

# 농업용 저수지 준설토의 처리 공법에 따른 경제성 분석 Economical Feasibility of the Treatment Methods of the Dredged Sediments from Contaminated Agricultural Reservoirs

오경희 · 조영철<sup>†</sup>

Kyoung-Hee Oh · Young-Cheol Cho<sup>†</sup>

충북대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(2013년 3월 9일 접수, 2013년 9월 30일 채택)

**Abstract :** The economical feasibility was conducted to find the adequate method to treat the dredged sediments from agricultural reservoirs in a pilot project that had been operated to improve the quality of water and benthic environments by dredging of contaminated sediments. For benefit/cost (B/C) analysis, the net expenses were considered as the costs of project, and the benefits were calculated from the saving of waste-treatment cost through reuse of dredged sediment, the saving of construction cost of settling pond, and the values of retained water by dredging. Although the economic feasibility depended on the sites of operation, the average B/C value of the pilot project was estimated as 1.32, indicating this project is economically feasible. Depending on the treatment methods, the B/C values were in the order of the methods of coagulating sedimentation, machinery dewatering, stabilization through exothermic reaction, and soil improvement and stabilization. The machinery dewatering method is estimated as the most adequate one to treat the dredged sediments because of the minimum riskiness of secondary pollution, the recyclability, and its economic feasibility.

**Key Words :** Agricultural Reservoirs, Dredged Sediment, Sediment Treatment, Economic Feasibility, Benefit-Cost Analysis, Machinery Dewatering

**요약 :** 농업용 저수지의 수질과 저서환경을 개선하기 위해 저수지로부터 제거된 퇴적물의 친환경적 처리 방안을 모색하기 위해 실시된 퇴적물처리 시범사업의 경제성을 분석하였다. 비용은 집행된 사업비로 산출하였으며, 편익은 퇴적물 재활용으로 인한 폐기물 처리비용의 절감, 퇴적물 제거로 인한 침강지 건설비용의 절감, 저수지 내용적 증가로 인한 용수 확보 등의 3가지 요소로 설정하였으며, 이를 대체비용법을 이용하여 화폐화하고 현재가치화하였다. 편익·비용 비율(B/C)을 구하였을 때, 대상저수지에 따라 달랐으나 전체 사업의 B/C 값은 1.32로 경제성이 높은 것으로 평가되었다. 준설토 처리 공법에 따른 경제성을 분석한 결과, 응집침전 공법, 기계탈수공법, 열반응안정화공법, 토양개량안정화공법의 순으로 경제성이 높았다. 기계탈수공법의 경우 타 공법에 비해 처리토의 재활용이 쉬우며, 2차 오염을 발생하지 않고, 경제성이 뛰어나기 때문에, 저수지로부터 제거된 퇴적물을 처리하기에 가장 적합한 방법인 것으로 평가되었다.

**주제어 :** 농업용 저수지, 준설퇴적물, 퇴적물처리, 경제성, 비용편익분석, 기계탈수공법

## 1. 서론

우리나라에 설치되어 있는 저수지의 약 52%는 1945년 이전에 설치되었으며, 22%는 1966년 이전에 설치된 것으로 시설의 노후화 뿐만 아니라, 토사나 오염물질의 퇴적 정도가 심한 것으로 판단된다.<sup>1)</sup> 이러한 퇴적물은 저수지의 수질을 악화시키고 저수용량을 감소시킴으로써 저수지 기능저하의 원인이 되고 있다.

현재 우리나라 농업용 저수지 부영양화의 주요 원인 중 하나는 오랫동안 쌓인 저수지 내부의 퇴적물에 의한 것으로 인식되고 있다.<sup>2)</sup> 저수지의 부영양화는 유역에 산재한 점오염원 및 비점오염원으로부터 유입된 영양염류에 의해 발생하며, 부영양화로 인한 조류 대발생은 악취와 이취미를 유발하여 물의 이용도를 감소시키고, 독소를 생산하여 가축이나 인간에게 질병을 일으키기도 한다.<sup>3-5)</sup> 저수지에 유입된 오염물질은 수층에 용존 상태로 존재하거나 입자상태의 물

질로 변하여 수체의 바닥에 퇴적된다. 퇴적물은 일정기간 축적되어 있다가 분해, 확산, 재부유, 생물교란 등의 물리, 화학, 생물학적 과정에 의해 다시 수층으로 용출되어 수질 및 수생태계에 영향을 미친다.<sup>6)</sup> 저수지와 같이 규모가 작으며 수체가 정체되는 지역에서는 퇴적되는 오염물질의 양이 상대적으로 많고 단위 면적당 수용량이 적기 때문에, 퇴적물로부터 용출되는 영양염이 수질에 큰 영향을 미치게 된다.<sup>7)</sup> 이에 따라, 저수지의 수질 관리를 위하여 바닥에 쌓여 있는 퇴적물의 정확한 실태파악과 오염물질의 제거에 대한 요구가 높아지고 있다.

