



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

공기업정책학 석사 학위논문

고도정수처리공정 도입의  
비용-편익 분석 :  
'K-water B정수장' 사례를 중심으로

2013년 8월

서울대학교 행정대학원

공기업정책학과

나진영

고도정수처리공정 도입의  
비용-편익 분석 :  
'K-water B정수장' 사례를 중심으로

지도교수 박 상 인

이 논문을 공기업정책학 석사 학위논문으로  
제출함  
2013년 5월

서울대학교 행정대학원  
공기업정책학과  
나 진 영

나진영의 석사 학위논문을 인준함  
2013년 6월

위 원 장 정 용 덕 (인)

부위원장 구 민 교 (인)

위 원 박 상 인 (인)

## 국문초록

수도사업자인 정부 및 지자체는 상수원 수질악화 및 신규 유해물질 발생에 대처하고 수돗물의 안전성을 높이기 위한 목적으로 고도정수처리를 도입하여 왔으나, 지금까지 정책의 효과에 대한 계량화가 이루어진 사례는 없었다. 이에 본 논문은 고도정수처리 도입의 경제성을 하나의 사례를 통해 평가하되 환경영향까지 분석의 범위를 확대하고자 한다.

본 연구는 고도정수처리공정이 도입되어 운영 중인 수도권의 K-water B정수장을 대상으로 일반정수처리공정(모래여과)을 고도정수처리공정(전오존, 활성탄여과)으로 전환 시의 비용 편익 항목 선정, 경제성 평가 및 결정요인 분석을 범위로 한다.

B정수장 고도정수처리공정 도입의 총비용은 초기투자비, 운영비, 성능개선비와 환경오염의 사회적 비용으로, 총편익은 일반정수처리공정 운영비 및 수질개선편익으로 추정하였다. 도입 사업이 착수된 2005년부터 2009년 준공 시까지의 공사 기간 및 이후 30년 동안의 경제성을 분석한 결과 순현재가치(NPV) 26,352백만원, B/C ratio 3.0으로 추정되었다. 순현재가치 및 B/C ratio가 각각 0과 1.0 이상이며, 내부수익률(IRR) 추정값이 38.3%로서 본 연구에 적용한 사회적 할인율 5.5%를 크게 상회하는 것으로 나타나 B정수장 고도정수처리 도입 사업의 타당성은 매우 높은 것으로 평가되었다.

향후 발생 가능한 변동 상황을 환경비용의 100% 증가와 수질개선편익의 50% 감소로 가정한 선택적 민감도 분석 결과, 민감도지수가 환경비용 100% 증가시 0.022, 수질개선편익 50% 감소시 1.169로서 수돗물 수질개선에 따른 사회적 편익 변화가 내부수익률의 변동에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 환경오염의 사회적 비용보다는 수질개선에

따른 편익이 고도정수처리 도입의 경제적 타당성 여부에 결정적 영향력을 가지며, 결국 편익의 크기를 결정하는 주요 변수인 소비자지불의사액(willingness to pay)이 타당성 분석의 결정 요인으로 도출되었다.

주요어 : 고도정수처리, 비용편익, 경제성평가, 수질개선, 환경비용  
학 번 : 2012-22763

# 목 차

I. 서론 .....	1
1. 연구의 배경 .....	1
2. 연구의 목적과 필요성 .....	3
3. 연구의 내용과 범위 .....	6
II. 이론적 배경 및 선행연구 검토 .....	8
1. 비용편익 분석에 관한 이론적 검토 .....	8
2. 비용편익 추정 및 분석에 관한 선행연구 검토 .....	21
1) 상수원 수질개선에 의한 편익산정 연구 .....	21
2) 수돗물 수질개선에 의한 편익산정 연구 .....	23
3) 환경오염에 관한 사회적 비용 추정 연구 .....	26
4) 환경오염 개선에 관한 사회적 편익 추정 연구 .....	27
5) 비용편익 분석 및 경제성 평가에 관한 연구 .....	28
III. 연구 설계 및 분석모형 .....	32
1. 정수처리공정 개관 .....	32
1) 개념 .....	32
2) 수처리 공정의 종류 .....	33
2. B정수장 사례 소개 .....	35
1) 연혁 .....	35
2) 정수처리공정 개요 .....	36
3) 고도정수처리 도입 .....	37
3. 비용편익 분석방법 .....	40
1) 조사방법론 .....	40
2) 비용 산정방법 .....	41
3) 편익 산정방법 .....	42

4. 비용편의 항목 도출 .....	43
5. 자료 및 계수 추정 .....	45
<b>IV. 비용편의 분석 결과 .....</b>	<b>49</b>
1. 분석의 가정 .....	49
2. 비용 산정 .....	51
1) 초기투자비 .....	51
2) 정상운영비 .....	52
3) 성능개선비 .....	54
4) 환경비용 .....	54
3. 편익 산정 .....	55
1) 정상운영비 .....	55
2) 수질개선편익 .....	56
4. 분석 결과 .....	59
5. 민감도 분석 .....	63
1) 환경오염비용의 증가 .....	63
2) 고도처리수의 경제적 가치 하락 .....	63
3) 1), 2) 가정의 조합 .....	64
<b>V. 결 론 .....</b>	<b>66</b>
1. 연구결과의 요약 및 의의 .....	66
2. 연구의 한계 및 향후과제 .....	68
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>70</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>75</b>

## 표 목차

< 표 1. 비용편익 분석 방법론 비교 (요약) > .....	14
< 표 2. 경제성 분석과 재무성 분석의 비교 > .....	15
< 표 3. 한국개발연구원 예비타당성조사 사업 주요내용 > .....	29
< 표 4. 각 단위공정 기능 > .....	33
< 표 5. B정수장 고도정수처리 도입 목적 > .....	37
< 표 6. 주요 수질항목의 목표 설정 > .....	38
< 표 7. B정수장 1차 고도정수처리공정 도입 기간 > .....	39
< 표 8. B정수장 정수처리공정 흐름 비교 > .....	39
< 표 9. 고도정수처리공정 도입의 수질개선편익 발생 시기 > .....	43
< 표 10. 비용 편익 분석항목 > .....	44
< 표 11. 유지수선비 산정 효율 > .....	46
< 표 12. 오염물질별 원단위 (2000년 기준) > .....	46
< 표 13. 상수도 수질개선에 대한 소비자지불의사 선행연구 > .....	48
< 표 14. 연구에 적용한 기초 자료 > .....	50
< 표 15. 연차별 투자비 > .....	51
< 표 16. 관리비 및 재투자비 > .....	52
< 표 17. 연간 경상운영비 (비용) > .....	53
< 표 18. 연간 환경오염의 사회적 비용 증가분 > .....	54
< 표 19. 연간 경상운영비 (편익) > .....	55
< 표 20. 연평균 소독부산물 검출 현황 (2008-2012) > .....	56
< 표 21. geosmin 검출 현황 (2008-2012) > .....	57
< 표 22. 연간 수질개선편익 > .....	58
< 표 23. 비용 편익 분석 결과 (요약) > .....	59
< 표 24. 고도정수처리 도입의 비용 편익 분석 결과 > .....	60
< 표 25. 민감도분석 결과 > .....	64



## 그림 목차

< 그림 1. B정수장 기존 수처리공정도 > .....	36
< 그림 2. B정수장 2단계 고도정수처리 공정도 > .....	39

# I. 서론

## 1. 연구의 배경

한국 최초의 정수장은 1908년 지어진 서울시의 뚝도 수원지 제1정수장으로, 당해 9월 1일 수돗물을 공급 개시함으로서 한국의 수도 사업이 시작되었다. 완속여과 방식에 의해 생산한 하루 1만 2,500m<sup>3</sup>의 수돗물을 4대문 안과 용산 일대의 주민 12만 5,000명에게 공급한 것이 한국 근대 상수도 역사의 출발점이 되었으며, 1979년에 완공된 수도권 I 단계를 효시로 2012년 현재 33개의 광역상수도 및 162개의 지방상수도가 운영 중에 있다.

이렇게 한국의 상수도 공급의 역사도 지난 2008년을 기준으로 100년을 기록하게 되었으나, 1991년 낙동강 페놀 오염사건을 정점으로 상수원 수질 및 먹는 물에 대한 국민의 신뢰도는 크게 낮아졌다. 산업개발이 활발히 이루어졌던 낙동강 수계를 중심으로 수질오염이 심화되자 1994년 정부는 「4대강 수질관리 개선대책」을 발표하면서 원수 수질이 좋지 않은 전국 21개 주요 정수장에 고도정수처리시설을 도입하기로 결정하였으며, 특히 낙동강 하류 15개 모든 정수장에 집중적으로 도입을 지원하면서 먹는 물 위해성을 최대한 저감하고 안전성을 높일 것을 선언하였다.

이로써 한국의 고도정수처리 시설은 인천 부평정수장 및 부산 화명정수장을 시작으로 본격적으로 도입되었으며 국민의 안전한 수돗물 공급 요구에 따라 점차 확대되어 가고 있다. 하절기 팔당 상수원 수질악화로 매년 수돗물 냄새 문제가 반복적으로 발생하는 서울, 경기 수도권 지역에서는 2010년 K-water B정수장에서 최초로 고도정수처리 시설을 도입

한 이래 K-water K정수장 및 서울시 Y정수장으로 확대되어 가고 있다. 환경부는 지난 2011년 발생한 유례없는 동절기 팔당상수원 남조류 발생 및 수돗물 냄새문제를 근본적으로 해결하기 위해 「수돗물 냄새 개선대책」을 수립하여 2018년까지 수도권 고도정수처리 도입율을 66%까지 높일겠다는 계획을 발표하였다(환경부, 2011b). 요컨대 한국 수도사업의 트렌드는 고도정수처리를 통한 안전하고 깨끗한 수돗물 공급이라 할 수 있다. 그러나 수질개선 효과만을 고려한 무조건적인 고도정수처리 도입은 과다 투자의 우려가 있다.

한국상하수도협회(2004)에 따르면 고도정수처리는 미량유해물질 등 기존 일반정수처리과정에서 처리하기 어려운 오염물질에 대한 제거율이 높은 것으로 알려져 있으나, 일반정수처리시에도 보조제 투입 등을 통하여 고도정수처리시와 유사한 제거효율을 확보할 수 있으며 현재의 처리 방법으로도 먹는 물 수질기준을 만족하고 있다.

지금까지 한국에 도입된 고도정수처리 공정은 대부분 오존, 활성탄 조합 공정으로서 해외 기술력에 의존하고 있으므로 초기투자비용 및 유지관리비가 높고 기술이전의 가능성이 낮으며, 활성탄의 경우 도입 이후에도 반복적인 재생처리 과정이 필요하다<sup>1)</sup>.

오존처리공정 운영에는 추가적인 원료 투입 및 전력소비량 증가가 동반되며 활성탄의 제조, 재생 과정에서도 다양한 원료와 에너지 투입으로 각종 환경오염물질이 배출된다. 가장 문제가 되는 것은 지구온난화의 주범으로 지목되고 있는 이산화탄소 등 대기오염물질이며, 이는 고도정수처리에 의한 먹는 물 수질개선 편익에 반하는 대표적인 부정적 환경영향

---

1) 활성탄 여과의 경우 여재 수명이 제한되어 있으므로 활성탄 고유의 흡착능이 소진되는 과과시점에 이르러서는 일반정수처리공정의 모래 여재와 달리 지속적인 사용이 어렵다. 따라서 활성탄 여재 교체 혹은 재생을 통한 흡착력의 회복 과정이 요구되며 운영에 따른 성능개선 비용이 지속적으로 발생한다.

이라 할 수 있다.

## 2. 연구의 목적과 필요성

상수원 수질에 대한 국민적 불신과 불안의 해소는 한국 고도정수처리 도입의 정책목표로서 20여 년 동안 추진되어온 국정 과제이다. 특히 잦은 환경오염 사고가 발생하고 상수원 주변에 많은 오염원이 분포한 낙동강 수계의 경우 고도정수처리 도입에 의한 음용수질의 안정성 확보는 당위성을 가질 수밖에 없다.

그러나 수원의 수질이 양호하여 일반정수처리만으로도 먹는 물 수질기준을 충분히 달성할 수 있는 운영 조건을 가진 정수장에 막대한 재원을 투자하여 고도정수처리시설을 도입하는 것은 국가 재정분배의 건전성 문제뿐만 아니라 환경에의 부정적 영향을 가져올 수 있다. 고도정수처리 기법 역시 모든 오염물질을 완벽하게 제거할 수 있는 것은 아니며, 먹는 물 수질개선 등 소비자 편익의 증가와 함께 생산비 증가, 환경오염물질 배출 등의 사회적 비용을 유발할 수 있다. 2005년 정식 발효된 교토의정서 및 기후변화 협약에 따라 한국의 온실가스 저감 목표는 2020년의 국가 온실가스 총배출량을 2020년 온실가스 배출 전망치 대비 100분의 30까지 감축하는 것으로 설정되었으며<sup>2)</sup>, 이러한 정책적 여건 하에서 온실가스 배출을 유발할 수 있는 고도정수처리의 확대는 국가 기후정책과 방향을 달리한다고 볼 수 있다.

그러나 지금까지 고도정수처리에 대한 사회적 편익이나 비용에 대한

---

2) 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 제25조제1항

체계적인 평가가 이루어진 사례는 거의 없다. 도로, 철도 및 수자원시설, 광역상수도 건설 등 총사업비가 500억 원을 초과하는 경우 한국개발연구원(KDI) 공공투자관리센터에 의해 공식적인 경제성 분석 또는 타당성 조사가 이루어져 왔다. 특히 수자원 개발 사업은 공공투자의 규모 및 막대한 사회적 파급 효과를 고려하여 한국개발연구원(2008c)에 따라 경제성 평가기준이 수립되어 비용과 편익의 산출이 표준화되어 있다. 반면 정수처리공정 도입, 운영과 관련한 경제적 타당성 평가가 이루어진 사례는 현재까지 전무한 실정이다.

환경부는 계획·설계 단계에서 원수 수질, 처리대상 물질, 공정선정 등에 대한 충분한 검토 없이 고도정수처리시설이 도입되고 있음을 문제점으로 지적하면서(환경부, 2006), 환경부(2010a)에 따라 평가기준 및 절차 등을 명확히 하여 고도정수처리 도입 사업의 효율성을 제고하고자 하였다. 그러나 환경부(2010a)에서는 수질문제 발생 여부 및 고도정수처리 대상공정 선정에 중점을 두고 있으며, 도입의 경제적 타당성 평가까지는 명시하지 않고 있다. 환경부가 추진하기로 결정한 2015년까지 1조 6,300억 원을 투입하는 수도권 고도정수처리 도입은 기존 수자원 개발 및 광역상수도 건설사업과 유사한 대규모 공공투자 사업이며, 이에 따른 사회후생의 변화를 평가하여 정책 추진의 당위성을 확보하는 것이 바람직할 것이다. 고도정수처리로의 목적이 수질개선이라는 환경 편익에 집중되어 있는 만큼 본 정책에 의한 직·간접적인 환경 비용 측면의 평가도 이루어져야 할 필요성이 있으며, 지속가능한 개발이라는 관점에서 그 중요성이 점점증하고 있다. 기존 수자원 및 광역상수도 건설 사업 예비 타당성 평가 시에도 환경영향을 고려한 환경경제성 분석이 전무하다는 점은 한계로 지적된다.

수돗물 수질에 대한 높은 불신감이 낮은 음용률로 이어지고 있으나<sup>3)</sup>,

보다 근본적인 대책으로서 상수원 수질개선 및 소비자 인식 변화가 이루어지지 않는 한 고도정수처리만으로 수돗물의 가치가 높이 평가되기는 어려울 것이며 수돗물 안전성 확보는 급수체계 구축 등 관련 정책과 병행하여 달성할 수 있을 것이다.

3) 식수 음용에 대한 국민의식 조사 결과 수돗물을 끓이지 않고 그대로 음용하는 비율은 1.4%로 나타났다. 수돗물의 식수 적합성에 대하여는 63.6%가 ‘부적합’으로 응답하였으며, 이는 ‘막연한 불안감’이나 ‘냄새’ 등 심리적 요인이 크게 작용하는 것으로 나타났다. 또한 정부의 수돗물 신뢰성 확보를 위한 과제로는 ‘상수원 이전’이 4.8%로 가장 낮았고 ‘노후수도관 교체’가 47.2%로 가장 높게 나타났다(환경부, 2010b).

