화물자동차 통행관리제도의 평가방법 개발 및 적용

Development and Application of Evaluation Method for Freight Vehicle Route Management System

김 유 찬
(경기도청 교통과)

박 동 주
(서울시립대학교 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 목적
2. 연구의 범위 및 방법
Ⅱ. 화물자동차 통행관리제도의 평가기법 고찰
1. 화물자동차 통행관리제도의 개념 및 유형
2. 화물자동차 통행관리제도의 평가기법
3. 국내 및 해외사례
Ⅲ. 화물자동차 통행관리제도의 평가방법 개발
1. 화물자동차 통행에 따른 영향 검토
2. 평가를 위한 지표 개발
Ⅳ. 사례 연구
1. 평가대상 통행관리제도 및 지역 선정
2. 화물자동차 통행관리제도 시행 전·후 분석
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 연구의 목적

복잡다단한 도시 활동 중에서 화물자동차의 물류수송은 도시내 산업 및 경제활동의 근간을 형성하는 중요한 요소로서, 2004년 국내화물의 전체 수송실적기준으로 톤 기준으로는 90%, 톤-km 기준으로는 68% 이상의 국내화물 수송을 담당하고 있다. 이에 따라, 일부에서는 경제논리의 관점에서 화물자동차의 도심지내 통행에 대하여 화물자동차 전용도로 및 전용차로의 도입 등 물류우선처리 시스템에 대한 연구가 진행 중이다.

최근 미국에서는 "Truck-way"라는 명칭의 화물자동차 전용도로를 건설하는 것에 대한 연구가 진행되면서 화물자동차를 이용하는 관점이 아닌 일반차량 입장에서 화물차량의 특성에 대한 연구가 이루어지고, 이에 따른 안전측면이 크게 고려되어 화물자동차 통행제한 정책이 역설적으로 야기되기도 한다. 또한, 환경측면에서도 대기오염의 주범인 공로상의 화물자동차에 대한 규제가 논의되기도 한다. 이렇듯, 화물자동차의 통행은 바라보는 관점에 따라 규제의 대상이 되기도 하고, 물류효율을 꾀하기 위해 우대되어져야 할 특별한 교통수단으로 보기도 한다.

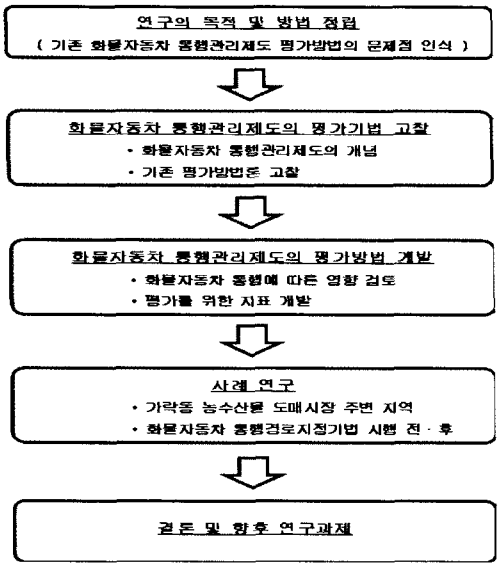
우리나라에서는 1970년대부터 교통소통 원활화를 목적으로 선 및 면 규제 중심의 화물자동차 제한정책으로서의 통행관리제도를 도입하여 서울, 부산, 인천, 광주 등 여러 대도시에서 시행중이다. 그러나, 시대가 변하여 도시의 구조가 바뀌고, 공로상의 물류수송의 형태가 변화하여 화물자동차 통행관리제도의 개선이 요구되거나, 또는 환경과 안전에 대한 의식변화에 따른 정책적인 화물자동차 통행관리제도에 대한 도입논의가 제의되어도 이러한 통행관리제도의 개선 또는 도입 전·후에 대한 효과적인 평가방법의 정립이 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 화물자동차의 통행관리제도에 대해 다양한 시각에서의 종합적 판단을 통한 정책방향을 재정립 할 수 있도록, 이에 대한 평가지표를 포함한 평가방법에 대하여 논의하고자 하며, 특히 기존 연구에서 진행되었던 차량운행비용이나 시간비용에 따른 교통측면의 평가 일변도에서 벗어나 환경과 교통안전 등 보다 폭넓은 시각에서의 접근을 시도하려 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

도시내 화물자동차의 통행관리제도에 대한 기존 연구자료 분석을 통해, 교통측면에만 국한하여 수행되어오던 평가방법의 문제점을 검토하고, 새로운 방법으로서 기존의 물류효율과 교통소통측면의 차량운행비용(VOC)과 통행시간비용(VOT)의 평가지표를 재정리하고, 교통안전 측면에서 초등학교 등하교 통행과 화물자동차 통행과의 마찰지수 및 환경 측면에서 대기오염과 직접영향권내 인구와의 노출지수를 새로운 지표로 제시하고, 평가방법론을 정립하고자 한다.

사례연구에서는 정립된 지표 및 평가방법론을 토대로 화물자동차의 통행관리제도에 대한 대안선정 및 이에 대한 영향검토를 수행하여, 실제 도시 내에서 적용 가능한 평가방법으로서의 현실성을 검증하고자 한다.