농림수산식품부와 한국농어촌공사에서는 2009년부터 2010년까지 2년간 16개 지구를 대상으로 농업용 저수지 퇴적물 처리 시범사업을 시행하였다.<sup>8,9)</sup> 시범사업은 농업용 저수지의 수질과 저서환경을 개선하여 생태적으로 건강한 저수지를 유지하기 위한 퇴적물 제거 방안과 제거된 퇴적물의 친환경적 처리 공법을 모색하며, 퇴적물 처리 공법의 경제성을

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: choy@chungbuk.ac.kr Tel: 043-261-3577 Fax: 043-264-2465

분석하는 것을 목적으로 한다.<sup>9)</sup>

퇴적물처리 시범사업에서는 박층 준설이 가능하고 탁수 발생이 적은 진공흡인 방식의 수중 준설 공법을 사용하여 농업용 저수지로부터 퇴적물을 준설하였다.<sup>10)</sup> 준설토의 처리 공법은 퇴적물의 전처리와 처리토를 재활용하는 단계로 구성된다. 퇴적물 전처리는 원활한 이송을 위해 준설토를 탈수하고 재활용이 용이하도록 준설토를 처리하기 위한 목적으로 실시되며, 준설토의 전처리 공법은 준설토의 물리·화학적 특성, 준설 대상 지역의 연건 및 처리토의 재활용 용도를 고려하여 선정되었다. 퇴적물처리 시범사업에서는 기계탈수법, 응집침전법, 토양개량안정화법, 및 열반응안정화법을 사용하였다. 또한 전처리된 처리토를 재활용하기 위하여, 경작지 복토, 도로 성토재, 체체보강 및 호내 매립 등의 가능성을 평가하였다.<sup>9)</sup> 시범사업에서 농업용 저수지로부터 준설된 퇴적물의 처리에 적합한 공법을 선정하고, 퇴적물 처리 사업의 확대 실시를 추진하기 위한 근거 자료 확보를 위해 시범사업의 경제성 분석이 필요하다.

비용편익분석은 사업의 경제성 분석에 가장 널리 사용되는 기법으로, 사업에 투입되는 비용과 산출되는 이익을 비교 분석하여 경제성을 평가하고 향후 투자 여부를 결정하는 기법을 말한다.<sup>11)</sup> 분석에는 광범위한 종류의 영향이 포함될 수 있으며 동일 측정단위를 사용하기 때문에 좋고 나쁜 정책결과에 대해 서로 비교가 가능하고, 어떤 기회의 이점과 결점에 관한 논의를 위한 의제설정을 할 수 있기 때문에 정책 시행의 의사결정과정에서 유용하게 활용되고 있다.<sup>12)</sup> 사업시행에 있어 편익과 비용을 무시하면 비효율적이고 낭비적인 정책이 될 가능성이 높아지며 정책의 정당성과 타당성을 확보하기 어렵기 때문에, 국내는 물론 영국을 비롯한 유럽연합에서는 정책평가도구로서 비용편익분석법을 권장하고 있으며, 미국에서는 정책평가에 필수적으로 이용되고 있다.<sup>13)</sup>

비용편익분석을 수행하기 위하여 가장 중요한 것은 대상이 되는 모든 영향을 화폐적 가치로 표현하여 그들을 모두 더할 수 있어야 한다는 것이다. 화폐 가치로 표현하기 어려운 환경영향의 경우 대체비용법(Replacement Cost Method), 진술선호법, 현시선호법 등 비시장재화의 경제적 가치를 추정하는 방법을 사용하여 다양한 형태의 환경변화를 화폐적 가치로 환산하며, 이들 중 대체비용법이 가장 널리 사용되고 있다.<sup>11)</sup> 대체비용법에서는 환경이 행하는 기능을 다른 인위적인 방식으로 대체할 때 소요되는 비용 또는 환경오염으로 인한 피해를 복구시키거나 환경의 질을 원상태로 돌리는데 소요되는 금액을 환경적 가치로 평가한다.<sup>14)</sup> 퇴적물처리 시범사업에서는 이로 인한 편익을 객관적으로 제시하기 어렵기 때문에, 대체비용법을 사용하여 사업에 의한 환경개선 정도 및 무형적 가치에 대해 편익을 구하는 것이 타당하다. 본 연구에서는 퇴적물처리 시범사업의 경제성 분석을 위하여 공법별 비용과 사업 시행에 따른 편익의 흐름을 비교·분석한 비용편익분석을 실시하였다.

