

자동차 대기오염 저감을 위한 대중교통활성화방안

최 윤 혁 ITS Korea 대리

강 정 규 한국도로공사 도로교통기술원, 연구위원

1. 서론

1. 연구의 필요성

최근 대기오염으로 인한 자연환경의 파괴 및 인간의 질환발생 등 대기오염의 심각성에 대해 전 세계적인 우려의 목소리가 커지고 있으며, 그 중에서도 지금껏 우리가 지나쳐온 자동차의 매연이 인간과 자연의 생존을 위협하는 사회적인 이슈로 대두되고 있다.

스위스 바젤대학 사회예방의학연구소의 니노 쿤즐리 박사팀은 의학전문지 '랜싯' 최신호에 발표한 논문에서 오스트리아, 프랑스, 스위스에서 매년 사망자의 6%가 대기오염 때문에 숨지며, 이중 절반인 약 2만명이 매연과 관련된 사망인 것으로 조사됐다고 주장했다. 연구진은 또한 매연으로 인해 매년 25만명이상의 만성 기관지염 환자, 50만명이상의 천식 환자가 새로이 보고된다고 밝혔다. 자동차로 인한 환경오염과 관련된 질환을 치료하는 비용은 교통사고 후 야기되는

비용을 능가, 이들 나라 국내총생산(GDP)의 1.7%에 달하는 것으로 계산됐다. 이 연구결과를 영국에 그대로 적용할 경우 매년 1만9천명이 차량 대기오염으로 목숨을 잃는 것으로, 10일마다 점보제트기가 추락하는 사고가 발생하는 것과 마찬가지이다. 또한 아이가 태어나기 전이나 태어난 후 자동차가 배출하는 매연 등에 노출되면 소아기 암에 걸릴 확률이 높아진다는 연구결과가 영국에서 발표되었으며, 연구 결과는 특히 소아암의 일종인 '백혈병'을 지적했다. 영국 버밍햄 대학의 E. G 녹스 교수는 최근 '전염병학과 사회건강' (Epidemiology and Community Health) 이라는 저널에 실은 연구 논문에서 매연이나 각종 화학물질을 많이 배출하는 지역에 사는 아이들의 암 발생률에 대한 체계적인 연구 결과를 보여줬다. 연구에서 녹스 교수는 인터넷 지도를 통해 16살이 되기 전 백혈병이나 각종 소아암으로 죽은 아이들의 주소지를 검색해본 결과 매연과 암 발생률과는 상당한 연관성이 있었다고 강조했다



다. 아이들이 암에 걸리는 이유에 대해 녹스 교수는 일산화탄소, 산화질소, 탄화수소의 일종인 1, 3-부타디엔 등 다양한 화학물질에 노출되기 때문이라고 덧붙였다. 녹스 교수는 “자동차 엔진이 발생시키는 이런 화학물질은 아이들 암 발생에 강력한 영향을 주는 요소”라며 “버스 정류장 인근에 살면서 1, 3-부타디엔에 노출되면 각종 암에 걸릴 확률이 12.6배나 증가한다”고 설명했다.

또한 타이완 국방의학센터는 변화한 간선도로 요금소에서 일하는 47명의 여성들의 혈액과 소변을 채취해 조사한 결과, 차량 매연이 사람의 DNA를 손상시켜 암 발생 위험을 증가시킨다는 연구결과를 발표했다. 연구팀은 요금소에서 일하는 여성들의 혈액과 소변에는 청결한 환경에서 일하는 여성들에 비해 DNA의 손상을 유발하는 화학물질이 평균 90%나 많이 검출됐으며, 차량 매연으로 인한 신체 조직 손상의 또 다른 표지인 소변 속 산화질소의 수준도 요금소 여직원 소변에서 평균 30% 더 높게 나타났다고 밝혔다.

이러한 자동차 대기오염의 심각한 문제는 우리나라의 경우도 예외가 아니며, 이와 관련된 많은 피해사례들이 밝혀지고 있다. 최근 경기도 광릉의 명물인 1백년 이상 된 전나무 거목이 줄지어 선 가로수가 늘어나는 차량통행 때문에 시름시름 말라죽고 있다는 사실이 밝혀져 사회적 논란이 되고 있다. 산림청 국립수목원은 “광릉숲 훼손을 막기 위해 지난 1997년 국무총리실 주관으로 마련된 ‘광릉숲보전종합대책’이 시행된 이후에도 광릉숲 관통도로인 국가지원지방도 86호선(포천 소흘읍~남양주 진접읍) 주변의 고목 75.2%가 이미 말라죽거나 그럴 가능성이 있는

등 심각한 피해가 계속되고 있다”고 밝혔다. 경기 남양주시 능내동에서 포천시 직동리 산림생산기술연구소까지 약 2km 거리에는 수령 100년 이상인 전나무를 비롯해 잣나무, 소나무 등 노거수가 뛰어난 경관을 이루고 있다. 그러나 이 관통도로가 포천과 퇴계원을 잇는 지름길로 알려지면서 레미콘·유조차·트레일러 등 대형차를 포함한 차량 통행이 늘어나면서 가로수 피해가 커지고 있다. 국립수목원이 지난 6월 이곳의 침엽수 654그루를 대상으로 ‘수목 활력도’를 조사한 결과, 전체의 24.1%인 158그루가 자동차 매연으로 이미 고사했고, 이들 가운데 일부는 사고예방 차원에서 밑동이 잘려 제거된 것으로 파악됐다. 또 전체의 51%인 334그루는 고사할 가능성이 있으며, 그 중 160그루는 앞으로 5~10년 이내에 말라죽을 것으로 예측해 자동차 매연으로 인해 나무고사의 심각한 피해가 발생함을 밝혔다.

최근 한국 환경정책·평가연구원의 보고서(2002)에 의하면 서울 및 수도권의 경우 국토의 12%에 불과한 면적에 인구와 자동차의 46%가 집중되어 있어 대기오염도가 선진국 주요 도시의 1.7~3.5배 정도이며, 대기오염으로 인한 사회적 피해 비용이 연간 10조원, 조기 사망자수는 연간 1,940명으로 추정되고 있는 것으로 나타났다. 실제로 현재 중형 자동차 한 대가 내뿜는 이산화탄소의 양이 연간 4.5톤에 이르고 있고, 서울시내 자동차의 이산화탄소 배출량은 지난 90년 평균 600여톤에서 2000년 1,100여톤으로 10년 사이 두 배 가까이 늘었다.

이렇듯 갈수록 심각해지는 대기오염을 개선하기 위해 정부는 2002년 4월 ‘수도권 광역대기질

개선을 위한 추진기획단'을 발족하였고, 수도권 대기질개선 특별대책을 발표하였다(2002.12). 이 대책에서 대기오염과 상관성이 큰 에너지, 산업, 도시계획 등 관련 정책과의 통합적 접근이 필요하다는 점과 자동차가 수도권 질소산화물 배출량의 51%, 미세먼지 67% 차지하고 있는 만큼 자동차 대기오염 저감을 위한 특단의 대책이 필요하다는 점을 인식하였다.

2. 연구의 목적

본 논문에서는 대기오염의 정의와 자동차의 매연으로 인해 발생하는 우리나라의 대기오염현황을 살펴보고, 이를 해결하기 위한 직·간접의 여러 가지 방법 중 교통수요관리(TDM : Transportation Demand Management)정책의 기본 사항이며 필수적인 요소인 대중교통활성화방안으로, 간선급행버스시스템(BRT : Bus Rapid Transit)을 소개하고 도입방안을 제시하여, 이를 통한 자동차 이용억제 및 대기오염 저감방안을 제시하고자 한다.

II. 대기오염

1. 대기오염의 정의

대기오염은 크게 자연의 현상에 의해 오염되는 자연적 오염과 인간의 활동으로 인해 발생된 인위적 오염으로 분류되며, 자연적 오염은 자연의 정화능력에 의하여 원상태로 회복이 되나, 공업화로 인한 인위적 오염은 자연의 정화능력을 초과하여 오염물을 대기로 발생시키게 된다.

2. 대기오염물질

대기오염은 분진, 연기, 가스, 안개, 냄새, 매연 및 증기 등에 의한 옥외 공기의 오염과 작업시 발생하는 분진, 중금속 및 휘발성 용매 등에 의한 작업장 또는 기타 실내오염 등을 포함하는데 우리나라의 대기환경보전법에는 대기오염물질을 '대기오염의 원인이 되는 가스·입자상물질 또는 악취물질'로 정의하였으며 총 52종을 오염물질로 규정하고 있다.

52종의 오염물질 중 실제적으로 대기관리 측면에서 규제할 수 있는 배출허용기준이 설정된 대기오염물질은 암모니아 외 20종의 가스 오염물질과 분진, 매연, 악취 등이며 그 중에서도 황산화물, 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소 및 먼지 등이 배출량이 가장 많은 대기오염물질이다.

