

(연구논문)

서울시 화물통행망 구축

Building a Freight Movement Network for Seoul

엄진기* · 황기연** · 이청원***

목 차

- | | |
|-------------------------|------------------|
| I. 서론 | IV. 단계별 화물통행망 구축 |
| II. 화물통행망 구축방법론 | V. 결론 |
| III. 화물O/D의 작성 및 적합도 검증 | |

ABSTRACT

Jin-Ki Eom · Kee-Yeon Hwang · Chungwon Lee

The purpose of this study is to build a freight network which contributes to reduce social cost such as increased freight cost, air pollution and traffic accidents, which are caused by freight transport. Building freight network consists of four steps: 1) Defining basic concepts of necessities and functions of freight network, 2) Combining freight and person O/D trips and then Assigning them, 3) Selecting networks step by step to satisfy the basic concepts, 4) Integrating the selected networks. Freight network is to satisfy the following conditions: The first, the rapidity of freight transport achieved by systematic connecting urban freeway and major arterial road. The second, the economic mobility based on the results of trip-assignment using integrated O/D from combining freight trip O/D into person trip O/D, and route survey. The third, the convenient accessibility from sites to sites including freight terminals, shopping centers, airports, and rail-way stations. The last, security of road facilities from trucks and minimization of the freight negative externalities. Freight network should exclude the road which passes through the residential areas and the pedestrian district where a lot of trip occurs. The final freight network is suggested in two types. One is an ordinary freight network which satisfies all conditions and the other is an essential network which represents most commonly used network such as highway and arterial road. These networks will be used to contribute to freight trip management, freight preference policy and freight network plan.

* 서울시경제발전연구원 도시교통연구부 연구원
 ** 서울시경제발전연구원 도시교통연구부 연구위원
 *** 서울시경제발전연구원 도시교통연구부 연구위원

I. 서론

1. 연구의 목적

서울시 도시내 화물은 운송효율의 저하로 화물차량 통행수가 증가하여 교통체증을 심화시키고 있으며 물류시설간, 화물운송수단간 네트워크의 미비로 물류비용 증가, 대기오염 및 소음 등 환경문제, 교통사고증가 등 사회적 비용의 증가를 가져오고 있다. 이러한 화물통행의 사회적비용을 감소시키고 운송효율을 높이기 위한 하나의 방법으로서 화물통행망의 구축이 절실하다고 하겠다(서울시 물류종합계획, 1999). 화물통행망은 화물차량의 운송효율을 높이기 위한 통행망을 제시하며 나아가 접속되는 도로간의 연계성을 높이고 화물차량이 최적경로로 통행할 수 있도록 유도할 수 있다. 또한 물류거점지역 등에 접근이 편리하도록 하며 화물차량의 운행이 안전이나 주민들의 생활에 미치는 부정적 외부효과를 최소화한다. 본 연구에서는 이와 같은 조건들을 만족시킬 수 있는 화물통행망을 구축하여 제시하고자 한다.

2. 외국사례

외국의 대도시에서 화물통행망을 구축하는 목적은 주로 화물차량의 운행을 유형에 따라 특정 노선으로 유도하거나 또는 통행제한을 시행함으로써 화물차량의 운행에 따른 사회적 비용을 최소화하는데 있다.

뉴욕시는 광범위한 규모의 화물통행망을 구축하여 내부에서 발생해서 내부에서 종결되는 화물교통(Local Truck Routes)과 그 이외의 화물차량

이 다닐 수 있는 통행경로(Through Truck Routes)를 지정하고 그 이외 도로의 사용을 금지하고 있다. Local Truck의 경우 목적지에 도착하기 위해서만 지정된 도로 이외를 통행할 수 있도록 하고 있고, 긴급구호 및 공공목적 차량을 제외한 일반 화물차량은 출발지와 목적지에 관한 서류를 비치해야 하며 단속원이 요청할 경우 서류를 제시해야 한다(서울시, 1998).

시카고시는 도시고속도로, 지역간고속도로, 기타 지방도를 5개의 class로 구분하여 화물차량의 길이, 너비, 높이, 종량에 따라 운행가능한 노선을 제시하고 있다. 통과통행과 tractor-trailer는 시내 중심가로 진입이 불가능하게 하고 있다(서울시, 1998).

3. 연구방법론

본 연구의 구성은 제2장에서 화물통행망 구축 방법론을 제시하여 통행망구축의 기본방향과 적용원칙을 소개한다. 제3장에서는 현재 화물차량들의 주요운행경로를 파악하기 위해 화물O/D와 사람O/D의 통합방법, 과정 및 결과를 제시하도록 한다. 4장에서는 통행망구축 방법론에 의한 단계별 통행망 선정과정과 최종 화물통행망 구축결과를 제시하도록 한다. 5장에서는 본 연구의 결론으로서 구축된 화물통행망의 활용방안 및 문제점을 언급한다.

화물통행망 구축을 위해 '97년 교통개발연구원에서 실시한 「서울시 물류조사 및 물류종합계획 수립 구상」(1998) 자료의 화물차량 O/D와 '98년 서울시 교통센서스 자료의 사람통행O/D를 결합하여 통행망구축을 위한 기초자료로 활용한다. 한편,

기타 참고자료로서 서울시에서 실시중인 「서울시 간선도로정비 기본계획」의 1차년도 간선도로망 선정내용을 반영할 수 있도록 하며 물류조사의 서울시 주요 물류거점시설현황을 활용하도록 한다.

