

녹색·기후기술 정책지원 연구
국가 결정기여 달성을 위한 기술매핑 방안 연구

2017. 12.

녹색·기후기술 정책지원 연구
국가 결정기여 달성을 위한 기술매핑 방안 연구

2017. 12.

제 출 문

녹색기술센터 소장 귀하

본 보고서를 “녹색기후기술 정책지원 연구 - 국가 결정기여 달성을 위한 기술매핑 방안 연구”의 보고서로 제출합니다.

2017. 12.

주관연구기관명 : 녹색기술센터

부 서 명 : 정책연구부

연구책임자 : 김 형 주

연구 원 : 김 기 만

: 나 영 재

위탁연구기관/연구책임자 : 한국능률컨설팅협회 / 오 세 중

요 약 문

I. 서 론

- 신기후체제 합의(2015.12) 이후 당사국의 온실가스 감축목표 실현에 대한 논의가 활발하게 진행
 - 자발적 국가 감축 기여(이하 NDC)가 실제적인 이행으로 이어지기 위한 방안에 대하여 국제기구와 글로벌 연구기관 차원에서 필요한 사항들을 제시
 - 이를 통해 감축목표를 실질적으로 이행하기 위한 행동의 중요성을 강조
- 우리나라의 경우 2030년 BAU 대비 37%의 국가 온실가스 감축목표를 국제사회에 제시
 - 이와 관련, 감축수단을 새롭게 발굴하거나 기존에 활용되는 감축수단의 효과를 높이는 것에 주목하고 있음
 - 이러한 감축수단은 혁신적인 신기술의 개발 및 적용과 같은 기술적 수단과 다양한 제도적 수단을 포함하며, 선제적인 기후변화대응을 위한 시장과 과학기술의 중요성을 강조(관계부처합동, 2016)
- 특히, 온실가스 감축의 이행에 있어 기술의 측면에서 발굴 및 적용에 대한 중요성이 주요하게 다루어짐(관계부처 합동, 2016; BMU, 2016)
 - 새로운 감축수단의 확보와 기존 상용화 기술의 효율적 선택 및 적용의 측면에서 과학기술의 역할이 매우 중요하게 인식되고 있음
 - 온실가스 감축을 위한 혁신적인 기술의 적용과 신기술의 개발을 위해서는 국가 입장에서 합리적으로 기술을 도출하고 감축수단으로 확보하는 것이 매우 중요

※ 용어 정의: 기술 매핑은 특정 주체의 목표를 달성하기 위해 기술과 연관 요소를 확인하는 과정으로 기술을 선택하는 것과 관련된다(Gudanowska, 2016; Vossenaar & Jha, 2010). 이에, 본 연구는 기술매핑을 “특정 목적의 달성을 위해 기술을 인식하고 가장 적합한 것을 선택하는 것”으로 정의하고, 이에 기술선정이라는 용어를 사용

II. NDC 이행과 기술

- 국제기구와 글로벌 연구기관들은 각국의 NDC를 실제적인 행동으로 이행하기 위해 필요한 고려사항들을 제시
 - UNEP 등 국제기구는 NDC 이행을 위한 가이드라인을 제시하고, NDC-SDG 연계, 제도적/기술적 역량을 고려한 NDC 개발과 이행을 위한 제도적 프로그램, 이행계획의 준비를 위한 영향, 실행가능성 등의 고려를 강조
 - 기후변화에 대한 글로벌 연구기관인 Ricardo Energy & Environment는 NDC 이행을 위한 주요한 사항으로 효과적인 거버넌스, 장기 저감 전략, 통합 적응 계획, 기후 재정 프레임 워크, MRV 등을 제시
 - * 국제기구와 글로벌 연구기관의 주요 논의사항은 크게 (1)이행계획의 수립, (2)제도 수립, (3)재정 방안, (4)기술에 대한 접근 등 4가지로 요약 가능
- NDC 이행을 위해 역량과 지식이 중요하며, 이는 강화된 감축 노력을 위한 기술적 선택과 관련이 높음(International Partnership on Mitigation and MRV, 2016)
 - 독일의 환경청은 NDC 이행을 위한 기술의 역할을 강조하였으며, 기술적인 대안의 평가를 통한 장애요인의 극복 필요성을 강조
 - 우리나라의 경우, 「제1차 기후변화대응 기본계획(2016)」에서 과학기술 및 시장 중심의 감축을 명시하고 과학기술을 적극적으로 활용하려는 의지를 표명
 - NDC 이행을 위한 기술의 선택은 감축수단의 확보 측면에서 매우 중요
 - 내·외부적 영향 요인들을 고려하여 국가 온실가스 감축을 위한 기술을 선택하는 것은 국가 전략적 측면에서 중요(UNEP-IETC, 2007)
- INDC는 당사국의 국가 온실가스 감축을 위해 활용할 기술 등 감축수단을 명시
 - Annex1 국가(15개국, EU 포함)의 INDC를 검토한 결과, 일본, 스위스, 터키 등 5개국이 기술적 수단을 제시
 - 특히, 일본은 전 감축부문에 걸쳐 상세하게 기술적 수단을 명시하고 있으며, 이는 국가적으로 온실가스 감축을 위해 기술을 주요한 감축수단으로 고려하는 것을 의미 (※ 이러한 사항을 기반으로 기술선정 사례 분석 대상국으로 일본을 선정)

Ⅲ. 기술선정 관련 문헌 및 사례 분석

- 기술의 선정은 핵심적으로 활용해야할 기술에 대한 지식을 확보하고 목적 달성을 위한 중요한 기술을 파악해 나가는 과정
 - 이러한 개념에 있어 사용할 수 있는 기술에 대해 인식하는 것과 달성하고자 하는 목적에 부합할 수 있는 합리적인 기술의 선택이 중요
 - 결국, 기술 선정에 있어 핵심적인 사항은 어떠한 요소들을 고려하여 합리적으로 기술을 선택해야 하는가에 대한 것임
- 기술선택에 대한 기존 문헌은 기술선택의 주체가 민간, 공공 여부에 따라 차별적으로 접근이 필요하다고 언급
 - 국가의 관점에서 기술을 선택한다는 것은 공공적 차원으로 이해할 수 있으며, 이는 기본적으로 수익의 극대화를 목표로 하는 민간의 경우와 다른 지향점을 가짐
 - 기존 연구는 공공의 기술선택은 포괄적으로 사회적, 경제적, 정치적 기준을 포함해야 한다고 강조하며, 특히 많은 이해관계자를 중요하게 고려해야함을 언급
- 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로그램 선택 등에 대한 연구 문헌을 검토한 결과 기술적 측면을 포함하여 사회적, 경제적 측면 등 다양한 요소를 포함하고 있음
- INDC 검토 결과를 반영하여 온실가스 감축을 위한 기술선정 사례를 확인하기 위해 일본의 관계자 인터뷰를 실시
 - 일본의 경우 상용화 기술에 대한 활용, 온실가스 감축기술의 발굴 및 관리를 위한 정례화된 제도를 운영하고 있음
 - 온실가스 감축을 위한 기술에 대한 접근 전략으로 기술의 채택과 적용 가능성에 대한 불확실성을 경감시키고, 제도적 차원에서 관련 기술을 지속적으로 발굴할 수 있도록 노력을 전개하는 것이 특징
- 기존 연구에서 다루어진 주요 고려사항과 일본 사례를 기반으로, 기술선택 모형 개발을 위한 선택기준 pool 구축
 - 기존연구 검토와 일본 사례를 통해 약 50여개의 평가기준을 도출하였으며, 개념적 중복/유사성 등에 대한 검토를 거쳐 27개로 정리

IV. 기술선택 모형 개발

- 국가 온실가스 감축 이행 관련 기술선택을 위한 의사결정 지원도구로서 선택의 기준이 반영된 기술선택 모형 마련
 - 모형의 개발을 위해 과학적인 의사결정 방법론인 델파이(Delphi)와 분석적계층과정 (Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)를 활용하였으며, 국가 온실가스 감축 목표 수립에 직접적으로 참여한 22인으로 전문가 패널을 구성하여 대표성과 신뢰성을 확보
- 선행연구 검토 등을 바탕으로 도출한 고려기준 pool을 기반으로 델파이(2회), AHP(1회)의 설계·조사·분석을 통해 기술선택 모형을 도출
 - 일본 사례 검토, 사전 전문가 패널 회의를 통해 기술선택의 관점을 상용화 기술(단기 관점), 신기술(중장기 관점)으로 구분
 - * 델파이를 통해 타당성이 확보된 기준을 도출하고, AHP를 통해 도출된 기준 간 상대적 중요도를 도출
- 상용화 기술(단기 관점)은 기술성, 경제성, 환경성, 정책성, 사회성 등 5개 부문의 16개 지표로 구성되며, 신기술(중장기 관점)은 5개 부문의 18개 지표로 구성
 - 상용화 기술의 경우 환경성(0.30)과 경제성(0.25)이 높은 중요도를 가지는 것으로 나타났으며, 신기술의 경우 환경성(0.29)과 기술성(0.25)이 높은 중요도를 가지는 것으로 나타남
 - 이는 기술의 선택에 있어 달성하고자 하는 상황(기술적, 시간적 특징)에 따라 고려해야하는 판단 기준에 차이가 있다는 것을 의미

V. 온실가스 감축기술 선택 사례 연구

- 개발된 기술선택 모형의 적용가능성을 확인하기 위해 건물 부문을 대상으로 대안기술의 설정 및 모형을 적용한 기술평가를 수행
 - 건물 분야 기술전문가 18인(산학연 동일 비율)으로 구성된 평가위원회를 구성하였으며, 건물 부문의 녹색기술 8개(단열, 차양, 기밀, 열원, 조명, 태양광, 태양열, 지열)를 대안기술로 설정
 - 건물 부문의 온실가스 감축 기술의 적용에 있어 건물의 용도가 영향을 미치는 것을 고려하여 기술평가의 적용 대상을 공공상업용 건물과 주거용 건물로 구분하였으며, 평가의 불확실성을 줄이기 위해 상용화 기술을 고려
 - * 평가방법에 있어 평가기준과 대안기술의 수를 고려하여, 평가의 복잡성을 감소시키기 위해 기존 연구를 참고하여 평점법(Scoring Models Method)을 적용
 - * 평점법은 점수를 부여하고 대소를 가늠하는 방법으로, 본 연구는 평가기준에 대한 대안기술별 부합 정도를 등간척도(5점 척도)로 평가

- 공공상업용과 주거용 건물에 있어 세부적인 대안기술별 적합성 수준의 차이가 존재하나, 전반적으로 태양열, 지열을 제외한 6개 기술이 적합한 것으로 나타남
 - 공공상업용의 경우 단열, 일사조절, 열원설비, 조명, 태양광 등이 표준화된 종합평점 3.0 이상으로 나타났으며, 기밀(2.95점), 태양열(2.44점), 지열(2.27)이 적합성이 상대적으로 낮은 것으로 나타남
 - 주거용의 경우 단열, 기밀, 열원설비, 조명, 태양광 등이 표준화된 종합 평점 3.0 이상으로 나타났으며, 일사조절(2.83점), 태양열(2.59점), 지열(2.14점)이 적합성이 상대적으로 낮은 것으로 나타남
 - * 기존 연구에 근거하여 평가위원들의 평가 결과에 대한 편향성과 편차를 제거하기 위해 표준화 점수로 변환하여 평가결과 도출
 - * 공공상업용의 경우 녹색건축물 조성 지원법 개정(2014)으로 일사조절 장치가 의무화 되었으며, 기밀은 해외동향을 고려하여 최근 단열과 함께 활용하는 것에 대한 정책적 관심이 높아지고 있음
 - * 주거용의 경우 일사조절의 역할을 수행할 수 있는 발코니 등 구조적 특징이 있으며, 일사조절에 대한 사항을 일괄적으로 적용하기 어려움
 - 이러한 평가 결과는 일부 전문가 패널과 사전적으로 건물 부문의 녹색기술 적용에 대해 논의한 사항¹⁾과 일관성이 있으며, 이에 본 연구에서 개발한 모형을 적용하여 온실가스 감축기술을 선택하는 정책적 의사결정은 의미를 가질 것으로 판단

VI. 결론

- 온실가스 감축 이행을 위한 국가 관점의 합리적인 기술선택 방안으로 크게 2가지(기술선택 모형의 개발과 제도적 고려사항) 관점을 포함하는 프레임워크 제안
 - 첫째, 공공의 관점에서 목적 달성을 위해 합리적인 기준이 반영된 기술선택 모형의 개발과 적용 필요
 - 국가 온실가스 감축 계획 및 실적은 지속적으로 국제사회에 제출되어야 하며, 이의 이행을 위한 감축수단인 관련 기술을 국가 차원에서 지속적으로 도출하고 관리하는 것이 필요
 - 이에, 합리적 기술선택 모형의 개발과 적용이 필요하며, 특히 접근하고자 하는 온실가스 감축의 이행 시기(단기, 중장기), 기술의 수준(상용화 기술, 신기술) 등을 고려하여 차별적인 접근이 필요하다는 것을 인식하는 것이 중요
 - * 본 연구에서는 상용화 기술의 경우 16개 기준, 신기술의 경우 18개 기준으로 구성된 기술선택 모형 개발
 - 지속적인 기술선택 모형의 개발과 고도화를 통해 국가 차원에서 온실가스 감축을 위해 활용할 기술을 발굴하고 축적하기 위한 기술평가 등의 기준을 확립하는 것이 필요
 - * 대안기술에 대한 기술평가를 통해 특정 수준을 만족하는 경우 온실가스 감축기술로 활용하는 전략적 접근 가능
 - 또한, 세부 감축부문별 특성이 반영된 기술선택 모형의 개발 연구가 필요

1) 제로에너지건물 등의 적용을 위한 녹색기술은 다양한 기술의 활용이 필요, 현 수준에서 태양열과 지열의 경우 우리나라 환경 등을 고려하였을 때 타 기술을 보완하는 측면에서 접근하는 것이 바람직

- 둘째, 국가적으로 온실가스 감축 이행을 위한 기술을 지속적으로 발굴하고 관리하기 위하여 기술선택을 지원하기 위한 제도적 장치의 강화가 필요
 - 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택과 관련하여 감축기술에 대한 현장적용성을 확인하는 절차를 확보하여, 합리적인 감축기술의 발굴(이론적 모형과 결과)과 실제적인 감축기술의 적용(실제적 적용 가능성) 간의 간극을 줄이는 노력 필요
 - 기술평가를 위한 다양한 이해관계자 참여가 필수적으로 요구되며, 핵심적인 이해관계자가 참여가 충분치 않은 온실가스 감축 이행과 관련한 국가 주도의 하향식 기술 발굴은 실효성에 한계가 존재
 - 신뢰성 있는 감축기술 관련 정보 구축 및 공개 등을 통해 정책적 의사결정에 대한 투명성을 확보하고, 감축기술에 대한 DB를 공신력 있는 기관에서 계속적으로 구축하고 관리하는 제도적 장치의 강화 필요

목 차

제 1 장 서론	1
제1절 연구의 필요성 및 목적	1
제2절 주요 연구내용	4
제3절 연구의 추진체계 및 방법	6
 제 2 장 NDC 이행과 기술	7
제1절 NDC 이행과 기술 활용	7
1. INDC 개요	7
2. NDC 이행	10
3. NDC 이행을 위한 감축수단으로서 기술의 중요성	17
제2절 선진국 INDC의 기술적 대응 현황	20
 제 3 장 기술선정 관련 문헌 및 사례 분석	29
제1절 기술 인식과 선택	29
1. 기술선택의 개념	29
2. 기술선택 관련 문헌 검토	32
제2절 NDC 기술선정 사례	42
제3절 시사점	48

제 4 장 기술선택 모형 개발	51
제1절 델파이와 AHP 이론	51
1. 델파이 기법	53
2. AHP	55
제2절 델파이 설계 및 수행	57
1. 조사 개요	57
2. 분석 결과	61
제3절 AHP 설계 및 수행	79
1. 조사 개요	79
2. 분석 결과	87
제4절 분석결과 정리 및 시사점	98
제 5 장 온실가스 감축기술 선택 사례 연구	99
제1절 개요	99
제2절 기술선택 모형 적용 기술평가	102
1. 평가 설계	102
2. 분석 결과	105
제 6 장 결론	113
1. 기술선택 모형의 개발과 적용	114
2. 국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 관련 제도적 고려사항	117
[별첨] 델파이와 AHP 설문조사지	123
참 고 문 헌	141

표 목 차

〈표 2-1〉 주요국의 INDC	7
〈표 2-2〉 파리협약에서의 동의사항과 시사점	8
〈표 2-3〉 부문별 감축량	10
〈표 2-4〉 NDC 관련 핵심 활동	12
〈표 2-5〉 국내 감축 부문별 주요 적용 기술	18
〈표 2-6〉 Annex 1 국가 목록	20
〈표 2-7〉 주요국의 온실가스 감축을 위한 기술적 수단 명시 여부	23
〈표 2-8〉 일본 분야별 온실가스 저감 기술 (일본의 INDC)	24
〈표 2-9〉 터키 분야별 온실가스 저감 기술 (터키의 INDC)	27
〈표 2-10〉 모나코 분야별 온실가스 저감 기술 (모나코의 INDC)	28
〈표 3-1〉 민간과 공공 부문의 기술 평가 비교	31
〈표 3-2〉 선행연구에서 고려한 주요 평가기준	38
〈표 3-3〉 신저탄소기술계획 반영 기술 목록	45
〈표 3-4〉 온실가스 감축기술 선택 시 고려기준(안)	48
〈표 4-1〉 상용화기술과 신기술의 정의	58
〈표 4-2〉 델파이 조사 응답수집 기간 및 수집방법	59
〈표 4-3〉 패널 수에 따른 내용 타당도 비율(CVR)의 최소값	60
〈표 4-4〉 1차 델파이 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면	62
〈표 4-5〉 1차 델파이 조사 후 수정 내용 및 의견 반영 - 상용화기술(단기 관점) 측면	64
〈표 4-6〉 1차 델파이 조사 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면	65
〈표 4-7〉 1차 델파이 조사 후 수정 내용 및 의견 반영 - 신기술(중장기 관점) 측면	67
〈표 4-8〉 2차 델파이 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면	68
〈표 4-9〉 1차, 2차 델파이 조사에 대한 내용타당성, 의견 합의도 및 수렴도 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면	69
〈표 4-10〉 2차 델파이조사에 대한 수정 내용 및 의견 반영 - 상용화기술(단기 관점) 측면	71

<표 4-11> 2차 델파이 조사 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면	72
<표 4-12> 1차, 2차 델파이 조사의 내용타당성, 합의도 및 수렴도 결과	
- 신기술(중장기 관점) 측면	74
<표 4-13> 1차 델파이 조사 후 수정 내용 및 의견 반영 - 신기술(중장기 관점) 측면 ...	76
<표 4-14> 1차, 2차 델파이조사 종합 결과	
- 상용화기술(단기 관점) 측면의 16개 기준 선정	77
<표 4-15> 1차, 2차 델파이조사 종합 결과	
- 신기술(중장기 관점) 측면의 18개 기준 선정	78
<표 4-16> 상용화기술(단기관점)의 구분 및 기준	83
<표 4-17> 신기술(중장기관점)의 구분 및 기준	84
<표 4-18> 쌍대비교를 통한 요소들의 판단 기준 참조자료	86
<표 4-19> 상대적 중요성에 대한 척도	86
<표 4-20> 상용화기술(단기관점) 평가항목 및 기준별 중요도 종합 결과	88
<표 4-21> 전문가 그룹별 평가기준에 대한 종합 가중치(상용화기술)	92
<표 4-22> 신기술(중장기관점) 평가항목 및 기준별 중요도 종합 결과	94
<표 4-23> 전문가 그룹별 평가기준에 대한 종합 가중치(신기술)	97
<표 5-1> 건물 부문의 녹색기술 범위	99
<표 5-2> 대안기술 분류	100
<표 5-3> 대안기술 개요	101
<표 5-4> 기술평가 세부기준 목록과 평가내용	102
<표 5-5> (평가 참고) 대안기술별 일위대가표	104
<표 5-6> (평가 참고) 대안기술별 이산화탄소 저감량	105
<표 5-7> 기술별 평가기준에 대한 평가 결과	106
<표 5-8> 공공상업용 건물 대상 평가기준별 대안기술의 우선순위 도출 결과	107
<표 5-9> 종합 분석 결과(공공상업용)	108
<표 5-10> 기술별 평가기준에 대한 평가 결과	109
<표 5-11> 주거용 건물 대상 평가기준별 우선순위 정리 표	110
<표 5-12> 종합 분석 결과(주거용)	111
<표 6-1> 기술수준에 따른 기술선택 모형 비교	115
<표 6-2> 국가 온실가스 감축기술 선정을 위한 제도적 고려사항	119

그림 목 차

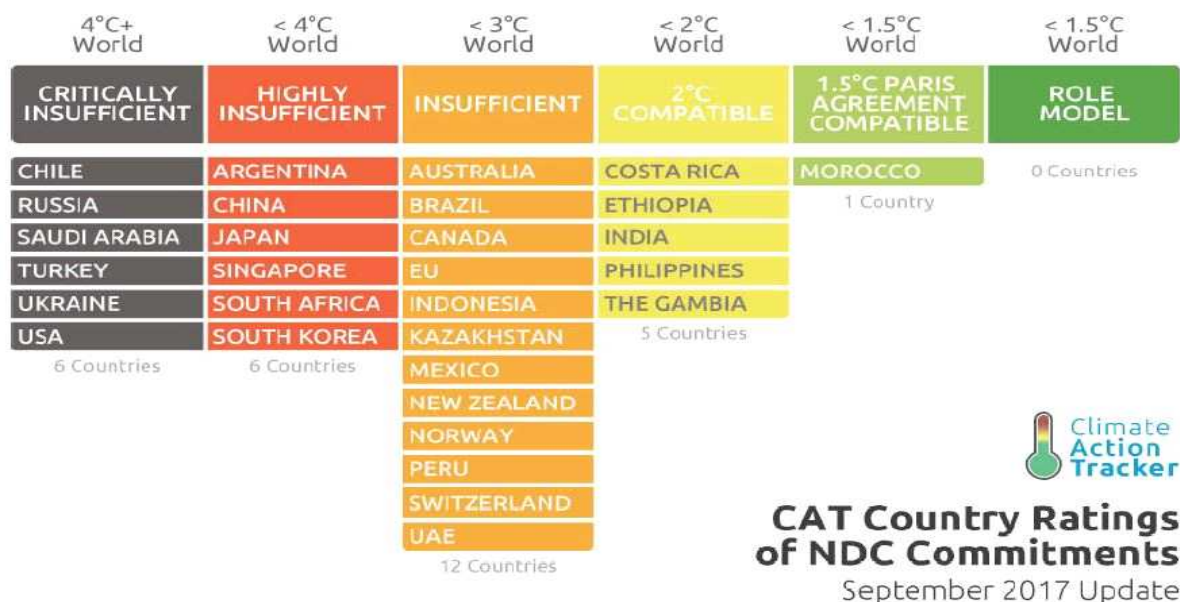
[그림 1-1] 당사국의 지구온난화 방지에 대한 평가	1
[그림 1-2] 연구의 추진체계	6
[그림 2-1] 우리나라의 온실가스 감축 목표	9
[그림 2-2] NDC 변환과 NDC 주기	15
[그림 2-3] NDC 변환 절차	16
[그림 2-4] Annex 1 국가의 기술적 수단 제시 여부에 따른 국가 분류	22
[그림 4-1] 델파이 기법 프로세스	57
[그림 4-2] AHP 분석 단계	79
[그림 4-3] 국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준의 가중치 도출 우선순위 선정 프로세스	80
[그림 4-4] 상용화기술(단기관점) 모델	81
[그림 4-5] 신기술(중장기관점) 모델	82
[그림 4-6] 상용화기술 평가항목의 상대적 중요도	88
[그림 4-7] 상용화기술 기술성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도	89
[그림 4-8] 상용화기술 경제성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도	90
[그림 4-9] 상용화기술 환경성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도	90
[그림 4-10] 상용화기술 정책성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도	90
[그림 4-11] 신기술 평가항목의 상대적 중요도	93
[그림 4-12] 신기술 기술성 평가항목 하위 상대적 중요도	95
[그림 4-13] 신기술 경제성 평가항목 하위 상대적 중요도	95
[그림 4-14] 신기술 환경성 평가항목 하위 상대적 중요도	96
[그림 4-15] 신기술 정책성 평가항목 하위 상대적 중요도	96
[그림 5-1] 종합 평가 결과(공공상업용)	108
[그림 5-2] 종합 평가 결과(주거용)	111
[그림 6-1] 기술선정 방안 프레임워크	113

제 1 장 서론

제1절 연구의 필요성 및 목적

2015년에 기후변화협약 당사국 총회(COP21)에서 범국가적인 합의로 채택된 신기후체제 합의 문은 국제사회가 공동으로 지구온난화를 방지하기 위한 공동의 노력에 동참한다는 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다. 신기후체제는 기존의 통제·명령적 접근법에 따라 선진국에 대한 감축목표를 하향식으로 부과하는 것과 달리 모든 국가들이 자발적인 국가 감축목표를 설정하는 상향식 방식이다. 신기후체제 합의 이후 당사국의 온실가스 감축을 실현하기 위한 논의와 노력이 활발하게 진행되고 있다(Wuppertal Institut, 2016). 또한, “자발적 국가 감축 기여(INDC²⁾)”가 실제적인 이행으로 이어지기 위한 방안에 대하여 독일의 “감축과 MRV에 대한 국제적 파트너십³⁾”, 미국의 “청정대기정책센터⁴⁾” 등 글로벌 연구기관들이 거시적인 전략 관점(정치적 이해관계, 재정 등)에서 필요한 사항을 제시하고 있으며, 이는 국제적인 차원에서 국가 온실가스 감축에 대한 이행의 중요성을 강조하고 있는 것이라고 할 수 있다. 당사국의 온실가스 감축 행동에 대한 과학적 분석과 전망을 제공하는 글로벌 연구기관인 “Climate Action Tracker”에 따르면, 2017년 기준으로 우리나라를 포함하여 많은 국가들이 산업화 이전 수준 대비 온도 상승을 2°C 이하로 억제하지 못할 것으로 예상되고 있다.

[그림 1-1] 당사국의 지구온난화 방지에 대한 평가



출처: Climate Action Tracker(2017)

2) Intended Nationally Determined Contribution

3) International Partnership on Mitigation and MRV

4) Center for Clean Air Policy

CAT는 지구온난화를 1.5℃ 이하로 억제하기 위해 단기적으로 지향해야할 사항에 대해 10가지를 제시하였으며, 재생에너지 증가, 석탄화력 감소, 친환경 수송, 저탄소 항공과 선박, 제로에너지건물, 산업 부문 저탄소 효율화 등을 강조하고 있다(CAT, 2016). 특히, 이러한 사항들은 2010년 기준으로 전체 온실가스 배출의 85% 이상을 포함하고 있으며, 전 세계적으로 온실가스 배출이 없는 수준에 도달하기 위해서는 모든 감축부문에서 이행이 필요하다고 언급하고 있다(CAT, 2016).

국가 온실가스를 감축하는 계획과 관련하여 우리나라의 경우 2030년 BAU 대비 37%(3억1천5백만톤)의 온실가스 감축목표를 국제사회에 제시하였다. 이에 관하여 감축수단을 새롭게 발굴하거나 기존에 활용되고 있는 감축수단에 대한 효과를 높이는 것에 주목하고 있다. 국가 온실가스 감축 목표의 관점에서는 총 목표인 2030년 BAU 대비 37% 중 25.7%(2억1천9백만톤)는 국내감축분이며, 11.3%(9천6백만톤)은 해외감축이다. 해외감축의 실현을 위해 국제시장 메커니즘을 활용하는 방안을 포함하고 있다. 정부는 이러한 국가 온실가스 감축목표의 달성을 체계적으로 이행하기 위한 종합적 계획으로서 최근 관계부처합동으로 「제1차 기후변화대응 기본계획(2016.12)」을 발표하였다. 이는 국가 온실가스 감축과 관련한 모든 영역(감축, 적응, 국제협력)을 포괄하는 종합계획이다. 특히, 계획에서는 선제적인 기후변화대응을 위해 신시장과 신기술의 중요성을 강조하고 있다. 「제1차 기후변화대응 기본계획(2016.12)」에 따르면, 2016년 6월에 관계부처합동으로 발표한 기후변화대응기술 확보 로드맵을 바탕으로 신기후 기술 연구개발의 기반 조성을 강조하고 있으며, 차세대 기후기술 개발 및 실증 확대, 청정에너지 기술 상용화를 중요하게 고려하고 있다. 기후기술로드맵은 3대 분야(탄소저감, 탄소자원화, 기후변화적응)의 10대 기후기술(태양전지, 연료전지, 바이오연료, 이차전지, 전력 IT, CCS, 부생가스 전환, CO₂ 전환, CO₂ 광물화, 공통 플랫폼)을 제시하고 있다. 또한, 차세대 기후기술 개발·실증과 관련하여 관계부처의 기후기술에 대한 연구성과를 연계하고 개발·실증을 거쳐 상용화될 수 있는 기후산업육성 모델의 확대를 언급하고 있으며, 청정에너지기술은 신재생, 효율향상, 수요관리, CCUS, 원자력 등 6대 분야에 대한 13개 기술영역에 대해 투자를 확대하고 시장진입을 촉진하는 방안을 제시하고 있다. 제1차 기후변화대응 기본계획과 함께 발표된 「2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵(관계부처 합동, 2016)」은 감축부문(전환, 산업, 건물, 수송 등)별로 세부적인 감축수단을 제시하고 있다. 이러한 감축수단은 혁신기술의 도입/신기술 개발과 같은 기술적 수단과 다양한 제도적 수단을 포함하고 있다. 특히, 이러한 로드맵의 수립과 추진에 있어 국가의 역할에 대하여 몇 가지 사항을 제시하고 있는데, 그중 기후기술 개발 지원을 언급하고 있다. 정부차원의 계획을 통해 국가 온실가스 감축에 있어 과학기술의 육성과 활용이 중요한 축으로 고려되고 있다는 것을 알 수 있다.

앞서 언급하였듯이, 글로벌 차원의 동향과 국내 정부 계획을 살펴보면 NDC 이행과 관련하여 국가 온실가스 감축을 위해 주요하게 고려해야할 사항으로 정치적 이해관계자 참여, 재정, 역량 등 다양한 관점에서 논의가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한, 온실가스 감축을 위한 기술적 차원의 대안 평가, 적용 등 NDC 이행에 있어 과학기술에 대한 사항이 중요하게 다루어지고 있다(관계부처합동, 2016; BMU, 2016). 특히, 새로운 감축수단의 확보와 기존수단의 효율성 확보의 측면에서는 과학기술의 역할이 매우 크다고 할 수 있다. 이와 같이, NDC 이행을 위

한 주요한 축으로서 과학기술에 대한 중요성과 필요성은 우리나라를 포함한 국제적 차원에서 인식되고 있으나, 국가 온실가스 감축과 관련하여 어떠한 방식으로 과학기술을 선택하고 적용해야 하는지에 대하여 면밀하게 분석하는 연구는 아직 부족한 실정이다. 특히, 「2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵(관계부처 합동, 2016)」에서 언급되고 있는 온실가스 감축을 위한 “혁신기술의 적용”과 “신기술의 개발”을 위해서는 국가의 입장에서 합리적으로 기술을 도출하고 이러한 기술을 국가 차원의 감축수단으로 확보하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에, 본 연구는 국가의 관점에서 온실가스 감축을 위한 합리적인 기술선택의 방안에 초점을 두고자 한다. 이러한 기술선택 방안은 기술을 선택하기 위해 고려하는 합리적인 기준과 더불어 이의 수행을 지원하는 제도적 고려사항을 포함한다.

기술을 선택하는 것은 특정한 목표를 달성하기 위한 관련한 기준을 합리적으로 설계하고 이에 부합하는 기술을 도출하는 것을 의미한다. 특히, 본 연구는 합리적인 기준을 반영하는 “기술선택 모형”을 도출하기 위하여 과학적 의사결정 방법론을 활용하였으며, 이에 대한 자세한 내용은 4장에서 다룬다.

본 연구의 목적은 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 기술선택의 방안을 도출하는 것이다. 이를 위해 먼저, 세부적으로 국가의 관점에서 고려해야 하는 다양한 기준을 합리적으로 설계하고, 이를 바탕으로 하는 온실가스 감축기술 선택 모형을 도출한다. 또한, 기술선택 모형의 적정성을 검토하기 위하여, 특정 감축부문에 대한 사례를 토대로 기술선택 모형을 적용한 감축기술의 평가를 실시한다. 이러한 분석을 바탕으로 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 방법과 이러한 기술선택 과정을 지원하기 위한 제도적 맥락을 종합적으로 고려하여 정책적 방안을 제안한다.

제2절 주요 연구내용

본 절은 주요한 연구내용에 대해 요약정리하고 전반적인 연구수행의 흐름을 제시한다. 본 연구는 총 6개의 장으로 이루어져 있으며, 각 장은 내용적인 연계성을 지닌다. 먼저, 1장은 연구의 필요성, 목적과 추진체계를 제시하여 연구수행의 배경, 당위성과 연구문제에 대한 접근방법을 제시한다. 2장은 NDC 이행에 대한 글로벌 차원의 논의 동향과 NDC 이행을 위한 방법으로서는 기술의 중요성에 대하여 분석한다. 또한, 선진국의 INDC에 대한 기술적 대응 현황을 살펴본다. 3장은 기술의 인식과 선택에 대한 개념을 살펴보고, 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로젝트, 정책 등의 선택에 대한 기존 연구문헌을 검토한다. 이를 통해 “국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 모형” 개발을 위한 기준 pool을 도출한다. 또한, 기술선택에 대한 선진사례를 분석하기 위해 일본을 대상으로 방문인터뷰를 통해 INDC 수립 시 기술적 대응 방안을 확인한다. 4장은 3장에서 도출한 기술 pool을 바탕으로 과학적 의사결정 방법론인 델파이(delphi), AHP (Analytic Hierarchy Process)을 활용하여 기술선택 모형을 마련한다. 5장은 4장에서 개발한 기술선택 모형을 실제적인 감축부문 사례에 적용하여 기술선택 모형 적용을 위한 시사점을 도출한다. 마지막으로 6장은 기술선택 모형과 이러한 모형의 활용을 위한 제도적 지원의 관점에서 국가 온실가스 감축을 이행하기 위한 기술선택 방안을 제시한다.

각 연구수행에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

2장에서는 NDC 이행을 위해 주요하게 고려가 필요한 사항을 파악하기 위하여, 글로벌 차원에서 논의되고 있는 동향을 조사한다. 이를 위해 NDC 이행과 관련한 글로벌 썹크탱크의 문헌을 중심으로 주요내용을 파악한다. 또한, NDC 이행과 기술의 활용이라는 측면에서 다루어지고 있는 논의를 조사한다. 국내적으로는 관계부처 합동으로 수립한 정부 계획을 검토하였으며, 국외적으로는 NDC 이행을 위한 기술 활용의 관점에서 이루어지고 있는 주요국/주요기관의 논의 사항을 조사한다. NDC 이행과 기술의 활용이라는 맥락에서 선진국의 INDC를 대상으로 기술적 대응 현황을 조사한다. 선진국은 Annex1 국가를 대상으로 조사하며, EU를 포함하여 15개국이 이에 해당한다. Annex1 국가의 INDC를 바탕으로 기술적 방안에 대한 포함 여부, 구체성 등을 검토한다.

3장에서는 기술의 인식과 선택에 대한 이론적인 개념을 살펴본다. 이를 위해 기술의 인식과 선택에 대한 연구문헌을 조사한다. 특히, 기술의 선택에 있어 공공의 관점에서 중요하게 고려해야 할 사항에 대해 파악한다. 그 다음으로, 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로젝트, 정책 등의 선택에 대한 연구문헌을 검토한다. 이를 통해, 기술선택 모형을 개발하기 위한 기준 pool을 도출한다. 또한, 선진국의 INDC 기술선택 방안에 대한 사례를 확인한다. 2장의 선진국 기술적 대응 현황 조사를 바탕으로 해당 국가를 결정한다. 사례 확인을 위하여 관계자 방문 인터뷰를 실시하고, INDC 수립을 위한 기술 선정과 제도적 사항에 대해 파악한다.

4장에서는 기술선택 모형을 개발한다. 이를 위해 과학적 의사결정 방법론인 델파이와 AHP를 활용한다. 먼저, 델파이와 AHP에 대한 이론적 개념을 살펴본다. 이를 통해 델파이와 AHP 분석 시 고려해야 할 사항에 대해 파악한다. 그 다음으로, 델파이와 AHP를 설계하고 분석을 실시한다. 이를 위해 온실가스 감축목표 수립 시 참여한 전문가 패널을 구성한다. 델파이 분석을 통

해 기술선택 모형을 구성하는 기준을 도출하며, AHP 분석을 통해 각 기준의 상대적 중요도를 도출한다. 이러한 분석을 통해 기술선택 모형을 마련한다. 기술선택 모형은 기술수준과 적용시기에 따라 상용화기술(단기관점)과 신기술(중장기관점)로 나누어 도출한다.

5장에서는 개발된 기술선택 모형을 실제 사례에 적용하고 시사점을 도출한다. 이를 위해 사례분석을 위한 온실가스 감축 부문을 선정하고, 기술선택을 위한 대안기술을 도출한다. 연구의 목적을 고려하여 대안기술은 국가 온실가스 감축 로드맵을 바탕으로 선정하며, 이를 위해 전문가 패널과의 논의를 수행한다. 대안기술에 대한 평가는 설문방식으로 실시하며, 이를 위해 해당 분야의 전문성을 보유한 전문가 패널을 구성한다. 기술평가 결과를 토대로 기준별 가중치를 반영하여 대안기술의 우선순위를 도출한다. 대안기술의 우선순위는 국가 온실가스 감축 이행을 위한 정책적 방향성 측면으로 고려한다.

6장에서는 기술선택 모형과 제도적 필요사항을 바탕으로 국가 온실가스 감축의 이행을 위한 기술선정 방안을 제시하고, 결론을 도출한다.

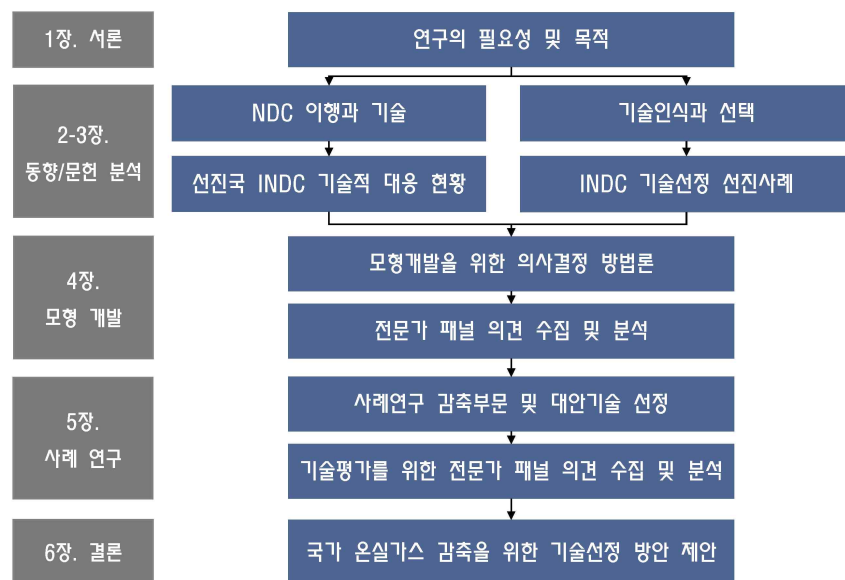
제3절 연구의 추진체계 및 방법

본 연구의 추진체계는 [그림 1-2]와 같다. 본 연구는 크게 동향/문헌 분석과 모형 개발/적용으로 구성이 된다. 첫 번째는 NDC 이행과 기술, 기술선택에 대한 것으로 관련 글로벌 논의 동향과 연구 문헌을 검토한다. 두 번째는 기술선택 모형과 적용에 대한 것으로 의사결정 방법론(델파이와 AHP)을 활용하여 기술선택 모형을 개발하고 실제 사례에 적용하여 시사점을 도출한다. 이러한 과정에서 기술선택 방안에 대한 제도적 사항과 사례 연구를 위한 대안기술의 선정에 대하여 관련 전문가와의 논의를 수행한다.

“기술선택 모형 개발”과 “사례 연구”를 위하여 전문가 패널을 구성한다. 먼저, 기술선택 모형 개발을 수행하기 위해 국가 온실가스 감축목표 수립 시 참여한 전문가로 패널을 구성한다. 전문가 패널의 역할은 델파이와 AHP 조사를 수행함에 있어 기술선택을 위한 기준에 대한 적절성, 각 기준별 가중치에 대한 의견을 제시하는 것이다. 그 다음으로 사례 연구를 수행하기 위해 해당 분야에 대한 산·학·연 기술전문가로 패널을 구성한다. 전문가 패널의 역할은 개발된 기술선택 모형의 기준을 바탕으로 대안기술을 평가하는 것이다.

본 연구에서 사용하고 있는 용어와 관련하여 기술매핑은 특정 주체의 목표(기술 개발, 경쟁우위 확보 등)를 달성하기 위해 기술 그리고 이와 연관된 요소들을 확인하는 과정으로 고려 가능한 기술을 인식하고 선택하는 것과 관련된다(Gudanowska, 2016; Vossenaar & Jha, 2010). 이에, 본 연구는 기술매핑을 “특정 목적을 달성하기 위하여 기술을 인식하고 가장 적합한 것을 선택하는 것”의 개념으로 간주하고자 하며, 이를 “기술선정”이라고 명명하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 기술선정이라는 용어를 사용한다. 또한, 본 연구에서는 INDC 문서 자체를 지칭하는 경우를 제외하고 NDC라는 용어를 사용한다. 이는 국가결정기여로서 국가 온실가스 감축목표를 의미하는 것이다.

[그림 1-2] 연구의 추진체계



제 2 장 NDC 이행과 기술

제1절 NDC 이행과 기술 활용

1. INDC⁵⁾ 개요

자발적 국가결정기여는 유엔기후변화협약(UNFCCC: The United Nations Framework Convention on Climate Change)에 가입한 국가들이 자발적으로 설정한 신기후체제 하에서의 감축목표이다. 2016년 4월까지 189개 나라가 INDC를 제출하였으며, 2016년 10월 기준으로 197개 당사국 중 137개 당사국이 비준을 완료했다. 이는 파리협정의 내용이 국가적 차원에서 효력을 발휘하는 것을 의미한다. <표 2-1>은 주요국의 INDC 내용을 정리한 것이다.

<표 2-1> 주요국의 INDC

국가명	기준 년도	감축 목표	목표 년도	국제시장메커니즘 활용
중국	2005	60~65% (GDP 단위당 배출량 기준)	2030	특정되지 않음
미국	2005	26~28%	2025	아니오
EU (29개 회원국)	1990	40%	2030	아니오
일본	2005 (2013)	25.4% (26%)	2030	예 (JCM)
한국	온실가스 배출 전망치 (BAU)	37%	2030	부분적
뉴질랜드	2005	30%	2030	예

출처: 각국 INDC 기반 연구진 작성

5) 2015년에 UNFCCC에 제출된 각 국의 INDC는 사실상 첫 번째 NDC로 간주되고 있다. 따라서 용어의 혼란을 줄이고자 본 연구는 국가 온실가스 감축목표를 지칭하는 표현으로 “NDC”라는 용어를 사용한다.

INDC에 포함되어야 하는 사항에 대하여 당사국 간 명확하게 동의가 이루어진 가이드는 존재하지 않지만, COP20에서 당사국 간에 동의가 이루어진 내용은 아래와 같다.

- (1) 기준년도를 포함한 정량적인 정보
- (2) 이행에 대한 시간적 범위와 기간
- (3) 범위와 규모
- (4) 계획 절차
- (5) 온실가스 배출과 저감에 대한 측정과 산정을 포함한 가정과 방법론적 접근
- (6) 당사국별 자발적 국가결정기여에 대한 정당성과 목표의식

또한, INDC에는 기후변화 적응 또는 적응 요소를 포함할 수 있으며, 현재의 감축 노력에 대한 강화와 함께 후퇴금지의 원칙을 가지고 있다.

INDC는 매 5년마다 수립해야 하며, INDC의 달성을 위해 국내적 완화 조치의 추구를 포함하며, 이에 대한 진전되는 노력과 높은 의욕수준을 반영해야 하는 특징을 가지고 있다. 따라서 일시적이지 않고 국제사회의 맥락 하에 지속적으로 수립해야 하는 국가차원의 목표라고 할 수 있다.

INDC 자체는 법적구속력이 없으나, 각 국가는 비준을 통해 INDC의 이행에 대한 국가적인 차원의 실행기반 마련과 원동력을 확보하고 있다고 할 수 있다. 우리나라의 경우 2016년 11월에 기후변화에 관한 파리협정 비준동의안이 국회를 통과하였다. <표 2-2>은 파리협약에서 논의된 INDC의 특징을 정리한 것이다.

<표 2-2> 파리협약에서의 동의사항과 시사점

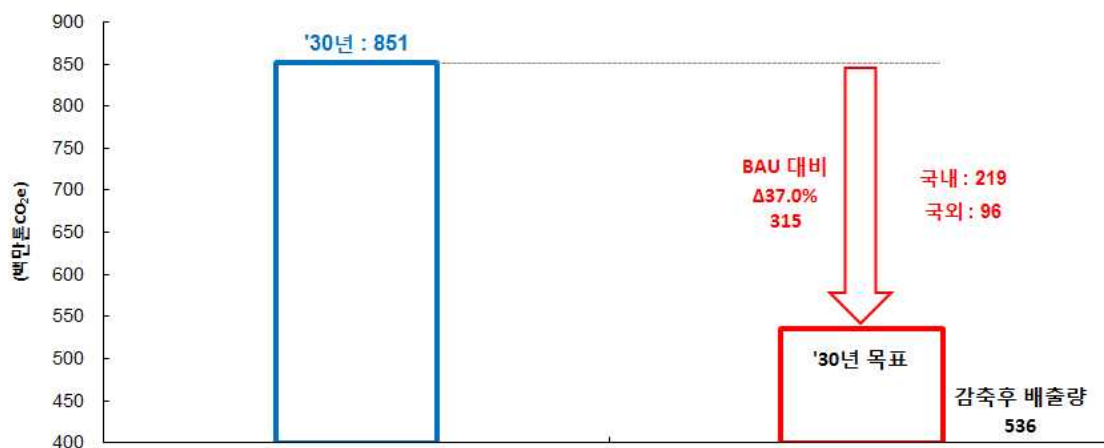
구분	파리협약에서 동의 사항	국가 감축 기여에 대한 시사점
장기적 목표	<ul style="list-style-type: none"> 온도 상승을 2°C로 제한하기 위한 국제적 목표에 대한 반복적 확인 1.5°C 목표에 대한 인지 탈탄소화 경제와 무배출(net zero emissions) 목표 	<ul style="list-style-type: none"> 제출된 INDC는 지구온난화 방지 목표를 달성하기 위해 부족 국가별 감축기여를 목표 달성을 고려한 수정 필요
증가 메커니즘	<ul style="list-style-type: none"> 당사국은 적어도 2020년부터 매 5년 단위로 국가감축기여를 보완 후퇴금지: 모든 보완은 최소 이전의 기여보다 향상되어야 함 국제 리뷰 절차는 각국에 대한 제안을 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 당사국은 현재의 기여에 대하여 리뷰 준비 필요

구분	파리협약에서 동의 사항	국가 감축 기여에 대한 시사점
투명성	<ul style="list-style-type: none"> 국제적 기구는 2018년부터 매 5년마다 장기목표에 대한 진행을 모니터링 국가수준에서 실행기구는 NDC 이행에 대한 절차는 모니터링 최빈국 등을 제외한 모든 당사국은 매 2년마다 NDC 이행에 대하여 보고 	<ul style="list-style-type: none"> NDC 이행과 관련한 국가수준에서의 모니터링과 보고를 위한 기술적 역량과 프레임워크가 요구됨
지원	<ul style="list-style-type: none"> 역량 강화와 기술적 지원을 제공하기 위한 국가로 부터의 노력 재확인 	<ul style="list-style-type: none"> 계속적으로 개도국의 NDC 이행을 위한 자원(기후재원, 기술이전, 역량 강화) 제공 필요 NDC 이행에 대한 준비와 지원에 접근하기 위하여 개도국은 면밀한 투자 계획 수립 필요

출처: International Partnership on Mitigation and MRV(2016)

우리나라의 INDC는 2030년 배출전망치 851백만톤 대비 37% 감축(315백만톤)을 목표로 설정하였으며, 감축목표를 국내감축 25.7%(291백만톤)와 해외감축 11.3%(96백만톤)로 나누어 세부적으로 설정하였다. [그림 2-1]는 이를 도식화한 것이며, <표 2-3>는 부문별 감축량을 정리한 것이다.

[그림 2-1] 우리나라의 온실가스 감축 목표



출처: 관계부처 합동(2016), 제1차 기후변화대응 기본계획

<표 2-3> 부문별 감축량

부문	BAU (백만톤)	감축량 (백만톤)	감축률(%)	
			부문 BAU 대비	국가 BAU 대비
전환	(333)*	64.5	(19.4)	7.6
산업	481	56.4	11.7	6.6
건물	197.2	35.8	18.1	4.2
에너지 신산업	-	28.2	-	3.3
수송	105.2	25.9	24.6	3.0
공공·기타	21	3.6	17.3	0.4
폐기물	15.5	3.6	23.0	0.4
농축산	20.7	1	4.8	0.1
국내 감축	851*	219	25.7	
국외 감축		96	11.3	

출처: 관계부처 합동(2016), 제1차 기후변화대응 기본계획

2. NDC 이행

NDC라는 국가 온실가스과 관련한 계획에 대한 당사국 간 동의 이후에 면밀하게 고려해야 하는 사항은 계획을 어떻게 행동으로 옮기는가이다. 이는 NDC를 실제적인 행동으로서 이행하는 개념이며, 이러한 이행은 구체적인 정책, 측정, 재정 전략 등을 포함하는 것이다(CCAP, 2016). 본 연구는 NDC 이행과 관련하여 주요 국제기구와 글로벌 연구기관에서 논의하고 있는 사항을 토대로 NDC 이행의 의미를 파악하고자 한다.

