연구논문 「환경정책」 제28권 제2호 2020. 6: 183-209
DOI http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2020.28.2.183
pISSN 1598-835X eISSN 2714-0601

기술특성이 환경오염에 미치는 영향

The Effects of Technological Characteristics on Environmental Pollution

노대민* · 이응균**
Daimin Noh · Eungkyoon Lee

요약: 본 연구는 기업의 기술특성이 환경오염에 미치는 영향을 기술혁신패턴과 기술수준을 중심으로 검토하였다. 이 과정에서 환경오염을 반영하는 변수로 화학물질 배출량을 사용하였으며, 기업의 기술혁신패턴은 Pavitt의 분류 (공급자지배형, 규모집약형, 전문공급자형, 과학기반형)에 의거하여 기술수준별 집단 간 차이를 분석하였다. 분석결과 배출량은 공급자지배형이 가장 높았고, 과학기반형이 두 번째로 높았다. 이는 기업이 기술혁신을 통해 배출저감 역량을 확보하더라도, 배출비용이 낮을 경우 기술역량이 배출저감으로 이어지지 않을 수 있음을 시사한다. 그리고 기술수준에서는 중저기술사업과 고기술산업이 상반된 배출특성을 보였다. 이러한 연구결과는 배출총량규제의 적용대상을 고려하여 기업의 장기적인 기술특성이 유의미한 배출저감으로 이어지도록 유도하는 정책적 조언을 제공한다.
핵심주제어: 환경오염, 기술혁신패턴, 기술수준

Abstract: The research presented here examines the effects of firms' technological characteristics on environmental pollution, with particular focus on the patterns of technological innovation and levels of technological capability. In the process, we employed chemical emissions as a variable to reflect environmental pollution, and Pavitt's classification of firms' technological innovation patterns (i.e., supplier-dominated, scale-intensive, specialized-supplier, and science-based types) to measure disparities among groups with different levels of technological capability. The results revealed that emissions were highest in the supplier-dominated type, followed by the science-based type. However, the science-based type showed the highest amount of off-site transfer. This result implies that although a firm secures emissions reduction capabilities through technological innovation, it may not translate into de facto emissions reduction if those emission costs are low. In addition, concerning the levels of technological capability, the low-middle technology industry and the high technology industry showed opposite trends in emissions. Our findings provide useful policy implications for designing targeted environmental regulations that can ensure that long-term technological characteristics lead firms to bona fide reductions in their emissions.
Key Words: Environmental Pollution, Technological Innovation Patterns, Technology Levels

* 제1저자, 고려대학교 행정학과 박사과정 수료, 한국원자력안전재단 원자력안전정책센터 선임연구원
** 교신저자, 고려대학교 행정학과 교수

I. 서론

환경규제의 효과는 최소한 두 가지 측면에서 피규제 기업의 기술수준과 높은 연관성이 있다. 첫째, 규제강도가 기업의 기술수준보다 너무 높으면 규제순응비용이 상승하여 순응동기가 약화되며, 반대로 규제강도가 기술수준보다 너무 낮으면 기업은 최소 수준으로만 규제에 대응하여 본래의 환경규제 목적을 달성하기 어렵다. 둘째, 명령-통제형 규제(command-and-control regulation)는 동일 산업 내 기업 간 기술수준이 비슷함을 전제로 하며, 시장기반규제(market-based regulation)는 기업 간 상이한 기술수준을 전제로 한다(Gunningham and Grabosky, 2008). 하지만 상반된 전제에도 불구하고, 모든 유형의 환경규제는 기업에게 규제순응비용 절감을 위한 기술혁신 동인의 제공을 목표로 한다. 즉 이상적 규제는 최적화된 기업생산체계에 추가비용을 발생시킬 가능성을 최소화하고, 기술혁신 동인으로 기능함으로써 기업 성장에 기여할 수 있어야 한다(Lanjouw and Mody, 1996).

본 연구의 사례인 화학물질 관련 분야는 타 분야 대비 기술을 고려할 필요성이 더 높다. 화학물질은 전 산업·기술 분야와 공정에서 원료와 제품으로 사용되고 있고, 산업의 성장과 함께 취급·배출량 모두 증가하고 있어 환경에 미치는 영향이 매우 크기 때문이다. 화학물질의 경우 동일물질이라 하더라도 사용목적, 배출매체(e.g., 토양, 대기, 수계 등), 그리고 접촉매체(e.g., 흡입·접촉·경구 등)에 따라 위해성의 정도가 다르므로, 관련규제 설계 시 제품과 공정뿐 아니라 요소별 위해성 등 기술특성을 고려해야 한다. 그러나 현 화학물질 규제는 배출매체와 배출총량 위주로 설계되어 있다.

화학물질 규제 관련 국내 연구는 규제의 효과성 평가(윤이 등, 2012; 정남순, 2013; 문성진·김기환, 2014; 윤혜선·오성은, 2016)와 중앙정부 - 지자체 역할분담체계, 법률 등의 규범적 분석이 다수를 차지하고 있다(경정운·한승환, 2018; 성봉근·김연태, 2017; 송종대·김두래, 2016; 옥영석·이

영섭, 2017). 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률이 2015년에 제정되면서 화학물질 규제가 본격적으로 시작된 것을 고려하면 정량적 연구가 진행될 만큼의 충분한 데이터가 축적되지 않았기 때문으로 사료된다.

화학물질 배출관련 연구는 배출계수, 적정배출수준, 오염시나리오 및 모델링, 업종별 배출원 및 수질오염물질 등의 배출특성과 관련된 미시적 주제가 연구의 주류를 형성하고 있고(배현회·한승혜, 2020; 정수현 등, 2015; 전준민 등, 2007; 한대호, 2018; 황만식 등, 2020; Pérezrez-Ramírez, 2007; Ponche and Vinuesa, 2005; Sliger et al., 2000). 환경오염변수를 직접 반영한 연구는 상대적으로 미미한 수준이다. 대기를 통한 오염물질 배출은 국가나 기업, 지역단위에서의 규제와 함께 많이 다루어졌지만, 이는 대기환경보전법상 물질의 위해성만을 반영하고 있어 환경오염을 포괄적으로 반영하기에는 부족하다. 그러나 앞서 언급했듯, 화학물질은 산업 대부분에서 완제품 뿐 아니라 원재료까지 취급공정의 거의 모든 단계에 사용된다. 또한, 해당 오염물질이 대기, 토양, 수계로 배출되어 환경오염에 대한 폭넓은 설명력을 가질 수 있다.

따라서 본 연구는 기업의 기술특성이 오염물질 배출에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위해 화학물질 배출량으로 환경오염을 조작화 하고, 오염물질 배출과 기업의 기술특성 간 관계를 분석한다. 여기에서 강조되어야 할 점은 분석방법의 현저성(salience)이다. 기존 연구는 R&D지출 및 산업분류를 기술특성의 대리변수로 고려했지만, 본 연구는 기술의 장기적 발전 방향인 기술혁신패턴과 기술수준을 분석에 도입한다. 이를 통해 규범적 분석과 배출특성에 집중된 기존의 논의를 규제의 효과성 분석으로 확장한다.

2,398개 기업의 화학물질 자체처리량과 외부위탁처리량 등을 분석한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 원가절감형의 기술혁신패턴을 갖는 기업유형의 배출량이 가장 높았고, 중·저기술 수준을 보유한 기업은 배출량이, 고기술 기업은 이동량이 가장 높게 나타났다. 즉 배출/처리는 배출/처리비용과 밀접한 연관성을 가지며, 배출총량중심 규제는 기술수준이 너

무 높거나 낮은 기업에게는 적정하지 않다. 이러한 연구결과는 기업의 중장기 기술특성을 반영하고 총량규제의 적용대상을 설정하기 위한 환경규제를 설계할 때 유용한 근거를 제공할 수 있다는 점에서 의의를 갖는다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절은 환경규제에서 기술과 관련된 기존 논의를 살펴보고 기술특성을 반영하는 기술혁신패턴과 기술수준을 소개하며, 3절은 2절에서의 토론을 기반으로 한 실증분석 결과를 제시한다. 마지막으로 4절은 연구의 요약과 확장을 위한 논의를 담는다.

