

국도건설공사 도로분야의 공종별 환경부하량 특성분석

김상룡* · 이등은** · 김병수***

Kim, Sang-Ryong* , Lee, Dong-Eun** , Kim, Byung-Soo***

Analysis of Environment Emission Characteristics Each Construction Type for Road Field

ABSTRACT

Recently Korea has presented carbon emission reduce goal of 37% compare to BAU until 2030 according to Paris Agreement in order to correspond to climate change. For this, researchers need to study positively on construction industry that emit CO₂ of 3rd volume of 28 industry classification. This study calculated environmental load by LCA using the road part except tunnel and bridge among national road cases completed already. After selecting representative type of large construction type based on environmental emission, earth works, drainage works and paving works took up 84%. And this study analyzed the environmental emission feature of each detail construction type after selecting representative type each detail construction type. Utilization of each construction type emission attribute to environmental load during national road construction, will be helpful in making decision of eco-friendly national road construction based on environmental emission.

Key words : Life cycle assesment, Environmental load, Road field, Representative Construction type

초록

최근 기후변화에 대응하기 위해 새롭게 체결된 파리협정에 따라 우리나라는 2030년까지 기준대비 37%의 탄소배출량 감축목표를 제시하였다. 이를 위해 28개 산업분류에서 3번째로 많은 이산화탄소를 배출하는 건설산업에서 보다 적극적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 기존의 완공된 국도건설사례들 중 터널과 교량을 제외한 도로분야만을 이용하여 전과정평가(LCA)를 실시하여 환경부하량을 산출 하였다. 산출된 환경부하량을 기반으로 대공종의 대표공종을 선정할 결과 토공, 배수공, 포장공이 전체의 84%를 차지하였으며, 세부공종별 대표공종을 선정하여 각 세부공종별 환경부하량 특성을 분석하였다. 국도건설공사 시 환경부하량 공종별 배출특성을 이용한다면 환경부하량을 기반으로 하는 친환경적인 국도건설공사 의사결정에 도움이 될 것이다.

검색어 : 전과정평가, 환경부하량, 도로분야, 대표공종

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 기후변화로 인한 지구온난화 문제가 대두됨에 따라 이를 해결하기 위한 국제적인 공조가 중요해 지고 있다. 2015년 12월에는 만료가 5년여 남은 교토의정서를 대체하기 위하여 각국의 정상들이 프랑스 파리에 모여 파리기후 변화 협약 당사국 총회(Paris Climate

* 경북대학교 토목공학과 석사과정 (Kyungpook National University · cocobox89@naver.com)

** 정회원 · 경북대학교 건축공학부 교수 (Kyungpook National University · dolee@knu.ac.kr)

*** 중신회원 · 교신저자 · 경북대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Kyungpook National University · bskim65@knu.ac.kr)

Received July 25, 2016/ revised August 26, 2016/ accepted September 5, 2016

Change Conference)를 개최하고 새로운 기후변화 대응을 위한 협약을 체결하였다. 이 자리에서 한국은 2030년까지 BAU대비 37%의 탄소배출량 감축목표를 제시하였다.

건설업은 자연환경에 많은 변화를 줄 수 있는 산업으로 인식이 되어 있다. 기존의 연구에 의하면 28개 산업분류에서 건설업이 3번째로 많은 이산화탄소를 배출하는 것으로 제시되고 있다(Park et al., 2009). 특히 토목공사가 대형화되면서 기계화 시공으로 이루어지는 부분이 많아 시공단계에서 높은 환경오염물질 배출량이 나타난다(Kang et al., 2013). 이러한 환경부하량을 감소시키기 위해 설계초기 단계에서 환경부하량을 추정하고 이를 완화시키기 위한 적극적인 대책이 필요하며 기존의 연구에서는 설계가 완성된 상태에서 환경부하량을 산출하였기 때문에 설계초기 단계에서 적용한 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 공중별 환경부하량 배출 특성을 분석하여 설계초기단계에서 환경부하량을 저감, 관리할 수 있는 기초 자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

도로토공부의 환경부하량 배출특성을 분석하기 위하여 국내에서 수행된 국도건설공사 100개의 사례를 사용하였다. 도로공사는 토공, 교량, 터널의 3가지 시설로 분류 할 수 있으며, 본 연구에서는 교량과 터널을 제외한 토공공중만을 대상으로 하였다. EBS (Event Break Down System for Construction)프로그램을 통해 투입되는 자재, 장비의 에너지(경유, 휘발유) 사용량을 파악하여 투입 자원량을 토대로 프로젝트별 환경부하량을 산출한다. 환경부하량 산출은 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법을 적용하였으며, 이를 위한 LCI (Life Cycle Inventory) 데이터베이스(Data Base, DB)는 산업자원부와 환경부에 의해 이미 구축되어 있는 자료와 Eco-invent와 같은 해외 DB를 참고하였다. 대표공중 선정은 산출

된 환경부하량을 이용하여 누계비중의 커버리지를 계산하고 가장 많은 비중을 차지하는 공중들을 대표공중으로 선정하였다. 선정된 공중별 환경부하량의 특성을 분석하였다.

