

자동차 부제에 의한 서울 대기오염 저감 효과 분석 Analysis on the Effects of Traffic Control Program on the Air Quality in Seoul

이 형 민 · 김 용 표*

이화여자대학교 환경학과

(2006년 12월 30일 접수, 2007년 6월 26일 채택)

Hyung Min Lee and Yong Pyo Kim*

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

(Received 30 December 2006, accepted 26 June 2007)

Abstract

To reduce the vehicular emissions of air pollutants, various traffic control programs (TCPs) have been used. In 2002, two TCPs have been implemented in Seoul and Busan, respectively. In this study, based on the study results on the effectiveness of the TCP in Seoul (Kim *et al.*, 2005) and Busan (Lee *et al.*, 2006), emission reduction by the TCP in Seoul was estimated and their contribution to the ambient air pollutants' concentrations was discussed. During the TCP period in 2002 at Seoul, emissions of air pollutants were reduced by 35% for CO and NO₂, 80% for HC, 23% for PM₁₀, and 24% for SO₂. Vehicular emission reduction affected the ambient concentrations significantly for NO₂. However, for SO₂, vehicular emission reduction did not affect the ambient concentration significantly. For PM₁₀, vehicular emission reduction did not affect the ambient concentration significantly if considering fugitive emissions.

Key words : Traffic control program, Vehicular emissions, Nitrogen dioxide, PM₁₀, Seoul

1. 서 론

수도권은 전국토면적의 11.8%에 불과한 좁은 지역에 총인구의 46%가 거주하며 많은 오염물질을 배출하고 있어, 대기오염이 매우 심각하다. 우리나라의 대기오염물질 배출은 OECD 가입국 배출량 자료를 국토면적으로 나눈 단위면적당 배출량을 기준으로 했을 때, 먼지의 경우 미국, 프랑스 등에 비해 10배

이상이며 독일, 영국 등에 비해서도 5배 가까운 수준이다(한국환경정책·평가연구원, 2004). 이에 정부는 2003년 12월 대기오염물질을 주로 배출하는 자동차와 사업장 관리, 환경친화적 에너지·도시 관리 등을 주요 골자로 하는 '수도권 대기환경 개선에 관한 특별법'을 제정하였다.

특별법을 제정하기 이전에도 서울시의 대기오염을 개선하기 위해 연료규제, 배출허용기준 강화 등의 노력은 계속되어 왔었지만 그 효과가 모든 대기오염물질에 대해 같이 나타나지는 않았다. 아황산가스나 일산화탄소와 같은 오염물질의 농도는 현저하게 줄어

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-3277-2832, E-mail : yong@ewha.ac.kr

는 반면, 이산화질소, 미세먼지, 오존과 같은 경우에는 큰 효과가 나타나지 않았다(김용표, 2006). 도심에서는 이산화질소, 미세먼지, 오존 등의 대기오염물질의 배출, 또는 생성에 자동차가 미치는 영향이 매우 크다. 자동차 한 대에서 배출되는 오염물질의 농도는 기술의 발전으로 크게 줄어들었다. 하지만 수도권의 자동차 등록대수가 1980년 27만 대에서 2000년 558만 대로 20배 이상 증가하였기 때문에 총 오염물질 배출량은 더욱 늘어나고 있다. 이는 기술적 노력으로 자동차 자체의 배출량을 줄이는 것 외에도, 정책적인 수단이 필요한 상황임을 말해 준다.

특별법의 일환으로 시행중인 자동차 관리 대책에는 제작 자동차 관리, 운행 자동차 관리, 교통수요 관리 등이 있다. 이와 비슷하게 서울시에서 2003년부터 에너지 절약과 교통·환경개선을 위하여 시행하고 있는 제도로 승용차 요일제가 있다. 승용차 요일제에 참여하는 차량에 대해 여러 혜택을 주는가 하면, 공공기관을 시작으로 자동차 5부제를 강제적으로 시행하고 있다. 그런데 과연 승용차 요일제나 차량 5부제와 같은 자동차 부제 정책들이 대기오염 저감에 얼마나 효과적인가에 대해서는 여전히 논란의 여지가 있다.

