

최적 고도정수처리공정 선정을 위한 경제성 평가

Cost Evaluation for the Decision of Advanced Treatment Processes

이경혁¹ · 신흥섭² · 안효원³ · 채선하¹ · 임재림^{1*}

Lee Kyung-Hyuk¹ · Shin Heung-Sup² · Chae Sun-Ha³ · An Hyo-Won¹ · Lim Jae-Lim^{1*}

1 한국수자원공사 수자원연구원, 2 한국종합엔지니어링, 3 한국수자원공사 수도권건설단

(2008년 7월 29일 접수; 2008년 9월 19일 수정; 2008년 9월 23일 채택)

Abstract

Since 1989, Advanced drinking water treatment processes began to build in Korea, especially the water treatment plants around the Nak-dong river stream due to sequential pollutant accidents. Moreover, Advanced drinking water treatment processes, ozone and GAC, are again to be built in water treatment plants around Han-river stream to control taste and odor, micro pollutants. However, there are still a lot of discussion to decide the processes to apply for advanced treatment. Thus there are still need to understand clearly on the cost evaluation of each advanced treatment processes. The cost evaluation was accomplished based on the data of six water treatment plants which are currently being either operating or constructing. Exceptionally, PAC(Powdered Activated Carbon) process was evaluated with cost estimation from construction company. The capital cost per unit volume of ozone process was significantly decreased as the treatment capacity increased. The capital cost was in the order of GAC, ozone and GAC. The operation cost decreased in the order of PAC, GAC and ozone. The total cost considering present value shows that ozone process covers 84% of ozone and GAC process for 30,000 m³/d capacity while it covers less than 35% for over 140 thousands m³/d capacity. Comparing GAC only, and ozone/GAC process, ozone/GAC process is more cost effective for high capacity water treatment plant.

Key words : PAC(Powdered Activated Carbon), Ozone, GAC(Granular Activated Carbon), Cost Analysis

주 제 어 : 고도정수처리, 분말활성탄, 오존, 입상 활성탄, 비용 분석

1. 서론

국내 고도정수처리 공정은 1989년 부산 화명정수장의 오존 공정, 이후 1994년 활성탄 공정의 도입으로 시작되었다. 이후 낙동강 지역을 중심으로 발생된 수질 사고의 여파로 환

경부에서는 1997년까지 15조 1165억을 투자하여 수질 개선의 일환으로 고도처리 공정에 대한 연구 및 시설 투자를 집중해왔다. 그 결과 국내의 낙동강 지역을 중심으로 17개 정수장에 고도처리 공정이 운영되고 있다(윤 등, 2005). 최근에는 환경 호르몬 등의 미량 유해물질, 병원생 미생물 등의

유해 물질의 제어와 수돗물에서 발생하는 맛·냄새의 민원 문제 해결을 위하여 수도권 지역으로 중심으로 다시 고도 처리 공정의 도입을 계획, 건설 및 운영 중인 정수장이 증가하여 향후 수년 이내에 고도처리 공정 운영 정수장은 25개소를 상회할 것으로 예상된다(윤, 2003).

향후 고도처리 공정 도입 정수장을 위해 장기간의 현장 운영 결과와 Pilot Plant의 운영 결과 등을 바탕으로 공정 선정을 위한 노력이 진행되고 있지만 명백하게 공정 선정의 결정을 내리기는 쉽지 않다. 이는 고도처리의 도입 목적이 단순한 수질 기준 만족 차원을 넘어서 사회적 수준과 요구에 부합하기 위한 것이기 때문이다. 따라서 공정 선정에는 단순한 처리 효율 뿐 만 아니라 사회적 여건, 경제성 등의 여러 요인들이 복잡하게 작용한다. 본 연구에서는 과거 20년 동안 고도 처리 공정이 도입, 운영되고 있으나, 그 간의 축적된 경험과 자료가 정리되어 활용할 수 있는 기회가 적었다. 특히 고도처리공정 도입을 위한 의사결정을 지원하기 위해서는 예비적인 경제성 평가(pre-feasibility study)가 필요하나 이러한 자료가 부족하므로 각 고도 처리 공정에 대한 경제성 분석 자료를 제시하고 경제성 측면에서의 고도처리 공정 선정 방안에 대해 제시 하고자 한다.

