

철도승객의 노선선택을 고려한 철도망 설계모형 연구¹⁾

A Railway Network Design Problem Considering Passengers' Route Choice

임용택[†] · 장준석* · 박진경** · 이준***

Yongtaek Lim · JunSeok Jang · Jinkyung Park · Jun Lee

Abstract This paper presents a railway network design problem (RNDP), which can be formulated as a bi-level program. In bi-level program upper level program is to minimize total travel cost including the construction cost of the railway facilities, whilst lower one describes the railway route choice behavior of passengers. We also propose a heuristic method for solving the program because it is a kind of NP-hard problem. From two numerical railway examples, we confirm that the RNDP and its algorithm produce a reasonable solution and that it is applicable to real world.

Keywords : Railway Network Design Problem(RNDP), Bi-level program, Upper level program, Lower level program, Transit assignment

요 지 본 연구에서는 철도건설로 인한 네트워크 효과를 고려할 수 있는 철도망 설계문제(Railway Network Design Problem, RNDP)를 제안하고 이를 풀기 위한 알고리즘을 제시코자 한다. 이를 위하여 bi-level 프로그램으로 모형을 구축하며, 상위문제는 총 통행비용을 최소화시키는 설계변수(design vairble)를 구하는 문제이고, 하위문제(lower level problem)는 이에 따른 철도 승객의 철도선택 문제로 표현된다. 따라서, 본 연구의 철도망 설계문제는 철도건설로 인한 승객들의 노선변화를 고려할 있는 장점이 있으며 이점이 기존 철도망설계문제와의 차이점이다. 본 연구에서 제안된 모형과 알고리즘을 2개의 예제 철도망에 적용해 본 결과, 합리적인 해를 산출하여 향후 철도망 계획분야에 적용할 수 있음을 확인하였다.

주요어 : 철도망설계문제, 바이레벨 프로그램, 상위문제, 하위문제, 대중교통 통행배정

1. 서 론

우리나라 철도망은 고속철도와 일반철도, 그리고 광역철도 등 3개로 구분되는데, 경부·호남 고속철도가 고속간선 철도망을 구성하고 있으며, 일반철도는 고속철도간의 연계성 강화 및 물류수송력 증대를 위한 기능을 수행하고 있다. 이에 반해, 광역철도는 대도시권의 교통난 해소라는 목적하에 운행중에 있다. 한편, 장래 효율적인 철도망을 구축하기 위하여 교통수단간 역할정립, 철도시설의 현대화 및 운영효율성제고, 국가 철도망 구축 기본방향 및 정책방향 정립, 국가철도망의 투자우선순위 설정 등 다양한 연구들이 진행

중에 있다. 그러나, 현재까지 계획되어온 우리나라 철도망 계획은 구체적인 네트워크 차원의 검토 보다는 주요 도시 간 또는 주요 화물발생지간을 연결하는 축 개념으로 계획되어 온 경향이 있었다. 이는 기존에 철도망을 계획할 때 철도망의 네트워크 효과를 분석하는 기법이 제대로 정립되지 못해, 주로 정책적인 측면에서 철도망을 계획한 측면에 기인한다. 또한, 철도사업에 대한 투자재원의 한계로 동일축 상에 단선과 복선이 혼용되어 철도노선의 활용도가 떨어지고, 이로 인해 철도의 효율성과 신속성 저하로 철도의 경쟁력을 약화시켜온 측면이 있었다. 이에 반해 고속도로의 경우, 오랜 기간의 연구를 통하여 도로 간의 연결성, 네트워크 효과 등을 고려하는 네트워크 차원의 분석 기법들을 실제 적용하여 왔으며, 특정 고속도로의 건설이 네트워크축

[†] 책임저자 : 정희원, 전남대학교 교통물류학부 부교수
E-mail : limyt@chonnam.ac.kr
TEL : (061)659-3341 FAX : (061)659-3349

* 전남대학교 교통물류학과 석사과정

** 한국철도기술연구원 선임연구원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원

1) 본 연구는 제59회 대한교통학회 추계학술발표회(2008.10)에서 발표한 "효율적인 철도망 구축을 위한 철도망 모형 연구" 논문을 수정보완한 것임[2].

면에서 어떤 효과를 가질지를 미리 예상하고 사업을 계획하고 있다.

