

## 지속가능한 도시기반시설 건설을 위한 잠재적 환경영향 발생 특성 평가 - 하수처리시설, 하수관거, 방수로를 중심으로 -

### The Environmental Impact Assessment for Sustainable Urban Infrastructure Construction - A Case Study on Wastewater Treatment Plant, Sewerage System and Tailrace -

박광호<sup>1</sup> · 김창희<sup>2</sup> · 황용우<sup>2,\*</sup>

Park, Kwang-Ho<sup>1</sup> · Kim, Chang-Hee<sup>2</sup> · Hwang, Yong-Woo<sup>2,\*</sup>

1 CSIRO Sustainable Ecosystem, Australia

2 인하대학교 환경토목공학부

(2006년 11월 10일 논문 접수; 2006년 12월 11일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

In this study, environmental impact assessments of wastewater treatment plant (WWTP), sewerage system, and tailrace were performed using LCA methodology. The life cycle stages were divided into 3 categories; construction stage, maintenance stage and demolition & disposal stage. As a tool of impact assessment, Ecoindicator99 containing fate analysis, exposure & effect analysis and damage analysis, was used. As the results of WWTP LCA, more than 80% of environmental impact was produced from maintenance stage. On the other hand, most of environmental impact was produced from construction stage in the case of tailrace and sewerage system construction,

**Key words:** Life Cycle Assessment, Infrastructure, Environmental Impact

**주제어:** 전과정평가, 사회기반시설, 환경영향

#### 1. 서 론

지구 전반에 걸친 환경문제는 20세기말에 부각되어 국제사회의 주요 논점으로 급속히 확산되었으며 21세기에 들어 경제, 사회, 문화에 영향을 끼치는 이슈로 자리 잡게 되었다. 이러한 환경문제에 대응하기

위해 1992년 6월에 지속가능발전을 범세계적으로 실현하기 위한 국제회의인 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)에서 '환경적으로 건전하고 지속가능한 개발 (Environmentally Sound and Sustainable Development, ESSD)' 이라는 개념이 대두되었다. 또한, 2002년 8월 남아프리카공화국 요하네스버그에서

\*Corresponding author Tel: +82-32-860-7501, FAX: +82-32-863-4267, E-mail: hwangyw@inha.ac.kr (Hwang, Y.W.)

지속가능발전세계정상회의(World Summit on Sustainable Development, WSSD)가 개최되어 '지속가능발전'이라는 개념이 21세기 인류의 보편적인 발전 전략을 함축하는 핵심개념으로 자리 잡게 되었다. 이와 같은 세계적인 움직임과 더불어 1997년 교토회의에서는 선진국들이 온실가스 감축의무에 합의하였고, 1998년 11월 아르헨티나 4차 당사국총회에서는 온실가스감축에 대한 개발도상국의 자발적 의무부담에 대해 합의하였다. 2005년 교토의정서발효가 공식화된 실정이다. 앞으로 우리나라가 온실가스 감축의무국가로 분류될 경우 화석연료에 의존적인 우리나라의 산업전반에 대변혁이 예상되며, 이러한 흐름은 막대한 자원과 에너지를 필요로 하는 건설 산업에 있어서도 예외일 수 없다. 더욱이, ISO TC 59 건축분야 환경성 정보 규격과 유럽규격 CEN TC 350이 개발 중에 있어 건설 분야에서 지속가능한 발전을 위해 전과정적 사고 도입 및 연구의 필요성이 피할 수 없는 상황이 되고 있다.

지속가능한 발전은 생태학적 안정성의 유지, 관리된 경제성장, 사회적 형평성의 증대를 통합적으로 고려하는 개념으로서, 건설 분야에서의 지속가능한 발전의 의미 역시 환경적, 경제적, 사회적 여건들을 만족시키면서 발전해가는 것을 의미한다고 할 수 있다. 도시를 구성하는 인프라시설의 건설 활동이 전진하고 지속가능한 방향으로 발전하기 위해서는 건설로부터 비롯되는 각종 환경부하를 함께 고려하는 통합적 개

념이 필요하며, 환경적인 지속가능성을 위해서는 전과정적 사고를 통해 에너지와 자원의 사용, 대기, 수계, 토양으로의 환경오염물질 배출을 포함한 합리적이고 종합적인 환경관리를 수행하여 총체적으로 환경영향을 감소시킬 필요가 있다. 이에 따라 우리나라에서도 최근 TK(Turn-Key) 건설사업, BTL(Build Transfer Lease) 사업과 같은 대형 건설사업에서 사회기반시설의 환경성 평가방법으로 LCA를 도입하고 있다.

