

CCUS 기술에 대한 대중의 감정-인지적 평가와 수용성 연구

이연진* · 손민희** · 김경남***†

*고려대학교 에너지환경대학원 (그린스쿨) 에너지환경정책기술학과 석사과정,
**고려대학교 에너지환경대학원 (그린스쿨) 에너지환경정책기술학과 박사과정,
***고려대학교 에너지환경대학원 (그린스쿨) 에너지환경정책기술학과 교수

Public Acceptance and Affective-Cognitive Evaluations of Carbon Capture Storage and Utilization Technologies in Korea

Lee, Youn Jin* · Son, Minhee** and Kim, Kyung Nam***†

*Master student. Dept. of Energy and Environmental Policy, The Graduate school of Energy and Environment (KU-KIST Green School), Korea University, Seoul, Korea

**Ph.D. Candidate, Dept. of Energy and Environmental Policy, The Graduate school of Energy and Environment (KU-KIST Green School), Korea University, Seoul, Korea

***Professor. Dept. of Energy and Environmental Policy, The Graduate school of Energy and Environment (KU-KIST Green School), Korea University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Carbon Capture, Utilization and Storage has the potential to reduce carbon emissions as a sustainable technology. Despite this advantage, public resistance to new technology shows that successful establishment requires social acceptance. A previous study demonstrated that the public's attitude impacts the acceptance of energy technologies. This study conducted an online survey in Korea ($n = 436$) aiming to understand the Korean public's attitude and find key factors affecting carbon capture, utilization, and storage technology acceptance. The results revealed that the Korean public has a high awareness of climate change and the environment, and tends to take on risks and challenges. These characteristics will act as the foundation for high CCUS technology acceptance. This study compared the public's affective-cognitive evaluation results of CCS and CCU technology and found that the public evaluated CCS and CCU similarly, but was more positive toward CCU. However, the public's lack of technology knowledge may be a problem in determining factors related to acceptance. This study proved that affective-cognitive evaluation could be an effective method for promoting and increasing society's acceptance of new climate technology. This study suggests that it is important to establish strategies to help the public understand technology when introducing new CCUS technology in Korea in the future.

Key words: CCS, CCU, Technology Acceptance, Affective-cognitive Evaluation, Semantic Differential Scale

1. 서론

파리협정은 산업화 이전보다 지구 평균온도 상승을 1.5°C

이하로 유지하는 것을 목표로 수립하였다(UNFCCC, 2015). 저탄소 사회로 전환을 위해 신재생에너지 발전이 급속도로 확대되고 있음에도 불구하고, 아직 전통적인 에

†Corresponding author : i005034@korea.ac.kr (02841, Korea university R&D center 514, 145, Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, Republic of Korea. Tel. +82-2-3290-5917)

ORCID 이연진 0000-0002-4079-8315
손민희 0000-0003-1692-9968

김경남 0000-0001-5563-7664

너지원이 중요한 역할을 하고 있다(IEA, 2020). 한국의 2017년 온실가스 총 배출량은 709.1백만 tonCO₂eq. 로 전세계에서 11위를 차지하였는데, 파리협정 이행으로 온실가스를 감축해야 하지만 배출량은 점점 증가하고 있는 상황이다(GIR, 2019). 그중 석탄화력발전이 가장 큰 온실가스 배출원이다(KEPCO, 2020). 에너지 전환 차원에서 기존의 화석연료 발전원을 줄이고 신재생에너지의 보급을 시도하고 있지만, 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에 기존의 에너지원을 활용하며 배출량을 줄이는 방안이 제시되고 있다.

이러한 배경에서 탄소 저감을 위한 징검다리 기술(Bridge Technology)로 CCUS 기술이 등장했다. CCUS에 포함되는 기술은 탄소포집(CC, Carbon Capture), 활용(utilization), 저장(storage), 제거(sequestration) 기술이 있다. 탄소 포집 기술이란, 이산화탄소가 다량 배출되는 화력발전소 같은 대규모 점원(point sources)으로부터 이산화탄소를 포집하는 기술이다. 이 포집된 기술로 무엇을 하는가에 따라서 탄소 포집·저장(CCS, Carbon Capture and Storage) 기술과 탄소 포집·활용(CCU, Carbon Capture and Utilization) 기술로 구분된다(GTC, 2019).

CCS 기술은 석탄 화력발전소와 같은 대규모 온실가스 배출원에 설치되어 이산화탄소를 포집하고 지중 혹은 해양퇴적암반층에 영구적으로 저장하는 기술이다(GTC, 2019). IEA는 에너지 시스템에서 유의미한 온실가스 감축을 달성을 위해 CCS의 역할을 강조해왔으며, 앞으로 전세계 온실가스 감축량의 약 19%를 담당할 것으로 예측하였다(IEA, 2013). 대규모의 이산화탄소를 저장할 수 있다는 장점이 있지만, CCS는 투자 비용이 많이 들고 저장소 탐색과 선정의 어려움이 있으며 이산화탄소 누출 가능성 등 위험이 존재하기 때문에 저장지역 주민이 수용에 대해 부정적인 문제가 나타났다(KEITI, 2019). 이러한 문제를 보완하기 위해 CCU 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. CCU 기술은 CCS와 유사하지만 포획한 이산화탄소를 지층에 저장하지 않고 화학, 물리, 생물학적 공정을 통해 고부가 가치 화합물이나 연료 등 유용한 자원으로 전환하는 기술이다. 온실가스 감축과 동시에 자원 순환 관점에서의 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서 중요성이 강조되고 있다(IEA, 2019).

CCUS 기술의 장점은 첫째, 기존의 화력발전소 인프라를 활용하면서 탄소 배출 저감이 가능하다는 점이다. 탄소 배출량이 많은 기존 화석연료 기반의 기술에 적용해 탄소 중립(Net-zero)을 달성할 수 있다. 기저부하의 안정성을 유

지하기 위해서 기존의 화석연료 기반의 에너지를 이용하면서 친환경적 방법으로 공급을 유지할 수 있다는 것에 있다. 둘째, 화석연료의 대체기능이다. IEA 지속가능 보고서에 따르면, 2040년경 CCUS 기술은 탄소배출량을 저감함과 동시에 전 세계 에너지(Power)의 5%를 생산할 것으로 예측된다(IEA, 2020). 이는 화석연료의 대체사용과 다양한 연료 및 화학 산업에서 탄소 기반 화학제품의 새로운 공급원으로서 활용을 의미한다. 이러한 중요성 때문에 기후변화대응 기본계획과 온실가스 감축 로드맵, 녹색성장 계획 등과 같은 국내 정책에서도 동 기술이 언급되고 있다.

현재 CCUS 기술은 국내외적으로 활발한 연구와 투자가 이뤄지고 있다(KEITI, 2019). CCS 기술의 경우 전 세계적으로 20개 이상의 상용화 수준의 CCS 프로젝트가 추진되고 있으나(Global CCS institute, 2020), CCU 기술의 경우 대부분이 원천 응용 기술개발 단계에 있고 일부 공정만 실증 및 상용화 프로젝트가 진행되고 있다(KRICT, 2020).

신기술이 성공적으로 도입되기 위해서는 대중 수용성이 중요하다. 사회적 수용을 간과하는 것은 기술과 정책의 시행에 심각한 위험으로 다가올 수 있다(Arning et al., 2020). 다양한 선행연구에서 CCS 기술에 대한 부정적인 인식이 도입하는데 장애 요인으로 작용함을 발견하였다(Braun, 2017; Chen et al., 2015; Ha Duong et al., 2009; Linzenich et al., 2019; Saito et al., 2019; Selma et al., 2014; Shackley et al., 2004; Wallquist et al., 2010; Lee et al., 2012). 한국에서도 2016년 포항시 영일만 해상에 이산화탄소 지중 저장 실증사업이 시도되었지만, 지진을 유발했을 가능성이 제기되며 주민들의 우려가 커지자 2017년 12월 포항시가 사업 중지를 요청해 중단된 사례가 있다(Lee, 2018). 실증 진행 과정에서 주민 의견 수렴이 충분히 진행되지 못한 것으로 파악된다(GTC, 2019). CCS와 같은 신기술 도입에는 사회적 수용성이 중요함을 보여주는 사례이다.

최근 CCUS 기술에 대한 사회적 수용성 연구들이 활발히 이루어지고 있으며, 이 중에서도 대중의 감정-인지적 평가에 초점을 맞추는 일련의 연구들이 있었다(Arning et al., 2019; d'Amore et al., 2020; Linzenich et al., 2019; Offermann-van Heek et al., 2018). 새로운 기술을 잘 알지 못할 경우 대중은 감정적으로 그 기술을 평가한다(Linzenich et al., 2020; Merk et al., 2017; Huijts et al., 2009; Slovic et al., 2007; Siegrist et al., 2017). 하지만 한국 대중을 대상으로 감정-인지적 관점에서 CCUS 기술 수용성을 분석한 연구는 찾지 못

했다. 대중이 기술을 어떻게 인식하는지 이해해야만 정책입안자들이 대중의 관점에 부합하고 충돌하지 않는 결정을 할 수 있다(Wüstenhagen et al., 2007).

