

나노기술을 둘러싼 사회적 쟁점 연구†

이 영 희*

지난 1990년대 중반 이후부터 나노기술(nanotechnology)이 정보기술 및 생명공학과 더불어 사회에 가장 파급력이 높은 기술로 새롭게 떠오르고 있다. 이에 따라 현재 우리나라를 포함한 많은 나라들이 나노기술의 개발을 위해 엄청난 투자를 아끼지 않고 있다. 그러나 나노기술은 아직은 개발의 초창기 단계임에도 불구하고 이 기술이 사회에 던지는 함의들에 대해서는 현재 매우 많은 논란들이 야기되고 있는 실정이다. 최근 물질이 나노 크기의 입자가 되면 독성이 강해진다는 연구 결과가 나와 커다란 논란을 일으킨 바 있고, 또한 나노기술이 인체 및 환경에 미치는 영향뿐만 아니라 사회적, 윤리적으로도 많은 문제들을 야기할 수 있다는 우려의 목소리들도 제기되고 있다. 나노기술이 군사 기술화할 가능성이 예견되고 있으며, 대량실업사태를 야기할 가능성도 언급되고 있다.

이러한 상황에서 최근에 활발하게 연구되고 있는 나노기술이 과연 사회에 어떠한 영향을 미칠 것으로 전망되고 있는지를 나노기술을 둘러싸고 사회에서 논란이 되고 있는 쟁점들을 통해 체계적으로 살펴보는 것은, 향후 나노기술이 사회적으로 보다 바람직한 방향으로 개발될 수 있도록 정책적으로 개입할 수 있는 근거와 기반을 마련하는 일이라고 할 수 있다. 이상과 같은 문제의식 하에서 이 연구는 최근 급속하게 대두되고 있는 나노기술을 둘러싸고 어떠한 사회적 쟁점들이 형성되고 있는가를 분석한 다음, 나노기술의 바람직한 발전 방향을 모색해 보는 데 그 목적을 두고자 한다.

【주제어】 나노기술, 기술영향평가, 기술과 사회, 기술규제

1. 머리말

기술이 현대 사회에 얼마나 커다란 영향을 미치는가에 대해서는 이미 많

† 본 연구는 2004년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음

* 가톨릭대학교 사회학과 교수

전자우편 : leeyoung@catholic.ac.kr

은 사회학자들이 연구한 바 있다. 그러나 지금까지의 대부분의 기술사회학적 연구들이 분석의 대상으로 삼은 기술은 정보기술(information technology)과 생명공학(biotechnology)에 국한되는 경향이 있었다.

그런데 지난 1990년대 중반 이후부터 나노기술(nanotechnology)이 정보기술 및 생명공학과 더불어 사회에 가장 파급력이 높은 기술로 새롭게 떠오르고 있다. 나노기술의 핵심은 원자나 분자의 수준에서 물질들을 조작하고 만들어서 전혀 새로운 성질과 기능을 가진 소자나 시스템을 구현하는 데 있다. 1959년에 미국 물리학회에서 나중에 노벨상을 받게 되는 젊은 과학자 리처드 파인만이 “바닥에는 풍부한 공간이 있다”라는 제목의 강연에서 나노기술의 등장을 예견한 바 있었지만, 나노기술개발이 실제로 가시화되기 시작한 것은 최근에 들어와서 였다.

그리하여 이제 나노기술은 지난 10여 년 동안 과학과 공학의 전 분야에 걸쳐 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이며, 21세기에는 더욱 활발하게 연구가 진행되어 실제 산업과 생활에서 응용 가능한 제품들이 생산될 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 이미 미국과 일본, 그리고 유럽의 여러 나라들에서는 나노기술의 개발을 위해 정부가 발 벗고 나서고 있고, 우리나라도 이에 뒤질세라 지난 2002년 말에 나노기술개발촉진법을 제정하고 다음 해인 2003년 6월에는 시행령까지 공포함으로써 나노기술개발의 의지를 천명하였다.

