의 경우 망간으로 인한 문제가 발생할 수 있다. 망간은 대체로 철과 화학적 성질이 비슷하여 망간금속의 표면이 공기 중에서 산화되기 쉽고, 수분이 있으면 녹슬기 쉽다. 고온에서 공기나 산소존재 하에 연소되며, 저온에서는 서서히 그리고 가열하면 빨리 물을 분해하는 성질을 가지고 있다. 묽은 무기산에 쉽게 용해되어 2가의 염을 형성하고 수소를 발생시킨다. 또한 자연수중의 망간은 지하수나 지표수의 경우 심층수나 저층수를 취수하는 저수지수에서 많이 발생하며 망간의 농도는 탄산화합물($MnCO_3$)의 용해도에 의해 제한을 받는다⁶⁾.

2) 망간 수질기준 현황

망간의 수질기준은 크게 건강상의 관점에서 설정된 기준과 심미적 측면에서 설정된 기준이 있다. 많은 국가에서 처음에는 망간에 대한 수질기준을 건강학적 관점에서 설정하였으나, 망간이 건강에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 알려진 후에는 대부분 심미적인 항목으로 취급하고 수질기준을 보다 강화하여 왔다⁷⁾. 각 나라별 수질기준을 Table 1에 나타내었다.

세계보건기구(WHO)의 경우 건강학적 측면에서의 망간 기준은 0.5 mg/L 이하로 규정하고 있으나 심미적 측면에서는 0.1 mg/L 이하를 수질기준으로 권장하고 있다^{7)~9)}. 일본의 경우 망간과 관련한 법적 수질기준은 0.05 mg/L 이하이다. 한편, 법적 수질기준과는 별도로 양질의 수돗물 생산을 목적으로 설정한 망간을 포함한 쾌적수질 항목이 있으며, 망간의 쾌적수질 목표치는 0.01 mg/L 이하이다^{7),10)}.

Table 1. 망간의 국내외 수질기준⁷⁾

(단위 : mg/L)

한국	미국	일 본		WHO	
		성상에 관한 법적 수질기준	쾌적 수질항목 목표치	건강학적 측면에서의 수질기준	심미적인 측면에서의 수질기준
0.3이하	0.05이하	0.05이하	0.01이하	0.5이하	0.1이하

현재 국내 먹는물 수질기준은 미생물에 관한 기준, 건강상 유해영향 무기물질에 관한 기준, 심미적 영향물질에 관한 기준, 소독제 및 소독부산물에 관한 기준 등 5개 그룹으로 분류되어 있다. 이 중 망간은 심미적 영향물질로 분류고 있으며 수질기준은 0.3 mg/L 이하이다. 2011년 1월 1일부터는 국내 망간기준도 미국, 일본 등 국제적 기준에 맞게 0.05 mg/L 로 강화될 예정이다. 그러나 일반적으로 망간은 0.05 mg/L 이하를 권장하나 이 정도의 농도가 흑수를 완전히 방지하지는 못하고 0.02 mg/L 이하가 적당하며, 0.01 mg/L 이하를 이상적인 상태로 본다^{11),12)}.

3) 수돗물 중 망간의 영향

수돗물에서의 망간문제는 관의 재료에서 기인하는 것이 아니고, 원수 중의 망간에서 유래한다. 망간이 자연 상태로 있을 경우는 대부분 용존성으로 문제가 되지 않으나 소독을 위해 염소를 첨가하면 배수관 등에서 산화되어 발색한다.

용존망간은 통상의 정수처리로는 잘 제거되지 않으며, 정수장에서 미처리된 망간이 급배수계통에 유입될 경우 수돗물에 존재하는 유리잔류염소와 긴 체류시간동안 지속적으로 반응하여 망간산화물로 전환될 수 있으며, 이 경우 망간이온으로 존재할 때와 비교하여 약 300 ~ 400배의 색도가

증가한다^{7),10)}. 또한 생성된 망간산화물이 급·배수관에 침전하거나 부착하게 되고 유량, 유속, 수압 등에 의한 수류변동이 있을 경우 수도꼭지에서 유출됨으로써 흑수의 원인이 된다⁷⁾.

4) 망간 제거 메커니즘

가. 산화법에 의한 망간 제거

산화법은 산화제를 이용하여 망간을 제거하는 방법으로 각 산화제에 의한 반응식, 이론적인 반응비, 망간 제거 효과 및 적용현황을 Table 2 에 나타내었다.

염소에 의한 산화는 원수에 염소를 투입하여 망간산화물을 침전-여과에 의해 제거하는 방법이다. 이 방법은 pH가 9.5이하이면 반응속도가 느려지기 때문에 알칼리도의 첨가로 pH를 높이는 것이 요구된다. 망간 1 mg/L 당 이론적인 염소요구량은 1.3 mg이다.

이산화염소에 의한 산화는 염소에 비해 망간의 산화 속도가 빠르며 THMs 저감 등의 장점이 있어 효과적이나 가격이 비싸고 잔류물질의 잠재독성으로 투입량에 제한을 받는 단점이 있다. 이산화염소를 사용하여 망간을 제거할 경우에는 pH를 7.0이상으로 유지해야 하며 망간 1 mg/L 당 이론적인 이산화염소 요구량은 2.44 mg이다.

과망간산칼륨은 망간 산화에 효과적이며, pH 7일때 이론상 망간 1 mg/L 당 1.92 mg이 필요하다. 그러나 실제로 그보다 적은 투입량주입량주입을 완전 산화할 수 있다. 이것은 생성된 이산화망간의 흡착작용에 의한다. 또 pH가 높아질수록 적은 과망간산칼륨으로 망간을 산화할 수 있다.

최근들어 많이 도입되고 있는 오존에 의한 산화는 용해성 망간을 단시간에 산화시킬 수 있으며 망간 1 mg 산화에 소요되는 이론적인 오존량은 0.88 mg이며 반응시간이 20~30초로 매우 빠르며 pH를 높여 반응속도를

빠르게 할 수 있다.

그러나 이처럼 단순 비교에 의하여 산화제를 선택하는 것은 문제가 있으며 수질조건, 시설현황 및 경제성 등을 종합 고려하여 선택해야 한다⁶⁾.

