

■ 論 文 ■

확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형에 관한 실험적 해석

An Experimental Analysis of a Probabilistic DDHV Estimation Model

조 준 한

(한양대학교 교통정보센터 연구교수)

김 성 호

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

노 정 현

(한양대학교 도시대학원 교수)

목 차

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 II. 기존연구검토 <ul style="list-style-type: none"> 1. 전통적인 DDHV 산정 2. 확률적인 DDHV 산정 III. 확률적인 DDHV 산정 결과분석 <ul style="list-style-type: none"> 1. 분석자료 2. 결과분석 | <ul style="list-style-type: none"> IV. 적정 설계순위 선정 <ul style="list-style-type: none"> 1. 분석과정 2. 설계순위 선정 V. 확률적인 DDHV 산정식 정립 VI. 결론 및 향후연구과제 참고문헌 |
|---|---|

Key Words : 확률적인 중방향 설계시간 교통량, 설계시간계수, 중방향계수, 적정 설계순위, 확률분포함수
 Probabilistic Directional Design Hour Volume, Design Hourly Factor, Directional Distribution, Acceptable Design Ranking, Probability Distribution Function

요 약

본 연구는 전통적인 중방향 설계시간 교통량의 문제점을 개선하기 위해 양방향 교통량이 아닌 중방향 교통량에 따른 링크통행시간의 확률분포개념을 도입하여 확률적인 중방향 설계시간 교통량(PDDHV) 산정 모형에 대한 실험적 해석을 수행하였다. PDDHV산정에 대한 실험적 결과를 토대로 적정 설계순위를 2차로/4차로에 대해 16개의 확률분포형을 대상으로 최우도법을 이용하여 매개변수를 추정하였으며, 적합도 검정은 Kolmogorov-Smirnov 검정을 적용하였다. 적정 설계순위 확률분포형은 2차로도로는 Beta General분포, 4차로도로는 Weibull분포가 가장 적합한 것으로 나타났다. 차로별 적정 확률분포형에 대해 누적분포함수의 역함수를 이용하여 설계서비스수준 D에 따른 적정 설계순위를 산정한 결과, 2차로는 190 순위, 4차로는 164 순위로 도출되었다. 또한, PDDHV 산정에서 새롭게 제시한 계수에 대한 적정값은 2차로도로 경우 PK계수는 0.119(0.100~0.139), PD계수는 0.568(0.545~0.590)이며, 4차로도로 경우 PK계수는 0.106(0.097~0.114), PD계수는 0.571(0.544~0.598)로 도출되었다.

This paper is described as an experimental analysis for the probabilistic directional design hour volume estimation. The main objective of this paper is to derive acceptable design rankings, PK factors, and PD factors. In order to determine an appropriate distribution for acceptable design rankings, 12 probability distribution functions were employed. The parameters were estimated based on the method of maximum likelihood. The goodness of fit test was performed with a Kolmogorov-Smirnov test. The Beta General distribution among the probability distributions was selected as an appropriate model for 2 lane roadways. On the other hand, the Weibull distribution is superior for 4 lanes. The method of the inverse cumulative distribution function came up with an acceptable design ranking of design for LOS D. An acceptable design ranking of 2 lanes is 190, while an acceptable design ranking for 4 lanes is 164. The PK factor and PD factor of 2 lanes was elicited for 0.119 (0.100-0.139) and 0.568 (0.545-0.590), respectively. On the other hand, the PK factor and PD factor for 4 lanes was elicited as 0.106 (0.097-0.114) and 0.571 (0.544-0.598), respectively.

I. 서론

도로시설물의 설계단계에서 교통수요는 하루보다 짧은 시간대를 이용해야 도로기능별 및 교통특성별 설계기준, 평면교차로의 설계, 접속도로의 위치 결정기준 등의 구체적인 설계기준을 산정할 수 있다. 그러기 위해서는 첨두시간 교통량을 설계에 반영하기 위한 설계시간교통량의 개념도입이 필수적이다.

설계시간교통량은 도로설계에 사용되는 장래시간교통량으로서 예상되는 연중 시간교통량 중에서 첨두시간 교통량을 반영하는 교통량이다. 설계시간교통량의 크기는 그 교통량으로 얻을 수 있는 서비스수준과 경제적 효율성을 함께 고려하여 결정한다. 다시 말하면 기준이 되는 설계시간교통량을 크게 책정하면 과다설계가 되어 경제적 효율성이 떨어지고, 설계시간교통량을 낮게 책정하면 혼잡을 겪는 시간이 많아진다(도철웅, 1998). 이러한 이유로 인해 설계시간교통량 크기, 즉 설계시간교통량의 적정순위를 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다.

전통적인 중방향 설계시간 교통량(DDHV)은 기본적으로 설계시간교통량을 양방향 기준으로 산정하고 있으며, 이로 인해 중방향계수의 변동이 불규칙적으로 발생함에 따라 설계시간교통량 적정순위(일반적으로 상위 30순위)보다 상위 순위에서 DDHV가 더 낮게 나타나는 경우가 발생하게 된다.

본 연구는 전통적인 중방향 설계시간 교통량의 문제점을 개선하기 위해 양방향 교통량이 아닌 중방향 교통량에 따른 링크통행시간의 확률분포개념을 도입하여 확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형에 대한 실험적 해석을 수행하고자 한다. 일반국도 상시조사자료를 토대로 2차로/4차로로 구분하여 확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정의 결과분석과 통계적 방법을 통한 적정 설계순위 및 확률적인 중방향 설계시간 교통량의 산정에 필요한 계수들의 적정값을 제시하고자 한다.

