

## ‘정부 3.0’ 시대를 맞이한 국내 화물 자료의 집계 수준에 따른 분류체계 구축 및 네트워크 모형 적용방안

유한솔 · 김남석\*

한양대학교 교통·물류공학과

### Classification of Domestic Freight Data and Application for Network Models in the Era of ‘Government 3.0’

YOO, Han Sol · KIM, Nam Seok\*

Department of Transportation & Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

#### Abstract

Freight flow data in Korea has been collected for a variety of purposes by various organizations. However, since the representation and format of the data varies, it has not been substantially used for freight analyses and furthermore for freight policies. In order to increase the applicability of those data sets, it is required to bring them in a table and compare for finding the differences. Then, it is shown that the raw data can be aggregated by a particular criterion such as mode, origin and destination, and type commodity. This study aims to examine the freight data issue in terms of three different points of view. First, we investigated various freight volume data sets which are released by several organizations. Second, we tried to develop formulations for freight volume data. Third, we discussed how to apply the formulations to network models in which particular OR (Operations Research) techniques are used. The results emphasized that some data might be useless for modeling once they are aggregated. As a result of examining the freight volume data, this study found that 14 organizations share their data sets at various aggregation levels. This study is not an ordinary research article, which normally includes data analysis, because it seems to be impossible to conduct extensive case studies. The reason is that the data dealt in this study are diverse. Nevertheless, this study might guide the research direction in the freight transport research society in terms of data issue. Especially, it can be concluded that this study is a timely research because the government has emphasized the importance of sharing data to public throughout ‘government 3.0’ for research purpose.

우리나라의 화물 통계는 다양한 기관에 의해 다양한 목적으로 구축되고 배포되고 있다. 그러나 각 기관별로 통계 수집 목적과 발표되는 통계의 형식 상이하여 자료의 활용성이 매우 제한적인 한계를 지니고 있다. 각 목적에 따라 수집된 원시자료는 특정 항목을 기준으로 집합화(aggreated)된다. 화물 통계에서 이 항목들은 대표적으로 품목, 수단, 출도착지가 될 수 있다. 본 연구는 이러한 집합화의 과정을 다루고 있으며 다음의 세 가지 연구 목적을 가지고 있다. 우선, 기관별로 집계하고 발표하는 다양한 형태의 화물 물동량 자료를 총체적으로 살펴보고 이를 요약 하고자 한다. 둘째, 여러 기관에서 제시하는 물동량 자료를 수리적 형태로 표현하고자 한다. 셋째, 이 수리표현이 OR(Operations Research)기법을 적용한 네트워크모형에 어떻게 적용될 수 있는지를 타진하고자 한다. 국내 물동량 자료를 살펴본 결과 14개 기관이 각기 다른 목적으로 물동량 데이터를 제공하고 있었고, 물동량의 수리표현을 한 결과 4개의 집계수준이 도출되었다. 한편, 구축된 수리표현은 실제 자료와 관련하여 OR기법을 적용한 화물 네트워크 문제의 결정변수 및 입력 자료와 연관성이 있는 것으로 파악되었다. 비록 본 연구에서는 특정 정량적 연구 방법론을 적용하는 등 일반적인 연구논문의 형식을 따르지 않았다. 그 이유는 본 연구에서 다루는 자료의 종류가 국내 모든 화물 자료를 총 망라하고 있고, 그 자료로 공통적으로 이용할 수 있는 수식은 존재치 않기 때문이다. 본 연구의 의의는 국내 화물자료가 가진 한계와 적용방안을 총체적으로 살펴봄으로써 화물 네트워크 모형을 비롯한 화물 관련 연구의 발전을 위한 기초자료 확립을 위한 구체적인 방안을 찾는 방향을 제시했다는 것에서 찾을 수 있을 것이다. 본 연구가 제안하는 화물 데이터 구축의 한계는 최근 정부가 지향하는 정부 3.0의 필요성을 역설한다 할 수 있다.

#### Keywords

aggregation, commodity, formulation, freight data, network problem, operation research, government 3.0

집계, 품목, 정식화, 화물데이터, 네트워크 문제, OR모형, 정부 3.0

\* : Corresponding Author  
nskim@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5159, Fax: +82-31-436-8147

Received 10 May 2015, Accepted 2 July 2015

## 서론

국가 물류정책을 수립하거나 물류 인프라를 적절하게 공급하기 위해서는 국가 물동량의 흐름을 데이터의 형태로 수집하거나, 최소한 추정할 수 있어야 한다. 즉, 어떤 품목이, 어떤 수단에 의해, 어떤 규모로, 어디부터, 어디로 흐르는지를 파악할 수 있는 체계가 갖추어져 있다면 국가나 기업의 물류정책 수립에 큰 도움이 될 것이다. 그러나 현실적으로 이러한 세부적인(즉, 품목별, 수단별, 출도착지별)물동량을 데이터의 형태로 수집하는 것은 불가능하다는 점이 화물/물류 모형을 수립하여 물동량을 추정하는 당위성이 될 것이다.

그러나 어떤 모형도 입력 자료가 (input data) 필요하기 때문에 어떠한 모형을 구축한다 하더라도 여전히 기초 자료를 적절히 수집하는 것의 중요성이 줄어들지는 않는다. 하지만, 우리나라에는 여러 기관에서 배포하는 국내·외 물동량과 화물통계의 발표 형식이 매우 다양하고 기관마다 내용이 중복되는 경우가 있어 이를 모형에 사용하기까지 또 다른 가공의 과정을 거치게 된다.

특히, 대부분의 화물모형의 기초자료로 사용되는 국가교통 DB(이하KTDB)가 제공하는 기종점 자료의 경우에도, 실제의 기종점(Production/Consumption)과 단일통행의 기종(Origin/Destination)를 구분하지 않고 있어 이를 쓸모 있게 가공하거나 O/D를 통해 P/C를 추정하고자 하는 연구가 지난 몇 년간 화물 모형의 주류를 이뤘을 정도이다(Kim et al., 2013; Hong et al., 2012; Kim, 2010; Byeon et al., 2014). 국내에서 진행된 이러한 기존 연구들은 KTDB의 수단 O/D자료가 목적통행(linked trip)을 수단통행(unlinked trip)으로 인식하고 특정 수단통행이 집계되지 않은 문제점을 지적하였다. 이 문제점의 핵심은 KTDB자료를 통해서도 화물 운송의 최초기점과 최종 종점을 알 수 없다는데 있다. 즉, 목적통행에 대한 수단의 세부데이터를 파악할 수 없는 것과 거점에서 거점으로의 통행(Main-haul trip between hubs)만 집계하여 접근통행(Access/Egress trip or drayage)을 알 수 없다는 것이다<sup>1)</sup>. 한편, 이러한 O/D가 P/C의 일부로서 작용한다는 원리는 Crainic et al.(1990)도 이미 복합운송을 설명하기 위해 이 점을 지적하였다.

KTDB자료를 비롯하여 다음의 자료도 유사한 문제를

가지고 있다: 관세청의 수출입 물동량 데이터(수출입물류통계연보(2010)), 해양수산개발원(KMI)(2014)이 제공하는 항만 물동량 데이터, 해양수산부 해양항만물류정보센터(SP-IDC)(2014), 한국철도공사(KORAIL)가 제공하는 철도화물 물동량 데이터(철도통계연보(2014)), 차종별 고속도로 영업소간 교통량(한국도로공사(2014)), 국도 화물차데이터(건설기술연구원 교통량정보제공시스템(TMS)(2014)). 아직까지 국내에서, 이러한 자료를 한 데 모아보려는 시도가 존재하지 않았고, 이렇게 자료를 모아서 특정 기준을 통해서 살펴보려는 시도가 이루어지지 않았다. 또한, 이러한 자료를 수리적 표현(formulation)의 형태로 변환시키려는 시도 또한 한 번도 이뤄진 적이 없다. 다양한 물동량 중심의 화물 교통통계를 수리적으로 표현하여 기관에서 배포하는 데이터를 특성별로 분류하여 나타내는 작업은 다음과 같은 의미가 있다: (1)각 자료를 상호점검(cross-check)할 수 있는 기회를 제공할 수도 있고, (2) 세부적인 물동량의 흐름을 추정하여 최적의 수단별 물동량 배정을 가능케 하거나 (multimodal minimum cost flow problem의 결과), (3)최적의 입지 선정 (multimodal network design problem의 결과)을 가능하게 하는 OR기법을 활용한 네트워크 문제의 입력 자료를 만들어 낼 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 특히, 여러 데이터를 수리적으로 표현한다는 것은 수학적 표현이라는 연구자들의 공통의 언어로 데이터의 이질성을 극복해서 그 활용도를 높여보자는 것이 본 연구의 기저에 있는 철학이라 할 수 있다.