II. 이론적 배경 및 연구설계

1. 환경규제에서 기술을 바라보는 관점

환경규제와 기술에 관한 기존연구는 환경규제가 기술혁신 동인으로 작용하여 기업성과를 향상시킨다는 연구와 그렇지 않다는 연구로 구분할 수 있다. 이 두 견해에서 기술은 기업성과에 영향을 주는 요소이며, 기술혁신은 기업성과 중 하나로 제시된다.

신고전주의 관점에서 환경규제는 기업경쟁력을 저하한다. 즉, 신고전주의 전통의 연구는 환경규제가 오염방지시설 및 투자설치비용 등의 추가비용(규제순응비용)을 초래하고, 이는 최적화된 생산체계의 효율성을 저해한다고 설명한다. 그러나 수정주의 관점에서는 규제가 규제준수를 위한 기술획득비용 절감동인, 즉 기술혁신 동인을 제공한다. 기업이 R&D 투자를 통해 기술획득비용을 절감하면 생산성과 효율성이 증가하여 가격경쟁력을 갖게 되고, 이는 R&D 투자비용을 상쇄한다는 주장이다(Palmer et al., 1995; Porter and Linde, 1995). 또한 신규오염방지시설의 도입 역시 기존의 효율이 떨어진 장비를 대체하여 생산성과 기업성과를 향상할 수 있다고 주장한다(김인수, 2012).

환경규제와 기술혁신동인에 대한 기존연구 대부분은 수정주의를 지지하고 있다. 환경오염방지 지출로 측정된 환경규제는 특허활동 또는 제조업

산업분류 내 R&D 지출액으로 측정된 기술혁신에 유의미한 정(+)의 관계를 보였다(강만옥·이상용, 2006; 조주현, 2003; Jaffe and Palmer, 1997; Lanjouw and Mody, 1996). 이러한 기술적 성과 외, 환경규제가 부가가치와 수익 등 기업의 재무적 성과에 미치는 영향에 관한 기존연구에서는 (+), (-) 모두 유의하게 나타났다(김인수, 2012; 이영범·지현정, 2011).

또 다른 연구에서는 기술을 기업의 환경규제준수능력으로 보고 있다. 김인수(2012)는 기업의 환경규제준수능력을 기술적, 재무적, 구조적 측면으로 구분하고, 구조적 측면은 다시 자본집약도와 수출 비중, 종업원 비중으로 세분화하였다. 이중 기술적 측면은 전술한 기술혁신과 동일한 관점으로, R&D 투자로 측정된 기술혁신이 환경기술개발을 촉진시켜 환경오염물질 배출 저감능력을 확보하게 한다는 것이다. 관련 연구에서도 환경오염방지비용은 R&D 투자 및 특허권 등 기술혁신과 정(+)의 관계를 보였으며(Jaffe and Palme, 1997), R&D 투자비율이 높은 기업은 환경규제위반성향과 위반빈도 역시 낮았다(김선화 등, 2008).

2. 기술특성의 반영

환경분야에서 기술은 정부가 제시하는 환경규제를 준수할 수 있는 능력을 의미할 뿐만 아니라 규제준수를 위한 기술획득비용 측면에서 수익성과도 직결된다. 또한, 기술과 밀접한 기업에게 자체 R&D 역량은 기업성장가치와도 연결된다. 특히 화학분야에서 기술은 기술이 적용되는 제품과 공정뿐 아니라 적용되는 물질의 위해성 규명 및 정부규제에서도 매우 중요하게 다뤄진다.

기존 연구에서 기술은 환경규제준수를 위한 기업의 역량 또는 기술혁신활동을 포함한 기업의 성과측면에서 논의됐다. 그러나 환경규제에서 기술은 오염과 안전의 기준을 정하고 사회적 합의를 하는데 매우 중요한 변수임에도 불구하고 그 특성이 충분히 반영되지 않았다. 또한 환경규제가 기업에게 기술혁신동인을 제공한다는 관점에서 진행된 연구는 제조업 내 중분류를 사용해 개별기업의 기술특성에 대한 설명력을 갖기에 한계가 있다.

아울러 기술을 환경규제 준수능력으로 간주한 연구는 기술을 R&D지출액, 특허활동, 환경오염물질배출 시설투자 등으로 측정했는데, 이는 기술의 특성이라기보다 기술개발 또는 기술확보 전후단계의 산출물로 보인다.

이에 본 연구는 환경규제에서 중요한 기술특성을 기술혁신패턴과 기술수준으로 반영하고, 이러한 기술특성이 환경오염에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 기술혁신패턴은 기업에 누적된 기술특성으로 장기적인 기술의 발전방향을 나타낼 수 있으며, 기술수준은 R&D 집약도를 반영한 기술의 범용화 수준으로 기술의 표준화와 확산정도를 제시할 수 있어 기업의 직접적인 기술특성을 유의미하게 설명한다.

1) 기술혁신패턴: Pavitt's Taxonomy

기술은 시간이 지남에 따라 누적되고 일종의 패턴을 형성한다. 이는 S곡선의 형태로 추정되며 기술수명주기로 정의되기도 한다. 기술수명주기와 관련한 연구는 시간에 따른 기술확산 속도에 산업간 일정한 패턴이 있음이 관찰되면서 시작되었고, 이를 통해 각기 다른 기술의 변화가 설명되고 있다(Narayanan and O'Connor, 2010). 관련하여 기술의 진화 또는 변화방향을 기술혁신패턴으로도 정의할 수 있다.

기존연구에서 기술특성의 반영단위는 산업 또는 기업이었다. 그러나 이 경우 해당 결과는 20개가 넘는 산업분류나 개별기업으로 파편화되어 설명력을 갖기 어렵다. 반면 Pavitt(1984)은 비슷한 기술혁신패턴을 가진 기업들을 4개의 섹터로 구분했는데, 이러한 Pavitt의 기술혁신패턴은 기술특성을 반영하기 위한 적정한 모형으로 사용할 수 있다. 특히 화학물질은 원료와 제품 모두 규제의 대상이 되는 분야임을 고려할 때, 장기적인 기술발전방향이 반영되어야만 규제정책의 활용도가 높아질 수 있다.

Pavitt(1984)은 2,000개 기업의 조사/분석을 통해 혁신의 원천(Knowledge input) 및 기업 특성, 산업속성 등을 기준으로 비슷한 혁신패턴을 가진 기업을 구분했다. 이는 1945~1979년 영국기업을 대상으로 했기에 특정 시기 및 국가, 경제/사회시스템과 구조 내에서만 유효한 것일 수 있으나(De Marchi

et.al, 1996), 해당 섹터에 대한 검증과 개정, 이에 따른 유의미한 결과가 계속 도출되고 있어 여전히 강한 설명력을 갖는 모델이라 할 수 있다(Archibugi, 2001; Bogliacino and Pianta, 2010, 2016; Dewick et al., 2004; Greenhalgh and Rogers, 2006; Tidd, 2001).

Pavitt(1984)은 기업의 기술혁신패턴을 공급자지배(Supplier Dominated), 전문공급자형(Production Intensive Specialized Suppliers), 규모집약형(Production Intensive Scale Intensive), 과학기반형(Science-based)으로 구분하여 기술혁신 유형의 다양성과 동일 섹터 내 혁신패턴을 설명한다. 특히 기술혁신의 원천과 사용자 유형, 전유성(Approachability) 확보수단을 기술혁신경로 결정요인으로 설명하며 각 섹터 간 차이를 제시한다.

