

녹색도로 구현을 위한 기술 우선순위 결정에 관한 연구

A Study on Technology Priorities for Green Highway

이 유 화	Lee, Yuhwa	정희원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail : ylee@kict.re.kr)
조 원 범	Cho, Won Bum	정희원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 (E-mail : worber@kict.re.kr)
김 세 환	Kim, Se Hwan	한국개발연구원 전문연구원 (E-mail : ksehwan@kdi.re.kr)

ABSTRACT

It is not surprising to hear news about irresistible natural disasters all over the world due to climate change. Korean Government has focused on developing a variety of green technologies to reduce green house gasses, in particular, carbon dioxide. This study suggested 18 technology divisions for achieving green highway technology development in six different sub-sectors considering life-cycle of roadway and surveyed 29 highway and/or transportation professionals of three institutes using AHP(Analytical Hierarchy Process) analysis to construct "Green Highway" and realize carbon emission reductions and energy use efficiency in a road sector in Korea. Expert Choice Software was used to rank 18 technology divisions weighted by two-level choices. Transport Operating Infrastructure Improvement, Roadway Policy Implementation, Green Transportation(such as Pedestrian and Bicycle) were highly ranked by respondents according to results of the AHP modeling. Among the 18 divisions, technology policy for supporting R&D investments from development to commercialization was ranked as the most significant one to be focused. Green Transportation Facility Design/Construction/Operation and Eco-Friendly Roadway Plan were followed as expected since professionals have thought that the planning/design step of the life-cycle is a starting point to reduce carbon dioxide from roads more and more. Additionally, comparing the results with the Government investment trend 2006-2011 for the roads, it can be interpreted that the Government should invest to the R&D area more widely than before to promote element and core technology development for Green Highway Construction. Above all, small and mid-sized businesses have to be invested as well as encouraged to undertake green highway-related objects to accomplish the divisions which ranked high.

KEYWORDS

green highway, green highway technology, AHP analysis, prioritization of road investments

요지

기후 변화로 인하여 발생하는 자연재해에 대한 뉴스는 더 이상 놀라운 일이 아니다. 우리나라 정부는 온실가스 특히 이산화탄소 저감에 대한 녹색기술 개발에 박차를 가하고 있다. 본 연구는 탄소 저감 및 에너지 효율화를 실현하고, 미래지향적인 녹색도로를 구현하기 위하여, 녹색도로기술을 정의하고, 기술의 우선순위를 결정하는 것을 목적으로 한다. 국내 도로와 교통 전문가 29인에게 AHP기법을 통하여 설문조사를 수행한 후에, Expert Choice 프로그램을 활용하여 선택의 가중치를 분석하였다. 생애주기 변화와 도로 건설 특성을 고려한 1계층 분야와 녹색도로기술을 통하여 달성하고자 하는 목표인 2계층 분야를 구분하여 전문가들의 선택을 분석한 결과, 탄소저감과 에너지 절감을 위해서는 1계층에서는 교통운영 인프라개선, 도로교통정책, 녹색교통 순으로 우선순위 가중치가 높으며, 2계층에서는 녹색도로 관련 기술 R&D투자 및 정책 지원, 녹색교통시설 설계 및 운영, 친환경 도로계획 순으로 우선순위 가중치가 높았다. 추가적으로 전문가들의 기술 우선순위와 국가 재정투자를 비교하기 위하여 2011년까지 5년간의 국토해양부 도로투자를 살펴보았다. 우리나라는 최근 도로건설에 대한 투자보다는 도로의 효율성을 강조하고 이용자의 편의를 도모하는 도로 관리로 전환하고 있는 추세다. 하지만 전문가들이 응답한 기술 목표를 달성하고 최종적으로 녹색도로 구현을 위한 핵심 및 요소기술 개발과 중소기업 기반 도로 산업 육성을 위한 투자는 아직 미진하다고 볼 수 있다. 따라서 녹색도로 건설 구현을 위하여 녹색도로기술 개발 R&D투자를 도모하고 상업화를 지원하는 풍토가 조성되는 것이 필요하다고 판단된다.

핵심용어

녹색도로, 녹색도로기술, AHP분석기법, 도로투자 우선순위

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

2010년 1월초 한국 중부지방 폭설, 2011년 7월말 서울 서초구 일대 폭우 등 기후변화로 인한 재해 및 재난이 계속 발생하고 있다. 세계는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 및 UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change) 등과 같은 기후변화 관련 국제협약을 통해 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 배출을 제한하여 지구 온난화를 방지하고자 하는 공통된 목적을 가지고 지구적인 환경문제에 대처하기 위하여 노력하고 있다.

우리나라는 2009년 녹색성장기본법이 국회에서 거의 만장일치로 통과하고, 녹색성장위원회를 구성하는 등의 본격적인 국가 녹색성장을 도모하였고, 정부 부처는 법의 취지에 따라 탄소저감정책을 시행하고 있다. 최근 정부는 녹색기술 정책을 총괄한 한국녹색기술센터를 2012년 3월 설립하고, 정부가 선정한 '27대 중점 녹색기술'을 집중적으로 육성할 방침이다.

녹색성장에 대한 국가의 영향력은 수송부문 특히 도로 관련 정책 및 기술개발에도 미치고 있다. 한국교통연구원에서 발표한 통계자료(KOTI, 2011)에 따르면, 도로부문은 2009년 자동차로부터 77백만 tCO₂를 배출하였으며, 이는 우리나라 전체 에너지 부문 CO₂배출량의 16%를 차지하고 있다고 한다. 도로는 건설 자체를 통해 직접적으로 많은 CO₂를 배출하고 있지 않지만¹⁾, 도로가 존재함으로 인해 “온실가스 배출의 주요 요인”이라는 오명을 받고 있는 것이 불가피한 현실이다. 이러한 문제에 대한 하나의 해결책으로써, 도로분야의 전문가들은 “녹색도로(Green Highway)” 건설을 장려하고, 조속히 관련 기술개발을 선도하여 산업으로 육성할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다고 제안²⁾하고 있다.

본 논문의 목적은 녹색도로 건설 구현이라는 미래 도로 비전을 핵심기술 개발, 실용화, 현장 적용을 통해 조속히 이룰 수 있도록 녹색도로 산업분야 구분 및 각각의 달성목표기술을 설정하고, 우선순위를 분석하여 정부투자 의사결정에 지원할 수 있도록 함이다. 이는 도로 및 교통 전문가들이 탄소 배출 및 에너지 소모 저감을 위하여 정책적으로 시기적절하게 투자가 필요한 분야들의 기술 우선순위를 결정함으로써 “저탄소 녹색

성장”을 달성하기 위한 구체적인 목표를 선정하고, 그 결과를 저탄소 도로정책의 의사결정자들에게 전달하는데 의의가 있다.

이를 위해 우선 녹색도로 및 녹색도로기술에 대한 기본적인 개념 정립 및 연구의 방향성에 대하여 구술하고, 관련 연구사례를 검토한다. 이후, AHP기법을 통해 설문조사를 수행하고 1차 집계결과를 기술한 후, 본격적으로 Expert Choice 프로그램을 활용한 AHP모형 추정을 통해 목표기술별 가중치를 산정하고, 그 결과를 해석하였다. 마지막으로 분석결과를 통해 전문가가 제안하는 녹색성장을 위한 녹색도로기술의 우선순위와 현재 정부의 도로투자추이 현황과 비교하며 시사점을 제시한 후, 종합적인 결론 기술, 향후 연구방안을 제시하였다.

1.2. 녹색기술, 녹색도로와 녹색도로기술

본격적으로 「녹색기술」에 대한 중요성이 공감하게 된 것은 2008년 “녹색성장(Green Growth)”이라는 국정목표가 설정된 이후이다. 특히 녹색기술에 대한 법적 필요성은 2011년 4월 고시된 「저탄소 녹색성장기본법」에서 제시하고 있다.

