

신뢰도 기준에 근거한 도로설계 대안에 대한 교통안전성 평가

오 흥 운

경기대학교 도시교통공학과

(2010. 3. 29. 접수 / 2010. 12. 13. 채택)

Evaluation of Highway Design Alternatives Based on Reliability Criterion for Traffic Safety

Heung-Un Oh

Department of Urban and Transportation Engineering, Kyonggi University

(Received March 29, 2010 / Accepted December 13, 2010)

Abstract : It has been well known that traffic accidents occur under combined functional contributions of drivers, vehicles and road facilities, and that evaluation of safety levels for a specific road section or point is generally much complicated. Additionally, most of traffic accidents occur randomly implicating it is necessary to be evaluated in terms of probability theory. Thus, the evaluation model which reflects various characteristics and probabilistic distributions of traffic accidents has been necessary. The present paper provides a reliability based model with variables of probabilistic operating speeds and design speeds together which have been individually explaining associated characteristics in traffic accidents. Consequently, the model made it possible for speed management and road improvement projects to be evaluated in a common index. Application studies were performed in three cases. Through the studies, couples of facts were identified that the model successfully considered the probabilistic operating speeds and design speeds together and that then, the model evaluated road safety alternatives relatively which are complicatedly characterized and differently located.

Key Words : reliability index, traffic safety, design speed, observed speed, highway design

1. 서 론

교통사고는 운전자, 자동차 그리고 도로부분의 복합적 문제에 의해 발생한다. 운전자의 문제는 운전자의 부주의, 피로, 음주 및 약물중독, 실수 등에 의해 나타나고 자동차부분의 문제는 자동차의 이상이나 오작동에 의해 나타날 수 있다. 교통사고 통계에서는 운전자와 자동차부분의 문제를 동시에 설명하기 위하여 급작스런 부주의, 과속, 과격행들 조작, 난폭운전, 과속을 분류항목으로 사용하고 있다¹⁾. 그 통계상 도로 기하구조 부분의 문제를 설명하는 변수로는 비로인한 미끄럼 저항감소, 곡선반경 부족 등을 사용하고 있다. 따라서 이들 운전자부분과 자동차부분, 도로부분의 문제들 간의 관계를 정립하는 것은 특정지점의 교통안전성 평가에서 중요한 일이라 할 수 있다.

교통사고가 하나의 체계(system)안에서 발생한다고 가정할 때 이 체계 안에서 문제 요인들 간의 관계를 정립하는 것이 필요함을 알 수 있다. 이러한 관계에서 서로간의 관계에서 적정성이 떨어질 때 그 체계는 적정성이 떨어지고 결국 전체 체계의 작용이 실패한다 할 수 있다. 이러한 경우를 체계의 실패라고 하고 이러한 실패와 성공, 위험도 관계를 정립하는 것을 신뢰성 이론이라 한다²⁾.

신뢰성 수준을 측정하기 위하여 여러 가지 변수를 단순화시킬 필요가 있게 된다. 대부분의 경우 신뢰성 이론에서는 이 관계를 수요(demand, D)와 공급(capacity, C) 모델로 해석할 수가 있다²⁾. 구체적인 관계는 안전도(safety margin, SM)로 일반화가 가능하다. 안전도는 위 변수 공급과 수요의 평균값인 μ_C 와 μ_D 의 관계를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다²⁾.

* To whom correspondence should be addressed.
ohheung@kyonggi.ac.kr

$$SM = \mu_C - \mu_D$$

(1)

이 경우 SM가 0보다 큰 경우는 안전한 경우로 볼 수 있고 SM가 0보다 작은 경우는 안전하지 않은 경우로 볼 수 있다.

이러한 안전도와 관련하여 교통시설의 안전성 부문에서 일찌감치 체계적인 대응이 있어 왔다. 미국에서는 1930년대부터 설계속도개념을 채용해왔고 유럽에서는 설계속도를 85백분위 속도를 측정 혹은 추정하여 적용하고 있다³⁾. 또 다른 한편에서는 주행속도에 제한을 두는 정책을 다양한 방법으로 시행하고 있다. 국내의 도로 구조시설기준에서는 도로설계 과정에서 설계요소의 연관관계를 위하여 설계속도를 설정하였고 국내의 도로교통법에서는 자동차의 속도를 계획된 안전도 범위, 즉 설계속도와 상대적인 범위 안에 두기 위하여 제한속도를 두고 있다. 이를 볼 때 설계속도와 제한속도 개념은 이미 전 세계에서 보편적으로 사용하고 있는 것으로 보인다.

신뢰성 모델에 근거할 때 설계속도는 공급 요인(capacity, C)에 해당하고 자동차의 실제 주행속도는 수요요인(demand, D)에 해당한다고 할 수 있다. 따라서 실제 주행속도 평균 μ_D 가 도로의 공급요인에 관한 속도 평균 μ_C 보다 큰 경우는 SM이 0보다 작은 상태가 된다. 이 경우 시스템은 실패한 상태로 간주할 수 있고 교통사고 위험이 더 큰 상태로 간주할 수 있다.

