

도로 주행 시뮬레이션 평가를 통한 스마트 델리네이터의 안전운전 유도 효과분석

고한검^{1*} · 김지호² · 성명제² · 이진수²

¹ 아주대학교 건설교통공학과

² (주)제일엔지니어링종합건축사사무소 교통·ITS사업부

Safe Driving Inducement Effect Analysis of Smart Delineator through Driving Simulation Evaluation

KO, Hangeom^{1*} · KIM, Jiho² · SEONG, Myungjae² · LEE, Jinsoo²

¹ Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

² Traffic Eng · ITS Business Division, Cheil Engineering Co., Ltd., Seoul 137-130, Korea

Abstract

Assuming a completed Smart Highway road & communication environment that allows real-time information collection and transmission of road traffic condition ahead, the purpose of this study is to develop a plan for inducing a network-level safe driving pattern by providing road traffic condition and safety information to multiple drivers through a road information provision device.

In this study, the device with a function that displays different colors according to the hazard level to the existing delineator has been named 'Smart Delineator'. Smart Delineator is a device that provides not only alignment information but also safety information for drivers to receive real-time warning information and intuitively recognize road traffic condition ahead so that drivers can respond. To examine the effects of safety driving inducement level on drivers, a simulation test was conducted using driving simulator as well as a satisfaction survey. The result showed that the Smart Delineator was able to identify the location of occurrence and affecting driving according pattern, either adhering to recommended speed or reducing speed according to the pre-defined hazard level.

본 연구에서는 실시간으로 차량 및 도로교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능한 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경이 조성되었을 때를 가정하여, 도로 Infra 기반의 정보제공수단을 통해 전방 도로교통상태정보 및 안전정보를 다수의 운전자에게 공통적으로 제공하여 네트워크 차원의 안전운행을 유도할 수 있는 방안을 마련하고자 하였다.

기존의 델리네이터에서 위험도 등급에 따라 색깔을 달리해 표출하는 기능을 추가한 장비를 스마트 델리네이터(Smart Delineator)로 명명하였다. 스마트 델리네이터는 기존의 델리네이터의 기능과 같은 선형정보 제공 기능 뿐만 아니라, 실시간으로 변화하는 도로교통 상황정보 및 노면 상태정보를 실시간으로 제공받아 전방 도로교통상황에 대해 제공된 경고정보를 운전자가 직관적으로 인지하고 이를 수용하여 충분한 여유거리와 시간을 갖고 대응할 수 있도록 안전정보를 제공하는 시설물이다. 운전자의 안전운전 유도에 미치는 영향을 살펴보고자 도로 주행 시뮬레이터를 이용한 모의 시뮬레이션 평가 결과와 만족도 설문조사를 통해 안전운전 유도 효과를 도출해 보았다. 도로 주행 시뮬레이션을 이용한 운전자 반응 평가 결과 스마트 델리네이터는 이벤트 발생 위치에 대한 판단이 가능하며, 사전에 규정된 위험도 등급에 따른 통행속도 감소율 또는 권장속도에 따라 운전자들의 행동을 유도하는 효과가 있었다.

Key Words

Smart Delineator, Optical guidance facility, VSL, Driving Simulation, Safe Driving Inducement Effect
스마트 델리네이터, 시선유도시설, 가변속도제어, 도로 주행 시뮬레이션, 안전운전 유도 효과

* : Corresponding Author
hankommi@empal.com, Phone: +82-31-219-2544, Fax: +82-31-215-7604

1. 서론

2010년 7월, 인천대교에서 고장으로 서 있던 승용차를 화물차가 추돌하고, 뒤이어 달려오던 버스가 이를 피하려고 급하게 핸들을 꺾다 가드레일을 넘어 4.5m 아래 공사현장으로 떨어진 사고가 발생했었다. 사고원인 차량의 안전조치 미이행, 화물차량과 버스의 안전거리 미확보, 심한 안개로 인한 시야확보의 어려움이 있음에도 이에 대한 불충분한 정보제공 및 신속하지 못한 대응 등의 다양한 요인들이 합쳐져 많은 인명피해가 발생했던 참사였다. 돌발상황 발생 시 이를 운전자에게 빠르게 알려줄 수 있는 안전운전 유도 시설물이 존재하여 후행 운전자들에게 해당 위험상황을 재빠르게 인지시키고, 감속을 유도하였더라면 이와 같은 피해는 어느 정도 줄일 수 있지 않았을 까라는 것이 중론이다.

하지만, 이러한 안전운전 유도 시설물에 대한 필요성에 공감하고 있다 하더라도, 안전운전 정보와 관련해서 어떠한 방법으로, 어떠한 형태로, 어떠한 매체를 통해 전달하는지에 대한 문제에 대해서는 충분한 고려가 이루어지지 못하고 있는 상황이다. 차량 내에 설치한 내비게이션과 같은 정보제공매체의 경우 운전자의 상태와 주행상황을 고려하지 않은 채 사전에 정해진 일방적인 정보만을 표출하고 있으며, 도로변에 설치된 안전정보 표시판의 경우 단순한 안전정보만을 제공하고 있을 뿐이다. 일반적으로 고속도로를 주행할 때 운전자는 획일적인 '제한속도 준수' 또는 '감속운행'라는 안전정보를 제시받게 되는데 이는 운전자에게 직접적인 행동으로 이어지는 신뢰성 있는 정보로 인식되지 못하고 있다. 예를 들어 무인단속시스템의 경우 내비게이션 장비에 의해 단속지점이 노출되어 해당 구간에 근접해서야 감속을 하는 캥커루주행이 빈번히 발생하기도 하는 것이 그 대표적인 경우이다(박제진 등, 2008).

최근 들어 안전운전 지원정보의 필요성이 높아지고 있으며, 많은 연구에서 보다 안전한 운전을 유도하기 위해 운전자에게 획일적이고 단순한 안전정보를 제공하기 보다는 개별 운전자가 어떻게 행동해야 하는지에 대한 구체적인 정보를 제공하는 것이 중요함을 제시하고 있다. 또한 도로주행상황에 맞는 가변제한속도¹⁾ 적용 등에 대한 연구도 활발히 진행 중에 있다.

하지만, 기존의 대부분의 연구에서는 개별 차량을 대상으로 과속 방지 및 감속을 유도하고 있으나, 어느 특정 시간대에 네트워크 차원에서 문제가 발생하고 있는 해당 도로를 이용하는 전체 운전자를 대상으로 한 감속 유도가 되고 있지 못하고 있다. 물론, 가변제한속도 적용의 경우 날씨 등의 요인에 따라 일괄적으로 속도제한을 두고 있어 네트워크 차원에서의 감속 유도가 가능할 수 있으나, 전방 도로에서의 사고 발생이나 낙하물 처리 등으로 인한 갑작스런 상황에 대해서는 반영하지 못하고 있다. 또한 제공되는 정보는 도로전광표지(이하 VMS) 등을 통해 제공되기에 교통정보를 제공받기 전까지는 해당 감속 정보를 바로 인지할 수 없는 단점 또한 존재한다.

본 연구에서는 실시간으로 차량 및 도로교통상황에 대한 정보의 수집 및 전송이 가능한 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경이 조성되었을 때를 가정하여, 기존 도로 시선유도시설 중 델리네이터를 이용하여 안전정보를 위험도 등급에 따라 색깔을 달리해 시각적이며 직관적으로 제공하였을 때, 운전자의 안전운전 유도에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보고자 하였다.

II. 기존 문헌 고찰

1. 관련 연구 고찰

1) 시선유도시설

시선유도시설은 주·야간에 도로의 직선 및 곡선구간에 관한 선형정보를 운전자에게 제공하고 차선의 역할을 수행하는 시설물로서, 운전자의 시선유도 등에 제한을 받아 사고발생 가능성이 높은 야간에 필요성이 요구된다. 시선유도시설에는 시선유도표지, 갈매기 표지, 표적표지, 도색 및 빗금표지, 시선유도봉 등이 있다. 이 중 시선유도표지(델리네이터)는 야간에 차량의 전조등으로부터 빛을 입사 방향과 근사한 방향으로 재귀반사하여 운전자에게 전방의 도로 선형에 관한 정보를 제공하여 차량이탈사고 등을 예방한다(박재홍 등, 2010).

기존의 델리네이터와 관련된 국내외 연구에서는 델리네이터를 이용한 경고정보 제공에 대한 효과평가와 함께 적정 설치간격에 대한 기준을 제시하는 연구 등이 수행되었다. Yasuhiko Kajiya 등(1997)은 Pole-type

1) 도로교통법 시행규칙 제 19조 개정(2011. 7.10 시행)에서는 "비나 안개, 눈 등 악천후 시에는 20~50% 감속운행 해야 한다"고 규정하고 있으며, 경찰청에서는 날씨에 따라 '가변제한속도 제도'를 점진적으로 도입하기로 하였다

Visibility Meter를 통해 가시거리 측정이 가능하고 가시거리정도에 따라 빛을 방출하며 CHSR(Car Halt Surveillance Radar)이 위험상황을 감지하여 후행차량에게 경고정보를 제공하는 지능형 텔리네이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 박재홍 등(2010)은 텔리네이터의 높이와 크기를 고려한 텔리네이터 적정 설치 간격에 대한 연구를 수행하였다. Nicholas Skinner 등(2009)은 텔리네이터의 크기변화는 운전자의 인식에는 효과가 존재하지만 행동에는 효과가 없는 것으로 분석하였다. Susan T. Chrysler 등(2005)은 운전자는 곡선구간에 접근 할 경우 텔리네이터 간격에 대한 구분을 할 수 없고, 곡선반경과 텔리네이터 개수는 영향이 없는 것으로 분석하였다. Helmut T. Zwahlen 등(1988)은 2차로와 4차로 고속도로의 텔리네이터의 최적의 설치간격은 30~43m인 것으로 분석하였다.