본 연구에서는 이런 문제들을 완화시키기 위하여 철도건설로 인한 네트워크 효과를 고려할 수 있는 철도망 설계문제(Railway Network Design Problem, RNDP)를 제안하고 이를 풀기 위한 알고리즘을 제시코자 한다. 이를 위하여 bi-level 프로그램으로 모형을 구축하며, 상위문제는 총통행비용을 최소화시키는 설계변수(design variable)를 구하는 문제이고, 하위문제(lower level problem)는 이에 따른 철도 승객의 철도선택 문제로 표현된다. 따라서, 본 연구의 철도망 설계문제는 철도건설로 인한 승객들의 노선변화를 고려할 수 있는 장점이 있으며 이점이 기존 철도망설계문제와의 차이점이다. 다음절에서는 기존 철도망모형과 이들 모형의 문제점들을 살펴보고, 제III절에서 본 연구에서 제시코자하는 철도망설계문제를 설명하며, 제IV절은 본 연구에서 제시된 모형을 평가코자 한다.

2. 기존 철도망모형 고찰

2.1 철도수요모형

해외에서도 철도망에 대한 체계적인 연구는 오래되지 않으며, 철도가 갖는 에너지 효율성과 환경오염의 저감으로 최근 새롭게 각광받고 있다. 외국 역시 철도수요예측은 국내와 비슷하게 EMME/2나 TransCAD와 같은 상용화된 프로그램에 포함된 대중교통모형을 사용하고 있다. 이들 프로그램들은 최적전략(optimal strategy)을 기반으로 여러 형태의 대중교통 통행배정 기법을 제공하고 있다. 영국의 경우 국가 철도망계획모형(National Rail Model)을 구축하여 네트워크 효과를 분석하고 있으며, 국가철도망 모형은, 크게 철도수요모형(Rail demand model), 네트워크 모형(Rail network model), 그리고 요금모형(Fare model)으로 구성된다. 이모형은 국가교통모형의 일부로 구축되고 도로모형(road network model)과 서로 환류(feedback)과정을 거치도록 되어 있다. 특히, 요금수준은 정책적인 요소로서 이에 따른 영향이 철도뿐만 아니라 공로에도 미치기 때문에 이를 동시에 고려하는 다 교통수단모형으로 구축되어 있다.

2.2 철도망 설계문제

철도망설계문제(RNDP)는 교통 운영자의 입장에서 총사회적 비용을 최소화시키기 위하여 통제 가능한 수단을 통해서 통행자의 이동을 규제하는 것으로, 설계변수(통제변수)가 연속형일 경우 연속형 철도망 설계문제(Continuous RNDP)로 이산형일 경우 이산형 철도망설계문제(Discrete

RNDP)로 분류된다. 철도망설계문제는 일반적으로 bi-level 문제로 구성되며, 상위문제는 특정 목적을 달성하기 위한 최적 통제변수를 구하는 문제이며, 하위문제(lower level problem)는 이에 따른 사용자의 경로선택 문제이다.

2.2.1 철도망설계문제(RNDP)의 분류

Guihaire et al.(2008)은 철도교통망모형을 크게 철도설계(transit network design problem, TNDP), 철도 운행횟수결정(transit network frequencies setting problem, TNFSP), 그리고 철도 운영 시간표 설정(transit network timetabling problem, TNTP) 등으로 구분되며, 이외에 차량과 운전자 스케줄링도 포함된다. 이중 철도 설계와 철도 운행횟수를 동시에 고려하는 철도설계 및 운행 스케줄 문제(transit network design and scheduling problem, TNDSP), 그리고 차량 운행횟수와 시각표를 함께 고려하는 철도 스케줄 문제(Transit Network Scheduling Problem, TNSP) 등이 있다.

2.2.2 철도망 설계모형

철도망 설계모형(RNDP)은 철도망의 효율성을 높이기 위하여 철로를 신설 또는 확장 시 목표로 설정한 지표를 최적화시키는 최적 노선구간을 선정하는 방법이다. 철도망 설계문제는 일반적으로 bi-level program으로 표현되는 도로망설계문제를 적용할 수 있을 것으로 보이나 철도망이 갖는 속성들(철도역 수요, 철도용량, 배차간격, 환승 등)을 고려해서 모형이 구성되어야 하며 일반적인 bi-level program은 다음과 같다.

