타교통수단과 철도의 환경 친화성 분석에 대한 연구
Analysis on the environment-friendliness of railroads and other transportation methods

조영민* 정우성** 이재영* 김희만***
Cho, Young Min Jung, Woo Sung Lee, Jae Young Kim, Hee Man

ABSTRACT

According to the increase of public interests in the environment problems caused by transportation methods, the environment-friendliness and economical efficiency are getting a very important factors in determining the availability and evaluation of each transportation method. Therefore, the studies for the quantification of environment-friendliness of each transportation methods are getting more active. In this study, in order to compare the environment-friendliness of railroads with that of other transportation methods, the environment-friendliness and economic efficiency were analyzed based on the quantified data of pollutants (e.g., CO, SO_2, NOx, fine particulate, etc.) emissions and energy consumptions. CO emission per unit traffic were calculated to be 167.4 kg/milion passenger-km for railroad and 1,532.2 kg/million passengers-km for road. The energy consumption per unit traffic was estimated to be 75.97 kcal/passneger-km for railroad and 415.43 kcal/passenger-km for road.

---

1. 서론

우리나라의 경우, 19세기 말 경인선 철도가 최초로 개통되면서 근대적 개념의 교통수단이 도입되었고, 이후 1970년대 경부고속도로가 개통되기 전까지 철도는 우리나라 교통의 중추적 역할을 수행하였다. 그러나 급격한 도로교통량의 증가는 교통혼잡, 교통사고, 환경오염 등의 여러 가지 심각한 문제를 유발하게 되었다. 이 문제를 해결하기 위해서는 각 교통수단의 환경 친화성 및 경제성 정도를 분석하고, 비교하는 과정이 반드시 필요하다.

최근 교통수단이 유발하는 환경문제에 대한 관심이 급격히 고조됨에 따라 각 교통수단의 환경 친화성 및 경제성이 그 교통수단의 이용도 및 평가에 있어서 매우 중요한 척도가 되고 있으며, 이에 따라 각 교통수단의 친환경 정도에 대한 비교 및 평가에 대한 연구가 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구결과들을 보면 철도가 다른 교통수단에 비하여 더 친환경적인 교통수단이라는 데에는 별다른 이견이 없다. 그러나, 철도가 얼마나 더 친환경적인가에 대하여 정량적으로 비교해 놓은 경우는 드물다. 따라서 연구에서는 철도와 타 교통수단의 환경성 비교를 위하여 오염물질별(CO, SO_2, NOx, 미세먼지 등) 배출량 및 에너지 소비량 등을 정량화하여 교통수단별 환경성을 분석하여 철도의 친환경성을 조사하였다.

---

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
*** 한국철도공사 팀장, 정회원

2. 교통수단별 일반현황

2.1 교통수단별 여객 및 화물 수송량 비교

철도의 수송량은 지속적으로 증가하고 있으며, 2004년 KTX의 개통으로 이러한 추세는 앞으로도 계속 될 것으로 보인다.(<표 1> 참조) 1997년에는 철도와 지하철의 수송량 (27억인)이 영업용 도로수송량 (109억명)의 약 25%에 불과하였으나, 2003년에는 약 30억명을 수송하여 영업용 도로수송량(94억명)의 약 32% 수준까지 상승하여 철도의 이용량이 점차 증가함을 보여준다.

<표 1> 국내여객수송량 총괄 비교 (단위 : 백만인)

연도	철도	지하철	도로		해운	항공	합계	합계 (비영업용 제외)
			영업용	비영업용				
1997	833	1,855	10,887	16,927	9.9	25.6	30,538	13,611
1998	829	1,839	10,784	16,766	8.3	19.5	30,246	13,480
2000	814	2,235	10,411	-	9.7	22.5	-	13,492
2002	983	2,012	9,784	-	9.5	21.2	-	12,810
2003	1,021	1,982	9,405	-	10.3	21.4	-	12,440

자료 : 건설교통부, 2004. 건설교통통계연보.