2) 경고정보제공

국내의 경고정보제공에 관한 연구를 검토한 결과 경고정보제공 방식과 내용에 따른 운전자의 선호도 및 반응에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.

김태진 등(2010)은 교통류의 상충위험을 알리는 상황정보보다는 직접적인 행동을 요구하는 '행동정보 메시지'가 효과적임을 밝혀내었다. 박재홍 등(2009)은 PVMS를 이용하여 교통안전 경고정보제공에 대한 선호도 분석을 통해, 'TEXT와 픽토그램 또는 기호'는 점멸효과와 적색으로 경고정보를 제공하는 것이 효과적임을 밝혀내었다.

3) 경고정보제공 매체

국내의 경고정보제공 매체에 관한 연구에서는 매체별 운전자의 반응에 대한 연구가 주로 이루어졌다.

Maroney 등(1987)은 traffic sign을 이용하여 운전자 자신의 속도를 알려주는 기법은 제한속도 준수율을 높이는데 있어 효과적임을 제시하였다. Carlson 등(2000)은 지방부 고속도로에서 일시적 공사로 차로가 폐쇄되었을 때 speed trailer와 radar done을 이용하여 운전자에게 속도를 모니터링 해줄 경우 평균 속도와 과속비율을 감소시키는데 효과적임을 밝혀내었다. Pesti 등(2002)은 SMD(Speed Monitoring Displays)의 설치 시 감속 및 이의 유지 효과가 있는 것으로 분석하였다. Mitsuru 등(2003)은 고속도로 작업구간에 대해 SMD

를 설치하지 않은 경우 3mph, SMD를 설치한 경우 7mph, 경찰차를 배치한 경우 9mph의 속도감소효과가 나타남을 밝혔다. 최봉수(2005)는 어린이보호구역 내 DFS(Driver Feedback Sign)의 도입효과를 분석한 결과, 유의미한 속도감소효과가 있는 것으로 분석하였다.

4) 통행속도와 사고와의 관계에 관한 연구

기존 연구 검토 결과 차량의 속도와 안전 사이의 관계에 대해 차량의 속도, 속도 분산, 상류부와 하류부의 속도 차이 등이 사고 발생확률과 관계있다고 제시하고 있다.

Finch 등(1994), Baruya(1998), Quimby 등(1999)과 Kloeden 등(2001, 2002), 정은비 등(2011)은 차량의 속도와 사고율 간에 유의미한 관계가 있음을 제시하였다. Lave(1985), Garber 등(1988, 2000)은 속도의 분산이 사고에 많은 영향을 미친다고 주장하였다. Taylor 등(2000)과 Zheng 등(2010)은 속도의 표준편차와 사고와의 유의미한 관계를 제시하였다. 송성준 등(2011)은 상류부와 하류부의 속도차이가 증가할수록 사고위험도가 커짐을 제시하였다.

5) Driving Simulator를 이용한 연구

Driving Simulator를 이용하여 교통시설물의 설치 기준 및 효과에 관한 연구, 경고정보제공 시의 효과 분석 등의 연구가 이루어졌다.

김종민 등(2012)은 시뮬레이션 분석을 수행하여 도심형 중앙분리대 설치 시 적정 중앙분리대 폭에 대한 주행안정성을 평가하였다. 홍성민 등(2012)은 하이패스 차량의 감속을 유도하기 위한 노면표시를 도출하기 위하여 VR 동영상 시청 실험을 통한 감성공학적 분석방법을 이용하였다. Horberry 등(2006)은 야간 습윤 상태에서의 기존 노면 마킹 대비, 제안 노면 마킹이 차선 및 속도 유지 측면과 작업 부하량 감소 측면에서 더 효과적인 것으로 평가하였다. 송준형(2009)은 차선이탈 경고시스템을 구현하여 운전자의 주의 분산 정도에 따른 차선이탈 경고방법을 연구하였다. 전용옥 등(2009)은 충돌방지 정보제공에 따른 운동행동에 미치는 영향을 검토한 결과 충돌방지정보를 두 단계로 나누어 연속으로 제공할 경우에 효과적임을 제시하였다. 이석기 등(2008)은 갈매기 표지의 감속량에 비하여 동적 시선유도시설의 평균 감속량이 더 큰 것으로 나타났으나, 두 시설에서의 감속도의 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이는 기존 갈매기

표지에 운전자들이 익숙하여 동적 시선유도시설의 효과가 분명하게 나타나지는 않은 것으로 판단하고, 도로에 새로운 시설 및 개념을 적용할 때에는 사전 홍보 및 학습이 필요함을 제시하였다.

6) 시선유도시설 관련 국내·외 개선 효과 연구

건설교통부(1999)는 시선유도시설의 경우 19.71%, 표지병의 경우 14.18%의 사고감소효과가 있는 것으로 분석하였으며, 건설교통부(2002)의 연구에서는 표지병 설치 시 일반국도/지방도는 48.1%, 광역시도/시·군도는 23.0%가, 시선유도봉 설치 시 각각 45.9%, 48.9%가 효과가 있음을 밝혀내었다. 한국도로공사 도로교통연구원(2008)에서는 고속도로 교통안전시설물 설치·개선 전·후의 교통사고건수나 교통사고율은 교통안전표지나 시선유도시설 모두 전반적으로 감소함을 제시하였다.

FHWA(1978)의 연구에서는 차선구분 및 시선유도 표지 설치 시 사고건수는 13%, 부상자수는 20%, 사망자수는 46% 감소한 것으로 조사되었다. FHWA의 연구(2007)에서는 교통안전개선 대안 적용시 예상되는 CRF(Crash Reduction Factor)를 제시하였다. K.W. Orgen(1996)의 호주에서 고속교차로의 교통사고 감소 대안에 따른 효과분석 사례 검토 결과 교차로(고속)에서의 시선유도 안내표지의 경우 20~30%, 일반구간(저속)에서는 15~25%의 감소효과가 있는 것으로 분석되었다. 캐나다에서는 도로교통안전 개선기법에 대하여 도로교통공학적 측면에서 교통사고 감소효과를 분석한 결과, 시인성 높은 도로안내표지(Positive Guidance)의 경우 10~30%의 사고감소 효과가 있는 것으로 밝혀내었다.

2. 본 연구의 주제점

보다 안전한 운전을 유도하기 위해서는 운전자에게 어떻게 행동해야 하는지에 대한 구체적인 '행동정보 메시지'를 제공하여야 한다. 또한 차량 내에 설치된 단말기를 통한 경고정보제공 뿐만 아니라 도로 Infra 시설물을 통해 모든 운전자에 대해 공통적으로 제공된 정보를 이용하여, 공통의 안전을 위해 행동할 수 있는 안전운전 유도 방안이 필요하다.

이에 주행구간의 도로교통 상황정보 및 노면 상태정보를 실시간으로 제공받아 전방 도로교통상황에 대해 제공된 경고정보를 운전자가 직관적으로 인지하고 이를 수용하여 충분한 여유거리와 시간을 갖고 대응할 수 있도록 안전정보를 제공하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기존 도로 시선유도시설 중 델리네이터를 이용하여 동적인 위험 정보를 시공간적으로 제공하였을 때 운전자의 안전운전 유도에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보고자 도로 주행 시뮬레이터를 이용한 모의 시뮬레이션 평가를 통해 그 효과를 도출하고자 한다.

III. 스마트 델리네이터

1. 스마트 델리네이터 개요

스마트 델리네이터(Smart Delineator)는 기존 델리네이터의 기능과 같은 선형정보 제공기능 뿐만 아니라, 운전자의 시각적 능력을 증대시키기 위하여 시시각각 변화하는 도로교통 상황정보를 위험도 등급에 따라 색깔을 달리해 운전자에게 제공하여 보다 적극적인 도로교통 상황 및 안전 정보제공이 가능한 시설물²⁾이다.

2 도로위험도등급 구성

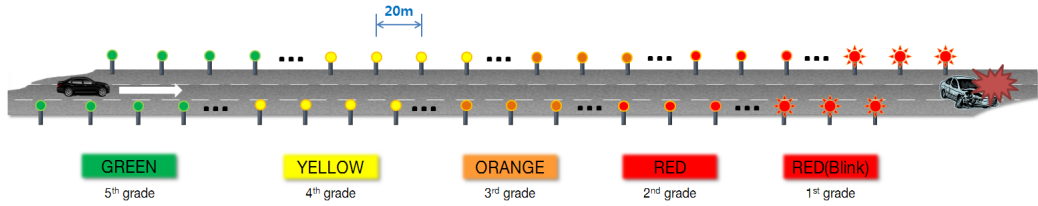
1) 도로위험도등급 구성

스마트하이웨이의 도로위험도 등급은 <Table 1>과 같이 1단계~5단계까지 총 5단계로 구성되며, 위험도 산정 프로세스³⁾에 의해 수치화되어 산출된다. 평상시에는 5등급으로 운영되며 도로위험도 가중에 따른 위험도 수치가 증가하게 되면 위험도는 2등급까지 상승하게 된다. 만약 전방에 교통사고나 낙하물 발견 등의 돌발상황이 발생하게 되면 위험도등급은 1등급이 되며, 이 돌발 정보는 위험도등급에 가장 우선하여 표출되게 된다.