[상위문제(upper level problem)]

$$\begin{aligned} \max_{y \in Y} & F(y, v(y)) \\ \text{s.t.} & G(y, v(y)) \leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

상위문제의 $v(y)$ 는 다음 하위문제를 만족시켜야 한다.

[하위문제 (lower level problem)]

$$\begin{aligned} \max_{v \in V} & f(y, v) \\ \text{s.t.} & g(y, v) \leq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $G(y, v(y)) \leq 0$ 는 의사 결정자의 제약집합을 나타내는데, 주로 공사비의 제약 등이 여기에 속하며 제약식을 위와 같이 명시적으로 표현하지 않고, 목적함수 안에 포함시켜서 사용하는 경우도 있다. 하위문제의 목적함수 $f(y, v)$ 는 교통망 설계모형에서 설계변수 y 가 무엇이냐에 따라 다르게 정의되어지며, 제약집합 $g(y, v)$ 는 균형통행배정모형의 통행량보존과 비음제약조건들이 여기에 속한다.

2.3 기존 철도망계획의 문제점

우리나라 철도망계획의 기본인 21세기국가철도망 구축기본계획 수립연구(2004)를 살펴보면, 수립된 국가철도망목표를 노선계획으로 구체화시키기 위하여 철도건설로 얻어지는 편익과 건설운영비의 차이인 순현재가치(net present value, NPV)를 최대화시키는 철도망 노선을 선정하고 있다. 이는 다수의 대안 중에서 예산제약하의 순편익을 최대화시키는 철도노선을선정하는 문제로 대표적인 교통망설계(network design problem, NDP)에 해당되며 다음과 같은 수리적 문제를 도입하였다.

$$\begin{aligned} \max \quad & Z = \sum_{i=1}^n (NPV)_i X_i \quad (3) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^n P_i X_i \leq B \end{aligned}$$

여기서, $(NPV)_i$: 사업 i 의 순 현재가치

P_i : 사업 i 의 자본지출

B : 예산제약

n : 사업의 개수

X_i : 사업 i 에 대한 결정변수(binary variable)

위의 철도망 설계문제를 풀기 위하여 세계은행(World Bank)에서 배포하는 EBM이라는 컴퓨터 프로그램을 사용하였으나 21세기 국가철도망 구축계획에 사용된 이 방법은 다음과 같은 한계를 갖고 있다.

첫째, 가장 큰 문제로, 최적 철도구간이 선정되어 건설 후 개통될 경우, 기존 철도승객들 뿐만 아니라 타 수단 승객들이 해당구간철도를 이용하는 등 승객들의 통행 행태가 변하게 되는데, 이를 반영하지 못하고 있다. 즉, 구축된 모형 내에 통행승객들의 철도선택 변화를 반영하지 못하기 때문에 현실적인 해를 도출하지 못하는 한계가 있다.

둘째, 철도망 설계문제를 풀기 위하여 사용된 세계은행(World Bank)에서 배포한 EBM 프로그램에 대한 검증이 없었다는 점인데, 비록 신뢰성 있는 기관에서 배포한 프로그램이지만 국내실정에 적합한 계수 값들을 사용하고 있는지에 대한 검토가 없었다는 한계가 있다.

3. 철도망설계모형(RNDP) 구축 및 풀이 알고리즘

3.1 철도망설계모형의 구축

최적상태의 고속철도망을 구축하기 위하여 본 연구에서는 식 (4)와 같이 고속철도망 설계문제를 상위문제로 구성하며, 구간 통행시간과 건설비의 합을 최소화시키는 문제를 하위문제로 구성한다. 하위 문제의 경우 철도 이용객들의 통행

행태를 표현하는 것으로 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 여기서는 현재 널리 사용되고 있는 EMME/2의 모형을 사용한다.