이에 본 연구에서는 여러 사회기반시설 중에서 하수처리시설, 하수관거, 방수로를 대상으로 각각 전과정위해도평가(LCRA, Life Cycle Risk Assessment)를 수행하여 end-point 관점에서 사회기반시설의 잠재적 환경영향 발생 특성을 연구하였다.

## 2. 연구방법 및 결과

### 2.1. 영향평가 방법론

본 연구에서는 네덜란드 PRe Consulting에서 개발한 end-point 개념의 Eco-indicator99 방법론을 적용하여 사회기반시설의 전과정에 대한 환경영향을 평가하였다. Eco-indicator99 방법론에서는 인간 건강(human health), 생태계 건강(ecosystem quality), 자원(resource)의 3가지 피해 범주(damage category)에 대해 평가를 하며, 이들 범주는 다시 각각의 내부 범주로서 발암성, 호흡기 영향, 기후 변화, 방사능, 오존

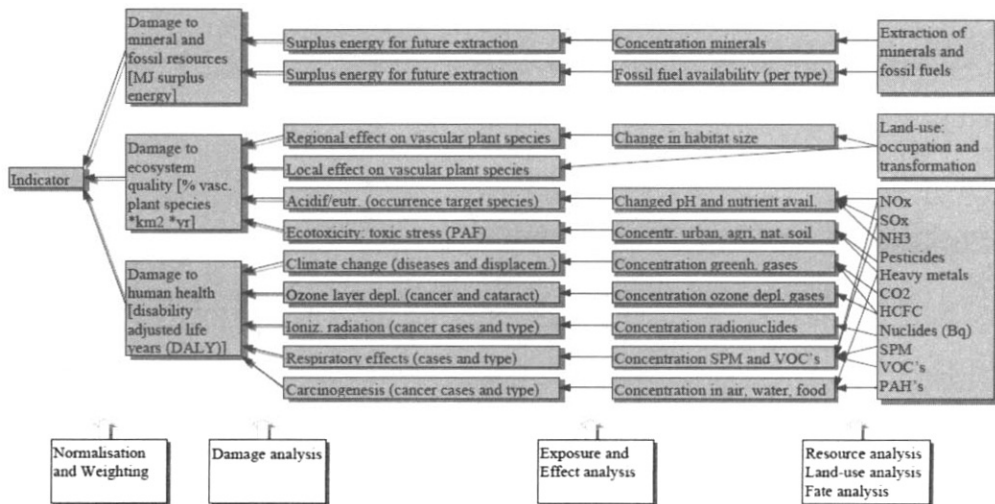


Fig. 1. Eco-indicator99 methodology.

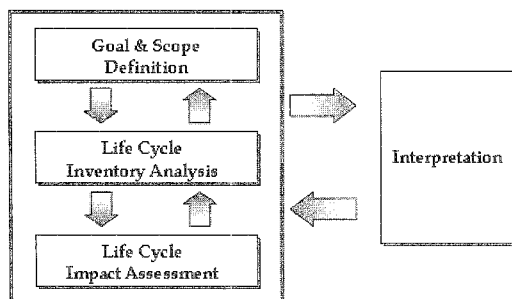
**Table 1.** Damage categories and damage unit of Eco-indicator99 methodology

Damage categories		Damage unit
Human health	carcinogenic effect	DALY
	respiratory (organic)	DALY
	climate change	DALY
	ionizing radiation	DALY
	ozone depletion	DALY
Ecosystem quality	ecotoxicity	PDF × m <sup>2</sup> × yr
	acidification/nutrication	PDF × m <sup>2</sup> × yr
	land-use	PDF × m <sup>2</sup> × yr
Resources	minerals	MJ
	fossil	MJ

층, 생태독성, 산성화, 토지이용, 자원 및 연료 채취 등으로 나뉜다.

