

[연구논문]

서울시 화물통행망을 이용한 화물차 통행우대정책 효과분석

Analysis of the Effects of Freight Trip Preference Policies Using A Freight Movement Network for Seoul

엄진기* · 황기연**

목 차

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| I. 서론 | IV. 화물차 통행우대정책 사례분석 |
| II. 정책분석을 위한 화물통행망 구축 | V. 결론 |
| III. 분석모형의 검토 | |

ABSTRACT

Jin-ki Eom · Kee-Yeon Hwang

Using the freight trip survey data, Seoul Metropolitan Government built a freight movement network which contributes to reduce social cost caused by freight transport. Based on the freight movement network, freight trip preference policies need to be studied. The purpose of this study is to analyze the impacts of various freight trip preference policies for Seoul.

In this research, we tested three preference policies; 1) Prohibiting auto-vehicles from entering to major freight generating block, 2) Charging tolls on all vehicles except trucks on Olympic urban freeway, 3) Releasing truck barrier in Seoul.

We analyzed the impacts of three policies and found for the first policy that the average travel speed in CBD does not change when auto vehicle trips are restricted from Jongro-5ga to 7ga. In the second, the total travel cost in Seoul is minimized when 2,000won tolls are levied on vehicles on Olympic road, from Yoi-do to Zamsil, during off peak. And for the third, the network-wise average travel speed in Seoul is estimated to improve from 26.2km/h to 26.5km/h if truck barriers in Seoul are released.

* 서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구원

** 서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구위원

I. 서론

1. 연구의 목적

서울시 도시내 화물 운송효율의 저하로 화물차량 통행수가 증가하여 교통체증을 심화시키고 물류비용 증가, 대기오염 및 소음 등 환경문제, 교통사고증가 등 사회적 비용을 야기시키고 있다. 화물통행의 사회적비용을 감소시키고 운송효율을 높이기 위해 서울시에서는 최근 대규모 물류조사 및 물류종합계획수립 구상연구(서울시, '98)를 수행하여 화물관련 데이터의 구축이 가능하게 되었다. 자료를 활용하여 서울시는 화물차량의 주요 이동 경로를 나타내는 화물통행망을 구축하게 되었으며 이의 적극적인 활용이 필요한 시점에 이르렀다.

본 연구에서는 구축된 화물통행망을 활용하여 화물차량 우대정책에 관한 사례연구를 수행하고자 한다. 화물차량의 운행효율을 높이기 위한 우대정책 대안으로는 화물차우대 통행료징수, 화물차전용구간, 화물통행제한 완화 등 3가지를 선정하여 분석하도록 한다.

2. 연구방법론

본 연구의 구성은 제2장에서 화물통행망을 구축하고 이어 3장에서는 본 연구에서 적용한 분석모형을 제시한다. 4장에서는 화물통행망의 일부구간 및 지점에서 화물통행우대정책을 시행했을 경우에 대한 사례분석을 시행한다. 정책대안으로 화물차량 전용구간의 승용차 진입규제, 화물차량 우대 통행료 징수, 화물차량 통행제한 완화 등 3가지를 선정하고 각 대안별로 분석방법과 결과를

제시한다. 5장에서는 본 연구의 결론으로서 화물통행우대 정책시행의 필요성 및 문제점을 언급한다.

화물통행 우대정책 효과분석을 위한 화물통행망은 '99년 「도시화물의 효과적인 수송체계 구축방안」(시정개발연구원)에서 구축된 통행망을 이용하며, 통행량 자료로 서울시 물류조사 및 물류종합계획수립 구상(1998)에서 제시한 중존단위의 화물차량 O/D를 토대로 소존(행정동)단위의 통행량으로 재구성한 화물O/D자료와 '96년 서울시 교통센서스의 사람통행O/D 자료를 활용한다.

II. 정책분석을 위한 화물통행망 구축

서울시 화물통행망은 ① 신속, ② 저렴, ③ 편리, ④ 안전 등 4가지를 기본원칙으로 하여 선정되었다. 첫째, 화물을 신속하게 이동시키기 위해 도로용량이 큰 도시고속도로와 주요 간선도로를 포함하였으며 둘째, 통행비용 절감을 위해 화물 O/D에 기초한 최단 경로를 파악하였다. 셋째, 물류거점시설(화물터미널, 대규모유통단지, 공항, 철도역, 항구 등)과 연결시켜 편리하게 접근가능하도록 하였으며, 넷째, 안전하게 화물을 실어 나르기 위해서는 교량, 터널과 같은 구조물의 안전을 고려해야 하므로 운행제한 도로시설을 반영하고 주거밀집지역, 소매상 밀집지역, 보행자 밀집지역의 도로등을 통행망에서 제외하였다. 서울시 화물교통망은 기본원칙을 고려하여 단계별로 구축되었다(시정개발연구원, 1999).

