

교통안전 향상을 위한 주야 변화에 따른 고속도로 용량 보정계수 개발에 관한 연구

Development of Adjustment Factors under Day and Night Conditions for Freeway Capacity to Improve Traffic Safety

김 영 선 Kim, Young Sun
이 상 수 Lee, Sang Soo

아주대학교 교통연구센터 수석연구원 (E-mail : jjinying@ajou.ac.kr)
정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 정교수 · 교신저자 (E-mail : sslee@ajou.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study analyzes the characteristics of traffic flow on freeway sections under daytime and nighttime conditions to improve traffic safety, and suggests a method to estimate an accurate freeway capacity value that reflects these characteristics.

METHODS : The trends and differences in capacity were investigated using comprehensive field data collected under both daytime and nighttime conditions on freeway sections with designated speeds of 80, 100, and 120 kph.

RESULTS : The capacity values under nighttime driving conditions were reduced by 3.3%, 6.9%, and 8.8% at 80, 100, and 120 kph, respectively. Several nighttime adjustment factors were deduced for each designated speed category from the analysis results.

CONCLUSIONS : It is expected that more accurate capacity values can be estimated for freeway sections under nighttime conditions by applying the resulting adjustment factors. In addition, traffic safety will be improved through the increased efficiency of traffic management on these freeway sections.

Keywords

Freeway, Maximum Service Flow Rate, Capacity, Adjustment Factor, Highway Capacity Manual

Corresponding Author : Lee, Sang soo, Professor
Department of Transportation System Engineering, Ajou University,
Worldcupro 206, Yeongtong-gu, Suwon-si, 16499, Korea
Tel : +82.31.219.2539 Fax : +82.31.215.7604
E-mail : sslee@ajou.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jun. 05, 2015 Revised Jul. 02, 2015 Accepted Jul. 02, 2015

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 경우 고속도로의 인터체인지 주변에는 가로등의 간격이 조밀하게 설치되어 있어 운전자의 시거 확보에 대체로 어려움이 없는 편이다. 그러나 가로등이 부족한 일부 고속도로 구간에서는 운전자가 운전을 함에 있어 전적으로 차량의 조명에 의지해야 하므로 스스로 감속, 충분한 차간거리 확보, 상황 확인 등 안전

운전에 영향을 미치는 요소를 적극적으로 반영하여 운행하여야 한다. 이와 같이 야간시간대의 운전자 운행특성은 주간 시간대와와는 다른 특성을 갖기 때문에 이러한 특성을 분석하고 반영하여 도로를 운영하는 노력이 요구된다.

이러한 시간대별 운행특성의 차별화된 결과는 도로 시설의 용량 측면에서도 큰 차이로 귀결될 수 있다. 야간 시간대 운전은 주간 시간대와 비교하여 운전자의 시

야가 좁아지고 시거 확보가 어려운 특징이 있다. 특히 가로등이 없거나 부족한 도로구간에서는 운전자의 시야가 전조등의 범위로 한정되고, 이러한 환경은 운전자의 신체적·심리적 행태에 영향을 준다. 이러한 영향은 운전자가 선택하는 차두간격과 속도에 영향을 미치게 되어 궁극적으로는 도로의 용량이 감소하는 요인으로 작용하게 된다.

이러한 현실에도 불구하고, 현재 국내에서 가장 활발하게 인용되는 도로용량편람(KHCM)(2001)에서는 이러한 차이점을 명확하게 구분하지 않고 있다. 즉, 주·야 상황을 구분하여 용량을 산정하도록 하는 방법론이 제시되어 있지 않기 때문에 주·야 상황 변화에 따른 교통류 특성 변화를 수용한 도로용량 산정 및 운영 상태의 분석 등이 불가능하다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 2013년 도로용량편람 개정 및 보완연구를 통하여 주·야 상황을 구분하여 고속도로 용량분석이 가능하도록 고속도로 기본 구간의 주·야 상황의 교통류 특성 분석 및 용량 산정방법 개발에 관한 연구를 수행하였으며, 본 연구의 결과는 개정된 KHCM(2013)에 수록되었다.

본 논문의 목적은 주·야간 시간대의 용량의 차이를 구별하여 추정할 수 있는 용량산정 방법론을 검토하고 이와 관련된 보정계수를 개발하여 제시하는 것이다. 이를 위하여 문헌을 검토하고, 광범위한 실측자료를 수집하여 본 연구를 수행하였다.