기후변화에 대한 글로벌 연구기관인 Ricardo Energy & Environment는 “Planning for NDC implementation”이라는 보고서를 통해 NDC 이행을 위해 계획을 도출하기 위한 4가지 축을 제안하였다. 이는 (1)갭 분석, (2)자원 수요의 평가, (3)활동의 순서화, (4)계획 작성 이다. 이에 대한 개략적인 내용은 아래와 같다.

먼저 갭 분석은 온실가스에 관련한 현재의 국가적 상황에 있어 수행하고 있는 활동들에 대하여 검토하고, 어떠한 활동들이 효과가 있으며, 향후 어떻게 NDC 이행에 반영해야하는지를 판단하는 것을 의미한다. 갭 분석은 NDC의 이행을 위한 시작점이며, 어떠한 활동이 적절하고, 중요한 것인지 알 수 있도록 하는 과정이다.

두 번째는 자원 수요의 평가이다. 갭 분석을 실시한 후에 이러한 활동을 수행하는데 필요한 자원에 대한 평가가 필요하다. 재원에 대한 소요, 인력, 전문가, 기술 등이 주요한 평가의 대상이다. 또한, 이러한 활동을 위해 필요한 시간에 대해서도 확인이 필요하다. 이러한 자원의 평가를 통해 NDC 이행에 대한 우선순위 활동을 확인할 수 있다. 특히, 자원 소요와 관련하여 국가

의 예산으로 충당할 것인지, 외부의 추가적인 재원을 활용할 것인지를 여부를 판단하는 것이 중요하다.

세 번째는 활동의 순서화이다. 국가들은 갭 분석을 통해 확인한 활동들의 순서가 결정되어야 한다. 이는, 어떠한 활동이 다른 활동과 관련되어 수행되어야 하는지도 포함된다. 예를 들면, 많은 국가들이 거버넌스에 대한 것을 NDC 이행을 위한 첫 번째 활동으로 고려한다. 일반적으로 NDC 이행 계획의 활동을 순서화하기 위해 경제 성장, 고용 등을 포함하는 활동의 상대적인 우선 순위를 고려할 수 있으며, 이러한 우선순위의 도출을 위해 핵심적인 이해관계자들을 고려해야 한다. 더욱이 이러한 우선순위에 있어 이해관계자들과 동의를 이루는 기준을 설정할 필요가 있다.

네 번째는 계획의 작성이다. NDC 이행 계획을 수립함에 있어 현재의 전략, 계획 등과 통합이 되는 것이 필요하다. NDC 이행계획은 활동에 대해 명확하게 명시해야 하며, 기간과 수행 주체를 포함해야 한다. 이를 통해 향후 NDC 이행을 위한 프로그램 관리 도구로 활용할 수 있다. NDC 이행 계획의 도출의 과정에서 이해관계자와 긴밀하게 협력하는 것이 필요하며, 이해관계자들의 참여를 촉진시킬 필요가 있다.

또한, Ricardo Energy & Environment는 Implementing the Paris Climate Agreement라는 보고서를 통해 NDC 이행을 위한 5가지 사항을 제안하였다. 이는 (1) 정치적 의지와 효과적인 거버넌스, (2) 장기 저감 전략, (3) 통합 적응 계획, (4) 기후 재정 프레임워크, (5) 온실가스 산정, 보고 및 검증 체계 이다. 이에 대한 간략한 내용은 아래와 같다.

먼저, NDC 이행을 위한 다양한 이해관계자에게 동력을 제공하고 책임을 강화하기 위하여 적절한 제도와 법률에 의한 지지를 받을 수 있도록 정치적 의지와 효과적인 거버넌스가 필요하다. 많은 당사국에게 목표의식에 대한 주요한 동력은 온실가스 감축 자체보다는 사회적, 경제적 혜택에 있다고 할 수 있다. NDC의 수립은 국가의 우선순위와 걸맞은 저탄소 경제에 대한 장기 비전을 강조하는 정치적인 관심을 강화하는 기회를 제공한다. 따라서 NDC의 개발은 현재의 국가계획 상에서 우선순위와 정책을 고려하여 수립된다. 국가 발전 우선순위를 고려하는 참여적인 접근에 있어 NDC를 달성하기 위한 정치적인 지원 유지는 필수적이다. 특히 법률이 중요한 역할을 하며, 견고한 체계를 구축해야한다. 2014년까지 전세계 100개국 이상이 기후와 관련한 프레임워크에 초점을 둔 법률과 정책을 보유한 것으로 나타났다. 기후계획의 달성은 이행에 대한 감독과 조화를 위한 효과적인 거버넌스 체계 없이는 달성이 어렵다.

두 번째로 장기 감축 전략을 위해 핵심 부문에 대한 순차적인 전략이 필요하다. NDC에서 반영하고 있는 국가적 비전을 혁신적인 변화에 필요한 실질적인 정책으로 구체화할 필요가 있다. 이는 향후 배출에 대한 정확한 베이스라인을 포함하며, 장기적인 관점에서 명확한 목표가 설정되어 있고, 온실가스 감축과 경제 성장 간의 균형을 고려해서 우선순위를 선정해야 한다. NDC의 준비에 있어 당사국이 직면한 가장 어려운 점 중 하나는 관련한 그 동안의 자료와 경험이 부족하다는 것이다. 따라서 배출량을 정확하게 산정하는 것과 실질적인 활동을 수행하는 경험이 부족하다. 신빙성 있는 자료를 기반으로 분석을 통해 감축 잠재량과 정책의 대안을 도출해야 하며, 이에 수반되는 비용과 이익을 파악해야 할 필요가 있다.

세 번째는 통합된 적응 계획이다. 이를 테면, 많은 개도국들은 기후변화에 대한 영향이 지속

적인 발전에 있어 많은 제한들로 작용하고 있다. 따라서 NDC를 제출한 국가 중 높은 비율로 적응이라는 개념을 고려하고 있다. 적응 계획이 감축 전략, 재정 전략 등과 적절하게 통합된다면 기후 회복에 대해 더 유연하게 대처할 수 있다. 따라서 적응이라는 개념을 국가적 주요한 목표로 도입하는 것이 중요하다.

네 번째는 기후재정 프레임워크이다. 효과적인 재정 프레임워크를 창출하기 위한 핵심은 자금의 종류와 규모에 대한 필요성을 명확하게 파악하는 것이며, 민간부문을 포함한 적절한 자금원천을 파악하는 것이다. 일반적으로 정부는 NDC에 관하여 실행을 위한 비용에 초점을 맞춘다. 그러나 이와 더불어 자금원천에 대한 부분을 초기 단계부터 매칭시켜 나가는 것이 필요한 자금을 확보하는 것에 많은 도움이 된다. 많은 국가들은 기후 프로젝트를 위한 자금과 더불어 역량 형성과 MRV에 대해서도 자금을 고려하고 있다. 이러한 자금에 대한 요구사항은 부문별로 고려되어야 한다. 자금의 형태는 그랜트(grants), 지원금(subsidies), 대출(loans), 자본 투자(equity investments) 등 정책적 목표에 따라 다양하다. 정부의 예산과 국제기구의 원조, 민간부분의 투자 등이 자금의 원천이다. 이러한 자금 원천을 고려하여 자발적 국가결정기여의 이행을 위해 최적의 의사결정을 내리는 것이 중요하다.

마지막으로, 측정, 보고 및 검증 체계이다. 당사국들은 온실가스의 측정, 보고 및 검증에 관한 정보를 중요하게 인지하고 있다. 측정, 보고 및 검증은 계획에 대한 진행사항을 확인하는 것이며, 목표로 하는 결과를 달성하기 위하여 계획의 변경이 필요한지 여부를 알려주는 분석적 도구이다. 이러한 정보와 관련해서는 현재의 배출뿐 만 아니라, 미래의 배출을 예상할 수 있으며, 관련 부처가 어디인지 파악을 통해 효과적으로 대응할 수 있도록 한다. 또한, 현재 진행하는 기후행동이 비용효과적인 것인지를 확인할 수 있다. 효과적인 측정, 검증 및 보고를 위해 4가지의 고려사항이 있다.

- 준비정도 평가: 현재 보유한 구조, 절차, 기술적 역량과 측정, 보고 및 검증 체계 구축을 위한 차이를 확인하는 것
- 역량 형성: 체계를 이해하고 기술적인 역량의 차이를 줄이는 것, 역량의 경우 시행에 의한 학습을 통해 측정, 검증 및 보고에 대한 보고서를 준비하는 과정에서 많은 향상이 이루어진다.
- 체계 설계: 올바른 제도를 형성하고 적절한 역할과 책임에 대한 인식, 현존하는 제도와 구조와 절차는 필요에 따라 확장
- 자료 관리: 자료의 수집, 분석, 품질 확인, 문서화를 수행하는 것

<표 2-4> NDC 관련 핵심 활동

모듈	활동
거버넌스	1. 현재의 제도적 상황 검토 2. NDC 이행 조정을 위한 팀 형성 3. 제도적 조치 4. 거버넌스 내 역량 형성 5. 외부 이해관계자 참여 6. 법적 프레임워크 개발

모듈	활동
감축	<ol style="list-style-type: none"> 1. 현재의 감축 정책 검토 2. 감축 활동에 대한 조정을 위한 제도 형성 3. 감축에 대한 우선 순위와 옵션에 대한 감축 잠재력 분석 4. 핵심 영역에 대한 우선순위 활동에 대한 평가 5. 감축 정책 설계 6. 감축 활동에 대한 재정 접근 7. 감축 정책 실행 8. 감축 MRV 체계 설계 및 실행 9. 향후 NDC 준비
적응	<ol style="list-style-type: none"> 1. 현재의 적응 정책 검토 2. 기초 작업 착수 3. 적응 계획을 위한 준비적인 작업 착수 4. 적응 활동을 위한 재정 접근 5. 정책, 프로젝트, 프로그램 실행 6. 적응 활동에 대한 절차와 효과 모니터링과 보고
재정	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기후 자금 검토 2. 기후 자금 활동에 대한 제도적인 조치 준비 3. NDC에 대한 비용 검토 4. 펀딩 갭과 수요 확인 5. 공공과 민간의 재정 옵션 평가 및 기후 투자 계획 개발 6. 국가 기후 재정 계획 개발 7. 국외 기후 자금에 대한 접근 확인 8. 다른 자금 원천에 대한 접근을 위한 프로젝트 개발 9. 민간 부문의 참여 확대 10. 기후 자금 MRV 체계 설계 및 이행
측정, 보고 및 검증	<ol style="list-style-type: none"> 1. 현재의 MRV 활동 검토 2. MRV 활동에 대한 제도적 조치 준비 3. 자료 갭과 수요 평가 4. 감축, 적응, 재정을 위한 MRV 체계 설계 5. 자료 관리 절차 설계 6. MRV 역량 배양 7. MRV 체계 향상

출처: Ricardo, 2017

유엔환경(Un Environment), UNEP DTU 파트너십, UNFCCC 사무국, 유엔개발계획(United Nations Development Programme), 세계자원기구(World Resources Institute)는 공동으로 당사국들이 NDC의 이행을 준비하기 위해 활용할 수 있는 가이드라인을 개발하고 있다. 이에 대한 개략적인 요약본을 공개(2017.2)하였으며, 이에 대한 내용은 아래와 같다.

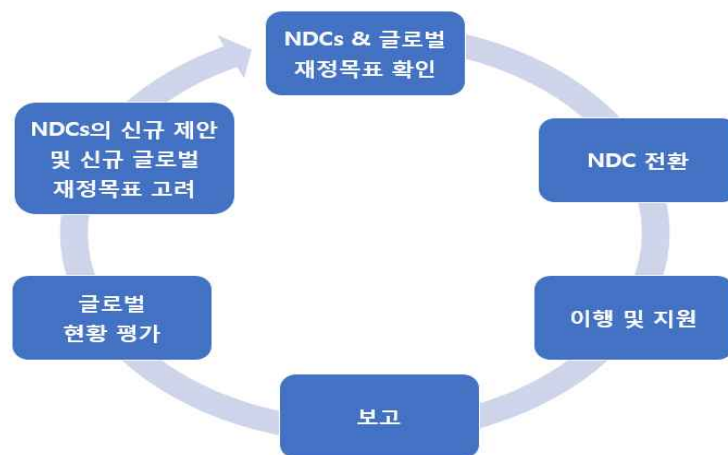
- 1단계: NDC 주기와 시간프레임에 대해 이해하고, NDC에 대해 장기적인 계획과 지속가능한 개발 목표(SDGs)와 연계하는 것을 고려하기
NDC의 역할은 장기적 변환을 달성하기 위한 도구로서 NDC와 이러한 사항들 간의 연계가능성과 혜택을 고려하는 것이 중요하다.
- 2단계: 국가결정기여의 이행과 관련한 거버넌스 확립
제도적/기술적 역량, 법적/규제적 요구사항을 포함한 NDC의 개발과 이행을 위한 제도적 프레임워크를 포함한다. NDC에 대한 이해관계자들의 참여와 공공의 인식, 국가차원의 기후변화에 대한 주도과 역할, 책임 등이 중요하다. 특히, 각 부분별 핵심참여자를 어떻게 참여시킬 수 있는지가 주요하게 고려되어야 한다.
- 3단계: 국가결정기여 이행 계획 준비
NDC의 목적을 달성하기 위해 필요한 감축과 적응의 우선순위를 포함하는 이행 계획을 준비하기 위해 영향, 실행가능성, 위험 등을 고려해야 한다. 이에 따라 역할과 시간프레임 등이 도출되어야 하며, 자금, 모니터링과 보고에 대한 부분도 중요하게 고려되어야 한다.
- 4단계: 국가결정기여에 대한 자금 확보
국가결정기여의 이행을 위한 비용과 잠재적인 재정에 대해 인식하는 것이 필요하다. 재정 자원은 공공, 민간, 국제 등을 포함하는 것이다. 기후변화에 대한 공공의 지출과 민간의 투자를 파악하는 것이 중요하다.
- 5단계: NDC에 대한 모니터링과 보고
당사국들은 국가 수준에서 NDC 이행에 대해 점검하고 보고서를 작성해야 한다. 이와 관련하여 무엇을 모니터링하고 어떻게 할 것인지가 중요한 문제이다.
- 6단계: 진행사항을 점검하고, 전략을 수정하기
점검내용을 토대로 NDC 이행의 변화에 대한 필요성을 검토해야 하며, 현존하는 체제의 변화를 통할 것인지, 새로운 것을 도입할 것인지 등이 중요한 사항이다. 이와 관련하여 점검 메커니즘을 확립해야 하며, 국제적인 동료검토(peer-review) 절차를 고려할 필요가 있다.

미국 워싱턴에 위치하고 있는 기후변화 관련 싱크탱크인 CCAP(Center for Clean Air Policy)는 INDC를 구체적인 NDC로 변환하기 위해 요구되는 사항들을 정책, 재정 등의 측면에서 고려하는 것이 중요하다고 강조한다. CCAP에 따르면 INDC를 NDC로 변환하기 위해 우선적으로 고려해야하는 것은 변환절차 그 자체가 가지는 의미에 대한 것이다. 이와 관련하여, CCAP는 6가지의 사항을 제시하고 있다. 이는 각각 (1) 국가 온실가스 감축 목표에 대한 목표 지향성의 강화, (2) 국가 차원의 자원에 대한 효율적 활용, (3) 감축과 개발의 목표에 대한 시너지, (4) 관련 자금 확보, (5) 민간부문의 투자 촉진, (6) 장기 저탄소 개발 전략 확보 이다. 먼저, 국가 온실가스 감축 목표에 대한 목표 지향성의 강화이다. 이는 당사국들이 국가결정기여의 달성을 위한 효과적인 방법을 명확하게 파악하고, 목표 달성을 위한 필요한 행동들에 대해 확인할 수 있다. 그 다음으로 국가 차원에서 자원을 효율적으로 활용하는 것이다. 특히, 국내외 자원들에 대한 효과적인 사용과 감축에 대한 통합적인 접근을 통해 거래 비용을 줄이는 것이 중요하다. 세 번

째는 감축과 개발의 목표에 대한 시너지를 얻는 것이다. 이는 NDC를 포함하여 국가개발계획 등 국가차원의 전략, 계획을 상호 연계하는 것을 의미한다. 네 번째는 관련한 자금을 확보하는 것이다. 이는 개도국의 경우 국제사회의 지원과 관련하여 필요성을 정당화하는 것이다. 다섯 번째는 민간부문의 투자를 촉진하는 것이다. 이는 정당성이 입증된 프로젝트를 발굴하거나, 국가차원의 장기 정책을 수립하여 투자자들의 참여를 촉진하는 것이다. 마지막으로, 장기 저탄소 개발 전략을 확보하는 것이다. 이는 파리협약에서 강조하고 있는 낮은 온실가스 배출 전략과 관계가 있으며, NDC 변환은 이러한 사항에 적절한 정보로서의 역할을 하며, 발생하는 저해요인들을 극복할 수 있도록 저탄소 개발 전략을 확보하는 것에 도움을 줄 수 있다.

NDC 달성과 관련한 UNFCCC 차원의 논의는 5년 단위로 진행될 예정이다. 이와 관련하여 파리협정에서 논의된 바와 같이, 선진국들은 2020년까지 미화 1,000억 달러를 모으는 것으로 합의를 하였으며, 2025년까지 더욱 강화된 목표를 제시하는 것으로 동의하였다.

[그림 2-2] NDC 변환과 NDC 주기



출처: CCAP, 2016

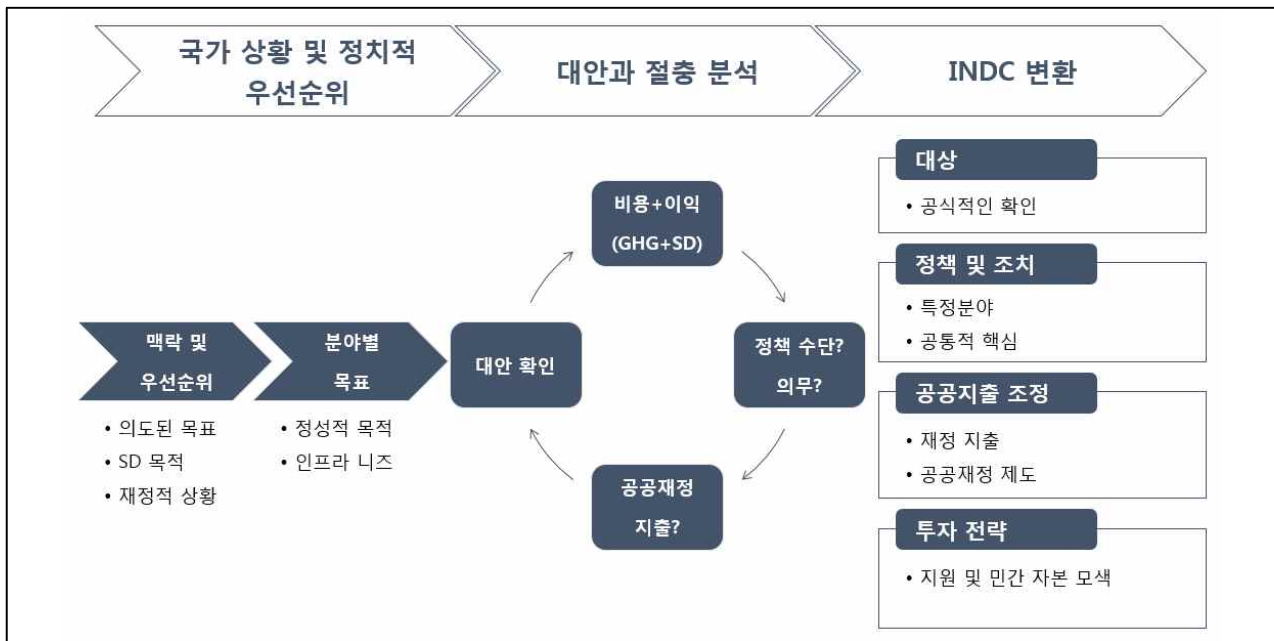
NDC의 개발과 변환은 국가 정책 차원에서 추진되고 있는 사항이며, 이러한 정책적 이니셔티브는 글로벌 수준의 목표를 달성하기 위해 매우 중요한 요소이다. 파리협약에서는 이러한 NDC 이행을 위해 반복적인 프레임워크를 제공하였다. 프레임워크의 적용을 통해 각 국가들은 노력을 점검할 수 있으며, 더욱 강화된 목표를 설정할 수 있다. [그림 2-2]는 이러한 프레임워크를 도식화한 것이다.

한편, CCAP는 NDC가 국가계획임을 고려하여 계획에서 포함하는 정보의 중요성을 강조하였다. 이에 대하여 CCAP는 몇 가지 사항들을 제안하고 있다. 먼저, 국가와 감축부문에 대한 목적에 대한 사항이다. 이는 부문별 목적에 대한 정량화된 정보를 포함하며, 지속가능한 개발 우선순위를 포함한다. 두 번째는 감축목표를 달성하는 방법에 대한 것이다. 이는 NDC 이행과 장기적인 목적을 지원하기 위한 구체적인 정책, 프레임워크 등을 포함한다. 세 번째는 비용에 관한 것이다. 이는 정부 지출, 국제적인 차원의 공공과 민간의 재정, 민간과 개인 부문에 부여되는

규제 등을 포함할 수 있다.

특히, INDC를 NDC로 변환시키기 위해서 진행절차에 대한 부분을 중요하게 고려할 필요가 있다. [그림 2-3]는 이러한 절차를 나타낸 것이다. 우선적으로 국가는 NDC 이행을 위한 우선순위와 목표를 명확하게 도출해야 한다. 이러한 내용은 NDC를 도출하는 과정에서 어느 정도 정형화될 수 있다. 국가차원의 우선순위는 하부 감축부문별 감축 목표로 연계되어야 하며, 지속가능한 개발 목표와 장애요인에 대한 부분도 고려가 되어야 한다.

[그림 2-3] NDC 변환 절차



출처: CCAP, 2016

NDC를 이행하는 것은 필수적으로 비용이 수반된다. 따라서 온실가스 감축에 의해 발생하는 지속가능한 개발에 의한 혜택과 비용 등에 대해 고려해야 한다. 국제적인 차원의 모범사례를 통해 정책적 선택에 대한 실행가능성과 자원의 수준을 가늠해야 한다. 또한, 활용될 수 있는 저탄소에너지기술에 대해 필수적으로 인식해야 하며, 다양한 방식으로 평가를 수행해야 한다. 국가적 차원의 자원의 활용을 검토할 것인지 외부의 지원을 함께 활용하는지에 대한 판단이 중요하다.

지금까지 NDC의 이행과 관련한 국제기구와 연구기관의 논의사항을 간략하게 살펴보았다. 이를 통해 NDC의 이행에 대해 고려해야하는 몇 가지 시사점을 정리하면 다음과 같다. (1)이행계획의 수립, (2)제도적 수립, (3) 재정 방안, (4)기술에 대한 접근이다.

먼저, 국가적으로 NDC 이행을 위한 이행 메커니즘, 구체적인 자원, 투자계획을 포함한 세부적인 이행계획을 도출하는 것이 필수적으로 선행되어야 한다. 명확한 이행 메커니즘과 부분별 세부적인 이행 로드맵은 현재 그리고 계획하고 있는 감축 활동과 연계가 되며, 국가 감축 계획과 국제적인 지원, 국내적 이니셔티브를 포함될 수 있다. 규제적 개혁에 대한 필요성을 고려해

야 하고 추가적으로 이행계획을 위한 자원의 투자에 있어 국가의 자원과 민간부문의 투자가 요구되는 정책적 개입을 중요하게 고려할 필요가 있다. 특히 로드맵과 계획을 도출한 후 실행을 모니터링하고 검토하기 위한 시스템을 도출하는 것이 필요하다고 할 수 있다. 각 온실가스 감축 절차의 투명성을 확보하고 중요한 제도적·기술적 역량을 확보하기 위하여 실행의 주기적인 검토와 모니터링이 중요하다. 이러한 검토와 모니터링을 위해 온실가스 인벤토리, 제도적 사항 등을 포함한 현재의 MRV 절차와 시스템에 대한 분석이 실시되어야 한다.

두 번째로 제도적 수립에 대한 것이다. NDC는 정부 차원과 이를 넘어선 기술적·정치적인 이해관계자를 수반하고 있다. 감축활동에 대한 지속적인 화합과 조정을 위하여 현존하는 제도적 절차와 역량을 유지·강화하는 것이 필요하다. 예를 들면, 이행에 대한 국가적 동력 확보를 위해 관계부처, 정부 기관과 파리협약의 이해관계자 간의 협업이 중요하다. 특히 NDC 이행을 위해 영향 평가와 이해관계자에 대한 혜택 등을 포함하는 것이 필요하다. 이를 통해 감축 활동에 대한 혜택을 이해하는 것이 중요하며, 이는 핵심 이해관계자를 참여시킬 수 있다. 또한, 자원의 마련과 배분의 문제와도 연결시킬 수 있다. 가령, EU는 감축 시나리오에 따른 고용창출 등 경제적인 효과를 포함한 종합적인 영향 평가를 수행하였다(European Commission, 2014).

세 번째로, NDC를 달성하기 위한 재정적 상황을 합리적으로 판단하고 이를 계획에 반영하는 것이 중요하다. 성공적으로 NDC를 이행하기 위해 필요한 자원을 인식하는 것은 국가적인 목적, 국제적인 지원 요구와 모두 관련이 있다고 할 수 있다. 대부분의 NDC는 재정, 기술, 역량 향상 등의 조건에 따라서 감축 활동이 강화될 수 있다. 일부 당사국들은 필요한 투자액의 수준을 명시하고 있다. NDC에 대한 재정적인 관점을 이해하기 위하여 세밀한 분석의 필요성을 인지할 필요가 있다. NDC를 이행하는 수단으로 재정에 초점을 맞추는 것은 국가별 목표와 효과에 대해 이해하고 발전적인 노력을 수행하는 것에 필수적이다.

마지막으로, 대부분의 감축행동은 신기술과 활용 가능한 기술에 대한 접근을 포함한다. UNDP에 따르면 당사국들에 대한 INDC 이행에 대한 분석 결과, 에너지와 유관 기술에 대한 개발과 이전을 포함하여 새로운 청정 기술을 국가차원에서 채택하고 활용하는 역량을 향상시키는 것에 관심이 많다고 분석하였다. 또한, 이러한 기술과 이에 대한 비용과 관련한 정보와 지식을 확보하는 것에 대해서도 매우 필요하다고 강조하였다. 본 연구는 이러한 시사점 중 NDC 이행을 위한 기술적 접근에 초점을 두고 있다.

3. NDC 이행을 위한 감축수단으로서 기술의 중요성

NDC를 달성하기 위해 접근할 수 있는 방법은 다양한 측면에서 이루어질 수 있다. 특히 NDC는 역량, 지식을 강조하고 있으며, 이는 강화된 감축 노력을 위한 기술적 선택에 대한 인식과 특히 관련이 있다(International Partnership on Mitigation and MRV, 2016). 당사국이 제출한 NDC는 감축을 위한 부문별 노력과 이를 위한 도구로서 기술을 다루고 있다. 독일의 환경청은 NDC의 이행을 위해 기술의 역할을 강조하고 있으며, 특히 기술 대안의 평가를 통한 장애요인 극복의 필요성을 강조하고 있다. 또한, NDC 실행과 관련한 기술의 중요성에 대한 인식이 필요

하며, 기술적인 선택의 어려움을 극복하기 위한 지원 및 실행계획의 도출이 중요하다고 강조하였다(BMU, 2016). 특히 사용가능한 기술을 이해하는 것이 적합하면서 효과적인 기술을 NDC 이행에 적용하는 것을 가능하게 한다고 하였다. 이는 NDC의 달성을 위한 실질적인 방안으로 기술의 역할이 중요하다는 것을 의미하는 것이며, 이와 관련한 지속적인 활용과 기술혁신 노력이 수반될 필요가 있음을 보여주는 것이다. 한편, 이러한 기술의 중요성에도 불구하고 아직 국제적인 차원에서 세부적인 사항에 대한 논의는 미미한 수준이다. INDC의 후속논의로서 주로 다루어지는 것은 NDC의 이행의 세부사항(가령 감축 투명성, MRV 체계 등)에 대한 것으로, 어떠한 기준과 방식으로 기술을 발굴하고 적용할 것인지에 대해서는 아직 구체적으로 다루어지지 않고 있다. 그러나 NDC 이행을 위해 각 국가별로 세부계획을 도출하기 위해서는 활용할 기술에 대한 면밀한 분석이 필수적으로 수반될 것이다.

NDC 이행을 위한 기술의 적용과 관련하여 우리나라의 경우, 제1차 기후변화대응 기본계획(관계부처합동, 2016)에 따르면 신기후 체제에서 기후변화대응을 추진하는 전략으로 과학기술 및 시장 중심의 감축을 명시하고 있다. 이는 온실가스 감축을 규제 중심으로 접근하는 것에서 나아가 관련 산업과 시장을 진흥하기 위해 과학기술을 적극적으로 활용하는 것을 의미한다. 또한, 감축부문별로 적용하거나 활용할 기술에 대하여 제시하고 있다. <표 2-5>는 이에 대한 내용을 간략하게 요약·정리한 것이다. 총 8개 부문에 걸쳐 활용할 기술을 각각 명시하고 있다.

<표 2-5> 국내 감축 부문별 주요 적용 기술

구분	활용 기술	2030 BAU 대비
전환	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 전원믹스 • 수요관리 • 발전·송배전 효율 향상 	19.4% 감축
산업	<ul style="list-style-type: none"> • 전기전자 업종 공정 에너지 최적화 • 전동기 등 공통기기 효율 개선 • 철강 업종의 고반응성 코크스 적용 • 석유화학 업종의 납사분해설비 등 신기술 도입 • 디스플레이 업종의 온실가스 분해를 위한 설비 설치 	11.7% 감축
건물	<ul style="list-style-type: none"> • 단열 향상, 신재생 적용 등 냉난방 에너지 저감 • 고효율 기자재 설치, 설비효율 개선 • 신재생에너지 적용 • 건물 에너지관리시스템 	18.1% 감축
에너지 신산업	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소 포집·저장 및 자원화 • 친환경 신냉매 • 마이크로그리드 확산, 스마트 공장 	3.3% 감축

구분	활용 기술	2030 BAU 대비
수송	<ul style="list-style-type: none"> • 친환경차 보급 • 평균연비 강화 • 녹색물류 효율화 	24.6% 감축
공공/기타	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 설비 보급 	17.3% 감축
폐기물	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 감량화·재활용·에너지화 	23% 감축
농축산	<ul style="list-style-type: none"> • 농경지·축산 배출원 관리 	4.8% 감축

출처: 관계부처 합동(2016), 제1차 기후변화대응 기본계획

〈표 2-5〉는 국가차원에서 부문별로 온실가스 감축을 위해 중요하게 적용할 기술이라고 할 수 있으며, 이는 기술의 발전 등을 고려하였을 때 절대적일 수 없으며 변화가능하다. 이에 NDC의 달성을 위한 기술의 선택은 감축수단의 확보 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 맥락에서 어떠한 방법으로 기술을 발굴하고, 적용할 것인지를 합리적으로 결정하는 것은 NDC 이행을 위한 기술의 활용이라는 측면에서 중요하게 검토될 필요가 있다. 따라서 내·외부적 맥락을 고려하여 국가 온실가스 감축목표 달성에 기여할 수 있는 기술을 시의적절하게 선택해 나가는 것은 국가 전략적인 측면에서 중요하다고 할 수 있다(UNEP-IETC, 2007).

제2절 선진국 INDC의 기술적 대응 현황

앞서 제2장의 제1절에서는 글로벌 연구기관의 차원에서 주요하게 논의되고 있는 NDC 이행을 위한 고려사항을 살펴보았으며, 이를 통해 NDC 이행을 위해 국가 수준에서 다양한 활동들이 고려되어야 한다는 것을 알 수 있었다. 특히 NDC의 이행에 있어 기술의 역할을 중요하게 인식하고, 중요한 감축수단으로 고려하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이는 NDC의 달성을 위한 실질적인 방법으로 기술의 역할이 중요하다는 것을 의미하며, 이와 관련한 지속적인 연구개발과 적용이 필요하다는 것을 의미한다. 이에 본 절에서는 선진국을 중심으로 NDC와 관련한 기술적 대응 현황을 살펴보고자 한다. 이를 위하여 선진국의 INDC를 기반으로 온실가스 감축목표 달성을 위한 기술적 대응 현황을 살펴보았다. 본 연구에서는 선진국을 국제기후변화협약에서 규정한 국가로서 온실가스 배출량 저감 의무가 있는 Annex 1 국가를 고려하였다.

<표 2-6>은 Annex1 국가의 목록을 나타낸 것이다.

<표 2-6> Annex 1 국가 목록

No.	국가명	Annex 2 ⁶⁾	EU
1	호주(Australia)	O	
2	오스트리아(Austria)	O	O
3	벨라루스(Belarus)		
4	벨기에(Belgium)	O	O
5	불가리아(Bulgaria)		O
6	캐나다(Canada)	O	
7	크로아티아(Croatia)		O
8	키프로스(Cyprus)		O
9	체코(Czech Republic)		O
10	덴마크(Denmark)	O	O
11	에스토니아(Estonia)		O
12	유럽 연합(European Union)	O	(EU)
13	핀란드(Finland)	O	O
14	프랑스(France)	O	O
15	독일(Germany)	O	O
16	그리스(Greece)	O	O
17	헝가리(Hungary)		O
18	아이슬란드(Iceland)	O	

No.	국가명	Annex 2 ⁶⁾	EU
19	아일랜드(Ireland)	O	O
20	이탈리아(Italy)	O	O
21	일본(Japan)	O	
22	라트비아(Latvia)		O
23	리히텐슈타인(Liechtenstein)		
24	리투아니아(Lithuania)		O
25	룩셈부르크(Luxembourg)	O	O
26	말타(Malta)		O
27	모나코(Monaco)		
28	네덜란드(Netherlands)	O	O
29	뉴질랜드(New Zealand)	O	
30	노르웨이(Norway)	O	
31	폴란드(Poland)		O
32	포르투갈(Portugal)	O	O
33	루마니아(Romania)		O
34	러시아(Russian Federation)		
35	슬로바키아(Slovakia)		O
36	슬로베니아(Slovenia)		O
37	스페인(Spain)	O	O
38	스웨덴(Sweden)	O	O
39	스위스(Switzerland)	O	
40	터키(Turkey)	O	
41	우크라이나(Ukraine)		
42	영국(United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland)	O	O
43	미국(United States of America)	O	

출처: IPCC 홈페이지, UNFCCC 홈페이지

6) 부속서 I 국가 중 개발도상국의 재정적, 기술적 지원 의무를 가지는 국가

각 국가의 INDC는 NDC 관련 기술 부문 고려사항 및 제반·제도 설계 등 온실가스 감축목표 달성을 위한 필요한 정보를 포함하고 있다. INDC에 대한 내용을 검토함으로써 각 국가별로 온실가스 감축 목표 달성을 위해 명시하고 있는 기술적 대응 현황 정보를 살펴보고, 국가별로 제시한 감축부문에 대한 기술적 수단을 확인하였다.

이를 위해 먼저, 총 15개의 Annex 1⁷⁾ 국가를 대상으로 우선적으로 기술적 수단을 명시한 국가를 구분하였고, 그 다음으로 전체의 감축부문에 대하여 기술적 수단을 상세히 기술한 국가를 구분하였다. [그림 2-4]는 이러한 기술수단 파악의 과정을 간략하게 그림으로 도식화한 것이다. 이러한 방식으로 총 15개국이 제시한 국가별 온실가스 감축을 위한 수행 방안인 INDC의 정보를 확인하고 NDC와 관련한 기술 부문 고려사항과 제반·제도 설계 등을 확인하였다.

[그림 2-4] Annex 1 국가의 기술적 수단 제시 여부에 따른 국가 분류



15개국에 대하여 우선적으로 기술적 수단을 명시한 국가, 그 다음으로 전 감축부문에서 기술적 수단을 상세하게 제시한 국가에 대해 총 2단계로 나누어 살펴본 결과, 국가별로 명시한 정보 수준의 차이가 있다는 것을 확인할 수 있었다. [그림 2-4]에 첫 번째로 분류된 호주, 벨라루스, 캐나다, 아이슬란드, EU 등 10개국은 온실가스 감축을 위한 기술적 수단 보다는 정책적 수단에 초점을 맞추고 있으며, 실행하고 있거나 추진 예정인 정책을 제시하는 특징을 보였다. EU의 경우 상세한 감축 부문별 기술적 대응방안의 제시보다는 정책적, 기술적, 사회적 대응방안 등을 포괄적으로 제시하였다. 호주의 경우 전환, 수송, 공공·기타 부문에서 정책적 방안만을 간략하게 명시하였다. 리히텐슈타인은 사회적, 환경적 이익을 창출하는 고품질의 온실가스 배출 감축 사업에 투자할 계획을 밝혔고 아이슬란드는 기후완화를 위해 기금 조성 및 관련 계획을 제시하였다.

두 번째로 분류된 국가인 스위스, 터키, 노르웨이, 모나코, 일본은 온실가스 감축을 목적으로 한 기술적 대응방안을 제시하였다. 스위스는 전환, 건물, 수송, 공공·기타 부문에서의 CO₂ 배출 감소에 기여하는 기술과 기술의 활용 계획에 대해 다루었고, 노르웨이는 신재생 에너지, CO₂포

7) EU의 경우 28개국을 포함하고 있으며, 통합 INDC를 제출

집 및 저장 감축 기술을 포괄적으로 제시하였다. 터키와 모나코는 스위스와 노르웨이보다 더 다양하고 구체적인 기술적 수단을 나타냈다.

일본은 기술적 수단 명시 측면에서 상대적으로 스위스, 터키, 노르웨이, 모나코 외 다른 국가와 차이를 보였다. 일본은 전환, 산업, 건물 등 전 감축부문의 온실가스 감축을 위한 기술적 대응방안을 상세히 제시하였다. 특히 온실가스 감축에 대한 기여가 상대적으로 많은 전환, 산업, 건물 등의 경우 다른 부문보다 다양한 기술이 도입되고 향상되고 있음을 명시하였다. 기술의 도입, 기술의 활용 방법 및 에너지 효율 향상 방안 등 온실가스 감축 방안을 자세히 다루었을 뿐만 아니라 기술인식 및 선택영향 요소, 고려사항 측면에서 다른 국가들에 비하여 세부적인 사항을 다루었다. 이에 일본의 경우 온실가스 감축 기술 선정 기준 도출을 목적으로 하는 본 연구 수행의 참조국가로 적합하다고 판단하였다.

<표 2-7>은 이러한 INDC 검토를 바탕으로 기술적 수단을 명시한 5개국의 감축부문별 세부적인 사항을 정리한 것이다. 일본의 경우 전 감축부문에서 기술적 수단을 자세하게 명시하고 있으며, 스위스 등의 나머지 국가는 전환과 수송의 경우 공통적으로 명시하고 있으나, 나머지 감축부문에 대해서는 명시하는 않은 경우가 존재하는 등 차이를 보인다.

<표 2-7> 주요국의 온실가스 감축을 위한 기술적 수단 명시 여부

감축 부문	스위스	터키	노르웨이	모나코	일본
전환	●	●	●	●	●
산업	-	-	●	-	●
건물	●	-	-	-	●
수송	●	●	●	●	●
공공·기타	-	-	-	●	●
폐기물	-	●	-	-	●
농축산	-	●	-	-	●

* ●: 기술적 수단 명시, -: 명시하지 않음

출처: INDC를 바탕으로 연구진 정리

전 감축 부문에서 세부적으로 기술적 수단을 다룬 일본과 기술적 수단을 제시한 국가인 터키와 모나코의 INDC는 아래의 <표 2-8>, <표 2-9> 그리고 <표 2-10>과 같다.

<표 2-8> 일본 분야별 온실가스 저감 기술 (일본의 INDC)

기준	기술
전환	<ul style="list-style-type: none"> • 가능한 최대 규모로 재생에너지 도입 확대 • 안전이 확인된 원자력 발전소 이용 • 화력 발전의 고효율 추구
산업	<ul style="list-style-type: none"> • 저탄소 사회를 지향하는 산업분야의 행동 계획 수립 및 강화 방안
	<p>철과 철강 산업</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전력 소비 시설의 효율성 향상 • 철강공장에서 폐플라스틱의 화학적 재활용 확대 • 차세대 코크스 제조 공정 도입 • 혁신적인 제강 공정 도입 • 환경친화적인 제강 공정 도입
	<p>화학 산업</p> <ul style="list-style-type: none"> • 석유화학의 에너지 효율과 보존 공정 기술 도입 • 다른 화학산업에서의 에너지 효율과 보존공정 기술의 도입 • 증류공정에서 멤브레인을 이용한 에너지 효율 및 보존 기술 도입 • CO₂를 공급 원료로 사용하는 기술 도입 • 식용이 불가능한 식물 재료를 이용한 화학제품 생산 기술 도입 • 미생물 촉매 작용을 이용한 전기발생 폐수처리 공정 도입 • 밀폐된 공장 도입
	<p>세라믹, 석조 및 점토 제품 산업</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전통적인 에너지의 효율성 및 보존 기술 도입 • 대체 열에너지로 이용되는 폐기물 사용 기술 도입 • 혁신적인 시멘트 생산 공정 도입 • 유리 용융 공정 도입
	<p>펄프/제지/종이 제품 제조업</p> <ul style="list-style-type: none"> • 오래된 종이를 이용한 고효율 펄프 생산 기술 도입 • 고온 및 고압 회수 보일러 도입

기준	기술
	<p>부문 간/기타</p> <ul style="list-style-type: none"> • 고효율 에어컨 도입 • 산업용 HP(heating-drying) 도입 • 산업용 조명 도입 • 저탄소 공업요소 도입 • 산업용 모터 도입 • 고성능 보일러 도입 • 재활용 플라스틱 조각 직접 사용 • 하이브리드 건설 기계 도입 등 • 에너지 효율성 및 에너지 보존 농기계 도입 • 원예 시설의 에너지 효율 및 보존 장비 도입 • 에너지 효율과 보존 여선으로 전환 • 산업 전반에 걸친 협력 에너지 효율성 및 보존 방안 • 특수 차량의 저탄소화 촉진 <p>공장 에너지 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> • 산업 부분에서 에너지 관리의 철저한 실행
<p>건물 *상업, 기타 부문</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 건축물의 에너지 절약 기준 준수 촉진 방안 • 에너지 효율성과 보존 건물(리모델링) • 상업용 온수기 도입 • 고효율 조명 도입 • 냉매 제어 기술 도입 • “Top Runner Program” 등에 의한 장비의 에너지 효율 및 보존 성능 향상 • BEMS와 에너지 효율성 진단을 기반으로 한 상업 부문에서의 에너지 관리의 철저한 이행 • 빛의 효율적인 사용 • 전국적인 캠페인 촉진(쿨비즈/웜비즈, 지방자치단체 건물 수리) • 에너지 공유 사용 확대 • 하수도 시스템에서의 에너지 효율성과 보존 방안 촉구 • 수자원 사업의 에너지 효율 및 보존/재생에너지 대책 추진 • 지방자치단체의 행동계획에 따른 활동 추진(행정업무부문) • 플라스틱 용기 및 포장의 선별된 수집과 재활용 촉진 • 도시 열섬 현상을 고려하여 도시 열 환경 개선을 통한 도시 저탄소화 • 지구 온난화 대책 로드맵에 따른 다자 간 협력 방안 추진

기준	기술
수송	<ul style="list-style-type: none"> • 연료 효율 개선 • 차세대 자동차의 진흥 촉진 • 수송 부문의 기타 조치(교통 흐름 개선, 대중교통홍보, 철도로의 전환교통, 친환경 선박운송을 위한 종합적 대책, 가장 가까운 항구를 선정함으로써 육로 운송거리 감소, 항구에서의 종합적인 저탄소화, 트럭 운송의 최적화) • 항공 에너지 소비 효율 개선 • 선박 에너지 절약 방안 촉진 • 에코 드라이빙보다 더 친환경적으로 자동차 운송 사업 구현 • 집단 출하 촉진 • 지능형 교통 시스템 촉진(중앙 집중식 교통 신호 제어) • 교통 안전 시설 개발(교통 신호 개선, LED 교통 신호 사용 촉진) • 자동 운전 촉진 • 에코 드라이빙 및 카 셰어링 • 지구 온난화 대책 방안 개혁을 위한 특별 구역 시스템의 활용 • 지구 온난화 대책 로드맵에 따른 다자 간 협력 방안 추진
공공·기타	<ul style="list-style-type: none"> • 신축 주택의 에너지 절약 표준화 방안 추진 • 기존 주택 개보수를 위한 전열 단열재 개발 • 고효율 온수기 도입(CO₂냉매 HP 온수기, 잠열 회수용 온수기, 연료전지, 태양열 온수기) • 고효율 조명 도입 • Top Runner Program 등에 의한 장비의 에너지 효율 및 보존 성능 향상 • 기타 스마트 미터를 사용하는 주택에서의 에너지 관리의 철저한 이행 • 전국적인 캠페인 추진(쿨비즈/웜비즈의 홍보 및 구매 장려, 가정 CO₂ 상담가의 조언) • 하수 처리장 에너지 효율성 및 보존성 증대 • 지구 온난화 대책 로드맵에 따른 다자 간 협력 방안 추진
폐기물	<p>도시 고형폐기물 소각의 감소</p> <ul style="list-style-type: none"> • 농업 토양의 메탄 배출 저감 대책(논에서 방출되는 메탄 배출량 감소) • 직접 쓰레기 매립에 의해 처분되는 도시 고형폐기물의 감소 • 도시 고형폐기물의 최종 처리장을 위한 반호기성 매립시스템 도입 • 농업 토양에서 방출되는 N₂O감소 조치(비료사용으로 인한 N₂O 배출 감소) • 하수 폐기물 소각 시설의 첨단 기술 홍보
농축산	<p>LULUCF</p> <ul style="list-style-type: none"> • 산림 진흥 사업 촉진을 통한 온실가스 제거 조치 방안 • 경각지의 탄소 축적량을 증가시키는 토양 관리 방안 추구 • 재녹화 촉진

<표 2-9> 터키 분야별 온실가스 저감 기술 (터키의 INDC)

기준	기술
전환(에너지)	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 태양광 발전으로 10GW의 전기 생산 능력 증대 • 2030년까지 풍력 발전으로 16GW의 전기 생산 능력 증대 • 전체 수력 발전 잠재력 극대화 • 2030년까지 원자력 발전소 시운전 • 2030년까지 전기의 공급과 분배의 손실 15% 감소 • 공공 전력 발전소의 복구 • 전력 생산 현장에서의 micro-generation, co-generation시스템과 제품의 구축
수송	<ul style="list-style-type: none"> • 도로 운송의 감소와 해양과 철도 운송의 공유를 증가함으로써 화물 및 여객 운송의 균형 잡힌 이용을 보증 • 복합 운송 강화 • 도시 지역에서 지속 가능한 교통 접근법 구현 • 대체 연료 및 청정 차량 홍보 • 고속 철도 프로젝트 실현 • 도시 철도 시스템의 증가 • 터널 프로젝트를 통한 연료 절감 달성 • 교통 체증을 유발하는 오래된 차량 정리 • 에너지 효율성 보장을 위한 녹색 항구 및 녹색 공항 프로젝트 시행
폐기물	<ul style="list-style-type: none"> • 관리 폐기물 매립지에 고형 폐기물을 보내는 것 • 2차 원료를 회수하고, 에너지원으로 활용하거나 폐기물을 제거하기 위한 다른 공정의 재사용, 재활용 및 사용 • 폐기물을 재활용한 재료, 바이오 건조, 바이오 메탄화, 퇴비화, 고급 열처리 또는 소각과 같은 공정을 이용하여 폐기물에서 에너지를 회수 • 관리 및 관리되지 않은 매립지의 매립 가스인 메탄가스의 회수 • 산업 공생 방식을 통한 다른 산업 분야에서 대체 원료나 대체 연료로써 산업 폐기물의 활용 • 사육농가와 양계장 농가에서 발생하는 폐기물 활용과 관련한 연구 수행 • 관리되지 않는 폐기물 매립지의 복구 및 관리되는 폐기물 매립지에서 저장되어 있는 폐기물을 보장
농축산 *농업	<ul style="list-style-type: none"> • 농업 지역의 토지 통합으로 인한 연료 절감 • 방목지 복원 • 비료 사용의 통제와 현대 농업 관행 시행 • 최소 경작 방법 지원

<표 2-10> 모나코 분야별 온실가스 저감 기술 (모나코의 INDC)

기준	기술
전환	<ul style="list-style-type: none"> • 3세대 에너지 발전소 보유 (대체 예정) • 건설 산업의 에너지 전환
수송	<ul style="list-style-type: none"> • 깨끗한 대중 교통 수단 개발 • “soft”운송 옵션 개발(보행자 보도, 자전거 도로) • 전기 자동차 개발 • 혁신적인 대중교통 차선의 도입 • 전기 및 하이브리드 차량의 인센티브 정책
공공·기타 *기타	<ul style="list-style-type: none"> • 기술 관리 시스템을 위한 새로운 방법 정의

제 3 장 기술선정 관련 문헌 및 사례 분석

본 장은 국가 온실가스 감축을 위해 필요한 기술을 발굴하고 활용하기 위해 어떻게 필요한 기술을 “선택” 하는가에 대한 관점에서 관련 문헌과 사례를 살펴본다. 본 연구에서는 기술 선정의 개념을 특정 목표를 달성하기 위하여 합리적으로 기술을 선택하고 이를 원활하게 수행하기 위한 제도적 조치를 포함하는 종합적인 의미로 간주한다.

