

관제시스템 구축을 위한 Fuzzy-AHP 위험 순위 평가 모델 개발

정 성 학* · 박 태 준**

*국방과학연구소 · **대구경북과학기술원

Development on Fuzzy-AHP Ranking Risk Assessment Model for the monitoring systems

Sung-Hak Chung* · Tae-joon Park**

*Agency for Defense Development · **DGIST

Abstract

The objective of this study is to develop an evaluation model for the National highway risky areas. Thus, for the purposes of doing this, National highway risky area evaluated targeting to provide determination ranking and suggesting rival-superiority factors as well as under-inferiority factors in ten National highway risky areas. This study developed for modules of risky areas evaluation, using fuzzy set theory and analytic hierarchy process for evaluation model of National highway risky area in transport environment. The preceding studies assess risk analysis through analysis of causal relationships by National highway safety sector not only handles rating scale development suitable for assessment area by referring to accident frequency model but also geometric structures model. As result of this study, this model of Fuzzy Ahp Risk Analysis (FARA) apply for programmable design in real time processing through easily derive strategy for improvement activities to provide a decision-making effectively. Furthermore, this study contributes frame for improvements of National highway construction for renovation's priority strategy as well as future's policy schemes.

Keywords : risk analysis, fuzzy theory, analytic hierarchy process, national highway risky areas

1. 서 론

위험이란 사람의 실수, 자연재해, 시스템의 고장, 악의적인 행동의 물리적인 파괴나 손상을 주는 행위, 시스템에 대한 침해 등과 같은 비정상적인 일이 발생하는 것으로 정의한다. 위험을 판단하기 위해서는 위험의 수준을 평가하여야 한다. 위험관리는 조직이 보호하여야 할 자산을 파악하고 그 가치를 평가하여 자산에 대한 위험의 종류와 영향을 평가하며, 조직이 가지고 있는 취약점을 분석함으로써 위험의 수준을 평가하는 일련의 절차이다. 이러한 위험관리는 수준평가의 결과에 근거하여 비용-효과성(Cost-Effectiveness)과 적절한 통제방법을 선정하여, 그러한 위험수준의 평가결과에

근거하여 수용할 수 있는 수준까지 위험부담을 줄이기 위한 조치를 강구하며, 용인할 수 있는 수준을 관리하는 것을 말한다[1-3].

그러므로, 한정된 자원하에서 투입의 우선순위를 결정하기 위한 교통환경의 분석은 중요한 의미를 갖는다.

본 연구의 목적은 국도 취약지구 관제시스템을 구축함에 있어서 해당구간의 위험 인지정도를 보다 객관화시키기 위하여 퍼지이론(Fuzzy Theory)과 계층적 의사결정 분석(AHP: Analytic Hierarchy Process)을 이용하여 위험 개선의 우선순위를 제공하는데 있다. 기존 연구 문헌을 검토하여, 국도 운영관리 현장에서 쉽고 편리하게 적용할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

† 교신저자: 정성학, 대구광역시 달성군 현풍리 상리 50-1번지 대구경북과학기술원 제3 연구동 709호

M · P: 010-9000-3151, E-mail: shchung@dgist.ac.kr

2011년 2월 11일 접수; 2011년 6월 7일 수정본 접수; 2011년 6월 9일 게재확정

연구절차는 사전조사, 위험평가, 순위결정으로 진행되었다. 사전조사에서는 국토해양부 및 도로관리 전문가 집단이 국토해양부(2009)에서 선정한 강원지역 151개소 중에서 중점관리하고 있는 대상인 10개소를 선정하고, 위험요소에 대한 사전 설문조사를 실시하였다[4-10]. 82개의 설문문항을 조사하고, 사전설문조사 결과를 바탕으로 설문항목의 신뢰성 평가와 요인분석을 실시하여 20개의 위험요소 평가항목을 선정하였다[5].

그 결과 선정된 20개의 위험요소 평가항목 요인은 사고위험특성(4항목), 안전표지특성(4항목), 기하구조특성(4항목), 도로기상특성(4항목), 도로교통특성(4항목)이다. 이는 도로운영관리를 효과적으로 수행하기 위해서 위험평가의 비용 대비 평가 문항수를 최적화하여 효율적으로 문항수를 추출하기 위함이다.

사고위험특성 요인에는 ‘도로이용자의 실수 배려(v01)’, ‘사고발생 자료의 활용(v02)’, ‘속도규제 단속카메라(v03)’과 ‘휴게시설의 위치와 서비스(v04)’ 등 4항목으로 정의하였고, 안전표지특성 요인에는 ‘인지반응 특성(v05)’, ‘안전표지판 기능(v06)’, ‘조명시설의 배려(v07)’와 ‘길어깨 및 긴급대응시설(v08)’ 등 4항목으로 정의하였다. 기하구조특성 요인에는 ‘도로선형(v09)’, ‘주행속도 변동범위(v10)’, ‘운전자의 도로안전체감도(v11)’과 ‘기하구조특성과 도로용량(v12)’ 등 4개의 평가항목으로 정의하였고, 도로기상특성 요인에는 ‘도로이용자의 기상조건에 대한 배려(v13)’, ‘포장상태(v14)’, ‘방호시설(v15)’과 ‘노면상태정보(v16)’ 등 4개의 평가항목으로 정의하였으며, 마지막으로 도로특성 요인에는 ‘소통상태정보(v17)’, ‘교통운영전략-유지보수-시정노력(v18)’, ‘도로경관(v19)’과 ‘도로활용강도 및 빈도특성(v20)’ 등 4항목으로 평가변수를 정의하였다.

