

지불의사를 이용한 상수도 원수수질개선 편익 산정 Estimation of Raw Water Quality Improvement Benefit Using CVM

여규동*·김우찬**·김길호***·심명필****

Kyu Dong Yeo, Woo Chan Kim, Gil Ho Kim, Myung Pil Shim

요 지

본 연구에서는 이들 문제점을 극복하기 위해 수도권을 대상으로 하여 용수를 사용하는 소비자의 BOD 개선정도별 지불의사(WTP)를 설문 조사를 하고, 설문결과를 통계분석하여 수질개선(BOD)-지불의사(WTP) 관계식을 도출하였다. 이때 설문응답자가 최대한 설문대상재화를 객관적이고, 쉽게 이해할 수 있도록 설문지를 작성하였다. 사례연구로서 낙동강수계의 내성천 지방2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐을 대상으로 상수도 원수수질개선에 대한 편익을 산정하였다. 사례연구로서 낙동강수계의 내성천 지방2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐을 대상으로 적용하였다. 방류시나리오별 연평균편익산정 결과, 연평균계획방류량(4.79 m³/s) 방류시 5,980 백만원, 풍수기(7~10월)를 제외한 기간의 계획방류량(7.22 m³/s) 방류시 8,663 백만원, 수질악화기 계획방류량(10.72 m³/s) 방류시 11,905 백만원, 최대계획방류량(13.54 m³/s) 방류시 14,502 백만원으로 산정되었다. 본 연구에서 개발된 가구소득별 수질개선(BOD)-지불의사(WTP) 관계식을 이용함으로써 수질개선사업에 대한 원수수질편익을 산정할 때 사업전·후의 수질분석만 이루어진다면 실무에서 활용 가능한 편익산정방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 경제성분석, 환경개선용수, 수질개선 편익, 대체시설비용법

1. 서 론

수자원사업에 의해 발생하는 생태·환경적 효과 중에서 하천수질은 우리가 사용하는 용수의 수질에 영향을 미친다. 일반적으로 용수는 생활용수(상수도), 공업용수 그리고 농업용수로 나누어지고, 수질개선편익도 이러한 용도에 따라 개별적으로 발생된다. 본 논문에서는 하천 또는 저수지 등에서 취수를 하여 사용하는 상수도를 대상으로 원수의 수질개선편익 산정방법을 연구하였다. 기존의 수질개선 관련 편익산정 연구는 특정 하천에 대하여 ‘모든 종류의 물놀이 가능한 2급수로 개선’, ‘수영가능수준으로 개선’ 등을 설문대상으로 하여 지불의사를 산정한 후, 해당 유역의 가구수를 곱하여 편익으로 산정하였다. 기존방법은 수자원사업에 의해 수질이 얼마나 개선되었는지에 대한 정도를 고려할 수 없기 때문에 비용/편익분석에 적용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 사업전·후의 수질상황을 원수수질개선 편익에 적용할 수 있는 방법론을 제시하였다.

원수수질개선 편익산정의 기본개념은 수자원개발사업에 의해 발생하는 효과를 직접 수용하고, 판단하는 일반 시민들이 수질개선 정도에 대하여 느끼는 가치를 화폐화하는 것이다. 일반적으로 어떤 재화에 대한 최대지불의사(WTP)는 소비자가 얻는 만족(효용)을 화폐로 표현하는 것이라 불

* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: yeokd@inha.ac.kr

** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: wchan7674@paran.com

*** 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: kims@inha.ac.kr

**** 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 · E-mail: shim@inha.ac.kr

수 있다. 즉, 소비자가 지불하는 가격과 소비자잉여를 더한 재화의 총가치를 말한다. 이는 “최대지불의사 = 가격 + 소비자잉여 = 총효용”의 식으로 나타낼 수 있다. 용수의 원수수질효과는 복합적으로 발생하며, 정성적이므로 편익을 산정하기 어려운 점이 있다. 그러나 수질(BOD) 자체는 단위를 통해 정량적으로 판단할 수 있기 때문에 수질이 개선되는 정도를 BOD(mg/l)단위로 분석하여 이에 대한 편익을 산정하고자 하였다.





