

■ 論 文 ■

도로 위계에 따른 화물차량 용량과 허용비율을 고려한 화물 통행망 구축방안 연구

Freight Network Build-up Based on Capacity and Acceptable Limits of
Commercial Vehicles by Road Type

채 찬 들

(한국교통연구원 도로교통연구실
연구원)

오 세 창

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

이 강 대

(한국표준협회 표준연구개발팀
선임연구원)

목 차

- I. 서론
- II. 기존연구 검토
- III. 도로위계 및 허용비율별 화물 통행량 산출
- IV. 존 간 화물통행량에 따른 화물통행망 구축
방안 개발

- V. 서울시 화물통행망 구축
 - VI. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 화물교통, 통행망 구축, 도로위계, 통행배정, 화물용량

요 약

오늘날 도시 지역의 화물차량의 통행은 통행의 제한이나 관리활동의 부재의 이유로 도로혼잡 문제화 환경 및 도로파손의 사회비용 증가의 문제점을 증가시키고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 본 연구에서는 도시 내 화물차량의 효율적인 관리를 위한 화물통행망 구축방안을 제안하고자 한다.

본 논문을 통해 제안된 화물 통행망 구축방안은 존 들의 화물차량 유출입 통행량의 차이에 따라 나타나는 교차통행량을 수용할 수 있는 간선망을 배정하는 방법을 이용하였고, 간선의 기능을 수행하는 도로의 위계별로 나타나는 용량차이를 고려하기 위하여, 도로를 '도로용량편람'의 용량산정을 위한 분류방식을 적용하여 고속도로, 다차로 도로, 도시 및 교외 간선도로로 구분하였으며, 요구되는 차로수 별 통행 가능한 화물차량의 통행수를 산정하였다. 이 때, 차로수 별 화물차량 통행량은 도시 계획자의 목적에 따라 적용 가능하도록 교통류 중 화물차량의 유입 허용비율에 따라 각각 산정하였다. 최종적으로 개발된 화물통행망 구축방안을 서울시를 대상으로 적용해봄으로써 실질적인 효용과 적용 가능성을 확인하였다.

Nowadays, the movement of commercial vehicles has caused severe congestion, environmental problems and damaged pavements in urban area. To solve the problems, this research has proposed a methodology to build-up a freight network that is enable to manage the movement and demand of commercial vehicles.

The network based on urban arterial network has developed according to freight traffic volume that is under the influence of road types among TAZ in study area. Freight network has been developed by assignment method of 4-step transportation forecasting. Once, acceptable limits of freight traffic volume are decided, freight network can be developed using the capacity. To confirm the application of the methodology, freight network of Seoul city has developed by the methodology.

1. 서론

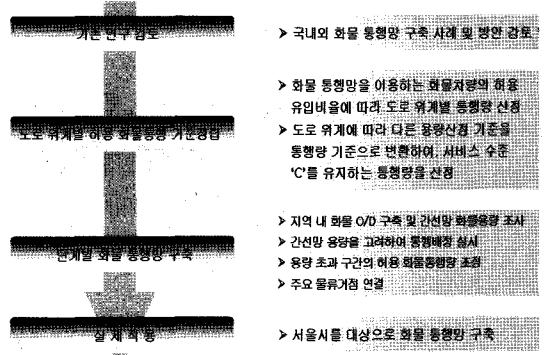
1. 연구의 배경

오늘날의 생산지 또는 공급지, 물류시설, 소비지를 연결하는 수배송 활동은 통행비용을 최소화하고, 공차비용을 줄여 효율성을 높이는데 초점을 맞추고 있기 때문에 도심의 교량 및 혼잡구간의 화물차량의 톤수 및 통행시간 제한의 경우를 제외하고는 통행이 가능한 모든 도로를 이용하고 있다. 그 결과, 대형화물 차량의 유출입 통행으로 교통 혼잡의 가중과 환경문제, 위험물 수송차량의 사고로 인한 피해 규모의 증가, 도로 포장의 파손 등의 많은 문제들이 나타나고 있다. 하지만, 아직까지 국내에서는 화물차량에 대한 관리활동이 이루어지지 않아 그 필요성에 대한 인식이 요구된다.

이러한 필요성에 의해 본 논문은 화물차량의 통행을 별도로 관리하여 도로파손, 교통혼잡, 환경문제 등을 줄이고, 수요예측 시 통행배정에도 활용할 수 있는 화물통행망 구축방안을 제안하고자 한다. 본 논문을 통해 제안된 화물 통행망은 기존의 물류 네트워크가 지역의 화물흐름과 화물수송체계에 따라 구축된 것과는 달리, 화물차량이 통행할 수 있는 도로망을 별도로 지정함으로써 화물차량의 통행을 관리하여 화물차량 통행에 따른 외부효과를 최소화하는 것이 가장 큰 목적이라고 할 수 있다. 또한, 화물 통행망 구축에 도로 위계와 허용 통행비용을 고려함으로써 화물통행망을 이용하는 화물차량과 일반 차량의 원활한 흐름을 도모할 수 있도록 하였다.

2. 연구의 내용

본 논문은 화물차량의 통행을 위한 별도의 통행망을 구축하는 방법론을 만드는 것이 그 목적이다. 화물 통행망은 존들의 화물차량 유출입 통행량의 차이에 따라 나타나는 교차통행량을 수용할 수 있는 간선망을 배정하는 방법을 이용하였고, 이때 도로의 배정은 서비스 수준 C를 유지할 수 있도록 하였다. 또한, 간선의 기능을 수행하는 도로의 위계별로 나타나는 용량차이를 고려하기 위하여, 도로를 고속도로, 다차로 도로, 도시 및 교외 간선도로로 구분하였고, 요구되는 차로수 별 통행 가능한 화물차량의 통행량을 산정하였다. 이때, 차로수 별 화물차량 통행량은 화물차량의 유입 허용비용에 따라 각각 산정하였다.



