

강우 강도에 따른 일반국도 지방부 도로의 평균속도 변화 분석

Analysis of Provincial road in National Highway Average Speed Variation According to Rainfall Intensity

김태운, 오주삼

한국건설기술연구원 ICT 융합연구소

Tae-woon Kim(climb@kict.re.kr), Ju-sam Oh(jusam@kict.re.kr)

요약

기상조건이 교통 상황에 미치는 영향은 이미 알려진 사실이나 관련 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 일반국도 지방부 도로에서 강우 수준에 따른 속도 변화를 분석하였다. 분석결과 강우 시 평균속도는 3.2% 감소하였고 교통량이 방향별로 200대/시 이하인 경우 최대 8.8% 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 지방부 도로의 경우 자유 교통류 상황에서의 속도가 상대적으로 크게 감소했기 때문으로 판단된다. 또한 속도-교통량 그래프를 활용하여 강우 시 속도 감소 모형을 추정하고 통계 검증을 수행하였다. 추정된 모형은 강우 수준이 높을수록 기울기가 완만해졌으며, 이는 자유 교통류 상황에서의 속도가 상대적으로 크게 감소한 결과이다.

■ 중심어 : | 일반국도 | 강우 | 평균속도 | 지방부 도로 | 분산분석 | 자유 교통류 |

Abstract

Weather condition has effect on traffic condition, but there is a lack of research between weather and traffic condition. So, in this study analyzes speed variation according to rainfall intensity in national highway provincial road. The results of the analysis, average speed is reduced about 3.2%. But average speed decrease by maximum 8.8% when traffic volume is below 200vph per direction. Because relatively, free flow traffic speed has greatly decreased according to rainfall intensity in provincial road. Also in this study estimates of speed reduction model according to rainfall and performs the statistical verification. Estimated speed reduction model's slopes are gradual when rainfall increased, because average speed is reduced by rainfall when free flow.

■ keyword : | National Highway | Rainfall | Average Speed | Provincial Road | ANOVA Analysis | Free Flow |

I. 서론

우리나라에서 도로를 이용하는 차량은 매년 증가하고 있으며, 민·관에서는 도로 이용자들에게 지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport Systems) 등을 통하여

교통상황정보를 제공하고 있다. 그러나 교통상황은 교통량의 증가, 돌발상황에 의해 변화하기도 하지만 기상 변화에 의해서도 영향을 받는다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다. 또한 각종 매체를 통하여 이용자들에게 교통정보뿐만 아니라 기상정보도 제공되나 아직 그 수

접수일자 : 2015년 02월 13일

수정일자 : 2015년 03월 30일

심사완료일 : 2015년 04월 13일

교신저자 : 김태운, e-mail : climb@kict.re.kr

준은 미흡한 실정이다. 강우는 도로의 노면의 마찰력, 시거 등에 영향을 주기 때문에 차량의 통행속도에 영향을 주지만 기상상황과 관련된 교통분야의 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 강우 수준이 일반국도 지방부 도로의 차량 속도 변화에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 이를 위해 2013년도 일반국도의 교통량, 속도 자료와 기상청의 기상 자료를 활용하여 분석하였다.

II. 기존문헌 고찰

1. 국내 연구사례

국토해양부의 도로용량편람(2013)에서는 강우일수는 1년의 약 1/3이며, 최근 국지성 호우와 같은 이상기후 등의 잦은 발생으로 인해 도로의 용량이 감소된다고 하였다. 이에 강우 수준에 따라 고속도로 기본구간의 설계속도별로 임계교통량 감소율을 제시하였으며, 강우량이 많고 설계속도가 높을수록 임계교통량은 감소하는 특성을 보였다.

심상우(2009) 등은 기상요인(날씨, 온도, 시정거리)에 따른 교통량 및 속도 변화를 분석하였다. 분석결과 교통량은 기상요인에 크게 영향을 받지 않았지만 속도의 경우 강우 시 주간에는 9.4%, 야간은 28.9% 감소하는 것으로 나타났다.

이창(2011) 등은 강우가 버스 서비스에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 분석자료는 서울시의 2006년 BMS(Bus Management System)자료와 26개의 자동기상관측장비(AWS: Automatic Weather System)의 강우량 자료를 활용하여 분석을 시행하였다. 분석결과 비침두시의 경우 큰 영향은 없었지만, 오전 침두시에 강우량이 30mm/h 이상이면 간선버스의 정시성이 100% 감소하였고 속도는 6kph 감소하는 것으로 분석되었다.