공급자지배형 기업은 혁신의 원천을 공급자와 대규모 사용자가 갖고 있고, 가격에 민감한 사용자를 대상으로 하고 있어 원가절감으로 기술혁신 패턴이 형성된다. 여기에는 전통적인 소규모 형태의 제조업과 농업 등이 포함된다. 생산집약형은 대규모 생산활동을 포함하는 기업으로 규모집약형과 전문공급자형으로 다시 구분된다. 규모집약형은 대량원료를 취급하는 철강, 유리 등의 산업을 포함한다. 원료의 가격에 민감한 사용자를 대상으로 하기 때문에 기술혁신의 원천이 공급자의 연구개발에 따라 좌우되며 선제적인 연구개발과 적용이 전유성을 확보하는 수단에 포함된다. 전문공급자형은 성능에 민감한 사용자를 대상으로 하며 해당 사용자를 혁신의 원천으로도 갖는다. 대규모 공정을 위한 기계/장비 제품혁신의 비중이 상대적으로 높다. 마지막으로 과학기반형은 공급자, 사용자뿐 아니라 공공부문의 연구개발을 혁신원천으로 삼는 기업으로, 전기전자, 화학 등 일반적인 기초원천 단계의 연구개발이 포함되는 산업을 대상으로 한다. Pavitt(1984) 이후 진행된 연구에서는 상기 4개 외 IT하드웨어 및 소프트웨어 등을 이용하는 구매, 금융 등의 정보집약적 산업과 소프트웨어 관련 기업을 추가하여 변화된 산업양상을 반영했다(Greenhalgh and Rogers, 2006).

Pavitt의 설명대로 산업별 기술혁신패턴이 기술혁신의 원천, 소비자 유

형 및 기술의 전유성 확보 수단에 따라 상이하다면 제품과 공정에 따라 배출되는 환경오염물질 역시 다를 것이다. 또한 Pavitt의 기술혁신패턴을 환경오염물질 배출에도 적용 가능함을 입증할 수 있을 것이다. 대량원료를 사용하는 규모집약형 기업의 경우 해당 원료의 재가공 차수가 1-2차에 한정될 것이며, 해당 공정에서 원료의 세척, 가공, 완제품별 배출되는 환경오염물질의 양과 배출매체는, 전기화학과 같이 소량의 화학물질로 작은 크기의 제품을 생산하는 과학기반형 기업과 상이할 것이다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하고자 한다.

[가설 1] 화학물질배출량은 Pavitt의 혁신패턴에 따라 그룹 간 유의미한 차이를 보일 것이다.

〈표 1〉 Pavitt의 기술혁신패턴

기업유형		핵심산업	기술혁신경로 결정요인			기술혁신패턴	기타특성			
			기술혁신의 원천	사용자	전유성 확보 수단		원천 및 공정 기술	제품/공정 혁신의 상대적 비중	상대적 기업크기	기술다각화의 집중도 및 방향**
공급자 지배형		농업, 가정 제조업; 민간서비스, 전통 제조업	공급자의 연구 및 관련 서비스 : 대규모의 사용자	가격 민감	비기술적 수단 (트레이드마크, 마케팅, 광고, 디자인 등)	원가 절감	공급자	공정혁신	중소	낮은 수직형
생산 집약적	규모 집약형	대량 원료: 조립라인 (내구성 소모재 및 자동차)	제품생산부서 공급자: R&D	가격 민감	공정비밀 및 노하우: 기술적 시간차 : 특허:역동적 학습:	원가 절감 (제품디자인)	내부:공급자	공정혁신	대	높은 수직형
	전문 공급자형	기계 및 장비	디자인 및 사용자	성능 민감	디자인, 노하우, 사용자의 지식/특허	제품 디자인	내부:고객	제품혁신	중소	낮은 동심형
과학기반형		전기 전자 및 화학 산업	R&D 공공부문의 과학 ;제품생산부서	혼합	R&D 노하우; 특허:공정비밀 및 노하우, 역동적 학습	혼합	내부:공급자	혼합	대	낮은 수직형 높은 동심형

*출처: Pavitt, K.(1984), "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory," *Research Policy,* 13(6), pp.343-373, Table 5 재인용
**기술다각화 : 수직형(vertical), 동심형(concentric)

2) 기술수준

기본적으로 기술수준은 전술한 기술수명, 기술발전커브에 근거한다. 시

간이 지남에 따라 표준화된 기술이 산업계 전반에 확산되고, 곧 진부화되고 쇠퇴하여 새로운 기술이 등장한다. 이 일련의 과정은 S곡선 형태를 띤다. OECD에서는 산업군별로 고기술, 중고기술, 중저기술, 저기술산업 즉 범용기술 산업으로 구분하고 있다.

〈표 2〉 OECD 기술기업군 판단기준

고기술 산업(첨단 기술 산업)	중 · 고기술 산업
-사무, 회계/컴퓨팅 기계 -라디오, TV/ 커뮤니케이션 장비 -항공/우주 -제약 산업 -의료, 정밀/광학 기기	-전기 및 관련 기계/ 기구 -자동차, 트레일러 -의약품 제외 화학물질 -철도 및 운송 장비 -기계/장비
중 · 저기술 산업	**저기술 산업(범용 기술 산업)**
-선박 및 보트 건설/수리 -고무 및 플라스틱 제품 -코크스, 석유 정제품 및 핵연료 -기타 비금속 광물 제품 -기본 금속 및 조립 금속 제품	-제조업 관련 및 재활용 산업 -목재, 펄프, 종이, 종이제품, 인쇄/출판 -식품제품, 음료 및 담배 -의류, 섬유, 섬유 제품, 가죽 및 신발

*출처: OECD(2011), Directorate for science, technology and industry, 'ISIC REV.3 Technology intensity definition

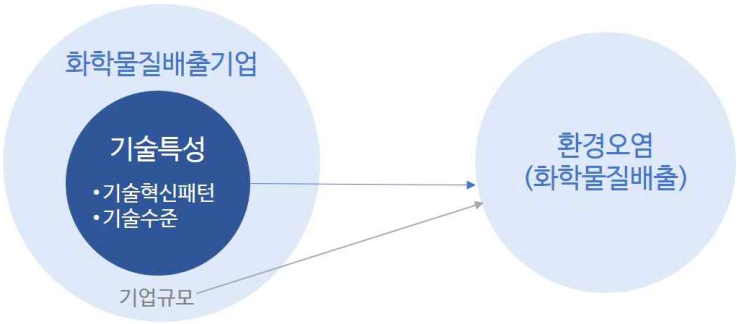
범용기술에서 첨단기술로 기술수준이 올라갈수록, 공정이 복잡해지고 물질의 위해도는 높아질 수 있다. 범용기술의 경우 기술수명이 길고, 해당 산업계에서 해당기술이 표준화되면서, 기술과 물질의 위해성이 어느 정도 밝혀지고 규제에 반영되었다고 볼 수 있다. 반면, 첨단기술로 분류되는 제약과 중고기술로 분류되는 전기와 화학의 경우 새로운 물질의 개발과 사용이 주요한 경쟁력임을 고려할 때 해당 물질의 위해성이 물질을 사용하는 시점에서 모두 밝혀져 규제에 반영되었다고 판단하기 어렵다. 사용-배출되는 화학물질의 위해성이 규제에 반영된 정도는 기업의 환경오염물질 배출행태에 영향을 줄 것이며, 이는 실제적인 환경오염물질 배출에 반영될 것이다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정한다.

[가설 2] 화학물질배출량은 기술수준에 따라 그룹 간 유의미한 차이를 보일 것이다.

Ⅲ. 실증분석

기존 연구에서는 환경오염을 환경오염관련 시설 및 장비의 설치와 같은 지출로 측정하였다. 환경오염방지시설별 특성이나 시설의 설치 필요가 기업별로 상이할 것이나 이를 반영하기는 현실적으로 곤란하다. 이에 본 연구에서는 화학물질배출로 환경오염을 측정하고자 한다. 화학물질은 거의 전 산업에 원재료로 사용되고 배출되는 특성이 있어 좀 더 직접적인 환경오염 특성을 반영하는데 용이하다. 또한 제조업만을 대상으로 진행했던 기존연구와 다르게, 좀 더 폭넓은 분야의 기업을 분석대상으로 선택할 수 있고 비점오염원 및 위탁처리량 등이 포함되어 가설검증에 더 적합하다. 실증분석은 Pavitt의 혁신패턴, 기술수준, 기업규모의 기술통계와 집단 간 차이를 보기 위한 차이분석으로 진행하였다.

