

트램 설계시 LID 기법 적용을 통한 환경편익 증대 방안

Enhanced Method for Environmental Benefit via Application of Low Impact Development (LID) Technique in Tram Design

구수환 · 이윤희 · 어성욱*

Su-Hwan Gu · Yunhee Lee · Seong-Wook Oa

Abstract Reduced greenhouse gas effect induced by LID (Low Impact Development) technique application in tramway construction was quantified to increase environmental benefit as part of an overall economic assessment. In addition, by application of penetration type permeable blocks, the effect of the urban water cycle was examined as a special assessment item in the policy analysis. The carbon emission ratios of the permeable turf block, according to the turf coverage rate (100%, 50% granite, and 50% HDPE), against the concrete track construction were -184.7%, -127.3%, and -116.3%, respectively. The carbon emission ratios of permeable blocks with granite and HDPE were 30.1% and 52.5%. In the case of the penetration type permeable block, it was possible to store rainfall in the block until 90mm/hr of rainfall intensity (94.3% of water reserve rate); therefore, this method was effective as part of the urban water cycle system. As a result, an increased environmental benefit from LID technique application is expected in tramway construction; this needs to be considered as a policy factor in AHP analysis.

Keywords : AHP analysis, Environmental benefit, Greenhouse gas reduction, Low impact development, Urban water cycle

초 록 트램 건설시 LID 기법 적용에 따른 환경편익 증대 방안으로 경제성 평가에서 온실가스 저감에 따른 환경편익을 계량화하였다. 또한 LID 기법 중 침투형 투수블록 적용에 따른 도시물순환 효과를 정책성 분석시 사업특수 평가항목으로 선택할 수 있는지 여부에 대한 가능성에 대해서도 검토하였다. 투수잔디블록의 사용에 따른 콘크리트 궤도 대비 탄소배출 비율은 잔디 피복율(100%, 50% 화강석, 50% HDPE)에 따라 각각 -184.7%, -127.3%, -116.3%로 산출되었으며, 투수블록의 경우에는 화강석 및 HDPE 각각 30.1%, 52.5%로 산출되었다. 침투형 투수블록을 적용할 경우 강우강도 90mm/hr까지 저수가 가능한 것으로 나타났으며(저수율 94.3%), 도시물순환 시스템으로써 효과가 있을 것으로 판단된다. 결과적으로 트램건설시 LID 기법 적용으로 환경편익의 증대가 기대되며 추후 AHP 분석에서 정책적 요소로도 다루어질 필요가 있다.

주요어 : AHP 분석, 환경편익, 온실가스저감, 저영향개발, 도시물순환

1. 서 론

최근 우리나라의 각 지방자치단체들은 재정 상태와 도시환경에 맞는 녹색교통시스템의 도입에 힘쓰고 있으며, 이에 따라 건설비와 운영비를 줄이고 에너지를 절감할 수 있는 다양한 친환경 신 녹색교통 수단의 필요성이 대두되고 있다. 이 중 도시철도 건설에 있어서 트램은 경제적이며, 자연훼손의 범위를 최소화할 수 있는 친환경적인 수단으로 시민의 안전과 시설의 편리함을 제공할 수 있다. 따라서 여러 지방자치단체에서 트램의 도입 가능성을 두고 예비타당성 조사를 진행하였으나, 2012년 기준 16개의 사업에서 B/C 분석 결과 대부분이 0.7~0.9 범위로 경제성 결여되어 현재까지 우리나라에서 설치된 사례는 없는 실정이다 [1]. 하지만 여기서 주목할 점은 현재 예비타당성 조사의 평가항목들 중 경제성 부분은 효율성 위주의 평가항목들로 사회경제적 가치가 저평가되고 있다는 것이다. 특히 현재 경제성 분석시 환경편익 분석은 대기오염비용 절감편익과 소음비용 절감편익만이 고려되고 있으며, 단순히 오염물질별 배출량과 원단위에 따른 산정에 그치고 있다. 따라서 효율성 평가항목에서 친환경성과 경제적 효율성의 균형을 평가할 수 있는 체계가 필요하다[2]. 또한 계량화할 수 없는 환경편익 항목에 대해서는 예비타당성분석

*Corresponding author. E-mail: swoa@wsu.ac.kr.

