

델파이 기법을 활용한 국가 온실가스 감축기술 선택 지표 연구

김기만^{1*}, 강문정¹, 김형주²

¹녹색기술센터 국제전략부 선임연구원, ²녹색기술센터 정책연구부 부장

Development of Indicators for the National GHG Reduction Technology Selection Based on Delphi Method

Kiman Kim^{1*}, Moon Jung Kang¹, Hyung-ju Kim²

¹Division of Global Strategy Senior Researcher, Green Technology Center

²Division of Policy Research Director, Green Technology Center

요 약 국가 온실가스 감축수단의 확보를 위해 전략적으로 감축기술을 선택하는 것은 매우 중요한 문제이다. 특히, 공공의 기술선택은 다양한 요인들을 고려하는 포괄적인 접근의 필요성이 강조된다. 그러나 지금까지의 논의들은 기술적, 경제적 요인에 중심을 두고 기술선택을 다루고 있으며, 일관된 선택 기준이 적용되지 않고 있다. 본 연구는 국가 온실가스 감축기술을 선택하기 위한 지표를 개발하고자 전문가 22인을 대상으로 델파이 기법을 사용하였다. 이를 통해 타당성이 확보된 국가 온실가스 감축기술 선택 지표를 개발하였으며, 기술, 경제, 환경, 정책, 사회의 관점을 종합적으로 반영하는 것에 대한 적절성을 확인하였다. 상용화기술은 5개 항목의 16개 지표, 신기술은 5개 항목의 18개 지표로 구성되었다. 본 연구를 통해 제시된 기술선택 지표는 국가 온실가스 감축기술 선택을 위한 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것이며, 국가 온실가스 감축기술의 적용과 확보에 관한 판단기준 연구에 토대를 제공할 것으로 기대한다.

주제어 : 국가 온실가스 감축, 감축 이행, 공공의 기술선택, 델파이 기법, 기술선택 기준

Abstract A strategic technology selection for GHG reduction is crucial to secure mitigation means. Especially, a technology selection for a public sector is encouraged to consider integrated perspectives due to various stakeholders under public goals. However, previous studies have mainly focused on technological and economic factors, moreover, consistent criteria have not been applied. This study develops indicators for the GHG reduction technology selection from the public perspective based on delphi method with 22 experts. The result provides valid indicators of technology selection for GHG reduction considering an aspect of technology, economics, environment, policy, society. Specifically, 16 indicators from 5 categories on commercialized technology, and 18 indicators from 5 categories on new technology. We expect that those indicators are useful for a decision-making tool of technology selection. Moreover, provide the basis for the study of judgement criteria to evaluate GHG reduction technology.

Key Words : National GHG Reduction, Reduction Implementation, Public Technology Selection, Delphi, Technology Selection Criteria

* This study was supported by Green Technology Center (Project No. R17113).

* Corresponding Author : Kiman Kim(kman0713@gmail.com)

Received July 17, 2018

Revised September 12, 2018

Accepted October 20, 2018

Published October 28, 2018

1. 서론

2015년에 체결된 유엔기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change) 당사국 총회에서 범국가적인 합의로 채택된 신기후체제 합의문은 국제사회가 공동으로 지구온난화에 대한 방지 노력에 동참하는 것을 의미한다. 신기후체제는 2020년 이후 선진국, 개도국에 대한 구분 없이 모든 국가들이 온실가스 감축에 참여하는 국제적 기후변화 대응 체제이다[1]. 신기후체제 합의 이후 당사국의 온실가스 감축을 실현하기 위한 실제적인 이행의 중요성이 강조되고 있으며, 이와 관련한 제도적 수립, 재정 방안, 기술에 대한 관점에서 논의가 이루어지고 있다[2-4]. 온실가스 감축 이행에 있어 국가적으로 중요한 수단으로서 인식되는 것이 기술에 대한 접근이다[5].

대부분의 감축행동은 신기술과 활용 가능한 기술에 대한 접근을 포함하며, 감축수단으로서 과학기술에 대한 정보와 지식을 확보하는 것이 중요하다[6-8]. 우리나라의 경우 2016년 관계부처 합동으로 마련한 ‘제1차 기후변화 대응 기본계획’을 통해 감축부문별 목표와 이의 달성을 위한 활용 기술들을 제시하였으며, 새로운 감축수단을 발굴하거나 기존에 활용되고 있는 감축수단의 효과를 높이는 것에 주목하고 있다.

온실가스 감축 기술에 대한 접근에 있어 중요한 문제는 ‘어떻게 기술을 선택할 것인가’에 대한 것이다[9,10]. 국가 온실가스 감축을 위해 적용되는 기술은 기술수준의 향상, 신기술의 창출 등으로 인해 시간의 경과에 따라 변화가능하다[11-13]. 또한, 국가 온실가스 감축목표는 중기(2020년), 장기(2030년) 측면에서 다루어지며[14-16], 이에 국가 전략적 측면에서 기술선택은 단기적으로 상용화 기술 적용, 중장기적으로 신기술 확보 등 기술 수준을 고려한 차별적인 접근이 필요하다. 결국 국가 온실가스 감축 이행에 있어 기술을 시의 적절하게 선택해 나가는 것은 국가 전략적인 측면에서 중요한 의미를 가지며, 특히 기술의 실제적 적용에 대한 장애요인을 극복하기 위해 합리적인 기준을 확립하고 이에 기반한 평가가 이루어져야 한다[17].

기술선택에 대한 연구는 꾸준히 이루어지고 있으나, 많은 경우 비즈니스 전략에 대한 민간 부문의 기업 관리 측면에서 진행되고 있다[18-23]. 온실가스 감축과 관련한 공공 부문의 기술선택에 대한 연구 역시 이루어지고 있

지만 브레인스토밍, 전문가 인터뷰 등을 통해 기준을 설정하고 대안평가에 중점을 두고 있어[24-27], 기술선택을 위해 활용될 수 있는 기준 개발에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 이러한 상황에서 과학적인 방법론에 의한 기술선택 판단 척도를 확립하는 연구에 관심을 기울일 필요가 있다[28,29]. 기존의 연구에서 고려된 기준들을 선별적으로 적용하는 것이 아닌 공공의 기술선택에 적합한 기준을 개발하는 것이 국내의 현실을 반영한 합리적인 의사결정 도구가 될 수 있다.

본 연구는 이러한 문제의식을 기반으로 공공 관점의 기술선택을 위한 기준을 개발함으로써 향후 온실가스 감축목표의 달성을 위해 고려하는 기술대안의 선택에 대한 의사결정 도구를 확보하고자 한다. 또한, 타당성이 확보된 공공 기술선택 지표를 활용하여 더욱 활발하게 공공의 기술평가 등 연구가 이루어지도록 토대를 마련하고자 한다. 본 연구의 목적을 달성하기 위해 먼저 기술선택에 관한 이론적 논의와 선행연구를 살펴본다. 다음으로 본 연구에서 기준개발을 위해 활용하는 분석방법인 델파이 기법을 살펴보고 연구 설계를 위한 전문가 패널 구성과 설문조사 내용을 기술한다. 마지막으로 분석결과를 바탕으로 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 지표의 특징과 의미를 제시하고 연구의 한계점을 서술한다.

2. 이론적 배경

2.1 기술선택

기술선택은 조직의 목적을 달성하고 경쟁력 확보를 위한 핵심적인 요소로 기술을 다루는 것으로, 기술경영의 영역에서 그 중요성이 점점 증가하고 있다[30,31]. 기술선택은 수행주체가 핵심적으로 활용할 기술에 대한 지식을 확보하고 중요한 기술에 대해 아는 과정으로 적절한 기술을 정확하게 결정하는 것을 필요로 한다. 결국 기술선택을 위한 의사결정은 수행주체의 전략과 부합해야 하며, 이러한 결정에 있어 정량, 정성, 무형, 유형의 기준들이 고려되어야 한다[31,32].

기술선택의 정의는 많은 연구자들에 의해 다루어지고 있는데 결국 조직이 필요로 하는 가장 적합한 기술을 인식하고 채택하는 것으로 이해할 수 있다[31,33,34]. Gregory(1995)[31]는 기술선택이 R&D 관리와 역량, 신제품 출시와 관련되며, 조직 내에서 지원하고 촉진해야할

기술의 선정으로 정의하였다. 유사한 맥락에서 Dussauge et al.(1992)[33]는 기술선택 절차를 기업이 숙달하고자 하는 새롭거나 추가적인 기술의 인식과 선택으로 정의하였으며, Shen et al.(2010)[34]은 기술선택을 기술적 대안에 대한 인식, 평가, 선정하는 절차로 정의하였다. 기술선택에 의미를 제시하는 연구들은 특정 기준에 의거한 평가를 주요하게 다룬다. Lamb & Gregory(1997)[35]는 다양한 대안적인 원천으로부터 정보를 모으며, 혜택, 위험 등 특정 기준 하 상호 간 비교를 통해 평가하는 것을 중요하게 보았으며, Shehabuddeen et al.(2006)[36]는 패키지 제조 기술을 대상으로 기술선택 프레임워크를 제안하며, 기술선택 의사결정 관련 요인, 조직에 적합한 기술채택을 위한 기준, 절차를 강조하였다.

