

# 나노 물질 및 제품의 안전 관리: 윤리적 원리 및 행위지침 고찰

이중원\*

서울시립대학교 철학과, 서울 130-743

(2010년 7월 22일 받음, 2010년 10월 25일 수정, 2010년 10월 26일 확정)

최근 나노 물질의 독성에 대한 보고와 나노 물질을 함유한 제품들의 급속한 증가 그리고 제조 과정에서의 나노 물질의 폭 넓은 응용으로 인해, 나노 물질 및 제품의 안전 관리 문제가 중요한 쟁점으로 부상하고 있다. 특히 작업장에서의 안전, 제품을 사용하는 소비자의 안전 그리고 환경 보호 등 나노 물질 및 제품의 전주기 과정에 걸친 안전 확보가 문제다. 하지만 나노 물질 및 제품의 위험이 잠재적이고 불확정적이기에, 이것들을 대상으로 하는 엄격한 안전 관련 규제체계를 구축하는 것은 어렵다. 본 논문에서는 이러한 쟁점들과 관련하여 나노 물질을 연구개발하고 나노 제품을 생산하는 각 기관들이 안전에 관한 책임 있는 거버넌스(governance)를 구현하기 위해 현재 최선의 것으로 취할 수 있는(엄밀히 말해 취해야 하는) 윤리적인 행위 조치들과 이에 바탕이 되는 윤리적인 원리들을 살펴보고자 한다. 그리고 이것이 법적·제도적인 차원의 견고한 안전관리 체계를 구축하는데 중요한 한 축을 형성함을 강조하고자 한다.

주제어 : 나노 물질, 안전 관리, 윤리적 원리, 행위 강령, 위험 거버넌스

## I. 들어가는 말

나노기술은 물질을 개선시키거나 새로운 기능성 제품을 개발토록 함으로써 고도의 잠재적 이익이 실현될 수 있는 기회들을 제공한다. 코팅, 컴퓨터, 의복, 화장품, 의료기기, 스포츠용품 등이 개선될 것이고, '녹색' 화학제품 등을 통해 위험한 물질을 대체하거나 산업 과정을 청정하게 함으로써 환경이 개선될 수 있을 것이다. 그러나 동시에 인체와 환경에 대한 부정적인 영향들도 존재한다. 나노크기 물질의 새로운 속성으로 인한 잠재적 독성 위험이 그것이다. 이러한 위험은 나노 물질의 연구·개발에서부터 제품의 생산·유통·사용·폐기에 이르는 전주기(life-cycle) 과정에서 발생할 수 있다. 나노 물질이 매우 미세하여 여러 과정을 거치면서 바깥으로 누출될 가능성이 높기 때문이다.

최근 나노 물질의 독성에 대한 보고와 나노 물질을 함유한 제품들의 급속한 증가 그리고 제조 과정에서의 나노 물질의 폭 넓은 응용으로 인해, 나노 물질 및 제품의 안전 관리 문제가 중요한 쟁점으로 부상하고 있다 [1]. 특히 작업장에서의 안전, 제품을 사용하는 소비자의 안전 그리고 환경 보호 등 나노 물질 및 제품의 전주기 과정에 걸친 안전

확보가 문제이다. 그러나 지금까지 나노 물질 및 제품의 위험이 잠재적이고 불확정적이기 때문에, 이것들을 대상으로 하는 엄격한 안전 관련 규제체계를 구축하는 것이 어렵다. 따라서 현재로서는 안전 확보를 위해 사전예방의 원리에 입각한 자발적인 자기 규제(self regulation)나 관리체계의 구축, 전주기 과정에 걸친 직접적인 이해당사자들 간의 정보 교류 및 소통과 의사결정 등이 중요하게 강조될 수밖에 없다 [2]. 이러한 조치들은 공익성, 사회적 책임감, 자율성, 투명성 그리고 공개성과 같은 중요한 윤리적 가치들에 근거하고 있다. 그러한 의미에서 나노 물질 및 제품의 안전 관리는 다양한 윤리적인 행위들을 포함하고 있다.