© 2016 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<https://doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.6.826>

중 정책성 분석시 환경평가 항목을 확대하거나 추가평가항목에 편입시켜 사업시행 여부를 결정해야할 것이다. 철도교통 분야에 서 환경적 평가요인을 접목한 선행연구들 중 김동기[3]는 환경 친화적인 철도노선 대 선정을 위하여 주요평가 항목으로 지형·지질, 동식물상, 자연환경자산, 대기질, 수질, 소음·진동, 문화재·경관을 선정하고, AHP 기법을 이용한 가중치를 산출하여 정량 적인 환경성 검토가 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 예비타당성평가에서 친환경성을 높여 경제성을 확보하기 위한 방안으로 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법을 접목하였다. LID 기법은 강우유출 발생지에서부터 침투, 저류를 통해 도시화에 따른 수생태계의 변화를 최소화하 여 개발 이전의 상태에 최대한 가까운 도시개발기법으로써 최근 도시 수량 관리를 위한 유용한 방법으로 확대 적용되고 있는 추세이다[4]. 트램 건설시 LID 기법 중 녹지화에 따른 온실가스 저감효과와 일반 콘크리트 블록에 비해 공극 간격이 커 투수성 이 뛰어난 투수블록 혹은 투수잔디블록 등의 사용으로 인한 표면유출물(runoff) 저감으로 지하수위 및 도심하천 수위를 유지시 켜 수량 확보에 따른 도시물순환 시스템이 가능해진다.

따라서 본 연구에서는 대전시에서 계획 중인 무가선트램 건설시 순환선의 연장거리인 37.4km를 투수잔디블록으로 시공할 경 우에 예상되는 시간당 탄소흡수량과 투수블록을 이용할 경우 및 일반적인 궤도건설시 사용되는 콘크리트를 이용하여 시공할 경 우에 예상되는 탄소배출량을 각각 산출하여 환경편익을 계량화하였다. 또한 수량 확보에 따른 도시물순환 효과를 연간 강수량 에 따른 빗물 침투형 블록의 저수율 도출 등을 통하여 예비타당성조사의 정책성 분석시 평가항목으로 선택할 수 있는지 여부 에 대한 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 예비타당성 평가

2.1 경제성 분석

“도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침”에 따르면[5], 경제성 분석에서 직접편익 즉 사용자 편익은 대중교통 이용자 편익과 타수단 이용자 편익으로 나뉜다. 대중교통 이용자 편익은 대중교통 이용자 통행시간 절감을 들 수 있으며, 이때 쾌적성, 정시성, 안정성 향상 등을 고려할 수 있으나 실제 경제성 분석의 편익에서는 계량화하여 반영하지는 못하고 있다. 하지만, 김 등[6]의 연구에 따르면 기존의 경제성 분석시 고려되는 평가항목 보다는 접근성, 정시성, 주행시간과 같은 교통여건 향상에 따 른 편익항목이 더 높은 중요도를 가진다고 보고하고 있다.

또한, 경제성 분석에 시장권의 확대, 지역 산업구조 개편, 도로 유지관리비 절감 편익도 고려할 수 있으나 편익 산출을 위한 계량화가 어려워 실제 경제성 분석에는 반영하지 못하고 있다(Table 1). 경제적 타당성은 편익/비용(B/C)을 기준으로 비율이 높 을수록(B/C ≥ 1) 사업시행 타당성이 높게 평가된다. 하지만 편익과 비용은 다양한 측정단위로 표현되어 편익과 비용의 종류파악 및 통일된 화폐단위로 계량화가 어려운 한계점이 있을 뿐만 아니라 비용과 편익만으로 타당성을 평가할 경우 지역적 계층적 분 배를 고려할 수 없다. 또한 균형발전, 사업추진상의 위험 요인 등 정책적인 요소를 고려할 수 없다. 따라서 화폐가치로 계량화 하기 어려운 요소를 함께 고려하기 위하여 정책적 분석을 함께 수행할 필요가 있다.

Table 1. Evaluation criteria for preliminary feasibility study.