< 식수 음용률 조사 결과 >

조사시기	수돗물 음용			정수기 이용	먹는 샘물	약수터
	계	끓여서	그대로			
2005	44.0%	42.3	1.7	38.9%	8.6%	7.7%
2008	44.9%	43.5	1.4	41.9%	7.8%	5.0%

< 수돗물이 식수로 부적합한 이유 >

조사시기	막연히 불안	냄새가나서	언론보도	물맛이 나빠서	녹물	기타
2005	43.9%	26.3%	6.2%	5.1%	12.2%	6.2%
2008	42.1%	21.9%	6.1%	12.3%	11.4%	7.5%

< 정부의 수돗물 신뢰성 확보를 위한 과제 >

조사시기	노후수도관 교체	정수장개선	수질기준 및 검사강화	수돗물 검사결과공개	상수원이전
2005	0.1%	16.8%	25.6%	18.4%	30.3%
2008	47.2%	13.9%	18.5%	11.0%	4.8%

### 3. 연구의 내용과 범위

본 연구는 고도정수처리 도입의 실제 사례를 중심으로 비용 편익 분석을 통하여 경제적 타당성을 평가하고자 한다.

연구의 내용은 고도정수처리공정 도입 전후의 비용 및 편익을 계량화하여 경제성을 분석하는 것이며 기존에 정수처리 도입, 운영과 관련한 선행 연구가 없음을 고려하여 타 분야 유사 연구사례를 검토하여 비용 편익 항목을 선정하고 이를 계량화하고자 한다.

고도정수처리는 정수장을 건설하거나 개량하는 과정에서 도입 목적에 맞추어 공정을 선정하고 설계하여야 하며, 이는 정수장으로 유입되는 상수원수의 수질상태<sup>4)</sup>, 사업의 목적<sup>5)</sup> 및 대상지역의 입지적 한계<sup>6)</sup>가 적용 가능한 공정을 결정하는 요인으로 존재하기 때문이다. 따라서 고도정수처리공정의 설계에 있어서 공정 조합에 따른 다양한 경우의 수가 존재하며 기존 운영 중인 일반정수처리공정 역시 도입 당시 여건에 따라 공정 구성이 다르게 이루어져 왔기 때문에 각 정수장에 일률적 기준을 적용하여 연구를 수행하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 고도정수처리공정을 도입, 운영 중인 정수장 한 개소를 대상으로 실증적 사례 연구를 수행하고자 한다.

본 연구에서는 고도정수처리 도입 전·후 비용과 편익을 하나의 정수장을 대상으로 분석하되, 기존 연구에서는 포함되지 않은 환경영향까지 고려하여 평가하고자 한다. 고도정수처리공정 도입의 목적 및 주요 편익은 음용수질개선에 의한 소비자의 후생 증가이며, 투자비와 운영비, 그리고

---

4) 「고도정수처리시설 도입 및 평가지침」 제4조(환경부, 2010a)

5) 시범사업 혹은 특정 목표수질 달성 등

6) 기존 공정과 조화가능성, 충분한 건설부지 확보, 예산제약 및 경제성 등

오염물질 배출량 증가에 따른 부정적 환경영향 등은 비용으로 구분할 수 있을 것이다. 이러한 사례 연구를 통하여 고도정수처리공정 도입의 경제적 타당성을 평가하고, 평가 결과에 영향을 미치는 주요 분석 항목 및 결정요인을 도출해내고자 한다.

대상은 한국 수도사업장 중 기존의 일반정수처리에서 고도정수처리로 변경하여 운영 중에 있는 정수장으로 하되, 정부 정책추진 대상 지역인 한강수계를 그 대상으로 한다. 비용 편익 분석을 위한 자료 확보를 위하여 고도정수처리를 도입한 후 최소 3년 이상 연속 운영 중에 있으며 고도정수처리 도입 전후를 비교할 수 있는 가용 자료의 축적이 이루어져 있는 K-water B정수장을 분석 대상으로 선정하였다.



## Ⅱ. 이론적 배경 및 선행연구 검토

### 1. 비용편익 분석에 관한 이론적 검토

#### 1) 도입 역사

비용편익분석은 국가 차원에서 정해진 공공목표를 달성하기 위해 예상되는 여러 대안들 각각의 비용과 편익을 측정하고 비교 평가하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이다. 비용편익분석은 프랑스의 엔지니어 쥘 뒤피(Jules Dupuit)가 1844년 교량건설사업에 최초로 적용하였으며, 이후 영국의 경제학자 알프레드 마샬(Alfred Marshall), 니콜라스 칼도(Nicholas Kaldor), 존 히스(John Hicks)가 비용편익분석의 기본개념 확립에 공헌하였다.

비용편익분석을 공공투자사업에 적용하려는 시도는 1930년대 대공황기에 미국에서 시작되었다. 루즈벨트 행정부는 “뉴딜(New Deal) 정책” 하에서 테네시유역개발 등 대규모 공공투자사업을 추진하였는데, 이러한 사업들에 비용편익분석의 적용이 검토된 것이다.

비용편익분석 기법의 실질적인 발전은 미국의 수자원 분야가 이끌어왔다. 1936년 제정된 홍수방지법(Flood Control Act of 1936)이 “홍수방지대책에서 주민들에게 돌아가는 혜택이 비용을 초과해야 한다.”는 원칙을 설정하면서 공공투자사업의 비용과 편익을 체계적으로 측정하려는 노력이 나타났다. 특히, 1946년 설치된 연방하천유역위원회(Federal Inter-Agency River Basin Committee)는 비용편익 소위원회(FIARBC Subcommittee on Benefits and Costs)를 구성·운영하여 1950년 5월 “하천유역 프로젝트에 대한 경제성 분석 지침(Proposed Practices for

Economic Analysis of River Basin Projects)”를 발간하였다.

1970년대 들어 UN, OECD, IBRD 등 국제기구가 비용편익분석 기법을 더욱 발전시켜 오고 있다. 또한, 이들 국제기구는 후진국의 개발계획 또는 개발프로젝트 등의 분석에 광범위하게 적용함으로써 비용편익분석의 발전에 크게 공헌하였다. 1980년대부터는 많은 나라에서 삶의 질 향상과 관련하여 환경보존의 중요성을 인식하고 비용편익분석에 있어 환경적 비용과 편익에 대한 고려가 중요하게 다루어지기 시작하였다. 1990년대에는 환경가치 측정에 있어 조건부가치측정법(CVM) 등 방법론의 비약적인 발전이 이루어졌다.

한국의 경우 1999년 대규모 공공투자사업에 대한 예비타당성조사제도가 도입되었다. 한국개발연구원 주관의 예비타당성조사를 통해 해당 사업에 대한 경제성 분석, 정책적 분석, 지역균형발전 분석 등 객관적이고 중립적인 조사가 실시되는데, 경제성 분석에 있어서는 비용편익분석이 기본 방법론으로 채택되고 있다. 2006년 「국가재정법」이 제정되면서 예비타당성조사는 법정 제도화되었으며, 총사업비 500억 원 국가의 재정 지원 규모가 300억 원 이상인 사업의 경우 한국개발연구원 주관의 예비타당성조사가 의무적으로 실시되고 있다. 또한, 2011년부터는 총사업비 500억 원 이상인 국가의 재정지원 및 공공기관 부담분의 합이 300억 원 이상인 공기업의 자체 투자 사업에 대해서도 공공기관의 운영에 관한 법률 제50조 및 이에 따른 예산편성지침에 따라 예비타당성조사 실시가 의무화되었다.

## 2) 분석의 특징

비용편익 분석은 정부에 의해 수행되는 갖가지 공공사업이나 정부정책에 대한 평가를 하기 위해 사용되는 가장 일반적인 분석틀로서, 정부가

정한 정책목표를 달성하기 위해 사용할 수 있는 여러 가지 정책대안을 수행하는데 필요한 비용과 그로 인해 발생하는 편익을 측정하고, 이에 기초하여 최선의 대안을 선택하기 위해 사용되는 기법이다.

비용편익 분석의 특징은 우선 정부의 공공사업에 대한 평가를 위해 사용되므로 그 구성항목도 국민경제 전체의 관점에서 파악되어야 한다는 것이다. 개별기업이 자신의 투자 사업에 대한 평가를 할 경우에는 투자에 소요될 것으로 예상되는 비용과 그로 인해 기대되는 수입을 비교하여, 기대수입에서 예상비용을 감한 기대이윤이 최대가 되는 사업에 투자하고자 할 것이다. 이 경우 기업의 수입과 비용은 어디까지나 기업 자신에게만 귀속되는 사적인 수입과 비용이다. 그러나 비용편익분석에 있어서의 편익과 비용은 환경질 개선이나 오염의 피해와 같은 사회나 국가 전체 관점에서의 편익과 비용에 영향을 주는 요소들을 모두 포함하여야 한다.

두 번째 특징은 현실성을 고려한 실무적인 분석수단이라는 점이다. 비용편익분석은 학문적인 관심을 충족하기 위하여 행해지기도 하지만, 무엇보다도 가장 효율적인 방법으로 정부의 정책목표를 달성할 수 있는 정책수단을 찾고자 사용되고 있으며, 또한 정부정책을 의회가 승인하는데 필요한 정보를 얻기 위해 사용되기도 한다. 따라서 비용편익분석에는 정책의 실행가능성에 영향을 미치는 여러 사회경제적, 정치적 요인들이 고려되어야 한다.

세 번째는 시간이 중요한 변수로 개입된다는 사실이다. 대부분의 공공사업이나 정부규제의 효과는 1년 안에 모두 나타나는 것이 아니라 장기간에 걸쳐 나타나며, 투자의 비용 역시 수년에 걸쳐 투입되어야 한다. 이 경우 서로 다른 시점에서 발생하는 편익과 비용을 비교하는 것이 중요한 문제로 등장하고, 비용편익분석의 결론은 서로 다른 시점에 발생하는 이

들 요소들을 어떻게 비교하느냐에 따라 달라지기도 한다.

### 3) 분석의 절차

비용편익분석은 크게 다음의 5가지 절차를 밟아서 수행된다.

#### ① 공공사업이나 정부정책을 명시

공공사업이나 정책수단을 구성하는 기본 요소를 명시하여야 한다. 즉 사업이나 규제정책 등이 시행되는 지역과 시간, 관계된 주민, 다른 정책과의 관련성 등을 명확히 하여야 한다.

#### ② 정부정책을 수행하는 데 필요한 투입요소와 결과물을 계량화

사업이나 정책을 시행하는 데 소요되는 투입요소와 정책의 결과물을 계량화하는 것이다. 예를 들어 하수처리장을 설치하는 경우 공학적인 방법을 동원하여 처리장 설치를 위해 필요한 투입요소와 사업결과 처리 가능한 하수의 양과 그로 인한 수질개선효과 등을 계량화하는 것이 두 번째 절차에 속한다. 사업시행 시점에서는 미래의 투입요소 필요량과 사업결과에 대해 완전하게 알 수 없으므로 공학적인 예상에 근거하여 이들을 계량화하여야 한다.

#### ③ 계량화된 투입요소와 결과물의 사회적 비용과 편익을 추정

세 번째 단계는 투입요소와 결과물을 금액으로 환산하는 절차, 즉 비용과 편익을 추정하는 절차이다. 이 단계는 특히 환경과 관련된 정부정책의 비용편익분석을 행할 때 가장 힘든 단계라고 할 수 있다. 환경재의 경우 그 가치를 적절히 반영하는 시장가격이 없기 때문에 정책의 환경개선효과를 금액으로 환산하는 것은 매우 힘든 일이다. 이를 위해 비시장재화의 가치추정을 위한 조건부가치추정법(CVM)등의 측정기법이 사용된다.

#### ④ 편익과 비용을 비교

네 번째 절차는 계산된 비용과 편익을 비교하여 가장 효율적인 정책수단을 찾는 과정이다. 비용과 편익을 비교하기 위하여 크게 세 가지 방법을 사용하고 있는데 순현재가치법, 편익과 비용의 비율을 구하는 법, 그리고 내부수익률법이 이에 해당한다.

#### ⑤ 민감도 분석

마지막 단계는 민감도분석 혹은 감응도분석이다. 다년간에 걸쳐 시행되고 효과가 발생하는 사업이나 정책에 대한 평가 시 미래의 비용과 편익은 예상비용과 예상편익이다. 따라서 미래에 필요한 투입요소나 사업결과, 여러 가격변수 등의 예기치 못한 변화에 의해 사업의 실제 편익과 비용은 예상과 달라질 수가 있다. 민감도 분석은 사업 관련 변수의 예기치 못한 변화로 인해 발생하는 위험도를 예상하여 이를 정책결정에 반영하기 위해 사용되는 기법으로서 관련 변수의 다양한 변동이 사업의 편익과 비용에 어떤 영향을 미치는지를 분석한다.

### 4) 분석 방법론

비용과 편익을 비교하여 의사결정을 하기 위한 경제성평가지표로 순현재가치법(net present value: NPV), 편익비용비율법(benefit-cost ratio: B/C), 내부수익률법(internal rate of return: IRR) 3가지가 주로 활용되고 있다.

먼저, 순현재가치법은 투자사업의 전 기간에 걸쳐 미래에 발생할 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 것으로, 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 순현재가치가 0 이상으로 나타나면 그 사업은 경제적으로 타당성이 있는 것으로 평가된다. 따라서 미래의 가치를 현재기준으로 환산하기 위해서 적절한 할인율을 사용하여 시간의 흐름에 따라 순편익의 가치를

할인하므로 어떤 할인율을 적용하느냐가 중요한 문제이다.

$$NPV = \frac{B_0 - C_0}{(1+r)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$B_t$  : t 차 연도에 발생하는 편익

$C_t$  : t 차 연도에 발생하는 비용

$r$  : 할인율

다음으로 편익비용비율법은 현시점으로 할인된 총편익과 총비용의 비율을 나타내며 이 비율이 높은 사업일수록 경제적 타당성이 높은 것으로 평가하는 기준이다. 따라서 순현재가치와 마찬가지로 적절한 사회적 할인율을 적용하여 비율을 계산한다. 편익비용비율은 비용 1단위당 편익이 얼마인가를 보여주는 것이므로 투자규모가 큰 사업이 유리하게 나타나는 순현재가치의 문제점을 피하고, 여러 가지 사업을 객관적인 입장에서 비교할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 비교할 사업의 규모가 크게 차이가 나는 경우에 편익비용비율로 상대 비교하는 것은 큰 의미가 없으며 다만 예산의 제약으로 순편익이 큰 대규모 사업은 무리가 따를 때에 이 기준을 참고로 할 수 있다.

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

마지막으로 내부수익률은 투자 사업이 원만히 진행된다는 전제 하에서 기대되는 예상수익률로서 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 편익의

현재가치와 비용의 현재가치를 일치시켜 순현재가치가 0이 되게 하는 할인율(R)을 의미하며 편익비용비율로 평가할 때는 B/C가 1이 되도록 하는 할인율을 말한다. 내부수익률이 통상적으로 사용되는 사회적 할인율보다 크다면 그 투자 사업은 타당성이 있는 것으로 평가된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{B_0 - C_0}{(1+R)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+R)^1} + \dots + \frac{B_t - C_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{NB_t}{(1+R)^t}$$

< 표 1. 비용편익 분석 방법론 비교 (요약) >

분석기법	판단기준	장 점	단 점
편익/비용비율 (B/C ratio)	B/C ≥ 1	•이해 용이, 사업규모 고려 가능	•상호배타적 대안 선택의 오류발생 가능
순현재가치 (NPV)	NPV ≥ 0	•대안 선택 시 명확한 기준 제시 •장래발생편익의 현재가치 제시 •한계 순현재가치 고려 •타 분석에 이용 가능	•이해의 어려움 •대안 우선순위 결정 시 오류발생 가능
내부수익률 (IRR)	IRR ≥ r	•사업의 수익성 측정 가능 •타 대안과 비교가 용이 •평가 과정, 결과 이해 용이	•사업의 절대적 규모 고려하지 않음 •몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

자료 : 한국개발연구원(2004b)

### 5) 경제성 분석과 재무성 분석

비용편익분석은 해당 사업이 국민경제에 미치는 효과를 측정하고 평가하는 경제성 분석(economic analysis)으로, 사업 시행주체에 귀속되는 금

전적 이익을 측정하는 재무성 분석(financial analysis)과는 다르다.

경제성 분석의 경우 비용·편익항목에 환경적 비용·편익까지 포함하고 있다. 측정에 있어서도 현실 세계의 왜곡된 시장가격(market price)을 적용하는 것이 아니라, 완전경쟁적 시장에서의 가격에 해당하는 잠재가격(shadow price)을 추정하여 비용과 편익을 측정하게 된다. 잠재가격은 자원의 기회비용(opportunity cost), 즉 진정한 사회적 가치를 반영하는 가격이기 때문이다. 한편, 세금, 정부보조금, 지불이자 등은 이전거래(transfer)에 불과하므로 사회 전체적으로 진정한 비용이나 수입이라 할 수 없어 경제성 분석에서는 제외된다.

