

## 혼합가중치기반 차내 경고정보시스템 통합평가지표 개발

### Development of Comprehensive Evaluation Index for In-vehicle Warning Information Systems based on Mixed-Weights

주 신 혜\* (Shinhye Joo) (Hanyang University)  
오 철\*\* (Cheol Oh) (Hanyang University)  
홍 성 민\*\*\* (Sungmin Hong) (Hokkaido University)

· Corresponding author : Cheol Oh(Hanyang University), E-mail [cheolo@hanyang.ac.kr](mailto:cheolo@hanyang.ac.kr)

#### 요 약

돌발상황에 대한 차내 경고 정보제공은 잠재적인 교통사고를 예방하고, 운전자의 적절한 회피행동을 유도하여 사고 발생시 사고심각도를 감소시킬 수 있다. 그러나 부적절한 경고정보를 제공할 경우 운전자의 부적절한 판단을 유도하여 위험상황이 발생할 가능성을 높일 수 있다. 그러므로 운전자들이 경고정보를 가장 효과적으로 받아들일 수 있도록 정보 제공유무에 따라 실제 운전자의 반응특성을 분석하고 차내 경고정보 시스템을 다각도에서 평가할 수 있는 평가지표를 개발은 중요한 연구 주제이다. 본 연구에서는 다기준의사결정론을 적용하여 혼합가중치기반 운전자의 횡방향 및 종방향 주행안전성을 고려한 통합평가지표를 제시하였다. 가상주행실험을 통해 차내 경고정보 제공 전·후의 운전자 반응 특성 변수를 추출하여 운전자 반응특성 평가지표를 선정하였으며, 최적의 운전자 반응특성 평가지표를 선정하였다. 이때, 횡방향 및 종방향 주행안전성을 모두 고려하기 위하여 다기준의사결정방법론을 적용하여 종합적인 평가를 수행할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제시한 방법론은 다양한 유형의 경고정보제공시스템 도입시 운전자의 반응을 고려한 시스템 설계 및 도입에 따른 교통안전효과평가에 효과적으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

핵심어 : 차내 경고정보시스템, 다기준의사결정론, 혼합가중치, 가상주행시뮬레이터, 운전자 반응특성

#### ABSTRACT

In-vehicle warning information systems(IWIS) is an effective countermeasure for preventing traffic crashes. It provides drivers with warning messages about upcoming hazards to draw proper evasive maneuvering. This study developed a methodology for evaluating the effectiveness of IWIS based on an integrated index to identify driver's responsive behavior. The proposed index consists of characteristics of longitudinal and lateral behavior of vehicle maneuverings. Also, a method to assign mixed-weights in the context of multi-criteria decision making framework was adopted to develop the evaluation method. It is expected that the outcome of this study is useful in designing more effective in-vehicle warning information systems.

**Key words** : In-vehicle Warning Information system, Multi-criteria Decision Making Method, Mixed-Weight, Driving Simulator, Driver's responsive behavior

† 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(14PTSI-C054118-06)으로 수행된 연구임

\* 주저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 박사과정

\*\* 공저자 및 교신저자: 한양대학교 교통·물류공학과 교수

\*\*\* 공저자 : Hokkaido University, Graduate school of engineering

† Received 5 September 2014; reviewed 5 November 2014; Accepted 18 November 2014

## I. 서론

교통사고 사상자의 획기적인 감소를 위해 기존의 자동차에 센서나 첨단 ICT(Information and Communication Technology)기술을 융합하는 연구가 활발히 진행중이며, 일부 장치는 상용화되어 보급되고 있는 실정이다. 첨단안전장치는 크게 능동형 첨단안전장치와 수동형 첨단안전장치로 구분할 수 있다. 능동형 첨단안전장치는 경고정보 제공을 통한 적절한 회피행동 유도 및 차량제어를 통한 사고 회피 지원으로 사고를 예방을 주목적으로 한다. 수동형 첨단안전장치는 충돌안전장치로 차량제어를 통해 충돌시 삼각도 완화 및 상해감소를 유도한다.

능동형 첨단안전장치인 경고정보시스템은 돌발상황에 대한 경고 정보제공으로 잠재적인 교통사고를 예방하고, 적절한 회피행동유도로 사고 발생시 사고 심각도를 감소시킬 수 있다. 경고정보가 운전자에게 적절히 제공된다면 감속유도 또는 차로변경등의 운전자 판단을 유도하여 운전자의 안전성을 크게 향상시킬 수 있으나 부적절한 경고정보를 제공할 경우 운전자의 잘못된 유도로 위험상황이 발생할 가능성이 높아질 수 있다. 그러므로 시스템 설계시 운전자가 가장 효과적으로 받아들일 수 있는 정보 제공방식의 도출이 필요하다. 이를 위해서 차내 경고정보시스템 도입 전 경고정보의 내용, 제공방식, 제공유무에 따라 실제 운전자의 반응특성을 분석하고 시스템의 기술적 요구사항 및 기능정의에 따라 최적 차내 경고정보시스템 설계를 위한 유용성 평가가 수행되어야 한다. 차내 경고정보 제공시 실제 주행을 통해 수집된 자료를 기반으로 운전자 반응행태를 분석하는 것이 유용하나, 실제 주행실험시 사고발생 및 사고 및 위험상황이 발생 할 수 있으므로 가상주행시뮬레이터와 같은 Risk-free상태의 가상주행실험이 우선적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 다기준의사결정론을 적용하여 운전자의 횡방향 및 종방향 주행안전성을 고려한 혼합가중치 기반 차내 경고정보시스템의 통합평가지표를 제시하였다. 가상주행실험을 통해 경고정보 제공 전·후의 피험자별 주행속도 궤적을 추출하여

차내 경고정보 제공 전·후의 운전자 반응특성 변수를 추출하였다. 추출된 운전자 반응특성 변수를 기반으로 운전자 반응특성 평가지표를 도출하였으며, 최적의 운전자 반응특성 평가지표를 선정하여 운전자 측면에서 차내 경고정보제공시스템의 유용성을 평가하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국내외 관련문헌을 검토하였으며, 3장에서는 차내 경고정보제공 시스템의 설계 및 평가를 위한 통합평가지표를 제시하였다. 4장에서는 제시한 차내 경고정보 시스템 평가지표에 따른 적용결과를 제시하였으며 마지막 장에서는 본 연구의 연구결과를 요약하고, 연구의 활용방안 및 향후 연구과제에 대해 서술하였다.

