

단속교통류에서 강우시 평균통행속도 산정을 위한 보정계수에 관한 연구

모무기* · 이승주**

Mo, Moo Ki*, Lee, Seung Joo**

A Study on the Modification Value for Estimation of Traveling Speed During Rainfall in Interrupted Traffic Flow

ABSTRACT

Generally, V/C ratio in uninterrupted traffic flow and average travel speed in interrupted traffic flow are utilized as measure of effect for assessing operational situation of roads. The set of road conditions and traffic conditions are considered to be major variables for assessing operational situation in the traffic flow. However, weather conditions such as rainfall also affect the operational situation of roads. The studies reflected by the rainy situation are conducted in the uninterrupted flow, but the related studies are insufficient in the interrupted flow. In this study, the modification factors during rainfall in the interrupted flow were suggested, and the factors could be used when calculating the average travel speed during rainfall in the interrupted flow. By utilizing the data that were investigated in the same road and traffic conditions and the different weather conditions (rainy day or clear day), the modification factors were founded on regression analysis of the travel speed during rainfall as a dependent variable. Modification factors was suggested in dividing peak time, non-peak time, and whole period. Based on this study, the modification factors can be used to complementing the average travel speed model for assessing the operational situation of urban streets during rainfall.

Key words : Interrupted traffic flow, Travel speed, Rainfall, Modification factor

초 록

일반적으로 도로의 혼잡상태나 운영상태를 평가하기 위한 효과척도로서 연속류에서는 V/C비를 이용하고, 단속류에서는 평균통행속도를 이용한다. 연속류 및 단속류의 운영상태를 평가하기 위한 효과척도에는 도로조건과 교통조건이 주요한 변수로 적용된다. 그런데 도로 및 교통조건에 강우시와 같은 기상여건이 도로의 운영상태에 영향을 준다. 연속류에서는 강우시 기상상태를 반영한 보정계수에 대한 연구가 선행되어 있으나, 단속류에서는 관련 연구가 미비하다. 본 연구에서는 단속교통류에서 평균통행속도를 산정할 때 반영할 수 있는 강우시 통행속도 감소에 대한 보정계수를 산정하였다. 도로 및 교통조건이 동일하고 강우시 및 비강우시 등 기상조건이 다를 때 강우시 통행속도를 종속변수로 하는 회귀분석을 시행함으로써 강우시 통행속도 보정계수를 산정하였다. 회귀분석을 통하여 산정된 강우시 보정계수는 첨두시간대, 비첨두시간대, 전시간대로 구분하여 산정하였다. 본 연구를 통한 강우시 통행속도 보정계수를 이용하여 기존에 이용되고 있는 도시내 도로의 운영상태를 평가하기 위한 평균통행속도 산정식을 보완할 수 있다.

검색어 : 단속교통류, 통행속도, 강우시, 보정계수

* 중신회원 · 서경대학교 도시공학과 조교수 (Seokyung University · mmk514@skuniv.ac.kr)

** 교신저자 · 서경대학교 도시공학과 부교수 (Corresponding Author · Seokyung University · sjlee@skuniv.ac.kr)

Received August 17, 2017/ revised August 30, 2017/ accepted September 11, 2017

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로의 혼잡상태나 운영상태를 평가하기 위해 효과적도(MOE)를 사용한다. 연속교통류의 경우 교통량대 용량비인 V/C 비를 주로 이용하고, 단속교통류에서는 평균통행속도를 효과적으로 이용하여 혼잡상태를 평가한다. 교통류를 평가하기 위한 효과적도는 주로 도로요인과 교통요인 변수들을 사용하여 산정된다. 그런데, 교통류의 운영상태를 평가하기 위한 효과적도에 영향을 미치는 변수는 도로조건 및 교통조건 외에 기상상황에 따른 요인도 있다. 여러 기상 요인 중에서도 강우는 노면의 마찰력과 시거 등에 영향을 미쳐 도로의 용량과 통행속도에 부정적인 영향을 주는 요인이다. 비가 오게 되면 운전자들이 강우로 인해 평소보다 속도를 못내고, 전체적인 통행속도가 감소하게 되며, 도로의 용량이 감소함에 따라 도로 전반적인 구간에서 통행상황의 악화를 초래하게 된다.

