

분위 회귀를 활용한 기상조건이 대중교통 수단별 통행량에 미치는 영향에 대한 연구*

The Impact of Weather Conditions on Transit Ridership Using Quantile Regression Analysis

이정훈** · 정현영***

Lee, Jeong-Hun · Jung, Hun-Young

Abstract

This study aimed to figure out the weather conditions' influence on ridership of public transit by mode with the method of Quantile Regression analysis (QR) based on data of busans' transportation cards and weather from 2011 to 2015. The QR was conducted on city bus, subway, between city bus and city bus, and between city bus and subway. The result showed that temperature had positive (+) influence and that, humidity and rainfall had negative (-) one. Temperature was a key factor of ridership in city bus and transfer between city buses. For the transfer between the city bus and subway, humidity was the major element influencing the ridership. In both factors, as quantiles go up, quantile coefficients go down. In other words, when the quantile is low, the ridership was more influenced by temperature and humidity. The rainfall is the main reason for change in the ridership of the subway. The higher the quantile is, the bigger the quantile coefficient is. In other words, when the quantile is high, the ridership was more influenced by rainfall. In terms of the day of week, the temperature and humidity have more influence on the ridership of weekdays, and the rainfall does on that of holidays and weekends.

키 워 드 ■ 기상조건, 대중교통, 수단별 통행량, 환승, 분위회귀

Keywords ■ Weather Conditions, Public Transportation, Transit Ridership, Transfer, Quantile Regression

I. 서 론

1. 연구의 배경

최근 개인교통수단 보급 증대로 대중교통 이용률이 매년 감소하고 있는 추세이다. 개인교통수단의 이용률 증가는 이동의 형평성, 교통소통, 대기환경

등의 관점에서 부정적 영향을 발생시키고 있는 바, 다수의 지자체는 대중교통 이용률 증가를 위해 다양한 방안들을 모색하고 있다. 실질적으로 대중교통 이용률을 향상시키기 위해서는 개인교통수단 이용자를 대중교통 이용자로 전환시키는 것이 가장 효과적이나, 대중교통수단은 이동 및 대기시간이 길고 필요에 따라 환승이 요구되는 등 상대적으로 이동의 편의가 낮아 수단 전환이 쉽지 않은 실정이다.

* 본 논문은 2017년 9월 대한교통학회 학술발표대회에서 발표한 논문을 수정 보완한 것이며 부산대학교 기본연구지원사업 2차년도 연구비를 지원 받아 연구되었음.

** Dept. of Urban Engineering, Pusan National University (iglsb@naver.com)

*** Dept. of Urban Engineering, Pusan National University (Corresponding Author: huyjung@pusan.ac.kr)

아울러 기상조건에 따라 통행의 불편이 더욱 가중될 수 있다는 점 또한 개인교통수단에서 대중교통 수단으로의 전환이 잘 이루어지지 않는 주요 요인으로 작용한다.

한편, 대중교통 이용과 기상조건 관계를 분석한 연구의 대다수는 수단별 총 통행량에 기상조건이 미치는 영향에 대해서만 고려하고 있다. 이러한 연구결과를 참고하면, 기상조건은 수단간 환승 통행량에도 주요한 영향을 미칠 것을 예상할 수 있으며 이에 대한 학술적 검토가 필요하다고 판단된다.

또한 기존 연구들은 주로 선형회귀분석을 활용하여 연구를 진행하였다. 하지만 통행량은 동일한 통행수단일지라도 특정 상황에 따라 그 양에 차이가 확연히 나타나므로 통행량 분위기를 고려한 기상조건과 대중교통 통행량의 관계분석을 실시한다면 보다 정확한 상관관계를 파악 할 수 있을 것이다.

본 연구는 부산광역시를 연구대상으로 5년간(2011~2015) 기상청 기상자료와 부산광역시 대중교통 이용객 중 90% 이상은 교통카드를 이용한다는 점을 고려하여 대중교통 카드 데이터 자료를 바탕으로 분위회귀분석을 실시하였다. 이를 통해 기상조건이 대중교통 수단별 통행량 및 수단간 환승 통행량에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였다.

2. 선행연구 및 분위회귀 고찰

1) 선행연구

국내의 경우 기상상태에 따른 대중교통 승객량에 대한 연구는 꾸준히 연구되어 왔으며 대다수가 강우량과 관련된 연구였다. 박근영·이시복(2010)은 약한비 보다 강한비 일수록 시내버스통행량이 줄어드는 것을 확인하였고 주말과 평일 중 주말이 특히 많은 차이를 보이는 것을 도출하였다. 정현영 외(2011)의 연구에서는 강우에 따른 시내버스 이용실

태와 이용의식을 조사하여 강우량이 증가함에 따라 시내버스 이용희망률이 감소하는 것을 확인하였다. 최상기 외(2013)는 강우가 발생하거나 체감온도가 낮아지면 시내버스 이용이 감소되는 반면, 승용차와 지하철통행은 증가하는 결과를 도출하였다. 신강원·최기주(2014)는 대중교통 일일 승객 수와 일일 강우량의 관계를 분석하였고 강우량이 증가함에 따라 대중교통 승객 수는 감소하는 것을 도출하였다. Changnon(1996)은 강우 시 대중교통수요는 3~5% 감소하고, 대부분 9시부터 16시 동안 수요가 감소하는 것을 확인하였다.

