

제품안전관리를 위한 나노물질 규제정책 도입평가 연구

서정대*

¹가천대학교 경영대학 경영학과

Study of the Introduction of a Nanomaterials Regulatory Policy for Product Safety

Jungdae Suh^{1*}

¹School of Business Administration, Gachon University

요약 최근 공산품에 나노기술의 활용이 점점 확대되고 다양한 나노제품이 출시되면서 나노물질의 인체 및 환경에 대한 유해성 문제가 주요한 사안으로 대두되고 있다. 이러한 위험성을 인식하여 EU 및 미국 등에서는 나노물질에 대한 규제를 강화하는 추세이다. 그러나 현재 국내에는 나노관련 법규가 미흡한 형편이다. 무엇보다도 소비자에게 밀접한 공산품의 나노물질 규제정책은 소비자의 안전을 위해 시급히 요구되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 규제정책 도입을 위한 기반연구로서 공산품에 함유된 나노물질에 대한 규제정책 도입을 위한 분석을 실시한다. 본 연구에서는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하여 규제정책을 평가하고 가장 적합도가 높은 최적 규제정책을 선택한다. 규제정책은 자율규제, 제품라벨링, 정부등록제를 대상으로 하며 정책평가기준은 시행성(효과성), 경제성, 수용성, 보호성으로 설정한다. 평가 결과 최대 적합도를 가지는 제품라벨링 정책을 최적 규제정책으로 선택한다.

Abstract Recently, the use of nanotechnology in products is constantly expanding, and the problems on human health hazard has emerged as a major issue. A nanomaterials regulatory policy on the products is urgently required. This study analyzed the introduction of regulatory policies of nanomaterials contained in industrial products. In this study, the AHP (Analytic Hierarchy Process) method was applied and three regulatory policies were evaluated to analyze the validity of the introduction of a nanomaterials regulatory policy. To select the optimal regulatory policy, the policy evaluation criteria were set as enforcement (effectiveness), economics, acceptability, and protection. For the regulatory policies, self-regulation, product labelling, and enforced registration were introduced and evaluated as the regulatory policies, and product labelling was selected as the optimal regulatory policy.

Key Words : Product Safety, Safety Management, Nanomaterials, Regulatory Policy

1. 서론

최근 공산품에 나노기술의 활용이 점점 확대되고 다양한 나노제품이 출시되면서 나노물질의 인체 및 환경에 대한 유해성 문제가 주요한 사안으로 대두되고 있다. 나노물질(소재)은 인위적으로 만들어진 1~100 nm 크기의 물질(소재)로 기존의 물질과 달리 물리적·화학적 기능성을 부여할 수 있어 최근 다양한 제품군에 응용되는 신기

술이다. 나노물질은 항균, 침투, 흡수 효과가 증가하는 기능을 갖게 되어 공산품, 화장품, 식품 등 다양한 분야의 산업에 응용되고 있다. 나노물질은 크기·표면적 등 물리적 특성상 다양한 기능성을 나타낼 수 있어 신소재 원료 물질로 활용할 수 있다.

이처럼 나노기술 개발이 본격화되고 다양한 나노제품이 출시되면서 나노기술의 사회적 영향문제가 최근의 주요 이슈로 떠오르고 있다. 이중에서도 특히 나노물질의

*Corresponding Author : Jungdae Suh(Gachon Univ.)

Tel: +82-31-750-5369 email: jdsuh@gachon.ac.kr

Received June 5, 2014

Revised (1st July 21, 2014, 2nd August 6, 2014)

Accepted August 7, 2014

인체 및 환경에 대한 유해성 문제가 핵심적인 사안으로 대두되고 있다. 나노물질이 인체에 침투하여 인체의 다양한 부위에서 독성을 유발하거나 조직 내 이동이 용이하여 다른 기관에 전이될 수 있다는 국내의 연구결과가 잇따르고 있어 안전성 논란이 계속되고 있다[1].

특히 REACH(Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), RoHS(Restriction of Hazardous Substances), WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment) 등 국제적으로 강화되고 있는 환경규제로 인하여 나노물질에 대한 인체 흡입 및 생물 축적에 대한 유해성 및 위해성에 대한 논란이 끊임없이 제기되고 있다. 정밀하게 정제된 나노입자의 경우 세포막을 자유자재로 투과할 수 있을 정도로 매우 작기 때문에 신체 여러 기관, DNA 및 태아 등에 영향을 미칠 수 있고 자연환경에 존재하는 모든 생명체에까지 영향을 줄 수 있다고 알려지고 있다[2].

이러한 위험성을 인식하여 EU 및 미국 등 선진국 등을 중심으로 나노물질에 대한 규제를 강화하는 추세이다. 나노물질과 나노제품에 대해 시장유통 전 승인을 받거나 표시의무를 부여하는 등 관련규제를 강화하고 있다. 나노입자를 사용하거나 함유된 제품에 대해서는 수출이 거부되거나 해당 수출을 포기해야 하는 상황도 발생할 수 있다. 해당 국가로 수출하는 기업에서는 이들 국가의 나노규제 현황을 정확히 파악하여야 하고 이에 맞는 적절한 사전 대응 방안의 수립이 필요하다.

그러나 현재 국내에는 나노관련 법규가 미흡한 형편이다. 나노기술을 적용한 공산품, 식품의 유통·판매가 급증하고 있는데도 이를 관리하고 소비자에게 정확한 정보를 제공하는 제도적 장치가 미흡한 실정이다. 이와 같은 국제 기준과의 부조화는 소비자 보호를 위한 안전성 확보뿐만 아니라 향후 국내 산업계의 수출 및 제품 생산에도 차질을 빚게 할 가능성이 높다. 아직 나노물질에 대한 정확한 유해성 평가방안이 표준화되지 않은 상태에서 시기가 이르다는 측면도 있겠지만, 이미 나노물질의 인체 유해성이 확인된 상황에서 더 이상 규제를 미룰 수만도 없는 입장이다. 특히 소비자에게 밀접한 공산품에서의 나노물질 규제정책은 소비자의 안전을 위해 시급히 요구되고 있다.

현재 규제를 위해 필요한 선행 작업들이 선진국을 중심으로 진행되고 있고, 조만간 규제가 현실화될 것으로 예상되는 상황에서 한국도 이에 대응하여 나노물질 규제

정책 도입준비를 할 필요성이 있다. 이에 따라 본 연구는 규제정책 도입을 위한 기반연구로서의 역할로서 공산품에 함유된 나노물질에 대한 규제정책 도입을 위한 분석을 실시한다.

우선 나노물질이 인체에 미칠 수 있는 유해성에 대해 국내외 연구 자료를 조사하고 나노물질이 함유된 공산품 실태에 대하여 조사한다. 그리고 나노물질에 대한 국내외 규제동향을 조사, 파악한다. 그런 다음 나노물질 규제를 위한 다양한 규제정책 유형을 분석한 후 규제정책들에 대하여 AHP 기법을 통하여 규제정책의 우선순위를 평가하여 최적 정책을 결정한다.