본 연구에서는 화물교통 물동량을 설명하는 요인을 네 가지로 분류하였다. 저자들은 수단, 품목, 기점, 종점은 화물의 흐름을 특정 짓는 가장 중요한 요인으로 파악하였고 이러한 요인에 따라 집계를 시도하였다. 이러한 데이터 선정 기준 및 분류체계의 기준에 따라 국내 화물 물동량 자료가 제 2장에서 논의된다. 제 3장에서는 이러한 자료들이 앞서 언급한 네 기준에 의해 수리적으로 표현되며, 제 4장에서는 이러한 수리 표현을 우리나라의 화물 물동량 자료에 적용시켰다. 제 5장에서는 전장에서 다뤘던 화물 물동량 자료를 어떻게 OR 기법을 적용한 네트워크 모형에 적용시킬 것인지 논의한다. 마지막으로 결론에서는 연구의 한계와 향후 연구에 관해서 논의하도록 한다. 본 연구의 전반적인 흐름은 Figure 1에 제시되어 있다. 단, 본 연구는 별도의 문헌고찰을 독립된 장으

1) 이러한 목적통행과 수단통행의 국내 자료에서의 문제점은 승객통행을 중심으로 Kim(1997)에 의해 최초로 제기

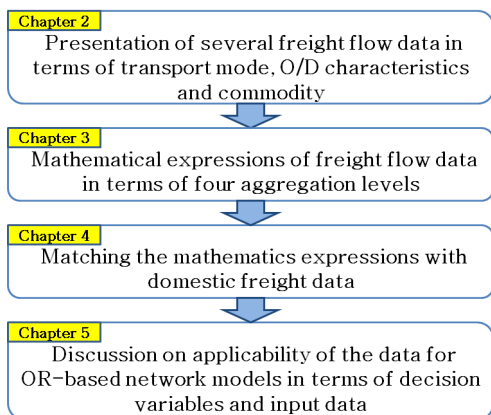


Figure 1. Study process

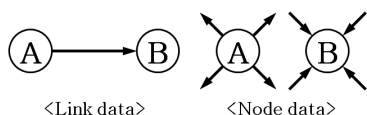


Figure 2. Diagram of link data and node data

로 분류하지 않았다. 그 이유는 저자들의 한정된 지식에 따르면 과거에 화물 데이터의 분류체계를 다룬 기존연구가 국내에서는 존재하지 않았기 때문이고, 수리모형에 대한 적용성과 관련해서는 5장에 포함시키는 것이 적절했기 때문이다.

### 국내 화물 물동량 데이터의 현황

일반적으로 화물 물동량은 다양한 형태로 표현될 수 있다. 첫째, 화물 물동량 데이터는 링크(link)자료와 노드(node)자료로 구분할 수 있다. 링크 자료란 기점에서 종점으로 이동하는 O/D자료를 의미하며, 노드자료란 화물이 발생하거나 유입되는 기중점의 물동량 총량 자료를 의미한다. Figure 2는 이러한 링크자료와 노드자료를 도식화한 것이다.

둘째, 화물 물동량 데이터는 교통수단을 기준으로 분류할 수 있다. 육송, 철도, 해운, 항공으로 구분하여 화물교통과 관련된 수단이 확실히 파악되는 통계자료를 선정하였으며 화물자동차의 차종구분이 되는 수준과 여객 열차와, 화물열차를 구분할 수 있는 자료를 선정 하였다.

셋째로 품목에 따라 물동량을 구분 할 수 있다. 자료

수집 기관이 어떤 품목을 주로 다루느냐에 따라, 컨테이너/비컨테이너로 구분하기도 하고, 일반적인 물동량 단위인 톤을 기준으로 제시할 수도 있으며, 톤-키로로 제시할 수도 있다.

Table 1은 앞서 언급한 세 가지 기준에 따라 14개 기관에서 제공하는 물동량 자료를 정리한 것이다<sup>2)</sup>. 우선 육송과 철도수송의 O/D 물동량을 모두 제공하는 기관은 KTDB와 의왕ICD이다. 전자는 링크와 노드에 대한 자료를 모두 제공하고 있지만, 후자<sup>3)</sup>는 노드에 대한 집계자료만 제공하고 있다. 또한, 후자는 내륙 컨테이너 기지 (ICD) 이므로 취급 품목이 컨테이너로 한정되어 있다. KTDB도 컨테이너를 별도의 품목으로 집계하고 있기는 하지만, 그 단위가 다르다는 점을 언급할 필요가 있다 (KTDB는 ton/year, 의왕 ICD는 TEU/year).

KTDB는 251개의 전국 시군구 별 존으로 구분하여 O/D물동량을 제공하고 있으며 33개로 품목과 톤급별 (3종 구분)<sup>4)</sup>로 화물자동차의 종류를 세분화 했다. 현행 화 자료로 2011년 자료를 사용하고 있으며 2004년 자료에서는 광역권별로 소존을 세분화하여 O/D물동량을 제공하였다. KTDB는 기본적으로 표본 추출을 통해 추정, 가공한 자료를 제공하고 있다. 한편, 관세청이 제공하는 국내 대존(특별시·광역시·도 단위)과 수출입 항만/공항 간 자료도 트럭과 철도를 합친 육상교통 데이터로 간주할 수 있다. 문제는 트럭과 철도를 합친 총량이 제시 되어 있는데, 구체적인 분담률은 제공되지 않고 있으며, 품목은 95개 품목으로 구분된 HS코드(Harmonized System)와 컨테이너 이다.

트럭 통행에 대한 자료는 주요하게 TMS(Traffic Monitoring System: 건설기술연구원 교통량 정보제공 시스템, 이하 TMS)에서 제공하는 자료와 한국도로공사에서 제공하는 자료로 구분할 수 있다. 전자는 고속국도(509개 지점), 일반국도(1598개 지점), 국가지원지방도(341개 지점), 지방도(1153개 지점)에서 지점교통량을 수시·상시로 시행하고 있다. 12종(3-12종:화물자동차) 차종분류를 통해 화물자동차를 세부적으로 구분하였으며 상·하행 통행량이 검지기를 통해 수집된다. 후자는 여섯 종류<sup>5)</sup>의 차종(소형차1종, 중형차2종, 대형차3종, 대형화물차4종, 특수화물차5종, 경차6종)으로 분류된

2) Statistics Korea(2008)에서 제시된 일부 기관의 배포된 자료를 참고  
 3) 의왕 ICD 자료는 국가물류통합정보센터를 통해 구득하였음(www.nlic.go.kr/nlic/frghtIcd0010.action)  
 4) 2.5톤 미만 / 2.5톤 이상 - 8.5톤 이하 / 8.5톤 초과  
 5) 화물차는 대형으로 분류되어 있으나, 미니버스, 대형버스도 대형으로 분류되어 구분이 제대로 이뤄지지 않고 있어, 화물분석에 자료를 이용할 수 없는 실정임

**Table 1.** Korea freight volume statistics database status

| DB list  | Link/Node | Link data   | Mode                       | Commodity                                       | Unit                    | Survey year | Survey cycle                | Remark  |
|--|-----------|---|----------------------------|---|-------------------------|-------------|-----------------------------|---|
| KTDB   | Link      | Mid zone ↔ Mid zone (251 zones)   | Truck                      | 31 Items, Wholesale and retail trade, Container | Ton/year, Vehicles/year | 2011        | Every 5 years               | Subcategory of trucks : 3types (less than 2.5ton, less then 8.5ton, more than 8.5 tons)                               |
|  |           |   | Rail                       | Container, Non Container                        | Ton/year                |             |                             |   |
|  | Node      | 19Logistics centers (Enter/exit traffic)  | Truck                      | -   | Vehicles/day            |             |                             |   |
| Gyeonggi-do traffic DB                               | Link      | small zone ↔ small zone (1154 zones)  | Truck                      | 7 Items, (2003 KTDB' s commodity system)        | Ton/day, Vehicles/day   | 2003        | Every 5 years               | Metropolitan area only considered<br>Subcategory of trucks : 3types (less than 1ton, less then 8ton, more than 8tons) |
| TMS  | Node      | Nationwide 3061 Point traffic   | Truck                      | -   | Vehicles/day            | 2013        | Occasional /Always research | Subcategory of trucks: 12 types<br>Up line/ Down line   |
| Korea Expressway Corporation                         | Link      | IC→IC (357 IC)  | Truck                      | -   | Vehicles/year           | 2014        | Annually                    |   |
| Customs import/export logistics Statistical Yearbook | Link      | Each port, airport in Korea ↔ Foreign port, airport   | Waterborne vessel<br>Air   | Container/Bulk                                  | TEU/year, Ton/year      | 2013        | Annually                    |   |
|  | Link      | Large zone ↔ Port & Airport   | -                          | HS code, Container/Bulk                         | TEU/year, Ton/year      |             |                             |   |
| BPA-NET  | Link      | Busan Port ↔ Overseas port  | Waterborne vessel          | Container                                       | TEU/year, Ton/year      | 2014        | Annually                    |   |
|  | Node      | Performance of Container handling in each pier<br>import/export freight volume of terminals     | Waterborne vessel<br>Truck | 32 Items<br>Container                           | Ton/year<br>TEU/year    |             |                             |   |
| SP-IDC   | Link      | Each port in Korea ↔ Foreign country  | Waterborne vessel          | 32 Items  | Ton/year                | 2014        | Month                       |   |
|  | Link      | Each port in Korea ↔ Each port in Korea   | Waterborne vessel          | -   | Ton/year                |             |                             |   |
|  | Node      | Import/export freight volume of Each port in Korea  | Waterborne vessel          | Container, Non Container                        | TEU/year, Ton/year      | 2014        | Month                       |   |
| KMI  | Link      | Station↔Station   | Rail                       | Container                                       | TEU/year                | 2012        | Annually                    | Rail freight data used KORAIL data  |
|  | Link      | Port in Korea ↔ Foreign country   | Waterborne vessel          | Container                                       | TEU/year                | 2013        |                             |   |
|  | Node      | Departure/Arrival freight volume of port in Korea   | Waterborne vessel          | 32 Items  | Ton/year                | 2012        |                             |   |
| Korea International Trade Association                | Node      | Import/export freight volume of 257 municipalities  | -                          | HS, MTI, SITC code                              | Ton/year                | 2014        | Month                       |   |
| Statistical Yearbook of Railroad                     | Link      | Station ↔ Station   | Rail                       | -   | Ton/year                | 2011        | Annually                    |   |
|  | Node      | Send/arrival freight volume of each station   | Rail                       | -   | Ton/year                | 2011        |                             |   |
|  | -         | -   | Rail                       | 10 Items  | Ton/year                | 2014        |                             |   |
| Korea Airports Corporation                           | Link      | Domestic airport ↔ Domestic airport Airport in Korea(except Incheon Airport) ↔ Foreign Airports | Air                        | Freight, Baggage, Mail                          | Ton/year                | 2014        | Month                       |   |
|  | Node      | Departure/Arrival freight volume of each airport in Korea                                       | Air                        | Freight, Baggage, Mail                          | Ton/year                | 2014        | Month                       |   |
| Incheon International Airport Corporation            | Node      | Departure/Arrival freight volume of each airport in Korea                                       | Air                        | Freight, Baggage, Mail                          | Ton/year                | 2014        | Month                       |   |
| Uiwang ICD   | Node      | Import/export freight volume  | Rail, Truck                | Container                                       | TEU/year                | 2014        | Annually                    |   |
| National Logistics Information Center                |           | KTDB, SP-IDC, Uiwang ICD data used  |                            |   |                         |             |                             |   |

