

# 동적 프로그래밍을 이용한 최적복합운송 알고리즘

조재형\*, 김현수\*\*, 최형림\*\*, 박남규\*\*\*, 김소연\*\*\*\*

\* 부산외국어대학교, 국제통상지역원

\*\* 동아대학교 경영정보과학부

\*\*\* 동명대학교 유통경영학과

\*\*\*\* 동아대학교 항만물류시스템학과

## An Optimal Intermodal-Transport Algorithm using Dynamic Programming

Jae-HyungCho\*, Hyun-SooKim\*\*, Hyung-RimChoi\*\*, Nam-KyuPark\*\*\*, So-YeonKim\*\*

\*School of International Business and Area Studies, Pusan University of Foreign Studies

\*\*Department of Management Information Science, Dong-A University

\*\*\*Division of Distribution Management, Tongmyong University

\*\*\*\*Department of Port and Logistics Systems, Dong-A University

### 요 약

본 논문은 수출입 컨테이너 화물의 국제물류에 대한 최적의 복합운송 경로를 도출하기 위한 동적 프로그램 알고리즘을 제시한다. 현재 3자물류 시장의 급부상, 운송업계의 경쟁가열화, 운송경로의 다양화 및 글로벌화가 추구되면서 복합운송을 고려한 수송계획의 효율화가 필요한 실정이다. 그러므로 2가지 이상의 운송수단을 이용하는 복합운송의 특징을 살펴보고, 운송비용과 운송시간을 고려한 WCSPP(Weighted Constrained Shortest Path Problem) 모형을 제시한다. 본 모형을 통해 도출된 목적함수 결과값을 이용하여 실행가능영역을 설정한 뒤, 동적 프로그래밍(Dynamic Programming)중 하나인 Label Setting 알고리즘을 응용하여, 두가지 목적함수를 동시에 만족할 수 있는 파레토 최적해를 도출하였다. 또한 본 알고리즘의 성능을 향상시키기 위해 가지치기 규칙을 함께 제안한다. 본 알고리즘을 부산에서 출발하여 로테르담까지 도착하는 실제 운송경로에 적용하였으며, 단일운송수단 및 기존의 복합운송 경로와 비교해 봄으로써 운송비용 및 운송시간의 절감효과를 정량적으로 측정하였다. 핵심어 : 복합운송경로문제, 동적 프로그래밍, WCSPP 모형, Label Setting 알고리즘

### 1. 서 론

복합운송이란 물품이 어느 한 국가의 지점에서 수탁하여 다른 국가의 인도지점까지 적어도 두 가지 이상의 운송방식에 의하여 이루어지는 물품 운송으로 단일운송은 주로 한 가지 운송방식에 다수의 운송인이 참여하지만 복합운송은 두 가지 이상의 운송방식을 이용한다[6].

이러한 복합운송은 현재 3자 물류(3PL:Third Party Logistics)업체를 중심으로 이루어지고 있다. 3자 물류업체가 되기 위해서는 NPS(Network Planning System), NOS(Network Optimization System), DSS(Decision Support System), 화물트래킹 시스템, 빌딩 시스템 등이 필요하나, 국내 3

자물류 업체의 업무처리에서는 체계적인 시스템의 부재로 인해 충분하고 객관적인 정보가 제공되지 않고 있으며, 관례나 관습적 관계에 의해 비효율적으로 운송업체가 선정되고 있다. 이로 인해 물류업체가 물류서비스를 제대로 수행해 주지 못해 화주의 막대한 손실로 이어질 수 있다[2].

국내의 3자물류 업체 담당자와 인터뷰를 실시한 결과, 현재의 수송망 계획은 담당자의 경험에 의한 수작업으로 진행되고 있어 거래 기업의 물량이 늘어날수록, 수작업에 의한 작업은 한계를 보이고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 3자 물류업체에서 화주의 화물에 대한 기본정보(물량, 납기일, 출발지, 도착지 등)를 가지고 최소 비용 달

성, 도착일 준수, 그리고 향상된 서비스를 이용할 수 있도록 운송경로, 운송수단, 운송업체, 스케줄을 통합적으로 고려할 수 있는 국제물류 수송망 계획 시스템이 필요하며, 이를 위해 본 연구에서는 복합운송을 고려한 동적 프로그래밍(Dynamic Programming, DP) 알고리즘을 제안한다.

복합운송의 고려는 화물 적재량, 운송시간, 운송경로, 운송경비 등이 서로 상이한 2가지 이상의 운송수단을 고려해야 하므로, 단일운송의 문제와는 상이하고, 많은 제약조건을 포함하고 있다[10].

기존의 단일운송수단 문제가 주로 화물의 물량을 어떻게 배분할 것인가에 중점을 두었다면, 국제복합운송 문제는 2가지 이상의 운송수단을 고려하게 되므로, 각각의 운송수단이 가지고 있는 최대적재량과 스케줄이 상이하고 이에 따른 운송시간과 운송비용 또한 달라진다. 또한 어떤 운송수단을 이용할 것인지를 결정하기 위해서는 먼저 화물의 정보가 고려되어야 하므로 화물과 운송수단의 정보는 복합운송 계획에서 반드시 함께 고려되어야 한다. 이러한 두가지 고려요소에 대한 관계를 <그림1>에서 표현하였다.

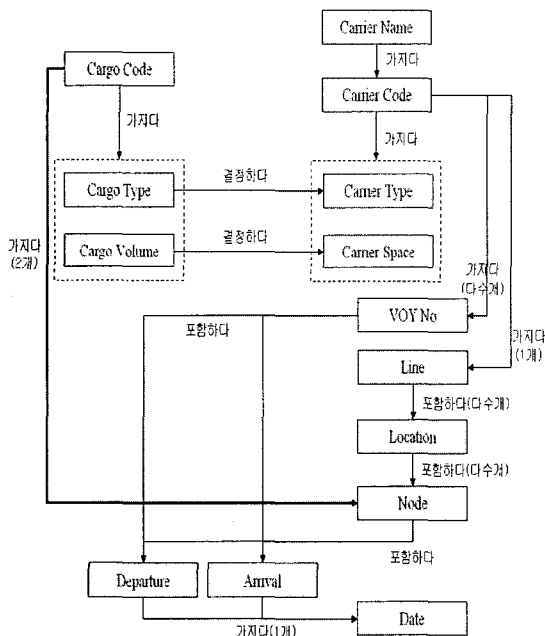


그림 1. 화물과 운송수단의 상관관계

본 알고리즘을 개발하기 위해 먼저 복잡하게 발생하는 라우팅 경로를 최대한 단순화 시키는 방법으로 가지치기 규칙(Pruning rule)을 제안하였으며, 또한 도출된 라우팅 경로에서 최적 수송계획을 위한 동적 프로그래밍 알고리즘을 제시하여 기존의 단일운송 및 복합운송 계획 방법론과 비교하여 경제적 효과를 측정하였다.