(그림 1) 연구수행 절차

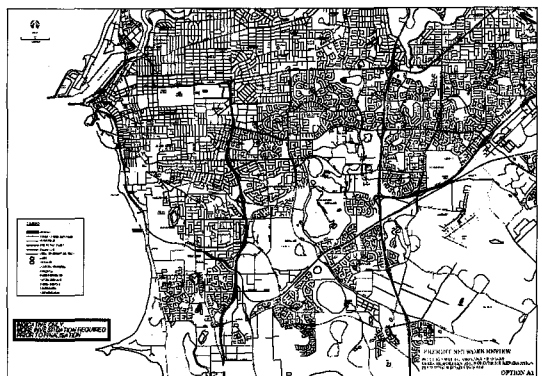
본 연구는 기존에 국내외에서 수행된 화물 통행망 구축에 관련된 사례를 수집·검토하고, 도로 위계별, 화물차량 허용비용별 화물차량의 통행량을 산출한 후에 이를 이용하여 서울시를 대상으로 실제 화물 통행망을 구축하는 방식으로 수행되었다.

II. 기존연구 검토

1. 해외 화물통행망 구축 사례

1) 미국

미국은 미연방도로국(FHWA, Federal Highway Administration)에서 구축한 국가 도로계획망(NHPN, National Highway Planning Network)을 이용하여 NHPN에 나타나있는 도로망을 기본으로 state나 county 단위로 지역의 화물차량 통행량과 O/D 특성을 고려하여 화물통행망을 구축하고 있다.

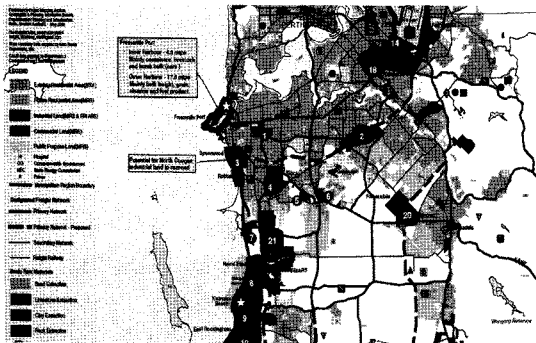


(그림 2) 미국 코넬주의 화물통행망 구축사례

2) 호주

호주는 Main Roads Western Australia와 Department of Transport가 지방자치단체와 협력하여 DFR(Designated Freight Route)를 개발하여 화물차량의 통행망으로 활용하고 있다. DFR은 기존의 도로망에 화물차량이 통행할 수 있는 별도의 노선을 지정한 것으로, 화물차량들에게 DFR을 이용하도록 권장하고 있고, 의무사항으로 정하여 규제하지는 않는다.

DFR은 화물차량의 통행 경로를 'primary'와 'secondary' 두 가지 등급으로 나누어 화물차량의 적재 용량과 크기에 따라 적절한 통행망을 이용하도록 제시하고 있다. 'primary'는 통행망의 용량을 고려하여 차량의 등급을 12가지로 나누었을 때, 중형, 대형 화물차량에 해당되는 등급 3~9까지의 차량과 소형 화물차량 10~12 등급까지가 모두 이용할 수 있는 통행망을 의미하고, 'secondary'의 경우는 집산 및 국지도로에 해당되는 도로로 가능한 소형 화물차량에 해당하는 10~12 등급의 차량이 이용하도록 권장하고 있다.



〈그림 3〉 호주의 화물통행망 구축사례

2 국내 화물통행망 구축 사례

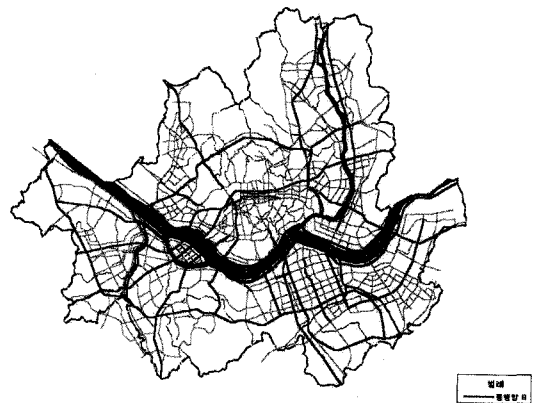
1) 서울시

서울시의 화물통행망 구축은 '도시화물의 효과적인 수송체계 구축방안 연구1)'를 통해 수행되었다. 서울시의 경우, 화물통행의 안정성과 효율성을 위해 화물통행망을 구축하였는데, 통행망은 화물통행의 효율성을 극대화하면서 안정성을 확보하기 위하여 다음의 4단계를 거쳐 구축되었다.

- ① 1단계: 화물의 체계적인 이동을 보장함
 - 기존의 도시 고속도로망 선정
 - 서울시의 도시 고속도로망과 연계되는 고속도로망 선정
 - 도시 고속도로 및 고속도로망과 주요한 연계성을 갖는 간선도로 선정
- ② 2단계: 경제적인 화물의 이동성을 확보함
 - 화물 O/D에 기초한 최적화된 노선 선정
- ③ 3단계: 화물이〈그림 4〉 서울시 화물통행망 구축 1안동의 접근성을 확보함
 - 화물터미널, 유통단지, 철도역 등 주요 물류거점 지역으로의 접근성 고려
- ④ 4단계: 화물통행의 외부효과를 최소화함
 - 주거 밀집지역, 소매상 밀집지역, 보행자 밀집지역 주변도로 제외



〈그림 4〉 서울시 화물통행망 구축 1안



〈그림 5〉 서울시 화물통행망구축 2안

1) 도시화물의 효과적인 수송체계 구축방안 연구, 서울시경제발전연구원, 1999

위의 4단계 과정을 통해, 서울시는 두 가지 형태의 화물통행망을 구축하여 제안하였는데, 제1안에서는 기존의 간선도로 정비계획상의 간선도로에 화물차량의 혼입비율이 10%이상이고, 화물교통량이 1000대/일인 간선도로를 추가하였고, 제2안에서는 다른 조건은 동일하게 하고 화물교통량만 2000대/일인 간선도로를 추가하였다.

Ⅲ. 도로 위계 및 허용비율별 화물 통행량 산출

화물통행망은 대상지역의 존 유출입 통행량을 기준으로 구축하는데, 화물통행망을 구축할 때 고려해야 하는 다른 요인은 화물통행망의 기본이 되는 기존의 간선도로망이 위계가 다른 도로들로 구성되었다는 사실이다. 같은 간선축의 기능을 수행하더라도 도로의 위계에 따라 고속도로, 주간선도로, 보조간선도로 등으로 나누어지고, 경우에 따라서는 편도 2차로 이상의 집산도로도 간선축의 기능을 수행하기도 하기 때문이다.