Item	Quantification	Note
Reduced travel time benefits	O	
Reduced vehicle running cost benefits	O	
Reduced traffic accident benefits	O	
Reduced environmental cost benefits	O	
Reduced parking fee benefits	O	· Limitation in railway business of urban
Comfort, punctuality, stability improvement	X	
Expansion of market area	X	
Reorganization of regional industry structure	X	
Reduced maintenance cost of road	X	

2.3 정책적 분석

정책적 분석은 사업시행에 따른 타당성 분석시 계량화하기 어려워 B/C 분석에 포함되지 않으나 평가요소로 고려해야하는 항목에 대한 분석법이다. 정책적 분석의 평가항목에는 지역균형발전(지역낙후도, 지역경제 파급효과 등), 정책의 일관성 및 추진의지(관련계획 및 정책방향과의 일치성, 사업추진 의지 및 선호도, 사업의 준비 정도 등), 사업추진상의 위험요인(재원조달 가능성, 환경성 평가 등), 사업특수 추가 평가항목(선택적)으로 구성되어 있다[7]. 지역낙후도의 경우 인구(최근 5년간 인구 증가율), 산업(제조업/중소기업), 지역기반 시설(도로율), 교통(승용차 등록대수), 보건·사회 보장(인구당 의사수 및 노령화 지수), 행·재정·기타(재정 자립도 및 도시적 토지이용) 항목을 지표로 하여, 낙후도 지수를 산출하고 낙후지역일수록 사업의 타당성이 낮게 평가된다. 지역경제 파급효과의 경우 생산효과, 고용효과, 소득효과로 구분하여 산출한다.

2.4 종합평가

경제성 분석은 B/C, NPV, IRR 등 정량적으로 제시되며, 정책적 분석에 포함되는 항목인 사업추진의지, 재원조달가능성, 관련계획과의 일치성 등은 계량화가 어려워 정성적으로 제시되기 때문에 정량적 분석 결과와 정성적 분석결과를 통합하여 판단하기가 어렵다. 또한 평가의 일관성과 사업의 특수성(국가전략사업 등)을 동시에 반영하기 어려우며, 종합평가에 참여하는 평가자들의 의견을 모두 수렴하는데도 어려움이 따른다. 따라서 의사결정의 목표 또는 평가기준이 다수이며, 개별 평가기준에 대해서도 다른 선호도를 가진 대안들을 체계적으로 수렴하기 위한 의사결정 기법으로 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법이 사용된다. AHP 기법은 관련분야 전문가들의 설문조사에 의한 조사방법으로 분석과정은 다음과 같다[8]. 문제를 구성하는 다양한 평가요소들을 주요 요소와 세부 요소들로 나누어 평가항목을 확정하고 서로 다른 중요성과 범위를 가진 항목들을 동질적인 집합으로 군집화하여 적절한 수준으로 계층구조화 한다(Fig. 1). 그리고 평가항목 요소들에 대한 쌍대비교를 통해 상대적 중요도의 측정결과를 종합하여 가중치를 추정하고(인지심리학 연구결과에 기초하여 극단적으로 선호부터 동등하게 선호까지 9점~1점 점수부여), 대안에 대한 선호도를 점수로 산정한다. 평가기준별 가중치와 평점의 곱으로 대안별 종합평점을 산정하고, 응답의 일관성이 낮은 응답자를 대상으로 의사결정을 다시 수행하는 환류과정(비일관성 축소)을 거친 뒤 평가자별 의견일치도와 AHP 평점에 따라(0.55 ≤ AHP: 타당성 있음) 사업타당성의 여부를 판단하여 사업시행과 미시행에 대한 최종적인 종합판단을 내리게 된다.

철도분야의 사업특수 평가항목의 예시로는 서울철도차량정비창 이전사업의 경우 용산지역 개발계획과의 연계성, 용산역 활용 계획과의 조화, 정비창 미이전시 문제점, 이전대상지역의 반대로 설정하였고, 대구복선 전철화 사업의 경우에는 경부고속철과의 중복투자 여부, 광역철도, 전철화의 필요성, 애로구간으로 설정하였다. 전라선 전철화 사업에서는 애로구간문제, 전철화 필요성, 광양항 물동량 수송의 원활화로 평가항목을 수립하였다[7].

