

대한교통학회 제29회 학술발표회

교통량에 따른 배기가스량 산정에 관한 연구  
- 교차로를 중심으로 -

도로교통안전협회  
홍 창 의  
황 상 호  
안 호 혁  
김 윤 지

# 교통량에 따른 배기가스량 산정에 관한 연구<sup>1)</sup>

-교차로를 중심으로-

홍창의\*  
황상호\*\*  
안호혁\*\*\*  
김윤지\*\*\*\*

## 목 차

- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>I. 서론</b>                      | <b>IV. 교통 혼잡과 배출량</b>                |
| <b>II. 자동차 배출가스 조성에 영향을 주는 요인</b> | 1. 교통량변화에 따른 배출가스량 변화                |
| 1. 일반적 요인들                        | 2. OFFSET 변화에 따른 배출가스량변화             |
| 2. 시내 주행 패턴                       | 3. 배출가스를 고려한 Transyt-7F Stop Penalty |
| 3. 차량당 일평균 주행거리                   | <b>V. 결론</b>                         |
| <b>III. 배출량 산정</b>                | • 참고문헌                               |
| 1. 송파 지역 교차로별 배출량                 |                                      |
| 2. 도심지 링크별 배출량                    |                                      |

## 요 약

현재 서울은 교통사고문제, 교통혼잡문제와 자동차로 부터 배출되는 유해가스에 의한 대기환경오염문제를 갖고 있다.

본 논문의 목적은 대기환경오염을 악화시키는 자동차의 주된 배출오염가스인 일산화탄소, 탄화수소 및 질소화합물량을 교차로 교통량을 중심으로 어떻게 계산하는가에 있다.

연구의 대상지역은 서울시의 송파구 교차로들과 도심지역의 링크들을 선택하였다. 그리고 교통량, 지체시간, 링크길이, 정지회수, 운행속도, 주행속도 등을 고려하여, 제작차 배출가스 허용기준, 총량기준, 불량차 기준, 속도기준 등에 의한 계수산정 및 TRAF-NETSIM에 의한 시뮬레이션을 통하여 일정 도로상의 제한된 범위내의 배출량 산출을 시도하였다.

본 연구의 결과에 의하면 첫째, 어느 방법이든 실제배출량의 정확한 값을 표현 할 수는 없는 것이고, 단지 상대적인 비교에 의하여 배출가스량의 수준을 추정 할 수 있었다. 또한, 시뮬레이션 배출율표를 우리 현실에 맞는 자료에 의해 수정할 수 있다면, 그 결과는 실제량에 보다 근접할 수 있을 것이다. 둘째, 서울도로의 현재 혼잡상태에서 속도의 저감에 배출량이 민감한 반응을 보이고 있다는 사실이다. 셋째, 교통량변화에 따른 배출량의 변화가 일산화탄소에서 가장 심하게 나타남을 알 수 있었고, 신호운영상의 옳잘값이 잘못 설정 되면 탄화수소는 35%, 일산화탄소는 40%, 질소산화물은 75%까지 초과발생할 수 있으며, 유해배출가스량을 최소화시키는 측면에서의 신호최적화를 위해서는 현재의 Stop Penalty는 상향조정되어야 함이 밝혀졌다.

앞으로는 자동차로 인한 대기환경오염 농도의 저감을 위해서는 도로별 자동차 유해가스 배출 총량규제 방안도 고려해 볼 가치가 있으며, 이를 위해 환경공학과 교통공학의 다학제적 공동연구가 지속적으로 필요하며 교통정책에 반영되어야 할 것이다.

\* 도로교통안전협회 선임연구원      \*\* 도로교통안전협회 선임연구원  
\*\*\* 도로교통안전협회 연구원      \*\*\*\* 도로교통안전협회 연구원

1. 본 논문은 '95년도 도로교통안전협회에서 기본과제로 수행된 교차로 교통혼잡이 자동차 배출가스량에 미치는 영향 연구 내용을 일부 수정 요약한 것임.

## I. 서론

교통의 중요한 분야로 인식되어 온 교통안전과 교통소통에 이어 새로운 사회적 관심사인 교통환경에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

가정 난방의 고체연료사용 감소와 공장지역의 외곽화로 인해 대도시 대기오염의 주요 오염원이 자동차 배기관을 통해 배출되는 유해가스로 된 것이 사실이다. 배출오염가스에 대한 피해형태가 간접적이고, 피해의 지역적 범위가 넓으며, 피해에 영향을 미치는 오염 속도도 서서히 진행되고 있기에, 자동차에 의한 대기오염문제는 교통사고나 교통혼잡에 관한 연구보다 시급한 문제로서 인식하지 않고 있다.

그러나, 초기에는 적은 노력으로도 개선될 수 있는 환경문제가 방치하면 할수록 그 피해의 복구가 매우 어려워진다는 점에 주목할 필요가 있다. 선진외국의 경우, 이미 60년대 부터 법적규제와 대기오염방지 기술개발에 관심을 갖기 시작하였고, 최근에는 교통류 관리개선에 의한 대기오염저감책 및 기존차량형식에 대한 부품개발은 물론이고 연료의 저공해화, 전기자동차에 이르기 까지 교통환경분야에 역점을 두고 있다.

우리나라는 그동안 교통환경개선에 소홀리 한 결과, 서울시의 경우 대기오염도는 심각한 수준이며, 자동차로 인한 대기오염 연구를 더 이상 늦출 수 없는 단계에 왔다고 생각한다. 물론 이에 대한 연구는 환경분야와도 과학적 지식의 교류가 있어야 하고 다각적인 접근이 시도되어야 할 것이다.

현재 우리나라에서는 자동차로 부터 배출되는 주요 오염물질로는 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 분진등으로 알려져 있고, 한해동안 자동차로 부터 배출된 총량도 발표되고 있는 실정이다. 배출가스량은 자동차의 연료소비로 부터 유추하여 계산하기도 하고, 어떤 경우는 실질적인 도로주행 상황아래서 자동차 주행패턴을 정리하여 얻어진 자료를 통해 배출가스량을 추정하기도 한다.

차량 한대당 등의 최소 단위 배출량과 서울이나 전국이라는 지역적범위의 배출량에 대한 연구 및 결과가 이루어져 왔고 이제는 일정한 도로나 혹은 교차로상의 교통상황변화에 따른 배출량에 대한 연구가 필요하게 되었다.

특히, 교통혼잡에 따른 저속과 정지-출발의 반복 그리고 단거리통행에 따른 엔진저온 상태등으로 특징되어지는 서울시내의 자동차운행은 대기오염관점에서 특별한 관심을 요하는 부분이기도 하다.

그러므로 본논문은 교통량에 따른 자동차 배출량을 산정하는 방법을 연구하는 데 그 목적이 있다. 연구의 범위는 1994년도의 서울 송파지역 교차로 및 도심지역 링크의 교통량을 대상으로 하였다.

## II. 자동차 배출가스 조성에 영향을 주는 요인

### 1. 일반적 요인들

자동차의 오염가스는 카뷰레터, 연료탱크, 크랭크케이스, 배기관에서 배출되며, 그중 배기관을 통해 가장 많이 배출된다. 배기가스 조성에 큰 변수로 작용하는 조건들로는 차량조건, 연료조건, 차량운행조건, 차량운행외부조건등을 들 수 있다.

첫째, 차량조건으로는 지속적인 공해방지 기술발전으로 인해, 최신모델의 차량일수록 오염가스배출이 적고, 카뷰레터식인 경우, 사용을 적게 한 차량과 규칙적인 정비점검을 거친 차량이 배출량이 적은 것으로 나타나고 있다.

둘째, 자동차로 부터 배출되는 대기오염물질은 주로 NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, HC, TSP이며, 특히, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, TSP는 디젤유를 사용하는 차량에서, CO와 HC는 가솔린차량에서 비교적 많이 배출되는 것으로 알려져 있다.

세째, 동일 차량일 경우, 주행패턴은 배기가스조성에 매우 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있고, NO<sub>x</sub>는 air/fuel의 비중에서 공기량이 적으면 적게, 화학적으로 필요한 air/fuel이 되면 최대로 배출되며, HC는 감속상태, CO는 아이들링 상태에서 높게 배출된다. 또한 과적차량도 오염가스 배출을 크게 하는 요인이 된다.

네째, 오르막길등으로 인해 엔진에 많은 부하가 걸리는 경우, 가스배출량은 증가하고, 교차로에서 교통류의 상충따위가 발생하여 교통혼잡이 가중될때 가스배출량이 많으리라는 것이 일반적으로 알려진 자동차 배출가스 변동요인들이다.

자동차 오염물질의 연간 총배출량은 환경처에서 매년 발표되고 있다. 아래 표에서 보면 1991년을 기점으로 배출가스의 감소추세를 보이고 있고, 그중 아황산가스의 감소가 두드러지고 있다. 정유단계에서의 탈황의 노력과 80년대에 대형 고급승용차로 부터 시작한 전자제어식 연료 공급방식(electronic fuel injection)과 삼원촉매장치(three-way catalyst system)의 보급이 1990년대를 접어들면서 보편화되기 시작한 결과인 것으로 추정된다.

가솔린 자동차 자체에 대한 대기오염방지의 기술발달은 각 나라의 법기준에 많은 영향을 받고 있는 것으로 알려져 있다. 우리나라에서는 1987년 배출가스 허용에 관한 법기준의 강화 이후, 선진국들의 신기술을 자동차생산과정에 적용하기 시작했다.

물론 선진국들은 이미 HC, CO, NO<sub>x</sub> 세가지를 동시에 감소한다는 의미에서 명명되어진 삼원촉매장치가 1977년 미국에서 처음 도입된 이래, 이에 대한 사용이 이미 일반화되었고, 공기와 연료의 배합율이 일산화탄소의 생성에 많은 영향을 준다는 점에 착안하여, 카뷰레터 연료공급방식에서 전자제어식으로 전환함에 따라 연소의 최적화를 기하고 있는 지 오래다.

<표 1>

자동차 오염물질의 연간 배출량 (서울)

(단위 : 톤)

년도	SO <sub>2</sub>	TSP	CO	NO <sub>2</sub>	HC
1989	21,186.16	7,166.62	143,093.81	180,305.75	33,067.23
1990	11,878.00	7,087.00	170,967.00	187,647.00	29,337.00
1991	16,969.00	14,451.00	355,540.00	99,729.00	42,980.00
1992	11,382.00	18,149.00	293,486.00	97,894.00	37,114.00
1993	6,070.00	14,596.00	237,437.00	93,541.00	31,008.00
1994	4,577.90	14,420.20	209,575.90	93,025.50	28,996.30

자료 : 환경부, 환경연감 각년호

자동차자체의 공해방지 기술개발에 의한 오염가스 배출 저감효과 분석도 매우 활발히 이루어져, 위에 언급한 기술장치들의 대기오염방지에 대한 실효성은 이미 검증되었다고 볼 수 있다. 스웨덴 정부의 한 연구<sup>2)</sup>에 따르면, 미국의 FTP-75 방법에 의해 시험한 결과, 전자제어식 연료공급방식과 삼원촉매장치를 갖춘 차량이 그렇지 않은 차량에 비해 얻는 저감효과는 일산화탄소의 경우 88%, 탄화수소는 88%, 질소산화물은 82%인 것으로 나타났다.

디젤차량의 경우, 100년전 루돌프 디젤(Rudolf Diesel)이 엔진을 발명한 이후, 가솔린 차량보다 대기오염측면에서 우수함을 줄곧 인정받아왔다. 특히, 일산화탄소와 탄화수소는 가솔린엔진과 비교할때 소량을 배출하며, 단지 아황산가스와 질소산화물이 가솔린 엔진 보다 약간을 상회하는 수준인 것으로 20년전에 이미 연구결과<sup>3)</sup>가 나온바 있고, 최근의 Institut de Recherche sur les Transports (프랑스교통연구원)와 Laboratoire Energie-Nuisance (프랑스 에너지-환경오염 연구소)의 연구결과도 “전체적으로 디젤차량이 가솔린 차량보다 오염가스 배출을 적게한다”<sup>4)</sup>라고 밝힌 바 있다.

