

시정연 2004-PR-05

개별차량의 주행행태에 따른 자동차 배출가스 추정방법론 정립

2004. 6

연구진

연구책임 이 영 인 • 서울대학교 환경대학원 부교수

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서 서울특별시의
정책과는 다를 수도 있습니다.

목 차

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 목적	1
제2장 문헌고찰	2
1. 배출가스 추정 및 확산관련 선행연구 고찰	2
2. 관련 모델 검토	13
3. 기존 배출가스 추정모형 분석	17
제3장 배출량 추정 모형 정립	24
1. 국내 배출량 산출방법의 한계	27
2. 배출량 산출방법 정립	29
3. 배출량 산출모형 정립	33
제4장 시나리오 설정 및 모형의 적용	40
1. 가상의 차량주행상황 설정	40
2. 모형의 적용결과 비교	40
3. 모형적용 결과 및 선정 방향 제시	41
제5장 연구의 활용방안	43
제6장 결론	49
참고문헌	50

표 차례

(표 1) 선 오염원의 배출량 측정 방법 비교	4
(표 2) 환경부 추천 대기오염 모델	14
(표 3) CAL3QHC에 요구되어지는 입력자료	16
(표 4) ISC3 모델에 필요한 입력자료	17
(표 5) 배출계수와 차량속도와의 상관식	23
(표 6) 곡선추정 회귀모형의 종류	36
(표 7) 모형 산정을 위한 가속도 그룹별 구분	37
(표 8) 모형 SET I 회귀식 도출결과	38
(표 9) 모형 SET II 회귀식 도출결과	39
(표 10) 모형 SET III 회귀식 도출결과	39
(표 11) 모형별 대응t-test(쌍체비교) 결과	41
(표 12) 차종별 오염물질 실질배출계수(수단별 가중평균)	44
(표 13) 교통에 직접적 영향을 미치는 환경영향평가 대상 사업	46

그림차례

<그림 1> 속도, 가속도에 따른 CO의 배출량 변화	25
<그림 2> 속도, 가속도에 따른 VOC의 배출량 변화	25
<그림 3> 속도, 가속도에 따른 NOx의 배출량 변화	26
<그림 4> 속도, 가속도에 따른 촉매 장치가 장착된 휘발유 차량의 NOx 배출량	27
<그림 5> 자동차 대기오염물질 배출량 표	30
<그림 6> 시간대별 배출량 변화(1)	32
<그림 7> 시간대별 배출량 변화(2)	32
<그림 8> 적합된 회귀평면	35
<그림 9> 속도에 따른 배출량 변화	37
<그림 10> 차량의 주행상태(속도·가속도) 변화	40
<그림 11> 모형 set II 의 회귀모형 도출 결과	42
<그림 12> 네트워크 변화의 고려	47

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

대기오염 중 자동차에서 배출되는 오염물질이 차지하는 비중이 '92년 60.8%에서 '99년 85.2%로 점차 증가하고 있는 현실을 반영하여 자동차 배기가스로 인한 대기오염 문제는 최근 몇 년 동안 교통 및 환경분야에서 중요한 연구과제로 주목받고 있다. 그러나 문제의 중요성에 반해 배기가스 배출량을 실시간 교통류 상황과 더불어 추정할 수 있는 모형에 대한 연구는 거의 없는 것이 사실이다.

ITS사업을 통해 실시간 교통상황을 인식할 수 있는 토대가 마련됨에 따라 보다 발전된 배기가스 산출 모형을 마련하고, 이를 실제 네트워크 상의 교통류 상태와 결합시켜 배출가스의 배출량을 모니터링 할 수 있는 현실적 모니터링 시스템의 마련은 교통과 환경분야에서 중요한 연구과제이다.

이러한 연구수행을 위해서는 ITS의 실시간 검지체계를 바탕으로 현재의 교통상황을 미시적으로 재현할 수 있는 교통류 시뮬레이션 모형과 교통류 모사에서 산출되는 다양한 교통상황별 배기가스 배출 및 확산 모형을 결합시켜 대기오염을 모니터링하는 시스템의 설계 및 구축이 요구된다.

2. 연구의 목적

본 연구에서는 ITS 검지정보를 입력하여 네트워크 상에서 개별 차량의 운행 패턴과 교통류의 특성 변화를 모사하고 이러한 변화에 따라 도로에서 발생하는 자동차 배기가스 배출량을 추정하여 대상 지역의 대기오염을 모니터링하고 시각적으로 표현할 수 있는 모니터링 시스템 개발을 목적으로 한다.

1) 환경부, 「대기환경연보」, 2001.

제2장 문헌고찰

1. 배출가스 추정 및 확산관련 선행연구 고찰

선 오염원으로부터 배출되는 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법은 국내문헌의 경우 거의 모두 집계(aggregation) 기법을 이용하고 있다. 즉 배출계수 산출식에 활동도를 곱하여 총배출량을 산출하고 합당한 할당기준을 세워 배출량을 시공간에 분할하는 방식을 채택하고 있고 이때 배출계수 회귀식은 평균통행속도를 이용하여 산출하며, 활동도는 주로 일일 평균주행거리(VKT)를 이용하고 있다.

국내의 연구는 주로 배출계수 회귀식을 도출하기 위해 통행특성과 배출특성 사이의 상관관계를 연구하거나 총배출량을 지역별로 할당하는 기준에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 이는 기본적으로 TDA방식으로 개별차량의 특성에 따라 각기 달라지는 배출량의 차이를 규명하거나 교통정책의 개선에 따른 환경영향을 분석하기에는 한계가 있다.

국내문헌과 달리 국외문헌의 경우 평균통행속도에 크게 의존하는 현재 배출량 산출방법(예를 들어 MOBILE, EMPAC 등)의 한계에 대해 인식하고, 실제 교통 네트워크 상에서 통행행태와 운행조건을 반영하기 위해 미시모형인 교통류 시뮬레이션 모형과 통합하려는 시도가 이루어지고 있다. 또한 대기오염물질 배출량과 연료소비의 관계를 실제 도로 네트워크 상에서 보다 미시적으로 연료소모량을 추정하고자 하는 모형이 주를 이루고 있다. 본 연구에서는 이러한 관련연구의 고찰을 통해 미시적 배출량 추정 모형의 필요성을 강조하고, 더불어 미시적 배출량 추정 모형을 제시하고자 한다.

이와 함께 확산관련 연구도 고찰하였는데 본 연구의 목적과 범위를 고려할 때 확산모형을 구체적으로 다룰 필요는 없다. 그러나 배출량을 산출하는 과정은 궁극적으로 지역별 농도를 산출하고자 하는 경우가 대부분이므로 확산 모형에의 적용가능성을 함께 고려해 볼 필요가 있다. 다시 말해, 확산 모형에 대한 고찰을 통해 배출가스 추정의 최종 결과물과 확산모형의 입력값과의 연결을 고려할 수 있게 되어 배출가스 관련 연구의 목적인 지점별 농도 산출을 용이하게 하기 위한 근거를 마련한다. 이러한 목적으로 본 연구에서는 확산 관련 모형에 대한 고찰을 제시한다.

가. 국내문헌 검토

(1) 김동영(1998)

대기오염물질 중 SO_2 , NO_2 , CO 와 휘발성 유기물질에 대해 매시간별 격자별 배출량을 산출할 수 있는 배출모형체계(SHEMS: Speciated, Hourly, gridded - Emission Modeling System)를 개발하였다. 이는 배출원별 활동도와 배출계수를 이용하여 평균화된 배출량을 산정, GIS 및 DB모형으로 분석된 해당 자료를 사용하여 공간적, 시간적, 화학종의 구분을 순차적으로 처리하도록 구성되었다. 또한, 광역 단체 단위의 차종별 평균주행거리 및 자동차 등록대수를 이용한 배출계수 방법을 적용하였고, 도로망의 분포 등을 지역별 할당기준으로 적용하였다. 그러나 이 연구에서는 지역적 분할이나 시간-공간적 해상도 확보에는 한계가 있었다.

(2) 김석철 · 이영수(1999)

1990~1998년까지 대기질에 대한 환경영향평가 시 이용된 대기확산모델의 사용 현황을 살펴보고 그 개선방안에 대해 논의한 그 결과, 가우시안 계열의 모델이 거의 대부분을 차지하며, 보다 정교하고 정확한 결과를 산출할 수 있는 수치모델이나 모형모델 등의 적용은 전무한 것으로 조사되었다. 가우시안 모델의 경우 장기모델 TCM과 단기모델 TEM이 집중적으로 사용되고 있으며 최근 점차적으로 ISC모델로 대체되는 추세이며, 국내의 경우 환경 영향 평가시 대기질 모델 선정 및 적용과정이 획일적으로 선정되어 대기질 환경에 미치는 중요도나 사업의 특성과 거의 무관하다는 문제점이 제시되었다.

따라서 모형 정립 시 적절한 지형자료와 기상자료를 사용하는 것이 중요하며 현재 가우시안 계열에 편중되어 있는 대기오염 확산모델들을 점점 다변화시키고 예 비검토모델을 사용해야 함을 제안하였다.

(3) 김진영 외(1999)

점, 선, 면 오염원에 대해 국내에서 산출된 주요 배출량 산정 연구들을 비교 분석하여 배출원 자료의 문제점을 파악한 결과 환경부 일부자료의 신뢰성에 의문 제

기가 될 수 있으므로 산정방법 개선 검토가 필요하다. 따라서 배출량 산정체계의 확립과 자료 수정, 경신이 가능하기 위해서는 주관기관이 필요하며, 이를 위해 기초 자료와 배출량 자료의 전산화가 이루어져야 하고 우리나라 현실에 맞는 배출계수 및 교통량, 비산배출 및 자연배출량에 대한 관심이 요구된다.

[표 4] 선 오염원의 배출량 측정 방법 비교

data set	방법	기본자료	오염원	격자 할당지수의 변수
박순웅(91)	1990 NIER 배출계수	주행거리와 차량수	자동차	도로율
최덕일(94)	차속을 고려한 1991 NIER 배출계수	주행거리와 차량수	자동차	언급 없음
홍대형(91)	차속을 고려한 1995 NIER 배출계수	EMME/2에 의해 예측된 통행량, 차속과 구간의 길이	자동차, 기차, 항공기	언급 없음
이종범(94)	차속을 고려한 1995 NIER	주행거리와 차량수	자동차	도로율
정일래(95)	1995 NIER 배출계수	주행거리와 차량수	자동차, 기차, 항공기, 선박	도로율

이러한 개선안을 고려할 때 개별차량 단위의 미시적 배출량 추정에 관한 연구가 필요하다는 사실을 재확인할 수 있다.

(4) 김현구(2002)

본 연구는 포항지역에 대해 미국환경청의 추천 대기질 모델인 ISCST3을 사용하여 1km×1km 격자에 공간할당된 배출목록으로 수행된 확산예측 결과와 지리정보체계로 구축된 배출목록에 의한 확산예측 결과를 분석하여 두 수치의 확산오차를 비교하였다. 현재, 환경부의 대기보전 정책수립 시스템에 의하면 면과 이동오염원에서 배출되는 대기오염물질의 공간할당은 개별 오염원의 배출량을 TM 좌표상에서 1km×1km로 구성된 격자망에 배분하여 전체 배출원에 대하여 누적, 합산하는 방식을 채택하고 있다.

환경부의 배출량 공간할당방식은 전국을 분석대상으로 보면 상세분석이 가능한 해상도이나 일반적인 대기환경영향평가의 대상영역이 국지규모이기 때문에 더욱 상세한 공간 해상도가 요구된다.

이동오염원의 경우 격자크기 이하의 공간해상도로 대기확산에 의한 환경영향평가를 수행할 경우 GIS 방식에 의한 이동오염원의 경로가 입력되어야 그에 의한 영향권을 정확히 평가할 수 있다. 면/이동오염원의 경우 대기환경기준을 초과 조사를 위한 스크린 목적을 위해서는 TM방식이 최대오염농도를 과소 예측하므로 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

(5) 박성규, 김신도, 이영인(2001)

시·공간적 고해상도의 정확한 배출량 산정을 통해 자동차 대기오염물질이 미치는 기여도를 파악하고자 하였으며, 환경부에서 채택중인 기존의 차종별 일일평균 주행거리 방법은 교통량에 따른 시간배출량 변동 특성을 고려할 수 없기 때문에 실시간 교통 자료를 이용한 선오염원의 배출량을 평가하기에는 부적합하다.

이 연구에서는 교차로 검지기에서 수집되는 실시간 교통 자료를 이용하여 서울 강남구 지역의 도로별, 시간대별로 자동차 오염물질 중 CO의 배출량을 산정하였는데, 이 때 주의할 점은 정확한 도로별 교통량과 통과속도 등의 실시간 교통정보가 수집되어 활용되어야 한다는 것이다. 또한 검지기 자료에서 차종별 교통량을 구분할 수 없어 과거의 차종비 자료를 이용하여 배분, 산정되었다는 한계점을 가진다. 본 연구에서는 이러한 한계에 대한 개선 방안을 제시하고자 한다.

(6) 서광석, 김종규(1995)

1993년을 기준으로 인천시의 자동차 증가량과 차속 변화에 따른 오염물질 배출량의 변화를 산출하였으며, 자동차 보유대수 증가에 따라 오염물질 배출량이 증가하였으며 차종구분 없이 차속 증가보다는 차속 감소에 따른 배출량 증가폭이 높게 나타났다. 이때 사용된 배출계수는 사용연료, 규제기준 적용년도 등을 고려하여 가능한 단순하게 차종별로 산정하여 산출하였다.

(7) 유지열 외(1997)

이동오염원으로부터의 대기오염물질 배출량을 계산할 때, 정밀한 배출량 산정이 요구되고 있으며 따라서 교통수요모델(교통량 예측 프로그램인 EMMME/2와 차종

별 O-D자료)을 도입하여 장래 차량에 의한 오염물질 배출량의 구체적 예측을 가능케 하는 방법론을 개발하였다.

이를 이용하여 서울지역에서의 지역별, 격자별 오염물질의 배출량을 산정하여 향후 이동오염원에 의한 배출량을 예측하였고 배출량은 [차량별 배출계수 × 각 링크별 차량 대수 × 링크 길이] 이다. 따라서 이렇게 계산된 배출량을 기초로 격자별 구별로 할당하여 지역별 오염물질 배출량을 산정하였다.