제 1조에 의하면 이 법의 목적은 “...녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장 동력으로 활용함으로써 국민경제의 발전을 도모하고, 저탄소 사회를 구현하여 국민의 삶의 질을 높이고...”이라고 지정되어 있으며, 녹색기술을 통하여 새로운 국가 성장 동력을 마련하자는 것이 주요 핵심이다. 법적 용어로 “녹색기술”을 정의해보면 아래와 같이 정해져 있다.

“녹색기술”이라 함은 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술 포함) 등 사회·경제활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 말함.

상기 기술들은 경제성장 특히 산업의 성장 동력을 육성하는 핵심기술로 지정되어 있고, 요소 기술 중심으로 구성되어 있기 때문에 도로분야로의 응용발전과 실용화(사업화) 단계로 기술을 바로 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 도로에 대한 녹색기술을 활성화하기 위하여 “녹색도로기술”을 정의하고 체계화하여 녹색도로 구현에 이바지하는 것이 필요하다.

본 연구를 통해 고찰해본 결과, “녹색도로”라는 용어는 종래 친환경도로, 생태도로 등과 같이 자연과 친화적이고, 생태계 보전 및 환경보호를 고려하는 도로의 개념

1) 한국건설기술연구원 내부 자료에 의하면 도로 건설로 인해 배출되는 이산화탄소는 연간 대략 6~8백만 CO₂라고 추산됨
2) 한국건설기술연구원 “Road Vision 2020”과 도로교통연구원의 “도로부문 경쟁력 강화 전략” 참조

으로부터 파생되었는데, “녹색”이라는 단어는 자연(Nature)을 고려한 환경친화성(Eco-Friendly)이라는 일면적인 의미로 활용되는 사례가 많았다. 그러나 최근 “저탄소 녹색성장”이라는 국정목표 선정 이래, 녹색도로라는 개념이 녹색교통 자전거도로, 녹색에너지 생산이 가능한 도로 인프라, 도로 에너지 효율성이 높은 도로로 기존의 개념보다 확대되었으며, 최근에는 2011년 11월부터 “탄소중립형 도로 기술 개발”이 건설교통기술평가원 R&D 연구단 과제로 수행되면서, 탄소(주로 이산화탄소, CO₂)저감이나 흡수가 가능한 도로까지 광의의 개념으로 활용되기 시작하였다. 따라서 본 연구에서 고려하는 녹색도로는 탄소중립도로, 친환경도로(생태도로 포함), 녹색에너지 도로(도로 에너지 효율성 향상 및 에너지 생산 포함), 녹색교통(보행, 자전거, 버스 등 노면 대중교통) 기반 도로, 녹색도로 제도/정책 등의 분야 및 산업을 포함한 도로이며, 이러한 개념은 “탄소중립형 도로 기술 개발” 연구단에서도 활용한다.

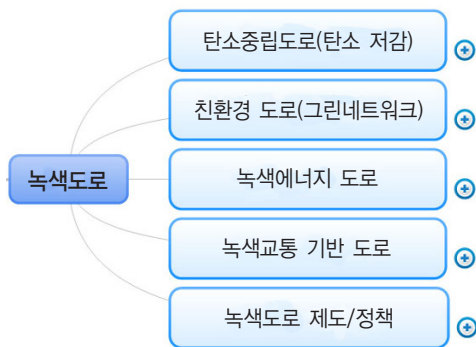


그림 1. 녹색도로의 개념

“녹색도로기술”이란 용어는 “녹색기술”과는 달리 법 제상 아직 명확하게 규정되지 않았기 때문에 도로 및 교통 전문가들에게 친숙하지 않다. 국내에서는 한국건설기술연구원이 2011년 4월 개최한 “녹색도로기술 국제세미나”에서 사용되었으며, 한국건설기술연구원이 수행한 “도로 에너지·자원분석을 위한 투자효과평가시스템개발 기획연구”에서 구체적으로 녹색도로기술이라는 용어를 정의한 바 있다. 해당 연구에서는 앞서 설명하였듯이 녹색도로란 단순히 “Green”을 포함한 환경적 친화도로 개념이 아니라, 도로 인프라에 녹색도로 구현에 이바지하고 지속적인 경제발전에도 이바지할 수 있는 저에너지, 저탄소의 녹색기술을 적용하여 실제 탄소 저감을 실현하는 도로를 칭한다. 따라서 본 연구에서는 녹색도로기술을 “저탄소 녹색성장에 부합하고, 도로인프라에 적용 가능한 온실가스 감축 및 에너지 이용 효율적/생산적 스마트 융합기술”이라고 정의한다. 이는 달리

말하면, 도로에서 바로 CO₂ 저감 및 흡수가 가능한 기술과 같이 1차적으로 탄소의 양을 저감하는 기술 외에, 도로에서 소모되는 에너지 효율성을 높여서 소비가 절감되는 기술, 도로상 탄소가 덜 배출되는 자동차 속도(60~80km/h)를 유지하는 도로를 설계하는 기술, 교통사고를 사전에 예방하여 추가적인 사고비용과 교통지체 비용을 저감할 수 있는 사고 및 충돌방지기술, 도로에서 에너지를 수확하는 기술, 도로 인프라를 개선하여 교통운영의 효율성을 높이는 기술 등과 같이 2차적인 탄소저감 파급효과를 유발하는 기술도 포함하여 녹색도로기술이라고 구분할 수 있다.

1.3. 연구의 목적 및 방법

본 연구는 녹색도로기술을 정의하고, 녹색도로 달성목표 기술을 녹색도로 적용 산업분야별로 우선순위를 결정하여 정부의 의사결정을 지원하는 것을 목적으로 한다. 또한 녹색도로기술의 체계를 정립하고, 달성목표 기술을 도출함으로써, 목표 지향적으로 산, 학, 연들의 R&D 연구개발에 대한 방향성을 제시하는 것을 본 연구의 부가적인 목적으로 할 수 있다. 본 연구의 수행절차는 그림 2와 같다.

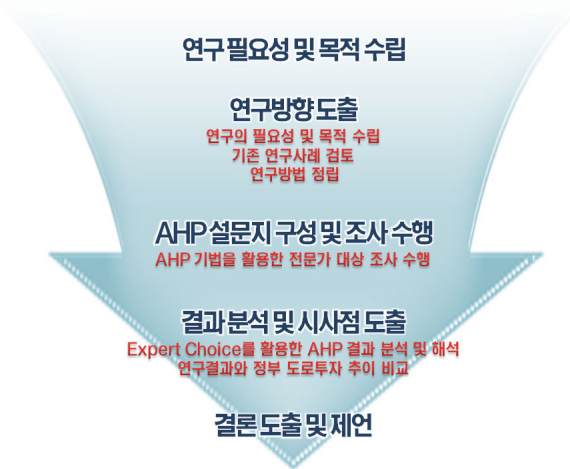


그림 2. 연구수행 절차

2. 국내·외 관련 연구사례 검토

본 연구의 목적은 녹색도로 구현을 위한 산업분야별 달성목표기술의 우선순위를 결정하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 정책적인 우선순위 결정에 다방면에서 활용되고 있는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 통한 국내 도로, 교통 분야에서 수행된 연구 사례

를 검토하였다. 국외는 AHP기법을 통해 도로, 철도 분야 정책의 우선순위를 결정하는 사례가 거의 없으나, 최근 아시아지역의 지방부 도로에 대한 투자우선순위 평가 연구에 활용된 논문을 검토하였다. 먼저, 국내 도로분야에서의 AHP분석은 주로 도로사업의 투자 우선순위 결정을 위해 활용되었다. 도로사업의 경우 공익을 목적으로 한다는 특수성을 가지고 있어 이윤의 극대화를 기준으로 투자여부가 결정되는 일반적인 사업과는 차이점이 있으며, 따라서 단순 경제성 분석뿐만 아니라 정책적 측면 및 사회적 파급효과 등 다양한 평가지표들이 검토되고 있다.

