

시정거리에 따른 고속도로 교통류 특성 변화 연구

A Study on Traffic-Flow Characteristic Changes on Expressway by Visibility

손 영 태* 전 진 숙**
(Young-Tae Son) (Jin-Sook Jeon)

요 약

강설, 안개발생 등 기상상태의 변화는 운전자의 주행환경에 영향을 미치는 기상요인으로 기상악화 시 차량의 차두간격과 속도에 영향을 미치게 되어 도로용량을 감소시키고, 교통사고 발생으로 인한 차로감소 등의 상황을 유발하여 맑은 날보다 더 큰 혼잡을 발생시키는 것으로 분석되었다. 운전자의 시정을 감소시키는 기상악화는 통행속도가 높은 고속도로가 일반도로 보다 기상상태에 따른 통행속도 변화 민감도와 교통사고 심각도가 높게 나타나는 특성이 있다고 분석됨에 따라 고속도로의 교통류 특성변화에는 시정거리가 중요하게 작용하는 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 통행속도가 높은 고속도로 기본구간의 교통류 특성에 영향을 미치는 주요 요인으로 교통량과 속도를 선정하였으며, 일정수준 이상의 교통량 확보가 가능한 수도권내 고속도로를 분석대상으로 선정하고 기상자료와 교통자료를 수집하여 시정거리 변화에 따른 고속도로 교통류 특성변화에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구의 수행을 위하여 기존 문헌 고찰을 통해 자료수집 및 분석방법을 수립하고 고속도로의 시정거리 수준을 선정하며, 통계적 차이 검증을 수행하고 시정거리에 따른 고속도로의 교통류 특성 변화를 분석하여 용량 및 서비스 수준 분석 시 적용할 수 있는 방안을 강구하고자 한다.

핵심어 : 기상악화, 시정거리, 고속도로, 영향요인, 평균통행속도, 차두간격

Abstract

Weather factor to affect driver's driving environment are due to changes in weather conditions is caused rainfall, snowfall, fog etc and the reducing of road capacity and because deteriorating weather could be affect the headway and vehicle speed and the decrease in lane caused by an accident occurs that was analyzed that bad weather occur congestion greater than on the clear day. Bad weather to reduce of the driver's visibility was analysed the sensitive to changes in travel speed and traffic accident to appears high characteristics according to weather conditions on the expressway(higher speed) than general road. As a result, visibility have been determined to be important factor in changes of the highway traffic flow characteristics.

Therefore, in this study, we selected traffic volume and travel speed that have a major impact on high-speed expressway basic segments as importance effect factor and we selected to subject of analysis among the Metropolitan Expressway that it could be obtained certain level of traffic volume data and we studied the changing of expressway traffic flow due to change visibility after the collecting of meteorological and traffic data. In order to perform this study, data collection and analysis methods were established through the existing literature and we had selected level of visibility of the expressway and we had performed the statistical verification. Finally, we had calculated the rate of change of expressway traffic flow characteristics due to visibility and we had come up with a way to apply at capacity and service level analysis.

Keywords : Bad weather, Visibility, Expressway, Effect Factors, Average Travel Speed, Headway

† 본 연구는 기상청 차세대도시농림융합스마트기상서비스개발(WISE) 사업의 지원으로 수행되었습니다. (153-3100-3133-302-350)

* 주저자 : 명지대학교 교통공학과 교수

** 공저자 : 명지대학교 교통공학과 박사과정

† 논문접수일 : 2013년 11월 07일

† 논문심사일 : 2013년 11월 20일

† 게재확정일 : 2013년 11월 22일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2012년 현재 우리나라에서 발생한 교통사고는 총 22만 3,656건이며, 이중 고속도로 교통사고는 전체의 1.6%인 3,550건이 발생하였으며 전체 사망자 5,392명중 6.9%인 371명이 고속도로 교통사고로 사망한 것으로 조사되었고 고속도로 1km당 약 0.9건의 교통사고가 발생한 것으로 조사되었다.

기상상태별 고속도로 교통사고 발생건수는 운전자의 시정거리를 악화시키는 흐림, 비, 안개, 눈 및 기타 상태에서 고속도로에서 발생한 총 교통사고의 17.7%가 발생하였으며, 고속도로 교통사고로 인한 전체 사망자의 29.38%가 기상악화 시 발생한 것으로 조사되었다. 이러한 통계자료는 고속도로 교통사고 발생이 운전자의 컨디션 저하나 운전 부주의, 도로 상황 등에 의해 복합적으로 발생하나, 기상악화도 교통사고를 발생시키는 요인으로 작용한다고 판단할 수 있다.

또한 강우, 강설, 안개 등 기상상태의 변화는 운전자의 주행환경에 영향을 미치는 요인으로 교통정체 및 사고 유발과 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 도로의 운영 효율을 저하시키는 요소로 작용하는 기상악화는 차량의 차두간격과 속도에 영향을 미치게 되어 도로용량을 감소시키는 요인으로 작용하며, 교통사고 발생으로 인한 차로감소 등의 상황을 유발하여 맑은 날 대비 더 큰 혼잡이 발생하게 된다.

이렇게 운전자의 시정을 감소시키는 기상악화는 통행속도가 높은 고속도로가 일반도로 보다 기상상태에 따른 통행속도 변화 민감도와 교통사고 심각도가 높게 나타나는 특성이 있다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 통행속도가 높고 기상변화에 민감한 변화를 나타내는 연속류 도로인 고속도로를 대상으로 기상악화로 인한 시정거리 변화에 따른 교통류 특성을 분석하고, 최대교통류를 및 서비스수준 등을 분석함에 있어 시정거리 변화를 반영할 수 있는 적용기준을 정립하는데 연구의 목적을 가지고 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구에서는 기상변화에 따른 교통류 변화가 민감하게 발생하는 고속도로를 연구대상으로 선정하였으며, 고속도로 중 합류 또는 분류, 엇갈림 등의 발생이 없는 기본구간을 연구의 공간적 범위로 선정하여 강설 및 안개발생 등 기상악화에 따른 시정거리 변화의 영향을 명확히 분석하고자 하였다.