(8) 이화운, 김유근, 원경미, 배성정

부산 지역 내의 세 공단, 즉 사상, 신평, 장림공단의 대기오염물질 배출량을 SO₂와 TSP에 대해 TM좌표로 1km×1km 간격으로 하여 점, 선, 면 오염원으로 구분한 후 배출량을 산정하였는데, 선 오염원의 경우 각 지점별 교통량 자료와 격자별 도로 길이 비율 자료를 이용하였다.

오염물질에 대해 평균 예측 시간을 8시간, 24시간으로 복잡 지형을 고려할 수 있는 ISCST3, FDM, AERMOD 모델을 사용하여 주변 대기 환경에 미치는 영향을 분석하였고, 민감도 분석 결과 SO₂의 경우 ISCST3, AERMOD이, TSP의 경우에는 ISCST3와 FDM이 좋은 상관성을 보였다.

(9) 장영기 외(1997)

광역자치단체별로 차종별 평균 주행거리와 자동차 등록대수를 조사하여 차종별 총 평균 주행거리를 구하였고 여기에 ARC/INFO를 이용한 도로망 전산 DB를 구축하여 도로별 차종별 주행거리를 산정한 후 배출 거리를 곱하여 행정구역단위의 도로종류별 오염물질별 차종별 배출량을 산출한다. 또는 도로망 DB를 이용하여 격자별 도로종류별 차선길이를 산정하여 격자단위의 도로별 차종별 주행거리를 산정한 후 배출 거리를 곱하여 격자단위의 오염물질별 배출량을 산출한다.

위의 방법으로 배출량 산정시 다양한 형태의 공간정보와 DB가 사용되는데 더 효율적인 활용을 위해서는 공간자료의 구축, 배포, 활용 등에 있어 표준화가 이루어져야 한다.

(10) 조강래(2001)

서울시내 승용차 주행패턴을 측정하여 평균 차속에 따른 10개의 대표 주행 사이클을 선정하였다. 연후에 차종별, 사용연료별, 규제년도별 및 주행거리별로 자동차의 평균 차속과 오염물질 배출량과의 상관관계를 분석하여 상관식을 도출하였으며, 배출계수는 자동차 생산년도, 주행거리, 배출가스규제 및 주행조건 등에 의해 영향을 받는다. 이 연구에서 공간적 해상도 개선을 위한 구체적 극복방안은 찾기 힘들다.

(11) 조규탁(2002)

기존의 대기오염배출연구들은 일평균 주행거리 및 등록대수를 이용해 연간 총 주행거리를 산출하고, 도시지역 일평균 주행속도에 기초한 배출계수를 곱하여 총 배출량을 산출한 후 지역 또는 격자에 할당하는 방식으로 자동차 통행량을 고려하지 못하는 상황에서 이루어져 왔다. 이를 TDA라 하며, 이러한 TDA(Top Down Approach)에 기초하여 지역별 통행특성을 고려한 배출량 산출방법을 개발하였다. 즉, 네스티드(등지화)개념을 이용하여 대상 시공간을 점차 세분화하여 각 공간규모의 배출특성을 평균화하여 배출량의 공간해상도를 높였다.

결과는 자동차 배출량의 공간해상도가 증가하는 경우 대상공간을 균일하게 평균화하는 방식은 무리가 있으며, 적절한 네스티드 수준을 설정하여 배출량을 산출하는 것이 타당하다고 판단하였다. 네스티드 수준은 통행특성과 관련이 있는 도로 기능 및 용량(차선)등을 기초로 설정하여 수행하였다.

연구의 문제점으로는 수요모형의 결과로 얻어지는 통행배정결과자료가 실제 통행량을 대표하는 데에 따르는 불확실성, 수요모형의 통행량 자료의 오차 가능성, 현재 수요모형에서 자동차 배출량의 일변화는 평가 불가능, 대중교통과 자가용의 다른 통행특성에 따른 평균통행속도 차이에 따른 고려의 필요성이 제기되었다..

(12) 국가대기정책지원시스템(CAPSS)

환경부에서 1999년부터 현재까지 추진해오고 있는 대기정책지원시스템(Clean

Air Policy Support System, 이하 CAPSS) 개발사업에서 국가 대기오염물질 배출량 산정을 위하여 구축한 방법론에 대한 개요를 살펴본다.

국가대기오염배출량 배출원 분류체계는 유럽 CORINAIR의 배출원 분류체계로 이용되는 SNAP97(Selected Nomenclature for Air Pollution) 을 참고하여 설정하였다. SNAP97 배출원 분류체계는 대, 중, 소, 세분류 4단계로 구성되어 있는데, 국가대기오염배출량에서는 중분류까지 SNAP97을 준용하였으며, 소분류 및 세분류는 국내실정을 고려하여 설정하였다. 「도로이동오염원에 대한 배출원 분류체계의 예」와 같이 자동차를 크기와 오염물질 발생 형태까지 고려하여 구분되어 있다.

SCC코드	대분류명	중분류명	소분류명	세분류
07010105	도로이동오염원	승용차	경형	타이어마모
07010101	도로이동오염원	승용차	경형	엔진가열
07010102	도로이동오염원	승용차	경형	엔진미가열
07010103	도로이동오염원	승용차	경형	취발유증발

이러한 분류체계를 바탕으로 도로이동오염원의 경우 엔진가열배출가스 산정식은 다음과 같다.

배출량(kg/year) = 배출계수²⁾(kg/km; 차종, 연료, 속도) * 주행거리(km/year; 차종, 도로)

즉, 기존의 거시적 접근방법을 통한 집계적 배출량 산출 접근방법이므로 거시적 접근방법의 한계는 여전히 어느 정도 내포하고 있다.

2) 차종별 배출계수는 속도에 대한 함수식으로 표현되며, 자세한 함수식은 별도의 배출계수에 따른다.

나. 국외문헌 검토

(1) Barth, M., F. An, J. Norbeck, and M. Ross(1996)

EPA(Environmental Protection Agency)의 MOBILE과 CARB(California Air Resources Board)의 EMPAC은 다양한 교통상황의 영향 하에서의 대기오염 물질 배출량 분석은 부적절하다고 언급하였다.

MOBILE과 EMPAC의 한계를 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 배출계수가 미리 결정된 운전 사이클³⁾에 따라 구현된 평균주행특성을 이용하고 있는데, FTP는 이미 2세기 전에 구축된 것이므로 속도 57 mph와 가속도 3.3 mph-s를 초과할 때에는 이용하지 못하는 한계를 지님. 현재 많은 연구들이 FTP가 실제운전행태와 맞지 않음을 분석하여 결과를 제시하고 있으며 따라서 MOBILE과 EMPAC는 수정될 필요가 있다.

둘째, MOBILE과 EMPAC은 평균차량속도와 배출량간의 관계를 통계적으로 이용하고 있는 것으로 차종, 온도, 속도보정과 같은 보정인자를 적용할 필요가 있다.

ITS, 대체연료차량 등의 영향이 대기질 관리계획에 포함되어야 하는데, 이때 차량주행모드, 즉 아이들링, 정속, 가속, 감속 등의 차량상태를 반영해야 한다고 하여, NCHRP(Development of a Modal Emission Model) 모형을 제시하였다.

교통운영개선효과는 전통적인 배출량 모형에서는 평가될 수 없으므로 이러한 점을 고려한 대기오염물질 배출량 모형이 필요하고, 이러한 측면에서 modal-emission 모형이 최근 많이 개발되고 있으며, CALINE4, EPA의 The Automotive Exhausted Emission Modal Model, VEHSIM, VEMISS 등이 있다.

(2) Cernuschi, S., M. Giugliano, A. Cemin, and I. Giovannini(1995)

이탈리아의 한 도시 Milan에서 실제로 운행되는 대표 10개 경량(light duty)

3) Federal Test Procedure(FTP)로 알려져 있음.

차종을 선정하여 차대동력계로부터 4개 주행모드(가속, 감속, 정속, 정지가동)에 대해 배출량 맵을 분석하였다.

3-5초 간격으로 ECE/15 도시형, 혼잡한, 느린, 빠른 흐름 주행 사이클로 나누어 주행속도와 운행거리를 측정하여 분석한 결과, 속도 가속도를 고려하여 회귀식으로 이끌어 낸 modal 식에 의해 계산된 배출 계수 데이터들은 측정된 배출계수 데이터들을 잘 재현하고 있으며, 특히 CO와 VOC 배출계수의 경우 전체 주행 사이클에서 NOx에 비해 상관성이 높게 나타났다.

(3) Cohen, S. L.(1977)

교통공학자에게 직면한 심각한 문제는 교통운영이나 교통계획시 CO에 대한 어떤 기준이 없다는 점이며 환경과 교통의 상호연계의 중요성을 지적하였다.

교통운영자측면에서 교통시설의 변화 (예를 들어 차로수 증가, 지능형 신호체계 도입)시 대기질이 얼마나 영향을 받는지에 대한 분석이 필요하고 UTCS-1 모형이 유용함을 보였으며, 미국의 HIWAY 모형은 가우시안 확산모형에 근거하며 몇 가지 단점을 지닌다고 언급하였다. 이 모형은 선오염원으로부터의 배출량이 길이에 따라 일정하기 때문에 교통신호의 영향을 받는 교차로와 같은 교통조건하에서 적절하지 않으며, 이러한 HIWAY 모형은 UTCS-1에서 계산된 방출량 자료를 이용하여 수정될 필요가 있다.

UTCS-1 모형은 미시교통류 시뮬레이션 모형으로서 개별차량의 매 초당 속도와 가속도 자료를 획득하게 하며, 차종은 승용차, 트럭, 버스로 3가지로 구분하고 있으며 이는 MOEs가 속도와 가속도에 크게 의존하기 때문이다.

캠브리지에 있는 Hergenrother of the Transportation Systems Center는 차량 시뮬레이션 모형을 이용하여 연료소비량 표와 배출량 표(HC, CO, NO₂)를 Federal Highway Administration에 제공하고 있다.

(4) Gram F.(1996)

노르웨이의 오슬로(Oslo) 도시에서 매시간별 통행 차량대수를 이용하여 차량에

의한 배출량을 산출하였는데, 여기에 CO, NO_x, NO₂서 조사된 배출량은 활동도와 배출계수(차량형태, 차량속도, 미가열출발, 도로경사 등)를 고려하여 NILU(Norwegian Institute for Air Research) model RoadAir를 사용하여 산출되었다.

매시간 통행하는 차량의 구성과 주행 상태에 따라 배출량을 시뮬레이션 한 결과에서 하루 동안의 지역 배출량은 주행속도, 도로경사, 차량의 무게와 통과 차량의 구성비에 따라 매우 민감함을 알 수 있었다.

(5) Hung, W. T. and H. Y. Tong(2000)

홍콩과 같은 전형적인 도시에서 신호화된 도로망의 자동차에 의한 연료소비량과 배출오염물질들의 배출량을 측정하기 위한 모델들 중에서 가장 적합한 모델을 선정하고자 여러 모델들을 비교 분석하였다.

MOBILE(US EPA, 1994), MVEI(CARB, 1996), CHINA-MOBILE와 같은 배출계수 모델은 사용하기 간편하나 실험적 데이터의 크게 의존하는 경향이 있고, 또한 COPERT(Computer Program to calculate Emission from Road Traffic)와 같은 평균 속도 모델이 전체 도로망에 배출량과 연료소비량을 측정하기 좋으나 이 두 모델은 신호화된 도로에서는 민감하지 않다.

따라서 MODEM과 같이 속도 가속도에 기초한 모델과 같은 modal 모델들은 데이터를 모으는 정확성과 상세함에 의존하여 배출되는 배출량과 연료 소비량의 모든 계수를 통합시키는 잠재성을 가지므로 가장 신호화된 도로망에서 적용시키기에 적합한 형태라고 볼 수 있으나 이 또한 수준 높고 정교한 데이터를 작성하기 위해서는 많은 집약도를 요구한다.

(6) Kishi, Y., S. Katsuki, Y. Yoshikawa, and I. Morita(1996)

교통류 흐름을 개선시켰을 때, 연료소비가 잠재적으로 얼마나 감소하는지를 추정하기 위해 개발되었으며, 연료소비를 추정하는 전통적인 2가지 모형은 실제 주행 차량으로부터 측정하는 모형과 평균통행속도와 연료소비를 이용한 회귀분석 모형이 있다. 또한, 배출량 추정시 이용되는 평균적인 개념과 비슷한 회귀분석법은 임의의

위치에 있어서 연료소비 추정방법으로 적당하나, 실제 교통네트워크에서 운전자별로 속도와 가속도는 상이하고, 도로조건이 각기 다르므로 적합하지 않다고 언급하였다.

도로네트워크를 대상으로 미시모형을 사용하였는데, 미국의 TRAF-NETSIM을 이용함. 개별차량의 움직임과 상태가 교통네트워크에서 매 초당 계산되기 때문에 개별차량의 연료소비 또한 매 초당 계산된다. 차종은 승용차, 트럭, 버스로 구분되고, 차량주행상태는 속도, 가속도, 감속도로 구분되어 연료소비량은 매 초당 계산되며, 이후 fuel consumption unit table로부터 필요한 조건과 매치시키게 되고, 이를 집계하면 일반적인 연료소비량이 결정된다. 이 방법은 모든 차량의 초당 속도와 가속도를 계산함으로써 수행되었고, 연료소비감소에 따른 교통류를 개선시키는 효과를 양적으로 보여주게 되며. 도로환경과 교통흐름을 단계적으로 향상시키는데 유용할 것이다.

(7) Mensink, I. and J.N. De Vlieger(2000)

벨기에의 한 도시 Antwerp 지역(20km×20km)에서 개별 도로구간에서 나타나는 대기오염 물질들(CO, NO_x, VOC, PM, SO₂, Pb)의 배출량을 매 시간별로 평가해보았다.

매 시간별 배출량은 도로의 형태, 차량 형태, 연료 형태, 교통량, 차량연도, 주행거리분포와 실제 외부 대기 온도를 통해 산출되었으며 이 지역에서의 교통량은 GIS 환경에서 구축된 교통 흐름 모델을 사용하여 1,963개의 도로 구간으로 형성된 도로망을 통하여 도출되었다. 배출계수는 가열된 상태 차량에서 차량의 속도와 분류, 연료의 형태와 실린더의 용량으로 구성되는 함수인 COPERT-II 방법을 사용하였으며 미가열 출발 배출량과 증발량의 손실까지 포함하였다.

