

Article

이산화탄소 해양지중저장사업의 경제적 파급효과 분석

이주석¹ · 최은철^{2*}

¹한국해양대학교 국제대학 국제무역경제학부
(49112) 부산광역시 영도구 태종로 727
²고려대학교 정경대학 경제학과
(02841) 서울특별시 성북구 안암로 145

The Economic Impacts of CCS Marine Geological Storage Demonstration Project on the National Economy using Input-output Analysis

Joo Suk Lee¹ and Eun Chul Choi^{2*}

¹*Division of International Trade and Economics, College of International Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea*

²*Department of Economics, College of Political Science & Economics, Korea University Seoul 02841, Korea*

Abstract : In this study, we attempt to examine the economic impacts of the CCS marine geological storage demonstration project in Korea using Input-Output analysis utilizing the inter-industry relation table issued in 2013. In particular, this study defines the CO₂ ocean storage industry and then added the inter-industry relation table and treated the CO₂ ocean storage industry as exogenous. In addition, this study assumed two scenarios based on the means of CO₂ transport, which are pipe and ship. After defining the industry and scenarios, this study investigates the production-inducing effect, value added inducing effect, and employment-inducing effect of the industries associated with the CO₂ ocean storage industry based on a demand-driven model. The results pertaining to the scenarios are estimated as follows: total production-inducing effects, value added inducing effects, and employment-inducing effects are calculated as 1.9044 won, 1.2487 won and 16.7224 people/billion won, respectively. In addition, compared to other industries, the indirect economic impacts of the CO₂ ocean storage industry are ranked high: the rankings of production-inducing effects, value added inducing effects, and employment-inducing effects are fourth, second, and fifth, respectively.

Key words : CCS marine geological storage demonstration project, input-output analysis, economic impacts

1. 서 론

지구 온난화로 인한 기후변화의 재앙을 막기 위해 세계적으로 온실가스 배출량 감축을 의무화하는 추세이다. 특

히 선진국을 중심으로 온실효과의 주범인 CO₂를 감축하는 것을 의무화하고 있다. 그러나 세계 화석연료 수요는 앞으로도 지속적으로 증가할 전망으로 나타나고 있다. 국제 에너지 기구(IEA 2014)에 따르면, 현재 1차 에너지 소비의 82%는 화석 연료로 소비되고 있으며, 추후의 증가분의 70% 이상이 화석연료로 소비될 것으로 예상되고 있

*Corresponding author. E-mail : aidster@korea.ac.kr

다. 특히, 2012년 하루 평균 88.6 Mb/d 소비되고 있는 석유 소비는 2040년에 116.5 Mb/d까지 증가될 것으로 예상되고 있으며, 천연가스의 경우 석유에 이어 제 2의 에너지 자원으로 부상하여, 2040년에 5.88조 m^3 가 소비될 것으로 예상되고 있다. 석탄의 경우에도 수요의 증가의 폭은 과거에 비해 낮아질 것으로 예상됨에도 불구하고, 2040년의 소비량이 6,722백만 톤에 육박하여 여전히 많은 양의 석탄이 소비될 것으로 예상되고 있다. 따라서 세계 각국은 보다 경제적인 온실가스 감축 수단 개발에 주력하고 있으며 특히 기존 화석연료 중심의 산업구조를 유지하면서도 CO₂를 감축할 수 있는 유일한 대안으로서 이산화탄소 포집저장기술(CCS, CO₂ capture and storage)에 대한 수요가 급증할 전망이다. IEA (2009)에 따르면 전 세계의 CCS 플랜트 수요가 2050년에 3,400기까지 달할 것으로 예측되고 있다.

한편 우리나라는 교토의정서에 따르면 개발도상국에 속하여 감축의무대상국은 아니지만 OECD 국가 중 온실가스 배출 증가율 1위이고 세계 9위의 CO₂ 배출 국가로 국제사회에서 온실가스 감축의 압박을 받고 있는 실정이다. 이에 따라 우리나라는 2009년 11월 코펜하겐 기후협약정상회의에서 국가 온실가스 배출량을 2020년 배출전망치(Business as Usual; BAU) 대비 30% 감축키로 하는 국가 중기 온실가스 감축목표를 설정·공표했다. 우리나라가 현 상태에서 특별한 조치를 취하지 않을 경우 2020년 배출할 것으로 예상되는 온실가스 총량(BAU)은 8억1,300만 톤으로 이 수치를 30% 줄이겠다는 것이 정부의 목표다. 2005년 배출한 온실가스량(5억9,400만 톤)을 기준으로 해도 4% 낮은 수준이다. 그러나 우리나라의 경우 아직 신재생에너지의 개발수준이 높지 않고 신재생에너지 중심의 경제체제로의 전환에는 막대한 비용이 소요되기 때문에 기존의 화석에너지 중심의 경제체제를 유지하면서도 CO₂를 대규모로 처리할 수 있는 CCS에 대한 관심이 크게 증가하고 있다.