본 연구의 질문은 크게 세 가지로 나누어진다. 첫 번째, CCU와 CCS 기술은 어떻게 감정-인지적 평가받고 있는가(RQ1)? 각 기술에 대한 9개 양극성 형용사 쌍을 제시하여 응답자가 기술에 대해서 느끼는 감정을 분석하고자 한다. 두 번째, 기술에 대한 감정-인지적 요소가 기술 수용성에 어떻게 영향을 미치는가(RQ2)? 기술에 대한 감정-인지적 요소와 함께 수용성을 종속변수로 설정하여 단계적 회귀(Stepwise regression)를 통하여 분석하고자 한다. 분석 결과는 개인 특성과 어떻게 연결되고 있는지 살펴본다. 세 번째, 추후 CCU 보급을 진행하는데 앞서 CCS에 대한 찬성과 반대 의견은 CCU의 수용성에 어떻게 영향을 미치는가(RQ3)? 과거 CCS는 실증화 사업이 진행되면서 부정적 수용성이 증가하는 사건이 발생하게 되었다. CCUS의 찬성 그룹과 반대그룹으로 나누어 수용성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

따라서 본 연구는 설문조사를 통해 CCS와 CCU 기술에 대한 대중의 감정적 인식을 파악하고 동 인식들이 기술 수용에 미치는 영향을 분석한다. CCUS의 수용성에 큰 영향을 끼치는 감정-인지적 요인을 분석을 통해 찾아내고 추후 정부가 CCUS 기술 보급을 고려할 때 국민의 수용성을 고려하여 정책 시행에 큰 발판을 마련할 수 있다.

본 연구는 아래와 같이 구성되었다. 1장에서는 CCUS 기술에 대한 감정-인지적 평가가 필요한 배경에 관해서 설명한다. 2장에서는 수용성을 포함한 이론적 논의와 선행 연구고찰을 다룬다. 3장에서는 감정-인지적 평가를 위해 수집한 설문조사 데이터 특성을 분석하고 동 데이터의 신뢰도 및 타당성을 검증한다. 4장에서 데이터 분석 과정을 통해 연구 질문의 답을 도출하고, 5장에서는 연구 결과로부터의 함의, 그리고 6장에서 결론을 서술하였다.

2. 선행연구

2.1 감정-인지적 요소가 기술 수용성에 미치는 영향

감정과 인지를 심리학적으로 설명하면 개인의 사고와 신념은 정서적이고 인지적인 요소로 구성되어 있다고 한다(Gross, 2002; Ellsworth et al., 2003; Linzenich et al., 2019). 새로운 기술의 수용성은 정서적 인지에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다(Huijts et al., 2012; Zaunbrecher et

al., 2016). 새로운 기술의 이점을 정서적 반응에 따라 판단하게 된다(Midden et al., 2009; Slovic et al., 2007; Merk et al., 2017; Sutterlin et al., 2017). 빠른 판단이 요구되는 의사결정 상황에서는 이성적인 요소보다 감정-인지적 요소에 따라 자동적이고 즉각적인 판단을 내리게 된다(Slovic et al., 2007).

이러한 개념을 휴리스틱(Heuristic)이라고 정의한다. 휴리스틱은 불확실한 의사결정 상황에서, 완전한 합리성에 기반하여 모든 것을 고려하는 이성적 의사결정을 하기보다는, 제한된 합리성을 통해 손쉽고 빠르게 하는 의사결정 기법을 의미한다(Kim et al., 2007). 이러한 감정적 평가는 편견으로 이어져 수용성에 부정적 영향을 미칠 수도 있다. 따라서 감정-인지적 평가는 주로 도입 초기 단계의 기술을 판단하는데 사용될 수 있는 방법이다.

2.2 CCS와 CCU 기술에 대한 수용성 연구

새로운 기술은 우리의 삶을 풍요롭게 만들 수 있지만, 대중들에게 수용되지 못해 사라지기도 한다(Kim et al., 2007; Devine Wright et al., 2013; Schuitema et al., 2013). 대부분의 에너지 기술은 대중으로부터 다양한 저항을 겪고 있다. 대중의 저항은 지속 가능한 기술 도입에 큰 장애가 되며, 이는 국가의 환경적 사회적 목표 달성에 지장을 초래할 수 있다(Wüstenhagen et al., 2007). 수용성 연구는 대중들이 지속 가능한 기술에 대한 긍정적 혹은 부정적 의견을 어떻게 형성하는지 이해하고자 진행되고 있다(Huijts et al., 2012).

Linzenich et al. (2019)는 독일의 CCS와 CCU 기술에 대한 감정-인지적 인식을 진행하였다. 분석모델에서는 첫째, 개인적 특성을 파악할 수 있는 태도 변수를 4가지(환경 인식, 기술적 자기효능감, 개인 혁신 성향, 위험에 대한 태도)로 나누어 평가하고, 둘째, 수용성에 미치는 요인을 선행연구에 따라 4가지(혜택, 위험, 기술평가, 생태학적 평가) 요인범주 안에 세부항목을 총 8가지(유용한, 가치 있는, 위험하지 않은, 해롭지 않은, 성숙한, 혁신적인, 지속 가능한, 친환경적인)의 양극성 형용사 쌍으로 구성하고, 의미분별법(Semantic Differential, SD)에 따른 결과분석을 했다. 마지막으로 CCS와 CCU 평가에 대한 차이 분석을 하는 데 그 결과는 CCS 지지자일수록 CCU를 더 긍정적으로 평가하는 것으로 나타났다.

국내연구로 Lee et al. (2012)가 CCS 기술에 관한 첫 연구로 회귀분석을 통해 대중의 인식과 수용성을 분석했다.

분석 결과 대중들은 기후변화에 대한 인식이 매우 높았고, 이산화탄소에 대한 일정 수준의 지식을 갖고 있으나, CCS 기술에 대한 이해는 매우 낮은 것으로 밝혀졌다. 기술의 부족한 이해가 기술의 효과와 실용화를 긍정적으로 받아들이기 어렵게끔 영향을 미친다는 것이 나타났다.

그 외 CCS와 CCU 기술 수용성 관련 선행연구는 감지된 비용이나 위험성이 적을수록, 인지하는 편익은 클수록 (Seigo et al., 2014; Offermann-van Heek et al., 2020, Arning et al., 2020), 이해관계자에 대한 신뢰도는 높을수록(Huijts et al., 2007), 그리고 기술이 설치되는 절차가 공정, 투명하고 참여 가능할 때일수록(Wong-Parodi and Ray., 2009) 수용성이 높아진다고 분석했다. 또한, 기술에 대한 인식과 사전지식이 부족할수록(Jones et al., 2015) 수용성이 낮아진다고 분석하였다.

상기한 기존 문헌분석 결과와 같이, 아직 인지도가 낮은 CCS와 CCU 기술에 대해 한국 대중을 대상으로 감정-인지적 요소를 연계한 수용성 연구는 없다. Lee et al. (2012)가 CCS 기술에 관한 수용성 연구를 시도하였지만, CCU 기술을 포함하지는 않았으며 감정-인지적 요소를 다루고 있지 않다. 본 연구에서는 Linzenich et al. (2019)의 연구 설계를 기반으로 한국의 사례에 맞게 재구성해보고자 한다. 따라서 선행연구를 기반으로 하되, 한국 사례에 부합하는 연구의 재설계가 필요하다. 본 연구에서는 CCUS 기술 도입에 있어 응답자의 기후변화인식이 중요한 요인으로 판단되어 개인의 특성에 이를 포함하였다. CCS와 CCU 기술은 기존 화석연료 발전소의 탄소 배출 저감에 큰 영향을 미칠 수 있는 기술인 바, 대중의 기후변화 인식 수준을 고려하는 것이 본 연구에 중요하다고 판단하였다.

3. 연구방법

3.1 수집 데이터의 일반 통계 분석

설문은 전국에 거주하는 일반 국민을 무작위로 추출하여 주어진 설문지에 응답하는 방식으로 이루어졌다. 설문조사 기간은 2020년 9월 2일 ~ 7일에 걸쳐 진행되었고 총 436명이 모든 질문에 응답하였다. 분석 소프트웨어는 SPSS 25.0 을 사용하였다. 설문 응답자 집단의 인구통계학적 일반 통계 분석을 보면 다음 Table 1과 같다.

응답자의 성비는 남자 49.5%, 여자 50.5%로 구성되었고 평균연령은 44.47세(SD = 13.78)로 한국의 평균연령 42.6세에 근접하다(OECD, 2019). 응답자의 학력은 고졸

이하가 23.6%, 전문대학 졸업 17.2%, 대졸이 48.2%, 석사 및 박사가 11%였다. 대졸 이상이 59.17%로 실제 한국의 인구분포(고등교육 이상 49%)에 비해 대졸 이상의 비율이 다소 높은 경향이 있다(OECD, 2019).