## 2. 경제성 분석 방법

### 2.1. 사업 지역 및 공법

퇴적물처리 시범사업은 한국농어촌공사가 관리하는 전국의 16개 저수지에 대하여 실시하였다(Table 1). 사업지구는 경기도가 4개, 충청남도 3개, 전라북도 2개, 전라남도 4개, 경상북도 2개, 경상남도 1개 저수지가 선정되었다. 퇴적물의 준설량은 저수지에 따라 달랐으며, 부피로는 7,131~17,747 m<sup>3</sup> 범위이었다. 준설토의 건조중량은 실측에 의해 산출되어야 하지만, 사업 시행 중 지속적으로 측정하기 어려울 뿐 아니라 변동 폭이 매우 크기 때문에 실측하기 어렵다. 본 사업에서는 자연퇴적물의 평균 밀도가 1.3 g/cm<sup>3</sup>이라는 것과 퇴적물의 습윤밀도와 함수비와의 관계식을 사용하여 평균 함수비를 150%로 추정하여,<sup>15)</sup> 준설토 1 m<sup>3</sup>은 520 kg의 건조 퇴적물을 포함하는 것으로 계산하였다. 또한 사업 시행 시 처리토의 함수율을 20%로 맞추어 반출하도록 하였기 때문에 1 m<sup>3</sup>의 퇴적물이 준설되었을 때 반출되는 처리토의 질량은 624 kg으로 추정하였다.<sup>16)</sup> 이러한 결과로부터 본 사업에서 퇴적물의 건조중량은 3,708~9,228 ton의 범위로 계산되었다(Table 1).

준설토의 처리는 기계탈수법, 응집침전법, 토양개량안정화법, 및 열반응안정화법을 사용하였으며, 준설토의 물리·화학적 특성, 준설 대상 지역의 연건 및 처리토 재활용 용도를 평가 기준으로 각 사업지구의 특성에 맞게 적용하였다(Table 1).

기계탈수법은 준설선에서 이송된 퇴적물을 선별하여 모래크기의 입자는 탈수스크린 및 사이클론으로 탈수하며 나머지는 필터프레스로 여과하여 탈수하는 공법이다. 응집침전법은 준설된 퇴적토에 응집침전제를 투입하고 교반함으로써 상등수를 분리시킨 후, 탈수하는 방법이다. 토양개량안정화법은 준설토에 중성무기계의 토양개량안정제를 투입·교반하여 침전시킨 후, 야적장으로 옮겨 탈수 건조를 시키는 방법으로, 이 방법으로 처리된 준설토는 고화 침전을 통하여 성상이 개량되어 적정한 강도(콘지수 200 kN/m<sup>2</sup>)를 유지하기 때문에 토목재료로 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>16)</sup> 열반응안정화법은 준설토를 생석회와 혼합·교반시켜 고압 상태에서 열반응을 통해 준설토를 건조시키는 방법이다.

### 2.2. 경제성 분석 요소

비용편익분석의 주된 목적은 자원 사용의 관점에서 가장 효율적인 사업이나 정책을 선택할 수 있도록 도와주는 것으로, 그 평가방법에는 순현재가치(Net Present Value, NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR), 편익·비용 비율(Benefit Cost Ratio, B/C) 등이 있다.<sup>11)</sup>

순현재가치법은 다음의 식 (1)에 의해 도출된다. 여기서 B<sub>t</sub>는 t 시기의 편익, C<sub>t</sub>는 t 시기의 비용이고, 합은 사업 시작년도(t=0)에서 사업 종료년도(t=T)까지 계산하며 시작년도 이전의 비용과 편익은 계산하지 않는다. 순현재가치가 0보

**Table 1.** Information of reservoirs and cost and unit prices of benefit for economical feasibility

Reservoir	Province	Business year	Treatment methods of dredged sediment	Dredged amount		Total cost ( $\times 10^3$ won)	Unit prices of benefit		
				m <sup>3</sup>	ton		Waste <sup>a)</sup> (won/ton)	Pond <sup>b)</sup> (won/m <sup>3</sup> )	Water <sup>c)</sup> (won/m <sup>3</sup> )
Gaeum	Gyeongbuk	2010	Machinery dewatering	7,131	3,708	1,000,000	25,117	16,689	213
Gungsan	Jeonbuk	2009	Soil improvement and stabilization	11,398	5,927	1,600,000	24,035	15,856	213
Giheung	Gyeonggi	2010	Soil improvement and stabilization	11,800	6,136	1,600,000	25,117	16,689	213
Dogo	Chungnam	2010	Stabilization through exothermic reaction	9,460	4,919	1,100,000	25,117	16,689	213
Dunjeon	Jeonnam	2009	Machinery dewatering	9,673	5,030	1,000,000	24,035	15,856	213
Mansu	Gyeonggi	2009	Stabilization through exothermic reaction	9,800	5,096	1,100,000	24,035	15,856	213
Bongsan	Gyeongnam	2010	Soil improvement and stabilization	12,000	6,240	1,600,000	25,117	16,689	213
Suknam	Jeonbuk	2010	Soil improvement and stabilization	12,064	6,273	1,600,000	25,117	16,689	213
Seolseong	Gyeonggi	2009	Coagulating sedimentation	9,550	4,966	800,000	24,035	15,856	213
Seongam	Chungnam	2009	Machinery dewatering	10,400	5,408	1,000,000	24,035	15,856	213
Sunseong	Chungnam	2010	Machinery dewatering	17,747	9,228	1,000,000	25,117	16,689	213
Odong	Jeonnam	2010	Coagulating sedimentation	10,879	5,657	800,000	25,117	16,689	213
Wangsong	Gyeonggi	2010	Soil improvement and stabilization	12,500	6,500	1,600,000	25,117	16,689	213
Weolcheon	Jeonnam	2009	Machinery dewatering	9,456	4,917	1,000,000	24,035	15,856	213
Jijeong	Jeonnam	2010	Machinery dewatering	9,698	5,043	1,000,000	25,117	16,689	213
Habin	Gyeongbuk	2010	Machinery dewatering	11,500	5,980	906,159	25,117	16,689	213