정병두(2002)는 도로투자 우선순위 결정 시 다기준분석기법인 AHP분석을 활용하도록 제안하였으며, 평가대상이 많아 쌍대비교에 의한 우선순위 평가가 적합하지 않은 경우의 도로투자 우선순위 결정 AHP분석방법론을 제안하였다. 정병두(2002)는 도로투자 우선순위 결정을 위한 상위 평가항목으로서 이전까지 경제성 외에 소홀하게 다루어졌던 환경적인 측면, 주민생활과 지역균형발전 등을 고려하도록 제안하였으며, 향후 과제로 우선순위에 대한 집단 의사결정화 문제에 있어 AHP설문에 참여한 분야별 집단성향과 객관성을 다각적으로 검토하기 위한 지속적 연구가 필요하다고 제안하였다.

한상진 등(2005)은 ASEAN(Association of South East Asian Nations: 동남아시아국가연합체) 도로망사업 추진을 위해 AHP분석법을 이용하여 회원국의 도로축 및 개별 도로에 대한 투자 우선순위를 결정하였다. 도로축별 우선순위 결정을 위한 계층구조 중 최상위 수준에는 본 의사결정의 목표인 '도로건설 및 개량사업의 우선순위 결정'을 두었다. 제 2수준에서는 평가항목으로 경제적 측면 및 정책적 측면으로 구분하였으며, 각각은 다시 2개 및 3개 항목으로 분류하였다. 제 3수준은 대안이 되는 도로축으로 두었다.

이재영 등(2006)은 환경, 도시, 교통전문가를 대상으로 한 AHP분석을 통하여 도시 내 도로건설사업 평가의 사례분석을 통하여 평가모형 및 평가참여자의 중요도 인식특성을 분석하였다. 문제의 정의 및 평가요소, 계층구조화는 선행연구 및 브레인스토밍을 통하여 도출하였으며, 이를 통해 1계층은 공통항목 및 특수항목으로 구분하여 제시하였다. 이재영 등(2006)은 그룹의사결정방법을 통한 평가 참여자의 중요도 인식특성에 대한 결과로서 각 그룹(환경, 도시, 교통전문가)별로 평가항목의 중요도에 대한 인식의 차이가 크게 발생하므로 이를 충분히 고려하여 합리적인 의사결정에 이르도록 유의하여야 함을 제안하였다.

앞서의 문헌들 중 정병두(2002)와 이재영 등(2006)은 AHP설문에 참여한 피설문자의 주요업무 및 전공분야 등 소속집단에 따라 설문결과가 편향될 수 있음을 공통적으로 지적하고 있어 이를 최대한 배제할 수 있도록 설문대상자 선정기준을 명확히 할 필요성을 시사하고 있다.

교통분야에서는 주로 교통계획부문에 활용된 사례가 많다. 특히 교통정책에 대한 의사결정을 위한 대안 선택을 위하여 수행한 사례를 설명하면 다음과 같다.

최재원 등(2011)은 시내버스 준공영제 시행에 따른 교통사고 저감대책의 의사결정 모델을 개발하기 위하여 교통전문가를 대상으로 AHP분석법을 활용하였다. 정량적/정성적 대책은 상위 1계층으로 제시하고, 하위 평가항목으로는 각각의 대책별로 4개의 하위 대책을 제시하여 가중치를 산정하였다. 송혜승, 성현곤(2010)은 AHP분석을 통하여 대도시권의 광역교통 정책방향 설정에 관한 연구를 수행하였다. 최상위 수준은 "교통 시설 공급 및 확충", "교통수요관리", "교통운영관리"로 구분하였으며, 차상위 수준으로는 총 21개로 분류하여 설계하였다. 김현명 등(2010)은 교통부문 녹색성장 평가지표를 개발하기 위하여 AHP전문가 조사를 통해, 전체목표, 개별목표, 상세목표를 위계화하여 상대적 기여도를 결정하도록 분석하였다.

앞서의 2개 논문은 교통정책 대안의 우선순위를 파악하고 정책 집행 기초자료로서 제공하는 것을 목표로 하였으나, 마지막 논문은 교통부문에서의 녹색성장 달성을 위하여 지속가능한 개발이나 생태 효율성과 같은 새로운 교통부문 목표를 추가함에 있어서의 전문가의 의견을 반영하여 결과를 활용하였다.

Dalal 등(2010)은 개발도상국(인도)의 지방부 도로의 경우 사회·경제적인 조건에 따라 정부가 투자하기보다는 자주 정치적인 조건에 따라 결정되는 지방부 도로 사업에 대하여 지적하고, 보다 이성적인 결정에 의해 도로 투자기금이 분배되기 위한 지원연구를 수행하였다. AHP기법을 활용하여 178개의 지방부 도로에 사회·경제적인 기준을 고려하여 최종 점수를 기반으로 우선순위를 선정하였다.

Khademi와 Sheikholeslami(2010)은 이란의 저급 도로(Low-class roads) 유지관리 프로그램에 대한 의사결정을 지원하기 위하여 AHP모형을 활용하여 유지관리, 개선, 확장사업 등의 그룹 의사결정을 전통적인 개별적 결정과 체계적 그룹 전문가 결정과 비교하여 분석하였다.

외국 사례를 검토한 결과, 다수의 의견을 존중하고 체계적인 의사결정단계가 정착되어 있는 선진국보다는 아직 소수의 정치적인 의견에 의해 도로에 대한 투자 분배가 결정되는 아시아지역을 중심으로 AHP기법 사례 연구가 진행되고 있다고 볼 수 있다.

AHP기법을 통해 투자에 대한 결정을 적극적으로 활용하고 있는 것은 우리나라 기획재정부의 예비타당성조사이다. 예비타당성조사는 국가재정법 제38조의 규정에 따라 대규모 신규사업에 대한 예산편성 및 자금운용계획을 수립하기 위해 기획재정부장관 주관으로 실시하는 사전 타당성 검증·평가를 말한다(기획재정부, 2012).

타당성 검증을 위한 평가의 주요내용은 크게 경제성 분석과 정책적 분석으로 나뉘는데, 정량적(정책적) 분석 결과와 정성적(정책적) 분석 결과에 대하여 서로 상이한 척도(scale)를 갖는 평가항목을 통합하는 어려움이 존재한다. 따라서 예비타당성조사에서는 사업의 종합평가를 위해 2000년 AHP기법을 도입하였으며, 이후 평가자 확대 및 분석구조 개선 등 여러 차례 연구를 통해 평가의 방식을 변화시켜 보다 합리적인 의사결정을 도울 수 있도록 보완하고 활용하고 있다.

3. 녹색도로 구현 기술 우선순위 결정을 위한 설문조사

3.1. AHP기법 이론

다기준분석방법의 일종인 AHP분석은 1970년대 초 Thomas Saaty 교수가 의사결정과정의 비능률을 개선하기 위하여 개발한 의사결정 기법의 하나로, 이원비교(pair-wise comparison)를 통해 중요도를 도출한다. 이 기법은 인간의 사고와 유사한 방법으로 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있다는 점과, 모형을 이용하여 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 비율척도(ratio scale)화하여 정량적인 형태로 결과를 얻을 수 있다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다. 주로 수송계획, 환경정책수립 등 공공부문의 의사결정에 활용되고 있으며, IBM, GM, Xerox, 3M 등 민간부문의 의사결정과정에서도 활용되고 있다.