<그림 1> 연구방법

II. 화물자동차 통행관리제도의 평가기법 고찰

1. 화물자동차 통행관리제도의 개념 및 유형

화물자동차 통행관리제도란 도시내 화물자동차와 관련하여 물류 효율화, 교통소통의 원활화, 교통안전, 환경질서 유지 등의 목적달성을 위하여 화물자동차에 대해 우대 또는 제한을 가하는 종합적인 화물자동차 통행관련 관리정책이다. 주요제도는 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요 화물자동차에 통행관리제도

구 분	주 요 내 용
규제적 관리	• 차량의 무게, 넓이, 높이 및 길이에 대한 조합을 통해 규제 (금지노선, 금지구역 등 설정) • 주차 및 하역제한 (Parking & Loading) • 접근제한 (Restrictions on Access) • 통행제한, 노선, 지역제한 (선규제 & 면규제) • 화물차량 폐쇄선(Cordon Line) 설정
비규제적 관리	• 이용도로 안내체계 • 우회도로 지정 및 안내 • 물리적인 장애물 설치 • 도로의 기하구조를 통한 기법
통행 효율화 방안	• 트럭전용차선 및 전용도로 기법 • 신호체계개선 (신호시간 조정, 신호연동화) • 교차로 기하구조 개선 • 우회도로 건설
중장기 방안	• 화물운송수단 다양화(철도, 해운, 파이프라인, 컨베이어벨트, 기타) • 화물터미널, 집배송센터의 적정 입지 • 토지이용(개발사업) 관리 • 교통정보체계를 통한 통행관리

2. 화물자동차 통행관리제도의 평가기법

화물자동차 통행관리제도에 대한 평가를 다루었던 기존연구에서는 제도 시행 전·후의 분석시에 톤급 및 시간대 전환을 전제로 한 분석을 시행하였다. 그러한 분석의 전제로 인하여, 특정 지역에서 시행되고 있는 화물자동차 도심지 통행관리제도에 대한 제도 지속유무 또는 신규 통행관리제도의 도입에 대한 분석시 화물자동차에 대한 통행제한에 의하여 기존 1톤 위주의 소형 화물자동차가 5톤 이상의 대형 화물자동차로 규모전환(톤급 전환)이 이루어진다거나 혹은 그 반대의 경우를 전제하여 수행되었고, 시간대 전환도 야간시간으로의 전환을 전제로 분석이 수행되어 통행관리제도의 확대시행이 교통소통이나 물류효율 측면에서도 모두 유리하다는 결론을 도출하기도 하였다.

이에 본 연구에서는 화물자동차 통행관리제도의 시행분석에 있어 경로변경(실질적 제약 효과)만을 전제로 한 시나리오를 작성하여 수행하였으며, 평가지표로서 통상적으로 사용되어 오던 물류효율이나 교통소통 측면의 차량운행비용, 통행시간비용 및 도로별 속도뿐 만 아니라, 교통안전, 환경 측면의 평가지표 및 방법을 정립하고자 하였다.

<표 2> 화물자동차 통행관리제도의 기존연구 고찰

연구제목	평가방법
도시화물차량 관리방안 연구 (1997, 박현 외 3인, 시정연)	• 톤전환 전제 • 혼잡비용, 환경비용, 교통사고비용, 시설물 유지비용
도시화물의 효과적인 수송체계 구축방안 연구 (1999, 황기연 외 3인, 시정연)	• 운행거리, 통행시간, 속도변화
화물자동차 통행제한관리 개선을 위한 설계용역 (2006, 서울시)	• 톤/시간대 전환 전제 • 혼잡비, 수송비, 오염물질 배출량

3. 국내 및 해외사례

1) 국내 도입사례

서울시에서는 1971년 도심지 교통소통 원활화를 목적으로 신설되어, 도심지 시청기점으로 반경 5km 내지 7km 내의 내부순환로와 강변북로로 둘러싸인 내부지역에 대하여 면 규제의 일환으로 화물자동차 통행제한을 3.6톤 이상 화물자동차에 대하여 07:00~22:00시까지 시행하고 있으며, 올림픽대로 및 강변북로 일부 구간에 대하여 선 규제를 실시하고 있다.

이 밖에도 부산시는 선 규제 중심, 광주시는 면규제 중심에 일부 도로를 허용하는 형태의 통행관리제도를 시행중이다.

2) 해외사례

(1) 물류효율 측면의 통행관리제도

네덜란드 로테르담 지역은 A16~A20 고속도로에서 대형 화물자동차를 위한 전용차로가 설치되어 있으며, 네덜란드 전역에 총 9개소에 걸쳐 14km의 화물자동차 전용도로가 설치되어 있다.

로스엔젤레스는 화물자동차 규제정책으로서 교통혼잡 해소와 배기가스 절감을 목적으로 화물자동차 통행제한을 실시하고 있으나, 다른 한편에선 물류효율을 위하여 로스엔젤레스와 항만지역을 연결하는 통합교통축(CTC : Consolidated Transportation Corridor)을 건설하여, 화물자동차 통행의 교통혼잡과 대기오염, 평면교차로 인한 생활지역으로의 소음 등 부작용을 억제하였다. 이로 인해 화물자동차의 교통사고가 감소하고, 입체화로 수송지체의 90%가 감소하였으며, 460억 규모의 경제적 이득이 발생하였다.

(2) 환경 측면의 통행관리제도

스웨덴은 환경구역(Environmental Zone)을 설정하여 대형차량으로부터의 대기오염 및 교통혼잡을 억제하기 위하여 인구밀도가 높고, 소음, 대기오염과 같은 환경적으로 민감한 지역으로의 화물자동차 출입을 금지하는 제도를 도입하여, 현재 스톡홀름, 고텐버그, 말뫼, 룬드의 도심지에서 시행 중이다. 도입 1년 후 실시된 평가 결과 DPM 20% 감소, HC 10% 감소, NOX 8%의 감소가 이루어졌으며, 교통량의 증가에도 불구하고 소음수준의 감소가 나타났다.

텍사스주 달라스의 포트워스 지역에서는 위험화물의 운행차로의 운송노선지정을 법제화하고 위험물 운반차량에 대한 도심 내 진입을 금지시키고, 위험물질 관리를 위한 프로그램 개발을 위한 특별팀을 구성하여 화물자동차 관련 교통사고분석을 통하여 최소위험경로를 지정하고 최소시간경로와의 비교를 통해 최상 운송노선을 지정하여 운영하고 있다.

3) 사례분석의 시사점

국내에서는 주요 도시들에서 선 규제 및 면 규제에 의한 화물자동차 통행제한정책이 주를 이루고 있으나, 외국에서는 접근하는 관점에 따라 화물자동차 제한 또는 우대정책이 다양하게 공존하고 있다. 또한 도시별 각각의 화물자동차 통행관리제도 역시 물류효율 측면과 주거의 안녕을 위한 환경측면에서의 배려가 조화롭게 균형을 이루고 있다는 특징이 있다. 따라서, 우리나라도 화물자동차에 대한 제한 위주의 일률적인 시각에서 균형 잡힌 시각으로의 변화가 필요하다.