Table 1. The general characteristics of survey respondents

(n=436)			
	Variable	Sample (n)	Share (%)
Gender	Male	216	49.5
	Female	220	50.5
Age	20 ~ 29	81	18.6
	30 ~ 39	87	19.9
	40 ~ 49	90	20.7
	50 ~ 59	89	20.4
	60 ~ 69	89	20.4
	Education	Under high school	103
Junior college		75	17.2
Undergraduate (B.A.)		210	48.2
Graduate (Master)		40	9.2
Graduate (Ph.D.)		8	1.8

3.2 설문 문항 및 척도 구성

본 연구는 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 기술에 대한 대중의 감정적 인식과 수용성 영향 요인을 분석하고자 설문조사를 실시하였다. 설문 항목은 Huijts et al. (2012)의 신재생에너지 기술에 대한 수용성 프레임워크를 활용하였고, 설문 문항은 Linzenich et al. (2019) 를 참고하였다. 분석에 이용한 설문지는 크게 두 가지 부분으로 나눌 수 있으며, 설문항목 구성 및 포괄적 흐름은 아래 Fig. 1과 같다.

첫 번째, 개인 특성에 관한 설문 세션은 6가지 세부항목으로 구성하였다. 세부항목은 ①기후변화에 대한 인식(Lee et al., 2012), ②환경을 고려하는 행동(European Commission., 2018; Wippermann et al., 2018; Linzenich et al., 2019), ③기술에 대한 자기효능감(Beier, 1999; Linzenich et al., 2019) ④개인 혁신 성향(Fazel, 2014; Linzenich et al., 2019), ⑤위험에 대한 태도(Rohrmann, 2005; Linzenich et al., 2019), ⑥CCS와 CCU에 대한 사전지식(Linzenich et al., 2019)이다. 기술에 대한 지식은 수용성에 영향을 미친다. Huijts et al. (2012)의 연구에 따르면 기술이 어떻게 작동하고 어떤 효과를 내는지 알고 있을 때 기술에 대한 인식에 영향을 준다고 주장하였다. 따라서 사전지식 수준을 설문항목에 포함하였다. 해당 문항들¹⁾은 6점 리커트 척도를 이용해 측정되었다.

두 번째 부분은 CCS와 CCU 기술에 대한 감정-인지적

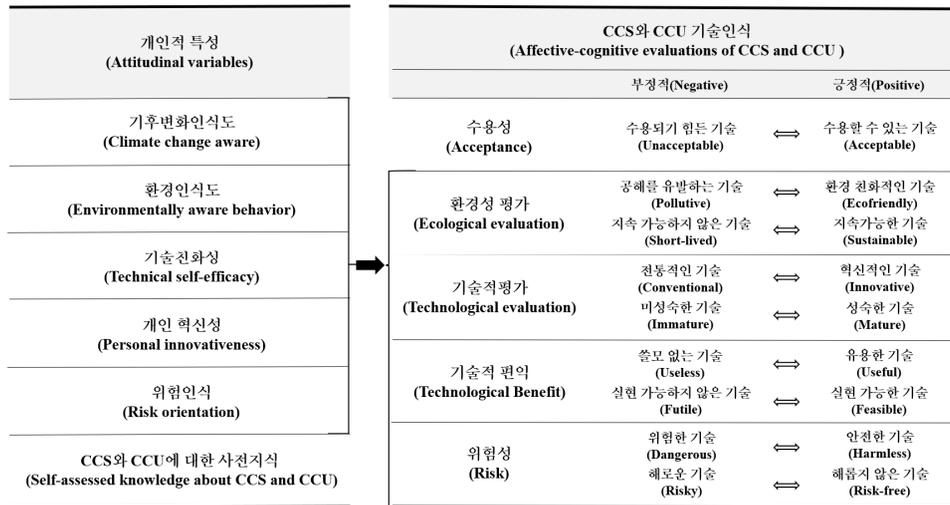


Fig. 1. Research flow: attitudinal variables and affective-cognitive evaluations of CCS and CCU

평가를 측정하는 세션으로 5가지의 요인이 9가지의 세부 항목으로 나뉜다(Linzenich et al., 2019). 수용성을 제외한 다른 4개 요인은 각각 2개의 세부항목으로 나누어진다. 또한, 각 세부항목은 9개의 대비되는 형용사 쌍을 선정하여 10점 척도 의미분별법(SD)으로 분석하였다.

- (1) 수용성 [①수용되기 힘든 - 수용 가능한]
- (2) 환경성 평가 [②지속가능성 (단발적인-지속가능한), ③환경 친화성 (공해를 유발하는- 환경친화적인)]
- (3) 위험성 [④유해성 (해로운 - 해롭지 않은), ⑤위험성 (위험한 - 위험하지 않은)]
- (4) 기술적 평가 [⑥성숙성 (미성숙한 - 성숙한), ⑦혁신성 (전통적인 -혁신적인)]
- (5) 기술적 편익 [⑧유용성 (쓸모없는-유용한), ⑨실현 가능성 (의미/가치 없는-의미/가치 있는)]

의미분별법(SD)은 주로 감정-인지적 인식을 측정할 때 이용된다. 인간의 감정을 표현하는 형용사를 가지고 인간의 심상 공간을 측정하는 방법으로 Osgood (1952)가 세계 각국 어휘의 의미가 어느 정도 유사한지를 조사하는 비교 문화연구의 목적으로 개발하였으며 이후 감성공학을 비롯한 경관평가나 감정평가 등에서 널리 활용되고 있는 방법으로 효과적인 방법이다(Osgood et al., 1957). 또한, 리커트 척도와 의미분별법에서 짝수 척도를 사용하여 기술에 대한 의견 없이 중립으로 답변하는 응답자를 배제하였다. 응답자의 이해를 돕고자 설문 시작 전과 CCS와 CCU 기

술평가 문항 시작 전에 2번에 걸쳐 CCS와 CCU에 관한 기술을 간략히 설명하였다(Offermann van Heek et al., 2018). 마지막으로 한국 대중의 특성상 내용과 관계없이 문항이 대부분 긍정적으로 묵인응답스타일(Acquiescent Response Styles: ARS)의 응답편향(Response bias)을 띄는 경향이 있다(Kim et al., 2011). 이를 우려하여 신중히 설문지를 설계했지만 약간의 편향이 존재할 것이라 생각된다. 이러한 편향 속 숨겨진 인식을 분석하기 위해 기술에 대한 찬성자와 반대자로 나누어 분석을 설계했다.

3.3 분석 방법

분석은 다음과 같이 진행된다.

1단계 분석은 응답자의 개인 특성을 알아보고자 리커트 척도로 표시한 응답에 따라 기초 통계값을 나타내었다. 또한, 데이터의 신뢰도를 검증하고자 Cronbach's α 를 산출하였다.

2단계 분석은 첫째, CCS와 CCU 기술의 감정-인지적 요소에 대해 의미분별법에 따라 도출한 결과 데이터가 얼마나 신뢰할 수 있는지 검증하고자 Cronbach's α 를 산출하였다. 두 번째, 세부항목별 양극성 형용사 쌍의 분산도를 파악하기 위하여 ANOVA 분석을 진행하였다. 세 번째, 요인 분석(Varimax Factor Rotation) 방법²⁾을 사용하여 KMO와 Bartlett의 검정 결과값으로 검정을 하였다.

마지막 3단계 분석은 단계적 회귀분석(Stepwise Regression

1) 감정-인지적 평가 항목은 본문에는 독자들이 이해하기 쉬운 방식으로 표기하고 설문지에는 다르게 사용되었다.
2) 사용된 문항의 타당성을 검증하고 공통요인을 찾아 변수로 활용하기 위해서 동 통계 방법을 사용하였다.

Analysis)를 통해 기술 수용성 영향요인을 분석하였다. 단계적 회귀분석은 하나의 종속변수를 설명할 수 있는 많은 독립변수 중에서 회귀모형에 사용할 변수를 하나씩 선택하거나 제거하여 가장 좋은 회귀모형을 선택하는 방법으로 주로 영향을 많이 미치는 주요 요인을 알아보기 위해 가장 설명력이 높은 모델을 채택할 수 있도록 사용되는 분석 방법이다(Kim et al., 1987).

3.4 기초분석 결과

3.4.1 개인 특성

개인 특성의 신뢰도 분석 결과는 아래의 Table 2와 같다. 응답의 평균, 표준편차, Cronbach's α 를 통해 데이터 신뢰성 및 일관성 정도를 분석하였다. Cronbach's α 값이 0.6 이상이면 각 항목의 내적 일관성이 높게 설계되었고 신뢰도가 높다고 할 수 있다(Nunnally, 1994). 위험성 (0.514 < 0.6)을 제외한 모든 항목 값이 0.6을 높이 상회하는 바 특성항목의 구성의 일관성은 검증되었다.

Table 2. Overview of items used to measure attitudinal variables and item analysis statistics (Cronbach's α).

Attitudinal variable	Mean	SD	Cronbach's α
Climate change aware	4.87	0.58	0.688
Environmentally aware behavior	4.41	0.63	0.756
Technical self-efficacy	3.86	0.81	0.805
Personal innovativeness	3.51	1.03	0.901
Risk orientation	3.66	0.40	0.514
Self-assessed knowledge about CCS and CCU	2.43	0.99	0.970

응답자의 개인적 특성을 측정한 6가지 요인의 각 평균값 차이 비교를 도식화하면 Fig. 2와 같다. 여섯 가지 항목 중 기후변화에 대한 인식이 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 반면에 CCS와 CCU에 대한 지식은 가장 낮게 나타났다. 또한, 환경을 고려하는 행동 성향, 기술에 대한 자기효능감, 위험에 대한 태도, 개인 혁신성향 순으로 높게 나타났다. 응답자는 기후변화와 환경에 대한 인식은 높았지만, 신기술인 CCUS 기술에 대한 사전지식은 거의 없다고 판단하였다.