3. 대기오염 발생원

대기오염 발생원은 화산재 등 자연적 발생원과 인간의 활동에서 발생하는 인위적 발생원으로 나눌 수 있으며, 인위적 발생원은 다시 점오염원, 면오염원 및 이동오염원으로 구분된다. 발전소 등과 같이 하나의 시설에서 대량의 오염물질을 배출하는 경우를 점오염원이라 하며, 주택과 같이 일정 면적내에 소규모 발생원이 다수 모여 해당지역 내에 오염문제를 발생시키는 것을 면오염원이라 하고, 선박 및 자동차 등은 이동오염원으로 부른다. 일반적으로 점오염원은 높은 굴뚝에서 배출되므로 그 영향범위가 넓고, 면오염원과 이동오염원은 배출구가 낮아서 대기확산



이 잘 이루어지지 않으므로 지표면에 직접적인 영향을 준다는 특성이 있다. 대기오염은 주로 화석연료의 연소과정에서 배출되나, 우리나라의 경우에 특히 도시지역에서는 자동차 배기가스에 의한 오염이 상당히 비중이 큰 편이다.

력으로 한 장소에서 다른 장소로 움직일 수 있는 오염원을 말한다. 대표적으로 자동차를 들 수 있으며, 건설장비, 가솔린 동력의 잔디 깎기도 그 범주에 포함된다. 이동오염원으로부터 유발되는 대표적인 대기오염 물질은 오존의 전구물질인 질소산화물(NO_x)과 휘발성 유기화합물(VOC)등이 있다.

4. 이동오염원

(1) 이동오염원의 정의

이동오염원(Mobile Source)이란, 자체의 동

(2) 이동오염원 현황

이동오염원은 일산화탄소(CO), 질소산화물

〈표 1〉 오염물질별 배출량 현황(전국, 2001)¹⁾

(단위: 톤/년)

배출원(대분류)	합계	CO	NO _x	SO ₂	PM10	VOC _s
전국 배출량 합계	3,175,696	833,932	1,045,334	526,599	70,614	699,219
구성 비율(%)	100.0	26.3	32.9	16.6	2.2	22
도로 이동오염원 (자동차, 이륜차)	1,260,015	660,052	456,125	7,300	28,772	107,766
전국대비 비율(%)	39.4	79.1	43.6	1.4	31.0	15.4

1) 단, 도로이동 비산먼지 배출량은 제외되었음

〈표 2〉 오염물질별 배출량 현황(서울, 2001)²⁾

(단위: 톤/년)

배출원(대분류)	합계	CO	NO _x	SO ₂	PM10	VOC _s
전국 배출량 합계	340,747	156,899	86,798	10,605	3,651	82,794
구성 비율(%)	100.0	46.0	25.5	3.1	1.1	24.3
도로 이동오염원 (자동차, 이륜차)	216,870	140,058	51,231	864	2,624	22,093
전국대비 비율(%)	62.0	89.2	61.2	8.1	67.7	26.7

2) 단, 도로이동 비산먼지 배출량은 제외되었음

(NOx), 미세먼지(PM10)를 배출하는 주요 배출원이다. 2001년 환경부 자료에 의하면 이동오염원에 의한 일산화탄소(CO) 발생량은 전국 일산화탄소(CO) 발생량의 79.1%를 차지하고 있고, 자동차 밀도가 높은 서울에서는 전체 발생량의 89.2%가 이동오염원으로부터 배출되고 있는 것으로 나타났다. 또한 질소산화물(NOx)의 경우, 전국 발생량의 43.6%, 서울 발생량의 61.2%가 이동오염원으로 인한 발생으로 집계되었다.

(3) 이동오염원의 특징

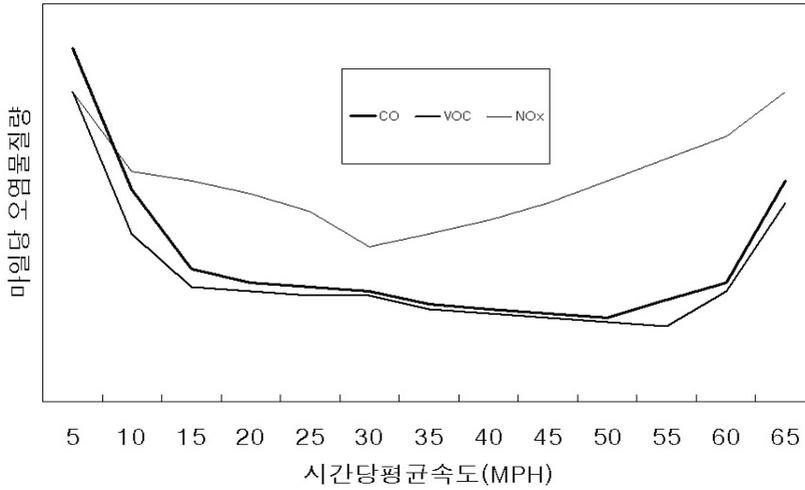
이동오염원은 속도에 따라 오염물질 배출량이 달라진다는 특징을 가지고 있다. <표 3>과 같이

자동차가 가속 및 감속할 때와 빠른 속도로 주행할 때는 많은 연료가 소비되고, 따라서 완전한 연소가 되지 못한 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 휘발성 유기화합물(VOC)이 다량으로 배출된다.

반면에 [그림 1]과 같이 30~60km/h의 주행속도에서는 오염물질 배출량이 상대적으로 적다. 따라서 자동차로 인한 이동오염원의 배출을 줄이기 위해서 출퇴근 시간 혹은 도심부의 낮은 주행속도를 증가시키기 위한 대책마련을 선행해야하며, 이를 위해 자동차의 이용억제 및 대중교통활성화의 교통수요관리방안이 필요하다.

〈표 3〉 엔진의 종류 및 운전 조건에 따른 이동오염원 배출량

엔진종류	운전 조건	일산화탄소(%)	탄화수소(ppm)	질소산화물(ppm)	아황산가스(ppm)
가솔린 엔진	공회전	40~15.0	200~2,000	50~1,000	0.00
	가속(0 → 40km/h)	0.7~5.0	300~600	1,000~4,000	
	정속(40km/h)	0.5~4.0	200~400	1,000~3,000	
	감속(40 → 0km/h)	1.5~4.5	1,000~3,000	5~50	
LP가스 엔진	공회전	2.0~5.0	150~1,000	40	0.00
	가속(0 → 40km/h)	0.7~2.5	190~350	1,200~2,000	
	정속(40km/h)	0.4~1.0	120~200	4,500	
	감속(40 → 0km/h)	1.5~4.0	2,000~4,000	60	
디젤엔진	공회전	0~	300~500	50~70	20~100
	가속(0 → 40km/h)	0~	200	800~1,000	
	정속(40km/h)	0~	90~150	200~1,000	
	감속(40 → 0km/h)	0~	300~400	30~50	



[그림 1] 자동차의 속도에 따른 대기오염물질 배출량³⁾

3) Energy Conservation and Emission Reduction Strategies, 2003, VTPI (Victoria Transport Policy Institute)

(4) 이동오염원의 영향

이동오염원은 그 농도와 폭로시간에 따라 인

체에 많은 영향을 미친다. 특히 심각할 경우는 호흡이 곤란해지고 급기야 사망에 이르게 된다.

〈표 4〉 이동오염원이 인체에 미치는 영향

오염물질명	농도(ppm)	폭로시간	인 체 영 향
일산화탄소 (CO)	30 1,000 1,500~2,000	4~6 1 4~5	중추신경 영향 두통, 신경과민, 피로 사망
아황산가스 (SO ₂)	0.05이하 1~2 20 100~200	-	쾌적 가슴에 압박 눈이 자극, 기침이 나옴 호흡곤란, 사망 위험
이산화질소 (NO ₂)	0.1 0.6 1~2	1 2 2.5	기도저항, 기관지수축 기도저항 증가 적혈구 등이 감소

III. 기존의 대기오염 저감대책

대기오염 저감대책은 천연가스 버스의 확대 보급을 통해 오염을 일으키는 교통수단을 교체하고, 배기가스 처리공정에서 오염물질을 제거시키는 방법으로 엔진 및 연소실을 개량하는 등의 직접적이고 기술적인 방법과 자동차의 이용을 줄이기 위해 교통수요를 관리하는 간접적이고 정책적인 방법으로 크게 구분될 수 있다.

1. 직접적/기술적 대책

(1) 매연배출 허용기준 강화

정부는 1996년 9월 대기환경보전법시행규칙을 개정하여 1998~2000년 사이에 모든 차종의 매연배출 허용기준을 선진국 수준으로 강화하였다. 그 추진일정에 따라 1998년부터 제작차의 매연배출 허용기준을 대형경유차의 경우에 35%에서 25%로 크게 강화하였으며, 제작차의 질소산화물 배출허용기준을 시내버스의 경우 11.0g/km에서 9.0g/km로, 자동차의 경우 0.62g/km에서 0.4g/km로 강화하였다.

(2) 천연가스 자동차 보급 추진

환경부와 과기부, 산자부에서는 1992~1998년 동안 천연가스 자동차 개발을 G-7과제로 선정하여 장치개발에 대한 연구를 지원하였으며, 2007년까지 전국 도시지역 시내버스 전량을 천연가스버스로 교체할 예정이다.