〈그림 1〉 연구모형



1. 데이터 및 변수

1) 데이터

본 연구에서는 '2016 화학물질배출량 조사'통계를 활용하였다. 환경부는 「화학물질관리법」제11조 및 동법 시행규칙 제5조에 의거 화학물질배출량조사를 매년 시행하고 있다. 1989년부터 시작된 화학물질배출량조사

는 폐수 또는 대기 배출시설 설치 허가 및 신고를 한 사업장 중 종업원수 100인 이상인 기업체를 대상으로 시행되다 점차 범위를 확대하여 2012년부터는 전체사업장을 대상으로 시행하고 있다.

조사대상 물질은 유해화학물질, 발암물질, 중금속 등 독성물질과 환경오염물질 중 조사기준 이상의 농도로 함유되어 있고, 제조/사용 총량이 1그룹(발암성, 중금속)에 해당하는 물질의 경우 연간 1톤 이상, 2그룹(독성물질)에 해당하는 물질의 경우 연간 10톤 이상인 화학물질 중 총 415종이다.

기존 연구 대부분이 제조업만을 대상으로 진행됐던 반면, 화학물질배출량조사는 광업, 전기/가스/증기 및 공기조절공급업, 수도/하수 및 폐기물처리-원료재생업 등을 조사대상 업종에 포함하고 있다. 또한, 저장/운반, 물질과 제품의 제조/생산, 생산이후 환경오염방지시설과 같은 점오염원뿐 아니라 비점오염원 배출도 포함하고 있어 환경오염 반영변수로 적절하다. 화학물질배출량조사 대상 화학물질은 해당 물질종류에 따라 배출매체, 관리체계가 상이하다. 그러나 각기 다른 복잡한 관리체계의 적용기준은 공통적으로 기술 및 사회적으로 안전하다고 합의된 수준으로 설계된 규제에 공통적으로 반영되었다.

2) 변수

본 연구에서 사용한 변수 대부분은 화학물질배출량조사의 조사항목을 준용하였다. 화학물질배출량조사의 조사항목은 사업장 일반현황과 화학물질별 연간 제조·사용량, 대기·수계·토양으로 각각 배출된 화학물질의 양, 화학물질이 폐기물·폐수에 포함되어 사업장 외부로 위탁처리(이동)된 양을 포함한다. 해당 결과는 화학물질안전원 화학물질 배출·이동량 정보공개 누리집에 공개된다. 화학물질 환경배출량·이동량 조사표에는 종업원수와 매출액, 화학물질별 배출매체와 CAS 번호, 조사대상 화학물질의 생산량과 사용량, 이동량, 배출량이 모두 포함되나, 전체데이터가 공개되지 않아 화학물질배출량통계 공개시스템에서 조회되는 데이터를 활용하였다. 배출량은 환경오염처리시설과 같은 자체 보유 기술/설비로 오염을

처리하는 것이고, 이동량은 위탁처리하는 것이므로 배출저감역량확보, 기술력, 처리비용의 방식 간 차이를 확인하기 위해 배출량과 이동량 간 차이 변수를 추가하였다.

기업규모는 조사표로 측정된 화학물질 배출량 공개 시스템을 활용했으며 기술수준과 Pavitt의 기술혁신패턴은 산업분류를 기준으로 선행연구를 활용하여 매칭하여 사용하였다. Pavitt의 혁신패턴은 Greehgalagh and Rogers(2006)가 제시한 US-SIC와 Pavitt의 혁신패턴 연계표를 활용하여, US-SIC를 KSIC로 재변환해 사용하였다. KSIC는 2017년에 10차 개정이 이루어졌으나, 2016년 화학물질배출량조사를 기준으로 하므로 9차 개정 분류를 활용하였다.

〈표 3〉 사용변수 설명 및 측정

구분	변수	설명	측정
기술 특성	KSIC	한국표준 산업분류 *5digit으로 제시, 2digit사용	응답자 분류코드 체크
	Pavitt	Pavitt의 혁신패턴에 따른 산업분류 *(Greenhalgh and Rogers, 2006) 표1 활용	① Supplier Dominated(SD) ② Production Intensive- scale intensive (PISI) ③ Production Intensive-specialised suppliers(PISS) ④ Science Based(SB) ⑤ Information Intensive(II)
	T_Level	범용기술부터 첨단기술의 정도 *OECD(2011)분류표 활용, KSIC 매칭	① 고기술(H) ③ 중간저기술(ML) ② 중간고기술(MH) ④ 저기술/범용기술(L)
기업 특성	SIZE	종사자 기준 기업규모(명)	① 50인 미만 ③ 300-500인 미만 ② 50~300인 미만 ④ 500인 이상
환경 오염	배출량	조사대상 화학물질이 조사년도 1년간 사업장내 환경매체(대기, 수계, 토양)로 직접 또는 환경오염방지시설을 거쳐 배출되는 화학물질의 양(kg/년)	
	자기 매립량	사업장 내 위치한 관리형/차단형 매립지에 매립한 화학물질의 양(kg/년)	
	이동량	조사대상 화학물질이 조사년도 1년간 위탁처리를 위해 폐수처리업체(공동처리장, 하수종말처리장 등) 또는 폐기물 처리업체로 이송되는 화학물질의 양(kg/년)	

2. 기술통계

변수의 기술통계는 〈표 4〉와 같다. 화학물질 배출량과 이동량 모두 분산이 높았으며, 편차도 크게 나타났다. 기술수준의 평균값은 2.19로 중간저기술과 중간고기술 사이 값으로 범용기술과 첨단기술보다 평균적인 기술수준을 가지고 있는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 기술통계

변수	N	최소값	최대값	평균	표준편차
배출량	2412	0	1194833	9668.40	49491.541
자기매립량	2412	0	894	0.37	18.203
이동량	2412	0	14797530	74464.59	436560.238
배출량-이동량	2412	-14705957.00	1149170.00	-64796.1961	434127.47511
Size	2412	1	4	2.49	1.159
T_level	2398	1	4	2.19	0.963
유효수	2398				

화학물질배출량은 자체처리하는 오염물질양으로 위탁처리하는 이동량과 정(+)의 방향으로 높은 상관을 보였으나, 배출량과 이동량 차이와는 유의미하지 않게 나타났다. 배출량은 이동량과만 유의미한 상관을 보인 반면, 위탁처리를 위해 폐수/폐기물 처리업체로 이송되는 이동량은 배출량, 배출량-이동량, 종업원수와 모두 유의미한 상관을 보였다. 기존연구에서 동종산업 대비 종업원 비중이 높으면 환경관리 전담/효율적 운영이 가능해 규제위반가능성이 낮았다(김인수, 2012). 본 분석에서 종업원수는 자체처리량인 배출량과는 유의미하지 않았으나 이동량과는 정(+)의 상관을 보였다. 화학물질배출량조사 대상기업이 모두 배출기준을 준수한다고 가정할 경우, 기업규모가 클수록 오염물질의 자체기술력을 통한 배출 대신 위탁처리를 통한 규제준수방식 활용을 고려하는 것으로 보인다. 자기매립량은 어느 변수와도 유의하지 않았다.

〈표 5〉 상관관계 분석

	배출량	자기매립량	이동량	배출량-이동량	Size
배출량	1	-0.004	.106**	0.008	0.007
자기매립량	-0.004	1	-0.003	0.003	0.027
이동량	.106**	-0.003	1	-.994**	.042*
배출량-이동량	0.008	0.003	-.994**	1	-.041*
Size	0.007	0.027	.042*	-.041*	1

**, *.는 상관관계가 각각 0.01, 0.05 수준에서 유의함(양측)

Pavitt의 혁신패턴과 기술수준 교차분석결과 기술혁신패턴과 기술수준은 유의미한 관계를 보였다. 공급자지배형(SD)과 규모집약형(PISI)은 저기술산업(L)~중고기술(MH)산업에 분포하되 저기술산업에 40% 이상 포함되었다. 과학기반형(SB)은 중저기술(ML)~고기술산업(H)에 분포하되 80% 이상이 중고기술산업(MH)에 포함되었다. 전체적으로는 공급자지배형(SD), 규모집약형(PISI), 전문공급자형(PISS), 과학기반형(SB)에 각각 32.3%, 30.2%, 4.4%, 33.1%가 분포하여 전문공급자형(PISS)을 제외하고는 비슷한 비율을 보였다.