2) 도로위험도등급별 감속율

본 연구에서는 스마트 델리네이터를 '가변형 속도제한 표지'와 같은 레벨의 규제표지로 가정하여, 스마트 델리네이터를 통해 가변속도제어 수행 시 운전자는 위험도

2) 대략적으로 운전자가 얻는 정보의 90%가 시각적인 정보로서, 운전자의 시각적 능력은 상당히 다양하기 때문에, 운전자가 보고, 이해하고, 적절히 반응하게 하기 위한 정보 표현 방법은 매우 중요함(HSM, 2010)
 3) 도로 교통상황에 따른 도로위험도 등급 산정 절차는 본 논문에서는 제시하지 않음

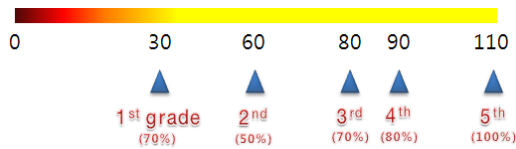


<Figure 1> Sequential Color Expression (Example of 1st grade)

<Table 1> Road Hazard Levels & Deceleration (Example)

Hazard Grade	Classification Situation	Color Expression	Deceleration Rate ⁴⁾	Applied Speed ⁵⁾
1st	Unexpected Circumstance Occurred	RED (Blink)	70%	30km/h
2nd	Very Hazardous	RED	50%	55km/h
3rd	Hazardous	ORANGE	30%	75km/h
4th	Slight Hazardous	YELLOW	20%	85km/h
5th	Ordinary	GREEN	-	110km/h

note) Applied speed was calculated based on the speed limit of 110km/h



<Figure 2> Deceleration Rate by Road Risk Grade (Example of 110km Speed Limit)

등급에 따라 위험 상황의 정도를 인지하고 사전에 정해진 감속율에 의거 권장속도까지 감속을 충실히 하는 것으로 가정하였다.

예를 들어 <Table 1>에서 제시한 바와 같이 4단계에 해당하는 정보 표출 시 운전자는 20%의 감속을 하게 되며, 3단계는 30%, 2단계는 50%의 감속을 하게 되는 것이다. 돌발상황이 발생하는 1단계의 경우에 해당 가변속도정보 표출 시 제한속도의 70%까지 감속을 하며, 해당 구간의 제한속도가 110km/h일 때, 운전자는 30km/h까지 감속을 하게 되는 것이다.

3. 스마트 델리네이터 설치간격

기존 지침⁶⁾ 및 기존 연구 검토를 통해 스마트 델리네이터의 간격은 20m 간격으로 설정(조정 가능)하였으며, 중앙분리대와 가드레일에 각각 설치하여 운전자들의 시인성을 확보할 수 있도록 하였다.

스마트 델리네이터를 통한 도로위험도 등급 표출은 단계별로 순차적으로 표현되어 운전자가 자연스럽게 반응할 수 있도록 하기 위해 순차적 색상표현 구간길이에 관한 정의가 필요하며, 운전자 인지반응시간⁷⁾과 제한속도를 고려하여 설정하도록 한다.

<Table 2>는 건조 시 평지부에서의 도로 위험도 등급에 따라 표출되어야 할 델리네이터의 개수와 필요거리⁸⁾

<Table 2> Sequential Color Expression (Example of 1st grade)

Division	Delineator Color Expression				Safety Information through Delineator
	Red (Blink)	Red	Orange	Yellow	
1st grade	11 (220m)	13 (260m)	8 (160m)	25 (500m)	57 (1140m)
2nd grade	-	13 (260m)	8 (160m)	25 (500m)	46 (920m)
3rd grade	-	-	8 (160m)	25 (500m)	33 (660m)
4th grade	-	-	-	25 (500m)	25 (500m)
5th grade	-	-	-	-	-

note) Deceleration rate (deceleration -5kph/sec to be applied) to be calculated by step when the vehicle travels under the speed limit of 110km/h

4) 도로위험도 등급별 감속율의 경우 운영자의 판단에 의거 조정될 수 있으며, 이에 대한 보다 구체적인 향후 연구가 필요함

5) 제한속도 110km/h를 기준으로 적용속도를 산정하였음

6) 『도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토해양부』에서 제시하고 있는 고속도로 직선부의 경우 델리네이터 최대설치간격은 50m로 규정하고 곡선부의 경우는 이보다 짧은 간격으로 설치하도록 하고 있음

7) AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 운전자가 장애물을 발견하고 브레이크를 밟을 때까지의 반응시간은 위험요소를 판단하는 시간 1.5초, 제동장치를 작동하는 시간 1.0초, 총 2.5초를 적용

8) 도로 위험도 등급에 따른 델리네이터 표출 개수와 필요거리 산정에 관한 내용은 본 논문에서는 제시하지 않음

를 나타낸 것이다. 예를 들어 3단계(위험 단계)의 경우 주황(점멸)이 8개, 주황이 25개가 필요하며, 총 660m에 걸쳐 정보를 제공하게 된다. 반면 1단계의 경우 총 57개(1140m)에서 순차적으로 색깔과 표시 방법을 달리해 델리네이터 정보를 표출하도록 한다.

본 연구는 도로 및 교통정보의 수집-가공(연산)-제공 과정의 통신 시간이 지체 없이 정해진 시간 내에 이루어지며 실시간으로 수집된 도로교통정보는 노변기지국으로 전송되어 서버 연산 시간을 거쳐 차량 장비(OBU)를 통해 운전자에게 실시간으로 제공됨을 가정하고 있다.

IV. 스마트 델리네이터의 안전운전 유도 효과분석

1. 안전운전 유도 효과분석 개요

본 연구에서는 기존 도로 시선유도시설 중 델리네이터를 변형하여 안전정보를 위험도 등급에 따라 색깔을 달리해 시각적이며 직관적으로 제공할 수 있는 스마트 델리네이터가 운전자의 안전운전 유도에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보고자 도로 주행 시뮬레이터 이용하여 모의 시뮬레이션 평가를 실시하였다. 모의 시뮬레이션 평가를 통해 운전자들의 안전운행 유도에 관한 상대적인 효과를 분석하도록 하였다.

또한 현재 현장에 구축 및 운영이 되지 않아 실제적인 개선효과를 알 수가 없기에, 유사한 기능을 갖는 시선유도시설의 사고감소 효과를 검토해보도록 한다.

마지막으로, 도로주행 모의 시뮬레이션 평가를 수행한 실험참가자들을 대상으로 설문조사를 수행하여 시뮬레이션 분석에서 사용된 안전운전 시설물에 대한 운전자 만족도 평가를 수행하도록 하였다.

이와 같은 분석을 통해 스마트 델리네이터가 갖는 안전운전 유도효과에 대해 만족도 뿐만 아니라 사고감소효과 등을 다각도로 검토해 보도록 하였다.

2. 도로 주행 시뮬레이션 평가

1) 도로 주행 시뮬레이션 평가 개요

Driving Simulator는 실험환경 제어 및 자료수집의 용이성 등의 장점으로 인해 다양한 연구를 위한 도구로서 교통분야에서 널리 사용되고 있다. 하지만 Driving Simulator가 지닌 calibration 문제로 인해 절대적인



<Figure 3> Driving Simulation Test Environment

값을 도출하기 위한 방안(approach for absolute solution) 보다는 상대적인 평가에 의한 각 대안의 비교(approach for relative comparison)에 주로 사용되어 왔다(오철 등, 2008).

본 연구에서는 UC-Win Road(Ver. 5.0.3) 시뮬레이션을 통해 네트워크를 구현하여 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 영상(1채널 30인치 모니터)과 주행차량의 음성을 운전자에게 제공함으로써 현실감을 확보할 수 있도록 하였다. 실험 대상자는 평균 110km/h로 주행을 하며, 화면 하단에 위치한 Speedmeter 모듈을 통해 본인의 주행속도를 상시로 확인하도록 하였다.

2) 평가 개요

실험 대상자는 최근 6개월 이내에 실제 도로주행을 한 20대-40대 운전자 30명을 대상으로 분석을 수행하였다. 연령대는 20대 10명, 30대 15명, 40대 5명이고, 남성 20명, 여성 10명으로 구성되었다.

실험에 앞서 실험참가자에게 본 연구의 목적에 대해 설명하고, 스마트 델리네이터의 등급별 색깔에 따른 감속 정도 및 권장속도에 대하여 인지 할 수 있도록 하였다. 또한, 차량 시뮬레이터에 대한 간략한 설명 후, 테스트 주행을 통해 시뮬레이터의 핸들 및 브레이크의 감도에 대해 익힐 수 있도록 하였다.