재무성 분석은 사회 전체의 입장이 아닌 개별 사업주체의 입장에서 실제의 금전적 비용과 수입을 추정하고 이에 따른 재무적 수익률을 계산하여 그 사업의 타당성을 검토하는 방법이다. 시장이 완전 경쟁적이거나 불완전 경쟁적이거나에 상관없이 개별 사업주체 입장에서 실제 지불되는 시장가격을 그대로 활용하며, 세금, 정부보조금, 지불이자 등 이전거래의 경우에도 개별 사업주체 입장에서 실제 현금흐름이 발생하므로 분석에 포함한다.

< 표 2. 경제성 분석과 재무성 분석의 비교 >

구 분	경제성 분석	재무성 분석
분석의 관점	국민 경제적 입장	개별 사업주체의 입장
측정 화폐단위	잠재가격	시장가격
- 비 용	자원 사용의 기회비용	현금유출
- 편 익	소비자 지불의사의 합	현금유입
적용 할인율	사회적 할인율	재무적 할인율

자료 : 김동건(2012)



즉, 사회적 후생은 소비자 후생과 생산자 후생으로 나눌 수 있는데 경제성 분석은 사회전체적인 관점에서 사회적 후생의 증감을 평가하기 때문에 생산자 후생이 줄어들었다고 해도 그것이 소비자 후생으로 이전되어 전체 사회적 후생에 변화가 없다면 경제성이 감소한 것이 아니다. 예를 들어, 상수도 사업에서 시설 투자를 통해 수도계량기를 교체하여 불감수량이 감소할 경우 생산자는 이전에 계량기 측정 오류로 인해 요금수입으로 확보할 수 없었던 새로운 수익이 생기기 때문에 기업의 수입이 늘어나서 재무성은 좋아진다. 그러나 경제성의 관점에서는 이전에 소비자가 요금을 지불하지 않고 누리던 소비자 후생이 생산자에게 이전되었을 뿐 새로운 후생이 창출된 것이 아니므로 사회전체적인 후생은 변하지 않았다. 따라서 경제성 분석의 결과 경제성은 증가하지 않은 것이다.

반면 재무성 분석은 개별 기업의 입장에서 개별 기업의 수입이 증가하는지 여부를 평가하는 것이다. 재무성 분석은 개별 기업의 지출과 수입의 증감을 평가하지만 경제성 분석은 사회 전체적 관점에서의 후생변화를 평가하기 때문에 어떤 효용이 소비자에게서 생산자로 이전되거나, 생산자에게서 소비자로 이전되거나, 한 생산자에게서 다른 생산자로 이전되는 것은 사회 후생의 변화가 아니다.

## 6) 편익추정 방법론

경제성 분석에 앞서 편익추정을 위해 편익항목을 유형화하는 작업이 이뤄진다. 편익은 사업 시행으로 인한 진정한 편익인 실질적 편익과 사업으로 인한 가격 및 소득이전 효과인 금전적 편익, 사업시행으로 인한 직접적인 편익과 파생되는 간접적인 편익, 분석이 용이한 유형적 편익과 계량화가 어려운 무형적 편익 등으로 유형화할 수 있다. 그리고 여러 유형의 편익 중 금전적인 편익을 제외하고 실질적인 편익을 고려하여야 하며, 계량

화가 가능한 경우에만 편익으로 고려하여 편익의 화폐가치를 계량화하여 추정한다.

비용과 편익의 추정 시 경쟁적인 시장가격이 존재하는 경우 시장가격을 비용 및 편익으로 측정하는 것이 바람직하며, 시장이 독점 등으로 시장가격이 왜곡된 경우에는 잠재가격을 산출하여 비용과 편익을 측정하고, 시장이 존재하지 않아 시장가격 자체가 존재하지 않는 경우에는 재산가치접근법, 여행비용 접근법, 조건부가치측정법 등의 방법을 이용하여 비용과 편익을 추정하며, 본 연구에서는 가장 널리 사용되는 방법인 조건부가치측정법을 통한 연구결과를 활용한다.

조건부가치측정법은 대체로 존재가치와 같은 무형의 가치를 측정하고 평가하는 데 유용성이 있음이 인정된 거의 유일한 기법이기 때문에 널리 활용되고 있다. 강한 이론적 근거에 기반을 두고, 간접적 방법을 적용할 수 있는 대상과 간접적 방법을 사용할 수 없는 대상에도 다양하게 사용할 수 있다는 장점이 있지만 응답자의 의사와 능력에 크게 의존한다는 단점이 있다. 이러한 관점에서 볼 때 조건부가치측정법이 성공적으로 편익추정에 사용되려면 설문지 작성, 설문과정에 세심한 주의가 요구되고, 전략적 행위, 가상성, 의향과 행동의 상관관계 등을 충분히 이해해야 한다. 또 설문 방식을 편익추정의 수단으로 사용하기에 설문형식 등도 조건부가치측정법에서는 중요한 부분이 된다.

조건부가치측정법은 대체로 다음의 절차를 밟는다. 첫째, 모집단에서 일정응답자 수를 선정하여 특정재화에 대한 그들의 의사를 설문한다. 둘째, 응답을 통해 그들이 특정재화에 대한 지불의사액(willingness to pay: WTP)이 얼마인지에 관한 정보를 입수한다. 셋째, 특정한 WTP를 전체 모집단에 적용시켜 특정재화의 전체가치를 추정한다.

조건부가치측정법 설문 시 최대 WTP를 유도해내는 설문형식으로 4가

지가 있다. 개방형 질문법(open-ended question), 경매법(bidding game), 지불카드(payment card), 양분선택법(dichotomous choice)이 그것이다. 설문형식에 따라 WTP가 달리 측정되는 경향이 있어 지불의사유도방법의 선택이 매우 중요하다. 대체로 지불카드법과 양분선택법이 좀 더 나은 것으로 추천되고 있으며 양분선택법이 가장 많이 사용되고 있다(한국개발연구원, 2004b).

### 7) 비용추정 방법론

비용 편익 분석이 제대로 되기 위해서는 편익뿐만 아니라 비용에 대한 산정도 합리적으로 이루어져야 한다. 비용의 과다 혹은 과소 산정은 경제적 타당성 분석을 왜곡하여 합리적인 의사결정을 저해하기 때문이다.

비용 편익 분석에 있어 비용은 기회비용 개념으로서 해당 사업의 실시로 발생하는 일체의 자원비용을 의미한다. 투자 사업으로 인한 직접, 간접 비용뿐만 아니라 사업이 시행됨에 따라서 발생하는 외부비용까지 포함시켜야 한다. 그러나 현실적인 어려움 등으로 한국개발연구원의 예비타당성조사 지침 등 실무상 총사업비 개념이 적용되고 있다.

편익에 비해 비용은 상대적으로 유형적인(tangible) 경우가 많아 계량화가 용이한 편이다. 일반적으로 어떤 사업의 계획 수립에 있어 인력, 재료, 동력, 장비 및 비품 등 투입 관련 물량은 상세하게 작성되며 대부분 시장 가격이 존재하므로 투입 물량에 따른 비용을 화폐가치로 계량화가 용이하다. 다만, 법인세와 같은 세금 등 금전적인(pecuniary) 비용은 실질적 비용이 아니므로 제외되어야 한다. 또한 직접적인 비용뿐만 아니라 간접적인 비용도 가능하다면 고려해야 한다.

## 8) 할인율과 민감도분석

공공투자사업의 경제적 타당성 평가에서 사용되는 가장 중요한 파라미터의 하나는 사회적 할인율이다. 사회적 할인율이 얼마인가에 따라 할인된 편익 및 비용 값이 결정되며, 이에 따라 편익비용의 경제성 분석결과가 결정된다. 따라서 사회적 할인율을 얼마로 가정하느냐의 문제는 경제적 타당성 유무 판단에 절대적인 영향을 미친다. 특히, 수자원개발사업과 같이 비용은 사업 초기에 발생하고 편익은 일정 기간 후 지속적으로 발생하는 경우, 경제성은 할인율의 크기에 따라 많은 영향을 받게 된다.

할인율은 개발도상국의 경우는 8-10% 수준이거나 10%가 넘는 국가도 있으나, 선진국의 경우는 보통 6% 내외의 수준이 제시되고 있다. 수자원개발사업과 같이 사업효과가 후기에 지속적으로 발생하는 공공투자사업에 대해 적용하는 할인율은 시장에서 결정되는 사적 이자율에 비하여 상당히 낮은 사회적 할인율의 사용이 타당하다. 할인율이 낮다는 것은 그만큼 미래의 편익을 높이 평가하는 것을 의미하고, 결과적으로 경제성을 높이는 결과가 나온다.

한국의 경우 수자원 개발사업에 대한 할인율은 1999년부터 예비타당성 조사가 시행되면서 적정 할인율에 대한 지침화가 이루어졌다. 한국개발연구원(2004b)에서는 일반적인 공공투자사업의 적정 사회적 할인율을 6.5%로 제시하고 있으나, 현저하게 장기적으로 편익이 발생하는 수자원부문사업의 경우, 운영 30년 동안만 6.5%를, 이후 20년은 이보다 낮은 5.0%의 할인율을 적용하도록 한 바 있다. 현재는 2007년 1월 이후 수정된 한국개발연구원(2008b)에 의하여 운영 30년 동안 5.5%, 이후 20년 동안 4.5%의 할인율을 적용하도록 하고 있다.

한편, 사업의 타당성을 평가하기 위해 사용되는 경제성 분석에는 많은 불확실성이 내포되어 있기 때문에 민감도 분석을 수행할 필요가 있다. 민

감도 분석(sensitivity analysis)은 투자비나 경제성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수, 예를 들어 총사업비나 운영비 등에 대해서 각 변수가 일정량 만큼 변화되었을 경우 경제성이 어떻게 변화하는지 파악하는 방법이다.

$$\text{민감도지수}(SI) = \frac{\text{내부수익률의 변화율}(\%)}{\text{관련변수의 변화폭}(\%)}$$

## 2. 비용편익 추정 및 분석에 관한 선행연구 검토

수돗물 수질개선의 효과는 직접적인 산출이 어려우므로 간접적으로 편익을 추정할 수밖에 없으며, 본 장에서는 상수원수 및 상수도 수질개선에 의한 편익을 산정한 기존 연구사례 분석을 통하여 편익 추정의 이론적 배경 및 방법론을 분석하고 본 연구에 적용 가능한 환경적 편익, 비용 항목 발굴 및 계량화 방안을 도출하고자 하였다.

### 1) 상수원 수질개선에 의한 편익산정 연구

양진우(1997)는 팔당상수원 수질보전과 팔당상수원지역의 개발의 trade-off적인 이해관계 해결하고 팔당상수원지역의 효율적인 환경관리 정책 구축을 위한 현실적이고 구체적인 방안을 모색하고자 조건부가치측정법을 이용, 팔당 상수원 수질개선편익을 소비자지불의사액으로 계량화하여 제시하였다. 조건부가치측정법 방법 중 편익을 최대한 방지하기 위하여 조사원이 현지를 직접 방문하여 질의·응답하는 지불카드법을 이용하였다.

신영철(1997)은 한강 수질이 ‘수영을 포함한 모든 종류의 물놀이가 가능한 수준으로 개선되는 것’을 가치 측정의 대상으로 설정하여 서울시 가구의 총편익을 측정하였다. 조건부가치측정법 중 이중양분선택형 지불의사 유도방식을 활용하였으며, 응답자들이 한강 수질개선의 편익들을 상기하도록 시나리오를 설계하고 설문하였다. 수질개선부담금을 지불수단으로 설정하여 서울시 가구 평균 지불의사액은 6,650원, 서울시 전체로 2,834억 원의 총편익이 발생하는 것으로 추정하였다. 한편 동일한 자료를 바탕으로 단일양분선택형 질문법을 통하여 지불의사를 유도한 결과 서울

시 가구 평균 지불의사액은 7,100원이고 이를 서울시 전체로 환산시 연 2,940억 원으로 추정하였다.

엄영숙(2001)은 오염된 만경강의 수질개선을 위한 하수관 개·보수와 하천정비사업 추진에 앞서 수질을 농업용수와 식수로 사용가능하고 낚시 및 수영이 가능한 1등급에서 가장 악화된 5등급으로 나눈 뒤, 각 단계별 수질 개선의 편익을 도시 거주민과 농촌지역 거주민 800명을 대상으로 이중양분선택형 조건부가치추정법을 활용하여 추정하였다. 주로 농업용수로 사용되는 만경강 물이 ‘쓸모없는 물에서 수영 가능한 수준으로 수질 개선될 경우’ 편익은 한 가구당 월 평균 5.212원으로 추정되었다.

조승국 등(2005)은 한강 수질개선의 영향을 다양한 속성들로 파악하고 속성별 경제적 편익의 크기를 측정하는 방법을 논의하고자 하였다. 본 연구에서는 기존 조건부가치추정법으로는 측정 대상이 여러 속성들을 가지고 있거나 다수의 대안들을 평가하는 상황에서는 적용이 용이하지 않다는 점을 지적하면서, 이러한 단점을 개선한 컨조인트 분석법을 이용하여 다중속성으로 구성된 환경영향의 속성들과 응답자의 지불의사액 간의 상충관계들을 동시에 추정하였다. 한강 수질의 가치를 대해 여가와 관광, 서식 지표종, 가격의 세 가지 속성으로 구분하여 서울시민들을 대상으로 설문한 결과 서울시 전체의 연평균 경제적 편익은 약 2조7,500억 원으로 추정되었다.

이주석 등(2007)은 낙동강을 상수원으로 하는 부산 등 영남지역 5개 도시 주민들을 대상으로 낙동강 수질을 1급수 수준으로 개선할 경우의 지불의사액을 조사하고 편익을 추정하였다. 기존 연구한 사례가 조건부가치추정법 중 대부분 단일경계 및 이중경계 양분선택 모형을 사용한 것을 지적하면서 비효율성, 응답 편이의 한계를 해결할 수 있는 1.5경계 양분선택 모형을 적용하여 추정한 결과 지불의사액은 매월 가구당 843원

-2,466원으로 나타났다.

여규동 등(2009)은 기존 수질개선편익 연구에서 설문 내용 중 수질개선 정도에 대한 객관적인 설명이 부족하고 단순화되었기 때문에 응답자들에게 대상 재화에 대한 정보를 충분히 전달하는데 미흡하였음을 지적하였다. 본 연구에서는 수도권을 대상으로 BOD를 통해 소비자의 수질개선 정도별 지불의사를 설문 조사하고, 결과를 통계 분석하여 지불의사액을 수질변화량에 대한 총 효용곡선으로 도출한 「수질개선-지불의사 관계식」을 도출하였다.

안송엽 등(2009)은 만경강 수질개선의 편익을 산정하기 위하여 폐쇄형 이중양분선택형 질문을 활용한 조건부가치측정법으로 측정하였다. 800명을 대상으로 한 설문조사 결과 전체 응답자들은 월평균 4,394원을 낼 의사가 있으며, 이를 통해 산출한 만경강 수질개선 총편익은 연간 23,262 백만 원에서 3,184 백만 원에 이르는 것으로 추정되었다.

## 2) 수돗물 수질개선에 의한 편익산정 연구

정승후(1994)는 1991년 낙동강의 폐놀사태 이후 수돗물 안전성 확보를 위하여 정부가 계획한 수원지 수질자동화 측정 장치 및 비상 보조수원 설치의 편익 추정을 위해 조건부가치측정법을 이용하여 서울지역 거주 주민 중 가정주부를 대상으로 수돗물 수질 개선의 편익을 추정하였다. 조사는 ‘자동수질측정 장치와 보조저수지 설치를 통해 낙동강 폐놀사고와 같은 수돗물 파동이 다시는 일어나지 않게 하기 위해 매달 기꺼이 낼 용의가 있는 최대 금액’을 질문하는 방식으로 이루어졌으며, 가구당 지불의사는 월평균 2,560원으로 나타났다.

정기호 외(1997)는 물 공급 사업에 드는 재정지출의 효율성을 평가하기 위하여 CVM 양분선택형 질문을 이용하여 대구시 수질개선사업의 경제적



가치와 사회후생을 추정하였다. 연구 결과, 1991년 폐놀사태를 인지하는 경우가 인지하지 못한 경우보다 더 높은 지불의사액을 표명하였으며, 학력과 소득수준이 높을수록, 7세 이하 어린이가 있는 경우, 종교가 있는 경우 지불의사액이 증가하였다. 반면 연령이 높을수록, 대구에 오래 거주하였을수록 지불의사액은 낮아지는 것으로 나타났다.

황영순 등(1999)은 부산시를 대상으로 한국 최초로 공급신뢰도에 대한 후생 측정값을 도출하였다. 이중양분선택 모형을 통하여 '5년에 한 번씩 여름 3개월 동안 일주일에 하루씩 단수되는 상황을 대비한 비상급수용 저수지 건설'에 대한 지불의사액을 도출하였으며, 수자원에 대한 연구에서는 일반적인 지불수단으로 수도요금, 환경세, 개선 부담금 등을 제시한 데 반하여 월 수도요금을 이용하였다. 부산지역 수돗물 공급개선의 가치는 가구당 월 3,570원이며, 수량 개선에 따른 부산시 전체 편익은 연간 약 504억 원으로서 비상저수지 건설비용을 상회하는 것으로 나타났다.