## II. 기존연구 고찰

### 1. 경고정보시스템 평가 관련 문헌

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)(2007)에서는 도로이탈경고시스템의 개발 및 시스템의 효과분석을 제시하였다. 사고예방 및 심각도 분석, 속도분석, 충돌 노출정도등을 분석하여 도로이탈경고시스템의 안전적 측면에서의 효과를 도출하였다. Erick Coelingh et al.(2007)은 실제 안전성 측면에서 시뮬레이션 및 물리실험을 통하여 자동제어시스템이 장착된 충돌경고시스템을 평가하였다. 시스템의 유무에 따른 충돌시 부상위험 노출정도를 추정하여 분석하였다. Geva, V., et al.(2008)은 터널에서의 주행안전성에 대해 교통안전 향상을 위한 차내 경고정보제공 시스템(In-vehicle information system)의 교통안전효과를 평가하였다. 주행안전성 성능지표(Driving performance)는 속도(Speed), 차두시간(Headway), 차선안정성(Lane stability)으로 평가항목을 구분하고, 속도와 관련하여 속도(Speed), 속도의 분산(Speed variance), 제한속도위반(Speed limit violations)를 평가하였다. 분석결과, 차내 정보를 줌으로써 속도는 향상되고, 속도의 분산은 낮아지는 것으로 나타났다. Jamson, A. H., et al.(2008)은

드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 운전자 성향에 따른 Adaptive Forward Collision Warning Systems (Adaptive FCW)에 대한 운전자 반응특성 분석을 수행하였다. 운전자 반응특성 평가는 제동반응시간 (Brake reaction time), 최소 차두시간(Minimum headway)을 이용하였다.

## 2. AHP기법을 적용한 가중치산출 관련 문헌

김태진 외(2010)는 연속류 도로상에서 교통사고 발생가능성이 높은 교통상황 시 제공할 수 있는 경고정보 메시지를 제작하고, AHP기법을 이용하여 최적 경고정보메시지를 선택하는 방법을 제시하였다. 엄정안 외(2012)는 부산시의 위험도로 구조개선 사업의 개선효과를 분석하고, AHP기법을 통해 교통사고 저감대책의 의사결정 선호도를 분석하였다.

Saaty and Erdener(1979)는 AHP기법을 이용한 가중치 적용방법에 대하여 이론적인 설명과 분석예시를 제시하였다. Hu and Shi(2002)는 ITS사업평가 시 기존의 비용편익 분석 방법의 단점을 설명하고, AHP를 통한 사업평가 방법을 제안하였다. Cheng et al.(2011)은 도로 교통안전에 영향을 미치고 잠재적 위험요소를 가진 요소를 제거하기 위하여 다목적 의사결정방법인 AHP기법을 제안하였다. 교통안전에 영향을 미치는 주요요인을 AHP기법을 통하여 가중치를 도출하였다.

## 3. 엔트로피방법을 적용한 가중치산출 관련 문헌

이강인(2003)은 선택·평가 등의 문제에서 발생하는 다속성 의사결정(Multiple Attribute Decision Making, MADM) 문제 해결을 위하여 엔트로피 척도에 의한 가중치를 이용하여 분석을 수행하였다. 김경록 외(2010)는 복수의 차량기지 설계의 최적대안을 도출하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 도출된 변수들의 가중치 산출을 위하여 엔트로피 척도를 활용하여 최적대안을 도출하였다.

Jee and Kang (2000)은 객관적인 재료선택을 위하여 의사결정 이론의 엔트로피의 개념을 이용하여

재료 속성에 가중치를 설정하였다. 엔트로피 개념을 적용한 분석을 통해 주요 요구사항이 고려된 후보 재료들의 우선순위를 결정하였다. Hsu and Chen(2008)은 가맹점 본부가 가장 적절한 가맹업자를 선정하기 위하여 델파이 기법을 통하여 선택기준을 선정하였다. 또한, AHP와 엔트로피 방법을 이용한 혼합가중치를 산정하여 분석하여 요소간의 중요도를 도출하였다.

## 4. 기존연구와의 차별성

기존문헌 고찰 결과, 대부분의 연구에서는 경고정보시스템에 대한 효과 평가를 수행하였다. 그러나 시스템 자체적인 기술적 성능평가 위주로서 시스템도입에 따른 운전자 측면에서의 유용성 평가는 미비하다. 또한 개별적 속성이 아닌 다양한 판단기준에 의한 다각적인 관점에서의 통합적인 교통안전 효과분석이 필요하다.

통합적인 분석을 위하여 다수의 속성을 고려한 다속성·다목적 의사결정이 요구된다. 각 속성간의 중요도를 파악하기 위한 가중치 산출방법에는 AHP 기법, 엔트로피방법 등이 있다. AHP기법 및 엔트로피 방법 등은 다양한 문제해결을 위하여 활용되고 있는 방법론으로 각 기법에는 장·단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 다목적 의사결정기법을 적용하여 차내 경고정보시스템 통합평가 기법을 제시하였다. 운전자의 차량 주행특성을 반영하기 위해 가상주행시뮬레이터를 활용하여 개별운전자의 주행패턴자료를 수집하였다. 수집된 개별주행패턴 자료를 활용하여 횡방향 및 종방향 주행안전성 통합지표를 도출하기 위하여 가치함수 개념을 이용하였다. 가중치 산출시 AHP기법과 엔트로피방법을 적용한 혼합가중치를 도출하여 차내 경고정보시스템의 설계를 위한 효과평가를 수행하였다.

## III. 분석방법론

본 연구에서는 다목적 의사결정기법을 적용하여 혼합가중치 기반 차내 경고정보시스템 통합평가 기

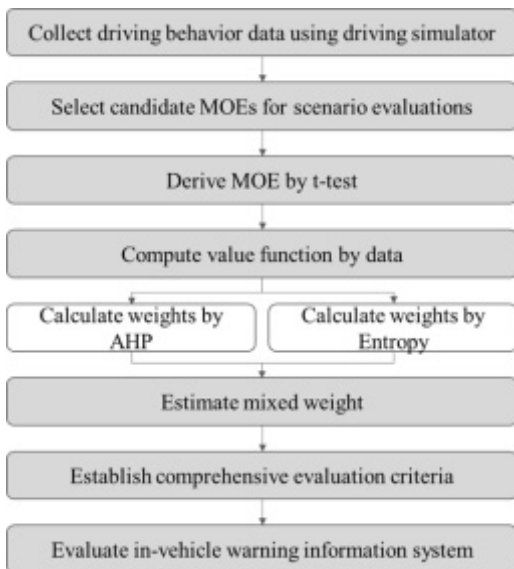
법을 제시하였다.

우선 가상주행시물레이터를 통해 운전자 주행행태관련 자료를 수집하고, 수집된 자료를 기반으로 경고정보로 인한 효과를 측정할 수 있는 잠재적 변수를 도출한다. 도출된 잠재변수 중 T-test를 통해 경고정보 제공 전·후의 차이가 통계적으로 유의한 차이를 나타내는 변수를 차내 경고정보제공시스템의 설계를 위한 통합평가지표로 선정한다. 이 때, 횡방향 및 종방향 주행안전성을 모두 고려하기 위하여 다기준의사결정방법론을 적용하여 횡방향 및 종방향 주행안전성 등 다양한 운전자의 반응행태에 대한 종합적인 평가를 수행할 수 있도록 한다. 다기준의사결정론에서의 가치함수식은 Data기반의 개별속성에 대한 가치함수식이 도출된다. 최종 효과평가를 위한 덧셈가치함수를 산출하기 위하여 개별속성에 대한 가중치를 산출한다. 이때 AHP기법을 활용한 가중치와 엔트로피 개념을 적용한 가중치를 산출한 후, 두 가중치를 적용하여 혼합가중치를 산출하게 된다. 도출된 혼합가중치를 활용하여 최종 가치함수식을 도출하여 시나리오의 최종평가 및 분석이 가능하다. 산출된 가치점수에 따라 경고정보 제공 전·후 및 경고정보제공 시나리오별 비교평가

가 가능하다. <그림 1>에 차내 경고정보시스템 통합평가지표 개발 흐름도를 제시하였다.

