

한국의 지역간 철도 설계시간교통량 산정 방안 연구

서용준* 서선덕** 김한영*** 서상교****
Seo, Yong-Jun Suh, Sunduck Kim, Hanyoung Suh, Sangkyo

ABSTRACT

Number of highway lanes and level of service are based on the 30th, 60th or 100th highest hour volume of the target year. On the other hand, railroad design volume is generally expressed in average annual daily traffic (AADT). This procedure ignores attributes of railroad demand's concentration on peak days and hours. Actual data analysis represents railroad's peaking characteristics very similar to those of highways. Therefore it is necessary to set a procedure in selecting design volume for railroad planning. This study presents a concept and the calculating procedure for railroad design hourly volume to analyze effect of railroad investment.

1. 서 론

현재 우리나라의 교통시설 계획 개념은 목표 연도에 예상되는 구간 교통량을 예측하고, 예측된 구간 교통량에 대해서 적당한 서비스 수준(LOS: Level of Service)을 확보할 수 있는 규모의 시설을 제공하는 방식으로 진행이 되고 있다. 이러한 원칙은 도로에서는 이미 확립된 절차이다. 예를 들어, 20년 후의 목표연도에 대해서 고속도로의 경우에는 LOS C에 해당되도록 시설제공을 하도록 되어있다. 또한 장래 목표연도에 해당하는 예측된 연평균 일일 교통량(AADT)에 대해서 현재의 연간 시간교통량 분포를 이용하여 도로 종류에 따라서 미국에서와 같이 30번째부터 100번째 높은 시간당 교통량에 해당되는 분포를 사용하도록 시방하고 있다.

철도의 경우에는 이러한 개념보다는 약간 더 복잡하다. 철도 수요가 철도 운행 횟수와 제공되는 서비스 수준에 좀 더 직접적으로 관계가 되기 때문이다. 만약 이러한 인과관계를 어느 한 수준으로 한정한다면 철도시설 계획을 위해서도 도로와 같은 동일한 개념과 절차를 준용할 수 있을 것이다.

현재까지 우리나라의 경우 철도 시설물 설계를 위해서 계획 교통량을 어떠한 개념으로 어떻게 설정하는가에 대한 명시적인 정의는 없었다고 해도 과언이 아니다. 따라서 본 연구에서는 철도 시설물 투자에 대한 투자효과를 분석하는 전제에 해당하는 어느 정도의 시설규모를 제공할 것인가를 좌우하는 매우 중요한 문제인 계획 교통량의 설정 개념과 방법에 대해서 고찰해 보고자 한다.

본 연구에서는 현재 지역간 철도의 계획에 있어서 사용되는 AADT에 근거한 설계교통량의 산정 방법에 대해 한국철도공사에 의해 수집된 ticket sales data(O/D data)를 근거로 문제점을 제시하고 철도에서도 시간 단위의 설계시간교통량 산정에 대한 절차를 제시하고자 한다. 연구에 있어서 경부선, 호남선, 전라선의 주요 구간을 분석 구간으로 선정하였고 사용된 data는 2005년의 1년간 ticket sales date를 사용하였다.

* 서용준, 한국교통연구원, 철도동북아교통연구실, 비회원
E-mail:syjjun@koti.re.kr TEL:(031)910-3049 FAX:(031)910-3225

** 서선덕, 한양대학교, 교통시스템공학과, 회원
E-mail:sunduck@hanyang.ac.kr TEL:(031)400-5156 FAX:(031)400-6290

*** 김한영, 건설교통부, 철도정책팀, 회원
E-mail:hanykim@moct.go.kr TEL:(02)2110-8248 FAX:(02)507-4491

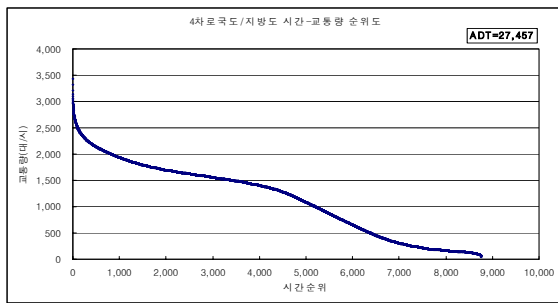
**** 서상교, 한국철도시설공단, 일반철도건설본부, 회원
E-mail:ktx3748@naver.com TEL:(042)607-3017 FAX:(042)607-3899

2. 도로의 설계시간교통량 산정

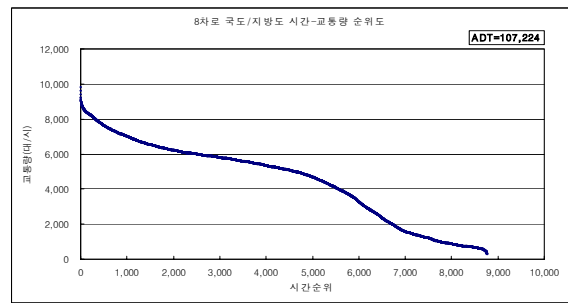
2.1 도로의 교통특성 분석

각각의 도로유형별 시간 순위도 작성을 위한 도로의 교통량 분포를 알아보기 위하여 국도의 교통량 자료는 건설교통부의 국도 상시교통량 조사 자료를 활용하였다. 2004년 1월1일부터 12월31일 까지 총 8,784시간(366일) 자료로서, 이중 1일(24시간)의 자료는 제외하여야 할 것인 바, 2월29일의 24시간 자료를 제외하였다. 고속도로 교통량 자료는 한국도로공사에서 보관하고 있는 Freeway Traffic Management System(FTMS)의 자료를 이용하였다.

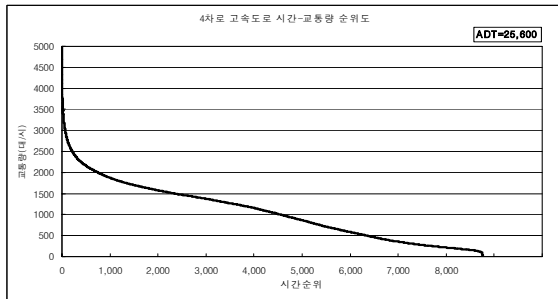
앞서의 과정을 통하여 취합된 각 도로유형별 1년 8,760시간의 교통량 자료를 자료수집 지점별로 정렬한 후, 각 시간 순위별로 정리한 값을 특정 도로유형의 특정 시간순위의 교통량으로 간주하였다. 즉 각 도로유형별 시간-교통량 순위도는 그 유형의 평균적인 일년간의 교통량 분포를 나타낸다고 볼 수 있는 것이다.