II. 기존연구검토

1. 전통적인 DDHV 산정

1) 산정식

전통적인 중방향 설계시간 교통량은 연평균일교통량(AADT)과 설계시간계수(K계수), 중방향계수(D계수)

로부터 식(1)의 방법으로 산정된다. 설계시간계수와 중방향계수는 해당지역의 교통수요패턴에 따라 변하는데, 매년 발간되는 교통량 상시조사 자료(도로교통량 통계연보) 또는 현장측정치를 활용하여 해당 사업에 맞게 적용하고 있다.

$$DDHV = AADT \times K \times D \quad (1)$$

중방향 설계시간교통량은 시간과 공간에 따라 변하게 되는데 이는 설계시간계수와 중방향계수의 영향을 많이 받기 때문이다. 이 두 계수는 도로기능 및 교통특성, 토지이용, 설계순위 등에 따라 변화되기 때문에 연간 8,760시간에 대해 적절한 서비스수준의 제공여부와 경제적 효율성을 고려하여 결정한다.

건설교통부(2000)에서는 설계시간계수 산정할 때 대상도로의 지역적 특성이 세심하게 검토 분석된 후 결정되어야 하지만, 이에 대한 충분한 교통량의 자료가 없고 연구결과도 충분치 않은 현 시점에서 외국의 경우처럼 30번째 시간교통량을 설계시간교통량으로 하되 고속도로와 같이 연중 교통량의 변화가 심한 경우에는 특별한 고려가 필요하다고 언급하고 있다. 하지만 현실적으로 설계시간계수 산정시 분석영향권내 도로의 연평균일교통량에 대한 첨두시간 교통량 비율을 설계시간계수로 가장한 후 산출하거나 분석지역과 유사한 도로구간의 자료를 토대로 설계시간계수를 적용하는 등 분석가의 주관적 판단에 근거하는 한계점을 가지고 있다.

중방향계수는 다차로 도로를 설계할 때 특히 중요하다. 즉, 양방향 교통량을 기준으로 설계를 하면 중방향에 대해서는 서비스수준이 아주 낮은 도로가 된다. 한편 2차로 도로에서는 서비스수준 결정을 양방향 교통량을 기준으로 하기 때문에 이 경우에는 중방향 계수가 문제가 되지 않지만 주요 교차로의 설계, 특히 보조차로의 설치 등을 고려할 때에는 중방향 계수를 알아야만 한다(도철웅, 1998).

2) K계수와 D계수

설계시간계수와 중방향계수에 대한 도로계획 및 설계의 지침연구는 토지이용변화, 도로기능 및 교통특성변화, 경제적 효율성 측면에서 심도있게 연구가 수행되지는 않았다. <표 1>은 기존연구에 대해 연도별로 정리한 것이다. AASHTO(1994), TRB(2000), 건설교통부(2000, 2001)에서는 도시지역/지방지역, 2차로/4차로

〈표 1〉 K계수 및 D계수에 대한 기존연구

년대	K계수	D계수
1990년대 이전	Heibl(1965), Harmelink(1968) McShane 외(1979), Bailey(1981) TRB(1985)	TRB(1985)
1990년대	건설교통부(1990, 1992) AASHTO(1994) 윤혁렬(1999), 배홍준(1999)	건설교통부(1990, 1992) AASHTO(1994) Sharma 외(1992), Sharma(1993) Sharma 외(1995)
2000년대	TRB(2000), 건설교통부(2000, 2001) 김정환(2000), 이용관(2001), 문미경(2003) 임성한 외(2003), 김윤섭 외(2006) 이장희(2006), 조준한 외(2006) 백승걸 외(2007), 조준한 외(2008)	TRB(2000), 건설교통부(2000, 2001) 이상욱(2000), 문미경(2003), 이장희(2006) 조준한 외(2008)

로 구분하여 설계지침으로 제시하고 있으나 도로기능 및 교통특성을 명확하게 반영하는 데는 한계가 있다.

Heidi(1965), Harmelink(1968), McShane et al(1979), Bailey(1981)는 양방향 기준의 적정 설계 시간교통량과 상위 30번째 시간교통량 산정 방법에 대한 기본적인 연구를 수행하였다.

Sharma et al(1992)은 지방부도로를 토대로 D계수가 도로유형별, 첨두시간대별, 요일별, 월별 불규칙적으로 변하는 것을 분석하고 민감도 분석을 통해 D계수와 혼잡시간간의 관계를 연구하였다. Sharma(1993)는 혼잡시간을 고려한 민감도 분석을 토대로 도출한 중방향계수와 상위 30번째 DHV의 중방향계수간의 변화에 대해 연구하였다. Sharma et al(1995)은 방향별 교통량을 서로 독립된 것으로 간주하는 일방향 중심의 DDHV 산정을 MSE (Mean-squared error) 모형으로 제안하였다.

윤혁렬(1999)은 일반국도에 대해 교통량순위에 설계 시간교통량 추정모형식을 개발하였고, 배홍준(1999)은 고속도로의 K값 산정을 위한 시간교통량 순위도 곡선의 모형식을 개발하였으며, 이상욱(2000)은 고속도로 틀게이트의 D계수 산정을 위한 순위도 곡선의 모형식을 개발하였다. 이장희(2006)는 고속도로를 권역별(경기수도권역, 전라도권역, 경상도권역, 강원도권역, 충청도권역)로 나누어 K값과 D값의 적용방안에 대해 연구하였다.

김정환(2000)과 이용관(2001)은 일반국도의 K값 산정을 위한 순위도 곡선의 모형식을 개발하였으며, 문미경(2003)은 중방향을 고려한 설계시간교통량 및 설계 순위평가 방법에 대해 연구하였다.

임성한 외3인(2003)은 지방부/도시부/관광부, 2차로/4차로로 분류하여 일반국도의 설계시간계수를 산정하였으며, 김윤섭 외2인(2006)은 관광부도로를 산지와

해양으로 나누어 일반국도의 설계시간계수를 산정하였다. 조준한 외3인(2006)은 지방부/도시부/관광부에 대해 14개의 확률분포형을 적용하여 일반국도의 설계시간계수를 산정하였으며, 백승걸 외3인(2007)은 지방부/도시부/관광부로 나누어 고속도로를 대상으로 차량검지기를 이용하여 설계시간계수를 산정하였다.

3) 설계순위

건설교통부(2000)는 대상구간도로 구간의 상시 교통량 조사에 나타난 한 시간당 교통량을 높은 교통량 순으로 나열하였을 때 30번째 시간교통량을 기본적인 설계 교통량으로 제시하고 있다.