정은비(2013) 등은 강우량에 따른 속도감소 패턴, 속도 감소량 산출결과를 분석하여 강우 수준을 분류하는 기준을 제시하였다. 또한 강우량에 따른 속도 감소량 추정식을 개발하였으며, 추정식을 바탕으로 강우량 기준을 약한비(0~0.4mm/5min), 중간비(0.4~0.8mm/5min),

강한비(0.8mm/5min 이상)로 구분하였다.

김영선(2013)은 강우 시 고속도로의 용량산정 분석 및 강우 보정계수를 제시하였다. 고속도로의 설계속도별로 강우 수준별 용량을 산정하였으며, 설계속도가 높고 강우량이 많을수록 용량은 낮아지는 것으로 분석되었다. 특히 설계속도 120kph에서는 용량이 최고 34.4%까지 감소하는 것으로 분석되었다.

2. 국외 연구사례

HCM(Highway Capacity Manual)(2010)에서는 기상 상황에 따른 교통류율-속도 곡선을 제시하였다. 연속류 구간에서 자유 속도 120kph를 기준으로 맑음, 약한비(또는 약한 눈), 강한비, 강한눈에 의한 속도 및 도로의 용량이 감소하는 기준을 제시하였으며, 기상을 주제로 한 연구결과에 대하여 제시하였다.

Hassan, Y. A.(1999) 등은 스코틀랜드 Lothian에서 일조시간, 최고기온, 최저기온, 강우에 따른 교통량 변화에 대하여 연구를 진행하였다. 연구결과 강우에 따라 교통량이 주중은 3% 이하, 주말은 4~10% 감소하였으며, 주말 강설 시 최대 15%까지 교통량이 감소하는 것으로 분석되었다.

Stern, A. D.(2003) 등은 워싱턴 시내 33개의 도로 구간에 대하여 다양한 기상조건(강우, 강설, 풍속, 시거)에 따른 침두시, 비침두시의 통행시간 변화에 대하여 연구하였다. 연구결과 침두시 통행시간은 최소 11% 증가, 평균적으로 25% 증가하는 것으로 분석되었으며, 비침두시의 경우 평균 3.5% 증가하는 것으로 나타났다.

Agarwal(2005) 등에 의하면 강우는 도로의 용량, 속도를 감소시켜 도로의 혼잡을 유발할 수 있기 때문에 기상과 관련된 교통상황 분석이 필요하다고 주장하였다. Minneapolis와 St. Paul 두 도시와 인접한 기상관측장비의 기상 자료와 교통량 조사장비 자료를 활용하여 분석을 시행하였으며, 기상관측장비 반경 2.5마일 내에 있는 교통량 조사장비는 서로 기상조건이 동일하다는 가정 하에 연구를 진행하였다. 분석결과 강우, 강설, 기온, 풍속, 시거가 용량 및 속도에 영향을 미쳤으며, 강우 시 속도가 최대 17% 감소하였다.

3. 기존문헌 고찰결과

기존 국내 연구에서는 주로 고속도로 지역에서 강우, 강설 시 속도, 교통량 분석에 관한 연구가 주를 이루었으며, 국외의 경우 다양한 기상조건(강우, 강설, 풍속, 온도)에 따른 교통특성(교통량, 속도, 용량)에 대하여 다양한 연구가 진행되었다. 그러나 국외와는 달리 국내의 경우 분석 범위가 대부분 고속도로로 한정되어 있어 고속도로를 제외한 도로에서의 연구는 아직 부족한 것으로 판단된다. 특히 일반국도에서 기상에 따른 속도 변화에 대한 연구는 그 사례를 찾아보기 힘들 정도로 전무한 실정이다. 도로용량관람에서도 기상조건(강우, 강설)에 따른 교통량, 속도 기준을 제시하고 있으나 고속도로 기본구간에 한정하여 기준을 제시하고 있으며, 일반국도에 대한 교통량, 속도 기준은 아직까지 없는 상태이다.

따라서 본 연구에서는 아직까지 기상과 관련된 교통분야의 연구에서 수행된 사례가 없는 일반국도의 지방부 도로를 대상으로 진행하였다. 이를 위해 일반국도 지방부 상시 교통량 조사장비에서 수집된 교통자료(속도, 교통량)와 기상청의 자동기상관측장비에서 수집된 기상 자료(강수, 기온)를 이용해 일반국도 지방부 도로에서의 강우 수준별 속도-교통량 분포 변화를 분석하는 연구를 수행하였다. 본 연구를 통하여 일반국도 지방부 도로의 강우 수준에 따른 속도 변화율 및 속도변화 모형을 제시하고자 한다.