순위 결정방법과 프로그램은 취약한 국토 교통환경의 세부적인 취약지구 위험 개선활동을 수행하기 위한 효과적인 정책 수립에 활용할 수 있도록 개발 하였으며, 더 나아가 국가 교통안전 개선과 효과평가에 일조할 것으로 사료된다.

2. 이론적 고찰

2.1 국토 취약지구 위험평가

위험평가, 개량 우선순위, 도로안전의 관련 연구문헌에서 위험 평가를 실시해 오고 있다. 국토 취약지구는 2004년부터 국토해양부에서 교통소통 취약구간을 매년 선정하여 집중 운영관리하고 있다[4-6]. 교통소통 취약구간들은 재해 및 재난의 위험요소가 높고, 도로 기하

구조와 교통환경 특성이 불량하여 교통소통에 중점관리를 실행하고 있다[6]. 이와 관련된 교통환경의 위험 분석이나 개선 우선순위에 대한 선행연구가 있다.

Higle and Witkowski(1988)은 다중회귀분석을 사용하여 개발한 시애틀 3그룹 모델은 상충수, 보행교통량, 교통량, 차선수를 독립변수로 하여 개발하였다[11].

하태준(2001)은 사고유형별 발생비율을 다중회귀분석을 통하여 차대차 사고를 18가지 유형으로 정의하였고, 교통류의 독립성과 상호작용 효과를 분석하였다[12].

김원철(2000)은 수량화 1류 모형으로 교통량, 속도, 종단구배, 교통섬을 독립변수로 상대적 중요도와 카테고리 수량,범위, 중상관계수를 활용하여 사고예측모형을 개발하였다[13]. 또한 강민욱(2002)은 96년부터 2000년까지 5년간의 호남고속도로 사고자료를 이용하여 사고와 기하구조간의 관계를 구간분할법과 최우추정법을 이용하여 음이항 회귀모형을 개발하였다[14].

이재명(2008)은 의사결정나무분석(CART: Classification Regression Tree)을 이용하여 교통사고 요인들 간의 상호관계를 사고발생도표로 작성하여 사고예측모형을 개발하였으며, 기존의 회귀 모형이나 포아송 모형의 비교로 모형 적합도를 제시하였다[15]. 하오근(2005)의 연구에서는 도로안전시설과 환경을 분석하여 사고요소를 추출하고, 포아송 회귀모형을 이용하여 사고예측모형을 개발하였다[10]. 또한, Deacon et al.(1975)은 사고빈도를 모델링하였고[1], Laughland et al.(1975)는 사고빈도와 사고강도를 모델링하여 사고예측모형을 개발하였으며[16], Abbess and Wright(1981)는 사고다발지역 개량 우선순위 선정법을 모델하였다[17].

정성봉 등(2009)은 경험적인 베이저언 방법(Empirical Bayes Method)을 이용하여 교통사고가 잦은 곳 개선 사업을 위하여 사고자료와 기하구조 자료를 이용하여 사고예측모형을 개발하였고[9], 이러한 결과들은 Persaud and Hauer(1984)에서의 연구결과와 같이 비선형회귀모형과 EB기법 등이 예측력이 높았고, 지점별 상세비교에서는 사고빈도 예측모형으로 비선형회귀모형 보다 우수한 EB기법임을 보였다[9,18].

김용철 등(2009)은 지방부 교차로의 도로설계 안전성 판단으로 사고율, 도로설계요소와의 특징을 빈도함수로 AMF(Accident Modification Factors) 지표로 하는 분석모형을 개발한 바 있다[7]. 그 외에도 사고다발지역의 개량 우선순위를 선정함에 있어서 교통환경, 사고발생건수와 사고강도를 통한 기존연구가 있다[19-25].

사고예측모형이나 도로안전평가는 활용도가 지속적으로 증가하고 있는 추세이고, 도로 안전개선 사업 사업효과를 판단하기 위해 매우 중요하다. 하지만, 국토사무소의 담당자나 교통정보센터의 도로관리자는 사

고다발지점이나 위험성이 높은 취약지구에 관제시스템을 구축할 경우 구체적으로 위험요소별 항목의 개선수준을 결정하기 어렵고, 애매하여 비용 대비 개선 효과를 검증하기 위해 상당한 시간과 노력이 요소된다. 그러므로 취약지구에서는 과거 사고건수를 바탕으로 한 방법론이 가진 한계점들을 개선하고자 객관적인 상세 방법론이 권고된다. 시간과 계절적인 도로 환경특성을 고려하여 도로관리자는 현장에서 활용할 수 있는 실질적인 안전대응 방법론을 구체화하는 대안을 요구한다.

Bellman and Zadeh(1970)는 불확실한 환경 하에서 주관성이 많이 내포되어 있는 위험에 대해 보다 객관적으로 측정하기 위해 여러 문헌에서 퍼지이론을 접목시키고 있다[26].