우리나라 정부는 2010년에 국가 CCS 종합계획을 발표하였으며, 동 계획에 따라 세계 CCS 기술강국 도약을 비전으로 2020년까지 CCS 플랜트 상용화 및 국제 기술경쟁력 확보를 목표로 삼아 CCS 실증과 R&D 투자를 확대하고 있다. 특히 우리나라의 국가 CCS 종합계획은 2030년까지 CCS를 통해 3천2백만 톤/년 CO₂ 감축 달성의 기후 변화 대응효과 뿐만 아니라 해외 플랜트 사업 진출을 포함하여 2030년까지 누적매출 약 100조원 및 10만 명 이상의 일자리를 창출하는 신성장산업으로서의 경제적 기대효과를 정책의 목표로 삼고 있다. 또한 현 정부의 경제혁신 3개년 계획에서도 미래 친환경 신성장산업으로 CCS의 지원을 확대하고 있는 상황이다.

한편 우리나라의 CCS 사업은 원천기술개발은 미래창

조과학부, 포집부분은 산업통상자원부, 육상저장은 환경부, 해상수송 및 저장은 해양수산부가 담당하고 있다. 그러나 육상저장의 경우 누출의 우려 때문에 현실적으로 불가능한 상황이며, 이에 대한 사회 각계각층의 우려가 증대되고 있는 실정이다(Al-Fattah et al. 2010; van Alphen et al. 2007). 그 결과 최종적으로 CO₂를 해양에 저장하여 처리하는 해양지중저장사업의 중요성이 부각되고 있으며, 앞서 언급한 바와 같이 정부에서도 육상저장이 아닌 이산화탄소 해양지중저장사업을 추진하고 있다. 이에 따라 이산화탄소 해양지중저장사업을 중심으로 국가경제 측면에서의 역할과 기여도를 객관적으로 평가하여 동 사업에 대한 올바른 인식과 당위성을 확보할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 이산화탄소 해양지중저장사업의 경제적 영향력을 살펴보기 위하여 산업연관분석을 활용하고자 한다. 한편 이산화탄소 해양지중저장사업을 중심으로 국가경제의 파급효과를 분석하기 위해서는 이산화탄소 해양지중저장사업의 총산출 변동에 초점을 맞추어야 하는데 통상적인 산업연관분석으로는 이산화탄소 해양지중저장사업 부문의 변동시 자기 부문 외의 다른 산업부문들이 받는 영향을 별도로 분리하여 분석할 수 없다. 즉, 일반적인 산업 파급효과를 적용할 경우 이산화탄소 해양지중저장사업의 전체 투자비를 기준 산업항목에 분류된 건설업, 선박업 등 관련 산업으로 분리한 후 각 산업별로 투자비 대비 산업 파급효과를 산정하는 내생화 기법을 적용하는 방식이 적용되어야 한다.

이러한 문제점들은, 이산화탄소 해양지중저장사업이 산업연관표 상에 명시되어 있다면, 해당 부문의 외생화(exogenous specification)를 통해 해결이 가능하다. 경제에서 한 부문의 변화는 곧 그 경제 모형에 외생적인 힘으로 작용한다. 산업연관분석에서는 이렇게 내생변수와 외생변수가 혼합되어 있는 경우, 외생적인 힘이 될 변수를 밖으로 내어주어 그 변수가 내생적인 경제부문에 미치는 영향을 살펴볼 수가 있는데, 이를 외생화라고 한다(Miller and Blair 2009). 외생화 기법을 적용하게 되면 연구개발, 폐기물처리, 플랜트 등 다양한 산업으로 이루어진 이산화탄소 해양지중저장사업을 정의한 후 기존의 산업분류 외에 이산화탄소 해양지중저장산업부문을 전체 산업연관분석에 별도로 추가하여 분석할 수 있기 때문에 이산화탄소 해양지중저장사업 부문의 산출물이 미치는 영향과 그 산출물이 타 산업에 유발하는 효과를 보다 명확히 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 이산화탄소 해양지중저장사업에 해당하는 산업들을 식별하여 이를 바탕으로 이산화탄소 해양지중저장 산업을 정의한 후, 외생화를 통해 동 산업의 국민경제적 파급효과를 산정하고자 한다.

본 고의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 국내 이산화탄소 해양지중저장 실증화 사업의 현황에 대

해 살펴본다. 그리고 제 3장에서는 이산화탄소 해양지중저장 산업을 정의한다. 제 4장에서는 연구의 범위를 분명하게 설정하면서 국민경제적 파급효과 분석방법론인 산업연관분석에 대해 살펴본 후, 제 5장에서는 산업연관분석을 이용하여 이산화탄소 해양지중저장 산업화의 국민경제적 파급효과(생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과) 분석결과를 제시한다. 마지막 장은 연구결과의 요약 및 결론에 할애한다.

2. 국내 이산화탄소 해양지중저장 실증화 사업의 현황

국내 이산화탄소 해양지중저장사업의 현황

앞서 언급한 바와 같이 기후변화가 심각한 문제로 대두되면서 국내외적으로 CCS 수요가 확대되어 가고 있다. 세계적으로 총 20개의 대형통합프로젝트가 운영되거나 건설 중이며 2020년까지 미국 20개, 중국 12개, 캐나다 7개, 영국 6개 등 64개의 CCS 프로젝트가 시행될 계획이고, 정부뿐만 아니라 여러 기업들을 중심으로 CCS 시장에 참여가 본격화되었다. 실제로 IEA (2009)에 따르면 CCS 기술이 활성화 될 경우, CCS 시장규모가 2030년에는 82조 원 규모에 달할 것으로 예측되고 있다. 이에 CCS 시장을 선점하기 위한 국가간의 경쟁이 더욱 치열해 질 것으로 예상되고 있다.