이를 위해 실험에서는 본 알고리즘을 실제 부산에서 로테르담까지 이루어지는 운송경로에 적용해 봄으로써 기존의 방법보다 더욱 효율적으로 수행될 수 있음을 증명하였다

## 2. 국제 복합운송화물 경로문제

Masharis와 Bontekoning[12], 장영태[1] 등은 복합운송화물 경로문제(Intermodal Freight Routing Problem, IFRP)가 최적화 연구분야에서 활발히 진행되지 못했음을 지적하였다. 더구나 국제복합운송화물 경로문제(International Intermodal Freight Routing Problem, IIFRP)를 다룬 연구는 더욱 미미한 실정이다. 국제복합운송화물 경로문제를 다룬 선행연구 중 대표적 연구인 Min[7]의 연구에서는 트럭, 항공기, 선박의 운송수단 중 가장 서비스 비용이 효과적인 수송모드를 선택할 수 있도록 Chance-constraint 목적계획모형을 제시하였지만, 가상적 데이터를 사용함으로써 현실감이 떨어졌으며, 국내에서는 장영태 등[1]이 유전 알고리즘을 이용하여 운송비용과 운송시간의 효율화를 달성하는 국제복합운송 경로문제를 다루었으나, 국내운송수단으로 트럭, 연안화물선을 고려하고, 국제운송을 위한 연계운송수단으로 선박만을 다룸으로써 실제적으로 국내복합운송 경로 문제로 한정되었다.

본 연구에서는 국제복합운송 경로문제에 집중하였는데, 이는 일반적으로 선박을 이용할 경우에는 화물의 물량이 크고, 운항기간이 여유가 있으며 저비용일 때 고려되고, 항공기의 경우는 고비용을 지불하더라도, 화물이 고가이거나 운항기간이 촉박한 경우에 활용되므로 복합운송을 이용하여 선박 또는 항공기를 이용하는 단일운송보다 비용이나 시간이 절약되거나, 또는 비용과 시간, 모두 단일운송보다 절약될 수 있는 복합운송 경로를 도출할 수 있다면 국제복합운송의 활용도는 더욱 높아질 것이다.

또한 지금까지의 선행연구들에서 다루었던 운송수단을 살펴보면, Min[7]은 트럭, 항공기, 선박, Barnhart[3]은 트럭, 기차, 그리고 Boardman[4]은 트럭, 기차, 항공기를 고려하였는데, 이는 주로 국제복합운송수단은 단일운송수단만을 고려한 채, 다양한 내륙(국내) 운송수단 중 국제운송수단과의 효율적 연계성에 초점을 두었다. 그러나 본 연구에서는 이와 반대로 다양한 국제복합운송수단을 먼저 고려함으로써 내륙운송수단을 후연계하는

데 중점을 두었다. 이는 기존의 해외연구가 영토적 특성이라는 지리적 영향으로 인해 내륙운송을 중요시 하였다면, 국내의 경우, 전 국토가 24시간 내에 도달할 수 있고, 이로인해 국내 내륙운송수단은 실시간으로 스케줄이 조정되는 반면, 국제복합운송수단은 공시된 스케줄에 따라 운행되는 제약이 있기 때문이다. 그러므로 화주가 자신의 화물을 선적하기 위해 먼저 국제복합운송수단을 결정 한 뒤, 다음으로 내륙운송수단을 결정하는 것이 현실적이므로, 국제복합운송수단을 우선적으로 고려하는 것이 더욱 중요하다고 판단된다.

본 연구에서는 국제복합운송수단으로 선박, 기차, 항공기를 고려하였으며, 부산에서 로테르담까지의 실제 복합운송경로에 대한 데이터를 바탕으로 최적운송 알고리즘을 개발하였다. 또한 본 연구에서는 최적복합운송경로를 도출하는데 운송 비용 뿐 아니라 운송시간을 함께 고려하여 복합운송경로를 평가하였다.

본 문제에서는 하나의 화물단위가 분리될 수 없고, 반드시 모든 운송수단에 적재되는 경우만을 고려하였으며, 만약 하나의 화물단위를 적재할 수 없는 운송수단이 있을 경우, 라우트(router, 출발지와 도착지까지의 전체 경로) 생성 시 해당 운송수단의 아크(arc, 단일운송수단의 노드간 운행 경로)는 모두 제거된다. 또한 선박, 항공기, 기차에 대한 각 운송수단의 출·도착지인 항구, 공항, 역이 노드(node)가 된다. 다른 운송수단간의 환적이 발생하는 단위는 지역(location, 노드가 존재하는 지역으로 하나의 행정 도시단위)에서 이루어지며, 하나의 지역에서는 다수의 노드가 존재할 수 있고 같은 지역에서 이루어지는 환적은 1번만 발생하는 것으로 제한한다. 하나의 지역에서 타 운송수단으로 환적이 이루어질 경우 내륙운송수단은 육상운송만을 고려하며 육상운송에서 이루어지는 비용과 시간은 거리에 따라 비례하도록 제한하였

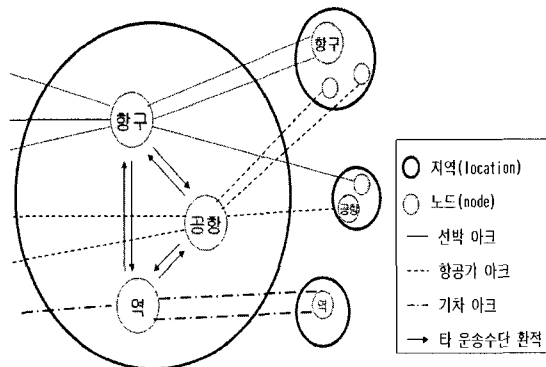


그림 2. 복합운송에서 라우트 구성요소의 정의

다. 이러한 복합운송 시의 제약조건에 따른 라우트 구성요소 정의는 <그림2>와 같다.

### 3. 최적 복합운송 알고리즘

#### 3.1 가지치기(Pruning) 규칙

부산에서 로테르담까지 운행하는 단일운송수단에는 선박과 항공기가 있다. 선박의 경우 한달 단위로 약 20개의 선박 스케줄이 제공되고 있고, 항공기의 경우 매일 2~5편 정도의 스케줄이 제공된다. 이때 비용은 선박의 경우 5피트 컨테이너를 기준으로 약 \$325(USD기준) 정도가 소요되며, 항공기의 경우에도 5피트 컨테이너로 환산하면 \$1854 정도이다. 물론 비용산출 근거가 화물의 종류와 중량, 용적에 따라 달라지므로 본 연구에서는 우선적으로 해상화물 컨테이너 단위인 피트(TEU)를 기준으로 산정하였으며, 항공화물의 컨테이너 단위인 CBM(Cubic meter)을 피트(TEU)로 환산하였다.