한편 위에서 언급한 신뢰도 개념은 단지 결정론적(deterministic)인 신뢰도 개념에 해당한다. 변수의 두 평균값을 상대적으로 비교하여 판단을 하는 개념이기 때문이다. 그러나 하나의 변수 값이라도 다양성을 고려할 필요가 있다. 그 이유는 안전도는 다른 일반적인 변수들과 마찬가지로 확률적인(probabilistic) 특징을 가지기 때문이다²⁾. 즉 수요(D)나 용량(C)은 확률적으로 변화하는 확률적 분포를 가지는 경우가 대부분이기 때문이다. 이런 경우에 안전도(SM)은 똑 같이 확률적 분포를 가지게 되고 위의 함수는 확률적 분포의 함수로 나타낼 수 있다. 변수변환을 사용하고 변수간의 독립성의 가정이 가능하게 될 때에는 식의 단순화가 이루어질 수 있고 식 (2)이 가능하다. 여기서 β 는 신뢰도 지수라

고 표현될 수 있고 μ_C 와 μ_D 는 공급 요인과 수요요인의 평균값을 나타내고 σ_C 와 σ_D 는 그 표준편차를 나타낸다²⁾. Table 1에서는 일반적인 경우에 신뢰도 지수와 관련된 위험도와 필요한 대응에 대하여 기술하고 있다.

$$\beta = \frac{\mu_C - \mu_D}{\sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_D^2}} \quad (2)$$

2. 교통안전성 평가에 적용

신뢰도지수를 이용하면 설계속도와 주행속도의 평균값차이와 설계속도 표준편차, 주행속도 표준편차를 동시에 감안할 수 있게 된다. 이 경우 기존의 단순한 변수의 평균적 표현보다는 편리하게 되는데, 교통사고의 해석에서 설계속도의 역할과 주행속도의 확률적 역할이 하나의 지표로 표현될 수 있게 된다. 이에 따라 주행속도와 설계속도가 동시에 관련된 도로 및 교통안전 조치가 있을 경우 하나의 지수로 평가 할 수 있게 되고 결과적으로 여러 유사한 다른 조치, 사례, 대안의 상호간 비교 평가도 할 수 있게 된다.

2.1. 설계속도의 특성

설계속도는 주어진 조건에서 운전자가 쾌적성을 잃지 않고 주행할 수 있는 최저속도^{4,5)}라고 정의되므로 설계 시에는 특정단면이나 특정구간에서 설계요소별 설계속도는 다르게 적용이 될 수 있다. 또한 설계법상의 필요로 인해 평면선형, 종단선형, 횡단선형에서 일부분에서 미시적으로 작은 설계속도가 불가피하게 적용 될 수 있다. 예를 들면 곡선부에서 편경사 변화가 완회구간의 후반에 일어나게 설계한 경우에는 곡선반경 변화, 즉, 평면곡선의 대표 설계속도가 변화하는 위치와 편경사 변화가 일어나는 위치가 다르게 될 수 있다. 이런 도로를 운전자가 운전하게 되는 경우 횡단 상에서만 역학적으로 불리하거나 위험한 편경사 변화를 경험하게 되지만 운전자가 입상에서는 특정 도로 단면이 불리하거나 위험하다고 느끼게 된다. 그러므로 결국

Table 1. Comparison of reliability indices and risks

구분	β	Description	Risk	Response needed
$\mu_C - \mu_D < 0$	$\beta < 0$	Capacity is less than Demand	Failure of a system	to increase capacity
$\mu_C - \mu_D = 0$	$\beta = 0$	Capacity equals to Demand	Equilibrium of system	none
$\mu_C - \mu_D > 0$	$\beta > 0$	Capacity is greater than Demand	System good	none

Table 2. Contributing factors on elements of design speeds ^{4,5)}

Elements	Physical factors	Engineering judgement factors
Radius	Friction factor, cross slope	Feasibility, region(urban or rural), existence of entry/exit
Cross slope	Friction factor, radius	Feasibility, region(urban or rural), existence of entry/exit, drainage, cross slope of entry/exit, winter climate
Longitudinal slope	Length of slope	Feasibility, region(urban or rural), existence of entry/exit, constructability, existing terrain, heavy vehicle performance
Slope change rate of longitudinal curve	Sight distance	Feasibility, region(urban or rural), existence of entry/exit, constructability, existing terrain,

은 설계속도는 보통의 경우 해당노선 최초설계시의 대표 설계속도가 되지만 일부 열악한 조건을 가진 단면에서는 대표되는 설계속도 보다 다른 혹은 낮은 평균설계속도를 가질 수 있게 된다. 또한 이 현상은 운전자 입장에서도 느낄 수 있게 된다.

실무적인 도로의 설계과정이나 도로의 운영과정에서 적용되는 설계속도는 설계자의 주관에 의해 다양한 스펙트럼을 가진다. Table 2에서 보는 바와 같이 세부적인 설계속도와 관련된 요소는 편경사, 종단경사변화율, 추월차로길이, 가속차로 길이, 오르막경사, 포장면의 저항 마찰 계수등 다양하다. 다양한 요소만큼 실제로 설계에 적용된 설계속도는 현장조건, 시공성, 일기, 공학적 판단 등을 고려할 때 더 다양하다. 즉 설계속도는 상세한 부분의 적용에서 주관적일 수 있고 다양한 스펙트럼을 가지게 된다.