III. 화물자동차 통행관리제도의 평가방법 개발

1. 화물자동차 통행에 따른 영향 검토

우리나라의 물류활동에서 화물차량운행이 차지하는 비중은 2004년 국내화물의 수송실적을 기준으로 90%에 이르는 1,505,140천톤으로 그 영향이 막대하나, 화물자동차의 공로상 통행으로 인해 발생되는 피해 역시 만만치 않은 것이 현실이다.

<표 3> 국내화물 수송실적 (톤 기준)

(단위 : 천톤, %)

구분	도로	철도	해운	항공	계
2001	1,343,033 (87.83)	45,182 (2.95)	140,544 (9.19)	362 (0.02)	1,529,121 (100.0)
2002	1,395,819 (88.13)	45,881 (2.90)	141,706 (8.95)	433 (0.03)	1,583,839 (100.0)
2003	1,461,556 (88.36)	47,483 (2.86)	145,327 (8.75)	423 (0.03)	1,660,789 (100.0)
2004	1,505,140 (90.35)	44,717 (2.68)	115,636 (6.94)	409 (0.02)	1,665,902 (100.0)
연평균 증가율	△ 3.87	▽ 0.34	▽ 6.30	△ 4.15	△ 2.90

주 : ( )는 전체 대비 비율

1) 교통소통 측면

화물자동차는 일반차량에 비하여 차량의 길이, 폭, 높이 등의 외형적인 규모뿐만 아니라, 중량 및 적재물품에 따른 추가중량이 발생하며, 이러한 차량의 특성은 도로상의 화물자동차 혼입에 의한 도로용량저하를 야기 시키고, 물품의 운반이라는 분명한 통행목적을 갖은 화물자동차는 기착지 및 종착지에서 선적과 하적이라는 물류행위를 유발하여 조업주차를 위한 충분한 시설이 확보되지 못한 도심지내에서는 불법 주정차로 연결되어 소통장애가 유발된다.

2) 교통안전 측면

오늘날 화물자동차는 달리는 흉기라고 할 정도로 과속, 과적 및 난폭운전의 상징적 존재로 알려져 있으며 국내 자동차 등록대수에서의 화물자동차 비율 20.1% 및 비교적 숙련된 운전자로 구성된 집단인 점을 고려할 때, 화물자동차의 사고건수도 큰 수치일뿐더러, 전체 사망자수의 24.5%를 화물자동차가 차지하고 있음은 사고시 그 치사율이 매우 높으며 이는 화물자동차 사고의 심각성을 잘 대변하고 있다.

<표 4> 2005년 차종별 사고발생 현황

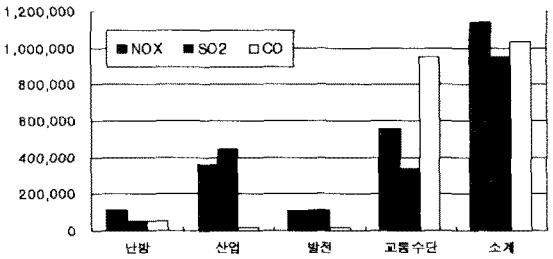
(단위 : 건수)

구분	승용	승합	화물	기타	이륜	기타	합계
사고	138,815	21,505	35,102	1,291	5,596	11,862	214,171
건수	64.8%	10.0%	16.4%	0.6%	2.6%	5.5%	100.0%
사망	2,893	733	1,559	108	399	684	6,376
자수	45.4%	11.5%	24.5%	1.7%	6.3%	10.7%	100.0%

자료 : 경찰청, 2006, 교통사고통계

3) 환경 측면

물류활동이 증가됨에 따라 화물자동차 운행대수와 횟수도 증가하여 환경오염에 의한 사회적 비용 부담과 삶의 질을 저하시키고 있다. 특히, 교통수단의 오염원에 의한 대기오염 비율이 주요 대기오염 물질인 NOx, SO2, CO을 기준으로 59.1%에 달하고 있으며, 화물자동차의 경우 NOx, SO_2 배출량에서 23.5% 이상의 높은 오염원으로 자리 잡고 있어, 그 심각성은 매우 크다.



<그림 2> 분야별 대기오염 배출현황(1999년)

3) 기타

일반적으로 중형 화물자동차는 승용차보다 도로표면에 약 7,500~8,000배의 충격을 주게 된다고 알려져 있다. 다시 말해, 화물자동차의 무질서한 혼재는 도로의 시설물 파괴 및 이에 따른 유지·관리측면에서도 부작용이 많은 것이 현실이다.

2. 평가를 이용한 지표개발

화물자동차의 통행관리제도는 규제지역, 규제시간 및 규제톤수에 의해서도 다양한 상호작용으로 사회 전체의 부를 가져오기도 하고, 저해하기도 하므로, 합리적인 정책결정을 위해서는 합리적인 효과지표를 산정하여 화물자동차로 인한 다양한 영향을 종합적으로 검토함이 중요하므로, 통상적으로 사용되고 있는 운행비용과 시간가치를 통한 편익지표 및 추가적으로 안전측면과 환경측면의 지표를 개발하고자 한다.

1) 차량운행비용 및 통행시간비용을 활용한 지표

(1) 차량운행비용 산정

차량운행비용의 절감편익은 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구, 2004, 한국개발연구원」에서 제시한 방법론을 반영하였으며, 차종은 승용차와 일반버스, 중형 화물자동차(3.6톤~5톤) 및 대형 화물자동차(5톤 초과)의 4가지 수단으로 적용하였다.

