

# 녹색기술 유망 R&D 과제 선정 방법론 : 개도국향 기술사업화를 중심으로

박철호<sup>1</sup> · 한 준<sup>1</sup> · 구지선<sup>1</sup> · 이상훈<sup>2</sup> · 이학연<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>녹색기술센터 기후기술협력센터/<sup>2</sup>부산과학기술기획평가원 전략기획본부/

<sup>3</sup>서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

## R&D Project Selection Methodology for Green Technology : Focused on Developing Country-Oriented Technology Commercialization

Chulho Park<sup>1</sup> · Joon Han<sup>1</sup> · Jisun Ku<sup>1</sup> · Sanghoon Lee<sup>2</sup> · Hakyeon Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Center for Climate Technology Cooperation, Green Technology Center

<sup>2</sup>Department of Strategic Planning, Busan Institute of Science and Technology Evaluation and Planning

<sup>3</sup>Department of Industrial and Systems Engineering, Seoul National University of Science and Technology

This paper proposes an R&D project selection methodology for green technology centered on developing country-oriented technology commercialization. Eight selection criteria are derived from the R&BD logic model : technology needs of developing countries, effectiveness of green technology, technological potentials, domestic technological capability, commercialization feasibility, economic benefits, business feasibility, and spillover effects of developing countries. 21 qualitative and quantitative indicators are then defined for each criterion. The analytic hierarchy process is conducted to produce relative importance of evaluation indicators and to set final priority scores of R&D project candidates. The working of the proposed methodology is provided with the help of a case study example of Green Technology Center. The proposed methodology is expected to be effectively utilized for policy practices of R&D project selection in the field of green technology.

**Keywords:** Green Technology, R&D Project Selection, Developing Countries, Technology Commercialization, Analytic Hierarchy Process(AHP)

### 1. 서 론

녹색기술은 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술을 의미하며, 최근에는 경제적 성장 동력으로서의 환경 친화적 자원 활용 기술 및 융합녹색기술로 그 범위가 지

속적으로 확장되고 있다(Lee *et al.*, 2012). 녹색기술 개발을 위한 R&D가 선진국들을 중심으로 급속하게 확산되고 있으며, 우리 정부도 기후변화에 대응하기 위한 녹색기술 개발을 정책적으로 적극 지원하고 있다. 우리나라는 2008년 저탄소 녹색 성장을 국가 발전의 비전으로 선포하고, 2009년 「녹색기술 연구개발 종합대책」을 통해 27대 중점녹색기술을 도출하여, 이를 중심으로 녹색기술 R&D 투자를 지속적으로 확대하고 있다(Hong *et al.*, 2013).

본 논문은 2016년도 녹색기술센터에서 기관 고유 과제로 수행한 「녹색기술 중소기업 협력과제 발굴 및 활성화 방안 연구(연구보고 2016-005)」의 일부 내용을 보완 및 발전시킨 것임.

\* 연락저자 : 이학연 교수, 01811 서울시 노원구 공릉로 232 서울과학기술대학교, Tel : 02-970-6469, Fax : 02-974-2849,

E-mail : hylee@seoultech.ac.kr

2017년 1월 9일 접수; 2017년 1월 31일 게재 확정.

개도국에 대한 녹색기술 지원 및 국제 협력의 필요성 또한 부각되고 있다. 국제사회에서 기후변화 감축 및 적응 관련 이슈가 지속적으로 제기됨에 따라 국제기구와 선진국의 개도국에 대한 녹색기술 지원이 점차 확대되고 있고, 에너지 안보와 경제성장이 녹색기술 지원과 결합되는 현상이 가속화되면서, 우리 정부도 녹색기술 개발 및 기술이전 등을 통한 개도국 진출을 활성화하기 위한 정책 마련을 다각도로 검토하고 있다 (Green Technology Center, 2014). 그러나 타 선진국 대비 우리나라의 개도국 협력 규모와 비중은 여전히 낮은 실정이다. 우리나라 과학기술의 지속적 발전을 위해서는 개도국의 풍부한 자원 및 에너지, 고급 두뇌 집단을 적극 활용하여야 하며, 이를 위해서는 개도국 협력을 확대할 필요가 있다(Ahn and Lee, 2011). 특히 개도국의 자원 활용을 극대화하고 시장 범위 및 규모를 확대하기 위해서는 개도국 대상으로 기술이전 및 사업화가 가능한 기술 개발에 대한 R&D 투자 확대가 요구된다.

녹색기술 R&D 투자를 통한 기후변화 대응 및 개도국 기술 지원의 활성화를 위한 필수 조건은 유망 녹색기술 R&D 과제를 발굴하고 선별하는 것이다. 막대한 규모의 녹색기술 R&D 투자의 효율성 확보를 위해서는 다양한 녹색기술 R&D 분야 후보군 중 유망 분야를 선별하고 이에 대한 집중 투자가 요구된다. 개도국 지원을 위한 녹색기술 R&D 과제 선정에 위해서는 일반적인 R&D 과제 선정에 활용되는 기술성 및 사업성 기준 뿐만 아니라, 환경적 지속가능성, 개도국의 기술 수요, 국내 기술역량 등을 충분히 고려해야 한다. 본 논문은 이러한 목적으로 개발된 녹색기술 분야의 개도국 진출 유망 R&D 과제 선정 방법론을 제시한다. 또한 미래창조과학부 산하 녹색기술센터 (Green Technology Center : GTC)에서 이를 실제로 적용하여 유망 R&D 과제를 도출한 사례를 함께 제시한다(Green Technology Center, 2016).

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 R&D 과제 선정 관련 기존 연구를 고찰한다. 제 3장에서는 개도국향 녹색기술 R&D 과제 선정 방법론을 설명하고, 제 4장에서는 이를 실제로 적용한 사례를 제시한다. 마지막 제 5장에서는 본 연구의 결론과 한계점을 기술한다.

## 2. R&D 과제 선정 연구

### 2.1 R&D 과제 선정 기법

R&D 과제 선정은 주어진 자원 하에서 R&D 투자효율성을 극대화하기 위한 가장 중요한 의사결정이라고 할 수 있으므로, 효과적인 R&D 과제 선정에 위한 다양한 기법들이 개발되고 활용되어 왔다(Martino, 1995). R&D 과제 선정 기법은 크게 자본 예산(capital budgeting) 모형, 수리계획법(mathematical programming) 모형, 다기준 의사결정(multiple criteria decision making : MCDM) 모형으로 구분될 수 있다(Meade and Presley, 2002). 자본 예산 모형은 평가 대상 R&D 과제로 인해 발생하는 비용 및

기대 수익을 고려하여 과제별 경제적 가치를 산출하는 모형으로 순현재가(net present value), 내부 수익률(internal rate of return), 비용편익분석(cost benefit analysis) 등이 활용될 수 있다. 그러나 자본 예산 모형을 활용하기 위해서는 R&D 과제 수행으로 발생하게 될 미래 현금흐름에 대한 정확한 추정이 요구되므로, R&D가 거의 완료되어 구체적인 사업화 계획이 포함된 사업화 과제에는 활용이 가능하나, 높은 불확실성이 존재하는 기초 및 응용, 개발 단계의 R&D 과제 선정에는 활용하기 어렵다(Graves and Ringuest, 2012). 목표계획법(goal programming), 0-1 계획법(zero-one programming), 자료포락분석(data envelopment analysis) 등의 수리계획법 모형 역시 R&D 과제로부터 발생하는 미래 수익에 대한 정확한 예측이 요구되며, 과제의 유형 및 변수에 따라 모형의 복잡도가 증가하고, 정성적 평가기준을 반영할 수 없다는 한계로 인해 실무에 널리 활용되지는 못하고 있다(Meade and Presley, 2002).

