

Trip Demand Forecasting for Korea Express Train using EMME/2

Min, Jaehong
(Korea Railroad Research Institute)

Contents

1. Background	3. Applying the EMME/2
2. Express Train Demand Forecasting	3.1 network design
2.1 alternatives	3.2 trip distribution
2.2 trip generation	3.3 mode choice
2.3 trip distribution	3.4 economical analysis
2.4 mode choice	4. Rail travel demand forecasting with EMME/2
2.5 trip assignment	5. Conclusion

Key Words : Express Train, logit model, train scheduling, EMME/2

Summary

Purposes of the study are presenting travel demand forecasting softwares development direction which especially related with railroad using review Korea Express Train demand estimation and showing railroad demand estimation direction with efficiency sharing limits and difficulties applying the EMME/2

Conventional 4-step demand forecasting method had used for demand estimation of Korea Express Train, regression model using GRDP used for trip generation, Fratar model for trip distribution, multinomial logit model for mode choice.

As demand estimation and economical analysis result, the alternative which constructing new express railroad between Seoul-Daegu with 1.3 times than existing Samaeul train fare level is evaluated for the best alternative.

To more efficient and accurate railroad travel demand forecasting, it is needed that rmeasures to counter travel demand which excesses transit capacity, applying direct demand forecasting model, establishing efficient train scheduling and etc.

For the EMME/2, maximum number of matrices should be increased to analysis large number of scenarios and add shortest path listing function between all zones which can be most efficient way to correct network design errors.

EMME/2를 이용한 경부고속철도 수요예측

- Trip Demand Forecasting for Korea Express Train using EMME/2 -

민재홍
(한국철도기술연구원)

목 차

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. 연구의 배경 | 3. 주요과정의 EMME/2 활용 |
| 2. 고속철도 교통수요 예측 | 3.1 Network design |
| 2.1 대안의 설정 | 3.2 통행배분 |
| 2.2 통행발생 | 3.3 수단선택 |
| 2.3 통행배분 | 3.4 경제성평가 |
| 2.4 수단선택 | 4. EMME/2와 철도교통수요예측 |
| 2.5 통행배정 | 5. 결론 |

Key Words : 고속철도, logit 모형, 열차운행계획, EMME/2

요 약

본 연구는 경부고속철도 직결운행에 대한 수요예측을 수행하여 타당성과 효과
과를 측정하는데 EMME/2를 적용한 방법을 되짚고 향후 철도관련 교통수요예
측 소프트웨어의 개발방향, EMME/2 적용시의 한계와 어려움을 공유하여 효율
적이고 보다 정확한 철도교통수요예측의 방향을 제시하는데 목적이 있다.

이에 따라 전통적인 4단계 추정법을 이용하여 고속철도의 수요예측을 수행하
였으며, 통행발생은 지역내총생산에 의한 회귀모형을 이용하였고, 통행배분은
Fratar 모형을 수단분담은 다항 logit 모형을 이용하여 수행하였다.

수요예측과 경제성 평가 결과 서울-대구간 고속철도를 우선 건설하고 대구-
부산간은 기존철도를 이용하며 새마을호 요금의 1.3배 수준의 요금대안이 가장
우수한 대안으로 평가되었다.

보다 효율적이고 정확한 철도교통수요예측을 위해서는 용량을 초과하는 수요
에 대한 대책, 지역간 통행저항을 통행발생과 배분시 동시에 고려할 수 있는 직
접수요모형의 검토, 효율적인 열차운행계획의 수립이 이루어져야 한다.
EMME/2는 향후 대규모 대안에 대한 분석을 위해 matrix의 최대개수를 증가시
켜야 하며, network 오류를 수정하는 손쉬운 방법인 모든 존간 최단경로 출력기
능을 추가해야 한다.

1. 연구의 배경

경부고속철도는 계획초기에 전구간 완공을 2002년으로 예정하였으나 노선 및 역사위치 변경, 안전성문제의 재검토, 용지매수부진 등으로 공기가 2년 이상 지연될 것으로 판단된다. 그간 경부고속철도건설계획에 대해 관련지방자치단체가 지역내에 역사설치, 노선변경요구, 역의 지하화요구 등 1996년 8월까지 1,800여건의 민원을 제기해 목표연도내의 완공이 매우 어려웠으며, 물가상승 등으로 공사비가 상승한 것도 효율적인 추진을 어렵게 한 요인중의 하나이다. 아울러 터널과 교량의 안전성확보 문제 때문에 건설주체인 고속철도건설공단은 전구간에 대한 안전점검을 토대로 1997년 8월에 고속철도의 전면수정계획을 발표하였다.