도로의 위계차이를 고려해야 하는 이유는 각 도로마다 통행하는 차량의 교통류 특성이 달라지고, 용량을 산정하거나 서비스 수준을 측정하는 기준이 다르기 때문이다. 화물통행망을 구축하는데 존의 유출입 통행량을 기준으로 이용할 경우, 동일한 화물통행량을 보이더라도 도로의 위계에 따라 용량과 서비스 수준이 달라질 수 있다. 따라서 대상지역의 화물통행망을 구축하기 위한 일반적인 방법론을 개발하기 위해서는 서로 다른 위계의 도로의 용량산정 기준을 통일할 필요가 있다.

우리나라의 '도로용량편람'에서는 도로를 크게 고속도로, 다차로 도로, 2차로 도로, 신호교차로, 도시 및 교외 간선도로로 구분하고 있다. 이 중에서 본 논문의 화물통행망 구축에 고려해야 할 대상으로 주로 간선의 기능을 수행하는 고속도로, 다차로 도로, 도시 및 교외 간선도로를 선정하고, 존별 유출입 화물교통량을 적용하기 위해 각 도로별로 다르게 나타나는 용량산정 방법을 통행량 기준으로 변환하였다.

그 다음으로 고려해야 할 사항으로는 화물통행망을 구축하더라도 과연 통행망을 이루는 각 도로의 화물차량 혼입비율을 어느 수준까지 허용할 것인가 하는 점이다. 화물통행망을 구축한 다음에 화물차량을 운용하는 운수업체 및 개인에게 구축된 화물통행망의 이용을 외국의 사례처럼 강제사항으로 규정하지 않고 권장하는 수준으로 적용한다면, 실제로 화물통행망을 이용하게

될 화물차량의 비율을 예측하기가 어려워진다. 구축된 화물통행망은 화물차량 전용도로가 아니고, 일반 승용차나 버스, 택시 등도 여전히 화물통행망을 이용하게 되기 때문에 화물차량이 집중될 경우에는 오히려 더 심각한 교통 혼잡과 사고의 위험을 유발할 수도 있다. 또한, 도로는 위계별로 도로 포장재질이 다르며, 속도나 밀도 등의 교통류 특성도 다르기 때문에 계획자에 따라서는 도로의 위계별로 화물차량 혼입허용비율을 다르게 설정하고자 할 수도 있다. 따라서 화물통행망을 구축한 뒤에 효율적인 운영·관리를 위해서는 구축된 통행망의 구간 및 축별 교통 혼잡이나 도로사정을 고려하여 적절한 화물차량의 혼입비율을 통제할 필요가 있다.

본 논문에서는 그러한 사실을 고려하여 도로의 위계별로 용량산정 방법을 통행량 기준으로 변환하는 것 외에, 화물차량의 혼입비율에 따라 허용 가능한 최대 화물통행량을 산정하여 구축된 화물통행망의 실제적인 활용과 관리활동이 가능하도록 하였다. 이때 산정되는 화물차량 혼입비율별 최대 화물통행량은 도로의 위계에 상관없이 서비스 수준 'C'를 기준으로 산정하였는데, 서비스 수준은 도로의 위계나 특성에 따라 달리 적용할 수 있다.

1. 고속도로의 화물차량 비율에 따른 교통량 산정

도로용량편람에서는 고속도로를 기본 구간, 엇갈림 구간, 연결로 및 접속부 세 가지 구간으로 구분하고, 각각 다른 용량산정 방법을 사용하도록 명시하고 있으며, 각 구간은 효과적으로 밀도를 이용하여 서비스 수준을 판정한다. 본 연구에서는 구축된 화물통행망의 적용 편리성과 분석의 간편함을 위해 고속도로 구간의 용량산정은 기본 구간을 기준으로 수행하고, 엇갈림 구간과 연결로 및 접속부 구간은 기본 구간과 동일한 방식으로 용량을 산정하는 것으로 가정하였다.

〈표 1〉 고속도로 일반구간의 승용차 환산계수

차종구분	지형	평지	구릉지	산지
소형(2.5톤 미만 트럭, 12인승 미만 소형버스)		1.0	3.0	5.0
중형(2.5톤 이상 트럭, 버스)		1.5		
대형(새미 또는 풀 트레일러)		2.0		

위의 기준은 화물차량 및 버스의 적재용량별 경사구간에서의 등판능력 차이에 따른 것으로, 문제필²⁾의 연

구결과에 의해 수정된 계수이다. 도로용량편람에 제시된 이 승용차 환산계수를 적용하면 다음의 사실을 통해 화물차량 허용혼입비율에 따른 차로별 통행량 산출이 가능하다.

- ① 고속도로의 설계속도는 100kph로 가정함
- ② 설계속도 100kph에서 서비스 수준 'C'를 유지하는 최대 교통량은 1,350pcphpl임
- ③ 1,350pcphpl을 화물차량을 고려한 값으로 변환하기 위해 소형, 중형, 대형의 화물차량의 비율은 모두 동일한 것으로 가정함
- ④ 승용차 환산계수는 도로용량편람에 명시된 값을 이용함

고속도로 설계속도의 경우, '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침'에 아래 표와 같이 제안되어 있다. 화물통행망을 구축하는 대상지역이 서울시 및 6개 광역시와 같이 대규모의 단일도시 또는 화물차량 통행에 관련성이 높은 여러 개의 중·소도시로 구성된 광역규모의 지역인 점을 감안하여, 고속도로의 설계속도를 100kph로 가정하였다.

〈표 2〉 도로별 설계속도 기준

도로구분	설계속도 (kph)			
	지방		도시	
	평지	산지		
고속도로	120	100	100	
일반도로	주간선	80	60	80
	보조간선	70	50	60
	집산도로	60	40	50
	국지도로	50	40	40

또한 화물차량의 경우, 소형과 중형, 대형으로 구분하지만, 실제 각 차종별 구성 비율은 고속도로의 구간과 시간에 따라 다르게 나타나는 특성이므로 그 비율을 정확하게 계산하기가 어렵기 때문에 차종별 구성 비율이 모두 같은 것으로 가정하였다.

위의 사항을 종합하여 화물차량 허용 혼입비율별 화물차량 통행량을 산출하는 과정은 아래와 같다.