국외에서는 강우량뿐만 아니라 종합적인 기상상태를 함께 고려한 연구가 진행되었다. Asad and Andre(1997)은 설문조사를 통해 응답자의 절반정도가 좋지 않은 기상조건에 의해 통행패턴 및 수단을 변화시키는 것을 확인하였다. Hofmann and Mahony(2005)는 나쁜 기상조건이 시내버스 이용에 부정적인 영향을 미친다는 결론을 도출하였다. Keay and Simmonds(2005)는 주간, 야간을 구분하여 연구를 진행하였고 강우량이 교통량에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 확인하였다. Guo et al(2007)은 좋은 날씨에는 대중교통 수요가 증가하고 좋지 않은 날씨에는 감소하는 결과를 확인하였다. 시내버스수요가 지하철수요보다, 주말수요가 주중수요보다 민감한 반응을 보이는 것을 확인하였다. Stover and McCormack(2012)은 강한 바람은 봄, 가을, 겨울 기간에 대중교통 수요에 부정적인 영향을 주고, 낮은 온도는 겨울에 대중교통 수요를 감소시킨다는 결과를 도출하였다. 비는 사계절동안 대중교통수요에 부정적인 영향을 주고 눈은 가을, 겨울에 낮은 수요와 관련이 있다는 것을 도출하였다. Kashfi et al.(2013)은 버스이용률과 강수량 간의 관계를 분석하여 습한 날씨가 일일 버스 이용자에게 부(-)의 관계를 주며 아침 피크 시간과 주말 승객은 전일

승객과 평일보다 비에 민감한 것을 확인하였다. Singhal et. al(2014)은 시간당 승객 데이터를 활용하여 기상조건과 대중교통 이용과의 관계를 분석하여 특정 기상 조건에서 오후-정오-오전 순으로 대중교통 승객수에 기상조건이 가장 많은 영향을 미친다는 것을 확인하였다. Arana et al(2014)는 기상조건이 대중교통 이용에 미치는 영향을 분석하였고 바람과 강우가 통행 횟수를 줄이고 온도 상승은 통행 횟수를 증가 시키는 것을 확인하였다. Liu et al.(2015)는 기상 변동성이 개별 활동에 미치는 영향을 분석하였고 의사 결정 과정에 참여하는 다른 통행 행동 지표의 간접 효과를 고려할 때 날씨의 영향이 더욱 극단적 일 수 있다는 점과 통근자는 비 통근자보다 기상 변화에 덜 민감한 것을 확인하였다. Zhou et al(2017)은 일반적으로 습도, 바람 및 강우량의 증가는 특정 수준의 대중교통 이용률 감소와 관련이 있는 것을 확인하였다.

기존의 연구들을 통해 기상 조건이 통행자들의 통행패턴을 변화 시킨다는 것을 확인 할 수 있다. 특히 대중교통 이용에 기상조건이 중요한 영향을 미친다는 것을 통해 환승 통행에도 주요한 영향을 줄 것이라는 것을 가정 할 수 있다. 하지만 기존의 연구는 수단별 단일 통행에 대해서는 연구를 진행하였지만 환승 통행에 대해서 연구를 진행하진 않았다. 시내버스 간 환승과 시내버스-지하철 환승은 버스와 지하철의 특성 차이로 인해 서로 다른 기상조건에 영향을 받을 것이라 판단 할 수 있다.

본 연구는 대중교통 수단별 통행뿐만 아니라 환승 통행을 고려하여 기상 조건이 대중교통 통행량에 미치는 영향을 분석하여 보다 세밀한 결과를 도출하였다.

2) 분위회귀

기상현상과 대중교통 통행량과의 관계에 대한 연

구는 최소제곱법을 기반으로 한 회귀분석방법을 일반적으로 사용하고 있다. 하지만 회귀분석의 경우 독립변수에 대한 종속변수의 평균값 추세에 관한 정보만을 제공하고, 정규분포나 등분산성의 가정을 두며 이상치에 크게 영향을 받는다는 단점을 가진다.(Davino, 2013) 또한 모든 데이터 분포가 평균값과 유사한 경향을 보인다면 독립변수와 종속변수와의 관계 분석 시 효과적이지만 실제 데이터가 이를 만족할 경우는 매우 드물기 때문에 회귀분석의 경우 모든 지점에서의 영향력을 설명하지 못한다.

본 연구에서 활용한 기상데이터의 경우 상기 기술한 사항과 밀접한 관계를 보인다는 점에서 선형 회귀분석보다 분위회귀 분석을 활용한 연구의 필요성이 제기되고 있다.(이경미 외, 2012; 소병진 외, 2012)

Koenker and Bassett(1978)에 의해 소개된 분위회귀방법은 종속변수의 조건부 분위를 중심으로 선형모형을 함으로써 모든 분위에서의 변화에 대해 더 세밀한 결과를 도출할 수 있으며 이상치에 크게 영향을 받지 않는 강건성을 가진다는 장점이 있다.(Koenker, 2005) 종속변수의 조건부 분포를 기준으로 했을 때 만일 그 분포의 각 분위별 종속변수의 결정요인이 다를 가능성이 있다면 평균적 결정요인만을 추정하는 일반적인 회귀분석으로는 각 분위별 결정요인을 식별할 수 없다. 위와 같은 경우, 각 분위별로 표본을 몇 개의 그룹으로 나누어 각 그룹별로 최소자승법을 적용하는 방법을 고려해 볼 수 있으나 이는 선택편의를 유발할 수 있다. 이러한 문제의 극복을 위해 분위회귀분석은 표본의 모든 관찰치를 사용하며, 대신 각 분위에 따라 다른 가중치를 주어서 분석하게 되면서 표본선택 문제가 발생되지 않는다.