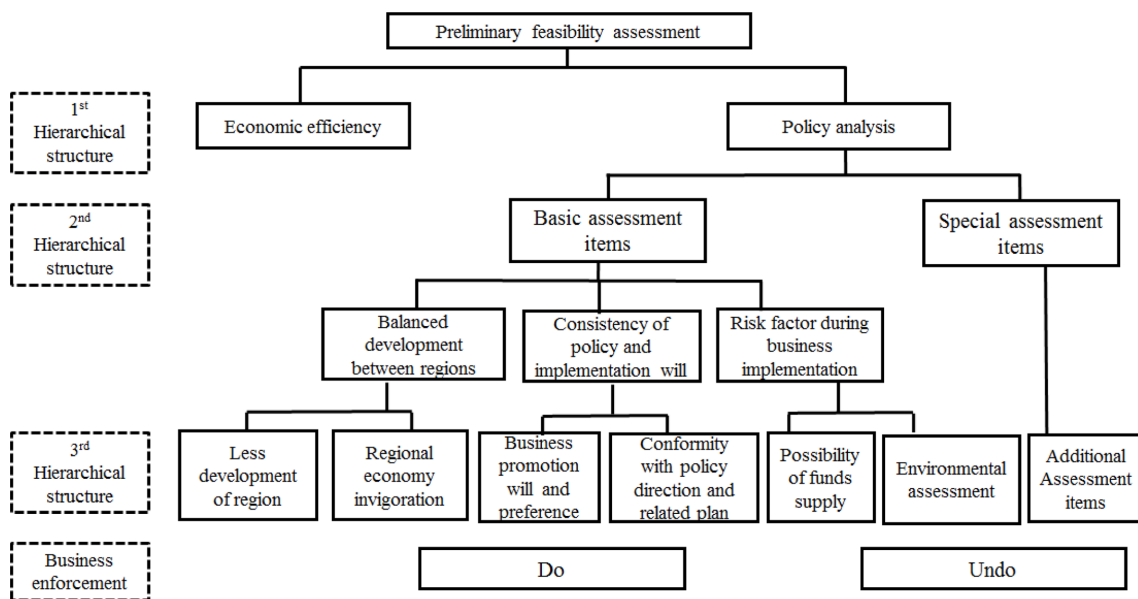


Fig. 1. Hierarchical structure for policy analysis(source from [7]).

3. LID 기법 적용에 따른 환경편익

3.1 온실가스 절감편익 산정방법

국토교통부[9]는 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인”에 철도 시설물의 생애주기(Life Cycle)를 설계, 시공, 운영, 해체 및 재활용 단계로 나누어 단계별 온실가스 산정방안을 제시하고 있다. 설계 및 시공 단계에서는 사용되는 자재 및 장비의 단위당 온실가스 배출량을 산정하고, 운용 단계에서는 시설물 운용 및 유지보수를 위한 보수·보강 과정 시 사용되는 전기, 가스 등 에너지 사용량을 이용하여 온실가스 배출량 산정한다. 해체 및 재활용 단계에서는 해체공사 및 폐기물 운반 시 배출되는 온실가스 배출량을 산정한다. 트램 건설에 있어서 LID 기법을 적용할 경우 철도 시설물의 탄소배출 평가 대상은 시공단계에서 투입 자재인 콘크리트, 아스팔트 등에 변화가 있을 것으로 판단되며, 콘크리트나 아스팔트 대신 투수잔디블록 혹은 투수블록을 사용할 경우 이에 상응하는 탄소저감 효과가 기대된다. 이해를 돕기 위하여 LID 기법을 적용한 트램의 궤도 시공단면도 예시를 Fig. 2에 나타내었다.

자재투입에 따른 탄소배출량은 일반적으로 투입자재량과 탄소배출계수의 곱으로 산정한다. 투입자재량 산출은 작업량(unit)과 일위대가 상 자재 투입물량(ton, m², m 등/unit)의 곱으로 산정하며, 자재의 탄소배출계수는 ‘국가 LCI 데이터베이스 정보망 (<http://www.klcidb.or.kr>)’, ‘탄소성적표지용 배출계수(<http://edp.or.kr/carbon>)’ 등을 이용할 수 있다.

트램 건설시 투수잔디블록 혹은 투수블록 적용시와 미적용시의 탄소배출량 비교를 위한 분석 방법은 국토교통부 “시설물 탄소배출량 산정 가이드라인”[9]을 이용하였으며, 비교 대상은 자재투입에 의한 탄소배출량으로 제한하였다. 고려되는 온실가스는 CO₂로 규정하였으며 탄소배출량 산정 시 CO₂의 지구온난화지수(Global Warming Potentials, GWP)를 고려하여 CO₂로 산정하였다. IPCC 4차보고서[10] 기준으로 CO₂의 GWP는 1이다.