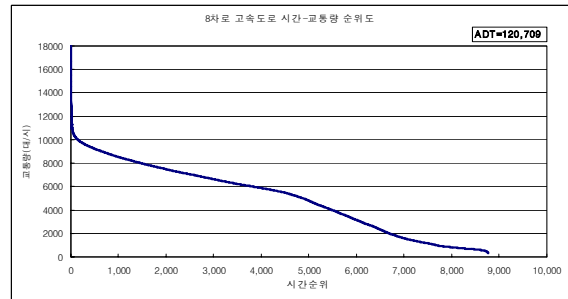
<그림 1> 4차로 국도/지방도의 시간-교통량 순위도



<그림 2> 8차로 국도/지방도의 시간-교통량 순위도



<그림 3> 4차로 고속도로의 시간-교통량 순위도



<그림 4> 8차로 고속도로의 시간-교통량 순위도

그림에서 보는 것과 같이 연간전체 순위도 곡선은 도로의 차로수 교통량 지역에 관계없이 전반적으로 비슷한 형태를 보이고 있다. 일반적인 순위도 곡선은 1000순위도 곡선에서 1개의 변곡점이 나타나고 나머지 시간에서는 완만하게 기울기가 변하고 있으나 각 유형별 도로에서 보여준 순위도는 500순위에서 변곡점과 500순위, 7000순위 등에서 뚜렷하지 않지만 변곡점이 형성되고 있어 총 3개의 변곡점을 보이고 있으며 일반적으로 알려진 순위도와 상당한 차이를 보이고 있다. 2번째와 3번째 변곡점은 큰 차이 없이 비슷하게 보이고 있다.

2.2 설계시간교통량 산출 방법

설계시간교통량을 산출하기 위해 일반적으로 사용하는 방법은 대상 도로구간의 교통량 변화특성을 반영하기 위해 평균일교통량(ADT: Average Daily Traffic)에 대한 비율을 결정하는 것이다. 평균일교통량은 어느 주어진 시간 동안에 도로의 한 지점을 통과한 교통량을 주어진 시간으로 나눈 값이며, 여기서 주어진 시간은 일반적으로 하루보다는 길고 1년보다는 작은 시간 동안을 사용한다. 보통은 도로의 한 지점에서 대한 평균일교통량을 산출할 때 상시 교통량 조사를 통하게 되지만, 만약 지속적인 교통량 조사결과가 아니라면 교통량 조사결과를 계절, 월, 요일에 따라 보정해서 사용하게 된다. 평균일

교통량은 도로의 타당성 조사 등에서 유용하게 사용되는 반면에 도로의 선정단계에는 직접적으로 사용되기 곤란하다. 왜냐하면 하루의 전체 교통량으로는 하루에 변화하는 교통량 추이를 판단하기 곤란하여, 특히 첨두시간의 교통량 정도를 고려해야 하는 차로수의 결정과 같은 주요 결정 과정에서 사용할 수 없다. 도로시설물의 설계 시에는 하루보다 짧은 시간대를 사용해야 교통수요를 정확히 표시할 수 있으며 특히 매일 반복되는 첨두시간 교통량을 설계에 반영하기 위해서는 설계시간교통량의 개념 도입이 필수적이다.

평균 일교통량의 주어진 시간을 1년으로 사용할 경우 연평균 일교통량을 결정할 수 있으며, 여기서 연평균일교통량(AADT: Annual Average Daily Traffic)은 1년 동안 도로의 어느 지점 또는 구간을 통행한 양방향의 총 차량 대수를 1년 동안의 일수로 나눈 교통량으로 대상도로를 통과하는 차량들의 24시간 교통량을 파악함으로써 교통수요를 알기 위함일 뿐이며, 이는 도로의 설계에서 고려해야 할 지역적 특성 및 시간적 특성을 충분히 포함하지 않은 수치이다. 보통 출퇴근시의 첨두시간에는 교통량이 증가하여 연평균 일교통량을 하루 동안의 총 시간수인 24로 균등 배분한 수치보다는 큰 값을 나타낼 것이 분명하지만 그 값이 어느 정도인지 분명치 않으며 계절에 따라 그 값이 변화할 수 있기 때문에 일반적으로 많이 쓰이는 방법은 다음과 같은 절차에 따른다.

일단 대상도로구간의 K_{30} 이 결정되고 나면 다음 식에 의해 설계시간교통량을 정한다.

$$DHV = AADT \times \frac{K_{30}}{100}$$

여기서,

DHV = 설계시간교통량(양방향, 대/시)

AADT = 연평균 일교통량양방향(대/일)

한편 첨두시간과 같이 교통량의 방향별 분포가 뚜렷한 차이를 나타내는 경우 교통량이 많은 방향을 도로의 설계대상 방향으로 설정해야 한다. 방향별 분포를 고려했을 경우에 설계시간교통량을 산출하는 식은 다음과 같다.

$$DDHV = DHV \times \frac{D}{100} = AADT \times \frac{K_{30}}{100} \times \frac{D}{100}$$

여기서,

DDHV = 방향별 설계시간교통량(대/시)

D = 양방향 교통량에 대한 중방향 교통량의 백분율(%)

2.3 도로의 설계교통량 적용

도로의 설계시간교통량은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$PDDHV = \frac{AADT \times K \times D}{PHF}$$

첨두시간교통량을 연평균시간교통량(AAHT)로 나타내고 각 변수를 고속도로에 해당하는 대표적인 값을 대입하면 다음과 같은 통해 양방향 설계교통량을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} DHV &= \frac{AADT \times K \times 2D}{PHF} \\ &= \frac{24AADT \times 0.15 \times 2 \times 0.6}{0.9} \\ &= 4.8AAHT \end{aligned}$$

위에 언급된 식을 통해 도출된 값을 통해 연평균교통량의 4.8배를 설계교통량으로 사용한다는 사실을 알 수 있다.

앞서 예시된 고속도로의 설계용량은 이 설계교통량의 154%를 감당할 수 있을 정도로 크게 설계하여 서비스 수준을 C로 유지하도록 하고 있다.(설계속도 120 kph기준 $v/c=0.65$) 따라서 계획시설의 시간당 용량은 연평균시간교통량의 7.4(4.8/0.65)배로 설계되고 있다.

3. 도로의 설계시간계수 산정 절차 및 특성

3.1 합리적인 설계시간계수 산정

설계목적에 부합되는 적절한 시간교통량의 산정은 연간 모든 시간에 대해 적절한 서비스 수준의 제공여부와 경제적 효율성을 고려하여 결정해야 한다.

한 조사위치에서 최대시간 교통량을 내림차순으로 기록해보면 도로와 시설의 유형에 따라 최대시간 교통량의 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 지방도 및 관광도로의 경우 첨두시간 교통량에 있어서 큰 변화를 나타내는데 특정주말이나 첨두기간에는 상당히 많은 시간교통량이 발생하지만 그 외의 기간에는 비록 첨두시간이라 할지라도 교통량이 적다. 이것은 일상교통량이 적은 대신 계절에 따른 관광이나 특수 목적으로 교통량이 발생하기 때문이다. 반면에 도시도로에서의 첨두시간 교통량의 변화는 적으며 그 이유는 대부분의 이용자가 통근자이거나 자주 통행하는 자들이며 우연히 또는 특수목적으로 여행하는 경유가 적기 때문이다. 더구나 대부분의 시가지 도로는 첨두시간 동안에 포화상태에 도달하여 교통량의 변화에 심한 제약을 준다.

연간최대 첨두교통량을 처리할 수 있도록 관광도로를 설계한다면 일년중의 몇 시간을 제외하고는 대부분이 용량에 훨씬 못 미치는 교통량으로 통행하게 된다. 반면에 30번째, 100번째, 500번째 또는 그 밖의 시간교통량으로 산정하여 설계한다면 특별한 때나 관광 첨두기간 등 교통혼잡이 발생하거나 지체 현상을 초래 할 것이다. 따라서 설계목적에 부합되는 적절한 설계시간 교통량이 산정되어야 한다.