3) 도로 주행 시뮬레이션 환경 구축

(1) 도로 주행 시뮬레이션 환경 구성

본 연구의 대상 도로는 편도 3차로의 고속도로로, 도로 주행 시뮬레이터에 반영된 기하구조는 고속도로의 이상적인 조건을 적용하였다.

- 편도 3차로 고속도로

- 차로폭 3.6m, 직선구간 24km(조건별 6km)
- 길어깨(좌측 1.2m, 우측 2m)
- 중앙분리대(127cm), 가드레일 설치
- 차종별 교통량 1,000대/시

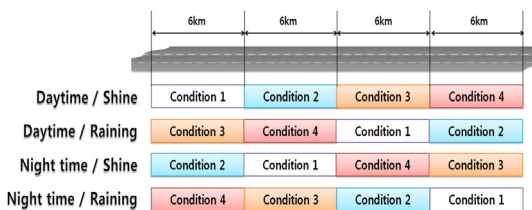
(2) 시나리오 구성

주행환경 및 안전운전 정보제공 방법에 따라 운전자의 운전행동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구에서는 주간-야간, 맑음-강우에 대하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 주행여건과 정보제공 방법에 따라 총 16가지 시나리오⁹⁾를 구축하였다.

- 조건 1 : 아무것도 설치 안함(대조군)
- 조건 2 : VMS 설치
- 조건 3 : 스마트 델리네이터 설치
- 조건 4 : VMS + 스마트 델리네이터 설치

실험 참가자가 여러 번의 시뮬레이션 반복으로 실험 환경에 익숙해짐으로 인해 돌발상황의 발생위치를 사전에 예측하고 감속하는 등의 학습효과를 상쇄시키기 위하여 <Figure 4>와 같이 실험 참가자별로 주행여건(주간-야간, 맑음-강우)별 시뮬레이션 순서와 돌발상황 발생위치¹⁰⁾를 달리하여 적용하였다. 또한 여러 종류의 차량을 주행시켜 전방의 시야를 일정부분 가림으로서 전방의 돌발상황을 사전에 인지하고 미리 반응하는 것을 방지하도록 하였다.

VMS는 돌발상황 발생 이전 3km 지점에 문형식으로 설치하였으며, “전방 3km 사고발생, 감속운행”이라는 정보를 표출하였다. 스마트 델리네이터의 경우 앞서 설명한 설치기준에 의거하여 중앙분리대와 가드레일에 각각 20m 간격으로 설치¹¹⁾하였다.



<Figure 4> Scenario Configuration

9) 날씨(2가지, 맑음, 강우) * 주/야간(2가지) * 조건(4가지) = 16가지 Case

10) 차량의 제동에 영향을 미치는 노면상태, 종단경사 등을 고려하여 상황별로 세분화하여야 하나, 본 연구에서는 평지의 건조한 노면 조건만을 고려하여 제시하였음

11) 델리네이터의 점멸 표출의 경우 시뮬레이션 구현의 한계로 인하여 기존 델리네이터의 크기보다 확대하여 대체 설치하였으며, 실험대상자에게 이에 대한 보완 설명을 하였음



<Figure 5> Smart Delineator Installation Form

4) 시뮬레이션 측정 변수

(1) 감속도 분석

본 시뮬레이션의 측정변수로는 감속도 계산식을 이용하여 감속효과를 알아보려고 하였다.

$$a = \frac{v_t^2 - v_{t-1}^2}{2s} \tag{1}$$

여기서,

a : $t-1$ 시간과 t 시간 사이의 감속도(kph/sec)

v_t : 시간 t 에서의 통행속도(km/h)

s : $t-1$ 시간과 t 시간 사이의 주행거리(km)

단위시간당 통행속도의 변화정도를 나타내는 감속도(kph/sec)는, 동일한 속도변화(감속)를 한다 하더라도 짧은 시간동안 감속을 한 경우 감속도가 큰 반면, 비교적 긴 감속시간을 가질 경우 감속도는 작을 것이다.

(2) 가속소음 분석

가속소음(Acceleration Noise)은 평균가속도에 대한 감가속도의 표준편차로 표현한 지표로서 교통류의 안정도를 상대평가 할 수 있는 미시적 교통류 특성 지표이다(엄기중, 2009; Gerlough 등, 1976).

운전자는 희망속도를 유지하기 위해 가감속을 한다는 가정에서 출발하는 이므로 희망속도를 유지하는 못하는 것은 도로환경 · 교통류의 질이 악화되었다는 것을 의미한다. 가속소음은 평균가속도에 대한 가속도의 표준편차로 식(2)와 같다.

$$\sigma = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

여기서,

σ : 가속도의 표준편차(가속소음)

$a(t)$: 시간 t 에서의 가속도(kph/sec)

T : 움직이는 총 시간(t)

(3) 시뮬레이션 측정 변수별 분석시간 선정

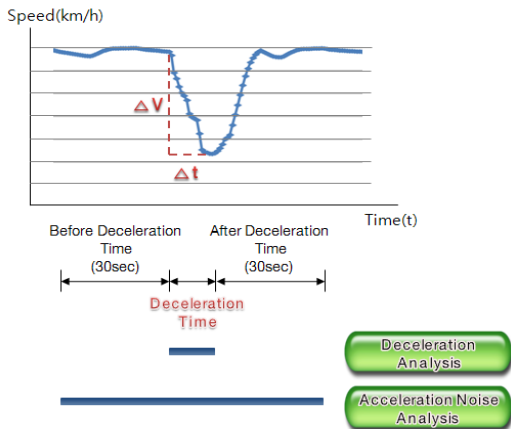
감속도 분석의 경우 1초 단위로 수집된 운행 Log자료를 통해 운전자가 감속을 시작하는 시점은 이전시간대의 통행속도 대비 5% 이상의 감속이 시작되는 시점으로 하였으며, 감속이 종료되는 시점은 최저 속도를 보이는 시간으로 선정하였다. 이 때, x축은 시간, y축은 통행속도를 나타내며, 1초 간격의 점간의 기울기는 통행속도 변화율(감가속도)을 나타낸다.

가속소음 분석의 경우 운전자가 전방의 돌발상황 발생으로 인해 감속이 시작되기 전 30초, 최저 속도로 감속 후 가속을 하는 30초 동안을 분석 대상으로 하여 해당 영역 내에서의 가속도 자료를 이용하였다.

5) 도로 주행 시뮬레이션 결과 분석(2)

(1) 감속도 분석

본 실험 결과 아무것도 설치가 되어 있지 않은 경우(조건 1)의 감속도가 -9.13(kph/sec)로 가장 큰 것으로 분석되었으며, 다음으로 VMS를 통해 정보를 제공하였을 경우(조건 2)가 -7.23(kph/sec), 스마트 델리네



<Figure 6> Selection of analysis time by simulation measurement variable(example)

<Table 3> Simulation Analysis Results ; Deceleration

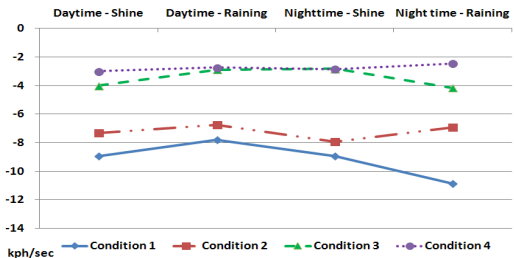
Unit : Deceleration Distance(km), Deceleration(kph/sec)

Division		Condition			
		#1	#2	#3	#4
Day time - Shine	Deceleration Distance	0.226	0.313	0.512	0.530
	Deceleration	-8.95	-7.33	-4.01	-3.00
Day time - Raining	Deceleration Distance	0.301	0.266	0.572	0.579
	Deceleration	-7.81	-6.76	-2.90	-2.74
Night time - Shine	Deceleration Distance	0.231	0.250	0.577	0.602
	Deceleration	-8.94	-7.92	-2.83	-2.84
Night time - Raining	Deceleration Distance	0.177	0.260	0.496	0.596
	Deceleration	-10.85	-6.91	-4.17	-2.46
Average	Deceleration Distance	0.234	0.272	0.540	0.577
	Deceleration	-9.13	-7.23	-3.48	-2.76

이터 설치 시(조건 3)와 VMS와 스마트 델리네이터 동시 설치(조건 4) 시에는 각각 -3.48(kph/sec)과 -2.76(kph/sec)으로 상대적으로 낮은 감속도 값을 갖는 것으로 분석되었다.

다음으로, 도로 주행 시뮬레이터를 통해 안전정보 제공 조건별로 산출된 감속도 값이 통계적으로 차이가 있는지를 분석해 보았다. 각 조건에 대한 일원배치분산분석(One-Way ANOVA)을 시행하였으며, 그에 앞서 각 집단의 분산의 동일성을 검정하기 위해 Levene 검정(13)을 시행하였다.