〈표 6〉 Pavitt*T_level(기술수준) 교차표

기술수준			L	ML	MH	H	전체
PavItt	SD	빈도	429	289	56	0	774
		Pavitt 중 %	55.4%	37.3%	7.2%	0.0%	100%
		T_level 중 %	54.2%	59.1%	5.7%	0.0%	32.3%
	PISI	빈도	316	180	229	0	725
		Pavitt 중 %	43.6%	24.8%	31.6%	0.0%	100%
		T_level 중 %	39.9%	36.8%	23.3%	0.0%	30.2%
	PISS	빈도	46	0	54	5	105
		Pavitt 중 %	43.8%	0.0%	51.4%	4.8%	100%
		T_level 중 %	5.8%	0.0%	5.5%	3.7%	4.4%
	SB	빈도	0	20	644	130	794
		Pavitt 중 %	0.0%	2.5%	81.1%	16.4%	100%
		T_level 중 %	0.0%	4.1%	65.5%	96.3%	33.1%
Chi-Square=462.909 (df=9, Sig=.000)		빈도	791	489	983	135	2398
		T_level 중 %	100%	100%	100%	100%	100%
		전체 중 %	33.0%	20.4%	41.0%	5.6%	100%

3. 집단 간 차이 분석

1) 기술혁신패턴

가설검증을 위해 Pavitt의 기술혁신패턴, 기술수준별 집단 간 차이분석을 진행하였다. 분산분석결과 분산의 동질성이 충족되지 않아 비모수검정인 Kruskal-Wallis검정을 진행하여 집단 간 유의한 차이를 확인할 수 있었고 두 가설은 모두 지지되었다. 두 가설 모두 평균의 동질성 로버스트 검정인 Welch과 Brown-Forsythe 테스트가 유의하였다. 기술혁신패턴과 기술수준은 하위집단 간 Mann-Whitney의 U검정을 진행하였다. 자기매립량은 없는('0'응답) 기업이 많아(2409/2412개) 모든 변수에서 집단 간 차이가 유의하지 않았다.

첫 번째 가설을 확인하기 위하여 Pavitt의 혁신패턴별 화학물질 배출량과 이동량의 집단 간 차이를 분석한 결과, 비모수검정에서 집단간 차이가 유의미하게 나타났다. Mann-Whitney의 U검정 결과 규모집약형(PISI)과 전문공급자(PISS)간 배출량 차이는 유의하지 않았다. 화학물질배출량은 공급자지배형(SD), 과학기반형(SB), 규모집약형(PISI), 전문공급자형(PISS) 순으로 나타났다. 정보집약형(II)으로 매칭된 기업은 2개로 집단 간 분석에서 제외하였다.

수정주의 논의에서 규제는 기술혁신투자를 촉진한다(Lanjouw and Mody, 1996; Jaffe and Palmer, 1997; 조주현, 2003; 강만옥·이상용, 2006). 기술혁신투자가 배출저감역량확보 및 배출량저감으로 이어지는지는 별도의 논의가 필요하나, 규제가 기술혁신투자를 촉진하기 위해서는 기술이 기업활동에서 중요하거나 필수적이어야 한다. 이러한 기업군에서는 규제 준수를 위한 기술획득비용의 절감이 기업생존에서 중요한 의의를 가질 수 있다.

가장 많은 배출량을 보인 공급자지배형(SD)은 농업, 가정 제조업 등의 민간서비스와 전통제조업이 핵심산업군에 해당한다. 이러한 산업은 기술특성이 매우 강한 고기술기업군 대비 기업 내에서 기술이 가지는 중요성이 상대적으로 낮으며, 전유성 확보 수단 역시 마케팅, 광고 등의 비기술

적 수단이다. 또한 공급자지배형(SD)의 상대적으로 작은 기업규모와 가격에 민감한 사용자 유형을 고려할 경우, 배출량 저감을 위한 투자 우선순위 및 기술획득을 통한 배출비용저감의 중요성이 높지 않을 것으로 보인다. Pavitt에 따르면 공급자지배형(SD)의 기술적 다각화의 집중도 및 방향은 낮은 수직형을 갖는데, 기업 간 또는 기업 내 기술수준 편차가 크지 않아 동일그룹 내 기술수준을 유사한 수준으로 가정하는 규제가 적정한 것으로 판단된다.

과학기반형(SB)은 두 번째로 배출량이 많게 나타났다. 과학기반형의 핵심산업은 전기전자 및 화학산업으로 제조/공정 단계상 많은 화학물질의 투입과 배출이 수반되는 특성이 우선적으로 반영된 것으로 보인다. Mann-Whitney의 U검정에서 생산집약형인 규모집약형(PISI)과 전문공급자형(PISS) 간 배출량 차이는 유의하지 않았다. 다만 과학기반형(SB)이 생산집약형(PISI+PISS)보다 높은 배출량을 나타냈는데, 이는 과학기반형의 높은 기술집약도가 반영된 것으로 보인다. 기술집약적 기업은 노동집약적 기업 대비 기술특성이 강하고 생산설비 및 원자재 비중이 높아 환경오염배출규모가 높다(김인수, 2012). 생산집약형의 전유성 확보수단은 공정비밀, 노하우, 특허와 학습, 디자인 및 사용자의 지식인 반면, 과학기반형은 디자인을 제외한 생산집약형 대부분의 수단과 R&D를 포함하여 기술보호에 더 집중하는 기술집약적 기업으로 볼 수 있다.

그러나 기술집약도와 산업의 배출특성 외 다른 요인에 대한 고려가 필요해 보인다. 과학기반형과 공급자지배형은 상이한 기술특성을 가짐에도 배출량과 이동량이 유사하게 높게 나타났고, Mann-Whitney U검정에서 과학기반형과 공급자지배형 간 배출량과 이동량의 차이는 유의미하지 않았기 때문이다. 기업이 배출저감역량이 있다면 오염물질의 자체처리가 가능하지만 위탁처리가 경제적편익을 창출한다면 위탁처리를 선호할 것이다. 이와 같이 이동량은 기술역량과 처리비용을 고려해야 하는데, 과학기반형과 공급자지배형의 배출특성에는 이 구분이 명확하지 않아 보인다. 이는 기존연구에서는 반영되지 않았던 기술적 다각화의 집중도와 방향과

차이 때문으로 해석된다.

수정주의 논의에서 규제는 기술혁신을 촉진한다(강만옥·이상용, 2006; Lanjouw and Mody, 1996). 규제준수역량 관점에서 기술혁신은 환경오염물질 배출저감능력을 확보하게 한다(Jaffe and Palmer, 1997). 즉 기업은 규제를 계기로 기술을 혁신하고 환경오염물질을 적게 배출할 수 있다. 그러나 기술특성이 강한 기업은 원자재와 생산설비 비중이 높아 오염물질 배출 규모가 크고, 지속적인 기술개발과 설비의 시설/교체가 이루어지지 않으면 환경규제 위반 가능성이 높다(김인수, 2012). 오염물질 배출규모가 큰 기술집약적 기업은 기술혁신을 통해 환경오염물질을 적게 배출할 수 있지만, 해당 역량을 배출저감에 투입하지 않을 경우, 오염물질 배출규모 감소 및 규제준수로 이어지지 않을 수 있다. 즉 배출저감역량과 실제적인 배출규모 및 규제준수 간 간극이 존재한다. 특히 과학기반형(SB)과 같이 기존 가정과 달리 동일그룹 내 기술수준과 기술획득비용이 상이한 경우 이에 대한 고려가 필요하다. 기술혁신투자를 통해 배출저감역량을 확보하는 비용보다 규제준수에 소모되는 비용이 낮다면 기업은 후자를 선택하거나 기술혁신투자의 방향을 규제준수에 집중하지 않을 것이다. 또한, 동일그룹 내 기술수준 차이로 인해 기업별 기술획득비용 대비 규제준수비용이 상이하다면 기업의 환경규제 준수 동인은 떨어진다.