위에서 제시한 원칙에 따라 서울시 화물통행망은 화물차량 1,000대/일 이상 및 화물차구성비 10%이상 도로와 물류입지시설간 도로, 간선도로 정비 기본계획상 지정된 도로들 중 운행제한 시

설을 제외한 모든 도로들이다(<그림 1> 참조). 따라서 화물통행망은 도로분류체계상 집산도로 이상인 도로들 중 화물통행이 일정수준 이상인 도로망을 의미한다(시정연, 도시화물의 효과적인 수송체계 구축방안 연구, 1999 참조).



<그림 1> 서울시 화물통행망

III. 분석모형의 검토

본 연구에서 화물통행 우대정책 사례로 선정한 화물차전용구간의 승용차 진입규제, 화물차우대 통행료 징수제도, 화물차량의 통행제한 완화 등을 분석하기 위한 방법으로 다계층 노선배정법(Multi-class Assignment)을 이용한다. 화물통행 우대정책에 따른 사례 분석을 위해서는 화물차량과 이를 제외한 승용차수단 그리고 대중교통수단인 버스, 택시가 정책대안별로 서로 다른 통행비용을 가지게 된다. 따라서 다계층 수단(Multi Mode)에 대해 서로 다른 통행비용을 감안한 노선배정이 필요하다.

본 연구에서 적용을 위한 다계층 노선배정모형은 기존에 연구되었던 다계층 노선배정모형과 차이가 있다. 일반적인 다계층 노선배정모형은 각 수단별로 링크의 통행비용함수를 달리 적용하여

전체 교통망의 총 통행비용을 최소화되는 상태의 노선배정을 의미한다.

예를 들어 승용차, 버스, 트럭의 3개 수단에 대한 총 통행비용 최소화는 (식1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\min Z(x_A, x_B, x_T) = \sum_a \int_0^{x_{Aa}} t_{Aa}(\omega) d\omega + \sum_a \int_0^{x_{Ba}} t_{Ba}(\omega) d\omega + \sum_a \int_0^{x_{Ta}} t_{Ta}(\omega) d\omega \dots\dots\dots (식1)$$

subject to

$$\sum_k f_{Ak}^{rs} = q_A^{rs}, \sum_k f_{Bk}^{rs} = q_B^{rs}, \sum_k f_{Tk}^{rs} = q_T^{rs} \quad \forall k, r, s \quad (식3)$$

$$f_k^{rs} = f_{Ak}^{rs} + f_{Bk}^{rs} + f_{Tk}^{rs} \quad (식4)$$

$$q^{rs} = q_A^{rs} + q_B^{rs} + q_T^{rs} \quad (식5)$$

$$x_{Aa} = \sum_r \sum_s \sum_k f_{Ak}^{rs} \delta_{A,a,k}^{rs}$$

$$x_{Ba} = \sum_r \sum_s \sum_k f_{Bk}^{rs} \delta_{B,a,k}^{rs}$$

$$x_{Ta} = \sum_r \sum_s \sum_k f_{Tk}^{rs} \delta_{T,a,k}^{rs} \quad \forall a$$

$$x_a = x_{Aa} + x_{Ba} + x_{Ta}$$

식에서 x 는 링크 통행량을 f 는 경로 통행량을 나타내며 r, s 는 각각 기점과 종점을 의미한다. $\delta_{A,a,k}^{rs}$ 는 기점 r 과 종점 s 를 연결하는 O/D에서 A수단이 이용하는 링크 a 가 경로 k 에 속하면 1의 값을 가지게 되며 그렇지 않은 경우 0의 값을 가지게 된다.