① 승용차 환산계수 적용

- 평지: $x_1 + 1.5x_2 + 2.0x_3 + y = 1350$ (pcphpl) (1)
- 구릉지: $3x_1 + 3x_2 + 3x_3 = 1350$ (pcphpl) (2)

• 산지: $5x_1 + 5x_2 + 5x_3 = 1350$ (pcphpl) (3)

② 총통행량 중 화물차량 비율 계산

$$\frac{x_1 + x_2 + x_3}{x_1 + x_2 + x_3 + y} = k (\%) \quad (4)$$

③ 소형, 중형, 대형 화물차량의 통행량이 동일하다는 가정 반영

$$x_1 = x_2 = x_3 \text{ (vphpl)} \quad (5)$$

이때, x_1 : 소형 화물차량 통행량 (vphpl)

x_2 : 중형 화물차량 통행량 (vphpl)

x_3 : 대형 화물차량 통행량 (vphpl)

y : 승용차량 통행량 (vphpl)

k : 화물차량 허용 혼입비율

위의 식에서 화물차량 허용 혼입비율 k 를 최소 1%에서 최대 50%까지 범위로 대입하여 차로당 시간당 통행량을 산출해보면 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 고속도로의 화물차량 허용비율에 따른 통행량 (단위 : vphpl)

화물차량비율	평지	구릉지	산지
0.01	13	13	13
0.02	27	26	25
0.03	40	38	36
0.04	53	50	47
0.05	66	61	56
0.06	79	72	65
0.07	91	83	74
0.08	104	93	82
0.09	116	103	89
0.1	129	113	96
0.15	188	156	127
0.2	245	193	150
0.25	300	225	169
0.3	352	253	184
0.35	402	278	197
0.4	450	300	208
0.45	496	320	217
0.5	540	338	225

2. 차로로 도로의 화물차량비율에 따른 교통량 산정

차로로 도로는 설계속도와 신호등 밀도, 이상적인

조건에서의 최대 평균통행속도에 따라서 세 가지 유형으로 나누어 분석하는데, 유형별 특징과 서비스 수준을 정리하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 다차로 도로의 서비스 수준

도로유형	I		II	II,III	III
최대 평균 통행속도	≥ 87kph		< 87kph		
신호등 밀도 (개/km)	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.7	≤ 1.0
서비스 수준	평균통행속도 (kph)				
A	≥ 85	≥ 80	≥ 80	≥ 70	≥ 65
B	≥ 81	≥ 75	≥ 76	≥ 65	≥ 60
C	≥ 76	≥ 70	≥ 70	≥ 60	≥ 55
D	≥ 71	≥ 65	≥ 66	≥ 52	≥ 45
E	≥ 65	≥ 57	≥ 60	≥ 42	≥ 35
F	< 65	< 57	< 60	< 42	< 35

다차로 도로의 서비스 수준을 평가하는 효과적도는 평균통행시간이다. 하지만 화물통행량 구축에 필요한 사항은 존의 유출입 통행량이므로, 다차로 도로에서 서비스 수준 C를 유지할 수 있는 구간의 유형별 평균통행속도를 통행량으로 변환시켜주는 과정이 필요하다.

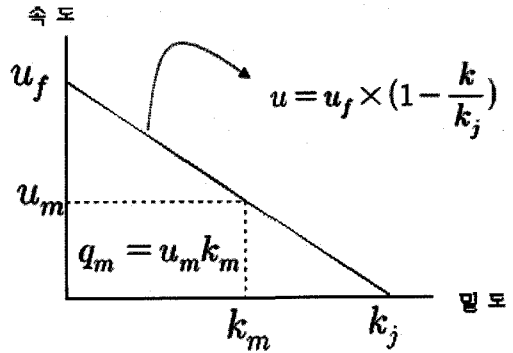
위의 <표 4>에 나타난 서비스 수준 C를 유지시켜주는 최소 평균통행속도를 교통량으로 변환하기 위해 교통류 이론의 Greenshields model³⁾을 이용한다. Greenshields model은 속도, 밀도 교통량의 관계를 직선으로 가정하고 세 가지 요소의 상관관계를 수식화한 것으로, 현실적인 값을 나타내진 않지만 가장 적용하기 쉽고, 연속교통류의 형태를 잘 반영하며 넓은 범위에서 관측 결과와의 적합도가 높아 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 다차로 도로와 도시 및 교외 간선도로의 경우 단속류보다 연속류의 특성이 더 많이 나타나는 것으로 가정하고 Greenshields model을 적용하였다. Greenshields model을 이용하여 통행속도를 교통량으로 변환하는 과정은 <그림 6>과 같다.

1) 혼잡밀도 선정

Greenshields model은 교통량이 밀도와 속도의 곱으로 나타내어질 수 있다는 가정에서 시작된다.

$$q = u \cdot k \tag{6}$$

여기서, q 는 교통량(vph), u 는 통행속도(kph), k 는 밀도(vpk)를 나타낸다. 따라서 교통량은 통행속도, 밀도와 선형관계가 있다는 것을 위의 수식으로부터 알 수 있다. 여기서 임계밀도 k_j 를 산출하기 위해 밀도-속도의 관계 그래프를 살펴보면, 속도와 밀도는 반비례 직선관계로 나타내어진다.



<그림 6> 속도-밀도 관계 그래프

여기서,

- u_f : 자유류 속도 또는 최대통행속도 (kph)
- u_m : 최대 교통류율의 속도, 임계속도 (kph)
- k_m : 최대 교통류율의 밀도, 임계밀도 (vpk)
- k_j : 혼잡밀도 (vpk)
- q_m : 최대 교통류율 (vph)

위의 그래프는 속도와 밀도의 관계를 나타낸 그래프로 이 관계를 이용하여 다차로 도로의 유형별 혼잡밀도 k_j 를 구해보면 다음과 같다.

(1) 유형 I

속도-밀도 그래프에서 최대 교통류율 q_m 은 다음과 같이 유도된다.

$$q_m = u_m k_m = \frac{u_f k_j}{4}$$

$$\Leftrightarrow k_j = \frac{4 \times q_m}{u_f} \tag{7}$$

최대 교통류율을 용량상태의 교통량이라고 하면, 유

3) B.D. Greenshields, A Study of Traffic Capacity, Proc. HRR., 14, 1935

형 I에서의 용량은 도로용량편람에서 2,000pcphpl를 제안4)하고 있고, 최대 평균통행속도 즉, 자유류 속도 u_f 는 92kph 이므로

$$k_j = \frac{4 \times q_m}{u_f} = \frac{4 \times 2000}{92} = 87 \text{ pcpkpl} \quad (8)$$

결국, 유형 I에서의 혼잡밀도 k_j 는 87pcpkpl로 계산된다.

