

■ 論 文 ■

# Ramp-up 분석기법에 대한 실증적 고찰

Practical Review of Analysis Techniques for Patronage Ramp-up

**정성봉**

(한국교통연구원 교통투자분석센터 책임연구원)

**장수은**

(한국교통연구원 육상교통연구본부 책임연구원)

**김기민**

(한국개발연구원 재정투자평가실 전문원)

**김정현**

(한국철도기술연구원 책임연구원)

## 목 차

- I. 서론
- II. 선행연구 고찰 및 램프업의 특성
  - 1. 선행연구 고찰
  - 2. 램프업의 개념
  - 3. 램프업의 원인
- III. 램프업 분석 기법 검토
  - 1. 델파이 조사법
  - 2. 계량경제 모형
  - 3. 기술통계 기법
- IV. 램프업 분석기법 적용성 검토
  - 1. 자료구축
  - 2. 사례분석 I (델파이 조사법)
  - 3. 사례분석 II (회귀분석법)
  - 4. 사례분석 III (기술통계적 분석법: F-검정)
- V. 교통수요분석모형 적용방안
  - 1. 수단선택 단계
  - 2. 통행배정 단계
- VI. 결론
- 참고문헌
- 부록

Key Words : 램프업, 안정화, 델파이 조사법, 회귀분석모형, F-검정  
Ramp-up, Steady state, Delphi technique, Regression, F-test

## 요 약

본 연구에서는 지금까지 소개된 램프업 분석기법을 정리하고, 각 방법론의 장·단점 및 적용사례를 제시한 후, 향후 교통수요분석에 대한 적용방안을 살펴보았다. 사례분석은 2002년 말 개통된 천안~논산 고속도로 통행실적 자료를 이용하였으며, 자료적용 시 월/계절 변동성을 제거하였다. 분석결과 월별 수요변동율을 이용한 F-Test를 제외하면 다른 모든 기법에서 램프업 기간이 9개월~12개월로 분석되었다. 또한, 램프업 폭을 분석한 결과 개통초기(개통 후 1개월)에는 실적치가 예상치의 65%~72%수준으로 상당히 낮게 나타났으며, 기간이 경과함에 따라 점차 안정화 수준으로 회복하는 것으로 나타났다. 향후 램프업 현상을 수요분석에 적용하기 위한 표준적인 램프업 분석기법의 정립뿐만 아니라, 실적 자료를 이용한 노선별 특성이 고려된 램프업 효과분석 관련 연구가 지속적으로 이루어진다면, 초기교통수요에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있을 뿐만 아니라, 신뢰성 있는 수요분석이 이루어질 것으로 판단된다.

This study examines the ramp-up analysis techniques which have been introduced till now and presents the strength and weakness of each method. The applicability of each technique was reviewed using a case study involving the data of Cheonan-Nonsan motorway usages where seasonal variations of the data were removed. The results showed that all the techniques except F-test have the same ramp-up period of 12 months. The level of ramp-up was 65%-72% compared to that of the real traffic volume at the beginning of opening. The demand recovered to the stabilized level as time goes on. To apply the methodology to practical demand forecasts actual surveys of real data of traffic demand should be performed. With these efforts to the patronage ramp-up, more reliable demand analyses can be accompanied.

## I. 서론

교통계획은 교통시설물이라는 공급과 통행이라는 수요의 관계를 체계적으로 설명하는 학문이다. 인적 또는 물적 이동의 단위로 정의되는 통행은 토지이용계획과 인간활동의 복잡함 등으로 인해, 그 규모와 변화를 예측하는 것은 매우 어렵다. 그럼에도 불구하고 이러한 통행을 논리적으로 설명하기 위해 공학적인 기법과 사회·인문학적인 논리에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 왔다.

최근 교통수요분석 결과에 대한 신뢰성 문제가 자주 제기되고, 표준적인 교통수요분석 방법 및 절차에 대한 논의가 끊임없이 이루어지고 있는 가운데, 램프업(Ramp-Up) 현상 또한 교통수요분석의 가장 중요한 이슈 중 하나로 지목받고 있다.

일반적으로 신규 교통시설의 투자나 기존 시설의 개량 이후 초기 교통수요가 등락을 반복하며, 큰 폭으로 상승하다 점차 안정화되는 현상이 관찰되는데, 교통수요가 안정화되기 이전까지 나타나는 이러한 현상을 램프업이라 한다(장수은·정성봉, 2006).

한편 현재 적용되고 있는 교통수요모형은 이용자들의 복잡다기한 통행행태를 정확하게 반영하지 못하고 있다. 이러한 통행행태 중 하나가 초기교통수요에도 나타나는데, 이는 교통수요 과대추정에 대한 논란과 함께 지속적으로 문제시 되고 있다. 즉, 수요 과대추정은 개통초기에 주로 발생하고 있어 초기교통수요에 대한 우려가 증가하고 있으며, 이에 따라 램프업에 대한 관심 또한 높아지고 있다.

램프업에 대한 관심의 지속적인 증가로 인해 다양한 분석 기법들이 연구되어 왔으나 표준적인 램프업 분석 및 적용 방법에 대한 합의는 이루지 못하고 있다. 즉, 수요분석과정에 적용할 수 있도록 체계적·표준적인 램프업 분석기준이 마련되어야 하나 대부분의 연구가 아직 초기 단계에 머물고 있어 다양한 연구와 수립된 기법에 대한 면밀한 비교분석이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 첫째, 기 수행된 램프업 현상 및 효과를 설명하는 방법론을 소개하고, 둘째, 각 방법론의 장·단점 및 적용사례를 검토한 후, 마지막으로 향후 램프업 효과를 교통수요분석에 반영할 수 있는 적용방안을 살펴보고자 한다.

## II. 선행연구 고찰 및 램프업의 특성

### 1. 선행연구 고찰(부록 참조)

장수은·정성봉(2006)은 국내·외 램프업 효과분석 방법

론을 검토하면서 다음과 같이 세 가지 유형으로 구분하였다.

첫째, 이른바 후처리(post-processing) 방식으로 교통수요분석 이후 전문가 집단의 판단을 기반으로 램프업 기간과 파라미터를 개략적으로 제시하는 유형이다. 넓은 의미의 델파이조사법에 포함될 수 있는 이 방법론은 간편하게 전문가 집단의 경험과 직관을 활용하여 램프업 파라미터를 도출할 수 있는 장점이 있지만, 방법의 이론적 배경이 약하고 무엇보다 임의적 결정법이라는 한계를 지니고 있다.

둘째, 경향분석(trend analysis) 후 곡선맞춤(curve fitting) 등 계량경제모형을 적용하여 램프업을 설명하는 유형이 있다. 주로 과거추세를 바탕으로 한 회귀모형이 활용되고 있는데, 모형이 간단하고 설명이 쉽기 때문에 폭넓게 활용되고 있으나, 램프업과 안정화 기간을 나누는 임계점 결정과정이 자의적(arbitrary)이다. 이는 계량경제모형이 연속형 함수이므로 특정 지점을 중심으로 표본집단을 구분할 수 있는 과학적 근거를 제시하지 못하기 때문이다.