기술선택에 있어 중요한 것은 많은 이해관계자들이 참여하고 합리적인 의사결정을 위해 다양한 요인들을 고려한다는 것이다. 기술선택에 대한 의사결정은 높은 수준의 불확실성, 서로 다른 의견 간의 잠재적 시너지 등을 고려하는 특징을 지니고 있어 관련 이해관계자들이 의사결정에 참여하는 것이 필요하다[37]. 따라서 기술선택은 각기 다른 이해관계자를 만족시키며, 환경, 경제, 사회적 기준들을 반영해서 고려하는 것이 필요하다[38]. 이러한 맥락에서 경제적, 환경적 요소들에 대해 다양한 이해관계자들의 상충관계가 발생할 수 있으며, 이에 복잡하고 어려운 과업이라고 설명된다[39].

한편, 기술선택의 의미를 민간 부문과 공공 부문에 대해 다르게 인식하고 차별적으로 접근하는 것에 대한 필요성이 제시되고 있다. 본 연구는 이러한 개념을 매우 중요하게 인식하였다. 왜냐하면, 본 연구에서 다루고 있는 온실가스 감축에 대한 기술선택의 주체는 ‘국가’ 즉 공공 부문이기 때문이다. Maloney(1982)[40]에 따르면, 기술평가에 있어 민간 부문과 공공 부문은 다른 목적으로 접근하는 것이 필요하다. 민간 부문은 시장경쟁에서 경쟁적인 우위를 점하고 향후 비즈니스 환경에 대한 이해를 높이기 위한 목적으로 기술선택을 다루는 것에 비해, 공공 부문은 기술선택을 신뢰감 조성, 사회적 책임감 등의 관점에서 다루기 때문이다. 또한, 공공 부문은 신기술의 도입이 사회적으로 너무 긍정적이거나 부정적인 영향을 발생시키는 2차적 영향에 대해 이해하려는 노력을 포함한다. Hsu et al.(2003)[41]와 Kutlaca(1997)[42]는 공공의 기술선택이 민간과 4가지 측면에서 차이가 있다고 설명하였다. 첫 번째는 본질적으로 전략적이고 장기적인 투

자를 다루며, 재정적인 정당화의 접근은 부적절할 수 있다는 것이다. 두 번째는 다양한 요인들이 자원의 배분에 영향을 미치는 것이며, 세 번째는 혁신적인 기술에 대한 모호성과 전문가의 부재에 따른 기술 선택의 어려움이며, 네 번째는 정부 정책에 의해 기술이 영향을 받는다는 것이다. 유사한 맥락에서 Medaglia et al.(2008)[43]는 민간 부문의 경우 수익을 극대화하려는 목적으로 기술선택의 개념을 다루지만, 공공의 경우 포괄적으로 사회적 자본, 경제적, 정치적 기준 등을 포함해야 한다고 강조하였다. 특히, 공공의 기술선택은 많은 이해관계자, 정치적인 요인과 더불어 사회적·경제적인 영향도 중요하게 고려해야 한다고 강조된다[41,44]. 이러한 공공 관점의 접근에 대해 Maloney(1982)[40]는 목표, 구조, 기간 등 4가지 관점에서 공공과 민간의 기술평가의 특징을 비교하였다. Table 1은 이를 정리한 것이다.

Table 1. Comparison of private and public sector technology assessment

Category	Industrial	Governmental
Objectives	<ul style="list-style-type: none"> • Profit maximization • Conflict identification and positioning • Market diversification based on perceived • Consumer need • Identification of consumer need • Corporate direction setting/decision making 	<ul style="list-style-type: none"> • No interest in profit • Conflict identification and resolution • Market creation base on perceived social welfare • Balancing public needs • Formulate public policy options
Structure	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible process • mission-oriented task force • Mostly internal effort, Some external resources • Private, oral report 	<ul style="list-style-type: none"> • Highly structured series of steps • Formally organized group • Mostly external effort, Some internal resources • Published report
Timeframes	<ul style="list-style-type: none"> • Short to mid-term view • Study takes less than 1 year to complete 	<ul style="list-style-type: none"> • Generally long-term view • Study takes more than 1 year to complete
Other Perceptions	<ul style="list-style-type: none"> • Complete thinking • Accountable to stockholders • Survival of firm • Competitive environment 	<ul style="list-style-type: none"> • Holistic thinking • Multiple accountabilities • More rational government • No competition

<Source: [40]>

결국 공공의 기술선택은 다양한 이해관계자의 의견을 고려하여 공공의 목적 달성에 영향을 미치는 관련 요인들을 통합적으로 고려하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

2.2 선행 연구

온실가스 감축의 맥락에서 다루어지는 기술선택에 대한 선행연구들은 주로 에너지와 건물 분야에서 다루어지며, 크게 두 가지 측면에서 기술선택의 기준을 적용하고 있다. 첫째는 기술적, 경제적 요인에 중심을 두는 연구이며[27,45,46], 둘째는 기술, 경제 측면에서 확장하여 사회성 또는 정책성을 함께 고려하는 연구이다[25,47-49]. 대부분의 선행 연구들은 기술선택을 위한 기준의 도출을 위해 브레인스토밍, 전문가 인터뷰 등에 근거하고 있어, 타당성이 확보된 기술선택 기준을 활용하였다고 보기에 어려움이 있다. 다양한 요인을 통합적으로 다루며 기술, 경제, 사회적 요인을 고려한 연구들의 경우에도 차이가 존재한다. 예를 들면, 박우균 등(2015)[47]의 경우 전문가 조사를 통해 농업부문의 온실가스 감축기술 선택을 위해 경제적, 기술적, 환경적, 정책적 등 4개 항목에 대해 기술 편리성, 고정비용, 온실가스 저감, 정책보급비용 등 12개 하위기준을 적용하였다. 반면 최민수(2007)[49]는 친환경 공동주택 기술개발 시 필요한 기술을 선택하는 문제를 다루며, 브레인스토밍을 통해 시장성, 성장성, 시급성, 경제성, 기술적 가능성, 공공성의 6개 항목을 선정하고 항목별 2-4개의 포괄적 평가사항을 제시하였다. 국외연구로 Ren & Lutzen(2015)[25]은 기술, 경제, 환경, 사회 등 4개 항목의 기술 성숙도, 운영비용, 온실가스 저감, 사회적 수용성 등 9개 기준을 적용하였다. 이상의 선행 연구로부터 온실가스 감축의 목적을 위한 기술선택에 있어 적용되는 판단 기준은 상이하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 기술선택을 위해 적절한 기준을 객관적으로 적용하는 것이 본질적으로 중요하며, 소수의 기준에 의한 판단보다는 통합적인 접근의 필요성이 강조되고 있다 [50].

정리하면 공공 부문의 기술선택은 다양한 측면의 판단 기준을 바탕으로 한 포괄적인 접근이 필요하며, 온실가스 감축과 관련된 기술선택의 선행연구에서 이러한 접근을 확인할 수 있다. 다만, 기술성, 경제성에 대한 요인들이 중점적으로 적용되고 있으며, 통합적으로 관련 요인들을 고려한 문헌들에서 적용되는 기준에 차이가 나타나고 있다. 이처럼 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택은 타당성이 확보된 판단 기준이 마련되지 않아 이에 대한 개발과 적용에 대한 노력이 이루어져야 할 부분으로 판단된다.

3. 연구방법

본 연구에서는 다음과 같은 과정을 거쳐 연구를 수행하였다.

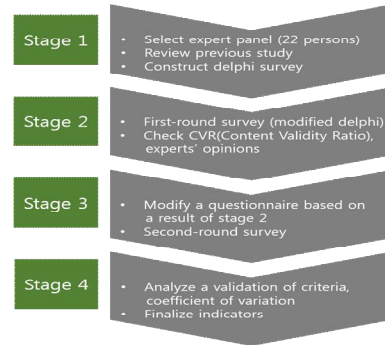


Fig. 1. Research procedure

먼저, 델파이 조사를 위해 전문가 패널을 선정하고, 선행연구의 고찰을 통해 델파이 설문지를 설계하였다. 전문가 패널은 국가 온실가스 감축 목표 수립에 참여한 전문가로 구성하였다. 이후 구조화된 설문지를 통해 1차 조사를 실시하고 조사 결과를 반영하여 설문지를 수정한 후 2차 조사를 실시하였다. 2차 조사의 결과를 바탕으로 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택의 기준을 도출하고 시사점을 마련하였다. 조사 내용에 대한 타당도 분석을 위해 내용타당도비율과 패널들의 의견에 대한 합의도, 수렴도를 검증하는 방법을 이용하였다. 또한, 전문가 패널이 제시한 의견을 검토하여 설문 내용을 개선하였다.

