Int. J. Highw. Eng. Vol. 17 No. 6 : 117-126 DECEMBER 2015
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2015.17.6.117

안전한 도로 공사구간 환경 구축에 필요한 기술의 우선순위 선정

Prioritization of Potential Technology for Establishing a Safe Work Zone Environment

김 진 국 Kim, Jin Guk | 한국건설기술연구원 도로연구소 전임연구원 (E-mail : jingukkim@kict.re.kr)
양 충 헌 Yang, Choong Heon | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 과학기술연합대학교대학원 교통물류 및 ITS공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : chyang@kict.re.kr)
윤 덕 근 Yun, Duk Geun | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 · 과학기술연합대학교대학원 교통물류 및 ITS공학과 교수 (E-mail : dkyun@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study prioritizes potential technology for establishing a safe work zone environment on roadways. We consider almost all conceivable technologies that enable mitigation of unexpected accidents for both road workers and drivers.

METHODS : This study suggests a methodology to set the priority of potential technology for establishing a safe work zone environment by using the analytical hierarchy process (AHP). For this purpose, the AHP structure was first developed. Thereafter, a web-based survey was conducted to collect experts' opinions. Based on the survey results, weights associated with the relevant criteria of the developed structure were estimated. With the consistency index (CI) and consistency ratio (CR), we verified the estimated weights. In addition, a sensitivity analysis was performed to confirm whether the estimated weights were reliable. We finally proposed the priority for potential technology for establishing a safe work zone environment on roadways.

RESULTS : In the first level, safety technology has the highest priority, and real-time information delivery for work zone, hazard warning for drivers, and temporal automated operation for traffic facilities were selected in the second level of hierarchy.

CONCLUSIONS : The results imply that establishing the priority will be useful to establish a future road map for improving the work environment for road workers and drivers by employing appropriate protection facilities and developing safety systems.

Keywords
road work technology, work zone, analytical hierarchy process, priority, normalization, sensitivity analysis

Corresponding Author : Yang, Choong Heon, Senior Researcher
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0184 Fax : +82.31.910.0746
E-mail : chyang@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 26. 2015 Revised Aug. 27. 2015 Accepted Nov. 24. 2015

1. 서론

최근 국내에서는 교통사고 감소를 위한 운전자교육, 단속 정책, 기술 개발 등 중앙정부·지자체·유관기관 및 학계의 노력으로 최근 5년간 교통사고는 지속적인 감소 추세를 보이고 있다(교통사고통계, 경찰청, 2014). 사고유형 또는 사고내용을 고려하여 세부적으로 분석하였을 때, 사고유형별로 교통사고가 감소하지 않거나 오히려 증가된 것으로 나타나는 경우가 있으므로, 교통사고의 원인이 되는 요소들을 제거해야만 장래에도 교통사고 감소 추세를 이어갈 수 있을 것으로 판단된다.

2014년 경찰청 교통사고통계 자료에 의하면 2000년 이후 전체 교통사고 사망자 수는 지속적으로 감소하고

있고, 2003년 이후 10년간 평균 3.4%의 감소율을 보이고 있으나, 단독 교통사고 사망자 비율의 경우 평균 1.2%만이 감소된 것으로 나타났다. 그러나 2005년 이후로 전체 교통사고 사망자는 6,376명에서 5,092명으로 1,284명이 감소한 반면, 단독 교통사고 사망자 수의 경우 1,254명에서 1,228명으로 단 26명만 감소하였고, 2005년 이후 오히려 증가하다가 다시 감소하여 단독 교통사고 사망자 수의 경우 전체 교통사고 사망자 수에 비해 사고 감소율이 크게 줄어들지 않은 것으로 나타났다. 특히, 2013년의 교통사고는 2.4%의 치사율(=사망자 수/교통사고 발생건수)을 보이고 있지만, 공작물 충돌에 의한 치사율은 10.7%로써, 평균 치사율에 비해 약 5배 이상 높은 것으로 나타났다. 또한, 일반국도의 경우, 2012년에 도로의 유지보수 업무를 담당하는 국토관리사무소의 도로보수원 583명 중 사상자는 27명으로 보고되어 도로보수원의 약 5%가 사망하거나 부상을 당하는 것으로 조사되었으며(국토교통부 내부자료), 이는 높은 위험군으로 분류되는 소방공무원 직종의 사상자 비율(0.97%)보다 월등히 높은 수치를 나타내고 있다. 전국 일반국도에서 최근 10년(2003~2012)간 총 114건, 152명의 도로보수원 교통안전사고가 발생했으며, 이는 약 600명 정도인 보수원의 평균 근속년수(20년 이상)을 고려해볼 때, 10년간 사고노출율이 약 25%로 4명 중 1명이 사고를 경험한 것으로 추정된다. 특히, 도로의 유지보수가 필요한 구간에서의 사고는 단시간 작업에서 발생되며 연속된 교통류 흐름을 차단하는 작업(차로 폐쇄, 라바콘 등의 안전시설물 설치)에서 빈번히 발생하고 있다. 이는 운용 중인 도로에서 차로감소 등을 통한 작업을 한다는 점을 고려해 볼 때 도로보수원들이 항상 사고 위험에 노출되고 있음을 의미하며, 2013~2014년에 발생한 도로보수원 사망자수는 총 9명으로 집계되었다. 실제 도로공사 현장에서 근무하는 도로보수원을 대상으로 면담을 실시한 결과 사고 위험에 대한 대비책으로 작업 시 교통콘 대신 공사장 진입부에 신호보드카(VMS : Variable Message Sign) 등을 이용한 사전 공사장 알림 표지판 등의 배치를 통해 안전을 확보하는 것이 절실히 필요하다고 강조했다.

