

## 산업환경·생산안전 가치창출 네트워크 구축 필요성과 담론

김재연<sup>1,\*</sup>, 이한경<sup>2</sup>

<sup>1</sup>호서대학교 안전환경기술융합학과  
31499 충남 아산시 배방읍 호서로 79번길 20  
<sup>2</sup>에코앤파트너스  
03925 서울 마포구 월드컵북로 402 KGIT 15층

(2016년 2월 14일 접수; 2016년 3월 9일 수정본 접수; 2016년 3월 10일 채택)

### Value Chain Network of Environment and Safety for the Industry : Its Necessity and Disclosure

Jae Youn Kim<sup>1,\*</sup>, and Hankyung Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Convergence Technology for Safety and Environment, Hoseo University  
20 79-gil, Hoseo-ro, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam 31499, Korea  
<sup>2</sup>ECO&PARTNERS  
402 Floor 15th KGIT, Worldcup-buk-ro, Mapo-gu, Seoul 03925, Korea

(Received for review February 14, 2016; Revision received March 9, 2016; Accepted March 10, 2016)

#### 요 약

요즈음은 국내외적으로 강화되고 있는 환경규제와 생산공정에서의 안전 강화 등으로 중소기업들의 사전예방 시스템 구축이 매우 필요한 시기이다. 이에 반해 산업환경과 생산안전(ES)을 융합하는 전문가들의 네트워크는 물론 지식서비스 기업조차 지원을 할 수 있는 준비가 충분하지 않은 상태이다. 본 연구에서는 전문가의 설문조사를 통하여 산업환경과 생산안전(ES)의 융합에 대한 현주소를 살펴보고, 이를 타개하기 위한 방법으로 ES 지식 클러스터 구축방안을 제안하였다. ES 융합 방법론의 개발과 보급, 효율성 분석과 라운드테이블 개최 등에 대한 세부 전략도 함께 제안하였다.

**주제어** : 산업환경, 생산안전, 융합기술, 청정생산, 지식 클러스터

**Abstract** : These days, it seems to be a core time to build proactive prevention systems for small and medium sized enterprises due to the reinforced safety in the production process and the strong environmental regulations (ES) both at home and abroad. On the other hand, a network of experts that combines the industrial environment and production safety as well as even the knowledge services companies are not quite enough to prepare to support them. In this study, through a survey of experts the current statue of the convergence of industrial environment and production safety were reviewed, and the structure of knowledge ES cluster was proposed to overcome this current state. Detailed strategies such as the development and distribution of ES convergence methodology, ES efficiency analysis and an ES roundtable.

**Keywords** : Industrial environment, Production safety, Convergency technology, Cleaner production, Knowledge cluster

#### 1. 서 론

2000년대 들어 환경에 대한 인식의 제고와 더불어 강력한 환경규제가 국내외에서 제정되며 환경보전과 함께 청정생산 기술의 도입이 필요하다는 공감대가 형성되었다. 청정생산

기술개발 및 청정생산 방법론의 이전 확산 등의 정부 지원 사업이 추진되고 있는 것도 환경과 관련 국가적 경쟁력 제고 및 제품 수출에 있어서 불이익을 받지 않기 위한 조치라고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 요즈음 산업체에서 환경관련 사고가 자주 발생하는 경향을 보이고 있다. 2012년 이후 200

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: kimx1533@hoseo.edu; Tel: +82-41-540-9594; Fax: +82-41-540-5370

doi: 10.7464/ksct.2016.22.1.062 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여건에 이르는 각종 화학물질 사고가 발생하였고, 이로 인해 인체에 유해하거나 2차 안전사고를 유발 할 수 있는 화학물질이 아파트 단지에서 반경 1 km 이내인 지점에서 유출되기도 하고, 1 km 이내에 거주 또는 이동하는 인구가 100만 명 규모가 되는 경우도 존재하는 등 환경과 더불어 안전에 대한 문제가 크게 이슈화되는 추세이다[1].

또한 매년 400여 종에 이르는 화학물질이 새롭게 개발되어 사용되거나 도입이 되고 있고, 매년 사용되는 화학물질의 종류가 다양화되고 많아지는 추세이다. 이에 따라, 정부는 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법, 화학물질 관리법 등의 법제도를 제정·시행함으로써 화학물질의 안전사고 예방 및 조치 등을 강화하고 있다. 또한 환경오염시설 통합관리법, 환경오염피해 구제에 관한 법 등을 제정함으로써 환경오염에 대한 통합적이며 사전예방적인 관리방식을 요구하고 있다[2, 3].

이러한 각종 정책과 법·제도들이 효과적으로 정착되어 성과를 내기 위해서는 이를 시행하는 기업이나 또는 기업을 지원하는 지식서비스 기업들 내부에 충분한 인력과 정보가 있어야 한다는 전제가 바탕이 된다고 생각할 수 있다. 그러나 우리나라 현실을 면밀히 살펴보면 일부 대기업을 제외하고 일반 중견중소기업을 포함하여 컨설팅을 주요 업으로 하는 지식서비스 기업조차 지원할 수 있는 준비가 충분하지 않다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 환경과 안전, 특히 산업안전보건법에서 다루고 있는 산업안전이 아닌, 생산 안전 - 예를 들어 생산 공정의 조업 중에 발생하는 안전 문제 또는 이를 극소화할 수 있는 기술 적용으로 사전 예방하는 경우 - 두 분야의 융합에 대한 현 주소를 알기 위해 이 분야의 전문가 설문조사를 추진하였다. 이 조사 결과를 바탕으로 향후 전문가들과 현장의 이해관계자 사이의 네트워크 구성 방안을 논의하고자 한다.

## 2. 산업환경·생산안전 융합에 대한 현황

### 2.1. 설문 조사

청정생산 기술을 포함하는 산업환경 분야에 대한 인지 또는 한국산업기술평가원의 청정기반 분야 전문가로 활동하는 산·학·연 전문가와, 환경 또는 안전 분야의 컨설팅 전문가 등 총 92명에게 설문을 요청, 총 25명의 응답을 기반으로(응답률 : 27%) 이를 분석하였다[4].

그 분포를 살펴보면 산업계(13명, 52%), 학계(4명, 16%) 그리고 연구소계 (8명, 32%)이었으며, 전문분야로 보면 환경전문(16명), 안전전문(4명) 및 환경·안전전문(5명) 등으로 구분할 수 있다. 안전분야는 산업안전보건법에 의거한 안전관리 및 안전진단 등의 영역에 전문가들이 많으나, 위에서 언급한 생산안전 분야는 상대적으로 전문가들이 많지 않아 환경전문 분야보다 응답한 인원이 적다는 것을 알 수 있다. 이는 생산안전 분야에 대한 연구가 매우 미흡하다는 것을 의미하는 것은 아니다. 최근 화학공학 분야에서 생산최적화 또는 chemometrics를 활용한 생산 데이터 모니터링, 센서 fault detection 등 다양하게 생산안전과 직간접적으로 관계가 있는

연구가 이루어지고 있다. 이를 생산안전 분야로 정리하여 구분은 짓지 않아 이 분야의 전문가 네트워크가 상대적으로 부족하였기 때문으로 볼 수 있다. 본 설문조사는 산업환경 분야의 경우 청정기술의 개발과 적용 부분과 함께 산업계에서 활용이 가능한 환경경영, 환경경제, 환경컨설팅, 지속가능한 발전 부분 등 산업부에서 지원하고 있는 연구개발 및 인프라 구축에 참여하고 있는 전문가들이 설문에서 주로 참여를 하였으며, 안전의 경우 장외영향평가나 산업안전보건법 상의 산업재해, 안전사고 등과 관련한 전문가군에 대한 설문조사에서 생산안전에 대한 개념 및 연구 등의 경험이 많지 않아 상대적으로 설문 참여도가 낮은 것으로 나타났다. 이 분야의 융합의 중요성은 최근에 빈번히 발생하는 화학사고 등을 통해 알 수 있으나, 융합전문가들을 대상으로 하는 조사나 네트워크 구축 사례는 거의 전무한 상황이기 때문에, 비록 설문조사 모수 집단이 크지 않음에도 불구하고 초기의 융합네트워크 조성을 위한 디딤돌로는 충분한 대표성을 가진다고 할 수 있다.