<표 5> 속도·차종별 차량운행비용 산정식

승용차	Rational Function : y=(a+bx)/(1+cx+dx^2) Coefficient Data : a = 345.65187, b = -0.0903245 c = 0.03633331, d = -0.0001866
버스	MMF Model : y=(a*b+c*x^d)/(b+x^d) Coefficient Data : a = 192.16167, b = 0.0005090169 c = 529.63663, d = -2.3817295
중형화물	Harris Model: y=1/(a+bx^c) Coefficient Data : a = -0.1013013, b = 0.10181692 c = 0.0073614
대형화물	Harris Model: y=1/(a+bx^c) Coefficient Data : a = -0.0854606, b = 0.08570502 c = 0.00825497

다음은 차량운행비용의 산정식이다.

$$VOC = \sum_{l}\sum_{k=1}^{4}(D_{kl} \times VT_k)$$

- Dkl = 링크 l의 차종별 대·km
- VTk = 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용
- k = 차종 (1~4 : 각 차종)

(2) 통행시간비용 산정

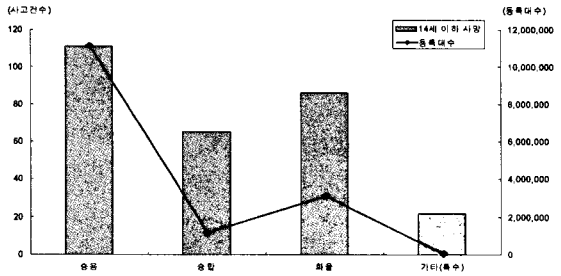
통행시간 절감편익 역시 「도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구, 2004, 한국개발연구원」에서 제시한 방법론 및 수치를 준용하였다. 다만, 화물의 시간가치를 고려하여 육상화물운송의 시간가치 연구에서의 수렴값인 17,800원/대·시간을 적용하였다.

<표 6> 차종별 시간가치 산정

구 분	승용차	중형버스	중형 화물	대형 화물
평균시간가치 (원/대-시)	7,690	58,496	13,657 → 17,800	13,657 → 17,800

2) 교통안전 지표 (어린이 통행과 화물차와의 마찰지수)

화물자동차의 피해자 연령대별·차종별 사고 자료에서의 13세 이하 어린이의 사망사고 중 화물자동차에 의한 사고가 30.3%로 높은 것에 착안하여 어린이 횡단 통행수와 화물자동차의 통행과의 상충회수에 따른 마찰지수를 산정하여 평가지표로 활용하는 방법을 적용하였다.

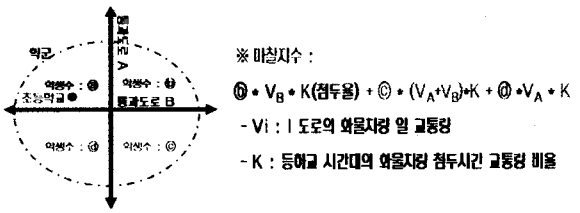


<그림 3> 차종별 등록대수 및 어린이 사망사고 건수

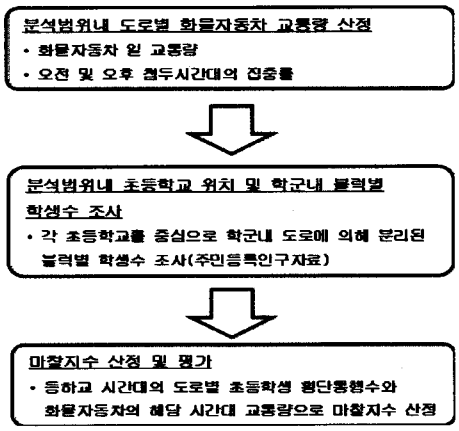
어린이 횡단 통행수는 초등학교의 학군을 지표로 하여 학군 내 화물자동차의 통행이 가능한 위계의 도로를 기준으로 산정하였고, 거주지에서 학교까지의 통행을 위한 도로 횡단회수를 산정하여 상충수를 적용하였다. 분석의 시간은 등교와 하교시간이 오전과 오후에 각각 이루어지는 특징을 고려하여, 오전·오후 각각의 첨두시 통행비율을 합산(12% 적용)하여 적용하였다. 이에 따라, 화물자동차 통행량을 바탕으로 등하교 시간대의 화물자동차와 어린이 통행수와의 상충 마찰지수(대·인/일)를 지표로 제시하였다.

$$\text{마찰지수} = \sum_{i=1}^{N}(V_i \times S_i \times (K_{ami} + K_{pmi}))$$

- N : 대상지역의 화물자동차 통행 가능 도로수
- Vi : i 도로의 중형·대형 화물자동차 일 교통량
- Kam(pm)i : i 도로의 화물차의 첨두시 집중율
- Si : i 도로를 횡단하여 등교하는 초등학교 학생수



<그림 4> 초등학교 학군내 블록 설정 및 마찰지수 산정 방법



<그림 5> 어린이 통행과 화물차와의 마찰지수 산정 절차

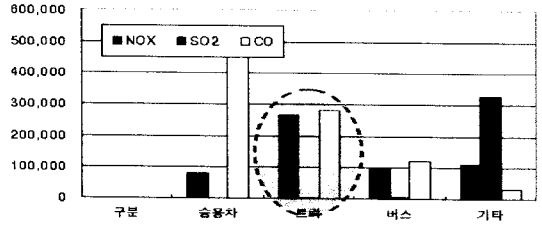
3) 환경 지표 (직접영향권내에서의 NO_X 노출지수)

일반적으로 자동차의 주행거리 증가가 곧 환경측면에서의 악영향이라는 등식이 성립하게 되는데, 화물자동차 통행관리제도의 기본적인 방식이 화물자동차에 대한 통행의 제약을 전제로 하기 때문에 통행관리제도에 대한 평가척도로 준용하는 것은 타당하지 못하므로, 대기오염 물질 중 화물자동차로 인한 영향이 가장 큰 오염원을

선정하여 이를 중심으로 직접 영향권내 대상인구에 대한 노출지수를 평가지표로 선정하였다.

