

## 철도화물서비스를 위한 Hub-and-spoke 운송전략의 적용과 평가: 유럽 사례를 중심으로

### An Application and Evaluation of Hub-and-spoke Strategy for Rail Freight Service in European Networks

정승주<sup>1</sup>  
Seung-Ju Jeong

#### Abstract

The hub-and-spoke strategy is widely used in the field of transportation. At the field of rail transportation, however, it is difficult that we find an application case of this strategy because of modal characteristics. According to the fast growth of containerization and the development of transshipment technology, presently, the hub-and-spoke strategy is introduced by operators on actual European rail freight transportation. However, it is hardly to find empirical studies evaluating the applicability of transportation strategy. In this context, this study analyzed the applicabilities of hub-and-spoke strategy in the actual network of European rail freight. For the application and evaluation of the characteristics of hub-and-spoke strategy, it utilized a service network design model for rail freight. Utilizing this model, it analyzed the efficiency of furnished rail freight services, the potential locations of hubs, the characteristics of O-D flows by the types of trains and service links, and the types of paths of O-D flows. Finally, it proposed some implications and the further study topics.

**Keywords :** Hub-and-Spoke(허브-앤-스포크), Rail Freight(철도화물), Transportation Network(운송망), Service Network Design(서비스네트워크디자인), European Network(유럽운송망)

#### 1. 서론

Hub-and-spoke 운송전략은 다수의 기종점(o-d)을 가진 운송망에서 o-d별 이용물량규모에 큰 편차가 존재하더라도 융통성 있게 운송서비스를 제공할 수 있다는 점 때문에 교통부문에서 널리 사용되는 운송전략이다. 그러나 철도의 경우는 궤도운송이라는 수단적 한계로 이 전략이 적용되기에는 어려운 점이 있었으나, 유럽에서는 최근 컨테이너화의 진전과 환적처리기술의 발달에 힘입어 철도를 이용하는 복합운송화물에 대해 비교적 활발히 적용되고 있는 상황이다[2,3].

우리나라의 경우 국토의 협소, 경부축 중심 화물수송 등으로 철도화물운송을 위해 Hub-and-spoke 운송전략을 당장 적용하기에는 무리가 있다. 그러나 남북철도망이 연결

되면 유럽의 네덜란드-프랑스-이탈리아간 철도화물운송축에서 적용되는 바와 같이 이 운송전략의 이용가능성이 장기적으로 검토될 만 하다는 판단이다. 이러한 관점에서 본 연구는 우선 실제 Hub-and-spoke 운송전략이 이용되고 있는 유럽의 철도화물운송망을 대상으로 Hub-and-spoke 운송전략이 가지는 다양한 서비스측면의 특성분석을 통해 철도화물운송망에의 적용가능성을 분석·평가하고자 한다.

Hub-and-spoke 운송전략의 본격적인 도입은 '80년대 초 시장의 규제완화가 이루어진 항공교통에서부터 시작되었다. 따라서 관련연구도 주로 항공교통을 대상으로 이루어져 왔다. 항공에서의 Hub-and-spoke 운송전략과 관련한 대부분의 연구는 운송망에서의 허브역할의 중요성으로 허브의 입지결정문제를 해결하는 데 집중되어 왔다[4-10]. 다만 Aykin (1995)과 Jalliet et al.(1997) 등이 입지 외에 Hub-and-spoke 운송망에서 나타나는 다양한 항공허브서비스 형태 - 기종

1 정희원, 교통개발연구원, 책임연구원

점간 직송서비스, 1-스톱서비스, 2-스톱서비스 등 - 들도 고려하여 분석하였다. 그러나 Aykin(1995)과 Jaillet et al.(1997) 역시 이용가능한 서비스형태만을 제시하는 수준으로 서비스링크의 종류(허브노드-허브노드간 링크, 허브노드-일반노드간 링크, 일반노드-일반노드간 링크 등)에 따라 나타나는 수송규모의 경제나 운송수단 이용에 대한 특성분석은 미흡하여 Hub-and-spoke 운송전략의 다양한 적용성을 파악하기에는 한계를 지니고 있다.

90년대 들어 Hub-and-spoke 운송전략이 적용되기 시작한 철도의 경우는 관련연구를 더욱 찾기가 어려워 Hub-and-spoke 운송전략의 다양한 운송형태 및 특징에 대한 관련연구는 더더욱 미약한 편이다. 거의 유일한 연구로 판단되는 INRETS(2000b)는 개발된 모형에 직송서비스, 1-스톱서비스, 2-스톱서비스 등 Hub-and-spoke 운송서비스를 고려하고 있으나 개발된 모형이 입지결정모형에 가까워 다양한 서비스형태 및 특징을 분석하기에는 한계를 지니고 있다.