제1절 기술 인식과 선택

기술인식과 선택은 특정 주체의 목적을 달성하기 수단으로 기술을 조직의 경쟁력으로 활용하는 개념인 기술경영을 위한 중요한 요소이며(Gregory, 1995) 특히, 기술선택은 기술경영의 영역에서 그 중요성이 점점 증가하고 있다(Chen, Chung & Wei, 2006). Gregory(1995)는 기술경영을 인식, 선택, 획득, 개발, 활용과 보호 등 5가지의 요소로 이루어지는 개념으로 정의하였다. 이 중 인식과 선택은 주체가 핵심적으로 활용해야 할 기술에 대한 지식을 확보하고 중요한 기술에 대하여 아는 과정이다. Gregory에 따르면 기술 인식은 주체의 전략적 운영에 핵심적인 기술을 인식하는 관리 절차를 의미한다. 이러한 인식 절차는 스캐닝, 모니터링, 기술 예측, 고객 지향성(orientation), 벤치마킹 등을 포함한다. 주체는 사용할 기술을 인식하고 새로운 기술의 성공을 위해 예측해야 하며, 어떠한 방식으로 스캐닝과 모니터링을 수행해야 하는지 판단해야 한다. 그리고 어떠한 요소가 인식에 대한 절차에 영향을 미치는지에 대해서도 파악해야 한다. 기술 선택은 이와 같이 인식한 기술 중에서 주체의 목적을 잘 달성하기 위한 기술을 선정하는 것이다. 이러한 절차는 시나리오 분석, 포트폴리오 분석, 전문가 판단, 의사결정 기준, 재정 분석 등을 포함한다. 기술의 선택은 적절한 기술을 정확하게 결정하는 것을 필요로 한다. 이러한 결정에 있어 정량적, 정성적, 무형, 유형의 기준을 고려해야 한다(Gregory, 1995; Chan, Chan & Tang, 2000). 기술의 선택을 위한 의사결정은 주체의 전략과 정책과 부합해야 한다.

본 연구는 국가 온실가스의 감축이라는 국가적 아젠다와 관련하여 국가의 목표달성을 위한 기술의 선정 방안을 다루고 있다. 따라서 어떠한 기술을 사용할 수 있는가에 대한 기술의 인식보다 어떠한 기술을 활용해야 하는가에 대한 “기술의 선택”의 개념에 더 초점을 맞추어 관련 문헌을 검토하고 사례 분석을 통해 선정 기준의 설정을 위한 필요사항을 도출하고자 한다.

1. 기술선택의 개념

기술의 대안을 평가하는 것은 평가의 절차가 복잡하고, 선택을 위한 정보가 비구조화되어 있으며, 불명확하기 때문에 쉽지 않은 과업이다(Torkkeli & Tuominen, 2002). 기술선택과 관련한 기존의 논의는 많은 모형과 방법론을 다루고 있으며, 이는 대개 기술을 통해 수익을 창출하는 것을 목적으로 하는 민간부문을 대상으로 한 것이다. 많은 연구자들이 기술 선택은 민간부문 기업의 관리에 있어 당면하는 전략적인 의사결정 중에 가장 어려운 결정 중 하나라고 강조하

고 있다(Firouzabadi, Henson & Barnes, 2008; Macharis, Verbeke & Brucker, 2004; Hao & Yu, 2011). 이러한 의사결정은 높은 수준의 불확실성, 각기 다른 의견 간의 잠재적 시너지, 장기적인 기간의 결과 등을 고려하는 특징을 지니고 있어, 이해관계자들이 의사결정에 참여해야 한다(Montibeller & Franco, 2010). 또한, 기술의 선택은 각기 다른 이해관계자를 만족시키며, 환경, 경제, 사회적 기준들을 반영해서 고려해야 한다(Khalili & Duecker, 2013). 이러한 맥락에서 사회-정치, 환경, 경제적 요소들에 대해 다양한 이해관계자들의 상충관계가 발생할 수 있으며, 이에 복잡하고 어려운 과업이다(Kiker, Bridges, Varghese, Seager & Linkov, 2005). Shehabuddeen, Probert & Phaal(2006)에 따르면 기술선택은 가능한 대안 중에 “가장 좋은 기술(the best technology)”을 선택하는 것이며, 이에 대한 기준은 상황에 따라 다르게 나타난다.

특히, 기술의 선택은 여러 대안적인 기술로부터 정확한 기술을 채택하는 것과 관련이 있다. Gregory(1995)는 기술의 선택을 조직 내에서 지원하고 촉진해야 할 기술의 선정을 포함하는 것으로 정의하였다. Gregory에 의하면 기술선택은 R&D 관리, 역량과 신제품 출시와 관련이 있다고 강조한다. Lamb & Gregory(1997)는 기술선택을 다양한 대안적인 원천으로부터 정보를 모으는 것을 포함하며, 특정 기준 또는 상호 간 비교를 통해 평가하는 것으로 정의하였다. 이들에 의하면 평가 시 고려하는 사항은 비용, 혜택, 위험(risk) 등이다. Dussauge(1992)은 기술선택 절차를 기업이 숙달(master)하고자 하는 새롭거나 추가적인 기술의 인식과 선택으로 정의하였다. 특히 인식과 선택이라는 2개의 개념을 하나의 기술선택이라는 절차로 간주하였다. 이와는 달리 Gregory(1995)는 인식과 선택의 단계를 별개로 다루며, 인식은 대안을 확인하는 것으로, 평가를 대안 중에 선택하는 것으로 강조하였다. Stacey & Ashton(1990)은 기술선택을 기술에 대한 투자 우선순위의 방안으로 설명하고 있으며, 이러한 기술의 선택은 조직의 목적을 달성하는 것에 있어 암묵적으로 상업적인 기술적인 위험요인을 밝혀야 한다고 강조하였다. 기술 선택에 있어 기술적이며 상업적인 맥락은 Matthews(1992)에 의해서도 강조되었으며, 이러한 개념은 기술전략의 개발에 있어 주요한 부분으로 언급되고 있다.

Shehabuddeen, Probert & Phaal(2006)은 기술선택을 기술적, 조직적, 비즈니스 환경에 대한 고려를 기반으로 조직이 바라보는 가장 적합한 기술을 채택하는 것으로 정의하였다. 또한, Shehabuddeen, Probert & Phaal(2006)는 패키지 제조 기술을 대상으로 기술선택 프레임워크를 제안하였으며, 프레임워크를 구성하는 핵심적인 요소는 아래와 같다.

- 기술선택 의사결정과 관련한 요인
- 필터링의 개념
- 기술선택과 관련 절차의 절차 검토
- 내부적 외부적인 비즈니스 중재자에 대한 시스템 검토

Shen, Chang, Lin & Yu(2010)는 기술선택을 기술 대안으로 인식하고, 평가하고 선정하는 절차로 정의하였다. 이러한 절차는 기술의 복잡성으로 인하여 점점 더 쉽지 않은 과정이 되고 있으며, 특히 물리적인 요인과 더불어 문화적인 요인 등도 고려해야 하기 때문이다(James & John, 2001).

한편, 기술선택의 개념을 민간부문과 공공부문에 대해 다르게 바라보고 접근하고자 하는 논의가 있다. 이러한 개념은 본 연구에서 매우 중요하게 바라볼 필요가 있다. 왜냐하면, 본 연구에서 다루고 있는 온실가스 감축에 대한 기술선택의 주체는 국가 관점이기 때문이다. Medaglia, Hueth, Mendieta & Sefair(2008)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 이해관계자와 정치적인 요인과(Hsu, Tzeng & Shyu, 2003) 사회적인 경제적인 영향도 중요하게 고려한다(Wei & Chung, 2003).

기술선택에 있어 민간 부문과 공공 부문은 다른 목적으로 접근하는 것이 필요하다(Maloney, 1982). 민간 부문은 시장경쟁에서 경쟁적인 우위를 점하고 향후 비즈니스 환경에 대한 이해를 높이기 위한 목적으로 기술 선택을 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, Tzeng & Shyu(2003)와 Kutlaca(1997)는 공공부문의 기술선택이 민간 부문과 4가지 측면에서 차이가 있다고 지적하였다. 첫 번째는 본질적으로 전략적이고 장기적인 투자를 다루며, 재정적인 정당화의 접근은 부적절할 수 있다는 것이다. 두 번째는 다양한 요인들이 자원의 배분에 영향을 미치는 것이며, 세 번째는 혁신적인 기술의 모호성과 전문가의 부재에 따른 기술 선택의 어려움이며, 네 번째는 정부 정책에 의해 기술이 영향을 받는다는 것이다. Maloney(1982)는 공공과 민간의 기술선택 절차에 대하여 목적, 구조, 시간, 기타 등 4가지 주요한 구분을 통해 비교하였다. <표 3-1>은 이러한 민간과 공공부문의 기술선택을 비교한 것이다.

<표 3-1> 민간과 공공 부문의 기술 평가 비교

구분	민간	공공
목표	<ul style="list-style-type: none"> • 수익 최대화 • 인식과 포지셔닝 갈등 • 인식에 기반한 시장 다양화 • 소비자 수요 • 소비자 수요 인식 • 기업의 방향 설정과 의사결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 수익에 대한 관심 부재 • 인식과 해결의 갈등 • 사회적 혜택에 기반한 시장 창출 • 공공재 수요 • 공공 수요 밸런스 • 공공 정책 형성
구조	<ul style="list-style-type: none"> • 유연한 절차 • 미션 주도적 TF • 내부적 노력과 일부 외부적 자원 • 민간, 구두 보고 	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 구조화 단계 • 공식적으로 조직된 그룹 • 외부적 노력과 일부 내부적 자원 • 공공 문서
기간	<ul style="list-style-type: none"> • 단기-중기 관점 • 1년 이하 연구 	<ul style="list-style-type: none"> • 장기 관점 • 1년 이상 연구

구분	민간	공공
인식	<ul style="list-style-type: none"> • 완전한 생각 • 주주에 대한 책임 • 기업의 생존 • 경쟁적 환경 	<ul style="list-style-type: none"> • 종합적 생각 • 다양한 책임 • 더욱 이성적인 정부 • 비경쟁

출처: Maloney(1982): 6

지금까지 살펴본 내용을 정리하면 기술선택이라는 것은 해당 주체의 전략적 의사결정을 위하여 대안기술을 설정하고 이에 대한 합리적인 기준의 설정과 이에 근거한 평가를 통해 최적의 대안을 도출하는 것이라고 할 수 있다. 그리고 이러한 평가의 과정에서 다양한 이해관계자의 참여가 필요하며, 이러한 이해관계자들의 의견이 반영되어야 한다는 것도 중요한 기술선택의 과정이라고 할 수 있다. 기술선택이 적용되는 부문에 있어 공공부문은 민간부문과는 달리 수익의 극대화와 시장창출에만 초점을 두지 않고 공공의 목적 달성과 공공 정책 형성에 중점을 두는 것에서 민간 부문의 접근과는 개념적인 차이가 있다고 할 수 있다.

2. 기술선택 관련 문헌 검토

본 연구는 기술선택과 관련한 기존 연구의 탐색을 위해 크게 2가지 관점으로 접근하였다. 먼저 온실가스 감축과 관련한 기술선택에 대한 문헌을 검토하였으며, 추가적으로 직접적인 기술 그 자체에 대한 것 이외에 온실가스 감축의 개념을 적용하고 있는 온실가스과 관련한 프로젝트, 정책 프로그램 선택에 대한 문헌을 검토하였다. 이를 통해 온실가스 감축기술의 선택을 위해 고려할 수 있는 평가기준 pool을 도출하고자 하였다.

특히, 본 연구는 연구의 목적을 고려하여 과학적 의사결정기법인 AHP를 적용한 문헌을 중심으로 고려하였다. 먼저, 온실가스 감축과 관련한 기술의 선택에 대한 기존 연구는 에너지, 녹색도로 등 에너지와 건설 분야에서 주로 다루어지고 있다(이유화, 조원범 & 김세환, 2012; 박우균, 김건엽, 이선일 & 이상호, 2015; Yu, 2012; 하영진 & 강승진, 2008). 국가 정책/전략, 프로젝트 선정에 대한 기존 연구는 전력부문과 녹색건물 등의 저탄소 정책, 신재생에너지 프로젝트 등에서 주로 다루어지고 있다(박정진 & 윤순진, 2011; 조흥규, 김진동, 이영도, 신윤석 & 김광희, 2015; 이상호 & 박재홍, 2011). 이러한 온실가스 감축과 관련한 기술선택에 대한 기존연구와 온실가스 감축과 관련한 국가 정책/전략, 프로젝트 선정, 정책과 관련한 기존 연구의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

가. 온실가스 감축 관련 기술선택 문헌

이덕기, 최상진, 박수익, 하영진 & 이정태(2004)는 기후변화에 따른 온실가스 감축을 목표로 추진되고 있는 이산화탄소 저감 및 처리기술의 개발 성과를 제고하기 위해 개발기술 대상 중요도 우선순위 도출에 대한 연구를 진행하였다. 해당 기술을 4가지의 부문으로 구분하고, 각 부문에 대해 기술성, 상업성, 연계성 등 3개 항목의 국외기술개발동향, 경제적 부가가치 창출, 기술 분야 내 목표 달성기여도 등 총 12개의 소항목으로 구성하였으며 기술성이 우선적인 항목으로 도출되었다. 절대평가법과 AHP에 기반하여 연구개발에 대한 우선순위를 분석하였고 기술개발에 따른 영향정도를 고려하여 분야별로 상업화와 기반기술 확보에 대한 연구개발을 추진해야한다고 판단하였다. 이성곤 & 김종욱(2008)의 연구는 우리나라의 에너지환경 극복을 목적으로 경제적 관점에서 에너지자원기술개발에 대한 선택과 집중 및 전략적으로 대응하기 위해 기술개발 우선순위를 분석하였다. GHG 저감 기술의 평가기준을 계층화 한 후 AHP기법을 적용하여 상대적 가중치를 도출하였다. 계층화된 평가기준은 기후변화대응, 경제적 파급효과, 기술적 파급효과, 기술개발 시급성, 에너지사용량 등 5가지 평가기준 내 5가지 하부평가기준으로 선정하였다. AHP/DEA 혼합기법을 통해 GHG 저감 기술의 효율성을 판단하여 예산 배분과 효과적인 R&D 및 정책 관점에서 과학적 틀을 제시하는 결과를 도출하였다.

오남걸 & 김훈(2010)의 연구에서는 정부의 국가 에너지 문제 해결과 경쟁력 향상을 위해 에너지와 IT 부문의 융합기술과 유망 기술 아이템 도출을 위해 선정한 평가항목에 따라 우선순위를 도출하였다. 관련 문헌조사 및 정부 정책 자료 등을 통해 기술성, 경제성, 공공성, IT 융합효과 등 4개의 기준을 설정하였고 기준별로 3가지씩 하위 기준을 선정하였다. 4개의 기준 중에서 경제성이 가장 높은 중요도 값을 나타냈다. 위의 기준에 따라 9개의 건물분야 기술을 평가하였으며 이에 따라 에너지절약형건물(green building)과 IT 기술의 융합을 통해 에너지 문제를 해결하고 산업경쟁력에서 큰 효과를 가질 것으로 전망하였다. 특히 네트워크를 활용한 에너지소비기기가 효용성이 높은 기술로 선정되었다. 홍정만(2011)은 민간 기업의 신재생에너지 도입 의사 결정을 위해 AHP 기법을 이용하여 사업타당성 평가기준을 제시하였다. 신재생에너지 전문가들을 대상으로 한 인터뷰를 통해 외생적(external) 관점과 내생적(internal) 관점에서 총 7개의 평가지표를 도출하였다. 전문가들이 평가 항목 간 쌍대비교를 한 결과를 AHP 방법을 적용하여 분석하였다. 그 결과 경제성의 상대적 중요도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 도출된 평가지표의 가중치를 분석하여 신재생에너지가 민간부문영역에서의 확산이 가지는 한계와 개선 방안을 위한 시사점을 제시하였다.

농업부문의 온실가스 감축기술 우선순위 평가를 위한 박우균, 김건엽, 이선일 & 이상호(2015)의 연구는 선행연구 및 전문가 델파이 조사를 통해 기준을 선정하였다. 경제적, 기술적, 환경적, 정책적 측면 등 4개 분야, 12개의 농업부문 온실가스 감축기술의 속성들을 계층화하여 문제를 구조화하였다. 전문가들은 경제적, 기술적, 환경적, 정책적 부문 등 4가지의 주요한 평가기준 중 경제적 부문을 가장 중요한 속성으로 도출하였다. 주요 분석결과로 전문가 그룹의 특성에 따라 고려하는 측면이 다르기 때문에 우선순위의 차이가 있다는 것을 확인하였다.

Yu(2012)의 연구에서는 청정기술의 효율적인 기술대안 선택을 위한 DEA와 AHP 통합 분석을 실시하였다. 해당 연구에서는 기술 전문가 조사를 통해 투입과 산출로 분류된 4가지 기준(연구

개발 역량, 생산 용이성, 시장성, 기술 확장성)을 선정하였고 이 가운데 시장성이 가장 높은 중요도 값을 나타냈다. 도출된 평가 기준에 따라 185개의 청정 기술 분야에서의 유망한 청정기술 선택을 위한 연구를 실시하였다. 하영진 & 강승진(2008)은 에너지·환경 문제 해결에 근거한 전략적인 에너지기술개발 추진을 목적으로 에너지기술개발에 대한 우선순위를 도출하고 이를 기반으로 에너지기술개발 극대화 및 최적의 자원 할당을 제시하였다. Fuzzy AHP 기법을 적용하여 상위기준 3개 항목(기술개발의 성공가능성, 기술의 적용성, 기술적 파급효과), 하위 기준 10개 항목을 선정하였다. 계층 1(Level 1)에서 기술개발의 성공가능성, 기술적 파급효과, 기술의 적용성 순으로 중요도가 조사되었다. Ren & Lützen(2015)는 선적운송에서의 온실가스 감축을 위한 기술 선정을 목표로 한 연구이며 AHP기법을 통해 기술, 경제, 환경, 사회-정치적 측면 등 4가지 측면의 9가지 기준을 도출하였고 이 가운데 기술이 가장 중요도가 높게 조사되었다. 도출된 기준으로 VIKOR 방법을 사용하여 3가지 대안 기술(저유황연료, 가스 포집기, LNG)의 우선순위를 결정하였고 LNG가 온실가스 감축을 위한 가장 적합한 대안으로 선정되었다.

Wimmler, Hejazi, Fernandes, Moreira & Connors(2015)의 연구는 고립된 형태의 지형적 특성을 가진 섬이 직면한 에너지 시스템 문제의 해결을 위해 에너지 계획 및 관리에 대한 의사 결정 우선순위를 도출하였다. 44개의 사례연구를 통해 다양한 지속 가능한 개발 지표와 지속 가능성 평가 방법론이 제시되었고 이에 따라 하위 지표 수, 규모 조정, 표준화, 가중치 부여 및 집계에 따라 총 41개의 지표가 식별되고 분류되었다. 검토된 연구에서 다양한 지속 가능 지표가 36개의 재생 가능 에너지 기술 (RETs)에 적용되었고 섬의 규모와 조건을 고려하여 재생가능 에너지 기술에 대한 평가가 이루어졌다. Kim, Hong, Ahn & Gong(2015)은 녹색화학의 목적에 부합하고 정량화가 가능한 평가지표를 선정하기 위한 연구를 실시하였다. 환경, 안정, 자원, 경제 등 4개의 지표를 선정하고 AHP분석을 실시하여 지표 간 가중치 적용을 하였다. 4개의 지표는 안전, 환경, 자원, 경제 순으로 우선순위를 나타냈다. 연구 결과, 현재의 정량적 평가 기술의 한계를 지적하고 녹색 화학 기술의 정량적 평가를 위한 미래 방향을 제시하였다. Tang, Sun, Yao & Wang(2014)은 기술이 태양광 산업의 비용과 효율성에 미치는 영향이 크다는 전제하에 중국의 실리콘 태양광산업을 중심으로 델파이와 AHP를 통해 6개의 상위 기준과 15개의 하위 기준을 선정하였고 이 가운데 셀의 표면 처리 평가기준이 우선순위가 가장 높은 기준으로 선출되었다. 평가 기준의 적용을 위해 핵심 개발 기술의 우선순위 평가에 의해 셀 제조와 관련된 7 가지 주요 핵심 기술이 선정되었다. 비용 및 에너지 소비 잠재력이 큰 기술은 주로 산업 체인의 전단부(front-end)에, 효율 향상을 위한 핵심 기술은 주로 시스템의 후면인 백엔드(back-end)에 집중되어 있다는 결론을 나타냈다.

또한 이원구, 김형택 & 박영구(2015)는 발전부문의 온실가스감축 기술과 정책에 대한 우선순위를 마련하고자 하였으며 이를 위해 국내의 에너지·기후변화 산학연의 전문가 패널들의 판단에 따라 공동평가지표와 모델을 구축하였다. 1계층은 에너지, 환경, 경제 등으로 각각 분류하였고 2계층으로는 전력수급안정, 온실가스감축, 영업이익(매출액) 등 6가지의 평가기준을 도출하였다. 1계층인 에너지·환경·경제에 있어서 에너지가 1순위로 다른 항목인 환경 및 경제측면보다 더욱 중요한 것으로 조사 분석 되었다. 이는 발전부문의 경우 에너지 정책과 국가 및 기업의 경쟁력강화가 연관성이 있다는 판단을 강조할 수 있다. 각 분야의 개발 및 정책 방향에

대해 AHP를 이용하여 각각의 대안 간 우선순위를 도출하였으며 연구 결과, 상용화에 대한 검증은 거친 기술일수록 기술개발의 필요성이 높게 도출되었으며, 정책 부문에서는 규제를 지양하고 지원을 강화하는 것이 중요하다고 나타내었다. 이유화, 조원범, 김세환(2012)의 연구에서는 탄소 저감 및 에너지 효율화를 실현하고 미래지향적인 녹색도로를 구현하기 위하여 기술로써 모형을 통해 달성하려 하는 세부 목표달성기술 간의 가중치를 추정하여 우선순위를 결정하였다. 해당 연구는 산업 부문별 도로교통 기준을 1계층으로, 각각의 산업에 해당하는 기술을 2계층으로 선정하여 AHP를 실시하여 가중치를 도출하고 각각의 기술의 우선순위를 나타냈다. 가중치 추정결과, 공통적으로 기술과 산업지원 정책 대응 기술의 우선순위가 가장 높게 평가되었다. 녹색도로 달성목표기술에 대한 전문가들의 평가가 크게 상반되지는 않지만, 이전보다 녹색도로 건설을 위한 연구와 요소별 핵심기술 연구에 대한 투자와 지원의 필요성을 제시하였다.

최민수(2007)의 연구는 기술개발 전략 수립에 유용한 정보 제공을 위해 친환경 공동주택 기술개발 시 우선순위를 도출하는 것을 목표로 하고 있다. 친환경 건설기술 요소의 기술개발 우선순위에 대한 종합평가를 수행하기 위해서 친환경 공동주택 요소기술별로 시장성, 성장성, 시급성, 경제성, 기술적 가능성, 공공성의 6개 평가지표를 선정하였다. 전문가의 의견을 토대로 하여 산출한 각 평가요소별 중요도를 살펴보면 수익성을 중시해야 한다는 비중이 가장 높게 산출되었고, 그 다음으로 기술적 가능성과 시장 규모가 유사한 비중의 중요도를 갖는 것으로 나타났다. 평가지표 항목별 중요도 비중에 근거하여 단지, 건축, 설비 기술 분야의 39개 기술개발 우선순위에 대한 종합 평가를 실시하였고 결과적으로 우리나라의 공동주택 시장 여건 하에서는 에너지 절약보다는 친환경 관련 요소기술에 대한 수요가 더욱 큰 것으로 평가되었다. 최돈오, 이호근, 임종광 & 이현곤(2009)는 국방 분야의 국가 녹색기술 연구개발사업에 대한 전 주기를 고려하여 지속적인 연구개발관리에 대한 평가지표를 도출하였다. 또한, 정량적인 기술 녹색도의 측정을 위한 평가모형을 개발하였다. 기술녹색도 평가를 위한 녹색기술, 경제전력, 사회생태 등 3개의 평가항목과 13개의 평가지표를 도출하였으며 그 결과 녹색기술, 경제전력, 생태환경 순으로 중요도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 모델을 5개의 국방 분야 녹색과제에 시범적용하고 평가모형의 적용성 등을 확인하였다. 개발된 모형을 기반으로 한 결과는 녹색성장과 관련한 단위 사업 및 과제 선정 시 우선순위 결정, 녹색효과도와 경제성장기여도가 연구개발의 투자전략 수립에 중요하다는 것을 강조하였다.

나. 온실가스 감축 관련 프로젝트, 정책 관련 문헌

임미순, 박종흠 & 안승범(2009)의 연구는 물류분야에서 배출되는 대기오염물질 감소관련 에너지자원 개발계획, 오염물질 저감관련 환경규제정책, 해외 주요국의 저탄소 경제 이행관련 목표설정, 추진전략 등의 분석을 하였다. 이를 통해 국내의 탄소저감정책 추진을 위하여 평가항목과 평가지표를 도출하였다. 문헌조사와 설문을 통해 각 지표항목들을 선정하고 상위 평가항목의 경우는 대기오염원의 축소, 효율성 제고, 저탄소기반 확립 등 3개로 구분하였으며 하위 평가항목은 9개로 구성하였다. 상위 평가항목의 계층 간 상대적 중요도를 산출한 결과 효율성 제고, 대기오염원의 축소, 저탄소기반 확립 순으로 나타났다. 효율성 제고와 대기오염원의 축소는 상대적 중요성의 차이가 미비하여 두 항목 모두 중요한 것으로 평가하였다. 탄소저감정책

사업을 도입할 경우, 평가항목과 평가지표를 활용하여 우수한 정책사업을 선정할 수 있는 근거를 제공할 수 있도록 하였다. 이상호 & 박재홍(2011)의 연구에서는 농업부문의 신재생에너지 보급 사업이 기술적, 경제적, 환경적, 사회적 부문에서 다양한 영향을 미치게 되어 다양한 요인들의 상호 혼합이 신재생에너지 보급 영향 평가의 한계점임을 강조한다. 이에 농업부문 신재생에너지 보급 확대를 목적으로 AHP 기법에 기반 하여 영향요인별 우선순위를 제시하였다. 총 5개의 평가지표는 대분류와 15개의 세부항목으로 분류하였고 상대적 중요도인 가중치 도출 결과 농업인들은 경제적, 기술적, 환경적 요인 순으로 분석되었다. 개별 평가속성들에 대해서는 고정투입비, 운영관리비, 기술우월성 등이 가장 중요한 속성으로 평가되었고 농업인의 경우에는 경제적 측면을, 전문가 그룹은 경제적 요인을 강조하면서 환경적 요인도 함께 중요시 하였다. 이에 신재생에너지 보급 확대를 위해 경제성과 환경성을 함께 고려한 사업 추진이 필요하다고 밝혔다. 박정진 & 윤순진(2011)의 연구에서는 전력부문의 온실기체 배출 저감정책 수단에 대해 어떠한 우선순위 따라 이해당사자 집단그룹별로 중요시하는 정책과 방안의 유사점 및 차이점을 분석하고 지속가능한 기후정책을 마련하는 과정에서 발생하는 사회적 갈등을 줄이고자 하였다. 전력산업 종사자들과 환경단체 활동가들을 대상으로 한 설문 조사를 통해 경제성, 환경성, 사회성, 정책성 등 4가지의 상위계층과 각각 2가지씩 총 8개의 하위계층을 구성하였다. AHP 기법을 적용하여 우선적 고려사항을 부문별로 도출한 결과 전력부문에서는 경제성이 가장 높은 가중치를 나타냈고, 환경단체에서는 환경성이 가장 높은 가중치를 나타냈다. 이런 결과는 대부분의 정책 요소와 정책 대안에 있어 부문별 시각차를 보여주고 있고, 이와 같은 의견 차이를 조정하고 사회적으로 합의를 도출할 수 있는 거버넌스 체제의 구축을 제시하였다.

조흥규, 김진동, 이영도, 신윤석 & 김광희(2015)의 연구는 효율적으로 타당성을 검토하기 위해 환경성, 에너지, 경제성, 삶의 질 등을 포괄적으로 고려할 수 있는 건축물의 지속가능성 평가모형을 개발하는데 목적을 두고 있다. 선행 연구 자료 및 문헌 연구를 통해 지속가능한 건축의 핵심요소를 바탕으로 건축물에서 소비 및 생산되는 에너지 부문과 환경성, 경제성, 삶의 질 등으로 분류하였으며 총 39개의 평가항목을 선출하였다. 항목 내 쌍대비교를 통해 도출된 중요도의 가중치는 에너지 요인이 가장 높은 가중치를 나타냈으며 환경성과 경제성 요인은 동일하고 삶의 질이 가장 적은 가중치를 나타냈다. 평가모형은 의사결정자들이 건축물의 지속가능성을 평가하여 최종 의사결정에서 유용하게 활용될 수 있음을 강조하였다. 황은주, 최윤희 & 김종대(2016)는 AHP 기법을 기반으로 기후변화대응을 목적으로 인천지역 정책의 우선순위를 마련하는데 목적을 둔 연구이다. 분석요인 선정은 국가 녹색성장 정책방향(2009)에서 제시한 정책수단과 환경부 기후변화대응 종합계획(Ministry of Environment, 2008)에서 제시한 정책수단을 우선 고려하였고, 2차 계층 구조는 인천 글로벌 녹색수도 마스터플랜을 기초로 지역 특성에 맞게 설계하였다. 1차 계층으로 에너지정책, 기후정책, 산업정책, 녹색문화정책 등 4가지의 요인을 선정하였고, 2차 계층은 총 16가지 요인으로 구성하였다. AHP 기법 적용을 통해 계층 내 분석결과 1차 계층의 요인에서는 산업정책이, 2차 계층의 요인에서는 탄소저감 목표관리제 및 배출권거래제 정착이 상대적 중요도가 가장 높게 분석되었다. 분석한 결과, 인천지역의 지속적인 기후변화정책의 추진과 효과를 높이기 위해서는 선제적 기반인프라 조성이 우선되어야 하며 주력산업과 녹색기술을 접목한 정책 수립과 사업추진이 함께 이루어져야한다고 밝혔다.

김현명, 조종석, 최정민 & 강희정(2010)는 교통 체계 관점에서 녹색성장을 평가하는 개별 목표를 3가지로 정의하고 이에 대한 상세목표와 평가지표를 제시하였다. 국가 비전에 따라 녹색성장의 전체 목표와 이를 달성할 수 있도록 저탄소·친환경성, 에너지효율성, 경제활동성 등 세 부문의 개별 목표가 설정되었고 상세 목표로는 10가지의 평가지표들이 선정되었다. 각 개별 목표와 상세목표의 중요성은 전문가의 견해를 바탕으로 한 AHP 기법을 통해 계량화되었고 전문가들의 의견에 따라 녹색성장에 있어 저탄소·친환경성이 가장 중요한 비중을 차지한다는 결과를 도출하였다. 가중치 결정 결과는 현재 교통부문 전문가들은 환경 및 기후변화에 대한 대응이 가장 시급하다고 판단하고 있는데 녹색성장의 기본 개념을 고려할 때 이와 같은 판단은 기존의 환경 중심적인 철학이 내포되어 있다고 할 수 있으며 녹색성장이 갖는 교통관련 경제활동에 대한 기여를 더 홍보해야 한다는 시사점을 도출하였다. 장기윤(2010)은 높은 성장세가 전망되는 산업인 신재생에너지에 대한 사업적 접근을 효과적으로 추진하기 위해 평가기준 수립과 AHP를 적용하여 지표별 중요도를 결정하여 수립을 목적으로 하였다. 이해관계자 12인의 의견을 수렴하는 델파이(Delphi) 방식을 활용하여 신재생에너지 사업과 관련된 대외여건(시장매력도), 대내여건(기업역량) 내의 경제적, 기술적, 환경적, 사회적 측면에 대한 다양한 지표와 인프라, 사업추진역량, 계열사와 협력사간의 시너지 창출 관련 지표들로 분류하여 구성하였다. 평가기준의 요소별 가중치 도출을 위해 AHP 방식을 활용하였으며 그 결과 대내여건(기업역량)이 대외여건(시장매력도)보다 더 중요한 평가 기준인 것으로 분석되었다. 중분류 기준으로는 사회적, 기술적, 환경적, 경제적 측면 순으로 분석되어 신재생에너지 사업이 아직까지는 화석연료의 대체제, 기후변화대응을 위한 청정연료로서의 중요성이 부각되어 사회적 역할이 강조되었다는 결론을 도출하였다.

양춘승, 박성환 & 박중구(2009)의 연구는 국내 상황에 맞는 CDM 사업을 위한 지속가능성 평가 기준을 제시하고자 하였다. 국외 전문가 130명의 협력에 의해 작성된 GRI(Global Reporting Initiative)의 ‘기업지속가능경영보고서 가이드라인(G3)’에 나타는 항목과 선행연구에서 언급된 기준을 종합하여 경제성 6개, 사회성 8개, 환경성 10개 등 총 24개의 기준을 선정하였다. 선정한 평가기준을 토대로 세계 최대의 국내 조력발전 사업인 ‘시화호 발전사업’을 구체적인 사례로 선정하여 분석을 실시하였다. 이에 대한 결과로 순편익이 더 높은 것으로 확인되었으며 이는 지속가능한 발전에 기여하는 바이다. 해당 연구의 정책적 시사점은 CDM 사업은 지속가능한 발전에 기여한다는 가정에 대해 보다 객관적인 방법론(AHP)을 기반으로 이해당사자의 우선순위를 반영하는 것이 가능하다는 사실을 확인하였다.

지금까지 살펴본 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로젝트 등의 선택에 대한 기존 문헌에서 주요하게 고려한 기준을 정리하면 <표 3-2>과 같다.

<표 3-2> 선행연구에서 고려한 주요 평가기준

연구제목	연도	평가 기준	
		1수준	2수준
AHP를 이용한 CO2 저감 및 처리기술 분석	2004	(1) 기술성 (2) 상업성 (3) 연계성	(1) 국외기술개발동향 등 5개 (2) 경제적 부가가치 창출 등 4개 (3) 기술분야내 목표 달성기여도 등 3개
규모의 경제성을 고려한 전략적 온실가스저감기술 개발을 위한 다기준의사결정기법	2008	(1) 기후변화대응 (2) 경제적 파급효과 (3) 기술적 파급효과 (4) 기술개발 시급성 (5) 에너지사용량	(1) 기술개발 가능성 (2) 에너지절감 가능성 (3) 시장규모 (4) 투자이익 (5) 기술이전 용이성
AHP를 이용한 에너지-ITM 융합기술 도출에 관한 연구	2010	(1) 기술성 (2) 경제성 (3) 공공성 (4) IT 융합효과	(1) 기술 독창성 등 3개 (2) 시장 규모성 등 3개 (3) 산업 파급성 등 3개 (4) IT 산업 파급성 등 3개
AHP기법을 적용한 민간기업의 신재생에너지 평가항목에 대한 연구	2011	(1) 외생적 환경 지표 (2) 내생적 환경 지표	(1) 관련 기술 수준 등 4개 (2) 경제성 등 3개
농업부문 온실가스 감축기술 우선순위 평가를 위한 다중속성 분석	2015	(1) 경제적 측면 (2) 기술적 측면 (3) 환경적 측면 (4) 정책적 측면	(1) 고정비용 등 3개 (2) 기술 우월성 등 3개 (3) 온실가스 저감 등 3개 (4) 감축 목표관리 등 3개
기술 평가 및 선정을 위한 AHP와 DEA 통합 활용 방법: 청정기술에의 적용	2012	(1) 투입(Input) (2) 산출(Output)	(1) 연구개발 역량, 생산 용이성 (2) 시장성, 기술 확장성
퍼지 계층분석기법을 이용한 국내 미래 에너지기술개발 우선순위 도출	2008	(1) 기술개발의 성공가능성 (2) 기술의 적용성 (3) 기술적 파급효과	(1) 기본 기술 획득 가능성 등 3개 (2) 기술의 독창성 등 3개 (3) 개선된 에너지 효율성 등 4개

연구제목	연도	평가 기준	
		1수준	2수준
Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties	2015	(1) 기술 (성숙도) (2) 경제 (자본비용 및 운영비용) (3) 환경 (SOx, NOx, GHG, PM 감축의 영향) (4) 사회-정치적 측면 (정부 지원 및 사회적 수용성)	(1) 성숙도 (2) 자본비용 등 2개 (3) SOx의 영향 등 4개 (4) 정부 지원 등 2개
Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands	2015	44개의 사례연구를 통해 다양한 지속 가능한 개발 지표 제시	
Priority survey between indicators and analytic hierarchy process analysis for green chemistry technology assessment	2015	(1) 환경 (2) 안전 (3) 자원 (4) 경제	(1) GHG 등 2개 (2) 폭발 및 화재 (3) 사회적 관점에서의 자원 소비 (4) 녹색화학기술의 경제성
The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): Case study of China, Yong Tang	2014	(1) 태양전지 실리콘 생산 (2) 결정질 실리콘 생산 (3) 웨이퍼 (4) 셀 (5) 모듈 (6) 시스템	(1) 향상된 지멘스 프로세스 등 2개 (2) 초크랄스키법 등 2개 (3) 두께감소를 위한 웨이퍼 기술 (4) 표면질감 등 7개 (5) 강화유리의 얇은 두께 및 반사 방지 (6) 리튬이온배터리 등 2개
발전부문 AHP기법을 이용한 온실가스감축 기술·정책 우선순위 연구	2015	(1) 에너지 (2) 환경 (3) 경제	(1) 전력수급안정, 수요관리강화 (2) 온실가스감축, 오염물질감축 (3) 영업이익(매출액), 녹색기술산업화

연구제목	연도	평가 기준	
		1수준	2수준
녹색도로 구현을 위한 기술 우선순위 결정에 관한 연구	2012		(1) 친환경 도로 계획 등 2개 (2) 신소재 적용 도로포장 등 5개 (3) 지체 최소 교통정보운영 등 4개 (4) 에너지 효율적 도로 유지관리 등 4개 (5) 녹색교통수단의 시설 설계 및 운영 등 2개 (6) 기술, 산업지원정책대응
친환경 공동주택 건설기술의 개발 우선순위 평가 -건설업체의 관점을 중심으로 -	2007	(1) 시장 규모 (2) 성장성 (3) 수익성 (4) 시급성 (5) 기술개발 가능성 (6) 공공성	(1) 국내 시장 규모 등 2개 (2) 최근의 성장률 등 3개 (3) 시장 경쟁 강도 등 4개 (4) 현행 법령에서의 사용 의무화 등 4개 (5) 국내에서의 기술개발용이성 등 4개 (6) 공공적 성격 등 3개
기술녹색도 평가모델 개발 및 적용사례	2009	(1) 녹색기술 (2) 경제전력 (3) 사회생태	(1) 탄소배출강도 등 6개 (신재생에너지전력 생산수준 지표는 에너지 관련 사업에만 국한하여 적용) (2) 녹색성장정책연관성 등 5개 (3) 생태효율성 등 2개
녹색물류를 위한 탄소저감정책 평가항목 우선순위에 관한 연구	2009	(1) 대기오염원의 축소 (2) 효율성 제고 (3) 저탄소기반확립	(1) 수송수단 이용에 대한 제한 및 전환 등 2개 (2) 시설장비의 개선 등 4개 (3) 저감시스템 구축 등 3개
농업부문 신재생에너지 보급 확대를 위한 다중속성 평가	2015	(1) 경제적 측면 (2) 기술적 측면 (3) 환경 측면 (4) 수용적 측면 (5) 사회적 측면	(1) 고정투입비 등 3개 (2) 기술우월성 등 3개 (3) 온실가스 저감 등 3개 (4) 설치용이성 등 3개 (5) 보조금 지원 등 3개

연구제목	연도	평가 기준	
		1수준	2수준
전력부문 온실기체 저감 수단 우선순위에 대한 이해당사자들의 시각 비교	2012	(1) 경제성 (2) 환경성 (3) 사회성 (4) 정책성	(1) 비용효과성 등 3개 (2) 온실기체 저감량 등 2개 (3) 사회적 형평성 등 2개 (4) 예산재원확보 집행 등 2개
다기준의사결정 방법론을 활용한 건축물의 지속가능성 평가모형 개발에 관한 연구	2015	(1) 에너지 (2) 환경성 (3) 경제성 (4) 삶의 질	(1) 에너지 소비 등 2개 (2) 교통 등 3개 (3) 에너지 및 자원 절감 LCC 등 2개 (4) 주변 영향 등 2개
기후변화정책 우선순위 연구	2016	(1) 기후정책 (2) 에너지정책 (3) 산업정책 (4) 녹색문화정책	(1) 탄소저감 목표관리제 및 배출권거래제 정착 등 3개 (2) 전력효율 향상 지원 사업 등 4개 (3) 녹색산업단지구축 등 4개 (4) 녹색공간조성 및 홍보체험관 조성 등 4개
AHP와 ANP 방법론을 이용한 그린 ICT 정책의 전략적 우선순위 도출 방안	2011	(1) 경제성 (2) 효율성 (3) 환경성 (4) 기술성 (5) 안정성	(1) 고용창출 등 2개 (2) 제품 설계변경 및 개발공정 개선 등 2개 (3) 에너지 소비 제품의 환경성 평가 등 2개 (4) 그린 ICT 관련 기술전략 수립 등 2개 (5) 특정 에너지원의 집중도 완화 등 2개
녹색성장 교통부문 지표개발 교통 전문가 설문조사결과 분석	2010	(1) 저탄소 친환경성 (2) 에너지효율성 (3) 경제활동성	(1) 기후변화 등 3개 (2) 총에너지 등 3개 (3) 생산성 등 4개
신재생에너지 사업성 평가를 위한 지표선정에 관한 연구	2010	(1) 대외여건 (시장매력도) (2) 대내여건 (기업역량)	(1) 경제적 (2) 기술적 (3) 환경적 (4) 사회적 (5) 사업수행능력 (6) 사업인프라
청정개발체제사업의 지속가능성 평가지표 개발	2009	경제성 6개, 사회성 8개, 환경성 10개 등 총 24개의 기준	

제2절 NDC 기술선정 사례

1. 일본 사례

앞서, 제2장 제2절에서 Annex 1 국가의 INDC 현황을 살펴본 바와 같이, 선진국의 INDC는 감축기술 자체에 대한 내용을 많이 포함하고 있지 않다는 것을 알 수 있었다. 이중 기술에 대한 내용을 상대적으로 자세하게 포함하고 있는 국가는 일본이라고 할 수 있다. 일본은 전환, 산업, 건물, 수송 등 전 감축부문에 대해 적용할 기술을 상세하게 명시하고 있다. 이러한 점을 고려하였을 때, 일본은 INDC 수립에 있어 국가 수준의 정책적 방향성의 측면에서 기술을 다루는 수준 보다 구체적인 수준에서 감축기술의 선정에 대해 구체적으로 다루었을 것이라고 판단할 수 있다. 이에, 본 연구는 일본의 사례를 대상으로 INDC의 수립과 관련한 기술의 선정에 대해 검토하고자 하였다.

가. 일본의 온실가스 감축 관련 국가 전략 및 INDC 수립의 기술선정⁸⁾

일본의 온실가스 감축 목표는 2030년까지 2013년 대비 26.0% 감축(2005년 대비 25.4% 감축)을 목표로 하고 있다. 대략적으로 2030년의 목표 배출량은 10.42억 tonCO₂eq이다.

일본은 국가 온실가스 감축과 관련하여 국가차원의 계획으로 기후행동계획과 에너지환경혁신전략을 발표하였다. 특히, 에너지환경혁신전략은 2050년까지의 장기적인 관점으로 10대 기술을 반영하고 있다. 일본의 INDC를 비롯하여 온실가스 감축과 관련한 기술에 대한 사항은 2008년에 수립된 저탄소기술 계획과 크게 다르지 않으며, 이에 대한 연속성 상에서 관련 기술들이 지속적으로 다루어지고 있다.

일본의 INDC 수립 시 기술선정을 위해 고려한 사항은 본 연구에서 주요하게 다루고자 하는 국가 온실가스 감축을 위한 기술 선정을 위해 고려해야하는 사항과 깊은 관계가 있다. 이를 위해 본 연구는 일본의 INDC 수립에 직접적으로 참여한 환경성 관계자를 대상으로 방문인터뷰를 진행하였으며, 일본의 INDC 수립 시 기술선정과 관련한 주요한 고려사항을 확인하였다.

환경성 관계자와의 인터뷰를 통해 확인한 사항은 크게 2가지이다. 첫 번째는 “INDC 수립 시 기술선정 시 고려사항”에 대한 것이며, 두 번째는 “온실가스 감축기술 발굴을 위한 제도적 프로그램”에 대한 사항이다. 먼저, “기술선정 시 고려사항”에 대한 사항과 관련하여 “계획 수립 시 기술선정을 위한 기준”에 대한 내용을 질문하였다. 아래는 INDC 수립 시 기술선정 고려사항에 대한 일본의 환경성 전문가의 답변이다.

“일본의 INDC 수립 시 기술선정을 위해 중요하게 고려한 것은 기술의 상용화 수준이다. 즉, 현재 수준에서 활용할 수 없는 R&D 단계의 기술은 목표수립에 있어 기본적으로 배제되었으며, 상업화된 기술을 대상으로 대안으로 고려할 수 있는 거의 모든 기술을 검토하였다. 이러한 상용화기술을 바탕으로 온실가스 감축 수준,

8) 본 내용은 일본의 환경성 관계자와의 인터뷰(2017.4)를 토대로 정리하였음

보급가능 수준 등을 종합적으로 검토하고 최종적으로 기술 선정을 위한 전문가 협의회를 통해 필요한 고려사항을 검토하였다.”

위의 답변에서 알 수 있듯이, 일본은 2030년까지의 기간에 있어 신기술의 개발을 통한 온실가스 감축보다는 현존하는 상용화기술을 적극적으로 활용하는 전략을 채택하였다고 할 수 있다. 이는 온실가스 감축을 위한 기술의 활용이 자연스럽게 사회적으로 반영될 수 있는 동인으로 작용하고 국가 온실가스 감축의 이해관계자(이를 테면, 산업계)와의 긴밀한 동조가 가능하게 하는 요인으로 작용될 수 있다. 이러한 방식은 새로운 기술에 대한 불확실성과 기술 활용성 측면에서 리스크를 줄이는 요인으로 작용하였다고 할 수 있다. 또한, 상용화기술에 대한 검토를 통해 특정 기술에 편중되거나 의존하는 것에 의한 한계를 극복할 수 있는 특징이 있으며, 온실가스 감축 목표 달성에 대한 확신성을 높일 수 있다.

그 다음으로, 기술선정 시 고려사항과 관련하여 기술의 발전에 대한 동적인 변화에 대한 사항을 질문하였다. 왜냐하면 기술의 발전 등 기술변화에 대한 사항을 고려하는 것이 INDC 수립에 있어 기술선정에 있어 중요한 사항으로 작용할 수 있기 때문이다. INDC는 매 5년마다 수립하여 제출해야하므로, 기술의 발전 등 변화 정도를 필수적으로 고려하여 차기 계획 수립 등에 대한 연계성을 확보해야 한다. 이에 대해서 일본의 환경성 관계자의 답변은 아래와 같다.

“기술의 발전에 따른 효율 향상 등을 충분하게 고려하지는 않았으며, 2차 NDC 수립 등 INDC 수립에 있어 명시된 기술이 크게 달라질 가능성은 낮다고 판단된다. 다만, 기술의 보급량 등에서 차이가 있을 것으로 예상이 된다.”

일본의 경우, 온실가스 감축과 관련한 사항에 있어 기술의 적용은 일관성을 유지하고 있음을 알 수 있으며, 이는 기술에 대한 변화를 추구하는 것보다 활용 가능한 기술에 대해 면밀하게 검토하고, 이에 대해 유관 기관들과의 사전 조율을 통해 목표에 대한 달성가능성을 사전적으로 검토하고 있음을 알 수 있다. 이는 감축목표 달성의 가능성을 확실하게 하는 주요한 사항이라고 할 수 있다.

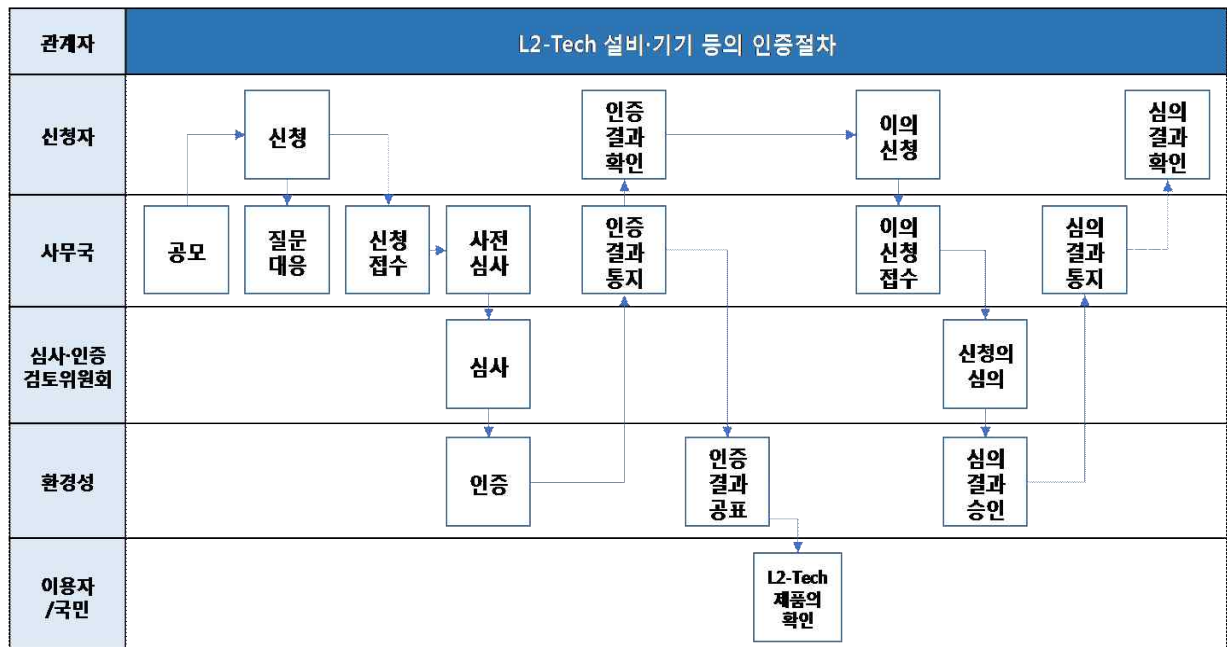
마지막으로, “온실가스 감축을 위한 기술선정과 관련하여 주요한 제도적 사항”에 대하여 문의하였다. 이에 대한 환경성 전문가의 답변은 아래와 같다.