1.2. 연구의 범위

본 연구에서는 2007년~2009년 까지 3년간의 교통데이터 및 기상데이터, 천문데이터를 수집하여 이를 바탕으로 우리나라 주·야 상황에서의 고속도로 교통류 특성 분석 및 용량 산정에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구의 공간적 범위는 KHCM(2001)에서 제시하고 있는 이상적인 조건을 만족하는 설계속도 80kph, 100kph, 120kph의 고속도로 기본구간을 대상으로 하였으며, 수도권 및 지방지역에 위치한 고속도로 구간을 다양하게 선정하여 지역적 특성을 일반화할 수 있도록 하였다.

또한, 고속도로 인터체인지의 이격거리를 고려하여 인공조명이 많지 않은 지점을 선정하여 조명으로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 하였다. 단, 설계속도 80kph의 구간의 경우 일반 고속도로가 아닌 서울도시고속도로에서 데이터를 수집하여 연구를 수행하였다.

고속도로 용량 산정을 위해 교통량과 속도를 가지는 교통데이터와 주간 및 야간을 구분하는 일출/일몰시각

데이터를 수집하고, 각 설계속도별 데이터 수집 지점에 기존 KHCM(2001)에서 다루는 기본 조건에서의 용량을 토대로 주야간 변화에 따른 용량 산정에 적용하였다.

1.3. 연구 방법

본 연구를 수행하기 위하여 우선 고속도로 용량 산정에 관한 이론적 고찰을 실시하였다. 주·야 변화에 따른 교통류 특성과 관련된 국내외 기존 문헌을 조사하여 용량 산정에 관한 분석 방법론을 수립하였다.

이를 바탕으로 각 설계속도별로 분석에 적합한 지점을 선정한 후 고속도로 VDS 검지기 데이터를 수집하였다. 그리고 해당 지점과 관련된 기상 데이터 및 일출, 일몰시각 데이터를 각각 기상청과 한국천문연구원을 통해 수집하였다. 수집된 데이터를 통합·가공하여 비강우 데이터에 대해 주간과 야간으로 구분하고 각 설계속도별 최대교통류율을 산정하였고, 이러한 결과를 토대로 주·야 상황에 적용할 수 있는 보정 계수를 개발하여 제시하였다. 본 연구의 분석 결과는 통계적 검정을 통하여 결과의 유효성을 객관적으로 확인하였다.

2. 기존 문헌 고찰

2.1. 주·야 변화에 따른 교통특성 및 용량 관련 연구

Ahn, J.(2009)은 서울외곽순환 고속도로 서운~시흥 구간, 경인고속도로 도화~부평구간 내 세부 구간에 대하여 2009년 10~11월 중 총 32일의 검지기 자료분석을 통해 구간별 교통류 특성 파악 및 주간과 야간의 용량변화 양상에 대해 분석하였다. 일출 전 20분~일몰 후 20분의 박명(薄明)을 고려하여 주간 및 야간으로 구분하였고, 주간 및 야간에 반복적으로 용량산정이 가능한 지점을 선정하였다. 교통류가 정상류가 비정상류로 바뀔 때 생기는 변곡점을 용량지점으로 산정하였는데, 변곡점 주변의 최대교통류율을 내림차순한 후 용량 과대 추정을 막기 위해 상위 2%는 분석에서 제외하였으며, 제외 후 남은 상위 3개 point의 최대교통류율을 평균하여 용량을 산정하였다. 산정된 용량에 대해서 통계분석(T 검정)을 이용하여 주간과 야간의 용량 차이를 검증하였으며, 점유율과 함께 속도와 교통류율의 분포도를 통해서 주간과 야간의 정상류, 비정상류의 구분과 주간 및 야간의 임계점유율의 차이를 확인가능하다고 제시하고 있다.

미국의 HCM(2010)에서는 weekday와 weekend를

구분하여 고속도로의 차로수에 따라 dark dry 상황에서 임계교통량의 감소율을 제시하고 있다. 차로수가 6차로인 도로의 경우 weekday와 weekend의 임계교통량이 이상적인 상황 대비 각각 13%, 21% 감소하였으며, 차로수가 4차로인 도로의 경우에는 weekday와 weekend의 임계교통량이 이상적인 상황 대비해서 각각 19%, 25% 감소하는 것으로 제시하고 있다.