Hauer et al.(1986)은 위험평가연구에 퍼지수(Fuzzy number)를 적용한 평가모형을 제시하여 기존모델보다 퍼지수를 적용한 모형의 설명력이 우수하다는 결과를 증명하였고[19], Benítez et al.(2007)도 퍼지수를 이용하였다[27]. Zadeh(2002)는 주관적인 환경에서 보다 위험을 객관화시키기 위하여 어의적인 (Linguistic)문제를 퍼지수화 하였다[28-29]. 이러한 형태의 만족정도 와 중요정도의 주관적 불일치(Discrepancy)를 해밍거리(Hamming distance)와 두보이스방법(Dubois's method)를 이용하여 측정하였으며, 이러한 방법론은 위험에 대한 속성들을 평가하는데 효과적인 방법론으로 검증되었다[29].

2.2 퍼지이론과 계층적 의사결정 분석

Bellman and Zadeh(1970)는 퍼지이론을 적용하여 퍼지적 환경에서 즉, 불확실성을 가진 환경에서 의사결정을 하기 위한 방법을 제안하였는데, 만약 인간의 의사결정에서 퍼지성(Fuzziness)을 고려하지 않는다면 판단을 그르치게 된다고 언급했다. 인간의 인식, 사고, 판단 및 언어(자연언어) 등에서 볼 수 있는 불확실성을 정량적이며 합리적으로 평가하는 방법으로 폭넓은 분야에서 다양하게 활용되고 있다[28].

본 연구는 퍼지이론 중에서 삼각퍼지수(TFN, Triangular Fuzzy Number)를 활용하여 위험평가를 수행하였다 [1,2,25,26,28,30,31]. 삼각퍼지수를 비퍼지화 값으로 변환시키기 위해서 최대평균법(Mean of Maximal)을 적용하였고, 두 삼각퍼지수의 차이를 분석하기 위하여 해밍 거리를 산출하였다. 해밍거리는 위험에 대한 속성평가를 위해서 기존의 연구에서 사용된 방식과 동일하게 α -cut 개념과 Gap 개념으로 중요도와 인식정도의 차이를 불일치율(Discrepancy rate, Dr)로 식(1)과 같이 산출한다.

$$Dr = \frac{dh(\min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_A(x))}{\int_X \mu_A(x) dx} = \frac{dh(\mu_S(x), \mu_A(x))}{\int_X \mu_A(x) dx} \quad (1)$$

$$= \frac{\int_X |\mu_A(x) - \mu_S(x)| dx}{\int_X \mu_A(x) dx} = \frac{\int_X (\mu_A(x) - \mu_S(x)) dx}{\int_X \mu_A(x) dx}$$

$$= 1 - \frac{\int_{X \in \tilde{A} \cap \tilde{B}} \mu_S(x) dx}{\int_X \mu_A(x) dx} = 1 - \frac{S_{area}}{A_{area}}$$

여기서, 삼각퍼지수 \tilde{A} 는 왼쪽부터 3개의 파라미터 a_1, a_2, a_3 이며, \tilde{B} 는 b_1, b_2, b_3 의 면적을 기준 면적이라 하면, A_{area} 을 면적은 식(2)와 같이 산출되고, 삼각퍼지수 \tilde{A}, \tilde{B} 의 공통면적 S_{area} 는 식(3)과 같이 산출한다[29].

$$A_{area} = \int_X \mu_A(x) dx = \frac{(a_3 - a_1)}{2}, a_1 < a_2 < a_3 \quad (2)$$

$$S_{area} = \int_{X \in \tilde{A} \cap \tilde{B}} \mu_S(x) dx = \int_X \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) dx \quad (3)$$

만약, A_{area} 와 S_{area} 가 같다면, 중요정도와 인지정도가 같다면(일치한다면) 불일치율 Dr 값은 0이다. 위험수준 속성에 대한 인지정도가 중요정도보다 큰 경우 ($a_1 \leq b_1 < a_3 \leq b_3, a_2 < b_2$)와 중요정도가 인지정도보다 큰 경우($b_1 \leq a_1 < b_3 \leq a_3, b_2 < a_2$)에 대한 Dr 값의 산출방법은 식(4), 식(5)와 같다.

$$Dr = 1 - \frac{S_{area}}{A_{area}} = 1 - \frac{\int_{b_1}^x y_b^L dx + \int_x^{a_3} y_a^R dx}{A_{area}} \quad (4)$$

여기서, $k = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_3}, x = \frac{a_3}{1 - \frac{1}{k}} + \frac{b_1}{1 - k}$ 임.

$$Dr = 1 - \frac{S_{area}}{A_{area}} = 1 - \frac{\int_{a_1}^x y_a^L dx + \int_x^{b_3} y_b^R dx}{A_{area}} \quad (5)$$

여기서, $k = \frac{b_2 - b_3}{a_2 - a_1}, x = \frac{a_1}{1 - \frac{1}{k}} + \frac{b_3}{1 - k}$

위험수준에 대한 속성평가를 위해서 α -cut 개념과 Gap 개념을 도입한다. 퍼지집합에서 멤버십함수의 값을 일정한 기준값 이상으로 취해야 할 경우에 α -cut을 사용하고, 중요정도와 인지정도에 대한 Gap을 구하기 위하여 v 값을 산출한다. 여기서, v_A 는 위험수준 속성에 대한 중요정도 비퍼지화값, v_B 는 인지정도의 비퍼지화값이다.

$$\tilde{A}_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha, x \in X\}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, \alpha \in R \quad (6)$$

$$v = v_B - v_A \quad (7)$$

Saaty(1965)에 의해 개발된 계층적 의사결정 분석(AHP: Analytic Hierachy Process)은 다양한 목표, 다수의 의사결정주체가 존재할 경우, 대안의 우선순위와 중요성을 평가, 결정함에 따라 의사결정 문제를 계층화하여 쉽게 해결할 수 있다[28,32,33]. 의사결정과 관련된 문제를 해결하기 위해 사용된 계층적 의사결정 분석절차는 <그림 1>과 같다.