3.1 델파이

기존의 온실가스 감축을 위한 기술선택 연구에서 신재생에너지 분야의 선정 기준을 도출하기 위해 델파이 기법이 적용된 바 있다[29,51]. 델파이는 1952년 미국 RAND 연구소의 Helmer와 Dalkey에 의해 최초로 시도되었다. 이는 사회변화의 추세 예측과 조사도구의 준거가 정확히 개발되어있지 않을 경우 활용될 수 있으며 ‘한 사람의 의견에 비해 두 사람의 의견이 더욱 정확하다’는 계량적 객관화의 원리와 ‘소수의 판단보다 다수의 판단이 더욱 정확하다’는 민주적 의사결정의 원리에 논리적 근거를 두고 있다[52,53]. 본 연구는 기술수준을 고려한 기술선택 판단 척도의 개발을 주요한 목적으로 하며, 기

술적 대안에 대한 평가를 포함하지 않기에 조사준거의 개발을 위해 활용되는 델파이 방법이 적합하다고 판단하였다.

델파이 기법을 수행하는 절차는 4단계로 구분할 수 있다. 첫째는 조사를 위해 참여자 규모, 전문성 등을 고려하여 전문가 패널을 구성하는 것이다. 둘째는 선정된 전문가 패널에게 질문을 통해 의견을 수집한다. 셋째는 수집된 자료를 정리하여 다시 제공하는 반복적 과정을 거치면서 계속적으로 결과를 피드백 한다. 넷째는 조사를 통해 수집한 내용을 종합하여 정리하고 다루는 문제에 대한 결과를 도출한다.

델파이는 다루는 문제에 대한 전문가를 참여시켜 반복적이고 지속적인 설문을 통해 전문가 간 동의를 이루어진 합의된 결과를 도출하고자 하는 것이 특징이다[54].

델파이 조사에서 참여자 간 합의도출을 위해 몇 차례의 조사가 이루어져야 하는지에 대한 판단이 필요하다. 반복되는 조사과정에서 패널들의 응답차이가 적어 응답에 대한 일치 정도가 높은 경우 안정성이 있다고 볼 수 있으며, 이에 대한 판단기준으로 활용되는 것이 변이계수(coefficient of variation)이다[55]. 변이계수는 측정치에 대한 표준편차를 산술평균으로 나눈 값이며, '0.5' 이하인 경우 추가적인 설문이 필요없는 것으로 판단할 수 있다[56-58]. 또한, 전문가 패널의 의견이 수렴되고 있는가를 확인하는 방법으로 합의도, 수렴도가 활용된다[53].

델파이 패널들의 합의도는 완전하게 합의를 나타낼 때 1의 값이며, 패널 각각의 의견 편차가 클 경우에 해당 수치는 감소한다. 수렴도는 패널들의 의견이 모두 수렴할 때 0의 값을 나타낸다. 보통 합의도의 경우 0.75 이상, 수렴도의 경우 0.5 이하일 때 전문가 패널들의 의견이 하나의 방향으로 일치하여 합의점에 도달한 것으로 해석한다[59-62]. 델파이 조사에 있어 중요한 것은 조사 결과의 타당도를 분석하는 것이다[63]. 델파이 조사에서 타당도를 판단하는 기준으로 내용타당도비율(CVR: content validity ratio)이 활용된다[64,65]. 이는 조사결과에서 내용이 타당하다고 응답한 패널이 50% 이상일 때 해당 조사항목의 내용은 타당성을 갖는다고 보는 것이다. 타당하다고 응답한 패널이 50% 미만일 경우 CVR값은 음수

로 나타나고, 타당하다고 응답한 경우가 응답 패널의 50% 일 때 CVR값은 0이다. 만약 응답 패널의 100%가 타당하다고 응답하였으면 CVR값은 1이다.

Lawshe(1975)[66]에 따르면 CVR값의 최소값은 델파이 조사의 패널 수에 따라 결정되며, 이에 대한 내용은 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Minimum CVR by panel size²⁾

Panel Size	Minimum
15	0.49
20	0.42
25	0.37
30	0.33

Note: One tailed test, p=0.05
<Source: [66], p.568>

전문가 패널 규모를 고려한 최소값 이상의 CVR값을 가질때 유의도 .05 수준에서 내용타당도가 있는 것으로 판단할 수 있다[61]. 본 연구는 패널 규모를 고려하여 CVR값이 0.42 이상이면 내용타당도를 충족한다고 판단하였다.

3.2 연구설계

3.2.1 전문가 패널 구성

국가 온실가스 감축 이행을 위한 기술선택 지표를 도출하기 위해 이에 대한 전문성을 보유한 전문가 패널을 선정하고 이들의 참여를 이끌어내는 것이 중요하다. 전문가의 자질과 역량이 부족한 경우 타당도가 확보되는 경우에도 결과의 신뢰성은 낮아진다[67]. 또한, 델파이 조사를 위해 주요하게 고려해야하는 것은 전문가 패널의 규모이다. 특정 연구문제에 대한 전문가 간 의견의 합의를 이루어가기 위한 방법인 델파이는 최적의 전문가패널 규모는 존재하지 않으며 연구 분야, 시간과 비용 등에 따라 다양하게 적용되고 있다[68]. 델파이의 패널 규모는 통계적 검정력에 의거하여 결정되지 않고 전문가 간의 합의에 이르는 집단역동성이 중요하며, 10-18인의 규모가 적절하다고 보고되고 있다[69]. 유사한 맥락에서 Dalkey et al.(1970)[70]는 시뮬레이션 연구를 통해 전문

1) 합의도 = $1 - ((Q3-Q1)/Mdn)$, 수렴도 = $(Q3-Q1)/2$ 식에서 Mdn은 중위수를 나타내고 Q3과 Q1은 제1사분위, 제3사분위 계수로 전체 응답사례 수의 누적된 값 중 25%와 75%를 의미한다[53].

2) $CVR = (ne - (N/2)) / (N/2)$ 식에서 ne는 해당항목 또는 기준이 중요(중요하다, 매우 중요하다)하다고 응답한 패널들의 수로서 리커트 척도(5점)에서 4점과 5점으로 응답한 패널 수에 해당한다. N은 델파이 조사에 참여한 전문가 패널의 수를 의미한다[53].

가 패널의 규모가 최소 7인 이상인 경우 그룹 판단에 대한 의미가 있으며, Adler & Ziglio(1996)[54]는 동일한 전문가 그룹인 경우 10-15인의 규모를 통해 유용한 결과를 얻을 수 있다고 언급하였다. 본 연구는 국가 온실가스 감축목표의 수립에 직접적으로 참여한 교육·연구기관 및 전문기관 관계자 22인을 전문가 패널로 구성하였다. Table 3은 전문가 패널의 특징을 정리한 것이다.

Table 3. Characteristics of expert panels

Category		Freq.
Field	Industry	3
	Public research	7
	government-affiliated	8
	Academia	4
Age	30s	5
	40s	11
	50s	4
	60s	2
Career	1-5 yr	3
	6 - 10 yr	4
	11 - 15 yr	6
	16 - 20 yr	5
	21 yr -	4
Education	Bachelor	1
	Master	8
	Doctor	13

3.2.2 설문 설계 및 자료 수집

델파이는 1차적으로 개방형 질문을 통해 전문가 패널의 의견을 수집하는 것이 필요하나, 1차 조사부터 구조화된 설문을 활용할 수도 있다[53]. 본 연구는 문헌고찰에 의해 정리된 요소들을 활용하여 설문지를 설계하는 구조화된 델파이 조사(modified delphi)를 실시하였으며[71], 구조화된 내용 이외의 추가적으로 자유롭게 의견을 제시할 수 있도록 하였다. Murry & Hammons(1995)[71]에 따르면 구조화된 질문지를 활용하는 경우 연구에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있으며, 전문가 패널이 즉각적으로 연구 내용에 초점을 맞추도록 유도할 수 있다. 1차부터 구조화된 질문지를 이용하는 경우 적어도 2회에 걸친 조사가 필요하며, 대부분 1차와 2차의 조사를 진행하는 사이에서 전문가 패널의 합의가 이루어진다[71]. 1차 조사에 있어 구조화된 설문을 활용한 접근은 척도 개발을 위해 델파이 기법을 적용한 기존의 연구들에서도 찾아볼 수 있다[72,73].

본 연구는 먼저 국내·외 문헌고찰을 통해 온실가스 감축에 대한 기술, 프로젝트 선택에 있어 적용되고 있는 지표들을 검토하여 49개로 정리하였으며, 개념적 중복, 유사성 등에 대한 연구진의 검토를 통해 27개의 기술선택 지표군을 도출하였다. 문헌고찰을 통해 도출한 요인과 각 조작적 정의는 Appendix.에 정리하였다.