엄영숙(2000)은 조건부가치추정법의 대안으로 실험시장접근법(experimental market method)을 사용하여 먹는 물 수질기준이 강화에 따른 건강위험 감소에 대한 지불의사를 측정하였다. 일반 수돗물 한 병을 정밀검사한 물 한 병으로 교환하기 위하여 실험 참가자들은 비소에 대하여 1,887원, 납에 대하여 1,523원 그리고 트리할로메탄에 대하여 465원을 지불의사를 가진 것으로 나타났으며 이는 시판되고 있는 0.5ℓ 생수 한 병 가격의 100-300% 이상의 가격증가를 의미하였다.

Yoo and Yang(2001)은 조건부가치추정법을 통해 부산지역 수돗물 수질 개선에 대한 지불의사액을 추정하였으며, 표본선택모형을 적용하여 분석한 결과 가구당 월 평균 5,063원의 지불의사액을 추정하였다.

김재홍(2001)은 울산시민을 대상으로 조건부가치추정법 설문을 통해 상수도 수질개선에 대한 지불의사액을 추정하였다. 응답자의 67.1%가 상

수도 수질개선을 위한 지불의사를 나타냈으며, 향후 10년간의 총 지불의사액은 1,022-1,772억 원으로 추정되었다.

유승훈·홍필기(2007)는 조건부가치측정법을 적용하여 수질개선프로그램을 시행하여 발생하는 서울시 수돗물 수질개선편익을 추정하였다. 서울 지역을 대상으로 설문조사 전문 기관을 통해 서울시 전체 가구의 인구 특성과의 일관성을 유지하면서 무작위로 추출된 가구를 대상으로 설문을 시행하였고, 500개의 자료를 구하였다. 서울시 수돗물 개선편익은 월 평균 가구당 3,808원-4,434원으로 추정되었다.

과학기술부(2007)의 연구에서는 각 가정에 공급되는 생활용수의 가치를 추정하기 위해 조건부가치측정법을 활용하여 수돗물 수질 개선 시 생활용수의 경제적인 가치를 도출하였다. 서울을 포함한 7대 광역시를 대상으로 한 조사 결과, 이중경계 양분선택형 모형을 적용하여 응답자들의 지불의사액은 평균 WTP와 절단된 WTP가 각각 1,581원과 2,788원으로 도출되었다.

유승훈 등(2007)은 원주시를 대상으로 조건부가치측정법을 통해 상수도 수질개선에 대한 지불의사액을 분석하였으며, 250가구를 대상으로 ‘상수도 수질개선 프로그램에 대해 얼마나 지불할 의사가 있는지’를 조사한 결과, 가구당 월 평균 1,583원에서 2,776원의 지불의사를 가지고 있는 것으로 분석되었다.

이주석 등(2009)의 연구에서는 수돗물 수질개선 프로그램을 시행할 계획을 가진 부산시를 대상으로 1.5경계 양분선택형 조건부가치측정법을 적용, 수돗물 수질개선 편익을 추정하였다. 400가구 무작위 추출을 통한 일대일 개별면접을 통해 가구당 월 평균 2,124원의 지불의사를 가지고 있는 것으로 추정하였다.

유승훈·곽소윤(2009)은 조건부가치측정법을 적용하여 대구시 상수도 개

선에 대한편익을 도출하였다. ‘수돗물 수질개선 및 노후관 교체가 충분히 이루어지면 각 가구에서 수돗물을 그냥 마실 수 있게 되고 정수기, 약수, 생수 등을 이용하지 않아도 될 것’이라고 가상 시장에 대해 충분히 설명하고 대구, 부산, 울산, 구미, 포항, 창원의 6개 대상 지역의 세대주 및 주부에게 설문을 시행하였다. 분석결과, 평균값과 중간값이 각각 1,686원과 2,686원으로 추정되었다.

유승훈·곽소윤(2012)은 울산지역 수돗물 수질개선에 대한 응답자들의 지불의사액을 도출하였으며, 조건부가치추정법을 활용하되 조건부가치추정법에서 지켜야 할 다양한 지침을 엄격하게 준수하여 조사를 시행하고 1.5경계 양분선택형 스파이크 모형을 적용하여 분석하였다. 400개 가구를 대상으로 일대일 개별면접을 통해 설문한 결과 가구당 월 평균 1,611원의 지불의사를 나타내었다.

### 3) 환경오염에 관한 사회적 비용 추정 연구

한국환경정책평가연구원(1999)은 수질오염으로 북한강 및 한강 본류 수변에서 여가활동을 못하게 되는 것을 회피하기 위한 이용자들의 지불의사를 계량화하였다. 한강 수자원의 여가용도로서의 가치를 계량화하는데 중점을 두고 분석한 결과 인당 1회 방문시 4,768-5,468원이고, 응답자들의 연평균 방문횟수(9.6)를 적용하여 연간 45,773-52,493원으로 추정하였다.

정인태 등(2008)은 지구온난화의 사회적 비용을 추정하기 위하여 엔드포인트 접근방법을 통해 피해대상을 정의하고, 컨조인트 분석을 통해 피해의 경제적 가치를 산출하였다. 인간 건강 및 사회 자산에 대한 경제적 가치를 추정하고, 이 결과에 피해계수를 이용하여 CO<sub>2</sub> 등 지구온난화 가스종류별 비용계수를 산출하였다.

#### 4) 환경오염 개선에 관한 사회적 편익 추정 연구

한국환경정책평가연구원(1997)은 자동차 공해저감대책의 경제성과 환경성을 고려하여 비용편익을 분석하였다. 본 보고서에서는 호흡기질환 건수 및 대기오염물질의 평균치 자료를 활용하여 손실함수 접근법을 통한 대기오염물질별 사회적 비용을 추정하였다. 그 결과 1995년 기준 오염물질 1kg당 평균 사회적 비용은 NO<sub>2</sub>의 경우 2,955원, SO<sub>2</sub> 130원, CO 120원, HC 764원 및 먼지 91원으로 추정되었다.

관련 연구로서 조준모(1997)는 1994년 동안 NO<sub>x</sub>에 의한 호흡기 질환으로 사회적 비용이 약 1조 4835억 원이며, 같은 해 전국 NO<sub>x</sub> 배출량 중 자동차의 비중이 41.5%에 달함을 지적하면서 이에 따른 위해비용이 약 6,155억 원에 이르고 GNP의 0.2%에 해당함을 분석하였다.

유승훈 등(1998)은 한국의 이산화탄소 배출량이 꾸준히 증가하고 있는 상황에서 지구온난화 문제에 적극적으로 대처해야 한다는 필요성을 바탕으로 오염물질의 농도가 규제허용치를 종종 초과하는 서울지역을 대상으로 4개의 권역으로 나누어 무작위 직접 방문조사를 통해 온실가스 저감 정책 시행에 대한 지불의사액을 추정하였다. 추정모형은 OLS, Tobit 및 LAD이며, 이에 따른 평균적 가구의 월 지불의사액은 각각 2,003원, 1,925원 및 1,745원으로 분석되었다.

한국환경정책평가연구원(2001)은 기후변화협약 대응이 주로 온실가스 저감 투자비용 또는 경제적 직접피해 손실에 중점을 두었던 한계점을 지적하며, 온실가스 저감 조치의 부수적인 환경편익을 화폐화하고 비용 대비 편익을 파악하여 순편익에 기초한 균형점을 찾는 방향 제공을 목적으로 연구를 수행하였다. 한국에는 대기오염으로 인한 건강, 생태계 피해의 상관관계를 정량화할 수 있는 자료가 축적되어 있지 않았으므로 ExternE의 영향경로접근방법(impact pathway approach)을 사용하여 유

립의 연구결과를 활용하였다.

조승헌 등(2002)은 서울, 인천, 경기 지역을 대상으로 에너지사용에 대한 과세와 대기오염물질 감축의 경제성 분석을 수행하였다. 연구 결과 대기오염세와 탄소세 부과시 모두 오염물질 감소와 더불어 건강편익이 증가하였으며, 건강편익/총비용 비율이 0.1-0.5사이로서 사회적 편익이 증가하는 것으로 나타났다.

남두희 등(2012)은 철도사업의 대표적인 환경피해인 대기오염의 피해가 점진적, 누적적, 비가시적으로 나타나고 피해범위를 한정할 수 없어 화폐가치 환산이 어려우며, 국내 기존 연구결과가 없는 실정을 지적하면서 영국·EU·UNEP의 관련 자료를 활용하여 환경편익을 분석하였다.

#### 5) 비용편익 분석 및 경제성 평가에 관한 연구

한국개발연구원 공공투자관리센터에서는 2000년 이후 수자원 및 광역 상수도 건설 사업에 대한 예비타당성을 분석하였으며, 각 사업내용, 비용 편익 추정 및 분석 방법론에 대하여 다음과 같이 정리하였다.

< 표 3. 한국개발연구원 예비타당성조사 사업 주요내용 >

분 야	사업명	연도	적용방법	비용 추정	편익 추정	분석 기법
광역 상수도 사업	충남남부권 광역상수도 사업	2004	타당성 분석기간 : 25년 사회적 할인율 : 6% 기준년도 : 2003년	초기투자비(공사비, 보상비, 관리비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(인건비, 전력비, 약품비, 유지수선비, 일반관리비)	용수공급 편익 추정 - 수요함수 접근법 - 원가기준 접근법 - 평균가격 접근법	-NPV -B/C
	경북중부권 광역상수도 건설사업	2005	타당성 분석기간 : 45년 사회적 할인율 - 30년 : 6.5% - 30년 이후 : 5% 기준년도 : 2004년	초기투자비(공사비, 보상비, 시설부대경비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(인건비, 전력비, 약품비, 유지수선비, 일반관리비)	용수공급 편익 추정 - 수요함수 접근법 - 평균가격 접근법 수질개선 편익 추정(정성적)	-NPV -B/C -IRR
	구미Ⅲ단계 광역상수도 사업	2008	타당성 분석기간 : 45년 사회적 할인율 - 30년 : 5.5% - 30년 이후 : 4.5% 기준년도 : 2007년	초기투자비(공사비, 보상비, 시설부대경비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(인건비, 전력비, 약품비, 유지수선비, 용수구입비, 일반관리비)	용수공급 편익 추정 - 평균가격 접근법 - 소비자지불의사액	-NPV -B/C -IRR
	남강댐 재개발사업 및 부산·경남권 광역상수도 사업	2009	타당성 분석기간 : 45년 사회적 할인율 - 30년 : 5.5% - 30년 이후 : 4.5% 기준년도 : 2007년	초기투자비(공사비, 시설부대 경비, 용지보상비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(인건비, 전력비, 유지수선비, 일반관리비)	소비자 편익 : 지불의사액 기존 취·정수시설 운영비용 절감편익 - 취수시설 운휴 - 정수시설 운영비용 절감 환경개선용수 확보 편익	-NPV -B/C

분 야	사업명	연도	적용방법	비용 추정	편익 추정	분석 기법
광역 상수도 사업	달산댐 건설사업 및 포항(II)단계 공업용수도 건설사업	2011	타당성 분석기간 : 50년 사회적 할인율 - 30년 : 5.5% - 30년 이후 : 4.5% 기준년도 : 2009년	초기투자비(공사비, 용지보상비, 시설부대경비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(인건비, 전력비, 유지수선비, 일반관리비)	공업용수 공급 편익 - 산업용수 추가 이용에 따른 부가가치 증대효과 추정 (생산함수를 통한 한계생산성 추정)	-NPV -B/C -IRR
	충주댐계통 공업용수도 사업	2012	타당성 분석기간 : 45년 사회적 할인율 - 30년 : 5.5% - 30년 이후 : 4.5% 기준년도 : 2010년	초기투자비(공사비, 부대비, 용지보상비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(유지관리비) 배수시설 설치비용	공업용수 공급 편익 - 「공업용수 공급편익 산정 요령 가이드라인」 (KDI, 2011.3)	-NPV -B/C -IRR
급수 체계 구축 사업	수도공급시설 연계운영사업	2000	타당성 분석기간 : 25년 사회적 할인율 : 7.5% 기준년도 : 2000년	초기투자비(공사비, 보상비, 관리비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(전력비, 유지보수비)	비상시 운영의 편익 - 급수차량 운반비에 의한 편익 추정	-NPV -B/C -IRR
	한강하류권 급수체계구축 1차 사업	2003	타당성 분석기간 : 25년 사회적 할인율 : 6% 기준년도 : 2001년	초기투자비(공사비, 보상비, 관리비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(전력비, 유지보수비)	용수공급편익 - 수요함수 접근법 - 평균가격 접근법 - 원가기준 접근법	-NPV -B/C -IRR
	금강북부권 급수체계 구축사업	2006	타당성 분석기간 : 50년 사회적 할인율 - 30년 : 6.5% - 30년 이후 : 5% 기준년도 : 2001년	초기투자비(공사비, 보상비, 시설부대경비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비	용수공급 편익 추정 - 수요함수 접근법 수질개선 편익 추정 - 기존 연구결과 활용 (부산시)	-NPV -B/C -IRR

분 야	사업명	연도	적용기준	비용 추정	편익 추정	분석 기법
급수 체계 구축 사업	한강하류권 2차 급수체계 조정사업	2009	타당성 분석기간 : 45년 사회적 할인율 - 30년 : 5.5% - 30년 이후 : 4.5% 기준년도 : 2008년	초기투자비(공사비, 용지보상비, 시설부대경비, 예비비) 총사업비의 연차별 배분 재투자비 및 잔존가치 경상운영비(인력비, 전력비, 약품비, 용수구입비, 유지수선비, 일반관리비)	용수공급 편익 추정 - 생활 : 소비자지불의사액 - 공업 : 광역상수도 평균 가격	-NPV -B/C -IRR
	대암댐 대체저류지 및 도수관로 건설	2009	타당성 분석기간 : 45년 사회적 할인율 - 30년 : 5.5% - 30년 이후 : 4.5% 기준년도 : 2008년	초기투자비(공사비, 시설부대경비, 용지보상비, 예비비) 경상운영비(공사비 0.5%, 전력비) 재투자비 및 잔존가치 총사업비의 연차별 배분	청정원수 확보의 편익 - 정수처리비용 절감 - 소비자 후생 증가 : 지불의사액	-NPV -B/C



### Ⅲ. 연구 설계 및 분석모형

#### 1. 정수처리공정 개관

##### 1) 개념

수처리란 물속의 불순물을 제거시키는 것으로 제거 대상 불순물의 크기에 따라 적용되는 공법의 범위가 결정되며, 기본 원리는 화학적 응집, 침전 및 여과 과정을 통해 수중 불순물을 제거하여 용도에 적합한 수질의 물을 생산하는 것이다. 이러한 수처리의 목적은 생활용수로서 일상생활에 필요한 물을 위생적으로 뿐만 아니라 이화학적으로도 안전하게 공급하거나 공업용수로서 산업 용도에 적합한 물을 공급하는 것이다.

상수도시스템은 수원으로부터 원수를 취수하여 도수관거로 정수장으로 물을 보내어 정수처리를 거친 물을 오염을 방지하기 위하여 암거를 통하여 배수지로 송수하는 것을 통틀어 말한다. 정수시설은 수도시설의 중추 시설이며, 정수처리방법과 정수시설의 선정 및 유지관리는 수도시스템 전반에 영향을 미친다. 정수시설이 집결된 장소인 정수장은 하나의 공장(water treatment plant)으로서 일련의 처리과정을 통하여 원수를 음용에 적합한 물로 처리한다. 정수처리 방법에는 소독만 하는 방식, 완속여과방식, 급속여과방식, 막여과방식, 고도정수처리방식 등 여러 방법이 있으며 이와 같은 처리방법을 선정하는 것은 정수수질의 관리목표를 만족시키기 위함이다.

## 2) 수처리 공정의 종류

### ① 일반정수처리공정

비교적 깨끗한 원수를 수원으로 이용하는 경우 일반정수처리공정으로 도 양질의 음용에 적합한 처리수 확보가 가능하며, 이 경우 처리공정은 [착수정 - 혼화지 - 응집지 - 침전지 - 여과지 - 정수지] 및 배출수 처리공정과 같은 프로세스로 구성된다. 각 단위공정의 기능은 다음과 같다.

< 표 4. 각 단위공정 기능 >

공정	목적 및 역할
착수정	정수장 유입 원수의 수위 및 후속 공정 유량 안정화
혼화지	수처리용 약품을 주입하여 수중 불순물의 응집 유도
응집지	수중 불순물의 크기를 증가시켜 후속 공정 제거효율 제고
침전지	수중 불순물을 중력침강작용으로 제거
여과지	침전으로 제거되지 않는 미세 불순물 제거
정수지	여과처리 후 소독처리(염소주입)하여 병원성 미생물 제거
배출수처리	수처리 과정에서 배출되는 슬러지의 농축, 탈수·건조 및 재활용

### ② 고도정수처리공정

고도정수처리란 통상의 정수방법으로는 제거되지 않는 농약, 유기화학물질, 냄새물질, 트리할로메탄(THM) 전구물질, 색도, 음이온계면활성제 등의 처리를 목적으로 도입된 활성탄 및 오존처리 시설 등을 말한다.