II. 화물동행망 구축방법론

본 연구에서 화물동행망 구축은 먼저 화물동행망이 갖춰야할 요건을 검토하여 기본 원칙을 수립한다. 원칙수립 후 각 원칙의 적용방안을 제시하고 이를 통해 단계별로 동행망을 구축하게 된다. 화물동행망을 구축하기 위한 기본원칙은 「서울시 물류기본계획(1998)」에서 제시된 것으로서 ① 신속, ② 저렴, ③ 편리, ④ 안전 등 4가지를 선정하였다.

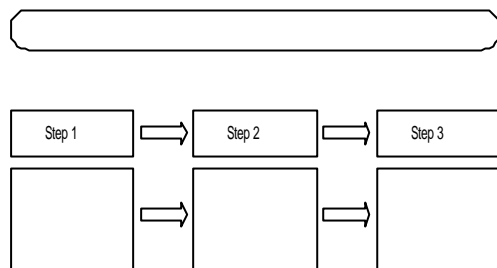
첫째, 화물을 신속하게 이동시키기 위해서는 도로용량이 큰 도시고속도로와 주요 간선도로를 포함해야 한다. 둘째, 저렴하게 화물을 실어 나르게 위해서는 실제 화물차량이 주로 이동하는 노선을 파악하여야 할 뿐만 아니라, 화물O/D에 기초한 최단 경로를 파악하여야 한다. 셋째, 편리하게 화물을 실어 나르기 위해서는 화물수요가 집중적으로 발생하는 물류거점시설(화물터미널, 대규모유통단지, 공항, 철도역, 항구 등)과 연결되어야 한다. 넷째, 안전하게 화물을 실어 나르기 위해서는 교량, 터널과 같은 구조물의 안전을 고려해야 하므로 운행제한 도로시설을 반영하며 주거밀집지역, 소매상 밀집지역, 보행자 밀집지역의 도로에 대해서는 화물차량의 운행이 자제될 수 있도록 유도해야 한다.

서울시 화물교통망은 기본원칙을 고려하여 다음에 제시한 단계별로 구축하도록 한다.

- 1단계 : 신속성 측면
 - 기존의 도시고속도로망 선정
 - 서울시의 도시고속도로망과 연계되는 고속도로망을 선정
 - 도시고속도로 및 고속도로망과 주요한 연계성을 갖는 간선도로 선정
- 2단계 : 경제성 측면
 - 화물 O/D에 기초한 최적화된 화물운행노선 선정
- 3단계 : 편리성 측면
 - 화물터미널, 유통단지, 철도역 등 주요 물류거점지역에의 근접성 고려
- 4단계 : 안전성 확보 측면(외부효과 최소화)
 - 주거밀집지, 소매상밀집지, 보행밀집지 주변도로는 노선에서 제외
 - 기타 운행제한 시설물을 통과하는 노선 제외

1단계 과업을 수행하기 위해서는 서울시 도로체계의 뼈대를 이루는 계획인 「서울시 간선도로정비 기본계획」을 참조하며, 2단계는 화물 최적경로 파악을 위해 '97년 교통개발연구원에서 실시한 「서울시 물류조사 및 물류종합계획수립 구상(1998)」 자료의 화물차량 O/D와 '96년 서울시 교통센서스 자료의 사람동행O/D를 통합하여 동행배정을 시행한다. 3단계는 「서울시 물류조사 및 물류기본계획구상(1998)」의 주요 물류시설의 입지현황을 반영한다. 4단계는 각 단계별로 동행망 구축시 안전성 확보에 위배되는 해당가로를 제외시키는 과정으로서 본 연구에서는 각 단계별 작업시 이를 고려하여 구축한다. 단계별로 구축된 동행망은 MapInfo Layer에 입력하여 각각을 조합하여 최종적으로 구축한다.

다음 장에서는 전체적인 과업수행을 위해 필수적인 화물과 사람O/D를 통합하는 과정을 제시하도록 한다.



〈그림 1〉 단계별 통행량 구축과정

Ⅲ. 화물O/D의 작성 및 적합도 검증

1. 서울시 소존별 화물O/D 구축방법론

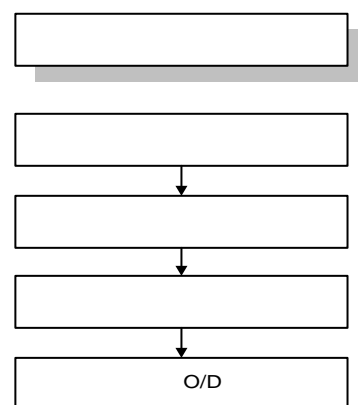
경제성을 고려한 화물통행량 구축을 위해 '96년 서울시 교통센서스의 사람O/D와 '97년 KOTI의 화물O/D를 결합하여 신뢰성있는 O/D자료를 구축한다.

서울시 물류조사 화물O/D에 사용된 존은 47개이며, 이는 서울시 교통센서스O/D의 대존(45개) 수준으로서 결합시 화물통행O/D의 통행패턴을 유지할 수 있도록 한다. 통행량을 결합시키는 대안으로는 두가지를 들 수 있는데 첫 번째는 화물통행존을 기준으로 하는 대안으로서 교통센서스의 존을 묶어서(aggregate) 물류자료의 존 수준으로 일치시켜 결합하고 네트워크는 주요간선도로망을 중심으로 한 스케치 네트워크를 구축하는 방안이다. 이러한 방안은 통행량을 결합하는데 있어 매우 간편하며 주요 가로망에 대한 화물통행 분석이 가능한 장점이 있지만 분석존의 크기가 상당히 크

