

■ 論 文 ■

인천국제공항의 환적화물에 대한 연계성 분석 연구

Analyzing the Airfreight Transshipment Connectivity at Incheon Airport

김 중 업

(인천발전연구원 책임연구원)

박 용 화

(인하대학교 아태물류학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 선행연구 검토
 - 1. 허브-앤-스포크 네트워크
 - 2. 네트워크 품질측정
 - III. 방법론 및 분석자료
 - 1. 웨이브-시스템 구조
 - 2. NETSCAN 모델
 - 3. 자료의 수집 및 기초분석
 - IV. 측정 결과
 - 1. 웨이브 구조 분석결과
 - 2. NESCAN 측정결과
 - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 인천국제공항, 항공물류, 환적연계성, NETSCAN모델, 웨이브-시스템 구조
 Incheon Int'l Airport, Aviation Logistics, Transshipment Connectivity, Networks Connectivity Model, Wave-system Structure

요 약

1978년 미국 내 항공시장의 규제완화와 함께 항공은 허브-앤-스포크 시스템(hub-and-spoke system)의 형태로 재구성되었다. 항공의 확장성을 증점적으로 고려할 때, 허브-앤-스포크의 활용은 여객의 환승이나 화물의 환적에 있어서 어느 정도의 이점이 존재한다는 것이 일반적인 견해이다. 또한 국가 차원으로 볼 때, 허브-앤-스포크를 통해 공항의 활성화 및 노선에 따른 밀도의 경제를 실현하도록 허브공항을 개발하는 정책적 지원의 동기가 될 수도 있다. 기존 선행연구들은 대다수 항공여객에 대한 연구들로 집중되어 왔으나 항공환적화물에 대한 연구는 그 수가 상대적으로 적게 나타났다. 이에 본 연구에서는 인천국제공항을 대상으로 하여 항공화물의 환적연계성에 대한 분석을 통해 허브-앤-스포크 상에서 과연 허브공항으로서의 기능과 성과를 수행하고 있는지를 측정코자 하였다. 이를 위한 연구의 범위는 인천국제공항을 통해 환적 되는 항공화물을 대상으로 하며, 개설 가능한 환적노선인 직항연결 및 우회연결(Direct and Indirect Connection)로 한정하였다. 인천국제공항을 기반으로 한 항공화물의 환적연계성을 분석하기 위해 인천국제공항과 연결된 공항들의 노선 수나 연결시간 등을 기준으로 하여 직항연결과 우회연결의 품질을 평가하는 방식으로 취하였다. 이를 위해 공항의 웨이브-시스템 구조를 분석하여 활용하는 NETSCAN 모델을 적용하였다.

After the deregulation of the aviation market in the United States in 1978, airlines took advantage of the possibilities of the liberalized market and reorganized their networks. Then, the hub-and-spoke networks became widely used in the aviation market. The framework of hub-and-spoke network made it feasible to amplify flight networks. Thus, a number of airlines were able to fly to more destinations than ever before through the networks. Amplification of networks can be implementing through the transfer of passengers, transshipment of cargo, or both most researches have been concentrated on the passenger aspect at airports worldwide. Air cargo, however, has become one of the most significant areas at hub airports to keep their leading position in terms of the provision of services and handling volumes.

This paper investigates the connectivity of airfreight networks as the temporal concentrations in current network at Incheon International Airport. In order to evaluate airline flight schedule effects to stimulate hubbing at an airport, the indirect connectivity can be considered to be the number of direct frequencies, the minimum connecting times and the quality of the connection determine indirect connectivity. Therefore, the connectivity of freight transshipment depends on both the quality of the connection at the hub airport and the quality of the indirect flight compared to the direct flight. In addressing these issues, this paper analyzes the connectivity of flight schedules using a temporal wave-system structure and estimates the degree of connectivity and quality of connectivity applying the NETSCAN model.

본 연구는 한국학술진흥재단 지정 인하대학교 정석물류통상연구원(KRF-2005-005-j10201)과 정석물류학술재단의 지원 하에 연구되었음.

I. 서론

1978년 미국 내 항공시장의 규제완화로 인해 항공네트워크는 허브-앤-스포크(hub-and-spoke) 시스템의 형태로 재구성되었다. 이 후 허브-앤-스포크 네트워크가 확산되기 시작하였으며, 항공 운송업자들은 비용절감 및 전략적인 목적으로 그들의 네트워크 형태를 전환하여 왔다. Bittlingmayer(1990)와 Brueckner & Spiller (1991)는 비용절감 측면에서 허브-앤-스포크 네트워크를 강조하였으며, Oum et. al.(1995)는 선형네트워크 구조에서 허브 앤 스포크 네트워크 형태로 전환되는 것이 독점적 상황에서 가장 우수한 전략임을 제시하였다. 허브-앤-스포크 네트워크의 확산에 대한 또 다른 견해로는 밀도의 경계를 얻을 수 있기 때문이다(Hendricks et. al., 1995).

허브-앤-스포크 네트워크의 활용에 따른 항공네트워크의 확장성을 중점적으로 고려할 때, 이는 여객의 환승이나 화물의 환적에 있어서 이점이 존재한다. 또한 국가 개념으로 볼 때, 허브-앤-스포크 네트워크는 밀도의 경계를 달성하기 위하여 허브공항을 개발하도록 유도하게 된다. 대부분의 국적항공사들(national flag carriers)은 허브-앤-스포크 네트워크를 활용하여 자국의 허브공항을 모기지로 사용하고 있다.

이러한 네트워크의 확장은 항공사들이 이전보다 더 많은 지역으로의 접근을 가능케 하였다. 개념적으로 볼 때, 허브공항들은 허브-앤-스포크 네트워크의 중심에 위치하며, 출발공항과 도착공항을 연결하는 기능을 한다. 따라서 허브공항들은 기능적으로 여객의 환승이나 화물의 환적기능을 수반하게 된다. 하나의 예를 들어 보면, 한 허브공항과 두 개의 스포크 공항들이 연결되어 있는 단순한 네트워크 구조에서 허브공항은 해당 네트워크 상에서 독점적인 지위에 놓이게 된다. 그러나 항공사 네트워크의 확대·발전으로 인하여 또 다른 허브공항이 개발되는 경우 항공시장을 연결하는 지역 내 허브공항으로서 자리매김하기 위하여 경쟁이 발생하게 된다.

이러한 상황은 우리나라와 근접한 동북아시아 지역의 항공시장 내에서도 발생하게 된다. 우리나라 정부는 인천국제공항을 동북아시아의 주요 허브공항으로 육성하기 위하여 2001년 개항하였다. 그러나 동북아시아의 다른 국가들도 허브-앤-스포크 네트워크의 중요성을 인지하게 되면서부터 자국 내 허브공항 구축을 위한 경쟁적인 구도가 진행되기 시작하였으며, 이는 인천국제공항의 허브

화에 있어서 위협요인 중 하나로 작용하게 되었다.