한국의 주요 상수원인 낙동강, 금강 등의 수질이 악화되어 하류지역 수질이 3급수 이하로 낮아지고 1989년 이후 중금속, THM, 페놀사건, 벤

젠 등 각종 수돗물 유기물질 오염사고가 다발하면서 낙동강을 원수로 하는 정수장에서 우선적으로 고도정수시설을 도입하게 되었다.

기존 정수처리 기술로 처리하기 어려운 물질들은 농약 및 유기화학물질, 이취미(geosmin, 2-methylisoborneol(2-MIB)), 소독부산물, 음이온 계면활성제 등이 있다. 따라서 고도정수처리 목적물질은 일반정수처리공정으로 제거하기 어려운 냄새물질, 암모니아성질소, 페놀류, 트리할로메탄 전구물질, 조류번식, 미량오염물질 등이며 고도처리공정을 기존 처리공정에 단독으로 부가시키거나 조합된 형태로서 구성하고 있다.

고도정수처리 기술로는 오존처리기술, 활성탄처리기술, 고도산화기술, 막분리기술 등이 있으며, 국내에서는 오존과 활성탄 처리기술이 가장 보편적으로 도입되고 있다. 오존처리는 오존의 강력한 산화력을 이용하여 수중 오염물질을 분해·제거하거나 미량유기물질의 성상을 변화시킨 후 활성탄에 흡착시켜 제거하는 방법으로 활용할 수 있으며, 특히 트리할로메탄 전구물질이나 맛·냄새물질의 제거에 효과적이다. 또한 오존은 살균 효과가 우수하여 소량의 접촉에 의해서도 대부분의 세균을 사멸시키며, 염소살균과는 다르게 트리할로메탄 등의 유기염소계 화합물을 생성시키지 않아 이산화염소와 함께 대체살균제로 사용할 수 있다. 그러나 최근 오존처리시 humic acid, fulvic acid 등의 유기물질과 오존이 반응하여 인체에 유해한 부산물을 생성하는 것으로 알려지고 있으므로 위에서 언급한 고도정수처리 공정과 같이 오존과 GAC 및 BAC 등의 단위공정이 함께 채택되고 있다.

기존 급속여과를 중심으로 한 정수처리 설비는 응집·침전, 여과라는 과정을 거쳐서 물리화학적 작용에 의하여 주로 현탁성 성분을 제거하는 것이다. 이와 비교하여 활성탄 처리설비는 코코넛 껍질이나, 석탄, 나무 등을 고온에서 탄화시켜 만든 활성탄의 내부에 무수한 세공을 이용하여

흡착 가능한 유해물질들은 제거하는 것으로서, 과망간산칼륨을 소비하는 물질 등의 용해성 유기물질, 트리할로메탄 전구물질, 맛·냄새물질, 농약 성분 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.

## 2. B정수장 사례 소개

### 1) 연혁

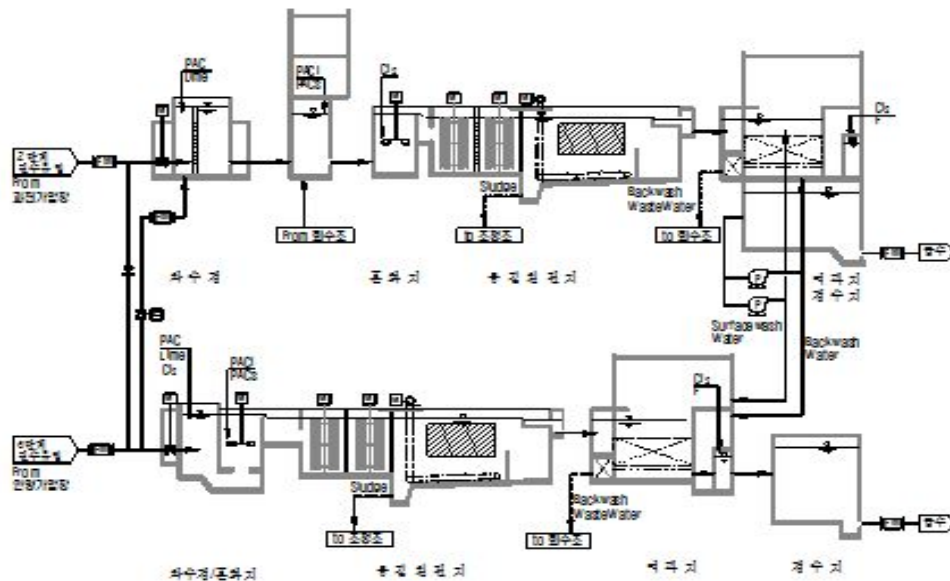
수도권 일원에 상수원수를 공급하는 팔당댐은 3개의 취수장을 가지고 있으며, 1취수장은 1-2단계, 2취수장은 3-4단계, 그리고 3취수장은 5-6단계 공급계통을 통해 수도권 전 정수장으로 팔당원수를 도수하고 있다. 1980년 팔당 2단계 원수의 정수처리시설 도입 및 1989년 추가로 3단계 원수의 정수처리시설을 건설한 이래 약 30년간 지속 가동하여 온 B정수장은 일평균 약 120천m<sup>3</sup>의 정수를 안산시에 공급하고 있으며, 급수지역은 안산시 고잔2지구, 성포동, 부곡동 등으로서 총 급수인구는 33만 명이상이다.

## 2) 정수처리공정 개요

B정수장은 2, 3단계 정수설비의 혼재 및 노후로 1994년 시설개량공사를 통하여 설비를 교체하고 2, 3단계 정수시설과 배출수 시설을 통합하여 체계적 운영체계를 수립하였다.

B정수장의 기존 정수처리 과정은 [혼화 - 응집 - 침전 - 여과 - 소독]으로 구성된 표준식(conventional process) 공정으로, 정수장 건설당시 부지의 제약으로 인하여 침전지는 고효율 침전지의 일종인 경사판침전지(수평류식)를 사용하였으며 2단계 정수지는 여과지 하부에 설치되어 있다. 2, 3단계 여과지 형식은 가장 일반적인 형태인 단일모래 여재를 사용한 급속여과 방식을 도입하였다.

배출수공정은 [조정 - 농축 - 탈수]과정으로 처리되며 탈수기는 벨트 프레스를 사용, 탈수된 케익은 시멘트 제조과정에서 재활용되고 있다.



< 그림 1. B정수장 기존 수처리공정도 >

### 3) 고도정수처리 도입

K-water는 수도 산업 환경변화에 능동적 대처를 위하여 2002년 12월 정수처리공정개선 종합대책인 「정수처리공정개선 Master Plan」을 수립하였다. 이 계획에서 시민들의 먹는 물 수질에 대한 욕구증대 및 정부 수질기준 강화에 대처하기 위하여 K-water는 자체 수질목표를 선정한 바 있다. 그러나 팔당호를 수원으로 하는 한강수계 정수장에서는 하절기 남조류 번성에 의한 원수 수질악화로 맛·냄새 항목에 대한 목표 수질기준을 일반정수처리로는 달성하기 어려울 것으로 판단하고, 이를 효과적으로 처리할 수 있는 최적 공정, 즉 고도정수처리를 도입하기로 결정하였다.

한강수계 서남부권에 위치하고 있는 B정수장은 1980년부터 안산시에 생활용수를 공급하고 있으나, 취수원 수질악화 및 시설노후화, 수질기준 강화 등으로 다음 < 표 5 >와 같은 문제점을 해결하여야 할 필요성이 높아졌으며, 이에 따라 B정수장에 대한 전면적인 개량 및 고도정수처리 도입이 추진되었다.

#### < 표 5. B정수장 고도정수처리 도입 목적 >

정수처리기준 강화에 대응하기 위한 노후화된 정수처리시설 전면개량 심미적 불쾌감으로 수돗물 불신감을 유발하는 맛·냄새, 미량유해물질 제거
--

도입은 단계적으로 이루어지도록 계획하였으며 1차 도입 내용은 신설 착수정 건설, 전오존 주입설비 신설 및 2단계 여과지의 활성탄 교체를 대상으로 하고, 2차 도입은 2014년 이후에 3단계 여과지를 활성탄으로 교체하는 것으로 계획하였다.

B정수장 고도정수처리 도입의 목표는 팔당 상수원의 수질 현황을 근

거로 한국 내외의 기준 중 강화된 수질기준을 채택하되, 필요시 선진국 수준의 수질목표를 설정하여 국민의 수돗물 불신 해소 및 향후 예상되는 수돗물에 대한 욕구 증대에 부응하도록 하였다. 주요 항목에 대한 수질 목표를 요약하면 다음 < 표 6 >과 같다.

< 표 6. 주요 수질항목의 목표 설정 >

탁도(NTU)		소독부산물( $\mu\text{g/L}$ )			맛·냄새			부식지수
95%빈도	Peak	THMs	HAA5	CH	FPA Index	Geosmin	2-MIB	LI
0.1NTU 이하	0.3NTU 이하	80이하	60이하	30이하	1이하	10ng/L	10ng/L	-1.5이상

자료 : K-water

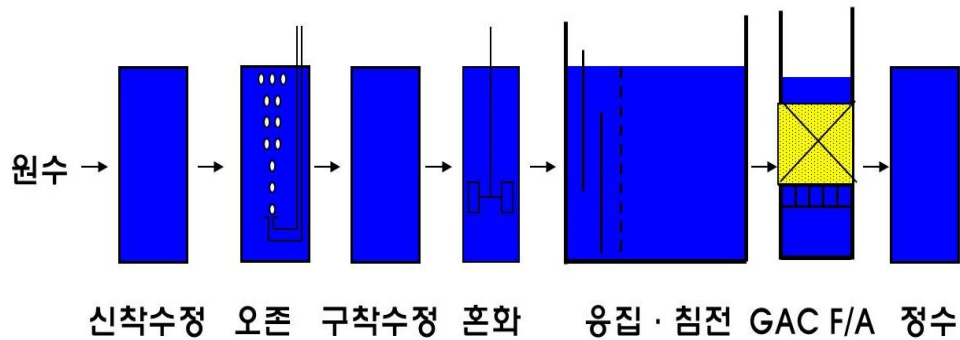
B정수장 1차 고도정수처리공정 도입을 위한 공사기간은 2005년부터 2009년까지 약 5년간 진행되었으며, 총 사업비는 고도정수처리시설 도입, 노후시설 개량 및 기타 운영시스템 구축 등 300억 원 이상으로서 이중 일부분이 고도정수처리 도입 비용에 해당한다. 목표 수질을 달성하기 위한 도입 공정은 [전오존( $\text{O}_3$ ) - 활성탄여과지(F/A)]로 구성되었다. 이는 [후오존( $\text{O}_3$ ) - 활성탄흡착지(Post GAC)] 공정이 맛·냄새 물질 제거에 가장 효과적으로 대처가 가능하나, B정수장 내 활성탄흡착지를 설치할 경우 가용부지가 협소하고 용지보상 지연이 예상될 뿐 아니라 기존 수두 부족으로 인한 가압장 추가설치 등으로 공사비 및 유지관리비 소요가 과다할 것으로 예상되었기 때문이다. 따라서 기존 부지 내에서 시설도입이 가능하며 장래 수질에도 안정적인 대처가 가능한 [전오존( $\text{O}_3$ ) - 활성탄여과지(GAC F/A)]로 고도정수처리 공정을 선정하였다.

< 표 7. B정수장 1차 고도정수처리공정 도입 기간 >

공정	도입기간	운영시점
전오존(O <sub>3</sub> )	2009	2010-
활성탄여과지(F/A)	2006-2008	2007-

< 표 8. B정수장 정수처리공정 흐름 비교 >

고도정수처리공정 (2단계 여과공정)	일반정수처리공정 (3단계 여과공정)	비고
① 신설착수정	① 신설착수정	
② 전오존 주입시설	② 전오존 주입시설	
③ 기존(구)착수정	③ 기존(구)착수정	
④ 혼화·응집지	④ 혼화·응집지	
⑤ 침전지	⑤ 침전지	
⑥ 활성탄여과지(F/A)	⑥ 모래여과지	2단계 여과지 구조개량, 여재교체
⑦ 정수지	⑦ 정수지	



< 그림 2. B정수장 2단계 고도정수처리 공정도 >



### 3. 비용편익 분석방법

#### 1) 조사방법론

본 연구는 고도정수처리공정의 환경경제적 비용 편익 분석에 대한 연구로서 선행 연구 방법을 기초로 하되, 환경영향에 따른 사회적 오염비용 발생 혹은 사회적 편익 증가로 범위를 확대하여 고도정수처리 공정 도입의 경제성을 평가하고자 한다. 평가 대상은 고도정수처리를 도입하여 운영 중인 K-water의 B정수장을 대상으로 도입 전후 실증 사례분석을 수행한다.

비용편익 분석의 기법으로는 한국개발연구원(2008b)을 근거로 하여 순현재가치, 편익 비용 비율 및 내부수익률을 산출한다.

본 경제성 분석의 추정에 사용된 추정치의 오차를 보완하기 위하여 민감도 분석을 수행하며, 이를 통하여 비용 편익 분석결과에 영향을 미칠 수 있는 주요 항목 및 경제성 평가의 결정 요인을 도출한다.

경제성 분석은 B정수장 고도정수처리공정 도입이 추진된 2005년부터 시작하며, 기 건설된 일반정수처리공정을 운영하면서 공사가 이루어진 점을 감안하여 기존 공정 운영 중단시의 편익이 고도정수처리 도입 공사 착공 시점인 2006년부터 단계적으로 발생한 것으로 본다.

공공투자사업의 경제적 타당성 평가에서 사용되는 가장 중요한 파라미터의 하나는 사회적 할인율이며, 이 수치가 얼마인가에 따라 할인된 편익 및 비용의 추정 값이 결정되어 결국 경제성 분석결과에 절대적인 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 기존 수행된 예비타당성 조사에서 기준으로 삼고 있는 한국개발연구원(2008b)의 사회적 할인율을 적용한다. 단, 한국개발연구원(2008b)에서 언급된 바와 같이 예비타당성 조사에서

비교적 장기(long-term)인 사업은 수자원 부문에만 존재하므로, 본 연구의 대상인 고도정수처리(수도부문)의 경우 장기사업의 대상에는 포함되지 않는 것으로 간주하며 경제적 타당성 평가를 위한 분석기간은 수자원의 도로, 철도 및 항만부문 사업과 마찬가지로 30년을 적용하기로 한다. 따라서 본 연구의 경제성 분석기간은 고도정수처리공정 도입 기간인 2005-2009년(5년간) 및 준공 후 30년 동안이며 이때의 사회적 할인율은 5.5%를 적용하기로 한다. 순편익의 현재가치는 고도정수처리공정 도입 공사 착수 시기인 2005년도를 기준으로 산출한다.

## 2) 비용 산정방법

사업비는 크게 초기투자비와 경상운영비로 구분할 수 있으며 초기투자비는 시설 설치단계에서 소요되는 공사비, 사업관리비 및 재투자비 등으로 구성되고 경상운영비는 공사 완료 후 발생하는 인건비, 전력비, 약품비, 유지수선비 및 일반관리비 등으로 구성된다.

본 연구는 실증적 사례를 바탕으로 비용 편익 분석을 수행하고자 하므로 대상 사례로부터 도출된 실제 소요 사업비를 기준으로 한다. 즉 B정수장 고도정수처리 도입시 소요된 공사비를 기준으로 초기투자비를 산정하고 고도정수처리공정 운영에 소요되는 경상운영비 역시 실제 운영비용을 근거로 산출한다.

본 연구에서 추가적으로 반영하고자 하는 환경오염의 사회적 비용 산출 부분은 비시장재화인 다양한 환경오염물질의 시장가격을 구하기 불가능하다는 점을 감안하여 기존 연구사례에서 도출된 추정 계수를 적용하고자 한다.

### 3) 편익 산정방법

본 연구에서 산정할 수 있는 편익은 크게 두 부분을 나눌 수 있다. 첫째, 기존 일반정수처리공정을 유지, 운영할 경우 발생하는 비용 부분이다. 고도정수처리공정 도입이 이루어지지 않는다 하더라도 기존 시설물의 운영비 및 관리비는 지속적으로 발생하며 결국 이는 고도정수처리 도입에 의한 편익으로 볼 수 있다.