“저탄소 기술의 발굴을 위해 계속적으로 노력하고 있으며, 환경성 차원의 대표적인 제도로써 L2-Tech 인증이 있다.” 이는 저탄소기술의 발굴과 유지를 위해 국가차원에서 제반 기술을 평가하고 인증하는 제도이다. 이를 통해 주기적으로 기술 정보를 축적하고 있다.

〈참고〉 일본의 L2-Tech 인증제도

- 배경: “하나뿐인 지구“라는 환경의 제약 하에서 대량생산·대량소비형 사회로부터 벗어나 국민 개개인이 풍요로운 저탄소 사회를 실현하고 2050년까지 80%의 온실가스 배출 감소를 실현하기 위해 선도적(Leading)인 저탄소 기술(Low-carbon Technology: L2-Tech)의 보급·도입을 추진
- 목적: 환경성이 공표한 “L2-Tech 리스트“에 제시하고 있는 “L2-Tech의 수준“을 충족시키는 제품에 대해 인증함과 동시에 적극적인 개발·도입·보급을 추진
- L2-Tech 인증 고려사항: CO₂ 감소 효과, 효율 성능, 기능의 수준 등으로 관련 기준치는 환경성에 의해 정기적으로 갱신
- 실시 체제: 환경성, 심사인증 검토 위원회 및 사무국으로 구성
 - 환경성: (1) L2-Tech 인증제도에 관한 절차 및 심사기준 등의 방침 책정, 실시 관리 및 체제 확립에 관한 종합적인 검토, (2) L2-Tech 및 L2-Tech 수준의 공표, (3) L2-Tech 수준을 충족시키는 제품 인증, (4) L2-Tech 제품에 관한 정보 발신
 - 심사인증검토위원회: (1) L2-Tech 인증 제도에 관한 심사 기준안 및 개정안의 승인, (2) 시행규칙안 및 개정안의 승인, (3) 이의신청 심의, (4) L2-Tech 수준을 충족시키는 제품의 심사
- L2-Tech 인증 절차: (1) 제품의 공모, (2) 신청, (3) 심사, (4) 인증, (5) 통지, (6) 공표, (7) 이의 제기의 접수·승인

〈참고〉 L2-Tech 인증 절차



일본의 경우 온실가스 감축기술의 선정을 위해 정례화된 제도를 운영하고 있으며, 이러한 제도의 운영은 결국 국가 온실가스 감축 이행을 위한 기술의 활용과 관련이 있다고 할 수 있다. 이러한 제도를 공고히 하는 것은 기술선정에 대한 지속적인 동력을 제공하는 것이라고 할 수 있다. 2015년 기준으로 약 230개의 기술기반 제품이 인증을 취득하였으며, 이는 국가 온실가스 감축을 위한 저탄소 기술의 기반으로 고려되는 것이다.

한편, 앞서 기술한 바와 같이, 일본의 INDC를 비롯하여 온실가스 감축과 관련한 기술에 대한 사항은 2008년에 수립된 저탄소기술 계획과 일관성을 유지하고 있으며, 이에 대한 연속성 상에서 관련 기술들이 다루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 발표된 일본의 에너지 환경 혁신 전략의 내용을 검토하고, 일본의 온실가스 감축을 위하여 반영한 기술에 대한 내용을 고찰하고자 하였다.

나. 일본의 에너지 환경 혁신 전략⁹⁾

일본은 지구온난화와 온실가스 감축에 대한 노력을 위해 2015년 12월에 과학기술혁신위원회(The Council for Science, Technology and Innovation) 내에 「2050년까지의 기술혁신을 위한 국가 에너지 환경 전략」을 위한 작업반을 설치하였다. 이 작업반은 4차례에 걸친 미팅과 논의를 거쳐 「국가 에너지 환경 전략」에 대한 내용을 수립하였다. 일찍이 일본의 과학기술혁신위원회는 2008년 4월에 “저탄소기술 계획”을 마련하였으며, 2013년 9월에 이를 개정하여 “신 저탄소기술 계획”을 마련하였다. 이 계획은 37개의 기술 분야를 포함하고 있으며, 단기부터 중기(2030년)까지의 기간을 고려하고 있다. 신 저탄소기술계획에 포함되어 있는 37개 기술의 목록은 아래와 같다.

<표 3-3> 신저탄소기술계획 반영 기술 목록

구분	기술명	비고
1	고효율 석탄 발전	high-efficiency coal-fired power
2	고효율 천연가스 발전	high-efficiency natural gas power
3	풍력 발전	wind-power generation
4	태양광 에너지	solar energy (photo voltaic)
5	태양열 에너지	solar energy (solar heat)
6	수력 에너지	ocean energy(wave, tidal, ocean current)
7	지열 발전	geothermal power generation
8	바이오매스	biomass
9	원자력 발전	nuclear power
10	CCS	carbon dioxide capture and storage

9) 본 내용은 일본의 에너지환경 혁신 전략(2016)의 내용을 토대로 정리하였음

구분	기술명	비고
11	인공광합성	artificial photosynthesis
12	차세대 수송	next-generation vehicles (HV, PHV, EV, ...)
13	차세대 수송	fuel cells
14	항공/항만/철도	aircraft
15	항공/항만/철도	ships
16	항공/항만/철도	rail
17	지능교통시스템	intelligent transportation system
18	혁신 디바이스 (정보, 빛, 디스플레이)	innovative devices(information, lighting, displays)
19	혁신 디바이스 (전력)	power electronics
20	혁신 디바이스 (텔레워크)	telework
21	혁신적 구조 물질	innovative structural materials
22	에너지 관리 시스템	energy management systems
23	에너지 절감 주거/건물	energy-saving residences/building
24	산업 활용 고효율 에너지	industrial usage of high-efficiency energy
25	고효율 히트펌프	high-efficiency heat pumps
26	환경친화적 스틸 제조 공정	environmentally friendly steel production processes
27	혁신적인 제조 공정	innovative manufacturing processes
28	수소 제조	hydrogen production
29	수소 운송/저장	hydrogen transport/storage
30	연료전지	fuel cells
31	고성능 전기 저장	high-performance electricity storage
32	축열/단열	thermal storage/insulation
33	초전도 송전	superconducting power transmission
34	스태빌리제이션(초목, 메탄)	stabilization (via vegetation, other methane)
35	온실가스 저감 기술	greengas reduction technologies
36	지구온난화 적응 기술	global warming adaptation technologies
37	지구 관측/기후변화 예측	earth observation/climate change forecasting

출처: 일본 과학기술혁신위원회, 2016

위의 기술 중 텔레워크, 에너지 절감 주거/빌딩, 풍력, 고효율 화력발전, 원자력, 바이오매스 등은 현재 실증과 적용 단계에서 이행을 위한 분야이며, 가까운 시기 내에 활용될 수 있는 단

계이다. 따라서 모든 기술이 에너지환경 전략 하에 주요한 목표가 되지 않으며, 몇몇 기술들은 지속적인 연구개발과 적용이 요구된다.

일본의 경우, 온실가스 감축을 감축부문의 수준에서 고려하는 경우, 주요한 배출부문은 전환, 산업, 수송으로 볼 수 있다. 따라서 온실가스 감축을 위한 전략은 우선적으로 이러한 3가지 부문에 초점을 두어야 한다. 전환 부문의 경우, 고효율 석탄 발전, 태양에너지, 풍력, 바이오매스, 원자력에 대해 이미 개발·시험·적용을 진행하고 있다. 이와 동시에, 중장기 관점에서는 비화석 에너지에 대한 개발을 통해 적용하는 것에 초점을 두고 있다.

에너지 소비의 측면에서는 일본은 초 고효율·에너지 절감 컴포넌트를 개발하고 적용하고 있다. 산업 부문에서는 특히 소재 산업에 있어 현존하는 에너지 인텐시브 모형과는 완전히 다른 형태의 제조 공정을 개발하고 있다. 이러한 개발을 통해 제조 공정의 온실가스 배출을 상당히 감축할 수 있을 것이라고 예상하고 있다. 수송 부분과 관련하여 전기/연료전지와 차세대 수송에 대한 폭 넓은 적용을 염두하고 있다.

장기적 관점에서 일본은 온실가스 감축을 위한 혁신적인 기술 영역을 인식하기 위해 4가지 기준을 바탕으로 검토하였다. 첫 번째는 불연속적이고 고성능 기술(discontinuous & high-impact)이며, 두 번째는 광범위한 채택과 주요한 배출 감축의 잠재성(potential for widespread adoption and significant emission reductions), 세 번째는 산·학·정 간의 연합된 노력이 요구되는 기술(combined forces among industry, academia and government), 네 번째는 국가의 우수성을 리드하거나 증명할 수 있는 기술(lead or demonstrate a superiority)이다.

먼저, 불연속적이고 고성능 기술과 관련하여 혁신적인 기술은 불연속적이면서 고성능이라고 할 수 있다. 단기간에 개발 또는 시험 단계에 이르지 못한 기술은 완전하게 새로운 소재, 구조 또는 시스템에 적용되어야 하며, 효율성과 성능에서 상당한 진보가 가능하다. 두 번째인 광범위한 채택과 상당한 감축 잠재성을 가진 기술과 관련해서는 기술이 개발되어 활용되는 수준에 도달하게 되면, 에너지와 시스템의 영역에서 채택되어 적용이 되어야 한다. 또한, 이는 일본과 국외에서의 활용을 모두 염두 해야 한다. 세 번째로 산업계·학계·정부의 연합된 노력이 요구되는 기술이다. 현재 많은 기술들이 기초연구 또는 초기 개발 단계에 있다. 몇몇 기술은 기술적인 제약을 포함하고 있으며, 실질적인 활용 전에 개발의 위협이 있다. 따라서 산업계, 학계, 정부의 연합된 노력과 지원이 없이는 성공할 수 없다. 마지막으로, 일본의 우수성을 리드하거나 증명하는 기술과 관련하여 일본이 세계적인 리더가 될 수 있는 기술을 고려하였다. 또한 현재 우수성을 보유하고 있지 못한 기술의 경우에도 일본의 지역적 특성이나, 환경을 고려하여 활용될 경우 우수성을 증명할 수 있는 기술도 함께 고려하였다.

이러한 기준을 바탕으로 총 5개의 혁신적인 기술 분야(10개 기술)를 발굴하였다. 이는 각각 에너지시스템 통합 기술(①통합 시스템 기술과 이산화탄소 최소화 시뮬레이션 기술, ②시스템을 위한 핵심 기술), 에너지 절감 분야(③혁신적인 생산 공정, ④초경량, 고-내열 구조 소재), 에너지 저장 분야(⑤차세대 저장 배터리, ⑥제조, 수송, 저장과 수소 사용, 에너지 캐리어), 에너지 생산 분야(⑦차세대 태양광 발전, ⑧차세대 지열 발전), 이산화탄소 포집 및 효과적 사용(⑨혁신적인 이산화탄소 분리 및 복원 기술, ⑩효과적인 이산화탄소 활용 기술)이다.

제3절 시사점

국가 온실가스 감축의 목표를 달성하기 위한 기술의 선정은 다양한 이해관계자와 공공 수요의 관점 등이 반영되어야 한다. 결국, 국가의 관점에서 온실가스를 줄이기 위해 활용할 기술을 선택하는 것은 국가적 차원의 정책적 방향성을 설정하는 것이라고 할 수 있으며, 이를 위해 다양한 경제적·사회적인 맥락을 고려해야 한다. 본 장에서는 이와 관련하여 관련 문헌과 사례를 살펴보았으며, 어떠한 요소들이 국가 온실가스 감축 기술 선정에 있어 주요하게 다루어져야 하는지 확인하고자 하였다. 기존 문헌 분석을 통해 온실가스 감축과 관련한 기술, 정책, 프로젝트 등의 선택 기준을 검토하였으며, 이를 통해 기술, 경제, 환경, 사회 등 다양한 맥락의 기준들이 고려되어야 한다는 것을 확인하였으며, 각 구분에 대한 세부적인 내용들을 확인할 수 있었다. 또한, 일본의 사례분석을 통해 R&D 수준이 아닌 상용화 수준의 기술에 대한 고려, 기술에 대한 국가차원의 채택과 적용의 가능성, 국가적 차원의 기술적 우수성과 선도 등을 주요하게 고려하고 있음을 확인하였다¹⁰⁾. 또한, 제도적 측면에서 기술선정을 위한 인증제도를 운영하고 있다는 것은 기술선정의 절차를 지원하는 바람직한 사례로 판단된다.

이러한 선행연구와 사례 분석을 바탕으로, 온실가스 감축이라는 국가적으로 당면한 이슈에 대하여 기술을 선택하기 위해 고려할 수 있는 기준(안)¹¹⁾을 도출하였으며, 아래 <표 3-4>는 이를 정리한 것이다. 기준(안)은 4개의 상위 구분으로 이루어져 있으며, 기술 분야의 10개, 경제 분야의 6개, 환경 분야의 6개, 정책/사회 분야의 5개 등 총 27개의 세부기준으로 구성된다. 이와 같이, 도출된 27개의 기준(안)을 바탕으로 과학적 의사결정 방법론인 델파이와 AHP를 적용하여 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택의 기준을 마련하고자 한다.

<표 3-4> 온실가스 감축기술 선택 시 고려기준(안)

구분	기준 항목	정의	비고(고려사항)
기술	1. 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 R&D 투자를 통해 현재 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 확보하거나 유지할 수 있는 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> 현 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 가진 선진국의 기술 수준 추격 가능성 현 국내 기술이 세계 최고 수준인 경우 기술 우위를 계속 유지할 수 있는 가능성
	2. 기술개발(R&D) 성공가능성	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발(R&D)을 통한 신기술 창출 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서 기술개발이 용이한 정도 해외에서의 기술 도입이 용이한 정도 기술개발에 소요되는 비용 수준 정부에서 기술개발을 위한 지원 상황

10) 기술수준에 대한 고려는 델파이, AHP 조사 시 적용됨(단기관점 - 상용화기술, 중장기 관점 - 신기술)

11) 기존연구 검토를 통해 49개의 평가기준이 도출되었으며, 개념적 중복/유사성 등에 대한 연구진 검토를 거쳐 27개로 정리되었음

구분	기준 항목	정의	비고(고려사항)
	3. 기술의 진보(성장) 가능성	• 기술선진국의 개발동향에 기반 한 기술의 진보(성장) 가능성	• 글로벌 기술성숙 수준
	4. 선진국 대비 국내 기술수준	• 선진국 대비 국내 기술의 수준 • 기술 격차	• 국내 기술성숙 수준
	5. 국내 인프라구축 수준	• 관련 인프라가 국내에 구축되어 있는 정도	
	6. 융합기술 가능성	• 타 기술과의 결합을 통한 기술창출 가능성	
	7. 기술의 대체성	• 기존의 유사기술을 대체할 수 있는 정도	
	8. 기술의 안전성	• 기술의 사용에 따른 잠재적 위험성(화학물질 사고, 폭발 등)	
	9. 친환경소재의 이용	• 기술이 적용된 제품의 자재·재료에 대한 친환경성	
	10. 사후 관리	• (기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후관리 용이성	
경제	1. 현재 시장에서의 중요도	• 현재 해당 기술 분야의 시장 규모 및 비중 (국내외)	• 현재 시장에서의 비중
	2. 국내 시장 확장성	• 관련 기술의 보편화 수준에 대한 발전 가능성	• 국내 기술 확산, 보편화
	3. 미래시장의 성장 가능성	• 해당 기술 분야의 미래 시장 성장 가능성 정도 (국내외)	• 해당 분야의 고용확대 가능성 • 기업 매출수준 증대 가능성 • 시장구조의 확대 (경제적 부가가치 창출 포함)
	4. 경제적 타당성	• 비용 대비 편익 (R&D투자 혹은 기술의 운영비)	• 비용 절감, 수익 창출 등
	5. 상업화 가능성	• 해당 기술의 시장 진입 가능성	• 신규 진입
	6. 설비 투자 규모	• 기술도입 시 필요한 투자 규모	

구분	기준 항목	정의	비고(고려사항)
환경	1. 온실가스 감축 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 기술의 온실가스 감축 정도 • 저감 규모 	<ul style="list-style-type: none"> • 해당 기술 분야의 국내 온실가스 감축 효과를 의미 (R&D 투자, 보급 정도 등 대비)
	2. 에너지 절감 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 절감 정도 • 에너지 효율화 정도 • 기술에 대한 효율 향상 (비에너지 기술인 경우) 	
	3. 유해 가스 저감	<ul style="list-style-type: none"> • SOx, NOx 감소 효과 	
	4. 미세먼지 저감	<ul style="list-style-type: none"> • PM 감소 효과 	
	5. 입지 제약	<ul style="list-style-type: none"> • 입지에 따른 기술이 반영된 제품 또는 설비 설치의 제약 정도 	
	6. 환경부하 최소화	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 배출 감소 이외에 대기/토양 오염 • 질병 유발 등의 정도 	
정책/사회	1. 관련 정부 계획과의 부합성	<ul style="list-style-type: none"> • 정부에서 공식적으로 발표한 과학기술분야 중장기 계획과의 부합 정도 • 관련 국가 전략/정부 정책 방향과의 부합 정도 	
	2. 재원조달 가능성	<ul style="list-style-type: none"> • 기술의 활용 또는 개발을 위한 정부(지자체, 민간 등)의 재원조달 가능성 	
	3. 법제도적 위협요인	<ul style="list-style-type: none"> • 현행 법·제도 내 관련 제한·금지사항 존재 여부 	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 법령에서의 사용 의무화 혹은 금지 여부 • 향후 제도적으로 의무화 혹은 금지될 가능성 정도
	4. 기술 수용성(활용)	<ul style="list-style-type: none"> • 사용 주체의 기술도입(활용) 용이성 • 사용의 편리성 • 사용자 관점에서 기술의 사용 • 성능 등을 고려한 대한 활용 가능성 	
	5. 기술 수용성(설치)	<ul style="list-style-type: none"> • 기술이 적용된 제품(설비) 설치의 용이성 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치과정의 기간 및 설치의 용이성 (비복잡성)

제 4 장 기술선택 모형 개발

본 장에서는 국가 온실가스 감축을 위해 필요한 기술을 평가하고 선택하기 위한 “기술선택 모형”을 개발한다. 기술선택 모형을 구성하는 합리적인 기준의 개발과 각 기준에 대한 중요도를 설정하기 위해 먼저, 과학적 의사결정 방법인 델파이와 AHP에 대해 살펴본다. 그 후 이러한 방법론을 기반으로 국가 온실가스 감축 관련 전문가 패널을 구성하고, 의 의견을 조사 및 분석한다. 이러한 내용을 바탕으로 국가 온실가스 감축 기술선택 모형을 도출한다.

제1절 델파이와 AHP 이론

델파이 기법은 1952년 미국 RAND 연구소의 Olaf Helmer와 Norman Dalkey에 의해 최초로 시도되었다. 이 당시 특정 의사결정을 위해 참여한 전문가 자문 집단의 반복적이면서 통제적인 설문 과정으로 델파이 기법을 사용하였다. 델파이 기법의 경우 초기에는 기업체의 관점에서 기술발전 등을 예측하고 전략을 수립하는 것에 주로 활용되었으나, 이후 사회변화의 추세를 예상하기 위한 과업을 위해 공중보건, 교육 교통 등 다양한 분야에서 활발하게 사용되고 있다.

다양한 방법이 미래를 예측하기 위하여 사용되며, 그 가운데 하나가 델파이 기법이다. 다양하게 존재하는 미래예측 방법론 중 사용할 방법을 결정하는 것은 다루고자 하는 사항에 대한 인간 행태의 유형을 인지하여야 한다. 인간의 행태는 정책 채택이나 전쟁 개시와 같이 유일하면서 단기적인 경우가 있고, 연속적인 행태로 일련의 사건 과정이 있으며, 또한 반복적인 행태도 있다. 인간의 행태가 이와 같이 다양하기에 어떠한 행태적 특성을 예측하는가를 예측하는 것을 결정하고 이에 따라 사용하는 미래예측 방법에 차이가 있다. 델파이 방법은 테러집단, 쿠데타, 정책 채택 등과 같은 단기적인 인간의 행태를 예측하는데 유용하다고 알려져 있다.

델파이 기법은 질적 방법으로서 다양한 전문가들이 참여하며, 전문가의 의견을 계속적으로 수집하고 이에 대한 교환을 통해 발전시키고 미래를 예측하는 것이다. 미래의 예측과 정책안의 탐색에 있어 상황 및 유사 사례의 정보 부족, 전문지식의 부족 등으로 인해 어려움이 발생한다. 이와 같은 상황에서 발전적인 정책안을 마련하고 그에 대한 결과를 예측하기 위한 직관적·주관적 방법으로 델파이 기법이 널리 활용되고 있다. 전문가들의 의견을 종합하여 미래를 예측하고 정책안을 탐색하기 위해 브레인스토밍(brainstorming)의 방법을 생각할 수 있다. 브레인스토밍은 가능한 많은 아이디어를 도출하기 위해 자유로운 환경에서 의견을 제안하는 방법이다. 이러한 브레인스토밍은 외향적·공격적 성향의 참석자에 의한 발언의 독점, 공개적인 반대의 어려움 등의 약점을 지니고 있다. 이러한 브레인스토밍의 한계를 극복하기 위하여 델파이 기법은 ①익명성 ②반복 및 환류 ③동의 ④통계적 처리 등의 특성을 지니고 있다.

델파이 기법은 다루고자 하는 문제에 대한 전문가를 참여시켜 반복적이고 계속적인 설문을 통해 전문가 간 동의가 이루어진 합의된 내용을 구하고자 하는 것이다. 특히, 전문가에 의하여 제시된 의견은 통계적으로 정리되어 참여한 모든 전문가들에게 제공되며 이를 바탕으로 필요

한 경우 기존 의견의 수정을 포함하여 자신의 의견을 제시한다. 이처럼 반복되는 피드백이 델파이 기법이 가지는 주요한 특징이다. 또한, 대면을 기본으로 하는 브레인스토밍과는 달리 델파이의 경우 서면을 통해 조사가 진행되기에 어떤 전문가가 어떤 의견을 제시하는지 공개되지 않는다. 이와 같이, 익명성이 보장되면서 환류와 반복의 절차를 거쳐 동의와 합의에 이르는 것이 델파이 기법이며 특히, 수집된 자료를 토대로 통계적 검토가 가능하다는 것이 특징이다.

이러한 델파이 기법은 ① 한 장소에 한 번에 모이기 어려운 전문가들이 동시에 참여할 수 있고, ② 이러한 전문가의 참여에 기반 하여 생성하는 정보의 질과 객관성, 신뢰성을 제고할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 또한, ③ 익명성의 보장으로 자유로운 의견제시가 가능하며, ④ 조사과정에서 대략적인 결과 확인 및 판단이 가능하다는 점도 델파이 기법의 장점이다(노승용, 2006).

한편, 델파이 기법은 ① 반복적으로 설문방식의 조사를 진행함에 따라 소요되는 시간이 길며, ② 구조적 설문지에 대한 구성과 조사결과에 대한 분석에 있어 전문적인 지식이 요구된다는 단점이 있다. 또한, ③ 참여하는 전문가들이 적극적으로 참여하지 않는 경우 조사에 대한 결과적인 성과가 부족할 수도 있다는 점, ④ 참여하는 전문가들이 명확하게 자신의 의견을 제시하는 능력이 매우 중요하다는 점은 델파이 기법이 가지는 한계로 알려져 있다.

AHP(analytic hierarchy process)는 자연과학적 방법으로는 측정이 불가능한 사항에 대하여 인간의 판단을 통해 합리적으로 종합하는 방법으로서, 절대평가가 아닌 쌍대비교(pairwise comparison)를 통한 상대평가에 근거한 측정 방법이다(박용성, 2009). AHP는 1970년대 초반 Thomas Saaty에 의해 개발되었으며, 단순성, 명확성, 적용의 간편성, 범용성의 장점 때문에 여러 의사결정 분야에 널리 응용되어 왔다(조근태, 조용곤 & 강현수, 2003). 이 방법은 특정한 문제에 대한 의사결정을 위해 여러 가지 대안들을 계층화 시키고, 판단기준에 대한 중요도인 가중치를 비율 척도의 형태로 도출하는 기법이다.

조근태, 조용곤 & 강현수 외(2003)는 AHP의 6가지 장점을 제시하고 있다. 첫째, 구조화되어 있지 않은 의사결정의 문제를 계층적으로 구성하여 보다 정확하게 의사결정의 문제를 파악할 수 있다는 것이다. 둘째, 무형적인 개념을 측정할 수 있는 척도를 제공해주며, 이에 대한 우선순위를 설정할 수 있다는 것이다. 즉, 문제해결을 위하여 수치적 접근이 가능한 정량적 요소뿐만 아니라 주관적 요소를 포함하는 정성적 요소까지 고려할 수 있게 한다. 셋째, 응답자 또는 의사결정자의 판단에 대한 논리적인 일관성을 검증할 수 있기에 분석의 신뢰성을 높인다는 것이다. 넷째, 의사결정과 관련된 정보를 합리적으로 변화시키고, 이에 따른 우선순위가 변화하는 것을 살피는 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시할 수 있다는 것이다. 다섯째, 이미 정해진 계층에 있는 요소들에 대해 새롭게 더하거나 지울 수 있어 환경 변화를 고려한 적용이 가능한 모형으로 반복적인 과정이 가능한 시스템이라는 점이다. 마지막으로 그룹 내 전문가의 다양한 의견, 판단을 하나로 통합하여 최종적으로 우선적 선호도 마련할 수 있게 하는 유용한 방법이라는 점이다.

1. 델파이 기법

가. 델파이 기법의 조사방법 및 기본 가정

델파이(Delphi)라는 명칭은 과거 고대 그리스 신화에서 미래를 통찰하고 신탁을 하였다는 아폴로(Apollo) 신전이 있는 옛 도읍지의 명칭에 따른 것이다(곽병호, 2007). 델파이 방법은 다루고자 하는 문제에 관하여 관련한 많은 전문가들의 의견을 종합하고 정리하는 일련의 과정으로 볼 수 있다.

델파이 방법은 해결하고자 하는 문제에 대한 전문가가 있는 분야에서 다양한 방식으로 활용될 수 있다. 델파이를 활용하는 경우 연구의 미래예측과 더불어 이해집단 간의 갈등적인 관계를 추정하거나 다수의 의견을 종합적으로 수렴하는 중재도구로 활용할 수 있다(강용주, 2008).

즉, 관련한 이해집단의 합의가 이루어지는 것이 필요한 문제를 해결하기 위해 관련자들이 협의회와 같은 의견교환 방식을 구성하여 토의를 진행하고 의견을 수렴한다.

델파이 방법은 패널식 조사연구방법에 해당하는 것으로, 협의회를 통한 논의과정에서 나타날 수 있는 부정적 효과를 방지할 수 있다(강용주, 2008). 즉, 토론집단이 복합적인 문제를 효과적으로 취급할 수 있도록 참여자들의 의사소통과정을 구조화하는 것이다(이종성, 2001). 의사소통의 구조화는 ①응답자의 익명, ②절차의 반복과 통제된 피드백, ③통계적 집단 반응의 과정을 통해 의견을 수렴한다(이종성, 2001; 노승용, 2006; 박경준, 2008).

이와 같은 델파이 기법은 사회과학 연구에서 용이하게 적용할 수 있으나, 설계단계에서 세심하게 진행되지 않으면 패널 조사의 약점과 델파이 조사의 약점을 함께 가질 수 있다(강용주, 2008). 이를 테면, 연구목적과는 상이한 응답, 패널의 미참여, 참여한 전문가의 대표성에 대한 신뢰성 등이 제시될 수 있다. 따라서 당면한 문제를 해결하기 위해 델파이 방법을 적용하기 위해 ① 추정하고자 하는 문제에 대하여 가능한 구체적이고 좁게 정의하는 것, ② 전문가적 대표성을 가진 패널을 구성하는 것, 그리고 ③ 계속적인 절차의 반복을 거치면서 발생할 수 있는 전문가 패널의 이탈 가능성을 극복하는 것이 필요하다.

델파이 기법에 대한 기본가정은 ‘두 사람이 판단하는 것은 한 사람이 판단하는 것보다 정확하다’는 생각에서 한 사람의 전문가보다는 다수의 전문가 집단을 이용하는 것이다. 크게 델파이 기법은 세 가지의 유형으로 구분할 수 있으며, 이는 합의, 규범, 그리고 정책 델파이 방법이다(강용주, 2008). 합의 델파이는 경험과학자인 철학자 로크의 사고에 기반을 두고 있다. 이 개념은 패널들이 동의하는 합의점에 도달할 수 있도록 정확하게 정의된 문제에 적합하다고 할 수 있다. 규범 델파이의 경우 칸트의 실천철학에 근간을 두고 있으며, 의견의 수렴과 합의보다 대안을 제시한다. 정책 델파이는 헤겔의 철학에 뿌리를 두고 있으며, 별도의 전문가가 아닌 해당 사안에 대한 지지자와 반대자만이 있다. 따라서 다양한 정책적인 대안에 대한 찬성과 반대의 주장을 적절하게 수집할 수 있도록 설계된다.

나. 델파이 기법의 연구과정 및 특징

델파이 기법은 주어진 문제에 대한 정밀한 경험과 지식이 없는 상황에서 다양한 사람의 의견을 종합하고자 하는 경우 사용한다. 델파이는 앞서 기술한 바와 같이, 한 사람의 의견보다는 다양한 사람으로 구성된 그룹의 의견이 더 정확하다는 가정에서부터 출발한 것으로 주로 다양

한 전문가 집단의 의견을 통해 불확실한 문제 해결 방안, 미래 예측 등을 이끌어내는 방법으로서 발전하여 왔다(오문향, 2013). 특히, 이 기법은 특정한 이슈에 대하여 지식이 불완전하고, 동의가 부족할 때 수행된다.

델파이 기법은 특징으로 반복적인 절차를 거치는데, 전문가들은 이와 같은 문제에 대한 의견을 2회 이상에 걸쳐 제시해야 한다. 이러한 과정에서 각 전문가는 다른 전문가들이 제시한 의견에 대한 정보를 환류 받게 되며 이를 바탕으로 문제에 대한 의견을 수정할 수 있는 기회를 갖는다. 이러한 일련의 과정에 있어 참여자는 익명성을 보장받는다. 익명으로 이루어지므로 다수의 횡포, 권위자 발언의 영향, 사전조율에 의한 집단 역학의 약점, 한 번 취한 입장의 고수 등과 같은 문제점들을 제거한 일종의 패널식 조사연구방법이다(이종성, 2001).

델파이 기법은 근본적으로 통계적 절차나 모형을 기초로 하는 연구를 수행하는 것은 아니다. 다만 특정 상황에 대한 인간의 전문적인 판단에 기반 하여 해결 방안을 도출하려는 목적으로 활용된다. 델파이 기법의 특징에는 크게 세 가지가 있다고 알려져 있다. 첫째는 반응의 익명성이다. 즉, 델파이 조사의 패널로 참여하는 사람들은 공식적인 설문지에 의해서만 의견을 제시하며, 대면하지 않는다(오문향, 2013). 익명성을 통해 전통적 방식의 미팅이나 구조화된 델파이 포맷을 통한 일반적으로 사용되는 NGT(nominal group technique)나 IGM(interacting group method)에서 빈번히 발생하는 개인에 의해 발생하는 오류나 편향을 방지하여 신뢰성을 높일 수 있다(Rowe & Wright, 2001). 둘째, 반복, 그리고 통제되어 있는 피드백(iteration and controlled feedback)이다. 여러 번의 반복적인 설문을 진행하는 것에 있어 신중하게 통제된 피드백만을 토대로 상호작용을 할 수 있다는 것이다. 셋째, 통계적인 그룹 반응(statistical group response)이다. 마지막 설문에서는 개별적 의견을 종합적으로 정리한 통계적 수치를 집단적으로 본다는 점이다. 이러한 특징은 소위 권위를 가지고 있는 개인의 효과, 주제와 무관한 대화, 다수의 의견에 대한 동의 등으로 인해 발생하는 오류를 방지할 수 있게 고안된 기법임을 의미한다(오문향, 2013).

다. 델파이 기법 시행 단계

델파이 기법의 첫 단계로 분야별 전문가를 구성하여 설문조사에 참여하도록 요청해야 한다. 이 과정에서 선정된 참가자들에게 자신들의 진술에 대해 익명성을 보장받는다라는 점을 확실히 주지시켜야 한다. 두 번째 단계로 선정된 전문가들에게 질문지가 전달되는데 몇 번의 반복을 거치면서 계속적으로 결과가 피드백 된다. 다른 전문가들과 의견을 가진 전문가들은 이 결과를 확인하면서 자신의 의견을 수정 및 보완하고 자신의 의견에 대한 논거를 제시하게 된다. 이와 같은 의견은 각 단계의 질문마다 종합적으로 피드백 된다. 계속적으로 새롭고 극단적인 견해에 대한 추가적인 설명 등이 다른 참여자들에게 공유되면서 동의 또는 반박과 새로운 의견 제시 등이 이루어진다. 마지막 단계에서 모든 논쟁과 의견들이 공개되어 참여자들에게 전달된다.

이와 같이 델파이 기법은 통제가 가능한 토론이라고 할 수 있다. 극단적인 의견에 대해서는 논리적 근거와 설명이 필요하고, 이에 대해 합리적인 환류 의견을 받게 된다. 이러한 과정을 거쳐 참여 전문가들의 의견은 일치에 도달한다. 만약 의견의 동의가 이루어지지 않을 경우에도 다양한 의견에 대한 논증 역시 투명하다. 설문 의뢰자는 논거가 제시된 의견들을 확인하고 각

전문가 스스로 전문 지식과 목적을 바탕으로 판단할 수 있다.

델파이 기법의 경우 비교적 응답자의 규모가 작을 수 있기에 이러한 모수에서 통계적으로 중요한 결과를 추론하거나 포괄적인 대중의 의견을 대표한다고 할 수 없다. 다만, 특정 전문가들의 견해를 바탕으로 합의된 결과를 종합해서 나타내는 것이다. 델파이 기법은 의견의 동의와 조화를 끌어내는 것들과 반대의 것들, 이 두 가지 도무의 경우를 발생시키는 데 가치가 있다. 극단적 입장 간의 논쟁 역시 유용한 산물이다.

2. AHP

가. AHP 정의 및 특징

AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법은 1976년 펜실베이니아 대학의 Thomas Saaty에 의해 제안된 방법으로 복잡한 평가기준을 체계적으로 계층화하고, 단계별 요인들에 대한 쌍대비교(Pairwise comparison)를 통해 다수의 대안에 대한 다면적 평가기준을 통한 의사결정 지원방법 중 하나이다(Saaty, 1980). AHP는 경제·경영·국방·정치 등의 여러 분야에 적용이 가능한 기법이다(Saaty, 1980). 특히, 주로 문제 요소 간의 상호 연관성과 관계를 계층적으로 나타내고 연관성과 관계에 대해 정성적이면서 주관적으로 쌍대 비교한다. 이를 통해, 우선순위와 요소의 상대적 비중에 대해 도출 가능한 문제해결 방법이다. 그러나 AHP 의사결정시 단점으로는 각각의 계층과 요소들이 특정 수준 이상으로 많을 경우 분석의 복잡성을 배가 시킬 수 있으며, 의사결정에 대한 초기 시점에서 목표, 계층, 요소들이 전문가 집단에 의해 정해져야 하는 과정이 있는데 자칫 그릇된 계층과 요소를 산정하는 경우 전체 의사결정이 그릇될 수 있는 특징이 있다(이원구, 2016). AHP는 또한 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 복잡한 의사결정 문제에 대한 체계화 및 구조화를 위해 문제를 계층적으로 표현한다는 것이다. 둘째, 정량적인 요소와 더불어 정성적인 요소를 포함하는 종합적인 의사결정이 가능하다는 것이다. 셋째, 응답자들의 의견에 대한 논리적인 일관성을 확인하는 절차를 거침으로 신뢰성을 높인다. 넷째, 계층구조에 있어 평가기준의 가중치가 변화함에 따라 우선순위가 변화하는 것을 파악하면서 의사결정문제와 관련된 상황 및 정보의 차이에 따른 변화정도를 분석할 수 있게 해준다.

나. AHP 공리

AHP의 기초는 문제 환경의 범위를 설정하고 해당 문제에 영향을 주는 요소들을 분석하는 원리의 집합이며, 이 기법에 대한 수학적 근간은 가중치를 생성하는 행렬과 고유벡터의 수학적 구조에 의한 것이다(김웅이, 김도현 & 최연철, 2010). AHP 방법은 기준 또는 대안을 비교하는 것으로 두 가지의 대안에 대해 상대적인 비교 정도를 계산하여 중요도를 분석해 낸다(Saaty, 1980).

AHP는 적용을 위한 이론적 배경에 있어 아래의 4가지 공리(Axioms)에 기초하고 있다(조근태, 조용곤 & 강현수, 2003).

첫째, 역수성(reciprocal)이다. 문제에 대한 의사결정자는 동일한 계층 내에 위치하는 2개 요인을 상호 짝지어 비교할 수 있어야 하며, 요인에 대한 선호의 강도를 제시할 수 있어야 한다. 이러한 선호의 강도는 또한 역수조건을 만족시켜야만 한다. 이를 테면 B가 A보다 x 배 중요시 된다면, A는 B보다 $1/x$ 배 중요하다는 의미가 된다. 둘째, 동질성(homogeneity)이다. 중요도는 정해진 척도(bounded scale)에 의해 제한된 범위 내에서 표현한다. 셋째, 종속성(dependency)이다. 한 계층에 존재하는 요소들은 근접한 상위계층의 요소에 대해 종속적이어야 한다. 그러나 상위계층에 존재하는 모든 요소에 대하여 근접한 하위계층 내에 존재하는 모든 요소들 간에 독립성이 필수적으로 확보되어야 하는 것은 아니다. 넷째, 기대성(expectations)이다. 의사결정을 위한 목적에 관한 내용을 계층이 완전하게 포함하는 것을 가정한다.

이러한 논리에 기반하고 있는 AHP 방법은 Saaty(1980년)의 연구 이후로 지속적으로 이론적인 연구가 진행되고 있다. 최근에는 집단적 의사결정 과정에 있어 AHP를 널리 활용할 수 있는 방법론들이 지속적으로 개발되고 있다. 이와 같이, 진행되는 연구에서 객관적 평가와 더불어 주관적인 평가를 동시에 수용하는 의사결정 기법으로서 평가자의 직관적 판단에 의해 결정되는 방법의 한계를 극복하기 위한 연구들이 진행되었다(김웅이, 김도현 & 최연철, 2010).

다. 정책결정 시 AHP 활용 사례

정보의 오류를 줄여보기 위하여 연구되어 온 내용 중에 하나가 Saaty가 개발한 AHP이다(Saaty, 1980). AHP는 마케팅 계획 수립, 정책결정, 최적의 예산 배정, 리스크 평가, 최적의 입지선정 등 다양한 분야에서 의사결정을 위해 사용되고 있으며, KDI(한국개발연구원)에서도 1999년 이래 국책 사업에 대한 공공투자관리를 위한 예비타당성 조사에서 AHP를 사용하고 있다. 이와 같이 AHP기법은 최근 행정 분야를 비롯하여 각종 사회과학분야에서 널리 활용되고 있다. 특히 지난 1999년부터 정부는 대규모 개발 사업(500억 원 이상)에 대하여 사전 예비 타당성조사를 수행하도록 의무화하였고, 이와 같은 예비타당성 조사의 있어 종합 평가를 위한 다기준 분석방법으로 AHP의 활용을 권고하고 있다. 이에 대한 AHP 기반의 정책결정을 위한 실증적 연구 및 활용 사례가 점차 늘어가고 있는 실정이다(노승용, 2006).

라. AHP 적용분야

계층적 분석과정은 복수의 평가기준을 바탕으로 의사결정에 관한 문제를 해결하기 위한 것으로 평가기준의 상대적 중요성을 결정하기 위한 방법으로 등장하였으며, 다기준 의사결정에 널리 활용되어 왔다(구본철, 황명구 & 정동덕, 2011). 계층적 분석 과정은 프로젝트 관리, 순위결정, 시설 위치, 연구개발 프로젝트 선정, 연구진행 문제점, 신산업 적격성 심사 등에 활용되고 있다. 또한, 계층적 분석 과정은 수송 계획, 에너지 수급, 대통령 선거, 고등교육에 관한 계획, 환경정책 수립 등 공공부문 의사결정 문제와 IBM, GM, 제록스, 3M을 비롯한 수많은 민간 부문의 의사결정과정에 활용되고 있다(구본철, 황명구 & 정동덕, 2011).

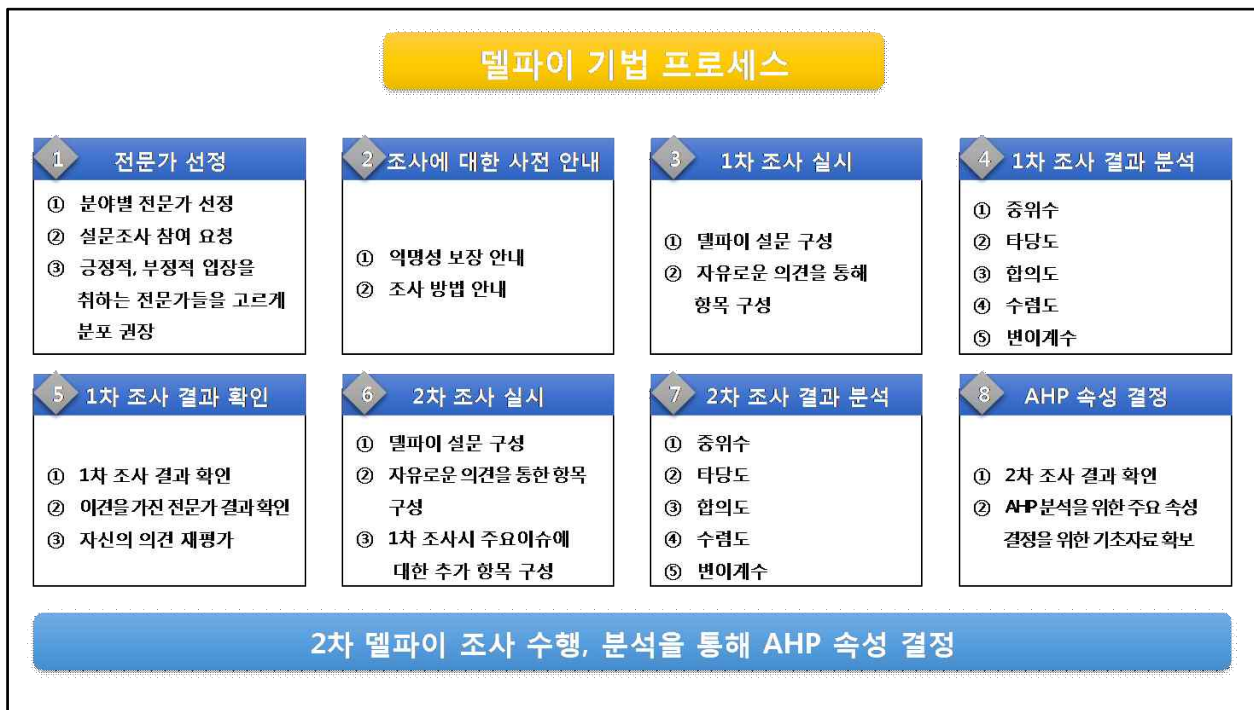
제2절 델파이 설계 및 수행

1. 조사 개요

국가의 입장에서 온실가스 감축을 위한 기술선정(technology selection) 기준(criteria) 및 기준별 가중치(weight)와 관련한 기존 연구 등 리뷰를 통해 전문가의 의견을 수렴하여 주요하게 고려하고 있는 요인(factor) 파악하는 것이 목적이다. 본 연구의 델파이 설계 및 수행 시의 조사 내용은 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로젝트 등 선정과 관련한 문헌을 토대로 작성되었다.

본 연구는 사전 전문가(분야별 22명)를 선정하여 조사 참여 안내, 조사 실시, 델파이 분석, 결과 피드백, AHP분석을 위한 주요 속성 선정 단계로 이루어졌으며 델파이 기법 프로세스는 아래 [그림 4-1] 과 같다.

[그림 4-1] 델파이 기법 프로세스¹²⁾



12) 한국능률협회컨설팅협회, 2017:p.4

가. 전문가 패널

국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 기준의 타당성을 검증하기 위해 국가가 스스로 결정한 온실가스 감축 목표인 국가결정기여(Nationally Determined Contribution, NDC) 수립에 참여한 높은 전문성을 보유하고 있는 전문가들을 패널로 선정하고, 패널들의 적극적인 참여를 이끌어 내는 노력이 중요하다. 패널 자격으로 선정된 전문가들의 자질과 역량이 부족한 경우에는 타당도가 검증되었다 해도 그 결과를 신뢰하기는 어렵다.

본 연구에서는 신기후체제(파리협정) 구축에 따른 범정부적인 INDC 설정을 위한 기후변화대응 TF 산하에 구성 및 운영된 공동작업반에 참가한 대학 교수, 온실가스 감축과 관련한 연구를 수행하고 있는 연구기관 연구자(박사급) 등을 전문가 패널 범주에 포함시켰다.

전문가 패널은 총 22명으로 산업계 3명, 학계 4명, 연구계 15명으로 구성하였다. 각 부문별 전문가 패널의 다양한 의견을 반영하기 위해 산·학·연 부문별로 패널을 선정하였다.

나. 질문지 개발

앞서 살펴본 문헌 및 사례에서 제시한 온실가스 감축 목적 하에 기술선택의 평가항목 및 기준을 도출하였고 기술의 활용 또는 적용을 위한 제도적 고려사항도 연계하여 도출하였다. 본 연구에서 고려하는 기술의 수준은 국가 온실가스 감축 로드맵(관계부처 합동, 2016)에 감축부분별로 명시되어 있는 감축을 위해 활용 및 적용하는 기술로써 기술의 단계는 상용화기술(단기 관점)과 신기술(중장기 관점)을 구분하였다. 상용화기술과 신기술의 관점별로 기술선정 기준과 가중치를 각각 도출하였다. 기술의 범위는 국내 온실가스 감축 부문에 대한 감축 기술에 한정되며 감축 부문의 기술선정 관점에서 기준과 가중치가 설정된다. 기후변화 적응과 관련한 기술, 국내 온실가스 감축을 위한 정책적 방안 및 국외 감축은 연구의 범위에 고려하지 않았다.

<표 4-1> 상용화기술과 신기술의 정의

기술명	정의
상용화기술 (단기 관점)	<ul style="list-style-type: none"> 이미 국내에서 활용되고 있는 기술 신기술과 상대적인 비교의 관점에서 국내에 5% 이상 활용되고 있는 기술
신기술 (중장기 관점)	<ul style="list-style-type: none"> 국내외적으로 기술의 확보를 위해 새롭게 개발이 필요한 기술 국외에는 개발되어 있으나 국내 활용이 5% 미만인 기술

전문가 인터뷰 및 연구진 내부 회의를 거쳐 1차 도출한 평가항목과 평가기준을 수정 및 보완하였다. 기준별로 기술, 시장, 환경, 사회/정치로 구분하였으며, 2차 델파이 조사를 거쳐 최종 기준을 확립하였다. 도출한 기준은 다수의 전문가 패널을 대상으로 한 설문조사를 통해 온실가스 감축의 맥락에 대해 기준에 부합하는 요인을 선별하였다.

일반적으로 델파이 1차 조사는 개방된 질문지를 활용하여 패널로 참여하는 전문가들의 의견을 받는 작업을 수행한다. 그러나 조사 절차를 보다 단순화하면서도 체계적으로 진행하기 위해 처음부터 연구자가 설계한 구조화된 질문지를 이용할 수도 있다(원상봉 & 이기우, 2010). 본 연구는 델파이 조사를 시작하기에 앞서 델파이 질문지에 대해 총 2차례의 외부 전문가 자문회의를 거쳤으며, 델파이 1차 조사에서 브레인스토밍 형식의 개방형 질문지가 아닌 구조화된 질문지를 이메일로 배포하여 전문가들의 검증 대상을 구체화시키는데 노력하였다. 대신 전문가들이 온실가스 감축을 위한 기술선택 평가 항목 및 기준을 리커트 5점 척도에서 평가하도록 하였으며 평가항목과 평가기준의 정의 및 구조에 대한 수정사항과 세부적인 평가방법에 대해 추가의견을 제시할 수 있도록 하여 구조화된 질문지의 한계를 극복하였다. 델파이 조사에 활용된 질문지는 부록에 제시하였다.

다. 자료수집

전문가들에게 이메일을 통해 질문지를 배포하였고, 총 2차례에 걸쳐 델파이 조사를 진행하였다. 적극적인 참여를 위해 이메일을 발송 한 후 개별 전화연락을 하여 응답을 추가적으로 요청하였다. 델파이 조사의 응답수집 기간 및 수집방법은 아래 <표 4-2>와 같으며, 질문지에 대한 응답률은 1차와 2차 모두 100%(22명)로 나타났다. 2차 응답자는 모두 1차에서 응답한 전문가 패널과 동일하다.

<표 4-2> 델파이 조사 응답수집 기간 및 수집방법

조사 수행 단계	질문지 발송 및 응답수집 기간	질문지 발송 및 응답수신 방법
1차	2017.06.21~2017.06.29	온라인 기반 웹설문
2차	2017.07.24~2017.07.31	온라인 기반 웹설문

델파이 조사는 설문조사를 몇 차례 수행할 것인가를 결정하는 것이 중요하다. 합의가 이루어지지 않았음에도 불구하고 설문조사를 멈추게 되면 델파이 조사 본래 목적을 달성할 수 없으며, 합의가 이미 도달하였는데도 불구하고 추가적인 설문을 진행하면 응답자들의 불편만 가중시키게 된다(원상봉 & 이기우, 2010).