3.2 설계시간계수 산정 절차

도로의 설계시간 계수를 결정하는 방법에 있어 특정하게 규정되거나 이론적으로 정립된 바는 없다. 단지 1년 8,760시간 중 30번째, 60번째, 또는 90번째 교통량(대/시)을 설계시간 교통량으로 보고, 이 교통량이 AADT에서 차지하는 비율을 설계시간계수라 정의한다.

가장 일반적으로 적용되는 방법은 다음과 같다.

- 1) 1년 8,760시간 교통량을 내림차순으로 배열하면, 3~4개의 불연속적인 곡선의 조합으로 나타난다.
- 2) 이중 첫 번째 곡선 상의 변곡점의 8,760시간 중의 순위를 알 수 있으며, 이때의 교통량을 설계시간 교통량이라 정의한다. 여기에서 교통량 순위곡선은 각 불연속점 사이에서 2차 포물선으로 가정될 수 있으며, 2차 포물선 상에서 접선의 기울기 변화율이 가장 급격한 지점을 변곡점이라 보는 것이다. 그러나 이러한 변곡점은 분석의 정밀도에 따라 30번째, 60번째 등 개략적인 순위범위가 정책적으로 결정되기 전에는 뚜렷하게 나타나지 않는 한계를 가지고 있다.

대부분의 기존 연구는 이 방법론을 적용하고 있으며, 연구결과 역시 이 한계를 벗어나지 못하고 있다. 반면, 손영태(2006)는 변곡점의 위치를 찾는 방법에 있어, 접선의 기울기 대신 곡률 최대점을 적용한 바 있다.

① 교통량 순위 곡선은

$$Y = ax^b$$

$$Y = K - \text{factor}$$

여기서,

x = 시간 교통량 순위

a, b = 양의 계수

② 곡률(k)은

$$k = \frac{ab(b+1)}{(1+a^2b^2 \frac{1}{x^{2b+2}})^{\frac{3}{2}} (x^{b+2})}$$

③ 곡률이 최대가 되는 x값은

$$x = (ab)^{\left(\frac{1}{1+b}\right)}$$

이 방법을 우리나라의 국도에 적용한 결과, 실제로 4차로 국도의 경우에는 평균 K_{15} , 2차로 국도의 경우에는 K_{19} 정도가 해당된다고 분석하고 있다.

최근에 조준환(2006)은 다수의 확률분포모형 중 우리나라 국도에 가장 적합한 확률분포로서

- 지방부 2차로 도로: Pearson V 분포
- 지방부 4차로 도로: Log Logistic 분포
- 도시부 도로: Log Logistic 분포
- 관광부 도로: Extreme Value 분포

를 선정하였다. 그리고 그 중에서 K_{30} 값을 추정한 결과, 기존의 수치(지방부=0.15, 도시부=0.10)과 거의 유사한 결과를 도출하였다.

3.3 설계시간계수 특성

시간에 따른 교통량 변화는 설계시간계수(K)에 큰 영향을 미친다. 교통량은 월별, 요일별, 하루 중 시간별, 그리고 한 시간 내에서도 변한다. 교통량의 변화를 파악하는 것은 차량통행의 와해현상을 발생시키지 않고 최대수요에 효과적으로 대처할 수 있도록 하는데 필요하다.

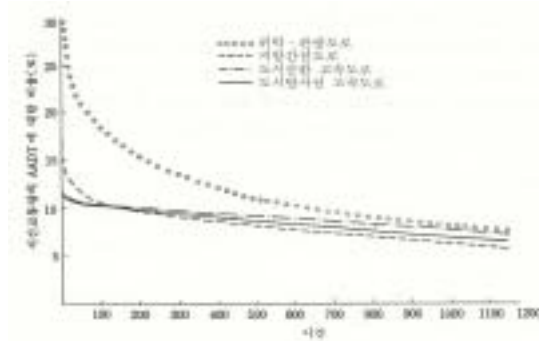
교통량이 시간에 따라 변화는 것과 마찬가지로 공간에 따라서도 변한다. 도로의 계획 및 설계 시 두 가지 공간에 대한 특성은 교통량의 방향별 분포와 구간(위치)에 따른 분포이다. 교통량은 지역의 특성에 따라 크게 달라질 수 있으므로 각 구간에 대해 교통량의 변화를 분석할 필요가 있다. 교통량의 변화가 크다는 것은 설계시간계수(K)의 변화가 크다는 것을 말한다. 반대로 교통량의 변화폭이 작다는 것은 설계시간계수(K)의 변화가 작다는 것을 말한다.

교통량 조사자료를 교통량이 많은 것부터 순서대로 배열한 후 시간교통량의 연평균일교통량(AADT)에 대한 백분율을 살펴보면 도시지역 보다는 지방지역 도로가 백분율이 높게 나타난다. 이것은 지방지역 도로가 도시지역 도로에 비해 계절적인 교통량 변화가 심할 뿐 아니라 전체적인 통과교통량 즉, 연평균 일교통량 수치도 도시지역 도로에 비해 낮은 값을 나타내서 시간 교통량을 백분율로 표시하는 경우 교통량의 변화에 비교적 민감하게 반응하기 때문이다. 지방지역 도로의 경우 일반적으로 30번째 시간 교통량의 연평균 일교통량에 대한 비율, 즉 K_{30} 은 12~18%를 나타내며 도시지역 도로에서는 7~11%를 나타낸다.

이론적으로 볼 때 K_{30} 을 정확히 산출하는 것은 도로의 효율성 면에서 큰 의미를 갖는다. K_{30} 이란 대상으로구간의 첨두시간 특성을 반영코자 노력하는 과정에서 필요한 수치로서 K_{30} 을 너무 높게 산출하게 되면 설계시간 교통량이 과다하게 산출되어 비경제적인 도로건설을 초래할 우려가 있고, 반대로 K_{30} 을 너무 낮게 산출하면 설계시 기준으로 했던 교통량보다 높은 교통량을 기록하는 시간대가 자주 발생하여 잦은 교통혼잡을 유발하게 된다.

이러한 관점에서 볼 때 도로를 건설할 때는 교통계획 단계에서 산출되는 연평균 일교통량의 정확한 산출과 함께 K_{30} 의 합리적인 산출이 반드시 필요하다. <그림 9>은 시간교통량과 일평균 교통량에 대한 시간 교통량 백분율과의 일반적인 관계를 보여주고 있다. 관광도로의 최고 시간 교통량은 100번째 높은 시간 교통량의 약 2배에 해당하는 것을 알 수 있다. 그러나 교통량 변화가 심하지 않은 대도시

주변도로의 경우 이에 해당하는 값이 11%에 그치고 있는 것을 알 수 있다. 이 두 가지 형태의 도로에서 비교한 결과 관광도로에서 100번째 시간 교통량을 설계시간 교통량으로 결정하는 것은 상당히 많은 혼잡을 유발할 것이며, 도시 주변도로에서는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단될 수 있다.