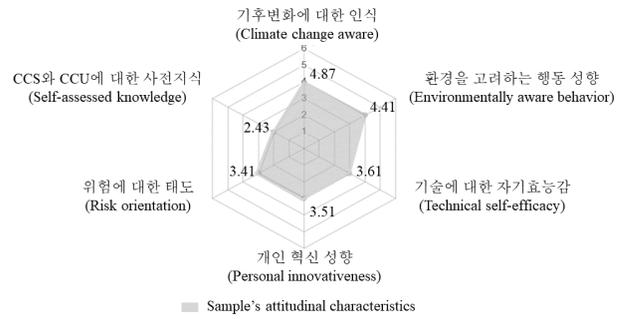


Fig. 2. Attitudinal variables of Korean

(n = 436, min = 1, max = 6)

3.4.2 CCS와 CCU 기술 인식

응답자들은 수용성, 환경성 평가, 기술적 평가, 기술적 편익, 위험성 5개 요인에 대해 9개의 양극성 형용사 쌍으로 구성된 세부항목 문항에 응답한다. CCS와 CCU에 대한 혼동을 피하고자 두 가지 기술적 개념을 분리해서 설계했다. 먼저 세부항목 문항에 대한 설계 적정성 및 신뢰성을 검증하고자 Cronbach's α 를 한 결과, Table 3과 같이 기술적 편익, 위험성, 기술적 평가와 환경적 평가 모든 항목에서 0.6 이상으로 본 연구의 설계는 신뢰할 만한 수준임을 알 수 있다.

Table 3. Adjective pairs used in the semantic differential scale, overlying dimensions, and item analysis statistics (Cronbach's α)

(min = 1, max = 10)

Dimension	Negative adjective	Positive adjective	Cronbach's α
Acceptance	Unacceptable	Acceptable	-
Technological benefit	Useless Futile	Useful Feasible	CCS: = 0.76 CCU: = 0.85
Risk	Dangerous Risky	Harmless Risk-free	CCS: = 0.77 CCU: = 0.81
Technological evaluation	Immature Conventional	Mature Innovative	CCS: = 0.65 CCU: = 0.68
Ecological evaluation	Short-lived Pollutive	Sustainable Eco-friendly	CCS: = 0.84 CCU: = 0.83

아래의 Table 4는 CCS와 CCU에 대한 감정적 인지가 수용성에 미치는 영향에 대한 ANOVA 분석 결과가 나타나 있다. CCS와 CCU 기술에 대한 대중의 평가는 모든 세부항목에 대해서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 분석되었다($p < 0.001$). 따라서 대중은 두 기술을 구별해 인지하고 있음을 알 수 있었다.

Table 4. Results of ANOVAs for differences in affective responses and beliefs towards CCS and CCU.

(n=436, min = 1, max = 10, df1 = 1, df2 = 435)

Dimension	Bipolar adjectival scales	F	p	η_p^2
Acceptance	Unacceptable - acceptable	48.734	< 0.001	0.101
Technological benefit	Useless - useful	48.443	< 0.001	0.100
	Futile - feasible	23.192	< 0.001	0.051
Risk	Dangerous - harmless	23.808	< 0.001	0.052
	Risky - risk-free	32.393	< 0.001	0.069
Technological evaluation	Immature - mature	35.499	< 0.001	0.075
	Conventional - innovative	29.967	< 0.001	0.064
Ecological evaluation	Short-lived - sustainable	29.464	< 0.001	0.063
	Pollutive - eco-friendly	20.469	< 0.001	0.045

Table 5. Rotated factor loadings of affective responses and beliefs towards CCS and CCU

Bipolar adjectival scales	CCU	CCS
CCU_ Short-lived - sustainable	0.826	
CCU_ Dangerous - harmless	0.826	
CCU_ Pollutive - eco-friendly	0.801	
CCU_ Useless - useful	0.797	
CCU_ Futile - feasible	0.781	
CCU_ Unacceptable - acceptable	0.762	
CCU_ Risky - risk-free	0.749	
CCU_ Conventional - innovative	0.731	
CCU_ Immature - mature	0.601	
CCS_ Pollutive - eco-friendly		0.786
CCS_ Short-lived - sustainable		0.785
CCS_ Dangerous - harmless		0.730
CCS_ Immature - mature		0.728
CCS_ Risky - risk-free		0.728
CCS_ Conventional - innovative		0.724
CCS_ Useless - useful		0.707
CCS_ Unacceptable - acceptable		0.678
CCS_ Futile - feasible		0.676
Variance (%)	36.85	35.07
Cumulative (%)	36.85	71.92

Bartlett's test of sphericity $p < 0.000$, KMO = .935

또한, Table 5와 같이 요인 분석(Varimax Factor Rotation)을 통해 타당도를 분석했다. Bartlett의 구형성 검정의 유의확률은 0.000으로 나타나 전반적으로 변수 간의 상관관계는 유의미하다. Kaiser Meyer Olkin (KMO) 측정값이 0.5보다 높을 경우 요인분석에 적합하다고 판단한다(Lee et al., 2017), 타당도 분석 결과 2가지 요인이 추출되었다. 첫 번째 요소는 CCU 기술과 두 번째 요소는 CCS 기술 관련 요인으로 나뉘었다. 추출된 요인은 전체 분산의 71%를 설명하고 있었다. 결과적으로 한국의 응답자들은 CCU와 CCS를 분리하여 인식하고 있다고 분석되었다. 그 외에 다른 요인들은 추출되지 않았다.

4. 데이터 분석 결과

4.1 CCS 기술과 CCU 기술에 대한 감정-인지적 평가 비교분석

본 연구에선 기술에 대한 대중의 수용 의사와 감정-인지적 평가에 대해 살펴보았다. CCS 기술과 CCU 기술에 대한 의미분별법의 평균값을 비교해 보면 Fig. 3과 같다. CCU 기술에 대한 수용성(M=7.06)은 매우 높게 나왔다. 반면에 CCS 기술에 대한 수용성(M=6.47)은 상대적으로 낮게 나타났다. 한국 대중은 CCS와 CCU 기술에 대해 전반적으로 긍정적인 평가를 하였다. CCS와 CCU 기술 모두 상대적으로 평가가 가장 낮게 나타난 세부항목은 성숙도였고, 이어서 CCS와 CCU 기술의 친환경성, 혁신성, 그리고 지속가능성 순으로 낮게 평가하였다.

독일에서 진행된 동일한 감정-인지적 요소 설문지의 응답 결과와 한국의 결과를 비교하면 Fig. 3과 같다(Linzenich et al., 2019). 한국이 대체로 독일보다 전체 응답의 평균값이 상대적으로 높아 한국 대중이 독일 대중보다 CCUS 기술에 대해서 긍정적으로 평가함을 알 수 있다. 공통으로 CCS보다 CCU 기술에 대해서 긍정적으로 평가하는 경향을 볼 수 있다.

그 외 양국 대중의 차이점을 보면, 한국은 기술적 편익이 가장 높은 평가를 받았으나, 독일의 경우 혁신성을 가장 크게 인식했다. 가장 낮은 평가를 받은 부분은 한국과 독일 모두 기술 성숙도와 위험성 항목이었다.

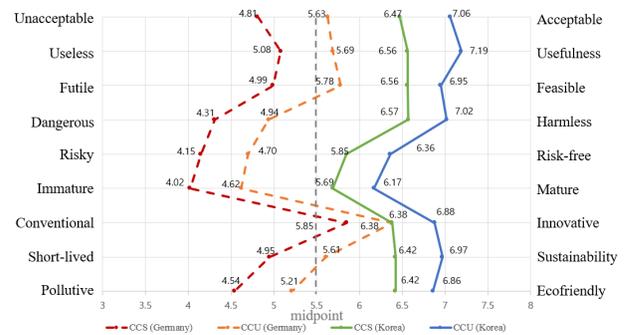


Fig. 3. Comparison between Germany and Korea mean affective-cognitive evaluations of CCS and CCU

4.2 기술 수용성에 미치는 감정-인지적 요인 분석

본 연구는 감정-인지적 평가가 CCS와 CCU 기술 수용성에 미치는 영향은 무엇이며 어떤 요인이 영향을 미치는

지 분석하기 위해 단계적 회귀분석(Stepwise regression)을 진행하였다. 종속변수는 기술 수용성을, 독립변수는 크게 4개의 요인(위험성, 기술적 평가, 환경적 평가, 기술적 편익)으로 구성하였다. 4가지 요인들은 각각 2가지 세부항목으로 구성된다.