(식1)과 같이 다양한 통행수단의 총 통행비용을 최소화하는 목적함수의 최적화를 위해서는 기존의 단일 수단의 비용최소화를 위한 Beckmann(1956)의 수학적모형으로는 수렴성을 갖는 해의 존재를 확인할 수 없다고 알려져 왔다. 따라서 본 연구에서는 이러한 모형의 제약을 극복하기 위해 기존의 Frank-Wolfe 알고리즘을 그대로 적용할 수 있도록 다계층 노선배정문제를 간단히

적용한 emme/2 알고리즘을 이용하도록 한다.

emme/2에서는 통행수단별로 통행비용함수를 달리 적용하지 않고 모든 링크에 대해 같은 비용함수를 가지며 특정링크의 비용부문을 계층별로 부담정도가 다르게 반영하여 각 계층별 통행비용을 달리 적용할 수 있도록 단순화하였다. 따라서 특정링크 구간을 제외한 기타링크에 있어서 통행비용함수를 모든 수단이 공유하는 문제점이 있지만 기존 다계층노선배정법의 유일해 존재여부와 관계없이 Beckmann(1956)의 수학적모형을 (식8)과 같이 단순화하여 기존의 이용자균형노선배정모형 형태로 변환하여 유일해를 가질 수 있도록 하였다. 따라서 유일해를 찾기 위해 사용되던 Frank-Wolfe 알고리즘을 그대로 적용할 수 있다.

$$s_a^m(v_a) = s_a(v_a) + b_a^m, \quad a \in A, \quad m \in M. \quad (\text{식7})$$

$$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} s_a(v) dv + \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} v_a^m b_a^m \quad (\text{식8})$$

(식7)의 통행비용함수에서, b_a^m 은 특정링크-통행료 징수구간을 예로 들면-a에 대하여 계층 m이 인지하는 비용을 의미하며, (식8)은 Convex Optimization Problem으로 변환한 식으로서 기존 링크비용과 특정링크비용을 결합한 총비용의 최소화를 의미한다.

IV. 화물차 통행우대정책 사례분석

본 절에서는 화물차량의 이용도가 높은 통행망을 선정하여 화물차량 우대정책 대안에 대하여 사례분석을 수행한다.

1. 사례 1 : 화물전용구간 승용차 진입규제

1) 내용 및 분석 방법

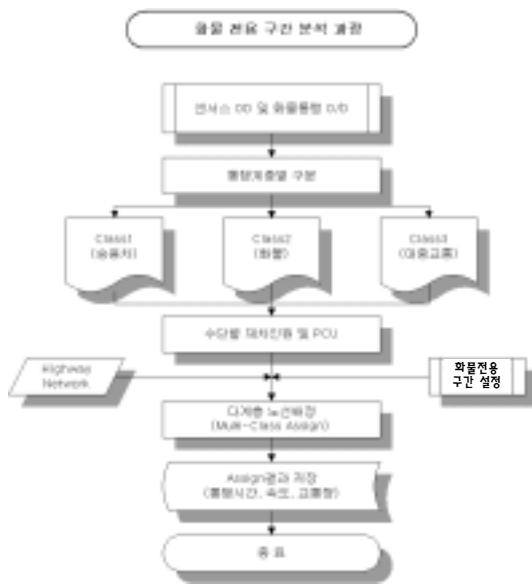
본 연구에서 화물차 전용구간은 선정된 화물통행망 중 화물차량의 불법주차, 상습적인 노상적치 행위, 잦은 차량 진출입으로 인해 도로기능 저하가 현저하게 발생되고 있는 청계5가에서 7가 사이의 상업지구에서 화물차 전용구간 실시를 검토하였다.

청계천 5가에서 7가 사이의 구간평균속도는 낮점두시 3.7km/h로 매우 열악한 상태에 있으며 교차로 지체시간 또한 150초/대 이상으로 극심한 혼잡을 보이고 있다(<표 1> 참조). 이러한 지체의 원인은 동대문상가로 진출입하는 차량들과 화물차량의 조업 및 불법주차로 인한 것으로 조사되었다. 따라서 청계5가에서 7가 사이의 상업지구에 특정시간대에 화물차량과 대중교통 수단만 통행할 수 있도록 화물차 전용구간으로 선정하여 화물차량의 조업활동을 집중적으로 할 수 있도록 가정하였다. 분석시간은 승용차의 출·퇴근 첨두시를 제외한 비첨두 1시간을 대상으로 하였으며, 분석방법은 <그림 2>와 같이 다계층 노선배정법을 이용하였다. 화물차 전용구간을 지정하여 화물차량과 대중교통 이외의 통행수단에 대하여 전용구간을 통과하지 못하도록 하였을 때 통행속도 변화를 살펴봄으로써 화물전용구간에 대한 시행가능성 여부를 분석한다.