본 연구는 서비스네트워크디자인모형을 이용하여 유럽의 실제네트워크에 기초한 철도운송망에 대해 Hub-and-spoke 운송전략의 적용가능성과 서비스상의 다양한 특징을 검토하는 데 목적이 있다. 이를 위해 먼저 Hub-and-spoke 운송전략의 개념과 현재 유럽에서 이루어지고 있는 대표적인 적용사례를 살펴보고, 이용할 서비스네트워크디자인모형을 기술한다. 사례분석은 유럽의 48개 터미널로 구성된 네트워크를 대상으로 한다. 사례분석은 제곱열차서비스에 따른 효율성, 허브의 잠재적 입지 및 물동량운송경로, 서비스링크별·열차형태별 이용특성, 잠재적 허브의 개선효과 등을 분석하여 Hub-and-spoke 운송전략의 적용성을 평가한다. 마지막으로 우리나라에 주는 시사점과 향후 연구과제를 제시한다.

## 2. Hub-and-spoke 운송전략의 개념과 적용사례

### 2.1 개념

Hub-and-spoke 운송전략은 허브터미널에 물량을 집중시킴으로써 수송규모의 경제를 이용해 운송망의 전체 효율성을 제고하는 네트워크전략이다. Hub-and-spoke 운송망에서 열차서비스는 일반적으로 허브터미널까지 직송형태(허브-허브간, 허브-일반터미널간)의 서비스가 제공된다. Fig. 1에서와 같이 Hub-and-spoke 운송망은 개별직송네트워크보다 적은 수의 서비스가 요구된다. 예를 들어 50개의 노드(터미널)를 가진 운송망의 경우 개별직송네트워크는 2,450개의 서비스가 필요하나 Fig. 1의 (b)와 (c)로 묘사된 Hub-and-spoke 운송망은 각각 100개, 102개의 서비스만이 필요하다.

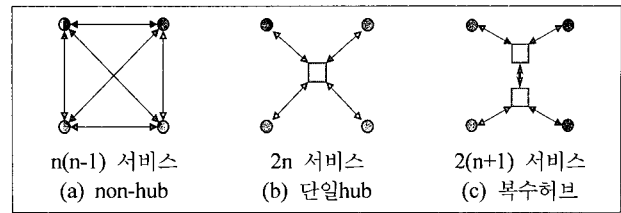


Fig. 1. Hub-and-spoke 운송망의 기본구조

Hub-and-spoke 운송전략의 장점은 운송물량을 허브에 집중케 함으로써 적재율 향상, 공차거리를 감소, 낮은 수요를 가진 o-d쌍에 대한 서비스제공의 가능 등을 들 수 있다. 반면 Hub-and-spoke 운송전략의 단점은 허브경유로 인해 직송서비스에 비해 운송거리와 운송시간이 늘어난다는 점이다.

기본적으로 Hub-and-spoke 운송전략은 모든 서비스가 허브에 연결되거나 o-d간 물량이 충분한 경우 굳이 허브를 거쳐 수송될 필요는 없다. 이와 같이 o-d간 직송서비스를 허용할 경우를 혼합전략(mixed strategy)이라 한다. 이는 모든 서비스가 허브와 연결되어야 하는 순수전략(pure strategy)에 비해 보다 융통성 있는 전략이다. 따라서 Hub-and-spoke 운송전략은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 매우 탄력적으로 운영될 수 있는 운송망전략이다.

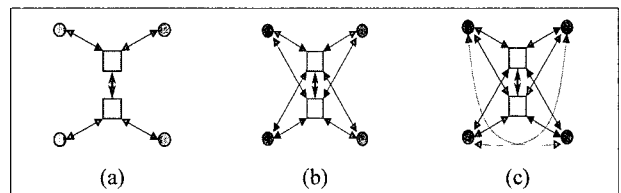


Fig. 2. Hub-and-spoke 운송네트워크의 다양성

### 2.2 적용사례

유럽의 철도화물운송망에서 Hub-and-spoke 운송전략은 다양하고 탄력적으로 이용되고 있다. 즉, 운송거리 측면에서 중·장거리 운송구간 뿐만 아니라 200km대의 단거리 운송구간에서도 적용되고 있고, 더구나 이용물량규모 측면에서 물량이 적고 불안정한 o-d구간에서도 이용되고 있다. 유럽에서 적용되고 있는 Hub-and-spoke 운송서비스망은 국제철도운송망에서 적용되는 장거리수송형태, 국내에서 적용되는 중거리 및 단거리운송형태로 구분될 수 있다. 국제철도운송 적용사례로 ICF사의 Qualitynet, 국내 중거리운송 적용사례로 프랑스 CNC(Compagnie Nouvelle de Conteneurs)사의 Combi-24, 국내단거리운송 적용사례로 벨기에의 NEN 등을 들 수 있다.