TRB(2000)는 통상 10~50번째 사이의 시간교통량을 설계교통량으로 하고 있으며, 이 범위에 곡선이 꺾이는 부분을 포함하게 된다. 하지만 관광도로의 경우 50~100번째, 지방도로의 경우는 30번째, 도시도로에서는 10~20번째에서 순위곡선 기울기의 변화지점이 발생한다고 언급하고 있다.

도철웅(1998)은 1년 365일의 매시간 교통량을 측정하여 30HV(연중 30번째 높은 시간당 교통량)을 얻기란 매우 어려운 일이라고 언급하였으며, 지방부도로는 매주의 주말 최대시간교통량을 구하여 이를 평균한 값, 도시부도로는 매주 평일 최대시간 교통량을 52주간 구하여 이를 평균한 값, 계절별 변동이 심한 위락관광도로는 상황에 따라 80~100번째 시간교통량을 분석시간교통량으로 사용해도 좋다고 제시하고 있다.

설계순위에 대한 기존연구를 살펴보면, 배홍준(1999)은 상위 30순위와 상위 100순위에 대해 비교분석하였으며, 이상욱(2000)은 상위 30순위, 50순위, 100순위에 대해 비교분석하였다. 문미경(2003)은 혼잡

비용을 이용하여 경제적 효율성을 고려한 결과, 상위 150순위가 적절한 것으로 도출하였으며, 이장희(2006)는 상위 30순위와 상위 150순위를 비교분석하였다. 그 외의 연구는 상위 30순위를 기본적으로 적용하여 연구가 수행되어졌다. 따라서, 적정 설계순위 선정에 대한 연구는 매우 미흡한 것으로 나타났다. 일반적으로 국내·외에서는 도로 계획 및 설계기준으로 “상위 30순위”로 적용하고 있다.

2. 확률적인 DDHV 산정

확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정은 기존의 중방향 설계시간 교통량을 산출하기 위한 설계시간계수, 중방향계수, 설계순위 등의 문제점을 개선하기 위해 연구되었다.

조준한 외인(2008)은 전통적인 중방향 설계시간 교통량의 문제점 및 한계에 대해 이론적인 내용을 바탕으로 사례를 통해 살펴보고, 이를 개선하기 위해 교통량에 따른 링크통행시간에 확률분포 개념을 도입한 확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형을 이론적으로 정립하였다.

확률적인 중방향 설계시간 교통량(Probabilistic directional design hour volume, PDDHV) 산정 모형을 간략히 정리하면 다음과 같다.

링크상의 통행시간은 교통량에 대해서 식(2)와 같이 단순증가함수로 표현할 수 있으며, 링크통행시간의 평균과 분산은 식(3), 식(4)와 같다.

$$T_a = t_a(V_a) \quad \forall a \in A \tag{2}$$

여기서,

T_a : 링크통행시간

$t_a(\cdot)$: 링크통행시간 함수

$$t_a = E[T_a] = \int_{-\infty}^{+\infty} t_a(x)\varphi_a(x)dx \quad \forall a \in A \tag{3}$$

$$(\sigma_t^a)^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (t_a(x))^2\varphi_a(x)dx - \left(\int_{-\infty}^{+\infty} t_a(x)\varphi_a(x)dx \right)^2 \quad \forall a \in A \tag{4}$$

여기서,

t_a : 링크 a 의 평균통행시간

σ_t^a : 링크 a 의 통행시간 표준편차

$\varphi_a(\cdot)$: 링크 교통량 V_a 의 확률밀도함수

이때, 교통량이 정규분포를 따른다면 확률밀도함수는 식(5)와 같으며, 링크통행시간 함수의 평균과 분산은 식(6), 식(7)과 같다.

$$\varphi_a(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v^a} \exp\left(-\frac{(x-v_a)^2}{2(\sigma_v^a)^2}\right) \quad \forall a \in A \tag{5}$$

링크통행시간 함수는 현재 가장 많이 사용되고 있는 BPR(Bureau of Public Roads) 함수를 적용하였으며, 내용은 식(6)과 같다.

$$T_a = t_a(V_a) = t_a^0 \left(1 + \beta \left(\frac{V_a}{c_a} \right)^n \right) \quad \forall a \in A \tag{6}$$

여기서,

t_a^0 : 링크 a 에서 자유상태의 통행시간

c_a : 링크 용량

β, n : 파라미터

BPR 함수를 적용하여 링크통행시간 함수의 평균과 분산을 구하면 식(7), 식(8)과 같다.

$$t_a = t_a^0 + t_a^0 \frac{\beta}{(c_a)^n} \sum_{i=0, i=even}^n \binom{n}{i} (\sigma_v^a)^i (v_a)^{n-i} (i-1)!! \quad \forall a \in A \tag{7}$$

$$(\sigma_t^a)^2 = \left(t_a^0 \frac{\beta}{(c_a)^n} \right)^2 \left(\sum_{i=0, i=even}^{2n} \binom{2n}{i} (\sigma_v^a)^i (v_a)^{2n-i} (i-1)!! - \left(\sum_{i=0, i=even}^n \binom{n}{i} (\sigma_v^a)^i (v_a)^{n-i} (i-1)!! \right)^2 \right) \quad \forall a \in A \tag{8}$$

링크 a 의 링크통행시간 임계치는 평균통행시간 t_a^{rs} 와 지체시간(delay time) d_a^{rs} 의 합으로 나타낼 수 있으며, 이는 Chance-constrained stochastic model에 의해 식(9)와 같이 결정한다.

$$\begin{aligned} \min \quad & c_a^{rs} = t_a^{rs} + d_a^{rs} \\ \text{s.t.} \quad & \Pr [T_a^{rs} \leq c_a^{rs}] \geq \rho \quad \forall a \in A, (r,s) \in C \end{aligned} \tag{9}$$

따라서, 링크통행시간 임계치에 대해 85%의 신뢰구간으로 정의하면 식(10)과 같이 표현할 수 있으며, 85%의 신뢰수준에서의 PDDHV산정 모형식은 식(11)과 같다.