또한 시정거리 변화에 따른 교통류 특성 분석이 용이하도록 통행량이 일정수준 이상인 수도권 내 고속도로 일부 구간을 대상으로 검지기(VDS) 자료를 수집하였다.

연구를 위하여 수집된 기상 및 교통자료는 2008~2010년 3년 동안 겨울에 해당하는 전년도 12월~다음연도 3월인 4개월씩 3년간의 자료 중 총 773회의 시정거리 측정자료로 시정거리 변화에 따른 교통류 특성의 변화를 분석하였다.

2) 연구의 방법

본 연구의 조사 및 분석 방법론 수립을 위하여 시정거리에 따른 교통류 특성 변화에 관한 기존 연구사례를 검토하였으며, 관련 연구 검토를 통하여 교통류 특성 분석 및 최대 교통류를 분석 방법론에 대한 내용을 고찰하였다. 이를 바탕으로 시정거리 수준을 선정, 통계적 차이 검증 등을 수행하였다.

본 연구에서는 수립된 분석 방법론을 토대로 시정악화로 인해 고속도로 교통류 특성 변화에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대한 자료를 수집하고, 이에 대한 분석을 수행하며, 영향요인에 대한 통계적 차이 검증을 실시하고 기상악화 시의 시정거리 변화 특성을 도출하고자 하였다.

이에 따라 시정거리에 변화에 따른 교통류 특성 변화율 및 보정계수를 산출하고 용량 및 서비스수준 분석 시 적용할 수 있는 방안을 강구하고자 한다.



〈그림 1〉 연구 흐름도
 〈Fig. 1〉 Framework of study

II. 기존 연구 고찰

1. 관련 지침 검토

1) 도로용량편람(KHCM, 국토해양부, 2001/2013)

우리나라에서 다양한 도로의 서비스수준 분석을 위해 사용되어 왔던 ‘도로용량편람, 국토교통부, 2001’에서는 도로용량을 주어진 도로조건에서 ‘15분 동안 최대 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값이다’라고 정의하고 있으며, 양호한 노면 상태 및 기후조건을 기본 전제로 용량을 산정하는 방법을 제시하고 있다[1].

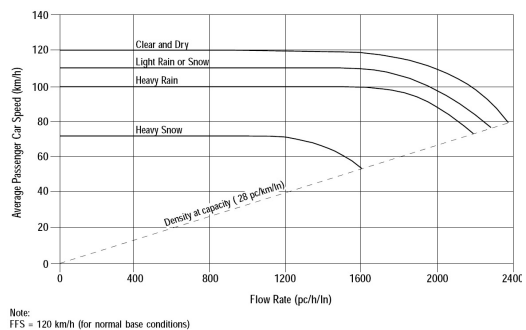
이러한 도로용량은 기상악화로 인하여 속도 감소 및 교통량 저하 등으로 인하여 감소되고 있으나, 도

로용량편람에서는 이러한 기상악화 또는 기상악화로 인한 시정거리 감소 등의 영향을 간과하고 있어 분석에 있어 기상변화를 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다.

이러한 기상변화에 따른 도로용량 변화에 대한 분석의 필요성이 지속적으로 제기되어 왔음에도 불구하고 최근 개정된 ‘도로용량편람, 국토교통부, 2013’에서도 “용량은 일반적으로 양호한 기후 조건의 교통 흐름에서 나타나므로 기후조건은 양호한 상태라고 가정한다.” 라고 제시하여 이상적인 기상 조건에서의 분석을 전제로 하고 있으며, 기상변화에 관련된 구체적인 기준 등의 언급을 하고 있지 않다.

2) 미국 도로용량편람(HCM, TRB, 2000/2010)

미국에서 사용되고 있는 HCM(2000)에서는 ‘CHAPTER #22 “Freeway Facilities’에서 악천후 상황에 대한 용량감소 내용을 기술하고 있으며, 기상상태와 관련되어 기존의 여러 학자들이 연구한 다양한 결과와 사례들을 언급하고 있다. 또한 양호한 기상상황에서의 자유속도 120kph를 기준으로 기상악화에 따른 교통류율-평균속도 곡선을 <그림 2>와 같이 제시하고 있다[2].



〈그림 2〉 기상변화에 따른 속도-교통류 곡선
 〈Fig. 2〉 Illustration of speed-flow curves for different weather conditions

2013년에 개정된 HCM에서는 고속도로 용량에 불리한 영향을 미치는 기상과 환경 조건을 해결하기 위해 시도된 연구들을 바탕으로 다음 <표 1>과

같이 강우, 강설, 온도, 바람과 시정거리에 따른 용량감소의 기준을 제시하고 있다[3].

