

우편수송DSS를 위한 수송 모듈 구축에 관한 연구

- A Study on the Development of Transportation Module
for Mail Transportation Decision Support System -

최 민 구*

Choi Min Gu

김 영 민**

Kim Young Min

Abstract

This paper deals with a network model for the efficient transportation of post and consists of the formulation based on the network model and the LINGO programming model including the operations of the post transportation. This network model is represented by using Time Space Network. The generalized formulation is built up with the input variables and the decision variables, which are defined on the basis of the network model. And LINGO programming model to be proposed with DB and LINGO is constructed in consideration of how to manage the post transportation and the intermodal transport. The results of the model implementation were represented on Time Space Network and they are analyzed and verified.

The LINGO programming model is used as the module to be set in application software. Specifically with using GEOmania, GIS tool, the LINGO Model is applied to develop the application for Mail Transportation Decision Support System.

1. 서론

인터넷이라고 하는 인류 역사상 가장 빠른 속도로 확산되어진 미디어를 통해 e-혁명이라 불릴 만큼 산업전반에 걸친 엄청난 변화들이 일어나고 있다. 이러한 현실 속에서 우리나라의 우정사업도 시대의 흐름에 발맞추어 효율적 운영을 위해 인터넷을 이용한 순토정보관리 시스템 운영 및 우체국간을 연결하는 진산망을 구축, 그리고 우편물류의 자동화 및 효율화를 위한 기계화 집중국 설치 등 변화되는 환경에 적응하고 있다.[1, 4] 이와 같은 기반들이 마련되고 있는 환경에서 우편사업의 고유업무인 집·배송과 수송에 관련하여 보다 효율적이고 실용적인 우편물류 모델의 필요성이 대두되고 있다.

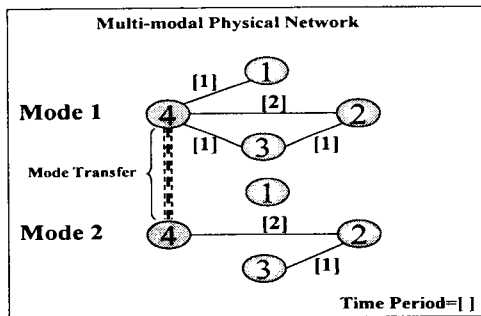
* 인하대학교 산업공학과 석사과정

**인하대학교 산업공학과 교수

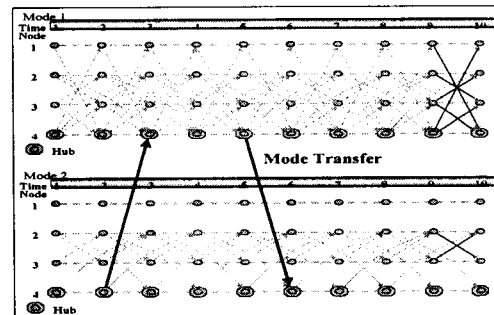
그 동안 우편물류 수송망은 거의 도로망 위주의 운송체계였다. 물류 수송구조의 합리적 개편방안으로 활용되어지는 복합운송을 우편물류망에 적용한 연구가 필요할 것이라 생각된다.[3, 6] 이에 도로망, 철도망, 해운망, 항공망 등을 하나로 묶는 네트워크를 구성하고 가장 현실적인 우편수송 운영방법을 바탕으로 수송 모델을 구축한 후, 그리고 최적화 S/W인 LINGO를 이용하여 모델을 검증 제안하고 문제의 확장과 지리정보 시스템(GIS)과의 연계를 통해 보다 현실적인 모델을 구축해 가는데 목적과 의의를 두고자한다. 궁극적으로 우편물수송과 같이 시간적 제약을 받는 Multi-commodity, Multimodal Network의 수송 모델로부터 신속하고 효율적인 수송계획결과를 도출하고 나아가 다른 수송 모델의 수송계획에서도 적용 가능한 Module로서 개발하려고 한다. 뿐만 아니라 지리정보시스템(GIS)구축개발 도구인 GEOmania와 접목되어 활용되어질 우편수송경로결정을 위한 의사결정지원시스템의 주요 Module 개발을 목적으로 하고 있다.

