

LCA를 이용한 하상도로의 하천환경영향 연구

박기학 · 장완복 · 강 현*

(주)제이피 파트너스 · *수원대학교 환경공학과

A Study on Stream Environmental Impact Assessment of Riverside-Road by Using LCA

Kihak Park · Wanbok Jang · Hun Kang*

JP Partners. co., Ltd · *Department of Environmental Engineering University of Suwon

1. 서론

1.1. 연구배경

하천을 중심으로 구성된 하상도로는 하천생태계 및 하천수질 오염의 주범이 되고 있으며, 초기 공사에 의한 환경영향 뿐 아니라 사용단계에서 더 많은 환경오염물질을 다량으로 발생시키고 있다. 이는 도로사용에 의한 대기오염물질의 발생과 강우시 하천으로의 비점오염유입으로 하천과 가까운 도로일수록 심각하다. 본 연구에서 대상으로한 대전천은 갑천의 2차 지류이자, 유등천의 1차 지류이며 동구 하소동에서 시작하여 대사천, 대동천과 합류하면서 북상하여 유등천에 유입되는 지방 1급 하천으로 유역면적은 87.91 km², 유로연장은 24.0 km인 세장(細長)의 장방형 유역을 가지고 있으며 기존 시가지의 중심가를 관류하면서 유등천 유역면적의 약 31%, 갑천 유역면적의 약 13%를 점유하고 있다.

이러한 대전천은 도시화의 진행과정에서 하천의 환경적 기능은 무시되고 토지이용 및 이수, 치수기능에 중점을 둔 하천정비에 의해 대부분이 복개되었고 직강화 및 직선화되었으며, 하천의 양안으로는 하상도로가 건설되었다. 그 결과 대전천은 자정작용을 잃고 수질은 악화되었으며, 인위적 훼손에 의해 생태계 및 경관이 파괴되어 하천 본래의 기능을 상실하게 되었다.

그 중에서도 특히 철근 및 콘크리트로 만들어진 하상도로는 그 자체가 이미 많은 환경 영향을 가지고 있으며, 육상 생태계와 수상생태계를 단절시키고 있을 뿐만 아니라 하천의 접근성 및 이용성을 떨어뜨리고 하천의 경관성마저 크게 훼손하고 있다.

또한, 하상도로를 통행하는 차량에 의해 발생하는 대기오염물질과 소음·진동으로 인해 하천생태계는 막대한 영향을 받고 있어 하상도로는 하천생태계 파괴의 주범으로 인식되고 있는 실정이다.

1.2. 연구목적 및 범위

하천환경의 큰 문제점으로 인식되고 있는 대전천 양안의 하상도로가 하천에 미치는 환경영향을 전과정평가(LCA)를 통해 종합적이고 정량적으로 평가하여 하상도로가 실질적으로 하천에 미치는 환경영향을 알아보고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 하상도로의 사용으로 인한 대전천의 환경영향 뿐만 아니라 인공구조물인 하상도로 자체가 가지는 환경영향까지 고려하여 종합적이고 정량적인 평가를 하여 하상도로가 가지는 환경영향을 파악하고자 하였다. 본연구에서 차량의 이동에 따른 소음 및 진동부분이 하천생태계에 영향이 끼칠 것으로 사료되나, 정량적 평가가 미흡한 관계로 제외하였다.

첫째, 하상도로자체가 가지는 환경부하는 전과정평가(LCA) 기법을 이용하여 시설물에 대한 투입 에너지 및 원 부자재에 대한 환경영향을 정량화 하였다.

둘째, 하천의 수질에 미치는 영향은 전과정평가(LCA) 기법을 이용하여 기존의 분석된 수질오염물질(BOD, TN, TP)을 자연정화를 고려하여 부영양화 지수로 표현하였다.

셋째, 대기에 미치는 영향은 '자동차 차종별 배출계수'(환경정책평가연구원, 2005)를 이용하여 배출량을 예측하고 전과정평가(LCA) 기법을 이용하여 평가 하였다.