반면, 의사결정 기법의 단점 중 하나는 일부 평가자의 동기적 편향(motivational bias)에 의해 전체적인 의사결정이 왜곡될 수도 있다는 것인데, AHP기법의 경우 최종 가중치 분포에 대한 사전적 인지가 어렵다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 응답의 일관성 정도를 비일관성 비율의 검증을 통해 확인할 수 있어 이러한

문제점을 해소할 수 있다. 비일관성 비율이 0의 값이라는 것은 응답자가 완전한 일관성을 유지하며 쌍대비교를 수행하였음을 의미한다. 따라서 비일관성 비율을 산출하여 0.2 이상이면 일관성이 부족하다고 판단하여 재조사를 실시하여 보완한다.

3.2. 녹색도로 분야별 기술 설계 작성

본 연구의 설문조사는 미래지향적인 녹색도로를 구현하기 위하여 녹색도로기술을 정의하고 기술을 통해 달성하고자 하는 세부 달성목표기술 간 가중치(중요도)를 모형을 통해 추정하였다. 도로에서의 녹색기술 개발을 고려하고 있는 개발 수요자 및 투자 의사 결정자에게 효율적인 투자 방향성 및 투자 정당성을 제시하고 해당 기술의 정책적·재정적 지원을 촉진하여 “저탄소 녹색성장”이라는 국정목표에 부응하기 위한 전략수립의 기초 자료를 확보하기 위한 목적으로 수행되었다.

이를 위해 도로교통 분야를 6개 산업분야로 구분하고 저탄소 녹색성장을 구현하기 위한 각 산업분야별 달성목표기술을 표 1과 같이 구분하였다. 달성목표기술 설계 및 작성단계는 먼저 건교평 국가 R&D 연구단 연구진 그룹과 함께 브레인스토밍(Brainstorming)을 통해 이루어졌으며, 전문가 자문회의를 통해 최종 검토, 검증되어 확정되었다.

녹색도로기술 개발을 통해 이루고자 하는 달성목표기술은 도로의 산업분야 및 생애주기를 고려하여 6개 분야 18개 목표기술로 구성되어 있다. 각 분야는 1개부터 최대 5개까지의 달성목표기술을 포함하고 있으며, ‘CO₂ 및 에너지 저감’이라는 선정기준에 따라 세부기술을 통해 달성될 수 있는 목표기술들로 작성되었다. 쌍대비교를 위한 척도는 9점 척도를 이용하였으며, 1계층은 산업분야, 2계층은 분야별 달성목표기술로 지정하였다.

3.3. AHP설문조사 방법 및 1차 집계 결과

설문대상 전문가는 다음과 같은 기준을 고려하여 결정하였다.

- 현재 도로/교통분야에 종사하고 있을 것
- 도로/교통분야 전반적인 식견을 갖추고 있을 것
- 도로/교통분야 저탄소 녹색성장과 관련 현 기술뿐 아니라 선도적인 기술분야에 대한 이해도가 높을 것

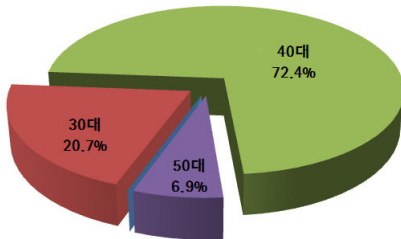
상기 선정기준에 따라 전문가를 엄선한 결과, 최종적

으로 한국건설기술연구원, 한국교통연구원, 한국도로공사 도로교통연구원의 연구업무 종사자가 설문조사 대상 전문가로 선정되었다.

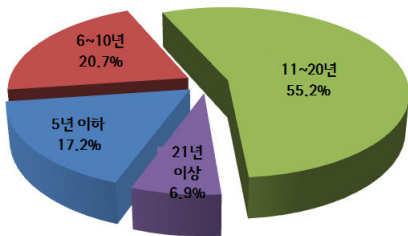
설문내용은 도로상 “탄소 및 에너지 저감” 목표를 달성하기 위하여 우선적으로 투자지원이 필요한 기술 산업분야(1계층)의 우선순위 결정 및 각 산업분야를 달성하기 위한 목표(2계층)의 우선순위 결정을 위한 부분으로 구성되었다.

설문조사는 2012년 2월 중에 수행되었으며 각 조사요원이 기관을 방문하여 피설문자를 대상으로 조사의 개요, 목표, 각 세부목표에 대한 설명을 충분히 설명하고 1~2일 후 재방문하여 설문지를 수거하는 방식으로 진행하였으며, 수거된 설문의 비밀관성이 높은 경우는 2차, 3차 재조사(feedback)를 수행하였다. 우선 전체 36명의 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 재조사 후에도 비밀관성이 높은 것으로 분석된 7명을 제외한 29명을 최종적인 설문분석 대상으로 결정하였다.

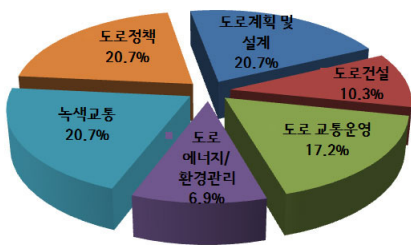
분석에 포함된 피설문자의 연령은 30대 6명(20.7%),



(a) 연령대 분포



(b) 도로교통 분야 경력 분포



(c) 현 주요 업무분야 분포

그림 3. 최종 피설문자 분포 개요

40대 21명(72.4%), 50대 2명(6.9%)이며, 도로교통 분야 경력은 5년 이하 5명(17.2%), 6~10년 6명(20.7%), 11~20년 16명(55.2%), 21년 이상 2명(6.9%)이다. 현재 수행하고 있는 주요 업무분야는 도로계획 및 설계분야 6명(20.7%), 도로건설 분야 3명(10.3%), 도로 교통 운영 분야 5명(17.2%), 도로 에너지/환경관리 분야 3명(6.9%), 녹색교통 분야 6명(20.7%), 도로정책 분야 6명(20.7%)이다(그림 3 참조).

설문조사결과를 토대로 피설문자 29명의 산업분야(1계층)별 분포를 단순히 1차 집계한 결과 도로계획 및 설계 분야는 8명(27.6%), 도로건설 분야는 1명(3.4%), 도로 교통운영 분야는 6명(20.7%), 도로 에너지/환경관리 분야는 2명(6.9%), 녹색교통은 5명(17.2%), 도로정책은 7명(24.1%)이 저탄소 녹색성장을 위해 최우선으로 지원이 필요한 산업분야로 선택하였다(그림 4 참조).

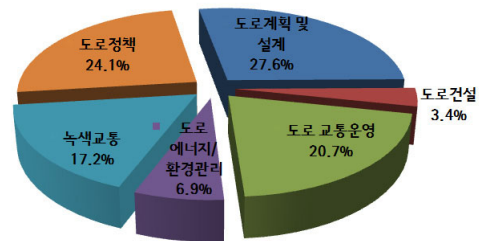


그림 4. 녹색도로 산업분야 최우선 지원 선정 분포

자동차로부터 배출되는 온실가스가 전체 온실가스 배출량의 16%를 차지하고 있다는 널리 알려진 정보로 인하여 도로, 교통전문가들은 자재 및 시공과 연관이 있는 도로 건설 분야보다는 도로 교통운영 분야에 녹색 도로 실현을 위해 선행되어야 한다고 밝히고 있다. 하지만 이러한 결론은 최우선 분야를 단순 종합한 결과이며, 대안 간 우선순위를 정확한 가중치 산정을 통하여 선택의 강건성(Robustness)을 판단할 필요가 있으므로 Expert Choice 프로그램을 통해 결과를 도출하였다.

4. AHP모형 추정결과 및 해석

4.1. 모형 추정결과에 따른 기술 우선순위

본 연구는 녹색도로 구현을 위한 달성목표기술의 우선순위를 정하는 것이 목적이므로, 설문지 작성단계부터 성격에 맞게 계층을 구분하여 설계하였다(표 1 참조).