Qualitynet는 북부유럽(벨기에, 네덜란드, 독일)과 남부유

럽(스위스, 이탈리아)간의 중규모철도화물수요 및 장거리수송을 가능하게 하는 Hub-and-spoke운송망이다. 유럽 북부-남부를 연결하는 철도화물운송축에서는 중간지점에 허브가 입지하지 않는다면 수송수요가 낮아 적절한 운송서비스의 제공이 어렵다. Qualitynet는 프랑스 북부의 Metz를 허브로 북부의 14개 철도터미널 및 남부의 24개 터미널과 연결된다. 서비스열차의 형태는 블럭열차(block train)이며 허브와 철도터미널간에는 대부분 직송형태의 서비스가 제공된다.

Combi-24는 파리를 허브로 하여 프랑스 국내의 30 여개 터미널간 직송서비스를 제공한다. 프랑스는 파리를 중심으로 다수의 철도화물수송축을 보유하고 있으나 수송축별 수요규모에 있어 많은 편차를 보이고 있어 수송과정에서 여러 철도역을 거쳐야 하는 문제가 있었다. Combi-24는 이러한 문제를 극복하기 위해 제시된 Hub-and-spoke 운송전략으로 프랑스 국내의 경우 24시간이내에 최종목적지까지 문전(door-to-door)서비스를 제공한다. 허브철도역의 소유는 프랑스 국영철도회사인 SNCF(Société Nationale des Chemins de Fer français)이며, CNC는 SNCF로부터 임차하여 야간 시간대의 5시간을 독점사용한다. Combi-24는 매일 26개 열차와 850여개 화차로 운영되고 있다. 최근에는 파리와 남부 지역의 중간지점인 리용을 제 2의 허브로 검토하고 있다.

벨기에의 Hub-and-spoke운송망인 NEN은 수송수요가 많고 단거리운송을 주대상으로 하고 있다. 따라서 Qualitynet나 Combi-24가 이용하는 block train과는 달리 셔틀열차(shuttle train)가 이용되는 것이 특징이다. 셔틀열차는 직송서비스를 제공한다는 점에서 블럭열차와 공통점이 있으나 편성되는 화차수와 블럭 구성이 고정되어 있어 열차편성비용과 화차취급비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 다만 화차수와 block의 고정성으로 인해 수송수요가 충분한 구간에서 운행이 가능하다는 한계점이 있다. NEN은 벨기에의 Muizen항을 허브로 하여 인근의 영국, 프랑스, 로테르담, 독일의 터미널과 연결된다. 허브와 가장 긴 구간도 350km로 단거리운송서비스를 제공하는 것이 특징이다.

이상의 Hub-and-spoke운송전략의 개념과 실제 철도에서의 적용사례를 보건대, 철도화물운송에서는 Hub-and-spoke운송전략을 중·단거리운송망에서도 적용될 수 있다는 것이 장거리운송망에서만 적용이 용이한 항공과 구별되는 점이다. 반면 철도화물운송은 케도운송이라는 제약으로 항공과는 달리 허브터미널의 처리능력 외에 선로사용권을 충분히 확보 - 여객운송 위주의 선로우선권 부여가 현실인 상황에서 - 하는 것도 매우 중요한 선결조건이다. 요컨대 철도화물운송에서 Hub-and-spoke운송전략은 수송수요, 운송거리 등의 특성에 따라 다양한 형태로 적용이 가능한 탄력성 있

는 운송전략이기도 하나 충분한 선로사용권 확보라는 과제 도 동시에 안고 있다 하겠다.

### 3. 이용모형<sup>1)</sup>

#### 3.1 분석방향의 설정

Hub-and-spoke운송서비스망을 구성하는 결정요소는 열차서비스(구간 및 빈도)와 서비스를 이용하는 o-d물량의 운송경로를 들 수 있으며, 이를 일반적으로 서비스네트워크 디자인문제라 한다. Hub-and-spoke운송전략을 가진 서비스네트워크디자인문제에서 허브입지는 사전에 정해져 있으나 본 연구에서는 모든 터미널이 허브의 잠재적 입지로 가정한다. 이는 철도망에서의 Hub-and-spoke운송전략의 다양한 적용성을 평가하고자 하기 때문이다. 그러므로 모든 터미널은 환적 및 분류기능을 가지며, 각 터미널의 화물처리수준과 능력은 동일하다라고 가정한다<sup>2)</sup>. 모든 터미널간 구간에는 직송서비스가 제공된다. 현재 유럽의 복합운송업체가 철도에서 허브서비스전략을 채택하는 경우 모든 구간에 기본적으로 직송서비스를 제공한다는 점이 고려되었다. 일반적으로 허브네트워크에서 o-d물량은 최대 2개정도의 허브를 거친다(출발지-허브-허브-도착지). 사실 다수의 중간역을 거쳐 운영된다면 이는 수요가 적은 지역에서 지역철도화물 서비스로 주로 제공되는 라이너열차(liner train)에 의한 서비스로 Hub-and-spoke서비스가 아니기 때문이다. 그러나 본 연구에서는 물량의 자유로운 운송경로구조를 파악하기 위해 허브통과수를 제한하지 않는다. 2-스톱을 넘어서는 운송경로가 많을 경우 Hub-and-spoke운송전략의 적용가능성이 떨어지기 때문이다.