(1) 평가대상 오염물질의 선정

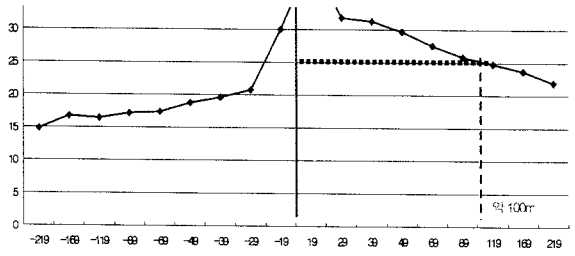
본 연구에서는 선오염원인 교통수단별 주요 오염물질의 배출량을 검토한 결과, 화물자동차로 인한 배출량이 교통수단 총 배출량의 48%에 이르는 연간 266,365톤인 질소산화물을 오염물질 지표로 선정하였다.



<그림 6> 교통수단별 대기오염물질 배출량 현황(1999년)

(2) 직접영향권의 설정

도로의 차량 통행으로 인한 주변지역으로의 영향을 도로로부터의 거리를 중심으로 측정한 『자동차 대기오염물질이 고속도로 인접지역에 미치는 농도 예측에 관한 연구, 1998, 박성규 외』에서는 도로 주변에서 자동차에 의한 NO_2의 영향권을 풍상측은 약 150m, 풍하측은 약 200m로 제시하였으나, 100m를 중심으로 그 이후 구간은 큰 변화가 없는 것으로 분석되었다.

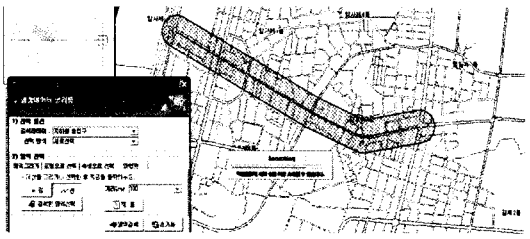


<그림 7> 도로주변 거리별 NO_X 농도 측정 결과

또한, 주택건설기준 등에 관한 규정 제9조에서는 소음과 관련하여 도로로부터 50m 이상 이격 배치하거나 수림대 등 방음시설 등의 완충녹지 개념을 규정하고 있음을 고려하여, 대기오염으로 인한 직접영향권을 도로중심선으로부터 100m까지로 선정하였다.

(3) 직접영향권내 인구 산정

직접영향권으로 선정한 도로중심선으로부터 100m내 지역의 대기오염에 노출된 인구의 산정은 주거지역의 경우 상주인구 중심으로 산정이 되어야 할 것이고, 상업지역이나 공업지역의 경우 상주인구와 함께, 근무자 및 이용객 등을 고려하여 상근 및 이용인구의 산정이 필요할 것이며, 해당지역에 머무르는 시간대가 토지이용 특성별로 상이하기에 세분화된 시간대별 대기오염 배출량과 영향권내 인구가 추정되어야 할 것이나, 본 연구에서는 주민등록인구자료를 근거로 한 상주인구로 산정하였다.



<그림 8> GIS를 이용한 직접 영향권내 거주인구 산정

(4) 오염원 배출량 산정

각 수단별 오염물질 배출량 산정방법은 환경부 고시내용을 준용하였다. 또한, 해당 도로에서 차종별 교통량 자료를 바탕으로 오염원 산정시 해당 오염원으로 인한 직접영향권을 100m로 산정하였기에 도로별 오염물질 배출량도 100m 주행 거리당 배출량을 산정하였다.

<표 7> 자동차 차종별 대기오염 배출계수

(단위 : g/km)

차 종	CO	HC	NO_X	비고
승용차	0.821	0.029	0.132	휘발유 차량
승용4 (버스)	2.282	0.623	6.139	경유 차량
화물3 (5t 이하)	2.039	0.777	3.531	경유 차량 (5t 이하)
화물3 (5t 이상)	3.068	0.859	10.305	경유 차량 (5t 이상)

자료 : 자동차 총 오염물질 배출량 산정방법에 관한 규정(환경부고시)

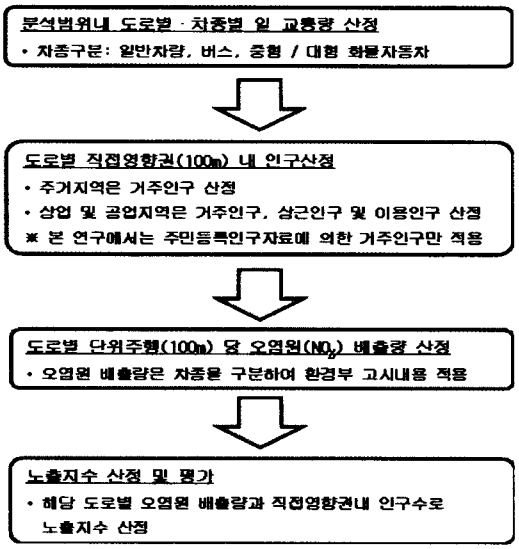
(5) NO_X 노출지수 산정

해당 도로별 100m 주행거리당 질소산화물 배출량에 따른 영향권내 거주인구와의 노출지수를 평가지표로 산정하였으며, 계산식은 다음과 같다.

NO_X 노출지수(kg · 인/일)=

$$\sum_{i=1}^{n}(Ri(a,b,t1,t2)\times K(a,b,t1,t2)\times(1/10)\times(1/1000)\times Pi)$$

- Ri : i 도로의 교통량
- K : NOx의 계수
- L : 영향권내 해당도로의 연장
- Pi : i 도로의 직접영향권내 거주인구수



<그림 9> 대기오염물질 노출지수 산정 절차

Ⅳ. 사례연구

1. 평가대상 통행관리제도 및 지역 선정

화물자동차 통행망 지정제도의 시행 전·후 분석을 위한 분석대상지역은 다음과 같은 사항을 고려하여 검토하였다.