특히, 본 연구는 기술선택에 있어 기술의 수준을 주요하게 고려하였다. 문헌검토를 통해 정리한 각 지표의 의미를 바탕으로 상용화 또는 신기술 수준에서 적용되기 어려운 경우를 제외하고 신기술은 26개 지표, 상용화기술은 24개 지표군으로 구분하여 정리하였다. 델파이 조사는 단기 관점의 상용화 기술과 중장기 관점의 신기술로 구분하여 실시하였으며, 신기술에 대한 개념은 국가 온실가스 감축목표의 수립 시 적용한 ‘국내 적용 5% 미만인 기술’의 의미로 보았다(Table 4 참고). 기술의 범위는 국내 온실가스 감축 부문에 대한 의미로 한정하였다.

Table 4. A definition of technology level

Technology level	Definition
Commercialized Technology (short-term perspective)	<ul style="list-style-type: none"> Technology that has been domestically utilized The degree of technology utilization is more than 5% in terms of relative comparison with new technology
New technology (medium- and long-term perspective)	<ul style="list-style-type: none"> Technology that has to be newly developed domestically and internationally Technology that has been developed overseas and the degree of domestic technology utilization is less than 5%.

온라인 기반의 조사 프로그램을 통하여 전문가 패널에게 설문조사를 실시하였고, 총 2회에 걸쳐 시행하였다. 각 지표들의 적절성 평가를 위해 5점 리커트 척도를 활용하였다. 1차는 2017.6.21-29에 걸쳐 시행하였으며, 2차는 2017.7.24.-31에 걸쳐 시행하였다. 설문에 대한 응답은 1차 22명(100%), 2차 22명(100%)로 나타났다. 두 차례 조사결과 변이계수가 최대 0.23 수준을 보였으며, 합의도 및 수렴도가 기준치를 만족하였기에 2차에서 조사를 마무리하였다.

4. 분석 결과

1차, 2차 델파이 조사를 통해 전문가 패널의 의견을 반영한 기술선택 지표를 마련하였다. 최종적으로 상용화기

술의 경우 총 5개 항목에 16개 지표가 도출되었으며, 신기술의 경우 총 5개 항목에 18개 지표가 도출되었다. 이에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다. 먼저, 1차 조사를 통해 상용화기술과 신기술의 선택 지표에 대한 전문가 패널의 의견을 수렴하였다. 1차 조사 결과 상용화 기술의 경우 24개 지표 중 15개의 지표가 내용타당도를 충족하였으며, 신기술의 경우 26개 지표 중 18개 지표가 내용타당도를 충족하였다. Table 5는 이를 정리한 것이다.

Table 5. A result of first-round survey

Indicator candidates	CVR based relevance	
	Commercialized Tech.	New Tech.
1. Possibility of acquiring and maintaining the best technology	-	O
2. Possibility of Successful R&D	-	O
3. Potential advancement of technology	O	O
4. Level of domestic technology compared to that of developed countries	X	X
5. Level of domestic infrastructure	O	X
6. Possibility of technology convergence	X	O
7. Technology substitution	X	X
8. Safety of technology	X	O
9. Using eco-friendly materials	X	X
10. Follow-up maintenance	O	O
11. Importance in the current market	X	-
12. Expanding domestic market	X	O
13. Growth potential of the future market	O	O
14. Economic feasibility	O	O
15. Commercializing technology	-	O
16. Scale of capital investment	O	X
17. Greenhouse gas reduction effect	O	O
18. Energy-saving effect	O	O
19. Toxic gas reduction	X	X
20. Fine-dust reduction	O	O
21. Site constraints	O	O
22. Minimizing environmental load	O	O
23. Correspondence between considered technology and government policies	O	X
24. Financial Aid	O	O
25. Legal/institutional risks	O	O
26. Technology acceptance (utilization)	O	O
27. Technology acceptance (installation)	X	X

Note: O: met CVR, X: unmet CVR, -: not applicable

또한, 1차 조사를 통해 용어에 대한 전문가 패널이 제시한 의견들을 확인하였다. 먼저, ‘에너지 절감 효과’와 ‘온실가스 감축 효과’ 지표에 대한 중복적 의미로 인해 통합의 필요성이 제시되었다. 온실가스 감축의 맥락에서 에너지 절감은 결국 온실가스 저감의 의미로 이해하는 것이 바람직하다고 판단되어 2차 조사 시 이를 반영하여 ‘에너지 절감 효과’, ‘온실가스 감축 효과’를 통합하고 ‘온실가스 저감 효과’로 용어를 변경하였다. 또한, ‘유해가스 저감’과 ‘미세먼지 저감’을 유해 대기 오염물질 차원에서 ‘미세먼지 저감’으로 통합이 필요하다는 의견이 제시되었으며, 이를 반영하였다. 1차 조사를 통해 정리된 기술선택 기준을 바탕으로 선행문헌들을 참고하여 상위항목을 구분하고 2차 조사 시 반영하였다. 상위항목은 선행문헌에서 제시하고 있는 개념적 접근을 준용하였으며, 일부 지표의 경우 설명을 확인하여 적용하였다. 구체적으로 ‘기술의 안전성’, ‘친환경 소재의 활용’은 선행문헌에서 구체적인 항목 구분이 없지만 지표에 대한 설명이 기술적 특성을 명시하고 있으며[24,74], 기술 수용성(설치)은 경제, 기술, 환경, 사회 이외의 수용적이라는 측면으로 분류되었으나 기술의 설치과정 특성을 의미하는 지표이기 [51], 본 연구의 목적에 부합하도록 기술 부문으로 적용하였다. 27개 지표 중 기술 부문은 10개, 경제 부문은 6개, 환경 부문은 6개, 정책/사회 부문은 5개가 해당한다. 지표별 구분에 대한 자세한 내용은 Appendix에 정리하였다.

1차 조사에 대한 결과를 반영하여 수정한 질문지를 바탕으로 상용화 기술과 신기술의 선택 지표에 대한 2차 조사를 실시하였다. 2차 조사 시 1차 조사에 대한 각 지표별 전문가 패널 의견에 대한 빈도, 평균, 표준편차, 중위수를 제공하여 이를 평가에 참고할 수 있도록 하였다. 2차조사 결과 변이계수는 최대 0.23으로 나타나 추가적인 조사는 불필요한 것으로 나타났다. 상용화 기술의 경우 24개 지표 중 16개 지표가 내용타당도(0.42 이상), 합의도(0.75 이상), 수렴도(0.50 이하)를 만족하는 것으로 나타났다. 신기술의 경우 26개 지표 중 18개 지표가 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 2차 조사에서 제시된 전문가 패널의 의견을 반영하여 지표를 수정하였다. 먼저, 정책/사회 항목의 1개 지표(기술 수용성 설치)를 기술 항목으로 이동하고 설치 용이성으로 용어를 변경하였다. 또한 정책/사회 항목의 의미가 광범위하여 분리가 필요하며 기술수용성(활용)을 사회성으로 구성해야한다는 의견에 따라 이를 반영하여 수정한 후 ‘기술수용성’으로 용어를 변

경하였다[75, 76]. Table 6과 7은 2차에 걸친 델파이 조사 결과에 대한 평균, 표준편차, 변이계수, 합의도, 수렴도, 내용타당도를 정리한 것이다.

최종적으로 도출된 기술선택 지표의 특징은 신기술의 경우 상용화 기술에 비해 기술 항목에 대한 고려요인이 상대적으로 많다는 것이다. 이는 장기적인 관점에서 온실가스 감축기술의 선택은 특히 기술 확보의 불확실성을 낮추고 온실가스 감축에 대한 적용가능성을 높이는 측면에서의 접근이 중요한 것으로 해석된다. 더욱이 공공의 기술선택에서 중요하게 다루어져야 한다고 강조되는 기술, 경제 이외의 관점인 정책과 사회 등과 관련한 판단 기준의 적절성이 확인되었다. 이는 기술선택에 있어 정책과 사회적 측면의 지표를 고려하는 것이 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다. 주목할 점은 세부적인 지표의 경우 일부 차이가 존재하나 많은 지표들이 공통적으로 도출되었다는 것이다.