따라서 운전자가 도로를 운전하면서 마주치는 설계속도의 형상은 복잡하다. 예를 들면 도로의 어떤 특정지점에서 곡선반경은 80km/h에 적합한데 편경사는 60km/h에 적합하고 종단경사는 100km/h에 적합한 상황이 있을 수가 있다. 이 경우 운전자의 선택은 그 중 최소 설계속도의 값을 판단하여 대응하여 운전하면 된다고 할 수 있으나 그러한 대응이 실제 교통사고 사례와 인지반응 시간과 인지능력을 고려했을 때 가능하다고는 할 수 없다. 또한 설계속도 편차의 크기도 중요할 수 있는데 위의 사례에서는 운전자가 마주치는 설계속도의 표준편차는 20km/h나 될 수 있다. 그동안의 도로설계 사례에서는 설계속도의 편차에 대하여는 설계의 일관성이란 이름으로 표현이 되고 있다. 그리고 다양한 연구와 실제 교통운영사례에서 설계속도의 편차가 교통사고와 상관관계가 깊다는 것을 보여주고 있다⁶⁻⁸⁾.

2.2. 주행속도의 특성

주행속도의 평균은 대개 특정 지점이나 구간에

서 속도를 관찰하여 그 산술평균으로 산정한다. 최근에는 교통단속에서 구간을 정하여 통과한 차량의 구간 주행속도가 많이 도입되고 있다. 속도편차는 대개의 경우 차량별 표준편차, 차로별 표준편차, 개별차량의 속도를 확률적 표현으로 나타낸다. 일반적으로 관련된 변수는 변동계수(coefficient of variation), 차량 간의 속도차, 속도차의 표준편차로 분류된다⁹⁾. 교통사고와의 관계에서는 차량 간의 상충을 일으킬 수 있는 차량 간의 속도의 차를 의미한다, 교통사고와 차량의 속도차이와 관계는 많은 연구가 진행되어 왔다. 일반적으로 차량의 평균속도가 클수록 속도가 교통사고의 심각도는 증가하고 차량 간의 속도차가 클수록 교통사고는 증가한다고 알려져 있다¹⁰⁾. 그러므로 차량 간의 속도 분산 혹은 표준편차가 크다면 이는 설계속도의 편차와 큰 경우와 마찬가지로 교통사고에 영향을 줄 수 있다.

운전자속도와 설계속도를 고려한 신뢰도지수의 표현은 식 (3)을 활용하여 나타낼 수 있다. 이 경우 μ_{CS} , μ_{DS} , σ_{CS} , σ_{DS} 는 각각 설계속도의 평균, 운전자속도의 평균, 설계속도 속도의 표준편차, 주행속도의 표준편차를 나타낸다.

$$\beta_c = \frac{\mu_{CS} - \mu_{DS}}{\sqrt{\sigma_{CS}^2 + \sigma_{DS}^2}} \tag{3}$$

여기서 신뢰도지수의 크기에 따른 자세한 설명이 가능하다. 첫째로 평균속도 μ_{CS} , μ_{DS} 의 차이가 양수 인 경우는 주행속도나 설계속도의 분산이 커지면서 신뢰도지수의 감소를 가져 올 수 있다는 점을 알 수 있다. 이는 주행속도 편차의 증가가 교통사고 측면에서 불리하다는 기존의 이론을 설명할 수 있게 된다^{9,10)}. 한편 평균속도인 μ_{CS} , μ_{DS} 의 차이가 음수인 경우, 즉 설계속도보다 주행속도가 큰 경우는 속도편차를 크게 하면 신뢰도지수의 증가를 가져 올 수 있게 된다. 즉 편차를 크게 하는 것이 교통

사고를 줄이는 면에서 유리하다는 것을 의미하게 된다. 이를 다시 해석하면 설계속도가 주행속도보다 작고 교통사고가 일어날 확률이 큰 경우에 설계속도나 주행속도의 편차를 크게 하는 조치를 취하면 교통사고를 줄일 수 있게 된다는 해석이 가능하게 된다. 즉, 저속의 운행하는 차량이 많아지게 하거나 고속의 설계속도를 부분적으로 유지할 수 있어야 사고를 감소시킬 수 있다는 해석을 할 수가 있다.

그러므로 신뢰도지수에 근거하여 교통안전이나 도로설계개선 대안을 검토할 때는

- 1) 신뢰도 지수를 가능하면 크게 하는 대안이나 조치가 바람직하고
- 2) 신뢰도지수가 양수일 경우(평균설계속도가 평균주행속도보다 큰 경우)에는 설계속도의 속도편차와 주행속도의 속도편차를 작게 되도록 도로개선 및 교통안전의 조치를 함이 바람직하고
- 3) 신뢰도지수가 음수일 경우(평균설계속도가 평균주행속도보다 작은 경우)에는 가급적 신뢰도지수가 양수가 되도록 변경시키기 위해 도로개선 및 교통안전의 조치를 하되 불가능한 경우에는 설계속도의 속도편차와 주행속도의 속도편차를 각각 크게 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

3. 신뢰도 지수의 적용

3.1. 적용개요

교통사고 개선을 위한 대안은 크게 두 가지 종류이다. 첫째는 설계속도를 증가시키는 것이고 둘째는 주행속도를 감소시키는 것이다. 위에서 기술된 바와 같이 설계속도를 개선하는 방법은 도로설계요소별로 매우 다양하다. 설계속도를 개선하는 방법과 마찬가지로 주행속도를 개선하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 일반적으로 단속목적의 과속단속카메라를 많이 사용하고 있다. 그동안의 연구에서 과속단속카메라는 교통사고를 줄이는 데 아주 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있고¹¹⁻¹³⁾, 사망자감소효과가 17% to 71%에 달하는 것으로 보고되고 있다¹⁴⁾.

