

기상조건이 대중교통수요에 미치는 영향에 관한 연구

최상기* · 이종호** · 오승훈***

Choi, Sang Gi*, Rhee, Jong Ho**, Oh, Seung Hwoon***

The Effect of Weather Conditions on Transit Ridership

ABSTRACT

In this study, the effects of weather conditions such as rainfall, discomfort index, snowfall, and sensible temperature on public transport demand in Seoul were analyzed using statistical data. The reasons were also derived from the survey. The data for the analysis were collected over the weekdays and weekends, and seasonal data of summer and winter were also gathered separately. Rainfall amount, discomfort index, and sensible temperature except snowfall amount, whose samples were insufficient, decreased the public transport demand by 2-7%. Rainfall amount and sensible temperature were statistically significant. Correlation analysis also showed that rainfall amount and sensible temperature are highly correlated with the demand. To find the reasons, the survey was conducted on citizens living in the Seoul Metropolitan Area. About 30% of the respondents wished to give up using bus when rainfall was heavy or temperature was low. On the contrary, auto and subway users increased by 10%. The results of this study could be used as the basic data when the public transportation planning or operation related policies according to the weather condition are concerned.

Key words : Weather condition, Bus demand, Subway demand

초록

본 연구에서는 강우, 불쾌지수, 강설, 체감온도 등 4가지 기상조건이 대중교통수요에 어떤 영향을 미치는지 관련 통계자료를 이용해 분석을 실시하고, 설문조사를 통해 그 이유를 도출하였다. 모든 자료는 일단위로 수집하였고, 평일-주말과 여름-겨울로 구분하여 분석을 실시하였다. 분석 결과, 샘플수가 부족한 강설을 제외하고는 강우, 불쾌지수, 체감온도의 기상조건이 대중교통 수요를 약 2~7% 감소시키는 것으로 나타났다. 수요의 감소폭이 통계적으로 유의한지 알아보기 위해 t-검정을 실시하였는데, 이 중 강우와 체감온도가 통계적으로 유의하다는 결과를 얻었다. 상관분석 결과도 강우와 체감온도 2가지 지표가 상대적으로 높은 상관관계를 나타냈으며, 야외에 노출되어있는 버스가 지하철에 비해 높은 상관관계를 보였다. 그리고 통계적으로 유의한 결과가 나온 강우와 체감온도, 2가지 지표에 관한 설문을 실시하였다. 수도권에 거주하는 일반시민을 대상으로 설문을 실시한 결과, 평상시에 응답자 중 약 50%가 버스를 이용하였는데, 이 중 강우가 발생하거나 체감온도가 낮아지면 버스 이용이 약 30%대로 감소되는 반면, 승용차와 지하철통행은 약 10% 증가되는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 기후변화에 따른 대중교통정책 및 운영방법 결정에 기초자료로 사용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 기상조건, 버스수요, 지하철수요

* 경기대학교 대학원 석사과정졸업 공학석사 (stynerprince@nate.com)

** 정희원·경기대학교 도시·교통공학과 교수, 공학박사 (jhrhee@kyonggi.ac.kr)

*** 정희원·교신저자·경기대학교 도시·교통공학과 교수, 공학박사 (**Corresponding Author**·Kyonggi University·shoo@kyonggi.ac.kr)

Received September 17, 2013/ revised September 30, 2013/ accepted October 5, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

대중교통수요에 영향을 미치는 요인은 기상조건, 승용차보유대수, 유가, 요금, 서비스수준, 도로현황 등 여러 가지가 있다. 기상조건을 제외한 다른 요인들은 과거부터 현재까지 꾸준히 연구가 되고 있고, 대중교통이용활성화 정책에 많은 영향을 미치고 있다. 하지만 대중교통수요에 직접적인 영향을 주는 기상조건이라는 요인은 국내에서의 연구가 매우 드문 상황이다.

본 연구에서는 여러 가지 기상조건들이 대중교통수요에 어떤 영향을, 얼마나 미치는지 통계자료를 통해 분석하고, 그 이유를 설문조사를 통해 도출하였다. 본 연구 결과는 기후변화에 따른 대중교통정책 및 운영방법 결정에 기초자료로 사용되어 대중교통 서비스 수준 및 시설 개선을 유도하고, 차후 대중교통이용을 제고시키는 데 역할을 할 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구의 시간적 범위는 1년 통계치가 존재하는 가장 최근년도인 2011년으로 정하였고, 공간적 범위는 대중교통분담율이 2009년 기준 63%이고, 대중교통 이용객이 2011년 기준 일평균 10,783,000명인 서울시로 한정하였다.