델파이 조사에서 합의 도출을 위해 몇 단계를 거쳐야 하는지에 대한 객관적 평가가 필요한데, 반복되는 설문과정에서 패널의 설문응답 차이가 적어서 응답 일치성이 높은 경우 안정도가 확보된 것으로 볼 수 있으며, 이때 활용되는 계수가 변이계수(coefficient of variation)이다(노승용, 2006). 변이계수는 측정값의 표준편차를 산술평균으로 나눈 값으로서, 변이계수가 0.5 이하인 경우 추가적인 설문이 필요 없다(노승용, 2006). 그러나 변이계수를 기반으로 한 안정도 평가에서 임의성이 존재할 수 있기 때문에 합의도와 수렴도도 함께 검토할 필요가 있다.

본 연구는 1차 조사부터 개방형 질문지가 아닌 질문이 설정된 질문지를 배포함으로써 실질적으로 1차 단계의 설문을 단축시킬 수 있었다. 그리고 2차 단계의 조사에서 모든 기준의 변이 계수가 0.5 이하의 수준에 도달하였고, 대부분의 기준에서 합의도와 수렴도 모두 만족하였기에 2차 단계에서 델파이 조사를 마무리 하였다.

라. 분석방법

온실가스 감축 기술 선정 평가항목 및 평가기준의 타당성 분석을 위한 내용타당도비율과 패널 의견의 합의도와 수렴도를 검증하였다. 질적으로는 패널이 제시한 추가 의견과 연구진 내부의 의견을 검토하여 질문지의 수정 및 보완 여부를 결정하였다.

(1) 내용타당도 비율(CVR, Content Validity Ratio)

델파이 조사에서 내용타당도비율(CVR)은 조사결과의 타당도를 분석하기 위한 하나의 방법이다. 조사결과에서 내용이 타당하다고 응답한 패널이 50% 이상일 때 해당 문항의 내용은 타당성을 갖는다고 볼 수 있다. 또한 타당하다고 응답한 패널이 50% 미만일 경우 CVR값은 음수로 나타나고, 타당하다고 응답한 경우가 응답 패널의 50% 일 때 CVR값은 0이다. 응답 패널의 100%가 타당하다고 응답하였으면 CVR값은 1이다. 이에 따라 Schipper가 제시한 데이터에 의해 CVR값의 최소값은 델파이 조사의 패널 수에 따라 결정되며, 이에 대한 내용을 <표 4-3>에 정리하였다. 즉, 유의도 0.05 수준에서 전문가 패널 수에 따른 최소값 이상의 CVR값을 가진 항목들만이 내용 타당도가 있다고 판단될 수 있는 것이다(주인중, 박동열 & 진미석 2010). 본 연구의 패널 수는 1차에서 22명이므로, CVR값이 0.40 이상이면 내용타당도가 존재한다고 추정한다.

<표 4-3> 패널 수에 따른 내용 타당도 비율(CVR)의 최소값

패널 수	최소값
20	0.42
21	0.41
22	0.40
23	0.39
24	0.38
25	0.37

* One tailed test, $p=0.05$

출처: Lawshe, 1975

CVR 값을 구하는 공식은 아래와 같다(이종성, 2001).

$$CVR = (n_e - (N/2)) / (N/2)$$

n_e 는 해당항목 또는 기준이 중요(중요하다, 매우 중요하다)하다고 응답한 패널들의 수이다. 리커트 척도(5점)에서 4점과 5점으로 응답한 패널 수에 해당한다. N 은 델파이 조사에 참여한 전문가 패널의 수를 가리킨다.

(2) 합의도와 수렴도

델파이 패널들의 합의도는 사분범위 값으로 정의되는 Q_1 과 Q_3 의 값이 일치하여 완전하게 합의를 나타낼 때 1의 값이며, 패널 각각의 의견 편차가 클 경우에 해당 수치는 감소한다. 수렴도는 패널들의 의견이 모두 수렴할 때 0의 값을 나타낸다. 따라서 패널들의 의견이 하나의 방향으로 일치할 때 합의도는 1의 값을, 수렴도는 0의 값을 나타낸다(이종성, 2001).

$$\text{합의도} = 1 - ((Q_3 - Q_1) / \text{Mdn}), \text{수렴도} = (Q_3 - Q_1) / 2$$

위의 공식에서 Mdn은 중위수를 나타내고 Q_3 과 Q_1 은 제1사분위, 제3사분위 계수로 전체 응답사례 수의 누적된 값 중 25%와 75%를 의미한다. 보통 패널들의 합의도 값이 0.75 이상, 수렴도값은 0.5 이하일 때 전문가 패널들의 의견이 하나의 방향으로 일치하여 합의점에 도달한 것으로 해석한다.

2. 분석 결과

가. 1차 델파이 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면

1차 조사 결과 상용화기술(단기 관점) 측면에서, 평균으로는 평가기준에서는 ‘현재 시장에서의 중요도’가 3.4로 최저점을 기록하였고, ‘온실가스 감축 효과’가 4.5로 최고점을 기록하였다. 합의도 개념에서 살펴볼 때, ‘기술의 안전성’이 0.50을 기록하였으며, ‘기술의 대체성’이 0.67, ‘선진국 대비 국내 기술수준’이 0.71을 기록하였고, 나머지는 모두 0.75 이상을 기록하였다. 이와 같은 내용은 <표 4-4>에서 확인할 수 있다.

본 연구에서 집중적으로 살펴보고자 하는 CVR 값 차원에서 24개의 평가기준 중 타당도가 가장 높게 나타난 항목은 ‘온실가스 감축 효과’로 CVR 값이 0.82 이고, 그 다음으로 높게 나타난 항목은 ‘국내 인프라구축 수준’, ‘에너지 절감 효과’, ‘미세먼지 저감’, ‘환경부하 최소화’, ‘법제도적 위협요인’이며 CVR 값이 모두 0.64로 대부분이 중요하다고 응답하였다. 평가기준별로 총 24개의 기준 중에서 9개의 기준은 유의도 0.05 에서 타당성이 기준에 도달하지 못한 값을 나타냈다. ‘융합기술 가능성’, ‘기술의 안전성’, ‘친환경소재의 이

용’, ‘현재 시장에서의 중요도’, ‘국내 시장 확장성’, ‘유해 가스 저감’, ‘기술 수용성(설치)’ 기준은 CVR값이 다소 낮게 나타났다. ‘선진국 대비 국내 기술수준’은 CVR 값이 0.00으로 타당하다고 응답한 패널이 50%인 것으로 확인하였다. 또한 CVR이 마이너스(-)의 값인 경우도 있었는데, ‘기술의 대체성’ 기준이 마이너스 값을 기록하였다.

<표 4-4> 1차 델파이 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
1. 기술적(technology) 측면							
	1.1 기술의 진보(성장)가능성	3.8	0.6	4.0	1.00	0.00	0.55
	1.2 선진국 대비 국내 기술수준	3.6	0.7	3.5	0.71	0.50	0.00
	1.3 국내 인프라구축 수준	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.64
	1.4 융합기술 가능성	3.7	0.6	4.0	0.75	0.50	0.36
	1.5 기술의 대체성	3.5	0.7	3.0	0.67	0.50	-0.18
	1.6 기술의 안전성	3.9	1.0	4.0	0.50	1.00	0.27
	1.7 친환경소재의 이용	3.5	0.7	4.0	0.75	0.50	0.09
	1.8 사후관리	3.8	0.7	4.0	0.81	0.38	0.45
2. 시장적(market) 측면							
	2.1 현재 시장에서의 중요도	3.4	0.7	4.0	0.75	0.50	0.09
	2.2 국내 시장 확장성	3.8	0.8	4.0	0.75	0.50	0.27
	2.3 미래시장의 성장 가능성	4.0	0.8	4.0	1.00	0.00	0.55
	2.4 경제적 타당성	4.1	0.9	4.0	0.75	0.50	0.55
	2.5 설비 투자 규모	3.9	0.8	4.0	0.81	0.38	0.45
3. 환경적(environment) 측면							
	3.1 온실가스 감축 효과	4.5	0.7	5.0	0.80	0.50	0.82
	3.2 에너지 절감 효과	4.1	0.7	4.0	0.81	0.38	0.64
	3.3 유해 가스 저감	3.9	0.8	4.0	0.75	0.50	0.27
	3.4 미세먼지 저감	4.2	0.7	4.0	0.75	0.50	0.64
	3.5 입지 제약	3.8	0.8	4.0	1.00	0.00	0.55
	3.6 환경부하 최소화	3.9	0.7	4.0	1.00	0.00	0.64

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
4. 사회/정치적(social/government) 측면							
	4.1 관련 정부 계획과의 부합성	3.9	0.9	4.0	1.00	0.00	0.55
	4.2 재원조달 가능성	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.55
	4.3 법제도적 위협요인	4.0	0.6	4.0	1.00	0.00	0.64
	4.4 기술 수용성(활용)	4.1	0.8	4.0	0.75	0.50	0.55
	4.5 기술 수용성(설치)	3.8	0.8	4.0	0.75	0.50	0.36

* 중요도 척도: ① 전혀 중요하지 않다, ② 중요하지 않다, ③ 보통이다, ④ 중요하다,

⑤ 매우 중요하다

* 합의도 및 수렴도: 합의도가 1, 수렴도가 0에 근접할수록 패널들의 의견이 동일한 방향으로 근접해져가는 것을 의미

* CVR: 참여 패널이 22명이므로 최소 0.40이상인 경우 유의도 0.05수준에 타당한 것으로 판단

4개의 평가항목 내에서 CVR 값이 가장 높은 평가기준은 ‘기술적(technology) 측면’ 항목에서는 ‘국내 인프라구축 수준’ 이, ‘시장적(market) 측면’에서는 ‘미래시장의 성장 가능성’ 과 ‘경제적 타당성’, ‘환경적(environment) 측면’에서는 ‘온실가스 감축 효과’, ‘사회/정치적(social/government) 측면’에서는 ‘법제도적 위협요인’ 이 각 항목에 해당하는 중요한 기준이었다. 24개의 평가 기준 중에서는 ‘온실가스 감축 효과’가 가장 높은 CVR 값을 나타내었다. 국가의 입장에서 온실가스 감축을 위한 기술의 발굴 및 선정에 있어, 환경적 측면에 가장 큰 초점을 두어야하고 특히 온실가스 감축 효과의 크기가 전략적 방향성을 제시해준다는 것을 1차 델파이 조사결과를 통해 강조할 수 있다.

앞에서 언급하였듯이 패널들은 리커트 5점 척도에서 중요도 평가뿐만 아니라 평가항목 및 평가기준, 평가방법에서 개인적인 추가의견을 제시할 수 있도록 하였다. 전문가들의 질적인 평가를 살펴보면, ‘에너지 절감 효과’와 ‘온실가스 감축 효과’ 기준은 기술별로 차이가 있을 수 있으나 통합적으로 동일한 내용을 평가하는 것으로 볼 수 있다는 주장이 있어 통합하여 ‘온실가스 저감 효과’라 용어를 변경하였다. 한편, ‘기술 수용성(설치)’이 사회/정치적 측면의 기준에 적합하지 않은 분류라는 주장이 있어 ‘설치용이성’이라 용어를 변경하고 ‘사회/정치적 측면’ 평가항목에서 ‘기술적 측면’ 평가항목 내의 평가기준으로 수정하였다. 해당 내용은 <표 4-5>에 자세히 기술하였다.

<표 4-5> 1차 델파이 조사 후 수정 내용 및 의견 반영 - 상용화기술(단기 관점) 측면

구분	수정 내용		
평가기준 통합	‘에너지 절감 효과’와 ‘온실가스 감축 효과’ 통합 및 용어변경		
	평가기준		내용(평가방법)
	온실가스 저감 효과		• 해당 기술의 온실가스 감축 정도, 저감 규모: 해당 기술 분야의 국내 온실가스 감축 효과를 의미 (R&D 투자, 보급 정도 등 대비)
평가기준 재배치	‘사회/정치적 측면’ 평가항목에서 ‘기술적 측면’ 평가항목으로 이동 및 ‘설치 용이성’으로 용어 변경		
	평가항목	평가기준	내용(평가방법)
	기술적 측면	설치 용이성	• 기술이 적용된 제품(설비) 설치의 용이성: 설치과정의 기간 및 설치의 용이성(비복잡성)

나. 1차 델파이 조사 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면

1차 델파이 조사 결과 신기술(중장기 관점) 측면에서, 평균으로는 평가기준에서는 '선진국 대비 국내 기술수준'이 3.6으로 최저점을 기록하였고, '온실가스 감축 효과'가 4.6으로 최고점을 기록하였다. 합의도 개념에서 살펴볼 때, '유해가스 저감'이 0.50을 기록하여 가장 낮은 합의도를 나타내었고, '관련 정부 계획과의 부합성'이 0.56을 기록하였으며, 나머지는 모두 0.75 이상을 기록하였다. 특히 '사후관리'와 '법제도적 위협요인'은 1.00의 합의도를 나타내어 패널의 의견이 모두 같은 것으로 알 수 있다. 자세한 값은 <표 4-6>에 나타났다.

본 연구에서 26개의 평가기준 중 타당도가 가장 높게 나타난 항목은 '미래시장의 성장 가능성'으로 CVR 값이 1.00 이고, 그 다음으로 높게 나타난 항목은 '기술의 진보(성장) 가능성', '온실가스 감축 효과'이며 CVR 값이 모두 0.91로 대부분이 중요하다고 응답하였다. 평가기준별로 총 26개 중에서 8개의 기준이 유의도 0.05의 수준에서 기준에 미치지 못하는 타당성을 보였다. '선진국 대비 국내 기술수준', '국내 인프라구축 수준', '설비 투자 규모' 기준은 CVR값이 다소 낮게 나타났다.

상용화기술 측면과 비교해 보면, '기술의 진보(성장)가능성' 기준은 상용화기술 측면에서의 CVR값은 0.55인데 비해 신기술 측면에서는 0.91의 높은 내용 타당도를 나타내고 있어 기술의 진보(성장)가능성이 중장기 관점에서 온실가스 감축 기술 선택 시 중요한 기준이 된다는 것을 알 수 있다. 상용화기술 측면에서 '미래시장의 성장 가능성'의 CVR값은 0.55로 높은 타당성을 나타내지 않았지만 신기술 측면에서 CVR값은 1.00으로 가장 높은 값을 나타내 중요도가 높다는 것을 알 수 있다. '온실가스 감축 효과' 기준은 상용화기술과 신기술 측면 모두 높은 CVR값을 나타내 온실가스 감축 효과가 온실가스 감축 기술 선정에 중요한 기준이 된다는 것을 시사한다.

<표 4-6> 1차 델파이 조사 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
1. 기술적(technology) 측면							
	1.1 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	4.0	0.7	4.0	0.81	0.38	0.55
	1.2 기술개발(R&D) 성공 가능성	4.0	0.8	4.0	0.81	0.38	0.64
	1.3 기술의 진보(성장)가능성	4.3	0.6	4.0	0.75	0.50	0.91
	1.4 선진국 대비 국내 기술수준	3.6	0.7	4.0	0.75	0.50	0.27
	1.5 국내 인프라구축 수준	3.8	0.7	4.0	0.75	0.50	0.27
	1.6 융합기술 가능성	4.0	0.8	4.0	0.81	0.38	0.55
	1.7 기술의 대체성	3.8	0.8	4.0	0.75	0.50	0.36
	1.8 기술의 안전성	4.1	0.9	4.0	0.75	0.50	0.55
	1.9 친환경소재의 이용	3.7	0.7	4.0	0.75	0.50	0.36
	1.10 사후관리	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.55
2. 시장적(market) 측면							
	2.1 국내 시장 확장성	4.2	0.8	4.0	0.75	0.50	0.64
	2.2 미래시장의 성장 가능성	4.5	0.5	5.0	0.80	0.50	1.00
	2.3 경제적 타당성	4.2	0.7	4.0	0.75	0.50	0.64
	2.4 상업화 가능성	4.4	0.7	4.5	0.78	0.50	0.82
	2.5 설비 투자 규모	3.7	0.8	4.0	0.75	0.50	0.27
3. 환경적(environment) 측면							
	3.1 온실가스 감축 효과	4.6	0.6	5.0	0.80	0.50	0.91
	3.2 에너지 절감 효과	4.2	0.7	4.0	0.75	0.50	0.73
	3.3 유해 가스 저감	4.0	0.8	4.0	0.50	1.00	0.36
	3.4 미세먼지 저감	4.2	0.8	4.0	0.75	0.50	0.64
	3.5 입지 제약	3.7	0.7	4.0	0.81	0.38	0.45
	3.6 환경부하 최소화	4.2	0.8	4.0	0.75	0.50	0.73

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
4. 사회/정치적(social/government) 측면							
	4.1 관련 정부 계획과의 부합성	3.9	0.9	4.0	0.56	0.88	0.36
	4.2 재원조달 가능성	4.2	0.6	4.0	0.75	0.50	0.82
	4.3 법제도적 위협요인	4.1	0.5	4.0	1.00	0.00	0.82
	4.4 기술 수용성(활용)	4.1	0.9	4.0	0.75	0.50	0.55
	4.5 기술 수용성(설치)	3.8	0.8	4.0	0.75	0.50	0.36

* 중요도 척도: ① 전혀 중요하지 않다, ② 중요하지 않다, ③ 보통이다, ④ 중요하다,

⑤ 매우 중요하다

* 합의도 및 수렴도: 합의도가 1, 수렴도가 0에 근접할수록 패널들의 의견이 동일한 방향으로 근접해져가는 것을 의미

* CVR: 참여 패널이 22명이므로 최소 0.40이상인 경우 유의도 0.05수준에 타당한 것으로 판단

각각의 평가항목 내에서 CVR 값이 높은 평가기준은 ‘기술적 측면’ 평가항목에서는 ‘기술의 진보(성장) 가능성’ 이, ‘시장적 측면’ 평가항목에서는 ‘미래시장의 성장 가능성’, ‘환경적 측면’에서는 ‘온실가스 감축 효과’, ‘사회/정치적 측면’에서는 ‘재원조달 가능성’과 ‘법제도적 위협요인’ 이 같은 CVR 값으로 중요한 기준이었다. 26개의 평가 기준 중에서는 ‘미래시장의 성장 가능성’ 이 가장 높은 CVR 값을 나타내었다. 국가의 입장에서 온실가스 감축을 위한 기술의 발굴 및 선정에 있어, 신기술 측면에서는 시장적 측면에 가장 큰 초점을 두어야하고 특히 미래시장의 성장 가능성이 가장 주요한 평가기준임을 1차 델파이 조사결과를 통해 강조할 수 있다.

전문가들의 질적 평가를 살펴보면, ‘최고수준 기술 확보 및 유지 가능성’과 ‘기술개발(R&D) 성공 가능성’, ‘최고수준 기술 확보 및 유지 가능성’과 ‘기술의 진보(성장)가능성’의 의미가 상호 보완되어 통합적으로 동일한 내용을 평가할 수 있다는 주장이 있어 2차 델파이 조사에서 각각 2개의 기준의 통합 적절성 질문을 추가하였다. ‘에너지 절감 효과’와 ‘온실가스 감축 효과’ 기준은 기술별로 차이가 있을 수 있으나 통합적으로 동일한 내용을 평가하는 것으로 볼 수 있다는 주장이 있어 통합하여 ‘온실가스 저감 효과’라 용어를 변경하였다. 한편, ‘기술 수용성(설치)’이 사회/정치적 측면의 기준에 적합하지 않은 분류라는 주장이 있어 ‘설치용이성’이라 용어를 변경하고 ‘사회/정치적 측면’ 평가항목에서 ‘기술적 측면’ 평가항목 내의 평가기준으로 수정하였다. 해당내용은 <표 4-7>에 자세히 기술하였다.

<표 4-7> 1차 델파이 조사 후 수정 내용 및 의견 반영 - 신기술(중장기 관점) 측면

구분	수정 내용		
평가기준 통합 적절성 질문 추가	'최고수준 기술 확보 및 유지 가능성'과 아래 표의 2개 평가기준의 통합 적절성 질문 2차 델파이 조사에 추가		
	평가기준		내용(평가방법)
	기술개발(R&D) 성공 가능성	• '최고수준 기술 확보 및 유지 가능성'과의 통합 적절성 질문 추가	
	기술의 진보(성장)가능성	• '최고수준 기술 확보 및 유지 가능성'과의 통합 적절성 질문 추가	
평가기준 통합	'에너지 절감 효과'와 '온실가스 감축 효과' 통합 및 용어변경		
	평가기준		내용(평가방법)
	온실가스 저감 효과	• 해당 기술의 온실가스 감축 정도, 저감 규모; 해당 기술 분야의 국내 온실가스 감축 효과를 의미 (R&D 투자, 보급 정도 등 대비)	
평가기준 재배치	'사회/정치적 측면' 평가항목에서 '기술적 측면' 평가항목으로 이동 및 '설치 용이성'으로 용어 변경		
	평가항목	평가기준	내용(평가방법)
	기술적 측면	설치 용이성	• 기술이 적용된 제품(설비) 설치의 용이성; 설치과정의 기간 및 설치의 용이성(비복잡성)

다. 2차 델파이 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면

아래의 <표 4-8>은 2차 델파이 조사 결과이며, 상용화기술(단기 관점) 측면 평가기준에서 ‘친환경 소재 이용’과 ‘현재 시장에서의 중요도’ 두 개의 평가기준이 3.5로 최저점을 기록하였고, ‘온실가스 저감 효과’가 4.7로 가장 높은 평균값을 보였다. 또한, 1차 조사와 비교하였을 때 평균값이 상승한 결과를 보였다. ‘현재 시장에서의 중요도’는 1차 조사에서도 가장 낮은 평균값을 기록하였다. 합의도 개념에서 살펴볼 때, ‘기술의 안전성’과 ‘유해 가스 저감’이 0.56을 기록하였고, ‘선진국 대비 국내 기술수준’과 ‘기술의 대체성’이 0.71을 기록하였으며 나머지는 모두 0.75 이상의 합의도를 나타냈다.

4개의 평가 항목의 총 23개 평가기준에서 ‘온실가스 저감 효과’가 0.91의 가장 높은 CVR 값으로 내용타당성이 높은 평가기준으로 평가되었다. 그 다음으로 높게 나타난 항목인 ‘국내 인프라구축 수준’, ‘미래시장의 성장 가능성’, ‘관련 정부 계획성과의 부합성’이 0.73의 CVR값으로 대부분의 전문가 패널들이 중요하다고 응답하였다. 총 23개의 평가 기준 중, 5개의 기준이 0.05의 유의도 수준에서 타당성의 기준인 0.40에 미치지 못했다. 나머지 18개의 평가기준 모두 CVR 최소값을 초과한 결과를 나타냈다.

<표 4-8> 2차 델파이 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
1. 기술적(technology) 측면							
	1.1 기술의 진보(성장)가능성	3.7	0.6	4.0	0.81	0.38	0.45
	1.2 선진국 대비 국내 기술수준	3.6	0.7	3.5	0.71	0.50	0.00
	1.3 국내 인프라구축 수준	4.0	0.6	4.0	1.00	0.00	0.73
	1.4 융합기술 가능성	3.8	0.6	4.0	1.00	0.00	0.55
	1.5 기술의 대체성	3.6	0.7	3.5	0.71	0.50	0.00
	1.6 기술의 안전성	4.1	0.9	4.0	0.56	0.88	0.45
	1.7 친환경소재의 이용	3.5	0.7	4.0	0.75	0.50	0.18
	1.8 사후관리	3.9	0.5	4.0	1.00	0.00	0.64
	1.9 설치 용이성	3.9	0.6	4.0	0.81	0.38	0.45
2. 시장적(market) 측면							
	2.1 현재 시장에서의 중요도	3.5	0.7	4.0	0.75	0.50	0.27
	2.2 국내 시장 확장성	3.8	0.6	4.0	0.81	0.38	0.45
	2.3 미래시장의 성장 가능성	4.0	0.6	4.0	1.00	0.00	0.73
	2.4 경제적 타당성	4.2	0.9	4.0	0.75	0.50	0.64
	2.5 설비 투자 규모	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.55
3. 환경적(environment) 측면							
	3.1 온실가스 저감 효과	4.7	0.6	5.0	0.85	0.38	0.91
	3.2 유해 가스 저감	3.9	0.9	4.0	0.56	0.88	0.27
	3.3 미세먼지 저감	4.1	0.8	4.0	0.75	0.50	0.64
	3.4 입지 제약	3.7	0.7	4.0	1.00	0.00	0.55
	3.5 환경부하 최소화	3.9	0.8	4.0	1.00	0.00	0.55

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
4. 사회/정치적(social/government) 측면							
	4.1 관련 정부 계획과의 부합성	3.9	0.8	4.0	1.00	0.00	0.73
	4.2 재원조달 가능성	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.64
	4.3 법제도적 위협요인	4.0	0.5	4.0	1.00	0.00	0.73
	4.4 기술 수용성(활용)	4.0	0.7	4.0	0.81	0.38	0.55

* 중요도 척도: ① 전혀 중요하지 않다, ② 중요하지 않다, ③ 보통이다, ④ 중요하다,

⑤ 매우 중요하다

* 합의도 및 수렴도: 합의도가 1, 수렴도가 0에 근접할수록 패널들의 의견이 동일한 방향으로 근접해져가는 것을 의미

* CVR: 참여 패널이 22명이므로 최소 0.40이상인 경우 유의도 0.05수준에 타당한 것으로 판단

아래 <표 4-9>는 1차와 2차 델파이조사의 결과를 살펴본 CVR값과 합의도 및 수렴도 값을 제시한 표이다. 1차 조사 때에는 CVR 최소값을 충족하는 못하는 기준들이 9개가 됐으나, 2차 조사에서는 5개로 줄어들었다. 이와 같은 결과는 1차 조사에서는 패널들의 의견이 분분하였지만, 익명으로 제시한 1차 조사의 결과를 개별적으로 살펴보고 2차 조사의 응답에서 패널들 간의 의견이 일치하는 것으로 해석할 수 있다.

<표 4-9> 1차, 2차 델파이 조사에 대한 내용타당성, 의견 합의도 및 수렴도 결과
- 상용화기술(단기 관점) 측면

평가 항목	평가기준	1차 델파이조사				2차 델파이조사			
		중위수	CVR	합의도	수렴도	중위수	CVR	합의도	수렴도
1. 기술적(technology) 측면									
	1.1 기술의 진보(성장) 가능성	4.0	0.55	1.00	0.00	4.0	0.45	0.81	0.38
	1.2 선진국 대비 국내 기술수준	3.5	0.00	0.71	0.50	3.5	0.00	0.71	0.50
	1.3 국내 인프라구축 수준	4.0	0.64	1.00	0.00	4.0	0.73	1.00	0.00
	1.4 융합기술 가능성	4.0	0.36	0.75	0.50	4.0	0.55	1.00	0.00
	1.5 기술의 대체성	3.0	-0.18	0.67	0.50	3.5	0.00	0.71	0.50
	1.6 기술의 안전성	4.0	0.27	0.50	1.00	4.0	0.45	0.56	0.88

평가 항목	평가기준		1차 델파이조사				2차 델파이조사			
			중위수	CVR	합의도	수렴도	중위수	CVR	합의도	수렴도
	1.7 친환경소재의 이용		4.0	0.09	0.75	0.50	4.0	0.18	0.75	0.50
	1.8 사후관리		4.0	0.45	0.81	0.38	4.0	0.64	1.00	0.00
	1.9 설치 용이성		4.0	0.38	0.75	0.50	4.0	0.45	0.81	0.38
2. 시장적(market) 측면										
	2.1 현재 시장에서의 중요도		4.0	0.09	0.75	0.50	4.0	0.27	0.75	0.50
	2.2 국내 시장 확장성		4.0	0.27	0.75	0.50	4.0	0.45	0.81	0.38
	2.3 미래시장의 성장 가능성		4.0	0.55	1.00	0.00	4.0	0.73	1.00	0.00
	2.4 경제적 타당성		4.0	0.55	0.75	0.50	4.0	0.64	0.75	0.50
	2.5 설비 투자 규모		4.0	0.45	0.81	0.38	4.0	0.55	1.00	0.00
3. 환경적(environment) 측면										
	3.1 온실가스 저감 효과	3.1.1 온실가스 감축 효과	5.0	0.82	0.80	0.50	5.0	0.91	0.85	0.38
		3.1.2 에너지 절감 효과	4.0	0.64	0.81	0.38				
	3.2 유해가스 저감		4.0	0.27	0.75	0.50	4.0	0.27	0.56	0.88
	3.3 미세먼지 저감		4.0	0.64	0.75	0.50	4.0	0.64	0.75	0.50
	3.4 입지제약		4.0	0.55	1.00	0.00	4.0	0.55	1.00	0.00
	3.5 환경부하 최소화		4.0	0.64	1.00	0.00	4.0	0.55	1.00	0.00
4. 사회/정치적(social/government) 측면										
	4.1 관련 정부 계획과의 부합성		4.0	0.55	1.00	0.00	4.0	0.73	1.00	0.00
	4.2 자원조달 가능성		4.0	0.55	1.00	0.00	4.0	0.64	1.00	0.00
	4.3 법제도적 위협요인		4.0	0.64	1.00	0.00	4.0	0.73	1.00	0.00
	4.4 기술 수용성(활용)		4.0	0.55	0.75	0.50	4.0	0.55	0.81	0.38

* 중요도 척도: ① 전혀 중요하지 않다, ② 중요하지 않다, ③ 보통이다, ④ 중요하다,

⑤ 매우 중요하다

* 합의도 및 수렴도: 참여 패널들의 합의도가 0.75이상이고 수렴도가 0~0.5인 경우 패널들의 의견이 동일하게 합의된 것으로 판단

* CVR: 1차와 2차 모두 참여 패널이 22명이므로 최소 0.40이상인 경우 유의도 0.05수준에 타당한 것으로 판단

2차 조사에서 패널들의 추가적인 의견 제시가 있었고 연구진의 논의에 따라 삭제되거나 통합된 평가기준들이 있다. 우선 ‘선진국 대비 국내 기술수준’, ‘융합기술 가능성’, ‘기술의 대체성’, ‘기술의 안전성’, ‘친환경소재의 이용’, ‘현재 시장에서의 중요도’는 합의도와 수렴도를 고려하였을 때 상용화기술 측면에서 적절하지 않다는 의견을 수렴하여 해당 평가기준을 제외하였다. 환경적 측면 평가 항목의 평가기준인 ‘유해가스 저감’과 ‘미세먼지 저감’ 기준의 문구 조정이 필요하다는 의견이 있었다. 보통 유해가스라는 표현보다는 유해대기오염물질이란 표현이 적절하고, 여기서 유해대기오염물질에는 SOx, NOx와 같은 일반대기오염물질은 포함되지 않는다는 의견이 있었다. 따라서 유해가스는 미세먼지, SOx, NOx를 포함하는 대기오염물질이라는 용어로 수정하고, 미세먼지는 중금속 물질 등을 포함한 유해대기오염물질이라 수정해야한다는 지적이 있었다. 이러한 지적에 따라 두 기준의 의미와 명칭을 ‘유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)’으로 통합하였다. 평가항목 중에서는 ‘사회/정치적 측면’이라는 용어의 범위가 포괄적이라는 의견에 따라 ‘사회적 측면’으로 용어를 변경하였다. 1차, 2차 델파이 조사를 통해 4개의 평가항목과 총 16개의 상용화기술 선정 평가기준을 도출하였다. 이와 같은 내용을 종합하여 2차 조사 이후 패널들의 의견을 반영하고 평가기준을 수정한 내용을 <표 4-10>에 제시하였다.

<표 4-10> 2차 델파이조사에 대한 수정 내용 및 의견 반영 - 상용화기술(단기 관점) 측면

구분	수정 내용	
평가기준 제외	‘선진국 대비 국내 기술수준’, ‘융합기술 가능성’, ‘기술의 대체성’, ‘기술의 안전성’, ‘친환경소재의 이용’, ‘현재시장에서의 중요도’는 평가기준에서 제외	
평가기준 통합 및 용어변경	‘유해가스 저감’과 ‘미세먼지 저감’을 ‘유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)’로 평가기준 통합 및 용어변경	
	평가기준	내용(평가방법)
	유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)	• SOx, NOx 와 중금속 물질 등을 포함한 유해대기오염 물질의 감소 효과;
평가항목 용어변경	‘사회/정치적(social/government) 측면’에서 ‘사회적(social) 측면’으로 용어변경	

라. 2차 델파이 조사 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면

2차 델파이 조사 결과, <표 4-11>을 살펴보면 신기술(중장기 관점) 측면 평가기준에서 ‘선진국 대비 국내 기술수준’, ‘국내 인프라구축 수준’, ‘설비 투자 규모’ 세 개의 평가기준이 3.7로 최저점을 기록하였고, ‘온실가스 저감 효과’가 4.7로 가장 높은 평균값을 보였다. 신기술 측면 역시 1차 델파이 조사 때보다 상승한 평균값을 보였다. ‘선진국 대비 국내 기술수준’은 평균 3.6으로 1차 결과에서도 가장 낮은 평균값을 나타냈다. 합의도 개념에서 살펴볼 때, ‘유해 가스 저감’이 0.50으로 가장 낮은 수치를 기록하였고, 그다음으로는 ‘관련 정부

계획과의 부합성' 이 0.63을 기록하였으며 나머지는 모두 0.75 이상의 합의도를 나타냈다.

4개의 평가 항목의 총 25개 평가기준에서 '미래시장의 성장 가능성' 이 1.00의 가장 높은 CVR값으로 내용타당성이 가장 높은 평가기준으로 평가되었다. 그 다음으로 높게 나타난 항목은 '융합기술 가능성' 이 0.93의 CVR값, '기술의 진보(성장)가능성', '온실가스 저감 효과', '재원조달 가능성' 이 0.71의 CVR값으로 대부분의 전문가 패널이 중요하다고 응답하였다. 총 25개의 평가 기준 중, 3개의 기준이 0.05의 유의도 수준에서 타당성의 기준인 0.40에 미치지 못했다. 나머지 22개의 평가기준은 모두 CVR 최소값을 초과하여 타당함을 나타냈다.

<표 4-11> 2차 델파이 조사 결과 - 신기술(증장기 관점) 측면

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
1. 기술적(technology) 측면							
	1.1 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	4.1	0.6	4.0	0.81	0.38	0.73
	1.2 기술개발(R&D) 성공 가능성	4.0	0.8	4.0	1.00	0.00	0.64
	1.3 기술의 진보(성장)가능성	4.2	0.5	4.0	0.81	0.38	0.91
	1.4 선진국 대비 국내 기술수준	3.7	0.6	4.0	0.81	0.38	0.45
	1.5 국내 인프라구축 수준	3.7	0.6	4.0	0.75	0.50	0.27
	1.6 융합기술 가능성	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.93
	1.7 기술의 대체성	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.55
	1.8 기술의 안전성	4.5	0.8	5.0	0.80	0.50	0.82
	1.9 친환경소재의 이용	3.8	0.7	4.0	0.81	0.38	0.45
	1.10 사후관리	4.0	0.7	4.0	1.00	0.00	0.55
	1.11 설치 용이성	3.8	0.7	4.0	0.75	0.50	0.36
2. 시장적(market) 측면							
	2.1 국내 시장 확장성	4.4	0.7	4.0	0.75	0.50	0.82
	2.2 미래시장의 성장 가능성	4.6	0.5	5.0	0.80	0.50	1.00
	2.3 경제적 타당성	4.2	0.7	4.0	0.75	0.50	0.73
	2.4 상업화 가능성	4.5	0.7	5.0	0.80	0.50	0.82
	2.5 설비 투자 규모	3.7	0.6	4.0	0.75	0.50	0.18

평가 항목	평가기준	기술통계		집중 경향치	기준 적정성		
		평균	표준 편차	중위수	합의도	수렴도	CVR
3. 환경적(environment) 측면							
	3.1 온실가스 저감 효과	4.7	0.6	5.0	1.00	0.00	0.91
	3.2 유해 가스 저감	4.0	1.0	4.0	0.50	1.00	0.36
	3.3 미세먼지 저감	4.2	0.9	4.0	0.75	0.50	0.64
	3.4 입지 제약	3.8	0.8	4.0	1.00	0.00	0.55
	3.5 환경부하 최소화	4.1	0.8	4.0	0.75	0.50	0.64
4. 사회/정치적(social/government) 측면							
	4.1 관련 정부 계획과의 부합성	4.0	0.8	4.0	0.63	0.75	0.45
	4.2 재원조달 가능성	4.2	0.5	4.0	0.81	0.38	0.91
	4.3 법제도적 위협요인	4.1	0.5	4.0	1.00	0.00	0.82
	4.4 기술 수용성(활용)	4.1	0.7	4.0	0.75	0.50	0.64

* 중요도 척도: ① 전혀 중요하지 않다, ② 중요하지 않다, ③ 보통이다, ④ 중요하다, ⑤ 매우 중요하다

* 합의도 및 수렴도: 합의도가 1, 수렴도가 0에 근접할수록 패널들의 의견이 동일한 방향으로 근접해져가는 것을 의미

* CVR: 참여 패널이 22명이므로 최소 0.40이상인 경우 유의도 0.05수준에 타당한 것으로 판단

1차 조사 때에는 CVR 최소값을 충족하는 못하는 기준들이 8개가 됐으나, 2차 조사에서는 3개로 큰 폭으로 줄어들었다. 이와 같은 결과는 1차 조사에서는 패널들간의 의견이 분분하였지만, 익명으로 제시한 1차 조사의 결과를 살펴보고 2차 델파이 조사의 응답에서는 의견 일치를 나타내 것을 확인할 수 있다.

<표 4-12> 1차, 2차 델파이 조사의 내용타당성, 합의도 및 수렴도 결과
- 신기술(중장기 관점) 측면

평가 항목	평가기준		1차 델파이조사				2차 델파이조사			
			중위수	CVR	합의도	수렴도	중위수	CVR	합의도	수렴도
1. 기술적(technology) 측면										
	1.1 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성		4.0	0.55	0.81	0.38	4.0	0.73	0.81	0.38
	1.2 기술개발(R&D) 성공 가능성		4.0	0.64	0.81	0.38	4.0	0.64	1.00	0.00
	1.3 기술의 진보(성장)가능성		4.0	0.91	0.75	0.50	4.0	0.91	0.81	0.38
	1.4 선진국 대비 국내 기술수준		4.0	0.27	0.75	0.50	4.0	0.45	0.81	0.38
	1.5 국내 인프라구축 수준		4.0	0.27	0.75	0.50	4.0	0.27	0.75	0.50
	1.6 융합기술 가능성		4.0	0.55	0.81	0.38	4.0	0.93	1.00	0.00
	1.7 기술의 대체성		4.0	0.36	0.75	0.50	4.0	0.55	1.00	0.00
	1.8 기술의 안전성		4.0	0.55	0.75	0.50	5.0	0.82	0.80	0.50
	1.9 친환경소재의 이용		4.0	0.36	0.75	0.50	4.0	0.45	0.81	0.38
	1.10 사후관리		4.0	0.55	1.00	0.00	4.0	0.55	1.00	0.00
	1.11 설치 용이성		4.0	0.36	0.75	0.50	4.0	0.36	0.75	0.50
2. 시장적(market) 측면										
	2.1 국내 시장 확장성		4.0	0.64	0.75	0.50	4.0	0.82	0.75	0.50
	2.2 미래시장의 성장 가능성		5.0	1.00	0.80	0.50	5.0	1.00	0.80	0.50
	2.3 경제적 타당성		4.0	0.64	0.75	0.50	4.0	0.73	0.75	0.50
	2.4 상업화 가능성		4.5	0.82	0.78	0.50	5.0	0.82	0.80	0.50
	2.5 설비 투자 규모		4.0	0.27	0.75	0.50	4.0	0.18	0.75	0.50
3. 환경적(environment) 측면										
	3.1 온실가스 저감 효과	3.1.1 온실가스 감축 효과	5.0	0.80	0.50	0.91	5.0	0.91	1.00	0.00
		3.1.2 에너지 절감 효과	4.0	0.75	0.50	0.73				
	3.2 유해가스 저감		4.0	0.36	0.50	1.00	4.0	0.36	0.50	1.00
	3.3 미세먼지 저감		4.0	0.64	0.75	0.50	4.0	0.64	0.75	0.50
	3.4 입지제약		4.0	0.45	0.81	0.38	4.0	0.55	1.00	0.00
	3.5 환경부하 최소화		4.0	0.73	0.75	0.50	4.0	0.64	0.75	0.50

평가 항목	평가기준	1차 델파이조사				2차 델파이조사			
		중위수	CVR	합의도	수렴도	중위수	CVR	합의도	수렴도
4. 사회/정치적(social/government) 측면									
	4.1 관련 정부 계획과의 부합성	4.0	0.36	0.56	0.88	4.0	0.45	0.63	0.75
	4.2 재원조달 가능성	4.0	0.82	0.75	0.50	4.0	0.91	0.81	0.38
	4.3 법제도적 위협요인	4.0	0.82	1.00	0.00	4.0	0.82	1.00	0.00
	4.4 기술 수용성(활용)	4.0	0.55	0.75	0.50	4.0	0.64	0.75	0.50

- * 중요도 척도: ① 전혀 중요하지 않다, ② 중요하지 않다, ③ 보통이다, ④ 중요하다, ⑤ 매우 중요하다
- * 합의도 및 수렴도: 참여 패널들의 합의도가 0.75이상이고 수렴도가 0~0.5인 경우 패널들의 의견이 동일하게 합의된 것으로 판단
- * CVR: 1차와 2차 모두 참여 패널이 22명이므로 최소 0.40이상인 경우 유의도 0.05수준에 타당한 것으로 판단

신기술 측면의 2차 델파이 조사에서도 패널들의 추가 의견과 연구진의 논의에 따라 삭제되거나 통합된 평가기준들이 있다. ‘국내 인프라 구축 수준’, ‘친환경소재의 이용’, ‘설치 용이성’, ‘상업화 가능성’은 합의도와 수렴도를 고려하였을 때 신기술 측면에서 적절하지 않다는 의견을 수렴하여 해당 평가기준을 제외하였다. 상용화기술 측면과 마찬가지로 환경적 측면 평가 항목의 평가기준인 ‘유해가스 저감’과 ‘미세먼지 저감’ 기준의 문구 조정이 필요하다는 의견이 있었다. 보통 유해가스라는 표현보다는 유해대기오염물질이란 표현이 적절하고, 여기서 유해대기오염물질에는 SOx, NOx와 같은 일반대기오염물질은 포함되지 않는다는 의견이 있었다. 따라서 유해가스는 미세먼지, SOx, NOx를 포함하는 대기오염물질이라는 용어로 수정하고, 미세먼지는 중금속 물질 등을 포함한 유해대기오염물질이라 수정해야한다는 지적이 있었다. 이러한 지적에 따라 두 기준의 의미와 명칭을 ‘유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)’로 통합하였다. 평가항목 중에서는 ‘사회/정치적 측면’이 용어의 범위가 포괄적이라는 의견에 따라 ‘사회적 측면’으로 용어를 변경하였다. 1차, 2차 델파이 조사를 통해 4개의 평가항목과 총 18개의 신기술 선정 평가기준을 도출하였다.

이와 같은 결과를 종합하여 2차 조사 이후에 패널들의 의견을 반영하고 평가기준을 수정한 내용은 <표 4-13>에 자세히 기술하였다.

<표 4-13> 1차 델파이 조사 후 수정 내용 및 의견 반영 - 신기술(중장기 관점) 측면

구분	수정 내용	
평가기준 제외	'국내 인프라 구축 수준', '친환경소재의 이용', '설치 용이성', '상업화 가능성' 은 평가기준에서 제외	
평가기준 통합 및 용어변경	'유해가스 저감'과 '미세먼지 저감'을 '유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)'로 평가기준 통합 및 용어변경	
	평가기준	내용(평가방법)
	유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)	• SOx, NOx 와 중금속 물질 등을 포함한 유해대기오염물질의 감소 효과;
평가항목 용어변경	* '사회/정치적(social/government) 측면'에서 '사회적(social) 측면'으로 용어변경	

마. 1차, 2차 델파이 조사 종합 결과

본 연구의 목적은 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기술을 선정할 수 있는 기준 및 기준별 가중치를 도출하는 것이다. 이 기준 설정을 위해 문헌분석과 일본 사례 분석, 전문가 자문회의를 통해 평가항목 및 기준과 평가방법을 설정하였으며, 2차례에 걸쳐 델파이조사를 실시하였다. 국내 NDC 공동 작업반에 참여하였던 산·학·연의 전문가 패널 22인이 참여하여 온실가스 감축에 관한 전문성이 있는 다양한 의견을 반영하였다. 1차와 2차 델파이 조사에서 모두 100%의 높은 참여율을 보였다.

1차와 2차 델파이조사 결과, 총 4개의 평가항목에 상용화기술 측면은 16개, 신기술 측면은 18개의 평가기준을 도출하였다. 2차 델파이 조사결과에서 살펴보면 합의도와 수렴도를 만족하며 CVR 값을 만족한 평가항목과 평가기준을 선정하였다. 1차, 2차 델파이 조사를 거치면서 평가기준에서 탈락한 기준들은 상용화기술 측면에서는 '선진국 대비 국내 기술수준', '융합기술 가능성', '기술의 대체성', '기술의 안전성', '친환경소재의 이용', '현재 시장에서의 중요도' 가, 신기술 측면에서는 '국내 인프라 구축 수준', '친환경소재의 이용', '설치 용이성', '상업화 가능성' 이 있다. 각각의 상용화기술 측면, 신기술 측면에서 합의도와 수렴도를 반영한 결과, 부적합한 것으로 나타났다. '친환경소재의 이용' 평가기준은 상용화기술 측면과 신기술 측면에서 공통적으로 제외되었는데 기술의 친환경성은 기술의 이용 및 활용에 따른 환경 유해성과 더불어 적용된 재료의 환경성 여부 또한 중요하게 고려해야 될 사항이라는 전문가의 의견에 따라 온실가스 감축 기술 선정이라는 목적에 부합되지 않아 제외하게 되었다. 그리고 환경적 측면 평가 항목의 평가기준인 '유해가스 저감' 과 '미세먼지 저감' 기준의 문구 조정이 필요하다는 의견이 제기되었다. 보통 유해가스라는 표현보다는 유해대기오염물질이란 표현이 적절하고, 여기서 유해대기오염물질에는 SOx, NOx와 같은 일반대기오염물질은 포함되지 않는다는 의견이 있었다. 따라서 유해가스는 미세먼지, SOx, NOx를 포함하는 대기오염물질이라는 용어로 수정하고, 미세먼지는 중금속 물질 등을 포함한 유해대기오염물질이

라 수정해야한다는 지적이 있었다. 이에 지적사항을 수용하여 두 기준의 의미와 명칭을 ‘유해 대기 오염물질 저감 효과(미세먼지)’로 통합하였다.

본 연구는 국가 온실가스 감축 기술 선정기준을 도출하기 위해 국제기구 보고서와 국내외 연구보고서와 현재 온실가스 감축 분야에 종사하고 있는 산·학·연계의 전문가의 의견을 바탕으로 중요 평가요소를 반영하였다. 그러나 산업, 전환, 수송 등의 온실가스 감축 부문에서 제시된 모든 평가기준을 반영하여 기술을 선정하기는 어려울 수 있다. 이에 모든 부문의 감축기술평가가 가능한 기준을 마련했다기보다는 온실가스 감축을 위한 상용화기술과 신기술에 대한 전반적인 평가기준을 마련한 것이고, 특정 평가항목별로 평가기준을 선별하거나 적용 부분별로 평가기준의 중요도를 다르게 하여 해당 평가기준의 가치를 높일 수 있다.

<표 4-14> 1차, 2차 델파이조사 종합 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면의 16개 기준 선정

평가항목	평가기준
1. 기술적 측면	1.1 기술의 진보(성장)가능성
	1.2 국내 인프라 구축 수준
	1.3사후 관리
	1.4 설치 용이성
2. 시장적 측면	2.1 국내 시장 확장성
	2.2 미래시장의 성장 가능성
	2.3 경제적 타당성
	2.4 설비 투자 규모
3. 환경적 측면	3.1 온실가스 저감 효과
	3.2 유해 대기 오염물질 저감 효과 (미세먼지)
	3.3 입지 제약
	3.4 환경부하 최소화
4. 사회적 측면	4.1 관련 정부 계획과의 부합성
	4.2 재원조달 가능성
	4.3 법제도적 위협요인
	4.4 기술 수용성(활용)

<표 4-15> 1차, 2차 델파이조사 종합 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면의 18개 기준 선정

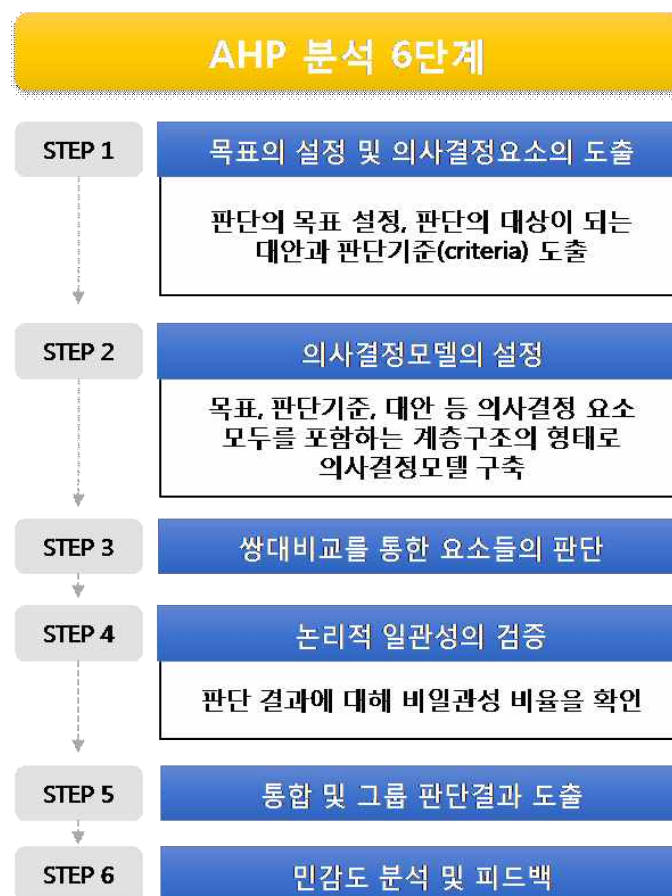
평가항목	평가기준
1. 기술적 측면	1.1 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성
	1.2 기술개발(R&D)성공 가능성
	1.3 기술의 진보(성장)가능성
	1.4 선진국 대비 국내 기술 수준
	1.5 융합기술 가능성
	1.6 기술의 안전성
	1.7 사후 관리
2. 경제적 측면	2.1 국내 시장 확장성
	2.2 미래시장의 성장 가능성
	2.3 경제적 타당성
	2.4 상업화 가능성
3. 환경적 측면	3.1 온실가스 저감 효과
	3.2 유해 대기 오염물질 저감 효과 (미세먼지)
	3.3 입지 제약
	3.4 환경부하 최소화
4. 사회적 측면	4.1 자원조달 가능성
	4.2 법제도적 위협요인
	4.3 기술 수용성(활용)

제3절 AHP 설계 및 수행

1. 조사 개요

앞서 제2절에서 국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준을 선정하기 위해 델파이 조사를 진행하였다. 3절에서는 1차와 2차 델파이 조사에서 도출한 평가기준별 가중치 설정을 위해 AHP(Analytical Hierarchy Process)를 실시하고자 한다. AHP 기법은 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making) 기법 중의 하나로 의사결정단계에서 다양한 구조를 계층화하고 같은 계층의 요소간의 상대평가를 통해서 각각의 요소들의 중요도(weight)를 산출한다. AHP 기법은 의사결정 프로세스를 체계적으로 분해하고 여러 평가항목의 가중치를 쌍대비교(pair-wise comparison)에 의하여 단계적으로 도출함으로써 객관적인 평가요인은 물론 주관적인 평가요인도 포함할 수 있다(홍정만, 2011). AHP는 이론의 단순성과 명확성, 적용에서의 간편성과 범용성의 특징을 나타내어 의사결정 연구에서 널리 활용되고 있고, AHP 기법을 사용한 의사결정은 [그림 4-2]와 같이 일반적으로 총 6단계를 거치게 된다.