<표 1> 기상과 환경조건에 의한 용량 감소(미국 Iowa)
<Table 1> Capacity reductions due to weather and environmental condition in Iowa

| Type of condition | Intensity of Condition | Percent Reduction in Capacity | |
|-------------------|------------------------|-------------------------------|-------------|
| | | Average | Range |
| Rain | >0≤0.10 in./h | 2.01 | 1.17-3.43 |
| | >0.10≤0.25 in./h | 7.24 | 5.64-10.10 |
| | >0.25 in./h | 14.13 | 10.72-17.67 |
| Snow | >0≤0.05 in./h | 4.29 | 3.44-5.51 |
| | >0.05≤0.10 in./h | 8.66 | 5.48-11.53 |
| | >0.10≤0.50 in./h | 11.04 | 7.45-13.35 |
| | >0.5 in./h | 22.43 | 19.53-27.82 |
| Temperature | <50°F≥34°F | 1.07 | 1.06-1.08 |
| | <34°F≥-4°F | 1.50 | 1.48-1.52 |
| | <-4°F | 8.45 | 6.62-10.27 |
| Wind | >10≤20 in./h | 1.07 | 0.73-1.41 |
| | >20 in./h | 1.47 | 0.74-2.19 |
| Visibility | <0≥0.50 mi | 9.67 | One Site |
| | <0.50≤0.25 mi | 11.67 | One Site |
| | <0.25 mi | 10.49 | One Site |

2. 기존 연구 고찰

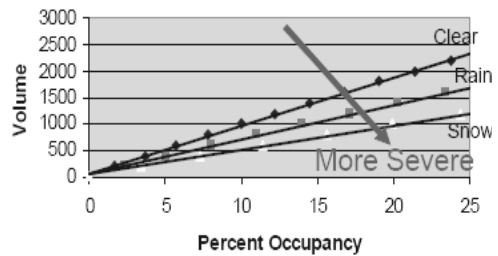
기존 연구 고찰을 통해 기상상태에 따라 고속도로 효과적도에 영향을 미치는 요소를 도출하고, 기존 연구의 분석방법을 검토하여 본 연구에서 필요한 시정거리 영향요소를 도출하고자 하였다.

1) 기상상태에 따른 고속도로의 교통패턴 변화

국외 연구를 살펴보면, Manish 등(2005)은 불리한 기상조건은 도로 용량과 속도의 감소를 초래하며, 이는 곧 도로 혼잡을 유발시키기 때문에 기상과 차량 이동성 간의 관계를 규명하였다. 현재 거의 모든 도로 건설과 교통운영방법은 맑은 날을 기준으로 도로 용량을 추정하고 있으나, Twin Cities 주변의 도시고속도로를 대상으로 비, 눈, 도로 노면 등의 변화에 따라 도로 용량 변화를 정량화하고자 연구를 수행하였다[4].

Thomas 등(2005)은 날씨 변화가 교통흐름에 영향을 미친다고 판단하여 Minneapolis/St. Paul에서 4년

간 기상 및 교통자료를 수집하였으며, 날씨 변화에 따른 도로 용량, 속도, 안전, 수요 등의 관계를 분석하였다. <그림 3>은 기상상황을 기후양호, 강우, 강설로 구분하여 점유율과 교통량과의 관계를 분석한 것으로 날씨가 악화될수록(기후양호 → 강우 → 강설) 시정거리가 감소하여 운전자들의 차간거리가 증가하고 총 통과 교통량이 감소되는 것을 볼 수 있으며 다양한 연구를 통해 날씨와 교통흐름의 관계를 분석하고 이를 완화할 수 있는 방안을 제시해야 함을 강조하였다[5].



<그림 3> 기상변화에 따른 점유율과 속도와의 관계
<Fig. 3> Flow vs occupancy as weather gets more severe(thomas et al.(2005))

Manjunathan 등(2005)은 각종 기상상태(바람, 눈, 비 등)에 따른 고속도로 교통량과 속도의 변화 연구를 위하여 Oregon 주와 Montana 주에 위치하고 있는 9개의 고속도로 지점에 대해 교통 및 기상자료를 수집·분석하였다. Oregon 주는 1997~2004년, Montana 주는 2000~2004년 동안 RWIS 자료를 수집하였으며, 교통자료는 통행속도를 차로별로 수집하여 교통특성을 분석한 결과 혼잡이 발생하지 않는 지점들로 각 지점별로 교통량에 비해 충분한 도로 용량을 갖고 있어 기상악화 상황이 발생되어도 속도 감소로 인한 혼잡이 발생하지 않은 것으로 나타났다[6].

국내 연구를 살펴보면, 전우훈(2004)은 기상악화 일 경우 맑은 상태보다 시계 및 노면상태가 불량하여 치사율이 매우 높게 나타났으며, 강우, 강설, 안개 등의 기상상태는 운전자에게 현저한 시인성의 저하를 일으키고 미끄럼 현상이 증대되어 차량의 단독사고 비율이 높다는 결론을 도출하였다[7].

심상우(2009)는 다양한 기상요인의 영향 정도에 따른 속도 변화를 분석하여 고속도로의 교통상황을 분류하였다. 연구는 서해대교의 RWIS와 VDS 자료를 활용하여 요인분석을 수행하였고, 각 요인에 따른 교통상황을 분류하기 위해 요인별로 분산분석을 실시한 결과 날씨의 맑음과 강우, 온도는 5°C 이하와 이상, 시정거리는 강우 시에만 10km 이하와 이상으로 분류되어 총 5개 유형의 교통상황으로 분류하였다. 보다 원활한 교통관리를 위해 각 상황별로 교통량-속도 모형을 추정하였으나 분석자료의 부족으로 설명력은 다소 낮게 나타났다[8].

2) 시정거리 변화에 따른 교통패턴 변화

국의 연구를 살펴보면, 1991년 NTSB special public hearings, 고속도로 상에 매우 짙은 안개가 발생했을 때 제한 속도가 낮은 경우, 차량 간 속도편차가 증가되었다는 것에 주목했다. 일부 운전자들은 감소된 속도 제한을 기준으로 하고 서행해야 한다고 믿는 반면 그 외 운전자들은 그렇지 않다. 한 운전자 그룹은 다른 운전자 그룹보다 속도를 낮추기 때문에 사고 가능성은 증가하였으며 서행하는 운전자들이 제한속도까지 속도를 줄이지는 않는 것으로 나타났다.