따라서 본 연구의 결과를 바탕으로 산업환경 생산안전 네트워크 구축이 이루어질 경우 이 분야에 대한 정부 지원과 함께 많은 전문가의 참여가 확대될 수 있을 것으로 예측할 수 있다.

### 2.2. 설문조사 결과

‘산업환경의 개념이 생산공정의 사전오염 예방에서부터 환경경영 정착에 이르기까지 포괄적인 내용을 포함하고 있다고 생각하십니까?’ 라는 산업환경에 대한 개념에 대해 ‘그렇다’는 의견이 84%였으나, ‘아니다’는 의견은 16%에 불과하였다. 이 결과는 산업부에서 2000년대 초반부터 청정생산 기술개발 및 보급 사업을 꾸준히 추진하며 그 개념을 국내에 전파한 결과라고 볼 수 있으며, 환경에 대한 분야를 단순히 환경보전과 환경오염에 대한 제재라는 사후처리식 개념에서 환경오염을 원천적으로 줄이거나 없애는 사전예방의 개념으로 전환되는데 상당히 기여하였다고 볼 수 있다.

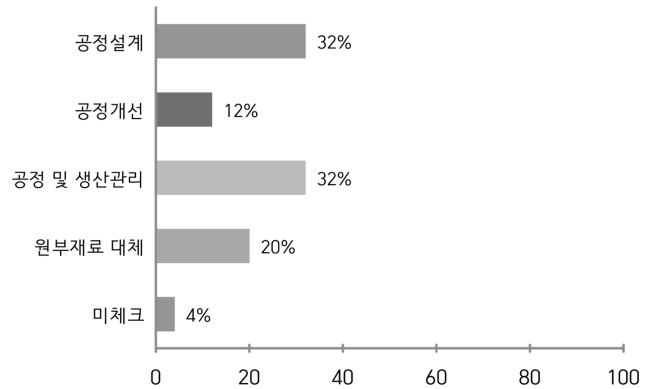
그러나 ‘산업안전의 개념이 산업안전보건법에서 요구하는 사항의 준수라는 것에 동의하십니까?’ 라는 산업안전 개념에 대한 질문에 대해 60%만이 ‘그렇다’라고 동의하였으며, 40%의 전문가가 ‘아니다’라는 의견을 나타내었다. 즉, 현재의 산업안전보건법이 기업의 안전문제 해결을 모두 담보해 줄 정도의 내용을 포함하고 있다고 생각하지 않는다는 것을 나타낸다고 볼 수 있다. Table 1에 ‘아니다’라는 의견을 표시한 전문가들이 설명한 이유를 나열하였다.

‘산업환경이 제조업체에서 해야 할 범위로 무엇을 들 수 있겠습니까?’ 라는 산업환경의 범위에 대한 질문에 대해 ‘청정생산기술’을 제일 중요하게 생각한 비율은 47%이었으며, 그 뒤로 환경경영, 환경회계 등이 뒤따랐다(Figure 1). 이 외에도 화학물질관리를 포함해야 한다는 의견이나, 산업 환경이라는 표현은 일반적으로 기업 환경이라는 의미로 해석. 즉, 기업경영을 위한 제반여건 정도로 해석해야 한다는 의견도 존재했다. 환경회계의 경우 국내 대부분의 기업들이 도입을 하여 활용하고 있지 않는 상황 속에서도 전문가들 중의 일부는 환경회

**Table 1.** The concept of industrial safety

산업안전의 개념이 산업안전보건법에서 요구하는 사항의 준수라는 것에 동의하지 않는 이유	
1	법상에서 최소한으로 요구하는 수준을 정의
2	산업안전 개념이 산업안전보건법의 요구사항 준수라는 것 보다는 산업안전보건법은 산업안전을 위한 기본적으로 지켜야 할 사항을 규정한 것이라 생각됨
3	산업안전보건법은 기본이며 각 회사의 특성에 맞는 규정을 만들어서 지켜야 함
4	법 준수 이상의 쾌적한 작업환경 등 산업안전까지를 포함하고 있다고 생각
5	법률에서는 지켜야 할 최소한의 범위로 한정되어 있으며, 사전 예방 개념 부족
6	안전 확보를 위해서는 산업안전보건법의 준수만으로는 부족하기 때문
7	산업안전보건법은 최소기준으로 기업은 그 이상의 산업안전 조치를 규정화하여 추진해야 함

(단위 : 설문결과 백분율)

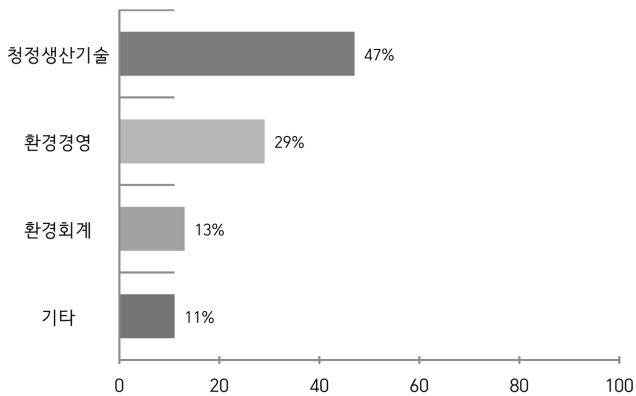


**Figure 2.** The order of priority of cleaner production technologies.

념으로 볼 수 있으며, 현재 조업중인 공정 또는 생산의 효과적인 관리, 예를 들어 가장 흔한 방식은 5S의 도입이나 공정 데이터의 해석 등으로 생산성 향상을 가져올 수 있는 개념으로 그 필요성이 높다는데 방점을 둔 것으로 해석할 수 있다[11]. 여기서 주목해야 할 것은 ‘공정개선’이 우선순위에서 상대적으로 낮게 나타난 것인데, 이는 중소중견기업에서 현재 조업하고 있는 공정의 수정이나 변경 등에 상당히 부정적인 견해를 나타내는 것과 일치한다고 볼 수 있다(Figure 2). 이는 현재 조업하고 있는 공정에 익숙해 있는 현장근로자의 의견과 함께, 환경오염 예방을 위해 공정개선을 한 결과가 매출액 증대를 가져온다는 상관관계에 대해 임원진의 확신이 크게 부족하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 청정생산기술에 대한 EU의 ‘BREF Notes’를 보면 공정개선 등으로 효과를 볼 수 있는 검증된 기술 등에 대한 소개가 나와 있음을 알 수 있다[12]. 국내에서도 청정생산의 주요 핵심중의 하나인 ‘공정개선’ 기술이 적용기술로 중소중견기업에 이전확산이 더 확대되어야 한다는 점을 방증하는 조사결과라고 할 수 있다.

우리나라 정부에서 지원하고 있는 ‘청정기반기술’의 우선순위에 대한 질문에 대해 52% 전문가가 ‘청정공정기술’이 가장 중요한 분야라고 응답하였다(Figure 3). EU를 위시해 중

(단위 : 설문결과 백분율)

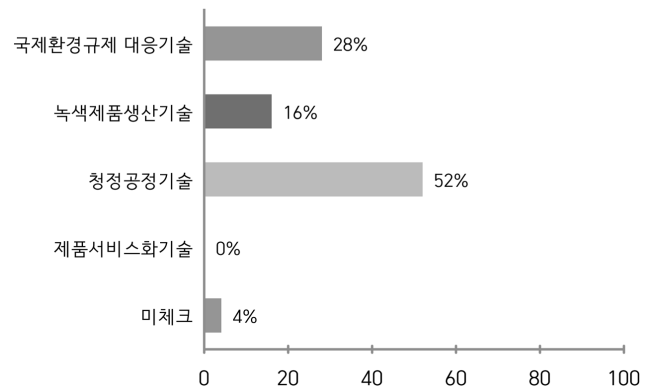


**Figure 1.** The breadth of industrial environment.

계가 기업의 산업환경 부분의 경쟁력을 높일 수 있다는, 즉 기업의 CEO를 포함한 임원진들이 산업환경을 비용으로 생각하는 것에서 원가절감이나 생산성 향상 등 기업의 이윤추구에 도움을 줄 수 있는 역할을 충분히 할 수 있다는 증명을 환경회계가 해줄 수 있다는 견해에서 나왔다는 점을 생각해 볼 수 있는 것이다.

