

■ 論 文 ■

카테고리별 다중회귀분석 방법을 이용한 지하철역별 수요 추정 모형 개발

Modelling the Subway Demand Estimation by Station
Using the Multiple Regression Analysis by Category

손 의 영

권 병 우

이 만 호

(서울시립대학교 교통공학과 부교수)

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
- II. 기존 지하철 수요 추정 모형 및 추정 사례 분석
 - 1. 기존 지하철 수요 추정 모형 분석
 - 2. 기존 지하철 수요 추정 사례 분석
- III. 카테고리 분석방법을 이용한 지하철역별 수요 추정 모형 개발
 - 1. 지하철역별 수요 변화 특성 분석
- 2. 카테고리 분석방법을 이용한 지하철역별 수요 추정 모형 개발
- 3. 카테고리별 지하철역별 수요 추정 모형 정립
- 4. 서울시 지하철 9호선에의 모형 적용
- IV. 결론
- 참고문헌

Key Words : 역세권, 개통 후 경과년도, 지하철역별 수요, 로지스틱 함수식, 카테고리 분석법

요 약

지하철역별 수요는 개통 후 경과 연도에 따라서 S자 형태로 증가한다. 즉 개통 초기에는 잠재되어 있던 지하철 수요가 시간의 경과에 따라 계속적으로 증가하다가, 개통 후 10~13년 정도가 경과하면 최대를 나타낸 후 거의 정체하는 현상을 보인다. 그러나 지금까지 지하철 수요를 추정하기 위해서 이용되었던 4단계 모형은 이러한 지하철 수요의 증가 추세를 반영할 수 없기 때문에 실제 수요와 많은 차이를 보였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결해 보코자 서울시 지하철 2~8호선의 실제 수요를 토대로 지하철역별 수요, 특히 순수한 승차인원을 추정하는 모형을 개발하였다.

모형에 적용되는 함수식은 실제 지하철역별 수요와 가장 유사한 형태를 보이고 있는 로지스틱 함수식을 이용하였다. 또한 각각의 지하철역별로 나타나는 상이한 특성은 카테고리로 분류하여 모형에 반영하였다. 카테고리는 토지이용도, 사회경제활동의 규모, 그리고 지하철역의 특성에 따라 분류하였다. 각 카테고리별 특성을 대표하는 독립 변수로 인구, 종사자수, 학생수와 개통 후 경과 연도 등을 선정하였다. 그 결과 카테고리별로 추정된 지하철역별 수요는 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났다.

본 연구는 지하철역별로 승차하는 순수한 수요를 보다 정확하게 추정하기 위한 모형을 개발하는 것이 주된 목적이다. 반면에 본 모형을 이용하여 지하철역별 하차 수요 및 환승 수요를 추정하는 것은 어렵다. 따라서 기존에 지하철 수요를 추정하는 데에 가장 많이 사용된 4단계 모형과 접목하여야 하며, 이에 대한 방안도 본 연구에서 제시하였다.

I. 서론

지금까지 지하철 수요 추정은 일반적으로 4단계모형을 이용하여 왔다. 4단계모형은 사회경제지표를 바탕으로 교통존별 교통수단 전체의 O/D를 추정된 후 각 교통수단별 특성을 고려하여 교통존별 지하철 O/D를 추정하며, 이를 토대로 결국에는 지하철역별, 시간대별, 방향별 수요 및 재차인원을 추정한다. 현재 운행 중인 서울시 지하철 1~8호선은 물론 부산시 및 대구시 등 모든 지하철 노선에 대한 수요 추정시에도 4단계모형을 이용하였다. 그러나 거의 모든 지하철 노선의 경우 4단계모형에 의해 추정된 수요와 실제 수요를 비교해 보면 상당한 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다.

잘못 추정된 지하철역별 수요는 노선 건설에 대한 경제적 타당성을 비롯하여 역사 규모 설계, 운영상 적자 발생 등 엄청난 영향을 미친다. 그러나 기존의 4단계모형은 교통존별 사회경제지표에 관한 정확한 자료 수집의 한계, 교통수단간 부담률 추정 등에서 발생하는 한계로 인하여 정확한 지하철역별 수요 추정에 어려움이 있다. 따라서 실제적인 지하철 수요를 보다 제대로 반영할 수 있는 모형을 개발할 필요가 있다.

서울시 지하철 2~4호선은 개통한지 18년 이상 경과하여, 각 노선별 및 역별로 수요가 어떻게 변화하고 있는가를 잘 나타내주고 있다. 따라서 본 연구는 실제 자료를 바탕으로 한 지하철역별 수요를 추정하기 위한 것이 주된 목적으로서, 먼저 지하철역별 수요가 어떠한 요인에 의해 영향을 받는가를 분석하여, 현실적인 지하철역별 수요량을 추정하기 위한 모형을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

이를 위한 연구 수행 과정은 먼저 기존의 지하철 수요 추정에 적용된 4단계 모형을 고찰하고, 4단계 모형의 한계를 분석한다. 또한 실제 지하철역별 수요를 분석하여, 어떠한 요인이 지하철역별 수요에 영향을 미치는지를 판단한 후 서울시 지하철 2~8호선 262개 지하철역을 대상으로 모형을 도출한다. 그리고 개발된 모형을 실제로 적용함으로써 발생하는 한계점과 이에 대한 해결방안도 제시한다.

II. 기존 지하철 수요 추정 모형 및 사례 분석

1. 기존 지하철 수요 추정 모형 분석

지금까지 지하철 수요 추정을 위해서는 거의 모든

경우 4단계모형을 이용하였다. 4단계모형은 교통존별 사회경제지표를 토대로 발생량과 도착량을 추정하는 통행발생단계, 통행량을 교통존간 분포시키는 통행분포단계, 교통존간 통행량을 이용 가능한 교통수단별로 구분하는 교통수단 선택단계, 그리고 각 교통수단별 통행량을 교통망에 배정하는 통행배정단계로 이루어진다.