이 연구에서는 (1) 2002년 차량 2부제를 시행한 두 사례를 비교 분석하고, (2) 그 결과를 토대로 2002년 6월 서울에서 월드컵 기간에 시행된 차량 2부제에 따른 대기오염물질 배출량 변화를 계산하여, (3) 총 대기오염물질 배출량 중 자동차 오염이 기여하는 정도를 반영해 배출량 변화가 오염물질의 대기 중 농

도 변화에 미치는 영향을 검토하였다

2. 차량 2부제에 대한 기존 연구결과 검토

김철희 등(2005)은 2002년 한·일 월드컵 기간 중 서울을 포함한 수도권 지역에서 강제 차량 2부제가 시행된 5/30~31, 6/12~13, 6/24~25의 총 6일을 연구대상으로 하였다. Lee *et al.* (2005)은 2002년 가을(9/13~10/30) 아시안 게임이 열렸던 부산에서 실시한 승용차 2부제를 대상으로 연구를 수행하였다. 두 논문의 주요내용을 아래 표 1에 정리하였다.

대기오염도를 결정하는 데에는 실제 대기 중에 존재하는 오염물질의 농도와 더불어 기상상태가 매우 중요하게 작용한다. 이러한 측면에서 봤을 때, 김철희 등은 기상상태가 대기오염도에 미치는 영향을 최소화 하는데 노력을 기울였으며, 이병규 등은 기상상태의 영향을 그대로 반영한 것이 가장 큰 차이이다. 김철희 등은 차량 2부제가 대기 오염물질 배출량, 즉 대기 중 오염물질 농도 변화에 미치는 영향을 연구하는 데에 무게를 두었고, 이병규 등은 기상상태의 영향을 굳이 배제하지 않은 상태의 대기오염도 분석을 통해 오히려 차량 2부제가 가져올 수 있는 현실적인 문제의 가능성에 대한 연구를 했다고 본다. 따라서, 김철희 등의 연구는 차량 2부제라는 정책의 효과를 검증하는 방향으로 전개되었고 이병규 등의 연구는 차량 2부제의 현실적 한계를 보여주는 방향으

Table 1. Comparison of the studies on the effects of traffic control programs (TCP).

	Kim <i>et al.</i> (2005)	Lee <i>et al.</i> (2005)
Target area	Seoul metropolitan area	Busan
Target sources	Passenger vehicles, trucks, industrial facilities	Passenger vehicles
Period	2002 World Cup (5/30~31, 6/12~13, 24~25)	2002 Asian Game (9/29~10/14)
Analyzed pollutants	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃ , CO
Estimation method	Concentration changes due to TCP between the similar meteorological cases	Concentration changes due to TCP among before, during, and after the TCP
Main feature	Try to minimize the weather effect on TCP	Try to analyze the major variables that affect the air pollution during TCP (e.g. ventilation effect)
Results	-TCP worked effectively -More efficient in the afternoon than morning -Reduction effects: SO ₂ >NO ₂ >PM ₁₀ >O ₃	-TCP did not work well due to meteorological effect -SO ₂ , NO ₂ and PM ₁₀ were high near to the stadium

로 전개된 것이다.

두 연구는 다른 결론을 냈었다. 김철희 등은 차량 2부제의 결과 대기 오염도가 확실하게 저감되었다고 주장한 반면, 이병규 등은 차량 2부제로 인해 대기 오염도가 증가 하였다고 결론지었다. 그러나 두 연구 모두 기본적인 몇 가지 사항에는 동의하고 있다. 두 연구 모두 차량 2부제를 통해 도로교통량이 감소한다는 점과 그에 따라 차량에서 배출되는 오염물질의 배출량이 줄고 결과적으로 대기 중 오염물질의 농도가 감소한다는 점, 대기 오염물질의 농도는 그날 그날의 기상현상과 조건에 크게 영향을 받는다는 점에 동의한다. 즉, 김철희 등은 시험 대상 일과 비교 대상 일의 기상현상과 조건을 동일 시켜주는 것으로 기상 조건의 영향을 무시할 수 있었던 것이고, 그로 인해 차량 2부제의 정책적 효과만을 검증하는 데에 초점을 맞출 수 있었던 것이다. 그에 반해 이병규 등은 시험 대상 일과 비교 대상 일의 기상조건의 차이를 그대로 수용하고 결과로 나타나는 현상을 보고 거꾸로 그 원인을 추적하는 방식의 연구였다. 그렇기 때문에 보다 체계적이고 다양한 시각에서 가능성을 제시하고 결과를 분석했던 것이다. 그 과정에서 차량 2부제에 의한 교통량 감소가 꼭 대기오염도 저감이라는 결과로 이어지지 않는다는 사실을 알 수 있었다. 차량 속도의 증가는 도로의 비산먼지를 일으켜 오히려 미세먼지 농도를 증가 시킬 수 있으며, 차량 속도가 어느 정도 이상 빨라지면 질소산화물 배출이 많아져, 이산화질소 농도를 증가시키고 또한 이는 오존 농도 변화에 영향을 줄 수 있다는 사실 등이다. 그러나 이러한 사실에도 불구하고 이병규 등은 이 연구의 결과에 기상조건이 미친 영향이 매우 크다고 밝히고 있다. 아시안 게임 당시 부산의 기상조건은 혼합도가 낮고, 환기지수가 낮으며, 풍속도 작아서 수직 방향과 수평방향으로 모두 대기 순환이 잘 이루어지지 않는, 대기오염물질 농도를 증가시키기에 적합한 조건이었다는 사실이다. 따라서 부산지역의 기상조건이 달랐다면 이 연구의 결과는 어떻게 달라졌을지 알 수 없다.