III. 분석 방법론

1. 분석 방안 및 활용자료

강우에 따른 속도-교통량 분포의 변화를 분석하기 위해 앞서 교통량, 속도, 강우, 온도 자료를 수집하였다. 교통량과 속도 자료는 도로교통량 통계연보에서 제공하는 2013년도 상시 교통량 조사장비 중 365일 24시간 동안 자료가 수집된 496개 장비의 교통량, 속도 자료를 활용하였다. 기상 자료는 기상청 477개의 자동기상관측장비에서 수집된 강수(강우+강설), 기온 자료를 활용하였다. 자동기상관측장비는 사람이 아닌 기계에 의해 강수량

이 측정된다. 즉, 눈이 오더라도 눈이 녹은 후 물의 양을 측정하기 때문에 자료만으로는 강우인지 강설인지 알 수 없다. 따라서 자동기상관측장비의 강수 자료와 기온 자료를 활용하여 강수를 강설과 강우로 구분하였으며, 일반적 강우 시기인 3월~11월 사이의 시간당 강우량을 파악하여 강우 수준별 속도-교통량 분석을 시행하였다.

2. 기상 자료와의 매칭

기상청의 자동기상관측지점과 상시 교통량 조사지점의 매칭을 통하여 상시 교통량 조사지점의 기상상태 파악이 가능하다. 연구의 정확성 향상을 위해 총 3단계에 걸쳐 매칭 분석을 실시하였다. 1단계는 상시 교통량 조사장비와 자동기상관측장비의 주소를 기반으로 매칭하였다. 2단계는 매칭 되지 않은 지점에 한하여 GIS좌표를 활용한 매칭을 실시하였으며, 지점간 직선거리가 4km 이내이면 매칭하고 이상이면 분석에서 제외하였다. 3단계는 매칭된 지점의 지도확인을 통하여 지리적 차이(고도차, 산간지역)가 있는지 확인 후 차이가 큰 지점은 분석에서 제외하였다.

표 1. 자료 매칭을 위한 각 단계별 분석절차

구분	분석 내용
1단계	- 상시 교통량 조사장비와 자동기상관측장비의 주소를 기반으로 매칭
2단계	- GIS좌표를 활용한 매칭 직선 거리가 4km 이내인 경우 매칭
3단계	- 매칭된 지점의 지도확인을 통하여 지리적 차이(고도차, 산간 지역)가 있는지 확인 - 지리적 차이가 큰 지점은 제외

3. 분석 범위의 결정

3.1 분석대상 범위의 결정

강우 시 속도-교통량 변화의 정확한 분석을 위해 2013년도 상시 교통량 조사지점 496개 중에서 교통량 변동이 상대적으로 적을 것으로 예상되는 지방부 지역을 분석대상 범위로 결정하였다. 도시부 지역은 상대적으로 강우에 영향을 적게 받는 출퇴근 통행이 많아 강우와 속도-교통량 관계를 분석하는데 한계가 있으며, 관광부 지역의 경우 계절적 요인 등으로 인해 속도-교통량 변동이 강우에 의한 것인지 다른 기타 요인에 의

한 것인지 알기 어렵다. 따라서 강우 시 속도-교통량 분포의 정확한 분석을 위해 일반국도 지방부 지역을 선정하였으며, 이 중 계절변동, 월변동, 요일변동이 상대적으로 크고 대규모 공사 등이 있는 지점은 제외하였다.

지방부 지역 중 상기에서와 같이 자동기상관측지점과 매칭이 가능한 30지점을 분석대상 범위로 선정하였다. 30지점 교통특성 평균값은 다음의 [표 2]와 같다. 도로 유형구분과 관련된 기존 연구결과와의 교통특성 비교 결과[4][7][10] 상대적으로 연평균 일교통량(AADT: Annual Average Daily Traffic)은 다소 높고 K30, 변동계수(COV: Coefficient of Variation)는 다소 낮게 분석되었으나 이를 제외한 교통특성이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이를 미루어 볼 때 본 연구의 분석대상 범위는 전형적인 지방부 지역의 교통특성을 보이는 것으로 판단된다.

표 2. 기존 연구의 지방부 도로와 분석대상 범위 교통특성 비교

구분	AADT (대/일)	K30 (%)	일요일 계수	중차량 비율(%)	주간 교통량 비율(%)	첨두율 (%)	COV (%)
분석대상	14,946	11.2	1.0	16.7	79.2	8.3	14.2
기존 연구1[4]	10,320	-	1.1	-	74.3	10.2	-
기존 연구1[7]	10,790	12.9	1.0	16.0	76.6	7.6	18.9
기존 연구2[10]	9,859	12.0	1.0	-	80.0	8.0	17.0