Brooks 등(2010)은 안개가 낀 상황에서 운전자가 속도 선택을 할 경우, 반응을 조사하기 위하여 속도 인지반응에 중점을 두고 운전자의 운전행태를 분석한 결과, 안개의 농도에 따라 시정거리가 짧아질수록 운전자가 차로를 유지하는 시간이 짧아지는 결과를 도출하였다. 즉 안개 농도가 짙어 시정거리가 짧아지면 운전자는 잦은 차로변경을 한다고 제시하였다[9].

Camacho 등(2010)은 날씨 조건이 시정거리에 미치는 영향을 분석한 결과 시정거리는 강설시 가장 높은 속도 감소를 보였으며, 시정거리가 300m일 경우 강우 및 강설시 속도 감소량은 각각 4.3kph, 8.7kph로 나타났다. 강수량이 증가하여도 더 이상 속도가 줄어들지 않는 패턴을 보였는데 그 값은 강우량이 5mm/h일 때 122.7kph, 강설량이 7mm/h일 때 116.0kph로, 시인성 저하가 없는 기후와 비교하였을 때 강우

량이 많을 경우 속도 감소량은 7kph, 강설량이 많을 경우 속도 감소는 13.7kph로 나타났다[10].

국내 연구를 살펴보면 심관보(1999)의 연구에서는 우천 시 강우량별 노면 미끄러짐 교통사고 발생 영향을 도로의 포장 등급별로 분석해 마찰저항과 강우량, 교통사고와의 관계를 알아보았다. 연구결과, 강우 시 사고율의 경우 포장등급이 낮은 등급의 도로에서 비강우시보다 24배~27배 높은 것으로 나타났다[11].

최정순 등(1999)은 고속도로 교통류를 설명하는 기본적인 관계식이 비가 올 때 어떻게 변하는지를 상세히 분석하고자 올림픽대로 교통관리시스템의 영상검지기를 통해 수집된 현장조사자료를 이용하여 속도-교통류율, 교통류율-점유율 등의 변화를 분석하였다. 그 결과 비가 올 경우 서비스 교통류율이 약 200pcphpl 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 관측된 서비스 교통류율은 맑은 날에 비해 약 10~20% 정도 감소하는 것으로 나타났다[12].

3. 문헌 고찰 결과

기상악화와 시정거리 변화에 따른 고속도로 교통패턴의 변화에 대한 문헌 고찰 결과, 기상악화의 종류에 따라 교통특성에 미치는 영향정도가 연구별로 서로 다르게 분석되었으나, 기상악화로 인하여 운전자의 시정거리 감소로 도로용량, 최대교통유율, 속도 등의 교통특성에 부정적인 영향을 미쳐 도로 전체적으로 소통능력이 저하되는 것으로 나타났다.

국의 문헌 검토 결과 시정거리에 따라 자유류 속도, 용량 상태에서의 속도, 용량 등에 영향을 주는 것으로 도출되었다. 국내의 경우 국외 대비 시정거리 변화로 인한 교통패턴의 변화에 대한 연구가 활발하지 않으나, 주간 및 야간 시 기상악화에 따른 속도 감소율을 분석결과 야간에 경우 속도가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 연구의 착안점 및 학술적 기여도

이에 본 연구에서는 연속류 도로의 대표적 성격

인 고속도로 기본구간을 대상으로 기상자료와 교통 자료를 활용하여 기상악화 시 시정거리에 따른 영향요인을 선정하고 이에 따른 교통류 특성과 최대 교통류율, 서비스수준 등을 분석하고, 영향요인의 통계적 차이를 검증하며 시정거리에 따른 속도변화 영향요인의 통계적 검증을 수행해 변화율을 분석하고자 하였으며, 본 연구 결과를 통해 시정거리에 따른 교통류의 변화를 토대로 기상악화 시 교통흐름의 안정적인 흐름을 유도하고, 운전자의 안전운전을 위한 교통운영을 위한 기초자료를 마련하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

III. 자료 분석 방법

1. 고속도로 기본구간 효과척도 및 영향요인 선정

본 연구의 대상구간에 대한 효과척도를 검토하고 이를 토대로 영향을 주는 요인을 선정하여 분석하기 위한 자료 조사방법을 우선적으로 수립하였다.

교통량, 속도 등과 시정거리와의 관계분석을 위하여 다른 요인의 영향이 적은 고속도로 기본구간을 분석대상으로 선정하였으며, 교통량과 속도를 기상 악화에 따른 고속도로 기본구간 교통류 특성 변화를 설명하는 영향요인으로 선정하였다.

1) 고속도로 기본구간 서비스수준 분석

고속도로 기본 구간의 서비스수준은 밀도를 주 효과척도로 하여 판정하며, 교통량과 관련된 척도는

〈표 2〉 고속도로 기본구간 서비스 수준
〈Table 2〉 LOS of basic freeway segment

| LOS | Density (pcpkmpl) | Design Speed 120 kph | | Design Speed 100 kph | | Design Speed 80 kph | |
|-----|-------------------|----------------------|-------|----------------------|-------|---------------------|-------|
| | | Volume (pcphpl) | v/c | Volume (pcphpl) | v/c | Volume (pcphpl) | v/c |
| A | ≤6 | ≤700 | ≤0.3 | ≤600 | ≤0.27 | ≤500 | ≤0.25 |
| B | ≤10 | ≤1,150 | ≤0.5 | ≤1,000 | ≤0.45 | ≤800 | ≤0.40 |
| C | ≤14 | ≤1,500 | ≤0.65 | ≤1,350 | ≤0.61 | ≤1,150 | ≤0.58 |
| D | ≤19 | ≤1,900 | ≤0.83 | ≤1,750 | ≤0.8 | ≤1,500 | ≤0.75 |
| E | ≤28 | ≤2,300 | ≤1.00 | ≤2,200 | ≤1.00 | ≤2,000 | ≤1.00 |
| F | >28 | - | - | - | - | - | - |

이상적인 조건에 대한 것으로 도로 및 교통 조건이 바뀔 경우 적용에 유의해야 할 필요가 있다.