외국의 경우, 승용차에도 디젤엔진을 사용하나, 한국의 경우는 주로 버스와 화물트럭에 디젤유를 많이 사용하고 있다. 또한, 외국의 경우와는 다르게 디젤엔진이 가솔린 엔진 보다 대기오염에 나쁜 영향을 더 많이 끼치는 것으로 오랫동안 인식되어 왔던 것이 사실이다. 한국은 그동안 저유황 함유의 연료사용에 적극적이지 못했고, 디젤엔진제작 기술수준 또한 낮고, 가시적 물질인 분진배출을 막기위한 필터 장착사용을 제대로 준수하지 않기 때문에, 실질적으로 디젤차량에서 많은 오염가스가 배출되는 특수한 상황을 갖게 되었다.

결국 자동차등록대수가 매년 증가함에도 불구하고, 자동차로 부터 배출되는 배기가스의 총량은 오히려 감소하고 있는 현상은 휘발유 자동차 기술발달에 기인한 점에 비추어,

2. O.E.C.D. Transport and the environment, Paris, 1988.

3. P. Chovin, et A. Roussel, Physicochimie et physiopathologie des polluants atmosphériques, Maison et Cie Editeur, 1973.

4. 재인용, Francois Le Brun, Pourquoi les Francais aiment le diesel, L' EXPANSION, 17 mars/6 avril, 1994.

디젤부문의 기술발달도 앞으로의 우리나라 대기오염저감 대책에 큰 기여를 하게 될 것이다.

## 2. 시내주행패턴

현재 승용차의 오염물질 배출량 검사는 신차의 경우 정용적 시료채취장치(Constant Volume Sampler : CVS)를 이용하여 실험실에서 지정된 주행패턴을 따라 주행을 했을 시 배출된 가스량이 기준치를 초과하는 지 여부를 판단함으로써 이루어 진다. 배출량 검사에 이용되는 주행패턴은 미국연방시험절차(Federal Test Procedure : FTP)인 UDDS(Urban Dynamometer Driving Schedule)와 일본이 독자적으로 사용하고 있는 11 모드, 10 모드 그리고 10·15 모드등이 있으며, 유럽은 1992년 7월 이후 New European Driving Cycle을 사용하고 있다<sup>5)</sup> 우리나라, 호주, 브라질, 멕시코, 사우디아라비아 등은 미국의 FTP의 UDDS를 시험 주행패턴을 채택하고 있다.

그러나 지금까지는 완성차의 수출을 위주로 한 검사인 관계로 미국시장의 요구에 부합되는 자동차를 제작하여 수출하기 위해 UDDS모드를 채택하여 왔으나, 일본이나 유럽의 경우 자동차의 소비국의 입장에서 자국의 주행패턴을 반영할 수 있는 자체의 시험 운행모드를 개발하여 사용하고 있는 사실에 비추어 향후 우리나라에도 수입차량의 증가가 예상되는 만큼 최소한 우리나라의 운행모드와 UDDS모드의 특성을 상호 비교하여 그 차이점을 살펴 현재의 시험체계를 그대로 수용하더라도 무리가 없는 지에 대한 검토가 필요할 것이다.

따라서 본절에서는 우리나라의 자동차 주행특성 및 USSD의 주행특성을 살피고 이들 간을 상호 비교하여 보았다.

1989년 조사된 서울시의 차량 운행모드와 UDDS 운행모드를 상호 비교하여 보면 <표 2> 와 같다. 비교대상은 서울시의 경우는 노선 5의 자료를 제외한 평균이며, UDDS모드는 도시고속도로 부분인 사이클 1, 2, 11을 제외한 평균값으로 비교하였다.

비교결과 평균속도는 서울이 21.3km/h인 반면 UDDS는 23.9km/h로 UDDS 모드가 약간 높았으며, 각 모드간의 비는 서울의 경우 정지시간의 비가 42%나 되는 반면 UDDS에서는 22%에 불과하여 우리나라의 혼잡정도를 잘 반영하고 있는 부분이라 하겠다. 정지간의 거리는 서로 비슷한 380 m 정도였다. 미국 도시부의 링크 길이는 서울의 슈퍼블럭으로 인한 긴 링크길이보다 훨씬 짧은 것으로 알려져 있어, UDDS의 정지간의 거리가 서울과 비슷한 이유는 신호현시의 단순화와 신호연동화 등으로 정지횟수를 가급적으로 줄일려는 노력의 결과로 해석된다. 이와 아울러 서울의 교통상황은 비교적 과포화상태에 가까워 각 교차로에서의 정지하는 확률이 매우 높은 반면, 미국의 경우는 상대적으로 교통혼잡도가 낮아 정지율이 낮은 영향도 있을 것이다.

5. Mercedes-Benz, Exhaust Emissions, Standards, Regulations and Test Procedures for passenger Cars, 1991.

<표 2>

서울시와 UDDS 주행패턴 특성 비교

노선	평균 속도 (km/h)	4 모드 비(%)				정지간 거리 (m)	평균 정지 시간 (sec)	가속도 (km/h/s)	감속도 (km/h/s)	가속 시간 (sec)	감속 시간 (sec)	가속 거리 (m)	감속 거리 (m)	순행 속도 (km/h)
		ID	AC	DC	CR									
서울	21.3	42	22	16	18	388	27.1	3.72	-4.36	15.0	11.6	100	76	53.3
UDDS	23.9	22	25	22	32	371	12.1	2.94	-3.70	13.8	12.6	82	86	41.8

평균정지시간은 서울시의 경우는 UDDS 보다 2.5 배 정도 길게 나타나고 있다. 가감속도 경우 서울이 UDDS 보다 약 18% 정도 높아 우리나라의 운전자는 급가속과 급감속을 하고 있음을 알 수 있다. 이는 우리나라 운전자의 운전행동이 매우 조급하다는 점과 서울의 링크길이가 비교적 길어 급가감속을 유도하는 결과로 이해된다.

순행속도(cruising speed)는 우리나라가 UDDS보다 10km/h이상 높아 가감속시간이나 가감속거리 모두 UDDS보다 훨씬 높은 결과를 보이고 있다.

이상의 우리나라의 차량 주행특성은 교통사고 발생율이나 연료소비량 그리고 자동차 유해가스 배출량 등이 외국에 비해 높게 나타나는 원인으로도 작용될 수 있다.

사실상 자동차 주행패턴은 연료의 소모와 배기가스량에 많은 영향을 주므로, 자동차에 의한 대기오염연구에 앞서 그 조사가 선행되어야 할 중요한 단계이다. 그리고 각 표본별 주행패턴에서 도출된 평균속도는 각 지점간의 통행속도와는 다른 개념이며, 해당차량의 해당구간에 대한 실질적인 운행속도인 것이다. 국립환경연구원에서 측정한 서울시 평균속도는 85년도 31.9kph에서 89년도에는 22.0kph로 감소하고 있다.

일반적으로 알려진 속도와 배출가스량과의 관계는 속도가 증가할수록 단위 배출가스량은 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러나 근래의 연구에서 나타난 바에 의하면, 일산화탄소와 탄화수소는 속도에 대한 배출량의 변화가 일정하지 않으며, 질소산화물은 처음에는 속도의 증가에 따라 배출량이 감소하다가 일정한 속도이후에는 오히려 증가하는 것으로 되어 있다.

우리나라의 국립환경연구원이 최근 측정한 승용차 배출량을 근거로 속도별 배출량표를 작성하면 <표 3>과 같다.

자동차 주행시는 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물이 공히 20kph까지는 배출량이 급격히 감소하다가, 그 뒤 시속 40kph까지 질소산화물은 오히려 증가를 보이고 있고, 일산화탄소와 탄화수소는 완만한 감소를 계속한다.

결국, 자동차 배출가스와 속도와의 관계는 질소산화물을 제외한 다른 가스들이 우하향 곡선으로는 표현될 수 있으므로, 교통류의 효율적 관리로 운행속도를 증진시키는 노력은 자동차 배출가스 저감에 기여할 수 있는 방법으로 제시될 수 있다.

<표 3>

속도별 배출량 (속도>0 : g/km, 속도=0 : g/hr)

속도(kph)	CO	HC	NO <sub>x</sub>
0	7.75	2.25	4.1
5	2.23	0.47	0.76
10	1.63	0.26	0.44
15	1.35	0.18	0.26
20	1.19	0.14	0.19
25	1.07	0.12	0.20
30	0.99	0.10	0.24
35	0.92	0.09	0.28
40	0.86	0.08	0.29
45	0.82	0.07	0.24

자료: 국립환경연구원

### 3. 차량당 일평균 주행거리

배출량에 직접적인 영향을 주는 것은 차량등록대수가 아니고 교통량일 것이다. 등록된 차량수와 운행중인 차량수와는 차이가 있고, 지역별로도 서울에 등록된 차량일지라도 지방에서 운행하는 경우도 있을 것이고 반대로 지방에 등록된 차량이라도 서울에서 운행되는 경우도 발생할 것이다. 또한, 운행을 하지 않는 차량도 있을 것이다. 결국 서울시의 교통량은 이와 같은 변수를 모두 포함한 수치이므로, 배출량계산은 교통량(총차량-km)에 근거를 두는 것이 등록차량대수를 기준으로 하는 것 보다 더 효과적일 것이다.

일반적으로 교통통계중 자동차 등록대수는 승용차, 버스, 트럭등의 구분과 자가용, 영업용, 관용등의 구분으로 되어 있고, 에너지 관계나 환경분야에서는 연료사용별 또는 소형, 중형, 대형의 구분으로 되어 있다.

일평균 주행거리에 관한 통계는 조사한 바에 의하면, 부정기적으로 실시하는 교통개발연구원의 자가용 승용차 이용실태에 관한 설문조사에 의한 주행거리 통계와 교통안전공단에서 발표하는 차량별 주행거리에 대한 통계가 있다. 본 연구에서는 후자를 이용하기로 한다.

이와 같이하여 얻어진 일평균 총 VKT(Vehicle Kilometers Traveled)는 약 1억 6천만 차량-km이다. 총 VKT를 소·중·대형식의 차량별로 구분하면, 자가용 승용차와 택시, 소형트럭, 중형버스의 비율이 비교적 높은 편이다. 이 비율은 자동차 등록대수비율과는 상당한 차이를 보이고 있음에 주목할 필요가 있다.



<표 4>

서울시 일일 차량-km 비율

구 분 차 종		일평균 주행거리 <sup>a)</sup> (km)	차량 등록대수 <sup>b)</sup> (대)		차량-km	
			총대수	%	÷1000	%
승용차	자 가 용	61.3	1,385,231	71.69	84,915	52.87
	택 시	292	67,194	3.48	19,621	12.22
버 스	소형(휘발유)	80.3	6,540	0.34	525	0.31
	소형(경유)	80.3	152,409	7.89	12,238	7.62
	중 형	59.3	3,097	0.16	184	0.12
	대 형	305.5	16,865	0.87	5,152	3.21
트 렉	소 형	81.7	218,139	11.29	17,822	11.09
	중 형	158	38,237	1.98	6,045	3.76
	대 형	320.5	44,521	2.30	14,269	8.8
계		-	1,932,233	100	160,587	100

주 : a) '93 교통안전진흥공단 p. 53

b) '94 국립환경연구원

이를 다시 소·중·대형식의 차종구분이 아닌 자가용·관용·영업용식으로 구분하여 일년단위의 총량을 구하여 지수로 나타내면 아래표와 같다. <표 5>에서 보는 바와 같이, 서울시 자동차 등록대수는 매년 증가추세에 있고, 반면에 차량당 연평균 주행거리는 감소하고 있다. 그러나 자동차 등록대수의 증가폭이 차량당 연평균 주행거리의 감소폭보다 훨씬 크기 때문에 서울시의 연간 VKT는 계속하여 증가하고 있고 1984년을 기준으로 할 때, 1994년의 이같은 총 차량-km는 2.8배 가량의 신장을 보인 것으로 추정된다.