분위회귀모형은 모집단의 특정한 비율에 상응하는 표본값으로 확률변수 y 의 τ 분위수인 y_τ 는 Y

의 값이 y_τ 를 초과하지 않을 확률 τ 를 가리키며 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr(Y \leq y_\tau) = \tau \quad (1)$$

이때 y_τ 값을 산출하는 함수 $Q_\tau(y) = y_\tau$ 를 Quantile function 이라고 한다. 분위 회귀식은 주어진 통제변수 x 하에서의 조건부 분위함수 $Q_\tau(y)$ 를 통제변수 x 의 선형결합으로 특정화하는 모형이며 다음식과 같다.

$$Y_i = \sum_k \beta_{\tau,k} x_{k,i} + u_{\tau,i} \quad (2)$$

$$Q_\tau(y_i | x_i) = \sum_k \beta_{\tau,k} x_{k,i} \quad (3)$$

위의 식에서 $Q_\tau(y_i | x_i)$ 의 y_i 는 통제변수 $x_{k,i}$ 에 관한 조건부 분위수이며 오차항 $u_{\tau,i}$ 는 특정한 분포를 따른다고 가정하지 않고 단지 $Q_\tau(y_i | x_i) = 0$ 의 조건만 충족시키는 것으로 가정한다. 위의 식은 다음과 같이 목적함수의 최소화를 통해 추정하며 $\hat{\beta}_\tau$ 는 τ 에서의 추정계수이다.

$$\hat{\beta}_\tau = \arg \min \frac{1}{n} \left[\sum_{i: y_{\tau,i} \geq x'_{i,\beta}} \tau |y_{\tau,i} - x'_{i,\beta}| + \sum_{i: y_{\tau,i} < x'_{i,\beta}} (1 - \tau) |y_{\tau,i} - x'_{i,\beta}| \right] \quad (4)$$

II. 데이터 수집 및 분석

1. 데이터 수집

본 연구는 [표 1]과 같이 부산광역시 교통카드 자료와 기상청 자료를 활용 하였다. 2011~2015년 동안의 부산광역시 교통카드 데이터 중 교통수단코드, 승/하차 일시를 활용해 환승여부를 파악하고 대중교통 수단별로 분석을 실시하였다. 하나의 수단만 이용하는 경우를 단일수단으로 분류하였고 한 번의 목적 통행에서 두 가지 통행수단을 이용할 경우 환승통행으로 분류하여 각각의 통행량을 산출하였다.

통행량을 살펴본 결과 명절과 같은 특별 기간은 이용량이 기존의 경우보다 급격하게 감소하는 것을 확인 할 수 있어 명절을 제외한 자료를 활용하였으며 총 1,794일의 데이터를 활용하였다. (2011년 359일, 2012년 360일, 2013년 359일, 2014년 358일, 2015년 358일) 기상데이터의 경우 기상청에서 제공하는 기상데이터를 활용하였다. 2011~2015년 (1,794일) 동안 대중교통 운행시간(05~24시)¹⁾에 해당하는 기상 자료 중 기온, 습도, 풍속, 강우량의 시간당 자료를 추출하고 이를 평균화 한 자료를 분석에 활용하였다. 평일교통과 휴일교통의 경우 통행 패턴, 통행목적 등의 차이로 인해 동일한 통행특성으로 볼 수 없기 때문에 이를 구분지어 연구를 진행하는 것이 바람직하다고 판단하여 평일과 휴일 교통을 구분지어 연구를 진행하였다.

Table 1. Basic statistics of data

Type		Number of data	Average
Weekday ridership	Total ridership	1252	1,809,432
	Single ridership	1252	1,377,126
	Transfer ridership	1252	432,306
Holiday ridership	Total ridership	542	1,346,723
	Single ridership	542	1,059,512
	Transfer ridership	542	287,211
Weather condition	Temperature (°C)	1794	15
	Humidity (%)	1794	60
	Wind speed (m/s)	1794	3.3
	Rainfall (mm)	433	13

2. 연도별 승객통행량 분석

분위회귀분석에 앞서 연도별 승객통행량 추이를 [그림 1]과 같이 살펴보았다. 시간이 흐를수록 부산광역시의 대중교통 총통행량은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 부산광역시가 지속적으로 대중교통이용을 증대시키기 위한 정책 및 제도를 개선한 노력의 결과인 것으로 판단된다. 다만 단일통행은 꾸준히 증가하여왔지만 환승의 경우 2013년에 큰 폭으로 감소하고 2014년 증가폭이 크지 않았다. 이와 달리 2015년의 경우 환승통행량이 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났는데 이는 대중교통수단간 환승무료제의 시행의 효과로 판단된다.

연도별 승객통행량 분석 결과를 통해 시민들의 대중교통이용량 증대에 있어서 요금제 및 환승제도가 상당한 영향을 미친다는 것을 도출 할 수 있었다.