기 때문에 스케치네트워크의 구성은 현실적인 통행망을 구현하는데 있어 왜곡될 위험성이 높다. 특히, 물류통행 조사결과 Door-to-Door 서비스의 성격을 가진 1톤이하 영업용화물의 단거리통행이 전체통행의 80.3%로서 매우 높기 때문에 이를 47개 존수준에서의 네트워크 분석은 이러한 소형화물에 대한 분석이 용이하지 않으며 추후 대안으로 제시될 대안 통행망 선정에도 한계점이 있다. 두 번째 대안으로는 교통센서스의 소존 수준으로 결합하는 대안으로서 사회경제지표자료를 이용하여 대존단위의 물류통행량을 읍·면·동 단위의 소존으로 통행분포를 시행한 후 결합하는 방안이다. 소존단위의 결합은 통행량자료의 활용도를 높이고 보다 자세한 네트워크분석을 가능하게 한다. 그러나 화물통행에 관한 소존단위의 자료부족으로 인해 이에 대한 가정이 전제되어야 할 문제점이 있다. 본 연구에서는 화물통행O/D의 활용도를 높이고 보다 도시중심적 결과분석을 위해 센서스의 소존을 중심으로 통행량을 결합하였다.

1) 통행량 결합과정

교통센서스의 사람통행과 화물O/D를 결합하는



〈그림 2〉 화물통행량 결합과정

과정은 <그림 2>와 같이 센서스존과 화물존을 대
존차원에서 일치시키는 단계와 화물O/D간의 편차
를 고려한 O/D의 소존별 동행분포작업 단계, 동
행량 보정단계로 구분한다.

2) 존 결합수준 결정

본 연구의 분석대상 존은 물류동행의 대존을
기준으로 결합한 다음 다시 교통센서스 소존으로
동행분포시키는 방법을 이용한다.

서울시 센서스의 1020개 소존을 대상으로 하며
화물O/D를 센서스 소존으로 세분화한다. 소존으로

<표 1> 분석존 설정내용

본 연구		KOM 화물존		서울시 센서스존	
존 번호	존 내역	존번호	존내역	존 번호	존 내 역
1~25	서울시	1~25	25개구	1~25	25개구
26	인천시	26	인천시	26	중구, 동구, 남구
				27	연수구, 남동구
				28	부평구, 계양구
				29	서구, 강화군, 옹진군
22	수원	22	부천시	30	수원시
				36	평택시, 오산시, 화성군
				42	용인시, 안성군
28	성남	28	광명시	31	성남시
				43	이천시, 광주군, 여주군
29	의정부	29	안양시	32	의정부시, 양주군
				37	동두천시, 포천군, 연천군
30	안양	30	성남시	33	안양시, 과천시, 군포시, 의왕시
				38	시흥시, 안산시
31	부천	31	하남시	34	부천시
32	광명	32	구리시	35	광명시
33	고양	33	의정부	39	고양시, 파주시, 김포군
				40	구리시, 남양주시
34	구리	34	고양시	44	가평군, 양평군
				41	하남시
35	하남	35	수원시	41	하남시
36	강원도	36~42	부산, 대구, 광주, 대전, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주	45	강원, 충남·북, 전남·북, 경남·북, 대전, 광주, 대구, 부산
37	충청도				
38	전라도				
39	경상도				

세분화하기 위해서는 먼저 대존단위로 통합을 하여
야 하는데 화물O/D상 존과 센서스O/D의 대존은 서
울시를 제외하고 조금 차이가 있으므로 이를 다시
<표 1>과 같이 전체 38개 대존으로 결합하였다.

결합수준은 화물O/D의 방향성을 보존하기 위해
화물존을 기준으로 하여 교통센서스의 대존을 묶
거나 분할하여서 결합하였다. 이와 같이 38개 대
존 수준으로 존을 일치시키는 것은 화물O/D의 대
존간 유출입 동행량을 고정시킴으로써 존간 동행
특성을 반영하기 위함이다. 고정된 대존간 유출입
동행량은 대존에 포함되어 있는 소존으로 분할되
는 것이다. 교통센서스는 읍·면·동단위의 소존을
기준으로 구축되었기 때문에 존권이 상 어퍼한 분
석존으로도 쉽게 결합이 가능한 장점이 있다.

화물동행량의 구축은 <표 2>와 같이 업종별/돈
급별 동행량을 결합하여 구축하도록 한다.

<표 2> 화물동행 O/D 구성내용

업 종 별	돈 급 별
비사업용 (자가용, 관용)	· 소형(3톤이하)
	· 중형(8톤미만)
	· 대형(8톤이상)
사업용(영업용)	· 소형(3톤이하)
	· 중형(8톤미만)
	· 대형(8톤이상)

3) 소존단위 동행분포

본 연구에서는 화물동행량의 동행패턴을 그대로
유지한 상태에서 센서스의 소존으로 다시 분포
시키는 것이 목적이므로 기존의 종력모형을 응용
하여 사용한다.

본 연구에서 사용한 모형은 2종제약 엔트로피
또는 종력모형에 존 그룹별 동행량 고정을 위한
제약조건을 하나 더 설정하게 됨으로써 3종제약
형태의 엔트로피 또는 종력모형이라 한다(Evans&

Kirby, 1974). 엔트로피 또는 중력모형의 구분은 존간의 상관관계 설정에 따른 구분이라 할 수 있음에 따라 모형의 구조는 유사하다. 이러한 모형은 도시를 2개 지역으로 구분하는 스크린라인이 설정되었을 때 스크린라인을 중심으로 관측된 유출입 교통량 정보를 이용하여 동행분포시 이를 O/D에 반영함으로써 관측된 동행패턴과 도출된 O/D의 동행패턴을 일치시키는데 적용되었다. EMMB/2의 제작사인 INRO사에서는 이 모형을 전수화된 O/D의 제로셀보정 및 Smoothing 방법을 제시함으로써 활용범위를 확대하였다. 엔트로피 모형을 통하여 3중제약 모형을 설명하면 식(1)의 2중제약식 이외에 한가지 제약식이 추가되어 3중제약 엔트로피 모형이 될 수 있는데 기본 모형식은 식(2)와 같다. 또한 위의 기본식을 유도하는 엔트로피 모형식과 그 제약식은 식(3)과 같다.