형태의 O/D자료를 제공하고 있다. 여기서 O/D는 한국도로공사에서 운영하는 335개 영업소(톨게이트)와 민자노선의 22개의 영업소를 대상으로 한다. TMS 자료는 링크상의 자료이나, O/D가 불명확하여 링크자료로서의 가치가 떨어진다. 다만, 12종의 차종분류체계는 육상교통 자료 중 차종구분에 있어서 가장 높은 수준의 분류체계를 가지고 있다. 한국도로공사의 자료의 경우, O/D자료라고는 하나, 본래의 기준점 자료가 아니라 고속도로상에서의 자료이기 때문에 세부적인 트럭통행 자료로서 그 활용도가 떨어진다.

화물차종을 공통된 기준으로 세분화하는 것은 물동량 자체에 막대한 영향을 끼친다. 예를 들어, 1,000톤키로의 운행을 위해 20톤 트럭과 1톤 트럭이 운행해야하는 거리 및 횟수의 차이는 막대하다. 20톤 트럭은 50km를 1회만 운행해도 1,000톤키로이나, 1톤 트럭의 경우 1,000km를 1회 운행하거나, 50km를 20회 운행해야 같은 물량을 이동시킬 수 있다. 후술하겠지만, 이러한 차이는 물동량 오차를 넘어, 이를 토대로 산정하는 물류비, 온실가스 추정에도 큰 영향을 끼치게 된다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011).

철도 관련 자료의 경우 한국철도공사에서 수집하고 배포하는 철도통계연보를 참고하였다<sup>6)</sup>. 10개 품목별로 화물수송실적을 제공하고 있으며 2012년 까지 국내 역별 화물 발송/도착과 철도역간 O/D물동량을 제공하였다. 철도 통계연보는 각 지역본부에서 조사된 통계자료를 취합하여 가공된 자료이다. 이를 토대로 하는 원시자료에 대해서 정보공개를 할 수 있으나 한국철도공사의 업무비밀공개가 불가능한 사유로 원시자료 구득이 어려운 실정이다. KTDB와 KMI의 철도 물동량 자료는 한국철도공사에서 제공하는 기준년도 철도화물실적을 토대로 작성된 자료이다.

경기도교통DB는 KTDB의 2003년 자료를 토대로 서울, 인천, 경기도를 포함하는 읍면동 단위의 1154개 소준으로 구분하여 O/D물동량을 제공하고 있다. KTDB의 2003년 자료가 7개품목을 제공하였기 때문에 경기도교통DB도 7개의 품목만 제공하고 있었으나, 화물자동차 톤급에 대한 구분은 현KTDB와 다른 3종<sup>7)</sup>으로 구분하고 있었다.

단, 구축된 품목별O/D는 수도권 내부 물동량이며 외부 지역과의 물동량은 제외된 자료이다. 경기도교통DB 역시 KTDB자료에 기초하고 있기 때문에 추정된 자료이다.

해상 화물 물동량은 항만을 기준으로 하여 대부분 국외로 수출입되는 화물 중심으로 관세청, 부산항만공사 항만물류정보시스템(이하BPA-NET), 해양수산부 해운항만물류 정보센터(이하SP-IDC), KMI, 한국무역협회에서 제공하고 있다. 관세청의 수출입물류통계연보는 수출입 신고서, 입출항 적하목록자료를 바탕으로 한국관세무역개발원에서 원시자료를 가공하여 출판하고 있다. 해외에서 수입되는 물동량과 해외로 수출하는 물동량을 중심으로 국내 항만·공항과 해외 항만·공항 간 O/D 물동량자료를 제공하고 있다. 하지만, 품목을 단순히 C(Container)/B(Bulk)로 대분류 구분을 하여 특정 분석을 위한 기초자료서는 부족한 점을 내포하고 있다. 원시자료(수출입 신고서, 입출항 적하목록)는 가공하여 공개하도록 고시되어있어 기업영업비밀, 국가행정상 비밀 정보 등의 이유로 구득이 매우 어렵다<sup>8)</sup>. BPA-NET은 부산항을 기준으로 상세한 물동량 자료<sup>9)</sup>를 제공하고 있다. 부산항과 해외항만의 O/D 물동량을 톤수와 TEU 단위로 제공하고 있으며 항만 내 부두별, 32개의 품목별로 물동량을 제공하고 있다. 해양수산부 SP-IDC는 예서는 국내항만과 해외지역단위와의(예컨대, 미주, 동남아 등의 단위) O/D 물동량을 톤수로 제공하고 있으며 국내 항만 간 O/D 물동량을 제공하고 있다. 또한 항만별 수입/수출 컨테이너 처리실적을 톤수와, TEU단위로 제공하고 있다. KMI는 이 SP-IDC 자료를 취합하여 발표하고 있다. 원시자료는 수출입 신고서와 화물 반출입 신고서를 바탕으로 작성하고 있으며 관세청과 같은 이유로 원시자료 구득이 어렵다.

항공화물은 KTDB와 관세청, 한국공항공사, 인천국제공항공사에서 물동량 통계자료를 제공하고 있으며 항공사의 입출항 신고서를 바탕으로 항공통계가 작성된다.(Ministry of Land, Infrastructure and

Transport(2013)) 한국공항공사는 국내공항간의 O/D물동량과 국내공항(인천공항제외)과 취항한 해외공항 간의 O/D물동량을 화물기별, 화물, 수하물, 우편물

6) 한국해양수산개발원(이하KMI)은 철도공사 자료를 토대로 컨테이너 품목에 한하여 O/D자료 배포

7) 1톤 이하 / 1톤 이상 - 8톤 이하 / 8톤 이하

8) 무역통계작성 및 교부에 관한 고시, 제21조(통계 등의 제공원칙), 제22조(영업비밀 등의 보호), 제23조(통계자료 제공 거부 사유)

9) 해양수산부의 항만운영정보시스템(Port-mis)포털 자료를 이용하고 있으며 평양항, 평택항 등 이외 항만도 같은 자료를 기반으로 작성됨

별로 톤수로 제공하고 있다. 단, 인천국제공항공사는 한국공항공사와 같은 형태의 자료를 구축하고 있으나 별도의 배포체계를 가지고 있었다. KTDB의 항공물동량자료는 한국공항공사의 화물운송실적자료를 기반으로 251개의 존의 O/D물동량으로 제공하고 있다.

한국무역협회 무역통계정보시스템은 관세청의 통관자료를 기반으로 작성되고 있다. 전국 257개 기초자치단체의 수출입 물동량을 제공하고 있으며 HS (Harmonized System), MTI (Ministry of trade and industry), SITC (Standard International Trade Classification) 코드에 따른 품목별 물동량을 톤수로 제공하고 있다. 국가 간의 무역 규모를 토대로 작성된 자료이기 때문에 국내 육상 수단(트럭, 철도)와는 관련이 없고, 해상/항공을 합한 수치로 볼 수 있다. 단, 진입, 진출 공항/항만 정보가 별도로 제시되어 있지 않아서 화물 물동량 자료로서의 가치는 크지 않다.