<그림 5> 도로기능에 따른 연평균 일교통량에 대한 시간교통량의 변화

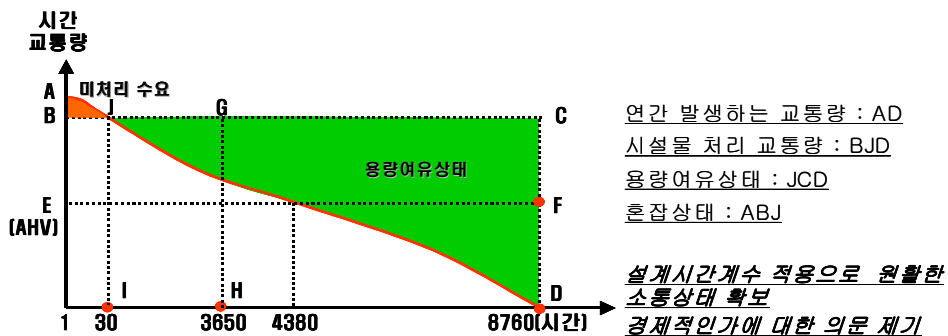
4. 철도 설계교통량 산정의 문제점

4.1 계획교통량의 차이

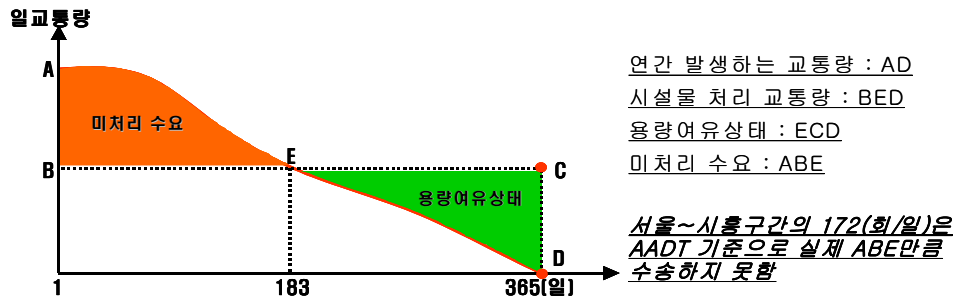
투자분석의 과정에서 편익의 양을 좌우 할 수 있는 것이 교통수요이다. 그러므로 그 중요성은 크다 하겠다. 장래 예측되는 수요는 통상 AADT(Average Annual Daily Traffic)라고 불리는 연평균일교통량으로 예측이 된다. 하지만 교통수요의 특성상 특정시간, 계절에 집중하는 현상이 발생하기 때문에, 만약 AADT를 기준으로 시설을 설계할 경우, 이론적으로는 50%의 시간에는 여유 용량이, 나머지 50%의 시간에는 용량이 부족한 경우가 발생하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서, 도로의 경우 연간 시간교통량을 순서대로 나열하여 도로의 종류에 따라 30번째, 60번째 또는 100번째의 높은 시간교통량을 설계시간교통량으로 채택하고, 그러한 설계시간교통량이 서비스 수준 C 또는 D를 만족시킬 수 있도록 시설제공규모를 정하고 있다. 이러한 내용은 연간 8,760시간 중에서 30, 60, 100시간동안만 목표 서비스 수준을 초과하는 것이라는 것을 알 수 있다. 이러한 설계시간교통량을 정하는 것은 시설의 경제성과 서비스 수준을 정하는 매우 중요한 사항이기 때문에 도로부분에서는 많은 연구가 있어 왔다.

반면에 철도의 경우, 현재까지 그러한 논의가 전혀 없었다고 하겠다. 도시철도부분에서 고려된 서비스 수준은 차량의 적재율(탑승률)을 사용하여 차내 혼잡도를 고려한 소요차량대수와 최소시격을 정하는 기준으로 사용한 적은 있으나, 설계교통량의 경우 일반적으로 AADT를 사용하여 왔다. 이러한 접근은 명백히 철도 수요의 특성을 무시하는 것이고, 특히 현재 철도구조개혁이 완성이 되어서 시설제공과 운영이 분리가 된 상태에서는 더욱 중요하게 작용할 것이다. 철도수요에 대한 만족은 도로에서와 같이 첨두시간에 대한 수요를 처리할 수가 있어야 할 것이다.



<그림 6> 도로의 설계교통량 산정 방식



<그림 7> 철도의 설계교통량 산정 방식

4.2 기존의 설계교통량 산정 방법

도로 시설의 계획개념을 보면, 과거 미국의 경험에 근거하여 연간 30번째 높은 시간당 교통량을 설계기준으로 삼고, 차로 수 등을 결정하는 것이 일반적인 관행이다.(ITE, 2003). 물론 30번째의 높은 교통량을 기준으로 하는 것은 경제성 측면에서 고려를 한 선택이라고 보아야 한다. 또한 시설투자의 결정에 있어서도 서비스 수준을 A에서 F까지 구분하여 예상되는 설계교통량이 도로의 시간당 용량과 비교하여, 어느 정도의 서비스 수준을 만족할 것인가를 결정하여 투자를 결정하게 된다. 이러한 과정에서 보면 도로의 경우에는 용량의 단위나 수요의 단위가 모두 시간 단위인 것을 알 수 있다.

도로용량은 미국의 경우 1950년의 도로용량편람(TRB, 1950)이후 현재 활용되고 있는 도로용량(TRB, 2000)까지 발전해 오면서 용어의 변화나 교통류(Flow Rate)의 활용 등 다양한 변화를 보여 오고 있지만, 일관되게 시간을 기준단위로 사용하고 있다. 도로용량의 경우 철도와는 달리 하루용량이라는 개념은 활용되고 있지 않다.

반면에 지역간 철도의 경우, 현재의 관행은 철도의 하루 중 용량회수를 산출하고 철도수요에 근거한 하루의 소요운행 회수와 비교하여 용량과 소요운행회수의 과다를 비교하는 절차를 일반적으로 사용하고 있다. 철도의 경우 이와 같은 하루 단위의 용량과 소요 운행회수를 고려하는 데는 그동안의 사정이 반영된 결과로 보아야 할 것이다.

첫째, 과거 철도의 여유용량이 없다보니 철도수요가 뚜렷한 침투특성을 보이지 못할 정도로 서비스 공급에 좌우된 수요가 발현이 되어, 침투시간의 운행계획이 적어도 지역간 철도에서는 큰 관심을 끌지 못한 점을 들 수 있다.

둘째, 화물열차 등의 다양한 열차 서비스를 운영하는 관계로 서비스의 재배치로 인한 용량의 활용이라는 측면에서 적어도 운행계획을 수립하기 위해서는 하루 단위의 용량이 활용성이 어느 정도 있어 왔다고 할 수 있다.

셋째, 신규투자에 대한 논리개발 등과 같이 새로운 접근을 고려할 필요가 그리 크지 않아 기존의 접근에 안주한 면을 고려할 수 있을 것이다.

4.2 일(日)단위의 적용의 문제점

철도시설의 계획적인 측면에서 기존의 하루단위의 용량과 소요 운행회수를 고려하는 것은 몇 가지 문제점을 내포하고 있다.