2. 연구배경

나노물질에 대한 유해성 연구는 2003년 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 연구팀이 0.1~0.5 mg의 탄소나노튜브를 쥐의 폐에 주입하고 관찰한 결과 폐 조직을 손상시켰다고 발표한 것을 시발점으로 연구되기 시작했다[3]. 그리고 프라이팬 표면에 사용되는 테플론 입자를 나노미터 사이즈로 만들어 쥐에게 흡입하게 한 결과 호흡곤란 증세를 보였다는 연구결과도 비슷한 시기에 보고되었다[4].

나노물질은 크기가 100nm 이하의 입자로서 이전의 마이크로 크기의 입자에서 볼 수 없는 독성을 나타낸다. 나노물질의 독성은 매우 작은 크기와 나노물질 특유의 물리화학적 특성으로 인해 발생한다. 높은 표면 반응력과 세포막 투과력은 나노물질이 쉽게 생체에 유입될 수 있게 한다. 유입된 나노물질은 인체 내 깊숙한 곳까지 침투하여 침착되어 심혈관계 질환에 영향을 미칠 수 있고, 침투된 나노물질은 혈액에 의해 체내에서 이동하여 기관, 조직, 뇌 손상에까지 영향을 미칠 수 있다[5].

인체에 유입된 나노입자는 인체의 조직, 세포에 증가된 산화적 스트레스(나노입자의 화학적 반응으로 인해 동식물의 체내 세포들의 대사과정에서 생성되는 활성산소인 free radical을 포함하는 높은 반응성의 산소종 생성)와 염증 사이토카인 생성으로 세포를 사멸시키게 한다[6]. 또한 DNA 돌연변이와 미토콘드리아의 구조적 파괴를 유발하여 결국 세포가 사멸되게 하는 물질인 것이 확인되었다[7, 8]. 특히 탄소나노튜브(CNT), 산화금속 나노입자, 탄소 플러렌 등의 나노입자는 화학적 반응으로

높은 반응성의 산소 종을 생성하며, 이렇게 생성된 산소 종은 단백질, 각종 막(membrane), DNA에 피해를 주는 방식으로 독성이 나타난다[9].

2004년 Eva Oberdorster는 0.5 ppm 정도의 플러렌을 48시간 동안 물고기에 노출시켰더니 광범위한 뇌 손상이 발생했으며 간의 유전자 마커의 변화도 관찰되었다고 보고했다[5]. 이는 간 유전자의 심각한 손상 즉, 유전자 변이가 있었음을 의미한다. Kashiwada는 송사리를 이용하여 실험을 하면서 송사리 알에 나노입자들이 축적될 경우 성장한 송사리의 기관과 혈액에 나노입자들이 분포될 수 있음을 밝혔다[10]. 특히 염분에 의한 영향을 파악한 결과 염분이 나노입자의 독성에 크게 영향을 미치는 것을 밝혔다. 이 외에도 쥐를 이용한 최근의 연구에 의하면 CNT는 바늘과 같은 구조로 석면과 같이 몸속에 유입되어 암을 유발한다는 보고도 있다[11]. CNT가 사실상 석면과 같은 발암물질이라는 사실이 알려진 것이다.

또한 선크림 등에 사용되어 자외선을 차단하는 이산화티타늄(TiO₂) 나노입자는 신경세포를 손상하게 할 수 있다. 미국 EPA(Environment Protection Agency)는 이산화티타늄 나노입자에 생쥐를 1시간 이상 노출하면 활성산소가 과다 분비되면서 신경세포가 손상되는 것으로 나타났다고 밝혔다[3]. 각질층이 벗겨진 상태에서 피부에 흡수되면 혈액을 타고 뇌까지 갈 수 있다는 것이다. 국내에서도 2009년 식약청은 은나노 입자의 흡입독성을 시험한 결과 동물실험에서 50~100mm 크기의 은나노 입자가 심혈관 질환 및 폐와 간에 독성 영향이 있음을 확인한 바 있다[12].

이처럼 나노물질의 인체 유해성은 국내의 여러 가지 연구결과와 보고사례에 의해 사실로 확인되고 있다.

3. 나노물질 함유 공산품 실태

나노물질이 신소재로 각광받으면서 생활용품 곳곳에 활용되고 있다. 나노물질을 활용한 가전기기, 소재, 섬유, 바이오, 의료, 제약 등 다양한 분야의 산업에 적용되고 있다. 한국소비자원은 국내 주요 오픈마켓, 홈쇼핑, 대형할인마트의 나노제품 유통실태를 조사한 결과, 국내에도 상당수의 나노기술 적용 제품이 유통되고 있는 것으로 드러났다고 밝혔다[13]. 나노물질을 함유한 공산품은 향균, 칩투, 흡수효과가 증가된다는 광고를 하고 있다. 조사

결과 나노관련 제품은 4만1509개로 확인됐으며, 대형 할인마트에서 판매하는 87개 나노제품 중 인체에 직접 닿는 의류, 화장품과 유해물질에 취약한 유아·어린이 용품은 49개로 확인됐다. 온라인 매장에는 나노기술을 적용해 건강증진 효과가 있다고 표시·광고하는 식품이 19개였다. 이처럼 나노물질은 식품, 생활용품, 전자, 항공 등 각종 영역에 활용되고 있다. 나노 전자소자, 은나노 살균 에어콘, 심지어 영유아용 나노젓병, 나노젓꼭지 제품도 시장에 출시되고 있다. 나노물질이 함유된 대표적인 공산품 실태가 Table 1에 정리되어 있다.

[Table 1] Industrial products containing nanomaterials

Classification	Product
Household items	stationery(pencil, pen, ink), feeding goods(baby bottle, nipple), kitchen utensils(cutting board, dishes), toy, diaper, wet tissue, glasses, helmet, filter, tire, battery
Electronics	TV, washing machine, air conditioner, air cleaner, cell phone, MP3 player, computer supplies, earphones, display, LED, blender
Clothing	textile goods, towel, blanket, curtain, socks, shoes
Health goods	cosmetics, soap, spray, body oil, sun care, toothpaste, toothbrush, plaster, hearing aid, heating pad, detergents, freshener, deodorant
Food	nano calcium product, nano smoke duck, nano powder product
Building materials	blind, photo catalysis glass, insulator, paint, roof materials

그러나 나노물질이 인체에 독성을 유발할 수 있다는 연구결과가 잇따르고 있어, 국내외에서 안전성 논란이 계속 제기되고 있다[1,2,14,15]. 실제로 나노물질을 이용하는 중국의 페인트 공장에서 두 명의 직원이 사망하고 다섯 명의 직원이 폐질환으로 고통받는 사건이 발생하기도 했다.

2006년 미국 EPA는 S전자의 은나노 세탁기 등 나노기술을 적용한 세탁기와 식품보관용기, 공기청정기 등을 살충제법에 따른 등록규정 위반으로 수입규제 대상품목으로 지정했다. 또한 2009년에는 미국 환경부가 S전자의 은나노 코팅 키보드 제품에 대해 살충제법에 따른 등록규정 위반으로 20만 5천불의 벌금을 부과했으며, 2008년 ATTEN Technology사 은나노 코팅 마우스와 키보드 제품에 20만 8천불의 벌금을 부과했다. 2010년 6월에는 유럽의회에서 전기전자제품 내에 나노실버와 탄소나노튜브 등 2개 나노물질의 사용을 제한하는 규정(안)이 통과됨에 따라 국내 K사가 검토 중이던 나노튜브 생산설비 구축을 전면적으로 재검토하기도 했다.

