

# 스마트하이웨이 위반차량 관제를 위한 위반차량의 사전적 정의

Definition of a Violation car in Smart Highway

장경욱 (서울대학교, 연구원)      송기한 (서울대학교, 연구원)      고승영 (서울대학교, 교수)

Key Words : 스마트하이웨이 위반차량 관제, 스마트하이웨이 위반차량 정의, AHP

## 목 차

- I. 서론
- II. 국내외 위반차량 관제현황
- III. 위반차량 정의를 위한 AHP 분석
- IV. 결론 및 향후연구과제

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

2008년 현재 국토해양부에서는 지속적으로 자동차의 성능이 향상됨에도 불구하고 현재의 고속도로의 제한속도가 100~110 km/hr에 고정되어 있는 문제점을 개선하기 위하여 스마트하이웨이 사업을 VC-10 사업으로 선정하여 적극적으로 추진하고 있다. 본 사업에서 목표로 하고 있는 스마트하이웨이는 첨단 도로, IT, 자동차 기술이 복합적으로 적용되는 무사고, 무정체의 시속 200km/hr 이상으로 주행할 수 있는 도로이다. 이러한 스마트하이웨이의 건설은 미래 국가경쟁력에 큰 기여를 할 것으로 보이며 현재 관련 연구가 시작되는 단계에 있다. 스마트하이웨이에 필요한 여러 첨단기술의 연구들 중에 최적 교통류 유지 기술이 있으며 이 중에서 속도위반 차량 관제 기술은 본선의 효율성과 관련되는 중요한 주제이다. 그러나 현재 스마트하이웨이는 연구가 시작되는 시스템이기 때문에 위반차량에 대한 정의가 불분명하고 관련된 실제 관계자료가 없는 실정이다. 정확한 위반차량의 정의를 위해서는 스마트하이웨이의 구체적인 정의, 종합적인 아키텍처(Architecture), 운영계획 등의 수립이 동시에 이루어져야 한다. 따라서 위반차량의 정의는 다른 관련 연구들과 함께 이루어진 결과물로 도출되어야 하지만 연구의 방향을 설정하고

연구수행의 효율성을 높이기 위한 사전적인 정의가 필요하다. 이러한 사전적인 정의는 관련 전문가들의 의견을 반영하여 이루어져야 하며 또한 전문가적인 판단들이 체계적이며 구체적으로 집약되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 현재 여러 분야에서 의사결정분석기법으로 적용되고 있는 AHP 분석을 이용하여 위반차량의 사전적인 정의를 수립한다.

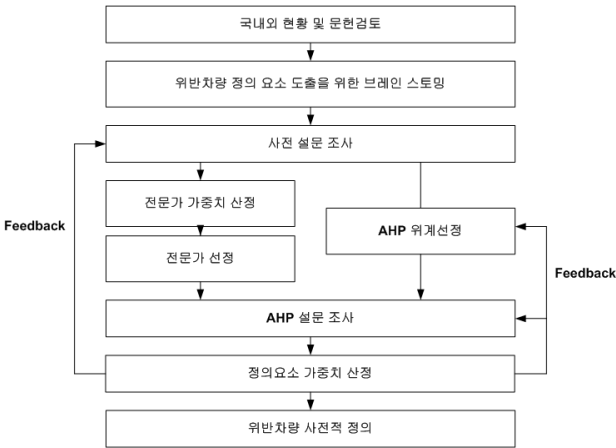
이러한 위반차량의 정의는 위반차량 관제를 위한 연구의 시작점으로서 향후 위반차량관제시스템에 적용되며 시뮬레이션을 통한 관제시스템의 평가 및 Feedback 과정에서 최종적으로 정의될 것이다.

### 2. 연구의 범위 및 내용

본 논문은 현재 구체적으로 확정된 스마트하이웨이의 정의, 종합적인 아키텍처, 운영계획 등이 없기 때문에 관련 내용들을 현재 제안되고 있는 수준에서의 정성적인 개념으로 정의하여 전문가 설문을 수행한다. 또한 스마트하이웨이의 전 단계라 할 수 있는 고속도로에서의 국내외 위반차량 관제 현황을 파악하여 향후 시사점을 검토한다.