두 연구가 결과적으로 차이를 보인 가장 큰 이유는 기상조건의 차이일 것이다. 그래서 이 연구에서는 기상조건에 구애 받지 않고 차량 2부제의 효과를 확인해 보고자 하였다. 그러기 위하여 대기중의 오염물질 농도를 측정하는 대신 차량에서의 직접 배출되는

오염물질의 배출량 변화를 통해 차량 2부제의 효과를 검토해 보았다.

3. 차량 2부제에 의한 서울에서의 대기오염물질 배출 저감 효과 분석

3.1 연구 방법

2002년 월드컵 기간에 서울에서 실시 했던 강제 차량 2부제의 시행결과 자료를 이용하였다. 2002년 월드컵 기간 동안 서울을 포함한 수도권은 자율 승용차 2부제를 실시하였고, 그 중 중요경기가 열려 차량 혼잡이 예상되는 6일간(5/30~31, 6/12~13, 6/24~25)은 강제 차량 2부제를 실시하였다. 매일매일의 참여도가 일정하지 않은 승용차 요일제나 차량 5부제 등과 달리 2002년 월드컵 당시 시행한 강제 차량 2부제는 무엇보다도 강제성이 있어 높은 참여율을 보였기 때문에, 정량적으로 계산하기에 적당한 자료이다. 비교대상 자료(대조군)로는 2002년 연평균 자료를 이용하였는데, 이는 그 해의 평균에 비해 차량 2부제 시행일의 효과를 가시적으로 이해하기 좋기 때문이다.

먼저 오염물질 별 배출량 변화를 계산하여 2002년 연평균 자료와 비교해봄으로써 차량 2부제에 의한 배출량 변화를 살펴보고, 그 결과를 분석하였다. 다음으로는 이 논문과 같이 강제 차량 2부제의 효과에 대해 연구한 김철희 등(2005)을 이용해 실제 대기 중 오염물질의 농도변화와 배출량 변화로 인해 저감되는 대기 중 농도를 비교하고 그 원인을 오염물질 별로 분석해 보았다.

3.2 배출량 계산

오염물질 별(일산화탄소 CO, 탄화수소 HC, 질소산화물 NO_x, 미세먼지 PM₁₀, 황산화물 SO_x), 자동차 종류 별(승용차, 승합차, 버스, 화물차), 연료 별(휘발유, 경유, LPG, CNG) 배출계수 및 연료소비계수를 산정하였다. 산정 방법은 국립환경연구원(2005)에서 제시한 식을 따랐다.

일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO_x),
미세먼지(PM) 배출량

$$= \text{배출계수}(\text{g/km}) \times \text{주행거리}(\text{km}) \times \text{운행차량대수} \quad (1)$$

황산화물(SO_x) 배출량

$$= \text{연료소비계수 (g/km)} \times \text{주행거리 (km)} \times \text{연료 중 황함량 (mg/kg)} \times (10^{-6}) \times 2 \quad (2)$$

*2002년 시판되는 연료 중 황함량(mg/kg) (2002년)은 휘발유 42, 경유 200, LPG 5이다(한국석유품질관리원, 기술정보 팀 제공자료).