녹색도로기술에 대한 세부 기술의 우선순위를 산정하기 위해 세부 기술들을 동질적 집합으로 군집화하여 2

표 1. 녹색도로기술 산업분야 및 세부목표 구분(AHP계층 설계)

산업분야 (계층 1)	달 성 목 표 기 술 (계층 2)	정 의
도로 계획 및 설계	친환경 도로 계획	환경과 지역적 특성을 고려하고 동식물 서식지를 보호하며, 도로 유출수 관리 및 오염물질 처리가 가능한 도로 계획
	저탄소 도로 및 시설물 설계	도로에서 탄소배출의 1차 근원이 되는 건설, 시공단계에서의 도로 시설물 저탄소 배출 설계와 자동차에서 배출되는 탄소량을 저감할 수 있는 저탄소 배출 도로설계, 그리고 효율적으로 탄소를 흡수하는 도로 조경 설계와 도로 교통사고로 인한 2차적 탄소배출(사고로 인한 교통정체에 기인)을 저감하기 위한 사고방지 및 충돌피해 최소화 시설물 설계
도로 건설	신소재 적용 도로포장을 통한 저탄소 도로 건설 (이하 '신소재 적용 도로포장')	기존 아스팔트 포장과 같이 탄소배출량이 상대적으로 큰 시멘트와 아스콘 보다는 새로운 신소재인 활성 산업부산물, 천연 재료를 활용한 포장바인더 등 탄소저감이 가능한 포장재료 및 기술
	재활용 도로포장을 통한 저탄소 도로 건설 (이하 '재활용 도로포장')	아스콘, 콘크리트 등 포장재료의 재활용 포장기술
	가능성 도로포장을 통한 저탄소 도로 건설 (이하 '가능성 도로포장')	기존 포장대비 소음, 물순환 등을 개선한 가능성 포장기술
	탄소저감 도로포장을 통한 저탄소 도로 건설 (이하 '탄소저감 도로포장')	건설시공 시 아스팔트 가열온도를 낮춰 탄소저감을 도모하는 포장기술
	에너지 생산 도로포장을 통한 저탄소 도로 건설 (이하 '에너지 생산 도로포장')	도로 콘크리트, 아스팔트 등 기존 도로포장 재료 대신 태양광, 압전 등 에너지 생산이 가능한 재료 활용 포장기술
도로 교통운영	지체 최소 교통정보 운영	교통류의 흐름 및 차량 소통을 원활하게 하기 위하여 탄소 저감이 가능한 연속류 50~90km/h의 속도를 유지할 수 있도록 유도하는 도로교통 정보시스템과 주차 정보 제공을 통해 불필요한 주행을 방지하는 주차정보시스템 등과 같은 교통정보 운영기술
	자동주행 도로시설의 설계 및 운영을 통한 저탄소 안정적 교통류 운영 (이하 '자동주행 도로시설의 설계 및 운영')	차량의 에너지 효율을 높이고, 저탄소 배출 속도를 유지시키는 자동주행기술이 적용된 도로시설의 설계 및 운영
	교통운영 인프라 개선을 통한 저탄소 안정적 교통류 운영 (이하 '교통운영 인프라 개선')	단속교통류의 원활한 흐름을 위한 스마트 신호기술, 교통용량 증대를 통해 차량 소통을 개선하기 위한 스마트 차로운영기술, 통행료 지불로 인한 지체 감소를 위한 ETCS기술 등 교통운영시설 개선을 통한 탄소저감
	사고방지 및 사고지체 개선을 통한 저탄소 안정적 교통류 운영 (이하 '사고방지 및 사고지체 개선')	도로 사고 발생 감지 및 사후처리를 신속하게 수행하여 사고로 인한 지체 최소화
도로 에너지/ 환경관리	에너지 효율적 도로 유지관리를 통한 도로 에너지/자원 최적관리 (이하 '에너지 효율적 도로 유지관리')	도로 유지관리를 위해 필요한 야간 조명시설 절전 및 자연 채광 활용기술과 도로 청소, 폭우/폭설, 안개 대응 등과 같은 에너지/환경 관리기술
	도로 에너지 수확(포장 외)을 통한 저비용 도로 에너지 생산 (이하 '도로 에너지 수확(포장 외)')	태양열, 소풍력 발전 등 신재생에너지를 활용하여 도로에서 에너지를 수확하여 도로 유지관리에 활용하고 저장하는 기술
	도로 탄소 포집, 흡수, 전환을 통한 도로 탄소 관리 (이하 '도로 탄소 포집, 흡수, 전환')	자동차 운행으로 인하여 도로 대기중에 배출된 탄소를 흡수하거나 포집, 그리고 에너지/자원으로 전환하는 기술
	도로 물순환 및 오염물질 처리 개선	도로 우천 시 유출수로 인하여 주변 하천 및 수자원에 영향을 주지 않도록 최대 배출량 관리 및 오염물질 처리기술
녹색교통	녹색교통수단의 시설 설계 및 운영	자동차 통행을 녹색교통으로 유도할 수 있도록 보행/자전거 수단을 위한 전용 도로 및 부속시설물 설계와 원활한 흐름을 위한 보행/자전거 도로 운영기술
	첨단 버스시스템 개선 도로	녹색 노면교통 중 이동성이 높은 버스 교통수단의 개선을 위한 친환경 차량 개발기술, 버스전용차로를 넘어선 Bus Rapid Transit 시스템, 환승의 편의성을 제공하기 위한 버스 정류장/환승시설 개선을 위한 제반 기술
도로정책	기술, 산업지원 정책대응	도로의 녹색기술을 육성하기 위한 도로 법, 제도 정비 기술과 녹색도로기술 R&D 평가 및 관리기술, 그리고 기존 도로기술 혁신을 위한 제반 기술지원 정책

계층의 수준으로 구분하였으며, 산업분야와 세부목표를 각각 제1계층과 제2계층으로 분리한 계층구조로 AHP 설문조사를 수행하였다. 그 이후 달성목표기술의 가중치 측정(weighting)을 중심으로 모형추정 및 분석을 수행하였다.

집단의사결정은 그 구성원의 선정이 의사결정 결과에 직접적인 영향을 미치므로, 평가자의 선정에 신중함을 기할 필요가 있기 때문에 본 연구에서는 총 29명의 전문가 집단을 평가자로 선정하였다. 여기서 주의할 점은 AHP분석기법을 통한 설문 샘플은 30개 이상의 표본수를 선정할 필요가 없는 것이다. 그 이유는 먼저 AHP모형의 오차항은 정규분포를 따르지 않고, 가중치의 정확성보다는 분산의 편차를 줄여 가중치의 강건성을 높이기 위함이기 때문이다. 따라서 예비타당성조사의 AHP 조사의 경우에는 주로 10개 내외의 표본수로 최종 의사결정이 판정되고, 그 가중치 모형의 결과는 유의하다고 판단됨을 참조할 수 있다.

녹색도로 구현 달성목표기술 우선순위 결정을 위한 AHP 모형 추정결과를 살펴보면, 제1계층의 산업분야 가중치에서 도로 교통운영이 22.5%로 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 분석되었으며, 그 다음으로 도로정책이 21.4%, 도로 에너지/환경관리 18.2%, 녹색교통 14.9%, 도로 계획 및 설계 14.5%, 도로건설 8.4% 순으로 중요도를 평가하고 있는 것으로 분석되었다.

