

NATM터널의 공종별 환경부하 특성 분석

이주현* · 심진아** · 김경주***

Lee, Ju-hyun*, Shim, Jin Ah**, Kim, Kyong Ju***

Analysis of Environmental Load by Work Classification for NATM Tunnels

ABSTRACT

Many countries are trying to reduce a greenhouse gas to step up their fight against climate change. There are many studies related to building only for reducing a greenhouse gas in construction area but studies related to reducing a comprehensive environmental load including various pollutants that affects the global environment are lacking. This study aims to analyse the characteristics of environmental load by work type for tunnel projects. Analysis showed that seven work types, including lining concrete, shotcrete, tunnel portal and open-cut tunnel work, etc., are representative works generated environmental load. These seven works represent 89.22 percent of total environmental load. In addition, comparison results of environmental load per tunnel's length by work type showed that a major factor of environmental load is caused by a tunnel portal and open-cut tunnel work with relatively short length (excavation length). And lining concrete and shotcrete work are larger than any other environmental load with tunnel's total length. It is expected that the result of this study will be used to make a estimation model for environmental load using approximate quantity survey of representative work types in the early stage of tunnel design. And it will be play a considerable role in establishing of environment management plan for sustainable infrastructure construction.

Key words : NATM tunnel, Environmental load, Life cycle assessment, Life cycle inventory

초 록

국내·외 기후변화 대응 체제의 강화에 따라 전 세계적으로 온실가스 감축을 위한 노력을 기울이고 있다. 건설 분야에서는 건축물을 중심으로 온실가스 저감을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 온실가스 이외에 지구환경에 영향을 미치는 각종 오염물질을 고려한 종합적인 환경부하 저감을 위한 연구는 다소 부족하다. 이에 본 연구에서는 NATM터널을 대상으로 LCA (Life Cycle Assessment, 전과정 평가) 방법론을 이용하여 공종별 환경부하 특성을 분석하였다. 분석 결과, 라이닝콘크리트공, 숏크리트공, 갱문 및 개착터널 등 7대 공종이 NATM터널의 주요 환경부하 공종으로 나타났으며 전체 환경부하량의 89.22%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 대표공종들의 연장(m)당 환경부하량을 산정하여 비교 분석한 결과 개착구간에 해당하는 갱문 및 개착터널 공종의 환경부하량이 가장 큰 것으로 나타났으며, 전체 터널 구간을 대상으로 할 경우 라이닝콘크리트공과 숏크리트공에서 환경부하량이 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 설계초기단계에서 환경부하 대표공종의 물량을 개략적으로 산출하여 전체 환경부하량을 추정하는 모델 개발 시 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 친환경 SOC건설을 위한 환경부하 관리방안을 수립하는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

검색어 : NATM터널, 환경부하, 전과정평가, 전과정목록

* 정희원·평화엔지니어링 기술연구원 연구원, 공학석사 (Pyunghwa Engineering Consultants · juhyunlee@pec.kr)

** 평화엔지니어링 기술연구원 수석연구원 (Pyunghwa Engineering Consultants · jashim@pec.kr)

*** 종신회원·교신저자·중앙대학교 사회기반시스템공학부 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Chung-Ang University · kjkim@cau.ac.kr)

Received January 7, 2016/ revised February 15, 2016/ accepted February 18, 2016

1. 서론

국내외 기후변화 대응 체제의 강화에 따라 기후변화협약이 체결되고 전 세계적으로 온실가스 감축을 위한 노력을 기울이고 있다. 또한 지속가능한 발전을 범세계적으로 실현하기 위한 국제회의인 유엔환경개발회의(United Nation Conference on Environment and Development, UNCED)가 브라질 리우에서 개최되어 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development, ESSD)’ 개념이 등장하면서 전 세계적으로 확산되었다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012a).

이에 국내에서는 2015년 “탄소배출권 거래제” 시행과 더불어 산업계 및 학계에서 탄소배출량 저감을 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다.

Jun et al. (2011)는 건설 자원계획단계에서 일정네트워크에 할당된 자원으로 인해 발생하는 CO₂ 배출량을 정량화하고, 프로젝트 일정정보와 통합하여 작업일 당 CO₂ 배출량을 추정하는 방법론을 제시하였다. 또한 Choi et al. (2012)는 공동주택 건설공사의 투입자재에 대한 민감도 분석을 통해 CO₂ 발생이 큰 주요자재를 선정하고 CO₂ 발생원단위 데이터베이스(Database, DB)를 구축하였다. 2012년 국토해양부에서는 항만, 도로, 철도, 건축물 등을 대상으로 시설물별 탄소배출량 산정을 위한 가이드라인(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012b)을 제시하였다.

이처럼 지구 온난화의 주요 원인인 온실가스 감축을 위한 건설 분야의 연구들이 건축물을 중심으로 활발히 이루어지고 있으나, 온실가스 이외에 지구환경에 영향을 미치는 각종 오염물질을 고려한 종합적인 환경부하 저감과 관련된 연구들은 다소 부족하다.

환경부하란 시설물의 전생애주기 동안 지구환경에 영향을 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원인가스, 유해폐기물 등)들에 대한 지구환경 부담 정도를 정량화한 것으로(Lee and Yang, 1996) 우리나라는 경제규모에 비해 환경오염물질 배출량이 많으며, 이는 에너지 다소비업종의 비중 증가에 따른 영향이 크다(Kwon, 2008).