2. 경제성 평가조건

2.1. 고도처리 공정 공사비용 산출

우리나라의 수도법에서 고도처리 공정이라 함은 기존의 혼화, 응집, 침전, 여과 공정에 의해 제거되지 않은 물질을 제거하기 위해 추가적으로 설치하는 공정으로 명칭되고 있다. 본 연구에서는 여러 공정이 고도처리 공정으로 도입이 가능하지만 대표적인 공정한 분말활성탄(PAC), 오존, 입상활성탄(GAC) 공정에 대한 비용분석을 수행하였다. 단위공정별 비용분석(cost analysis)을 위해서는 초기투자비(공사비)와 운영 및 유지관리비를 고려하여야 한다. 따라서 객관적 자료를 확보하기 위해 최근 한국수자원공사와 서울시 등에서 고도처리공정으로 오존+활성탄 또는 활성탄 공정을 도입한 사례를 정수처리 용량별로 수집하였다. 비록 각 정수장별로 도입 목적 및 현장여건에 따른 설비 및 토목 공사 비용 등에서 편차가 있을 수 있으나 단위공정의 설계기준은 유사한 범위에 있으므로 고도처리공정 공사비도 예비적인 경제성 평가(pre-feasibility study)의 목적을 감안할 때 실용

Table 1. 시설 용량별 분말 활성탄 공정 공사비용

용량(만 ³ /일)	5	10	20	50	100
공사비(백만원)	996	1,141	1,921	3,138	5,104

적으로 활용 가능한 범위일 것으로 가정하여 비교하였다. 또한, 공사비는 설계가로 조사하였으며 동일 조건을 유지하기 위해 2007년 말을 기준으로 비용을 환산하여 적용하였으며 생산자물가지수를 비교하여 물가 상승을 고려하였다.

분말활성탄 공정의 경우 일반적으로 분말활성탄 공정만을 단독 공정으로 도입한 경우는 많지 않으므로 실제 공사비 산출이 어려워, Table 2에 나타난 바와 같이 설계 공사비를 산출하기 위하여 접촉조 토목공사 비용(체류 시간 20분), 투입 설비 및 저장 설비(Silo 및 투입기)로 구성된 공사비를 관련 업체로부터 견적을 받아 적용하였다. 분말 활성탄을 상시 투입할 경우는 Silo에 bulk로 저장하여 투입하는 것이 바람직하다. 따라서 비용분석에는 이러한 Silo 설비를 설치하는 것으로 가정하였다. 또한 처리효율을 확보하기 위해서는 접촉조가 필요하므로 분말활성탄 접촉조를 별도로 건설하는 경우의 공사비를 고려하였다.

Table 2에서는 본 경제성 평가에 적용된 6개 정수장의 설계 연도 및 시설 용량, 그리고 오존과 입상활성탄 공정의 공사비를 나타내었다. 공사비는 구조물, 부지정비, 기초 등 토목공사비와 활성탄 여과지 상옥, 오존 접촉조를 포함한 설비 등 건축공사비, 오존설비, 역세척설비 등 기계설비 공사비와 기타 전기 및 계측제어설비 공사비가 포함된다.

일반적으로 고도처리공정만 정수장에 독립적으로 도입되는 것이 아니라, 전체 정수처리공정에 일부 단위공정으로 설치되므로 부대공사비는 고도처리시설만 분리하여 산정하기가 매우 어렵다. 따라서 부대시설 공사비는 고도처리시설 공사비의 일정 비율(20%)을 일괄적으로 적용하였다. 또한 활성탄여과지의 상옥은 여과지 전체에 설치된 경우와 여과지 일부에 상옥이 설치된 경우가 있어, 건축공사비의 일관성 있는 비교를 위해 모두 상옥이 활성탄여과지 전체에 설치된 것으로 수정하여 공사비를 조정하였다. 입상활성탄 공정은 활성탄 여과지(접촉조), 역세척 설비 및 이와 관련된 건축물 등으로 구성되며, 이 중에서 여과지 공사비가 전체 공사비의 상당 부분을 차지한다. 여과지 공사비는 바닥면적과 구조물 깊이에 영향을 받으나 바닥 면적에 따른 공사비 변동이 더 크게 나타난다.