2. 우편 수송 Model 구성을 위한 배경

1) Time Space Network



<그림 2-1> Multimodal Physical Network



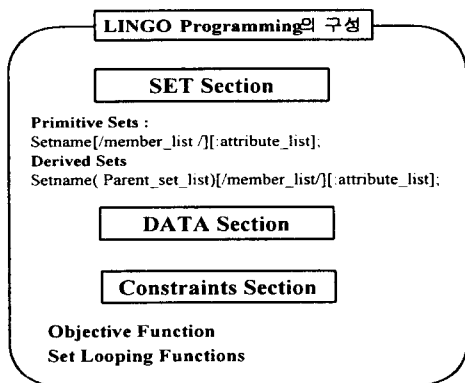
<그림 2-2> Multimodal Time Space Network

<그림 2-1>과 같은 Physical Network는 시간에 따른 동적인 의사결정을 위해 <그림 2-2>와 같은 Time Space Network로 변환되어지게 되는데 표현형태는 위와 같다.

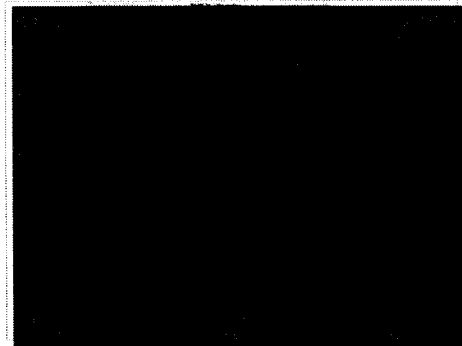
Time Space Network를 이용했던 논문들로는 Ali Haghani and Sei-Chang Oh[10]가 재해구호를 위한 Multi-commodity, Multi-modal network 문제를 Time Space Network 개념을 기반으로 정식화 하였으며, Hanif D. Sherali and Cihan H. Tuncbilek[13]가 Multilevel Rail-car Management문제를 위한 dynamic 모델을 제안한 논문에서 n개의 수요지와 m개의 공급지 사이에 빈 화차들의 움직임을 표현하는데 쓰였으며, Powell and Carvalho[7]는 Dynamic Fleet management 문제를 위한 Logistics Queueing Network를 표현하는데 Time Space Network를 사용하였다. 본 논문에서는 우편물 수송문제에서는 사용되지 않았던 Time Space Network를 사용하여 우편물수송 관련 문제를 정식화하고 해를 구함으로서 우편물수송 의사결정지원시스템을 구축하려 한다.

2) 최적화 소프트웨어 LINGO[12]

선형, 비선형, 그리고 정수 최적화 모델들을 보다 빠르고 쉽게 효율적으로 구성하고 풀도록 디자인되어진 종합적인 도구로서 제약조건과 의사결정변수의 수가 무한한 문제를 지원하는 최적화 S/W이다. <그림2-3>과 같이 최적화 모델과 비슷하게 목적함수, 변수들, 그리고 제약조건의 세 부분으로 구성되어진다.



<그림 2-3> LINGO 프로그래밍의 구성



<그림 2-4> 우편 집중국 중심의 우편 운송 물류망

3) 여러 운송로를 이용한 우편 집중국 중심의 우편 운송 물류망

우편집중국은 우편물을 한곳으로 모아 집중기계처리를 함으로써 보다 신속하고 정확하게 배달함을 목적으로 만들어진 기계화 국사이다. <그림2-4>와 같이 집중국들과 여러 운송로를 이용한 대전교환센터를 중심으로 하는 집중교환방식(Hub & Spokes)은 도서나 산간벽지 등의 특수지역을 제외한 익일 배달운송시스템을 가능하게 하는 우편 물류망을 갖추게 된다.