<표 1> 청계로 낮첨두시 교통현황

구 분	속도(km/h)		교통량 (대/시)	평균 지체시간 (초/대)
	도심 방향	외곽 방향		
청계5가 ~ 청계7가	3.7	5.9	8,484	154

자료) 서울시, 1999



<그림 4> 화물 전용구간 분석과정도

<표 2> 통행계층 분류

구분	계층별 수단	
통행계층	class 1	승용차
	class 2	기타차량(택시, 버스 등)
	class 3	화물차량

2) 분석결과

화물차 전용구간 분석결과 청계5가에서 8가 사이를 화물전용구간으로 지정하였을 경우 승용차 진입규제에 따른 청계5가에서 7가 사이의 통행속도 개선효과와 우회도로의 일부구간 속도저하가 서로 상쇄되어 도심전체의 통행속도에 미치는 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 따라서, 화물전

<표 3> 승용차와 화물차량의 도심 통행속도 예측

시행 전 · 후 통행속도(km/h)		
도심	시행전	시행후
	14.78	14.80

주) 시행전 속도는 '99년 도심의 낮시간대(11:00-14:00) 관측 속도임.

용구간은 도심가로 소통측면에서 큰 악영향을 주지 않고 시행할 수 있는 대안으로 판단된다.

2. 사례 2 : 화물차량우대 통행료 징수제도

1) 내용 및 분석 방법

화물차량우대 통행료 징수에 따른 사례연구는 화물통행망에 속한 도로로서 화물차량의 통행구성비가 높은 올림픽대로를 대상도로로 선정하였다. 올림픽대로는 동작대교에서 반포대교까지의 구간이 하루중 가장 혼잡하며 특히 비첨두시의 화물차량 구성비가 약 30%로 높은 구성비를 차지하고 있다(<표 4> 참조).

<표 4> 올림픽대로 교통현황(국립표지-반포)

구분	화물교통량 대/시(%)		평균속도(km/h)
	오전첨두	892(13.5)	
	비첨두	1,872(29.8)	
	오후첨두	1,254(18.1)	

1) 자료 : 서울시, '99

2) %는 기타차량대비 화물차 구성비

본 연구에서는 적용가능한 화물차량우대 통행료 징수대안으로서 오전·오후 첨두시와 화물차량이 주로 통행하는 비첨두시에 올림픽대로 전구간 및 여의도-잠실구간에 대해 통행료를 징수하는 6가지 대안을 선정하였다(<표 5> 참조). 통행료 징수는 시설측면에서 징수가능여부를 고려하지 않고 올림픽대로에 진입하는 승용차량들을 대상으로 진입램프에서 남산1·3호터널의 혼잡통행료와 같은 수준의 통행료 2,000원을 부과하는 것을 단순 가정하였다.

분석방법은 통행료에 징수대상인 계층(class1 : 승용차)과 그렇지 않는 계층(class2, 3, 4 : 화물차,

<표 5> 화물우대 통행료 징수대안별 내용

시간대별	구간별	
	올림픽대로 (전구간)	올림픽대로 (여의도-잠실)
오전첨두시	대안 I	대안 II
오후첨두시	대안 III	대안 IV
비첨두시	대안 V	대안 VI

대중교통수단)으로 먼저 구분하였으며, 화물차량을 다시 통행제한을 반영하기 위해 톤급별로 구분하였다. 통행료 적용에 따른 승용차 감축량은

<표 6> 통행계층분류

통행계층	
class 1	승용차
class 2	기터차량(화물 3.5톤 이하 포함)
class 3	화물 3.5-10톤 이하
class 4	화물 10톤 이상



<그림 3> 화물차량우대 통행료 분석과정도

SECOMM의 Logit모형 Parameter값을 적용하였다(황기연 외, 1999). 계층별 구성수단은 <표 6>과 같으며 계층별로 구분된 O/D를 이용하여 다계층 노선배정을 실시하였다(<그림 3> 참조).

2) 분석결과

화물차 우대 통행료 징수대안별 분석은 시행 전·후 각 통행계층별 총 통행시간을 비교함으로써 시행효과를 살펴보고자 한다. 총통행시간 분석은 서울시 전체 도로시스템에 미치는 영향을 고려하기 위해서 화물통행망상의 모든 가로를 포함한 서울시 전체 도로를 대상으로 하였다.