<표 2>는 교통수단별 국내여객수송량에서 이용승객의 이동거리까지 고려한 국내여객수송량인데, 철도의 인-km 수송량이 다소 감소하였는데, <표 1 >에서 철도승객의 수가 증가한 것을 고려해보면 단거리 이용승객의 수가 증가하고, 장거리 이용승객의 수는 오히려 감소하였다. 항공의 경우에도 1995년 이후 거의 정체되어 있는 것에 반하여, 철도를 이용하는 승객의 수가 급증하는 것을 볼 수 있었는데, 이는 도로의 상습적인 교통체증 등으로 소요시간이 길어짐에 따라 승객들이 항공보다는 요금이 더 저렴한 철도를 이용하는 비율이 높아지기 때문으로 보인다.

연도별 화물수송량은 총 화물수송량이 지속적으로 증가하는 것에 비하여 철도에 의한 화물수송량은 1999년까지는 지속적으로 감소하다가 최근에는 다소 증가하는 추세이다.

지금까지 알아본 바와 같이 여객의 경우에는 도로교통 수단, 특히 버스의 수송량이 감소하고, 철도의 이용률이 점차 증가하고 있음을 알 수 있었다. 반면에 화물의 경우에는 도로의 화물수송량이 지속적으로 증가하고, 철도의 분담율은 점차 감소하였다.

<표 2> 국내여객수송 총괄 비교 (단위 : 백만인-km)

연도	철도	지하철	도로		해운	항공	합계	합계 (비영업용제외)
			영업용	비영업용				
1997	30,073	13,737	68,737	79,511	571	9,052	201,681	122,170
1998	32,977	13,442	66,853	77,331	434	6,877	197,914	120,583
2000	27,787	21,030	74,572	-	672	8,039	-	132,100
2002	28,743	24,240	77,925	-	565	7,809	-	139,282
2003	28,379	16,686	77,349	-	620	7,938	-	130,972

자료 : 건설교통부, 2004. 건설교통통계연보.

.

<표 3> 연도별 화물수송량 추이 (단위 : ton)

구분 / 연도별	철도	공로	해운	항공	합계
1992	58,768,446	266,008,666	85,868,850	241,601	410,887,563
1995	57,469,339	408,368,372	127,558,112	322,720	595,272,320
2000	45,239,839	496,174,000	131,989,895	434,228	673,837,962
2003	47,109,970	565,456,252	145,326,809	422,565	758,315,596

자료 : 건설교통부, 2005. 건설교통통계연보

2.2 철도교통 일반현황

철도는 1980년대 이후 3,100km 전후의 총연장을 유지하고 있었으나, 2004년 고속선로 1단계인 서울~대구 구간 238.6km의 개통으로 <표 4>에 나타난 것과 같이 총연장이 3,478.9km로 연장되었다. 총연장은 지난 24년간 불과 약 11% 증가하여 연평균 증가율이 0.5%에도 채 미치지 못함으로써 철도의 양적 발전은 다소 부진하였으나, 철도의 실질적 선진화 척도라고 볼 수 있는 복선화율과 전철화율은 연평균 3.5% 및 12% 가량 증가하였다. 이와 같은 복선화율과 전철화율의 급격한 성장은 철도의 운영효율 및 수송능력 등의 내용 면에 있어서 크게 향상되었음을 의미한다.

<표 4> 국내의 철도연장, 복선화율, 전철화율 (단위: km)

연 도	철도연장	복선화 철도연장	전철화 철도연장
1980	3,134.6	719.6 (23.0%)	425.8 (13.6%)
1990	3,091.3	846.8 (27.4%)	522.2 (16.9%)
2000	3,123.0	938.6 (30.1%)	667.5 (21.4%)
2002	3,129.0	1,003.8 (32.1%)	667.5 (21.3%)
2004	3,374.1	1,287.4 (38.1%)	1,585.8 (45.0%)