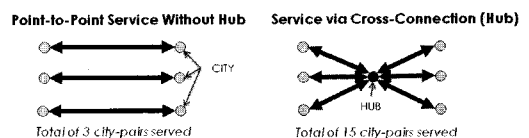
본 연구에서는 허브-앤-스포크 네트워크 상에서 인천국제공항이 항공화물 허브공항으로서의 기능과 성과를 적절하게 달성하는 지에 대한 평가를 시도하였다. 일반적으로 항공여객에 대한 연구는 대다수 존재하나, 항공환적화물에 대한 연구는 아직 활성화 되지 못하고 있는 실정이어서 인천국제공항의 항공환적화물을 대상으로 환적연계성을 분석해 보고자 하였다. 항공화물의 환적에 따른 연계성을 분석하기 위해서는 해당 공항과 연결된 공항들의 개수나 환적에 따른 소요시간 및 노선 간 비행시간 등을 분석기준으로 설정할 수 있을 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 비행스케줄 상의 연계성 분석을 위하여 웨이브-시스템구조(Wave-System Structure)와 항공화물 환적에 대한 네트워크 품질을 측정코자 하였다. 특히, 환적화물에 대한 품질평가는 환승여객부문에서 정의되었던 NETSCAN 모형을 기본으로 하여 항공화물 분야에 적용해 보고자 하였다.

II. 선행연구 검토

허브공항의 환적연계성은 비행스케줄에 의하여 형성되는 우회연결 노선들의 수와 효율성으로서 정의되어진다(Burghouwt & de Wit, 2005). 따라서 환적연계성은 허브-앤-스포크 네트워크 상의 비행스케줄과 우회연결들(Indirect Connections)에 대한 네트워크의 품질에 의존하게 된다. 그러므로 본 연구는 환적연계성을 평가하기 위하여 우회연결을 고려한 우회연계성의 측정 및 우회연결에 대한 네트워크의 품질 측정으로 나누어 이에 대한 선행연구를 수행하였다.

1. 허브-앤-스포크 네트워크

항공사들은 포인트-투-포인트(point-to-point) 서비스 구조에서 허브-앤-스포크 구조로 네트워크를 재구성하게 되면서(Reynolds-Feighan, 1998, 2000) <그림



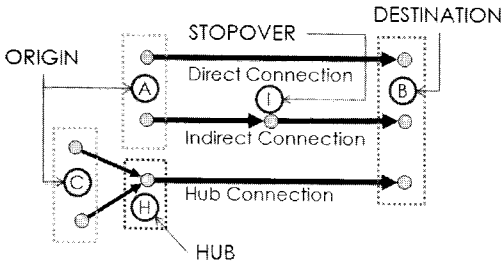
자료: Wells (1999)

<그림 1> 허브 연결의 승수 효과

1)과 같이 허브 연결을 통한 승수 효과를 바탕으로 도시 간 연결의 수를 크게 증대시킬 수 있게 되었다.

이러한 허브-앤-스포크 네트워크의 유형을 살펴보기 위하여 <그림 2>와 같이 3가지의 단순화된 유형으로 구분하였다(Burghouwt & Veldhuis, 2005).

- ① 직접연결(Direct Connections): 공항(A)와 공항(B) 간에 허브를 통한 환적 없이 연결(A-B)
- ② 우회연결(Indirect Connections): 공항(A)부터 공항(B)까지 공항(I)에서 환적을 수행하고 연결(A-I-B)
- ③ 허브연결(Hub Connection): 공항들(C)에서 출발하여 허브공항(H)를 통해 환적작업을 수행하고 도착지(B)공항으로 연결(C-H-B)

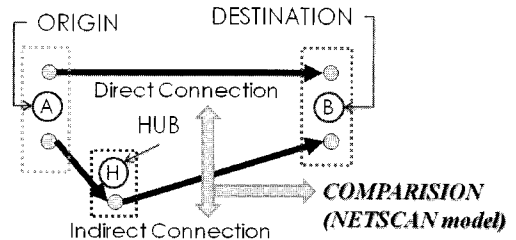


<그림 2> 네트워크의 연결유형

2. 네트워크 품질측정

항공환적화물의 운송을 위한 네트워크 품질측정과 관련된 방법으로 NETSCAN 모형을 고려 할 수 있을 것이다. 이 NETSCAN 모형은 Veldhuis(1997)에 의하여 개발되었으며, 고려되는 요소로는 연결(직항 또는 우회)의 운항빈도, 직항운항시간, 여객에 의해 인지된 운항시간, 여객이 수용할 수 있는 최대운항시간, 환승시간 등으로 직항 운항시간과 우회연결 상의 운항시간을 비교함으로써 네트워크의 품질을 평가하는 것이다. 즉, 환승 여객을 대상으로 한 네트워크의 품질을 측정하는 것으로 허브연결을 우회연결의 한 종류로 인식하여 직항연결과 우회연결을 비교한 것이다.

NETSCAN 모델에 따르면, 공항(H)를 허브로 하여 공항(A)와 공항(B) 사이에 존재하는 우회연결의 품질은 공항(A)와 공항(B) 간의 직접연결, 즉 직항노선의 품질과는 다르게 나타난다. NETSCAN 모델은 <그림 3>의 이론적 구조에 나타난 바와 같이 우회연결의 품질로서 우



<그림 3> NETSCAN 모델의 이론적 구조

회연계성을 측정하게 된다.

NETSCAN 모델 이외에도 네트워크 품질측정에 관한 연구 중에는 Park(2001)의 연구가 있다. Park(2001)은 허브-앤-스포크 네트워크에서 근거리노선의 구성을 분석하기 위하여 해당공항을 중심으로 2,000마일 이내에 연결되는 도시들의 수(Cc)와 주당 운항빈도(Fw) 사이의 관계를 고려하여 식(1)과 같은 네트워크 지수(Network Index: NI)를 산출하였다.

$$NI = \Sigma(F_w \times rF_w) + \Sigma(C_c \times rC_c) \quad (1)$$

Fw : 주당 운항빈도

rFw : 해당공항의 전체 운항횟수 중 2,000마일 이내의 노선에서 발생하는 운항횟수 비율

Cc : 2,000마일 이내에 연결되는 도시들의 수

rCc : 해당공항의 전체 연결도시 중 2,000마일 이내에 속하는 도시 수자의 비율

그러나 Park(2001)의 모형에서는 시간적 요소가 고려되지 못하였다. 따라서 시간적 요소를 고려하여 항공사 또는 공항 네트워크의 현황을 측정하고 분석하기 위하여 NETSCAN 모델을 적용하였으며, 이 모델을 항공화물 부문에 적용하기 위하여 항공화물의 특성을 반영하여 적절하게 변형코자 하였다. 그러므로 모델 수정을 위하여 적용대상이 되는 항공화물의 특성을 분석하는 것은 필수적인 사항이 되는 것이다.