청정생산 기술의 구분은 일반적으로 좁은 의미에서 사전오염 예방기술로 보는 견해에서 생산영역에서 오염원의 사전 봉쇄를 위한 원천기술의 개발까지 포함하는 광역의 의미로 사용하는 경우 등 다양하다[5-9]. UNEP 등에서 방법론으로 소개되고 있는 내용 등을 포함하여 일반 중견중소기업에서 그다지 어렵지 않게 사용할 수 있는 기술로 그 내용을 국한한다면, 전문가들은 ‘공정설계’와 ‘공정 및 생산관리’ 기술에 가장 많은 우선순위를 두었다[10]. 에코디자인을 포함한 공정설계 시 환경 친화적인 재료 사용 또는 설계를 통한 환경오염 물질 배출최소화 등은 사전오염예방 개념에 가장 잘 들어맞는 개

(단위 : 설문결과 백분율)



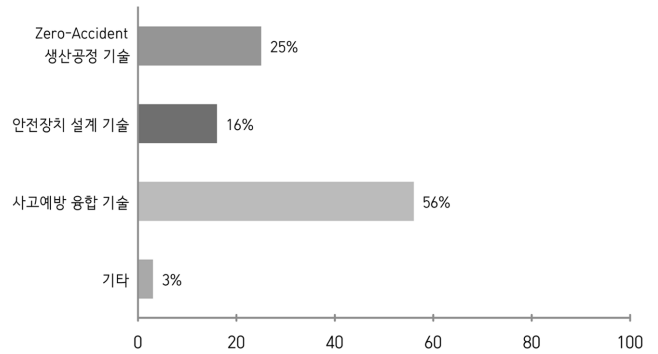
**Figure 3.** The order of priority of cleaner technology categories.

국, 일본 등에서 제품의 환경규제를 강화하는 추세에서 ‘국제 환경규제 대응기술’의 시급성이 더 필요할 것으로 판단되었으나, 이 분야는 28%만이 동의하는데 그쳤다. 이를 통해 국제환경규제에 대응하는 정부의 지원은 기술개발에 대한 부분보다 오히려 국제환경규제에 대한 정보나 또는 교육 등이 더 효과적이라고 보는 것이라고 할 수 있으며, 이는 중소기업중앙회에서 설문조사를 한 결과에서 볼 수 있듯이 중소기업은 환경규제에 대한 정보가 부족하다는 의견을 많이 보이고 있다는 점 - 이는 단순한 내용의 전달을 의미하는 것은 아니며 각 기업 자체에 미치는 영향 등에 대한 종합 정보를 의미하는 것으로 볼 수 있다 - 에서 유추할 수 있다[13]. 한가지 주목해야 할 점은 ‘제품서비스화기술’을 선택한 전문가가 전문하다는 점이다. 디자인 분야에서 제품서비스화기술에 대한 연구가 이루어지고 있다는 점과, IBM 또는 GE 등이 제품서비스화를 사업의 중요영역으로 하여 기업의 방향과 목표를 조정하고 있는 현실에서 볼 때, 매우 특이한 조사결과라고 볼 수 있다. 그러나 청정기반의 상황에서 보면 ‘제품서비스화기술’이 공유경제 또는 렌탈 등 일부 사업효과가 크지 않은 분야를 주요 타깃으로 하여 정부지원이 이루어진 것에서 출발하여 아직 이 분야는 태동기에 있다고 할 수 있다[14]. 독일 및 일본에서 시작된 산업혁명 4.0으로 인해 IoT기술이 생산현장에 접목이 되고, 기계간의 데이터 교환과 최상의 품질을 갖춘 제품을 대량으로 만들 수 있는 시대가 도래하고 있는 상황에서, 단순히 제품만 만들어 파는 기업은 경쟁력을 충분히 갖추기가 어렵기 때문에 제품에 서비스를 융합하는 기업이 확대될 수밖에 없다[15-17]. 따라서 청정기반에서도 산업환경과 생산안전이 융합된 제품서비스화 기술의 개발과 보급이 매우 중요하다고 할 수 있으며, 이 부분에 대한 전문가 양성도 또한 시급히 추진해야 한다는 점을 조사결과에서 도출할 수 있다.

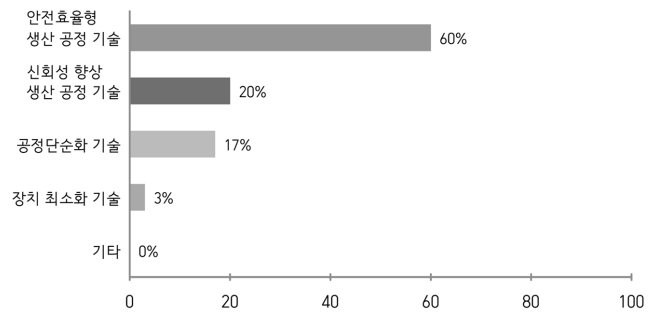
‘산업안전의 범위가 제조업 생산공정에서의 안전을 포함해야 한다면 어떤 것들을 포함해야 할까요?’라는 생산안전 분야에 대한 조사에서 ‘공정설계’ 분야에서는 ‘사고예방 융합 기술’이 가장 의견이 많았으며, ‘공정개선’ 분야에서는 ‘안전효율형 생산 공정 기술’을, ‘공정 및 생산관리’ 분야는 ‘환경·안전 융합 관리 기술’을 가장 우선순위를 높게 선택했으며, ‘원부재료대체’ 분야에서는 ‘유해물질 대체 기술’을 가장 많이 선택하였다. 앞서서도 언급하였듯이 생산안전에서는 아직 기술분류가 전문가들 사이에 확립이 되어 있는 상태가 아니기 때문에, 설문에서 제시한 기술에 국한하여 조사가 된 한계가 분명히 존재한다(Figure 4). 본 연구에서는 산업환경에서 가장 중요하게 생각하는 청정생산기술의 구분을 생산안전에 그대로 차용하고, 각 세부구분을 청정생산기술에서 언급하는 부분과 상호 조화되거나 또는 보완할 수 있는 기술을 우선적으로 채택하여 전문가들에게 제공하고 그에 대한 의견을 취합하였다.

한편 산업환경·생산안전의 융합이 의미하는 개념에 대한 질문에 대해 ‘청정생산과 생산관련 안전기술을 동시에 구현하는 것’이라는 견해(48%)가 가장 많았다(Figure 5). ‘청정생산기술 및 방법론에 생산관련 안전을 포함시켜 확대하는 것’

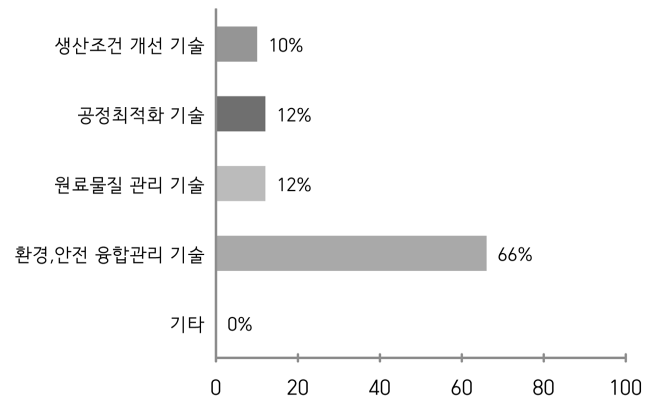
(단위 : 각 영역별 설문결과 백분율)



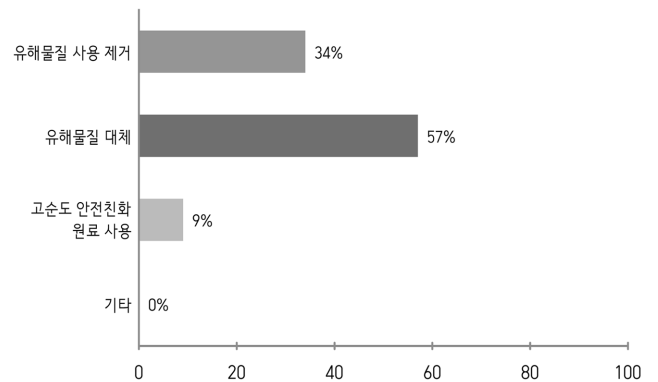
(a) Area : process design



(b) Area : process modification



(c) Area : process and production management



(d) Area : raw material substitution

Figure 4. The order of priority of production safety.