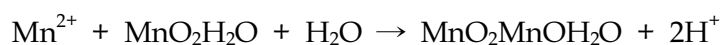
Table 2. Stoichiometry for Mn(II) oxidation by several oxidants^{13),14)}

Oxidants required	Kinetics	Stoichiometric amount (mg/mg Mn)
O ₂ (aq)	Mn ²⁺ + 1/2O ₂ + H ₂ O → MnO ₂ (s) + 2H ⁺	0.29
O ₃ (aq)	Mn ²⁺ + O ₃ + H ₂ O → MnO ₂ (s) + O ₂ + 2H ⁺	0.88
Cl ₂	Mn ²⁺ + Cl ₂ + H ₂ O → MnO ₂ (s) + 2Cl ⁻ + 3H ⁺	1.30
KMnO ₄	3Mn ²⁺ + 2KMnO ₄ + 2H ₂ O → 5MnO ₂ (s) + 4H ⁺	1.92
ClO ₂	Mn ²⁺ + 2ClO ₂ + 2H ₂ O → MnO ₂ (s) + 2ClO ₂ ⁻ + 4H ⁺	2.45

나. 망간사에 의한 접촉여과법

망간사 여과법은 제조된 망간사를 사용하는 방법과 기존 여재에 산화제를 연속 투입함으로써 망간사화하여 망간을 제거하는 방법으로 구분할 수 있다.

망간사에 의한 용해성 망간의 흡착제거 반응은 아래와 같으며 망간사 1 m³당 망간을 흡착할 수 있는량은 1.44 kg이다.



망간사 여과법은 망간의 농도가 1.0 mg/L 정도일 때가 유리하며 pH를 7.5 이상으로 유지할 경우 매우 효과적으로 처리할 수 있으나 망간사를 계속 사용하면 흡착능이 감소되어 파과가 발생되므로 반드시 재생과정을 거쳐야 한다.

기존여재를 이용한 접촉여재 여과법은 망간이 함유된 원수에 염소, 오존, 이산화염소와 같은 산화제를 연속적으로 투입하여 기존 여재인 모래나 안트라사이트에 MnO_2 를 피복하여 망간사와 같은 흡착능력을 갖게 하여 망간을 제거하는 방법이다. 망간사가 충분히 형성되는 기간은 약 2주이며 검은 색으로 피복된 여과사는 계속적으로 산화제를 투입하여 재생하여야 흡착능력을 유지할 수 있다⁶⁾.

다. 기타 방법에 의한 망간의 제거

이온교환법은 이온교환수지에 의하여 망간이온을 나트륨이온 또는 수소이온과 교환하여 제거하는 방법이며, 미생물에 의한 방법은 완속여과지에서 사용되는 방법으로 *Clonothrix*, *Leptothrix*와 같은 철미생물에 의해 망간을 제거하는 방법이다^{6),15)}.

3. 직접여과법

직접여과는 1884년 미국 Hyatt가 특허를 낸 여과공법으로 별도의 침전지 없이 혼화-여과공정으로 구성된 여과방식을 말한다. 직접여과의 기술적인 발전은 1940년대에 이중여재의 사용과 고분자 응집제 적용을 통해 직접여과가 실용화되기 시작하였다. 직접여과는 경제적으로 매우 효율적인데 이는 처리공정에 대한 건설비, 약품비, 그리고 슬러지 처리비용 등이 상대적으로 낮기 때문이다. 그리고 건설비 면에서는 응집지 또는 침전지 등이 불필요하기 때문에 기존 정수처리공정에 비하여 50%까지 절감이 가

능한 것으로 알려져 있다. 이외에도 처리시설에 요구되는 공간이 크게 감소되고, 환경적으로 약품 투입량이 감소하게 되어 슬러지 발생이 줄어들며 처리비용도 절감할 수 있다. 그러나, 직접여과와 관련해서 몇 가지 제약과 단점이 있다. 첫 번째로는 직접여과가 경제적으로는 유리한데 반해 원수 탁도, 색도, 그리고 조류 발생량 등의 적용 수질에 제약을 받는다. 이는 직접여과에서는 여과지속시간이 매우 짧기 때문인데 이로 인해 역세척이 잦고, 역세척수의 사용량과 에너지 비용이 높으며 또한 여과면적이 다소 넓어야 한다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 직접여과로 절감되는 비용이 훨씬 높은 것으로 나타났다.

직접여과의 적용은 원수의 함수로 표현될 정도로 원수에 대하여 제약(원수의 탁도와 색도, 조류, 온도 pH 등)을 받으며, 수질목표를 달성하기 위한 약품 투입량 등이 매우 중요하다^{16)~19)}.

직접여과에 사용되는 응집제로는 일반적으로 상수처리에 이용되는 폴리염화알루미늄(Polyaluminum chloride), 황산알루미늄(Aluminum sulfate), 황산제이철(Ferric sulfate), 염화제이철(Liquid ferric chloride), 폴리황산규산알루미늄(Poly aluminium chloride silicate), 폴리수산화염화황산알루미늄(Poly aluminum hydroxy chloro sulfate), 폴리아민(EPI-DMA Polyamines) 등 여러 종류가 있다²⁰⁾. 그 중 폴리아민의 경우 부유 콜로이드 입자에 대한 탁월한 응집효과를 가지고 있으며, 천연 착색성분의 제거와 활성탄 누출 억제 기능이 있고, 용해력이 좋아 사용성이 매우 우수한 장점을 가지고 있다²¹⁾.

4. 연구목표

호소수를 상수원수로 사용하는 정수장에서는 호소수의 계절적 특성인 성층 및 전도현상에 의해 봄과 가을철에 망간이 고농도로 검출되고 있다²²⁾. 먹는 물 수처리 시설에서는 망간으로 인한 건강상 유해성이 야기되지는 않는 것으로 알려져 있지만, 의복 및 세탁물에 얼룩 발생이나 이취미, 흑수 등 다양한 심미적 문제를 유발하여 먹는물을 급수전으로 공급할 때 소비자의 수질요구 수준을 만족시키지 못하고 민원이 발생할 여지를 내포하고 있다. 이에 따라 우리나라를 포함한 세계 각국에서는 먹는물 중 망간 농도 규제 기준을 정하여 이러한 심미적 문제 유발에 대비하고 있다.

그러나 이러한 망간은 일반적인 정수처리공정에서는 거의 제거되지 않으므로, 망간에 의한 장애가 발생할 우려가 있는 경우는 망간 제거를 위한 별도의 처리 공정이나 추가적인 처리가 필요하다⁷⁾.

울산 HY 정수장의 경우 호소수를 상수원으로 사용함에 따라 봄과 가을철에 고농도의 망간이 유입되어 최근 정수처리에 장애를 유발하였다.

정수처리기법으로는 1999년 고도정수처리시설을 도입한 이래 오존산화와 활성탄흡착을 이용하여 운영하고 있으며, 고농도의 망간이 유입될 경우 오존에 의한 산화로 망간의 제거가 이루어지는데, 이때 산화된 망간의 입자에 의해 오존처리수에 탁도가 유발된다. 그러나 이후의 공정인 활성탄은 종래의 급속여과에 의한 현탁성 성분을 제거하는 것이 아니라 활성탄의 내부에 무수한 세공들을 이용하여 흡착 가능한 유해물질들을 제거하는 것으로서 주로 용해성 성분을 제거하는 기능을 가지고 있으므로⁴⁾ 오존처리수에 의해 유발된 탁도의 제거 기능이 약해 고농도의 망간 유입시 활성탄 유출수의 탁도가 정수의 기준치인 0.5 NTU를 일시적으로 초과할 가능성이 나타났다. 따라서 본 연구에서는 HY 정수장의 연중 망간 농도 분포를 조사하고, 고농도의 망간 유입시 고도정수처리공정 및 직접여과법 도입 후의 망간 제거율 및 탁도 감소율을 비교하여 보았다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취

본 연구에 사용된 시료는 2008년 1월 1일부터 12월 31일까지 울산 HY 정수장의 원수, 침전수, 여과수, 오존수, 활성탄처리수, 그리고 정수를 각각 주 1회 채수하여 시료로 사용하였다.

