

# 서로다른모델의 전동차에 대한 비교 전과정평가

## Comparative LCA(life cycle assessment) between two different model of Electric Motor Unit(EMU)

김진용\*                  최요한\*                  김용기\*\*                  이건모\*\*\*  
Kim, Jin-Yong          Choi, Yo-Han          Kim, Young-Ki          Lee, Kun-Mo

---

### ABSTRACT

The objective of this research is to comparative LCA(life cycle assessment) between two different model of Electric Motor Unit(EMU).the environmental impact of Aluminum body Electric Motor Unit(EMU) and Stainless Steel(STS) body Electric Motor Unit(EMU). LCA process consists of four steps which are goal, scope definition, life cycle impact analysis (LCIA) and life cycle interpretation. ISO 14044 provides the LCA standard method which can be conducted by using comparative LCA. From the research it is founq that the Aluminium Body Electric Motor Unit (EMU) is 3.6ton heavier than Stainless Steel(STS) body Electric Motor Unit(EMU). The system boundary of both Electric Motor Unit (EMU) are same life span and travel same distance. These both Electric Motor Unit (EMU) has same kind of environmental impact which is maximum Ozone Depletion(OD). During using period of these two models, the Aluminium Body Electric Motor Unit(EMU) has more global warming(GW) effect but Stainless Steel(STS) body Electric Motor Unit(EMU) has more Ozone Depletion(OD) effect.

The above result is obtained by using LCA software PASS verson 3.1.3.

---

### 국문요약

#### 1. 서 론

전 세계적 산업사회의 발전이 가속화됨에 따라 환경문제의 심각성도 날로 증대되고 있다. 최근에는 산업의 발전과 더불어 교통량이 급속도로 증가하고 이로 인한 환경영향이 가중되고 있다. 선진국을 중심으로 다양한 환경규제를 강화함으로써 세계무역의 주요 쟁점 사안으로 환경문제가 부각되고 있다. 국내의 대중교통수단 중에서 많이 이용되는 것이 전동차일 것이다. 친환경적인 교통수단으로 인식되고 있는 전동차의 경우도 환경에 미치는 영향에 대하여 정량적인 평가가 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 대표적인 교통수단인 전동차에 대하여 전과정평가(Life cycle assessment:이하 LCA)을 이용하여 알루미늄구체(AI)전동차(T-car)와 스테인레스 구체(STS)전동차(T-car)의 환경부하를 비교 영향평가를 하여 도출된 환경영향을 개선방향을 제시하고자 한다.

---

\* 아주대학교 일반대학원 비회원  
\* 아주대학교 일반대학원 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원 정회원  
\*\*\* 아주대학교

## 2. 연구내용

### 2.1 목표 및 범위정의

#### 2.1.1 목표

대상 제품(또는 서비스)의 환경측면을 파악하기 위한 전과정평가를 수행함에 있어서 전과정 영향평가는 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 서로 다른 모델의 전동차에 대한 전과정 평가를 수행하여 환경성을 정량적으로 분석함으로써 Key life cycle stage와 Key parameter 및 process를 규명하여 환경개선 방향을 파악하고자 한다.

### 2.2 범위정의

#### 2.2.1 기능, 기능단위

전동차의 기능, 기능단위 및 참고흐름을 Table 1에 나타내었다. 전동차의 참고흐름(reference flow)은 계산의 편의성 및 도출된 전과정 목록분석 결과 이용을 쉽게 하기위하여 기능단위와 동일하게 전동차 한량으로 선정하였다.

표 1. 기능, 기능단위 및 기준흐름

구분	설명
기능	전기를 동력으로 하여 레일 위를 이동하며 승객을 수송하는 것
기능단위	전동차(T-car) 1량
기준흐름	전동차(T-car) 1량

#### 2.2.2 시스템 경계

전동차의 전과정 중 원료물질 채취단계에서부터 제품 제조단계까지의 (Cradle-to-gate:이하Ctg)를 시스템 경계로 정의하였다. 정의된 시스템 경계에서 조사대상 투입물 및 배출물은 기본 흐름(elementary flow)으로 하였다.