(3) 고출력버스의 보급 확대

대도시 대중교통수단의 중추적 역할을 담당하

고 있는 시내버스는 출퇴근시의 교통인구집중으로 정원초과가 일반화되어 있다. 이로 인해 엔진 출력 부족 현상이 나타나 매연발생과 함께 차량의 조기 노후화를 초래하는 원인이 되고 있다. 따라서 1991년부터 시내버스의 엔진출력을 높인(185마력 → 230마력) 고출력시내버스를 보급하기 시작하여 현재 도심지의 시내버스 약 66%가 고출력버스로 대체되었다.

(4) 매연여과장치 개발 추진

경유차 매연여과장치는 경유 자동차에서 배출되는 매연을 제거하기 위한 후처리 정화기술의 하나로서 우리나라에서는 1992년 이후 G-7사업 및 기업체의 자체개발 등으로 연구되었으며 서울시 청소차 등에 먼저 부착되어 사용되어 왔다. 그러나 이 장치는 설치 및 운영비용이 비싸고, 기술적인 면에서 개선되어야 할 부분이 남아 있는 상태이다. 한편 환경부에서는 매연여과장치 차량에 대해서는 환경개선부담금과 매연단속을 면제하도록 조치하였다.

(5) 배출가스 정기검사제도 도입

운행 자동차의 배출가스에 대한 정기검사는 자동차관리법에 의하여 안전검사와 함께 실시하여 오다가 1995년 12월 대기환경보전법 개정시 배출가스 검사를 강화하기 위하여 배출가스 정기검사제도의 근거를 마련하였다. 또한 오존오염의 주범인 질소산화물의 규제를 위하여 공기과잉률 검사를 자동차 배출가스 정기 검사 항목에 추가하여 시행토록 하였다.



(6) 수시단속(노상단속) 강화

운행중인 자동차의 배출가스 단속을 강화하기 위하여 오염물질 다량배출자동차 위주로 차고지, 회차지 등에서의 기동단속을 실시하고 있으며 상습위반 업체에 대해서는 특별하게 관리하는 등의 단속활동을 지속적으로 강화하고 있다.

(7) 자동차 연료의 품질기준 강화

자동차의 연료품질은 자동차배출가스와 밀접한 관련을 갖고 있으므로 1991년 2월 2일 대기환경보전법시행규칙 개정시 그동안 석유사업법에서 규제하고 있던 자동차용 연료품질기준을 동 법에서 관리할 수 있도록 하고 유종별 품질기준도 단계별로 강화, 예시하였다. 특히 휘발유 자동차에서 발생하는 유해물질을 줄이기 위해 2000년부터 벤젠 함량을 현재보다 60% 저감시키는 등 휘발유의 품질기준을 선진국과 같은 수준으로 강화하였다.

2. 간접적/정책적 대책

그러나, 이와 같은 직접적이고 기술적인 대책만으로는 자동차 배출가스를 줄이는데 한계가 있다. 왜냐하면 아무리 자동차의 매연 허용기준을 강화하고 집중적으로 단속한다고 해도 실제로 운행되는 자동차의 대수가 줄어들지 않고 오히려 계속 증가한다면, 그 효과는 미비할 것이기 때문이다. 따라서 자동차의 대기오염을 줄이기 위해 오염을 일으키는 천연가스버스를 도입하고, 배기가스를 줄이기 위해 엔진 및 연소실을 개량하는 등의 직접적이고 기술적인 방법과 더

불어 자동차의 통행을 줄이기 위한 정책적인 교통수요관리방안의 도입이 필요한 것이다. 본 논문에서는 정책적인 측면에서 행해지는 교통수요관리방안을 알아본다.

(1) 교통수요관리의 정의 및 목표

교통수요관리(TDM : Transportation Demand Management)는 운전자 통행행태의 변화를 통하여 교통수요를 조절함으로써 교통혼잡 및 대기오염을 줄이는 여러 가지 관리기법을 말한다. 정부의 계획 아래 주차비 인상, 교통과 관련한 세금 인상, 10부제 운행 등을 통해 운전자 통행행태의 변화를 가져올 수 있고, 기업의 계획아래 근무시간대 변경, 통근차량 운행을 통해 운전자의 통행행태 변화를 유도할 수 있으며, 위와 같은 정책과 제도를 통해 운행 차량의 수요를 감소시키는데 중점을 둔다.

교통수요관리의 목표는 교통혼잡 발생의 주요 원인이 되는 자동차의 통행패턴을 시·공간적으로 분산하고 대중교통수단으로 전환시켜 교통혼잡을 완화하는 것이다. 교통수요관리방안은 비교적 적은 비용으로 교통수요를 감축시킬 수 있다는 점에서 교통혼잡의 효율적인 대처 방안으로 알려져 왔다. 따라서 교통시설의 공급만으로는 급증하는 교통수요에 대처하지 못하는 현재의 교통문제에 단기적으로 대처하고, 대기오염을 줄이기 위한 방안으로 지금까지 다양한 교통수요관리방안이 제시되었으며, 일부는 현재 시행되고 있다.

(2) 교통수요관리의 장점

교통수요관리는 다양한 편익, 저비용, 융통성,

〈표 5〉 교통수요관리의 장점

다양한 편익	저비용	융통성	이용자 편익	형평성	공공성
<ul style="list-style-type: none"> • 혼잡 감소 • 도로 및 주차시설 비용 절감 • 이동수단의 다양화 • 안전증대 • 환경보호 • 효율적 토지 이용 • 토지이용 형평성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 차량운행비용 절감 • 교통사고관련비용 절감 • 대기오염 등 환경오염과 관련된 비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> • 교통문제의 시·공간적 제약에 유연한 대처 가능 • 신속한 적용 가능 • 천천히 시간을 갖고 변화 유도가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 이용자에게 많은 이동방법 제시 가능 • 교통서비스 개선 • 유류세 등의 이용자의 경제적 부담 저감 • 자동차의 이용을 억제 	<ul style="list-style-type: none"> • 이용자의 형평성 추구 • 대중교통 이용성 증가로 인한 동등한 서비스 제공 • 사회적 형평성 증대 	<ul style="list-style-type: none"> • 시장경제에 근거한 수요관리가능 • 경제적 효율성 증대 • 경제적 형평성 증대 • 사회전체 생산성 증대

이용자 편익, 형평성, 경제적 공공성 측면에서 다음과 같은 장점을 가진다.

(3) 교통수요관리방안

1) 10부제 운행

10부제 운행은 차량번호를 기준으로 미리 정해진 날짜에 해당되는 차량들에 대하여 원칙적으로 차량의 운행을 금지하는 제도를 말한다. 이러한 10부제 운행에 의한 차량운행 규제는 한정된 차량에 대한 운행만을 허가함으로써 단기적으로 교통체증의 해소에 크게 기여할 수 있다. 이러한 운행규제 방법은, 일정량의 자동차 교통수요를 감소시키는 효과가 있으며, 10부제 정책 시행 이후 종전보다 줄어든 교통량을 더 낮은 비용으로 서비스 할 수 있게 되므로, 혼잡에 따른 외부불경제를 어느 정도 개선할 수 있는 방안이다.

10부제 운행은 강제적 운행과 자율적 운행으로 나눌 수 있는데, 강제적 운행이 더 큰 효과를 기대할 수 있다. 하지만, 강제적 운행이 성공적으로 시행되기 위해서는 생계를 위해서 차량을 항상 사용해야 하는 자영업자나 대중교통 여건이 열악한 통행자에 대한 문제 등을 해결할 수 있는 추가적인 대책이 마련되어야 한다. 특히 이러한 강제적 운행이 불가능할 때에는 자율적 참여부터 단계적으로 강도를 높이는 방안도 고려해볼 수 있는데, 이 경우에는 자율적으로 참여하는 차량의 불이익이 최소가 되도록 추가적인 혜택(Incentive)을 제공함으로써 참여율을 높여 나가는 방안도 있다.

서울시는 1994년 10월 성수대교 붕괴 이후 한강교량들에 대한 안전점검을 실시하였고 그로인해 차량의 통제가 불가피하여, 공청회와 여론조



사, 법률적 근거를 통해 1995년 2월 3일부터 5월 30일까지 4개월간 강제적인 자동차 10부제를 실시하였다. 평일은 6시~22시까지, 토요일은 6시~15시까지, 일요일과 31일은 제외하고, 영업용 차량이나 화물차량을 제외한 모든 서울지역의 모든 자동차를 대상으로 시행되었다. 다만, 공공목적으로 운행하는 경찰, 소방, 긴급자동차 그리고 장애인용 차량은 예외로 하였다. 서울시 교통백서⁴⁾에 따르면 10부제 시행효과는 교통량 감소와 속도증진으로 나타났는데, 교통량의 경우 6.95% 감소하였고, 평균 주행속도는 10부제 시행전 21.69km/h에서 시행후 24.7km/h로 13.7% 증가하였다고 한다. 교통량 감소로 인한 시간절감 및 연료비용 절감을 비용으로 환산하면, 약 5,638억 원으로 이르는 것으로 추정되었다.