이에 반해 복수의 대안에 대해 복수의 평가기준을 적용하여 대안들의 상대적 선호도를 측정하는 MCDM 모형은 정확한 기대 수익 추정에 있어서 상대적으로 자유로울 뿐만 아니라, 평가 관점에 따라 다양한 정성적 평가기준을 반영하여 R&D 과제의 우선순위를 측정할 수 있다(Huang *et al.*, 2008). 이러한 장점으로 인해 R&D 과제 선정 실무에 있어서 MCDM 기법을 활용하는 것이 일반적인 접근 방법으로 인식되고 있으며(Henriksen and Traynor, 1999), 이 때 활용될 수 있는 대표적인 MCDM 기법으로는 점수법(scoring)과 계층분석법(analytic hierarchy process : AHP)을 들 수 있다. 점수법은 직관적이고 이해가 쉬워 실무에서 가장 널리 활용되고 있으나, 정성적 평가를 점수 형태로 정량화함에 있어 신뢰성이 낮다는 근본적 한계가 있다(Chiesa, 2005). 반면 AHP는 주어진 의사결정 문제를 몇 단계로 이루어진 계층(hierarchy)으로 모형화하고, 각 계층 내 의사결정 요소들 간의 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 정성 평가 결과를 체계적으로 정량화할 수 있다는 장점을 가진다(Saaty, 1980). 이로 인해 AHP는 공학 및 사회과학의 다양한 MCDM 문제에 널리 적용되고 있으며, 특히 R&D 프로젝트 선정 및 평가에도 매우 유용하게 활용되어 왔다(Vaidya and Kumar, 2006). 본 연구에서도 개도국향 녹색기술 R&D 과제 선정에 위한 다양한 정량적 · 정성적 평가기준을 체계적으로 반영하기 위해 AHP를 활용한다.

### 2.2 R&D 과제 선정 요인

MCDM 형태의 R&D 과제 선정 시 고려해야 할 요인 또는 평가기준은 R&D의 주체, 성격, 목적, 단계 등에 따라 매우 다양하나, 일반적으로 기술-시장-전략 프레임워크와 BOCR 프레임워크가 활용되고 있다. 기술-시장-전략 프레임워크는 R&D 과제 선정 요인들을 기술적 요인, 시장 또는 마케팅 요인, 기업 전략 또는 국가 정책 요인으로 구분하는 체계이다(Meade and Presley, 2002; Yoo *et al.*, 2005). 기술 요인에는 기술개발 성공확률, 기술

역량, 기술 유망성, 기술 성숙도 등이 포함되고, 시장 요인에는 시장 수요, 시장 성공 확률, 경쟁 강도 등이 있으며, 전략 요인에는 전략 및 정책 적합도, 인프라 및 규제 수준 등이 포함된다.

BOCR 프레임워크는 편익(benefit : B), 기회(opportunity : O), 비용(cost : C), 위험(risk : R)의 네 가지 관점에서 R&D 과제를 선정하는 것으로, 특히 AHP를 이용한 과제 선정에 널리 활용되고 있다(Saaty, 2001; Saaty and Ozdemir, 2004; Wijnmalen, 2007). 편익은 R&D 과제 수행을 통해 발생할 것으로 예상되는 유·무형의 경제적·사회적·기술적 효과를 의미하며, 기회 요인은 기술 및 산업의 유망성 등 긍정적인 외부 환경요인을 의미한다. 비용은 R&D 과제 수행에 소요되는 예산, 시간 인력 등을 포함하며, 위험은 기술개발 및 사업화 성공 여부 등 불확실성을 내포하고 있는 요인들을 의미한다. 아래 <Table 1>은 각 프레임워크에서 활용되는 평가 관점과 구체적인 평가 요인들을 요약하여 나타낸 것이다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 개도국향 녹색기술 R&D 과제 선정을 위한 평가기준을 추출한다.

Table 1. Criteria for R&D Project Selection

Framework	Dimension	Criteria
Technology-Market-Strategy	Technology	Likelihood of technological success, Technological capability, Technology potentials, Technology readiness
	Market	Market demand, Likelihood of market success, Strength of rivalry
	Strategy	Strategic/policy fit, Level of infrastructure development, Regulation, Environmental condition
BOCR	Benefit	Potential market size, Market growth, Economic spillover, Social spillover, Technology spillover
	Opportunity	Technology potentials, Industry potentials, Industry growth
	Cost	Development cost, Development time, Human resources
	Risk	Likelihood of technological success, Likelihood of commercialization success

한편, 공공 R&D 프로그램의 선정 및 성과 평가에 있어서 논리모형(logic model)을 활용하여 평가기준을 추출하는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 논리모형은 공공 프로그램의 효과를 기술하기 위한 도구로서, 주어진 목적을 달성하기 위해 프로그램이 어떻게 운영되고 작동할 것인가를 나타내 주는 일련의 논리적 연관으로 구성된 선형 모형이다(Bickman, 1987). 논리모형의 형태는 그 목적에 따라 매우 다양하게 정의될 수 있으나, 일반적으로 투입(input), 활동(activity), 산출(output), 성과(outcome), 파급(impact)의 5단계로 구성되며, 정의된 각 단계별 요인들을 평가 요인들로 활용할 수 있다. 이에 논리모형은 미국 에너지국의 에너지 연구 기술개발 프로그램(Federal energy research and technology development program)(McLaughlin and Jordan, 1999), 미국 NIST의 ATP(advanced technology program)(Ruegg and Feller, 2003), 산업기술연구회의 국가연구개발 프로그램 성과추적평가(Kim et al., 2008) 등 다양한 공공 R&D 프로그램 평가에 활용되어 왔다. 본 연구에서도 개도국향 녹색기술 유망 R&D 프로그램의 논리 모형을 구성하고, 이를 통해 과제 선정을 위한 평가 요인을 추출한다.

### 3. 개도국향 녹색기술 R&D 과제 선정 방법론

#### 3.1 평가항목 도출

R&D 과제 선정 방법론 개발의 가장 핵심적인 부분은 R&D 프로그램의 목적을 반영하여 선정 평가항목(criteria)을 도출하는 것이다. 본 연구에서는 앞에서 설명한 논리모형을 활용하여 개도국향(developing country-oriented) 녹색기술 R&D 과제 선정을 위한 평가항목을 도출한다. 개도국향 녹색기술 R&D는 기초 및 응용 기술 개발에서 그치는 것이 아니라 기술사업화를 통한 개도국 진출을 궁극적인 목적으로 하므로, R&D에만 초점을 둔 기존의 공공 R&D 논리 모형이 아닌 사업화를 포함하는 R&BD(research & business development) 관점의 논리모형을 구성할 필요가 있다.

아래 <Figure 1>은 개발된 개도국향 녹색기술 R&D 프로그

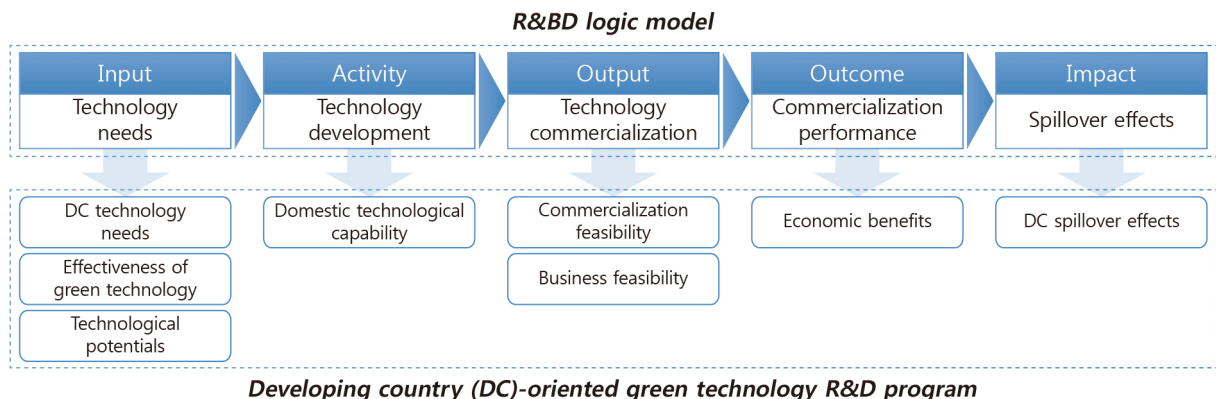


Figure 1. R&BD Logic Model and Derivation of Evaluation Criteria for Developing Country-Oriented Green Technology R&D Program

램의 논리 모형을 나타낸 것이다. 일반적으로 “투입(input)”은 R&D 또는 R&BD 활동에 투입되는 인력 및 연구비를 뜻하거나, 기술 개발을 수행하는 목적 또는 니즈를 의미하며, 본 연구에서는 사후 평가가 아닌 사전 평가에 해당되므로 “기술 니즈(technology needs)”를 투입으로 정의하였다. 핵심 “활동(activity)”은 기술 니즈를 충족시키기 위한 “기술 개발(technology development)”로 설정되었다. R&D의 “산출(output)”로는 R&D의 직접적인 결과물인 논문 및 특허 등을 고려하는 것이 일반적이다. 그러나 R&BD의 궁극적인 목적은 사업화에 있으므로 논문과 특허 등의 중간 결과물이 아닌 “기술 사업화(technology commercialization)”를 산출로 정의하였다(Jeon and Lee, 2015). “성과(outcome)”는 산출로부터 발생하는 실질적인 효과를 의미하므로 R&D의 성과는 사업화 여부를 측정하는 것이 일반적이나, R&BD의 경우 사업화가 산출에 해당하므로, 실질적이고 구체적인 “사업화 성과(commercialization performance)”로 성과를 정의하였다. 마지막으로 “파급(impact)”은 R&D 또는 R&BD 수행을 통해 파급되는 장기적이고 거시적인 효과를 의미하므로 “파급효과(spillover effects)”로 설정하였다.