여기에서 교통특성 중 AADT란 1년 동안 수집된 교통량을 365로 나눈 값으로 도로 설계·운영 시 가장 많이 활용되는 지표이다. K30은 설계시간계수로 연평균 일교통량에 대한 연 중 30번째 순위 시간 교통량의 비를 의미하며, 해당 지점의 시간 교통량 변동 수준을 나타내는 교통지표이다. 중차량 비율은 전체 교통량 중 승용차를 제외한 중차량 교통량의 비를 의미하며, 도로의 화물 교통특성을 나타내는 지표이다. 주간 교통량 비율은 하루 동안의 교통량 중 주간(07시~19시)의 교통량이 차지하는 비율이고, 첨두율은 24시간 교통량 중에서 교통량이 가장 많은 1시간 교통량의 비율을 의미한다. 일요일 계수는 AADT에 대한 일요일 평균 교통량을 뜻하며, 일요일 계수가 높다는 것은 관광 지역의

도로일 확률이 높다. COV는 변동계수로 일교통량의 표준편차를 AADT로 나눈 값으로 COV가 클수록 교통량 변동 수준이 높다는 것을 의미한다[7].

3.2 강우 수준의 결정

강우 수준을 결정하기 위해 분석대상 범위의 강우빈도를 분석하였다. 강우량은 시간당 강우량으로 0~5mm/h에서 가장 많은 빈도수를 보이는 것으로 나타났으며, 전체의 약 53.5%를 차지하는 것으로 분석되었다. 강우 강도가 증가할수록 강우 강도별 빈도수는 급격하게 줄어들어 40mm/h 이상에서는 전체 비율의 6.4% 수준인 것으로 분석되었다.

표 3. 강우 강도별 빈도 분석

강우 강도(mm/h)	빈도(회)	비율(%)
0~5	39,318	53.5
5~10	10,766	14.7
10~15	6,884	9.4
15~20	4,593	6.3
20~25	3,057	4.2
25~30	1,865	2.5
30~35	1,295	1.8
35~40	981	1.3
40 이상	4,677	6.4

또한 [그림 1]과 같이 강우 강도별 강우 빈도는 5mm/h와 15mm/h에서 곡선의 변화를 보였으며, 강우 빈도수도 5~15mm/h가 17,650회이고 15mm/h 이상이 16,468회로 나타나 강우 강도를 5, 15mm/h에서 구분할 경우 강우에 따른 속도-교통량 분석이 용이할 것으로 판단된다.

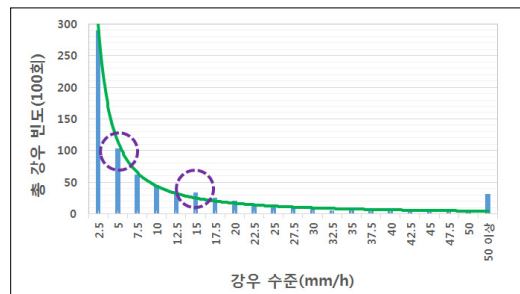


그림 1. 강우 강도별 강우 빈도

분석대상 지점의 강우 강도별 분석결과와 도로용량 편람 및 기존 연구의 강우 수준 결정결과를 토대로 [표 4]와 같이 강우 수준을 결정하였으며, 이는 기존의 연구 결과와 크게 다르지 않은 것으로 나타났다.

표 4. 기존 연구 및 본 연구의 강우 수준의 구분

강우 수준	본 연구 (mm/h)	도로용량편람 (mm/h)	기존연구 (mm/h)[3]	기존연구 (mm/h)[9]
0	0	0	0	0
강우 수준 1	0~5	0~5	0~5	0~4.8
강우 수준 2	5~15	5~10	5~10	4.8~9.6
강우 수준 3	15 이상	10 이상	10~20	9.6 이상
강우 수준 4	-	-	20 이상	-

3.3 속도-교통량 변화 분석 방안

일반국도 40호선 중 공주시 유구읍 추계리에 위치한 상시 교통량 조사지점의 강우 유무에 따른 속도-교통량 분포는 다음의 [그림 2]와 같다. 강우 유무에 상관없이 교통량이 늘어날수록 속도는 감소하게 되며, 지방부 도로의 특성상 용량 대비 교통량 수준은 높지 않기 때문에 그림의 A 영역과 같이 교통량이 용량 수준에 근접할 때 발생하는 교통량, 속도의 동시감소현상은 발생하지 않는 것으로 나타났다.

그러나 강우 유무에 따라 속도와 교통량의 분포는 다소 차이가 있었으며, 강우가 없는 즉, 맑은 날에는 B 영역과 같이 교통량이 적어 자유 교통류(free flow)인 상황에서는 속도의 표준편차가 상대적으로 큰 것으로 분석되었다. 이는 고속으로 주행하는 운전자가 상대적으로 많기 때문으로 판단된다. 또한 강우 시 보다 최대 관측교통량이 높은 수준으로 분석되었다.