이처럼 주요 선진국들은 나노물질과 나노제품에 대해 시장유통 전 승인을 받거나 표시 의무를 부여하는 등 관련 규제가 도입되는 추세이다. 그러나 국내에는 관련 규제 기준이 미흡한 실정이다. 이에 대해 소비자들은 나노기술 적용제품의 잠재적 위험에 대한 최소한의 안전장치를 확보하고 나노제품 표시제도의 조속한 도입을 관련기관에 건의할 계획으로 알려졌다. 이처럼 나노물질의 잠재적 유해 영향을 미연에 방지하고 무분별한 나노기술 개발 및 적용 등에 따른 잠재적 위험성을 최소화하기 위해서는 나노물질 사용과 관련한 제도적 장치 마련이 매우 시급한 실정이다.

4. 국내외 나노물질 규제현황

4.1 국제 규제현황

4.1.1 EU

현재 나노물질은 EU 및 회원국 수준에서 다양한 입법기관에 의해 규제되고 있는 상황이다. EU에서 화학물질에 대한 규제는 REACH를 통하여 이루어진다. REACH는 2007년 6월 EU 내 40여개 화학물질 관련 법령을 통합한 제도로 신화학물질관리제도로 불린다. 2011년 12월 EU 의회를 통과해 2012년 6월부터 발효되었다.

이 제도에 따라 EU 내 연간 1톤 이상 제조 또는 수입되는 모든 화학물질은 ECHA (European Chemical Agency)에 등록해야 한다. 제조업체나 수입업체는 국제적으로 인정되는 시험기관인 GLP를 통해 화학물질 정보를 등록해야 하며, ECHA는 이를 토대로 유해성을 평가해 제품 유통에 대한 허가 및 제한 등의 조치를 내리게 된다. 화학제품은 물론 전자, 자동차, 생활용품 등 완제품에 함유된 화학물질도 모두 등록 대상으로 총 3만종이 넘는다.

REACH 제도 도입을 통해 나노물질 또한 규제대상 범주에 포함되므로, EU 내 나노물질 제조 또는 수입자뿐만 아니라, EU로 나노물질을 수출하는 기업들도 간접적으로 REACH 제도 대응을 이행해야 한다. 나노물질과 관련하여 REACH 일부 조항에 대한 수정이 계속 이루어질 예정이다. 해당 조항 중에는 나노물질에 대한 세부적인 준수사항들도 포함되어 있다. REACH 부속서 및 ECHA에서 발행한 이행지침도 나노물질에 대한 신규 연구결과에 따라 수정/보완될 것이다. 이처럼 REACH에서

나노물질 규제를 구체화하기 위한 제도적 장치가 마련되고 있다는 점에서 나노물질 규제가 구체화되고 있다고 볼 수 있다.

REACH와 함께 유럽위원회는 2010년 전기전자제품 내에 나노실버 (Nanosilver)와 탄소나노튜브 (CNT) 등 2개 나노물질의 사용을 제한하는 RoHS (Restriction of Hazardous Substances) 개정안을 채택하여 발효 후 2년부터 소비자에게 노출될 수 있는 나노물질을 사용하는 제품에 라벨링이 의무화되며, 3년 후부터는 유럽위원회에 신고하고 안전성 등 관련 자료를 제공해야 한다.

4.1.2 미국

미국은 현재 기존의 법령 및 규제정책에 의하여 나노물질을 관리하고 있다. 대표적인 규제기관으로는 EPA (Environment Protection Agency, FDA (Food and Drug Administration), CPSC (Consumer Product Safety Commission) 등이 있다.

EPA는 나노물질을 규제하는데 독성물질관리법 (TSCA), 연방살충제법(FIFRA) 등의 기존 법령을 사용하고 있다. EPA는 FIFRA에 따라 2007년 은나노물질에 대한 규제를 실시했으며, TSCA에 따라 2009년 탄소나노튜브, 2011년 다중벽 탄소나노튜브 관련 중요신규사용규칙(SNURs)을 공고했다. 이에 따라 이들 물질을 제조, 수입, 또는 가공하는 경우에는 90일 이전에 EPA에 사전 신고해야 한다.

FDA는 나노함유 제품에 대한 규제를 하며 복합제제, 생약, 의료기기에서부터 음식, 화장품, 식품첨가제를 대상으로 한다. 미국 6개 환경 및 소비자 단체는 2006년 나노물질 규제 마련을 촉구하는 요청서를 FDA에 제출한 바 있다. 요청서는 선크림 등 나노제품에 대한 규제조치 마련과 체계적인 환경영향보고 수행 요구 등의 내용을 포함하고 있다. 이들 6개 단체는 2011년 FDA의 나노물질 규제 마련을 보다 강력히 촉구한 바 있다.

CPSC는 제품에 대해 연방유해물질관련법(FHSA)에 따라 소비자의 건강에 미칠 수 있는 영향을 평가한다. 제품의 상해 위험에서 소비자를 보호하며 15,000가지 유형의 소비자 제품을 관할한다. CPSC는 EPA, FDA와 함께 기존의 규제정책을 사용하여 나노물질의 안정성과 위험성에 대한 결정을 내린다.

4.1.3 독일

독일의 경우 독일유해물질규제조례 및 실제 제도이행

을 위한 유해물질에 대한 기술규칙(Technische Regeln fuer Gefahrstoff, TRGS)이 작업장 안전 및 보건에 관련된 나노물질 국가규제법의 근간을 형성하고 있다. 이를 위한 기술지침들은 독일연방직업안전보건연구소(FIOSH) 및 독일화학산업협회(VCI)에 의해 제공되고 있다.

또한 독일은 나노기술의 위해성평가 및 지속가능발전 기반을 마련하고자 2011년 1월 제2차 나노기술이행계획을 발표하면서 소비자에게 직접적으로 노출될 수 있는 화장품과 같은 제품군의 경우 2013년까지 함유된 나노물질의 위해성 관련 내용을 제품 표면에 표시하게 했다. 이와 함께 나노물질 특성에 관한 보고서를 발행하면서 나노물질의 안전한 사용을 위한 지침서를 발표하였다.

4.1.4 프랑스

2012년 2월 프랑스는 나노제품 강제신고 법안을 고시했다. 이 법안에 따르면 2013년 1월 이후 100g 이상의 나노물질을 생산, 유통, 수입하는 업체의 신고를 의무화했다. 최초 신고 기한은 2013년 5월이며 2013년 7월부터 이를 준수하지 않는 기업은 3,000유로의 벌금이 부과되며 준수할 때까지 매일 300유로의 벌금이 추가로 부과된다.

이 법안은 유럽 최초의 나노물질 의무 신고제도이며 유럽위원회도 이 법안에 동의하였다. 법안에서 정의하는 나노입자는 1~100nm 크기의 입자비율에 근거하고 있으며 자유나노입자(Free Nanoparticle)를 함유하는 혼합물도 포함하고 있다. 또한 풀러렌(Fullerene), 탄소나노튜브(CNT)의 그래핀 조각(Graphene Flake), 1nm 이하의 입경을 갖는 단일벽(Single Wall) 물질도 나노입자로 간주된다.