[상위문제 (upper level program)]

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & Z_U(y, v) = \alpha \sum_{s \in D} v_s \cdot c_s(v_s) \cdot y_s + \sum_{s \in D} u_s \cdot y_s \quad (4) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{s \in D} u_s \cdot y_s \leq B \\ & \sum_j y_j \leq 1 \quad j \in J_s \\ & y_s \in \{0, 1\} \quad \forall s \in D \end{aligned}$$

목적함수의 v_s, c_s 는 구간 s 의 통행승객수와 통행시간을 나타내며, α 는 통행시간을 비용으로 환산하는 계수이고 u_s 는 철도구간 s 를 건설하는데 소요되는 건설비이다. 여기서, D 는 건설이 고려되는 철도구간 집합이다. 또한, 설계변수 y 는 0과 1의 값을 갖으며, 해당 철도구간이 포함되면 1이고 그렇지 않으면 0이다. 따라서, 위 문제는 이진 정수 계획법(binary integer program)으로 풀 수 있다. 여기서, 첫 번째 제약식은 건설비가 예산제약(B) 하에 있어야 한다는 조건이며, 두 번째는 하나의 구간에 1개 사업만 선정되도록 하는 조건으로, J_s 는 구간 s 의 대안집합을 나타낸다. Magnanti et al.(1984), Yang et al.(1998)은 이와 유사한 목적함수를 제시한 바 있는데, 본 연구와의 차이는 목적함수 내에 건설비용을 포함하지 않는다는 점뿐이다.

[하위문제 (lower level program)]

하위문제는 철도 이용자들의 통행행태를 표현하는 것으로 EMME/2에서 구현된 최적전략(optimal strategy)을 적용한다. 이 문제는 총통행시간과 대기시간의 합을 최소화시키는 통행량을 구하는 대중교통 통행배정문제가 된다(Spiess, 1993).

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & Z_L(v) = \sum_a c_a v_a + \sum_i w_i \quad (5) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{A_i^+} v_a - \sum_{A_i^-} v_a = g_{ir} \\ & v_a \leq f_a w_i, \quad a \in A^+, i \in I \\ & v_a \geq 0 \quad a \in A \end{aligned}$$

여기서, v_a, c_a 는 철도구간 a 의 통행승객수와 통행시간을 나타내며, w_i 는 노드 i 의 대기시간을 의미한다. 제약조건에서 A^+ 와 A^- 는 노드 i 에서 진출하는 링크와 진입하는 링크 집합을 나타내며 g_{ir} 는 노드 i 에서 노드 r 간의 통행수이다. 또한, f_a 는 링크 a 의 주기(frequency)를 나타낸다.

3.2 풀이 알고리즘

본 과업에서는 제시된 RNDP모형을 풀기 위하여 다음과 같은 풀이과정을 개발하였다. 먼저, 하위문제의 경우, EMME/2에서 구현된 최적전략(Optimal strategy)을 통하여 철도망 통행배정을 수행하고, 상위문제는 이진 정수계획법으로 풀기 위하여 최적화프로그램으로 널리 활용되고 있는 LINDO Systems사의 LINGO를 사용하였다. 따라서, 안정적인 수렴 해에 도달할 때까지 상위문제(LINGO 프로그램)와 하위문제(EMME/2 프로그램)를 반복해서 풀게 된다.

[Step0] 초기화

- 초기 고속철도 구간 및 속도대안 설정 : y_s^0
- 반복수 $n=0$

[Step1] 하위문제 풀이

- $n=n+1$
- EMME/2를 이용하여 대중교통 통행배정 : c_s^n, v_s^n 산정

[Step2] 상위문제 풀이

- LINGO를 이용하여 예산제약하의 최적 철도구간 선정 : y_s^n

[Step3] 수렴성 검토

- 만약, $y_s^n \equiv y_s^{n-1}$ 이면 정지, 그렇지 않으면 [Step1]로 진행

4. 철도망 설계모형의 평가

본 연구에서 제안한 철도망 설계모형과 이를 풀기 위한 알고리즘을 평가하기 위하여 2개의 단순 철도망을 대상으로 분석해 본다. 첫번째 예제는 철도건설에 따른 예산제약을 고려하지 않은 경우이며, 두번째 예제는 이를 고려한 경우이다.