2) 고속도로 기본구간 용량 변화에 영향을 주는 효과척도 선정

고속도로를 운행하는 운전자에게 고속도로가 제공하는 서비스의 수준을 나타내는데 있어 기본적으로 ‘밀도’와 ‘교통량 대 용량비’ 등의 효과척도를 사용한다. 밀도는 특정 시간, 단위 구간에 들어 있는 차량의 대수를 의미하며, 교통량 대 용량비는 통과교통량에 대한 용량의 비를 의미하며, 해당 도로를 이용하는 교통류의 상태를 설명해주는 또 다른 효과척도로 계획 및 설계 단계에서 유용하게 이용된다.

그러나 밀도는 수집하기 어려운 단점이 있어 실제로 잘 사용되지 않기 때문에 밀도를 주요 효과척도로 사용하기에는 어려움이 있다. 주로 교통량과 교통량 대 용량비(V/C)를 활용하여 개략적인 밀도를 환산하여 계산하고 자유속도에 따른 서비스 수준을 산정하게 된다. 따라서 고속도로 기본구간 용량 변화에 영향을 주는 효과척도로 교통류 특성을 반영하면서 자료수집이 용이한 교통량, 속도를 선정하였다.

3) 효과척도에 영향을 미치는 요인 선정

앞서 고속도로 기본구간의 효과척도로 교통량, 속도가 선정되었다. 이러한 척도는 수집자료를 그대로 활용할 수 있는 정량 데이터이므로 교통량, 속도 등 교통자료를 기상악화에 따른 고속도로 기본구간 교통류 특성 변화를 설명하는 영향요인으로 선정하였다. 또한 교통특성간의 관계를 파악할 수 있는 속도-교통량 곡선을 활용하여 용량 변화를 분석하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

2. 조사지점 선정 및 조사방법 수립

1) 조사지점 선정

조사지점 선정은 기상자료 수집을 위한 기상관측소를 먼저 선정하며, 선정된 기상관측소 중에서 인근 10km 이내에 고속도로가 통과하는 기상관측소를

대상으로 하며 앞서 제시한 바와 같이 고속도로 기본구간으로 한정하고, 도로용량, 속도 등 교통특성 파악을 위해 일정수준 이상의 교통량 확보가 가능한 수도권내 고속도로를 대상으로 하였다.

이를 바탕으로 수도권을 통과하는 고속도로 구간 중 연교통량(ADT), 도로 통과지역의 특성, 기상변화 특성 등을 고려하여 수도권내 기상관측소 3개소에 인접한 고속도로 4개노선 중 기본구간 7개구간을 교통류 특성분석을 위한 조사대상 지점으로 선정하였으며 다음 <표 3>과 같다.

2) 조사방법 수립

강설 및 안개발생 등으로 인한 기상 악화 시 고속도로 기본구간의 교통류 특성 변화를 파악하기 위해서는 동일시간대의 기상자료와 교통자료가 요구되나 기상관측소는 기상청에서 운영 관리되며, 고속도로의 교통자료는 한국도로공사에서 운영관리하고 있어, 그 수집단위(시간단위)가 불일치하므로 두 자료를 하나의 시간단위로 통합하는 과정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기상자료와 교통자료를 한 시간 단위로 통합하여 설정하고 이에 맞게 수집·가공과정을 거쳐 분석자료로 활용하였으며, 기상자료는 기상청에서 제공하는 시간당 자료를 기준으로 신뢰성 확보를 위하여 기상청 공식인증자료인 3시

간 자료를 활용한 Data 보정을 사용하였고, 교통자료는 고속도로 상에 설치된 VDS에서 수집된 자료를 활용하였다.

이러한 기초자료는 한국도로공사에서 제공하는 고속도로 검지기 교통이력자료인 30초 원시데이터를 수집하여 이를 기상자료 시간단위와 동일하도록 한 시간 데이터로 다시 가공하여 분석에 활용하였다.

IV. 시정거리에 따른 교통류 특성 분석

1. 시정거리 수준 선정

강설 및 안개발생 등 기상악화 시 시정거리 수준별 속도 변화 특성 분석을 위하여 비교기준이 되는 시정거리 수준 선정이 선행되어야 한다. 이에 수집된 자료 중 시정거리 수준별 빈도를 살펴보고, 적정 시정거리 수준을 선정하였다.