표 2. 전체 평가자들의 항목별 모형 가중치 산정 결과

제1계층(산업분야)			제2계층(달성목표기술)		
평가항목	가중치 (%)	우선순위	평가항목	가중치 (%)	우선순위
도로 계획 및 설계	14.5	5	친환경 도로 계획	7.77	3
			저탄소 도로 및 시설물 설계	6.74	6
도로건설	8.4	6	신소재 적용 도로포장	0.97	18
			재활용 도로포장	1.67	16
			기능성 도로포장	1.50	17
			탄소저감 도로포장	2.53	13
			에너지 생산 도로포장	1.76	15
도로 교통 운영	22.5	1	지체 최소 교통정보 운영	6.25	7
			자동주행 도로시설의 설계 및 운영	2.71	12
			교통운영 인프라 개선	7.35	5
			사고방지 및 사고지체 개선	6.24	8
도로 에너지/환경관리	18.2	3	에너지 효율적 도로 유지관리	7.47	4
			도로 에너지 수확(포장 외)	5.12	10
			도로 탄소 포집, 흡수, 전환	3.12	11
			도로 물순환 및 오염물질 처리 개선	2.47	14
녹색교통	14.9	4	녹색교통수단의 시설 설계 및 운영	9.43	2
			첨단 버스시스템 개선 도로	5.49	9
도로정책	21.4	2	기술, 산업지원 정책대응	21.4	1

이러한 분석의 결과가 도출된 이유를 설명하자면, 도로교통운영부문은 교통운영 인프라개선, 지체 최소를 위한 교통정보 운용, 사고방지 및 지체개선 등과 같은 목표를 포함하고 있기 때문에 자동차로부터의 배출되는 CO₂배출량을 통행속도 변인을 조정하여 탄소저감 목표를 이룰 수 있다고 전문가가 판단한 결과라고 고려된다. 도로정책은 앞서 논문에서 기술한 “녹색도로기술”에 대한 정부 투자 및 정책 집행이 필요하다는 전문가들의 공통적인 인식을 반영하며, 도로 에너지/환경관리는 바로 “탄소 및 에너지 저감”과 직결된 항목들이 집합되어 있기 때문이라고 판단된다.

제2계층의 중요도 산정 결과를 살펴보면 기술, 산업 지원 정책대응 기술이 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 분석되었으며, 그 다음으로 녹색교통수단의 시설 설계 및 운영, 친환경 도로 계획, 에너지 효율적 도로 유지 관리, 교통운영 인프라 개선의 순으로 중요도를 평가하였다. 반면 신소재 적용 도로포장의 가중치가 가장 낮게 분석되었으며, 기능성 도로포장, 재활용 도로포장, 에너지 생산도로포장 등 제1계층의 항목 중 도로건설에 해당하는 항목에 대한 우선순위가 대체적으로 낮은 것으로 분석되었다. 결과에 따르면 도로·교통전문가들은 도로에서의 탄소저감을 대상으로 도로건설부문 보다는 녹색 도로 신기술 개발, 녹색교통수단 이용자들의 도로시설 설계 및 운영, 친환경 도로 계획, 도로에서 소모되는 에너지 관리 등 자동차로부터의 배출량 관리가 우선 선행되어야 한다고 볼 수 있다.

도로 산업분야별 전문가를 그룹으로 나누어 세부 달성목표기술에 대한 AHP모형 가중치 추정결과를 살펴보면 전체분야에서는 공통적으로 기술, 산업지원 정책대응 기술의 우선순위를 가장 높게 평가하였다. 그 다음으로 도로계획 및 설계분야의 전문가들은 지체 최소 교통정보 운영과 자동주행 도로시설의 설계 및 운영의 순으로 우선순위를 높게 두었으며, 신소재 적용 도로포장, 기능성 도로포장 등 도로건설 분야의 달성목표기술에 우선순위를 낮게 평가하였다. 도로건설 분야의 전문가들은 재활용 도로포장과 교통운영인프라 개선을, 도로 교통운영 분야의 전문가들은 사고방지 및 사고지체개선과 녹색교통수단의 시설 설계 및 운영을, 에너지/환경관리 전문가들은 녹색교통수단의 시설 설계 및 운영과 에너지 효율적 도로 유지관리를, 녹색교통 분야 전문가들은 녹색교통수단의 시설 설계 및 운영과 친환경 도로 계획을, 도로정책 분야의 전문가들은 저탄소 도로 및 시설물 설계와 교통운영 인프라 개선의 순으로 우선순위를 높게 평가하였다. 이와 반대로 도로건설 분야의 전문

가들은 사고방지 및 사고지체 개선과 자동주행 도로시설의 설계 및 운영을, 도로교통운영 분야의 전문가들은 신소재 적용 도로포장과 에너지 생산 도로포장을, 에너지/환경관리 전문가들은 신소재 적용 도로포장과 자동주행 도로시설의 설계 및 운영을, 녹색교통 분야 전문가들은 재활용 도로포장과 기능성 도로포장을, 도로정책 분야의 전문가들은 재활용 도로포장과 신소재 적용 도로포장의 우선순위를 낮게 평가 하였다.

도로 산업분야 전문가들이 녹색도로 구현을 위하여 가장 선행적으로 달성해야할 목표는 녹색도로 기술 및 산업지원, 정책대응으로 꼽았다. 이는 기술에 대한 연구 및 개발에 앞서, 정책적으로 특히 제도적으로 후원하는 것이 가장 우선적으로 필요하다고 공감하였기 때문이라고 판단된다. 또한 녹색교통수단 시설 설계/운영을 달성목표기술이 중요도 2위를 차지한 것은 녹색교통 분야의 설문 응답자가 다소 많은 것도 일부 반영되었겠지만 (전체 중 20.7%), 자동차로부터 녹색교통수단으로의 수단전환 유도가 “지속가능한 교통”이라는 관점에서 중요한 정부시책 중 하나이기 때문에 중요도 점수를 많이 받았기 때문이라고 해석할 수 있다. 그 다음으로는 가중치가 높은 항목은 친환경 도로계획인데, 이는 녹색도로 구현을 위한 초기단계인 계획단계부터 자동차 통행을 줄이고 환경과 생태를 고려하는 도로를 계획해야 한다고 전문가들이 판단하였기 때문이라고 추측된다.

4.2. 모형 결과와 도로투자추이 현황 비교

본 절에서는 앞서 분석한 녹색도로기술에 대하여 도로·교통 전문가들의 우선순위 제안과 최근 5년간 정부의 도로투자추이 현황과 비교하여, 국가의 재정투자에 대한 적절성을 판단해 보았다.

도로업무편람(국토해양부, 2011)에 의하면 2007년 이후 최근 5년간 국가재정에 의한 도로부문 투자 추이(표 4 참조)는 2009년을 정점(9.4조 원)으로 점차 감소하는 추세를 보이고 있으며 2011년 현재 7.2조 원 수준이다. 녹색도로 구현을 위한 달성목표기술에 대한 전문가들의 평가결과(표 3 참조)에서 높은 우선순위(2위)를 보이는 ‘녹색교통수단의 시설 설계 및 운영’에 대한 도로부문 투자는 2011년 기준으로 자전거도로 구축에 매년 1,190억(국토해양부 140억, 행정안전부 1,050억³⁾)이 투입되고 있으며, 정책적인 중요성이 부각되고 있어 향후 지속적인 예산규모 증가가 예상된다. 반면, 달성목표