AHP 분석의 사전단계로서 국내외 현황 검토 및 연구진의 브레인스토밍 과정을 통하여 전문가집단 및 위반차량의 정의와 관련된 1차적인 항목들을 선정하고 이러한 요소들을 전문가를 대상으로 필요성을 설문한다. 전문가 설문을 통하여 도출된 결과를 이용하여 정의를 위한 최종적인 항목들을 선정하고 AHP 분석을 위한 위계를 구축한다.

사전조사를 통하여 대상 전문가집단을 다시 구성하고 구축된 위계를 통하여 AHP 설문지를 수행한다. AHP 설문결과를 분석하고 이를 통하여 스마트하이웨이에서의 위반차량에 대한 사전적 정의를 수립한다.



<그림 1> 연구의 순서도

## II. 문헌고찰 및 국내외 관제현황

### 1. AHP 기법

AHP 기법은 1970년대 초반 T. Saaty에 의하여 개발된 의사결정방법론으로 의사결정을 구성하고 있는 계층구조의 요소들을 쌍대비교하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 파악하는 방법이다. 이 방법은 정량적·정성적·직관적 정보를 모두 판단할 수 있는 기법으로서 가중치를 산정함에 있어서 일관성 검증을 실시하여 결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 기법이다. 이 방법은 인간의 사고체계와 유사한 접근방법으로 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있으며, 모형을 이용하여 상대적 중요도를 비율척도(ratio scale)화하여 정량적인 형태의 결과를 얻을 수 있다. AHP 기법은 기본적으로 인간의 사고체계가 계층적 구조설정(hierarchical structuring), 상대적 중요도 설정(weighting), 논리적 일관성(consistency) 등의 세가지 원리를 지킨다는 것에 기반한다.

기본적인 AHP 분석은 우선 연구진이나 전문가들의 브레인 스토밍 과정 등을 통하여 의사결정문제를 의사결정 사항들의 계층으로 분류한 의사결정계층(decision hierarchy)을 구성한다. 전문가 설문 등을 통하여 구성된 계층구조에서 같은 상위계층에 포함되는 요소들을 쌍대비교하여 쌍대비교행렬 구성을 위한 자료를 수집한다. 조사된 자료를 바탕으로 고

유치방법을 사용하여 쌍대비교행렬(의사결정요소들의 상대적인 가중치)를 추정하고 의사결정요소들의 상대적인 가중치를 종합화하여 결과를 도출한다. 이러한 AHP 분석에서 그룹의 평가치를 종합하는 고전적인 방법은 그룹평가 방법과 수치통합방법으로 크게 분류되며(Saaty, 1980) 시간과 공간의 제약으로 수치통합방법이 적용되고 있다. 수치통합방법은 크게 세 가지로 구분되며 본 연구에서는 가장 보편적으로 적용되는 기하평균을 이용하는 방법을 적용한다. 그리고 이외에 각각의 예외적인 상황에 적절하게 적용하기 위한 평가자의 평가능력 가중치를 반영하는 방법(조근태, 2002), 대용가능성(Compatibility)을 이용하는 방법(Saaty, 1995), 가중산술평균법을 이용한 방법(Ramanathan & Ganesh, 1994), 손실함수를이용한 접근방법(조용곤, 2003) 등이 있다.

이처럼 AHP는 이론이 단순하고 명확하며 적용이 간편하여 여러 의사결정분야에서 널리 사용되어 오고 있으며 이론에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 연구의 목적인 전문가 의견을 수립하여 스마트 하이웨이에서의 위반차량을 개략적으로 정의하기 위한 분석방법으로서 AHP 분석을 선택하였다. 본 연구에서는 전문가를 선정하고 AHP위계를 선정하는 과정을 사전설문을 통하여 결정하는 방법과 평가자의 평가능력가중치를 반영하는 그룹의사결정방법을 기본적인 AHP 분석방법론에 통합적으로 적용하도록 한다.

