

교통 환경의 문제와 정비 방향

(도시 내 교통을 중심으로)



徐 士 範

고속철도 중앙개도사무소장 / 철도기술사

1. 머리말

아시아 지역을 비롯한 세계의 신흥 대도시에서 급격한 경제 성장에 따른 도시로의 인구 집중이나 자동차의 증가에 따라 대기 오염이나 교통 체증·교통 사고 등의 교통 환경 문제가 나타나고 있으며, 인간의 생활 환경까지 파괴되어 가고 있다.

이 글에서는 자동차 교통의 생활 환경 면에서의 문제점을 중심으로 하여 지적함과 동시에 외국 등에서의 대책 사례 등을 소개하여 앞으로의 도시 교통에 대한 본 연의 모습을 고려하기 위한 자료를 제공한다[1, 2].

2. 자동차 산업의 급격한 발전에 의한 생활 환경의 파괴

우리 나라는 1960년대 말 급격히 발달한 도로에 비하여 철도는 상대적으로 그 정성성을 면하지 못하고 있다. 하지만, 최근에

자동차 대수는 1,000만 대를 넘어섰고, 도로의 정체 현상은 날로 심각해지면서 엄청난 물류비의 증가로 국가 경쟁력을 약화시키는 하나의 요인으로 작용하고 있다.

도로 정체에 따른 혼잡 비용은 1991년에 4.6조 원으로 국내 총생산(GDP, Gross Domestic Product)의 2.2 % 수준이었으나, 1996년에는 GDP의 3.6 %에 해당되는 14조 원으로 급증하였다. 이에 따른 경제적 손실이 막대하여 교통 혼잡은 물류비의 증가로 경제 사회 발전에 엄청난 지장을 초래하고 있다. 생산 제품의 경쟁력을 좌우하는 물류비는 1988년에 GDP의 13.7 %인 18.2조 원에서 1996년에 GDP의 16.3 %인 63.7조 원으로 연평균 17.5 %의 높은 증가율을 보이고 있다. 우리 나라의 물류비는 GDP 대비 점유율 기준으로 미국의 1.6배(미국은 GDP의 10.5 %)나 높아 수출품의 경쟁력을 저하시키고 있다[3].

방콕의 정지하고 있는 듯한 교통 체증이나 타이베이나 마닐라, 자카르타의 심한 대기 오염, 인구 13억 인의 중국 대도시에서의

자동차 대수의 급증만을 보아도 아시아의 대도시에서는 자동차에 의한 여러 가지 피해가 증대·현저하게 되어 인간의 생활 환경까지 파괴되어가고 있는 것을 느낄 수 있다.

아시아 지역에서 있어서는 급격한 "경제 발전"에 수반하여 도시로의 인구 집중이 일어나고, 그에 따라 경제 활동을 떠받치는 자동차의 증가에 의하여 대기 오염이나 교통 체증·교통 사고·소음·진동 등의 "교통 환경 문제"가 심각하게 되어 오고 있다. 이것에 대하여 철케도계(鐵軌道系) 도시 교통 시스템의 도입이나 자동차 대수의 제한 등으로 그것의 경감/해결을 도모하게 되었지만, 정비 자금 조달의 어려움이나 계획·조정 지연 등의 원인으로 쉽게 진전되지 않는 것이 현상이다.

대증요법(對症療法)적으로 자동차의 사용 제한이라든가 배기 가스의 총량 규제가 말하여지고 있기는 하나, 발본적인 대책이 취하여지고 있지 않은 현재에는 "채산성"이라고 하는 단순한 표면적인 경제 효과만이 아니고, 널리 인간의 생활 환경에 주는 악영향("외부 불경제/사회적 비용")도 포함하는 형태로 교통 기관을 평가·선택하는 시대로 되고 있다[2].

최근, 외국의 사례를 보면 로스앤젤레스

Basin ~ 샌프란시스코 Bay간 677 km의 철도 건설 시 교통 수단간 경제성을 비교한 것을 보면 소음 등 외부 비용은 철도가 \$1.4/통행임에 비하여 도로는 21.8/통행으로 1/16의 수준이며, 운영비 등 내부 비용의 경우에도 철도는 \$40.7/통행으로 도로 \$58.2/통행보다 경제적인 것으로 나타났다[4].

3. 인체에 해를 주는 심각한 대기 오염

새로운 한 세기를 맞이하여 20세기 문명의 발전을 주도한 기술에 주어진 새로운 지표는 "지속 가능한 개발"이라는 개념이다. 또한, 1992년 리우데자네이루에서 개최된 "UN 지구 정상 회의"에서 범지구적 차원의 지구 온난화라는 문제가 CO₂ 등을 비롯한 온실 가스의 배출에서 비롯된다고 인식되면서 교통 분야는 주요한 온실 가스 배출원으로서 공격의 대상이 되었다[5].

최근의 자동차 격증이 배기 가스에 의한 대기 오염 등의 공해(environmental pollution)를 초래하고 있는 것에 대하여 철도의 전기 운전은 환경 대책을 위하여도 좋다.

표 1 교통 기관별 배출 가스(좌석 · km당)의 예

공해 교통기관	CO (mg)	NOx (mg)	SO (mg)	CH (mg)	CO ₂ (g)
고속 철도	3.2	13	11.2	0.3	18
자가용 차	510	131	11.5	41.8	71
항공기	225	449	44	17	139

※ 독일 과학기술성 자료

표 2 수송 수단별 공기 오염도의 예

주요공해		SO ₂	NO _x	Vom	CO	CO ₂
총 배출량(100만 톤)		1.3	1.6	2.4	10.7	373.0
수송부분 비율(%)		11.9	68.7	49.4	63.8	27.1
도로	계(%)	11.2	65.5	48.7	63.5	26.1
	수송부분(%)	93.7	95.3	98.5	99.4	96.2
공기	계(%)	0.1	0.5	0.6	0.3	0.3
	수송부분(%)	0.6	0.8	1.1	0.4	1.0
강, 바다	계(%)	0.5	2.0	0.1	0.1	0.5
	수송부분(%)	4.4	2.9	0.1	0.1	1.8
철도	계(%)	0.1	0.7	0.1	0.1	0.3
	수송부분(%)	1.2	1.0	0.2	0.1	1.0

※ 국제기술센터의 공해 연구 자료(1990~1994.6)

SO₂ : 유독성 유황, NO_x : 산화 질소, Vom : 휘발성 유기 화합물,

CO : 일산화탄소, CO₂ : 유독성 탄산가스

표 1은 독일의 과학기술성이 제출한 자료로 좌석·km당의 각 교통 기관의 배출 가스의 비교이다. 이들을 보아도 자가용차나 항공기가 얼마나 대량의 일산화탄소(CO)나 질소산화물(NO_x)·이산화탄소(CO₂)를 내고 있는가를 잘 알 수 있다[2].