1.3 기존 연구 고찰

도로 건설공사 설계초기 단계의 가용정보에 대한 대표공중선정에 관한 국내의 연구는 여러 방면에서 진행 되었다. 시공 단계에서 발생 가능한 환경부하 요인을 저감하기 위해 주요 관리되어야 하는 공중들을 퍼지-계층분석기법을 활용하여 정량적으로 평가하였으며(Jo et al., 2013) 시공현장에서의 공중별로 환경개선 필요성에 맞추어 친환경기술 적용 시 환경부하량의 개선을 제시하였다(Lee et al., 2012).

또한, 건설현장의 건축공사 이산화탄소 배출 주요 공중에 따른 분석을 위해 시공과정을 공중별 단계로 구분하여 이산화탄소 배출량 평가를 수행하였다(Lee et al., 2015). 뿐만 아니라 산업연관분석법을 이용하여 건축공사에서 발생하는 환경부하량을 산출하여 환경에 미치는 영향을 평가하고 공중별 주요자재 환경부하량과 단위면적당 환경에 미치는 영향을 분석하였다(Ahn et al., 2012).

전과정 평가와 관련하여 도로건설 시 많은 건설 자재와 건설장비를 사용함에 따라 탄소 배출량을 정량적으로 산정하기 위한 원단위 구축(Kwak et al., 2012)과 이러한 배출량을 직접 측정법으로 Zigbee 센서를 활용하여 건설장비의 이산화탄소 배출량측정이 수행되었고(Chun and Kim, 2012) 건설현장의 장비종류에 따른 이산화탄소량을 실시간으로 측정함으로써 작업형태 및 장비조합에 따른 이산화탄소 배출량을 친환경 공중관리 기법이 연구되었다(Kim et al., 2013).

국내에서 수행된 연구들은 주로 자원투입량에 근거한 환경부하량 산출과 평가에 대한 것이 주를 이루었다.

국외 연구는 LCA를 활용하여 포장공사의 시공 및 유지보수 정책에 따른 환경평가를 실시하고 환경부하량을 감소 시킬수 있는 환경설계원리를 전체 도로 Life Cycle을 고려하면서 논의한 연구(Jullien et al., 2014)가 있으며, 포장공사를 대상으로 LCA 방법론과 적용 사례를 분석한 연구(Yu and Lu, 2012) 그리고 아스팔트와 콘크리트 포장도로의 환경영향을 LCA를 이용하여 평가한 연구(Pontarollo and Smith, 2001)가 있다. 이들 연구는 모두 도로 포장공사를 대상으로 하여 LCA를 활용한 환경영향을 평가한 연구들이다.

이 외에 LCA와 BIM을 통합하여 지속가능한 건설 적용방안을 제시한 연구(Joaquin and Laura, 2014), 빌딩의 건설단계에서 LCA를 이용한 환경영향을 평가하고 분석한 사례에서 계산된 총 환경부하량을 제시하고 이를 구조물, 기초, 벽체로 구분하여 환경부하량의 비율을 제시한 연구(Ortiz et al., 2010), 도로건설 단계에서

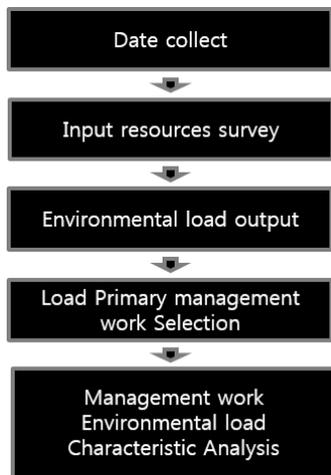


Fig. 1. Research Procedure

발생하는 환경부하량에 대한 LCA를 적용한 연구(Mroueh et al., 2000)가 있다.

국외에서 수행된 연구는 도로 및 빌딩 건설단계에서 LCA를 분석한 연구와 포장공사를 대상으로 환경영향을 분석하고 이를 유지보수 정책에 적용하기 위한 연구 등이 있다.

이상과 같이 국내의 연구현황을 분석한 결과 도로공사의 설계 초기단계에서 환경부하량을 예측하는 연구뿐만 아니라 도로 토공부의 공종별 환경부하량 특성을 분석한 연구는 없었다.

2. 전과정평가의 이론적 고찰

2.1 전과정 평가(LCA)의 정의

전과정 평가는 제품 및 공정들에 대하여, 원료의 취득에서부터 제조, 사용 및 처리에 이르기까지의 전과정에 관련된 환경측면 및 잠재적인 환경영향을 정량화 하여 해석하는 과정을 말하며, 대상공정·활동의 전과정에 투입, 소모되고 배출되는 에너지 및 물질의 양을 정량화 하여 환경에 미치는 영향을 평가하고 이를 통하여 환경 개선의 방안을 모색하는 과정이다.

전과정 평가는 Fig. 2와 같이 목적 및 범위의 설정(Goal and Scope Definition), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Inventory Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4가지 단계로 구성된다.

2.2 목적 및 범위설정

전과정 평가를 수행하는 시작 단계로 연구목적이 무엇이며, 얻어지는 평가를 어떻게 사용하는 가를 결정한다. 또한 평가의 기준을 설정하는 과정으로 전과정평가의 수행 목적에 따라 범위가 설정되어야 한다.

2.3 목록분석

선정된 시스템을 대상으로 해당 시스템에 투입되는 원료 및 에너지, 그리고 배출되는 제품, 부산물, 오염물질 등의 종류와 양을

파악하여 정량화 한다. 그러나 자료수집 과정에서 정보부족 및 회사의 기밀사항 등의 이유로 모든 자료의 수집이 불가능 하여 목록분석 데이터는 시스템 한계내의 각 단위 프로세스에 대하여 집계 한다. Fig. 3은 목록분석 절차를 나타낸 것이다.