항공화물의 특성과 관련하여 Kadar & Larew(2003)과 Doganis(2002)는 다음과 같은 사항을 제시하였다.

첫 번째, 항공화물은 단방향성을 가지고 있다. 이러한 항공화물의 방향성은 경제·무역의 흐름과 일치하는 것을 보여준다.

두 번째 고유한 특성은 불균형성으로 여객은 대부분 출발지로의 회귀하는 특성을 지니는 반면 화물의 경우에

는 그렇지 못하다.

마지막으로 항공화물은 다양한 형태와 무게, 가치로서 이질적인 특성을 지닌다. 따라서 운송수요의 범위는 항공여객의 좁은 범위와 비교할 때 매우 다양하게 나타난다. 이러한 항공화물의 이질성은 더욱 복잡한 절차와 관련되어 진다.

Ohashi *et. al.*(2005)에 따르면, 항공화물과 관련된 특징은 항공화물운송시장 내 경쟁을 들고 있다. 즉, 항공화물이 긴급한 운송을 요하는 경우를 제외하고 대부분의 항공화물은 출발지와 도착지 사이에 환적을 위해 어느 노선이 선정되는지에 대해서는 무차별적인 성향을 보인다. 이는 화주의 입장에서 화물이 출발공항과 도착공항 사이에 어떤 환적지점의 공항을 경유하여 도착하는지가 중요한 요소가 아니라, 단지 자신의 화물이 요구되어지는 기간 이내에 운송되기만을 바랄 뿐이다. 따라서 화물운송 포워더의 경우에는 최종 목적지로 그들의 화물을 운송하기 위해서 수많은 노선과 운송사들을 고려하여 서비스 노선을 선택을 하게 된다. 이러한 특성에 따라 항공여객보다 환적화물 시장에서 더욱 많은 경쟁이 나타나게 된다고 보는 것이다.

III. 방법론 및 분석자료

1. 웨이브-시스템 구조

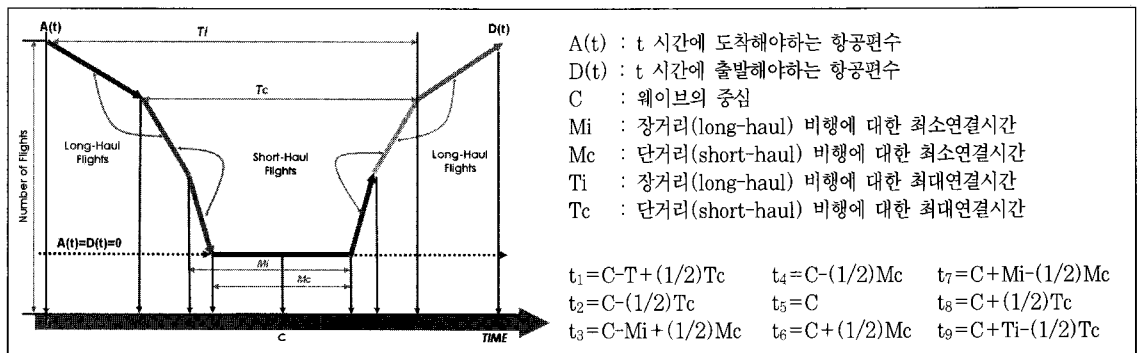
허브연결의 경우, 우회연결의 한 종류로 고려될 수 있음에 따라 본 연구에서는 분석의 단순화를 위하여 우회연결을 고려하였으며, 우회연결을 분석할 수 있는 방법론으로서 웨이브-시스템 구조를 적용하였다.

웨이브-시스템 구조는 Bootsma(1997)에 의하여 허브-앤-스포크 네트워크에서 허브공항에서 환승여객과 관련하여 환승연계성을 분석하기 위해 개발되었으며, 환승연계성을 우회연계성, 즉 우회연결에 따른 연계성을 분석하기 위하여 적용되었다. Bootsma(1997)가 제시한 웨이브의 의미는 연속적인 시간대별 항공기의 운항횟수를 의미하는 것으로, 기본적으로 항공여객이 허브공항에 도착한 후 출발 항공편으로 연결되는 항공기 운항스케줄이 일정시간 간격에서 연속적으로 발생할 경우를 나타내는 것이다.

웨이브 구조에 대해서 살펴보면 <그림 4>와 같은 이론적 구조로 나타난다. 이 구조는 항공편의 도착과 출발에 대한 실제적인 서비스 절차를 고려하여 형상화한 것이다(Bootsma, 1997). 이와 같은 공항의 웨이브는 크게 도착, 환승, 출발 웨이브 등 3개의 부분으로 구분할 수 있으며, 이러한 웨이브의 구조가 결정되기 위하여 다음의 3가지 요소들이 영향을 미치게 된다. (1) 거리(장거리, 단거리)에 따른 최소연결시간, (2) 최대연결시간, (3) 단위시간당 제공될 수 있는 최대항공편수 등이다.

웨이브의 이론적 구조를 살펴보면, 시간요소와 관련하여 최소연결시간과 최대연결시간에 의해 구성되며, 단위시간당 최대 항공편수는 웨이브 구조상에 나타나는 곡선의 경사도로 나타내게 된다. 그러나 이러한 웨이브 구조는 연결(Connection)의 질에 대한 부분을 자세하게 설명하지 못하는 단점을 지니고 있다. 연결의 질이 "매우 좋음, 좋음, 나쁨"이라는 지표 사이의 구분은 허브공항에서의 대기시간을 기반으로 평가되어지는 데 반하며, 웨이브 구조는 이 부분에서 방법론으로서 취약점을 보인다.