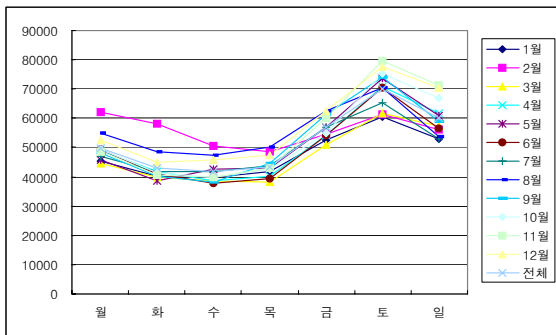
가) 철도선로용량을 계산하기 위해서 사용하고 있는 선로이용율의 증가로 하루 선로용량을 증가시키 고자 하는 유혹을 많이 받게 된다. 이러한 유혹은 특히 예산배정부서나 철도의 운영주체 외부에서 많이 보게 되는데, 시설투자로 인한 선로용량의 증가보다는 기존에 사용되고 있는 선로이용률(지역 간 철도의 경우, 0.6)을 증가시켜 하루 용량을 증가 시킬 수 있어 보이기 때문에, 장래의 증가된 소요운행회수를 이러한 편법으로 만족하려고 하는 유혹을 많이 받게 되고, 또한 철도의 내부 전문가들은 이러한 논리에 대해서 합리적인 설명을 하는데 많은 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다.

나) 철도에서도 수요의 침투특성이 나타나는 것을 확인할 수 있다(<그림 12, 13, 14>참조). 이러한

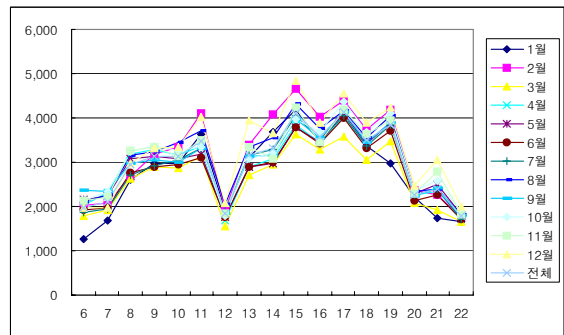
경향은 철도의 운행이 수요가 있는 시간에 있어주지 않으면, 수용하지 못한 수요들은 타 수단으로 전환을 하고 말 것이라는 것을 의미한다. 이는 주말에 서비스하지 못하는 많은 수요가 발생하는 것에서 이해할 수 있다.

다) 철도구조개혁이후 시설과 운영이 분리된 상황을 고려하면, 운영주체의 입장에서 보면, 수요가 있는 시간대에 열차의 운행이 가능하여야 한다는 것은 필수적인 영업명제일 것이다. 선로이용률을 조작한다는 등의 실제적인 조치가 없는 명목상의 용량이나, 수요가 없는 시간대의 여유 용량은 영업 측면에서 보면 결국 부담일 수밖에 없고 영업활동에 도움이 되기 어렵다.

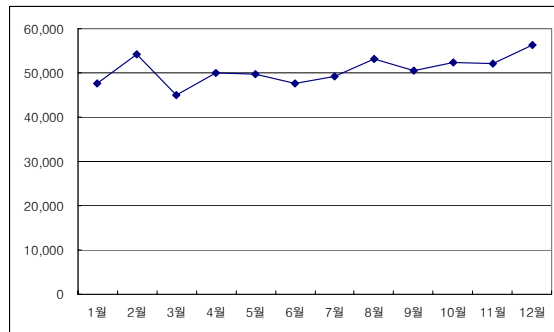
라) 사용된 장래의 수요가 AADT로서 개념적으로 1년 365일 중 50%의 해당되는 기간에는 용량초과를 발생시키는 것을 상정하고 있다.



<그림 8> 연간 요일별 총 수송량(서울-시흥 구간)



<그림 9> 연간 시간대별 평균 수송량(서울-시흥 구간)



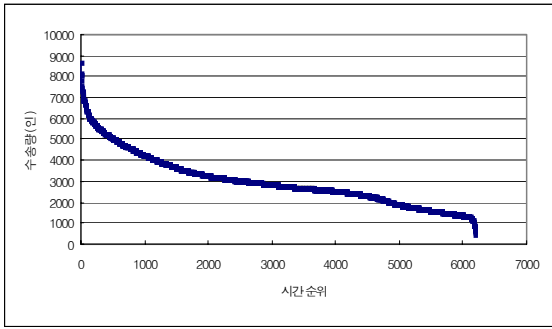
<그림 10> 연간 월 평균 수송량(서울-시흥 구간)

이러한 상황에서 보면, 시설계획뿐만 아니라 영업계획의 측면에서도 기존의 하루단위의 용량 산정에 추가하여 별도의 시간 단위의 용량산정 절차의 개발이 요구됨을 알 수 있다. 또한 중요한 것은 서비스 수준(Level of Service)에 대한 정의가 필요함을 알 수 있다. 또한 철도에 대한 설계교통량에 대한 근본적인 검토가 필요하다고 하겠다.

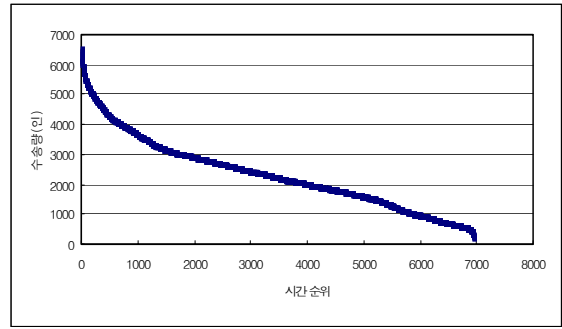
5. 철도의 설계시간교통량 산정

5.1 철도 교통량의 변화 특성

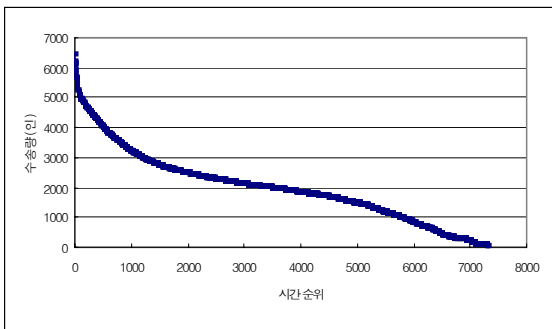
도로에서와 마찬가지로 철도에서도 기존의 ticket sales data를 사용하여 각 구간별 수송량 구하여 시간 순위도를 작성하여 철도에서의 수송량 분포를 확인할 수 있었다. 자료는 2005년 1년간의 데이터를 이용하여 경부선, 호남선, 전라선 노선중 주요 역 구간을 선정하여 구간 수송량 순위도를 아래와 같이 구하였다.