#### 2.2.3 의사결정 기준

전동차를 생산하기 위한 원료 취득에서부터 제품 생산 및 사용, 폐기까지의 일반적인 공정들 및 이와 관련된 투입물/배출물을 연구대상으로 하였다. 제품생산과 직접 관련이 없거나 환경부하가 적을 것으로 판단되는 단위 공정에 대해서는 연구 범위에서 제외 하였다. 또한 누적무게, 누적에너지 및 환경관련성 등의 cut-off기준에 의해 단위공정을 제외하였다.

표 2. STS구체 전동차의 의사결정기준(단위:kg)

부품명	실중량	누적중량	중량비	누적중량비	환산중량비	환산누적중량비	환산실중량
대차	11,526	11,526	39.56%	39.56%	47.90%	47.90%	13,957.1
구체	8,258	19,784	28.34%	67.90%	34.32%	82.22%	9,999.8
내장설비	4,277	24,061	14.68%	82.58%	17.78%	100.00%	5,179.1
냉난방장치	1,826	25,887	6.27%	88.85%		합계	29136.0

파이프	1,330	27,217	4.56%	93.41%			
바닥하부장치	815	28,032	2.80%	96.21%			
전장품	372	28,704	2.31%	98.52%			
외장설비	432	29,136	1.48%	100.00%			

표 3. AI구체 전동차의 의사결정기준(단위:kg)

부품명	실중량	누적중량	중량비	누적 중량비	환산 중량비	환산누적 중량비	환산 실중량
대차	10,539	10,539	42.22	42.22	46.92	46.92	11,711.8
설비	6,124.2	16,663.2	24.54	66.76	27.27	74.2	6,805.7
차체	5,798	22,461.2	23.23	89.99	25.81	100	6,443.2
전장품	1,075	23,536.7	4.31	94.30		합계	24,960.7
차체전기장치	525	24,061.7	2.10	96.40			
공기 및 전기배관	505	24,566.7	2.02	98.42			
제동장치	334	24,900.7	1.34	99.76			
욕상 및 상하기기 브라켓	60	24,960.7	0.24	100			

## 2.2.4 데이터 품질 요건

### 1) 시간적 경계

생산단계의 데이터는 2005년1월1일부터 2005년12월31일까지 1년간의 데이터를 수집하였다. 기타 데이터는 5년 이내의 데이터 사용을 목표로 하였다. 데이터베이스는 공개된 가장 최근의 데이터베이스를 적용하였다.

### 2) 지역적 경계

현장데이터 수집범위는 국내로 한정하며, 해외에서 도입하는 부품은 지역적인 문제로 생산 공정의 조사는 제외한다. 데이터베이스는 국내 데이터베이스를 우선 적용하고 국내 데이터베이스가 없는 물질은 해외 데이터베이스를 적용하였다.

### 3) 기술적 경계

기술적 경계는 대상제품을 생산하는 업계의 공정 기술을 대상으로 한다.

### 4) 가정 및 제한사항

전과정평가 특성상 방대한 범위의 데이터 수집 및 가공 과정이 필연적으로 포함되기 때문에 적절한 가정을 통해 데이터 수집 및 가공과정에서의 인력 및 시간을 줄일 수 있다. 반면 수집된 가정이 얼마나 타당성 있게 설정되었는가에 따라 전과정평가 결과의 신뢰성이 좌우된다. 데이터부재로 인해 불확실성이 큰 운송은 이 연구에서 고려하지 않았으며, 조립단계 전력사용량은 기업비밀로 공개 되지 않았다.

## 2.3 전과정 목록분석

### 2.3.1 공정분석

전과정 목록분석에서는 연구의 목적 및 범위정의에서 정의한 내용을 토대로 R사를 대상으로 전동차의

제조 공정 데이터를 방문조사 및 설문서를 통해 수집하였고, R사에 전동차의 주요 부품을 납품하는 회사의 공정데이터를 설문을 통해 수집하였다. 이와 같이 현장방문 및 설문지에 대한 데이터수집뿐만 아니라, 대상제품인 전동차의 도면을 분석하여 투입물질데이터를 확보하였다.

### 2.3.2 데이터 계산

각각의 단위공정별 데이터를 기준흐름인 전동차(T-car) 1량에 투입되는 무게를 기준으로 계산 하였다. 전과정평가 소프트웨어인 PASS v3.1.3을 사용하여 이에 대한 전과정 목록분석을 수행하였다. 각각의 전동차에 대한 주요 목록항목을 다음 표5,6,7,8에 나타내었다.