추가적으로 이러한 웨이브-시스템 구조들은 하나의



자료: Bootsma (1997)

<그림 4> 이론적인 웨이브 구조

지표, 즉 연계성지수(Connectivity Index: CI)로 제안 되어질 수 있다. 연계성 지수는 인천국제공항에서 도착 및 출발하는 항공편의 관계를 측정하기 위하여 적용되었다. 수학적 모델은 도착과 출발 사이에 발생하는 차이 (gap)로부터 산출되었다. 또한, 운영되는 항공편의 운항횟수가 다르기 때문에 발생하는 효과를 제거하기 위하여, 도착 또는 출발에 대한 각 시간대별 운항횟수의 합계를 각각의 평균운항횟수로 나누었다. 도착 및 출발하는 항공편의 평균값(AA, AD)은 국적항공사들의 실적 값을 이용하였다. 환적연결시간에 대해서는 적재와 하기시간(LUT)만을 환적유형별로 구분하여 고려하였다. 즉, 화물기-화물기, 화물기-여객기, 여객기-여객기의 3가지 유형으로 분류하였다. 이에 대한 소요시간은 국적항공사들의 자료수집에 의해서 제시되었다. 그러나 환적화물의 각 유형 모두를 고려하지 않고, 비행스케줄 상에서 2시간 이내를 기준으로 구분하였다.

$$CI = \sqrt{\sum_{t=1}^{24} \{(A_t/AA) - (D_{t+LUT}/AD)\}^2} \quad (2)$$

- A_t : t 시간에 허브공항에서 출발해야하는 항공편의 수
- D_{t+LUT} : t+LUT 시간에 허브공항에 도착하여야하는 항공편의 수
- LUT : 적재 및 하기에 소요되는 시간¹⁾
- t : 하루 중 시간대
- AA : 도착하는 항공편의 평균값
- AD : 출발하는 항공편의 평균값

결과의 해석과 관련하여, 연계성 지수는 0보다 큰 수치를 할당하게 된다. 만약 도착 항공편의 수가 출발하는 항공편의 수와 일치한다면, 연계성 지수는 0으로 최대품질지수가 되는 것이다. 환적에 의하여 추가되는 시간의 발생 때문에 우회연결의 연계성 지수는 항상 0보다 크게 나타나게 된다. 또한 하나의 연계성 지수가 다른 연계성 지수보다 작게 추정되어진다면, 연계성이 크다고 평가할 수 있다.

2. NETSCAN 모델

NETSCAN 모델은 네트워크의 우회연결에 대한 품

질측정을 위하여 사용되었으며, Veldhuis (1997)에 의하여 환승여객을 대상으로 하여 네트워크의 품질을 분석하는 시도가 있었다. 항공여객을 대상으로 그들이 항공 여행을 할 경우, 여객이 선택할 수 있는 다양한 대안들에 대한 매력도(attractiveness)를 측정하는 방식을 나타내는 것이다. 이에 따라 항공여객이 한 노선을 선택한 것은 다른 노선들보다 더욱 효용이 높게 평가된 것으로 볼 수 있다. 따라서 환승여객의 인지된 시간(perceived travel time)은 여객이 차선책을 선택하기 전까지의 효용을 의미한다. Veldhuis(1997)가 구축한 NETSCAN 모델의 수식은 다음과 같다.

$$MAXT = (3 - 0.075 \times NST) \times NST \quad (3)$$

$$PTT = FLY + 3 \times TRF \quad (4)$$

$$QUAL = 1 - (PTT - NST) / (MAXT - NST) \quad (5)$$

- MAXT : 항공여객이 최대 인지하는 운항시간
- NST : 여객의 직항 운항시간
- PTT : 여객이 인지하는 운항시간
- FLY : 비행시간(Flying time)
- TRF : 환승시간(Transfer time)
- QUAL : 품질지수(Quality Index).

Veldhuis(1997)의 연구는 항공여객이 인지 또는 고려할 수 있는 항공기의 운항시간(PTT)을 산출하기 위하여 실제로 항공 환승여객에 대한 설문조사를 암스테르담 스키폴공항에서 실시하였다. 본 설문조사를 통해 분석한 결과에 따르면, 환승여객들이 기대하는 항공기의 운항시간은 환승시간(TRF)의 3배 수준으로 나타났다. 이러한 조사결과로 인하여, 승객이 인지하는 운항시간은 실제 우회운항시간보다 더 길게 나타났다는 것이다. 모든 단 일빈도에 대해 인지되는 운항시간을 계산하기 위하여 '품질지수'가 정의되어 진다. 품질지수가 '1'로 나타나는 노선에 대해서는 전체 인지된 운항시간이 평균 직항운항시간과 동일하다는 것을 의미한다.

위에 제시된 모델은 항공여객에 관하여 적용된 것이기 때문에 항공화물의 네트워크 품질을 측정하기 위하여 모델의 변경이 필요하게 된다. 본 NETSCAN 모델에서 사용된 식(3)은 항공사들에 의해서 제시되는 최대운송 시간으로 대체하였다. 출발공항과 도착공항 사이의 최대

1) 본 연구에서는 적재 및 하기와 관련된 환적연결시간을 2시간 이내로 가정하였다.

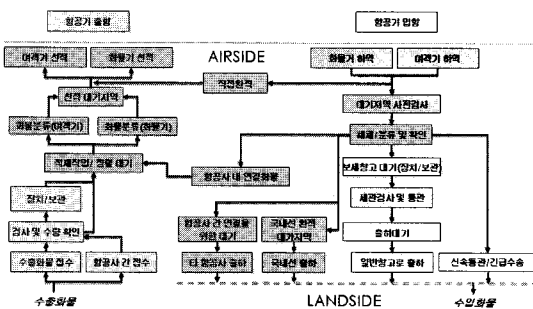
운송시간은 수집된 자료 중 우리나라 국적항공사에 의하여 <표 1>과 같이 제시하였다.

<표 1> 항공사에서 제시한 지역별 최대운송시간

출발지역	도착지역	MAXT(시)
중국	미주지역	72
	동남아시아	48
	유럽	72
	대양주	48
일본	미주지역	72
	동남아시아	48
	유럽	72
	대양주	48
동남아시아	미주지역	72
	유럽	72
	대양주	72

기존 NETSCAN 모델의 환송시간(TRF)을 대체하기 위하여 Ohashi et. al.(2005)에 의하여 제시된 환적 화물의 처리와 관련한 시간요소들을 고려하였다. 즉, (1) 비행시간, (2) 적재/하기 시간, 그리고 (3) 스케줄 상의 환적대기 및 지연으로 인한 연결시간 등이 고려되었다.

비행시간은 일반적으로 노선의 거리에 의해서 결정되어지는 요소이며, 연결시간은 평균적으로 선적을 위하여 다음 항공편까지 공항에서 대기해야하는 시간을 의미한다. 적재/하기시간 및 스케줄 상의 연결시간은 <그림 5> 상에서 보이는 바와 같이 여러 활동이 존재하지만 NETSCAN 모델의 적용을 위하여 본 연구에서는 하나의 변수(WAT)만 고려하였다.