2. 원수수질개선-지불의사(WTP) 관계

2.1 원수수질개선의 지불의사 측정을 위한 설문

소비자가 느끼는 수질개선정도에 따른 최대지불의사(WTP: Willingness To Pay)를 조사하였고, 이를 측정가능한 수질(BOD)변화량에 대한 총효용곡선으로 도출하여 원수의 수질편익을 산정하고자 하였다. 여기서, 한계효용곡선이 아닌 총효용곡선을 이용하는 이유는 수질개선정도의 효용을 판단하는 일반 국민이 어떤 수질에서 한 단위씩 추가적으로 개선하여 최종 수질로 개선되는 것에 대한 한계효용을 이해하는 것보다, 어떤 수질에서 최종수질로 개선되는 것에 대한 총효용을 이해하는 것이 더 쉬울 것으로 판단했기 때문이다.

일반적으로 수도사업소를 통해 공급받는 생활용수의 수질 중에서 수질검사를 받는 항목은 수돗물의 재료가 되는 상수원의 등급에 상관없이 모두 허용치를 만족하므로 안심할 수 있다. 그러나 검사하지 않는 항목들은 안전성을 확인할 수 없지만, 대신 상수원 수질등급이 높을수록 안전할 확률이 높다고 할 수 있다. 따라서 정수처리와는 별도로 근본적으로 수돗물의 재료가 되는 상수원의 수질이 개선된다면 일반 상수도 수요자들은 더욱 안심할 수 있을 것이다. 이렇게 수요자들이 느끼는 원수 수질상승의 가치 측정을 위해 설문대상 재화를 생활용수의 원수가 되는 하천이나 댐의 수질개선정도로 한정하였다. 표 1의 수질등급별 하천수 전경 사진에서 “등급외”, “C등급”, “B등급”은 실제 수질측정이 이루어지고 있는 지점이며, 수질을 직접 확인한 후 설문지에 수록하였다.

표 1. 수질등급별 하천수 전경

등급외 : 경기도 구리시 수택동 왕숙천 BOD < 5 대장균수 < 5,000		C등급 : 서울시 성동구 한강 성수대교 BOD < 3 대장균수 < 1,000	
			
B등급 : 경기도 남양주시 조안면 팔당댐 앞 BOD < 2 대장균수 < 500		A등급 : 강원도 영월군 남한강 상류 BOD < 1 대장균수 < 50	
			

설문에 응답하는 1개의 표본은 국민 1인이 아니라, 1 가구로 하였다. 국민 1인으로 질문하게 되면, 전체 국민의 연령, 남녀, 교육수준, 주거지역, 개인소득 등 수질개선에 대한 WTP에 영향을 미치는 많은 변수들을 고려해서 설문응답자를 선정해야 한다. 따라서 지불주체를 1 가구로 하였으며, 가족구성원 모두에 대하여 수질에 관한 가치를 대표할 수 있는 가정주부를 설문대상으로 선정하였다. 이를 통해 수질개선에 대한 WTP가 어린아이, 학생부터 노인에 이르기까지 전구성원을 고려할 수 있도록 하였다. 표본크기는 1,000 건(수도권지역), 설문질문법은 1대1 대인면접법, 지불수단은 매월 요금징수, 설문응답방식은 개방형으로 하였다. 설문지의 구성은 다음의 순서대로 작성하였다.

