

**한국의 지역 간 철도 용량 및 서비스수준 산정을 위한
UIC 406 방법의 적용방안 연구
Application of UIC 406 Leaflet
to Determine Korean Regional Railroad Capacity and Level of Service**

김명규*
Kim, Myoung-Gyu

서선덕**
Suh, Sunduck

이재훈***
Lee, Jae-Hoon

양근율****
Yang, Keun-Yul

ABSTRACT

기존의 철도용량의 개념은 하루동안 최대한 통과시킬 수 있는 최대 열차 횟수를 기본으로 하여왔다. 그러나 이러한 단순한 최대횟수는 그 사용상의 여러 가지 제한사항을 가지고 있다. 최대열차 운행횟수는 열차의 속도, 신뢰성등과 같이 고려하여야 하며, 이러한 고려는 자연스럽게 서비스수준과 같은 과거 철도에서는 구체적으로 고려하지 않던 새로운 용량에 대한 접근을 요구하게 된다. 2004년에 세계철도연맹(UIC)에서 제안한 철도용량 산정절차는 이러한 측면에서 많은 점을 시사하고 있다. 새로운 절차의 한국의 지역간 철도에의 적용가능성을 검토해 본다. 본 연구에서는 2006년 11월 새로 개편된 경부선, 호남선의 열차시간표를 이용하여, 문제가 되고 있는 서울역~시흥역 구간에 대해 UIC에서 새롭게 제시한 선로용량의 개념을 OpenTrack을 이용한 시뮬레이션을 통해 적용해보고, 이에 따라 선로 용량 산정 시 적용할 수 있는 MOE를 찾아내 서비스수준(LOS)을 결정할 수 있는 방안을 제시해보고자 한다.

1. 서 론

우리나라의 철도는 1899년 경인선 철도가 개통된 이래 해방 전까지 일본의 대륙진출을 위한 수단으로 건설되었다. 철도는 식민지 시대를 거쳐 해방 이후 1960년대 중반까지 우리나라 경제발전에도 지대한 영향을 끼쳤으며, 우마와 수운에 의존하던 교통수단을 대신하는 신교통수단으로 자리 잡아가고 있었다. 그러나 1960년대 중반 이후 경부고속도로의 개통과 더불어 도로중심으로 정책이 펼쳐지자 이후 30여 년간 철도에 대한 투자비중은 낮아지고, 이에 따라 철도 수송 분담율도 저하 되었다. 이러한 지역간 철도산업은 2004년 서울과 부산을 잇는 KTX의 등장으로 서서히 부활하기 시작하여 다시 중요한 여객교통수단으로 부각되고 있다. 따라서 다양한 철도 시설 투자가 많아지고 있고, 이에 따른 철도의 수요와 용량에 대한 산정이 매우 중요하게 되었다.

도로의 경우 미국의 HCM(Highway Capacity Manual)을 기반으로 한국 실정에 맞도록 개편한 한국 도로용량편람(KHCM)에서 각 도로유형별로 지체, 속도 등의 MOE(Measure of Effectiveness)를 이용하여 도로 사용자가 느끼는 서비스 수준을 A에서 F까지의 단계별로 구분하는 LOS(Level of Service) 산정 방법을 제안하고 있으며, 실제 실무에서도 이를 기준으로 분석하고 있다.

* 서울시정개발연구원

** 한양대학교, 교통공학과, 교수

*** 한국교통연구원, 연구위원

**** 한국철도기술연구원, 선임사업단장

철도의 경우 용량을 크게 선로용량(Line Capacity)과 차량용량(Vehicle Capacity)으로 구분하여 사용하는데 본 연구에서는 선로용량에 초점을 맞추려고 한다. 선로용량의 개념은 ‘한 방향 / 단선구간에 서의 일정시간(1시간/1일)동안 최대로 통과할 수 있는 열차의 수’이다. 이런 선로용량은 열차의 속도, 열차의 속도 차, 열차 종별의 순서 및 배열, 역간 거리 및 구내배선, 열차의 운전시분, 신호현시 및 폐색방식, 열차의 유효시간대, 선로시설 및 보수시간, 열차운전 사용 시분 등 다양한 요소들에 의해 결정된다. 우리나라의 경우 선로용량을 산정하는 여러 가지 방법 중 일본의 야마기시식을 사용하여 용량을 산정하고 있으나, 현실과 잘 맞지 않고 철도 운영자가 아니면 군수비 등의 자료구득이 힘들 뿐만 아니라 건설 전 계획단계에서 분석을 위한 자료구득이 어렵다는 문제점이 있다. 이에 철도 선로용량 산정 시에도 도로에서와 마찬가지로 누구나 인정할 수 있는 공통적이고도 상황에 따라 능동적으로 적용될 수 있는 새로운 방법이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 2006년 11월 새로 개편된 경부선, 호남선의 열차시간표를 이용하여, 문제가 되고 있는 서울역~시흥역 구간에 대해 UIC(세계철도 연맹)에서 새롭게 제시한, '열차 회수'가 아닌 '용량 사용'을 사용하는 선로용량의 개념을 Micro Network Simulation Tool 인 OpenTrack을 이용한 시뮬레이션을 통해 적용해보고, 이에 따라 선로 용량 산정 시 적용할 수 있는 효과적도(MOE: Measure of Effectiveness)를 찾아내 서비스수준(LOS: Level of Service)을 결정할 수 있는 방안을 제시해보고자 한다.