그러나 서울시로 유입한 타지역 등록차량의 부분과 서울시밖으로 유출한 서울시 등록 차량의 구분이 있어야 정확한 교통량을 알 수 있지만, <표 5>의 VKT 역시 서울시에 등록된 차량대수를 기초로 계산한 것이기 때문에, 실제 서울시 도로에서 발생한 교통량과는 차이가 있을 것이다. 한편, VKT 차종별 비율을 이용하여 도로에 출현하는 차종의 비율을 유추할 수는 있을 것이다.

<표 5>

서울시 Vehicle Kilometers Traveled

Year	Vehicles (Index 1984=100) <sup>1)</sup>	km/veh (Index 1984=100) <sup>2)</sup>	VKT (billiards) <sup>3)</sup>	VKT (Index 1984=100)
1984	100	100	19.6	100
1985	118	88	20.0	102
1986	138	84	23.8	121
1987	168	81	25.1	128
1988	207	80	30.7	157
1989	263	80	33.0	168
1990	317	80	40.4	206
1991	365	79	42.0	214
1992	416	79	49.4	252
1993	464	78	51.3	262
1994	489	78	54.5	278

- 주 : 1) 이륜차 제외, 교통부, 교통통계연보, 1985~1994를 근거로 함  
 2) 자가용 승용차 기준, '84, '85, '87, '93 교통안전진흥공단 자료를 근거로 작성함  
 3) 이륜차를 제외한 전차종의 합계임

### III. 배출량 산정

배출량 산정을 위해 서울 강남의 1개 지역과 서울 강북의 1개 지역을 선정하였다. 강남의 경우, 송파지역 교차로를 중심으로 첨두시간대의 교통혼잡 상황아래서의 배출량을 분석하였고, 강북의 경우, 고질적인 교통정체 지역인 도심지의 각 방향 링크별로 배출량 변화를 분석하였다.

#### 1. 송파지역 교차로별 배출량

자동차 배출가스량이 교차로의 교통량은 물론이고, 지체도 그리고 운행속도에 따라 변화할 것이므로, 일정지역의 교차로상의 교통상황에 대한 기존 연구결과들을 문헌조사하였다. 그중 본 연구를 위해 서울시정개발연구원이 TSM사업의 일환으로 1994년에 연구한 서울 송파지역내의 총 64교차로 자료를 이용하였다.

64개 교차로중 오전첨두시 교통량, V/C, 지체도별 최소값, 중간값, 최대값에 해당하는 9개 교차로만을 정리하면 <표 6>과 같다.

<표 6>

대표 교차로의 교통량

교차로명	교통량(pcu)	차량당 지체도(초)
프라자 아파트 <sup>1)</sup>	1,688	25.5
성내역 입구 <sup>2)</sup>	4,121	124.5
잠실역 <sup>3)</sup>	12,368	65.5
잠실 장미 아파트	9,879	119.7
축협앞	5,482	231.6
한서교통앞	2,315	-
올림픽회관 <sup>4)</sup>	5,823	328.4
삼전주유소앞 <sup>5)</sup>	6,218	42.4
탄천교 입구 <sup>6)</sup>	6,420	11.2

주 : 1) 교통량 최소, 2) 교통량 중간, 3) 교통량 최대  
 4) 지체도 최대, 5) 지체도 중간, 6) 지체도 최소

잠실역 교차로의 경우, 교통량은 시간당 12,368pcu로 최대이나, 차량당 65.5초의 지체도는 상대적으로 낮다. 반대로 올림픽 회관 교차로의 경우, 지체도는 328.4 초에 달하지만, 교통량은 5,823pcu 로 매우 적은 편이다.

교차로의 운행속도는 해당교차로에 유입되는 주요 가로별 속도를 참작하여 방향별 속도를 구하였고, 주요가로별 속도는 오전 첨두시 최고 36.69kph를 나타내는 곳도 있으나 평균적으로 11.36kph으로 저조한 수준이며, 최저 6.76kph를 나타내는 곳도 있다.

단위 구간이나 단위 지역에서 발생하는 자동차 오염가스 배출량을 조사한 자료가 불충분하기 때문에, 실측방법을 제외한다면, 우선 주어진 교통량 자료에 이미 알려진 차량당 배출가스 단위량을 적용하는 방법을 생각할 수 있다. 즉, 교차로별 배출량 산정을 위한 계수는 법기준에 의한 기준치와 총배출량의 역산, 그리고 속도를 기준으로 한 계산에 의해 정하기로 하였다.

**가. 법기준에 의한 추정방법**

단위량을 산정하는 첫번째 방법을 위해, 법기준에 의한 배기가스량으로 정한 이유는 새로 제작된 차량은 처음에는 법기준에 따른 낮은 양의 배출을 보이다가, 운행이 반복되면서 신차 때보다는 배출량이 증가할 것이라라는 가정이 있었고, 법기준에 따른 단위량을 전체 교통량에 적용하여 얻어진 결과를 최소량으로, 운행되고 있는 차량중에서 최대치를 보이고 있는 차량의 배출량을 전체 교통량에 적용하여 얻어진 총량을 최대량으로 간주한다면, 실제로 운행되고 있는 차량들이 배출하고 있는 배기가스량은 이와 같은 최소량과 최대량사이에 존재할 것이라는 가정이 있었기 때문이다.

교차로 구간거리와 교통량의 곱인 PCUK와, 교차로당 배출량의 최소치를 위해

CVS-75모드 측정방법에 의한 승용차 신차 배출가스 허용기준(CO 2.11g/km, HC 0.25g/km, NO 0.62g/km)에 의하여 계산하였다. CVS-75모드란 가속과 감속이 반복되는 도시 동력계 주행계획에 따라 자동차를 운전한 결과와 주차시의 결과에 따른 배출량을 측정하는 방법을 말한다.

또한, 최대치로는 CO 18.0g/km, HC 1.6g/km, NO<sub>x</sub> 1.4g/km<sup>6)</sup>을 적용하였다. 이같은 최대치는 Mileage가 많고, 카뷰레터 방식이고, 정비가 불량한 차량에서 배출되는 최악의 경우를 가정한 것이다. 그에 대한 계산공식은 아래와 같다.

$$PCUK \times EU_{\min} < Y < PCUK \times EU_{\max}$$

- Y : 교차로별 차량 오염가스 배출량
- PCUK : PCU × 0.1 km
- EU<sub>min</sub> : 승용차 제작차 배출가스 허용기준에 의한 배출량단위
- EU<sub>max</sub> : 운행되고 있는 승용차중 최대의 배출량단위

이상에 언급한 방법은 각 오염가스별 배출량 단위와 교통량의 자료만으로 결과를 구할 수 있으므로, 계산이 간편한 장점이 있다. 그러나, 도로상에 움직이는 실제 상황은 여러 차종이 혼재되어 있으므로, 승용차의 배출량 기준이 전차량을 대표할 수 없고 교통량으로 설정된 PCU 개념으로 볼 때, 이는 실질적인 자동차 대수와 차이가 있음도 감안하여야 한다. 또한, 실제 운행중인 자동차의 연식과 정비상태의 평균값을 구하는 작업이 선행되어야 한다.

#### 나. 총배출량을 기준으로 한 산정

자동차 배기가스에 대한 환경연구 결과중 비교적 정리가 잘 되어 있고, 매년 발표되는 자료는 총배출량에 관한 통계이다. 전국은 물론이고 서울과 같은 단위지역의 오염가스 총배출량과 각 오염원별로 배출량이 구분되어 있는 과정에, 자동차로 부터 배출된 일년간의 총량을 찾아 볼 수 있다.

이와 같은 총량으로 부터 단위량을 추산하고, 그 단위량을 대상 교차로의 교통량에 적용하면 교차로상의 배출량을 계산할 수 있으리라는 기대아래, 본질에서는 총배출량을 기준으로 한 배기가스산정을 시도해 보고자 한다.

법기준에서 사용한 교통량(승용차환산단위: pcu)은 전체 운행중인 차량대수를 소형차와 대형차로 2분화하여 소형차는 계수를 1로 보았고, 대형차는 1.8로 계산하여 구해진 것이다. 그러므로 실제 차량대수는 이같은 승용차환산단위(pcu)보다는 작다. 배출가스 단위량은 차량당을 기준으로 하였으므로, 승용차환산단위(pcu)로 부터 실질적인 차량대수를 추정하는 것이 필요하다.

총차량대수를 Y(pcu)라 놓고 소형차대수를 X<sub>1</sub> 으로 보고 대형차대수를 X<sub>2</sub>로 정하면, Y = X<sub>1</sub> + 1.8X<sub>2</sub> 의 식이 성립된다. 버스의 대형과 트럭의 대형만을 대형차로 간주할 때 소형차와 대형차의 총 VKT 비율은 87.99 : 12.01이 된다. 이를 이용하여 실질적인 차

6. 조강래 외 10인, 측매부착 자동차의 배출가스 방지장치 성능평가 연구(III), 국립환경연구원보, 제15권, 자동차공해연구소, 1993.

량대수와 승용차환산계수(pcu)와의 관계를 구하면, 실질적인 차량수는 승용차환산단위(pcu)의 약 90%정도임을 알 수 있다.

총 배출량을 근거로 한 차량별 배기가스 배출량은 아래와 같다. 대체적으로 자가용 승용차보다 타 차종의 오염가스 배출량은 큰편이며, 대형버스와 대형트럭의 경우, 질소산화물과 분진에 있어 오염물질 배출이 심각한 것으로 나타나 있다.

특기할 점은 아래표에서 자가용 승용차보다 오히려 택시가 일산화탄소 배출이 많은 것으로 나타나 있다. 이론적으로는 휘발유차량보다는 LPG차량이 일산화탄소 배출이 적은 것으로 알려져 있다(아이들링, 정속, 감속시). 그러나 국립환경연구원의 최근 연구결과(7)에 의하여, 그 원인이 택시의 과도한 운행(급격한 과속)으로 인해 엔진에 무리가 가고, 폐차시기에 있는 택시에 출력을 높이기 위한 조작등으로 택시의 배출오염가스가 높아지고, 휘발유차량은 현재 제작되는 대부분의 차량이 인젝션 타입등으로 기술발전이 이루어지고 있기 때문인 것으로 알려져 있다. 그러므로, 실질적으로 운행되고 있는 차량들의 단위킬로미터당 일산화탄소 배출량은 LPG연료를 사용하는 택시가 휘발유를 사용하고 있는 자가용 승용차보다 훨씬 크다.

**<표 7> 총배출량을 근거로 한 차량별 오염물질 배출량 및 승용차 환산계수**  
(단위: g/km)

		NOx		CO		HC		TSP	
		배출량	승용차 환산계수	배출량	승용차 환산계수	배출량	승용차 환산계수	배출량	승용차 환산계수
승용차	자 가 용	0.33	1	2.71	1	0.38	1	0.0084	1
	택 시	0.75	2.27	5.01	1.85	0.61	1.61	0	0
버 스	소형(휘발유)	1.29	3.9	5.99	2.2	0.48	1.26	0	0
	소형(경유)	1.44	4.36	1.54	0.57	0.14	0.36	0.35	41.67
	중 형	1.98	6	2.60	0.96	1.17	3.08	0.47	55.95
	대 형	8.93	27	9.12	3.37	1.38	3.63	1.37	163.1
트 럭	소 형	1.44	4.36	1.88	0.69	0.19	0.5	0.37	44.05
	중 형	1.18	3.58	1.55	0.57	0.7	1.84	0.47	55.95
	대 형	8.04	24.36	9.32	3.44	1.3	3.42	1.26	150

주: 94년도 국립환경연구원 자료와 93년도 교통안전진흥공단 자료로 부터 계산

위의 표에 작성된 오염가스 승용차 환산계수는 자가용승용차에서 배출되는 가스량을 1로 보고, 다른 차종의 배출량은 몇배에 해당하는 가를 표현한 것이다. 한 예로, 질소산화물의 경우 대형트럭은 자가용 승용차보다 무려 24배나 많이 배출하고 있다.