4.1 예산제약을 고려하지 않은 경우

4.1.1 예제 철도망

Fig. 1의 철도망은 각 철도구간별 건설예산을 고려하지

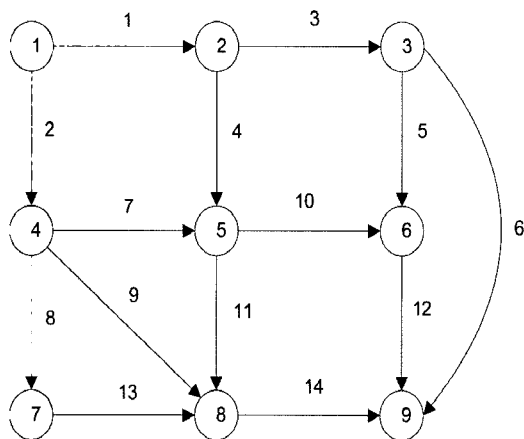


Fig. 1. Numerical example network 1

않은 상태에서 속도대안의 변화에 따른 총통행시간의 차이를 비교 분석하기 위한 예제 철도망이다. 속도변화에 따른 대안 설정시 기본속도는 150km/h로 설정하였고 추가적으로 Table 1와 같이 200km/h, 350km/h, 400km/h의 대안으로 변화를 주면서, 총통행시간의 차이를 분석하였다. 철도망은 A, B, 그리고 C의 3개축으로 구성되어 있으며, 각 철도구간의 속성값은 Table 2에 나와 있고 전체 8개의 OD쌍으로 구성되어 있다.

Table 1. 4-type alternatives of speed and capacity

구분	유형1	유형2	유형3	유형4
속도	150km/h	200km/h	350km/h	400km/h

Table 2. Network specifications of railway

시작노드	도착노드	링크길이(km/h)	유형
1	2	150	1
1	4	150	1
2	3	150	1
2	5	150	1
3	6	150	1
3	9	150	1
4	5	150	1
4	7	150	1
4	8	150	1
5	6	150	1
5	8	150	1
6	9	150	1
7	8	150	1
8	9	150	1

Table 3. Travel demand for each OD pair

시작존	도착존	통행수요(통행)
1	6	7000
1	8	7000
1	9	7000
2	9	7000
3	9	7000
4	8	7000
4	9	7000
5	9	7000

4.1.2 분석결과

Emme/2와 LINGO 프로그램을 사용하여 링크별 속도의 대안 중 축별 최우선순위의 대안을 정리한 결과가 Table 4에 나와 있다. 표에서 제시된 총 통행시간은 각 링크별 교통량과 통행시간의 곱의 총합이며 우선순위의 대안을 정리해본 결

과, 모든 축에서의 최적대안으로 400km/h로의 속도변화가 선정되었다. A축의 경우 400km/h인 속도 대안을 선택할 때 기본속도(150km/h)시의 총통행시간인 1210102.18과 비교해보면 1번 링크는 5.5%, 3번 링크는 8.1%의 통행시간 감소율을 보였으며, B축의 경우 400km/h의 속도 대안을 선택할 때 2번 링크에는 6.4%, 9번 링크에는 7.9%의 통행시간 감소율이 나타났다. 마지막으로 C축의 경우도 A축이나 B축과 마찬가지로 400km/h의 속도 대안을 선택할 때 13번 링크는 3.0%, 14번 링크는 11.6%의 통행시간이 감소하는 것으로 나타났다.

Table 4. Numerical results for example 1

구분 (링크번호)	속도변화 대안	총 통행시간 (교통량*통행시간)	통행시간 감소율
기본	전 구간 150km/h	1210102.18	-
A축	1 (1→2)	400km/h	1143366.47
	3 (2→3)	400km/h	1111721.65
B축	2 (1→4)	400km/h	1133022.52
	9 (4→8)	400km/h	1114294.60
C축	13 (7→8)	400km/h	1173576.64
	14 (8→9)	400km/h	1069957.13

4.2 예산제약을 고려한 경우

4.2.1 예제 철도망

두번째 예제는 좀 더 현실적인 것으로 고속철도망을 대상으로 분석해 본다. 이 예제 철도망은 박진경 외(2008)의 고속철도망의 일부로, A축(동서축), B축(서해축), C축(남해축)으로 구성되며 총 12개의 구간으로 이루어져 있다. 이 문제는 앞 예제와 달리 1500단위비용이라는 예산제약하에서 풀게 된다. 각 축별 구간대안과 건설비는 Table 5와 같으며, 그림 2는 각 철도축을 보여주고 있다. 또한, 상위문제를 풀기 위한 LINGO프로그램은 Fig. 3과 같다.