(2) 유형 II, III

유형 II, III에서도 유형 I과 마찬가지로 방법으로 혼잡 밀도를 계산할 수 있는데, 이때 적용되는 최대 교통류 용 q_m 은 유형 II, III이 신호교차로의 영향을 많이 받는 사실을 이용하여 신호교차로의 용량개념을 도입하는 것이 도로용량편람에 제안되어있다5). 따라서 신호교차로의 경우 포화차두시간을 1.63초로 가정하면 용량은 2,200pcphpl이 된다. 또한 유형 II, III의 최대 평균통행속도는 87kph이므로

$$k_j = \frac{4 \times q_m}{u_f} = \frac{4 \times 2200}{87} = 92 \text{ pcpkpl} \quad (9)$$

즉, 유형 II, III의 혼잡밀도 k_j 는 92pcphpl인 것을 알 수 있다.

2) 통행속도를 교통량으로 환산

앞서 살펴본 Greenshields model에서 속도-밀도 관계식을 밀도 k 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \Leftrightarrow u - u_f = u_f \left(\frac{-k}{k_j}\right) \quad (10)$$

$$\Leftrightarrow k = k_j \left(1 - \frac{u}{u_f}\right)$$

위의 식의 k 를 $q = u \cdot k$ 식에 대입하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$q = u \cdot k = u \cdot k_j \left(1 - \frac{u}{u_f}\right) = k_j \left(u - \frac{u^2}{u_f}\right) \quad (11)$$

이 식에서 혼잡밀도 k_j 는 선행과정을 통해 산출된 값을 이용하고, 자유류 속도 u_f 에는 각 유형별 최대 평균통행속도를 적용하며, 속도 u 는 각 유형별 서비스 수준 C를 유지하는 최소 평균통행속도를 적용한다. 이 과정을 통해 산출된 서비스 수준 C의 유형별 통행량은 <표 5>와 같다.

<표 5> 다차로 도로의 유형별 서비스 수준 C를 유지하는 통행량

유형	유형 I		유형 II		유형 III	
신호등밀도 (개/km)	≤0.1	≤0.3	≤0.1	≤0.7	≤0.1	≤0.7
혼잡밀도 k_j (pcpkpl)	87		92			
q_c (pcphpl)	1,150	1,456	1,201	1,747	1,906	1,747

3) 화물차량 허용 혼입비율에 따른 교통량산출

위의 과정을 통해 산출된 서비스 수준 C를 유지하는 시간당 차로당 승용차 교통량에 승용차 환산계수를 적용하여 화물차량 허용 혼입비율별 교통량을 산출할 수 있다. 이때 적용하는 승용차 환산계수는 오주삼6)의 논문에서 인용한 것으로 그 내용은 <표 6>과 같다.

<표 6> 일반국도에서의 승용차 환산계수

차종구분 \ 산정기준	속도, 교통량 기준
소형	1.0
중형	1.5
대형	2.4

오주삼의 논문은 미국의 HCM이나 국내의 도로용량 편람에서 적용하는 승용차 환산계수가 차두시간을 기준으로 산정한 것이기 때문에 화물차량의 특성과 다른 교통류에 미치는 영향을 제대로 반영하지 못하는 사실을 지적하고, 차두시간이 아닌 속도와 교통량을 기준으로 산정한 승용차 환산계수를 제안하였다. 따라서 본 논문에서는 오주삼의 논문을 통해 제안된 일반국도에서의 승용차 환산계수를 적용하여 화물차량을 고려한 통행량을 산출하였다.

이 계수를 적용하여 고속도로에서의 분석과 동일한

4) 도로용량편람, 대한교통학회, 2001, p.144

5) 도로용량편람, 대한교통학회, 2001, p.144

6) 일반국도에서의 승용차 환산계수 산정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집 제 23권 4D호, 오주삼, 한 대철, 2003.7

방법으로 화물차량 허용 혼입비율에 따른 교통량을 산정하면 <표 7>과 같다.

<표 7> 다차로 도로의 화물차량 허용비율에 따른 통행량 (단위 : vphpl)

화물차량비율	유형 I		유형 II		유형 III	
	신호등 밀도 (개/km)					
	≤ 0.1	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.7	≤ 0.1	≤ 0.7
	서비스 수준 C를 유지하는 최소 평균통행속도(kph)					
	≥ 76	≥ 70	≥ 71	≥ 59	≥ 53	≥ 59
0.01	11	14	12	17	19	17
0.02	23	29	24	35	38	35
0.03	34	43	35	51	56	51
0.04	45	57	47	68	74	68
0.05	56	71	58	85	92	85
0.06	66	84	69	101	110	101
0.07	77	98	81	117	128	117
0.08	88	111	91	133	145	133
0.09	98	124	102	149	162	149
0.1	108	137	113	164	179	164
0.15	158	199	165	239	261	239
0.2	204	258	213	310	338	310
0.25	248	314	259	377	411	377
0.3	290	367	303	440	481	440
0.35	329	417	344	501	546	501
0.4	367	465	383	558	608	558
0.45	403	510	421	612	667	612
0.5	437	553	456	663	724	663

3. 간선도로의 화물차량 비율에 따른 교통량 산정

도시 및 교외 간선도로의 서비스 수준의 효과측도는 다차로 도로와 마찬가지로 평균통행속도이다. 따라서 도시 및 교외 간선도로의 경우도 평균통행속도를 통행량으로 변화해주는 과정이 필요하기 때문에 Greenshields model을 적용하여 혼잡밀도를 계산하고, 이를 이용하여 평균통행속도를 통행량으로 변환시킨다. 이 과정에 필요한 변수들에 대한 도로용량편람에 명시된 값들은 <표 8>과 같이 정리된다.

<표 8> 서비스 수준 C를 유지하는 간선도로의 최소 평균통행속도

유형	I	II	III
서비스 수준 C의 최소 평균통행속도 u (kph)	37	33	29
자유류 속도 u_f (kph)	80	70	60

위의 표에 나타난 서비스 수준 C를 유지시켜주는 최

소 평균통행속도를 교통량으로 변환시키기 위해 도시 및 교외 간선도로의 경우와 같이 Greenshields model을 이용하여 유형별 혼잡밀도 k_j , 서비스 수준 C를 유지하는 최소 평균통행속도 u_c , 통행량 q_c 를 산출해보면 <표 9>와 같다.

