산업연관분석법에 의한 궤도시스템의 환경부하 평가

Study on assessment of the environmental impacts for track system by Input-Output Analysis

김용기* 이철규** 전용삼*** 조현정****

Kim, Yong-Ki Lee, Cheul-Kyu Jeon, Yong-Sam Jo, Hyun-Jung

ABSTRACT

LCA is nowadays getting popular as a tool to assess the environmental impacts. We can assess the environmental impacts of products and also compare the environmental performance between products with LCA. Furthermore, the LCA results can be used for designing eco-friendly products. But LCA needs an enormous amount of data collection, calculations of energy and material balance. which required to spend pretty much time and cost. However, If we use Input-Output Analysis, There is a lot of advantages that we can save time and cost to calculate and also analyze energy-material balance more comprehensively. Therefore, we implemented the fundamental research of the environmental impact assessment on railway system using life cycle inventory analysis and Input-Output Analysis method.

1. 서 론

최근 제품의 환경성을 평가하는 기법으로 전과정 평가가 널리 활용되고 있다. 전과정평가의 수행을 통해 제품의 환경영향을 평가하고 제품들 간 환경영향의 비교를 통해 환경적으로 우수한 제품을 규명하거나 제품의 친환경적인 설계등에 활용할 수 있다. 전과정 평가의 수행은 시스템 경계 내의 모든 공정에 대한 방대한 양의 데이터 수집은 물론 물질수지, 에너지수지 계산이 이루어져야 하는데 많은 비용과 시간에 대한 제약이 따른다. 산업연관표를 이용하면 물질-에너지수지 사용에 대한 종합적인 분석을 수행할 수 있고, 분석과 계산시간이 개별적산방식에 비해 상당히 짧아 분석과정의 노력이 상대적으로 절약되는 등의 여러 장점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 산업연관분석법(Input-Output Analysis)의 활용방법과 전과정 목록 구축방법을 통해 궤도시스템의 환경부하 평가에 관한 기초연구를 수행하였다.

기후변화협약에 대비하여 직, 간접적으로 시설물에 투입된 에너지와 환경부하를 포괄적으로 산출할 수 있는 방법인 산업연관표 EIO 분석을 통하여 일부 철도 궤도구성품에 에너지원별, 산업별 투입구조를 분석하고, 일부 구성품을 선정하고 선정한 궤도도상별 에너지원별 투입물량 및 CO2 발생량을 산정하였다.

2. 연구방법

2.1 산업연관분석의 원리

IOA에서는 국가의 모든 경제활동을 한정된 산업군으로 분류하기 때문에 다양한 제품들이 동일한 제

† 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실
E-mail : ykkim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5382 FAX : (031)460-5279
** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실
*** 비회원, 한구철도기술연구원, 철도환경연구실
**** 비회원, 인하대학교, 환경공학과

품군으로 간주된다. 산업연관표의 기본구성은 재화와 서비스의 거래를 첫째, 산업상호간의 중간재 거래 부분, 둘째 각 산업부분에서의 노동자본 등 본원적 생산요소의 구입부분, 셋째, 각 산업 부분 생산물의 최종소비자에게로 판매되는 판매부분 세 가지로 구분하여 기록하게 되며, 산업연관표의 기본구조는 표 2.1과 같다

표 2.1 산업연관표의 형식

		중간수요				최종수요	수입 (공제)	총산출액
		1	2	…	n			
중간투입	1	X_{11}	X_{12}	…	X_{1n}	Y_1	M_1	X_1
	2	X_{21}	X_{22}	…	X_{2n}	Y_2	M_2	X_2
	·		·			·	·	·
	·		·			·	·	·
	·		·			·	·	·
	n	X_{n1}	X_{n2}	…	X_{nn}	Y_n	M_n	X_n
부가가치		V_{11}	V_{12}	…	V_{1n}			
총투입액		X_1	X_2	…	X_n			

이표를 활용하여 식 1과 같이 산업간 연계성을 유발할 있는 생산유발계수를 유도할 수 있다.

$$X=(I-A)^{-1}(Y-M) \qquad \text{(식 1)}$$

여기서, 행렬 A는 투입계수 행렬, 벡터 X는 총산출액 벡터, 벡터 Y는 최종수요, 벡터 M은 수입액, (I−A)−1 는 레온티에프 역행렬 혹은 생산유발계수라고 하며 생산유발계수는 최종수요가 1단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 수준을 나타내므로, 이를 이용하여 최종수요 변동에 따라 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 총 산출액을 구할 수 있다.