### 2. 국내외 관제현황

#### 1) 국내현황

현재 국내에서는 스마트하이웨이의 위반차량을 주제로 한 직접적인 연구는 진행되지는 않지만, 위반차량 단속이 이루어지고 있는 것은 지점과속단속, 구간과속단속, 불법주정차 단속 등이 시행되고 있다.

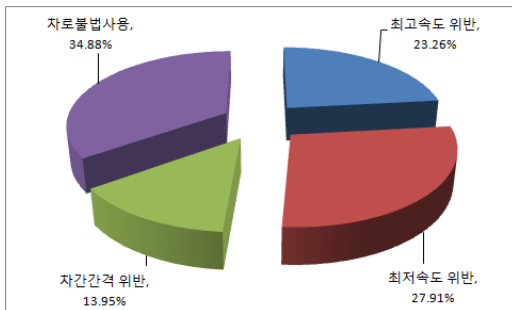
국내 고속도로 중 2006년 경부선을 중심으로 교통사고 원인별 사고건수를 보면 졸음운전으로 인한 사고가 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 그 다음으로 속도위반으로 인한 사고 발생이 120건 이상으로 상당히 높은 비중을 차지하고 있다. 또한 주시태만 및 핸들과대조작으로 인해 발생하는 운전자과실에 의한 사고가 상당수 발생하였으며, 음주에 의한 사고도 상당수 발생한 것으로 나타났다.

여기에 안전거리 미확보, 추월위반에 의한 사고가 상당수 발생한 것으로 조사되었다.

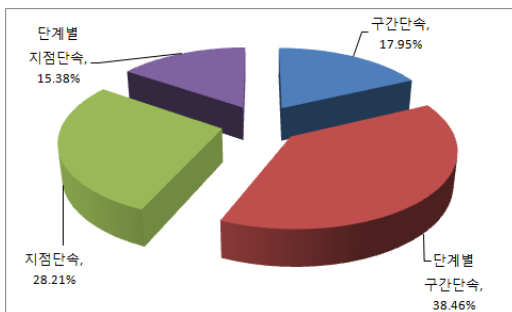


면의 경우 총 응답의 34.88%로서 가장 많은 사람들이 차로 불법사용에 대하여 필요성이 있다고 대답하였으며 그 뒤로 최저속도위반, 최고속도위반, 차간간격위반 순으로 필요하다고 응답하였다. 차간간격 위반의 경우는 13.95%가 대답하여 다른 항목들에 비하여 낮은 응답율을 보였는데 이는 현실적으로 차간간격 위반이 판단하기 어려운 문제이며 다른 항목들에 비하여 그 중요성이 낮음을 보여주는 것이라 할 수 있다. 추가적인 항목으로는 정상주행이 불가능한 차량, 추월차로에서 정속주행하는 차량 등의 항목들이 있었으나 스마트하이웨이의 위반차량 정의와 큰 관련성이 없는 것으로 판단되어 기본항목 이외의 추가항목은 없는 것으로 설정하였다.

관리측면의 경우에는 사전적으로 경고신호를 주고 구간에서의 평균속도로 단속하는 단계별 구간단속이 총응답의 38.46%로서 가장 필요하다고 판단하는 것으로 분석되었다. 다음으로는 지점단속이 28.21%로서 필요하다고 대답되었으며 단계별 지점단속과 구간단속이 15%~18%로 필요한 것으로 설문이 분석되었다. 추가적인 항목들은 본 분석의 목적과 관련이 적은 것으로 판단되어 관리측면의 경우도 기본항목을 적용하는 것으로 설정하였다.



