

기술녹색도 평가모델 개발 및 적용사례

An Evaluation Model Development of Technology Green Index(TGI) and It's Application to Defense R&D Projects

최 돈 오* 이 효 근* 임 종 광* 이 헌 곤*

Don-Oh Choi Hyo-Keun Lee Jong-Kwang Lim Hun-Gon Lee

Abstract

In this paper, we have developed an evaluation model of technology green index(TGI) which includes 3 evaluation factors and 13 indicators. Furthermore, as presenting the degree of relative importance among evaluation factors and indicators for all R&D evaluation stages and all green technology areas, and applying the proposed model to 5 defense projects, we have found applicability of the model to evaluation of defense R&D projects. The results of evaluation using this model can be used to monitor the performance of project life cycle and develop R&D investment strategy of green technology using portfolio analysis.

Keywords : Technology Green Index(기술녹색도), Green Technology Subindex(녹색기술지수), Economic Benefit and Strategy Subindex(경제전력지수), Social and Eco Subindex(사회생태지수)

1. 서론

최근의 환경위기와 자원위기에 대처하기 위하여 선진국들은 녹색산업 및 기술을 새로운 성장엔진으로 인식하여 경제성장과 환경이 상충되지 않고 녹색성장의 추진에 국력을 집중하고 있으며, 녹색기술개발은 이들의 전략을 실행하는 핵심 수단으로 인식되고 있다. 이에 따라 정부가 추진하는 녹색성장 정책은 친환경 산업에 대한 적극적인 R&D 지원으로 녹색기술 부문에서 혁신적 핵심기술을 확보하여 성장동력화 하는 것이다.

녹색성장은 에너지·자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화 문제와 환경훼손을 줄이면서 청정 에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 신성장동력을 확보하고 새로운 일자리를 창출해 나가는 경제와 환경의 조화로운 성장방식을 말한다. 녹색기술이란 ‘물질 및 에너지 소비를 최소화하고 순환과 재생가능 물질 및 에너지 활용을 통해 환경 부하를 줄이고 엔트로피 증가를 약화시켜 기후변화를 완화하고 인간과 자연 생태계 안전을 도모하는 기술’로 정의할 수 있다¹⁾. 이와 같이 녹색성장과 녹색기술은 저탄소사회의 실현과 녹색산업화를 통하여 국가 경제를 성장시키는 정책 기조와 사회적 가치를 내포하고 있다.

한편 국방분야는 전력증강을 위한 노력이 녹색성장과 특별한 연관성이 없는 것처럼 보일 수 있으나, 국방분야 녹색성장은 연구개발을 기반으로 지속 가능한

† 2009년 4월 30일 접수~2009년 5월 15일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 최돈오(donoh@add.re.kr)

국방전력을 확보할 수 있어 국방 본연의 의무를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 국가 R&D 역량강화와 국가의 미래를 위한 신 성장동력을 창출할 수 있다. 또한 국방연구개발에 대한 공공투자 지원은 WTO, FTA 등의 국제적 규제로부터 회피가 가능하기 때문에 국가 차원의 R&D 투자 정책수립에 유리 할 뿐만 아니라 이를 통해 국가의 경제적, 사회적, 환경적, 과학기술적 발전에 크게 이바지 할 수 있다는 점에서 국방분야 녹색성장을 위한 연구개발 투자에 대한 중요성이 강조되고 있는 실정이다. 미국의 경우도 하이브리드를 비롯한 전기자동차 개발 시 TACOM 산하기관인 NAC (National Automotive Center)가 민간겸용 산학협동연구를 주도해 오고 있다.

이러한 녹색성장을 위한 국내외 환경변화 즉, 저탄소사회화는 자원소비가 아니라 지식 이용이 강조되며 고도의 지식에 기반한 기술혁신이 요구되므로, 저탄소 사회 구현을 위한 과학기술의 중요성이 증가하고 있다. 따라서 혁신적 저탄소기술이 개발되고 확산되기 위해서는 국방 전략적 차원의 녹색성장 기술로드맵 구축을 통해 전략적으로 국방 연구개발사업을 추진하고 국방녹색성장 기술에 대한 전략적 배분 강화를 위해서 국방 연구개발사업 포트폴리오의 조정이 필수적이며 이를 위해선 기술 및 사업평가에서 저탄소사회 기여도를 고려하는 기술녹색도 평가모델 개발이 요구된다. 이를 위해서는 평가모델 개발시 녹색성장의 3대 요소인 에너지/자원의 사용량 최소화, 환경부하의 최소화, 신성장동력화를 모두 고려할 수 있고, 서로 다른 녹색기술의 녹색성장수준 등을 비교할 수 있는 균형된 평가항목과 평가지표가 고려되어야만 한다.

따라서 본 논문에서는 국방 녹색 연구개발 사업뿐만 아니라 국가 녹색기술 연구개발사업의 전주기(Life Cycle) 상에서 지속적인 연구개발관리가 가능한 평가지표를 도출하여 정량적인 기술녹색도(TGI : Technology Green Index)를 측정하기 위한 평가모델을 개발하고 개발된 모델을 국방녹색과제평가에 시범적용 한 결과를 제시하고자 한다.

2. 녹색기술의 개념 및 분류

가. 녹색기술 개념

한국형 녹색성장(Green Growth)의 개념은 환경(Green)과 경제(Growth)의 상충개념을 탈피하여 선순환구조로

시너지를 극대화하는 것으로 低탄소화 및 녹색산업화에 기반을 두고 경제성장력을 배가시키는 新성장개념이다. 녹색기술은 저탄소화와 녹색산업화에 기여하여 환경보호와 경제성장이 선순환되는 녹색성장의 전략적 구심점이다.

저탄소화는 경제활동 과정에서 발생하는 CO₂ 감축을 통해 기후변화에 대응하는 것이고 녹색산업화는 녹색기술, 환경친화적 비즈니스모델 등을 통해 신시장을 창출함으로써 경제성장력의 원동력으로 삼는 것을 의미한다²⁾. 저탄소화와 녹색산업화가 원만히 결합될 경우 환경보호와 경제성장의 선순환 고리가 형성되어 지속성장이 가능하다는 것이 녹색성장의 기본개념이다.