2.2 에너지투입 산출모형(EIO)

에너지투입산출(EIO, Energy Input−Output)모형은 산업연관표를 에너지물량 흐름을 파악하기 위하여 확장한 모형으로, 에너지소비구조의 분석에 유용하게 쓰일 수 있다. EIO분석에서는 산업을 에너지산업과 비에너지산업으로 구분하여 에너지 투입은 물량단위로, 그리고 비에너지 투입은 금액단위로 나타낸다. 이런 의미에서 이 모형을 혼합단위모형이라고도 한다. 직접적인 에너지투입행렬과 총 에너지투입행렬은 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

표 2.2 에너지 투입산출표의 구조

직접에너지 투입행렬 : $A^* = Z^*(X^*)^{-1}$ (식 2)

총에너지 투입행렬 : $(I - A^*)^{-1}$ (식 3)

단, X*는 총산출량의 대각행렬(diagonal matrix)을 나타내는 것이다. X*행렬은 에너지(Fz)행렬부분과 비에너지(Fj)부문으로 이루어져 있으며, A*는 「레온티에프」 모형에서의 투입계수인 'A'와 같이 단위생산에 투입되는 에너지량과 비에너지 거래액을 나타낸다.

2.3 EIO모형을 이용한 전과정목록 구축 및 CO2 배출량 원단위 산출

산업연관표의 에너지원별 투입금액이 계산되면 산업연관표의 부문별 품목별 공급액표와 통계청 및 에너지통계연보 자료에 나타나 있는 단가를 적용하여 에너지원별 투입물량을 계산하게 된다. 투입물량 계산 후 에너지원별 발열량과 탄소배출계수 데이터를 적용하여 에너지원별 발열량 및 탄소배출량을 계산하고 에너지원별로 합계하여 총 에너지소비량 및 탄소배출량을 산출한다. 궤도도상별 궤도구성품의 자료는 산업연관표의 기본부문 항목 등을 고려하여 분석자재를 선정하여 표 2.3에 나타내었다. EIO모형에 의해 산출된 궤도구성품별 생산시 소비되는 에너지량 및 CO2 배출량 원단위를 산출하였다. 원단위 산출항목은 거래가격표에 나타낸 규격으로 분류하여 구성품 원단위를 산출하여 표 2.4에 나타내었다.

표 2.3 궤도도상 분석대상자재

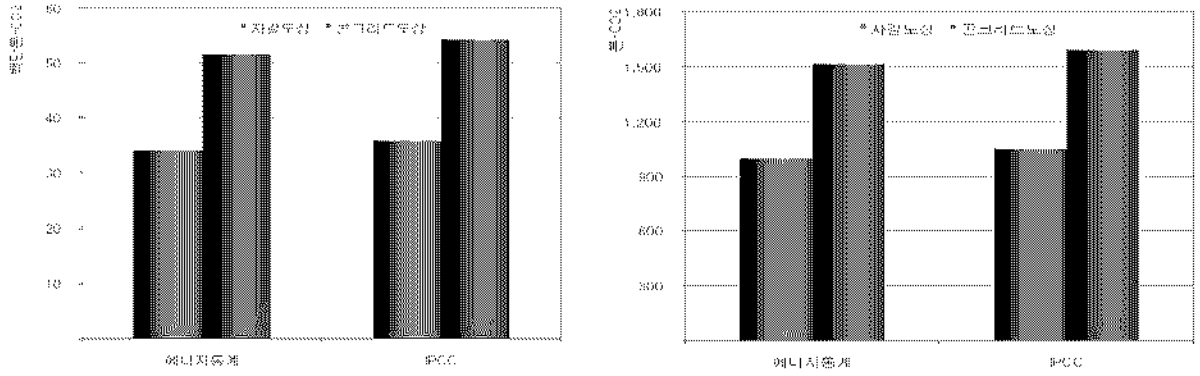
기본부문번호	기본부분품목	대상자재
39	모래 및 자갈	자갈
187	콘크리트제품	보통침목
		교량침목
		콘크리트PC침목
		PC침목
		고속철도PC침목(A형)
		고속철도PC침목(B형)
199	선재 및 궤조	레일