4.1.5 기타 국가들

영국은 2006년 나노기술의 환경 및 위험평가를 실시하면서 자발적 보고체계를 제안하였다. 또한 나노기술을 다루는데 있어서 기존 표준의 한계를 파악하고 관련 법을 개정할 것을 촉구하였다.

호주는 산업화학물질 신고 및 평가법에서 산업용 나노물질을 신화학물질로 간주하여 이에 필요한 새로운 신고 및 평가관리를 2011년 1월부터 시행하기 시작했다. 이 제도는 현재 산업용 나노물질을 시장에 도입하는 사람은 해당 물질이 나노물질 정의에 해당되는지를 문의해야 하며, 만일 이에 해당될 경우 허가 또는 인증을 받아야 한다.

스위스는 2011년 1월 합성 나노물질에 대한 안전보건자료(SDS) 지침서를 발표했다. 안전보건자료는 생산 및

제조과정에서 잠재 유해성을 알리고 최종 제품의 인체 및 환경에 대한 잠재 위해성평가를 위한 기초정보를 제공하게 된다.

대만은 나노인증마크 제도를 실시한다. 나노 크기의 고유 속성을 지닌 상품에 대해 품질시스템 설치, 안전성 문제 추적 가능성 등을 판단해 인증 마크를 주고 2년간 시장에서 감시한다.

4.1.6 시사점

국제적인 규제현황을 살펴보면 기존 관련법령을 통한 일부 나노물질에 대한 규제는 이미 실시되고 있으며 전반적인 나노물질 규제를 위한 제도적 장치 마련이 구체화되고 있음을 알 수 있다. 특히 자발적 신고제도를 의무화 하거나 안전 사용을 위한 지침서 또는 나노인증마크 등을 제공하고 있다. 이는 소비자의 건강에 미칠 수 있는 영향을 평가하여 제품의 상해 위험에서 소비자를 보호하기 위한 것이며, 규제를 위해 현 시점에서 가능한 적절한 시행 방안을 마련한 것으로 평가된다. 또한 환경 및 소비자 단체가 나노물질 규제 마련을 촉구했다는 점은 소비자 보호와 더불어 소비자 스스로가 규제를 적극적으로 수용하고 있다는 점을 나타낸다. 이러한 해외사례를 통해 볼 때 국내의 규제정책 도입 시 소비자 보호성과 함께 목적 달성에 적절한 시행성, 그리고 소비자 수용성도 평가기준으로 활용해야 할 필요가 있음을 시사하고 있다.

4.2 국내 규제현황

한국의 나노기술에 대한 연구개발은 2000년대 들어 각 부처별로 활발히 추진되어 왔다. 그러나 나노기술 안전관리정책은 상대적으로 미진하였으며 2006년을 전후하여 형성되기 시작하였다. 2006년 환경부는 OECD의 WPMN (Working Party on Manufactured Nanomaterials)에 참여하면서 나노기술의 안전성에 대해 주목하기 시작하였다.

2007년부터는 나노기술의 안전성과 관련된 사업이 본격적으로 추진되기 시작하였다. 2007년 범부처'나노물질 안전성정책협의회(교과부, 환경부, 지정부, 복지부 등 참여)'가 발족되었으며 2008년에는 국가나노기술지도가 작성되면서 안전성 기술과 표준화 기술을 설정하였다.

2009년 이후에는 나노기술의 안전관리에 대한 종합적인 계획이 수립되는 가운데 이와 관련된 지침을 제정하는 작업이 추진되었다. 2009년 환경부는 나노물질 안전

관리 증장기 추진계획을 수립하였으며 지식경제부는 나노제품의 안전성 확보를 위한 플랫폼 기술개발사업과 2011년 나노융합산업 촉진과 나노제품의 신뢰성확보를 위한 나노제품 안전성 종합계획을 수립하였다. 또한 범부처 제3기 나노기술종합발전계획을 수립하면서 나노기술의 안전관리에 관한 내용을 대폭적으로 강화하였다.

지식경제부는 기술표준원을 통하여 2009년 나노물질 작업안전지침을 제정하고 2011년 나노제품의 안전관리에 관한 지침을 제정한 후 국가표준(KS)으로 관리하고 있다. 이러한 배경에서 환경부가 나노기술의 안전관리에 관한 범부처 종합계획의 수립을 제안했으며, 그 결과 2011년 제1차 나노안전관리종합계획이 수립되었다.

이처럼 나노기술산업화 촉진과 안전성 관련 정책연계를 위한 R&D 사업을 추진하고 있으나, 현재 나노물질 규제를 위한 뚜렷한 모습은 보이지 않고 있다. 노동부, 환경부, 식약청 등에서는 규제기준 마련을 준비 중에 있으나, 새로운 법령을 통한 규제에는 유보적인 입장을 보이고 있다. 나노물질이나 제품의 안전관리에 관한 법률이 9개 부처 14개 법률에 산재되어 있으나 이에 대한 종합적인 조정이 이루어지지 않고 있다.

REACH가 EU 수출에 있어 거대한 무역 장벽으로 등장하고 있지만 국내 산업계의 대응은 아직 크게 미흡하다. 특히 중소기업의 경우 REACH의 개념조차 제대로 모르고 있는 실정이다. 환경부가 2006년 EU에 수출하고 있는 3200여개 기업을 대상으로 설문조사를 한 결과 설문에 참여한 117개 중소기업 중 제도에 대해 전혀 모르고 있다는 답변이 36%나 됐다[16].

이처럼 국내 중소기업이 국제적인 경쟁력을 확보하기 위해서는 국내외 규제정책에 대한 철저한 대응이 요구된다. 이와 같은 규제정책은 국내 중소기업으로 하여금 국제적인 규제에 대응할 수 있는 방안을 마련해 주는 의미도 있다. Table 2는 나노제품 수출 시 미국 및 EU에서 요구하는 서류 및 데이터 종류를 나타내고 있다.

[Table 2] Types of documents and data required from USA and EU

Nation	Documents	Data
EPA (USA)	Preliminary Manufacturing Notice	<ul style="list-style-type: none"> • Risk Assessment Data Set • Exposure Data Set • Material Safety Data Sheet
REACH (EU)	Technical Documents	<ul style="list-style-type: none"> • Technical Data • Material Information
	Chemical Safety Report	<ul style="list-style-type: none"> • Risk Management • Chemical Safety Assessment • Exposure Assessment

5. 공산품 나노물질 규제정책 도입분석

현재 나노물질의 인체 유해성이 다양하게 제기되고 있음에도 불구하고 법령에서의 규제정책은 미흡한 편이다. 법령에서의 규제는 강제성을 띠기 때문에 신중할 필요가 있는 것은 사실이다. 기업활동을 위축시킬 수 있고 규제로 인한 비경제성도 발생한다. 그러나 소비자 안전이 최우선의 가치라는 관점에서 규제정책 도입에 대한 관심을 기울여야 할 것이다. 현재 규제정책 도입이 신중해지는 이유로는 나노물질의 인체에의 유해성 확신 부족, 나노물질의 위해성 평가모델의 표준화 미비, 안전성 규제에 필요한 충분한 데이터의 부족 등이 있다. 이러한 원인들이 의해 규제정책이 구체화되기 위해서는 보다 많은 조사, 연구 및 시간이 필요한 상황이다. 그러나 국제적으로 OECD WPMN과 ISO를 통하여 위험평가에 대한 표준이 현재 추진 중이다. 본 연구에서는 규제정책 도입의 전제조건이 되는 규제정책 유형분석과 규제정책의 적합도 평가를 통하여 규제정책 도입의 가능성을 검토해 본다.