**2: 황 함량을 황산화물로 변환하기 위한 계수

***이 결과에 다른 오염물질들과 조건을 같게 해주기 위해 차량대수를 곱함

서울시 차량 등록 대수는 서울시 교통국(2003)에서, 운행대수는 서울시 차량 등록 대수를 기준으로 서울시의 시계 교통량(유출입양) 자료를 이용해 추정하였다. 2002년의 시계교통량자료는 서울지방경찰청(2003) 교통량 조사자료에서 발췌하였고, 2002년 자동차 1일 평균 주행거리는 교통안전공단에서(2006) 구하였다.

배출계수 및 연료소비계수 산정 결과는 부록에 실었다. 일부 오염물질의 경우 차량 속도가 65 km/h 이상으로 증가할 때 배출계수도 증가하는 경우가 있는

데, 본 연구에 사용한 2002년 강제 차량 2부제 자료는 모두 차량속도가 65 km/h 미만이었기 때문에 모든 경우에 '평소(normal)'에 비해 '2부제(TCP)'의 배출계수 및 연료소비계수가 감소하였다.

강제 차량 2부제 참여대상 차량은 10인 이하의 비사업용(녹색번호판) 승용·승합차와 3.5톤 이상의 비사업용(녹색번호판) 화물차였으며, 강제 차량 2부제가 시행되었던 6일간 전체 평균 교통량은 19.2% 감소하고 통행속도는 32.1% 증가하였다(환경부, 2002).

자동차 대수는 실제 서울시 내의 통행량에 근접하게 하기 위해 2002년 서울시 차량 등록대수에 서울시 경계 유출입 교통량을 고려하려고 시도하였다. 그러나 연평균 유입량과 유출량의 차이가 44,922대로(표 2) 2002년 서울시 자동차 등록대수총계(2,691,431대)의 1.7%에 지나지 않으며, 차종 별 유출·입이 따로 조사되지 않았기 때문에 그 차이를 계산자료에 반영하기에 무리가 있다고 판단하고, 무시하기로 하였다.

표 3은 2002년 6월 30일 현재 서울시의 차종 별 자동차 등록대수를 이용해 2부제에 실제 참여한 차량의 참여율을 계산한 것이다. '평소(normal)' 항목은 2002년 6월 30일 현재 서울시에 등록된 차 종별, 크기 별, 연료 별 차량 대수 이다. 당시의 연료 별 차량 대수 자료는 구하지 못해서, 2006년 9월 30일 현재

Table 2. Traffic volume in the Seoul metropolitan area boundary in 2002 (unit: vehicles/day).

	Both	Inflow	Outflow
Total	3,062,642	1,508,860	1,553,782

(Seoul metropolitan police agency, 2003)

Table 3. Variation of the traffic volume at Seoul during the TCP period compared with the normal period in 2002 (unit: vehicles/day).

Vehicle type	Gasoline		Diesel		LPG		
	Normal	TCP	Normal	TCP	Normal	TCP	
Passenger car	X-small	70,022	56,397	16,383	13,196	11,682	9,409
	Small	539,005	434,125	126,115	101,575	89,921	72,424
	Medium	590,473	475,578	138,157	111,274	98,507	79,339
	Large	221,753	178,604	51,885	41,789	36,994	29,796
Small bus	Small	3,412	2,748	137,650	110,866	83,225	67,031
	Medium	63	51	2,537	2,043	1,534	1,235
	Large	35	28	1,424	1,147	861	694
	Special	25	20	1,021	823	618	497
Bus	Urban	150	150	6,064	6,064	3,666	3,666
	Lease	44	44	1,772	1,772	1,072	1,072
Truck	Small	2,260	2,260	275,456	275,456	31,739	31,739
	Medium	299	260	36,504	31,813	4,206	3,665
	Large	79	74	9,625	7,752	1,109	893
	Special	169	136	20,545	17,928	2,367	2,065

등록된 차량의 연료 별 구성 비율을 적용하여 계산하였다. 다음으로 '2부제(TCP)' 항목은 강제차량 2부제 참여대상 차량과 참여율을 반영해 계산하였다.

자동차 평균 속도의 변화는 표 4에 나타내었다. 서울시 교통국에서 가지고 있는 자료는 승용차와 승합차의 속도자료 뿐이어서 화물차의 속도는 승합차와 같다고 가정하였다.