자료: 이재학, 김중엽 (2007)

<그림 5> 환적 항공물류의 프로세스

이와 같이 수학적 모델은 항공화물운송의 특성을 고려하여 변형되어질 수 있었다. 결론적으로, 우회운송시

간(ITT)에 대하여 식(4)을 식(6)은 대체하고, 품질지수(QUAL)에 대하여 식(7)을 사용하여 연계성지수를 도출하였다.

$$ITT = FLT + WAT \quad (6)$$

$$QUAL = 1 - (ITT - DTT) / (MAXT - DTT) \quad (7)$$

- MAXT : 항공사에 의하여 제시되는 최대운송시간
- DTT : 직접운송시간(Direct Transportation Time, Non-stop)
- ITT : 우회운송시간(Indirect Transportation Time)
- FLT : 비행 시간(Flight Time)
- WAT : 이용가능한 항공편까지의 대기시간
- QUAL : 품질지수(Quality Index)

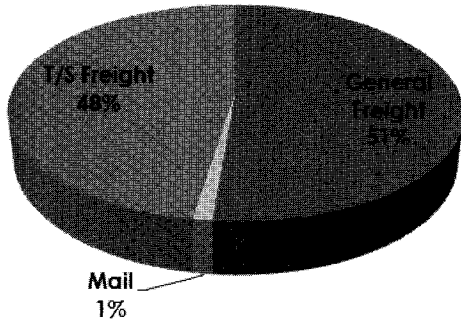
수학적 모델 상에서 WAT은 연계성지수 산출 시 고려된 환적유형에 따른 평균화물처리시간(LUT)이 2시간 이내라는 가정을 기반으로, 각 노선에서 실제 항공편이 도착한 시간에서 2시간 이후 환적을 통하여 연결이 가능한 항공편을 대상으로 해당 노선의 평균대기시간을 산출되었다.

NETSCAN 모델의 적용에 따른 결과의 해석과 관련하여, NETSCAN 모델은 모든 연결들에 대해서 '0'과 '1' 사이의 범위에서 품질지수가 할당되어진다. 예를 들어, 직접연결에 따른 직항편의 경우에는 최대의 품질지수인 '1'이 주어진다. 그러므로 우회연결의 품질지수는 항상 '1'보다 작게 나타나게 된다. 그것은 환적을 수행함에 있어 추가되어지는 시간이 존재하기 때문이다. 우회연결의 최대 수용 가능한 추가운송시간이 직접연결과 대비하여 너무 커지게 된다면 품질지수는 0에 가까워진다. 또한 두개의 공항 간에 우회연결에 대한 최대 수용 가능한 운송시간은 이론적으로 두 공항 간의 직접연결 시 산출되는 운송시간을 기준으로 한다(Veldhuis, 1997).

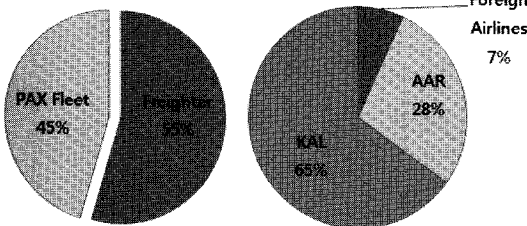
3. 자료의 수집 및 기초분석

본 연구에서는 2006년 4월 1일부터 15일까지 기간의 인천국제공항공사와 국적항공사인 대한항공과 아시아나항공의 비행스케줄과 환적화물 자료를 활용하였다. 분석에 직접 활용된 자료는 두 항공사들의 실적자료를 기

AIR CARGO Volume of ICN



T/S FREIGHT

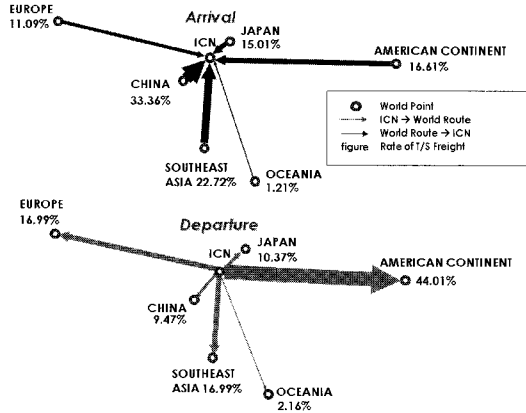


〈그림 6〉 인천국제공항 경유 환적화물의 취급유형

초로 하였으며, 기타 전반적인 인천국제공항공사의 자료에는 외국 항공사들의 실적도 포함되었다. 웨이브-시스템 구조의 적용을 위한 최소연결시간의 경우, 국적항공사의 실제 항공기운항 시간을 기준으로 하여 산출되었다.

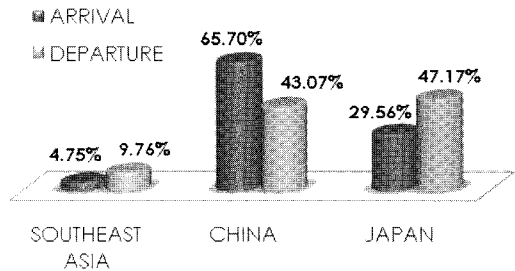
항공환적화물의 주요특성에 따른 기초분석 결과는 〈그림 6〉과 같이 정리하였다. 전체 항공화물 중 일반항공화물(51%)의 점유율과 유사한 수준으로 환적화물(48% 수준)이 취급되고 있으며, 항공사별로 살펴보면 전체 환적화물의 98% 수준이 국적항공사에 의하여 처리되고 있는 것으로 나타났다. 또한 항공기 유형별로는 화물기(Freighter)로 처리되는 환적화물이 55%수준이며, 여객기 운송화물(Belly cargo)이 45%수준으로 조사되었다. 주요 O-D구성을 살펴보면, 〈그림 7〉과 같이 출발(Outbound) 환적화물은 인천으로부터 미국지역으로 운송하는 비율이 가장 크고, 중국, 일본, 유럽의 비중은 대략 10~17% 수준을 나타낸다. 도착(Inbound) 환적화물은 중국의 비중이 가장 크게 나타났으며, 그 외에 동남아시아, 미국, 일본, 유럽의 순으로 나타났다.

거리 기준에 의하여 구분된 유형은 〈그림 8〉과 같으며 단거리 환적화물의 90% 이상이 주로 중국(66%)과 일본(30%) 지역으로 운송이 이루어지며, 장거리의 경우에는 동남아시아(41%)와 미주대륙(34%)이 대부분

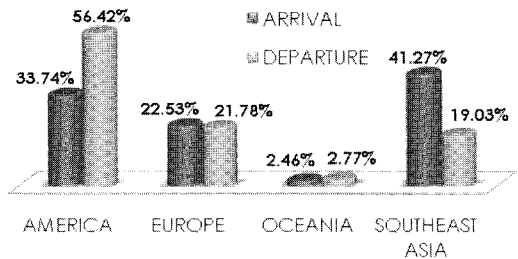


〈그림 7〉 인천국제공항 경유 환적화물의 흐름도

Short-haul Flights



Long-haul Flights



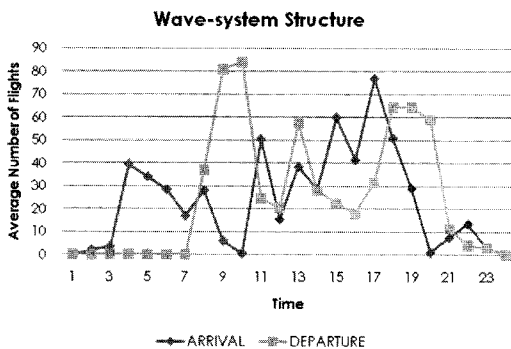
〈그림 8〉 거리 기준에 의한 환적화물의 흐름

을 차지하고 있다. 인천국제공항에서 출발하는 환적화물의 경우, 단거리에서는 전체물동량 중 47.2%가 일본으로, 43.1%가 중국으로 운송되는 것으로 나타났다. 장거리의 경우에는 전체물동량 중 절반 이상인 56.4%가 미주로 운송되는 것으로 분석되었다. 결과적으로 인천국제공항의 환적화물은 단거리지역에서 도착하여 장거리 지역으로 이동하는 형태를 취하고 있다. 특히, 중국지역에서 화물이 도착하여 미주지역으로 운송되는 경우가 가장 두드러지게 나타났다.