신뢰도지수의 적용을 위하여 고속도로 교통사고가 다발하는 세 구간에서 교통사고 감소 대안 검토를 하였다. 첫째 지점은 중부내륙고속도로 감곡 인터체인지는이다. 이 지점은 램프노우즈에서 설계

속도와 주행속도의 개선 관계를 신뢰도 지수에 적용하여 평가하였다. 두 번째 지점은 중앙고속도로 입구인 춘천인터체인지 연결로부이다. 이 지점은 연결로에서 설계속도와 주행속도의 개선 관계를 신뢰도 지수에 적용하여 평가하였다. 세 번째 지점은 88고속도로 추월사고 다발구간을 정하였다. 본 지점은 추월의 수요(demand)와 추월이 불가능한 기하구조(capacity)를 평균자유속도와 평균설계속도로 가정하여 그 개선 관계를 신뢰도 지수에 적용하여 평가하였다.

3.2. 인터체인지 노우즈 교통사고 개선

첫 번째로 고속도로 연결로 노우즈부에서 교통사고 다발구간에서 신뢰도지수를 적용을 하였다. Table 3은 개선대안들의 공학적 조건을 나타내고 Table 4는 개선대안에 따라서 신뢰도지수를 적용한 신뢰도지수(reliability index)와 안전도(margin)수치들을 나타낸다. Table 3에서 나타난바와 같이 본 구간은 중부내륙고속도로에서 램프노우즈 전후에서의 편경사 변화의 존재로 교통사고가 빈번한 구간이다. 램프 노우즈에서 주행속도를 관찰한 결과 평균주행속도 73km/h와 매우 큰 속도 표준편차인 12.4(분산값은 154)가 관찰 되었다. 노우즈 속도 관찰 방법은 현지에서 감속차로 후방 범면위에서 레이저속도측정기를 사용하여(500m가 유효범위) 노우즈를 지나가는 차량의 속도를 측정하는 방법으로 하였다. 단독주행 차량을 위주로 측정하였고 낮 시간에 측정하였다. 측정횟수는 50회 이상으로 하였다.

한편 현재의 노우즈 편경사를 관측한 결과 노우즈 지점에서 편경사는 설계속도 50km/h에 적합한 것으로 계산되었다. 첫 번째 개선안(After 1)에서는 감속차로에 과속단속카메라를 설치하는 방안을 고려하였고 두 번째 개선안(After 2)에서는 감소차로 길이를 증가하여 감속속도를 줄이도록 하였고 노우즈에서 편경사가 70km/h에도 문제가 없도록 제시하였다.

Table 4에서는 Table 3에서 보여준 기존(before)과 개선1안(after 1), 개선2안(after 2)의 조건들을 이용하여 신뢰도지수를 산출하고 비교한 것을 보여주고 있다. 각 해당 조건들을 사용하여 평균과 분산(avg/var)을 산출하였고 식 (3)의 신뢰도 지수를 사용하여 신뢰도 지수를 산출 하였다.

기존의 기하구조(before)는 한국도로공사 설계기준에 의하여 설계속도 60km/h에 의하여 결정되었

Table 3. Comparison of conditions over exit nose improvements

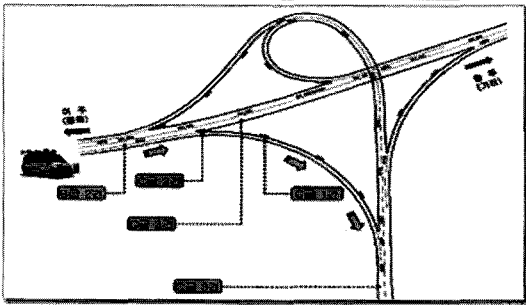
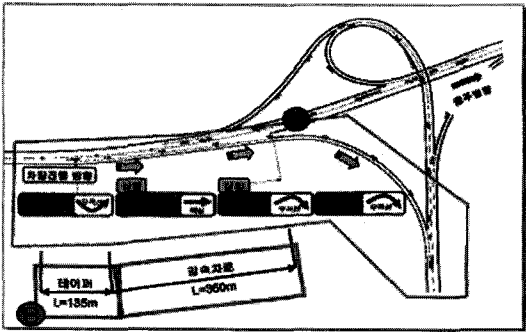
	Schematic	Description
Before		<ul style="list-style-type: none"> - Accidents around exit nose - Length of deceleration lane : 190m - Avg and variation of Speeds at nose: 73km/h, 154 - Cross slope at nose: good for max. 50km/h
After1	Speed camera installed at ramp nose point with speed limits of 60km/h	Speed limits :50km/h
After2		<ul style="list-style-type: none"> - Length of deceleration lane extended to 360 m - Cross slope of nose increased for 70km/h