(단위 : 설문결과 백분율)

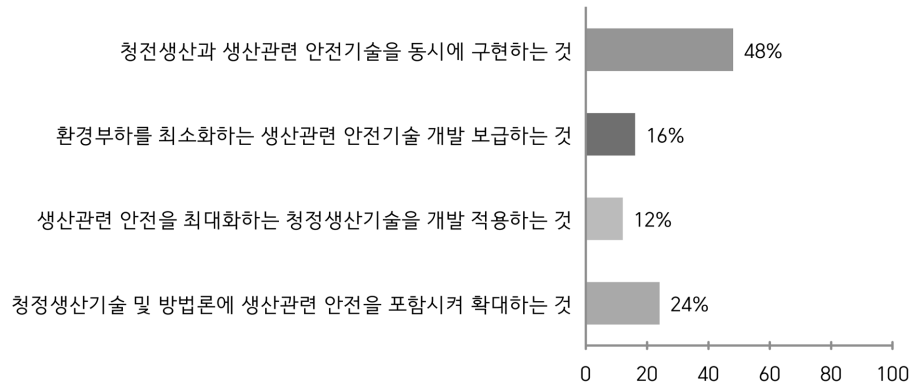


Figure 5. The meaning of convergence between the industrial environment and the production safety.

이라는 의견(24%)과 ‘환경부하를 최소화하는 생산관련 안전 기술 개발·보급하는 것’이라는 결과(16%)가 그 뒤를 따랐으며, ‘생산관련 안전을 최대화하는 청정생산기술을 개발·적용하는 것’이라는 의견은 12%에 불과하였다. 전문가들은 그 융합의 의미를 산업환경 분야에 생산안전을 일부 접목한다든지, 아니면 생산안전 분야에 산업환경 기술을 일부 도입하는 등의 협의의 융합에 동의하지는 않았으며, 산업환경 개혁과 생산안전이 동시에 달성될 수 있는 기술의 개발이 매우 중요하다는데 동의하였다고 볼 수 있다. 이는 예를 들어 화학물질의 안전사고에 의해 생산시스템의 폭발 등 안전문제가 발생하는 경우, 산업환경 기술 - 환경경영의 구현 또는 공정개선 등의 청정생산기술 적용 등 - 의 적용 등으로 2차 환경오염 문제 등을 포함한 환경과 안전을 동시에 개선할 수 있다는 점에서 볼 수 있듯이 융합기술의 개발과 적용이 향후 국내 기업들의 경쟁력 향상에 크게 필요한 사항이라는 내용이 내재되어 있다고 할 수 있다[18]. 그리고 ‘중소·중견기업에 산업환경·안전 융합체계를 조성해야 하는 이유’에 대해서는 환경 및 안전 문제 동시 발생 가능성이 매우 높기 때문이라는 의견이 61%로 가장 높았으며, 따로 대처할 경우에 소요되는 비용이 과다할 수 있기 때문이라는 의견(31%)까지 합치면 그 의견 대부분이 중소기업의 환경·안전 취약성과 현재 환경 및 안전에 대한 대처가 상대적으로 미흡하다는 것을 방증하는 조사결과로 볼 수 있다.

기업의 환경과 안전의 융합적도에 대한 명확한 설명을 해 줄 수 있는 지표의 개발도 또한 매우 중요하다고 할 수 있다. ‘산업환경은 환경경제효율성(eco-efficiency) 지표를 활용하여 청정생산의 척도로 삼기도 하는데, 생산관련 안전도 이와 유사한 안전생산효율성(Safe Production Efficiency Indicator)을 개발할 필요가 있다고 생각하십니까?’라는 질문에 대해 68% 전문가가 필요성에 대해 공감을 표현하였으며, 그 방식에 대해서는 다음과 같은 견해를 밝혔다[19, 20].

- 제품 생산 단위당 안전성 비율로 표시
- 환경과 안전을 포함한 통합 환경영향에 따른 경제적 효과로 정의

- 생산관련 안전도의 내용을 청정생산에 포함하는 방법으로 표시
- 기업 생산 활동에서 최소의 안전영향으로 최대의 가치를 달성하는 것으로 표현
- 환경은 경제가 생태계에 영향을 미칠 수밖에 없다는 전제에서 ‘efficiency’를 사용하지만 안전은 절대로 보장해야 된다는 개념(사고의 개념)이어야 하므로 ‘Production Safety Indicator’와 같이 ‘efficiency’를 제외하는 것이 좋으며, 단위 생산량의 부가가치 당 안전사고율로 표시
- 환경영향 factor 대신 안전사고 리스크 factor 삽입하는 방식
- 사고율과 불량률을 동시에 감안한 방식으로 지표 설정 등

‘산업환경·안전 융합에 있어서 발생할 수 있는 문제들은 무엇이라고 생각하십니까?’라는 질문에 대해 ‘융합과 관련한 전문가 부족’(32.5%), ‘융합과 관련한 기술, 방법론 등 보급 미비’(22.5%), ‘법적, 제도적, 정책적 지원 미흡’(17.5%) 순이었으며, ‘제조 중소·중견기업의 무관심’과 ‘융합과 관련한 전문 기업 (기술 기업, 지식 서비스 기업 등) 부족’ 등도 각각 10%로 나타났다. 즉, 현재의 기업 지원 측면과 함께 인프라 구축이라는 관점에서 보면 산업환경과 생산안전의 융합은 아직 초기 태동기에 있다고 볼 수 있으며, 전문가도 융합적인 내용을 지원해 줄 인원이 절대적으로 부족하고, 지식서비스 기업의 육성 또한 필요한 사항이라는 것을 알 수 있다. 이는 ‘산업환경·생산안전 융합이 촉진되기 위해서 시급히 해야 할 일들’에 대한 질문에서 ‘법적, 제도적, 정책적 지원 체계 구축’(47%), 그리고 ‘융합 지표 및 방법론 개발과 시범사업 추진’(40%)로 대다수를 차지하는 조사결과에서도 살펴볼 수 있는 내용이다. 또한 “청정생산은 ‘환경친화적산업구조로의 전환에 관한 법(환친법)’에 그 근거를 두고 있는데, 산업환경·안전 융합이 효과를 보기위해 이 법을 확대 개정할 필요가?”라는 질문에 71%가 동의를 하였는데, 이로부터 정부의 이 분야에 대한 지원이 매우 시급하고 중요하다는 점을 유추할 수가 있다.

(단위: 설문결과 백분율)

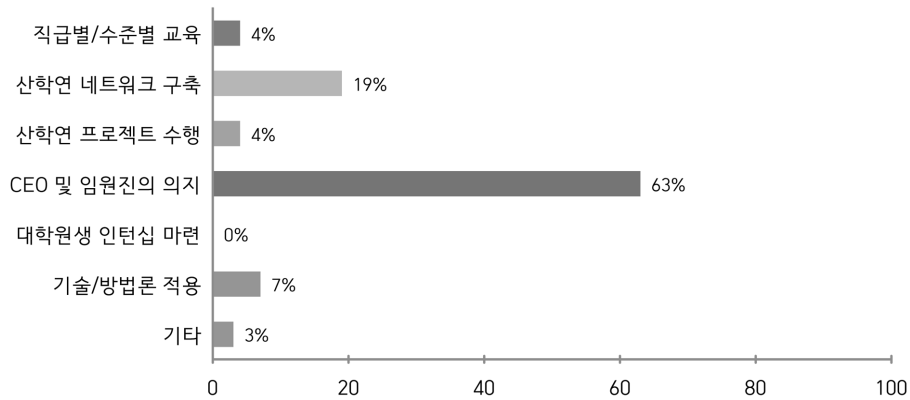


Figure 6. The order of priority from the SME's point of view.