현재 우리나라의 경우 우선적으로 100만 톤 이산화탄소 해양지중저장 실증화 사업을 수행하고 있다. 이를 통해 우리나라 정부는 저장용량 최소 3,000만 톤 이상의 대용량 저장소를 확보하여 연간 100만 톤의 CO₂를 CCS 기술을 통해 처리할 것을 기대하고 있으며, 이 사업으로 확보된 기술을 활용하여 해외 CCS 시장에 진출할 것을 기대하고 있다.

해양수산부와 선박해양플랜트연구소에서는 2012년에 울산에서 동쪽으로 60~90 km 떨어진 울릉분지 남서부 주변 해역에 CO₂를 50억 톤 가량 영구 저장할 수 있는 해저 지중 저장소를 발견하였으며, 이와 연계하여 본격적인 해양 CCS 실증사업이 추진 중이다. 또한 2014년에는 해양수산부와 선박해양플랜트연구소는 CO₂를 대용량으로 격리·저장할 수 있는 해저 유망구조의 해역별 분포와 잠재적 저장 가능량을 담은 '이산화탄소 저장소 지도'를 세계에서 5번째로 제작하였으며, 지도에는 CO₂를 대규모로 저장 처리할 수 있는 동해 울릉분지와 서해 군산분지, 남해 제주분지 등에 대한 국내 해역별 저장구조를 담고 있다.

이산화탄소 해양지중저장사업

우리나라의 이산화탄소 해양지중저장사업은 파이프라인을 이용한 수송과 선박을 이용하는 수송으로 구분할 수

있기 때문에 이에 따라 2가지의 시나리오를 고려할 수 있다. 통상적으로 파이프라인을 이용하여 수송하는 경우는 포집에서 저장소까지 수송을 100% 파이프라인을 활용하는 것이고 선박을 이용하여 수송하는 경우는 저장 허브까지 파이프라인을 활용하고 허브에서 저장소까지는 선박을 활용하는 방식과, 반대로 저장 허브까지 선박을 이용하고 저장 허브에서 최종저장소까지 파이프라인을 이용하는 방식을 들 수 있다. 해양수산부 (2014)에 따르면, CO₂를 포집한 후 선박을 통해 수송할 경우 CO₂를 임시로 저장하고 재기화를 위한 허브가 필요하지만 파이프라인만으로 수송할 경우 허브가 필요하지 않다. 그러나 파이프라인으로 육상 수송이 이루어질 경우 파이프라인 설치 경로에 따라, 지자체 및 토지 소유권자와의 협의가 이루어져야 한다. 또한 설치 예정 인근지역에 거주지가 있을 경우 주민의 설득과정이 필요하여 건설기간이 지연될 수 있어서 기간 불확실성이 존재한다. 그리고 육상 파이프라인으로 CO₂를 수송하면 토지보상비용, 환경 단체 및 인근 지역 주민 반대로 인해 현재 시점에서 산정하기 어려운 비용에 대한 불확실성이 존재한다는 단점이 존재한다. 그러나 포집된 CO₂를 수송하는 선박을 개발할 경우, 포집된 CO₂를 수송하는 선박을 적용한 첫 CCS 프로젝트라는 점에서 국제 CCS 시장에서 우위를 점할 수 있으며, 동시에 CO₂ 수송 선박 시장이 활성화될 경우 시장 진출이 용이하여 조선 산업 부문에서 순 영향을 끼칠 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이에 정부는 경제성, 불확실성, 수출 및 홍보효과를 종합적으로 고려하여 선박과 해저파이프 라인을 활용한 수송방안이 우월한 대안이라 판단하고 이를 위한 계획을 수립하고 있다.

3. 이산화탄소 해양지중저장 산업의 정의

한국은행 (2015)에서 발표한 2013년 산업연관표에는 이산화탄소 해양지중저장산업이 포함되어 있지 않다. 그러므로 본 연구에서는 기존 산업연관표에 포함되어 있는 산업들을 재분류하여 이산화탄소 해양지중저장 산업의 범위를 정의하고자 한다.

한편, 이산화탄소 해양지중저장산업은 아직 관련 기술 개발이 완료되지 않고, 실증화 사업이 현재 진행 중에 있기 때문에, 산업의 범위를 설정하는 것에 있어서 어려움이 있다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 포집, 수송, 저장 단계에서의 경제적 파급효과를 모두 산정해야하지만 이를 분리하기가 불가능하기 때문에 본 연구에서는 포집된 CO₂를 수송하고 저장하는 과정에서 발생하는 경제적 파급효과에 주목하였다. 그리고 본 연구에서는 기존에 발표된 이산화탄소 해양지중저장 실증화 계획을 참조하여 이산화탄소 해양지중저장산업을 재정의하여 기존 산업연관표에 포

Table 1. The composition of CO₂ marine geological storage industry

Sectors	Sub-sectors	Minor-sectors
CO ₂ marine geological storage industry	27. Steel primary product	57. Hot rolled steel
	43. Ships	95. Ships
	50. Waste and recycling	106. Waste disposal
	52. Civil engineering and construction	113. The construction industry facilities
	71. Research and Development	114. Other construction
		144. Research and Development

함하였다. 재정의된 이산화탄소 해양지중저장산업은 다음 Table 1과 같다.

이산화탄소 해양지중저장 산업에 포함된 산업들을 선정 한 기준은 다음과 같다.