<sup>a)</sup>Saving of waste-treatment cost through the sediment reuse

<sup>b)</sup>Saving of construction cost of settling pond through removal of sediment from the reservoirs

<sup>c)</sup>Values of retained water by sediment dredging

다 크거나 같을 경우 사업을 수용하는 것이 타당한 것으로 평가된다.

$$NPV = \left[ \sum_{t=0}^T B_t \times \frac{1}{(1+i)^t} \right] - \left[ \sum_{t=0}^T C_t \times \frac{1}{(1+i)^t} \right] \quad (1)$$

내부수익률은 순현재가치법과 동일한 공식을 사용하나 순현재가치가 0일 경우(NPV=0)의 이자율을 도출하는 것으로 여기서 이자율은 사업의 수익률이 된다.  $IRR \geq r$ (할인율 또는 필요수익률)인 경우 사업을 시행하고,  $IRR < r$ 인 경우 사업을 포기하는 것이 타당한 것으로 간주된다. 만약 사업 대안이 여러 가지라면 대안 중 IRR이 가장 큰 것을 선택하게 된다.

편익·비용 비율(B/C)은 할인된 비용에 대한 할인된 편익의 비율을 나타내며 다음의 식 (2)를 통해 도출된다. B/C가 1보다 클 경우, 사업의 시행이 타당한 것으로 간주된다.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^T B_t \times \frac{1}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^T C_t \times \frac{1}{(1+i)^t}} \quad (2)$$

### 2.3. 비용 및 편익 산출

#### 2.3.1. 비용 산출

퇴적물처리 시범사업에서 사업 비용은 퇴적물 준설, 퇴적물 처리, 처리토 재활용, 부대공사, 관급지자대, 관리운영비,

제경비 등 7개의 비용 요소로 구분되었다. 퇴적물처리 비용은 준설량과 공법에 따른 단위 준설량 당 처리 단가로 산정하였으며, 나머지 비용 요소는 퇴적물 준설량을 기준으로 산정하였다(Table 1). 퇴적물처리 시범사업의 사업비는 준설토 처리 공법 및 준설량에 따라 상이하게 책정되었는데, 응집침전 공법의 사업단가가 가장 낮았으며, 토양개량안정 공법이 가장 단가가 높았다. 기계탈수공법의 사업단가는 다른 공법에 비해 지구별 차이가 컸는데, 순성저수지는 56천 원/m<sup>3</sup>인 반면에 가음저수지의 경우에는 140천원/m<sup>3</sup>로 2.5배 높았다. 순성저수지의 경우 사업 시행에 따른 수질 개선 효과를 높이기 위하여 사업 계획 물량보다 많은 양의 오염 퇴적물을 준설하였기 때문에 같은 공법을 사용한 다른 저수지에 비해 사업단가가 낮았다.

#### 2.3.2. 편익 산출

퇴적물처리 시범사업으로 발생하는 편익요소는 준설토 처리 비용의 절감, 퇴적물 제거로 인한 침강지 건설 비용 절감, 수자원확보로 인한 수자원 개발 비용 절감으로 선정하였다. 농업용 저수지의 퇴사량 실측자료에 따라 퇴적물 준설 주기는 20년이 적합한 것으로 판단되었으며, 이를 편익 발생 기간에 반영하였다.<sup>17,18)</sup>

본 사업의 시행 목적 중 하나는 오염 퇴적물 준설을 통하여 농업용 저수지의 수질을 개선하기 위한 것이기 때문에 수질 개선 효과를 편익요소로 사용할 수 있다. 수질 개선 효과는 습지, 비점오염원 저감시설, 또는 하·폐수 처리시설 등 수질 개선을 위한 시설의 설치비를 사용하여 화폐화할 수

있다. 본 시범 사업에서 사업 전·후에 수질 및 저서생물상을 모니터링 한 결과 즉각적인 수질 개선 효과가 관찰되지 않았으며, 계절에 따른 변이가 심하게 나타났다. 또한 점오염 또는 비점오염 처리 시설의 경우 지역에 따른 설치비용의 편차가 매우 크기 때문에 이를 표준화시키기 어려운 것으로 판단되었다. 일반적으로 측정이 부정확한 요소의 경우에는 편익 산정에 포함하지 않는다.<sup>19)</sup> 따라서 본 사업으로 인한 수질 개선 효과는 객관화 또는 수치화가 어려운 편익 효과인 것으로 판단되어 편익으로 산정하지 않았다.