- ① 가정의 한달평균 상수도 사용량 질문
- ② 현재 공급되는 수돗물의 수질에 대한 만족도 질문
- ③ 수질개선 등급별 지불의사금액 질문
- ④ 가구원수, 거주지, 가구원 전체 월평균 소득

2.2 원수수질개선-지불의사액 관계식 도출

본 절에서는 설문자료의 수질개선정도별 WTP를 편익으로 산정하기 위해 설문된 자료를 통계적으로 분석하였다. 일반적으로 통계분석에 적용되는 대상은 대부분 관측치나 측정치이며, 정량적으로 나타낼 수 있는 것이 대부분이다. 그러나 WTP는 재화에 대한 개인의 효용이기 때문에 모집단의 통계치가 존재하지 않으며, 분포형도 알 수가 없다. 다만, 소득이 증가함에 따라 WTP도 증가함을 정성적으로 판단할 수 있기 때문에 수질개선정도별로 WTP에 대한 평균값을 구하였으며, 소득이 증가함에 따라 WTP의 평균값이 증가함을 알 수 있다. 각각의 가구당 월평균소득별 수질등급-WTP 관계식은 표 2와 같으며, 생활용수의 원수수질 개선사업에 의해 대상지점의 BOD가 감소되는 만큼의 1가구당 편익을 산정하는데 적용된다.

표 2. 가구당 월평균소득별 수질개선-지불의사액 관계식

가구당월소득(만원)	회귀곡선식	R ²
100 미만	$y = 195.36x^2 - 2,134.1x + 5,784.5$	1
100 ~ 199	$y = 174.82x^2 - 2,064.7x + 5,961.1$	0.9992
200 ~ 299	$y = 175.11x^2 - 2,184.6x + 6,554.2$	0.9992
300 ~ 399	$y = 183.43x^2 - 2,299.8x + 6,927.2$	0.9983
400 ~ 499	$y = 134.41x^2 - 2,043.8x + 6,872$	0.9986
500 이상	$y = 297.2x^2 - 3,747.1x + 11,334$	0.9973
전체평균	$y = 188.66x^2 - 2,395.5x + 7,274.1$	0.9986

3. 수질개선사업 전후의 수질변화량 산정

본 연구에서 모의에 적용한 댐은 낙동강수계의 내성천 지방2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐으로 총저수량은 203.35백만m³이며, 환경개선용수(수질개선) 공급량은 연간 159.18백만m³이다. 송리원다목적댐의 환경개선용수 수질모의에 적용한 방류량은 각각 연평균 계획방류량 4.79 m³/s, 풍수기(7~10월)를 제외한 기간의 계획방류량 7.22 m³/s, 수질악화기 계획방류량 10.72 m³/s, 최대 계획방류량 13.54 m³/s을 대상으로 하였다. 댐의 방류에 의한 수질을 모의하기 위해 국내연구자에

의해 개발된 QUALKO 모형을 이용하였다. 모형구성은 내성천 13개 Reach와 낙동강본류의 예천 측정지점부터 양산천 유입 후 3km 지점(272km)까지 총 73개의 Reach로, 총 566개의 Element로 구성하였다(한국개발연구원, 2007). 송리원댐 건설에 따른 낙동강 수계의 수질개선효과를 분석하기 위해 적절한 하천수질 모델링과 유량조건 및 예측자료(오염부하량, 수리학적 특성계수, 탈산소계수 및 재포기계수, 자정계수 등)가 필요하며, “낙동강수계 오염총량관리기본계획”에 적용된 값을 기본으로 하였다.

원수수질개선에 의해 혜택을 받는 가구는 상수도를 이용하는 가정이기 때문에 취수지점을 수질모의지점으로 선정한다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 낙동강유역의 18개 상수도 취수지점을 대상으로 수질효과를 분석하였다.