교통사고가 발생하는 경우, 충격흡수 범퍼 등 도로작업차를 위한 안전시설 보강으로 인해 차대차 및 관련 사고 발생으로 인한 인명피해는 적은 반면, 차대사람(작업자, 도로보수원)으로 인한 교통사고 시 인명 피해는 증가하고 있다. 2003~2012년까지 10년간 총 114건의 도로보수원 교통·안전사고가 발생하였으며, 이중 통행차량 진입으로 인한 충격에 따른 교통사고는 약 45%에 달하여 작업 중 안전사고의 비율은 지속적으로 증가 추세에 있다. 특히, 도로 공사구간 주행 시 운전자의 부주의(예: 휴대전화, DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 조작, 전방주시 태만, 졸음운전 등)에 따른 교통사고로 인한 도로작업자의 인명피해는 지속적인 증가 추세에 있다. 일반국도 상에서 2003~2012년간 전체 교통사고 건수는 114건으로 도로작업자의 이동 및 수신호 중 교통사고 발생건수는 14%에 달하며, 피해현황은 사망자 10명, 부상자 142명으로 집계되었으나, 2013~2014년 사이 도로작업자 사상자 수는 사망 9명, 부상 26명으로 과거에 비해 급격하게 증가하고 있다. 고속도로의 경우 일반국도보다 통행속도가 더 높기 때문에 교통사고율이 더 높게 나타나고 있으며, 2008년부터 2013년 10월까지 고속도로 공사장에서 일반운전자 사망자 56명, 부상자 15명, 도로작업자 사망자 47명, 부상자 15명으로 총 사망자 103명, 부상자 30명(한국도로공사 내부자료)으로 연간 도로 공사장에서 약 22명의 사상자가 발생하고 있다.

본 연구에서는 전문가를 대상으로 설문조사를 통하여 도로 공사구간에서 발생할 수 있는 다양한 형태의 사고를 미연에 방지하고, 작업의 효율성을 증대하기 위한 다양한 기술들에 대해 시급성 및 중요도에 따라 기술별 우선순위를 제안하였다. 이를 위해 우선, 전 세계적으로 계획·개발·활용 중인 기술(장비, 시스템 등)들을 조사하였다. 또한, 계층구조를 구축하여 계층분석법을 활용하기 위해 공사구간의 작업 경험이 많은 작업자와 관리자, 장비운영자들을 대상으로 전문가 설문조사를 수행하고, 이를 바탕으로 가중치를 산정한 후 최종적으로 우선순위를 제안하였다.

2. 문헌고찰

도로 공사구간 유형은 공사장 이동여부와 공사기간에 따라 중기 이상 고정공사, 단기공사, 이동공사(단시간 포함)로 구분하며, 각 유형별로 상이한 교통관리방법을 적용하게 된다. 고정공사 교통관리는 주의구간, 완화구간, 작업구간, 종결구간으로 구분하여 교통안전표지, 도류화 시설, 안전시설 등을 설치하여 교통류의 안전한 합류 및 주행을 유도하며, 특히 도로작업자 보호를 위해 콘크리트 방호울타리(PC 울타리), 철제 보호난간 혹은 플라스틱 울타리(PE 울타리)를 적용한다. 반면에, 단기 및 이동공사는 신속한 작업 진행이 필요하기 때문에 고정공사에 비해 간소화된 기준을 적용하며, 교통콘 혹은 드럼과 같은 임시 교통통제시설로 도로작업자 보호 및 교통류 유도 시 사용한다.

교통사고는 인적요인, 차량요인, 도로환경 요인의 3가지 요인에 의해 발생하는 것으로 미국의 HSM(Highway Safety Manual, 2010)에 제시되어 있으며, 교통사고 발생 요인은 인적요인(93%), 도로환경적 요인(34%), 차량요인(13%)의 비율로 나타났다. 이 중, 전체 교통사고의 약 34%를 차지하는 도로환경적 요인은 운전자 및 차량 탑승자, 도로 작업자, 보행자와 같은 인적요인에 의한 사고에도 영향을 줄 수 있는 요소이므로, 안전한 도로환경을 구축하는 것은 교통안전 향상에 기여할 수 있다.