Table 6. Regression results for the impact of affective responses and beliefs on CCS and CCU acceptance

Factor		CCS	CCU
		β	β
Technological benefit	Usefulness	0.155***	0.145**
	Technical feasibility	0.316***	0.395***
Risk	Harmlessness	-	0.132***
	Riskiness	0.100***	0.106***
Technological evaluation	Maturity	0.187***	-0.131***
	Innovativeness	-	-0.098***
Ecological evaluation	Sustainability	0.112***	0.287***
	Environmental friendliness	-	-
Constant		1.511***	1.154***
Adjusted R^2		0.477	0.669

*** $p > 0.05$, β =Unstandardized Coefficients

회귀분석 결과, 수용성에 주된 영향을 미치는 요인들을 나열하면 Table 6과 같다³⁾. 채택된 모델에서 CCS와 CCU 기술의 수용성 영향요인은 실현 가능성과 유용성 지속가능성이 공통으로 가장 중요하게 나타났고, 그 외 공통적인 영향요인으로 유해성과 성숙성 등이 있다. 첫 번째로 가장 큰 영향을 미치는 세부항목으로 CCS와 CCU 모두 기술적 편익 요인의 ⑧실현 가능성으로 나타났다. 두 번째 및 세 번째로 영향을 크게 미친 세부항목으로는 CCS와 CCU에서 기술적 편익의 ⑦유용성과 환경성 평가의 ①지속가능성이 상호 상반된 우열 순위로 나타났다. CCS와 CCU 모두 네 번째 영향 세부항목으로는 위험성 항목의 ③위험성, 다섯 번째 영향 항목은 기술적 평가의 ⑤성숙성으로 나타났다. 하지만 CCU에서는 성숙성이 음(-)의 관계가 나타나 비성숙하다는 결과가 나왔다. CCU 수용성에의 여섯 번째 순위의 영향은 위험성 항목의 ④유해성이, 그리고 일곱 번째는 기술적 평가의 ⑥혁신성으로 나타났다. 혁신성은 음(-)의 값으로 나타났다. CCU의 수용성에 영향을 미치는 요인으로 “성숙하지 않을수록, 혁신적이지 않을수록” 수용성에

영향을 미친다는 결과는 CCS와 CCU에 대한 사전지식에서 기술에 대한 이해도가 낮다는 결과를 통해 응답자들이 기술에 대한 이해도가 낮아 도출된 결과로 해석하였다.

4.3 CCS/CCU 찬성자/반대자로 구분한 CCU 기술 수용성 결과: 비교분석

본 연구에서는 중립을 택한 응답자(수용성: 5-6)를 제외하고 반대자(수용성: 1-4)와 찬성자(수용성: 7-10)를 나누어 분석을 시행하였다. 응답자가 특정 기술에 대한 인식이 없을 때 기술 수용에 대해 중립을 택할 수 있으므로 CCS와 CCU 기술에 대한 찬성자와 반대자 집단의 관점을 나누어 기술에 대한 감정-인지적 평가를 알아보려 한다 (Linzenich et al., 2019).

CCS와 CCU 찬성자와 반대자 그룹의 정보를 정리하면 아래의 Table 7과 같다. CCS와 CCU에 대해 찬성하는 집단이 반대하는 집단보다 압도적으로 비중이 높았다. 성별 부분에서는 CCS 반대자 그룹은 남성과 여성의 비중이 비슷했지만, 찬성자 그룹의 경우 남성의 비중이 높았다. CCU 찬성자와 반대자 그룹의 남녀 비중은 비슷하게 나타났다. 두 기술 찬성자의 평균 나이는 CCS는 46.22세, CCU는 45.41세로 반대자 집단은 CCS는 41.30세, CCU를 40.30세로 반대자 집단이 더 낮게 나타났다.

개인 특성에서는 기후변화에 대한 인식(Climat Change Aware)에서 각 기술의 찬성자보다 반대자 집단이 높다는 것을 알 수 있었다. 하지만 그 외 항목에서는 모두 반대자 집단이 찬성자집단보다 평균값이 낮다는 것을 발견하였다. 특히, CCS와 CCU에 대한 기술인식이 대체로 낮게 나타났다. 또한, CCS 기술에 대한 찬반집단의 기술에 대한 자기 효능감(Technical self-efficacy) 항목에서 평균값 차이가 0.09, CCU의 찬반집단에서는 개인의 혁신성향 항목의 평균값 차이가 0.05로 가장 적은 차이를 나타냈다. 가장 큰 차이를 나타낸 요인은 CCS와 CCU에 대한 사전지식항목으로 CCS에서는 최대 0.62, CCU에서는 0.42로 나타났다.

다음 분석은 CCS 기술의 찬성자와 반대자가 CCS와 CCU 각 기술에 대해 어떻게 감정-인지적 평가하는지 나누어 살펴보았다. Fig. 4와 같이 평균값 기준으로 9개 세부항목별로 비교하였다. CCS 기술 찬성자의 경우, CCU보다 CCS 기술의 수용성이 높았다. 하지만 수용성을 제외한 모든 항목에서 CCU 기술에 대해 더 긍정적인 평가를 했다.

3) 모든 설명변수를 포함하였을 때, CCU의 경우 일정한 값이 나오지만, CCS의 경우 다른 설명변수를 제거하기 전과 비교하여 일정한 값이 나오지 않았다. 이는 CCS의 설명변수(감정 인지적 평가)에 대한 개개인의 평가 차이가 크게 나타났기 때문으로 판단된다.

Table 7. User profiles for supporters and opponents of CCS and CCU.

	CCS supporters (n=221)	CCS opponents (n=57)	CCU supporters (n=283)	CCU opponents (n=33)
Gender	Male: 123 Female: 98	Male: : 29 Female: 28	Male: 144 Female: 139	Male: : 14 Female: 19
Age	M=46.22 SD=14.25	M=41.30 SD= 12.43	M=45.41 SD= 14.06	M=40.30 SD=12.47
Climate change aware	M=5.09 SD=0.60	M=5.11 SD=0.688	M=5.13 SD=0.60	M=5.21 SD=0.61
Environmentally aware behavior	M=4.50 SD=0.80	M=4.21 SD=0.85	M=4.49 SD=0.77	M=4.35 SD=0.78
Technical self-efficacy	M=3.97 SD=0.86	M=3.88 SD=0.87	M=3.87 SD=0.86	M=3.76 SD=0.93
Personal innovativeness	M=3.58 SD=1.04	M=3.30 SD=1.97	M=3.49 SD=1.07	M=3.44 SD=0.93
Risk orientation	M=3.73 SD=0.66	M=3.55 SD=0.57	M=3.70 SD=0.65	M=3.53 SD=0.65
Self-assessed knowledge about CCS and CCU	M=2.59 SD=1.06	M=1.97 SD=0.85	M=2.49 SD=1.05	M=2.07 SD=0.95

CCS 찬성자 그룹과 반대자 그룹의 CCS와 CCU 기술에 대한 세부항목별 평균 추이를 보면 대부분 항목에서 기술에 대한 평가는 비슷한 추세를 띤다. 두 기술 모두 편익요인에서 굉장히 높은 평가를 받았다. 특히 유용성 항목을 비교했을 때, CCS보다 CCU 기술이 편익을 줄 수 있다고 평가한 것을 볼 수 있다. 위험성 요인에서 기술이 위험하지 않지만 해로울 수 있다고 인식했다. 또한, 두 기술 모두 성숙성에서 가장 낮은 평가를 받아 대중들이 기술에 대해 아직 성숙하지 않다고 인식하는 것을 볼 수 있다. 환경성 평가요인의 경우 두 기술 모두 긍정적인 평가를 받았다.

CCS 기술 찬성자의 경우, 두 기술에 대해서 전반적으로 높게 평가했고 위험성과 기술의 성숙성에 대해서는 비교적 낮게 평가했다. 하지만 CCU 기술이 CCU보다 상대적으로 더 안전하다고 인식한 것을 그래프의 기술기에서 볼 수 있다.

CCS 기술 반대자의 경우 CCS 기술에 대해 대체로 부정적으로 평가했다. 그중 CCS 기술 수용성이 가장 낮고 기술의 성숙성과 유해성이 차례대로 낮은 평가를 받았다. 그에 비해 CCU 기술에 대해서는 상대적으로 긍정적인 평가를 했지만, 여전히 기술의 성숙성과 유해성에 대해 낮게 평가했다. CCS 반대자의 두 기술에 대한 평가 그래프의 기술기를 비교해 보면 CCU 기술을 평가할 때 수용성, 유용성과 환경성 항목에서 큰 폭으로 증가한 것을 볼 수 있다. 이를 통해 CCS 반대자 그룹은 CCS보다 CCU 기술의 수용에 대해 긍정적이고 CCU 기술의 환경성에 대해 높이 평가함을 알 수 있었다.

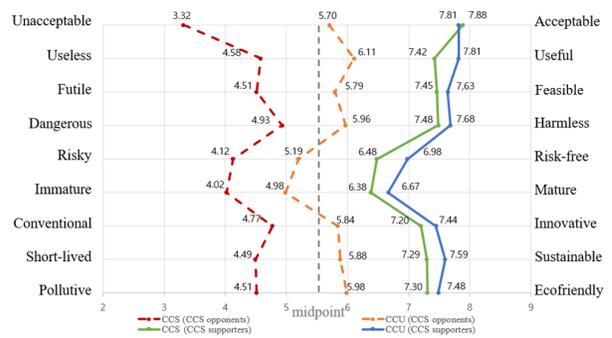


Fig. 4. Mean affective-cognitive evaluations of CCS and CCU for CCS supporters (n=57) and opponents (n=221).

