

# 철도의 서비스수준의 정의와 시스템 계획에 미치는 영향 분석

## Defining Level of Service for Railroad System and Analysis of it's Effects on System Planning

서선덕\*1)  
Suh, D. Sunduck

신영호\*\*2)  
Shin, Youngho

---

### ABSTRACT

Level of Service(LOS) is classified A through F in highway system (KHCM), usually using LOS C in express way and D in national road. (LOS C denotes 75% of capacity) Meanwhile in Railroad System, there is no clearly defined LOS, and the daily demand in infra-structure planning has been used.

It is very important that LOS provides consequently a consensus of opinion between users and operators because there is a close relation between user demand and level of services.

Considering this, there should exist clearly defined Level of Services in Railroad System Planning so that demand can be predicted precisely.

---

### 국문요약

도로의 경우, 서비스 수준은 A에서 F까지로 구분되어 있다. (도로용량 편람, 건교부). 장래 도로시설 계획 시, 시간당 교통량과 용량을 기준으로 하여 고속도로의 경우 서비스 수준 C를, 국도의 경우 D를 목표로 삼고 있는 실정이다. LOS C의 경우 용량의 약 75%수준에 해당되는 수준이다.

하지만, 철도의 경우는 현재까지 서비스 수준에 대한 개념이 정리되어 있지 못하고 있을 뿐만 아니라, 철도시설 계획 시에는 하루수요를 사용하고 있으며, 구체적인 서비스 수준을 고려하고 있지 못한 실정이다.

철도의 계획 시 용량과 서비스 수준은 결국 운영자와 승객의 입장에서 어느 정도의 철도서비스를 제공할 것인지에 대한 공감대를 형성하는 매우 중요한 사항임에도 불구하고, 명시적으로 서비스 수준을 고려하지 못하고 있는 현실이다. 또한 사용자의 수요의 발현도 결국은 철도서비스의 질에 달려 있는 점을 고려하면 철도서비스 수준을 명시적으로 고려하는 게 기대할 수 있는 수요를 정확하게 계산할 수 있도록 해 줄 것이다.

---

\* 한양대학교 교통시스템공학과 교수, 정회원

E-mail : sunduck@hanyang.ac.kr

TEL : (031)400-4033 FAX : (031)406-6290

\*\* 한양대학교 교통시스템공학과 박사과정, 정회원

## 1. 서 론

우리나라의 통행실태 현황을 분석한 결과, 연간 총가구 교통비용지출액<sup>3)</sup> 40조원 등 사회경제적 비용이 170조원에 달하고, 이는 GDP대비 22%수준인 것으로 나타났다.

특히, 교통시설 스톡은 최소 100년 이상 교통SOC를 축적해온 선진국에 비해 우리나라의 교통SOC 축적기간이 30~40년에 불과하여 여전히 크게 부족한 것으로 조사되었다.

인구와 국토면적을 감안한 국토계수가 비슷한 OECD 4개국(그리스, 포르투갈, 스웨덴, 영국)평균과 비교할 때 도로는 70%, 철도는 54% 수준이며, 내생적 경제성장모형에 의한 경제성장을 최대화하는 교통시설 스톡의 최적비율은 GDP대비 45.5%이나, 우리의 실제교통시설스톡의 GDP대비 비율은 34.1%로 최적비율보다 낮은 것으로 나타났다.

한편, '19년까지 국내여객·화물수송수요는 '01년 대비 각각 약 1.6배, 2.1배로, 국제여객·화물수송수요는 '01년 대비 각각 2.6배, 2배로 증가할 것으로 예상되어지는데, 이는 국민경제규모 확대, 국제교역 증대 등으로 인해 장래 교통수요가 향후에도 대폭 증가할 것으로 전망되었다.

국가기간교통망계획('00~'19) 제1차 수정계획을 보면 도로망의 경우 7×9 격자형 간선도로망<sup>4)</sup>(남북 7개축, 동서 9개축)을 계획 중이다.

이는 양적으로 볼때 도로연장<sup>5)</sup>은 약 2.1배에 달하는 데 반해 철도연장은 1.5배에 지나지 않는다. 이로 인해 장래 도로와 철도의 격차는 더욱 커지게 될 것으로 예상된다.

이러한 정책의 국민적 공감대 형성을 위해서는, 소요를 조기에 원만한 LOS(Level Of Service)로 만족시키는 방안 (Opportunity)이 필요하다. 이는 국민들의 소득증가로 인해 높은 LOS를 가지는 교통서비스를 선호하는 경향이 있기 때문이다.

3) 교통관련 사회경제적 비용추계('04년 기준) : 혼잡비용(23조원), 가계교통비용(40조원), 물류비용(92조원), 사고비용(15조원) 등

4) 교통수요, 가용자원, 환경 등을 감안하여 동서 1축(서울~화천~간성), 남북 6축(양구~봉화~영천) 남북 7축(울산~간성)의 일부구간 등은 중장기검토과제로 추진,  
2019년까지는 남북 5개축, 동서 8개축을 중심으로 격자형 간선도로망을 구축할 계획.

5) 고속도로 총연장 2,627km('01년) → 5,462km('19년)

## 2. 철도 서비스 수준의 척도 정립

도로의 경우, 서비스 수준을 A에서 F까지로 구분되어 있다. (도로용량 편람, 건교부). 장래 도로시설 계획 시, 시간당 교통량과 용량을 기준으로 하여 고속도로의 경우 서비스 수준 C를, 국도의 경우 D를 목표로 삼고 있는 실정이다. LOS C의 경우 용량의 약 75%수준에 해당되는 수준이다.

하지만, 철도의 경우는 현재까지 서비스 수준에 대한 개념이 정리되어 있지 못하고 있을 뿐만 아니라, 철도시설 계획 시에는 하루수요를 사용하고 있으며, 구체적인 서비스 수준을 고려하고 있지 못한 실정이다.

철도의 계획시 용량과 서비스 수준은 결국 운영자와 승객의 입장에서 어느 정도의 철도서비스를 제공할 것인지에 대한 공감대를 형성하는 매우 중요한 사항임에도 불구하고, 명시적으로 서비스 수준을 고려하지 못하고 있는 현실이다. 또한 사용자의 수요의 발현도 결국은 철도서비스의 질에 달려 있는 점을 고려하면 철도서비스 수준을 명시적으로 고려하는 게 기대할 수 있는 수요를 정확하게 계산할 수 있도록 해 줄 것이다.