에너지 다소비업종 중 하나인 건설 관련 공사의 효율적인 에너지 절약에 대한 필요성이 증대되고 있는 것이 현실이며, 이에 지속가능한 개발을 전제로 한 국제적 환경규제 및 국가별 환경정책의 변화에 대응하기 위해 주요 선진국에서는 환경정책 수립 시 의사결정 지원을 위한 다양한 환경평가기법이 활용되고 있다.

이와 관련된 기존 연구들이 건축물과 도로, 교량 등 일부 SOC시설을 대상으로 다수 수행되었으나 터널과 관련된 연구들은 전무하였다. 이에 본 연구에서는 SOC시설의 환경부하 저감을 위한 선행연구로 터널을 대상으로 공중별 환경부하 특성을 분석하였다.

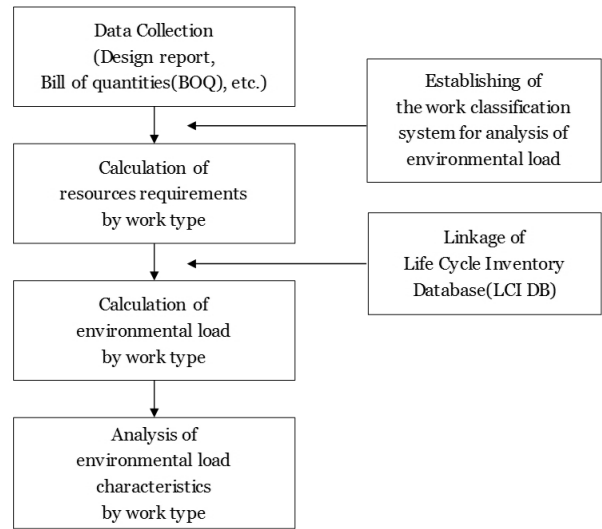


Fig. 1. Research Flowchart

먼저 국내에서 가장 많이 사용되는 NATM (New Austrian Tunneling Method)공법으로 시공된 터널을 대상으로 일반국도의 신설 및 확포장공사의 설계자료를 수집하였다. 이와 더불어 각 터널의 내역서별로 공중 구성체계가 상이하기 때문에 공중별 환경부하 비교분석을 위한 공중분류체계를 정립하였다. 이를 바탕으로 공중별로 소요자원을 산출하고 LCI (Life Cycle Inventory, 전과정 목록) DB를 연계하여 공중별 환경부하량을 산정하였다.

마지막으로 각 터널의 환경부하량을 비교 분석하여 터널 공중 중 환경부하가 큰 주요 공중들을 선정하고 각 공중별로 환경부하의 원인이 되는 주요 자재들에 대한 환경부하 특성을 분석하였다. 연구방법은 다음 Fig. 1과 같다.

2. 전과정 평가(LCA)

건설부문 LCA (Life Cycle Assessment, 전과정 평가)는 건설사업에 요구되는 자재들의 제조공정과 이들을 조합하여 공공시설물 건설, 운영 및 유지보수, 해체폐기의 전과정 동안 발생하는 환경부하(오염, 폐수, 비산먼지 등)를 정량화하여 환경성능을 평가하고 개선 방안을 모색하는 의사결정도구이다. 건설환경에 대한 사후처리 개념이 아닌 사전예방을 통하여 오염발생을 저감시킬 수 있는 적극적이고 체계적인 평가방법이며, 앞으로 ‘환경과 조화로운 지속가능한 개발(ESSD)’의 이념을 실현시킬 수 있는 환경성 평가도구이다(Ministry of Construction Transportation, 2003).

ISO (International Organization for Standardization) 14040 시리즈에서 제시하고 있는 LCA 수행방법은 (1)목적 및 범위 설정 (Goal and Scope Definition), (2)목록분석(Inventory Analysis),

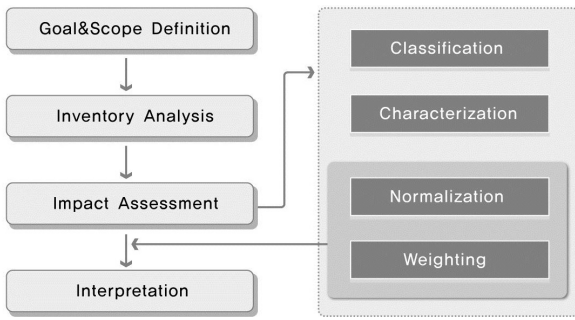


Fig. 2. LCA Phases (ISO 14040 Series, 2006)

(3)영향평가(Impact Assessment), (4)결과해석(Interpretation)의 4단계로 구성된다.

목적 및 범위 설정은 LCA의 첫 번째 단계로 연구목적이 무엇이며, 결과를 어디에 적용할 것인가를 설정하는 과정이다. 연구의 범위에는 시스템 경계, 기능단위(Function Unit), 영향평가 방법, 데이터의 요구조건, 연구의 가정 및 제한요인 등이 포함된다. 여기서, 기능단위란 제품시스템에 의해 발생하는 중요한 기능을 나타내는 단위를 말하며, 이 기능단위는 목록분석을 수행할 때 기준이 된다.

목록분석은 목적 및 범위 설정 단계에서 설정된 연구대상 시스템에 대하여 자료를 수집하고 기능단위에 적합하게 계산하여 건설자재나 건설공정의 전과정에서 발생하는 환경부하를 파악하는 단계이다. 파악된 데이터들은 영향평가 단계에서 잠재적인 환경영향을 평가하는데 사용된다.

