



65

추가지불의사금액(WTP)분석을 이용한
서울도시철도 9호선의 혼잡비용 분석

대중교통2 이정옥 (인천대학교 대학원생)
이향숙 (인천대학교 교수)

도로 및 대중교통에서의 혼잡으로 인해 매년 많은 사회적인 실이 발생하고 있다. 2020년 현재 서울에는 경전철을 제외하고 1~9호선의 도시철도가 운행중이다. 이 중 서울교통공사가 관리하는 1~8호선은 8~10량 열차가 운행되고 있으나 운영주체가 다른 9호선은 6량 열차로 운행되고 있다. 이로 인하여 9호선은 오전·오후에 열차내부에서 많은 혼잡이 발생하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 9호선이 8량화되어 운행될 경우 발생할 수 있는 혼잡비용에 대해 분석하였다. 분석을 수행하기 위해 우선 설문조사를 통해 시장에서 존재하지 않는 제화의 가치를 평가하는 방법인 가상가치평가법(CVM, Contingent Valuation Method)을 이용하여 9호선 열차내부의 혼잡이 완화되는 시나리오에 따라 추가지불의사액(Willingness to Pay)을 조사하였다. 혼잡단계완화 시나리오에 따라 7.3원~114.3원의 추가지불의사액이 추정되었으며, 이를 기반으로 현재 9호선의 승차인원을 계산하여 분석한 결과 9호선이 8량화되어 운행될 경우 2019년 기준 약 23억 7천 만 원/년, 2030년 기준 약 30억 1천 만 원/년의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 서울 지하철 9호선의 운영정책 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

67

기상에 따른 대중교통 이용변화의 영향도 분석

대중교통2 최정윤 (한국교통연구원 연구원)
원민수 (한국교통연구원 부연구위원)

일반적으로 사람들은 통행 수단을 선택할 때, 목적, 편리성, 효율성, 안정성 등과 같은 여러 요인들을 순차적으로 고려한다. 그 중, 대중교통 수단을 선택할 때, 우선적으로 고려되는 사항은 기상조건, 요금, 접근시간, 도로 현황 등이 있다. 예측 가능하고 안정화된 시스템을 유지해야하는 교통 분야에서 일정하지도 않고 미래의 상황에 대해 예측하기 힘든 기상 조건을 중요한 이슈 중 하나로 꼽힌다. 그럼에도 불구하고 몇몇 선행연구에서는 대중교통 이용에 대한 상반된 기상의 영향력을 주장한다. 따라서 본 연구에서는 그 격차를 줄이고, 대중교통 수단에 따라서 시·공간적인 요소를 포함하여 다른 요소들을 배제할 수 있는 Reference Value(기준 대중교통 이용량)를 설정하여 대중교통 수단에서의 기상 영향력을 분석하고자 한다. 본 연구에서는 특정 공간, 특정 시점에서 국한되지 않는 기준 통행량을 설정하여 다양한 요인들 속에서 기상만의 영향력을 도출한 것에 의미가 둔다. 또한 대중교통 수단, 계절, 권역에 따른 기상 조건의 영향력을 확인하였고, 향후 연구에서 서울시 대중교통 계획 수립이나 운영 관련 정책에 대해 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

66

트램 우선신호 방식에 따른 도로교통 영향 분석

대중교통2 이성진 (한국과학기술원 석사)
고은정 (한국과학기술원 박사과정)
장기태 (한국과학기술원 부교수)