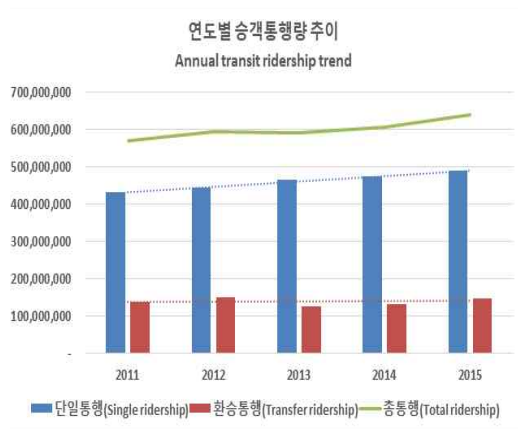


Figure 1. Annual transit ridership trend

3. 분위회귀 분석

기상조건이 대중교통 통행량에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 분위회귀 분석을 실시했다. 기상조건은 독립변수로 온도, 풍속, 습도, 강우량, 강우의 유

무를 채택하였으며 종속변수로는 단일통행량, 환승통행량을 평일과 휴일로 구분하여 분석에 활용하였다. 단일통행량은 시내버스, 지하철 통행에 대해 분석을 진행하였으며 환승통행량의 경우 시내버스-시내버스간, 시내버스-지하철간 환승통행에 대해 분석을 진행하였다. 마을버스 통행량의 경우 본 분석에서는 제외하였다.²⁾

본 연구에서는 분위수 단계별 결과를 분석하기 위해 $\tau = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ 로 설정하였다.³⁾ 식 (4)를 통해 추정된 계수로 각 분위에서의 분위계수를 산출하였으며 이를 활용해 결과를 해석하였다.

1) 단일 통행량

단일 통행량에 대한 분석결과는 [표 2] 및 [그림 2]과 같다. 먼저 평일 시내버스통행량에 대한 결과를 살펴보면 온도는 모든 통행량 분위에서 정(+)의 영향을 주지만 높은 분위로 갈수록 즉, 시내버스 승객 통행량이 많아질수록 영향력이 낮아지는 것으로 나타났다. 습도는 부(-)의 영향을 주고 온도와 마찬가지로 높은 분위로 갈수록 영향력이 낮아지는 것으로 나타났다. 강우량의 경우 부(-)의 영향을 주고 높은 분위 일수록 영향력이 증가하는 것으로 나타났다. 풍속, 강우의 여부는 통행량과 관련이 미약한 것으로 판단할 수 있다.

휴일 시내버스통행량에 대한 결과를 살펴보면 온도는 정(+)의 영향을 주지만 높은 분위로 갈수록 영향력이 약간 감소하는 것으로 볼 수 있다. 풍속, 습도, 강우 여부는 통행량과 통계적으로 관련이 미미한 것으로 나타났다. 강우량은 0.3 0.7 분위에서만 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 대체로 평일과 다른 양상을 보인다.

다음으로 평일 지하철통행량에 대한 결과를 살펴보면 온도는 낮은 분위(0.3)에서 높은 분위(0.9)로

Table 2. Result of regression for ridership on the city bus and subway

Type	Ridership on the city bus										Ridership on the subway									
	on Weekday					on Holiday					on Weekday					on Holiday				
Quantile	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
Temperature	0.68	0.42	0.32	0.27	0.27	0.24	0.29	0.27	0.20	0.23	0.40	0.14	0.04	-0.04	-0.10	0.17	0.12	0.12	0.13	-0.04
Wind speed	0.18	0.04	0.01	0.01	-0.00	-0.06	-0.07	0.07	-0.02	0.07	-0.01	0.01	-0.01	0.03	0.02	-0.00	-0.05	0.04	-0.01	-0.02
Humidity	-0.43	-0.30	-0.19	-0.14	-0.12	-0.10	-0.20	-0.08	-0.06	-0.05	-0.17	0.02	0.15	0.19	0.14	-0.13	-0.06	-0.04	-0.15	0.13
Rainfall	-0.06	-0.10	-0.14	-0.14	-0.13	-0.14	-0.12	-0.20	-0.15	-0.12	-0.03	-0.07	-0.11	-0.12	-0.09	-0.09	-0.08	-0.05	-0.11	-0.18
Whether rain or not	0.00	0.01	-0.01	-0.02	-0.03	0.07	-0.02	0.04	0.03	-0.06	-0.05	-0.05	-0.08	-0.11	-0.14	0.03	0.02	-0.02	0.10	-0.09