〈표 7〉 Pavitt 혁신패턴별 집단 간 차이 분석

구분	Pavitt	N	평균	표준편차	표준오차	평균순위
배출량	SD	774	16837.87	75113.37	2699.89	1251.88
	PISI	725	5313.98	35279.09	1310.23	905.71
	PISS	112	132.96	222.54	21.03	926.13
	SB	794	8084.79	26969.74	957.12	1465.86
	전체	2405	9696.20	49560.85	1010.60	
	F 9.006, p-value.000, 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..000, Brown-Forsythe..000* *Kruskal-Wallis의 H 279.624 자유도 3, 근사유의확률 .000*					

이동량	SD	774	87116.84	299032.15	10748.49	1340.86
	PISI	725	4684.64	22290.57	827.85	879.25
	PISS	112	41.22	129.42	12.23	732.89
	SB	794	136999.96	694602.07	24650.51	1430.54
	전체	2405	74680.83	437176.93	8914.56	
	F 13.064 p-value.000, 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..000, Brown-Forsythe..000* *Kruskal-Wallis의 H 360.084 자유도 3 근사유의확률 .000*					
배출량 - 이동량	SD	-70278.979	-70278.98	301116.31	10823.40	1139.72
	PISI	629.339	629.34	39199.65	1455.84	1370.82
	PISS	91.741	91.74	265.93	25.13	1472.81
	SB	-128915.166	-128915.17	688859.32	24446.70	1073.39
	전체	-64984.626	-64984.63	434744.99	8864.97	
	F 12.273 p-value.000, 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..000, Brown-Forsythe..000* *Kruskal-Wallis의 H 94.500, 자유도 3 근사유의확률 .000*					

〈표 8〉 Pavitt 혁신패턴의 Mann-Whitney의 U 검정결과

		PISI	PISS	SB
배출량	SD	203728***	32212.5***	257131***
	PISI		38492	151247***
	PISS			22478***
		PISI	PISS	SB
이동량	SD	176326.5***	22525.5***	288912.5***
	PISI		35462***	152216.5***
	PISS			17768.5***
		PISI	PISS	SB
배출량 - 이동량	SD	228095.000***	32061.500***	292492.500
	PISI		36210.500	214249.000***
	PISS			29917.000***

1) 칸 안은 Mann-Whitney의 U 값,, 2) *** p〈0.01, **p〈0.05, *p〈0.1

2) 기술수준

세 번째 가설을 확인하기 위하여 기술수준별 화학물질 배출량과 이동량의 집단 간 차이를 분석한 결과 비모수검정에서 집단 간 차이가 유의미하게 나타났다. 기술수준별 화학물질 배출량은 중저기술산업(ML)-저기술산

업(L)-중고기술산업(MH)-고기술산업(H) 순으로 나타났다. 하위집단 간 분석결과 중저기술산업(ML)-중고기술산업(MH), 중고기술산업(MH)-고기술산업(H)간 차이는 유의하지 않아, 해당 산업 간 기술수준과 오염물질 자체처리량의 차이는 유의미하지 않았다.

중저기술산업은 배출량이 가장 높고 이동량은 가장 낮게 나타난 반면, 고기술산업에서 배출량은 가장 낮았고 이동량은 가장 높게 나타났다. 두 유형의 하위집단 간 차이는 모두 유의미했다. 중저기술산업과 고기술산업의 상반된 배출특성은 기술혁신패턴에서 전술한 바와 같이 자체처리와 위탁처리의 비용적 효율성 때문으로 판단된다. 즉 중저기술을 사용하는 기업은 배출량이 많을지라도 자체처리시설을 갖추고 이를 통해 배출하는 것이 경제적인 반면, 고기술을 사용하는 기업은 위탁처리가 경제적이다. 중저기술과 고기술산업의 화학물질 사용·처리 단계에서 활용되는 화학물질과 자체배출 또는 위탁처리되는 화학물질 역시 다를 것으로 예상된다. 각 단계에는 처리비용과 배출총량 및 이를 구분하는 다른 특성이 포함되었기 때문이며, 규제목적을 달성하기 위해서는 기술수준별 배출특성에 대한 반영이 필요할 수 있다. 범용기술보다 높은 단계의 기술을 사용하는 중저기술산업군의 배출량이 가장 높게 나타난 점을 고려하면, 해당 산업군은 배출총량 규제의 적정한 적용대상이 될 수 있다.

앞서 제시한 Pavitt의 혁신패턴과 기술수준 간 교차분석 결과에서 고기술산업 대부분에 과학기반형(SB) 기업이 포함되었다. 과학기반형(SB)은 해당 유형 내 기업 간 기술수준의 상대적 편차가 큰데, 이중 높은 수준의 기술을 보유하고 있는 기업은 기술개발 및 자체역량 확보, 이를 활용한 규제순응 정도가 다각화된 기술 내에서 다르게 적용되어 자체처리와 위탁처리로 구분되어 나타나는 것으로 보인다.

〈표 9〉 기술수준(T_Level) 집단 간 차이 분석결과

구분	기술수준	N	평균	표준편차	표준오차	평균순위
배출량	L	791	11458.29	61863.171	2199.601	1034.72
	ML	489	17108.39	68731.455	3108.144	1318.24
	MH	983	5381.14	22480.560	717.019	1271.96
	H	135	4433.89	14438.162	1242.639	1207.28
	전체	2398	9723.83	49630.523	1013.501	
	F 7.003 p-value.000, 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..000, Brown-Forsythe..000*					
	Kruskal-Wallis의 H 72.951 자유도 3, 근사유의확률 .000					
이동량	L	791	66042.32	250252.991	8897.972	1175.46
	ML	489	48682.95	270642.034	12238.856	1157.81
	MH	983	72467.40	556129.310	17737.770	1221.87
	H	135	239451.82	704094.952	60598.845	1328.46
	전체	2398	74898.62	437796.196	8940.203	
	F 7.114 p-value.000, 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..018 Brown-Forsythe..001*					
	Kruskal-Wallis의 H 9.350 자유도 3 근사유의확률 .025					
배출량 - 이동량	L	791	-54584.03	251370.31	8937.70	1185.02
	ML	489	-31574.56	270761.62	12244.26	1302.76
	MH	983	-67086.26	551480.45	17589.49	1189.16
	H	135	-235017.93	698852.75	60147.67	985.61
	전체	2398	-65174.78	435365.05	8890.56	
	F 8.052 p-value.000, 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..005 Brown-Forsythe..000*					
	Kruskal-Wallis의 H 24.629 자유도 3 근사유의확률 .000					

〈표 10〉 기술수준(T_Level) Mann-Whitney의 U 검정결과

		ML	MH	H
배출량	L	149192.5***	310593.5***	45438***
	ML		229722	29770.5*
	MH			62685
		ML	MH	H
이동량	L	190566	373957**	46363***
	ML		227414*	28386.5***
	MH			60593.5*
		ML	MH	H
배출량 - 이동량	L	174285.5**	387393.5	44352.5***
	ML		217435.5**	24537.0***
	MH			54987.5***

1) 칸 안은 Mann-Whitney의 U 값, 2) *** p〈0.01, **p〈0.05, *p〈0.1

추가적으로 설명변수로 사용한 기업규모(Size)별 환경오염의 차이는 이동량만이 유의하게 나타났다. 이동량과 배출량 모두 분산의 동질성이 충

족되지 않아 비모수검정을 진행했으나 배출량은 평균의 동질성이 확보되지 않아 하위집단 간 비교를 진행할 수 없었다. 기존연구에서는 환경오염방지지출을 규제 또는 환경오염의 변수로 사용했으나, 본 분석에서는 직접적인 오염물질배출량으로 각기 다르게 측정한 것에 기인한 것으로 판단된다. 전술한 바와 같이 환경오염방지지출은 기술특성이 강한 기업의 원자재/생산설비 관련 R&D비용을 포함하는데 배출저감역량확보와 실제 배출량, 규제준수 간에는 거리가 존재할 수 있다.