표 2.4 에너지소비량 및 CO_2 배출량 원단위

기본부문	대상자재	규격	단위	단가	에너지원단위 [kcal/단위]	CO_2 원단위 [kg-CO_2/단위]
39	자갈	철도자갈 Φ22×65	㎥	16,000	8,228.79	2.6898
187	보통침목	2500×240×150㎜	개	56,700	381,778.36	144.9782
	교량침목	3000×230×230㎜	개	104,280	702,148.99	266.6371
	콘크리트 PC침목	50,60kg용 (KNR일반,곡선)	개	55,000	370,331.75	140.6314
	PC침목	UIC 60kg용	개	70,000	471,331.31	178.9854
	고속철도 PC침목(A형)	UIC 60kg용	개	105,000	706,996.97	268.4781
	고속철도 PC침목(B형)	UIC 60kg용	개	110,000	740,663.49	281.2628
199	레일	57kg NL=10m	개	720,000	10,410,249.06	4,056.9421
		37kg NL=10m	개	526,000	7,605,265.29	2,963.8216
		KS 60kg N	TON	1,208,000	17,466,084.54	6,806.6473
		KS 50kg N	TON	1,011,000	14,617,724.72	5,696.6229

2.4 궤도구조별 IO 분석

궤도구조별 IO분석을 위해 고속철도의 궤도를 대상으로 하였다. 자갈도상궤도의 경우는 설계내역서를 분석한 후 CO2 원단위를 이용하여 자갈도상궤도와 콘크리트도상궤도 각각의 CO2 배출량을 비교 하였다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 콘크리트도상궤도의 CO2 배출량이 자갈도상궤도의 CO2 배출량보다 약 1.5배정도 높게 나타났다. 이러한 현상은 레미콘, 철근 등의 자재가 투입된 것에 기인하는 것이며, 보다 정확한 배출량을 산정하기 위해서는 CO2 원단위 산출과 도상부설 공정 시 발생하는 CO2 배출량을 산출하는 분석이 필요하다.



(a) (b)

그림 1. 궤도도상별 총 CO_2 배출량 (a: 34 km 기준, b: 1 km 기준)

3. 맺음말

산업연관분석의 특징은 광범위한 데이터 수집이 가능하고 산업단위의 평가에는 적합하지만 개별 제품의 평가는 어려운 부분도 많기 때문에 각종 데이터를 함께 사용하는 것은 좀더 많은 검토가 필요하하므로 LCA대해서는 산업연관분석과 적산법을 이용한 조합 평가방법을 사용한다. 산업연관분석법에서는 마이크로로 검토하고 환경부하가 큰 항목을 추출하고 그 항목에 대해서는 적산법을 통해 상세하게 평가하고 있다. 적산법에서 사용하는 원 단위도 일부는 산업연관 분석법에 의해서 산출된 수치를이용하고 있다. 산업연관 분석법의 철도산업에 대한 적용방안에 대한 프로세스를 알아 보고자, 산업연관 분석 기법을 통해 철도 궤도구성품에 대한 BIO모형을 이용한 전과정목록 구축, 에너지소비량 및 CO2 배출량 원단위를 산출하였다. 원단위 산출을 기반으로 궤도구조별 IO 분석을 통해 궤도도상별 CO2 배출량을 산출하였다. 산업연관분석을 통해 철도궤도시스템의 전과정을 평가하기 위해 시공단계에서의 공정 및 공법, 유지보수단계에서의 공정과 보수자재 등에 추가적인 연구검토가 필요하다.

참고문헌

1. 한국은행 2003년 산업연관표(2007)
2. 汁村 太郎, 地球環境問題とライフサイクルアセスメント, RTRI Report Vol. 16. No.10,2002
3. 한국철도기술연구원, 철도유지관리 효율화 연구, 2008