4) 지리정보시스템과의 통합(GEOmania)

GIS의 응용 소프트웨어 개발을 위한 GDK(GEOMania Development Kit)을 사용하여 지도상에 보다 현실적이고 효과적인 여러 응용 프로그램을 구축할 수 있다. GDK에서 제공되는 지도상의 도로망, 철도망, 해운망 등을 이용하여 우편물의 수송을 보다 현실적으로 표현할 수 있으며 다른 응용 프로그램 제작 도구(VC++, Delphi)를 통해 GDK가 제공하는 함수들을 이용하고 LINGO를 접목하여 우편물 수송경로를 결정하는 의사결정지원 시스템이라는 응용 프로그램을 구축할 수 있다.

3. 복합운송체계를 고려한 우편물 수송 Model 구성

1) 정식화를 위한 변수 설명

- SE_{gi} : node i 에서 commodity g 의 공급량 ($t=1$).
- DE_{gi} : node i 에서 commodity g 의 수요량.
- YE_i^m : mode m 별, node i , $t=1$ 에서 이용 가능한 트럭 수.
- YCA^m : mode m 별 Vehicle의 Capacity.
- ACA_{ijt}^m : node i , 시간 t 에서 node j , 시간 t' 사이의 mode m 의 ARC Capacity.
- CVR_{ijt}^m : node i , 시간 t 에서 node j , 시간 t' 사이를 mode m 에서 움직이는 vehicle의 unit cost.
- CSC_{gi} : node i 에서 commodity g 의 unit carryover cost.
- CGR_{ijt}^{gm} : mode m 에서 node i , 시간 t 에서 node j , 시간 t' 으로 commodity g 의 unit shipping cost.
- $CGT_i^{gmm'}$: node i 에서, mode m 에서 mode m' 으로 Transfer되는 commodity g 의 unit cost.
- $VCGT_i^{mm'}$: node i 에서, mode m 에서 mode m' 으로 Transfer하는 vehicle unit cost.
- $MYCA$: Transfer 하는 vehicle의 Capacity.
- Y_{ijt}^m : mode m 별, node i & 시간 $t \Rightarrow$ node j & 시간 t' 으로 이동되는 트럭수.
- YC_{it}^m : node i 에서, 시간 t 에서 $t+1$ 로 넘어가는 트럭 수.
- X_{ijt}^{gm} : mode m 에서 node i , 시간 t 에서 node j , 시간 t' 으로 commodity g 가 수송되는 양.
- SC_{git}^m : mode m 인 node i 에서 commodity g 수송량 중 시간 t 가 $t+1$ 로 Carryover되는 양.
- $XT_{itt'}^{gmm'}$: node i 에서 시간 t 와 시간 t' 사이에 commodity g 가 mode m 에서 mode m' 으로 Transfer되는 양.
- $MY_{itt'}^{mm'}$: node i 에서 시간 t 와 시간 t' 사이에 mode m 에서 mode m' 으로 Transfer하는데 쓰인 트럭수.
- SE_{gi}^m : node i 에서 commodity g 의 공급량 중 mode m 에 할당되는 양 ($t=1$).
- DE_{git}^m : node i 에서 commodity g 의 수요량 중 시간 $t(t>1)$, mode m 으로 수송된 양.

2) 정식화 모델

Objective Function

Minimize

$$Z = \sum_i \sum_j \sum_t \sum_{t'} \sum_m CVR_{ijt'}^m \times Y_{ijt'}^m \quad (1)$$

$$+ \sum_i \sum_j \sum_t \sum_{t'} \sum_m \sum_g CGR_{ijt'}^{gm} \times X_{ijt'}^{gm} \quad (2)$$

$$+ \sum_i \sum_t \sum_g CSC_{gi} \times \left(\sum_m SC_{git}^m \right) \quad (3)$$

$$+ \sum_i \sum_t \sum_{t'} \sum_m \sum_{m'} VCGT_i^{mm'} \times MY_{itt'}^{mm'} \quad (4)$$

$$+ \sum_i \sum_g \sum_t \sum_{t'} \sum_m \sum_{m'} CGT_i^{mm'} \times XT_{itt'}^{gmm'} \quad (5)$$