자료: 한국철도공사, 한국철도시설공단. 2005.『철도통계연보』

차종별 차량의 수를 분석해보면(<표 5> 참조), 우선 디젤기관차의 수는 대체로는 큰 변화가 없었으나, 1990년 이래로 점차 감소하는 추세인데, 이는 철도구간의 전철화에 따라 디젤기관차의 역할을 전기기관차가 대신하게 되었기 때문이며 앞으로도 지속적으로 감소할 것으로 예상된다. 디젤동차의 경우에도 push-pull 형식의 새마을호가 도입됨에 따라서 2000년까지 크게 증가하였으나, 향후 철도구간의 전철화에 따라 그 수가 감소할 것으로 전망된다. 이와 같은 디젤차량의 감소는 기존의 디젤차량에서 발생하였던 대기오염물질 배출 문제, 소음 및 진동문제 등을 크게 완화시킴으로써 철도의 친환경성이 크게 제고될 것으로 예상된다. 반대로 전기차량의 수는 크게 증가하고 있는데, 특히 수도권 전철의 개통으로 1980년 대비 2003년에는 6.5배나 증가하였다. 이와 같이 철도에서 전동차의 비중이 점차 커지고 있는 것은 도시에서는 도로 교통이 포화상태에 이름에 따라 전동차의 역할이 증대되고 있음을 의미한다. 아울러 2004년 KTX의 개통에 따라 고속철도 동력차 및 객차의 도입이 크게 증가하였는데, 이들 차량 역시 전기로 운행되므로 기존 디젤차량에서 야기되었던 환경문제가 크게 줄게 되었다.

<표 5> 철도차량 보유추이 (단위 : 대)

연도	디젤 기관차	디젤 동차	전기 기관차	전기 동차	증기 기관차	객차	화차	난방차	통일호 전기동차	고속철도 동력차	고속철도 동력객차	고속철도 객차	총계
1980	425	130	90	286	30	1,901	16,702	163	10	0	0	0	19,737
1990	491	200	94	540	0	2,133	15,601	88	20	0	0	0	19,167
2000	467	615	95	1,674	1	1,675	13,224	0	10	0	0	0	17,761
2002	482	610	96	1,662	1	1,678	14,113	0	0	0	0	0	18,642
2004	462	602	124	1,824	1	1,510	14,286	0	0	92	92	736	18,901

자료: 한국철도공사, 한국철도시설공단. 2005.『철도통계연보』

3. 교통수단의 환경친화성 비교분석

3.1 에너지 소비율

교통수단의 환경경제성에 있어서 가장 중요한 지표 중의 하나가 에너지 소비율이다. 본 절에서는 교통수단별 에너지 소비율을 산출하기 위하여 에너지 사용량 등을 조사하여 단위수송량당 에너지 소비율을 비교하고자 하였다.

연도별 부문별 에너지 소비 추이를 보면(<표 6> 참조), 1980년도 대비, 1990년에는 두 배, 2000년에는 네 배로 증가하였다. 수송부문의 에너지 소비량도 증가하였는데, 1980년에는 13.0%에 불과하던 비율이 2004년에는 20.9%까지 크게 증가하여 수송부문이 가장 큰 에너지소비원으로 나타났다. 1990년부터 2002년까지 수송부문의 에너지 소비량이 2.5배 증가하는 동안, 철도의 에너지 소비량은 약 1.4배 증가하는데 그쳤으며, 전체 에너지 소비량 중의 비율도 2.8%에서 1.6%로 감소하여 수송 부문 중 철도부문의 에너지 소비량 비율이 상당히 감소한 것으로 나타났다. 도로의 경우도 79.1%에서 78.4%로 다소 감소하여 육상교통의 에너지 소비량 비율이 약간 낮아지는 것으로 나타났다. 반면에 해운과 항공의 에너지 소비량 비율이 증가하였고, 특히 해운의 증가율이 컸는데, 이는 선박의 대형화 및 국제간 화물수송량의 급격한 증가에 기인한 것으로 보인다.

<표 31> 수송 부문에서의 에너지 소비량 (단위 : 천TOE)

연도	합계	철도		도로		해운		항공	
		에너지	비율	에너지	비율	에너지	비율	에너지	비율
1990	14,173	391	2.8	11,205	79.1	1,669	11.8	908	6.4
1995	27,148	463	1.7	21,218	78.2	3,618	13.3	1,849	6.8
2000	30,945	512	1.7	23,554	76.1	4,705	15.2	2,174	7.0
2001	31,909	535	1.7	24,841	77.8	4,317	13.5	2,216	6.9
2002	33,763	536	1.6	26,484	78.4	4,434	13.1	2,309	6.8