의사결정요소들의 쌍대비교행렬의 가중치에 대한 일관성지수(CI: Consistency Index)와 랜덤지수(RI: Random Index)는 대안평가의 순위조합을 위하여 상대적인 중요도의 종합(Aggregation)으로 평가하였다[29].

3. 국토 취약지구 위험평가 모델

3.1 국토 취약지구 위험평가모델 개발

본 연구에서는 위험평가모델을 개발하기 위하여 취약지구 10지구를 대상으로 위험평가를 수행하였다. 국토해양부에서는 2004년부터 매년 교통소통 취약지구를 선정하여 집중 관리운영하고 있으며 해당 10개소는 도로관리 담당자와 전문가 그룹이 함께 참여하여 해당구간의 위험특성과 관리 운영실태를 조사분석하였다. 본 연구의 조사 분석대상인 취약지구는 <표 1>과 같다.



<그림 1> 계층적 의사결정 분석절차

<표 1> 분석대상 취약지구

관할국도 관리사무소	충청국도 관리사무소	강릉국도 관리사무소	정선국도 관리사무소
취약지구수	3	3	4
취약지구명	수피령, 문재, 원창고개	낙산고개, 가진고개, 밀양고개	두문동재, 너그니재, 통리재, 어평재

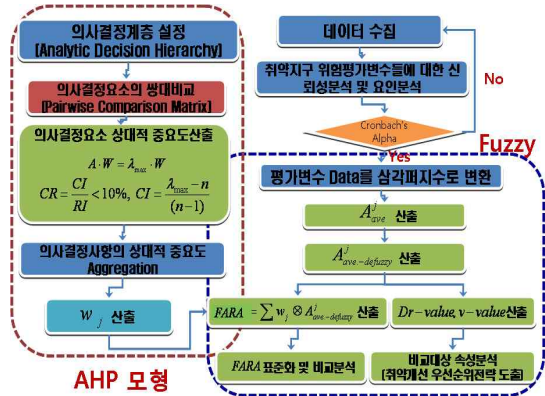
주) 추후분석에서는 취약지구명을 익명처리(A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)

본 연구에 참여한 관학연 도로관리 업무자의 경력과 평가자의 분포는 표 2와 같다. 업무경력의 평균은 13.7년이었으며, 표준편차는 5.75년으로 나타났다.

<표 2> 조사분석 평가자 분포

조사 및 분석자	분석대상수	업무경력(년)
도로안전관리자 및 학연 전문가 12명	10개 취약지구	13.7(±5.75)

본 연구에서는 주관적 환경에서 위험을 보다 객관화시키고 이를 이용하여 보다 현실적인 위험 제고방안을 도출하기 위해 개발한 위험평가모델의 알고리즘을 요약하면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 위험평가모델(FARA)

1단계: 위험 평가변수(항목)들에 대한 신뢰도분석 및 요인분석을 실시한다. 위험 평가변수들에 대한 데이터들의 내적일치도가 낮으면 데이터의 신뢰성이 떨어지게 되므로 내적일치도를 파악하기 위한 Cronbach's Alpha 계수가 높은 항목만 추출한다.

2단계: 각 응답자로부터 평가받은 위험 평가변수들에 대한 값들을 삼각퍼지수로 변환하고, 위험 평가변수 j에 대한 응답자 i명(i = 1, 2, ..., n)에 대한 중요정도와 인지정도의 삼각퍼지수 i개

($i = 1, 2, \dots, n$)에 대한 평균삼각퍼지수 A_{ave}^j 를 산출한다.

3단계: 중요정도와 인지정도에 대한 평균삼각퍼지수에 대한 비퍼지화값 $A_{def.}$ 을 산출하고, 위험평가변수(항목)들에 대한 중요도(weights)를 산출한다.

4단계: 산출된 위험 평가변수(항목)들에 대한 비퍼지화값과 중요도를 고려하여 FARA를 산출한다.

$$FARA = \sum w_j \otimes A_{ave.-defuzzy}^j$$

5단계: 위험 평가변수들에 대한 중요정도와 인지정도에 대한 D_r 값과 v 값을 산출한다.

6단계: 산출된 FARA를 정규화하여 평가점수로 산출하고, D_r 값과 v 값을 이용하여 평가대상 취약지구들의 순위 평가항목과 우선순위전략을 도출한다.

3.2 분석결과 및 프로그램 개발

국도관리사무소 관할 취약지구 위험평가의 데이터들의 내적일치도 분석결과, 신뢰성 계수(Cronbach's Alpha)는 0.786로 각 측정항목들에 대한 평가자의 답변에 일

관성이 있는 것으로 나타났다. 신뢰성 계수의 평가 기준에 관한 문헌연구를 살펴보면, 데이터가 많아짐으로 인해 설명력이 증가하는 것은 사실이나 비용 대비 효용성이나 운용성 측면에서는 효율적이지 못하므로 분산 σ 와 Z-score값을 기준으로 신뢰성 계수가 0.6이하인 데이터를 본 연구에서 제외하였다[3,34]. <표 3>은 위험요인 평가변수에 대한 신뢰성 계수를 요약한 결과이다.