나. 녹색기술 분류

국가 녹색기술의 연구개발 비전은 녹색기술 선진화를 통한 녹색강국 건설이며, 녹색 과학기술역량, 녹색 산업경쟁력, 환경지속성 등 3대 목표를 설정하여 녹색기술의 투자방향 및 발전전략을 수립하고 27대 중점 육성기술을 선정하였다³⁾.

국가과학기술위원회에서는 환경변화예측, 생산요소의 투입·산출, 산업경제 활동분야를 포함하여 국가적 중점육성기술, 각 부처별 녹색성장 관련 추진 기술 및 기술예측결과 등을 종합적으로 고려하되, 경제성장과 환경지속성에 직접적 영향을 미치는 영역으로 녹색기술을 설정하였다. 녹색기술 연구개발 영역은 예측기술, 에너지원 기술, 고효율화 기술, 사후처리 기술, 무공해 산업경제 활동 등 5개의 대분류, 16개의 중분류 및 42개의 소분류로 구분 된다³⁾.

국가의 녹색성장 목표를 기반으로 국방 분야는 탈석유시대 대비 지속적인 선진 양병 및 첨단 군사력 유지, 범국가차원의 녹색성장을 견인하는 녹색기술개발 등 2대 목표로 설정되었으며, 중점 추진가능 사업분야는 녹색에너지기반 병영운영/기술개발, 저탄소 미래에너지기반 무기체계플랫폼 개발, 에너지효율성 군사운용 및 양병체계개발, 녹색개념 극대화를 위한 도전적 신개념 무기개발 등 4대 분야가 도출되었다^{4,5)}.

3. 기술녹색도 평가모델

가. 녹색기술 연구개발사업 논리모형

논리모형은 기본적으로 투입과 산출 그리고 결과 사이의 상관관계와 인과관계를 연계하는 틀로서 사업의

구성요소 간의 관계를 보기 위한 것이다. Table 1은 논리모형의 구성요소와 사업평가와의 관계를 나타낸 것으로, 실제 평가는 이러한 연결고리의 관계를 자료를 통해 증명하는 작업이라 할 수 있다⁶⁾.

Table 1. 논리모형의 구성요소와 사업평가와의 관계

구분	단계		평가		
	기획/계획	집행	점검	결과	영향
구성요소	투입	활동	산출	결과	영향
	고객, 외부요인				
사업평가	사전평가	중간평가	사후평가	추적평가	

녹색 연구개발사업의 전주기에 대해 연구개발 단계별 성과를 측정하고 평가하기 위해서는 사업의 투입요소, 세부 활동, 목표, 산출물, 결과물, 파급효과 등을 분명하게 구분하고 이해할 수 있어야 한다. 따라서 연구개발 사업 논리모형은 어떻게 활동들이 의도한 산출결과들과 궁극적인 산출결과들의 사슬에 기여하는가를 이해하도록 하고, 연구개발 사업 등을 기획, 집행, 점검 및 평가하는 것을 도와주는 단순화된 모형으로 사업의 자원, 활동 및 산출결과 등과 이들 간을 연결시켜주는 인과적 가정들을 식별해 주는 기능을 한다. 사업의 성과평가는 이 논리모형의 구성요소인 평가지표들이 제대로 식별되고, 그들의 인과관계가 적절하게 설정되었다는 가정 하에 이루어진다.

사업목표 달성 여부를 점검하고 평가하기 위해서는 사업의 문제를 산출결과로 전환하는 과정을 거쳐야 한다. 산출결과는 단지 하나의 영역에 대한 개선을 나타낼 수 있도록 분해되어야 하며, 중간산출결과와 최종산출결과들은 장기적 산출결과와 인과적 관계를 가지도록 선택된다. 산출결과들을 점검하기 위해 필요한 핵심지표들을 개발하면 프로그램 목적이 달성되고 현안문제들이 해결되었는지 평가할 수 있도록 해준다. 그러므로 평가지표의 개발은 사업의 평가관리시스템을 발전시키는 데 가장 핵심적인 과정이다. Fig. 1은 녹색기술 연구개발사업의 산출결과의 흐름도이며, 이러한 산출결과를 측정할 수 있는 평가지표 개발이 기술녹색도 평가모델 개발의 출발점이라고 할 수 있다. 그러나 성과지표들을 결과 지향적 관리를 위한 점검과 평가에 활용하기 위해서는 성과들을 구성하는 구성요소들인 각 산출결과들에 대한 기준선이 설정되고

구체적인 목표값이 설정되어야 한다.

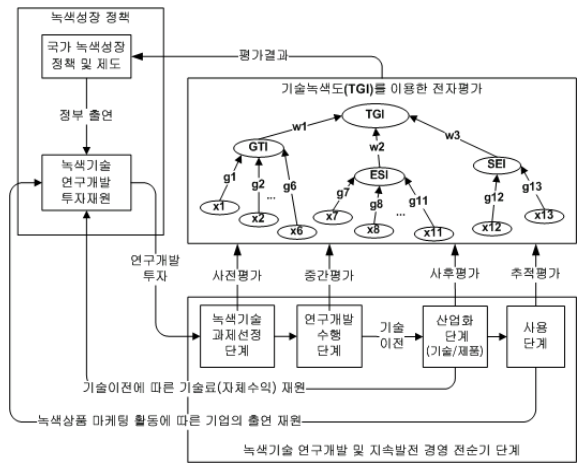


Fig. 1. 녹색기술 연구개발사업의 산출결과의 흐름도

나. 기술녹색도 평가항목 및 평가지표

삼성경제연구원에서 개발한 녹색경쟁력 지수는 저탄소화 지수, 녹색산업화 지수로 이루어진 11개 평가지표로 구성되어 있으며, 이를 이용하여 환경경영능력, 정책일관성, 환경정책의 효율성, 환경기술혁신 수준 등을 종합적으로 평가하여 국가경쟁력을 비교하였으며²⁾, 이 방법은 단위과제에 대한 평가와 정책 방향으로 지속적으로 정렬시키기 위한 수단이 없어 녹색기술 연구개발사업에 대한 평가 척도로 사용하기에는 적합하지 않다.