최근 서울시는 자동차 요일제를 실시하고 있다. 이 제도는 시민 스스로가 월요일부터 금요일까지 자동차를 운행하지 않는 하루를 선택하고, 선택한 요일에 해당하는 스티커를 차량에 부착한 후 해당 요일에 차량운행을 하지 않는 시민 캠페인이다. 이는 서울 및 수도권 도시교통난 완화 및 대기오염 감소를 도모하고, 시민 주도적으로 도시환경을 개선하여 선진 교통문화 의식을 정착시키고자 추진되었으며, 참여자에게는 주차 우선권 부여, 주차요금 할인, 혼잡통행료 감면, 교통유발부담금 할인, 자동차 정비 할인, 주유할인 등의 다양한 인센티브가 주어지게 된다. 서울시에서는 모든 자동차가 자동차 요일제에 참여할 경우 연간 연료비 절감 편익이 2조 523억원,

환경개선비용절감 편익이 3,483억원에 이를 것으로 추정하고 있으나, 실제적인 참여율은 그리 높지 않은 편이다.

2) 출근 시차제

출근 시차제는 통행시간대의 변경에 해당하며, 이는 첨두 시간대의 교통수요를 비첨두 시간대로, 시간적으로 분산시키는 기법이다. 이 기법은 병목구간의 교통수요를 시간적으로 분산시켜 혼잡을 완화시키는 효과를 갖는다. 일반적으로 교통정체는 교통수요가 교통용량을 초과한 경우에 초과수요가 병목구간을 통과하지 못하고 정체되어 있기 때문에 발생하는 현상으로, 실제로 시간계수를 적용하여 교통량의 1.1배에 이르는 교통수요가 병목구간을 통과하게 되는 경우, 단지 10%의 수요량 초과로 0.8km에 이르는 정체 대기행렬이 4시간이나 발생하게 된다.

정체 시간대의 혼잡해소를 위해 필요한 출발 시간 조정은 조정전의 정체에 의해 발생했던 평균지연시간으로, 평균 5분에 해당한다. 이는 평균 5분의 출발시각을 조정함으로써 정체를 발생시키지 않고 조정전과 같은 시간대에 병목구간을 통과할 수 있음을 의미한다. 이와 같이 출발시간을 조정하는 기법을 자택이나 직장에서 출발시간을 조금 늦춤으로서 도로지체로 인한 소비시간을 좀 더 유익하게 사용하도록 하는 것이다.

미국의 하와이주에서는 도심지에 위치한 직장의 근무시간을 조정하여 첨두시의 교통혼잡이 얼마나 완화되는지를 실험하였다. 1988년에 한

4) 서울시 교통특별대책, 1995

〈표 6〉 출근 시차제에 따른 통근시간 감축 효과

(단위: 분)

실험	실험전		실험후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
1	34.8	19.9	31.0	14.8
2	36.3	20.3	33.1	16.8
3	33.1	20.2	30.3	15.9
4	33.6	20.0	30.9	16.4

달간 공공단체 임직원들을 대상으로 시험적으로 실시되었고, 이 기간 동안 직원들의 근무시간이 오전 7:45~오후 4:30에서 오전 8:30~오후 5:15으로 늦춰졌다. 이 실험에 참가한 고용인은 도심지에서 일하는 고용인의 6~7%에 해당하는 4,000명이었다.

실험결과, 도심지의 교통상태를 상당 수준 개선하는 긍정적인 효과를 가져와 통근자들의 평균 통행시간이 3~4분 정도로 빨라진 것으로 나타났다. 하지만, 첨두시의 교통상황 개선은 비첨두시의 교통상황을 약간 악화시키는 결과를 가져왔으며, 이는 첨두시의 수요가 비첨두시로 이동됨에 따라 나타나는 현상이다. 또한 출근 시차제는 개선정도가 적기 때문에 일정 시일이 경과하면 잠재수요의 증가로 인해 그 효과가 사라질 수도 있다는 우려도 있다.

또한, 이 실험에 참가한 고용인들은 그들의 일상적인 생활패턴에 심각한 변화를 감수해야 했다. 많은 가정들이 출근시간의 변화에 따라 기존에 이용하던 서비스(ex: 택아소, 정기 노선버스)를 이용할 수 없어 불편을 겪게 되었다. 물론 시

범사업이 시간적으로 제약되어 있어서 이런 문제가 생긴 것도 있었지만 결국은 서비스 산업의 영업시간이 변동하지 않은 데서도 그 원인이 있었다. 즉, 시차제 출근이 사회적 효용을 극대화하기 위해서는 출퇴근 시간의 변화에 따라 서비스 산업의 영업시간도 변경되어야 하며, 그렇지 못할 경우 비효율적인 결과를 초래할 수도 있다는 것을 간과해서는 안 된다. 실제로 이 기법은 자동차의 이용을 억제하기보다는 시간적으로 분산시키는 결과를 낳기 때문에 대기오염의 저감 효과는 미비할 것으로 예상된다.

3) 차량 함께타기(Ridesharing)

‘차량 함께타기(Ridesharing)’는 외국에서 이미 널리 시행되고 있는 교통수요관리 기법 중의 하나이다. 차량 함께타기는 준대중교통수단(Paratransit)의 한 형태로서 출발지와 목적지가 비슷한 사람들끼리 사전 약속 또는 스케줄링을 통해 비슷한 시간대에 함께 통행하는 것을 말한다. 이미 외국에서는 차량 함께타기에 대한 범정부차원의 다양한 기법들이 운영되고 있고, 그

〈표 7〉 미국 Sacramento의 Ridesharing 효과⁵⁾

T D M strategy	C B D	Within 600ft of Transit station	Elsewhere
Rideshare vehicle Preferential Parking	10%	5%	5%
100% Transit/Rideshare Subsidy	35%	25%	10%
50% Transit/Rideshare Subsidy	20%	15%	10%
Vanpool Program	10%	10%	10%
Worksite Showers and Lockers	5%	2%	2%
Guaranteed Ride Home	2%	2%	2%
Onsite Childcare	5%	5%	5%

5) Sacramento Trip Reduction Credits from TDM Strategies(Ewing, 1993)

로인한 수요절감효과를 크게 누리고 있다.

실제로 Sacramento 지역에서 1993년에 실시된 차량 함께타기의 차량통행 감소효과를 살펴보면 CBD지역에서는 약 10~30%까지의 차량 수요 절감효과를 가져왔으며, 그 이외의 지역에

서도 약 10%정도의 감소효과를 가져왔다. 우리나라에서도 한때 카풀(Carpool) 제도가 정착이 되는 듯 하였으나 국민소득의 증가로 인한 차량 보유대수 증가와 문화적인 차이로 인해서 널리 보급되는 데는 한계가 있었다.

〈표 8〉 Ridesharing의 시너지 효과⁶⁾

	Canadian Study			Los angeles study		
	Before	After	Change	Before	After	Change
Drive alone	35%	28%	-20%	55%	30%	-27%
Carpool	11%	10%	+9%	13%	45%	+246%
Transit	42%	49%	+17%	29%	22%	-24%
other	12%	13%	-8%	3%	3%	0%

6)Feeney, 1989, cited in Pratt, 1999

차량 함께타기의 장점은 다른 교통수요관리 기법과 병행하여 널리 적용될 수 있다는 데 있다. HOV(High Occupancy Vehicle)에 대한 통행 요금 감면 책 또는 CBD 지역에서의 나홀로차량 통제정책 적용시 차량 함께 타기는 새로운 시너지 효과를 창출할 수 있으며, 도심지 주차요금제 시행시 Carpool 차량이나 Vanpool 차량에 대한 혜택 적용으로 이용자수를 극대화 할 수 있다는 장점이 있다. LA시의 경우 Carpool과 주차요금제를 병행하여 약 246%까지 수요가 증가된 사례가 있다.

그러나, 차량 함께타기의 성공을 위해서는 국가적 차원에서의 적극적인 홍보와 지원정책이 필요하며, 기업차원에서 기업이 부담하여야할 교통유발금 감면혜택 및 기업 광고효과로 적극적으로 활용하여야만 보이지 않는 이익 창출로 연결될 수 있다.

4) 주차요금 인상

주차료 인상의 경우 차량의 도착지만을 제약할 수 있다는 점에서 커다란 통행억제효과를 기대하기 힘들며, 통과 교통량이나 잠시 체류하는 통행에는 영향을 끼칠 수 없기 때문에 혼잡통행료보다 교통수요를 관리하는데 효과적이지 못하다. 그러나 주차요금 인상의 경우 영향권을 전지역으로 확대한다면, 전체 교통량에도 적지 않은 영향을 미칠 수 있으며, 형평성의 문제, 행정관리상의 문제, 요금 인상에 따른 고용인들의 반발 등의 문제점도 있지만, 혼잡통행료보다 기술

적인 어려움이 적고 최소한의 행정 노력으로 집행이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

특히 자동차의 이용수요가 유류가격보다는 주차요금에 민감하게 반응한다는 이론⁷⁾이 제기되어 왔는데, 이는 유류가격과 주차요금이 모두 자동차의 이용과 관련된 비용이지만, 이용자가 인지하는 비용(Perceived Cost)이 서로 다르다는 주장에 근거한다. 이러한 점은 주행세와 같이 유류가격의 조정을 통한 교통수요관리방안보다는 주차비용 관련정책이 자동차 이용자에게 미치는 파급효과가 더 크다는 것을 의미하는데, 연구결과 주차료가 월 4만원 인상될 경우 약13~15%의 자동차 이용의 저감을, 월 8만원 인상될 경우 25~30%정도의 저감효과를 기대할 수 있는 것으로 추정되었다.