IV. 측정 결과

1. 웨이브 구조 분석결과

인천국제공항의 항공환적화물에 대한 웨이브-시스템 구조를 적용하여 분석하면 <그림 9>와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 인천국제공항의 모든 항공편에 대한 도착과 출발에 대한 웨이브 구조를 알 수 있게 되는 것이다. 인천국제공항의 웨이브들은 전체적으로 04시와 22시 사이에 분포되어 있으며, 도착과 출발 항공편의 관계를 살펴보면, 대략 7개의 시간적인 집중이 나타나고 있다. 다만, 최소연결시간²⁾으로서 적재 및 하기에 소요되는 시간을 고려할 때에는 3개의 그룹으로 축약할 수 있다. 첫 번째로 04시와 06시 사이의 도착과 09시부터 10시 사이의 출발, 두 번째로 08시와 11시의 도착과 13시의 출발, 그리고 마지막으로 13시와 17시 사이의 도착과 18시와 20시 사이의 출발 등이다. 이러한 시간적 집중도는 인천국제공항으로 도착한 항공화물이 평균적으로 4시간 이상의 대기시간이 필요함을 의미한다.



<그림 9> 인천국제공항의 웨이브-시스템 구조

운항거리와 항공기종별로 구분하여 웨이브-시스템 구조를 적용한 결과는 <표 2>에 정리하였다. 거리기준 상의 단거리 운항은 도착에 대해 5개의 시간적 집중을 확인할 수 있으며, 출발의 경우 3개의 집중된 시간대를 보여주고 있다. 장거리 운항의 경우는 5개의 도착과 4개의 출발에서 시간적인 집중을 나타내고 있다. 추가적으로 기초분석에서 나타난 것과 같이 인천국제공항의 환적화물의 패턴을 중심으로 단거리의 도착과 장거리의 출발

<표 2> 운항특성에 따른 항공기 운항의 시간 집중도

구분	도착	시간적 집중	출발	시간적 집중
단거리 운항	화물기 + 여객기	04:00(a)	화물기 + 여객기	09:00 - 10:00
		11:00(b)		13:00 - 14:00
		15:00/17:00(c)		18:00 - 19:00
		22:00(a)		
	화물기	20:00	화물기	11:00
	여객기	04:00/11:00	여객기	09:00 - 10:00
13:00/15:00		13:00 - 14:00		
17:00/22:00		18:00 - 19:00		
장거리 운항	화물기 + 여객기	05:00 - 06:00	화물기 + 여객기	09:00 - 11:00(a)
		08:00		13:00(b)
		11:00		15:00 - 20:00(c)
		15:00		
		17:00		
	화물기	06:00	화물기	09:00
		08:00 - 10:00		22:00 - 23:00
		15:00		
	여객기	05:00/08:00	여객기	10:00/13:00
		15:00/17:00		15:00 - 20:00

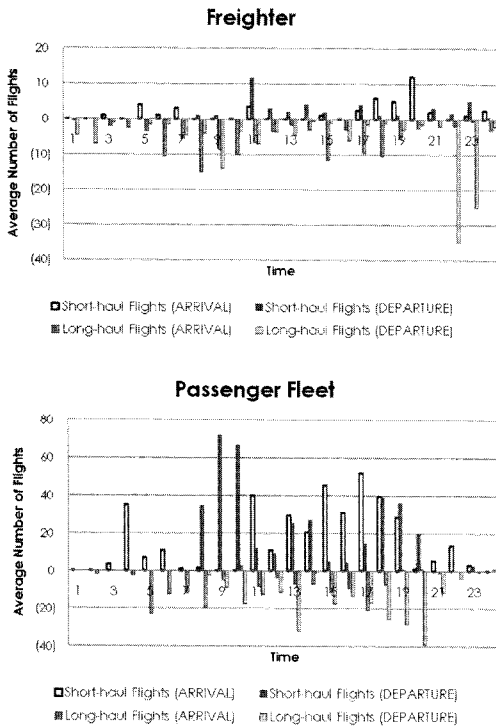
운항편 간의 관계를 살펴보았다.

그 결과로 4개 그룹의 시간적 집중을 확인할 수 있었다. 이 4개 그룹은 (a) 4시의 도착, 9시와 10시 사이의 출발, (b) 11시 도착, 13시에 출발, (c) 15시와 17시의 도착, 15시와 20시 사이의 출발, (d) 22시와 23시 사이의 출발 등이다. 또한, 이러한 시간적 집중을 화물기와 여객기로 구분하여 살펴보면 <그림 9>와 같은 결과를 얻을 수 있다. 화물기 스케줄의 특징으로 장거리 출발의 경우 22시와 23시 사이에 항공편이 집중되어 있으며, 화물기 전체적인 운항횟수는 단거리와 장거리를 모두 포함하여도 20회 미만으로 나타났다.

인천국제공항에서 여객기의 항공편에 대한 일시적인 집중도는 인천국제공항의 전체 웨이브-시스템 구조와 유사하게 나타났다. 그러나 장거리(long-haul) 항공편들은 낮은 수준의 운항횟수를 보이고 있어 뚜렷한 구별을 하기가 어려운 상태이다. 따라서 인천국제공항은 웨이브의 전체적인 패턴으로서 단거리(short-haul) 항공편의 운항횟수가 장거리(long-haul) 항공편의 운항횟수보다 많은 형태를 보여준다.

연계성 지수는 인천국제공항에서 도착 및 출발하는 항공편의 관계를 측정하기 위하여 적용되었다. 도착 및 출발하는 항공편의 평균값(AA, AD)은 <표 3>에서 나타난 국적항공사별 평균값을 이용하였으며, 환적유형에 따

2) 환적 유형에 따른 평균화물처리시간을 고려하여 비행스케줄 상에서 2시간 이내로 설정함



〈그림 10〉 항공기유형에 따른 웨이브-시스템 구조

른 평균화물처리시간(LUT)은 〈표 4〉에서 제시된 바와 같이 국적항공사에 대한 조사에서 산출된 값을 활용하였다.