2.4 영향평가

목록분석 결과를 분석하고자 하는 환경영향의 범주별(자원고갈, 산성화, 부영양화, 지구온난화, 온층파괴, 광화학산화물생성, 생태계독성)로 분류화, 특성화, 정규화, 가중화 등의 과정을 거쳐 영향 해석을 실시한다.

영향평가 방법론으로는 Mid-Point 방법과 Eco-Point 방법이 있으며, Mid-Point는 환경오염물질에 대하여 환경문제별 즉 8대 영향범주별로 구분하여 가중치를 적용한다. 가중치 적용시 주관적 요소개입이 가능하며 Eco-Point LCI (Life Cycle Inventory) 에서는 환경오염물질이 환경에 미치는 영향에 의해서 보호대상 즉, 인간건강 및 생태계에 미치는 영향중심으로 재조합되며 배출 물질 별 구체적인 환경영향지수로 제시가 가능하다. 또한 인간건강과 생태계에 영향을 미치는 유해화학물질에 대한 영향평가 시 보호대상형 평가방식의 도입이 필요한 실정이다.

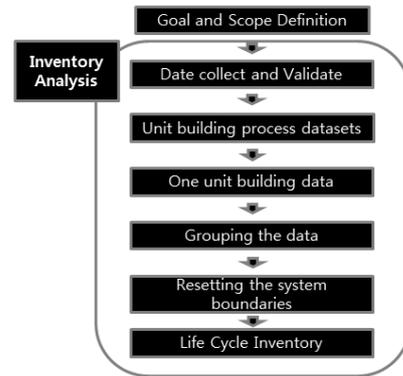


Fig. 3. Inventory Analysis Procedure

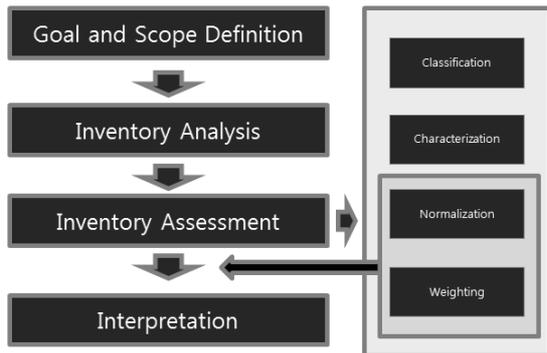


Fig. 2. LCA (Life Cycle Assessment)

Table 1. Unit Environment Load of Major Resource

Division	Unit	Environmental Load
Portland Cement	/kg	9.10E-05
Ready Mixed Concrete	/m ³	5.32E-02
Deformed Bar	/kg	4.55E-05
Electricity	/kWh	4.52E-05
Diesel Fuel	/kg	2.48E-04
Gasoline	/kg	2.51E-04
Asphalt Concrete	/kg	4.19E-06
Asphalt	/kg	3.57E-05
Sand	/m ³	4.24E-04

2.5 결과 해석

목록분석 및 환경영향평가로부터의 고찰 결과를 목적과 범위에 맞추어 결합하는 단계이다. 전과정 평가중 목록분석에 사용한 LCI DB는 산업자원부와 환경부에 의해 이미 구축되어 있는 자료를 사용하였으며, Table 1은 본 연구에서 사용된 국도건설공사 토공사 작업에 투입되는 주요 자원의 원단위 산출표를 나타낸 것이다.

3. 도로분야의 공종별 환경부하량 선정

3.1 사례별 데이터베이스 구축 및 대표공종 선정

2000년 이후 설계된 국도건설공사 중 터널과 교량구간을 제외한 도로분야 100건의 자료를 설계업체를 통하여 수집하였으며 수량산

Table 2. Data Base Each Cases

PJT No. Years	Total Length (m)	Road Length (m)	Road Width (m)	Design Velocity (km/h)
1.(2003)	18,400	13,832	20	80
2.(2002)	5,100	4,405	20	80
3.(2005)	5,960	5,744	27	100
4.(2002)	8,990	8,359	35.5	80
5.(2002)	6,440	5,220	20	80
6.(2003)	8,319	7,788	20	80
7.(2002)	13,400	11,428	20	80
8.(2001)	1,940	820	20	60
9.(2004)	8,280	7,635	10.4	60
10.(2001)	10,200	8,651	20	80
⋮				
97.(2003)	2,440	1,970	11.5	80
98.(2004)	10,490	9,671	20	80
99.(2007)	8,255	7,218	20	80
100.(2003)	11,430	10,823	20	70

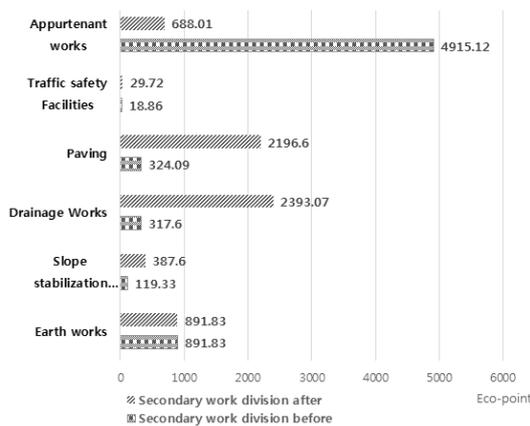


Fig. 4. Before/After Environmental Load Division

출서 및 설계내역서, 단가산출서를 통해 Table 2와 같은 자료 DB를 구축하였다.