먼저, 상용화 기술의 경우 16개 기준으로 정리되었으며 합의도는 최소 0.75, 수렴도는 최대 0.50으로 나타나 최종 정리된 지표에 대해 전문가 패널의 의견이 합의를 이루었다고 판단된다. 또한, 내용타당도는 최소 0.45로 나타나 타당성이 확보되었다고 볼 수 있다. 구체적으로 환경 항목의 온실가스 저감이 가장 높은 점수(4.7점)로 나타났으며, 경제 항목의 경제적 타당성이 다음으로 높은 점수(4.2점)를 보였다. 온실가스 감축을 위한 상용화 기술의 적용은 단기적으로 성과를 도출하기 위해 실제적

감축의 실현과 비용 타당성이 중요하다고 판단된다. 이외의 많은 지표들이 비슷한 점수를 보였는데 기술 항목의 국내 인프라구축 수준(4.0점), 경제 항목의 미래시장 성장 가능성과 설비 투자 규모(4.0점), 환경 항목의 미세먼지 저감(4.1점), 정책 항목의 재원조달 가능성과 법적 도적 위협요인(4.0점), 사회 항목의 기술 수용성(4.0점)으로 나타났다. 이는 기술, 경제, 환경, 정책, 사회 측면의 다양한 척도들이 유사한 수준에서 고려될 필요가 있다고 해석할 수 있다. 마지막으로 기술 항목의 기술 진보가능성과 환경 항목의 입지제약은 가장 낮은 점수(3.7점)를 보였다.

다음으로, 신기술의 경우 18개 기준으로 정리되었으며, 합의도는 최소 0.75, 수렴도는 최대 0.50으로 나타나 최종 정리된 기준에 대해 전문가 패널의 의견이 합의를 이루었다고 판단된다. 또한, 내용타당도는 최소 0.45로 나타나 타당성이 확보되었다고 볼 수 있다. 구체적으로 정리된 기준을 살펴보면 상용화 기술과 동일하게 환경 항목의 온실가스 저감이 가장 높은 점수를 보였다(4.7점). 경제 항목의 미래시장 성장가능성(4.6점), 기술 항목의 기술 안전성과 경제 항목의 상업화 가능성(4.5점)과 경제 항목의 국내 시장 확장성(4.4점)이 다음으로 높은 점수를 보였다.

이는 신기술의 경우 단기적 성과의 관점에서 나아가 안전한 기술을 확보하고 국내시장에 진입하여 활용가능성을 높일 수 있는 것이 중요한 것으로 판단된다.

Table 6. A result of second-round survey : commercial tech. perspective

Category	Indicator	Descriptive statistics			Relevance		
		Avg.	Std.	CV	Degree of consensus	Degree of convergence	CVR
Technology	1. Potential advancement of technology	3.7	0.6	0.17	0.81	0.38	0.45
	2. Level of domestic infrastructure	4.0	0.6	0.14	1.00	0.00	0.73
	3. Follow-up maintenance	3.9	0.5	0.12	1.00	0.00	0.64
	4. Ease of installation	3.9	0.6	0.17	0.81	0.38	0.45
Economic	5. Expanding domestic market	3.8	0.6	0.15	0.81	0.38	0.45
	6. Growth potential of the future market	4.0	0.6	0.14	1.00	0.00	0.73
	7. Economic feasibility	4.2	0.9	0.20	0.75	0.50	0.64
	8. Scale of capital investment	4.0	0.7	0.17	1.00	0.00	0.55
Environment	9. Greenhouse gas reduction	4.7	0.6	0.12	0.85	0.38	0.91
	10. Fine-dust reduction	4.1	0.8	0.20	0.75	0.50	0.64
	11. Site constraints	3.7	0.7	0.19	1.00	0.00	0.55
	12. Minimizing environmental load	3.9	0.8	0.19	1.00	0.00	0.55
Policy	13. Correspondence between considered technology and government policies	3.9	0.8	0.19	1.00	0.00	0.73
	14. Financial Aid	4.0	0.7	0.16	1.00	0.00	0.64
	15. Legal/institutional risks	4.0	0.5	0.13	1.00	0.00	0.73
Society	16. Technology acceptance(utilization)	4.0	0.7	0.18	0.81	0.38	0.55

Table 7. A result of second-round survey : new tech. perspective

Category	Indicator	Descriptive statistics		Relevance			
		Avg.	Std.	CV	Degree of consensus	Degree of convergence	CVR
Technology	1. Possibility of acquiring and maintaining the best technology	4.1	0.6	0.15	0.81	0.38	0.73
	2. Possibility of Successful R&D	4.0	0.8	0.19	1.00	0.00	0.64
	3. Potential advancement of technology	4.2	0.5	0.13	0.81	0.38	0.91
	4. Level of domestic technology compared to that of developed countries	3.7	0.6	0.17	0.81	0.38	0.45
	5. Possibility of technology convergence	4.0	0.7	0.18	1.00	0.00	0.93
	6. Safety of technology	4.5	0.8	0.18	0.80	0.50	0.82
	7. Follow-up maintenance	4.0	0.7	0.17	1.00	0.00	0.55
Economic	8. Expanding domestic market	4.4	0.7	0.15	0.75	0.50	0.82
	9. Growth potential of the future market	4.6	0.5	0.11	0.80	0.50	1.00
	10. Economic feasibility	4.2	0.7	0.16	0.75	0.50	0.73
	11. Commercializing technology	4.5	0.7	0.15	0.80	0.50	0.82
Environment	12. Greenhouse gas reduction	4.7	0.6	0.12	1.00	0.00	0.91
	13. Fine-dust reduction	4.2	0.9	0.21	0.75	0.50	0.64
	14. Site constraints	3.8	0.8	0.20	1.00	0.00	0.55
	15. Minimizing environmental load	4.1	0.8	0.20	0.75	0.50	0.64
Policy	16. Financial Aid	4.2	0.5	0.13	0.81	0.38	0.91
	17. Legal/institutional risks	4.1	0.5	0.13	1.00	0.00	0.82
Society	18. Technology acceptance(utilization)	4.1	0.7	0.17	0.75	0.50	0.64

상용화 기술과 유사하게 많은 지표들이 비슷한 점수를 보였는데 기술 항목의 최고수준 기술 확보 및 유지가능성(4.1점), 기술개발 성공가능성(4.0점), 기술의 진보가능성(4.2점), 경제적 타당성(4.2점), 환경 항목의 미세먼지 저감(4.2점), 환경부하 최소화(4.1점), 정책항목의 재원조달 가능성(4.2점), 제도적 위협요인(4.1점), 사회 항목의 기술수용성(4.1점)으로 나타났다. 기술 항목의 선진국 대비 기술수준은 가장 낮은 점수를 보였다(3.7점). 온실가스 감축을 위한 기술의 경우 신기술 확보에 있어 선진국과 비교의 의미가 강조되기 보다는 자연조건 등 국내 실정에 적합한 기술을 확보하는 노력이 중요한 것으로 판단된다.

5. 결론

우리나라를 포함한 국제사회 차원에서 국가 온실가스 감축의 이행에 대한 구체적인 방안 중 하나로서 주요하게 인식하고 있는 것은 과학기술의 적용이다. 국가의 온실가스 감축 목적 달성을 위해 전략적으로 과학기술을 선택하는 것은 중요한 문제로 다루어질 필요가 있다.

기술선택의 이론적 관점에서 설명하는 것과 같이 공공 부문은 수익창출에 중점을 두는 민간 부문과는 달리 다양한 이해관계자와 영향 요인을 고려하는 것이 필요하

다. 그러나 기술선택을 위한 타당성이 확보된 지표에 대한 연구는 아직 충분하게 이루어지지 못한 실정이다. 기술선택에 대한 기존 연구들은 전문가 인터뷰 또는 브레인스토밍을 통해 기준을 도출하는 접근이 많이 이루어지고 있으며, 일관되고 신뢰성이 확보된 기준을 적용하지 못한 한계가 있다. 이에 본 연구는 국가 온실가스 감축의 기술선택 관점에서 타당성이 있는 선택기준을 개발하고자 하였으며, 단기적으로 상용화기술 중장기적으로 신기술의 기술수준에 따라 구분하여 접근하였다.

연구의 목적을 달성하기 위해 명확하게 정의되지 않은 도구를 개발하기 위해 구조화된 전문가 의사소통과 전문가 그룹의 판단을 이끌어내는 델파이 방법을 활용하였다. 국가 온실가스 감축 목표 수립에 참여한 전문가 22인을 대상으로 2차에 걸친 조사 결과, 최종적으로 기술선택 모형은 상용화 기술의 경우 기술 항목이 4개 기준, 경제 항목이 4개 기준, 환경 항목이 4개 기준, 정책과 사회 항목이 각 3개, 1개 등 총 16개의 기준으로 도출되었으며, 신기술의 경우 기술항목이 7개 기준, 경제 항목이 4개 기준, 환경 항목이 4개 기준, 정책과 사회 항목이 각 2개, 1개 등 총 18개의 기준으로 도출되었다. 이러한 분석결과에 대한 시사점은 다음과 같다.