과학기술정책연구원에서는 지속가능 발전과 환경, 경제, 사회의 연관관계를 만들고 지속가능 발전에 기여하는 과학기술과 그 역량평가 지표를 제시하였으나⁷⁾ 지표에 대한 세부 산출식의 제시보다는 연구개발 투자 분야에 대한 언급으로 제한되어 있고 녹색기술에 대한 언급은 없어 녹색기술에 대한 객관적인 평가에는 부적합하다.

과학기술기본법에서도 연구개발 우선순위 선정, 연구개발 예산조정 및 배분, 연구개발 타당성 조사와 예산의 효율적 운영, 연구개발사업에 대한 조사·분석·평가 등에 관한 사항이 규정은 되어 있지만, 그 평가의 실효성에 대한 공감대 부족과 지속경영 차원에서 성공적 기술개발 및 상품화에 대한 추적평가가 미흡하고 특히 국가 정책 목적과의 연계성과 관련된 지속 관리가능한 평가지표의 부재 및 이를 효과적으로 평가하기 위한 평가 방법과 시스템이 개발되어 있

지 않은 문제점이 있다.

상기와 같이 국가 정책적으로 일자리 창출, 경제성장, 환경지속, 과학기술역량 강화를 통한 녹색성장 구현을 위해 녹색기술에 대한 연구개발 예산의 효율적 투자와 성공적인 기술 확보 및 과급효과의 극대화를 위해서도 국가 정책 방향에 부합하는 녹색기술 연구개발 사업을 선별하는 정량적 방법, 지속적이고 체계적인 관리를 통해 녹색기술에 대한 전주기 지식기반 평가 방법과 신속, 정확하고 객관적인 결과를 산출하기 위한 평가시스템의 개발이 필요하다.

이를 위해서 본 논문에서는 녹색기술 연구개발사업의 논리모형과 산출결과의 흐름도, 관련문헌 그리고 녹색기술 분야 전문가와의 인터뷰를 통해 기술녹색도 평가를 위해 3개의 평가항목과 13개의 평가지표를 도

출하였다. 기술녹색도는 녹색기술지수 평가항목과 경제전력지수 평가항목, 사회생태지수 평가항목으로 이루어진다. 녹색기술지수(GTI : Green Technology Subindex)는 과학기술역량 기여도를 평가하도록 탄소배출강도 등 6개의 평가지표로 구성되어 있고, 경제전력지수(ESI : Economic Benefit and Strategy Subindex)는 국방 및 경제성장 기여도를 평가하도록 국가 및 국방 녹색성장정책 연관성 등 5개의 평가지표로 구성되며, 사회생태지수(SEI : Social and Eco Subindex)는 환경지속성 기여도를 평가하도록 생태효율성, 지속발전 기여도 등 2개의 지표로 구성된다. 13개 지표 중 신재생에너지 전력생산수준 지표는 에너지관련 사업에만 국한하여 적용되는 개별지표이며 나머지 12개 지표는 모든 녹색기술 연구개발사업에 적용 가능한 공통지표이다.

평가지표별 측정기준은 Table 2로 요약하였다.

Table 2. 기술녹색도 평가지표별 측정기준

평가항목	평가지표	측정기준
녹색기술	탄소배출강도	총배출량, 탄소배출 저감규모, 년도별 저감율 등
	비탄소배출강도	총배출량, 비탄소배출 저감규모, 년도별 저감율 등
	신재생에너지 전력생산수준	신재생에너지 전력생산량 및 비율
	에너지 효율성	총에너지 소비량, 열에너지 효율, 출력밀도 등
	물질소비강도	투입된 물질의 소비량
	녹색기술 성숙수준	선진국 대비 현재 기술수준 및 격차, 기술준비도
경제전력	녹색성장정책 연관성	23개 설문항목(5점 척도)
	녹색시장 경쟁력	환경비용, 2개 설문항목(5점 척도)
	고용창출효과	10억원당 20.5명인 고용유발계수 적용
	부가가치창출효과	신기술의 부가가치
	경제성장/전력 증대효과	GDP 기여도, 전력증대효과, 예산절감효과
사회생태	생태효율성	기술가치/CO ₂ 배출량, 기술가치/에너지소비량 등
	지속발전기여도	6개 설문항목(5점 척도)

1) 녹색기술지수

녹색기술지수 평가항목은 과학기술역량 기여도를 평가하도록 구성된 것이 그 특징이며 환경영향을 판단하기 위한 탄소배출강도 및 비탄소 배출강도, 신에너지(연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지)와 재생에너지(태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열) 즉 신·재생에너지(그린에너지) 수준을 나타내기 위한 신·재생에너지 전력생산수준, 전력 혹은 동력 등의 에너지 중에 최소 한 개 이상으로 이루어진 에너지 효율성, 물질 투입을 고려한 물질소비강도, 녹색기술 성숙수준 등 6개의 평가지표로 구성되며 평가지표별 일반적인 정의는 다음과 같다.

탄소배출강도는 녹색기술과 녹색상품이 환경에 미치는 영향을 판단하기 위한 평가기준으로 적용 체계 및 임무 요구조건을 고려하여 탄소 총배출량, 탄소배출 저감율, 에너지 사용량에 따른 탄소배출량의 비율 등을 산정하기 위한 평가지표이다. 탄소배출량은 장비 1대에 대해 연간 임무를 위해 가동되는 시간을 산출하고 가동시간을 고려 탄소배출량을 산출한다. 탄소배출감소량은 기존 기술대비 목표수준/개발기간 또는 선진국대비 목표수준 × 기간격차(년)으로 산출한다. 탄소배출저감율은 기존기술대비 저감율/개발기간, 선진국대비 목표수준 × 기간격차(년), 목표수준이 동등할 경우 기간 격차를 고려하여 산정한다.

비탄소배출강도는 비탄소 및 오염물질의 총배출량, 비탄소배출 저감율 및 에너지 사용량에 대한 비탄소 배출량을 산정하기 위한 평가지표이며 탄소배출량과

동일한 방식으로 산정한다.