최근에 이루어진 수도권 지하철 수요 추정을 살펴보면, 먼저 수도권을 행정동 기준으로 1,132개의 교통존으로 구분하였다. 통행발생모형으로는 통행목적별 회귀분석모형을 적용하였으며, 이 경우 인구, 거주학생수, 수용학생수, 종사자수, 취업자수 및 자동차 보유대수 등이 독립변수로 이용하였다. 통행분포모형으로는 이중제약 감마중력모형을 적용하였으며, 교통수단선택모형으로 Incremental Logit 모형을 적용하였다. 통행배정은 지하철의 경우 EMME/2를 이용한 용량 무제약 모형을 적용하였다.

부산시의 경우도 수도권의 수요추정 과정과 거의 동일한 방법을 적용하였다. 부산시를 237개 교통존으로 구분한 후, 통행발생모형은 회귀분석모형을 적용하였으며, 통행분포모형은 이중제약 중력모형을 적용하였다. 교통수단 선택모형으로는 통행시간과 통행비용을 이용한 Multinomial Logit 모형을 적용하였으며, 통행배정은 용량 무제약 모형을 적용하였다.

2. 기존 지하철 수요 추정 사례 분석

위의 과정을 거친 서울시 지하철 3~5호선 및 부산시 지하철 1~2호선의 수요를 보면 <표 1>에 나타나는 바와 같다. 1985년에 개통된 서울시 지하철 3호선의 추정수요는 실제 수요의 약 17%~43%에 불과하며, 4호선의 경우도 실제 수요의 11%~55%에 불과하다. 또한 1996년에 개통된 서울시 지하철 5호선의 경우는 실제 수요의 10%를 조금 넘는 것으로 추정되었다. 부산시의 경우도 마찬가지로 지하철 1·2호선의 실제 수요가 추정수요의 9~20%에 불과한 것을 알 수 있다. 추정된 수요가 실제 수요보다 과다한데, 특히 개통 초기단계에서 더욱 그러한 것을 알 수 있다.

지하철 실제 수요와 4단계모형을 이용한 추정 수요간에 차이가 발생하는 원인은 지하철의 실제 수요가 어떻게 증가하는가를 분석함으로써 추정할 수 있다.

〈표 1〉 서울시·부산시 지하철 노선 추정 및 실제 수요 비교 (단위:명/일)

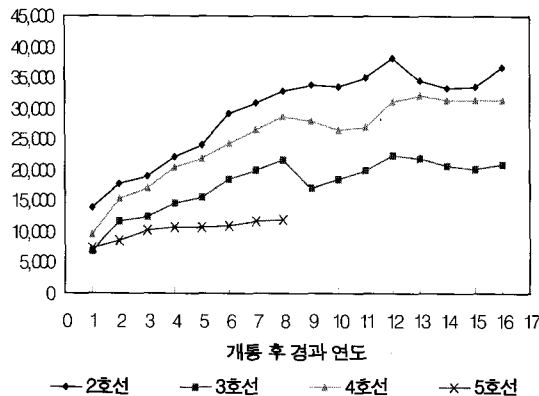
호선	연도 구분	1985	1987	1989	1991	2001
		추정수요	39,823	41,902	43,980	46,059
서울시 3호선 (’85년 개통)	실제수요	6,844	12,316	15,606	19,891	21,005
	비율	17.2%	29.4%	35.5%	43.2%	39.2%
	추정수요	85,009	72,983	60,956	48,930	56,922
서울시 4호선 (’85년 개통)	실제수요	9,373	16,946	21,889	26,487	31,477
	비율	11.0%	23.2%	35.9%	54.1%	55.3%

호선	연도 구분	1996	1997	호선	2001	호선	2001
		추정수요	78,609	79,806	부산시 1호선 (’94년 개통)	80,480	부산시 2호선 (’99년 개통)
서울시 5호선 (’96년 개통)	실제수요	8,424	10,289		16,098		3,623
	비율	10.7%	12.9%		20.0%		8.9%

주 : 수요는 승차인원 기준임.
 자료 : 서울시 지하철건설본부(1979), "지하철3·4호선 건설기본계획".
 서울시 지하철건설본부(1990), "지하철 5호선 기본계획".
 교통개발연구원(1980), "부산시 지하철 1호선 경제성 조사 연구 보고서".
 교통개발연구원(1990), "부산직할시 동서간 도시철도 기본 계획 수립".

〈그림 1〉은 서울시 지하철 2~5호선의 1개 역당 1일 평균 수요를 나타낸 것으로, 개통 초기에는 지하철 수요가 별로 증가하지 않다가 일정 기간 이후에는 시간의 경과에 따라 계속적으로 증가한다. 그러나 지하철 수요가 무한정 증가하지는 않고 어느 시점 이후에는 거의 정체하는 현상을 보인다.

개통 초기에 지하철 수요가 낮게 나타나는 것은 지하철역 주변에 역세권이 형성되지 못하기 때문이며, 역세권이 형성되는 개통 4~5년 후에는 실제 수요가 계속적으로 증가하게 된다. 그러나 개통 약 10~13년



〈그림 1〉 서울시 지하철 2~5호선의 역별 1일 수요

정도가 경과하면, 더 이상 역세권이 개발되지 않을뿐더러 지하철 용량 상의 제약 등에 의하여 지하철 수요도 정체하게 된다.

4단계모형에 의한 지하철 추정수요는 이러한 실제 수요의 증가 패턴을 제대로 나타내지 못하는데, 그 원인의 하나는 바로 역세권 개발의 정도를 제대로 고려하지 못하기 때문이다. 4단계모형은 행정동을 기준으로 구성된 교통존 체계를 이용하는데, 행정동은 지하철 역세권보다 그 범위가 매우 넓다. 따라서 새로이 건설되는 지하철 역임에도 불구하고 기존의 행정동 개발정도가 이미 높다면 지하철수요는 높게 추정된다.