트램은 기존 도시철도와 달리, 일반 교통류와 신호 시스템을 공유한다. 따라서 트램을 도입하면 일반 교통류 흐름에 맞춰진 신호 시스템을 트램 운행 특성에 맞게 변화해야 한다. 트램 우선신호는 크게 고정식 우선신호와 능동식 우선신호로 나뉜다. 고정식 우선신호는 신호 연동 오프셋(Offset)을 트램 이동시간에 맞추어 교차로 정지 횟수가 최소화되는 현상을 사전 계산하는 방식이다. 능동식 우선신호는 트램을 감지하면 해당 교차로 진행 방향에 녹색 현시를 강제로 부여하는 방식이다. 트램을 도입하면 차선 하나가 줄어들게 되므로 일반 교통류의 정체는 심해진다. 대전 도시철도 2호선이 지나는 일부 구간에 대해 시뮬레이션을 실시한 결과, 트램 통행 시간은 능동식 우선신호가 고정식 우선신호에 비해 짧았으나 일반차량의 정체는 고정식 우선신호가 능동식 우선신호에 비해 양호했다. 능동식 우선신호의 경우, 트램 진행 방향의 도로는 통행이 원활해지는 효과가 있었으나 주도로 회전류와 부도로의 정체가 극심해져 전체 지체가 늘어나는 효과를 나타냈다.

68

교통 시뮬레이션 기반 트램 우선신호 운영
전략에 대한 연구

대중교통2 고은정 (한국과학기술원 박사과정)
이성진 (한국과학기술원 석사과정)
이주영 (한국과학기술원 박사과정)
장기태 (한국과학기술원 부교수)

트램 우선신호는 트램이 정차없이 교차로를 통과하기 위해 통행 우선권을 부여하는 방식으로, 신호 제공방식에 따라 고정식 우선신호와 능동식 우선신호로 구분된다. 트램의 주행 특성 상 정시성, 안전성 등의 확보를 위해 우선신호 적용이 필요하다. 또한 트램은 교차로 내에서 타 교통류와 동일 신호의 영향을 받으며 주행하기 때문에 운행을 위해 타 교통류에 미치는 제어 영향을 최소화하는 신호 전략이 필요하다. 따라서 본 연구는 교통 시뮬레이션에 기반하여 트램의 정시성 확보 및 일반차량 지체 감소에 적합한 우선신호 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 미시적 교통 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용한 우선신호 시뮬레이션을 수행하였다. 분석 결과에 기반하여, 본 연구에서는 고정식 우선신호 적용 후 일부구간에 능동식 우선신호를 융합한 하이브리드 방식을 제안하였으며, 트램 정거장이 교차로 끝단에 위치하는 경우 일반차량 및 트램의 주행에 우수한 효과를 가진다는 것을 도출하였다. 본 연구를 통해 효과적인 트램 신호운영의 기반을 마련하고자 한다.

기상에 따른 대중교통 이용변화의 영향도 분석

Impact Analysis of Weather Conditions on Public Transportation Ridership

최정윤¹ · 원민수²
^{1,2}한국교통연구원

I. 서론

일반적으로 사람들은 통행 수단을 선택할 때, 목적, 편리성, 효율성, 안정성 등과 같은 여러 요인들을 순차적으로 고려한다. 그 중, 대중교통 수단을 선택할 때, 우선적으로 고려되는 사항은 기상조건, 요금, 접근시간, 도로 현황 등이 있다.

위에서 언급한 고려사항마다 대중교통 이용에 끼치는 영향력 차이가 존재한다. M.L.Outwater et al.(2011)는 예측 가능하고 안정화된 시스템을 유지해야하는 교통 분야에서 일정하지도 않고 미래의 상황에 대해 예측하기 힘든 기상 조건을 중요한 이슈 중 하나로 꼽았다.

그럼에도 불구하고 몇몇 선행연구에서는 대중교통 이용에 대한 상반된 기상의 영향력을 주장한다. 예를 들어, 악천후의 경우에 상반된 의견이 있다. M.L.Outwater et al.(2011)는 대중교통 사용자를 대상으로 실시한 설문 조사에서 약 12% 정도의 이용자는 여러 기상 조건과 환경으로 인해 대중교통 수단을 이용하지 않는다는 분석결과를 도출했다. 하지만 Khattak(1991)과 Singhal et al.(2014)는 악천후 시 대중교통 이용이 증가한다는 결과를 보여주었다.