$$t_a^{rs} = t_a^{rs} + \sigma_t^{rs,a} \Phi^{-1}(85\%) = t_a^{rs} + 1.44 \times \sigma_t^{rs,a} \quad (10)$$

$$t_a^0 \left(1 + 0.05 \times \left(\frac{V_a^{rs}}{t_a^{rs}} \right)^{10} \right) \leq t_a^{rs} + 1.44 \times \sigma_t^{rs,a} \quad (11)$$

조준한 외2인(2008)이 제안한 PDDHV 산정 모형식은 BPR함수를 토대로 한 링크통행시간과 Chance-constrained stochastic model을 기초로 한 링크통행시간 임계치(threshold)를 비교하여 적정값을 도출하였다. 따라서 중방향 설계시간교통량 산정의 계수로 사용되는 설계시간계수, 중방향계수에 대한 연구뿐만 아니라, 실질적인 교통혼잡을 고려한 적정 설계시간교통량 순위도(optimal ranked design hour volume), 실질적인 중방향 설계시간교통량 산정에 대해 도출할 수 있다. 또한, PDDHV 산정 모형은 도로용량과 직접적인 관계가 있는 차로수 산정에 대해 신뢰수준(confidence level)을 탄력적으로 적용하여 적정값을 도출할 수 있다. 본 연구에서는 85%의 신뢰수준을 적용하였지만, 분석가의 합리적인 판단기준에 따라 신뢰수준을 75%~95%로 유동적으로 설정할 수 있도록 모형을 정립하였다.

III. 확률적인 DDHV 산정 결과분석

본 연구는 위에서 언급했듯이 확률적인 중방향 설계시간 교통량에 대해 신뢰수준 85%, 즉 해당 도로구간 시종점을 지나가는 총 통행의 85%는 정시에 도착하기 위해서 15% 통행의 지체시간(delay time)은 허락할 수 있도록 가정하고 실험적 연구를 수행하였다.

1. 분석자료

PDDHV 산정 모형에 대한 실험적 해석을 위해 도로교통량 통계연보에서 제공하고 있는 일반국도 2002년~2006년 상시조사지점의 교통량 자료를 사용하였으며, 이 중 설날과 추석연휴의 상시정체구간을 제외한 2차로/4차로 1,416개 지점을 분석에 적용하였다. 분석자료는

1년 365일 8,760시간 방향별 시간교통량, 차종별 교통량, 설계속도, 구간거리, 차로수 등이 제공되며, 이를 토대로 확률적인 중방향 설계시간 교통량에 대한 실험적 결과를 도출하였다.

2. 결과분석

확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형에 대한 설계순위 분포는 <표 2>와 같다. 2차로도로 경우 설계순위 101~200 사이가 234개 지점으로 가장 많이 분포되었으며, 설계순위 100이하 및 200이상에서 비교적 대칭적인 분포형태를 보이고 있다. 반면에 4차로도로 경우 설계순위 101~200 사이가 321개 지점으로 가장 많이 분포되었지만 설계순위 31~100 사이도 292개 지점이 분포되었다. 이는 2차로도로에 비해 교통량이 많고 시간대별 교통량 변화가 상대적으로 작은 통행패턴을 보임에 따라 설계순위가 200이하에 많이 분포되는 것으로 분석되었다.

설계순위별 TDDHV, PDDHV에 영향을 주는 계수에 대해 비교분석한 결과는 <표 3>, <표 4>와 같다.

2차로도로 경우, TDDHV의 K30계수는 설계순위의 증가에 비례하는 것으로 나타났으며, D30계수는 설계순위 300까지는 증가하다가 그 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 반면에 PDDHV의 PK계수는 설계순위 30이상에서 설계순위 증가에 비례하는 것으로 나타났으며, PD계수도 설계순위 증가에 비례하는 것으로 나타났다.

4차로도로 경우, TDDHV의 K30계수는 설계순위 300까지는 증가하다가 그 이후에는 감소하는 경향을 보이고 있으며, D30계수는 설계순위 증가에 비례하는 것으로 나타났다. 반면에 PDDHV의 PK계수와 PD계수는 모두 설계순위 증가에 비례하는 것으로 나타났다.

<표 3>과 <표 4>에서 제시한 값은 설계순위 범위에 따른 평균값을 제시한 것으로서 K30과 D30계수는 양방향 기준, PK계수와 PD계수는 중방향 기준으로 산출되

<표 2> 설계순위별 상시조사 지점수

설계순위	2차로		4차로	
	지점수	%	지점수	%
30이하	11	2.1	64	7.3
31~100	143	26.8	292	33.1
101~200	234	43.8	321	36.4
201~300	138	25.8	156	17.7
301 이상	8	1.5	49	5.5
계	534	100	882	100

〈표 3〉 2차로도로 설계순위별 TDDHV와 PDDHV 비교결과

설계순위	통계량	AADT	TDDHV		PDDHV	
			K30	D30	PK	PD
30이하	평균	6,370	0.127	0.585	0.124	0.550
	표준편차	5,993	0.045	0.036	0.031	0.014
31~100	평균	5,661	0.126	0.604	0.114	0.556
	표준편차	3,393	0.038	0.082	0.020	0.019
101~200	평균	5,197	0.157	0.616	0.117	0.570
	표준편차	2,851	0.051	0.097	0.015	0.023
201~300	평균	5,816	0.186	0.619	0.128	0.575
	표준편차	3,416	0.062	0.100	0.020	0.019
301 이상	평균	6,116	0.237	0.596	0.146	0.601
	표준편차	3,914	0.138	0.064	0.037	0.024

〈표 4〉 4차로도로 설계순위별 TDDHV와 PDDHV 비교결과

설계순위	통계량	AADT	TDDHV		PDDHV	
			K30	D30	PK	PD
30이하	평균	22,624	0.091	0.565	0.098	0.553
	표준편차	9,037	0.011	0.045	0.007	0.022
31~100	평균	19,632	0.103	0.602	0.102	0.563
	표준편차	8,724	0.014	0.076	0.006	0.026
101~200	평균	17,120	0.120	0.634	0.106	0.571
	표준편차	7,390	0.019	0.090	0.007	0.025
201~300	평균	17,256	0.133	0.637	0.111	0.582
	표준편차	7,003	0.026	0.095	0.009	0.025
301 이상	평균	19,703	0.128	0.670	0.115	0.598
	표준편차	10,359	0.038	0.116	0.016	0.029