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\theta C_{ij}) \dots \dots \dots 4(1)$$

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \gamma_{ij} \exp(-\theta C_{ij}) \dots \dots \dots 4(2)$$

$$\max. \log W = - \sum_{ij} (T_{ij} \log T_{ij} - T_{ij}) \dots \dots \dots 4(3)$$

$$s.t. \quad \sum_j T_{ij} = O_i \dots \dots \dots ①$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j \dots \dots \dots ②$$

$$\sum_j T_{ij} C_{ij} = C \quad \forall i, j \dots \dots ③$$

$$T_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \dots \dots ④$$

$$\sum_{i,j} \sum_{k=1}^K T_{ij} = F_k \dots \dots \dots ⑤$$

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j = \sum_k F_k \dots \dots ⑥$$

F_k : 관측 O/D의 동행그룹(k)별 동행량합

식(2)에서 3중제약 모형의 특징은 목적함수에 γ_{ij} 라는 새로운 균형계수가 추가된다는 것이다. 이러한 γ_{ij} 는 식(3)에서 알 수 있듯이 동행그룹별 추정치의 동행량 합과 관측치의 동행량 합이

같도록 하는 새로운 제약식 ⑤가 추가됨에 따라 생성된 것이다.

따라서, γ_{ij} 의 역할은 몇 개의 존쌍으로 묶인 동행그룹(k)별 관측치 동행량과 실험치 동행량을 같게 해주는 역할을 하게 된다.

한편, 3중제약 엔트로피 모형식에서 동행그룹(k)을 지역에 따른 존그룹이 아닌 동행거리에 따른 동행그룹으로 설정하였을 경우에는 동행거리그룹(k)별 관측치 동행량의 합과 추정치의 동행량의 합을 같게 해줌으로써 위의 식(3)에서의 제약식 ⑤가 사실상 제약식 ③과 마찬가지로 동행거리에 따른 동행량의 변화를 나타내는 마찰저항함수의 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 이미 구축된 화물O/D의 방향성을 유지하기 위해 대존을 그룹으로 설정하여 동행량을 고정시키고 소존단위로 동행량을 분포시키기 위해 마찰저항함수 (C_{ij})로서 교통센서스의 소존 동행량의 구성비 (t_{ij}^k/F_k)를 적용한다.

소존단위로 동행량을 분포시키시 위해서는 소존별 화물동행관련 자료가 확보되어야 하나 화물동행 특성상 자료확보가 불가능함에 따라 화물의 소존별 분포가 센서스의 소존별 분포를 따른다는 가정을 하였다.

마찰저항함수를 존간 거리 또는 시간과 같은 동행비용 함수를 적용하지 않은 이유는 존간 거리 및 비용함수는 모든 소존의 존쌍에 대하여 값을 가지고 있는 반면, 입력 화물O/D는 대존단위임에도 모든 존쌍에 동행량이 구축되어 있지 않은 뿐만 아니라 매우 적은 동행량이 구성되어 있는 경우가 많기 때문에 소존으로 분포시 총량적으로 동행량이 소멸되는 문제점이 있기 때문

이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 동행분포와 동행량 보정을 함께 연결하는 알고리즘을 적용하였다. 이에 대해서는 동행량 보정단계에서 자세하게 설명하도록 한다.

따라서 본 연구에서 활용된 3종제약모형의 형태는 식(4)와 같다.

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot D_j \cdot \gamma_k (I_{ij}^k / F_k) \cdots \cdots \cdots \text{식(4)}$$

모형의 정산은 EMME/2의 3종제약 축차계산(3-D balancing)에 의해 수행되어질 수 있는데, 이중제약 축차계산(2-D balancing)이 단지 관측치 동행량과 모형치 동행량의 발생량과 도착량만을 일치시켜주는 데 비해, 3종제약 축차계산은 동행그룹별 관측치 동행량과 모형치 동행량을 같게 해주는 방법을 추가함으로써 그룹별 균형계수(γ_k)를 정산해낼 수 있다. 모형의 적용을 위해 화물 O/D의 소곤별 발생/도착량이 필요하므로 33개 존 그룹별 화물 발생/도착량을 센서스 O/D의 존 그룹에 대한 소곤별 발생/도착량 비율을 적용하여 구축하였다.

본 연구에서는 EMME/2의 Macro기능을 활용하여 3종제약 동행분포와 동행량 보정과정을 수행하였다. 다음은 EMME/2 내의 3종제약 축차계산 알고리즘(3-D balancing algorithm)을 보여준다.