지금까지 자동차의 배기 가스에 의하여 발생하는 광화학(光化學) 스모그(smog)가 지적되어 왔지만 최근의 조사에서는 대형 트럭 등 디젤차에서 토출되어 대기 중을 떠돌고 있는 배기 미립자는 천식(喘息)을 유발하기도 하고 발암성이 있을 의심이 강하다고 하는 보고도 있다.

표 2에는 수송 수단별 공기 오염도를 나타내며, 이것은 국제기술센터의 공해 연구

자료(1990~1994.6)이다.

한편, 동일 수송량을 기준으로 고속 철도를 1로 할 때에 여객 자동차는 8.3배, 화물 자동차는 30배, 해운은 3.3배에 가까운 대기 오염을 초래한다는 예도 있다[1].

각 수송 수단의 환경 친화성을 살펴보기 위하여 여객의 주요 운송 수단인 철도, 항공, 해운, 도로에 대한 배출량(g/인·km)을 살펴보면 CO(일산화탄소)의 수송 인원·운송 거리당 배출량은 해운이 27.42 g/인·km로서 가장 높게 나타났으며, 다음이 도로, 항공, 철도의 순으로 철도는 0.27 g/인·km로 다른 수송 수단과 비교할 때 가장 적은 양의 CO를 배출하고 있는 것으로 나타내고 있다(표 3)[4, 6].

표 3 수송 수단별 여객 운송에 따른 오염 물질 배출량

오염물질		배출량(g/인·km)		
		항공	해운	도로
일산화탄소(CO)	0.2661	1.2066	27.4223	14.5188
질소산화물(NO _x)	0.6731	5.3089	65.8135	6.4772
탄화수소(HC)	0.1051	0.4826	14.6252	1.7840
아황산가스(SO _x)	0.0926	-	7.3126	3.1151

* 자료 : 1) 한국철도기술연구원, 디젤기관의 배기 가스 대기 오염 현황 및 저감 방안에 관한 연구, 1997
 2) 주간 서울건설

표 4 수송 수단별 화물 수송에 따른 오염 물질 배출량

오염물질	배출량(g/톤·km)			
	철도	항공	해운	도로
일산화탄소(CO)	0.6079	74.6269	0.3229	55.3521
질소산화물(NO _x)	1.5378	328,3582	0.7750	24.6939
탄화수소(HC)	0.2402	29.8507	0.1722	6.8013
아황산가스(SO _x)	0.2116	-	0.0861	11,8761

* 자료 : 주간 서울건설

표 5 교통 수단의 대기 오염 강도(질소산화물)의 예[6]

구 분	여객(g/인·km)			화물(g/톤·km)		
	철도	영업 자동차	자가용	철도	영업 자동차	자가용
질소산화물 발생량	0.0008×10^{-1}	2.74×10^{-1}	1.56×10^{-1}	0.0014×10^{-1}	2.80×10^{-1}	25.1×10^{-1}
철도 대비	100	342,500	195,000	100	200,000	1,792,900

* 자료 : 鐵道は地球を教う, 일본경제평론사, 1990, 11

NO_x(질소 화합물), HC(탄화수소), SO_x(아황산 가스) 역시 철도가 수송 수단 중에서 가장 낮은 배출량을 나타내고 있다.

화물의 경우도 CO의 화물 운송량·거리당 배출량은 항공이 74.63 g/톤·km로서 가장 높게 나타났으며, 다음이 도로, 철도, 해운의 순으로 철도와 해운이 항공과 도로보다 현저히 적은 양의 CO를 배출하고 있다(표4)[4].

일반적으로 환경 친화적이냐의 여부는 일산화탄소의 배출원에 따라 판단하는데, 철도의 에너지 효율을 비교하기 위한 "환경과 운수"의 조사 보고서(일본 운수경제 연구센터, 1997)에 따르면, 교통 부문에 있어 일산화탄소의 배출원 단위로 비교하여 철도가 우위에 있음을 강조하고 있다.

여객 수송의 경우에 1인을 1 km를 이동시킬 때 일산화탄소의 배출은 자가용

승용차 45 g-C/인·km, 버스 19 g-C/인·km, 해운 24 g-C/인·km, 항공 30 g-C/인·km, 철도 5 g-C/인·km, 지하철 3 g-C/인·km로 나타났으며, 화물 수송의 경우도 마찬가지로 화물 톤을 1 km 운반할 때의 일산화탄소 발생량을 보면 자가용 소형 트럭 48 g-C/인·km, 항공 402 g-C/인·km, 해운 13 g-C/인·km, 철도 6 g-C/인·km으로 철도 수송이 환경 친화적임을 알 수 있다[4, 6].

철도 서비스는 보다 빠르고 편리하면서 저렴한 교통 수단을 구축하기 위하여 에너지와 자원을 이용하여 높은 이익을 실현하는 유기적인 순환 과정을 반복한다. 이 과정을 동맥과 정맥의 순환 과정으로 분류할 수 있으며, 동맥 과정 중에는 부수적으로 상기와 같은 CO₂, NO_x, SO_x, 쓰레기 등과 같은 다양한 오염 물질이 발생

한다. 환경 친화적인 철도 시스템을 구축하기 위해서는 이러한 오염 물질의 발생량을 감소시키는 한편, 오염된 환경을 복원시키기 위한 정맥 과정을 복원시켜야 한다. 정맥 과정은 ① 오염 물질의 분석, ② 오염 물질의 환경 영향 평가, ③ 오염 물질의 제거, ④ 환경 보전과 조화, ⑤ 환경 개선의 다섯 단계로 구성되며, 이것은 ① 화학 오염 물질의 분석과 제거, ② 수명주기 평가, ③ 재활용, ④ 환경 친화적인 재료, ⑤ 에너지 절약, ⑥ 소음 및 진동 대

책, ⑦ 환경 관리 시스템 등 7가지 구체적인 기술 분야와 밀접한 관계가 있다[5].