(단위: 설문결과 백분율)

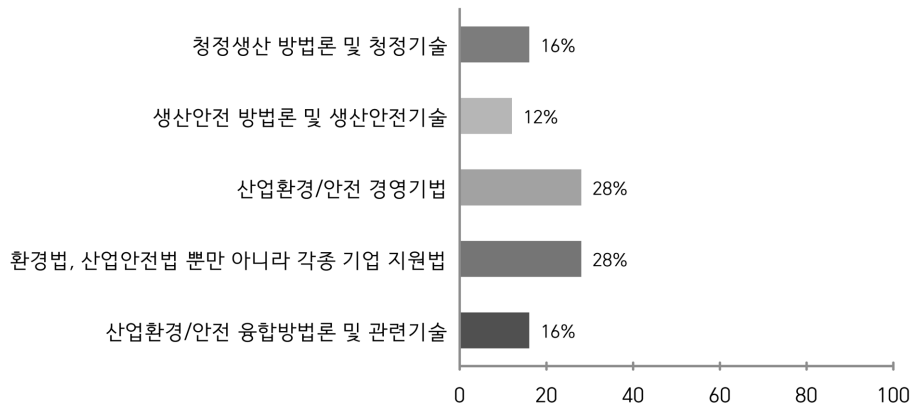


Figure 7. The order of priority for the education of SME industrial workers.

전문가들과 함께 중소기업의 역할도 산업환경·생산안전 융합기술의 개발과 적용에 있어서 매우 중요하다. ‘중소·중견 제조기업에서 산업환경·생산안전 융합을 적용하는데 있어서 무엇이 가장 중요하다고 생각하십니까?’라는 질문에 ‘CEO 및 임원진의 의지’가 63%로 가장 높게 나타났다(Figure 6). 산학협력 네트워크 구축이나 기술·방법론의 도입보다 월등하게 중요하다고 보는 이유는 중소기업의 경우 경영진에서 강력한 도입의지나 또는 직원들에게 환경안전 방침 등을 통해 그 중요성을 강조하는 것이 융합의 결과를 촉진하는 매개체가 될 것이라는 전문가들 경험에서 출발한다고 할 수 있다.

‘중소·중견 제조기업에서 산업환경·안전 융합을 적용하기 위해 전문가들이 갖추어야 할 사항들’로는, 환경공학, 환경기술, 제품 및 서비스 기술 등의 지식이 필요하다는 점(38%)과 경제, 비즈니스 모델, 법, 인증 등의 융합 지식이 필요하다는 점(27%), 그리고 ‘산학프로젝트 등 현장실습 연구 경험’이 필요하다는 점(23%) 순으로 나타났다. 즉, 융합기술의 개발과 적용을 위해서는 공학적 학문지식과 더불어 기업 경영진의 적극적 참여를 위한 경제적·법적 분석 지식이 동시에 필

요하다는 것을 의미한다고 볼 수 있으며, 이를 바탕으로 현장에 직접적으로 적용하는 기술 개발로 국내에 이전확산이 배가 되는 것이 중요하다는 의견들이라고 할 수 있다. 이는 ‘중소·중견 제조기업에서 산업환경·생산안전 융합을 적용하기 위해 정부에서 우선적으로 지원해 줄 필요가 있는 부분’ 질문을 통해 검증될 수 있다. 산업환경·생산안전의 융합 진단지도 시범사업 추진과 함께 산업환경·생산안전 융합 기술개발이 매우 필요하다는 조사결과에서 살펴보면, 진단지도 사업에서 경영진과 현장작업자를 포함한 기업의 산업환경 및 생산안전 융합시스템을 경영과 합쳐 대대적으로 개편하는 시범사업이 필요하다는 점을 나타낸 것이며, 한편으로는 국가의 경쟁력 강화를 위해 산업환경과 생산안전의 융합기술을 개발하여 생산성 향상과 규제에 대한 신속한 대응이 가능하도록 전문가들이 연구할 필요가 있다는 점을 나타내었다는 것이다. 기업의 경우에는 경영진의 의지와 열정뿐만 아니라, 현장 작업자를 포함한 직원들의 적극적인 참여가 필요하고 교육을 통해 호응을 높일 수가 있다[21]. 전문가들은 산업환경/생산안전 경영기법과 함께 환경/안전 법 등에 대한 교육이 중요할 것이라는 견해를 나타내었다(Figure 7).

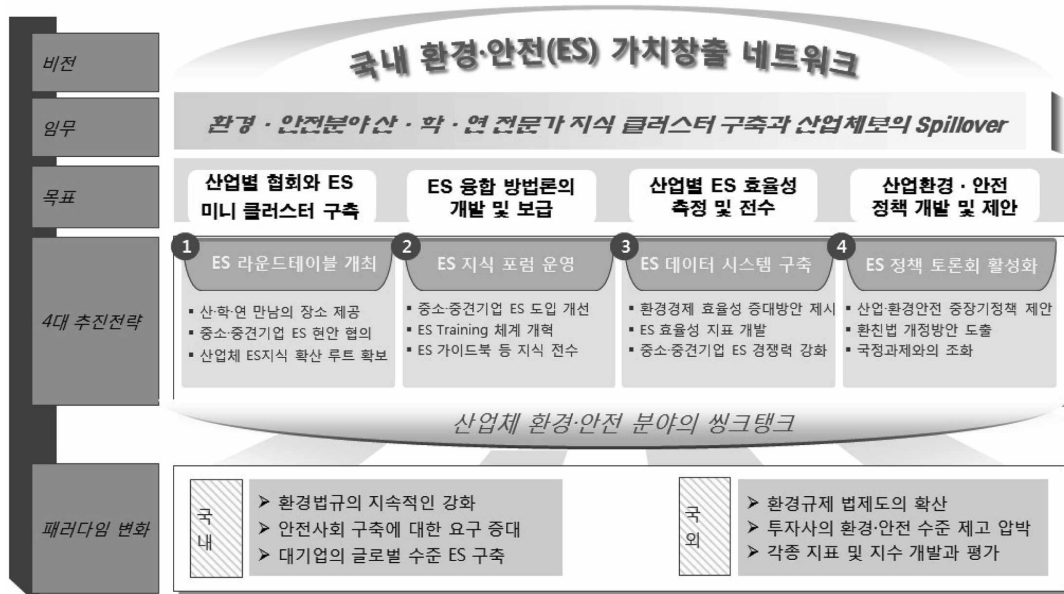


Figure 8. Diagram of the ES knowledge cluster network.

### 3. 산업환경·생산안전(ES) 지식네트워크 구축 방안

위의 전문가 설문조사결과에서 알 수 있듯이 산업환경과 생산안전의 융합은 시기적으로 매우 중요하며 또한 아직은 국내에 전문가와 지식서비스 기업의 부족 그리고 중소·중견기업의 대응책 마련이 미흡한 것이 현실이다. 따라서 일차적으로 산업환경 분야와 생산안전 분야의 전문가들이 향후 이 두 분야의 융합 방향과 기술개발 로드맵 도출 그리고 중소·중견기업으로의 이전확산 확대 등을 위해서는 지식네트워크 구축이 매우 중요하다고 하겠다.

환경·안전 분야의 산·학·연 전문가 지식클러스터 구축과 산업체로의 spillover가 가능하도록 하기 위해서는 산업별 협회 등과 ES 미니 클러스터 구축 및 운영, ES 미니 클러스터를 통한 산업체로의 ES 지식 전파 강화하는 것도 생각해 볼 수 있으며, 중소·중견 기업에서 활용이 가능한 ES 융합 방법론의 개발과 보급을 실시하는 방안도 고려할 수 있다. 또한 정부의 지원 정책에 대한 효과성을 극대화하며 가치창출을 높이기 위해서 산업별 ES 효율성 측정 및 전수를 통해 산업 정책에 반영하는 방안과 중장기 산업환경·생산안전 정책 추진이 지속되도록 지원 법안의 개정 제안도 가능한 방안이라고 할 수 있다. ES지식네트워크 비전 및 목표에 대한 도식도는 Figure 8에 나타내었다.

#### 3.1. 산업별 협회와 ES 미니 클러스터 구축

ES 라운드테이블 개최는 산·학·연 만남의 장소를 제공할 뿐 아니라 중소·중견기업 ES 현안에 대한 협의를 하는 장소로 활용할 수 있어서 산업체 ES지식 확산 루트로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 미니 클러스터에서는 환경·안전규제 대응을 위한 적용 사례 공유, ES 융합 방법론 및 tool 활용 방안 논의, 중소기업지원 시범사업 추진 방법 협의의 그리고 환경·

안전 표준화 및 인증시스템 활용전략 발굴 등에 대한 내용을 논의할 수 있도록 운영하는 것이 바람직하다. 이를 위해 국내에서는 활성화가 되지 않고 있는 라운드테이블의 운영을 생각해 볼 수 있다. 라운드테이블의 경우 기업 등에서 현안이나 성공사례에 대한 전문가와의 집중 토의와 논의 등이 이루어지는 것으로, 청정생산기술의 경우 유럽라운드테이블, 아시아태평양라운드테이블 등이 개최되어 운영된 사례가 있다[22, 23]. 국내의 경우 기업 비밀 등의 이유로 기업 전문가 또는 실제 경험이 있는 직원의 참여가 매우 부족해 활성화하는데 상당히 큰 제약이 있는 것이 사실이다. 그러나 생산안전이나 산업환경의 융합은 산업혁명 4.0 시대와 함께 규제법이 계속 양산되고 강화되는 추세에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 라운드테이블이 확대되어야 한다.