그러면, 이와 같은 승용차환산계수와 총 VKT차량비율을 적용하면 도로상에서 운행중인 차량들의 실질적 배출가스를 승용차의 몇배 단위로 <표 8>과 같이 다시 표현할 수가 있다.

7. 조강래 외 10인, 촉매부착 자동차의 배출가스 방지장치 성능 평가연구(Ⅲ), 국립환경연구원보, 제15권, 자동차공해연구소, 1993.

<표 8> 차량-km를 고려한 승용차 환산계수 아래서의 유해배출가스 평균값

		NOx	CO	HC	TSP
승용차	자 가 용	0.5287	0.5287	0.5287	0.5287
	택 시	0.277394	0.22607	0.19674	0
버 스	소형(휘발유)	0.01209	0.00682	0.003906	0
	소형(경유)	0.332232	0.043434	0.027432	3.175254
	중형	0.0072	0.001152	0.003696	0.06714
	대형	0.8667	0.108177	0.116523	5.23551
트럭	소형	0.483524	0.076521	0.05545	4.885145
	중형	0.134608	0.021432	0.069184	2.10372
	대형	2.14368	0.30272	0.30096	13.2
평균		4.786128	1.315026	1.302645	29.19547

이것은 승용차 1대가 배출하는 양보다, 실질적으로 도로상에서 배출되는 차종 구별 없이 차량당 배출되는 유해가스량은 질소산화물이 4.8배, 일산화탄소와 탄화수소는 1.3배, 부유분진은 29배라고 추정할 수 있게 된다.

한편, 차량별 실질 배출량을 근거로 해당 평균 배출량을 구하면 아래표와 같다. 이같은 평균배출량은 위 표의 결과치에 승용차-km당 단위량(질소산화물: 0.33g, 일산화탄소:2.71g, 탄화수소: 0.38g, 부유분진: 0.0084g)을 곱한 값과 같다. 결국 서울시의 경우, 차량 1대당 배출하는 유해가스 평균량은 CO는 3.56, HC는 0.50, NO<sub>x</sub>는 1.58, TSP는 0.25로 산정하였다. 이와 같은 값들은 도로상의 총차량대수가 주어졌을 때, 차종별 분포를 포함하고 각 차종별 배출가스의 차이를 이미 고려한 치수들이기에 직접 대입하여 총배출량을 구할 수 있다.

그러므로 승용차 단위 배출량에 따른 총배출량의 식은 아래와 같다.

$$E(g) = (PCU \times 0.9) \times 0.1km \times AE(g/km)$$

이때 pcu량에 0.9를 곱한 결과를 총 자동차 대수로 간주하며, AE는 총배출량과 차종별 차이를 고려하여 얻어진 차량당 평균값이며, 각 배출가스별로 다르다. 그러므로, 일정한 거리와 교통량을 대상으로 해당 평균값을 통해 배출량(E)를 구할 수 있다.

이상과 같은 방법은 승용차 배출량 단위만으로도 전 차종의 배출량을 계산할 수 있고, 실질적인 차량수에 근거를 두는 장점은 있으나, 속도를 고려하지 못한 단점이 있다.

<표 9>

차종 구성을 고려한 오염물질 실질 배출량 평균

			NOx		CO		HC		TSP	
승용차	자가용	0.5287 <sup>1)</sup>	0.33 <sup>2)</sup>	0.1745 <sup>3)</sup>	2.71 <sup>4)</sup>	1.4328 <sup>5)</sup>	0.38 <sup>6)</sup>	0.2009 <sup>7)</sup>	0.0084 <sup>8)</sup>	0.0044 <sup>9)</sup>
	택시	0.1222	0.75	0.0917	5.01	0.6122	0.61	0.0745	0	0
버스	소형 (휘발유)	0.0031	1.29	0.0040	5.99	0.0186	0.48	0.0015	0	0
	소형 (경유)	0.0762	1.44	0.1097	1.54	0.1173	0.14	0.0107	0.35	0.0267
	중형	0.0012	1.98	0.0024	2.60	0.0031	1.17	0.0014	0.47	0.0006
	대형	0.0321	8.93	0.2867	9.12	0.2928	1.38	0.0443	1.37	0.0440
트럭	소형	0.1109	1.44	0.1597	1.88	0.2085	0.19	0.0211	0.37	0.0410
	중형	0.0376	1.18	0.0444	1.55	0.0583	0.7	0.0263	0.47	0.0177
	대형	0.088	8.04	0.7075	9.32	0.8202	1.3	0.1144	1.26	0.1109
대당 평균량(g/km)				1.58		3.56		0.50		0.25

주 : 94년도 국립환경연구원 자료와 93년도 교통안전진흥공단 자료로 부터 계산  
 3) = 1)×2), 5) = 1)×4), 7) = 1)×6), 9) = 1)×8)

다. 속도개념을 포함한 산정

주행패턴조사를 통해 대표적인 주행 평균속도를 선정하여, 이에 따른 배출량을 조사한 기존결과를 이용하면, 교통량의 변화에 따른 배출량은 물론이고, 속도별 배출량을 알 수 있을 것이다.

우선 64개 교차로의 방향별 교통량과 운행속도<sup>8)</sup>, 주행속도<sup>9)</sup> 등을 알아 보았다 (부록 참조). 속도별 승용차 배출량을 적용하였다. 승용차환산계수에 관한 사항은 4.2.2와 동일하다. 운행속도개념을 도입한 배출량 계산식은 아래와 같다.

$$Y = 0.9 \times PCUK \times Eos(Ers) \times C$$

- Y : 배출량
- PCUK : PCU × 0.1km
- Eos(Ers) : 운행속도(주행속도)별 배출가스량(g/km)
- C : 배출가스별 계수.(질소산화물: 4.8, 일산화탄소: 1.3, 탄화수소:1.3)

8. 어느 구간을 주행하는데 있어서 정지와 지체시간을 포함한 실제 이동한 총거리를 총 소요시간으로 나눈 평균속도임.

9. 어느 구간에서 거리를 운행시간에서 정지시간을 뺀 시간으로 나눈 값.

## 라. 시뮬레이션을 통한 배기가스량 계산시도

어떤 지역이나 가로상의 다양한 교통상황아래서 자동차 배기가스를 실측한다는 것은 많은 시간과 비용을 수반함은 물론이고, 사실상 불가능 할 것이다. 그러므로 실측을 대신 할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 이용하는 방법도 생각해 볼 수 있다.

본 시뮬레이션에 사용된 프로그램은 TRAF-NETSIM(Version 3.10, 1990. 11)이다.

시뮬레이션에서는 송파대로의 5개 교차로만을 대상으로 하였고 오전 첨두시간대 (08:00-09:00)의 교통량과 교차로 신호운영상황을 입력하였다. 또한, 현실상황에 접근시키기 위해 현시당 손실시간은 2.0초, 포화차두간격은 1.8초로 하였다. 시뮬레이션 단위시간은 주기인 130초로 하였고 각각 실행은 780초동안 시뮬레이션 되었다.

## 마. 교차로별 배출량 결과

본문에는 배출량 계수를 이용한 64개 교차로 배출량결과중에서 5개 교차로를 선별하여 차종 구분 없는 배출량을 구하고, 시뮬레이션의 32개 링크의 배출량결과를 중심으로 교차로 부분 0.1km의 5개만을 선별하여 위에서 언급한 각방법대로 계산한 결과를 요약 하면 <표 10>과 같다.

<표 10>

교차로를 중심으로 한 승용차 배출량

(단위: g)

		잠실역	석촌호수	송파동	석촌동	농수산시장
CO	제작차기준	2616	1548	1527	1471	2179
	총량근거	3352	1988	1951	1884	2775
	시뮬레이션	6046	3275	2549	2931	2777
	불량차량	22318	13203	13027	12551	18585
HC	제작차기준	310	183	181	174	258
	총량근거	470	279	274	264	389
	시뮬레이션	317	171	130	149	135
	불량차량	1984	1174	1158	1116	1652
NOx	제작차기준	769	455	449	432	640
	총량근거	408	242	238	229	338
	시뮬레이션	1081	598	546	624	605
	불량차량	1736	1027	1013	976	1446

CO와 HC의 경우, 제작차 기준으로 계산한 것이 최소치를 나타냈고, NOx는 총량근거로 계산한 방식이 최소치를 보이고 있다. 반대로 최대치는 CO와 HC, NOx 공히, 불량차량의 결과가 보여주고 있다. 총량방법은 일반적인 평균값이고, 시뮬레이션 방법은 속도는 물론이고, 정지-출발에 따른 가감속을 포함한 방법이기때문에 총량근거보다 배출량결과가 커야 하나 HC에서는 오히려 적게 나타나고 있다.



한편, 운행속도기준 계수를 이용한 계산에서는 차종을 고려하였고, 시뮬레이션결과는 단지 승용차만을 대상으로 했기 때문에 시뮬레이션 결과에 다시 차종을 고려하여 비교하면 <표 11>과 같다.

<표 11>

차종을 고려한 배출량

(단위: g)

		잠실역	석촌호수	송파동	석촌동	농수산시장
CO	운행속도기준	1942	1326	1316	903	1318
	시뮬레이션	7074	3832	2979	3429	3249
HC	운행속도기준	280	202	204	104	151
	시뮬레이션	371	200	152	174	158
NOx	운행속도기준	1797	1218	1218	760	1084
	시뮬레이션	4669	2583	2259	2696	2614

운행속도에 따른 계수를 이용한 배출량 계산과 시뮬레이션 결과를 볼 때, CO, HC, NOx 공히, 대부분 시뮬레이션 결과가 크며, 이는 운행속도기준 계수가 현재 우리나라에 운행되고 있는 승용차의 대부분을 무연휘발유차량으로 간주했기 때문이다.

또한, 속도기준 계수를 이용한 배출량에서 운행속도를 적용했을 때와 주행속도를 적용했을 때 아래와 같은 배출량 차이가 나오며, 이는 해당교차로 속도차의 지체시간에 의한 결과로 볼 수 있으며, CO, HC, NOx는 각각 평균 25%, 56%, 35%씩의 초과량이 발생한 것으로 나타났다.

<표 12>

송파대로 속도저감에 따른 초과 배출량

		잠실역	석촌호수	송파동	석촌동	농수산시장	평균
CO	속도차 초과 배출량(g)	429	217	218	232	258	271
	초과분(%)	28	20	20	35	24	25
HC	속도차 초과 배출량(g)	114	58	59	46	51	66
	초과분(%)	69	40	41	79	51	56
NOx	속도차 초과 배출량(g)	389	430	432	41	243	1535
	초과분(%)	28	55	55	6	29	35

2. 도심지 링크별 배출량

본절에서는 도심지의 링크별 배출량을 계수방법과 시뮬레이션 방법을 이용하여 결과를 도출하고 분석하였다. 오전과 오후의 배출량의 차이를 비교하였고, 송파지역을 대상으로 한 앞절의 결과와 큰 차이가 있느냐도 분석하였다.