주) K30, D30 : 상위 30번째 시간교통량을 기준으로 산출한 설계시간계수(K), 중방향계수(D)
 PK, PD : PDDHV 모형식에 의해 산출한 설계시간계수(K), 중방향계수(D)

였기에 값에 대한 절대적 비교는 무의미하지만 전반적인 변화패턴을 본다면, 일반적으로 설계순위가 증가할수록 TDDHV와 PDDHV의 계수인 K30과 PK계수, D30과 PD계수가 값에는 차이를 보이지만 유사한 변화패턴을 보이고 있다. 또한, K30의 특성을 기초로 분석하면, 도시부도로의 성격을 나타내는 지역은 설계순위가 낮고 지방부도로의 성격을 나타내는 지역은 설계순위가 증가하는 것으로 나타났다.

IV. 적정 설계순위 선정

도로계획단계에서 사용되는 설계시간교통량에 대한 적정 설계순위는 해당 교통량으로 얻을 수 있는 서비스 수준과 경제적 효율성을 함께 고려하여 결정해야 한다.

본 연구는 도로용량편람에 제시하고 있는 설계서비스 수준 D를 기준으로 혼잡시간을 고려할 수 있는 링크통행 시간함수를 적용하였다. 이러한 모든 분석의 기본전제는

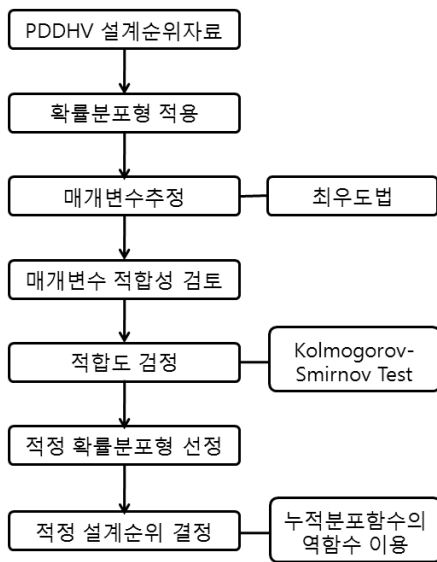
확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형의 실험적인 결과에서 도출되며, 이를 토대로 설계순위에 대한 확률분포형을 선정하고 그에 따른 적정 설계순위를 추정하였다.

1. 분석과정

적정 설계순위를 선정하기 위해서 PDDHV 설계순위 자료를 입력변수로 하여 BestFit Distribution Analysis을 이용하여 16개의 확률분포형을 적용하였으며, 이러한 일련의 분석과정은 〈그림 1〉과 같다.

본 연구에 적용한 확률분포형은 일반적으로 교통특성 변수에 적용가능한 16가지 연속형 분포함수를 선정하였으며, 해당 확률분포형은 〈표 5〉와 같다.

또한, 16개 확률분포형의 매개변수 추정은 최우도법(Method of maximum likelihood)을 사용하였다. 최우도법은 추출된 표본자료가 나올 수 있는 확률이 최대가 되도록 매개변수를 추정하는 방법으로서, 일반적으로



〈그림 1〉 적정 설계순위 분석과정

〈표 5〉 16개의 확률분포형

	분포함수		분포함수
1	BetaGeneral	9	LogLogistic
2	Chi-Square	10	LogNormal
3	Erlang	11	Normal
4	Exponential	12	Pareto
5	ExtremeValue	13	Pearson5
6	Gamma	14	Rayleigh
7	InverseGaussian	15	Triangular
8	Logistic	16	Weibull

우도함수(likelihood function)보다는 유도상의 편리성 때문에 대수 우도함수(log-likelihood function)를 많이 사용하며 식(12)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \ln L(\theta_j)}{\partial \theta_j} = 0, \quad j = 1, \dots, k \quad (12)$$

여기서, $L = \prod_{i=1}^N f(x_i)$: 우도함수

최우도법으로 추정된 매개변수는 각 확률분포형의 확률변수 및 매개변수 적합성 조건에 만족해야 한다. 적합성 조건에 부합하는 확률분포형은 수학적인 가정사항을 만족하지 못하는 경우이므로 적정 확률분포형에서 제외하였다.

모집단의 확률분포형을 알지 못하면 기존의 확률분포형으로 모집단의 성질을 정확히 나타내기 어렵기 때문에 대상 확률분포형 가운데 적정 확률분포형을 선정하는 것은

매우 어려운 문제이다. 본 연구에서 임의의 확률분포형에 대한 적합도 검정(Goodness-of-fit test)은 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정을 사용하였다. K-S검정은 표본자료의 누적확률분포와 가설로 설정된 모집단의 누적확률분포를 상호비교하여 그 적합성을 통계적으로 판단하는 검정방법이다.

적합도 검정에 의해 가장 우수한 확률분포형을 선정하고, 이 확률분포형에 대한 누적분포함수의 역함수를 이용하여 최종적인 적정 설계순위를 선정하였다. 누적분포함수는 확률변수 X와 매개변수 θ 의 함수로 식(13)과 같이 표현할 수 있다.

$$F(X) = f(X, \theta) \quad (13)$$

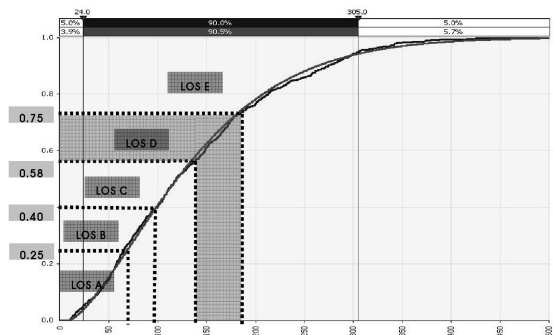
여기서, 누적분포함수 $F(X)$ 는 0에서 1사이의 값을 갖는 비초과확률(nonexceedance probability)로서, 확률변수 X의 역함수로 식(14)와 같이 표현할 수 있다.

$$X = f^{-1}(\eta, \theta) \quad (14)$$

여기서, 비초과확률 η 는 〈표 6〉에서 보여주듯이 도로 용량편람에서 제시하고 있는 서비스수준에 따른 V/C로 표현할 수 있다.