첫째, 2013년 개정된 「해양환경관리법」 시행규칙 [별 표 6]에 따르면, 포집된 CO₂는 ‘육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출가능한 폐기물’로 분류되어 있다. 이에 근거하여 본 연구에서는 이산화탄소 해양지중저장산업에 소 분류 산업인 「106. 폐기물처리산업」을 포함하는 중분류 산업 「50. 폐기물 및 자원 재활용서비스 산업」을 포함 하였다.

둘째, 포집된 CO₂를 저장하기 위한 플랜트 및 기반시설 건설이 계획되어 있으므로, 본 연구에는 중분류 산업 중 「52. 토목 건설」 산업에 포함된 「113. 산업시설건설」 및 「114. 기타건설」 산업을 포함하였다. 또한, CCS 기술이 아직 연구개발 단계에 있으므로 본 산업의 경제적 효과가 중분류 산업으로 분류된 「71. 연구개발」 산업에도 영향을 줄 것이라 가정하고 이를 이산화탄소 해양지중저장 산업에 포함하였다.

셋째, 현재 이산화탄소 해양지중저장산업은 CO₂ 포집 장소에서 저장 허브까지 파이프를 활용하는 것으로 계획하고 있다. Metz et al. (2005)에 따르면 현행 CO₂ 수송을 위한 파이프라인은 대부분 강철 파이프를 제작되고 있으며, 이에 따라 본 산업에는 중분류 산업 중 「27. 철강1차 제품」 산업에 포함된 「57. 열간압연강재」를 포함하였다. 본 산업은 철강관 제조업을 포함하고 있어 이산화탄소 해양지중저장산업에 의해 크게 영향을 받을 것으로 예측 된다.

마지막으로 파이프를 통해 저장 허브까지 수송된 CO₂는 최종 저장소까지 선박을 통해 수송되므로, 이산화탄소 해양지중저장 산업에 중분류 산업인 「43. 선박」을 포함 하였다.

이를 통해 본 연구에서는 기존 산업연관분석에서 정의한 30개의 대분류 산업에 본 연구에서 재정의한 이산화탄소 해양지중저장산업을 추가하여 산업연관분석을 수행하였다.

4. 연구방법론

산업연관분석의 개요

본 연구의 목적은 이산화탄소 해양지중저장산업이 여타 산업에 유기적으로 미치는 국민경제적 효과를 계량화하는 것이다. 이를 위해서는 이산화탄소 해양지중저장산업뿐만 아니라 다른 모든 경제부문을 미시적으로 파악하면서도 거시적인 상호관계도 관찰하여야 한다. 이 목적을 달성하기 위해, 본 연구에서는 2013년 산업연관표를 활용하여 산업연관분석(inter-industry analysis)을 적용한다. 산업연관표는 일정기간 동안 국가, 지역 등 특정 지역 내에서 재화와 용역의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 종합적인 통계표이다. 국내에서는 1960년 이후 작성되기 시작하여 현재 2013년도까지 작성되었으며, 이 표를 통해 특정연도의 국내에서 생산 및 거래 현황을 개괄할 수 있을 뿐 아니라, 산업연관분석을 통해 산업간의 상호연관관계를 수량적으로 파악할 수 있다(Miller and Blair 2009; 한국은행 2015). 특히, 산업연관분석은 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업 간의 연관관계까지도 분석이 가능하기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는 데 유리하다(강 2000; Wu and Chen 1990).

이산화탄소 해양지중저장 산업을 중심으로 살펴보기 위해서는 최종수요 변동에 초점을 맞추는 통상적 접근법을 취해서는 안 된다. 왜냐하면 최종수요는 총수요가 아니며 총수요라 하더라도 시장에서의 총공급과 일치해야만 명확한 의미를 갖는다. 그러므로 좀 더 엄밀한 의미에서 이산화탄소 해양지중저장 산업의 경제적 영향력을 고찰하기 위해서는 이산화탄소 해양지중저장 산업 부문의 총산출 변동에 초점을 맞추어야 한다. 또한 통상적인 분석으로는 이산화탄소 해양지중저장산업 부문 변동시 자기 부문 외의 다른 부문들이 받는 영향만을 고찰할 수 없다. 이에 따라 이산화탄소 해양지중저장산업의 최종수요가 증가하면 이에 따라 이산화탄소 해양지중저장산업의 산출물이 가장 크게 증가하는 것으로 분석되는데 이는 논리적으로 오류가 발생한다(유 등 2004; 박 등 2014).

이러한 문제점들은 관심대상 부문의 외생화(exogenous specification)를 통해 해결이 가능하다. 경제에서 한 부문의 변화는 곧 그 경제 모형에 외생적인 힘으로 작용한다. 산업연관분석에서는 이렇게 내생변수와 외생변수가 혼합되어 있는 경우, 외생적인 힘이 될 변수를 밖으로 내어주어 그 변수가 내생적인 경제부문에 미치는 영향을 살펴볼 수가 있는데, 이를 외생화라고 한다(Miller and Blair 2009). 이런 외생화의 방법을 쓰게 되면 총수요가 아닌 특정부문의 산출물이 미치는 영향과 그 산출물이 타 산업에 유발하는 효과를 보다 명확히 알 수 있다.