즉 지하철 수요에 가장 큰 영향을 미치는 역세권내 지역은 개통 초기에 아직 개발되지 않았음에도 불구하고 지하철 수요로 추정된다. 반면에 지하철 수요에 상대적으로 영향을 크게 미치지 않는 역세권을 벗어난 지역은 지하철 수요로 추정된다. 따라서 행정동 기준으로서 하여 추정되는 지하철수요는 개통 초기단계에 일반적으로 높게 추정된다. 물론 지하철 역세권 범위를 제대로 설정한다면 이러한 문제점을 크게 해소할 수 있으나, 지금까지는 그러하지 못했다. 이리하여 지금까지 거의 모든 경우에 4단계모형에 의한 추정수요는 개통 초기 단계에서 실제 수요보다 크게 높았다.

지하철 수요 추정 과정에서 4단계모형을 이용할 때, 역세권에 대한 고려가 제대로 반영되지 않는 것 이외에도 4단계모형은 통행발생 단계 및 통행분포 단계에서 가장 중요한 변수인 장래 사회경제지표를 추정하는 과정에서 커다란 불확실성을 내포하고 있으며, 교통수단분담 단계를 적용할 때 또한 모형은 현실을 제대로 반영하지 못하게 되는 경우도 발생한다. 그 결과 장래 지하철 수요는 부정확하게 추정된다.

4단계모형의 통행발생 단계 및 통행분포 단계에서 수요를 정확하게 추정하기 위한 전제 조건은 각 교통존별로 장래의 사회경제지표에 대한 추정이 정확해야 한다는 것이다. 이 경우 장래 사회경제지표는 도시계획 상의 상위계획을 바탕으로 추정되는데, 장래 5년, 10년, 20년에 대한 도시계획 상의 상위 계획은 그 불확실성이 매우 크다. 특히 현재도 그렇지만 과거에는 토지 및 주택가격의 폭등을 우려하여 특정 교통존의 토지용도 변경은 극비리에 추진되어 왔다. 예를 들면 1980년대 후반에 건설되기 시작한 일산, 분당, 평촌 등의 신도시 개발 계획은 1980년대에 수행된

교통수요 추정 연구에서는 고려할 수가 없었다. 따라서 장래의 불확실한 사회경제지표를 토대로 정확한 통행발생 및 통행분포를 추정하는 것은 근본적인 한계점을 내포하고 있다.

마지막으로 지하철 수요 추정을 위한 4단계모형은 무엇보다도 교통수단 분담모형이 현실을 제대로 반영할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 그러나 기존의 지하철 수요추정 과정에서는 지하철역까지 접근하는데 소요되는 시간이나 지하철 환승역에서의 노선간 환승거리 등을 모형에서 적절하게 반영하지 못했다. 그 결과 지하철 통행 시간은 실제보다 과소하게 추정되어, 지하철 수단 분담율을 실제보다 높게 추정하는 결과를 발생시켰다. 물론 모든 지하철 역사의 환승통로나 접근 시간을 직접 조사하여 모형에 적용하기란 지하철 수요를 추정하는 단계에서는 시간과 비용의 한계를 가지고 있기 때문에 매우 어렵다.

전술한 바와 같이 4단계모형에 의한 지하철 수요 추정은 현실적으로는 몇 가지 근본적인 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 지하철 역세권의 개발추세를 반영하고, 불확실성이 매우 큰 상위계획의 가변성에 대한 영향이 적으며, 지하철 수단분담을 현실적으로 적절하게 반영할 수 있는 모형을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 카테고리 분석방법을 이용한 지하철역별 수요 추정 모형 개발

1. 지하철역별 수요 변화 특성 분석

앞 절에서 논의한 바와 같이 4단계모형의 통행발생, 통행배분, 교통수단분담모형을 별개로 수행하기 위해서는 장래 행정동별로 사회경제지표나 교통망에 대한 정확한 자료 수집이 요구되나, 불확실성이 매우 큰 상황을 고려할 때 이는 매우 어렵다. 반면에 지하철 수요는 행정동보다는 역세권내 인구, 종사자수, 학생수 등 사회경제지표에 따라서 커다란 영향을 받는다. 더욱이 개통 초기에는 수요가 극히 적고, 개통 연도가 경과함에 따라 급격히 증가하는 개통 후 경과연도에 영향을 받는다. 그 외에 주변 도로망이나 지하철역에의 접근성 개발정도(버스 노선, 환승주차장 등)에도 영향을 받으나, 이는 개통 후 경과년도와 밀접한 관련을 갖고 있다.

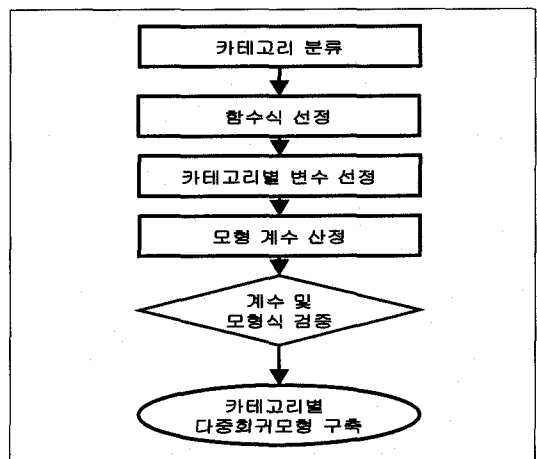
장래 불확실성이 크고 정확한 자료 수집이 어려운

4단계모형의 통행발생, 통행배분, 교통수단분담모형을 별개로 수행하기보다는 이들을 하나로 통합한 직접수요모형을 이용하는 것이 오히려 지하철수요를 더 정확하게 추정할 수도 있다. 따라서 본 연구는 직접수요모형을 이용하여 지하철역별 수요를 추정해 보도록 한다. 다만 지하철역별 수요는 그 특성에 따라 상이한 규모를 나타내므로, 지하철역의 특성을 개략적으로 분석해 보기로 한다.