2. 망간 측정법

망간은 총망간(망간 ; particulate and dissolved)과 용존망간(dissolved) 두 가지로 나누어 측정하였다.

총망간의 농도는 시료를 여과과정을 거치지 않고 망간 농도를 측정한 것이며, 용존망간의 농도는 시료를 0.45 μm filter로 여과하여 측정한 값이다.

측정기기는 HACH DR-890 Colorimeter를 이용하여 Ascorbic Acid Powder, Alkaline-Cyanide Regent Solution 및 PAN Indicator Solution으로 측정하였다.

3. 탁도 및 수온 측정법

탁도는 HACH 2100N(USA) 으로 측정하였으며, 수온은 YSI63(USA)으로 측정하였다.

4. 정수처리공정

1) 고도정수처리공정

본 연구의 대상인 HY 정수장의 시설용량은 270,000 m^3/day 이며, 2008년 평균 150,000 m^3/day 를 공급하였다. 정수처리공정은 원수, 침전,

여과, 정수과정을 거치는 일반적인 정수처리공정에 1999년 오존과 활성탄 흡착 공정을 추가한 고도정수처리 방식(Fig. 1)을 도입하였다.

2) 직접여과법

직접여과법은 처리수의 수중에 미량의 탁질이 존재할 경우 응집제에 의한 큰 플록을 형성하여 침전시키지 않고, 미량의 응집제 투입과 동시에 여과를 실시하여 여과층에 의한 제거효율을 높이는 정수처리방법으로 본 연구에서는 고도정수처리공정인 오존처리수에 응집제를 넣어 활성탄의 여과기능으로 미세한 탁질을 제거하고자 하였다(Fig. 2).

응집제로는 폴리아민을 0.5 mg/L 이하로 사용하였다. 폴리아민은 폴리아민계 유기 고분자 응집제로서 다양한 분자크기를 갖는 액상 양이온성 고분자이며, 콜로이드 입자에 대한 탁월한 응집효과를 가지고 있다.

특징은 부유 콜로이드 입자의 제거, 천연 착색성분의 제거, 조류의 제거 및 여과보조제로서 활성탄 누출 억제 기능이 있는 응집보조제이며, 환경 부고시 사용기준은 10 mg/L 이하이다.

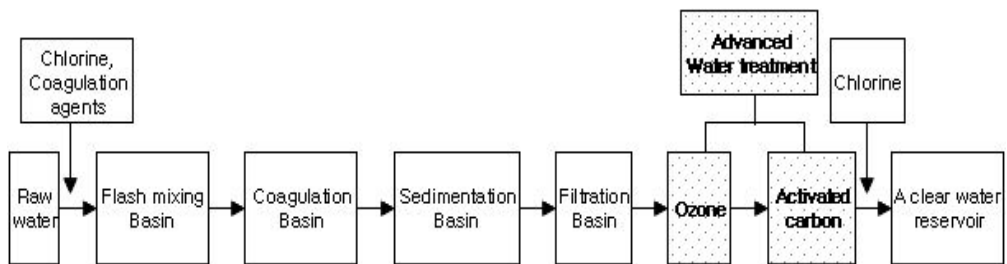


Fig. 1. Advanced water treatment process.

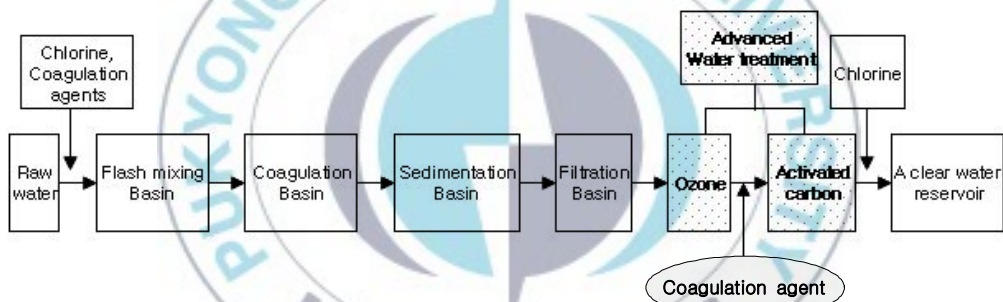


Fig. 2. Induction and application of direct filtration.

III. 결과 및 고찰

1. 원수 망간 검출 현황

원수 중의 망간 검출 현황을 알아보기 위하여 2008년 1월부터 12월까지 주 1회 단위로 채수하여 망간의 농도와 그때의 수온변화를 Table 3 과 Fig. 3 에 각각 나타내었다.

조사기간 동안 유입된 원수의 망간농도는 0.005 ~ 0.297 mg/L로 계절적인 차이가 많았고, 평균적으로 6월부터 9월 사이에 망간 농도가 낮았으며, 10월이 가장 높았다. 그 중에서 특히 5월과 10월에 고농도의 망간이 유입되었는데, 망간 농도는 각각 0.178 mg/L와 0.297 mg/L였다. 이때의 수온은 2008년의 경우 1.3 ~ 25.2 °C였고, 2월에 가장 낮았으며 7월에 가장 높은 값을 나타내었다.

망간과 수온과의 관계(Fig. 3)를 살펴보면 3월에는 수온이 6.1 °C에서 15.6 °C까지 급격히 상승하였고, 8 ~ 9월까지 안정되었던 수온은 9월 말부터 11월 초까지 23.3 °C에서 16 °C까지 낮아졌다. 즉 수온이 안정적이었던 1 ~ 2월, 6 ~ 9월 중순에는 망간의 농도도 안정적이었으나, 수온이 급격하게 변화하는 시기인 3월과 10월의 망간 농도가 급격히 증가하는 현상을 보였다. 이는 호소수의 계절적 특성인 성층 및 전도현상에 의한 것이라 할 수 있으며, 5월의 경우 망간이 예외적으로 상승한 원인은 댐 내의 폭기기 가동에 의한 일시적인 현상이라 판단된다.