4. 교통 사고에 의한 인명 피해

자동차 사고가 빈번하게 발생하고 있는 것은 분명히 현행의 자동차나 도로 구조라고 하는 교통 시스템으로서 안전성이 낮기(또는 결함이 있기) 때문일 것이다.

표 6 교통 시스템으로서 철도와 자동차 안전성의 비교

항목	철도	자동차
기본 시설	전용 궤도와 차량	일반 도로와 차량
진로 제어(자유도)	1 방향(선로에 고정된 전용 궤도)	2차원
운전·조작	직업 기관사뿐(규칙에 충실)	아마추어가 태반(규칙 위반)
루트에 대한 지식	충분한 훈련	훈련 없음
차량 간격의 제어	신호나 자동 열차 정지 장치 등	운전자에게 위임
차량 무리의 관리	폐쇄 방식	교통 신호뿐(운전자에게 위임)
속도	엄격한 규제	운전자에게 위임
제3자에의 안전	출입 방지 울타리가 있어 원칙적으로 선로에 들어가지 않음	파괴되기 쉬운 가드 레일만으로 도로에 자유로 들어감
교통 시스템	종합 시스템을 구성(폐쇄·신호·자동 열차 정지 장치 등)	교통 신호뿐(운전자에 위임)



자동차는 교통 시스템으로 본 경우에 안전면에서 불완전한 교통 기관이기 때문에 사고 사망률이 철도보다 상당히 높게 된다.

교통 시스템으로서 철도와 자동차의 안전성을 비교한 것을 표 6에 나타낸다. 여기에 나타낸 안전성(도)의 차이에서 사고에 의한 사망률이 일본의 경우에는 자동차의 쪽이 250배 높게 된다(표 7). 극단적으로 말하여 “철도가 fail = safe(실패하여도

안전)인 것에 대하여 자동차는 fail = out(실패하면 사고)인 교통 시스템”이다 [2].

본래부터 자동차의 이용자가 지불하여야 하는 사회적 비용을 “교통 약자”인 보행자나 자전거 이용자가 “죽음”이라고 하는

형으로 지불하고 있는 것이다. 요컨대, "현재의 자동차 사회는 많은 희생 위에 성립되어 있는 것"이다.

한편, 표 8의 통계 예에서 철도의 사망자는 건널목 사고(level crossing accident)가 대부분이며 철도 이용자의 안전성은

자동차나 비행기에 비하여 월등하게 우수하다. 자동차의 격증에 의하여 매년 많은 사람이 교통 사고(traffic accident)로 사망하고 있으나, 최근의 철도사고(railway accident)에 의한 승객의 사망은 매우 적다 [1].

표 7 교통 기관별 사상률의 예

구분		수송량 (A) (억 인 km)	사망자수 (B) (인)	부상자수 (C) (인)	사망률 (B/A) (억 인 km당)	부상률 (C/A) (억 인 km당)	
교통 기관							
철도(신칸센 제외)		1조 6555	88	176	0.005	0.011	
자동차	버스	4245	348	2만 5352	0.082	5.972	
	승용차	영업용	950	1773	12만 9568	1.866	136.387
		자가용	2조 3338	2만 7300	199만 9325	1.170	85.668

* 일본 전국 6년간의 합계로 철도는 1982~1987년, 자동차는 1983~1988년의 자료임

표 8 교통 기관별 안전도의 비교 예

구분	교통 기관	철도	자동차	항공
수송 인원		129.0×10^6	248.9×10^6	360×10^6
수송 인km		$2,262 \times 10^9$	$3,974 \times 10^9$	288×10^9
사고에 의한 사망자 수		2,619	65,160	144
100만(10^6) 인당 사망자 수		0.02	0.26	0.40
10억(10^8) 인km당 사망자 수		1.16	17.17	0.50

* 1987~1992년의 일본 자료로 철도의 사망자는 건널목 사고가 대부분임.

표 9 여객수송 수단별 안전성의 예

구분	도로	항공	열차
연간 승객 사망자수	9,321	11	11 (TGV=0)
여객 10억 인km당 사망자율	17	0.27	0.18(TGV=0)

* 프랑스에서의 1978~1992년간의 1년 평균치

표 9에 나타난 것은 프랑스에서의 여객수송 수단별 안전성이다[1].

1997년을 기준으로 볼 때에 우리 나라

철도의 여객과 화물 수송 실적은 철도가 도로의 1/2 수준인데 비해 사망자수는 3/100, 부상자수는 2/10,000 수준에 불과하다.

표 10 교통 수단별 사고 발생량(한국)

구분	수송량 [백만 인·톤·km]	사상자수(사망자수) [인]	수송량당 사상자수(사망자수) [인/백만 인·톤·km]
자동차	90,956	343,159(11,603)	3,373(0.128)
철도	42,783	664(337)	0.016(0.008)

* 자료 : 건설교통부, 교통안전 연차보고서, 1998.

또한, 수송량당 사상자수의 비교에 있어서는 자동차가 철도에 비해 170배 높게 나타났다(표 10)[6].

도로 교통 사고로 인한 사망자수는 1996년에 12,653명으로 이로 인한 사회·경제적 비용은 10조 7천억 원의 비용이 발생된 것으로 추정되고 있으며, 이와 같은 손실 규모는 1997년 우리 나라 전체 예산 72조 원의 14%에 해당되는 막대한 비용이다[4].