주행거리는 표 5에서 보듯이 2002년 자동차 1일 평균 주행거리(교통안전공단, 2006)를 사용하였다. 그러나 교통안전공단에서 제공하는 1일 평균 주행거리는 매일매일의 자료를 제공하는 것이 아니고 1년의 평균치이기 때문에 차량 2부제 기간의 주행거리를 별도로 알 수 없었다. 강제 차량 2부제의 결과를 보고하는 서울시의 보고자료에서도 주행거리 변화자료는 찾을 수 없었던 관계로 평소와 2부제 기간에 같은 주행거리를 적용하였다.

그러나 월드컵 기간 강제 차량 2부제의 실시는 택시와 버스의 주행거리를 많이 증가시켰을 것이다. Lee et al. (2005)가 밝히고 있듯이 강제 차량 2부제를 실시한 날은 주요경기가 열리는 날이고, 자가용의 이용

을 강제로 제한했기 때문에 택시나 버스를 이용하는 인원이 평소에 비해 많았을 것이다. 그 인원을 수용하기 위해 택시와 버스의 운행대수가 늘어남은 물론 주행거리도 증가 했을 것이다. 따라서 이 논문에서 평소와 2부제의 주행거리를 같게 가정한 것은 차량 2부제의 효과를 과대평가할 가능성이 있다.

표 6은 차량 2부제를 시행했을 당시와 2002년 연 평균 자료를 이용한 경우의 배출량 계산 결과를 나타낸 것이다.

이 배출량 감소 결과는 정부의 공식자료들을 사용한 결과이다. 그러나 이를 직접 검증할 방법이 없다. 따라서 비슷한 방법론을 사용하여 승용차 요일제에 100만 대의 승용차가 참여하였을 때의 대기오염물질 저감량을 계산한 결과와 비교하였다(서울특별시, 2006). 그 결과는 일산화탄소 14%, 질소산화물은 8%, 탄화수소는 14%, 미세먼지는 7% 저감이었다. 이는 자동차 2부제가 승용차 요일제보다 훨씬 배출량 저감이 강력한 것을 보여준다. 이는 자동차 운행대수의 저감 뿐만 아니라 경유자동차의 운행 저감에 따른 배출량 감소 영향이 나타났기 때문으로 보인다.

자동차 자체에서의 배출량은 위와 같이 감소하였지만, 이 수치가 바로 대기 중 농도저감으로 이어지는 것은 아니다. 대기오염물질을 배출하는 배출원별 기여도가 오염물질 별로 다르기 때문이다. 따라서 자동차의 오염물질 배출량 변화량에 자동차의 대기오염물질 배출 기여율(표 7)을 반영하면, 차량 2부제의 결과로 실제 대기 중에서 오염물질 별로 어느 정도의 저감효과를 갖는지 알아볼 수 있다.

위 표에서 미세먼지 항목이 두 개 인데, PM₁₀은 자동차 주행으로 인한 비산먼지 및 타이어 마모 배출량을 제외한 전체 미세먼지 배출량 중 도로이동오염원의 기여율이고, PM₁₀*은 김현구 등(2004)의 결과에서 얻은 비산먼지를 반영한 기여율이다. 그러나 대기 중 오염물질의 농도는 외부로부터의 이동이나

Table 4. Variation of the average speed of vehicles at Seoul during the TCP period compared with the normal period in 2002 (unit: km/h).

		Passenger car	Bus	Truck
Average speed	Normal	22.5	18.9	18.9
	TCP	29.7	25.0	25.0

(Seoul city traffic management center, 2003)

Table 5. Average traveled distance per day at Seoul in 2002 (unit: km).

Type	Passenger car	Bus	Truck	Total
Traveled distance	53.9	65.8	66.0	61.22

(KOSTA, 2006)

Table 6. Variation of the estimated emission amount of air pollutants at Seoul during the TCP period compared with the normal period in 2002.

	CO		NO _x		HC		PM ₁₀		SO _x	
	N	TCP	N	TCP	N	TCP	N	TCP	N	TCP
Emission (ton/day)	146.97	95.30	95.61	62.10	62.83	12.86	7.11	5.47	2.12	1.62
Reduction (%)	35		35		80		23		24	

*N: Normal period.