### 1. 차내 경고정보시스템 평가지표 개발

차내 경고정보시스템의 설계 및 평가를 위해 평가항목을 횡방향 주행안전성 및 종방향 주행안전성이라는 두 가지 평가지표로 선정하였다. 두 항목에는 각 세 가지 변수가 포함되어 있다. 각각의 기준들을 동시에 고려하여 차내 보행자 충돌 경고정보시스템의 통합평가지표를 선정하기 위해 ‘다기준 의사결정기법(Multi-Criteria Decision Making: MCDM)’을 사용하였다. 최적의 대안을 선정하는 의사결정과정에서 어느 한 가지 측면이 아닌 횡방향 주행안전성, 종방향 주행안전성과 같이 여러 기준이 고려되어야 하는 경우를 ‘다기준 의사결정’이라 한다. 즉, 여러 개의 상충하는 목적을 고려해야 하는 의사결정으로서 상충하는 목적을 어떻게 절충할 것인가에 관한 의사결정방법이다. 다기준 의사결정방법은 문제의 정의 및 계층구조설정, 가치함수 선정, 상대적 중요도(가중치)산출, 가치함수를 통한 대안 선택의 과정으로 진행된다.



<그림 1> 연구흐름도  
<Figure 1> Conceptual diagram of research

#### 1) 가치함수

가치함수는 의사결정자의 선호구조를 표현하는 함수이다. 대안간의 선호도 차이가 존재하면 선호를 나타내는 가치함수가 존재하고, 또한 가치함수 값의 크기 순서에 따라 대안 간의 선호순서가 존재하게 된다.

본 연구에서는 차내 경고정보시스템의 가치를 산출하기 위하여 Kirkwood(1997)가 제시한 근사적으로 사용할 수 있는 지수가치함수를 사용하였다.

- 증가함수일 때 가치함수

$$V(x) = \begin{cases} \frac{1 - e^{-c(x - x^0)}}{1 - e^{-c(x^* - x^0)}} & c \neq 0 \quad \dots \dots \text{식}(1-a) \\ \frac{x - x^0}{x^* - x^0} & c = 0 \quad \dots \dots \text{식}(1-b) \end{cases}$$

- 감소함수일 때 가치함수

$$V(x) = \begin{cases} \frac{1 - e^{c(x-x^0)}}{1 - e^{c(x^* - x^0)}} & c \neq 0 \quad \dots \text{식(2-a)} \\ \frac{x - x^0}{x^* - x^0} & c = 0 \quad \dots \text{식(2-b)} \end{cases}$$

여기서  $x^*$ 는 가장 선호하는 값,  $x^0$ 는 가장 선호하지 않는 값을 나타내며,  $c$ 는 상수로서 함수의 곡률정도를 의미하며 Kirkwood (1997)에서 제시한 수표를 이용하여 적용 가능한 값을 선택할 수 있다 (13). 가치함수는 한 개의 대안에 따른 가치를 나타내므로 다목적의 가치함수를 구하기 위해서는 주로 단일속성의 가치함수를 더한 형태인 덧셈 가치함수 (Additive value function)를 사용한다. 단일속성 가치함수에 각 속성에 대한 가중치를 산출하여 덧셈 가치함수를 생성할 수 있다.

$$V(x, y, z) = w_x V(x) + w_y V(y) + w_z V(z) \dots \text{식(3)}$$

## 2) AHP기법을 이용한 가중치 산정

본 연구에서는 단일속성 가치함수의 가중치를 산출하기 위하여 AHP(계층화분석법: Analytic Hierarchy Process, Saaty et al.(1979))에서 사용되는 쌍대비교를 통한 설문조사를 방법을 이용하였다.

한 계층 내에서 비교 대상이 되는  $n$ 개 요소의 상대적인 중요도를  $w_i(i=1,2,\dots,n)$ 라 하면, 가중치를 산출하기 위한 쌍대비교행렬  $A$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

행렬  $A$ 에 평가항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터  $w$ 를 곱하게 되면 식(4)의 관계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \dots \text{식(4)}$$

이러한 관계는 선형대수론의 고유치방법에 의하여 식 (5)와 같이 나타낼수 있다.

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad \dots \text{식(5)}$$

$$w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$$

$\lambda_{\max}$  : 행렬  $A$ 의 최대 고유치

$n$ 개의 연립방정식 체계에서 non-zero해를 구하는 고유치 문제가 된다. 이 작업은  $|A - \lambda I| = 0$ 을 만족시키는  $\lambda_{\max}$ 의 값을 구하는 특성방정식을 푸는 과정이다. AHP에서는 일반적으로 고유벡터를 통해 얻어지는 가중치(우선순위 벡터:priority vector)를 기하평균법이나 승수법을 사용하여 계산한다.  $n$ 의 크기가 3 이하인 경우에는 기하평균법을 이용하여 우선순위벡터를 간단하게 구할 수 있으며 그 결과는 승수법을 이용한 방법과 동일하다.  $\lambda_{\max}$ 는 항상  $n$ 보다 크거나 같기 때문에 계산된  $\lambda_{\max}$ 가  $n$ 에 근접하는 값일수록 쌍대비교행렬  $A$ 의 수치들이 일관성을 가진다고 말할 수 있다. 이러한 일관성의 정도는 다음과 같이 일관성지수(Consistency index : CI, 식(6))와 일관성 비율(Consistency Ratio : CR, 식 (7))을 통하여 구할 수 있다. 일관성 비율의 수식에 있는 RI는 난수지수(Random Index)를 의미하며, 임의로 설정한 역수행렬의 평균 일관성지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. 일관성 지수를 통해 산출된 일관성 비율이 10% 이내에 들 경우, 응답자의 설문조사 수치, 즉 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 할 수 있다.

$$\text{일관성 지수 (CI)} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \dots \text{식(6)}$$

$$\text{일관성 비율 (CR)} = (CI / RI) \times 100\% \dots \text{식(7)}$$

## 3) 엔트로피 방법을 통한 가중치 산정

엔트로피는 열역학의 엔트로피의 개념을 확률이론에 적용하여 정보형성의 불확실성에 대한 척도로 사용되고 있다. 이는 정보이론의 창시자인 Shannon(1948)에 의하여 도입되었으며, 무질서의 정도, 정보의 불확실성과 이에 관련된 정보량의 추정

에 활용된다. 엔트로피는 구간의 순도에 관한 척도로서 주어진 구간이 한 클래스에 속한 값들로만 이루어져 있을 경우 엔트로피는 0이 되고, 여러 클래스의 값들이 자주 발생하게 되면, 즉 불확실성이 높아지면 엔트로피는 최대가 된다. 엔트로피를 이용한 의사결정방법은 Hwang과 Yoon(1981), Soofi(1990), Zeleny(1982) 등에 의해 제안되었다. 의사결정자의 주관적 판단에 의존하지 않고, 의사결정문제의 데이터에 의해서만 가중치를 계산하는 방법이다.