○ 1단계 : $i = 0$ (iteration count)

$$A_j^0 = 1 \quad \forall j;$$

$$B_j^0 = 1 \quad \forall j;$$

$$\gamma_k^0 = 1 \quad \forall k;$$

○ 2단계 : 발생량 축차계산

$$A_j^{i+1} = \frac{O_j}{\sum_i B_j^i \cdot \gamma_{i \neq j}^i \cdot C_j^i}, \forall i,$$

○ 3단계 : 도착량 축차계산

$$B_j^{i+1} = \frac{D_j}{\sum_i A_j^{i+1} \cdot \gamma_{i \neq j}^i \cdot C_j^i}, \forall i,$$

○ 4단계 : 그룹별 동행량 축차계산

$$\gamma_{i \neq j}^{i+1} = \frac{F_k}{\sum_{(i,j) \in \gamma_k} A_i^{i+1} \cdot B_j^{i+1} \cdot C_j^i}, \forall k$$

○ 5단계 : 수렴성여부 검증

If max

$$\left(\max_i \left| \frac{A_j^{i+1} - A_j^i}{A_j^{i+1}} \right|, \max_i \left| \frac{B_j^{i+1} - B_j^i}{B_j^{i+1}} \right|, \max_k \left| \frac{\gamma_{i \neq j}^{i+1} - \gamma_{i \neq j}^i}{\gamma_{i \neq j}^{i+1}} \right| \right)$$

$$\leq \varepsilon$$

or if $i+1 = i_{\max}$, then stop.

Otherwise $i = i+1$ and return to 1 단계

4) 통행량 보정

동행량 보정은 앞서 설명한 바와 같이 동행분포 모형의 정산으로 획득된 소곤별 화물 O/D를 양적으로 체크하여 보정한다.

이미 구축된 화물 O/D는 47개의 대곤으로 구축되었음에도 불구하고 각 존상별 동행량의 편차가 심한 문제점을 가지고 있으며 동행량이 매우 적은 존 그룹은 소곤별로 분포되는 계산과정에서 동행량 자체가 소멸되는 결과를 보이거나 총량적으로 차이를 보이기 때문에 이를 보정하여야 한다.

<그림 3>은 동행량 보정과정을 보여주는 것으로 초기화에서 입력자료로 이용된 센서스 소곤별 동행량을 앞에서 설정한 33개 대곤 그룹별 총량에 대한 비율로서 적용하였다. 센서스 소곤중 동행량

이 없는 존쌍(제로존)을 제외한 모든 존쌍에는 (C_{ij}^0) 값을 가지고 있으며 3종제약 분포모형 적용시 이들 존쌍에 대하여 화물동행량이 분포된다. 그러나 (C_{ij}^0) 값을 가지고 있는 존그룹내의 소존별 존쌍수(zone pair)보다 분포대상 존그룹 화물 O/D량이 적은 경우에는 동행량 자체가 소멸된다. 예를 들어 특정 존그룹간 O/D량이 2동행이고 존 그룹에 속해있는 소존 존쌍중 (C_{ij}^0) 값을 가지고 있는 존쌍수가 100이라면 동행분포과정에서 2동행은 소수점이하의 작은 값들로 채워져 동행량이 소멸되는 결과를 보인다. 따라서 존그룹 O/D량이 적은 경우 이를 대표 소존에 지정하여 동행량이 소멸되지 않도록 한다.

이렇게 보정된 소존별 화물동행량은 다시 이전 단계의 (C_{ij}^0) 의 개념인 (t_{ij}^k/F_k) 로 대체한다. 이렇게 해서 소존으로 분포된 화물 O/D를 대존 그룹

별 동행량과 총동행량이 입력된 화물 O/D량과 일치할 때까지 반복한다. (C_{ij}^0) 의 단계별 보정 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

○ 단계 1 : 초기화 (C_{ij}^0)

$$C_{ij}^0 = \frac{T_{ij}^{series}}{F_k^{series}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 1020)$$

여기서,

T_{ij}^{series} : 존그룹 $k(k = 1, 2, \dots, 33)$ 에 속한
센서스 총수단 O/D량

$$F_k^{series} = \sum_{i,j \in k} T_{ij} : \text{존 그룹 } k \text{의}$$

센서스 O/D 총량

○ 단계 2 : 3종제약 동행분포

센서스 소존별 화물 O/D 및 존 그룹별 화물동행량 도출 : $T_{ij}^{sensors}, F_k^{sensors}$

○ 단계 3 : 화물 총동행량 비교

if $F_k^0 \cong F_k^n$ then stop
else (C_{ij}^0) 보정(단계 4)

여기서,

F_k^0 : 초기 입력된 존 그룹별 화물동행량

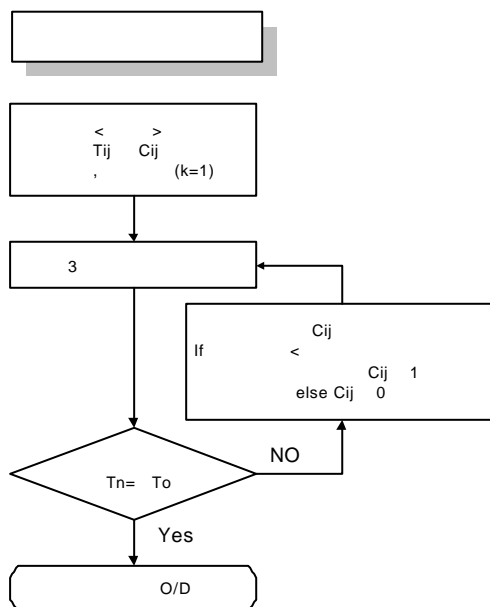
F_k^n : n차 도출된 존 그룹별 화물동행량

○ 단계 4 : (C_{ij}^0) 보정

if $C_{ij}^n \neq 0$ then $K_{ij} = 1$, else 0

if $F_k^0 < \sum_{(i,j) \in k} (K_{ij} \cdot T_{ij}^n)$ then

if $\text{MAX}_k(T_{ij}^{series})$ then $l_{ij} = 1$, else 0



〈그림 3〉 화물 동행량 보정과정

$$C_{kj}^n = \frac{T_{kj}^n}{F_k^0} + l_{kn}$$

else $C_{kj}^n = \frac{T_{kj}^n}{F_k^0}$ ($i, j = 1, 2, \dots, 1000$)

and return to (단계 2)