본 논문에서는 이러한 쟁점들과 관련하여 나노 물질을 연구·개발하고 나노 제품을 생산하는 각 기관들이 안전에 관한 책임 있는 거버넌스(governance)를 구현하기 위해 취할 수 있는(엄밀히 말해 취해야 하는) 윤리적인 행위 조치들과 이에 바탕이 되는 윤리적인 원리들을 살펴보고자 한다. 내용은 크게 3부분으로 구성되어 있다. 첫째는 나노기술의 책임 있는 개발과 안전한 사용에 적용될 윤리적 원리들에 대한 탐색이다. 둘째는 이러한 윤리적 원리들에 따라 제시 가능한 윤리적 행위 강령(code of conduct) 혹은 지침에 대한

\* [전자우편] jwlee@uos.ac.kr

논의다. 셋째는 이러한 행위 강령 또는 지침이 작업장이나 실험실에서 구체적으로 어떤 절차나 방식을 통해 구현될 수 있는지를 사례를 통해 검토하는 것이다. 이러한 내용 구성은 각 주제들을 별개로 다루어왔던 기존의 논의들과 달리, 이 세 가지 주제들 간의 위계적인 연관성을 분석하고 이것들을 메타적 차원에서 통합함으로써 안전 거버넌스에 하나의 체계성을 부여하려는 방식으로 이루어졌다.

이러한 윤리적 원리 및 관련 행위 지침들에 대한 논의는 실제적인 안전 관리체계 구축의 밑바탕이 되어 나노 물질 및 제품에 대한 사회의 수용을 강화하고 나노기술의 지속 가능한 발전을 꾀하는데 기여할 것으로 본다.

## II. 안전 관리의 윤리적 원리들

나노 물질에 대한 연구 및 제조, 나노 제품의 생산·유통·사용·폐기 과정에서의 높은 안전성을 확보하기 위해서는, 안전 관리를 위한 행위 지침이 반드시 필요하다. 어떤 행위 지침들이 요청되는지 논하기 앞서, 이러한 행위 지침의 이론적 토대가 될 윤리적 원리를 먼저 이해할 필요가 있다. 이러한 윤리적 원리로 의미 공유의 원칙, 지속 가능성의 원칙, 사전예방의 원칙, 모든 이해 당사자의 포함 원칙, 수월성의 원칙, 책임의 원칙 등이 주로 많이 언급되어 왔다 [3-6].

### 1. 의미(Meaning) 공유의 원칙

나노기술 관련 연구·개발 활동은 과학기술 분야의 다른 연구·개발 활동과 마찬가지로 인간의 기본권(fundamental rights)을 존중함은 물론 개인과 사회의 복리를 위해서 수행되어야만 한다. 또한 그것은 대중이 그것의 성과와 의미를 이해할 수 있어야 한다. 나노기술의 지속가능한 발전을 위해 그것이 가져 올 이익은 물론 위험에 대해 이해 당사자들 간에 쌍방향 의사소통 및 대화가 중요하기 때문이다. 또한 안전과 관련하여 작업자(연구자 및 생산자)들이 서로 좋은 행동 대응들(good practices)과 같은 정보를 공유하는 것도 중요하다. 이와 같은 의미 공감대를 형성하는 것은 나노기술이 사회 속에서 안전하고 지속가능한 발전을 꾀하는데 필수적이다.

### 2. 지속가능성(Sustainability)의 원칙

나노기술 관련 연구·개발 활동은 안전하고 윤리적이어야 하며, 공동체의 지속가능한 발전에 기여해야 한다. 연구·개발 활동이 현재와 미래의 인간, 동식물 또는 환경에 생물학적·물리적·도덕적 위해를 가해서는 안된다. 한편 나노기술의 지속가능한 발전을 위해서는 사후적 위험 관리 차원을 넘어서 사전 예방적(precautionary) 혹은 선제적(proactive) 위험 관리 체계로의 전환이 필요하다. 이를 위해서는 위험에 관한 연구가 중요하게 다루어지고 위험 관리 전략 개발도 심도있게 논의되어야 한다.

### 3. 사전예방(Precaution)의 원칙

사전예방의 원리란 미래에 그 발생이 예상되는 비록 불확실한 위험이라 할지라도 이에 대비하기 위해 사전에 인간의 행동을 규제할 수 있다는 원리다. 이 원리는 위험에 대한 사후적 통제(post-damage control)라는 기존 패러다임에서 사전 예방적 통제(pre-damage control)라는 새로운 패러다임으로의 전환을 함축하고 있다.