영향평가는 환경에 미치는 영향 정도를 정량적이고 정성적으로 추산하여 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 것이다.

결과해석 단계에서는 목적 및 범위 설정에 맞게 목록분석의 결과 또는 목록분석과 영향평가의 결과를 통하여 주요 환경영향을 규명함으로써 최종 결론에 이르게 유도하는 과정이라 할 수 있다.

LCA를 수행하기 위해서는 제품의 원료채취, 제품제조, 사용, 폐기, 수송 등 전과정에 대한 데이터 수집이 필요하나 현실적으로 모든 자료 수집이 불가하여 정확성과 신뢰성을 보장하는 LCI DB를 활용한다.

LCI란 제품1단위(기능단위당)의 생산에 필요한 원자재의 채취 및 소재/부품가공, 수송, 제품사용, 폐기(제품 시스템 전과정)까지의 제품 시스템으로 투입되는 자원(환경에서 채취한 자원, 에너지, 광물 포함)의 양과 제품시스템에서 환경으로 버려지는 배출물(대기, 수계)과 폐기물의 발생량을 목록화한 데이터이다. 현재 한국에서는 한국환경산업기술원에서 ISO 14044 절차를 따라 개발한 416개의 국가 LCI DB가 활용되고 있다.

3. NATM터널의 공중별 환경부하량 산정

3.1 자료수집

공중별 환경부하 특성 분석을 위해 먼저 2002년부터 2009년간 설계된 일반국도의 신설 및 확포장공사 중 20개의 NATM터널 설계자료(설계보고서, 수량산출서, 내역서, 단가산출서 등)를 수집하였다. 수집된 자료의 현황은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. List of Cases

Tunnel No.	Year of completion	Total length	Excavation length	Number of lane	Type of traffic
1	2004	1,790	106	2	Unidirectional traffic
2	2002	2,428	100	2	Unidirectional traffic
3	2002	610	120	2	Unidirectional traffic
4	2002	2,414	329	2	Unidirectional traffic
5	2005	1,257	66	2	Unidirectional traffic
6	2005	1,976	66	2	Unidirectional traffic
7	2005	1,876	56	2	Unidirectional traffic
8	2005	1,224	52	2	Bidirectional traffic
9	2003	980	120	2	Unidirectional traffic
10	2003	2,225	140	2	Unidirectional traffic
11	2005	451	40	2	Unidirectional traffic
12	2008	1,391	16	2	Unidirectional traffic
13	2008	223	16	2	Unidirectional traffic
14	2008	1,125	20	2	Unidirectional traffic
15	2008	1,505	16	2	Unidirectional traffic
16	2008	585	80	2	Unidirectional traffic
17	2008	370	80	2	Unidirectional traffic
18	2003	1,890	80	3	Unidirectional traffic
19	2003	370	60	4	Bidirectional traffic
20	2004	510	62	3	Unidirectional traffic

3.2 환경부하 분석용 공종 분류체계 정립

수집된 터널 사례에서 공종별로 환경부하량을 비교분석하기 위해서는 터널 사례별 내역서마다 구성된 공종이 상이하기 때문에 통일된 공종 분류체계가 필요하다. 이에 20개 터널 사례의 공종을 분석하여 크게 본선부, 개착부, 기타공, 보강공으로 대분류하였다.

본 연구에서 공종별 환경부하 비교분석을 위한 공종 분류체계는 다음 Table 2와 같다.

본선부에는 터널의 본선 구간 시공을 위해 공통적으로 포함된 공종인 굴착, 버력처리, 강지보공, 숏크리트공, 록볼트공, 라이닝콘크리트공, 방수공, 공동구뚜껑으로 소분류하였다.

개착부는 개착구간에 해당하는 공종으로 소분류하였으며, 기타공은 본선부와 개착부 공종을 제외한 나머지 공종 중 부대시설공, 옥외공동구, 계측 등을 포함하였고 터널 현장여건 등에 따른 오탉수처리장, 오페수저수조, 굴착면고르기 등도 마찬가지로 기타공으로 소분류하였다.

보강공은 지반특성을 반영한 보강공법 적용여부에 따라 Soil

Table 2. Work Classification System for Analysis of Environmental Load by Specialist Work Classification

Major classification	Minor classification	
Main line section	Excavation	
	Muck hauling	
	Steel rib	
	Shotcrete	
	Rockbolt	
	Lining concrete	
	Waterproofing	
	Drainage	
	Installation of pipe utility conduit	
	Excavation section	Tunnel portal and Open-cut tunnel
		Facility
		Outdoor pipe utility conduit
Measurement		
Waste water treatment plant		
Waste water tank		
Excavation surface straightening		
Crushed stone aggregate production		
Concrete production		
Carrying materials		
Other works	Etc.	
	Soil nailing	
	Steel pipe reinforced multistep grouting	
	Fore poling	
	Pre-grouting	
	Pilot horizontal boring	

Nailing, 강관다단그라우팅, Fore Poling, 프리그라우팅, 선진수평보링으로 소분류하였다.

3.3 공종별 소요자원 산출 및 환경부하량 산정

수집된 NATM터널의 공종별로 건설 적산 프로그램을 이용하여 내역서상의 소요자재 및 장비 사용에 따른 연료의 수량을 산출한 후 소요자원별로 기구축된 LCI DB와 연계하여 환경부하량을 산정하였다.

본 연구에 사용된 LCI DB는 다음 Table 3과 같다.