Constraints

$$SE_{gi} = \sum_m SE_{gi}^m$$

$$DE_{gi} = \sum_t \sum_m DE_{git}^m \quad (6)$$

for all i, g .

$$\begin{aligned} \sum_j \sum_t X_{jt'it}^{gm} + \sum_t \sum_m XT_{it' t}^{gm'm} + SC_{gi(t-1)}^m \\ = \sum_j \sum_t X_{jt'it}^{gm} + \sum_t \sum_m XT_{it' t}^{gmm'} + SC_{git}^m + DE_{git}^m \end{aligned} \quad (7)$$

for all i, t, g, m .

$$X_{jt'it}^{gm} \geq 0, \quad XT_{it' t}^{gmm'} \geq 0$$

$$SE_{gi}^m \geq 0, \quad SC_{git}^m \geq 0, \quad DE_{git}^m \geq 0 \quad (8)$$

for all i, j, t, t', g, m, m' .

$$\begin{aligned} \sum_j \sum_t Y_{jt'it}^m + \sum_t \sum_m MY_{it' t}^{m'm} + YC_{it(t-1)}^m \\ = \sum_j \sum_t Y_{jt'it}^m + \sum_t \sum_m MY_{it' t}^{mm'} + YC_{it}^m \end{aligned} \quad (9)$$

for all i, t, m .

$$\begin{aligned} YE_i^m \geq 0 \text{ and integer, } Y_{ijt'}^m \geq 0 \text{ and integer} \\ , \quad YC_{it}^m \geq 0 \text{ and integer} \end{aligned} \quad (10)$$

for all i, j, t, t', m .

$$ACA_{ijt}^m - Y_{ijt}^m \geq 0 \quad (11)$$

for all i, j, t, t', m .

$$YCA^m \times Y_{ijt}^m - \sum_g X_{ijt}^{gm} \geq 0 \quad (12)$$

for all i, j, t, t', m .

$$MYCA \times MY_{itt'}^{mm'} - \sum_g XT_{itt'}^{mm'} \geq 0 \quad (13)$$

for all i, t, t', m, m' .

3) 정식화 개념

정식화한 식을 설명하면 다음과 같다. 먼저 목적함수 부분에서 식(1)은 다른 노드로의 수송을 위한 운송수단의 고정비를 표현한 것이며 식(2)는 Commodity별 물동량에 대한 변동비를 표현한 것, 식(3)은 이연 비용을 표현한 것, 식(4)는 환적작업에 쓰인 운송수단의 고정비를 표현한 것, 식(5)는 Commodity별 환적되어진 물동량에 대한 변동비를 표현한 것이다.