수집한 사례를 기반으로 환경부하량을 분석하여 일부 사례 프로젝트 내역서상에서 자재대공종이 부대공으로 이월되어 작성되어있는 내역서를 발견하였다. 이를 수량산출서, 설계내역서, 단가산출서 등을 참고하여 자재를 투입되는 공종으로 환원하는 작업을 수행하였다. Fig. 4는 이것을 표현한 것이다.

본 연구에서 수집된 100건의 국도건설공사 내역서상 도로부분의 공종들이 사례들 마다 서로 상이하기 때문에 토공(Earth Works), 비탈면 안정공(Slope Stabilization Works), 배수공(Drainage Works), 포장공(Paving), 교통안전 시설공(Traffic Safety Facilities), 부대공(Appurtenant Works)의 대 공종으로 나누었으며, 국도건설공사 도로부의 총 환경부하량 중 83%가 토공(14%), 배수공(36%), 포장공(33%)으로 구성되는 것을 알 수 있다. 따라서 국도건설 공사 도로분야의 토공, 배수공, 포장공의 환경부하량을 조사하면 도로분야의 환경부하량을 추측할 수 있기 때문에 토공, 배수공, 포장공을 대표공종으로 선정하였다.

3.2 공종별 환경부하량 선정

수집된 국도건설공사의 내역서상의 수량을 참고하여 설계 내역 프로그램 EBS (Event Break down System for construction)를 활용하여 세부공종들의 투입 자원량을 산출하였다. 이후 기 구축된 LCI DB (Life Cycle Inventory Data Base)의 원단위 환경부하량 값과 투입된 자원량을 연산하여 환경부하량을 산정하였다.

본 연구에서 사용된 LCI DB 목록은 지식경제부(Ministry of Knowledge Economy)와 환경부(Ministry of Environment)에서 과거에 구축한 20개의 국가 LCI DB와 2005년 한국건설기술연구원 (Korea Institute of Civil engineering and building Technology)에서 구축한 4개의 국내 LCI DB를 활용하였다. 하지만 국내 DB가 없는 아스팔트, PVC, 규산소다, 프로판가스, 아세틸렌, 아스콘은 해외 LCI DB인 Eco-invent DB를 활용 하였다.

앞서 집계된 자원(자재 및 장비사용에 따른 연료)별로 LCI DB를 이용하여 도로분야 100개의 사례에 대한 환경부하량을 산정하였다. 산정된 환경부하의 영향범주로는 자원고갈(Abiotic Resource Depletion, ARD), 산성화(Acidification, AC), 부영양화(Eutrophication, EU), 지구온난화(Global Warming, GW), 오존층파괴(Ozone layer Depletion, OD), 광화학물생성(Photochemical Oxidant, POC), 생태계독성(Eco-Toxicity, ET), 인간독성(Human-Toxicity, HT)으로 ISO에서 제시하고 있는 8대 영향범주와 같다.

본 연구에서는 산업통상자원부에서 국내 현실을 반영하여 개발한 Korea Indicator 방법론을 활용하였다. Korea Indicator는 환경성 지표 방법론으로 Damage범위, 임계 Damage, 상응되는 Damage

Table 3. Environmental load (Eco Point) Each Work on Earth Works (Unit : Eco point)

Division	ARD	AC	EU	GW	OD	POC	ET	HT
Soil Transport	3.7E+02	1.9E-01	4.2E-02	5.4E+00	1.1E-03	1.1E-01	6.7E-04	2.3E-02
Cutting	2.4E+02	1.2E-01	2.7E-02	3.4E+00	7.3E-04	6.8E-02	4.3E-04	1.5E-02
Transport for Banking	1.9E+02	1.8E-01	4.0E-02	5.1E+00	1.3E-03	1.0E-01	7.9E-04	2.5E-02
Banking	9.0E+01	4.7E-02	1.0E-02	1.3E+00	2.8E-04	2.6E-02	1.6E-04	5.7E-03
Spoil Using	4.8E+01	5.2E-02	1.1E-02	1.5E+00	3.1E-04	2.9E-02	1.8E-04	6.3E-03

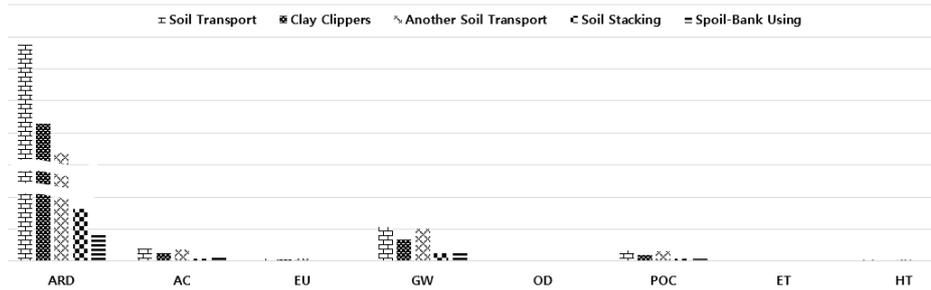


Fig. 5. Environmental Load Graph Each Work on Earth Works

수준 등을 우리 현실에 맞게 규정하고, 외국에서 개발된 환경성 지표 방법론을 개선한 한국형 방법론이다(Lee et al., 2016).