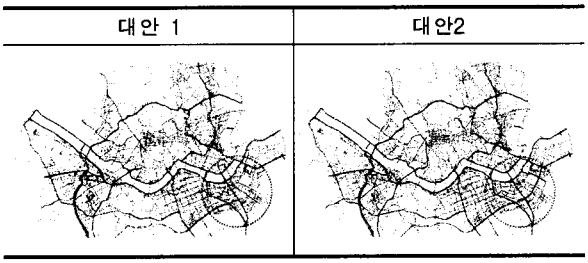
- 서울시의 주요 물류거점시설이 포함된 지역
- 화물차 지정 통행망에 의한 루트변경 발생이 확연하고, 영향권 내 화물자동차 총 통행량 변화가 적은 지역
- 기존 물류이동의 자료수집이 용이한 지역

이에 따라, 서울시의 주요 물류거점시설이 입지한 단위지구별로 검토한 결과, 대규모 물류거점 중 하나인 가락동 농수산물 도매시장이 입지하고 있고, 동부간선도로, 올림픽대로, 외곽순환고속도로, 천호대로 등의 화물자동차 통행경로로 둘러싸여 있으며, 대규모 주거지역이 입지하고 있는 송파구 일대의 지역을 본 연구 수행을 위한 분석대상지역으로 선정하였다.

<그림 10> 본 연구의 분석대상 지역

화물자동차 통행경로 지정제도의 대안은 동부간선도로, 올림픽대로, 천호대로, 외곽순환고속도로를 외곽 허용도로로 선정하고, 내부 송파지역상에서 대안별로 다음과 같이 화물자동차 통행경로를 지정하였다.

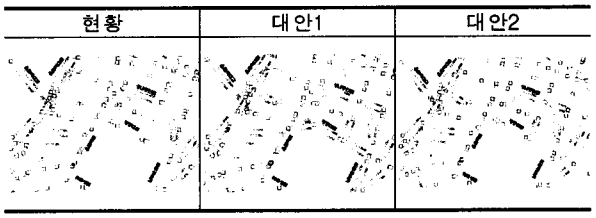
- 대안1 : 송파대로, 남부순환로(수서IC~가락시장 구간)
- 대안2 : 송파대로, 남부순환로(수서IC~길동사거리 구간), 강동대로



<그림 11> 대안별 화물자동차 권장 통행망

2. 화물자동차 통행관리제도 시행 전·후 분석

대안별 노선배정을 위해 「서울시 장래교통수요예측 및 대응방안연구, 2004, 서울시」에서 제공한 2006년 기준의 수도권 OD(1,142개존) 및 Network를 활용하여, Emme/2를 이용하여 분석하였으며, OD는 수단별 통행량을 전게서에서 제시한 재차인원을 적용하여 교통량으로 변환하고, 화물차 2개 차종과 일반차량으로 mf 파일을 생성하였으며, 해당 권역내 링크상의 모드 중 t(화물자동차)를 제거하여 지정 통행망으로만 화물자동차의 노선배정이 이루어지도록 수행 및 노선 배정시에는 multi-class assignment을 시행하여 수단별 통행량이 배정되도록 하였다.



<그림 12> 분석대상 지역(올림픽대교)의 Assign 결과

시행 전·후 분석결과의 합리적 도출 여부 판단을 위하여 코든 라인의 시행 전·후 유출입 교통량을 비교하였으며, 시행 전·후의 교통량 변화는 1% 미만으로 분석의 타당성을 확보하였다.

<표 8> 화물자동차 규제 전·후 유출입 교통량

(단위: 대/일, %)

구분		일반차량	중형화물차	대형화물차	합계
시행전		1,940,818	57,951	15,520	2,014,289
시행후	대안1	1,957,360	57,204	15,256	2,029,820
	대안2	1,954,829	57,419	15,332	2,027,580
증감	대안1	+16,542 (0.9%)	+747 (-1.3%)	+264 (-1.7%)	15,531 (0.8%)
	대안2	+14,011 (0.7%)	+532 (-0.9%)	+188 (-1.2%)	13,291 (0.7%)

1) 차량운행비용 및 통행시간비용의 분석

1일 기준 차량운행비용은 대안1은 7.5억원/일, 대안2는 5.0억원/일이 증가하였고, 통행시간비용은 대안1 32.4억원/일, 대안2는 31.1억원/일이 증가한 것으로 분석되었다. 또한, 통행량이 많은 중형 화물자동차가 우회함으로 인해 통행시간비용 변화가 시행 전·후에 큰 것으로 분석되었다.

<표 9> 규제 전·후 분석 범위내 차량운행비용 변화

(단위: 억원/일)

구분		일반 차량	버스	중형 화물차	대형 화물차	합계
시행전		416.9	48.9	64.4	80.8	611.0
시행후	대안1	416.7	48.9	68.0	84.9	618.5
	대안2	417.2	49.1	65.8	83.9	616.0
증감	대안1	- 0.2	-	+ 3.6	+ 4.1	+ 7.5
	대안2	+ 0.3	+ 0.2	+ 1.4	+ 3.1	+ 5.0

<표 10> 규제 전·후 분석 범위내 통행시간비용 변화

(단위: 억원/일)

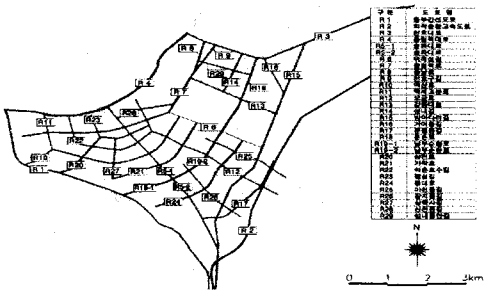
구분		일반 차량	버스	중형 화물차	대형 화물차	합계
시행전		8,131.9	4,435.1	1,050.3	379.6	13,996.9
시행후	대안1	8,132.2	4,432.0	1,071.2	393.9	14,029.3
	대안2	8,134.7	4,434.3	1,067.7	391.3	14,028.0
증감	대안1	+ 0.3	- 3.1	+ 20.9	+ 14.3	+ 32.4
	대안2	+ 2.8	- 0.8	+ 17.4	+ 11.7	+ 31.1

2) 어린이 등하교 통행과 화물차와의 마찰지수 분석

어린이 등하교 통행과 화물자동차간의 마찰지표 산정을 위해서는 분석대상 지역내 초등학교와 각각의 학군, 도로망 및 학군내 블록 중 도로횡단이 필요한 지역의 학생수와 횡단도로의 시행 전·후의 차종별 교통량(첨두시간) 등이 필요하다.