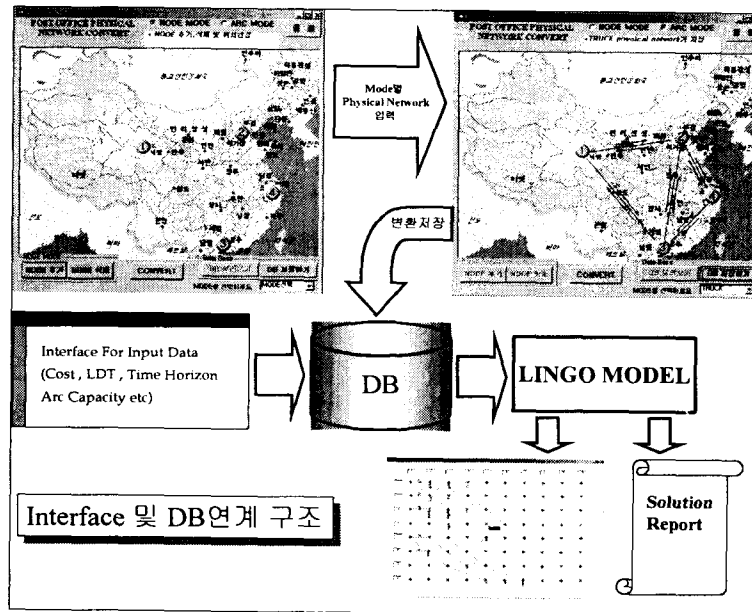
제약조건 부분에서 식(6)은 모든 노드와 Commodity에 대하여 공급되는 양과 다른 Mode로 분산되어 공급되는 공급량에 대한 관계와 시점을 달리한 각 노드에 분배되어진 수요량과 각 노드에 수요량의 관계를 표현한 것임. 식(7)은 다른 노드로부터의 물동량(X), 환적되는 물동량(XT), 이연되는 물동량(SC)을 합하여 총입력 물동량이라 할 때 총출력 물동량은 수요지에 이르러 제거되는 물동량(DE)을 포함하여 총입력 물동량과 총출력 물동량이 같도록 하는 제약조건을 나타낸 것으로 각 노드와 시점별 물동량 Flow conservation을 표현한 것이다. 식(8)은 물동량 변수들(X, XT, SE, SC, SE)의 양수 제약조건을 표현한 것이다. 식(9)는 다른 노드로부터의 운송수단이동대수(Y), 환적작업에 쓰이는 운송수단의 본 Mode로의 이동대수(MY), 운송수단의 이연대수(YC)를 합하여 각 Mode별 운송수단의 총입력 운송수단대수이라 할 때 총출력 운송수단대수와 같도록 하는 제약조건을 나타낸 것으로 운송수단 Flow conservation을 표현한 것이다. 식(10)은 운송수단변수들(YE, Y, YC)의 양수 제약조건을 표현한 것이다. 식(11)은 운송수단 대수가 Arc 최대용량(ACA)을 초과할 수 없다는 제약조건을 표현한 것이다. 식(12)은 실제로 다른 노드로 움직인 물동량은 실제로 움직인 운송수단이 옮길 수 있는 최대용량을 초과할 수 없다는 제약조건을 표현한 것이다. 마지막으로 식(13)은 환적작업에 의해 Mode를 바꾼 물동량은 환적작업에 쓰인 운송수단의 최대용량을 초과할 수 없다는 제약조건을 나타낸 것으로서 식(12)과 함께 물동량과 운송수단 사이를 연결하여 만들어진 제약식이다.

4) LINGO programming Model

```

SETS:
    TRUCKCOST (NODE, NODE) : TRUCKCGR;
    TRAINCOST (NODE, NODE) : TRAINCGR;
    ●
    ●
    ●
    LDFTIME (COMMO) : LDT;
    TRANSFER (NODE, COMMO, XTMODE, TIME, XTMODE, TIME) | &3 #NE# &5 #AND# (&6-&4) #EQ# 1 : XT;
    MODETRUCK (NODE, XTMODE, TIME, XTMODE, TIME) | &2 #NE# &4 #AND# (&5-&3) #EQ# 1 : MODE_Y;
ENDSETS
    
```