강우 시에는 속도-교통량 분포가 맑은 날에 비해 상대적으로 좌측 하단에 위치하였으며, 이는 강우로 인해 속도와 교통량이 줄었기 때문으로 판단된다. 강우 시에는 맑은 날과 마찬가지로 교통량이 증가할수록 평균속도는 감소하는 것으로 분석되었으나 감소 수준은 적은 것으로 나타났다. 분포 상단의 기울기가 상대적으로 완만해 졌으며, 특히 B 영역과 같이 교통량이 적어 자유 교통류인 상황에서 속도의 표준편차가 상대적으로 작은 것으로 분석되었다. 이는 강우로 인해 운전자는 교통량이 많지 않더라도 높은 속도를 낼 수 없기 때문으

로 판단된다. 또한 맑은 날에 비해 최대 관측교통량이 낮은 수준으로 나타났다. 이는 강우로 인해 상대적으로 교통량이 줄었기 때문으로 판단된다.

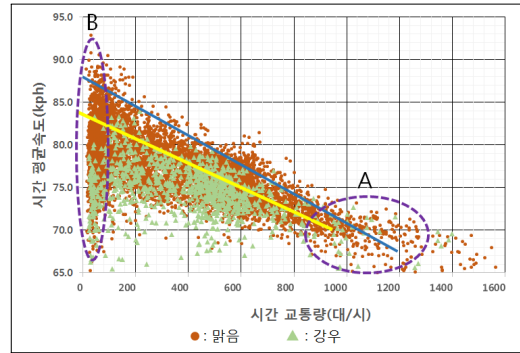


그림 2. 샘플 지점의 속도-교통량 변화

교통량이 증가할수록 속도가 감소하여 강우 시 분포의 기울기가 완만해진다는 특성을 이용하여 교통량 증가에 따른 속도 감소 수준을 모형화하여 추정이 가능하다. 본 연구에서는 이를 활용하여 강우가 속도-교통량 분포에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 분석을 시행하려 한다.

IV. 강우에 따른 속도 변화 분석 결과

1. 강우 수준별 속도 분포

강우 시 도로 위 차량의 속도가 감소한다는 것은 일반적으로 알려진 사실이며, 일반국도 지방부 도로에서도 속도가 감소할 것으로 예측되나 이와 관련된 연구는 아직 부족한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 강우 수준별로 일반국도 지방부 도로의 속도 변화에 대하여 분석하고자 한다.

강우 수준별로 평균속도 및 감소량은 [표 5]와 같다. 강우 수준이 증가할수록 평균속도는 감소하였으며, 강우 수준이 15mm/h 이상일 경우 평균속도가 약 3.2% 감소하는 것으로 분석되었다. 그러나 이러한 결과는 기존의 연구결과(강우 시 최대 10~20% 감소)를 크게 밑도는 결과이다.

표 5. 강우 수준별 평균속도 분석결과

강우 수준 (mm/h)	평균속도(kph)	감소율(%)	표준편차
0	77.1	0	7.30
0~5	75.7	1.8	7.04
5~15	74.6	3.2	6.59
15 이상	74.6	3.2	6.53

강우 시 속도의 변화는 평균적으로는 큰 차이가 없었다.(최대 3.2% 감소) 그러나 [표 6]과 같이 교통량 수준별 평균속도를 분석해보면 자유 교통류인 상태 즉, 200대/시/방향 이하에서는 강우 시 속도 변화가 큰 것으로 분석되었다. 교통량 수준이 작고 강우 수준이 높을수록 평균속도 감소율은 증가하였으며, 최대 8.8%까지 감소하는 것으로 분석되었다. 일반국도 지방부 도로의 평균속도 감소율이 기존문헌의 고속도로에 비해서 작은 이유는 설계속도가 상대적으로 낮아 고속으로 주행하는 차량이 적기 때문으로 판단된다. 또한 교통량 수준이 상대적으로 높지 않기 때문에 강우 시 도로의 용량 감소에 따른 교통왜해 현상이 발생하지 않아 용량 감소로 인한 속도, 교통량의 동시감소현상이 발생하지 않았기 때문으로 판단된다. 더불어 200대/시/방향 이상에서는 차량들이 강우의 영향보다는 교통량의 영향을 받아 차량군을 이루어 운행하기 때문에 평균속도 감소율이 낮은 것으로 판단된다.