#### 3.2 이용모형

본 연구에서 제기된 문제는 모든 잠재적 서비스집합에서 최소의 네트워크비용으로 최적서비스빈도의 조합과 그를 이용하는 최적운송경로를 동시에 결정하는 문제이다. 결과적으로 본 연구에서 제기된 문제는 식 (1)~(6)과 같이 운송망의 총비용(운송경로비용+열차서비스비용)을 최소화하는

1) 이용모델의 자세한 수식과 해도출절차는 정승주(2004) 참조  
2) 이 가정은 실제 허브터미널의 서비스능력이 일반화물터미널보다 높기 때문에 Hub-and-spoke운송전략을 이용함에 있어 통상의 조건에 비해 보다 열악한 조건이다. 따라서 실제 데이터를 확보하기 어렵다는 현실적인 한계 때문에 이 가정을 설정하였으나, 이러한 가정하에서도 물동량의 이용특성이 허브구조를 보인다면 해당 운송망에서 Hub-and-spoke운송전략의 적용성이 실제보다 더 높음을 입증할 수 있다는 분석측면에서의 이점이 있다.

선형문제로 표현된다.

$$\text{Minimise } Z(X,T) = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K(m)} c_k^m X_k^m + \sum_{l \in L} \sum_{p \in P} \sum_{f \in F(p,l)} c_{l_i}^{pf} T_{l_i}^{pf} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K(m)} X_k^m = 1 \quad \forall m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} o^m \sum_{k \in K(m,l)} X_k^m \leq \sum_{p \in P} \sum_{f \in F(p,l)} \alpha_{l_i}^{pf} T_{l_i}^{pf} \quad \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{f \in F(p,l)} T_{l_i}^{pf} \leq 1 \quad \forall l \in L \quad (4)$$

$$X_k^m \in \{0,1\} \quad \forall k \in K(m) \quad \forall m \in M \quad (5)$$

$$T_{l_i}^{pf} \in \{0,1\} \quad \forall p \in P \quad \forall f \in F(p,l) \quad \forall l \in L \quad (6)$$

여기서,

- $o^m$  : (o-d)쌍  $m$ 의 물량
- $M$  : 모든 (o-d) 쌍  $m$ 의 집합
- $A(k)$  : 운송경로  $k$ 를 구성하는 서비스링크의 집합
- $P$  : 적재용량으로 차별화되는 열차형태  $p$ 의 집합
- $K(m)$  : (o-d) 쌍  $m$ 에 의해 선택되어 질 수 있는 운송경로의 집합
- $K(m,l)$  :  $\{k \in K(m) | l \in A(k)\}$ 로 표현되는 운송경로의 집합
- $L$  : 열차서비스  $l$ 의 집합
- $F(p,l)$  : 서비스링크  $l$ 에서  $p$ 형 열차에 의해 제공가능한 빈도의 집합
- $\alpha_{l_i}^{pf}$  : 서비스링크  $l$ 에서 빈도  $f$ 를 가진  $p$ 형 열차의 적재용량
- $c_k^m$  : (o-d)쌍  $m$ 의 운송경로  $k$ 의 일반화 비용계수
- $c_{l_i}^{pf}$  : 운행열차가  $p$ 형이고 서비스빈도가  $f$ 인 서비스링크  $l$ 의 일반화비용계수
- $X_k^m$  : (o-d)쌍  $m$ 이 운송경로  $k$ 를 선택함을 나타내는 결정변수
- $T_{l_i}^{pf}$  : 서비스링크  $l$ 에서 빈도  $f$ 를 가진  $p$ 형 열차의 선택을 나타내는 결정변수

식 (1)은 일반화비용을 나타내는 목적함수이다. 일반화비용에는 운영비용 뿐만 아니라 운송단계에서 발생하는 시간지체비용도 고려된다. 지체비용은 화물처리에 따른 터미널지체비용, 서비스 이용구간별 서비스빈도에 따른 지체비용, 열차속도에 따른 지체비용으로 구분된다. 제약식 (2)는 각 o-d물량이 1개의 운송경로를 선택하여야 함을 나타낸다. 제약식 (3)은 서비스용량 제약식으로 서비스를 이용하는 물량의 합은 서비스용량이내이어야 함을 나타낸다. 제약식 (4)는

같은 서비스구간에는 1개의 서비스가 선택되어야 함을 의미한다. 제약식 (5)와 (6)은 결정변수의 비음조건을 나타낸다.