표 4. STS구체 전동차(T-car)의 주요 LCI결과(자원)

주요 투입물(자원)					
물질명	무게	단위	투입	자원	media
Iron ore	1.36E+04	kg	INPUT	Resource	Soil
Crude oil	9.36E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Hard coal	9.11E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Iron(Fe)	4.07E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Coal	3.93E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Limestone	3.07E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Tin ore	2.48E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Natural gas	1.82E+03	kg	INPUT	Resource	Soil

표 5. STS구체 전동차(T-car)의 주요 LCI결과(자원)

주요 투입물(환경배출물)					
물질명	무게	단위	방향	구분	media
Waste water	1.23E+05	kg	OUTPUT	Emission	Water
Carbon dioxide(CO2)	7.04E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
Exhaust	1.64E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
Air	1.34E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
Vapor	1.15E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
COD	3.73E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water
SS	3.41E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water
Industrial waste(domestic)	1.61E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water
Hydrogen chloride(HCl)	1.59E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water

표 6. Al구체 전동차(T-car)의 주요 LCI결과(자원)

주요 투입물(자원)					
물질명	무게	단위	투입	자원	media
Bauxite(Al2O3)	1.88E+04	kg	INPUT	Resource	Soil
Natural gas	1.76E+04	kg	INPUT	Resource	Soil
Coal	1.66E+04	kg	INPUT	Resource	Soil
Iron ore	1.17E+04	kg	INPUT	Resource	Soil

Hard coal	8.53E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Crude oil	4.88E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Iron (Fe)	4.02E+03	kg	INPUT	Resource	Soil
Limestone	3.30E+03	kg	INPUT	Resource	Soil

표 7. AI구체 전동차(T-car)의 주요 LCI결과(자원)

주요 투입물(환경배출물)					
물질명	무게	단위	방향	구분	media
Carbon dioxide(CO2)	1.23E+05	kg	OUTPUT	Emission	Water
COD	7.04E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
SS	1.64E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
Industrial wastes(domestic)	1.34E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
Exhaust	1.15E+04	kg	OUTPUT	Emission	Air
Waste water	3.73E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water
Nitrogen oxides(NOX)	3.41E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water
Sulfur oxides(SOX)	1.61E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water
Sulfur dioxide(SO2)	1.59E+03	kg	OUTPUT	Emission	Water

## 2.4 영향평가

영향평가 과정에서 분류화는 8개 세부 영향범주로 분류하였다. 무생물, 자원고갈, 지구온난화, 오존층 고갈, 산성화, 부영양화, 광화학 산화물 생성, 생태독성, 인간독성이 포함된다. 이 중 생태독성은 수계 생태독성, 토양생태독성, 해양생태독성으로 나누어 계산하였다.

## 3. 환경영향평가 결과

도출된 전과정 목록분석 결과를 이용하여 STS구체/AI구체 전동차(T-car)에 대하여 전과정 영향평가를 수행하였다. PASS v3.1.3소프트웨어를 사용하였으며, 한국형 환경영향평가지수 방법론을 사용하여서, 정규화(Normalization)인자 및 가중치(Weighting) 부여 인자를 적용하여 무차원 단일지수로 잠재적 환경영향값을 산출하였다. 또한 무생물 자원고갈(Abiotic resource depletion: ARD), 지구 온난화(Global warming: GW), 오존층 파괴(Ozone layer depletion: OD), 산성화(Acidification: AD), 부영양화(Eutrophication: Eut), 광화학 산화물 생성(Photochemical oxidant creation: POC), 수계생태독성(Freshwater aquatic ecotoxicity: FAET), 해양생태독성(Marine aquatic ecotoxicity: MAET), 인간독성(Human toxicity:TET)으로 총 10개의 영향범주를 고려하였다.

STS구체 전동차(T-car)의 원료 취득 단계에서 제작단계까지, 가장 큰 환경영향을 야기하는 영향범주는 오존층 파괴(OD)임을 알 수 있고, 해양독성(MAET)과 수계독성(FAET)이 각각 주요 환경영향을 야기함을 알 수 있다.