위험평가를 위한 요인들 간에 교호작용을 제거하기 위하여 요인분석을 실시한 결과는 표 4와 같다. KMO 측도가 0.767으로 나타나 변수들 간의 상관성이 있음을 알 수 있고, Bartlett의 구형성 검정에서 유의확률이 0.000으로 '모상관 행렬이 단위행렬이 아니라'라는 대립가설이 채택됨으로써 요인분석에 대한 근거를 마련하였다. 그 결과 총 20개의 위험평가변수들이 '사고위험 특성(4)', '안전표지 특성(4)', '기하구조특성(4)', '도로기상 특성(4)'과 '도로교통특성(4)' 등 5개 요인들로 정의되었고, 이 5개의 요인들이 전체변이의 71.424%를 설명하는 것으로 나타났다.

<표 3> 위험평가변수에 대한 신뢰성 계수

위험평가	속성변수	평균	표준편차	신뢰성계수	
사고위험 특성 (I)	v01	3.1927	0.87641	0.773	0.786
	v02	2.7523	0.93448		
	v03	2.7798	0.97523		
	v04	3.5505	0.90764		
안전표지 특성 (II)	v05	2.7248	0.95133	0.755	
	v06	2.7523	1.01977		
	v07	2.6147	0.95169		
	v08	3.2844	1.01006		
기하구조 특성 (III)	v09	3.0826	0.84029	0.861	
	v10	3.2661	1.00593		
	v11	3.2752	0.74376		
	v12	3.4771	0.86705		
도로기상 특성 (IV)	v13	4.1284	0.92397	0.760	
	v14	4.3211	0.79210		
	v15	3.4771	0.86705		
	v16	3.4771	0.86705		
도로교통 특성 (V)	v17	3.0642	0.91566	0.784	
	v18	3.0550	0.89064		
	v19	3.1835	0.91454		
	v20	3.4771	0.86705		

<표 4> 위험평가 변수의 요인분석

위험평가	변수	요인1	요인2	요인3	요인4	요인5
사고위험 특성 (I)	v01	0.767	0.266	0.153	0.094	0.080
	v02	0.733	0.260	0.267	-0.104	0.008
	v03	0.727	0.154	0.012	-0.074	-0.410
	v04	0.652	0.113	0.214	-0.006	0.302
안전표지 특성 (II)	v05	-0.312	0.595	-0.044	0.468	0.305
	v06	0.251	0.648	0.255	0.098	0.180
	v07	0.108	0.692	0.388	0.132	0.061
	v08	0.321	0.597	0.270	0.321	0.013
기하구조 특성 (III)	v09	0.120	0.250	0.822	0.297	0.063
	v10	0.410	0.127	0.757	0.321	-0.002
	v11	0.200	-0.146	0.875	0.285	0.101
	v12	-0.175	-0.064	0.805	0.032	-0.102
도로기상 특성 (IV)	v13	-0.047	-0.423	0.273	0.627	0.361
	v14	0.246	0.208	-0.142	0.580	0.340
	v15	0.114	-0.015	0.279	0.656	0.330
	v16	-0.189	0.170	0.490	0.532	0.106
도로교통 특성 (V)	v17	-0.192	-0.050	0.262	-0.191	0.387
	v18	0.052	0.063	-0.046	0.182	0.377
	v19	0.41	0.132	0.206	0.224	0.486
	v20	-0.038	0.397	0.079	-0.147	0.315
Eigen Value		4.163	3.558	3.337	3.106	2.129
% 누적		21.612	39.079	52.435	64.518	71.424

Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 측도 : 0.767

Bartlett 구형성 검정 유의확률 : 0.000

본 연구에서는 10개소(A-J)의 취약지구를 분석하였으나 평가결과의 상세한 설명은 5개소(A-E)에 대해서만 기술한다.

위험속성 평가결과, ‘사고위험특성’ 요인은 첫 번째 속성평가 변수인 ‘도로이용자의 실수 배려(v01)’에 대해서 C취약지구는 ‘0(-)’ 형태인 ‘향후 재정비해야할 속성’인 것으로 나타났고, A, B, D, E취약지구들의 경우, ‘1(-)’ 형태인 ‘시급히 개선시켜야할 속성’인 것으로 나타났다. 두 번째 속성평가변수인 ‘사고발생 자료의 활용(v02)’에 대해서는 C취약지구의 경우는 ‘0(-)’인 형태, 나머지 비교대상 취약지구들은 ‘1(-)’인 형태로 나타났고, 세 번째 속성평가변수인 ‘속도규제 단속 카메라(v03)’에 대해서는 모든 비교대상 취약지구들이 ‘1(-)’인 형태로 나타났다. 대응성 요인에 대한 마지막 속성평가 변수인 ‘휴게시설의 위치와 서비스(v4)’의 경우는 C, B, E취약지구는 ‘0(-)’인 형태로 나타났고, 나머지 A, D취약지구는 ‘1(-)’인 형태인 것으로 나타났다.