분석결과 오전 첨두시 올림픽도로 전체구간 및 일부구간의 통행료 징수는 모든 계층별로 통행시간이 증가함에 따라 화물차우대를 위한 통행료 시행이 화물차량 통행시간단축을 가져오지 못하고, 오히려 서울시 교통체계상 지체를 유발함에 따라 전체 통행시간이 증가하는 것으로 분석되었다. 오후 첨두시에는 올림픽대로 전구간에 대하여 통행료를 징수할 경우 주요구성비가 소형화물차량인 계층과 10톤 이상 대형화물차량 계층에 대해서 통행시간이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 여의도-잠실구간에 대해서만 징수하였을 경우에는 모든 계층에서 통행시간의 개선이 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서, 오전 첨두시에 나타난 결과와 같이 오후 첨두시에도 일부구간에 대해서만 통행료를 징수하는 것은 오히려 가로에 악영향을 미치는 것으로 분석되었다(<표 7> 참조).

비첨두시 전구간 징수시에는 10톤 이상 대형화물에서만 통행시간 개선을 가져오는 것으로 분석되어 통행제한 및 운행제한으로 인해 주로 도시고속도로를 이용하여 서울시를 통과하는 대형화

<표 7> 대안별 평균통행시간 비교

시행 전·후 총통행시간 비교						
구분	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5	대안6
승용차	시행전 <후	시행전 <후	시행전 <후	시행전 <후	시행전 <후	시행전 >후
기타차량 (화물3.5톤 이하 포함)	시행전 <후	시행전 <후	시행전 >후	시행전 <후	시행전 <후	시행전 >후
화물 3.5-10톤 이하	시행전 <후	시행전 <후	시행전 <후	시행전 <후	시행전 >후	시행전 >후
화물 10톤이상	시행전 <후	시행전 <후	시행전 >후	시행전 <후	시행전 >후	시행전 >후

주) 음영은 통행시간 감소를 나타내는 그룹(class).

물차량이 통행료 징수에 따른 효과가 가장 큰 것으로 볼 수 있다. 즉, 소형화물차량은 통행료 징수에 따른 올림픽대로상 통행시간 감소부분이 올림픽대로를 벗어남으로써 일반차량들과 혼재됨에 따라 상쇄되고 오히려 통행시간이 더 증가되는 것을 알 수 있다.

비첨두시 여의도-잠실구간의 통행료 징수는 모든 통행계층에 대하여 통행시간 개선을 가져옴에 따라 화물우대 통행료 징수대안 중 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

이때의 여의도-잠실구간의 통행속도는 55.7km/h에서 57.4km/h로 1.7km/h로 개선되는 것으로 나타났다. 여의도-잠실 구간의 통행속도 개선이 크지 않은 것은 기타 구간에서 유입되는 차량들에 의한 것으로 해석된다(<표 8> 참조).

<표 8> 올림픽대로(여의도-잠실) 통행속도변화(비첨두)

통행속도(km/h)		
올림픽대로 (여의도 - 잠실)	시행전	시행후
	55.7	57.4

3. 사례 3 : 화물차량의 통행제한 완화

1) 내용 및 분석 방법

본 연구에서 화물차량에 대한 통행제한을 완화하였을 경우의 효과분석은 화물차량의 통행제한을 모두 해제하였을 경우를 가정하였다. 화물차량의 통계를 극단적으로 해제하였을 경우 어느 정도의 속도개선 효과를 가져오는가를 살펴봄으로써 추후 통행제한 완화의 가능성여부를 분석하도록 한다.

서울시 화물차량의 통행제한은 도심구간과 올림픽대로를 중심으로 시간대별 통행을 제한하고 있다. 따라서 화물첨두시(11:00)를 분석시간대로 하여 통행제한구간과 톤급에 따라 통행계층을 달리 적용하였다.

<표 9> 차량통행제한 가로구간 계층별(CLASS) 구분

구분	계층1	계층2	계층3
화물제한 총톤수	3.5톤-10톤	10톤 이상	3.5톤 미만
통행제한 가로구간	도심유출입 도로	도심유출입 도로 (올림픽대로)	해당없음
분석 시간대	11:00	11:00	해당없음

주) 1. 화물제한 총톤수는 서울시의 통행제한 가로현황을 기준으로 구분하였음.
2. 통행제한 가로구간은 각각 속성값 1을 가지도록 함.
3. 통행량 적용비율은 『서울시 중차량 운행제한체계 개선 방안 연구, 시정개발연구원, 1998』의 차량톤급별 등록대수, 평균적재율 등을 고려하여 산출하였음.