이동량은 종업원 수 50-300인, 300-500인 기업을 제외하고는 하위집단 간 차이가 모두 유의미했으나 50인 이상인 50-300, 300-500, 500인 초과 기업 모두 유사한 이동량을 보였다. 종업원 수 50인 이하 소기업은 원자재 및 공정단계상 취급하는 화학물질 양이 작을 수 있다. 또한 종업원수가 50인을 초과하는 경우 기업규모가 오염물질배출에서 갖는 차별력이 미미할 수 있다.

〈표 11〉 기업규모(Size)별 이동량 차이 분석결과

구분	Size	N	평균	표준편차	표준오차	평균순위
분산분석 및 Kruscal-Wallis 검정결과	50인 미만	505	28379.21	113440.942	5048.056	1034.72
	50-300	1039	83058.33	323027.565	10021.479	1318.24
	300-500	55	88396.25	239130.285	32244.321	1271.96
	500 초과	813	91165.68	647301.660	22701.860	1207.28
	전체	2412	74464.59	436560.238	8889.054	
	F 2.430 p-value..064 분산의 동질성..000 *평균의 동질성 로버스트 검정 Welch..000, Brown-Forsythe..016*					
	Kruskal-Wallis의 H 19.533 자유도 3, 근사유의확률 .000					

	Size	50-300	300-500	500
Mann-Whitney의 U 검정	50	246773.5**	11552**	195610**
	50-300		25666	380291***
	300-500			181051**
	*1) 칸 안은 Mann-Whitney의 U 값, 2) *** p〈0.01, **p〈0.05, *p〈0.1*			

Ⅵ. 결론

환경규제에서 기술은 규제 그 자체이기도 하며, 기업에 대한 가정이기도 하다. 환경규제는 유사기업 간 기술수준에 대한 가정을 바탕으로 설계되며, 규제가 기업에 미치는 영향력에 대한 논의를 구분하는 기준 역시 기술이다. 즉, 규제의 기술혁신 동인 제공여부에 따라 기업성과를 떨어트리는지, 비용을 넘어서는 성과를 가져다주는지 구분할 수 있다. 이러한 논의의 연장선에서 본 연구는 기업의 기술특성과 오염물질 배출 간 관계를 확인하고자 실증분석을 시도하였다. 기존연구는 기술을 기업의 R&D 비중과 산업분류 등으로 살펴 보았지만, 본 연구는 장기적인 관점에서 기술발전방향을 반영하는 기술혁신패턴을 분석에 도입하여 그 유의성을 확인하였다. 또한, 환경오염방지 지출 등 간접적으로 반영되었던 환경오염을 화학물질 배출량으로 직접 반영하여 분석결과의 설명력을 확보하였다.

기술혁신패턴과 기술수준에서 화학물질 배출량과 이동량은 유의미한 차이가 있었다. 이는 장기적인 기술특성인 기업의 기술발전방향이 오염물질 배출에 유의미한 설명력을 가질 수 있음을 의미한다. 배출총량이나 사용단계에서 개별물질별 위해성 등 다중의 규제체계를 적용받고 있는 복잡한 화학물질규제의 특성을 고려할 때, 기술혁신패턴과 기술수준은 규제의 대상을 구분하고 기업의 기술특성을 반영할 수 있는 도구가 될 수 있다. 또한 Pavitt의 기술혁신패턴과 기술수준은 상이한 결과를 드러내는데, 이는 기술수준이 반영하지 못하는 기업의 특성을 기술혁신패턴이 설명하고 있음을 의미한다.

기술혁신패턴에서는 소규모 제조업 위주인 공급자지배형의 배출량이 가장 높았다. 이 유형은 원가절감으로 기술을 혁신시켜 나가지만 기술의 상대적 중요성은 낮고 기업 간 기술수준의 편차가 크지 않아, 유사한 기술수준을 가정하는 규제와 총량중심의 규제가 적정한 것으로 판단된다. 다만 배출비용에 민감한 이 유형의 배출량이 가장 높은 것을 고려할 때, 배출비용의 적정성은 다시 논의될 필요가 있다. 기초 R&D 등을 혁신의 원

천으로 삼는 기술집약적인 과학기반형은 화학물질을 외부로 위탁처리하는 이동량이 가장 높았으며 배출량도 두 번째로 높았다. 기술집약적 기업이 기술혁신을 통해 배출저감 역량을 확보했다면 오염물질의 자체처리와 저감이 가능하지만, 위탁처리가 경제적 편익을 가져 온다면 자체배출보다는 외부위탁을 선호할 것이다. 이와 같이, 오염물질의 처리는 기술역량(김인수, 2012; Lanjouw and Mody, 1996)과 처리비용을 함께 고려해야 한다. 기술집약적 기업의 이동량이 제일 높게 나타난 것을 보면, 배출처리·저감역량이 환경개선으로 이어지지 않을 수 있고, 배출저감 역량과 배출 규모, 규제준수 간 차이가 존재하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 인과관계로 설정된 요소별 간극을 해소할 수 있는 정책설계와 지원이 필요해 보인다. 또한, 기술집약적 기업의 높은 이동량은 기술역량을 확보하는 것보다 위탁처리가 기업 입장에서 비용효과적일 수 있음을 의미한다. 따라서 배출비용은 원가절감으로 기술을 혁신하는 기업뿐 아니라 과학기반형 기업에서도 재고될 필요가 있다. 마지막으로 다른 특성을 가진 과학기반형과 공급자지배형의 배출량과 이동량의 차이는 유의미하지 않았는데, 이는 상대적으로 기업 간 기술수준의 편차가 큰 과학기반형의 특성 때문으로 판단된다. 이 경우 유사한 기술수준을 가정하는 규제는 적절하지 않아 별도의 고려가 필요할 것이다.

기술수준별 분석에서는 중저기술산업의 배출량이 가장 높았고 고기술산업은 배출량은 가장 낮았지만 위탁처리하는 이동량이 가장 높게 나타나 중저기술산업과는 다른 배출특성을 보였다. 고기술산업의 경우 자체배출과 위탁처리의 대상이 다를 것으로 예상된다. 각각의 처리방식에는 처리비용과 배출총량 및 다른 특성이 포함된 것으로 보여, 규제목적을 달성하기 위한 고려가 필요하다. 마지막으로 설명변수로 사용한 기업 규모는 이동량에서만 유의미하게 나타났다.

기업의 기술특성과 오염물질배출 간 관계를 분석한 본 연구는 각각의 배출특성에 영향을 미치는 유효한 변수를 도출하는 정교화된 계량분석을 포함하지는 않았다. 환경오염의 직접변수로 사용한 화학물질 배출량은 실

제 오염물질 배출량으로 개별값의 분포가 일정하지 않아 제약이 있었다. 그러나 기술특성과 오염물질 배출 간 유의미하게 나타난 집단 간 차이를 시작으로 변수와 인과관계의 정교한 설계는 기술특성을 반영한 규제와 정책에 실제적인 도움을 제공할 수 있을 것이다. 또한 조사설계의 특성상 본 연구대상의 사업체는 폐수 및 대기 배출시설을 설치한 업체 중 화학물질을 배출한 업체로 한정되나, 환경산업통계 등 타분야 조사설계로 데이터를 연계·확장할 수 있을 경우 더 높은 설명력을 가질 것이다. 마지막으로 본 연구는 기술혁신패턴과 기술수준에서 나타나는 배출량의 차이를 통해 환경규제에서 가정하고 있는 기업의 기술수준과 배출총량 중심 규제방식에서 재검토되어야 할 부분들을 확인하였다. 하지만, 기업의 기술혁신과 배출저감 역량이 유의미한 배출저감과 환경개선으로 이어지기 위해서는 기술특성과 경제성 모두를 고려한 환경규제의 설계와 적용이 필요하다. 이를 위해서는 본 연구에서 담지 못한 구체적인 대안 도출을 위한 추가적인 연구가 요구된다.

▮참고문헌▮

강만옥·이상용, 2006, “환경규제가 국내 제조업의 경쟁력에 미치는 영향: 패널데이터 분석,” 『환경정책』, 14(1), pp.169-193.