Table 2. 국내 6개 정수장의 고도처리 공정 공사비용

구 분	A 정수장 (2005년)	B 정수장 (2001년)	C 정수장 (1999년)	D 정수장 (2004)	E 정수장 (2004년)	F 정수장 (2007년)
시설용량 (천 ³ /일)	27	144	200	190	350	786
오존 공정 공사비(백만원)	4,471	6,466	7,827	5,459	8,4321	5,929
입상활성탄 공정 공사비(백만원)	4,079	13,994	21,617	26,258	29,996	59,375

2.2. 분말활성탄 공정 운영 비용 산출

분말활성탄 공정의 운영비용 산출조건은 분말활성탄의 주입량 20mg/L, 접촉시간 20분으로 선정하였다. 분말활성탄 공정의 운영비용 구성 항목은 분말활성탄 구입비용(1.1천원/kg), 투입설비 전력비 등이 포함된다. 그러나 전력비용(65원/kWh)은 분말활성탄 구입비용에 비해 미미하므로 고려하지 않았다. 운영인력에 대한 인건비가 운영비에 포함될 수 있으나 오존, 활성탄 등 고도처리공정의 경우 응집, 침전, 여과, 소독 등 표준적 정수처리공정에 부가되는 공정으로 기존 인력으로 운영하는 것으로 가정하여 별도로 고려하지는 않았다. 따라서 분말 활성탄 공정의 운영비용은 다음 식(1)과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{운영비(원/m}^3\text{)} = 1.1\text{천원/kg} \times \text{주입 농도 (kg/m}^3\text{)} \times \text{생산량Q (m}^3\text{/년)} \quad (1)$$

이렇게 계산된 운영비용을 시설 평균가동율 75%로 20년간 운영하였을 때의 현가로 환산하여 분석하였다. 적용된 현재가계수는 다음 식(2)에 의해 13(할인율 4.5%, 운영기간 20년)으로 계산되었다.

Present worth factor :

$$\text{PWF} = \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} = \frac{(1+0.045)^{20} - 1}{0.045(1+0.045)^{20}} = 13.0 \quad (2)$$

2.3. 오존 공정 운영비용 산출

오존공정은 오존발생 및 주입설비, 오존접촉조 등으로 구성된다. 1990년대 부산, 대구시 등에 도입된 오존설비는 공기식 설비이나 최근에는 대부분 순산소식 설비로 계획되며 조사된 사례도 정수장 한 곳을 제외하고는 모두 순산소식이다. 오존설비는 시설용량과 오존 주입률에 따라 오존발생기의 설치대수, 예비설비의 확보 등으로 공사비에 차이가 있을

Table 3. 오존 공정 운영 인자

오존설비 형식	순산소식(1개 정수장은 공기공급식)
오존발생 농도	12%
오존 주입율	1~2mg/l
접촉조 체류시간	15~20min
오존 접촉방식	side stream 인젝터 또는 산기관 방식

Table 4. 오존 공정의 운영비 산출

구 분	연간 운영 및 관리 비용 산출식
LOX 비용	= 135원/kg(순산소 구입비) × 평균오존주입율(kg/m ³) × 생산량Q(m ³ /년) ÷ 오존발생농도 (10~12%)
전력 비용	= 65원/kWh(전력비) × 생산량Q(m ³ /년) × 0.015kWh/m ³ (오존발생기+주입설비 전력원단위)
소모품 및 수선유지비용	= 오존 설비비의 1.5%/년

수 있다. 하지만 원수 수질조건과 도입 목적이 다른 경우에도 설계기준은 크게 다르지 않으므로 경제성 분석에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 조사된 정수장에 대한 운영 인자 인자는 다음 Table 3과 같으며, 이를 운영비용 계산에 적용하였다.

운영비용을 구성하는 항목은 Table 4와 같이 원료가스(액체산소) 구입비, 전력비 및 소모품과 수선유지비 등이 포함된다. 오존 공정의 경우 역시 별도의 인건비는 고려하지 않았다. 그 밖의 운영 가동률 및 현재 계수는 분말활성탄 공정의 조건과 동일하게 계산하였다.

2.4. 입상활성탄 공정 운영비용 산출

활성탄 여과지의 설계인자로 공담체류시간(EBCT)과 선속도가 바닥면적과 구조물 깊이에 영향을 미치나, 바닥면적은 주로 선속도(여과속도)의 영향을 받고, 구조물 깊이는 주로 EBCT에 영향을 받는다. 하지만 원수 수질조건과 도입 목적이 다른 경우에도 설계기준은 크게 다르지 않으므로 경제성 평가에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 운영 인자는 접촉시간(EBCT) 15분, 선속도 240~360m/day로 결정 하였다.