## 가. 도심지 링크별 교통량 현황

서울시의 도심지역 교통체계 개선사업 조사(1994)에 의하면, 도심지역의 교통특성은 주간시간중 속도 및 지체도의 시간대별 변화가 없는 편이지만, 도심간선도로의 방향별 차이는 현격한 것으로 나타나 있다. 즉, 남북방향 도로의 운행속도(평균 15.53kph)가 동서방향의 것(평균 23.31kph)보다 저속이며, 이는 강남과 강북사이의 교량 교통혼잡이 도심지역에 까지 영향을 미치고 있는 것으로 추측된다.

또한, 도심지역의 교통혼잡은 전체 도심지역에서 발생하는 것이 아니고, 청계4가에서 을지로4가, 종로5가에서 청계5가, 종로1가에서 안국동, 북한남동에서 이태원, 청계7가에서 송인동으로 극히 일부구간만이 심한정체를 반복적으로 보이고 있다.

본연구를 위해 중앙청에서 이화교차로까지(2-7), 광화문부터 동대문까지(9-15), 광교부터 청계5가까지(17-19), 시청부터 을지로6가까지(23-27), 회현에서 광희교차로까지(30-35)를 중심으로 각방향별 도심지역 75개 링크를 선정하여 교통량, 링크길이, 운행속도, 주행속도등을 알아 보았다.

75개 대상링크들의 평균길이는 533m 이었고, 오전 평균교통량(2,435 pcu)보다 오후 평균교통량(2,596 pcu)이 많았고, 평균 운행속도는 오전(24.6kph)이 오후(21.7kph)보다 더 빨랐다. 주행속도는 운행속도와 비교해 볼 때, 오전평균 8.1kph차이가 있고, 오후평균 11.7kph의 차이를 보이고 있다.

## 나. 배출량의 최대, 최소치, 모의실험치 추정

도심지 75개 링크별 배출량을 앞절과 동일한 계수방법으로 계산하였다. 앞절에서 교차로구간을 0.1km에 국한 시킨 것과는 달리, 도심지 배출량 분석에서는 실제의 링크길이를 적용하여 링크별 배출량을 구하였다.

75개 링크의 배출 총량을 오전과 오후 비교하여 보면 <표 13>과 같다. 링크별 교통량과 속도의 증감이 서로 각각 다르나 총합으로 볼 때, 오전의 배출량보다 오후의 배출량이 더 많았고, 법기준, 불량차량기준, 총량기준은 공히, 배기가스 차별없이 3%내지 4%의 증가를 보이고 있고, 운행속도기준으로 볼때, CO는 10%, HC는 17%, NOx는 5%증가를 보이고 있다.

여기서 운행속도기준은 무연휘발유의 3만km이하의 주행거리 조건을 갖춘 차량을 대상으로 한 것이고, 운행속도기준의 CO, HC의 값이 다른 방법결과들보다 작은 최소치를 보여주고 있음은 앞으로 CO, HC의 배출량을 법기준보다도 더 줄일 수 있다는 전망을 할 수 있다.

**<표 13> 도심지 75개 링크의 오전-오후 자동차 유해가스 배출량 비교**  
(단위: kg)

		CO	HC	NOx
법 기 준	오 전	209	25	61
	오 후	217	26	64
불량차기준	오 전	1784	159	139
	오 후	1850	164	144
총 량 기 준	오 전	269	38	33
	오 후	279	39	34
운행속도기준 <sup>주)</sup>	오 전	128	15	109
	오 후	142	18	114

주) 차종은 고려 않함

또한, 도심지 링크의 운행속도기준과 주행속도기준으로 볼 때, <표 14>와 같이, 속도 차에 대한 증가분은 HC가 링크별 평균량측면에서 가장 많았고, 현재 서울도심지의 상황으로 볼 때, 지체로 인한 링크별 평균증가율은 오전에 CO, HC, NOx는 각각 17.6%, 38.3%, 16.3%이며, 오후에는 다소 높은 23.9%, 53%, 20.9%이다.

**<표 14> 도심지 속도저감에 따른 초과 배출량 비율**

		CO	HC	NOx
링크별 평균 증가율	오전	17.6%	38.3%	16.3%
	오후	23.9%	53%	20.9%

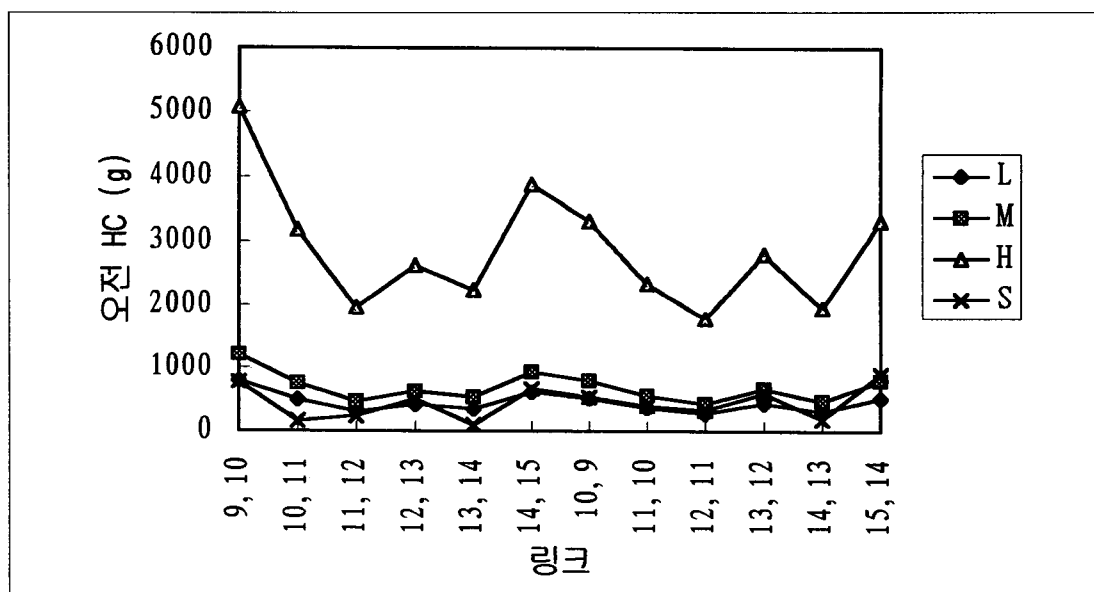
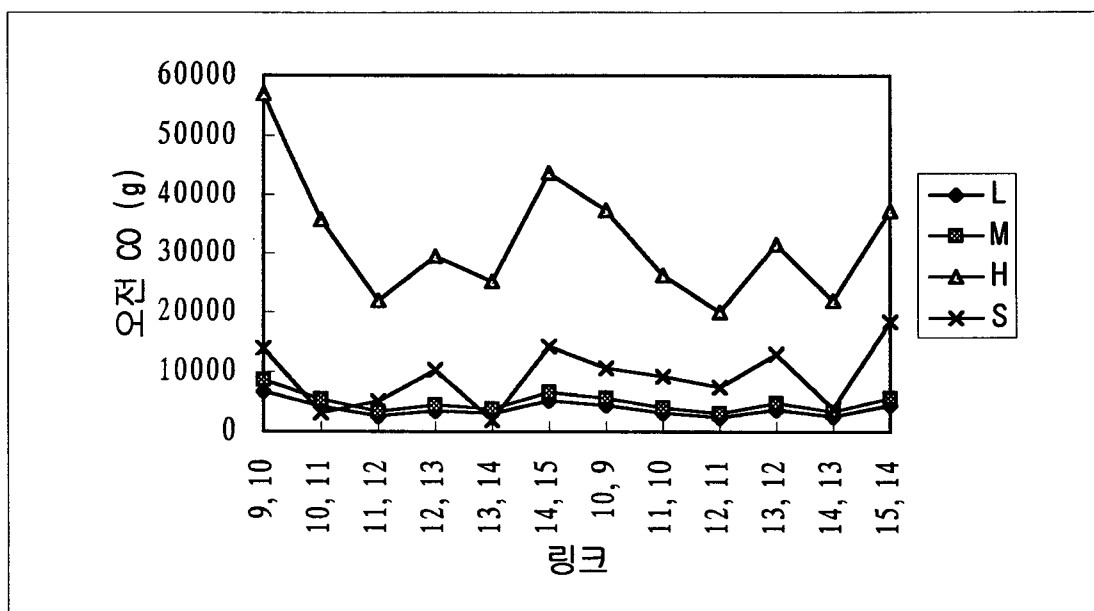
일반적인 링크별 평균증가율은 높은 편이나, NOx의 경우, 일정 속도이상이면 오히려 속도증가가 배출량을 증가시키는 결과를 가져 오기때문에 여러 링크들에서는 운행속도와 주행속도의 배출량 차가 음으로 나온 경우도 있었다. 그러므로, 서울도심에서 지체를 줄이고 속도를 증가시키는 일은 CO와 HC의 감소를 반드시 이루어내지만, NOx는 경우에 따라 배출량이 증가할 수도 있다.

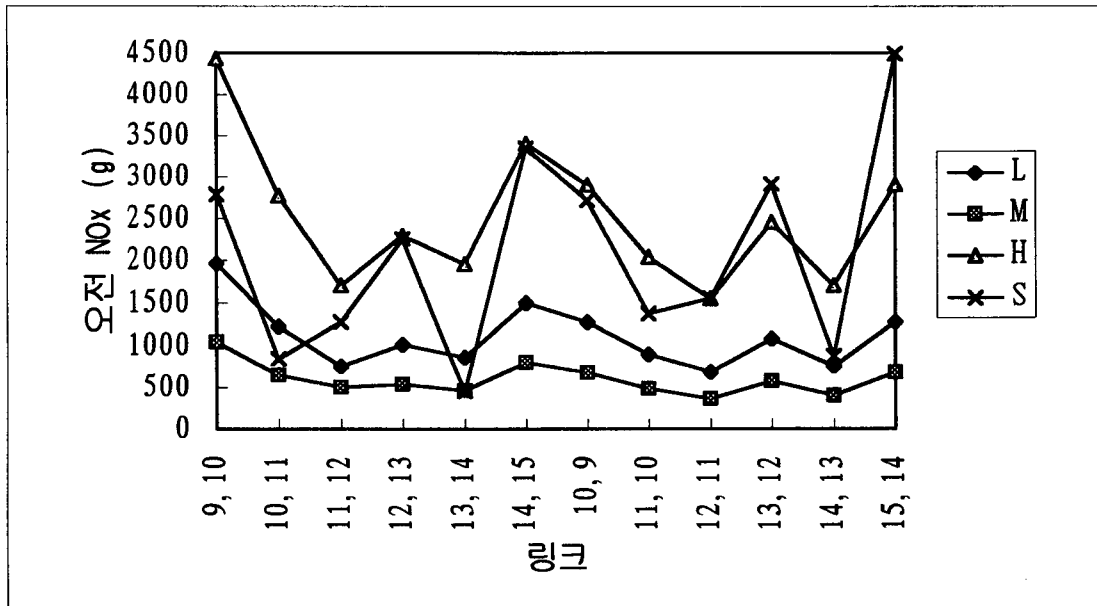
한편 시뮬레이션에서는 종로의 동서축을 중심으로 22개링크를 대상으로 배출량계산을 하였으며, 이 때의 링크 구분은 횡단보도와 교차로를 포함한 정지선을 기준으로 하였다. 시뮬레이션의 작업과 계수작업 링크의 공통부분을 추출하여 다시 12개 부분을 구성하여 배출량 비교를 해보았다.

오전을 중심으로 배출량 비교는 (그림 1)과 같고 시뮬레이션 결과는 CO, HC, NOx 각각의 경우, 다른 양상을 보이고 있다. 시뮬레이션의 CO는 제작차기준과 총량기준보다는 크고, 불량차기준보다는 작은 상태를 보이고 있는 등, 앞절의 결과와 대동소이하게 나타났고, HC의 경우는 거의 제작차수준의 최저치를 보이고 있고, NOx는 거의 불량차 수

준으로 높게 나타났다. 그리고 시뮬레이션결과와 계수방법결과들의 링크별 굴곡이 비슷하게 나타난 것은 시뮬레이션에서도 배출량에 절대적인 영향을 미치는 요인은 역시 교통량인 것으로 풀이된다.