따라서 본 연구에서는 그 격차를 줄이고, 대중교통 수단에 따라서 시·공간적인 요소를 포함하여 다른 요소들을 배제할 수 있는 Reference Value(기준 대중교통 이용량)를 설정하여 대중교통 수단에서의 기상 영향력을 분석하고자 한다.

II. Methodology

〈그림 1〉은 본 연구에서 진행된 대중교통 데이터를 활용한 기상의 영향력 분석에 대한 순서도를 나타낸다.

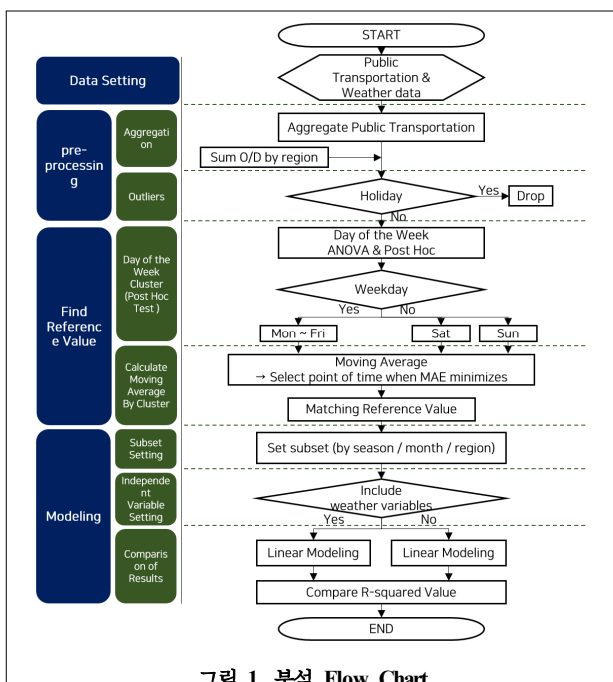


그림 1. 분석 Flow Chart

본 연구에 활용된 교통카드 데이터의 범위는 2016년 4월부터 2017년 3월까지 1년 간의 서울시 행정동 별 대중교통 이용량 자료이다.

step 1 : 이상치 및 Noise 제거

요일별 대중교통 이용량에 대한 차이가 통계적으로 유의한지 살펴보고자 T-test를 진행하였다. 〈표 1〉은 T-test 결과로써 모든 요일에서 유의한 결과가 나타났다. 따라서, 본 분석에서는 공휴일은 평상시와 이용량, 패턴 모두 다르다고 판단하였고 모델의 정확도 측면을 고려하여 분석 대상에서 제외시켰다.

표 1. 공휴일과 평상시의 대중교통 이용량 T-test 결과

	T-test							
Holiday vs.	Normal	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
T-value	4.73	23.47	-	20.52	19.97	32.14	10.96	3.16
Sig.	0.01	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02

step 2 : 분석 그룹 분류

요일별 대중교통 이용량의 차이를 알아보기 위해 ANOVA TEST & POST HOC TEST를 진행했다. 그 결과 〈표 2〉과 같이 요일별 대중교통 이용량의 차이는 통계적으로 유의하게 나타났다. 월요일에서 금요일까지 대중교통 이용의 차이는 유의하지 않게 나와 같은 그룹으로 형성되었고, 토요일과 일요일에 대해서는 각각 다른 그룹으로 형성되었다. 따라서 본 연구에서는 평일 집단, 토요일 집단, 일요일 집단으로 총 3개의 요일 그룹별로 분석을 진행하였다.