이에 본 연구에서는 정부발표에 따른 열차직결운행체계에 대한 구체적 검토와 경부고속철도 서울-대구-신선철도를 기존선과 직결운행하는 방안에 대해, 타당성 및 그 효과를 측정하는데 EMME/2를 적용한 방법을 되짚어보고, 향후 철도교통수요예측과 관련된 교통수요예측 소프트웨어의 개발방향과 EMME/2 적용시의 한계와 어려움을 공유하여 효율적이고 보다 정확한 철도교통수요예측의 방향을 제시하고자 한다.

2. 고속철도 교통수요예측

2.1. 대안의 설정

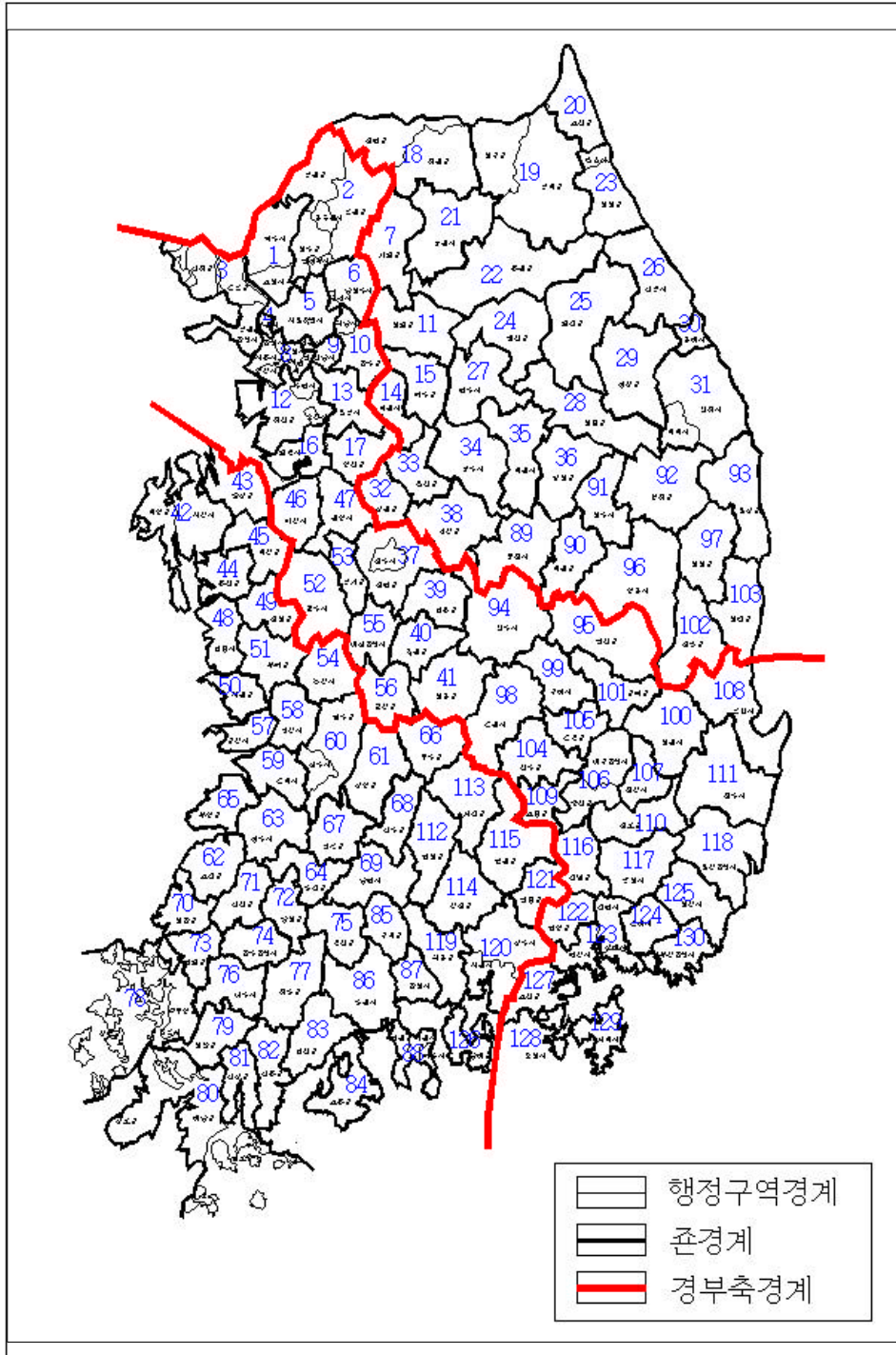
경부고속철도 건설계획의 전면수정으로 기존선을 이용한 직결운행을 검토하게 되었으며 이에 따라 설정한 노선 기본대안은 다음 표와 같으며 개통시기에 따라 분석목표년도도 2003, 2005, 2007, 2011, 2016, 2021, 2028년 등으로 설정하였다.