Table 3. A monthly average Mn(II) and temperature of raw water in 2008

Division Date	Temp.(°C)		Mn(mg/L)	
	Range	Average	Range	Average
Jan.	2.3 ~ 4.0	3.06±0.67	0.020 ~ 0.042	0.027±0.0089
Feb.	1.3 ~ 4.5	2.35±1.45	0.029 ~ 0.050	0.036±0.0096
Mar.	6.1 ~ 15.6	10.48±4.20	0.069 ~ 0.087	0.078±0.0079
Apr.	13.1 ~ 16.3	14.60±1.45	0.021 ~ 0.082	0.041±0.0244
May	14.8 ~ 17.8	15.85±1.37	0.098 ~ 0.178	0.132±0.039
Jun.	17.9 ~ 19.8	18.84±0.86	0.005 ~ 0.110	0.044±0.0468
Jul.	19.4 ~ 25.2	22.05±2.40	0.008 ~ 0.047	0.019±0.0190
Aug.	22.3 ~ 25.1	23.68±1.38	0.009 ~ 0.019	0.014±0.0048
Sep.	22.4 ~ 23.3	23.03±0.41	0.012 ~ 0.019	0.015±0.0033
Oct.	18.2 ~ 21.1	19.88±1.21	0.080 ~ 0.297	0.179±0.0889
Nov.	9.7 ~ 16.0	13.35±2.69	0.008 ~ 0.035	0.022±0.0130
Dec.	5.1 ~ 8.6	6.80±1.30	0.006 ~ 0.039	0.014±0.0141
Average	1.3 ~ 25.2	14.32±7.39	0.005 ~ 0.297	0.053±0.060

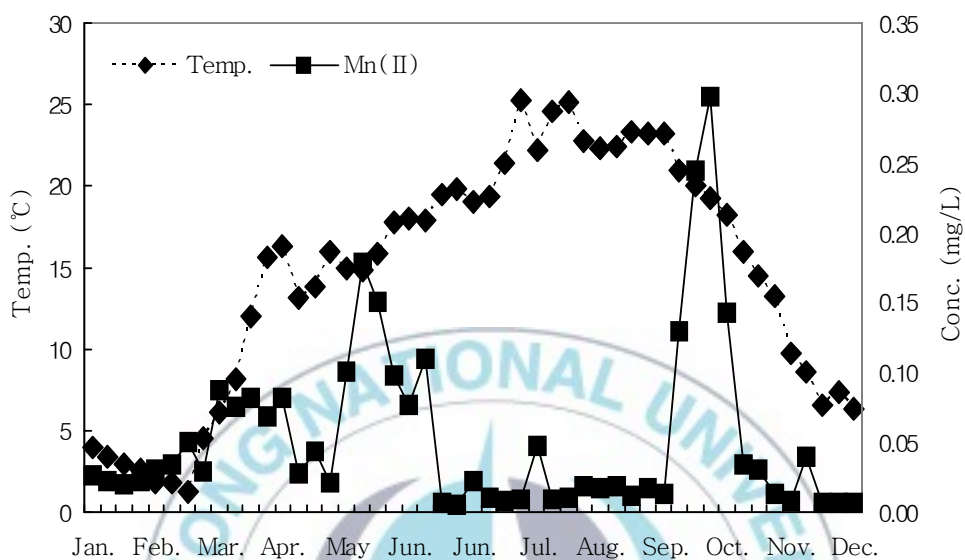


Fig. 3. Variation Mn(II) and temperature of raw water in 2008.

2. 정수처리공정에 따른 망간 제거율 및 탁도 감소율 비교

울산 HY 정수장은 2008년 5월 고농도의 망간 유입시 고도정수처리공정에서 망간이 효율적으로 제거되지 못하여 오존처리수에서 산화된 이산화망간 입자에 의해 탁도가 증가하여 흑수에 의한 수질민원이 발생하였다. 따라서 본 정수장에서는 2008년 10월 고농도의 망간 유입시 고도정수처리공정 중 오존처리수(활성탄유입수)에 응집제인 폴리아민을 투입하는 직접여과법을 도입하여 5월 고도정수처리공정과 10월 직접여과법 도입 후의 망간 제거율과 탁도 감소율을 비교하여 보았다.

1) 고도정수처리공정

가. 망간 제거율

공정별 망간 농도 및 제거율(Fig. 4)을 살펴보면 총망간은 침전수에서 21.0%가 제거되었고, 여과수에서 43.4%, 오존처리수에서는 45.1%의 제거율을 나타냈으며, 활성탄처리수에서 84.5%, 정수에서 89.0%의 제거율을 나타냈다. 국내 대부분 정수장에서 침전과정에서 통상 망간 제거율이 30% 내외로 나타나는 것과²³⁾ 비교해 약 10% 가량 낮은 것으로 나타났으며, 이는 각 정수장마다의 공정운영과 시설에 따라 차이가 나는 것으로 판단된다.

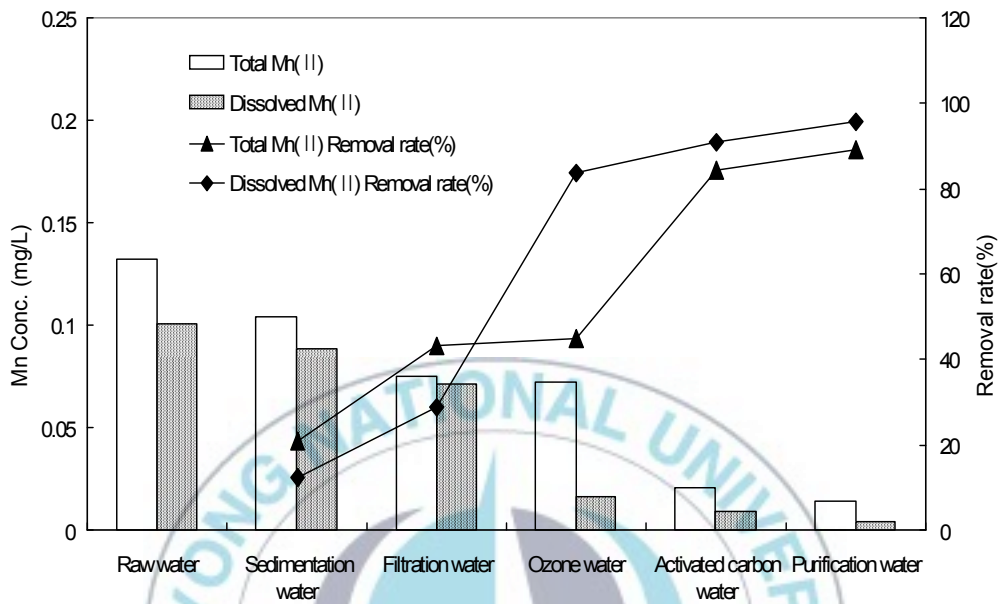


Fig. 4. Mn(II) concentration and removal rate characteristics of advanced water treatment processes.