철도건설현장의 철도 1km 건설 시 표준화된 탄소배출량은 총 20,279톤 CO₂e/km(연장가중치 기준) 및 22,216톤 CO₂e/km(재료비가중치 기준)로 나타났으며, 자재가 전체의 약 91~92%를 차지하고 있다[11]. 본 연구에서는 궤도분야(콘크리트 궤도)의 연장가중치를 적용한 자재의 탄소배출량 원단위(1,554 톤 CO₂e/km)를 사용하였다.

1m²의 잔디 표면은 시간당 약 2~5g의 CO₂를 흡수하며(고정율 2~5g/m²/h), 이산화탄소 외에도 아황산가스, 일산화탄소, 이산화질소, 먼지, 옥시던트 같은 대기오염가스를 흡수함으로써 공기를 정화시킨다. 본 연구에서는 투수잔디블록의 탄소흡수량을 산정하기 위해 잔디의 CO₂ 고정율을 평균값인 3.5g/m²/hr로 가정하였으며, 식물의 광합성에 의한 CO₂ 소모율을 고려하기 위해 기상청자료[12]를 토대로 연평균 일조시간(2,170.4hr/년, 대전)을 이용하였다.

3.2 온실가스 절감편익 산정

트램 선로의 총 연장 길이를 37.4km로 적용하여 일반 콘크리트 궤도 시공의 경우와 투수블록 및 투수잔디블록으로 시공할 경우를 비교하여 다음과 같이 온실가스 절감편익을 산정하였다. “3.1 온실가스 절감편익 산정방법”에 따라 일반 콘크리트 궤도 시공에 의한 탄소배출량은 58,120톤 CO₂e으로 계산되며, 이를 대기오염 비용으로 환산하면 27.9억 원이 소요된다. 투수잔디블록의 잔디 피복율 및 투수블록 자재 재질에 따른 탄소흡수량 및 탄소배출량과 콘크리트 궤도 대비 탄소배출 비율을 다음과 같이 산출하여 정리하였다(Table 2).

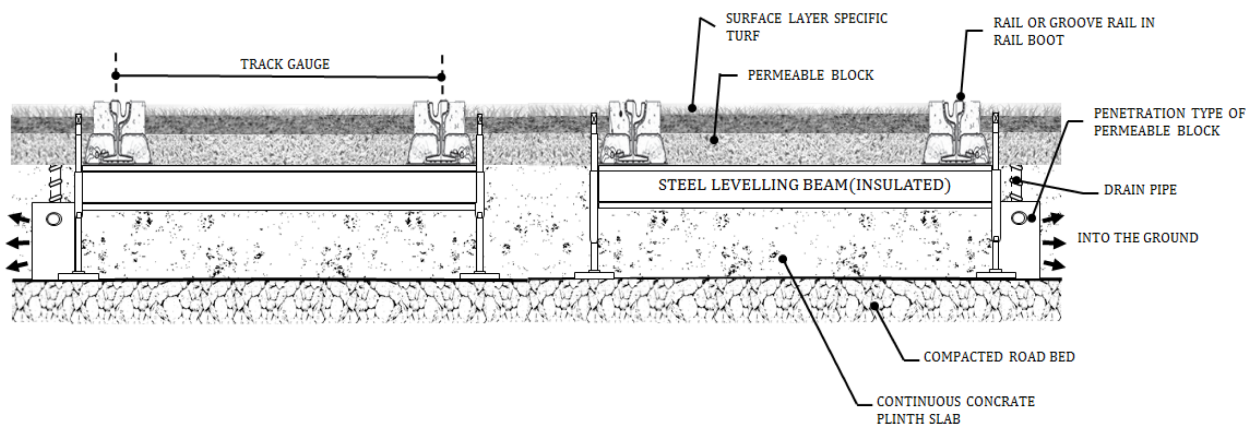


Fig. 2. Design for LID application in tramway track construction.

Table 2. Environmental benefit of material used for tramway track construction.