이산화탄소 해양지중저장산업은 국민경제의 기초산업 부문으로서 생산활동을 위해서는 여러 부문의 산출활동을 필요로 한다. 즉 다른 부문들의 산출물을 중간재로 수요한다. 따라서 이산화탄소 해양지중저장 산업의 생산활동은 타 산업의 생산활동에 직·간접적으로 영향을 미친다. 특히 이산화탄소 해양지중저장 산업 부문은 투자가 타 부문에 미치는 파급효과가 클 수 있다. 이 파급효과는 생산유발의 관점, 부가가치 유발의 관점, 취업유발의 관점이라는 3개 관점에서 살펴 볼 수 있다.

산업연관분석의 기본구조

한 경제 내에 모두 K 개의 산업이 존재한다고 하자. 이 때 생산된 재화들은 최종수요에 충족되거나 혹은 다른 산업에 중간재로 투입된다. 중간재를 z 로 표기하고, 아래 첨자를 붙여 z_{ij} 라고 표기하면, 이는 i 부문에서 j 부문으로 투입되는 중간재의 양을 의미한다.

산업연관표를 행(行)으로 파악하면 i 산업의 중간수요(z_{ij}), 최종수요(Y_i), 총 산출(X_i)로 표기할 수 있는데, 이는 i 부문의 산출구조를 보여준다. 한편 본 연구에서는 이산화탄소 해양지중저장산업의 국내에서의 파급효과에 초점을 두고 있기 때문에, 수입항목을 제외한 국산거래표를 분석 대상으로 하고 있으며, 이에 따른 각 부문의 산출구조는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$X_i = \sum_{j=1}^K z_{ij} + Y_i = \sum_{j=1}^K a_{ij} X_j + Y_i \quad (1)$$

여기서, a_{ij} 는 j 부문에 사용되는 i 재의 투입량의 몫($a_{ij} = z_{ij}/X_j$)이며, 이를 투입계수(input coefficient)라 한다. 이 비율은 j 부문에서 한 단위의 산출물을 생산하기 위해 중간재로 투입된 i 재의 산출물을 의미한다. 식 (1)의 경제적 의미는 경제 내 모든 산업 부문에 중간재로 투입되는 중간재로서의 i 재화의 양과 소비지출, 투자 등 최종 용도에 수요되는 양을 합한 것은 i 번째 부문에서의 총 생산량이 동일하다는 것을 의미한다.

한편, 앞서와 달리 산업연관표를 열(列)로 파악하면 중간재(z_{ij}), 부가가치(W_j), 총 투입(X_j)로 기록되는데, 이는 j

부문의 투입구조를 보여주고, 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$X_j = \sum_{i=1}^K z_{ij} + W_j = \sum_{i=1}^K r_{ij} X_i + W_j \quad (2)$$

여기서, r_{ij} 는 중간투입을 총 투입으로 나눈 값($r_{ij} = z_{ij}/X_j$)이며, 이를 산출계수(output coefficient)라고 한다. 식 (2)의 경제적 의미는 경제 내 산업 부문에 경제 내 모든 부문에서 구매된 금액에 부가가치를 더한 값은 그 부문의 총 생산액과 동일하다는 것을 의미한다(박 등 2014).

생산유발효과

산업연관분석은 산업의 투입과 산출을 이산화탄소 해양지중저장 산업에 대한 중간수요 및 최종수요와 상호 연관 지을 수 있으므로, 이산화탄소 해양지중저장 산업에 대한 수요를 분석하는 데 유용하다. 분석대상인 이산화탄소 해양지중저장 산업(H)을 외생화한 행렬에 ‘ e ’라는 상첨자를 붙여 다시 정리하면 다음 식이 유도된다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (3)$$

여기서, ΔX^e 는 분석 대상인 H 부문을 제외한 다른 부문의 산출량 변화분을 의미한다. $(I - A^e)^{-1}$ 은 투입계수행렬에서 H 부문이 포함된 열과 행을 제외시켜 작성한 레온티에프 역행렬을 나타낸다. 또한 A_H^e 는 투입계수행렬 A 의 H 부문을 나타내는 열벡터에서 H 부문 원소를 제외하고 남은 열벡터이며, X_H 는 H 부문의 산출액을 나타낸다.

부가가치 유발효과

부가가치 유발효과란 최종수요 한 단위 변화가 부가가치 부문에 미치는 파급효과를 의미한다. 여기서 이산화탄소 해양지중저장 산업의 산출액 증가가 타 부문에 미치는 부가가치 유발효과를 관찰하기 위해, 최종수요의 변동이 없다는 가정 하에 이산화탄소 해양지중저장산업을 외생화하면 다음 식이 유도된다.

$$\Delta W^e = \hat{A}_v^e \Delta X^e = \hat{A}_v^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (4)$$

ΔW^e 는 분석대상인 H 부문을 제외한 다른 부문의 부가가치 변화분을 의미한다. \hat{A}_v^e 은 부가가치계수($w_j = W_j/X_j$)의 대각행렬에서 이산화탄소 해양지중저장 산업의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬을 의미한다. 식 (2)를 통해 해양지중저장 산업의 산출액 증가에 따른 부가가치 유발효과를 구할 수 있다.