용존망간 제거율(Table 4)은 침전수에서 12.2%, 여과수에서 28.9%로 총 망간에 비해 아주 낮은 것으로 나타났다. 이는 망간의 존재형태에 따른 제거율이 차이가 나는 것이며, 용존망간의 경우 침전수와 여과수에서는 입자성망간보다 제거율이 훨씬 낮다고 볼 수 있다. 오존처리수에서의 용존망간의 제거율은 83.6%, 활성탄처리수에서 90.8%, 정수에서는 95.5%로 용존망간의 경우 대부분 오존처리 이후인 고도정수처리공정에서 제거됨을 알 수 있다. 망간의 농도로 살펴보면, 여과수에서의 총망간과 용존망간의 농도가 각각 0.075 mg/L와 0.072 mg/L로 거의 비슷한 값을 나타내는 것으로 보아 여과지를 거치면서 대부분의 입자성망간이 제거가 되고, 용존망간의 형태로 존재함을 알 수 있다. 이후 고도정수처리공정인 오존에 의한 산화로 용존망간이 산화되어 입자성망간으로 변화되면서 입자성망간의 농도는 증가, 용존망간의 농도는 급격히 감소되었고, 활성탄 공정을 거치면서 입자성망간의 대부분이 제거됨을 알 수 있다.

Table 4. Dissolved manganese concentration and removal rate of advanced water treatment processes

(unit : mg/L)

Items	Raw water	Precipitate water	Filtration water	Ozone water	Activated carbon water	Purification water
First week	0.073	0.056	0.054	0.016	0.010	0.006
Second week	0.154	0.141	0.135	0.018	0.017	0.011
Third week	0.110	0.100	0.043	0.015	N.D.	N.D.
Forth week	0.065	0.056	0.054	0.017	0.010	0.001
Average	0.101	0.088	0.072	0.017	0.009	0.005
Removal rate(%)	—	12.2	28.9	83.6	90.8	95.5

나. 탁도 감소율

용존망간의 제거는 오존처리 및 활성탄 공정에서 약 90%이상 이루어졌지만, 용존망간의 산화로 발생하는 이산화망간(입자성망간) 입자에 의한 탁도가 활성탄 공정에서 완벽히 감소되지 못함에 따라 고도정수처리 공정 운영의 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 활성탄 공정은 종래의 급속 여과에 의한 현탁성 성분을 제거하는 것이 아니라 활성탄 내부의 무수한 세공들을 이용하여 흡착 가능한 유해물질들을 제거하는 것으로서 주로 용해성 성분을 제거하는 기능을 가지고 있으므로, 오존처리수에 의해 유발된 탁도의 제거 기능이 약해 고농도의 망간 유입시 활성탄처리수의 탁도가 기준치인 0.5 NTU를 일시적으로 초과할 가능성이 나타났다.

탁도 감소율(Table 5, Fig. 5)을 살펴보면 고농도의 용존망간 유입시 여과수의 평균탁도는 0.10 NTU로 양호하였으나, 고도정수처리공정인 오존처리 후 용존망간이 산화되면서 이산화망간 입자에 의해 유발된 탁도가 평균 1.12 NTU로 매우 높아진 것을 알 수 있다. 또한 활성탄처리수의 탁도는 평균 0.37 NTU로 고도정수처리공정에서 평균 탁도 감소율은 66.6%로 낮았으며, 일시적으로 용존망간의 농도가 더 높게 유입될 경우에는 활성탄처리수의 탁도가 0.5 NTU를 넘게 되어 정수에서의 수질기준을 초과할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 5. Turbidity decrease rate of advanced water treatment

(unit : NTU*)

Items	Filtration water	Ozone water	Activated carbon water	Decrease rate (%)
First week	0.12	1.34	0.31	76.9
Second week	0.10	1.27	0.45	64.6
Third week	0.11	1.09	0.39	64.2
Fourth week	0.08	0.76	0.34	55.3
Average	0.10	1.12	0.37	66.6

* NTU(Nephelometric Turbidity Unit)

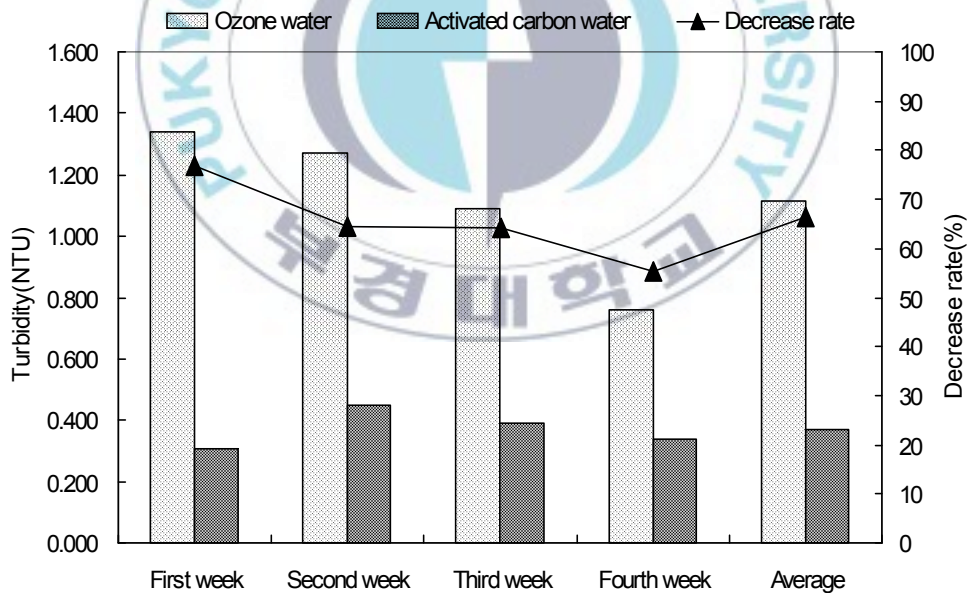


Fig. 5. Turbidity decrease rate of advanced water treatment.

2) 직접여과법

상반기인 5월 고농도의 망간 유입시 고도정수처리공정에서의 낮은 망간 제거율 및 탁도 유발로 인한 정수공정처리에 대처하기 위해 하반기 10월 고농도의 망간 유입시 오존처리수의 수질이 비교적 저탁도인 것을 이용해 오존처리수(활성탄유입수)에 응집제인 폴리아민(polyamine)을 투입하는 직접여과법으로 활성탄처리수의 탁도를 낮추고자 하였다. 투입량은 0.5 mg/L 이하로 적용하였다.