그러나 우리는 나노기술은 그 긍정적 전망 못지않게 부정적 전망들도 많이 제기되고 있음에 주목해야 한다. 나노기술은 아직은 개발의 초창기 단계임에도 불구하고 이 기술이 사회에 던지는 함의들에 대해서는 현재 매우 많은 논란들이 야기되고 있는 실정이다. 앞에서도 언급한 바와 같이, 물질이 나노미터($nm=10$ 억분의 $1m$) 수준으로 작아지면 거시세계에서는 볼 수 없는 특이한 물리 화학적 성질을 나타내는데, 최근 물질이 나노 크기의 입자가 되면 독성이 강해진다는 연구 결과가 나와 커다란 논란을 일으켰다. 또한 나노기술이 인체 및 환경에 미치는 영향뿐만 아니라 사회적, 윤리적으로도

많은 문제들을 야기할 수 있다는 우려의 목소리들도 많이 제기되고 있다. 나노기술이 군사 기술화할 가능성이 예견되고 있으며, 대량실업사태를 야기할 가능성도 언급되고 있다.

이러한 상황에서 최근에 활발하게 연구되고 있는 나노기술이 과연 사회에 어떠한 영향을 미칠 것으로 전망되고 있는지를 나노기술을 둘러싸고 사회에서 논란이 되고 있는 쟁점들을 통해 체계적으로 살펴보는 것은, 향후 나노기술이 사회적으로 보다 바람직한 방향으로 개발될 수 있도록 정책적으로 개입할 수 있는 근거와 기반을 마련하는 일이라고 할 수 있다.

이상과 같은 문제의식 하에서 이 연구는 최근 급속하게 대두되고 있는 나노기술을 둘러싸고 어떠한 사회적 쟁점들이 형성되고 있는가를 분석한 다음, 나노기술의 바람직한 발전 방향을 모색해 보는 데 그 목적을 두고자 한다. 본 연구에서는 먼저 나노기술의 개념과 발전과정을 개략적으로 살펴본 다음, 나노기술을 둘러싸고 제기된 다양한 사회적 쟁점들을 환경 관련 쟁점, 인체 관련 쟁점, 그리고 사회 관련 쟁점으로 나누어 분석해 보고, 결론적으로 나노기술이 보다 바람직한 방향으로 발전하기 위해 필요한 사회적 조건들을 모색해 보는 것을 주요 내용으로 한다.

2. 나노기술의 개념과 발전과정

나노(Nano)는 희랍어로 난쟁이를 뜻하는 ‘나노스’에서 유래한 말로 10억분의 1을 의미하는 접두어이다. 따라서 나노기술이란 나노미터(10억분의 1미터) 수준에서 물체들을 만들고 조작하는 기술을 통칭하는 말인데, 나노미터란 서너 개의 금속 원자를 나열한 정도의 눈에 보이지도 않는 아주 미세한 길이이다(현택환, 2002). 쉽게 이야기하자면 우리의 몸속에 있는 단백질의 크기가 바로 1-20나노미터 정도의 크기이며 사람의 머리카락 두께는 50,000나노미터이다.¹⁾ 나노 크기에서는, 기존의 마이크로 이상의 크기 수준에서 알고 있는 것과는 다른 이론과 모델이 적용되며, 기존 크기에서는 보지 못했던

독특한 특성과 거동이 나타날 수 있다고 한다. 그러므로 나노기술을 이용하면 현재 우리가 알고 있거나 상상하는 것 이상으로 기능을 대폭 향상시키거나 새로운 기능을 갖는 소자나 소재 개발을 할 수도 있게 된다(Ratner & Ratner, 2004).