4. 대표공종별 세부공종 환경부하량 특성 분석

4.1 토공의 환경부하 특성 분석

토공부의 세부공종별 환경부하량을 산정한 결과 Table 3과 Fig. 5와 같이 나타났다. 앞서 진행된 공종별 투입 자원과 원단위 환경부하량의 연산을 통하여 산정된 환경부하량을 통일된 분류체계를 토대로 구성한 결과 Fig. 6과 같이 유용토 운반(Soil Transport), 흙깎기(Cutting), 순쌓기 운반(Transport for Banking), 흙쌓기 (Banking), 사토운영(Spoil Using)이 토공에서 환경부하량의 비중 약 95%를 차지하였다.

토공의 경우 세부공종의 환경부하량 값을 도출하는 과정에서 현재 적용중인 LCI DB 중 Table 4와 같이 장비사용에 따른 경우와 휘발유의 사용이 토공부의 환경부하량 중 약 99.9%를 차지하는 것을 알 수 있었다.

토공부의 환경부하량을 8대 환경영향범주로 구분하여 분석한 결과 Fig. 5와 같이 자원고갈(Abiotic Resources Depletion)이 대부분을 차지한 것을 볼 수 있다. 이는 화석연료를 포함한 무생물자원의 고갈 효과가 높음을 의미 하며, 매년 세계자원 매장량을 조사하여 발표하고 있는 World Resource (2015)의 자료를 기준으로 자원고갈 지수를 사용한다. 지구의 자원은 한정적이기 때문에, 한정된 자원을 효율적으로 사용하는 것은 지구적으로 매우 중요한 일이다.

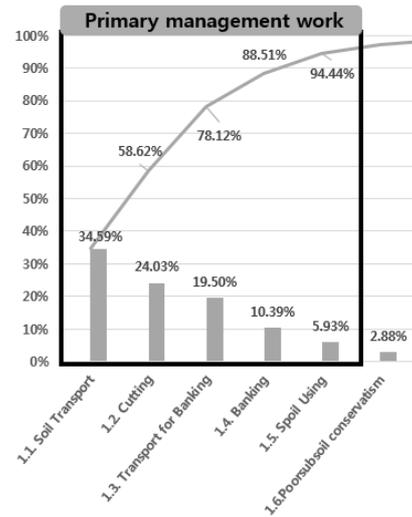


Fig. 6. Environmental Load Coverage of Earth Works

Table 4. Environmental Load Rate Each Materials

Data Base	Rate
Diesel	99.87%
Timber	0.07%
Gasoline	0.03%
Acetylene	0.02%
Oxygen	0.00%
Wire rod	0.00%
Cement	0.00%
etc.	0.00%

토공부에서는 사용 자재별 환경부하량의 비중은 경유가 매우 높았으며, 환경부하량의 영향 범주에서는 자원고갈이 매우 높았다. 때문에 환경부하량을 줄이기 위해서는 토공 작업간 장비들의 최적

화된 조합을 찾아내어 경유 사용량을 줄일 수 있는 효율적인 공사방법을 선택하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

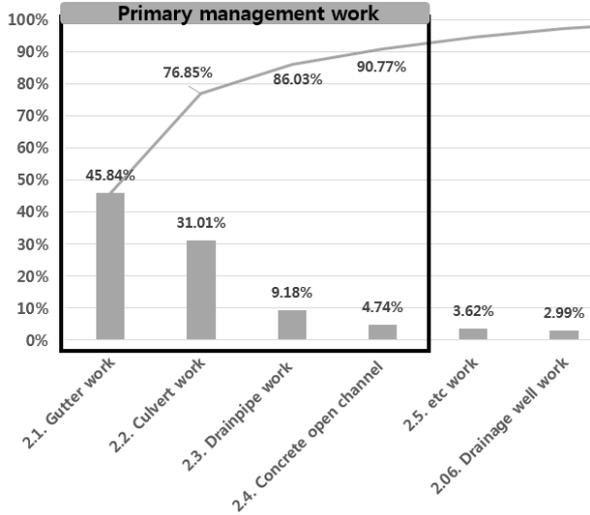


Fig. 7. Environmental Load Coverage of Drainage Works

Table 5. Environmental Load Each Material on Drainage Works

Data Base	Rate
Remicon	97.80%
Steel reinforcement	1.00%
Timber	0.84%
Wire rod	0.03%
Diesel	0.03%
Gasoline	0.00%

4.2 배수공의 환경부하 특성 분석

배수공의 환경부하량을 산정한 결과 Fig. 7과 같이 측구공이 약 46%로 가장 많은 환경부하량을 차지하였으며 암거공, 배수관공, 콘크리트 개거를 포함하여 총 4개의 공종만으로 배수공의 약 90%의 환경부하량을 차지하는 것을 알 수 있었다.

측구공의 경우 투입자재 중 길이(m)당 레미콘사용량이 가장 많으며, 거푸집에 이용한 합판이 두 번째로 많았다. 기타 자재는 매우 적은 양의 환경부하량을 차지하고 있었다. 암거공, 배수관공, 콘크리트 개거 역시 마찬가지로 레미콘의 환경부하량이 가장 높은 것을 알 수 있었다. 이는 배수공 공사의 재료로 Table 5에서처럼 레미콘을 가장 많이 사용하기 때문에 다음과 같은 결과가 나온 것을 확인 할 수 있다.