[그림 4-2] AHP 분석 단계¹³⁾

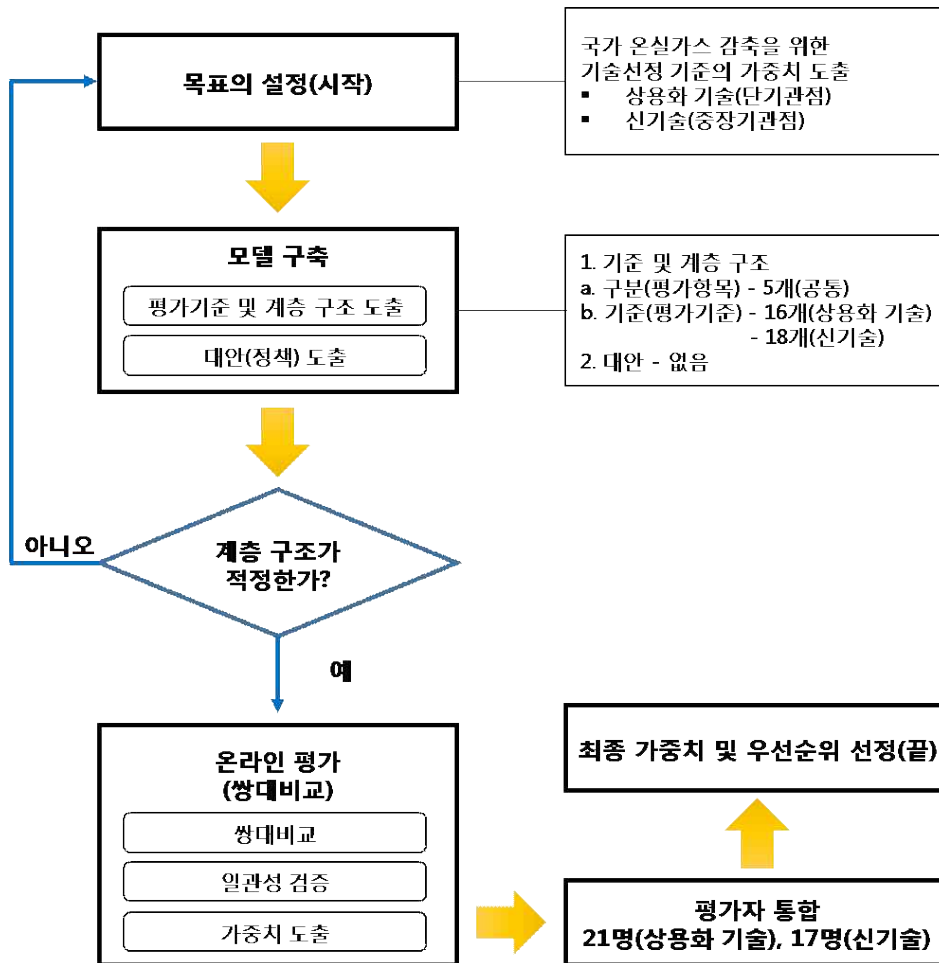


13) 한국능률협회컨설팅, 2017:p.15

가. 의사결정 문제의 계층 구조화

우선적으로 의사결정의 구조를 계층 구조화하여야 한다. [그림 4-3]에서 가중치 도출을 위한 우선순위 선정 프로세스를 나타내었다. 제2절에서 델파이 조사를 실시한 결과, 계층 구조화된 국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 평가항목 및 평가기준을 도출한 바 있다. 이에 따라 추가적인 계층 구조화 단계가 필요 없이 상용화기술 측면의 [그림 4-4], 신기술 측면의 [그림 4-5]과 같은 최종 델파이 조사의 결과를 도출하였다. [그림 4-4]는 본 연구의 목적인 “국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준의 가중치 도출 - 상용화기술(단기관점)” 이 계층의 최상단에 위치하며, 5개의 구분(1차 평가기준, criteria)을 목적의 바로 아래 두고, 구분 별로 1~4개의 기준을 두고 있다. [그림 4-5]는 본 연구의 목적인 “국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준의 가중치 도출 - 신기술(중장기관점)” 이 계층의 최상단에 위치하며, 5개의 구분(1차 평가기준, criteria)을 목적의 바로 아래 두고, 구분 별로 1~7개의 기준을 두고 있다.

[그림 4-3] 국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준의 가중치 도출 우선순위 선정 프로세스¹⁴⁾

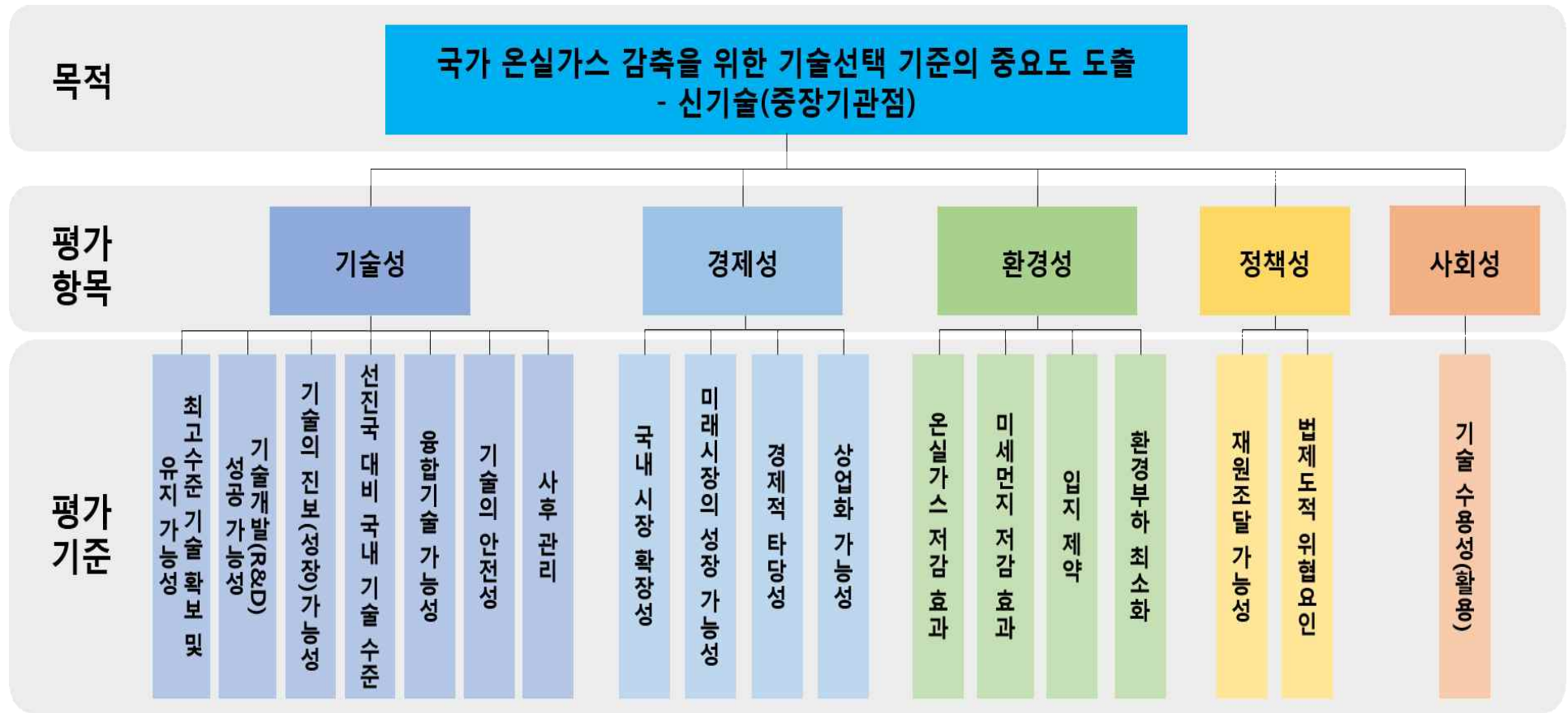


14) 한국능률협회컨설팅, 2017:p.15

[그림 4-4] 상용화기술(단기관점) 모델



[그림 4-5] 신기술(중장기관점) 모델



나. 목표의 설정 및 의사결정요소 도출

연구진의 문헌조사, 브레인스토밍, 전문가의 의견수렴 등을 통해 평가 목표의 정의를 내리고, 평가의 대상인 대안(alternatives)을 도출한 후, 각각의 대안을 판단하기 위해 그에 적합한 평가 기준(criteria)을 설정한다. 본 연구에서는 문헌조사, 전문가 의견수렴 등을 통해 평가 항목 및 기준을 설정하였으며 델파이 조사를 통해 최종적인 평가기준을 도출하였다. 상용화기술(단기관점)은 총 16개, 신기술(중장기관점)은 총 18개의 기준을 최종적으로 선정하였다. 델파이 조사 이후, 연구진 내부의 회의와 전문가들의 의견을 반영하여 델파이 조사에 의해 도출된 평가항목 및 기준에서 ‘시장성’ 평가항목의 용어를 ‘경제성’이라 변경하였으며 사회적 측면의 평가 기준을 ‘정책성’과 ‘사회성’ 평가항목 내의 평가기준으로 구분하여 설정하였다. 해당 내용은 아래 <표 4-16>와 <표 4-17>에서 확인할 수 있다.

<표 4-16> 상용화기술(단기관점)의 구분 및 기준

구분	기준	정의
기술성	기술의 진보(성장)가능성	• 기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장) 가능성
	국내 인프라 구축 수준	• 관련 인프라가 국내에 구축되어 있는 정도
	사후 관리	• (기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후 관리 용이성
	설치 용이성	• 기술이 적용된 제품(설비) 설치의 용이성
경제성	국내 시장 확장성	• 관련 기술의 보편화 수준에 대한 발전 가능성
	미래시장의 성장 가능성	• 해당 기술 분야의 미래 시장 성장 가능성 정도(국내외)
	경제적 타당성	• 비용 대비 편익(R&D투자 혹은 기술의 운영비)
	설비 투자 규모	• 기술도입 시 필요한 투자 규모
환경성	온실가스 저감 효과	• 해당 기술의 온실가스 감축 정도, 저감 규모
	미세먼지 저감 효과	• SOx, NOx 감소 효과 • PM 감소 효과
	입지 제약	• 입지에 따른 기술이 반영된 제품 또는 설비 설치의 제약 정도
	환경부하 최소화	• 온실가스 배출 감소 이외에 대기/토양 오염, 질병 유발 등 정도

구분	기준	정의
정책성	관련 정부 계획과의 부합성	<ul style="list-style-type: none"> 정부에서 공식적으로 발표한 과학기술분야 중장기 계획과의 부합 정도 관련 국가 전략/정부 정책방향과의 부합 정도
	재원조달 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 기술의 활용 또는 개발을 위한 정부(지자체, 민간 등)의 재원조달 가능성
사회성	법제도적 위협요인	<ul style="list-style-type: none"> 현행 법/제도 내 관련 제한/금지사항 존재 여부
	기술 수용성(활용)	<ul style="list-style-type: none"> 사용 주체의 기술도입(활용) 용이성 사용의 편리성 사용자 관점에서 기술의 사용, 성능 등을 고려한 대한 활용 가능성

<표 4-17> 신기술(중장기관점)의 구분 및 기준

구분	기준	정의
기술성	최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 국내 R&D 투자를 통해 현재 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 확보하거나 유지할 수 있는 가능성
	기술개발(R&D) 성공 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 기술개발(R&D)을 통한 신기술 창출 가능성
	기술의 진보(성장)가능성	<ul style="list-style-type: none"> 기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장) 가능성
	선진국 대비 국내 기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> 선진국 대비 국내 기술의 수준, 기술 격차
	융합기술 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 타 기술과의 결합을 통한 기술창출 가능성
	기술의 안전성	<ul style="list-style-type: none"> 기술의 사용에 따른 잠재적 위험성(화학물질 사고, 폭발 등)
	사후 관리	<ul style="list-style-type: none"> (기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후 관리 용이성
경제성	국내 시장 확장성	<ul style="list-style-type: none"> 관련 기술의 보편화 수준에 대한 발전 가능성
	미래시장의 성장 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 해당 기술 분야의 미래 시장 성장 가능성 정도(국내외)
	경제적 타당성	<ul style="list-style-type: none"> 비용 대비 편익(R&D투자 혹은 기술의 운영비)
	상업화 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 해당 기술의 시장 진입 가능성

구분	기준	정의
환경성	온실가스 저감 효과	• 해당 기술의 온실가스 감축 정도, 저감 규모
	미세먼지 저감 효과	• SOx, NOx 감소 효과 • PM 감소 효과
	입지 제약	• 입지에 따른 기술이 반영된 제품 또는 설비 설치의 제약 정도
	환경부하 최소화	• 온실가스 배출 감소 이외에 대기/토양 오염, 질병 유발 등 정도
정책성	재원조달 가능성	• 기술의 활용 또는 개발을 위한 정부(지자체, 민간 등)의 재원조달 가능성
	법제도적 위협요인	• 현행 법/제도 내 관련 제한/금지사항 존재 여부
사회성	기술 수용성(활용)	• 사용 주체의 기술도입(활용) 용이성 • 사용의 편리성 • 사용자 관점에서 기술의 사용, 성능 등을 고려한 대한 활용 가능성

다. 의사결정모델의 설정

평가목표, 평가항목, 평가기준, 대안 등의 의사결정요소를 모두 포함하는 계층구조의 형태인 의사결정모델(decision hierarchy)을 구축하고, 다른 요소(실행자, 시나리오 등)등을 포함시키는 것도 가능하다. 동일한 평가기준에 대해 비교하는 대상이 9개를 초과하지 않도록 권고하고 있다. 예를 들어, 목표에 대해 비교할 평가항목의 수는 9개를 초과하지 않도록 하고, 특정 평가항목에 대해 비교할 하위 평가기준의 수도 9개를 초과하지 않도록 한다.

라. 평가항목 및 기준의 중요도 평가

본 연구는 기술 간 우선순위 선정을 위한 것으로 비교하는 대상의 가중치 합이 1이 되도록 하는 비교하는 대상 간 중요도 값의 상대적 비율에 기반 하여 가중치(중요도) 부여 방법인 Distributive Mode를 활용하였다. 이 방법은 주로 비교하는 대상 간의 상대적 중요도를 도출하는 경우에 활용하는데 모델을 구성하고 있는 모든 평가기준을 1 대 1로 판단하여 쌍대비교의 매트릭스를 설정하고, 매트릭스의 고유의 값을 계산하여 상대적 priority를 도출한다. <표 4-18>에서는 쌍대비교를 통한 중요도 부여 방법인 Distributive Mode와 Ideal Mode에 대한 내용을 나타냈다.

<표 4-18> 쌍대비교를 통한 요소들의 판단 기준 참조자료¹⁵⁾

우선순위 선정 모델	설명
Distributive Mode	<ul style="list-style-type: none"> • 비교대상의 가중치의 합이 1이 되도록 비교대상 간 중요도의 상대적인 비율에 따라 가중치(중요도)를 부여하는 방법 • 비교대상 간 상대적 중요도를 도출할 경우 주로 활용
Ideal Mode	<ul style="list-style-type: none"> • 비교대상에 가중치 부여 시 가장 뛰어난 비교대상에 1의 가중치(중요도)를 부여하고 다른 것은 가장 뛰어난 비교 대상에 대한 상대적인 비율에 따라 중치를 부여하는 방법 • 여러 대안 중 가장 뛰어난 하나를 선택하고자 할 때 활용

평가항목과 평가기준의 중요도 평가에는 쌍대비교 방법과 절대비교 방법이 있다. 쌍대비교는 공통의 특성에 따라 대안들을 한 쌍으로 비교하는 방법이고 절대비교는 전문가들의 경험에 기반 한 표준으로 대안을 비교하는 방법이다. 일반적으로 AHP에서는 계층의 요소 간에 1 대 1로 쌍대비교를 행하는 상대측정이 이용되지만 비교요소가 10개 이상인 경우에는 쌍대비교가 곤란하다(신용광 외, 2005). 본 연구는 평가항목이 총 5개이며, 평가기준으로 들어가면 개별적으로 최대 4개, 7개의 요소가 존재하기 때문에 쌍대비교가 가능하다.

비교 요소 간 상대적 중요성에 대한 척도는 <표 4-19>과 같이 9점 척도를 이용하였다.

<표 4-19> 상대적 중요성에 대한 척도

척도	정의	설명
1	같은 정도로 중요함	두 개의 요소가 최상위목표의 기준에서 볼 때 똑같이 중요
3	약간 중요함	한 요소가 다른 요소보다 약간 더 중요
5	매우 중요함	한 요소가 다른 요소보다 더 중요
7	극히 중요함	한 요소가 다른 요소보다 대단히 더 중요
9	절대적으로 중요함	다른 요소에 비하여 비교할 수 없을 정도로 절대적으로 중요
2, 4, 6, 8	근접해 있는 가까운 숫자 간의 중간 정도의 중요성	필요한 경우에 사용

* 출처: Saaty, 1980

15) 한국능률협회컨설팅협회, 2017:p.19

마. 상대적 가중치의 추정

각각 의사결정 요소들의 중요도 또는 선호도 등을 판단하기 위해 1 대 1 쌍대비교를 실시한다. 즉, 설정한 목표에 대해 평가항목을, 평가항목의 하위 평가기준을, 하위 평가기준에 대한 대안들을 평가 및 선정하면서 선행연구에서의 자료들을 활용하고 전문가들의 경험, 지식, 직관 등을 이용하여 정성적인 부분의 판단도 요구한다. 이때 1점에서 9점까지의 척도를 이용하고, 고유치 벡터를 사용하여 평가요소의 가중치를 도출한다. 이후, 각 단계에서 도출한 요소의 가중치를 상위요소인 평가항목에서 하위요소인 평가기준으로 곱하여 의사결정의 대안에 관한 최종적인 가중치를 구한다.

의사결정 참여자(또는 설문지 응답자)의 판단이 논리적으로 얼마나 일관성을 유지하는가에 대한 판단을 위해 비일관성비율 확인을 통해 타당성을 검증한다. 논리적 일관성 지수는 ‘비일관성비율(IR, Inconsistency Ratio)’ 값을 구해서 판단하는데 이때, 0.1보다 낮아야 한다. 본 연구에서는 상용화 모델, 신기술 모델에 각각에 대하여 의사결정 참여자들의 쌍대비교를 통한 구분, 기준에 대한 일관성 검증 결과, 모든 평가자 및 항목별로 비일관성비율 값이 0.1보다 작게 나와 논리적 일관성을 유지하였다. 타당성의 검증은 쌍대비교 매트릭스 별로 각 평가자의 논리적 일관성을 확인해 보는 것이 기반이 된다. 논리적 일관성은 어떤 기준에 대해 3개 이상의 비교 대상이 존재할 경우에 검증이 가능하며, 비일관성 비율이 0.1의 값보다 높은 값을 나타내면 평가자의 판단이 결여된 논리적 일관성을 나타내는 것으로 간주한다. 그러므로 논리적 일관성 지수는 ‘비일관성비율(IR, Inconsistency ratio)’ 을 구해 판단하는데 0.1보다 낮아야 한다.

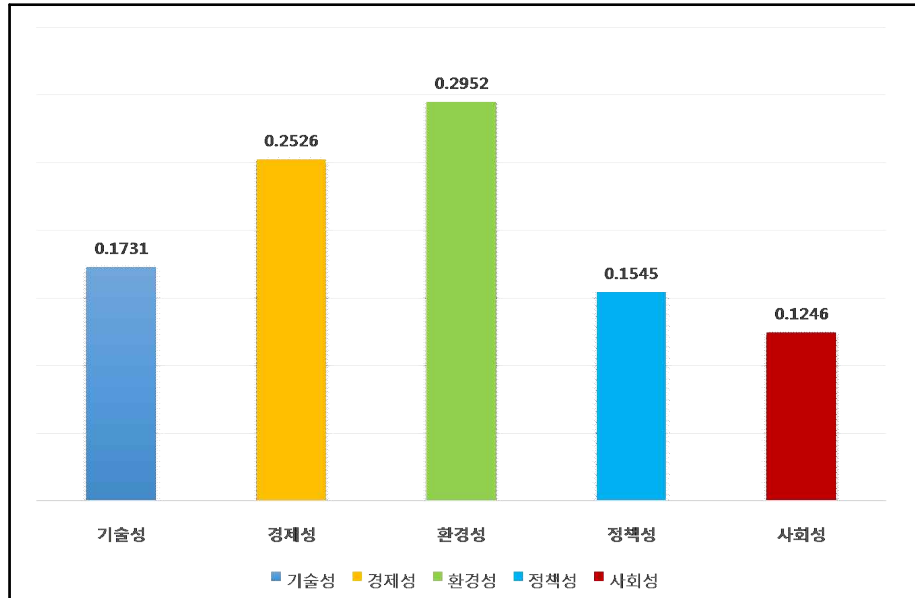
본 연구에서는 각 평가자의 평가결과에 부분적으로 논리적 일관성이 기준값인 0.1 보다 높은 값으로 나타나 반복적인 검토를 거쳐 기준치 이하를 유지하도록 하였고, 상대적 가중치 계산을 위해 소프트웨어 Expert Choice를 활용하였다. 결과적으로 모든 평가항목의 비일관성 비율은 기준치를 만족하였다.

2. 분석 결과

가. AHP 조사 결과 - 상용화기술(단기 관점) 측면

22명의 전문가 중 상용화기술은 21명이 응답하였다. 상용화기술 관점 평가항목의 상대적 중요도에 대한 의견을 종합한 결과를 그래프로 도식화하여 [그림 4-6]에서 비교하였다. <표 4-20>에서는 평가항목 및 평가기준별 중요도 종합결과를 나타내었다. 상용화기술의 평가항목에서는 ‘환경성’이 0.2952로 가장 높은 가중치를 보여주고 있다. 이는 국가 온실가스 감축기술 선정에 있어서 환경성이 가장 중요시되고 있다는 것을 시사한다. ‘환경성’에 이어 ‘경제성’이 0.2526으로 높은 가중치를 기록하였다.

[그림 4-6] 상용화기술 평가항목의 상대적 중요도



<표 4-20> 상용화기술(단기관점) 평가항목 및 기준별 중요도 종합 결과

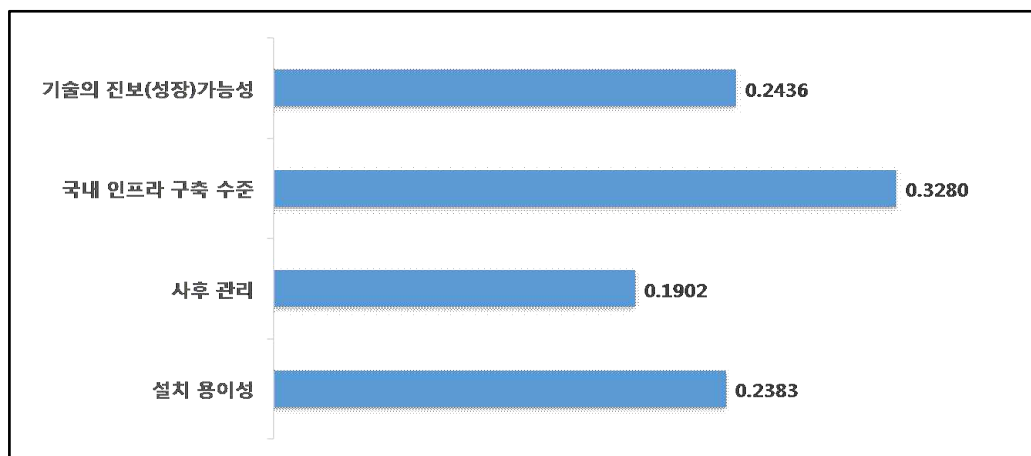
평가항목	평가항목 중요도	평가기준	평가기준 계층 내 중요도	평가기준 종합 중요도
기술성	0.1731	기술의 진보(성장)가능성	0.2436	0.0422
		국내 인프라 구축 수준	0.3280	0.0568
		사후 관리	0.1902	0.0329
		설치 용이성	0.2383	0.0412
경제성	0.2526	국내 시장 확장성	0.2259	0.0571
		미래시장의 성장 가능성	0.1814	0.0458
		경제적 타당성	0.4209	0.1063
		설비 투자 규모	0.1718	0.0434
환경성	0.2952	온실가스 저감 효과	0.4287	0.1265
		미세먼지 저감 효과	0.2499	0.0738
		입지 제약	0.1560	0.0461
		수질·토양 환경부하 최소화	0.1654	0.0488

평가항목	평가항목 중요도	평가기준	평가기준 계층 내 중요도	평가기준 종합 중요도
정책성	0.1545	관련 정부계획과의 부합성	0.4661	0.0720
		재원조달 가능성	0.2548	0.0394
		법제도적 위협요인	0.2792	0.0431
사회성	0.1246	기술 수용성(활용)	1.0000	0.1246

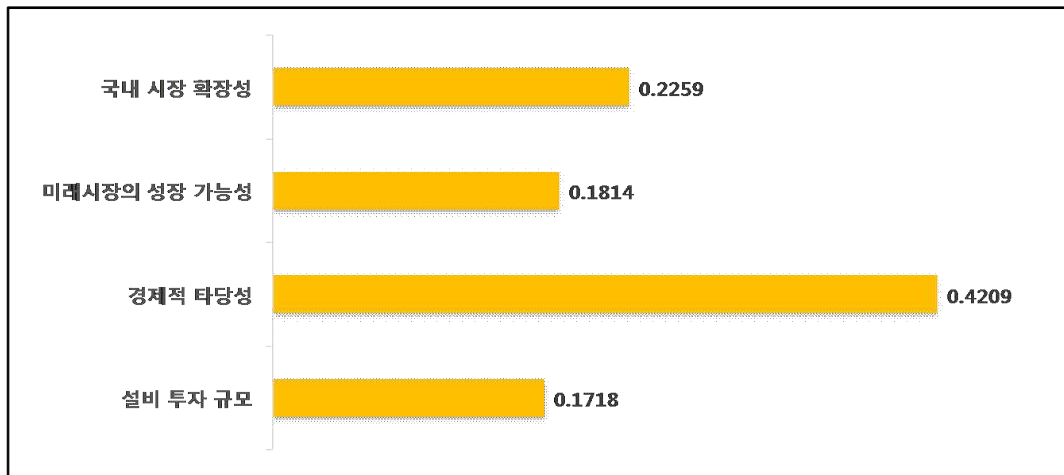
상용화기술에서 그 다음으로는 ‘기술성’, ‘정책성’, ‘사회성’ 순으로 중요하다고 응답하였다. 이 요소들이 온실가스 감축 목적과 관련되어 있는 것은 맞지만, 상용화기술 측면의 중요도는 떨어진다는 것을 확인할 수 있다. 신기술 평가항목에서는 ‘기술성’에 이어 ‘경제성’이 국가 온실가스 감축을 목적으로 하는 평가항목으로 중요하다고 응답하였다. 상대적으로 ‘정책성’과 ‘사회성’은 후순위를 차지하였는데, 이 요소들 역시 온실가스 감축 목적과 관련되어 있는 것은 맞지만, 신기술 측면에 있어서는 상위 평가 항목인 ‘환경성’과 ‘기술성’보다는 중요도가 떨어진다는 것을 보여주고 있다.

상용화기술의 평가기준에서 살펴보면, 가중치가 가장 높은 평가항목인 ‘환경성’에 포함된 평가기준 중 ‘온실가스 저감 효과’가 높은 중요도를 나타냈다. 온실가스 감축의 목적에 따라 전문가들이 감축기술 선정 시 온실가스 저감 효과를 가장 중요하게 인식하고 있는 것으로 해석된다. ‘경제성’ 평가항목에서는 ‘경제적 타당성’ 평가기준이 가장 중요시되었다. 국내시장 및 미래시장의 성장 가능성, 투자 규모도 중요하지만, 경제적으로 타당한지에 대한 기준이 보다 강조되고 있는 것이다. 다른 눈에 띄는 특징으로는 ‘국내 인프라 구축 수준’이 ‘기술의 진보(성장)가능성’보다 높은 가중치를 보였으며, ‘관련 정부계획과의 부합성’이 ‘법제도적 위협요인’보다 중시되어야 함을 지적하고 있다. 아래의 [그림 4-7], [그림 4-8], [그림 4-9], [그림 4-10]에 상용화기술 평가항목별 평가기준의 상대적 중요도를 그래프로 나타내었다.

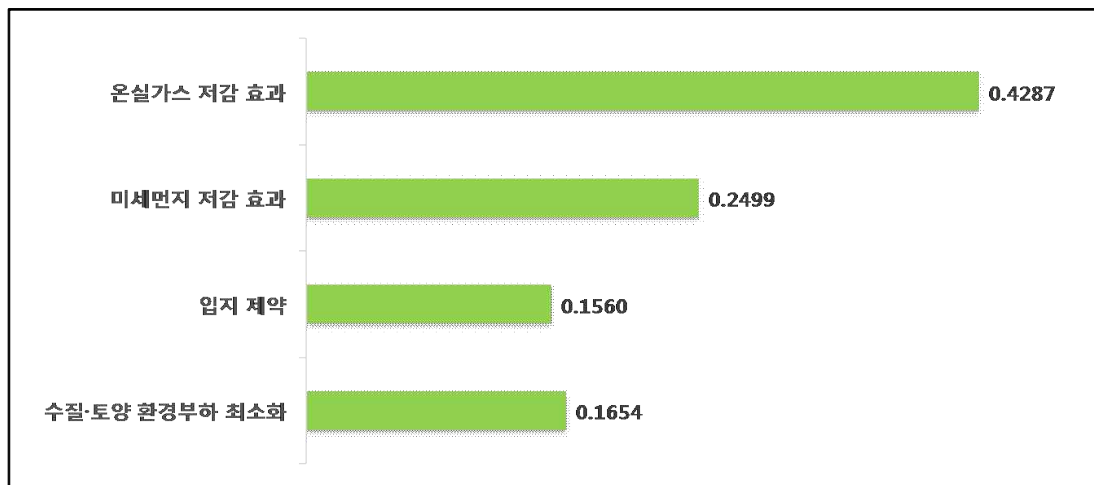
[그림 4-7] 상용화기술 기술성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도



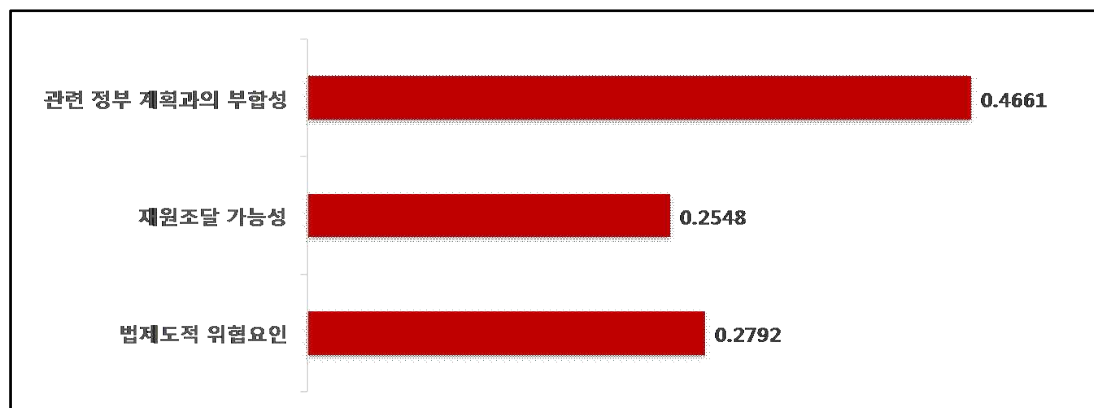
[그림 4-8] 상용화기술 경제성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도



[그림 4-9] 상용화기술 환경성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도



[그림 4-10] 상용화기술 정책성 평가항목 하위 평가기준 상대적 중요도



한편, <표 4-21>은 평가기준에 대한 가중치를 전문가의 소속 그룹별로 분류한 것이다. 1계층의 평가항목은 사회성의 의견 편차가 가장 적게 나타났으며, 기술성과 정책성에 대한 중요도 인식차이가 크게 나타났다. 2계층의 기준으로는 정책성 - 법제도적 위협요인과 사회성 - 기술수용성이 인식차이가 적게 나타났으며, 정책성의 정부계획 부합성의 경우 인식차가 크게 나타났다. 이는 감축부문에 따라 온실가스 감축 기술 선택을 위한 평가 기준별 중요도에 차이가 존재할 수 있다는 것을 의미한다.

<표 4-21> 전문가 그룹별 평가기준에 대한 종합 가중치(상용화기술)

평가항목								평가기준							
분야	산업	건물	수송	폐기물	농축산	기타	변이 계수	구분	산업	건물	수송	폐기물	농축산	기타	변이 계수
기술성	0.15	0.17	0.10	0.08	0.26	0.34	0.54	기술 진보(성장) 가능성	0.03	0.07	0.04	0.01	0.03	0.11	0.74
								국내 인프라 구축 수준	0.06	0.05	0.02	0.02	0.07	0.13	0.69
								사후 관리	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.03	0.36
								설치 용이성	0.04	0.02	0.02	0.03	0.10	0.06	0.68
경제성	0.38	0.33	0.25	0.14	0.22	0.11	0.44	국내 시장 확장성	0.10	0.07	0.07	0.05	0.04	0.01	0.54
								미래시장의 성장 가능성	0.06	0.06	0.06	0.02	0.03	0.03	0.42
								경제적 타당성	0.15	0.15	0.09	0.04	0.12	0.05	0.48
								설비 투자 규모	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.54
환경성	0.25	0.16	0.37	0.49	0.13	0.40	0.47	온실가스 저감 효과	0.08	0.08	0.16	0.12	0.07	0.22	0.48
								미세먼지 저감 효과	0.05	0.03	0.13	0.18	0.02	0.08	0.76
								입지 제약	0.05	0.02	0.04	0.11	0.02	0.03	0.75
								수질·토양 환경부하 최소화	0.06	0.02	0.04	0.07	0.02	0.06	0.48
정책성	0.08	0.25	0.15	0.12	0.30	0.09	0.54	정부계획 부합성	0.03	0.12	0.07	0.06	0.20	0.02	0.80
								재원조달 가능성	0.02	0.09	0.05	0.03	0.06	0.01	0.67
								법제도적 위협요인	0.03	0.05	0.03	0.04	0.04	0.06	0.28
사회성	0.14	0.09	0.13	0.17	0.09	0.07	0.32	기술 수용성	0.14	0.09	0.13	0.17	0.09	0.07	0.32

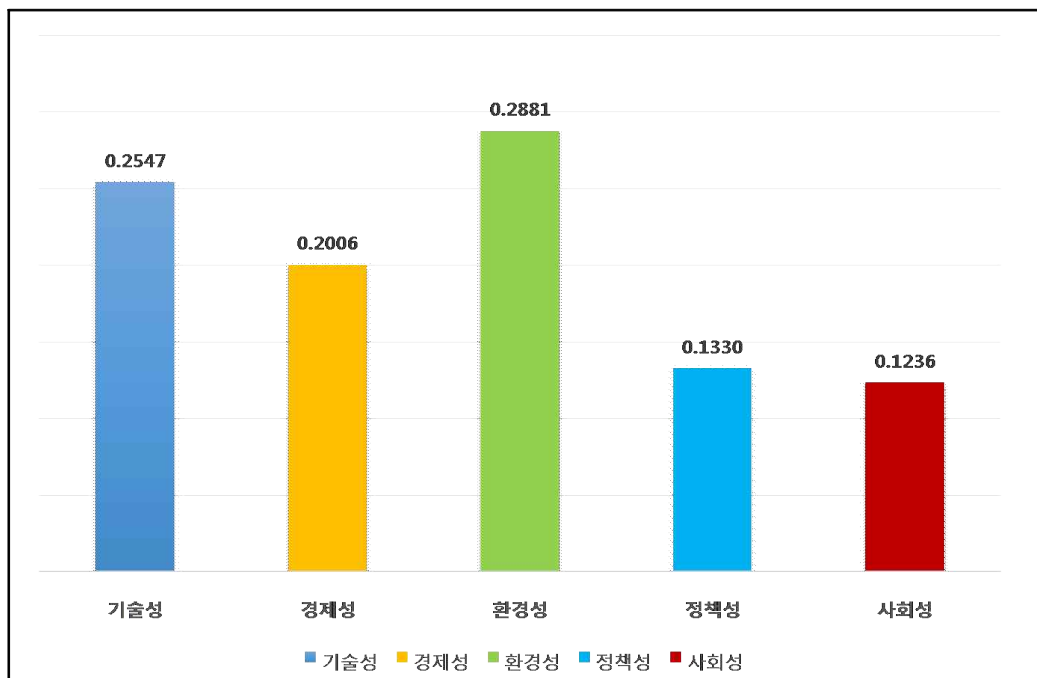
* 소수점 둘째자리까지 표시

* 변이계수: 측정값의 표준편차를 산술평균으로 나눈 값으로 이 수치가 작을수록 평균치에 가까이 분포함

나. AHP 조사 결과 - 신기술(중장기 관점) 측면

22명의 전문가 중 신기술은 17명이 응답하였다. 신기술 관점 평가항목의 상대적 중요도에 대한 의견을 종합한 결과를 도식화하여 [그림 4-11]에 제시하였다. <표 4-22>에서는 평가항목 및 평가기준별 중요도 종합결과를 나타내었다. 신기술 측면에서도 ‘환경성’이 0.2881로 가장 높은 가중치를 보여주고 있다. 두 번째로 높은 가중치는 0.2547로 ‘기술성’이 기록하였는데 이는 상용화기술과는 다른 점을 보이고 있다. 신기술 측면에서는 ‘환경성’ 다음으로 ‘기술성’이 중장기적 관점의 평가항목인 것을 알 수 있다.

[그림 4-11] 신기술 평가항목의 상대적 중요도



<표 4-22> 신기술(중장기관점) 평가항목 및 기준별 중요도 종합 결과

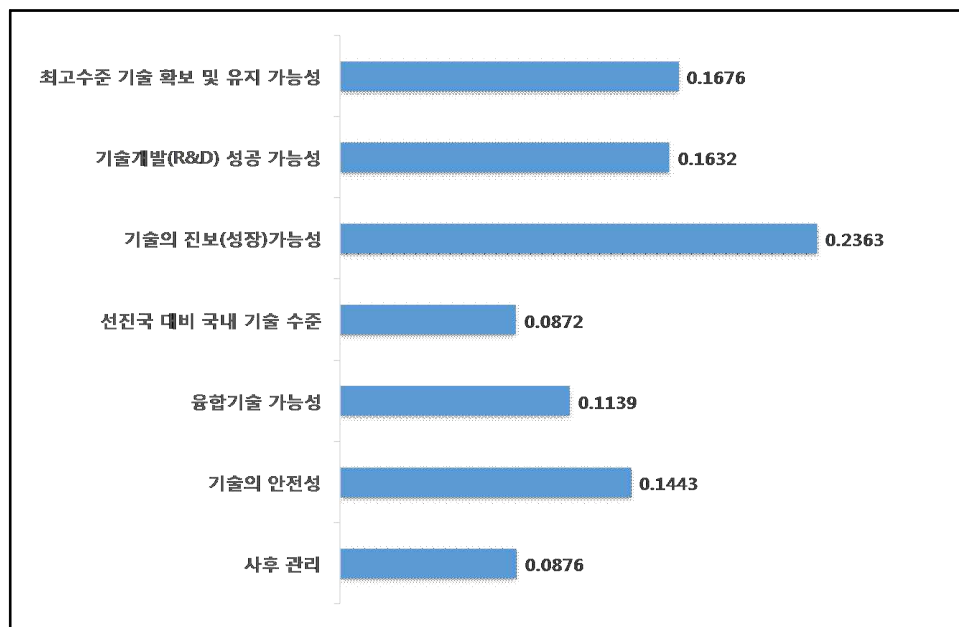
평가항목	평가항목 중요도	평가기준	평가기준 계층 내 중요도	평가기준 종합 중요도
기술성	0.2547	최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	0.1676	0.0427
		기술개발(R&D) 성공 가능성	0.1632	0.0416
		기술의 진보(성장)가능성	0.2363	0.0602
		선진국 대비 국내 기술 수준	0.0872	0.0222
		융합기술 가능성	0.1139	0.0290
		기술의 안전성	0.1443	0.0368
		사후 관리	0.0876	0.0223
경제성	0.2006	국내 시장 확장성	0.2062	0.0414
		미래시장의 성장 가능성	0.2775	0.0557
		경제적 타당성	0.3062	0.0614
		상업화 가능성	0.2101	0.0422
환경성	0.2881	온실가스 저감 효과	0.4480	0.1291
		미세먼지 저감 효과	0.2605	0.0750
		입지 제약	0.1321	0.0381
		환경부하 최소화	0.1594	0.0459
정책성	0.1330	재원조달 가능성	0.5977	0.0795
		법제도적 위협요인	0.4023	0.0535
사회성	0.1236	기술 수용성(활용)	1.0000	0.1236

신기술의 평가기준에서는 가장 가중치가 높았던 평가항목인 ‘환경성’에 포함된 평가기준 중 ‘온실가스 저감 효과’가 높은 중요도를 나타냈다. 평가하는 기술의 목적이 온실가스 감축임에 따라 상용화기술, 신기술에서 모두 전문가들이 가장 중요시하는 기준으로 온실가스 저감 효과를 인식하고 있는 것으로 해석된다. 다음으로 가중치가 높았던 ‘기술성’ 평가항목에서는 ‘기술의 진보(성장)가능성’이 높은 중요도를 나타냈다. 기술개발(R&D) 성공 가능성, 국내 기술 수준, 기술의 안전성 등 다른 평가기준도 중요하지만, 신기술 관점에서는 감축기술의 진보(성장)가능성이 보다 강조되고 있는 것으로 나타났다. 다른 두드러진 특징으로는 ‘경제적 타당성’이 ‘미래시장의 성장 가능성’보다 높은 가중치를 보였으며, ‘법제도적 위협요인’보다는 ‘재원조달 가능성’이 중요시되어야 한다고 평가되었다.

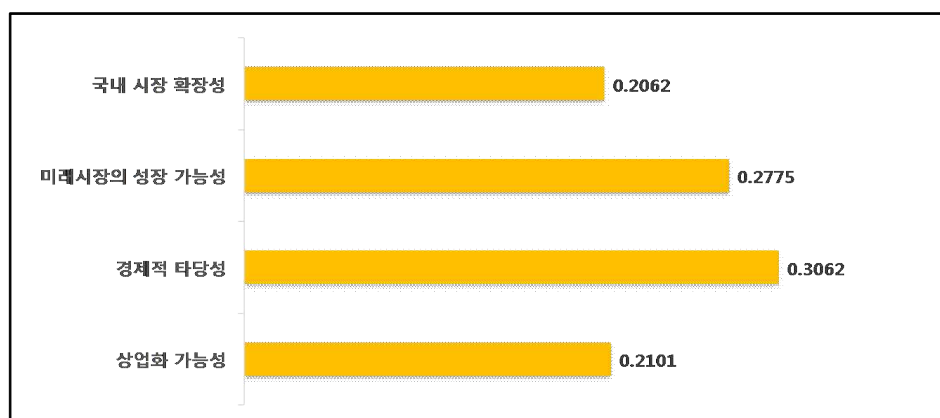
평가항목의 가중치와 평가기준의 가중치를 곱하여 산출한 평가기준 종합 중요도 결과를 보면 상용화기술에서는 온실가스 저감 효과, 기술 수용성(활용), 경제적 타당성, 미세먼지 저감

효과, 관련 정부계획과의 부합성 등이, 신기술에서는 온실가스 저감 효과, 기술 수용성(활용), 재원조달 가능성, 미세먼지 저감 효과 등이 상위 점수를 기록하였다. 상용화기술과 신기술 측면에서 모두 사회성 평가항목의 평가기준이 ‘기술 수용성(활용)’ 만 있기 때문에 쌍대비교를 할 수 없어 종합 중요도가 높은 점을 유의해야 한다. 아래의 [그림 4-12], [그림 4-13], [그림 4-14], [그림 4-15]에는 신기술 평가항목별 평가기준의 상대적 중요도를 그래프로 나타내었다.

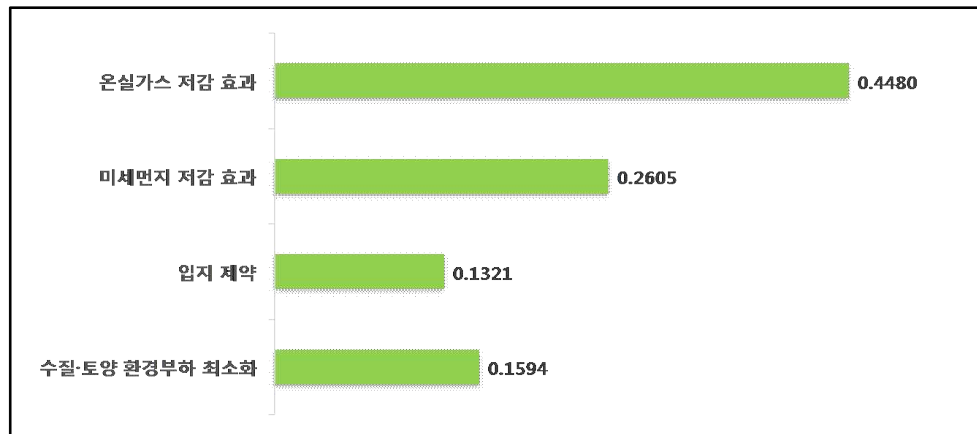
[그림 4-12] 신기술 기술성 평가항목 하위 상대적 중요도



[그림 4-13] 신기술 경제성 평가항목 하위 상대적 중요도



[그림 4-14] 신기술 환경성 평가항목 하위 상대적 중요도



[그림 4-15] 신기술 정책성 평가항목 하위 상대적 중요도



한편, <표 4-23>은 평가기준에 대한 가중치를 전문가의 소속 그룹별로 분류한 것이다. 1계층의 평가항목은 경제성의 의견 편차가 가장 적게 나타났으며, 정책성에 대한 중요도 인식차이가 크게 나타났다. 2계층의 기준으로는 정책성 - 자원조달 가능성과 기술성 - 기술개발성공가능성이 인식차이가 적게 나타났으며, 정책성의 법제도 위협요인의 경우 인식차가 크게 나타났다. 이는 상용화기술과 같은 맥락에서 감축부문에 따라 온실가스 감축 기술 선택을 위한 평가 기준별 중요도에 차이가 존재할 수 있다는 것을 의미한다.