국내의 지난 10년간 운행 거리에 따른

사고 건수를 보면 자동차(영업용 차량으로서 화물 차량 제외)는 약 3.2건/백만 인-km이었으나 철도 사고는 0.05건/백만 인-km로 자동차에 비하여 약 1.6%에 지나지 않고 있다(표 11). 국내의 열차 사고가 1980년대부터 급격하게 감소되었으나 95년 기준으로 0.15건/백만-km로 독일의 0.05건/백만-km(1988년), 일본의 0.002건/백만-km(1990년)에 비하면 아직도 매우 높은 편이다[7].

표 11 교통 수단별 사고 건수(한국, 독일)

단위: 건/백만 인·km

구분	도로	철도	항공
한국(1989~1998평균)	3.2	0.05	0.0004
독일(1985)	0.8	0.033	0.0002

* 자료 : 한국철도기술연구원

표 12 교통 수단별 사고 건수의 예

구분	여객(건/인·km)			화물(건/톤·km)		
	철도	영업 자동차	자가용	철도	영업 자동차	자가용
사고 건수	0.004×10^6	0.30×10^6	0.63×10^6	0.007×10^6	0.21×10^6	3.59×10^6
철도 대비	100	7,500	15,750	100	3,000	51,285

* 자료 : 鐵道は地球を教う, 일본경제평론사, 1990. 11

일본의 예로서, 교통 수단별 단위 수송량당 사고 건수를 철도를 100으로 하여 비교할 경우에 영업 자동차는 여객·화물 수송에 있어 각각 7,500건·15,750건이며, 자

동차는 3,000건·51,285건으로서 철도 수송 수단의 안전성이 상당히 높음을 알 수 있다(표 12)[6].

한편, 표 13에는 1978년부터 1996년까지

표 13 각국 주요 철도의 승객 사망 위험률 비교

1987~1996년	천억 인·km당 승객 사망자수	승객 사망자수 비율(JR 동일본 = 1)
JR 동일본	0.7	1
서구	125	160
영국	100	130
미국	450	590
한국	258	340
일본 자동차 교통(1994년)	1,500	2,000

* 자료 : JREA

각국의 주요한 철도에 있어서 승객의 사망 위험률(천억 인·km당의 승객 사망수)의 비교를 나타낸다. 승객의 사망이라고 하는 차원에 있어서는 JR 동일본은 천억 인·km당 0.7인므로 표에서 가장 높은 수준이다. 이것은 우리 나라나 구미의 철도에 비하여 2 자리 이상 높은 안정성이며, 또한 1994년의 일본의 도로 교통에 비하여도 약 2,000 배의 안정성으로서, 앞으로는 경험 축에서 탈피한 새로운 안전 책략이 요구되는 단계에 들어갔다고 할 수 있다[8].

5. 에너지의 낭비와 시간의 손실

“이 자동차는 연비(燃比)가 좋다”고 말을 하지만 단지 자동차끼리 만의 비교이며, 교통 전체에서 본 에너지 소비의 면에서는 생각할 문제이다. 그것도 중량 1톤까지도 있는 1대의 자동차에 타고 있는 것은 1인이나 2인뿐이다. 아주 비효율·낭비이며, 더욱이 보행자를 갖길로 밀어내기도 하고 좁은 도로 공간을 소수의 인간이 전유하고 있다.

표 14 교통 기관별 에너지 소비량의 예

교통기관	구분	에너지 소비량(kcal/인·km)
철	JR 그룹	93
	사철(關東·中京·京浜)	78
	지하철(東京)	77
모노레일	東京 모노레일	119
버스	공공 버스 등	154
자동차	택시 등	600
항공기	일본 국내선	456

* 1989년 일본의 자료

표 14에서는 인·km당 에너지 소비량의 비교를 나타낸다. 이것을 보아도 철케도계(鐵軌道系) 교통 기관이 자동차·항공기와 비교하여 에너지 소비가 훨씬 적은 교통 기관인 점이 일목요연하다[2].

또한, 교통 체증은 에너지 소비뿐만이 아니고 시간도 잃는 것으로 되며 이것을 화폐로 환산하면 막대한 금액으로 될 것이다. 예를 들어, 교통 체증에 따른 사람과 화물의 지연에 의한 미국 전체의 손실액은

년간 수 십억 달러(수조 원)에도 미친다고 한다.

철도는 강(鋼)레일 위를 강의 차륜을 가진 차량이 주행하기 때문에 주행 저항(running resistance)이 대단히 작게 된다. 철도 차량(rolling stock)의 주행 저항은 평탄선(flat line)의 속도 20 km/h에 대하여 1~2 kgf/t으로서 고무 타이어 자동차

의 10 kgf/t(포장 도로), 80 kgf/t(보통 도로)에 비하여 상당히 적다. 영국의 마차 철도에서 말의 수송 능력이 도로에서의 말의 수송에 비하여 약 10배로 되어 있던 것도 주행 저항의 차이 때문이었다. 이와 같이 주행 저항이 적기 때문에 실제 주행 동력의 출력도 표 15의 일본 예에 나타낸 것처럼 비교가 안되게 적다[1].

표 15 각종 교통 기관의 동력 마력 비교의 예

기관별	운전중량(t)	외계중량(가)(t)	동력마력(B)(PS)	운행속도(km/h)	B/A(PS/t)
철도	1,200	800	1,600	70	2
트럭	20	10	300	70	30
제트기	100	10	100,000	900	10,000
선박	15,000	10,000	10,000	25	1

* 일본 자료

최근의 일본 통계 실적의 예에서도 수송 인km 또는 톤km당의 에너지 소비가 철도의 1에 대하여 버스가 1.4, 승용차가 7.1, 트럭이 5.3으로 철도의 생에너지성의 우위는 현저하다. 그 때문에 석유 등의 에너지를 산출하지 않는(또는 적은) 나라에서는 에너지의 유효 이용을 위하여 철도의 정비를 중점적으로 추진하고 있다(예 : 스위스, 뉴질랜드).