각 조건별 군집에 대한 일원배치분산분석 결과 F값이 160.767, 유의확률이 0.000으로 조건별 감속도는 차이가 있는 것으로 분석되었다. 조건별 감속도의 유의한 차



<Figure 7> Simulation Analysis Results ; Deceleration

- 12) 본 연구에서 평가지표로 사용한 감속도, 감속거리, 가속소음 등의 경우 상대적인 수치로 활용하여 안전시설물별 안전운전 유도효과 지표로 활용을 하며, 향후 현장실험을 통해 본 연구에서 제시하고 있는 결과와의 비교를 거쳐 평가지표에 대한 보정이 이루어져야 함. 또한 보다 객관적인 평가를 통해 그 효과를 제시할 필요가 있을 것임
- 13) Levene 검정은 분산의 동일성을 검정하는 것으로 독립변수 집단의 분산이 동일함을 검사해주는 방법임

<Table 4> Results of the One-Way ANOVA ; Deceleration

Condition	Test Result Average (m/s ²)	Levene's Test of Equality of Variances		One-Way ANOVA		Post Hoc Tests
		Levene F-Value	Sig.	F-Value	Sig.	
#1 (a)	-9.13	52.808	0.000*	160.767	0.000*	a≠b≠c,d (Dunnett T3 Test)
#2 (b)	-7.23					
#3 (c)	-3.48					
#4 (d)	-2.76					

note) * : Significant at 0.05 level of significance

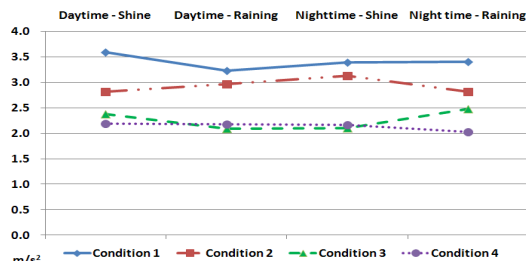
이가 있는지를 확인하기 위하여 사후검정인 Dunnett T3 검정을 실시¹⁴⁾한 결과 조건3과 조건4는 유사한 특성을 나타내는 반면, 조건1과 조건2와는 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

(2) 가속소음 분석

가속소음 분석 결과 감속도 분석과 마찬가지로, 아무 것도 설치가 되어 있지 않은 경우(조건 1)의 가속소음이 3.399(m/s²)로 가장 큰 것으로 분석되었으며, 다음으로 VMS를 통해 정보를 제공하였을 경우(조건 2)가 2.928(m/s²), 스마트 텔리네이터 설치 시(조건 3)와 VMS와 스마트 텔리네이터 동시 설치(조건 4) 시에는 상

<Table 5> Simulation Analysis Results ; Acceleration Noise
(Unit : m/s²)

Division	Condition			
	#1	#2	#3	#4
Daytime - Shine	3.587	2.818	2.375	2.186
Daytime - Raining	3.220	2.959	2.087	2.181
Night time - Shine	3.392	3.123	2.102	2.161
Night time - Raining	3.397	2.810	2.470	2.023
Average	3.399	2.928	2.258	2.138



<Figure 8> Simulation Analysis Results ; Acceleration Noise

14) Levene 검정 결과, F값은 52.808, 유의확률은 0.000으로써, 분산의 집단이 같다는 귀무가설을 기각하므로, 매체집단간 분산이 다르다고 나타났으며, 사후검정 시 Dunnett T3 검정을 실시

<Table 6> Results of the One-Way ANOVA ; Acceleration Noise

Condition	Test Result Average (m/s ²)	Levene's Test of Equality of Variances		One-Way ANOVA		Post Hoc Tests
		Levene F-Value	Sig.	F-Value	Sig.	
#1 (a)	3.399	25.298	0.000*	31.283	0.000*	a≠b≠c,d (Dunnett T3 Test)
#2 (b)	2.928					
#3 (c)	2.258					
#4 (d)	2.138					

note) * : Significant at 0.05 level of significance

대적으로 낮은 가속소음 값을 갖는 것으로 분석되었다.

가속소음에 대한 일원배치분산분석 결과 역시 감속도 분석과 마찬가지로 조건3과 조건4는 유사한 특성을 나타내는 반면, 조건1과 조건2와는 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

(3) 소결

주행실험 결과 감속도(또는 감속거리 등) 변화가 안전에 어느 정도 영향을 미치는지에 대한 구체적이고 직접적인 상관관계 유무 및 정량적인 수치가 제시되어야만 안전운전 유도 효과를 분석할 수 있을 것이다. 하지만, Driving Simulator는 calibration 문제로 인해 절대적인 값을 도출하기 위한 방안 보다는 상대적인 평가에 의한 각 대안의 비교에 주로 사용되어 온 평가 방법으로 본 분석에서 도출된 결과는 절대적인 값을 의미하지는 않는다. 즉, 본 연구에서 평가지표로 사용한 감속도, 감속거리의 경우 상대적인 수치로 활용하여 안전운전 유도효과 지표로만 활용을 하여야 할 것이다.

향후 현장실험을 통해 본 연구에서 제시하고 있는 결과와의 비교를 통해 감속도 및 감속거리에 대한 보정이 이루어져야 하며, 보다 객관적인 평가를 통해 그 효과를 제시할 수 있을 것이다.

감속도 변화가 안전에 어느 정도 영향을 미치는지에 대해 알아보기 위하여 국내외의 속도변화와 사고위험간 관계 관련 연구 내용을 검토한 결과 속도가 감소하거나 속도의 표준편차가 감소할 경우 사고비율이 감소한다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 본 연구에서 제시하고 있는 스마트 텔리네이터의 경우 감속 및 속도 표준편차의 감소를 유도하여 사고 감소에 기여 할 수 있을 것으로 간접적으로나마 기대할 수 있다.

3. 안전운전 유도 효과 분석

1) 안전운전 유도 효과 분석 개요

국내에서는 다양한 도로안전시설물을 대상으로 사고 감소효과 등 안전운전 유도효과와 관련한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서 제시하고 있는 스마트 델리네이터는 기존의 델리네이터를 개선하여 안전운전을 유도하기 위한 시설물로, 현재 실제로 설치 및 운영이 되지 않아 정확한 효과를 알기 어렵기에, 스마트 델리네이터와 유사한 기능을 갖는 시선유도시설과 동일한 안전운전 유도효과가 있다고 가정하여 그 효과를 검토해보도록 하였다.

교통안전시설물의 안전운전 유도 효과를 예측하기 위한 평가지표 중의 하나로 교통사고 감소계수(Accident Reduction Factor, 이하 ARF)¹⁵⁾가 사용되고 있다. 하지만, 특정연구에서 추정되는 ARF는 선행연구의 분석방법, 표본특성 등에 따라 그 결과값이 매우 다양하게 나타나며, 다른 환경하에서 시행될 안전개선사업의 효과도 예측에 사용할 경우 예측되는 효과도는 실제의 효과와 차이가 발생할 수도 있다. 이러한 문제점들로 인하여 ARF 산정에 메타분석(Meta Analysis)¹⁶⁾을 도입하여 안전개선사업의 효과도 예측의 합리성을 확보하고자 하는 연구들이 수행되고 있다(박규영, 2006).

메타분석을 수행하는 과정에는 다양한 방법이 있으나, 본 연구에서는 병합효과도를 메타분석의 베이시안 추론으로 시행하고자 한다. 메타분석의 베이시안 추론(Bayesian Inference)은 식(3)과 같은 베이지 정리를 이용하며 사전분포는 선행 연구결과들의 분포가 되고, 우도분포는 현재 연구결과들의 확률모형, 사후분포는 병합효과도의 분포가 된다.

$$\text{베이지 정리} : p(\theta|y) \propto p(y|\theta)\pi(\theta) \quad (3)$$

여기서,

$p(\theta|y)$: θ 의 사후분포(y 가 주어졌을 때 θ 의 조건부 분포)

$p(y|\theta)$: 관측된 데이터 y 의 확률모형(우도함수)

$\pi(\theta)$: θ 의 사전분포

베이시안 추론의 경우 대표본을 요구하지 않고¹⁷⁾, 사전정보에 해당하는 기존 연구결과의 효과도를 고정된 값으로 보지 않고 확률변수로 인식함으로써 모집단의 추정된 값의 신뢰도를 보다 제고할 수 있다는 장점이 있다.

2) 교통사고감소계수(ARF) 추정¹⁸⁾

(1) 선행연구결과 수집

국내·외의 선행연구 검토 결과 시선유도시설(교통안전표지, 시선유도시설 등)의 사고감소 효과도는 5%~50%까지 다양한 범위를 보이고 있다. 본 연구에서는 앞서 제시한바와 같이 개별 연구 간에 상이한 표본특성과 연구계획을 아우르며 안전개선사업 효과도 예측의 합리성을 확보하기 위한 방안으로 메타분석을 이용해 ARF 산정모형을 구축하고자 하였다.

선행 연구에서 제시된 효과도의 경우 연속형 변수로, 사고감소효과의 분포를 정규분포로 가정하고 분석을 시행하고자 하였으며, 정규분포 모수인 평균(μ)과 분산(σ^2)의 베이지 추정을 하였다.

(2) 모수의 사전분포 결정

모수에 대한 사전분포의 형태를 모른다면 표본분포의 분포형태에 따라 결정되는 특정계열의 분포를 이용하면 편리하다. 사전분포와 사후분포가 같은 분포족에 속할 때의 사전분포를 공액사전분포(Conjugate Prior)라 한다. 공액사전분포를 많이 이용하는 이유는 결과를 이해하기 쉬우며, 수학적 계산을 매우 간편하게 해주기 때문이다(박규영, 2006). 본 연구에서는 계산이 쉽고 결과에 대한 이해가 쉬운 공액사전분포를 이용하여 검정을 시행하였다.