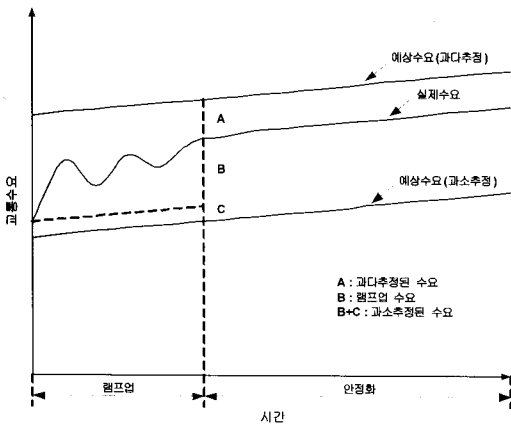
셋째, 기술적 통계기법인 ANOVA(analysis of variance)와 F-test를 활용하여 램프업을 통계적으로 판별하는 유형이다. ANOVA의 경우 관측 자료의 이분산성을 판별하여 안정화 이전단계와 안정화 단계를 설명하는 기법이다. 이 경우 램프업 기간과 램프업 지수를 통계적으로 유의하게 추정할 수 있으나, ANOVA가 집단 간 평균차 검증을 통하여 통계적으로 유의한 램프업 파라미터를 추정하는 기술적 통계방법이므로 수요변동처럼 관찰값이 양(+)과 음(-)의 값모두를 나타낼 경우 편의(bias) 발생이 불가피하다. 또한, F-test를 활용한 방법은 램프업 기간 동안 통행수요가 등락을 반복한다는 점에 착안하여 안정화되기 전후의 수요변화 차이가 상이하다는 것을 통계적으로 검증하는 방법이다.

하지만 F-test에 의한 방법은 수요의 등락여부를 판별할 수 있으나 램프업의 고유한 성질인 수요의 증가부분을 함께 설명할 수 없다는 단점이 존재한다.

상기한 바와 같이 램프업에 대한 논의가 시작된 이래 표준적인 램프업 분석방법에 대한 합의는 이루어지고 있지 않으며, 연구자의 관점에 따라 다양한 램프업 판별기법을 개발하여 적용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기 개발된 램프업 판별기법의 장·단점을 체계적으로 살펴보고 이에 대한 시사점을 고민해 보고자 한다.

### 2. 램프업의 개념

램프업(ramp-up)은 신규 교통시설의 건설이나 기존 시설의 개량 이후 교통수요가 안정화(steady state)되기 까지 일정기간 등락을 반복하며 상승하는 현상을 일컫는



〈그림 1〉 교통수요의 램프업 개념도

말이다(〈그림 1〉 참조). 〈그림 1〉에서 보여주듯이 교통수요가 안정화 상태에 접어들기까지 일정기간이 소요된다. 수요는 램프업 기간 동안 단계적으로 변동할 수 있으나, 전반적으로 증가하게 된다.

안정화 단계와 비교하여 램프업 기간 동안 관찰될 수 있는 교통수요변화의 주요 특징은 두 가지로 설명될 수 있다. 첫 번째는 램프업 기간 동안 안정화 기간에 비해 상대적으로 높은 통행량 증가가 나타나며, 두 번째는 수요가 안정화 기간에 비해 심하게 진동한다는 것이다.

이러한 램프업 현상은 모든 신규 교통시설물에서 발생하는 것은 아니며, 신규 개통된 시설물을 이용하는 수요의 특성, 즉 해당 시설물을 이용하는 기·종점 통행량의 크기, 대체시설물의 존재여부, 교통 시설물의 기능 및 수단특성 등에 따라 램프업 발생여부와 기간 및 그 정도가 결정된다.

### 3. 램프업의 원인

램프업 현상이 왜 나타나는지에 대해 국내외적으로 보편적으로 받아들여지고 있는 이론은 없다. 최근 일부 연구에서 다음과 같은 세 가지 측면이 주목받고 있다(Douglas, 2003; 장수은·이장호, 2005).

첫째, 소비자 측면의 '학습곡선(learning curve)' 효과와 '통행행태(travel behavior)'의 변화 등 통행적응과정을 거론할 수 있다. 학습곡선 효과는 정보반응의 비대칭성을 설명하는 개념으로써, 통행자들은 서로 상이한 정보 반응 속도를 지니기 때문에 새롭게 공급된 교통서비스에 완전 반응하기까지는 시간이 필요하다는 설명이다. 통행행태의 변화는 신규 투자에 따른 유발수요와 타/동 시설/수단으로 부터의 전환수요가 형성되기까지는 역시 일정 기간 시간이

필요하다는 개념으로써 교통학계의 잘 알려진 가설이다.

둘째, 운영자 측면에서 마케팅 전략의 혼선이 거론되고 있다. 일반적으로 신규 및 확장시설에 대한 운영자의 최적 마케팅 전략 수립까지는 시행착오에 따른 시간이 소요된다. 마케팅 문제는 최근 사회기반시설구축에 민간자본을 유치하려는 경향과 함께 더욱 주목받고 있는 실명이다. 한편 철도의 열차운행계획 조정은 운영자 측면의 램프업과 관련된다. 이때 열차운행계획의 조정은 일별-시간대별 적정 열차투입규모를 발견하기 위한 시행착오 기간으로 해석된다.

셋째, 기술적 측면에서 이른바 '개통초기 불안감(teething problems)'을 거론할 수 있다. 이는 신규 교통시설의 신뢰성(reliability)에 대한 교통 소비자의 불안감으로 교통수요의 안정화까지 시간이 소요됨을 의미한다. 신뢰성은 안전 등 물리적인 측면과 효율의 증대와 같은 경제적 측면의 우려에서 나타날 수 있다. 신뢰성의 형성은 단기간에 이루어지지 않으며 일정 기간 정상적 운영을 통해 교통 소비자에게 인지될 때 형성될 수 있다는 측면에서 램프업의 원인으로 자주 거론된다.

이러한 구조적 측면 외에 램프업에 영향을 미치는 다양한 외부요인이 존재한다. 대표적인 외부요인으로 네트워크 효과, 토지이용 변화, 정부정책 영향 등을 고려할 수 있다.

네트워크 효과는 분석대상 노선 주변의 기 구축된 또는 구축 예정인 교통망의 특성에 따라 램프업 현상이 달리 나타날 수 있다는 설명이다. 예컨대, 시설 수준이 동일한 두 노선이라 할지라도 노선이 통과하는 주변 지역의 대체 교통시설의 유무와 범위에 따라 램프업에 편차가 생길 수 있다. 이는 네트워크 효과가 교통수요의 전환량에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

다음으로 토지이용의 변화를 거론할 수 있다. 네트워크 효과가 주로 교통수요의 전환에 주목한 설명이라면 토지이용의 변화는 유발수요 형성과 유관하다. 즉 토지이용 변화에 따라 통행자의 사회·경제적 활동 유형이 변화하게 되고 그 결과 교통수요 형성에 영향을 미치게 된다.

마지막으로 정부정책의 영향이다. 정부정책은 그 범위가 매우 넓고 종류도 다양하다. 앞서 언급한 네트워크 구축이나 토지이용의 변화와 같은 하드웨어적인 측면을 포함할 수도 있고, 과세정책이나 교통수요관리정책과 같은 소프트웨어적 측면과도 연결될 수 있다.

이렇듯 램프업에 영향을 미치는 요인은 범위가 포괄적이며 정량화가 쉽지 않다. 기존 연구의 경우도 이러한 원인규명에 대한 연구는 거의 부재하며, 단지 현상규명을 통한 램프업 존재여부와 기간에 대해서만 검토하고 있는 상황이다.

### III. 램프업 분석 기법 검토

본 연구에서는 램프업 효과를 판단하기 위해, 전문가 집단의 경험과 직관을 활용할 수 있는 델파이 조사기법, 개통 후 시계열 자료를 이용한 회귀분석모형, 그리고 램프업의 정의를 바탕으로 하는 기술통계적 기법 등을 검토하였다.

#### 1. 델파이 조사법

델파이조사법(Delphi technique)은 1948년 RAND 사에 의해 개발된 집단적 의사결정에 기반한 예측기법이다. 이 방법은 전문가 집단으로 패널을 구성하고 그들의 직관(insights)과 경험(experience)을 활용하여 특정 사안을 예측한다.