Table 4. Reliability index changes over exit nose improvements

Before							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	73/154	60	60	40	56/133
Reliability Index	-1.16(87% of Failure Prb.)						
Speed margin	-17km/h						
After 1(Running speed control at 60km/h)							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	60/75	60	60	40	56/133
Reliability Index	-0.28 (61% of Failure Prb.)						
Speed margin	4km/h						
After 2(Geometric improvement)							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	62/111	60	60	70	63/33
Reliability Index	0.11(46% of Failure Prb.)						
Speed margin	1km/h						

음을 알 수 있었다. 그러나 곡선반경기준과 종단선형기준과는 달리 횡단선형기준의 편경사는 특정단면인 노우즈부분을 기준으로 했을 때 편경사가 작

아서 곡선반경 206m에서 설계속도 40km/h에 적합함을 알 수 있었다.

Table 4에서 그에 따른 신뢰도지수는 -1.16으로

나타났다. 개선전의 신뢰도지수인 -1.16의 의미는 정규확률분포를 가정했을 때 설계속도와 관찰속도 간 적정관계의 실패확률이 87%임을 의미한다. 이 의미는 교통사고 확률이 87%에 달한다고 하기는 어렵다. 이 상황은 관찰된 자동차 속도를 고려했을 때 도로의 물리적인 조건(설계속도)이 충분하지 못하다고 정의 할 수 있다. 다시 말하면 도로의 기하구조조건이 불충분한 확률이라고 정의 할 수 있다. 기하조건이 불충분한 확률이 높으면 자동차의 특성과 운전자의 실수와 더해져 교통사고로 연결될 가능성이 커진다고 할 수가 있다.

개선1안(after 1)에서 주행속도를 개선하는 방법으로 속도 카메라를 설치하는 것을 가정하였다. 과속단속카메라를 이용하여 램프속도를 60km/h로 성공적으로 줄였을 때 신뢰도지수는 -0.28이었다. 기

하조건 불충분 확률은 61%이다.

개선2안(after 2)에서 설계속도를 위주로 개선하였는데 감속차로 길이를 늘리고 편경사를 개선하였다. 감속차로의 길이를 증가시킨다는 의미는 감속차로의 종점부에서 속도를 감소시키는 것이다^{4,5)}. 설계기준에 따라 계산한 결과 감속차로 길이에 따라 주행속도를 62km/h로 감소시키는 것으로 예측 되었다. 또한 노우즈부를 직선부에 두어 노우즈부에서 설계속도를 70km/h까지 증가시켜 개선하였다. Table 4에서 같이 개선2안(after 2)의 신뢰도지수는 1.11이 되었고 46%의 기하조건 불충분 확률을 보였다. 신뢰도지수 비교결과 개선1(after 1)처럼 단순하게 과속단속카메라를 설치하는 것보다 개선2안(after 2)이 더 나은 교통안전 개선안이라고 판단할 수 있다.

Table 5, Comparison of conditions over curved ramp improvements

	Schematic	Description
Before		<ul style="list-style-type: none"> - Accidents at curved ramp - Avg and variation of speeds at ramp: 62km/h, 59 - Radius at ramp is 150m : good for 60km/h - Longitudinal slope change rate is 14.45m/%: good for 50km/h - Cross slope: 6%
After2,3		Speed limits : 60, 50km/h
After4		<ul style="list-style-type: none"> - Cross slope change to 8%(Design speed increased to 70km/h) - Longitudinal slope change rate to 20m/%(Design speed increased to 70km/h)

3.3. 연결로 곡선부에 적용

두 번째로 신뢰도 지수를 고속도로 연결로 교통 사고 대안들에 적용하였다. 대상 연결로는 중앙고속도로에서 춘천인터체인지 고속도로 입구부로 교통사고가 빈번한 구간이다. Table 5는 개선대안들의 공학적 조건을 나타내고 Table 6은 개선대안에 따라서 신뢰도지수를 적용한 신뢰도지수(reliability index)와 안전도(margin)수치를 나타낸다. Table 5에서와 같이 본 연결로에서 주행속도를 관찰한 결과 평균통행속도 62km/h와 속도 표준편차인 7.4분산값 55)가 관찰 되었다. 속도 관찰 방법은 현지에서 레이저속도측정기를 사용하여(500m가 유효범위) 국도 5호선 측에서 멀리서 곡선부에서 진입속도를 측정하는 방법을 사용하였다. 단독주행 차량을 위주로 측정하였고 낮 시간에 측정하였다. 측정횟수는 50회 이상으로 하였다.

연결로 중심부에서 종단경사변화율을 도면으로부터 수집하였다. 종단경사변화율은 종단시저와 직접적인 관계를 갖는 주요 변수이다^{4,5)}. 기존의 종단경사 변화율은 14.45m/%로 50km/h에 적합한 수준

이었다. 곡선반경을 고려한 설계속도는 60km/h가 적당한 수준이었다. 개선안은 두 가지 방향, 즉 과속단속카메라를 이용하여 속도를 줄이는 개선과 종단경사 변화율을 개선하는 것을 고려하였다. 과속단속카메라를 이용한 주행속도 개선은 두 가지 그리고 연결로 전체의 개선방안 한 가지를 제시하여 총 세 가지를 비교하였다.