<표 1> 노선대안의 설정

대안	내용	개통시기	운행시분
기본대안	경부고속철도 미건설시	-	서울-부산 새마을 4:10
대안 1	고속철도 : 남서울-대전 기존경부선 활용 : 서울~시흥, 대전-부산 구간 전철화 활용	2003년 12월	서울-부산 3:22
	경부고속철도 신선건설 : 서울-시흥-경부 기존선, 남서울-부산-신선	2010년	서울-부산 2:01
대안 2	고속철도 : 남서울-대구 기존경부선 활용 : 서울-시흥, 대전, 대구 도심구간, 대구-부산 전철화	2004년 4월	서울-부산 2:43
	경부고속철도 신선건설 : 서울-시흥-경부 기존선, 남서울-부산-신선	2010년	서울-부산 2:01

2.2. 통행발생

본 연구에서는 전통적인 4단계 추정법을 사용하여 통행수요를 예측하였다. 예측에 앞서 전국을 <그림 1>과 같이 '95년 시군통합 개편지역을 감안한 130개 존으로 구분하여 분석의 기본 틀로 삼았다. 통행발생은 인구, 지역총생산액, 자동차보유대수 등 사회경제지표를 로지스틱 곡선 모형에 따라 예측하고, 예측된 사회경제지표를 이용하여 다시 통행발생량을 회귀모형에 의해 추정하였다. 전국규모의 O/D 추정에서는 인구, 자동차보유대수보다 지역총생산액이 통행발생량에 미치는 영향이 커 실제 통행발생에 사용된 모형에는 지역총생산액만 사용하였으며, 다른 변수는 결과에 영향을 미치는 바가 적어 제외하였다.



<그림 1> 교통시구(zone) 구분도

준별 여객통행 발생량 및 여객통행 도착량과 사회·경제지표와의 상관관계로부터 회귀분석식을 도출하여 전체 통행발생량 및 통행도착량을 추정한 결과 여객통행 발생량 및 도착량과 상관관계가 가장 높은 관련 사회·경제지표는 지역총생산액(GRDP)으로서 이를 토대로 다음과 같은 통행발생 및 도착 모형을 구축하였다.

통행 발생 모형	통행 도착 모형
$Y_i = 23.920297 \times GRDP_i + 3302.422935$ <p style="text-align: center;">(52.039) (6.549)</p>	$Y_j = 24.458913 \times GRDP_j + 3032.223714$ <p style="text-align: center;">(41.310) (5.616)</p>
<p>where</p> <p>Y_i : i존의 여객통행 발생량</p> <p>$GRDP_i$: i존의 지역총생산량(90년 불변가)</p> <p>R^2 : 0.9647</p> <p>F-value : 2708.034</p>	<p>where</p> <p>Y_j : j존의 여객통행 도착량</p> <p>$GRDP_j$: j존의 지역총생산량(90년 불변가)</p> <p>R^2 : 0.9457</p> <p>F-value : 1706.492</p>

2.3. 통행배분

지금까지 개발된 통행배분 기법으로는 크게 기존의 통행형태를 연장하여 외삽법에 의해 추정되는 유사기법(Analogue Method)과 통행집단의 통행결정과정 및 습성을 파악하여 통행분포를 추정하는 종합적 배분기법(Synthetic Method)으로 대별된다. 외삽법에 의해 추정되는 유사기법은 성장인자에 의한 분배방법이라고도 하며 통상 기준년도의 O/D표를 이용하여 각 교통구역별 발생량 증가율을 예측, 서로 곱하여 장래 O/D표를 만드는 방법으로 이러한 범주에 속하는 모형으로는 성장인자의 적용형태에 따라 균일성장인자모형(Uniform Growth Factor Method), 평균성장율모형(Average Growth Factor Model), 프라타모형(Fratar Model) 및 디트로이트모형(Detroit Model) 등이 있다.

이와 반면에 기준년도의 O/D패턴과 교통저항함수 사이의 관계식을 도출하고 장래 교통시설 수준을 별도로 예측하여 여기에 기준년도의 관계식을 적용함으로써 장래 O/D패턴을 결정하는 종합적 배분기법의 범주에 속하는 모형으로는 기회모형(Opportunity Model), 중력식모형(Gravity Model) 및 엔트로피 극대화모형(Entropy Maximizing Model) 등이 있다.

이 두 방법은 각각 장단점을 갖고 있는데 성장요인방법은 현재 통행패턴과 유사한 미래 O/D를 예측하는 경향이 있으나 편중된 O/D를 만들어낼 수 있으며 중력식모형은 교통망의 변화에 민감한 편으로 조그만 교통망의 변화에도 심한 통행패턴의 변화를 초래할 수 있다. 엔트로피 모형은 일반적인 도시교통의 형태를 잘 설명한다고 알려져 있으나, 전국규모의 통행배분에는 설명력이 부족하게 나타났다.