2. UIC 방식

2.1 UIC 용량 개념

UIC(International Union of Railways)는 2004년 UIC Leaflet 406(2004)에 새로운 용량의 개념을 제시하였다. 기존에는 열차의 운행회수로 용량을 정의하였다면, UIC에서 제시한 새로운 ‘용량’의 개념은 절대적인 용량이라는 것은 존재하지 않는다는 것이다. 즉, 용량은 그 자체로만 정의할 수는 없고 철도하부시설의 용량은 용량이 활용되는 방법에 좌우된다. 그러므로 UIC 방법은 기존에 이미 작성된 특정 하부시설 상에서의 시간표를 분석하여 활용하고 있으며, 정의된 시간대내에 시간표를 달성하기 위한 열차 경로를 선구에 배정하는 것이 가능한지를 따지는 것이 주요 내용이 된다.

이러한 과정을 거치는 동안 시간표에 따른 열차운행만 배정하는 것이 아니고 실제 열차운행과 관계 없는 점유시간도 반드시 고려되어야 한다. 시간표를 시간대에 배정하는 압축과정(Compression Process)은 하부시설 점유(Infrastructure Occupation)로 나타난다. 이와 같은 용량의 사용은 하부시설의 점유와 시간표 안정을 위한 완충시간(Buffer Time)을 더하고 필요하다면 유지보수에 필요한 시간을 모두 더한 것과 같다. 만약 결정된 하부시설 점유값이 통상적인 값보다 높다면 그 하부시설은 혼잡이 발생한다고 할 수 있고, 통상적인 값에 도달하지 않았다면 여유용량을 활용할 수 있다 (표 1).

표 1. 유럽의 시설물 점유시간 표준값

노선종류	1일	비고
적용교외여객선	70%	운행을 취소할 가능성이 있기 때문에 용량 이용률이 높음
전용 고속선	60%	
혼합교통 노선	60%	열차종류가 다양하고 운행횟수가 적을 경우 더 높을 수 있음

용량을 좌우하는 기본 파라미터들로는 신호시스템을 포함하는 하부시설의 특징, 교통 스케줄과 요구되는 정확도 수준이다. 주어진 하부시설에 대해서 용량은 다음 사항들 사이에서 존재하는 상호 작용에 따라 작용한다.

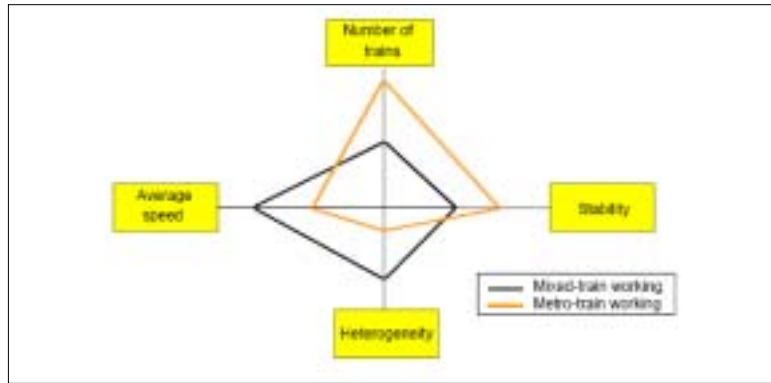


그림1. 용량 균형도

위의 용량 균형도¹⁾에서 보는바와 같이 열차의 수, 평균속도, 안정성, 이질성 등의 상호작용에 의해 용량이 결정되며, 4개의 축을 잇는 현의 길이가 길수록 용량이 증가됨을 의미한다. 따라서 관련 요소들 간의 조화가 필요하다는 것을 알 수 있다. 이는 기존에 사용되고 있는 최대횟수가 이러한 관련 변수들 간의 관계를 고려하지 못하는 것과는 대조적임을 알 수 있다.