### 2.3.2.1. 준설토 처리비용의 절감

현행법에서 저수지로부터 제거된 준설토가 폐기물이라는 명확한 근거는 없으나, 환경부의 유권해석(환경부 FAQ 6-1-2-347, 6-1-1-66, 일반민원 FAQ 30162, 28313)에 따라, “환경 오염물질을 제거하기 위한 목적으로 시행한 준설 공사로 인해 발생한 준설토는 사업장 폐기물(사업장 일반폐기물 또는 건설폐기물)로 분류”된다. 따라서 수질개선의 목적으로 준설된 퇴적물은 폐기물로 분류되어 폐기물 처리 비용이 발생한다. 그러나 퇴적물처리 시범사업에서는 준설토를 친환경적으로 처리하여 농경지 복토재 등으로 재활용하여 폐기물 처리 비용을 절감하였기 때문에, 이는 사업에 의한 편익으로 분류될 수 있다.

대체비용법을 사용하여 준설토 재활용에 대한 편익을 화폐화하였다. 환경부의 유권해석에 따르면 준설토가 사업장 폐기물 또는 건설폐기물로 분류되지만, 이에 대한 처리 단가가 고지되지 않았다. “방치폐기물 처리이행보증금 산출을 위한 폐기물의 종류별 처리 단가(환경부 고시 제2008-150호)”에 관한 고시에서 매립대상 사업장일반폐기물과 건설폐기물에 대한 단가가 제시되었다. 매립대상 사업장일반폐기물의 처리단가는 67,000원/톤이며, 건설폐기물의 경우 23,000원/톤이다. 저수지퇴적물의 경우 질소나 인과 같은 영양염류의 농도는 높으나, 중금속 등의 유해물질은 거의 포함되어 있지 않기 때문에 매립대상 폐기물보다는 건설폐기물로 분류되어야 하며, 건설폐기물 중 “사업장 연약지반 안정화를 시키는 과정 중에 발생하는 무기성오니로서 함수율 85% 이내로 건조되어 운반 및 처리가 가능한 상태”인 건설오니로 분류되는 것이 타당한 것으로 판단된다. 따라서 퇴적물 처리 사업에서 발생한 준설토는 건설폐기물의 처리 단가인 23,000원/톤을 적용하기로 한다. 또한 시범사업은 2009년과 2010년에 시행되었으므로 해당년도의 비용이 필요하나 개정된 환경부 고시가 없으므로, 이자율을 반영한 적정 비용을 산정하기 위하여 지방재정투융자심사지침<sup>20)</sup>에 명시된 이자율 4.5%를 적용하여, 해당년도의 편익을 산출하였다. 2009년에 사업을 시행한 6개의 저수지에 대해 24,035원/톤의 단가를 적용하였으며, 2010년에 사업을 시행한 나머지 저수지에는 25,117원/톤의 단가를 적용하였다.

### 2.3.2.2. 퇴적물 제거에 따른 침강지 건설 비용의 절감 강우유출수로 인해 저수지로 토사가 유입되는 것을 방지

하기 위해 강우유출수의 유입부에 침강지를 설치한다.<sup>21)</sup> 저수지로부터 퇴적물을 제거할 경우, 제거된 퇴적물의 양에 해당되는 규모의 침강지의 건설이 필요없으며, 이에 따라 침강지 건설 비용이 절감될 수 있다. 따라서 퇴적물 제거량에 대한 대체 비용으로 침강지 건설 비용을 적용하여 시범사업의 효과를 화폐화할 수 있다.

침강지 건설 비용은 건설 시기 및 건설 지역에 따라 다르다. 한국농어촌공사에서 2005년부터 2009년까지 실시한 20개소의 침강지 건설 공사 비용의 평균 단가를 기준으로 대체 비용을 산출하였다. 2009년 이전에 시행된 사업의 공사비는 지방재정투융자심사지침<sup>18)</sup>에 명시된 이자율 4.5%를 반영하여 2009년 기준으로 사업비를 구한 후, 이의 평균단가를 산출하였을 때 15,856원/m<sup>3</sup>로 계산되었다. 2010년에 사업이 시행된 지구의 경우에는 이에 4.5%의 이자율을 반영하여 16,689원/m<sup>3</sup>을 반영하였다. 퇴적물 제거에 의한 편익은 준설 주기인 20년 동안 유지되나 시간이 흐름에 따라 퇴적물이 쌓이면서 그 효과가 감소되기 때문에 20년을 내용년수로 하고 감가상각(정액법)을 하여 연간 발생하는 편익을 산출하였다.