의사결정 문제가 주어지고 이를 의사결정 행렬 D라고 하면 아래와 같다. A는 대안이며, X는 각 대안의 속성(효과척도)을 의미한다.

$$D = \begin{matrix} & X_1 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

각 대안별 속성을 통한 의사결정을 위해서 각각의 속성 값들을 정규화 하는 과정이 필요하다. 모든 요소에 대하여 정규화한 결과  $P_{ij}$ 는 <식 8>과 같이 표시할 수 있다.

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (i=1,2,\dots,n) \dots\dots \text{식(8)}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij} & x_{ij} \text{가 최대일수록 좋은 대안일 경우} \\ 1/x_{ij} & x_{ij} \text{가 최소일수록 좋은 대안일 경우} \end{cases}$$

여기서, 효과척도의 값이 최대 일수록 좋은 대안이라면  $x_{ij}$ 로, 최소일수록 좋은 대안이라면 역수로서 값을 적용하여 사용한다(김경록, 2010).

정규화 된 속성 값에 가중치를 반영하기 위하여 엔트로피의 개념을 활용하며, 엔트로피  $E_j$ 의 공식은 <식 9>와 같다. 여기서,  $K=1/\ln m$ 인 상수로 사용하며 이를 통하여  $0 \leq E_j \leq 1$ 이 된다.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, n) \dots\dots \text{식(9)}$$

다양성 정도(degree of diversification)는 엔트로피

로부터  $d_j = 1 - E_j (j=1, 2, \dots, n)$  과 같이 계산되며, 이 다양성 정도를 각 요소에 대하여 정규화 한 것이 그 요소의 가중치이다. 즉, 가중치로 사용하기 위한  $W_j$ 은 <식 10>과 같다.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \dots\dots \text{식(10)}$$

#### 4) 혼합가중치를 통한 의사결정방법

엔트로피를 이용한 가중치는 이론적으로 주어진 효과척도가 각 대안의 평가를 위하여 사용될 때, 각 대안 간 효과척도의 변별력을 나타내는 것으로 변별력이 큰 효과척도에 더 큰 가중치를 부여하는 방법이다. 그러나 이러한 엔트로피를 이용한 가중치 산정방법은 대안을 선정함에 있어 효과척도 간의 중요도를 고려하지 않고 있다. 즉, 각 효과척도 간의 중요도가 모두 같다고 가정하는 오류를 범하게 된다. 본 연구의 목적에 부합하도록 각 효과척도간의 중요도를 반영한 가중치 산정을 위해서는 기존의 엔트로피 기반의 가중치에 추가적인 가중치의 반영이 필요하다. Jee와 Kang(2000)의 연구에 따르면 이러한 문제를 해결하기 위하여 경험이나 학식이 풍부한 전문가에 의하여 결정된 값인 S를 추가로 적용 할 경우, 효과척도가 고려된 혼합 가중치를 산정할 수 있는 것으로 나타났다.

혼합 가중치는 각 대안별 효과척도간의 중요도(AHP를 활용한 가중치)와 대안간의 변별력(엔트로피 기반의 가중치) 두 가지를 혼합하여 도출할 수 있다. 목적과 지표를 기반으로 작성된 설문 문항에 대하여 전문가의견을 반영하는 AHP기법으로 도출된 가중치를 S라고 할 경우, 혼합 가중치는 <식 10>에 가중치 S를 고려하여 <식 11>과 같이 계산된다(Jee and Kang, 2000).

$$W_j = \frac{S_j d_j}{\sum_{i=1}^n S_j d_j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \dots\dots \text{식(11)}$$

## 2. 가상주행시뮬레이터를 이용한 가상주행실험

차내 경고정보시스템의 설계를 위한 통합평가지표를 도출하기 위해서는 개별차량에서 수집되는 자료 중 경고정보제공으로 인한 운전행태변화를 측정할 수 있어야 한다. 이를 바탕으로 잠재적 변수를 도출하여 평가지표를 선정 할 수 있다. 또한 차내 경고정보시스템의 기능정의를 통해 정보제공을 통해 기대되는 효과와 부합하는 운전행태변수를 평가자료로 선정할 수 있다. 차내 경고정보시스템의 효과평가지 실제 주행을 통해 수집된 자료를 기반으로 분석하는 것이 유용하나, 실제 주행실험시 사고 발생 및 사고 및 위험상황이 발생 할 가능성이 높으므로 가상주행시뮬레이터와 같은 Risk-free상태의 가상주행환경실험이 우선적으로 수행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 가상주행 시뮬레이터를 활용하였다.

가상주행시뮬레이터는 다양한 교통조건, 기하구조, 교통환경 등에 따른 운전자의 반응 및 주행행태를 분석하기 위한 가상현실구현 및 분석도구이다. 운전자의 반응 및 주행행태는 가·감속, 차로변경 등의 행태로 측정이 가능하다. 가상주행시뮬레이터는 전략 시행 전·후 상대비교 및 평가를 통해 다양한 교통운영 및 제어전략을 평가하기위해 사용된다.



〈그림 2〉 드라이빙시뮬레이터  
〈Figure 2〉 Driving Simulator

또한 지능형 자동차, 안전성평가, 운전자 반응특성 분석 등에 많이 활용되고 있다.

본 연구에서 활용한 시뮬레이터는 한양대학교에 설치된 가상주행시뮬레이터로 피실험자의 개별 차량 주행궤적 자료가 추출된다(〈그림 2〉 참고). 가상주행시뮬레이터를 이용하여 추출된 개별운전자의 차량주행궤적자료를 활용하여 운전자의 횡방향 및 종방향 주행안전성을 고려한 통합지표개발 방법론을 제시하였다.

## IV. 분석 및 적용

### 1. 방법론 적용 : 차내 보행자충돌 경고정보시스템

#### 1) 가상주행환경 구현

본 연구에서는 방법론 적용을 위하여 차내 보행자충돌 경고정보시스템을 구현하였다. 가상도로환경은 경춘선상의 덕소삼패IC부터 강일IC까지 6.03km 구간과 서울외곽순환선 강일IC부터 하행 1.5km 구간, 미사리와 하남시 일대의 도시부도로 4km를 선정하였다. 고속도로는 600pcphpl이하의 LOS A 상태의 기본구간으로 구현하여 가상환경 적용구간을 설정하였으며, 시나리오가 적용된 도시부도로는 제한속도 80kph구간(시나리오 1, 2)과 60kph 구간(시나리오 3, 4)으로 구현하였다. 환경조건은 주간 맑은 기상의 건조노면상태로 구현하였다.