표 8. STS구체 전동차(T-car)의 영향범주별 기여도 분석

영향범주	CI	NI	WI	기여도
무생물자원고갈(ARD)	3.72E+02	1.49E-02	6.26E-02	5.5%
산성화(AD)	3.01E+03	3.20E-02	1.15E-03	1.8%
수계독성(FAET)	1.32E+03	3.65E-02	5.26E-03	8.4%
해양독성(MAET)	6.04E+06	7.79E-02	1.20E-02	19.2%
토양독성(TET)	2.32E+01	1.95E-03	4.21E-04	0.7%
부영양화(EUT)	9.76E+01	7.45E-03	2.83E-04	0.5%
지구온난화(GW)	7.58E+04	1.37E-02	3.95E-03	6.3%
인간독성(HT)	1.16E+04	7.76E-03	8.14E-04	1.3%
오존층파괴(OD)	4.86E+00	1.20E-01	3.50E-02	55.9%
광화학산화물생성(POC)	5.62E+01	4.72E-03	3.07E-04	0.5%
계			5.637E-02	100.0%

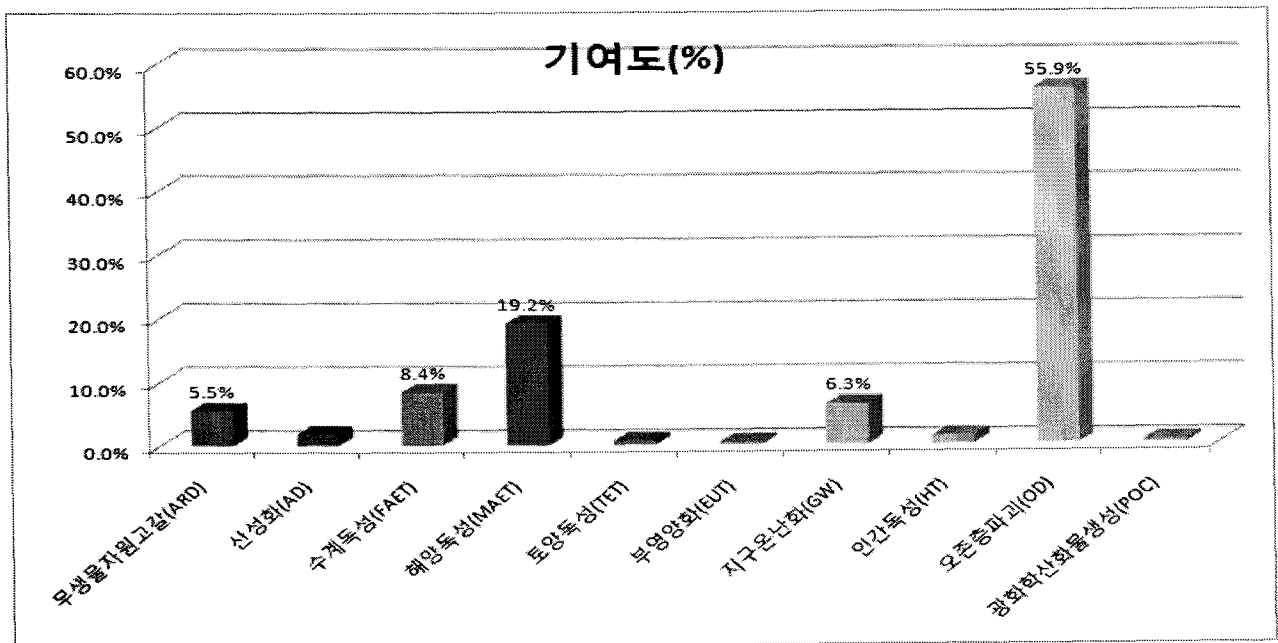


그림 1. STS구체 전동차(T-car)의 영향범주별 기여도

AI구체 전동차(T-car)의 원료 취득 단계에서 제작단계까지, 가장 큰 환경영향을 야기하는 영향범주는 오존층 파괴(OD)임을 알 수 있고, 해양독성 (MAET)와 지구온난화(GW)이 각각 주요 환경영향을 야기함을 알 수 있다.