이와 같은 점을 반영하기 위해서 고속도로의 경우 강우시 도로의 용량감소효과를 산정하고, 강우시 V/C 비를 산정하여 운영상태를 평가할 수 있다. 반면에, 도시내 도로인 단속교통류에서도 강우시 통행속도 감소효과가 예상되며, 이를 반영하여 통행속도를 산정하고 강우시 운영상태를 평가할 필요성이 있다. 그러나, 도시내 도로인 단속교통류에서 강우시 통행속도 감소 보정에 대한 연구가 현재 미비한 상태이고, 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 단속교통류에서 평균통행속도를 산정할 때 반영할 수 있는 강우시 통행속도 감소에 대한 보정계수를 산정하는 데 있다. 본 연구를 통한 강우시 통행속도 보정계수를 이용하여 기존에 이용되고 있는 도시내 도로의 운영상태를 평가하기 위한 평균통행속도 산정식을 보완할 수 있다.

1.2 연구의 범위

1.2.1 공간적 범위

본 연구의 공간적 범위는 단속교통류를 보이는 도시내 도로구간을 설정하기 위해 서울시를 공간적 범위로 설정하였다. 서울시 도로 구간 중 단속류인 4,431개의 도로구간을 공간적 범위로 설정하였다.

1.2.2 시간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 2016년 7월 1일 금요일과 7월 8일 금요일 15시부터 24시까지 총 9시간으로 설정하였다. 2016년 7월 1일에는 서울시 전역에서 15시부터 24시까지 9시간 동안 104.8mm의 비가 내렸다. 이에 따라 7월 1일 금요일을 강우일로 설정하였다.

비강우일은 같은 교통특성을 나타내고 강우를 제외한 다른 특성이 동일하다고 판단되는 같은 년도, 같은 월, 같은 요일, 같은

시간대이면서 비가 오지 않은 날을 비강우일로 설정하였다. 비강우일을 7월 8일 금요일 15시부터 24시까지로 설정하였다. 침투시간대와 비침투시간대를 구분하여 관계를 알아보기 위해, 오후 침투시간대를 18시부터 20시, 비침투시간대를 15시부터 17시와 20시부터 24시까지로 시간대를 분류하여 침투시간대와 비침투시간대 등 별도로 강우일, 비강우일의 통행속도 관계를 분석하였다.

1.3 연구의 방법

본 연구는 도시부 구간에서의 강우시 통행속도 감소를 반영한 통행속도 보정계수를 산정하는 연구로써, 다음과 같은 흐름으로 연구를 진행하였다.

첫째, 수집된 자료를 통해 강우일과 비강우일 시간대별·구간별로 통행속도 데이터를 정리하였다.

둘째, 강우일과 비강우일의 통행속도에 대한 기초통계 분석을 실시하였다.

셋째, 대응표본 t-검정을 통해 강우일 평균통행속도와 비강우일 평균통행속도의 평균의 차이를 검정하였다.

넷째, 종속변수를 강우일 통행속도로 하고, 독립변수를 비강우일 통행속도로 하는 회귀식을 도출하였다. 강우일의 통행속도와 비강우일의 통행속도는 각각 동일한 연도, 월, 요일, 시간대에 동일한 도로 구간에서 측정된 것으로서, 도로조건, 교통조건 및 교통운영조건이 동일한 것으로 고려하였다. 따라서 비강우일 통행속도와 강우일 통행속도는 동일한 교통조건 및 도로조건에서 기상상황만 다른 조건으로 구성된 자료이다.

다섯째, 회귀분석과 구축된 회귀모형의 회귀계수를 이용하여 강우시 통행속도 감소를 반영한 보정계수를 제시하였다.

2. 기존 문헌 고찰

2.1 기존 연구

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)에 의하면 고속도로의 효과적도인 V/C 비 중 C 는 고속도로의 용량을 나타내며 다음 식과 같다.

$$C = C_j \times N \times f_w \times f_{HV} \quad (1)$$

여기서, C : 고속도로의 용량

C_j : j 설계속도에 따른 기본 용량

N : 편도 차로 수

f_w : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

f_{HV} : 중차량 보정계수

그런데, 이와 같이 도로 및 교통조건에 따라 고속도로의 용량을 감소시키는 원인 외에 고속도로의 용량에 영향을 미치는 여러 가지 원인에 대한 연구가 있었다. Shim and Choi (2009)은 고속도로에서 기상요인과 교통량 및 속도간의 대한 분석을 실시하였는데, 분석결과 교통량과 속도 중 기상요인에 영향을 받은 요인은 속도가 더 많이 영향을 받았다.

Jeong et al. (2013)은 강우수준별 통행속도에측에 대한 분석을 진행하였다. 서울-춘천 고속도로를 대상으로 인공신경망을 통한 강우수준에 따른 통행속도를 예측하여 분석하였다. 분석결과 강우시 속도 및 교통량이 감소하며, 강우시의 속도를 예측할 때, 강우 10~15분 이전의 속도자료를 사용하는 것이 예측력이 높다고 하였다.