Table 7. Contribution of the vehicular emissions to the total emissions of air pollutants at Seoul in 2001 (unit: %).

	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM ₁₀ *
Vehicles	10.2	63.8	76.7	24.1

PM₁₀*: Contribution when considering fugitive emission. (KEI, 2004)

Table 8. Comparison of the calculated emission reduction and the measured ambient concentration reduction from Kim et al. (2005) during the TCP period at Seoul in 2002 (unit: %).

	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM ₁₀ *
Calculated emission reduction	2.4	22.3	17.6	5.5
Measured ambient concentration reduction	38.5	23.0	19.8	19.8
TCP effect	6.2	97.0	88.9	27.8

PM₁₀*: Contribution when considering fugitive emission.
 *Assume the emitted species for SO_x and NO_x are SO₂ and NO₂.
 **TCP effect=(calculated emission reduction/measured ambient concentration reduction) × 100

광화학 반응에 의한 생성에도 영향을 받는다. 때문에 오염물질 별 배출량 변화에 대기로 배출되는 오염물질 중 자동차 배출이 차지하는 비율을 반영하여 계산한 결과가 대기 중 오염물질 농도 변화와 직접적으로 연결되는 것은 아니다. 여기서는 아황산가스나 이산화질소 같이 1차 오염물질은 큰 오차가 없을 것으로 보이므로, 배출량 변화와 대기 중 농도 변화와의 상관성만을 고려하기로 하였다. 이렇게 하면 이 결과는 강제 차량 2부제에 의한 대기 중 오염물질 농도 변화에 대해 연구한 김철희 등(2005)의 대기 중 농도 저감 관측 결과와 비교 가능하다. 배출량 저감 계산결과를 대기 중 농도 저감 관측 결과와 비교하여 표 8에 나타내었다.

위 표에서 ‘차량 2부제 효과(TCP effect)’가 대기 중 오염물질 농도 저감 중 차량 2부제에 의한 저감을 말한다. 예를 들어 아황산가스(SO₂)의 경우, 표 7과 8을 통해 자동차에서 배출되는 아황산가스의 배출량 저감율을 계산할 수 있다((0.24*0.102)*100=2.4%). 강제 차량 2부제 기간 중 아황산가스의 대기 중의 농도는 평소에 비해 38.5% 줄어들었다(김철희 등, 2005). 따라서 대기 중 아황산가스의 농도변화에 차량 2부제가 기여한 정도는 (2.4/38.5) × 100=6.2%이다.

이산화질소(NO₂)는 차량 2부제에 의해 가장 효과적으로 대기 중 농도가 줄었다. 대기 중 농도 저감에 차량 2부제가 기여한 정도는 약 97.0%로 대부분을 차지했고, 차량 2부제 이외의 효과가 약 3% 정도 기여하였다. 강수가 있는 날은 강수가 없는 날에 비해 효과가 적은데(김철희 등, 2005) 강제 차량 2부제 기간인 6일 중 4일 동안 비가 왔기 때문에 만약 비가 오지 않았다면 더 큰 효과를 볼 수 있었을 것이라고 생각한다.

오존(O₃)은 1차 오염물질간의 상호 작용으로 생성되는 2차 오염물질이기 때문에 배출량 계산이 아닌 대기 중 농도측정을 통해 차량 2부제의 효과를 이루어 짐작할 수 있다. 김철희 등(2005)의 연구결과에 따르면 강제 차량 2부제 기간 동안 낮에는 대기 중 농도가 감소하고 저녁에는 증가했다. 낮에는 저녁에 비해 자동차의 운행량이 많아 질소산화물의 배출이 많으므로 오존 농도가 감소하고(박주연과 김용표, 2002) 밤에는 평소보다 질소산화물의 배출이 적어 오존적정(ozone titration) 반응이 낮아져 오존 농도가 증가하는 것(김정화와 김용표, 2003)으로 해석할 수 있다.

미세먼지(PM₁₀)는 대기 중 미세먼지의 농도는 자동차나 그 밖의 오염원에서의 배출, 생성, 외부(다른 지역)로부터의 유입에 의해 결정된다. 계산결과 비산먼지를 고려하지 않았을 경우, 차량 2부제 효과가 88.9% 기여해 매우 효과적인 것처럼 보인다. 그러나 비산먼지를 고려한 차량 2부제 효과 계산결과는 27.8%로 비산먼지를 고려하지 않았을 경우와 큰 차이를 보인다. 이 밖에도 먼지는 대기에서 화학반응에 의해 생성되거나, 외부에서 유입될 수 있어 미세먼지 농도에 대한 차량 2부제의 효과는 단정적으로 말하기 어렵다.