취업유발효과

취업유발효과란 해양지중저장 산업에서의 생산이 1원

만큼 증가하였을 때, 해양 지중저장 산업을 제외한 다른 산업의 취업자가 얼마나 증가하게 되는지를 의미한다. 해양 지중저장 산업 부문의 산출액이 미치는 효과를 살펴보기 위해서는 이산화탄소 해양지중저장산업 부문을 외생화시켜야 한다. 이산화탄소 해양지중저장산업 부문을 외생화한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$N^e = \hat{n}^e \Delta X^e = \hat{n}^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (5)$$

단, N^e 는 해양 지중저장 산업을 제외한 각 부문별 취업자수를 나타내며, \hat{n}^e 는 취업계수 대각행렬에서 해양 지중저장 산업의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬이다.

5. 분석 결과

각 시나리오 별 경제적 파급효과

이산화탄소 해양지중저장 산업의 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 추정한 결과는 Table 2에 제시되어 있다.

먼저, 생산유발효과를 분석하면, 「9. 1차 금속제품」과 「10. 금속제품」, 「19. 도소매서비스」 부문에서 생산유발효과가 높게 나타나는 것으로 나타난 것을 알 수 있다. 반면에, 「27. 공공행정 및 국방」 부문과 「28. 교육서비스」와 같이 이산화탄소 해양지중저장 산업과 관련이 적은 산업들은 낮은 생산유발효과가 나타났으며, 전체적으

Table 2. The indirect economic impacts of CO₂ marine geological storage industry

Industry	Production-inducing (unit: won)	Rank	Value-added (unit: won)	Rank	Employment-inducing (unit: people/won)	Rank
1. Agriculture and forestry	0.0055	25	0.0086	21	0.4101	9
2. Mining	0.0020	28	0.2110	1	1.2352	3
3. Food	0.0113	20	0.0043	26	0.0820	23
4. Textile and leather	0.0083	23	0.0056	25	0.1237	18
5. Wood paper, and printing	0.0115	19	0.0080	22	0.1539	17
6. Coal and petroleum	0.0358	9	0.0159	17	0.0156	29
7. Chemicals	0.0470	6	0.0351	6	0.2622	13
8. Nonmetallic mineral products	0.0141	16	0.0098	19	0.0965	21
9. Primary metal products	0.2762	1	0.1532	2	1.0881	4
10. Metal products	0.0553	2	0.0304	9	0.2670	12
11. Machinery and equipment	0.0448	7	0.0304	10	0.3501	10
12. Electrical and electronic devices	0.0517	4	0.0341	7	0.2086	15
13. A precision instrument	0.0086	21	0.0065	24	0.0770	24
14. Transportation equipment	0.0083	24	0.0075	23	0.0742	25
15. other manufacturing	0.0330	10	0.0279	12	0.1939	16
16. Electricity, gas and steam	0.0492	5	0.0277	13	0.0873	22
17. Water, waste and recycling	0.0116	18	0.0154	18	0.1185	19
18. Construction	0.0026	26	0.0019	29	0.0418	27
19. Wholesale and retail	0.0545	3	0.0611	3	1.6477	1
20. Transportation	0.0362	8	0.0518	4	1.5074	2
21. Restaurant and accommodation	0.0220	14	0.0161	16	0.6622	7
22. ICT and broadcasting	0.0226	13	0.0207	15	0.2574	14
23. Finance and insurance	0.0281	11	0.0400	5	0.4145	8
24. Real estate	0.0142	15	0.0285	11	0.1127	20
25. Professional, scientific and technical services	0.0254	12	0.0329	8	0.7690	6
26. Business support	0.0127	17	0.0242	14	0.9155	5
27. Public administration and defense	0.0012	29	0.0022	28	0.0269	28
28. Education	0.0004	30	0.0006	30	0.0119	30
29. Health and social welfare services	0.0021	27	0.0024	27	0.0650	26
30. Cultural and other services	0.0083	22	0.0087	20	0.3406	11
31. CO ₂ marine geological storage industry	0.9044		0.9225		11.6167	

Table 3. The indirect economic impacts of industries

Industry	Production-inducing (unit: won)	Rank	Value-added (unit: won)	Rank	Employment-inducing (unit: person/billion won)	Rank
1. Agriculture and forestry	0.6456	16	0.3596	25	5.3628	27
2. Mining	0.7109	14	0.3377	26	5.6873	26
3. Food	0.8982	5	0.6162	13	16.3637	1
4. Textile and leather	0.5848	19	0.4589	20	6.9636	20
5. Wood paper, and printing	0.6036	18	0.4458	22	7.3813	18
6. Coal and petroleum	0.2407	30	0.8864	3	9.7650	8
7. Chemicals	0.4372	25	0.4564	21	6.4906	23
8. Nonmetallic mineral products	0.8190	9	0.6875	7	9.4991	9
9. Primary metal products	0.4352	26	0.6799	8	8.7418	13
10. Metal products	0.9235	3	0.9691	1	12.7320	3
11. Machinery and equipment	0.8715	7	0.7865	5	10.3777	6
12. Electrical and electronic devices	0.4480	24	0.5229	17	7.1336	19
13. A precision instrument	0.8902	6	0.7596	6	10.0181	7
14. Transportation equipment	0.7050	15	0.6644	9	8.9441	12
15. other manufacturing	0.8015	10	0.6445	10	9.4910	10
16. Electricity, gas and steam	0.1786	31	0.5888	14	6.5257	21
17. Water, waste and recycling	0.7638	11	0.6289	12	9.1999	11
18. Construction	1.2043	1	0.8718	4	12.1630	4
19. Wholesale and retail	0.7197	13	0.4656	19	7.6253	17
20. Transportation	0.5492	21	0.4968	18	6.2847	25
21. Restaurant and accommodation	1.0486	2	0.6290	11	13.0937	2
22. ICT and broadcasting	0.5848	20	0.4312	23	8.1021	15
23. Finance and insurance	0.4979	22	0.3275	27	6.4980	22
24. Real estate	0.3939	28	0.2433	30	3.5672	31
25. Professional, scientific and technical services	0.6224	17	0.3917	24	6.3218	24
26. Business support	0.4908	23	0.3130	28	5.0509	28
27. Public administration and defense	0.3506	29	0.2360	31	4.0687	30
28. Education	0.4236	27	0.2770	29	4.5756	29
29. Health and social welfare services	0.7579	12	0.5261	16	7.9587	16
30. Cultural and other services	0.8425	8	0.5552	15	8.5119	14
31. CO ₂ marine geological storage industry	0.9044	4	0.9225	2	11.6167	5