전문가 집단의 의견은 반복된 질문에 답하면서 점차 최적 값이라 여겨지는 예측치로 수렴하게 된다. 질문을 반복할 때 마다 이전 응답의 요약 값이 제공되는데, 요약 값은 일반적으로 단일 중앙 값(median) 혹은 분류된 각 하위 그룹의 빈도 등 통계적으로 가공된 참고 값이다(〈그림 2〉 참조).

델파이조사법을 활용한 램프업 연구는 일반적으로 4단계 교통수요분석법 등 전통적 방법론을 활용하여 교통수요를 추정한 후 전문가 집단에 의해 램프업 파라미터를 결정하는 과정을 거쳐게 된다(PCIE, 2002; Florida High Speed Rail Authority, 2003; World Bank, 2005).

최근에 이루어진 선진국의 고속철도 수요추정 연구에서

는 델파이조사법을 적용하여 램프업의 폭과 기간을 명시적으로 고려하였다. 미국 플로리다주의 고속철도 수요추정 연구에서(Florida High Speed Rail Authority, 2003)는 램프업 효과를 반영하여 개통 후 1년차에는 안정화 수요 대비 50%, 2년차에는 75% 수준의 수요를 가정하였다. 호주 동부해안축 고속철도 수요추정 연구에서(PCIE, 2002)도 램프업 기간을 3년으로 설정하고 개통 후 1년차는 안정화 수요 대비 70%, 2년차는 90%, 3년차 때 안정화된다고 제시하고 있다.

델파이조사법은 비교적 간편하게 전문가 집단의 경험과 직관을 활용하여 램프업 파라미터를 도출할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 방법의 이론적 배경이 약하고 무엇보다 임의적 결정법이라는 한계를 지니고 있다.

#### 2. 계량경제 모형

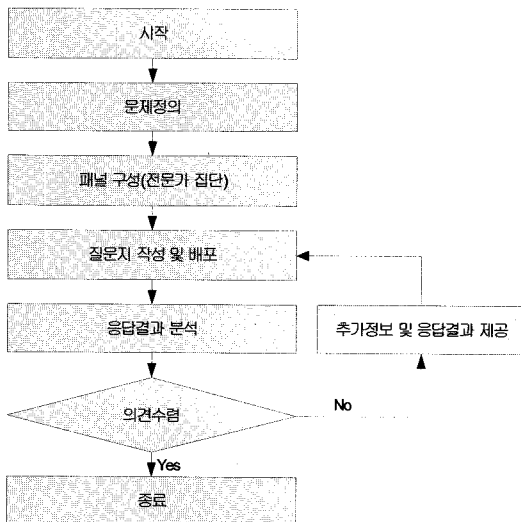
가장 빈번하게 활용되는 램프업 연구방법은 계량경제학 기법(econometrics)을 적용하는 것이다. 기존 연구에서는 선형회귀모형이 주로 이용되고 있으나(국토연구원, 2003; 장수은·이상호, 2005) 램프업 현상이 비선형적이고 일정한 유형으로 일반화하기 힘들기 때문에 식(1)과 같은 로그-선형 모형(Douglas, 2003)이 보다 적합할 수 있다.

$$\ln D_t = \beta_0 + \beta_1 \ln t + \epsilon \tag{1}$$

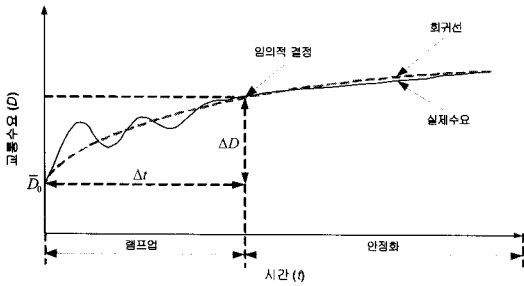
여기서  $D_t$ 는 관측시점  $t$ 에서 특정 교통시설을 이용한 교통수요의 총합,  $\epsilon$ 는 오차항,  $\beta$ 는 파라미터이다.

국토연구원(2003)에서는 계량경제학기법인 선형회귀모형을 활용하여 램프업 효과를 분석하고, 이를 '시흥-도리간 도로 건설 민간투자사업'의 협상시침에 반영하였다. 이 연구에서는 분석노선과 기능이 유사한 대체노선의 개통시기부터 현재까지의 연평균일교통량에서 연평균 증가율을 분석한 후, 자연증가를 고려한 램프업 효과를 파악하기 위해 선형회귀분석을 실시하고, 개통 초기 연도 교통량을 추정하여 실측 교통량과의 비로써 램프업 파라미터를 산정하였다. 이러한 과정을 거쳐 램프업 효과는 87.3%로 적용하였으며 보간법을 이용하여 개통이후 3년 동안 적용하였다.

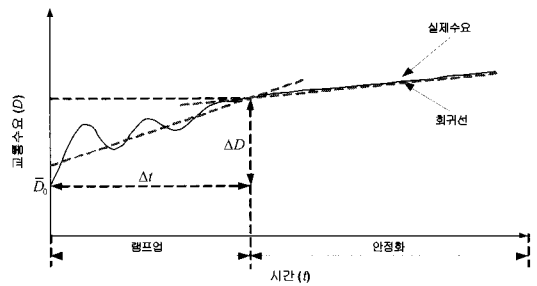
모형 및 적용의 간편성으로 인해 회귀모형이 폭넓게 활용되고 있으나, 램프업과 안정화 기간을 나누는 임계점 결정 과정이 근본적으로 자의적(arbitrary)이다. 이는 회귀모형이 연속형 함수이므로 특정지점을 중심으로 표본집단을 구분할 수 있는 과학적 근거를 제시하지 못하기 때문이다



〈그림 2〉 델파이조사법 순서도



〈그림 3〉 계량경제학 기법을 활용한 램프업 연구 개념도



〈그림 4〉 구간분할맞춤법을 활용한 램프업 연구 개념도

(〈그림 3〉 참조).

이러한 문제를 해결하기 위해 이른바 구간분할맞춤법 (segmented fitting approach)이 고려될 수 있다. 이 접근법은 관측자료를 서로 다른 기울기를 가지는 둘 이상의 회귀식으로 곡선맞춤 한다(〈그림 4〉 참조). 회귀식의 개수는 사전에 연구자가 선택하고 램프업과 안정화의 임계점은 사전에 확정된 회귀식의 개수로 자료와 회귀모형의 오차를 최소화하는 지점으로 결정한다. 그러나 도출된 임계점은 자료의 물리적 오차를 최소화하는 지점일 수는 있지만, 자료의 특성, 즉 램프업과 안정화를 구분하는 지점이라는 근거는 없다. 따라서 구간분할맞춤법은 임계점 결정을 방법론 내에 포함했다는 측면에서 통상적 회귀모형에 비해 진일보한 측면이 있으나 회귀식의 개수를 사전에 확정해야 하는 임의성과 선택된 임계점이 자료의 특성을 구분할 수 없다는 점에서 표준적 램프업 판별법으로 부적합하다.

시계열모형 또한 대안으로 고려할 수 있다. 이는 램프업이 개통 이후 관측시점별 수요변동 추이에 주목하고 있기 때문이다. 시계열모형을 적용할 경우 ARIMA모형이 일반적이다.

$$D_t = \mu + \sum_{p=1} \gamma_p D_{t-p} + \epsilon_t - \sum_{q=1} \theta_q \epsilon_{t-q} \quad (2)$$

여기서,  $\mu, \gamma, \theta$ 는 파라미터,  $p$ 는 자기회귀항,  $q$ 는 지체이동 평균항으로 정의된다.