온도의 변화에 따라 미 가열 출발 배출량은 계절적 변화에 매우 민감하였으며, 모델링한 배출계수와 실제 측정된 배출계수는 NO_x의 경우 과대평가되었으며 CO와 VOC의 경우 과소평가되었음을 알 수 있었다.

(8) Nagendra S.M.S., and M. Khare(2002)

선오염원 배출 모델링(LSMs : Line Source emission Modelling)은 도시지역에서 자동차 배출량(VEEs : Vehicular Exhaust Emissions)의 관리와 통제를 위해서도 중요한 도구이다. 미국의 환경청(EPA)와 다른 연구 기관들에서도 도로에서의 VEEs의 시공간적 분포에 대한 묘사를 위해 많은 LSM들을 개발하여 왔다. 여기서는 LSM에 대한 검토하여 한계점을 알아본다.

결정론적이고 통계적인 기술을 포함하는 분석적인 모델링은 LSEM에 일반적으로 사용되고 있으며, 문제를 이해하는 정도와 그 문제의 복잡성에 따라 적절한 접근방식을 통해 모델을 선택해야 한다. 결정론적인 LSEM 접근은 매우 논리적이고 전통적인 것처럼 보이며 가우시안 모델은 일반적으로 장기간의 평균 농도를 예측하는데 적합하다.

수치 모델은 만약 데이터가 정확하고 계산되는 출처와 확산 현상에 적합한 이론적 이해를 하고 있다면 매우 정확한 결과값을 보이며, 통계적 모델은 모델링 장소가 정확해야 하며 매우 비선형적 데이터들을 모델링 할 때는 기대에 미치지 못하는 결과 값을 산출하게 된다.

(9) Taylor, M. A. P., and T. M. Young(1996)

각기 다른 수준의 교통혼잡하에서 대기오염물질 배출량과 혼합교통량 하에서의 연료소비특성에 대한 결과를 보여주하고자 하였으며, IMPACT라는 슈퍼모델을 제시하였다. 이 모델은 교통네트워크에서 환경영향을 분석하는데 활용되는 틀에 속한다. 교통상황조건이 차이가 날 때, 연료소비와 배출량간 특성을 알아보기 위해 두 가지 상황, 즉 실제도로상에서 그리고 실험실에서 많은 수의 차량을 테스트하였고, 이 논문에서 이용된 논문은 4가지 수준을 포함하고 있다.

- 첫째, 개별차량에 대한 “instantaneous” 모형
- 둘째, 교차로에 적합한 “elemental” 모형
- 셋째, 교통네트워크 분석에 적합한 “link” 모형
- 마지막으로 토지이용계획 적용에 적합한 “journey” 모형 등이다.

먼저 교통네트워크 모형에서는 교통류 시뮬레이션, 통행시간, 속도, 대기시간, 혼잡 등의 자료가 입력되고, 차량 에너지 배출모형에서는 차종별 · 여러 교통상황하의 연료소비와 배출량 생성율이 입력된다. 대기오염물질 확산모형에서는 광범위한 지형의 오염물질 배출량을 시뮬레이션 하게 되며, 토지이용영향 모형을 준별로 구축하여 마지막으로 연구대상지역에서의 교통영향분석을 수행하게 된다.

2. 확산 관련 모델 검토4)

앞서 언급한 바와 같이 대기오염 추정과 확산은 상호연계하여 적용하는 하나의 시스템으로 인식할 필요가 있으므로 확산모형의 고찰을 통해 배출가스 추정 결과물의 활용성 증대를 도모하고자 한다.

환경부에서 추천하는 기본 대기오염물질 확산모델은 다음의 [표 2]와 같다.

[표 2] 환경부 추천 대기오염 모델

구분1)	예측기간 ²⁾	적용지형	대상배출원	대상오염물질	출력사항	제한사항(대상범위 등)
BLP	장단기	시골 단순	점, 선	1차 오염물질 ³⁾	전체 농도	· 대상범위: 50km 이내 · 오염원수: 점 오염원 50개, 선오염원(도로) 10개 · Receptor : 100개 까지 · 오염물질 감쇄를 고려
CALINE-3	단기	도시 시골 단순	선	1차 오염물질	Receptor별 농도	· 대상범위: 50km 이내 · 오염원수: 도로 20개 까지 · 화학 변화 고려 없음
CDM-2	장기	도시 평탄	점, 면	1차 오염물질	receptor별 장기평균농도, 점·면오염원의 풍향별 농도기여도	· 대상범위: 50km 이내 · 오염원수: 점 오염원 200개, 면 오염원 2,500개 까지 · 반감기 고려
RAM	단기	도시 평탄 구릉	점, 면	비반응성 1차 오염물질	단기평균농도	· 대상 범위 : 50km 이내 · 반감기 고려 · 기상 전처리 프로그램 RAMMET 필요
ISCST 및 ISCLT	장단기	시골 도시 평탄 구릉	점, 면	1차 오염물질	장기 및 단기 농도 선택	· 화학 변환을 고려
MPTEP	장단기	도시 시골 평탄 구릉	점	1차 오염물질	단기평균농도	· 대상 범위: 50km 이내 · 반감기 고려
CRSTER	장단기	시골 도시 평탄 구릉	점	1차 오염물질	Receptor별 임의 시간별 평균 농도	· 대상 범위: 50km 이내 · 반감기 고려

주: 1) BLP(Buoyant Line and Point source dispersion Model)
 CALINE-3(California Line Source Dispersion Model-3)
 CDM-2(Climatological Dispersion Model-2)
 RAM(Gaussian-Plume Multiple Source Air Quality Algorithm)
 ISCST(Industrial Source Complex Short-Term Model)
 ISCLT(Industrial Source Complex Long-Term Model)
 MPTEP(Multiple Point Gaussian Dispersion Algorithm with Terrain Adjustment)
 CRSTER(Single Source Model)
 2) 단기 : 1시간~24시간, 장기 : 1개월~1년
 3) SO₂, Dust, NO_x, CO

4) 환경부자료(www.me.go.kr)

이 모델 중 선 오염원에 관한 모델에 관해 살펴보면 다음과 같다.

가. CALINE 3

CALINE 3 모델은 1979년 9월 CALTRANS(California Transportation Laboratory)에서 처음 개발되고, 1989년 2월 19일 Update되어진 세 번째 판의 line source 모델이다. 기본적으로 가우시안 확산 방정식에 기초한 모델이고 도로상의 오염원의 확산특성을 나타내기 위하여 혼합층 개념을 사용하고 있다.

이 모델의 목적은 미소지역(microscale region)에서 교통시설 인근의 대기질 영향을 평가하기 위한 것이며, 주어진 배출강도, 기상자료, 지형조건 및 지역특성의 조건으로 오염원에서 150m이내에 위치한 도착지점에 대해 신뢰성 있는 오염농도를 예측할 수 있다.

현재 이 모델은 CO나 TSP같은 반응성이 둔한 오염물질에 대해 사용되고 있고, 이처럼 CALINE3는 고속도로나 간선도로 근처에서 자유로운 교통흐름(free flow)상태하의 대기오염물질을 예측할 수 있으나, 공회전차량(idling vehicles)으로부터의 배출에 대한 예측은 제한되고 있다.

나. Cal3QHC

CAL3QHC는 CALINE3 에서 요구되어지는 모든 입력자료에 추가되어 신호시간(signal timing)자료, 도로포화량(saturation flow rate), 교통신호형태(signal type), 공회전배출계수(idle emission factor)가 요구된다.

사용된 확산식은 CALINE3으로, 오염원으로부터의 오염물질의 확산은 자유구간(free flow links)과 지체구간(queue links)로 나뉘며, 자유구간에서의 오염물질의 배출과 확산은 CALINE3와 같은 방식으로 수행된다.

지체구간의 오염물질 배출과 확산은 지체구간의 길이와 배출량 산정을 결정하는 것이 주요인자로 작용하고, CAL3QHC에서 각 도로는 교통신호길이에 따른 도로포화량(saturation flow rate)과 교통량(traffic volume)의 관계로 자유구간과 지체구간으로 나뉘며, 배출량의 계산에 있어서는 자유구간과 지체구간으로 나누어 수행된다.

CAL3QHC에 요구되어지는 입력자료는 아래의 [표 3]과 같다.

[표 3] CAL3QHC에 요구되어지는 입력자료

구분	내용
기상자료	평균시간, 지표면 거칠기, 침강/침적속도, 풍속, 안정도, 혼합고
site자료	구간좌표, 착지점좌표, 도로폭
교통자료	교통량, 차속, 총신호길이, 정지신호길이, 황색신호길이, saturation flow rate, 신호 형태, arrival rate
배출자료	지체/자유구간 배출계수, 배출원 높이, 혼합구역 넓이

다. ISC3

ISC3 모델은 가우시안 플룸모델로서 기상조건과 배출량의 시간변화가 없다고 간주하는 정상상태 모델이며, TSP, SO₂ 등의 비반응성 물질을 대상으로 장·단기 농도예측과 입자의 중력 침강 및 건성침적도 고려가 가능하다. 또한 다양한 배출원으로 구성된 도시지역에 적합하며 구릉지역에서도 적용할 수 있다. 점오염원, 선오염원, 면오염원 뿐만 아니라 입체오염원(volume source)과 노천 배출원(open pit source) 등도 취급할 수 있으며, 대상지역의 지형고도는 점오염원의 굴뚝높이까지를 고려하여 농도를 산출한다.

ISC3모델은 대상기간에 따라 단기모델인 ISCST3와 장기모델인 ISCLT3로 나뉘며, 기본적인 이론이나 가정은 유사하나 가장 큰 차이점은 ISCST3가 매 시간 기상자료를 필요로 하는 반면, ISCLT3는 정해진 풍속등급에 따라 대기 안정도별로 발생빈도를 보이는 JFF(Joint Frequency Function : 기상결합빈도함수)를 사용하여 기상자료를 입력한다는 것이다.

이러한 값들을 STAR(Stability Array)라고 하며 월별, 계절별, 년별, 혹은 모사관심이 되는 특정 기간별로 정리함. 적용대상 지역에 따라 도시, 시골지역에 적용할 수 있도록 풍속 지수, 지표면 거칠기, 수직적인 온도 기울기 등의 입력자료가 있으며 확산계수는 Pasquill Gifford Curve Scheme(Turner, 1970)와 McElroy-Pooler(1968)에 의해 적용한다.

ISCST모델은 1시간, 24시간 등의 오염물질이 단기농도를 계산 가능함. 오염물질의 농도를 계산하는 식에서도 두 모델간의 차이점을 찾아 볼 수 있는데 ISCLT3가 steady-state의 Gaussian 확산방정식을 이용하는 반면 ISCST3는 Gaussian sector-average 확산방정식을 사용한다는 점을 들 수 있다.

[표 4] ISC3 모델에 필요한 입력자료

구분	내용
기상자료	풍향, 풍속, 기온, 안정도, 혼합고등의 매시간별 자료
배출자료	배출원의 배출량과 크기
좌표점자료	오염원(300개 이하)과 수용점(100개 이하)의 위치 및 높이
기타자료	모델링 변수, 모델링 기간, 오염물질, 지형자료

3. 기존 배출가스 추정모형 분석

대기오염 배출원은 크게 고정오염원과 이동오염원으로 구분된다. 고정오염원은 다시 점오염원과 면 오염원으로 나누어지고 이동오염원은 보통 배출형태가 선형이므로 선오염원이라 부르며, 도시공간에서 주로 문제가 되는 오염원은 선오염원으로 자동차 오염물질 배출량은 사용연료, 차량의 종류, 차량주행상태(정지가동, 가속, 감속, 정속)에 따라 오염물질의 성분 및 양이 달라진다는 특징을 가지고 있다.

선오염원으로부터의 오염물질 배출량을 산정 하는 방법은 Bottom Up Approach(BUA)와 Top Down Approach(TDA)로 구분된다⁵⁾. BUA는 국가 또는 지역배출량과 같이 규모가 큰 배출원에 적용하는 방법으로 개별 배출원 각각에 대해 배출량을 파악한 후 총량을 구하는 방법이다. 이와 반대로 TDA는 대기확산모델의 입력자료와 같이 규모가 작은 면오염원이나 선오염원에 적용하는 방법으로 대상지역의 총배출량을 먼저 산정하고 적절한 할당지표를 이용해 총배출량을 각 지역에 할당

5) 조규탁(2002).

하는 방법이다. TDA는 적용이 용이하나 대상지역을 평균화시키는 단점을 가지고 있는 반면, BUA는 시공간적 변화를 적절하게 반영할 수 있으나 실제 적용시 많은 어려움이 따른다. 따라서 현실적으로 TDA 방법을 많이 이용하고 있는 실정이다. 먼저 국·내외의 선 오염원으로부터 배출되는 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법과 이로부터 확산되는 대기오염농도를 산정하는 방법을 살펴보면 다음과 같다.

가. 국외 배출량 산출방법

미국과 유럽의 경우 다양한 배출요인에 대하여 배출 계수식을 보정, 사용하고 있다.

(1) 미국

미국의 배출계수 산출방법⁶⁾을 살펴보면 다음과 같은데, 미국에서의 배출계수 중 EFbase는 지정된 실험조건에서 얻어진 기준배출속도(basic emission rate: BER)를 차량 누적 주행거리에 대해 보정하여 사용. 여기에서의 속도는 평균 통행 속도 개념을 이용하였으며, 크게 속도, 온도, tampering, 공기 상태, 부하, 도로경사등을 고려한 배출계수를 사용하고 있다.

$$EF = EF_{\text{exhaust}} + EF_{\text{evaporative}}$$

$$EF_{\text{exhaust}} = EF_{\text{base}} \times CF$$

$$CF = f(\text{속도, 온도, tampering, 공기 상태, 부하, 도로의 경사 등})$$

$$EF_{\text{evaporative}} = f(\text{온도, 연료 형태, 레이드 증기압 등})$$

$$EF = \text{총 배출 계수(g/차량-km)}$$

$$EF_{\text{exhaust}} = \text{배출 계수(g/차량-km)}$$

$$EF_{\text{evaporative}} = \text{증발 배출 계수(g/차량-km)}$$

$$EF_{\text{base}} = \text{기본 배출 계수r(g/차량-km)}$$

$$CF = \text{보정 계수(무차원)}$$

6) 조규탁(2000).

여기에서 속도는 도로상 통행조건의 함수로서 가속, 감속, 정속, 정지가동 등을 모두 고려한 평균속도 개념을 이용한다. 미국에서 널리 이용되고 있는 이동오염원의 배출량 산출모형⁷⁾은 EPA에서 개발한 MOBILE과 California에서 개발한 MVEI(Motor Vehicle Emissions Inventory)로 나눌 수 있다.