신재생 에너지 전력생산수준은 태양광 등 신재생에너지의 전력생산량과 총에너지 중 신재생에너지의 비율 등으로 산정한다. 실측 데이터의 확보가 불가능한 경우 체계운용 시 추진동력 대비 신재생에너지의 전력생산 비율을 선진국 수준 대비 목표수준으로 산출할 수 있다.

에너지 효율성은 차량의 연비 및 연료전지의 경우 효율과 같은 열에너지 효율성, 부가가치 기준으로 환산한 에너지 소비량 및 에너지 생산량, 에너지 효율화 기술 채택건수, 에너지 밀도 및 출력 밀도 등을 측정하기 위한 평가지표이다. 에너지 및 출력 밀도의 경우 국내 기준자료의 확보가 불가능한 경우에는 기존 기술대비 목표수준/개발기간 또는 선진국대비 목표수준 × 기간격차(년)으로 산정할 수 있다.

물질소비강도는 에너지 생산을 위해 투입된 물질의 소비량과 탄소포집, 환경개선, 폐기물 처리 등 투입물질의 소비량을 측정하기 위한 평가지표이다. 예를 들어 에너지 생산을 위해 소비된 신재생에너지의 주연료인 수소, 산소의 소비량, 1kWh 생산시 소요 물질량과 1km 주행시 연료소비량이며 탄소포집의 경우 탄소 1kg 포집을 위한 물질의 소비량이다. 연료전지로 추진하는 잠수함의 경우 1kWh 에너지 발생에 필요한 수소와 산소의 투입량이 물질소비강도이다.

녹색기술 성숙수준은 선진국 대비 국내외 기술수준, 연구개발을 통해 목표 달성시 도달 가능한 기술수준, 국내의 현재 및 개발완료시 기술준비수준을 측정하기 위한 평가지표를 말한다.

2) 경제전력지수

경제전력지수 평가항목은 경제성장 기여도를 평가하도록 구성된 것이 그 특징이며 국가 및 국방 녹색성장정책과 연관성, 녹색시장 경쟁력, 고용창출효과, 부가가치 창출효과, 경제성장 및 전력증대 효과, 등 5개 평가지표로 구성되며 평가지표별 일반적인 정의는 아래와 같다.

국가 및 국방 녹색성장정책 연관성은 국가 녹색발전/목표와의 연계성, 녹색기술 발전과 연계성, 국방녹색기술과의 연계성 등에 대해 전문가를 통한 설문조사 결과와 국가 및 국방 분야 녹색기술 채택건수를 산정하기 위한 평가지표이다.

녹색시장 경쟁력은 에너지 발전단가 및 제조단가, 탄소 및 비탄소 환경처리 비용을 고려한 kWh당 발전

단가 및 제조단가, 개발 완료 후 상품화시 국내외 시장진입 용이성 및 수출가능성에 대해 전문가를 통한 설문조사 결과 등을 산정하기 위한 평가지표이다.

고용창출효과는 고용유발계수를 이용하여 연구개발 투자에 따라 창출되는 고용인원 수를 측정하기 위한 평가지표이다.

부가가치 창출효과는 녹색기술의 기술이전 등 기술과급효과를 측정하기 위한 평가지표이다.

경제성장/전력증대 효과는 경제성장 기여도와 성능 개선에 의한 국방전력증대 효과로 이루어진다. 경제성장기여도는 연구개발투자비 대비 GDP기여도로 산출하며 전력증대효과는 연구개발투자비 대비 전력증강 효과 또는 예산절감효과로 측정한다.

3) 사회생태지수

사회생태지수 평가항목은 환경지속성 기여도를 평가하도록 구성된 것이 그 특징이며 환경영향과 녹색기술 및 그 제품의 가치를 고려한 생태효율성과 지속발전기여도 등 2개의 평가지표로 구성된다.

생태효율성은 환경영향과 녹색기술 및 그 제품의 가치를 고려한 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 자원 사용을 위한 것으로 경제적 산출가치/환경비용으로 산출할 수 있으며, 예를 들어 기술가치 또는 제품가치 획득을 위해 배출되는 CO₂량, 소비되는 에너지량 혹은 물질량 등과 환경자원 사용의 효율성에 대해 설문조사로 측정되는 평가지표이다.

지속발전기여도는 환경통제 과학기술 역량, 삶의 질, 생태 청정도 등에 대해 전문가를 통한 설문조사로 측정되는 평가지표이다.

다. 평가항목 및 평가지표의 가중치

위에서 제시된 3개 평가항목과 13개 평가지표가 선정된 후 사업/과제별 기술녹색도 즉, 평가점수를 산정하기 위해서는 평가항목과 평가지표간 가중치를 결정해야 한다.

이를 위해서 기술녹색도 평가항목과 평가지표가 포함된 분석적 계층화 과정(AHP) 설문을 작성하여 국방과학연구소 녹색기술 연구기획 TFT와 현재 녹색과제를 수행 혹은 수행할 계획을 갖고 있는 연구원 55명에게 위에서 기술한 5개 녹색기술분야와 4단계로 구분된 평가단계 각각에 대하여 3개 평가항목과 13개의 평가지표에 대해 492개의 항목에 대한 쌍대비교를 통한 상대적 중요성을 평가하도록 질문 하였다. 설문조

사결과 55명중 19명이 응답하여 응답률은 34.5%로 나타났다으며 19개의 설문결과 모두 계층화 과정 분석시 일관성 비율(Consistency Ratio)의 최소치 0.1를 만족하는 것으로 분석되었다¹⁸⁾.

분석적 계층화 과정 소프트웨어를 사용한 결과 평가단계 및 녹색기술분야에 따른 3개 평가항목간 가중치는 Table 3에, 3개 평가항목내 평가지표간의 가중치는 Table 4에 제시되어 있다.

평가단계 및 녹색기술 분야에 따른 평가항목간의 가중치를 비교하여 보면 녹색기술지수의 상대적 중요도가 모든 평가단계와 5개 녹색기술 분야에 걸쳐 대체적으로 높은 것으로 나타났으며, 이는 녹색기술의 특성 및 정의와 관련성이 높은 것에 기인한 것으로 판단된다. Table 3에서 평균은 평가대상 과제수 제한으로 녹색기술 분야별 평가가 불가능할 경우 적용할 수 있는 가중치를 의미한다.