먼저 역세권내 토지이용도와 사회경제 활동의 규모에 따라 지하철역별 수요 규모는 상이하다. 즉 지하철역 수요는 역이 위치한 주변의 토지이용도에 따라 매우 다르다. 주거지역인 경우와 상업·업무지역인 경우의 지하철역별 수요는 시간대별로 발생량 및 도착량이 매우 상이하며, 또한 사회경제 활동의 규모를 나타내는 인구, 종사자수, 학생수에 따라 수요의 규모가 상이하다.

다음으로 지하철역의 특성에 따라서도 수요는 상이하다. 지하철역에 하나의 노선만 운행되는 일반역과 두 개 이상의 노선이 운행되는 환승역은 그 수요가 상이하다.

따라서 본 연구에서는 카테고리 분석법을 이용하여 지하철역을 몇 개의 그룹으로 구분한다. 카테고리는 토지이용도, 사회경제활동의 규모, 그리고 지하철역의 특성에 따라 분류하였다. 다음으로 일반적인 지하철역 수요 특성을 나타내는 함수식을 선정한 후에, 각 카테고리별로 지하철역 수요에 영향을 미치는 변수를 선정하고 이들 변수에 대한 계수를 산정하였다. 산정된 계수 및 모형식에 대하여는 신뢰성을 검증함으로써 카테고리별 모형을 구축하였다. 이러한 각 과정의 흐름은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 모형개발 흐름도

2. 카테고리 분석방법을 이용한 지하철역별 수요 추정 모형 개발

1) 카테고리의 분류

지하철역 수요는 전술한 바와 같이 사회경제활동을 결정짓는 여러 요소들에 따라서 각각의 그룹별로 상이한 특성을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 지하철 수요에 영향을 미치는 토지이용도, 사회경제활동의 규모, 그리고 지하철역의 특성에 따라 지하철역을 카테고리별로 분류한다.

지하철 수요는 무엇보다도 역세권의 특성에 따라 결정되기 때문에 수요에 영향을 미치는 사회경제적 요인을 분석하기 전에 먼저 역세권의 범위를 적절하게 결정하여야 한다. 즉, '역으로부터 몇 m 내를 역세권으로 할 것인가?'를 결정해야 한다. 역세권 범위의 설정에 관한 구체적인 연구는 아직까지 미흡한 상태이나, 도시계획분야에서는 개략적으로 역 반경 500m 이내를 역세권으로 정의하고 있다. 만일 본 연구에서 도시계획분야와 마찬가지로 역세권의 범위를 500m로 설정한다면, 역세권별로 사회경제지표를 추정해야 하는 문제가 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 현장조사를 통하여 역세권의 사회경제지표를 수집해야만 한다. 그러나 역세권내 인구, 종사자수, 학생수 및 연상면적 등과 같은 사회경제지표의 조사에는 많은 비용과 시간이 요구된다. 특히 과거 및 장래의 역세권에 대한 사회경제지표의 추정은 매우 힘들기 때문에, 본 연구에서는 다른 모든 연구에서와 마찬가지로 역세권의 범위를 역이 위치한 행정동으로 설정하고, 행정동에 대한 사회경제지표를 바탕으로 역세권의 사회경제지표로 간주하였다.

역세권의 범위 설정 및 필요한 사회경제지표를 구축한 다음으로는 지하철역의 카테고리를 분류해야 한다. 카테고리를 분류하는 기준으로는 지하철역이 위치한 행정동을 대상으로 토지이용도, 사회경제활동의 규모, 그리고 지하철역의 특성 등을 고려하였는데, 분류 기준은 다음과 같다.

첫째, 토지이용도에 따라 지하철역 수요에 영향을 미치는 정도가 매우 상이하기 때문에, 주거지역과 상업·업무지역으로 구분하였다. 이 경우의 구분 기준은 인구/종사자수를 이용하였다. 즉, 인구/종사자수가 1이하이면 상업·업무지역으로, 인구/종사자수가 1이상이면 주거지역으로 구분하였다.

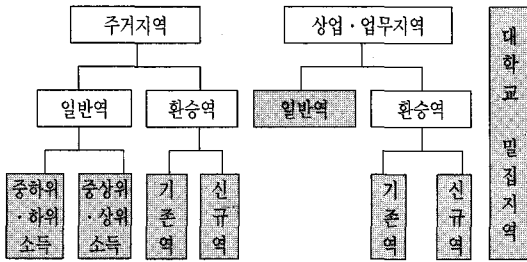
둘째, 지하철역의 특성을 고려하여, 일반역과 환승역으로 구분하였다. 일반역은 한 개 노선에 영향을 받지만 환승역은 2개 또는 그 이상의 노선에 영향을 받는다. 따라서 환승역은 사회경제 활동을 발생시키는 입지적 여건이 일반역과는 다를 것이라고 판단하여 별도로 분류하였다. 또한 환승역은 기존 환승역에 새로운 노선이 추가되는 경우와 기존 일반역에 새로운 노선이 건설되어 신규로 환승역이 되는 경우가 있으므로 이를 별도로 구분하였다. 왜냐하면 새롭게 환승역이 되는 경우 기존 노선의 역을 이용하던 이용자의 상당부분이 새로운 노선으로 전환되기 때문이다.

셋째, 주거지역의 경우 중상위·상위소득 주거지역과 중하위·하위소득 주거지역으로 구분하였다. 이는 저소득층은 고소득층에 비해 더 많이 지하철을 이용할 것이라는 가정에 따른 것으로, 소득 수준에 따라 통행의 규모와 빈도가 상이한 점을 고려하기 위한 것이다. 소득 수준별 구분을 위해 사용한 변수는 주거용 연상면적/인구인데, 일반적으로 고소득층 1인당 점유 면적은 저소득층의 1인당 점유 면적보다 넓기 때문이다. 주거용 연상면적/인구에 의해 분류함에 따라서 역세권을 행정동으로 결정하여 발생하는 문제점을 보완할 수 있다. 왜냐하면 인구 규모에 의해서만 구분할 경우 면적이 넓은 행정동에 위치한 지하철역의 수요가 높게 추정될 우려가 있으나, 주거용 연상면적/인구지표는 고층 빌딩, 아파트 등을 고려할 수 있기 때문이다. 본 모형에서 활용한 주거용 연상면적/인구의 평균이 15m²/명이기 때문에 소득수준별로 구분하는 기준으로 15m²/명을 사용하였다.