로 0.9044원의 생산유발효과가 나타난 것을 알 수 있다.

한편, 부가가치유발효과를 분석하면, 생산유발효과와 유사하게, 「2. 광산품」, 「9. 1차 금속제품」, 「19. 도소매서비스」 부문에서 부가가치유발효과가 나타나는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 사업을 통해 파이프라인과 선박 생산과 관련된 금속제품 및 이를 유통하는 산업들 전반에서 생산 활동이 자극받고, 관련 산업의 부가가치가 창출되는 것을 의미한다. 한편, 전체적으로 0.9225원의 부가가치유발효과가 발생하는 것으로 나타났다.

마지막으로 취업유발효과를 분석하면, 「19. 도소매서비스」, 「20. 운송서비스」, 「2. 광산품」 부문의 취업을 타 부문에 비해 높이 유발시키는 것으로 나타났다. 이는

현재 이산화탄소 해양지중저장 기술개발 사업이 육상파이프라인 수송 및 선박 수송의 혼합 방식으로 계획되어 있으며, 이를 위한 시설 건설 및 운송계획이 수립되어 있음을 고려하면, 연안 및 내륙 수송운송업이 포함되어 있는 운송서비스 부문의 취업을 유발 시킨다는 본 연구의 결과가 합리적인 결과임을 알 수 있다. 전체적인 취업유발효과는 11.6167명/십억 원으로 나타났다.

Table 4는 이산화탄소 해양지중저장산업을 포함한 각각의 산업에서의 산출물 증가가 그 산업을 제외한 다른 산업들에 미치는 영향이 제시되어 있다.

분석결과에 따르면, 우리나라 전체 산업들 중 이산화탄소 해양지중저장산업은 전체 31개 산업분류 중 생산유발

Table 4. The total economic impacts of CO₂ marine geological storage industry

	Direct effect	Indirect effect	Total effect
Production-inducing effects (unit: won)	1.0000	0.9044	1.9044
Value-added effects (unit: won)	0.3262	0.9225	1.2487
Employment-inducing effects (unit: people/billion won)	5.1057	11.6167	16.7224

효과 측면에서 4위, 부가가치 유발효과는 2위, 취업유발효과 측면에서 5위로 나타나 다른 산업들에 비해 상대적으로 파급효과가 큰 산업으로 나타났다.

결과의 확장

앞에서 구한 결과는 자기산업(이산화탄소 해양지중저장 산업)을 제외한 타 산업에 대한 단위당 파급효과이므로, 이산화탄소 해양지중저장산업의 경제적 파급효과를 계산하기 위해서는 자기산업의 파급효과와 타 산업에 대한 단위당 파급효과를 구할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 앞서 정의한 이산화탄소 해양지중저장산업의 자기부문의 경제적 파급효과를 계산하여 이를 타 산업에 미치는 파급효과를 계산하여 Table 3에 나타내었다.

자기 산업에 미치는 생산유발효과는 1.000원이며, 타 산업에 미치는 생산유발효과는 0.9044원으로 도출되었으므로, 이산화탄소 해양지중저장산업의 1원 생산증가로 인한 총 생산유발효과는 이 둘의 합인 1.9044원이라 할 수 있다. 또한, 이산화탄소 해양지중저장 산업의 총 투입에서 부가가치가 차지하는 비중은 0.3262로 계산되었고, 이산화탄소 해양지중저장 산업 1원의 추가 생산으로 타 산업에 유발되는 부가가치는 0.9225원이므로, 이산화탄소 해양지중저장 산업의 1원 생산증가로 인한 총 부가가치 유발효과는 이 둘의 합인 1.2487원으로 나타낼 수 있다.