또한, 도심지 링크의 차종을 고려한 후, 운행속도기준과 시뮬레이션의 배출량을 비교하면, 대부분 시뮬레이션에 의한 배출량이 운행속도기준보다 상회하고 있으며, 이는 송과대로 교차로의 경우와 같다. 그러므로, 우리나라 대부분의 승용차가 무연인점을 감안 할 때, 혼잡시 서울의 CO량 추정은 운행속도기준보다는 높고 시뮬레이션 결과보다는 낮은 상태이며, 법기준과 총량기준보다는 높을 것이다. 그러나 HC는 법기준과 총량기준 그리고 시뮬레이션등이 큰 차이를 보이지 않는 관계로 시뮬레이션 수준일 것이다. NO<sub>x</sub>의 경우는 시뮬레이션 배출표자체가 9kph이하일 때, 높게되어 있기 때문에, 실제의 배출량은 이보다 적을 것으로 추정된다.





(그림 1) 도심지 배출량 최저, 최고치

## IV. 교통혼잡과 배출량

### 1. 교통량변화에 따른 배출가스량 변화

도로에서의 교통혼잡은 도로용량에 비해 이용하는 교통량이 어느 정도이냐에 따라 달라진다. 일반적으로 도로의 혼잡도는 차량당 평균지체시간으로 표현되며, 여러개의 교차로로 구성되는 간선도로의 경우는 운행속도를 중심으로 서비스 수준을 표시할 수도 있지만, 평균지체시간과 운행속도 모두 도로용량에 대한 교통량의 비율에 의해 영향을 받는다.

본 절에서는 주어진 환경하에서 교통량에 따라 교통의 효과척도와 자동차 배출가스가 어떻게 변화되는 지를 살폈다.

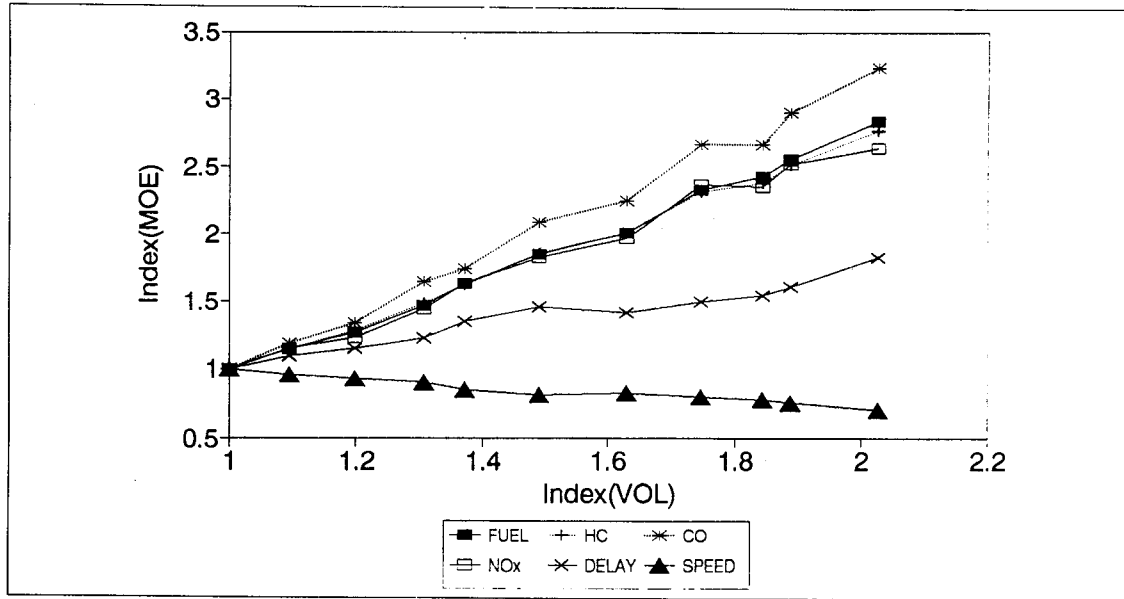
접근방법은 종로2가와 3가 구간에 대해 오전첨두시의 교통량을 대상으로 하여 5%씩 교통량을 감소시켜, 최대 50%까지 감소된 교통량을 TRAF-NETSIM으로 시뮬레이션하였다.

<표 15> 교통량 변화에 따른 교통의 효과척도 및 연료, 배출가스의 변화

링크	교통량 (VPH)		속도 (km/h)	평균지체 시간 (sec/veh)	정지율 (%)	연료 소비량 (veh-L)	배출가스량 (kg/km-hour)		
							HC	CO	NOx
4→3 440m	A	2,181	30.0	52.5	38	40.7	0.242	4.747	1.165
	B	3,762	23.7	66.7	59	81.4	0.493	10.520	2.213
	B/A	1.72	0.79	1.27	1.55	2.00	2.04	2.22	1.90
5→4 150m	A	1,645	22.8	23.7	30	12.1	0.214	4.111	1.005
	B	3,321	20.0	27.0	32	27.6	0.481	9.606	2.202
	A/B	2.01	0.88	1.14	1.07	2.28	2.25	2.33	2.19
6→5 225m	A	2,104	32.2	25.0	24	23	0.261	5.399	1.413
	B	4,234	35.1	23.0	13	47.1	0.522	10.217	2.847
	A/B	2.01	1.09	0.92	0.54	2.05	2.00	1.89	2.01
7→6 278m	A	2,052	28.6	34.9	43	25.1	0.242	4.879	1.128
	B	4,161	20.1	49.8	71	71.1	0.669	15.771	2.967
	A/B	2.02	0.70	1.43	1.65	2.83	2.76	3.23	2.63

교통량이 약 2배 정도 증가함에 따라 횡단보도 구간인 6→5 링크를 제외하고는 속도는 약 20~30% 감소하나 차량당 지체시간은 최대 43%까지 증가하는 결과를 보였다. 정지율은 링크마다 다르나 4→3 링크는 55%, 7→6 링크는 무려 65% 증가하는 결과를 나타내었다. 일반적으로 교통량이 2배 정도 증가하면 각종 교통지표는 이보다 훨씬 더 심각해지는 것으로 알려져 있지만, 종로구간의 신호주기가 140초로 운영되고 있는 까닭으로 교통량이 적은 상태에서도 긴 신호주기 때문에 발생하는 지체와 정지율이 있어 교통량이 증가하더라도 일정분 만큼은 이러한 지체내로 흡수되어 나타나지 않다가 교통량이 그 일정수준 이상 증가하면 그 때서야 지체시간의 증가에 직접 영향을 미치게 되고 이 결과, 속도가 저하되는 것으로 추정된다. 따라서 링크 교통량에 따른 각종 효과척도의 변화는 단순한 교통량의 증가분뿐만 아니라 신호운영상태 그리고 서비스 수준등에 따라 달라짐을 알 수 있다.

종로2가에서 1가 교차로의 링크인 4→3은 교통량이 1.72배 증가했을시 연료소비량은 2배, HC, CO, NOx는 각각 2.04, 2.22, 1.90배 증가하여 교통량의 증가분에 비해 높은 연료소비량과 배출량을 보였다. 특히 보다 전형적인 경우로 보여지는 7→6 링크에서는 교통량이 2배로 증가되었을 시 연료소비량은 2.8배, HC, CO, NOx의 배출가스는 2.76, 3.23, 2.63배로 높게 나타났다. 교통량을 50% 줄인 교통량을 기준으로 하여 교통량의 증가에 따른 각 효과척도를 지수로 하여 살펴보면 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 종로3가 교차로의 동측 접근로(링크 7→6)의 교통량에 따른 배출가스

그림에서는 교통량이 증가됨에 따라 CO가 가장 민감하게 변화됨을 알 수 있으며, 연료소비, HC 및 NOx는 거의 동일한 경향으로 증가되고 있음을 알 수 있다.

## 2. OFFSET 변화에 따른 배출가스량 변화

오프셋은 교차로간의 녹색신호 시작시점의 차이로 정의된다. 오프셋 값의 결정은 유입과 유출 교통량의 차이가 많은 경우에는 교통량이 많은 주교통류 방향에 맞추어 설정하고, 교통량이 균형을 보일 경우는 균등오프셋 값을 설정하여 양방향 비슷한 연동화를 도모한다. 따라서 오프셋 값에 따라 각 방향별 녹색밴드(Green Band)의 폭이 달라져 교통류의 흐름에 영향을 미치게 되고, 특히 정지율은 오프셋에 많은 영향을 받는것이 일반적이다.

본 절에서는 종로 1가와 2가 교차로에 대해, 오프셋값의 변화에 따라 배출가스량이 어떤 변화를 보이는 지를 알아보기 위해 시도되었다. 현재의 종로1가의 주기는 140초, 오프셋 값은 종로 1가는 0이며, 종로 2가는 10이다. 즉, 종로2가에서 종로 1가 방향으로는 종로 2가에서 녹색시간이 시작된 후 130초 후에 종로1가에서 녹색시간이 시작된다는 의미이며, 역으로 종로1가에서 2가 방향으로 진행되는 차량은 종로1가에서 녹색신호가 시작된 10초후 종로2가의 진행신호가 시작된다는 뜻이다.

오프셋의 변화에 따른 배출가스량의 변화는 앞에서와 마찬가지로 NETSIM을 이용하여 종로2가의 오프셋값을 10씩 변화시켜 총 14회 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 결과는 <표 16>과 같다.

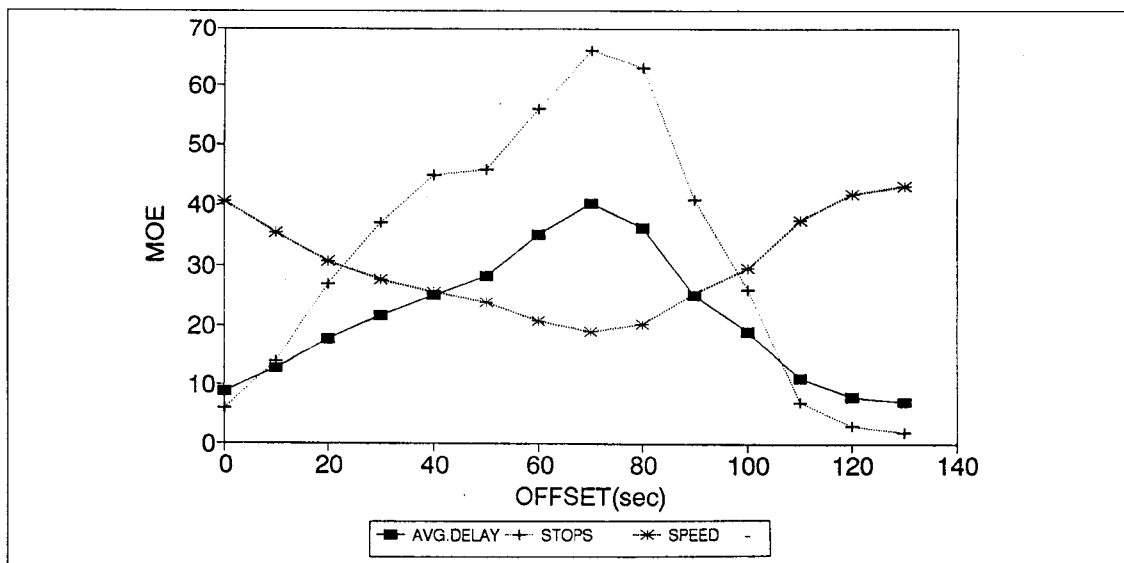
시뮬레이션된 교통량은 시뮬레이션 시행에 따른 변동으로 최대 3,719 VPH에서 최소 3,484 VPH로 나타났으며, 오프셋 값이 70 일때 평균지체시간 40.4초/대, 정지율 66%, 운행속도 19km/h로 가장 나빴으며, 오프셋값이 130 일때 평균지체시간 7.1초/대, 정지율 2%, 운행속도 43.1km/h로 가장 양호한 상태를 보였다. (그림 3)은 오프셋의 변화에 따른 교통

관련 효과척도의 변화를 보인것으로, 현재의 읍셋값은 상당히 양호한 값으로 인정된다.