5.1 규제정책 유형분석

현재 기존의 다양한 제품 관련 법령에서 해당부서의 정책목적별로 규제를 하고 있으며 나노물질 및 제품 관련하여 9개 부처에서 14개의 관련법이 있다. 이들 중 나노물질 안전성 및 인증 관련 연관성이 높은 규제법으로는 유해화학물질관리법, 품질경영 및 공산품안전관리법, 산업안전보건법, 화장품법, 식품위생법, 소비자기본법 등이 있다. 이들 법령에 나노물질을 포함하는 제품규제 적용이 가능하다고 판단된다. 이 중 소비자 제품의 안전성 및 인증과 가장 관련이 있는 법은 품질경영 및 공산품안전관리법으로서 본 연구에서는 이 법에 의한 공산품 나노물질에 대한 규제를 고려한다.

가능한 규제정책은 나노물질의 위해성평가 표준이 확립된 이전에 가능한 것과 이후에 가능한 규제로 나눌 수 있다. 표준확립 이전에 가능한 규제로는 자율규제, 제품 라벨링, 정부등록제 등이 있으며 표준확립 이후에는 안전인증표시와 취급제한 및 금지와 같은 규제가 가능하다 [Table 3].

[Table 3] Types of regulatory policy on the standardization of risk assessment

Step	Regulatory Policy
Step 1	Self Regulation
	Product Labelling
	Enforced Registration
Step 2	Safety Certification
	Restrict/Prohibit Handling

5.1.1 자율규제

자율규제는 기업이 자발적인 행동강령을 마련하여 정부 규제기관의 직접적인 감독 없이 나노기술의 생산자가 자율적으로 나노물질을 규제하게 하는 것을 의미한다. 미국 EPA의 ‘Voluntary Nanoscale Material Stewardship Program’은 자율규제의 대표적 예이며 화학조성, 물리적 형태, 용해성, 위해성특성 평가, 사용, 노출잠재력, 위험관리 실제 등에 대한 정보를 제공한다. 나노물질의 책임 있는 생산을 위한 자율규제는 제품의 전주기 과정에서 나노물질의 환경적, 건강, 안전위험을 확인, 관리, 감소시키는 역할을 한다. 이를 위한 프레임워크로서 실천적인 행동강령을 구성하여 사업자의 책임과 실행, 안전관련 정보의 제공, 위해성 방지 조치 등 나노제품 제조가가 준수해야 할 사항을 다룰 수 있다.

5.1.2 제품라벨링

소비자에게 제품의 안전 여부에 대한 표시로서 라벨링을 의무화하여 나노물질 함유 여부를 알 수 있게 하는 것을 의미한다. 나노입자를 포함하는 제품에 나노물질의 함유여부, 성분, 함량, 주요기능 등에 대한 정보를 상표나 포장지에 표시한다. 대표적으로 위험성에 대한 경고 문구, 공정에 사용된 나노의 크기, 나노공법으로 처리한 제품의 구체적 부분과 공정 등을 표기하게 한다. 제품라벨링을 시행함으로써 소비자는 충분한 정보를 제공받은 상태에서 제품 구매 여부를 선택할 수 있게 된다. 소비자의 정확한 이해를 위해 라벨링의 내용과 방식에 대한 가이드라인을 만들어야 하며 기업은 이 가이드라인에 따라 정보를 표시한다. 이 지침은 기업의 사회적 책임에 기반을 두는 규범이다.

5.1.3 정부등록제

나노물질이 사람의 건강에 유해하므로 사전신고 조치가 필요하다는 관점에서 나노물질의 사용자로 하여금 그들의 활동을 의무적으로 정부시스템에 등록하고 기본적

인 정보를 제공하도록 하는 정책이다. 사전신고를 통해 제시된 용도에 대해 평가하고, 필요한 경우에는 적절한 조치를 취한다. 나노물질을 제조 혹은 사용하는 시설들은 물질의 독성에 대한 별도의 문서를 공개해야 한다. 이 문서는 이 시설에 어떻게 관리하고, 모니터링하고 처분, 저장, 방출방지, 완화하는지에 대한 정보를 포함한다. 이렇게 함으로써 정부 관련기관에서는 나노물질에 대한 정보를 축적할 수 있게 된다.

5.1.4 안전인증표시

제품의 안전에 대한 인증을 정부가 보장을 하는 제도를 의미한다. 안전인증표시는 제품의 안전성을 인증하기 위하여 정부 혹은 정부공인기관의 이름을 표시하게 된다. 나노물질의 위해성평가를 정부공인기관에서 실시하고 평가를 통과한 제품에 대해서 안전인증표시를 제공하는 제도이다. 현재 안전인증 관련 법률로서 ‘품질경영 및 공산품 안전관리법’을 들 수 있으며, 이 법에 따르면 공산품을 소비자에 미치는 위해 정도에 따라 ‘안전인증’, ‘자율안전확인’, ‘안전품질표시’의 3가지 유형으로 분류하여 관리한다. 이처럼 제품을 분류하기 위해서는 각 제품에 대한 안정성 평가가 필수적으로 요구된다. 따라서 안전인증표시는 나노물질에 대한 위해성평가와 관련된 제반 기준이 표준화된 이후에 적용할 수 있는 규제이다. 안전인증표시를 하기 위해 ‘품질경영 및 공산품 안전관리법’의 안전기준에 현재는 포함되어 있지 않은 나노물질 관련 기준을 추가하여 시행한다.

5.1.5 취급제한 및 금지

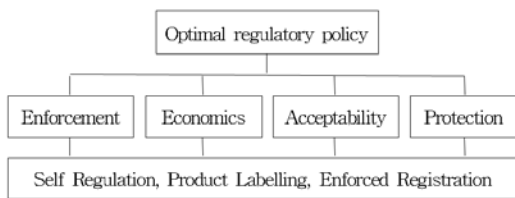
위해성평가 결과에 따라 위해성이 크다고 인정되는 경우, 국제기구에 의해 사람의 건강이나 환경에 심각한 위해를 미칠 수 있다고 판명되는 경우, 국제협약 등에 따라 제조, 수입 또는 사용이 금지되거나 제한되는 경우 강력한 통제수단을 활용하여 취급제한 및 금지가 이루어지게 한다. 또한 앞서 언급한 ‘품질경영 및 공산품 안전관리법’에 따라 정부차원에서 안전관리가 필요한 제품에 대해서는 안전인증을 하고 표시를 하며 위반 시에는 판매 금지 조치를 취하도록 한다. 취급제한 및 금지 정책은 유해한 나노물질의 개발, 사용, 판매, 유통을 금지하는 제도로써, 이를 위해서는 나노물질에 대한 제반 기준의 표준화와 함께 합리적이고 체계적인 취급제한 제도의 개선과 정비가 필요하다. 국내·외 관련된 법령들을 검토하여 문

제점을 파악하고 개선함으로써 합리적인 제도를 마련할 필요가 있다.