〈표 5〉는 산출된 인천국제공항과 관련된 연계성 지수(CI)를 나타낸다. 인천국제공항에서 대한항공과 아시아나항공을 포함한 전체 항공편에 대한 연계성은 3.89로서 개별적인 지수와 비교 시 가장 높게 나타났으나, 개별항공사별로 살펴보면 대한항공은 5.96, 아시아나항공은 6.66으로 가장 낮게 나타났다. 아시아나항공의 연계성 지수의 경우에는 도착과 출발 간의 항공편의 밀도가 낮음으로 인하여 연계성 지수가 가장 낮게 나타난 것으로 분석되었다.

추가적으로 환적화물은 사용되는 항공기의 유형에 따라 구분하여 살펴보면, 여객기의 연계성(4.61)이 화물기의 연계성(6.21)보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 〈그림 10〉에 나타난 바와 같이 화물기종에 대하여 밀도가 낮은 수준으로 구성된 비행스케줄에 의한 것으로 분석되었다.

〈표 3〉 국적항공사별 전체 항공편의 평균값

항공사	도착(AA)	출발(AD)
대한항공	17.58	20.65
아시아나항공	13.27	12.13

〈표 4〉 환적유형에 따른 평균 화물처리시간

환적유형	평균화물처리시간(LUT)
여객기 ↔ 여객기	1 hour
여객기 ↔ 화물기	1 hour 30 minutes
화물기 ↔ 화물기	2 hours

〈표 5〉 인천국제공항에서의 연계성 지수산출

인천국제공항	연계성지수 (CI)
전체항공편	3.89
화물기	6.21
여객기	4.61

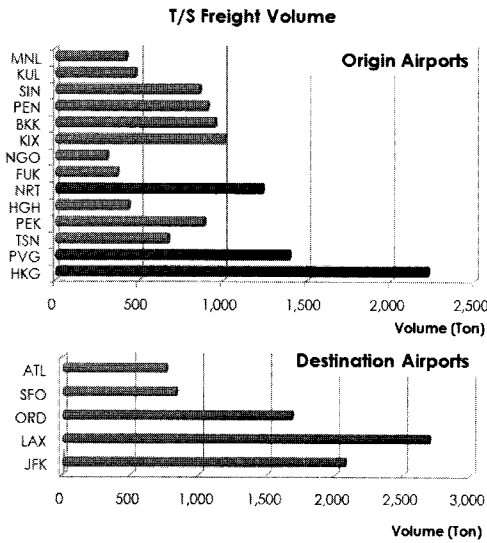
국적항공사	연계성지수 (CI)
대한항공	5.96
아시아나항공	6.66

2. NETSCAN 측정결과

모델의 적용을 위하여 환적화물의 물동량을 기준으로 하여 분석대상이 될 노선의 출발공항과 도착공항을 우선적으로 선정하였다. 이렇게 선정된 공항들은 〈그림 11〉과 같이 나타났다. 항공화물의 환적을 위하여 인천국제공항으로 도착하는 환적화물 중 가장 많은 물동량은 HKG³⁾로부터 발생되어지며, 그 중 대부분의 화물이 북미지역에 위치한 공항들로 출발하고 있는 양상을 보이고 있다. LAX⁴⁾와 JFK⁵⁾는 둘 다 선정된 공항들 중에서 많은 물동량을 차지하고 있다. 또한, 출발공항과 도착공항으로 HKG, PVG⁶⁾, NRT⁷⁾, LAX, JFK, ORD⁸⁾ 등 중국 및 일본, 미주지역의 6개 공항과 동남아시아지역의 BKK⁹⁾ 공항을 선정하였다. 그 다음으로 선정된 공항들에 운항하는 노선을 정의하고 NET-SCAN 모델을 적용하였다.

NETSCAN 모델에 의하여 분석된 결과들은 〈표 6〉과 같이 나타내었다. 가장 높은 품질지수를 나타낸 노선은 HKG-ICN-JFK인 반면, 품질지수가 가장 낮은 노선은

3) HKG: (New) Hong Kong International Airport, Hong Kong
 4) LAX: Los Angeles International Airport, USA
 5) JFK: New York John F. Kennedy Airport, USA
 6) PVG: Shanghai Pudong International Airport, China
 7) NRT: Tokyo Narita International Airport, Japan
 8) ORD: Chicago O'Hare International Airport, USA
 9) BKK: Bangkok Don Muang International Airport, Thailand



〈그림 11〉 주요 공항의 환적화물 물동량

〈표 6〉 NETSCAN 모델의 적용결과

ROUTES	MAXT (hour)	DTT (hour)	ITT (hour)	FLT ¹⁰⁾ (hour)	WAT (hour)	QUAL ¹¹⁾
(Direct Connection)						1.00
HKG-ICN-LAX	72	12.50	18.52	14.17	4.35	0.90
HKG-ICN-JFK	72	12.50	20.22	16.42	3.80	0.94
HKG-ICN-ORD	72	14.00	24.12	17.12	7.00	0.83
PVG-ICN-LAX	72	11.67	18.23	13.25	4.98	0.89
PVG-ICN-JFK	72	14.25	22.48	15.00	7.48	0.86
PVG-ICN-ORD	72	14.50	24.07	16.20	7.87	0.83
NRT-ICN-LAX	72	8.00	16.98	13.25	3.73	0.87
NRT-ICN-JFK	72	12.50	20.53	15.00	5.53	0.86
BKK-ICN-LAX	72	14.50	21.04	15.00	6.37	0.89
BKK-ICN-JFK	72	17.00	20.22	16.42	3.80	0.94

HKG-ICN-ORD로 나타났다. 특히, BKK- ICN- JFK 노선의 품질지수가 0.94로서 높은 수준으로 제시되었다. 품질지수는 DTT¹²⁾와 ITT¹³⁾ 간에 차이에 따라 영향을 받는다. 다시 말해, DTT와 ITT의 차이가 더욱 커질수록, 품질지수는 더욱 떨어지게 된다. 이러한 결과들은 MAXT¹⁴⁾가 높게 설정되어 있기 때문에 인천국제공항의 우회 연결에 대한 네트워크 품질은 상대적으로 0.83과 0.95 사이로 비교적 높게 분포되어 있음을 알 수 있다. 예를 들면, HKG-ICN-ORD 노선 및 PVG- ICN-ORD 노선과

관련하여 선정된 노선들 중에서 이 노선들의 DTT와 ITT 간의 차이가 대략 10시간 정도로 가장 크게 나타났다. 따라서 품질지수는 가장 낮은 수준을 보이게 된다. 또한, 품질지수는 비행스케줄의 구성에 따른 이용 가능 항공편까지의 대기시간(WAT)에 의존하게 된다.