〈표 6〉 서비스수준과 V/C 관계 (KHCM기준)

LOS	N설계속도 80kph		설계속도 60kph	
	교통량 (pcphpl)	V/C	교통량 (pcphpl)	V/C
A	≤500	≤0.25	≤345	≤0.20
B	≤800	≤0.40	≤691	≤0.41
C	≤1,150	≤0.58	≤1,009	≤0.59
D	≤1,500	≤0.75	≤1,381	≤0.81
E	≤2,000	≤1.00	≤1,700	≤1.00



〈그림 2〉 누적분포함수와 LOS 관계(4차로도로)

최종적으로, 적정 확률분포형에 대한 누적분포함수의 역함수를 이용한 서비스수준(LOS) 영역은 <그림 2>와 같이 표현할 수 있으며, 이를 토대로 설계서비스수준 D에 대한 적정 설계순위를 결정할 수 있다.

2. 설계순위 선정

1) 2차로도로

2차로도로에 대해 16개 확률분포형을 적용하여 매개변수 추정 및 적합도 검정을 한 결과, 적정 설계순위 선정을 위해 적합한 분포는 <표 7>에서 알 수 있듯이 Beta General 분포로 나타났다.

Kolmogorov-Smirnov 적합도 검정을 통해 가장 우수하게 나타난 Beta General 분포에 대해 최우도법을 이용하여 매개변수를 추정한 결과 식(15), 식(16)과 같이 도출되었다.

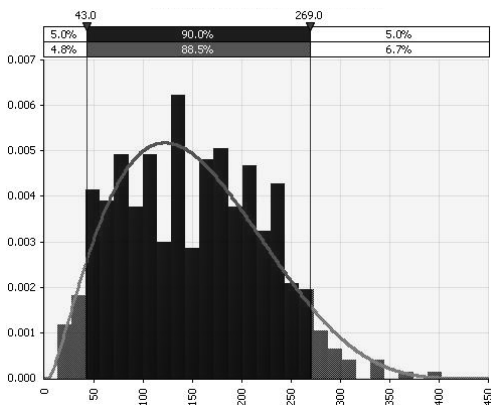
$$f(x) = \frac{(X - \min)^{\nu-1} (\max - X)^{\omega-1}}{B(\nu, \omega) (\max - \min)^{\nu+\omega-1}} \quad (15)$$

$$B(\nu, \omega) = \int_0^1 u^{\nu-1} (1-u)^{\omega-1} du \quad (16)$$

<표 7> 2차로도로 적합도검정 결과

순위	밀도함수	통계량	P값	Ho
1	BetaGeneral	0.0497	0.0588	Accept
2	Pearson5	0.0500		Accept
3	Weibull	0.0509		Accept
4	LogNormal	0.0514		Accept
5	InvGauss1)	0.0534		Accept

주1) InvGauss : Inverse Gaussian distribution



<그림 3> 2차로도로 확률밀도함수 : Beta General

ν (continuous shape parameter)=2.331
 ω (continuous shape parameter)=4.533
 min(continuous boundary parameter)=4.350
 max(continuous boundary parameter)=433.8

2차로도로의 적정 확률분포형인 Beta General 분포에 대한 세부적인 분석결과를 살펴보면, <그림 3>에서 알 수 있듯이 설계순위 43~269 사이가 Beta General 분포의 88.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 누적분포함수의 역함수를 이용하여 설계서비스수준 D, 즉 V/C 0.59~0.81 사이의 값을 구한 결과, 적정 설계순위 범위가 최소 163, 최대 217로 나타났다.

2) 4차로도로

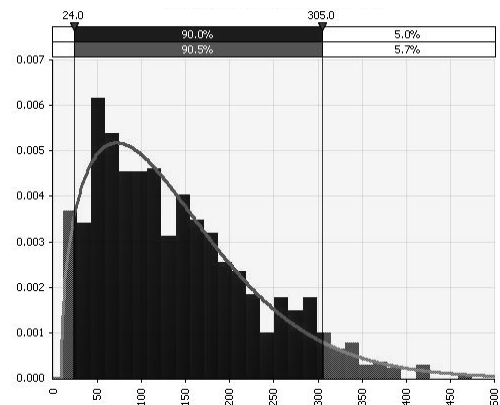
4차로도로에 대해 16개 확률분포형을 적용하여 매개변수 추정 및 적합도 검정을 한 결과, 적정 설계순위 선정을 위해 적합한 분포는 <표 8>에서 알 수 있듯이 Weibull 분포로 나타났다.

Weibull 분포에 대해 최우도법을 이용하여 매개변수를 추정한 결과 식(17)과 같이 도출되었다.

$$f(X) = \frac{\beta X^{\beta-1}}{\eta^\beta} \exp\left(-\frac{X}{\eta}\right)^\beta \quad (17)$$

<표 8> 4차로도로 적합도검정 결과

순위	밀도함수	통계량	P값	Ho
1	Weibull	0.0253	0.0458	Accept
2	BetaGeneral	0.0297		Accept
3	Lognorm	0.0415		Accept
4	InvGauss	0.0419		Accept
5	Pearson5	0.0434		Accept



<그림 4> 4차로도로 확률밀도함수 : Weibull

$$\beta(\text{continuous shape parameter})=1.443$$

$$\eta(\text{continuous scale parameter})=142.7$$

4차로도로의 적정 확률분포형인 Weibull 분포에 대한 세부적인 분석결과를 살펴보면, <그림 4>에서 알 수 있듯이 설계순위 24~305 사이가 Weibull 분포의 90.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 누적분포함수의 역함수를 이용하여 설계서비스수준 D, 즉 V/C 0.58~0.75 사이의 값을 구한 결과, 적정 설계순위 범위가 최소 139, 최대 188로 나타났다.