표 3. 분야별 전문가의 평가항목 기술 우선순위 산정 결과

구 분	전문 분야 ^{주1)}						전체 ^{주2)}
	도로 계획 및 설계	도로 건설	도로 교통 운영	에너지 /환경 관리	녹색 교통	도로 정책	
친환경 도로 계획	3 (8.64)	14 (3.09)	4 (10.08)	8 (3.81)	3 (7.97)	4 (8.42)	3 (7.77)
저탄소 도로 및 시설물 설계	10 (4.05)	7 (6.42)	5 (7.99)	9 (3.19)	9 (5.15)	2 (12.89)	6 (6.74)
신소재 적용 도로포장	18 (0.46)	8 (5.71)	18 (0.36)	18 (0.59)	15 (1.63)	17 (0.81)	18 (0.97)
재활용 도로포장	15 (1.42)	2 (11.26)	15 (1.33)	14 (1.78)	18 (1.10)	18 (0.78)	16 (1.67)
기능성 도로포장	17 (0.89)	10 (4.90)	16 (1.24)	15 (1.03)	17 (1.11)	14 (1.54)	17 (1.50)
탄소저감 도로포장	14 (1.99)	9 (5.11)	13 (1.80)	16 (0.76)	13 (2.71)	11 (2.93)	13 (2.53)
에너지 생산 도로포장	16 (1.19)	16 (2.12)	17 (1.17)	11 (2.79)	16 (1.52)	13 (1.74)	15 (1.76)
지체 최소 교통 정보 운영	2 (9.46)	12 (4.13)	8 (6.26)	6 (4.62)	10 (5.00)	9 (4.18)	7 (6.25)
자동주행 도로시설의 설계 및 운영	13 (2.71)	17 (2.05)	12 (2.11)	17 (0.75)	14 (2.68)	10 (4.13)	12 (2.71)
교통운영 인프라 개선	7 (5.93)	3 (9.15)	7 (6.34)	13 (2.04)	4 (7.49)	3 (9.76)	5 (7.35)
사고방지 및 사고지체 개선	6 (6.05)	18 (1.39)	2 (14.62)	7 (3.85)	7 (6.24)	7 (4.82)	8 (6.24)
에너지 효율적 도로 유지관리	8 (5.57)	5 (7.49)	6 (6.41)	3 (16.66)	5 (6.61)	6 (5.70)	4 (7.47)
도로 에너지 수확(포장 외)	4 (7.15)	4 (8.20)	9 (4.47)	4 (5.45)	11 (4.10)	12 (2.60)	10 (5.12)
도로 탄소 포집, 흡수, 전환	11 (3.51)	11 (4.82)	11 (2.44)	12 (2.41)	8 (5.20)	15 (1.23)	11 (3.12)
도로 물순환 및 오염물질 처리 개선	12 (3.51)	13 (3.36)	14 (1.55)	10 (3.03)	12 (2.80)	16 (1.16)	14 (2.47)
녹색교통수단의 시설 설계 및 운영	5 (6.79)	15 (2.54)	3 (11.85)	2 (22.07)	2 (13.01)	5 (5.89)	2 (9.43)
첨단 버스시스템 개선 도로	9 (5.42)	6 (6.70)	10 (2.95)	5 (4.90)	6 (6.44)	8 (4.54)	9 (5.49)
기술, 산업지원 정책대응	1 (25.25)	1 (11.56)	1 (17.04)	1 (20.25)	1 (19.24)	1 (26.89)	1 (21.4)

주1) 우선순위가 3순위 이내의 경우만 음영처리

주2) 우선순위가 5순위 이내의 경우만 음영처리

기술 평가에서 1, 3위를 차지한 녹색도로 기술 육성 관련 ‘기술, 산업지원 정책대응’ 및 ‘친환경 도로계획’은 도로 투자항목과 직접적으로 비교 가능한 분류가 없으나, 도로건설 및 관리 종합연구 부문의 예산투자 추이를

3) 2011년도 국가자전거도로 구축사업 종합지침 참조

표 4. 국토해양부 최근 5년간 도로 정부 투자 추이와 녹색도로기술 산업분야 비교

구 분		2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	5년간('07~'11)	
							연평균 투자	연평균 증가율
분 류	녹색도로기술 산업분야							
○고속도로건설	도로건설, 도로정책	9,755	9,293	14,544	11,405	11,474	11,294	4.1
고속도로건설	도로건설	9,320	8,806	13,117	10,717	10,965	10,585	4.1
고속도로조사	도로정책	435	487	1,427	688	509	709	4
○국도건설	도로건설	33,298	36,642	48,368	42,712	39,575	40,119	4.4
○도로관리	-	8,029	7,652	10,292	8,452	9,071	8,699	3.1
도로안전 및 환경개선 (총액)	도로정책, 도로에너지/환경관리	1,585	1,435	1,972	1,530	1,680	1,640	1.5
도로운영	도로교통운영	581	599	658	682	692	642	4.5
도로보수(총액)	도로건설	4,501	4,237	5,177	4,540	4,859	4,663	1.9
도로병목지점개선	도로교통운영	805	778	1,050	834	1,030	899	6.4
첨단도로교통체계	도로교통운영	460	500	1,077	475	425	587	△ 2.0
자전거도로 구축	녹색교통				140	140	140	-
도로건설 및 관리 종합연구	도로정책, 도로계획 및 설계				95	85	90	10.5
제주국도 유지관리	도로건설	95	101	141	156	160	131	13.9
○지자체도로건설지원	도로건설	7,869	9,105	8,481	8,757	7,762	8,395	△ 0.3
○민자도로 건설 및 관리	도로건설	14,501	16,464	12,266	5,956	4,151	10,668	△ 26.9
○도로차관상환 등	-	102	103	118	141	97	112	△ 1.2
○물류등 기타	도로에너지/환경관리	350	427	525	395	509	441	9.8
대도시권교통혼잡	도로교통운영	350	427	311	335	456	376	6.8
광역BIS지원	녹색교통	-	-	214	60	53	109	△ 50.2
계		73,554	79,259	94,069	77,817	72,638	79,467	△ 0.3

참조해보면 2010년 이후 약 90억 원 수준(2010년 95억 원, 2011년 85억 원)의 투자가 이루어지고 있어 2012년 전체 건설교통 R&D 투자 예산이 약 4,160억 원인 점과 비교해볼 때, 그다지 높은 편은 아니다. 달성목표기술 중 '교통 운영 인프라 개선'은 도로 투자항목 중 도로 병목지점 개선과 첨단도로교통체계이며, 각각 2011년 1,030억 원, 425억 원이 투자되었다.

전체적으로 비추어봤을 때, AHP모형 결과에서 제시한 녹색도로기술 우선순위와 지금까지의 도로투자 추이는 완벽한 정비례적인 관계는 아니지만, "저탄소 녹색성장" 목표에 맞추어 국토해양부는 도로의 효율성을 강조하며, 신규 건설보다는 인간과 안전/환경을 중심으로 시설개량과 이용자 편의를 고려하는 정책 패러다임으로 전환하고 있다. 단지, 한 가지 아쉬운 점은 도로·교통 전문가들은 녹색도로를 건설하기 위한 기술, 산업지원과 정책수행에 대한 기반이 조성되어야 한다고 지적하고 있는데, 도로 투자추이의 항목과 일치시키기는 어려웠다. 무엇보다 녹색도로기술로의 융합이 가능한 핵심요소기술 연구를 위하여 도로 산업지원, 특히 투자효과

가 충분한 기술을 보유한 중소기업을 선정하고 지원하는 풍토가 조성되는 것이 필요하다고 생각된다.

5. 결론 및 제언

5.1. 결론

본 연구는 "저탄소 녹색성장" 기조에 맞추어 미래 도로 비전을 녹색도로 구현으로 설정하였으며, 탄소 및 에너지 관련 핵심기술 개발, 실용화, 현장 적용을 통해 이를 수 있도록 생애주기를 고려하여 녹색도로의 산업분야를 구분하고, 분야별로 달성해야하는 목표기술을 최종 설정하였다. 각 산업분야 및 분야별 달성목표기술의 우선순위와 가중치는 AHP모형 추정기법을 통해 분석되었으며, 이를 근거로 향후 녹색도로기술에 대한 정부의 투자이사결정 시 최종결정을 지원하는 것을 목적으로 하고 있다.