또한, 교통 수단별 에너지(석유) 소비량을 비교하여 보면, 여객 1,000명을 1 km 수송할 때 석유 소비량이 고속 철도 9.2

ℓ, 고속 버스 12.5 ℓ, 승용차 50.0 ℓ, 항공기 64.6 ℓ라는 예도 있으며, 고속 철도보다 고속 버스는 1.36배, 승용차는 5.43배, 항공기는 7.02배의 에너지를 소비하므로 고속 철도가 가장 경제적인 수송 수단임을 알 수 있다[2].

일본의 경우 여객 수송에 있어 철도의 단위당 에너지 소비량은 영업용 버스의 56.8%, 자가용 승용차의 17%에 불과하며, 화물 수송에 있어서 단위당 에너지 소비량도 영업용 트럭의 16.6%, 자가용 트럭의 5.1% 정도에 지나지 않는다(표 16)[6].

표 16 수송 수단별 에너지 소비량 비교의 예

구분	철도	영업용 버스(여객) 영업용 트럭(화물)	자가용 승용차(여객) 자가용 트럭(화물)	해운(화물)
여객	100	176	587	-
화물	100	603	1,943	105

주 : 1) 철도를 100으로 비교한 수치임
 2) 여객은 1인을 1 km, 화물은 1 톤을 1 km 운반 시 소요되는 에너지
 ※ 자료 : 일본 운수성, 운수관계 에너지 요람

표 17 교통 수단별 에너지 소비 효율 비교의 예

구 분	여객(kcal/인·km)			화물(kcal/톤·km)		
	철도	영업 자동차	자가용	철도	영업 자동차	자가용
에너지 소모량	89.45	224.52	488.40	118	624	2,153
에너지 효율(철도 대비)	100	251	546	100	528	1,824

※ 자료 : 鐵道は地球を教う, 일본경제평론사, 1990, 11

표 18 교통 수단별 에너지 소비량

구 분	수송량 (백만 인·톤-km)	에너지 소비 (천 TOE)	수송량당 소비 (kcal/인·톤-km)
택시	16,178	1,706.1	1,054.63
버스 계	56,147	1,943.4	351.47
시의 버스	26,386	582.3	220.66
시내 버스	25,057	1,128.8	450.30
전세 버스	4,694	262.4	558.99
화물 계	18,213	1,572.3	863.28
노선 화물	-	54.3	-
구역 화물	-	1518.0	-
철도 여객	20,316	182.1	89.65
철도 화물	13,838	135.2	97.69
지하철	24,685	122.1	49.45
외항 여객	136	13.2	970.00
외항 화물	3,264,717	4,641.0	14.22
연안 여객	503	96.8	1,925.54
연안 화물	43,936	671.9	152.94

자료 : 주간 서울건설

에너지 효율에 대하여 교통 수단별로 구분하여 비교한 예를 보면, 여객의 경우에 해운이 1,925.54 kcal/인·km로서 효율이 가장 낮고, 철도는 89.45 kcal/인·km로서 다른 수송 수단에 비하여 에너지 효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 화물의 수송 효율은 도로가 863.28 kcal/인·km로서

수송 효율이 가장 낮고, 철도는 97.69 kcal/인·km로서 효율이 가장 높은 것으로 조사되었다(표 17)[6].

수송 수단별 운송량의 분담률과 에너지 소비량의 분담률을 여객과 화물로 구분하여 비교하여 보면, 여객 부문 전체에서 철도는 운송량의 약 22 %를 차지하지만 에너지는

약 5 % 정도밖에 소비하지 않는 것으로 나타났다. 반면에, 택시는 운송량의 17 %를 차지하지만 에너지 소비는 43 %를 차지하고 있다(표 18)[4].

화물 부문에서도 철도는 수송량의 18 %를 차지하지만 에너지는 약 6 %를 소비하고, 도로는 24 %의 수송 분담률에 대하여 66 %의 에너지를 소비하고 있는 것으로 조사되었다.

또한, 해운은 수송 분담률의 58 %를 차지하지만 에너지의 28 %를 소비하고 있는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과에 따르면 철도는 다른 수송 수단에 비하여 에너지 소비 측면에서 우수한 수송 수단인 것을 알 수 있다.

한편, 프랑스에서 1992년에 조사한 여객 수송과 화물 수송에 대한 에너지 소비와 에너지 효율성에 대한 예를 표 19 및 표 20에 나타낸다[1].

표 19 여객 수송의 에너지 소비와 에너지 효율성의 예

구 분		소비 단위 (goe/PK)	효율성 (PK/goe)
도시 내	승용차	61.8	16.2
	지하철(시영)	19.3	51.7
	버스(시영)	24.0	41.6
	교외선 열차(SNCF)	21.0	47.6
도시간	승용차	29.9	33.5
	항공	51.1	19.6
	TGV 열차(SNCF)	12.1	32.6
	대륙간 열차(SNCF)	17.6	56.8
	구간 열차(SNCF)	24.0	41.7

* 1992년 프랑스 자료

1 kwh = 222 goe로 여객 킬로미터당(PK)당 에너지 소모율과 효율임

표 20 화물 수송의 에너지 소비와 에너지 효율성의 예

구 분	소비 단위 (goe/PK)	효율성 (PK/goe)
트럭(< 3 ton)	410.4	2.4
트럭(> 3 ton)	62.0	16.1
무개 화차(SNCF)	19.2	52.1
화물 열차(SNCF)	7.8	128.2
운하	8.2	121.8

* 1992년 프랑스 자료로서 실제 수송 톤수 및 열차로 계산

6. 자동차에 의한 기타의 문제점

상기에 언급한 점 이외에도 자동차에 의한 하기와 같은 교통 환경 문제가 있다.

- (1) 아주 예전부터 말하여지고 있는 도로 연변에서의 소음·진동의 문제. 특히, 비가 내릴 때의 연선 소음이 심하다.
- (2) 상정되는 자동차 교통량이 많지 않아도

이미 정하여져 있는 계획이라고 하여 건설되는 도로에 의한 자연 파괴.

- (3) 도로와 철도에는 수송력에 차이가 있어 같은 수송력을 비교하면 전용 공간에 큰 차이(대만 고속 철도의 試算에서 도로는 철도의 약 5배)가 있다.