### (1) 대중교통 서비스 질의 평가

대중교통서비스 질의 평가는 크게 양적인 평가와 질적인 평가로 나누어서 고려할 수 있다. 이는 서비스를 양적으로 표현할 수 있느냐 없느냐에 따른 분류로 볼 수 있다. 우선 양적인 평가는 다시 서비스 수준(Level of Service)와 서비스 지수를 사용하여 표시할 수 있다. 질적인 평가로는 승객의 만족도 조사나 승객이 대중교통서비스를 사용하면서 만나는 각종요소들에 대한 조사를 포함하는 승객 환경 조사로 평가할 수 있다.

#### 가) 양적평가

서비스 수준(LOS: Level of Service)은 통행자의 인지된 수준을 반영하여 A에서 F까지 분류하는 것이다. 이러한 서비스 수준은 운영자 입장은 아닐 수 있다는 것을 명심할 필요가 있다.

서비스 지수는 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$i = C_n (w_1 \cdot P_1 + w_2 \cdot P_2 + \dots + w_x \cdot P_x)$$

$i$ : 서비스 지수  
 $C_n$ : 상수  
 $w_x$ : 가중치  
 $P_x$ : 성능평가요소

다수의 성능평가요소( Performance Factor)에 대한 가중치를 계산하여 전체 지수를 개발하는 것이 기본 정신이다.

#### 나) 질적평가

승객 만족도 조사는 승객에게 대중교통을 사용하는데 중요한 각종 요소의 질을 평가하는 방법이고, 승객환경조사는 조사자가 실제로 대중교통을 이용하여 통행을 하면서 주요 요소를 조사하는 방법이다.

## 2. 대중교통 성능의 척도

현재까지 주로 운영자의 영업과 관련된 사항에 치중하여 왔다고 해도 과언이 아니다. 또한 과거 전문가들 사이에서는 주로 '차량'의 측면에서 분석이 많이 있어왔다. 도로에서 사용하고 있는 도로용량편람(Highway Capacity Manual)이 바로 좋은 예이다.

하지만 대중교통에서는 승객에게 제공되는 서비스 질의 척도가 필요하다. 이는 승용차 대신에 대중교통을 탈 것인지 말 것인지를 결정하는 중요한 요소가 되기 때문이다. 이러한 점을 대중교통의 수요분석과정에서도 명시적으로 고려하여야 할 것은 말할 것도 없다.

승객의 입장에서 본 대중교통 질의 요소는 다음의 사항들로 정의할 수 있다.

- 1) 가용성 : 얼마나 쉽게 서비스를 이용할 수 있나?
- 2) 서비스 모니터링 : 승객의 일상적인 대중교통의 경험 척도
- 3) 여행시간 : 여행시간
- 4) 안전 및 보완 : 사고 또는 범죄의 대상이 될 실제 또는 인지된 가능성
- 5) 유지 및 건설 : 유지 보수 및 건설이 여행과 통행에 미치는 영향 정도

이중에서 가용성과 나머지 사항을 포괄하는 안락감과 편의성을 기준으로 대중교통서비스의 질을 평가하는 것이 일반적인 관행이다.<sup>6)</sup>

### 가) 가용성

승객이 대중교통(철도)을 타기 위해서는 다음의 모든 사항이 충족되어야 한다.

- 출발지 근처에 대중교통서비스가 있어야 함
- 도착지 근처에 대중교통서비스가 있어야 함
- 필요한 시간 또는 근처에 대중교통서비스가 있어야 함
- 언제 대중교통서비스가 있는지, 어떻게 사용하는지에 대한 정보가 있어야 함
- 충분한 용량이 있어야 함

이러한 조건이 만족이 되지 않는다면, 결국 승객은 대중교통서비스를 이용하지 않게 될 것이다.

### 나) 안락감과 편의성

개인에 따라 인지에서 차이가 있으나, 경쟁수단 중에서 대중교통을 선택하는 것은 다른 교통수단과의 서비스 질을 비교하는 과정을 거친다는 것을 인지할 필요가 있다. 다음의 요소들이 안락감과 편의성을 좌우하는 주요한 요소가 된다.

- 탑승율 : 혼잡율과 유사개념 (좌석의 유무 등)
- 정거장에서의 편의시설

6) Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCRP report 100. 2003. TRB  
- 1597 -

- 신뢰성
- 문전 도달 시간
- 비용
- 인지된 안전 및 보완 (정거장, 차내 및 정거장 접근)
- 환승의 필요 유무
- 시설의 모양 및 안락감

표1. 서비스 지표 개발을 위한 요소

장소 요소	정거장	노선구간	전체시스템
가용성	빈도	운행시간대	서비스 면적
안락감 및 편의성	탑승율	신뢰성	대중교통-승용차 통행시간

### 3. 서비스 측정사례

우리나라에서는 아직 상세한 절차나 개념이 정립이 된 것이 없다. 미국의 경우는 도로용량편람의 대중교통부분을 정의하는데 활용된 대중교통용량 및 서비스 질 편람(TCQSM: Transit Capacity and Quality of Service Manual)을 활용하여 대중교통서비스의 질을 계산하고 있다.

#### (1)가용성

필요한 시간에 접근 가능한 범위 내에 서비스 빈도가 매우 중요하다. 이는 내가 원하는 시간에 대중교통서비스가 있는가에 대한 질문이다.

#### 가) 평균시격

얼마나 자주 서비스가 있는가하는 것은 평균시격으로 표시할 수 있다. 평균시격을 역수를 취하면 시간당 차량수로 표시할 수 도 있다.

표 2. 평균시격에 근거한 서비스 수준

LOS	평균 AH (mi)	veh/h	비고
A	< 10	> 6	시간표 필요없음
B	10~14	5~6	찾은 회수, 시간표 조회
C	15~20	3~4	차를 놓쳤을 경우 기다릴 수 있는 최대치
D	21~30	2	선택 가능한 소비자에게는 불만족
E	31~60	1	한 시간 내에 서비스 없음
F	> 60	< 1	모든 사용자에게 비 호감

나) 노선의 가용성

대중교통서비스가 하루 중 얼마나 오래 동안 서비스가 있는가도 매우 중요하다. 이는 다시 말해서 노선의 가용성이라고 할 수 있는데, 운영시간대의 길이에 따라 분석한다.