표 6. 교통량 수준별 평균속도 감소율

강우 수준 (mm/h)	교통량 수준(대/시/방향)									
	0~25	25~50	50~75	75~100	100~125	125~150	150~175	175~200	200~225	
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
0~5	3.7%	4.6%	4.1%	2.5%	2.1%	1.6%	1.3%	0.7%	1.1%	
5~15	6.7%	7.1%	6.3%	4.8%	3.2%	3.2%	2.6%	2.6%	2.1%	
15 이상	8.8%	8.4%	6.8%	4.1%	3.9%	3.5%	2.9%	2.5%	1.9%	

2. 속도-교통량 분포를 활용한 속도 감소 모형의 추정

2.1 속도 감소 모형의 추정 방안

강우 시 속도-교통량 변화를 분석하기 위해 30개의 분석대상 지점을 방향별(상행, 하행)로 강우 수준별 속

도-교통량 변화를 분석하였다. 상기의 [그림 2][그림 3]에서 제시하였듯이 교통량이 증가할수록 평균속도는 감소하였으며, 강우 시 교통량이 적을 경우 평균속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따라 분석대상 지점의 강우 수준별로 교통량 증가에 따른 속도 감소 모형을 추정하고 추정된 모형의 기울기와 y축 절편 분석을 통하여 강우로 인해 속도-교통량 그래프가 어떻게 변화하는 분석하려한다.

교통량이 증가할수록 속도는 감소하는 형태이므로 속도-교통량 그래프에서의 속도 감소 모형 1차 선형모형으로 표현이 가능하다. 즉 $Y = -aX + b$ 형식으로 추정하였다. 지방부 지역 도로의 속도-교통량 그래프에서 육안 상으로 교통량이 증가할수록 속도가 감소한다는 것을 알 수 있다. 그러나 감소 모형 추정 시 그래프의 어느 부분을 기준으로 추정해야 하는지에 대한 문제가 발생한다. 이에 본 연구에서는 분포 상위 부분의 회귀모형 추정 방안을 제시하여 강우 시 속도-교통량 변화를 분석하고자 한다.

[그림 3]과 같이 교통량 수준을 일정 단위(50대/시/방향)로 나누고 해당 단위에 분포하는 관측치 중 최대값을 제외한 상위 5% 값들의 평균속도값을 활용하여 회귀모형을 추정하였다. 최대 속도값을 제외한 이유는 모형 추정 시 최대값으로 인하여 회귀모형이 왜곡되는 것을 방지하기 위함이다. 단위별로 상위 5%값만을 활용하여 회귀모형을 추정한 이유는 일반적으로 속도-교통량의 관계에서 교통량이 적은 자유 교통류(200대/시/방향)인 상황에서는 속도의 분산이 크기 때문에 교통량이 증가함에 따라 속도가 감소하는 모형을 추정하기 위해서는 모든 값을 활용하는 것 보다 분포의 상위 값을 활용하는 것이 모형의 추정이 용이하다. 또한 상기의 [표 6]에서 제시한 바와 같이 강우 시 속도의 감소는 자유 교통류에서 발생하므로 자유 교통류의 속도 감소를 반영하기 위해 상위 5%의 값을 활용하였다. 더불어 강우 시에는 속도-교통량 관측치가 적어 모형 추정에 문제가 발생할 수 있으므로 최대 속도값을 제외한 2~4번째 값들의 평균속도 값으로 분석하였으며, 이를 충족시키지 못한 경우에는 분석에서 제외하였다.

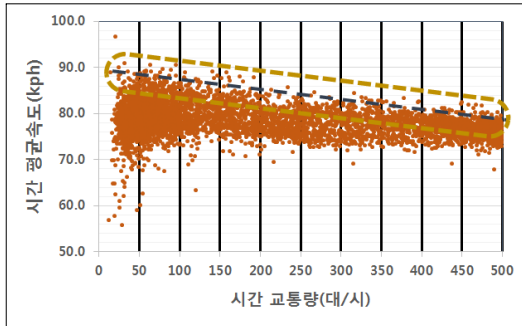


그림 3. 교통량 증가에 따른 속도 감소 모형 추정 방안

2.2 속도 감소 모형의 분석

30개의 분석지점에 대하여 강우 수준별로 속도 감소 모형을 추정하였으며, 추정된 모형의 기울기와 y축 절편의 평균 감소율은 [표 5]와 같다. 모형 기울기와 y축 절편 감소량뿐만 아니라 감소율을 분석한 이유는 각 교통량 조사지점마다 설계속도, 교통량 수준이 다르기 때문이다.