## 화물 물동량의 수리 표현(Formulation)

### 1. 화물 물동량 특성

화물 물동량은 **수단**(transport mode), **품목**(commodity), **기종점**(O/D, P/C, 접근)에 따라 구분할 수 있다. 본질적으로 수단, 품목, 기종점은 밀접한 관련이 있다. 즉, 특정 품목이 특정 수단의 수송에 크게 의존하는 경향이 두드러지며 특정 품목의 기종점 또한 특정 지점들에 국한되는 경우가 많다 (예: 유류 - 저유소: 컨테이너 - 항만: 석탄 - 광산: 자동차 - 자동차 조립공장 등). 하지만, 이러한 조합에 어떤 정형화된 패턴을 부여하기란 매우 어렵기 때문에 세 가지 기준을 독립적으로 부여하여 화물 물동량을 특정 짓는 방식이 주된 분류체계 방식으로 여겨져 왔다.

우선, 수단은 구체적으로 화물자동차(트럭), 화물열차, 화물선박, 화물기로 등으로 구분된다. 화물자동차는 세부적으로 톤급에 따라 세 분류가 가능하다. 또한, 수송 품목은 차량형태를 결정짓는 주요 요인인데, 예컨대, 컨테이너는 트랙터-트레일러 형으로, 철강은 카고형, 기타 식재료 등은 왕바디형/밴형으로 주요하게 수송된다. 화물 열차의 경우도 화물 품목과 화차의 형태에는 관련성이 있다. 컨테이너 수송을 위한 평판형, 각종 벌크화물을 위한 유개화차 (쌀, 비료, 시멘트 등), 무개화차 (석탄,

자갈 등), 탱크로리 화차, 평판차 (목재 등) 으로 구분할 수 있다. 화물선박의 경우 본 연구에서 집중적으로 다루지는 않으나 화물자동차의 경우와 유사하게 용량의 따른 세분류가 가능하다. 하지만, 작은 선박과 큰 선박의 용량의 차가 경제적, 환경적 차원에서 다른 어느 수단보다 막대하여 이에 대한 별도의 고려가 반드시 필요하다. 품목과 선박의 형태와의 관련성도 매우 높는데, 특정 품목만을 위한 전용선박이 주를 이루는 경향이 두드러지고 있다(예, 컨테이너 전용선, Roll-on-Roll-off (RO/RO) 선, 유조선 등). 기종점의 경우 화물/승객을 막론하고 '통행'을 규정짓는 중요한 요인이지만, 앞서 언급했듯 화물통행에 있어 특정 품목에 대한 지리적 집중도 (유류-저유소, 컨테이너-항만, 석탄-광산, 기계/화공품-산업단지 등)를 고려하는 것이 중요하다.

물동량의 시간적 단위로는 집계 기준에 따라 일, 월, 분기, 연 등 다양한데, 많은 기관들이 '연(year)'의 단위로 집계하고 발표하는 것을 확인할 수 있었다(Table 1). 물동량의 물리적 단위는 컨테이너만 TEU를 사용하고 나머지는 모두 톤을 사용하는 경향을 보였다. 물리적 무게의 단위를 시간적 단위로 나눠 연간 총 톤 수(톤/년), 연간 컨테이너 수송(처리)량 TEU/년, 연간 화물자동차 통행량 (대/년) 등으로 표현할 수 있다.

### 2. 수리 표현 (Formulation)

화물 물동량의 원시자료 (raw data)<sup>10)</sup>는 품목, 수단, 기점(*i*), 종점(*j*)별로 집합화 (aggregated)하여 자료의 설명력이 달라지는데 이를 어떤 요소의 조합을 기준으로 집계하느냐에 따라 집계수준(Aggregation level)이 달라진다.

물동량 자료를 수리적으로 표현하기 위하여 물동량을 설명하는 요소들을 문자로 나타내었고 설명요소 조합의 경우의 수를 고려하여 수리적으로 표현하였다. Table 2는 집계수준(Aggregation level)에 따른 물동량 단위 설명을 정리한 표이다.

$N$  : 노드,  $N_n \subset N$  ( $n = 1, 2, 3, 4$ )

$N_1$  : 대존(특별시, 광역시, 도)

$N_2$  : 중존(시, 군, 구)

$N_3$  : 소존(읍, 면, 동)

$N_4$  : 특정물류시설

10) 본 연구에서는 최대한 원시자료를 수집하려고 노력했으나, 자료 구득이 어려운 경우 공식적으로 발표하는 자료에 의존하였다.

**Table 2.** Aggregation level

| Aggregation level | Formulation                                | Eq.  | Explanation  |
|-------------------|--|------|--|
| 1                 | $X_{ij}^{mk}$                              | (1)  | $(i, j)$ freight volume of a mode( $m$ ) and commodity( $k$ )                              |
| 2                 | $\sum_i X_{ij}^{mk}$                       | (2)  | Inflow freight volume of destination( $j$ ) of mode( $m$ ) and commodity( $k$ )            |
|                   | $\sum_j X_{ij}^{mk}$                       | (3)  | Outflow freight volume of origin( $i$ ) of mode( $m$ ) and commodity( $k$ )                |
|                   | $\sum_k X_{ij}^{mk}$                       | (4)  | $(i, j)$ freight volume of mode( $m$ )   |
|                   | $\sum_m X_{ij}^{mk}$                       | (5)  | $(i, j)$ freight volume of commodity( $k$ )  |
| 3                 | $\sum_i \sum_j X_{ij}^{mk}$                | (6)  | Freight volume of a mode( $m$ ) and commodity( $k$ )                                       |
|                   | $\sum_i \sum_k X_{ij}^{mk}$                | (7)  | Inflow freight volume of destination( $j$ ) of a mode( $m$ )                               |
|                   | $\sum_j \sum_k X_{ij}^{mk}$                | (8)  | Outflow freight volume of origin( $i$ ) of a mode( $m$ )                                   |
|                   | $\sum_j \sum_m X_{ij}^{mk}$                | (9)  | Outflow freight volume of origin( $i$ ) of commodity( $k$ )                                |
|                   | $\sum_m \sum_i X_{ij}^{mk}$                | (10) | Inflow freight volume of destination( $j$ ) of commodity( $k$ )                            |
|                   | $\sum_m \sum_k X_{ij}^{mk}$                | (11) | $(i, j)$ freight volume  |
| 4                 | $\sum_i \sum_j \sum_k X_{ij}^{mk}$         | (12) | Freight volume of mode( $m$ )  |
|                   | $\sum_i \sum_j \sum_m X_{ij}^{mk}$         | (13) | Freight volume of commodity( $k$ )   |
|                   | $\sum_i \sum_k \sum_m X_{ij}^{mk}$         | (14) | Inflow freight volume of destination( $j$ )  |
|                   | $\sum_j \sum_k \sum_m X_{ij}^{mk}$         | (15) | Outflow freight volume of origin( $i$ )  |
| 0                 | $X_{ij}^{mka}$                             | (16) | $(i, j)$ freight volume of a mode( $m$ ), commodity( $k$ ) and individual path( $\alpha$ ) |
|                   | $X_{ij}^{mk} = \sum_{\alpha} X_{ij}^{mka}$ | (17) | Relations with the aggregate level 1   |

$A$  : 링크,  $(i, j) \in A$

$i \in N_n$  and  $j \in N_n$  ( $n = 1, 2, 3, 4$ )

$X$  : 물동량

$K$  : 품목,  $k \in K$

$M$  : 수단,  $m \in M$

$\alpha$  : 화물차번호, 화물열차편성번호, 선박번호, 화물기편명

식(1)을 기준으로 집계하는 요소의 개수에 따라 집계 수준을 총 4단계로 구분하였다. (1)은 화물 물동량을 나타내는 가장 기초적인 단위로 볼 수 있다. 화물이 이동하는데 이용된 수단과 어떠한 품목이 이동했는지 파악 할

수 있으며, 기중점( $i, j$ )물동량(O/D)을 나타내어 화물물동량 분석하는데 기본이 되는 단위이며, 후술하겠지만 거의 모든 OR기법을 적용한 네트워크 기반 화물 모형의 결정변수이다.

식(1)은 집계수준 1(Aggregation level 1)로 분류하였다. 물동량 설명 요소 1개로 집계한 식(2)-식(5)는 집계수준2 (Aggregation level 2)로 분류하였다. 2개의 물동량 설명요소로 집계한 식(6)-식(11)은 집계수준 3 (Aggregation level 3), 3개의 물동량 설명요소로 집계한 식(12)-식(15)은 집계수준 4 (Aggregation level 4)로 분류 하였다.

자료의 집계 수준이 감소할수록 자료는 세분화(disaggregated) 되었다라고 하며 물동량을 설명할 수 있는 요소가 증가한다. 예를 들어, 식(2)(집계수준2)는 기점( $i$ )에 대하여 집계 하여 종점( $j$ )으로 유입되는 수단별, 품목별 물동량을 설명하고 있어 어떤 기점( $i$ )에서 발생 하였는지 알 수 없다. 하지만 식(1)(집계수준1)은 식(2)와 달리 기점( $i$ )에 대해 집계하지 않고 모든 요소를 설명하고 있어, 수단별, 품목별, 기중점( $i, j$ ) 물동량을 알 수 있다.