## 4. 사례분석

### 4.1 테스트문제 설정

테스트문제는 유럽의 실제네트워크에 기초하여 설정되었다. 테스트문제는 프랑스, 독일, 이탈리아, 스위스, 덴마크, 베네룩스3국, 체코, 폴란드 등을 포함한 48개 터미널로 구성된다. 네트워크의 서비스링크수는 2,256개이며, 네트워크에서 처리해야하는 물동량은 396,002톤/주이다. 대상물동량은 철도를 이용하는 복합운송화물로 하였다. 현재 유럽의 철도 운송망에서 Hub-and-spoke운송전략으로 운송되는 물량이 대부분 복합운송화물이기 때문이다.

Hub-and-spoke운송전략은 규모의 경제를 이용하는 운송 전략이다. 따라서 열차의 수송능력이 전체 효율성을 좌우하는 중요한 영향요소이다. 가령 수요가 적은 구간에 대형열차를 편성할 경우 효율성은 저하될 것이고, 반면 수요가 많은 구간에 소형열차를 편성하면 규모의 경제를 발휘할 수 없게 된다. 열차수송능력과 수송수요의 관련성 때문에 열차용량에 따른 다양한 서비스가 고려되는 것이 필요하다. 우리의 테스트문제에서는 용량에 따라 두 개의 열차형태가 제공된다고 가정한다. 즉 보통화물열차인 600톤 용량의 completed train과 보통열차의 1/2수준의 용량(300톤)을 가진 semi train이다.

### 4.2 적용 및 평가

먼저 서비스열차형태에 따른 분석결과를 보면, 두 열차서비스형태(completed train, semi train)를 허용하는 운송망의 네트워크 총비용이 한 열차서비스형태(completed train)만을 허용하는 운송망의 네트워크총비용의 95.7% 수준으로 분석되어, 다양한 열차서비스형태가 제공될 경우 수송효율이 보다 높을 것이라는 통념이 입증되었다. 이는 운송서비스의 수송용량이 다양하게 존재하면 o-d물량의 수준에 따라 더욱 탄력적 대응이 가능하다는 점 때문에 당연한 결과이다. 특히 semi train은 completed train에 비해 수송규모의 경제는 낮으나 동일한 물량을 처리하는 데 있어 서비스빈도를 증가시킬 수 있어 지체시간비용을 줄일 수 있는 효과를 가지고 있다. 따라서 수송규모의 경제와 지체시간비용 감소간의 관계에 따라 2가지 형태의 서비스를 효율적으로 이용할 수 있게 된다. 이러한 관점에서 본 연구는 2가지 열차서비스형태를 허용하는 운송망을 기준으로 분석하였다.

앞에서 지적한 바와 같이 우리가 네트워크를 Hub-and-

Table 1. 제안된 허브의 잠재적 입지

| 존 번호                | 도착물량(톤/주) | 통과물량(톤/주) | 통과율(%) |
|---------------------|-----------|-----------|--------|
| Antwerpen           | 5253      | 0         | 0.0    |
| Kobenhavn           | 6821      | 2653      | 38.9   |
| Stuttgart           | 14580     | 845       | 5.8    |
| Karlsruhe           | 62018     | 50823     | 82.0   |
| Freiburg            | 11769     | 4134      | 35.1   |
| Tübingen            | 1473      | 0         | 0.0    |
| Munchen             | 51264     | 24354     | 47.5   |
| Niederbayern        | 5512      | 837       | 15.2   |
| Oberpfalz           | 14583     | 5602      | 38.4   |
| Nurnberg            | 30471     | 22658     | 74.4   |
| Schwaben            | 11939     | 5133      | 43.0   |
| Berlin              | 23710     | 14902     | 62.9   |
| Bremen              | 40082     | 7812      | 19.5   |
| Hamburg             | 88459     | 34574     | 39.1   |
| Frankfurt           | 25803     | 13485     | 52.3   |
| Braunschweig        | 8642      | 111       | 1.3    |
| Hannover            | 7522      | 2553      | 33.9   |
| Oldenburg           | 3803      | 0         | 0.0    |
| Düsseldorf          | 52300     | 29927     | 57.2   |
| Köln                | 19642     | 7352      | 37.4   |
| Münster             | 1994      | 0         | 0.0    |
| Dortmund            | 29997     | 12706     | 42.4   |
| Koblenz             | 1112      | 541       | 48.7   |
| Saarland            | 3004      | 589       | 19.6   |
| Sachsen             | 9014      | 155       | 1.7    |
| Neumunster          | 6500      | 0         | 0.0    |
| Paris               | 26185     | 13629     | 52.1   |
| Reims               | 3959      | 1455      | 36.8   |
| Le Havre            | 4459      | 0         | 0.0    |
| Montlouis           | 6411      | 4544      | 70.9   |
| Lille               | 7080      | 850       | 12.0   |
| Metz                | 12654     | 7622      | 60.2   |
| Strasbourg          | 5911      | 2556      | 43.2   |
| Poitiers            | 1380      | 0         | 0.0    |
| Bordeaux            | 2858      | 220       | 7.7    |
| Lyon                | 20180     | 12232     | 60.6   |
| Montpellier         | 1609      | 567       | 35.2   |
| Marseille           | 9699      | 1984      | 20.5   |
| Milano              | 14419     | 6960      | 48.3   |
| Verona              | 5916      | 1050      | 17.8   |
| Parma               | 2254      | 0         | 0.0    |
| Rotterdam           | 4620      | 0         | 0.0    |
| Oberösterreich      | 17907     | 3051      | 17.0   |
| Steiermark          | 3197      | 0         | 0.0    |
| Norra Mellansverige | 403       | 0         | 0.0    |
| Basel               | 3202      | 0         | 0.0    |
| Varsovie            | 1228      | 0         | 0.0    |
| Praha               | 1802      | 132       | 7.3    |
| 계                   | 694600    | 298598    | 43.0   |