2) 분석 결과

통행제한을 해제하였을 경우에 대하여 노선배정을 실시하여 비교한 결과 기존에 통행제한 구간인 도심도로를 중심으로 화물교통량이 증가하는 것으로 분석결과 나타났다.

<표 10>은 통행제한 해제시 서울시 속도변화를 분석한 것으로 서울시 전체적으로 속도가 26.18km/h에서 26.49km/h로 0.31km/h 개선되는 것

으로 나타났다.

도로별로 살펴보면 도심 및 방사간선도로는 다소 개선이 된 반면, 도시고속도로는 속도저하를 보이고 있다. 도심부도로는 통행제한해제에 따라 일부 해제구간에서 교통량이 늘어났지만 도심을 통과하는 전체 화물차량의 통행량은 감소하였고, 이러한 원인은 기존의 3.5톤 이상 화물차량들이 도심부도로 또는 방사간선도로에서 올림픽대로와 같은 도시고속도로로 통행의 전환을 가져옴으로써 도시고속도로의 속도를 다소 저하시킨 결과로 해석된다.

그러나, 서울시 전체적으로 화물차량 구성비 중 현재 통제를 받고 있지 않은 3.5톤 미만의 화물차량이 80% 이상임을 고려하였을 때 통행제한 해제에 따라 통행속도에 영향을 미치는 차량은 전체 차량들 중 상당히 적은 구성비를 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 서울시 통행제한 해제시 큰 속도개선은 이루어지지 않을 것으로 판단된다.

<표 10> 화물통행제한 해제시 속도변화
(화물첨두시(11:00))

	현재속도(km/h)	화물통행제한 해제시 속도(km/h)
도심	20.18	20.24
방사선도로	23.97	24.46
도시고속도로	42.54	42.28
서울시전체	26.18	26.49

주) 현재속도는 '98 속도조사 자료

V. 결론

본 연구에서는 화물통행망을 이용한 화물통행의 우대정책 대안으로 화물차 전용구간의 승용차 진입금지, 화물차량 우대 통행료 징수, 화물차 통

행제한 완화 등 3가지 정책대안에 대하여 시범적으로 사례분석을 하였다. 연구결과를 요약하면 도심의 청계5가에서 7가사이의 구간에 대해 화물차량 조업에 따른 승용차 진입금지 정책은 도심의 통행속도에 큰 영향이 없는 것으로 분석되었다. 화물차량 우대 통행료 징수 정책은 비첨두시 여의도-잠실구간의 통행료 징수가 가장 효과적인 것으로 분석되었으며 통행제한 완화의 효과는 크지 않는 것으로 나타났다.

제시된 화물우대정책을 현실적으로 시행하기에는 고려해야 할 요소가 많으나 본 연구에서는 정책의 시행을 가정하여 시행 전·후의 네트워크 분석만을 수행하였다. 또한 시행효과 분석을 위한 평가지표도 총통행시간과 평균속도만을 이용하였기 때문에 추후 정책의 도입 및 실행을 위해서는 네트워크 분석뿐만 아니라 보다 구체적인 사항을 함께 고려해야 될 것이다. 따라서 본 연구는 화물통행망의 구축에 따른 활용방안에 대한 하나의 사례연구로서 분석결과보다는 화물통행망을 활용한 점에서 연구한계와 의의를 가진다고 할 수 있다.

참고문헌

- 김현철, 복수수단 통행배정모형에 의한 대기오염물질의 배출량 산정에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문, 1997
- 서울시, 서울시 교통센서스 및 데이터베이스 구축, 1997. 12
- 서울시, 서울시 물류조사 및 물류종합계획수립 구상, 1998
- 서울시, 서울시 물류체계개선 종합계획(안), 1998. 12
- 서울시정개발연구원, 도시화물의 효과적인 수송체계 구축 방안 연구, 1999
- 서울시정개발연구원, 서울시 중차량 운행제한 체계 개선

방안 연구, 1998

황기연, 김익기, 엄진기(1999), 교통수요관리방안의 단기적
효과분석모형의 구축, 대한교통학회, 제17권 제1호

Beckmann M.J., C.B. MaGuire and C.B.Winsten,
Studies in the Economics of Transportation,
New Haven : Yale University Press, 1956

EMME/2 User's Manual, Assignment Algorithm