복합운송의 경우 관련문헌조사와 실무자와의 인터뷰를 통해 부산-로테르담간 주요 복합운송경로를 간단히 정리하면 <표1>과 같다.

표 1. 부산-로테르담간의 주요 복합운송 경로

운송수단	복합운송 경로명
선박+철도	-TSR(Trans Siberian Railway) -TCR(Trans China Railway) -TMR(Trans Manchuria Railway) -TMGR(Trans Mongolia Railway) -후해 -ALB(Siberian Land Bridge) -CLB(Canadian Land Bridge)
선박+항공기	-부산항(선)오를랜드(비)로테르담 항공 -부산항(선)LA(비)로테르담 항공 -부산항(선)벤쿠버(비)로테르담 항공

<표1>에서 나타난 주요 복합운송 경로를 중심으로 부산-로테르담간의 주요 경유지를 정리하면 <그림3>과 같은데, 이때 경유지는 타 운송수단간의 환적이 가능한 노드만을 표시하였다.

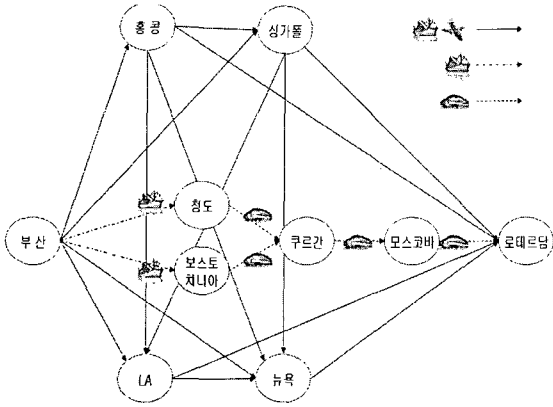


그림 3. 부산-로테르담간의 주요 복합운송 노드

<그림3>에서 도출된 주요 환적 경유지는 홍콩, 싱가포르, LA, 뉴욕, 청도, 보스토치니아, 구르간, 모스크바로 총 8개가 도출되었다. 홍콩, 싱가포르, LA, 뉴욕의 경우 선박과 항공기를 모두 고려하였고, 청도와 보스토치니아는 선박, 그리고 구르간, 모스크바는 기차만으로 한정하였다. 이때 부산-홍콩 경로간 운행되는 항공기와 선박의 경우 항공기는 매일 평균 15편 정도가 운항되며, 선박은 한달(2005년 11월 26일부터 12월 20일까지의 기간)기준으로 평균 18대 정도가 운항되고 있다. 부산-청도(보스토치니아)-구르간-모스크바간의 경로는 선박과 철도간의 복합운송으로 TSR, TCR, TMR, TMGR 경로가 해당된다. 그러므로 부산-로테르담간 도출될 수 있는 경로를 산출해보면, 본 연구에서 확보한 운송수단별 스케줄 정보를 기반으로 850,375개의 경로가 도출되었는데(부록 참조), 이는 중간 경유지에 대한 더 많은 스케줄이 현실적으로 존재하므로 복합운송 경로 문제에서 최적의 운송경로를 빠르게 찾고, 알고리즘의 성능과 효율성을 높여주기 위해 사전에 검색 공간을 최대한 줄여주는 것이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 가지치기 규칙을 제안한다. 만약 하나의 노드(n)에 l과 k라는 두가지 아크가 존재할 경우, 각 아크가 가지는 운송비용(C)과 운송소요시간(T)은  $(C_n^k, T_n^k)$ 와  $(C_n^l, T_n^l)$ 처럼 하나의 쌍으로 구성된다. 이때 하나의 아크에 의해서 다른 아크가 지배적 관계(dominate-relation)에 있을 경우 가지치기 규칙에 의해 제거된다. 가지치기 규칙은 다음과 같다.

- 가지치기 규칙 (1) : 하나의 노드에서 비용과 소요시간이 모두 높은 아크는 제거된다.

$C_n^l > C_n^k$  와  $T_n^l > T_n^k$  일때,  $(C_n^k, T_n^k)$ 에 의해  $(C_n^l, T_n^l)$ 는 제거된다.

- 가지치기 규칙 (2) : 하나의 노드에서 비용은 동일하나 소요시간이 높은 아크는 제거된다. 또는 소요시간은 동일하나 비용이 높은 아크는 제거된다.

$C_n^l = C_n^k$  이고  $T_n^l > T_n^k$  이거나,  
 $T_n^l = T_n^k$  이고  $C_n^l > C_n^k$  일때,  
 $(C_n^k, T_n^k)$ 에 의해  $(C_n^l, T_n^l)$ 는 제거된다.

- 가지치기 규칙 (3) : 하나의 노드에서 가장 늦은 출발일보다 도착일이 더 늦은 아크는 제거된다.

$\max(S_n^{\delta^+}) < (A_n^{\delta^-})$

하나의 노드에서 출발하는 아크( $\delta^+$ )와 도착하는 아크( $\delta^-$ )가 있을 때, 출발하는 아크의 출발시간을  $S_n^{\delta^+}$  이라 하고, 도착하는 아크의 도착시간을  $A_n^{\delta^-}$  이라고 하면,  $S_n^{\delta^+}$ 의 최대값보다 큰  $A_n^{\delta^-}$ 의 아크는 모두 제거된다.

가지치기 규칙 (3)의 경우는 복합운송의 특징을 고려한 것으로 환적이 발생하는 경우에 고려된다. 가지치기 알고리즘 (1)과 (2)는 다음절에서 소개할 수리적 모형에서도 적용된다.

### 3.2 WCSPP를 위한 수리적 모형

제약조건을 고려한 최단경로 문제(Constrained Shortest Path Problem)는 최단경로문제를 확장한 것으로 NP-hard문제로 알려져 있다. Martins[8]는 시간과 비용간의 상관관계(trade-off)를 고려하여 다수의 파레토 최적해 경로를 도출하였으며, 조합 최적화 문제로 해결하였다. 그러나 두가지의 목적함수를 고려하는 것은 계산시간이 오래 걸리고, 모든 파레토 최적해를 탐색하는 것은 불가능함을 증명하였다.