note) the shadow is below the significance level of 0.1

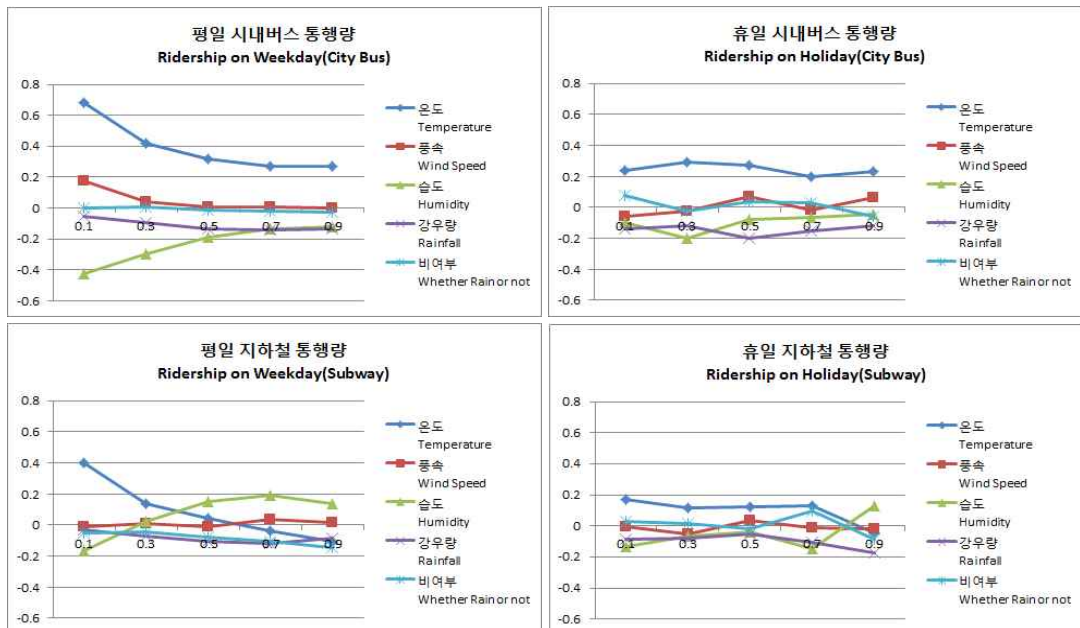


Figure 2. Result of regression for ridership on the city bus and subway

변함에 따라 분위계수 값이 정(+)에서 부(-)로 바뀌고 있으며 높은 분위인 0.9 분위에서 부(-)를 보이고 있어 높은 온도 계절에 피크 시 통행량에 영향이 있을 것으로 사료된다. 습도는 온도와 대비되

는 양상을 보이며 0.5, 0.9 분위에서 정(+)의 유한 영향을 주는 것으로 나타났다. 강우량은 부(-)의 영향을 주고 높은 분위 일수록 분위계수 값이 증가하였다. 강우 여부는 0.7, 0.9 분위에서 비가 오면

통행량에 통계적으로 유의하게 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 강우 여부는 지하철 통행량에 영향이 있음을 보인다.

휴일 지하철통행량에 대한 결과의 경우 온도는 0.1 분위에서 통행량에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며 풍속, 습도, 강우 여부의 경우 통행량과 통계적으로 관련이 없는 것으로 나타났다. 강우량의 경우 전반적으로 부(-)의 영향을 미치며 승객이 많은 0.7, 0.9 분위에서 부(-)의 영향이 크게 미치는 것으로 나타나고 있으며 평일에 비해 일 관성은 약하나 영향은 큰 것으로 보인다. 평일과 휴일 모두 전반적으로 강우량과 온도를 제외한 기상조건은 통행량에 아주 미미한 영향을 주는 것으로 나타났다.

이상의 단일통행량 분석결과를 고려해보면, 기상 조건 중 온도, 습도, 강우량이 대중교통 통행량과 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 온도와 습도의 경우 높은 분위로 갈수록 영향이 줄어드는 것으로 분석되었다. 즉, 통행량이 많은 피크시간대에는 온도와 습도가 대중교통 통행량에 큰 영향을 미치지 않는 것이라 볼 수 있다. 한편, 강우량의 증가는 통행량이 많아질수록 영향이 커지는 것으로 나타나 피크시간대의 통행량은 강우량의 영향이 더욱 클 것이라 판단된다. 온도와 습도, 강우량의 경우 승차 공간의 쾌적성에 영향을 미치는 요인으로, 대중교통 이용에 승차공간의 쾌적성이 비교적 큰 영향을 미친다고 예상할 수 있다. 또한 휴일에 비해 평일의 경우가 대중교통 통행량 분위에 따른 기상조건에 영향력의 변동 폭이 더 큰 것으로 나타났으며, 지하철에 비해 시내버스가 기상조건에 영향을 더 크게 받는 것을 확인할 수 있었다. 후자의 경우 시내버스 승/하차 공간이 지하철 보다 기상조건에 노출되기 쉽다는 점에서 시내버스가 포함된 통행이 보다 기상조건에 민감한 반응을 미치는 것으로 판단된다.

2) 환승 통행량

환승 통행량에 대한 분석결과는 [표 3] 및 [그림 3]와 같다. 먼저 평일 시내버스-시내버스 간 환승 통행량에 대한 결과를 살펴보면 온도는 정(+)의 영향을 주지만 높은 분위로 갈수록 즉, 환승 통행량이 많을수록 영향력이 감소하는 것으로 나타났다. 습도는 부(-)의 영향을 주고 온도와 마찬가지로 높은 분위로 갈수록 영향력이 낮아지는 것으로 나타났다. 강우량은 부(-)의 영향을 주고 높은 통행량일수록 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 강우 여부는 0.3, 0.5분위에서 부(-)의 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 전반적으로 [그림 2]의 평일 시내버스 단일 통행량과 비슷한 경향을 보인다고 사료된다.

휴일 시내버스-시내버스 간 환승 통행량에 대한 결과의 경우 온도는 정(+)의 영향을 미쳤고 높은 분위로 갈수록 영향력이 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 [그림 2]의 휴일 시내버스 단일 통행량과 같이 온도에 민감하게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 습도의 경우 부(-)의 영향을 주고 온도와 반대로 높은 분위로 갈수록 영향력이 낮아지는 것으로 나타났다. 강우량의 경우 부(-)의 영향을 주고 높은 분위로 갈수록 분위 계수 값이 증가하는 것으로 나타났다. 시내버스-시내버스 환승 통행량의 경우 평일과 휴일 결과는 유사한 경향을 보이고 [그림 2]의 시내버스 단일 통행량에 비해 변동이 작음을 보인다.