넷째, 각 부문별로 도출된 결과를 전과정평가(LCA) 기법을 이용하여 종합적이고 정량적으로 표현하였다.

1.3. 연구방법

본 연구에서는 산업 자원부에서 개발한 한국형 환경영향평가지수 방법론을 사용하였으며, 고려한 영향범주(impact category)는 자원고갈(abiotic resource depletion, ARD), 지구온난화(global warming, GW), 오존층 파괴(ozone layer depletion, OD), 산성화(acidification, AC), 부영양화(eutrophication, EUT), 광화학산화물 형성(photochemical oxidant creation, POC), 인간독성(human toxicity, HT), 생태독성(eco toxicity, ET) 등 모두 8개 영향범주를 고려하였다.

하상도로가 하천환경에 미치는 영향을 조사하기위해 강우

E-mail: hkang@suwon.ac.kr

Tel: 031-220-2146

Fax: 031-220-2494

시와 비강우시로 나누어 샘플링한 후 수질오염공정시험법 “환경부고시 제2004-188호(개정 2004. 12. 17)”, 대기오염공정시험방법 “환경부고시 제2004-156호(개정 2004.10.18)”에 준하여 측정분석 하였다.

하상도로를 이용하는 교통량에 대해 조사한 후 이를 바탕으로 대기오염에 영향을 미치는 정도를 전과정평가(LCA) 기법으로 평가하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. LCA 기본구조

LCA는 상호 연관된 네 가지의 요소로 구성되어 있다. 따라서, LCA를 수행하기 위해서는 각각의 과정에서 필요한 자료와 절차, 방법 등을 정립할 필요성이 있다. ISO 14040 시리즈에서 규정하고 있는 LCA의 실시 순서는 크게 목록 및 범위 설정, 목록분석, 영향평가, 결과해석의 4단계와 보고 및 검토로 구성된다.

전과정영향평가 방법론은 산업 자원부에서 개발한 한국형 환경영향평가지수 방법론 Table 1을 사용하였으며, 고려한 영향범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성화, 부영양화, 광화학산화물 형성, 인간독성, 생태독성 등 모두 8개 영향범주를 고려하였다.

본 연구에서의 전과정평가 1 Pt의 개념(무차원)은 수계배출물로 인산질 비료 112.74 kg, 또는 질소질 비료 821 kg을 하천수계에 버리는 정도의 환경영향이며, 디젤(경유) 2242.152 kg(2681.36 리터) 등을 생산을 포함하여 연소시킬 때 발생하는 환경부하량 정도로 해석될 수 있으며, 본 연구에서 하상도로에 의한 환경영향을 전과정평가를 기초로 분석하였다.

Table 1. Environment Indicator Equation

$$E \cdot I = \sum(LCI \text{ result} \times C_i \times 1/N_i \times W_j)$$

$W_i = N_i/T_i \times f_i$
 C_i : characterization factor
 N_i : normalization results
 N_i/T_i : reduction factor
 f_i : relative significance factor
 W_i : weighting factor

3. 연구 결과

3.1. 하상도로 건설에 따른 환경영향

대전천 하상도로는 콘크리트 포장 도로로써 하상도로 길이 13.9 km의 연장을 갖고 있다. 본 평가에서는 하상도로의 시공단계(신설경우)에서 발생하는 환경영향을 전과정평가 기법을 통해 정량적으로 분석하였다.

기능은 차량통행을 위한 도로이며, 가능단위는 13.9 km(왕복차선)로 하였다.

하상도로의 시설물에 대한 전과정평가 결과 생태독성, 광화학물생성, 지구온난화, 자원고갈 순으로 환경영향이 큰 것으로 분석되었다. 콘크리트 호안도로의 환경영향 특성화 결과 생태독성이 1.97E+08 g 1,4 DCB eq 나타났다. 콘크리트의 원자재 생산으로 인한 환경영향이 지배적으로 나타났으며, 시공상 발생하는 건설장비에 의한 환경영향은 상대적으로 적은 것으로 분석되었다(Table 2).