내용적 범위로는 기상자료를 크게 4가지(시간당 강수량, 강설량, 불쾌지수, 체감온도)로 분류하고 대중교통자료는 버스(시내버스, 마을버스)수요 및 지하철수요로 분류하였다. 모든 자료는 일 단위를 기준으로 하고, 대중교통수요는 승차인원을 기준으로 분석에 사용하였다.

연구방법으로는 크게 두 가지로 나뉘는데, 통계적분석과 설문조사분석으로 구분된다. 통계적분석은 1차적으로 각 기상조건에 따라 대중교통수요의 변화량에 대해 분석하고, 그 변화가 기상조건의 영향 때문이라는 가설을 설정한 뒤, 모평균 차이 검증법을 이용하여 가설검증을 하였다. 다음 단계로 각각의 기상조건과 대중교통수요의 상관관계의 정도를 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다. 마지막으로 각각의 기상조건의 영향정도를 자세하게 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하여 회귀식을 도출하였으며, 통계적 분석 결과를 실제 설문을 통하여 검증하여 보았다.

2. 선행연구 고찰

2.1 국내 선행연구 고찰

심양섭(2005)은 서울시 버스노선별 1일 이용자 자료를 이용하여 버스수요의 특성 및 수요변화, 강우와 강설에 따른 버스수요 변화 등을 분석·검토 하였다. 그 결과 맑은 날에 비해 비가 오는 날

버스수요가 감소하는 것으로 나타났고, 노선별 특성으로는 지선 및 마을버스보다 간선버스의 감소폭이 큰 것으로 나타났다.

정현영(2011)은 실제 시내버스 이용자를 대상으로 강우에 따른 시내버스 이용실태와 강우량에 따른 시내버스 이용의식을 조사하였다. 이를 바탕으로 순서형 프로빗 모형을 통한 강우에 따른 시내버스 예측모형을 구축하였고, 강우량에 따른 시내버스 이용탄력도에 대하여 분석하였다. 모형 구축 결과 시내버스 이용 빈도가 높은 응답자일수록, 연령이 높을수록 시내버스 이용확률이 높은 것으로 나타났다. 또한 통근·통학의 통행목적이 다른 통행목적보다 이용확률이 높으며, 차량을 소유하지 않은 응답자의 경우 높은 이용확률을 보이는 것으로 나타났다.

박근영(2012)은 2010년 부산시 대중교통자료와 강우자료를 이용하여 강우일과 맑은날의 통행건수와 통행금액을 비교하고, 설문조사를 실시하였다. 그 결과 약한비 보다 강한비 일수록 버스통행이 줄어드는 것으로 나타났으며, 주말의 경우 평일과 비교했을 때 특히 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다. 대기시간 문제와 버스정류장불편이 강우시 버스통행을 하지 않는 가장 큰 이유로 나타났다.

2.2 해외 선행연구 고찰

Stanley A. Changnon (1996)은 시카고의 3년간 데이터를 이용하여 강우가 교통에 주는 영향을 연구하였다. 교통사고, 교통량, 대중교통수요 외에도 보트나 항공분야에 관련된 분야도 함께 분석하였다. 비가 오는 동안 대중교통수요는 3~5% 감소하였고, 대부분 9시부터 16시동안의 감소로 나타났다.

Asad and Ande (1997)는 실생활에서 일반적인 상황과 예상치 못한 통행조건하에 통행하는 사람의 행동을 이해하기 위해 벨기에의 브뤼셀 사람들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 승용차를 이용하여 통근을 하는 사람을 집중적으로 연구하였는데, 그 결과 절반정도가 좋지 않은 기상조건에 의해 통행패턴을 변화시켰다. 60%는 자신의 출발시간을 변경하였고, 35%는 대체노선으로 방향을 돌렸다. 마지막으로 프로빗모형을 통해 수단선택과 출발시간을 추정하였는데, 그 결과 좋지 않은 기상조건이 통근자들의 통행패턴을 변화시킨다는 결론을 도출하였다.