다음으로 평일 시내버스-지하철간 환승 통행량에 대한 결과를 살펴보면 정(+)의 영향을 미치고 높은 분위로 갈수록 영향력이 감소하는 것으로 나타났다. 습도의 경우 모든 분위에서 부(-)의 영향을 주고 높은 분위로 갈수록 영향력이 낮아지는 경향을 보인다. 강우량의 경우 0.9 분위에서 유의하게 부(-)의 영향을 주는 것으로 나타나 통행량이 많은

Table 3. Result of regression for ridership on the city bus-city bus and city bus-subway

Type	ridership on the city bus-city bus										ridership on the city bus-Subway									
	on Weekday					on Holiday					on Weekday					on Holiday				
Quantile	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
Temperature	0.55	0.43	0.48	0.40	0.29	0.30	0.31	0.31	0.23	0.35	0.40	0.22	0.19	0.21	0.07	0.30	0.20	0.20	0.07	0.06
Wind speed	0.14	0.05	0.02	0.01	0.04	-0.05	-0.00	0.04	0.03	0.05	0.07	0.05	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.06	0.08	0.07
Humidity	-0.40	-0.36	-0.39	-0.32	-0.19	-0.18	-0.21	-0.16	-0.15	-0.15	-0.32	-0.38	-0.39	-0.32	-0.22	-0.28	-0.30	-0.26	-0.16	-0.05
Rainfall	-0.02	-0.13	-0.13	-0.11	-0.13	-0.09	-0.12	-0.16	-0.09	-0.14	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.04	-0.01	-0.05	-0.03	0.01	-0.11
Whether rain or not	-0.01	-0.10	-0.09	0.00	-0.05	0.05	0.01	0.04	-0.02	-0.01	0.14	-0.13	-0.10	0.06	0.01	0.08	0.07	0.03	-0.03	-0.01

note) the shadow is below the significance level of 0.1

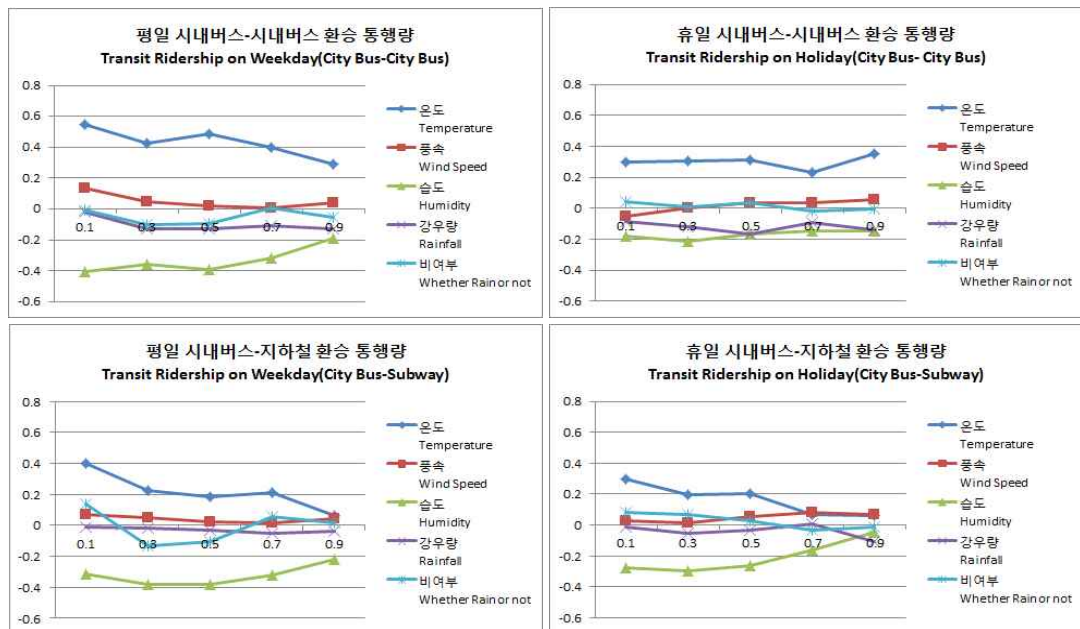


Figure 3. Result of regression for ridership on the city bus-city bus and city bus-subway

피크 시에는 영향이 있음을 나타낸다.

휴일 시내버스-지하철간 환승 통행량에 대한 결과를 살펴보면 온도는 정(+)의 영향을 미치고 통행량이 많아질수록 영향력이 낮아짐을 보인다. 습도의

경우 부(-)의 영향을 주며 강우량의 경우 0.9 분위에서는 부(-)의 영향을 주고 있다. 시내버스-지하철 환승통행량의 경우 평일 휴일 모두 환승 통행량이 적을 경우 온도의 영향이 크나 환승 통행량이

많아질수록 그 영향이 적어지는 경향을 강하게 보이고 있으며 강우량의 경우 환승 통행량이 점점 증가 증가했을 때 강우량의 분위 계수값이 증가하는 경향을 보여 강우량은 환승 통행량 감소 원인으로 작용함을 보이고 있다.

이상의 환승 통행량 분석결과에서, 환승 통행량의 경우에도 단일 통행량과 마찬가지로 온도, 습도, 강우량이 밀접한 영향을 갖는 것으로 나타났다. 온도의 휴일 시내버스-시내버스 환승의 경우를 제외하고는 환승 통행량이 많아질수록 그 영향이 줄어드는 것으로 나타났다. 습도 역시 통행량이 많아질수록 영향이 줄어드는 경향을 적어지는 것으로 분석되었다. 한편, 강우량의 증가는 환승 통행량이 많아질수록 영향이 커지는 것으로 나타났다. 특히 온도와 습도의 경우 단일 통행량에 비해 더 많은 분위 값에서 유의미한 값들이 산출되어 단일 통행에 비해 환승 통행이 두 요인의 영향을 더욱 크게 받는다고 볼 수 있다. 또한 시내버스-시내버스간 환승 통행량의 경우 단일 통행량과 마찬가지로 주말에 비해 평일의 경우가 대중교통 통행량 분위에 따른 기상조건의 영향력의 변동폭이 더 큰 것으로 나타났다. 시내버스-지하철간 환승 통행량의 경우 변동 폭이 작은 것으로 나타났다. 아울러 시내버스-시내버스 환승에 비해 시내버스-지하철 환승의 분위계수 값들이 평균적으로 낮게 나타났다.