3.1.1. 콘크리트 생산 및 도로건설에 의한 전과정평가 결과

전과정평가 정규화분석 결과 생태독성, 광화학산화물생성, 지구온난화, 자원고갈 순으로 환경에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 콘크리트 원자재의 생산과정에서 생태독성부분에 큰 영향이 있는 것으로 분석되었다(Fig. 1).

Table 2. Characterization Result of Riverside-road Construction

Impact category	Unit	Concrete	Construction Equipment	Total
Abiotic resource depletion(ADP)	1/yr	2.52E+07	6.21E+05	2.58E+07
Global warming(GWP)	g CO ₂ -eq	7.02E+09	8.02E+07	7.10E+09
Ozone depletion(ODP)	g CFC-11 eq	8.04E+02	2.76E-03	8.04E+02
Photochemical oxidant creation(POCP)	g ethylene	1.86E+07	4.32E+02	1.86E+07
Acidification(AP)	g SO ₂ eq	8.33E+06	1.55E+05	8.49E+06
Eutrophication(EP)	g PO ₄ -3 eq	1.39E+06	2.85E+04	1.41E+06
Human toxicity(HTP)	g 1,4 DCB eq	2.03E+07	1.75E+05	2.05E+07
Eco-toxicity(ETP)	g 1,4 DCB eq	1.97E+08	1.43E+05	1.97E+08

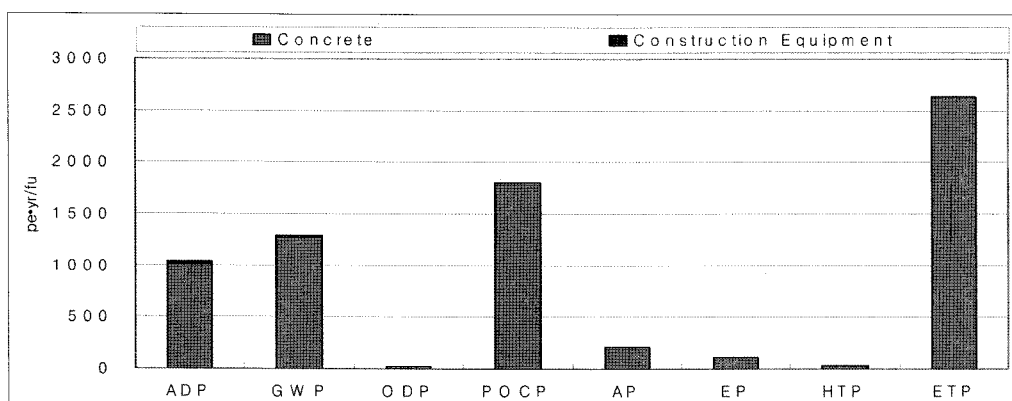


Fig. 1. Normalization Result of Riverside-road Construction.

Table 3. Weighting Result of Riverside-road Construction

Impact category	Normalization		Weighting Value	
	Concrete	Construction Equipment	Pt	%
Abiotic resource depletion(ADP)	1.01E+03	2.50E+01	240	17.1
Global warming(GWP)	1.27E+03	1.45E+01	370	26.3
Ozone depletion(ODP)	1.98E+01	6.78E-05	5.77	0.4
Photochemical oxidant creation(POCP)	1.80E+03	4.19E-02	117	8.3
Acidification(AP)	2.09E+02	3.91E+00	7.67	0.5
Eutrophication(EP)	1.06E+02	2.17E+00	4.1	0.3
Human toxicity(HTP)	3.07E+01	2.64E-01	8.17	0.6
Eco-toxicity(ETP)	2.64E+03	1.92E+00	654	46.5

하상도로의 전과정평가 결과 생태독성이 전체환경의 46.5%를 차지하였고, 이후 지구온난화가 370 Pt로 26.3%, 자원고갈이 17.1%의 환경영향이 발생하는 것으로 분석되었다.