Eco-indicator99 영향평가 방법론은 Fig. 1에 나타난 기본 개념과 같이 자연계에 배출된 오염물질에 따라 배출경로, 노출 및 영향을 분석을 하고 최종 피해 분석을 통해 환경 수용체 중심의 end-point 수준의 잠재적 환경영향을 평가하는 방법론이다.

피해 분석에 적용되는 피해범주와 상응인자 단위를 Table 1에 나타내었다. 인간 건강 범주에서는 발암성, 호흡기 장애 및 기타 기후변화에 따른 장애를 앓고 있는 기간(DALY, Disability Adjusted Life Years)을 지표로 하여 종말점 수준의 피해지수를 도출한다. 생태계 건강 범주에서는 생태독성, 산성화 및 부영양화 그리고 토지이용에 의해 매년 단위면적당 생물종이 잠재적으로 사라질 확률(PDF × m<sup>2</sup> × yr)을 지표로 하고, 자원 범주에서는 자원 1kg을 채취하기 위해 투입되는 잉여 에너지를 지표로 하여 종말점 수준의 피해지수를 도출한다. 각 피해범주와 상응인자를 통해



**Fig. 2.** LCA framework based on ISO 14040.

도출된 피해지수는 정규화(normalization)와 가중치 부여(weighting) 단계를 거쳐 하나의 종합 지수로 도출된다.

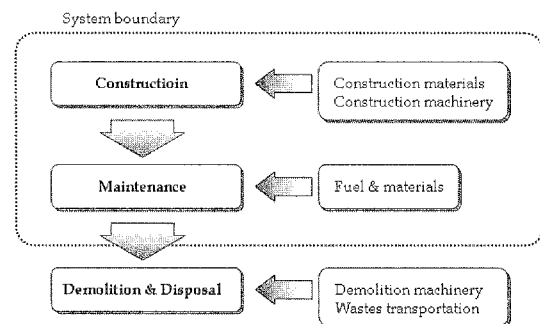
본 연구에서는 사회기반시설의 대상을 하수처리시설, 하수관거 및 방수로로 선정하고, LCA를 Fig. 2와 같이 ISO 14040에서 제시하고 있는 목적 및 범위설정(Goal and Scope Definition), 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis), 영향평가(Life Cycle Impact Assessment), 결과해석(Interpretation) 등 4단계로 나누어 수행하였다. 수행 과정에서 국내외 LCI DB, 각 건설구조물의 설계자료, 운영관리 실적자료 등의 자료를 이용하였다.

## 2.2. 하수처리시설에 대한 영향평가

### 2.2.1. 목적 및 범위설정

목적 및 범위설정은 LCA의 적용 목적을 명확하게 정의하고 적용 대상 시스템에 대한 기능단위 및 연구 범위를 설정하는 단계이다. 본 연구는 막대한 자원 및 에너지를 필요로 하는 건설 산업 중에서도 Life Cycle이 매우 긴 사회기반시설을 대상으로 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)를 수행하여 잠재적 환경영향 특성을 분석하는데 목적이 있다.

LCA 적용 대상으로 우선 하수처리시설을 선정하였다. 하수처리시설에는 침사설비, 유량조절조, 생물반응조, 이차침전지, 여과 및 소독설비, 방류펌프 및 용수공급설비, 슬러지 처리설비, 탈취설비가 포함되어 있다. 내구연한은 지방공기업법시행규칙에 의거하여 30년으로 설정하였다. 일반적으로 사회기반시설의 Life Cycle은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 크게 건설 단계, 유지보수단계, 해체 및 폐기단계의 세 단계로



**Fig. 3.** System boundary in this study.

구분된다. 건설 단계에서는 하수처리시설 건설시 투입된 자재와 시공 장비의 사용에 대하여, 유지보수단계에서는 시설의 유지보수에 소요되는 자재 및 에너지에 대하여 분석하였다. 해체 및 폐기단계에서는 시설의 폐기에 투입된 해체 장비의 사용과 건설 폐기물의 수송에 대하여 고려하였다.