① MOBILE

배출량 = 평균속도 × 차종에 따른 배출계수 × VMT(Vehicle Miles Traveled)

② MVEI

MVEI은 크게 4가지 모듈로 구성되어 있는데, 이는 CALIMFAC, WEIGHT, EMFAC, BURDEN이며, 기본원리는 MOBILE과 같으나, VMT · 속도 · 출발형태 · 차량대수 · 온도 · 납/황 자료에 대한 모듈인 BURDEN이 포함되어 있다는 것이 큰 차이이다.

(2) 유럽

유럽에서 배출량을 산정하는 방법은 다음과 같다.

배출량 = f(도로 종류별, 차종별 연료소비량) × 배출계수

유럽의 경우 주행모드(hot, cold, start)중에서 엔진가열배출에 대해 속도 고려한 배출계수 작성 후, 다양한 인자에 대해 보정하는 방식을 취하며, 배출계수는 미국의 배출계수 산정과 마찬가지로 속도, 차종별, 연료별, 도로경사, 부하 등을 고려하고 있고, 엔진 가열 배출에 대해 속도, 차종, 연료형태 등을 고려한 배출계수를 사용한다.

엔진 미가열 배출과 증발배출역시 고려하여 배출계수 산정 · 배기관 배출은 주행거리에 기초하여 산출하고 증발 배출은 자동차 등록대수를 이용하여 평가한다.

7) 경기개발연구원(2002).

우리나라의 경우 아직 엔진미가열배출 및 증발배출에 대해 배출계수가 개발되어 있지 않다.

- $E_{Fexhaust} = E_{Fhot} \times CF$
- $E_{Fhot} = f(\text{속도, 차종별, 연료 형태})$
- $CF = f(\text{자동차 연식, 미가열 출발시 배출량, 도로 경사, 부하 등})$
- $E_{Fevaporative} = f(\text{온도, 연료형태, 레이드 증기압 등}) = [ed + Sc + Sfi] + R$
- $E_{Fexhaust} = \text{exhaust emission factor(g/vehicle-km)}$
- $E_{Fhot} = \text{가열 배출 계수(g/vehicle-km)}$
- $CF = \text{보정계수(무차원)}$
- $ed = \text{평균 배출 계수 for diurnal loss(g/vehicle-day)}$
- $Sc = \text{average hot \& warm soak emission factor(carburetor 형태, g/vehicle-day)}$
- $Sfi = \text{average hot \& warm soak emission factor(연료 주입 형태, g/vehicle-day)}$
- $R = \text{running loss emission factor(g/vehicle-day)}$

즉, 미국이나 유럽의 경우 다양한 배출요인에 대해 배출계수를 보정하고 있음에 유의할 필요가 있다.

나. 국내 배출량 산출방법

가장 이상적인 대기오염물질 배출량 산출방법은 교통수요모형이나 실측·원격 탐사 등을 통한 교통량과 속도 등을 이용하는 방법이지만 전문성이 요구되며 막대한 비용이 소요되어 현실적이지 못하다고 판단하였다⁸⁾.

따라서 환경부에서는 현실적으로 다음과 같은 방법을 채택하고 있는데, 즉 보다 평균화된 개념을 도입하여 전체적인 배출량을 추정한 다음 지역현황에 따라 배분하는 방법을 이용하고 있으며, 이는 광역단체 단위의 차종별 평균 주행거리(VKT : Vehicle Kilometer Traveled)를 산정하여 해당지역별로 할당하고, 배출계수를 적용하는 방법으로 여기서 할당 기준은 해당지역의 자동차 등록대수를 이용하고 있다. 이를 보다 상세히 살펴보면 다음과 같다.

(1) 평균 차속을 적용하여 배출량 산출 후 해당 지역별로 할당하는 방법

$$Q(\text{kg/day}) = VN(\text{대}) \times VKT(\text{km/day, 대}) \times EF(\text{g/km, 대}) \times 10^{-3}(\text{kg/g}) \quad 9)$$

여기서: $Q(\text{kg/day})$: 배출량

$VN(\text{대})$: 차량등록대수

$EF(\text{g/km, 대})$: 자동차 배출 계수

$VKT(\text{km/day, 대})$: 차종별 총 주행거리

평균차속과 오염물질 배출량과의 상관식을 산출하고, 해당연도·해당지역의 평균차속을 대입하여 차종별·연식별 오염물질 배출계수를 산출한다. 이는 전체적인 배출량을 추정하여 해당 지역별로 할당하는 방법으로, 시공간적 해상도는 낮으나 도시 전체지역의 배출량 산정 시에는 매우 경제적이며 간편한 방법이다.

8) 장영기외(2000).

9) 김진영외(1999).

(2) 통과 교통량 자료를 이용한 자동차 대기오염물질 배출량 산정

$$Q(\text{kg/day}) = T(\text{대/hr}) \times EF(\text{g/km, 대}) \times D(\text{km}) \times 10^{-3}(\text{kg/g})^{10)}$$

여기서: Q(kg/day) : 배출량

T(대/hr) : 교통량

D(km) : 도로길이

EF(g/km, 대) : 자동차 배출 계수

통과 교통량 자료를 이용한 배출량 자료는 해상도를 높여 교통량에 의한 배출 특성을 파악하는데 유리하나, 정확한 교통정보의 수집이 요구되며, 이처럼 교통량과 도로 길이를 산출하는 것이 원칙이지만 우리나라의 경우 상세한 교통량 확보가 어렵다는 단점을 지니고 있다.

(3) 배출량 산정시 요구되는 배출계수 산출방법

자동차 배기가스와 주행속도와의 회귀식을 통한 배출계수를 산출하는 방법으로, 배출계수는 조강래 등(1989, 1990, 1991)이 서울과 광주지역에서 실제 도로상황의 주행상태를 실험자동차의 평균차속, 4모드시간비율(정지가동, 가속, 정속, 감속), 평균가속률, 평균감속률, 평균회전속도, 평균연료소비량을 측정하여 다음, 이를 10단계의 대표주행모드로 선정하여 배기가스를 측정하여 산정한 것을 바탕으로 주행속도와의 회귀분석을 통하여 주행속도에 따른 배출계수 산출식을 산정한다. 차종이 같아도 주행조건 및 차량의 운행년수 등에 따라 배출계수는 변화하므로 이런 요인을 고려하여 배출계수를 수정하여야 한다.

10) 김진영외(1999).

[표 5] 배출계수와 차량속도와의 상관식

(단위 : Q - g/km, V-km/hr)

차종	연료	배출 물질	배출량	계수			
			Q	a	b	c	d
승용차	무연	CO	$a \cdot V^b$	14.814	-0.392056		
		HC	$a \cdot V^b$	11.8404	-0.9212		
		NOx	$a \cdot V^3 + b \cdot V^2 + c \cdot V + d$	-6.461E-5	0.00578	-0.1584	1.87638
승용차	유연	CO	$a \cdot V^b$	271.33	-0.682204		
		HC	$a \cdot V^b$	16.3956	-0.5085		
		NOx	$a \cdot V^3 + b \cdot V^2 + c \cdot V + d$	-5.8E-5	0.00474	-0.1149	2.388
택시	L P G	CO	$a \cdot V^b$	149.254	-0.9229		
		HC	$a \cdot V^b$	15.985	-0.8167		
		NOx	$a \cdot V^3 + b \cdot V^2 + c \cdot V + d$	-6.6411E-5	0.00574	-0.15325	2.4779
소형 버스	경유	CO	$a \cdot V^b$	5.19995	-0.3748		
		HC	$a \cdot V^b$	0.7756	-0.4936		
		NOx	$a \cdot V^3 + b \cdot V^2 + c \cdot V + d$	-4.76E-5	0.0052956	-0.2032	3.81325
		Part.	$a \cdot V^b$	0.839189	-0.39045		
소형 트럭	경유	CO	$a \cdot V^b$	22.3933	-0.8325		
		HC	$a \cdot V^b$	2.65035	-0.8233		
		NOx	$a \cdot V^3 + b \cdot V^2 + c \cdot V + d$	-2.8223E-5	0.0038	-0.1658	3.3786
		Part.	$a \cdot V^b$	1.1737	-0.441978		

자료 : 조강래 외(1990).

예로, 자가용 대표 배출계수 산출식은 다음과 같다.

배출계수(g/km)= [(유연휘발유 자동차의 배출계수×모델구성비) + (무연휘발유 자동차중 catalyzer activate 자동차의 배출계수×모델구성비) + (무연휘발유 자동차중 catalyzer unactivate 자동차의 배출계수×모델구성비)]/100

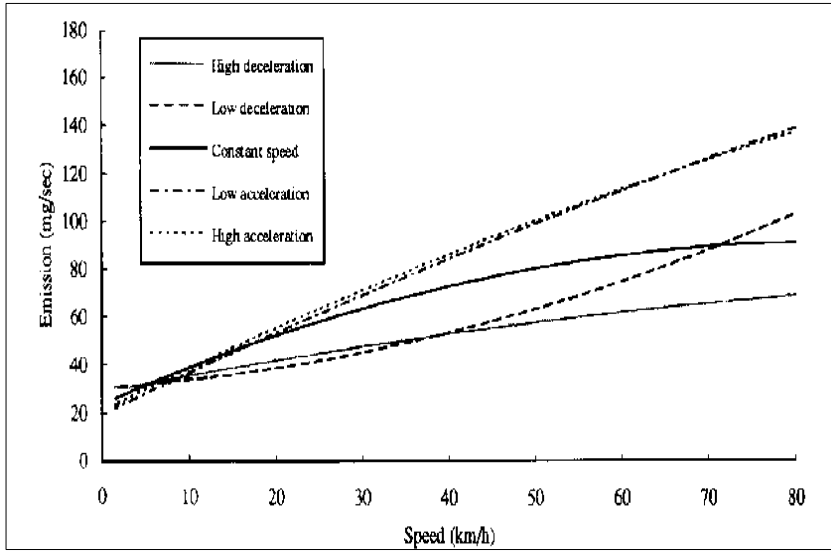
제3장 배출량 추정 모형 정립

현재 환경부에서 공식적으로 자동차 대기오염 배출량을 산정하여 발표하는 방법은 앞 절에서 설명한 바와 같이 차종별 일일평균주행거리를 이용하는 방법이다. 이는 먼저 특정노선을 선택하여 차량이 실 도로상을 주행할 때의 주행패턴을 모의하여 차량속도를 기준으로 시험모드를 선정한다. 작성한 시험모드 하에서 차종별 시험자동차를 선정하고 차대동력계상에서 주행시켜 배출가스를 측정하며, 이로부터 속도에 따른 배출계수 산출 회귀식을 도출하고, 배출계수 회귀식에 연평균 통행속도를 대입하여 차종별 오염물질별 배출계수를 산출한다. 마지막으로 차종별 배출계수에 자동차등록대수와 차종별 일일주행거리를 곱하여 차종별 오염물질 배출량을 산출한다. 그러나 이러한 일일평균주행거리를 이용하는 집계방식은 개별차량의 속도 및 가속도에 의한 배출량의 차이를 정확히 반영하지 못하고 있다.

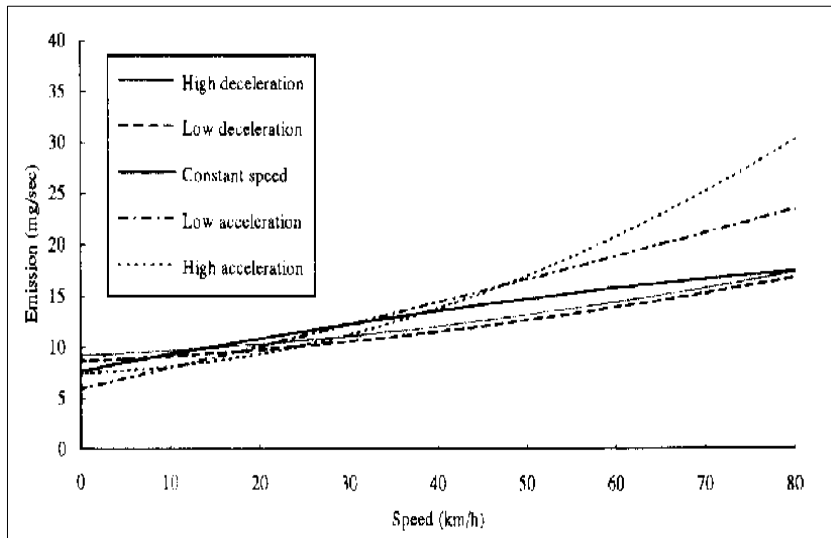
이탈리아의 Milan에서 주행하는 경차를 대상으로 속도와 가속도에 의한 오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량의 상관성에 대해 실험한 연구¹¹⁾에 따르면 다음과 같은 결과가 도출되었다. 이 실험은 네 가지의 주행 사이클(가속, 감속, 정속, idling 공회전)을 차대동력계에서 실험하여 얻은 데이터로 가속의 범위를 세분화하고, 다섯 개의 다른 가속도의 분류를 통해 차량의 배출량 변화를 살펴본 결과, 가속도의 변화에 따라 배출량이 다르게 산출되었음을 알 수 있었다. 또한, CO, VOC, NOx의 경우 속도의 크기가 클수록 감속이 배출량에 미치는 편차는 constant speed로 자동차가 달리는 경우 큰 차이를 나타내지 않으나 가속을 높게 할수록 배출량은 확연히 증가하는 것으로 나타났다.

속도, 가속도에 따른 CO, VOC, NOx 배출량을 그래프로 살펴보면 다음과 같다.

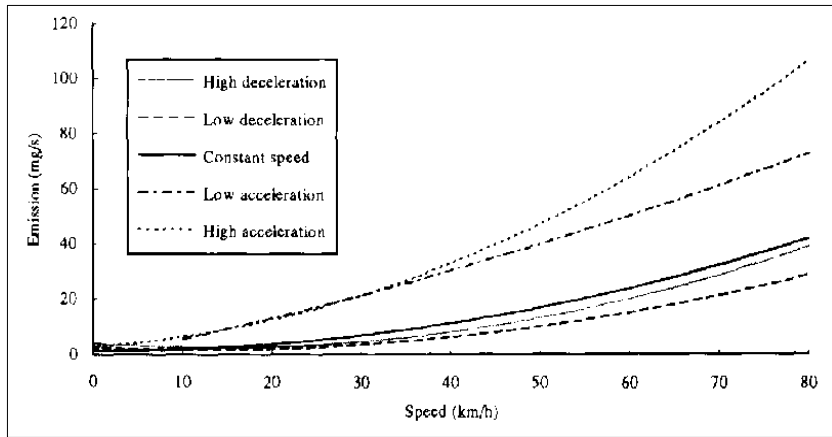
11) Stefano Cernuschi, Michele Giugliano, Andrea Cemin, Ivano Giovannini, Modal analysis of emission factors, the Science of the Total Environment, 169, pp. 175-183, 1995.