도로기술을 선도하고 있는 3개의 도로 및 교통 관련 연구원(한국건설기술연구원, 한국교통연구원, 도로교통연구원)의 대표 전문가 29인이 최종적으로 항목간 쌍대

비교를 통해 평가한 녹색도로기술 최종 우선순위는 제 1계층(녹색도로 산업분야)과 제 2계층(달성목표기술)별로 구별하여 각각 선정되었다. 제 1계층에서는 도로 교통운영분야, 도로정책분야, 도로 에너지/환경관리 분야 순으로 중요도가 결정되었으며, 제 2계층 수준에서는 녹색도로 기술 및 산업 지원 등의 정책 대응, 녹색교통 수단의 시설 설계 및 운영, 친환경 도로계획, 에너지 효율적 도로 운영관리 순으로 중요도가 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 분석결과에 대한 전문가들의 의견을 종합하자면, 1) 녹색도로가 미래지향적으로 구현되기 위해서는 도로에 대한 국가의 정책적 지원(법 개정 등)이 선행되어 기술개발이 순조롭게 진행될 수 있는 기반이 갖추어져야 하고, 2) 자동차 탄소배출량 저감을 위한 수단전이를 유도하기 위하여 녹색교통시설의 설계 및 운영을 지원해야하며, 3) 친환경 도로계획을 통해 저탄소 배출 도로환경을 조성해야 한다고 정리할 수 있다.

2006년부터 2011년까지의 국토해양부 도로투자 추이와 비교했을 때, 전문가들이 평가한 녹색도로 달성목표기술이 크게 상반되지는 않지만, 향후 한국의 도로가 녹색도로로 인정받을 수 있도록 과거보다 녹색도로 건설을 위한 기반 연구와 핵심요소기술 연구에 투자하고 지원하는 풍토가 조성되는 것이 필요하다고 생각된다.

5.2. 제언

지식경제부는 지난 2012년 3월 개발도상국의 온실가스 감축 사업에 대한 국내 기업 진출 활성화와 개발도상국의 기후변화 대응을 강화하기 위하여 한-개도국 협력사업(일명 NAMA⁴⁾ 지원사업)을 개편하고 예산을 지원하기로 하였다. 이와 같이 국가에서는 국내 기업의 온실가스 감축사업 참여에 대한 지원을 적극적으로 시행하고 있으나, 국내 기업의 녹색기술개발 및 사업화를 위한 투자효과를 사전에 분석하기 위한 사전 타당성조사 체계는 아직 구체적으로 확립되지 않은 실정이다. 특히 도로 분야에서는 CDM(Clean Development Mechanism) 사업으로 인증을 받고 실효성을 인정받은 사례는 광주시의 LED 도로조명 프로그램(총 1만톤 탄소배출권 확보)이 유일하다. 도로분야는 자동차 탄소배출로 인하여 탄소저감의 대상으로서는 적합함에도 불구하고, 국가가 도로분야의 기업에게 기술개발을 위하여 직접 투자함으로써 국제적인 CDM 사업으로 육성하고 핵심기술의 전문성을 확

보할 수 있도록 지원하는 시스템은 아직 부재하다. 이에 반해 미국은 Small Business Innovation Research Program(중소기업 혁신연구 지원 프로그램)을 통해 새로운 교통기술, 제품과 서비스 개발을 장려하는 사업체를 지원하는 프로그램을 실시 중이다. 연방 R&D 기금을 소규모 사업체에게 일부 제공하여 비슷한 수준의 대규모 사업체와 경쟁할 수 있도록 시장을 형성하고 지원. 상업화를 위하여 성공적인 제품을 개발하는 잠재력이 있는 고위험 연구를 요구하는 문제를 해결하는 장점이 있다. FHWA는 민간 부문(Private sector)을 지원함으로써 연방 R&D 기금으로부터 도출된 혁신적인 기술, 제품, 서비스의 상업화를 달성한다고 설명하고 있다.

도로는 대규모 자금력을 요구하는 공공인프라라는 한계성 때문에 국가가 투자를 주도적으로 지원하는 체계가 요구된다. 기후변화에 대응하고 미래를 준비하기 위한 녹색도로기술과 이를 통하여 달성하고자 하는 목표들은 확실하지만, 이를 실현하기 위해서는 정부의 도로 투자에 대한 변화가 필요하다. 도로 LED 조명사업 이후 후속 도로 CDM사업을 주도할 수 있는 주체는 민간 부문(혹은 민/연 컨소시엄)이며, 미국의 사례와 같이 우리나라도 탄소저감 및 에너지효율 증대를 위한 녹색도로기술 관련 기반산업을 민간사업체 중심의 R&D 기술상업화 체제로 재편할 필요가 있다. 이를 위해 정부는 녹색도로기술의 개발과 사업화(상용화) 투자결정에 대한 사전 타당성평가와 사후평가제를 시스템으로 구축하여 한정적인 자원을 효율적으로 관리해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 '탄소중립형 도로 기술개발' 연구단을 통하여 지원된 국토해양부(한국건설교통기술평가원) 2011년 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- <http://unfccc.int/2860.php>
- <http://www.ipcc.ch/>
- <http://news.mk.co.kr/newsRead.php?year=2012&no=56871>
- <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/12marapr/02.cfm>
- 국토해양부, 『2011 도로업무편람』, 2011
- 기획재정부, 『2012년도 예비타당성조사 운용지침』, 2012
- 김현명, 조종석, 최정민, 강희정, 『녹색성장 교통부문 지표개발 교통 전문가 설문조사결과 분석』, 대한교통학회지, 제 28권, 대한교통학회, 2010

4) NAMA(Nationally Appropriate Mitigation Action)은 개발도상국의 자발적 온실가스 감축 행동으로 우리나라 온실가스 감축실적 등록 사업, 에너지 진단, 에너지 소비효율 등급표시제 등이 해당

- 송혜승, 성현곤, 「AHP분석을 통한 대도시권의 광역교통 정책방향 설정에 관한 연구」, *국토계획*, 제45권, 대한국토도시계획학회, 2010
- 이재영, 임윤택, 「AHP를 이용한 도시내 도로사업 평가모형 구축 및 중요도 인식특성 분석」, *국토계획*, 제41권, 대한국토·도시계획학회, 2006
- 정병두, 「AHP를 이용한 도로사업의 우선순위 분석」, *대한교통학회지*, 제20권 제5호, 대한교통학회, 2002
- 최재원, 정현영, 장석용, 「AHP기법을 이용한 시내버스 교통사고 저감대책 의사결정 모델개발」, *대한토목학회 논문집*, Vol. 31, 2011
- 한국개발연구원, 『총사업비 관리지침』, 2010.12
- 한국개발연구원, 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』, 2008
- 한국개발연구원, 『예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구(II)』, 2001
- 한국건설기술연구원, 『Road Vision 2020 도로기술 개발 10개년(2020) 계획수립』, 2009
- 한국건설기술연구원, 『도로 에너지·자원을 분석을 위한 투자효과평가시스템 개발 기획』, 2011
- 한상진, 박준석, 정유진, 「AHP 분석기법을 활용한 ASEAN 도로망 투자우선순위 분석」, *대한교통학회지*, 제23권 제1호, 대한교통학회, 2005
- 행정안전부, 『2011 국가자전거도로 구축사업 종합지침』, 2011
- Jyotirmoy Dalal, Pratap J. J. Mohapatra, Gopal C. Mitra, 「Priritization of Rural roads: AHP in Group decision」, *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 17 Iss: 2, 2010
- Navid Khademi and Abdolreza Sheikholeslami, 「Multicriteria Group Decision-Making Technique for a Low-Class Road Maintenance Program」, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol 16, Issue 3, American Society of Civil Engineers
- KOTI, 『KTDB Brief』, Vol 3, 2011
(접수일 : 2012. 4. 9 / 심사일 : 2012. 4. 12 / 심사완료일 : 2012. 5. 30)