레미콘의 환경영향 범주의 비율은 Table 6 및 Fig. 8과 같이 지구온난화가 가장 높은 것으로 볼 수 있으며 그 뒤를 이어 자원고갈, 광화산화물생성, 인간독성 순으로 나타났다. 지구온난화는 교통 의정서에서 전 세계적으로 모든 국가가 동시에 관심을 가지는 문제로 제시된 적이 있으며, 많은 국가에서 지구온난화에 영향을 주는 CO₂배출량을 저감하고자 노력하고 있다.

IPCC (2007)에서는 CO₂뿐만 아니라 CH₄, N₂O, 수소불화탄소 (HFCS) 등의 배출가스를 지구온난화 유발물질로 정의하고 있다. 이러한 사실로 볼 때 레미콘의 제작과정에 CO₂뿐만 아니라 지구온난화에 원인이 되는 배출가스가 많이 배출되는 것을 알 수 있다. 레미콘에 들어가는 시멘트 또한 석회암으로 만들어지기 때문에 앞서 토공부에서 설명한 자원고갈에 영향을 준다고 볼 수 있다.

Table 6. Remicon Environmental Load of Drainage Works (Unit : Eco point)

Division	ARD	AC	EU	GW	OD	POC	ET	HT
Gutter work	1.2E+02	5.6E+00	2.1E+00	2.0E+02	2.4E+00	5.3E+01	1.8E+00	3.4E+01
Culvert work	1.0E+02	5.0E+00	1.9E+00	1.7E+02	2.1E+00	4.1E+01	1.6E+00	3.0E+01
Drainpipe work	1.9E+01	9.2E-01	3.4E-01	3.2E+01	3.9E-01	8.7E+00	3.0E-01	5.5E+00
Concrete open channel	1.4E+01	6.8E-01	2.5E-01	2.4E+01	2.9E-01	6.4E+00	2.2E-01	4.1E+00

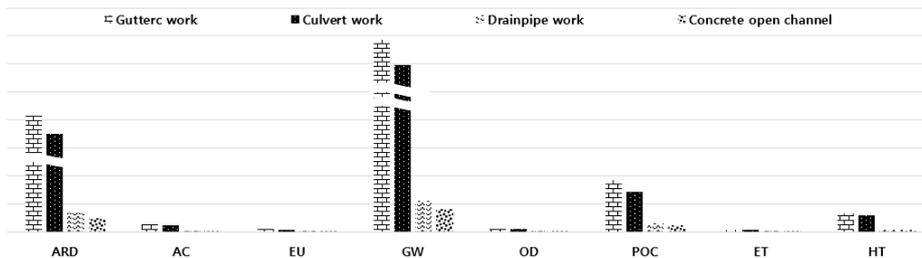


Fig. 8. Remicon Environmental Load Graph Each Work on Drainage Works

광화학산화물이란 공기 중의 오염물질이 태양빛과 반응하여 오존(O₃)과 같은 화학적 화합물을 생성하는 반응을 말하며, 배수공 구조물을 생산하는 과정에서 광화학산화에 영향을 주는 물질을 레미콘에서 배출되고 배출된 물질들은 광화학산화 반응을 통해 인체건강 및 농작물 미발육과 같은 손실을 야기한다(Hong et al., 2012).

배수공의 환경부하량은 대부분이 레미콘에서 발생하였으며 레미콘의 환경영향범주는 지구온난화와 자원고갈이 대부분을 차지하였다.

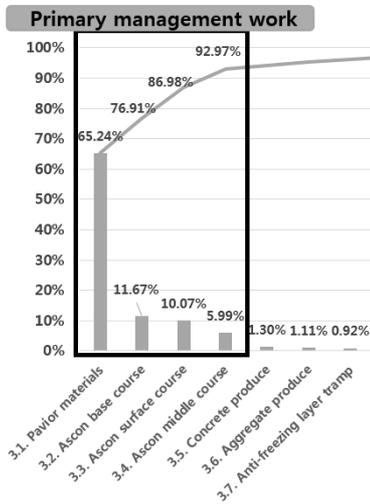


Fig. 9. Paving Environmental Load Coverage

배수공은 구조물의 규모에 따라 발생하는 환경부하량의 비율이 높은 것을 볼 수 있다 따라서 친환경적 자재의 개발이 구조물 제작과정에서 환경부하량을 줄일 수 있는 방안으로 판단된다.

4.3 포장공의 환경부하 특성 분석

포장공 분석결과 Fig. 9에서와 같이 환경부하량의 65%가 자재비에서 발생하였으며 그 다음으로 아스콘기층, 아스콘표층, 아스콘 중간층 다짐의 순이다. 이 4개의 공종만으로 포장공 환경부하량의 약 93%를 나타낼 수 있다. Fig. 10에서 자재비의 환경부하량의 종류로는 아스콘이 약 77%로 가장 높았으며 다음으로 레미콘(19%), 시멘트(3%) 등이 뒤를 이었다.