따라서 본 연구에서는 시간 및 계산상의 많은 절약 및 현재 통행패턴의 일관성 유지, 그리고 결과에 대한 비교적 안정적인 신뢰도가 예상되는 성장인자 모형을 예측의 기본틀로 활용하고 그 중 Fratar 모형을 이용하였다.

2.4. 수단선택

수단선택 모형으로는 Logit 모형을 이용하였는데 본 연구와 같은 **多**수단간의 선택에 있어 Logit 모형은 다항 로짓모형(multinomial logit model)과 중첩 로짓모형(nested logit model)을 이용할 수 있다. 다항 로짓모형은 수단들이 모두 같은 계층구조를 가지고 있으나, 중첩 로짓모형은 수단간의 계층구조가 존재하여 조건부확률을 이용하게 된다. 일반적인 수단선택의 문제는 다항 로짓모형을 이용하여 수단분담을 수행할 수 있으나 같은 성격의 수단이 있을 때에는 같은 성격의 수단들을 묶어 한 하부계층으로 구성하는 중첩 로짓모형을 이용한다. 예를 들어 파란버스와 효용이 같고 단지 색깔만 다른 빨간버스가 새로이 도입되었을 때, 수요의 전이는 버스에서만 이루어지게 된다. 그러나 다항 로짓모형을 이용하면 버스이외의 수단에서도 전이가 이루어져 총 버스수요가 증가하는 오류를 범하게 된다. 이 때 버스를 하나의 계층으로 묶는 중첩 로짓모형을 이용하면 이런 오류를 피할 수 있다.

이에 따라, 고속철도는 철도의 한 유형이기 때문에 중첩 로짓모형을 사용해야 할 것으로 판단할 수 있으나, 그 효용이 다른 철도와 다르기 때문에 철도를 한 계층으로 묶게 되면 버스, 승용차, 항공 등의 수단에서 전이가 거의 이루어지지 않게 된다. 계층을 고급수단, 저급수단으로 분리하여, 고급수단에는 승용차, 우등고속, 항공, 고속철도, 새마을 등을 포함시키고, 저급수단에는 무궁화, 통일호, 비둘기호, 일반버스 등을 포함시켜 중첩 로짓모형을 구축할 수도 있으나, 이 때에도 저급수단에서의 전이는 거의 이루어지지 않아 계층을 구성하기가 매우 어렵게 된다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 일반적인 다항 로짓모형을 구축하였고 모형의 계수추정을 위해 고속도로, 공항, 철도역 등지에서 설문조사를 실시하였다.

$$P_{ijm} = \frac{\exp(V_{ijm})}{\sum_{n=1}^7 \exp(V_{ijn})} \quad (\text{대안 } m \text{ 을 선택할 확률})$$

$$V_{ijm} (\text{효용함수}) = \alpha(\text{time}_{ijm}) + \beta(\cos t_{ijm}) + \gamma_m d_m$$

여기서 time_{ijm} = 수단 m 을 이용하였을 때의 통행시간(분)

$\cos t_{ijm}$ = 수단내의 통행비용(원)

$d_m (m = 1 \sim 7)$ = 수단별 더미변수

α, β, γ_m = 계수

2.5. 통행배정

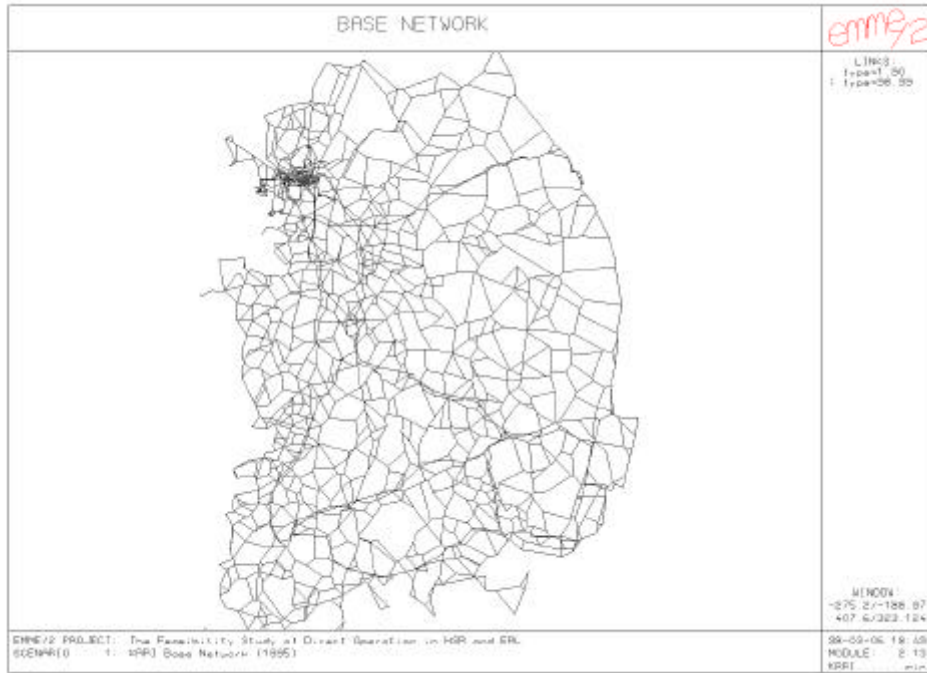
통행배정은 highway는 사용자평형에 의한 평형배정기법을 이용하였고, transit은 전량배정기법을 이용하여 실제 가로망상에 배정하였다.