Kim and Oh (2015)는 강우 강도에 따른 일반국도 지방부 도로의 평균속도 변화를 분석하였다. 강우 정도를 4단계로 구분하여 그에 따른 지방부 도로에서의 평균속도 변화를 분석하였는데, 자유교통류인 상태에서 더 높은 속도 감소율이 나타났다. 또한, Kim and Oh (2015)는 강우 강도에 따른 일반국도, 지방부 도로의 교통량 변동 특성을 분석하였다. 강우 강도를 4단계로 구분하고 이를 평일과 비평일로 구분하여 일반국도와 지방부 도로에서 연구를 진행하였다. 그 결과 강우시 평일보다는 비평일에 더 많은 교통량이 감소하였다.

Stern et al. (2003)은 워싱턴 시내 도로구간에 대하여 강우, 강설, 시거, 풍속에 따른 침두시와 비침두시 통행시간의 변화에 대한 분석을 실시하였다. 분석결과 비침두시에 통행시간이 평균 3.5% 증가한다는 결과를 얻었으며, 침두시 통행시간에는 통행시간이 최소 11%이상 증가한다는 분석결과를 도출하였다.

Lam et al. (2013)은 홍콩시 도시내 도로를 대상으로 강우시 교통특성변화를 연구하였다. 강우의 정도에 따라 교통량, 속도, 밀도가 감소하는 현상을 분석하고, 강우시 교통량·속도, 속도·밀도 간 함수를 재정립하였다. 강우시 교통량, 속도 및 밀도가 감소하는 현상을 나타내지만, 침두시에는 감소현상이 유의하지 않음을 밝혀냈다. 연구결과는 통행경로 결정모델에 영향을 줄 수 있다고 설명하였다.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)에 의하면 강우시 기상상태에 의한 용량감소를 반영하기 위하여 다음과 같은 식을 제안하였고, 용량감소율은 Table 1과 같다.

$$C = C_j \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_{IW} \quad (2)$$

여기서, f_{IW} : 날씨보정계수

또한, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)는 도시 내 도로의 경우 운영상태를 평가하기 위한 효과적도로서

Table 1. Highway Traffic Reduction Rate by Rainfall

Rainfall Amount (mm/h)	Design Speed		
	80kph	100kph	120kph
0	0.0%	0.0%	0.0%
0 ~ 5.0	3.5%	5.8%	8.5%
5.0 ~ 10.0	7.6%	10.3%	13.8%
More than 10.0	9.6%	13.8%	19.1%

평균통행속도를 이용하며, 평균통행속도를 산정하기 위한 산정식은 다음과 같다.

$$ASPD = \frac{3,600 \times L}{TRPK \times L + TADI} \quad (3)$$

- where, $ASPD$: Arterial or Section Average Travel Speed
- L : Arterial or Section Length
- $TRPK$: Total of Running Time per Km in Arterial or Section
- $TADI$: Total Approach Delay at Signalized Intersections in Arterial or Section

여기서, 평균통행속도를 산정하기 위한 주요한 요인들은 도로유형, 노면마찰, 구간거리, 교통량 및 교차로운영조건 등이다. 그러나, 고속도로에서와 마찬가지로 도시 내 도로에서도 강우로 인한 기상악화시 평균통행속도 감소가 발생하나, 이를 반영하지 못하고 있는 실정이다.

2.2 본 연구의 차별성

기존 외국의 사례에서는 단속류인 도시내 도로에서 기상에 의한 영향을 분석한 사례가 있었다. 국내 연구들에서는 강우로 인한 도로에서의 속도와 통행량 변화에 대하여 분석하였으나, 고속도로, 일반국도 및 지방부 도로에서 주로 분석을 실시하였다. 강우에 따른 교통속도 및 교통량 변화는 통행이 많이 집중되어 있는 도시부 도로에서도 나타날 수 있다.

이에 따라, 단속교통류를 보이는 도시부 도로를 대상으로 강우시 통행속도 감소를 반영한 강우시 통행속도 보정계수에 대한 연구라는 점에서 본 연구의 차별성이 있다.

3. 자료 수집 및 분석

3.1 수집자료 출처

본 연구에서는 강우에 대한 정보를 파악하기 위하여 기상청에서 제공하고 있는 지역별상세관측자료(AWS)를 이용하였다. AWS는

서울시내 총 30곳의 위치에서 측정하며, 각 구별로 1개씩 있고, 종로구·동작구·영등포구·관악구·강서구에 2개가 설치되어 있다. AWS는 매분, 10분, 30분, 60분, 일 단위로 측정 및 정보제공이 되고 있다.