<표 4-23> 전문가 그룹별 평가기준에 대한 종합 가중치(신기술)

평가항목								평가기준							
분야	산업	건물	수송	폐기물	농축산	기타	변이계수		산업	건물	수송	폐기물	농축산	기타	변이계수
기술성	0.16	0.32	0.28	0.15	0.45	0.31	0.40	최고수준 기술확보 및 유지	0.03	0.09	0.04	0.02	0.10	0.02	0.71
								기술개발 성공 가능성	0.02	0.05	0.06	0.03	0.05	0.05	0.34
								기술 진보(성장) 가능성	0.03	0.10	0.06	0.02	0.15	0.14	0.66
								선진국 대비 국내 기술수준	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.54
								융합기술 가능성	0.02	0.03	0.02	0.01	0.05	0.07	0.67
								기술의 안전성	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.02	0.36
								사후 관리	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.41
경제성	0.25	0.23	0.14	0.17	0.16	0.13	0.27	국내 시장 확장성	0.04	0.04	0.04	0.07	0.02	0.01	0.56
								미래시장의 성장 가능성	0.07	0.07	0.03	0.03	0.07	0.02	0.49
								경제적 타당성	0.09	0.08	0.03	0.04	0.04	0.07	0.42
								상업화 가능성	0.06	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.39
환경성	0.33	0.25	0.23	0.43	0.12	0.47	0.43	온실가스 저감 효과	0.12	0.15	0.10	0.12	0.07	0.26	0.48
								미세먼지 저감 효과	0.09	0.05	0.07	0.15	0.02	0.12	0.56
								입지 제약	0.06	0.02	0.03	0.08	0.01	0.03	0.68
								수질·토양 환경부하 최소화	0.07	0.04	0.03	0.08	0.01	0.06	0.54
정책성	0.09	0.11	0.18	0.13	0.20	0.05	0.44	재원조달 가능성	0.05	0.09	0.09	0.08	0.08	0.04	0.29
								법제도적 위협요인	0.04	0.02	0.09	0.04	0.12	0.01	0.80
사회성	0.16	0.09	0.16	0.12	0.08	0.04	0.43	기술 수용성	0.16	0.09	0.16	0.12	0.08	0.04	0.43

* 소수점 둘째자리까지 표시

* 변이계수: 측정값의 표준편차를 산술평균으로 나눈 값으로 이 수치가 작을수록 평균치에 가까이 분포함

제4절 분석결과 정리 및 시사점

국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 모형의 도출을 위해 토론과 합의라는 전통적인 과정을 통하여 직관적으로 의사결정을 할 수도 있으며 그 나름대로의 의미를 가질 수 있다. 그러나 토론과 합의와 같은 전통적인 방법을 통해서만 판단기준에 대한 합리성과 기준의 우선순위를 과학적으로 도출해 내는 것에 한계가 존재하므로, 여러 전문가의 의견과 지식을 과학적으로 통합할 수가 없다. 이를 극복하기 위하여 본 연구에서는 과학적 의사결정 방법론으로 평가지표 개발 등에 널리 활용되고 있는 델파이와 AHP를 활용하여 분석을 실시하였다.

기술선택 모형은 상용화기술(단기관점), 신기술(중장기관점)로 구분하였으며, 2차에 걸친 델파이 조사와 분석을 통해 상용화기술의 선택 모형에 대한 합의도, 수렴도, CVR(내용타당도)를 만족하는 5개 부문의 16개 기준을 마련하였다. 또한, 신기술의 선택 모형에 대한 5개 부문의 18개 기준을 마련하였다. 이는 국가 온실가스 감축목표 수립에 참여한 전 감축 부문(산림 부문 제외)의 전문가에 의해 동의가 이루어진 기준으로 일반적인 관점에서 기술선택을 위해 고려해야 하는 중요한 평가기준이라고 할 수 있다.

이와 같이 델파이 분석을 통해 도출한 기준을 바탕으로 각 기준에 대한 상대적인 중요도를 의미하는 가중치 도출을 위해 AHP 조사와 분석을 실시하였다. 이를 통해 상용화기술(단기관점), 신기술(중장기관점)에 대한 기준별 가중치를 도출하였다. 상용화기술의 경우 환경성과 경제성이 높은 중요도를 가지는 것으로 나타났으며, 신기술의 경우 환경성과 기술성이 높은 중요도를 가지는 것으로 나타났다. 이는 기준의 수준에 따라 기술선택을 위한 평가기준이 차이가 있다는 것을 의미한다. 즉, 동일한 기준과 중요도를 바탕으로 기술수준에 관계없이 평가를 수행하는 것은 불가능하다는 것을 의미한다. 이는 본 연구에서 개발한 기술선택 모형을 통해 도출한 중요한 시사점이라고 할 수 있다.

특히, 세부적인 기준의 관점에서 기술수용성의 중요도가 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 온실가스 감축에 있어 기술이 결국 활용가능성이 확보될 때 감축수단으로서 가치가 있다는 것을 의미하는 것이다. 이러한 결과는 국가 주도의 하향식 목표설정과 방안의 강구가 아닌 이해관계자와 현장의 의견을 수렴하는 상향식 방안의 강구가 중요하다는 것을 보여준다고 할 수 있다. 또한, 기술선택 기준의 가중치에 대한 세부 그룹별 분석을 통해 감축부분별로 중요하게 고려하는 기준에 대한 인식의 차이가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이는 세부적인 감축부분별 기술선택을 수행하는 경우 해당 이해관계자의 그룹의 의견을 주요하게 고려해야한다는 것을 의미한다.

이러한 분석을 통해 도출된 판단기준의 중요도는 확정 불변의 것이 아니라 감축부분별 구분, 정책적 우선순위의 변화, 정치사회적 새로운 이슈 발생 등의 상황이 발생할 경우에는 모형의 재구성과 새로운 분석을 통해 모형의 유연성을 지속적으로 확립해 나가야하는 것이 중요하다는 것을 인식하는 것이 필요하다.

제 5 장 온실가스 감축기술 선택 사례 연구

본 장에서는 앞서 도출한 “국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 모형”을 실제적인 사례에 적용하여 기술평가를 실시하고 모형 적용에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 이를 위해 “단기 관점의 상용화기술¹⁶⁾”에 대한 기술선택 모형을 적용하며, 평가가능성, 정량기준 접근성 등을 고려하여 국가 온실가스 감축부문 중 건물 분야를 대상으로 선정하였다.

제1절 개요

4장에서 도출한 “국가 온실가스 감축기술 선택 모형”의 적용을 위해 본 연구에서 고려하는 사례는 건물 부문이다. 「2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵(2016.12)」에 따르면 건물 부문의 온실가스 감축을 위해 다양한 기술적, 제도적 방법을 명시하고 있다. 특히, 기술적 차원과 관련해서 대표적으로 제로에너지빌딩, 냉난방 설비 효율 개선, 건물에너지관리시스템(BEMS) 등을 제시하고 있다. 건물부문의 온실가스 감축기술 선택에 있어 우선적으로 어떠한 기술들이 고려되고 있는지를 살펴볼 필요가 있다. 건물 부문에서 온실가스 감축기술 선택의 이슈를 다루는 것에 있어 고려할 수 있는 기술의 범위는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 이는 건물 부문에서 온실가스 감축과 직접적으로 연계되는 에너지절약 기술로서, 건축물의 설계 관점에서 건축 부문, 기계·전기 부문, 신재생 부문이다(건축물의 에너지절약 설계기준, 국토교통부).

<표 5-1> 건물 부문의 녹색기술 범위

구분	내용	비고
건축 부문	• 단열조치, 기밀 및 결로 방지, 채광, 환기 등	근거: 녹색건축물 조성 지원법
기계·전기 부문	• 난방·냉방 열원 및 반송, 공조 등 • 조명, 대기전력차단 등	
신재생 부문	• 신재생에너지	

출처: 건축물의 에너지절약설계기준, 2017

건축부문은 고단열·고기밀 외피, 차양, 자연채광 등을 적용하여 건물이 기본적으로 필요로 하는 냉난방부하, 조명부하 등을 저감시켜 에너지요구량을 줄이는 개념이며, 기계·전기 부문은 냉방기기, 난방기기, 조명기기, 변압기 등 각종 기계·전기설비의 효율을 높이고 설비운영 및 에너지사용 현황을 모니터링하고 제어하는 기술을 적용하여 에너지소요량을 줄이는 개념이다. 신재생 부문은 건물의 다양한 설비에서 사용하는 에너지를 신재생에너지로 담당하도록 하여 그 만

16) 기술평가에 있어 불확실성을 배제하고, 평가기준의 정량적 검토가능성 등을 고려함

큼 외부에서 도입하는 에너지를 줄이는 것을 의미한다. 이러한 개념을 바탕으로 본 연구는 건물 부문 전문가 패널들과의 논의를 거쳐 “온실가스 감축기술 선택 모형”을 적용하기 위한 8가지의 대안기술을 설정하였다. 대안기술은 각각 단열, 차양, 기밀, 열원, 조명, 신재생에너지 - 태양광, 신재생에너지 - 태양열, 신재생에너지 - 지열이다. 이는 건물부문에 적용이 가능한 녹색기술이다(한국환경건축연구원, 2015).

<표 5-2> 대안기술 분류

구분	세부요소기술	비고
패시브 기술	단열	창호, 벽체, 지붕, 바닥, 현관
	차양	외부전동식 차양시스템
	기밀	기밀테이프, 윈도우랩, 코킹시공
액티브 기술	열원	난방, 냉방
	조명	LED
	신재생 태양광	
	신재생 태양열	
	신재생 지열	

출처: 한국환경건축연구원, 2015: p.49

본 연구에서 고려하는 대안기술의 적용과 관련하여 국가 정책적인 관점에서 현재 건물 부문의 온실가스 감축과 관련하여 많은 관심을 받고 있는 “제로에너지건물”을 생각해 볼 수 있다. 제로에너지건물의 경우 다양한 온실가스 감축 기술이 패키지 형태로 도입되어야 한다. 따라서 본 연구에서 고려하는 8가지 대안기술에 대한 선택은 해당 기술에 대한 육성, 활용 등 정책적인 방향성 설정을 위한 의사결정을 지원할 수 있는 시의적절한 사례로 판단하였다. 다만, 본 연구에서 사례로 적용하는 대안기술은 모두 건물 부문에 녹색기술로 인정받고 있는 대상이며, 이에 기술평가의 결과에 따라 해당기술의 유용성 자체를 판단하는 것은 아님을 유의할 필요가 있다.

대안기술 중 단열, 차양, 기밀은 패시브 기술에 해당하며, 열원, 조명, 신재생은 액티브 기술에 해당한다. 각 대안기술에 대한 간략한 개요는 <표 5-3>와 같다.

<표 5-3> 대안기술 개요

기술	내 용
단열	<ul style="list-style-type: none"> 외기온과 일사량에 대한 전도열과 복사열을 차단하여 건축물 내 열손실 또는 열획득을 최소화하여 부하를 저감
일사조절	<ul style="list-style-type: none"> 실내로 들어오는 직달일사량을 차단하거나 열획득을 확보하여 부하를 저감
기밀	<ul style="list-style-type: none"> 외기 공기의 유출입(틈새바람)을 막아 열손실 및 열획득을 차단하여 부하를 저감 * 창호의 기밀성, 창호주변의 기밀성, 배관 및 배선의 기밀성, 기밀시공
열원설비	<ul style="list-style-type: none"> 쾌적한 실내환경을 위한 설정온도 유지를 위해 난방열원과 냉방열원을 이용 보일러 또는 냉동기를 통해 보다 효율적으로 온·냉 열원 공급하여 부하를 저감
조명	<ul style="list-style-type: none"> 실내 공간의 일정한 조도와 최소 조도 확보를 위한 최적 조명 설치하는 것으로 실내 발열과 소모 전력을 줄이기 위하여 LED 조명으로 설치하여 부하를 저감
태양광	<ul style="list-style-type: none"> 태양의 빛 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 발전기술로 햇빛을 받으면 광전 효과에 의해 전기를 발생시키는 것. 발전설비로서 만들어진 전기를 통해 냉난방 열원으로 이용하여 부하를 저감
태양열	<ul style="list-style-type: none"> 태양으로부터 오는 복사광선을 흡수하여 열에너지로 변환 (필요시 저장가능)시켜 건물의 냉난방 및 급탕, 사업공정별, 열 발전 등에 활용하여 부하를 저감
지열	<ul style="list-style-type: none"> 물·지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉난방에 활용하는 기술로서 지표면에 일정구간 유지하는 온도를 통해 열펌프 하여 부하를 저감

제2절 기술선택 모형 적용 기술평가

1. 평가 설계

본 연구는 건물 부문 온실가스 감축기술의 평가를 위해 평점법(Scoring Models Method)을 적용하였다. 평점법은 평가결과에 대한 점수를 부여하고 대소를 가늠하는 방법으로, 정성적 기준과 더불어 경제적인 기준들도 고려할 수 있는 장점이 있다(이덕기 외, 2004). AHP는 대안기술 간의 개별적인 쌍대비교를 통해 상대적인 우선순위를 선정하는 방법이다. 대안기술을 평가하기 위하여 AHP를 적용함에 있어 대안의 수가 많아지는 경우 필연적으로 평가의 복잡성이 증가한다. 또한, 여러 번의 쌍대비교를 통해 평가자의 혼란을 가중시킬 가능성이 있다. 따라서 본 연구는 평점법을 적용하여 각 대안기술이 평가기준에 부합하는 정도에 대하여 등간척도(5점 척도 리커트)를 기반으로 전문가의 판단을 반영하는 방식을 적용하였다. 이러한 평점법은 기술에 대한 우선순위 평가에 있어 기존 연구에서 활발하게 적용되고 있다(박진우, 2012; 이덕기 외, 2004; 최민수, 2007).

4장에서 살펴본 바와 같이, 본 연구는 온실가스 감축기술의 선택을 위하여 단기 관점(상용화 기술)과 중장기 관점(신기술)으로 이원화하여 각각의 상황을 고려한 모형을 도출하였다. 사례연구는 정량적 자료의 참고가 가능한 단기 관점(상용화기술)을 적용하여 평가를 수행하였으며, 건물의 용도에 대한 다양성을 고려하여 공공상업용과 주거용으로 구분하였다. 기술평가를 위한 세부적인 기준은 <표 5-4>과 같다.

<표 5-4> 기술평가 세부기준 목록과 평가내용

평가항목 (1계층)	평가항목 (2계층)	평가내용	비고 (고려사항)
기술성	기술의 진보(성장)가능성	• 기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장) 가능성	• 글로벌 기술성숙 수준
	국내 인프라구축 수준	• 관련 인프라가 국내에 구축되어 있는 정도	
	사후 관리	• (기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후관리 용이성	
	설치 용이성	• 기술이 적용된 제품(설비) 설치의 용이성	• 설치과정의 기간 및 설치의 용이성 (비복잡성)
경제성	국내 시장 확장성	• 관련 기술의 보편화 수준에 대한 발전 가능성	• 국내 기술 확산, 보편화
	미래시장의 성장 가능성	• 해당 기술 분야의 미래 시장 성장 가능성 정도 (국내외)	• 해당 분야의 고용확대 가능성, 기업 매출수준 증대 가능성, 시장구조의 확대 (경제적 부가가치 창출 포함)

평가항목 (1계층)	평가항목 (2계층)	평가내용	비고 (고려사항)
	경제적 타당성	• 비용 대비 편익(R&D투자 혹은 기술의 운영비)	• 비용 절감, 수익 창출 등
	설비 투자 규모	• 기술도입 시 필요한 투자 규모	
환경성	온실가스 저감 효과	• 해당 기술의 온실가스 감축 정도, 저감 규모	• 해당 기술 분야의 국내 온실 가스 감축 효과를 의미(R&D 투자, 보급 정도 등 대비)
	미세먼지 저감 효과	• SOx, NOx 감소 효과 • PM 감소 효과	
	입지 제약	• 입지에 따른 기술이 반영된 제품 또는 설비 설치의 제약 정도	
	수질·토양 환경부하 최소화	• 온실가스 배출 감소 이외에 대기/토양 오염, 질병 유발 등 정도	
정책성	관련 정부 계획과의 부합성	• 정부에서 공식적으로 발표한 과학기술분야 중장기 계획과의 부합 정도 • 관련 국가 전략/정부 정책 방향과의 부합 정도	
	재원조달 가능성	• 기술의 활용 또는 개발을 위한 정부(지자체, 민간 등)의 재원 조달 가능성	
	법제도적 위협요인	• 현행 법·제도 내 관련 제한· 금지사항 존재 여부	• 현재 법령에서의 사용 의무화 혹은 금지 여부 • 향후 제도적으로 의무화 혹은 금지될 가능성 정도
사회성	기술 수용성(활용)	• 사용 주체의 기술도입(활용) 용이성 • 사용의 편리성 • 사용자 관점에서 기술의 사용, 성능 등을 고려한 대한 활용 가능성	

한편, 기술평가를 위해 주요하게 고려해야하는 것은 전문가 패널의 규모이다. 특정 연구문제에 대한 전문가 간 의견의 합의를 이루어가기 위해 특정 항목에 점수를 부여하는 방식인 델파이와 같은 기법의 경우 전문가 패널의 수가 15인 정도이면 그룹 간의 중위수는 차이가 크지 않다고 알려져 있으며(Dalkey 외, 1978), 최소 10인 이상인 경우 조사의 신뢰성을 확보할 수 있으며(Ewing, 1992), 10~15인의 규모인 경우 유용한 결과를 얻을 수 있다(Ziglio, 1996). AHP의 경

우 집단의 특성이 동일한 경우 10명 이내의 규모에서도 유용한 결과를 도출할 수 있다(이창효, 2000). 본 연구는 해당 분야의 전문성, 경력 등을 종합적으로 고려하여 건물 부문의 산·학·연 전문가 18인(각 6인)으로 전문가 패널을 구성하였다. 평가는 설문조사 방식으로 9.25(월)~29(금) 동안 진행하였다. 평가 방식은 8가지 대안기술을 대상으로 평가기준별로 5점 리커드 등간척도 방식(최소 1~최대 5)에 의해 수행하였다. 정량적 기준을 고려할 수 있는 경제성과 환경성에 대한 합리적인 평가를 위해 대안기술별 공사 금액과 이산화탄소 저감 정도를 참고자료로 함께 제공하였다. 총 18인의 설문을 회수하여 분석에 활용하였다.

<표 5-5> (평가 참고) 대안기술별 일위대가표

녹색기술		지역	기술별 공사금액 (단위)	비고
단열 계획	외벽	중부	26,345 (원/㎡)	
	지붕			
	바닥		46,659 (원/㎡)	
	창호		15,897 (원/㎡)	
			362,585 (원/㎡)	
차양계획		중부	930,700 (원/개소 1.8*1.3)	전동외부차양 (개소당)
기밀계획		중부	45,454 (원/㎡)	
열원계획		중부	35,598 (원/㎡)	냉난방
조명계획		중부	8,592 (원/㎡)	
신재생에너지 (태양광설비)		중부	213,714 (원/KW)	
신재생에너지 (태양열설비)		중부	141,476 (원/㎡) [6,994,600 (원/대)]	
신재생에너지 (지열히트펌프)		중부	424,591 (원/㎡) [20,991,781 (원/대)]	전기 온수기 포함

출처: ‘스마트 그린시티 구축에 필요한 건축물 분야 녹색기술 분석’ - 2015, 녹색기술센터
- 재료비 + 노무비 (지역 법규에 맞는 최소 재료 적용)

<표 5-6> (평가 참고) 대안기술별 이산화탄소 저감량

(단위: kgCO₂ /m²·yr)

기술	지역	기술적용 후 CO ₂ 저감량	비고
단열계획	중부	-42.10	벽체, 지붕, 바닥, 창호
차양계획 (전동외부차양)	중부	-0.45	전동외부차양
기밀계획	중부	-23.05	
열원계획(냉난방)	중부	-18.95	냉난방
조명계획	중부	-2.00	
신재생에너지 (태양광설비)	중부	-19.55	
신재생에너지 (태양열설비)	중부	-5.2	
신재생에너지 (지열히트펌프)	중부	-50.7	

출처: ‘스마트 그린시티 구축에 필요한 건축물 분야 녹색기술 분석’ - 2015, 녹색기술센터
- 1980년대 신축된 단독주택 건축물 기준 대비 저감량 산출

2. 분석 결과

평가 결과에 대한 분석을 위해 각 평가자의 평가점수를 표준화하였다. 이는 평가자 간 평가 점수에 대하여 편차를 제거하기 위한 방법이다(최민수, 2007). 표준화를 위해 각 평가자의 평가 기준별 평가점수를 평균 3, 표준편차 1로 변환하였다(최민수, 2007). 이러한 표준화 변환 값을 기반으로 기술선택 모형을 적용하여 대안기술의 우선순위를 도출하였다.

가. 공공사업용 부문

공공사업용 건물에 대하여 8개의 대안기술을 평가한 결과는 아래와 같다.

<표 5-7> 기술별 평가기준에 대한 평가 결과

구분		단열	일사 조절	기밀	열원 설비	조명	태양광	태양열	지열
		평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)
기술	성장가능성	2.92	3.02	2.62	3.23	3.85	3.66	2.11	2.59
		(0.91)	(1.10)	(0.66)	(0.84)	(0.68)	(0.58)	(0.71)	(0.69)
	인프라구축	3.34	2.56	2.43	3.51	3.50	3.71	2.30	2.65
		(0.73)	(0.95)	(0.78)	(0.86)	(0.79)	(0.63)	(0.84)	(0.71)
	사후관리	3.02	3.27	2.78	3.49	3.78	3.17	2.60	1.90
		(0.84)	(0.58)	(1.00)	(0.85)	(0.93)	(0.68)	(0.51)	(0.73)
	설치용이성	3.33	3.11	2.44	3.33	4.05	3.18	2.86	1.70
		(0.91)	(0.54)	(0.91)	(0.72)	(0.66)	(0.52)	(0.67)	(0.47)
경제	국내시장 확장성	2.92	3.13	2.63	3.31	3.75	3.58	2.32	2.35
		(0.75)	(0.81)	(0.83)	(0.79)	(0.70)	(0.92)	(0.88)	(0.77)
	미래시장 성장 가능성	2.65	3.27	2.86	3.21	3.34	3.85	2.38	2.44
		(0.98)	(0.79)	(0.70)	(0.89)	(0.74)	(0.49)	(0.75)	(0.85)
	경제적 타당성	3.52	3.18	3.42	3.10	3.74	2.96	2.24	1.84
		(0.79)	(1.03)	(0.67)	(0.72)	(0.56)	(0.67)	(0.67)	(0.65)
	설비 투자 규모	3.69	3.27	3.04	2.92	3.47	2.82	2.50	2.29
		(0.87)	(0.91)	(0.98)	(0.97)	(0.69)	(0.86)	(0.66)	(0.78)
환경	온실가스 저감	3.65	2.85	2.93	2.86	3.09	3.55	2.57	2.50
		(0.73)	(1.10)	(0.77)	(0.89)	(0.87)	(0.64)	(0.89)	(1.01)
	미세먼지 저감	2.91	2.54	3.00	3.24	2.83	3.50	3.09	2.88
		(0.90)	(0.81)	(0.95)	(1.15)	(0.71)	(0.67)	(0.61)	(0.89)
	입지 제약	3.62	3.17	3.42	3.31	4.00	2.37	2.31	1.80
		(0.54)	(0.75)	(0.76)	(0.74)	(0.52)	(0.54)	(0.58)	(0.55)
	수질토양 부하 최소화	3.30	3.50	3.27	3.11	3.41	3.05	2.95	1.41
		(0.54)	(0.45)	(0.55)	(0.97)	(0.56)	(0.80)	(0.85)	(0.84)
정책	정부계획 부합성	3.28	3.15	2.80	2.58	3.26	3.73	2.46	2.74
		(0.67)	(1.02)	(0.90)	(0.95)	(0.64)	(0.51)	(0.93)	(1.14)
	재원조달 가능성	3.03	2.69	2.65	2.72	3.71	3.97	2.45	2.79
		(0.95)	(0.96)	(0.74)	(0.73)	(0.55)	(0.66)	(0.78)	(0.98)
	법제도 위협요인	3.21	3.10	3.27	2.71	3.21	3.42	2.88	2.22
		(0.81)	(0.77)	(0.70)	(0.82)	(0.81)	(0.70)	(0.80)	(1.03)
사회	기술수용성	3.61	3.35	3.02	3.24	3.80	3.15	1.79	2.05
		(0.72)	(0.69)	(0.79)	(0.76)	(0.57)	(0.75)	(0.49)	(0.53)

기술모형을 구성하는 16개 평가기준에 대한 대안기술별 평가결과는 <표 5-7>과 같다. 먼저 기술 부문의 성장가능성 기준에 있어 조명(3.85점), 태양광(3.66점), 열원설비(3.23점)이 적합성이 큰 것으로 평가되었다. 인프라 구축에 있어 태양광(3.71점), 조명(2.50)점, 단열(3.34점)이 적합성이 큰 것으로 평가되었으며, 사후관리에 있어 조명(3.78점), 열원설비(3.49점), 일사조절(3.27점)이 높은 적합성을 보였다. 마지막으로 설치용이성은 조명(4.05점), 단열(3.33점), 열원설비(3.33점)이 높은 적합성을 보였다. 공통적으로 태양열과 지열은 낮게 평가되었다.

그 다음으로 경제 부문의 국내시장 확장성에 있어 조명(3.75점), 태양광(3.58점), 열원설비(3.31점)이 높은 적합성을 보였으며, 미래시장 성장 가능성에 있어 태양광(3.85점), 조명(3.34점), 일사조절(3.27점)이 높은 적합성을 보였다. 경제적 타당성에 있어 조명(3.74점), 단열(3.52점), 기밀(3.42)점이 높은 적합성으로 평가되었으며, 설비 투자 규모에 있어 단열(3.69점), 조명(3.47점), 일사조절(3.27점)이 높은 적합성을 나타냈다.

환경 부문의 온실가스 저감에 있어 단열(3.65점), 태양광(3.55점), 조명(3.09점)이 높은 적합성을 보였으며, 미세먼지 저감에 있어 태양광(3.50점), 태양열(3.09점), 기밀(3.00점)이 높은 적합성으로 평가되었다. 입지 제약에 있어 조명(4.00점), 단열(3.62점), 기밀(3.42점)이 높은 적합성을 나타냈으며, 수질토양 부하 최소화해 있어 일사조절(3.50점), 조명(3.41점), 단열(3.30점)이 높은 적합성을 보였다. 지열의 경우 전반적으로 낮은 적합성으로 평가되었다.

정책 부문의 정부계획 부합성의 경우 태양광(3.73점), 단열(3.28점), 조명(3.26점)이 높은 적합성을 보였으며, 재원조달 가능성의 경우 태양광(3.97점), 조명(3.71점), 단열(3.03점)이 높은 적합성으로 평가되었다. 법제도 위협요인의 경우 태양광(3.42점), 단열(3.21점)과 조명(3.21점)이 높은 적합성을 나타냈다. 마지막으로 사회 부문의 경우 조명(3.80점), 단열(3.61점), 일사조절(3.35점)이 높은 적합성을 보였다.

<표 5-8>는 기술모형의 1수준 기준별 대안기술의 우선순위를 정리한 것이다. 각 기준별 우선순위가 상이한 것을 알 수 있다. 전반적으로 환경성을 제외하고 나머지 모든 기준에서 조명이 높은 적합성을 보였으며, 기준별 차이가 존재하지만 태양광, 단열, 일사조절, 열원설비 등이 높은 적합성을 보이고 있음을 알 수 있다.

<표 5-8> 공공상업용 건물 대상 평가기준별 대안기술의 우선순위 도출 결과

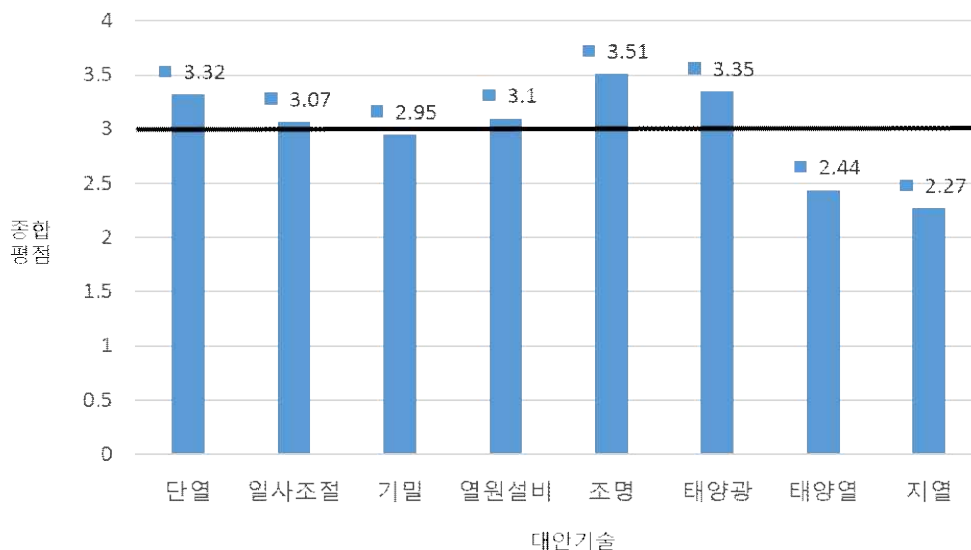
기술성	평점	경제성	평점	환경성	평점	정책성	평점	사회성	평점
조명	3.77	조명	3.62	단열	3.40	조명	3.80	조명	3.80
태양광	3.47	단열	3.26	태양광	3.27	단열	3.61	단열	3.61
열원설비	3.40	태양광	3.24	조명	3.22	일사조절	3.35	일사조절	3.35
단열	3.17	일사조절	3.20	기밀	3.08	열원설비	3.24	열원설비	3.24
일사조절	2.94	열원설비	3.14	열원설비	3.07	태양광	3.15	태양광	3.15
기밀	2.55	기밀	3.07	일사조절	2.93	기밀	3.02	기밀	3.02
태양열	2.44	태양열	2.33	태양열	2.72	지열	2.05	지열	2.05
지열	2.27	지열	2.14	지열	2.31	태양열	1.79	태양열	1.79

<표 5-9>은 공공상업용 건물에 대한 대안기술의 적합성을 평가한 종합결과이다. 앞서 기술한 바와 같이, 본 연구는 기술평가 점수를 평균 3, 표준편차 1로 변환하여 분석하였으며, 이에 3점이라는 점수가 갖는 의미는 기술 분야 전문가의 국가 온실가스 감축을 위한 대안 기술의 적용 측면에서 적합성이 보통 이상 수준인 것을 의미한다. [그림 5-1]에서 볼 수 있듯이 단열, 일사 조절, 열원설비, 조명, 태양광은 평가점수 3.0 이상으로 나타났으며, 이는 공공상업용 건물에서 적합성이 높다는 것을 의미한다. 기밀의 경우 해외동향을 고려하여 최근 제도적으로 강조하고자 하는 경향이 있다. 따라서 현 수준에서 기밀의 적합도가 상대적으로 낮게 나타난 것이라고 판단할 수 있다. 다만, 이는 각 기준별 가중치가 적용된 결과이므로, 정책적 방향에 따른 가중치 설정에 따라 평가점수는 유연하게 고려할 수 있다. 본 연구에서 적용한 방식은 국가 온실가스 감축 계획의 참여 전문가 패널을 통해 분석을 실시한 것으로 특정 감축부문에 편향되지 않은 일반적인 의미의 가중치로 생각하는 것이 적절하다.

<표 5-9> 종합 분석 결과(공공상업용)

구분	단열	일사 조절	기밀	열원 설비	조명	태양광	태양열	지열
기술	0.55	0.51	0.44	0.59	0.65	0.60	0.42	0.39
경제	0.82	0.81	0.78	0.79	0.92	0.82	0.59	0.54
환경	1.00	0.86	0.91	0.91	0.95	0.97	0.80	0.68
정책	0.49	0.47	0.45	0.41	0.52	0.57	0.40	0.40
사회	0.45	0.42	0.38	0.40	0.47	0.39	0.22	0.26
종합	3.32	3.07	2.95	3.10	3.51	3.35	2.44	2.27

[그림 5-1] 종합 평가 결과(공공상업용)



나. 주거용 부문

주거용 건물에 대하여 8개의 대안기술을 평가한 결과는 아래와 같다.

<표 5-10> 기술별 평가기준에 대한 평가 결과

구분		단열	일사 조절	기밀	열원 설비	조명	태양광	태양열	지열
		평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)	평점 (편차)
기술	성장가능성	3.18	2.93	3.26	3.12	3.33	3.55	2.47	2.17
		(0.95)	(0.75)	(0.79)	(0.91)	(0.83)	(0.64)	(0.79)	(0.77)
	인프라구축	3.54	2.23	2.48	3.33	3.59	3.66	2.72	2.45
		(0.84)	(0.62)	(0.72)	(0.86)	(0.70)	(0.52)	(0.72)	(0.81)
	사후관리	2.92	3.08	2.68	3.37	4.02	3.39	2.76	1.79
		(0.92)	(0.70)	(0.78)	(0.87)	(0.61)	(0.65)	(0.56)	(0.68)
	설치용이성	3.72	2.98	2.60	3.37	3.92	3.18	2.74	1.48
		(0.53)	(0.56)	(0.85)	(0.66)	(0.39)	(0.51)	(0.68)	(0.68)
경제	국내시장 확장성	3.62	2.63	3.18	3.07	3.45	3.41	2.45	2.18
		(0.53)	(0.90)	(0.88)	(0.92)	(0.87)	(0.66)	(0.79)	(0.93)
	미래시장 성장 가능성	2.79	3.12	3.10	3.21	3.06	3.82	2.62	2.29
		(1.07)	(0.75)	(0.76)	(0.81)	(0.88)	(0.60)	(0.93)	(0.98)
	경제적 타당성	3.77	2.92	3.56	3.09	3.65	3.00	2.19	1.82
		(0.39)	(1.04)	(0.63)	(0.72)	(0.50)	(0.80)	(0.57)	(0.67)
	설비 투자 규모	3.59	3.38	3.27	2.92	3.37	2.68	2.67	2.12
		(0.70)	(0.87)	(0.81)	(1.00)	(0.84)	(0.88)	(0.75)	(0.83)
환경	온실가스 저감	3.84	2.48	3.40	2.87	2.91	3.56	2.65	2.31
		(0.66)	(0.93)	(0.91)	(0.80)	(1.00)	(0.46)	(0.75)	(0.82)
	미세먼지 저감	3.12	2.62	3.27	3.21	2.72	3.38	2.97	2.71
		(0.90)	(0.96)	(1.02)	(1.03)	(0.71)	(0.63)	(0.69)	(0.77)
	입지 제약	3.69	3.03	3.64	3.19	3.86	2.54	2.45	1.59
		(0.53)	(0.58)	(0.68)	(0.76)	(0.47)	(0.68)	(0.55)	(0.61)
	수질토양 부하 최소화	3.31	3.42	3.28	2.94	3.20	3.17	3.05	1.62
		(0.54)	(0.62)	(0.59)	(1.03)	(0.61)	(0.78)	(0.71)	(1.17)
정책	정부계획 부합성	3.56	2.57	3.13	2.43	3.08	3.79	2.59	2.84
		(0.50)	(1.09)	(0.71)	(0.95)	(0.81)	(0.29)	(0.98)	(1.05)
	재원조달 가능성	3.30	2.62	2.95	2.70	3.24	3.91	2.63	2.64
		(0.85)	(0.93)	(0.70)	(0.79)	(0.85)	(0.76)	(0.98)	(0.94)
사회	기술수용성	3.15	2.97	3.00	2.90	3.15	3.35	3.01	2.47
		(0.75)	(1.00)	(0.87)	(0.87)	(0.65)	(0.73)	(0.77)	((1.13)
		3.72	3.05	3.31	2.87	3.73	3.28	2.27	1.76
		(0.61)	(0.71)	(0.81)	(0.90)	(0.46)	(0.78)	(0.72)	(0.48)

기술모형을 구성하는 16개 평가기준에 대한 대안기술별 평가결과는 <표 5-10>과 같다. 먼저 기술 부문의 성장가능성 기준에 있어 태양광(3.55점), 조명(3.33점), 단열(3.18점)이 적합성이 큰 것으로 평가되었다. 인프라 구축에 있어 태양광(3.66점), 조명(3.59점), 단열(3.54점)이 적합성이 큰 것으로 평가되었으며, 사후관리에 있어 조명(4.02점), 태양광(3.39점), 열원설비(3.37점)이 높은 적합성을 보였다. 마지막으로 설치용이성은 조명(3.92점), 단열(3.72점), 열원설비(3.37점)이 높은 적합성을 보였다. 공통적으로 태양열과 지열은 낮게 평가되었다.

그 다음으로 경제 부문의 국내시장 확장성에 있어 단열(3.62점), 조명(3.45점), 태양광(3.41점)이 높은 적합성을 보였으며, 미래시장 성장 가능성에 있어 태양광(3.82점), 열원설비(3.21점), 일사조절(3.12점)이 높은 적합성을 보였다. 경제적 타당성에 있어 단열(3.77점), 조명(3.65점), 기밀(3.56점)점이 높은 적합성으로 평가되었으며, 설비 투자 규모에 있어 단열(3.59점), 일사조절(3.38점), 조명(3.37점)이 높은 적합성을 나타냈다.

환경 부문의 온실가스 저감에 있어 단열(3.84점), 태양광(3.56점), 기밀(3.40점)이 높은 적합성을 보였으며, 미세먼지 저감에 있어 태양광(3.38점), 기밀(3.27점), 열원설비(3.21점)이 높은 적합성으로 평가되었다. 입지 제약에 있어 조명(3.86점), 단열(3.69점), 기밀(3.64점)이 높은 적합성을 나타냈으며, 수질토양 부하 최소화에 있어 일사조절(3.42점), 단열(3.31점), 조명(3.20점)이 높은 적합성을 보였다. 지열의 경우 전반적으로 낮은 적합성으로 평가되었다.

정책 부문의 정부계획 부합성의 경우 태양광(3.79점), 단열(3.56점), 기밀(3.13점)이 높은 적합성을 보였으며, 재원조달 가능성의 경우 태양광(3.91점), 단열(3.30점), 조명(3.24점)이 높은 적합성으로 평가되었다. 법제도 위협요인의 경우 태양광(3.35점), 단열(3.15점), 조명(3.15점)이 높은 적합성을 나타냈다. 마지막으로 사회 부문의 경우 조명(3.73점), 단열(3.72점), 일사조절(3.31점)이 높은 적합성을 보였다.

<표 5-11>는 기술모형의 1 수준 기준별 대안기술의 우선순위를 정리한 것이다. 공공상업용과 같은 맥락에서 각 기준별 우선순위가 다르다는 것을 알 수 있다. 전반적으로 단열과 조명이 높은 적합성을 보였으며, 기준별 차이가 존재하지만 태양광, 단열, 조명, 단열이 높은 적합성을 보이고 있음을 알 수 있다.

<표 5-11> 주거용 건물 대상 평가기준별 우선순위 정리 표

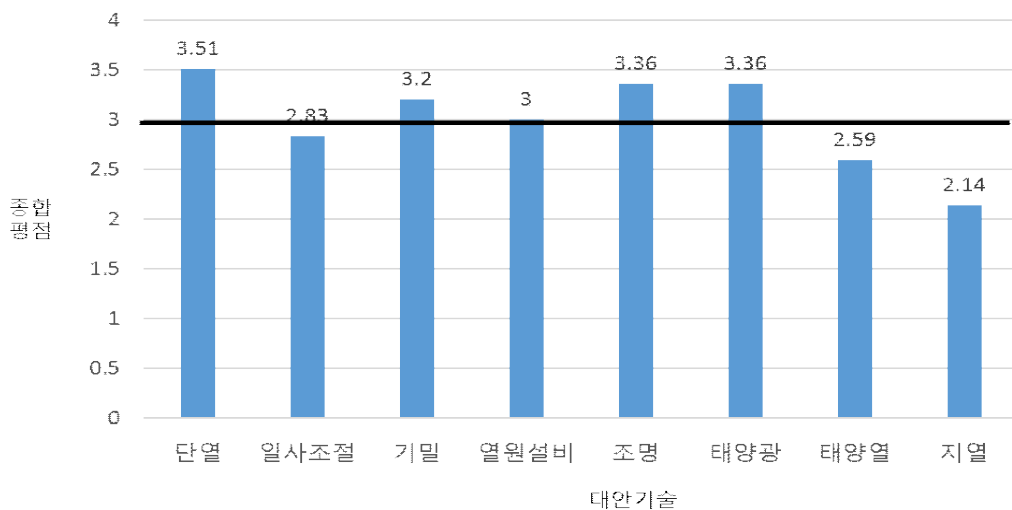
기술성	평점	경제성	평점	환경성	평점	정책성	평점	사회성	평점
조명	3.69	단열	3.53	단열	3.55	태양광	3.70	조명	3.73
태양광	3.47	조명	3.45	기밀	3.39	단열	3.38	단열	3.72
단열	3.38	기밀	3.34	태양광	3.29	조명	3.14	기밀	3.31
열원설비	3.30	태양광	3.19	조명	3.06	기밀	3.05	태양광	3.28
일사조절	2.74	열원설비	3.08	열원설비	3.02	태양열	2.72	일사조절	3.05
기밀	2.74	일사조절	2.97	일사조절	2.76	일사조절	2.69	열원설비	2.87
태양열	2.67	태양열	2.41	태양열	2.76	지열	2.69	태양열	2.27
지열	2.03	지열	2.04	지열	2.18	열원설비	2.63	지열	1.76

<표 5-12>은 주거용 건물에 대한 대안기술의 적합성을 평가한 종합 결과이다. 앞서 공공사업용 평가결과에서 언급한 바와 같이, 본 연구는 기술평가 점수를 평균과 표준편차를 각각 3, 1로 변환하였으며, 이를 기반으로 평가를 실시하였다. 이에 3점이라는 점수의 의미는 기술평가 위원들의 판단에 있어 국가 온실가스 감축을 위한 기술 적용과 관련하여 해당 기술의 적합성이 보통 이상 수준인 것을 의미한다. [그림 5-2]에서 볼 수 있듯이 단열, 기밀, 열원설비, 조명, 태양광은 평가점수 3.0 이상으로 나타났으며, 이는 주거용 건물에서 적합성이 높다는 것을 의미한다. 주거용의 경우 건물 구조적 특징으로 일사조절의 역할을 수행하는 발코니 등이 존재한다. 그리고 일사조절에 대한 사항을 일괄 적용하기 어렵다. 이에, 일사조절의 적합도가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다. 다만, 이는 공공사업용과 동일한 맥락에서 각 기준별 가중치가 적용된 결과이므로, 정책적 방향에 따른 가중치 설정을 고려하여 평가점수를 유연하게 고려할 수 있다. 본 연구에서 적용한 방식은 특정 감축부문에 편향되지 않은 일반적인 의미의 가중치로 생각하는 것이 적절하다.

<표 5-12> 종합 분석 결과(주거용)

구분	단열	일사조절	기밀	열원설비	조명	태양광	태양열	지열
기술	0.58	0.47	0.47	0.57	0.64	0.60	0.46	0.35
경제	0.89	0.75	0.84	0.78	0.87	0.80	0.61	0.51
환경	1.05	0.81	1.00	0.89	0.90	0.97	0.82	0.64
정책	0.52	0.42	0.47	0.41	0.49	0.57	0.42	0.41
사회	0.46	0.38	0.41	0.36	0.46	0.41	0.28	0.22
종합	3.51	2.83	3.20	3.00	3.36	3.36	2.59	2.14

[그림 5-2] 종합 평가 결과(주거용)

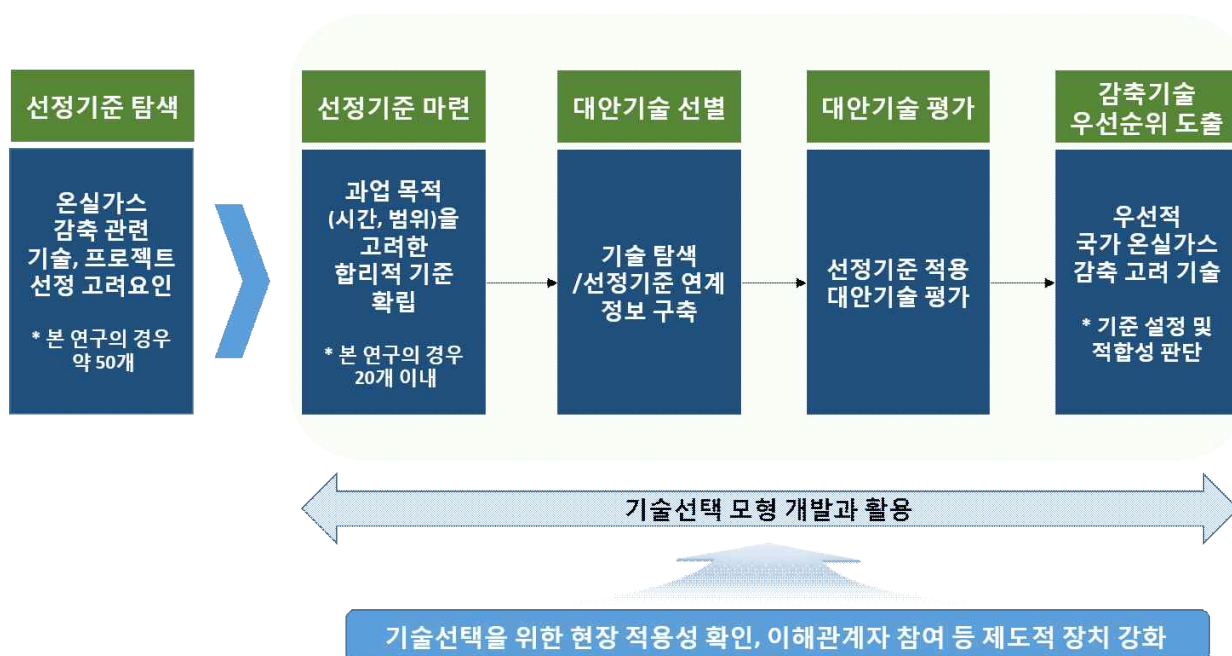


제 6 장 결론

신기후 체제는 모든 당사국이 온실가스 감축을 이행하기 위해 노력해야 한다. 2015년 파리협정을 통해 합의한 각 국가의 “INDC”는 당사국의 노력과 의지를 반영한 국가적 목표이다. 이에 대한 후속사항으로 국제사회는 각 국가가 제출한 “NDC”를 구체적인 행동으로 변환하는 “이행”에 대한 노력이 중요하다고 강조하고 있다. 이와 관련하여 우리나라는 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 최근 “제1차 기후변화대응 기본계획(2016년)”, “국가 온실가스 감축을 위한 기본로드맵(2016년)”을 발표하였으며, 이는 국가차원의 온실가스 감축 이행을 위하여 체계적인 방안을 확보하려고 하는 노력이라고 할 수 있다.

특히, 본 연구는 온실가스 감축 이행에 있어 특히 기술의 중요성에 주목하였다. 이에, 국가 관점에서 온실가스 감축을 위해 적합한 기술을 선택하기 위한 “기술선택 모형”을 개발하고자 하였다. 이를 중심으로 본 연구에서 제안하는 기술선정 방안에 대한 프레임워크는 [그림 6-1]와 같다. 이는 (1) 기술선택에 대한 부문과 이를 지원하는 (2) 제도적 부문으로 구성되며, 이러한 기술선택과 제도를 포괄하여 기술선택 방안으로 제안하고자 한다. 이는 기술선택 모형과 더불어 이러한 기술선택 과정을 지원하기 위한 제도적 장치가 보완적으로 결합되는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 이러한 개념을 토대로 본 연구는 기술선택 방안을 크게 2가지 측면에서 제안하고자 한다. 첫 번째는 다양한 맥락을 고려한 기술선택 모형의 개발과 적용이며, 두 번째는 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택과 관련한 현장 적용성 강화, 이해관계자 참여, 기술정보 공개 등 제도적 장치의 강화이다.

[그림 6-1] 기술선정 방안 프레임워크



1. 기술선택 모형의 개발과 적용

Annex 1 국가 등의 INDC 문헌에 따르면, 국가 온실가스 감축목표의 달성을 위하여 다양한 제도적, 기술적 방안을 고려하고 있다. 이러한 온실가스 감축에 있어 국가차원의 부담을 경감하면서 새로운 발전 기회를 창출하기 위해 기술적 방안이 중요하다고 할 수 있다(BMU, 2014, 관계부처합동, 2016). 이러한 맥락에서 우리나라의 경우 관계부처합동(2016)으로 「제1차 기후변화대응 기본계획」을 발표하였으며, 온실가스 감축을 위한 추진 방향과 체계적인 방법, 거버넌스 구성 등을 제시하고 있다. 또한, 「온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵」을 통해 감축부문별 기술적, 정책적 방안을 제시하고 있다. 특히 「제1차 기후변화대응 기본계획」에 따르면, 정부는 온실가스 감축을 위해 현존하거나 새로운 기술의 적용을 중요하게 고려하고 있다. 이는 국가 차원에서 온실가스 감축을 위한 기술을 발굴하고 육성하는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 실제적으로 국가 온실가스 감축목표는 매 5년마다 UNFCCC에 제출해야 하며, 이를 위해 국가 차원의 세부적인 전략과 계획들이 지속적으로 수립되고, 보완되어야 한다. 이러한 맥락에서 특히 온실가스 감축을 위해 적합한 기술을 국가차원에서 지속적으로 도출하고, 관리하는 것은 필수적이라고 할 수 있다.

국가 차원의 기술선택에 있어 경제적 혜택을 우선적으로 고려하는 민간 부문과는 달리 공공 부문은 다양한 맥락을 고려할 필요가 있다. 왜냐하면 국가의 관점에서는 기술선택의 목적이 경제적 이윤 창출의 측면에서만 접근하는 것이 아니며, 공공정책의 형성, 사회적 혜택의 확보이기 때문이다. 이러한 맥락에서 공공 부문의 기술선택은 민간 부문의 기술을 통한 수익창출의 목적으로 수행하는 기술의 선택과는 다른 맥락에서 접근해야 한다. 본 연구의 관점은 국가의 온실가스 감축이라는 목적을 달성하기 위한 기술선택의 개념으로 이는 공공의 기술선택으로 볼 수 있다. 이를 위해 선행연구에서 강조하고 있는 것과 같이 경제적, 환경적 요소 이외에 다양한 정치적, 사회적 맥락들을 고려하고 합리적으로 기술선택에 대한 기준들을 도출하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

한편, 일본의 사례에서 국가 온실가스 감축목표에 대한 기술적 대응 현황을 살펴보면 거의 모든 감축부문에서 적용할 기술을 구체적이며, 명시적으로 나타내고 있다. 실제적으로 일본의 온실가스 감축목표 수립 관계자와의 인터뷰를 통해 목표수립 시 적용이 가능한 상용화 수준의 기술들을 대상으로 적정성을 검토하고 목표수립에 반영하였음을 알 수 있었다. 또한, 이러한 온실가스 감축기술을 발굴하기 위하여 관련 제도를 운영하여 주기적으로 기술을 평가하고 평가기준을 만족하는 기술의 인증과 더불어 관련 정보를 지속적으로 축적하고 있음을 알 수 있었다. 이는 국가차원의 온실가스 감축 전략을 수립하기 위한 기술적 부문의 핵심적인 활동이라고 할 수 있다. 이러한 기술평가를 위해 기술선택의 문제에 있어 국가의 관점에서 합리적인 고려사항인 선택기준을 도출하고 이를 통해 기술선택의 모형을 구성하는 것이 필요하다.