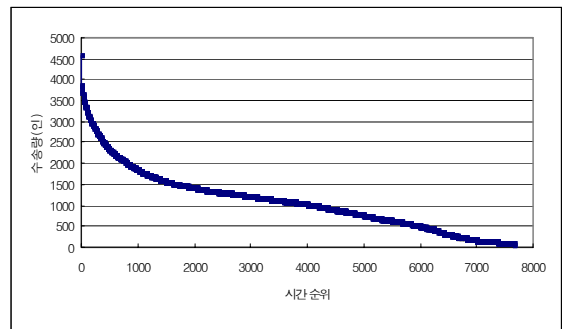
<그림 11> 서울-시흥 구간 수송량 분포



<그림 12> 조차장-대전 구간 수송량 분포



<그림 13> 대구-동대구 구간 수송량 분포



<그림 14> 구포-부산 구간 수송량 분포

5.2 설계시간교통량 순위곡선 작성

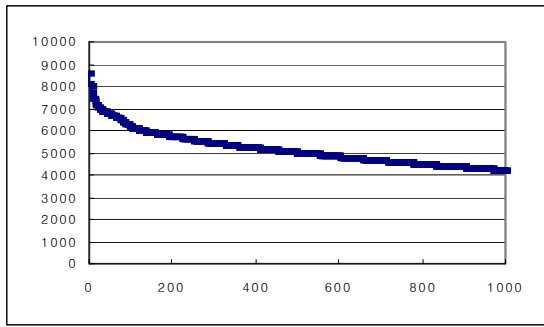
미국의 HCM에서 제시하고 있는 설계시간 교통량 순위곡선의 세분화 방법을 토대로 본 연구의 대상 노선에 대하여 설계시간 교통량 순위곡선을 작성하였다. 순위 곡선의 작성은 각 대상 노선에 대하여 최대관찰 교통량으로부터 연중 설계시간 교통량(8,760시간) 순위곡선을 작성하고 다음으로 1000순위의 순위곡선을 작성하였다.

<그림 15>~<그림 24>의 전체노선의 평균 연중순위곡선과 <그림 25>~<그림 34>의 1000순위 곡선으로 그 특징을 살펴보면 연중 순위곡선은 1000순위 곡선과는 다르게 경부선 노선 구간의 경우에 있어서 3개소에서 변곡점이 발생하고 1000순위 곡선과 연중 순위곡선 중 경부선 구간을 제외한 곡선은 변곡점이 1개소로 곡선의 형태가 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 수요가 많은 경부노선의 연간 수요분포와 그에 비해 수요가 적은 호남선, 전라선의 경우 연간 수요분포가 약간의 차이가 나타남을 알 수 있다.

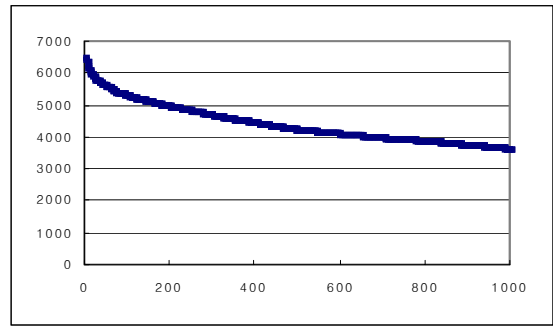
변곡점은 시간 교통량의 급격한 변화에 의해 곡선이 꺾이는 것으로 각각의 순위별로 변곡점이 발생하는 개소수가 다르게 나타남을 말해준다. 경부선 연중 순위곡선은 시간 교통량의 최대 관찰 교통량을 기준으로 큰 순위부터 배열했을 때 연중 3번의 교통량 변화가 나타나고 있음을 알 수 있다.

각 순위곡선의 변곡점 범위와 특징을 살펴보면, 연중 설계시간교통량 순위곡선의 경우 첫 번째에서 나타나는 변곡점은 그 범위가 좁고 두 번째, 세 번째 변곡점은 변곡점의 범위가 상당히 넓게 나오고 있음을 알 수 있다.

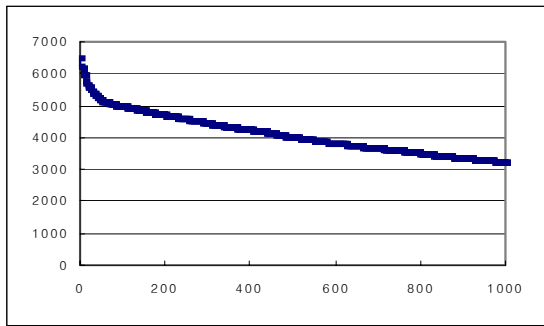
또한 1000순위 곡선에 비해 100순위 곡선은 연중 순위곡선의 두 번째, 세 번째 변곡점과 유사한 형태로 변곡점의 범위가 넓게 나타나 변곡점이 뚜렷하지 못함을 보여 주고 있으며 1000순위 곡선에서는 연중순위곡선과 100순위 곡선에 비해 변곡점의 범위가 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다.



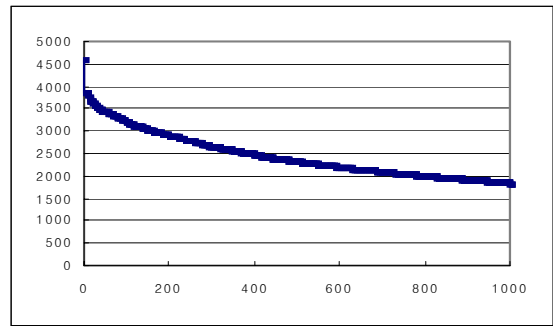
<그림 15> 서울-시흥 구간 시간수송량 1000순위 곡선



<그림 16> 조차장-대전 구간 시간수송량 1000순위 곡선



<그림 17> 대구-동대구 구간 시간수송량 1000순위 곡선



<그림 18> 구포-부산 구간 시간수송량 1000순위 곡선

5.3 설계시간계수 추정

설계시간계수는 시간교통량 순위에 따라 달라지므로 설계시간 교통량(DHV) 산정시 어느 범위에서 변곡점을 설계시간계수의 값으로 하느냐가 중요한 문제이다. 설계시간 교통량 순위 곡선의 형태는 상위시간 교통량에서 하위 시간 교통량까지 지속적으로 감소하는 곡선의 형태를 보임에 따라 각 시간 교통량의 모든 지점에서 기울기는 "-"를 나타내며 기울기의 변동폭은 점차적으로 작아지는 특성을 나타낸다. 일반적으로 변곡점의 추정이 가능한 2차 곡선이나 3차 곡선에서와 달리 교통량 순위곡선에서의 변곡점의 추정은 수학적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 순위곡선이 갖는 기울기의 변화형태를 통해 기울기가 일정하게 나타나기 시작하는 상위 지점을 변곡점으로 하였다.

모형식 추정은 미국의 HCM(Highway Capacity Manual) 및 국내 설계기준에 적용되고 있는 1000 순위 곡선을 중심으로 각 노선 순위곡선의 모형식을 추정하고 각 지점별 기울기를 산정하여 변곡점 발생순위를 추정하였다.