<표 9> 간선도로의 유형별 서비스 수준 C를 유지하는 통행량

유형	유형 I	유형 II	유형 III
k_j (pcpkpl)	110	126	147
u_c (kph)	37	33	29
q_c (pcphpl)	2,188	2,198	2,203

위에서 산출한 간선도로의 유형별 서비스 수준 C를 유지하는 통행량을 이용하면 도시 및 교외 간선도로에서 화물차량 허용 혼입비율별 통행량을 산출할 수 있고, 그 과정은 앞서 수행된 고속도로, 다차로 도로와 동일하다.

화물차량 허용 혼입비율 k 를 1~50% 범위로 대입하여 차로당 시간당 통행량을 산출하면 <표 10>과 같다.

위의 과정을 통해 화물통행량을 구축하고자 하는 대상지역의 간선망을 구성하는 도로의 위계에 따라 화물차량 허용 혼입비율별 시간당 차로당 최대 통행량을 산출하였다. 산출된 통행량은 도로의 위계별로 다르게 나타나는 용량의 차이를 고려하였고, 각 위계에 맞는 승용차 환산계수를 적용하였다. 이 결과를 이용하면 화물

<표 10> 간선도로의 화물차량비율에 따른 통행량 (단위 : vphpl)

화물차량비율	유형 I	유형 II	유형 III
0.01	22	22	22
0.02	43	43	44
0.03	64	65	65
0.04	85	86	86
0.05	106	107	107
0.06	126	127	127
0.07	147	147	148
0.08	167	167	168
0.09	186	187	188
0.1	206	207	207
0.15	300	301	302
0.2	388	390	391
0.25	472	474	475
0.3	552	554	555
0.35	627	630	631
0.4	698	701	703
0.45	766	770	771
0.5	831	835	837

통행망을 구축할 때 계획자가 의도하는 화물차량 허용 혼입비율에 따라서 대상지역 유출입 통행량을 수용할 수 있는 통행망 구축이 가능하다. 또한, 통행망을 선정할 때 기존의 간선망을 구성하는 도로의 위계에 따라 다르게 나타나는 용량차이를 고려할 수 있다.

IV. 존 간 화물통행량에 따른 화물통행망 구축 방안 개발

앞서 정리된 도로 위계에 따른 차로수 별 최대 화물 통행량은 화물통행망을 구축하는데 필요한 하나의 매뉴얼이라고 할 수 있다. 적용대상 지역의 존 간 화물통행량에 대한 O/D가 구축되어있고, 존과 존을 연결하는 도로의 위계, 노선수, 차로수에 대한 정보가 수집되면, 위의 자료를 이용하여 화물차량 허용 혼입비율에 따라 화물통행망을 구축할 수 있다.

1. 화물차량 허용 혼입비율 결정

화물통행망을 통행하는 허용 혼입비율을 결정하는 과정은 적용대상 지역의 특징을 반영하고, 도시계획 상의 목표를 고려할 수 있다는 점에서 가장 먼저 수행되어야 한다.

적용대상 지역의 특징을 반영하기 위해서 이 단계에서 결정되는 화물차량 허용 혼입비율은 지역의 간선망 전체에 적용된다. 도시계획자나 관리자의 관점이나 구축된 화물통행망의 활용, 관리방법에 따라 허용비율은 달라질 수 있기 때문에 본 논문에서는 적용대상 지역의 특징에 따라 구체적인 허용비율을 제시하지 않는다.

2. 기존 간선망의 용량 조사

간선망을 이용하여 존 간 화물통행량을 고려한 화물 통행망을 구축하기 위해서는 기존 간선망에 대한 조사가 필요하다. 이때 포함되어야 할 사항은 지역 내 존과 존을 연결하는 간선망의 노선수, 각 노선의 도로위계, 차로수이다. 이 세 가지 사항이 조사되면, 앞서 결정한 화물차량 허용 혼입비율에 따라서 존과 존을 연결하는 간선망의 서비스 수준 C를 유지하는 최대 화물통행량을 산정할 수 있다.

3. 통행배정

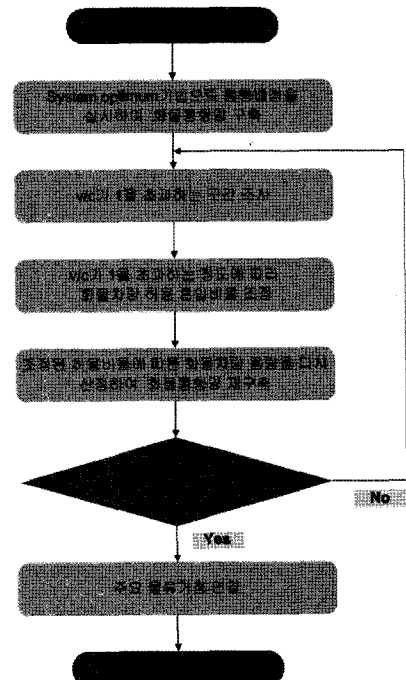
통행배정에서는 교통공학의 수요예측 4단계 통행배정 방법 중 배정된 도로를 이용하는 차량의 총통행비용을 최소화하는 '체계 최적(system optimum)' 방법을 이용하도록 한다. 대상지역의 화물차량 통행량을 이용하여 간선망의 각 구간에 화물통행을 배정하고, 배정결과 선정된 간선망을 이용하여 화물통행망을 구축한다.

4. 화물차량 허용 혼입비율 조정

system optimum 방법으로 화물차량 O/D를 간선망에 배정하여 화물통행망을 구축하고 나면, 화물차량 허용 혼입비율에 따라 산정된 각 구간의 화물차량용량을 초과하는 구간이 발생된다.

v/c 가 1을 초과하는 구간에 대해서는 화물차량 허용 혼입비율을 조정하여 화물차량의 통행을 관리하도록 한다. 허용비율의 조정은 각 구간의 통행량 및 기타 특징과 계획자의 주관에 따라 다르게 이루어질 수 있으므로 일반론적 기준은 별도로 제시하지 않는다.

여기서 고려해야할 사항은 v/c 가 화물차량용량에 대한 화물차량 통행의 비율이기 때문에 v/c 가 1을 초과하는



<그림 7> 화물통행망 구축 순서도

것이 반드시 해당 구간의 지체를 유발하지는 않는다는 점이다. 따라서 해당구간의 화물차량 통행량 외에 일반 승용차 및 버스 등의 다른 차량의 통행량과 도로의 용량을 함께 고려하여 화물차량 허용 혼입비율을 조절해야 한다. 경우에 따라서는 v/c 가 1을 초과하는 구간이라고 해도 일반차량의 통행량을 조절한다면 서비스 수준 C 를 유지할 수 있다.