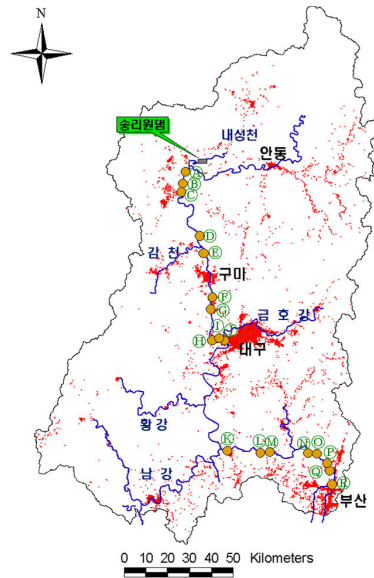


그림 1. 취수장 위치도

4. 송리원댐에 의한 상수도 원수수질개선 편익 산정

표 2의 가구당 소득구간별 수질(BOD)-WTP 관계식을 이용하여 그림 1. 취수장 위치도 기 위해서는 시군구단위의 소득별 가구수 자료가 필요하나, 현재 자료가 없기 때문에 소득구간을 나누지 않고 전체평균을 이용한 식으로 편익을 산정하였다. 표 3의 사업전의 BOD와 사업후의 BOD에 대한 수질개선효과를 표 2의 전체평균식을 이용하여 각각의 지분의사금액을 산정한 후, 그 차액을 편익으로 산정하였다.

표 3. 송리원댐 시나리오별 생활용수 원수수질개선 연편익(2008년 가격 기준)

수도사업자	취수장	급수세대(세대)	급수인구(명)	사업전 BOD(mg/l)	방류량별 수질개선(mg/l)/연편익(백만원)							
					4.79		7.22		10.72		13.54	
					BOD저감	연편익	BOD저감	연편익	BOD저감	연편익	BOD저감	연편익
문경시	달지	15,609	43,158	1.38	0.13	39.5	0.17	51.8	0.22	67.5	0.25	77.0
예천군	풍양	266	736	1.4	0.12	0.6	0.16	0.8	0.21	1.1	0.24	1.3
상주시	도남	12,147	33,584	1.42	0.13	30.4	0.17	40.0	0.22	52.0	0.25	59.3
구미시	선산	30,757	85,039	1.52	0.12	69.3	0.17	98.7	0.22	128.6	0.26	152.7
구미시	해평	107,650	297,638	1.59	0.12	238.2	0.17	339.5	0.23	462.8	0.26	525.2
칠곡군	왜관	4,660	12,883	1.96	0.16	12.5	0.22	17.4	0.3	23.9	0.35	28.1
칠곡군	공단	28,994	80,164	2.01	0.17	81.7	0.23	111.5	0.31	152.0	0.37	182.9
고령군	다산	1,876	5,186	2.04	0.18	5.6	0.25	7.8	0.33	10.4	0.39	12.4
대구	매곡	391,888	1,187,663	2.03	0.18	1164.8	0.24	1566.4	0.32	2112.0	0.38	2528.9
대구	강정	235,166	643,543	2.03	0.18	699.0	0.25	980.5	0.33	1308.8	0.38	1517.6
함안군	칠서	14,456	41,632	2.6	0.13	25.8	0.19	38.1	0.26	52.7	0.31	63.4
마산시	칠서	139,075	400,527	2.6	0.13	248.1	0.19	366.4	0.26	507.3	0.31	609.9
창원시	북면	20,682	59,563	2.6	0.13	39.3	0.19	56.7	0.26	77.4	0.31	95.6
창원시	대산	144,774	416,939	2.64	0.14	254.8	0.2	396.7	0.27	541.9	0.33	669.1
김해시	창암	143,845	414,263	2.64	0.13	279.9	0.2	415.7	0.27	595.2	0.33	717.9
울산	원동	330,438	1,017,719	2.77	0.15	647.7	0.22	961.9	0.31	1330.2	0.37	1660.7
부산	매리	580,263	1,718,000	2.75	0.15	1141.4	0.22	1695.1	0.3	2344.1	0.37	2926.3
양산시	물금	30,860	88,875	2.74	0.15	57.2	0.22	86.8	0.3	121.6	0.37	152.7
부산	물금	449,214	1,330,000	2.74	0.15	832.1	0.22	1263.6	0.3	1769.5	0.37	2223.1
진해시	본포	54,392	156,645	2.71	0.14	112.2	0.21	167.5	0.29	246.2	0.36	297.9
합계		2,737,012	8,033,757			5,979.9		8,662.8		11,905.2		14,501.9