<표 1> 각 구간별 모형식

구간	추세선식	R^2
서울-시흥	$Y=-1.46717535\ln(x)+ 18.8539309$	0.9689
조치원-조차장	$Y=-1.36729966\ln(x)+ 18.1484257$	0.9650
조차장-대전	$Y=-1.35515462\ln(x)+ 18.0272268$	0.9447
대구-동대구	$Y=-1.53115963\ln(x)+ 19.3106712$	0.9172
구포-부산	$Y=-2.12764195\ln(x)+ 23.3405408$	0.9399
조차장-서대전	$Y=-2.01618012\ln(x)+ 23.1274192$	0.9928
논산-익산	$Y=-2.31556331\ln(x)+ 24.7568745$	0.9953
장성-광주(송정리)	$Y=-3.17886911\ln(x)+ 30.8390858$	0.9968
나주-목포	$Y=-4.07776355\ln(x)+ 37.0655428$	0.9894
구례-순천	$Y=-2.83353208\ln(x)+ 30.5654079$	0.9899
전체구간	$Y=-1.51158632\ln(x)+ 18.2763186$	0.9739

<표 2> 각 구간의 첨두시간계수

구간	K_{30}	K_{60}	K_{100}
서울-시흥	13.9	12.9	12.1
조치원-조차장	13.5	12.6	11.9
조차장-대전	13.4	12.5	11.8
대구-동대구	14.1	13.0	12.3
구포-부산	16.1	14.6	13.5
조차장-서대전	16.3	14.9	13.8
논산-익산	16.9	15.3	14.1
장성-광주(송정리)	20.0	17.8	16.2
나주-목포	23.2	20.4	18.3
구례-순천	20.9	19.0	17.5
전체구간	13.1	12.1	11.3

5.4 설계시간교통량 산정

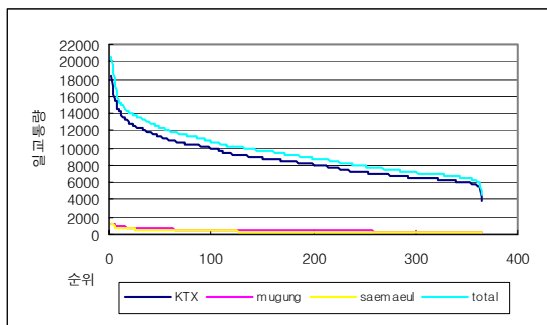
전 단계에서 계산한 설계시간계수를 사용하여 설계시간교통량을 산정한다. 10개 구간과 10개 구간의 평균 수송량을 근거로 분석하였다.

<표 3> 각 비율에 대한 교통량 및 설계시간계수

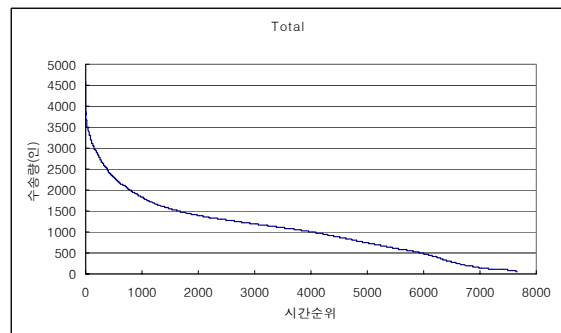
구간	설계시간계수(K)			AADT	설계시간교통량		
	K_{30}	K_{60}	K_{100}		K_{30} 적용시	K_{60} 적용시	K_{100} 적용시
서울-시흥	13.9	12.9	12.1	50,555	7,027	6,522	6,117
조치원-조차장	13.5	12.6	11.9	69,977	9,447	8,817	8,327
조차장-대전	13.4	12.5	11.8	43,891	5,881	5,486	5,179
대구-동대구	14.1	13.0	12.3	39,901	5,626	5,187	4,908
구포-부산	16.1	14.6	13.5	22,646	3,646	3,306	3,057
조차장-서대전	16.3	14.9	13.8	16,085	2,622	2,397	2,220
논산-익산	16.9	15.3	14.1	13,744	2,323	2,103	1,938
장성-광주(송정리)	20.0	17.8	16.2	6,298	1,260	1,121	1,020
나주-목포	23.2	20.4	18.3	2,053	476	419	376
구례-순천	20.9	19.0	17.5	2,507	524	476	439
전체구간	13.1	12.1	11.3	25,765	3,375	3,118	2,911

본 연구에서는 철도에 대한 설계교통량을 하루 단위의 고려와 시간당 교통량에 대한 두 가지로 나누어서 비교하고자 한다. 실제 구포-부산 구간의 수요를 근거로 분석하였다. 시간당 교통량 산정을 위한 설계시간교통량은 도로에서 사용하는 최상위 30번째 혹은 100번째 값이 아닌 일년 중 전체 시간 중에서 특정 비율을 만족하는 시간교통량을 사용하고자 한다.

다음 그림은 구포-부산간의 1년간 일교통량의 분포와 시간 단위의 교통량을 나타낸 것이다.



<그림 19> 구포-부산간의 1년간 일수송량의 분포



<그림 20> 구포-부산간의 1년간 시간 단위의 수송량의 분포

다음 표는 구포-부산 구간의 1년간 전체 구간교통량에 대해서 각각의 비율에 대한 설계시간교통량 및 설계시간계수를 구한 것이다.

<표 4> 각 비율에 대한 교통량 및 설계시간계수

		무궁화		새마을		KTX		TOTAL	
구포 ~ 부산	85%	496	0.08	572	0.25	663	0.05	765	0.03
	90%	414	0.07	482	0.21	563	0.04	627	0.03
	95%	1,213	0.20	1,414	0.61	1,769	0.12	2,094	0.09
	98%	1,727	0.28	2,021	0.87	2,489	0.18	2,997	0.13
	AADT	6,168		2,321		14,157		22,647	

<표 5> 각 비율에 대한 교통량 및 설계시간계수

		무궁화		새마을		KTX		TOTAL	
구포 ~ 부산	85%	496	0.08	572	0.25	663	0.05	765	0.03
	90%	414	0.07	482	0.21	563	0.04	627	0.03
	95%	1,213	0.20	1,414	0.61	1,769	0.12	2,094	0.09
	98%	1,727	0.28	2,021	0.87	2,489	0.18	2,997	0.13
	AADT	6,168		2,321		14,157		22,647	

위의 자료들을 근거로 설계시간교통량 산정시 일 단위의 설계교통량과 어느 정도의 차이를 보이는 보이하고자 한다. 선로 이용율은 기존에 철도공사에서 사용하고 있는 60%를 사용한다. 우선 일단위를 사용한 경우에 있어서도 AADT를 사용하였을 경우와 각종 확률에 대한 비율 나타내면 다음 표에서와 같이 나타낼 수 있다.

<표 6> 각종 확률에 대한 AADT 비율

	85%	90%	95%	98%
KTX	1.38	1.46	1.63	1.85
새마을	1.81	2.0	2.41	3.26
무궁화	1.56	1.76	1.98	2.68
전체	1.38	1.46	1.59	1.89

이들 자료를 이용할 경우 전체 구포-부산 구간에서 일년 중 교통량이 초과되지 않을 확률을 90%로 하기 위해서는 AADT에 1.46을 곱하여 주어야 한다는 것을 의미한다. 그리고 일교통량 기준으로 하였을 때 전체 구간교통량에 대해서 90%의 확률을 사용하였을 경우 일교통량에 대한 설계시간교통량을 계산할 수 있다.

$$DDV = 1.46 \times AADT$$

로 한다면 침투1시간에 대한 15시간 일교통량에 대한 비율을 11%로 상정하면(침투2시간일 경우 17%)

$$DHV = 0.11 \times DDV = 0.11 \times 1.46 \times AADT$$

가 되며, 하루 운행시간을 15시간으로 상정할 경우

$$AADT = 15 \times AHV$$

이므로, 상기 식은

$$DHV = 0.11 \times 1.46 \times 15 \times AHV = 2.41 \times AHV \text{ (평균시간교통량)}$$

이 된다. 침투 2시간에 대해서는

$$DHV_2 = 0.17 \times 1.46 \times 15 \times AHV = 3.73 AHV$$

로 계산된다.