### 2.3.2.3. 저수지 내용량 증가에 따른 수자원 확보 비용

퇴적물의 준설량 만큼 저수지의 내용량이 증가한다. 기후변화로 인해 가뭄 빈도가 높아질 것으로 예상되므로,<sup>22)</sup> 수자원의 확보는 농업용수의 안정적 공급 및 수자원 개발 비용의 절감 등 긍정적 효과를 나타낸다. 수자원 확보에 대한 경제성 분석은 2011년의 국내 용수요금(수도법 제38조 공급규정)을 기준으로 산정하였다. 용수는 원수, 정수, 댐용수 등으로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 원수를 기준으로 하였으며 단가는 213원/m<sup>3</sup>이었다(Table 1). 이 단가를 퇴적물 준설로 인한 저수지 내용량 증가분에 반영하여 수자원 확보에 대한 편익을 산출하였으며, 마찬가지로 준설주기인 20년 동안 편익이 유지되나 시간이 지남에 따라 퇴적물이 쌓여 내용량이 감소하기 때문에 20년을 내용년수로 하고 감가상각(정액법)을 통해 연간 발생하는 편익을 산출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 사업 지구별 경제성 분석

사업지구에 따른 경제성을 분석하기 위하여 순현재가치, 내부수익률, 편익/비용(B/C) 분석을 수행하였다(Table 2). 순현재가치의 경우 순현재금흐름으로 계산된 편익에서 비용을 제외한 금액으로, 0보다 크거나 같을 경우 이익이 발생하기 때문에 사업을 수용하는 것이 타당한 것으로 간주된다.<sup>23)</sup>

공산저수지의 경우에는 순현재가치가 음의 값을 나타내었으며, 이는 사업 비용에 비해 편익이 적게 발생하였음을 의미한다(Table 2). 공산 저수지에서 순현재가치가 낮게 나온 것은 총 사업비에 대한 준설물량, 즉 사업단가가 140천원/m<sup>3</sup>로 16개 사업 지구 중 가장 높았기 때문인 것으로 보인다.

**Table 2.** Results of economical feasibility of each reservoirs

Reservoir	Total cost ( $\times 10^3$ won)	Benefit ( $\times 10^3$ won)			Net Present Value (NPV, $\times 10^3$ won)	Internal Rate of Return (IRR, %)	Benefit/Cost (B/C)	
		Waste <sup>a)</sup>	Pond <sup>b)</sup>	Water <sup>c)</sup>				Total
Gaeum	1,000,000	89,126	924,578	11,800	1,025,505	25,505	4.95%	1.03
Gungsan	1,600,000	136,320	1,404,058	18,861	1,559,240	- 40,760	4.05%	0.97
Giheung	1,600,000	147,481	1,529,943	19,527	1,696,951	96,951	5.56%	1.06
Dogo	1,100,000	118,235	1,226,547	15,654	1,360,437	260,437	8.59%	1.24
Dunjeon	1,000,000	115,689	1,191,565	16,007	1,323,261	323,261	10.06%	1.32
Mansu	1,100,000	117,208	1,207,209	16,217	1,340,634	240,634	8.29%	1.22
Bongsan	1,600,000	149,981	1,555,874	19,857	1,725,712	125,712	5.88%	1.08
Suknam	1,600,000	150,781	1,564,172	19,963	1,734,916	134,916	5.98%	1.08
Seolseong	800,000	114,218	1,176,413	15,803	1,306,434	506,434	15.22%	1.63
Seongam	1,000,000	124,384	1,281,120	17,210	1,422,714	422,714	11.73%	1.42
Sunseong	1,000,000	221,809	2,301,008	29,368	2,552,185	1,552,185	30.53%	2.55
Odong	800,000	135,970	1,410,529	18,002	1,564,502	764,502	20.55%	1.96
Wangsong	1,600,000	156,230	1,620,702	20,685	1,797,617	197,617	6.66%	1.12
Weolcheon	1,000,000	113,094	1,164,834	15,648	1,293,575	293,575	9.56%	1.29
Jijeong	1,000,000	115,988	1,194,644	16,048	1,326,681	326,681	10.12%	1.33
Habin	906,159	143,732	1,491,046	19,030	1,653,808	747,649	18.39%	1.83

<sup>a)</sup>Saving of waste-treatment cost through the sediment reuse

<sup>b)</sup>Saving of construction cost of settling pond through removal of sediment from the reservoirs

<sup>c)</sup>Values of retained water through dredging of sediment

마찬가지로 16개 사업지구 중 사업 단가가 가장 낮은 순성저수지의 경우 순현재가치가 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 사업의 순현재가치는 사업단가에 의해 가장 크게 좌우되고 있음을 의미한다. 16개 사업 지구 전체의 순현재가치의 합은 5,978백만원으로 나타났으며, 이는 퇴적물처리 시범사업의 경제성이 높은 것을 의미한다.

내부수익률이란 해당 사업에 투자하였을 때 얻을 수 있는 연간수익률로 이자율로 표시된다. 내부수익률이 가장 높은 지구는 순성저수지로 연간 30.5%의 이자율을 기대할 수 있다(Table 2). 사업 지구별 내부 수익률은 순현재가치 분석 결과와 동일한 양상을 보였다. 사업 전체에 대한 내부수익률은 9.99%로 시장이자율과 국고채 금리가 3~5%대 임을 감안해 보면 본 사업의 시행은 매우 타당하다고 판단할 수 있다.