그러므로 하나의 목적함수를 두고, 나머지 고려사항을 제약조건으로 두는 최단경로문제의 응용이 활발히 진행되었다. 이러한 연구는 WCSPP(Weighted Constrained Shortest Path Problem)로 알려져 있으며[6,9], WCSPP 선형 프로그램 모

형(Linear Program Formulation)을 국제복합운송 문제에 맞춰 변형하면 목적함수와 제약조건, 그리고 변수 정의는 다음과 같이 이루어진다.

$$\min \sum_{a \in A} (c_a^m \cdot q_a \cdot x_a^m + q_a \cdot lc_n^a + q_a \cdot uc_n^a) \quad \dots(1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{a \in \delta^+(i)} x_a - \sum_{a \in \delta^-(i)} x_a = \begin{cases} 1, \text{if } i = s \\ -1, \text{if } i = t \\ 0, \text{if } i \in V \setminus \{s, t\} \end{cases} \quad \forall i \in V$$

$$\sum_{a \in A} w_a x_a \leq W_t$$

$$x_a \in \{0, 1\} \quad \forall a \in A$$

$$\min \sum_{a \in A} (t_a^m \cdot x_a^m + lt_n^a + ut_n^a) \quad \dots(2)$$

$$\text{s.t. } \sum_{a \in \delta^+(i)} x_a - \sum_{a \in \delta^-(i)} x_a = \begin{cases} 1, \text{if } i = s \\ -1, \text{if } i = t \\ 0, \text{if } i \in V \setminus \{s, t\} \end{cases} \quad \forall i \in V$$

$$\sum_{a \in A} w_a x_a \leq W_c$$

$$x_a \in \{0, 1\} \quad \forall a \in A$$

- $c_a^m$ : 아크 a에서 운송수단 m의 운송비용
- $x_a^m$ : 아크 a에서 운송수단 m에 의해 운송되면 1, 아니면 0
- $q_a$ : 아크 a에서의 화물의 물량
- $lc_n^a$ : 노드 n에서 아크 a의 선적비용
- $uc_n^a$ : 노드 n에서 아크 a의 하적비용
- $lt_n^a$ : 하나의 노드에서 아크 a의 선적시간
- $t_a^m$ : 아크 a에서 운송수단 m의 운송시간
- $lt_n^a$ : 노드 n에서 아크 a의 선적시간
- $ut_n^a$ : 노드 n에서 아크 a의 하적시간
- $w_a$ : 아크 a에서의 제약조건
- $W_c$ : 전체비용 제약조건
- $W_t$ : 전체시간 제약조건

복합운송을 고려한 WCSPP LP모형의 목적함수는 다음과 같이 정의할 수 있다. (식1)과 같이 최소비용 목적함수는 아크에서의 이동비용과 노드 지점에서의 선·하적 비용을 고려하였으며, 비용은 물량에 비례하므로 화물물량을 포함시켰다. (식2)의 최소시간을 목적함수로 둘 경우, 하나의 노드에서 다음 노드까지의 운송시간뿐 아니라, 출발지

에서의 선적시간, 도착지에서의 하적시간, 중간 경유지에서의 환적시간(선·하적)까지 고려하였다.

(식1)과 (식2)의 제약조건은 비슷하게 수립되나, 비용의 최소화를 달성하는 (식1)에서 제약조건  $W_t$ 는 시간이 되고, 시간의 최소화를 달성하는 (식2)에서 제약조건  $W_c$ 는 비용이 된다

### 3.3 WCSPP를 위한 동적 프로그래밍

앞서 제기된 비용과 시간의 목적함수를 각각 독립적으로 계산하면, <그림4>와 같이  $Z_1$ 점과  $Z_2$  점을 표시할 수 있다. 그리고 두 점이 교차하는  $Z_3$ 를 두 목적함수를 함께 고려했을 때 얻을 수 있는 최적해로 보았다. 그러나 이때  $Z_3$ 는 실행 불가능한 해(infeasible solution)가 된다. 그러므로 <그림4>와 같이 직사각형의 영역(음영부분)을 유효영역(effective area)으로 정의하고, 동적 프로그래밍(Dynamic Programming, DP) 알고리즘의 해가 이 유효영역에 존재한다면 실행가능한 해(feasible solution)로 보았다. 그리고 유효영역의  $T_1$ 에서  $T_2$ 를 유효시간범위(effective time range)로 정의하여 DP 알고리즘의 시간 제약조건 범위로 결정하였다.

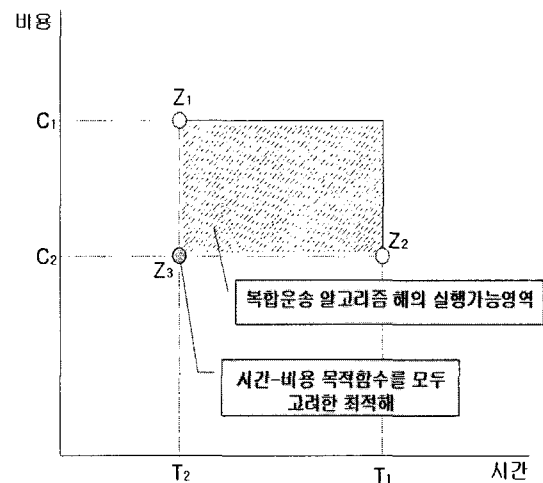


그림 4. WCSPP알고리즘의 실행가능영역

본 연구에서 적용할 DP 알고리즘은 Label Setting 알고리즘을 적용하였다. Descrochers 등 (1998)에 의해 개발된 Label Setting 알고리즘은 각 노드에 레이블을 붙여나가는 방식으로 각 레이블은 {가중치, 목적함수}의 쌍으로 구성된다.

본 Label Setting 알고리즘에서는 제약조건인 가중치를 시간으로 두고 목적함수를 비용으로 두

었다. 이는 비용은 최소화를 달성해야 하지만, 시간은 최소화 달성보다는 화주가 희망하는 화물의 도착일을 준수할 수 있도록 해야한다. 이는 도착일보다 먼저 도착할 경우, 재고비용이 발생할 것이고, 도착일보다 늦을 경우, 계약위반 등에 의한 패널티를 지불해야 한다.

그러므로 WCSPP LP모형에서 구해진 유효시간 범위를 DP알고리즘의 가중치 제약조건으로 삼았다.

레이블  $\{W_i^q, C_i^q\}$ 에서  $W_i^q$ 는 노드  $i$ 에서  $q$ 번째 가중치이며,  $C_i^q$ 는 노드  $i$ 에서  $q$ 번째 비용함수이다.  $w_{ij}$ 와  $c_{ij}$ 는 각각 노드  $i$ 에서  $j$ 까지의 가중치와 비용이 된다. 이를 바탕으로 Label Setting 알고리즘은 다음과 같이 진행된다.