3.2. 하상도로 이용에 따른 환경영향

3.2.1. 차량이용에 따른 대기오염 전과정평가

하상도로를 이용하는 교통량에 대해 조사(대전시청자료)한 후 이를 바탕으로 대기오염에 영향을 미치는 정도를 전과정평가(LCA) 기법으로 평가하였다. 대전권 하상도로를 이용하는 차량은 65,000대/일 승용차이다. 따라서 승용차 차종별 배출계수를 적용하여 오염물질량을 산정하였다.

대기환경질을 3지점에서 측정한 결과는 표와 같다. A-1(동구 인동 생활체육관 부근), A-2(중구 선화동 선화초등학교 부근), A-3(중구 중촌동 대전중앙중·고교 부근)이다.

자동차 대기오염 배출물은 광화학물 생성, 산성화, 부영양화, 인간독성 부분에 환경영향이 있는 것으로 나타났으며, 광화학물생성의 경우 7.31E+06 g ethylene이 발생하는 것으로 나타났다.

가중치 결과 광화학물생성의 경우 46.1 Pt, 산성화 27.5 Pt 발생하는 것으로 나타났고, 자동차의 하상도로 운행으로 연간 104.9 Pt의 환경부하가 발생하는 것으로 나타났다.

Table 4. Characterization Result of Vehicle Exhaust Emission (Air Pollutant)

Impact category	Unit	Total
Abiotic resource depletion(ADP)	1/yr	-
Global warming(GWP)	g CO ₂ -eq	-
Ozone depletion(ODP)	g CFC-11 eq	-
Photochemical oxidant creation(POCP)	g ethylene	7.31E+06
Acidification(AP)	g SO ₂ eq	3.05E+07
Eutrophication(EP)	g PO ₄ -3 eq	5.66E+06
Human toxicity(HTP)	g 1,4 DCB eq	3.74E+07
Eco-toxicity(ETP)	g 1,4 DCB eq	-

Table 5. LCA Result of Vehicle Exhaust Emission(Air Pollutant)

Impact category	Normalization	Weighting
Abiotic resource depletion(ADP)	-	-
Global warming(GWP)	-	-
Ozone depletion(ODP)	-	-
Photochemical oxidant creation(POCP)	710	46.1
Acidification(AP)	765	27.5
Eutrophication(EP)	432	16.4
Human toxicity(HTP)	56.5	14.9
Eco-toxicity(ETP)	-	-

Table 6. Vehicle Emission Indicator according to types

(unit : g/km)

Classification	Fuel	CO	HC	NOx	PM	Remark
Mini and Light Vehicle	Gasoline	0.656	0.07	0.19	-	
	LPG	1.312	0.084	0.286	-	
Vehicle	Gasoline	0.821	0.029	0.132	-	Gross weight of vehicle less than 2.5ton and under 8 persons
	LPG	1.642	0.06	0.385	-	
	Light Oil	0.469	0.025	0.502	0.086	
Vehicle (Taxicab)	LPG	2.31	0.098	0.586	-	

* The Korea Institute of Policy Evaluations 2005. 5

Table 7. Air Pollution Concentration by Points

Item	Point Time	A - 1	A - 2	A - 3
		11/25 09:00 ~ 11/26 09:00	11/25 09:30 ~ 11/26 09:30	11/25 10:00 ~ 11/26 10:00
SO ₂	(ppm)	0.009	0.004	0.006
CO	(ppm)	0.78	0.63	0.69
NO ₂	(ppm)	0.022	0.015	0.019
PM-10	(µg/m ³)	67.3	56.1	65.3
O ₃	(ppm)	0.012	0.007	0.011
Pb	(µg/m ³)	0.021	0.008	0.016

본 연구에서 실제 대기질을 측정한 결과 SO₂는 A1 지점에서 0.009 ppm으로 분석되었고, Pb는 A-1지점에서 0.021 (µg/m³)로 가장 높게 나타났다.