2.2 UIC 용량 분석체계²⁾

앞에서 살펴본 바와 같이 UIC Leaflet 406(2004)에 근거한 새로운 ‘용량’은 용량사용을 계산하는 것으로 구할 수 있다. 용량사용은 정의된 시간동안의 시설물 점유로 측정되는데 <그림 4>에서 보는바와 같이 시간표 안정화를 위한 여유시간과 필요한 경우 유지보수시간을 추가한다.

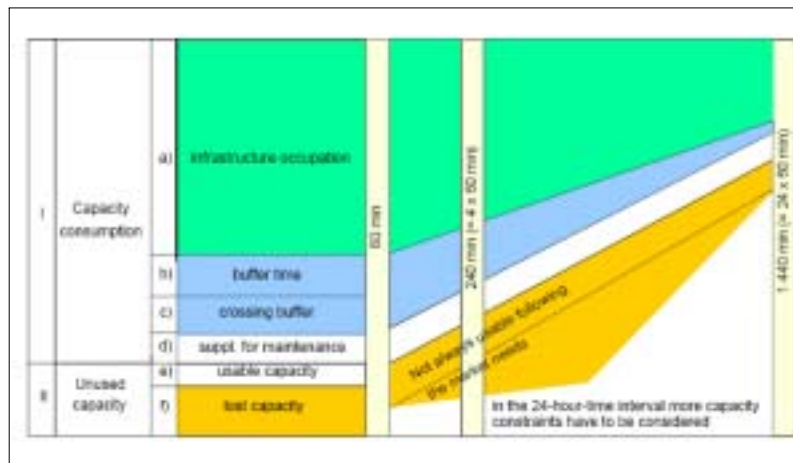


그림2. 용량사용의 결정

1) UIC Leaflet 406, 2004

2) UIC Leaflet 406, 2004

3. UIC 방식의 적용

3.1 시뮬레이션(OpenTrack) 검증

본 연구를 수행함에 있어 1990년대 중반 스위스에서 철도 시뮬레이션을 위해 개발된 Network Microsimulation 도구인 OpenTrack을 사용하였다.

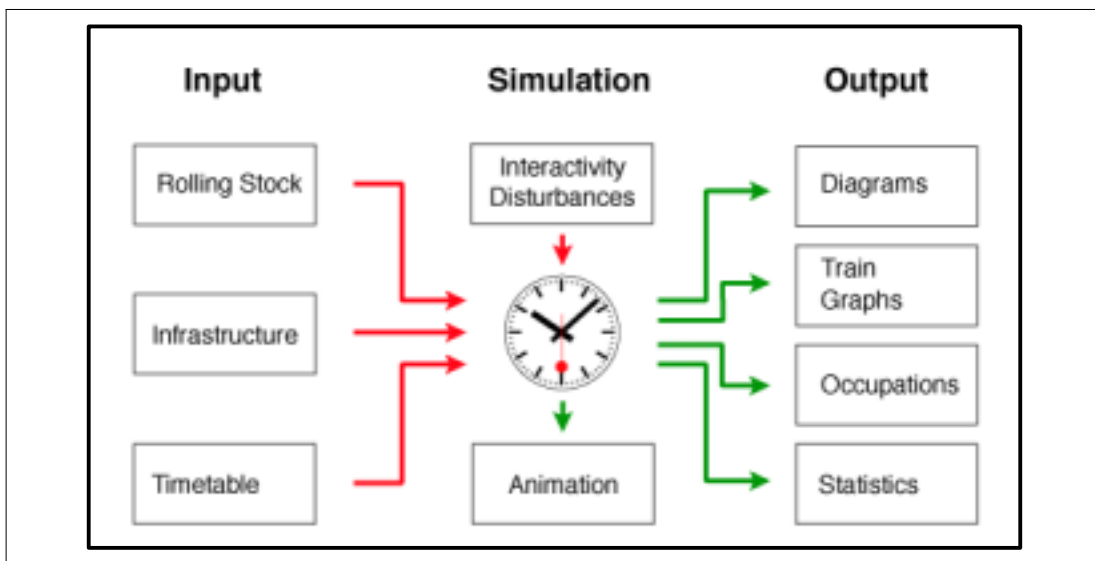


그림3. OpenTrack 실행 구조

시뮬레이션을 하기 위해서는 차량(Rolling Stock), 하부시설(Infrastructure), 시간표(Timetable Data)가 필요한데 이는 철도공사의 최근 자료를 이용하기로 한다. 프로그램을 사용함에 있어서 데이터의 형식이 다양하고 각 자료별로 모듈화 되어 있어, 사용자가 원하는 형태로의 변환이 자유로워 사용자에게 따라 다양한 옵션을 자유롭게 적용해볼 수 있다는 장점을 지니고 있다.