철도는 레일로 안내되므로, 장대한 열차를 편성할 수 있고 대량 수송(mass transport)이 가능하다. 철도의 최대 장점은 대량 수송 능력이며, 표 21의 일본 예

에 나타난 것처럼 도로 수송보다 우수하고, 특히 토지의 점유 면적당의 수송력(transportation capacity)은 차이가 크다. 대도시 지하철(subway)·교외선은 수송력·속도 등에서 대신할 수 있는 다른 수송 기관이 없고, 또한 제2차 세계대전 후 오스트레일리아, 남아프리카 등의 내륙 광산에서 항구로 수송하기 위하여 1만 톤을 넘는 대단위 열차에 의한 전용 철도가 건설되어 있다[1].

표 21 철도와 도로의 수송능력 비교의 예

비교		교통기관별		철도(복선)		도로(4차선)		
		여객열차	화물열차	버스	승용차	트럭		
폭		10m (2급선)		24.4m				
조건	정원 또는 적재 톤수	12량 편성 1,000인	50량 편성 750t	40인	4인	10t		
	운전 시격	3분	4분	15초	3초	10초		
	운행 횟수 (1시간당)	20	15	360	1800	540		
1시간당 수송력		20,000인	11,250t	14,400인	7,200인	5,400t		
폭 1m당 수송력		2,150인	1,210t	590인	295인	221t		

* 일본 자료

철도와 고속도로의 효율성을 비교하여 보면 건설비 1억 원당 수송 인원은 고속도로가 11.5인임에 비하여 철도는 125.4인임으로 10.9명이나 더 수송할 수 있으며, 1 km의 노선 건설 시 토지 효율성(단위 시간당 10,000명 수송 시)은 고속도로의 12,883 m²에 비하여 철도는 3,941 m²로 토지의 효율성 측면에서도 3배나 더 높다[4].

오늘날 도시 이외의 지역까지도 지가가 급격히 상승하는 상황에서는 교통 수단의 운행에 필요한 토지의 면적을 점유하는데 많은 어려움이 있다.

따라서, 단위 수송량당 토지 소모량이

적은 교통 수단 위주의 분담 체계 구축이 필요하며 철도를 100으로 할 경우 교통 수단간 토지 이용의 효율성을 비교하여 보면 여객·화물 수송은 각각 영업 자동차 295·114, 자가용 자동차 610·2,000으로 철도의 토지 이용 효율성이 도로보다 우위에 있음을 알 수 있다(표 22)[6].

항공 수송은 공항에서 공항까지의 공중을 날기 때문에 도중의 용지가 불필요하므로, 소요되는 용지 면적이 적게 드는 것처럼 생각된다. 그러나, 일본의 예를 보면, 東海道 신칸센의 용지가 전차 기지를 포함하여도 약 10 km²에 대하여 新東京

표 22 교통 수단간 토지 이용의 효율성 비교의 예

구분	여객 (㎡/인·km)			화물 (㎡/톤·km)		
	철도	영업 자동차	자가용	철도	영업 자동차	자가용
소요 면적	2.0×10^{-3}	5.9×10^{-3}	12.2×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4.0×10^{-3}	70.1×10^{-3}
토지 효율성(철도 대비)	100	295	610	100	114	2,000

* 자료 : 鐵道は地球を教う, 일본경제평론사, 1990. 11

국제 공항(成田)의 면적은 약 11 km²인 것과 비교하여도 항공 수송의 소요 토지 면적도 의외로 큰 것을 알 수 있다[1].

한편, 표 23에 나타낸 것은 프랑스에서 도시간 여객 수송의 경우에 대하여 수송 수단별 소비 공간을 비교한 것으로 철도

의 우위성이 입증되고 있다[1]. 이 경우에 TGV 노선을 직선으로 건설하여 토지 이용을 효율화함으로써 철도가 다른 교통 수단에 비하여 환경 개선 등 사회적으로 큰 공헌을 하고 있음을 알 수 있다.

표 23 도시간 여객 수송 수단별 소비 공간의 예

구분	2×2차선 도로	2×3차선 도로	TGV복선
평균 폭(m)	28	35	15
최대 여객통과 용량(명/시간)	3,600	5,400	10,850~15,700
점유 지역(ha)	Roissy 공항:3,000 TGV Paris~Lyon간:2,400		

* 프랑스 도시간 여객 수송의 자료(1993년 기준)

(4) 자동차의 “발달” 때문에 공공 교통 기관의 재산이 취하여지지 않으므로 노면 전차나 버스 등 대부분의 공공 교통 기관이 없어지게 되어 부득이 자동차를 사용할 수밖에 없는 교통 체계로 되고 있어 고령자가 고립되고 있다. 이른바, 공공 교통 기관의 쇠퇴 문제이다.

가정을 기초로 이들을 정량적으로 평가하는 것을 유무(with-without)법이라 한다.

예를 들어, 어느 대도시권에 철도망이 존재하지 않는다고 하는 가정 하에 시산(試算)하면 사회적 손실액(역으로 말하면, 현실에는 철도가 존재하기 때문에 그만큼의 효과가 있다)을 알 수 있다.

7. 교통 기관의 새로운 평가 방법

상기와 같은 교통의 환경 문제는 지금까지 정성적으로만 논의되어 왔지만, 어느

8. 여러 나라의 철도 정비·철도 복권(復權)과 환경

상기와 같이 자동차에 의한 생활 환경의 악화를 막아내기 위하여 유럽을 중심으로

자동차 대국인 미국에서도 노면 전차나 경쾌 전차(LRT=Right Rail Transit)의 개량/정비라든가 도시 철도나 지하철이 건설되고 있다(“철도의 복권”). 또한, 도시 주변까지 자동차로 와서 도심으로는 철도로 들어가는 “파크 앤드 라이드(park and ride, 자동차 주차와 철도 승차)” 시설도 정비되고 있다. 즉, 도시 근교에서 가장 가까운 역, 터미널까지 자동차를 이용하고, 여기에 주차하여 철도 또는 간선 버스를 이용하여 통근하는 방법이다. 교외의 역전에서도 용지비가 비싸 용지의 취득이 곤란한 극동아시아의 경우에는 가족이 자가용차로 역까지 태워다 주는 이른바 “키스 앤드 라이드(kiss and ride)”가 늘어나고 있다.