표 3. 노선의 가용성에 근거한 서비스 수준

LOS	운영시간대	비고
A	19~24	야간 서비스
B	17~18	저녁 늦게까지
C	14~16	저녁 일찍까지
D	12~13	주간만
E	4~11	침투시간만
F	0~3	매우 제한적

다) 서비스 면적의 크기

대중교통서비스가 서비스하는 지역적인 범위를 말하는데, 주요한 지역을 모두 서비스하는지 아니면 일부만 서비스하는지가 매우 중요한 사항이다. 서비스 면적 (Service Coverage)을 계산하여 활용한다.

표 4. 서비스 면적에 따른 서비스 수준

LOS	비율	비고
A	90~100%	거의 모든 O/D 원할
B	80~89.9%	대부분의 O/D 원할
C	70~79.9%	
D	60~69.9%	
E	50~59.9%	
F	< 50 %	

(1)안락감과 편의성

안락감과 편의성에 대해서도 유사한 구분이 가능하다.

가) 정거장에서의 안락감과 편의성

정거장에서의 안락감이나 편의성은 비록 계량화는 가능하지 않지만, 정성적인 측면에서 다음의 사항들이 매우 중요한 역할을 한다.

- 신뢰성
- 보안성
- 여객 편의시설

나) 차내

모든 승객이 좌석을 가질 수 있으면 통상 적재율만이 문제가 된다. 하지만 입석승객이 있을 경우에는 승객 당 단위면적의 크기가 중요하고, 또한 승객들이 짐을 가지고 있는가에 따라 추가로 면적을 고려하여야 주어야 한다. 적재율과 입석 승객의 단위 면적을 기준으로 한 서비스 수준의 분류는 다음과 같다.

표 5. 적재율을 기준으로 한 서비스 수준

LOS	적재율 (좌석당 인원)	입석승객 면적 (m <sup>2</sup> /p)	비고
A	0.00~0.50	> 1.00	옆 좌석 비어있음 좌석 선택 가능 모든 승객 좌석 확보 입석도 괜찮은 수준 최대계획량 비상 탑승율
B	0.51~0.75	0.76~1.00	
C	0.76~1.00	0.51~0.75	
D	1.01~1.25	0.36~0.50	
E	1.26~1.50	0.20~0.35	
F	> 1.50	< 0.20	

다) 노선 및 구간

노선 및 구간에서는 정시율과 시간표 유지정도가 매우 중요한 사항이 된다. 정시율의 경우는 예정된 도착시간에 어느 정도 도착하는가를 측정하는 것인데, 다음의 기준을 활용할 수 있다.

표 6. 정시율에 근거한 서비스 수준

LOS	정시 비율	비고
A	95~100%	2주일에 1대 지연
B	90.0~94.9%	1주마다 1대 지연
C	85.0~89.9%	2주일에 3대 지연
D	80.0~84.9%	1주마다 2대 지연
E	75.0~79.9%	매일 1대 지연(환승 포함)
F	< 75.0%	적어도 하루 1대 이상 지연(환승 포함)

또한 시간표 유지정도는 대중교통서비스가 얼마나 정시에 운영을 하는가를 측정하는 정도이며 이는 시격변화계수라는 변수를 정의하여 사용하고 있다. 시격변화계수는 다음 식으로 정의된다.

$$C_{vh} = \frac{\text{시격의 표준편차}}{\text{평균 운행시격}}$$

표 7. 시간표 유지정도를 기준으로 한 서비스 수준

LOS	$C_{vh}$	$P(h_i > 0.5h)$	비고
A	0.00~0.21	≤ 1%	정시 운행 일부 이탈 중중 이탈 비규칙적, 일부 몰려다니기도 몰려다니는 현상 자주 발생 대부분의 차량 몰려다님
B	0.22~0.30	≤ 10%	
C	0.31~0.39	≤ 20%	
D	0.40~0.52	≤ 33%	
E	0.53~0.74	≤ 50%	
F	≥ 0.75	> 50%	

라) 체계전체

대중교통전체의 측면에서 보면, 결국 자동차를 사용하였을 경우의 통행시간과 대중교통을 사용하였을 시의 통행시간차이가 중요하다고 하겠다. 이는 문전도달시간을 기준으로 하여야 할 것으로 판단된다.

표 8. 자동차 통행시간과의 차이에 기준한 서비스 수준

LOS	통행시간차이(분)	비고
A	≤ 0	자동차보다 빠름
B	1~15	유사
C	16~30	선택통행자는 용인 가능수준
D	31~45	왕복시간이 한시간 이상 김
E	46~60	모든 사용자에게 지겨움
F	> 60	모든 사용자들에게 용인 불가

#### 4. 철도수요특성분석

다음은 1990~2005년의 기간에 열차등급별로 수송실적이 어떻게 변화하는지를 보이고 있다. 표 9. 에 제시된 수송실적의 추이를 살펴보면 몇 가지의 주요한 특징이 나타나고 있다.

##### (1) 철도 여객 수송 현황

표 9. 철도 여객 수송실적 추이(1990~2007) 7)

단위: 천명/년간

연도	KTX	새마을	무궁화	통일/통근열차	비둘기	합계
1990(A)	-	7,485	41,708	55,111	46,402	150,076
1995	-	14,023	51,697	37,650	32,283	135,653
2000	-	15,534	73,809	26,477	318	116,138
2001	-	16,042	76,088	25,488	-	117,618
2002	-	15,362	70,539	24,034	-	109,935
2003	-	13,894	63,109	4,243		81,247
2004	19,532	12,410	59,431	8,601		99,974
2005	31,602	10,521	53,446	10,111		105,681
2006	35,489	9,547	50,825	9,573		105,435
2007	36,114	9,744	49,587	11,573		107,018

우선, 전체실적을 기준으로 철도이용객이 감소하고 있었으나 고속철도의 개통으로 수송실적의 반등세가 나타났다는 점이다. 전체 수송실적은 1990~2003년 기간에 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으나 2004년 고속철도 개통으로 인해 수송실적이 증가세로 반전되어 개통직전인 2003년 81,247천명에서 2007년 107,018천명으로 1.32배 증가하였다는 것이다.