개발된 R&BD 논리 모형의 단계별로 본 프로그램의 핵심 목적인 “개도국 진출을 위한 녹색기술 R&D”를 구체화할 수 있는 평가항목을 도출하였다. 평가항목 도출은 제 2.2절에서 제시된 기술-시장-전략 프레임워크와 BOCR 프레임워크를 바탕으로 전문가 회의를 통해 이루어졌다. “기술 니즈” 측면에서는 세 가지 평가항목이 도출되었다. 일반적으로 기술니즈는 시장 견인(market-pull) 관점과 기술 주도(technology-push) 관점에서 정의될 수 있으므로, 시장 수요라고 볼 수 있는 목표 기술에 대한 “개도국 기술수요(DC technology needs)”와 기술 분야 자체의 유망성을 의미하는 “기술 유망성(technological potentials)”을 도출하였다. 또한 본 프로그램의 대상 분야인 녹색기술에 대한 본질적 니즈라고 할 수 있는 기후변화 대응효과를 고려하기 위해 “녹색기술 효과(effectiveness of green technology)”를 추가적으로 선정하였다. “기술 개발” 측면에서는 본 프로그램의 지원을 받아 실질적으로 R&D를 수행하는 주체인 국내 기업들의 역량을 고려해야 하나, 본 사업이 개별 기업들이 과제를 제안하는 상향식(bottom-up) 방식이 아닌 주관 기관에서 과제를 발굴한 후 수행 기업을 선정하는 하향식(top-down) 방식으로 이루어지므로, 기업 수준이 아닌 국가 수준에서의 “국내 기술역량(domestic technological capability)” 항목을 도출하였다. “기술 사업화” 측면에서는 기술의 수준에 따라 두 가지 평가항목을 정의하였다. 본 사업은 요소기술 개발 수준의 과제와 요소기술이 결합된 체계 수준의 사업 추진 과제를 모두 포함하므로 사업화 측면의 평가항목을 구분할 필요가 있다. 요소기술 개발의 경우 실제로 기술 개발이 이루어지고 이를 사업화할 수 있는지의 여부가 중요하므로 이를 반영하기 위한 “사업화 가능성(commercialization feasibility)” 항목을 도출하였다. 또한 체계 수준의 사업의 경우 사업화 가능성이 입증된 요소 기술을 바탕으로 대규모의 사업을 수행하게 되므로 “사

업 타당성(business feasibility)”을 평가할 필요가 있다. 한편 “사업화 성과” 측면에서는 사업화의 궁극적인 목적이라고 할 수 있는 “경제적 효과(economic benefits)” 항목을 도출하였으며, “거시적 파급효과” 측면에서는 본 사업을 통해 수행되는 R&D 과제들이 궁극적으로 개도국 진출 목적으로 하므로, 개발될 기술 및 사업 추진이 가져올 “개도국 파급효과(DC spillover effects)” 항목을 선정하였다.

### 3.2 평가지표 정의

도출된 평가항목들은 개념이 추상적이고 다양한 의미를 포함하고 있으므로, 실질적인 평가가 이루어지기 위해서는 평가항목을 보다 구체적이고 측정 가능한 형태의 평가지표(indicator)들로 세분화할 필요가 있다. 제 2.2절에 제시된 기존 문헌 연구를 바탕으로 항목별 평가지표 후보군을 도출하고, 녹색기술 및 기술경영 분야 전문가들의 회의를 통해 평가항목별로 2~3개의 세부 평가지표를 선정하였으며, 최종적으로 포함된 평가항목별 평가지표는 <Table 2>와 같다.

평가지표들은 측정 방법에 따라 정량지표(QUAL)와 정성지표(QUAN)의 두 가지 유형으로 구분된다. 정량지표는 수집 가능한 데이터로부터 비율 척도(ratio scale) 형태로 측정이 가능한 지표들로, 개도국 기술수요, 기술 유망성, 국내 기술역량의 세 가지 항목 내 여섯 개 지표들이 정량지표에 해당된다. 개도국 기술수요는 UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change)의 TNA(technology needs assessment) 자료를 활용하여 측정한다. UNFCCC는 기후변화 적응 및 감축을 위한 기술 수요의 우선순위를 측정하기 위해 개도국들을 대상으로 TNA를 수행하고 있으며, 총 15개의 부문(sector) 내 241개의 기술 클래스(technology class)에 대한 개도국의 수요 정보를 포함하고 있다. 따라서 각 과제가 속하는 기술 클래스에 대한 개도국들의 수요 정보를 바탕으로 과제별 개도국 기술수요의 측정이 가능하며, 기술수요는 강도 관점과 커버리지 관점에서 각각 측정된다.

기술 유망성 및 국내 기술역량의 네 가지 평가지표는 특허 분석을 통해 산출된다. R&D 과제 선정 및 기술로드맵 작성 등의 기술기획에 있어서 정성적인 전문가 판단에 의존하기 보다는 특허 분석을 통해 정량적 지표를 활용하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다(Lee et al., 2009; Ahn et al., 2016). 특정 기술 분야에 속하는 특허의 건수와 피인용수를 바탕으로 대상 분야의 기술개발 수준을 측정할 수 있으며, 국가 및 기관 등 기술혁신 주체들이 보유한 특허의 건수와 피인용수를 바탕으로 주체별 기술역량 수준을 측정할 수 있다. 본 방법론에서는 분야별 기술 유망성과 해당 분야에서의 국내 기술역량을 측정하기 위해, 특허 건수를 활용한 양적인 측면의 지표와 피인용수를 활용한 질적인 측면의 영향력 지표를 각각 활용한다. 과제별 특허지표 산출을 위해서는 각 과제에 해당하는 특허 클래스를 정의해야 한다. 이를 위해 UNFCCC가 정의한 친환경