먼저 이론적인 측면에서 첫째, 공공의 기술선택을 위해 고려가 필요한 요소는 무엇인지에 대해 타당성이 확보된 지표를 개발하여 제시하였다. 이는 기존의 경제성

에 초점을 둔 접근에서 더욱 확장된 것이며, 공공성 등을 포함한 기존의 접근에 대해 신뢰성을 가지고 일관성있게 적용될 수 있는 선택기준을 확보한 것이다, 구체적으로 신기술과 상용화 기술 모두에서 기술, 경제, 환경, 정책, 사회적 측면에 대한 종합적인 고려가 필요한 것으로 나타났다, 특히, 상용화 기술의 경우 기술성의 하위 하위 기준인 기술의 발전가능성(3.7점), 유지보수 가능성(3.9점) 보다 정책성과 사회성의 하위 일부 법적/제도적 리스크(4.0점), 기술수용성(4.0점) 등의 기준이 높은 점수를 보이는 점과 신기술의 경우 기술성의 하위 기준인 선진국 대비 기술수준(3.7점) 보다 정책성, 사회성의 하위 기준이 높은 점수를 보인 것은 주목할 점이다. 이는 공공의 기술선택에 있어 특정 기준에 중점을 두는 것이 아닌 종합적인 접근을 중요하게 여기는 선행연구의 주장을 지지하는 결과이다[27,50,77]. 둘째, 기술수준에 따른 기술선택의 기준이 기술성의 구성요인을 제외하고는 유사하게 도출되었다. 이는 본질적으로 온실가스 감축의 맥락에서 기술수준의 차이로 고려가 필요한 것은 기술의 특징을 반영하는 기술성에 국한되며, 그 외의 기준은 유사한 특성을 가진다는 것을 의미한다. 따라서 기술의 수준에 따른 상용화 기술의 적용가능성과 신기술의 실현가능성에 대한 차별적인 접근이 필요한 것을 제외하면, 나머지 경제, 환경, 사회, 정책에 대한 구성요인들은 비슷한 맥락에서 적용이 가능한 것으로 이해가 가능하다. 이는 온실가스 감축의 목적을 달성하기 위한 기술의 선택이 기업, NGO, 시민단체 등 특정 이해집단의 관점에서 이루어지는 것이 아닌 범국가적 차원에서 이루어지는 측면이 반영된 것으로 판단된다.

다음으로 실제적인 측면에서 첫째, 국가 기술선택 모형의 틀을 제시하였으며, 이를 위해 직접적으로 국가계획 수립에 참여한 전문가 패널들의 의견을 모으고 합의된 결과를 도출하여 이를 정책 분야와 기술선택과 관련한 학술 분야에서 활용할 수 있도록 제안하였다. 실제로 정책 현장에서 국가적으로 필요한 기술을 선택하기 위해 다양한 요인들을 고려하는 것의 필요성을 인지하고 있음에도 불구하고 제한된 시간과 자원은 이해관계자로부터 의견수렴 부족으로 이어지며 실행 가능한 측면을 중심으로 논의가 이루어지게 한다. 본 연구에서 제시한 기술선택 모형을 근거로 하여 체계적으로 기술적인 대안을 인식하고 평가하는 것이 가능할 것이며, 이러한 과정에서 본 연구에서 제시한 기준들의 실제적인 적용가능성

향상에 대한 논의가 이루어질 수 있을 것이다. 둘째, 본 연구에서는 국가 온실가스 감축을 위한 공공의 기술선택에 대해 전문가들의 델파이 연구를 통해 기술의 수준을 고려하여 단기적, 중·장기적으로 어떻게 기술을 평가하고 선정할 수 있는지를 차별적으로 살펴보았다. 따라서 이러한 연구결과는 단기적으로는 이미 상용화되어 시장에서 활용되고 있는 기술에 대한 접근을 하는 것에, 중·장기적으로는 새로운 신기술을 개발하여 확보하고 이를 국가의 목적을 달성하기 위해 연구개발을 시행하고 국가 예산을 배분하는 것에 대한 지향점으로 활용될 수 있을 것이다.

다만 본 연구가 가지는 한계점은 다음과 같다. 먼저, 기존 문헌에 근거하여 구조화된 델파이 설문을 전문가에게 제시하고 의견을 수렴하는 수정된 델파이를 시행하였다. 따라서 추가적인 의견개진의 가능성을 열어놓고 이를 반영하려는 노력에도 불구하고 개방형 설문을 통해 얻을 수 있는 자유로운 의견개진에 대한 어려움이 있을 것으로 판단되어 순수 개방형 델파이설문으로부터 얻을 수 있는 이점이 모두 반영되지 못하였다. 다음으로, 이론적으로 델파이 결과의 신뢰성이 확보되는 수준에서 패널의 규모를 설계하였으나, 22명의 전문가 중 공공연구기관과 정부기관 종사자가 15명으로 상대적으로 많은 숫자를 차지하고 있다는 점이다. 이는 전문가 패널 구성에 있어 실제로 국가 온실가스 감축 목표 수립에 참여한 많은 전문가의 소속이 국가 연구기관이라는 특성이 기인한다. 이로 인해 전문가 패널 구성을 학계 또는 산업계와 관련된 전문가를 많이 포함시켰을 경우 연구의 결과가 차이를 보일 수 있는 가능성을 완전히 배제할 수 없다.

본 연구는 온실가스 감축의 맥락에서 공공의 기술선택에 대한 판단기준의 기본적인 틀을 제시하고자 하였으며, 다음의 사항에 대해 후속연구를 통해 밝혀나갈 필요가 있다. 먼저, 본 연구에서 개발한 기술선택 기준을 활용하여 향후 다양한 분야에 종사하는 이해관계자를 대상으로 패널의 규모를 확대하고 기준의 적절성에 대한 동의 정도를 조사하여 신뢰도를 더욱 높일 필요가 있다. 다음으로, 온실가스 감축 목표는 세부적인 부문이 있어 부문별 적용이 가능한 기술들은 특성에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 향후 각 부문별 특징을 반영한 기준을 도출하여 가령 공통기준과 특화 기준과 같은 개념으로 접근한다면 더욱 확장된 논의가 가능한 국가 온실가스 감축 기술선택 모형의 구축이 가능할 것이다.

Appendix. Indicator candidate for national GHG mitigation technology selection

Indicator	Definition	Considerations	Category	Reference
1. Possibility of acquiring and maintaining the best technology	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of acquiring and/or maintaining the best technology in the field through domestic R&D investment 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of catching up the level of the developed country with leading technology in the field • Possibility of securing the dominant position, in case the existing domestic technology is the most advanced in the field 	Technology	[45]
2. Possibility of Successful R&D	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of creating new technology 	<ul style="list-style-type: none"> • Easiness of domestic R&D • Easiness of technology introduction to overseas • Cost of R&D • Government support on R&D 	Technology	[46,49]
3. Potential advancement of technology	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of technical progress based on technology development trends of developed countries 	<ul style="list-style-type: none"> • Global level of technology maturity 	Technology	[45]
4. Level of domestic technology compared to that of developed countries	<ul style="list-style-type: none"> • Level of domestic technology compared to that of developed countries • Technological gap 	<ul style="list-style-type: none"> • Level of domestic technology maturity 	Technology	[25, 26,45-47, 79]
5. Level of domestic infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Level of domestic infrastructure for the technology 		Technology	[45]
6. Possibility of technology convergence	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of convergence with other technologies, thereby creating new technology 		Technology	[46]
7. Technology substitution	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of substituting existing technology 		Technology	[45,46,78]
8. Safety of technology	<ul style="list-style-type: none"> • Potential hazards of using the technology (chemical accidents, explosions, etc.) 		Not specified	[24]
9. Using eco-friendly materials	<ul style="list-style-type: none"> • Using eco-friendly materials for the products to which the technology is applied 		Not specified	[74]
10. Follow-up maintenance	<ul style="list-style-type: none"> • Easiness of follow-up service and maintenance for the facility to which the technology is applied 		Technology	[51]
11. Importance in the current market	<ul style="list-style-type: none"> • Size of the market of the technology field and its importance (domestic and international) 	<ul style="list-style-type: none"> • Importance in the current market 	Economics	[27]
12. Expanding domestic market	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of increasing the level of technology ubiquity 	<ul style="list-style-type: none"> • Technology diffusion and ubiquity 	Economics	[45,78]
13. Growth potential of the future market	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of future market growth in the field (domestic and international) 	<ul style="list-style-type: none"> • Employment expansion • Sales increase • Expansion of market structure (including economic value-added creation) 	Economics	[48,49,79]