5.2 규제정책 적합도 평가

위에서 제시된 규제정책에 대하여 그 도입의 타당성을 분석해 본다. 규제정책은 여러 특성을 가지고 있기 때문에 적합도의 관점에서 비교해 보아야 할 것이다. 그러나 이러한 평가기준은 주관적인 기준이라 본 연구에서는 다기준의사결정 기법 중의 하나인 AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하여 규제정책을 평가하고 가장 적합도가 높은 최적 규제정책을 선택하고자 한다. AHP 기법은 최종목표 달성을 위해 고려해야 할 기준들의 상대적 가중치와 각 기준에 있어서 대안들의 상대적 가중치를 비교하여 종합적 우선순위를 평가한다. 최적 규제정책의 선택은 Fig. 1과 같은 계층적 구조를 가지는 문제가 된다.

본 연구에서는 Table 3의 1단계 3가지 규제정책에 대해 최적 규제정책과 우선순위를 결정한다. 현재 나노물질의 위험 평가에 대한 구체적인 표준이 확립되지 않은 상태라 2단계 규제정책은 고려 대상에서 제외한다.



[Fig. 1] Hierarchical structure for selection of optimal regulatory policy.

정책을 평가하는 데 사용되는 기준은 평가자에 따라서 그리고 강조하는 바가 무엇이나에 따라서 다양할 수 있다. 넓게는 정책윤리에 입각하여 광범위하게 평가해 볼 수 있으며 또한 구체적인 지표에 의해서 좁은 범위를 평가해 볼 수도 있다[17]. Suchman은 노력(effort), 성과(performance), 적정성(adequacy), 능률성(efficiency), 과정(process)을 평가기준으로 들고 있으며[18], Poland는 능률성, 효과성(effectiveness), 적합성(appropriateness), 실현가능성(feasibility) 등을 평가기준으로 언급하고 있다[19]. 그리고 Dunn은 효과성(effectiveness), 능률성, 적합성, 형평성(equity), 대응성(responsiveness) 등을 평가기준으로 제시하고 있다[20]. 이러한 기준들은 대체로 명

확히 구분되는 것은 아니며 상호 관련성이 있다.

대표적으로 제시되는 기준들로서 효과성은 정책이 의도하는 목표를 달성하는지 나아가 목표의 달성이 정책의 결과에 의해서 이루어지는지 여부를 평가하는 것이다. 이것은 정책의 성공여부를 판단하는 가장 중요한 기준이 된다. 어느 정책이나 설정된 목표가 있고 이의 성취 여부가 조직의 효과성을 판명하기 때문에 이러한 기준은 통상 널리 사용되는 방법이다. 능률성은 정책목표를 달성하기 위하여 투입된 것과 산출된 것의 비율을 의미한다. 능률성 측정에는 순현재가치, 내부수익률, 수익성지수, 비용편익비 등이 이용된다. 적합성은 정책이 어느 정도로 가치가 있고 목표에 어울리는가를 판단하는 것이다. 이는 정책목표의 가치와 관련되며, 추구하는 목표가 과연 적절한 것인가를 고려한다. 사회 전체의 입장에서 보아 바람직하다고 판단되는 것을 정책목표로 결정하게 되면 그 목표는 적합하다고 할 수 있다. 실현가능성은 정책이 채택되고 그 내용이 집행될 가능성을 뜻한다. 정책이 실현가능하기 위해서는 정책의 채택이나 집행과정에서 이해당사자의 정치적 지지와 수용을 받아야 한다. 더불어 정책의 집행을 위한 조직의 이용가능성, 정책의 실현을 위한 재원의 확보가능성, 다른 정책과의 모순되지 않는 법적 실현가능성 등도 포함된다. 대응성은 정책수혜자들의 요구와 환경의 변화에 신속성 있게 대처하는 능력을 의미한다. 즉, 정책이 정책대상자의 욕구, 선호, 가치 등을 얼마나 만족시켜 주는가에 관한 기준으로서 정책이 수혜자에게 실제로 얼마나 대응하느냐 하는 것을 판단한다.

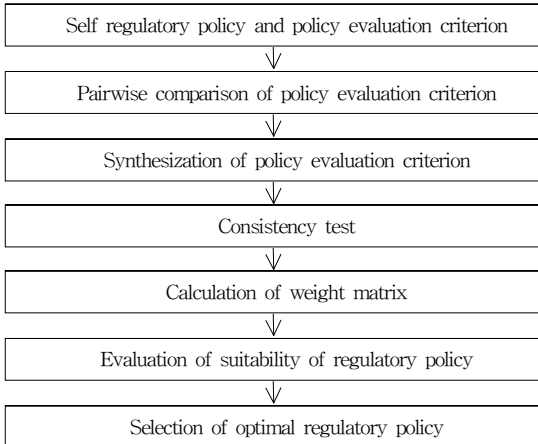
본 논문에서는 나노물질 규제정책과 관련된 3주체의 입장을 고려하여 효과성, 능률성, 적합성, 대응성, 그리고 시행가능성을 선정한다. 효과성은 시행성(효과성) (Enforcement, Effectiveness), 능률성은 경제성 (Economics), 실현가능성은 수용성(Acceptability), 그리고 적합성과 대응성은 보호성(Protection)으로 설정해 평가기준으로 사용한다[Table 4].

[Table 4] Policy evaluation criterion for selection of optimal regulatory policy

	Government	Business	Consumer
Policy evaluation criterion	Enforcement Economics	Economics Acceptability	Protection

시행성(효과성)은 정부기관의 입장에서 정책이 지향하는 목표에의 달성도를 의미한다. 경제성은 정부와 기업 모두의 입장을 나타내는 기준으로 정책집행과 준수에 투입되는 비용 대비 편익의 정도를 의미한다. 수용성은 기업 입장에서 정책에 대한 기업의 지지도를 의미한다. 보호성은 소비자의 입장을 나타내는 기준으로 소비자 보호하는 정도를 의미한다. 이러한 평가기준은 2001년 제정된 '정부업무 등의 평가에 관한 기본법' 상의 주요정책과제 평가의 공통평가기준에서 제시되고 있는 정책형성 과정의 적합성과 정책집행 과정의 효율성, 그리고 정책성과 과정의 정책효과성 평가기준과도 합치됨을 알 수 있다.

평가과정은 먼저 정책평가기준에 대하여 쌍대비교(pairwise comparison), 종합화(synthesization), 일관성검정(consistency test), 가중치 매트릭스(weight matrix) 결정 과정을 거쳐 정책평가기준들의 가중치를 결정한 다음 각 정책평가기준에 대한 규제정책들의 적합도를 평가하여 최종적으로 각 정책들의 우선순위와 최적 정책을 결정한다. 전체적인 과정이 Fig. 2에 나타나 있다.