국내에는 국토교통부에서 「도로 공사장 교통관리지침」을 제정하여 운용하고 있으며, Table 1과 같이 외국에서도 도로 공사장 관련 매뉴얼 등을 정비하여 운용하고 있다.

Table 1. International Relevant Manual and Research Experience

Manual (Country)	Main context
Roadside Design Guide (U.S.A)	• Represents specific countermeasures when roadside crashes against a pole is occurred • Suggest protection methods such as clear zone, a divergent view, guard fence
Manual for Assessing Safety Hardware (U.S.A)	• Established all kinds of road safety facilities associated with current traffic flow properties based on NCHRP Report 350 (H.E.Ross 1993) • Suggest collision experiment for breakaway and evaluation procedures
Roadside Design Guide (Canada)	• Suggest countermeasures of exposure pole • In case of Alberta, Roadside Design Guide provides a way of installing of pole for traffic sign, pole for streetlight, pole for traffic signals
Passive Safety Guidelines (UK)	• Suggest a way of mitigating collision on roadside as well as improving safety • Passive Safety implies a certain device or method to fatality of accidents, and this concept is applied to highways to reduce about 40% of fatal accidents on roadways
EN12767 (EU)	• Based on EU Passive Safety standards, states collision experimental criteria and guarantee drivers's safety • NE pole : Vehicles with higher speed roads HE pole : Urban areas
NCHRP Report 350 (U.S.A)	• Provide a specific procedure in order to evaluate various performance of highway safety facilities • Matrix of AASHTO MASH(Manual for Assessing Safety Hardware)
Elmarakbi (2006)	• Suggest effective design method for buffer pole and analyze influence on drivers when a vehicle crashes a streetlight
Elmarakbi (2009)	• Developed a steel tube module and study a wide variety of parameters about ability of shock absorption
David Milne (2012)	• European status of vertical structures stated by "Traffic, Engineering and Control" • European policies against collisions, methods, and mitigation effect of pounding by poles

본 연구에서 제시하는 방법론은 실제 도로업무 담당자들의 선호도를 반영하여 도로 공사장에 활용될 기술개발 또는 기술도입에 필요한 우선순위를 결정하는 것이 핵심이다. 따라서 의사결정 시나 항목의 중요도, 선호도를 반영하기 위해 AHP(Analytical Hierarchy Process) 기법을 국내·외 도로 및 교통 분야에 적용한 사례를 고찰하였다.

먼저 외국 사례를 보면 Holguin-Veras의 연구에서는 도미니카 공화국의 도로체계평가를 위해 AHP와 MAV(multi-attribute value method)를 적용하여 오르막차로 설치, 2차로 도로신설, 4차로 도로신설에 대한 3가지 대안을 평가하였다(ASCE, 1995). Kim and Vince는 고속도로 투자 우선순위를 결정하기 위해 AHP 기법을 적용하였다(TRB, 2000).

국내 사례의 경우 양인태는 도로계획의 최적노선을 선정하기 위해 AHP를 이용하여 비교항목간의 평가기준을 선정하고 이들에 대한 가중치를 선정하여 최적노선을 선정하였다(대한토목학회, 2001).

양충헌은 AHP를 통해 국토교통부 산하 18개 국토관리사무소에서 운영하는 도로관리장비를 대상으로 운영의 효율성을 평가하였다(대한교통학회, 2005).

박범진은 버스 운전자의 안전운행 증진을 위한 대중교통 HUD에 표출되는 콘텐츠의 우선순위를 AHP를 통해 결정하였다(한국도로학회, 2013).

오주삼은 AHP를 활용하여 상시 교통량 조사지점의 우선순위를 선정하기 위해 평가자료를 정량화 및 표준화하고 계층별 가중치를 도출하여 우선순위를 선정하였다(한국도로학회, 2005). 최기주는 램프미터링 도입지점을 선정하기 위해 AHP 계층화분석으로 산출된 가중치를 선정하고, 대상 항목에 반영하여 우선순위를 도출하였으며(대한토목학회, 2009), 김태진은 운전자의 안전운전을 효과적으로 유도하기 위한 교통안전 경고정보 메시지의 평가를 위해 AHP기법을 이용하여 전문가 의사를 반영한 각 항목의 가중치를 산출하여 평가를 수행하였다(한국ITS학회, 2010).

변완희의 연구에서는 ITS u-서비스 중 저소득층에게 적합한 서비스 우선순위를 도출하기 위해 계층화분석법(AHP)을 이용하여 법제도적 여건, 기술구현성, 범용성을 기준으로 각각에 대한 중요도와 쌍대비교를 통해 우선순위를 도출하였다(한국ITS학회, 2011). 선행 연구고

찰에서 살펴본 바와 같이 도로의 투자 우선순위 선정, 도로계획의 최적노선 선정, 안전운전의 효과평가, ITS 서비스 우선순위 선정 등 국내외 도로 및 교통의 여러 분야에서 AHP 기법을 사용하는 것으로 나타났다. 도로교통 분야에서는 주로 복수 평가기준의 의사결정과 더불어 각 평가항목들의 중요도를 결정하기 위한 가중치 선정 및 우선순위 도출을 위해 AHP 기법을 사용한다.