V. 결론

본 연구는 항공화물의 환적에 따른 연계성을 분석하고자 수행하였다. 항공화물에 대한 관심은 점차 집중되어 가고 있으나, 이론적 연구는 아직도 활성화 되지 못하고 있어 본 연구가 항공물류분야의 연구를 선도하는 역할을 기대하며 수행하게 되었다.

본 연구는 항공화물 측면에서 대형 허브공항이라고 할 수 있는 인천국제공항을 대상으로 하여 항공환적화물의 특성을 연계성 지수와 웨이브-시스템 구조를 적용하여 분석하고자 하였다. 본 연구를 통해서 밝혀진 결론과 시사점들을 요약하면 다음과 같다.

첫 번째, 웨이브-시스템 구조를 적용하여 출발 및 도착 웨이브, 화물 전용기 운송 웨이브, 여객기와 혼합 운송되는 웨이브, 단거리 또는 장거리 운송의 웨이브 시스템 등을 분석할 수 있었다. 환적화물이라는 특성으로 인해 항공기 운항횟수와 각 네트워크의 밀도에 따라 웨이브-시스템이 상호 다르게 나타나는 것으로 분석되었다. 예를 들면, 화물기 전용기에 의한 운송의 경우와 장거리 운송의 경우에는 상대적으로 웨이브-시스템이 명확하게 나타나지 않았기에 항공사의 서비스 제고 및 공항의 네트워크 확장 시에는 고려해 볼만한 요소라 판단된다.

두 번째, 연계성 지수는 연계성에 대한 정의를 기초로 하여 산출되었다. 그러나 연계성 지수는 도착과 출발 항공편 간의 시간적 차이(Gap)에 의해 추정됨으로써, 오히려 운항횟수가 없는 시간대가 증가하게 된다면 연계성을 위한 지수산정 자체가 어렵게 될 뿐 아니라, 항공편 연결을 위한 최소 소요시간을 적재 및 하기 시간 만을 고려하여 2시간 이내로 가정하였으므로 실제 2시간을 초과하여 연결되는 항공편일 경우에는 적용이 불가능한 경우가 발생하게 된다.

세 제로, 네트워크 연계성의 품질에 대한 분석을 위해

10) 비행 시간(FLT)

11) Quality Index = 1 - (ITT/DTT) / (MAXT - DTT)

12) 직접운송시간(Direct Transportation Time, Non-stop: DTT)

13) 우회운송시간(Indirect Transportation Time: ITT)

14) 항공사에 의하여 제시되는 최대운송시간(MAXT)

NETSCAN 모델을 사용하였다. 항공화물을 대상으로 하여 분석한 결과, MAXT가 ITT보다 더 높게 추정됨으로써 네트워크 품질을 평가하는데 주요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었고, 비행스케줄의 구성에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 항공화물 허브공항의 연계성을 증진시키기 위한 가장 중요한 활동은 공항당국과 항공사들 간의 스케줄을 조정해야 한다는 것이다. 이는 항공기 연결을 최소화하여 환적을 위한 대기시간을 줄이고자 하는 노력의 일환으로 보아야 할 것이다. 그러나 스케줄 조정에는 많은 난제가 있으므로 상호 협력방안이 필요하다.

본 연구에서는 환적연계성을 위한 고려요소로 시간 기준을 적용하여 분석하였다. 그러나 항공화물의 특성은 화주가 요구하는 배송시간을 지키는 조건이라면, 항공사들은 다양한 운송 서비스를 구성할 수 있게 된다. 여기에는 시간요소가 기본이 되겠지만 이에 못지않게 비용요소도 중요한 의사결정 요소가 되는 것이다. 향후 연구에서는 비용에 기초한 분석이 추가된다면 보다 타당한 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한 분석대상 공항을 보다 확대하여 상호 비교한다면 보다 많은 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 이재학·김중엽(2007). 인천국제공항 항공물류 이용 여건 및 요구사항 조사, 인천발전연구원.
2. Bittlingmayer, G.(1990). Efficiency and Entry in a Simple Airline Network. *International Journal of Industrial Organization*, 8, pp.245~257.
3. Bootma, P.D.(1997). *Airline flight schedule development: analysis and design tools for European hinterland hubs*, Utrecht, University of Twente: 296.
4. Brueckner, J. and Spiller, P.(1991). Competition and Mergers in Airline Networks. *International Journal of Industrial Organization*, 9, pp.323~342.
5. Burghouwt, G. and Veldhuis, J.(2005). The competitive position of hub-airports in the transatlantic market. *Netherlands: Airneth*.
6. Burghouwt, G. and de Wit, J.(2005). Temporal configurations of airline networks in Europe. *Journal of Air Transport Management*, 11(3), pp.185~198.
7. Doganis, R.(2002). *Flying Off Course Third*

Edition: *The Economics of International Airlines*. United States: Routledge.

8. Hendricks, K., Piccione, M. and Tan, G.(1995). The Economics of HubsL: the Case of Monopoly. *Review of Economic Studies*, 62, pp.83~99.
9. Kadar, M., Larew, J.(2003). Securing the Future of Air Cargo. *Mercer on Travel and Transport, Speciality Journal*, Fall 2003/Winter 2004 (1), pp.3~9.
10. Ohashi, H., Kim, T. S., Oum, T. H., Yu, C. (2005). Choice of air cargo transshipment airport: an application to air cargo traffic to/from Northeast Asia. *Journal of Air Transport Management*, 11, pp.149~159.
11. Oum, T. H., Zhang, A. and Zhang, Y.(1995). Airline Network Rivalry. *Canadian Journal of Economics*, 28, pp.836~857.
12. Park, Y. H.(2001). A plan to Strengthen the Competitive Positioning of the Incheon International Airport. *Research Report of the Korea Transport Institute*, 2001-09, p. 53.
13. Reynolds-Feighan, A.(1998). The impact of U.S. airline deregulation on airport traffic patterns. *Geographical Analysis*, 30(3), pp.234~253.
14. Reynolds-Feighan, A.(2000). The US airport hierarchy and implications for small communities. *Urban Studies*, 37(3), pp.557~577.
15. Veldhuis, J.(1997). The competitive position of airline networks, *Journal of Air Transport Management*, 3(4), pp.181~188.
16. Wells, A. T.(1999). *Air Transportation: A Management Perspective*. United States: International Thomson Publishing Inc.

✉ 주 작성자 : 김중엽
 ✉ 교신저자 : 박용화
 ✉ 논문투고일 : 2008. 5. 9
 ✉ 논문심사일 : 2008. 6. 30 (1차)
 2008. 8. 18 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2008. 8. 18
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 2. 28
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필