2.2. 도로의 밝기 변화에 따른 교통특성 관련 연구

Al-Kaisy, A. F. 등(2000)은 고속도로의 유지보수 공사진행 시 도로의 밝기가 고속도로 용량의 변화에 미치는 영향에 대한 분석을 진행하였다. 고속도로 2개의 지점을 선정하여 평일의 주·야 침투 시의 도로 용량의 변화를 관찰하였으며, 분석결과 주간 대비 야간의 도로 용량이 두 지점 각각 3.25%, 7.5%의 감소율을 나타내는 것으로 분석되어 도로의 밝기가 고속도로의 용량의 변화에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

Botma, H. 등(1998)은 도로의 조명시설이 고속도로의 용량변화에 미치는 영향에 대한 분석을 실시하였으며, 야간 상황 대비 주간 상황의 고속도로의 속도가 약 6~9% 정도 높을 것으로 분석되었다.

2.3. 시사점

기존 연구 검토 결과, 국외에서는 주·야의 변화나 도로의 밝기가 도로의 용량을 산정하는데 있어 중요한 변수임을 인식하여 관련된 연구를 꾸준히 진행해 온 것으로 나타났다.

그러나 국내의 경우 주·야 변화 또는 도로의 밝기 등에 따른 교통상황의 특성에 대한 연구는 현재 많이 진행되고 있지 않은 것으로 분석되었으며, 분석을 시행한 경우가 있더라도 일부 구간 또는 지점을 대상으로 교통특성을 분석한 것에 그쳐, 해당 연구의 결과를 전체 고속도로의 주·야 상황 변화에 따른 교통특성을 일반화하는 것에는 미흡한 점이 있는 것으로 분석되었다.

3. 용량산정 방법론 정립 및 자료수집

3.1. 용량산정 방법론

KHCM(2001)에서 사용하는 고속도로 구간의 용량을 산정하는 식은 다음과 같다. 설계속도에 따른 기본 용량값에 차로수, 차로폭, 그리고 중차량을 보정하여 용량을 계산하도록 규정하고 있다.

$$C = C_j \times N \times f_W \times f_{HV}$$

C : 고속도로 구간의 용량(대/시)

C_j : 설계속도 j 에 따른 기본 용량(승용차/시/차로)

N : 차로수

f_W : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

f_{HV} : 중차량 보정계수

이러한 방법론은 국내에서 사용되는 표준적인 분석 절차이므로 본 연구에서는 KHCM(2001)에서 제시한 방법론을 수용하여 적용하였다. 다만, 주·야 상황의 고속도로 용량산정 값의 차이를 반영하기 위하여, KHCM(2001)에서 제시한 고속도로 용량 산정식에 야간 보정계수(f_{DK})를 추가로 적용하였다. 그러므로 본 연구에서는 고속도로 구간의 용량(vph)을 각 설계속도 수준의 기본 용량(pchpl)을 기준값으로 하여 차로수, 차로폭, 중차량, 그리고 야간에 따른 영향을 고려하여 다음 식으로 산출할 수 있도록 하였다.

$$C = C_j \times N \times f_W \times f_{HV} \times f_{DK}$$

C : 고속도로 구간의 용량(대/시)

f_{DK} : 야간 보정계수

3.2. 데이터 수집지점 선정 및 수집 항목

3.2.1. 데이터 수집지점 선정조건

연구의 범위에서 설명한 바와 같이 본 연구에서는 설계속도 80kph, 100kph 및 120kph에 대하여 KHCM(2001)에서 다루고 있는 고속도로 기본 구간을 대상으로 하였다. 고속도로의 이상적인 조건은 도로 기하구조, 교통 조건, 그리고 주변 환경이 차량의 통행에 지장을 주지 않는 조건을 말하며, 다음과 같은 조건에 해당한다.

- ① 차로폭 3.5m 이상
- ② 측방여유폭 1.5m 이상
- ③ 승용차만으로 구성된 교통류
- ④ 평지

이 밖에도 엇갈림 영향권 및 연결로 영향권 이외의 구간 선정을 위해 고속도로 나들목과 분기점의 연결로 양 끝 지점에서 최소 1km 이상 이격된 구간을 대상으로 하였다.

이러한 조건을 고려하여 각 설계속도별 자료 수집 지점들을 선정하였다. 그리고 선정된 각 지점에서 반경 15km 내의 가장 가까운 기상관측지점의 기상데이터를 수집하였으며, 한국천문연구원의 천문우주지식정보의 일간 시민박명시간을 통해 일출과 일몰의 정보를 수집하여 주간 및 야간의 구분에 활용하였다.

3.2.2. 데이터 수집 항목

KHCM(2001)에서는 도로의 용량을 “주어진 도로 조건에서 15분 동안 최대 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값”으로 정의하고 있다. 이에 교통데이터는 한국도로공사의 2007~2009년 VDS 검지기 데이터를 통해 15분당 양방향 교통량 및 속도데이터를 수집하고, 인체체인시간 월별 차종별 교통량 데이터를 통해 교통량을 승용차 환산계수를 이용하여 1시간 단위의 승용차 교통량 데이터로 환산하였다.