따라서 본 연구에서는 도로작업 담당자들이 도로공사 시 필요한 기술에 대한 우선순위를 파악하기 위해 AHP 분석을 통하여 각 기술들의 우선순위를 평가하고자 한다.

3. 안전한 공사구간 환경 구축에 필요한 기술

도로 공사장의 안전문제는 도로작업자의 인력부족 및 비효율적인 도로공사 운영에서 기인된다. 따라서 실제 도로 공사장 관련 사고는 교육, 단속보다 인프라 측면에서의 기술개발을 통해 안전성을 향상시킬 필요가 있다. 미국의 경우 매년 "National Work Zone Awareness Week(NWZAW)" 프로그램을 통해 지속적으로 도로 공사장(Work Zone) 안전에 관한 관심을 가지고 있다.

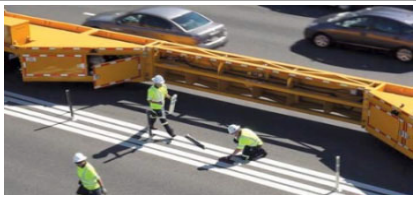
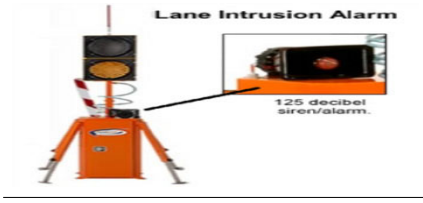
미국 연방도로청의 경우 도로유지·보수 작업자의 상해방지 필요성을 인식하고 측면충돌 사고 시 작업자를 보호할 수 있는 이동식베어리어 연구를 이동식베어리어회사(Innovative Products LLC)와 공동으로 수행하였으며(AASHTO, 2001), Balsi Beam 구조의 이동식베어리어 시작제품을 제작하여 충돌시험을 실시하고, FHWA의 California Department of Transportation Division of Research and Innovation에서는 NCHRP 350 MASH의 충돌시험 방식에 근거하여 Fig. 1과 같이 충돌시험을 실시하였다.

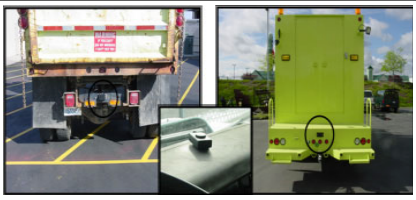
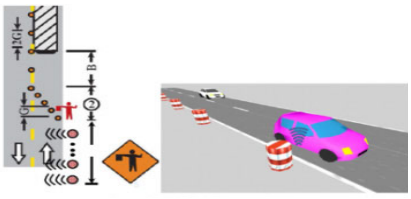
Fig. 1 Mobile Barrier Crash Test

미국 캘리포니아 주의 경우 학계(AHMCT, UC Davis)와 정부(Caltrans)가 공동으로 교통콘 자동화 설치 및 회수 장비를 연구개발함으로써 설계 및 특허 등에 대한 사용권을 민간 기업에 부여하여 상용제품을 생산하고, 이를 다시 지방 정부에서 운영해 오고 있다. 장비 사용에 대한 효과분석 결과 공사비용 및 작업시간 측면에서도 상당한 절감 효과가 있는 것으로 나타났다(Table 2 참조).

Table 2는 안전한 도로공사 구간의 안전한 환경 구축을 위해 국외에서 활용중인 안전시설물에 대한 현황을 요약한 것이다. 다음의 시설물들을 국내 도로공사 현장에 적합하게 연구개발한다면 충분히 상용화가 가능할 것으로 보인다.

Table 2. Safety Facility Case (USA)

Example	Technology
	Mobile barriers
	The intruding vehicle awareness algorithm
	Work-zone intrusion sensor
	Work-zone intrusion sensor
	Work-zone AFAD lane intrusion safety system
	Work-zone intrusion alarm
	Vehicle blind spot hazards camera system

Example	Technology
	Vehicle blind spot hazards radar system
	Vehicle blind spot hazards ultrasonic system
	Cone placement and retrieval vehicle
	Intelligent drum line system

이를 토대로 안전한 공사구간 환경 구축에 필요한 기술을 다음과 같이 구분하였다.