둘째, 상위등급 열차와 하위등급 열차 간에 수송실적의 추이가 확연한 차이를 나타내고 있다는 점이다. 하위등급 열차의 경우 통일호열차의 이용객은 1990~2002년 기간 연평균 9.0% 감소하고, 최하등급인 비둘기열차의 이용객은 1990년에 약 4천 6백만명이었으나 2000년에는 약 30만명으로 급격히 감소하여 폐지되었다. 통일호는 1955년 8월 15일에 경부선 급행 통일호로 운행을 시작였고 수 차례의 등급조정을 거쳐 1984년 1월 1일에 열차 등급이 기존의 우등열차인 무궁화호의 아래 단계(특급)로 조절되었고 2000년 11월 14일 비둘기호의 폐지로 그 등급이 보통열차로 내려갔다. 이 때 통일호로 운행된 청량리-부전간 열차는 당시 한국철도에서 가장 긴 소요시간<sup>8)</sup>을 가졌다. 마지막 통일호 열차의 운행은 2004년 3월 31일에 경춘선에서 이루어졌으며, 2004년 4월 1일에 KTX의 신설과 함께 객차형 전

7) 수도권전철 수송실적은 제외.

자료: 한국철도공사, 『철도통계연보』, 2004.

8) 하행 약 12시간, 상행 약 13시간



차량이 퇴역하고 이름을 통근열차로 바꾸었다.

셋째, 고속열차는 등장부터 꾸준한 증가세를 보이고 있다. 2004년에 19,532천명을 기록한 KTX는 2007년 현재 36,114천명으로 무려 1.85배의 성장을 기록하고 있다. 그리고 2004년 이후에는 고속철도의 등장으로 전체수송실적은 다시 증가하고 있다.

이상에서 제시된 결과는 단순히 철도이용객이 시간변화에 따라 어떠한 추세가 나타나는지를 보여주고 있다. 그러나 이러한 결과는 철도이용객의 변화가 어떤 요인에 의하여 발생하는지 또는 철도이용객의 추이는 다른 교통부문에서의 경우와 차이가 있는지 등에 대한 정보를 제시해 주고 있지 못하다. 다음은 몇 가지 쟁점사항에 대해 중점적으로 검토해 보았다.

(2) 열차운행 회수 및 선로용량

본 현황자료는 '경부고속철도 자문'(철도공사,2006)에서 발췌한 내용이다.

표 10. 선구별 열차 회수 및 선로용량(2006. 11.1 현재)

선구별	선로용량	여객열차					화물열차			합계	선로용량여유	
		고속열차	새마을호	무궁화호	통근열차	소계	컨테이너	화물	소계			
경부선	서울-시흥	171	70	29	53		152		15	15	167	4
	시흥-수원	159		29	53		82	23	30	53	135	24
	수원-천안	162		29	53		82	24	30	54	136	26
	천안-조치원	154		21	46		67	25	34	59	126	28
	조치원-대전	159		21	53		74	28	25	53	127	32
	대전-김천	152	50	13	23		86	24	11	35	121	31
	김천-동대구	159	50	15	36		101	26	11	37	138	21
	동대구-삼랑진	160	41	15	33		89	26	10	36	125	35
호남선	삼랑진-부산	158	41	7	29		77	29	6	35	112	46
	대전조-익산	155	18	8	23		49	8	14	22	71	84
	익산-송정리	163	18	5	13		36	1	5	6	42	121
	송정리-목포	133	8	2	13		23		4	4	27	106

'06년 11월 현재의 가장 문제가 심각한 구간은 서울~시흥간으로 아래의 그림에서와 같이 89%에 이르고 있다.

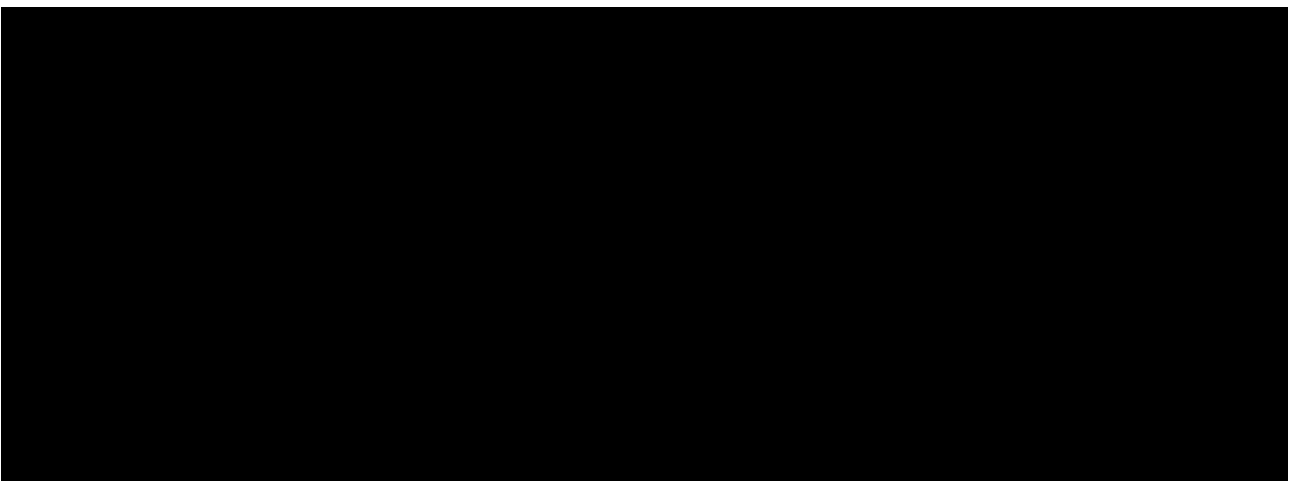


그림 1. 선구별 용량대비 이용율

## 5. 분석자료

O/D 자료는 “철도 전산 정보 사업단”의 2007년 자료를 사용하였다.

사회경제지표는 “통계청”의 2005년 자료를 사용하였다. 통계청의 2007년 자료 확보가 안된 관계로 2005년 자료를 사용하였다.