Table 6에서와 같이 기존(before)의 평면곡선의 경우 설계속도의 경우 설계기준에 의하면 60km/h가 적당한 수준 이었다. 그러나 종단곡선변화비율은 연결로 중심에서 14.45m/%로 최저수준이었고 설계속도 50km/h에 적합함을 알 수 있었다. Table 6에서와 같이 이에 따른 신뢰도지수는 -0.55로 나타났다. 개선전(before)의 신뢰도지수인 -0.55의 의미는 신뢰도 분포가 정규확률분포를 따른다고 가정했을 때 실패확률이 71%임을 의미한다. 이는 위에서와 같이 기하조건 불충분확률이 71%라고 할 수 있다. 이미 언급한 바와 같이 기하조건 불충분 확률이 높으면 자동차의 특성과 운전자의 실수와 더해져 교통사고로 연결될 가능성이 커진다고 할 수가 있다.

Table 6. Reliability index changes over curved ramp improvements

개선전							
Elements	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	62/59	60	50	60	56/33
Reliability Index	-0.55 (71% of Failure Prb.)						
Speed margin	-6 km/h						
After 1(Running speed control at 60km/h)							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed (capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	60/55	60	50	60	56/33
Reliability Index	-0.42(56% of Failure Prb.)						
Speed margin	-4km/h						
After 2(Running speed control at 50km/h)							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	50/38	60	50	60	56/33
Reliability Index	0.71(24% of Failure Prb.)						
Speed margin	-4km/h						
After 3(Longitudinal geometric improvement)							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	62/59	60	70	70	67/33
Reliability Index	0.38(34% of Failure Prb.)						
Speed margin	5km/h						

Table 5의 개선1(after1)에서는 과속단속카메라를 통하여 속도를 낮추어 주는 방법을 적용하였다. Table 6에서 램프 곡선부에서 신뢰도지수는 -0.42가 계산되었다. 개선2(after2)에서는 과속단속카메라를 이용하여 제한속도를 50km/h로 낮추는 방법을 적용하였다. Table 6에서와 같이 신뢰도지수는 0.71로 더 우수하게 나타났다. 고속도로 본선이 아닌 고속도로 입구부이므로 주행차량을 저속으로 관리가 가능하므로 단기적으로 적용할 수 있는 방법이고 우수한 대안이라고 할 수 있다. 개선3(after 3)에서는 설계속도를 개선하되 두 가지 면에서 개선을 적용하였다. 첫 번째로 횡단선형에서 편경사를 증대시켜주고 종단경사에서 종단경사 변화율을 개선하여 주었다. 관찰 혹은 주행속도는 일정하다고 가정하였다. 종단경사변화율은 14m%에서 20m%로 편경사변화율은 6%에서 8%로 변경하였다. 이에 따라 Table 6에서와 같이 설계속도는 평균 67km/h로 증가하였고 신뢰도지수는 0.38로 계산되었다. 이는 34%의 기하조건 불충분 확률을 나타낸다. Table 6에서 위의 세 가지 대안을 비교한 결과 단기적으로 과속단속카메라적용으로 주행속도를 낮추는 것이 가장 바람직함을 알 수 있다.

3.4. 2+1 도로로 개선에 적용

교통사고 다발구간으로 알려져 있는 왕복 2차로 도로인 88고속도로 일부구간에서 신뢰도지수를 적용을 하였다. Table 7은 개선대안들의 공학적 조건을 나타내고 Table 8은 개선대안에 따라서 신뢰도지수를 적용 한 신뢰도지수(reliability index)와 안전도(margin)수치를 나타낸다. 88고속도로는 80km/h의 설계속도를 가진 왕복 2차로 고속도로이며 추월차로가 없어 운전자의 불편이 있고 이로 인한 무리한 추월로 교통사고를 자주 일어나고 있는 도로이다. Table 7에서와 같이 과속단속카메라와 2+1 도로로의 개선 등 두가지 계획에 적용되었다. 88 고속도로에서 사고가 많은 고령부근의 특정구간에서 이를 적용하였다.

왕복 2차로 도로에서는 독특한 운전행태가 존재한다. 운전자는 자유속도로 주행하고 싶어 하고 군집운행을 꺼려하며 자유속도와 군집속도의 차이가 있을 때 이를 불편하게 여기고 운전자는 반대방향 차로를 이용하여 반대차로의 영향이 없을 때 추월하려고 한다. 이러한 상황에서 운전자가 성공적으로 판단하여 행동하지 못할 때 충돌, 추돌 혹은 전복사고 등이 일어난다고 할 수 있다. 이 구간의 해석으로 위하여 수요속도와 용량속도 개념으로 접

Table 7. Comparison of conditions over 2 way 2 lane highway improvements

	Schematic	Description
Before		<ul style="list-style-type: none"> - 3 Head-on and 5 turn over accidents / 3years - 84km/h of avg free flow speed with variance of 55(demand speed=84km/h) - Average Platoon speed: 78km/h (design speed=78km/h)
After1	<p>Speed camera installed with speed limits of 80km/h, to decrease platooned speeds. Lower than speed limit of 80km/h is practically impossible.</p>	Speed camera to decrease avg free flow speed equal to platooned speeds
After2		<ul style="list-style-type: none"> - Passing lane to provide chance of free flow running - 2+1 highway design increase platooned speeds equal to avg free flow speed

근하였다. 수요속도의 의미는 이 구간에서는 추월 하고자하는 운전자가 불편을 느끼지 않는 자유속 도로 정의하였다. 용량속도는 관찰된 자동차들의 군집운행 속도로 정의하였다. 이는 주어진 조건에서 도로가 제공하는 최대한의 속도라고 정의할 수 있다. 운전자가 다른 차의 주행조건에 의해 제약이 있는 상태를 의미한다.