(1) 도로별 화물자동차 교통량 산정

해당 지역 내에는 29개의 도로망에 대해 통행관리제도 시행전(현황), 시행후(대안1, 2)에 대하여 산출하였으며, 첨두시간 비율은 도로별로 산출하여야 하나 본 연구에서는 일괄적으로 0.12(오전 및 오후 첨두시간 비율의 합)를 적용하였다.



<그림 13> 분석대상 지역내 도로망 현황

(2) 초등학교 위치 및 학군내 블록별 학생수 조사

분석대상에는 39개의 초등학교가 있으며, 집산도로 이상의 도로에 의해 학군내에서 분할되어진 곳은 29개 학군내 46개 블록이다.

<그림 14> 분석대상 지역내 초등학교 학군 현황

통학을 위하여 도로횡단이 필요한 블록내의 초등학교 학생수는 GIS(공간데이터웨어)를 활용하여 초등학교 취학아동(1995년~2000년 출생자) 인원을 조사하였다.

(3) 마찰지수 산정 및 평가

마찰지수 산정 결과, 화물자동차의 통행제한 시행 전에는 2,972,284 대·인/일의 화물자동차와 초등학교 등하교 학생간의 상충이 일어났으나, 시행 후에는 대부분의 도로가 화물자동차 통행이 제한되었고, 일부 허용된 도로들도 왕복 8차로 이상의 간선도로로서 초등학교 학군의 경계가 되는 도로여서 마찰지수가 대안1은 262,065 대·인/일, 대안2는 409,220대·인/일로 시행 전 대비 8.8%~13.8% 수준으로 마찰이 감소하였다.

<표 11> 분석대상 지역내 마찰지수 산정 결과

(단위: 대·인/일)

구분	미시행시 상충횟수	시행시 상충횟수	
		대안 1	대안 2
상충횟수	2,972,284	262,065	409,220

3) 직접영향권내에서의 NO_X 노출지수 분석

(1) 통행관리제도 시행에 따른 NO_X 총 배출량 검토

화물자동차 통행제한에 따른 환경오염물질의 배출량은 통행량 및 통행거리와 밀접한 관계가 있는 사항으로 통행제한에 따른 화물자동차의 우회거리가 발생하게 되면 대부분 총 배출량은 늘어나게 된다. 물론, 총량개념에서 오염물질 전체 발생량이 늘어나면, 결코 바람직하다고 볼 수 없는 것이 사실이나, 전체 발생량의 차이가 미미하다면 결국 오염물질에 따른 피해가 최소화 될 수 있는 방안의 선택이 현명하다고 하겠다. 이러한 견지에서 화물자동차 통행제한에 따른 NO_X 전체 발생량을 분석하였다. 유발되는 NO_X의 발생량을 산정한 결과, 시행 후가 시행 전에 비해 대안1은 410.6kg, 대안2는 207.3kg의 오염물질이 더 배출되는 것으로 나타났으나, 이는 0.3%가 채 안되는 미미한 양의 증가로 분석되었다. 이에 따라, 오염물질(NO_X)과 거주인구와의 노출지수의 산정 결과는 의미를 가질 것으로 판단된다.

<표 12> 통행제한 시행 전·후 NO_X 배출량 비교

(단위: kg)

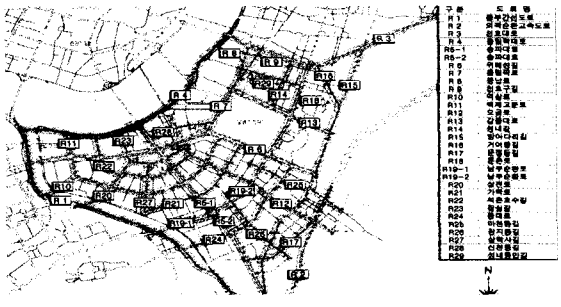
구분		승용차	버스	중형 화물차	대형 화물차	합계
시행전		17,188.5	57,314.7	30,199.3	40,487.6	145,190.1
시행후	대안1	17,193.9	57,317.2	30,391.8	40,697.8	145,600.7
	대안2	17,190.0	57,316.4	30,334.1	40,566.9	145,397.4
증감	대안1	5.4	2.5	192.5	210.2	410.6
	대안2	1.5	1.7	134.8	69.3	207.3

(2) 분석범위내 도로별·차종별 일 교통량 산정

분석범위내의 29개 도로에 대하여 Emme/2를 이용한 노선배정을 통해 교통량을 산정하였다.

(3) 도로별 직접영향권(100m) 내 인구산정

도로 주변 영향권(반경 100m)내의 거주인구 조사를 위하여 GIS(공간데이터웨어) 프로그램을 사용하여 각 도로의 직접영향권내 주민등록상 거주자 인원을 산정하였다.



<그림 15> 분석대상 지역내 도로별 영향권 종합

(4) 도로별 단위주행(100m) 당 NO_X 배출량 및 노출지수

도로별 NO_X 배출량 및 영향권내 인구를 통해 노출지수를 산정한 결과, 시행후 대안1은 노출지수가 11.9% 감소하고, 대안2는 10.3%가 감소하여 시행에 따른 환경오염 노출지수는 감소하는 것으로 검토되었다. 즉, 전체 Network 상에서의 총 오염물질 발생량은 극히 미미한 수준으로 증가하였으나, 통행경로가 주거 밀집지역 등을 피해 지정됨으로 인해 차량의 대기오염물질 배출에 따른 직접영향권내 주민의 NOX에 대한 노출정도는 감소하는 것으로 해석된다.