### 2.2.2. 목록분석

평가대상인 A지역 하수처리시설의 Life Cycle 각 단계에서 투입되는 물질과 에너지를 정량화하고, 그에 따라 발생하는 각 환경오염물질들에 대하여 목록분석을 수행하였다. 각 Life Cycle의 목록분석은 건설 자재 및 건설장비의 에너지 소비량, 약품 및 전력 사용량, 해체 장비 및 폐기물 수송 장비의 에너지 소비량을 조사하여 정리하였고, 환경부, 산업자원부의 국가 LCIDB와 국외의 Simapro, Gabi, Team 등의 LCIDB를 이용하였다. 연료 사용량을 산정하는데 있어서 기본설계보고서를 이용하여 산출한 건설장비의 작업능력과 작업수량을 바탕으로 일위대가와 건설 표준품셈을 참조하였다.

### 2.2.3. 영향평가 및 결과해석

하수처리시설에 대한 본 연구의 영향평가 결과를 Table 2에 나타내었다. Life Cycle 중에 건설 단계에서 16.1%, 운영 단계에서 83.9%의 환경영향이 발생하는 것으로 나타나 대부분의 환경영향이 운영 단계에서 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 해체 및 폐기 단계에서 발생하는 환경영향은 건설 단계 및 운영 단계와 비교하였을 때 매우 작은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 하수처리시설의 경우 시설 특성상 운영 단계에서 막대한 에너지가 소비되기 때문인 것으로 판단된다.

건설단계의 주요 환경영향 유발물질 대한 결과를 Table 3에 나타내었다. 하수처리시설의 건설단계는

Table 3. Key materials producing environmental impact in construction stage

	Material	Ratio(%)
Earth work	Concrete	65.0
	Steel reinforcement	13.0
	Diesel	10.0
	etc.	12.0
Machinery work	Machinery	76.0
	Pipe	24.0

크게 토공과 기계 설치공으로 나누었는데, 토공에서는 콘크리트가 65.0%, 기계 설치공에서는 주철 기계류가 76%의 환경영향을 유발하는 것으로 나타났다.

## 2.3. 하수관거에 대한 영향평가

### 2.3.1. 목적 및 범위설정

본 절에서는 사회기반시설에 대한 잠재적 환경영향 특성을 분석하는데 있어 두 번째 대상으로 B지역 하수관거를 선정하였다. B지역 하수관거에는 하수관거 4.5km구간, 하천횡단 2개소 및 맨홀펌프장 3개소가 포함되어 있다. 내구연한은 50년으로 설정하였다.

본 절의 영향평가 역시 사회기반시설의 Life Cycle에 따라 건설단계, 유지보수단계, 해체 및 폐기단계의 세 단계로 구분하여 수행하였다. 건설 단계에서는 하수관거 건설시 투입된 자재와 시공 장비의 사용에 대하여, 유지보수단계에서는 시설의 유지보수에 소요되는 자재 및 에너지에 대하여 분석하였다. 하수관거 정비사업의 경우 일반적으로 건설단계에 기존 하수관거 시설의 해체·폐기 및 개보수 공정이 포함되어 있으므로 해체 및 폐기 단계는 본 연구에서 제외하였다.

### 2.3.2. 목록분석

하수관거에 대한 목록분석은 앞서 수행한 목록분석과 마찬가지로 Life Cycle 각 단계에서 투입되는 물

Table 2. Results of impact assessment for A Wastewater Treatment Plant

Category	Human Health	Ecosystem Quality	Resources	Total	Ratio(%)
Construction	5.35E+05	3.83E+10	1.61E+05	3.83E+10	16.1
Maintenance	2.80E+06	2.01E+11	1.51E+04	2.01E+11	83.9
Demolition & Disposal	1.08E+03	9.78E+07	1.51E+04	9.78E+07	-
Total	3.34E+06	2.39E+11	1.92E+05	2.39E+11	100.0