기상조건이 단일 통행량과 환승 통행량에 미치는 영향에 대한 분석 결과를 종합적으로 살펴보면, 시내버스가 포함된 통행인 시내버스 단일 통행, 시내버스-시내버스 간 환승 통행, 시내버스-지하철간 환승 통행이 기상조건의 영향을 더욱 크게 받는 것으로 나타났다. 또한 평일 통행이 휴일 통행보다, 단일 통행이 환승 통행보다 통행량 분위에 따른 기상조건의 영향력의 변동 폭이 더 큰 것으로 분석되었다.

III. 결 론

본 연구는 부산광역시를 대상으로 2011년~2015년 교통카드 데이터와 기상데이터를 활용하여 기상조건이 대중교통 수단별 통행량에 미치는 영향을 파악하였다. 기존 연구와 달리 단일통행과 환승통행을 함께 비교하여 결과를 도출하고 있어 향후 이를 바탕으로 관련 정책 및 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 판단된다. 결과는 다음과 같다.

첫째, 기상조건은 대중교통 통행량에 밀접한 관련이 있으며 이는 통행수단 별, 평일 휴일 별로 유의미한 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 온도의 증가는 통행량이 많은 때에 비해 적을 때 대중교통 통행량을 증가시키는 것으로 나타났고 습도는 감소시키는 것으로 나타났다. 강우량의 증가는 통행량이 많은 시간대에 대중교통 통행량을 감소시키는 주요원인으로 나타났다.

둘째, 시내버스로 이루어진 통행은 지하철로 이루어진 통행 보다 상대적으로 기상조건에 따라 통행량의 변화가 큰 것을 파악 할 수 있었다. 이는 역(station)의 차이가 주요 원인이라 판단된다. 시내버스 역은 지상에 있고 지하철역은 지하에 있어 시내버스 이용자들은 상대적으로 환승 시 도보 이동 및 대기시간 동안 기상조건에 직접적인 영향을 받기 때문이다. 이러한 요인은 현재 대중교통 이용 현황 중 지하철 이용은 증가하고 있지만 시내버스 이용의 감소로 전체 대중교통 이용이 매해 감소하는데 상당 부분 영향을 미치고 있다고 판단된다.

셋째, 평일이 휴일에 비해 통행량에 따른 분위로 구분하였을 때 기상조건에 따라 분위 계수변동 폭이 큰 것으로 나타났다. 평일 통행량과 휴일 통행량은 통행량에서부터 확연한 차이를 보이고 있고 동일한 통행수단이라 할지라도 기상조건이 미치는 영향이 다르다는 것을 확인 할 수 있었다. 동일한

수단을 기준으로 평일, 휴일 구분해서 살펴보면 온도, 습도의 경우 상대적으로 평일이 휴일에 비해 더 큰 영향을 주고 강우량의 경우 상대적으로 평일보다 휴일통행에 더 큰 영향을 주었다.

넷째, 단일통행이 환승통행에 비해 통행량에 따른 분위로 구분하였을 때 기상조건에 따라 분위 계수변동 폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 단일통행이 환승통행보다 기상조건에 영향을 많이 받는다는 것으로 좋지 않은 기상조건은 일반적으로 환승통행량에 비해 통행량수가 더 많은 단일통행 비율을 감소시키는 것으로 볼 수 있다. 또한 단일통행의 감소는 환승통행의 감소에 간접적으로 영향을 준다는 점에서 좋지 않은 기상조건은 대중교통 이용객의 감소를 초래하는 주요 원인으로 판단된다.

본 연구의 결과를 통해 기상조건에 따라 대중교통 이용 시 발생 할 수 있는 문제점은 강우 및 높은 온도가 피크타임 시 대중교통 이용에 부정적인 영향을 미친다는 것으로 볼 수 있다. 또한 평일이 기상조건에 영향을 많이 받는다는 점에서 출퇴근 시간과 같은 피크타임 시에 기상조건 영향을 최소화 시킬 수 있는 방안이 필요하다. 시내버스의 경우 승차 대기공간이 기상조건에 영향을 받지 않고 버스도착 정보가 제공되어야 것이다. 따라서 쉼터 및 버스도착 정보제공장치의 설치가 필요하다. 지하철의 경우 상대적으로 대기공간은 시내버스보다 기상조건에 영향을 적게 받지만 버스와 달리 접근성 측면에서 좋지 않다는 점에서 역까지 도달 시 기상조건에 영향을 더 받을 수 있다. 이에 지하철 역 주변 및 시내버스와 연결된 통로의 경우 기상조건 영향을 최소화 할 수 있는 시설이 마련될 필요가 있다.

종합적으로 검토해 본다면 대중교통 이용을 증가시키기 위해서는 대중교통이용의 편리함을 제공할 수 있는 복합 환승센터가 건설될 필요가 있다. 현재 대도시의 복합 환승센터 등은 시내버스 역과 지

하철 역간 외부 환경 노출되어 있어 환승 시 기상조건에 많은 영향을 받고 있는 있다. 따라서 대중교통 이용 편의라는 측면에서 제 기능을 하지 못하고 있어 이에 대해서 추가적으로 논의 될 필요가 있다. 특히 환승센터 이용자들이 환승을 함에 있어 불편함이 없도록 해야 한다. 구체적으로 날씨에 상관없이 환승이 불편하지 않도록 편의시설을 갖추어야 하며 다양한 교통수단 간 환승이 이루어질 수 있는 여건을 조성하고 관리하여 대중교통수단을 이용하는 사람들의 편의성을 높여야한다.