피험자 연령은 20대부터 50대까지 4개 그룹으로 분류하고, 각 연령대 그룹당 성별 비율은 최대 5:5를 유지하도록 선정하여 피실험자 모집한계를 감안하여 총 28명 피실험자로 구성하였다. 가상도로 주행방식은 경고정보 제공 전의 가상도로 주행 후, 경고정보 제공 후의 가상도로를 주행하는 방식인 순주행방식으로 실험을 수행하였다. 경고정보 제공 전의 도로주행 1회, 경고정보 제공 후의 도로주행 1회, 총 2회/인 주행하도록 하였으며, 피험자 교육은 객관적이고 신뢰성 높은 운전자 반응특성 자료 수집을 위해 주행 시 제한속도를 준수하도록 하였다.

2) 시나리오 설계

차내 경고정보시스템의 시나리오 설계를 위하여 차내 보행자충돌 경고정보시스템 사례를 대상으로 연구를 수행하였다. 차내 보행자충돌 경고정보시스템은 센서에 의해 전방의 보행자를 검지하여 운전자에게 전방의 보행자의 존재를 신속히 알리고 적절한 행동을 유도하기 위한 경고정보 시스템이다.

본 연구에서는 보행자와 차량간의 상충유형에 따라 시나리오를 구성하였다. 도로교통공단의 교통사고 통계분석시스템의 2013년 교통사고 사망자수 현황자료에 따르면 보행자 사망자수는 ‘횡단 중’이 보행자 사망사고중 전체의 48%인 919명으로 가장 많고, ‘보도 통행 중 및 기타’, ‘차도 통행 중’, ‘길가

장자리 구역 통행 중’ 순으로 사망자수가 많은 것으로 나타났다. 그러나 보행자-차량 상충지점이 명확하지 않은 ‘차도통행 중’ 사고, 차도에서 보행자와 차량의 직접적인 상충으로 인해 발생한 사고라고 판단하기 어려운 ‘보도통행 중 및 기타’ 사고는 가상환경 구현시 보행자 횡단 및 통행 지점 선정과 횡단/통행 행태묘사의 한계로 시나리오에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서의 보행자-차량 상충 시나리오는 ‘차대사람’ 사고유형에 따른 보행자 사망자수, 보행자-차량의 상충유형을 고려하여 ‘횡단 중’과 ‘길가장자리 구역 통행 중’으로 선정하였다. 그리고 ‘횡단 중’사고를 Mid-block상에 횡단보도에서의 보행자 횡단, 교차로횡단보도에서의 보행자 횡



(a) Scenario 1 : crossing at mid-block



(b) Scenario 2 : crossing at intersection



(c) Scenario 3 : walking at roadside



(d) Scenario 4 : jaywalking at mid-block

〈그림 3〉 시나리오 설계  
〈Figure 3〉 Scenario



단, Mid-block에서의 보행자 무단횡단으로 분류하였다. 본 연구에서의 보행자 횡단 및 통행에 대한 시나리오를 <그림 3>에 제시하였다.

본 연구에서는 운전자의 전방시야가 제한된 상황에서 보행자가 출현을 긴급한 돌발상황이라 간주하고, 이러한 긴급 상황에서 최적의 경고정보를 제공하기 위한 콘텐츠를 설계하였다. 경고정보 콘텐츠 설계는 경고정보 콘텐츠(내용)와 경고정보 제공방식으로 구분하였다.

송태진 외(2009)에 따르면, 긴급영향권에서는 음성메시지+Image+Text를 조합한 경고정보를 제공할 때와 경고음+Text를 조합한 경고정보를 제공할 때 경고정보의 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 경고정보 콘텐츠는 텍스트, 이미지, 경고음, 음성메시지를 조합하여 전방의 보행자 유무에 대한 상황정보 및 감속 등의 적절한 회피행동 유도를 위한 행동지시 정보를 동시에 제공하도록 설계하였다. 경고정보 텍스트는 운전자에게 전방의 보행자 유무정보와 주의하라는 행동정보를 나타내는 “전방 보행자주의” 선정하였다. 이미지는 일반적으로 운전자가 이미 해당 이미지의 의미를 충분히 알고 이해할 수 있는 경고정보 이미지를 선정하기 위해 교통안전표지판 중 “횡단보도주의표지”를 활용하였다. 경고정보 제공크기는 경고정보 제공유형에 따른 이용자 선호도조사의 선행연구 결과를 반영하여 가로×세로 크기를 5×3cm로 선정하였다. 정보 제공

위치는 운전자가 전방을 응시하는 시선의 연장선상에 차체 윈드쉴드 하단(운전대 상부의 정면)으로 선정하였다. 경고정보 표출방법은 3회 점멸식으로 선정하고, 경고정보 표출시간은 1.0초/회, 정보 전환시간은 0.5초/회로 선정하였다.

### 3) MOE(Measure Of Effectiveness) 정의

차내 경고정보제공시스템으로 인한 차량의 주행행태 변화 분석을 위하여 MOE의 정의가 필요하다. MOE의 시·공간 정의는 경고정보 제공지점부터 횡단 및 길가장자리 통행 등 이벤트 발생지점까지의 약 100m 구간을 분석구간으로 정의하고 변수를 도출하였다. 차내 경고정보시스템의 설계 및 평가를 위해 평가항목을 횡방향 주행안전성 및 종방향 주행안전성이라는 두 가지 평가항목을 선정하였다. 두 항목에는 각 세 가지 변수가 포함되어 있다. 분석에 사용한 변수 및 변수정의는 <표 1>에 제시하였다. 횡방향 주행안전성은 차량 주행시 해당 차로 중심을 따라 안정적으로 주행하는지를 판단하는 항목으로 차로내 위치의 변동계수(CV.LP), 핸들조향 변동계수(CV.Steering), 횡방향 각속도의 변동계수(CV.Yaw)로 정의하였다. 종방향 안전성은 정지, 감속등의 회피행동 관련한 항목으로 제동시간(Brake time), 가속소음(Acceleration noise), 충돌속도(Collision)로 정의하였다.

<표 1> MOE 정의  
<Table 1> Description of MOE

MOE		Description
Lateral	CV.LP	Coefficient of variation of lane position: Lane position represents the variation of lateral vehicle positions then the centerline. Hazardous situations result from greater CV.LP
	CV.Steering	Coefficient of variation of steering: Frequent steering adjustments result in greater CV,Steering.
	CV.Yaw	Coefficient of variation of yaw angle: Yaw angle means z-axis angular velocity of vehicle. Zig-zag driving would result from greater CV.Yaw
Longitudinal	Brake time	Brake time is as the time duration that brake is applied from the point of warning information to conflict point. The safe speed reduction would result from longer brake time.
	Acceleration noise	Acceleration noise is defined as the standard deviation of acceleration. Frequent speed change result in greater acceleration noise.
	Collision speed	Collision speed is defined as the instantaneous speed at the conflict point between pedestrian and vehicle. Severe injury would result from higher collision speed.