위와 같이 계층화분석법(AHP)을 이용하여 평가단계별로 가중치를 구할 수도 있으나, 연구개발 단계(연구 혹은 개발)내에서도 기술성숙도 차이가 많아 평가의 신뢰성이 저하될 가능성이 상존하므로 보다 객관적이고 정량화된 단계개념인 기술성숙도(Technology Readiness Level)¹⁹⁾에 따라 가중치를 산출하는 개념을 적용할 수도 있다. 평가단계 기준과 더불어 기술성숙도를 기준으로 동시에 고려한 평가항목간의 가중치를 도출하는 것은 향후 과제로 남겨두고자 한다.

Table 3. 평가항목간의 가중치

평가 단계	평가항목	예측 기술	에너지 지원	고효율화	사후 처리	무공해	평균
사전	녹색기술	0.650	0.701	0.738	0.323	0.281	0.539
	경제전력	0.223	0.097	0.170	0.110	0.135	0.147
	생태환경	0.127	0.202	0.092	0.567	0.584	0.314
중간	녹색기술	0.584	0.449	0.659	0.701	0.281	0.535
	경제전력	0.281	0.369	0.185	0.097	0.135	0.213
	생태환경	0.135	0.182	0.156	0.202	0.584	0.252
사후	녹색기술	0.334	0.200	0.330	0.281	0.650	0.359
	경제전력	0.333	0.200	0.392	0.135	0.223	0.257
	생태환경	0.333	0.600	0.278	0.584	0.127	0.384
추적	녹색기술	0.460	0.650	0.659	0.258	0.637	0.533
	경제전력	0.319	0.127	0.185	0.105	0.105	0.168
	생태환경	0.221	0.223	0.156	0.637	0.258	0.299

Table 4. 평가지표간의 가중치

단계	평가항목	평가지표	예측 기술	에너지 지원	고효율화	사후 처리	무공해	평균
사전	녹색기술	탄소배출강도	0.000	0.158	0.274	0.192	0.139	0.153
		비탄소배출강도	0.000	0.056	0.066	0.170	0.132	0.085
		신재생에너지	0.000	0.369	0.226	0.000	0.000	0.119
		에너지 효율성	0.573	0.233	0.256	0.279	0.317	0.332
		물질소비강도	0.305	0.058	0.096	0.158	0.114	0.146
	경제전력	녹색기술성숙	0.122	0.126	0.081	0.201	0.299	0.166
		국방녹색성장정책	0.395	0.052	0.182	0.273	0.148	0.210
		녹색시장 경쟁력	0.260	0.320	0.188	0.209	0.267	0.249
		고용창출효과	0.117	0.196	0.206	0.055	0.119	0.139
		부가가치창출효과	0.085	0.155	0.182	0.173	0.237	0.166
	사회생태	경제성장/전력증대	0.143	0.278	0.241	0.291	0.230	0.237
		생태효율성	0.748	0.748	0.870	0.750	0.250	0.673
중간	녹색기술	지속발전기여도	0.252	0.252	0.130	0.250	0.750	0.327
		탄소배출강도	0.000	0.158	0.390	0.197	0.125	0.174
		비탄소배출강도	0.000	0.056	0.079	0.178	0.377	0.138
		신재생에너지	0.000	0.370	0.208	0.000	0.000	0.116
		에너지 효율성	0.584	0.234	0.153	0.180	0.192	0.269
	경제전력	물질소비강도	0.281	0.058	0.083	0.223	0.110	0.151
		녹색기술성숙	0.135	0.125	0.086	0.223	0.196	0.153
		국방녹색성장정책	0.288	0.209	0.141	0.392	0.200	0.246
		녹색시장 경쟁력	0.278	0.285	0.238	0.175	0.126	0.220
		고용창출효과	0.075	0.098	0.157	0.072	0.148	0.110
	사회생태	부가가치창출효과	0.103	0.092	0.243	0.134	0.348	0.184
		경제성장/전력증대	0.256	0.317	0.222	0.227	0.178	0.240
사후	녹색기술	생태효율성	0.748	0.253	0.750	0.876	0.250	0.575
		탄소배출강도	0.000	0.150	0.388	0.103	0.075	0.143
		비탄소배출강도	0.000	0.065	0.079	0.317	0.208	0.134
		신재생에너지	0.000	0.395	0.209	0.000	0.000	0.121
		에너지 효율성	0.593	0.225	0.155	0.281	0.305	0.312
	경제전력	물질소비강도	0.156	0.055	0.085	0.117	0.089	0.100
		녹색기술성숙	0.251	0.110	0.085	0.181	0.323	0.190
		국방녹색성장정책	0.396	0.040	0.061	0.126	0.072	0.139
		녹색시장 경쟁력	0.258	0.220	0.171	0.252	0.170	0.214
		고용창출효과	0.117	0.295	0.107	0.126	0.112	0.151
	사회생태	부가가치창출효과	0.084	0.225	0.344	0.119	0.327	0.220
		경제성장/전력증대	0.144	0.220	0.316	0.378	0.318	0.275
추적	녹색기술	생태효율성	0.249	0.250	0.248	0.750	0.252	0.350
		탄소배출강도	0.000	0.163	0.222	0.163	0.182	0.146
		비탄소배출강도	0.000	0.097	0.065	0.205	0.141	0.102
		신재생에너지	0.000	0.362	0.228	0.000	0.000	0.118
		에너지 효율성	0.646	0.198	0.258	0.279	0.237	0.324
	경제전력	물질소비강도	0.241	0.077	0.162	0.186	0.154	0.164
		녹색기술성숙	0.113	0.103	0.065	0.167	0.286	0.147
		국방녹색성장정책	0.053	0.008	0.054	0.067	0.076	0.052
		녹색시장 경쟁력	0.144	0.307	0.227	0.410	0.171	0.252
		고용창출효과	0.307	0.299	0.211	0.133	0.114	0.213
	사회생태	부가가치창출효과	0.276	0.228	0.254	0.181	0.314	0.250
		경제성장/전력증대	0.219	0.157	0.254	0.210	0.324	0.233
사회생태	생태효율성	0.751	0.749	0.250	0.750	0.252	0.550	
	지속발전기여도	0.249	0.251	0.750	0.250	0.748	0.450	

라. 평가방법

1) 평가지표별 평가방법

Table 3에서 제시된 기술녹색도 평가지표별 측정기준과 평가지표별 특성에 따라 정량자료는 최대치와 최소치를 고려한 평점법으로 평가하며, 설문자료는 5점 척도에 의해 전문가가 평가한 점수를 설문 항목별로 계산하여 평가한다.