운영비용 구성 항목은 Table 5에 나타난 바와 같이 활성탄 재생비용, 재생 과정상의 활성탄 손실(회수율 85~90%)로 인한 보충탄(make-up carbon) 구입비, 역세척 공정 운영비 등이 포함된다. 운영인력은 오존 공정과 동일하게 별도로 포함시키지 않았다. 또한 현재 환산 역시 오존 공정과 동일하게 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분말활성탄 공정

앞서 제시한 설계기준 범위에서 계획된 분말활성탄 공정의 단위 처리 물량(m³)당 공사비는 Fig. 1과 같이 지수함수로 나타난다. 따라서 일정 규모 이상의 정수장에서 분말활성탄의 단위 공사비는 완만하게 감소하는 것으로 나타났다.

예를 들어 20만m³/일의 분말활성탄 시설에서 분말활성탄

Table 5. 입상활성탄 공정의 운영비 산출

구 분	연간 운영 및 관리 비용 산출식
재생비용	= 160천원/m ³ (단가) × 생산량Q(m ³ /분) × EBCT ÷ 재생주기
GAC 반출입 및 운반비용	= 140천원/m ³ (단가) × 생산량Q(m ³ /분) × EBCT ÷ 재생주기
보충탄 보충비	= 1,400천원/m ³ (단가) × (1-회수율) × 생산량Q(m ³ /분) × EBCT ÷ 재생주기
역세척 공정 운영비	= 활성탄여과지 지수 × 225천원(역세척 O&M비용)/지/년 ※역세척 O&M비용 : 역세척 수량 + 전력비

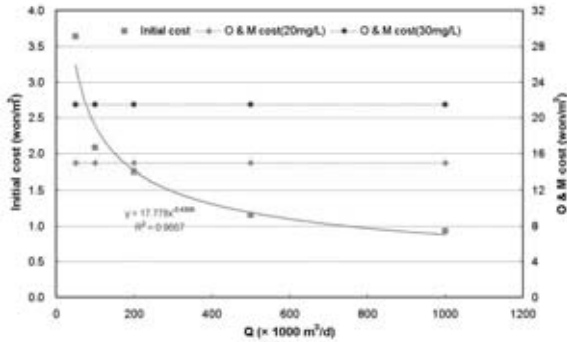


Fig. 1. Cost Estimation (Initial and O&M Cost) for PAC process.

20mg/L를 투입하여 운영할 경우 분말활성탄 공정 도입에 따른 m^3 당 초기투자비(초기투자비÷시설용량)와 m^3 당 운영비(운영비 현가÷생산량)는 각각 1.8원/ m^3 및 15.0원/ m^3 으로 나타나며, 100만 m^3 /일 규모의 분말활성탄 시설은 초기투자비와 운영비 현가는 각각 0.93원/ m^3 및 15.0원/ m^3 , 이때 투자비와 운영비용을 고려한 총비용(총현가)은 15.93원/ m^3 으로 나타났다. 분말활성탄 공정의 경우 시설 투자비에 비해 운영비가 상당히 높아 처리 물량당 총비용의 경우 시설 용량 차이에 의해 받는 영향이 적은 것으로 나타났다. 분말 활성탄 운영비용의 경우 분말 활성탄 투입 농도를 20mg/L에서 30mg/L로 증가시킬 경우 운영비는 21.5원까지 높아져 100만 m^3 /일 규모의 활성탄 공정의 총비용은 22.4원/ m^3 까지 약 1.4배 상승하는 것을 알 수 있다. 분말 활성탄의 운영비용은 분말활성탄 비용이므로 처리 시설의 증가에 따라 단위 물량당 운영비용은 변함이 없는 특성을 나타내고 있다.