3.3. 설계속도별 수집 지점

앞에서 제시한 데이터의 수집 기준을 고려하여 고속도로 기본 구간의 특성을 만족하는 지점들을 선정하였다. 설계속도 80kph에서 5개, 100kph에서 17개, 120kph에서 11개의 총 33개의 지점을 선정하였으며, 각 지점의 특징은 Table 1에 제시한 바와 같다.

일간 일출/일몰시각 데이터의 경우 한국천문연구원의 천문우주지식정보에서 시·군 단위로 일출/일몰시각을 제공하고 있으므로, 수집지점이 속해 있는 해당 시·군의 일출/일몰시각 데이터를 정리하여 표기하였다.

Table 1. Characteristics of VDS Data Collection Points

Design Speed (kph)	Route name	Collection points (km)	Lane	Slope (%)	Zone observation of sunrise/sunset time
80	Gangbyeon Expressway	Yanghwa~ Seogang bridge	4	-	Seoul
	Gangbyeon Expressway	Hannam~ Banpo bridge	4	-	Seoul
	Olympic Expressway	Seongsu~ Yeongdong bridge	4	-	Seoul
	Naebu Expressway	Wolgok~ Majang	3	-	Seoul
	Bukbu Expressway	Wolleung~ Hawolgok	2	-	Seoul
100	Gyeongin Expressway	8.13	3	0.02	Incheon
	Yeongdong Expressway	2.33	3	0.01	Incheon

100	Yeongdong Expressway	29.01	3	0.35	Suwon
	Yeongdong Expressway	22.21	3	1.47	Gunpo
	Yeongdong Expressway	14.21	3	0.30	Gunpo
	Seohaean Expressway	330.61	3	0.50	0.50
	Seouloegwak-sunhwan Expressway	118.21	3	1.29	Anyang
	Seouloegwak-sunhwan Expressway	28.43	4	0.71	Namyangju
	Namhae Expressway	66.4	2	1.70	Jinju
	Namhae Expressway	11.8	2	0.59	Changwon
	Donghae Expressway	20.67	2	-1.02	Gangneung
	Gyeongbu Expressway	20.92	3	1.46	Yangsan
	Gyeongbu Expressway	15.98	4	-0.52	Yangsan
	Namhae Expressway	70.17	2	-0.71	Jinju
	Namhae Expressway	109.55	2	-0.42	Haman
	Gyeongbu Expressway	Banpo IC~ Seocho IC	4	-	Seoul
Gyeongbu Expressway	Seocho IC~ Yangjae IC	4	-	Seoul	
120	Jungbu Expressway	295.4	2	-0.76	Anseong
	Seohaean Expressway	307.31	3	1.6	Taeon
	Jungbu, Daejeon~ Tongyoung Expressway	7.56	2	0.95	Goseong
	Seohaean Expressway	155.1	2	0.30	Seocheon
	Seohaean Expressway	241.6	2	0.47	Seosan
	Jungbu, Daejeon~ Tongyoung Expressway	359.7	4	-	Seoul
	Seohaean Expressway	307.5	3	-	Hwaseong
	Seohaean Expressway	316.15	3	-	Hwaseong
	Seohaean Expressway	327.9	4	-	Ansan
	Seohaean Expressway	331	3	-	Siheung
Seohaean Expressway	335	4	-	Siheung	

3.4. 데이터 가공

3.4.1. 교통류율 산정

KHCM(2001)에서 규정하는 용량의 정의에 따라 주어진 도로, 운영 조건에서 관측된 15분 교통량 데이터를 1시간 단위의 교통류율로 변환하였다. 이러한 과정은 다음과 같은 절차로 진행되었다.

먼저 15분 단위의 교통량 자료를 수집한 후, 자료 수집 시 나타나는 결측값을 제거한다. 전체 차로의 1시간 단위 자료 중 최대 15분 교통량을 해당구간의 차로수로 나누고 이를 1시간 교통량으로 환산한다. 그리고 마지막으로 중차량에 대한 보정을 실시하였다. 교통류율을 계산하는 최종식은 다음과 같다.

$$V_s = \frac{V_{15}}{N} \times 4 \times f_{HV}$$

V_s : 교통류율(대/시)

V_{15} : 15분 최대교통량

3.4.2. 평균속도 산정

교통류율에 활용된 교통량에 대한 평균속도는 먼저 검지기를 통해 수집된 데이터 중 결측값을 제거한 후, 지점평균속도의 개념을 적용하여 1시간 동안 각 지점에서 측정된 차량별 속도의 합을 교통량으로 나누어 산정하였다. 평균속도를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$S_{ave} = \frac{\sum(S_{15} \times V)}{V_s}$$

S_{ave} : 평균속도(kph)

S_{15} : 15분 속도

V : 교통량

3.4.3. 교통 데이터와 천문 데이터 통합

1시간 단위로 산출된 3년간의 교통류율-평균속도 데이터와 일출/일몰시각 데이터를 매칭하여 각 데이터의 주·야 구분을 기록하여 하나의 데이터로 가공하였다.