‘안전표지특성’ 요인에 대한 속성평가에 대한 결과, 공감성 요인의 첫 번째 속성평가변수인 ‘인지반응 특성(v05)’의 경우 C취약지구는 0(-)인 형태인 것으로 나타났고, 나머지 취약지구들은 ‘1(-)’인 형태인 것으로 나

타났으며, 두 번째 속성평가변수인 ‘안전표지판 기능(v06)’의 경우 C취약지구는 ‘0(-)’인 형태인 것으로 나타났고, 나머지 취약지구들은 ‘1(-)’ 형태인 것으로 나타났다. 세 번째 속성평가변수인 ‘조명시설의 배려(v07)’의 경우에는 C, B취약지구가 ‘0(-)’인 형태인 것으로 나타났지만, 나머지 취약지구들은 ‘1(-)’인 것으로 나타났다. 공감성 요인에 대한 마지막 속성평가변수인 ‘길어깨 및 긴급대응시설(v08)’의 경우에는 C, D취약지구가 ‘0(-)’의 형태였고, 나머지 취약지구들은 ‘1(-)’ 형태인 것으로 나타났다.

‘기하구조특성’ 요인의 속성평가 결과, 유형성 요인의 첫번째 속성평가변수인 ‘도로선형(v09)’의 경우에는 C취약지구는 ‘0(+)’ 형태, A, B, D취약지구들은 ‘0(-)’인 형태, E취약지구는 ‘1(-)’ 형태인 것으로 나타났다. 두 번째 속성평가변수인 ‘주행속도 변동범위(v10)’의 경우에는 C, 취약지구가 ‘0(-)’의 형태, 나머지 취약지구들은 ‘1(-)’ 형태인 것으로 나타났다. 세 번째 속성평가변수인 ‘운전자의 도로안전 체감도(v11)’의 경우에는 C취약지구는 ‘0(-)’ 형태인 것으로 나타났고, 나머지 취약지구들은 ‘1(-)’의 형태를 가지는 것으로 나타났다. 유형성 요인에 대한 마지막 속성평가변수인 ‘기하구조특성과

<표 5> 위험 속성평가 분석결과

평가 대상	사고위험 특성				안전표지 특성				기하구조 특성				도로기상 특성				도로교통 특성				FARA
	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	
A	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	29.960
B	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	1(-)	44.445
C	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(+)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	52.167
D	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	0(-)	1(-)	38.628
E	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	36.936
F	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	26.516
G	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	1(-)	6.828
H	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(+)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	17.571
I	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	0(-)	1(-)	13.526
J	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	1(-)	0(-)	0(-)	0(-)	0(-)	1(-)	0(-)	1(-)	1(-)	19.180

주) 0(+):지속형($Dr < \alpha$ & $v \geq 0$), 0(-):향후 재정비형($Dr < \alpha$ & $v < 0$)

1(+):효율화요구형($Dr \geq \alpha$ & $v \geq 0$), 1(-):시급개선요구형($Dr \geq \alpha$ & $v < 0$)

도로용량(v12)인 경우에도 C취약지구는 '0(-)'의 형태, 나머지 취약지구들은 '1(-)'의 형태인 것으로 나타났다.

'도로기상특성' 요인의 속성평가 결과, 신뢰성 요인의 첫번째 속성평가변수인 '도로이용자의 기상조건에 대한 배려(v13)'의 경우에는 C, A, B, E취약지구들은 '0(-)'의 형태인 것으로 나타났고, D취약지구는 '1(-)'의 형태였지만, 두 번째 속성평가변수인 '포장상태(v14)'의 경우에는 모든 비교대상 취약지구들이 '0(-)'의 형태를 가지는 것으로 나타났다. 방호시설(v15)과 노면상태정보(v16)의 경우에는 취약지구들이 모두 '0(-)'의 형태를 가지는 것으로 나타났다.

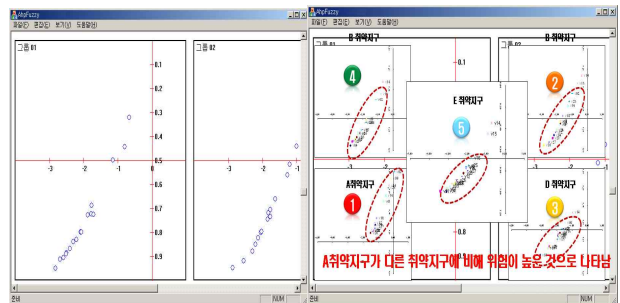
마지막으로, '도로교통특성' 요인에 대한 취약지구들 속성 평가에 대한 결과로는 다음과 같다. 확산성 요인의 첫 번째 속성평가변수인 '소통상태정보(v17)'에 대해서는 C, B취약지구는 '0(-)'의 형태인 것으로, 나머지 취약지구들은 '1(-)'의 형태인 것으로 나타났다. 두 번째 속성평가변수인 '교통운영전략-유지보수-시정노력(v18)'의 경우에는 C, D취약지구는 '0(-)'의 형태, 나머지 취약지구들은 '1(-)'의 형태인 것으로 나타났고, 또한 '도로경관(v19)'의 경우에는 C지구만 '0(-)'의 형태였고, 나머지 취약지구들은 '1(-)'의 형태인 것으로 나타났다. 마지막 도로교통특성 요인 속성평가변수인 '도로활용 강도 및 빈도특성(v20)'은 C지구만 '0(-)'의 형태였고, 나머지 취약지구들은 '1(-)'의 형태인 것으로 나타났다.