반대로 자료의 집계수준이 증가할수록 자료는 집합화(aggregated)되었다라고 한다. 예를 들어, 식(12)에서는 품목( $k$ ), 수단( $m$ ), 기점( $i$ ), 종점( $j$ ) 중 기점( $i$ ), 종점( $j$ ), 품목( $k$ )에 대하여 집계하여 수단( $m$ )에 대한 물동량만 설명할 수 있는 물동량 단위이다. 즉, 화물자동차를 통한 물동량, 화물철도를 통한 물동량, 화물기를 통한 물동량만 설명할 수 있을 뿐 어떤 품목별로 이동했는지, 어떤 기점( $i$ )에서 발생하였고 어떤 종점( $j$ )으로 유입하는지는 알 수 없다. 이와 같이 집계수준이 증가하면 물동량을 설명할 수 있는 요소가 감소하여 세부적인 물동량의 흐름을 파악하기 불가능 하다.

한편, 집계수준 1(식(1))을 더 세분화한 개념으로 각 수단의 개별 통행( $\alpha$ )을 생각해 볼 수 있다. 화물 물동량을 분석하는 기초단위인 집계수준 1을 더 세분화된 단계로 집계수준0 (Aggregation level 0)으로 분류 할 수 있으며 식(16)으로 표현할 수 있다. 식(17)은 집계수준 1(식(1))과 집계수준0과의 관계를 나타낸 것이다. 식(16)은 화물차의 경우, 개별 화물차번호를 부여를 통해 집계가 가능하며, 철도의 경우 화물열차편성번호, 해상 교통수단의 경우 선박번호, 항공교통수단의 경우 화물기편명 등 개별통행을 고려하여 물동량 단위를 매우 세 부적으로 나타내고 있다. 즉, 화물 물동량의 흐름을 미

시적으로 분석할 수 있는 궁극적인 단위로 할 수 있다. 식(16)과 같은 개별단위의 화물의 이동이 수집되고, 분석이 대상이 될 수 있는 것은 최근 급속도로 발전하고 있는 전자, 통신 기술과 무관하지 않다. 특히, RFID (Radio frequency Identification)나 GPS (Global Positioning System)를 이용한 트래킹기술, 속도계측기(Digital tachometer) 등 화물의 개별단위의 식별이 가능해졌기 때문에 식(16)에 대한 집계가 가능해졌다고 할 수 있다.

### 국내 화물 물동량 데이터의 집계수준

Table 1에서 국내 화물 물동량 자료에 대해 link/node 자료 구분, 수단, 품목, 단위에 대한 개괄을 했고, Table 2에서 일반적인 형태의 집계수준을 살펴봤다. 이를 토대로 Table 3을 구성했는데, 총 32개의 세부자료로 세분화 시킬 수 있었으며<sup>11)</sup>, 각 세부자료를 Table 2에서 제안한 수리적 방식으로 표현할 수 있었다. 즉, 32개의 세부자료 중 9개가 집계수준 1로 분류되었다. 단, 특정 세부자료가 특정 품목이나 특정 수단만 다루고 있을 경우 숫자로 명시 하였다. 예컨대, BPA-NET이 집계/배포하는  $X_{ij}^{mk}$ 는 집계수준 1로 분류가 되나, 모든 품목이 아니라 컨테이너 품목 ( $k=1$ )에 해당되며, 모든 수단이 아니라 화물선박에( $m=3$ )만 해당된다 (Table 3에서  $m=3, k=1$ 로 표시). 직관적으로도 모든 수단과 품목에 대한 집계수준 1의 수집은 거의 불가능하며, Table 3에서 표현된바와 같이 특정, 수단이나 품목에 대해서 제한적 형태의 집계수준 1만이 표현될 수 있다. 또한, KTDB가 '추정'자료 임을 상기할 필요가 있다. 이러한 관점에서 봤을 때, 집계 수준 1 중에서 4 개는 '국내' O/D자료이며 이중 2개는 추정이 아닌 실측에기반한 자료로 철도공사의 컨테이너 수송량( $m=2, k=1$ )과 공항공사의 ( $m=4, k=2$ )로 정리할 수 있다. 이 두 자료 또한 door-to-door 자료가 아니므로, 국내 Main-haul물동량 자료로 한정적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 한편, 나머지의 집계수준1의 세부자료들은 해외항만·공항을 기중점으로 하는 O/D자료로서 국내 물동량 분석에 관련이 없는 자료로 조사되었다(Table 3, Eq. of Table 2 옆에 '\*\*'로 표시).

집계수준2로 분류된 자료로서는 총17개의 세부자료

로 분류되었으며 이중 8개의 세부자료가 국내 O/D 분석에 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 8개의 세부자료 중 SP-IDC의 국내항간 수송실적, 철도통계연보의 지역 간 화물 상호발착 수송량 자료는 국내 Main-haul물동량 자료로 활용가능하나 품목을 알 수 없는 특징이 있었다 (즉, 품목을 기준으로 집계는 됨). 관세청자료의 경우 집계수준 2로 분류는 되었으나 기/종점이 대존(이 경우 특별시, 광역시, 도)이기 때문에 세부적인 물동량 흐름을 알 수 없는 한계점을 지니고 있었다.

집계수준3로 분류된 자료는 모두 지점자료로서 품목 또는 수단을 알 수 없는 자료로 분류되었다 예외로, 철도 통계연보의 연도별 화물 수송실적은 국내에서 철도를 이용하는 물동량자료를 제공하고 있으며 유일하게 철도의 품목별 물동량을 알 수 있는 자료였다. 한국무역협회의 지자체 수출입품목별자료는 중존에서 유입·유출되는 물동량을 품목별로 제공하고 있는 것으로 파악되었다.

집계수준4로 분류된 자료는 한국무역협회의 지자체 수출입 총괄자료로 1개로 파악 되었다. 이 자료는 집계수준3으로 분류된 지자체 수출입품목별자료를 품목으로 집계한 자료였다.

### 토의(Discussion): 네트워크 모형의 적용가능성

본 연구의 세 번째 목적은 OR 기법을 활용한 네트워크 모형에 본 연구에서 정리한 수식을 적용해보는 것이다. 집계수준별로 정리된 자료는 네트워크 모형의 결정 변수(Decision variable) 및 입력자료(Input data)와 대조 가능하다.

첫째, 결정 변수의 경우 네트워크 문제를 통해 도출된 연구에서 정리한 자료 중 해당 형태의 자료가 존재한다면 그 자료는 현황자료에 해당한다. 최적해와 현황자료의 차이를 통해 특정 네트워크의 최적이후의 향상의 정도를 파악할 수 있을 것이다. 이러한 시도는 어떤 교통정책이나 물류정책의 효과를 추정할 수 있기 때문에 어떤 데이터가 어떤 기관에 의해 어떤 형태로 수집되는지를 인지하는 것은 최적해를 도출하는 것 만큼이나 큰 의미를 가질 수 있을 것이다.

둘째, 입력변수의 경우 어떤 자료가 존재하는지 아는 것만으로도 어떤 형태의 네트워크 문제를 구성할 수 있

11) 국토교통부 국가물류통합정보센터 제외



**Table 3.** Formulation of freight volume databases

| DB list  | Detailed data   | Formulation***   | Eq. of Table 2 | Link data / Node data                                  |
|--|---|--|----------------|--|
| KTDB   | Freight volume of rail&air                                    | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=2, 4$ )   | (1)*           | Mid zone ↔ Mid zone                                    |
|  | Truck freight volume of commodity                             | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=1$ )  | (1)*           |  |
|  | Freight volume of truck of payload                            | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=1$ )                                       | (4)            |  |
|  | Logistics hub status  | $\sum_i \sum_k X_{ij}^{mk}, \sum_j \sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=1$ )     | (7),(8)        | 19Logistics centers (Enter/exit traffic)               |
| Gyeonggi-do traffic DB                               | O/D of freight commodity                                      | $\sum_m X_{ij}^{mk}$   | (5)            | Small zone ↔ small zone                                |
|  | O/D of freight truck of payload                               | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=1$ )                                       | (4)            |  |
| TMS  | Highway, National highways, Local Road                        | $\sum_i \sum_k X_{ij}^{mk}, \sum_j \sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=1$ )     | (7),(8)        | 3061 Point traffic                                     |
| Korea Expressway Corporation                         |   | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=1$ )                                       | (4)            | IC ↔ IC  |
| Customs import/export logistics Statistical Yearbook | Import/export freight of port                                 | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )  | (1)**          | Each port in Korea ↔ Foreign port                      |
|  | Import/export freight of airport                              | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=4$ )                                       | (4)            | Each Airport in Korea ↔ Foreign Airport                |
|  | Flow to/from city and region from/to airports                 | $\sum_m X_{ij}^{mk}$   | (5)            | Large zone ↔ Port                                      |
|  | Flow to/from city and region from/to ports                    | $\sum_m X_{ij}^{mk}$   | (5)            | Large zone ↔ Airport                                   |
| BPA-NET  | Processing freight volume(ton) of commodity                   | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )                   | (2),(3)        | import/export freight volume of terminals              |
|  | International(O/D) freight volume(ton) of Busan port          | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )                                       | (4)            | Busan Port ↔ Foreign Country                           |
|  | Container freight volume of O/D foreign port                  | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=3; k=1$ )   | (1)**          | Busan Port ↔ Overseas port                             |
| SP-IDC   | Import/export freight of commodity                            | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )  | (1)**          | Each port in Korea ↔ Foreign country                   |
|  | Domestic transport performance of ports in Korea              | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )                                       | (4)            | Each port in Korea ↔ Each port in Korea                |
|  | Container/non-container freight volume                        | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )                   | (2),(3)        | Import/export freight volume of Each port in Korea     |
|  | Container handling performance of International/domestic port | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk}$ ( $m=3; k=1$ )              | (2),(3)        | Import/export freight volume of Each port in Korea     |
| KMI  | Freight trend of arrival/departure                            | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk}$ ( $m=3$ )                   | (2),(3)        | Departure/Arrival freight volume of each port in Korea |
|  | Container handling performance                                | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=3; k=1$ )   | (1)**          | Each port in Korea ↔ Foreign country                   |
|  | Container freight volume trend of railroad                    | $X_{ij}^{mk}$ ( $m=2; k=1$ )   | (1)*           | Station↔Station  |
| Korea International Trade Association                | General import/export of municipalities                       | $\sum_i \sum_k \sum_m X_{ij}^{mk}, \sum_j \sum_k \sum_m X_{ij}^{mk}$ | (14),(15)      | Import/export freight volume of 257 Local governments  |
|  | import/export commodity of municipalities                     | $\sum_i \sum_m X_{ij}^{mk}, \sum_j \sum_m X_{ij}^{mk}$               | (9),(10)       |  |
| Statistical Yearbook of Railroad                     | Annual freight transport performance                          | $\sum_i \sum_j X_{ij}^{mk}$ ( $m=2$ )                                | (6)            | Rail transport performance of commodity in Korea       |
|  | Table of departure/arrival freight of station                 | $\sum_i \sum_k X_{ij}^{mk}, \sum_j \sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=2$ )     | (7),(8)        | Send/arrival freight volume of each station            |
|  | Cross-regional freight traffic arrival /departure             | $\sum_k X_{ij}^{mk}$ ( $m=2$ )                                       | (4)            | Station ↔ Station                                      |