자료 : 산업자원부. 2004. 『에너지통계연보』

육상과 철도의 에너지 사용량을 비교하였을 때에는 육상이 철도의 10배 이상 많은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 전력에너지의 경우에는 수송부문에서 차지하는 비율이 점차 증가하였는데, 전력 사용량의 80% 이상을 철도가 사용하였다. 이는 철도의 전동차 및 전기기관차와 철도역사에서 사용한 것인데, 전기는 석탄, 석유 및 가스류에 비하여 오염물질 배출이 적고, 소음 문제 및 기타 유해오염물질 문제가 발생하지 않는 친환경적인 에너지원이므로 철도의 친환경성이 다른 교통수단에 비하여 큰 중요한 이유 중의 하나이다. 2004년 KTX의 개통으로 경부고속선 및 기존 경부선의 전기차 비율이 급격히 증가하면서, 2004년에는 2003년에 비하여 전력 사용량이 거의 1.5배 수준으로 급증하였다. 앞으로도 KTX의 이용

승객 증가에 따라 전력 사용량은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 전기는 석유 등에 비하여 대기오염물질 배출이 적은 친환경적인 에너지원이므로 철도의 에너지원이 석유에서 전기로 바뀜에 따라 철도의 친환경성이 크게 증대되고 있다.

<표 7>은 수송수단별 에너지 효율성을 비교한 것이다. 여객의 경우 철도의 단위수송량 당 에너지 소모량에 비하여 버스는 5.5배, 택시는 15.7배나 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 화물의 경우에도 철도에 비하여 도로는 무려 15.8배의 에너지를 사용하는 것으로 나타나, 철도가 에너지 효율성 면에서 도로 교통수단보다 월등히 앞서는 친환경적이면서 경제적인 교통수단임을 알 수 있다.

<표 7> 수송수단별 에너지 효율성 비교 (1999년 기준)

구분	교통수단	단위수송량 당 에너지소모 (kcal/인(톤)·km)	철도대비 소모량
여객	철도	75.97	1.0
	버스	415.43	5.5
	택시	1,192.24	15.7
화물	철도	105.98	1.0
	도로	1,674.21	15.8

자료 : 산업자원부. 2001. 에너지통계연보

3.2 대기오염물질 배출량

철도는 다른 교통수단에 비하여 단위 수송량당 에너지 소비량이 적기 때문에 대기오염물질도 적게 배출하는 것으로 알려져 있다. 본 절에서는 철도 및 교통수단별 단위수송량당 대기오염물질 배출량을 알아보고, 이를 통하여 철도의 타 교통수단대비 친환경성을 비교해 보고자 한다.

철도와 도로의 대기오염물질 총배출량을 보면(<표 8> 참조), 승용차에서 발생하는 CO가 전체 도로교통 수단에서 발생하는 CO의 2/3을 차지하고, 철도에서 배출되는 CO의 양은 도로에서 배출되는 CO의 1/10에도 못 미친다. 탄화수소의 경우에도 승용차에서 배출되는 양이 도로교통 발생량의 2/3을 차지하지만, 철도에서 발생되는 탄화수소의 양은 도로에서 발생되는 양의 1/4에 불과하다. NOx의 경우는 대형버스와 대형트럭에서 발생하는 NOx의 양은 전체 도로교통수단에서 배출되는 양의 50%를 차지한다. 미세먼지의 경우, 철도에서 발생되는 미세먼지는 도로에서 발생되는 미세먼지의 1/40 수준에 불과하다. SO_2의 경우, 철도에서 배출된 양은 도로에서 배출된 양의 1/14에 불과하다. 합계를 보면 도로 교통수단에서 배출된 오염물질의 총 합은 철도에서 발생된 양의 5배에 달한다. 단위수송당 CO와 탄화수소의 배출량은 도로가 철도의 9배와 3배 정도 많았다. 미세먼지도 도로가 철도보다 약간 더 많았으나, NOx와 SO_2는 오히려 철도가 오히려 약간 더 높게 나타났다. 그러나, 화물의 단위수송량당 대기오염물질 배출량은 모두 도로가 철도보다 2.5배에서 9배까지 컸는데, 이는 화물수송에 있어서 철도가 도로보다 환경친화적임을 나타낸다.