3.2.2. 차량이용에 따른 비점오염 전과정평가

하상도로의 교통사용으로 인한 수계의 환경영향을 정량화하기 하상도로 구간의 하천수질을 측정하였다. 하상도로의 시점, 중간점, 종점에 걸쳐 실측하였으며, 실험의 오차를 보정하기 위한 방법으로 문헌평균을 통한 검증은 수행하였다. 하상도로 시점부와 종점부의 수계오염부하량의 차이를 분석하여 하상도로가 수질환경에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 수계투입배출물은 강우시와 비강우시의 현지조사 실측데이터를 활용하여 비점오염원에 대한 분석을 부영양화지수로 산출하였다.

Table 8. Circumference Status of Sampling Point

Point Number	Name of Point	Circumference Status
W - 1	DaeJeon Dong-Gu In-Dong Bomunkyo	- Daejeon Stream - Water sampling point : the right side of upper stream(upper than Bomunkyo) - Drain pipe is situated and sewage flows in
W - 2	DaeJeon Dong-Gu Eunhaeng-Dong Dongbang Mart	- Road Markets(Pub) beside riverside-road at upper stream - sewage flows in - Stream Dam is situated on the upper stream
W - 3	DaeJeon Dong-Gu Samsung-Dong Samsunkyo	- Drain pipe is situated at the right side of upper stream - sewage flows in

가. 하천 수질평가

수질(지표수) 조사결과 비강우시의 생활환경항목 중 pH 8.1~8.2, BOD 0.6~0.9 mg/L로 나타났으며 강우시는 pH 7.2~7.5, BOD 3.6~10.0 mg/L로 조사되었다.

pH의 경우 비강우시와 강우시 모두 환경기준 I등급을 나타내었으나 BOD의 경우 비강우시에는 전지점에서 환경기준 I등급, 강우시에는 W-1, 2지점에서 환경기준 III등급, W-3 지점에서 V등급으로 나타났다.

나. 전과정평가 결과

하상도로변의 수질분석을 통해 비점오염원의 유입에 대한 부영양화 지수를 실측데이터를 분석하여 전과정평가 하였다. 평상시(비강우시) 각 지점별로 부영양화 특성화결과를 분석한 결과 측정지점3에서 환경영향이 가장 큰 것으로 분석되었으며, 평상시 평균 1.64E+07 g-PO₄-3 eq로 분석되었고 강

Table 9. Water Quality Analysis Result

Item	Point	W - 1		W - 2		W - 3	
		Dry	Rain	Dry	Rain	Dry	Rain
pH	-	8.1	7.5	8.2	7.4	8.2	7.2
BOD (mg/L)		0.9	4.4	0.6	3.6	0.8	10.0
Cd (mg/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND
As (mg/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hg (mg/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb (mg/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Water Temperature (°C)		18.2	17.9	18.1	17.8	18.2	17.9
COD (mg/L)		2.6	8.1	1.4	7.1	2.0	22.6
T-N (mg/L)		6.813	7.815	5.847	6.109	5.916	9.469
T-P (mg/L)		0.072	0.187	0.029	0.163	0.028	0.504
Cr (mg/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cu (mg/L)		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Flux (CMS)		0.1023	0.4464	0.2382	0.5265	0.2404	0.8921

※ ND : Not Detected

Table 10. Eutrophication Characterization Result of The River
(Unit : g-PO₄-3 eq)

Point	1	2	3	Average
Rain	5.68E+07	5.35E+07	1.69E+08	9.32E+07
Dry	1.01E+07	1.93E+07	1.98E+07	1.64E+07

Table 11. Start point and End point of Riverside-road Environmental Impact Assessment