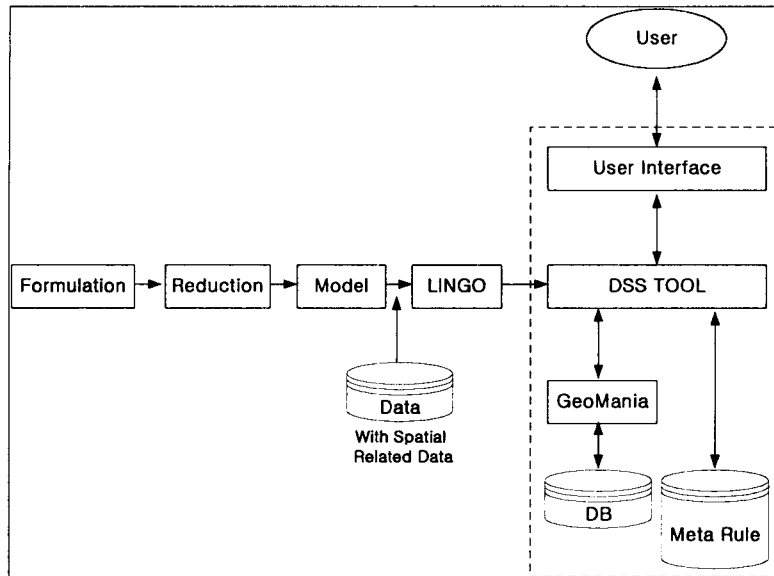
5) Interface 및 DB연계 구조



<그림 3-1> Interface와 DB 연계구조

<그림3-1>에서와 같이 문제를 구성하기 위해 네트워크, Mode운영방식, 비용구조, Commodity 등의 기초정보들이 필요하게 되는데 이를 VB(Visual Basic)를 사용하여 구현한 입력 응용 프로그램을 통해 DB에 LINGO 프로그래밍 모델이 사용할 수 있는 형태로 Data를 입력하게 된다. 이를 통해 LINGO는 해를 구하게 되며 얻어진 결과는 VB로 구현한 프로그램의 Time Space Network상에 표현되어지거나 다른 형태의 파일로 저장되어질 수 있다. 운영되는 방법에 따라 주어지는 조건들이 추가 삭제되는데, 입력 프로그램을 보완하면서 LINGO 프로그래밍 모델을 이용하여 문제를 풀 수 있다.

6) 지리정보시스템(GIS)과의 통합



<그림 3-2> GEOMania와 LINGO Model의 연계

<그림3-2>에서 설명하는 바와 같이 GEOMania가 제공하는 GDK와 지도 데이터를 이용하고 LINGO모델을 활용하는 우편물수송의사결정지원시스템 중에서 본 논문에서 개발한 모듈은 앞에서 언급된 여러 가지 수송방법을 이용하는 우편물의 수송방법을 결정하기 위한 모듈로서 이용된다.

4. LINGO 프로그래밍 모델 수행결과

1) Physical Network 및 문제 Size에 따른 수행 결과

- 6 node 3 mode , Hub(1,2 고정)

■ HUB (1, 2)인 Node 6 , Mode 3 문제 (No. of Var.=9722 , RUN TIME=7분15초)

- 8 node 3 mode , Hub(1,2 고정)

■ HUB (1,2)인 Node 8 , Mode 3 문제 (No. of Var.=17207 , RUN TIME=21분15초)

- 16 node 3 mode , Hub(1,2 고정)

■ HUB (1,2)인 Node 16 , Mode 3 문제

변수의 수는 10만개 이상이 생성되며 수행시간 또한 한번 해를 구하기 위해 3시간 이상이 소요된다. Run Time은 문제에 따라 생성된 변수의 증가에 따라 엄청난 증가를 보이며, 네트워크 구조 및 문제크기의 변화가 변수 증가의 원인임을 알 수 있었다. Node 증가에 따라 가장 큰 변수 생성을 보이는 변수는 Transfer에 관계하는 Flow변수와 Vehicle 변수들로서 두드러진 증가를 보였다.

5. 결론 및 추후 연구과제

효율적인 우편물 수송을 다루는 문제를 위해 복합연계수송개념을 포함하는 Multimodal, Multi-commodity Network를 제시하였고 이를 Time Space Network로 표현하였으며 시간적 제약특성을 가지는 우편물의 특성 고려하여 제시한 Network를 정식화하였다. 정식화된 Network 모델을 기반으로 우편수송운영방법을 고려한 LINGO 프로그래밍 모델을 구성하고 수행해 보았다. LINGO 프로그래밍 모델의 수행결과에서 볼 수 있듯이 문제크기 증가에 따른 수행시간 증가를 해결하기 위해 우선 적당한 Time Horizon과 해를 구하는데 있어 필요하지 않은 변수들을 줄이는 변수삭감 방법 등을 추가적으로 연구해야 할 것이며 궁극적으로는 새로운 알고리즘의 적용을 통한 보다 효과적이며 신속한 해의 도출을 모색해야 할 것이다.