속도 관찰은 현지 관찰을 통하여 이루어졌다. 현지에서 168.5km 지점에서 길어깨 부근의 도로면 외 측에서 첫번째 곡선(168km)을 진입하는 차량의 속도를 측정하였다. 레이저속도측정기를 사용하여 차량의 후방에서 속도를 측정하는 방법으로 하였다. 단독주행 차량을 위주로 측정하였고 낮 시간에 측정하였다. 측정횟수는 50회 이상으로 하였다. Table 7에서와 같이 본 구간에서 관찰한 평균자유속도는 84km/h로 관측되었다. 또한 평균군집속도는 78km/h로 관찰되었다. 따라서 두 속도의 차이 즉 수요속도와 용량속도의 차이를 줄여주기 위해서는 첫 번째 방법 (after1)으로 과속단속카메라를 설치하여 자유속도를 줄여주는 방안을 제시하였다. 두 번째 방법(after2)으로 2+1 추월차로의 부여로 군집운행 중인 차량이 저속차량을 추월하도록 하는 방법이 제시되었다. 연속적 추월차로 부여방안인 2+1차로 도로로는 유럽에서 주로 활용되는 방법으로 2차로에서 4차로도로로 확장하기 중간단계에서 교통량에 따라 규칙적 추월차로를 배치하여 군집운행을 줄

여주는 방안이다. 추월차로 운영으로 운전자는 자유속도를 방해받지 않고 운행할 수 있게 된다.

Table 8에서와 같이 신뢰도지수 평가를 하였다. 기존 상태(before)에서 관찰된 군집운행이 없는 자유속도는 84km/h이었고 그 분산은 55였다. 또한 군집운행속도는 78km/h이었다. 이에 따라 군집 운행시 6km/h 자유속도와 군집운행 속도와 속도차이가 나타나고 이러한 속도차가 추월시도의 원인이라고 판단할 수 있었다. 기존 상태(before)에서 신뢰도지수는 -0.85로 나타났다. 기존상태(before)의 신뢰도 지수인 -0.85의 의미는 신뢰도 분포가 정규 확률 분포를 따른다고 가정했을 때 자유속도나 단독운행이 실패한 군집운행을 하는 경우가 80%임을 의미한다. 이는 위에서와 같이 기하조건이 불충분한 확률이 80%라고 간주할 수 있다. 이미 언급한 바와 같이 기하조건 불충분 확률이 높으면 자동차의 특성과 운전자의 실수와 더해져 교통사고로 연결될 가능성이 커진다고 할 수가 있다.

개선 1안(after1)은 단순히 과속단속카메라를 통하여 자유속도를 제어하는 상황이다. 자유속도와 군집운행속도를 같게 하는 경우 자유속도는 80km/h로 낮아지고 신뢰도지수는 -0.28로 산출된다. 여기서 단속속도는 전후 다른 구간의 주행속도를 고려할 때 80km/h 미만은 바람직하지 않다고 할 수 있다.

개선 2안(after2)은 2+1차로 상황이다. 즉 자유속도와 군집속도의 차가 없는 균형 상태이다. 즉 모

Table 8. Reliability index changes over 2 way 2 lane highway improvements

Before							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	84/55	-	-	-	78
Reliability Index	-0.85(80% of Failure Prb.)						
Speed margin	-6km/h						
After 1(Running speed control at 80km/h)							
Elements	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	80/49	-	-	-	78
Reliability Index	-0.28(61% of Failure Prb.)						
Speed margin	0km/h						
After 2(Geometric improvement to 2+1 highway)							
Element	Running Speed(demand)			Design Speed(capacity)			
	Lane 1	Lane 2	Overall	Plane	Longitudinal	Cross sectional	Overall
Avg/Var	-	-	84/55	-	-	-	84
Reliability Index	0.0(50% of Failure Prb.)						
Speed margin	0km/h						

든 운전자는 군집 운행중 일정한 추월구간을 만나게 되고 추월을 통해 자유속도로 주행이 가능하게 된다. 이 경우 공급속도와 수요속도와의 차가 0이므로 신뢰도지수는 0으로 계산이 된다. 신뢰도지수 0인 경우 기하구조 불충분 확률은 50%라고 판단할 수 있다²⁾. 여기서 다시 한 번 신뢰도 지수의 특성을 파악할 수 있다. 일반적으로 결정론적 방식에서 자유속도와 군집속도와 차이가 같으면 분산이 0이므로 실패확률이 0%라고 할 수 있으나 분산이 존재하는 확률론적 상황(이 상황이 현실계에서는 더 적합한 상황으로 간주 될 수 있음)에서는 50%는 만족하지 못하는 상황으로 나타난다.