Indicator	Definition	Considerations	Category	Reference
14. Economic feasibility	<ul style="list-style-type: none"> • Cost-benefit (Cost of R&D investment and technology management) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cost reduction and profit generation 	Economics	[47,48,78,79]
15. Commercializing technology	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of market entry 	<ul style="list-style-type: none"> • New entry 	Economics	[45,46,60,78]
16. Scale of capital investment	<ul style="list-style-type: none"> • Scale of capital investment required to introduce the technology 		Economics	[79]
17. Greenhouse gas reduction effect	<ul style="list-style-type: none"> • Amount of emission reductions caused by using the technology • Mitigation scale 	<ul style="list-style-type: none"> • Effects on greenhouse gas reductions (compared to the amount of R&D investment and the level of diffusion) 	Environment	[25,45,47]
18. Energy-saving effect	<ul style="list-style-type: none"> • Level of energy reduction • Level of energy efficiency • Improvement on the efficiency of technology (in case of non-energy technology) 		Environment	[48,78]
19. Toxic gas reduction	<ul style="list-style-type: none"> • Reduction of SOx and NOx emissions 		Environment	[25,80]
20. Fine-dust reduction	<ul style="list-style-type: none"> • Reduction of PM emissions 		Environment	[25]
21. Site constraints	<ul style="list-style-type: none"> • Constraints on the products posed by the site characteristics 		Environment	[50]
22. Minimizing environmental load	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizing greenhouse gas emissions and air/soil pollution • Minimizing possibility of causing diseases 		Environment	[47,80]
23. Correspondence between considered technology and government policies	<ul style="list-style-type: none"> • Corresponding to the medium and long-term plans on science and technology officially announced by the government • Corresponding to the relevant national policies and government policy direction 		Social/Policy	[26,47,48]
24. Financial Aid	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of public/private funding for technology application or development 		Social/Policy	[25,50]
25. Legal/institutional risks	<ul style="list-style-type: none"> • Conformity to the existing legal and institutional system 	<ul style="list-style-type: none"> • Existence of any mandatory or prohibition clause under the present law • Possibility of regulations and institutional prohibition 	policy	[81]
26. Technology acceptance (utilization)	<ul style="list-style-type: none"> • Possibility of smooth acceptance(utilization) • Usability • Technology utilization from user perspectives 		Social/Policy	[25,60]
27. Technology acceptance (installation)	<ul style="list-style-type: none"> • Convenience of product installation 	<ul style="list-style-type: none"> • Easiness of installation and shortness of time required (simplicity) 	Not applicable	[51]

REFERENCES

- [1] S. W. Park. (2016). Post-2020 Climate Regime and Paris Agreement. *Environmental Law and Policy*, 16, 285-322.
- [2] Ministries concerned. (2016). *The First Basic Plan for Climate Change Response*.
- [3] UN Environment, UNEP DTU Partnership, the UNFCCC Secretariat, United Nations Development Programme & the World Resources Institute. (2017). *Joint NDC Implementation Guidance*.
http://www.indcsupport.org/ndc-guidance
- [4] Wuppertal Institute. (2016, July). *The Transition Period Towards implementation of the Paris Agreement, Carbon Mechanisms Review, Issue 2*, 1-24.
- [5] Ministries concerned. (2016). *The 2030 Basic Roadmap for the Reduction of Greenhouse Gas Emissions*.
- [6] K. Levin et al. (2015). *Designing and preparing intended nationally determined contributions (INDCs)*. Washington, DC: World Resources Institute.
- [7] United Nations Development Programme. (2016, April). *Developing country support needs for the implementation of nationally determined contributions (NDCs)*, 1-8.
- [8] J. B. Park, B. M. Kim, JIAN. SHEN & D. S. Rho. (2011). Development of Remote Monitoring and Control Device of 50KW Photovoltaic System. *Journal of the Korea Convergence Society*, 2(3), 7-14.
- [9] G. H. Kim, C. S. Yi, G. D. Yeo & M. P. Shim. (2009). Priority decision of small hydropower development using spatial multi-criteria decision making. *Journal of Korea Water Resources Association*, 42(12), 1029-1038.
- [10] J. Mathur, N. K. Bansal & H. J. Wagner. (2003). Investigation of greenhouse gas reduction potential and change in technological selection in Indian power sector. *Energy Policy*, 31(12), 1235-1244.
- [11] J. C. Kim & S. J. Shim. (2013). A Study on the GHG Reduction Newest Technology and Reduction Effect in Power Generation · Energy Sector. *Journal of Climate Change Research* 4(4), 12, 349-358.
- [12] C. K. Park. (2008). Climate Change: Its Impacts and Our Strategy to Address It. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 30(12), 1179-1182.
- [13] J. H. Han & J. H. Kim. (2008). *Green Growth as a National Growth Strategy: Concept · Framework · Issue*. *Green Growth: Seeking a national growth strategy*. Seoul: Korea Development Institute.
- [14] S. J. Yoon. (2009). Finding governance to prevent and mitigate social conflicts surrounding climate change response. *Journal of governance studies*, 4(2), 125-160.
- [15] Commission on Green Growth. (2009). *Setting the Medium-term(2020) Goal for the National Greenhouse Gas Emission Reduction*. Seoul : Commission on Green Growth.
- [16] Commission on Green Growth. (2009). *Green Growth National Strategy*. Seoul : Commission on Green Growth.
- [17] UNEP-IETC. (2007). *Demonstrating ESTs for Building waste Reduction in Indonesia. The DEBRI Project Technology Identification and Selection*. Osaka : UNEP-IETC.
- [18] S. A. K. Firouzabadi, B. Henson & C. Barnes. (2008). A multiple stakeholders' approach to strategic selection decisions. *Computers & Industrial Engineering*, 54(4), 851-865.
- [19] C. Macharis, A. Verbeke & K. De Brucker. (2004). The strategic evaluation of new technologies through multicriteria analysis: the ADVISORS case. *Research in Transportation Economics*, 8, 443-462.
- [20] L. S. Kim. (2015). Convergence of Information Technology and Corporate Strategy. *Journal of the Korea Convergence Society*, 6(6), 17-26.
- [21] T. W. Roh. (2018). GHG Reduction Effect through Smart Tolling: Lotte Data Communication Company. *Journal of Digital Convergence*, 16(4), 87-94.
- [22] J. C. Shin & K. I. Kim. (2016). A study on the success factors in the Enterprise Information Systems introduced. *Journal of Convergence for Information Technology*, 6(4), 1-8.
- [23] H. G. Hong. (2017). Business Process Support Based on IoT Technology. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(1), 75-79.
- [24] S. Kim, S. Hong, K. Ahn & S. Gong. (2015). Priority survey between indicators and analytic hierarchy process analysis for green chemistry technology assessment. *Environmental health and toxicology*, 30.
- [25] J. Ren & M. Lützen. (2015). Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 43-60.
- [26] D. O. Choi, H. K. Lee, J. K. Lim & H. G. Lee. (2009). An Evaluation Model Development of Technology Green Index (TGI) and It's Application to Defense R&D Projects. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 12(3), 299-308.
- [27] P. Yu & J. H. Lee. (2012). Integrated AHP and DEA

- Method for Technology Evaluation and Selection: Application to Clean Technology. *Knowledge Management Research*, 13(3), 55-77.
- [28] M. G. Kharat, R. D. Raut, S. S. Kamble & S. J. (2016). The application of Delphi and AHP method in environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 27(4), 427-440.
- [29] Y. Tang, H. Sun, Q. Yao & Y. Wang. (2014). The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): Case study of China. *Energy*, 75, 474-482.
- [30] C. H. Chen, M. C. Chung & C. H. Wei. (2006). Government policy of technology selection for advanced traveler information system. *R & D Management*, 36(4), 439-450.
- [31] M. J. Gregory. (1995). Technology management: a process approach. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, 209(5), 347-356.
- [32] F. T. S. Chan, M. H. Chan & N. K. H. Tang. (2000). Evaluation methodologies for technology selection. *Journal of Materials Processing Technology*, 107(1), 330-337.
- [33] P. Dussauge, S. Hart & B. Ramanantsoa. (1992). *Strategic technology management*. Wiley.
- [34] Y. C. Shen, S. H. Chang, G. T. Lin & H. C. Yu. (2010). A hybrid selection model for emerging technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(1), 151-166.
- [35] M. Lamb & M. Gregory. (1997). Industrial concerns in technology selection. In *Innovation in Technology Management-The Key to Global Leadership. PICMET'97: Portland International Conference on Management and Technology*. (pp. 206-208). Portland : IEEE.
- [36] N. Shehabuddeen, D. Probert & R. Phaal. (2006). From theory to practice: challenges in operationalising a technology selection framework. *Technovation*, 26(3), 324-335.
- [37] G. Montibeller & A. Franco. (2010). *Handbook of multicriteria analysis*. Berlin : Springer.
- [38] N. R. Khalili & S. Duecker. (2013). Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. *Journal of Cleaner Production*, 47, 188-198.
- [39] G. A. Kiker, T. S. Bridges, A. Varghese, T. P. Seager & I. Linkov. (2005). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated environmental assessment and management*, 1(2), 95-108.
- [40] J. D. Maloney. (1982). How companies assess technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 22(3), 321-329.
- [41] Y. G. Hsu, G. H. Tzeng & J. Z. Shyu. (2003). Fuzzy multiple criteria selection of government sponsored frontier technology R&D projects. *R&D Management*, 33(5), 539-551.
- [42] D. Kutlaca. (1997). Multicriteria-based procedure as decision support in the selection of government financed R&D project. *Yugoslav journal of operations research*, 7(1), 133-148.
- [43] A. L. Medaglia, D. Hueth, J. C. Mendieta & J. A. Sefair. (2008). A multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(1), 31-45.
- [44] C. H. Wei & M. C. Chung. (2003). Grey Statistics Method of Technology Selection for Advanced Public Transportation Systems: The Experience of Taiwan. *IATSS Research*, 27(2), 66-72.
- [45] D. K. Lee, S. J. Choi, S. U. Park, Y. J. Ha & J. T. Lee. (2004). An analysis on the CO2 Reduction and Sequestration Technology Using the AHP. *Energy Engineering Journal*, 13(3), 219-227.
- [46] S. J. Ha & S. J. Kang. (2008). The Fuzzy AHP Approach to Prioritize the Future Energy Technology Development. *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, 19(5), 453-459.
- [47] W. K. Park, G. Y. Kim, S. Lee & S. H. Lee. (2015). Investigating Multi-Attributes for GHGs Mitigation Technology in Agricultural Sectors : Applying the Analytic Hierarchy Process. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*, 42(3), 616-629.
- [48] N. Oh & H. Kim. (2010). Analysis on Deduction of Energy-IT Convergence Technologies by the Analytic Hierarchy Process. *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences* 35(7), 1091-1097.
- [49] M. S. Choi. (2007). An Evaluation of the Priority Order in Developing the Construction Technologies for Environment-friendly Apartment Houses - Laying Stress on the Viewpoints of Contractors -. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 23(9), 213-220.
- [50] C. Wimmer, G. Hejazi, E. de Oliveira Fernandes, C.