한편 상업·업무지역의 경우에도 주거지역과 동일하게 건물 연상면적/종사자수라는 지표를 사용하여 고밀도 지역과 저밀도 지역으로 구분하고자 하였으나, 활용 가능한 자료가 너무 적기 때문에 별도로 구분하지는 않았다.

넷째, 대학교 밀집지역에 위치한 역을 따로 구분하였다. 대학교 밀집지역에 위치한 역의 수요는 역세권의 토지이용도와 상관없이 입지한 대학의 학생수에 크게 영향을 받을 것이기 때문이다.

그 외에도 항공 수요에 영향을 받는 김포공항역 그리고 공원 및 놀이시설 등의 영향을 받는 어린이대공원 역과 같이 다른 특성을 내포하고 있는 지하철역에 대해서도 구분하고자 하였으나 모형 추정을 위한 역의 개수가 너무 적어 별도로 구분하지는 않았다.



〈그림 3〉 카테고리 구분

지금까지 논의한 기준에 의해 분류된 카테고리는 〈그림 3〉에 나타나는 바와 같으며, 총 8개의 카테고리로 분류되었다.

2) 함수식 및 독립변수의 설정

회귀모형식을 도출하기 위해서 사용한 자료는 서울시 2~8호선의 지하철역별 승차인원과 해당 지하철이 위취하는 행정동의 사회경제지표이다. 서울시 지하철 1호선은 서울시내보다 시외지역을 운행하기 때문에 자료에서 제외하였다. 또한 1990년부터 1996년까지의 승·하차인원을 이용하였는데, 이는 1990년 이전의 자료에 대해서는 해당기관의 데이터 베이스가 구축되지 않아서 이용할 수 없었으며, 1997년 이후의 지하철역별 자료의 경우 IMF의 영향을 크게 받기 때문에 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 1990년~1996년까지의 서울시 지하철 2~8호선 총 262개 지하철역의 승·하차 인원을 토대로 모형을 추정하였다.

서울시 지하철 2~4호선의 개통 후 경과 연도에 따른 1일 역별 수요 변화는 전술한 것과 같이 S자 형태의 곡선을 보인다. 따라서 본 연구에서는 로그식, 지수식 또는 로지스틱 함수식등을 모형의 함수식으로 검토하였다. 그러나 로그식과 지수식의 경우 한계점에 도달할수록 증가율이 둔화되고, 초기연도의 수요를 잘 나타내지 못하기 때문에 지하철 수요 모형의 함수식으로는 부적합하다고 판단하였다. 반면에 로지스틱 함수식의 경우에는 지하철 수요 변화 형태와 같은 S자 형태의 곡선을 나타낼 수 있기 때문에 본 연구에서 개발한 모형의 함수식으로 적합하다고 판단하여 이를 선정하였다. 선정된 로지스틱 함수식은 다음과 같다.

$$Y = \frac{K}{1 + \text{EXP}(a - b \cdot X_1 - c \cdot X_2)} \quad (1)$$

여기서,

Y : 지하철역별 순 승차수요

K : 최대값

a : 상수

b, c : 계수

X₁, X₂ : 독립변수(인구, 종사자수 등)

또한 함수에 반영될 독립변수를 선정하는 데에 있어서는 현재는 물론 장래에도 자료 수집이 가능하고, 활용도 가능한지가 중요하다. 따라서 본 연구에서는 인구, 종사자수, 학생수 그리고 지하철역의 개통 후 경과 연도를 독립변수로 선정하였다.

각 카테고리별로 선정된 변수를 살펴보면, 첫째 앞 절에서 논의한 바와 같이 지하철 수요는 지하철 개통 후 경과 연도에 따라서 점진적으로 역세권이 개발되면서 증가한다. 본 모형에서는 이러한 역세권 개발과 수요와의 관계를 반영하기 위해서 지하철 개통 후 경과 연도를 독립변수로 선정하였다.

둘째 지하철 수요는 주거지역이나 상업·업무지역 이나에 따라 시간대별 지하철 수요의 발생량 및 도착량은 커다란 차이가 있다. 그리고 각각의 지역에 따라서 지하철 발생 및 도착량에 영향을 미치는 요소는 다르다. 따라서 본 모형에서는 주거지역에는 인구를, 상업·업무지역에는 종사자수를 각각의 독립변수로 선정하였다. 또한 대학교 밀집지역에는 대학생수를 선정하였다.

마지막으로 기존의 환승역의 경우에는 일반역과 마찬가지로 위치한 지역에 따라서 인구 및 종사자수를 독립변수로 선정하였다. 그러나 새로운 환승역의 경우 새로운 노선이 개통됨에 따라서 기존역의 수요에 영향을 미치므로 추가 노선의 개통연도와 환승역 전체의 지하철 수요를 독립변수로 선정하였다.

이와 같이 각 카테고리별로 최종적으로 선정된 독립변수는 〈표 2〉와 같다.

로지스틱 함수식은 그 모형의 특성상 최대값을 모형에 입력하여야 한다. 본 연구에서 개발한 모형에 의하면, 최대값은 각 카테고리에서 지하철 용량과 과거 수요 변화 추세를 고려할 때의 1개 역의 최대 승차인원을 의미한다. 지하철역별 승차인원을 분석해보면, 최대값은 인구, 종사자수 등의 규모에 따라 카테고리별로 상이하게 나타나고 있다. 따라서 본 연구 모형에서의 최대값은 다음과 같이 산정하였다.