Step 0: 초기화  
 집합  $Label_s = \{(0,0)\}$ , 집합  $Label_i = \Phi$ ,  
 $i \in V \setminus \{s\}$

Step 1: Label의 선택 확장.  
 만약 모든 Label이 표시되면 종료  
 모든 효율적 Label이 생성  
 그렇지 않으면,  $Label_i$ 에서 표시되지 않은 Label이 있고,  $W_i^q$ 이 최소화이면  $q$ 는 가중치값이 포함된 경로로 표시

Step 2: Label  $(W_i^q, C_i^q)$ 의 확장.  
 모든  $(i,j) \in \delta^+(i)$  이고  $W_i^q + W_{ij} \leq W$  일때,  
 만약  $(W_i^q + W_{ij}, C_i^q + C_{ij})$ 가 노드  $j$ 에 존재하는  $(W_j^q, C_j^q)$ 에 의해서 지배되지 않으며,  
 $Label_j = Label_j \cup \{(W_i^q + W_{ij}, C_i^q + C_{ij})\}$ 이 된다.  
 Label  $(W_i^q, C_i^q)$ 를 표시.  
 Step 1로 이동.

## 4. 실험

### 4.1 기본설정

부산(한국)을 출발지로 하여 로테르담(네덜란드) 까지 도착하는 경로는 아시아-유럽간의 대표적인 수출입 운송경로이다.

그러므로 본 실험데이터는 <표1>의 주요 복합 운송 경로 중에서 실제 경유시간 제공되는 스케줄 정보를 중심으로 실험 데이터를 구성하였다.

본 스케줄 정보와 비용정보는 선사와 항공사에서 제공하는 공시운임율(Tariff rate)을 기준으로 산정하였다.

표 2. 부산-로테르담간의 주요경로별 운항횟수

출항지	도착지	운송수단별 운항횟수		
		선박 (한달)	항공기 (일주일)	기차 (일주일)
부산	홍콩	18	24	-
	싱가포르	29	19	-
	LA	13	24	-
	뉴욕	11	20	-
	청도	211		-
	보스토키니아	20		-
	로테르담	20	13	-
홍콩	싱가포르	19	5	-
	LA	20	18	-
	뉴욕	15	13	-
	로테르담	10	5	-
싱가포르	LA	26	12	-
	뉴욕	12	13	-
	로테르담	15	5	-
LA	뉴욕	5	5	-
	로테르담	5	5	-
뉴욕	로테르담	5	5	-
청도	쿠르간	-	-	1
보스토키니아	쿠르간	-	-	1
쿠르간	모스크바	-	-	1
모스크바	로테르담	-	-	1

<그림5>는 <표2>를 근거로 부산과 로테르담간의 주요 경유지별 운행가능한 운송수단과 운항횟수를 표기하였으며, 이를 토대로 부산-로테르담간의 주요 경로는 <부록>과 같이 총 850,375개로 도출되었다. 이렇게 도출된 경로개수를 본 실험의 1차 데이터로 설정하였다.

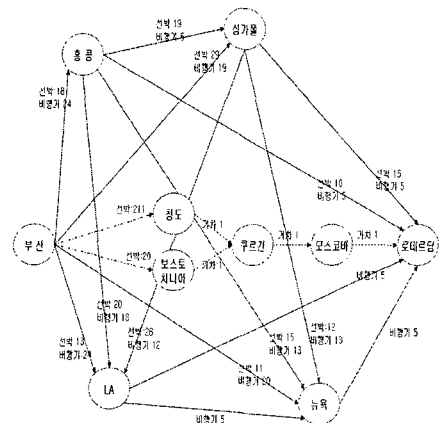


그림 5. 부산-로테르담간 주요경로

#### 4.2 실험 결과 및 분석

실험의 기본데이터로 설정된 850,375개의 경로를 대상으로 1차적으로 가지치기 규칙을 적용하였다. 이는 부산-로테르담간의 경로는 단일운송과 복합운송을 모두 고려하였을 때 100개의 전체 경로가 도출되나, 하나의 경로에 경유시간 운행되는 다수의 스케줄이 존재하여 모든 경유지의 스케줄을 곱하게 되므로 850,375개의 경로가 도출된 것이다. 그러므로 같은 경로간 스케줄을 대상으로 가지치기 규칙을 적용한 결과, 512개의 경로를 제외하고 나머지는 모두 제거되었다. 가지치기 규칙은 본 연구에서 진행되고 있는 데이터베이스 관리시스템(TNPS Data Management으로 명명됨)의 SQL문을 통해 수행되었는데, 비용의 경우 공시운임율을 본 연구에서 사용하고 있어, 같은 운송업체인 경우와 운항기간이 같을 경우 비용이 동일하게 책정되는 경우가 많아, 849,863개의 경로가 제거되는 결과를 보였다.

다음으로 512개의 경로를 대상으로 WCSPP LP모형을 적용하였다. 그 결과 도출된 최소비용과 최단시간은 각각 단일운송수단인 선박과 항공기로 도출되었으며, <표 3>에서 그 결과를 정리하였다.

표 3. 부산-로테르담간의 단일운송수단의 운송기간 및 비용

구분	운송수단	운송기간	운송비용
최소비용	선박	792시간	\$325
최단시간	항공기	11시간	\$1854

이렇게 도출된 WCSPP LP모형의 결과를 토대로 유효영역을 정의하였다. 마지막으로 512개의 경로를 대상으로 DP 알고리즘인 Label Setting 알고리즘을 수행하였다.

Label Setting 알고리즘 수행결과, 유효영역을 벗어나는 경로는 다시 제거되었다. 유효영역을 벗어난 경로는 모두 461개로, 제거된 경로의 대부분이 4회 이상의 환적이었고, 2회 이상의 항공기를 환적하는 경로도 대부분 제거되었다. 이는 잦은 환적으로 인해 선하적 비용과 시간이 상대적으로 증가되었기 때문이다. 실제 현업에서 이루어지고 있는 복합운송 계획 시에도 3회 이상의 환적이 발생하는 경우는 거의 없다.

<그림6>은 Label Setting 알고리즘을 적용하여 유효영역에 포함된 해를 시간-비용 좌표에 표시한 것이다. 본 좌표상에 표시된 경로는 총 51개로 <그림4>의 유효영역에 들어가는 값들이다.