전문가들이 국내 기업들과 산업환경·생산안전 융합 기술 또는 방법론 등을 개발하여 보급하기 위해서는 유관기관인 국가청정생산지원센터와 지속가능경영원의 역할이 매우 중요하다. 두 기관 모두 청정생산과 환경규제 대응에 대한 역할은 충실히 하고 있으며, 또한 업종별 협회 등과 내부적 협력 등 경험이 축적된 상태이기 때문에, 지식클러스터에서 전문가 그룹과 업종별 협회와 함께 국가 ES 미니라운드테이블을 매년 개최하는 명실상부 지식클러스터를 구축하는데 일조를 할 수 있을 것으로 판단된다. Figure 9는 ES 미니 라운드테이블 구조에 대한 구성도이다. 산업별 협회는 환경 또는 안전 규제가 많은 화학산업연합회, 자동차산업협회, 반도체산업협회, 디스플레이산업협회, 전자산업환경협회 등을 중심으로 하여 해당 업종의 기업들이 자발적으로 참여할 수 있도록 하여 추진하는 방안을 생각할 수 있다. 컨설팅기업의 경우 산업환경 컨설팅기업과 산업안전 또는 생산안전을 컨설팅하는 기업이 포함되도록 하여 융합의 시너지가 나오도록 하는 것이 중요하다.

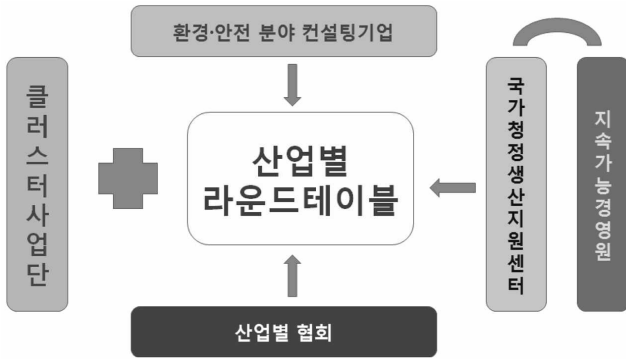


Figure 9. Diagram of the ES roundtable.

### 3.2. ES 융합 방법론의 개발 및 보급

국내 대기업인 삼성엔지니어링의 경우를 살펴보면 환경방침으로 환경경영, 환경관리시스템(ISO 14001), 환경위험작업허가제, 폐기물과 유해물질 관리, 기후변화 대응, 재생에너지 활용, 물부족 대응 및 생물다양성 보호, 그리고 인증 등에 대해 전사적으로 대응하고 있다. 그리고 안전방침으로는 안전보건경영, 사업주 HSE(보건안전환경) 만족 조사, 안전 점검, 안전보건 강화활동, 안전관련 인증 등에 대해 전사적으로 대응하고 있다[24]. 생산안전에 대해서는 개별적으로 지속가능보고서 등에서 보고하고 있지는 않고 있으나, 기업의 생산성 향상 등을 위해 분임조 활동 등을 포함해 추진하고 있다고 볼 수 있다. 한편 2005년부터 2013년까지 환경부에서 환경점검을 실시한 업소 중에 위반한 업소 수를 조사한 결과 전체 39,882개의 업소가 위반되었고, 한해에 평균적으로 4,431개소가 위반한 것으로 나타났으며, 대부분 중소·중견기업들이 포함되어 있다. 그리고 안전·환경 관련 사업주 처벌 법률 개수를 살펴보면 안전·보건 관련 법률은 32개, 환경관련 법률은 31개이며, 벌칙규정 수는 총 2,555개에 달할 정도로 매우 많은 상태이다[25]. 따라서 중소·중견기업에서 산업환경 및 생산안전 시스템을 최적화하기 위해서는 쉽게 활용이 가능한 방법론을 개발하여 보급하여 줄 필요가 있다.

중소·중견기업의 ES 도입을 개선하고, ES Training 체계를 확립해 준과 더불어 ES 가이드북 등을 통한 지식의 확산이 가능하도록 ES 지식 포럼을 운영하여 기업의 지식역량 강화를 도와주는 것도 고려해보아야 한다. ES지식 포럼에서는 국제 환경·안전 규제 대응을 위한 기술정보 제공, 환경·안전 방법론 tool 개발 및 보급, 중소·중견기업 ES 가이드북 및 리플릿 개발 그리고 공급망의 산업환경·생산안전 시스템 2.0 구축 등에 대해 논의해 볼 수 있다. 공급망환경관리란 공급망의 산업환경 혁신체계 구축보다는 2차, 3차 협력업체의 온실가스 감축 등 단일 내용에 대한 협력사 시스템 개선에 국한되어 정부에서 지원을 받고 있는 상황이다. 현재 지원방식을 개편하여 공급망의 산업환경과 생산안전을 동시에 개혁하는 방향으로 확대하고, 공급망의 ES 융합 방법론도 한국형으로 개발할 필요가 있다. 한편 산업단지에 위치한 기업들의 산업환경 및 생산안전 융합 능력을 배가하기 위해, 현재 지원하

고 있는 생태산업단지 사업을 개편하는 방안도 함께 고려해 볼 수 있다. 생태산업단지 사업은 현재 부산물을 활용하는 형태로(By-Product Synergy) 국한하여 기술개발을 하고 있는데, 생태산업단지 본연의 확장된 개념으로서 성과가 나오기 위해서는 단지 내에 소속된 기업 개별적인 산업환경과 생산안전 시스템 개혁도 필요하지만, 산업단지 전체의 융합 방법론 개발과 확산도 매우 시급한 상황이다[26]. 산업단지별 총에너지원 사용이나 환경배출물 또는 생산안전 민감도 등에 대한 종합적인 데이터도 구축이 되어 있지 않는 상태이므로, 한국형 산업단지 ES융합 방법론 개발 등을 포함한 ES지식 포럼 운영을 매우 중요한 역할을 할 것으로 볼 수 있다.

### 3.3. 산업별 ES 효율성 측정 및 전수

환경경제효율성(eco-efficiency) 평가는 산업, 기업, 제품 등에서 실시될 수 있으며 평가지표 뿐만 아니라 관리지표로 활용 가능한 장점이 있는 반면에, 사용자 측면에서 환경경제효율 값이 의미하는 바에 대한 해석이 명확한 벤치마크가 없는 어렵다는 해석상 문제가 존재한다. 그리고 생산안전을 포함하여 효율을 분석하는 지표로 확대하는 것은 환경부와와 생산안전 간의 가치치 부여 등 여러 가지 어려운 점을 내포하고 있다. EU에서 개발된 지속가능 가치(sustainable value) 평가는 기업이 생산 활동을 통해 얼마나 많은 외부효과를 발생시켰는가(burden-based approach)가 아니라 한정된 자원을 얼마나 효율적으로 사용하여 더 많은 가치를 창출하였는가(value-based approach)의 관점에서 지속가능 성과를 평가하는 기법으로 사회적 요소도 포함하는 지표이다[27, 28]. 그러나 사회적 요소에 대한 평가 요소가 전문가 사이에서 아직 논란이 되고 있으며, 지표로서의 상대적 가치부여가 어려워 지속가능 가치 방법의 사용 확산에는 한계가 존재한다.