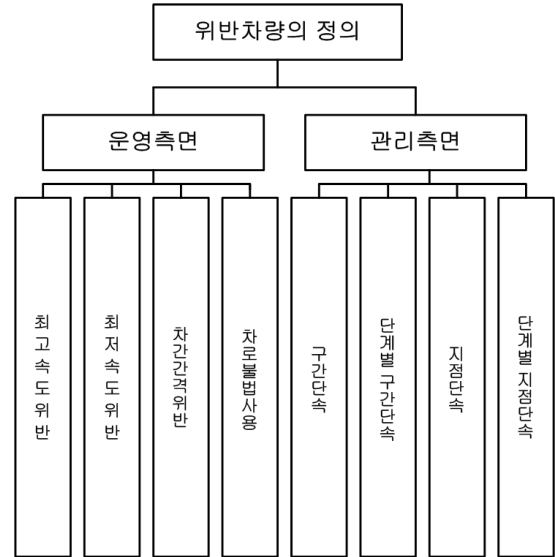
<그림 4> 운영측면관련 응답비율



<그림 5> 관리측면관련 응답비율

이러한 사전분석 결과를 이용하여 본 AHP 설문을 수행하기 위한 평가항목의 위계는 <그림 4>와 같이 설정되었다. 운영측면과 관리측면 2개의 1단계 위계와 최고속도위반, 최저

속도위반, 차간간격위반, 차로불법사용, 구간단속, 단계별 구간단속, 지점단속, 단계별 지점단속의 8개의 2단계 위계의 항목으로 AHP 분석을 위한 평가항목의 위계가 설정되었다.



<그림 6> 위반차량 정의를 위한 평가위계

이러한 평가항목들에 대한 정의는 <표 4>와 같이 정의하였으며 최종적으로 선정된 전문가들에게는 설문이외에 연구진이 직접 면담을 통하여 정확한 설문 내용이 이루어지도록 하였다.

<표 4> 평가항목 설명

항목	내용
운영측면	스마트 하이웨이의 운영측면에서 이동성과 안전성을 고려하여 각 항목간의 중요도를 평가
- 최고속도 위반	운영계획에서의 최고속도를 위반하는 차량
- 최저속도 위반	운영계획에서의 최저속도를 위반하는 차량
- 차간간격 위반	운영계획에서의 차간간격을 위반하는 차량
- 차로의 불법사용	HOV, HOT 등의 차로를 불법사용하는 차량
관리측면	스마트 하이웨이의 관리측면에서 위반차량의 각 단속방법을 평가
- 구간단속	어떠한 구간에서의 위반차량을 판별
- 단계별 구간단속	어떠한 구간에서의 위반차량을 판별하나 경고수준을 설정하여 경고이후 단속
- 지점단속	어떠한 지점에서의 위반차량을 판별
- 단계별 지점단속	어떠한 지점에서의 위반차량을 판별하나 경고수준을 설정하여 경고이후 단속

### 3) AHP 설문을 위한 전문가집단 구성

본 연구에서는 정확한 전문가적 판단의 결과를 도출하기 위하여 사전설문에서 선정된 전문가들의 경험과 지식을 6가지 항목으로 구분하여 설문하고 이를 정량화하여 최종 전문가 집단을 선정하였다. 이때 정량화하기 위한 방법은 기존의 연구(조근태 외, 2003)를 적용하도록 한다.

<표 5> 평가자 평가항목

항목특성	내용
경험	근무년수
	프로젝트 참여횟수 기술보고서 제출횟수
지식	학위
	특허출원/등록건수 연구논문 발표횟수

기존연구에서 제시한 방법에 의하면 평가자의 평가능력은 경험과 지식의 논리곱에 의한 결과로 계산하고, 경험과 지식내의 항목들은 논리합의 관계로 계산한다. 따라서, 평가자의 평가능력 점수는 가승법의 기본원리에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$S_k = \left( \sum_{i=1}^m E_{ik} \right) \left( \sum_{j=1}^l K_{jk} \right), \forall k$$

여기서,

$S_k$ : 평가자  $k$ 의 평가능력 점수( $k = 1, 2, \dots, n$ )

$E_{ik}$ : 평가자  $k$ 의  $i$ 경험 항목 점수 ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$K_{jk}$ : 평가자  $k$ 의  $j$ 지식 항목 점수( $j = 1, 2, \dots, l$ )

이후 위식에서 산정된 평가자의 평가능력 점수를 1로 정규화하고 개개의 가중치를 최소가중치인 배수로 변화해서 평가자의 가중치  $\alpha_k$ 를 결정한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

<Step 1> 평가자 평가능력 점수( $S_k$ ) 계산

$$S_k = \left( \sum_{i=1}^m E_{ik} \right) \left( \sum_{j=1}^l K_{jk} \right), \forall k$$