spoke구조로 가정하지 않았음에도 불구하고 8개의 주요 터미널로 환적통과물량이 집중(전체 환적통과물량의 66%)함을 알 수 있다(Table 1 참조). 이는 최소한 유럽의 철도화물 운송망에서는 Hub-and-spoke운송의 적용가능성이 높다는 것을 의미한다. 이들 8개의 터미널은 허브의 잠재적 입지대안으로 볼 수 있다. 더욱이 함부르크를 제외한 7개 터미널의 평균환적통과물량은 50%를 넘어서고 있다. 특히 프랑스와 독일의 연결지점인 칼스휴(Karlsruhe)는 매우 높은 처리물동량(5만톤/주)과 환적율(82%)로 가장 높은 잠재 입지로 평가된다. 프랑스 경우 파리와 메츠는 실제로 철도-공로복합 운송업체에 의해 허브로 운영되고 있다. 전체적으로 프랑스에서보다는 독일에서 Hub-and-spoke운송전략(5개 허브터미널)이 물량흐름 및 이용서비스수 면에서 뚜렷하게 나타난다. 프랑스에서는 파리가 허브기능이 가장 뛰어난 것으로 판단된다. 독일의 경우 북부지역의 함부르크는 총처리물량 대비 환적물량이 39.1%인 것처럼 허브기능보다는 gateway 기능이 주기능이라 할 수 있다.

본 연구에서는 Table 1에서 제안한 8개 터미널을 허브로 상정하여 Hub-and-spoke운송전략이 가지는 여러 특성을 분석하였다.

통상 Hub-and-spoke입지모형이나 Hub-and-spoke 서비스네트워크디자인모형에서 허브-허브간과 허브-일반노드간 수송에 있어 수송규모의 경계를 나타내는 계수를 모형에 반영한다[11,12]. 물량의 집중도에 따라 허브-허브간 링크와 허브-일반노드간 링크간에도 차별화된 계수가 사용된다. 본 연구의 실험결과 Table 2에서 보는 바와 같이 허브-허브간, 허브-일반노드간에 물량이용수준이 상대적으로 높은 것으로 나타나 이러한 계수의 적용이 타당함을 보여주고 있다. 즉, 일반노드-일반노드간 서비스의 평균이용물동량은 1,869톤/주 수준인데 비해 허브-허브간 서비스는 5,840톤/주(3.1배), 허브-일반노드 3,502톤/주(1.9배)로 나타나 서비스형태별 규모의 경계가 뚜렷하게 나타났다.

Table 2. 서비스링크형태별 이용특성

|                  | 서비스링크 형태      |               |               | 계 또는 평균        |
|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
|                  | 일반노드-<br>일반노드 | 일반노드-<br>허브노드 | 허브노드-<br>허브노드 |                |
| 링크수              | 83<br>(37,4)  | 117<br>(52,7) | 22<br>(9,9)   | 222<br>(100,0) |
| 평균이용<br>물동량(톤/주) | 1,869         | 3,502         | 5,840         | 3,129          |
| 비율 *             | 1,0           | 1,9           | 3,1           | 1,7            |

\* : 일반노드-일반노드 서비스링크 이용물동량 대비 해당 서비스 링크 이용물동량의 비율

운행열차의 형태(completed train과 semi train)별로 분석하더라도 서비스링크별로 뚜렷하게 이용특성이 구분된다. 즉, 허브간 서비스에는 completed train이 주로 이용(completed train 90%, semi train 10%)되는 반면 허브-일반터미널간 서비스 및 일반터미널간 서비스에는 주로 semi train이 이용(73%, 84%)되었다. 이는 서비스구간의 특성에 따라 수송규모의 경제가 존재함을 다시 한번 입증하는 것이라 하겠다.