본 연구에서는 지식경제부(Ministry of Knowledge Economy, MKE)와 환경부(Ministry of Environment, ME)에서 구축한 20

Table 3. LCI DB Used in This Study

DB	Materials	Unit
National DB (MKE, ME)	Portland Cement_type 1	kg
	Remicon 25-240-15	m ³
	Expanded Polystyrene(EPS)	kg
	oxygen(O2)	ton
	Wire rod	ton
	Stainless steel	kg
	Aluminum strip	kg
	Epoxy adhesive	kg
	Acrylic emulsion adhesive	kg
	Hot rolled steel coil	ton
	Low-density polyethylene(LDPE)	kg
	Electric steel deformed bars	kg
	Electric steel sections	kg
	Carbon steel	kg
	Brass bar	kg
	Steel plates	ton
	Light fuel oil	kg
	Electricity	kWh
Gasoline	kg	
Domestic DB (KICT)	PET film(Polyethylene terephthalate film)	kg
	Sand	m ³
	Plywood	m ³
	Tile	kg
Domestic DB (SOC-LCA Research Team)	Gravel	m ³
	Rockbolt D25 2.5m ~ 8.0m	set
Overseas DB (Eco-invent DB)	Asphalt	kg
	Polyvinylchloride(PVC)	kg
	Sodium silicate	kg
	Liqefied petroleum gas	kg
	Acetylene	kg
	Asphalt concrete	ton

개의 국가 LCI DB와 2005년 한국건설기술연구원(Korea Institute of Civil engineering and building Technology, KICT)에서 구축한 4개의 국내 LCI DB를 활용하였다. 아스팔트, PVC, 규산소다, 프로판가스, 아세틸렌, 아스콘은 해외 LCI DB인 Eco-invent DB를 활용하였다. 또한 터널의 록볼트 공종의 주요 소오자원인 록볼트는 현재 연구가 진행중인 “SOC시설물의 환경부하 저감을 위한 LCA 기반 의사결정시스템 개발” 연구팀(SOC-LCA 연구팀)의 자체 구축 자료를 활용하였다.

앞서 집계된 자원(자재 및 장비사용에 따른 연료)별로 LCI DB를 연계하여 NATM터널의 20개 사례에 대한 환경부하량을 산정하였다. 산정된 환경부하의 영향범주로는 Table 4와 같이 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.

각각 다른 단위로 산정되는 환경부하량을 동일하게 비교하기 위하여 정규화 과정과 가중화 과정을 거치게 되는데, 본 연구에서는 산업통상자원부에서 국내 현실을 반영하여 개발한 Korea Indicator 방법론을 활용하였다(Table 4).

8대 영향범주로 산정된 환경부하량을 가중화 값인 Eco-point로 합산하여 각 터널 사례의 공종별 환경부하량을 나타내면 다음 Fig. 3과 같다.

4. 공종별 환경부하량 특성 분석

4.1 NATM터널의 환경부하 대표공종 선정

NATM터널에서 환경부하가 큰 주요 공종을 선정하기 위하여 20개 터널사례에 대한 공종별 환경부하 비율 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음 Fig. 4와 같다.

분석 결과, 환경부하량을 가장 많이 차지하는 공종은 라이닝콘크리트공으로 32.51%를 차지하였으며 다음으로는 숏크리트공이 27.06%를 차지하였다. 개착부의 갯문 및 개착터널 공종은 10.67%를 차지하였으며, 기타공 중 부대시설공은 2.45%를 차지하였다. 기타공 전체의 환경부하량은 전체 환경부하량에 비해 미미한 것으로 나타났다. 강관다단그라우팅 공종은 6.30%를 차지하여 보강공 중 환경부하량이 가장 큰 주요 공종으로 나타났다.

Table 4. Environmental Impact Categories

Impact Category	Unit	Normalization Factor	Weight Factor	Converted Unit
ARD	1/yr	24.9	0.231	Eco-point
AC	kg SO2-eq	39.8	0.036	
EU	kg PO43-eq	13.1	0.038	
GW	kg CO2-eq	5530	0.288	
OD	kg CFC11-eq	0.0407	0.292	
POC	kg C2H4-eq	10.3	0.065	
ET	kg 1,4 DCB eq	1.63	0.216	
HT	kg 1,4 DCB eq	1480	0.105	