결국, v/c 가 1을 초과하는 구간에 대하여 허용비율을 조정하여 화물통행망을 구축하는 과정을 반복함으로써, 구축된 화물통행망의 모든 구간은 v/c 1 이하가 되어 서비스 수준 C 를 유지할 수 있고, 화물통행망에 화물차량의 통행량이 많은 구간의 특성을 반영할 수 있게 된다.

5. 물류거점 연결

화물통행망을 구축한 후에는 대상지역 내에 존재하는 물류거점 및 시설을 화물통행망에 연결시켜준다. 이것은 중형, 대형 화물차량은 출발지와 목적지가 최종소비자나 생산지인 경우보다 물류시설인 경우가 많기 때문에 이러한 시설로의 접근성을 높이기 위해서이다.

V. 화물 통행망 구축사례 : 서울시

1. 서울시 선정배경

도로의 위계와 허용비율에 따른 화물통행량과 화물통행망 구축방안을 서울시에 실제 적용하여 개발된 방안의 적용성을 검토한다. 서울시를 대상으로 화물통행망을 구축하는 이유는 국내에 지자체나 지역 단위로 O/D를 비롯한 화물통행 조사를 실시한 사례가 서울시가 유일하기 때문이다. 서울시는 '서울시 물류조사 및 물류종합 계획수립 구상(1998)' 사업에서 서울시가 구축한 O/D표에 나타난 화물차량 통행자료를 이용하여 화물통행망 구축하였다.

이때, 화물통행망 구축의 기본이 되는 간선망은 2003년에 서울시정개발연구원에서 발표한 서울시 네트워크 자료를 이용하였다. O/D자료는 1998년에 구축된 것이고, 간선 네트워크는 2003년에 구축된 것이어서 두 자료를 동시에 이용하는 것은 시간적 차이로 인한 무리가 따를 수도 있지만, 동일한 연도에 구축된 O/D와 네트워크 자료가 존재하지 않기 때문에 두 자료의 구축시점이 동일한 것으로 가정하고 화물통행망을 구축하였다.

2. 단계별 화물통행망 구축

1) 화물차량 허용비율 결정

화물통행망 구축방안의 첫 단계는 적용대상 지역 전체의 화물차량 허용 혼입비율을 결정하는 것이다.

'서울시 물류조사 및 물류종합 계획수립 구상(1998)'의 결과에 나타난 서울시의 1일 유출입 통행량은 3,010,928대, 이 중 화물차량은 602,894대로 나타났고 이는 전체의 20%에 해당한다. 또한, 화물차량 중에 본 논문의 적용대상인 1톤 초과-3톤 이하의 중형, 3톤 초과 대형 화물차량은 각각 1,282대, 751대로, 전체 화물차량의 각각 22.6, 13.2%인 것으로 나타났다. 즉, 모든 차량의 통행량 중에 3톤 이상의 중형, 대형 화물차량의 비율은 약 10%라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 화물 통행량을 고려하여 화물차량 허용 혼입비율을 10%로 적용한다.

2) 서울시 간선망의 화물용량 선정

서울시의 간선망은 앞서 언급한 것과 같이 2003년에 서울시정개발연구원에서 발표된 것으로, 고속도로, 간선도로, 집산도로, 국지도로가 모두 포함되어있다. 여기서 실제 간선의 기능을 수행하는 고속도로와 국도, 간선도로 및 보조 간선도로를 선택하여 기본 간선망을 구성한다.

서울시의 기본 간선망은 <그림 8>과 같다.

위의 서울시 간선망은 총 4,407개의 구간으로 구성되어 있고, 고속도로가 93개 구간, 국도가 69개, 간선도로가 1,886개, 보조 간선도로가 2,359개 구간이 존재한다. 선정된 간선망에 대하여 각 도로 및 구간의 위계와 차로수는 서울시정개발연구원에서 구축한 네트워크



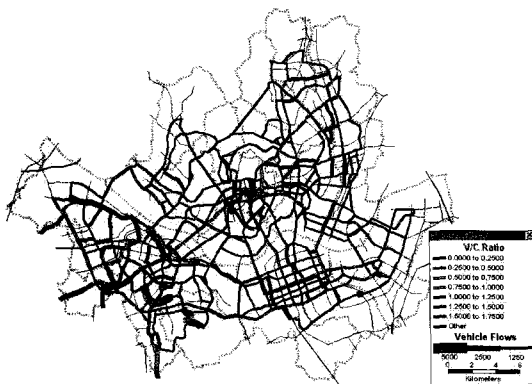
<그림 8> 서울시 간선망

크의 자료를 활용하도록 하고, 간선망의 화물차량 허용 혼입비를 10%일 때의 화물통행량을 적용하여 화물통행망을 구축하도록 한다.

3) 통행배정

화물통행망을 구축하기 위해 본 논문에서는 TransCAD 4.5 버전을 활용하였다. 통행배정은 앞서 언급한 것과 같이 system optimum 방식을 이용하는데, TransCAD 프로그램은 배정되는 모든 구간의 총통행비용을 최소화도록 화물차량의 통행경로를 산출해내고, 이 경로를 화물통행망으로 구축한다. 이때, 화물차량 통행비용을 최소화하는 노선의 배정은 각 화물차량의 통행거리를 기준으로 산정하였다.

〈그림 9〉는 TransCAD를 이용하여 화물통행망을 구축한 결과이다. 화물통행망 전체의 통행비용을 최소화하는 system optimum 방식으로 통행망을 배정하면 그림과 같이 v/c가 1이상으로 나타나는 구간이 발생되는데, 이 구간에 대해서는 v/c가 1을 초과하는 정도에 따라 화물차량 허용 혼입비율을 조정하여 화물차량의 집중과 혼잡을 완화할 수 있다.