본 연구의 한계점은 교통카드 데이터 및 기상데이터의 한계점이라 볼 수 있다. 첫째, 통행수단을 선택 할 시 중요한 요인 중 하나인 통행목적과 파악 할 수가 없어 이를 고려하지 못하였다. 둘째, 개인 프라이버시로 인해 카드 데이터 ID가 매일 갱신이 되어 기상조건에 따른 비교 분석을 확인 할 수 없었다. 동일한 사람을 대상으로 기상조건에 따라 통행패턴을 파악 할 수 있다면 보다 정확한 분석이 가능 할 것이라 판단된다. 기상데이터의 경우 측정 장소에 따라 편이된 결과가 도출될 가능성이 높다는 점에서 향후에는 이를 고려한 연구가 진행되어야 할 것이다.

향후 연구로 대중교통 이용에는 기상조건 뿐만 아니라 요금수단 및 환승제도, 노선 변경 등 다양한 요인들이 관여하므로 이를 함께 반영한 연구가 필요할 것이다.

-
- 주1. 대중교통 수단별 운행시간은 동일하지 않지만 평균적인 값을 고려하여 운행시간을 선정하였다.
 - 주2. 마을버스의 경우 대중교통 주요 통행수단인 버스, 지하철에 비해 상대적으로 통행량이 적고 타수단과 달리 지역적 특성을 지니고 있으므로 분석에서 제외하였다.
 - 주3. 분위의 경우 연구자가 분석하고자 하는 바에 따라 설정하므로 본 연구에서는 통행량이 많고 적음에 있어서 기상 상태가 미치는 영향을 보다 세밀히 분석하고자 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 5개의 분위로 구분하였다.

인용문헌

References

1. Park, K. Y., and Lee, S. B., 2012. "A Study on the Effect of Adverse Weather Conditions on Public Transportation Mode Choice", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 32(1D):23-31.
2. Shin, K. W., and Choi, K. C., 2014. "Analyzing the Relationship Between Precipitation and Transit Ridership Through a Seemingly Unrelated Regression Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, 32(2):83-92
3. Jung, H. Y., Song K. Y., and Kim G. W., 2011. "Analysis of Intra-city Bus demand during Rainfall Using Ordered Probit Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, 29(5):43-54.
4. Choi, S. G., and Lee, J. H and Oh, S. H., 2013. "The effect of weather conditions on transit Ridership", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(6):2447-2453
5. So, B. J., Kwon, H. H., An, J. H., 2012. "Trend Analysis of Extreme Precipitation Using Quantile Regression", *Journal of Korea Water Resources Association*, 45(8):815-826
6. Lee, K. M., Baek, H. J., Cho, C. H., 2012. "Analysis of Changes in Extreme Precipitation in Seoul Using Quantile Regression", *Journal of Climate Research*, 7(3): 199-209
7. Arana, P., Cabezudo, S., and Peñalba, M., 2014. "Influence of weather conditions on transit ridership: A statistical study using data from Smartcards", *Transportation research part A: policy and practice*, 59: 1-12.
8. Changnon, S. A., 1996. "Effects of summer precipitation on urban transportation", *Climatic Change*, 32(4):481-494.
9. Davino, C., 2013. *Quantile regression*, Wiley.
10. Guo, Z., Wilson, N., and Rahbee, A., 2007 "Impact of weather on transit ridership in Chicago, Illinois", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2034: 3-10.
11. Hofmann, M., & O'Mahony, M., 2005. "The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures", *In Intelligent Transportation Systems, Proceedings. 2005 IEEE* :84-89.
12. Kashfi, S., Lee, B., and Bunker, J. M., 2013. "Impact of rain on daily bus ridership: a Brisbane case study. In Australasian", *Transport Research Forum 2013 Proceedings*, Brisbane
13. Keay, K., and 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.
14. Khattak, A. J., and De Palma, A., 1997 "The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: a survey of Brussels commuters" *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(3): 181-203.
15. Koenker, R., and Bassett Jr, G., 1978. "Regression quantiles. *Econometrica*", *journal of the Econometric Society*, 44: 33-50.
16. Koenker, R., 2005. *Quantile regression*, Cambridge university press
17. Liu, C., Susilo, Y. O., and Karlström, A., 2015. "Investigating the impacts of weather variability on individual's daily activity-travel patterns: A comparison between commuters and non-commuters in Sweden", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 82: 47-64.
18. Singhal, A., Kamga, C., and Yazici, A., 2014. "Impact of weather on urban transit ridership", *Transportation research part A: policy and practice*, 69: 379-391.
19. Stover, V. W., and McCormack, E. D., 2012. "The impact of weather on bus ridership in Pierce County, Washington", *Journal of Public*

- Transportation*, 15(1): 95-110
20. Zhou, M., Wang, D., Li, Q., Yue, Y., Tu, W., and Cao, R., 2017. "Impacts of weather on public transport ridership: Results from mining data from different sources", *Transportation research part C: emerging technologies*, 75: 17-29
- | | |
|----------------------------|------------|
| Date Received | 2018-04-24 |
| Reviewed(1 st) | 2018-05-23 |
| Date Revised | 2018-06-20 |
| Reviewed(2 nd) | 2018-07-04 |
| Date Accepted | 2018-07-04 |
| Final Received | 2018-07-16 |