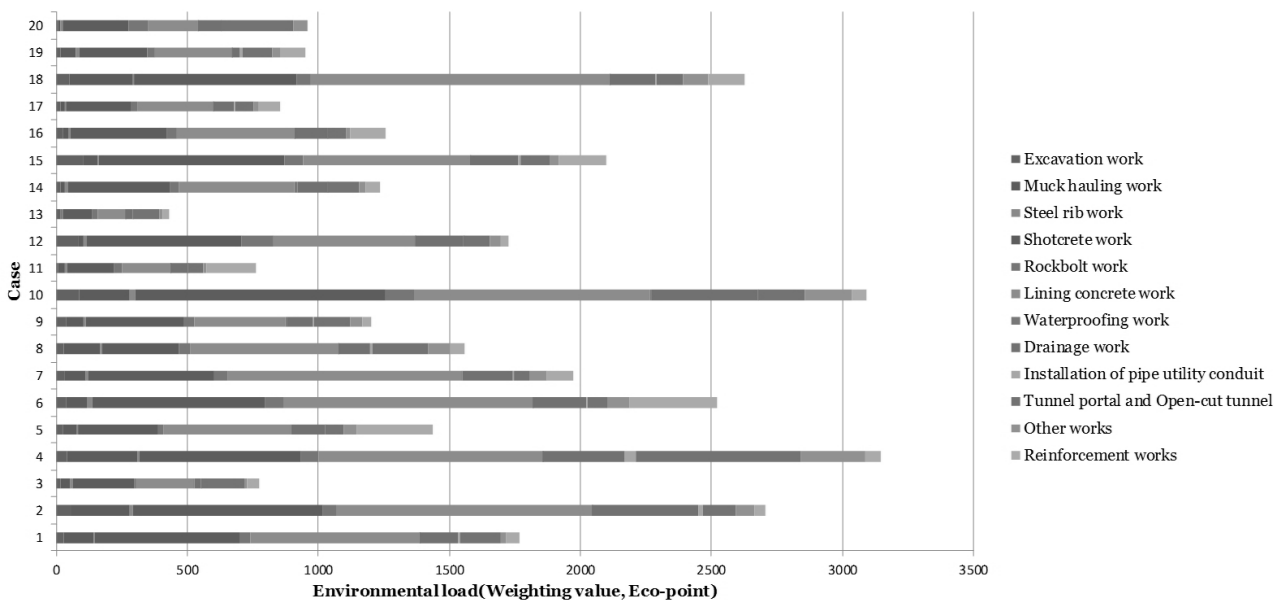


Fig. 3. Environmental Load by Work Type of 20 Cases

주요 환경부하 대표공종을 선정하기 위하여 환경부하가 큰 공중 순으로 누적 비율을 산정한 결과는 다음 Fig. 5와 같다.

누적 비율 산정 결과, NATM터널에서의 주요 환경부하 대표공중으로는 라이닝콘크리트, 숏크리트공, 갱문 및 개착터널, 배수공, 강관 다단그라우팅, 버력처리, 록볼트공이며, 이러한 7대 주요 환경부하 공중은 전체 환경부하량의 89.22%를 차지하는 것으로 분석되었다.

4.2 환경부하 대표공중별 특성 분석

주요 환경부하 공중으로 선정된 7대 환경부하 대표공중별로 투입되는 자재의 환경부하량을 분석하여 해당 공중에서 환경부하 비중이 큰 주요 자재들을 파악하였다.