<표 13> 통행제한 시행 전·후 NO_X 배출량 및 마찰지수

구분	영향권내 인구	단위주행 당 NO_X 배출량(kg/100m)			NO_X 마찰지수(톤·인/일)		
		시행 전	시행후		시행 전	시행후	
			대안1	대안2		대안1	대안2
총	3,000,052	102.1	90.8	91.1	12,415.8	10,935.8	11,132.0

3. 분석결과 종합

화물자동차 통행망 지정제도에 대한 올바른 판단을 위하여 기존 일반적인 방법론인 VOC 및 VOT 분석과 추가적으로, 교통안전과 환경에 관한 효과지표를 개발하여 적용해 보았다. 앞서 통행경로 지정의 원칙에서 거주성 및 안전성 항목이 들어가 있기에 전형적인 차량운행비용이나 통행시간가치는 제한제도 시행 후 다소 증가하였으나, 화물자동차와 어린이 보행자간 상충에 따른 마찰지수나, 영향권내 거주인구에 대한 환경오염 물질(NOX)의 노출지수는 줄어드는 것으로 분석되었다.

결과적으로, 기존의 평가방법으로는 설명되어질 수 없었던 교통안전 및 환경 측면에 대해 평가지표를 제시함으로서, 보다 다각적인 측면에서의 화물자동차 통행관리제도에 대한 대안별 비교가 가능해졌다.

<표 14> 통행제한 시행 전·후 종합 비교

구분		차량운행비용 (억원/일)	통행시간가치 (억원/일)	마찰지수 (대·인/일)	노출지수 (톤·인/일)
시행전		611.0	13,996.9	2,972,284.0	12,415.8
시행후	대안1	618.5	14,029.3	262,065.0	10,935.8
	대안2	616.0	14,028.0	409,220.0	11,132.0
증감	대안1	7.5 (1.2%)	32.4 (0.2%)	-2,710,219.0 (-91.2%)	-1,480.0 (-11.9%)
	대안2	5.0 (0.8%)	31.1 (0.2%)	-2,563,064.0 (-86.2%)	-1,283.8 (-10.3%)

주 : 음영부분은 본 연구에서 개발한 평가지표임.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구에서는 화물자동차의 통행관리제도를 평가함에 있어, 기존의 물류효율 및 교통소통측면의 차량운행비용(VOC) 및 통행시간비용(VOT) 일변도에서 탈피하여 최근 중요성이 강조되고 있는 교통안전 및 환경과 관련하여 평가지표를 개발하였다.

교통안전과 관련하여서는, 화물자동차의 통행과 어린이 교통사고와의 상관관계를 근거로 하여 화물자동차와 초등학교 학생의 통학통행과의 첨두시간대 상충수를 기본 지표로 하여 평가지표 산출방법에 대해 살펴보았다. 또한, 환경과 관련하여서는 단순히 총량개념으로만 접근하던 방식에서 탈피하여 오염물질 배출 총량이 유의수준 내의 비슷한 수준임을 밝히고, 이를 근거로 총량개념이 아닌 거주인구와의 노출지수 개념으로 접근하여 화물자동차 통행관리제도 전·후의 영향을 산출하는 방법으로 전개하였다. 특히, 본 연구에서 살펴 본 평가방법을 토대로 화물자동차 통행망 지정제도의 대안별 비교도 가능하며, 역으로 평가지표가 곧 화물자동차의 통행관리제도의 달성목표이기도 하다.

물론, 본 연구에서 개발한 안전과 환경측면의 평가지표 역시 해당 부문의 특정한 단일지표이기에 총체적인 시행 전·후 분석을 하기에는 여전히 부족한 면이 있다. 그러나, 무엇보다도 계량화의 문제로 심도 있게 논의되지 못하던 교통안전과 환경측면의 평가지표를 수립하였으며, 4가지의 평가항목이 동일한 단위로 정리되지 못하여 정책 결정시 애로사항은 있으나, 기존 차량운행비용과 통행시간비용만을 산정하여 평가하던 것과는 다르게 다양한 관점에서의 화물자동차 통행관리제도에 대한 평가방법을 제시하였다. 또한, 동일 단위가 아닌 부분에 대해서는 각 집단별 가중치 및 점수부여를 통해 총체적인 의사결정 과정으로 이끌어 가는 목표달성법 등에 의해 충분히 정책결정을 위한 기초지표로 활용될 수 있으리라 기대한다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서 특정지역 내에 일부 통행망을 제외하고는 화물자동차의 진출입이 금지되었다. 이에 따라, 화물자동차가 배제된 도로 내에서의 교통소통이 원활해 지리라는 예측을 하였다. 그러나, Emme/2 프로그램을 통한 노선배정 결과, 화물자동차 외의 일반차량 통행량이 증가하여 소통이 원활해지는 결론은 도출되지 않았다. 물론, 이는 프로그램에 의한 추정 결과이므로 현실에서는 일반도로의 중차량 혼입율이 낮아져 소통효율이 증대되어지리라는 판단도 들지만, 브레스의 파라독스(Braess Paradox)의 예처럼 용량의 증가가 소통의 원활로 반드시 귀결되어지는 것은 아닌 듯 하다.

본 연구에서는 평가방법으로서 새로운 평가지표 산정에 대한 방법론을 제시하였다. 아쉬운 점은 평가지표 산정 이후, 이를 토대로 한 의사결정의 합리화 과정에 대해 언급이 되질 못했다. 일반적으로 타당성과 관련하여서는 모든 평가지표가 화폐화되어 의사결정의 단순화를 도모하나, 실제 무리한 화폐단위로의 전환은 해당 평가지표의 본질이 경시될 수도 있다는 점에서 본 연구는 환경이나 교통사고의 비용추정은 배제하였다. 그러나, 각각의 평가지표별 단위를 가지고 타당한 결론을 도출할 수 있는 의사결정의 방법론에 대해서는 좀 더 연구가 필요하리라 생각되며, 환경측면에서의 평가방법도 단일지표(본 연구에서는 질소산화물에 국한되어 평가)가 아닌 좀 더 총제적인 지표를 검토·반영할 수 있는 접근방법의 연구가 필요하리라 여겨진다.