사업 지구별 B/C 분석의 경우에도 다른 경제성 지표와 동일한 양상이 관찰되었다(Table 2). B/C 분석은 경제성 분석을 통하여 산출된 편익과 사업 비용 간의 비율로 1보다 클 경우에 경제성이 있는 것으로 평가될 수 있다. 궁산저수지

가 0.97로 1 보다 작게 나와 경제성이 떨어지는 것으로 평가되었으며, 그 이외의 지구에서는 1 보다 큰 값이 나왔다. 순현재가치 및 내부수익률이 높은 지구의 B/C가 높게 나왔다. 전체 사업의 B/C 값은 1.32로, 퇴적물처리 시범사업의 경제성이 높은 것을 의미한다.

### 3.2. 준설토 처리 공법에 따른 경제성 분석

준설토 처리 공법 별로 투입되는 비용과 준설토 인한 편익 발생에 차이가 있어 경제성의 차이가 발생하게 된다. 준설토 처리공법에 따른 경제성 분석 결과, 순현재가치, 내부수익률, B/C 분석의 결과는 같은 양상을 보였으며, 공법별 사업단가와 역 상관관계를 나타내었다(Table 3). 즉 사업단가가 높을수록 경제성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 이는 퇴적물 처리 시범사업의 경제성이 사업단가에 의해 좌우됨을 의미한다.

B/C 분석 결과를 보면 토양개량안정화공법이 1.06 ( $\pm 0.06$ )로 경제성이 가장 떨어지는 것으로 나타났으며, 이는 다른

**Table 3.** Results of economical feasibility depend on the treatment methods of dredged sediment

Treatment methods of dredged sediment	Cost		Net Present Value ( $\times 10^3$ won)	Internal Rate of Return (%)	Benefit/Cost (B/C)
	Total ( $\times 10^3$ won)	Unit price ( $\times 10^3$ won/m <sup>3</sup> )			
Machinery dewatering	986,594 ( $\pm 35,469$ ) <sup>a)</sup>	97.7 ( $\pm 25.8$ )	527,367 ( $\pm 499,698$ )	13.62 ( $\pm 8.45$ )	1.54 ( $\pm 0.51$ )
Soil improvement and stabilization	1,600,000	134.0 ( $\pm 4.5$ )	102,887 ( $\pm 88,304$ )	5.62 ( $\pm 0.97$ )	1.06 ( $\pm 0.06$ )
Stabilization through exothermic reaction	1,100,000	114.3 ( $\pm 2.9$ )	250,535 ( $\pm 14,002$ )	8.44 ( $\pm 0.21$ )	1.23 ( $\pm 0.01$ )
Coagulating sedimentation	800,000	78.7 ( $\pm 7.2$ )	635,468 ( $\pm 182,481$ )	17.89 ( $\pm 3.77$ )	1.79 ( $\pm 0.23$ )

<sup>a)</sup>Numbers in parentheses indicate standard deviation

공법에 비해 상대적으로 초기 비용이 많이 투입되어, 사업 단가가 다른 공법에 비해 높았기 때문이다. 열반응안정화의 경우에도 1.23 (±0.01)로 경제성이 있는 것으로 평가되었으나, 다른 공법에 비해 높지 않았다.

기계탈수와 응집침전 공법의 B/C가 가장 높게 나왔다. 기계탈수 공법의 경우에는 지구별 사업단가가 달라 B/C의 차이가 컸다. 응집침전은 사업비가 가장 적었기 때문에 경제성이 높은 것으로 나왔다. 하지만 응집침전 공법의 경우, 사업의 경제성은 매우 뛰어나나, 준설토를 처리하는 과정에서 많은 시간이 소요되며 수분 제거 효율이 떨어지기 때문에, 처리 부지가 좁으며 빠른 처리가 필요할 경우 적용하기 어려운 단점이 있다.<sup>17)</sup> 기계탈수공법은 다른 공법에 비해 준설토 처리 속도가 느리며, 설비의 점유 면적이 넓고, 점토 및 유기성 오니가 포함된 준설토에서 목표 함수비의 달성이 어려운 단점이 있다.<sup>17)</sup> 하지만 이 공법은 다른 공법에 비해 적용시 상대적으로 제한 요건이 적으며, 처리토의 재활용이 쉽고, 2차 환경 오염을 발생시키지 않음과 동시에 경제성이 뛰어나기 때문에 저수지로부터 준설된 퇴적물을 처리하기에 가장 적합한 방법으로 평가된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 비용편익분석을 통해 16개의 농업용 저수지에서 실시한 퇴적물처리 시범사업의 경제성을 평가하였다. 사업에 투입된 전체 사업비를 비용으로 설정하였고, 사업을 통해 퇴적물 재활용으로 인한 폐기물처리비용의 절감, 퇴적물 제거로 인한 침강지 건설비용의 절감, 저수지 내용적 확보로 인한 용수 비용의 3가지 요소를 편익으로 설정하였으며, 대체비용법을 이용하여 화폐화하고 현재가치화하였다. 시범사업의 경제성을 분석하기 위하여 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR), 편익·비용 비율(B/C) 분석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 퇴적물처리 시범 사업의 B/C율이 평균 1.32로 나타나 경제성이 높은 것으로 평가되었다. 또한 사업 단가(총사업비에 대한 퇴적물 제거물량)가 높을수록 사업의 경제성이 떨어져 사업의 경제성이 사업단가에 의해 좌우되는 것으로 나타났다.