4.2.2 분석결과

본 예제는 2가지 경우로 나누어 분석을 진행하였는데, 총 예산제약을 고려한 경우와 단계별로 예산제약을 고려한 경우이다. Table 6은 1500단위비용이라는 총예산을 적용한 결과이며, Table 7은 이를 3단계로 나누어 1단계에서 700단위비용, 2단계에서 400단위비용, 그리고 3단계에서 400단위비용이라는 예산제약을 적용한 결과이다. 표에서 보듯이 두 경우 모두 예산제약을 만족시키는 결과를 산출하고 있으며 단계별 예산제약을 고려한 경우가 총예산제약을 고려한 경우보다 총비용보다 적다는 것을 알 수 있다. 이는 선택된 대안의 수가 총 예산제약하에서는 6개가 선택된 반면, 단계별로 예산을 제약하면 5개 대안이 선택되었기 때문이다.

Table 5. The second railway network design problem

고속 철도축	구간	대안	건설비
A축	1	400km/h	350
	2	350km/h	300
	3	200km/h로 기존선 개량	200
	4	350km/h로 기존선 개량	250
B축	1	400km/h	300
	2	350km/h로 기존선 개량	280
	3	200km/h로 기존선 개량	200
	4	400km/h	300
	5	350km/h	280
C축	1	400km/h	300
	2	350km/h로 기존선 개량	270
	3	400km/h	290

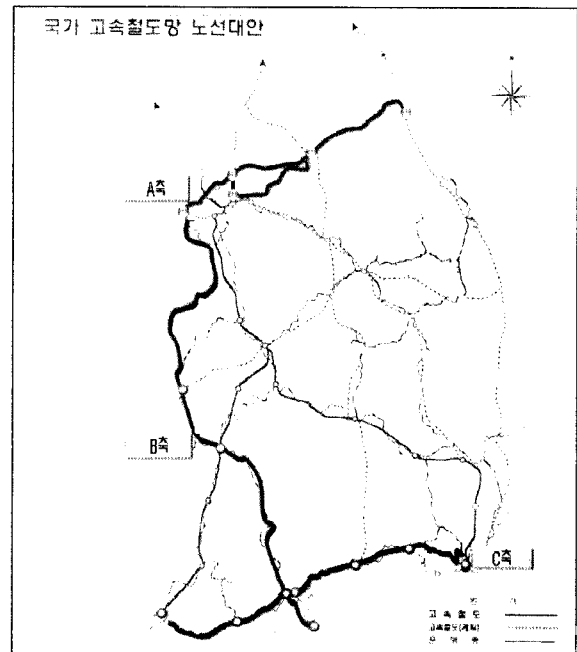


Fig. 2. Railway network of the second example

```

LINGO - LINGO Model - hsr(totalBudgetFile)
File Edit LINGO Window Help
[Icons]
LINGO Model - hsr(totalBudgetFile)
Model:
title High speed rail network design;

sets:
    links:const,time,open;
endsets
data:
const=350,300,200,250,300,280,200,300,280,300,270,290;
time=10,12,15,10,11,11,15,10,14,11,13,10;
enddata

min=@sum(links:const*open+time*open);
@for(links:@sum(links:const*open)<=1500);
@for(links:@sum(links:open)>=6);
@for(links:@bin(open));

End
    
```

Fig. 3. LINGO code for the second example

① 총예산제약 고려

Table 6. Numerical result under total budget constraint

고속 철도축	구간	대안	선택 여부 (D)	건설비 (E)	소요 건설비 (D*E)	통행시간 비용 (G)	소요통행 시간비용(D*G)	총 비용
A축	1	400km	0	350	0	10	0	0
	2	350km	0	300	0	12	0	0
	3	기존200km	1	200	200	15	15	215
	4	기존350km	1	250	250	10	10	260
B축	1	400km	0	300	0	11	0	0
	2	기존350km	1	280	280	11	11	291
	3	기존200km	1	200	200	15	15	215
	4	400km	0	300	0	10	0	0
	5	350km	1	280	280	14	14	294
C축	1	400km	0	300	0	11	0	0
	2	기존350km	1	270	270	13	13	283
	3	400km	0	290	0	10	0	0
sum			6	-	1480	-	-	1558
예산 제약					1500	-	-	-