Table 2. Evaluation Criteria and Indicators

Criteria	Indicators	Definition	Type
[1] DC technology needs	[1A] Strength of technology needs	Number of technology needs of developing countries for the target technology	QUAN
	[1B] Coverage of technology needs	Number of developing countries have technology needs for the target technology	QUAN
[2] Effectiveness of green technology	[2A] Energy-saving effect	Degree of expected energy-saving effect resulting from utilizing the target technology	QUAL
	[2B] GHG reduction effect	Degree of expected greenhouse gas(GHG) reduction effect resulting from utilizing the target technology	QUAL
	[2C] Pollutant reduction effect	Degree of expected pollutant reduction effect resulting from utilizing the target technology	QUAL
[3] Technological potentials	[3A] Technology growth	Average growth rate of the number of registered patents in the target technology area	QUAN
	[3B] Technology impact	Average number of forward citations given to registered patents in the target technology area	QUAN
[4] Domestic technological capability	[4A] Share of domestic technology	Relative technology share of Korea in the target technology area in terms of the number of registered patents	QUAN
	[4B] Impact of domestic technology	Relative technology impact of Korea in the target technology area in terms of the number of forward citations given to registered patents	QUAN
[5] Commercialization feasibility	[5A] Likelihood of technological success	Likelihood of success of technology development with consideration of complexity, newness, and development efforts of the target technology	QUAL
	[5B] Technology readiness	Position of the target technology on technology development cycle : (1) basic research; (2) experimental application; (3) prototyping; (4) practical application; (5) commercialization	QUAL
	[5C] Easiness of commercialization	Degree of easiness of commercialization with consideration of complexity, development time, and development costs of the target technology	QUAL
[6] Economic benefits	[6A] Sales increase effect	Degree of expected sales creation of new products or expected sales increase of existing products resulting from utilizing the target technology	QUAL
	[6B] Cost-saving effect	Degree of expected cost-savings in production and logistics resulting from utilizing the target technology	QUAL
	[6C] Import substitution effect	Degree of expected import substitution in developing countries from utilizing the target technology	QUAL
[7] Business feasibility	[7A] Technology completeness	Level of completeness of required component technologies and optimization for application of component technologies	QUAL
	[7B] Level of infrastructure development	Level of infrastructure development for business deployment including law, regulation, policy, and supporting facilities	QUAL
	[7C] Easiness of launching	Easiness of launching and mass production by combining manufacturing process and engineering technologies	QUAL
[8] DC spillover effects	[8A] Economic spillover	Degree of expected inducing effects of production, value-creation, and employment in developing countries resulting from adopting the target technology	QUAL
	[8B] Social spillover	Degree of expected social benefit increase and social cost reduction in developing countries resulting from adopting the target technology	QUAL
	[8C] Technology spillover	Degree of expected enhancement of technological capability and development of related technologies in developing countries resulting from adopting the target technology	QUAL

기술(environmentally sound technologies : ESTs) 분류 체계와 IPC Green Inventory를 활용한다. IPC Green Inventory는 EST에 대한 효과적인 특허 검색을 위해 WIPO(World Intellectual Property Organization)에서 개발한 것으로, 총 4수준에서 200개의 EST에 대한 IPC 정보를 제공하고 있다. 따라서 과제별 EST 정보를 바탕으로 해당 IPC에 속하는 특허를 수집함으로써 특허 지표값 산출이 가능하다.

정성지표는 계량적인 측정이 어려워 전문가의 정성적 판단

을 통해 산출되는 지표로, 정량지표를 제외한 나머지 다섯 개 항목의 15개 지표들이 정성지표에 해당된다. 본 연구에서 활용하는 AHP 기법은 대안 간 쌍대비교를 통해 정성적 평가 결과를 정량화할 수 있다는 장점이 있으나, 대안 및 평가기준의 개수가 많은 경우, 쌍대비교에 상당히 많은 시간과 노력이 소요된다는 문제가 있다. 따라서 본 방법론에서는 평가의 수월성 제고를 위해 정성지표값을 쌍대비교를 통해 산출하지 않고 5점 리커트 척도(Likert scale)를 이용하여 측정한다.

### 3.3 분과별 AHP 계층구조 구축

본 프로그램은 녹색기술 R&BD의 단계에 따라 응용개발, 실용화, 타당성분석, 실증사업, 정책기획의 5가지 분과별로 독립적으로 과제를 선정한다. 5개의 분과는 아래와 같이 기술의 범위 및 수준, 수행 목적 등에 차이가 있으므로, 분과의 특성에 맞게 평가항목들을 차별화하여 평가에 활용할 필요가 있다.

- 응용개발(application and development : AD) : 기초연구 및 실제 경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 단계
- 실용화(practical application : PA) : 연구개발이 완료된 핵심 기술 및 부품을 체계 연구개발에 활용하는 단계로 기술신뢰성 평가, 시제품 시험평가, 신뢰성 검증 등의 활동을 포함
- 타당성분석(feasibility analysis : FA) : 체계의 기술적 실현 가능성과 적용 기술 등 대상 사업에 필요한 기술의 존재 여부, 기술 수준 등을 사전에 분석하는 활동
- 실증사업(test-bed : TB) : 개발된 기술의 실증설비적용을 위한 최적화 · 규모확장 및 주변기술 확보 단계로 기술 성능 검증 및 평가, 실제 운영을 통한 문제점 발견, 기술개발 재조정, 효율적인 인프라 모델 구축 등의 활동을 포함
- 정책기획(policy planning : PP) : 연구개발추진을 위한 기술기획 · 평가, 기술조사, 자원조사, 성과분석 사업 등을 기획하는 단계

<Table 3>은 분과별로 차별화된 평가항목 구성을 나타낸 것이다. 본 프로그램은 녹색기술 개발을 통한 개도국 진출을 궁극적인 목적으로 하므로, “개도국 기술수요”와 “녹색기술 효과”는 모든 분과에 공통적으로 적용된다. 나머지 6개의 항목은 분과별 특성에 따라 취사선택하여 적용한다. 응용개발과 실용화 단계는 사업화가 본격적으로 이루어지기 전의 요소 기술 수준의 R&D이므로, 기술 자체가 향후 유망한 기술인지, 국내 중소기업이 해당 기술을 개발할 역량이 있는지에 대한 판단이 요구된다. 반면, 실용화 단계에서는 기술의 구체적인 실용성이 입증되므로 경제적 효과에 대한 판단이 가능하나, 응용개발 단계에서는 실용화에 대한 구체적인 정보가 미비하므로 경제적 효과에 대한 판단이 어렵다. 또한 응용개발과 실용화 모두 요소 기술 수준의 R&D이므로 대규모 사업의 타당성

Table 3. Composition of Evaluation Criteria for Five Divisions

Criteria	AD	PA	FA	TB	PP
[1] DC technology needs	○	○	○	○	○
[2] Effectiveness of green technology	○	○	○	○	○
[3] Technological potentials	○	○	X	X	X
[4] Domestic technological capability	○	○	X	X	X
[5] Commercialization feasibility	○	○	X	X	X
[6] Economic benefits	X	○	○	○	X
[7] Business feasibility	X	X	○	○	X
[8] Spillover effects	X	X	X	○	○
Number of criteria	5	6	4	5	3

및 파급효과를 측정하기는 불가능하다. 타당성분석 및 실증사업 단계는 이미 요소 기술들이 개발되어 사업화 가능성이 확인된 상태이므로, 기술유망성, 국내 기술역량, 사업화 가능성을 고려할 필요가 없다. 그러나 이 단계들에서는 대규모 사업의 성공 가능성에 대한 타당성 검토가 이루어져야 하며, 이를 통해 창출되는 경제적 효과를 반영하여 과제를 선정해야 한다. 한편, 타당성분석 단계에서는 대상 국가 및 사업 규모 및 내용이 확정되지 않았으므로, 사업수행에 따른 개도국 내 파급효과를 측정하기는 어려우나, 실증사업의 경우 이를 고려하여 과제 선정이 이루어져야 한다. 마지막으로 정책기획의 경우 대상 기술의 범위가 넓으므로 세부 기술 또는 사업별로 측정이 가능한 기술 유망성, 국내 기술역량, 사업화 가능성, 경제적 효과, 사업 타당성 등의 평가가 불가능하지만, 정책적인 측면에서 향후 파급효과가 큰 과제를 선정할 필요가 있으므로, 개도국 파급효과만을 과제 선정에 적용한다.

선정된 분과별 평가항목에 따라 AHP 계층 모형을 구축할 수 있다. 아래 <Figure 2>는 예시로서 응용개발 분과의 과제 선정을 위한 AHP 계층도를 나타낸 것이다. 응용개발 분과의 평가항목으로 구성된 5개 평가항목이 상위평가기준으로 포함되어 있으며, 하위평가기준으로는 평가항목별 평가지표가 포함되어 있다. 한편, 본래 AHP 계층도의 제일 하위에는 대안이 포함되어야 하나 본 AHP 계층도는 대안을 포함하고 있지 않다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 본 방법론에서는 대안들의 비교를 쌍대비교 형태가 아닌 정량 또는 정성 평가 형태로 독립적으로 측정하기 때문이다. 개별적으로 측정된 평가지표값들은 일련의 정규화 과정을 거쳐 최종 AHP 프로세스에 반영된다.