Hofmann and O'Mahony (2005)는 나쁜 기상조건으로 인한 버스서비스수준에 영향을 분석하였다. 이는 도시버스사업자들에게 운영계획이나 스케줄링, 버스관리에 반영할 수 있게 하기 위함이다. 분석대상은 버스수요, 버스도착빈도, 차두시간, 통행시간이고 분석 결과 강우시에 모든 대상에 부정적인 영향을 미친다는 결론이 도출되었다.

Zhan et al. (2007)는 시카고의 대중교통수요에 대한 날씨의 영향을 연구하였다. 최소자승 회귀분석법을 사용하여 온도, 비,

는, 바람을 변수로 대중교통수요의 변화를 알아본 결과, 일반적으로 좋은 날씨에는 수요가 증가하고 좋지 않은 날씨에는 감소하는 결과를 보였다. 버스수요가 지하철수요보다 민감한 반응을 보였고, 주말수요가 주중수요보다 민감한 반응을 보였다.

Muhammad et al. (2009)는 1996년 네덜란드의 교통설문 통계조사 자료를 이용하여 기상조건이 개인의 수단선택에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다. 다항 로짓모형을 사용하여 추정을 하였는데, 그 결과 강한 바람은 자전거를 이용하려는 경향을 감소시키고 승용차와 대중교통선택을 증가시켰다. 낮은 온도와 강수량 또한 같은 결과를 나타냈다. 자전거통행이나 승용차통행은 큰 변화폭을 나타내는 반면, 대중교통이나 도보 통행의 변화폭은 작았다.

Stover and McCormack (2012)은 2006년부터 2008년까지 Washington Pierce County의 버스수요에 대한 날씨의 영향을 연구하였다. 기상조건은 년 중 기간에 따라 다른 영향을 미칠 수 있기 때문에 계절별로 최소자승 회귀분석법을 통해 추정하였다. 4가지 날씨 변수로는 바람, 온도, 비, 눈이 사용되었다. 분석결과 강한 바람은 봄, 가을, 겨울 기간에 수요에 부정적인 영향을 주고, 낮은 온도는 겨울에 수요를 감소시킨다. 비는 사계절동안 수요에 부정적인 영향을 주고 눈은 가을, 겨울에 낮은 수요와 관련이 있다고 나타났다.

3. 자료수집 및 분석방법론

3.1 자료수집

본 연구에서 사용한 자료는 Table 1과 같이 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째, 기상자료로는 기상청에서 제공한 2011년 1월1일부

Table 1. Analyzed Data

| Meteorological Data | |
|--------------------------|---|
| Rainfall Amount (mm/hr) | Rainfall Amount (mm/day) |
| | Duration of Rainfall (hr) |
| Snowfall Amount (cm/day) | |
| Discomfort Index | Maximum Temperature (C) |
| | Relative Humidity (%) |
| Sensible Temperature | Minimum Temperature (C) |
| | Wind Speed (m/s) |
| Transit Ridership | |
| Bus Ridership in Seoul | City Bus Ridership (Red, Blue, Green, Yellow) |
| | Shuttle Bus Ridership |
| Metro Ridership in Seoul | Seoul Metro (1~4Line) Ridership |
| | Korail (5~8Line) Ridership |

터 12월 31일 일년간의 강수량, 강설량, 불쾌지수 및 체감온도가 이용되었다.

둘째, 대중교통수요자료의 경우, 버스수요는 서울시교통정보센터에서 시내(광역, 간선, 지선, 순환)버스 수요와 마을버스 수요가 일별로 수집되었고, 지하철수요로는 서울메트로와 서울도시철도 공사의 일별수요를 수집하여 합한 값이 사용되었다.

3.2 분석방법론

3.2.1 수요변화 분석

대중교통수요에 대한 영향은 특정일에 따라 다르기 때문에 평일, 주말과 계절별로 나누어 분석되었다. 설·추석연휴, 신정, 1월2일, 9월14일, 12월31일은 분석대상에서 제외되었다.

3.2.2 대중교통수요 변화의 통계적 검증

본 연구에서는 기상조건에 따른 대중교통수요의 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위해 두 모평균차이 검증을 실시하였다. 소표본으로 판단하여 t-검정 방법을 사용하였다.