② 단계별 예산제약고려

Table 7. Numerical result under 3-step budget constraints

고속 철도축	구간	대안	선택여부	건설비설비	단계별 소요투자액			통행시간 비용	총 비용
					1단계	2단계	3단계		
A축	1	400km	0	350	0	0	0	10	0
	2	350km	0	300	0	0	0	12	0
	3	기존200km	1	200	100	50	50	15	215
	4	기존350km	1	250	100	75	75	10	260
B축	1	400km	0	300	0	0	0	11	0
	2	기존350km	1	280	100	100	80	11	291
	3	기존200km	1	200	100	50	50	15	215
	4	400km	0	300	0	0	0	10	0
	5	350km	0	280	0	0	0	14	0
C축	1	400km	0	300	0	0	0	11	0
	2	기존350km	1	270	100	100	70	13	283
	3	400km	0	290	0	0	0	10	0
sum			5	-	500	375	325	-	1264
예산 제약					700	400	400	-	-

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 기존 철도망 구축 방법이 갖고 있는 문제점 중 하나인 철도승객의 노선선택변화를 고려하지 못한다는 한계를 해결하기 위하여 새로운 철도망 설계문제와 이를 풀기 위한 방법론을 제시하였다. 본 연구에서 제안한 철도망

설계문제는 철도노선의 신설로 인한 철도승객의 노선변경 행태를 명시적으로 고려하였으며 이를 수학적으로 표현하기 위하여 bi-level 형태의 모형식을 구축하였다. 이는 총통행시간과 건설비용을 최소화시키는 상위문제와 철도 이용객들의 노선선택행태를 표현하는 하위문제로 구성되며, 이를 풀기 위하여 EMME/2와 LINGO 프로그램을 이용하였다. 먼저,

하위문제의 경우, EMME/2에서 구현된 최적전략(Optimal strategy)을 통하여 철도망 통행배정을 수행하였고, 상위문제는 LINGO에 포함된 이진 정수계획법을 이용하여 풀었으며, 안정적인 수렴 해에 도달 할 때까지 반복하였다. 본 연구에서 제안된 모형과 알고리즘을 2개의 예제 철도망에 적용해 본 결과, 합리적인 해를 산출하여 향후 철도망 계획분야에 적용할 수 있음을 확인하였다.

그러나, 본 연구는 이제 기초단계의 연구로서 여러가지 모형적인 한계를 갖고 있다. 먼저, 항공, 도로 등 타 수단과의 영향을 고려하지 못한다는 한계가 있는데, 향후 이들 수단과의 선택행위를 모형에 포함시킬 필요가 있다. 또한, 현실 적용에 대한 실험이 이루어지지 않아 이 부분에 대한 심도 있는 연구도 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 박진경, 엄진기, 이준(2008) 지속가능한 고속철도망 계획을 위한 투자우선순위 선정에 관한 연구 : 다원-속성 효용이론을 이용하여, 한국철도학회논문집 제11권 제1호, pp. 45-53.
 2. 임용택, 장준석, 박진경, 이준(2008) 효율적인 철도망 구축을 위한 철도망 모형연구, 대한교통학회 제59회 학술발표회 논문집, pp. 210-217.
 3. 한국교통연구원·한국철도기술연구원·(주)유신코퍼레이션·한국철도기술공사(2004), 21세기 국가철도망 구축기본계획 수립 연구』.
 4. Emme/2 user's manual, INRO, <http://www.inro.ca/en/index.php>
 5. Guihaire V., Jin-Kao Hao (2008) Transit network design and scheduling: a global review, Transportation Research (A), in press.
 6. Magnanti, T., Wong, R. (1984) Network design and transportation planning: models and algorithms, Transportation Science 18, 1-55.
 7. Spiess, H. (1993) Transit equilibrium assignment based on optimal strategies: an implementation in EMME/2, <http://emme2.spiess.ch/>
 8. Yang, H., M.G.H. Bell(1998) Models and algorithms for road network design: a review and some new developments, Transport Review 18, 257-278.
 9. Travel demand modeling with TransCAD, Caliper, <http://www.maptitude.co.uk/transcad.htm>
- 접수일(2008년 7월 30일), 수정일(2008년 10월 22일),
게재확정일(2008년 10월 30일)