그러나 OpenTrack이 시뮬레이션 프로그램인 만큼 실제와는 차이가 있을 수 있기 때문에, 실제 분석 전 프로그램에 대한 검증이 필요하다. 따라서 서울역 ~ 시흥역 구간의 구배, 제한속도, 곡선반경 등의 철도 Network 와 철도공사에서 실제로 운영하고 있는 열차시각표 등의 자료를 아래의 그림과 같은 형태로 입력한다(그림 4, 5, 6).

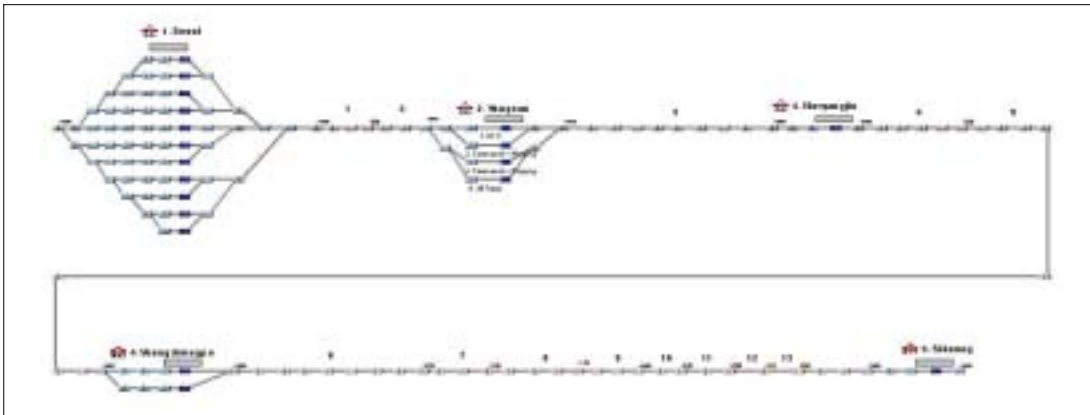


그림4. 연구 구간의 OpenTrack Network

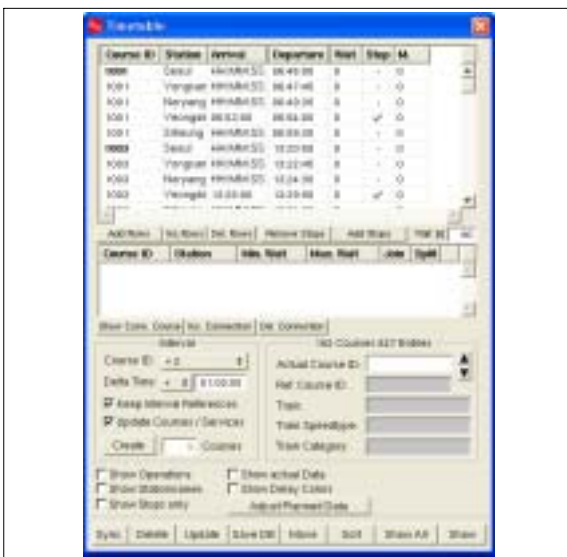


그림5. Timetable

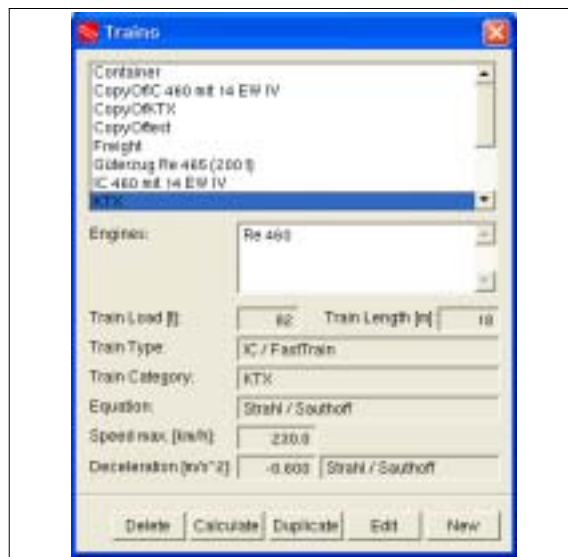


그림6. Train

다음의 <표 2>은 현재 운행되고 있는 KTX, 새마을호, 무궁화호 열차에 대해 OpenTrack에 입력된 열차 내역에 입력한 값을 보여주고 있다.