램프업 분석을 현상규명에 국한하지 않고 요인규명 단계까지 확장할 경우, 이론적으로 ARIMAX 모형을 활용할 수 있다.

$$D_t = \mu + \sum_{p=1} \gamma_p D_{t-p} + \beta^T X_t + \epsilon_t - \sum_{q=1} \theta_q \epsilon_{t-q} \quad (3)$$

여기서,  $X$ 는 램프업 요인벡터이다.

그러나 시계열모형 또한 연속형이므로 특정 지점을

중심으로 상이한 집단을 구분할 과학적 근거를 제시하지 못한다. 즉 램프업 단계와 안정화 단계를 모형내에서 결정할 수 없는 한계를 지니고 있다.

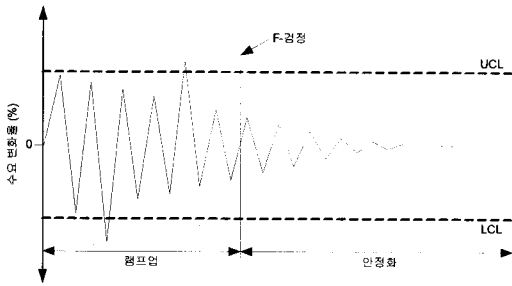
### 3. 기술통계 기법

기술통계기법을 활용한 램프업 연구는 ANOVA를 이용한 정성봉(2005)과 F-test를 적용하여 램프업 기간 및 비율을 분석한 장수은·정성봉(2006)의 연구가 대표적이다.

정성봉(2005)은 도로의 초기 개통 시 통행량 변화율 (또는 연평균 증가율)이 교통량이 안정화된 이후의 변화율과 현격한 차이를 보일 것이라는 가정을 통계학적으로 검증하여 램프업 기간을 정의하고 고속도로 7개 노선, 국도 2개 노선을 분석하여 램프업 기간을 산정하였다. 고속도로의 경우 램프업 기간이 3-4년, 국도는 2년으로 나타나 단거리 통행이 증가 되는 국도의 램프업 기간이 더 짧은 것으로 분석되었다. 또한 차종별 램프업 기간을 산정하였는데, 승용차의 경우 개통 후 7년, 버스는 개통 후 6년, 트럭의 경우에는 개통 후 5년으로 나타나 차종별로 서로 다른 램프업 기간을 나타낸다는 것을 보여주었다.

ANOVA를 활용할 경우, 램프업 기간과 램프업 파라미터를 통계적으로 유의하게 추정할 수 있다. 그러나 ANOVA는 집단간 평균차를 검증하는 기술통계기법이므로 수요변동과 같이 관찰값이 양(+ )과 음(-)의 값 모두를 나타낼 경우 상쇄작용(trade-off)으로 결과가 왜곡될 수 있다. 하지만 램프업 분석 전략을 연단위 수요의 증가율로 설정할 경우 상쇄작용 문제가 해결되므로 유용한 방법론일 수 있다. 이 경우에는 또한 자료의 월변동으로부터 자유롭게 되므로 ANOVA 기법의 활용가치는 더 높아진다.

또한, 장수은·정성봉(초기 교통수요 형성의 특성규명을 통한 교통수요분석의 신뢰도 제고방안 연구, 2006)연

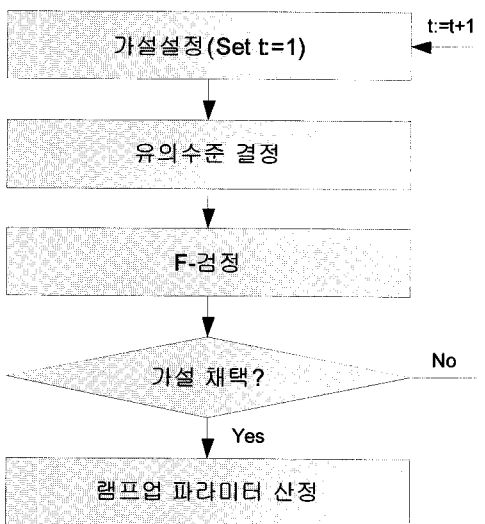


〈그림 5〉 램프업 판별법 개념도

구에서는 램프업과 안정화 단계의 교통수요 변화율에 유의한 차이가 있을 것이라는 전제하에 통계적 가설 검정기법인 F-검정을 적용하여 램프업 기간 및 지수를 산정하였다(〈그림 5〉 참조). 즉, 두 독립 무작위 표본의 이분산성을 검정할 때 가장 표준적으로 활용되는 추론통계기법(inference statistics)인 F-검정을 적용해 램프업 판별에 적용하였다.

장수은·정성봉(2006) 연구에서는 수요변화율을 계산하기 위한 최소시간은 '월'단위로 설정하고, 관측지점간 교통수요 변화율을 식(4)와 같이 정의하였다.

$$v_t = \frac{D_t - D_{t-1}}{D_{t-1}} \times 100 \quad (4)$$



〈그림 6〉 램프업 판별 절차

여기서,  $v_t$ 는 시점  $t$ 에서의 교통수요 변화율이며  $D_t$ 는 시점  $t$ 에서의 교통수요다.

이러한 가정하에 램프업 판별을 위한 수행절차는 〈그림 6〉과 같다.

이 때, 시점  $t$ 에서의 귀무가설과 대립가설은 식(5)와 같이 설정한다.

$$H_0^I: \sigma_r^2 = \sigma_s^2 \quad (5)$$

$$H_a^I: \sigma_r^2 > \sigma_s^2 \text{ or } \sigma_r^2 < \sigma_s^2$$

여기서  $\sigma_r^2, \sigma_s^2$ 는 각각 램프업 단계와 안정화 단계의 교통수요 변화율의 모집단 분산이다.

램프업 판별시 F-test를 적용할 경우, 램프업 기간을 통계적으로 판별할 수 있으며, 아울러 램프업 지수 또한 산정할 수 있다. 여기서 램프업 지수는 램프업 기간 중 특정 시점  $t$ 의 안정화 시작 시점 대비 수요로 정의될 수 있다.

### N. 램프업 분석기법 적용성 검토

램프업을 교통수요분석에 적용하기 위해서는 램프업 기간과 그 기간 동안 발생하는 램프업 정도를 분석해야 한다. 물론 램프업에 대한 명확한 이해를 위해서는 램프업 현상과 그 요인간의 인과관계 규명이 필요하다. 이를 위해서는 램프업을 유발시키는 요인을 찾아내고 이들 요인과 램프업의 상관관계가 모형화되어야 한다.

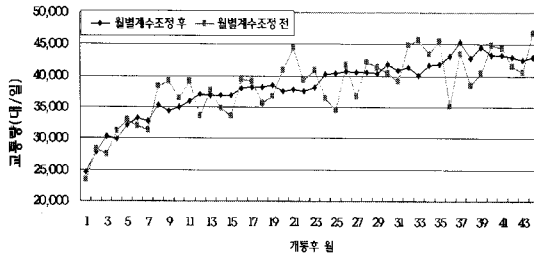
하지만, 지금까지 램프업에 영향을 주는 요인을 직관적으로 설명한 연구는 있지만, 함수관계를 통해 계량적으로 표현한 연구는 거의 없는 실정이다. 이러한 이유로 인해 지금까지의 연구는 램프업 기간과 램프업 정도를 산출하여 해당사업에 적용하는 수준에 그치고 있다.

본 장에서는 지금까지 연구된 램프업 관련 연구결과를 개괄하여 동일사례 분석을 통해, 각 기법이 가지는 장·단점과 수요분석에 대한 적용가능성을 검토한다.