둘째, 고도정수처리공정 도입에 의한 수돗물 수질개선 부분이다. 앞서 언급하였듯이 B정수장 고도정수처리의 도입 목적은 보건 안정성 및 심미적 안정감까지 높일 수 있는 깨끗한 수돗물을 공급하는 것이며, 이는 결국 수돗물의 수질을 개선함으로써 소비자가 얻는 편익으로 간주할 수 있다.

본 연구의 대상인 B정수장 고도정수처리공정 도입은 연차별로 이루어졌으며 이에 따라 편익 또한 공정별 도입 시기에 따라 < 표 9 >와 같이 단계적으로 발생하였다.

경제학적 관점에서 용수 시장의 신호는 가격이지만 한국의 용수공급은 국가에 의해 주도되고 있기 때문에 수돗물 요금의 통제가 이루어지고 있으며, 시장가격에 근거한 편익산정은 한계점이 있고 또한 현재로서는 불가능하다. 따라서 기존에 연구된 편익산정 방법론 또한 시장가격에 의한 직접 산출대신 비시장재화의 가치 측정 수단인 조건부가치측정법을 적용하여 소비자의 지불의사액을 도출하고 이를 근거로 편익을 계량화하였다. 본 연구에서도 기존 연구사례의 지불의사액을 적용하여 고도정수처리공정에 의한 환경편익을 산출하고자 한다.

< 표 9. 고도정수처리공정 도입의 수질개선편익 발생 시기 >

도입 완료된 고도처리공정	도입시기	편익 발생시기(누진)
GAC F/A 7개지	2007	2008 (70%)
GAC F/A 10개지	2008	2009 (100%)
전오존 주입시설	2009	2010 (100%)

#### 4. 비용편익 항목 도출

광역상수도 사업은 공공재적 성격을 갖는 대표적인 사회간접자본 확충 사업으로서 그 과정에서 다양한 편익과 비용이 발생한다. 이러한 비용, 편익 항목들은 성격에 따라 계량적·비계량적 및 직접·간접 항목으로 구분되며, 계량가능하지 않거나 간접적인 항목의 추정은 현실적으로 대단히 어렵다. 본 연구는 이러한 광역상수도 사업의 하나인 고도정수처리공정 도입에 의한 사업비용, 운영비용 및 환경오염비용 등을 합한 총비용과 기존 일반정수처리공정 운영비용 및 수돗물 수질개선의 편익 등을 고려한 총편익을 산출하여 비용편익 분석을 수행하는데 목적이 있다. 비용산출의 측면에서는 공사비, 관리비 등 가시적인 재원투자에 더하여 고도처리 도입에 의한 부정적인 환경영향을 공학적 산출 기법 및 추정된 원단위를 가하여 다시 화폐적 가치로 산출하고자 한다. 또한 기존 조건부 가치추정법으로 추정되었던 수질개선 편익 계수를 활용하여 고도정수처리공정 수돗물 수질개선의 환경경제적 편익을 도출하고자 한다. 따라서 본 연구를 수행하기 위하여 필요한 분석항목은 크게 비용과 편익의 두 부분으로 구분되며 다음 < 표 10 >과 같이 요약할 수 있다.

< 표 10. 비용 편익 분석항목 >

구 분	항 목		내 용	산정방법	자 료
비용	초기 투자비	공사비	고도정수처리공정 도입에 소요된 공사비	사업비(준공금)	K-water
		관리비	고도정수처리공정 도입 기본 및 실시설계비	공사비 × 요율	K-water
		재투자비	고도정수처리공정 도입 시설, 설비의 재투자비	공사비 × 요율	K-water
	경상 운영비	운영비	고도정수처리공정 도입에 의한 운영비 (인건비, 전력비, 약품비)	임금 통계 수돗물 생산량 × 단가	K-water
		유지수선비	고도정수처리공정 도입에 의한 유지수선비 (구조물, 기계·전기설비 및 여재관리)	공사비 × 요율	K-water
		일반관리비	고도정수처리공정 도입에 의한 일반관리비	(운영비, 유지수선비) X 요율	K-water, 선행연구
	성능개선비		고도정수처리공정 도입에 의한 성능개선비 (활성탄 재생, 교체비)	활성탄 교체물량 × 단가	K-water
	환경비		고도정수처리공정 도입에 의한 환경피해 영향	오염물질 배출량 × 원단위	K-water 선행연구
	편익	경상 운영비	운영비	일반정수처리공정 운영비 (약품비, 여재관리비)	수돗물 생산량 × 단가
일반관리비			일반정수처리공정 운영시 일반관리비용	운영비 × 요율	K-water
수질개선		고도정수처리공정 도입의 수질개선 효과	WTP × 가구수	선행연구	

## 5. 자료 및 계수 추정

본 연구의 비용과 편익 산출을 위한 B정수장 운영 및 기타 관련 자료는 다음과 같으며 1)-4)번 항목은 비용, 5)-7)번 항목은 편익 산정 부분으로 구분된다.

### 1) 고도정수처리공정 도입 초기투자비

B정수장 고도정수처리공정 도입에 소요된 공사비, 관리비 및 시설물별 재투자비용으로 구성된다. 관리비는 과학기술부(2004)에 따라 건설부문의 효율을 적용하여 간접적으로 산출하고, 시설물별 재투자비용은 토목·건축시설 및 기계·전기설비로 구분하여 각각의 내구연수를 고려하여 산정하였다.

### 2) 고도정수처리공정 경상운영비

B정수장의 고도정수처리공정 실제 운영 자료를 바탕으로 한 인건비, 전력비, 약품비 및 유지수선비로 구성되며, 유지수선비는 세부적으로 다시 한국개발연구원(2004a)에 따라 고도정수처리 시설물별 공사비에 < 표 11 >의 유지보수율을 가하여 산출한 유지보수액 및 기계설비 소모품(예비품) 교체비, 여재관리비 및 일반관리비로 구성된다.

일반관리비는 한국개발연구원(2004a)에 따라 인건비, 전력비, 약품비, 유지수선비 합계 20%를 적용하여 산정하였다.

< 표 11. 유지수선비 산정 요율 >

구 분	유지보수율
구조물(정수장)	0.008
관로(도·송수관로)	0.005
기계·전기	0.040

### 3) 고도정수처리공정 성능개선비

B정수장 고도정수처리공정 구성요소 중 하나인 입상활성탄의 재생 및 교체시 소요되는 비용으로서 실제 발주단가 및 관련 연구 자료를 기준으로 산출하였다.

### 4) 오염물질 배출량 및 사회적 비용 원단위

전과정평가 전용 소프트웨어(Tool for TypeIII Labelling and LCA, TOTAL)을 통해 이론적으로 B정수장의 일반정수처리 및 고도정수처리 공정 운영시 오염물질별 배출량을 산출하고 한국개발연구원(2004c)에 따라 오염물질별 원단위를 활용하여 비용을 추정하였다.

< 표 12. 오염물질별 원단위 (2000년 기준) >

(단위: 원/kg)

오염물질	CO	HC	NOx	PM	CO <sub>2</sub>
원단위	6,376	7,410	7,671	25,045	34

### 5) 일반정수처리공정 경상운영비

운영비는 기존 모래여과 일반정수처리공정 운영시 소요되는 약품비 및

여재관리비로 구성되며, 여재관리비는 세부적으로 다시 여재 삭취, 보충 및 세척·교체 비용으로 구분하였다. B정수장 실제 운영비를 기준으로 산출하였다.

일반관리비는 한국개발연구원(2004a)에 따라 운영비 구성 항목인 약품비 및 여재관리비의 20%를 적용하여 산정하였다.

#### **6) 고도정수처리공정 도입 전후 수질측정자료**

B정수장 고도정수처리 도입 이후 2008-2012년 기간 동안 2단계 및 3단계 정수에 대한 환경부(2011a)에 따른 수질검사 결과를 바탕으로 고도처리정수의 수질개선 효과를 평가하였다.

#### **7) 상수도 수질개선에 따른 소비자지불의사액 자료**

< 표 13 >과 같이 선행연구를 통해 파악한 상수도 수질개선에 따른 소비자지불의사액 자료를 활용하여 B정수장 고도처리정수의 수질개선 편익을 산출하였다.



< 표 13. 상수도 수질개선에 대한 소비자지불의사 선행연구 >

대상지역	관련연구	방법론	연구시기	소비자지불의사액
서울시	정승후(1994)	CVM	1994년	매월 가구당 2,560원
대구시	정기호 외(1997)	"	1997년	사회경제적 요소에 따라 지불의사액 상이
부산시	Yoo and Yang(2001)	"	2001년	매월 가구당 5,063원
울산시	김재홍(2001)	"	2001년	10년간 총액 1,022 - 1,772억원
서울시	유승훈·홍필기(2007)	"	2007년	매월 가구당 3,808 - 4,434원
7대 광역시	과학기술부(2007)	"	2007년	매월 가구당 1,581원
원주시	유승훈 등(2007)	"	2007년	매월 가구당 1,583 - 2,776원
대구시	유승훈·곽소윤(2009)	"	2009년	매월 가구당 1,686원
부산시	유승훈(2009)	"	2009년	매월 가구당 2,124원
울산시	곽소윤·유승훈(2012)	"	2011년	매월 가구당 1,611원

## IV. 비용편익 분석 결과

### 1. 분석의 가정

본 연구는 B정수장의 사례를 중심으로 고도정수처리의 비용과 편익을 분석하고자 하나 현실적 제약사항을 모두 반영하기에는 한계가 있으므로 다음과 같이 몇 가지 가정을 적용하고자 한다.

첫째, B정수장 고도처리공정 도입이 단계적으로 이루어지면서 기존 2, 3단계 여과지 중 2단계 여과지만이 활성탄 F/A로 교체되었으므로 엄밀히 구분하여 2단계 여과수만이 고도처리 된 수돗물이라 할 수 있을 것이나, 정수장으로 유입된 원수는 전량 오존투입을 통한 전처리를 거치게 되므로 사실상 3단계 모래여과 처리수 역시 고도처리의 영향을 받은 것으로 간주할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 오존공정까지 도입된 이후인 2010년부터 2, 3단계 정수생산 총량을 기준하여 비용, 편익 항목을 추정하였다.

둘째, 고도처리공정 운영시 오존공정의 가동 기간을 연중, 즉 365일이라 가정하였다. 실제로 오존공정 도입 후 2009-2010년 기간 중 B정수장에서 수돗물 생산과정에서 오존을 투입한 일수는 평균 약 50일에 불과하다. 그러나 오존 투입기간은 수돗물 수질개선 편익과 직접적 연관성을 가지고 있는 중요한 항목으로서 편익 산정시 소비자의 수질개선에 따른 지불의사액의 기준이 되는 수질을 확보하기 위해서는 연중 오존 투입이 전제되어야 할 것으로 보았기 때문이다.

셋째, [전오존( $O_3$ ) - 활성탄여과지(F/A)] 조합공정에서의 활성탄 교체 주기를 매 6년으로 가정하였다.<sup>7)</sup> 오존 투입이 연중 60일 미만으로 간헐

적으로 이루어질 경우 활성탄 F/A 여과공정은 오존에 의해 전처리된 원수를 공급받지 못하게 되므로 처리부하가 증가하게 되며, 이는 활성탄의 흡착능 소모를 가속화하므로 이 때 활성탄의 교체 주기, 즉 성능개선 주기는 3년으로 축소되어야 하기 때문이다.

넷째, 일반정수처리공정에서 모래여과지 여재관리 주기는 한국상하수도협회(2007)을 기준으로 산정하였다. 법적으로 관리주기가 명시되어 있지 않고 각 정수장 운영조건에 따라 일정한 기준 없이 이루어지고 있는 부분이므로 객관적인 기준이라 할 수 있는 매뉴얼을 기초로 주기를 설정하였다.

이 밖에 B정수장의 비용 편익을 산정하기 위하여 연구에 적용한 기초 자료들을 정리한 것이 다음 < 표 14 >와 같다.

< 표 14. 연구에 적용한 기초 자료 >

구 분	자 료	출 처
연도별 정수생산량 (2006-2010)	B정수장 수돗물 검침량	B정수장 운영자료 (K-water)
고도정수처리공정 운영시 전력원단위 증가분	0.43원/m <sup>3</sup>	
액체산소(LOX) 소비량	오존주입율 : 2ppm 액체산소 단가 : 170원/kg	
분말활성탄 주입율 및 단가	주입율 : 3ppm 단 가 : 722원/kg	
연도별 급수인수 (2008-2010)	B정수장 연도별 급수지역 인구통계	안산시 홈페이지 (www.iansan.net)
가구당 평균 가족수	2.9인/가구	경기통계 (Stat.gg.go.kr)

7) K-water 연구보고서에는 제어인자가 geosmin인 경우 [전오존+F/A] 시스템의 활성탄 교체주기를 최소 6년 이상으로 제시하고 있다.

## 2. 비용 산정

### 1) 초기투자비

공사비는 B정수장 고도정수처리공정 도입을 위한 공사금액 산출내역을 기준으로 산정하였다. 본 공사는 B정수장의 전오존 및 GAC F/A 공정 뿐만 아니라 기존 노후설비의 개량 및 기타 신규설비의 도입을 포함하고 있으므로 본 연구에서는 고도정수처리공정을 위한 공사비만을 구분하여 다음 < 표 15 >와 같이 산정하였다.

< 표 15. 연차별 투자비 >

(단위 : 백만원)

구 분	활성탄여과지 도입			통합착수정 (2009)	오존주입시설 (2009)
	여과지 구조개량 (2006)	F/A 여재 충전			
		1차 (2007)	2차 (2008)		
금 액	1,859	1,609	690	102	2,276

본 고도정수처리공정 도입 사업은 신규 정수장 건설이 아닌 기존 정수장을 개량하였으므로 부지 매입 등을 위한 추가적인 보상비는 발생하지 않았으며, 2009년에 이미 공사가 완료되었으므로 물가변동 등을 고려한 예비비는 상기 공사비에 포함하지 않았다. 따라서 이를 제외한 B정수장 고도정수처리공정 도입을 위한 관리비 및 향후 시설물 노후화를 고려한 재투자비용을 초기투자비 구성 항목에 포함하였다. 관리비는 고도정수처리도입 공사비 원가에 과학기술부(2004)의 건설부문의 요율을 가하여 산출하였으며, 재투자비의 경우 토목·건축시설 내구년수는 45년, 기계·전기

설비 내구년수는 15년으로 가정하여 산출하였다. 본 연구는 경제성분석 대상기간을 준공 후 30년으로 설정하였으므로 분석 대상기간 중 토목·건축시설의 재투자비는 발생하지 않는다.

< 표 16. 관리비 및 재투자비 >

(단위 : 백만원)

구 분	관리비 (기본 및 실시설계)	재투자비 (기계, 전기)	
		통합착수정·전오존	여과지(F/A)
금 액	168	1,031	120

## 2) 경상운영비

운영비는 K-water B정수장 고도정수처리공정 도입에 의한 인건비, 전력비, 약품비, 유지수선비 및 여재관리비로 구성하였다. 인건비는 오전주입설비 운영에 필요한 액화산소 탱크(고압가스설비) 관리전문 인력 수요가 1인 이상 증가하기 때문이며, 오존발생 원재료인 액화산소의 지속적 공급을 위한 약품비 및 오존발생기 가동시 소요되는 전력량 증가에 따른 전력비가 추가로 발생한다. 유지수선비는 크게 정수장 구조물(토목·건축 시설) 및 기계·전기설비 부분, 그리고 기계설비 소모품으로 나누었으며, 이 중 구조물 및 기계·전기설비 유지수선비용은 관련 공사비에 한국개발연구원(2004a)에 제시된 효율을 적용하여 산출하였고, 기계설비 소모품 비용은 실제 물품가격을 기준으로 산출하였다.

활성탄 여과지의 표층 오염원 제거(삭취) 및 여과지 구조물 청소를 위한 여재관리비도 지속적으로 요구되고 있으므로 이를 포함한 경상운영비를 정리하면 다음 < 표 17 >과 같다.

< 표 17. 연간 경상운영비 (비용) >

(단위 : 백만원)

구 분		금 액	산정기준	
인건비		44	월평균 임금현황	
전력비		18	정수생산량 x 전력원단위 증가분	
약품비		108	연간 액체산소 요구량 x 액체산소 구입 단가	
유지 수선비	구조물(정수장)	25 (공사중 14)	공사금액 × 0.008	
	기계, 전기	46 (공사중 5)	공사금액 × 0.04	
	소모품 (교체주기별)	매년	6	오존주입설비 유지보수용품 단가
		매5년	4	
매10년		8		
여재관리비		3	용역비 산출기준	

일반관리비는 한국개발연구원(2004a)에 제시된 기준을 참고하여 공사비를 제외한 인건비, 전력비, 약품비, 유지보수비 및 여재관리비의 합에 20%를 가하여 산정하였으며, 소요비용은 연간 공사기간 중에는 4백만원, 고도정수처리도입 공사 준공 이후부터는 매년 50-52백만원으로 산출되었다.