표 2. 현황 및 입력된 열차 내역 비교

구 분		현황 열차	입력 열차
KTX (20량 기준)	최고운행속도	300km/h	300km/h
	총열차길이	388.104mm	388.104mm
	총중량	771.2 t	771.2 t
	최대 견인력	382KN	382KN
새마을호 (7량 기준)	최고운행속도	150km/h	150km/h
	총열차길이(객차)	164.5m	164.5m
	총중량(객차)	273 t	273 t
무궁화 (6량 기준)	최고운행속도	150km/h	150km/h
	총열차길이(객차)	141m	141m
	총중량(객차)	240 t	240 t

3.2 현황 분석 결과

<그림 7>은 역 간 모든 Link 에 대한 점유율의 크기를 나타내는 것이고, 이때 최대 점유율은 아래의 < 표 3 >에서 보는 바와 같이 노량진~영등포 구간의 99.72% 이다. 노량진~ 영등포 역 구간의 점유율이 상대적으로 높은 이유는, 서울역과 용산역에서 출발한 열차들이 많은 데 반해 영등포역의 하행 선로가 2개 밖에 되지 않아 이를 처리하기 위한 대기시간 때문인 것으로 판단된다.

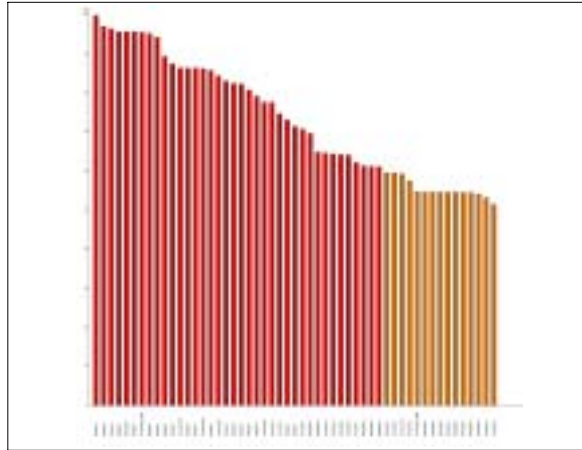


그림7. 1일 기준 구간별 최대 점유율

표 3. 1일 기준 구간별 최대 점유율

최대 점유율(%)	서울~용산	용산~노량진	노량진~영등포	영등포~시흥
1일	85.72	94.17	99.72	77.47

위와 같이 구해진 최대 점유율 99.72%라는 값이 어느 정도의 수준인지를 알아보기 위하여 유럽의 시설물 점유시간 표준값인 60%와 비교했을 때, 서울역 ~ 시흥역 구간의 최대 점유율이 유럽의 표준값을 훨씬 상회하여 100%에 가깝다는 것을 알 수 있다. UIC Leaflet 406에서 제시된 새로운 용량 개념에 의하면, 통상값보다 점유율이 높으면 그 구간은 혼잡하다고 정의된다. 따라서 서울역~시흥역 구간은 용량을 거의 사용하고 있다고 볼 수 있으며 매우 혼잡한 상태라고 볼 수 있을 것이다.

3.3 용량 산정

최소 열차 시격이 주어지면, OpenTrack 시뮬레이션 상에서는 열차 투입이 더 가능한지를 검증할 수 있다. 다양한 조건에 대해서 시뮬레이션을 시행하여, 각 변수들간의 영향을 고려하면서 간편하게 사용할 수 있는 표 형태의 용량표를 만드는 것도 가능할 것이다.

4. 철도 서비스 수준(LOS) 결정방안

철도의 서비스 수준을 다양한 기준으로 결정이 될 수 있다. 철도 용량(Rail Capacity)은 일반적으로 설계용량(Design Capacity)과 실용용량(Practical Capacity)으로 구분된다. TCRP³⁾(Transit Cooperative Research Program, 1996)에 따른 정의는 다음과 같다.

설계용량은 “한 시간, 한 방향, 한 궤도상에서 한 시점을 통과할 수 있는 최대 승객의 수”라고 정의

3) Rail Transit Capacity, TCRP report 13, TRB 1999
1850

되고 있으며, 이는 선로가 통과할 수 있는 기술적으로 가능한 최대 열차의 회수와 열차당 서비스 수준을 고려한 승객용량이 고려되는 것이다.