20개 터널사례의 공중별 투입된 자재들의 환경부하량 산정을 위하여 해당 공중이 적용되는 구간의 연장(m)을 원단위로 하여

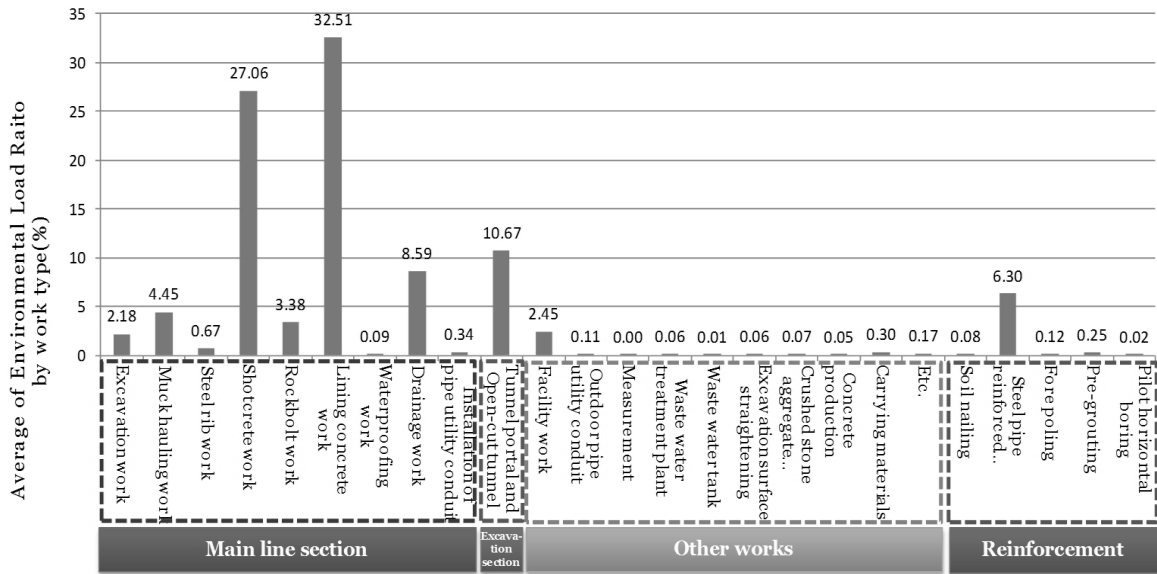


Fig. 4. Average of Environmental Load Ratio by Work Type of 20 Cases

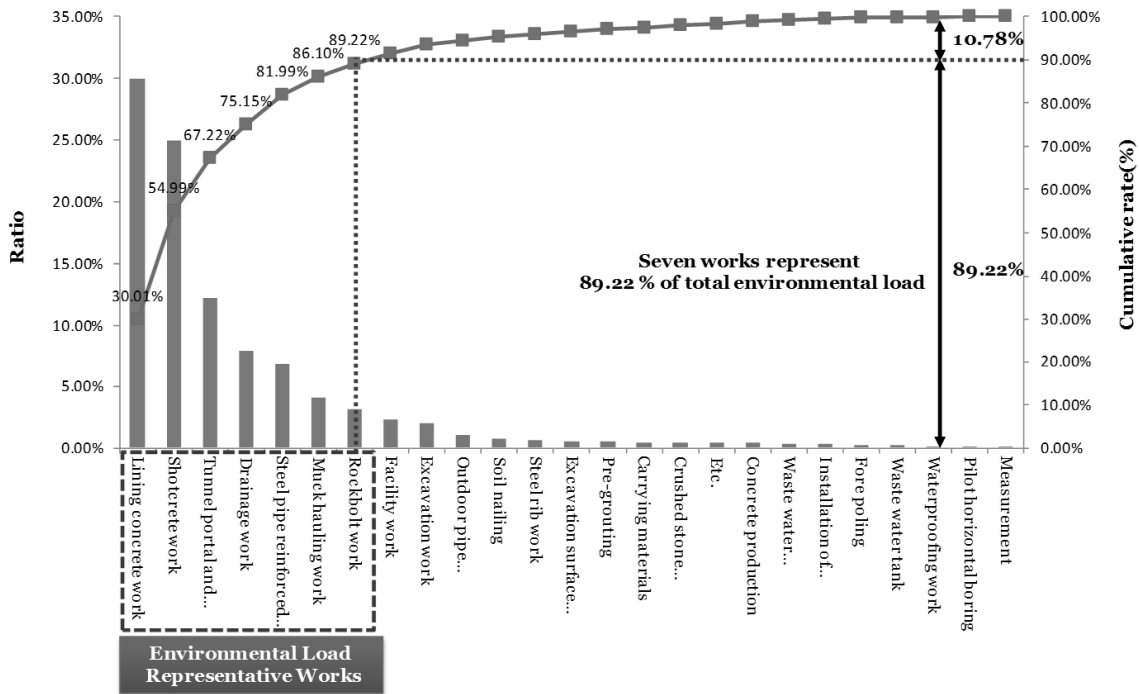


Fig. 5. Representative Works for Environmental Load

산정하였다. 갯문 및 개착터널 공종은 개착구간의 연장(m)을 원단위로 하였으며, 나머지 공종들은 터널의 전체 연장(m)을 원단위로 하였다.

4.2.1 라이닝 콘크리트

라이닝콘크리트 공종이 해당되는 전체 터널 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 6과 같다.

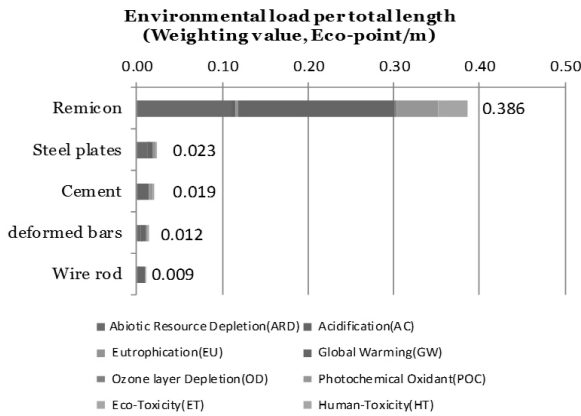


Fig. 6. Environmental Load Per Total Length(m) of Lining Concrete Work by Main Materials

라이닝 콘크리트 공종에서 환경부하량이 큰 주요자재는 레미콘, 후판, 시멘트, 철근, 선재로 나타났으며 그 중 레미콘의 환경부하량 비중이 월등히 큰 것으로 나타났다.

4.2.2 숏크리트공

숏크리트 공종이 해당되는 전체 터널 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 7과 같다.

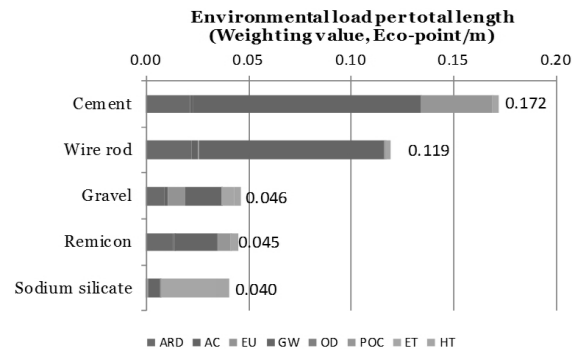


Fig. 7. Environmental Load Per Total Length(m) of Shotcrete Work by Main Materials

숏크리트 공종에서 환경부하량이 큰 주요자재는 시멘트, 선재, 자갈, 레미콘, 규산소다로 나타났다.

4.2.3 갯문 및 개착터널

갯문 및 개착터널 공종이 해당되는 개착 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 8과 같다.

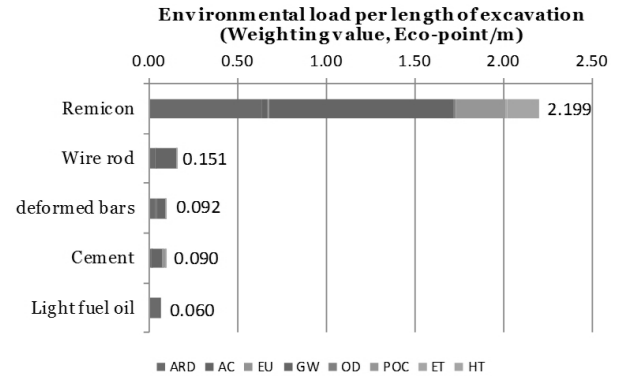


Fig. 8. Environmental Load Per Length of Excavation Section(m) of Tunnel Portal and Open-Cut Tunnel Work by Main Materials

갯문 및 개착터널 공종에서 환경부하량이 큰 주요자재는 레미콘, 선재, 철근, 시멘트, 경유로 나타났다.