<그림 1> 속도, 가속도에 따른 CO의 배출량 변화



<그림 2> 속도, 가속도에 따른 VOC의 배출량 변화



<그림 3> 속도, 가속도에 따른 NOx의 배출량 변화

여기서, high decelerating mode : <-2 km/h-s,

low decelerating mode : -2 to -0.5 km/h-s,

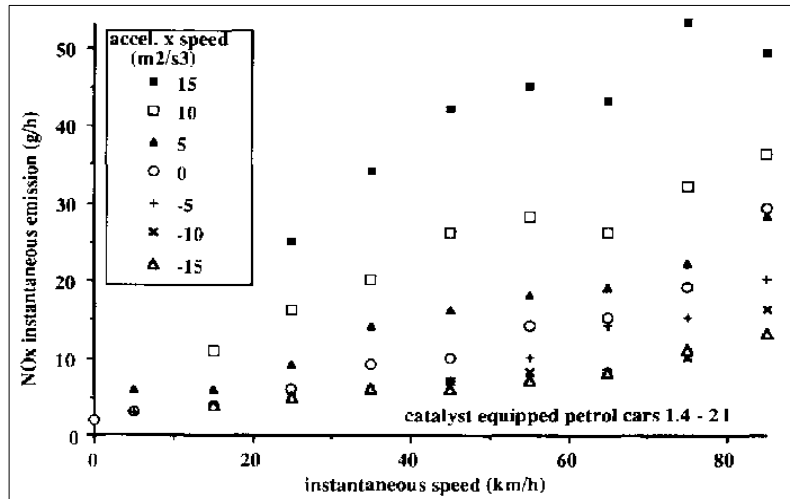
constant speed modes : -0.5 to 0.5 km/h-s,

low accelerating modes : 0.5 to 2 km/h-s,

high accelerating modes : >2km/h-s)

또한 승용차의 배출량과 연료소비량에 영향을 끼치는 요소들을 결정하기 위해 수행된 연구¹²⁾를 살펴보면, 속도와 가속도의 2가지 변수로 수행되는데, <그림 4>는 이 모델의 한 결과로 나타난 결과이다. 순간 배출량은 속도 프로파일에 의해 결정될 수 있으며 같은 속도로 차량이 주행할 경우, 가속도가 0일 때에 비해 높을수록 NOx 순간 배출량은 높게 나타났으며 낮을수록 적게 나타났다.

12) Robert Joumard, Peter Jost, John Hickman, Dieter Hassel, Hot passenger car emissions modelling as a function of instantaneous speed and acceleration. The Science of Total Environment, 169, pp. 167-174, 1995.



<그림 4> 속도, 가속도에 따른 촉매 장치가 장착된 휘발유 차량의 NOx 배출량

이와 같은 결과에도 불구하고 현행 국내 배출량 산출방법은 집계방식을 이용하고 있는 바, 본 절에서는 국내 배출량 산출방법의 한계를 살펴보고 본 연구에서 산정한 배출량 산출모형 및 확산모형을 정립하고자 한다.

1. 국내 배출량 산출방법의 한계

국내 배출계수 산정방법은 기본적으로 TDA방법으로서 차종별 배출계수는 평균통행속도만의 함수이므로, 실제 도로상에서의 시공간적 차량주행특성, 즉 속도와 가속도를 반영하지 못하고 이로 인해 자동차 대기오염물질 배출량을 정확하게 산출하기 어렵다. 이와 같은 국내의 자동차 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법에서 발생하는 여러 가지 문제점과 그 한계를 살펴보면 다음과 같다.

가. 운전자의 통행특성 반영 미흡

선 오염원으로부터의 배출량은 운전자의 차량주행상태, 즉 정지가동, 가속, 감속, 정속에 따라 큰 차이가 나지만 이를 무시하여 개별차량에 대한 단위주행거리당 오염물질 배출량을 정확하게 산출하지 못한다.

나. 교통류 상황 반영 미흡

시간대별·도로링크별로 통행특성은 크게 달라지며 같은 시공간이라 하더라도 유고나 돌발상황 등의 발생으로 인해 교통류는 영향을 받게 되나 다양한 교통류 상황을 반영하지 못하는 한계를 지닌다. 특히, 첨두·비첨두때마다 통행량 분포는 큰 차이를 보이고 있으며, 정확한 대기오염물질 배출량 산출을 위해서는 통행량 분포에 따른 산출량 차이를 명확히 할 필요가 있다.

다. 배출계수의 제한성

자동차 대기오염물질 배출 총량산출의 기본척도가 되는 배출계수는 평균적 개념의 주행속도를 이용함으로써 하나의 오염물질에 대해 차종별 하나의 배출계수를 이용하고 있으며, 배출계수가 차량의 종류, 사용기간, 특히 주행속도에 민감하여 일률적으로 적용할 경우 큰 오차를 가져올 수 있다.

라. 총배출량 산정시 자료의 부정확성

환경부의 대기오염물질 총배출량 산정시 배출계수와 자동차 등록대수 및 활동도로서 일일평균주행거리(VKT)를 이용하고 있으며, 자동차 등록대수의 경우 그 지역에 등록된 차량이라 해도 해당지역 내에서 실질적으로 운행되고 있다고는 볼 수 없고, 일일평균주행거리는 타 지역에서의 통행거리를 반영하고 있지 않다.

마. 교통정책에 따른 대기오염 영향평가 미흡

ITS와 같은 신기술 도입이나 교통운영상태의 개선 등으로 인한 대기오염 배출량의 저감효과는 극미하며, 시설투자 및 정책수립에 있어 우선순위 결정을 불가능하게 한다.

2. 배출량 산출방법 정립

앞 절에서 살펴본 바와 같이 현행 자동차 대기오염물질 배출량을 산출하는 방법은 실제 도로상에서의 운전자 통행태나 시공간 통행특성을 반영하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 연평균 개념의 배출량 농도를 추정하고 있으며, 따라서 실시간으로 변화하는 교통류 흐름에 따른 배출량 차이를 산출하지 못하게 된다. 차량은 같은 평균주행속도를 가진다 하더라도 극히 다른 차량주행특성(가속, 감속, 아이들링)을 가질 수 있고 배출량의 형태 또한 극히 달라지는데, 저속과 아이들링하에서 높게 배출되고 적색불인 경우 많은 양의 CO가 방출되는 점을 예로 들 수 있다.

따라서 교통운영의 개선효과(램프미터링, 신호변동, 자동고속도로시스템 등)는 현재 우리나라와 같은 대기오염물질 배출량 산출모형으로는 평가할 수 없다. 따라서 이러한 점을 고려하여 TDA와 BUA의 상호보완성을 높인 배출량 모형의 개발이 필요하다고 판단되며, 이에 개별차량의 행태를 반영하는 미시 교통류 시뮬레이션 모델을 구축하고, 매 초당 차종별 개별차량의 속도와 가속도를 이용하여 각기 개별차량별 대기오염물질 배출량을 산출하는 모형을 개발하고자 한다. 본 연구에서 수행하는 구체적인 자동차 대기오염물질 배출량 산출방법과 격자(Grid)별 그 집계방법 및 연료소모량 추정방법은 다음과 같이 정립할 수 있다.

가. 배출량 산출방법 결정

미국 EPA의 MOBILE과 CARB의 EMPAC 모형 및 우리나라의 대기오염물질 배출량 산출방법은 다양한 교통상황의 영향 하에서 대기오염물질 배출량을 분석하는데 부적절하다. 차량주행모드, 즉 아이들링, 정속, 가속, 감속 등의 차량상태를 반영할 수 있는 NCHRP(Development of a Modal Emission Model) 모형, CALINE4, EPA의 The Automotive Exhausted Emission Modal Model, VEHSIM, VEMISS 등의 모형이 제안¹³⁾되고 있다.

13) Barth(1996).

본 연구에서는 연료소모량, 대기오염물질 배출량과 같은 MOEs(Measurement of Effectiveness)는 속도와 가속도에 크게 의존¹⁴⁾하는 점에 착안하여, 위와 같은 필요성을 만족시키는 배출량 산출모형을 교통류 시뮬레이션을 이용하여 개발하고자 한다. 3차원으로 구현되는 교통네트워크에서 각기 개별차량의 움직임과 상태가 매 초당 계산되며, 차량주행상태는 속도와 가속도로 표현되고, 매 초당 개별차량의 속도 및 가속도 자료를 획득하게 된다.

(1) 차종구분

본 연구에서는 실시간 검지기 자료를 이용하여 속도 및 가속도를 추정하고 교통량을 수집하게 되므로 차종은 검지기에서 구분되는 차종과 같이 승용차, 버스, 트럭으로 구분된다. 차종구분은 난수생성의 형태로 미시 교통류 시뮬레이션 모형에 적용되는데, 차량발생시점에서 비율을 정해주고, 각 차종에 따라서 정해진다.

(2) 자동차 대기오염물질 배출량 표(table)

미국의 NCHRP(Development of a Modal Emission Model)의 자동차 대기오염물질 배출량 표(emission unit table)를 이용하여 차종별·매 초당 속도와 가속도에 따른 배출량을 산출하며, 배출량 표는 대기오염물질별로 제시되며 그 양식은 다음과 같다.

Speed (mph)	DECELERATION/ACCELERATION (mph/s)												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
0							IDLE						
5													
10													
15													
20													
25													
30							CRUISE						
35													
40													
45													
50													
55													
60													
65													

<그림 5> 자동차 대기오염물질 배출량 표

14) Cohen(1977).

(3) 배출량 산출의 일반식

위에서 제시한 차종구분 및 배출량 표에 근거하여 대상 네트워크 전체의 차량이 배출하는 대기오염물질의 총량을 다음과 같이 산출할 수 있으며, 차종별 속도와 가속도에 따른 함수로 나타나는 오염원배출량을 매시간단위로 측정하여 모든 링크의 총 합으로 구한다.

$$Q_p = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^{t_s} f_j (V, a)$$

여기서, Q_p = 오염원별 시간대 별 총 배출량 ($p=HC, CO, NO_x, SO_2$)

l = 링크 수

m = 차량대수 ($m=1,2,\dots,n$)

t = 관측시간(sec) ($t=1,2,\dots,t_s$)

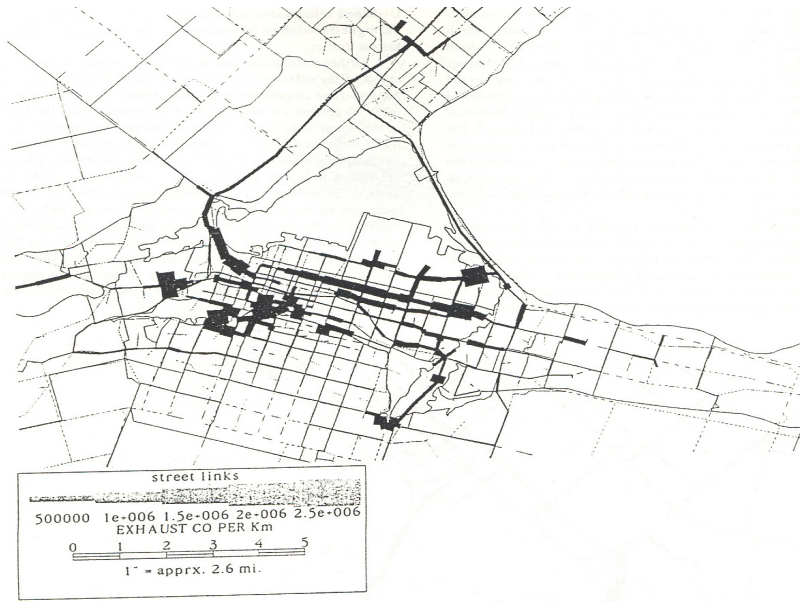
j = 차종 (p :승용차, q :버스, r : 트럭)

f_j = 각 차종별 오염원 배출량 (속도, 가속도에 관한 함수)

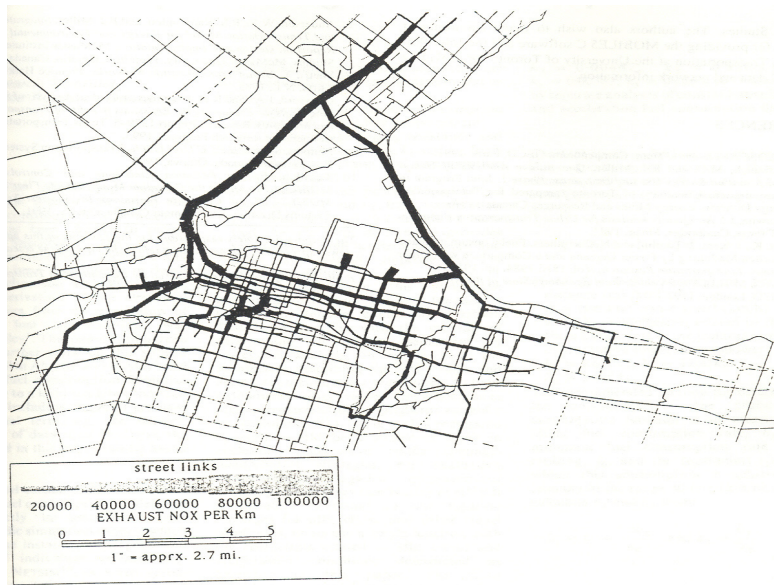
V = 속도, a =가속도

나. 배출량 산출 후 집계방법 결정

배출량(g/sec)은 개별차량별로 매 초당 계산되어지므로 배출량 산정 격자별로 매 초당 자동차 대기오염물질 배출량을 집계한다. 연후에 본 연구에서 살피고자 하는 시간간격으로 격자별로 집계하게 된다. 이 시간간격은 향후 컴퓨터 용량에 따라 결정될 것이며, 다음과 같이 실시간으로 변화하는 격자별 배출량을 결과로 제시하게 된다.