Track	Permeable turf block	Permeable turf block		Permeable block		Concrete
	Turf	Turf, Granite	Turf, HDPE	Granite	HDPE	Concrete
Material	Turf	Turf, Granite	Turf, HDPE	Granite	HDPE	Concrete
Turf coverage rate	100%	50%	50%	0%	0%	0%
Thickness of block (mm)	-	80	50	80	50	-
Unit production of carbon emission (kg CO ₂ /kg)	-	0.33	2.464	0.33	2.464	1,554 ton CO ₂ e/km
Amount of carbon emission (ton CO ₂ e)	0	8,847	15,369	17,694	30,738	58,120
Amount of carbon absorption ¹⁾ (ton CO ₂ e)	49,718	24,859	24,859	0	0	0
Net amount of carbon emission (ton CO ₂ e)	-49,781	-16,012	-9,490	17,694	30,738	58,120
carbon emission ratio against to concrete track (%)	-185.6	-127.5	-116.3	30.4	52.9	100
Cost value (100million won)	△23.9	△7.7	△4.6	▽8.5	▽14.8	▽27.9

¹⁾The carbon fix rate of turf is 3.5g/m²/h and applied analytical cycle is 25yr.

a) 투수잔디블록의 잔디 피복율에 따른 탄소흡수량은 :

$$= \text{궤도 폭} \times \text{총 연장길이} \times \text{잔디 CO}_2 \text{ 고정율} \times \text{잔디 피복율}(100\% \text{ 혹은 } 50\%) \times \text{연평균 일조시간} = 7.0\text{m} \times 37,400\text{m} \times 3.5 \text{ gCO}_2\text{e/m}^2\text{/h} \times 1(\text{혹은 } 0.5) \times 2,170.4\text{hr/년} = 1,988.7\text{톤 CO}_2\text{e/년}(50\%\text{일 경우, } 994.4\text{톤 CO}_2\text{e/년})$$

궤도 시공시 투수잔디블록을 이용할 경우 연간 1,988.7톤의 CO₂e의 탄소배출 절감 효과가 있으며, 분석기간을 25년으로 적용해 볼 경우 49,718톤 CO₂e정도의 절감효과가 있고, 이를 CO₂ 오염비용 원단위인 48.13 원/kg (2011년 기준)을 이용하여 경제적 가치로 환산해볼 때 약 23.9억 원 정도의 편익이 발생하는 것으로 추정된다. 또한 잔디 피복율 및 투수블록 재질에 따른 탄소배출량 및 환경 편익은 다음과 같다. 투수블록의 재료로 대부분 화강석류의 사교석이나 소포석[13] 혹은 고밀도폴리에틸렌 (High Density Polyethylene, HDPE)[14]을 사용하고 있어 본 연구에서는 두 종류의 재질로 한정하였다.

b) 투수블록이 화강석일 경우(잔디 피복율 50%) 탄소배출량은 :

$$= \text{궤도 폭} \times \text{총 연장 길이} \times \text{블록두께} \times \text{탄소배출 원단위} \times \text{화강석 적용 면적 비율}(50\%) \times \text{비중} = 7.0\text{m} \times 37,400\text{m} \times 0.08\text{m} \times 0.33\text{kgCO}_2\text{e/kg} \times 0.5 \times 2.56\text{kg/m}^3 = 8,846.7\text{톤 CO}_2\text{e}$$

화강석을 투수블록 재질로 이용할 경우의 탄소배출량 8,846.7톤으로, 잔디에 의한 탄소흡수량인 24,859톤(25년 기준)을 고려한다면, 총 탄소절감량은 16,012톤 정도이다. 따라서 CO₂ 오염비용 원단위를 고려한 환경 편익은 7.7억 원 정도이다.

c) 투수블록이 고밀도폴리에틸렌(HDPE)일 경우(잔디 피복율 50% 탄소배출량은 :

$$= \text{궤도 폭} \times \text{총 연장 길이} \times \text{블록두께} \times \text{탄소배출 원단위} \times \text{HDPE 적용 면적 비율}(50\%) \times \text{비중} = 7.0\text{m} \times 37,400\text{m} \times 0.05\text{m} \times 2.464\text{kgCO}_2\text{e/kg} \times 0.5 \times 0.953\text{kg/m}^3 = 15,368.6\text{톤 CO}_2\text{e}$$

HDPE를 투수블록 재질로 이용할 경우 발생하는 탄소량은 15,368.6톤 정도이며, 잔디(50%)에 의한 탄소흡수량 및 CO₂ 오염비용 원단위를 고려한 환경 편익은 4.6억 원 정도이다.