실용용량은 “수요의 가변성을 고려하면서 한 시간, 한 방향, 한 궤도상에서 한 시점을 통과할 수 있는 최대 승객의 수”라고 정의되어 있으며, 이는 첨두와 비첨두시간을 고려하여 실제적으로 수송이 가능한 여객수를 고려하는 것이다.

위의 TCRP에서의 정의에서 용량의 단위는 한 시간, 한 방향이다. 따라서 지역간 철도의 경우 주로 시간단위를 ‘1일’을 사용하는데 이는 수요의 변화를 제대로 고려하기 어렵다는 문제점이 있다. 또한 여객과 화물을 동시에 고려해야하는 점도 주의해야할 것이다.

설계 용량에 대해 구체적으로 살펴보면,

$$\left(\frac{1440(\text{분}) \text{ or } 60(\text{분})}{\text{최대열차이격} + \text{최대역사이격}} \right) \times \text{차량당승객} \times \text{차량수}$$

라는 관계식으로 표시 가능하다. 여기서 1440과 60은 하루 24시간과 1시간을 분단위로 표시한 것이며, 이 식의 괄호 부분은 선로용량(Line Capacity), 그 이후를 차량 용량(Vehicle Capacity)이라 한다.

본 연구에서는 연구의 초기단계인 점을 고려하여, 지연(Delay)를 기준으로 서비스 수준을 구분하는 것을 시도하여 보았다. 서울역에서 출발하는 KTX 10대, 새마을호 3대, 무궁화호 3대, 화물열차 1대를 기준으로 하고, 열차의 추가투입과 제거를 다양하게 시도하여, 점유율과 지연의 변화를 분석하였다. 점유율과 지연의 변화를 OpenTrack을 사용하여 계산하였다. 열차의 대수에 따른 점유율의 변화를 살펴보면 < 그림 8 >과 같다.

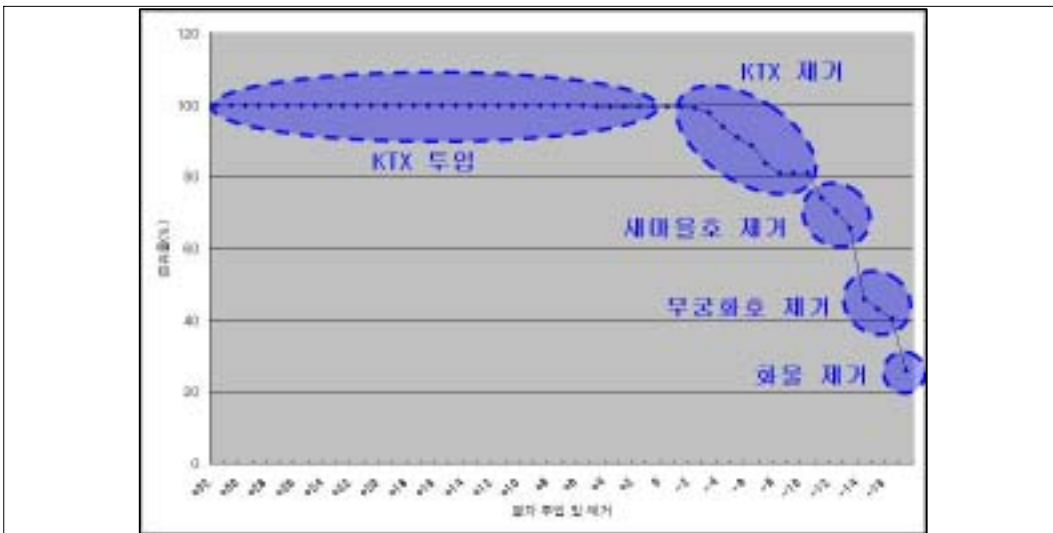


그림8. 첨두 2시간의 열차 대수에 따른 점유율 변화

속도가 낮은 열차를 제거 할수록 점유율의 감소폭이 커지는 것을 볼 수 있다. 또한 < 그림 9 >에서는 열차의 대수에 따른 Delay의 변화를 살펴본 것인데 점유율에서의 그래프와 상당히 유사하게 변화하고 있다는 것을 알 수 있다.