국내에서도 '97년 2월 1일부터 서울시 공영주차요금을 50% 인상하였으며, 그 결과 주차장 이용대수와 평균주차시간이 감소한 것으로 나타났다. 다만, 요금인상결과 장기 주차차량보다는 단기 주차차량이 줄었으나, 주차장의 효율적 사용에는 크게 기여하지 못한 것으로 나타났다는 점을 고려할 때, 시간 누진제 등과 같은 보완 대책을 마련할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

한편 외국의 경우, 주차요금정책이 자동차 통행량감소와 대기오염 가스배출 감소에 상당한 기여를 하는 것으로 알려져 있는데, 캘리포니아 남부지역의 경우 침두시에 1.6km당 0.15\$의 혼잡 통행료와 하루 3\$의 주차료(관공서와 일반 주차장의 경우 시간당 0.6\$) 그리고 대기오염

7) 이성원, 1999

가스배출에 대한 부과세를 차량당 연간 110\$를 부과함과 동시에 대중교통의 서비스증대를 병행한 결과 차량운행거리(VKT)는 12%, 오염물질은 20%가량 감소한 것으로 나타났다. 특히 대규모 사업장의 경우 주차료를 부과했을 때, 20~30%의 출근 차량 감소효과가 있는 것으로 알려져 있다.

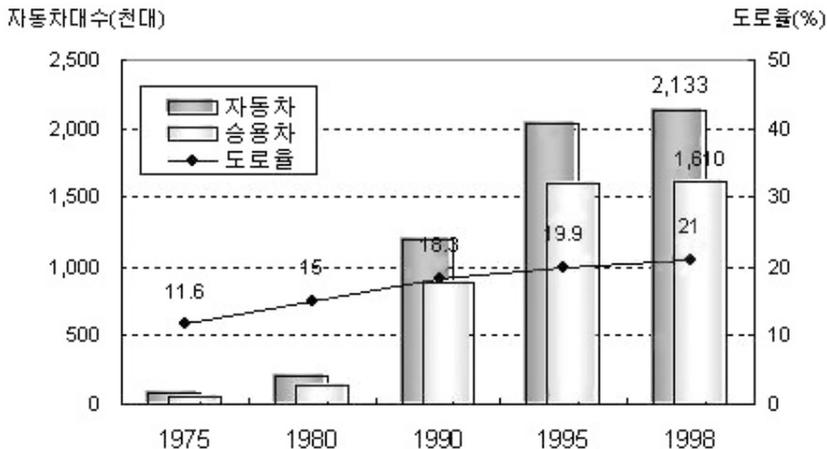
3. 기존 정책의 한계

그러나 앞서 설명한 교통수요관리정책은 많은 한계를 가지고 있다. 왜냐하면, 교통수요관리는 제한된 교통시설을 효과적으로 활용할 목적으로 교통수요 발생을 적정한 수준으로 유지시키고, 이를 위해 교통혼잡 비용, 교통사고 비용 등과 같이 외부비용(External Cost)을 발생시키는 교통행위에 대해 유발자에게 비용을 부과시켜야

한다는 교통경제학 이론에 근거하기 때문이다. 실제로 우리나라에서 기 시행된 교통행위에 대한 유발자의 비용부과(혼잡통행료 부과, 주차세 인상 등)는 많은 저항에 부딪혀서 실패하였다.

또한 교통수요관리기법들이 이용자의 자발적인 참여를 바탕으로 이루어지나, 우리나라의 경우 대중교통서비스가 빈약하여 실제적으로 통행자의 통행 습관을 바꿀 수 있을까 하는 의구심이 존재한다. 따라서 현재의 자동차 위주의 교통체계를 대중교통위주의 교통체계로 바꾸어 이용자가 편리하게 대중교통을 이용할 수 있는 환경을 우선적으로 만들어준 다음에 수요관리기법의 적용이 필요한 것이다. 이는 대중교통서비스가 좋지 않은 상황에서 세금을 부과하거나 강제로 통행을 막는 교통수요관리정책만으로는 교통수요를 근본적으로 관리할 수 없다는 것이다.

특히, 서울과 같은 우리나라의 대도시는 잠재



[그림 2] 연도별 자동차 및 자동차 대수



〈표 9〉 서울의 차종별 도심 통행속도

구 분			1990년	1992년	1994년	1996년	1998년
통행 속도 (km/h)	승 용 차	전체	24.22	22.62	23.18	20.09	25.41
		도심	16.40	19.28	20.04	16.44	17.72
		외곽	25.78	22.87	23.40	21.23	25.90
	버스		-	-	18.42	18.79	20.07
년간 혼잡비용 (억원)			654	18,010	27,860	35,610	12,082

〈표 10〉 자동차의 1일평균 주행거리

구 분	한 국		일 본		미 국		영 국	
자동차 1일평균 주행거리 (km)	전국 (1997)	서울 (1997)	전국 (1995)	동경 (1989)	전국 (1994)	뉴욕 (1989)	전국 (1995)	런던 (1990)
	53.3	51.2	27.4	26.8	52.2	45.8	41.1	45.8

수요가 클 뿐만 아니라 교통수요가 총량적 규모 면에서 지속적으로 증가하고 있다는 점을 감안할 때 대중교통서비스의 질적 향상과 상호 병행하여 교통수요관리정책이 실시될 때만 충분한 효과를 기대할 수 있다는 제약이 있는 것이다.

우리나라의 경우 도로율에 비해 자동차 대수가 급격히 증가하여 서울을 비롯한 많은 도시의 통행속도가 저하되고, 연간 혼잡비용이 계속 증가하고 있다.

서울의 경우 도심 통행속도는 '94년 이후 악화되어 있는 상태이며 연간 혼잡비용이 지속적으로 증가하여, 이를 해결하기 위해 교통체계 개편 등의 대중교통우선정책을 시행하고 있다.

또한 수단분담율이 20%에 불과한 자동차가 도로의 62%를 점유, 자동차의 1일평균 주행거리

가 '97년 51.2km로 외국에 비해 매우 높은 것으로 나타났다.

특히 자동차의 수단분담율은 지속적으로 증가하는데 반해, 버스의 분담률은 지속적으로 감소하고 있어 대중교통서비스의 개선이 매우 심각하다. 승용차의 분담률이 '96년 29.3%에서 2002년 32.9%로 증가함에 따라 교통혼잡을 가중시키고 있다. 대중교통의 경우 수도권 총 통행량 중 지하철·전철의 경우 20.7%에서 23.6%로 2.9% 증가하였으나, 버스의 경우 32.8%에서 29.0%로 감소하여 전체적으로 대중교통수단의 분담률은 53.5%에서 52.6%로 감소하고 있다.

서울외곽 거주자의 버스 이용률이 저조하고, 서울시와 경기도를 통과하는 통행량 중 버스보

〈표 11〉 수도권권의 수단분담률 변화

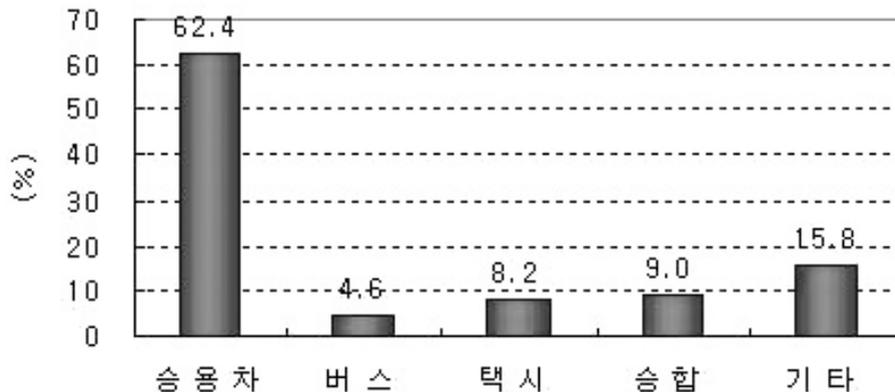
구 분		총 계	승용차	버스	지하철·전철	택시	기타
1996년	통행량	41,408,841	12,123,358	13,571,196	8,552,420	4,211,508	2,950,359
	분담률	100%	29.3%	32.8%	20.7%	10.2%	7.0%
2002년	통행량	47,789,726	15,740,902	13,864,635	11,254,851	4,000,108	2,929,230
	분담률	100%	32.9%	29.0%	23.6%	8.4%	6.1%
통행량증감		6,380,885	3,617,544	293,439	2,702,431	- 211,400	-21,129
변 화 율		15.4%	29.8%	2.2%	31.6%	-5.0%	-0.7%

다도 승용차를 많이 이용하고 있어 교통체증을 심화시키고 있다. 서울시와 경기도를 연결하는 유출입 통행량 중, 승용차 통행비율은 33.7%인데 버스는 19.5%에 불과하다. 굴곡 운행에 따른 장시간 운행과 환승에 따른 추가비용 소요문제로 승용차 수요를 흡수하는 데는 미흡하다.