**Table 4.** Results of impact assessment for B Sewerage System

Category	Human Health	Ecosystem Quality	Resources	Total	Ratio(%)
Construction	1.23E+06	8.83E+10	8.26E+04	8.83E+10	88.1
Maintenance	1.67E+05	1.19E+10	8.97E+02	1.19E+10	11.9
Total	1.40E+06	1.00E+11	8.35E+04	1.00E+11	100.0

결과 에너지를 정량화하고, 그에 따라 발생하는 각 환경오염물질들에 대하여 목록분석을 수행하였다. 각 Life Cycle의 목록분석은 건설자재 및 건설장비의 에너지 소비량, 약품 및 전력 사용량을 조사하여 정리하였고, 환경부, 산업자원부의 국가 LCI DB와 국외의 Simapro, Gabi, Team 등의 LCI DB를 이용하였다. 연료 사용량을 산정하는데 있어서 앞 결과 마찬가지로 기본설계보고서를 이용하여 산출한 건설장비의 작업능력과 작업수량을 바탕으로 일위대가와 건설 표준품셈을 참조하였다.

2.3.3. 영향평가 및 결과해석

하수관거에 대한 본 연구의 영향평가 결과를 Table 4에 나타내었다. 생애주기 중에 건설 단계에서 88.1%, 운영 단계에서 11.9%의 환경영향이 발생하는 것으로 나타나 대부분의 환경영향이 건설 단계에서 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 하수관거의 경우 운영단계에서 대부분의 에너지는 펌프시설 3개소에서만 소비되고 유지보수자재 소비량은 거의 없기 때문인 것으로 판단된다.

하수관거 건설단계의 주요 환경영향 유발 물질 및 공정에 대한 결과를 Table 5에 나타내었다. 건설단계는 오수관거 구간, 배수관거 구간, 기타 구간으로 구분하였다. 배수관거 구간에서 65.6%, 우수관거 구간

에서 33.5%의 환경영향이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 건설단계에서 콘크리트가 73.1%의 환경영향을 유발하는 것으로 나타났다.

2.4. 방수로에 대한 환경영향평가

2.4.1. 목적 및 범위설정

본 연구의 세 번째 대상으로 방수로 2공구를 선정하였다. 방수로 2공구에는 방수로 4.7km 구간, 제방도로 5.4km 구간, 일반도로 5.4km 구간 그리고 대체교량 1개소가 포함되어 있으며, 또한, 방수로 4.7km 구간에는 토공, 제방설치공, 수로부대공, 유지관리용도로, 용배수로공, 환경 및 안전시설, 부대공, 저지대 침수방지시설이 포함되어 있다. 건설 단계에서는 방수로 건설시 투입자재와 시공장비 사용에 대하여, 유지보수단계에서는 시설의 유지보수에 소요되는 자재 및 에너지에 대하여 분석하였다. 해체 및 폐기단계의 경우 일반적으로 해체장비 사용과 건설 폐기물의 수송에 대하여 고려한다. 그러나, 방수로 2공구는 내구연한을 최대 80년으로 고려하는 교량을 포함하고 있기 때문에 80년 후의 해체 및 폐기 시나리오를 현재 기술력을 바탕으로 작성하는 것은 적절하지 못하다고 판단되어 해체 및 폐기 단계는 본 연구범위에서 제외하였다.

본 절에서는 방수로 2공구 전체를 연구 대상 및 환경성 평가의 기능단위로 설정하였다. 2공구 내의 시설은 서로 다른 유지보수 특성을 가지고 있기 때문에 각각의 Life Cycle 및 내구연한을 독립적으로 규정해야 한다. 방수로의 경우 별도의 유지보수가 불필요한 시설이므로 건설 단계만을 고려하였으며, 일반도로, 제방도로, 대체교량의 경우 건설, 유지보수단계를 고려하였다. 유지보수단계를 고려하지 않은 방수로의 경우 내구연한은 별도로 설정하지 않았고, 일반도로와 제방도로의 경우 20년, 대체교량의 경우 80년으로 설정하였다.