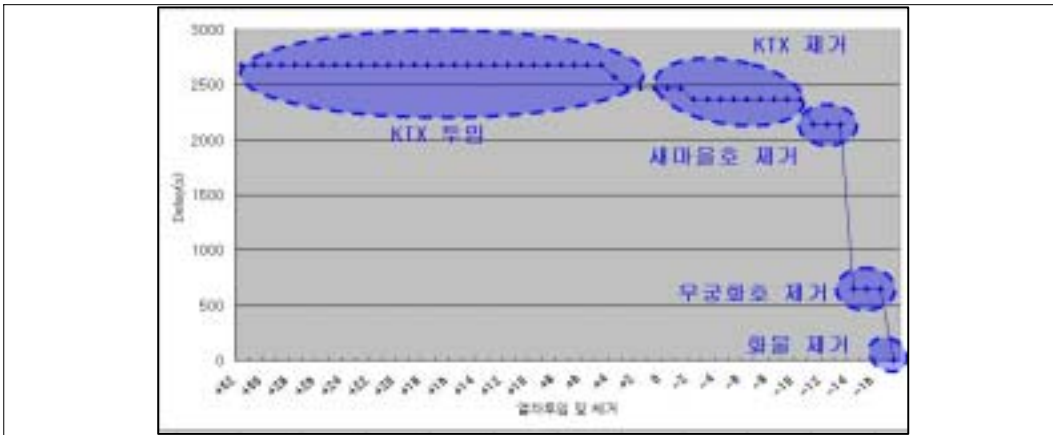


그림9. 침두 2시간의 열차 대수에 따른 Delay 변화

이에 점유율과 Delay 사이의 관계를 분산시켜보면 아래 < 그림 10 >과 같다.

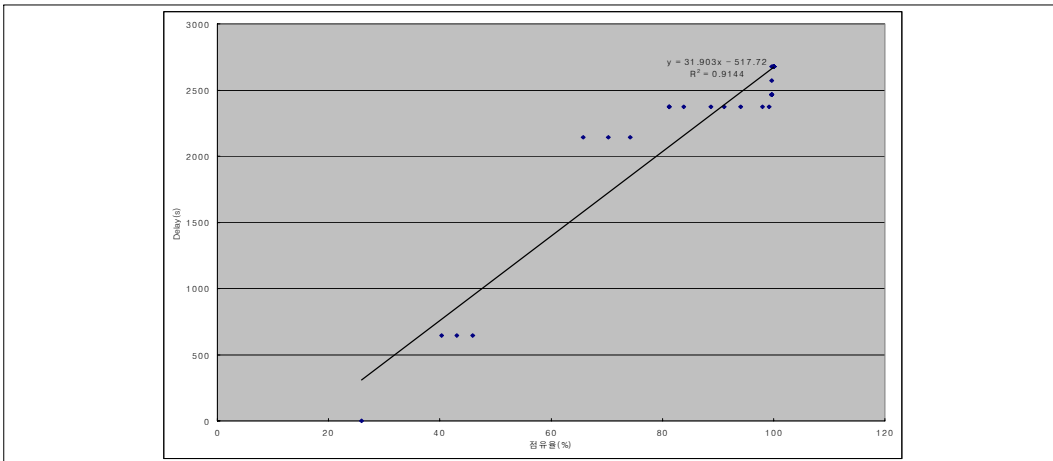


그림10. 침두 2시간의 점유율과 Delay 관계

서울역 ~ 시흥역 구간의 침두 2시간 동안의 점유율과 Delay는 아래와 같은 선형 회귀식을 가지며, 이때의 R^2 는 0.9144로 점유율이 지연을 잘 설명하고 있다고 하겠다.

$$y = 31.903x - 517.72$$

(x : 점유율(%), y : Delay)

또한 < 그림 11 >에서 볼 수 있듯이 점유율에 따른 Delay의 변화가 어떤 일정한 그룹을 형성하고 있는데, 이를 이용하여 도로에서처럼 Delay를 이용해 서비스 수준(Level of Service)적용이 가능하다고 판단하였다. 본 연구에서는 < 표 4>와 같이 침두 2시간 동안의 Delay를 4개의 그룹으로 나누어 보고자 한다. 도로에서처럼 D를 세분하여 D, E, 및 F로 나눌 수도 있을 것이다. 이에 대해서는 좀 더 폭 넓은 공감대 형성이 필요한 부분이며, 본 연구에서 사용한 접근 방법과 제시된 결과는 그러한 구체적인 논의의 시발이 될 수 있을 것이다.