사전예방의 원리는 다음과 같이 정의가능하다. 만일 어떤 행위 A가 인간 건강이나 환경에 대해 심각한 수준의 해로운 영향 E를 야기할 것이라는 신뢰할 만한 위협의 가능성 P를 가진다면, 그러한 부정적인 영향 E의 가능성 P를 감소시키기 위한 적절한 조치 R이 취해져야만 한다. 여기서 행위 A는 일반적으로 과학기술 연구나 개발을 가리키고, 가능성 P는 논리적 가능성을 넘어서서 경험적 개연성을 가져야 한다. 즉 비록 매우 약한 것이라 할지라도, A가 E를 야기하거나 혹은 야기할 수도 있다는 어떤 과학적 증거도, 어야 한다. 영향 E는 어떤 심각한 혹은 파멸적이거나 복구할 수 없는 해로움이다. 조치 R은 E의 발생을 피하거나 최소화하기 위해 취해져야만 하는 수단들이다.

결과적으로 사전예방의 원리는 다음과 같은 조건들이 충족되면 적용될 수 있다. 첫째 위험의 본성이나 인과적 메커니즘 등이 불확실하더라도 과학적으로 합리적인 그럴듯한 근거가 있는 경우 적용된다. 둘째 그 위험이 도덕적으로 수용할 수 없는, 이를테면 매우 심각하며 되돌릴 수 없는 피해를 낳을 것으로 예상되는 경우에 적용된다. 나노기술의 경우 이와 같은 조건들에 해당될 가능성이 매우 높다. 아직은 불확실하지만 인체 및 환경에 가하는 물리적 위험에 대

한 과학적인 그럴듯한 근거들이 있고, 나노기술이 사회에 적용되는 과정에서 사회적·윤리적 규범들을 무시하거나 개인의 기본 권리들을 제한할 우려가 실재한다. 따라서 사전예방의 원리는 나노기술의 안전 관리에 없어서는 안될 원칙이다.

#### 4. 모든 이해 당사자들의 포함(Inclusiveness) 원칙

나노기술 관련 연구·개발 활동에 대한 거버넌스(governance)는 모든 이해당사자들에 대한 개방의 원칙, 투명성의 원칙 그리고 정보에 접근할 수 있는 합법적 권한에 대한 존중의 원칙에 따라 수행되어야만 한다. 나노기술 연구·개발 활동에 참여하거나 관련된 모든 이해당사자들은 특히 안전에 관한 한 모든 의사결정 과정에 참여하도록 허용되어야 한다. 각 기관들 자체의 안전 관리 노력도 중요하지만, 그것이 대중적 신뢰를 얻기 위해서는 위험에 대한 정보의 공유 및 의사소통이 폭넓게 이루어져야 하기 때문이다.

한편 해당 분야 전문가뿐만 아니라 이에 많은 관심을 가진 일반 개인들도 연구·개발 활동에 관한 논의 과정에 참여할 수 있다. 특별히 나노기술에 대한 높은 수준의 사회적 수용과 지지를 얻기 위해서는 영국의 경우에서처럼 ‘상류 차원에서의 대중 참여’(upstream public engagement), 곧 연구·개발 초기단계의 의사결정 과정에서부터 대중을 참여시키는 것도 필요하다. 나노기술의 지속가능한 발전을 위해 그러하다.

#### 5. 수월성(Excellence)의 원칙

나노기술에 대한 연구·개발 활동은 연구의 진실성(integrity)과 좋은 실험실 행동(good laboratory practices)을 포함하는 최상의 과학적 표준들(standards)을 충족해야만 한다. 의심스러운 나노과학기술 연구 수행은 (데이터의 표절, 위조, 날조 등의 수준을 넘어 서서) 건강, 안전 그리고 환경에 대한 위험을 초래할 뿐 아니라 대중의 불신을 낳고 연구를 통해 얻을 수 있는 이익을 저해할 수 있다. 연구 진실성은 나노기술처럼 새롭게 피어나는 분야에서 일반적으로 나타날 수 있는, 연구 결과들의 상충과 같은 다양한 가능성들로 인해 도전받을 수도 있다. 따라서 나노기술 연구 활동에서 진실성을 보호할 수 있도록 과학자 공동체와 사회가 이에 특별한 관심을 갖고 관련 조치를 취해야 한다.

가령 연구자들은 안전하지 않거나 윤리적이지 않은 상황에 직면하였을 때 자발적으로 보고하도록 요청받을 수 있다. 그리고 이 경우 부정을 알린 내부 고발자는 국가 혹은 법에 의해 보호되어야 할 것이다.