Mode :  $m=1$ (Truck),  $m=2$ (Rail),  $m=3$ (Waterborne vessel),  $m=4$ (Air), Commodity :  $k=1$  (container),  $k=2$  (others)

\* Domestic flow

\*\* international flow

\*\*\* If a certain type of data set is collected for exclusively a certain type of commodity or of mode, it is indicated. (e.g.  $X_{ij}^{mk}$  presented in BPA-NET is only container ( $k = 1$ ) freight flow by waterborne vessel ( $m=3$ ). So, it is indicated as ( $m = 3, k = 1$ )

**Table 3.** Formulation of freight volume databases (Cont.)

| DB list                                   | Detailed data                      | Formulation   | Eq. of Table 2 | Link data / Node data   |
|---|------------------------------------|---|----------------|---|
| Korea Airports Corporation                | Airports Statistics                | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk} (m=4)$        | (2),(3)        | Departure/Arrival freight volume of each airport in Korea         |
|   | Statistics by domestic routes      | $X_{ij}^{mk} (m=4)$                                   | (1)*           | Domestic airport ↔ Domestic airport                               |
|   | Statistics by international routes | $X_{ij}^{mk} (m=4)$                                   | (1)**          | Each Airport in Korea (except Incheon Airport) ↔ Foreign Airports |
| Incheon International Airport Corporation | Airline statistics                 | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk} (m=4)$        | (2),(3)        | Departure/Arrival freight volume of each airport in Korea         |
| Uiwang ICD                                |                                    | $\sum_i X_{ij}^{mk}, \sum_j X_{ij}^{mk} (m=1,2, k=1)$ | (2),(3)        | Import/export freight volume                                      |
| National Logistics Information Center     |                                    | KTDB, SP-IDC, Uiwang ICD data used                    |                |   |

*m*=1(Truck), *m*=2(Waterborne vessel), *m*=3(Sipping), *m*=4(Air)

는지 판단할 수 있기 때문에 입력자료의 이용가능성 (input data availability)적 차원에서 본 연구에서 시도한 자료는 네트워크 문제들과 밀접한 관련이 있다.

### 1. OR 기법을 활용한 네트워크 문제의 범위

본 연구에서는 일반적인 네트워크 문제를 모두 다룰 수 없다. 또한 연구의 범위가 화물 물동량에 대하여 설정하였기 때문에 물류 문제, 특히, 화물교통 문제로 정식 (formulation)가능한 문제를 우선 선정하고, 목적함수와 입력자료 차원에서 그 적용가능성을 살펴볼 것이다 (즉, 항만 및 창고의 장비나 layout과 관련된 문제는 본 연구에서 논외로 한다.). 본 연구에서는 Ghiani(2004)의 “Introduction to Logistics Systems Planning and Control”에서 제시된 문제로 범위를 좁혀보고자 한다. 다음과 같은 네트워크 모형이 제시되었다.

#### 1) 물류시설입지 모형

네트워크설계 문제(Network Design Problem, NDP)로 알려진 모형으로서 물류 네트워크의 물리적 형태를 결정하는 것이다. SCM(Supply Chain Management)적 관점에서 살펴보면, 원자재기지, 생산 공장(Manufacturing plants), 조립공장(Assembly plants), 중앙창고(CDC : Central Distribution Center), 지역창고(RDC : Regional Distribution Center)의 위치와 개수의 결정을 위한 모형이다. 연구자의 세부적인 수리적 형태는 다르나 기본적으로 혼합정수계획모형(Mixed Integer Programming, MIP)의 형태를 보이고 있다. 품목의 개수에 따라 다품목(multi-commodity)네트워크설계

문제, 고려되는 화물교통수단에 따라 다품목 네트워크설계 문제로 확장가능하다.

#### 2) 최소비용흐름 문제

최소비용흐름문제(Minimum Cost Flow Problem, MCFP)는 최저 비용으로 물량을 모두 보내는 것을 목적함수로 하는 문제이다. 네트워크설계 문제가 허브의 위치나 개수를 정하는 문제라면, 최소비용흐름문제는 허브의 위치나 개수 등 주어진 네트워크의 물리적 형태가 바뀔 수 없다고 가정 하에 최소비용으로 화물을 배정하는 것이다. 그래서 최소비용흐름문제는 화물수송배정 (Freight Traffic Assignment)문제라고 할 수 있다. 네트워크설계 문제와 마찬가지로, 품목의 수에 따라, 화물교통수단의 수에 따라 각각 다품목 최소비용흐름문제 (Multi-commodity MCFP), 복합운송 최소비용흐름 문제(Multi-modal MCFP)로 문제를 구성할 수 있다. 특히, 복합운송 최소비용 흐름문제로 최적해를 구한 관련 연구 (Chang(2007), Kim et al.(2009))에서도 본 연구에서 제시한 수리식 중 Table 2의 (5)의 형태로 입력 변수를 사용한 것이 확인되었다. 단 이 경우, 품목은 단일 품목이어야 가능하다. 복합운송 최소비용 흐름문제의 최적해는 집계수준 1의 (1)의 형태로 표현될 것이다. 한편, 단일 품목(예컨대, 컨테이너)만 고려한 모형의 경우 최적해의 표현은 집계수준 1의 (1)이나 집계수준 2의 (4) 중 하나로 표현될 것임을 상기할 필요가 있다. 만약, 집계수준 1의 (1)이나, 집계수준 2의 (4)의 형태로 제공된 자료가 있다면 복합운송 최소비용 흐름문제의 최적값과 비교하여 그 향상된 정도를 가늠할 수 있을 것이다. 실제로, Table 3에 KTDB의 철도항공물동량, 물류거점현

황 자료는 복합운송 최소비용 흐름문제의 최적값의 표현의 형태와 같으므로 이러한 목적에 부합한다고 할 수 있다.

### 3) 서비스네트워크설계 문제

네트워크설계 문제가 물리적인 네트워크의 형태를 결정하는 문제라면 서비스 네트워크설계(Service Network Design Problem, SNDP)도 물리적 네트워크 형태를 고정된 후 (바뀌지 않는다고 가정할 후) 물류 네트워크에서 구동 가능한 다양한 서비스, 예컨대 고속 배송, 보통 배송을 선택하는 문제이다. 서비스 네트워크 설계의 문제에 관해서는 Crainic and Rousseau(1986), Kim et al.(1999), Crainic(2000)을 참조할 수 있다. 서비스 네트워크의 경우 배송 시간이나 특정 서비스에 주목해야 하므로, 본 연구에서 살펴본 공공의 영역에서 제공되는 자료 보다는 전문물류기업인 3PL(3rd Party Logistics)에서 보유한 사적영역의 자료가 분석에 필수적이라 할 수 있다.