나노기술의 핵심은 분자 수준에서 원자 한 개 한 개를 다루는 것이 가능하게 된다는 것에 있다. 나노기술이 발전하여 원자나 분자를 원하는 대로 조작하는 것이 가능해진다는 것은, 자연계에 존재하지 않는 물질이라 할지라도 필요한 용도에 맞는 성질을 가진 물질을 합성하는 것, 그리고 원자 분자 수준의 구조물을 원하는 형태로 제작 가공하고 조절하는 것이 가능해진다는 의미이다. 예컨대 생명공학에서 다루는 DNA, RNA, 유전자, 단백질의 크기가 수 나노미터, 수십 나노미터 크기이므로 나노기술을 적용하면 이에 대한 조작과 응용이 가능해질 수 있다. 나노기술로 원자 메모리 소자를 만들면 단위면적당 1000배 이상 정보저장 용량 확대가 가능하며 각설탕 정도의 크기에 미 의회 도서관 전체 자료를 저장할 수 있고 에너지 소모도 적으므로 휴대형 슈퍼컴퓨터 개발도 가능하다고 한다. 이처럼 나노기술은 어떤 연구 분야라기보다는 인간이 원하는 새로운 도구(tool)를 제공해 주는 기반 기술이라고 할 수 있다(기술영향평가위원회, 2004).

나노기술의 등장을 처음으로 예견했던 사람은 리처드 파인만(Richard Feynman) 박사로, 그는 1956년 미국물리학회에서 행한 “바닥에는 풍부한 공간이 있다”라는 연설에서 향후 나노 수준에서 사물을 조작하고 제어하는 것이 가능하게 될 것임을 예측하였다. 1974년에는 동경대의 노리오 타니구치 교수가 나노기술이라는 개념을 처음으로 사용하였다. 그런데 실제로 물리학이나 화학 분야에서 나노기술에 관한 연구가 본격적으로 진행되기 시작한 것은 1980년대에 들어오면서부터였다. 1981년에는 원자나 분자를 눈으로 볼 수 있을 뿐만 아니라 조작도 가능한 도구로서 주사터널링현미경(STM:

1) 사람이 맨눈으로 볼 수 있는 가장 작은 물체의 크기가 대략 10,000나노미터 정도라고 한다.

Scanning Tunneling Microscope)이 발명되었는데, 이 STM으로 인해 비로소 나노기술의 시대가 열리게 되었다고 평가된다(이인식, 2002). 1991년에는 일본 NEC 연구소에서 일하던 한 과학자가 탄소나노튜브를 발견하였다. 탄소나노튜브는 우수한 기계적 특성, 전기적 선택성, 뛰어난 전기 방출 특성, 고효율의 수소 저장 매체 특성 등을 가진다고 한다. 한편 1997년에는 미국에서 최초의 나노기술 벤처기업이 탄생함으로써 나노기술 시대가 개막하였음을 알려주었다. 나노기술이 점차 발전함에 따라 이제 나노기술은 정보통신, 생명공학, 의료 및 건강, 에너지 및 환경, 신소재 등 수많은 분야에 현재 응용되고 있고, 향후 더욱 그 응용성이 높아질 것으로 전망되고 있다.

나노기술이 현재 응용되고 있거나, 향후 응용될 것으로 전망되는 수많은 분야들 중에서 몇몇 대표적인 분야에 대해서 간략히 살펴보면 다음과 같다.²⁾ 현재 나노기술의 여러 분야들 중에서 가장 빨리 산업화된 분야가 나노소재 분야인데, 그 가운데 자동차의 부품들에서 가장 광범위하게 응용되고 있다고 한다. 예컨대 일본의 도요타 자동차에서는 기존의 자동차 연료 탱크보다 충격에는 10배 이상 강하면서 무게는 1/3 이하로 훨씬 가벼운 새로운 소재로 만든 연료 탱크를 개발하였는데, 이 연료 탱크가 바로 나노 복합소재를 이용한 것이라고 한다. 의학 분야에서는 1999년에 미국과 일본의 연구진들이 여섯 개의 단백질로 만들어진 나노미터 크기의 모터가 우리 몸에 있는 에너지원에 의해 구동되어 수십 나노미터 크기의 플라스틱 공을 움직이는 것을 관찰하는 데 성공하였다. 이는 나노의학(nano-medicine)의 시작을 알리는 중요한 연구 성과로 평가된다. 왜냐하면 나노기술을 이용하여 인간의 세포보다 더 작은 분자 단위의 나노컴퓨터, 나노기계, 나노센서 등을 만들 수 있게 되면, 이 분자 단위의 나노 기계들이 혈관에 끼어 있는 노폐물을 제거하여 심장병을 고치고, 암세포만 선택적으로 인식하여 죽이고 작동하지 못하는 세포 내의 기관들을 대신할 수 있을 것이기 때문이다. 정보통

2) 나노기술의 현재 응용 상태와 향후 응용 전망에 대한 이 부분의 내용은 현택환(2002)을 주로 참고하였다.