경정운·한승환, 2018, “신기술의 사전예방원칙과 기술무역장벽에 관한 정책적 개선방안: EU와 한국의 산업분야별 나노기술 규제정책을 중심으로,” 『한국행정연구』, 27(3), pp.133-164, DOI: 10.22897/kipajn.2018.27.3.005.

김선화·정용기·이장건, 2008, “기업의 환경규제에 대한 위반요인분석,” 『회계정보연구』, 26(2), pp.251-276.

김인수, 2012, “기업특성과 환경규제 위반의 관계 연구,” 『경영과 정보연구』, 31(4), pp.33-56.

문성진·김기환, 2014, “우리나라 유해화학물질관리정책 분석: [화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법]을 중심으로,” 『법학논집』, 19(2), pp.249-278.

배현회·한승혜, 2020, “화학물질 배출량 공개제도에 대한 기업의 인식 및 반응,” 『환경정책』, 28(1), pp.119-141, DOI: 10.15301/jepa.2020.28.1.119.

성봉근·김연태, 2017, “환경법상 화학물질 등에 대한 자율규제와 위험성 제어—유럽의

리치(REACH)와 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률을 중심으로—,”『환경법연구』, 39(3), pp.117-158, DOI: 10.35769/elr.2017.39.3.004.

송종대·김두래, 2016, “기업의 동기 유형에 따른 자발적 협약의 영향 분석: 화학물질 배출저감 자발적 협약 30/50 프로그램을 중심으로,”『한국행정학보』, 50(1), pp.109-137, DOI: 10.18333/KPAR.50.1.109.

옥영석·이영섭, 2017, “유해화학물질 대응시스템 적용을 위한 제도 개선 연구,”『한국산학기술학회 논문지』, 18(4), pp.216-223, DOI: 10.5762/KAIS.2017.18.4.216.

윤이·은종화·정상태, 2012, “테러이용가능 화학물질의 국내 규제 방안 연구-미국의 사례 분석을 중심으로,”『한국위기관리논집』, 8(1), pp.109-126.

윤혜선·오성은, 2016, “미국의 내분비계 장애물질 규제체계에 관한 연구,”『법학논총』, 36(1), pp.1005-1033.

이영범·지현정, 2011, “환경규제, 기술혁신, 생산성과의 관계: Porter 가설을 중심으로,”『한국행정학보』, 45(1), pp.171-197.

전준민·서병량·허당·정만호·서성규, 2007, “2003년과 2006년의 여수 석유화학산단지역 지정악취물질 배출실태조사 비교,”『한국냄새환경학회지』, 6(1), pp.10-19.

정남순, 2013, “가습기 살균제를 통해 본 화학물질관리제도의 현황과 문제점에 대한 고찰,”『환경법과 정책』, 11, pp.35-56, DOI: 10.18215/envlp.11..201311.35.

정수현·채인석·성지연·가정희·김재연, 2015, “DEA를 이용한 화학물질 배출에 대한 지역별 효율성 분석,”『한국위험물학회지』, 3(2), pp.34-41.

조주현, 2003, “환경규제강화와 기술혁신-한국 제조업을 중심으로,”『경제학연구』, 51(4), pp.279-313.

한대호, 2018, “특정수질유해물질 관리를 위한 배출량조사제도의 도입 효과분석 및 개선방향,”『환경정책』, 26(3), pp.267-286, DOI: 10.15301/jepa.2018.26.3.267.

황만식·임지영·류지성·김영호·이지호, 2020, “화학물질관리법 조사·보고자료를 활용한 화학물질취급 안전보건관리에 대한 효율적인 체계 마련,”『한국환경보건학회지』, 46(2), pp.232-244.

Archibugi, D., 2001, “Pavitt's taxonomy sixteen years on: A review article,” *Economics of Innovation and New Technology*, 10(5), pp.415-425, DOI: 10.1080/10438590100000016.

Bogliacino, F. and M. Pianta, 2010, “Innovation and employment: A reinvestigation using revised Pavitt classes,” *Research Policy*, 39(6), pp.799-809, DOI: 10.1016/j.respol.2010.02.017.

_____, 2016, “The Pavitt Taxonomy, revisited: Patterns of innovation in manufacturing and services,” *Economia Politica*, 33(2), pp.153-180, DOI: 10.1007/s40888-016-0035-1.

De Marchi, M., G. Napolitano, and P. Taccini, 1996, “Testing a model of technological

trajectories," *Research Policy*, 25(1), pp.13-23, DOI: 10.1016/0048-7333(94)00818-3.

Dewick, P., K. Green, and M. Miozzo, 2004, "Technological change, industry structure and the environment," *Futures*, 36(3), pp.267-293, DOI: 10.1016/S0016-3287(03)00157-5.

Greenhalgh, C. and M. Rogers, 2006, "The value of innovation: The interaction of competition, R&D and IP," *Research Policy*, 35(4), pp.562-580, DOI: 10.1016/j.respol.2006.02.002.

Gunningham, N. and P. Grabosky, 2008, *Smart regulation: Designing environmental policy*, Oxford: Clarendon Press.

Jaffe, A. B. and K. Palmer, 1997, "Environmental regulation and innovation: A panel data study," *Review of Economics and Statistics*, 79(4), pp.610-619, DOI: 10.1162/003465397557196.

Lanjouw, J. O. and A. Mody, 1996, "Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology," *Research Policy*, 25(4), pp.549-571, DOI: 10.1016/0048-7333(95)00853-5.

Narayanan, V. K. and G. C. O'Connor, 2010, *Encyclopedia of technology and innovation management*, Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons.

OECD, 2011, *ISIC Rev. 3 technology intensity definition-Classification of manufacturing industries into categories based on R&D intensities*, Paris: OECD Directorate for Science, Technology and Industry.

Palmer, K., W. E. Oates, and P. R. Portney, 1995, "Tightening environmental standards: The benefit-cost or the no-cost paradigm," *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), pp.119-132, DOI: 10.1257/jep.9.4.119.

Pavitt, K., 1984, "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory," *Research Policy*, 13(6), pp.343-373, DOI: 10.1016/0048-7333(84)90018-0.

Pérez-Ramírez, J., 2007, "Prospects of N_2O emission regulations in the European fertilizer industry," *Applied Catalysis B: Environmental*, 70(1-4), pp.31-35, DOI: 10.1016/j.apcatb.2005.11.019.

Ponche, J. L. and J. F. Vinuesa, 2005, "Emission scenarios for air quality management and applications at local and regional scales including the effects of the future European emission regulation (2015) for the upper Rhine valley," *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(4), pp.999-1014, DOI: 10.5194/acp-5-999-2005.

Porter, M. E. and C. van der Linde, 1995, "Toward a new conception of the environment-

Competitiveness relationship," *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), pp.97-118, DOI: 10.1257/jep.9.4.97.

Sliger, R. N., J. C. Kramlich, and N. M. Marinov, 2000, "Towards the development of a chemical kinetic model for the homogeneous oxidation of mercury by chlorine species," *Fuel Processing Technology*, 65, pp.423-438, DOI: 10.1016/S0378-3820(99)00108-3.

Tidd, J., 2001, "Innovation management in context: Environment, organization and performance," *International Journal of Management Reviews*, 3(3), pp.169-183, DOI: 10.1111/1468-2370.00062.

노대민: 고려대학교 행정학과 박사과정을 수료하였으며, 현재 한국원자력안전재단 원자력안전정책센터 선임연구원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 환경규제 및 과학기술정책이다(nohdaimin@korea.ac.kr).

이응균: MIT 도시계획학과에서 정책학 박사학위를 취득하였다. 현재 고려대학교 행정학과 교수로 재직 중이다. 대표 논문으로 "From intention to action" (Energy Research & Social Science), "Social justice, fairness and exclusion in the South Korean electricity sector" (Energy Research & Social Science), "Information, interest intermediaries and regulatory compliance" (Journal of Public Administration Research & Theory) 등이 있다. 주요 관심분야는 환경규제 및 규제준수이론, 기후변화, 환경정의이다(elee@korea.ac.kr).

투 고 일: 2020년 06월 05일
심 사 일: 2020년 06월 09일
게재확정일: 2020년 06월 21일