3. 주요과정의 EMME/ 2 활용

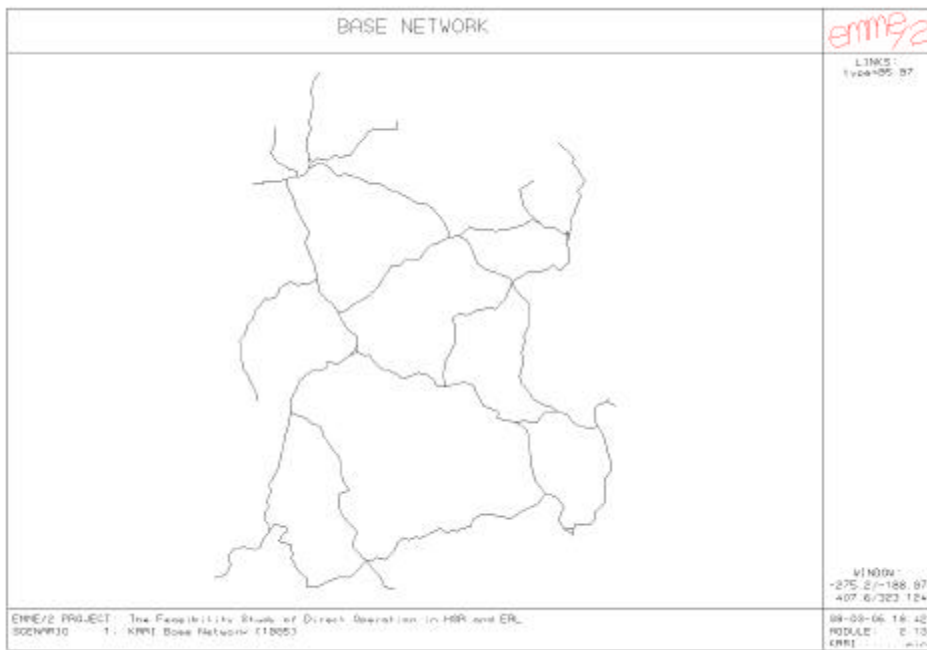
3.1. Network design

네트워크는 1996년도를 base network로 하여 분석의 목표년도별로 계획된 도로 및 철도건설을

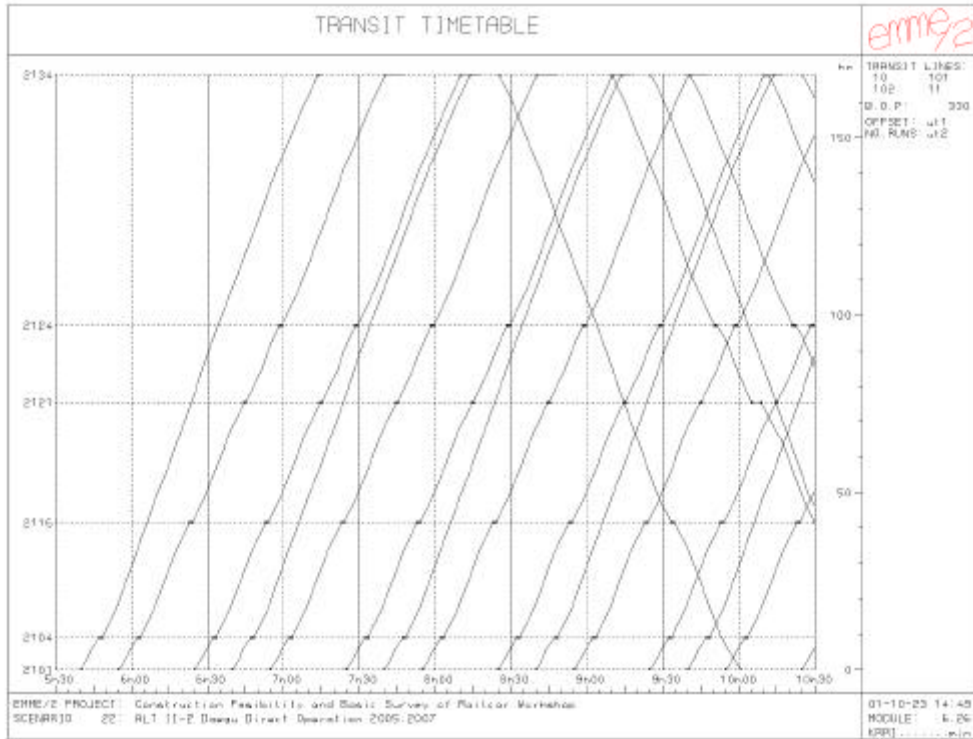
포함한 네트워크를 구축하였다. 고속버스와 시외버스의 경우 승용차와 같이 도로를 이용한다고 보고, 도로 링크에 버스 수단을 포함하는 방법으로 같은 링크를 통행할 수 있도록 별도 노선을 구축하지는 않았으며, 철도의 경우는 전국의 모든 철도망과 이에 따른 새마을, 무궁화, 통일호 등 중별 실제 운행계획에 의한 노선을 구축하였다.