V. 확률적인 DDHV 산정식 정립

본 장에서는 2장~4장의 결과를 토대로 전통적인 중방향 설계시간교통량(TDDHV)과 확률적인 중방향 설계시간 교통량(PDDHV) 산정식에 대한 개념 차이 및 설계지침을 제시하고자 한다. TDDHV와 PDDHV의 가장 큰 차이점은 TDDHV는 양방향 교통량을 기초로 산정한다면, PDDHV는 중방향 교통량을 토대로 산정한다는 것이다. 중방향 교통량을 기준으로 한 DDHV 산정에 대한 합리적인 근거 및 타당성은 조준한 외2인(2008)에서 제시하였다.

전통적인 중방향 설계시간 교통량 산정식을 상위 30번째 시간교통량을 기준으로 했을 때 식(18)~식(21)과 같이 정의할 수 있다.

$$AADT = \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{8760} (A_i + B_i) \tag{18}$$

$$K_{30} = \frac{(A+B)_{30}}{\frac{1}{365} \sum_{i=1}^{8760} (A+B)_i} \tag{19}$$

$$D_{30} = \frac{Max(A_{30}, B_{30})}{(A+B)_{30}} \tag{20}$$

여기서, A_{30} 와 B_{30} 는 양방향 기준 설계순위 30, 즉 상위 30번째 시간교통량에서의 방향별 교통량을 의미한다.

$$TDDHV = AADT \times K_{30} \times D_{30} \tag{21}$$

반면에, 본 연구에서 제안한 확률적인 중방향 설계시

<표 9> PDDHV 산정을 위한 적정 계수값

구분	2차로	4차로
적정설계순위	190 (163~217)	164 (139~188)
PK계수	0.119 (0.100~0.139)	0.106 (0.097~0.114)
PD계수	0.568 (0.545~0.590)	0.571 (0.544~0.598)

간 교통량 산정식은 확률분포함수가 적용되어 식(22)~식(24)과 같이 정의할 수 있다.

$$PK = \frac{A_p + B_p}{\frac{1}{365} \sum_{i=1}^{8760} Max(A_i, B_i)} \tag{22}$$

여기서, A_p 와 B_p 는 확률적인 설계순위에 해당하는 시간교통량에서의 방향별 교통량을 의미한다.

$$PD = \frac{\frac{1}{365} \sum_{i=1}^{8760} Max(A_i, B_i)}{\frac{1}{365} \sum_{i=1}^{8760} (A_i + B_i)} \tag{23}$$

$$PDDHV = AADT \times PK \times PD \tag{24}$$

여기서, PK는 확률설계시간계수이며, PD는 확률중방향계수를 의미한다.

PDDHV 산정식에서 2차로/4차로로 구분하여 적정 설계순위, PK계수, PD계수에 대한 설계기준을 제시하면 <표 9>와 같다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형에 대해 실질적인 상시조사 자료를 통해 실험적 연구를 수행하였다. 확률적인 중방향 설계시간 교통량은 Gaussian integral를 이용한 교통량에 따른 링크 통행시간(link travel time)과 chance-constrained stochastic model를 이용한 링크통행시간 임계치를 비교하여 산출하였다.

확률적인 중방향 설계시간 교통량에 대한 설계순위

분포를 분석한 결과, 2차로와 4차로 모두 설계순위 101~200 사이에 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 일반적으로 설계순위가 증가할수록 TDDHV와 PDDHV의 계수인 K30, D30, PK, PD 값도 증가하는 것으로 나타났다. TDDHV의 K30계수 특성을 고려하면, 도시 부도로의 성격을 나타내는 지역은 설계순위가 낮고 지방 부도로의 성격을 나타내는 지역은 설계순위가 증가하는 것으로 나타났다.

확률적인 증방향 설계시간교통량 산정에 대한 실험적 결과를 토대로 적정 설계순위를 2차로/4차로에 대해 확률분포형을 적용하여 산출하였다. 16개의 확률분포형에 대해서 매개변수 추정은 최우도법을 이용하였으며, 적합도 검정은 Kolmogorov-Smirnov 검정을 적용하였다. 적정 설계순위 확률분포형을 살펴보면, 2차로도로의 경우 Beta General분포가 가장 적절한 것으로 나타났으며, 이 때 매개변수인 ν 는 2.331, ω 는 4.533, min는 4.350, max는 433.8로 추정되었다. 또한, 4차로도로의 경우 Weibull분포가 가장 적절한 것으로 나타났으며, 이 때 매개변수인 β 는 1.443, η 는 142.7로 추정되었다. 차로별 적정 확률분포형에 대해 누적분포함수의 역함수를 이용하여 설계서비스수준 D에 따른 적정 설계순위를 산정한 결과, 2차로는 190 순위, 4차로는 164 순위로 나타났다.

확률적인 증방향 설계시간 교통량 산정에서 새롭게 제시한 계수에 대한 적정값을 살펴보면, 2차로도로 경우 PK계수는 0.119(0.100~0.139), PD계수는 0.568(0.545~0.590)이며, 4차로도로 경우 PK계수는 0.106(0.097~0.114), PD계수는 0.571(0.544~0.598)로 분석되었다.

2. 향후연구과제

본 연구에서는 2차로와 4차로로 구분하여 적정 설계순위, PK계수, PD계수를 선정하였지만, 다양한 교통특성(도시부/지방부/관광부 등)에 대한 적정 설계순위 선정 및 PDDHV 산정에 대한 연구도 반드시 수반되어야 한다. 따라서 도로기능별, 교통특성별 도로분류(highway classification) 연구가 선행되어야 한다. 이러한 결과는 보다 세분화된 합리적인 설계기준을 정립할 수 있으며, '도로용량편람' 및 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙'에도 적용할 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 제시한 확률적인 증방향 설계시간교통량

모형은 BPR함수식을 이용하여 링크통행시간을 산출하게 된다. BPR함수식은 유일해를 찾기 위해 단조증가함수 형태를 가지는 모형식으로, 포화상태일 때는 그 값이 실제 교통류보다 과대평가되는 경향이 존재한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 본 연구는 신호교차로가 있는 간선도로를 대상으로 BPR식의 적정파라미터를 산정한 Skabardonis and Dowling(1996) 연구결과를 적용하였다. 하지만 거시적인 모형인 BPR식의 기본적인 단점을 보완하면서 한국 교통상황에 맞는 적정 파라미터 산정에 대한 연구가 필요하며, 아울러 국가교통DB에서 제공하는 보정된 파라미터를 이용한 비교분석을 통해 'BPR함수식 파라미터의 민감도분석'도 필요할 것으로 판단된다.