여기서,

T_{kj}^n : n차 동행분포에 의한 콘그룹 k($k = 1, 2, \dots, 33$)에 속한 화물 소콘O/D

F_k^0 : 초기 입력된 콘그룹 k별 화물동행량

2. 결과 및 관측치와의 비교

앞장에서 언급한바와 같이 기존의 화물O/D가 47개 대콘단위로 구성되어 있기 때문에 소콘단위로 분포된 화물O/D의 검증은 분포이전의 47개 콘과 동행량이 일치하는지를 살펴보아야 한다. <표 3>은 분포이전의 화물동행량과 소콘별로 분포된 동행량을 4개권역으로 구분하여 발생/도착량을 보여주는 것으로 소콘별로 분포된 동행량이 보정단계를 거침으로써 소콘별 분포이전의 동행량과 거의 같은 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 분포이전 47개 대콘별 O/D동행량은 표로서 제시하기에는 양이 많은 관계로 생략하 <표 3> 분포이전과 이후의 동행량 결과비교

구 분	발 생 량		도 착 량	
	분포이전	분포이후	분포이전	분포이후
서울시	592,452	592,450	612,344	612,343
인천시	319,454	319,452	182,382	182,380
경기도	507,026	507,025	677,772	677,770
기타권	138,933	138,930	85,367	85,364
계	1,557,865	1,557,857	1,557,865	1,557,857

였으나 거의 비슷한 결과가 나타나는 것을 확인하였다.

소콘별로 구축된 화물O/D는 동행배정을 하여 관측된 화물교통량과 비교함으로써 활용가능성 여부를 판단하며 추후 보정할 수 있는 근거 자료로 활용한다. 본 연구에서는 동행배정을 위해 소콘별로 구축된 화물O/D와 '96년 서울시 교통센서스의 화물차량을 제외한 기타수단 O/D를 결합하여 동행배정을 수행한다. '96년 교통센서스에 의해 구축된 화물O/D는 화물차량등록대수와 같은 간접조사에 의해 구축된 자료로서 '97년 서울시 물류조사결과 구축된 화물O/D보다 신뢰성이 낮다고 할 수 있다. 따라서, '96년 화물O/D를 본 연구의 소콘별 화물O/D로 대체하여 기타수단동행량과 결합하여 사용한다. 화물동행망 구축을 위한 화물동행배정은 화물차수단과 기타수단으로 동행계층을 구분하여 다계층노선배정(Multi-class Assignment) 방법을 이용하였다.

IV. 단계별 화물동행망 구축

화물동행망 구축은 각 단계별로 제시된 고려사항과 관련된 기존 연구결과를 참조하게 되며 참조된 네트워크 자료는 MAPINFO의 Layer로 저장한다. 저장된 각 Layer는 단계별 그림조합을 통한 최종화물동행망 구축에 활용된다.

1. 단계 1 : 신속성

단계 1은 화물의 신속한 이동성을 위한 동행망을 고려하는 단계로서 본 연구에서는 서울시에서 현재 사업진행중인 「서울시 간선도로 정비 기본

계획(1차년도)」을 참조하였다(서울시정개발연구원, 1998).

「서울시 간선도로 정비 기본계획(1차년도)」은 간선도로의 정비를 목적으로 하여 기존의 도로들 중 간선기능을 필요로 하거나 수행하면서도 도로시설의 미흡으로 인해 간선기능을 가지지 못하는 도로를 정비 대상 간선도로로 선정하고 있으며, 정비대상도로의 선정에 앞서 서울시의 기존간선도로망의 연결성을 증대함으로써 연속성을 가질 수 있도록 노선개념의 간선도로망을 선정하고 있다(<그림 4> 참조). 따라서 화물동행망 선정기준인 신속성 측면에서 간선도로의 주요 기능과 부합하므로 1단계에서 이를 반영하도록 하였다.

서울시 간선도로 정비기본계획에서 제시한 주간선가로 선정시 고려대상은 도심, 부도심 및 주요 교통거점을 연결하는 도로, 서울시 외곽지역과 서울시 도심, 부도심을 연결하는 도로, 광역도로망과의 연계여부 등이다.



<그림 4> 서울시 간선도로정비계획(1차년도)상 선정된 간선도로

2. 단계 2 : 경제성

단계 2는 경제적으로 저비용의 화물 이동성을

확보하기 위한 가로망으로서 「서울시 물류조사」의 동행망자료와 화물동행O/D를 통해 배정(Assign)된 주요 도로망을 고려한다. 서울시 물류조사에 의한 화물차량의 주요 동행도로는 <표 8>과 같이 주로 도시고속도로와 간선도로에서 이루어지고 있는 것으로 제시되었다.

<표 8> 서울시 화물차량의 주 이용도로

구분	주요도로
도시고속도로	• 올림픽대로/강변북로 • 내부순환도로
간선도로	• 강남순환도로 • 동부간선도로/서부간선도로 • 중앙간선도로(낙원상가~상계동) • 북부간선연결도로(철암교~구래IC) • 강릉IC~올림픽대로
일반간선도로	• 도심, 부도심 연결로 - 동일로, 서오릉로, 성산·수색로, 경인로, 사릉대로, 동작대로, 송파대로/강남대로, 천호대로, 망우로, 도봉로 • 남북, 동서 간선도로 - 계곡경, 방화대교~삼송리~장흥입구, 공항로, 남부순환도로/양재대로, 현충로, 노량진로, 노들길

자료 : 서울시 물류조사 및 물류종합계획수립 구상, 1998

물류조사에 의한 주요 이용도로는 물류조사의 화물교통량 조사를 목적으로 선정된 도로들로서 조사지점이 포함된 간선도로를 포함하고 있으므로 지역을 연결하는 망(네트워크) 개념이 포함되지 않은 것으로 볼 수 있다. 따라서 화물동행량 배정을 통해 도출된 주요 가로망과 서로 일치하는 가로망을 고려 대상으로 하였다.