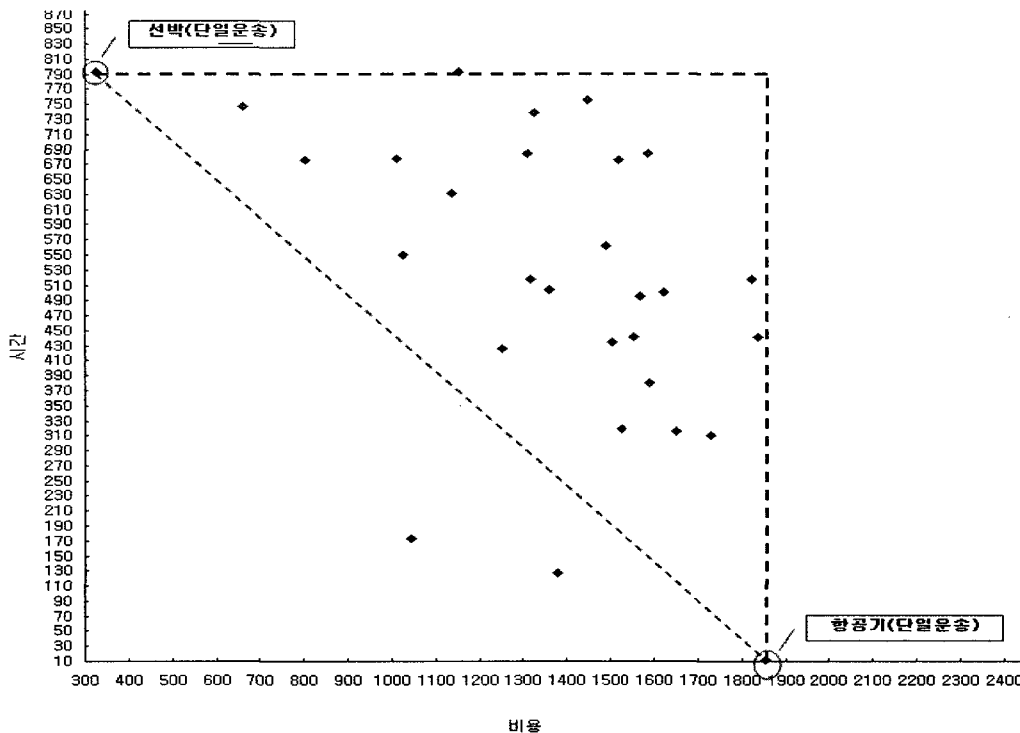


그림 6. Label Setting 알고리즘 실험결과

앞서 제시한 것처럼 최소운송비용은 선박만으로 단일운송되었을 때로 비용이 \$325였고 이때 운송시간은 792시간이었다. 다음으로 본 실험을 통해 도출된 복합운송에서는 부산(선박)-홍콩(항공기)-싱가포르(선박)-로테르담까지의 경로가 \$660로 가장 최소의 비용이 나왔고, 이때 운송시간은 747시간이 걸린다. Label Setting 알고리즘을 수행한 결과, 복합운송경로 중에는 선박 단일

운송 비용보다 더 저렴한 경로를 도출하지는 못하였다. 그러나 운송시간과 함께 고려할 경우에는 단일운송수단 경로와 비교해 보았을 때 경쟁력을 가질 수 있었다.

<표4>에서 <표7>까지는 Label Setting 알고리즘의 시간제약조건을 700이하부터 100이하까지 주었을 때 최소비용(표의 음영부분)을 표시한 것이다.

표 4. 운송시간이 700시간 이하일 때

순번	출항지	경유지1	경유지2	경유지3	경유지4	경유지5	비용	시간
4	부산(항)	홍콩(항)	로테르담	-	-	-	1854	11
5	부산(선)	홍콩(항)	로테르담	-	-	-	1377	127
8	부산(항)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	-	1854	11
9	부산(선)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	-	1042	173
10	부산(항)	싱가포르(선)	로테르담	-	-	-	1137	631
11	부산(선)	LA(항)	로테르담	-	-	-	1525	319
13	부산(선)	LA(선)	로테르담	-	-	-	1025	550
15	부산(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	-	-	1621	500
17	부산(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	-	1010	678
20	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	1042	173
21	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(선)	로테르담	-	-	1137	631
22	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	1854	11
24	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	1377	128
25	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	로테르담	-	-	802	676
26	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	1519	676
27	부산(선)	홍콩(선)	LA(항)	로테르담	-	-	1525	319
29	부산(선)	홍콩(항)	LA(항)	로테르담	-	-	1525	319
35	부산(선)	홍콩(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	-	1621	500
39	부산(선)	홍콩(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	1010	678
41	부산(선)	홍콩(항)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	1588	381
42	부산(항)	홍콩(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	1487	562
51	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담	-	1525	319
55	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담	-	1360	505
56	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담	-	1837	441
57	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담	-	1502	434
59	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	1621	500
63	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	1316	517
64	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담	-	1588	381
65	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	1487	562
66	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담	-	1730	310
73	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	1587	684
75	부산(선)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담	-	-	1525	319
81	부산(선)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담	-	-	1568	495
83	부산(선)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	-	1621	500
87	부산(선)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	1010	678
89	부산(선)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	1253	426
90	부산(항)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	-	1822	517
91	부산(선)	싱가포르(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담	-	1651	315
95	부산(선)	싱가포르(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	1310	685
97	부산(선)	싱가포르(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	1553	442

(선): 선박, (항): 항공기, (기): 기차



표 5. 운송시간이 600시간 이하일때

순번	출항지	경유지1	경유지2	경유지3	경유지4	비용	시간
4	부산(항)	홍콩(항)	로테르담	-	-	1854	11
5	부산(선)	홍콩(항)	로테르담	-	-	1377	127
8	부산(항)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	1854	11
9	부산(선)	싱가포르(항)	로테르담	-	-	1042	173
11	부산(선)	LA(항)	로테르담	-	-	1525	319
<b>13</b>	<b>부산(선)</b>	<b>LA(선)</b>	<b>로테르담</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1025</b>	<b>550</b>
15	부산(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	-	1621	500
20	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	로테르담	-	1042	173
22	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	-	1854	11
24	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	-	1377	128
27	부산(선)	홍콩(선)	LA(항)	로테르담	-	1525	319
29	부산(선)	홍콩(항)	LA(항)	로테르담	-	1525	319
35	부산(선)	홍콩(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	1621	500
41	부산(선)	홍콩(항)	뉴욕(선)	로테르담	-	1588	381
42	부산(항)	홍콩(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	1487	562
51	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담	1525	319
55	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담	1360	505
56	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담	1837	441
57	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담	1502	434
59	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담	1621	500
63	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	1316	517
64	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담	1588	381
65	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	1487	562
66	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담	1730	310
75	부산(선)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담	-	1525	319
81	부산(선)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담	-	1568	495
83	부산(선)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담	-	1621	500
89	부산(선)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담	-	1253	426
90	부산(항)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담	-	1822	517
91	부산(선)	싱가포르(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담	1651	315
97	부산(선)	싱가포르(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	1553	442