4. 요약

이 논문에서는 최근 서울시에서 시행하고 있는 대기오염 개선을 위한 정책 중 하나인 승용차 요일제가 대기오염도 저감에 어느 정도 효과가 있는지를 밝히려고 하였다.

먼저, 승용차 요일제와 같은 형태인 차량 2부제의 효과에 대한 연구에서 서로 다른 결론을 내고 있는

두 논문 김철희 등(2005)과 Lee et al. (2005)을 분석해 보았다. 분석 결과, 언뜻 보기에 전혀 다른 결론을 내리고 있는 것 같았던 두 논문은 문제에 접근하는 시각이 달랐기 때문에 다른 결론에 이른 것일 뿐, 기본적으로 같은 사실에 동의하고 있음을 알 수 있었다. 즉, 두 연구 모두 대기오염도는 오염물질의 배출량과 매일매일의 기상조건에 의해 결정된다는 사실이다.

가장 최근의 자동차 관련 자료를 활용하여 2002년도 차량 2부제 시행시, 서울에서의 배출량 변화를 계산하였다. 전체 배출량에 대해 이산화질소는 22.3%, 미세먼지는 5.5%, 아황산가스는 2.4% 저감되었다. 이러한 배출량의 저감이 대기 농도 변화에 미친 기여율을((배출량 변화/대기 농도변화)×100로 정의) 계산한 결과 이산화질소 97%, 미세먼지 28%, 아황산가스 6%였다. 또한, 비산먼지 배출을 고려하여야 정확한 미세먼지 저감 영향을 산출할 수 있음을 알았다.

감사의 글

이 연구는 국립환경과학원의 수도권지역 미세먼지 오염현상해석 및 장래예측 과제와 과학재단의 국가지정연구실(과제번호 M10600000221-06J0000-22110) 과제 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

교통안전공단(2006) 차종 별 등록대수와 주행거리.

국립환경연구원(2005) 이동오염원 대기오염물질 배출량 산정 방법 편람.
 김용표(2006) 서울의 미세먼지에 의한 대기오염, 한국대기환경학회지, 22(5), 535-553.
 김정화, 김용표(2003) 관악과 시청의 요일별 오존 농도: 1996~2000년 측정자료, 한국대기환경학회지, 19(5), 611-620.
 김철희, 박일수, 이석조, 김정수, 홍유덕, 한진석, 진형아(2005) 하층대기의 연직 안정도 지표를 이용한 차량 2부제의 수도권 대기 오염도 저감효과 분석, 한국대기환경학회지, 21(2), 243-257.
 김현구, 정용원, 홍지형(2004) 전국 시도별 비산먼지 배출량 산정(2001년도), 한국대기환경학회지, 20(2), 263-276.
 박주연, 김용표(2002) 서울시에서의 최적 오존 저감 대책: OZIPR을 이용한 사례 연구, 한국대기환경학회지, 18(5), 427-433.
 서울시 교통국(2003) 정기속도조사 보고서.
 서울지방경찰청(2003) 2002 서울특별시 교통량 조사자료.
 서울특별시(2006) 승용차요일제 확산정책 포럼 발표자료, 2006.1.19.
 한국환경정책·평가연구원(2004) 수도권 지역 배출총량관리제 추진방안, 환경부.
 환경부(2002) 2002년 9월 대기환경월보.
 Lee, B.K., N.Y. Jun, and H.K. Lee (2005) Analysis of impacts on urban air quality by restricting the operation of passenger vehicles during Asian Game events in Busan, Korea, Atmospheric Environment, 39, 2323-2338.