	Start point (A)	End point (B)	variation (B-A)
Rain	165 Pt	491 Pt	326 Pt
Dry	29.4 Pt	57.5 Pt	28.1 Pt

우시에는 9.32E+07 g-PO₄-3 eq로 나타났다. 가중치 결과 강우시 부영양화지수가 평균 270 Pt로 분석되었으며, 평상시(비강우시) 평균 47.6 Pt로 나타났는데, 이는 하상도로 상류의 환경영향을 포함하고 있는 것으로 하상도로 구간의 직접적인 영향을 분석하기 위하여 시점부(W1)와 종점부(W3)의 환경영향 차이를 규명하였다(Fig. 2).

비강우시 1지점(하상도로 시점)에서의 전과정평가지수는 29.4 Pt로 분석되었으며 하상도로 13.9 km를 통과하는 시점(3지점)에서 57.5 Pt로 증가하는 것으로 측정결과 나타났다. 따라서 하상도로에 의한 환경오염은 28.1 Pt 증가하는 것으로 분석되었다(Table 11).

강우시 하상도로 구간내 평균 유량은 0.62 CMS로 측정결과 나타났으며, 부영양화 기준은 질소와 인으로 각각 구분되며, 농도규제로 적용됨으로, 하천의 유량변화에 따라서 각각 평상시와 강우시를 구분하여 제시하였으며, 실측데이터를 분석한 결과 하상도로의 시점(1지점)에서의 환경영향은 165 Pt, 하상도로 종점부(3지점)에서의 환경영향은 491 Pt로 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 하상도로에 의한 비점오염 증가량은 326 Pt로 분석되었다.

비강우시(평상시) 하상도로에 의한 환경오염은 연간 28.1 Pt 증가하며, 강우시 하상도로에 의한 환경오염은 연간 326 Pt 증가한 것으로 분석되었다. 따라서 하상도로에 의한 비점오염유입으로 수계의 부영양화 지수를 크게 증가시키며, 하천환경에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다(Fig. 3).

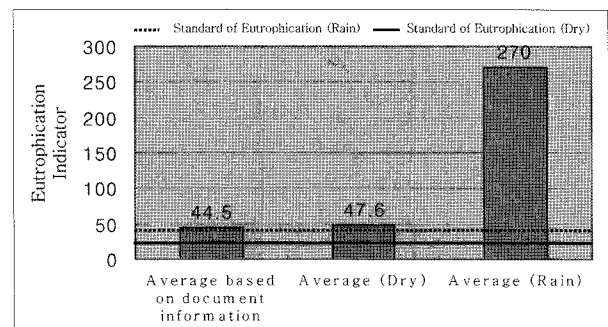


Fig. 2. Eutrophication Indicator of Non-point pollution Source by the Impact of Riverside-road.

Fig. 3. Water System Environmental Impact caused by Riverside-road.