〈표 2〉 카테고리별로 선정한 독립변수

카테고리 유형		독립변수	
토지이용도	지하철 특성		
주거 지역	일반역	중하위·하위소득지역	인구, 개통 경과연도
		중상위·상위소득지역	인구, 개통 경과연도
	환승역	기존역	인구, 개통 경과연도
		신규역	환승역의 총 수요, 추가노선 개통 경과연도
상업·업무 지역	일반역	종사자수, 개통 경과연도	
	환승역	기존역	종사자수, 개통 경과연도
		신규역	환승역의 총 수요, 추가노선 개통 경과연도
대학교 밀집지역		학생수, 개통 경과연도	

$$K_i = K_0 \times \frac{P_i}{P_0} \quad (2)$$

여기서,

K_i : 추정하고자 하는 역의 최대 승차인원

K_0 : 지하철 용량과 과거 수요 변화 추세를 고려할 때의 특정 카테고리내 최대 승차인원

P_i : 추정하고자 하는 역의 인구
(또는 종사자수, 학생수 등)

P_0 : 최대 승차인원을 나타내는 역의 인구
(또는 종사자수, 학생수 등)

3. 카테고리별 지하철역별 수요 추정 모형 정립

1) 주거지역내 지하철역 수요

주거지역에 입지한 일반역에 대한 수요 추정모형은 독립변수로서 개통 후 경과연도와 인구를 선정하였다. 개통 후 경과연도는 지하철 수요의 변화 패턴을 반영할 수 있으며, 인구는 주거지의 지하철 수요 발생량을 반영할 수 있기 때문이다.

주거지역의 경우에는 다시 주거 연상면적/인구를 기준으로 중하위·하위 소득지역과 중상위·상위 소득지역으로 카테고리를 구분하여 모형을 추정하였다. 그 결과 두 가지 모형 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 모형에 대한 통계적 검증은 다중상관계수와 t값을 이용하였다. 다중상관계수는 회귀분석에 이용한 함수식의 적정성을 판단하는 척도이며, t값의

경우 독립변수 및 상수에 대한 계수의 적정성을 판단하는 척도이다.

주거지역내 일반역은 소득 수준에 따른 지하철 수요가 다를 것으로 예상하였으나, 실제로 추정된 모형은 초기 연도에만 약간의 차이가 있을 뿐 별다른 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

환승역은 두 개 이상의 노선이 교차하는 지점이기 때문에 환승역의 전체 수요뿐만 아니라 각 노선별 수요의 추정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 환승역에서의 수요 추정모형을 고유 수요 추정모형과 전환 수요 추정모형으로 구분하여 추정하였다. 고유 수요 추정모형의 경우 기존 환승역 자체의 역세권을 고려한 모형이다. 이는 교차하는 노선의 수와는 관계없이 환승역이 입지한 지역의 특성을 고려하여 환승역의 자체 수요를 추정하는 모형이다. 그리고, 전환 수요 추정모형은 추가되는 환승 노선의 전환 수요를 추정하는 모형으로 앞에서 추정된 환승역의 고유 수요 중에서 새로 추가되는 노선의 수요를 추정하는 모형이다.

주거지역내 환승역 모형 가운데 고유 수요 추정모형은 일반역과 마찬가지로 개통 연도와 인구를 독립변수로 이용하였으며, 전환 수요 추정모형은 추가되는 역의 개통 후 경과연도와 앞에서 추정된 환승역 전체의 고유 수요를 독립변수로 이용하였다. 두 가지 모형은 다중상관계수와 t값으로 검증하였을 때, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

〈표 3〉 주거지역내 지하철역의 모형 추정

카테고리 유형	다중상관계수	상수	X_1 (개통 경과연도)	X_2 (인구)	
일반역	중하위·하위소득지역	84%	1.77	-0.29	-2.50E-05
		t값	-(5.71)	(15.46)	(2.04)
	중상위·상위소득지역	93%	1.79	-0.34	-1.90E-05
		t값	(7.66)	(19.85)	(2.53)
카테고리 유형	다중상관계수	상수	X_1 (개통 경과연도)	X_2 (인구)	
환승역	고유수요	93%	3.07	-0.32	-3.50E-05
		t값	(4.70)	(10.43)	(2.52)
	전환수요	다중상관계수	상수	X_1 (고유수요)	X_2 (추가개통 경과연도)
		90%	3.78	-4.70E-05	-1.00E-01
	t값	(14.32)	(7.26)	(2.98)	

2) 상업·업무 지역내 지하철역 수요

상업·업무 지역에 입지한 일반역은 인구보다는 종사자수에 더 많은 영향을 받기 때문에 독립변수로 개통 후 경과연도와 종사자수를 통해 회귀식을 산정하였다. 그 결과 산정된 모형은 t값과 다중상관계수로 판단했을 때, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

또한 상업·업무 지역에 입지한 일반역에 대하여 추정된 모형과 주거지역 내의 일반역 추정 모형을 비교해보았다. 두 모형의 비교를 위해서 주거지역과 상업·업무지역에 쓰이는 독립변수인 인구와 종사자의 규모와 최대 승차인원이 같다고 가정을 했으며, 그 결과 상업·업무지역의 추정모형이 주거지역에 비해서 승차인원의 규모가 적게 추정되는 것으로 나타났다. 또한 주거지역은 비교적 완만한 증가 추세를 보인 반면, 상업·업무지역은 상대적으로 가파른 증가 추세를 보이는 것으로 나타났다.

상업·업무지역내의 환승역 수요 추정모형도 주거지역내의 환승역 수요 추정과 마찬가지로 고유 수요 모형과 전환 수요모형으로 구분하여 모형을 정립하였다. 고유 수요 추정모형의 경우 일반역과 동일하게 개통 후 경과연도와 종사자수를 독립변수로 이용하였으며, 전환 수요 추정모형은 독립변수로 추가되는 노선의 개통 후 경과연도와 고유 수요를 이용하였다. 두 가지 수요 추정 모형 모두 통계적으로 판단했을 때, 유의한 것으로 나타났다.