## 2. T-test

본 연구에서는 통합평가지표를 산출하기위한 최종 MOE를 도출하기 위해 앞서 정의한 6개의 MOE를 T-test를 수행하였다. T-test를 통해 경고정보제공 전·후의 변수 차이가 통계적으로 유의미한 변수를 도출하여 최종 MOE로 선정하였다.

분석결과, 충돌속도는 모든 시나리오에서 경고정보 제공전·후의 차이가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 도출되었다. 시나리오 1에서는 Yaw angle velocity변동계수, 충돌속도, 제동시간이 유의미한 차이가 있으며, 시나리오 2에서는 충돌속도가 통계적 차이가 유의미한 것으로 나타났다. 또한 시나리오 3에서는 충돌속도, 제동시간이, 시나리오 4에서는 Lane position 변동계수, 충돌속도, 제동시간이 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 도출되었다. 이와 같은 결과는 시나리오의 특성에 따른 결

과로 판단된다. T-test 결과는 <표 2>에 제시하였다.

시나리오별 유의변수의 차이가 있으나 공통적으로 유의한 차이가 있는 변수 및 횡방향 변수를 최종 MOE로 도출하였다. 따라서 본 연구에서는 Lane position 변동계수, Yaw angle velocity 변동계수, 충돌속도, 제동시간을 횡방향 및 종방향 주행안전성을 대변하는 최종 MOE로 선정하여 대기준 가치함수식을 도출하였다. 각 MOE의 경고정보제공 전·후의 기술통계량은 <표 3>와 같다. 차선내 위치변동을 의미하는 Lane Position 변동계수는 모든 시나리오에서 경고정보 제공시 증가하는 것으로 도출되었다. 이는 경고정보 제공으로 인한 회피행동의 결과로 해석된다. 핸들조작으로 인한 변동을 의미하는 Yaw angle velocity 변동계수는 시나리오 1을 제외하고, 감소하는 것으로 나타났다. 시나리오 1은 경고정보 제공으로 인한 회피행동을 위하여 잦은 핸들 조작을 하는 것으로 판단된다. 충돌속도는 시나

<표 2> T-test 결과  
<Table 2> Result of T-test

Scenario	MOE	t-value	p-value	Acceptance
Scenario 1	CV.LP	-0.555	0.582	-
	CV.Steering	-0.992	0.331	-
	CV.Yaw	-2.754	0.009	ACCEPT
	Brake time	-4.873	0.009	ACCEPT
	Acceleration noise	-1.130	0.269	-
	Collision speed	9.527	0	ACCEPT
Scenario 2	CV.LP	-1.402	0.167	-
	CV.Steering	0.170	0.865	-
	CV.Yaw	0.410	0.684	-
	Brake time	0.638	0.526	-
	Acceleration noise	-0.262	0.794	-
	Collision speed	-1.748	0.087	ACCEPT
Scenario 3	CV.LP	-0.706	0.484	-
	CV.Steering	-0.687	0.495	-
	CV.Yaw	0.587	0.561	-
	Brake time	-3.653	0.001	ACCEPT
	Acceleration noise	1.096	0.283	-
	Collision speed	3.954	0	ACCEPT
Scenario 4	CV.LP	-2.725	0.01	ACCEPT
	CV.Steering	-1.146	0.258	-
	CV.Yaw	1.643	0.107	-
	Brake time	-2.117	0.039	ACCEPT
	Acceleration noise	-0.073	0.942	-
	Collision speed	2.845	0.006	ACCEPT

〈표 3〉 MOE 기술통계량  
 〈Table 3〉 Descriptive statistics of MOE

Scenario	MOE	Before				After			
		AVG	STD	Min	Max	AVG	STD	Min	Max
Scenario 1	CV.LP	0.500	0.315	0.059	1.512	0.071	0.06	0.003	0.266
	CV.Yaw	0.033	0.039	0.003	0.197	0.071	0.06	0.003	0.266
	Brake time	3.435	6.925	0	25.9	12.35	6.25	0.2	25.2
	Collision speed	65.942	20.377	14.261	100.963	24.533	8.718	6.547	52.569
Scenario 2	CV.LP	0.642	0.231	0	1.185	0.727	0.205	0.388	1.304
	CV.Yaw	0.19	0.106	0.085	0.599	0.181	0.058	0.048	0.269
	Brake time	9.131	4.981	3.3	29.1	8.404	2.987	1.9	15.5
Scenario 3	Collision speed	11.916	5.352	3.222	28.603	14.729	6.221	6.353	29.47
	CV.LP	0.471	0.272	0.048	1.063	0.527	0.291	0.003	1.143
	CV.Yaw	0.015	0.018	0	0.065	0.012	0.01	0	0.036
Scenario 4	Brake time	0.873	1.283	0	3.7	2.473	1.828	0	7.8
	Collision speed	63.714	17.047	34.945	101.474	45.592	15.988	22.594	89.046
	CV.LP	0.435	0.176	0.119	0.817	0.69	0.43	0.146	1.82
Scenario 4	CV.Yaw	0.191	0.261	0.003	0.64	0.091	0.191	0.002	0.62
	Brake time	3.885	6.34	0	21.7	7.716	6.108	0	20.2
	Collision speed	52	26.191	13.254	91.212	33.033	22.29	10.741	107.02

리오 2를 제외한 모든 시나리오에서 감소하는 것으로 도출되었다. 시나리오 2는 교차로횡단으로 경고 정보 외에 타 제어로 인해 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 또한 제동시간은 모든 시나리오에서 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 경고정보제공으로 인해 감속을 위한 잦은 회피행동을 하는 것으로 판단된다.

### 3. 가치함수 선정

각 평가지표의 선호도 차이를 구분하기 위하여 전문가 설문조사에서 9점 척도로 조사된 평가지표의 값을 가치함수를 이용하여 표현하였다. 각 평가지표의 가치함수는 Kirkwood(1997)(14)에서 제시한 수식을 사용하였으며, 선정된 4개의 MOE 중 제동시간은 증가할수록 상충지점까지 안전한 속도저감 을 의미하며 교통안전효과의 가치가 증가하므로 증가 형태의 지수가치함수인 식(1-a)를 사용하였다. 또한, Lane position 변동계수, Yaw angle velocity 변동계수, 충돌속도는 작을수록 교통안전효과의 가치가 증가하므로 감소함수인 식(2-a)를 사용하였다. 산출된 각 지표의 가치함수를 하나의 평가기준으로 통합하기 위하여 단일 가치함수를 더한 형태인 덧셈 가치

함수의 형태로의 전환이 필요하다. 따라서 AHP분석 및 엔트로피 분석을 통한 각 항목에 대한 혼합가중치를 산출한 후 최종 통합지표를 도출하였다.