1시간 단위로 산출된 3년간의 교통류율-평균속도 데이터에 시간당 강우량(안개 및 적설 포함)을 결합하고, 일출/일몰시각 데이터를 통해 각 데이터의 주·야 구분을 기록하여 하나의 데이터로 가공하였다.

강우량 데이터의 결합은 데이터 분석 시 주·야 상황의

변화 이외에 다른 상황에 따른 변화의 영향을 반영하지 않기 위하여 시행하였으며, 데이터 분석 시에는 비강우 시 자료만을 기준으로 분석을 시행하였다.

3.4.4. 이상치 제거

최종적으로 통합된 기상데이터와 교통데이터의 이상치를 제거하여 교통류 상태를 분석할 수 있도록 하였다. 요일 및 시간별로 구분된 데이터를 바탕으로 Box-Plot에 의한 이상치 제거를 실시하였다.

일주일 동안의 요일 및 시간별 교통류율 및 속도의 패턴 변화는 유사하다는 가정으로, 정상적 교통흐름의 패턴을 벗어나는 데이터를 Box-Plot에 의한 이상치 판단을 실시하였고, 다음 식을 적용하여 이상치를 제거하였다.

$$UF = Q_3 + 1.5(Q_3 - Q_1)$$

$$LF = Q_1 - 1.5(Q_3 - Q_1)$$

UF : Upper fence

LF : Lower fence

Q_3 : 75th percentile

Q_1 : 25th percentile

1.5 : IQR(InterQuartile Range)

4. 데이터 특성분석

4.1. 주간 및 야간의 구분

주간과 야간의 구분은 한국천문연구원의 일출/일몰시각 중 시민박명시각을 이용하였다. 시민박명은 해는 지평선 아래 있지만 대기에 의한 태양빛의 산란으로 인하여 인공적인 조명없이 인간이 활동을 할 수 있을 정도로 하늘이 밝은 상태를 말하는 것으로, 보통 해가 뜨기 약 30분 전부터 해가 지고 나서 약 30분까지를 말한다. 2007~2009년에 해당하는 일간 시민박명 기준시각을 통해 각 시간당 교통데이터가 주간과 야간 중 어디에 속하는지를 구분하였다. 또한 데이터 분석에서 주간과 야간의 변화 이외에 다른 영향은 배제하기 위해 날씨(비, 눈, 안개 등)의 영향을 받지 않도록 비강우 시 데이터만을 활용하여 분석하였다.

데이터 중 주간과 야간의 빈도를 살펴보면 주간이 약 55%, 야간이 약 45%의 비율로 나타나고 있으며, 전체 데이터에 대하여 설계속도별로 주간과 야간을 구분한 결과는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Data Frequency of Daytime and Nighttime

Types	Design speed 80kph		Design speed 100kph		Design speed 120kph	
	Frequency	Ratio (%)	Frequency	Ratio (%)	Frequency	Ratio (%)
Day-time	113,745	54.20	210,878	54.61	182,036	54.77
Night-time	96,100	45.80	175,280	45.39	150,320	45.23
Total	209,845	100.00	386,158	100.00	332,356	100.00

4.2. 주·야 변화에 따른 교통류 특성

4.2.1. 설계속도 80kph

설계속도 80kph에서 관측된 주·야 상황의 교통류율-평균속도 분포는 Fig. 1에 제시한 바와 같다. 설계속도 80kph에서는 주간과 야간의 교통류율-평균속도 분포가 유사한 모양의 분포를 나타내고 있지만, 야간의 분포가 교통류율과 평균속도가 상대적으로 낮은 부분에 집중되어 있는 것으로 나타났다. 또한 교통류율-평균속도 곡선의 용량점이라고 할 수 있는 변곡점 부근 데이터에서 주간이 야간보다 더 높은 값을 가지고 있는 것으로 파악되었다. 이러한 결과로부터, 주·야 상황 변화에 따라 교통류 특성에 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