#### 6. 책임(Accountability)의 원칙

연구자와 연구 기관은 자신들의 연구·개발이 인체 건강·사회·환경에 끼치는 영향에 대해 책임지는 자세를 가져야 한다. 또한 제품의 생산자는 자신의 제품의 안전성에 대한 책임이 있다. 따라서 나노 물질과 나노 제품의 경우 책임의 원칙에 따라 연구자와 생산자 모두 다양한 제조 공정과 사용, 유통 그리고 처리 과정에서의 위험을 확인·평가하고 이를 최소화하도록 노력해야 한다. 한편 나노 물질과 나노 제품을 다루면서 발생할 수 있는 위험들은 직접적인 것에서부터 간접적인 것까지 아주 널리 분포한다. 또한 확인할 수 있는 확실한 것에서부터 아직 짐작만 할 수 있는 잠재적인 것에 이르기까지 아주 널리 분포한다. 따라서 이에 대한 책임의 범위 또한 넓은 것으로 확대 인식되어야 한다.

### III. 안전 관리를 위한 행위지침

앞서의 윤리적 원리들에 기반 한 다음과 같은 행위 지침들이 나노 물질 및 제품의 안전한 사용을 위해 자주 언급되어 왔다 [3,4]. 관리 책임을 갖는 위원회의 구성, 이해 당사자들의 참여, 작업자의 건강과 안전 보장, 공중보건 및 환경 위험에 대한 철저한 대처, 사회적 영향에 대한 폭넓은 이해, 정보 및 활동의 투명성과 공개가 그것이다. 이의 의미와 내용을 살펴보자.

#### 1. 관리 책임을 갖는 위원회 구성

안전 관리가 효과적으로 진행되기 위해서는 관리를 전적으로 책임지는 조직 혹은 기구가 필요하다. 기업, 연구소, 대학 등 나노물질을 다루는 각 기관(organization)은 나노기술과 관련한 관리의 책임을 특정 위원회(board)에 부여하거나, 위원회에 의해 위임된 상위 집행부서(senior executive or committee)에 부여해야 한다. 여기서 합리적이

며 책임감 있는 관리 조직이 특별히 강조되는 이유는 나노 기술 연구자, 제조자, 사용자들이 비합리적이거나 책임감이 결여되어있기 때문이 아니라, 나노기술이 가져 올 엄청난 사회적 영향 때문이다. 이러한 영향이 심각하게 부정적일 수 있다는 예측이 보다 체계적인 관리를 요청하는 배경이 되고 있다.

이 조직은 다음과 같은 일들을 우선적으로 수행해야 할 것이다. 첫째 관리 책임이 기관 내에서 어떻게, 즉 어떤 내용과 어떤 형태로 부여 되었는지를 분명하게 밝힌다. 둘째 작업자가 나노 물질을 다루는 과정에서 준수해야 할 규칙, 작업자가 이 가이드라인을 위반했을 경우 결과 및 조치를 정한다. 셋째 나노기술의 책임 있는 관리를 위해 관리자가 수행해야 할 의무 사항들을 공표한다. 넷째 나노기술과 관련된 위험 평가 작업을 기관 전체의 정기적이고 전략적인 위험 평가 작업과 연계하여 진행한다. 다섯째 내부 실무자나 외부 이해 당사자들이 나노기술과 관련된 보건과 안전 문제 그리고 환경·사회·윤리적 쟁점들을 위원회로 가져올 수 있도록, 관련 절차나 방식을 확립하고 공문화한다.

이러한 관리 조직이 아직은 현실에서 가시화되고 있진 않다. 그러나 최근 개발되고 있는 안전 관리 프로그램들은 이러한 조직의 구성을 지속적으로 요구하고 있다. 가령 독일 TÜV SÜD사가 운영하는 나노 안전인증 프로그램이 그러하고, 듀폰사가 기획한 나노 위험관리 체계가 그러하다 [7,8].