취약지구 10개소의 위험점수와 위험속성 평가결과를

요약하면, 위험이 높은 취약지구는 C인 것으로 분석되어졌고(52.167점), 그 다음으로는 B취약지구(44.445), D취약지구(38.628점), E취약지구(36.936점), A취약지구(29.960점) 순으로 J까지 10개에 대한 점수를 표시한 결과는 <표 5>와 같다.

연구결과를 프로그램으로 표출한 그림과 프로그램 상에서 종합적으로 다차원척도를 도식한 결과는 <그림 3>과 같다[35].

분석결과를 종합해보면, 위험평가 점수가 가장 높은 C취약지구의 경우에는 위험 속성수준이 타 취약지구와 비교하여 '0(-)' 형태 즉, 향후에 자원, 비용 및 시간적 요소가 허용되었을 때 개선시켜도 되는 위험 속성들이 많은 반면에 나머지 취약지구들은 '1(-)' 형태인 즉, 시급하게 개선이 필요한 위험 속성들이 많은 것으로 나타났다.



<그림 3> FARA 프로그램 산출결과

4. 결 론

본 연구는 국토 취약지구 관제시스템 구축을 위한 Fuzzy-AHP 위험 순위를 평가하기 위한 모델을 개발하고 프로그램을 제시한다. 국토 취약지구 10곳을 대상으로 취약지구를 평가하여 순위결정을 제공하고, 위험 수준이 높은 우위적인 요인과 위험열위적인 핵심요인들을 제시함으로써 위험평가 항목에 따른 취약지구 개선 활동의 우선순위 전략을 제공함으로써 향후 정책수립 시 효과적인 의사결정을 위한 기반을 제공할 것이다. 국토 취약지구 관제시스템은 도로환경을 모니터링하고 위험요소에 대한 세부항목별 개선활동 대안을 제시한다.

본 연구결과, 위험평가 점수가 가장 높은 C취약지구의 경우에는 위험 속성수준이 타 취약지구와 비교하여 '0(-)' 형태 즉, 향후에 자원, 비용 및 시간적 요소가 허용되었을 때 개선시커도 되는 위험 속성들이 있다. 하지만, 취약지구 위험속성에서 '1(-)' 형태인 즉, 시급하게 개선이 필요한 위험 속성을 우선 순위로 개선하는 정책 대안을 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 퍼지이론(Fuzzy Theory)과 계층적 의사결정 분석모형을 이용하여 계량화시킨 위험평가와 관리 방안, 즉 'FARA(Fuzzy Analytic hierarchy process Risk Analysis)'라는 계층적 의사결정 분석모형을 통하여 위험수준을 산출하여 보다 객관적으로 위험수준에 대응할 수 있는 체계를 구축하였을 뿐만 아니라 비교 대상들에 대한 위험평가에 따른 향후 교통환경 개선의 세부적인 전략을 실행하는데 용이 하도록 하였다. 더 나아가 위험평가모형을 프로그램화 함으로서 실시간으로 위험평가와 위험수준을 관리하는 개선활동에 대한 정책방향을 모색하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

추후연구에서는 표본과 정리된 기존 연구의 한계점을 극복하여 다양한 특성을 세부항목별로 산출하여 취약지구 위험지도를 개발하고, 개선사항을 도출하여 비용-편익분석을 수행하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Deacon J. A., Zegeer, C. V., and Deen, R. C., Identification of Hazardous Rural Highway Location, In Transportation Research Record 543, TRB, pp. 16-33. 1975.
- [2] Stokes R. W., and Mutbazi M. I., Rate-Quality control Method of Identifying Hazardous Road Locations. In Transportation Research Record 1542, TRB, pp. 44-48. 1996.
- [3] Van de Ven, Andrew H., and Ferry, Diane L., Measuring and Assessing Organization, New York Wiley, pp. 352-379. 1980.
- [4] 국토해양부, 건설교통 재난/재해대책 편람 및 위기 대응 매뉴얼, pp. 74-102. 2004.
- [5] 국토해양부, 2009년도 국토 ITS 기반 인프라(국도 5호선 등) 및 취약지구 관제시스템 구축 설계보고서, 한국건설기술연구원, pp. 315-336. 2009.
- [6] 국토해양부, 도로제설 핸드북, pp. 20-50. 2009.
- [7] 김웅철, 이동민, 최은진, 김도훈, 지방부 교차로의 도로설계 안전성 판단 알고리즘 구축을 위한 AMF 개발 (신호교차로를 중심으로), 대한교통학회지, 제 27권 제3호, pp.91-102. 2009.
- [8] 성낙문, 교통사고예측모형을 이용한 도로의 안전도 평가방법연구, 정책연구 2003-02, 한국교통연구원, pp.24-58. 2002.
- [9] 정성봉, 황보희, 성낙문, 이선하, EB기법을 이용한 사고찾은 곳 개선사업 우선순위 판정기법 개발, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제27권 제3호, pp. 81-90. 2009.
- [10] 오주택, 성낙문, 하오근, 국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제25권 제1D호, pp.9-15. 2005.
- [11] Hagle J. L, and Witkowski J. M., Bayesian identification of hazardous sites, Transportation Research Record 1185, pp. 24 - 35. 1988.
- [12] 하태준 강정규, 박제진, 신호교차로 교통사고 예측 모형의 개발 및 적용(광주광역시 4지 신호교차로를 중심으로), 대한교통학회지, 대한교통학회, 제19권 제6호, pp. 207-218. 2001.
- [13] 김원철, 이수범, 남궁문, Hirofumi Imada, 교차로 안전진단을 위한 교통사고건수예측모델화 수법에 관한 연구, 제21권 제4D호, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, pp. 427-435. 2001.
- [14] 강민욱, 고속도로 곡선 구간에서의 사고예측 모형 개발, 제22권 제6D호, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, pp. 1077-1088. 2002.
- [15] 이재명, 김태호, 이용택, 원제무, CART 분석을 이용한 교통사고예측모형의 개발, 한국도로학회논문집, 제10권 제1호 통권35호, pp. 31-39, 한국도로학회, 2008.
- [16] Laughland J.C., Haefner L E., Hall, J. W., and Clough, D. R., NCHRP Report 162 : Methods for Evaluating Highway Safety Improvements, TRB. 1975.
- [17] Abbess C. Jarrett D. F., Accident at black-spot: estimating the effectiveness of remedial treatment,