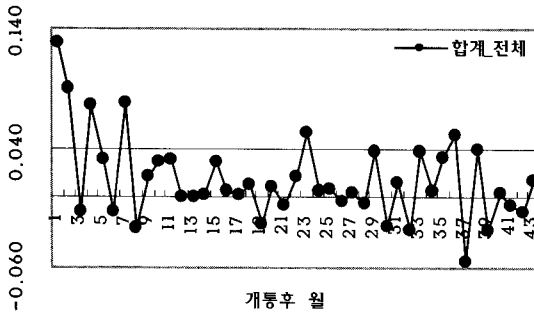
### 1. 자료구축

본 연구는 천안-논산고속도로의 월별 교통량 자료를 이용하여 사례분석을 실시한다. 통행실적 자료의 경우

1) 램프업 기간 동안 교통수요의 등락이 예상되므로 램프업 지수는 지점 특정 값(point-specific value)이 아닌 구간 평균값을 기준으로 산정한다. 이 경우 단위 램프업 상수(a unit ramp-up constant) 활용할 수 있다.



〈그림 7〉 천안-논산고속도로 월별 교통량 변화추이



〈그림 8〉 천안-논산고속도로 월별 수요 변화패턴

시계열자료이므로 계절 변동이 포함되어 있다. 본 연구에서는 이를 제거하기 위해 장수은·정성봉(2006)이 제안한 방법에 따라 월변동, 명절효과, 이상점 등을 제거하고 표준화 수요를 산출하였다.

〈그림 7〉은 천안-논산고속도로 전체 영업소 진·출입 자료에 대한 월별 교통량 변화추이를 보여주고 있는데, 2002년 12월 개통된 이후 수요는 꾸준히 증가하고 있다.

천안-논산고속도로 차중 전체에 대한 표준화수요의 변화율은 〈그림 8〉와 같이 나타났는데, 개통 초기에 비해 시간이 흐를수록 변화폭은 감소하고 있으나 시점에 따라 급격한 변화폭을 가지는 기간도 있는 것으로 나타났다.

## 2. 사례분석 I (델파이 조사법)

델파이 조사를 위한 설문대상 전문가 집단으로 한국교통연구원 교통수요 전문가 7인을 패널로 구성하였다. 설문은 〈그림 7〉, 〈그림 8〉에 대해 개통 후부터 현재까지 램프업 기간을 조사하였으며, 램프업 수준은 안정화기간의 수요증가율과 램프업 기간 동안의 증가율을 비교하여 분석하였다.

분석과정은 일반적인 델파이 조사 방법론을 따르는데, 즉, 1차 설문 결과를 정리하여 각 문항에 대한 평균값을 구한 후 제2차 설문지 조사에서 제1차 설문조사 내용의

〈표 1〉 델파이 방법에 의한 램프업 기간 및 정도

구분	실적치 (램프업 반영)	예상치 (미반영)	램프업 정도
개통시점	17,659	27,013	65%
3월	23,219	27,265	85%
6월	25,569	27,645	92%
9월	26,162	28,031	93%
12월	28,422	28,422	100%

통계처리 결과와 의견을 함께 제시한다. 제2차 설문에 대한 답변과정에서 작성자의 의견이 평균값과 다를 경우 자기 의견을 정당화할 수 있는 내용을 간략하게 기술하도록 한다. 이러한 과정을 전문가들의 의견이 일치될 때까지 설문을 수행하였다.

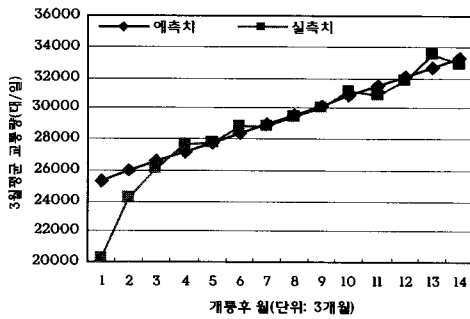
설문수행결과 제5차 설문을 마친 후 7인의 의견이 대체적으로 일치(응답자의 평균은 12개월, 표준편차는 0.79)하는 것으로 나타났다. 즉, 램프업 기간은 12개월, 그리고 램프업 수준은 개통 후 3월, 6월, 9월에 대해 실적치 대비 각각 85%, 92%, 그리고 93% 수준을 보이는 것으로 분석되었다.

## 3. 사례분석 II (회귀분석법)

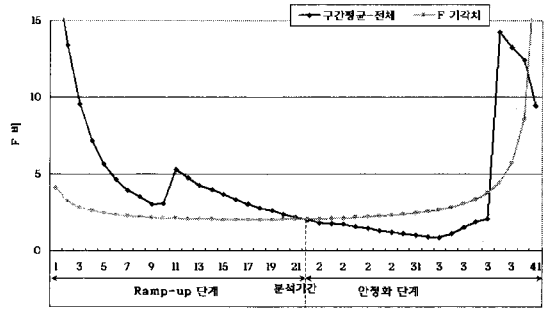
회귀모형을 구축하여 분석하는 다양한 방법이 있으나, 본 절에서는 변형된 구간분할맞춤법을 적용하였다. 즉, 천안~논산 고속도로의 개통초기 년도부터 현재까지 수집된 월별 통행량을 3개월 단위의 일교통량 자료로 변환하여 최근시점에서 6개월 단위로 회귀분석을 시행하였다. 이는 램프업 기간과 안정화기간의 수요변화패턴에는 유의한 차이가 발생할 것이기 때문에 구간분할 회귀분석을 통해 조정된 결정계수의 변화방향이 바뀌는 시점에서

〈표 2〉 구간분할 회귀분석결과

구분	조정된 결정계수	t-통계량 (y절편)	t-통계량 (x절편)
최근 12월	0.610	5.491	2.388
최근 15월	0.669	9.738	3.015
최근 18월	0.812	15.202	4.752
최근 21월	0.880	22.365	6.712
최근 24월	0.919	31.239	8.981
최근 27월	0.920	38.546	9.650
최근 30월	0.942	50.168	12.155
최근 33월	0.951	62.421	13.991
최근 36월	0.959	70.669	16.101
최근 39월	0.944	58.079	14.323
최근 42월	0.873	31.763	9.499



〈그림 9〉 관측치와 실측치 비교



〈그림 10〉 천안-논산고속도로(전체영업소) 전 차종 F-검정 결과

램프업 유무를 판단할 수 있기 때문이다. 또한, 회귀모형 구축 후 회귀식에 의해 추정된 초기 교통수요와 관측된 초기 교통수요를 비교하여 램프업 효과를 산정한다.

회귀분석을 위해  $x$ 값을 개통 후 소요기간(3월단위),  $y$ 값으로 3개월 평균 통행량으로 설정한 후 3개월 단위로 구간분할 회귀분석을 수행한 결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉에서 알 수 있듯이 현 시점에서부터 36개월까지 결정계수가 증가하고 그 이후에는 감소하는 것으로 나타났다. 이를 개통시점기준으로 살펴보면, 개통 후 12개월까지의 수요변화패턴과 그 이후의 수요변화 패턴이 차이가 있음을 알 수 있다.

또한 램프업 지수를 산정하기 위해 최근 36개월까지의 회귀식을 이용하여 추세연장을 한 결과 개통초기 예측치 대비 실측치 비율은 80.1%로 나타났으며, 개통 후 6개월 후에는 93.1%, 그리고 개통 후 9개월 후에는 98.2%로 나타났다.

4. 사례분석 III (기술통계적 분석법: F-검정)

본 사례분석에서는 월평균 일교통량에 대한 표준화수요의 월별 변화율과 개통시점 대비 수요증가율을 바탕으로 F-검정을 실시하였다. 개통시점 대비 수요증가율을 이용하여 분석할 때 월평균 교통량 자료의 경우 월별 변동으로 인해 증가율이 음의 값을 가질 수 있기 때문에 증가추세가 보이는 기간을 검토하여 3개월 단위로 집계하여 적용하였다.