## 2. 이해 당사자들의 참여

각 기관은 해당 기관의 나노 작업과 관련된 이해 당사자들을 확정(identify)하고, 그들의 우려와 문제제기를 적절 한 것으로서 수용하고 그것에 선제적으로(proactively) 반응해야 한다. 그리고 이해 당사자들의 문제제기가 어떻게 고려되고 처리되었는지를 확인시켜 주거나, 반대로 그 견해들이 적절치 않다고 느꼈다면 왜 그러한지를 설명할 필요가 있다. 또한 연구나 제품 개발의 초기 방향 설정 단계에서부터 이해 당사자들을 참여시키는 것도 의미 있게 고려해 볼 필요가 있다. 상류차원의(upstream) 대중 참여라 불리는 이러한 시도는 하류차원의(downstream) 대중 참여가 기술 또는 제품 개발이 완료된 이후의 참여이기 때문에 해결하지 못하는 문제, 소위 콜링리지의 딜레마(Colling-ridge's Dilemma)-기술 또는 제품 개발 초기에는 이익과

위험에 대한 정보가 부족한 이유로 의사결정 과정에 참여시키지 않고, 반대로 개발 이후에는 이미 투입된 비용투자를 번복하거나 회수할 수 없기 때문에 의사결정 과정에 참여시키지 못한다는 딜레마-를 해결하기 위해 개발 초기 단계에서부터 개입해야 함을 강조한다.

모든 이해 당사자들이 참여하는 대중적 차원의 논의는 합당한 합의를 창출해내는 데 본래 목적이 있는 것이 아니라, 사회의 다양한 쟁점들에 대해 서로 다른 의견들을 드러내는 데 중요한 의의가 있다. 이러한 소통을 통해 이루어지는 이해 당사자들 사이의 지속적인 상호작용은 적대적인 당파, 배타적인 이해관계, 문화적 편견으로 인한 갈등과 모순을 극복할 수 있게 하는 원동력이 된다. 이해 당사자들의 판단은 전문적 지식을 근거로 하는 판단과는 분명히 다를 수 있으며, 경우에 따라 특정한 가치 평가와 결합되어 나타나기도 한다. 하지만 그들의 지식이 실제적인 삶의 현장에서 학습되고 축적된다는 사실은 나노기술과 관련된 사회적 문제들을 해결하는 데 있어, 그들의 판단이 효과적일 수 있음을 말해 준다.

실제로 이와 관련하여, 시민 패널을 구성한 2005년 미국에서의 메디슨지역 합의회의라든가, 같은 해 역시 영국에서 실시된 나노 배심원(NANOJURY) 제도, 2005년 프랑스 그레노블 지역에서 개최된 과학과 사회 포럼(Forum Science et Démocratie), 상류차원의 시민 참여를 강조한 2006년 영국에서의 나노대화(Nanodialogue) 등 많은 시도들이 있어 왔다 [9-12].

## 3. 작업자의 건강과 안전 보장

각 기관은 나노 물질과 나노 제품을 다루는 작업자(근로자와 연구자)를 위해 작업장(실험실 포함)에서의 보건 안전에 대한 높은 기준(standards)을 보장해야 한다. 우선 작업장에서 독성을 지닌 나노입자가 방출되는지 확인할 수 있어야 한다. 이를 위해 나노입자의 방출을 측정할 수 있는 계측 장치가 마련되어 있어야 하고, 이의 방출을 최소화할 수 있는 방법도 준비되어 있어야 한다. 다음으로 작업장에서의 작업자 건강 문제를 고려해야 한다. 작업자들은 대부분 나노 물질과 나노 제품을 엄격한 절차와 방법에 의거함 없이 다루고 있고, 그것들로부터 초래될 수 있는 위험에 대한 정보도 제대로 가지고 있지 않다. 한마디로 작업자들은 나노 물질과 나노 제품들로부터 초래될 수 있는 위험에 무

방비로 노출되어 있고, 그것들을 안전하게 사용하는 방법에 대해 무지하다. 나노 물질 및 제품의 안전한 취급에 대한 적절한 정보가 이들에게 제공되어야 한다. 마지막으로 작업장의 보건 안전을 위해 작업장 건강 감시(occupational health surveillance) 혹은 나노 물질에 노출 가능한 작업자들에 대한 의료 감시(medical screening)체계가 필요하다.

작업자의 보건 안전에 관한 가장 모범적인 사례는 미국의 산업안전보건연구원(NIOSH)에서 실시하고 있는 건강 위험평가(Health Hazard Evaluation) 프로그램과 의료 감시(Medical Surveillance) 프로그램이다 [13,14]. 한편 영국표준협회(British Standard Institution)는 작업자에게 위험에 관련한 다양한 정보가 충분히 고지되어야 함을 강조하고 있다 [15]. 또한 나노 스마일(Nano Smile)에서는 작업자의 안전을 위한 전문적 교육·훈련 프로그램(professional training programs)을 제공하고 있다 [16].