각각의 기상조건별로 산출된 p값이 0.05보다 작으면 “부정적인 기상조건일 때의 수요와 평상시의 수요는 같다.”라는 귀무가설(H_0)을 신뢰수준 90%에서 기각하게 되어 “부정적인 기상조건일 때의 수요와 평상시의 수요는 다르다.”라는 대립가설(H_1)을 채택하게 된다. 따라서 위의 기각된 기상조건별 수요의 변화는 통계적으로 유의하다는 결론을 얻게 된다.

3.2.3 상관분석 및 회귀분석

기상조건별로 대중교통수요와의 상관정도를 알아보기 위해 계절별로 상관분석을 실시하였다. 여름철에는 시간당강수량, 불쾌지수, 지하철수요, 버스수요 간의 상관관계를 알아보았고, 겨울철에는 강설량, 체감온도, 지하철수요, 버스수요 간의 상관관계를 알아보았다.

그 결과를 토대로 각각의 기상조건이 대중교통수요에 주는 영향 정도를 알아보기 위해 최소자승법 단순회귀분석을 실시하여 회귀식을 도출하였다.

3.2.4 설문조사 분석

설문조사 항목은 앞에서 미리 실시한 통계자료 분석을 토대로 작성하였다. 통계적으로 유의한 결과를 나타낸 지표를 기준으로 맑은 날의 수단선택과 어떤 차이를 나타내는지 중점적으로 알아보았다. 조사대상은 대중교통을 이용하고 수도권에 거주하는 일반시민으로 선정하였고, 2012년 11월~2012년 12월에 실시하였다. 조사방법으로는 대인면접설문조사를 실시하였다.

4. 분석결과

4.1 수요변화 분석결과

수요변화를 분석하기 위하여 평일 249일, 주말 104일이 분석대상으로 설정되었고, 계절별로는 여름철의 평일 83일과 주말 34일, 그리고 겨울철의 평일 82일과 주말 31일이 분석대상으로 설정되었다.

Table 2과 같이 대부분의 기상조건에서 버스가 지하철보다 영향이 큰 것으로 나타났다. 기상악화가 심화될 경우 평일보다 주말에 대한 영향이 큰 것으로 나타났다.

4.2 대중교통수요 변화의 통계적 분석 결과

Table 2에서 기상조건에 영향을 통계적으로 유의한지 분석하였다. 이때 주말 중 토요일과 일요일의 수요차이가 있어 토요일과 일요일을 나누어 분석하였다. 기상조건별 대중교통수요의 모평균 차이 검증 결과, p-value는 Table 3과 같다.

4가지 기상조건 중 강우와 체감온도가 통계적(신뢰수준 90%)으로 유의하다는 결과를 얻었다. 불쾌지수는 여름 주중 지하철 수요를

Table 2. Effect on Transit Ridership

| Weather Condition | Bus | | Metro | |
|-------------------|---------|----------|---------|----------|
| | Weekday | Week end | Weekday | Week end |
| Rain* | 7%▼ | 7%▼ | 5%▼ | 5%▼ |
| DI | 3%▼ | 4%▼ | 3%▼ | 7%▼ |
| Snow | - | 2%▼ | 1%▼ | 2%▼ |
| ST | 5%▼ | 7%▼ | 4%▼ | 5%▼ |

* Rain (Rainfall Amount), DI (Discomfort Index), Snow (Snowfall Amount), ST(Sensible Temperature)

Table 3. Statistical Verification

| Weather Condition | Transit Ridership | | Metro | Bus |
|-------------------|-------------------|---------|---------------|---------------|
| | | | (p-value) | (p-value) |
| Rain | sum. | weekday | 0.0000 | 0.0000 |
| | | Sat. | 0.0353 | 0.0577 |
| | | Sun. | 0.0042 | 0.0098 |
| DI | sum. | weekday | 0.0046 | 0.0519 |
| | | Sat. | 0.2902 | 0.9630 |
| | | Sun. | 0.8741 | 0.6540 |
| Snow | win. | weekday | 0.3837 | 0.2295 |
| | | Sat. | 0.5856 | 0.3609 |
| | | Sun. | 0.8025 | 0.7498 |
| ST | win | weekday | 0.0000 | 0.0000 |
| | | Sat. | 0.0040 | 0.0022 |
| | | Sun. | 0.0484 | 0.0193 |

* sum.(summer), win.(winter)

제외하고는 상대적으로 대중교통수요에 큰 영향이 없다고 분석되었다.