한편 자료포락기법(data envelopment analysis, DEA)을 이용하면 기업들의 환경경제효율성을 상대적으로 측정하는 것이 가능하다. 국내 기업을 대상으로 각 기업의 Input 요소(예를 들어, 매출액, 에너지 사용량, 용수사용량, 종업원 수 등)와 Output 요소(예를 들어, 폐기물 총량, 이산화탄소 발생량, 매출액, 당기순이익 등)를 조사하여 그 비를 상호 비교하여 상대적으로 최적으로 운영하는 기업을 벤치마킹 대상으로 선정하는 것이다[29, 30]. 기술 투자에 따른 대기오염물질 배출량 데이터로 일본의 지역별 산업의 효율성 분석 등 환경에 대한 연구는 매우 다양하게 이루어져 왔으나, 상대적으로 생산안전에 대한 연구는 매우 미흡한 상황이다. 따라서 생산안전과 관련한 효율성에 대한 개념 정립과 함께 산업환경과 생산안전을 융합한 효율 지표를 개발하고, 이를 기업 또는 업종별로 상대적 비교를 하여 효율성을 증대시키는 방안을 마련하는 것이 필요하다고 볼 수 있다.

ES효율성 분석을 위해서는 국가 전체, 지역, 업종별 데이터의 취합이 필요하다. 현재 환경오염원별 - 대기, 수질, 폐기물 등 - 에 대한 업종별 데이터 취합과 정보제공도 제대로 구축되어 있지 않은 상태이고, 산업환경과 관련한 데이터의 구축과 정보 제공도 역시 미흡한 상황이다. 따라서 산업환경과 생



산안전의 융합기술 개발과 보급, 업종별 경쟁력 제고를 위한 중소중견기업의 지원을 위해서는 ES 융합 데이터센터를 지역별로 분산 지정·운영할 필요가 있으며, 상대적 효율성 측정에 필요한 공개 데이터 분석, DEA 기법을 활용한 ES 효율성 측정방법론 개발 및 중소·중견기업의 활용 가이드북 제공 및 보급 확산 등을 주 업무로 하고 지역별 ES지식 미니클러스터의 기반(seed)으로 활용할 수도 있다.

### 3.4. 산업환경·안전 정책 개발 및 제안

환경·안전분야는 현행의 ‘사후 처벌방식’에서 ‘사전 예방방식’으로의 전환이 필요한 분야이다. 사후 처벌방식으로는 기업이나 일반 국민의 소극적 대처로 인해 인명 피해 및 재산상 손실 등 다양한 부정적 결과를 동반하게 된다. 사전 예방방식은 비록 처음에 소요되거나 투입되는 비용이 크다고 볼 수 있으나 적극적 대처로 인해 부정적 결과를 사전에 제거하거나 최소화하여 전과정에 걸쳐 비용 계산을 해 보면 그 효과가 매우 큰 방식이다. 따라서 현재의 환경 및 안전분야는 사전 예방방식으로 정책을 개선해 나갈 필요가 있다. 예를 들어 현행 개별 법률에서 규정하고 있는 형벌(징역 또는 벌금) 또는 과태료 부과 등 총 2,555개 제재는 ‘환경 정의(environment justice)’ 또는 ‘안전 정의(safety justice)’ 관점에서 보면 타당한 내용이다[31]. 그러나 환경이나 안전을 등한시한 기업이나 개인에게 제재만 가하는 것 보다는 그 근원이 되는 문제점을 제거하는 방식으로 보완을 한다면 오히려 환경오염이나 안전 문제는 더 줄어들 수 있다. 즉, 법에서 정의한 제재에 버금가는 비용을 피제재 대상 기업 또는 개인이 환경오염이나 안전

문제를 발생시키는 생산공정이나 시스템 등등을 획기적으로 개선하는 기술 도입이나 컨설팅을 받는데 사용하게 한다면, 환경안전 개선과 더불어 제3의 기업(기술 이전 또는 컨설팅 제공)의 경제 활동 지원 등 부가 효과도 크다고 볼 수 있다. 이는 현행 처벌위주의 사후 제재 방식을 처벌과 개선을 병행하는 사전 예방 방식으로 전환하는 정책의 개발이 필요하다는 것을 의미한다[32].

우리나라의 환경 안전 분야가 선진국으로 진입하기 위해서는 소규모 사업장의 법규 준수능력을 고려한 산업환경·생산안전 지침서 발간 및 보급, ES 기술의 도입 또는 적용 지원정책 수립 등 소규모 사업장에 도움을 줄 수 있는 다양한 정책에 대한 개발이 필요하다. 단기적 성과중심의 경영 확산으로 사업장의 안전보건체제가 안착되지 못하고, 사업주와 근로자의 안전의식이 여전히 낮은 상황을 타개하기 위한 정책이 집중되어 사고 예방효과가 극대화 되지 못한 측면이 있는 만큼, 환경·안전 예방에 대한 지원과 관리가 절실히 필요한 곳에 예산과 행정력을 지원하는 등 정책의 효율성을 증대시킬 수 있는 방안을 ES 지식클러스터에서 마련하는 것이 바람직하다(Figure 10). 또한 제조업 분야에서 작업자에 의존해 왔던 작업공정 모니터링과 기록이 각종 스마트 센서와 소프트웨어를 통해 자동화하는 지능형 공장이 전 세계적으로 확대되는 추세이다. 경제적 이익 중심에서 환경보호와 사회 책임성을 함께 고려하며, 제품생산과 활용중심에서 자원 채취부터 재사용, 폐기 단계까지 고려하고 비용 절감에서 동반 성장 중심의 협력관계를 조성하는 지속가능 생산체계와 생산안전을 강화하는 형태로 지능형 공장에 맞춰 정책화하는 대안 마련이 필요한 시점이다.

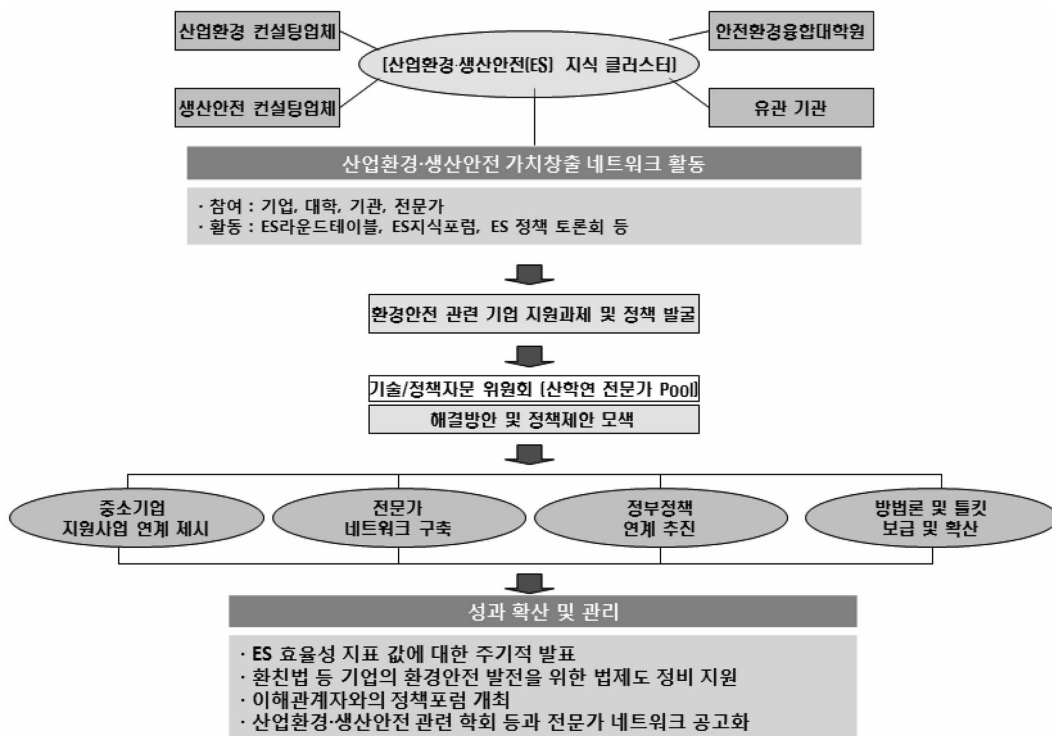


Figure 10. The flow system of ES knowledge cluster network.