#### 4. 공중 보건 및 환경 위험에 대한 철저한 대처

각 기관은 나노 물질의 위험 평가를 철저히 수행해야 하고, 나노 물질을 사용한 제품에 수반되는 보건·안전·환경(environment health safety, EHS) 관련 잠재적 위험과 부작용들을 최소화해야 한다. 이는 제품의 전주기 과정에서 발생할 수 있는 위험 모두를 대상으로 해야 한다. 나노 물질과 나노 제품의 경우 그것들의 개발, 제조, 분배, 사용, 폐기, 재활용 등의 전주기 과정에서 독성 나노입자가 방출될 가능성이 있다. 따라서 전주기 과정을 대상으로 나노입자 방출을 최소화하도록 엄격한 기준을 적용해야 한다. 또한 전주기 과정에서 나노입자가 방출되었는지 확인할 수 있는 검증 방법과 나노입자가 방출되었을 경우 이에 적절하게 대처하는 방법도 제시되어야 한다.

이를 위해 다음과 같은 구체적인 행위 지침들이 필요하다. 첫째 나노 물질이나 나노 제품의 개발, 제조, 분배, 사용, 폐기, 재활용 과정에서 일반 대중과 환경에 가해지는 모든 위험들을 확인하고, 평가하고, 최소화하기 위한 절차들을 적재적소에 확립한다. 둘째 전주기적 관점에서 공급망에 있는 다른 기관들에게도 그들이 대처해야 할 필요가 있는 모든 위험들을 알려 주고 관련 정보를 공유한다. 셋째 기관 스스로가 제품의 안전을 평가하기 위해 사용했던 기준과 프로토콜, 그리고 안전 조치들을 공개한다. 넷째 시장

에서 요청하는 적절한 규제와 표준들의 개발에, 나노기술의 책임 있는 발전을 가로막는 정보 및 연구의 격차를 메우기 위한 정부 정책에 적극 참여하고 독립적인 연구도 지원한다.

실제로 이와 관련하여 많은 시도들이 있었다. 구체적으로 노출 통제의 6가지 등급과 절차에 대한 영국표준협회(BSI)의 제안, 영국의 건강위해물질통제법(COSHH)에서 제시한 8단계의 위험 관리 프레임워크(Risk Management Framework), TÜV SÜD 회사가 운영하는 CENARIOS라는 안전인증프로그램에서 제시된 안전 인증과정, 미국 환경청(EPA)에서 강조하고 있는 나노 물질 책임 관리 프로그램(Nanoscale Materials Stewardship Program, NMSP) 등이 그것이다 [7,15,17]. 이것들은 일종의 자발적인 자기 규제라는 특성을 지닌다. 한편 법을 통한 강제 규제도 준비중에 있다. EU의 신화학물질관리규정(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH)이나, 미국의 독성물질규제법(Toxic Substances Control Act, TSCA)에서 나노 물질에 대해 요구하고 있는 안전 관련 절차와 과정들이 그것이다.

#### 5. 사회적 영향에 대한 폭넓은 이해

각 기관은 나노 물질 및 제품과 관련된 윤리적·법적·사회적 쟁점들(ethical legal societal issues, ELSI)에서 드러난 사회적 영향들을 폭넓게 이해하고, 이에 대한 적절한 대응을 위해 어떤 역할을 할 것인지 를 고려해야 한다. 새로운 기술 혁신은 사회 체제의 결정적 변화를 가져 올 수 있다. 그런 점에서 나노기술의 발달은 과학자나 공학자 그리고 사용자들이 갖는 동기와 상관없이 윤리적·법적·사회적 문제들을 야기할 수 있다. 나노기술의 영향으로부터 누구도 자유로울 수 없고 따라서 누구나 일정한 책임을 갖는다. 각 기관은 사회적 책임을 다하기 위해 나노기술의 사회적 영향에 관한 공동 연구, 협력 위원회, 파트너십, 그리고 봉사 활동 등에 참여하고 협력해야 한다. 또한 나노기술의 사회적 영향에 대한 보다 진지한 관심과 평가를 위해, 전문가들은 물론 평범한 대중들도 이러한 쟁점들을 이해할 수 있도록 필요한 제도적 장치를 마련해야 한다.