한편, 투수블록만 이용했을 때(잔디 피복율 0%), 화강석 투수블록의 탄소배출량은 17,694톤 CO₂e이며, 오염비용은 8.5억 원이 소요되며, HDPE의 경우에 탄소배출량은 30,738톤 CO₂e이며, 오염비용은 14.8억 원이 소요된다. 결과적으로 콘크리트 궤도 대비 탄소배출 비율은 투수잔디블록의 잔디 피복율(100%, 50% 화강석, 50% HDPE)에 따라 각각 -184.7%, -127.3%, -116.3%로 산출되었으며, 투수블록의 경우에는 화강석 및 HDPE 각각 30.1%, 52.5%로 산출되었다. 따라서 일반 콘크리트 궤도 시공 대비 탄소배출 비율과 소요비용을 비교한다면 투수잔디블록 혹은 잔디블록을 이용했을 경우의 환경가치가 더 크다 할 수 있다.

3.3 온실가스 절감편익 적용방안

현재 트램 건설에 있어서 온실가스 절감 편익은 유불리를 떠나 적용하지 않고 있는 실정이다. 하지만 트램 궤도 건설시 일반 콘크리트를 사용하는 경우 온실가스에 의한 영향이 경제성 평가에서 비용편익비를 감소시키는 결과를 가져오며, 화강석 혹은 HDPE 재질의 투수블록을 이용할 경우는 상대적으로 콘크리트 사용에 비해 비용편익비를 증가시킬 수 있으나 투수잔디블록 보다는 환경적 가치가 낮다. 다시 말해 투수잔디블록을 이용하여 건설하는 경우 비용편익비가 증가하는 요인으로 작용하여 사업 진행에 도움이 될 것으로 판단된다. 하지만 LID 기법을 적용하더라도 증가되는 환경편익은 미미하므로 이 부분이 추후 AHP 분석에서 정책적 요소로 다루어질 필요가 있다.

4. 정책성 평가항목으로서의 도시물순환 효과 도입

LID 기법을 적용하여 빗물의 투수량을 증가시키고 깊은 토양층까지 물이 저류될 수 있도록 함으로써 지하수위 및 도시하천 수위 유지가 가능해지며, 이에 따른 수량 확보로 도시물순환 시스템이 가능해진다. 따라서 LID 기법 적용에 따른 정책성 평가항목으로 도시물순환 효과를 고려하였으며, 빗물 침투형 블록을 이용함에 따른 빗물저수능력으로 그 가능성을 검토하였다.

침투형 투수블록을 이용하여 궤도를 시공할 경우(Fig. 2 참조)에 확보 가능한 빗물량을 다음과 같이 산정하였으며, 투수잔디블록 및 투수블록의 투수계수는 각각 0.3mm/s [14] 및 4.52mm/s [15]로 투수성이 우수함으로 강우시 침투형 투수블록으로의 침투량에 대한 제한은 없는 것으로 가정하였다. 빗물 침투형 블록의 저수능력은 블록의 종류에 따라 상이하며, 호주 H사의 BD340을 사용할 경우 블록 부피 340L의 94%인 320L까지 저수가 가능하다[15]. 우리나라 연간 평균 강수량인 1,300mm를 기준으로 하여 트램 선로의 총 면적(궤도 폭 × 연장길이 = 7.0m × 37.4km)에 해당하는 총 빗물의 양을 계산하면 340,340톤 정도이다. 37.4 km의 구간에 설치 가능한 빗물 침투형 블록의 개수는 62,300개 정도이며, 블록의 총 저수 능력은 약 20,000톤 정도이다. 이때 블록의 개수는 선로 양측면에 일직선으로 설치할 경우로 고려하였다. 대전의 경우 2015년을 기준으로 하여 강수일은 107일이며, 이 중 30mm 미만의 강수일은 100일, 30~60mm의 강수일은 6일, 60mm 이상의 강수일은 1일이었다. 이를 고려하여 강우강도 90 mm/hr 정도로(최근 30년간 강우지속시간 100분 기준에서의 평균 강우강도, 대전)[16] 강우가 내릴 경우 빗물의 침투량은 약 21,200톤 정도이며, 이는 침투형 블록이 저수가능할 정도의 용량으로 기존의 콘크리트 궤도 시설과 비교한다면 표면유출율을 100%에서 5.7%로 획기적으로 감소시킬 수 있다. 다시 말하면 침투형 블록의 설치로 94.3% 정도의 빗물 저수가 가능하며, 지하 토양 및 지하수로 침투시킬 수 있어 지하수위 및 더 나아가 하천 수위의 유지가 가능함으로 도시물순환 시스템으로써 효과가 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