3.2. 오존 공정

오존 공정의 단위 처리 물량(m^3) 당 초기 투자비 역시 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 시설 용량에 대해 지수 함수적으로 감소하는 것으로 나타났다. 오존설비 비용은 다른 고도처리 공정에 비해서 시설 용량의 증가에 따른 초기 투자비용의 감소가 커서 시설용량이 적은 경우 단위 처리 물량 당 시설 투자비는 급격하게 상승한다. 그러나 일정 시설용량 이상에서는 단위 처리 물량(m^3) 당 투자비의 감소 정도는 매우 완만하여 처리 물량 차이에 따른 초기 투자비는 크게 차이 나지 않는 것으로 나타났다. 이는 토목 비용보다는 설비 시설비용이 크게 차지하는 오존 공정의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

20만 m^3 /일의 오존시설일 경우 평균가동률 75% 기준으로 오존공정 도입에 따른 m^3 당 초기투자비와 운영비(오존 1mg/L 주입) 현가는 각각 6.9원/ m^3 및 1.7원/ m^3 으로 나타났다. 반면 80만 m^3 /일 규모의 오존시설에서는 초기투자비는 급격히 감소하여 2.8원/ m^3 까지 감소하며, 운영비는 1.6원/ m^3 으로 소폭 감소하는 경향을 나타내었다.

오존 1 mg/L, 2 mg/L 운영 시 각각의 운영비용은 처리 시

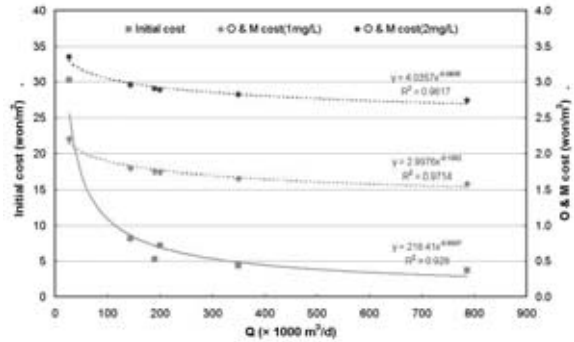


Fig. 2. Cost Estimation (Initial and O&M Cost) for ozone process.

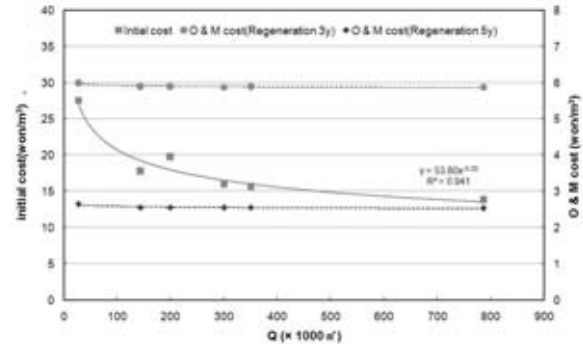


Fig. 3. Cost Estimation (Initial and O&M Cost) for GAC process.

설 물량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 기존 시설의 수선유지비용(방전판 교체, 오존 분석기 수리 비용 등)이 시설 용량 증가에 비례적으로 증가하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

3.3. 입상활성탄 공정

활성탄 여과시설의 단위 처리 물량(m^3)당 시설 투자비 및 운영비용을 Fig 3.에 나타내었다. 입상 활성탄 공정 역시 초기 투자비의 경우 처리 물량의 증가에 따라 지수 함수적으로 감소하는 것으로 나타났다. 오존 공정과 달리 입상 활성탄의 초기투자비는 설비비용보다 활성탄 여과지 토목비용이 상대적으로 커서 단위 물량(m^3)당 초기 투자비의 감소 정도가 크지 않음을 알 수 있다. 따라서 20만 m^3 /일의 입상 활성탄 시설일 경우 평균가동률 75% 기준으로 m^3 당 초기투자비와 운영비 현가는 각각 18.0원/ m^3 및 5.9원/ m^3 (3년 주기 재생), 총비용(총 현가)은 23.9원/ m^3 으로 계산되었다. 활성탄 공정의 단위 물량(m^3)당 운영비용은 시설용량에 따라 큰 차이를 보이지 않고 일정한 것을 알 수 있었다. 이는 운영비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 재생비용 및 재생에 따른 손실탄 보충비용이 단위 처리 물량에 비례하기 때문으로 판단된다.

Fig. 3에서 나타난바와 같이 활성탄 재생 주기가 각각 3년과 5년일 때 운영비용은 각각 5.9원/ m^3 , 2.5원/ m^3 으로 재생 주기가 길어질수록 운영비용이 큰 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다.