### 4. 혼합가중치를 통한 최종 가치함수 도출

가치함수를 덧셈가치함수로 변환하는 과정에서 각 가치별 선호도에 따른 가중치의 산출이 필요하다. 본 연구에서는 전문가의 설문조사를 통해 가중치를 산출하는 AHP 기법과 엔트로피방법을 혼합한 혼합가중치방법을 사용하였다.

AHP분석을 위하여 11명의 교통 분야 전문가들에게 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 Lane position 변동계수, Yaw angle velocity 변동계수, 충돌속도, 제동시간의 4가지를 쌍대비교 형식을 통해 9점 척도로 조사하였고, 각 응답자의 응답일관성 검증을 하기 위해 10% 미만의 CR 값이 산출된 전문가의 의견을 반영하여 가중치를 산출하였다. 응답자 모두 CR값이 10% 이하로 산출되어 모든 응답자의 자료를 기하평균법으로 계산하여 가중치를 산출하였다. 또한, 시뮬레이션 분석을 통해 도출된 자료를 기반으로 각 속성에 대한 정규화된 값에 엔트로피 개념을 활용하여 가중치를 도출하였다(<표 4>

〈표 4〉 적용기법별 가중치 산정결과  
 〈Table 4〉 Estimation of weights by methods

Method	CV.LP	CV.Yaw	Brake time	Collision speed
AHP	0.132	0.095	0.419	0.354
Entropy	0.044	0.045	0.048	0.055
Mixed-weight(AHP+Entropy)	0.119	0.086	0.404	0.392

참고).

두 기법을 통해 도출된 가중치를 <식 11>의 혼합가중치 산출식을 활용하여 차내경고정보시스템의 혼합가중치를 <표 4>에 제시하였다.

가중치 산출 결과 제동시간이 0.404로 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 나타났으며, 충돌속도는 0.392, Lane Position 변동계수는 0.119, Yaw angle velocity 변동계수는 0.086의 가중치를 가지는 것으로 도출되었다. 가중치 산정 결과에 따르면 횡방향 MOE보다 종방향 MOE가 가치함수의 결과에 영향을 많이 주는 것으로 도출되었다.

가중치를 사용한 덧셈 가치함수는 식(12)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V(x, y, z, r) = & 0.119 \left( \frac{1 - e^{0.93(x - 1.82)}}{1 - e^{-1.69}} \right) \\
 & + 0.086 \left( \frac{1 - e^{27.07(y - 0.64)}}{1 - e^{-17.32}} \right) \\
 & + 0.404 \left( \frac{1 - e^{0.16(z)}}{1 - e^{-4.66}} \right) \\
 & + 0.392 \left( \frac{1 - e^{0.02(r - 107.02)}}{1 - e^{-2.08}} \right) \dots\dots\text{식}(12)
 \end{aligned}$$

- x : Lane position 변동계수
- y : Yaw angle velocity 변동계수
- z : 제동시간
- r : 충돌속도

### 5. 차내 경고정보제공 시스템 평가

도출한 최종 가치함수식을 활용하여 차내 보행

자 충돌 경고정보제공 시스템 시나리오를 평가하였다. 평가결과는 <표 5>에 제시하였다.

시나리오 2를 제외한 모든 시나리오에서는 경고정보가 제공 시 가치함수 증가하는 것으로 도출되었다. 시나리오 2의 경우 가치함수 값의 변화가 음의 값을 나타내나 그 차이가 미비하여 경고정보제공이 부정적인 영향을 미쳤다고 해석하기 보다는 효과평가를 하는 것 자체에 큰 의미를 부여하는 것이 적절하지 않다고 해석할 수 있다. 시나리오 2의 환경은 교통신호제어, 횡단보도, 교통섬 등으로 인해 강제적 정지 및 차로변경이 요구되므로 경고정보 제공의 효과가 의미 없게 나타난 것으로 판단된다. 또한, 직선부와 곡선부 등 기하구조에 의한 영향도 고려해야 할 것으로 판단된다.

시나리오 4의 경우, 무단횡단이므로 가장 큰 효과가 나타나길 기대되나 효과가 미비한 것으로 도출됨에 따라 다른 유형의 경고정보제공방식이 요구된다. 예를 들어 무단횡단보행자에 대한 거리제공 또는 다른 유형의 청각 또는 시각정보 제공이 필요할 것으로 판단된다.

시나리오 1,3,4의 증감률을 비교한 결과 실험시간이 지날수록 증가율이 감소하는 것으로 도출되었다. 이는 시간이 지날수록 피실험자의 집중력이 저하되고, 경고정보 제공에 대한 친숙도가 향상되어 효과가 미비한 것으로 판단된다. 따라서 데이터 수집 시 시나리오에 대한 순서 또한 고려되어야 할 요인으로 판단된다.

〈표 5〉 시나리오 평가  
 〈Table 5〉 Result of computed values

Scenario	Before information provision	After information provision	Change(%)
Scenario 1	0.63	0.92	32
Scenario 2	0.88	0.86	-2
Scenario 3	0.50	0.64	21
Scenario 4	0.68	0.82	17

시나리오 1,2,3,4의 최종 가치함수 값의 변화율을 비교한 결과 시나리오1의 증가율이 가장 높은 것으로 도출되었다. 시나리오1은 AHP기반 가치함수에서 가중치가 높은 충돌속도와 제동시간 측면에서 가장 좋은 결과를 나타내어 효과가 가장 큰 것으로 판단된다. 또한 앞서 제시한 바와 같이 시나리오 순서에 대한 피실험자의 집중도 및 친숙도에 의한 영향이 반영된 것으로 판단된다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다기준의사결정방법론을 적용하여 차내 경고정보시스템의 설계를 위한 혼합가중치기반 통합평가지표를 제시하였다. 가상주행실험을 통해 추출된 경고정보 제공 전·후의 피험자별 주행속도 궤적자료를 활용하여 차내 경고정보 제공 전·후의 운전자 반응특성 변수를 도출하였다. 도출된 운전자 반응특성 변수를 활용하여 횡방향 및 종방향 주행안전성을 모두 고려한 통합 운전자 반응특성 평가지표를 도출하였다. 방법론 적용을 위하여 차내 보행자충돌 경고정보시스템을 구현하여 분석을 수행하였다.

가상주행시물레이터에서 수집된 개별차량 주행 궤적자료를 이용하여 정의된 MOE를 도출하여 시스템 도입 전·후의 경우에 대해 T-test를 통한 통계분석을 수행하였다. 분석 결과, Lane position 변동계수, Yaw angle velocity 변동계수, 충돌속도, 제동시간이 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 도출됨에 따라 4개의 변수를 최종 MOE로 선정하였다.