<그림 6> 시간대별 배출량 변화(1)



<그림 7> 시간대별 배출량 변화(2)

3. 배출량 산출모형 정립

앞에서 살펴본 바와 같이, 평균통행속도를 사용한 거시적인 접근방식의 국내 배출량 산출방법은 개별차량의 행태에 따른 배출량을 나타내기에는 한계가 있다. 여기서는 배출량 표를 이용하여 차량의 속도와 가속도에 따른 대기오염물질 배출량을 산정하는 일반식을 도출한다.

가. 배출량 표에 따른 배출량 산출방식의 한계점 및 개선방향

배출량 표를 이용한 대기오염물질 배출량 값을 본 연구와 같은 미시적인 시뮬레이션 프로그램에 적용함에 있어서 가장 큰 한계점은, 속도와 가속도에 따른 배출량 값이 모두 채워진 완성된 배출량 표를 작성하기 어렵다는 점이다. 실제로 차량의 종류나 차령, 사용하는 연료 등 차량의 특성에 따라 각 오염물질별 배출량이 다르고, 지형의 차이에 따라서도 차이가 있을 것이므로 각 상황별 배출량표를 작성하는 것은 거의 불가능한 일이며, 이를 하나의 대표적인 표로 제시하는 것 또한 쉽지 않은 일이다.

이러한 이유로 국내에서는 아직 배출량표 작성이 시도된 바 없으며, 본 연구에서 또한 해외의 연구결과(미국 NCHRP 모형)를 기반으로 하여 배출량식을 도출하였다. 한편, 현재와 같이 속도와 가속도 자료가 이산적인 형태로 작성된 경우에는 배출량표 상의 행간열간 값을 알지 못하고, 배출량 표에서 나타내고 있는 속도와 가속도 범위 이상의 값들은 추정하기 어려우므로 차량의 주행상태를 보다 현실적으로 모사하지 못하는 단점이 있다. 또한 배출량 표의 내용을 실제 프로그램에 코딩하여 차량의 속도 가속도를 가지고 배출량을 찾는데 걸리는 연산시간이 오래 걸리는 도 문제점이 될 수 있다.

이러한 문제를 개선하기 위하여 미시적인 시뮬레이터 연산에 적합하도록 이산적 자료(배출량표)를 연속적인 함수형태(회귀모형 등)로 변형하여 속도와 가속도에 따른 다항회귀모형을 도출한다. 이렇게 일반화된 식을 이용하면 실제 검기지에서 얻은 차량의 속도와 가속도를 입력하여 그에 따른 오염물질별 배출량을 산정하기 용이하고, 이것을 프로그램화 한다면 코딩하는 과정에서 시간과 노력을 덜 수 있으며, 연산처리속도도 향상될 것으로 예상된다.

나. 배출량 산출 모형의 개요

(1) 모형 구축을 위한 기준 배출량

미국 NCHRP(Development of a Modal Emission Model)의 자동차 대기오염물질 배출량 표(emission unit table)에서는 대표적인 차종을 8가지¹⁵⁾로 나누고 각각에 대한 대기오염물질 CO, HC, NOx와 연료소모량을 제시하고 있다. 국내 상황에서는 앞서 언급한 국내의 대표적인 차종(승용차, 버스, 트럭)에 대한 분석이 가능할 것이나, 여기서는 대표적으로 Jeep Grand Cherokee의 CO 배출량 함수를 추정·검증하는 과정을 제시한다.

모형 구축을 위한 기준 배출량 자료를 국내 차종을 이용한 데이터가 아닌 영국의 자료를 이용한 것은 국내에서는 아직 제시된 기준 배출량 표가 없기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 점을 본 연구의 한계로 인정하고 적정 방법론을 마련하여 향후 국내 차종의 배출량 테이블이 구축되면 즉시 적용할 수 있는 분석의 틀을 제시한다는 점에 의의를 둔다.

기준데이터가 되는 배출량표는 가속도 $-5\sim 12\text{ft/s}^2$, 속도 $0\sim 110\text{ft/s}$ 범위로 작성되어 있는데, 본 연구에서는 이를 $\%$ 및 $\%$ 로 환산하였을 때 국내의 도시부 도로 실정을 고려하여 속도가 너무 높은 경우(속도 100km/h 이상)는 제외하고 분석에 이용하였다.

(2) 다중회귀분석

배출량을 산정하는 모형을 구축하기 위해서는 우선 배출량에 영향을 주는 주요 변수를 결정해야 할 것이다. 본 모형에서는 속도와 가속도, 차종을 기준으로 한 배출량 테이블을 적용하게 되므로 차종과 속도, 가속도를 독립변수로 적용할 수 있다. 다만 차종별 배출량 모형은 차종별로 별도로 제시되므로 본 연구에서는 직접적 변수로 포함하지는 않고 분석하였다.

15) Chevrolet Truck, Corsica, Oldsmobile Cutlass, Geo Prizm, Oldsmobile 88, Subaru, Villager, Jeep Grand Cherokee

먼저, 속도와 가속도를 모두 독립변수로 하는 하나의 배출량식으로 표현하기 위하여 다중회귀분석을 수행하였다. 회귀방정식의 형태는 다음과 같으며, 그림은 표본관찰치인 배출량 데이터에 적합된 회귀평면을 보여준다. 회귀평면은 수직방향에서 관찰치로부터 제공된 편차를 최소화 하는 평면이다.

$$\widehat{Y} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

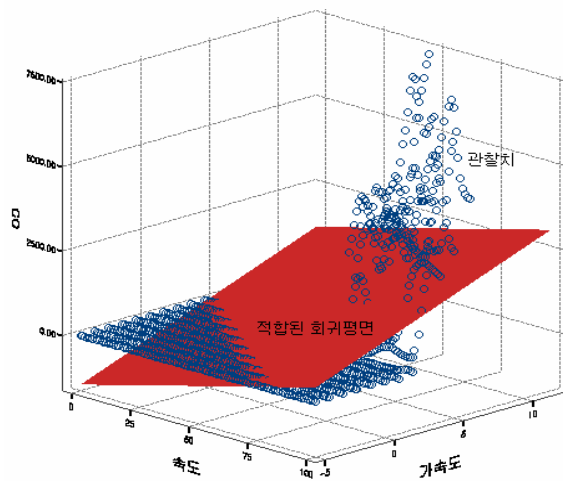
여기서 \widehat{Y} : 추정된 CO 배출량

α : 상수

β_1, β_2 : 계수추정치

x_1 : 속도

x_2 : 가속도



<그림 8> 적합된 회귀평면

분석결과 조정된 R2 값이 0.39로 나타나, 속도와 가속도를 함께 독립변수로 사용한 통합 회귀식으로 표현하기에는 모형의 적합성에 있어서 문제가 있는 것으로 판단되었다.

(3) 곡선추정 회귀분석

한편, 속도보다는 가속도에 의해 배출량 값이 크게 영향을 받는다는 연구결과를 앞서 고찰한 바 있다. 따라서, 가속도를 단계별로 구분하여 속도를 독립변수로 한 회귀모형을 도출하되, 표준관측치의 형태가 x 의 변화에 따라서 y 가 직선적으로 변화하는 직선의 형태가 아니므로 곡선추정(curve estimation) 회귀모형을 도출하기로 하였다. 곡선추정 회귀모형은 곡선을 적합시키는 회귀분석이며, 다음의 7가지가 사용 가능하다.

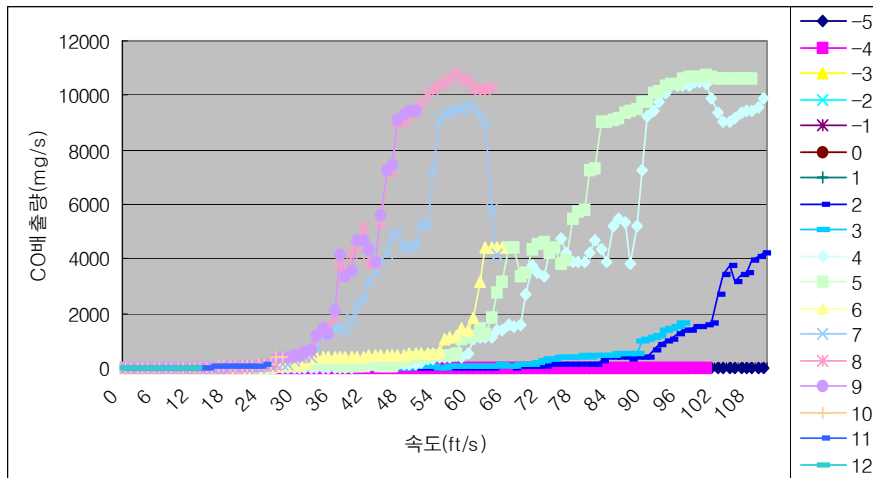
[표 6] 곡선추정 회귀모형의 종류

모형	방정식	선형화된 방정식
2차모형 ~ 6차모형	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \dots b_nx^n$	
복합모형	$y = b_0 b_1^x$	$\ln(y) = \ln(b_0) + [\ln(b_1)]x$
파워모형	$y = b_0 x^{b_1}$	$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 \ln(x)$
S-모형	$y = \exp(b_0 + \frac{b_1}{x})$	$\ln(y) = b_0 + \frac{b_1}{x}$
성장모형	$y = \exp(b_0 + b_1x)$	$\ln(y) = b_0 + b_1x$
지수모형	$y = b_0 \exp(b_1x)$	$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1x$
로지스틱모형	$y = \frac{1}{\frac{1}{u} + b_0 b_1^x}$	$\ln(\frac{1}{y} - \frac{1}{u}) = \ln(b_0) + [\ln(b_1)]x$

본 연구에서는 배출량의 형태가 유사한 가속도끼리 3가지 단계로 적절히 그룹화 하여 가장 높은 결정계수를 보이는 회귀모형을 사용하였다. 가속도의 그룹화에 있어서는 가속도와 속도에 따른 배출량 변화의 전체 패턴을 살펴본 후 유사한 패턴을 보이는 구간을 찾아 다음과 같이 그룹화 하였다.

[표 7] 모형 산정을 위한 가속도 그룹별 구분

가속도	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
case I (18단계)	모형 1	모형 18
case II (9단계)	모형 1				모형 9
case III (4단계)	모형 1			모형 2			모형 3			모형 4								



<그림 9> 속도에 따른 배출량 변화

다. 배출량 산출 모형의 결과 및 적용성 분석

배출량표의 이산적인 자료를 연속적인 함수로 표현하기 위하여 가속도를 18개, 9개, 4개 그룹으로 각각 그룹화 한 후, 각 경우에 대한 회귀모형을 도출하였다. 모든 회귀모형의 결정계수는 0.85 이상으로 모형의 적합도가 높게 나타났으나, 이 결과만으로는 모형의 적용성을 평가하기 어려우므로 차량의 진행에 따른 가상 시나리오를 설정하고 도출된 모형set을 이용하여 구축모형의 적용성을 분석한다.

도출된 배출량 산출 모형 결과표는 다음 [표 8~10]과 같다.

[표 8] 모형 SET I 회귀식 도출결과

가속도	R2	회귀식
-5	0.8869	$y = 3E-08x^4 - 6E-06x^3 + 0.0005x^2 - 0.01x + 0.6548$
-4	0.864	$y = 8E-09x^5 - 2E-06x^4 + 0.0002x^3 - 0.0056x^2 + 0.065x + 0.4416$
-3	0.8179	$y = -3E-11x^6 + 1E-08x^5 - 2E-06x^4 + 0.0002x^3 - 0.005x^2 + 0.0516x + 0.5039$
-2	0.5684	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 2E-06x^4 - 6E-05x^3 + 0.0004x^2 + 0.0014x + 0.6318$
-1	0.8997	$y = 0.5019e0.0296x$
0	0.8789	$y = 0.589e0.0322x$
1	0.8573	$y = 3E-08x^6 - 8E-06x^5 + 0.0009x^4 - 0.0488x^3 + 1.1763x^2 - 10.941x + 22.593$
2	0.9069	$y = 0.6582e0.0724x$
3	0.9649	$y = 0.8159e0.0785x$
4	0.9682	$y = -2E-07x^6 + 5E-05x^5 - 0.0039x^4 + 0.1623x^3 - 3.477x^2 + 31.695x - 61.61$
5	0.9891	$y = -0.0011x^4 + 0.2307x^3 - 12.848x^2 + 229.05x - 827.34$
6	0.9576	$y = -4E-07x^6 + 0.0002x^5 - 0.0192x^4 + 0.8082x^3 - 14.022x^2 + 87.784x - 103.84$
7	0.9726	$y = -2E-05x^6 + 0.0029x^5 - 0.1849x^4 + 5.5705x^3 - 78.144x^2 + 422.95x - 458.87$
8	0.9899	$y = 1E-05x^6 - 0.002x^5 + 0.1462x^4 - 4.4983x^3 + 60.291x^2 - 298.47x + 294.84$
9	0.9787	$y = -6E-06x^6 + 0.0007x^5 - 0.0195x^4 + 0.1927x^3 - 0.2324x^2 - 1.2086x + 3.0397$
10	0.9452	$y = 5E-05x^6 - 0.0038x^5 + 0.1018x^4 - 1.2578x^3 + 7.1545x^2 - 14.213x + 5.0195$
11	0.9596	$y = 6E-05x^6 - 0.0039x^5 + 0.1006x^4 - 1.2019x^3 + 6.6643x^2 - 13.214x + 4.8601$
12	0.6084	$y = 0.0012x^6 - 0.0455x^5 + 0.6397x^4 - 4.2323x^3 + 13.208x^2 - 16.185x + 18.133$

모형
set
I

[표 9] 모형 SET II 회귀식 도출결과

	가속도	R2	회귀식
모형 set II	-5	0.932	$y = 1E-09x^5 - 3E-07x^4 + 2E-05x^3 - 0.0005x^2 + 0.0046x + 0.6079$
	-4~-3	0.8256	$y = -9E-12x^6 + 8E-09x^5 - 2E-06x^4 + 0.0001x^3 - 0.0044x^2 + 0.0475x + 0.5017$
	-2	0.5684	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 2E-06x^4 - 6E-05x^3 + 0.0004x^2 + 0.0014x + 0.6318$
	-1~0	0.8687	$y = 0.5437e0.0309x$
	1	0.8573	$y = 3E-08x^6 - 8E-06x^5 + 0.0009x^4 - 0.0488x^3 + 1.1763x^2 - 10.941x + 22.593$
	2~3	0.9264	$y = 0.7556e0.075x$
	4~6	0.9581	$y = -2E-08x^6 - 7E-06x^5 + 0.0021x^4 - 0.1393x^3 + 3.4968x^2 - 29.13x + 49.75$
	7~9	0.9333	$y = -2E-06x^6 + 0.0001x^5 + 0.0018x^4 - 0.0942x^3 - 0.6122x^2 + 21.542x - 43.512$
	10~11	0.9436	$y = 6E-05x^6 - 0.0039x^5 + 0.1009x^4 - 1.2064x^3 + 6.6614x^2 - 13.255x + 9.6582$