3.1. 도로운영 확보기술

• 실시간 운전자 도로 공사구간 정보제공 기술

– 운전자에게 도로 공사구간에 대한 실시간 정보(공사위치, 공사기간 등) 및 대안노선에 대한 정보제공 기술

• 도로 공사구간 전용 교통운영 기술

– 도로 공사구간 접근 전·내·후 원활한 교통흐름을 위한 이동식 첨단 교통운영 시스템(예: 이동식 소형 도로전광표지, 안전한 합류 유도 시스템, 가변제한속도 시스템 등)

• 도로 공사구간 전용 임시 도로운영 시설

– 도로 공사구간에서 차량의 지속적인 흐름을 유지하기 위한 임시 도로시설(예: 임시 모듈 포장, 임시 노면표시, 임시 차로표시 등)

3.2. 도로안전·확보기술

• 위험 운전자 경고 기술

– 도로 공사구간에 접근하는 차량을 영상 및 다양한 센싱기술로 감지/추적하여 도로작업장으로 차량이 침입하는 위험상황 검지 시 운전자에게 경고(지향성 소리)하여 적절한 행위(정지, 감속, 혹은 차로 변경 등)를 할 수 있도록 유도하는 기술

– 도로 공사구간의 제한속도 혹은 안전한 속도로 준수 유도하는 기술(예: 럼블스트립 등)

• 도로 작업자 위험 사전경고 제공 기술

– 도로 공사구간에 접근하는 차량을 영상 및 다양한 센싱기술로 감지/추적하여 도로 작업장으로 차량이 침입하는 위험상황 검지 시 도로작업자에게 경고 및 회피할 수 있는 시간을 제공하는 기술

– 야간 공사 시 운전자 시인성 증진을 위한 도로 작업자 안전 보호 장구

• 도로 작업장 차량 침범사고 발생 시 도로작업자 보호시설

– 자동차가 도로 작업장 침범 시 도로 작업자 방호를 위한 임시 안전시설(예: 이동식 방호울타리, 차량방호시설 등)

3.3. 도로 공사 자동화 기술

• 임시 교통시설 자동 운영 기술

– 임시 교통콘을 자동 설치·수거하는 장비

– 도로 낙하물 수거 장비

– 임시 콘크리트 방호울타리 자동 설치·변경 장비

• 임시 교통제어 자동 기술

– 2차로도로에서 한 차로 점용 공사 시 다른 차로로 양방향 교대통행을 위한 첨단 이동식 교대통행 시스템(신호수를 대체하는 기술)

– 교차로에서 공사 시 신호운영이 필요할 경우 사용하는 이동식 교통 신호기

4. 우선순위 평가 방법 및 절차

본 연구에서는 안전한 공사구간 환경 구축에 필요한 기술의 우선순위 도출을 위해 계층화 분석법인 AHP (Analytical Hierarchy Process) 기법을 이용하였다. AHP 기법은 의사결정에 있어서 필요한 우선순위를 선정하는데 주로 사용하는 기법으로 다수의 속성들을 계층적으로 분류하여 각 항목의 중요도를 파악함으로써 항목 간의 쌍대비교를 통해 최적 대안을 선정하는 기법이다.

우선순위 도출을 위한 분석절차는 Fig. 2와 같으며, 먼저 기술별 가중치를 산정하고 기술별 중요도를 추정하여 최종적으로 민감도 분석을 통해 우선순위를 도출하였다.

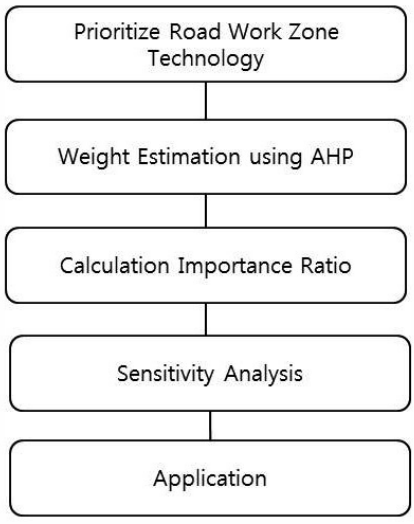


Fig. 2 AHP Analysis Procedure

안전한 공사구간 환경 구축 기술에 대한 우선순위는 작업 수행 대상에 따라 다를 수 있기 때문에 작업자와 관리자, 장비운영자에 따라 결정되는 기술로 Fig. 3과 같이 계층화하여 구분하였다. 1계층은 도로운영 확보기술, 도로안전 확보기술, 도로 공사 자동화기술로 구분하였으며, 하위 계층인 2계층은 1계층에 따른 세부 기술들로 구분하였다.

위에서 언급한 기술들은 정부 산하 도로업무 관련 공무원과 유관 연구직 종사자 등과의 의견수렴 및 검토를 통해 도출하였으며 본 연구에서 명확한 우선순위 도출 및 기술 간 상호연계성을 설명하기 위해 세부적으로 평가항목을 구분하였다.