### 3) 성능개선비

성능개선비는 활성탄 F/A 고도처리공정에서 운영시간의 경과에 따라 활성탄의 흡착능이 소진되는 경우 여재의 재생 또는 교체에 소요되는 비용을 의미한다. B정수장의 경우 성능개선의 주기는 앞서 매 6년으로 가정하였으며, F/A 공정 운영 결과 2007년 최초 도입 후 6년 만인 2013년에 실제로 첫 재생이 이루어지게 되었다. 따라서 2012년도 용역 설계금액을 기준으로 물가상승률을 고려하여 기준년도인 2005년 금액으로 재평가한 결과 867백만원으로 산출되었다.

### 4) 환경비용

환경오염비용은 B정수장에 고도정수처리공정이 도입됨으로서 기존 일반정수처리공정 운영시와 비교하여 투입 약품의 종류 및 투입량, 전력소비량이 증가하게 되므로 이에 의한 오염물질 배출량의 증가 및 환경에 미치는 피해 영향을 계량화를 통하여 비용을 산출하고자 하였다. 전과정 평가 전용 소프트웨어를 통해 고도정수처리 공정 운영시 오염물질 배출 증가량을 산출하고, 이에 각 물질별 오염비용 원단위를 가하여 추정된 환경피해비용 증가분은 다음과 같다.

< 표 18. 연간 환경피해의 사회적 비용 증가분 >

(단위 : 백만원)

오염물질		CO <sub>2</sub>	CO	CH	NO <sub>x</sub>	비 고
금 액	평상시	44	△0.3	20	23	CO배출량은 감소
	활성탄여과지 교체시	78	41	21	84	

### 3. 편익 산정

#### 1) 정상운영비

편익에서의 운영비는 K-water B정수장에 고도정수처리공정이 도입되지 않고 기존 일반정수처리공정이 그대로 유지, 운영되었을 경우 소요되는 약품비 및 여재관리비로 구성하였다. 약품비는 연중 간헐적으로 수돗물 수질개선을 위하여 분말활성탄(PAC)를 투입하기 위하여 소요되는 비용이며, 여재관리비는 모래여과지를 장기간 운영함에 따른 표층 오염원 제거를 위한 삭취 및 구조물 청소, 여재보충 및 세척, 교체 등에 소요되는 비용을 포함한다. 이를 정리하면 다음 < 표 19 >와 같다.

< 표 19. 연간 정상운영비 (편익) >

(단위 : 백만원)

구 분		금 액	주 기	산정기준
약품비		13-15	60일/년	연도별 일평균 정수생산량 x PAC 투입율 x PAC 구입단가 x 투입기간
여재 관리비	삭취, 청소	3	매년	용역비 산출기준
	보충	10	매5년	
	세척, 교체	141	매10년	

일반관리비는 비용 산정시와 마찬가지로 한국개발연구원(2004a)를 참고하여 정상운영비에 20%를 가하여 산정하였으며, 소요비용은 연간 약 3-5백만원, 여재 세척 및 교체시에는 34백만원으로 산출되었다.



## 2) 수질개선편익

K-water B정수장 고도정수처리 공정 도입의 목적은 궁극적으로 수돗물의 수질을 음용 가능한 수준으로 개선하고자 함이며 따라서 본 연구에서 가장 비중 있게 다루어야 할 편익은 수돗물 수질개선 부문이다.

본 연구의 대상이 되는 B정수장에 고도정수처리공정을 도입한 이후인 2008년부터 2012년 기간 동안 2단계 고도처리정수 및 3단계 일반처리정수 수질분석 결과를 바탕으로 수돗물 수질개선도를 비교한 결과, < 표 20 >에서 제시된 바와 같이 법정 먹는 물 수질검사항목 대부분에서 고도처리정수가 일반처리정수 대비 낮은 수치를 나타내고 있으며 특히 소독부산물의 추가적 감소 효과가 높은 것으로 분석되었다. 소독부산물은 국내 먹는 물 수질기준 내 ‘건강상 유해영향 유기물질’로 분류되어 있으며 대표적으로 총트리할로메탄(THMs), 할로아세트에시드(HAAs), 클로랄하이드레이트(CH) 등이 있다. 총트리할로메탄의 대표적 물질인 chloroform(CF)은 발암물질로서 중추신경계 기능 저하 또는 마취하는 성질을 가지고 있으며 간 및 신장 손상을 유발하는 것으로 알려져 있다(황선혜 등, 2010).

< 표 20. 연평균 소독부산물 검출 현황 (2008-2012) >

(단위 :  $\mu\text{g/L}$ )

항 목	먹는물 수질 기준	2008		2009		2010		2011		2012	
		고도 정수	일반 정수	고도 정수	일반 정수	고도 정수	일반 정수	고도 정수	일반 정수	고도 정수	일반 정수
THMs	100이하	23	27	25	31	22	26	19	23	13	16
HAAs	100이하	10	15	4	8	8	20	4	13	3	10
CH	30이하	4	7	5	6	2	7	1	2	1	4

자료 : K-water

한편 B정수장 고도정수처리공정 도입의 가장 큰 목표는 원수인 팔당 상수원으로부터 기인하는 맛·냄새 물질의 제거에 있다. 맛·냄새는 국내 먹는 물 수질기준 상 '심미적 영향물질'로 분류되어 있으며 소독부산물과 달리 현재까지 음용시 인체 건강상 위해성은 거의 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 수돗물과 관련한 민원의 대부분이 맛·냄새 발생으로부터 기인하며 수돗물 음용 여부에 영향을 미치는 가장 중요한 인자 중 하나라 할 수 있다. 맛·냄새 발생 여부는 관능시험법 및 geosmin, 2-MIB 등과 같은 원인물질 농도를 측정함으로써 파악할 수 있다. 다음 < 표 21 >로부터 B정수장 고도정수처리공정 운영 시점인 2008년부터 2단계 고도처리정수 geosmin 농도가 불검출 혹은 대부분 공사 수질목표 10ng/L 내외를 만족하고 있으며 고도처리공정의 제거 효율이 일반정수처리 대비 매우 높음을 보여주고 있다.

< 표 21. geosmin 검출 현황 (2008-2012) >

(단위 : ng/L)

구 분	2008	2009	2010	2011	2012	비 고
유입원수	189	52	110	256	395	연중 최대농도
고도정수	불검출	불검출	3	21	5	
일반정수	89	57	53	49	- (일시윤휴)	

자료 : K-water

이상으로부터 B정수장의 고도정수처리시설은 도입의 목적과 취지에 맞추어 수돗물 수질을 개선하여 안정성을 높이고 있으며, 이를 실제적으로 편익이 발생하고 있는 것으로 볼 수 있을 것이다.

상수원 수질악화에 대한 우려와 수돗물불신에 따른 시민들의 생수, 정수기 구입 등의 회피행동(avoiding behavior)은 방어적 지출을 야기하여 가구의 실질소득을 감소시키며 결국 후생을 악화시키는 역할을 하게 된다(유승훈·홍필기, 2007). 정부 정책을 시행하기 위해서는 충분한 재원의 확보가 뒷받침되어야 하며 이는 세금에 의해 충당되므로 정책 효과에 대한 계량화가 이루어져야 비용과 편익을 분석할 수 있으나, 소비자 만족도와 같은 무형의 편익의 경우 직접적 계량화가 어려우므로 불가피하게 간접적인 방법을 사용하게 되며, 이 때 조건부가치추정법을 통한 소비자 지불의사를 도출해낼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 B정수장의 고도정수처리 수질개선 편익을 다음 < 표 22 >의 산정기준의 방법을 통하여 추정하였다. 본 연구에 활용된 소비자지불의사액은 앞서 제시된 < 표 13 >과 같이 수돗물을 대상으로 한 기존 편익 추정 연구 결과들이며, 추정치 적용의 오차를 최소화하기 위하여 대상 중 최대, 최소값을 제외한 나머지의 산술평균값을 편익 산정에 적용하였다.

< 표 22. 연간 수질개선편익 >

(단위 : 백만원)

연 도	금 액	산정기준
2008	1,881	$\text{소비자지불의사액(가구당 2,160원/월)} \times$ $\text{가구수(연도별 급수인구/가구당 평균 인구수)} \times$ $12\text{월/년}$
2009	2,663	
2010	2,989	

#### 4. 분석 결과

본 연구에서는 K-water B정수장의 사례를 중심으로 고도정수처리공정 도입에 의한 비용과 편익 항목을 실증적으로 산정하고 필요시 기존 연구로부터 도출된 계수를 활용하여 비용과 편익을 추정하였으며, 이를 근거로 순현재가치, B/C ratio 및 내부수익률 분석을 통해 사업의 경제성을 평가하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음 < 표 23 >과 같다.

< 표 23. 비용 편익 분석 결과 (요약) >

순현재가치	B/C ratio	내부수익률
26,352백만원	3.0	38.3%

< 표 24 >와 같이 사업의 비용은 고도정수처리공정이 도입되기 시작한 2005년부터 2009년까지 발생한 초기투자비용과 2006년 활성탄 공정 도입 이후 2007년부터 발생하는 유지수선비, 6년 주기로 발생하는 활성탄 재생을 위한 성능개선비 및 환경오염물질 추가 배출에 따라 2010년부터 발생하는 환경비용으로 나타나고 있다. 사업의 편익은 기존 일반정수처리공정을 지속 운영하였을 경우 소요되는 운영비로서 활성탄 공정 도입 시점인 2006년부터 매년 발생하며, 고도정수처리에 의한 수질개선 편익은 활성탄여과지 운영 이후인 2008년부터 발생하는 것으로 나타나고 있다.

< 표 24. 고도정수처리 도입의 비용 편익 분석 결과 >

(단위 : 백만원)

연 도	비 용					편 익			순편익 (B-C)	총비용	총편익
	초기 투자비	경상 운영비	성능 개선비	환경비	총비용 (C)	경상 운영비	수질개선 편익	총편익 (B)	현재가치 (5.5% 할인율)	현재가치 (5.5% 할인율)	현재가치 (5.5% 할인율)
2005	168	0	0	0	168	0	0	0	-168	168	0
2006	1,859	0	0	0	1,859	22	0	22	-1,741	1,762	20
2007	1,609	22	0	0	1,632	20	0	20	-1,448	1,466	18
2008	690	22	0	0	712	20	1,881	1,900	1,012	607	1,618
2009	2,378	22	0	0	2,400	21	2,663	2,684	229	1,938	2,166
2010	0	300	0	88	387	201	2,989	3,190	2,145	296	2,441
2011	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	1,898	284	2,183
2012	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	1,799	270	2,069
2013	0	300	867	225	1,391	20	2,989	3,009	1,054	907	1,961
2014	0	314	0	88	401	20	2,989	3,009	1,611	248	1,859
2015	0	305	0	88	392	32	2,989	3,021	1,539	230	1,769
2016	0	300	0	88	387	20	2,989	3,009	1,455	215	1,670
2017	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	1,377	206	1,583
2018	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	1,305	196	1,500
2019	0	309	867	225	1,401	20	2,989	3,009	760	662	1,422
2020	0	305	0	88	392	201	2,989	3,190	1,253	176	1,429

연 도	비 용					편 익			순편익 (B-C)	총비용	총편익
	초기 투자비	경상 운영비	성능 개선비	환경비	총비용 (C)	경상 운영비	수질개선 편익	총편익 (B)	현재가치 (5.5% 할인율)	현재가치 (5.5% 할인율)	현재가치 (5.5% 할인율)
2021	120	305	0	88	512	20	2,989	3,009	1,060	218	1,278
2022	0	300	0	88	387	20	2,989	3,009	1,055	156	1,211
2023	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	998	150	1,148
2024	1,031	314	0	88	1,432	20	2,989	3,009	570	518	1,088
2025	0	300	867	225	1,391	32	2,989	3,021	559	477	1,035
2026	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	850	127	978
2027	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	806	121	927
2028	0	300	0	88	387	20	2,989	3,009	765	113	878
2029	0	314	0	88	401	20	2,989	3,009	722	111	833
2030	0	305	0	88	392	201	2,989	3,190	734	103	837
2031	0	300	867	225	1,391	20	2,989	3,009	402	346	748
2032	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	617	92	709
2033	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	584	88	672
2034	0	309	0	88	396	20	2,989	3,009	553	84	637
2035	0	305	0	88	392	32	2,989	3,021	528	79	606
2036	120	305	0	88	512	20	2,989	3,009	475	97	572
2037	0	300	867	225	1,391	20	2,989	3,009	292	251	543
2038	0	305	0	88	392	20	2,989	3,009	447	67	514
2039	1,031	314	0	88	1,432	20	2,989	3,009	255	232	487
합계					25,866			95,486	26,352	13,057	39,409

상기 < 표 24 >로부터 알 수 있듯이 본 사업의 순편익은 활성탄 여과지 공정 운영 이후인 2008년부터 수질개선편익이 발생함에 따라 잠시 양의 값을 나타낸 후 2009년 오존처리공정 도입에 의한 공사비의 추가 투입으로 다시 음으로 바뀌었다. 이후 고도정수처리공정 도입 완료 이후인 2010년부터 사업의 순편익이 2039년까지 지속적으로 양의 값을 나타내면서, 경제성 평가 기간 동안 B정수장 고도정수처리공정 도입의 순현재 가치가 26,352백만원이고, B/C ratio는 3.0으로서 경제적 타당성 평가 기준인 1.0을 크게 상회하는 것으로 나타났다. 내부수익률 또한 38.3%로서 본 연구에 적용한 사회적 할인율 5.5% 대비 매우 높은 것으로 나타났다. 기존 한국개발연구원에서 수행한 다양한 수자원 및 광역상수도 공공투자 사업의 B/C ratio가 대부분 1.0 미만이며 2.0을 넘긴 사례는 거의 없음에 비추어 볼 때 B정수장의 경제적 타당성은 매우 높은 수준이다.

이는 첫째, 본 연구의 대상인 B정수장 고도정수처리공정 도입이 운영 중인 정수장의 기존 공정 대부분을 그대로 유지하면서 일부만을 부분적으로 교체 또는 신설하여 이루어짐으로서, 신규 정수장 건설사업과 비교하여 초기투자비가 상대적으로 적게 투입되었기 때문이다.

둘째, 기존 정수처리시설 가동을 지속하면서 고도정수처리시설을 도입함으로써 편익이 사업 초기부터 발생한 점이다. 도입 대상 고도정수처리 공정 중 활성탄 F/A 도입이 착공 직후인 2006년부터 시작되었으며, 이 시기부터 고도정수처리도입에 의해 발생하는 기존 일반정수처리공정의 경상운영비를 편익으로 계상하였다. 또한 활성탄 F/A 공정 운영에 의한 수질개선 편익이 사업 준공 전인 2008년부터 발생함으로써 순편익이 증가하여 결국 B/C ratio 및 내부수익율의 상승 요인이 되었다.

## 5. 민감도 분석

공공사업을 운영하는 과정에는 예기치 못한 변동 상황이 발생하며, 각종 위협요소들이 도사리고 있다. 이는 그만큼 미래의 불확실성이 존재하고 있다는 것을 의미하며 따라서 공공사업에 대한 타당성을 사전에 평가할 때 이와 같은 변동 상황을 미리 고려하여 공공사업의 성패에 어떠한 영향을 미치는가를 분석해봐야 한다(김동건, 2012). 본 연구는 실제 사례를 대상으로 한 실증분석이므로 이미 발생한 초기투자비나 경상운영비 등에 대한 분석은 제외하고, 향후의 변동 가능성으로 인해 추정오차가 클 것으로 예상되는 환경비용 및 수질개선편익을 중심으로 선택적 민감도 분석을 수행하였다.

### 1) 환경오염비용의 증가

본 연구에서 환경오염비용은 B정수장이 고도정수처리공정으로 전환함으로써 추가적으로 발생하는 환경오염 배출물에 기존 연구의 원단위를 가하여 산출하였다. 이러한 오염비용 원단위는 추정된 결과이기 때문에 향후 추가 연구를 통하여 변화될 가능성이 매우 크며, 환경오염 피해영향은 향후 지속적으로 증가할 것으로 예상되므로 민감도 분석시 환경오염비용이 100% 증가하는 상황을 가정하여 내부수익율의 변화를 예측하였다.

### 2) 고도처리수의 경제적 가치 하락

수질개선 편익은 기존 연구결과의 소비자지불의사액 추정 값을 활용하



여 산출하였으며 이러한 소비지지불의사액 역시 후속 연구를 통하여 지속적으로 변화하고 있다. 특히 조건부가치측정법을 통하여 추정된 경우가 대부분으로 조건부가치측정법의 내재적 한계인 가설성 편이 및 판단 편이 등에 의하여 정확도가 낮을 가능성이 높으며, 기존 연구들이 주로 수질의 안정성 우려가 많은 낙동강 수계를 대상 지역으로 분석하였음을 고려할 때 본 연구의 대상인 한강수계에 적용하기에는 소비지지불의사액이 과대 추정되었을 가능성이 높다. 따라서 민감도 분석에서는 소비지지불의사액의 50% 감소, 즉 고도처리수의 경제적 가치가 하락하는 상황을 가정하여 내부수익율의 변화를 예측하였다.