경제적이며 친환경적인 신 도시교통수단으로 거론되고 있는 트램 건설 사업이 예비타당성조사에서는 경제성 결여 문제로 난항을 겪고 있는 가운데 본 연구에서는 친환경성을 높여 사업시행의 타당성을 확보하기 위한 방안으로 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법을 접목하였다. 친환경적 트램 건설을 위한 LID 기법 적용 방안 중 투수잔디블록의 적용으로 녹지화에 따른 온실가스 배출 저감 효과 및 투수블록 및 침투형투수블록의 적용에 따른 도시하천 수량확보에 의한 도시물순환 효과에 대해 검토한 결과, LID 기법 적용으로 환경편익의 증대 및 도시물순환 시스템으로써 효과가 있을 것으로 판단된다. 철도교통의 경제성 분석시 환경편익 산정방법으로 기존의 효율성 평가항목에 그치지 않고 LID 기법 도입에 따른 온실가스저감 효과와 같은 항목과, 도시물순환 효과와 같이 계량화할 수 없는 환경편익 항목에 대해서는 정책성 분석시 추가평가항목으로 고려하여 예비타당성 조사의 평가범위를 확장할 필요가 있다. 뿐만 아니라 도시 녹지화에 따른 도시경관 및 조경효과와 시민의 심미적 개선 효과 등으로 평가범위를 확장하여 환경편익을 산정하고 LID 기법을 적용한 실제 B/C 분석에 대한 후속 연구도 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] K.C. Kim (2013) Improvement plan of investment evaluation system for tram invigoration, The Korea Transport Institute.
- [2] D. Nam, H. Huh, J. Lee (2012) Environmental benefit analysis for railroad-related projects, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(2), pp. 179-184.

- [3] D.K. Kim (2009) A study on the major environmental effecting factros for the selection environment-friendly railway corridor, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 31(2), pp. 132-138
- [4] K.H. Hyun, J.S. Jung, M.H. Lee (2014) Low impact development system and research trend, *Korean Geo-Environmental Society*, 15(2), pp. 26-30.
- [5] KDI (2004) Standard guideline for preliminary feasibility assessment of road and railway project(Ed. 4), Korea Development Institute.
- [6] M.K. Kim, H.Y. Jung, S.Y. Lee (2006) Study on determination of benefit factor as constructing traffic facilities using ANP, *J. of the Korean Society of Civil Engineers D*, 26(1D), pp. 141-47.
- [7] B.K. Kang, H. Park, G.G. Ko, S.H. Yoo (2001) A study on multi-standard analysis method for preliminary feasibility assessment II, Korea Development Institute.
- [8] T.L. Saaty (1980) Procedures for synthesizing ratio judgements, *J. of Mathematical Psychology*, 27, pp. 93-102.
- [9] MLIT (2011) Guidance for the estimation of carbon emission quantify in each facility, Ministry of Land Infrastructure and Transport.
- [10] IPCC (2007) Report of climate change, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [11] KRNA (2012) A study on estimation of carbon footprint in railway construction field, Korea Rail Network Authority.
- [12] www.kma.go.kr (Accessed 1 December 2016)
- [13] www.samicng.com (Accessed 1 December 2016)
- [14] W.O. Baek (2013) DaeilTec Co. Ltd., *Korean society of Road Engineers*, 15(2), pp. 133-136.
- [15] www.hydrorock.nl.en (Accessed 1 December 2016)
- [16] www.k-idf.re.kr (Accessed 1 December 2016)

(Received 7 December 2016; Revised 15 December 2016; Accepted 19 December 2016)

Su-Hwan Gu: 20090137@daelim.co.kr

Daelim Industrial Co., Ltd., 36 Jongno 1-Gil, Jongno-Gu, Seoul 03152, Korea

Yunhee Lee : yhlee1024@hotmail.com

Department of Railroad Construction System, Woosong University, 171 Jayang-Dong, Dong-Gu, Daejeon 34606, Korea

Seong-Wook Oa : swoa@wsu.ac.kr

Department of Railroad Construction System, Woosong University, 171 Jayang-Dong, Dong-Gu, Daejeon 34606, Korea