도로 구간별 통행속도에 대한 자료는 서울특별시 교통정보센터(TOPIS)에서 제공하는 데이터를 사용하였다. TOPIS에서는 검지기, 서울시 카드택시 GPS정보, 외부기관과 등과 연계하여 서울시 도로에 대한 통행속도를 시간대별로 제공하고 있다.

3.2 자료 수집 및 구축

강우시와 비강우시를 비교하기 위하여 먼저 강우일인 2016년 7월 1일 금요일에 서울시 전 지역에서 공통적으로 비가 오기 시작한 시간인 15시부터 비가 그친 24시까지의 속도자료를 수집하였다. 비강우일의 속도는 2016년 7월 8일 금요일의 15시부터 24시까지의 통행속도자료를 활용하였다.

시간대별 통행속도를 수집한 도로 및 각 도로명 및 도로 구간 수는 Table 2와 같다. 4.19도로 4개 구간, 가락로 8개 구간, 가양대로 8개 구간, 겹재로 12개 구간 등 총 4,431개 도로, 4,431개 구간의 통행속도 자료를 활용하였다.

도로 구간별로 9개의 시간대(15~24시)에 대한 통행속도자료를 수집하여 강우일과 비강우일 각각 39,879개의 통행속도 자료를 활용하였다. 침두시간대와 비침두시간대의 통행속도에 대한 강우에 따른 영향의 차이를 분석하기 위해 침두시간대와 비침두시간대를 구분하였다. 분석대상 9개 시간대(15~24시) 중 2개 시간대(18~20시)를 침두시간대로 선정하였고, 나머지 7개 시간대(15~18

Table 2. Name of Road & Number of Sections

Name of Road	Number of Sections	Name of Road	Number of Sections
4.19-ro	4	Neungdong-ro	12
Garak-ro	8	Daebangcheon-ro	10
Gayang-daero	8	Dobong-ro	33
Gyeongjae-ro	12	Sinpung-ro	4
Gaepo-ro	16	Achasan-ro	26
Gukhoe-daero	35	Anyangcheon-ro	40
Noryangjin-ro	10	Opaesan-ro	20
Nowon-ro	30	Mokdong-ro	12
Nonhyeon-ro	28	Jangseungbaegi-ro	4
Seonyu-ro	20	Hakdong-ro	24
Singil-ro	14	Huam-ro	8
Sinmok-ro	9	Hwigyeong-ro	4
⋮	⋮	⋮	⋮
Total Number of Sections		4,431	

시, 20~24시)는 비침두시간대로 선정하였다.

강우일과 비강우일 각각 총 39,879개의 통행속도 자료 중 31,017개의 통행속도 자료가 비침두시간대로, 8,862개의 통행속도는 비침두시간대로 구분되었다.

3.3 기초 자료분석

본 연구에서 강우일로 적용한 2016년 7월 1일 시간대별 강우량과 시간대 누적 강우량은 Table 3 and Fig. 1과 같다. 전체 9개의 시간대 중 6개시간대 이상에서 시간당 10mm이상의 비가 왔으며, 비가 가장 많이 내린 시간대는 16-17시(21.68mm)이며, 비가 가장 적게 내린 시간대는 17-18시(1.61mm)이다. 분석대상 9개 시간동안 총 강우량은 104.80mm인 것으로 나타났다. 전체적으로 교통량이 많은 침두시인 18-19시 및 19-20시에는 각각 4.46mm 및 11.75mm의 비가 내려 두시간 동안 16.21mm의 강우량을 나타냈다.

강우시 통행속도와 비강우시 통행속도에 대한 시간대별 차이는 Table 4 and Fig. 2와 같다. 분석대상 9개 시간대 중 19시-20시

Table 3. Rainfall per Hour & Accumulated Rainfall

Time	Rainfall (mm)	
	per hour	accumulated
15-16	5.65	5.65
16-17	21.68	27.33
17-18	1.61	28.94
18-19	4.46	33.40
19-20	11.75	45.15
20-21	12.35	57.50
21-22	18.80	76.30
22-23	16.65	92.95
23-24	11.85	104.80
Sum	104.80	-

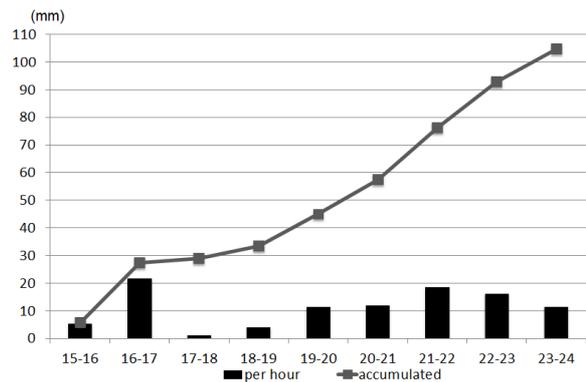


Fig. 1. Rainfall per Hour & Accumulated Rainfall

및 20~21시에 각각 2.06km/h 및 2.30km/h의 차이를 보여 다른 시간대보다 통행속도의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 통행속도의 차이가 가장 적은 시간대는 비가 그치는 23~24시 시간대로 통행속도차이는 0.71km/h인 것으로 나타났다.