증방향 설계시간교통량 산정에 대한 방법론은 도로 및 교통의 실무에서 필수적인 요소로서, 실무측면에서의 적용가능성이 중요하다. 따라서, 본 연구의 분석과정 및 결과를 실무단계에서 적용하기 쉽도록 제안된 모형식 및 분석과정에 대해 전산프로그램으로 개발하거나 결과값을 토대로 회귀분석 등을 통한 산정 모형식을 별도로 개발하는 방법도 검토할 필요가 있다.

또한, 현장에서 쉽게 측정이 가능한 다양한 교통특성 변수를 개발하고 이에 따른 도로분류체계를 정립하여 교통특성에 따른 적정 설계순위 및 PDDHV에 대한 예측 모형을 개발하는 연구도 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008. 10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 건설교통부(1990, 2000), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
2. 건설교통부(1992, 2001), 도로용량편람.
3. 건설교통부(2007), 도로교통량 통계연보.
4. 도철웅(1998), 교통공학원론(상), 청문각.
5. 김정환(2000), "설계시간교통량 순위곡선을 이용한 설계시간계수", 한양대학교 석사논문.
6. 김윤섭·오주삼·김현석(2006), "관광지 종류별 일반국도 교통량의 시간별 특성 연구", 대한토목학회지, 제26권 제1D호, pp.23~30.

7. 문미경 · 장명순 · 강재수(2003), “설계시간교통량 산정방법 개선”, 대한교통학회지, 제21권 제5호, 대한교통학회, pp.61~71.
8. 배홍준(1999), “고속도로의 K치 산정을 위한 시간교통량 순위도 곡선 추정”, 한양대학교 석사논문.
9. 윤혁렬(1999), “설계시간교통량 산정 모형에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위논문.
10. 이상욱(2000), “고속도로 톨게이트의 D치 산정을 위한 중방향 시간교통량비 순위도 곡선 산정”, 한양대학교 석사논문.
11. 이장희(2005), “고속도로설계에 있어 권역별 K값 및 D값의 적용방안”, 한양대학교 석사논문.
12. 이용관(2001), “일반국도의 K산정을 위한 시간교통량 순위도 곡선 산정”, 한양대학교 석사논문.
13. 임성한 · 김윤섭 · 변상철 · 오주삼(2003), “AADT를 이용한 설계시간계수 추정”, 대한토목학회지, 23(1D), pp19~26.
14. 조준한 · 김성호 · 노정현(2008), “확률적인 중방향 설계시간 교통량 산정 모형에 관한 이론적 해석”, 대한교통학회지, 제26권 제3호, 대한교통학회, pp.199~209.
15. 조준한 · 한종현 · 김성호 · 이병생(2006), “일반국도 설계시간계수의 적정 확률분포 선정 및 추정”, 대한교통학회지, 제24권 제6호, 대한교통학회, pp.33~43.
16. American Association of State Highway and Transportation Officials (1994), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
17. Asakura Y, Kashiwadani M(1991), “Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow”, European Transport, Highway & Planning, 19, pp.73~84.
18. A. Skabardonis, R. Dowling(1996), “Improved speed-flow relationships for planning applications”, Transportation research record 1572, pp.18~23.
19. Bailey, M. J.(1981), “Estimation of design hour volume”, Journal Institute of Transportation Engineering, 51(8), pp.50~55.
20. B.M. Ayyub, R.H. McCuen(1997), Probability, statistic & reliability for engineers, Boca Raton, CRC Press.
21. Federal Highway Administration(1985, 2001), Traffic Monitoring Guide, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
22. Fisher, R.A(1992), On the mathematical foundations of theoretical statistics, Philosophical Trans. of the Royal Society of London, Series A, Vol. 222.
23. Harmelink, M. D.(1968), “Estimation of annual average daily traffic and thirtieth highest hourly volume”, Department of Highways Ontario. Report No. 140, Department of Highways, Ontario, Canada.
24. Heidi, J.J.(1965), “A method for estimating design hourly traffic volumes”, Highway Research Record 72, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.88~100.
25. H.J. Larson(1974), Introduction to probability theory and statistical inference, New York, Wiley.
26. M. Evans, N. Hastings, J.B. Peacock (2000), Statistical distributions, New York, Willey.
27. McShane, W. and R. Roess(1979), “Reexamination of Design Hour Volume Concepts”, Journal Institute of Transportation Engineering, 49(9), pp.45~49.
28. S.C. Port(1994), Theoretical probability for applications, New York, Willey & Sons.
29. S.C. Sharma(1992), “Reexamination of directional distribution of highway traffic”, Journal of Transportation Engineering, 118(2), pp.323~337.
30. S.C. Sharma, Y. Wu, S.N. Rizak(1995), “Determination of DDHV from directional traffic flows”, Journal of Transportation Engineering, 121(4), pp.369~375.
31. S.C. Sharma(1993), “Yearly variation of

directional distribution of highway traffic",
Journal of Transportation Engineering,
119(3), pp.478~484.

32. Transportation Research Board (2000),
Highway Capacity Manual, Special Report
209.

- ☞ 주 작성자 : 조준한
- ☞ 교신저자 : 김성호
- ☞ 논문투고일 : 2008. 10. 24
- ☞ 논문심사일 : 2009. 2. 16 (1차)
2009. 3. 27 (2차)
- ☞ 심사관정일 : 2009. 3. 27
- ☞ 반론접수기한 : 2009. 8. 31
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필