### (1) 분석대상

분석대상 노선은 경부선, 호남선, 전라선, 장항선 네 개의 간선철도를 대상으로 하였다. 이들 노선은 서울~시흥 구간을 지나는 주요 간선철도로써 현재 수요가 계속증가하고 있는 추세인 노선들이다.

### (2) 역간O/D 자료

직접수요모형을 작성하기 위해 사용된 데이터는 2007년도 티켓 판매 자료에 근거한 역간O/D 자료<sup>9)</sup>를 사용하였다. 데이터는 총 9백만여 건으로 2007년 1월 1일 ~ 2007년 12월 31일까지의 자료이다. 이 중 각 노선별 Data는 오라클<sup>10)</sup> DBMS를 사용하여 다수의 filtering을 통하여 최종적으로 모형을 산출하는데 사용하였다.

첫 번째 Filtering은 각 노선에 대한 데이터 분리작업으로 노선별 열차 번호 테이블과 역간 O/D 테이블을 조인하여 분리하였다. 두 번째는 각 분리된 테이블과 열차 종류 테이블과 조인하여 노선별 열차 종류별 테이블을 구성하였다. 세 번째로 노선별 열차종류별 테이블을 직접수요모형의 모형정산을 위해 필터링을 시행하였다.

이렇게 하여 최종적으로 얻어진 데이터 셋은 다음과 같다.

표 11. 모형산출을 위한 데이터셋

노선	열차종류	Peak구분	데이터셋
경부	KTX	주중	60
		주말	60
	새마을	주중	195
		주말	197
	무궁화	주중	265
		주말	265
호남	KTX	주중	94
		주말	106
	새마을	주중	122
		주말	122
	무궁화	주중	80
		주말	89

### (3) 직접수요모형

교통수요량은 토지이용상황과 교통체계의 특성에 의해 결정되는 것으로서 통행이 발생하기 위해서는 목적지, 통행빈도, 교통수단, 노선, 통행시간대를 선택해야만 한다. 즉 통행이 발생하기까지 다양한 선

9) 철도공사 전산정보팀 제공자료

10) Oracle 10g Database Management System

택이 필요하며 이러한 일련의 선택의 과정인 교통수요예측과정을 각각 독립적으로 볼 것인가, 상호의존적으로 볼 것인가에 따라 각각 순차적(Sequential) 모형과 동시적(Simultaneous) 모형으로 나눌 수 있다. 여기서 전자는 4단계추정방법에 해당하며 후자는 직접수요모형에 해당한다. 특히 현실적인 통행발생은 수요모형의 선택과정과 수요와 공급의 변수가 모두 상호의존적인 관계를 가지고 있다고 보는 직접수요모형이 더욱 타당하다. 또한 직접수요모형은 두 가지 가설에 기초해 있다.

첫째, 교통수요의 발생은 중력모형형태를 가정하고 있다. 이러한 가설 때문에 각 설명변수에 대한 수요의 직접탄력성과 교차탄력성에 대한 구체적 형태의 가정으로 발전되고 있다. 따라서 직접수요모형은 일반적으로 각 설명변수에 대한 수요의 직접탄력성을 계수로 가정하고 있다.

둘째, 특정수단에 대한 교통수요는 특정수단의 명칭에 따라 나타나는 것이 아니라 교통수단이 제공하는 서비스의 속성(통행시간, 요금, 통행빈도 등)에 기인한다는 추상수단(Abstract Mode) 이론을 근거로 하고 있다.

이러한 가정은 미래의 신교통수단의 도입 시나 새로운 서비스의 특성을 추가할 경우의 교통수요분석에 매우 유용하다. 특히 지역 간 철도의 경우 주어진 노선에 통행량( $T_{ij}$ )을 구하는 것으로 4단계 문제에서 접하는 다수의 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 비용, 통행시간 등 수요에 민감한 영향을 주는 서비스 변수에 대한 탄력도를 살필 수 있어 정책 수립 시 매우 유용하게 사용될 수 있다.

직접수요모형의 기본적 모형식 형태는 다음과 같다.

$$X_{ijmrt}^P = X(D^P, S_{ijmrt}^P, \forall i, j, m, r, t)$$

- $D^P$  = 통행목적  $P$ 의 수요 변수 벡터
- $S_{ijmrt}^P$  =  $i, j, m, t$  선택시 요구되는 공급 변수 벡터
- $i$  = 통행발생존
- $j$  = 통행도착존
- $m$  = 교통수단
- $r$  = 노선
- $t$  = 통행시간

모형의 정산은 Limdep 통계 Package를 사용하여 비선형 회귀식의 파라미터를 정산하였다.

## 6. 수요예측모형의 개발

### (1) 모형의 정산

모형은 아래 식과 같이 상수항, 빈도, 구간거리, 목적지 GRP, 출발지 인구, 목적지인구의 곱으로 되어진 비선형 구조로 되어있다. 이때 GRP, 인구는 변수 상호간의 반영률을 고려하여  $10^6$ 으로 나누어 정

산하였다.

$$Demand^{Rail} = s_0 \times TDFREQ^{b1} \times TLEN^{b2} \times TFARE^{b3} \times (DGR/1000000)^{b4} \times (OPO/1000000)^{b5} \times TDIFF^{b6}$$

아래의 표는 모형에서 사용되어진 변수의 승수 계수에 대한 설명이다.

표 12. 모형에서 사용되어진 변수

Coefficient 명칭	설 명
s0	constant = s0
b1	열차빈도 = TDFREQ <sup>b1</sup>
b2	구간거리(열차) = TLEN <sup>b2</sup>
b3	열차요금 = TFARE <sup>b3</sup>
b4	GRP (Destination) = DGR <sup>b4</sup>
b5	인구(Origin) = OPO <sup>b5</sup>
b6	Time Difference = TDIFF <sup>b6</sup>

사용되어진 변수 중 Time Difference는 도로 통행시간에서 열차 통행시간을 뺀 값을 분 단위 값으로 사용하는데 열차통행시간이 줄어들므로 수요에 영향을 주게 되어 있다.

또한 빈도수 역시 대중교통 서비스수준을 평가하는 중요한 요소인데 철도에서는 특히 그 영향이 다른 변수에 비해 수요에 대한 탄력성이 크다.

본 연구에서는 추가적으로 탑승율을 고려하였는데 통상적으로 사용하는 탑승율은 주중 75%이고 주말은 90%를 운영계획 작성에 사용하고 있다.