아스콘 층 다짐 공종의 환경부하량은 다짐에 이용된 장비들의 에너지 사용량(경유)이 차지하였다. 아스콘 재료의 환경영향범주 Fig. 11를 살펴보면 생태계독성이 매우 높았으며 다음으로 지구온

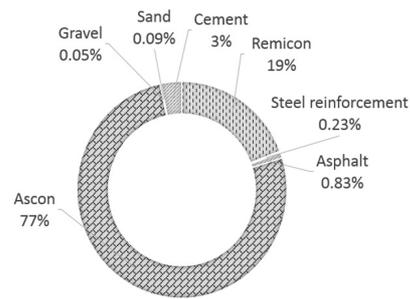


Fig. 10. Paving Materials List

Table 7. Environmental Load of Paving Materials (Unit : Eco point)

	ARD	AC	EU	GW	OD	POC	ET	HT
Ascon	5.9E-01	8.0E-02	1.3E-01	2.4E+00	2.4E-02	8.3E-02	5.5E+00	1.3E+00
Remicon	2.8E+00	1.3E-01	4.8E-02	4.6E+00	5.6E-02	1.2E+00	4.2E-02	7.8E-01
Asphalt	0.0E+00	8.9E-02	5.4E-02	1.7E+00	7.5E-02	2.5E-01	2.9E+00	4.1E-01
Cement	2.6E-01	1.4E-02	5.0E-05	1.3E+00	2.7E-03	4.1E-01	3.5E-03	4.0E-02
Steel reinforcement	0.0E+00	4.8E-02	3.0E-02	9.3E-01	4.1E-02	1.3E-01	1.6E+00	2.3E-01
Sand	2.9E-02	1.0E-05	0.0E+00	4.2E-04	0.0E+00	1.0E-05	0.0E+00	0.0E+00

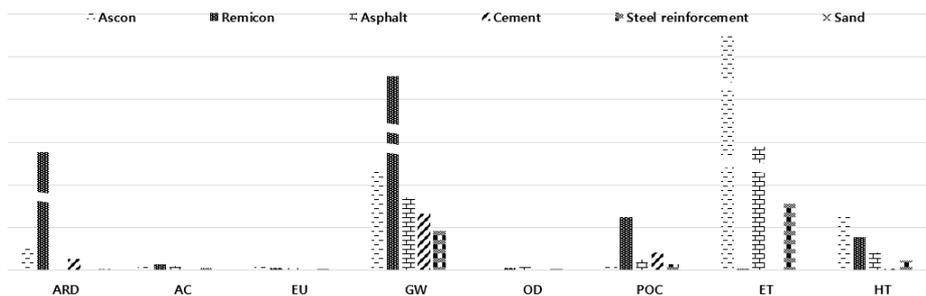


Fig. 11. Environmental Load Graphic of Paving Materials

난화, 인간독성이 뒤를 이었다.

아스콘 층 다짐 공중에서는 토공에서와 비슷한 경우로 경유사용량이 많은 이유로 자원고갈이 가장 높은 것을 볼 수 있다. 생태계 독성의 주요 원인으로는 포장단계의 공사에서 아스콘 자재와 약품들의 투입 과정에서 발생하는 화학적 물질이 큰 영향을 미치며, 두 번째로 아스콘의 제작 과정에서 지구온난화에 영향을 미치는 배출가스들이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다.

인간독성은 각종 중금속 및 화합물에 의해 인간에 미치는 독성을 말하며, 인간독성에 대한 상응인자는 대기, 수질 및 토양에 미치는 오염물질의 영향으로 세분화하여 나타낸다(Lee et al., 2011). 따라서 아스콘의 재료는 생태계, 인간독성의 비율이 높은 편이며 이는 대기, 수질 및 토양오염에 큰 영향을 미치는 재료임을 알 수 있다.

본 연구에서 사용된 국도건설공사 100개의 사례들 중 포장재료의 종류는 아스콘포장이 93건이고 콘크리트 포장은 7건으로 조사되었기 때문에 아스콘 재료가 대부분의 환경부하량을 차지하고 있으나 콘크리트 재료 포장의 경우 환경부하량비율이 다르게 나타날 수 있다.

포장 재료의 선택에 따라 환경부하량의 특성이 달라질 수 있으며 추후 연구를 통하여 친환경적인 포장재료 결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 국도건설공사 100개의 사례를 대상으로 도로부분의 환경부하량을 조사하였으며, 그 결과 토공, 배수공, 포장공의 환경부하량이 높으며 전체의 약 85%의 환경부하량을 차지하였다.

토공의 경우 유용토 운반, 흙막기, 순쌓기 운반, 흙쌓기, 사토 공중의 환경부하량 비중이 약 95%를 차지하였고 재료들 중 약 99.87%가 경유량 이었으며, 경유에 대한 환경부하량 중 자원고갈의 비중이 가장 큰 것으로 나타났다.

배수공의 경우 측구공, 암거공, 배수관공, 콘크리트 개거가 약 90.77%의 환경부하량을 차지하였고 재료들 중에서는 레미콘 환경부하량이 대부분 이었다. 레미콘에 대한 환경부하량 중 지구온난화 비중이 가장 높았으며 다음으로 자원고갈, 광화학산화물생성이 뒤를 이었다.