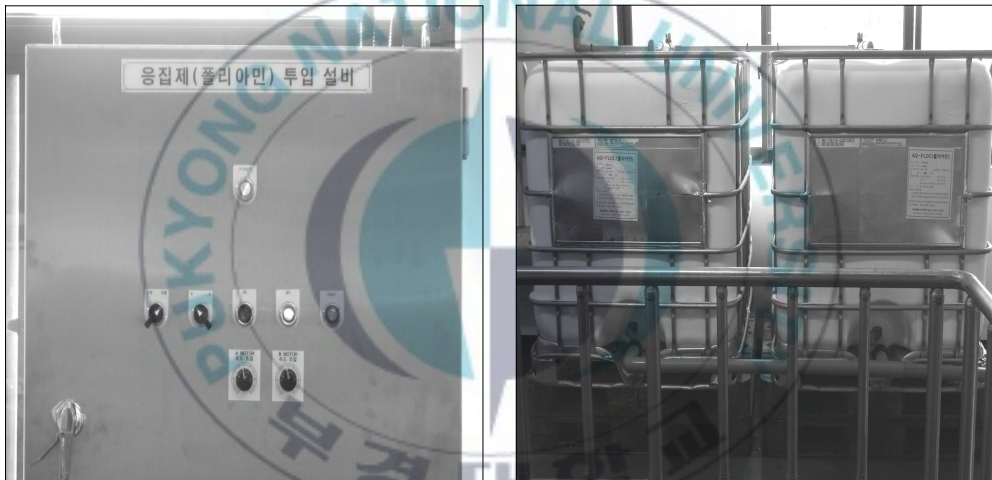


Fig. 6. Equipment for input polyamine.

가. 망간 제거율

공정별 망간 농도 및 제거율(Fig. 7)을 살펴보면 총망간은 침전수에서 22.5%가 제거되었고, 여과수에서 41.8%, 오존처리수에서는 45.2%로 5월과 큰 차이가 없었으나, 오존처리수에 직접여과법을 적용한 후 활성탄 처리수에서는 총망간 제거율이 93.1%, 정수에서 97.1%의 제거율로 적용 전과 비교해 각각 9%와 8%가 증가한 것을 알 수 있었다.

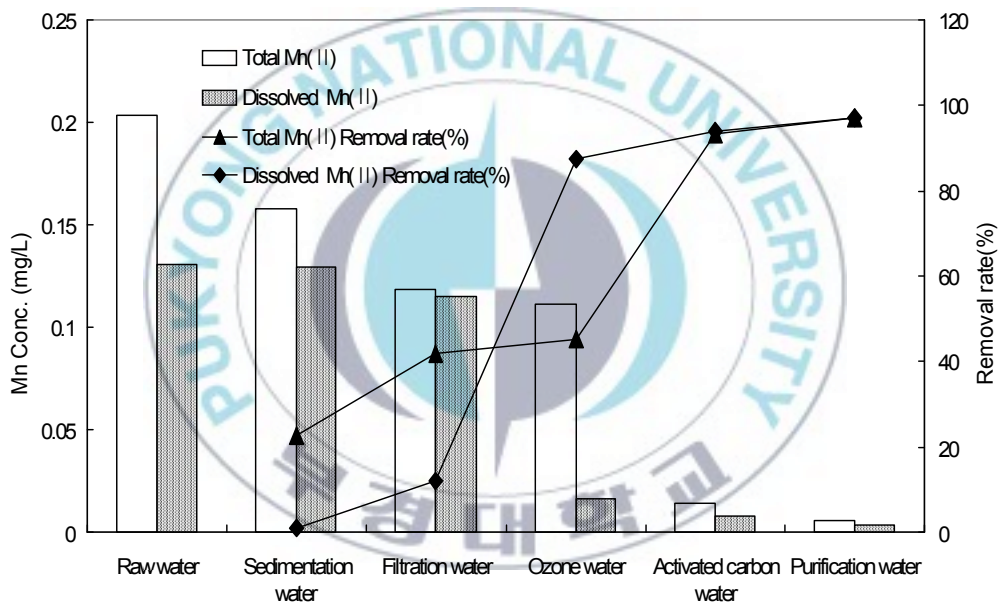


Fig. 7. Mn(II) concentration and removal rate characteristics of direct filtration.

용존망간 제거율에 대한 공정처리 결과(Table 6)를 살펴보면 침전수에서는 1.1%, 여과수에서 12.0%로 제거율이 매우 낮은 것을 알 수 있었다. 그러나 오존처리수에서 87.4%, 활성탄처리수에서 94.1%, 정수에서는 97.1%로 역시 대부분 고도정수처리공정인 오존에 의한 산화 및 활성탄 공정에 의해 제거되는 것이 확인되었다.

Table 6. Dissolved manganese concentration and removal rate of direct filtration

(unit : mg/L)

Items	Raw water	Precipitate water	Filtration water	Ozone water	Activated carbon water*	Purification water
First week	0.062	0.066	0.087	0.009	N.D.	0.005
Second week	0.142	0.135	0.134	0.023	0.010	0.003
Third week	0.188	0.167	0.148	0.011	0.011	0.007
Forth week	0.132	0.150	0.092	0.023	0.010	N.D.
Average	0.131	0.130	0.115	0.017	0.008	0.004
Removal rate(%)	—	1.1	12.0	87.4	94.1	97.1

* Activated carbon water after addition of polyamine below 0.5 mg/L

나. 탁도 감소율

탁도 감소율(Table 7, Fig. 8)을 살펴보면 고농도의 용존망간 유입시 여과수의 평균탁도는 0.13 NTU로 양호하였으나, 고도정수처리공정인 오존처리 후 평균 탁도가 0.86 NTU으로 매우 높아졌다. 그러나 오존처리에 응집제인 폴리아민을 투입하는 직접여과법 적용 후 활성탄흡착지에서의 평균 탁도가 0.12 NTU 로 탁도 감소율이 고도정수처리공정의 평균 66.6%에서 직접여과법 적용 후 평균 86.5%로 크게 향상되었음을 알 수 있다. 이것은 직접여과법에 의해 micro-floc이 형성되어 일반여과지에서처럼 활성탄흡착지에서의 체거름 작용을 가능하게 하여 탁도를 감소시킨 것으로 판단된다. 따라서 이것은 폴리아민에 의한 직접여과법이 탁도 감소에 효과가 높음을 증명하며, 고농도의 용존망간 유입 시에도 탁도의 영향을 받지 않고 충분히 오존산화를 실시하여 급배수과정에서의 흑수를 원천적으로 제거할 수 있다고 판단되었다.