#### 4. 결론

현 정부의 국민행복을 위한 4대 전략 및 65개 과제 중 ‘환경·안전’ 부분에 대한 지원 내용을 보면, 재난·재해 예방, 관리 및 쾌적 지속가능한 환경 전략 부분에 대한 전문가 네트워크 구축과 지식의 전파 가속화를 위해, 환경유해물질 관리 및 환경오염 피해구제 강화, 에너지 시설의 안전관리 강화, 안전하고 쾌적한 일터 조성 등 산업현장의 재해감소와 화학물질 안전관리 혁신 방안 도출 및 전수, 그리고 기후변화 적응 역량 제고, 자원·에너지가 선순환하는 자원순환사회 실현, 환경서비스 품질수준 제고 등 ‘지속가능산업’ 구현 방안을 마련하는 것으로 되어 있다. 또한 제5차 국민경제자문회의의 후속조치 중 ‘안전산업 활성화 방안(2015.3.19.)’ 부분에 대한 지원 내용을 보면, 안전 전문기업 성장 유도 및 기업의 안전 확보 노력 강화를 위한 안전진단·컨설팅 분야 성장 견인 등의 안전산업 생태계 조성을 강화하겠다고 되어 있으며, 안전 기준 정비, 안전제품 기술기준 선진화, 안전산업 전문인력 양성 방안 등에 대한 정책 제안과, 안전산업의 외연 확장을 위한 전략적 해외진출 방안과 재난안전 공공데이터 활용 사업화 방안을 마련하는 것으로 되어 있다. 그리고 정부의 중장기 종합계획인 ‘안전혁신 마스터플랜(2015.3.30.)’ 중 유해화학물질 관리와 산업단지 환경안전 관리 부분에 대한 지원 부분을 보면, 산업체의 화학사고 예방·대응체계 공고화 및 화학물질관리법 등 환경규제법의 중소·중견기업 준수 방안을 마련하고, 산업단지 입주기업체의 안전관리 및 위험물·폐기물 처리 및 부산물 재이용 등에 대한 정책을 제안하는 것으로 나타나 있다.

이같은 다양한 지원정책의 수립에도 불구하고 산업체에서 환경관련 사고가 자주 발생하는 추세이며, 환경부의 환경위반 단속에도 산업체의 환경개선 속도는 정체 수준이고 또한 화학물질의 누출 및 폭발 사고로 많은 인적·물적 피해뿐만 아니라, 경제적 손실과 함께 사회적으로 심각한 문제를 야기하는 것이 현실이다. 정부 정책 지원 효과성 확대와 현장의 기업의 대응능력 배가를 위해서는 산업환경과 생산안전 분야의 전문가들이 융합적 지식을 바탕으로 국가 경쟁력 향상에 도움이 되는 지식클러스터를 구축하여 유용한 정보의 제공과 더불어 정책적 지원에 활용할 수 있는 지표 개발, ES융합 기술의 개발 등에 선도적 역할을 할 필요가 있다. 본 연구에서 제안한 국내 ES 지식클러스터 추진 체계도는 아래 그림과 같이 표현할 수 있다. 이 분야의 다양한 전문가들이 활발한 연구를 하는 시스템이 구축되기를 희망해 본다.

#### 감사

이 논문은 2014년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 ‘청정생산기반전문 기술개발사업’(과제번호: 10052157)으로부터 지원을 받아 수행한 결과로 작성되었습니다. 지원에 감사드립니다. 설문조사 데이터를 그림화하는데 도움을 준 호서대 안전환경기술융합학과 환경정책연구실의 채인석학생, 가정희학생에게 감사를 표합니다.

#### References

1. Newstapa, [http://newstapa.org/23098\(2015. 1. 27, News\)](http://newstapa.org/23098(2015. 1. 27, News)).
2. Lee, J.-S., and Choi, D.-M., “A Study on the Improvement of Chemical Accident Response System in View of the National Disaster Management System,” *Fire Sci. Eng.*, **29**(5), 73-78 (2015).
3. Yoon, C., Ham, S., Park, J., Kim, S., Lee, S., Lee, K., and Park, D., “Comparison between the Chemical Management Contents of Laws Pertaining to the Ministry of Environment and the Ministry of the Employment and Labor,” *Korean Soc. Environ. Health*, **40**(5), 331-345 (2014).
4. Kim, J. Y., “Value Chain Network of Environment and Safety for the Industry,” Internal Report, Hoseo University(2015).
5. Jo, J., Min, T., On, G., and Choi, J., “Advancing Europe-Advanced Manufacturing for Clean Production,” *J. KSME*, **55**(2), 56-60 (2015).
6. Kim, J. Y., “Cleaner production: International Status and its Future,” *FA Journal*, **8**, 76 (2005).
7. Kim, J. Y., “Overview and Future Direction of Cleaner Production System,” *J. Korean Soc. Precision Eng.*, **20**(8), 12 (2003).
8. Kim, J. Y., “The Development Strategy of Cleaner Production Technologies,” *Green Samsung*, **65**, 26 (2003).
9. Kim, J. Y., Lee, K., and Byon, K., “Cleaner Production and Sustainable Development of Chemical Industry,” *Prospect. Ind. Chem.*, **5**(6), 2 (2003).
10. UNEP, “Energizing Cleaner Production: A Guide for Trainers,” Guidebook(2007).
11. Kaizenworld, <http://www.kaizenworld.com/what-is-5s.html> (“What is 5S”).
12. Institute for Prospective Technological Studies, <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/> (“Reference documents under the IPPC Directive and the IED”).
13. KBIZ, “Survey for SME’s responses of Environmental Regulations,”(2014).
14. Kim, S. D., “Cleaner Production 3.0 - the Future of Revolutionized Cleaner Production Technologies,” *PD ISSUE REPORT, KEITI*, **13**(2), 29-48 (2013).
15. Zmon21, <http://blog.donga.com/zmon21/archives/30581> (“Germany’s Industrial Revolution 4.0”).
16. HRI, “Germany’s Creative Economy - Industrial Revolution 4.0,” *VIP Report*, **546**, 13-36 (2013).
17. Ha, W., “Industrial Revolution 4.0 and Some Countries’ Strategies,” *IITP Weekly Report*, **1710**, 1-12 (2015).
18. Choi, C., “Small Chemical Plant’s Safety Issue and Its improvement Plan,” KOSHA Seminar Report(2004).
19. Kim, J. I., Yoon, C., and Yoon, H., “Development of Eco-Efficiency Indicators for Yeosu Industrial Park,” *Clean Technol.*, **16**(3), 229-237 (2010).
20. KNCPC, [https://www.kncpc.or.kr/green/stats\\_field.asp](https://www.kncpc.or.kr/green/stats_field.asp) (“Eco-efficiency - Concept and Case Studies”).

21. Lee, W. S., "A Study on a Statistic Significance of Perception between Internal and External Stakeholders for the Environmental Performance Index," *Environ. Manage. Studies*, **8**(1), 33-54 (2010).
22. ERSCP, <http://www.erscp.org/> ("The European Roundtable for Sustainable Consumption and Production").
23. APRSCP, <http://www.aprscp.net/> ("The Asia Pacific Roundtable for Sustainable Consumption and Production").
24. Samsung Engineering Co., <http://www.samsungengineering.co.kr/kor/sustainability/hse/health/suView> ("Sustainability Report").
25. KEF, "The Industrial Safety and Health Policy - Problems and Improvement measure," ESDC Report (2014).
26. KICOX, <http://www.eip.or.kr/app/housekeeping/index.jsp> ("Eco-Industrial Park Portal").
27. Sustainable Value Research Ltd, "Sustainable Value in Automobile Manufacturing," Report, 3<sup>rd</sup> Ed. (2013).
28. Park, J., and Ok, H., "Companies Sustainable Value Evaluation," *Ecofrontier Sustainability Issue Report*, **61**, 1-5 (2007).
29. Chae, I., Seong, J., Jeong, S., Ga, J., and Kim, J. Y., "A Study on the Efficiency Analysis of Semiconductor · Display Companies using DEA," *Korean Journal of Hazardous Materials*, Submitted (2016).
30. Jeong, S., Chae, I., Seong, J., Ga, J., and Kim, J. Y., "An Efficiency Analysis of the Regional Chemical Emissions using DEA," *Korean Journal of Hazardous Materials*, Submitted (2016).
31. Kim, T., Uhm, S., Baek, J., Jin, K., Lee, S., and Ban Y., "Analysis of Socioeconomic Difference between Expected Damage Areas on Hydrofluoric Acid Gas leakage," *KEPAS Fall Symposium*, pp. 74-75 (2015).
32. US EPA, <http://www.epa.gov/enforcement/supplemental-environmental-projects-seps> ("Supplemental Environmental projects").