with special reference to the regression to mean effect, *Traffic Engineering and Control*, Vol. 22, No. 10, pp. 535-542. 1981.

[18] Persaud B. N., Retting R. A., Garder P. E., and Lord D., Safety Effects fo Roundout conversions in the United States, In *Transportation Research Record 1751*, TRB, pp. 1-8. 2001.

[19] Haur E. On the estimation of the expected number of accident, *Accident Anal. & Prev.*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-12. 1986.

[20] Haur E. and Persaud B., How to Estimate the Safety of Railhighway Grade Crossings and the Safety Effect of Warning Devices, In *Transportation Research Record 1114*, TRB, pp.131-140. 1987.

[21] Haur E. Hauer E., Ng JCN, and Lovell J., Estimation of Safety at Signalized Intersection, In *Transportation Research Record 1185*, TRB, pp. 48-61. 1988.

[22] Hauer E, *Obervational before-after studies in road safety*, Pergamon, Oxford, U.K. 1997.

[23] Harwood D. W., Council F. M., and Griffith M. S., Estimating Safety by Empirical Bayes Method: A Tutorial, In *Transportation Research Record 1784*, TRB, pp. 126-131. 2002.

[24] Haur E., Empirical bayes approach to the estimation of "UNSAFETY" : the multivariate regression method, *Accident Anal. & Prev.*, Vol. 24, No. 5, pp. 24-36, 1992.

[25] Haur Ezra and Persaud, B., Problem of Identifying Hazardous Locations Using Accident Data, In *Transportation Research Record 975*, TRB, pp. 36-43. 1984.

[26] Bellman R.E. and Zadeh, L.A., Decision making in a fuzzy environment, *Management Science*, Vol. 17, No. 4, pp. 141-164. 1970.

[27] Bentez J.M., Martin J. C., and Roman C., Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry, *Tourism Management*, Vol.28, pp. 544-555. 2007.

[28] Zadeh Lotfi A., Fuzzy sets, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353. 1965.

[29] Zadeh Lotfi A., Toward a perception-based theory of probabilistic reasoning with imprecise probabilities, *Journal of Statistical Planning and Inference*, Vol. 105, pp. 233-264. 2002.

[30] Wen Cheng and Simon Washington., Experimental evaluation of hotspot identification methods,

Accident Anal. & Prev., Vol. 37, pp. 870-881. 2005.

[31] Wen Cheng and Simon Washington., *New Criteria for Evaluation Hotspot Identification Methods*, TRB, 2008, pp. 1-25. 2009.

[32] Saaty Thomas L. and Vargas, Luis G., *Model, Methods Concepts and Application of the Analytic Hierarchy Process*, Boston: Kluwer Academic Publishers. 2001.

[33] Persaud B. and Lyon, C., Empirical Bayes before -after safety studies : Lesson learned from two decades of experience and future directions, *Accident Anal. & Prev.*, Vol. 39, No.3, pp. 546-555. 2007.

[34] Nunnally Jum C. and Bernstein Ira H., *Psychometric Theory*, 3ed, pp. 53-79. 1994.

[35] 정성학, 인공지능 기법을 활용한 다 기준 의사결정 지원 시스템 분석 프로그램, 프로그램 등록번호 2010-01-129-002882, 한국저작권위원회, pp. 1-15. 2010.

저 자 소 개

정 성 학



경희대학교 산업공학과에서 공학 박사 학위를 취득하고, Univ. of Central Florida에서 Post-Doc 현재 국방과학연구소 선임연구원으로 재직 중임. 관심분야는 System Engineering & Human Factors로 특히 안전체계 분야에서 시스템 공학 설계를 수행하고 있음.

주소: 대전시 조치원길 462 국방과학연구소

박 태 준



Univ. of Michigan, Ann Arbor에서 공학박사 학위를 취득하고, 삼성전자 수석연구원, 한국항공대학교 조교수를 역임하였으며, 현재 대구경북과학기술원 부교수로 재직 중임. 관심분야는 사이버물리 시스템 및 실시간 임베디드 시스템이며, 특히 신뢰성, 보안성 및 안전성을 보장하는 시스템 설계에 관한 연구를 수행하고 있음.

주소: 대구시 달성 현풍 상리50-1 대구경북과학기술원