**Table 5.** Key materials and processes producing environmental impact in construction stage

	Key issue	Ratio(%)
Material	Concrete	73.1
	Cast iron	13.8
	PVC	9.2
	HDPE	2.3
	etc.	1.6
Process	Soil pipe section	65.6
	Drainpipe section	33.5
	etc. section	0.9

2.4.2. 목록분석

평가대상인 방수로건설 사업의 각 단계에서 투입되는 물질과 에너지를 정량화하고, 그에 따라 발생하는 각 환경오염물질들에 대하여 목록분석을 수행하였다. 각 Life Cycle의 목록분석은 건설자재 및 건설장비의 에너지 소비량, 약품 및 전력 사용량을 조사하여 정리하였고, 환경부, 산업자원부의 국가 LCI DB와 국외의 Simapro, Gabi, Team 등의 LCI DB를 이용하였다.

건설 단계의 각 공정별로 투입되는 건설자재의 종류와 수량을 파악하였고, 이를 정리하여 Table 6에 나타내었다. 또한, 건설단계에서의 투입장비의 작업 능력과 작업수량을 통해 각 건설장비별 연료 사용량을 산정하였다. 연료 사용량을 산정하는데 있어서 기본설계보고서를 이용하여 산출한 건설장비의 작업 능력과 작업수량을 바탕으로 일위대가와 건설 표준품셈을 참조하여 Table 7에 나타내었다.

유지보수 단계에서는 각 시설을 내구연한 동안 유지하는데 소요되는 건설자재를 고려하여 Table 8에 나타내었다.

2.4.3. 영향평가 및 결과해석

방수로 2공구에 대한 본 연구의 영향평가 결과를 Table 9에 나타내었다. 생애주기 중에 방수로 4.7km 구간의 건설단계에서 거의 대부분의 환경영향이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 건설단계에서 발생하는 잠재적 환경영향이 거의 모든 영향범주에서 유지관리 단계에서 보다 높은 것으로 나타났다. 단, 대체교량의 경우에서만 인간건강영향, 생태계영향, 자원사용영향의 3가지 범주에 대한 평가 결과가 건설단계보다 유지보수단계에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 대체교량의 경우 내구연한이 80년으로 기타 시설에 비해 매우 길고 유지보수 특성상 보다 많은 건설자재가 대체교량의 유지보수단계에서 소요되는 것이 이유라고 판단된다.

대부분의 환경영향을 유발하는 방수로 4.7km 구간에 대한 환경영향 발생 비율을 Table 10에 나타내었다. 방수로 부분에서 발생하는 환경영향의 41.9%가 토공에서, 35.8%가 제방설치공에서 발생하는 것으로 나타났다.

위의 결과로부터, 토공 및 제방설치공에서의 공정

Table 6. Construction materials requirement in construction stage

Materials	Standards	Quantity	Unit
Cement	KSL-5201	12,566	M/T
Steel pipe	D=32	737	kg
Steel pipe	D=40	160	kg
	D=48.6	54,503	kg
	D=60	29,661	kg
	D=114.3	1,220	kg
	D=200	456	kg
Section steel	125 × 75 × 7 mm	4	M/T
	175 × 175 × 12 mm	64	M/T
	300 × 300 × 10 mm	46	M/T
	150 × 150 × 7 × 10, H steel	1.34	M/T
	250 × 250 × 9 × 14, H steel	66.19	M/T
Steel plate	T=4	13,426,000	kg
Bolt	H=22, L=75	66,836	kg
Steel wire	#8 PVC 코팅	20,268	kg
Welding rod	3.2mm	385.08	kg
Steel reinforcement	D=13, rounded	6	M/T
	D=16, rounded	14	M/T
	D=16, rounded	2,558,680	kg
	D=32, rounded	2,419	kg
Ready-mixed concrete	25-210-8	172	m³
	25-210-15	805	m³
	25-240-15	7,157	m³
	40-160-8	2,629,286	m³
	40-180-8	73	m³
	40-210-8	81	m³
PVC pipe	D19	537.61	m
	D27.2	430.78	m
	D30	3,042	m
	D34	159	m
	D42	674	m
	D50	13,045	m
	D60.5	319	m
	D100	15,106	m
	D200	6	m
	D250	46	m
Wood plate	T=12	11,648	m²
Wood		57,640	m³
Gravel	FOT	5,701,829	kg
	Coarse aggregate	1,248	m³
	Fine Aggregate : S14	5,141	m³
STS	T=4.5	12,118	kg
Paint	KSM-5312	432	kg
	KSM-5310	2,897	kg
Sand		882	m³
Ascon		37,513	M/T