전장에서 논의된 화물동행량 배정을 통한 동행망은 가로상 전체 차량 대비 화물차량이 차지하는 비율 및 화물교통량의 규모를 판단 근거로 하여 비율 및 교통량이 많은 도로를 주요 화물동행망으로 선정하였다. 화물차량비중은 지점별 차종별 교

동량조사자료(서울시, 교통센서스, 1996, 물류조사, 1998, 분기별 교통량조사자료, 1999)를 활용하여 시계 유출입도로, 도시고속도로, 간선도로, 도심도로 등 화물차 평균구성비가 약 10%인 점을 참고, 10%를 기준으로 하여 그 이상인 도로를 주요 화물동행망으로서 우선적으로 <그림 5>와 같이 선정하였다.



<그림 5> 화물차량 구성비 10% 이상 가로망

그러나 화물차량이 차지하는 비율만을 기준으로 할 경우 교통량이 많지 않은 집분산 및 국지도로까지 선택될 가능성이 있어 이를 배제하기 위해 화물교통량을 함께 고려하여 선정하도록 하였다. 화물교통량은 1000대/일 이상부터 5000대/일 이상까지 5가지로 구분한 후 네트워크의 형태를 가지는 1000대/일 이상 도로 <그림 6>과 2000대/일 이상인 도로 <그림 7> 등 크게 두 개의 수준으로 구분하였다. 따라서 도로에서 차지하는 화물차량의 비중과 화물차 교통량을 함께 고려함으로써 현실적으로 저비용의 화물동행망 선정에 보다 합리적으로 접근할 수 있도록 하였다.

화물차량 비중 10% 이상인 가로와 화물교통량 1000대/일, 2000대/일 이상 가로를 각각 MAPINFO Layer로 입력한 다음 계층제어를 통해 각 Layer를 겹치게 하여(Overlapping) 화물차교통

량 1000대/일 이상과 구성비 10%이상인 가로망 <그림 8> 및 2000대/일 이상과 구성비 10% 이상인 가로망 <그림 9>의 2가지 새로운 조합을 구성하였다.



<그림 6> 화물교통량 1000대/일 이상 가로망



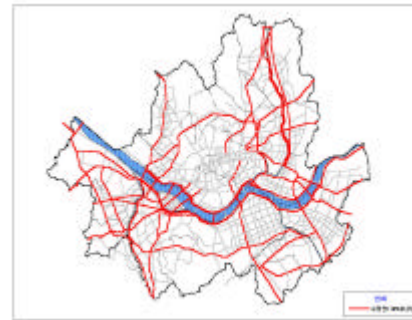
<그림 7> 화물교통량 2000대/일 이상 가로망



<그림 8> 화물차량교통량 1000대/일 이상과 구성비 10% 이상 가로망



〈그림 9〉 화물차량교통량 2000대/일 이상과
구성비 10% 이상 가로망



〈그림 10〉 서울시 물류시설간 연결 가로망

3. 단계 3 : 편리한 접근성

단계 3은 화물의 편리한 접근성 확보측면으로
서 「서울시 물류조사」의 서울시 물류거점 시설망
도를 활용하여 물류거점지역 20개소를 연결하는
동행망을 구축하였다. 물류조사 보고서의 거점시
설은 대부분 철도망을 통하여 연결되어 있기 때
문에 철도망과 인접한 간선도로급 도로들을 포
함하여 물류거점 시설간 최단 경로로 연결할 수
있도록 물류거점간 연결 도로망을 선정하였다.
(〈그림 10〉 참조).

〈표 9〉 서울시 주요물류거점 시설

일련번호	물류거점 시설	일련번호	물류거점 시설
1	경포공항	11	양재동 양곡시장
2	한국트럭터미널	12	노량진 수산물시장
3	서부트럭터미널	13	남대문시장
4	서울역	14	동대문시장
5	용산역	15	홍인시장
6	영등포역	16	용산전자상가
7	청량리역	17	구로기계공구상가
8	한국수출산업공단	18	청계천상가
9	영등포기계공단	19	영등포 일대
10	가락동 농수산물시장	20	청량리 일대

자료 : 서울시 물류조사 및 물류통행계획수립 구상, 1998

4. 단계 4 : 안전성

단계 4에서는 화물통행의 외부효과의 최소화를
위해 주거밀집지, 소매상밀집지, 보행밀집지 등 기
타운행제한 시설물을 고려하여 제외하는 과정으로
서 본 연구에서는 각 단계별 가로망 선정시에 이
를 고려하여 해당되는 도로를 배제하였다.