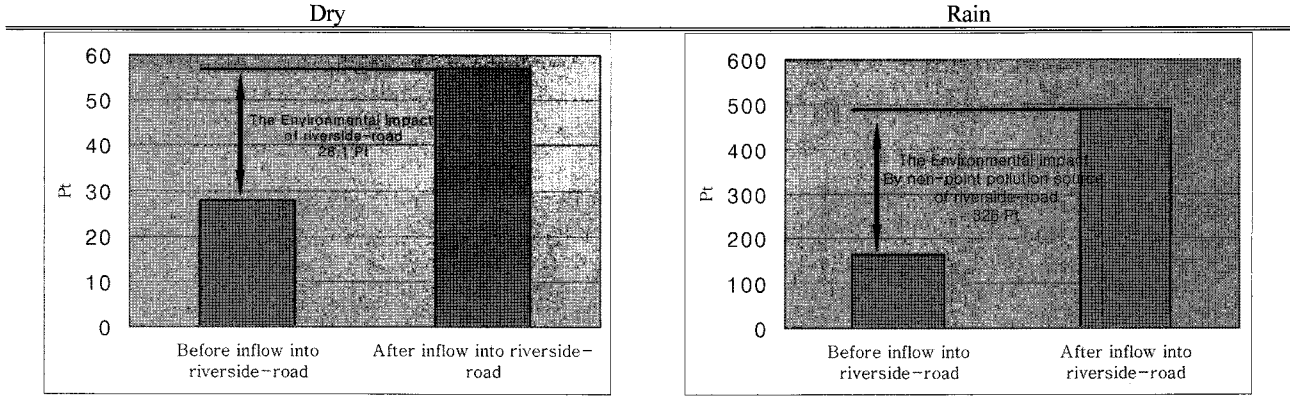
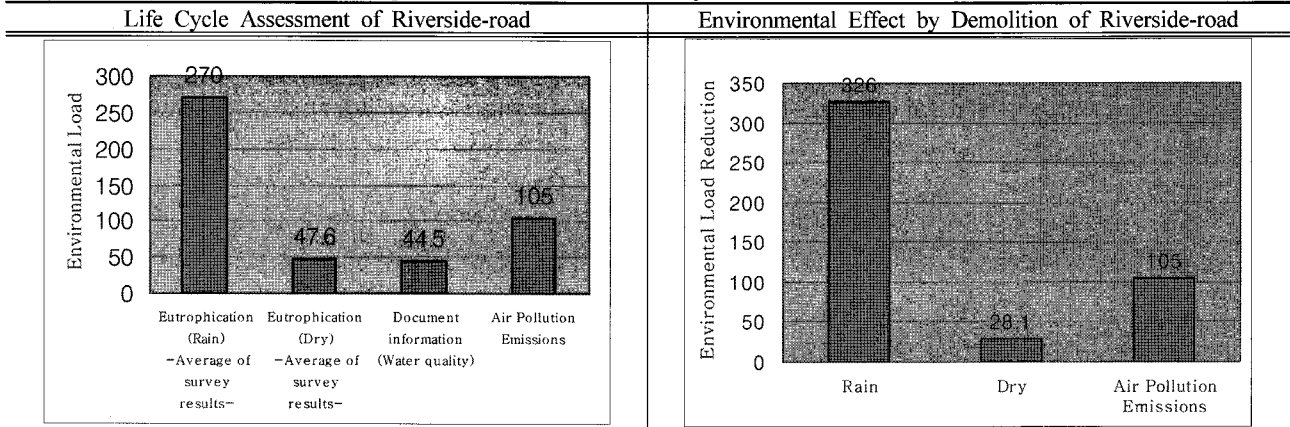


Fig. 4. Life Cycle Assessment and Expected Environmental Effect by Demolition of Riverside-road.



4. 종합검토

하상도로가 환경에 미치는 영향을 시설물과 수계 비점오염원의 유입의 관점에서 분석하였으며, 콘크리트 하상도로가 현재 상태로 유지될 경우 강우시 발생하는 비점오염원 유입에 의한 환경부하를 정량화 하였다.

현재 강우시 발생하는 하상도로에 의한 환경영향은 326 Pt로 분석되었고, 하상도로 철거로 인한 환경부하저감효과는 자동차 배출가스에 의한 환경오염 105 Pt, 강우시 하상도로의 비점오염원 유입 326 Pt, 평상시 하상도로의 영향 28.1 Pt가 개선될 것으로 기대된다. 하상도로 철거 후 기대되는 효과는 하천의 자정작용 증대는 물론 비점오염원의 유입 차

단으로 하천생태계가 더욱 풍부해 질 것으로 판단된다. 또한 비점오염원의 제거로 인해 하천수질을 양호하게 유지 될 수 있으며, 도시 청정화에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

Fig. 4에서 보는바와 같이 강우시 W1, W2, W3 지점의 평균 환경부하발생은 270 Pt로 분석되었고, 비강우시 평균은 47.6 Pt, 문헌정보에 의한 환경영향은 44.5 Pt로 분석되었다. 교통량에 의한 대기오염배출의 환경영향은 하상도로 구간내 105 Pt 발생하는 것으로 분석되었다.