표 13. 노선별 모형정산 값

노선	열차종류	Peak 구분	s0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	R <sup>2</sup>
경부	KI X	주중	0.00137394	1.89730495	1.72758410	0.08240882	0.17760002	0.32871979	-0.70921797	0.98
		TValue	1.959	18.315	11.616	1.199	10.401	9.496	-5.808	
		주말	0.00187165	1.77968031	1.80704316	0.06774008	0.12234313	0.32556009	-0.71743831	0.98
		TValue	1.932	17.989	11.714	0.936	6.917	9.169	-5.718	
	새 마 을	주중	9.18164339	1.70602036	1.95452867	-2.36736094	0.05742077	0.10414850	0.12508321	0.71
		TValue	1.881	12.405	4.394	-5.009	1.986	2.355	3.599	
		주말	43.1193501	1.61092118	2.14898047	-2.86865718	0.13094447	0.17802494	0.25915923	0.71
		TValue	1.843	11.044	4.881	-6.155	4.222	3.709	6.377	
	무 궁 화	주중	0.80826855	2.20295428	1.24123618	-1.60508979	0.12447114	0.18483505	-0.02274649	0.60
		TValue	0.814	7.005	3.399	-3.735	5.801	6.001	-0.569	
		주말	0.46072271	2.34532958	1.11966056	-1.36876080	0.13109802	0.22097092	-0.09422044	0.57
		TValue	0.746	6.903	2.954	-3.049	5.856	6.569	-1.921	
호 남	KI X	주중	0.00001168 72	3.99752372	10.0483735	-9.62424075	0.27954141	0.13511957	1.52406891	0.84
		TValue	0.594	10.591	8.033	-6.852	5.310	4.949	5.213	
		주말	0.00007196 51	3.48628101	8.54836766	-8.04414491	0.15774471	0.14722596	1.30865955	0.85
		TValue	0.705	11.965	8.764	-7.325	3.659	5.537	5.351	
	새 마 을	주중	2.58423834	0.71151761	0.47547170	-0.51601445	0.17902092	0.17400111	0.41924817	0.73
		TValue	1.638	8.094	1.366	-1.341	7.284	7.734	4.731	
		주말	9.23301057	0.81188396	0.70510152	-1.01408470	0.20144478	0.21069309	0.49758443	0.75
		TValue	1.533	7.810	1.734	-2.301	7763	8.330	4.915	
	무	주중	0.8156559	1.49102357	0.79072094	-0.41407547	0.06978273	-0.0315599 0	-0.25565644	0.49

공 화	TValue	0.998	5.991	1.981	-0.897	1.941	-0.969	-3.243	0.56
	주말	0.17420397	1.88466606	0.76053351	-0.18225588	0.09678332	-0.0322913 0	-0.29213156	
	TValue	0.957	7.364	1.978	-0.410	2.718	-1.032	-3.710	

각 모형의 통계치와 승수 계수 값을 보면 일부 노선을 제외하고는 전반적으로 양호한 것으로 나타났다. 직접수요모형은 일반적으로 장래여건변화의 반영이 어렵다고 알려져 있다. 이는 사용되어진 변수가 장래 여건을 반영 할 수 없거나 또는 모형식에 장래 여건변화를 반영을 위한 변수가 빠져 있기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 의사결정을 위한 적절한 의사결정변수가 모형에 포함되어야 하는데, 자료의 특성상 이러한 변수를 반영하여서는 통계량, 모형의 적합도 측면에서 우수한 모형을 만들기가 상당히 까다롭다.

특히, 비선형 모형에서는 이를 반영하기가 더욱 어렵다. 때로는 변수와 자료간의 회귀관계를 풀 때 해를 구할 수 없는 Singular Case도 발생한다. 그럼에도 불구하고 노선별 최적모형을 찾기 위해서는 상기 고려된 변수 이외에도 다양한 변수를 고려하여야 한다. 위의 모형식에 나와 있는 경부 모형은 Time Difference에 대하여 1보다 작은 음의 값이 계수로 정산이 되었는데 이는 Time Difference 증가 즉, 열차 통행시간이 줄어들더라도 그 변화량에 대해 수요의 탄력성이 매우 적음을 의미한다. 반면 호남선 KTX는 값이 1보다 큰 양의 값으로 정산되었는데 이는 수요탄력성이 상대적으로 큰 것을 말해 주고 있다. 다른 계수 역시 노선별 특성을 반영하고 있는데, 이는 어느 한 노선에 대한 모형을 개발하는데 있어서 노선을 잘 반영하는 변수들이 따로 존재한다는 것을 반증하는 것이라 볼 수 있다. 즉 획일화된 결정변수를 사용하는 것은 해당 노선의 특성을 잘 반영하지 못할 수 있다는 것을 보여준다.

### 7. 각 노선별 예측수요

다음의 각 노선별 수요는 인구 및 사회경제지표를 제외한 다른 변수들은 모두 고정된 값을 사용하여 산출한 것이며 차량 소요편성은 일 단위 필요한 단위편성수를 의미한다. 이때 KTX, 새마을, 무궁화 모두 10량을 기준으로 하였다.

탑승율은 주중 75% 와 주말 90%의 Load Factor를 적용한 값이다. MLP를 사용하여 편성수를 산출할 때 사용된 1일 평균 운행횟수는 4회를 가정하였다.