표 6. 운송시간이 200시간 이하일때

순번	출항지	경유지1	경유지2	경유지3	비용	시간
4	부산(항)	홍콩(항)	로테르담		1854	11
5	부산(선)	홍콩(항)	로테르담		1377	127
8	부산(항)	싱가포르(항)	로테르담		1854	11
<b>9</b>	<b>부산(선)</b>	<b>싱가포르(항)</b>	<b>로테르담</b>		<b>1042</b>	<b>173</b>
20	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	로테르담	1158	187
22	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	1854	11
24	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	1377	128

표 7. 운송시간이 100시간 이하일때

순번	출항지	경유지1	경유지2	경유지3	비용	시간
<b>4</b>	<b>부산(항)</b>	<b>홍콩(항)</b>	<b>로테르담</b>		<b>1752</b>	<b>13</b>
8	부산(항)	싱가포르(항)	로테르담		1824	12
22	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담	1974	19

운송시간이 700시간 이하 일때는 총 40개의 파레토 최적해가 도출되었고, 600시간 이하일 때 31개, 500시간 이하일 때 25개, 400시간 이하일 때 16개, 200시간 이하일 때는 7개(300시간 이하에도 동일)가 도출되었으며, 100시간 이하일 때는 3개

가 파레토 최적해로 도출되었다. 각 운송시간대별로 최소운송비용이 도출된 파레토 경로를 정리하면 <표8>과 같다. 500시간 이하부터 200시간 이하까지는 최소비용 경로가 동일하게 도출되었다.

표 8. Label Setting 알고리즘 적용 결과

운송시간대별 분류	출발지	경유지 (1)	경유지(2)	경유지 (3)	운송 비용	운송 시간
792시간 이하	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	로테르담	660	747
700시간 이하	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	로테르담	802	676
600시간 이하	부산(선)	LA(선)	로테르담		1025	550
500~200시간 이하	부산(선)	싱가포르(항)	로테르담		1042	173
100시간 이하	부산(항)	홍콩(항)	로테르담		1752	13

<표8>에서 도출된 결과에서 볼 수 있듯이 철도를 이용한 복합운송경로는 모두 제거되었는데, 이는 본 논문에서 철도 운송에 대한 정확한 데이터를 확보하지 못한 한계가 있었다. TSR과 TCR의 경우 중국과 러시아간의 철도운송비용과 시간이 고정적이지 않고, 상황에 따른 유동적 성격을 가지고 있어 데이터 수집에 어려움이 있었다. 본 결과에서 도출된 경로를 통해서 국제복합운송수단을 결정한 뒤, 내륙연계운송수단을 계획할 수 있다. 예를들어 복합운송경로 중 가장 최소의 비용이 도출된 부산(선박)-홍콩(항공기)-싱가포르(선박)-로테르담의 경로에서 부산 지역에서는 선박이 운송수단으로 결정되었으므로 화주가 부산항으로 화물을 운송하기 위한 계획 시 연계가 용이한 내륙운송수단을 결정할 수 있다. 이는 홍콩, 싱가포르간의 환적운송 시에도 동일하게 적용될 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 3자물류업체에서 활용할 수 있는 복합운송수단을 고려한 최적수송계획 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 동적 프로그래밍 알고리즘 중 하나인 Label Setting 알고리즘을 본 문제에 맞게 수정하여, 실제 부산에서 로테르담까지의 경로에 적용하기 위해 WCSPP LP모형을 먼저 제시하였다. WCSPP LP모형에 의해 도출된 최소비용과 최단시간을 이용하여 파레토 유효영역을 설정하였으며, 이를 통해 Label Setting 알고리즘을 현실적인 문제에 적용할 수 있는 새로운 모델을 제시하였다. 또한 가지치기 규칙을 함께 병행함으로써 알고리즘의 성능을 더욱 향상시킬 수 있었다. 향후 연구에서는 본 연구에서 도출된 파레토 최적해를 평가할 수 있는 방법론을 제

시할 것이며, 본 알고리즘이 탑재된 3자물류 수송망 계획 시스템을 개발하여 함께 제시하도록 하겠다.

## 참고 문헌

- [1] 장영태, 김은수, (2005). "유전알고리즘을 이용한 복합운송최적화모형에 관한 연구,"해운물류연구, 제45호, pp.75-98.
- [2] 유일, 김재전, 조건, 소순후, 박이숙, (2004). "AHP를 이용한 제3자 물류업체 선정 평가기준에 관한 연구,"한국정보전략학회지, 제8권 제1호, pp.579-584.
- [3] Barnhart, C. and H. Donald Ratliff, (1993). "Modeling Intermodal Routing," Journal of Business Logistics, Vol. 14, No.1, pp.205-223.
- [4] Boardman, B.S., E.M. Malstrom, D.P. Butler and M.H.Cole, (1997). "Computer Assisted Routing of Intermodal Shipments," Computers and Industrial Engineering, Vol.33 (1-2), pp.311-314.
- [5] Chen, Y.L. and Chin, Y.H. (1990). "The Quickest Path Problem", Computer Operations Research, Vol.17(2), pp.153-161.
- [6] Descrochers, M. and Soumis, F. (1988). "A Generalized Permanent Labeling Algorithm for the Shortest Path Problem with Time Windows," INFOR 26, pp.191-212.
- [7] Hokey Min, (1991). "International intermodal choices via chance-constrained goal programming," Transportation Research Part A: General, Vol. 25, Issue 6, pp. 351-362.
- [8] Martins, E.Q.V. (1984). "On a Multicriteria Shortest Path Problem," European Journal of Operational Research, Vol.1, pp.236-245.
- [9] Moore, M.H. (1976). "On the Fastest Route for Convey-type Traffic in Flowrate-constrained Networks," Transportation Science, Vol.10, pp.113-124.
- [10] Pasquale, A., Maurizio, B. and Antonio, S. (2002). "A Penalty Function Heuristic for the Resource constrained Shortest Path Problem,"European Journal of Operational Research, Vol.142, pp.221-230.

- [11] Rosen, J.B., Sun, S.Z. and Xue, G.L. (1991).  
"Algorithm for the Quickest Path Problem  
and the Enumeration of Quickest Paths,"  
Computer Operations Research, Vol.18(6),  
pp.579-584.
- [12] Macharis, C. and Bontekoning, Y.M. (2004).  
"Opportunities for OR in Intermodal  
Freight Transport Research: A Review,"  
European Journal of Operational Research,  
Vol.153, pp.400-416.

## 후기

본 연구는 교육부의 지방연구중심대학사업 '차세대물류 IT기술 연구사업단'에 의해 지원되어 수행되었습니다.