### 4) 차량경로문제

물류 문제로서 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem, VRP)는 허브와 최초/최종 배송지를 연결하는 짧은 통행을 최적화하는 문제인 Pickup and delivery(Drayage) 문제로 이해할 수 있다. 즉, 최종결과물은 일련의 배송 순서로서 주어지게 될 것이다. 이 경우 복합운송(intermodal freight transport)의 틀 안에서 행해지는 모형이나, 트럭의 운영에 집중하므로 실제로는 트럭의 차량경로문제로 요약될 수 있으며, 외판원 문제(TSP: Travelers Salesman Problem)의 문제와도 관련이 있다. 대표적인 pickup and delivery optimization 문제의 예로 Nozick and Morlok(1997)와 Spasovic et al.(1995)의 연구를 들 수 있는데, 이들 연구에서는 트랙터가 복합운송 터미널을 출발하여 다수의 발송인/인수인을 차례로 돌며 최소비용을 목적함수로 하여 최적화된 경로를 탐색하다 마지막으로 다시 출발지인 복합운송 터미널로 돌아오는 것을 묘사하였다.

본 연구의 자료 중 이러한 복합운송 터미널로부터/까지의 통행을 표현할 수 있는 것은 의왕 ICD 자료로 볼 수 있다. 실제로 Pickup and delivery 최적화 문제의 입력자료는 수단과 품목은 고정된 형태 (즉, 품목은 컨테이너, 수단은 화물차)이나 세부적인 목적지에 대한 수요가 연속한 형태로 제시가 되어야 하는데 실제로 이러한 자료를 얻기란 매우 복잡하다. Table 2의 자료로

말하자면, (1)이나, 트럭으로 한정된 형태의(4), 컨테이너로 한정된 형태의 (5), 트럭과 컨테이너로 한정된 형태의 (11)이 별도로 조사되어야 가능할 것이며 모두 O/D를 알 수 있는 Link자료이다. 실제 의왕 ICD를 통해서 구득할 수 있는 자료는 품목(컨테이너)과 수단 ( $m=1,2$ : 화물차, 철도)이 고정된 상황에서 Table 2의 (2)와 (3) 볼 수 있지만 지점자료로서의 한계점을 갖는다.

## 2. 결정변수와의 연관성

결정변수로서의 네트워크 문제와의 연관성은 현황자료와의 비교군으로 작용된다. 네트워크설계 문제에서는 네트워크 전체의 비용을 최소화 시키는 중간 기착지나 허브의 위치와 수를 찾기 때문에 허브의 위치가 구분이 되어 있지 않은 Table 2에서는 일반적으로 그 흐름을 표현할 수 없다. 하지만, 최소비용흐름문제의 경우에는 수단의 구분이 존재하지 않는 한(즉, Uni-modal MCFP) 결정변수는 단순히 두 점간 물동량의 자료가 될 것이기 때문에 도로나 철도의 기종점 자료를 최적해의 비교군으로 삼을 수 있을 것이다. 한편, 복합운송의 개념이 포함된다면, 철도의 경우 Table 3에서의 철도통계연보가 사용가능하고, 항공의 경우 한국공항공사의 자료가 사용가능할 것이다.

만약, 현실에서 컨테이너 수송의 허브로 간주할 수 있는 의왕 ICD나 부산진역을 기종점으로 하는 자료가 존재한다면 이를 이용하여 허브 간 통행을 비교해 볼 수 있다. 이때 화물운송 수단의 구분이 없고, 품목에 대한 구분이 없는 경우는 Table 2의 (11)의 자료를 결정변수의 비교군으로 간주할 수 있다 (운송수단의 구분이 있고, 품목에 대한 구분이 없으면, Table 2의 (4), 반대로 운송수단의 구분은 없지만, 품목에 대한 구분이 있다면, Table 2의 (5)을 최적해의 비교군으로 사용할 수 있다.) 그러나, 혼합정수계획모형(MIP)의 또다른 결정변수인 이산변수(binary variable), 즉 어떤 허브가 선택되어지는 여부에 따른 문제에 대해서는 OR 문제가 찾아 내는 결과물로서 비교군 설정이 불가하다.

## 3. 입력 자료와의 연관성

입력자료의 경우, 문제에서 주어지는 OD의 수요를 Table 2에서 구할 수 있을 것이다. 이 또한, 품목에 따라, 수단에 따라 표현할 수 있으며, 종점의 유입과 기점

의 발생 또한 표현이 가능하다. 서비스 네트워크설계 문제 경우, 입력변수로서 자료를 사용할 수밖에 없다. 최적해의 비교군은 서비스의 질(즉, 배송의 속도)과 관련이 있는 자료가 있어야 한다. 하지만 이런 자료는 대체로 사기업의 영업 기밀에 해당될 수 있기 때문에 구득이 매우 어렵다. 차량경로문제(VRP)는 컨테이너의 경우 항만과 허브간 통행의 자료를 가지고 구성할 수 있기 때문에 BPA-NET이나 SP-IDC의 자료를 적절한 가정을 통해 가공을 한다면 매우 유용한 자료를 만들어 낼 수 있으리라 판단된다.

이와 같이, 본 연구에서 Table 2와 Table 3에서 제시된 다양한 형태의 자료들은 네트워크 문제의 입력변수로, 또는 결정변수로서 최적해의 대조군으로 사용이 가능하다.

## 결론

국내 여러 기관에서 제공하는 자료들을 살펴본 결과 원시자료(raw data)의 제공이 적극적으로 이뤄지지 않고 있었으며 절차가 어렵다. 의왕 ICD의 경우 원시자료를 구득하였으나 기업단위의 물동량이 아닌 총량수준의 자료였다. 또한 철도수송의 기준점을 TEU단위로 알 수 있는 수준이었다. 한국철도공사의 경우 정부3.0 정보공개 요청을 할 수 있으나 업무비밀 등 사유로 원시자료 구득의 어려움이 있었다. 해상 물동량을 다루고 있는 기관들의 원시자료는 수출입 신고서 등 기초 통관자료를 기반으로 하고 있어 법적으로 보안이 강하다. 영업 비밀 등의 사유로 원시자료 구득은 매우 어려운 실정이다. 항공 물동량 또한 항공사의 입출항 신고서를 기반으로 통계자료가 작성되고 있어 해상물동량과의 같은 이유로 구득이 어려웠다. 한편, 항공사의 입출항 신고서에서는 공항 간 운항내용을 다루고 있어 공항으로의 접근통행은 알 수 없다. 즉, 원시자료에서도 공항으로의 접근통행을 알 수 없으며 이는 물류기업의 영업정보에서 알 수 있는 자료로 판단된다.

자료와 관련되어 본 연구다음과 같은 문제점을 파악하였고, 포괄적인 형태의 개선방안을 제시하고자 한다. 첫째, 트럭의 분류는 더 많은 관심을 기울여야 하는 영역인데 발표하고 있는 자료의 트럭등급구분이 제각각이다. 이러한 문제는 트럭을 등급의 구분 없이 대수로만 파악할 경우 물동량에 심각한 왜곡이 일어날 수 있다. KTDB의 경우 3종으로, TMS의 경우 12종 구분체계중 화물차를 10종으로, 한국도로공사의 경우 2종(화물차

4,5종)으로 화물차를 구분하였다. 이는 물류비 산정, 온실가스 추정, 대기오염에 대한 세금 산정 등의 오차를 무시할 수 없는 수준까지 증가시키는 요인이다. 향후 이러한 등급 구분 체계를 통일 하는 것이 필요하며, 그 때 가능한 세부적인 등급 구분이 바람직해 보인다.

둘째, 품목 구분이 전반적으로 불일치를 보이고 있다. 이러한 국내 화물 품목체계의 불일치는 Lee(2011)에 의해 제기되었고, 향후 이를 참고할 수 있을 것이다. 단, 컨테이너의 경우 별도로 관리하는 것은 바람직해 보이며, 링크 데이터를 향후 분석에 톤-km로 변환시킬 수 있도록, TEU와 톤에 대한 환산계수가 제공된다면 연구자들에게 큰 도움이 될 것이다.

셋째, 지역의 기본 단위인 존의 구분이 통일화 되어 있지 않기 때문에 분석의 기초자료로서 가치가 떨어진 다. 관세청 자료의 경우 존을 국내 도(province) 단위로 구분하고 있고, KTDB는 중존으로 (소존단위에 분석은 승객통행에 한함) 구분하고 있다.

유관 기관에서 제시하는 자료를 15개의 수리식으로 표현한 결과, 각 자료의 집계수준이 제각각인 것으로 확인 되었다. 이를 해결하기 위해서는 원시자료의 구득이 필수적인데, 이는 자료 배포의 기관이 적극성을 가지지 않으면 개별 연구자들이 정보공개 요청을 하여도 구득이 어려운 경우가 있다. 본 연구에서는 최대한 원시자료를 수집하려고 노력했으나, 자료 구득이 어려운 경우 공식적으로 발표하는 자료에 의존하였다. 원시자료가 구득이 된 경우 연구자는 원하는 대로 집계 수준을 결정하고 응용할 수 있으나, 자료 구득을 못하면 특정 기관의 발표 형식에 의존할 수 밖에 없는 한계를 지니고 있다. 어느 경우에도 본 연구에서 제안한 집계수준은 의미가 있겠으나, 후자의 경우 (즉, 자료구득이 불가하여 발표된 집계수준에 의존해야 하는 경우), 본 연구의 집계수준에 따른 분류체계는 이용자들이 자료이용을 원활히 하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

어떤 형태로 집계가 일단 이루어지면 실질적인 의사결정 분석 (예컨대, OR기법을 활용한 네트워크 문제, simulation 모형, queueing 모형을 통한 의사결정)에 활용 가능성은 점점 떨어질 수 있다. 그럼에도 불구하고 집계수준의 2에서는 자료 이용이 일정부분 가능하다는 점을 찾아냈다. 세부적으로, 대상 자료 중 절반정도가 집계수준2 (Table 2에 (2)-(5)) 로 분류되었다. 이 중, (5)의 경우 복합운송 최소비용 흐름문제의 입력자료로 이용가능하다는 점을 밝혀졌다. 또한, 국내O/D자료는

수단과 품목을 집계하여 나타낸 자료로 실제 물동량 분석을 위한 모형에 사용하기에는 집계수준이 한 단위 높은 것으로 판명되었다.