자료수집 대상 시점인 2008년 12월~2011년 3월까지 3개 기상대(인천, 수원, 이천)별로 시정거리 수준에 따른 빈도를 비교·분석한 결과, 3년 동안 시정거리 수준에 따른 빈도는 총 773회(시간)이며, 시정거리 1,000m 수준이 73회로 전체의 약 9.4%를 차지해 가장 높은 빈도를 나타냈다. 그 다음으로는 500m 수준이 69회로 9.0%를 차지했으며, 전반적으로 1,000m 이하의 시정거리 수준이 전체 빈도의 78.5%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

시정거리 수준별 발생빈도 분석결과 시정거리 500~1,000m가 29.9%로 가장 많이 발생한 것으로 나타났다으며, 시정거리 1,500~2,000m가 5.5%로 가장 적게 발생한 것으로 나타났으며, 기상관측소 3개소에 서 측정된 시정거리 값이 전반적으로 양호한 시정

<표 3> 자료수집 대상구간의 세부 내용
<Table 3> Detail content of collected data

| Num-ber | Name | Characteristic Of Section | | | Traffic Volume ('10) | Separation Distance from Observatory |
|---------|---------------|------------------------------|---------------|-------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | Section of Survey | distance (km) | Num of Lane | | |
| 1 | Gyeongin Line | GajwalIC -SeoincheonIC | 7.4-9.4 | 6 | 176,167 | Incheon (5.5km) |
| 2 | Gyeongin Line | SeoincheonIC -BupyeongIC | 11-13.8 | 8 | 131,230 | Incheon (8.4km) |
| 3 | Seohaean Line | BibongIC -MaesongIC | 324.4 -326.7 | 6 | 114,855 | Suwon (9km) |
| 4 | yongdong Line | DongsuwonIC -ShingalJC | 38.4 -41 | 8 | 135,223 | Suwon (8.6km) |
| 5 | Gyeongbu Line | ShingalJC -PankyoIC | 395.8 -397.8 | 8 | 185,792 | Suwon (10.2km) |
| 6 | yongdong Line | HobubJC - IcheonIC | 74.2 -76.7 | 8 | 133,811 | Icheon (3.6km) |
| 7 | yongdong Line | IcheonIC -Yeaju service area | 83 -85.3 | 8 | 120,375 | Icheon (6.3km) |

<표 4> 시정거리 수준별 발생빈도
<Table 4> Frequency of each Visibility Level

| Visibility | Frequency (times) | Rate(%) |
|---------------|-------------------|---------|
| 30m ~ 200m | 171 | 22.2 |
| 200m ~ 500m | 204 | 26.4 |
| 500m ~ 1000m | 231 | 29.9 |
| 1000m ~ 1500m | 124 | 16.0 |
| 1500m ~ 2000m | 43 | 5.5 |

거리 값이 수집된 것으로 판단된다.

강설 및 안개발생 등 기상악화 시 시정거리 수준별 속도-교통량 관계 분포에서 유사한 분포를 형성하고 있는 시정거리를 찾기 위하여 시정거리 수준별 평균속도를 나타내고, 분석이 용이하도록 평균속도가 유사한 시정거리들을 하나의 Group으로 묶어 시정거리 정도를 크게 5단계(60m, 120m, 150m, 200m~700m, 800~2000m)로 분류하였다. 5단계로 분류된 시정거리와 기상청에서 시행하고 있는 안개 예보와 비교하여 보면 <표 5> 기상청 시정거리 분류기준에서 보는 바와 같이 시정거리 60m, 120m, 150m는 안개 경보에 해당되는 범위이며, 200m~700m는 안개 주의보에 해당되는 범위에 속해있음을 알 수 있다.

<표 5> 시정거리 정도 분류(기상청 분류기준)
 <Table 5> Classification of visibility level(standard of classification korea metrological administration)

| Visibility Level | Compare with Korea Meteorological Administration Forecast Data |
|------------------|--|
| 800m ~ 2,000m | Good |
| 200m ~ 700m | Fog Caution |
| 150m | Fog Warning |
| 120m | |
| 60m | |

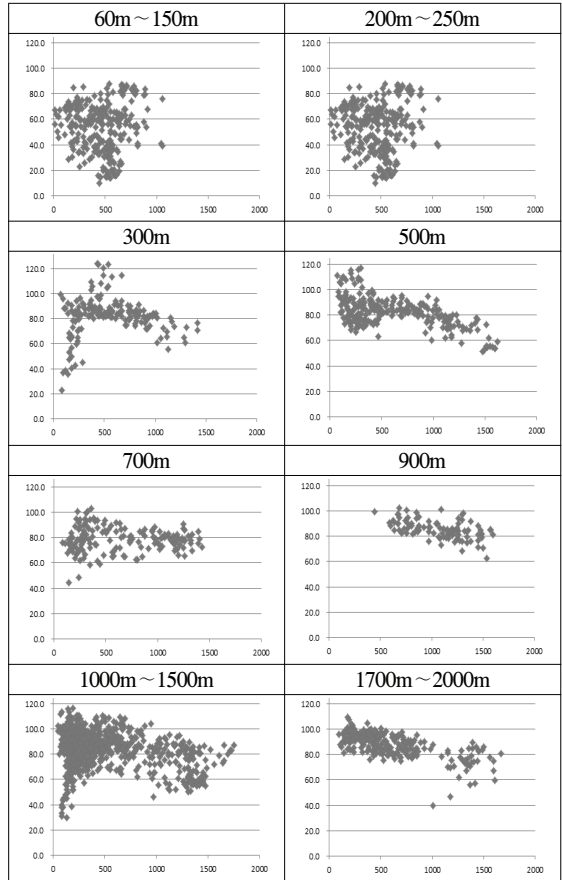
2. 시정거리 수준별 교통류 특성 분포

분석결과 시정거리별 평균 통행속도는 시정거리가 감소할수록 속도가 낮아지는 경향을 보이는 것

<표 6> 관측교통량별 평균통행속도 분포
 <Table 6> Average speed distribution of each observation traffic volume level

| Visibility Level | 0~400 (vehph) | 400~800 (vehph) | 800~1200 (vehph) | 1200~1600 (vehph) | 1600~2000 (vehph) |
|------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 60m | 32.5kph | 28kph | 40.1kph | - | - |
| 120m | 41.3kph | 42.4kph | 58.2kph | - | - |
| 150m | 59kph | 66.8kph | 63.9kph | - | - |
| 200~700m | 79.4kph | 78.7kph | 78kph | 69kph | 58.9kph |
| 800~2000m | 86.7kph | 88.8kph | 81.4kph | 73.5kph | 78.8kph |

을 알 수 있으며, 교통류를 수준에 따라 다른데 용량상태에 접근할수록 평균통행속도는 낮아지므로 교통류를 수준이 낮을 때 보다 용량상태에 가까워질수록 시정거리에 의한 영향이 더 커질 것이기 때문에 시정거리를 고려한 용량 보정이 요구된다.