공액사전분포를 이용하기 위하여 우선 표본분포를 파악하고자 하였다. 표본분포가 정규분포를 따르는지에 대한 검정¹⁹⁾을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 수행한 결과 W 통계량이 0.928, p-값이 0.056으로 나타나 90% 신뢰수준에서 표본분포가 정규분포를 나타낸다고 할 수 있다.

15) 또는 AMF(Accident Modification Factors)로도 쓰이며, 안전시설물 설치에 대한 사전평가 과정에 분석위단위로 활용되는 지표임

16) 메타분석은 개별 연구결과들을 통합할 목적으로 많은 수의 개별적인 연구나 결과들을 통계적 방법을 사용하여 분석하는 것을 말하며(오성삼, 2002), 어떤 특정 연구결과와 대다수의 연구결과간에 차이가 있다는 이유로 분석대상에서 제외하지 않고 전체적인 결론을 도출해 내기 위해 상이한 연구도 고려할 수 있다는 장점이 있음(박규영, 2006)

17) 최근 통계계산의 발전으로 '정확한' 계산을 마코브체인몬테칼로(Markov Chain Monte Carlo, MCMC) 방법을 사용하여 수행할 수 있기 때문이며, 이 때의 MCMC란 사후분포로부터 통계적으로 난수를 발생하여 사후평균을 추정할 수 있게 하는 방법론임

18) 박규영(2006)의 연구 프로세스를 적용하여 본 연구의 효과분석을 수행하였음

19) 정규성 검정을 위해 사용하는 분석방법에는 Kolmogorov-Smirnova 검정(2000개 이상의 많은 데이터 분석 시 사용)과 Shapiro-Wilk 검정(데이터가 적을 때 사용) 등이 있음

<Table 7> Normality Test of the Sample²⁰⁾

Descriptive	Mean	SD	Minimum	Maximum
	0.2574	0.1282	0.05	0.50
Shapiro-Wilk Test	Statistic		p-value	
	0.928		0.056	

3) 교통사고감소계수(ARF) 추정결과

본 연구에서는 베이지안 모형을 적합시키는 통계패키지인 WinBUGS(Bayesian interface Using Gibbs Sampling) ver. 1.4.3을 이용하여 병합효과도를 추정하였다. 병합효과도 추정시 사전분포는 기존의 연구 결과이며, 정규분포임을 가정하였다. 박규영(2006)의 연구에서 제시한 바와 같이 대부분의 사전연구에서 메타분석을 바로 적용하는데 필요한 분산값을 제시하고 있지 않아, 본 연구에서는 메타분석의 베이지안 추론 중 평균과 분산을 모를 때는 추정하는 방법을 적용하도록 한다. 마코브연쇄몬테칼로(MCMC) 방법을 사용하여 20,000개의 표본을 생성하여, 이 중 10,000개(10,001~20,000번째)의 표본을 추정에 사용하였다.

병합효과도 추정결과 ARF는 N(0.2656, 0.0006)의 정규분포로 추정되었으며, μ 의 평균값은 26.56%로 나타났다. ARF의 95% HPD 신용구간(Highest Posterior Density Credible Interval)은 21.7~31.57%로 나타났다으며, 모수 추정결과는 다음과 같다.

각 모수별 추정량의 주변사후밀도함수(Marginal

<Table 8> Summary Descriptive Statistics of Estimated ARF

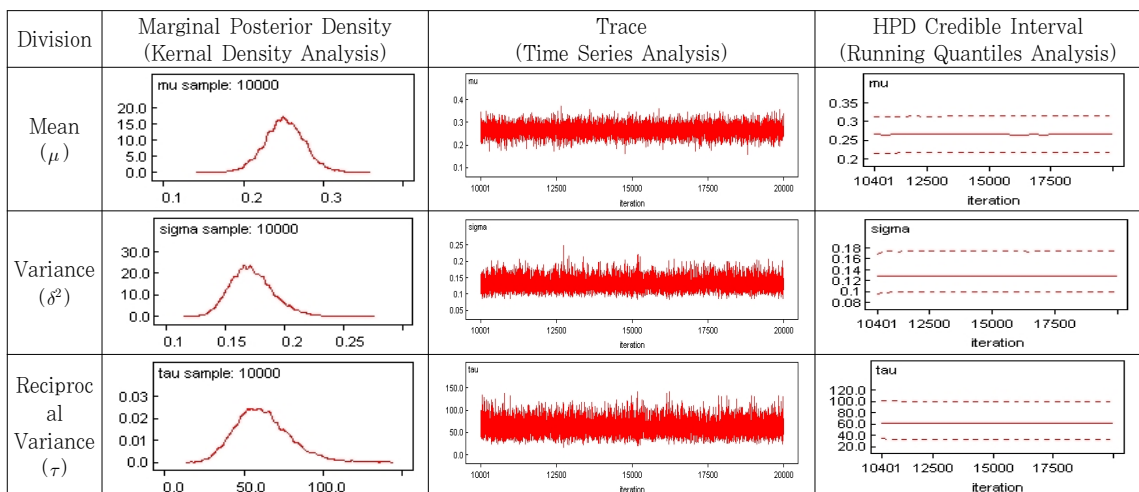
Node	Mean	SD	MC Error	2.5%	Median	97.5%	Sample No.
μ	0.2656	0.0248	2.554E-4	0.217	0.2654	0.3157	10000
δ^2	0.1307	0.0187	1.983E-4	0.1002	0.1286	0.1738	10000
τ	62.01	17.02	0.1747	33.12	60.46	99.66	10000

Posterior Density), 반복연산에 따른 변수별 추정값의 추이(Trace)와 반복연산에 따른 HPD 신용구간의 변화와 평균값은 (Figure 9)와 같다.

각 모수별 10,000번 반복연산하여 누적시킨 주변사후밀도함수를 보면, 개별 연구의 분산이 반영되지 못한 분산의 주변사후밀도함수는 0.17에 가까운 값에 최고 누적도수를 나타내고 있다. 평균(μ)은 0.25 부근에서 최고 누적도수를 보이고 있다. 반복연산에 따른 추정값은 분산을 동일하게 잡은 분석사례임에도 불구하고 마코브연쇄몬테칼로방법으로 난수를 발생해 추정값이 다양하게 나타나고 있음을 보여준다. 반복연산에 따른 추정값의 추이가 변화하지만, 반복연산이 진행되어도 중앙값이 위치할 확률이 높은 95% HPD 신용구간은 크게 변화가 없는 것으로 나타났다.

4. 운전자 만족도 분석

본 연구는 안전운전 유도 시설물의 실제 구축 및 운영을 하기 위한 초기 단계의 연구로, 도로주행 모의 시뮬레이션 평가를 수행한 실험참가자(운전자)들을 대상으로



<Figure 9> ARF Estimation Result using Bayesian Inference

20) Shapiro-Wilk 검정은 상용 통계 프로그램인 PASW(SPSS) 17.0을 이용하여 분석을 실시함

설문조사를 수행하여 시뮬레이션 분석에서 사용된 안전운전 시설물(VMS, 스마트 델리네이터, VMS+스마트 델리네이터)에 대한 운전자 만족도 평가를 수행하였다.

각 평가항목에 대해 대안별로 단순 만족도를 측정하였기에 해당 만족도 분석결과가 절대적인 의미를 가지고 있는 것은 아니지만, 운전자 측면에서의 주관적인 안전²¹⁾을 측정하여 상대적인 안전운전 유도효과를 알아보고자 하였다.

1) 제공정보 만족도 분석

<Table 9>는 안전운전 시설물을 통해 안전정보를 제공받았을 때 운전자가 느끼는 제공정보에 대한 만족도를 분석한 결과이다. 안전정보 내용의 이해성(전달성)과 정확성에 대해 10점 만점으로 평가한 결과, 모두 대안 3(VMS와 스마트 델리네이터를 함께 운영)가 가장 높은 만족도를 나타내었고, 다음으로 대안 2(스마트 델리네이터 운영), 대안 1(VMS 운영)의 순으로 조사되었다.

2) 돌발상황 대처능력 만족도 분석

돌발상황 대처능력에 대한 만족도 분석결과에서도 스마트 델리네이터와 VMS를 통해 정보가 함께 제공(대안 3)될 경우 각각 정보가 제공될 경우에 비해 높은 만족도를 갖는 것으로 분석되었다.