3.4. 고도처리공정 비용 분석

현재까지 국내 정수장에 적용된 고도처리 공정은 오존/활성탄공정이 가장 일반적으로 운영되고 있으며, 일부 정수장에서 활성탄 단독 공정만을 적용하고 있다. 따라서 이 두 공정에 대한 경제성 평가를 수행하고, 재생 주기 차이에 따른 경제성을 비교 분석 하였다.

다음 Table 6에서는 앞서 나타난 Fig. 2과 Fig. 3의 결과를 바탕으로 처리 물량 규모에 따른 오존, 활성탄 공정의 초기 투자비 및 운영비용을 비교하여 나타내었다. 30천 m³/일 처리 규모의 시설에서 오존 공정은 활성탄 공정보다 공사비용이 높은 것으로 나타났으나, 이보다 큰 규모에서는 고도처리 공정의 총 공사비용 중 오존 공정에 해당하는 공사비용의 비율이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 300천 m³/일 이상에서 오존 공정의 공사비 비율은 약 20~22%로 대규모 시설에서는 활성탄 공정의 공사비가 78~80% 정도로 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

운영비용 측면에서는 오존의 경우 시설 용량이 커지면서 감소하는 경향을 나타내나 활성탄 공정의 경우 시설 용량과 관계없이 일정하게 나타나므로 결국 시설 규모에 따른 고도처리 공정 운영비용은 오존 공정의 운영비용에 의해 결정 되는 것을 알 수 있다. 전체 고도처리 공정의 운영비용중 오존 공정의 운영비는 시설 규모 30천 m³/일에서 800천 m³/일 규모 사이에서 약 21~27%를 차지하는 것으로 나타났다. 결국 고도처리 공정 전체 운영비용은 약 7.4~8.0원/m³의 범위를 나타내었다.

다음 Fig. 4에서는 오존과 활성탄공정의 도입이 고려될 경우 활성탄의 재생 주기에 따른 비용을 비교하기 위하여 공정별 20년 현가를 고려하여 초기 투자비와 운영비를 합한 총 비용을 비교하여 나타내었다.

활성탄 운영비용은 재생주기에 따른 재생과정 상의 활성탄 손실로 인한 보충탄(make-up carbon) 구입비에 크게 영향을 받으므로 본 연구에서는 재생주기 1년의 경우 회수율을 90%, 2년과 4년의 경우 회수율을 85%로 가정하여 평가하였다. 아울러 보통 정수장 설계 주입률은 1~2 mg/L이나 정상시 운영조건은 1 mg/l 내외이므로 오존 주입 농도는 1mg/L를 기준으로 평가하였다.

10만 m³/일 규모 미만의 시설인 경우 오존 공정 도입으로 인한 비용증가가 매우 큰 반면에 대규모로 갈수록 차이가 점점 줄어들어 오존공정 도입으로 인한 입상활성탄 재생주기가

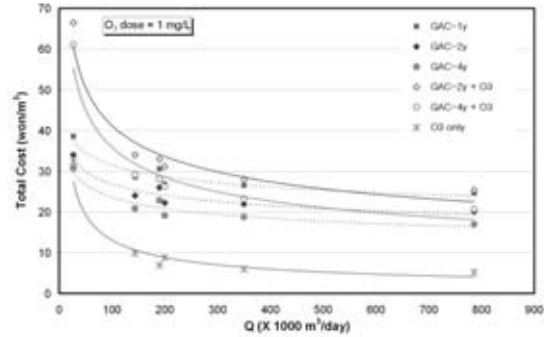


Fig. 4. Total cost of ozone, GAC and ozone/GAC with different regeneration periods.

연장될 수 있음을 고려할 때 오존공정 도입이 활성탄 단독 공정에 비해 더 경제적일 수 있음을 알 수 있다. 서울시에서 수행한 연구결과에 의하면 대표적인 맛,냄새 물질이면서 처리가 상대적으로 어려운 2-MIB의 농도 10ng/L를 수질 기준으로 결정했을 때 이를 만족하는 고도처리공정의 조건은 2년 주기 재생이 필요한 입상활성탄 단독공정 및 4년주기 재생이 필요한 오존, 활성탄 조합공정으로 나타났다(서울특별시 상수도연구원, 2007). 이 결과를 근거로 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 활성탄 재생주기를 2년으로 하는 입상활성탄 공정과, 오존공정이 함께 도입되어 입상활성탄 재생 주기가 4년으로 연장되는 경우 약 50만 m³/일 규모 이상의 정수장 규모에서 입상활성탄 공정만 도입하는 경우보다 오존과 입상활성탄 공정을 함께 도입하는 것이 더 경제적인 것으로 나타났다.