표 2. 요일별 대중교통 이용량 ANOVA, POST HOC 결과

	ANOVA			
Comparison	df	Mean Square	F	Pr(>F)
Between Groups	6	1818675420947	540.6	<0.00
Within Groups	145628	3364465455		
Total	145634			

step 3 : Reference Value 생성

대중교통 이용은 기상 상황 이외에 요일, 날짜 사회·경제적 상황, 교통 여건 등 다양한 요소에 영향을 받는다. 이러한 다양한 영향 변수들을 효과적으로 통제하고, 기상에 의한 효과를 보다 정확하게 파악하기 위해서는 같은 날의 비슷한 장소, 또는 같은 장소의 비슷한 날의 정보를 활용하는 것이 매우 중요하다. 예를 들어 특정 기간의 평균값으로 Reference Value를 설정하면 지역적 특성에 대해 반영이 불가하다. 반대로 특정 지역의 평균값으로 Reference Value를 설정하면 요일 및 계절적 특성에 대해 반영이 불가하다. 따라서 본 연구에서는 교통수단별, 행정동별 요일 그룹별 식(1)을 통해 이동 평균값들을 계산하고 식(2)를 통해 산출된 MAE(평균절대오차)값이 최소가 되는 시점의 이동 평균 값을 Reference Value로 설정하였다.

$$M_k = \frac{\sum_{j=1}^k T_{j-k}}{k} \quad (1)$$

$$MAE_{M_k} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |T_j - M_k| \quad (2)$$

j: 시점, k: 이동시점(j > k), T_j: 해당시점 행정동 대중교통 이용량, n: 데이터 수

그 결과 <그림 2>, <그림 3>와 같이 버스, 지하철 모두 평일 그룹은 5일, 토요일과 일요일 그룹은 2 주전의 시점에서 오차값이 최소가 되었고 본 연구에서 수단별 요일 그룹에 따라 해당 시점에서의 이동평균 값을 활용하였다.

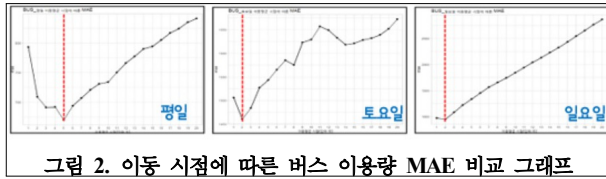


그림 2. 이동 시점에 따른 버스 이용량 MAE 비교 그래프

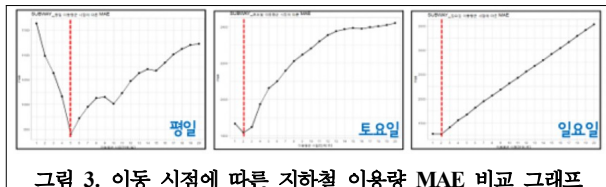


그림 3. 이동 시점에 따른 지하철 이용량 MAE 비교 그래프

step 4 : Linear modeling

생성된 Reference Value를 활용하여 기상에 대한 변수를 포함한 Linear model (식(3))과 기상변수를 포함하지 않은 Linear model (식(4))을 만들고 각 모델의 R-squared 값의 차이를 통해 수단과 요일 그룹을 기준으로 전체, 계절별, 권역별 기상의 영향력을 비교했다.

$$Y = \alpha + \beta_1 * y_r + \beta_2 * x_1 + \beta_3 * x_2 + \dots + \beta_{n+1} * x_n + \epsilon_i \quad (3)$$

$$Y = \alpha + \beta_1 * y_r + \epsilon_i \quad (4)$$

Y: 대중교통이용량, y_r : Reference Value, x_i : 기상 독립변수, α : 상수항

β_1 : y_r 의 회귀계수, β_2, \dots, β_n : 기상 독립변수에 대한 회귀계수, ϵ_i : 오차 항

<표 3>은 전체 데이터에 대해 Reference Value와 기상변수를 모두 포함한 Linear Model과 기상변수를 포함하지 않은 Linear Model의 결과를 통해 기상의 영향력을 비교한 표이다. 평일에서의 기상의 영향력보다 주말, 특히 일요일에서의 기상의 영향력은 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한, 지하철 통행 보다 버스 통행에서 기상에 대한 영향이 더 높게 나타났다.