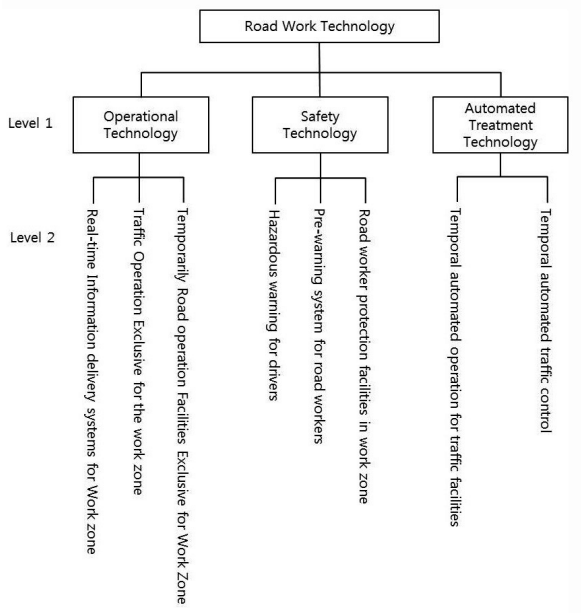


Fig. 3 AHP Structure

5. 분석

본 연구에서는 AHP 기법을 이용하여 안전한 공사구간 환경 구축 기술에 대한 우선순위를 선정하기 위해 도로 작업자, 관리자, 장비 운영자 등 실무자 32명을 대상으로 온라인 설문조사를 실시하였다.

설문조사는 AHP 구조화를 통해 1계층과 2계층의 평

Table 3. Survey Results

(level 1) What is the most important among operational technology, safety technology and automated treatment technology?			
Operational technology	15	47%	
Safety technology	29	91%	
Automated treatment technology	5	16%	
(level 2.1) What is the most important among operational technology?			
Real-time information delivery systems for work zone	20	63%	
Traffic operation exclusive for the work zone	13	41%	
Temporarily road operation facilities exclusive for work zone	6	19%	
(level 2.2) What is the most important among safety technology?			
Hazardous warning for drivers	19	59%	
Pre-warning system for road workers	18	56%	
Road worker protection facilities in work zone	14	44%	
(level 2.3) What is the most important among automated treatment technology?			
Temporal automated operation for traffic facilities	13	41%	
Temporal automated traffic control	10	31%	

가항목으로 구분하였으며, 도로업무 담당자들의 선호도를 반영한 설문조사 결과는 Table 3과 같이 나타났다.

설문조사 결과를 살펴보면 1계층의 경우 도로안전 확보기술이 91%로 선호도가 제일 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 도로운영 확보기술 47%, 도로공사 자동화기술 16% 순으로 나타났다. 2계층의 경우 도로운영 확보기술 중 실시간 운전자 도로공사구간 정보 제공 기술이 63%, 도로 공사구간 전용 교통운영 기술이 41%, 도로 공사구간 전용 임시 도로운영 시설이 19% 순으로 선호도가 높은 것으로 나타났다. 또한, 도로안전 확보기술 중 위험 운전자 경고 기술이 59%, 도로 작업자 위험 사전경고 제공 기술이 56%, 도로 작업장 차량 침범 사고 발생 시 도로작업자 보호시설이 44% 순으로 선호도가 높은 것으로 나타났으며, 도로공사 자동화 기술에서는 임시 교통시설 자동 운영 기술이 41%, 임시 교통제어 자동 기술이 31% 순으로 선호도가 높은 것으로 나타났다.

가중치(Weight) 산정은 평가 항목 간 중요도 또는 선호도를 나타내는 쌍대비교를 통해서 이루어진다. 각각의 평가 항목에 대해 9점 척도를 이용한 비교를 통해 개별 평가항목들의 상대적 가중치를 도출하게 되는데 설문조사 결과에 의해 추정된 각 항목별 가중치 산정결과는 다음 Table 4와 같다. 1계층의 경우 도로안전 확보기술의 가중치가 "0.731"로 가장 높게 나타났으며, 도로운영 확보기술 "0.188", 도로 공사 자동화 기술 "0.081" 순으로 나타났다. 2계층은 도로 공사 자동화 기술 중 임시 교통시설 자동운영 기술의 가중치가 "0.750"으로 가장 높게 나타났으며, 도로운영 확보기술의 실시간 운전자 도로공사 구간 정보제공 기술이 "0.692", 도로안전 확보기술의 위험 운전자 경고기술이 "0.528" 순으로 높게 나타났다.

AHP를 통한 가중치 산정 시 논리적 타당성을 검증하기 위해 일관성 검증과 민감도 분석도 함께 수행되어야 한다. 일관성 검증은 응답자가 완전한 일관성을 유지하며 쌍대비교를 행하였는지를 판단해 보는 과정이다. 일관성지수는 비교항목 간 쌍대비교행렬이 100% 일관성을 가지는 경우에는 0이 되며 일관성이 줄어들수록 큰 값을 가지게 된다. 일관성 지수(Consistency index; CI)는 다음 식과 같이 일관성 비율(Consistency ration; CR)의 계산을 통해 계산이 가능하며, 일관성 비율이 0.1 이하이면 결과 값에 대한 일관성이 있다고 판단할 수 있다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad \text{(일관성 지수)}$$

여기서,

$\lambda_{\max}$: 최대 고유치

n : 행 또는 열의 개수

$$CR = \frac{CI}{RI} \text{ (일관성 비율)}$$

RI = 임의지수(Random Index) 값

여기서, 임의지수(RI)는 평가의 일관성없이 임의로 쌍대평가를 한 후 도출되는 CI 값으로 Thomas Saaty (1980)가 제안한 값을 사용하였다.