2002년 서울시 시계지역에서 승용(합)차의

나홀로 차량은 시계에서 79%, 도심지역에서 79.4%를 나타내고 있으며, '96년에 비해 크게 증가하고 있다. 서울시의 시계를 출입하는 승용차의 재차인원은 2002년 1.31로 '96년의 1.51에 비해 0.2명 감소하여 나홀로 차량이 증가하고 있음을 나타낸다. 수도권에는 전철 7개 노선 503.6km, 지하철 9개 노선 311.5km이 운행 중

도로점유율



[그림 3] 서울시 차종별 도로점유율(%)

〈표 12〉 서울시계의 나홀로 차량 변화

구 분	시 경계 지역			도심 경계 지역		
	승용차	승합차	승용(합)차	승용차	승합차	승용(합)차
1996	70.3	64.6	68.9	70.8	68.1	70.2
2002	80.8	71.8	79.0	80.3	76.5	79.4
증감 차이	10.5	7.2	10.1	9.5	8.4	9.2

〈표 13〉 서울시 차종별 재차인원 변화

조사 지점 시기	시 경계 지역			도심 경계지역			교량 경계지역		
	전체 교통량	승용, 승합차		전체 교통량	승용, 승합차		전체 교통량	승용, 승합차	
		차종 비율 (%)	재차 인원 (인)		차종 비율 (%)	재차 인원 (인)		차종 비율 (%)	재차 인원 (인)
1996년	2,642,408	69.8	1.51	1,555,686	65.3	1.45	1,762,124	71.1	1.42
2002년	3,154,161	73.6	1.31	1,393,940	62.7	1.29	1,782,039	72.5	1.26
변화율	19.4%	3.8	-0.2	-10.4%	2.6	-0.16	1.1%	1.4	-0.16

이나 지하철을 제외한 광역철도가 선진 외국의 대도시권에 비해 취약하다.

이와 같이 자동차 통행량 증가로 인한 도로의 정체현상은 갈수록 심각해지나, 자율적 10부제의 참여율이 저조하고, 기존의 혼잡통행료, 기업체 수요관리, 주차요금정책 등도 국지적, 단편적인 효과는 있으나 전체적인 개선효과는 미흡하다.

따라서 기존의 간접적인 교통수요관리방안이 자동차의 이용을 억제하여 대기오염을 저감시키도록 하기 위해서는 우선적으로 대중교통서비스의 질적 향상을 통한 대중교통활성화방안이 필수적이라 하겠다.

IV. 대기오염 저감을 위한 대중교통활성화 방안

1. 대중교통활성화방안의 필요성

차량 10부제 운행은 운전자들의 자율적인 참여를 바탕으로 이루어지나, 실제적인 참여율은 매우 저조하며, 최근 정부에서도 고유가 등 여러 가지 원인으로 강제적인 10부제 시행을 검토했으나 시민의 거센 반발 때문에 결국은 자율적인 시행원칙을 고수하였다. 따라서 자동차의 통행을 억제하기 위해서는 보다 근본적으로 자동차 운전자들이 자발적으로 대중교통을 이용할 수 있도록 하는 대중교통활성화방안이 필요하다.



현재 수도권 및 대도시 인근에는 인구 및 산업 시설의 집중이 심화되어 지속적으로 교통수요가 증가하고 있는 반면, 도로의 공급은 한계상황에 도달해 교통 지정체 현상이 심각한 수준에 이르고, 이로 인해 수도권 및 대도시 주변의 대기오염현상이 갈수록 심각해지고 있다.

가히 폭발적이라고 말할 수 있는 교통수요의 증가 현상은 수도권 주변의 집중개발로 인하여 그 심각성이 더욱 가중될 것으로 전망되고 있다. 이로 인해, 증가하는 교통수요와 그로인한 대기오염문제의 해결을 위해 교통수요관리정책 중에서 자동차 이용 억제 및 대중교통의 활성화에 대한 관심이 증대되고 있고 건설교통부를 비롯한 여러 지자체들에서 자동차의 수요를 대중교통으로 전환시키는 대중교통 활성화정책을 추진하고 있는 상황이다.

2. 대중교통중심의 교통체계 개편

자동차중심의 교통체계를 대중교통중심의 교통체계로 변화시키기 위해서는 시공간적으로 통행수단을 신속히 연결하는 대중교통수단의 도입과 이에 대한 통행자의 접근이 용이해야한다. 그러나, 현재 수도권에서 보는 바와 같이 광역통행이 많이 발생하고 있는 상황에서는 각개 지자체만의 노력으로는 광역차원의 대중교통정책을 실행하기가 어렵고, 비록 실행한다고 해도 효과가 크지 않음을 짐작할 수 있다.

또한, 기존의 대중교통수단을 대표하는 전철(철도) 및 버스체계는 자동차 이용자들을 대중교통수단으로 적극 유도하는데 많은 한계점을 지

니고 있다. 철도는 빠르고 편리하나 접근성이 떨어지고 공사기간이 길고 건설비용이 많이 들며, 버스는 접근성이 용이하고 적은 비용으로 빠르게 도입할 수 있으나 정시성과 수송능력, 그리고 운행속도가 떨어지는 단점이 존재한다.

최근 교통문제를 해결하기 위해 버스전용차로제에 대한 인식이 고조되고 있으며, 그 결과 서울시에서 주요 간선축에 부분적으로 중앙버스전용차로제를 시행하여 대중교통정책의 성과를 일부 증명하였으나, 그 효과는 제한적이어서 보다 진일보된 신대중교통시스템의 도입이 요구되고 있다.

3. BRT 도입 필요성

즉, 기존의 대중교통체계가 버스정거장, 환승시스템, 운영센터, 요금체계, 교통수단간 연계 등의 지원시설이 잘 구축되지 못한 상황에서는 통행자가 버스를 이용하더라도 목적지까지 통행하는데 큰 불편이 따르게 되며, 버스전용차로제 시행으로 인해 일반차로는 차로수가 줄어들어 더욱 혼잡해지게 되는 바, 이러한 상황에서 일반차로의 혼잡을 피하기 위해 자동차 대신 버스를 이용하라는 논리는 통행자의 교통수단선택 변경을 적극적으로 유도하는 계기가 되지 못한다.

만약 대중교통서비스 향상을 위해 엄청난 공사비용과 긴 공사기간을 감내하고 지하철을 건설한다고 해도, 공사기간동안의 엄청난 교통혼잡 및 불편과 먼지 및 소음 등의 환경오염을 시민들은 결코 견딜 수 없다. 또한 비록 오랜 기간에 걸쳐 건설되었다고 하더라도 도시개발과 통행수요

의 변경으로 새로운 대중교통수요가 발생할 경우 빠르고 편리하게 서비스를 제공할 수 없다.

따라서 대중교통수단으로 통행자 스스로가 교통수단을 변경하도록 유도하기 위해서는 편리하고 신속하며, 쾌적한 서비스를 제공할 수 있는 새로운 대중교통시스템이 요구되는 바, 본 논문에서는 기존 대중교통수단인 철도와 버스의 장점이 적절하게 조화되어 자동차의 이용을 억제하고 대중교통서비스를 질적으로 향상시킬 수 있는 대안으로 BRT(Bus Rapid Transit, 간선급행버스시스템)의 도입을 검토하고자 한다.

V. 간선급행버스시스템(Bus Rapid Transit)

1. BRT 정의

BRT는 기존의 버스시스템에 전용차로 또는 전용도로로 구성된 독립된 통행권, 정거장, 환승시설, 사전요금징수 등 철도시스템의 운영개념을 도입하여 통행속도, 정시성, 수송능력 등의 버스서비스를 지하철 수준으로 대폭 향상시킨 저비용·고효율의 버스기반 대중교통시스템을 의미한다.

2. BRT 구성요소

물리적인 요소로 BRT 시스템을 분류하면 크게 7가지로 구분할 수 있는데, 이는 주행로(Link), 교차로(Node), 차량(Mode), 정거장 및 환승시설(Network), 운영센터(운영 및 관리시스템), 요금징수시스템(교통카드), 지원서비스

(안내정보 및 지원서비스)로 구분된다.