<표 16>

읍셋값의 변화에 따른 배출가스의 변화

읍셋값	교통량 (vph)	평균지체 시간 (sec/veh)	정지율 (%)	운행속도 (km/h)	연료 소비량 (L/km)	배출율(g/km)		
						HC	CO	NOx
0	3,664	8.8	6	40.6	0.186	0.108	2.012	0.588
10	3,621	12.7	14	35.5	0.186	0.110	2.018	0.566
20	3,685	17.7	27	30.7	0.197	0.118	2.246	0.589
30	3,689	21.7	37	27.6	0.203	0.122	2.453	0.585
40	3,629	25.1	45	25.6	0.214	0.131	2.810	0.617
50	3,664	28.2	46	23.9	0.228	0.138	2.944	0.659
60	3,672	35.1	56	20.8	0.237	0.143	3.111	0.637
70	3,694	40.4	66	19.0	0.249	0.150	3.371	0.642
80	3,557	36.3	63	20.3	0.243	0.148	3.356	0.637
90	3,659	25.2	41	25.4	0.218	0.127	2.543	0.566
100	3,484	19.1	26	29.6	0.204	0.119	2.286	0.564
110	3,561	11.0	7	37.5	0.188	0.109	1.970	0.559
120	3,612	7.9	3	41.9	0.185	0.107	1.926	0.571
130	3,719	7.1	2	43.1	0.182	0.105	1.908	0.567



(그림 3) 읍셋변화에 따른 교통관련 효과척도의 변화

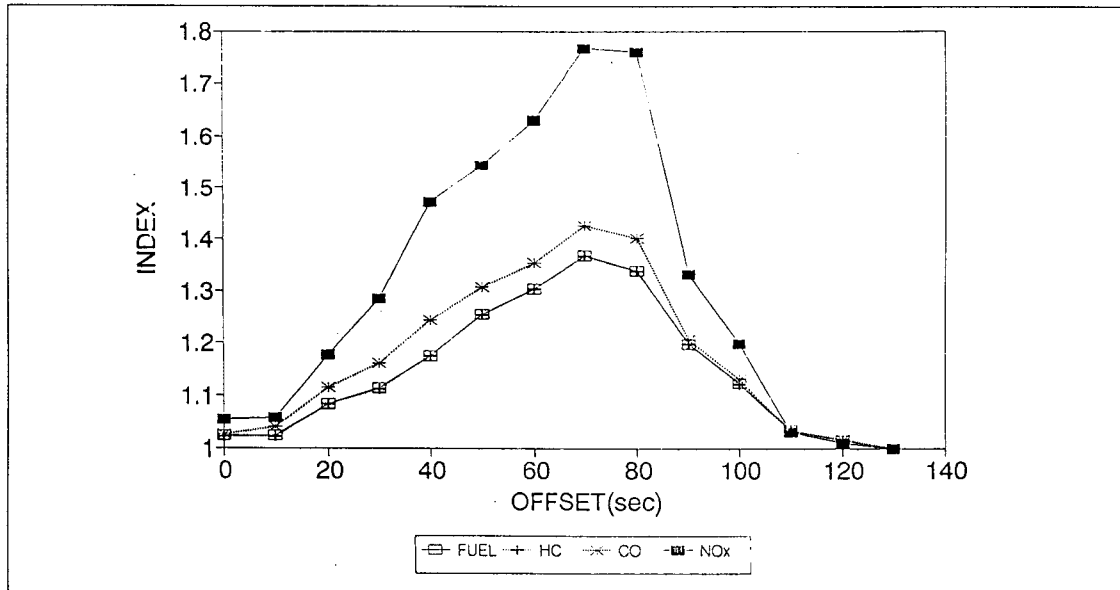
이상의 읍셋변화에 따른 차량 1km 주행하는데 소비된 연료와 배출가스량을 최선의 읍셋으로 판정되는 130을 기준으로 지수화하여 그림으로 살핀 것이 (그림 4)이다.

그림에서도 읍셋값이 70일때 연료소비율, 배출가스율이 가장 높음을 알 수 있다. 이들



중 연료소비율과 HC배출율은 거의 비슷한 양상으로 변해가고 있으나 CO는 이보다 약간 민감하게 변화되고 있으며, NOx는 매우 민감한 변화를 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 교통량이 동일한 상태라도 옵셋값을 잘못 설정할 경우 연료소모율과 HC는 약 35% 정도, CO는 약 40% 정도, 그리고 NOx의 경우는 무려 75% 정도 더 많은 연료소모와 배출가스를 발생시킬 수 있음을 지적할 수 있다. 따라서 도시간선도로상에서의 신호 제어변수 중 옵셋은 매우 중요한 변수임을 확인할 수 있다.

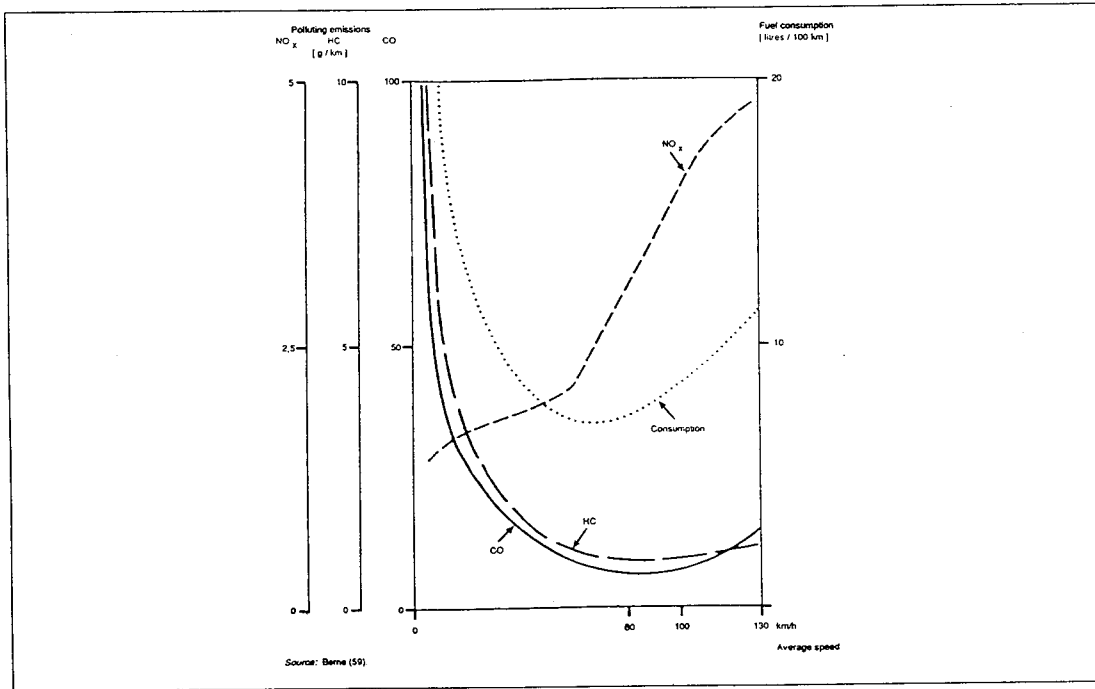


(그림 4) 옵셋변화에 따른 연료 및 배출가스의 변화

### 3. 배출가스를 고려한 TRANSYT-7F STOP PENALTY

교통체계상 도시부의 교차로는 보통 신호등으로 교통류를 제어하고 있는 관계로 감속-정지-가속이 필연적으로 반복되고 있어, 교차로의 신호체계를 어떻게 운영하느냐가 도시간선도로상의 혼잡완화 뿐만 아니라 연료소비 그리고 자동차 배출가스량을 감소시키는 데 결정적인 영향을 미치게 된다.

교차로 신호등의 신호시간 최적화에는 주로 TRANSYT-7F 프로그램을 많이 사용한다. 이 프로그램은 자동차 배출가스를 평가하고 있지 않아 자동차의 배출가스는 고려되고 있지 않다. 연료소비량의 최소화가 반드시 자동차 배출량 최소화가 아닌 점을 고려할 때, 배출가스에 대한 평가는 필요하다. 물론 (그림 5)에서 보는 바와 같이 현재방식의 신호최적화도 어느정도 자동차 배출가스량 저감이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉, 약 60km/h까지는 연료소비와 HC 및 CO는 평균속도가 증가하면 동일하게 감소하는 경향을 보이고 있기 때문이다.



(그림 5) 속도에 따른 연료소비율 및 가스배출율의 변화

TRANSYT-7F 프로그램상에서 자동차 유해가스 배출량을 최소화하는 목적함수를 정의하기 위해서는 현재 연료소비량 계산 모델 대신에 자동차 유해가스 배출량 추정 모델로 수정되어야 할 것이다. 현재의 정지 및 출발에서 초과소비되는 연료량을 기준으로 정지와 평균지체시간과의 관련성을 나타내고 있는 Stop Penalty를 수정하여 봄으로써 현행의 연료 최소화를 추구하는 신호최적화에 자동차 배출가스를 고려하는 신호최적화로 진전시킬 수 있을 것이다.

TRANSYT-7F의 Stop Penalty는 승용차 1대를 현장실험을 통해 획득된 연료소비 자료를 토대로 하고 있기에 신뢰도면에서 다소 문제가 있음을 시인하고 있다. 그리고 단순히 운행속도의 변화에 입각한 연료소비량 추정 모형에 의해 계산된 결과만을 보여주고 있는 관계로 차량의 움직임에 따른 실제적인 분석이 필요하다.

이상의 문제들을 극복하기 위해 미국이나 우리나라 등에서 신차의 배출가스 실험모드인 동력계 주행시험계획(Urban Dynamometer Driving Schedule : UDSS)으로 차량이 주행하고, 차량은 NETSIM 프로그램에서 연료 및 배출가스 효과척도를 계산하기 위해 제공되고 있는 연료 및 배출가스율 테이블에 따라 연료를 소비하고 유해가스를 배출한다는 전제하에서 분석이 시도되었다.

UDSS로 차량이 운행될 때 소비하는 연료량과 유해가스 배출량을 매초단위로 NETSIM의 테이블에 따라 소비 또는 배출하는 양을 매초 단위로 계산하여 이를 기준으로 Stop Penalty 값을 계산하였다. 정지에 따른 연료소비량과 배출량은 기본적으로 연료소비량을 추정하는 모형에 입각하고 TRANSYT-7F의 Stop Penalty 계산식에 의거 계산되었다. TRANSYT-7F의 Stop Penalty 구하는데 필요한 각각의 계수와 이를 통해 구한 Stop Penalty는 <표 17>과 같다.