[부록] 오염물질 별, 자동차종류 별, 속도에 따른 배출계수 산정

표 1. CO에 대한 차종 별, 연료 별 배출계수 (단위: g/km)

		휘발유		경유		LPG	
		평소	2부제	평소	2부제	평소	2부제
승용차	경형	0.7160	0.5663	-	-	1.4321	1.1326
	소형	0.9729	0.7353	-	-	1.9459	1.4707
	중형	0.9697	0.6935	-	-	1.9394	1.3869
	대형	1.3819	0.9882	0.5955	0.5005	1.9394	1.3869
	택시	-	-	-	-	5.4435	4.0387
승합차	소형	1.3819	0.9882	0.9295	0.8140	-	-
	중형	-	-	1.1672	0.9874	-	-
버스	시내	-	-	4.9032	4.0666	-	-
화물차	소형	-	-	0.9339	0.8267	-	-
	중형	-	-	4.3770	3.6882	-	-
	대형	-	-	6.2997	5.4489	-	-

*표에 추가: 시내버스CNG-5.64429(평소), 5.0838(2부제)

표 2. HC에 대한 차종 별, 연료 별 배출계수 (단위: g/km)

		휘발유		경유		LPG	
		평소	2부제	평소	2부제	평소	2부제
승용차	경형	0.1653	0.1330	-	-	1.1326	0.1596
	소형	0.1218	0.0828	-	-	1.4707	0.0993
	중형	0.1190	0.0777	-	-	1.3869	0.0933
	대형	0.1381	0.0902	0.5005	0.0966	-	-
	택시	-	-	-	-	4.0387	0.4055
승합차	소형	0.1381	0.0902	0.8140	0.1169	-	-
	중형	-	-	0.9874	0.3324	-	-
버스	시내	-	-	4.0666	0.8909	-	-
화물차	소형	-	-	0.8267	0.1245	-	-
	중형	-	-	3.6882	1.1114	-	-
	대형	-	-	5.4489	1.2925	-	-

*표에 추가: 시내버스CNG-5.0838(평소), 4.8040(2부제)

표 3. NO_x에 대한 차종 별, 연료 별 배출계수 (단위: g/km)

		휘발유		경유		LPG	
		평소	2부제	평소	2부제	평소	2부제
승용차	경형	0.2984	0.2540	-	-	0.4475	0.3810
	소형	0.3539	0.2846	-	-	0.5309	0.4269
	중형	0.3749	0.3005	-	-	0.5624	0.4507
	대형	0.3288	0.2635	0.8051	0.6915	-	-
	택시	-	-	-	-	0.6625	0.5646
승합차	소형	0.3288	0.2635	0.9967	0.8433	-	-
	중형	-	-	3.8203	3.3118	-	-
버스	시내	-	-	10.4516	9.3077	-	-
화물차	소형	-	-	1.0142	0.8471	-	-
	중형	-	-	6.7081	5.7020	-	-
	대형	-	-	18.3733	16.5313	-	-

*표에 추가: 시내버스 CNG-6.3757 (평소), 5.7727 (2부제)

표 4. PM에 대한 차종 별, 연료 별 배출계수 (단위: g/km)

		경유	
		평소	2부제
RV	소형 (승용차 중형)	0.1113	0.1012
	중형 (승합차 소형)	0.1316	0.1191
승합차	소형	0.1328	0.1203
	중형	0.2724	0.2517
버스	시내	0.3251	0.2913
화물차	소형	0.1037	0.0894
	중형	0.4911	0.4241
	대형	1.1264	0.9942

표 5. SO_x에 대한 차종 별, 연료 별 연료 소비 계수 (단위: g/km)

		휘발유		경유		LPG	
		평소	2부제	평소	2부제	평소	2부제
승용차	경형	65.2151	58.4398	58.1326	51.6532	45	45
	소형	65.2151	58.4398	58.1326	51.6532	45	45
	중형	65.2151	58.4398	58.1326	51.6532	45	45
	대형	65.2151	58.4398	58.1326	51.6532	45	45
	택시	-	-	-	-	45	45
승합차	소형	105.5454	93.1523	58.1326	51.6532	45	45
	중형	105.5454	93.1523	134.0182	108.5455	45	45
	대형	105.5454	93.1523	357.6328	307.8758	45	45
	특수	105.5454	93.1523	134.0182	108.5455	45	45
버스	시내	-	-	357.6328	307.8758	-	-
화물차	소형	105.5454	93.1523	58.1326	51.6532	45	45
	중형	105.5454	93.1523	232.0002	202.4635	45	45
	대형	105.5454	93.1523	364.1770	319.2363	-	-
	특수	105.5454	93.1523	364.1770	319.2363	-	-