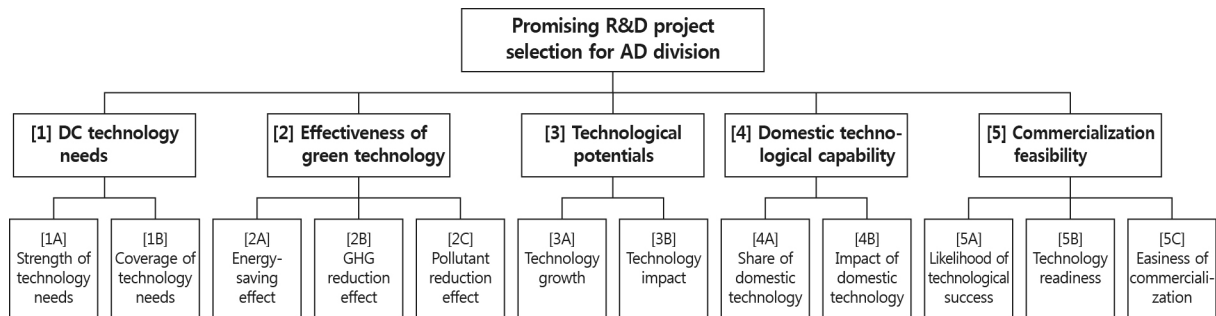


Figure 2. AHP Hierarchy for Application and Development Division

#### 4. 개도국향 녹색기술 R&D 과제 선정 사례

##### 4.1 평가대상 과제

녹색기술센터는 2013년 설립된 녹색기술 전문 정책연구기관으로 국내 녹색기술 R&D 정책 및 기후기술 국제협력의 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 녹색기술센터는 국내 녹색기술 중소기업의 기술 역량을 향상시키고, 녹색기술 분야의 개도국 기술협력을 촉진하려는 목적으로, 녹색기술 중소기업의 개도국 진출을 위한 유망 R&D 과제를 발굴하고자 하였다.

먼저 녹색기술 전문가 분과 회의를 통해 1차 후보군으로 5개의 분과별로 20개, 총 100개의 과제를 정의하였다. 분과별로 5~6명의 녹색기술 전문가들이 참여하여 각각 3~6개의 녹색기술 R&D 과제를 도출하였으며, 각 과제별 기술개요서를 작성하였다. 기술개요서는 해당 과제가 속하는 EST 분류 및 TNA 기술 분류 등의 정보와 함께 과제 목표 및 필요성, 주요 내용, 기대효과 등의 정보를 포함하고 있다.

도출된 100개의 과제들에 대한 스크리닝을 실시하여 분과별 10개, 총 50개의 과제를 선별하였다. 스크리닝은 개도국 기술 전문가 10인이 대상 과제를 통해 개발될 기술 또는 수행될 사업에 대한 개도국들의 현재 및 미래 수요 수준을 5점 만점(총 50점 만점)으로 평가하는 형태로 수행되었으며, 분과별로 상위 5개 과제를 최종 후보군으로 도출하였다. 선정 평가 대상으로 도출된 최종 후보군 50개 과제 목록은 <Appendix A>에 첨부되어 있으며, 본 과제들에 대한 정량 및 정성 평가를 수행하여 최종 수행 과제 15개(분과별 3개)를 선별하기로 하였다.

##### 4.2 평가지표별 가중치 산출

평가지표별 가중치는 AHP 계층도를 바탕으로 쌍대비교를 통해 산출하였다. 쌍대비교는 전문가 설문을 통해 수행되었으며, 학계 및 산업체, 공공기관의 개도국 전문가 10명, 기술경영

전문가 10명으로 구성된 총 20명의 전문가가 설문에 참여하였다. 복수의 전문가들의 개별 쌍대비교 결과를 취합하기 위해 AHP에서 일반적으로 권장되는 기하평균(geometric mean)을 사용하였다. 아래 <Table 4>는 예시로서 응용개발 분과의 가중치 산출 결과를 나타낸 것이다. 평가항목 수준에서는 사업화 가능성의 가중치가 높게 나타났으며, 평가지표 수준에서는 기술개발 성공확률의 중요도가 가장 높게 평가되었다.

<Table 5>는 쌍대비교를 통해 도출된 분과별 평가항목들의 상대적 중요도를 비교한 것이다. 개도국 기술수요는 모든 분과에서 1순위 또는 2순위로 중요도가 높게 평가되었고, 녹색기술 효과는 실용화 분과를 제외하고는 모든 분과에서 가장 중요도가 낮게 나타나는 등 일부 평가항목들은 분과별 차이가 미미했으나, 나머지 평가항목들의 상대적 중요도는 분과의 특성에 따라 매우 상이하게 나타났다. 응용개발 분과에서는 사업화 가능성이 개도국 기술수요보다 우선하는 것으로 나타났으나 실용화 분과에서는 반대로 나타났으며, 이는 응용개발 단계에서는 실제 수요를 충족시키기 이전에 사업화 가능 여부가 단기적으로 더 중요한 것으로 인식되고 있기 때문이다. 또한 응용개발 분과에서는 기술 유망성이 녹색기술 효과보다 더 중요한 것으로 나타났으나 실용화 분과에서는 반대로 나타났다. 이는 실용화 단계에서는 이미 기술 유망성이 어느 정도 입증되었으므로 기술 자체의 효과에 보다 초점을 맞출 필요가 있기 때문인 것으로 보인다. 타당성분석 분과에서는 개도국 기술수요가 사업 타당성보다 더 중요한 것으로 평가되었으나 실증사업에서는 반대로 나타났으며, 이는 실증사업 단계에서는 실제 사업 수행을 위한 기술적·제도적 제반 요건의 영향이 직접적으로 작용하기 때문이다. 한편, 실증사업 분과에서는 개도국 파급효과가 4순위로 나타났으나 정책기획 분과에서는 1순위로 평가되었다. 이는 정책기획 측면에서는 구체적인 사업 자체의 미시적인 측면보다는 정책이 가져오는 거시적 파급효과가 더 중요하다고 인식되기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4. Priority Weights of Evaluation Criteria for AD Division

Criteria	Weights at 1 <sup>st</sup> level	Indicators	Weights at 2 <sup>nd</sup> level	Weights	Rank
[1] DC technology needs	0.2507	[1A] Strength of technology needs	0.5454	0.1367	2
		[1B] Coverage of technology needs	0.4546	0.1140	3
[2] Effectiveness of green technology	0.1035	[2A] Energy-saving effect	0.5808	0.0601	9
		[2B] GHG reduction effect	0.2466	0.0255	11
		[2C] Pollutant reduction effect	0.1727	0.0179	12
[3] Technological potentials	0.1455	[3A] Technology growth	0.4696	0.0683	8
		[3B] Technology impact	0.5304	0.0772	7
[4] Domestic technological capability	0.1643	[4A] Share of domestic technology	0.3454	0.0567	10
		[4B] Impact of domestic technology	0.6546	0.1075	4
[5] Commercialization feasibility	0.3360	[5A] Likelihood of technological success	0.4734	0.1591	1
		[5B] Technology readiness	0.2596	0.0872	6
		[5C] Easiness of commercialization	0.2670	0.0897	5

**Table 5.** Comparison of Relative Importance of Criteria Across Divisions

Division	Relative importance
AD	Commercialization feasibility > DC technology needs > Domestic technological capability > Technological potentials > Effectiveness of green technology
PA	DC technology needs > Commercialization feasibility > Economic benefits > Domestic technological capability > Effectiveness of green technology > Technological potentials
FA	DC technology needs > Business feasibility > Economic benefits > Effectiveness of green technology
TB	Business feasibility > DC technology needs > Economic benefits > DC spillover effects > Effectiveness of green technology
PP	DC spillover effects > DC technology needs > Effectiveness of green technology

**Table 6.** Evaluation Results for Qualitative Sub-Criteria for AD Division Projects

ID	[2] Effectiveness of green technology			[5] Commercialization feasibility		
	[2A] Energy-saving effect	[2B] GHG reduction effect	[2C] Pollutant reduction effect	[5A] Likelihood of technological success	[5B] Technology readiness	[5C] Easiness of commercialization
I-1	3.5	3.3	3.1	3.7	4.0	3.4
I-2	3.8	3.7	3.5	3.8	3.5	3.4
I-3	2.9	3.1	4.1	3.8	3.9	3.3
I-4	3.9	3.9	4.0	3.3	3.4	2.9
I-5	3.0	2.9	3.9	3.9	3.9	3.2
I-6	3.8	3.5	3.1	3.8	4.0	3.4
I-7	4.1	3.7	3.8	3.6	3.7	3.1
I-8	3.9	3.8	3.7	3.1	2.7	2.5
I-9	3.9	3.7	3.5	3.2	2.9	2.7
I-10	3.9	3.5	3.5	3.7	3.2	3.1

### 4.3 평가지표값 산출

15개의 정성지표와 6개의 정량지표에 대해 과제별 지표값을 측정하였다. 먼저 정성지표값은 분과별 녹색기술 전문가 15인이 과제별 기술개요서를 바탕으로 5점 리커트 척도를 바탕으로 측정하였으며, 전문가 평가 점수의 평균을 활용하였다. <Table 6>은 예시로서 응용개발 분과의 과제들에 대한 정성평가 결과를 나타낸 것이다.