[부록]

부산-로테르담간 경로

(선): 선박, (항): 항공기, (기): 기차

순번	출항지	경유지1	경유지2	경유지3	경유지4	경유지5	경유지수
1	부산(선)	로테르담					20
2	부산(항)	로테르담					13
3	부산(선)	홍콩(선)	로테르담				180
4	부산(항)	홍콩(항)	로테르담				120
5	부산(선)	홍콩(항)	로테르담				90
6	부산(항)	홍콩(선)	로테르담				240
7	부산(선)	싱가포르(선)	로테르담				435
8	부산(항)	싱가포르(항)	로테르담				95
9	부산(선)	싱가포르(항)	로테르담				145
10	부산(항)	싱가포르(선)	로테르담				285
11	부산(선)	LA(항)	로테르담				65
12	부산(항)	LA(항)	로테르담				120
13	부산(선)	LA(선)	로테르담				55
14	부산(항)	LA(선)	로테르담				100
15	부산(선)	뉴욕(항)	로테르담				5130
16	부산(항)	뉴욕(항)	로테르담				1710
17	부산(선)	뉴욕(선)	로테르담				1800
18	부산(항)	뉴욕(선)	로테르담				600
19	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	로테르담			1350
20	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	로테르담			450
21	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(선)	로테르담			6840
22	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담			2280
23	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	로테르담			900
24	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	로테르담			600
25	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	로테르담			450
26	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	로테르담			1200
27	부산(선)	홍콩(선)	LA(항)	로테르담			900
28	부산(항)	홍콩(항)	LA(항)	로테르담			600
29	부산(선)	홍콩(항)	LA(항)	로테르담			450
30	부산(항)	홍콩(선)	LA(항)	로테르담			1200
31	부산(선)	홍콩(선)	LA(선)	로테르담			1000
32	부산(항)	홍콩(항)	LA(선)	로테르담			1000
33	부산(선)	홍콩(항)	LA(선)	로테르담			1000
34	부산(항)	홍콩(선)	LA(선)	로테르담			1000
35	부산(선)	홍콩(선)	뉴욕(항)	로테르담			4500
36	부산(항)	홍콩(항)	뉴욕(항)	로테르담			3000
37	부산(선)	홍콩(항)	뉴욕(항)	로테르담			2250
38	부산(항)	홍콩(선)	뉴욕(항)	로테르담			6000
39	부산(선)	홍콩(선)	뉴욕(선)	로테르담			1500
40	부산(항)	홍콩(항)	뉴욕(선)	로테르담			1500
41	부산(선)	홍콩(항)	뉴욕(선)	로테르담			1500
42	부산(항)	홍콩(선)	뉴욕(선)	로테르담			1500
43	부산(선)	홍콩(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		25650
44	부산(항)	홍콩(항)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		8550
45	부산(선)	홍콩(항)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		9000
46	부산(항)	홍콩(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		3000
47	부산(선)	홍콩(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		1450
48	부산(항)	홍콩(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		1450

49	부산(선)	홍콩(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		1450
50	부산(항)	홍콩(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		1450
51	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담		6750
52	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	LA(항)	로테르담		2250
53	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담		34200
54	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	LA(항)	로테르담		11400
55	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담		3200
56	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담		3200
57	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담		3200
58	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담		3200
59	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담		25650
60	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	뉴욕(항)	로테르담		8550
61	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담		9000
62	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	뉴욕(항)	로테르담		3000
63	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담		3200
64	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담		3200
65	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담		3200
66	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담		3200
67	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담	6750
68	부산(선)	홍콩(선)	싱가포르(항)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담	2250
69	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담	34200
70	부산(항)	홍콩(항)	싱가포르(항)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담	11400
71	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	3200
72	부산(선)	홍콩(항)	싱가포르(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	3200
73	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	3200
74	부산(항)	홍콩(선)	싱가포르(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담	3200
75	부산(선)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담			128250
76	부산(항)	싱가포르(항)	LA(항)	로테르담			42750
77	부산(선)	싱가포르(항)	LA(항)	로테르담			45000
78	부산(항)	싱가포르(선)	LA(항)	로테르담			15000
79	부산(선)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담			3200
80	부산(항)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담			3200
81	부산(선)	싱가포르(항)	LA(선)	로테르담			3200
82	부산(항)	싱가포르(선)	LA(선)	로테르담			3200
83	부산(선)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담			33750
84	부산(항)	싱가포르(항)	뉴욕(항)	로테르담			11250
85	부산(선)	싱가포르(항)	뉴욕(항)	로테르담			171000
86	부산(항)	싱가포르(선)	뉴욕(항)	로테르담			57000
87	부산(선)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담			2175
88	부산(항)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담			475
89	부산(선)	싱가포르(항)	뉴욕(선)	로테르담			725
90	부산(항)	싱가포르(선)	뉴욕(선)	로테르담			1425
91	부산(선)	싱가포르(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		2175
92	부산(항)	싱가포르(항)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		475
93	부산(선)	싱가포르(항)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		725
94	부산(항)	싱가포르(선)	LA(항)	뉴욕(항)	로테르담		1425
95	부산(선)	싱가포르(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		10875
96	부산(항)	싱가포르(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		2375
97	부산(선)	싱가포르(항)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		3625
98	부산(항)	싱가포르(선)	LA(선)	뉴욕(선)	로테르담		7125
99	부산(선)	청도(기)	모스크바(기)	로테르담			1
100	부산(선)	보스토치니아(기)	모스크바(기)	로테르담			1
합계							850375

# An Optimal Intermodal-Transport Algorithm using Dynamic Programming

## Abstract

Because of rapid expansion of third party logistics, fierce competition in the transportation industry, and the diversification and globalization of transportation channels, an effective transportation planning by means of multimodal transport is badly needed. Accordingly, this study aims to suggest an optimal transport algorithm for the multimodal transport in the international logistics. Cargoes and stopovers can be changed numerously according to the change of transportation modes, thus being a NP-hard problem. As a solution for this problem, first of all, we have applied a pruning algorithm to simplify it, suggesting a heuristic algorithm for constrained shortest path problem to find out a feasible area with an effective time range and effective cost range, which has been applied to the Label Setting Algorithm, consequently leading to multiple Pareto optimal solutions. Also, in order to test the efficiency of the algorithm for constrained shortest path problem, this paper has applied it to the actual transportation path from Busan port of Korea to Rotterdam port of Netherlands.

---

## 1C. 신호처리 및 시스템

---

- 비백색 잡음 환경에서 정합필터 성능개선을 위한 백색화 기법  
김정구(부산대)
- 신경망을 이용한 빙축열 시스템의 냉방부하예측에 관한 연구  
고택범(경주대)
- FPGA 기반 실용적 마이크로프로세서의 구현  
안정일, 박성환, 권성재(대진대)