4.3 상관분석 및 회귀분석 결과

평일, 토요일, 일요일로 나누어 여름철과 겨울철 각각의 기상조건과 지하철, 버스의 수요와의 상관관계를 알아보았다(Table 4 참조).

여름철 평일의 경우 시간당강수량과 지하철, 버스의 상관계수가 각각 -0.4610, -0.5631로 음의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 반면 불쾌지수의 경우는 각각 -0.2627, -0.1593으로 시간당강수량에 비해 낮은 상관관계가 나타났다. 상관계수의 비교를 통해 여름철 평일의 경우 시간당강수량에 대한 영향이 더 큰 것을 알 수 있었으며, 버스가 지하철에 비해 기상조건에 영향을 더 받는다는 것을 알 수 있다.

여름철 토요일도 평일과 유사한 추세를 보이고 있다. 시간당강수량이 더 큰 상관관계를 보이고 있고, 지하철 -0.5506, 버스 -0.63으로 버스에 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 일요일의 경우 이러한 추세는 더욱 커져 지하철, 버스 각각 -0.8915, -0.9317의 매우 큰 음의 상관관계를 나타냈다. 이는 주중보다 주말의 대중교통수요가 기상조건에 더욱 민감함을 보여준다. 불쾌지수는 지하철 0.0925, 버스 0.2144로 상관계수가 매우 낮게 나타났다.

겨울철에는 Table 5와 같이 체감온도라는 지표가 대중교통수요와 높은 상관관계를 나타냈다. 평일의 경우 지하철 0.5036, 버스

Table 4. Correlation Analysis Results (Summer Season)

| Sum_weekday | Rain | DI | Metro |
|-------------|----------------|---------|--------|
| Rain | 1 | | |
| DI | 0.0820 | 1 | |
| Metro | -0.4610 | -0.2627 | 1 |
| Bus | -0.5631 | -0.1593 | 0.9323 |
| Sum_Sat | Rain | DI | Metro |
| Rain | 1 | | |
| DI | -0.0513 | 1 | |
| Metro | -0.5506 | -0.2641 | 1 |
| Bus | -0.63 | -0.0349 | 0.8913 |
| Sum_Sun | Rain | DI | Metro |
| Rain | 1 | | |
| DI | -0.2657 | 1 | |
| Metro | -0.8915 | 0.0925 | 1 |
| Bus | -0.9317 | 0.2144 | 0.9662 |

* Sum_weekday (weekdays in summer)
Sum_Sat (Saturdays in summer)
Sum_Sun (Sundays in summer)

0.5695로 양의 상관관계가 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 시간당강수량과 마찬가지로 버스에 대한 영향이 지하철보다 큰 것으로 나타났다. 반면 강설량은 음의 상관관계를 나타냈는데 그 수치는 -0.1441, -0.0739로 매우 낮게 나타났다. 약한 강설시에는 수요가 소폭 감소하고, 강한 강설시에는 수요의 변화가 없거나 소폭 증가하는 경향이 있어 상관계수가 매우 낮게 나타난 것으로 판단된다.

주말의 경우도 여름철과 비슷한 추세가 나타났다. 주말의 상관계

Table 5. Correlation Analysis Results (Winter Season)

| Win_weekday | Snow | ST | Metro |
|-------------|---------|---------------|--------|
| Snow | 1 | | |
| ST | -0.1002 | 1 | |
| Metro | -0.0739 | 0.5036 | 1 |
| Bus | -0.1441 | 0.5695 | 0.8714 |
| Win_Sat | Snow | ST | Metro |
| Snow | 1 | | |
| ST | -0.1702 | 1 | |
| Metro | 0.0837 | 0.7720 | 1 |
| Bus | -0.1477 | 0.8883 | 0.8128 |
| Win_Sun | Snow | ST | Metro |
| Snow | 1 | | |
| ST | 0.0359 | 1 | |
| Metro | 0.2514 | 0.6204 | 1 |
| Bus | 0.2502 | 0.6925 | 0.922 |

* Win_weekday(weekdays in winter)
Win_Sat(Saturdays in winter)
Win_Sun(Sundays in winter)

수는 증가했지만 일요일보다 토요일에 더 큰 상관관계를 나타냈다. 토요일 상관계수 수치는 지하철, 버스 각각 0.7720, 0.8883로 매우 높은 상관관계를 나타냈고, 일요일도 각각 0.6204, 0.6925로 평일에 비해 상관계수가 크지만, 토요일보다는 적다.