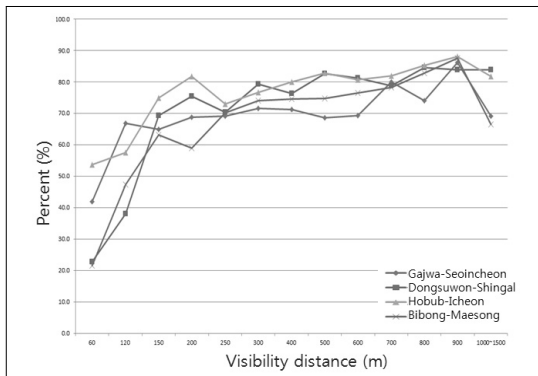
<그림 4> 시정거리 수준별 속도-교통량 관계
 <Fig. 4> Speed-traffic volume relation for each visibility level

3. 지점별 교통류 특성 분포

조사대상 고속도로 4개 구간에 대한 평균통행속도 변화 특성을 분석한 결과, 시정거리가 감소할수록 속도가 감소하는 경향을 보이는 것으로 분석되었으며, 속도 감소율의 증가폭 또한 시정거리 정도가 낮아질수록 증가하는 것으로 분석되었다.

〈표 7〉 관측구간별 평균통행속도 분포
 〈Table 7〉 Average speed of each observation section

| Visibility Level | GajwaIC -SeoincheonIC | DongsuwonIC -ShingalIC | HobubIC -IcheonIC | BibongIC -MaesongIC |
|------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| 60m | 42.0kph | 22.9kph | 53.8kph | 21.5kph |
| 120m | 66.9kph | 38.1kph | 57.5kph | 47.3kph |
| 150m | 64.9kph | 69.3kph | 74.9kph | 63.2kph |
| 200m | 68.8kph | 75.4kph | 81.8kph | 58.9kph |
| 250m | 69.1kph | 70.4kph | 73.0kph | 70.3kph |
| 300m | 71.7kph | 79.4kph | 76.7kph | 74.1kph |
| 400m | 71.2kph | 76.4kph | 80.0kph | 74.6kph |
| 500m | 68.6kph | 82.6kph | 82.8kph | 74.8kph |
| 600m | 69.3kph | 81.3kph | 80.7kph | 76.5kph |
| 700m | 80.1kph | 78.8kph | 81.9kph | 78.3kph |
| 800m | 74.1kph | 84.6kph | 85.3kph | 82.9kph |
| 900m | 86.1kph | 83.9kph | 88.1kph | 87.6kph |
| 1000m< | 69.2kph | 84.0kph | 81.7kph | 66.5kph |



〈그림 5〉 관측구간별 평균통행속도 분포
 〈Fig. 5〉 Average speed distribution of each observation section

4. 시정거리 수준별 평균통행속도 차이 검증

시정거리 수준별 평균통행속도 분석결과 시정거리 수준별로 상이하게 나타난 평균통행속도가 각 수준별로 의미 있는 차이를 나타내는지 검증하기

위하여 통계분석을 수행하였다.

분석대상인 고속도로 기본구간에 대해 시정거리 별로 정리하여 분산분석을 적용하여 통계적 검증을 수행한 결과, 유의수준 5%에서 시정거리 수준별로 차이가 있는 것으로 나타나 ($p < 0.05$) 시정거리 수준별로 평균통행속도는 상이하게 나타나는 것으로 분석되었다.

〈표 8〉 시정거리 수준별 평균통행속도 차이 검증
 〈Table 8〉 Difference verification of average speed of each visibility level

| Factor | Sum of Squares | Degree of Freedom | Mean Squares | False | significance probability |
|-------------|----------------|-------------------|--------------|---------|--------------------------|
| Inter Group | 270803.005 | 4 | 67700.751 | 388.204 | 0.000 |
| In Group | 548820.294 | 3147 | 174.395 | - | - |
| Sum | 819623.299 | 3151 | - | - | - |

〈표 9〉 시정거리 수준별 평균통행속도 차이 사후검정
 〈Table 9〉 Post-hoc for Difference of Average Speed of each Visibility Level

| Visibility (I) | Visibility (J) | Average Difference (I-J) | Standard Error | significance probability |
|----------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| 60 | 120 | -14.00526 | 2.72386 | 0.000 |
| | 150 | -33.17407 | 2.33160 | 0.000 |
| | 200 | -48.33512 | 2.11812 | 0.000 |
| | 800 | -55.59248 | 2.11542 | 0.000 |
| 120 | 60 | 14.00526 | 2.72386 | 0.000 |
| | 150 | -19.16881 | 2.03373 | 0.000 |
| | 200 | -34.32986 | 1.78497 | 0.000 |
| | 800 | -41.58721 | 1.78176 | 0.000 |
| 150 | 60 | 33.17407 | 2.33160 | 0.000 |
| | 120 | 19.16881 | 2.03373 | 0.000 |
| | 200 | -15.16105 | 1.90684 | 0.000 |
| | 800 | -22.41840 | 1.09161 | 0.000 |

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 기상악화 시 고속도로의 효과척도를 검토하여 효과척도에 영향을 미치는 요인을 선정하고 기상악화와 시정거리와의 관계를 규명한 후 기상상태에 따른 시정거리 변화를 분석하기 위하여

자료수집과 통계분석을 통해 연구를 진행하였다.