**Table 7.** Construction machinery and energy consumption in construction stage

Machinery	Standards	Quantity	Unit
Air compressor	17.0 m³/min	1,453,769	L
	10.3 m³/min	131,059	L
	7.1 m³/min	15,820	L
Backhoe+breaker	0.7 m³	247,359	L
Grouting mixer	2 kW	60	L
Grouting pump	30-60 /min	60	L
Dump truck	15 ton	5,698,710	L
	20 ton	8,770	L
Diesel engine	70 HP	1,452	L
Line marker	10 km/hr	140	L
Rammer	80 kg	31,614	L
Loader	1.72 m³, caterpillar	120,363	L
	2.87 m³, tire	399,290	L
Macadam roller(caterpillar)	10-12 ton	85,418	L
Grader	3.6	23,349	L
Crane	100 ton	90,538	L
Water tank	5,500 L	112,913	L
Generator	50 kW	9,761	L
Backhoe+compactor	0.7 m³	9,761	L
Dozer	19 ton	12,659	L
Asphalt distributor	3,800 L	898	L
Asphalt finisher	3 m	3,479	L
Roller(caterpillar)	30 ton	26,523	L
	10 ton	42,583	L
Backhoe	0.7 m³	240,984	L
Pile hammer	5 ton	3,573	L
Forklift	5 ton	536	L
Soil seeder	4.3 m³, 80 ps	13,112	L
Dump truck	11.5 ton	2,265	L
Cutter	320-400 mm	1,406	L
Concrete mixer truck	6 m³	42,071	L
Concrete batch plant	120 m³/hr	9,513	L
Concrete vibrator	150 ton/hr	5,918	L
Concrete pump car	80 m³/hr	13,193	L
Concrete finisher	142 HP	8,650	L
Crasher	150 ton/hr	60,730	L
	5 ton	15,715	L
	10 ton	2,413	L
	15 ton	7,960	L
Crane	30 ton	11,443	L
	5 ton	15,715	L
Tire roller	8-15 ton	39,626	L
Trailer	30 ton	127,113	L

개선이 방수로 2공구 전체의 건설단계뿐만 아니라 생애주기 전체의 환경영향 저감에 가장 큰 기여를 할 수 있는 인자임을 알 수 있다.

**Table 8.** Construction materials requirement in maintenance stage

Materials	Standards	Quantity	Unit
Cement	KSL-5201	1,378	M/T
Steel pipe	D=60	444,910	kg
Section steel	300 × 300 × 10 mm	93	M/T
Bolt	H=22, L=75	266,091	kg
Steel reinforcement	D=16, rounded	3,025,603	kg
Ready-mixed concrete	25-240-15	50,091	m³
Gravel	FOT	1,145,560	kg
STS	T=4.5	79,907	kg
Paint	KSM-5312	2,589	kg
Sand		882	m³
Ascon		70,385,110	kg

### 3. 결 론

하수처리시설을 대상으로 전과정평가를 수행한 결과, 운영 단계의 환경영향이 전체의 83.9%로 건설 단계 및 해체·폐기 단계보다 매우 높은 것으로 나타났다. 하수처리시설의 경우 내구연한 동안 에너지를 소비하면서 운전을 해야 하는 시설이기 때문에 운영 단계에서 보다 많은 환경영향이 발생하지만, 방수로, 도로, 교량, 하수관거는 기계적 강도를 유지하면서 존재하는 것만으로 기능을 하는 시설이기 때문에 유지보수 단계에서의 환경영향이 비교적 작게 발생하게 된다. 하수관거를 대상으로 전과정평가를 수행한 결과 역시, 건설 단계의 환경영향이 전체의 88.1%로 유지보수 단계보다 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 다른 사회기반시설의 하나인 하수처리시설에 대한 평가결과와는 매우 다른 특성을 보인다. 4.7 km 구간의 방수로를 포함하는 방수로 2공구를 대상으로 전과정평가를 수행한 결과, 건설 단계의 환경영향이 전체의 99.9%로 유지보수 단계보다 월등히 높은 것으로 나타났고, 토공 및 제방설치공에 대한 환경영향이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