BRT 시스템의 구성요소를 간략히 살펴보면, 주행로는 BRT의 전용통행권(Right of Way)이 기존 도로에서 분리된 차로로 확보되느냐 아니면 독립된 전용도로로 확보되느냐에 따라 전용차로 및 전용도로로 구성된다. 교차로에서의 BRT 처리전략은 크게 버스우선처리시설과 버스우선신호시스템으로 구성된다. 버스우선처리시설은 자동차전용도로와 간선도로에서 버스우선처리 방식이 구분되며, 자동차전용도로의 경우에는 버스전용램프와 버스전용 톨부스가, 간선도로에는 지하차도 및 고가차도 등의 버스 입체화시설이 포함된다. 버스우선신호시스템은 버스 도착시 버스우선신호가 작동하게 하는 등 교차로에서 버스에게 우선권을 주는 시스템으로 구성된다.

BRT 차량은 승객들의 대량수송에 적합한 굴절버스 혹은 이중굴절버스로 구성되며, 승객들(특히 노약자와 임산부 등)의 빠르고 편리한 승하차를 위해 저상이거나 수평승하차가 가능하며, 환경오염 및 소음방지를 위해 저소음의 특징을 갖는다. 정거장은 Link 및 Node와 용량균형이 맞도록 설계되어야 하며, 사전요금 지불과 안전하고 빠른 승하차를 지원할 수 있어야 한다.

환승시설은 기존 도로망 및 대중교통망과 잘 연계되어 교통수단간 고도의 환승처리가 가능하도록 쾌적하고 편리한 시설을 갖추어야 한다. 운영센터는 BRT의 운영을 총괄하는 종합사령실과 자동으로 BRT차량의 위치를 추적하여 승객에게 실시간으로 운행정보를 제공하는 정보센터, 그리고 BRT차량의 운행을 관리하는 운행관리센터

의 역할을 수행한다. BRT의 요금체계는 사전지불식 요금체계를 기본으로 하여 빠른 승하차 및 환승을 지원해야하므로 스마트카드(Smart Card Fare Collection)가 근간이 된다. 요금체계는 반드시 환승을 고려해야하며, 정액 요금 혹은 거리기준 요금방식을 갖는다. 지원서비스는 BRT 지원 프로그램 구상, 정책적 지원 및 연계, BRT 시스템의 홍보 및 단속 등으로 구성되며, 친절한 직원서비스와 BRT의 신속성 등을 부각시킬 수 있는 강한 브랜드 효과를 지녀야한다.

3. BRT 특징 및 도입효과

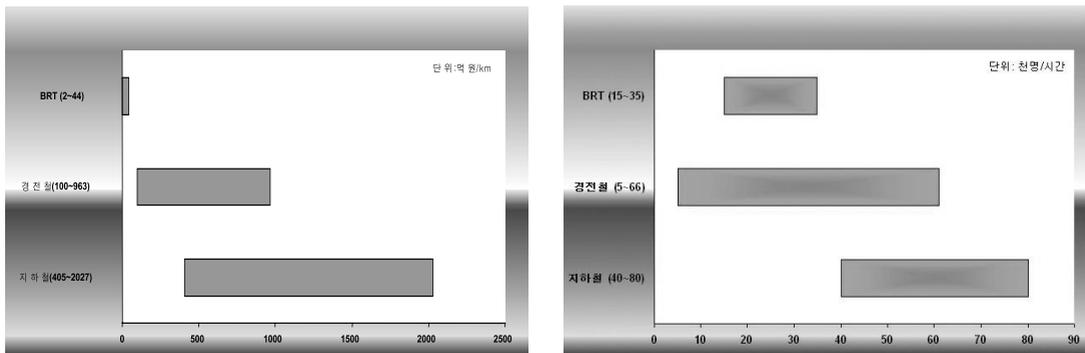
BRT는 버스와 철도의 특징 중에서 각각의 장점만을 수용한 특징을 가지고 있어, 운행속도, 정시성, 수송능력, 쾌적성, 승하차서비스가 좋으며, 공사기간이 짧고 공사비용이 적으며 접근성이 좋다.

해외에서 수행된 BRT와 지하철 및 경전철의 km당 건설비용을 비교해보면, 수송능력은 경전

철과 비슷하지만 건설비용은 지하철이나 경전철에 비해 저렴해 건설비에 따른 수송효율이 매우 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 최근까지 해외 주요 도시들에서 운영되고 있는 대중교통수단들의 시간당 수송능력(인)을 비교한 결과, 지하철은 최대 8만명, 경전철은 약 7만명, BRT는 약 3만5천명을 수송할 수 있는 것으로 나타났다.

BRT는 지하철이나 경전철보다 적은 수준의 건설비로 예산 절감에 기여할 수 있는 장점과 더불어 중앙버스전용차로를 통한 버스 통행속도 향상 및 정시성 제고와 환승시설 및 승강장 개선을 통한 버스 서비스 개선 등의 도입효과를 가지고 있다.

BRT 도입 전후의 통행속도 및 탑승객 증가율을 비교한 미국의 사례(피츠버그 및 LA)를 보면, BRT 도입 후 통행속도가 약 40km/h로 도입전보다 2배 이상 증가했으며 탑승객이 약 27~100%가 증가한 것으로 나타났다. 미국의 각 도시별 도입효과를 보면 BRT 도입후 평균 25% 정도 통행시간이 감소하였으며, 탑승객 증가율



[그림 4] 대중교통수단별 건설비용 및 수송능력 비교⁸⁾

8) 미국 연방회계원(GAO), 의회보고서, 2001

은 도시별로 각각 다르나 대체적으로 약 20%정도 증가한 것으로 나타났다.

대만의 경우 BRT 도입후 버스의 통행속도가 약 5~6km정도 증가했으며, BRT 도입으로 인한 시너지 효과로 자동차의 통행속도도 함께 증가한 것으로 나타났으며, 일본의 경우도 마찬가지로, BRT 도입후 통행속도가 약 6km/h 증가하였으며, 승객수 및 버스의 정시성이 눈에 띄게 증가한 것으로 나타났다.

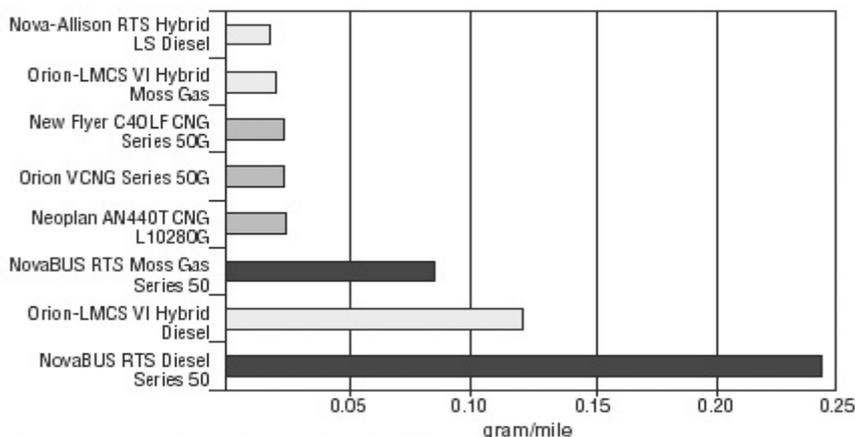
따라서 이와 같은 특징을 고려할 때 BRT는 기존 대중교통수단의 부족한 점을 보완할 수 있을 것으로 판단되며, 자동차위주의 교통체계를 대중교통위주의 교통체제로 바꾸며, 자동차 이용자의 자발적인 수단전환을 일으켜 자동차로 인한 대기오염을 저감시킬 수 있을 것으로 보인다.

VI. 대기오염측면에서의 BRT 도입효과

앞서 우리는 BRT가 자동차의 이용억제를 통해 대기오염을 저감시킬 수 있는 교통수요관리의 기본적인 대중교통활성화방안이라는 것을 알았다. 그러나, BRT 차량이 대기오염측면에서 올바른지를 검토할 필요가 있으며, 본 논문에서는 BRT가 도입된 외국의 사례를 중심으로 기술적인 관점에서 대기오염측면에서 BRT를 점검하고자 한다.

1. 대기오염 감소효과

버스의 엔진에 대한 외국의 보고서⁹⁾에 의하면 현재의 4 cycle을 가지며 전자적으로 통제되는 디젤엔진은 1994년 이전의 엔진보다 1/3정도



(Chart Courtesy of Northeast Advanced Vehicle Coalition)

[그림 5] 다양한 동력시스템 종류에 따른 미립자 오염물질 배출량

9) A Study of Bus Propulsion Technologies Applicable in Connecticut(Werle, 2001)

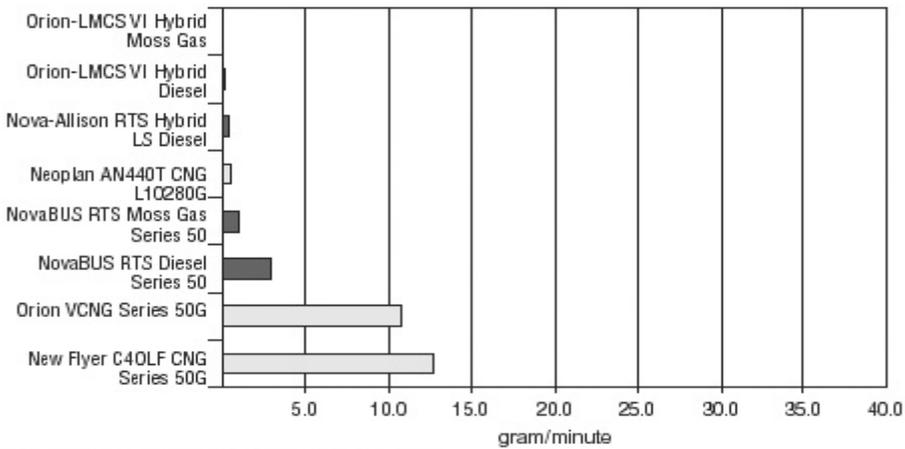


대기오염이 적고, 2 cycle 엔진보다는 15%정도 대기오염이 적은 것으로 나타났다.