Table 7. Turbidity decrease rate of direct filtration

Items	Filtration water	Ozone water	Activated carbon water	Decrease rate (%)
First week	0.12	0.56	0.11	80.4
Second week	0.13	1.00	0.11	89.0
Third week	0.12	1.11	0.13	88.3
Fourth week	0.13	0.75	0.11	85.3
Average	0.13	0.86	0.12	86.5

* NTU(Nephelometric Turbidity Unit)

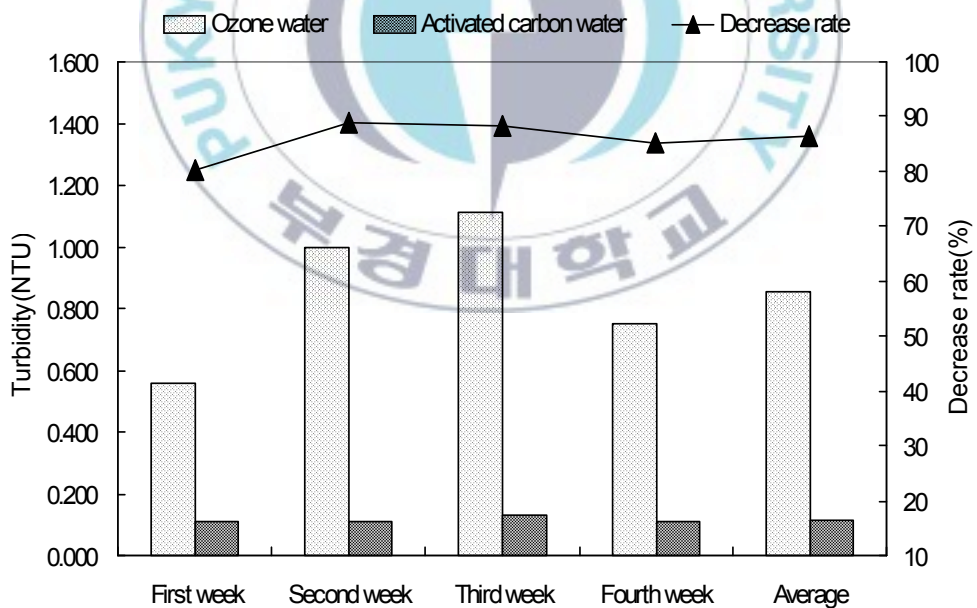


Fig. 8. Turbidity decrease rate of direct filtration.

3) 정수처리공정에 따른 망간 제거율과 탁도 감소율 비교

가. 망간 제거율

총망간 제거율을 고도정수처리공정에서와 직접여과법 후로 비교해 보면(Fig. 9), 오존처리수에서는 큰 차이가 없이 거의 비슷한 것을 알 수 있으나, 활성탄처리수에서의 총망간 제거율은 각각 84.5%와 93.1%로 약 9% 향상되었고, 정수에서의 총망간 제거율은 각각 89.0%와 97.1%로 약 8% 향상된 것으로 나타났다.

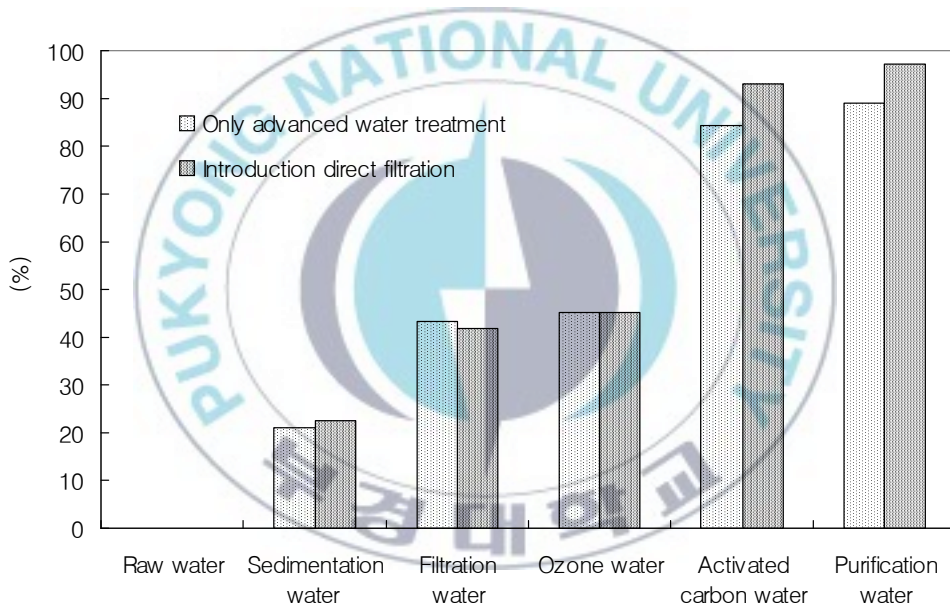


Fig. 9. Total Mn(II) removal rate in advanced water treatment and direct filtration.

용존망간 제거율을 고도정수처리공정에서와 직접여과법 후로 비교해보면(Fig. 10), 오존처리수에서는 각각 83.6%와 87.4%, 활성탄처리수에서는 각각 90.8%와 94.1%, 정수에서는 각각 95.5%와 97.1%로 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

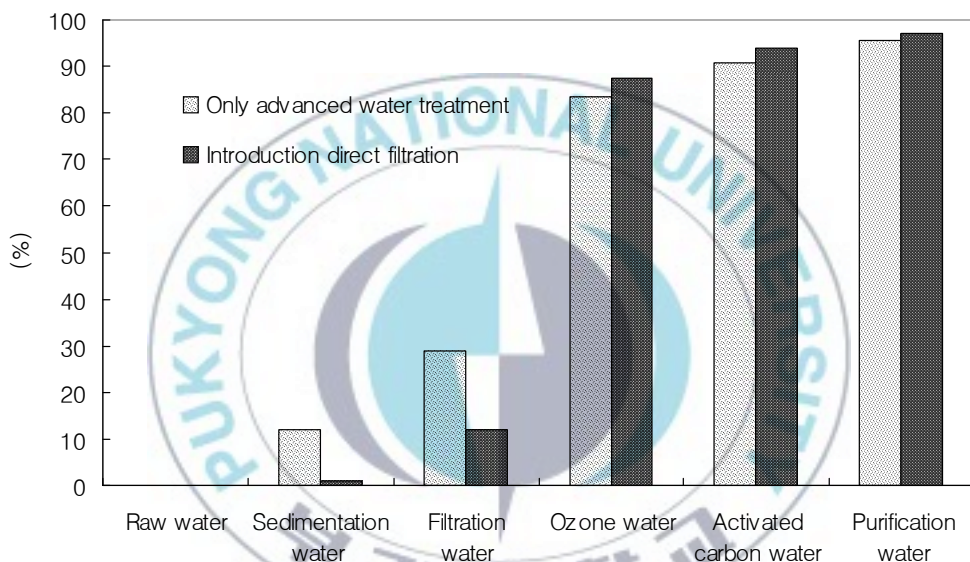


Fig. 10. Dissolved Mn(II) removal rate in advanced water treatment and direct filtration.

나. 탁도 감소율

탁도 감소율을 고도정수처리공정과 직접여과법 후로 비교해보면 (Fig. 11) 활성탄처리수는 각각 66.6%와 86.5%였으며, 정수에서는 각각 68.6%와 89.8%로 직접여과법 도입 후 평균 20%정도 탁도가 더 감소되었음을 알 수 있고, 이로 인해 직접여과법의 도입은 탁도의 저감에 효과가 높다고 할 수 있다.