다음은 CCS 찬성자와 반대자의 CCS 기술에 대한 수용요인과 CCU 찬성자 반대자의 CCU 기술 수용요인을 찾기 위해 단계적 회귀분석을 하였다. 환경성 평가, 위험성, 기술적 평가, 기술적 편익이 독립변수, CCU에 대한 수용성이 종속변수로 사용되었다. 두 그룹에 대한 CCU 수용을 설명하는 회귀분석 결과는 Table 8과 같다.

CCS 찬성자들은 실현 가능성과 유해성을 주요 영향요인으로 평가하였다. CCS 반대자의 경우에 유용성만 유의미한 요인으로 분석되었다. 앞서 진행되었던 전체 응답자의 수용요인과 비교해봤을 때 기술의 성숙이나 지속가능성은 수용요인으로 포함되지 않았다. 눈여겨볼 부분은 찬성자와 반대자의 영향요인이 겹치지 않은 것이다. CCS 찬성자의 경우 기술이 의미 있고 유해하지 않다고 인식할 때

Table 8. Regression models for the impact of affective responses and beliefs on acceptance for supporters and opponents.

Factor		CCS supporters (n=221)	CCS opponents (n=57)	CCU supporters (n=283)	CCU opponents (n=33)
		β	β	β	β
Technological benefit	Technical feasibility	0.180	-	0.347	-
	Usefulness	-	0.269	-	-
Risk	Riskiness	0.083	-	0.106	-
	Maturity	-	-	-0.135	-
Ecological evaluation	Sustainability	-	-	0.194	-
Constant		5.915	2.085	4.042	-
Adjusted		0.185	0.380	0.4154	-

***p > 0.05, β = Unstandardized Coefficients

수용성이 증가하고, 반대자의 경우 유용하다고 인식할 때 수용성이 증가한다고 분석되었다.

CCU 기술을 지지하는 응답자에게 실현 가능성과 지속 가능성, 기술의 성숙성, 위험성 항목이 주요 요인으로 평가하였다. CCU를 반대하는 그룹에서는 유의한 요인이 나오지 않았다. 앞서 진행한 전체 응답자에 대한 CCU에 대한 수용성을 비교해 보았을 때 유용성, 유해성, 혁신성은 주요한 요인으로 나타나지 않았다. CCU 찬성자의 경우 기술이 실현 가능하고 지속 가능하며 위험하지 않고 미성숙하다고 느낄 때 수용성이 증가한다고 분석되었다.

CCS와 CCU 각 기술의 찬성, 반대자들이 CCU 수용에 영향을 미치는 감정-인지 요인에 대해 알아보았다. 찬성자 그룹에서 실현 가능성이 가장 중요한 요인으로 나왔고, CCU 찬성자의 경우 지속가능성과 기술의 성숙성, 유해성이 차례대로 영향요인으로 분석되었다. CCS 반대자의 경우 기술의 유용성이 첫 번째 요인으로 분석되었다. 이는 CCS와 CCU 기술이 실현되어 유의하게 온실가스를 감축된다고 느낄 때 수용성에 가장 영향을 많이 주는 것으로 보인다.

5. 논의

5.1 감정적 인식이 CCS와 CCU 기술 수용성에 미치는 영향

CCS와 CCU 기술에 대한 평가가 감정-인지적 요인에서 어떻게 나타났는지에 대해 상기한 4장에서 분석하였다. 그 결과를 가지고 다음과 같은 해석을 해볼 수 있다.

첫 번째, CCU가 CCS 기술보다 긍정적으로 평가되었

다. 독일에서도 CCU가 CCS 기술 보다 모든 요인에서 긍정적으로 나타났다. 이는 CCU가 CCS 기술보다 기술의 역사가 짧기 때문이라고 예측되었다(Linzenich et al., 2019). 결국, 기술의 전주기 관점에서 초기 단계이므로 향후 기술발전 및 향상 가능성을 높게 평가하는 것이다.

두 번째, 응답자들은 형용사 척도 중 가장 부정적으로 평가한 부분이 기술의 성숙성과 위험성이었다. 이점도 독일연구와 비슷하게 나타났다(Linzenich et al., 2019). 하지만 독일은 CCUS 기술이 독일에서도 혁신적인 기술이라는 측면에서는 긍정적으로 평가하고 있지만, 우리나라에서는 성숙성과 위험성 척도를 제외하고 모두 요인에서 편차가 크게 나타나지 않는다.

5.2 CCUS 기술에 대한 대중의 부족한 지식

응답자는 CCS와 CCU를 구분하여 인지하고 있지만, 두 기술에 대한 전반적인 기술에 대한 지식과 이해도가 낮은 것으로 해석된다. 사전에 실시한 요인 분석을 통하여 응답자는 CCU와 CCS 기술에 대해서 분리하여 인식한다 나타났다. 개인 특성 부분에서는 CCS와 CCU 기술 사전지식 항목에서 사전지식이 부족하다 나타났다.

더 나아가 응답자들은 CCS 기술에 대한 이해가 CCU보다 낮은 것으로 나타났다. CCS와 CCU 기술의 수용성에 영향을 미치는 감정-인지적 요인을 분석한 결과, 단계적 회귀에서 CCS 기술에서 설명되는 요인이 더 적게 나타났다. 이는 응답자가 기술에 대해서 이해하지 못했거나 응답자에게 CCS를 인지할 수 있는 요인이 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 추론된다.

또한, CCU에 대한 지식도 낮은 것으로 분석된다. 이에

대한 근거로써 CCU가 가장 최근 기술임에도 불구하고 단계적 회귀분석 결과에서 혁신적 기술에서 음(-)의 값이 나타났다. 모든 응답자와 CCU를 지지하는 그룹에서도 CCU에 대한 이해도가 낮다는 것을 예상할 수 있다. 이는 CCU 기술의 찬반그룹으로 나누었을 때 더 뚜렷이 나타난다. CCU를 찬성하는 그룹에서는 여전히 CCU 비성숙하기 때문에 수용성이 증가하는 것으로 나타났다. CCU 반대그룹에서는 수용성에 영향을 미치는 감정-인지적 영향을 미치는 요인이 발견되지 않았다. 대중의 CCU 기술에 대한 이해가 부족한 것으로 보여진다.

5.3 정책적 함의 및 제언

분석 결과, 한국 대중의 개별 특성에서 기후변화에 대한 인식이 가장 높고, CCS와 CCU 기술에 대한 사전지식이 가장 낮게 분석되었다. 기술에 대한 사전지식이 가장 낮게 나온 점을 봤을 때 기존의 정책과 같이 기술에 대한 교육을 진행함으로써 기술에 대한 인지도를 높이는 것도 중요하다. 하지만 지식의 전달로는 충분치 않다. CCS 기술의 수용성과 관련 지식의 관계는 이미 여러 선행연구에서 다뤄졌다. De Best Waldhober et al. (2006)은 사람들이 기술에 대해 뚜렷한 의견을 얻기 위해서는 충분한 지식이 필요하다고 주장했다. 하지만 Itaoka et al. (2004)은 CCS에 대한 많은 정보가 주어질 때, 즉 지중 저장을 제외한 다른 다양한 처리 방법들이 제시될 때, 선택지가 다양한 만큼 대중의 관심이 여러 선택지로 흩어지는 결과를 초래한다는 것을 발견했다. Palmgren et al. (2004)의 연구에서는 CCS에 대한 정보가 해양 지중 저장에 대해 강한 반대를 초래한다고 결론지었다. 이는 반드시 더 많은 정보가 항상 요구되는 것은 아니며, 많은 정보가 저항을 감소시키지 않을 수 있다는 것을 의미한다. 대중은 기술에 대해 잘 알지 못할 때, 즉 초기 단계의 기술일수록, 감정적으로 평가하는 경향이 있다. 그러므로 대중 머릿속에 기술이 어떻게 각인되었는지 살펴보는 것이 중요하다(Linzenich et al., 2019).

본 연구에선 기술에 대한 기본정보를 제공하고 대중들이 CCUS 기술에 대해 직관적으로 받아들일 때 인식되는 기술에 대한 감정적 표현(형용사적)을 파악할 수 있다면 정책적으로 어떤 활용도가 있을지 고려해 보았다. 에너지 전환, 기후변화 대응, 신재생에너지의 보급 확산 등 성공적인 정책에는 대중의 수용성이 매우 중요한 성공 요인이다. 본 연구 결과와 같이 주요한 감정적 인식이 파악된다면 해당 기술의 보급 및 수용성 확대 정책의 수립 시 대중

들과 의사소통에 효과적으로 쓰일 것이다.

CCU 기술에 대한 수용에 긍정적인 영향을 주는 감정적 인식은 “실현 가능하고, 유용한 자원으로 활용할 수 있으며 지속 가능하며 유해하지 않음”과 같은 형용사적 표현이었다. 또한 “위험하며 미성숙한” 항목이 제일 낮게 평가되어 대중들이 기술의 안정성에 관련된 우려가 존재함을 알 수 있었다. 대중 및 소비자 대상의 교육과 참여 방안의 마련으로 CCU 기술의 원리 및 안정성 확보과정에 대한 이해를 도모한다면 당연히 기술에 대한 신뢰도는 제고시킬 수 있다.