더욱이, 독일이나 스위스 등에서는 공공 교통 기관의 정비에 더하여 공공 교통 기관을 이용하기 쉬운 교통 정책이 도입되고 있다.

환경 보호나 자원에 대한 관심이 높은

독일에서는 그 교통 정책에도 반영되어 있으며, 자가용차 대신에 노면 전차나 버스 등의 공공 교통 기관의 이용을 도모하기 위하여 “환경 티켓”이 도입되기도 하고(1984년 프라이블로그 시), 시의 중심인 구 시가지는 일찍부터 보행자 전용 존(zone)으로 되고, 주변의 자전거 길의 정비도 진행되고 있다. 또한, 자동차의 배기가스 등에 기인하는 산성비에 의한 삼림 황폐도 심하여 종래의 대기 오염 방지 대책이 불충분하였다는 것을 알아차려 앞으로 자가용차의 규제를 포함하여 보다 강력한 방지책이 검토되고 있다.

이것에 관련하여 미국의 워싱턴 D.C.에 있는 세계적으로 유명한 Worldwatch 연구소(소장 Broun)의 보고서 “철도로 돌아옴 - 세계적인 철도의 복권 -”에서는 표 24에 나타낸 것과 같은 철도의 이점을 열거하고 있다[2].

표 24 철도의 10대 이점

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1. 대단히 높은 에너지 효율 | 6. 사상자수의 감소 |
| 2. 석유 의존의 감소 | 7. 적은 건설 용지 |
| 3. 대기 오염의 감소 | 8. 지역의 경제 개발 |
| 4. 온실 효과의 원인인 배출물의 억제 | 9. 토지의 효율적 이용 |
| 5. 도로·항공 수송의 혼잡 완화 | 10. 사회적 공평의 확대 |

※ Worldwatch Institute, “Back on Track : The Global Rail Revival”, April 1994.

한편, 영국은 지금 “교통수단 오염 물질과의 전쟁”중이라고 한다. 영국 최대 환경 현안이자 “Clean UK”를 만드는 완결단계로 삼고 있는 문제이기도 하다. 우선, 영국 정부는 2003~2005년을 목표로 질소산화물 등 8가지 오염 물질에 대해 강력한

기준을 마련했다. 이들 기준 중 일산화탄소를 뺀 나머지는 우리 나라에 비해 훨씬 강하다. 또, 벤젠과 부타디엔은 우리 나라에 없는 기준일 뿐 아니라, 질소산화물(연간 16ppb)과 이산화황(8ppb)은 동식물에 미치는 영향을 고려한 기준까지 마련해

놓고 있다. 유럽 연합(EU)은 1990년부터 2005년까지 각 5년 단위로 강력한 배출 가스 4단계의 저감 기준을 마련한 상태이다. 영국은 국제 무역 판도와, 자국의 환경 상태를 연계해 그 해법을 찾아가고 있는 것이다. 그리하여 대기 오염을 해결한다는 목적으로 환경부와 교통부가 2년 전 통합하였다.

선진국에서는 철도와 같은 녹색교통수단의 이용을 증대시키기 위한 정책적 방향으로 '보다 나은 대중교통 시스템', 'traffic calming', 'urban village' 등의 세부 운영 방안을 제시하기도 하였다. 또한 도로교통 혼잡 문제를 해결하기 위하여 교통과 토지 이용을 위한 통합 계획의 일환으로 도시 정비 및 공간 개발에 있어서 도시철도 중심의 대중 교통망을 필수적으로 확충토록 하는 TOD(Transit Oriented Development)가 이루어지고 있기도 하다.

또한, 일본의 경우 '대도시 지역에서의 택지개발 및 철도정비의 일체적 추진에 관한 특별조치법'이 제정되어 있는데, 이는 대도시 지역에서의 향후 예상되는 주택지 수요를 고려하여 새로운 도시철도의 정비 확충을 통한 대량의 주택지를 공급하기 위하여 제정된 것으로, 택지 개발과 도시철도 확충을 일체적으로 추진하기 위하여 필요한 특별 조치를 취하고 있다[5].

우리 나라도 최근의 도시 철도는 대도시 통근·통학 수단으로서 그 중요성이 높아지고 있다. 예를 들어, 1997년 서울시의 지하철 수송 분담율은 30.8 %로 1990년의 18.8 %에 비하여 1.6배증가하였으며, 연평균 증가율(1990년~1997년) 또한 7.3 %로 승용차(택시 포함)의 2.0 %, 버스의 -5.4 %에 비하여 높은 신장율을 보이고 있다[4].

9. 싱가포르의 교통 정책

철도의 시대를 거치지 않고 건너 뛰어 자동차 사회로 돌입하고 있는 대개의 아시아 대도시는 절망적인 도시 교통 상황을 보이고 있지만, 싱가포르에서는 이 교통 환경 문제에 20년 이상 전부터 대처하고 있으며 그 우등생적(혹은, 강권적) 교통 정책에 의하여 효과를 올리고 있다.

싱가포르에서는 1975년에 지역 승차 진입 허가증 제도(ALS=Area Licensing Scheme, 자동차 승차 진입 요금제)를 세계에서 처음으로 도입하였다. 이 제도는 자동차가 어떤 시간대에 도심부에 들어가기 위해서는 일정액의 요금을 지불할 필요가 있으며, 이것에 의하여 도심부의 자동차 교통량을 제한하도록 하는 것이다. 동시에 이 자동차 승차 진입 요금 수입을 재원의 일부로 하여 정부 전액 부담의 도시 철도(MRT=Mass Rapid Transit)를 건설하여 시민의 편리한 발로서 친하게 되고 있다. 이 때문에, 시내의 도로 교통은 원활하고 대기 오염도 적다.

더욱이, 이 도시 철도망을 확장하기도 하고 도시 철도망에 접속하는 배양(培養)수송을 위하여 LRT의 도입도 계획되고 있다. 자동차 교통량의 제한과 함께 이들이 완성되면 이상적인 도시 교통 환경이 정비되는 것으로 된다. 도시 규모가 다르기도 하고 정부의 강력한 지도 아래에 실시되고 있는 싱가포르의 도시 교통 정책이지만, 도시 교통 문제를 해결하기 위한 우량 처방전의 하나일 것이다.