Fig. 11. Turbidity decrease rate in advanced water treatment and direct filtration.

IV. 요약

본 연구의 대상인 울산의 HY 정수장은 1999년 이후부터 고도정수처리 공정을 도입하여 정수 처리를 하고 있다. 그러나 최근 봄과 가을에 망간이 고농도로 유입되면서 망간 제거에 어려움을 겪었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 고도정수처리공정에 직접여과법을 도입하였다. 직접여과를 위해 오존처리수(활성탄유입수)에 응집제인 폴리아민을 0.5mg/L 이하로 넣어 활성탄에서의 체거름 기능을 가능하게 하였다.

이 연구를 위해 2008년 1월부터 12월에 걸쳐 망간 유입 농도를 조사하고, 고도정수처리공정과 직접여과법에서의 망간 제거율과 탁도 감소율을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 망간은 5월과 10월에 고농도로 유입되었으며 망간 농도 측정 결과의 범위는 0.005 mg/L에서 0.297 mg/L였고, 평균은 0.055 mg/L 였으며 봄과 가을에 망간의 농도가 높아지는 것을 알 수 있었다.
2. 총망간의 제거율은 고도정수처리공정에서는 84.5%, 직접여과법에서는 93.1%로 약 9% 정도 향상된 것을 알 수 있었다.
3. 용존망간의 제거율은 고도정수처리공정에서 90.8%, 직접여과법에서는 94.1%로 약 3% 정도 향상된 것으로 나타났으나 이것은 오존의 산화력 차이로 직접여과법에 의한 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.
4. 탁도의 감소율은 고도정수처리공정에서 66.6%로 낮았으나, 직접여과법에서는 86.5%로 약 20% 정도 크게 향상되었다.

따라서 향후 정수장에 고농도의 망간이 유입될 시에 고도정수처리공정에서의 직접여과법의 도입은 망간의 제거와 망간에 의해 유발된 탁도의 저감에 효과가 있을 것으로 판단된다.



V. 감사의 글

어느덧 시간이 흘러 한편의 논문이 완성되었습니다. 먼저 부족한 저에게 항상 많은 관심으로 지도를 해주신 이명숙 교수님께 깊이 감사드립니다.

그리고 바쁘신 가운데 저의 논문을 살펴주신 최태진 교수님과 김군도 교수님께 감사드립니다. 또한 많은 가르침을 주셨던 김영태 교수님, 이훈구 교수님, 김진상 교수님, 송영환 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

회사생활과 대학원생활을 병행하느라 늘 모자람이 많았을 저에게 많은 도움을 주신 수질연구소 소장님과 팀장님 그리고 다른 모든 분들께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

정수장에 있던 시절 부족한 저 때문에 많이 고생하셨음에도, 한번도 질책하지 않으시고 세심하게 가르치며 이끌어주신 김대영 실장님과 김영민 선생님 감사합니다.

울산에서의 낯선 생활에 적응하느라 힘들었을 때 회사 동료 이상으로 많은 도움을 주고 걱정해주었던 혜진씨 정말로 감사합니다.

혼자 많이 힘들어 할 때 늘 격려해주었던 친구 혜영이, 대학원 다니는 동안 많은 의지가 되어주었던 동기 심경숙 선생님, 손민영 선생님, 최선미 선생님, 그리고 같은 실험실 치송씨, 경란이에게 항상 도움만 받아서 미안하고도 고맙습니다.

그리고, 회사생활과 대학원생활로 항상 바쁜 딸 챙기느라 고생 많으셨던 우리엄마 정말로 고마웠고 지금도 늘 고맙습니다.

마지막으로 항상 묵묵히 나의 버팀목이 되어주었던 사랑하는 나의 신랑과 태교 한 번 제대로 못해준 못난 엄마를 두게 된, 곧 태어날 사랑스런 우리 아기에게 감사한 마음을 전하며 이 조그마한 결실을 바칩니다.

VI. 참고문헌

- 1) 환경부, 1997, “기존 정수장 효율 향상 기술, 2차년도”
- 2) 문성민, 최승일, 손진식, 윤제용, 2004, “국내 고도정수처리 공정에서 공정별 처리효율 조사”, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2004 공동 추계학술발표회 논문집
- 3) 한국건설기술연구원, 1995, “고도정수처리시스템 개발 Vol. 1”
- 4) 오현제, 1998, “우리나라 실정에 적합한 고도정수처리기술의 개발과 활용”, 한국건설기술연구원
- 5) 이성우, 이현동, 한명호, 곽동희, 김충환, 2003, “고도상수처리”, 동화기술
- 6) 한국수자원공사 수도관리처, 2005, “철 · 망간 제어 매뉴얼”
- 7) 김진근, 정상기, 김종숙, 박세진, 2005, “상수처리에서 망간 제거”, 상하수도학회지, Vol. 19, No. 5, pp. 595-604
- 8) Kawamura, S., 2000, "Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 523-527
- 9) WHO(한무영역), 1993, "Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd, Ed., pp.64-65, 147
- 10) 일본수도협회, 2000, 수도시설설계지침
- 11) Williams, R.B. and Culp, G.L.(1986) Handbook of Public Water System, Van Nostrand Reingold Company, New York, pp.633-644
- 12) 정성욱, 이진필, 김학성, 2001, “정수공정에서 산화 및 여과에 의한 망간 제거”, 대한환경공학회지, Vol. 23, No. 4, pp. 661-669
- 13) Raymond D. Letterman, Water Quality & Treatment : A Handbook

of Community Water Supplies 5thed., American Water Works Association., McGraw-Hill, Inc., 1999

- 14) John E. Van Benschoten and Wel Lin, "Kinetic Modeling of Manganese(II) Oxidation by Chlorine Dioxide and Potassium Permanganate", *Environ. Sci. Technol.*, 26(7), pp. 1327-1333. 1992
- 15) Sommerfeld, E.O., 1997, "Iron and Manganese Removal Handbook", AWWA, Cenvr. pp. 13-92
- 16) 한국수자원공사 수자원 연구원, 2004, "DAF 적용 정수장의 선진 정수 기술 최적화 방안"
- 17) Comittee Report, 1980, "The Status of Direct Filtration", Jour, AWWA 72(7), 405-411
- 18) 안종호, 채선하, 이동주, 2000, "직접여과공정을 위한 전처리공정의 제어 및 여과효율 평가", 대한환경공학회 Vol.22, No. 9, pp. 1637-1650
- 19) 이태관, 1993, 기술현황 분석 보고서 "직접여과법", 한국환경정책·평가 연구원
- 20) 한국상하수도협회, 2007, "정수시설운영관리사"
- 21) 장성웅, 2001, "유기고분자 응집제(폴리아민)개발 및 상용화"