다만 전략적인 관점에서는 감정적 인지 방식으로 수용성 정책에 반영할 경우 CCS와 CCU 기술을 구분해서 실시하는 것도 고려해 보아야 한다. CCS 기술의 경우 이미 대중들과 정책결정자들에게 수용이 거부된 사례가 존재하기 때문에 CCU 기술과 CCS 기술을 비슷하게 인식할 경우 CCU 기술의 수용성을 낮추는 부작용이 있을 수 있다. 즉, 환경정책 분야와 공론화 과정에서 두 기술을 구별하여 다룰 필요가 있다. Bruhn et al. (2016)의 연구에서 CCS 기술의 경우 대규모의 감축이 가능하기 때문에 기후변화 완화라는 프레임 하에서 다루지지만, CCU 기술의 경우 자원 안보와 에너지 전환관점에서 중점적으로 다루질 때 앞으로 잠재성을 더 펼칠 수 있다고 주장했다. CCU 기술은 탄소 기반 연료의 생산으로 화석 자원을 대체하는 것을 목표로 하고 있으며 P2G 접근방식을 통해 에너지 저장을 가능하게 하고 폐기물을 자원으로 전환하여 순환 경제에 기여함으로써 에너지 변환을 잠재적으로 지원할 수 있다. 따라서 재생에너지 전환에 지원 가능하고 운송 및 자재와 같은 에너지 분야 이외의 산업으로 확대할 수 있다(Klankermayer and Leitner, 2015).

두 기술은 수용의 주체도 차이점이 있다. CCS 기술은 대규모의 온실가스가 지층에 직접 주입됨으로 누출 위험성이 존재한다. 이러한 이유로 인근 지역주민의 수용 문제를 고려해야 한다. CCU 기술의 경우, 포집된 이산화탄소를 지층에 주입하지 않기 때문에 주민수용 문제가 발생하지 않지만, 공정을 통해 생산된 제품에 대한 소비자 수용을 고려해야 한다.

독일이 한국보다 재생에너지 보급 규모가 크게 앞서 있지만 Linzenich et al. (2019)의 연구에서 도출된 CCS와 CCU 기술에 대한 수용성을 한국과 비교했을 때 독일보다 한국 대중이 수용에 적극적이고 긍정적인 평가를 하고 있음을 알 수 있다. 이는 향후 CCUS 기술뿐 아니라 신재생에너지 기술, 기후기술 등 다양한 보급정책에서 대중에게

감정적 인식을 반영한 정보 공유 및 홍보를 시행한다면 더욱 대중의 수용성을 제고시킬 수 있다고 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 설문조사를 통해 CCS와 CCU 기술에 대한 대중의 감정적 인식과 평가에 관한 9개 양극성 형용사 쌍을 사용하여 수용성에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 지금까지 선행연구에서는 신기술의 수용성에 관한 연구가 이루어졌지만, 한국의 사례를 기반으로 CCS와 CCU 기술 수용성에 미치는 감정-인지적 요인을 기반으로 한 연구가 없었다. 본 연구는 본격적인 CCUS 기술 도입에 앞서 수용성을 연구하고 한국 사례에 맞는 기술 도입의 수용성 증대 전략 수립하였다는 것에 의의가 있다.

설문지의 구성은 크게 두 가지 항목으로 응답자의 개별 특성항목과 CCS와 CCU 기술에 대한 감정-인지적 평가 항목으로 구성되어 있다. 설문 결과에 대한 기초 통계 분석을 거쳐 감정적 평가와 인식이 CCS와 CCU 기술의 수용성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 반복측정 분산 분석과 단계적 회귀분석을 진행했다. 분석 결과를 토대로 도출할 수 있는 결론은 다음과 같다.

한국 대중의 기후변화에 대한 인식과 환경 인식은 매우 높다. 이러한 인식이 기저에서 저탄소 기술 수용성에 영향을 줄 것으로 생각된다. CCS와 CCU 기술이 기존 화석연료의 사용을 줄이고 환경오염을 줄일 수 있는 저탄소 기술임을 강조한 홍보정책을 시행한다면 기술의 수용성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

수용요인 중 가장 큰 영향을 주었던 요인은 편익으로 분석되었다. 대중에게 경제적으로 환경적으로 얻을 수 있는 편익을 강조할 때 수용성이 매우 높아졌다. CCU 기술의 경우 앞으로 자원으로서 잠재성이 크기 때문에 기후변화 완화의 맥락은 부가적인 의미로 비중을 낮추고 자원 안보와 에너지 변환 맥락에서 에너지 변환으로 인한 편익을 강조하는 것이 효율적인 정책 수단을 개발과 수용성 확대에 중요하다고 판단된다. 하지만 CCU 기술을 통해 얻을 수 있는 경제적 환경적 편익에 대해 분석을 한 연구는 찾을 수 없었다. 추후 연구에서 편익에 대해서 구체적으로 다뤄야 할 필요가 있다.

본 연구의 한계점으로는 첫째, 기술의 수용에 중요한 요인 중 하나인 비용에 대한 고려가 되지 않은 점이다. 추후 연구에선 CCU 기술에 관한 비용 연구를 통해 기술의 잠재적 가치를 산정할 필요가 있다. 둘째, 방법론적 한계점

이다. 응답자가 기술이 도입되는 상황을 가상적으로 염두에 두고 답변하기 때문에 실제 주거지 근처 도입시 설문 결과보다 반대 의견이 강할 수 있다. 이는 가상가치 평가법(CVM)과 같은 진술 선호에 의한 연구방법이 공통으로 가지는 한계점이다(Whitehead et al. 2008). 셋째, 연구 설계상의 어려움이다. 감정적 인식을 적절하게 끌어내기 위한 형용사적 표현을 사용하기에는 보다 인문과학적인 접근이 필요할 것이다. 본 연구 결과가 CCU 기술의 수용성을 증가시키고, 더 나아가 향후 저탄소 사회로의 전환 정책 수립에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한 한국연구재단 탄소자원화 기술고도화 사업(2019M3F4A1073058)의 지원, 그리고 KU-KIST스쿨 운영지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

- Aldás-Manzano J, Lassala-Navarré C, Ruiz-Mafé C, Sanz-Blas S. 2009. The role of consumer innovativeness and perceived risk in online banking usage. *International Journal of Bank Marketing*.
- d'Amore F, Lovisotto L, Bezzo F. 2020. Introducing social acceptance into the design of ccs supply chains: A case study at a european level. *Journal of Cleaner Production*. 249:119337.
- Arning K, Offermann-van Heek J, Linzenich A, Kätelhön A, Sternberg A, Bardow A, Ziefle M. 2019. Same or different? Insights on public perception and acceptance of carbon capture and storage or utilization in germany. *Energy policy*. 125:235-249.
- Arning K, Offermann van Heek J, Sternberg A, Bardow A, Ziefle M. 2020. Risk-benefit perceptions and public acceptance of carbon capture and utilization. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 35:292-308.
- Bandura A. 1977. Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*. 84(2):191.
- Braun C. 2017. Not in my backyard: Ccs sites and public perception of ccs. *Risk Analysis*. 37(12):2264-227