다기준의사결정방법론을 적용하여 차내 보행자충돌 경고정보시스템의 설계를 위한 가치함수를 도출하고 AHP분석 및 엔트로피방법을 통한 각 항목에 대한 혼합가중치를 산출한 후 최종 통합지표를 도출하였다. 가중치 산정 결과에 따르면 횡방향 MOE보다 종방향 MOE가 가치함수의 결과에 큰 영향을 주는 것으로 도출되었다. 도출된 통합지표를 적용하여 비교평가를 통해 시나리오 평가를 수행하였다.

시나리오 2를 제외한 모든 시나리오에서는 경고정보 제공 시 가치함수 증가하는 것으로 도출되었다. 시나리오 2의 경우 교차로횡단 이므로 신호 제어 및 교차로 시설물로 인해 차로변경 및 정지를 하기 때문에 경고정보 제공의 효과가 의미 없는 것으로 판단된다. 시나리오 4의 경우, 무단횡단 시나리오이나 효과가 미비한 것으로 도출됨에 따라 다른 유형의 경고정보제공방식이 요구된다. 예를 들어 무단횡단보행자에 대한 거리제공 또는 다른 방식의 청각 또는 시각정보 제공이 필요할 것으로 판단된다.

시나리오 1,3,4의 증감률을 비교한 결과 실험시간이 지날수록 증가율이 감소하는 것으로 도출되었다. 이는 시간이 지날수록 피실험자의 집중력이 저하되고, 경고정보 제공에 대한 친숙도가 향상되어 효과가 미비한 것으로 판단된다. 따라서 데이터 수집 시 시나리오에 대한 순서 또한 고려되어야 할 요인으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 평가기법에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 다양한 연령층 및 운전자 숙련도를 고려한 피실험자를 선정하여 다양한 샘플수를 마련하여 추가적인 분석이 수행되어야 한다. 둘째, 가상주행시물레이터 적응도를 고려한 시나리오 설계와 관련한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 셋째, 개별차량의 효과평가가 뿐만 아니라 교통류시물레이션 연계를 통해 경고정보 제공이 교통류 흐름에 미치는 영향을 분석해 볼 필요가 있다.

본 연구에서 사용한 혼합가중치 산출방법은 각각 대안별 효과적도간의 중요도(AHP를 활용한 가중치)와 대안간의 변별력(엔트로피 기반의 가중치) 두 가지를 혼합하여 도출함으로써 항목간의 중요도와 수집된 자료의 특성을 모두 고려하여 분석의 신뢰도를 향상시킬 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제시한 방법론은 다양한 유형의 경고정보제공시스템 도입시 운전자의 반응을 고려한 시스템 설계 및 도입에 따른 효과평가에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] C.Cheng, Y.Chen, "An AHP Method for Road Traffic Safety", *Computational Sciences and Optimization (CSO), 2011 Fourth International Joint Conference on, IEEE*, pp. 305-308. 2011
- [2] E. Coelingh, L. Jakobsson, H. Lind, M. Lindman, "COLLISION WARNING WITH AUTO BRAKE -A REAL-LIFE SAFETY PERSPECTIVE", *Proc. IRCOBI Conference on Biomechanics of Impacts*, 2004
- [3] G. Vashitz, D. Shinar, Y. Blum, "In-vehicle information systems to improve traffic safety in road tunnels", *Transportation Research Part F 11, ELSEVIER*, pp.61-74. 2008.
- [4] P. F.Hsu, B.Y. Chen, "Integrated analytic hierarchy process and entropy to develop a durable goods chain store franchisee selection model", *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, vol. 20 no, 1, pp.44-54. 2008.
- [5] M. Hu, Q. Shi, "In Evaluation of ITS Projects Using Analytic Hierarchy Process (AHP)", *9th World Congress on Intelligent Transport Systems*. 2002.
- [6] C. L. Hwang, K. Yoon, "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications; A State-of-the-Art Survey", *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 1981.
- [7] A.Jamson, H. Frank, C.H. Lai, M.J. Oliver, "Potential benefits of an adaptive forward collision warning system", *Transportation Research Part C 16, ELSEVIER*, pp. 471-484. 2008
- [8] D. Jee, K. Kang, "A method for optimal material selection aided with decision making theory", *Materials and Design*, vol. 21 No. 3, pp.199-206. 2000.
- [9] H. Kim, "A study on priority selecting method of wartime ammunition allocation using multi-criteria decision making", *Department of Information and Industrial Systems Engineering, The Graduate School, Yonsei University*, 2010
- [10] K.Kim, H.Chun, H.Lee, "Decision Making for Train Maintenance Facility using Simulation and Entropy measurement", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 11, no. 8, pp.2809-2817. 2010.
- [11] C.Kirkwood, "Strategic Decision Making: Multi-objective Decision Analysis with Spreadsheets", *Duxburg Press, Belmont, CA*, 1997.
- [12] K. Lee, "Selecting on the Preferred Alternatives of the MADM Problems using the Entropy Measure", *Journal of the Society Korea Industrial and System Engineering*, vol. 26, no. 2, pp.55-61. 2003.
- [13] G. A.Miller, "The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information," *Psychological Rev*, vol. 63, pp.81-97, Mar. 1956.
- [14] M. Meehan, B. Insko, M. Whitton, F.P. Brooks Jr, "Physiological measures of presence in stressful virtual environments", in *proceeding of ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 21, Issue 3. pp.645-652. 2002.
- [15] Robotics Institute, "RUN-OFF-ROAD COLLISION AVOIDANCE USING IVHS COUNTER-MEASURES", *National Highway Traffic Safety Administration, TASK 6 INTERIM REPORT*, 1996
- [16] T. L. Saaty, E. Erdener, "A new approach to performance measurement - the analytic hierarchy process," *Design Methods and Theories*, vol. 13, no. 2, pp.64-72, 1979.
- [17] T. Song, C. Oh, J.Oh, C.Lee, "Effects of In-vehicle Warning Information on Drivers' Responsive Behavior", *Journal of Korean Society of Transportation* vol. 27 no. 5, October, pp.63-74, 2009.
- [18] E. S. Soofi, "Generalized Entropy based Weight

for Multi-attribute Models”, *Operations Research*, Vol.32 No.2, pp.362-363. 1990.

- [19] J. Um, S. Lee, C. Lim, “AHP-based Decision Model for Safety Improvement Projects for Hazardous Section of Urban Roadways”, *Journal*

*of the Korean Society of Civil Engineers, D.*, vol. 32, no. 2D, pp.111-119, 2012.

- [20] M.Zeleny, “Multiple Criteria Decision Making”. *McGraw-Hill Book Company*, 1982.

### 저자소개



주 신 혜 (Joo, Shinye)

2006년 3월 ~ 2010년 2월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2010년 3월 ~ 2013년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
2013년 2월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 교통공학과 박사과정



오 철 (Oh, Cheol)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사  
1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과  
공학박사(교통시스템전공)  
1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원  
2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies,  
University of California, Irvine, CA, USA  
2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원  
2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수



홍 성 민 (Hong, Sungmin)

2004년 3월 ~ 2011년 2월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
2013년 10월 ~ 현재 : Hokkaido University, Graduate school of engineering 박사과정