10. 보다 좋은 교통 환경의 정비 방향

앞으로 아시아 지역을 비롯한 대도시에서의 교통 환경 문제를 경감/해결하기 위해서는 어떠한 점을 유의하면 좋은가를 정리하여 보았다.

(1) 교통 환경 문제에 대한 개인 의식(민도, 民度)의 향상

일반적으로 개인의 편리와 “자유”의 추구, 생활 환경 파괴를 고려하지 않은 교통 프로젝트의 추진이 계속되어(결국, 반자연 행위), “편리한” 자동차 사회의 확대를 묵인하고 있는 것이야말로 이와 같은 심각한 교통 환경 문제를 야기하여온 것이다.

지방 도시라면 모르나 대도시에서는 정도의 차이는 있을지언정 공공 교통 기관이 정비되어 있으므로 생활 환경 파괴가 적은 공공 교통 기관(철도이든지 버스 등)을 적극 이용하도록 유의하면 어떠한 것인가? 결국, 교통 환경 문제를 고려한 개인의 행동이 요구되도록 되고, 개인의 의식(민도)에 의하여 자동차(교통 환경) 문제는 크게 달라져갈 것이다.

(2) 철도 정비의 합의 형성

미국의 로스앤젤레스에서 도시 철도를 정비하기 위하여 매상세(賣上稅)나 가솔린세를 증징(增徵)하는 등의 제안에 대하여 주민 투표가 실시되어 가결된 것은 1990년대 전반의 일이다.

이와 같은 철도 정비의 합의에는 그 상응의 의식(민도)이 필요할 것이며, 그를 위해서는 사용하기 쉬운 철도를 계획·건설할 필요가 있을 것이다.

(3) 철도의 정비 제도와 재원

이들의 민도가 향상되어 합의가 형성되

어도 정비 제도가 구비되어 않기도 하고 재원이 없으면 어떻게 할 것인가의 대책도 없다.

이 점에서 독일 정부는 1992년의 독일 연방 교통로(交通路) 정비 계획을 실시하여 오고 있으며, 종래에 일관하여 도로에 대한 투자를 최우선하여 왔지만, 철도 우선으로 방침을 전환하였다. 그 때까지도 자동차로부터의 광유(鑛油)세를 일반 재원에 도입하여 왔던 독일 정부이었지만 더욱 공공 교통 중시의 정책을 펴오고 있다. 그 때문에 현재는 계획 투자액에서 철도가 도로를 상회하고 있다.

또한, 지구 온난화·대기 오염 방지를 위하여 OECD(경제 협력 개발 기구)에서는 연료중의 탄소 함유량에 따라 과세하는 “탄소세(환경세)”를 도입할 것을 각국에 권고하고 있다. 이것을 재원으로 하여 공공 교통 기관의 정비나 저공해 자동차의 개발, 도로 교통의 개선, 교통 정책의 연구 등을 하면 어떤 좋은 교통 환경으로 될 것이다.

(4) 그러나, 철도가 만능은 아니다.

여기에서 오해하지 않기를 바라지만, 결코 “자동차를 사용하면 아니 된다”고 말하고 있는 것은 아니다. 필요한 경우는 당연히 사용하여야 할 것이고, 자동차가 없이는 현대 사회가 성립할 수 없다고도 말하지만, “편리”를 추구하는 나머지, 종래와 같이 “무감각적으로 사용하는 방법은 반성되어야 할 것이며, 개인 개인이 인간의 생활 환경을 고려한 뒤에 교통 기관을 선택하여야 할 시대로 되어 있다”고 한다. 결국, 자동차가 나쁘다는 것이 아니고 그 사용방법이 나쁘다는 것이며, “종합 교통

정책/체계”를 기초로 자동차나 철도와 인간이 공존할 수 있는 사회를 구축할 필요에 다가가고 있는 것이다.

11. 맺는 말

지난 수십 년 이래의 “경제 발전”이나 반자연 행위의 결과, 교통을 비롯한 분야에서 사회의 “비뚤어짐”이 분출되어 오고 있으며, 이것은 아시아 지역을 비롯한 세계 각지에서 같은 현상이 보여진다.

“세대간의 공평”을 고려하면, 우리 세대의 “짐”을 장래로 보내는 것도, 또한 우리들만의 상응하지 않는 “자유”를 향수(享受)할 수도 없다.

그 때문에도 세계적 주요 과제의 하나이며, 해마다 심각하여지는 교통 환경 문제에 진지하고 조급하게, 또한 아시아 각국, 나아가 세계 각국과 함께 협력하여 대처할 필요가 있을 것이다.

철도의 장래를 고려함에 있어 “교통 환경 문제”가 하나의 힌트를 주게 될 것이다.

참고 문헌

- [1] 서사범 : 철도공학의 이해(Railway Engineering), 도서출판(주) 얼과 알, 2000. 4
- [2] 구봉근·서사범, “교통의 환경 문제와 도시 철도”, 대한토목학회지에 게재 예정
- [3] 申鐘瑞, “21世紀를 대비한 鐵道技術의 課題와 發展 方向(鐵道 100주년을 맞이하여)”, 鐵道施設 No. 74, 韓國鐵道技術公社, 1999. 12.
- [4] 주간 서울건설 제619호, “철도의 날 특집”, 2000. 9. 18.
- [5] 한국철도기술연구원, “특집, 철도 환경 기술”, 한국철도기술정보, 2000년 24호
- [6] 한국철도기술연구원, “철도 100주년 기념 국제 세미나 Railtech Vision 21”, 한국철도기술정보, 1999년 21호
- [7] 한국철도기술연구원, “특집, 철도의 안전 기술”, 한국철도기술정보, 1999년 22호
- [8] 徐士範, “安全 技術의 鐵道에의 適用”, 鐵道施設 No. 72, 韓國鐵道技術公社, 1999. 6.