포장공의 경우 자재비, 아스콘 층 다짐이 약 93%의 환경부하량을 차지하였다. 자재비중 약 77%를 차지하는 아스콘 자재는 생태계 독성이 강한 것으로 나타났으며, 아스콘층 다짐 공중에서 환경부하량은 경유량이 대부분을 차지하였으며 자원고갈의 비중이 가장 높았다. 그러나 콘크리트 포장의 경우는 환경부하량의 비중이 다르게 나타날 수 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로 기획단계 혹은 설계 초기단계에

환경부하량이 최소화 되도록 각 공중의 수량을 조절하여 친환경 도로건설공사 의사결정에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(Grant No.16SCIP-C085707-03)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, J. Y., Chun, H. C., Choi, D. S., Do, J. S. and Cho, K. H. (2012). "Study on estimation of environmental load production in apartment buildings through the result of major materials selection." *Architectural Institute of Korea*, Vol. 32, No. 2, pp. 307-308 (in Korean).
- Choi, D. S., Chun, H. C. and Choi, Y. B. (2012). "A study on the development of a model and computer program for building total cost assessment." *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 6, No. 4, pp. 206-215 (in Korean).
- Chun, J. K. and Kim, B. S. (2012). "The measurement method of CO₂ emission for construction equipment using zigbee sensor." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 2, pp. 167-174 (in Korean).
- Hong, T. H., Ji, C. Y. and Jeong, K. B. (2012). "Environmental impact assessment of buildings based on life cycle assessment (LCA) methodology." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 6, No. 2, pp. 84-93 (in Korean).
- Jo, A. R., Kim, C. W., Cho, H. H. and Kang, K. I. (2013). "Deduction of the primary management works for reduction of the environmental loads at the construction phases." *The Korea Institute of Building Construction*, Vol. 13, No. 1, pp. 144-145 (in Korean).
- Joaquin, D. and Laura, A. A. (2014). "Sustainable construction approach through integration of LCA and BIM tools." *Computing in Civil and Building Engineering*, Vol. 1, pp. 283-290, DOI : <https://doi.org/10.1061/9780784413616.036>.
- Jullien, A., Dauvergne, M. and Cerezo, V. (2014). "Environmental assessment of road construction and maintenance policies using LCA." *Transportation Research Part D*, Vol. 29, pp. 56-65, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.03.006>.
- Kang, M. H. and Park, H. K. (2013). "A study of the combination method for earthwork equipments using the environmental loads and costs." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 3, pp. 1215-1224, DOI : <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.3.1215> (in Korean).
- Kim, B. S. and Jang, W. S. (2013). "A study on comparing the CO₂ emission estimating result for construction equipment." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 4, pp. 1675-1682, DOI : <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.4.1675> (in Korean).
- Kwak, I. H., Park, K. H., Hwang, Y. W. and Park, J. H. (2012).

- “Development and application of carbon emissions estimation methodology during the life cycle of road.” *Environmental Engineering Research*, Vol. 34, No. 6, pp. 382-390, DOI : <https://doi.org/10.4491/ksee.2012.34.6.382> (in Korean).
- Lee, J. G., Tae, S. H., Chae, C. U., Kim, R. H. and Roh, S. J. (2015). “A study on the analysis of CO₂ emission in the apartment housing construction.” *Architectural Institute of Korea*, Vol. 35, No. 1, pp. 403-404 (in Korean).
- Lee, J. H., Shim, J. A. and Kim, K. J. (2016). “Analysis of environmental load by work classification for NATM tunnels.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, No. 2, pp. 307-315, DOI : <http://dx.doi.org/10.12652/ksce.2016.36.2.0307> (in Korean).
- Lee, S. G., Kang, G. N., Lee, M. D., Cho, H. H. and Kang, K. I. (2012). “Indicators for environmental performance assessment of construction activities.” *The Korea Institute of Building Construction*, Vol. 12, No. 1, pp. 145-146 (in Korean).
- Lee, S. W. and Kim, S. K. (2010). “An environment impact assessment of a wastewater reuse facility using life-cycle cost analysis (LCA).” *Proceeding Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, pp. 1172-1175 (in Korean).
- Lee, S. W. and Kim, S. K. (2011). “Life-Cycle Assessment (LCA) for eco-design in a wastewater reuse facility.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 2, pp. 255-266 (in Korean).
- Mroueh, U. M., Eskola, P. L. and Ylijoki, J. (2000). “Life cycle analysis of road construction,” Final Report, Teitatos, Finish National Road Administration Helsinki (Finland), p. 65.
- Ortiz, O. O., Pasqualino, J. and Castells, F. (2010). “Environmental assessment based on life cycle analysis (LCA) in the construction phase of a building in catalonia.” *Asociacion De Quimicos*, Vol. 1, No. 547, pp. 175-181.
- Park, J. Y. and Kim, B. S. (2015). “A study on the extraction of the environmental load impact factors for earth work in road projects.” *Proceeding Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 38, pp. 27-28 (in Korean).
- Park, P. J., Kim, M. Y. and Yi, I. S. (2009). “Analysis CO₂ emission intensity per industry using the input-output tables 2003.” *Korea Environmental Economics Association*, Vol. 18, No. 2, pp. 279-311 (in Korean).
- Pontarollo, G. and Smith, T. (2001). “A life cycle analysis of the environmental impacts of asphalt and concrete road.” IRF World Road Congress, Paris.
- Roh, S. J., Tae, S. H., Kim, T. H. and Kim, R. H. (2013). “A study on the comparison of characterization of environmental impact of major building material for building life cycle assessment.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 29, No. 7, pp. 93-100 (in Korean).
- Yu, B. and Lu, Q. (2012). “Life cycle assessment of pavement : Methodology and Case Study.” *Transportation Research Part D*, Vol. 17, No. 5, pp. 380-388, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.03.004>.