<Step 2> 평가자 평가능력 가중치( $W_k$ ) 계산

$$W_k = \text{Normalize}(S_k), \forall k$$

여기서,  $W_k$ : 전체  $S_k$ 를 1로 정규화한 가중치

<Step 3> 최소평가자 가중치( $\alpha_{\min}$ ) 설정

$$\alpha_{\min} = \text{Min}(W_k), \forall k$$

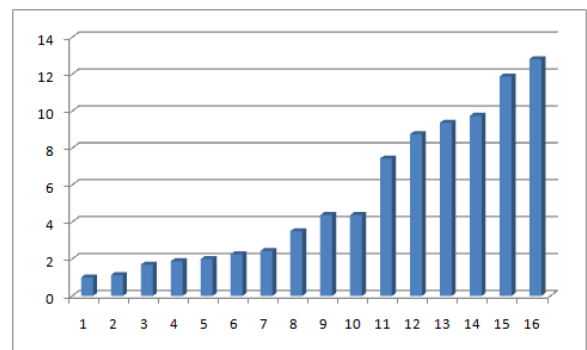
<Step 4> 평가능력 가중치계수( $\alpha_k$ ) 계산

$$\alpha_k = W_k / \alpha_{\min}, \forall k$$

이러한 과정을 통하여 산정한 결과는 <표 6>과 같으며 최소 1에서 최대 12.8까지 평가자 가중치가 분포하고 있는 것으로 분석되었다. 이러한 평가자의 가중치 분포는 상위 6위까지는 큰 차이가 없으나 상위 7위부터는 급격히 감소하는 것으로 분석되어 본 연구에서 최종적인 AHP 설문을 하는 전문가는 상위 6명으로 결정하였다. 이렇게 결정된 상위 6명에 대하여서는 가중치의 차이를 두지 않고 기본적인 AHP 분석을 적용하여 결과를 도출하였다.

<표 6> 평가자  $\alpha$  계수 및 순위 결과

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha$	1.1	12.8	2.3	1	3.5	11.9	4.4	4.4	1.9
순위	15	1	11	16	9	2	7	7	13
구분	10	11	12	13	14	15	16		
$\alpha$	2	7.4	8.8	1.7	2.4	9.4	9.8		
순위	12	6	5	14	10	4	3		



<그림 7> 응답자  $\alpha$  계수 분포도

## 2. 분석결과

### 1) 가중치 산정 결과

스마트하이웨이에서의 위반차량의 정의를 위한 전문가 개개인의 AHP 분석은 기본적인 AHP 분석 방법론을 준용하였으며 일관성비율이 0.1을 넘는 전문가에 대하여서는 재설문 조사를 통하여 유의한 AHP 분석결과를 도출하도록 하였다. 최초의 AHP 설문에서는 2명의 전문가가 비일관성 비율이

0.25, 0.31의 결과를 보여 재설문을 하였으며 재설문 이후에는 모든 응답자의 일관성 비율이 0.1을 넘지 않아 최종결과를 도출할 수 있었다. 또한 전문가 각자의 결과를 집약하기 위하여 수치통합방법 중에서 평가자의 평가치들을 기하평균하여 통합하는 방법을 적용하였다. <표 7>에서는 위계별 가중치 결과를 보여주고 있으며 <표 8>에서는 최종적인 정규화된 각 항목의 평가가중치가 나타나 있다. 위계별로 보면 운영측면이 0.657로서 관리측면보다 스마트하이웨이의 위반차량을 정의하는데 있어 중요한 항목인 것으로 분석되었다. 그러나 관리측면의 가중치가 0.833으로 더욱 중요하다고 판단한 전문가도 2명이 있었다. 따라서 향후 연구에서는 관리측면의 위반차량의 최종적인 정의도 비중있게 다루어야 할 것으로 보인다. 운영측면의 항목에서는 압도적으로 최고속도 위반이 중요한 것으로 분석되었는데 이는 사전설문과는 상이한 결과인 것으로 분석된다. 나머지 3가지의 항목은 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 관리측면에서는 사전설문조사와의 결과와는 상이하게 구간단속이 제일 중요한 요소이며 그 다음으로는 단계별 구간단속이 중요한 것으로 분석되었다. 사전설문조사에서는 쌍대비교가 아닌 필요한 요소를 자유롭게 고르도록 하였고 AHP 분석에서는 전문가를 선정하여 쌍대비교를 통하여 좀 더 심도있게 접근하였기 때문에 이러한 결과의 차이가 발생한 것으로 판단된다.