- Moreira & S. Connors. (2015). Multi-criteria decision support methods for renewable energy systems on islands. *Journal of Clean Energy Technologies*, 3(3), 185-195.
- [51] S. H. Lee & J. H. Park. (2011). An Evaluation of Multi-Criteria for the Expansion of New and Renewable Energy in the Agricultural Sector. *Korean Journal of Agricultural Science*, 38(1), 183-190.
- [52] F. Woudenberg. (1991). An evaluation of Delphi. *Technological forecasting and social change*, 40(2), 131-150.
- [53] J. S. Lee. (2001). *The Delphi Method*. Seoul : KYOYOOKBOOK.
- [54] M. Adler & E. Ziglio. (1996). *Gazing into the oracle: the Delphi method and its application to social policy and public health*. London and Philadelphia : Jessica Kingsley Publishers.
- [55] S. Y. Roh. (2006). Delphi technique: forecasting based on professional intuition. *Planning and Policy*, 53-62.
- [56] H. J. Choi, & C. J. Suh. (2011). Study on R&D Manpower Requirements for the Field of Pharmaceutical - An Application of Delphi Method. *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, 12(3), 1270-1277.
- [57] J. M. English & G. L. Kernan. (1976). The prediction of air travel and aircraft technology to the year 2000 using the Delphi method. *Transportation Research*, 10(1), 1-8.
- [58] A. Heiko. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: review and implications for future quality assurance. *Technological forecasting and social change*, 79(8), 1525-1536.
- [59] Y. R. Kim. & Y. H. Choi. (2014). Korean Public Organization ERP Education Training Strategies Using Success Factor Analysis. *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 19(1), 87-97.
- [60] H. J. Kim & C. K. Park. (2012). A Study on the Evaluation Criteria for the Performance of Smart Grid Pilot Projects. *Journal of Digital Convergence*, 10(8), 15-20.
- [61] S. W. Bae. (2014). Study on the Development to the Competencies Model of Sport-for-all Instructors. *Korean Journal of Sport Management*, 19(5), 149-165.
- [62] E. Im, K. C. Son & J. K. Kam. (2012). Development of Elements of Horticultural Therapy Evaluation Indices through Delphi Method. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 30(3), 308-324.
- [63] G. Rowe & G. Wright. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353-375.
- [64] D. R. Tojib & L. F. Sugianto. (2006). Content validity of instruments in IS research. *Journal of Information Technology Theory and Application*, 8(3), 5.
- [65] V. Zamanzadeh, M. Rassouli, A. Abbaszadeh, H. A. Majd, A. Nikanfar & A. Ghahramanian. (2015). Details of content validity and objectifying it in instrument development. *Nursing Practice Today*, 1(3), 163-171.
- [66] C. H. Lawshe. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*, 28(4), 563-575.
- [67] J. Baker, K. Lovell & N. Harris. (2006). How expert are the experts? An exploration of the concept of 'expert' within Delphi panel techniques. *Nurse Researcher*, 14(1), 59-70.
- [68] A. Habibi, A. Sarafrazi & S. Izadyar. (2014). Delphi technique theoretical framework in qualitative research. *The International Journal of Engineering and Science*, 3(4), 8-13.
- [69] C. Okoli & S. D. Pawlowski. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & management*, 42(1), 15-29.
- [70] N. Dalkey, B. Brown & Cochran. (1970). Use of Self-ratings to Improve Group Estimates : Experimental Evaluation of Delphi Procedures. *Technological Forecasting*, 1, 283-291.
- [71] J. W. Murry & J. O. Hammons. (1995). Delphi: A versatile methodology for conducting qualitative research. *The Review of Higher Education*, 18(4), 423-436.
- [72] D. I. Kim, Y. Chung, Y. H. Lee. (2013). Delphi Study on Concepts and Components of Smart Media Addiction, *Asian Journal of Education* 14(4), 49-71.
- [73] S. Y. Hwang. (2009). The development of e-CRM activities scale in tourism industry using a Delphi Method. *Journal of Tourism Sciences*, 33(5), 453-475.
- [74] M. S. Lin, J. H. Park & S. B. Ahn, (2009). A Study on Selection of and Priority on Assessment Indicators in Green Logistics : Focused on Ports and Inland Hub Terminals. *Journal of Korea Port Economic Association*, 25(4), 1-20.
- [75] E. A. Voudrias. (2016). Technology selection for infectious medical waste treatment using the analytic hierarchy process. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(7), 663-672.
- [76] J. J. Park & S. J. Yoon. (2011). A Comparison of stakeholders' view on the Priority of policy for Greenhouse Gas Reduction in the Power Sector. *Korean Society and Public Administration*, 22(3), 209-237.

[77] M. E. Baysal, A. Sarucan, C. Kahraman & O. Engin. (2011, July). The selection of renewable energy power plant technology using fuzzy data envelopment analysis. *Proceedings of the World Congress on Engineering* (pp. 1140-1143). London.

[78] S. G. Lee, G. Mogi & J. W. Kim. (2008), Multi-criteria decision making method for developing greenhouse gas technologies strategically considering scale efficiency: AHP/DEA CCR-I and BCC-I integrated model approach. *Trans. Of the Korean Hydrogen and new energy society, 19(6)*, 552-560.

[79] J. M. Hong. (2011) An AHP Approach for The Importance Weight of Renewable Energy Investment Criterion in the Private Sector. *Korean Energy Review, 10(1)*, 115-142.

[80] H. G. Cho, J. D. Kim, Y. D. Lee, Y. S. Shin & G. H. Kim. Assessment Model on Building Sustainability Using Multi-Criteria Decision Making Methodology, *Korea science & art forum, 19*, 635-645.

[81] Z. A. Muis, H. Hashim, Z. A. Manan, F. M. Taha & P. L. Douglas. (2010). Optimal planning of renewable energy-integrated electricity generation schemes with CO₂ reduction target. *Renewable energy, 35(11)*, 2562-2570.

김 기 만(Kim, Ki Man) [정회원]



- 2007년 8월 : 홍익대학교 산업공학(공학사)
- 2009년 8월 : 연세대학교 산업공학(공학석사)
- 2018년 8월 : 고려대학교 과학기술협동과정(과학기술학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 녹색기술센터 선임연구원

· 관심분야 : 기술선택 의사결정, 기술혁신 정책지원 효과

· E-Mail : kkim@gtck.re.kr

강 문 정(Kang, Moon Jung) [정회원]



- 2005년 11월 : 독일 로이파나 뤼네부르크 대학교 환경과학(환경과학사)
- 2008년 11월 : 독일 로이파나 뤼네부르크 대학교 환경과학 환경과학(환경과학석사)
- 2017년 3월 : 독일 베를린공과대학교 혁신경제학(경제학박사)
- 2017년 4월 ~ 현재 : 녹색기술센터 선임연구원
- 관심분야 : 네트워크 분석, 녹색기술 기반 감축 효과
- E-Mail : kangmj@gtck.re.kr

김 형 주(Kim, Hyung Ju) [정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 기계공학(공학사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 산업공학(공학석사)
- 2004년 2월 : 베를린공대 기계 및 생산공학(공학박사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 녹색기술센터 부장, 책임연구원

· 관심분야 : 온실가스 감축 기술 효과, 개도국 기술협력

· E-Mail : hjkim@gtck.re.kr