5. 화물통행망의 확정

최종적으로 선정한 서울시 화물통행망은 <표
10>과 같이 각 단계별로 획득된 가로망 Layer를

〈표 10〉 최종화물통행망 구축을 위한 입력 Layer
구성내용

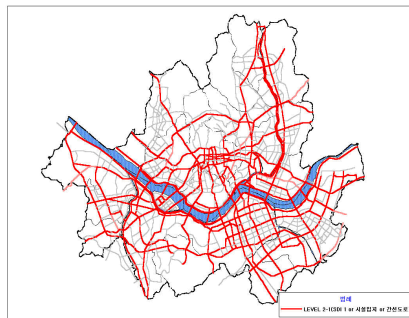
Layer No.	Layer 구성내용	비 고
①	간선도로정비 기본계획	〈그림 4〉
②	화물차량 구성비 10% 이상	〈그림 5〉
③	화물차교통량 1000대/일 이상	〈그림 6〉
④	화물차교통량 2000대/일 이상	〈그림 7〉
⑤	화물차구성비 10% 이상과 화물교통량 1000대/일 이상 (②∩③)	〈그림 8〉
⑥	화물차구성비 10% 이상과 화물교통량 2000대/일 이상 (②∩④)	〈그림 9〉
⑦	서울시 주요물류 거점시설 연결 가로망	〈그림 10〉

〈표 11〉 최종화물동행망 Layer 구성내용

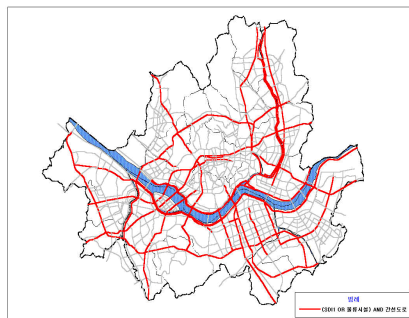
동행망 구분	Layer 조합	비 고
A	①U(⑥U③)	〈그림 11〉
B	①n(⑥U③)	〈그림 12〉

조합하여 A, B 2가지 수준의 화물동행망을 〈표 11〉, 〈그림 11〉, 〈그림 12〉와 같이 구성하였다.

본 연구에서는 동행망 A를 서울시 기본 화물동행망으로 제시하며 아울러 집중관리대상 화물동행망으로서 B를 제시하였다.



〈그림 11〉 화물동행망 A



〈그림 12〉 화물동행망 B

화물동행망 A는 화물차량 1000대/일 이상 및 화물차구성비 10%이상 도로와 물류입지시설간 도로가 함께 포함되어 있으며 간선도로정비 기본계획상 지정된 도로들도 포함된 합집합 개념의 동행

망을 의미한다(〈그림 11〉 참조). 화물동행망 B는 화물차량 1000대/일 이상 및 화물차구성비 10%이상 도로와 물류입지시설간 도로가 함께 포함되어 있으며 간선도로정비 기본계획상 지정된 도로들과 교집합에 의해 구성되는 동행망을 의미한다(〈그림 12〉 참조). 즉, 화물차량 이용도가 높은 주요 도시고속도로, 간선도로를 의미하며 화물차 동행을 위해 우선적으로 관리되어야 할 동행망으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서 구축한 화물동행망은 서울시 대규모 물류조사에 의해 구축된 화물동행O/D를 활용하여 이전에 찾아볼 수 없었던 화물과 사람O/D를 종합적으로 고려한 화물동행망을 최초로 제시하였다는 점에서 의미를 찾을 수 있을 것이다. 화물차동행량 조사의 어려움으로 인해 47개 대순수준에서 전수화된 O/D의 활용성을 높이기 위해 소순단위로 분포시켜 사람동행O/D와 결합시키는 과정이 필요하였다. 그러나 소순별 화물 데이터가 전무한 상태에서 사람동행O/D의 분포결과를 그대로 반영할 수밖에 없는 한계점을 가지고 있다. 또한 화물/사람의 동행수요에 대한 미래예측이 없는 상태에서 제시된 망이기 때문에 지속적으로 모니터링을 통한 동행망의 보완이 필요하며 도심동행제한을 또한 인정한 상태라는 한계점도 가지고 있다.

구축된 동행망은 서울시 화물동행의 핵심망으로서 지속적으로 관리할 필요가 있으며 망의 적극적인 활용을 위해 1차적으로는 서울시의 화물동행망으로 채택하고, 도로 및 교통여건을 monitoring해야 하며, 2차적으로는 화물차동행 배려를 위해서

제시된 망에서는 화물차 관련규제를 최소화하고 화물차량 우대정책을 집중적으로 펼쳐야 한다.

화물동행망의 적극적 활용방안으로는 첫째, 신설된 물류거점지와 선정망의 연계가 미흡한 경우, 도로 및 진출입램프 확보사업의 근거 자료로 활용한다. 둘째, 선정망상의 동행제한 완화를 모색하고 필요시 구조개선사업을 우선적으로 추진하기 위한 근거자료로 활용한다. 셋째, 선정된 망을 따라 화물차 관련 교통정보를 집중하여 투자효율을 제고하고 선정된 망 일부구간에서 동행료를 징수할 경우 화물차 우대근거로 활용한다. 마지막으로 화물차량의 유형별 동행제한 또는 경로지정시 활용 및 위험물 및 종차량 운행규제를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 서울시, 서울시 물류조사 및 물류종합계획수립 구상, 1998,
서울시, 서울시 간선도로 정비기본 계획(1차년도), 1998, 12,
서울시, 서울시 교통센서스 및 데이터베이스 구축, 1997, 12,
서울시경제개발연구원, 서울시 교통수요 예측모형 정립 (1)- 동행발생 및 통행분포, 1998,
서울시, 서울시 물류체계개선 종합계획(안), 1998, 12,
A. G. Wilson, (1970) Entropy in Urban and Regional Modeling, Pion Limited, London,
J.de, D. Ortuzar and L.G. Willumsen, (1994) Modeling Transports, John Wiley & Sons, Inc.,
U.S. Department Of Transportation, (1975) Calibrating & Testing a GRAVITY MODEL for Any Size Urban Area,
The First European EMME/2 Users Conference, (1992), Travel Demand Forecasting Models In The San Francisco Bay Area.

Sheffi, Y. (1985) Urban Transportation Networks : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.