전체시간대, 비침두시간대, 침두시간대에 대한 강우시 통행속도

Table 4. Average Travel Speed by Time Line

Time	Rainy (km/h)	Sunny (km/h)	Sunny - Rainy (km/h)
15-16	20.88	22.50	1.62
16-17	18.78	20.06	1.28
17-18	20.63	22.11	1.48
18-19	20.27	21.46	1.19
19-20	18.05	20.11	2.06
20-21	19.64	21.94	2.30
21-22	21.55	23.44	1.89
22-23	22.64	24.26	1.62
23-24	25.20	25.91	0.71

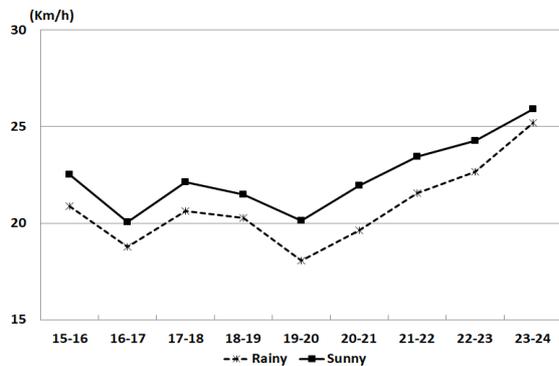


Fig. 2. Difference of Speed by Time Period

Table 5. Statistics of Travel Speed

		Rainy	Sunny
Whole Period	Mean (km/h)	20.85	22.42
	Number of Cases	39,879	39,879
	Standard Deviation	8.54	9.12
	Standard Error	.04	.04
Non-Peak Time	Mean (km/h)	21.33	22.89
	Number of Cases	31,017	31,017
	Standard Deviation	8.45	9.08
	Standard Error	.04	.05
Peak Time	Mean (km/h)	19.16	20.79
	Number of Cases	8,862	8,862
	Standard Deviation	8.60	9.05
	Standard Error	0.09	0.09

와 비강우시 통행속도 자료에 대한 기초 통계분석 결과는 Table 5와 같다.

전체시간대의 강우일의 통행속도 평균은 20.85km/시이고, 비강우일의 통행속도 평균은 22.42km/시로, 비가 내릴 경우 비가 오지 않는 날에 비해 평균 1.57km/시만큼 통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 비침두시간대의 기초통계 분석결과에서는 강우일에 대한 통행속도 평균은 21.33km/시, 비강우일의 통행속도 평균은 22.89km/시로 나타나, 비침두시간대에 비가 오게 되면 평균 1.56km/시만큼 통행속도가 감소하는 것으로 나타났다. 침두시간대의 기초통계 분석결과에서는 강우일에 대한 통행속도 평균은 19.16km/시이고, 비강우일에 대한 통행속도 평균은 20.79km/시로 나타나, 침두시간대에 비가 내리게 되면 통행속도는 1.63km/시만큼 감소하는 것으로 나타났다.

4. 분석결과

4.1 강우일과 비강우일 통행속도 차이 검정

강우일과 비강우일의 통행속도 차이의 통계적 유의성을 검증하기 위해 대응표본 t-검정을 실시하였다. 강우일과 비강우일을 대상으로 전체 시간대, 비침두시간대 그리고 침두시간대를 검정한 결과는 Table 6과 같다.

전체시간대 강우일과 비강우일을 대상으로 대응표본 t-검정한 결과, t통계량 -82.84(유의확률 .000)으로 강우일 통행속도 평균과 비강우일 통행속도 평균의 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 비침두시간대 강우일과 비강우일을 대상으로 대응표본

Table 6. Paired t-Test for Travel Speed

		Rainy - Sunny
Whole Period	Mean	-1.57
	Standard Deviation	3.79
	Standard Error	0.01
	t value (p-value)	-82.84 (.000)
	Degree of Freedom	39,878
Non-Peak Time	Mean	-1.56
	Standard Deviation	3.72
	Standard Error	0.02
	t value (p-value)	-73.58 (.000)
Peak Time	Degree of Freedom	31,016
	Mean	-1.63
	Standard Deviation	4.01
	Standard Error	0.42
	t value (p-value)	-38.22 (.000)
	Degree of Freedom	8,861

t-검정한 결과에서는 t통계량이 -73.58(유의확률 .000)으로 비침투 시간대 강우일 통행속도 평균과 비강우일 통행속도 평균 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 또한, 침투시간대 강우일과 비강우일을 대상으로 대응표본 t-검정한 결과에서도 t통계량이 -38.22(유의확률 .000)으로 침투시간대 강우일 통행속도 평균과 비강우일 통행속도 평균 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