<표 17>

UDDS상의 Stop Penalty

구 분	연료소비량 ( $\times 10^{-5}$ gal)	HC 배출량 ( $\times 10^{-3}$ g)	CO 배출량 ( $\times 10^{-3}$ g)	NOx 배출량 ( $\times 10^{-3}$ g)
1km 정속상태( $a_1$ )	2899	625	1182	1976
정지1초당	13	3	3	3
정지1시간당( $a_2$ )	46800	10800	10800	10800
1회 가속시	764.5	163	332	773.9
1회 감속시	236.6	71.0	56.9	32.7
1회가·감속시( $a_3$ )	1001	234	389	807
1회 가감속시 초과량 ( $a'_3 = a_3 - a_1 \cdot X_h$ )	458	117	168	437
$a'_3 \times 3600$	16.49	420.94	604.40	1571.80
Stop Penalty 값	35.24	38.98	56.43	146.74

UDDS의 순행속도가 43.44 km/h 인 경우 TRANSYT-7F Stop Penalty 계산으로는 22.9가 된다. 그러나 NETSIM 테이블에 의한 Stop Penalty를 구해보면 연료소비량을 기준할 때는 35 정도가 되어 상당히 높게 계산되었음을 알 수 있다. 이러한 이유는 정지상태에서의 초당 연료소모량이 TRANSYT-7F에서는 0.73239g인 반면에 NETSIM에서는 0.468g로 적게 소비되는 것으로 되어있기 때문으로도 볼 수 있으며, 또 한편으로는 가감속에 기인되는 가감속도와 이 때의 배출량이 서로 다르기 때문일 것으로 보인다.

한편 HC를 기준으로하는 Stop Penalty값은 약 40 정도가 바람직한 것으로 나타났으며, CO와 NOx는 각각 55, 150 로 연료소비량을 기준으로하는 Stop Penalty보다는 훨씬 높음을 알 수 있다. 이러한 결과는 차량의 정지에 따른 악영향이 연료보다는 차동차 배출가스에 더욱 민감한 영향을 미치고 있음을 보여 주는 것이다.

Stop Penalty는 순행속도(cruising speed)에 절대적 영향을 받기에 배출가스 시험용 운행모드 전체를 대상으로 하여 Stop Penalty를 구해 적용시킬 수도 있겠으나 서로 다른 순행속도를 보이는 가로에서는 Stop Penalty를 속도에 따라 다양하게 사용할 수 있어야 할 것이다.

UDDS 상에는 18회의 정지가 발생하며 이중 다소 일반적인 경향이 아닌 4회의 정지를 제외한 14회의 정지에 대해 각각의 순행속도에 따라 연료소비, HC, CO, NOx에 따른 Stop Penalty 값을 구해본 결과 <표 18>과 같았다.

<표 18>

순행속도별 Stop Penalty

No.	속도 (km/h)	Stop Penalty 값			
		연료소비	HC	CO	NOx
1	31.44	11.66	18.45	29.73	57.20
2	31.97	14.46	15.75	24.87	32.92
3	33.89	35.09	31.71	49.94	95.53
4	35.03	20.63	22.34	36.93	66.53
5	37.40	46.46	41.98	98.12	273.85
6	39.52	47.79	41.65	83.47	235.19
7	40.09	29.40	29.59	52.48	111.84
8	40.31	19.99	27.50	52.17	99.86
9	40.48	44.16	37.11	62.03	147.31
10	40.48	43.25	44.55	68.08	156.02
11	43.67	49.97	44.30	90.31	261.87
12	48.00	60.42	57.15	173.81	441.96
13	56.70	58.05	89.13	258.59	453.92
14	57.28	59.36	83.16	148.39	394.69

순행속도에 따른 Stop Penalty 값을 1차 회귀식으로 구해본 결과 다음과 같았다.

$$\begin{aligned}
 \text{S.P(FUEL)} &= 1.67 \cdot V - 30.09 && (\text{R Squared} = 0.64) \\
 \text{S.P(HC)} &= 2.61 \cdot V - 65.55 && (\text{R Squared} = 0.91) \\
 \text{S.P(CO)} &= 7.14 \cdot V - 206.1 && (\text{R Squared} = 0.78) \\
 \text{S.P(NOx)} &= 15.77 \cdot V - 447.2 && (\text{R Squared} = 0.77)
 \end{aligned}$$

여기서 V는 순행속도로 TRANSYT-7F에서는 유입링크의 평균순행속도(average cruise speed)이다.

분석결과 연료소비량 최소화시에도 현재 TRANSYT-7F의 Stop Penalty값은 상당히 상향 조정되어야 할 필요가 있으며, HC, CO 및 NOx를 최소화시키기 위해서는 각각 약 40, 55, 150 정도의 Stop Penalty 값을 사용해야할 것으로 분석되었으며, 해당 링크의 순행속도에 따라 Stop Penalty 값이 변화되므로 순행속도에 따라 Stop Penalty값을 결정할 수 있는 모형도 제시되었다.

## V. 결론

지금까지 교차로와 링크상의 교통량과 속도 및 지체도에 대한 교통자료를 중심으로 자동차 오염가스 배출량을 추정하여 보았다. 기존 연구들의 결과가 자동차의 단위배출량 혹은 서울전체의 자동차들이 배출하는 오염가스 총량이었던 것에 비해, 본 연구에서는 일정한 도로상이라는 제한된 범위내의 배출량 산정을 시도하였다.

그러나, 차량에 부하되는 재하량이나 도로의 구배와 같은 요소들은 자료부족으로 고려되지 못하였고, 환경자료는 주로 승용차 위주로 되어 있거나, 소형버스와 소형트럭에 국한되어 있어, 교통자료가 갖고 있는 세부적인 차종과 부합시키에 어려움이 많았다.

오염가스별로 여러 결과들을 비교하여 볼 때, 시뮬레이션의 CO와 HC는 총량근거나 속도근거보다 결과치가 컸다. 이는 시뮬레이션 배출율표가 유연휘발유 차량을 포함한 것이고 정지와 지체시간을 포함한 것이기 때문인 것으로 해석된다.

사실상 여러방법들에 의해 배출량 추정을 시도하는 할 수 있지만, 이상에서 언급한 계산방법들에서 나온 결과들이 정확한 값을 표현할 수는 없고, 상대적인 비교에 의해 추정만 해 볼 수 있을 뿐이다. 단지 최소치는 목표치로서의 효과가 있고, 전차량을 불량한 상태로 방치할 때 배출량이 최대치로까지 악화될 수 있다는 경고적 측면에서 의의가 있다고 본다. 또한 시뮬레이션결과는 우리나라 현실에 맞는 가감속 자료만 있으면 배출율표를 수정하여 좀 더 실제량에 근접시킬 수 있는 방법임을 시사하였다.

한편, 서울도로의 현재 혼잡상태에서 속도의 저감에 따라 배출량이 민감한 반응을 보이고 있고, 본문에 언급된 서울의 속도수준에서 지체로 인한 배출량 증가가 CO와 HC는 20%이상인 점을 미루어 볼 때, 교통체계 및 교통류의 개선은 소통 뿐만아니라 오염가스 감소에도 큰 영향을 미칠 것으로 본연구결과에서 나타났다.

현재의 교통량을 기준으로 매 5%씩 최대 50%까지 교통량을 줄여 각각의 교통상황을 시뮬레이션해 본 결과 교통량의 차이가 약 2배일 때 배출가스량은 HC는 2.8배, CO는 3.2배, NOx는 2.6배까지 차이를 보이고 있어, 만약 현재의 교통량을 반으로 줄일 경우 배출가스량은 현재의 35% 수준까지 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다.

교차로 접근로상의 정지율에 절대적인 영향을 미치는 움셋을 10초씩 변화시키면서 시뮬레이션해 본 결과 최악의 움셋은 최적의 움셋에 비해 HC 및 CO는 30~40% 정도, NOx는 75% 정도까지 배출율이 증가될 수도 있음을 보였다.

한편 현재의 신호시간계획에 주로 사용되는 TRANSYT-7F 신호최적화 목적함수로 사용되는 P.I(Performance Index)에서 차량정지에 대한 가중치인 Stop Penalty를 현재의 연료소비량 기준에서 배출가스량 기준으로 전환시켜본 결과 HC를 기준으로 할 때는 연료기준 Stop Penalty와 비슷한 값이나 CO 기준으로는 연료기준 Stop Penalty의 1.6배, NOx 기준으로는 연료기준 Stop Penalty의 1.6배, 4.2배까지 높여 사용할 때 신호가 최적화 할 수 있었다.

이상의 교통량 및 움셋의 변화에 따른 배출가스량의 변화는 종로라는 특정가로의 일부구간에 한해 분석되었기 때문에 제시된 수치가 일반적으로 적용될 수 있는 수치는 아니며, 교통량과 움셋의 변화에 따른 배출가스의 민감한 변화정도를 이해하는 자료로서 가치가 있을 것이다.

배출가스량을 기준으로하는 Stop Penalty는 현재 제작 시험에 이용되는 주행패턴에

대해 적용하였기에 우리나라의 특성을 충분히 반영하고 있다고 보기는 힘들 것이다. 그러나 현재 활용하고 있는 Stop Penalty는 비교적 신뢰도 낮은 자료에 의해 구축되었고 우리나라 실정을 반영하지 못하고 있다는 사실에 비추어 향후, 제시된 배출가스량을 고려한 Stop Penalty의 사용에는 별다른 무리가 없을 것으로 판단되나 이를 이용한 구체적인 사례연구가 좀더 진행될 필요는 있다.

현재 우리나라는 차량단계의 배출가스기준과 대기오염 환경기준이 마련되어 있는 실정이다. 이에 추가로 도로상에서의 배출가스량을 줄이는 노력도 있어야 한다. 이미 유럽에서는 ITS(Intelligent Transport System)차원에서 도로별 대기오염물질 배출의 허용최대치를 정하여, 이에 해당하는 교통량을 환경용량(Environmental Capacity<sup>10</sup>)개념으로 도입하고 있다. 앞으로도 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것으로 본다.

---

10. Kostas Linaritakis 외 1인, Transport and environmental planning for intelligent vehicles, efficient networks and sustainable development, in Toward an Intelligent Transport System volume 2, 1994.

## 참고문헌

1. 노재식 외 3인, "대기오염", 1992.
2. 도철웅, "교통공학원론(상)", 청문각, 1994.
3. 서울시정개발연구원, "잠실지역 교통체계개선(TSM)사업계획 최종보고서", 1994.
4. 서울시정개발연구원, "대기질 측정방법의 효율화 방안에 관한 연구", 1994.
5. 서울특별시 교통관리사업소, "'94 서울정기속도 조사", 1994.
6. 원제무, "교통공학용어사전", 녹원출판사, 1988.
7. 趙康來 (國立環境研究所) 외 7인, 兪滄 (연세대학교 공과대학) 외 1인, "自動車排出가스에 의한 大氣汚染 豫測에 관한 研究", 國立環境研究所, 1983.
8. 趙康來 외 6인, "輕油自動車의 汚染物質 排出現況調査研究", 國立環境研究所, 1984.
9. 趙康來 외 5인, "自動車 排出가스에 의한 汚染物質 排出量 算定에 관한 研究(I,II)", 國立環境研究所, 1985.
10. 趙康來 외 4인, "LPG噴射에 의한 市内버스 煤煙低減에 관한 研究", 國立環境研究院, 1986.
11. 趙康來 외 9인, "디젤 自動車排出가스 許容基準強化를 위한 研究 (I)", 國立環境研究院, 1987.
12. 조광명 외1인, "환경공학", 청문각, 1995.
13. H. AL-Deek 외 2인, "Evaluating ATIS impacts on air quality", ASEE, 1994.
14. P. Chovin, et A. Roussel, "Physicochimie et physiopathologie des polluants atmospheriques", Maison et Cie Editeur, 1973.
15. Environment Agency, "Motor Vehicle Pollution Control in Japan" (2nd Revision), Japan, 1987.
16. Francois Le Brun, "Pourquoi les Francais aiment le diessl", L' EXPANSION, 17mars/6 avil, 1994.

17. Kostas Linaritakis 외1인, "Transport and environment planning for intelligent Vehicles, efficient networks and sustainable development", in Toward an Intelligent Transport System volume 2, 1994.
18. O.E.C.D., "Transport and the environment", Paris, 1988.
19. U.S.E.P.A., "Mobil sources emission standards summary", 1985