국내·외 관련문헌 검토결과 국외연구의 경우 기상상태 변화와 시정거리 변화에 따른 속도 및 용량 감소효과와 사고발생 영향에 대한 정량적 연구가 계속 진행 중이며, 지속적인 연구의 필요성을 언급하고 있다. 그러나 국내 연구의 경우 기상상태 변화에 따른 속도 및 용량 감소효과에 대한 연구를 진행하고 있으나 아직 미흡한 상황이다. 시정거리와 교통패턴과의 관계를 정립하는 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 시정거리 수준별 교통류 특성의 변화를 분석하기 위해 시정거리 수준을 5단계(60m, 120m, 150m, 200m~700m, 800~2000m)로 분류하였으며, 각 시정거리 수준별로 차이가 있는지 검증하기 위해 통계적 분석(분산분석)을 수행한 결과 시정거리 수준별로 교통량, 속도가 차이가 있는 것으로 분석되었다. 본 연구의 분석결과에서 나타난 바와 같이 기상악화는 도로의 운영 효율을 저하시키는 영향요인으로 판단 할 수 있으므로, 이를 고려한 도로 설계 및 운영 방법이 제시되어야 한다.

기상자료의 부족으로 인한 시간적·공간적 한계를 극복하기 위하여 먼저 충분한 자료 확보가 가능하도록 기상과 교통 관련 관계 기관간의 협조가 필요할 것으로 판단되며, 이러한 자료 공유를 통하여 관련 전문가들의 충분한 논의와 검토가 이루어져야 하며, 이를 바탕으로 최적의 고속도로 설계 및 운영 지침이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

그 밖의 한계점으로는 기상악화 시 교통류 특성의 변화에 영향을 주는 요인이 기온, 풍속, 풍향 등 다양한 요인들이 영향을 줄 수 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다는 것과 기상악화 뿐만 아니라 태양광의 방향이나 터널입구, 바람, 안개 등에 대한 영향도 고려가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Ministry of Construction and Transportation, "Korea highway capacity manual", *The Korea Transport Institute·Korea Institute of Construction Technology·Korea Society of Transportation*, 2001
- [2] Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", *National Research Council*, Washington D.C., 2000
- [3] Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", *National Research Council*, Washington D.C., 2010
- [4] Manish A., Thomas H. Maze, Reginald Souleyrette, "Impacts of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity", *Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Iowa State University, United States of America, August 2005
- [5] Thomas H Maze, M. Agarwal, G. Burchett, "Whether Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Flow", *Iowa State University*, 2005
- [6] Manjunathan Kumar, P.E. and Shaowei wang E.I., "Impacts of weather on rural highway operations", Final Report, *Western Transportation Institute College of Engineering Montana State University*, 2005
- [7] W. H. Jeon, H. J. Choi, "Revised Guideline for Roadside Safety Facilities on Adverse Weather", *Korea Society of Road Engineers*, Workshop Presentation File, pp.429-434, 2004
- [8] S. W. Shim, K. C Choi, "Classification of Freeway Traffic Condition by the Impacts of Road Weather Factors ", *Korean Society of Civil Engineers* vol. 29, no. 7, pp.685-691, 2009
- [9] J. O. Brooks, M. C. Crisler, N. Klein, R. Goodenough, R. W. Beeco, C. Guirl, P. J. Tyler, A. Hilpert, Y. Miller, J. Grygier, B. Burroughs, A. Martin, R. Ray, C. Palmer, and C. Beck, "Speed choice and driving performance in simulated foggy conditions", *Accident Analysis and Prevention*, vol. 43, pp.698-705, 2010
- [10] F. J. Camacho, A. Garcia, and E. Belda, "Analysis of Impact of Adverse Weather on Freeway

- Free-Flow Speed in Spain”, *Transportation Research Record*, no. 2169, pp. 150 - 159, 2010
- [11] K. B. Shim, J. H. Yoon, “Analysis on Wet-pavement Accident Rate for Rainfall & Road Surface Levels”, *Journal of Traffic Safety Research*, vol. 18, pp.55-70, 1999
- [12] J. S. Choi, B. S. Son, J. S. Choi, “The Effect of Rain on Traffic Flows in Urban Freeway Basic Segments”, *Journal of Korea Society of Transportation*, vol. 17, no.1, pp.29-40, 1999

저자소개



손 영 태 (Son, Young-Tae)

1996년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 교통공학과 교수
1994년 : 미국 Purdue University 공학박사 (토목공학과 교통전공)
1995년 1월 ~ 1996년 7월 : 미국 Purdue University Research Associate
1992년 1월 ~ 1994년 12월 : 미국 Purdue University Research Assistant
1990년 4월 ~ 1991년 7월 : 한국교통문제연구원 연구원
1989년 4월 ~ 1989년 8월 : 한국건설기술연구원 위촉연구원
e-mail : son@mju.ac.kr
연락처 : 031-330-6504



전 진 숙 (Jeon, Jin-Sook)

2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 교통공학과 박사과정
2011년 6월 ~ 2011년 12월 : (주)비츠로웨텍 교통IT실 차장
2010년 10월 ~ 2011년 6월 : 주식회사 트래픽스 ITS팀 팀장
2001년 3월 ~ 2004년 6월 : 도로교통안전관리공단(현 도로교통공단) 교통안전시설팀 팀장
1998년 10월 ~ 2001년 3월 : (주)청해이엔씨 과장
1994년 7월 ~ 1997년 12월 : 동부엔지니어링(주) 사원
e-mail : jinsstoo@gmail.com
연락처 : 031-338-6504