<그림 2> 전국 노도Network 현황



<그림 3> 전국 철도Network 현황



<그림 4> 철도운행계획도

3.2. 통행배분

통행발생/유입량은 앞서 거론했듯이 지역내총생산을 이용한 회귀모형으로 구하였으며, 통행배분은 Fratar 모형을 이용하였다. EMME/2에서는 모듈 3.22 Matrix Balancing을 이용하였다.

3.3. 수단선택

수단선택은 다항 logit 모형을 구축하여 조사된 SP자료를 이용한 효용함수의 계수추정을 통해 분석하였는데 본 연구에서 구축한 모형과 그 계수는 통계적으로는 타당하지만 철도의 종별 O/D를 만들어내는 데는 한계를 나타내었다. 그 이유는 장거리 통행의 일반적인 선호의식은 철도가 상대적으로 높게 나오는데 이에 따라 철도의 수단분담률이 실제보다 높게 추정될 소지가 있으며, 열차의 종별 선택에 있어 명확한 선호의식의 차이를 보이지 않는 데서 기인한다. 열차종별의 선택은 일반적인 효용함수의 변수인 비용과 시간에 따른 선택보다는 통행자체의 거리별 특성에 따라 이루어지는 것이 현실적인 선호의식이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 단거리(180km이하), 중거리(180km ~ 360km), 장거리(360km이상) 등 세 가지 거리로 구분하여 효용함수의 계수를 LIMDEP을 이용하여 추정하였으며, 1996년 실제 철도 O/D량을 이용하여 보정하였다.

logit 모형을 구축함에 있어 중요한 요소 중 하나는 정확한 통행시간과 비용의 산출인데 승용차, 버스 등 EMME/2의 highway인 경우는 문제가 없으나, 철도와 같은 transit의 통행시간 산출은 적절한 접근시간을 적용하기 위해서 network을 조정해야 한다. 효용함수를 어떻게 구성하느냐에 따라 달라질 수 있지만, 본 연구에서는 수단선택시 해당수단에 접근하는 시간도 중요한 수단선택의 요소라 판단하고 통행시간에 포함하여 효용함수의 계수를 추정하였다. 이에 따라 출발존에서 도착존까지의 transit통행시간이 필요하였는데 EMME/2에서는 auto link에 모든 transit mode의 통

행이 가능토록 mode를 설정해주고 철도역과 가까운 auto node를 연결하는 가상의 link를 만들어 여기에 auxiliary transit mode를 설정하여 transit mode가 존까지 연결될 수 있도록 network를 조정하였다.

요금 matrix는 transit travel distance와 auxiliary transit travel distance를 구별하여 transit travel distance에는 해당 transit mode의 요금기준을 적용하고, auxiliary transit travel distance에는 승용차와 버스의 평균비용을 적용하였다.

이렇게 추정된 거리, 요금 matrix와 logit모형의 계수를 이용하여 수단분담을 수행하였는데 EMME/2에서는 full matrix의 최대개수를 초과하는 문제로 인해 외부 프로그램을 이용하여 수행하였다.