1) 월별 수요변동성

월별 변화율의 경우 램프업 기간 동안 수요변동이 안정화 기간과 상이할 것이라는 램프업의 기본 성질을 통해 램프업 기간을 분석하는 것이며, 개통시점 대비 수요증가율의 경우

두 기간 사이에 서로 다른 증가패턴을 보일 것이라는 점에 착안한 방법이다. F-검정 시 유의수준은 0.05이며 월별 변화율의 경우 1개월 단위, 그리고 개통대비 수요증가율의 경우 3개월 단위로 축차적 분석을 시행하였다.

우선, 월별 변화율에 대한 F-Test 분석결과 개통 후 19개월 후부터 F 값이 채택되기 시작하므로 램프업 기간은 19개월인 것으로 나타났다. 또한, 램프업 지수를 살펴보기 위해 램프업 기간인 19개월 현재 통행량 대비 개통 후 각 시점의 교통량 비율을 계산한 결과 개통 초기에는 약 66.2% 수준이며, 이후 큰 폭으로 상승하여 9개월 후 약 94.5%, 그리고 12개월 후에는 약 100% 수준에 도달하는 것으로 나타났다.

2) 개통 시 대비 증가율

개통 시 대비 수요증가율을 이용하여 F-Test 분석을 수행한 결과, 개통 후 9개월까지 두 집단간 분산의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 9개월 이후부터 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 결국 이 노선에 대한 램프

〈표 3〉 개통시점대비 증가율을 이용한 F-Test 분석결과

구분	F값	F기각치	차이
개통시점~개통후 3월	0	-	X
개통시점~개통후 6월	0.194	0.0041	X
개통시점~개통후 9월	1.820	4.1028	X
개통시점~개통후 12월	5.502	3.8625	O
개통시점~개통후 15월	12.502	3.8379	O
개통시점~개통후 18월	28.020	3.9715	O
개통시점~개통후 21월	50.95	4.2839	O
개통시점~개통후 24월	87.53	4.8759	O
개통시점~개통후 27월	135.93	6.0410	O
개통시점~개통후 30월	349.14	8.8123	O
개통시점~개통후 33월	356.73	19.400	O
개통시점~개통후 36월	236.27	242.980	O
개통시점~개통후 39월	65535.00	-	O



업 기간은 개통 후 9개월까지 발생한 것으로 나타났다. 하지만, 본 분석에서는 3개월 집계자료를 활용하였기 때문에 램프업은 9개월~12개월 사이에 발생하는 것으로 볼 수 있다.

램프업 수준은 램프업 이후 기간 동안의 증가율을 이용하여 보간법을 적용하여 각 시점별 통행량을 역산하고 이를 각 시점의 실측 통행량 비율을 계산한 결과 개통초기, 3개월, 그리고 6개월 후의 통행량은 각각 안정화 수요대비 72.2%, 81.5%, 그리고 94.8% 수준을 가지는 것으로 나타났다.

두 분석결과가 다소 상이한 것으로 나타났는데, 이는 램프업을 어떤 관점으로 보느냐에 따라 램프업 기간이 다르게 분석될 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 결국, 통계학적 방법이 램프업의 개념과 성질을 과학적으로 해석하고 이를 모형화 할 수 있다는 데 유용한 방법이지만, 분석정밀도 또는 입력자료 수준 및 분석관점에 따라 다른 결과를 도출할 수 있기 때문에 방법론 선정에 다소 신중할 필요성이 존재한다.

### V. 교통수요분석모형 적용방안

교통계획을 위한 교통수요예측기법으로 전통적인 4단계 모형이 가장 일반적으로 활용되고 있으며, 이는 통행발생, 통행분포, 수단선택 및 통행배정으로 구분된다. 이러한 단계별 수요추정과정에서 램프업 효과를 고려한 체계적인 보정 및 정산은 이루어지고 있지 않다. 본 절에서는 수요분석 시 램프업 효과를 반영하기 위한 방안을 장수은·정성봉(2006)의 연구에서 제시된 내용을 토대로 살펴본다.

램프업을 효과적으로 반영하기 위해서는 램프업 발생 원인을 설명하고, 이를 모형내에 포함시킬 수 있는 방법론 개발이 필요하다. 본 연구의 서두에서 램프업의 발생 원인으로 '학습효과' 및 '통행행태의 변화', '마케팅 전략의 혼선', 그리고 기술적 측면에서 발생하는 '개통초기 불안감' 등을 거론한 바 있다. 이러한 요소 중 마케팅 전략의 혼선은 공급적 측면이므로 교통수요추정과정에서 반영하기에는 다소 어려움이 있다.

이처럼 신규 교통시설에 대한 초기 교통수요의 불안정성은 '학습효과', '통행행태의 변화', '개통초기 불안감' 등 이용자의 '통행적응' 과정으로 파악할 수 있으며 이는 신규교통시설의 개통으로 인한 수요전환과정에서 고려할 수 있다.

일반적으로 수요전환은 전환량과 전환기간으로 그 특징이 파악될 수 있는데, 이는 동일 수단에서의 경로전환과 타 수단으로부터의 수단전환으로 구분할 수 있다. 특히 전환량의 경우 기존 노선/수단의 이용수요와 해당지역의 잠재수요 및 신설 노선/수단의 유인력에 따라 달라질 수 있다.

결국 램프업 효과를 고려한 개통 초기 교통수요 추정을 위해서는 '수단선택' 단계와 '통행배정' 단계에서 이용자의 행태를 반영한 모형개발이 필요할 것으로 판단된다. 이에 따라 본 장에서는 수단선택 및 통행배정 단계에서 램프업 효과를 반영하여 수요분석에 활용할 수 있는 방안을 개략적으로 살펴본다.

#### 1. 수단선택 단계

본 절에서는 개별통행행태 모형중 로짓모형을 바탕으로 적용방안을 검토한다. 일반적으로 로짓모형에서 통행자들이 특정수단  $m$ 을 선택할 확률은 식(6)과 같이 표현된다.

$$P(m) = \frac{e^{U_m}}{\sum_i^n e^{U_i}} \quad (6)$$

여기서,  $U_m$ 는 수단  $m$ 의 효용이며  $n$ 은 수단의 개수이다. 이 때, 효용함수는 수송수단별 통행 및 접근시간, 수송수단별 운임, 그리고 그 수단의 특성을 표현하는 더미를 고려하여 추정하며, 일반적으로 식(7)과 같은 형태를 가진다.

$$U_{ijm} = \alpha_1 (Time)_{ijm} + \alpha_2 (Tcost)_{ijm} + (DUM)_m \quad (7)$$

여기서,  $U_{ijm}$ 은 수단  $m$ 의 교통존  $i$ 와  $j$ 간의 효용함수,  $(Time)_{ijm}$ 은 수단  $m$ 의 교통존  $i$ 와  $j$ 간의 총통행시간,  $(Tcost)_{ijm}$ 은 수단  $m$ 의 교통존  $i$ 와  $j$ 간의 총통행비용,  $(DUM)_m$ 은 수단  $m$ 의 더미이다.

이러한 수단분담모형식에 램프업 효과를 반영하기 위해서는 기존 효용함수식을 확장하여 램프업 효과를 고려할 수 있는 항목을 추가하는 방안을 검토할 수 있다. 이는 신규 수단을 선택할 때 개통 초기의 불안감 등으로 램프업 기간과 안정화 시점의 효용에는 차이가 발생할 수 있으므로 이러한 효과는 식(8)과 같이 기존 효용함수식의 확장을 통해 고려할 수 있을 것이다.

$$U_{ijm}^r = f(Time_{ijm}, Tcost_{ijm}, r_{ijm}) \quad (8)$$

여기서,  $U_{ijm}^r$ 는 기존 효용함수에 램프업 효과를 고려한 효용함수이며,  $r_{ijm}$ 은 수단  $m$ 의 교통존  $i, j$ 간의 램프업 효과를 설명하는 항이다.