개도국 기술수요 항목의 지표값 산출을 위해 최신 UNFCCC의 TNA 결과를 분석하였다. 241개의 기술 클래스(technology class)를 대상으로 기술수요 강도와 기술수요 커버리지를 산출하였다. 기술수요 강도는 대상 기술 클래스에 대한 개도국들의 수요의 총합으로 산출하며, 기술수요 커버리지는 대상 기술 클래스에 대한 수요가 존재하는 국가의 수로 측정하였다. 241개의 기술 클래스의 기술수요 강도의 평균값은 4.8, 표준편차는 5.5이며, 기술수요 커버리지의 평균값은 2.5, 표준편차는 2.6으로 기술 클래스별 기술수요의 편차가 상당히 큰 것으로 나타났다. 각 과제의 TNA 기술 분류를 기준으로 과제별 기술수요 강도와 기술수요 커버리지 점수를 산출하였으며, 두 개

이상의 기술 분류가 할당된 과제의 경우 각 기술 분류의 비율을 기준으로 가중합하여 산출하였다. <Table 7>은 예시로서 응용개발 분과의 과제별 개도국 기술수요 측정 결과를 나타낸 것이다.

기술 유망성과 국내 기술역량 항목들의 평가지표 산출을 위해 특허분석을 수행하였다. 평가 대상 과제와 연관된 EST는 아래 총 11개로 한정되며, IPC Green Inventory 상에서 각 EST에 할당된 IPC 내의 특허를 수집하였다. 미국특허청(USPTO)으로부터 특허를 수집하였으며, 2000년 이후 등록된 특허로 범위를 한정하여 총 54,465건으로 구성된 특허 DB를 구축하였다. 구축된 특허 DB를 바탕으로 11개의 EST별 평가지표값을 산출하였다. 기술 성장률은 연도별 특허 건수 증가율 평균으로 산출되며, 기술 영향력은 특허당 피인용수 평균값으로 측정된다. 국내 기술 점유율은 총 특허 건수 대비 국내 기관 소유 특허 건수의 비율로 측정되며, 국내기술 영향력은 국내 기관 소유 특허의 평균 피인용 횟수를 모든 특허의 평균 피인용 횟수로 나누어 측정한다. 각 과제의 EST 분류를 기준으로 지표값을 할당하였으며, <Table 8>은 예시로서 응용개발 분과의 과제별 기술유망성 및 국내 기술역량측정 결과를 나타낸 것이다.



**Table 7.** Values of Technology Needs Criteria for AD Division Projects

ID	TNA classification		[1] DC technology needs	
	Sector	Technology class	[1A] Strength of technology needs	[1B] Coverage of technology needs
I-1	Water	Micro hydropower-Adaptation	2	1
I-2	Energy	Fuel switch to cleaner fuels	3	2
I-3	Water	Wastewater treatment and reuse	8	5
I-4	Waste	Waste incineration for energy use	16	6
I-5	Water	Water treatment-filtration	1	1
I-6	Water	Water harvesting-earth dam	4	3
I-7	Waste	Waste incineration for energy use	16	6
I-8	Energy	Fuel switch to cleaner fuels	3	2
I-9	Energy	Biomass co-firing/Fuel switch for cleaner use	5	2.5
I-10	Energy	Biomass co-firing	7	3

**Table 8.** Values of Technological Potentials and Domestic Technological Capability Criteria for AD Division Projects

ID	EST type	[3] Technological potentials		[4] Domestic technological capability	
		[3A] Technology growth	[3B] Technology impact	[4A] Share of domestic technology	[4B] Impact of domestic technology
I-1	Water-power plants	49.1%	4.2	1.1%	0.3
I-2	Solid fuels	13.0%	4.8	0.0%	0.0
I-3	Control of water pollution	0.9%	6.8	0.5%	0.6
I-4	Municipal waste	25.1%	4.4	0.0%	0.0
I-5	Control of water pollution	0.9%	6.8	1.4%	0.3
I-6	Water-power plants	49.1%	4.2	1.7%	0.3
I-7	Recuperation of heat energy from waste incineration	-11.0%	4.1	1.4%	0.1
I-8	Solid fuels	13.0%	4.8	1.2%	0.5
I-9	Pyrolysis or gasification of biomass	18.5%	5.3	1.1%	0.1
I-10	Solid fuels	13.0%	4.8	5.0%	0.4

#### 4.4 최종 우선순위 점수 산출

본 방법론에서는 대안들 간의 우선순위 점수를 쌍대비교가 아닌 정량 지표 및 정성 평가를 통해 측정하였으므로, 최종 우선순위 점수 산출을 위해서는 정규화 과정이 필요하다. 정량 지표값들은 지표별로 단위 및 분포가 다를 뿐만 아니라 정량 지표와 정성지표는 다른 척도를 이용하여 측정되므로, 지표별 측정값들을 동일한 특성 및 분포를 가지는 단일 척도로 변환하기 위해 아래와 같은 효용 지수(utility index)를 활용한다 (Clemen, 1996).

$$u_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-}$$

여기서  $u_{ij}$ 는  $i$ 번째 과제에의  $j$ 번째 평가지표의 효용 지수,  $x_{ij}$ 는  $i$ 번째 과제에의  $j$ 번째 평가지표의 지수측정값을 의미하며,  $x_j^+$ 와  $x_j^-$ 는 각 과제들의  $j$ 번째 평가지표 측정값 중 최대값과 최소값을 나타낸다. 효용지수로 변환 시, 각 지표별 최대값에 대해서는 1, 최소값에 대해서는 0이 할당되며, 그 사이의 값들은 0~1의 값을 가진다. 다음으로는 평가지표별 효용지수를 모든 과제의 효용 지수의 합으로 나누어 정규화를 수행한다. 이는 AHP 최종 우선순위 산출을 위해서는 대안들의 우선순위 가중치 값의 합이 1이 되어야하기 때문이다. 과제별 최종 우선순위 점수는 평가지표별로 AHP 정규화가 이루어진 효용지수와 쌍대비교를 통해 산출된 평가지표별 가중치를 가중합하여 산출된다.

Table 9. Utility Index for AD Division Projects

ID	[1]			[2]			[3]			[4]			[5]		
	[1A]	[1B]	[1C]	[2A]	[2B]	[2C]	[3A]	[3B]	[3C]	[4A]	[4B]	[4C]	[5A]	[5B]	[5C]
I-1	0.0667	0.0000	0.5000	0.4286	0.0000	0.0000	1.0000	0.0316	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8182	1.0000	1.0000
I-2	0.1333	0.2000	0.7222	0.8571	0.4286	0.4005	0.4005	0.2430	0.3040	1.0000	0.6000	0.9091	0.9091	0.6000	1.0000
I-3	0.4667	0.8000	0.0000	0.2143	1.0000	0.9286	0.1991	1.0000	0.8155	0.6992	0.9091	0.9091	0.9091	0.9500	0.8571
I-4	1.0000	1.0000	0.7778	1.0000	0.9286	0.6012	0.6012	0.0870	1.0000	0.4874	0.5500	0.5500	0.1818	0.5500	0.5000
I-5	0.0000	0.0000	0.0556	0.0000	0.8571	0.0000	0.1991	1.0000	0.8155	0.6992	1.0000	1.0000	1.0000	0.9000	0.7857
I-6	0.2000	0.4000	0.7222	0.6429	0.0000	0.0000	1.0000	0.0316	0.0000	0.0000	0.0000	0.9091	1.0000	1.0000	1.0000
I-7	1.0000	1.0000	1.0000	0.8571	0.7143	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6364	0.6364	0.8000	0.8000	0.6429
I-8	0.1333	0.2000	0.8333	0.9286	0.5714	0.4005	0.4005	0.2430	0.3040	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
I-9	0.2667	0.3000	0.7778	0.7857	0.3571	0.4907	0.4907	0.4304	0.7982	0.1507	0.2000	0.2000	0.0909	0.2000	0.2857
I-10	0.4000	0.4000	0.8333	0.5714	0.3571	0.4005	0.4005	0.2430	0.3040	1.0000	1.0000	0.7273	0.4000	0.4000	0.6429