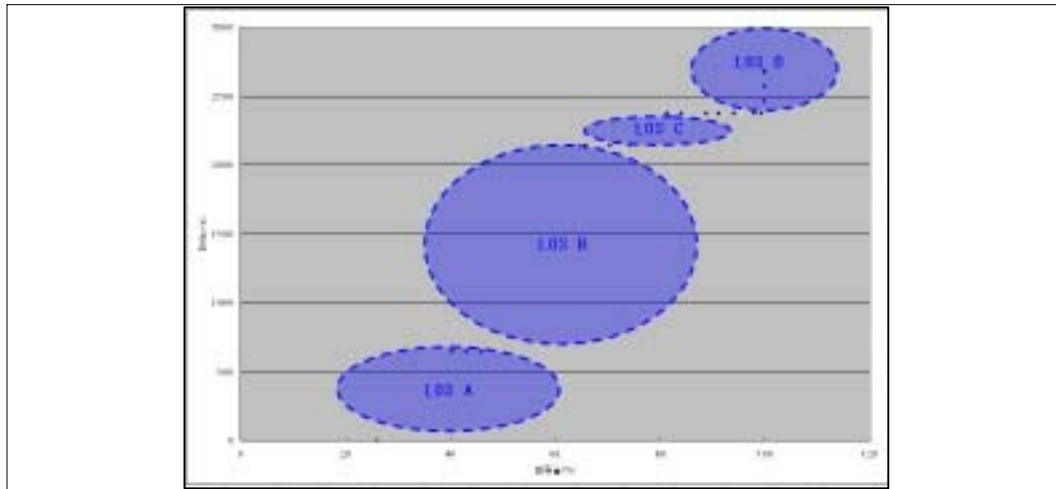


그림5. Delay에 따른 LOS 산정

도표 2. 서울역 ~ 시흥역 구간 첨두 2시간의 서비스 수준

서비스 수준	점유율(%)	Delay(s)
A	0.00 ~ 40.30	0 ~ 645
B	40.31 ~ 65.74	646 ~ 2143
C	65.75 ~ 81.18	2144 ~ 2370
D	81.19 ~ 100.00	2371 ~ 2679

5. 결 론

현재 우리나라의 지역 간 철도의 경우 일본의 야마기시식을 사용하여 선로용량을 산정하고 있다. 그러나 자료구득의 어려움 등 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 철도 선로용량 산정 시에 누구나 인정할 수 있는 공통적이고도 상황에 따라 능동적으로 적용될 수 있는 새로운 방법이 필요하다.

본 연구에서는 UIC에서 발표된 새로운 용량 산정 개념을 사용하여, 우리나라에 적용해 본 후, 적용 가능한 MOE를 찾아내 서비스 수준을 구분할 수 있는 방안을 알아내고자 하였다. 이를 위하여 Micro-Simulation Tool 인 OpenTrack을 이용하여 현재 서울역 ~ 시흥역 구간에서 운행되고 있는 총 177대의 열차를 대상으로 사례 분석을 시도하였다.

점유율은 유럽의 통상값 60%와 비교하였을 때 최대 점유율이 99.72%로 매우 크게 나타나 현재 용량이 거의 사용되고 있으며, 연구 구간이 매우 혼잡하다는 것을 알 수 있었다. 또한 열차대수, 점유율, Delay의 관계를 살펴보았으며, 점유율과 Delay에 따라 생성되는 그룹별로 등급을 부여하여 LOS(Level Of Service)를 A에서 D까지 4개로 구분 지었다.

본 연구는 열차의 시간표와 열차의 투입, 제거 순서가 변경됨에 따라 약간의 오차가 생길 여지는 있으나, 현황을 정확히 분석할 수 있는 용량산정 방법이 없는 현실에서 지역 간 철도에 대한 새로운 용량 산정 및 서비스 수준 결정방안을 제시할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서는 우리나라에서 용량 문제가 심각하다고 여겨지는 서울역 ~ 시흥역 구간에 대한 사례 연구를 하였다. 그러나 철도가 전국에 넓게 퍼져 있고, 각 선로의 열차들이 서로 영향을 주기 때문에 전국 철도망을 대상으로 한 분석이 필요할 것이다. 또한 본 연구 시 철도가 군사시설인 관계로 자료구득이 굉장히 어려웠기 때문에, 좀 더 다양한 경로를 통한 자료 구득의 추가도 필요할 것이다.

참고문헌

1. Rail Transit Capacity, TCRP report 13, TRB 1999
2. Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCRP report 100
TRB, 2003
3. Railroad Capacity and Corridor Planning, TRB Workshop, 2002. 1
4. 철도공학, 이 종득, 노혜출판사
5. 철도선로용량산정 및 선로용량 증대방안, 기획예산처, 2005, 89~91p
6. 차상신호(ATP) 설치 타당성 조사 및 기본계획 수립, 철도청, 2003, 241p
7. UIC Leaflet 406, 2004
8. Application of the UIC capacity leaflet at Banverket, IROR, RailDelft
2005
9. Capacity Managemant(Capman Phase 3), Summary Report December
2004