4.2.4 배수공

배수공이 해당되는 전체 터널 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 9와 같다.

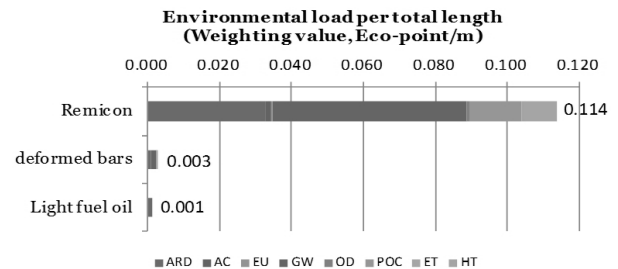


Fig. 9. Environmental Load Per Total Length(m) of Drainage Work by Main Materials

배수공에서 환경부하량이 큰 주요자재는 레미콘으로 나타났으며 철근, 경유는 환경부하량이 미미하였다.

4.2.5 강관다단그라우팅

강관다단그라우팅 공종이 해당되는 전체 터널 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 10과 같다.

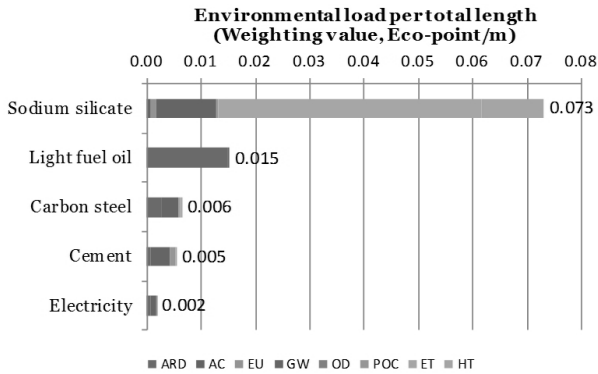


Fig. 10. Environmental Load Per Total Length(m) of Steel Pipe Reinforced Multistep Grouting Work by Main Materials

강관다단그라우팅 공종에서 환경부하량이 큰 주요자재는 규산 소다, 경유, 탄소강, 시멘트, 전기로 나타났다.

4.2.6 버력처리

버력처리 공종이 해당되는 전체 터널 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 11과 같다.

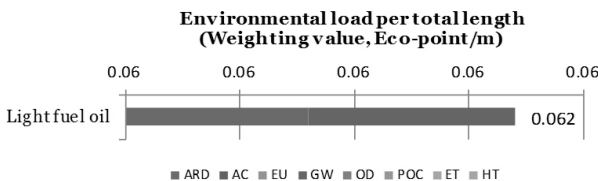


Fig. 11. Environmental Load Per Total Length(m) of Muck Hauling Work by Main Materials

버력처리 공종에서는 경유의 환경부하량이 대부분으로 나타났다.

4.2.7 록볼트공

록볼트공이 해당되는 전체 터널 구간의 연장(m)당 환경부하량을 산출하여 20개 사례에 대한 평균값을 산출한 결과는 다음 Fig. 12와 같다.

록볼트공에서 환경부하량이 큰 주요자재는 록볼트 D25 4.0m와 5.0m, 경유, 전기, 시멘트로 나타났다.

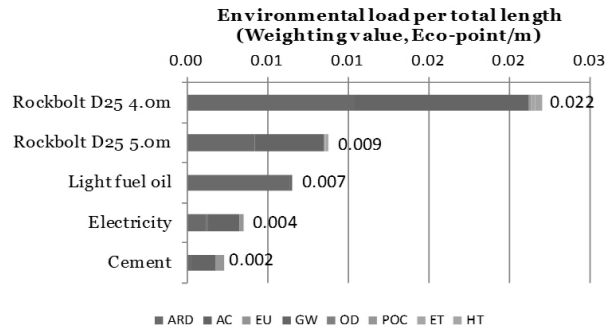


Fig. 12. Environmental Load Per Total Length(m) of Rockbolt Work by Main Materials

4.3 공종별 환경부하량 특성 분석

공종별로 연장(m)당 환경부하량을 비교해보면 다음 Fig. 13과 같다.

공종별 연장(m)당 환경부하량 갭문 및 개착터널 공종은 개착구간 연장(m)당 환경부하량을 비교분석한 결과 갭문 및 개착터널 공종에서 환경부하량이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 개착구간의 연장이 전체 터널연장에 비해 짧으나 상대적으로 많은 물량의 레미콘이 투입되기 때문인 것으로 분석되었다. 따라서 개착구간의 연장 및 갭문 형식 등에 따라 환경부하량이 크게 달라지므로 터널 설계시 이를 고려하여 대안을 선정할 필요가 있다.

전체 구간을 대상으로 공종별 환경부하량을 비교해보면(Figs. 4 and 5) 라이닝콘크리트공종과 숏크리트공종에서 환경부하량이 큰 것으로 분석되었다.

앞서 4.2절의 환경부하 대표공종별 자재에 따른 환경부하량 결과를 비추어 볼 때 라이닝콘크리트공에서는 레미콘이, 숏크리트공에서는 시멘트와 선재가 주요 환경부하량 관리 대상임을 알 수 있다.