본 연구는 공공 관점의 다양한 맥락을 고려하는 기술선택 모형의 개발을 위해 관련 전문가 집단의 의견을 종합하여 합의점을 도출하는 방식을 택하였으며, 이러한 방식을 토대로 연구의 목적과 시간적·공간적 범위를 고려하여 합리적으로 기술선택 모형을 개발하고자 하였다.

특히, 기술선택 모형의 도출을 위해 기술의 수준에 따라 구분하고자 하였다. 왜냐하면 기술

의 수준에 따라 실제적으로 활용되는 시기가 달라지기 때문이다. 이에, 본 연구에서는 상용화 기술(단기관점)과 신기술(중장기 관점)로 구분하여 접근하였다. 실제적으로 신기후체제가 도래하는 2020년을 고려하여 온실가스 감축을 위한 기술을 선정하는 경우에는 상용화기술을 고려하는 것이 합리적이며, 2030년, 2050년 등 장기 관점의 온실가스 감축을 위해 기술을 선정하는 경우에는 신기술을 고려하는 것이 합리적일 것이다. 이러한 개념을 바탕으로 과학적 의사결정 기법인 델파이와 AHP를 활용하여 기술선택 모형을 개발하였다.

각 모형은 <표 6-1>에 제시하였다. 표에서 볼 수 있듯이, 상용화기술과 신기술에 따라 기술을 선정하는 모형에 차이가 있음을 알 수 있다. 특히, 기존의 측면에서는 기술성 부문에서 차이가 존재한다. 상용화기술의 경우 기술의 진보가능성 등 4개 기준임에 반하여 신기술의 경우 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성 등 7개 기준으로 구성되었다. 이는 기술 수준에 따라 고려해야 하는 요인에 차이가 있음을 나타내는 것이며, 장기적 관점에서 신기술의 경우 더욱 면밀하게 기술성에 대한 검토가 필요함을 의미한다.

또한, 상대적 중요도의 측면에서 단기적으로는 환경성과 경제성이 가장 높은 것으로 나타났지만, 중장기적으로는 환경성은 동일하되, 경제성 보다는 기술성이 중요한 기준으로 나타났다. 이는 단기적으로는 환경성을 확보하면서 경제적 타당성이 입증되는 기술에 대해 주요하게 고려할 필요가 있다면, 중장기적으로는 발굴하고자 하는 기술의 수준을 중요하게 고려하는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 이러한 기술적 수준에 따른 판단기준의 차이를 명확하게 인식하지 못하고 기술선택에 수행하는 경우 합리적인 결과를 얻는 것에 한계가 존재할 것으로 판단된다.

<표 6-1> 기술수준에 따른 기술선택 모형 비교

구분	상용화기술 (16개 기준)	가중치	신기술 (18개 기준)	가중치
기술성	기술의 진보가능성	0.17	최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	0.25
	국내 인프라 구축 수준		기술개발 성공 가능성	
			기술의 진보(성장 가능성)	
	사후 관리		선진국 대비 국내 기술 수준	
			융합기술 가능성	
	설치 용이성		기술의 안전성	
	사후 관리			
경제성	국내 시장 확장성	0.25	국내 시장 확장성	0.20
	미래시장의 성장 가능성		미래시장의 성장가능성	
	경제적 타당성		경제적 타당성	
	설비 투자 규모		설비 투자 규모	

구분	상용화기술 (16개 기준)	가중치	신기술 (18개 기준)	가중치
환경성	온실가스 저감 효과	0.30	온실가스 저감 효과	0.29
	미세먼지 저감 효과		미세먼지 저감 효과	
	입지 제약		입지 제약	
	환경부하 최소화		환경부하 최소화	
정책성	관련 정부계획과의 부합성	0.15	재원조달 가능성	0.13
	재원조달 가능성		법제도적 위협요인	
	법제도적 위협요인			
사회성	기술수용성	0.12	기술수용성	0.12

또한, 본 연구는 이러한 기술선택 모형을 건물 부문에 적용하여 대안기술을 평가하였으며, 이를 통해 온실가스 감축을 위해 적합한 기술을 도출하였다. 기술선택 모형의 적용 측면에 있어 합리적으로 수립된 특정 기준을 만족하는 기술을 우선적으로 고려할 수 있으며, 본 연구에서 고려한 방식은 표준화된 점수에 기반 한 종합평점 3.0을 기준으로 판단하였다. 기술평가를 통해 도출한 결과는 건물 부문의 관련 제도적 동향과 용도에 따른 구조적 특징을 고려할 때 타당한 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서 개발한 기술평가 모형에 대한 실제적인 적용이 의미를 가지는 것이라고 할 수 있다.

결국 이러한 방식을 통해 잠재적인 온실가스 감축기술에 대해 적합성을 평가하고 정책적 고려에 대한 우선순위 여부를 판단할 수 있을 것이며, 이와 같은 과정을 통해 국가 온실가스 감축을 위해 활용이 가능한 기술의 정보를 축적하고 관리할 수 있을 것이다.

다만, 기술선택에 대한 사항은 당면한 시간적·공간적 요인을 고려하여 합리적으로 수립되는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서 도출한 기준은 유연하게 적용될 필요가 있으며, 정책적인 방향과 지향점에 따라 동일한 기준에 대해 상이한 가중치를 적용할 수 있다.

향후 지속적으로 기술선택 모형의 개발과 고도화가 필요하며, 이를 통하여 국가 차원에서 온실가스 감축을 위해 활용할 기술을 발굴하고 축적하기 위한 기술평가의 기준을 확립하는 것이 필요하다. 이러한 기술평가 모형을 기반으로 대안기술을 평가하고, 정해진 수준을 만족하는 경우 온실가스 감축기술로 활용하는 전략적 접근이 필요할 것이다. 또한, 세부적 감축부문별 특성이 상이한 것을 고려하여 이러한 특성이 반영된 기술선택 모형에 대한 개발 연구가 필요하다.

2. 국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 관련 제도적 고려사항¹⁷⁾

국가 차원의 온실가스 감축을 이행하기 위해 적합한 기술을 선정함에 있어 중요하게 고려해야 할 사항은 이러한 기술선정을 수행하는 합리적인 방법과 절차에 대한 것이다. 이러한 기술선정을 실제로 수행하기 위해 필요한 사항을 체계적으로 정립하고 프로그램화 하는 것이 제도라고 할 수 있다. 앞서 살펴본 일본의 사례에서 볼 수 있듯이, 온실가스 감축기술을 발굴하고 국가차원에서 체계적으로 관리하기 위해 “L-2 Tech. 이니셔티브” 제도를 운영하는 것이 그것이다.

본 연구에서 제안하는 기술선정 방안은 기술선택 모형과 이의 수행을 지원하는 제도를 포함하는 개념이다. 이에, 국가 온실가스 감축목표 수립에 참여한 전문가 5인을 대상으로 기술선택의 과정과 절차에 대한 인터뷰를 진행하고 제도적 고려사항에 대한 시사점을 도출하였다.

국가 차원에서 체계적으로 기술선정을 수행하기 위해 필요한 제도적 고려사항에 대해 크게 3가지 관점으로 바라볼 수 있다. (1) 감축기술 선정 체계 확립(기술의 현장적용성 확보), (2) 기술선정을 위한 이해관계자 참여, (3) 기술정보 구축·관리 및 공개이다. 각 고려사항에 대해 국가 INDC에 참여한 전문가 5인을 대상으로 인터뷰한 주요결과는 <표 6-2>과 같다.

먼저 감축기술 선정 체계 확립과 관련하여 중요한 사항은 기술의 실제적인 현장적용 가능성을 확인하는 것이다. 온실가스 감축의 이행을 위해서는 해당 기술이 실제로 활용될 때 의미를 가진다고 할 수 있다. 이러한 맥락에서 감축기술 선정 체계에 있어 현장적용 가능성을 확인하는 과정이 필수적으로 요구된다. 이러한 과정이 결여된 기술선정 과정은 한계를 가질 것으로 판단된다. 따라서 현장적용성을 확인하는 절차를 확립할 필요가 있다. 또한, 개별 기술에 대한 접근보다는 정책적으로 의미를 가지는 기술군의 수준에서 접근하는 것도 필요하다고 할 수 있다.

두 번째는 기술선정 과정에 있어 이해관계자의 참여에 대한 것이다. 기술을 발굴하고 검토함에 있어 관련한 이해관계자의 참여가 중요하다고 할 수 있다. 기존의 정부 계획 수립은 한정된 시간과 비용을 고려하여 전문가를 중심으로 국가 차원의 하향식 방식을 택하고 있다. 이에 관련한 이해관계자의 의견을 수렴하는 과정을 거치는 경우에도 충분하게 이해관계자들의 의견을 수렴하지 못하는 경우 정책의 목표를 달성하는 실효성에 한계가 존재할 수 있다.

따라서 핵심 이해관계자 그룹을 설정하고 이에 대한 반복적인 의견수렴을 통해 기술선정을 진행하는 것이 필요하다. 특히, 이러한 과정에서 중요하게 고려해야 할 이해관계자는 실제적인 온실가스 감축기술의 활용주체이다. 이는 기업이 될 수도 있고, 개인이 될 수도 있다. 분명한 것은 이러한 활용주체 관점의 의견이 충분하게 반영되지 않는 경우 온실가스 감축기술의 선정이 활용으로 이어지지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 다만, 과도한 시간과 비용이 수반될 가능성과 자칫 정책목표의 혼란을 가중시킬 가능성이 존재하므로, 이해관계자의 범위와 정도에 대한 합리적인 결정은 필요하다고 할 수 있다.

17) 제도적 고려사항은 델파이와 AHP 조사 시 국가 온실가스 감축기술 발굴 및 검토에 대한 절차, 과정 등 관련 감축 부문별 전문가(5인)와의 인터뷰 내용을 토대로 시사점을 정리함

마지막으로, 기술정보 구축·관리와 정보 공개의 차원에서 제도적 장치의 마련에 대한 사항이다. 온실가스 감축에 대한 기술정보를 투명하게 공개하고 이러한 정보가 존재한다는 것을 알려주는 것은 중요하다. 현실적으로 온실가스 감축에 대한 기술정보는 이에 대한 파급영향과 기업 기밀 등의 이유로 공개되지 않는 경향이 있다. 이러한 부정적 효과를 최소화하는 것이 필요하기에, 기술의 수준을 고려하여 공공정책의 형성과 국가 방향 설정을 위해 공신력 있는 기관을 통해 공개되고 관리될 필요가 있다.

현재 국무조정실 산하의 온실가스종합정보센터와 같은 국가기관에서 온실가스 정보를 관리하고 있으나, 전문가 인터뷰를 통해 유기적인 관계부처 협력에 대해서는 부족하다는 지적을 확인하였다.

한편, 일본의 사례에서 볼 수 있듯이 합리적인 제도의 형성은 온실가스 감축기술을 발굴하고 체계적으로 관리하는 도구로서 활용될 수 있다. 이러한 사항을 참고하여 해외의 사례와 같이 감축기술에 대한 정보와 우수한 사례에 대한 공유를 통해 온실가스 감축에 대한 발전적인 생태계 형성과 온실가스 감축을 위한 관련 주체들의 관심과 노력을 도모하는 것이 필요하다.

<표 6-2> 국가 온실가스 감축기술 선정을 위한 제도적 고려사항

구분	감축기술 선정 체계	기술선정을 위한 이해관계자 참여	기술정보 구축 및 관리	감축기술 정보 공개
전문가 A	-	<ul style="list-style-type: none"> 현장의 전문가, 실제 현장 근무자, 관련 협회와 같은 이해관계자가 포함되는 것이 바람직 - 실질적인 감축잠재량과 이상적인 잠재량에 대한 합의점을 도출하기 위해 현장 전문가의 의견이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기술 DB가 주기적(1년, 3년, 5년 등)으로 보완되는 것이 필요하나 현실적으로 쉽지 않음 - 보완주기 설정 필요 기술정보의 검증을 위해 해당 분야의 전문가들이 평가를 수행하는 것이 바람직 - 해당 자료의 객관성에 대한 검증은 어려운 사항 국가 차원에서 기술의 성능을 고려하여 도출한 기술과 실제 현장 적용 가능한 기술은 차이가 존재 	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축과 관련한 콘텐츠를 타워에서 관련 정보를 구축·관리하는 것이 바람직 - 산업부, 환경부 등에서 인증받은 기술에 대한 정보를 컨트롤 타워가 통합·관리하고 이를 통한 부처협력 도모 가능 해외의 경우 감축기술의 에너지감축량에 대한 정보가 명시되어 홈페이지 등을 통해 공개 - 다만, 기술의 적용 수준 등 접근 정보에 대한 제한사항은 존재 산업부문의 기술 DB는 공개하는 것이 쉽지 않음 - 실제로 자료를 수집하는 경우 자료의 비공개에 대한 서약서를 제출

구분	감축기술 선정 체계	기술선정을 위한 이해관계자 참여	기술정보 구축 및 관리	감축기술 정보 공개
전문가 B	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축 기술에 대한 구성 및 선정을 위해 해외 사례를 기반으로 벤치마킹하는 방식 가능 감축부문별 특성을 고려할 필요가 있으며, 최종소비자가 개인인 경우 상향식으로 목표를 수립하는 방안도 고려 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 이해관계자가 중요하며, 이해관계자의 범위가 넓은 경우 이해관계자 참여에 대한 비용적 측면 고려 필요 직접적인 이해관계자가 감축기술에 대한 검토를 수행하는 것이 바람직 	<ul style="list-style-type: none"> 에너지와 관련한 DB는 공단 등 국가기관에 일정부문 기 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 기술정보의 공개는 중요한 부분이며, 이러한 정보의 존재를 알릴 수 있는 제도적 장치 필요 다만, 정보의 공개 및 공유는 중요한 부분이나 장기계획 수립 시에는 구체적인 자료의 문제보다는 합리적인 과정과 수정이 중요
전문가 C	<ul style="list-style-type: none"> 모든 건물에 적용되는 기술에 대한 평가를 거치는 것이 이상적이나, 이는 비용과 시간 면에서 효율이 부족 기술을 그룹으로 묶어서 포괄적으로 보는 방법이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 궁극적으로 많은 이해관계자들의 의견을 수렴하는 것이 바람직 <ul style="list-style-type: none"> - 정당성, 공정성을 고려하여 특정 집단의 이익에 편중되지 않도록 조절 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기술정보의 구축은 중요한 사항이며, 모든 기술에 대한 정보를 수집하는 것 보다는 대표적인 기술에 대한 정확한 정보가 중요 	<ul style="list-style-type: none"> 국가 차원의 좋은 시스템과 기술에 대한 정보를 공개하는 것은 바람직한 방향 <ul style="list-style-type: none"> - 객관적인 판단 기준 하에서 기술들의 순위를 공개하는 방식도 필요

구분	감축기술 선정 체계	기술선정을 위한 이해관계자 참여	기술정보 구축 및 관리	감축기술 정보 공개
전문가 D	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축문제를 다루기 위한 정형화된 절차가 필요 개발된 온실가스 감축기술을 나열하고 우선순위를 정한 후 우리나라 적용가능성 판단 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 이해관계자들의 참여가 중요하며, 특히 기술의 실질적인 활용자의 의견수렴이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 감축기술에 대한 많은 연구가 이루어졌으나, 실제 현장에서 적용하는 기술은 상대적으로 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 기술DB에 대한 통계자료를 구축 기술 자체에 대한 정보보다는 적용되는 현장과 연계한 정보의 경우 공개가 어려울 것
전문가 E	<ul style="list-style-type: none"> 검토 가능한 기술 풀 조사 및 경제적으로 타당성이 확보된 기술 고려 기술평가를 위한 기준을 설계하고 이에 의거한 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 이해관계자들의 의견을 반영하는 것이 중요하나, 모든 의견을 반영하는 것은 목표의식에 있어 문제가 될 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> 미래기술 정보에 대한 것은 구축이 불가능 <ul style="list-style-type: none"> - 가장 전문가 집단이 모여 단일화된 정보로 도출하는 것이 최적의 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 기술 DB를 공개하는 것은 가능할 것이나, 과거 사례에 비추어 파급되는 영향에 대해 판단 필요

[별첨] 델파이와 AHP 설문조사지

국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준 도출을 위한 전문가 의견 델파이 조사 (1차)

조사기관 녹색기술센터 한국능률협회컨설팅	「통계응답자의 의무 및 보호에 관한법률」 제공해 주신 자료는 통계법 제33조 및 제34조에 의거 비밀이 보호되며 통계 목적 이외에는 사용되지 않습니다.
-----------------------------	--

본 조사의 목적은 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기술선정(technology selection) 기준(criteria) 및 기준별 가중치(weight)를 도출하기 위해 관련 전문가의 의견을 수렴하는 것입니다.

본 조사내용은 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로젝트 등 선정과 관련한 문헌을 토대로 작성되었습니다.

또한 본 조사는 델파이 조사(기준 도출)와 AHP 조사(기준별 가중치 설정)로 구분되어 시행될 예정입니다.

귀하의 소중한 응답은 국가 온실가스 감축을 달성하기 위한 기술의 발굴 및 활용에 대한 지식기반이 될 것입니다. 부디 세밀하게 검토하여 주시고 좋은 의견을 보내주시기를 부탁드립니다.

감사합니다.

- 조사 문의
주관 : 녹색기술센터 정책연구부
조사기관 : 한국능률협회컨설팅

★ 설문에 앞서 전문가 패널 조사 개요에 대해 간략히 안내해드리겠습니다 ★

□ 전문가 패널 조사 목적

- 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기술선정(technology selection) 기준(criteria) 및 기준별 가중치(weight) 도출

⇒ 국가의 입장에서 온실가스 감축을 위한 기술의 발굴 및 선정을 위하여 초점을 두어야 할 전략적 방향성

□ 기술의 단계: 상용화기술(단기 관점)과 신기술(중장기 관점)을 구분

- * 상용화기술의 개념: 이미 국내에서 활용되고 있는 기술

(신기술과 상대적인 비교의 관점에서 국내에 5% 이상 활용되고 있는 기술)

- * 신기술의 개념: 국외에는 개발되어 있으나 국내 활용이 5% 미만인 기술, 국내외적으로 기술의 확보를 위해 새롭게 개발이 필요한 기술

⇒ 상용화기술과 신기술의 관점별로 기술선정 기준과 가중치를 각각 도출할 예정

□ 연구에서 고려하는 기술의 수준

- 국가 온실가스 감축 로드맵(관계부처 합동, 2016)에 감축부분별로 명시되어 있는 감축을 위해 활용·적용하는 기술

□ 연구에서 고려하는 기술의 범위

- 국내 온실가스 감축 부문에 대한 감축 기술에 한정

⇒ 감축 부문의 기술선정 관점에서 기준과 가중치 설정

- * 기후변화 적용과 관련한 기술, 국내 온실가스 감축을 위한 정책적 방안 및 국외 감축은 연구의 범위에 고려하지 않음

※ 응답에 앞서 응답 척도 및 설문 구성에 대해 간략히 안내해드리겠습니다.

<측정 척도>

◎ 전문가 패널 델파이 조사의 문항은 중요도 측정 항목으로 구성되며 아래와 같이 5점 척도로 구성되어 있습니다.

측정 항목마다 **상용화기술(단기 관점)**과 **신기술(중장기 관점)**을 구분해서 1점부터 5점까지 선택하실 수 있으며 해당 측정 항목이 **중요하다고 판단될 경우 높은 숫자를, 중요하지 않다고 판단될 경우 낮은 숫자**를 선택하시면 됩니다.

기준	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

<기준 항목에 대한 검토 의견 및 신규 기준 의견 예시>

◎ 중요도 응답 후에는 응답하셨던 기준 항목에 대한 검토의견 및 신규 기준 의견 유무에 따라 의견이 있으신 경우에만 “있음” 란에 체크를 해주시면 됩니다.

기준	의견	기준	의견
① 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	<input checked="" type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음	⑪ 신규 기준	<input checked="" type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음

◎ 기준 항목에 대한 검토 의견이 있으신 경우, 상용화기술(단기 관점)과 신기술(중장기 관점)을 구분하여 의견을 개진해주시면 됩니다.

기준 1	기준 1	* 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성
	정의	* 국내 R&D 투자를 통해 현재 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 확보하거나 유지할 수 있는 가능성
	고려사항	* 현 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 가진 선진국의 기술 수준 추격 가능성 * 현 국내 기술이 세계최고 수준인 경우 기술 우위를 계속 유지할 수 있는 가능성
구분	검토의견	
상용화기술 (단기 관점) 측면	...	
신기술 (중장기 관점) 측면	...	

◎ 신규 기준 의견이 있으신 경우 자유롭게 의견을 개진해주시면 됩니다.

신규 기준 의견	...
----------	-----

I 기술적(technology)적 측면

※ 다음은 기술적(technology) 측면 10개 기준의 검토의견에 대해 여쭙겠습니다. 녹색기술센터에서는 여러 문헌을 바탕으로 아래와 같이 정리하였습니다.

기준 항목	정의	비고(고려사항)
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	국내 R&D 투자를 통해 현재 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 확보하거나 유지할 수 있는 가능성	현 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 가진 선진국의 기술 수준 추격 가능성 현 국내 기술이 세계 최고 수준인 경우 기술 우위를 계속 유지할 수 있는 가능성
기술개발(R&D) 성공 가능성	기술개발(R&D)을 통한 신기술 창출 가능성	국내에서 기술개발이 용이한 정도 해외에서의 기술 도입이 용이한 정도 기술개발에 소요되는 비용 수준 정부에서 기술개발을 위한 지원 상황
기술의 진보(성장)가능성	기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장) 가능성	글로벌 기술성숙 수준
선진국 대비 국내 기술수준	선진국 대비 국내 기술의 수준, 기술 격차	국내 기술성숙 수준
국내 인프라구축 수준	관련 인프라가 국내에 구축되어 있는 정도	
융합기술 가능성	타 기술과의 결합을 통한 기술창출 가능성	
기술의 대체성	기존의 유사기술을 대체할 수 있는 정도	
기술의 안전성	기술의 사용에 따른 잠재적 위험성(화학물질 사고, 폭발 등)	
친환경소재의 이용	기술이 적용된 제품의 자재/재료에 대한 친환경성	
사후 관리	(기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후관리 용이성	

※ 먼저 기술적(technology) 측면 10개 기준의 중요도에 대한 것입니다.

기준 1	기준 1	* 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성			
	정의	* 국내 R&D 투자를 통해 현재 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 확보하거나 유지할 수 있는 가능성			
	고려사항	* 현 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 가진 선진국의 기술 수준 추격 가능성 * 현 국내 기술이 세계최고 수준인 경우 기술 우위를 계속 유지할 수 있는 가능성			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	관련 없음				
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 2	기준 2	* 기술개발(R&D) 성공 가능성			
	정의	* 기술개발(R&D)을 통한 신기술 창출 가능성			
	고려사항	* 국내에서 기술개발이 용이한 정도 * 해외에서의 기술 도입이 용이한 정도 * 기술개발에 소요되는 비용 수준 * 정부에서 기술개발을 위한 지원 상황			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	관련 없음				
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 3	기준 3	* 기술의 진보(성장)가능성			
	정의	* 기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장) 가능성			
	고려사항	* 글로벌 기술성숙 수준			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 4	기준 4	* 선진국 대비 국내 기술수준			
	정의	* 선진국 대비 국내 기술의 수준, 기술 격차			
	고려사항	* 국내 기술성숙 수준			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 5	기준 5	* 국내 인프라구축 수준			
	정의	* 관련 인프라가 국내에 구축되어 있는 정도			
	고려사항	-			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 6	기준 6	* 융합기술 가능성			
	정의	* 타 기술과의 결합을 통한 기술창출 가능성			
	고려사항	-			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 7	기준 7	* 기술의 대체성			
	정의	* 기존의 유사기술을 대체할 수 있는 정도			
	고려사항	-			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 8	기준 8	* 기술의 안전성			
	정의	* 기술의 사용에 따른 잠재적 위험성(화학물질 사고, 폭발 등)			
	고려사항	-			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 9	기준 9	* 친환경소재의 이용			
	정의	* 기술이 적용된 제품의 자재/재료에 대한 친환경성			
	고려사항	-			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

기준 10	기준 10	* 사후관리			
	정의	* 기술이 적용된 시설 설치 후 A/S 및 사후관리 용이성			
	고려사항	-			
구분	전혀 중요하지 않다	중요하지 않다	보통이다	중요하다	매우 중요하다
상용화기술 (단기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤
신기술 (중장기 관점) 측면	①	②	③	④	⑤

문1. 기술적 측면 10개 기준에 대해서 전반적인 관점(각 기준별 용어 표현, 타 기준과의 개념적 중복성, 신규 기준 제안 등)에서 수정 또는 보완 했으면 하는 의견이 있으신 경우 모두 선택해 주십시오. 선택하신 기준의 검토 의견을 상용화기술과 신기술 측면을 구분하여 자유롭게 기입해 주십시오.

기준	의견	기준	의견
① 최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음	⑥ 융합기술 가능성	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
② 기술개발(R&D) 성공 가능성	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음	⑦ 기술의 대체성	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
③ 기술의 진보(성장) 가능성	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음	⑧ 기술의 안전성	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
④ 선진국 대비 국내 기술수준	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음	⑨ 친환경소재의 이용	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
⑤ 국내 인프라구축 수준	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음	⑩ 사후관리	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
		⑪ 신규 기준	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음

신규 기준 의견	
----------	--

위의 내용 이외에 추가적으로 의견이 있는 경우 말씀해 주십시오.

국가 온실가스 감축을 위한 기술선정 기준 도출을 위한 전문가 의견 AHP 조사

조사기관 녹색기술센터 한국능률협회컨설팅	「통계응답자의 의무 및 보호에 관한법률」 제공해 주신 자료는 통계법 제33조 및 제34조에 의거 비밀이 보호되며 통계 목적 이외에는 사용되지 않습니다.
------------------------------------	---

본 조사의 목적은 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기술선정(technology selection) 기준(criteria) 및 기준별 가중치(weight)를 도출하기 위해 관련 전문가의 의견을 수렴하는 것입니다.

본 설문은 기준별 가중치 설정을 위한 AHP 조사입니다.

본 조사내용은 온실가스 감축과 관련한 기술, 프로젝트 등 선정과 관련한 문헌을 토대로, 델파이 1차, 2차 조사결과를 수렴하여 도출하였습니다.

귀하의 소중한 응답은 국가 온실가스 감축을 달성하기 위한 기술의 발굴 및 활용에 대한 지식기반이 될 것입니다. 부디 세밀하게 검토하여 주시고 좋은 의견을 보내주시기를 부탁드립니다.

감사합니다.

○ 조사 문의

주관 : 녹색기술센터 정책연구부

조사기관 : 한국능률협회컨설팅

※ 응답에 앞서 응답 척도 및 설문 구성에 대해 간략히 안내해드리겠습니다.

AHP분석은 상용화기술(단기관점)과 신기술(중장기관점)을 구분하여 설문을 진행하며 먼저 5가지 속성(기술/경제/환경/정책/사회)의 쌍대 비교를 먼저 실시한 후 5가지 속성 내 세부 항목별 쌍대 비교 순으로 진행됩니다. 선택하신 기준이 비교 기준보다 얼마나 중요하다고 생각하시는지 선택하시면 됩니다. 두 기준이 동일하게 중요하다고 판단하신 경우는 1점을 선택하시면 됩니다.

구분																			구분
	절대적으로 중요함	---	극히 중요함	---	매우 중요함	---	약간 중요함	---	같은 정도로 중요함	---	약간 중요함	---	매우 중요함	---	극히 중요함	---	절대적으로 중요함		
기술성	⑨	⑧	V	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	경제성	

※ AHP 분석에서는 일관성 지수가 0.1 이상이 될 경우 응답결과를 신뢰할 수 없다고 판단되어 재설문하게 됩니다. 일관성 지수가 높게 나오는데는 크게 다음과 같이 두 가지 경우가 해당됩니다.

예) 1. $A > B$: A가 B보다 2배 중요하다고 응답
 2. $A \gg C$: A가 C보다 4배 중요하다고 응답
 → $B > C$ 라고 응답해야 합니다.

[원인 1] 서수적 일관성 결여 : $A > B > C$ 의 순위가 바뀌게 응답

[원인 2] 기수적 일관성 결여 : 위 예에서 B가 C보다 9배 중요하다고 응답할 경우

※ 서수적 일관성 및 기수적 일관성이 결여되지 않도록 우선순위를 고려하여 응답 부탁드립니다.

1 상용화기술(단기관점)

※ 다음은 상용화기술(단기 관점)의 5가지 속성, 16개 기준입니다.

녹색기술센터에서는 여러 문헌과 1,2차 델파이조사 결과를 바탕으로 주요 기준을 아래와 같이 도출하였습니다.

구분	번호	기준
기술성	1	기술의 진보(성장)가능성
	2	국내 인프라 구축 수준
	3	사후 관리
	4	설치 용이성
경제성	1	국내 시장 확장성
	2	미래시장의 성장 가능성
	3	경제적 타당성
	4	설비 투자 규모
환경성	1	온실가스 저감 효과
	2	미세먼지 저감 효과
	3	입지 제약
	4	환경부하 최소화
정책성	1	관련 정부 계획과의 부합성
	2	재원조달 가능성
	3	법제도적 위협요인
사회성	1	기술 수용성(활용)

문1-1. 위원님께서 **상용화기술(단기 관점)**의 두 속성 중 더 중요하다는 속성의 중요도를 선택하여 주시기 바랍니다. 중요하다고 선택하신 속성이 비교속성보다 얼마나 중요하다고 생각하시는지 선택하시면 됩니다. 두 속성이 동일하게 중요하다고 판단하신 경우는 1점을 선택하시면 됩니다.

구분	중요도																	구분
	절대적으로 중요함		극히 중요함		매우 중요함		약간 중요함		같은 정도로 중요함		약간 중요함		매우 중요함		극히 중요함		절대적으로 중요함	
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	경제성
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	환경성
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	정책성
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성
경제성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	환경성
경제성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	정책성
경제성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성
환경성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	정책성
환경성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성
정책성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성

※ 다음은 **상용화기술(단기 관점)의 기술적(technology) 속성** 4개 기준입니다.

녹색기술센터에서는 여러 문헌과 1,2차 델파이조사 결과를 바탕으로 주요 기준을 아래와 같이 도출하였습니다.

기준 항목	정의	비고(고려사항)
기술의 진보(성장)가능성	기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장)가능성	글로벌 기술성숙 수준
국내 인프라구축 수준	관련 인프라가 국내에 구축되어 있는 정도	
사후 관리	(기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후관리 용이성	
설치 용이성	기술이 적용된 제품(설비) 설치의 용이성	설치과정의 기간 및 설치의 용이성 (비복잡성)

문1-2. 위원님께서는 **상용화기술(단기 관점)의 기술적(technology) 속성**의 두 기준요인 중 더 중요하다는 요인의 중요도를 선택하여 주시기 바랍니다. 중요하다고 선택하신 기준요인이 비교요인보다 얼마나 중요하다고 생각하시는지 선택하시면 됩니다. 두 요인이 동일하게 중요하다고 판단하신 경우는 1점을 선택하시면 됩니다.

요인	절대적으로 중요함	---	극히 중요함	---	매우 중요함	---	약간 중요함	---	같은 정도로 중요함	---	약간 중요함	---	매우 중요함	---	극히 중요함	---	절대적으로 중요함	
기술의 진보 (성장)가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	국내 인프라 구축 수준
기술의 진보 (성장)가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
기술의 진보 (성장)가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	설치 용이성
국내 인프라 구축 수준	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
국내 인프라 구축 수준	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	설치 용이성
사후 관리	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	설치 용이성

2 신기술(중장기관점)

※ 다음은 신기술(중장기 관점)의 5가지 속성의 18개 기준입니다.

녹색기술센터에서는 여러 문헌과 1,2차 델파이조사 결과를 바탕으로 주요 기준을 아래와 같이 도출하였습니다.

구분	번호	기준
기술성	1	최고수준 기술 확보 및 유지 가능성
	2	기술개발(R&D) 성공 가능성
	3	기술의 진보(성장)가능성
	4	선진국 대비 국내 기술 수준
	5	융합기술 가능성
	6	기술의 안전성
	7	사후 관리
경제성	1	국내 시장 확장성
	2	미래시장의 성장 가능성
	3	경제적 타당성
	4	상업화 가능성
환경성	1	온실가스 저감 효과
	2	미세먼지 저감 효과
	3	입지 제약
	4	환경부하 최소화
정책성	1	재원조달 가능성
	2	법제도적 위협요인
사회성	3	기술 수용성(활용)

문2-1. 위원님께서서는 **신기술(중장기 관점)** 속성의 두 속성 중 더 중요하다는 속성의 중요도를 선택하여 주시기 바랍니다. 중요하다고 선택하신 속성이 비교속성보다 얼마나 중요하다고 생각하시는지 선택하시면 됩니다. 두 속성이 동일하게 중요하다고 판단하신 경우는 1점을 선택하시면 됩니다.

구분	절대적으로 중요함	---	극히 중요함	---	매우 중요함	---	약간 중요함	---	같은 정도로 중요함	---	약간 중요함	---	매우 중요함	---	극히 중요함	---	절대적으로 중요함	구분
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	경제성
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	환경성
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	정책성
기술성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성
경제성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	환경성
경제성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	정책성
경제성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성
환경성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	정책성
환경성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성
정책성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사회성

※ 다음은 신기술(중장기 관점)의 기술적(technology) 속성 7개 기준입니다.

녹색기술센터에서는 여러 문헌과 1,2차 델파이조사 결과를 바탕으로 주요 기준을 아래와 같이 도출하였습니다.

기준 항목	정의	비고(고려사항)
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	국내 R&D 투자를 통해 현재 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 확보하거나 유지할 수 있는 가능성	현 해당 기술 분야에서 최고 수준의 기술을 가진 선진국의 기술 수준 추격 가능성 현 국내 기술이 세계 최고 수준인 경우 기술 우위를 계속 유지할 수 있는 가능성
기술개발(R&D) 성공 가능성	기술개발(R&D)을 통한 신기술 창출 가능성	국내에서 기술개발이 용이한 정도 해외에서의 기술 도입이 용이한 정도 기술개발에 소요되는 비용 수준 정부에서 기술개발을 위한 지원 상황
기술의 진보(성장)가능성	기술선진국의 개발동향에 기반한 기술의 진보(성장) 가능성	글로벌 기술성숙 수준
선진국 대비 국내 기술수준	선진국 대비 국내 기술의 수준, 기술 격차	국내 기술성숙 수준
융합기술 가능성	타 기술과의 결합을 통한 기술창출 가능성	
기술의 안전성	기술의 사용에 따른 잠재적 위험성(화학물질 사고, 폭발 등)	
사후 관리	(기술이 적용된) 시설 설치 후 A/S 및 사후관리 용이성	

문2-2. 위원님께서서는 신기술(중장기 관점)의 기술적(technology) 속성의 두 기준요인 중 더 중요하다는 요인의 중요도를 선택하여 주시기 바랍니다. 중요하다고 선택하신 기준요인이 비교요인보다 얼마나 중요하다고 생각하시는지 선택하시면 됩니다. 두 요인이 동일하게 중요하다고 판단하신 경우는 1점을 선택하시면 됩니다.

요인	중요도																요인	
	절대적으로 중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함	중요함			
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술개발(R&D) 성공 가능성
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 진보(성장) 가능성
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	선진국 대비 국내 기술 수준
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	융합기술 가능성
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 안전성
최고수준 기술 확보 및 유지 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
기술개발(R&D) 성공 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 진보(성장) 가능성
기술개발(R&D) 성공 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	선진국 대비 국내 기술 수준
기술개발(R&D) 성공 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	융합기술 가능성
기술개발(R&D) 성공 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 안전성
기술개발(R&D) 성공 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
기술의 진보(성장)	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	선진국 대비 국내

가능성																		기술 수준
기술의 진보(성장) 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	융합기술 가능성
기술의 진보(성장) 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 안전성
기술의 진보(성장) 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
선진국 대비 국내 기술 수준	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	융합기술 가능성
선진국 대비 국내 기술 수준	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 안전성
선진국 대비 국내 기술 수준	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
융합기술 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	기술의 안전성
융합기술 가능성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리
기술의 안전성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	사후 관리

참 고 문 헌

<참고문헌>

- 강용주. (2008). “델파이 기법의 이해와 적용사례”. 경기: 한국장애인고용공단 고용개발원.
- 곽병호. (2007). “AHP의사결정방법에서 양방향 순위도출방법을 이용한 쌍대비교의 일관성 검증”. 서울: 한양대학교 대학원.
- 관계부처 합동(2016), 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵.
- 관계부처 합동(2016), 제1차 기후변화대응 기본계획.
- 구본철. (2011). “AHP를 통한 연구성과 활용성 제고를 위한 발전요인 분석에 관한 연구 - 한국과 영국의 사례분석을 중심으로”. 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 김응이, 김도현, & 최연철. (2010). “전문가 설문에 의한 AHP 가중치 산출의 적용한계에 관한 연구”. 서울: 한국항공운항학회.
- 김현명, 조종석, 최정민, & 강희정. (2010). 녹색성장 교통부문 지표개발 교통 전문가 설문조사결과 분석. 대한교통학회지, 28, 41-59.
- 노승용. (2006). “델파이기법(Delphi Technique) : 전문적 통찰로 미래 예측하기”. 세종: 국토연구원.
- 박경준. (2008). “리얼타임 델파이 기법: 익명성이 보장된 전문가 예측”. 세종: 국토연구원.
- 박용성. (2009). “AHP에 의한 의사결정 이론과 실제”. 서울: 교우사.
- 박우균, 김건엽, 이선일, & 이상호. (2015). 농업부문 온실가스 감축기술 우선순위 평가를 위한 다중속성 분석. 농업경영. 정책연구, 42, 616-629.
- 박정진, & 윤순진. (2011). 전력부문 온실기체 저감 수단 우선순위에 대한 이해당사자들의 시각 비교. 한국사회와 행정연구, 22(3), 209-237.
- 박진우, 조현, 김민경, & 김성희. (2012). 그린 IT 확산을 위한 전략 수립 연구. 한국전자거래학회지, 17(2), 39-62.
- 심용호, 변기섭, & 이봉규. (2011). AHP 와 ANP 방법론을 이용한 그린 ICT 정책의 전략적 우선순위 도출 방안. 인터넷정보학회논문지, 12(1), 85-98.
- 양춘승, 박성환, & 박중구. (2009). 청정개발체제 (CDM) 사업의 지속가능성 평가 지표 개발-다기준분석법 (MCA) 을 활용하여. 환경정책연구, 8(2), 83-118.
- 오남걸, & 김훈. (2010). AHP 를 이용한 에너지-IT 융합기술 도출에 관한 연구. 한국통신학회논문지, 35(7), 1091-1097.
- 오문향. (2013). “델파이 기법과 AHP를 활용한 국가 간 관광산업 경쟁력 평가지표 개발”. 서울: 세종대학교 대학원.

- 원상봉, & 이기우. (2010). *북한 기술자격 인정 제도의 개선 방안 연구*. 한국산학기술학회 논문지, 11(8), 2840-2852.
- 이덕기, 최상진, 박수억, 하영진, & 이정태. (2004). *AHP 를 이용한 Co, Ai 값 및 처리기술 분석*. 에너지공학, 13(3).
- 이상호, & 박재홍. (2011). *농업부문 신재생에너지 보급확대를 위한 다중속성 평가*. 농업과학연구, 38(1), 183-190.
- 이성곤, & 김종육. (2008). *규모의 경제성을 고려한 전략적 온실가스저감기술 개발을 위한 다기준의사결정기법: AHP/DEA CCR-I 및 BCC-I 혼합모형 적용*. 한국수소 및 신에너지학회논문집, 19(6), 552-560.
- 이원구, 김형택, & 박영구. (2015). *발전부문 AHP 기법을 이용한 온실가스감축 기술 · 정책 우선순위 연구*. 에너지공학, 24(4), 130-139.
- 이원구. (2016). *“AHP기법을 이용한 발전업종 온실가스 감축 기술 정책의 우선순위 및 감축효과 연구”*. 경기: 아주대학교 일반대학원.
- 이유화, 조원범, & 김세환. (2012). *녹색도로 구현을 위한 기술 우선순위 결정에 관한 연구*. 한국도로학회논문집, 14(3), 151-162.
- 이종성. (2001). *연구방법 21: 델파이 방법*, 서울: 교육과학사.
- 이창효(2000). *『집단의사결정론』*.
- 임미순, 박종흠, & 안승범. (2009). *녹색물류를 위한 탄소저감정책 평가항목 우선순위에 관한 연구*. 한국항만경제학회지, 25(4), 1-20.
- 장기윤. (2010). *신재생에너지 사업성 평가를 위한 지표선정에 관한 연구*. POSRI 경영경제연구, 10(1), 116-140.
- 정우창. (2008). *“AHP를 이용한 선용품 B2B 거래 저해요인”*. 부산: 한국해양대학교.
- 조근태, 조용곤, & 강현수. (2003). *“앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정”*. 서울: 동현출판사.
- 조흥규, 김진동, 이영도, 신윤석, & 김광희. (2015). *다기준의사결정 방법론을 활용한 건축물의 지속가능성 평가모형 개발에 관한 연구*. 한국과학예술포럼, 19, 635-645.
- 주인중, 박동열, 진미석(2010) *직업기초능력 영역 및 성취기준 연구* 한국직업능력개발원.
- 최돈오, 이효근, 임종광, & 이현곤. (2009). *기술녹색도 평가모델 개발 및 적용사례*. 한국군사과학기술학회지, 12(3), 299-308.
- 최민수. (2007). *친환경 공동주택 건설기술의 개발 우선 순위 평가*. 대한건축학회 논문집-구조계, 23(9), 213-220.
- 하영진, & 강승진. (2008). *퍼지 계층분석기법을 이용한 국내 미래 에너지기술개발 우선순위 도출*. 한국수소 및 신에너지학회논문집, 19(5), 453-459.
- 홍정만. (2011). *AHP 기법을 적용한 민간 기업의 신재생에너지 평가항목에 대한 연구*. 에너지 경제 연구, 10(1), 115-142.

- 환경건축연구원(2015), *스마트그린시티 구축에 필요한 건축물 분야 녹색기술 분석*.
- 황은주, 최윤희, & 김종대. (2016). *기후변화정책 우선순위 연구*. 한국환경과학회지, 25(4), 589-601.
- Yu, P. (2012). *기술 평가 및 선정을 위한 AHP 와 DEA 통합 활용 방법: 청정기술에의 적용*. 지식경영연구, 13(3), 55-77.
- BMU(2016), *From INDC to NDC The Paris Outcome and the Way Ahead*.
- CAT(2016), *The ten most important short-term steps to limit warming to 1.5° C*, Issue Paper.
- CAT(2017), *Equitable emissions reductions under the Paris Agreement*, Issue briefs.
- CCAP(2016), *NEXT STEPS FOR CONVERTING INTENDED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTIONS INTO ACTION*, Policy Report.
- CCAP(2016), *Submission on Supporting NDC Conversion and Implementation through Post-Paris UNFCCC Processes*.
- Chan, F. T. S., Chan, M. H., and Tang, N. K. H. (2000). *Evaluation methodologies for technology selection*. Journal of Materials Processing Technology, 107(1), 330-337.
- Chen, C. H., Chung, M. C., Wei, C. H. (2006). *Government policy of technology selection for advanced traveler information system*. R & D Management, 36(4), 439-450.
- Council for STI(2016), *National Energy and Environment Strategy for Technological Innovation towards 2050*.
- Dalkey, N, Brown B and Cochran (1970). *Use of Self-ratings to Improve Group Estimates : Experimental Evaluation of Delphi Procedures*. Technological Forecasting 1: 283-291.
- Dussauge, P., Hart, S., and Ramanantsoa, B. (1992). *Strategic technology management* (No. hal-00708987).
- European Commission(2014) *Impact Assessment accompanying the document - Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A policy framework for climate and energy in the period*.
- Ewing, D.M. (1992), *"Future Competencies needed in the preparation of secretaries in the state of illinois using the delphi technique"*, Ph. D. Dissertatio, University of Iowa.
- Firouzabadi, S. A. K., Henson, B., and Barnes, C. (2008). *A multiple stakeholders' approach to strategic selection decisions*. Computers & Industrial Engineering, 54(4), 851-865.

- Fleck, J., and Howells, J. (2001). *Technology, the technology complex and the paradox of technological determinism*. Technology Analysis & Strategic Management, 13(4), 523-531.
- Gregory, M. J. (1995). *Technology management: a process approach*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 209(5), 347-356.
- Gudanowska, A. E. (2016). *Technology mapping-proposal of a method of technology analysis in foresight studies*. Business: Theory and Practice/Verslas: Teorija ir Praktika, 17(3), 243-250.
- Hao, S., and Yu, B. (2011). *The impact of technology selection on innovation success and organizational performance*. Ibusiness, 3(04), 366.
- Hsu, Y. G., Tzeng, G. H., and Shyu, J. Z. (2003). *Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects*. R&D Management, 33(5), 539-551.
- International Partnership on Mitigation and MRV(2016), *After Paris: What is next for Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)*.
- Khalili, N. R., and Duecker, S. (2013). *Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework*. Journal of Cleaner Production, 47, 188-198.
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., and Linkov, I. (2005). *Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making*. Integrated environmental assessment and management, 1(2), 95-108.
- Kim, S., Hong, S., Ahn, K., and Gong, S. (2015). *Priority survey between indicators and analytic hierarchy process analysis for green chemistry technology assessment*. Environmental health and toxicology, 30.
- Kutlaca, D. (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.
- Lamb, M., and Gregory, M. (1997, July). *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). IEEE.
- Lawshe, C. H. (1975). *A quantitative approach to content validity*. Personnel psychology, 28(4), 563-575.
- Macharis, C., Verbeke, A., and De Brucker, K. (2004). *The strategic evaluation of new*

- technologies through multicriteria analysis: the ADVISORS case*. Research in Transportation Economics, 8, 443-462.
- Maloney, J. D. (1982). *How companies assess technology*. Technological Forecasting and Social Change, 22(3-4), 321-329.
- Matthews, W. H. (1992). *Conceptual framework for integrating technology into business strategy*. International Journal of Vehicle Design, 13(5-6), 524-532.
- Medaglia, A. L., Hueth, D., Mendieta, J. C., and Sefair, J. A. (2008). *A multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects*. Socio-Economic Planning Sciences, 42(1), 31-45.
- Montibeller, G., and Franco, A. (2010). *Multi-criteria decision analysis for strategic decision making*. Handbook of multicriteria analysis, 25-48.
- Ren, J., and Lützen, M. (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.
- Ricardo(2015), *Implementing the Paris Climate Agreement: Turning Action Plans to Achievement*.
- Ricardo(2017), *Planning for NDC implementation*.
- Rowe, G., and Wright, G. (2001). *Expert opinions in forecasting: the role of the Delphi technique*. In Principles of forecasting (pp. 125-144). Springer US.
- Saaty, Thomas L., *"The Analytic Hierarchy Process"*, New York: Mcgraw-Hill, Inc., 1980.
- Shehabuddeen, N., Probert, D., and Phaal, R. (2006). *From theory to practice: challenges in operationalising a technology selection framework*. Technovation, 26(3), 324-335.
- Shen, Y. C., Chang, S. H., Lin, G. T., and Yu, H. C. (2010). *A hybrid selection model for emerging technology*. Technological Forecasting and Social Change, 77(1), 151-166.
- Tang, Y., Sun, H., Yao, Q., and Wang, Y. (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.
- Torkkeli, M., and Tuominen, M. (2002). *The contribution of technology selection to core competencies*. International journal of production economics, 77(3), 271-284.
- UN Environment, UNEP DTU Partnership, the UNFCCC Secretariat, *United Nations Development Programme, and the World Resources Institute*(2017), *Joint NDC Implementation Guidance - Abbreviated Outline*.
- UNEP-IETC(2007), *Demonstrating ESTs for Building waste Reduction in Indonesia*.
- Vossenaar, R., and Jha, V. (2010). *Technology mapping of the renewable energy, buildings,*

and transport sectors: Policy drivers and international trade aspects. Issue Paper, (12).

WEI, C. H., and CHUNG, M. C. (2003). *Grey Statistics Method of Technology Selection for Advanced Public Transportation Systems: The Experience of Taiwan*. IATSS Research, 27(2), 66-72.

Wimmler, C., Hejazi, G., de Oliveira Fernandes, E., Moreira, C., and Connors, S. (2015). *Multi-criteria decision support methods for renewable energy systems on islands*. Journal of Clean Energy Technologies, 3(3), 185-195.

Wuppertal Institut(2016), *Carbon Mechanisms Review*.

Ziglio (1996), *“The delphi method and its contribution to decision-making”*. M. Adler & E. Ziglio(Eds). Gazing into the oracle: the Delphi method and its application to social policy and public health” , Jessica Kingsley Publishers.

IPCC 홈페이지 (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg3/index.php?idp=478>).

UNFCCC 홈페이지 (http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php).

<관련자료>

한국능률컨설팅협회(2017), 국가 온실가스 감축을 위한 기술선택 기준 관련 전문가 패널 대상 자료 수집·분석

UNFCCC 홈페이지 (<http://unfccc.int/focus/items/10240.php>).

자문위원

김성우 이사 (환경건축연구원)
민병무 책임연구원 (에너지기술연구원)
박상준 연구위원(교통연구원)
박영구 교수 (아주대학교)
이동영 반장 (한국감정원)
이승언 전문위원 (한국건설기술연구원)
정현철 연구사 (농업과학원)

국가 결정기여 달성을 위한 기술매핑 방안 연구

인 쇄 | 2017년 12월
발 행 | 2017년 12월
발행인 | 오인환
발행처 | 녹색기술센터
인쇄처 | 미래기획

※ 동 보고서의 내용에 문의 사항이 있는 경우 아래로 연락주시기 바랍니다.

녹색기술센터(GTC) 정책연구부

- 주소 서울특별시 중구 충무로 3가 60-1
남산스퀘어 17층
- 전화 02-3393-3925
- 이메일 kkim@gtck.re.kr