<표 7> 위계별 평가가중치 결과

구분	1	2	3	4	5	6	총합
운영측면	0.875	0.167	0.875	0.167	0.833	0.833	0.657
- 최고속도 위반	0.543	0.436	0.542	0.182	0.636	0.484	0.495
- 최저속도 위반	0.060	0.247	0.206	0.636	0.091	0.088	0.178
- 차로의 불법사용	0.172	0.159	0.139	0.068	0.182	0.231	0.167
- 차간간격 위반	0.225	0.159	0.113	0.115	0.091	0.197	0.160
관리측면	0.125	0.833	0.125	0.833	0.167	0.167	0.343
- 구간단속	0.316	0.069	0.436	0.080	0.461	0.606	0.329
- 단계별 구간단속	0.453	0.071	0.075	0.572	0.351	0.188	0.284
- 지점단속	0.081	0.616	0.436	0.082	0.116	0.136	0.230
- 단계별 지점단속	0.150	0.244	0.053	0.266	0.072	0.071	0.156

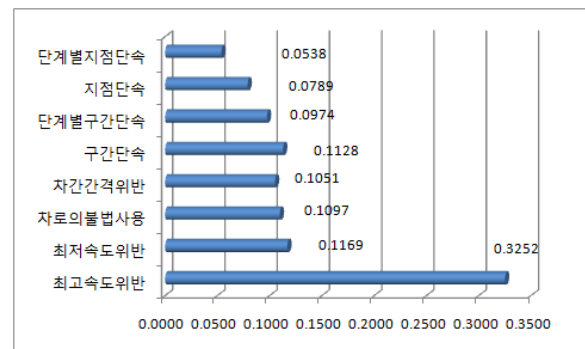
최종적으로 각 최하위 항목의 가중치들을 비교하여 보면 최고속도 위반이 0.3252로 가장 중요한 요소인 것으로 분석되었고 단계별 지점단속이 가장 가중치가 낮은 것으로 분석되었다. 또한 관리측면의 요소들은 구간단속을 제외하고는 운영측면의 모든 요소들보다 가중치가 낮은 것으로 분석되었다.

<표 8> 최종 평가가중치 결과

구분	1	2	3	4	5	6	총합	
운영측면	최고속도 위반	0.4751	0.0728	0.4743	0.0304	0.5238	0.4032	0.3252
	최저속도 위반	0.0325	0.0412	0.1833	0.1032	0.0733	0.0733	0.1169
	차로의 불법사용	0.1535	0.0236	0.1216	0.0114	0.1516	0.1924	0.1097
	차간간격 위반	0.1939	0.0236	0.0989	0.0192	0.0733	0.1641	0.1051
관리측면	구간 단속	0.0335	0.0575	0.0545	0.0333	0.0770	0.1012	0.1128
	단계별 구간단속	0.0336	0.0391	0.0094	0.4765	0.0336	0.0314	0.0974
	지점 단속	0.0101	0.5131	0.0545	0.0333	0.0194	0.0227	0.0789
	단계별 지점단속	0.0188	0.2133	0.0036	0.2216	0.0120	0.0117	0.0538

## 2) 위반차량의 정의

본 연구의 최종적인 목적은 위반차량을 사전적으로 정의하는 것으로서 <그림 6>과 같은 최종 가중치의 결과를 언어의 형태로 바꾸어야 한다. 이때 많은 기준이 적용될 수 있으나 본 연구의 목적은 확정적인 위반차량의 정의가 아닌 스마트하이웨이에서의 위반차량 연구를 위한 시작점으로서의 정의이기 때문에 개략적인 기준을 적용하여 정의를 시도하도록 한다. 1단계의 위계에서 운영측면이 중요하게 생각되는 것으로 분석되었으므로 관리측면의 하위단계의 최대 가중치보다 큰 요소를 운영측면에서 선택하도록 하며 운영측면의 하위단계의 최소가중치보다 큰 요소를 관리측면에서 선택하도록 한다. 이러한 기준으로 운영측면에서는 최고속도위반과 최저속도위반이 선택되었으며 관리측면에서는 구간단속이 선택되었다.