신 분야는 최근 나노기술이 가장 급속하게 응용되고 있는 분야이다. 인텔은 세계에서 가장 작은 20나노미터 크기의 트랜지스터를 개발하였고, IBM은 10나노미터 미만의 탄소나노튜브로 만들어진 컴퓨터 논리회로를 만드는 데 성공하였다. 미국은 국가나노기술개발프로그램을 통해 나노전자/관전/자성 소자를 이용하여 컴퓨터 속도 및 효율을 100만 배 이상 향상시키고, 단위 면적당 기억용량을 1000배 증가(terabit급)시키며, 정보통신용 주파수 대역 역시 100배 증대시키는 것을 목표로 삼고 있다고 한다.

지금까지 살펴본 나노기술의 발전과정과 향후 전망에 기반을 두어 2000년대에 들어와 각국 정부들은 나노기술개발에 앞 다투어 나서고 있다. 미국의 클린턴 대통령은 2000년 연두교서를 통해 나노기술을 차세대 경쟁력확보를 위한 핵심 기술의 하나로 선언한 바 있다. 이에 따라 미국은 국가나노발전 계획(NNI: National Nanotechnology Initiative)을 수립하고 엄청난 예산을 나노기술개발에 투자하고 있다. 일본과 유럽 역시 2000년대에 들어와 나노기술개발에 많은 예산을 투자하고 있고, 우리나라 역시도 2002년에 나노기술개발촉진법을 제정하고 나노기술개발에 주력하고 있다. 다음의 <표 1>은 주요 국가들에서 1990년대 후반부터 나노기술개발에 대한 정부 투자가 가파르게 상승하고 있음을 잘 보여주고 있다.

<표 1> 나노기술개발에 대한 정부의 투자 추이(단위: 미화 백만 달러)

| 지역 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 미국 | 116 | 190 | 255 | 270 | 422 | 604 | 774 |
| 서유럽 | 126 | 151 | 179 | 200 | 225 | ~400 | ~600 |
| 일본 | 120 | 135 | 157 | 245 | 465 | ~700 | ~810 |
| 그 외 나라들* | 70 | 83 | 96 | 110 | 380 | ~550 | ~800 |
| 전체 | 432 | 559 | 687 | 825 | 1502 | 2347 | 2984 |
| 1997년 대비 | 100% | 129% | 159% | 191% | 348% | 503% | 690% |

* 그 외 나라들에는 호주, 캐나다, 중국, 동유럽, 러시아, 싱가포르, 대만, 한국 등이 포함됨(출처: Roco(2003))

3. 나노기술을 둘러싼 사회적 쟁점들

지난 1980년대부터 본격적으로 개발되기 시작한 나노기술은 한편으로는 인간과 사회에 커다란 혜택을 가져다 줄 것으로 기대되고 있지만, 다른 한편으로는 인류가 전에 경험하지 못했던 나노 수준의 물질 개발과 조작이 초래할 부정적인 영향들에 대한 우려도 동시에 자아내고 있다.³⁾ 그럼 아래에서는 먼저 나노기술이 어떠한 사회문화적 영향을 미치게 될 것인가에 대해서 미국과 유럽의 정부나 의회, NGO 등에서 평가한 내용을 검토해보고, 이어서 나노기술을 둘러싼 논란을 쟁점별로 살펴보기로 한다.