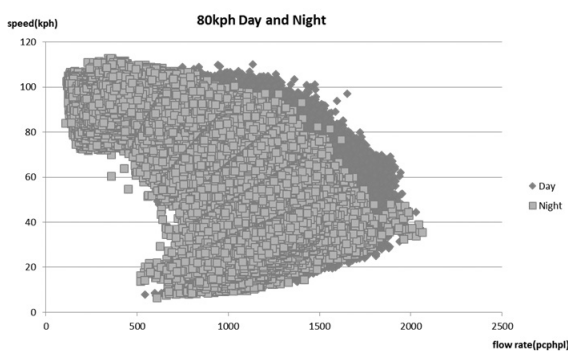


Fig. 1 Distribution of Flow Rate-average Speed at Day and Night-design Speed 80kph

4.2.2. 설계속도 100kph

설계속도 100kph에서 관측된 주·야 상황의 교통류율-평균속도에 관한 분포는 Fig. 2에 제시되어 있다. 설계속도 100kph에서도 야간에 관측된 교통류율 및 평균속도가 주간과 비교하여 상대적으로 더 작은 값을 갖는 것으로 분석되었다. 그리고 Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 주간과 야간의 최대교통류율의 차이가 보다 확실하게 나타나 주·야 상황의 교통류 특성의 차이가 분명

하다는 것을 할 수 있다.

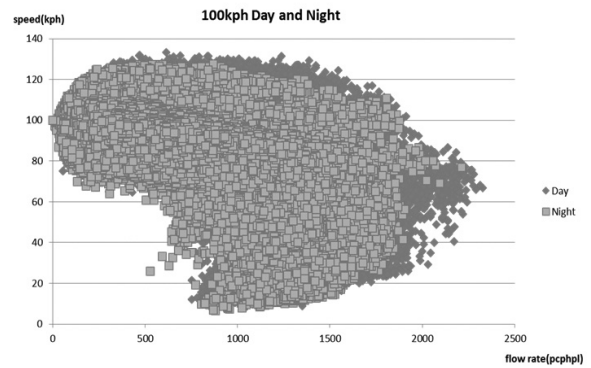


Fig. 2 Distribution of Flow Rate-average Speed at Day and Night-design Speed 100kph

4.2.3. 설계속도 120kph

설계속도 120kph의 교통류율-평균속도 분포 역시 앞서 제시한 80kph, 100kph의 분포와 유사하게 주간 상황에 비해 야간의 교통류율-평균속도 분포에서 더 작은 값을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 설계속도 120kph에서 관측된 주·야 상황의 교통류율-평균속도 분포는 Fig. 3에 나타나 있다. 설계속도 120kph의 그래프를 살펴보면 주간 대비 야간의 평균속도가 전체적으로 낮은 값을 나타내며, 앞서 제시한 80kph, 100kph와 마찬가지로 교통류율-평균속도 곡선의 용량점이라고 할 수 있는 변곡점 부근 데이터가 주간이 야간보다 더 높은 값을 가지고 있는 것으로 나타나 주·야 상황의 교통류 특성이 차이가 남을 확인할 수 있다.

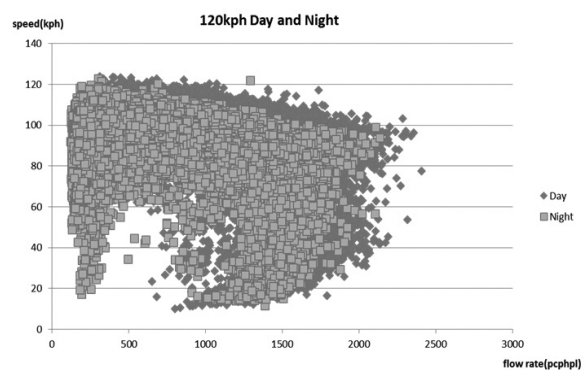


Fig. 3 Distribution of Flow Rate-average Speed at Day and Night-design Speed 120kph

4.3. 통계적 검증

앞서 제시한 각각의 설계속도의 주·야 상황의 교통류의 특성의 차이를 검증하기 위해 주·야 변화에 따른 교

통류율과 평균속도의 분포에 대하여 각 설계속도별로 주간과 야간의 두 집단 결과에 대한 통계적 검증을 수행하였다. 이러한 두 집단 간의 차이를 비교하기 위해서 독립표본 T-test를 이용하였으며, 검증에 사용된 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

귀무가설(H_0): 주간과 야간은 집단 간 평균의 차이가 없다.

대립가설(H_1): 주간과 야간은 집단 간 평균의 차이가 있다.