표9. AI구체 전동차(T-car)의 영향범주별 기여도 분석

영향범주	CI	NI	WI	기여도
무생물자원고갈(ARD)	4.39E+02	1.76E-02	4.07E-03	8.2%
산성화(AD)	9.56E+02	2.40E-02	8.65E-04	1.7%
수계독성(FAET)	3.96E+02	1.09E-02	1.58E-03	3.2%
해양독성(MAET)	3.51E+06	4.53E-02	6.97E-03	14.0%
토양독성(TET)	6.10E+00	5.12E-04	1.11E-04	0.2%
부영양화(EUT)	8.08E+01	6.17E-03	2.34E-04	0.5%
지구온난화(GW)	1.09E+05	1.98E-02	5.70E-03	11.4%
인간독성(HT)	3.79E+03	2.54E-03	2.67E-04	0.5%
오존층파괴(OD)	4.15E+00	1.02E-01	2.98E-02	59.9%
광화학산화물생성(POC)	3.68E+01	3.09E-03	2.01E-04	0.4%
계			4.98E-02	100.0%

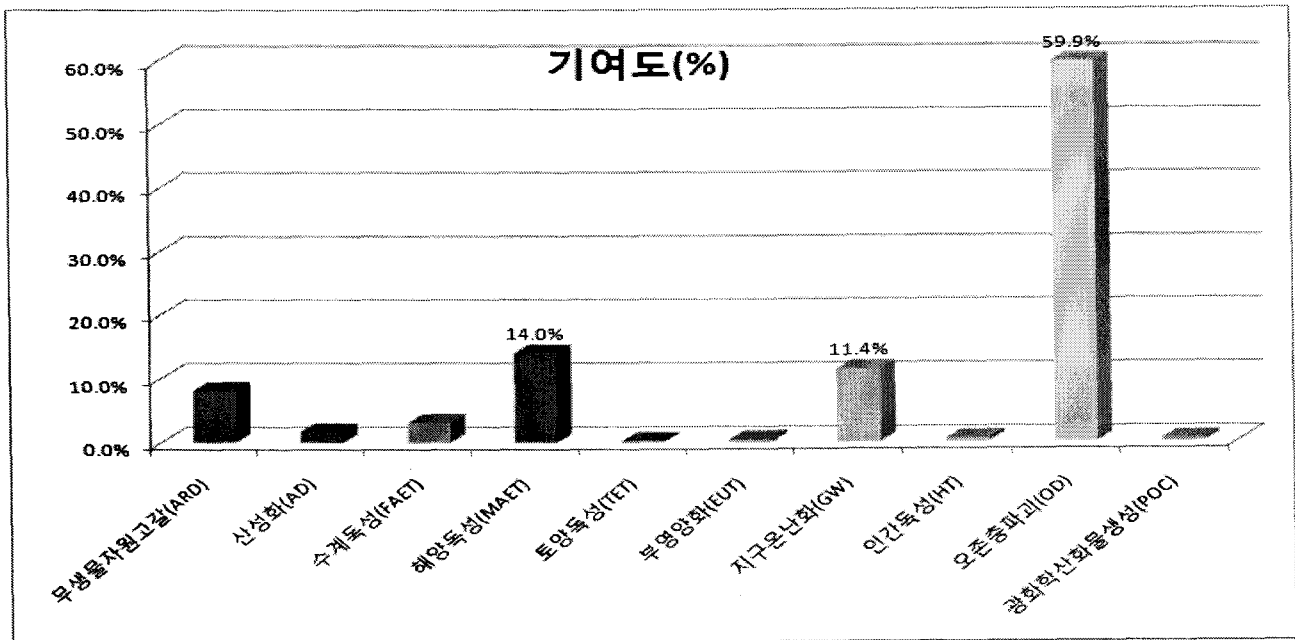


그림 2. AI구체 전동차(T-car)의 영향범주별 기여도 분석

### 3.1 비교 전과정 평가: SUS 구체 전동차 vs AI 구체 전동차

표 10 SUS 구체와 AI 구체의 환경성 비교

	SUS구체(A)	AI구체(B)	단위	A/B
무생물자원고갈(ARD)	3.72E+02	4.39E+02	1/yr	85%
산성화(AD)	3.01E+03	9.56E+02	g SO2 eq	315%
수계독성(FAET)	1.32E+03	3.96E+02	kg 1,4-DCB eq	334%
해양독성(MAET)	6.04E+06	3.51E+06	kg 1,4-DCB eq	172%
토양독성(TET)	2.32E+01	6.10E+00	kg 1,4-DCB eq	381%
부영양화(EUT)	9.76E+01	8.08E+01	g PO4-3 eq	121%
지구온난화(GW)	7.58E+04	1.09E+05	g CO2-eq	69%
인간독성(HT)	1.16E+04	3.79E+03	kg 1,4-DCB eq	305%
오존층파괴(OD)	4.86E+00	4.15E+00	g CFC-11 eq	117%
광화학산화물생성(POC)	5.62E+01	3.68E+01	kg ethylene eq	153%