Table 10. Final Priority Score for AD Division Projects

ID	[1]			[2]			[3]			[4]			[5]			Final priority score	Rank
	[1A]	[1B]	[1C]	[2A]	[2B]	[2C]	[3A]	[3B]	[3C]	[4A]	[4B]	[4C]	[5A]	[5B]	[5C]		
I-1	0.0182	0.0000	0.0804	0.0682	0.0000	0.2132	0.0095	0.0095	0.0000	0.0000	0.0000	0.1324	0.1563	0.1489	0.1489	0.0724	8
I-2	0.0364	0.0465	0.1161	0.1364	0.0822	0.0854	0.0734	0.0734	0.0700	0.1985	0.1471	0.1471	0.0938	0.1489	0.1489	0.1039	5
I-3	0.1273	0.1860	0.0000	0.0341	0.1918	0.0424	0.3022	0.3022	0.1878	0.1388	0.1471	0.1471	0.1484	0.1277	0.1425	0.1425	1
I-4	0.2727	0.2326	0.1250	0.1591	0.1781	0.1281	0.0263	0.0263	0.2303	0.0968	0.0294	0.0294	0.0859	0.0745	0.1316	0.1316	2
I-5	0.0000	0.0000	0.0089	0.0000	0.1644	0.0424	0.3022	0.3022	0.1878	0.1388	0.1471	0.1471	0.1406	0.1170	0.1038	0.1038	6
I-6	0.0545	0.0930	0.1161	0.1023	0.0000	0.2132	0.0095	0.0095	0.0000	0.0000	0.1471	0.1471	0.1563	0.1489	0.0933	0.0933	7
I-7	0.2727	0.2326	0.1607	0.1364	0.1370	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1029	0.1029	0.1250	0.0957	0.1152	0.1152	3
I-8	0.0364	0.0465	0.1339	0.1477	0.1096	0.0854	0.0734	0.0734	0.0700	0.1985	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0609	0.0609	10
I-9	0.0727	0.0698	0.1250	0.1250	0.0685	0.1046	0.1300	0.1300	0.1839	0.0299	0.0147	0.0147	0.0313	0.0426	0.0695	0.0695	9
I-10	0.1091	0.0930	0.1339	0.0909	0.0685	0.0854	0.0734	0.0734	0.0700	0.1985	0.1176	0.1176	0.0625	0.0957	0.1067	0.1067	4

<Table 9>는 <Table 6>~<Table 8>에 제시된 응용개발 분과의 과제별 평가지표값을 효용지수로 변환한 결과이며, <Table 10>는 효용지수를 AHP 정규화한 후 평가지표별 가중치와 함께 가중합하여 도출한 최종 우선순위 점수를 나타낸 것이다. 최종적으로 우선순위 점수가 높은 세 과제, 「(I-3) 현장처리용 소규모 하수처리시스템」, 「(I-4) 개발도상국형 도시 고품폐기물 에너지화 시스템 개발」, 「(I-7) 환경 친화적 폐기물 자원 활용」이 응용개발 분과의 유망 R&D 과제로 선정되었다. 또한 동일한 방법을 활용하여 나머지 네 분과에 대해서도 각각 세 개의 유망 R&D 과제가 선정되었다.

## 5. 결론

본 논문은 녹색기술 개도국 진출을 위한 유망 R&D 과제 선정 방법론을 개발하고, 적용 사례를 제시하였다. R&BD 논리 모형을 바탕으로 8개의 평가항목(개도국 기술수요, 녹색기술 효과, 기술 유망성, 국내 기술역량, 사업화 가능성, 경제적 효과, 사업 타당성, 개도국 파급효과)을 도출하고, 각 평가항목별로 2~3개의 평가지표를 정의하였으며, 5개의 분과(응용개발, 실용화, 타당성분석, 실증사업, 정책기획)별 특성에 따라 평가항목을 차별화하여 분과별 AHP 계층구조를 정의하였다. 개발된 방법론을 1차 스크리닝을 통과한 50개의 녹색기술 유망 R&D 과제에 적용하여 분과별로 과제들의 우선순위를 산출하였다. 전문가 쌍대비교를 수행하여 분과별 평가지표 가중치를 산출하였으며, TNA 보고서 분석, 특허분석, 전문가 정성평가를 통해 과제별 평가지표 값을 산출하였다. 평가지표값을 정규화한 후 평가지표별 가중치와 가중합하여 과제별 최종 우선순위 점수를 산출하였다.

본 연구에서 제시한 방법론은 녹색기술 R&D 과제 선정에 활용될 수 있으나, 사업의 성격과 목적에 맞게 일부 수정될 필요가 있다. 본 사업에서는 과제들이 하향식으로 발굴되었으므로, 평가 시 개별 기업들의 역량이 아닌 국내 기술역량을 반영하였으나, 기업들이 과제를 제안하는 상향식 방식의 경우 개별 기업들의 기술 역량을 측정하는 방식으로 수정되어야 한다. 평가대상 사업은 개도국 진출을 목적으로 하였기에 일부 분과들에 대해서만 개도국 파급효과를 고려하였으나, 일반적인 R&D 과제의 경우 과제 수행으로 인해 발생할 국내 파급효과를 반영해서 평가를 수행해야 한다. 또한 평가대상 사업은 개도국 진출을 목적으로 하였기에 수요 측면에서는 개도국 기술수요만을 고려하였으나, 일반적인 R&D 과제의 경우 글로벌 시장 수요 및 국내 정책 수요 등을 반영할 필요가 있다.

또한 본 연구에서 제시된 방법론은 몇 가지 한계점을 지니며, 이는 추후 연구에서 보완될 필요가 있다. 첫째, 본 방법론은 데이터의 부재 및 측정의 어려움으로 인해 정량 지표에 비

해 정성지표가 상대적으로 과다하게 포함되어 있으므로, 추후 연구에서는 정량 평가지표의 비중을 높일 필요가 있다. 본 분석에서 활용한 파급효과, 경제적 효과 등 정성 평가지표들의 정량화 방법에 대한 연구가 필요하며, 정량화가 가능한 추가적인 평가지표를 고려할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 AHP를 활용하여 평가지표별 가중치를 도출하고 최종 우선순위 점수를 측정하였으나, 보다 다양하고 정교한 기법을 적용하여 평가의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방법을 모색할 필요가 있다. AHP는 평가지표 간의 독립성을 가정하고 있으나, 본 분석에 활용한 일부 평가지표들은 서로 연관관계가 존재하므로, 평가요소들 간의 연관성을 고려하여 우선순위 점수를 산출하는 ANP 기법의 적용을 고려할 필요가 있다. 또한 전문가의 정성적인 쌍대비교 결과는 본질적으로 주관적일 수밖에 없으므로, 이러한 한계를 보완하기 위해 퍼지 이론(fuzzy-set theory)을 접목한 퍼지 AHP 등의 적용을 고려할 필요가 있다.