환경부하량은 소요자원(자재투입량 및 장비사용에 따른 연료소모량)에 기반하고 있기 때문에 NATM터널 시공시 발생하는 환경부하량을 저감하기 위해서는 투입되는 소요자원을 줄이거나 상대적으로 환경부하를 적게 발생시키는 친환경 자재의 사용이 필요할 것으로 판단되며 그 주요 공종은 라이닝콘크리트공종과 숏크리트공종이, 주요 자재는 레미콘, 시멘트, 선재가 대상이 될 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 과거에 수행된 20개의 NATM터널의 설계자료를 수집하여 공종별 환경부하량을 산정하여 그 특성을 분석하였으며, 그 결과는 크게 세가지로 볼 수 있다.

첫째, 20개 터널 사례의 공종별 환경부하량을 분석한 결과 라이닝콘크리트, 숏크리트, 갭문 및 개착터널, 배수, 강관다단그라우팅, 버력처리, 록볼트 공종이 NATM터널의 주요 환경부하 공종으로,

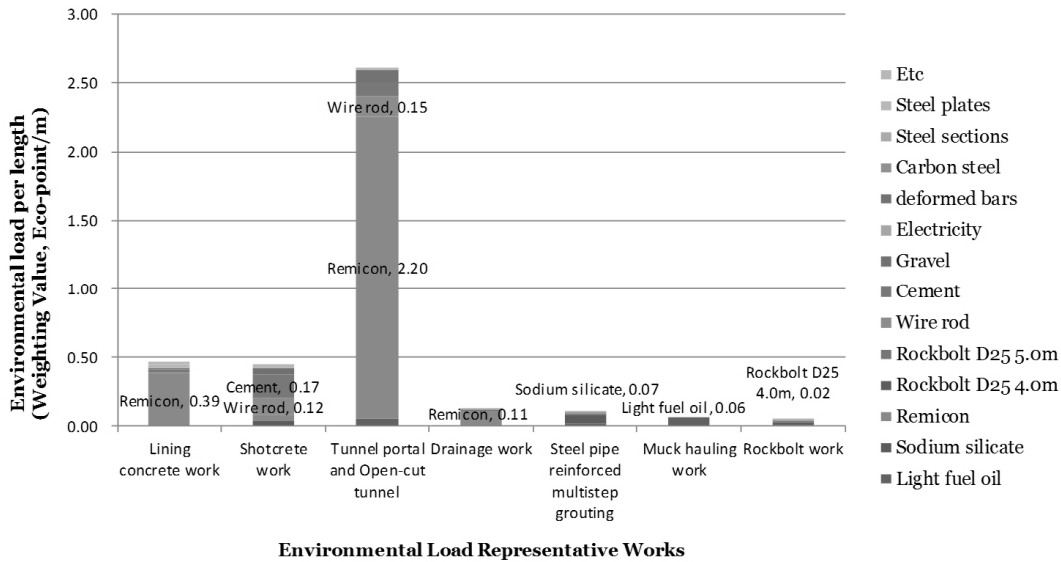


Fig. 13. Environmental Load Per Length

이러한 7대 환경부하 대표공종이 전체 환경부하량의 89.22%를 차지하는 것으로 나타났다.

둘째, 7대 환경부하 대표공종의 환경부하량 비중이 큰 주요 자재들을 분석하여 제시하였다.

셋째, 7대 환경부하 대표공종들을 연장(m)당 환경부하량으로 비교분석한 결과 터널 전체 연장에 비해 짧은 개착구간에 해당하는 갭문 및 개착터널이 가장 환경부하량을 많이 발생하는 것으로 나타났다.

전체 터널 구간을 대상으로 할 경우 라이닝콘크리트 공종과 숏크리트 공종에서 환경부하량이 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 이들 공종에서 레미콘, 시멘트, 선재가 환경부하량이 큰 것으로 나타나 주요 환경부하량 관리 대상으로 파악되었다.

본 연구의 결과는 설계 초기단계에서 7대 환경부하 대표공종의 물량을 개략적으로 산출하여 전체 환경부하량을 추정하는 모델 개발 시 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

또한 7대 환경부하 대표공종에서 환경부하 비중이 큰 주요 자재들이 주요 환경부하 관리 대상으로 파악됨에 따라 해당 자재의 투입량을 최적화하거나 친환경 자재 사용을 유도하는 등 친환경 SOC 건설을 위한 환경부하 관리방안을 수립하는 데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업(과제번호 : 15SCIP-C085709-02)에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

References

Choi, D. S., Chun, H. C. and Ahn, J. Y. (2012). "Prediction of environmental load emissions from an apartment house of construction phase through the selection of major materials." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 28, No. 6, pp. 237-246.

ISO 14040 (2006). *Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jun, S. E., Lim, T. K. and Lee, D. E. (2011). "A system for estimating CO₂ emission using the construction project schedule information." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 27, No. 10, pp. 169-176.

Kwon, S. H. (2008). *Development of an assessment model for the environmental economics of construction projects*, Dissertation, Chung-Ang University, Seoul, Korea.

Lee, K. H. and Yang, J. H. (1996). "A study on the functional unit estimation of energy consumption and carbon dioxide emission in the construction materials." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 25, No. 6, pp. 43-50.

Ministry of Construction Transportation (MOCT). (2003). *The study of LCA application schemes on construction industry areas* (in Korean).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2012a). *A study of calculation of carbon emission and management plan in construction area* (in Korean).

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2012b). *Guideline of calculation of carbon emission* (in Korean).