- Bruhn T, Naims H, Olfe Kräutlein B. 2016. Separating the debate on co2 utilisation from carbon capture and storage. *Environmental Science & Policy*. 60:38-43.
- Cheng YH, Huang TY. 2013. High speed rail passengers' mobile ticketing adoption. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 30:143-160.
- Chen ZA, Li Q, Liu LC, Zhang X, Kuang L, Jia L, Liu G. 2015. A large national survey of public perceptions of ccs technology in china. *Applied Energy*. 158:366-377.
- C. Wippermann MC, S. Kleinhüchelkotten, Umweltbewusstsein in, Deutschland. 2008. Ergebnisse einer repräsentativen bevölkerungsumfrage, bundesministerium für umwelt, naturschutz und reaktorsicherheit (bmu), berlin.
- Dermont C, Ingold K, Kammermann L, Stadelmann-Steffen I. 2017. Bringing the policy making perspective in: A political science approach to social acceptance. *Energy policy*. 108:359-368.
- Devine Wright P. 2013. Explaining "nimby" objections to a power line: The role of personal, place attachment and project-related factors. *Environment and Behavior*. 45(6):761-781.
- De Best Waldhober, M., Daamen, D., & Faaij, A. 2009. Informed and uninformed public opinions on CO2 capture and storage technologies in the Netherlands. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(3), 322-332.
- Ellsworth, P. C., & Scherer, K. R. 2003. *Appraisal processes in emotion*. Oxford University Press.
- European Commission, Attitudes of European Citizens Towards the Environment. Special Eurobarometer 295/Wave 68.2, (2008) (Accessed 3 August 2018), http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_295_en.pdf
- Flynn J, Slovic P, Mertz CK. 1994. Gender, race, and perception of environmental health risks. *Risk analysis*. 14(6):1101-1108.
- Gangale F, Mengolini A, Onyeji I. 2013. Consumer engagement: An insight from smart grid projects in europe. *Energy Policy*. 60:621-628.
- Gross, J. J. 2002. Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology*, 39(3), 281-291
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center, GIR. 2019. National Inventory Report, <http://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=36>
- G. Beier, Locus of control when interacting with technology (Kontrollüberzeugungen im Umgang mit Technik), *Rep. Psychol.* 24 (1999) 684-693.
- Ha Duong M, Nadaï A, Campos AS. 2009. A survey on the public perception of ccs in france. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 3(5):633-640.
- Hill T, Smith ND, Mann MF. 1987. Role of efficacy expectations in predicting the decision to use advanced technologies: The case of computers. *Journal of applied psychology*. 72(2):307.
- Huijts NMA, Molin EJE, Steg L. 2012. Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1):525-531.
- International Energy Agency. 2019. Transforming Industry through CCUS. <https://webstore.iea.org/transforming-industry-through-ccus>.
- International Energy Agency. 2020. The role of CCUS in low-carbon power systems <https://www.iea.org/reports/the-role-of-ccus-in-low-carbon-power-systems>
- Itaoka, K., Okuda, Y., Saito, A., & Akai, M. 2009. Influential information and factors for social acceptance of CCS: the 2nd round survey of public opinion in Japan. *Energy Procedia*, 1(1), 4803-4810.
- Igliński B, Buczkowski R, Iglińska A, Cichosz M, Piechota G, Kujawski W. 2012. Agricultural biogas plants in poland: Investment process, economical and environmental aspects, biogas potential. *Renewable and sustainable energy reviews*. 16(7):4890-4900.
- Jones CR, Olfe-Kräutlein B, Naims H, Armstrong K. 2017. The social acceptance of carbon dioxide utilisation: A review and research agenda. *Frontiers in*

- Energy Research. 5:11.
- Jones CR, Radford RL, Armstrong K, Styring P. 2014. What a waste! Assessing public perceptions of carbon dioxide utilisation technology. *Journal of CO2 Utilization*. 7:51-54.
- Jo GB, Cho HY, Park N. 2016. A Study on the Implementation Inspection and the Derivation of Improvement Tasks of National CCS. *Journal of Climate Change Research* 2016, Vol. 7(3), p. 237-247.
- KEITI. Choi JN. 2019. Trends in Major Countries to Support CCU Technology Policy.
- Kim, S., Ryu, Kim, S. (2018). Does trust matter? analyzing the impact of trust on the perceived risk and acceptance of nuclear power energy. *Sustainability*, 10(3), 758.
- Kim SH, Shin IC, Jung JK. 2011. Personality Traits and Response Styles. *Research*, 12(2), 51-76.
- Kim BS, Ahn YK, Yoon KJ, Yoon SW, 1987. Statistical data analysis using SPSS. Seoul: Ewha Womans University Press.
- KOSTAT. 2019. National level of education (population distribution by educational background). https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1530
- KEPCO. 2020. Monthly power statistics breaking news. Retrieved from http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&wcd=MF_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&parentId=U.1;U_15.2;#U_15.2
- L. Fazel, Akzeptanz von Elektromobilität: Entwicklung und Validierung eines Modells unter Berücksichtigung der Nutzungsform des Carsharing, Springer Gabler, Wiesbaden, 2014.
- Lee SI, Sung JS, Hwang JH. 2012. Public awareness and acceptance of carbon dioxide capture and storage. *Environmental impact assessment*, 21(3) 469-481.
- Lee HS, Lim JH. 2017. SPSS 24 Manual.
- Lee JY. 2012. Legal issues concerning the capture and storage of carbon dioxide (CCS).
- Lee JS. 2018 Jan 8. Pohang Geothermal Power Plant and Carbon Dioxide Storage Facility Temporarily Closed. <https://www.hidomin.com/news/articleView.html?idxno=348461>
- Lewis W, Agarwal R, Sambamurthy V. 2003. Sources of influence on beliefs about information technology use: An empirical study of knowledge workers. *MIS quarterly*.657-678.
- Linzenich A, Arning K, Offermann-van Heek J, Ziefle M. 2019. Uncovering attitudes towards carbon capture storage and utilization technologies in germany: Insights into affective-cognitive evaluations of benefits and risks. *Energy research & social science*. 48:205-218.
- Linzenich A, Zaunbrecher BS, Ziefle M. 2020. “Risky transitions?” risk perceptions, public concerns, and energy infrastructure in germany. *Energy Research & Social Science*. 68:101554.
- Lu J, Yao JE, Yu C-S. 2005. Personal innovativeness, social influences and adoption of wireless internet services via mobile technology. *The Journal of Strategic Information Systems*. 14(3):245-268.
- Merk C, Pönitzsch G. 2017. The role of affect in attitude formation toward new technologies: The case of stratospheric aerosol injection. *Risk Analysis*. 37(12):2289-2304.
- Midden CJ, Huijts NM. 2009. The role of trust in the affective evaluation of novel risks: The case of co2 storage. *Risk Analysis: An International Journal*. 29(5):743-751.
- Nunnally JC. 1994. The assessment of reliability. *Psychometric theory*.
- Offermann van Heek J, Arning K, Linzenich A, Ziefle M. 2018. Trust and distrust in carbon capture and utilization industry as relevant factors for the acceptance of carbon-based products. *Frontiers in Energy Research*. 6:73.
- OECD. 2020. Education at a Glance. https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2020_69096873-en
- Offermann van Heek J, Arning K, Linzenich A, Ziefle M. 2018. Trust and distrust in carbon capture and

- utilization industry as relevant factors for the acceptance of carbon-based products. *Frontiers in Energy Research*. 6(73).
- Osgood CE. 1952. The nature and measurement of meaning. *Psychological bulletin*. 49(3):197.
- Osgood CE, Suci GJ, Tannenbaum PH. 1957. The measurement of meaning. University of Illinois press.
- Palmgren, C. R., Morgan, M. G., Bruine de Bruin, W., & Keith, D. W. (2004). Initial public perceptions of deep geological and oceanic disposal of carbon dioxide.
- Ram S, Sheth JN. 1989. Consumer resistance to innovations: The marketing problem and its solutions. *Journal of consumer marketing*.
- Rohrmann B. 2005. Risk attitude scales: Concepts, questionnaires, utilizations. Project Report.1-21.
- Schuitema G, Anable J, Skippon S, Kinnear N. 2013. The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 48:39-49.
- Selma L, Seigo O, Dohle S, Siegrist M. 2014. Public perception of carbon capture and storage (ccs): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 38:848-863.
- Seigo SLO, Arvai J, Dohle S, Siegrist M. 2014. Predictors of risk and benefit perception of carbon capture and storage (ccs) in regions with different stages of deployment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 25:23-32.
- Serenko A. 2008. A model of user adoption of interface agents for email notification. *Interacting with Computers*. 20(4-5):461-472.
- Shim J. 2009. Trust in nuclear power plants, perceived risks and benefits, and acceptability. *Journal of the Korea Association for Policy*
- Slovic P, Finucane ML, Peters E, MacGregor DG. 2007. The affect heuristic. *European Journal of Operational Research*. 177(3):1333-1352.
- Starr C. 1969. Social benefit versus technological risk. *Science*.1232-1238.
- Sütterlin B, Siegrist M. 2017. Public perception of solar radiation management: The impact of information and evoked affect. *Journal of Risk Research*. 20(10):1292-1307.
- Shackley S, McLachlan C, Gough C. 2004. The public perception of carbon dioxide capture and storage in the uk: Results from focus groups and a survey. *Climate Policy*. 4(4):377-398.
- Truelove HB, Parks C. 2012. Perceptions of behaviors that cause and mitigate global warming and intentions to perform these behaviors. *Journal of Environmental Psychology*. 32(3):246-259.
- van Heek J, Arning K, Ziefle M. 2017a. Differences between laypersons and experts in perceptions and acceptance of co2-utilization for plastics production. *Energy Procedia*. 114:7212-7223.
- van Heek J, Arning K, Ziefle M. 2017b. Reduce, reuse, recycle: Acceptance of co2-utilization for plastic products. *Energy Policy*. 105:53-66.
- Wallquist L, Visschers VH, Siegrist M. 2010. Impact of knowledge and misconceptions on benefit and risk perception of ccs. ACS Publications.
- Wong Parodi G, Ray I. 2009. Community perceptions of carbon sequestration: Insights from California. *Environmental Research Letters*. 4(3):034002.
- Wüstenhagen R, Wolsink M, Bürer MJ. 2007. Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy policy*. 35(5):2683-2691.
- Whitehead JC, Pattanayak SK, Van Houtven GL, Gelso BR. 2008. Combining revealed and stated preference data to estimate the nonmarket value of ecological services: An assessment of the state of the science. *Journal of Economic Surveys*. 22(5):872-908
- UNFCCC. 2015. Adoption of the Paris Agreement. Report No. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>
- Zaubrecher BS, Bexten T, Wirsum M, Ziefle M. 2016. What is stored, why, and how? Mental models, knowledge, and public acceptance of hydrogen storage. *Energy Procedia*. 99:108-119.