기상 변수 설명력 (단위:%)				
Subset	전체	평일	토요일	일요일
대중교통	0.32	-0.08	0.1	2.79
버스	0.36	-0.12	0.36	3.51
지하철	0.35	-0.07	0.04	2.32

<표 4>는 계절에 따라 구성된 subset으로 위와 동일한 방법으로 기상의 영향력을 비교한 표이다. 계절별 모형에서 봄철 주말에 대중교통 통행에 기상의 영향력이 크게 나타났다. 특히 주말에는 지하철 통행보다 버스 통행에서 기상에 대한 영향이 더 높게 나타났다.

기상 변수 설명력 (단위:%)					
계절	Subset	전체	평일	토요일	일요일
봄	대중교통	0.06	0.02	0.38	1.73
	버스	0.15	0.03	2.18	3.53
	지하철	0.02	0.01	0.11	0.81
여름	대중교통	0.02	-0.1	0.13	0.06
	버스	-0.05	-0.15	0.26	0.11
	지하철	0.01	-0.09	0.07	0.03
가을	대중교통	0.02	0.01	0.06	0.11
	버스	0.03	0.01	0.06	0.35
	지하철	0.01	0.01	0.06	0.03
겨울	대중교통	0.19	-0.04	0.07	0.07
	버스	0.12	0.02	0.18	0.15
	지하철	0.24	-0.07	0.04	0.03

<표 5>는 권역에 따라 구성된 subset으로 위와 동일한 방법

으로 기상에 대한 영향력을 비교한 표이다. 모든 권역의 주말에 기상의 영향력이 높게 나타났다. 특히 서초구와 강남구가 포함된 5권역은 다른 권역보다 기상이 2배 이상의 영향을 끼쳤다.

기상 변수 설명력 (단위:%)					
Region	Subset	전체	평일	토요일	일요일
1	종로구	0.42	0.01	0.09	2.5
	중구	0.31	0.02	0.37	3.07
	용산구	0.72	0.01	0.04	2.4
2	동대문구	0.3	0.02	0.16	2.96
	성동구	0.5	0.02	0.39	3.96
	노원구	0.19	0.02	0.04	1.79
3	동대문구	0.17	-0.07	0.16	1.8
	중랑구	0.29	-0.18	0.43	3.4
	광진구	0.1	-0.06	0.06	1.22
4	강동구	0.28	-0.08	0.06	2.33
	송파구	0.47	-0.05	0.49	4.08
	지하철	0.24	-0.08	0.01	2
5	서초구	0.37	-0.02	0.16	5.24
	강남구	0.71	-0.06	1.00	9.84
	지하철	0.29	-0.03	0.06	4.09
6	동작구	0.25	-0.03	0.15	2.97
	남양주	0.41	-0.03	0.38	3.48
	금천구	0.17	-0.03	0.05	2.25
7	강서구	0.58	0	0.14	3.28
	영등포구	0.44	-0.1	0.31	2.98
	구로구	0.62	0.01	0.08	2.86
8	은평구	0.05	-0.28	0.11	1.7
	마포구	0.4	-0.08	0.31	3.28
	서대문구	-0.1	-0.39	0.05	1.21

III. 결론

본 연구에서는 특정 공간, 특정 시점에서 국한되지 않는 Reference Value 설정하여 다양한 요인들 속에서 기상만의 영향력을 도출한 것에 의미가 있다. 또한 대중교통 수단, 계절, 권역에 따른 기상 조건의 영향력을 확인하였고, 향후 연구에서 서울시 대중교통 계획 수립과 운영 관련 정책에 대해 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Keay, K., & Simmonds, I. (2005). The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. Accident analysis & prevention, 37(1), 109-124.
- Khattak, A. J. (1991). Driver response to unexpected travel conditions: effect of traffic information and other factors.
- Outwater, M. L., Spitz, G., Lobb, J., Campbell, M., Sana, B., Pendyala, R., & Woodford, W. (2011). Characteristics of premium transit services that affect mode choice. Transportation, 38(4), 605.
- Singhal, A., Kamga, C., & Yazici, A. (2014). Impact of weather on urban transit ridership. Transportation research part A: policy and practice, 69, 379-391.