표 7. 강우 수준별 추정 모형의 분석결과

강우 수준 (mm/h)	기울기		y축 절편		R ²	
	평균값	감소율(%)	평균값	감소율(%)	평균값	감소율(%)
0	-0.016	0	88.180	0	0.809	0
0~5	-0.011	31.35	83.310	5.52	0.692	12.27
5~15	-0.008	51.84	80.404	8.79	0.458	39.26
15 이상	-0.006	69.18	79.352	9.97	0.312	60.11

분석결과 강우 수준이 증가할수록 추정 모형의 기울기는 완만해졌으며, y축 절편의 값은 감소하였다. 감소율 측면에서 살펴보면 강우 수준이 증가할수록 기울기와 y축 절편의 감소율은 증가하는 것으로 분석되었다. 추정 모형의 R²는 맑은 날 기준 0.809로 높은 설명력으로 보였으나 강우 수준이 높을수록 설명력이 급격하게 떨어져 모형의 설명력이 매우 낮은 것으로 분석되었다. 또한 강우 수준이 0, 0~5mm/h 이하에서는 t 통계량 4 이상, 유의수준 0.05 이하로 분석되었으나 5~15mm/h, 15mm/h 이상에서는 t 통계량 2이하, 유의수준 0.05 이상으로 분석되어 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는

강우 수준의 증가 시에는 상기의 [표 5]와 같이 속도-교통량 분포값들의 전체 표준편차는 감소하지만 모형 추정에 활용된 분포의 상위 5% 값들은 분산이 커지기 때문으로 판단된다.

2.3 강우 수준별 추정 모형에 관한 검증

강우 수준별 속도 감소 모형 분석결과 강우량이 증가할수록 속도 감소 모형의 기울기와 y축 절편이 감소하였다. 분석결과는 각 모형의 평균값 이므로 이러한 차이가 통계적으로 유의한 수준인지에 대한 검증을 위해 분산분석을 시행하였다. 본 연구에서 분산분석은 분석자료의 특성상 분석대상 지점들의 교통량 수준, 설계속도가 서로 상이하기 때문에 감소량이 아닌 감소율을 대상으로 분석을 시행하였다.

분산분석의 결과 다음 [표 8]과 같이 추정 모형 기울기와 y축 절편의 감소율은 유의확률이 0.05 이하로 분석되어 강우 수준에 따른 모형의 기울기가 같다는 귀무가설을 기각한다. 따라서 강우 수준에 따른 속도 감소 모형은 95% 신뢰수준에서 다르며, 이는 강우 수준에 따라 교통량이 일정 수준 이하일 때 평균속도가 상대적으로 크게 감소했기 때문으로 분석된다.

표 8. 강우 수준별 기울기 및 y축 절편의 분산분석 결과

구분	요소	제곱합	자유도	평균 제곱	F-value	유의확률
기울기	집단-간	15.912	3	5.304	68.191	0.000
	집단-내	18.357	236	0.078		
	합계	34.269	239			
y축 절편	집단-간	0.358	3	0.119	329.814	0.000
	집단-내	0.086	236	0.000		
	합계	0.444	239			

또한 다음의 [표 9]와 같이 사후검정 중 Tukey HSD test를 통하여 각 집단 간 평균차이를 검증하였다. 사후검정 확인 결과 기울기, y축 절편 모두 강우 수준별로 다른 부집단에 속하는 것으로 분석되어 통계적으로 유의적 차이가 있는 것으로 분석되었다.

표 9. 강우 수준별 기울기 및 y축 절편의 사후검정 결과

구분	(I) 강우 수준 (mm/h)	N	유의수준=0.05에 대한 부집단			
			1	2	4	3
기울기	0	60	0.0000			
	~5	60		0.3135		
	~15	60			0.5184	
	15 이상	60				0.6918
y축 절편	0	60	0.0000			
	~5	60		0.0552		
	~15	60			0.0879	
	15 이상	60				0.0997

V. 결론

본 연구에서는 일반국도 지방부 도로에서 강우 수준에 따른 속도 변화를 분석하였다. 총 3단계에 걸쳐 상시 교통량 조사지점과 자동기상관측 지점을 매칭하였으며, 최종 30개의 지점을 대상으로 분석을 진행하였다. 강우의 빈도 분석을 통하여 강우 수준을 총 4개로 구분하였으며, 강우 수준별로 속도 분석을 시행하였다.

강우 수준별 속도 분석결과 강우 시 평균속도는 약 3.2% 감소하였다. 이는 지방부 도로의 경우 교통량 수준이 높지 않아 강우가 발생하더라도 강우에 의한 교통량이 용량상태에 이르지 않는다고 판단된다. 교통량이 200대/시/방향 이하인 경우 즉, 자유 교통류인 상황에는 최대 8.8% 감소하는 것으로 분석되었으며, 강우로 인해 자유 교통류인 상황이라도 높은 속도로 주행할 수 없기 때문에 판단된다.