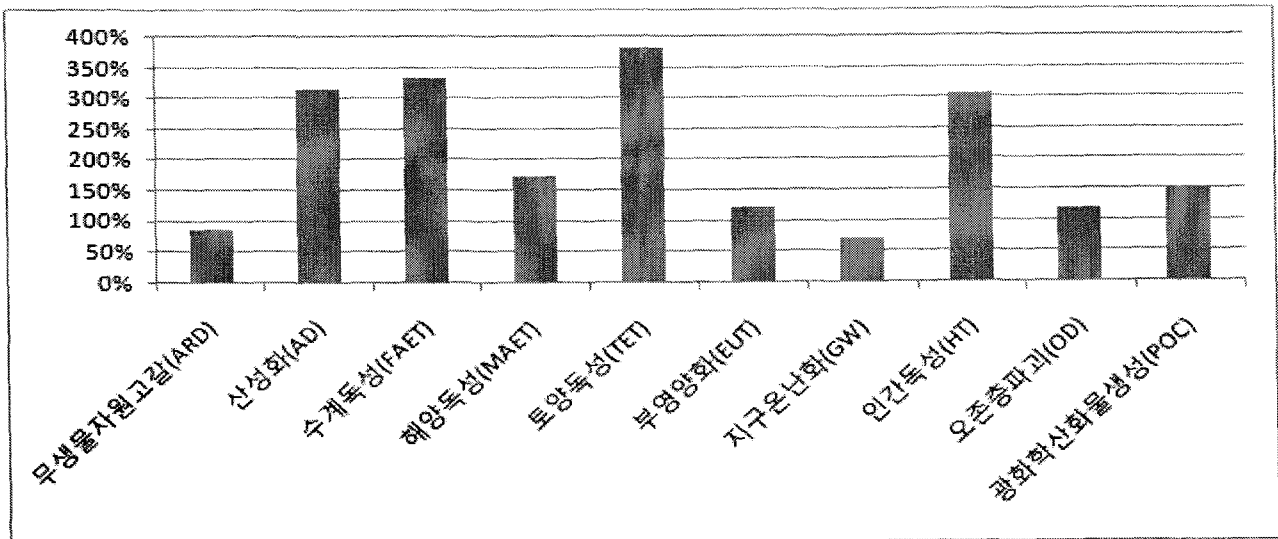


그림 3 STS구체 전동차와 AI구체 전동차의 환경성을 비교

SUS구체 전동차가 무생물자원고갈(ARD), 지구온난화(GW)의 영역을 제외한 전영역의 환경이 AI구체보다 크게 발생했음을 알 수 있다. AI 구체의 경우 원료물질인 알루미늄(Al)의 제조와 알루미늄을 가공(압축)할 때 사용되는 전력소모로 인해 무생물 자원 고갈(ARD), 지구온난화(GW)의 영역에서 환경영향이 크게 발생했다, 따라서 앞으로 전동차 차량을 선정함에 있어서 환경성 측면을 고려할 때, AI구체 전동차가 보다 더 환경영향에서 유리한 측면이 많다는 사실을 반영해야 한다.

#### 4. 감사의 글

이 연구는 건설교통부에서 시행한 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### 5. 참고문헌

- (1) ISO, ISO 14041 Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis, 1998
- (2) Kun-Mo Lee and Atsushi Inaba, "Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series", 2004
- (3) 국가청정생산지원센터, 국가 LCI Database 구축 방법론 및 관리·보급확산 방안, 2004
- (4) W. Wimmer et al., Ecodesign Implementation, 2004
- (5) 한국철도기술연구원, 전동차 전과정 평가 시스템 개발, 3차년도 최종보고서, 건설교통부, 2007