정량자료가 있는 평가지표인 경우는 측정결과가 특정 수치로 나타나는 것으로 녹색기술 분야내 비교대상이 되는 과제가 최소한 2개 이상 있어야만 평가가 이루어 질 수 있다. 여기에는 크게 2가지 방법을 고려할 수 있다. 첫째, 비교대상이 되는 과제들의 해당 평가지표의 측정결과치 중 최대치 혹은 최소치를 기준으로 하여 해당과제의 평가지표에 대한 평가점수를 부여하는 것으로 다음과 같다.

만약 특정 평가지표의 측정결과치가 크면 클수록 좋은 경우는

$$X_i = (M_{ij} / M_{imax}) \times 100$$

여기서 X_i 는 i 번째 평가지표에 대한 평가점수이며, M_{ij} 는 i 번째 평가지표에 대한 j 번째 과제의 측정값, M_{imax} 는 i 번째 평가지표에 대한 평가과제의 측정값 가운데 최대값이다.

만약 특정 평가지표의 측정결과치가 작으면 작을수록 좋은 경우는

$$X_i = (M_{imin} / M_{ij}) \times 100$$

여기서 X_i 는 i 번째 평가지표에 대한 평가점수이며, M_{imin} 는 i 번째 평가지표에 대한 평가과제의 측정값 가운데 최소값이고 M_{ij} 는 i 번째 평가지표에 대한 j 번째 과제의 측정값이다.

둘째, 비교대상이 되는 과제들의 해당 평가지표의 측정치가 크면 클수록 좋을 경우는 최대치를 갖는 과제의 평가지표에 100점을 부여하고 최소치인 경우는 60점을 부여하며, 반대로 평가지표의 측정치가 작으면 작을수록 좋을 경우는 최소치를 갖는 과제의 평가지표에 100점을 부여하고 최대치인 경우는 60점을 부여하는 방법으로 다음과 같다.

$$X_i = 100 - 40 \times (rank(ij) - 1) / (n - 1)$$

여기서 X_i 는 i 번째 평가지표에 대한 평가점수이고, $rank(ij)$ 는 i 번째 평가지표에서 j 번째 측정기준의 측정값 크기에 따른 순위이며, n 은 비교대상이 되는 과제의 개수이다.

평가지표의 측정방법이 설문서를 통하여 이루어지는 경우 설문항목별 5점을 기준으로 하여 응답된 결과의 획득비율을 100점을 기준으로 환산하여 평가점수를 부여한다.

지금까지 기술한 평가지표별 평가방법을 요약하면 아래 Table 5와 같다.

Table 5. 평가지표별 평가방법

평가항목	평가지표	평가방법
녹색기술 지수 (GTI)	탄소배출강도(x_1)	정량평가
	비탄소배출강도(x_2)	정량평가
	신재생에너지 전력생산수준(x_3)	정량평가
	에너지 효율성(x_4)	정량평가
	물질소비강도(x_5)	정량평가
	녹색기술 성숙수준(x_6)	전문가평가(설문서)
경제전력 지수 (ESI)	녹색성장정책 연관성(x_7)	전문가평가(설문서)
	녹색시장 경쟁력(x_8)	정량평가/설문서
	고용창출효과(x_9)	정량평가
	부가가치창출효과(x_{10})	정량평가
	경제성장/전력증대효과(x_{11})	정량평가
사회생태 지수 (SEI)	생태효율성(x_{12})	정량평가, 전문가평가(설문서)
	지속발전기여도(x_{13})	전문가평가(설문서)

2) 종합 평가방법

‘1)항’의 평가지표별 평가방법에 의해 평가된 평가점수를 ‘다항’의 평가지표별 가중치를 평가단계 및 녹색기술 분야를 고려하여 적용함으로써 사업/과제별 종합 평가점수를 산정할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\text{녹색기술지수 GTI} = \sum_{n=1}^6 g_n X_n$$

$$\text{경제전력지수 ESI} = \sum_{n=7}^{11} g_n X_n$$

$$\text{사회생태지수 SEI} = \sum_{n=12}^{13} g_n X_n$$

$$\text{기술녹색도 TGI} = w_1 GTI + w_2 ESI + w_3 SEI$$

여기서 X_n , g_n 은 평가지표의 점수 및 가중치이며, w_n 은 평가항목의 가중치이다.

4. 적용사례

가. 적용대상 사업

시범적용을 위해 국가 녹색기술 연구개발 분야별로 1개 이상을 포함할 수 있도록 하여 4개 영역에 5개 국방 녹색사업을 아래 Table 6과 같이 선정하여 사전 평가를 통한 우선순위 설정을 목표로 제안한 평가모델의 적용타당성을 검토하였다.

Table 6. 시범적용 대상사업

국가 녹색기술 분야	사업명
에너지원기술	A : 바이오연료
	B : 연료전지
고효율화기술	C : 하이브리드 차량
사후처리기술	D : 폐탄약 물질변환
무공해 산업경제	E : 전투실험

나. 평가지표 측정방법 및 평가방법

제안된 평가모델에 포함된 13개의 평가지표중 시범 적용에서는 자료획득이 곤란한 신재생에너지 전력생산수준(x_3), 물질소비강도(x_5), 부가가치창출효과(x_{10}) 등 3개 평가지표를 제외한 10개에 대하여 아래 Table 7과 같은 측정방법 및 평가방법을 적용하여 평가를 수행하였다.

다. 적용결과

평가항목 및 평가지표별 가중치와 ‘나항’의 평가지표별 측정방법 및 평가방법을 시범적용 대상 사업 5개에 적용한 결과는 아래 Table 8과 같다.