## 참고문헌

- An, H. and Lee, J. (2011), Status and Future Directions of Science and Technology Cooperation with Developing Countries, Issue Paper 2011-16, Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning.
- An, J., Kim, K., Noh, H., and Lee, S. (2016), Identifying Converging Technologies in the ICT Industry : Analysis of Patents Published by Incumbents and Entrants, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 42(3), 209-221.
- Bickman, L. (1987), The Functions of Program Theory, *New Directions for Evaluation*, 33, 5-18.
- Chiesa, V. (2005), R&D strategy and Organisation : Managing Technical Change in Dynamic Contexts, Imperial College Press, London.
- Clemen, R. (1996), Making Hard Decisions : An Introduction to Decision Analysis, Duxbury Press, Belmont.
- Graves, S. B. and Ringuet, J. L. (2012), Models and Methods for Project Selection : Concepts from Management Science, Finance and Information Technology, Springer Science and Business Media, New York.
- Green Technology Center (2014), A study on Demand Analysis on Green Technology in Developing Countries, Research Report 2014-011.
- Green Technology Center (2016), Developing Measures and Methods for Green Technology R&D Project Selection for Assistance to Developing Countries by Small and Medium Enterprises, Research Report 2016-014.
- Henriksen, A. D. and Traynor, A. J. (1999), A Practical R&D Project Selection Scoring Tool, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 46(2), 158-170.
- Hong, M. Y., Hwang, K., Hong, J. S., and Lee, K. J. (2013), The Survey and Analysis of Technology Level on Korea's Key Green Technologies and its Implications, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 16(2), 476-505.
- Huang, C. C., Chu, P. Y., and Chiang, Y. H. (2008), A fuzzy AHP Application in Government-Sponsored R&D Project Selection, *Omega*, 36(6), 1038-1052.
- Jeon, I. and Lee, H. (2015), Performance Evaluation of R&D Commercialization : A DEA-Based Three-Stage Model of R&BD Per-

- formance, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **41**(5), 425-438.
- Kim, M., Lee, H., Choi, C., Lee, S., Choi, K., and Jeon, J. (2008), A Model and its Application of Performance Monitoring, Evaluation, and Management System for National R&D, *Journal of Korea Technology Innovation Society*, **11**(4), 709-734.
- Lee, S., Go, I., and Jeong, S. (2012), Concepts and Policy Directions for Green Technology, Issue Paper 2012-9, Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning.
- Lee, S., Yoon, B., Lee, C., and Park, J. (2009). Business Planning Based on Technological Capabilities : Patent Analysis for Technology-Driven Roadmapping, *Technological Forecasting and Social Change*, **76**(6), 769-786.
- Liberatore, M. J. (1987), An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection and Resource Allocation, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **34**(1), 12-18.
- Martino, J. P. (1995), R&D Project Selection, Wiley, New York.
- McLaughlin, J. A. and Jordan, G. B. (1999), Logic Models : A Tool for Telling Your Program's Performance Story, *Evaluation and Program Planning*, **22**(1), 65-72.
- Meade, L. and Presley, A. (2002), R&D Project Selection Using the Analytic Network Process, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **49**(1), 59-66.
- Ruegg, R. and Feller, I. (2003), A Toolkit for Evaluating Public R&D Investment Models, Methods, and Findings from ATP's First Decade, US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.
- Saaty, T. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. (2001), *The Analytic Network Process-Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*, RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T. and Ozdemir, M. (2004), *The Encyclicon : A Dictionary of Decisions with Dependence and Feedback Based on the Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh.
- Vaidya, O. S. and Kumar, S. (2006), Analytic Hierarchy Process : An Overview of Applications, *European Journal of Operational Research*, **169**(1), 1-29.
- Wijnmalen, D. (2007), Analysis of Benefits, Opportunities, Costs, Risks (BOCR) with the AHP-ANP : A Critical Validation, *Mathematical and Computer Modelling*, **46**(7-8), 892-905.

<Appendix A> 평가대상 과제 목록

분과	ID	과제명
응용 개발	I-1	하천에서 농촌용수 확보 및 소수력발전에 의한 에너지 생산
	I-2	고효율 바이오매스 펠릿성형 기술 개발
	I-3	현장처리용 소규모 하수처리시스템
	I-4	개발도상국형 도시 고품폐기물 에너지화 시스템 개발
	I-5	각종 용수 공급이 가능한 이동식 모듈형 수질정화시스템 설치
	I-6	개발도상국 노후 소수력발전소 리모델링 및 신기술적용을 위한 현장 맞춤형 소수력발전 시스템 개발
	I-7	환경 친화적 폐기물 자원 활용(전기생산소각시스템)
	I-8	에너지소비절감형 열화학적 전환에 의한 바이오매스로부터 화학원료 및 고품질 연료 생산 기술 개발
	I-9	다양한 바이오매스 자원의 건조/반탄화에 의한 연료 고품위화와 패키지형 가스화장치를 통한 분산형 열병합발전 모델 보급
	I-10	저급 바이오매스 활용 가능한 고효율 연료로 개발
실용화	II-1	개도국 응급시설 전력망 안정화를 위한 에너지 자립형 태양광 발전 및 에너지 저장 적용 융합 제품 개발
	II-2	도시지역 에너지 자립형 소규모 하이브리드 태양광 발전 시스템 개발
	II-3	특수 기후 지역형 공공설비 전력망 자립형 소규모 태양광 발전 및 ESS 시스템 개발
	II-4	동남아시아 자원 활용 바이오연료 생산 기지 구축
	II-5	Package형 바이오매스 가스화 발전 실용화 기술 개발
	II-6	개도국 도시지역 태양광 시스템 및 ESS 적용을 통한 통신설비 안정화 시스템 개발
	II-7	식물성오일 부산물이용 발전용 연료전환 실용화 기술개발
	II-8	개도국 도로교통망 조사 DB 구축 기술
	II-9	케냐 유기 비료 사업
	II-10	아프리카 천연 기능성 원료 가공을 위한 기술의 실용화
타당성 분석	III-1	매립지 정비 및 매립가스 활용사업 타당성 조사
	III-2	도시생활폐기물 소각 및 발전사업 타당성 조사
	III-3	유기성 폐기물의 자원화에너지화 타당성 조사
	III-4	방글라데시 태양광 관개펌프 보급 사업 타당성 조사
	III-5	태국 스마트그리드 실증사업 참여를 위한 타당성 조사
	III-6	몽골 신재생에너지를 활용한 사막화 방지 기술 타당성 조사
	III-7	필리핀 친환경 소형운송장치 도입을 위한 타당성 조사
	III-8	산림바이오매스 효율적 이용을 위한 융복합 기술 타당성 조사
	III-9	베트남 배출규제 대응 전기이륜차, 충전인프라 타당성 조사
	III-10	비 전력가구 또는 디젤발전 사용 가구를 위한 혁신 SHS(solar home system) 보급
실증 사업	IV-1	개도국 농어촌 마을 대상 신재생에너지 기반 독립형 마이크로그리드 실증
	IV-2	베트남 산업단지 내 발생 폐수의 처리를 위한 소규모 하, 폐수처리 시스템 개발
	IV-3	팜오일 부산물 활용 바이오가스 에너지화 실증사업
	IV-4	신재생에너지 기반 농어촌 생산성 향상 설비 전원 구축 실증
	IV-5	고효율 발전을 위한 개도국용 태양광 트래킹 시스템 실증
	IV-6	가축분뇨를 이용한 바이오에너지화 및 퇴비화 실증사업
	IV-7	지속가능한 수질 관리 및 개선을 위한 수저 퇴적물질의 준설 후 유효활용 시범사업
	IV-8	매립가스 포집 및 활용기술 개발 실증사업
	IV-9	의료폐기물 처리시설 및 스팀생산 기술개발
	IV-10	지속가능한 수질 관리 및 개선을 위한 수저오염 퇴적물 정화 시범사업
정책 기획	V-1	농업기반 개도국향 신재생하이브리드-마이크로그리드 시스템구축 기반 기획
	V-2	도시지역 개도국향 중소기업참여형 신재생에너지제로섬 수출화 전략기획
	V-3	해외교통시장 진출 확대를 위한 ODA와 PPP 연계 모델 개발
	V-4	중소기업의 개도국 환경에너지시장 참여를 위한 지역별 세부정보 모니터링 시스템 구축 지원사업
	V-5	녹색중소기업 현지화 정착을 위한 역량강화 및 국외 수혜자를 위한 교육 프로그램 개발 기획
	V-6	현지생산거점 개도국향 해외수출 프로그램 기획독립형 신재생충전시스템 및 통신기반 시설 구축 인프라구축
	V-7	녹색 중소기업 개도국향 R&D기술 중기 로드맵 기획
	V-8	기후변화대응 관련 녹색 중소기업의 미래유망기술 발굴 및 기술가치 평가
	V-9	개도국향 기후변화 관련 공공기술의 사업화 지원 프로그램 기획
	V-10	개도국 기후변화 재해에 체계적 대응 및 신속한 회복을 위한 예보, 복원 통합 시스템 구축을 위한 전략 수립 연구