### 3) 1), 2) 가정의 조합

세 번째는 환경오염비용의 100% 증가와 소비지지불의사액이 50% 하락하는 상황이 동시에 일어날 것이라 가정하여 민감도 분석을 수행하였다.

위 세 가지 경우에 대한 민감도 분석 결과는 다음과 같다.

< 표 25. 민감도분석 결과 >

변 수	변화폭(%)	내부수익률(%)	민감도지수
기준측정		38.3	-
① 환경오염비용	(+)100	37.5	0.022
② 수질개선편익	(-)50	15.9	1.169
③ ①과 ②가정의 조합	-	15.1	-

선택적 민감도 분석 결과 수질개선편익 50% 감소시의 민감도지수가 1.169로서 환경오염비용 100% 증가시의 민감도지수 0.022과 비교하여 매우 높은 것으로 나타났다. 두 가지 가정을 조합한 경우에도 환경오염비용의 변동은 민감도지수에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 분석되었다. 이는 수질개선편익의 변동에 따른 내부수익률 변화가 환경오염비용 변동시의 내부수익률 변화보다 크다는 것을 의미한다. 즉, 내부수익률에 가장 큰 영향을 주는 변수는 수질개선편익이며, 결국 편익 값을 결정하는 계수인 소비자지불의사액의 추정 값이 타당성 분석의 결정 요인이라 할 수 있다.

## V. 결 론

### 1. 연구결과의 요약 및 의의

산업화에 의해 개발은 지속적으로 이루어지고 있으며 이와 비례하여 환경에의 부정적 영향도 증가하고 있다. 특히 식수원인 상수원의 오염은 정수처리수질에 심각한 불신감을 유발하여 1.4%의 낮은 수돗물 음용률을 나타내고 있으며(환경부, 2010b), 수도사업자인 정부 및 지자체는 이에 대응하여 수돗물의 안전성을 확보하기 위하여 정책적으로 고도정수처리를 도입하고 있다. 그러나 고도정수처리를 도입, 운영하는 과정에서 막대한 재원의 투자가 불가피하며 자원 소모 및 환경오염 등 부정적 환경영향도 발생하게 된다. 이에 따라 본 연구는 하나의 정수장을 대상으로 비용 편익 분석 방법론 적용을 통하여 고도정수처리공정 도입의 경제적 타당성을 분석하였으며, 연구 범위를 확대하여 환경오염의 사회적 비용 발생 영향을 반영하고자 하였다.

연구는 수도권 K-water B정수장을 대상으로 B정수장에 도입된 [전오존(O<sub>3</sub>) + 활성탄여과지(F/A)] 고도정수처리공정이 기존 모래여과지 일반정수처리공정을 대체함으로써 발생하게 되는 비용과 편익의 항목을 실증적으로 선정하고 경제적 가치를 산출하였다. 분석 항목 중 환경오염비용과 수질개선편익은 선행연구를 통하여 도출된 계수를 활용하여 추정하였다.

공사 기간(2005-2009) 및 완공 후 30년 동안의 비용, 편익값을 추정한 결과 B정수장 고도정수처리 도입의 순현재가치는 26,352백만원, B/C

ratio는 3.0으로 나타났다. 순현재가치와 B/C ratio가 각각 0과 1.0이상이고 내부수익률이 본 연구에 적용한 사회적 할인율 5.5%보다 높은 38.3%로 나타남으로서 실제로 고도정수처리 도입 사업의 타당성이 매우 높은 것으로 평가되었다.

향후 가능한 변동 상황 가운데 비용 편익 추정에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상되는 환경오염비용의 100% 증가와 수질개선편익의 50% 감소를 가정하여 선택적 민감도 분석을 수행한 결과, 수질개선편익 50% 감소에 따른 민감도지수가 1.169로서 환경오염비용의 100% 증가시 0.022보다 내부수익률 변화에 더 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 고도정수처리 도입 시 발생하는 환경오염의 사회적 비용이 수질개선편익을 상쇄할 것이라 예상하였으나, 결과적으로 고도정수처리 도입의 경제적 타당성 평가에는 수질개선에 따른 편익 변동이 더 큰 영향력을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 결국 편익 산정의 주요 변수인 소비자지불의사액 추정 값이 경제성 평가의 결정요인으로 작용하고 있음을 보여주고 있다. 따라서 향후 소비자지불의사액 변화에 따른 수질개선편익이 어떻게 변화하는가가 고도정수처리 도입의 비용 편익 분석 결과에 결정적인 영향을 미칠 것으로 보인다.

## 2. 연구의 한계 및 향후과제

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 고도정수처리 도입에 의한 환경피해영향이 과소 추정되었다는 것이다. 본 연구는 B정수장을 대상으로 실증 자료를 바탕으로 전과정평가 소프트웨어를 활용하여 환경오염물질 목록 및 배출량을 산정하고, 산정 목록 중 일부 항목에 대하여 기존 연구를 통해 도출된 원단위를 가하여 환경비용을 산출하였다.

그러나 전과정평가 모의 과정에서 B정수장 수처리공정의 세부적인 운영 여건이 모두 반영되기는 불가능하였으며, 많은 가정과 단순화 과정을 거쳐 예측된 오염물질 종류 및 배출량이 실제와 달리 과소 평가되었을 것이라 판단된다.

기존 연구를 통해 추정된 계수의 활용이 제한적이라는 점도 환경오염 영향 축소의 한 요인이라 할 수 있다. 기존 연구결과를 통해 추정된 오염비용 원단위를 적용할 수 있는 대상물질이 CO, HC 등 대기분야 5가지 종류에 불과하고, 대기 외 전과정평가 모의 결과에 포함된 수질 및 토양분야 배출오염물질에 대한 비용 추정이 이루어지지 않았다는 점도 과소 추정의 원인으로 분석된다.

둘째, 환경피해영향 추정시 활용한 대기배출물질별 적용 원단위는 교통수단에 의한 대기오염의 사회적 비용을 추정한 결과로서 본 연구에서 궁극적으로 분석하고자 한 사회·경제 등 전 분야의 대기오염 및 지구온난화 영향 등을 반영하였다고 보기에 한계가 있다. 선행 연구에서도 지구온난화 영향의 사회적 비용을 추정한 사례는 매우 드물고 또한 이를 추정하기란 어렵다고 밝히고 있다(한국환경정책평가연구원, 2001).

셋째, 수질개선 편익이 과장되었다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 소비

자치불의사액 관련 선행 연구결과를 활용하였는데, 기존 연구의 대부분이 낙동강 수계 권역을 대상으로 수행되었고 폐놀오염 사건 등 잦은 수질사고로 상수원 및 음용수질에 불신이 강한 소비자를 대상으로 한 조사 결과이므로, 상수도 수질개선에 따른 추가 지불의사가 본 연구대상 지역인 수도권 등 타 수계와 비교하여 높을 것이라 판단된다. 소비자지불의사액 산정 방법이 주로 조건부가치측정법을 통해 추정되었으며, 조건부가치측정법의 속성상 가상의 시장에서 가상의 행태를 통해 형성된 소비자의 선호가 편익에 의해 과대 계상되었을 가능성도 높다.

본 연구에서는 선행 비용 편익 분석에서 고려하지 않은 환경오염의 사회적 비용을 반영하여 고도정수처리 도입 사업의 타당성을 사례 연구를 통해 분석하고자 하였으나 이상과 같은 한계점을 벗어나지 못하였다. 향후 사업의 특성을 반영한 비용 편익 항목의 확대, 발굴과 다양하고 적합한 계수 적용을 통한 고도정수처리공정의 경제성 분석 기법의 보완이 이루어져야 할 것이다. 더불어 정부 정책의 계량적 평가 및 효율적인 대안 선택이 이루어질 수 있도록 다양한 도입 사례를 분석하고 이를 보편화할 수 있도록 연구 대상을 확대해나가야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

### < 단행본 >

- 과학기술부. (2007). 『21세기 프론티어연구개발사업-수자원의 지속적 확보기술개발 사업, 수자원 및 기술가치 평가시스템 구축』
- 김동건. (2012). 『비용편익분석(제4판)』
- 한국개발연구원. (2000). 『수도공급시설 연계운영 사업』
- \_\_\_\_\_. (2003). 『한강하류권 급수체계구축 1차 사업』
- \_\_\_\_\_. (2004a). 『충남남부권 광역상수도사업』
- \_\_\_\_\_. (2004b). 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판)』
- \_\_\_\_\_. (2004c). 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』
- \_\_\_\_\_. (2005). 『경북중부권 광역상수도 건설사업』
- \_\_\_\_\_. (2006). 『금강북부권 급수체계 구축사업』
- \_\_\_\_\_. (2008a). 『구미(Ⅲ)단계 광역상수도사업』
- \_\_\_\_\_. (2008b). 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』
- \_\_\_\_\_. (2008c). 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』
- \_\_\_\_\_. (2009a). 『한강하류권 2차 급수체계 조정사업』
- \_\_\_\_\_. (2009b). 『대암댐 대체저류지 및 도수관로 건설』
- \_\_\_\_\_. (2009c). 『남강댐 재개발사업 및 부산·경남권 광역상수

도사업』

- \_\_\_\_\_. (2011a). 『환경분야 편익산정방안에 관한 연구』
- \_\_\_\_\_. (2011b). 『달산댐 건설사업 및 포항(Ⅱ)단계 공업용수도 건설사업』
- \_\_\_\_\_. (2012). 『충주댐계통 공업용수도사업』
- 한국상하수도협회. (2004). 『상수도 시설기준』
- \_\_\_\_\_. (2007). 『상수도시설 유지관리매뉴얼』
- 한국환경정책평가연구원. (1997). 『자동차 공해저감대책의 비용효과 분석 및 경제적 유인제도 적용방안』
- \_\_\_\_\_. (1999). 『수질오염의 사회적 비용 계량화 연구 : 한강수계를 중심으로』
- \_\_\_\_\_. (2001). 『온실가스 저감조치의 환경적 편익분석사업』
- \_\_\_\_\_. (2002a). 『대규모 개발사업의 환경경제성 분석 도입방안 I』
- \_\_\_\_\_. (2002b). 『기후변화영향분석모델Ⅲ : 환경편익을 고려한 온실가스 저감에 따른 경제성 분석』

#### < 논문 >

- 김재홍. (2001). “시민지불의사에 기초한 상수도 수질개선의 편익추정” 『한국정책학회보』 . 10(3) : 245-361.
- 남두희·허현무·이진선. (2012). “철도관련 사업에서의 환경편익 고려방안” 『한국철도학회논문집』 . 15(2): 179-184.



- 신영철. (1997). “단일 양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강수질개선 편익 측정” 『환경경제연구』 . 6(1): 171-192.
- 안송엽·권희태. (2009). 수질개선 편익 추정을 위한 조건부가치 측정법의 적용. 『한국수처리학회지』 . 17(2): 13-26.
- 양진우. (1997). “팔당상수원 수질개선의 편익평가에 관한 연구” 『대한국토 도시계획학회지』 . 32(4): 195.
- 엄영숙. (2000). “실험시장접근법을 이용한 먹는 물 수질개선에 대한 지불의사 측정” 『자원환경경제연구』 . 9(4): 747-771.
- 엄영숙. (2001). “만경강 수질개선 편익추정을 위한 조건부가치평가에 있어서 범위효과 분석” 『자원환경경제연구』 . 10(3): 387-413.
- 여규동·이충성·이상원·심명필. (2009). “지불의사를 이용한 상수도 원수 수질개선 편익 산정” 『대한토목학회논문집』 . 29(5): 419-427.
- 유승훈·홍필기. (2007). “무응답 자료 처치모형을 이용한 서울시 수돗물 수질개선편익 추정” 『서울도시연구』 . 8(1): 41-54.
- 유승훈·신철오·양창영. (2007). “원주시 가구의 상수도 수질개선에 대한 지불의사액 추정” 『환경정책연구』 . 5(3): 79-103.
- 유승훈·곽소윤. (2009). “부산시 수돗물 수질개선 편익의 추정” 『한국수자원학회 2010년도 학술발표회』 . 452-456.
- \_\_\_\_\_ (2012). “울산시 수돗물 수질개선의 편익 추정” 『한국수자원학회논문집』 . 45(1): 29-37.
- 유승훈·김태유. (1998). “온실가스 저감정책의 편익추정 : 최소절대편차법” 『환경정책』 . 6(1): 91-109.
- 이주석·유승훈·곽승준. (2007). “낙동강 수질개선의 편익추정-1.5경계 양분선택형 조건부 가치측정법을 이용하여” 『경제연구』 . 25(2): 111-129.

- 정승후. (1994). “조건부가치측정방법을 통한 수질개선에 관한 편익추정: 서울지역 수돗물 안정성증가에 대한 비용편익분석을 중심으로” 『국토연구』 . 111: 23-40.
- 정인태·이건모·송종성. (2008). “제품의 온실가스 배출저감에 대한 성과 지표 개발 - 컨조인트 분석을 이용한 지구온난화 영향의 사회적 비용 추정” 『대한환경공학회지』 . 1245-1254.
- 조승국·신철오. (2005). “한강수질개선의 속성별 경제적 편익 : 컨조인트 분석법을 이용하여” 『자원환경경제연구』 . 14(3): 655-672.
- 조준모. (1997). “대기오염의 사회적 비용”.
- 황선혜·권운용·김현구·김태승·김승기·최종호·표희수. (2010). “국내 먹는 물 중 염소소독부산물 모니터링 및 위해성 평가” 『한국환경분석학회지』 . 13(1): 11-20.
- 황영순·엄미정·김태유. (1999). “수돗물 공급신뢰도 개선의 가치측정: 조건부 가치측정법을 이용하여” 『환경경제연구』 . 8(1) : 109-126.
- SEUNG-HOON YOO·HEE-JONG YANG. (2001). “Application of Sample Selection Model to Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies” 『Environmental and Resource Economics』 , 20 : 147 - 163.

#### < 법규 및 기타 >

- 과학기술부. (2004). 「엔지니어링사업대가의 기준」
- 환경부. (2006). 「고도정수처리시설 설치사업 평가」
- \_\_\_\_\_. (2010a). 「고도정수처리시설 도입 및 평가지침」

- \_\_\_\_\_. (2010b). 「먹는 물 수질관리 지침」
- \_\_\_\_\_. (2011a). 「먹는 물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙」
- \_\_\_\_\_. (2011b). 「수도권에 고도정수처리시설 조속 설치」. 보도자료.  
12월 15일.

## Abstract

# Cost–Benefit Analysis of the Introduction of Advanced Water Treatment Process : Focused on the case of ‘K-water B water treatment plant’

NA, Jin–young  
Department of Public Enterprise Policy  
Graduate School of Public Administration  
Seoul National University

As water service providers central and local governments of south Korea have introduced advanced water treatment, coping with the new hazardous substances and the generation of source water quality deterioration, for the purpose of enhancing safety of tap water. Yet no cases of quantification of the effect of the policy have been made so far. In this paper, it will be evaluated in one case the economic feasibility of the introduction of advanced water treatment, extending

impact on the environment.

In this case study on 'K-water B water treatment plant' in the metropolitan area, introduced and operated advanced water treatment, the range selection of cost-benefit items, economic evaluation and the determinants will be analyzed when replacing conventional water treatment process(sand filtration) with advanced water treatment process(pre-ozone, activated carbon filter/adsorber).

Total costs include initial investment costs, operating costs, performance improvement costs, and the social costs of environmental pollution, and total benefits consist of costs of conventional water treatment process operation and water quality improvement benefits.

The result of the analysis for the period of the construction(2005-2009) and additional 30 years, is that net present value(NPV) is 26,352 million won and the B/C ratio is 3.0, respectively greater than 0 and 1.0. Internal rate of return(IRR) is 38.3% and also much higher than the 5.5% social discount rate applied to this study. So it is estimated to be economically feasible to introduce advanced water treatment process in B water treatment plant.

As the result of sensitivity analysis of the options assumed to be an increase of 100% of the environmental costs and reduction of 50% of the water quality improvement benefits likely to occur in the future, sensitivity index is 0.022 under an increase of 100% of environmental costs and 1.169 under a reduction of 50% water quality improvement benefits. This indicates that change of the social

benefits of water quality improvement of tap water has a major effect on the variation of the IRR. In other words, rather than the social costs of environmental pollution, benefits of water quality improvement has a decisive influence on the economic evaluation of the introduction of advanced water treatment and to determine the size of the final benefits, willingness to pay(WTP) is derived as a determinant of the economic analysis.

**Keywords** : advanced water treatment, cost-benefit analysis, economic evaluation, water quality improvement, environmental cost

**Student Number** : 2012-22763