평일과 토요일, 일요일로 나누어 각 기상조건별 최소자승법 단순회귀분석을 실시하였다. 그 결과 여름철 주말 강우에 대한 회귀식과 겨울철 체감온도에 대한 회귀식을 제외하고는 모두 결정 계수 값이 0.3 이하로 매우 낮게 나타나 회귀식에 대한 설명력이 떨어지는 것으로 판단되어 제외하였다. 반면, 여름철 주말 강우와 겨울철 평일, 주말 체감온도에 대한 회귀식은 높은 수준의 결정계수 값을 나타냈다. 특히 버스수요에 관련된 회귀식의 설명력이 높게 나타났는데, 이는 해당 기상조건이 지하철보다 버스수요에 대한 영향이 큼을 보여준다.

4.4 설문조사 분석결과

설문조사 항목은 앞에서 실시한 통계자료 분석을 토대로 작성하였다. 통계적으로 유의한 결과를 나타낸, 기상조건, 강우와 체감온도를 기준으로 맑은 날의 수단선택과 어떤 차이를 나타내는지 중점적으로 알아보았다. 또한 그 이유를 조사항목에 추가하여 왜 수단전환이 일어났는지를 도출하였다. 설문지 조사항목은 Table 7과 같다.

조사대상은 대중교통을 이용하고 수도권에 거주하는 일반시민으로 선정하였고, 2012년 11월~2012년 12월에 실시하였다. 조사 방법으로는 대인면접설문조사를 실시하였고, 총 262부의 유효한 설문조사 결과를 얻었다.

조사대상 중 남성은 57% 여성은 43%로 나타났다. 조사대상의 거주지역으로는 서울지역이 37%, 그 외 수도권지역이 63%로

Table 6. Simple Regression Analysis*

| Conditions | | Metro | R ² | Bus | R ² |
|------------|-------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Rain | Sum_weekday | $Y=-30905X_1+5E+06$ | 0.21 | $Y=-58037X_1+7E+06$ | 0.32 |
| | Sum_Sat | $Y=-184585X_1+4E+06$ | 0.69 | $Y=-256423X_1+5E+06$ | 0.74 |
| | Sum_Sun | $Y=-119526X_1+3E+06$ | 0.79 | $Y=-179211X_1+4E+06$ | 0.87 |
| DI | Sum_weekday | $Y=-12333X_2+6E+06$ | 0.07 | $Y=-11497X_2+7E+06$ | 0.03 |
| | Sum_Sat | $Y=-12996X_2+5E+06$ | 0.04 | $Y=12384X_2+4E+06$ | 0.02 |
| | Sum_Sun | $Y=5678.3X_2+2E+06$ | 0.01 | $Y=18976X_2+2E+06$ | 0.05 |
| Snow | Win_weekday | $Y=23797X_3+5E+06$ | 0.00 | $Y=-17340X_3+6E+06$ | 0.00 |
| | Win_Sat | $Y=96483X_3+4E+06$ | 0.01 | $Y=-214564X_3+5E+06$ | 0.02 |
| | Win_Sun | $Y=335363X_3+3E+06$ | 0.06 | $Y=399937X_3+4E+06$ | 0.06 |
| ST | Win_weekday | $Y=31538X_4+6E+06$ | 0.65 | $Y=47967X_4+7E+06$ | 0.72 |
| | Win_Sat | $Y=25781X_4+5E+06$ | 0.69 | $Y=44671X_4+5E+06$ | 0.87 |
| | Win_Sun | $Y=23813X_4+3E+06$ | 0.60 | $Y=33092X_4+4E+06$ | 0.84 |

* Y: demand of Metro of Bus, X₁: Rain Amount, X₂: Discomfort Index, X₃: Snowfall Amout, X₄: Sensible Temperature

Table 7. Survey Questionaries

| | |
|----------------------------------|--|
| Current status of transit use | Number of use |
| | Hours of use |
| | Access time |
| | Purpose of use |
| | Mode choice under normal weather condition |
| | Mode choice under rainy day |
| | Mode choice under low temperature |
| | Important factors considered in mode choice |
| | Modal shift causes under bad weather condition |
| Respondents' personal attributes | Gender, age, address, auto ownership |