하상도로 시점부와 종점부 즉, 순수한 하상도로의 환경영향을 평가하였다. 강우시 하상도로를 유입하는 환경영향은 165 Pt였으나, 하상도로를 통과하는 지점에서의 환경영향은 491 Pt로 326 Pt 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 현재 측

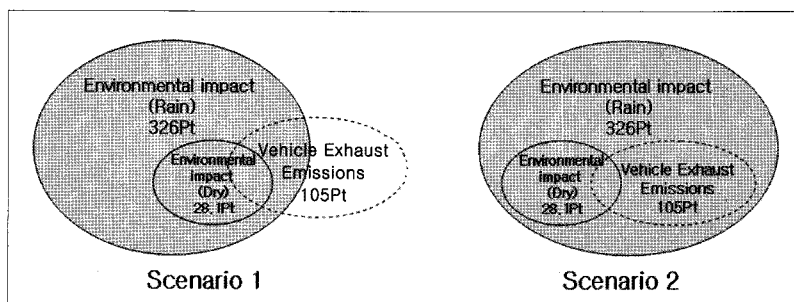


Fig. 5. Environmental Impact of Riverside-road analysis scenario

정에 의한 것으로 기상조건 및 강우조건에 따라 다소 차이가 날 것으로 판단된다. 비강우시에서의 하상도로의 환경영향은 28.1 Pt인 것으로 분석되었다.

하상도로의 환경영향은 주변의 모든 상황을 고려한 해석이 이루어져야 하지만 본 연구에서는 실측 분석데이터를 이용하여 하천 주변 상황만을 고려하였다. 순수 하상도로에 의한 환경영향은 강우시 326 Pt 증가하는 것으로 분석되었으며, 비강우시(평상시)에는 28.1 Pt 영향이 있는 것으로 평가되었다. 또한 자동차 통행에 의한 환경영향은 105 Pt로 분석되었다. 이는 강우시 차량 배출물이 전량(全量) 유입될 수도 있고(시나리오2), 일부만 유입될 경우도 있을 것이다(시나리오1). 비강우시의 환경영향은 강우시 안에 포함 될 것으로 사료된다.

5. 결론

하상도로가 하천 환경에 미치는 영향을 전과정평가 기법을 사용하여 분석하였다. 콘크리트 하상도로를 사용하는 교통량의 증가에 따라 수계비점오염원의 증가를 일으키며, 대기오염 물질을 배출하게 된다. 본 연구에서 환경성 평가를 분석한 결과 사용단계에서의 환경영향은 하상도로 말단부분에 최

대 419 Pt(강우시)로 분석되었으며, 강우시 순수 하상도로에 의한 환경영향은 연간 326 Pt, 대기오염물질은 연간 105 Pt 발생하는 것으로 분석되었다.

하상도로가 향후 10년 또는 20년 유지될 경우 환경에 미치는 악영향은 매울 클 것으로 판단되며, 또한 자동차 소음, 진동에 대한 하천생태계의 영향이 발생할 것으로 판단된다. 추후 소음·진동이 하천생태계 및 환경에 미치는 연구는 계속 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 수질오염공정시험법, 환경부고시 제2004-188호(개정 2004. 12. 17), 환경부(2004).
2. 대기오염공정시험방법, 환경부고시 제2004-156호(개정 2004. 10. 18), 환경부(2004).
3. 한국환경정책평가연구원, 자동차 차종별배출계수, 환경부(2005).
4. 산업자원부, Life Cycle Assessment ISO 14040 시리즈 실무지침, 산자부(2004).
5. 대전광역시청 홈페이지(www.metro.daejeon.kr)