<그림 8> 최종 가중치 결과 그래프

따라서, 본 연구의 결과에 의하면 최종적인 스마트하이웨이에서의 위반차량의 정의는 “어떠한 구간의 평균속도가 운영계획 상의 최고속도나 최저속도를 위반하는 차량”이라 할 수 있다.

#### IV. 결론 및 향후연구과제

본 연구의 목적은 스마트하이웨이 연구를 위하여 스마트하이웨이에서의 위반차량에 대한 개략적인 정의를 내리는 것이다. 이러한 정의를 내리기 위해서는 많은 선행연구가 필요하나 연구를 시작하는 단계에서도 사전적인 정의가 있어야 한다. 사전적인 정의를 위한 접근법으로서 본 연구에서는 기본적으로 전문가의 판단을 이용하도록 하며 이러한 전문가의 판단을 집약하고 수치화하기 위하여 AHP 분석방법을 이용하였다. 또한 이러한 AHP 분석방법의 유의성을 제고하기 위하여 사전설문을 통하여 AHP 항목에 대한 검증과 AHP 설문을 위한 최종적인 전문가를 선정하는 과정을 추가하였다.

최종적으로 6명의 전문가가 선정되어 운영측면과 관리측면으로 구분한 8개의 항목을 평가하였다. 분석결과 운영측면에서는 최고속도위반과 최저속도위반이 선정되고 관리측면에서는 구간단속이 정의를 내리는데 있어 중요한 요소로 선정되었다. 즉, 본 연구에서는 스마트하이웨이에서의 위반차량 정의를 “어떠한 구간의 평균속도가 운영계획 상의 최고속도나 최저속도를 위반하는 차량”으로 정의하였다.

그러나 이러한 정의는 연구의 시작을 위한 개략적인 정의로서 향후에는 운영계획의 수립과 함께 위반차량 정의를 개선해야 하고 또한 테스트 베드에서의 운영상황 및 실제 사고자료를 통한 분석 등과의 피드백을 이용하여 최종적인 정의가 내려져야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07-기술혁신 A01)과 BK21(Safe & Sustainable Infrastructure Research Group)의 지원에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 한국개발연구원(2000), “예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구”
2. 조근태(2002), “기술대안의 전략적 평가를 위한 AHP적용에 있어서 평가자 신뢰성을 고려한 가중치 통합”, 경영과학, 19[2], pp. 139-153.
3. 조성훈, 김태성, 이영찬(1998), “Compatibility를 이용한 다수전문가의 가중치 종합화에 관한 연구”, 한국경영과학회지, 23[4], pp. 131-140.

4. 조근태, 조용곤(2003), “A loss function approach to group preference aggregation in the AHP”, Proceedings of 7th International symposium on the AHP, Bali Indonesia.
5. Ramanathan, R. and Ganesh, L. S. (1994), “Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members weightages”, European Journal of Operational Research, 79, pp. 249-264.
6. Saaty, T. L. (1995), The analytic Network Process, RWS Publications.
7. Saaty, T. L. and Vargas, L. G. (1980), “Hierarchical analysis of behavior in competition: prediction in chess”, Behavioral Sciences, 25, pp. 180-191.
8. Harker, P.T. and Vargas, L. G. (1987), “The theory of ratio scale estimation: Saaty’s analytic hierarchy process”, Management Science, 33[11], pp. 1383-1403.
9. 조근태, 조용곤, 강현수(2003), “앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정”, 동원출판사.
10. Saaty, T.L.(1980), The analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill.
11. Vargas, L. G. (1990), “An overview of the analytic hierarchy process and its applications”, European Journal of Operational Research, 48, pp. 2-8.
12. <http://www.path.berkeley.edu/>