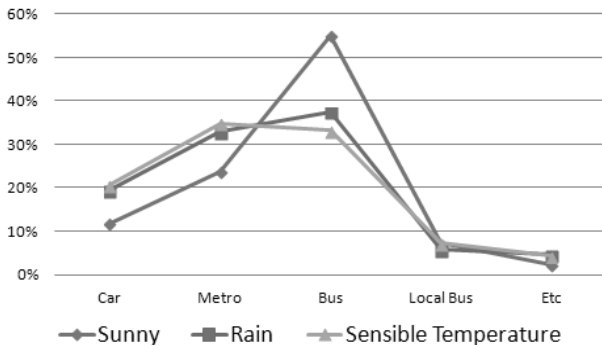


Fig. 1. Mode Choice Under Weather Condition

나타났다. 설문응답자의 연령대는 20대가 49%, 30대는 21%, 40대가 20%, 50대가 9%, 60대이상은 1%로 나타났다. 마지막으로 응답자 중 48%가 승용차이용이 가능하다고 응답하였고, 52%가 승용차 이용이 불가능하다고 응답하였다.

Fig. 1에서 기상조건별 수단선택으로는 평상시에 승용차 12%, 지하철 24%, 버스 55%, 마을버스 7%, 로 버스의 비중이 큰 것으로 나타났다. 하지만 강우시에는 승용차 19%, 지하철 33%, 버스 37%, 마을버스 6%, 기타(택시 등) 5%으로 버스의 비중이 크게 감소한 반면, 지하철과 승용차의 비중이 크게 늘어났다. 겨울철 체감온도가 낮을 시에도 강우와 유사한 결과를 나타냈다. 승용차 21%, 지하철 35%, 버스 33%, 마을버스 7%, 기타(택시 등) 4%로 버스의 비중이 크게 감소하고 승용차와 지하철의 비중이 크게 증가하였다.

Fig. 2에서 수단선택시 중요하게 생각하는 요인으로는 통행시간이 가장 높은 응답률을 보였다. 다음으로 접근성이 두 번째로 높은 응답률을 나타냈고, 편리성, 요금, 쾌적성, 기타(정시성, 좌석확보, 주차여건)순으로 나타났다.

Fig. 3에서 기상악화 시 수단전환 이유로는 크게 6가지 이유로 구분되었다. 먼저 강우시 우산을 사용하면서, 비에 젖음과 동시에

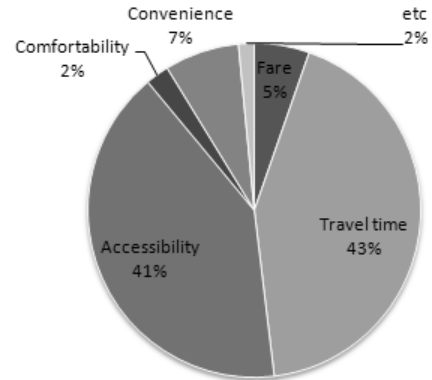


Fig. 2. Important Factors Considered in Mode Choice

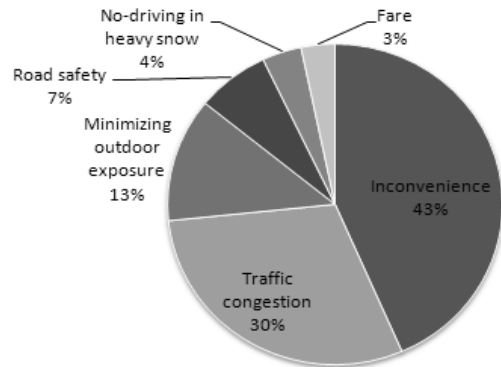


Fig. 3. Modal Shift Causes Under Bad Weather Condition

타인과의 접촉 및 차내혼잡, 차내서비스수준 저하로 인한 불편함이 43%로 가장 높은 응답수를 나타냈다. 그 다음으로는 교통혼잡으로 인한 통행시간증가, 정시성 부족, 배차간격 증가의 이유가 30%, 추위나 강우에 노출되어있는 시간을 최소화하기 위한 이유가 13%, 빗길 및 눈길 안전성에 관한 문제가 7%, 강설시 차량운행불가로 인한 전환이 4%, 서비스에 비하여 요금이 비싸다는 의견이 3%로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 기상조건이 대중교통수요에 어떤 영향을 미치는 지 알아보았다. 그 결과 샘플수가 부족한 강설을 제외하고 강우, 불쾌지수, 체감온도의 기상조건이 대중교통 수요를 약 2~7% 감소시키는 것으로 나타났다.