앞에서 구한 가중치들의 일관성 지수(CI) 및 일관성 비율(CR) 값은 다음 Table 4와 같으며, 설문조사에 응

Table 4. AHP Results

Level 1 (a)	Operational technology			Safety technology			Automated treatment technology	
Weight	0.188			0.731			0.081	
CI/CR	0.032 / 0.056							
Level 2 (b)	Real-time information delivery systems for work zone	Traffic operation exclusive for the work zone	Temporarily Road operation facilities exclusive for work zone	Hazardous warning for drivers	Pre-warning system for road workers	Road worker protection facilities in work zone	Temporal automated operation for traffic facilities	Temporal automated traffic control
Weight	0.692	0.231	0.077	0.528	0.333	0.140	0.750	0.250
Final weight (a)×(b)	0.130	0.043	0.014	0.386	0.243	0.102	0.061	0.020
CI/CR	0 / 0			0.027 / 0.046			0 / 0	

Table 5. Results of Sensitivity Analysis

Level 1 Road work technology										
Criteria	Number of responses	Normalization	Square of normalization	Reciprocal of previous column	Normalized reciprocal	Final values	Estimated weights	Oder priority	Deviation	Median of deviation vector
Operational technology	15	0.306	0.094	10.671	0.097	0.451	0.188	2	0.263	−0.019
Safety technology	29	0.592	0.350	2.855	0.026	0.487	0.731	1	−0.244	
Automated treatment technology	5	0.102	0.010	96.040	0.877	0.062	0.081	3	−0.019	
Level 2.1 Operational technology										
Criteria	Number of responses	Normalization	Square of normalization	Reciprocal of previous column	Normalized reciprocal	Final values	Estimated weights	Oder priority	Deviation	Median of deviation vector
Real-time information delivery systems for work zone	20	0.513	0.263	3.803	0.069	0.465	0.692	1	−0.227	0.039
Traffic operation exclusive for the work zone	13	0.333	0.111	9.000	0.163	0.418	0.231	2	0.187	
Temporarily road operation facilities exclusive for work zone	6	0.154	0.024	42.250	0.767	0.116	0.077	3	0.039	
Level 2.2 Safety technology										
Criteria	Number of responses	Normalization	Square of normalization	Reciprocal of previous column	Normalized reciprocal	Final values	Estimated weights	Oder priority	Deviation	Median of deviation vector
Hazardous warning for drivers	19	0.373	0.139	7.205	0.253	0.374	0.528	1	−0.154	0.027
Pre-warning system for road workers	18	0.353	0.125	8.028	0.282	0.359	0.333	2	0.027	
Road worker protection facilities in work zone	14	0.275	0.075	13.270	0.466	0.267	0.140	3	0.128	
Level 2.3 Automated treatment technology										
Criteria	Number of responses	Normalization	Square of normalization	Reciprocal of previous column	Normalized reciprocal	Final values	Estimated weights	Oder priority	Deviation	Median of deviation vector
Temporal automated operation for traffic facilities	13	0.565	0.319	3.130	0.372	0.628	0.750	1	−0.122	0.000
Temporal automated traffic control	10	0.435	0.189	5.290	0.628	0.372	0.250	2	0.122	

답한 도로업무 전문가 32명의 일관성 분석 결과 0에서 0.56 사이로 모두 일관성이 있는 것으로 나타났다.

일관성 분석 후에는 설문 응답자들의 주관적인 판단이 Table 4에서 도출된 가중치 값에 영향을 줄 가능성이 있는지를 확인하기 위해 쌍대비교행렬의 고유값에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석을 위해 역제곱 법칙(inverse square law)를 사용하여 각 계층별로 추정된 가중치에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 역제곱 법칙은 물리적 강도(p)가 거리 제곱(r^2)에 역비례한다는 물리학 법칙이지만, 인간의 생각이나 인지를 다루는 분야에도 적용될 수 있다(Saaty, 1990). Table 5는 민감도 분석에 대한 결과를 보여주고 있으며, 최종값과 가중치간의 편차가 큰 차이가 없는 것으로 분석되었고, 각 편차의 중간값(median value)은 모두 0.1 이하인 것으로 분석되었다. 따라서 설문응답을 한 도로관리 담당자 32명의 주관적인 견해를 바탕으로 산정한 가중치의 민감도는 적다고 판단할 수 있다.

최종적으로 도출된 우선순위 결과를 살펴보면, 1계층에서는 도로운영 확보기술, 도로안전 확보기술, 도로공사 자동화기술 중 도로안전 확보기술이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났고, 2계층에서는 도로운영 확보기술 중 실시간 운전자 도로공사구간정보 제공 기술, 도로안전 확보기술 중에서는 위험 운전자 경고 기술, 도로공사 자동화기술 중에서는 임시 교통시설 자동운영기술이 우선순위가 높은 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구에서는 도로 점용공사 증가로 인해 도로 이용자 및 작업자의 안전사고가 증가하고 있는 현실을 반영하여 도로공사 구간에서 발생할 수 있는 다양한 형태의 사고를 사전에 방지하고, 작업의 효율성을 증대하기 위한 기술별 우선순위를 AHP 기법을 이용해 분석하였다.