다음으로서는 구간 시간교통량을 기준으로 하였을 경우 하루설계교통량은 시간교통량에 비해 어느 정

도의 값을 가지는지 알아보도록 한다. 구포-부산 간에 95%에 해당하는 값을 사용하는 것이 타당할 것으로 보인다. 이유는 앞서 사용된 비율 중에서 전체 시간 중에서 95%의 값을 나타내는 부근에서 교통량이 급격히 증가하는 것으로 나타나기 때문이다. 95%의 비율을 나타내는 시간교통량을 사용하게 되면 다음의 관계가 성립한다.

$$22,647 \times 0.09 \times 16 = 32,612$$

선로 이용률을 60%로 가정하였기에 하루 24시간 중에서 60%의 시간에 해당하는 16시간에 대한 하루 설계교통량을 나타내었다. 경부선 구간 중 구포-부산 사이의 설계교통량은 AADT의 1.44배의 값을 나타내는 것으로 나왔다. 이는 앞서 일교통량을 기준으로 하여 시간교통량을 구한 경우와 비교하였을 경우 어느 정도의 차이점을 보인다. 일단위를 기준으로 하였을 경우에는 90%의 비율을 사용하였지만 시간단위로 하였을 경우에는 95%의 비율을 사용하였다. 이는 실제로 시간단위의 수요 패턴을 분석하였을 경우에 일단위와 시간단위의 분포가 다르게 나타나기 때문이다.

5.5 차량 운행 횟수 및 용량 산정

상기와 같이 설계교통량이 확인이 되면, 채택된 LOS를 만족시킬 수 있는 차량운행 횟수 및 최소 시격을 정할 수 있다. 절차는 다음과 같다. 필요한 소요차량은 침두시 승객수요, 차량의 크기, 차량 당 승차인원, 열차 당 차량 수, 왕복통행시간에 좌우된다.

- 1) 차량 당 승차인원은 주요한 서비스 수준변수이며, 이것이 주어지고 차량의 좌석배치와 차량의 상면적이 주어지면 차량 당 승차인원을 계산할 수 있다.
- 2) 침두시간의 최대부하수요와 차량 당 승차인원을 알면 최대운행시격을 구할 수 있다. 열차 당 차량 수는 역사의 유효장과 영향이 있으며, 전체 시설계획차원에서 고려가 되어야 할 것이며, 운행주체의 운행정책과 관계가 있으며 선로의 최대 시간 당 운행회수와도 관계가 있어서 운행주체가 종합적으로 정한다. 이럴 경우, 소요 시격은 다음과 같이 정해진다.

$$h = \frac{60nc}{p \max}$$

여기서

- c = 개별차량의 승객 수
- n = 열차 당 차량 수
- p max = 시간당 승객 수
- h = 열차간의 시격

- 3) 시격이 계산되고 나면, 다음의 식에 근거하여 소요 편성수를 결정한다.

$$N = \frac{n(2L)60}{Vh}$$

여기서,

- N = 소요 차량 수
- n = 열차 당 차량 수
- V = 평균속도
- L = 구간길이
- h = 시격

설계교통량을 정하는 과정이나 차량운행 횟수를 정할 때에 서비스 수준은 매우 중요한 개념으로 작용한다. 첫 번째의 개념은 총괄적인 선로의 용량, 지체 정도, 서비스 제공 정도를 따지는 것이고, 두 번째의 개념은 차량내의 승차율과 관련된 개념이라고 할 수 있다. 이와 같이 철도의 경우는 도로보다는 더 복잡한 서비스 수준의 개념을 활용하여야 한다.

7. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 설계시간교통량으로 사용될 수 있는 기준에 대해서 몇 가지 대안들을 검토하여 합당한 설계교통량을 선정하는 방법을 제시하고자 하였다. 기준에 서비스 수준과 설계교통량과의 관계는 철도의 설계교통량의 결정과 시설의 용량을 결정하는 매우 기본이 되는 것이나 아직 정립된 논리가 없다. 본 연구에서는 분석시간을 시간으로 할 것인가 일 단위로 할 것인가에 대한 결정 역시 철도의 혼잡지속시간을 얼마까지 허용할 것인가 하는 문제와 기타 다른 MOE와 관계되는 문제이므로 서비스 수준과 관계가 정립되어야 한다.

설계교통량과 용량의 관계를 어떻게 정립할 것인가 하는 문제는 서비스수준과 경제적 효율성과 함께 검토해서 결정해야 할 것이다.

결론적으로;

- 철도도 도로처럼 설계교통량, 시설 계획용량, 서비스 수준 간의 관계를 정립해야만 객관적이며 합리적인 결정을 내릴 수 있다.
- 그러기 위해서는 시설투자가 LOS 향상에 미치는 민감도 분석이 필수적이다.
- 또 이와는 별도로 분석시간을 도로처럼 침투 15분으로 할 것인가 아니면 한 시간 또는 하루 등으로 해야 할 것인가를 결정해야 한다.
- 이를 결정함에 있어서는 허용 혼잡지속시간(또는 이와 연관된 MOE)과 이에 따른 경제적 손익에 대한 정책적 판단이 우선되어야 한다.
- 시간대별 수요를 조사하여 철도계획의 기본적인 자료를 얻을 필요가 있다. 수요 중 자동차로의 전환수요는 철도를 많이 이용하는 승객으로부터 경험적인 자료를 얻는다.

참고문헌

1. 도철용(2005), 교통공학원론(상), 청문각
3. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침
5. 건설교통부(2001), 도로용량편람
6. 변상철, 김윤섭, 오주삼, 윤여환(2001), 지방부 일반국도 설계를 위한 설계시간계수 선정, 2001년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회
7. 임성한, 김윤섭, 변상철, 오주삼(2003), AADT를 이용한 설계시간계수 추정, 대한토목학회지, 제23권 제1D호
8. 문미경, 장명순, 강재수(2003), 설계시간교통량 산정방법 개선, 대한교통학회지, 제21권 제5호
9. 배홍준(1999), 고속도로의 K치 산정을 위한 시간교통량 순위도 곡선 추정, 한양대 환경대학원
10. 김정환(2000), 설계시간교통량 순위곡선을 이용한 설계시간계수(k)추정 :경기도지역 일반국도를 대상으로, 한양대 환경대학원
11. 이용관(2001), 일반국도의 K치 산정을 위한 시간교통량 순위도 곡선 추정, 한양대 환경대학원
12. 건설교통부(2002), 국도 소통능력 제고하기 위한 입체교차로 등의 적정계획 수립방안 연구
14. TRB(2000), Highway Capacity Manual, Special Report 209
15. TRB(2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual 2nd Edition
16. 한국철도시설공단(2006), 철도투자평가 체계개선방안 연구