그동안 제품에 대한 전과정평가 사례는 매우 많지만 아직까지 사회기반시설에 대한 연구는 세계적으로도 부족한 실정이다. 최근에서야 TK 사업과 BTL 사업을 통해 사회기반시설에 대한 환경성평가에 전과정평가를 도입하게 되었다. 사회기반시설은 막대한 자본과 자원을 투자해야 하는 시설이고 매우 긴 생애주기를 갖는 특성이 있기 때문에 건설 산업에서 잠재적

Table 9. Results of impact assessment for C Tailrace Work Section 2

Part	Category	Human Health	Ecosystem Quality	Resources
Tailrace	Construction	8.49E+05	6.66E+10	3.57E+05
	Maintenance	-	-	-
	Total	8.49E+05	6.66E+10	3.57E+05
Road	Construction	1.20E+00	3.50E+04	3.55E+06
	Maintenance	1.11E-01	4.94E+03	7.31E+04
	Total	1.31E+00	3.99E+04	3.62E+06
Alternative Bridge	Construction	2.65E+00	6.29E+04	5.48E+06
	Maintenance	1.74E+01	3.91E+05	2.44E+07
	Total	2.00E+01	4.54E+05	2.99E+07
Levee Road	Construction	5.29E+02	1.08E+07	7.74E+08
	Maintenance	4.32E-01	1.92E+04	2.83E+05
	Total	5.29E+02	1.08E+07	7.74E+08

Table 10. Key process of environmental impact in tailrace part

	Process	Ratio(%)
Tailrace 4.7 km	Earth work	41.9
	Levee work	35.8
	Canal appurtenant work	1.1
	Maintenance road	10.4
	Drainage canal work	2.3
	Environment & security facility	0.8
	Appurtenant work	7.7
	Anti-flooding facility	-

환경영향을 조절하기 위해서는 계획 및 설계 단계에서 전과정적 사고를 도입하는 노력과 보다 다양한 사회기반시설에 대한 연구가 향후 필요할 것이다.

사 사

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-041-D20322).

참고문헌

1. 박영우 (2005) 특집: 기후변화협약과 도시에너지 문제; 기후변화협약과 교토의정서 발효의 의미와 향후 전망, pp. 11-19, 대한지방행정공제회.
2. Korby, J., O'keefe, P. and Timberlake, L. (1995) The Earthscan Reader in Sustainable Development, Earthscan

Publication.

3. Munasinghe, M., Environmental Economics and Sustainable Development (1993) The World Bank.
4. Graham, P. (2003) Building Ecology: First Principles for a Sustainable Built Environment, Blackwell Science.
5. Portney, Kent E. (2003) Taking Sustainable Cities seriously: Economic Development, the Environment, and Quality of Life in American Cities, MIT.
6. Craig A. Langston and Grace K.C. Ding (2001) Sustainable Practices in the Built Environment - Second edition, Butterworth Heinemann.
7. European Commission (2001) Competitiveness of the Construction Industry: An Agenda for Sustainable Construction in Europe, EC Working Group Report.
8. Mark, G. K. and Renilde, S. (2000) The Eco-indicator 99 - A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, PRe Consultants B. V.
9. ISO (International Organization for Standardization) 14040 (1997) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.
10. 지방공기업법시행규칙 (2003) 행정자치부, 행정자치부령 제00206호.
11. 황용우, 박광호 (2003) 상하수도 시설에 대한 LCA 평가와 활용, 상하수도학회지, 17(1) 9-14.
12. 친환경상품진흥원 (2006) <http://koeco.or.kr/>
13. 국가청정생산지원센터 (2006) <http://www.kncpc.re.kr/>
14. 적산연구회 (2004) 토목공사 일위대가표, 대건사.
15. 건설연구원 (2004) 건설공사표준품셈.