수질개선-WTP 관계식은 1 가구당 월평균 지불의사이기 때문에 사업에 의한 총편익을 산정하기 위해서는 계산된 1 가구당 월평균 지불의사액에 사업의 영향을 받는 가구수를 곱해야 한다. 사업의 영향을 받는 범위를 명확히 구분해야 하며, 해당 지역의 상수도를 공급받는 가구에 대하여 소득별로 정확하게 집계되어야 한다. 낙동강본류에 위치한 취수원으로부터 공급을 받는 급수세대수를 조사하였다. 급수인구수는 상수도통계연보에서 조사하였으며, 급수세대수는 수도사업자에 문의하여 조사하였다. 급수세대수 자료가 없는 경우에는 시군구별 세대수와 가구원수를 이용하여 비율을 적용하였다. 산정된 소득구간별 1 가구당 월편익과 조사된 취수원별 급수세대수를 이용하여 각각의 취수원별 수질개선에 대한 총월편익을 산정한다. 산정된 원수수질개선 월편익에 12개월을 곱하여 원수수질개선 연편익을 산정한다. 표 3은 수질개선(BOD)-지불의사(WTP) 관계식을 이용하여 환경개선용수 방류계획별 연평균편익산정 결과이다. 방류시나리오별로 발생하는 상수도 원수수질개선에 대한 연평균편익을 산정한 결과, 연평균계획방류량 방류시 5,980 백만원, 풍수기(7~10월)를 제외한 기간의 계획방류량 방류시 8,663 백만원, 수질악화기 계획방류량 방류시 11,905 백만원, 최대계획방류량 방류시 14,502 백만원으로 산정되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 수도권을 대상으로 하여 용수를 사용하는 소비자의 BOD 개선정도별 지불의사(WTP)를 설문 조사를 하고, 설문결과를 통계분석하여 수질개선(BOD)-지불의사(WTP) 관계식을 도출하였다. 이때 설문응답자가 최대한 설문대상재화를 객관적이고, 쉽게 이해할 수 있도록 설문지를 작성하였다. 사례연구로서 낙동강수계의 내성천 지방2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐을 대상으로 상수도 원수수질개선에 대한 편익을 산정하였다. 낙동강 본류의 원수를 사용하는 수질개선 편익대상은 2,737,012 가구로 연평균 방류시 5,979.9 백만원, 수질악화기의 최대방류시 14,501.9 백만원으로 각각 산정되었다. 본 연구에서 개발된 가구소득별 수질개선(BOD)-지불의사(WTP) 관계식을 이용함으로써 수질개선사업에 대한 원수수질편익을 산정할 때 사업전·후의 수질분석만 이루어진다면 실무에서 활용 가능한 편익산정방법이 될 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 본 논문에서는 수질분석항목을 BOD만으로 한정하였으나, 향후에는 보다 다양한 먼(항목)을 고려하여 수질개선효과를 판정하여 편익을 산정하는 것이 필요하다. 2011년부터 총질소(T-N), 총인(T-P)이 포함되므로 향후에 이를 포함할 수 있는 방법이 마련되어야 하며, 설문시 대상자가 이를 쉽게 이해할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

참고 문헌

- 강원도 (2004). 강원도 낙동강 오염총량관리 기본계획.
- 건설교통부·한국수자원공사 (2004). 송리원다목적댐 건설사업 타당성조사 보고서.
- 경상남도 (2004). 경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획.
- 경상북도 (2004). 경상북도 낙동강 오염총량관리 기본계획.
- 대구광역시 (2003). 대구광역시 낙동강 오염총량관리 기본계획.
- 부산광역시 (2003). 부산광역시 낙동강 오염총량관리 기본계획.
- 한국개발연구원 (2007). 송리원 다목적댐 건설사업 타당성 재조사.
- 한국개발연구원 (2008). 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제4판).
- 환경부 (2003). 물환경정책의 비용/편익분석 지침서.
- 환경부 (2006). 물환경관리기본계획.