검정을 실시한 결과를 정리한 내용은 Table 3과 같으며, 모든 설계속도구간에서 교통류율과 평균속도의 결과값이 유의수준 $\alpha=0.000$ 으로 나타나, 각 설계속도별 주간과 야간의 두 집단은 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 토대로 주·야 상황에 따라 고속도로의 용량을 보정하는 것이 현실적으로 타당한 방법임을 확인하였다.

Table 3. Data Statistics - T-test

Types	Design speed (kph)	Result	T-value	Significant probability
Traffic flow rate	80	There is a difference between the two groups.	331.088	0.000
	100	There is a difference between the two groups.	304.569	0.000
	120	There is a difference between the two groups.	218.513	0.000
Average speed	80	There is a difference between the two groups.	-140.353	0.000
	100	There is a difference between the two groups.	-146.373	0.000
	120	There is a difference between the two groups.	10.093	0.000

5. 주·야 상황의 교통류 특성 변화 분석

5.1. 설계속도별 기준 최대 교통류율

주야 상황의 특성 분석을 위하여 각 설계속도별 기준(주간 및 기상양호 상황) 최대 교통류율은 Table 4와 같이 기존의 KHCM(2001)에서 제시하는 고속도로 기본구간의 서비스수준 E에 해당하는 값을 기준으로 사용하였다. 이는 실측 데이터를 기반으로 최대 교통류율을 산정한 결과, Table 5와 같이 설계속도 80kph에서는

2,003pcphpl, 100kph에서는 2,213pcphpl, 120kph에서는 2,305pcphpl인 것으로 분석되어, 기존의 KHCM(2001)에 제시된 용량값과 오차율 0.15~0.59%로 크게 차이가 나지 않아 편람의 보정계수로서의 적용 측면을 고려하였기 때문이다.

그리고 주·야 상황의 변화에 따른 임계교통량은 앞 장의 결과 그림에서 나타난 해당 그룹의 최대 평균 교통류율을 기준으로 산정하였다.

Table 4. Capacity of Freeway Basic Segment-KHCM (2001)

Design speed	Volume(pcphpl)	v/c ratio
80kph	≤2,000	≤1.00
100kph	≤2,200	≤1.00
120kph	≤2,300	≤1.00

Table 5. Maximum Average Flow Rate - Daytime

Design speed	Maximum average flow rate (pcphpl) [A]	KHCM Volume(pcphpl) [B]	Error factor [(A-B)/B]
80kph	2,003	2,000	0.15%
100kph	2,213	2,200	0.59%
120kph	2,305	2,300	0.22%

5.2. 주·야 상황의 교통특성 분석

5.2.1. 설계속도 80kph

Fig. 1에서 설계속도 80kph의 야간 상황의 임계교통량은 1,936pcphpl인 것으로 분석되었다. 이에 KHCM(2001)에서 제시하고 있는 설계속도 80kph 고속도로 기본구간의 용량값인 2,000pcphpl를 기준으로 야간 상황의 최대 평균 교통류율을 분석한 결과, 야간 상황의 최대 평균 교통류율은 주간 대비 3.31%의 감소율을 나타내는 것으로 분석되었다.

Table 6. Reduction Ratio of Maximum Average Flow Rate (Design Speed 80kph)

Types	Maximum average flow rate (pcphpl)	Reduction ratio (%)
Daytime	2,000	-
Nighttime	1,936	3.31

5.2.2. 설계속도 100kph

설계속도 100kph에서 야간 상황 자료를 분석한 결과, 임계교통량은 2,058pcphpl에 해당하는 것으로 나타났다. 마찬가지로 KHCM(2001)에서 제시하고 있는

설계속도 100kph 구간의 용량값인 2,200pcphpl를 기준으로 야간 상황의 최대 평균 교통류율을 분석하면, 야간 시 최대 평균 교통류율은 주간 대비 6.90%의 감소율을 나타내는 것으로 분석되었다. 이러한 값은 설계속도 80kph에서 나타난 감소율보다 2배 정도 큰 감소율을 나타내는 것으로 확인되었다.

Table 7. Reduction Ratio of Maximum Average Flow Rate (Design Speed 100kph)

Types	Maximum average flow rate (pcphpl)	Reduction ratio (%)
Daytime	2,200	-
Nighttime	2,058	6.90

5.2.3. 설계속도 120kph

Fig. 3으로부터, 설계속도 120kph의 야간 상황 임계 교통량은 대략적으로 2,114pcphpl의 값을 나타내는 것으로 분석되었다. KHCM(2001)에서 제시하고 있는 설계속도 120kph 구간의 용량값인 2,300pcphpl를 기준으로 야간 상황의 최대 평균 교통류율은 주간 대비 8.80%의 감소율을 나타내는 것으로 계산되었다. 이와 같은 감소율은 앞서 제시한 설계속도 100kph의 주간 대비 야간의 감소율보다 더 큰 값이며, 이러한 결과로부터 고속도로 설계속도의 값이 커질수록 주간 대비 야간의 최대 평균 교통류율의 감소율이 더욱 크게 나타나는 경향을 확인할 수 있다.