이와 같은 효용함수를 구축할 경우 타 수단으로부터의 램프업에 의한 전환수요를 파악할 수 있게 된다. 그러나 램프업 효과가 전환량과 전환기간으로 구체화되어야 하며, 효용함수를 구성하는 타 변수와의 관계를 합리적으로 정립하여야 하므로 램프업을 수단선택 단계에서 본격적으로 반영하기 위해서는 심도 깊은 연구가 이어져야 한다.

## 2. 통행배정 단계

일반적으로 통행배정은 Wardrop의 제1원칙에 따른 이용자 균형(user equilibrium) 통행배정원리에 따라 계산된다. 이때 통행자의 경로선택은 자신의 통행비용, 즉 통행거리, 통행시간 등을 최소화하는 경로를 선택한다는 것을 기본전제로 하는데, 일반적으로 통행비용은 식(9)와 같은 형태를 가진다.

$$T = T_0 [1 + \alpha(V/C)^\beta] + d \times w \quad (9)$$

여기서,  $T$ 는 링크통행시간(일반화 비용, 분),  $T_0$ 는 링크 자유통행시간(시간비용, 분),  $V$ 는 링크 교통량(pcu/시),  $C$ 는 링크용량(pcu),  $\alpha, \beta$ 는 파라미터,  $d$ 는 통행거리,  $w$ 는 가중치로 통행요금/km/차종별 시간가치이다.

식(9)는 운전자의 경로선택에 필요한 모든 상황을 설명할 수 없는데, Ortúzar와 Willumsen(2001)의 논의에서 처럼 이들 두 변수만으로는 실제 경로선택에 미치는 영향을 60~80% 정도 밖에 설명할 수 없기 때문에 추가적인 모형 보완이 필요함을 지적하였다. 결국 현재 활용되는 통행비용 함수만으로는 실질적인 경로선택 행태, 즉 통행자 개개인의 통행정보에 대한 불확실성, 개인의 성향이나 행태적 차이점을 반영하기에는 다소 무리가 있는 것으로 볼 수 있다.

램프업 현상을 통행배정 측면에서 설명하면, 신설 도로 및 철도에 대한 이용자들의 초기 저항이 시간이 흐를수록 감소하는 것으로 해석할 수 있으며, 이러한 통행패턴을 통행저항함수에 추가함으로써 모형화 할 수 있을 것이다.

$$T_r = f(V, C, w, g(r)) \quad (10)$$

여기서,  $T_r$ 은 램프업 효과를 고려한 통행저항함수이며  $g(r)$ 은 램프업 효과를 설명하기 위한 신설노선의 저항함수이다.

이와 같이 통행비용함수를 확장할 경우 동일 수단 내 램프업에 의한 경로변경과 그에 따른 전이수요를 파악할 수 있게 된다. 그러나 수단선택 단계의 모형 보정 방안에서 논의한 것과 비슷한 맥락에서 전이수요의 기간별 전환량과 통행비용함수 내에서의 함수관계 정립 등은 보다 폭넓은 연구를 필요로 할 것이다.

## VI. 결론

본 연구에서는 최근 연구된 램프업 분석기법 및 과거 활용된 방법론을 중심으로 각 방법의 이론적 내용과 사례분석을 통한 장·단점을 살펴보았다.

일반적으로 국내 교통사업의 건설여부를 결정하기 위해서는 비용, 편익산출을 통한 경제성 분석이 수행되는데, 초기 수요의 변동은 편익에 결정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 램프업 효과의 반영여부에 따라 분석결과가 달라질 수 있다(장수은·정성봉, 2006). 즉 램프업 효과의 반영여부에 따라 사업 타당성이 결정되는 경우도 발생하기 때문에 정확한 수요 및 타당성 분석을 위해서는 수요예측 과정에서 램프업 효과를 반영하여 분석할 필요성이 있다.

이처럼 수요분석의 신뢰도를 향상시키기 위해 램프업 효과를 수요분석에 반영해야할 필요성은 지속적으로 제기되고 있으나, 이를 위한 표준적 방법론에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 기 수행된 연구와 지금까지 활용된 방법을 중심으로 2002년 12월에 개통된 천안~논산 고속도로 월별 교통량 자료를 이용하여 지금까지 논의된 램프업 분석 방법중 대표적인 기법을 바탕으로 적용성 및 각 기법의 장·단점을 살펴보았다.

사례분석결과 월별 수요변동율을 이용한 F-Test를

〈표 4〉 램프업 분석결과

구분	램프업 분석기법				
	델파이법	회귀 모형법	F-Test법		
			월변동율	개통대비 증가율	
램프업 기간	12개월	12개월	19개월	9개월	
램프업 지수	개통후	65%	71.5%	66.2%	72.2%
	3개월	85%	80.1%	86.2%	81.5%
	6개월	92%	93.1%	93.6%	94.8%
	9개월	93%	98.2%	94.5%	100%
	12개월	100%	100%	101.2%	-
19개월	-	-	100%	-	

제외하면 모든 방법론에서 램프업 기간이 9개월~12개월의 값을 가지는 것으로 나타났다. 분석기법에 따라 다른 램프업 기간이 나타날 것으로 기대되었으나 분석노선의 수요변화 패턴이 비교적 뚜렷하기 때문에 방법별 기간차이는 크게 나지 않았다.

하지만, 월별 수요변동을 이용한 F-Test법을 적용하였을 경우 다른 결과를 보이는 것은 교통량의 월변동성이 램프업 효과와는 무관하게 발생할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

램프업 기간 동안 수요차이를 살펴보기 위해 램프업 폭을 분석한 결과 개통초기(개통 후 1개월)에는 실적치가 예상치의 65%~72%수준으로 상당히 낮게 나타났으며, 기간이 경과함에 따라 점차 안정화 수준으로 회복하였다(〈표 4〉 참조). 이는 개통초기 해당노선에 대한 인식부족 및 기존 이용노선에 대한 관성 등으로 일반적인 수요모형으로는 이용자들의 통행 전환패턴을 설명하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

이처럼 개통초기에는 수요변동폭 및 증가율이 안정화 이후 시점과 다르기 때문에, 정확한 수요분석을 위해서는 초기교통수요 형성 과정을 체계적으로 규명하여 수요 분석에 반영할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서 검토한 3가지 기법의 장단점을 고려하여 적절한 방법론 적용이 필요할 것으로 판단된다.

즉, 델파이법의 경우 비교적 간편하게 전문가 집단의 경험과 직관을 활용하여 램프업 효과를 분석할 수 있는 장점이 있지만, 방법의 이론적 배경이 약하고 무엇보다 임의적 결정법이라는 한계를 지니고 있다. 또한, 회귀모형법의 경우 연속형이므로 특정 지점을 중심으로 상이한 집단을 구분할 과학적 근거를 제시하지 못하기 때문에 이 과정에서도 분석가의 판단이 포함되어 임의적이라는 한계를 벗어나지는 못한다. 이와 다르게 F-Test분석법의 경우 통계학 이론을 바탕으로 램프업 현상을 비교적 과학적으로 설명할 수 있다는 장점은 있지만, 사례분석에서 볼 수 있듯이 입력 자료의 형태에 따라 다른 결과가 나올 수 있다는 단점이 존재한다.