실제로 미국, EU 등 많은 나노 경쟁국들이 2005년 이후로 나노기술의 ELSI 연구에 많은 투자를 해오고 있다.(미국 NNI의 경우, 2006년 35.7백만불, 2007년 39.2백만불,

2008년 37.7백만불, 2009년 33.5백만불, 2010년 36.1백만불 등.) 나노기술의 개발과 산업화 과정에서 발생하는 사회적 문제들, 나노 물질 및 제품의 개발 및 사용과정에서 발생할 수 있는 윤리적 문제들, 그리고 나노기술의 지속가능하고 안전한 발전을 위해 필요한 법적·제도적 장치들의 마련 등이 주된 관심거리다.

#### 6. 정보 및 활동의 투명성과 공개

각 기관은 나노 물질 및 제품과의 연관성 및 그것들의 관리에 대해 개방적이고 투명해야 한다. 특히 안전에 대해 어떠한 책임 있는 행동을 수행하고 있는지를 정기적으로 분명하게 공개해야 한다. 우선 투명성과 공개는 책임 있는 나노기술의 발전을 위한 모든 윤리적 행위들의 핵심 원칙이다. 나노 물질을 사용하는 기관들의 경우 위험 거버넌스 차원에서 그들이 취하는 안전관리 행동지침들을 대중에게 공개하고, 그렇지 못한 경우에는 그 연유에 대해 설명할 필요가 있다. 다음으로 이해당사자들 사이의 대화는 기술의 사회적 수용에서 핵심 요소다. 나노기술의 경우 일방적인 정보 제공 대신 상호작용적인 양방향 의사소통이 중요하다. 관련된 이해당사자들과 대중의 요구를 충족시키기 위한, 중립적 의사소통에 기반한 적절한 의사소통 전략이 구축되어야 한다. 한마디로 위험과 이익 모두에 대해 투명성과 개방성 그리고 명확한 의사소통이 요구된다. 정보 혹은 의사소통의 결여는 불신의 심각한 원인이 된다.

이의 대표적인 실제 사례들로 미국의 국립산업안전보건 연구원에서 운영하는 나노기술(혹은 나노입자) 정보 도서관, 듀폰사가 제시한 나노 물질에 관한 정보를 포함한 나노 물질 위험 평가서, 영국표준협회의 표시제(Labelling) 등을 들 수 있다 [8,18,19]. 가령 표시제의 경우 제품 생산자가 정보 제공의 의무 차원에서 판매자나 소비자 모두에게 나노 제품에 관한 정보를 제공해야 한다.

### IV. 맺는 말: 위험 거버넌스로서의 안전 관리 이해

지금까지 살펴 본 안전 관리를 위한 행위지침들은 나노 물질 및 제품의 위험에 대한 법적·제도적인 차원의 엄격한 규제가 실질적으로 어려운 상황에서, 위험을 사전에 예

방하고 통제할 수 있는 보다 포괄적인 인간의 행위들을 도덕적 책임과 같은 윤리적 원칙에 근거하여 요구하고 있다. 그러한 의미에서 행위지침들은 윤리적이며 자율적인 관점에서 이해되어야 한다. 실제의 사례들을 보더라도 정부의 강제적인 조치보다는, 행위강령(code of conduct)이나 자발적인 보고체계(stewardship program) 혹은 자발적인 위험관리 체계(risk framework)와 같은 자율적인 규제가 대부분이다. 뿐만 아니라 이러한 행위지침들은 모든 이해당사자들의 참여라든가 사회적 영향에 대한 폭넓은 이해에서 보듯, 단순히 위험에 대한 기술적인 대응을 넘어서서 사회 공동체적 차원의 대응을 중시한다. 결론적으로 안전 관리를 위한 행위 지침들은 거버넌스적 관점을 취하고 있다고 말할 수 있다.

거버넌스란 공공의 문제 해결을 위해 정부와 민간(시장, 시민사회) 간에 이루어지는 협력 기제로서, 시민 사회의 적극적인 참여와 더불어 어떤 정책이든 그것이 논의되고 결정되는 과정을 중시함으로써 공동체적 합의와 대응을 이끌어 낸다. 가령 위험 거버넌스의 경우 위험 정보가 얼마나 적절하게 수집되고 분석되며 소통되는지, 관리에 대한 결정은 어떻게 이루어지는지, 그리고 이에 대한 공동체적 대응은 무엇인지 등에 많은 관심을 기울인다. 나노 물질 및 제품의 경우 그것의 위험이 불확실하고 잠재적이며 전방위적일 수 있기에, 이의 효과적인 관리를 위해 거버넌스적 접근은 불가피해 보인다.