스마트 델리네이터(대안 2)의 경우 VMS(대안 1)에 비해 돌발상황 대처능력에 대한 만족도가 높은 것으로 조사된 반면, 원인정보에 대한 파악 항목은 VMS를 통해 정보가 제공되었을 때에 비해 낮은 만족도를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 스마트 델리네이터의 경우 등급에 따라 색상만을 달리해 표현하기에 원인정보를 얻는 것이 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

<Table 9> Safety Information Satisfaction by Alternative (Unit : point/10 point)

Alternative	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
Safety Info Satisfaction	VMS	SMART Delineator	VMS + SMART Delineator
Understandability	5.6	7.4	8.1
Accuracy	5.8	7.6	9.3

21) 주관적인 안전은 도로교통 시스템에서 구성 주체(이용자, 운영자 등)가 느끼는 '안전하다'는 인지와 관련되기 때문에, 동일한 시설물일지라도 평가주체에 따라 주관적 안전은 다르게 평가될 수 있음(HSM, 2010)

<Table 10> Unforeseen Situation Coping Ability by Alternative (Unit : point/10 point)

Alternative	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
Unforeseen Situation Coping Ability	VMS	SMART Delineator	VMS + SMART Delineator
Cause Info Identification	7.4	4.2	8.6
Location Info Identification	5.4	7.7	9.1
Action Info Instruction	4.9	8.1	9.0
Required Speed Reduction Level	4.2	7.9	8.8
Required Speed Reduction Distance Assurance	4.8	8.3	8.9

<Table 11> Drivers' Satisfaction by Alternative (Unit : point/10 point)

Alternative	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
Goal	VMS	SMART Delineator	VMS + SMART Delineator
Drivers' Satisfaction	4.7	7.6	8.9

3) 운전자 만족도 분석

안전운전 시설물에 대한 안전정보 제공과 돌발상황 대처능력에 대한 만족도 분석 결과, 대안 3이 8.9점(10점 만점)으로 가장 높았으며, 다음으로 대안 2, 대안 1의 순으로 조사되었다.

5. 소결

안전운전 유도 시설물의 도로주행 시뮬레이션 분석 결과를 바탕으로 대표적인 교통정보제공 매체인 VMS와 비교하여 본 연구에서 제시하고 있는 스마트 델리네이터의 특징을 검토해 보았다. VMS의 경우 돌발상황에 관한 원인정보 제공하는 것에 비해 스마트 델리네이터는 해당 정보를 제공하지 못하는 단점이 존재하였다. 반면, 일정 간격(본 연구에서는 20m)으로 연속적으로 설치된 스마트 델리네이터의 경우 돌발상황 발생 위치의 판단이 용이하였다. 또한, 감속 또는 돌발상황에 대해 주의운행을 하라는 소극적 행동정보를 제공하는 VMS와는 달리 스마트 델리네이터의 경우 적극적으로 운전자들의 행동

<Table 12> Comparison of VMS and SMART Delineator

Division	VMS	SMART Delineator
Cause Info	Provision of the information about the cause for an accident	Cause for an accident not provided
Location Info	Provision of distance information text	The accident location can be grasped using delineators installed in succession (20 to 25m interval)
Action Info	Passive provision of information about deceleration or caution	Positive provision of information about degree of deceleration in accordance with the risk grade

을 유도하는 효과²²⁾가 있었다. 운전자가 장애물이나 사고 등의 돌발상황을 발견하고 이에 대해 판단하여 행동을 결정할 때까지 어느 정도 시간이 필요하다. 이러한 인지반응시간이 길어지게 될 경우 운전자의 제동거리는 길어지게 되며 돌발상황에 대해 적절한 대처를 하지 못하게 된다. 따라서, 스마트 텔리네이터의 경우 운전자에게 미리 전방의 상황 정보를 제공하여 운전자가 빠른 판단 및 대처가 가능할 수 있도록 하는 시설물로서 활용가치가 높다고 할 수 있다.

그러나, 본 연구에서 제시하고 있는 스마트 텔리네이터의 경우 고속도로의 중앙분리대와 가드레일에 설치되는 장비의 특성상 경제성이 떨어질 수도 있으며, 설치 및 운영상의 여러 문제로 설치의 제약이 발생할 수도 있다. 이러한 요인들을 함께 고려하게 된다면 앞서 제시된 평가 결과는 다르게 도출될 수도 있을 것이다. 하지만, 본 연구에서는 도로를 직접적으로 이용하는 실수요자인 운전자들의 선호도와 안전측면에서 접근하여 안전운전 유도 시설물의 도입 시 이러한 효과분석 프로세스를 통해 보다 객관적으로 해당 시설물에 대해 평가를 수행할 수 있음을 본 연구의 성과로 판단한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

보다 안전한 운전을 유도하기 위해서는 운전자에게

어떻게 행동해야 하는지에 대한 구체적인 정보를 제공하여야 하며, 전방상황에 대한 단순한 정적 안전정보 제공을 넘어서 구체적인 동적 안전정보 제공이 필요하다.

본 연구에서는 기존 도로 시선유도시설 중 텔리네이터를 변형하여 안전정보를 위험도 등급에 따라 색깔을 달리해 시각적이며 직관적으로 제공할 수 있는 스마트 텔리네이터가 운전자의 안전운전 유도에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보고자 도로 주행 시뮬레이터를 이용하여 모의 시뮬레이션 평가 분석과 운전자 만족도 분석을 수행하였다.

본 연구에서의 주요한 분석 결과는 다음과 같다.

1. 도로 주행 시뮬레이터를 이용한 운전자 반응 실험 결과 아무것도 설치가 되어 있지 않은 경우나 VMS를 통해 정보를 제공하였을 경우에 비해 스마트 텔리네이터를 설치하였을 때 돌발상황에 상대적으로 낮은 감속도값을 갖는 것으로 분석되어 운전자들의 안전운행 유도에 효과적인 것으로 판단된다.
2. 스마트 텔리네이터 설치 및 운영으로 인한 효과도 예측을 위한 사고감소계수(ARF) 추정을 베이지안 추론을 메타분석에 적용하였다. 스마트 텔리네이터와 유사한 역할을 하는 시선유도시설에 대한 교통사고감소계수(ARF)는 26.56%로 산정되었다.
3. 스마트 텔리네이터는 연속적으로 설치되어 이벤트 발생 위치에 대한 판단이 가능하며, 사전에 규정된 위험도 등급에 따른 통행속도 감소를 또는 권장속도에 따라 운전자들의 행동을 유도하는 효과가 있었으며, 운전자의 만족도 또한 높은 것으로 분석되었다.
4. 본 연구의 경우 안전운전 유도 시설물의 실제 구축 및 운영을 하기 위한 초기 단계의 연구로, 도로를 직접적으로 이용하는 실수요자인 운전자들의 도로 주행 시뮬레이션 분석을 통해 안전정보 제공시설물의 상대적 안전운전 유도효과 및 운전자 만족도를 분석하는데 목적을 두고 있다. 운전자가 어느 측면에서 안전정보 시설물을 선호하는지, 어느 정도의 안전증진 효과가 있는지 등을 개략적으로나마 파악할 수 있다는데 연구의 의의가 있다고 할 수 있다.

22) 사전에 규정된 위험도 등급에 따라 운전자는 사전에 정해진 감속율에 의거 권장속도까지 감속을 충실히 하는 것으로 가정하였음

2. 향후 연구과제

스마트 델리네이터 설치 및 운영으로 인한 효과도 예측을 위하여, 시선유도시설에 대한 교통사고 감소계수 (ARF)를 추정하였으나, 실제적으로 시선유도시설의 안전운전 유도효과가 스마트 델리네이터와 동일한지는 추후 실제 설치 및 운영을 통해 확인하여야 한다. 또한 시선유도시설의 교통사고 감소계수(ARF) 추정에 사용된 선행연구 자료 중 본 연구의 취지와 적합하지 않은 자료도 있을 수도 있다. 개별 연구의 결과값을 고정된 값으로 보지 않고 확률 변수로 간주하는 베이지안 추론의 활용으로 이 한계가 상당히 상쇄되었다고 하더라도 선행연구 결과는 베이지안 추론에서 사전분포로서 중요한 역할을 담당한다는 점을 고려하여 보다 신뢰성 높은 연구결과의 활용이 필요할 것이다.

본 연구에서 제시하고 있고 있는 도로주행 시뮬레이션 분석을 이용한 연구내용은 실제 구축 및 운영을 하기 위한 초기 단계의 연구로, 실차실험을 동반한 안전성평가 병행될 때 안전효과에 대한 유의한 의미를 찾을 수 있고, 그 결과에 대한 보정 또한 가능할 것이다. 향후 테스트베드에서의 현장실험을 통해 본 연구에서 제시하고 있는 결과와의 비교를 통해 감속도 및 감속거리에 대한 보정이 이루어져야 하며, 보다 객관적인 평가를 통해 그 효과를 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 위험도 등급에 따라 운전자는 사전에 정해진 감속율에 의거 권장속도까지 감속을 충실히 하는 것으로 가정하였다. 해당 시설물에 대한 감속과 관련한 법적 근거가 없는 상황에서 위험도 등급에 따른 권장속도가 운전자들에게 어느 정도 수용이 될 것인지, 그 권장속도 및 감속율이 타당한지에 대한 연구는 추가로 필요할 것으로 판단된다.

실험대상자가 주로 20~30대의 성인층을 대상으로 구성하여 다양한 운전자 특성을 반영하고 있지 못한 단점이 존재하기에, 보다 다양한 연령대 및 성별 구성을 가진 실험대상자를 대상으로 추가 실험이 이루어져야 한다. 특히 고령 연령대의 증가 및 고령 운전자의 증가 추세가 뚜렷한 특성을 고려하여 50~60대 또는 그 이상의 운전자를 포함한 분석이 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 실제 구축 및 운영을 하기 위한 초기 단계로서 스마트 델리네이터의 설치 및 운영·유지비용 등의 비용 분석은 고려하지 않았다. 경제성이 없는 안전대책은 현실적으로 무의미할 수 있음을 고려할 때, 실제 구축

에 앞서 해당 시설물의 설치 및 운영·유지비용을 고려한 경제성분석이 선행되어야 할 것이다.