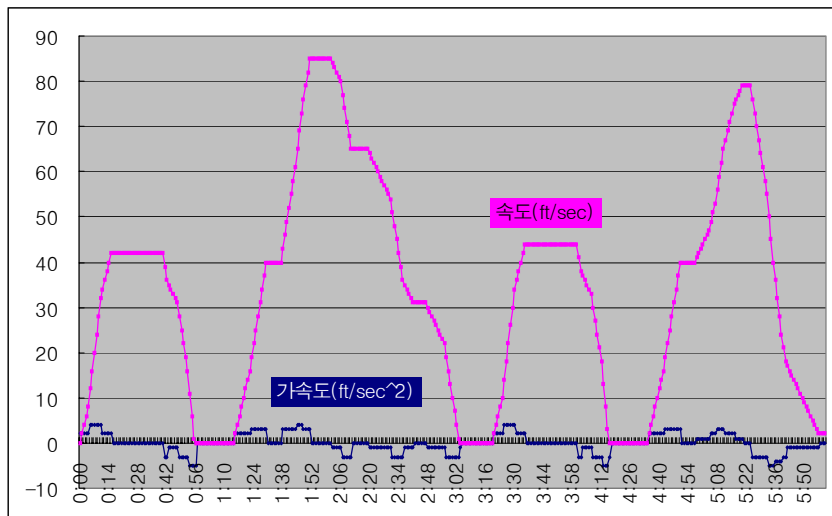
[표 10] 모형 SET III 회귀식 도출결과

	가속도	R^2	회귀식
모형 set III	-5~-2	0.7273	$y = 1E-10x^6 - 3E-08x^5 + 3E-06x^4 - 0.0001x^3 + 0.0017x^2 - 0.0109x + 0.6328$
	-1~1	0.7359	$y = 0.7059e0.03x$
	2~6	0.7474	$y = 1.6805e0.0826x$
	7~	0.9259	$y = -0.0097x^4 + 1.1243x^3 - 35.698x^2 + 362.06x - 725.2$

제4장 시나리오 설정 및 모형의 적용

1. 가상의 차량주행상황 설정

모형의 적용성을 분석하기 위하여 가상의 차량주행상황을 설정하였다. 차량 한 대가 정지상황에서 6분 동안 매 1초 간격으로 가속 및 감속을 통해 주행하는 상황을 구성하였다. 이에 따른 차량의 속도와 가속도의 변화는 다음 <그림 10>과 같다.



<그림 10> 차량의 주행상태(속도·가속도) 변화

2. 모형의 적용결과 비교

앞에서 설정한 차량의 속도와 가속도에 따른 배출량을 배출량표에서 찾아내고, 이 값을 기준값으로 설정하였다. 이 기준값과 각 모형 set에 의해 도출된 배출량 결과를 비교해 보기 위하여 대응 T-test(쌍체비교)를 수행하였으며, 실측치와 예측치는 차이가 없다라는 귀무가설에 대한 쌍체비교 결과 값은 다음 <표 12>와 같다.

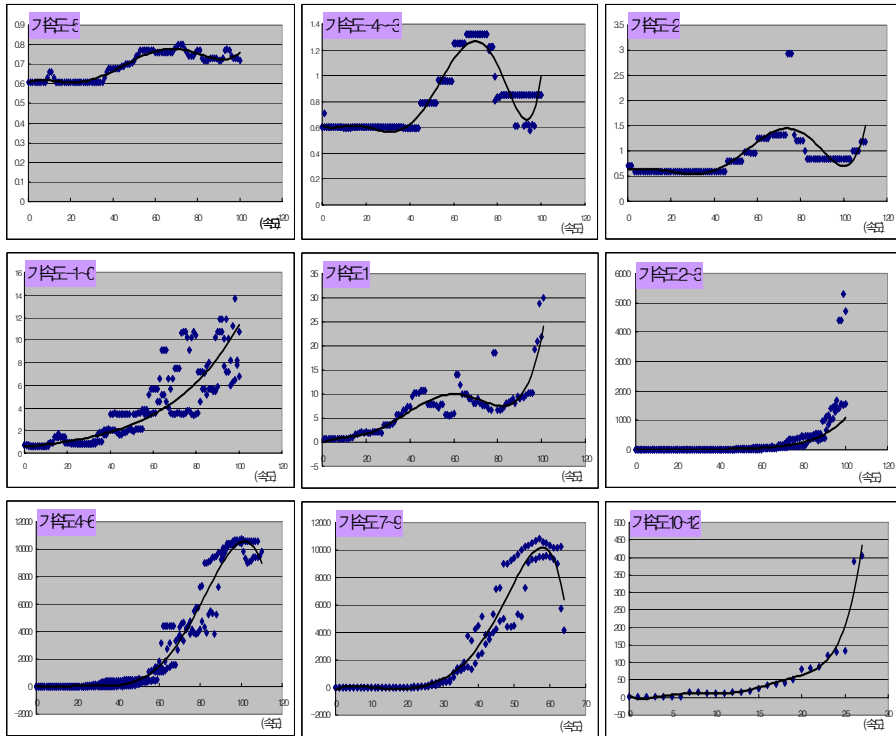
[표 11] 모형별 대응 t-test(쌍체비교) 결과

	기준값(배출량표 이용)	모형 set I (18단계)	모형 set II (9단계)	모형 set III (4단계)
평균	34	30	42	39
분산	76,419	47,032	106,009	29,505
관측수	361	361	361	361
피어슨 상관 계수		0.988359475	0.981800815	0.42658419
가설 평균차		0	0	0
자유도		360	360	360
t 통계량		9.77092085	-2.014808949	-0.349561175
P(T<t) 단측 검정		0.016458984	0.022333864	0.363436223
t 기각치 단측 검정		1.649098067	1.649098067	1.649098067
P(T<=t) 양측 검정		0.032917969	0.044667729	0.726872446
t 기각치 양측 검정		1.966573109	1.966573109	1.966573109

쌍체비교 결과, 가속도를 18단계로 구분한 모형 set I의 유의확률이 가장 높아 기준값과 가장 유사한 것으로 나타났고 다음으로 모형 set II, III 순으로 귀무가설을 채택할 확률이 높은 것으로 나타났다. 모형 set I 과 II의 경우는 신뢰수준 95%에서 유의한 결과를 보였다. 그러나 그룹의 구간을 크게 설정한 모형 set III의 경우는 신뢰수준 95%에서 귀무가설을 기각하여, 배출량표에 의해 도출된 기준값과 차이가 있다는 결과를 보였다.

3. 모형적용 결과 및 선정 방향 제시

위의 결과와 같이 모형 set I 과 II이 신뢰수준 95%에서 기준값과 차이가 없다는 유의한 결과를 나타내었으나, 모형 set I 과 같이 가속도를 1ft/sec² 단위로 각각 모형식을 추정하여 프로그램에 적용하게 되면, 차종별·오염물질별로 각각 도출되는 모형식의 개수가 과도하게 많아져 연산의 속도를 향상시키거나 프로그램화의 작업효율을 높이려는 본 연구의 목적에 부합되지 않는다. 따라서, 같은 신뢰수준하에서 동일하게 유의한 결과를 보인 모형 set II를 프로그램에 적용함이 바람직하다고 판단된다.



<그림 11> 모형 set II의 회귀모형 도출 결과

위 그림 집합을 좌에서 우로 번호를 매길 때 6번과 7번의 경우 군집에서 떨어져 있는 몇 개의 데이터를 Outlier로 간주하여 모형 추정에서 제외하면 현재와는 다른 결과를 도출하게 될 수도 있다.

그러나 본 연구에서는 Emission unit table의 원형을 이용한 회귀식 도출 및 모형 구축을 통해 미시적인 배출량 산정 방법론 구축에 의의를 두고 있는 연구이다. 더불어 본 연구에서 제시된 현재의 회귀모형은 회귀검증을 통해 모형의 신뢰성 검토과정을 거침으로서 모형의 치명적인 오류는 제거하였다고 할 수 있다. 이러한 근거를 바탕으로 위의 모형 추정 결과를 본 연구결과로 제시한다.

제5장 연구의 활용방안

1. 대기오염을 고려한 교통관련사업 타당성 평가 수행의 Tool에 적용

가. 기존 대기오염 평가 방법론의 개요 및 한계

개별적인 교통투자 사업은 그 특성이나 효과가 다양한 형태로 반영될 수 있다. 각 영향에 대한 평가가 효과적으로 이루어지지 못하는 경우에는 사업의 타당성이 과소 추정되고 따라서 사업의 시행 자체가 불투명해지게 된다.

교통관련 사업을 평가하는데 있어서 대기오염 변화부분은 구체적인 평가근거가 부족하여 신뢰성있는 평가가 미흡한 실정이다. 다시 말해, 대기오염 개선 평가를 위해서는 자동차 배출가스에 의해 발생하는 유해물질인 일산화탄소(CO), 아황산가스(SO₂), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx) 및 먼지(TSP)에 대한 배출량을 알 수 있어야 한다. 이들 가스의 배출량은 차량의 종류, 주행상태, 사용연료, 교통류 조건 등에 크게 영향을 받으므로 이에 대한 고려가 필수적이다. 그러나 기존의 대기오염 개선 편익의 방법론은 이를 수행하기에는 한계가 있다.

도로사업과 관련된 환경비용의 추정에 있어서는 기본적으로 두 단계의 절차가 필요하다. 먼저 자동차 주행으로 인해 발생하는 오염물질별 배출계수의 산정이 전제되어야 한다. 다음으로 구체적인 환경비용을 산정 하는 단계이다. 이 때 오염물질 단위당 발생하는 환경비용인 화폐평가원단위를 산출하는 작업이 필수적으로 요구된다.

기존의 환경비용 추정에 실질적으로 사용되는 실질배출계수의 추정은 환경부의 차종별 오염물질 배출계수자료를 근간으로 국내외 배출기준 차이를 감안하여 추정한다. 이러한 예는 한국개발연구원의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구』에서 제시한 바를 참고할 수 있다. 이 지침에서는 차종을 승용차, 버스, 트럭으로 구분하여 세분화된 실질배출계수를 교통량 통계자료¹⁶⁾를 통하여 가중평균한 결과를 활용한다.

16) 건설교통부, 『1999년도 도로교통량 통계연보』, 2000.

[표 12] 차종별 오염물질 실질배출계수(수단별 가중평균)

(단위 : g/km)

도로유형	차 종	CO	HC	NOx	PM
고속도로	승용차	1.3699	0.4025	0.3289	0.0000
	버 스	1.4375	0.1958	0.7382	0.4843
	트 렉	2.5029	0.7979	4.5356	0.9565
일반국도	승용차	1.3699	0.4025	0.3289	0.0000
	버 스	1.4068	0.1908	0.7226	0.4756
	트 렉	0.9540	0.2254	1.6600	0.4076

이 때의 대기오염비용 추정식은 다음과 같다.

$$EVA_r^{p,k} = 365 \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^p \beta_i^p \gamma_i^p \delta_i^p$$

여기서 $p=HC, CO, NOx, PM$

$k=0$ 은 시행전, c 는 시행후

α_{ij} = 차종별(i), 속도별(j) 오염물질 배출계수, 단위: g/대-km

β_i = 차종별(i) 환경비용원단위, 단위: 원/g

γ_i = 차종별(i) 일일교통량, 단위: 대

δ_i = 차종별(i) 일일주행거리(도로연장거리), 단위: km

앞서 제시한 배출량 및 대기오염비용 추정은 ITS 사업이나 ETCS(Electronic Toll Collection System), 혹은 LNG 버스 도입과 같은 도로개설 이외의 교통관련 사업에 대한 대기오염 개선효과를 반영하지 못하게 된다.

나. 본 연구 결과의 활용방안

본 연구에서 개발된 방법론을 적용한 시스템은 교통사업 중 미시적 교통류 패턴 변화를 가져오게 되는 모든 사업에 대한 대기오염 물질 배출량을 산출할 수 있다. ITS를 구성하는 개별시스템, 도시부 소규모 건설사업에 대한 평가, 도로기하구조 개선, 돌발상황 발생시 오염물질 배출량과 대응방안에 따른 배출량 감소 정도에 대한 평가 등 다양한 사업에 대한 실질적 변화를 반영할 수 있다.

즉 각 사업에 대한 미시적 교통류 패턴변화를 시뮬레이션 할 수 있고, 이에 따른 배출량 변화를 고려하여 사업의 시행과 미시행시의 변화를 살펴볼 수 있게 된다. 이러한 자료를 바탕으로 교통관련 사업의 타당성 평가 시 대기오염 감소 효과에 대한 보다 신뢰성 있는 결과를 가질 수 있게 된다.

2. 교통 및 환경영향평가제도 개선

가. 도시내 건설사업에서 교통 및 환경영향을 고려해야 할 필요성

도시내의 단위 건설 사업의 타당성 조사를 위해서는 여러 분야에 대한 고려가 요구되어진다. 건설 사업의 시행으로 인하여 교통 측면에 있어서 유발되어지는 장애 교통 수요가 어떻게 나타날 것이며 사업 시행으로 인한 문제점은 무엇인지에 대한 파악은 대상 지역의 지속가능한 발전을 위해서 요구되어진다.

더불어 환경적인 측면에 있어서는 대상 사업으로 인한 환경영향을 최소화하기 위한 완화 조치 내용 및 비용에 관한 파악이 필요하며 대상 사업 시행으로 인한 대기 및 수질 등의 환경모니터링을 또한 필요로 한다. 사업 실시에 따른 직접·간접, 단기·장기 환경 및 교통의 영향 예측 조사 결과를 통하여 사업 시행 여부와, 대안 등을 파악할 수 있어야 한다.