Table 8을 살펴보면 B사업이 기술녹색도 종합평점이 가장 높으며, 이는 국방/경제성장효과가 높으며, 탄소를 배출하지 않아 환경지속성이 높은 것으로 해석된다.

Table 7. 측정방법 및 평가방법

평가항목	평가지표	측정방법	평가방법
녹색기술	탄소배출강도	탄소배출 저감규모 및 년도별 저감율	상대평가, 평점법
	비탄소배출강도	비탄소배출 저감규모 및 년도별 저감율	상대평가, 평점법
	에너지 효율성	개발 목표수준과 선진국 수준(100) 비교분석	절대평가
	녹색기술 성숙수준	선진국 기술수준(100) 대비 현재 보유기술간의 격차와 현재 기술준비도(TRL)를 고려하여 산출	상대평가, 평점법
경제전력	녹색성장정책 연관성	23개 설문항목(5점 척도)	전문가 평가
	녹색시장 경쟁력	2개 설문항목(5점 척도)	전문가 평가
	고용창출효과	10억원당 20.5명인 고용유발 계수 적용	상대평가, 평점법
	경제성장/전력증대효과	투자비 1억원당 GDP 증가 1.5941억원 적용 및 탄소배출량 저감 규모를 톤당 3만 원을 적용, 화폐가치로 전환	상대평가, 평점법
사회생태	생태효율성	2개 설문항목(5점 척도)	전문가 평가
	지속발전기여도	6개 설문항목(5점 척도)	전문가 평가

※ 평점법: 100-40*(순위-1)/(과제수-1)

Table 8. 시범적용 대상사업 사전 평가결과

항목 (가중치)	평가지표 (가중치)	A	B	C	D	E
녹색기술지수 (0.539)	탄소배출강도(0.208)	70	80	75	75	100
	비탄소배출강도(0.115)	65	85	75	75	100
	에너지 효율성(0.451)	100	100	92	100	100
	녹색기술성숙수준(0.226)	75	85	75	100	80
	평점	84.1	90.7	82.7	91.9	95.5
경제전력지수 (0.147)	녹색성장정책 연관성 (0.252)	73	95	89	60	79
	녹색시장 경쟁력(0.298)	90	100	90	70	70
	고용창출효과(0.166)	80	100	90	60	70
	경제성장/전력증대효과(0.284)	70	85	90	70	85
	평점	78.4	94.5	89.7	65.8	76.5
사회생태지수 (0.314)	생태효율성(0.673)	70	90	90	100	80
	지속발전기여도(0.327)	80	93	97	83	67
	평점	73.3	91.0	92.3	94.4	75.7
종합 평점		79.8	91.4	86.7	88.9	86.5
순위		5(5)	1(1)	3(2)	2(4)	4(3)

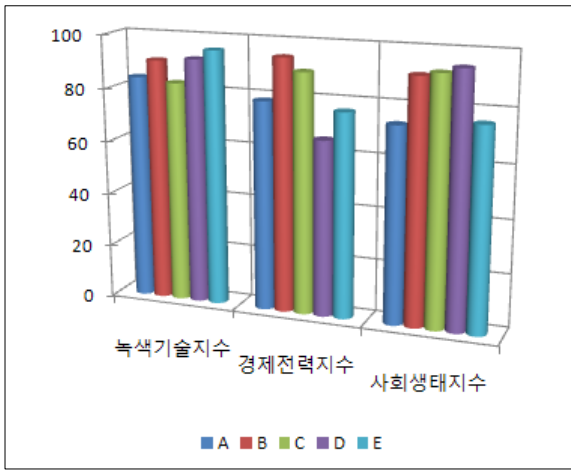


Fig. 2. 사업별 평가항목별 평가결과

평가항목별 평가결과(Fig. 2)를 보면 녹색기술지수는 E사업이 가장 우수하며, IT기술인 전문실험은 실제 훈련시 소요되는 자원이 많아 이를 실험으로 대체하는 기술이므로 에너지절감, 탄소/비탄소 배출저감이 높아 녹색기술경쟁력이 높은 것으로 해석된다. 경제전력지수는 B사업이 가장 우수하며, 현재 실험시제 적용 등 기술성숙도 및 예산투입이 타사업에 비해 높고 정책 방향 및 전력기여가 상대적으로 크므로 전력/산업경쟁력이 높은 것으로 해석된다. 사회생태지수는 C사업이 가장 우수하게 분석되었으며 이는 민간분야 적용성이 우수하여 지속발전가능성이 크므로 사회 환경지속성이 높은 것으로 해석된다.

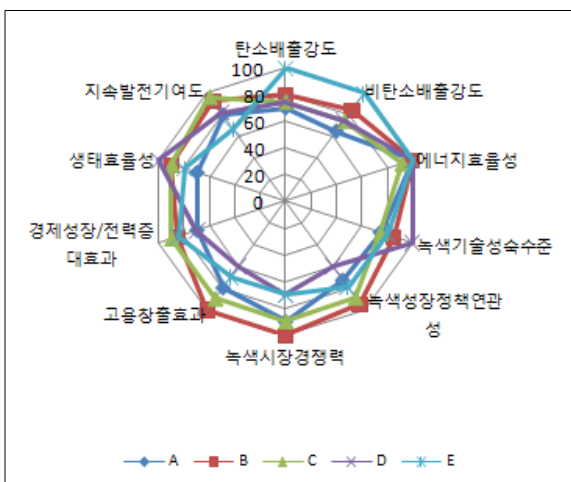


Fig. 3. 사업별 평가지표별 평가결과

평가지표별 평가결과(Fig. 3)는 보면 E사업이 탄소/비탄소배출강도, 에너지 효율성 측면에서 가장 우수하며, B사업이 고용창출효과, 녹색시장 경쟁력, 녹색성장정책과의 연관성 측면에서 가장 우수하게 나타났다.