표 13. 경부선 예측수요

노선	열차종류	Peak구분		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
		주중	주말								
경부	KT X	주중	수요	75767	76232	76692	77133	77565	78002	78436	78732
			MLP	31229	31357	31477	31591	31699	31811	31921	32011
			소요편성	67	68	68	68	68	68	68	68
		주말	수요	98275	98646	99005	99348	99688	10030	100365	100307
			MLP	40856	41075	41288	41492	41696	41895	42094	42216
			소요편성	73	73	74	74	74	75	75	75
	새 마을	주중	수요	12663	12943	12976	13016	13075	13124	13145	13188
			MLP	4176	4190	4198	4206	4229	4251	4256	4277
			소요편성	8	8	8	8	8	8	8	8
		주말	수요	18307	18916	19056	19187	19353	19485	19590	19710
			MLP	6251	6297	6342	6380	6431	6477	6514	6553
			소요편성	9	10	10	10	10	10	10	10
	무궁 화	주중	수요	48159	48495	48817	49140	49452	49850	50095	50420
			MLP	10170	10250	10328	10406	10485	10585	10635	10713
			소요편성	18	18	18	18	19	19	19	19
		주말	수요	65438	65923	66408	66890	67349	67955	68312	68784
			MLP	14420	14546	14675	14803	14923	15101	15177	15303
			소요편성	21	21	22	22	22	22	22	22

표 14. 호남선 예측수요

노선	열차종류	Peak구분		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
		주중	주말								
호남	KT X	주중	수요	20978	20957	20988	20914	20891	20867	20846	20820
			MLP	9933	9918	9905	9886	9871	9853	9839	9823
			소요편성	22	22	22	22	22	21	21	21
		주말	수요	34592	34566	34539	34520	34492	34469	34441	34412
			MLP	17239	17224	17210	17197	17181	17168	17154	17137
			소요편성	31	31	31	31	31	31	31	31
	새 마을	주중	수요	1985	1998	2014	2028	2046	2058	2075	2093
			MLP	922	928	934	941	946	951	956	962
			소요편성	2	2	2	2	2	2	2	2
		주말	수요	2091	2929	2958	2988	3015	3084	3059	3089
			MLP	1373	1383	1396	1403	1413	1421	1433	1443
			소요편성	2	2	3	3	3	3	3	3
	무궁 화	주중	수요	13680	13666	13651	13635	13620	13604	13590	13580
			MLP	4265	4261	4252	4246	4237	4230	4225	4221
			소요편성	8	8	8	8	8	8	8	8
		주말	수요	17495	17479	17459	17449	17430	17409	17389	17377
			MLP	5969	5964	5956	5953	5950	5942	5938	5932
			소요편성	9	9	9	9	9	9	9	9

## 8. 서비스 수준에 따른 수요변화 특성

이전 장에서 언급되어진바와 같이 열차수요는 각 서비스 수준에 따라 다양한 변화를 나타낸다. 본 연구에서는 경부와 호남 KTX수요가 각 서비스 수준에 따라 어떻게 변화하는지 알아보려고 한다.

### (1) 탑승율 변화

대중교통에 있어서 탑승율을 기준으로 한 서비스 수준을 보면 50% 탑승율 일 때 LOS A 이다. 이때

열차의 필요 편성은 75% 일 때에 대해 50%증가한 값을 보여준다. 즉 서비스 레벨이 증가할수록 소요 차량 수가 증가 하므로 영업계수를 고려한 적정 서비스 수준을 찾는 것 도 하나의 Issue가 될 수 있다. 현재의 계산방식은 주중은 75%, 주말은 90% 탑승율을 운행계획에 적용하고 있다.

표 16. 탑승율 변화에 따른 호남선 KTX 주중 소요편성 변화

탑승율변화	수요	MP	50%	60%	70%	75%	80%	90%
2008	20978	9933	32	27	23	22	20	18
2009	20957	9918	32	27	23	22	20	18
2010	20938	9905	32	27	23	22	20	18
2011	20914	9886	32	27	23	22	20	18
2012	20891	9871	32	27	23	22	20	18
2013	20867	9853	32	27	23	21	20	18
2014	20846	9839	32	27	23	21	20	18
2015	20820	9823	32	27	23	21	20	18

표 17. 탑승율 변화에 따른 호남선 KTX 주말 소요편성 변화

탑승율변화	수요	MP	50%	60%	70%	75%	80%	90%
2008	34592	17239	56	46	40	37	35	31
2009	34566	17224	56	46	40	37	35	31
2010	34539	17210	55	46	40	37	35	31
2011	34520	17197	55	46	40	37	35	31
2012	34492	17181	55	46	40	37	35	31
2013	34469	17168	55	46	40	37	35	31
2014	34441	17154	55	46	40	37	35	31
2015	34412	17137	55	46	40	37	35	31

(2) 빈도수 변화

빈도수는 열차수요와 가장 민감하게 영향을 주는 요소로서 5%만 증가하더라도 수요가 두 배에 이르게 하는 요소로 작용 할 수 있다.

2012년의 경부고속선 2차 개통 및 기존선 직결운행 그리고 2016년의 호남선 2차 개통과 전라선 직결운행은 장래 환경변화 요소 중 가장 큰 변화 요인이라 볼 수 있다.

이러한 장래 환경변화에 대응하는 수요를 정확히 산출하기위해서는, 속도 또는 도로에 대한 시간절감과 더불어 선로용량 증대로 인한 빈도수 증가를 고려하여야 한다. 즉, 빈도수 역시 중요한 의사결정 변수라 볼 수 있을 것이다.

아래의 표는 빈도수를 1%~7%까지 변화를 주어 수요를 관찰 하였다. 2015년에는 빈도수 증가가 없을 때에 대하여 최대 10배 이상의 수요가 증가되는 것을 볼 수 있다.

표 18. 빈도수 변화에 따른 호남선 KTX 주중 수요 변화

빈도수 변화	수요	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
2008	20978	22700	24557	26533	28652	30917	33342	35929
2009	20957	23593	26534	29806	33455	37510	42009	47002
2010	20938	24521	28683	33497	39079	45512	52938	61494
2011	20914	25481	31001	37644	45641	55232	66722	80472
2012	20891	26488	33510	42312	53306	67636	84108	105316
2013	20867	27528	36218	47547	62269	81346	106009	137832
2014	20846	28605	39137	53426	72726	98720	133636	180889
2015	20820	29718	42310	60043	84950	119809	168446	236085

표 19. 빈도수 변화에 따른 호남선 KTX 주말 수요 변화

빈도수 변화	수요	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
2008	34592	42479	39695	42479	45435	48558	51868	55367
2009	34566	47043	42493	47043	52033	57495	63480	70018
2010	34539	52099	45489	52099	59591	68092	77687	88533
2011	34520	57695	48694	57695	68262	80625	95087	111970
2012	34492	63910	52125	63910	78184	95485	116387	141624
2013	34469	70762	55799	70762	89548	113070	142468	179120
2014	34441	78361	59726	78361	102563	133899	174374	226554
2015	34412	86780	63934	86780	117461	158556	213441	286528

(3) Time Difference 변화

Time Difference는 도로 통행시간에 대한 철도 통행시간의 차로 나타내 지는데, 호남선 KTX의 경우 수요에 대해 비교적 높은 탄력성을 보인다.