네트워크 구조는 Hub-and-spoke의 혼합전략을 나타내고 있다. 즉, o-d물량의 수송형태는 직송서비스가 45%로 가장 많고, 이어 1-스톱서비스 38%, 2-스톱서비스 13%, 3-스톱이상 서비스 4%로 나타났다. 연계터미널을 거쳐 수송될 경우 절대다수가 2회 이하 - 연계운송전체물량의 93.6% - 로 터미널을 경유하고 있음을 알 수 있다. 충분히 예견되었듯이 물동량 증가를 가정할 경우 직송서비스비율이 증가하고 연계운송물량중 2-스톱 이하의 서비스 분담비중도 95.5%로 증가하여 더욱 뚜렷한 Hub-and-spoke운송의 이용현상을 보여준다.

앞에서 제시한 8 개의 잠재적 허브입지의 화물처리서비스 수준 - 즉, 화물처리시간 -을 개선(20%)할 경우 서비스링크별 이용특성변화를 살펴보면 Table 5와 같다.

허브에서의 화물처리시간이 개선되면 허브의 기능이 더욱 더 강화된 전형적인 Hub-and-spoke서비스네트워크의 형태를 보인다. 즉, 전체 서비스링크수 대비 허브와 연결되는 서비스링크수의 비율변화를 보면 환적시간이 불변의 경우 62.2%이나 환적시간이 20%개선되면 73.7%로 크게 증가한

Table 3. 열차형태별 서비스링크 운행특성

|       | 서비스링크 형태        | 서비스링크 형태  |           |           | 평균    |
|-------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------|
|       |                 | 일반노드-일반노드 | 일반노드-허브노드 | 허브노드-허브노드 |       |
| 열차 형태 | Completed train | 14,6      | 27,2      | 89,5      | 35,6  |
|       | Semi train      | 84,4      | 72,8      | 10,5      | 64,4  |
|       | 계               | 100,0     | 100,0     | 100,0     | 100,0 |

Table 4. o-d물량변화에 따른 서비스이용특성 비교

단위: 개, %

|            | 이용 서비스 링크수 | o-d물량의 수송형태 |      |      |        |       | 평균 적재율* |
|------------|------------|-------------|------|------|--------|-------|---------|
|            |            | 직송          | 1 스톱 | 2 스톱 | 2스톱 이상 | 계     |         |
| 기준물동량      | 222        | 45,2        | 38,3 | 13,0 | 3,5    | 100,0 | 58,7    |
| 기준물동량 +50% | 257        | 48,8        | 39,6 | 9,3  | 2,3    | 100,0 | 65,1    |

\* : 서비스이용물동량 / 서비스의 적재능력 × 100

Table 5. 잠재적 허브의 화물처리시간 개선시 서비스링크별 이용 특성 변화

단위: 개, %, 톤/주

| 현            | 서비스링크 형태 | 서비스링크 형태  |           |           | 계 또는 평균    |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|              |          | 일반노드-일반노드 | 일반노드-허브노드 | 허브노드-허브노드 |            |
| 현            | 이용링크수    | 84(37,8)  | 117(52,7) | 21(9,5)   | 222(100,0) |
|              | 처리시간     |           |           |           |            |
|              | 평균이용물량   | 1,881     | 3,502     | 6,006     | 3,129      |
| 수준의 20% 절감 시 | 이용링크수    | 57(26,3)  | 134(61,7) | 26(12,0)  | 217(100,0) |
|              | 평균이용물량   | 1,651     | 3,354     | 5,915     | 3,214      |
|              | 비율 *     | 1,0       | 2,0       | 3,6       | 1,9        |