라. 녹색성장 포트폴리오 분석

경영, 행정 등에서 다양하게 사용되는 포트폴리오 (Portfolio)의 핵심개념은 어떠한 요소들이 어떠한 비중으로 전체 구성을 이루는지에 대한 구성형태이다. 국가연구개발사업 포트폴리오란 전체 국가연구개발 활동에서 다양한 국가연구개발사업 및 과제들이 유형별로 어떠한 비중을 차지하고 있는가를 의미한다. 최근 연구개발예산의 자원배분을 통한 투자효율성 제고를 위해 국가 연구개발사업에 대한 투자방향 및 우선순위 설정에 대한 요구가 증대하고 있다. 주요 선진국들은 국가연구개발 중점투자방향을 설정하여 전략과 계획에 따른 투자를 실천함으로써 과학기술경쟁력을 지속적으로 향상시키고 있다.

제안된 기술녹색도 평가항목 및 평가지표를 활용하여 녹색기술 연구개발사업의 녹색성장 기여도 분석을 제시하고자 한다. 녹색성장의 양대 축인 경제성장기여도와 녹색효과도를 고려한 포트폴리오 분석을 통해 사업별 투자방향을 설정할 수 있다. 경제성장기여도는 GDP 기여도 및 녹색시장 경쟁력 평가결과 등 ‘경제전력지수’ 평가결과를 적용하고 녹색효과도는 녹색기술지수와 ‘사회생태지수’의 평가결과를 적용한 것이다.

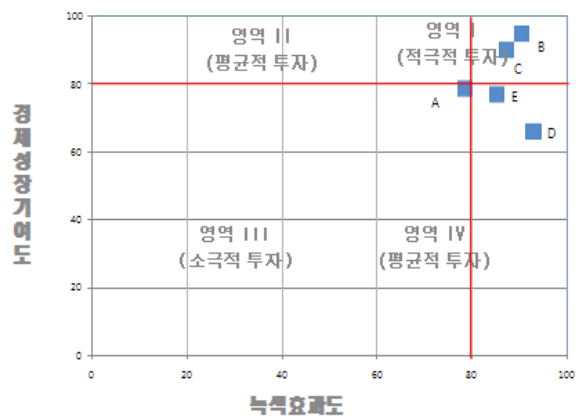


Fig. 4. 녹색성장 포트폴리오 분석

포트폴리오 분석 결과(Fig. 4), D사업과 E사업(영역 IV) 2개 과제는 녹색효과도는 높으나 경제성장기여도

가 상대적으로 낮아 선택적 성장동력화를 추진하고 평균적 투자가 적절한 것으로 분석된다. A사업(영역 III)은 장기지속개발이 필요하므로 소극적 투자를 하고, B, C사업은(영역 I)은 단기집중개발 및 성장동력화로 적극적 투자가 적절한 것으로 분석된다. 한편 기술경쟁력과 환경지속성 등 다른 포트폴리오 분석을 통해 지속발전, 경쟁력방안 도출 등 연구개발 추진전략을 설정하는 데 적용 가능하다.

제안된 기술녹색도 지수는 녹색성장관련 단위사업/과제 선정시 우선순위 설정결정에 활용(사전평가)할 수 있으며, 과정평가와 사후평가에 적용하여 사업의 중간성과 및 사후성과를 확인하고 녹색효과도(기술/환경적효과) 및 성장효과도(경제적효과) 등 관련 지표를 적절히 조합하여 연구개발 추진전략 수립에 활용 가능하다.

5. 결론

본 연구에서는 녹색과제에 대한 기술녹색도 평가를 위해 녹색기술지수, 경제전력지수, 사회생태지수 등 3개 평가항목과 탄소배출강도, 녹색시장 경쟁력, 생태효율성 등 13개 평가지표로 구성된 기술녹색도 평가모형을 개발하여 국방분야 5개 녹색과제에 시범적용한 결과 개발된 평가모형의 적용성 및 타당성을 확인하였다. 또한 개발된 모형이 연구개발 전순기와 5개 녹색기술 분야에 선택적으로 적용가능토록 평가항목 및 평가지표에 대한 차별화된 가중치를 492개 항목으로 구성된 분석적 계층화 과정(AHP) 설문분석을 통해 제시하였다.

개발된 모형을 이용하여 평가된 결과는 녹색성장 관련 단위 사업/과제 선정시 우선순위 결정, 연구개발 전순기별 성과 확인, 녹색효과도 및 경제성장기여도를 고려한 연구개발 투자전략 수립을 위한 포트폴리오 분석에 활용 될 수 있다.

향후 평가의 신뢰도 제고를 위하여 기술준비수준(Technology Readiness Level)에 의한 가중치 재설정, 평가지표의 세부 기준 및 측정방법 구체화 후 본 평가모형은 연구개발 전주기에 걸쳐 국가 녹색기술 연구개발사업 평가에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 평가결과의 타당성, 신뢰성 및 활용성을 향상시키기 위해서는 연구개발자가 제시하는 측정치 및 계산치의 검증이 요구됨으로 지속적인 평가자료 DB 구축이 필요하며, 평가의 편리성을 위해 전자평가방법 등 정보화 개발이 추가되면 국방 및 국가 녹색성장관련 평가체계 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

Reference

- [1] 저탄소 녹색성장과 녹색기술 개발, Issues & Policy 2008-07, 과학기술정책연구원, 2008. 12.
- [2] 이지훈외 3명, “녹색성장시대의 도래”, CEO Information 제675호, 삼성경제연구소, 2008. 10. 8.
- [3] 녹색기술 연구개발 종합대책(안), 국가과학기술위원회, 2009. 1. 13.
- [4] 국방녹색성장 기술개발, 국방과학연구소, 2009. 3.
- [5] 박창규, “저탄소미래에너지기반 녹색국방연구개발”, 국방분야 녹색성장 심포지엄 발표집, 국방부/국방과학연구소, 2008. 12.
- [6] 이용준, “공공부문 사업평가”, 국회예산정책처, 2005. 12.
- [7] 장진규, “저탄소 녹색성장 실현을 위한 녹색기술 연구개발전략”, 녹색성장 심포지엄 발표집, 과학기술정책연구원, 2008. 11. 6.
- [8] Satty, T. L., “The Analytic Hierarchy Process: Planning Priority Setting, Resource Allocation”, McGraw Hill, 1980.
- [9] 변수정, 류영진, 김광록, “연구개발을 위한 TRL/TRA 연구”, 국방과학연구소, EVAD-415-061087, 2006. 9.