〈표 4〉 상업·업무지역 내의 지하철역 모형추정

카테고리 유형	다중 상관계수	상수	X ₁ (개통 경과연도)	X ₂ (종사자수)
일반역	94%	2.23	-0.33	-5.40E-06
	t값	(12.74)	(15.78)	(2.53)
카테고리 유형	다중 상관계수	상수	X ₁ (개통 경과연도)	X ₂ (종사자수)
환승역	87%	1.16	-0.13	-5.40E-06
	t값	(3.97)	(6.31)	(3.25)
전환수요	다중 상관계수	상수	X ₁ (고유수요)	X ₂ (추가노선 개통 경과연도)
	89%	3.54	-2.30E-05	-2.30E-01
	t값	(11.76)	(3.18)	(7.79)

3) 대학교 밀집지역내 역

대학교 밀집지역내 지하철역의 경우에는 대학교라는

〈표 5〉 대학교 밀집지역내 지하철역 모형추정

카테고리 유형	다중 상관계수	상수	X ₁ (개통 경과연도)	X ₂ (대학생수)
대학교 밀집지역역	92%	2.29	-0.22	-6.20E-05
	t값	(16.02)	(11.26)	(6.17)

교통유발시설이 역세권 내에 입지하고 있기 때문에, 인구나 종사자수가 아닌 대학생수와 개통후 경과연도를 독립변수로 선정하여 회귀모형을 산출하였다. 그 결과 도출된 회귀모형은 통계적으로 유의한 값을 나타내고 있다.

4. 서울시 지하철 9호선에의 모형 적용

1) 카테고리별 다중회귀분석을 통한 서울시 지하철 9호선의 수요 추정 과정

서울시 지하철 9호선은 2008년에 김포공항-여의도-고속터미널까지 25.5km, 25개 역을 1단계로 개통하고 2013년에 잔여구간 고속터미널-강남-방이까지 12.5km, 12개 역을 개통하는 민자유치 사업이다. 이 사업에 대하여 4단계 모형을 이용하여 장래 지하철 수요를 서울시정개발연구원(2001)에서 추정 한 바 있다. 통행발생 모형으로 각 교통존별 목적별 회귀분석모형을 적용하였으며, 인구, 고용자수, 학생수 등이 독립변수로 이용되었다. 통행본포모형의 경우 이중제약 중력모형을 적용하였으며, 교통수단 선택모형으로 Multinomial Logit 모형이 적용되었다. 통행배정은 지하철의 경우 EMME/2를 이용한 용량 무제약 모형을 적용하였다.

본 연구에서는 개발한 모형을 이용하여 서울시 지하철 9호선을 대상으로 장래 지하철역별 수요를 추정하였다. 이때 사회경제지표는 교통개발연구원(2001)의 “수도권광역교통망계획”에서 추정한 사회경제지표를 활용하여 모형에 적용하였다. 그 결과 서울시 지하철 9호선의 1단계 구간 역별 수요는 개통 초기 수요가 낮고 개통 후 경과 연도가 증가함에 따라 수요는 계속해서 증가하다가 개통 후 10년 이후에 지하철수요가 정체되는 기존 지하철역의 수요 증가패턴과 유사함을 알 수 있다.

그러나 서울시 지하철 9호선의 수요 추정에 있어 서 본 모형만을 이용하여 수요를 추정할 경우 몇 가지

〈표 6〉 서울시 지하철 9호선과 3·4호선의 1일 수요 비교 (단위:명/일)

구분	지하철 9호선		지하철 3호선		지하철 4호선	
	연도	역별 수요	연도	역별 수요	연도	역별 수요
개통 후 1년	2008년	6,360	1985년	6,844	1985년	9,373
개통 후 6년	2013년	13,806	1990년	18,400	1990년	24,416
개통 후 11년	2018년	19,187	1995년	20,023	1995년	27,015
개통 후 16년	2020년	20,331	2000년	21,005	2000년	31,477
개통 후 21년	2023년	21,356		-		-
개통 후 26년	2027년	21,998		-		-

한계점이 발생한다. 따라서 기존의 4단계 모형과의 결합을 통해서 이러한 한계점을 개선하는 것이 필요하다.

2) 카테고리별 다중회귀분석을 통한 지하철 9호선 수요 추정의 한계

본 연구에서 개발한 모형은 지하철역에서 순수하게 승차 및 하차하는 수요를 추정하는 모형이다. 따라서 지하철 통행 발생·도착량은 정확하게 추정할 수 있으나, 지하철 O/D를 추정하는데 있어서는 몇 가지 한계점을 나타내게 된다. 물론 지하철 운영주체의 입장에서 수입을 추정하기 위한 지하철 수요를 추정한다면 이 모형을 이용하여 정확한 지하철 수요를 추정할 수 있을 것이다. 그러나 수입 측면이 아닌 공급 측면에서는 지하철 역사 규모, 차량 편성수 설정, 배차간격 등을 지하철 수요를 바탕으로 결정해야만 한다. 이 때에는 본 모형만을 이용해서는 이러한 공급 측면의 문제를 해결할 수 없다.

지하철 운영에 대한 공급 측면의 규모를 결정할 때에는 순수요 이외에 총수요와 재차 인원 등이 필요하다. 총수요는 환승수요와 순수요로 구성되어 있으며, 역사의 규모를 설정할 때 이용된다. 또한 재차 인원은 가장 효율적인 배차간격의 결정과 열차 편성 수를 결정하는데 이용된다. 따라서 순수요와 환승수요를 포함한 총수요에 대한 지하철역간 O/D를 추정하여, 이를 노선에 배정하는 과정이 반드시 필요하다.

본 모형은 지하철역별 순수요를 보다 정확하게 추정하는 데에 커다란 목적이 있다. 반면에 지하철역별 총수요나 역간 O/D를 추정할 수 없다. 따라서 총수요에 대한 지하철 역간 O/D를 구축하기 위해서는 4단계 모형과의 접목이 필요하다. 서울시 지하철 9호선의 지하철 수요를 추정할 때에는 다음과 같은 방법에

의해 총수요에 대한 지하철 역간 O/D를 추정하였다.