그러나 이러한 거버넌스가 효과적으로 이루어지려면 자율적인 규제만으로 충분치 않다. 법적·제도적인 강제 조치들을 포함하는 포괄적인 거버넌스의 구축이 필요하다. 그런데 법적·제도적 규제 장치가 만들어 지려면, 규제에 필요한 엄밀한 기준들이 정해지고 이에 따른 엄정한 책임 소재 규명 및 처벌 조치가 뒤따라야 한다. 이는 위험과 관련한 전문적인 기술공학적 분석을 필요로 한다. 결론적으로 나노 물질 및 제품의 위험 거버넌스에서는 위험에 대한 기술공학적인 분석과 함께 안전에 관한 사회 공동체적인 합의가 동시에 중요하다고 말할 수 있겠다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 '나노소재기술개발사업단'의 지원(과제명: 나노소재의

윤리적 사용 시스템에 대한 연구, 과제번호: 2009K000481)으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] NIOSH, Approaches to Safe Nanotechnology (2009).
- [2] European Commission, Understanding Public Debate on Nanotechnologies (2010).
- [3] Royal Society & Nanotechnology Industries Association, Information on the Responsible Nano Code Initiative (2008).
- [4] European Commission, Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies Research (2008).
- [5] BASF, The Vision, Values and Principles (2004)
- [6] J. Kuzma and J. C. Besley, Ethics of Risk Analysis and Regulatory Review, *Nanoethics* **2**, 149 (2008).
- [7] TÜV SÜD Industrie Service, Certification Standard CENARIOS (2008).
- [8] EPA & DuPont, Nano Risk Framework (2007).
- [9] Kleinman, D. Lee, M. Powell, J. Grice, J. Adrian, and C. Lobes, A Toolkit for Democratizing Science and Technology Policy: The Practical Mechanics of Organizing a Consensus Conference, *Bulletin of Science, Technology and Society* **27/2**, pp. 154-169 (2007).
- [10] T. Rogers-Hayden and N. Pidgeon, Reflecting Upon the UK's Citizen's Jury on Nanotechnology: Nanojury Uk, *Nanotechnology Law & Business* **3/2**, pp. 167-178 (2006).
- [11] B. Laurent, Engaging the Public in Nanotechnology?: Three Visions of Public Engagement, *CSI Working Papers Series* **11** (2007).
- [12] J. Stilgoe, *Nanodialogues: Experiments in Public Engagement with Science* (2007).
- [13] NIOSH, Health Hazard Evaluation Program (2000).
- [14] NIOSH, Interim Guidance for the Medical Screening of Workers Potentially Exposed to engineered Nanoparticles (2007).
- [15] BSI, *Nanotechnologies-Part2 : Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials* (2007).
- [16] [http://www.nanosmile.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=96&Itemid=161&lang=en](http://www.nanosmile.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=96&Itemid=161&lang=en).
- [17] <http://www.epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm>.
- [18] NIOSH, Strategic Plan for NIOSH Nanotechnology, Research and Guidance: Filling the Knowledge Gaps (2009).
- [19] BSI, Guidance on the labelling of manufactured nanoparticles and products containing manufactured nanoparticles (2007).

## Safety Management of Nanomaterials and Nanoproducts: Thinking of Ethical Principles and Guidelines for It

Jungwon Lee\*

*Philosophy Department, University of Seoul, Seoul 130-743*

(Received July 22, 2010, Revised October 25, 2010, Accepted October 26, 2010)

Recently as the reports on toxicity of some nanomaterials and the nanoproducts containing these nanomaterials are rapidly increasing, the safety management issues about nanomaterials and nanoproducts are emerging hot. Especially safety in the workplace and that of consumers and the protection of environment, in other words safeties throughout the life-cycle of nanomaterials and products become core issues. Despite the importance of such a safety management, however, it is very difficult to construct the hard regulatory framework for safety, owing to uncertainties and potentialities of nano-risk. In this paper I will look around the ethical principles and guidelines for safety management which are preferentially required before going into the discussion on the construction of hard-regulation such as law and something like that. Under the circumstance that hard-regulations for safety management are not implementable, these principles and guidelines are expected to play a leading part in building the responsible risk-governance framework for nanomaterials and nanoproducts, and finally to become a cornerstone of the hard risk-governance framework.

Keywords : Nanomaterials, Safety management, Ethical principles, Codes of conduct, Risk governance

\* [E-mail] [jwlee@uos.ac.kr](mailto:jwlee@uos.ac.kr)