<표 8> 수송수단별 여객 및 화물의 대기오염물질 배출량 (단위:kg/백만인(톤)·km)

구분		CO	HC	NOx	PM	SO_2
여객	철도	167.4	68.0	411.1	27.1	10.8
	도로	1,531.2	216.5	388.1	32.9	6.6
화물	철도	397.4	124.3	750.5	48.5	19.1
	도로	2,461.7	295.7	2,215.7	431.5	45.6

자료 : 한국환경정책·평가연구원. 2002. 『육상교통수단의 환경성 비교분석』

<표 9>는 2003년의 교통수단별 대기오염물질 발생량을 나타낸 표이다. SOx를 제외한 모든 오염물질의 주배출원은 공로로서 전체 교통수단에서 배출된 오염물질 중 CO는 97.7%, NOx는 88.9%, VOC는 96%, PM은 36.24%를 차지하는 것으로 나타났다. 해운의 경우는 SOx 배출량이 전체 SOx 배출량의 82.9%를 차지할 정도로 많아 공로보다도 5배 이상 배출량이 컸다. 반면에 철도는 PM의 경우에만 3.2% 정도로 비교적 높았을 뿐, CO, NOx, VOC, SOx 모두 3% 미만으로 나타나 오염물질 배출량이 적은 것으로 나타났다.

<표 9> 교통수단별 대기오염물질 배출량 (단위 : 백만톤/년)

오염물질	철도	공로	해운	항공	합계
CO	7.87 (1.1%)	717.52 (97.7%)	5.67 (0.8%)	3.42 (0.5%)	734.5 (100%)
NOx	19.27 (2.8%)	605.22 (88.9%)	51.06 (7.5%)	5.08 (0.7%)	680.6 (100%)
VOC	3.17 (2.2%)	136.09 (96.0%)	2.23 (1.6%)	0.28 (0.2%)	141.8 (100%)
SOx	0.5 (0.9%)	8.31 (15.8%)	43.67 (82.9%)	0.19 (0.4%)	52.7 (100%)
PM	1.26 (3.2%)	36.24 (92.0%)	1.9 (4.8%)	0 (0%)	39.4 (100%)

자료 : 환경부, 2004.

제4장 결 론

1. 철도, 도로, 항공, 해운 등 교통수단별 현황을 조사한 결과, 현재까지의 교통정책이 도로교통 우선 위주였기 때문에 철도는 뛰어난 환경성 및 경제성을 가지고 있음에도 불구하고 수송분담율이 비교적 저조한 편이었다. 그러나, 향후 정부의 사회기반시설 구축에 있어서 국가 기간 철도망 확대와 대도시 지하철 및 경량전철 건설을 통한 도심철도망과 간선철도망의 연결 등을 통하여 철도의 이용이 훨씬 용이해질 것으로 보이며 이에 따라 철도의 이용율도 크게 상승할 것으로 예상된다.

2. 교통수단별 일반현황은 다음과 같다.
 1) 철도교통은 여객수송량이 다소 증가하고 있는 추세였는데, 2004년 KTX의 개통으로 인하여 여객수송량이 급증하였으나, 화물수송은 약간 감소하는 추세이다.
 2) 도로교통은 공로의 경우 이용량이 크게 감소하고 있으나, 자가용의 경우에는 승용차의 급증에 의하여 도로의 분담률이 증가하고 있다. 그러나, 도로망의 확충이 자동차의 증가량을 따르지 못하는 것과 자동차가 도시에 밀집됨에 따른 교통체증에 따라 자가용 차량의 1일 평균 주행거리가 짧아지는 등 수송량이 크게 증가하지는 않고 있다.

3. 각 교통수단별 환경경제성을 조사한 결과는 다음과 같았다.
 1) 단위수송량당 에너지 소비율은 여객의 경우 철도가 75.97kcal/인·km에 불과한 반면에 버스는 415.43, 택시는 1,192.24kcal/인·km에 달하여 각각 철도의 5.5배 및 15.7배나 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 화물의 경우에도 철도는 105.98kcal/톤·km에 불과한 반면에 도로는 1,674.21kcal/톤·km에 달하여 철도의 무려 15.8배의 에너지를 사용하는 것으로 나타나, 철도가 에너지 효율성 면에서 도로 교통수단보다 월등히 앞서는 친환경적이면서 경제적인 교통수단임을 알 수 있다.
 2) 도로와 철도의 단위수송량 당 CO의 배출량은 도로가 1,531.2kg/백만인·km로 철도의 167.4kg/백만

인·km에 비하여 9배나 되었다. 그러나, 탄화수소의 경우는 도로가 216.5kg/백만인·km으로 철도의 68.0kg/백만인·km의 3배를 넘는다. 미세먼지의 경우는 도로가 철도보다 약간 더 많은 수준이었으나, NOx와 SO_2는 오히려 철도가 오히려 약간 더 높게 나타났다.