34개 세부자료 중 20개가 O/D자료이며 이중 13개가 국내OD자료였다. 하지만 Main-haul통행이거나 수단에 대하여 집계한 자료이기 때문에 내륙 물동량 흐름을 설명하기엔 부족한 것을 확인 하였다. 관세청자료 일부는 P/C추정이 가능할 것이라 보이나 대존을 기준으로 하여 지역별 세부적인 흐름을 파악하기 불가능 하였다.

결국, 각 자료별로 품목별 물동량을 비교하고 고속도로, Main-haul등 통행특성을 고려하여 심층적으로 추정하는 방식으로 접근하는 매우 어려운 작업이 요구된다. 즉, 원시자료 (raw data)의 공개는 집계수준을 한 두 단계 끌어올리는 효과를 가져 올 수 있다.

본 연구에서 제시한 수리표현으로 복합 운송체계를 완벽히 설명하기에는 근본적 한계가 상존하고 있다. 예컨대, 한 path가 트럭-철도-트럭으로 구성된 경우, 본 연구에서 제시한  $m$ 은 연속된 수로 정의 되어야 하지만 적절하게 표현할 수 없는 한계를 가지고 있다. 한편, Cranic et al.(1990)에서 제안한 path를 link의 연결로 표현하는 기법을 활용한다면(즉,  $\delta_{ak}: 1$  if link  $a$  belongs to path  $k$ ;  $0$  otherwise:), 이 문제도 이론적으로는 극복가능하다고 할 수 있다.

본고에서는 화물 물동량 자료를 온라인이나 도서로 취득할 수 있는 경로로 현황조사를 하였다. 물류나 화물의 흐름을 연구하기 위해서는 각 기관의 Raw data를 사용해야하지만 취득하기 위한 절차가 복잡하고 쉽지 않은 부분이 있어 본 연구의 한계점으로 판단된다. 이러한 화물 데이터 구득의 한계는 최근 정부가 지향하는 정부 3.0의 필요성을 역설한다 할 수 있다. 정부 3.0이 시작되고 여러 기관에서 자료 배포에 대한 동향이 점점 우호적으로 흘러간다면 향후 이러한 한계점은 점차 해소될 것으로 전망된다.

또한 높은 신뢰성을 가진 화물·물류정책을 수립하기 위해 추가 연구가 제시 될 수 있다. 화물·물류자료를 조사할 시 필요한 유용한 조사항목의 제시와 이에 따른 활용 가이드라인을 제시할 수 있으며 DB구축 및 지속적인 DB검증방안이 제시 될 수 있다. 중·단기 정책과 시장동향의 지속적인 피드백방안 또한 제시 될 수 있다.

비록 본 연구에서는 지면의 한계와 데이터가 가지는 불완전성으로 인하여 전술했던 특정 모형 (예컨대, 네트워크설계문제, 최소비용흐름문제, 서비스네트워크설계문제, 차량경로문제 등)에 적용이 불가능하였다. 그러

나, 이 연구는 국내 화물자료가 가진 한계를 보인 것 만으로 국내 화물(물류)연구의 더딘 발전을 어느 정도는 설명할 수 있을 것이다. 그러한 이유로, 본 연구는 화물 네트워크 모형을 비롯한 화물 관련 연구 개발을 위한 기초자료 확립에 기여할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant from Transportation & Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure, and Transport Affairs of Korean Government.

## REFERENCES

- Busan Port Authority (2014), Port Logistics Information System(BPA-NET), <http://www.bpa-net.com>, 2014.12.
- Byeon S. J., Park D. J., Kim H. S., Kim I. H. (2014), A Study on Estimation of Container P/C, The Korean Society for Railway Conference, The Korean Society for Railway, 441-444.
- Chang T. S. (2008), Best Routes Selection in International Intermodal Networks, Computers & Operations Research, 35(9), 2877-2891.
- Cranic T. G., Florian M., Leal J. E. (1990), A Model for the Strategic Planning of National Freight Transportation by Rail, Transportation Science, 24(1), Operation Research Society of America, 6.
- Cranic T. G. (2000), Service Network Design in Freight Transportation, European Journal of Operational Research, 122(2), 272-288.
- Cranic T. G., Rousseau J.-M. (1986), Multicommodity, Multimode Freight Transportation: A General Modeling and Algorithmic Framework for the Service Network Design Problem, Transportation Research Part B: Methodological, 20(3), 225-242.
- Ghiani G., Laporte G., Musmanno R. (2004), Introduction to Logistics Systems Planning and Control, Wiley, 107, 206, 217, 249.
- Gyeonggi-do traffic DB (2014), Traffic DB Service, <http://gtdb.gg.go.kr/GTDBWeb>, 2014.12.

- Hong D. H., Park M. C., Lee J. Y., Hahn J. S., Kang J. W. (2012), Freight Demand Analysis for Multimodal Shipments, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(4), Korean Society of Transportation, 85-94.
- Incheon International Airport Corporation (2014), Airline statistics, <http://www.airport.kr>, 2014.12.
- Kim D., Barnhart C., Ware K., Reinhardt G. (1999), Multimodal Express Package Delivery: A Service Network Design Application, *Transportation Science*, 33(4), 391-407.
- Kim H. S. (2010), Study on Multimodal Channel Choice Modeling: Focused on Export-import Container Freights, *Univ. of Seoul*, 27-28.
- Kim H. S., Park D. J., Kim C. S., Choi C. H., Cho H. S. (2013), An Empirical Study on Comparative Analysis of Freight Demand Estimation Methods - Unimodal O/D Based Method and P/C Based Method : Focus on Korean Import/Export Container Freight, *J. Korean Soc. Transp.*, 31(2), Korean Society of Transportation, 45-59.
- Kim I.K. (1997), Theoretical Comparison of O-D Trips and P-A Trips in Travel Demand Analysis, *J. Korean Soc. Transp.*, 15(1), Korean Society of Transportation, 45-62.
- Kim N.S., Janic M. Wee B. (2009), Trade-off Between CO<sub>2</sub> Emissions and Logistics Costs Based on Multi-objective Optimization, *Transportation Research Record*, 2139, 107-116.
- Korea Airports Corporation (2014), Airline Statistics, <http://www.airport.co.kr>, 2014.12.
- Korea Customs Service (2010), Import/Export Logistics Statistical Yearbook (수출입물류통계연보).
- Korea Expressway Corporation (2014), Traffic Statistics, <http://www.ex.co.kr>, 2014.12.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2014), Traffic Monitoring System(TMS), <http://www.road.re.kr>, 2014.12.
- Korea International Trade Association (2014), Trade Statistics Information System, <http://stat.kita.net>, 2014.12.
- Korea Maritime Institute(KMI) (2014), Maritime Affairs and Fisheries Statistics, <http://www.kmi.re.kr>, 2014.12.
- Korea Railroad(KORAIL) (2014), Statistical Yearbook of Railroad.
- KTDB (2014), Freight OD data, <http://ktdb.go.kr>, 2014.12.
- Lee J. Y., Park M. C., Seong H. M., Kang J. W. (2011), A Study on Commodity Classifications for the Development of Freight Demand Model, The 64th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, 149-154.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), Aviation Statistics Creation of Manual (항공통계 작성 메뉴얼).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport National Logistics Information Center (2014), Statistic data, <http://www.nlic.go.kr/nlic>, 2014.12.
- Ministry of Oceans Fisheries SP-IDC (2014), Maritime statistics, <http://www.spidc.go.kr>, 2014.12.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011), Study of logistics greenhouse gas reduction plan (물류 온실가스 감축방안 연구), 209-210.
- Nozick L. K., Morlok E. K. (1997), A Model for Medium-term Operations Planning in an Intermodal Rail-truck Service, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(2), 91-107.
- Spasovic L. N. et al. (1995), A Model of Tractor-Trailer Pickup and Delivery Network Operations: Algorithms and Computational Experience, *Applications of Management Science*, 8, 113-134.
- 알림 : 본 논문은 대한교통학회 제72회 학술발표회 (2015.2.14)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.
- ✉ 주 작성자 : 유한솔  
 ✉ 교신저자 : 김남석  
 ✉ 논문투고일 : 2015. 5. 10  
 ✉ 논문심사일 : 2015. 6. 12 (1차)  
 2015. 7. 2 (2차)  
 ✉ 심사판정일 : 2015. 7. 2  
 ✉ 반론접수기한 : 2015. 12. 31  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필