첫째로, 기존 연구에서 구축한 총수요에 대한 지하철역간 O/D 패턴을 이용하여 지하철 9호선의 순수요에 대한 O/D를 추정하였다. 즉 기존 연구의 O/D 패턴과 본 모형에서 구축한 순수요에 대한 통행발생·도착량을 이용하여, 통행분포 모형 중 하나인 Fratar 법을 통해 지하철 9호선의 순수요에 대한 역간 O/D를 도출하였다.

둘째로, 환승 수요는 한 개의 노선만이 아닌 수도권 전체의 네트워크와 O/D를 이용하여, 추정하는 것이 필요하다. 따라서 지하철 9호선의 환승 수요는 수도권광역교통망계획(2002년)에서 제시한 O/D와 네트워크를 이용하여 지하철 9호선의 역별 환승 수요를 추정하였고, 이를 순수요에 대한 역간 O/D에 추가함으로써, 결국 총수요에 대한 지하철 역간 O/D를 추정하였다. 이와 같이 도출된 총수요에 대한 역간 O/D를 노선배정하여, 지하철 운영의 공급 요소인 지하철 역사 규모와 설계 차량 편성수의 설정, 배차간격 등을 결정할 수 있다.

지하철 9호선의 사례에서도 알 수 있듯이, 본 모형은 지하철역별 순수요를 보다 정확하게 추정하는데 주된 목적이 있다. 따라서 본 모형만을 이용해서는 환승수요와 총수요를 추정할 수 없다. 그러나 4단계 수요 추정모형과 결합함으로써 이러한 문제점을 해결할 수 있으며, 무엇보다도 본 연구가 추구하고자 했던 지금까지보다는 더 정확한 지하철역별 순수요를 추정할 수 있다.

IV. 결론

지하철역별 수요를 추정하기 위해서 지금까지는 일반적으로 4단계 모형을 이용하여 왔다. 그러나 추정

된 수요와 실제 수요는 상당한 차이를 보임으로써 많은 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 연구는 현재 서울시 지하철 7개 노선에 대해서 지하철역별 수요가 구축되어 있는 점을 이용하여, 과거 역별 자료를 분석하고 지하철역의 특징과 수요변화 패턴을 반영하는 지하철역별 수요를 추정할 수 있는 모형을 개발하였다.

카테고리별로 다중회귀분석모형을 설정하였는데, 먼저 카테고리는 지하철 역세권의 사회경제활동의 유형을 크게 주거지역, 상업·업무지역 및 대학교 밀집 지역으로 분류하고, 지하철역의 형태에 따라 일반역과 환승역으로 구분하였다. 각 카테고리별 독립 변수는 수요변화 패턴을 나타내는 개통 후 경과 연도와 지하철 역세권의 토지 이용도에 따라 인구, 종사자수, 학생수 등을 선정하였으며, 함수식은 지하철의 수요 변화 패턴을 반영할 수 있는 로지스틱 함수식을 적용하였다.

분석을 수행한 결과, 산정된 계수는 통계적으로 유의하였함으로써, 카테고리별 사회경제활동의 변수가 지하철역별 수요를 잘 반영하는 것으로 분석되었다. 또한 거의 모든 카테고리에서 개통 후 경과연도에 대한 변수가 매우 높은 유의 수준을 나타냈는데, 이는 선정한 함수식이 실제 수요 변화 패턴을 잘 반영하고 있기 때문이다. 실제 사례인 서울시 지하철 9호선에 대하여 정립된 모형을 적용하였을 때 수요 규모와 수요변화 패턴 모두 기존의 지하철역별 수요의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 판단되었다.

그러나 본 연구는 지하철역별로 보다 정확하게 순 수요를 추정하기 위한 모형을 개발하는 것이 목적이다. 따라서 순수한 지하철 발생·도착 수요 이외에 환승수요는 본 모형만으로는 추정이 불가능하고, 지하철역간 O/D 추정이 어렵다는 한계가 있다. 그러나 기존 4단계 모형을 이용하여 환승수요 및 지하철역간 O/D를 추정한다면, 이러한 한계점은 해결될 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(2002), "수도권광역교통망계획수립".
2. 교통개발연구원(2003), "부산광역시 도시철도기본 계획 수립".

3. 김경철(2001), "도시철도론", 노해출판사.
4. 노정현(1999), "교통계획-통행수요이론과 모형", 나남출판사.
5. 대한교통학회 교통계획위원회(1998), "교통계획의 이해".
6. 서울시 도시철도공사 내부자료(1995~1999), "역별 승·하차인원 및 역별 현황".
7. 서울시정개발연구원(2001), "서울시 교통수단별 통행량지표 산정방법 연구".
8. 서울시정개발연구원(1998), "서울시 교통수요 예측모형 정립(1)".
9. 서울시정개발연구원(1999), "서울시 종합교통분석체계정립 및 광역통행분석".
10. 서울시정개발연구원(2001), "제3기 지하철 노선 검토 연구".
11. 서울시 지하철공사 내부자료(1991~1999), "역별 승·하차인원 및 역별 현황".
12. 서울시(1991~1999), "서울통계연보".
13. 성용현(2002), "응용 로지스틱 회귀분석", 탐진출판사.
14. G. L. Thompson(1999), "TODs Importance to Transit", TRB.
15. ITE Technical Council Committee(1994), "Travel Demand Forecasting Processes used by Ten Large Metropolitan Planning Organization".
16. Peter R. Stopher et al(1999), "Estimating Patronage for a Feasibility Study of High-speed Rail in Thailand", TRB.
17. T. Fowkes & C. Nash(1991), "Analysing Demand for Rail Travel", Leeds University.

✉ 주 작 성 자 : 손의영

✉ 논문투고일 : 2003. 10. 1

논문심사일 : 2003. 11. 5 (1차)

2004. 2. 9 (2차)

2004. 2. 10 (3차)

심사판정일 : 2004. 2. 10

✉ 반론접수기한 : 2004. 6. 30