마지막으로 이산화탄소 해양지중저장 산업의 총산출 10억 원 대비 취업자 비율은 5.1057명이며, 본 산업에서의 10억 원의 추가적인 산출 증가로 타 산업에 유발되는 취업자수는 11.6167명이므로, 본 산업의 10억 원의 생산으로 인한 총 취업유발효과는 16.7224명이라 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 가장 최근에 발표된 2013년도 산업연관표를 이용하여 이산화탄소 해양지중저장산업을 통해 발생할 수 있는 국민경제적 산업파급효과인 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과를 분석하였다. 특히 본 연구는 이산화탄소 해양지중저장산업을 정의한 후 기존의 산업분류 외에 이산화탄소 해양지중저장산업부문을 전체 산업연관분석에 별도로 추가하여 분석함으로써 이산화탄소 해양지중저장산업 부문의 산출물이 미치는 영향과 그 산출물이 타 산업에 유발하는 효과를 보다 명확히 알 수 있

는 외생화 기법을 활용하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 먼저 이산화탄소 해양지중저장 산업에서 1원 생산이 이루어질 경우 이것이 관련 산업에 직접적으로 주는 효과와 간접적 효과를 합하면 총 1.9044원의 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 부가가치의 경우 1.2487원의 총 부가가치가 창출되는 것으로 나타났으며, 취업의 경우 16.7224명/십억 원의 신규 취업이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 외생화를 통해 산정한 간접효과를 타 산업과 비교할 경우, 생산유발효과는 총 31개 산업 중에서 4위를 기록하였으며, 부가가치유발효과와 취업유발효과는 각각 2위와 5위를 기록하여, 타 산업에 비해 비교적 큰 값을 가지는 것으로 도출되었다.

이러한 결과를 종합하면, 본 사업은 국가 경제 내 타 산업에 영향을 주는 파급효과가 다른 산업들에 비해 매우 높은 것으로 나타났다. 이러한 사실은 본 사업이 본래의 목표인 기후변화에 대처하는 것 이외에도 경제적 파급효과와 관점에서 국민경제에 기여하는 바가 크다는 점을 시사한다. 특히 본 연구에서 산출한 정량적인 정보는 배출권 거래제 등 CO₂ 저감을 위한 여러 정책들의 경제적 효과들과 비교가 가능한 것으로, 추후 정책 결정에 있어 하나의 준거점으로 활용이 가능하다.

본 연구는 정책적인 측면뿐만 아니라 연구적인 측면에서도 의의를 가진다. 본 연구에서 투입산출분석을 수행하는 데 있어서 본 사업이 직접적으로 영향을 주는 산업들을 중심으로 놓고 이를 외생화하여 분석하고 해석하는 방법을 택함으로써 본 사업에 대해 논의를 집중시킬 수 있었다. 물론 본 연구의 투입산출분석이 본 사업의 경제적 파급효과를 분석할 수 있는 나머지 여러 기법을 완전히 대체할 수 있다고 주장하기는 어렵다. 그러나 본 연구의 분석대상인 이산화탄소 해양지중저장산업이 직접적으로 영향을 주는 산업들의 외생화를 통한 투입산출분석이라는 체계적 접근방법을 취함으로써 본 사업의 국민경제적 산업파급효과를 분석함으로써, 후속연구 진행시 본 사업의 경제적 파급효과의 정량적 정보로 활용 가능할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2014년 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(CO₂ 해양지중저장 기술개발).

참고문헌

- 강광하 (2000) 산업연관분석론. 연암사, 서울, 422 p
- 박소연, 이경실, 유승훈 (2014) 집단에너지 부문과 도시가스 부문의 경제적 파급효과 비교분석. 에너지 공학 **23**(2): 83-92
- 유승훈, 허재용, 김기주 (2004) 투입산출표의 외생화를 이용한 전파 방송 산업의 산업파급효과 분석. 산업경제연구 **17**(5):1593-1612
- 한국은행 (2015) 산업연관표. 한국은행, 서울, 204 p
- 해양수산부 (2014) 2014 Korea Clean Carbon Storage 프로젝트 (KCCS 2005). 해양수산부
- Al-Fattah SM, Barghouty MF, Dabbousi BO (2011) Carbon capture and storage: technologies, policies, economics, and implementation strategies. CRC Press, Leiden, 404 p
- IEA (2009) Technology roadmap: carbon capture and storage. International Energy Agency. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-carbon-capture-and-storage-2009.html> Accessed 13 Jan 2016
- IEA (2014) World Energy Outlook 2014. International Energy Agency. <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2014/> Accessed 13 Jan 2016
- Metz B, Davidson O, de Coninck H, Loos M, Meyer L (2005) Carbon dioxide capture and storage. Cambridge University Press, New York, 431 p
- Miller RE, Blair PD (2009) Input-output analysis: foundations and extensions. Cambridge University Press, New York, 784 p
- van Alphen K, van Voorst tot Voorst Q, Hekkert MP, Smits RE (2007) Societal acceptance of carbon capture and storage technologies. Energy Policy **35**(8):4368-4380
- Wu RH, Chen CY (1990) On the application of input-output analysis to energy issues. Energy Econ **12**(1):71-76

국문 참고자료의 영어 표기

English translation / Romanization of references originally written in Korea

- Kang KH (2000) Input-output analysis. Yeonamsa, Seoul, 422 p
- Park SY, Lee KS, Yoo SH (2014) Comparative analysis on the economic effects of integrated-energy and manufactured gas supply sectors. J Energ Eng **23**(1):83-92
- Yoo SH, Heo JY, Kim KJ (2004) The role of the wireless communications industry in the Korean national economy: an input-output analysis. J Ind Econ Bus **17**(5):1593-1612
- The Bank of Korea (2015) Input-output table. The Bank Of Korea, Seoul, 204 p
- MOF (2014) 2014 Korea Clean Carbon Storage Project (KCCS 2005). MOF (Ministry of Oceans and Fisheries)

Received Sep. 1, 2015

Revised Jan. 18, 2016

Accepted Feb. 23, 2016