Table 8. Reduction Ratio of Maximum Average Flow Rate (Design Speed 120kph)

Types	Maximum average flow rate (pcphpl)	Reduction ratio (%)
Daytime	2,300	-
Nighttime	2,114	8.80

5.3. 야간 보정계수의 산정

이와 같은 자료 분석결과를 바탕으로 최대 교통류율 및 평균속도의 감소율에 따른 야간 보정계수를 산정한 결과는 Table 9와 같다. 설계속도 80kph에서는 0.97,

Table 9. Capacity Adjustment Factor for Nighttime

Types	Design speed 80kph	Design speed 100kph	Design speed 120kph
Daytime	1.00	1.00	1.00
Nighttime	0.97	0.93	0.91

설계속도 120kph에서는 0.91의 보정계수를 적용하여 용량을 산정하는 것이 적정한 것으로 파악되었다.

6. 결론

본 연구에서는 주간 및 야간시간대의 고속도로 교통류 특성을 분석하고, 이러한 특성을 반영하여 보다 정확한 용량값을 추정할 수 있는 방법을 개발하여 제시하였다. 이를 위하여 고속도로의 설계속도별로 주간 및 야간의 교통량과 속도, 그리고 강우 자료를 함께 수집하여 교통류의 특성분석을 시행하였다.

분석결과, 주간과 야간의 교통류율과 평균속도 분포가 유사한 모양으로 파악되었지만, 야간이 주간보다 상대적으로 낮은 값에 많이 집중된 것으로 나타났다. 또한 야간의 용량값이 주간과 비교하여 설계속도 80kph에서는 3.3%, 100kph에서는 6.9%, 120kph에서는 8.8% 감소하는 것으로 분석되었고, 일반적으로 설계속도가 증가할수록 용량값의 감소폭이 큰 것으로 파악되었다.

본 연구에서는 이러한 결과를 활용하여 야간 상황에 적용할 수 있는 보정계수를 각 설계속도별로 추정하여 제시하였다. 이러한 결과를 적용한다면 야간 상황에서의 고속도로 기본구간에 대한 정확한 용량 산정이 가능하며, 이를 통하여 고속도로의 효율적인 교통관리 및 안전향상에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 고속도로 기본 구간에 대하여 연구를 수행하였으나, 향후에는 고속도로의 경사 및 터널 등과 같이 야간 운전 시에 운전자에게 큰 영향을 미치는 구간에 대한 연구를 수행하여 용량의 변화에 관한 보다 종합적인 결론이 도출되도록 하는 추가연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2010~2012년도 국토해양부의 재원으로 한국 건설기술연구원의 연구비와 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2010-0028693).

REFERENCE

- Ahn, J. 2010, Research on highway capacity Change of Day and night, "Effect of Weather Condition on Traffic Flow", Kyonggi University.
- Al-Kaisy, A. F., Hall, F. L. 2000, The Effect of Darkness on the Capacity of Long-Term Freeway Reconstruction Zones. In Transportation Research Circular E-C018, pp.164~175.
- Botma, H., Van Goeverden, C., Bovy, H. L. 1998, Effect of road

- lighting on capacity of freeways. Proc., Third International Symposium on Highway Capacity, Transportation Research Board, Copenhagen, Denmark, pp.181~198.
- Korea Astronomy and Space Science Institute, Astronomy and Space Science Information, 2007~2009.
- Korea Expressway Corporation 2007, Traffic Counting Data, Korea Expressway Corporation.
- Korea Expressway Corporation 2008, Traffic Counting Data, Korea Expressway Corporation.
- Korea Expressway Corporation 2009, Traffic Counting Data, Korea Expressway Corporation.
- The Korea Transport Institute 2001, Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Korean Society of Transportation, Preparation of Korean Highway Capacity Manual Improvement Research(1st~3rd) Final Report, The Ministry of Construction and Transportation.
- TRB 2000, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington D.C., TRB.
- TRB 2010, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington D.C., TRB.
- The Minister of Land, Infrastructure and Transport 2001, Korea Highway Capacity Manual.
- The Minister of Land, Infrastructure and Transport 2013, Korea Highway Capacity Manual.