[Fig. 2] Procedure for selection of optimal regulatory policy

Fig. 1의 최적 규제정책 목표를 만족시키는 데 있어서 정책평가기준들이 각각 어느 정도의 가중치(중요도)를 가지고 있는지 평가한다. 이를 위해 관련분야 전문가 22명(정부기관 8명, 협회, 소비자단체, 시험연구원 등 유관 기관 10명, 학계 4명)을 대상으로 네가지 기준들에 대해 9점척도로 설문조사를 실시하였다. 각 정책평가기준의 다른 기준에 대한 상대적인 중요도를 절대적중요(9), 매

우중요(7), 중요(5), 약간중요(3), 동등(1)으로 점수화하여 Table 5와 같이 쌍대비교 매트릭스 P 를 구하였다. 다수 설문 응답자의 의견을 종합할 때 기하평균법이 쌍대비교의 역수성질을 만족시키고 있으나 본 논문에서는 설문 응답 내용이 구간 스케일로 취합 되어 각 응답자의 의견 편차의 평균은 의미를 가져 전체 응답자의 평균을 사용하였다.

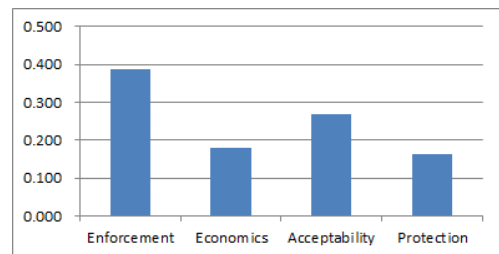
[Table 5] Pairwise comparison of policy evaluation criterion (P)

	Enforcement	Economics	Acceptability	Protection
Enforcement	1.00	2.78	1.69	1.71
Economics	0.36	1.00	1.03	0.96
Acceptability	0.59	0.97	1.00	2.71
Protection	0.58	1.04	0.37	1.00

Table 5에서 모든 기준들의 가중치 합을 1로 규격화하는 종합화 과정을 거치면 Table 6이 구해진다. 본 연구에서는 규제정책들의 평가를 위해 상대적 중요도를 도출하는 것이므로 distributive mode를 활용한다. Distributive mode는 비교대상의 가중치의 합이 1이 되도록 비교대상 간 중요도의 상대적인 비율에 따라 가중치(중요도)를 부여하는 방법이다. Table 6과 Fig. 3은 각 정책평가기준들의 상대적인 가중치를 평가한 결과로서 가중치지수 WZ (Weight Index)가 나타나 있다.

[Table 6] Weight index of policy evaluation criterion. WZ : Weight Index.

	Enforcement	Economics	Acceptability	Protection	WZ
Enforcement	0.394	0.480	0.413	0.267	0.389
Economics	0.142	0.173	0.252	0.151	0.179
Acceptability	0.233	0.167	0.244	0.425	0.268
Protection	0.231	0.179	0.090	0.157	0.164



[Fig. 3] WZ of policy evaluation criterion

Table 6의 가중치지수가 의미 있는 것으로 판단하기 위하여 Table 5, Table 6에 포함되어 있는 모순의 정도를 일관성비율(Consistency Ratio; CR)을 구하여 평가한다. 이는 각 의사결정 참여자의 판단에 대한 타당성의 검증으로서 판단의 논리적 일관성을 검증해 보는 것이다. 이를 위해 먼저 일관성지수(Consistency Index; CI)를 구해본다. 일관성지수는 $CI = (\lambda - n) / (n - 1)$ 로 정의된다. 이 지수는 낮을수록 일관성을 가지고 있다는 것을 의미한다. 여기서 λ 를 구하기 위해 식 (1), 식 (2)의 계산을 거쳐 식 (3)처럼 λ 를 구한다.

$$Q = P \cdot WI = (1.620, 0.754, 1.117, 0.677) \quad (1)$$

$$R = Q / W_i = (4.168, 4.200, 4.176, 4.121) \quad (2)$$

$$\lambda = \left(\sum_{i=1}^4 R_i \right) / 4 = 4.166 \quad (3)$$

따라서 $CI = (4.166 - 4) / (4 - 1) = 0.055$ 가 된다.

CI 값이 나타내는 모순의 정도를 평가하기 위해 CI 를 RI (Random Index)와 비교해 본다. RI 는 CI 가 가질 수 있는 값의 상한치로서 Table 7과 같이 주어진다.

[Table 7] RI for consistency test.

n	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

그러면 일관성 비율 CR 은 식 (4)와 같이 구해진다.

$$CR = CI / RI = 0.055 / 0.90 = 0.062 \quad (4)$$

식 (4)에 의해 모순의 정도는 최대 가능한 값의 6.2% 정도라고 할 수 있으며 이 경우 일관성이 있다고 판단할 수 있다.

다음으로 각 정책평가기준을 규제정책들이 어느 정도 만족시키는지 평가해 본다. 각 정책평가기준에 대해 전술한 경우와 마찬가지로 9점적으로 표현한 쌍대비교 매트릭스 결과가 Table 8에 나타나 있다.

[Table 8] Pairwise comparison matrix (SR: Self Regulation, PL: Product Labelling, ER: Enforced Registration)

(i) Enforcement				(ii) Economics			
Policy	SR	PL	ER	Policy	SR	PL	ER
SR	1.00	0.58	0.20	SR	1.00	1.50	2.61
PL	1.72	1.00	0.85	PL	0.67	1.00	2.21
ER	5.00	1.18	1.00	ER	0.38	0.45	1.00

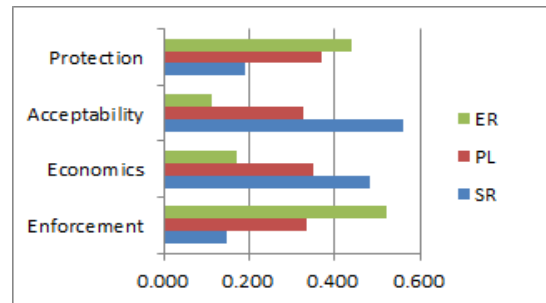
(iii) Acceptability				(iv) Protection			
Policy	SR	PL	ER	Policy	SR	PL	ER
SR	1.00	2.00	4.34	SR	1.00	0.72	0.29
PL	0.50	1.00	3.39	PL	1.38	1.00	1.21
ER	0.23	0.29	1.00	ER	3.44	0.83	1.00

이 결과에 대해 다시 종합화 과정을 거쳐 Table 9와 같이 각 정책평가기준 하에서의 규제정책들의 가중치(만족도)지수 WI 를 구한다. 가중치(만족도)지수를 구한 후 일관성지수도 구한다.

[Table 9] Weight index(WI) of regulatory policy

Policy	Enforcement	Economics	Acceptability	Protection
SR	0.146	0.481	0.561	0.191
PL	0.333	0.348	0.327	0.371
ER	0.521	0.171	0.112	0.438
CI	0.079	0.003	0.011	0.068

시행성 정책평가기준에서 규제정책의 우선순위는 정부등록제, 제품라벨링, 자율규제 순으로 나타났으며 경제성 기준에서는 자율규제, 제품라벨링, 정부등록제 순으로 나타났으며 수용성 기준에서는 경제성 기준과 마찬가지로 자율규제, 제품라벨링, 정부등록제 순으로 나타났으며 보호성 기준에서는 시행성 기준과 마찬가지로 정부등록제, 제품라벨링, 자율규제 순으로 나타났다[Fig. 4]. 각 기준에서 규제정책의 가중치지수는 규제정책의 상대적 중요도를 나타내는 것으로 해석할 수 있다.