3.4. 경제성 평가

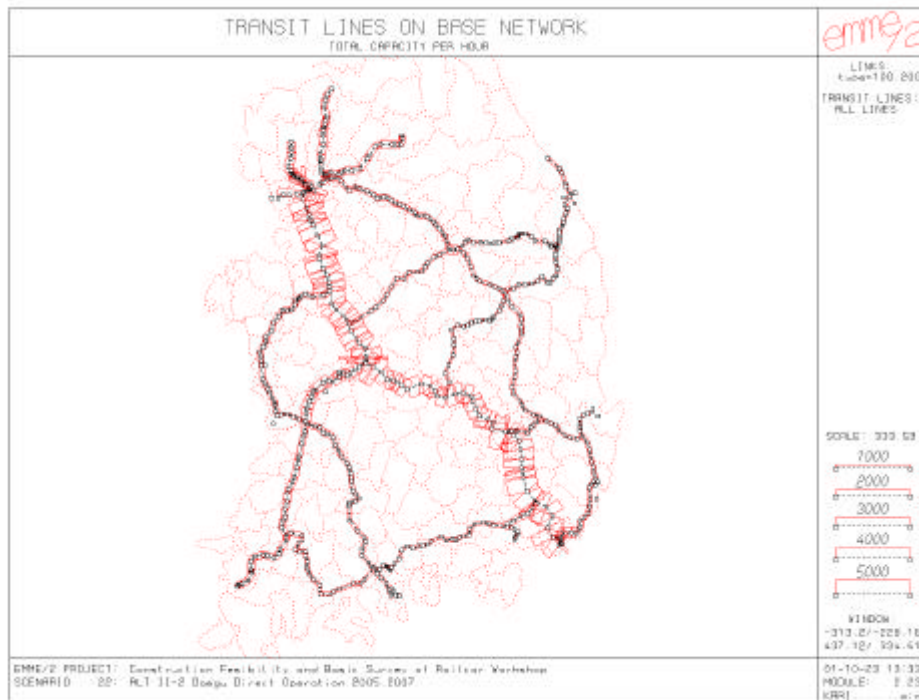
위의 과정을 거쳐 수단별로 예측된 통행수요 중 새마을호 요금의 1.3배를 고속철도 요금으로 하고, 대구에서 부산까지를 기존의 경부선을 이용하는 대안의 고속철도 수요예측결과를 다음 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 2004년 장래 고속철도 지역간 통행수요

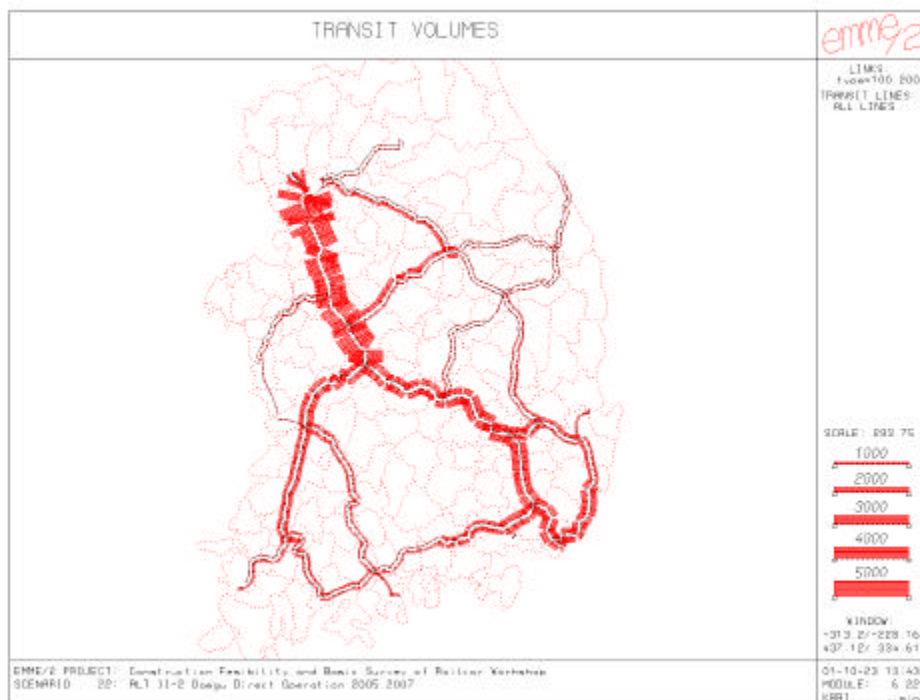
단위: 인/일

출발 \ 도착	서울	천안	대전	동대구	부산	합계
서울	0	1,741	20,413	18,778	22,094	63,026
천안	1,797	0	288	90	58	2,234
대전	20,480	280	0	2,087	1,366	24,213
동대구	18,612	90	2,007	0	3,705	24,414
부산	22,421	60	1,370	3,759	0	27,610
합계	63,311	2,171	24,078	24,714	27,223	141,497

이렇게 예측된 수요를 이용하여 통행배정을 수행하였고, 배정결과 중 일부인 수단별 총통행시간의 변화를 이용하여 경제성 분석을 수행하였다. 다음 그림은 열차운행계획에 의한 수송용량과 해당 수단 배정결과를 보여준다.



<그림 5> 철도운행계획에 따른 구간별 수송 용량



<그림 6> 철도통행수요의 배정결과

결론적으로 고속철도를 서울-대구 구간에 우선 건설하고 대구-부산간은 기존의 경부선을 이용하며, 요금수준은 새마을호의 약 1.3배를 채택할 것을 분석의 결과로 제안하였으며, 현재 이를 토대로 철도청에서는 열차운행계획 수립을 위한 고속철도 통행수요 보정 중에 있다.