나. 기존 교통영향평가와 환경영향평가의 한계

일정 규모 이상의 도시내의 건설사업을 시행을 함에 있어서 요구되어지는 현재

의 교통영향 평가 시에는 평가서의 내용항목에 환경오염에 관한 내용을 다루지 않고 있다는 문제점을 안고 있다. 서울시 자료에 따른 자동차에 의한 대기오염물질 배출량 변화추이를 살펴보면, 1999년의 경우 1990년에 비해 60% 증가하였다. 교통 수요가 대상 사업의 지역의 대기 질을 좌우하는 중요한 요인으로 볼 수 있는데 반하여 교통영향평가에서는 교통수요의 변화는 고려하지만 그로 인한 대기질에 관한 요인을 전혀 고려하고 있지 않다는 한계를 보이고 있다.

한편 환경영향평가에서는 대상 사업의 대기질에 관련된 평가를 함에 있어서 오염물질 배출원 주변의 대기오염물질 농도 분포만을 해석하기 위해서 개별 차량으로 인한 대기 확산 즉 도로 오염원에 의한 영향을 적절히 반영하지 못하고 있다. 즉, 거시적인 차원에서만 접근하기 때문에 실제 대상 사업으로 인한 차량의 증가로 인한 대기질의 변화에 관한 내용을 정확히 평가하지 못한다는 한계점을 지니고 있다. 또한 제도적인 차원에 있어서도 아래 표와 같이 대상사업의 사업 규모를 규정하고 있으므로 도시 내 단위건물이나 주거단지와 같이 교통량의 변화와 더불어 대기오염의 변화를 가져오게 될 개발사업이 이루어지더라도 환경 영향평가대상에서 제외되고 있다.

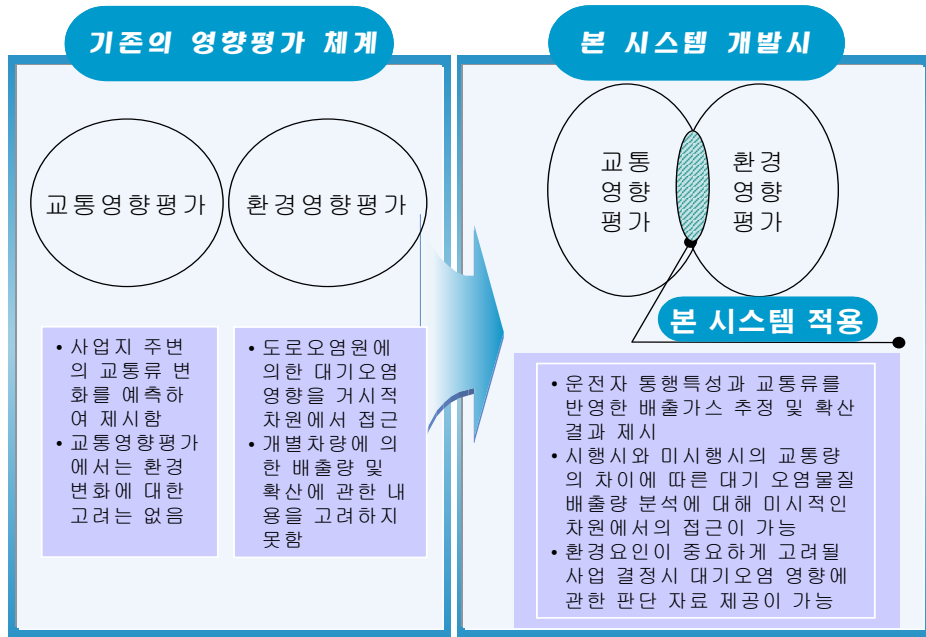
[표 13] 교통에 직접적 영향을 미치는 환경영향평가 대상 사업

사업 분야	세부사업명 및 규모
도시개발	택지개발(30만㎡ 이상) 등 12개 사업
산업입지	국가, 지방, 농공단지(15만㎡ 이상) 등 7개 사업
항만건설	항만(외곽시설) 등 4개 사업
도로건설	도로신설(4km 이상)/도로확장(2차선 이상인 10km 이상)
철도(도시철도)	철도(1km 이상), 삭도·궤도(2km 이상) 등 4개 사업
공항건설	비행장활주로(500m 이상), 기타시설(20만㎡ 이상)

다. 본 연구결과의 활용방안

본 연구 결과물을 적용한 대기오염 모니터링 시스템을 통하여 도시 건설사업시 시행되어지는 교통영향평가나 환경영향평가에 있어서 고려하지 못했던 개별 차량의

행태를 반영한 배출량 산정이 가능해져서 기존의 제도적 한계를 극복할 수 있는 제도적 보완책을 가지게 된다. 특히 거시적인 방법으로만 결과를 도출했었기 때문에 간과되었던 운전자 통행 특성과 미시적 교통류 변화를 반영한 배출가스 추정 및 확산을 도출하여 구체적 영향을 분석하여 평가할 수 있게 되었다.



두 평가제도가 매우지 못하는 간극으로 인해 간과되어왔던 제도적 한계를 본 연구 결과를 통해 극복할 수 있을 것으로 기대한다.

3. 대기오염 관리체계 개선

자동차의 급격한 증가에 따른 환경파괴 문제는 매우 심각하게 인식되고 있고, 특히 자동차의 배출가스로 인한 대기오염 문제는 중요한 사회적 지표로서 인식되고 있으며, 도로교통에 있어서 기존의 주된 관심사였던 정체 완화, 통행시간의 단축, 안전성 향상 이외에도 환경과 도로교통 정책의 결합에 대한 당위성이 부각되어 왔다.

따라서, 본 연구의 결과물은 보다 현실적인 교통류 모형과 발전된 배기가스 모형을 결합·구축함으로써, 교통의 흐름에 따른 대기오염 정도를 모니터링하여 환경친화적인 교통체계를 위한 교통운영 및 관리에 유용하게 쓰일 수 있다.

특히, 기존의 단일지점 또는 개별 링크단위 정보뿐 아니라, 해당 지역의 도로 네트워크 상에서 배출되는 배기가스의 농도(level)를 계산할 수 있고, 이를 시뮬레이션하여 그래픽으로 볼 수 있으므로 교통상황과 대기오염정도의 실시간 현황 파악에 용이하며, 이와 관련한 연구의 기초 자료 마련에도 활용할 수 있다.

제6장 결론

본 연구에서는 자동차 배출가스와 환경오염문제가 중요성이 갈수록 증대되고 있음에도 불구하고 실시간 교통류 상황과 더불어 대기오염물질 추정할 수 있는 모형에 대한 연구가 거의 없다는 점에 착안하여 개별차량의 주행행태에 따른 배기가스 배출정도를 추정하는 방법론을 정립하였다.

기존의 거시적인 관점에서의 배출량 산정방식의 한계점을 분석하고, 실시간으로 변화하는 도로상황 및 개별차량의 주행행태에 따른 배출량 산정을 위한 미시적 접근방식을 택하여 차량의 속도와 가속도에 따른 배출량 산정 모형을 제안하였다.

제안한 모형을 가상의 네트워크 및 차량의 주행상황에 적용한 결과, 개별차량의 속도 및 가속도에 따른 배출량의 산출결과가 관측자료로 구축된 값과 차이가 없는 것으로 분석되어 제한된 범위 내에서 그 적용성이 있는 것으로 판단되었다.

그러나, 본 분석에서 사용한 기준값이 되는 배출량표가 해외에서 작성된 데이터이므로 관측된 데이터가 국내 실정과 다르며 차량의 종류나 속도·가속도의 단위 등도 국내 상황과 맞지 않는 문제점이 존재한다. 향후 우리나라 실정에 맞는 신뢰도 높은 실측데이터를 구축하여 원시자료로 이용한다면 차량의 주행에 따른 대기오염물질 배출량을 모형화 하는데 뿐만 아니라 다양한 관련 연구에 기초 자료로 폭넓게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

국내문헌

1. 김동영 (1998), 『시간 및 격자단위 대기오염물질 배출량 : 수도권외 광화학스모그 선구물질을 중심으로』, 서울대학교 박사학위논문
2. 김석철 · 이영수 (1999), 『환경영향평가지 대기확산모델의 사용현황과 개선방안』, 한국대기환경학회지, vol. 15(6), pp. 827~841
3. 김진영 외 (1999), 『서울수도권지역 주요 대기오염물질 배출원 자료 현황 분석』, 한국대기환경학회지, vol. 15(6), pp. 813~826
4. 김창모 (2000), 『차량추종모형 시뮬레이션 프로그램 개발』, 한양대학교 석사학위 논문
5. 김현구 (2002), 『면/이동오염원 배출량 공간 할당 방식에 대한 고찰』, 한국환경과학회지, vol. 11(7), pp. 697~703
6. 박성규, 김신도, 이영인 (2001), 『자동차 대기오염물질 산정 방법론 설정에 관한 비교 연구』, 대한교통학회지, 19권 제 4호
7. 박창호 (1999), 『교통관리 효과분석을 위한 모의실험모형 개발』, 서울대학교 공학연구소
8. 서광석, 김종규 (1995), 『교통여건 변화에 따른 자동차 오염물질 배출에 관한 연구』, 한국환경관리학회
9. 송동웅·송창근 (2003), 『미세 격자 대기확산 모델링을 통한 안산지역 PM10 고농도 사례 분석』, 한국환경과학회지, vol 12(9), pp. 977~986
10. 유지열 외 (1997), 『통행예측기법을 이용한 이동오염원의 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구』, 대기환경학회 학술대회 논문집, Vol. 01, No. 00
11. 이영인 (2002), 『교통대응 신호제어전략의 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 원형 개발』, 대한교통학회지 제 19권 제6호

12. 이화운·김유근·원경미·배성정 (1998), 『대기확산모델을 사용한 공단주변지역의 대기오염농도 예측 및 평가 : ISCST3, FDM, AERMOD를 중심으로』, 한국환경과학회지, vol. 8(4), pp. 485~490
13. 이화운·원경미·배성정 (1999), 『대기확산모델을 사용한 공단주변지역의 대기오염물질농도 예측 및 평가 : ISCS3, FDM, AERMOD를 중심으로』, vol. 8(4), pp. 485~490
14. 임익현·정태섭 (2002), 『ISC모델을 이용한 폐기물 소각시설의 영향평가에 관한 연구』, 공학회지. vol.33, pp. 179~188
15. 장영기 외 (1997), 『GIS를 이용한 이동오염원 배출량 산정, 대기환경학회 학술대회 논문집』, Vol. 2
16. 정성봉 (1998), 『차로별 속도차가 차로변경에 미치는 영향에 관한 연구』, 서울대학교 석사학위논문
17. 정준하 (1999), 『도시 가로망 분석을 위한 미시적 모의실험기 개발』, 아주대학교 석사학위논문
18. 조강래 (2001), 『자동차에서 배출되는 오염물질의 배출계수 산출과 예측』, 환기부문 학술 강연회
19. 조규탁 (2002), 『자동차 대기오염물질 배출량의 공간해상도 개선을 위한 Nested Top Down Approach 개발』, 서울대학교 박사학위논문
20. 최강식 (1998), 『미시적 모의실험을 위한 추종모형의 비교분석에 관한 연구』, 서울대학교 석사학위 논문
21. 최순자·정종태·조경두 (2003), 『인천지역내 환경용량평가』
22. 경기개발연구원 (2002), 『수도권 자동차 대기오염물질 배출량 추정 및 대기오염 저감정책방안 연구』
23. 대기환경연구회 (2000), 『대기오염개론』, 동화기술
24. 한국환경정책평가연구원 (1998), 『대기오염 건강 피해에 관한 연구보고서』

국외문헌

1. Abolhassan Halati (1997), 『CORSIM - Corridor Traffic Simulation Model』, Transportation Research Board 76th Annual Meeting
2. Barth, M., F. An, J. Norbeck, and M. Ross (1996), 『Modal Emissions Modeling: A Physical Approach』, Transportation Research Record 1520, pp. 81~88
3. Cernuschi, S., M. Giugliano, A. Cemin, and I. Giovannini (1995), 『Modal analysis of vehicle emission factors』, The Science of the Total Environment, 169, pp. 175~183
4. C.J. Messer (1997), 『Traffic flow theory』, TRB special report 165
5. Cohen, S. L. (1997), 『Use of Traffic Simulation in Analysis of Carbon Monoxide Pollution』, Transportation Research Record 648, pp. 74~76
6. Gram F. (1996), 『Time variations in traffic and traffic emissions』, The Science of the Total Environment (Single Source Model) environment, 189/190, pp. 115~118
7. Hung, W.T. and H.Y.Tong (2000), 『Review of vehicle emissions and fuel consumption modelling approaches at signalized road network』, Proceedings of the 5th Meeting of Hong Kong society for Transportation Studies, 2, pp. 234~239
8. Joumard, R., J. Peter, H. John, and H. Dieter (1995), 『Hot passenger car emissions modelling as a function of instantaneous speed and acceleration』, The Science of Total Environment, 169, pp. 167~174
9. Kazi I. Ahmed, Moshe E. Ben-Akiva, Haris N. (1996), 『Models of freeway lane changing and gap acceptance behavioral』, Transportation and Traffic Theory

10. Kishi, Y., S. Katsuki, Y. Yoshikawa, and I. Morita (1996), 『A Method for Estimating Traffic Flow Fuel Consumption-Using Traffic Simulations』, ISAE Review 17, pp. 307-311
11. Mensink, I. and J.N. De Vlieger (2000), 『An urban transport emission model for the Antwerp area』, Atmospheric Environment 34, pp. 4595-4602
12. Nagendra, S.M.S., and M. Khare (2002), 『Line source emission modelling』, Atmospheric Environment, 36, pp. 2083-2098
13. P.G. Gipps (1986), 『A model for the structure of lane-changing decisions』, Transportation Research Part B, Vol.203
14. Taylor, M. A. P., and T. M. Young (1996), 『Developing a Set of Fuel Consumption and Emissions Models for Use in Traffic Network Modelling』, 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 24~26, Lyon, France
15. 『Car following: an historical review』 Transportation Research Part F, Volume 2, Issue 4, December 1999, Pages 181-196

시정연 2004-PR-05

**개별차량의 주행행태에 따른
자동차 배출가스 추정방법론 정립**

발행인 백 용 호
발행일 2004년 6월 24일
발행처 서울시정개발연구원
 137-071 서울특별시 서초구 서초동 391
 전 화 : 02) 2149-1000
 팩 스 : 02) 2149-1199
 홈페이지 : <http://www.sdi.re.kr>

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다