개선1안의 결과와 개선 2안의 결과를 비교하여 볼 때 개선 2안의 결과가 더 나은 것으로 나타났다. 다시 말하면 2+1도로가 신뢰도 측면에서 우수한 대안이 될 수 있음을 알 수 있다. 이를 통하여 신뢰도 이론이 군집주행속도와 자유속도의 불일치로 인한 충돌사고를 설명하는 지표로 사용할 수 있음을 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 신뢰도 지수를 교통안전평가와 도로설계의 지표로 활용하기 위해 신뢰도 지수를 교통안전 평가에 도입하였다. 신뢰도 지수의 도입으로 도로 교통안전 상황에 대한 평가에서 설계속도와 주행속도의 차이를 고려하고 이들 변수의 편차를 또한 고려할 수 있는 방법을 제시할 수 있게 되었다. 제시된 신뢰도 지수를 도로개선 및 교통안전 개선 상황에 도입을 하여 그 적정성을 평가하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론이 가능하였다.

첫째 신뢰도 기준 평가는 주행속도와 설계속도의 관계 그리고 이들 편차를 고려하여 하나의 지수로 교통안전성을 평가할 수 있었다. 이에 따라 고속도로 특정구간이나 지점에 대하여 설계속도와 주행속도를 동시에 고려한 교통안전 신뢰도를 도출할 수 있게 되었다.

둘째 교통안전 개선사업의 다양성에 대응하여 신뢰도를 제시할 수 있었다. 그동안 도로시설을 개선하는 설계속도의 개선과 단속을 통하여 주행속도를 낮춰 개선하는 대안에 대한 평가를 상대적으로 비교 어려웠으나 신뢰도 지수를 통하여 이에 대한 비교 평가가 가능하였다.

셋째 편차에 대한 고려를 한 신뢰도를 제시하였다. 설계속도 편차와 주행속도 편차는 교통사고의

원인요소로 알려져 있으나 이를 동시에 평가하기는 어려웠다. 신뢰도 지수의 도입으로 이들 변수간의 영향 관계가 평가될 수 있었다.

그러나 신뢰도지수 도입과정에서 연구의 한계와 장래 개선의 필요성을 발견할 수 있었다. 각 신뢰도 지수에 사용된 변수는 교통사고와의 연관성을 직접적으로 정확하게 설명하기는 어렵다. 따라서 교통사고와의 관계를 설명할 수 있는 세밀한 파라메타의 개발을 통하여 신뢰도 지수의 보정이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 보정은 도로의 종류별, 개선방안 특성별로 다양하게 이루어 질 것으로 판단된다. 또한 신뢰도지수는 교통사고 감소지수 (accident reduction factor)와의 비교도 가능할 것으로 생각된다. 특히 신뢰도지수를 통하여 교통사고 감소지수를 해석할 수도 있을 것으로 판단된다. 이러한 세밀한 보정은 여러 가지 도로안전 사업의 실행에서 신뢰도를 상호비교를 가능하게 하고 교통사고 평가의 객관성을 높일 것으로 판단된다.

감사의 글 : 본 연구는 2009학년도 경기대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- 1) Korea Expressway Corporation, "Traffic accident statistics in Korea", 2010.
- 2) M.E. Harr, "Reliability Based Design In Civil Engineering", Dover Publication, New York, 1996.
- 3) P. Abishai, C.M. Poe and J.M. Mason, "Review of International Design Speed Practices in Roadway Geometric Design", International Symposium on Highway Geometric Design Practice, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 5-1, 1998.
- 4) Ministry of Land, Transportation and Maritime, "Highway Design Ordinance", 2010.
- 5) American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 2004.
- 6) D. Wooldridge, "Geometric Design Consistency on High-speed Rural Two-lane Roadways", NCHRP 502, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003.
- 7) FHWA, "Evaluation of Design Consistency Methods for Two-Lane Rural Highways, Technical Report", FHWA-RD-99-174, 1999.
- 8) Y. Hassan, "Establishing Practical Approach for De-

- sign Consistency Evaluation”, ASCE J. of Transportation, Vol. 127, No. 4, pp. 295~302, 2001.
- 9) K. Fitzpatrick, P. Carlson, M. Brewer and D. Wooldrige, “Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Limit Practices”, 82nd Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2003.
 - 10) N.J. Garber and R. Gadiraju, “Factors Affecting Speed Variance and Its Influence on Accidents”, Transportation Research Record No. 1213, pp. 64~71, 1989.
 - 11) D. Kang, “Speed cameras”, Traffic Technology and Policy, Vol. 3, No. 1, Korean Society of Transportation, pp. 173~178, 2006.
 - 12) J. Park, Y. Lee and J. Kang, “The Effect of Point to Point Speed Enforcement Systems on Traffic Flow Characteristics in Korea”, J. of Korean Society of Transportation, Vol. 26, No. 3, pp. 85~95, 2008.
 - 13) Korean Road Traffic Authority, “Effects of Speed Cameras in Korea”, 2008.
 - 14) P. Pilkington and S. Kinra, “Effectiveness of Speed Cameras in Preventing Road Traffic Collisions and Related Casualties: Systematic Review”, British Medical J., Vol. 330, No.7487, pp. 331~334, January 2005.