강우일과 비강우일 속도에 대한 t-검정 결과, 강우일과 비강우일 간의 통행속도에 대한 평균차이는 전체시간대, 비침투시간대 및 침투시간대에서 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

4.2 강우일과 비강우일 통행속도의 관계 분석

강우일과 비강우일의 통행속도에 대한 관계를 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 강우일의 통행속도를 종속변수로 하고, 비강우일의 통행속도를 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.

본 연구에서 강우시 통행속도를 종속변수로 하고, 비강우시 통행속도를 독립변수로 회귀분석을 실시한 것은 강우 여건 외에는 통행속도에 미치는 여건이 동일하다고 판단하였기 때문이다. 즉, 회귀분석을 위해 구축된 통행속도 자료는 동일한 도로구간, 동일한 연도, 월, 요일, 시간대로 강우 여건 외에는 도로 조건 및 교통조건이 같은 조건으로 구성된 자료이다. 따라서, 강우시 통행속도와 비강우시 통행속도간의 차이는 강우조건에 의해서만 영향을 받은 것으로 고려하고, 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 전체 시간대를 대상

Table 7. Result of Regression Analysis

		Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t value
Whole Period	Constant	1.75		37.15 (Sig. .00)
	Travel Speed During Rainfall	.852	.910	437.59 (Sig. .00)
	$R^2 = .828, F = 191,488.27$ (sig. .000)			
Non-Peak Time	Constant	1.90		35.62 (Sig. .00)
	Travel Speed During Rainfall	.849	.912	391.90 (Sig. .00)
	$R^2 = .832, F = 153,590.88$ (Sig. .000)			
Peak Time	Constant	1.41		13.917 (Sig. .00)
	Travel Speed During Rainfall	.854	.898	191.85 (Sig. .00)
	$R^2 = .806, F = 36,807.27$ (Sig. .000)			

으로 시행하였다. 회귀분석은 전체시간대, 침투시간대, 비침투시간대 등 3가지로 구분하여 실행하였고, 분석결과는 Table 7과 같다.

먼저, 전체시간대를 대상으로 회귀분석을 실시한 결과, 총 39,879개의 속도자료를 대상으로 회귀분석을 실시하였으며, 결정계수(R^2)는 82.8%로 나타났고, 강우시 통행속도는 비강우시 통행속도의 85.2%에 1.75km/시를 더한 값으로 나타났다. 비침투시간대를 대상으로 회귀분석을 실시한 결과, 결정계수(R^2)는 83.2%로 나타났으며, 강우시 통행속도는 비강우시 통행속도의 84.9%에 1.90km/시를 더한 값으로 나타났다. 침투시간대를 대상으로 회귀분석을 실시한 결과, 결정계수(R^2)는 80.6%로 나타났으며, 강우시 통행속도는 비강우시 통행속도의 85.4%에 1.41km/시를 더한 값으로 나타났다.

회귀분석 결과를 토대로 표준화계수 및 비표준화계수를 이용하여 정립된 회귀모델은 Table 8과 같다. 표준화 회귀계수를 이용할 경우 회귀계수는 0.85 수준으로 나타났으며, 비표준화회귀계수를 이용할 경우에는 회귀계수가 0.90 수준으로 나타났다.

Table 8. Regression Models

Whole Period	
(By Utilizing Unstandardized Coefficients)	
Travel Speed during Rainfall = Travel Speed on Clear Day \times 0.852 + 1.75	
(By Utilizing Standardized Coefficients)	
Travel Speed during Rainfall = Travel Speed on Clear Day \times 0.910	
Non-Peak Time	
(By Utilizing Unstandardized Coefficients)	
Travel Speed during Rainfall = Travel Speed on Clear Day \times 0.849 + 1.90	
(By Utilizing Standardized Coefficients)	
Travel Speed during Rainfall = Travel Speed on Clear Day \times 0.912	
Peak Time	
(By Utilizing Unstandardized Coefficients)	
Travel Speed during Rainfall = Travel Speed on Clear Day \times 0.854 + 1.41	
(By Utilizing Standardized Coefficients)	
Travel Speed during Rainfall = Travel Speed on Clear Day \times 0.898	