\*: 일반노드-일반노드 서비스링크 이용물동량 대비 해당 서비스 링크 이용물동량의 비율

다. 일반노드-일반노드간 서비스링크의 이용물동량 대비 허브연결 서비스링크의 이용물동량 비율도 일반노드-허브노드의 경우 1.9에서 2.0으로, 허브노드-허브노드의 경우 3.2에서 3.6으로 증가되었다. 전체적으로 보더라도 각 서비스링크의 평균이용물동량도 3,219 톤/주에서 3,214 톤/주로 개선되었으며, 이용되는 서비스링크수도 222 개 링크에서 217 개로 감소되는 등 전반적으로 효율성이 개선되는 효과를 보였다. 이는 Hub-and-spoke운송전략에서 허브에서의 화물처리 효율성 수준이 얼마나 중요한 것인가를 나타내는 것이다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 유럽의 철도화물운송망에서의 Hub-and-spoke운송전략의 적용가능성을 분석하였다. 분석결과 기존의 허브입지모형이나 Hub-and-spoke서비스네트워크모형에서 고려하는 규모의 경제계수(parameter)의 도입이 타당함을 실증할 수 있었다. 규모의 경제는 서비스링크형태에 따라 뚜렷하게 나타났으며, 서비스링크형태에 따라 이용열차도 규모의 경제 특성을 보여주었다. 특히 허브에서의 환적처리서비스의 효율수준의 변화가 전체 네트워크의 총비용에 미치는 영향도도 분석하였다. 이러한 점을 종합적으로 고려해 보면, 실제 유럽의 철도화물운송망에서 이용되는 Hub-and-spoke전략은 충분히 적용성이 있는 것으로 평가된다.

이러한 기여에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 추가적 연구과제를 남겨두고 있다. 먼저 이용모형의 제약에 따라 고려되지 못한 부분에 대한 보완적인 평가가 필요하다. 즉, 이용모델이 전략적인 모델인 관계로 향후 철도선로의 용량, 터미널의 용량등 인프라와 관련된 제약조건과 서비스수준

(예: 허브와의 연계에 따른 운송의 우회)과 관련된 제약조건이 고려되지 못했다. 두 번째로 이용수요규모에 따라 연동될 수 있도록 블록열차 외에 셔틀열차 등 보다 다양한 열차 서비스형태가 고려되는 것이 필요하다. 마지막으로 우리나라의 경우는 국토의 협소성, 철도운송망의 미구축 등의 요소로 당장은 철도에서 Hub-and-spokes 전략은 적용되기 어려운 운송전략일 수 있다. 그러나 철도화물운송망의 변화환경을 설정하여 장래의 적용가능성을 검토하는 것이 필요하다. 가령 산업단지, 항만 등을 연결하는 인입선 개발과 다양한 철도화물활성화정책으로 운송망의 기종점이 확대되고 화물수요가 증가될 경우가 대표적 예이다. 특히 로테르담과 이탈리아를 연결하는 화물운송축에서 활용되는 사례를 고려해 보건대, 남북한간 철도망이 연결된 경우의 상황에서는 중국북동부지역과 부산·광양을 연결하는 화물축에서 이 전략의 이용가능성이 크다는 점에서 남북한의 철도연결시 상황에 대한 Hub-and-spokes 전략의 적용성 분석은 향후의 주요한 연구과제일 것이다.

## 참고 문헌

1. 정승주, "Hub-and-spoke 운송전략을 고려한 철도화물서비스네트워크디자인모형의 개발", 대한교통학회지, 제22권 제 3호, 대한교통학회, pp.167-177, 2004.
2. P. Niérat, "Anatomie dun réseau intermodal Hub- and-sopke", Rapport INRETS N°220, Arcueil, 75p, 1998.
3. INRETS (Coordinator), "Intermodal Quality", Project funded by the European Commission, Final report, 167p, 2000a.
4. M.E. Okelly, "The location of interacting hub facilities", Transportation Science, Vol.20, No.3, pp.92-106, 1986.
5. D. Skorin-Kapov and J. Skorin-Kapov, "On tabu search for the location of interacting hub facilities", European Journal of Operational Research, Vol.73, pp.501-508, 1994.
6. M.E. Okelly, D. Skorin-Kapov and J. Skorin-Kapov, "Lower bounds for the hub location problem", Management Science, Vol.41, No.4, pp.713-721, 1995.
7. J. F. Campbell, "Hub location and the p-hub median problem", Operations Research, Vol.44, pp.923-935, 1996.
8. D. Skorin-Kapov, J. Skorin-Kapov and M. E. OKELLY, "Tight linear programming relaxations of uncapacited p-hub median problems", European Journal of Operational Research, Vol.94, pp.582-593, 1996.
9. H. Pircul and D. A. Schilling, "An efficient procedure for designing single allocation hub and spokes systems", Management Science, Vol.44, No.12, pp.S235-S242, 1998.
10. M.E. Okelly and D. L. Bryan, "Hub location with flow economies of scale", Transportation Research-B, Vol.32, No.8, pp.605-616, 1998.
11. T. Aykin, "Networking policies for Hub-and-spokes system with application to the air transportation system", Transportation Science, Vol.29, No.3, pp.202-221, 1995.
12. P. Jaillet, G. Song and G. Yu, "Airline network design and hub location problems", Location Science, Vol.4, No.3, pp.195-212, 1997.
13. INRETS (Coordinator), "Intermodal Quality: SIMIQ", Project funded by the European Commission, deliverable 6, 67p, 2000b.
14. ITM, "Amélioration de l'offre ferroviaire, évaluation du transport combiné et conséquences sur les terminaux", Rapport technique, 141p, 1999.