결론적으로 오존 공정 도입으로 인한 경제성이 향상되는 포인트는 대상 처리장의 여건(처리대상물질, 오존 주입률, 재생주기, 재생 회수율 등)에 따라 달라질 수 있으나 대규모 정수처리장의 경우 오존공정 도입이 입상활성탄 공정만을 도입하는 경우보다 더 경제적일 수 있음을 시사한다.

4. 결론

국내의 정수처리에서 일반적으로 적용되고 있는 고도처리 공정인 분말활성탄, 오존, 입상활성탄 공정에 대한 시설 규모별 초기 투자비, 운영비 그리고 초기투자비와 운영비를 함께 고려한 총비용의 분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

Table 6. Comparison of cost for ozone and GAC process

시설 규모 (만톤/일)	공사비용(억원)			운영비용(원/m ³)		
	오존	활성탄	총계	오존	활성탄	총계
3	49.7	43.7	93.4	2.1	5.9	8.0
10	55.6	113.5	169.1	1.9	5.9	7.8
30	76.6	271.1	347.7	1.7	5.9	7.6
60	123.8	469.56	593.4	1.6	5.9	7.5
80	170.5	589.8	760.3	1.5	5.9	7.4

1. 분말활성탄, 오존, 입상활성탄 공정 모두 초기 투자비의 경우 시설 용량이 증가함에 따라 단위 물량(m³)당 단가는 지수 함수적으로 감소하였다. 초기 투자비의 감소는 오존 공정이 가장 크며, 그 다음 분말활성탄, 입상활성탄 공정의 순으로 나타났다. 단순한 초기 투자비를 비교해 보면 동일 시설 용량에서 입상활성탄, 오존, 분말 활성탄 공정 순으로 나타났다.
2. 각 공정별 운영비는 분말활성탄 공정과 입상활성탄 공정의 경우 동일한 조건에서 운영할 경우 시설 규모에 관계없이 운영비는 일정하게 나타났으며, 오존 공정의 경우 일정 비율의 시설 유지, 보수비용의 필요에 따라 시설 규모가 증가함에 따라 단위 물량(m³)당 운영비는 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구에서 평가한 세가지 공정의 운영비를 비교해 보면 분말활성탄, 입상활성탄, 오존 공정 순으로 감소하였다.
3. 일반적으로 적용되고 있는 고도처리 공정인 오존 및 입상활성탄 공정에 대해 20년 현가를 고려한 초기투자비 및 운영비의 합계인 총비용을 분석해보면, 3만톤 정도 규모의 오존, 활성탄 공정에서는 오존 공정의 총비용이 고도처리 공정 투자비의 약 84%를 차지 하지만 약 14만톤/일 규모 이상의 시설에서는 오존 공정의 총비용은 고도처리 공정의 35% 이하로 낮아지는 경향을 나타내었다.
4. 입상활성탄 공정과 함께 오존 공정 도입으로 인한 경제성이 향상되는 포인트는 대상 처리장의 여건(처리시설

의 평균가동율, 처리대상물질, 오존 주입률, 재생주기, 재생 회수율 등)에 따라 달라질 수 있으나 대규모 정수 처리장의 경우 오존공정 도입이 입상활성탄 공정만을 도입하는 경우보다 더 경제적일 수 있다.



사 사

본 논문을 작성하는데 많은 도움을 주신 고도처리 공정관련 설비 제작사, 설계사, 시공사 관련자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 서울특별시 상수도연구원(2007) *서울시 고도정수처리 3단계 보고서*, pp. 156-157.
2. 윤제용(2003) 서울시 정수장 고도 정수 처리 시설 도입 필요성 검토, *한국수처리기술연구학회지*, 11권 2호 pp. 23-24.
3. 윤제용, 손진식, 최승일, 문성민 (2005) 국내 정수장 고도정수 시설의 설계 및 운영상의 문제점과 제언, *상하수도학회지*, 19권 3호 pp. 268-276.