또한 속도-교통량 그래프를 활용하여 강우 시 속도 감소 모형을 추정하고 통계 검증을 수행하였다. 추정된 모형은 강우 수준이 높을수록 완만해짐에 따라 모형의 기울기와 y축 절편이 감소하였다. 이는 강우로 인해 속도가 감소하기 때문이며, 특히 자유 교통류 상황에서의 속도가 상대적으로 크게 감소했기 때문에 판단된다. 또한 분석결과 강우 시 평균속도의 감소율은 크지 않다는 점을 미루어 볼 때, 강우로 인한 교통와해현상은 발생하지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서는 분석대상 범위를 일반국도 중에서 교통량 수준이 높지 않은 지방부 지역 도로로 한정하였으며, 이에 따라 강우가 도시부 도로에서 출퇴근 통행에

미치는 영향, 관광부 도로에서 여가 통행에 미치는 영향을 분석하지 못했다는 한계점이 있었다. 교통량이 상대적으로 많을 것으로 예상되는 도시부 도로나 주말, 휴가철에 교통량이 집중될 것으로 예상되는 관광부 도로에서는 강우에 의한 속도 변화가 지방부에 비해 더욱 민감할 것으로 예측된다. 더불어 도시부 지역의 도로에서는 강우로 인해 용량이 감소하여 교통와해현상이 발생할 것으로 예측되는 바, 후후 연구에서는 교통량이 상대적으로 많은 도시부 또는 교통량 집중도가 높은 관광부 도로에서 강우 시 용량 감소와 관련된 연구의 진행이 필요하다.

참고 문헌

- [1] 국토교통부, 도로교통량 통계연보, 국토교통부, 2014.
- [2] 국토해양부, 도로용량편람, 국토해양부, 2013.
- [3] 김영선, 고속도로의 용량산정 방법론 개발 및 강우시 용량보정계수 산정, 아주대학교, 박사학위논문, 2013.
- [4] 김주현, 도명식, 정제은, “국도 기능 분류를 위한 그룹핑 방법론에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제20권, 제5호, pp.131-144, 2002.
- [5] 심상우, 최기주, “도로기상요인의 영향에 따른 고속도로 교통상황 유형 분류”, 대한토목학회논문지, 제29권, 제6D호, pp.685-691, 2009.
- [6] 이창, 고준호, 강영은, 이태경, “강우에 의한 서울시 대중교통서비스 변화분석”, 한국국토·도시계획학회지, 제46권, 제7호, pp.73-87, 2011.
- [7] 임성한, 오주삼, “일반국도 유형 분류 및 유형별 교통 특성에 관한 연구”, 대한토목학회논문지, 제25권, 제4D호, pp.555-563, 2005.
- [8] 임성한, 히태영, 김현석, “혼합모형을 이용한 도로 유형분류에 관한 연구”, 대한토목학회논문지, 제28권, 제6D호, pp.759-766, 2008.
- [9] 정은비, 오철, 홍성민, “도로기상정보시스템(RWIS)과 차량검지기(VDS) 자료를 이용한 강우수준별 통행속도예측”, 한국ITS학회논문지, 제12권, 제4호, pp.44-55, 2013.

[10] 하정아, “일반국도 도로유형별 설계시간계수 특성에 관한 연구”, 한국ITS학회논문지, 제12권, 제2호, pp.52-62, 2013.

[11] M. Agarwal, T. Maze, and R. Souleyrette, *Impact of Weather on Urban Freeway Traffic flow Characteristics and Facility Capacity*, Iowa State University, 2005.

[12] Y. A. Hassan and D. J. Barker, “The Impact of Unseasonable or Extreme Weather on Traffic Activity within Lothian Region Scotland,” *Journal of Transport Geography*, Vol.7, pp.209-213, 1999.

[13] A. D. Stern, V. Shah, and L. C. Goodwin, *Analysis of Weather Impacts on Traffic Flow in Metropolitan Washington DC*, Mitretek Systems, Washington D.C., 2003.

[14] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington D.C., 2000.

[15] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington D.C., 2010.

오 주 삼(Ju-sam Oh)

정회원



- 1998년 2월 : 중앙대학교 공학박사(교통공학 전공)
- 1999년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT 융합연구소 연구위원

<관심분야> : 토목 & 건축, 토목&건축콘텐츠

저 자 소 개

김 태 운(Tae-woon Kim)

정회원



- 2009년 2월 : 경기대학교 도시 및 교통공학과(공학사)
- 2011년 2월 : 서울시립대학교 교통공학과(공학석사)
- 2011년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 ICT 융합연구소 연구위원

<관심분야> : 토목 & 건축, 토목&건축콘텐츠