〈그림 9〉 통행배정 결과 구축된 화물통행망

〈표 11〉 화물통행망 배정결과

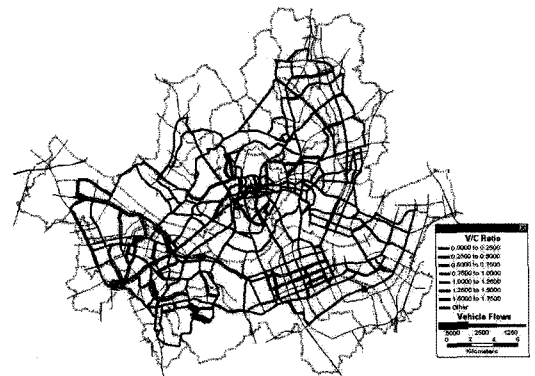
총 화물통행 수요 (veh/hr)	26,838.09
총 통행거리 (km)	363,199.62
화물통행망 구간수	3,066 / 4,407
v/c ≥ 1인 구간수	589

4) 화물차량 허용비율 조정

통행배정 결과 구축된 화물통행망은 총 589개 구간이 v/c가 1을 초과하는 것으로 나타났다. 이 구간들에 대한 화물차량 허용 혼입비율을 조정한 후, 조정된 화

물차량 용량을 다시 입력하여 통행배정을 수행함으로써 새로운 화물통행망을 구축하는 작업을 반복하여 모든 구간의 v/c가 1이하가 되도록 한다. 하지만 v/c가 1을 초과한 것은 화물차량의 통행량이 화물차량 용량을 넘어섰다는 것을 의미할 뿐 반드시 도로 구간의 혼잡을 의미하는 것이 아니기 때문에, 필요에 의해서는 모든 구간의 v/c가 1 이하가 되도록 화물통행망 재구성 작업을 반복하지 않고, 이미 배정된 화물통행망에 v/c가 1을 초과하는 구간에 대하여 화물차량 허용 혼입비율만을 다르게 적용하여 운영할 수도 있다.

재구성한 화물통행망은 v/c가 1을 초과하는 구간이 58개이고, 이때의 총 통행거리는 280,559.72km로 처음 구성한 화물통행망을 이용할 때 보다 약 82,640km의 통행거리가 줄어들었음을 알 수 있다. 통행거리의 감소는 전체적인 통행비용의 감소를 의미하기 때문에 통행망 재구성에 따른 통행비용의 비교는 별도로 실시하지 않는다. 그림에 나타난 것처럼 총 통행거리는 줄어들었지만, 구축된 화물통행망 자체는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.



〈그림 10〉 허용비율 조정에 따른 재구성 결과

〈표 12〉 화물통행망 재구성 결과

총 화물통행 수요 (veh/hr)	26,838.09
총 통행거리 (km)	280,559.72
화물통행망 구간수	2,783 / 4,407
v/c ≥ 1인 구간수	58

VI. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 물류분야에서 구축한 네트워크와 다르게 교통공학적인 이론과 기술을 적용하여 적용대상 지역

내에 존재하는 존 간 화물통행량과 도로 위계별 화물차량 용량을 반영한 화물통행망을 구축방법을 개발하였다.

구축된 화물통행망을 적용함으로써 대상지역으로 유출입하는 화물차량들이 이용할 수 있는 별도의 통행망을 지정해줄 수 있고, 계획자는 화물차량의 흐름을 보다 쉽게 관리, 운영하게 되어 화물차량의 통행으로 인한 도로파손 및 환경, 교통 혼잡 문제를 줄일 수 있다.

하지만, 논문의 가장 큰 한계는 존 간 화물통행량을 기준으로 우선순위에 따라 화물통행망을 구축하였기 때문에 구축된 통행망 사이의 연계성이 떨어진다는 점이다. 즉, 구축된 화물통행망이 모두 연결된 링크가 아니라 단절된 부분이 존재한다는 한계가 있다. 이러한 문제는 본 논문 외에 국내 및 해외의 화물통행망 구축 사례에서도 나타난 한계점이다. 공통적으로 발생하는 문제임에도 연계성 향상을 위한 다른 방안을 고려하지 않는 것은 구축된 화물통행망 자체가 이용자에게 반드시 제안된 통행망만을 이용해야 하는 강제사항이 아닌 권장사항으로 적용되고 있기 때문이다. 따라서 화물통행망이 중간에 단절되어 있다 하더라도 화물차량들은 다른 노선을 이용하여 통행이 가능하다. 하지만, 화물통행망 구축의 본연의 취지를 살리기 위해서는 연계성이 고려된 망을 구축할 수 있는 방안이 향후 연구에서 수행되어야 한다.

참고문헌

1. 대한교통학회(2004), "도로용량편람".
2. 도철웅(1998), "교통공학원론(上)", 청문각.
3. 서울시정개발연구원(1999), 도시화물의 효과적인 수송체계 구축방안 연구.
4. 서울시정개발연구원(2005), 도시물류론.
5. 서울시(1998), 물류조사 및 물류중합계획수립 구상.
6. 허윤수·남기찬·윤항목(2001), 도시물류 개선 대안 평가를 위한 개념적 모형 정립, 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp.7~20.
7. 안시형·IIDA Katuhiro·MORI Yasuo(1998), 지역별 발생집중 화물량 추정을 위한 산업연관분석의 Nonsurvey 개발에 관한 연구, 대한교통학회지, 제16권 제1호, 대한교통학회, pp.79~97.
8. 문재필(1999), 고속도로 기본구간의 승용차 환산계수에 관한 연구, 대한토목학회지 학술발표회 논문집.
9. 오주삼(2003), 일반국도에서의 승용차 환산계수 산정에 관한 연구, 대한토목학회지 제23권 4D호.
10. FHWA(1999), Guidebook on Statewide Travel Forecasting.
11. Economic census(2000), 1997 Commodity Flow Survey of Portland.
12. Black, W.R. (1997) Transport Flows in the State of Indiana: Commodity Database Development and Traffic Assignment, Phase 2. Bloomington, IN: Transportation Research Center, Indiana University.
13. Colorado Department of Transportation(1998), Commodity Flows in Eastern Colorado.
14. Freight Capacity for the 21st Century, TRB 2003 executive committee.
15. Transportation Research E-CIRCULAR(2002), Freight Transportation Research Needs Statement.
16. TRB(2003), Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design, NCHRP report 505.
17. Freight Network Master Plan(2002), Minister for Planning and Infrastructure (Western Australia).

✉ 주 작 성 자 : 채찬들

✉ 교 신 저 자 : 채찬들

✉ 논문투고일 : 2005. 7. 20

✉ 논문심사일 : 2005. 10. 7 (1차)

2006. 1. 17 (2차)

2006. 2. 9 (3차)

✉ 심사판정일 : 2006. 2. 9

✉ 반론접수기한 : 2006. 6. 30