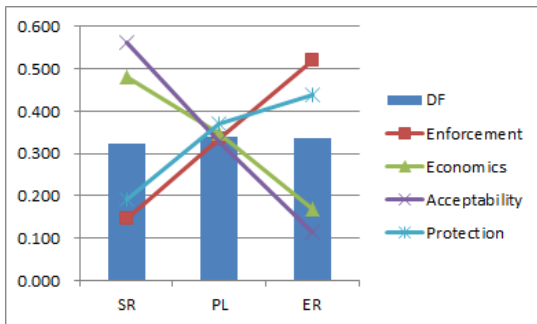
[Fig. 4] Priority of regulatory policy for each policy evaluation criterion

이제 Table 6의 가중치(중요도)지수와 Table 9의 가중치(만족도)지수를 종합하여 각 규제정책의 적합도(정책 타당성) DF (Degree of Fitness)를 평가한 결과가 Table 10과 Fig. 5에 나타나 있다. Table 10에서 각 규제정책의 적합도는 식 (5)와 같이 계산된다. Table 10과 Fig. 4의 결과에 따라 4개의 평가기준의 중요도를 고려한 규제정책의 우선순위는 제품라벨링, 정부등록제, 자율규제 순으로 나타났으며, 최적규제정책은 최대적합도를 가지는 제품라벨링 정책임을 알 수 있다.

$$DF_i = \sum_j (WI_j \times WF_j), i = 1, \dots, 3 \quad (5)$$

[Table 10] DF (Degree of Fitness) of regulatory policy

Policy	DF	Priority	Enforcement	Economics	Acceptability	Protection
SR	0.324	3	0.146	0.481	0.561	0.191
PL	0.340	1	0.333	0.348	0.327	0.371
ER	0.335	2	0.521	0.171	0.112	0.438



[Fig. 5] DF (Degree of Fitness) of regulatory policy

6. 결론

공산품에 나노기술의 활용이 점점 확대되고 있는 상황에서 나노물질에 의한 소비자 안전을 보호하고, 규제가 강화되고 있는 글로벌 시장에서의 국내 기업의 경쟁력 확보를 위하여 공산품의 나노물질 사용현황과 나노물질이 인체에 미치는 유해성에 대하여 조사한 후 나노물질을 규제할 수 있는 정책도입의 적합도를 평가한다. 규제정책은 나노물질의 위해성평가모델의 표준 확립여부에 따라 다양한 유형이 가능하며 본 논문에서는 위해성평가 표준화 이전의 가능한 규제정책인 자율규제, 제품라벨링, 정부등록제에 대해 시행성(효과성), 경제성, 수용

성, 보호성의 4가지 평가기준을 사용하여 도입 적합도를 평가한 결과 제품라벨링, 정부등록제, 자율규제 순으로 나타났으며 가장 적합도가 높은 최적 규제정책은 제품라벨링 정책임을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 공산품에 함유될 수 있는 나노물질에 대한 기준을 확보하여 공산품 나노물질 규제정책 도입의 근거자료로 활용할 수 있다. 또한 나노물질 관련 규제정책을 선도적으로 사전연구 함으로써 소비자의 안전을 보호하며 외국의 규제정책에 능동적으로 대응할 수 있다. 나아가 선진국의 새로운 나노물질 규제에 대한 사전대응 체계를 구축할 수 있다.

추후과제로는 나노물질의 안전기준을 합리적으로 제정하는 것과 이에 따른 위해성 평가모델의 확립 등을 들 수 있다.

References

- [1] S. Maeng and I. Yoo, "The Concept of Nanotoxicology and Risk Assessment of the Nano Particles", *Journal of Toxicology and Public Health*, Vol. 21, No. 2, pp. 87-98, 2005.
- [2] S. Son, "Skin Absorption and Toxicity of Nano Particles", *Korean Society for Biochemistry and Molecular Biology News*, Vol. 16, No. 2, pp. 37-40, 2009.
- [3] Y. Kim and J. Lee, "The Toxic Properties of Nano-technology", *News & Information for Chemical Engineers*, Vol. 23, No. 3, pp. 338-342, 2005.
- [4] A. Biswas, Z. Marton, J. Kanzow, J. Kruse, V. Zaporozhchenko and F. Faupel, "Controlled Generation of Ni Nanoparticles in the Capping Layers of Teflon AF by Vapor-Phase Tandem Evaporation", *Nano Letters*, Vol. 3, No. 1, pp. 73, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/nl020228f>
- [5] G. Oberster, E. Oberster and J. Oberster, "Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 113, pp. 823-839, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.7339>
- [6] G. Oberster, et al., "Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy", *Particle and Fiber Toxicology*, Vol. 2, pp. 8-30, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-8977-2-8>

- [7] N. Li, C Sioutas and A. Cho, "Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 111, pp. 455-460, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.6000>
- [8] R. Savic, L. Luo, A. Eisenberg and D. Maysinger, "Micellar nanocontainers distribute to defined cytoplasmic organelles", *Science*, pp. 615-618, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1078192>
- [9] A. Nel, T. Xian, L. Madler and N. Li, "Toxic potential of materials at the nanolevel", *Science*, pp. 622-627, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1114397>
- [10] S. Kashiwada, "Distribution of nanoparticles in the see-through medaka. *Environmental Health Perspectives*", Vol. 114, pp. 1697-1702, 2006
- [11] C. Poland, et al., "Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot-study", *Nature Nanotechnology*, Vol. 3, pp. 423-428, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2008.111>
- [12] J. Chung, "The Hazard of Human Body Risk of Silver Nanoparticle", *The Science and Technology*, Vol. 496, pp. 52-53, 2010.
- [13] Korea Consumer Agency, "Introduction of nano-products display system is imperative", www.kca.go.kr, 2012.2.2.
- [14] K. Park, "Toxicity of Nanomaterials and Strategy of Risk Assessment, *Environmental Health and Toxicology*", Vol. 20, No. 4, pp. 259-271, 2005.
- [15] Y. Hwang, J. Lee, B. Sang and M. Koo, "Toxicity Monitoring and Assessment of Nanoparticles Using Bacteria", *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*, Vol. 22, No. 6, pp. 414-420, 2007.
- [16] The Korea Economic Daily, "The strongest environmental regulations comes with EU REACH", www.hankyung.com, 2007.2.26.
- [17] H. Noh, "Performance measurement of public sector reform issues and the direction of policy evaluation", *Journal of Korean Association for Policy Analysis and Evaluation*, Vol. 10, No. 2, pp. 1-22, 2000.
- [18] E. A. Suchman, "Evaluation Research: Principals and Practice in Public Service and Social action Program", New York: Russell Sage Foundation, p. 61, 1967.
- [19] D. F. Poland, "Program Evaluation and Administrative Theory", *Public Administration Review*, Vol. 31, No. 2, pp. 335, 1974.
- [20] W. N. Dunn, "Public Policy Analysis", Englewood

Cliffs, N. J.: Prentice Hall, Inc., pp. 343, 1981.

서 정 대(Jungdae Suh)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 서울대학교 산업공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 경영학과 교수

<관심분야>

생산운영관리, 경영과학, 제품안전관리