[그림 5]에서 [그림 8]까지는 BRT 차량과 보통의 고효율(high-end) 차량(CNG, 청정디젤

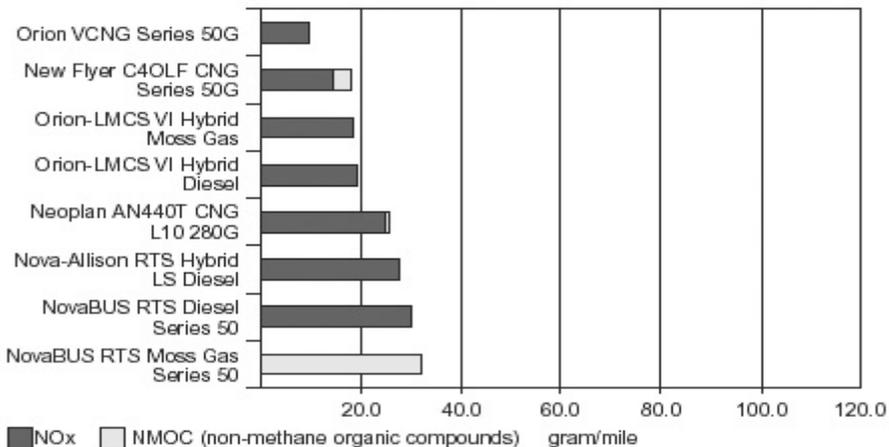
등등)에 이용된 동력기술이 지난 10년 동안 얼마나 많은 종류의 대기오염을 감소시켰는지를 보여주고 있다.

저황 연료와 연속 재생기술(Continuously



(Chart Courtesy of Northeast Advanced Vehicle Coalition)

[그림 6] 다양한 동력시스템 종류에 따른 일산화탄소 배출량



(Chart Courtesy of Northeast Advanced Vehicle Coalition)

[그림 7] 다양한 동력시스템 종류에 따른 오존 파괴물질 배출량(탄화수소, 산화질소)

Regenerating Technologies)을 이용한 디젤 차량은 눈으로 감지할 수 없는 정도까지 대기오염의 발생을 감소시켜, 일산화탄소의 배출량을 70%까지 감소시켰으며, 연료의 절약량을 30% 이상 증가시켰다.

청정 디젤엔진 차량에 이용되는 저황 연료는 현재 미국의 일부지역에서만 사용중이나, 미국 환경국은 2006년 1월부터 미국의 모든 지역에서 사용하도록 명령하고 있다.

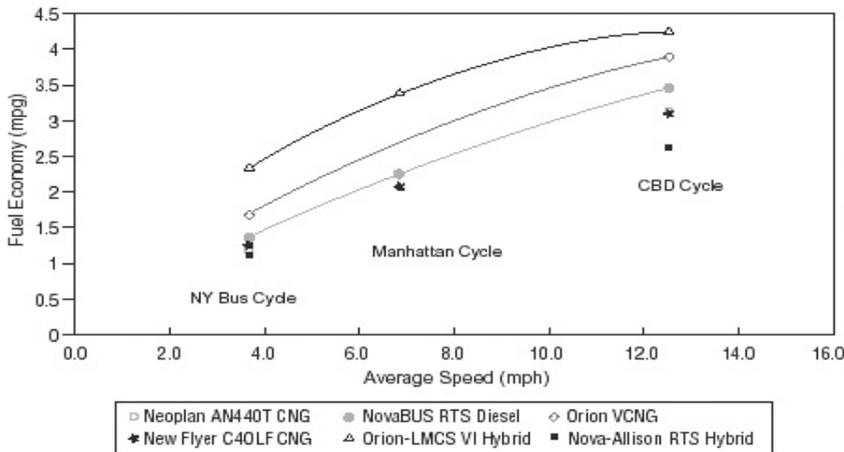
2. 연료 절감효과

디젤 하이브리드 엔진¹⁰⁾ (hybrid)은 전통적인 하이브리드(hybrid)보다 다소 신뢰성이 떨어지며, 초기 비용이 최소 \$150,000이상 드는 단점이 있

으나, 이러한 차량들이 많이 사용되면 사용될수록 신뢰성도 높아지고 초기비용도 CNG 차량 수준인 약 \$50,000 정도로 떨어질 것으로 예상하고 있다.

또한 BRT 차량은 대기오염뿐만 아니라 기존의 버스보다 소음도 훨씬 더 적은 장점을 가지고 있다. 1970년대 후반 Saab-Scania에 의해 수행된 버스소음에 관한 연구는, 버스의 주된 소음은 디젤엔진이 갖는 다음의 특징 때문에 발생한다는 것을 밝혀냈다.

- 기계적 소음(피스톤 운동소음)
- 고압력 연료 주입에 따른 소음
- 환풍기 소음
- 공기흡입구 소음
- 배기가스 소음
- 타이어 소음



(Chart Courtesy of Northeast Advanced Vehicle Coalition)

[그림 8] 다양한 동력시스템 종류에 따른 연료 절약정도

10) 동력과 전기에너지를 함께 사용하는 엔진



Saab는 버스의 소음을 일반 자동차 수준이하 (도로에서 차량이 10m 동안 전속력으로 가속했을 때 발생하는 10 데시벨의 소음)로 감소시키는 방안을 개발했으며, 최근의 BRT 차량은 기본적으로 출발시의 소음이 적기 때문에 소음을 줄이는 것이 매우 용이한 것으로 밝혀졌다.

Ⅶ. 결론

최근 오스트리아, 프랑스, 스위스에서 매년 사망자의 6%가 대기오염 때문에 숨지며, 이중 절반인 약 2만명이 매연과 관련된 사망인 것으로 조사되었으며, 매연으로 인해 25만명이상의 만성 기관지염 환자, 50만명이상의 천식 환자가 유럽에서 새롭게 발생하는 등 지금껏 우리가 지나쳐온 자동차의 매연이 사회적인 이슈로 대두되고 있다.

본 논문에서는 자동차 대기오염을 줄이기 위한 방안으로 제시된 기존의 교통수요관리정책의 문제점을 분석하였고, 교통수요관리의 기본 사항이며 필수적인 요소가 대중교통중심의 교통체계 개편을 통한 대중교통활성화임을 밝히고, 이를 위해 BRT를 소개하였으며, 아울러 국내 도입의 문제점과 해결방안, 그리고 선결과제를 제시하였다.

BRT는 지하철과 더불어 핵심적인 대중교통 수단임에도 불구하고 정시성, 통행속도, 수송용량, 쾌적성 등의 서비스가 미비하여 승객들에게 외면당해왔던 버스의 단점들을 극복하고 기존의 자동차 위주의 교통체계를 대중교통중심으로 전

환시킬 수 있는 혁신적인 시스템으로, 이의 도입을 통해 대중교통의 이동성 및 접근성을 고루 향상되어 자동차의 이용억제 효과가 매우 클 것으로 기대된다.

따라서, BRT의 장단점을 포함한 특성, 세부 구성요소 및 요소기술에 대한 이해와 연구를 통해 BRT 도입이 이루어진다면, 이는 기존의 교통수요관리정책을 보완할 수 있을 것이며, 이를 통해 자동차의 통행이 억제되고 결국에는 자동차의 대기오염을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 기존의 대기정책이 대기오염과 상관성이 큰 에너지정책, 산업정책, 도시계획 등과 관련 정책과의 통합적 접근(Policy Integration)에 부족하여, 에너지 수급 및 수요관리, 대체에너지 개발 및 보급업무는 산자부에서, 도시계획 및 교통수요관리는 건교부에서, 에너지 사용, 자동차 이용, 도시개발로 인한 대기오염 저감업무는 환경부에서 각각 관리하고 있는 상황에서, 대기오염의 근원적인 해결을 위해서 기존의 대기정책과 교통수요관리정책을 연계하는 방향을 제시했다는 점에서 의미가 있다.

향후 본 논문의 “자동차 대기오염 저감을 위한 교통수요관리정책 핵심사항으로서, BRT 도입을 통한 대중교통활성화방안”이 실행된다면, 기존의 단기처방위주의 접근을 탈피하여 관련 정책과의 연계를 통한 중장기계획 및 대책의 기초체계가 마련될 것으로 기대되며, 이를 통해 대기오염에 영향을 미치는 여러 요인을 종합적으로 고려하는 관리방식이 도입되어 대기오염 저감에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다. 