수요의 감소폭이 통계적으로 유의한지 알아보기 위해 t-검정을 실시하여, 그중 강우와 체감온도가 통계적으로 유의하다는 결과를 얻었다. 상관분석 결과도 유사한 추세를 나타냈는데, 강우와 체감온도 2가지 지표가 상대적으로 높은 상관관계를 보였으며, 아외에 노출되어있는 버스의 수요가 지하철수요에 비해 상관관계가 높았

다. 기상조건이 대중교통수요에 주는 영향의 정도를 알아보기 위해 회귀분석을 실시하였다. 단순회귀분석결과 강우와 체감온도 2가지 기상조건에서 유의한 모형식이 도출되었다.

설문조사는 통계적으로 유의한 결과가 나온 강우와 체감온도, 2가지 지표에 관한 설문을 실시하였다. 그 결과 평상시에 응답자 중 약 50%인원이 버스를 이용하였는데, 강우가 발생하고 체감온도가 낮아지자 버스선택이 약 30%대로 감소한 반면 승용차와 지하철의 선택은 약 10%가 증가하였다. 수단선택시 통행시간과 접근성을 가장 중요하게 생각하였고, 수단전환이유로는 불편함, 교통혼잡, 야외노출 최소화, 안전성 순으로 나타났다.

기상악화시 대중교통이용자들은 젖은 우산사용으로 인한 불편감 및 불편함을 가장 큰 수단전환 이유로 뽑았다. 그 외에도 기상악화시 발생하는 교통혼잡 및 강우나 추위로 인한 야외노출을 최소화하려는 경향이 나타났는데, 이러한 원인이 운영적(배차시간 단축 등) 시설적(버스 쉼터(shelter) 설치 등)으로 개선된다면, 기상조건에 부정적인 영향을 최소화 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

향후 기상조건에 따른 구체적인 대중교통시설 개선방안 도출을 위한 추후 연구를 통해 대중교통이용 제고를 기대해 본다.

References

Asad, J. K. and Andre, D. P. (1997). "The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions : A survey of brussels commuters." *Transpn Res - A*, Vol. 31, No. 3, pp. 181-203.

Jung, H. Y., Song, K. Y. and Kim, K. W. (2011). "Analysis of intra-city bus demand during rainfall using ordered probit model." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 29, No. 5, pp. 43-54 (in Korean).

Kang, K. S. (2010). *Excel statistics*, Pakyoungsa (in Korean).

Korail (2011). *Transport statistics*, Available at: <http://www.smrt.co.kr>.

co.kr.

Kwon, K. H., Oh, S. H., Lee, J. H. and Kim, T. H. (2010). "An analysis on determining quality of service criteria for expressway bus passengers using the importance-Performance analysis (IPA) - Focussing on yang-in city : Suji -." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 30, No. 3D, pp. 223-229 (in Korean).

Hofmann, M. and O'Mahony, M. (2005). "The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures." *The 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*.

Muhammad, S., Mark, J. K. and Piet, R. (2009). "The impact of weather conditions on mode choice : Empirical evidence for the netherlands." VU University.

Park, K. Y., 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*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 61D, pp. 23-31 (in Korean).

Seoul Metro (2011). *Transport statistics*, Available at: <http://seoulmetro.co.kr>.

Seoul Transport Operation & Information (2011). *Daily bus demand*, Available at: <http://topis.seoul.go.kr>.

Sim, Y. S. (2005). *Analysis of bus demand characteristics in Seoul*, Thesis, Master of Science, Seoul National University (in Korean).

Changnon, S. A. (1996). "Effects of summer precipitation on urban transportation." *Climatic Change*, Vol. 32, pp. 481-494.

The National Weather Service (2011). Available at: <http://www.kma.go.kr>.

The Seoul Metropolis (2011). *Transportation statistics in Seoul*, Available at: <http://traffic.seoul.go.kr>.

Stover, V. W. and McCormack, E. D. (2012). "The impact of weather on bus ridership in pierce county, Washington." *Journal of Public Transportation*, Vol. 15, No. 1, 2012.

Zhan, G., Nigel, H. M. Wilson and Adam, R. (2007). "The impact of weather on transit ridership in chicago." TRB 2007 Annual Meeting.