4.3 강우시 통행속도 보정계수 제안 및 적용방안

본 연구에서는 회귀분석 결과를 토대로 강우시 통행속도 감소를 보정하기 위한 보정계수로서 강우시 통행속도 감소율(Travel Speed Reduction Rate)과 통행속도 상수값(Travel Speed Constant)을 정의하여 제시하였다. 통행속도 감소율은 의미상 비강우시 통행속도에서 강우에 의해 감소되는 정도를 나타내는 것이 바람직하다. 그러나, 본 연구에서는 회귀계수를 직접 적용하기 위한 의미로써 강우시 통행속도와 비강우시 통행속도를 비교할 때 강우시 대비 비강우시의 통행속도의 비율로 정의하여 제시한 보정계수이다. 또한, 통행속도 상수값은 감소율을 적용한 후 추가 보정해주는

Table 9. Modification Value for Speed During Rainfall

	Whole Period	Non-Peak Time	Peak Time
Reduction Rate	85.2%	84.9%	85.4%
Constant	1.75km/h	1.90km/h	1.41km/h
Application	SPDR = SPDNR X Reduction Rate + Constant Where, SPDR : Travel Speed During Rainfall SPDNR : Travel Speed During Non-Rainfall		

상수값으로 정의하였다. 통행속도 감소율과 통행속도 상수값은 기존에 통용되고 있는 용어가 아니고 본 연구에서 정의하여 제시한 보정계수이다.

본 연구에서 회귀분석을 통하여 제시된 강우시 통행속도 감소 보정계수는 Table 9와 같다. 단속교통류에서 강우시 통행속도는 비강우시 통행속도와 비교하여 약 85% 수준으로 감소하고, 분석대상 시간대별로 통행속도 상수값을 더해서 보정할 수 있는 것으로 나타났다. 비침투시간대 또는 침투시간대를 대상으로 통행속도 감소 보정계수를 보면, 통행속도 감소율이 각각 84.9% 및 85.4%인 것으로 나타났다. 또한, 비침투시간대 또는 침투시간대의 통행속도 상수값은 각각 1.90km/시 및 1.41km/시 인 것으로 나타났다.

이에 따라, 본 연구결과를 이용하여 다음 Eq. (4)와 같이 강우시 통행속도 산정식을 제안할 수 있다. 즉, 기존에 도로 및 교통여건을 고려하여 도시내도로 통행속도를 산정할 때, 강우여건이 추가되는 경우에는 Eq. (4)와 같이 보정계수를 적용한 강우시 통행속도 산정식을 제안하였다.

$$ASPDR = \frac{3,600 \times L}{TRPK \times L + TADI} \times f_{IW} + cw \quad (4)$$

where, *ASPDR* : Arterial or Section Average Travel Speed during Rainfall

- L* : Arterial or Section Length
- TRPK* : Total of Running Time per Km in Arterial or Section
- TADI* : Total Approach Delay at Signalized Intersections in Arterial or Section
- f_{IW}* : Reduction Rate during Rainfall
(Whole Period : 0.852, Non-Peak : 0.849, Peak : 0.854)
- cw* : Constant during Rainfall
(Whole Period : 1.75, Non-Peak : 1.90, Peak : 1.41)

5. 결론 및 향후과제

5.1 결론

교통류의 혼잡상황을 평가하기 위한 효과적도에 영향을 주는 변수는 도로조건 및 교통조건 외에 기상상황에 따른 요인도 있다. 이와 같은 점을 반영하기 위해서 고속도로의 경우 강우시 도로의 용량이 감소되는 정도를 나타내는 강우시 용량보정계수에 대한 연구가 이미 선행되어있으나, 도시내 도로인 단속교통류에서는 관련 연구가 미비한 실정이다.

본 연구의 목적은 단속교통류에서 평균통행속도를 산정할 때 반영할 수 있는 강우시 통행속도 감소에 대한 보정계수를 산정하는데 있다. 강우시 통행속도 보정계수를 이용하여 기존에 이용되고 있는 도시내 도로의 운영상태를 평가하기 위한 평균통행속도 산정식을 보완할 수 있는 연구를 수행하였다.

본 연구의 공간적 범위는 서울시 도로 구간으로서 분석대상 도로 구간은 4,431개 도로 구간이다. 시간적 범위로는 강우일을 2016년 7월 1일 15시부터 24시로 설정하고, 비강우일을 2016년 7월 8일 15시부터 24시로 설정하여 연구를 진행하였다. 강우자료와 통행속도자료를 강우일과 비강우일, 침투시간대와 비침투시간대로 구분하였다. 구분된 자료를 토대로 전체시간대, 비침투시간대 그리고 침투시간대의 강우일과 비강우일간의 통행속도차이를 검정한 결과 모든 시간대에서 강우일 통행속도와 비강우일의 통행속도 차이는 통계적으로 유의한 것을 알 수 있었다.