또한 본 연구에서 평가지표로 사용한 안전운전 유도효과(감속도, 감속거리 등) 측정지표 이외에도 설치·운영 상의 고려사항이나 안전정보 만족도 평가, 경제성분석과 같은 스마트 델리네이터가 갖는 장단점을 파악할 수 있는 추가적인 적정 평가지표가 필요하다. 안전운전 유도효과 뿐만 아니라 운전자 만족도 평가, 경제성 분석 결과 등을 이용하여 전문가를 대상으로 한 AHP 분석과 같은 다기준 의사결정기법을 통해 스마트 델리네이터의 효과에 대해 종합적인 평가가 이루어져야 할 것이다.

그리고 무엇보다도 본 연구는 스마트하이웨이의 도로 및 통신환경이 조성되어 도로교통정보가 실시간으로 수집되어 실시간의 안전운행정보가 제공되는 환경을 가정하고 있으므로, 무엇보다 이러한 도로교통환경의 기반 구축이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2008년도 건설핵심 기술연구개발사업(07기술혁신A01)의 지원으로 이루어졌습니다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제65회 학술발표회(2011. 10. 21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

1. Choi B. S.(2005), "A study on the Speed Variation form DFS Installation at School Zone", Master's Degree thesis, Ajou University.
2. Choi J. W., Jung H. Y. and Jang S. Y.(2011), "Development of Decision Making Model of Measures on the Decrease of Traffic Accident Following Implementation of Intra-city Bus by using AHP", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.31, No.5D, Korean Society of Civil Engineers, pp.679-687.

3. Eom K. J. and Lee C. W.(2008), "Real Time Macroscopic Traffic Flow Monitoring Using Acceleration Noise", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol.8, No.2, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, pp.60-66.
4. Ha H. K. and Oh S. H.(2006), "Analysis of Airline Choice Factors with AHP(Analytic Hierarchy Process) (Focus on Domestic Airline)", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.24, No.3, Korea Society of Transportation, pp.133-142.
5. Hong S. M., Oh C., Jang J. Y., Kim G. H., Park J. W. and Chang M. S.(2012), "Designing Pavement Marking for Hi-pass Lane Based on Kansei Engineering", International Journal of Highway Engineering, Vol.14, No.1, Korean Society of Road Engineers, pp.85-94.
6. Jang J. A. and Kim H. S.(2010), Study on Advisory Safety Speed Model Using Real-time Vehicular Data, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.30, No.5D, Korean Society of Civil Engineers, pp.443-451.
7. Jeon Y. W. and Tatsuru D.(2009), Influence on Driver Behavior According to Providing Collision Avoidance Information on Highway, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.27, No.4, Korea Society of Transportation, pp.137-143.
8. Kim J. M., Kim J. W., Noh K. S. and Kim K. T.(2012), "A Study on Design Standards of a median strip in City considering Traffic Safety", International Journal of Highway Engineering, Vol.14, No.1, Korean Society of Road Engineers, pp.35-44.
9. Kim Kyunghee(2004), Analysis on preferential degree by consumer about environmentally friendly interior finishing material utilizing AHP analyzing method, Master's Degree thesis, Yonsei University.
10. Kim T. J., Oh C. and Oh J. T.(2010), Methodology for Selecting Traffic Safety Warning Messages Using Analytical Hierarchical Process (AHP)-based Multi-Criteria Value Function, The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol.9, No.2, The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, pp.1-11.
11. Lee H. C., Woo S. W. and Kim O. K.(2007), "Development of Decision Making Model for Selecting the Soft Foundation Improvement Method Using AHP technique", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.27, No.4D, Korean Society of Civil Engineers, pp.499-506.
12. Lee K. S.(2010), A Study on Development of Evaluation Criteria for the Passenger Satisfaction Levels for Subway Transfer Systems, Master's Degree thesis, Hanyang University.
13. Lee M. J.(2010), A Study on the Weight Derivation of e-Learning Contents Purchasing Factors for the Secondary School Students : using AHP, Master's Degree thesis, Seoul National University of Technology.
14. Oh C., Kim T. H., Lee J. J., Lee S. B. and Lee C. W.(2008), Use of a Driving Simulator to Determine Optimum VMS Locations for Freeway Off-ramp Traffic Diversion, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26, No.1, Korea Society of Transportation, pp.155-164.
15. Park J. H., Oh C. and Kim Y. G.(2010), "Methodology for Determining Delineator Placement and Operation based on User's Satisfaction", International Journal of Highway Engineering, Vol.12, No.1, Korean Society of Road Engineers, pp.39-46.
16. Park J. H., Oh C., Song T. J. and Oh J. T.(2009), "Analysis of User Preferences for Traffic Safety Warning Information using Portable Variable Message Signs(PVMS)", Journal of Korean Society of Transportation,

- Vol.27, No.5, Korea Society of Transportation, pp.51-62.
17. Park J. E.(2009), "Effects of Variable Speed Limits Operation on Freeway", Master's Degree thesis, University of Seoul.
 18. Park J. H., Hwang H. W., Oh C. and Chang M. S.(2008), "A Study on the Application of Variable Speed Limits(VSL) for Preventing Accidents on Freeways", Journal of Korean Sociey of Transportation, Vol.26, No.4, Korea Society of Transportation, pp.111-121.
 19. Park J. Y.(2011), "A Study on Variable Speed Limit Strategy in Highway Work Zone Using Multi-Criteria Decision Making", Master's Degree thesis, Hanyang University.
 20. Helmut T. Zwahlen, Michael E. Miller, Mohammad Khanm Rodger Dunn(1988) "Optimization of post delineator placement from a visibility point of view", Transportation Research Record 1172.
 21. Horberry T., Anderson J. and Regan M. A.(2006), "The possible safety benefits of enhanced road markings : a driving simulator evaluation", Transportation Research Part F :Traffic Psychology and Behavior, Vol.9, pp.77-87.
 22. Maroney S. and R. Dewar(1987), "Alternative to Enforcement in Modifying the Speeding Behavior of Drivers", Transportation Research Record 1111, TRB.
 23. Mohamed Abdel-Aty, Rami Harb, Essam Radwan and Xuedong Yan(2006), Light Truck Vehicles Contribution to Rear-end Collisions, Accepted for Presentation at the Annual TRB Meeting.
 24. Nicholas Skinner, John D. Bullough(2009), "Effects of Roadway Delineator Spacing, Size and Height on Drivers' Perception and Behavior", 88th Annual Meeting, TRB.
 25. Paul J. Carlson, M. Fontaine, H. G. Hawkins, K. Murphy, D. Brown(2000), "Evaluation of Speed Trailers at High-speed Temporary Work Zone", 79th TRB Annual Meeting.
 26. Pesti G., P. T. McCoy(2002), "Effect of Speed Monitoring Displays on Entry Ramp Speeds at Rural Freeway Intersections", Transportation Research Board 81th TRB Annual Meeting.
 27. Rakauskas, M. E., Gugerty, L. J., Ward, N. J.(2004), "Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance", Journal of Safety Research, vol.35, pp.453-464.
 28. Susan T. Chrysler, Paul J. Carlson, Williams, A. Alicia(2005), "Simplifying Delineator Applications for Horizontal Curves", Journal of the Transportation Research Board 1918.
 29. Yasuhiko Kajiya, Yoshifumi Fukuzawa, Keishi Ishimoto(1997), "Field Test Results of Intelligent Delineator System Intelligent Transportation System Technology Research and Development for Winter Traffic", Transportation Research Board Conference Proceedings.
 30. FHWA(1978), Handbook of Highway Safety Design and Operating Practices.
 31. FHWA(2007), Toolbox of Countermeasures and Their Potential Effectiveness for Roadway Departure Crashes.
 32. K. W. Ogden(1996), Safer Roads : A Guide to Road Safety Engineering, cambridge.
 33. Garber N. J. and R. Gadiraju(1988), Speed Variance and its Influence on Accidents, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, DC.
 34. Elvik R.(1994), The Safety value of guardrails and crash cushions : A meta-analysis of evidence from evaluation studies:, Accident Analysis and Prevention Vol.27, No.4, Elsevier Science Ltd, pp.523-549.
 35. Oh S. S.(2002), Theory and practice of meta-analysis, Konkuk University Press. Co.

36. Persaud B.(2001), Statistical Methods in Highway Safety Analysis : A Synthesis of Highway Practice, NCHRP SYNTHESIS 295, Transportation Research Board, National Academy Press, pp.73-74.

37. Park K. Y.(2006), Evaluation of Accident Reduction Effect of Road Safety Features and Development of Estimation Model for Accident Reduction Factors, Ph.D. thesis, University of Seoul.

- ☞ 주 작성자 : 고한검
- ☞ 교신저자 : 고한검
- ☞ 논문투고일 : 2011. 12. 15
- ☞ 논문심사일 : 2012. 2. 3 (1차)
2012. 3. 28 (2차)
2012. 6. 6 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2012. 6. 6
- ☞ 반론접수기한 : 2012. 12. 31
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필