램프업을 장래 수요분석에 적용하기 위해서는 램프업 효과를 수요분석 과정에 반영할 수 있는 방법론 개발이 필요하다. 본 연구에서는 4단계 모형에 기반을 둔 전통적 교통수요추정모형을 개발한 뒤 램프업 현상을 고려할 경우 수단선택 및 통행배정 단계에서 모형보정이 필요함을 논의하였다. 즉, 수단선택 단계에서는 효용함수의 확장, 통행배정 단계에서는 통행비용함수의 보정을 구체

적으로 살펴보았다. 비록 본 연구에서 단계별 모형 보정 방안을 개념적으로 제시했으나 램프업 효과를 교통수요 추정에 본격적으로 반영하기 위해서는 보다 심도 깊은 추가 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

수요분석 시 좀 더 현실적인 결과를 얻기 위해서는 표준적인 램프업 분석기법의 정립뿐만 아니라, 실적 자료를 이용한 램프업 효과에 대한 자료가 지속적으로 구축되어야 할 것이다. 이는 램프업이 모든 신규 노선에 공통적으로 나타나는 현상이 아니기 때문에 노선 주변 토지 이용형태와 경쟁노선의 존재여부, 통행량 규모 등을 감안하여 장래수요 추정시 기 분석된 유사노선의 램프업 효과를 검토한 후 분석에 반영되어야 하기 때문이다.

본 연구의 결과에서 알 수 있듯이 월평균 교통량을 이용한 F-Test외에는 비교적 유사한 결과를 보여주고 있으며, 이에 따라 어떤 방법이 더 정확하게 램프업 효과를 판별한다고 제안하는 것은 다소 이른 감이 없지 않다. 즉, 하나의 사례분석을 통해 각 기법의 적용성과 램프업 기간의 차이를 보여주었으나 이는 단지 사례분석 측면에서 제시한 결과이며, 본 연구에서 비교·검토된 방법론을 바탕으로 향후 다양한 사례분석을 통해 체계적 방법론 정립이 필요하다.

향후 적절한 분석 방법론 정립을 통해 노선의 특성을 반영한 램프업 효과를 도출하여 이를 수요분석에 직접 적용한다면 지금보다 신뢰성 높은 수요 및 타당성분석이 이루어 질 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 국토연구원(2003), "민간투자사업의 주요쟁점별 협상 방안 연구".
2. 서울메트로(2006), "2006년도 지하철 수송계획".
3. 장수은·이장호(2005), "철도수요의 Ramp-up : 현상과 시사점", 교통계획모형과 적용, 대한교통학회 교통계획분과위원회, 대한교통학회, pp.67~77.
4. 장수은·정성봉(2006), "초기교통수요 형성의 특성 규명을 통한 교통수요분석의 신뢰도 제고 방안 연구", 한국교통연구원.
5. 정성봉·김강수·김기민(2005), "도로의 Ramp-up 기간 산정방법 개발", 대한토목학회 2005년 학술대회, 대한토목학회.
6. Douglas(2003), N., "Patronage Ramp-up Factors for New Rail Services", Douglas Economics

Consultancy.

7. Florida High Speed Rail Authority(2003), "Orlando-Miami Planning Study".

8. Flyvbjerg, B., "Measuring Inaccuracy in Travel Demand Forecasting: Methodological Considerations Regarding Ramp-up and Sampling", Transportation Research Part A 39, pp.522~530.

9. PCIE(2002), "East Coast Corridor High Speed Rail Patronage Forecasts".

10. World Bank(2005), "Demand Forecasting Errors", Transport Note No. TRN-12.

✉ 주 작성자 : 정성봉  
 ✉ 교신저자 : 정성봉  
 ✉ 논문투고일 : 2007. 11. 10  
 ✉ 논문심사일 : 2008. 3. 10 (1차)  
 2008. 6. 11 (2차)  
 2008. 8. 22 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2008. 8. 22  
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 2. 28  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필

**부록 : 국내 · 외 선행연구 고찰**

번호	연구명	연구목적	연구방법	주요 연구내용
1	East coast corridor high-speed rail patronage forecasts (PCIE, 2002)	호주의 Brisbane과 Melbourne 간 고속철도 수요추정	- 후처리 방식 - 파라미터 산정 과정과 방법에 관한 구체적 기술 부재	- 램프업 현상의 두 가지 원인 제시 : 마케팅 지체 (lag), 학습곡선(learning curve) 효과 - 4단계 모형으로 수요 추정 후 램프업 파라미터 적용하여 초기 수요 조정
2	Orlando-Miami planning study (Florida High Speed Rail Authority, 2003)	Orlando와 Miami 간 고속철도 건설 타당성 조사	- 후처리 방식(추정) - 파라미터 산정 과정과 방법에 관한 구체적 기술 부재	- 전통적 4단계 방법론을 이용하여 고속철도 수요 추정 후 램프업 파라미터를 적용하여 초기 교통수요 조정
3	Patronage ramp-up factors for new rail services (Douglas, 2003)	신규 철도시설의 램프업 요인 및 경험값 추정	- 자료수집 및 기초통계 분석 - 회귀모형 활용 후 후처리와 결합	- 전통적 수요분석법과 램프업 요인분석의 결합 가능성 검토 - 유럽 중심의 13개 철도 노선별 램프업 파라미터 실증 산정 및 경험적 일반화 검토
4	Demand forecasting errors (World Bank, 2005)	교통수요분석 오류의 원인 조사 정리	- 전문가 집단의 의견 취합 후 요약	- 램프업 현상의 세 가지 원인 제시 : 사업지연에 따른 목표 교통량의 타수단 및 시설로의 전환, 초기 교통수요 형성을 위한 물리적 시간, 교통시설의 기술적 신뢰성
5	Measuring inaccuracy in travel demand forecasting (Flyvbjerg, 2005)	교통수요추정 오류의 구조적 불개성 주장 비판	- 수요추정과 관련된 과정에서 발생할 수 있는 오차요인을 에세이 형식으로 기술	- 램프업 효과가 나타날 수 있으나, 그것이 교통수요 추정 오류에 대한 비판을 합리화해서는 곤란
6	민간투자사업의 주요쟁점별 협상 방안 연구(국토연구원, 2003)	정부와 민간투자자간 합리적 합의 도출 모색	- 교통량 추이 조사 및 기초통계 분석 - 회귀모형 활용 후 개략적인 램프업 파라미터 산정	- 연평균일교통량 자료로 회귀모형을 구축하고 개통초기년도 교통량을 추정 - 추정 교통량과 관측 교통량의 비를 이용 개략적인 램프업효과 산정
7	철도수요의 램프업(ramp-up) : 현상과 시사점(장수은 · 이강호, 2005)	초기 교통수요 형성의 구조적 특성 규명 기초연구	- 외국의 철도 수송실적 자료 조사 - 경부고속철도 수송실적 자료 수집 - 회귀모형 활용 후 개략적인 램프업 파라미터 산정	- 램프업의 개념적 정의 - 국내의 철도 램프업 사례 조사 및 일반화 검토 - 고속철도 램프업 분석 - 램프업 효과의 이론적, 정책적 시사점 제시
8	도로의 Ramp-up 기간 산정방법 개발(정성봉 외, 2005)	국내 도로부문의 램프업 분석을 위한 방법론 제시 및 사례연구	- 국내의 램프업 관련연구 정리 - 46개 도로 교통량 자료 수집 - ANOVA 기법 활용 램프업 파라미터 산정	- 램프업 정의 : 통행량 변화율의 변화 - ANOVA 활용 램프업 분석 : 고속도로 7개노선, 국도 2개노선 - 구간별, 차종별 램프업 차이 제시
9	초기 교통수요 형성의 특성규명을 통한 교통수요분석의 신뢰도 제고방안 연구(정성은 · 정성봉, 2006)	초기 교통수요 분석을 위한 방법론 개발	- 국내 · 외 램프업 관련 연구 정리 - 도로 · 철도 부문별 자료수집 - F-test를 적용하여 램프업 기간 및 파라미터 산정	- 램프업 정의 - 기존 연구내용의 장 · 단점 제시 - 고속국도 5개노선, 철도 5개노선에 대한 램프업 기간 및 지수 산정 - 램프업을 고려한 수요추정방안 제시