비강우일 통행속도와 강우일 통행속도간의 관계를 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 전체시간대, 침투시간대 및 비침투시간대로 구분하여 실시하였다. 종속변수는 강우일 통행속도로 설정하고, 독립변수는 비강우일 통행속도로 설정하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석에 투입된 통행속도 자료는 동일한 도로구간, 동일한 년도, 월, 요일, 시간대로서 강우여건 외에는 도로 및 교통여건이 동일한 조건으로 전체하였다. 분석결과, 전체 시간대의 강우시 통행속도와 비강우시 통행속도의 관계는 “강우시 통행속도 = 비강우시 통행속도 × 0.852 + 1.75”이고, 비침투시간대는 “강우시 통행속도 = 비강우시 통행속도 × 0.849 + 1.90”으로 나타났다. 또한, 침투시간대 강우시 통행속도와 비강우시 통행속도의 관계는 “강우시 통행속도 = 비강우시 통행속도 × 0.854 + 1.41”로 도출되었다.

본 연구결과에 의해 강우시 통행속도 보정계수로서 통행속도 감소율과 통행속도 상수값을 정의하여 제시하였다. 제시된 통행속도 보정계수를 이용하여 강우요인을 적용할 필요가 있을 때 기존 통행속도 산정식을 보정하여 적용할 수 있다. 즉, 기존 비강우시에 도로 및 교통조건만을 고려하는 단속류 통행속도 산정식에 강우시 보정계수를 적용하는 강우시 통행속도 산정식을 제안하였다.

5.2 향후 연구과제

본 연구에서는 강우의 유무에 따른 자료를 이용하여 강우일과 비강우일에 대한 통행속도간의 관계를 통해 강우시 통행속도 감소를 반영한 보정계수를 산정하였다. 그러나, 기존에 연구된 연속교통류에서와 같이 단속류에서도 강우의 정도에 따른 속도감소효과가 다를 것으로 예상된다. 본 연구에서는 강우의 정도에 따른 통행속도 보정계수를 제시하지 못하였고 향후 이에 대한 세분화된 연구가 필요하다. 또한, 동일한 강우량에서도 주요도로 및 교통조건에 따라 그 영향이 달라질 수 있을 것으로 판단된다. 이에 따라 동일한 강우량에서 주요 도로조건 및 교통조건에서의 통행속도 변화에 대한 심도있는 연구가 향후 필요하다. 그리고, 통행속도감소에 영향을 주는 주요한 기상여건으로 강설도 있다. 강설시에도 단속류에서 통행속도 감소현상이 발생될 것으로 예상되고, 강설량에 따른 통행속도감소효과도 다를 것이다. 따라서, 단속교통류에서 강설량에 따른 통행속도 감소를 반영한 통행속도 보정계수에 대한 연구 또한 필요하다.

References

- Jeong, E. B., Oh, C. and Hong, S. M. (2013). "Prediction of Speed by Rain Intensity Using Road Weather Information System and Vehicle Detection System Data." *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Intelligent Transport System, Vol. 12, No. 4, pp. 685-691 (in Korean).
- Kim, T. W. and Oh, J. S. (2015). "Analysis of Provincial Road in National Highway Average Speed Variation According to Rainfall Intensity." *Journal of the Korea Contents Association*, The Korea Contents Society, Vol. 15, No. 4, pp. 510-518 (in Korean).
- Kim, T. W. and Oh, J. S. (2015). "Provincial Road in National Highway Traffic Volume Variation According to Rainfall Intensity." *Journal of the Korea Contents Association*, The Korea Contents Society, Vol. 15, No. 3, pp. 406-414 (in Korean).
- Lam, W. H. K., Tam, M. L., Cao, X. and Li, X. (2013). "Modeling the Effects of Rainfall Intensity on Traffic Speed, Flow, and Density Relationships for Urban Roads." *Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 139, Issue 7 (in English).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Highway Capacity Manual* (in Korean).
- Shim, S. W. and Choi, K. J. (2009). "Classification of Freeway Traffic Condition by the Impacts of Road Weather Factors." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 29, No. 6D, pp. 685-691 (in Korean).
- Stern, A. D., Shah, V. P. and Goodwin, L. (2003). "Analysis of Weather Impacts on Traffic Flow in Metropolitan Washington D.C." *Institute of Transportation Engineers 2003 Annual Meeting and Exhibit*, Institute of Transportation Engineers, Seattle, Washington (in English).