4. EMME/ 2와 철도교통수요예측

4.1. 철도교통수요예측의 특수성

국내의 철도교통수요는 장거리통행의 대표적인 수단으로 일반적인 도시교통수요와는 다른 양상을 나타내는데, 그 수요가 주말에 최고에 이르고, 열차운행계획 이상으로는 통행이 불가능한 용량의 제약을 받는다는 것이 그것이다.

주말에 이르러 수요의 최고치를 보이는 것은 요일별, 최소한 평일과 휴일로 수요예측이 이루어져야 한다는 것을 뜻하는 데, 현재로선 통행발생량 자체를 구분하여 예측하기에는 관측자료와 기존 통계자료가 빈약하여 어려운 실정이다.

용량제약과 관련한 문제는 앞으로 더욱 연구가 진행되어야 할 부분인데, logit 모형과 같이 선호도조사에 따른 수단분담은 특정한 수단을 과다하게 예측할 수 있는 소지가 있으며, 과다예측된 경우 용량 이상의 통행량을 다시 다른 수단으로 전환시키는 방법도 하나의 해결책이 될 수 있을 것이며, 용량의 제약을 고려한 철도수요예측기법의 정립이 필요한 실정이다.

EMME/ 2는 기존의 다른 교통수요 분석 소프트웨어와 달리 transit의 기능을 강화한 것으로 매우 유용한 분석도구이나, 철도와 관련된 추가적인 기능이 요구된다.

4.2. 열차운행계획

철도교통수요예측은 수요예측으로 끝나는 문제가 아니고 예측된 수요를 최대한 만족시키기 위한 열차운행계획을 수립해야 하는데, 한정된 열차와 주어진 통행시간을 가지고 최대의 수익 또는 최대의 승객여행거리를 만족시키는 자원할당문제로 생각하여 그 해를 구할 수 있다. 그러나 정확한 해를 구하기 위해서는 별도의 정밀한 분석이 필요하며 교통수요예측 소프트웨어에서 정확한 열차운행계획을 수립할 필요는 없을 것이다. 다만, 선로조건에 따르는 구간별 최대열차운행회수 등 철도선로용량 산정과 같은 보다 단순한 분석은 교통수요예측과 병행할 수 있도록 개선해 나가는 것이 필요하다.

4.3. 역별이용객 산정

특수한 경우이기는 하지만 대전과 같은 경우 경부선, 호남선에 대전, 서대전역이 각각 있어 transit assignment를 수행하면 두 역 중에서 존 centroid와의 통행시간이 더 짧은 한 역에 해당 O/D가 집중되는 문제가 발생하였으나 최근 모듈 5.36 Deterministic transit assignment의 개발로 많은 부분이 해결되었다.

4.4. 기타

분석의 필수자료인 network 구축은 수요예측의 초기단계에 이루어져 간과하기 쉬우나 정확한 수요예측을 위해서는 정확한 network 구축이 꼭 이루어져야 한다. 구축된 network의 오류를 수정하기 위해서는 최단경로를 탐색해 보는 방법이 있는데 현재 EMME/ 2는 모든 존에서 모든 존으로의 최단경로를 한 번에 제공하는 기능을 갖추고 있지 않다.

또한 전국규모의 철도교통수요예측을 수행하게 되면 일반적으로 대안이 30여개가 넘는데(목표년도별, 요금수준별 등) EMME/ 2는 모든 대안에 대하여 같은 matrix를 적용하여 필요한 matrix가

턱없이 부족한 현상을 나타내고 있다.

5. 결론

경부고속철도의 신속한 개통을 위해 서울-대구 구간을 먼저 건설하고, 대구-부산 구간은 기존의 경부선을 이용하는 방안을 제시한 본 연구는, 전국규모의 철도교통수요예측에 있어 전통적인 4단계 추정법을 수행하는 EMME/2를 활용하였다. 수요예측은 4단계 추정법에 의해 수행하였으나, 통행배분시 지역간 통행저항을 고려할 수 있는 직접수요모형도 앞으로는 적극적으로 검토해 보아야 할 것이다.

EMME/2는 기존의 교통수요예측 소프트웨어보다 transit의 기능을 향상시켰으나, 선로용량산정, 존간최단경로 작성, 최대 matrix 개수의 증대 등이 뒷받침되어야 보다 효율적인 대규모 철도교통수요예측을 수행할 수 있으며, 소프트웨어의 개선과 더불어 철도교통수요 모형에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

· 참고문헌

한국철도기술연구원, 「고속철도와 기존철도의 직결운행에 대한 타당성 조사」, 1998.