LINGO 프로그래밍 모델을 응용 프로그램의 Module로 사용하기 위한 연계구축을 진행 중에 있으며 Interface도 개발하고 있다. 지금까지 연구한 우편물 수송에 대한 네트워크 모델과 LINGO 프로그래밍 모델은 다른 물류에도 이용될 수 있는 확장개념의 Module로서 응용되어질 수 있으며 본 연구에서 적용 진행하고 있는 GIS와의 접목 활용은 효율적인 우편물류망 구축 사업뿐만 아니라 전체 물류산업 기반에 일조 할 것으로 기대된다.

- 추후연구과제

변수삭감을 통한 LINGO에서의 수행시간을 줄이는 연구와 구성한 Network를 대상으로 한 분지한계법 이외의 알고리즘 연구를 통하여 향상된 수행시간을 얻는 연구가 앞으로 필요하다. 그리고 보다 구체적이며 활용 가능한 GIS와의 연계하는 응용 프로그램 개발연구가 필요하다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김태명, "기계화 우편집중국의 투자 경제성 및 효율성 제고방안에 관한 연구", 고려대학교 산업정보대학원 석사학위논문, 1998.
- [2] 김준형, "물류COST 절감을 위한 수 배송 전산모형에 관한 연구", 조선대 산업대학원 석사학위논문, 1999.
- [3] 손진현, "수송망에서 허브시스템의 설계에 관한 연구", KAIST 박사학위논문, 1997.
- [4] 우정국, *우편자동화 추진 종합계획*, 우정국, 1998.
- [5] 임석민, *국제운송론*, 삼영사, 1998.
- [6] 함승훈, 이문규, "GIS와 GPS를 이용한 배달/수거 물류관리시스템", *IE Interface 산업공학*, Vol. 12, No.4, pp.557-566, 1999.
- [7] Carvalho, Tassio A. and Warren B. Powell, "Multiplier Adjustment Method for

- Dynamic Resource Allocation Problems", *Transportation Science*, Vol.34, No.2, 2000.
- [8] Feng,Z. Q., "A Study on the Development Strategy of Multimodal Transportation in china", *Graduate School of Korea Maritime University*, 1999.
- [9] Guélat,Jacques, Michael Florian and Teodor Gabriel Crainic, "A Multimode Multiproduct Network Assignment Model for Strategic Planning of Freight Flows", *Transportation Science*, Vol.24, No.1, 1990.
- [10] Haghani,Ali and Sei-Chang Oh, "Formulation and Solution of a Multi-Commodity, Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Operation", *Transpn Res. A*, Vol.30, No.3, pp231-250, 1996.
- [11] Kim,Daeki, Cynthia Barnhart, Keith Ware and Gregory Reinhardt, "Multimodal Express Package Delivery: A Service Network Design Application", *Transportation Science*, Vol.33, No.4, 1999.
- [12] LINGO, *LINGO Users Guide*, LINDO SYSTEMS INC., 1999.
- [13] Sherali,Hanif D. and Cihan H. Tuncbilek , "Static and Dynamic Time-Space Strategic Models and Algorithms for Multilevel Rail-car Fleet Management", *Management Science*, Vol.43, No.2, 1997.
- [14] Wood,Donald F. and James C. Johnson, *Contemporary Transportation*, Third Edition, Macmillian, 1989.
- [15] <http://www.logistics21.com/>

저 자 소 개

김 영 민 :

- 현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 미국 Bridgeport 대학교 전기공학과를 졸업(1970), 동 대학 산업공학과에서 공학석사(1972)를 취득하였다. 주요관심분야는 금융공학, 경제성 공학등 이다.

최 민 구 :

- 현재 인하대학교 대학원 재학중.