표 20. Time Difference 변화에 따른 호남선 KTX 주중 수요 변화

TDIFF 변화	수요	10%	20%	30%	40%	50%
2008	20978	24237	27652	31257	34938	38799
2009	20957	24211	27628	31188	34900	38759
2010	20938	24188	27594	31156	34865	38717
2011	20914	24162	27569	31125	34830	38680
2012	20891	24139	27541	31092	34794	38638
2013	20867	24114	27509	31060	34756	38598
2014	20846	24083	27478	31022	34715	38552
2015	20820	24057	27446	30983	34676	38505

표 21. Time Difference 변화에 따른 호남선 KTX 주말 수요 변화



TDIFF 변화	수요	10%	20%	30%	40%	50%
2008	39176	43885	48714	53652	58714	38799
2009	39149	43851	48674	53616	58670	38759
2010	39124	43819	48640	53575	58629	38717
2011	39093	43789	48608	53539	58589	38680
2012	39061	43758	48573	53502	58546	38638
2013	39031	43721	48533	53459	58499	38598
2014	38998	43685	48493	53413	58447	38552
2015	38962	43641	48448	53362	58395	38505

## 9. 결론

철도의 계획 시 용량과 서비스 수준은 결국 운영자와 승객의 입장에서 어느 정도의 철도 서비스를 제공할 것인지에 대한 공감대를 형성하는 매우 중요한 사항임에도 불구하고, 명시적으로 서비스 수준을 고려하지 못하고 있는 현실이다.

본 연구에서는 대중교통 특히 철도에 있어 해외사례 등의 용량과 서비스수준을 검토 하였고 현재 국내의 지역 간 철도를 중심으로 그의 적용방안을 다각적으로 검토하였다.

우선 탑승율의 측면에서 서비스 수준을 고려하였는데 탑승율을 기준으로 한 서비스 수준을 보면 50% 탑승율 일 때 LOS A 이고, 이를 감안하였을 때 열차의 소요 편성은 75% 일 때에 비해 50%증가한 값을 보여준다. 즉, 탑승율의 서비스 레벨이 증가할수록 소요차량 수가 증가 하므로 영업계수를 고려한 적정 서비스 수준을 찾는 것이 필요하다.

현재는 LOS C를 기준으로 한 운행계획이 이루어지고 있으며 경부 주말의 경우 실제수요를 감안하면 LOS D정도의 서비스를 하고 있는 실정이다. 이는 도로교통에 비해 시스템의 안락성, 접근성을 고려하였을 때 상당히 낮은 정도의 서비스를 제공하고 있다 볼 수 있겠다.

둘째로 빈도수측면에서 보면 1%~7%의 빈도수 증가를 고려하였을 때 빈도 수 변화가 없을 때에 대하여 최대 1000%의 수요증가를 보였다. 즉 수요에 대한 탄력성이 타 변수에 비해 노선 전반에 걸쳐 매우 높은 탄력도를 보였다. 이는 선구 용량 및 가용한 차량이 허락하는 한 최대한의 빈도수를 가져가는 것이 운영전략상 필요하다는 것을 의미한다. 하지만 현재의 시스템 가용율을 보면 서울~시흥 구간은 거의 포화 상태에 이르렀으므로 운영전략상 새로운 대안이 절대적으로 필요한 상황이다.

셋째로 Time Difference 측면에서 보면 서비스수준은 체계전체의 LOS로 평가할 수 있는데 KTX는 절대적으로 LOS A의 상태이나 새마을은 LOS D 무궁화는 LOS F를 보이고 있다. 모형에서도 알 수 있듯이 호남 KTX를 제외한 전반적인 노선 및 차종이 Time Difference에 대하여 다소 낮은 정도의 탄력도를 보이고 있다.

호남 KTX의 모형의 Time Difference를 적용했을 때 50% Time Difference 증가에 대해 최대 1.84배의 수요증가를 보인다. 즉 도로교통에 대한 통행시간 차가 1.5배 되었을 때 수요는 약 2배 증가 되는 것을 의미한다. 경부선KTX에 대해서는 상대적으로 낮은 탄력도를 보였는데 이는 경부 모형특성

에 맞는 변수들이 생략되어 전체적인 모형의 균형이 맞지 않음으로 하여 발생한 것으로 사료된다.

사용되어진 의사 결정변수 외에도 각 노선마다 고유한 특성을 지닌 변수들이 존재함을 정산된 모형 식에서 살펴 볼 수 있다. 따라서 이러한 노선별 특성을 지닌 변수들이 무엇인지 전체적으로 알아볼 필요가 있다. 왜냐하면 이는 영업전략 상 빈도수를 높여야 하는지 아니면 속도를 증가시켜야 하는지 또는 승차율을 높여야 하는지를 알아 볼 수 있기 때문이다.

또한 선구용량 제약, 차량 수 제약, 승무원 수 제약 등이 있는 상황에서 무조건 서비스수준만을 높여서는 또 다른 문제를 가져올 수 있으므로 서비스 수준 향상과 더불어 최적의 운행계획을 작성할 필요가 있다. 더욱이 이는 정시성과 관련된 서비스 수준과도 연관성이 깊기 때문이다.

본 연구에서는 각각의 결정변수 값의 변화만을 고려하였는데 이들을 동시에 고려한다면 의사결정변수 상호간의 시너지효과도 나타날 것으로 기대된다. 즉 전체적으로 LOS를 높이는 결과를 가져올 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Rail Transit Capacity, TCRP report 13, TRB 1999
2. Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCRP report 100  
TRB, 2003
3. TRB(2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual 2nd Edition
4. UIC Leaflet 406, 2004
5. Application of the UIC capacity leaflet at Banverket, IROR, RailDelft  
2005
6. Capacity Management(Capman Phase 3), Summary Report December  
2004
7. TRB(1985), Highway Capacity Manual, Special Report 209
8. TRB(2000), Highway Capacity Manual, Special Report 209
9. Railroad Capacity and Corridor Planning, TRB Workshop, 2002. 1
10. 철도공학, 이 중득, 노해출판사
11. 도철웅(2005), 교통공학원론(상), 청문각