2) 준설토 처리공법 별로 분석하였을 때 토양개량안정화 공법과 열반응안정화 공법의 경제성이 낮았으며, 기계탈수 공법과 응집침전 공법의 경제성이 높았다. 하지만 기계탈수공법은 응집침전 공법에 비해 처리토의 재활용이 쉽고 2차 오염의 발생이 적기 때문에 저수지로부터 준설된 퇴적물을 처리하기에 가장 적합한 방법인 것으로 평가되었다.

#### 사사

본 연구는 이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원

사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다. 본 논문의 경제성 분석 자료를 제공해 주신 충북대학교 농업경제학과 유진채 교수님과 여순식 박사님께 감사드립니다. 또한 논문의 완성을 위해 많은 조언을 해 주신 세 분의 심사위원님들께도 깊은 감사를 드립니다.

KSEE

#### 참고문헌

1. Korea Rural Community Corporation, Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture in 2010 (2011).
2. Korea Environment Institute, Management Plan of Contaminated Sediments in Reservoirs and Rivers(1998).
3. Kardinaal, W. E. A. and Visser, P. M., "Dynamics of cyanobacterial toxins," Harmful Cyanobacteria, Huisman, J., Matthijs, H. C. P. and Visser, P. M. (eds), Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 41~64(2005).
4. Park, H. K., "Survey method relating freshwater phytoplankton for the management of water resources," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **29**(6), 593~609(2007).
5. Oh, K. H., Jeong, D. H., Shin, S. H. and Cho, Y. C., "Simultaneous quantification of cyanobacteria and *Microcystis* spp. using real-time PCR," *J. Microbiol. Biotechnol.*, **22**(2), 248~255(2012).
6. Lee, Y. S. and Lee, K. S., "A study on release characteristics of sediment and its impacts on water quality in Daechung Dam Reservoir," *Kor. Sci. Environ. Impact Ass.*, **9**(2), 99~107(2000).
7. Kim, D. H., "A study on the measurement of nutrients release from sediment," *J. Environ. Sci.*, **11**(12), 1333~1337 (2002).
8. Kim, H. I., "A pilot project for treatment of sediment from agricultural reservoirs using environment-friendly recycling technologies," *Rural Environ. Eng. J.*, **102**, 118~129(2009).
9. Cho, Y. C. and Kim, H. I., "A project for treatment of sediment from agricultural reservoirs for foundation of green growth," *Rural Resour.*, **52**(2), 45~52(2010).
10. KARICO, A Study on the Deriving of Sediments Quality Guideline for Reservoir Dredging and the Use of Dredged Soil(2005).
11. Nam, J. H., "Economical valuing the multifunctionality roles of agriculture and rural areas," Thesis of Master Degree in Korea University(2010).
12. Ministry of Environment, A Study of Development of Guide for Benefit/Cost Analysis of Environmental Policy(2003).
13. Ministry of Government Legislation, Theory and Practice of Regulatory Reform of Office of Management and Budget in USA(2008).
14. Kwon, K. H., "The meaning of environment examined through cost-benefit analysis and analytic hierarchy process," *Environ. Law Rev.*, **32**(3), 161~190(2010).
15. Koh, J. M., Kim, K. M. and An, Y., "A case study on sludge dredging for water quality improvement in reservoir,"

- 2005 Geotechnical Engineering Conference, KSAE, pp. 729~731(2005).
16. Korea Rural Community Corporation, Post-Report of Pilot Project for Treatment of Sediment in Agricultural Reservoirs (2011).
  17. Ministry of Agriculture and Forestry, Tips for Management of Dredging Project of Reservoirs(2002).
  18. Korea Environment Institute, Freshwater Sediment Management and Beneficial Use of Dredged Material(2010).
  19. Jeong, D. J., "Economic validity of agricultural water development: Case study of Icheon City and Yeosu-Gun," *J. Rural Development*, **31**, 113~136(2008).
  20. Ministry of Public Administration and Security, Inspection Guide for Investment and Financing for Local Finance(2011).
  21. Lee, J. H. and Park, M. S., "Case investigation of entrance settling pond and phosphorus treatment facility for water quality improvement of the Saemangeum Reservoir," *Water Future*, **45**(10), 34~41(2012).
  22. Bae, D. H. and Jeong, I. W., "The desirable management for basin according to climate change," Symposium on the 13th World Water Day, pp. 19~35(2005).
  23. Leem, S. J., "The theory of cost-benefit analysis and application model for water conservation programs," *J. Political Sci. Commun.*, **8**(1), 98~123(2005).