이를 위해 우선순위 평가를 위한 기준으로 도로운영 확보기술, 도로안전 확보기술, 도로공사 자동화기술에 대한 각각의 세부 항목들을 정의하였다. 실제 도로업무 담당자 설문조사를 통해 얻은 결과를 가지고 계층별 가중치를 구하고 일관성 분석과 민감도 분석을 통해 기술별 최종 우선순위를 도출하였다.

AHP 기법을 이용하여 안전한 공사구간 환경 구축에 필요한 기술의 우선순위를 선정한 결과 도로안전 확보기술(위험 운전자 경고 기술, 도로작업자 위험 사전경고 제공 기술)에 대한 우선순위가 제일 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 도로운영 확보기술(실시간 운전자 도로공사구간 정보제공 기술), 도로공사 자동화 기술(임시 교통시설 자동운영 기술) 순으로 나타났다. 이는 도로관리자들의 경우 항상 공사로 인한 사고 및 안전에 대한 불안감을 가지고 있기 때문에 도로안전 확보기술 개발이 사고예방과 안전확보에 도움이 될 것이라는 기대심리가 반영되어 있는 것으로 보여진다. 또한, 도로공사 시에는 도로의 본질적인 기능 저하로 인해 교통소통뿐만 아니라 도로 이용자의 안전문제와 밀접한 관계가 있으며, 특히 도로작업자의 안전에도 큰 위협이 되기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 안전한 도로공사 환경 구축을 위한 방호시설 및 안전 시스템 개발 시 사용자 요구분석에 대한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업인 “도로변 수직구조물 충돌사고 및 도로작업자 위험도 경감기술 개발 (1차년도)” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Ahmed Elmarakbi, Niki Fielding (2009). New Design of Roadside Pole Structure: Crash Analysis of Different Longitudinal Tubes using LS-DYNA. In the 7th European LS-DYNA Conference.

Alberta Transportation (2007). Roadside Design Guide, Alberta Infrastructure and Transportation.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). NCHRP Report 350.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2002). Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials Washington, D. C.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2010). Highway Safety Manual.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2011). Roadside Design Guide 4th Edition.

Byun et al. (2011), The Study on U-Service Priority for Low-Income People Using AHP, Intelligent Transportation Systems, Vol. 10, No. 1.

CEN (2006). EN 1991-1-7 Eurocode 1: Actions on structures Part1-7.

CEN (2006). EN 1991-2 Eurocode 1: Actions on structures Part2 : Traffic loads on bridges.

CEN. (2007). Passive safety of support structures for road equipment requirements, EN 12767, European Committee for Standardization.

Choi et al. (2009), Selection of Expressway Ramp Metering Sites and Priority Making, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 29, No. 5D.

Elmarakbi A., Sennah K., Samaan M. and Siyira P (2006). Crashworthiness of motor vehicle and traffic light pole in frontal collision. The ASCE Journal of Transportation Engineering, 132(9):722-733.

Holguin-Veras (1995), Comparative Assessment of AHP and MAV in Highway Planning : CASE STUDY, Journal of Transportation engineering, Vol. 121, No. 2, pp. 191-200.

Kim, K. and V. Bernardin (2000), Application of an Analytical Hierarchy Process at the Indiana Department of Transportation for Prioritizing Major Highway Capital Investments, Proceeding of the 7th TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods, pp. 266-278.

Kim et al. (2010), Methodology for Selecting Traffic Safety Warning Messages Using Analytical Hierarchical Process(AHP)-based Multi-Criteria Value Function, Intelligent Transportation Systems, Vol. 9, No. 4.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2012). Manual for Traffic Management on Work Zone.

Oh et al. (2005), Application of AHP to Select for Priority of Permanent Traffic Volume Survey Site, Korean Society of Road Engineers, Vol. 7, No. 4.

Park et al.(2013), The Decision of Order Priority of HUD Contents for Public Transit, International J. Highw. Engineering Vol. 15 No. 1.

Saaty, T. L. (1980). The Analytical Hierarchy Process, McGraw Hill, New York.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, 48 (1) : 9-26.

The national policy agency (2014). Statistics on Traffic Accidents in 2014 year.

Yang et al. (2001), On Application of the GSIS and AHP in Determination of the Optimum Route, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 21, No. 2D.

Yang et al. (2012), Evaluation for Operational Efficiency of Road Management Equipment using Analytical Hierarchy Process, Korean Society of Road Engineers, Vol. 14, No. 5.

Yang et al. (2013), Methodology for effective operation of road management equipment, Transport Policy, 30, pp. 199-206.