1) 나노기술의 사회문화적 영향 평가

2000년대에 들어와 미국과 유럽을 중심으로 나노기술의 사회문화적 영향에 대한 기술영향평가(technology assessment)가 활발하게 이루어지고 있다. 기술영향평가란 기술발전의 긍정적인 측면은 극대화하고, 반대로 부정적인 측면은 최소화시킬 수 있도록 현재 혹은 미래의 과학기술이 사회에 미치게 될 영향을 체계적으로 미리 예측, 평가하는 것을 말하는데,⁴⁾ 여기에서는 정부나 의회, 또는 NGO와 같은 공공기관에서 나노기술을 대상으로 행한 기술영향평가 결과를 간략히 소개하고자 한다.

-
- 3) 어떤 점에서는 1970년대에 분자생물학에 기반을 둔 유전자재조합기술이 처음 등장하고 그 결과로 1990년대에 들어와 유전자조작생물체들(GMOs: Genetically Modified Organisms)이 개발되기 시작했을 때와 동일한 상황이 만들어지고 있다고도 볼 수 있다. 1970년대 중반에 개발된 유전자재조합기술은 전혀 다른 종의 유전자를 재조합하는 것을 가능케 해줌으로써 인위적인 생명창조와 생명조작의 가능성을 열어주었다. 이 유전자재조합기술로 인해 지구상에 존재하지 않았던 새로운 생명체를 탄생시키는 것이 가능하게 되었지만, 과연 이러한 새로운 생명체가 인간과 생태계에 어떠한 영향을 미치게 될지는 아무도 장담할 수 없는 상황에서 당시 이를 둘러싼 사회적 논쟁이 뜨겁게 타올랐던 것이다. 당시 유전자재조합 기술을 둘러싼 사회적 논쟁의 내용과 전개과정에 대해서는 김동광(2003)을 참고하기 바란다.
 - 4) 기술영향평가의 개념과 역사 및 현황에 대한 보다 자세한 내용은 이영희(2000)를 참고 할 것.

① 미국

미국은 2000년 연두교서에서 클린턴 대통령이 나노기술개발을 지원하겠다고 밝히고, 동년 11월 미국 의회가 국가나노발전계획을 승인함으로써 나노기술 국가연구개발체제를 확립하였다. 그런데 기술영향평가와 관련하여 주목되는 것은, 국가나노발전계획을 구성하는 다섯 개 주요 연구 분야 중의 하나가 나노기술의 사회적 함의에 대한 분석이라는 사실이다.

이러한 맥락에서 NNI를 종합 조정하는 범부처적 기구인 미국 국가과학기술위원회(NSIC) 산하 나노과학기술소위원회(NSET: Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology)는 2000년 국립과학재단(NSF)에서 “나노과학과 나노기술의 사회적 함의들”이라는 주제로 워크숍을 조직하여 나노기술에 대한 사회문화적 영향평가를 시도하였다. 그리고 이 워크숍에서 발표된 논문들은 다음 해인 2001년에 단행본으로 출간되었다. 이 워크숍에서는 주로 나노기술이 의료, 환경, 고용, 국가안보, 윤리, 법, 그리고 문화 등에 미칠 영향에 대한 논의가 이루어졌고, 특히 대중 및 이 분야에 종사하는 연구자들에 대한 교육방안도 중요한 비중으로 다루어졌다(Roco & Bainbridge, 2001).

국립과학재단(NSF)은 이 워크숍의 후속작업으로 2002년 1월에 이탈리아에서 유럽연합과 공동으로 “나노기술: 혁명적 기회와 사회적 함의”(Nanotechnology: Revolutionary Opportunities and Societal Implications)라는 이름의 워크숍을 조직하여 나노기술의 사회문화적 영향에 대해 유럽의 연구자들과 함께 다시 논의하는 기회를 가지기도 하였다. 그런데 이 자리에서도 이전의 국립과학재단 워크숍에서와 마찬가지로 주로 나노기술의 사회적, 윤리적, 환경적 함의들과 함께, 나노기술에 대한 일반 대중의 사회적 수용성을 제고할 커뮤니케이션 방법 및 교육방안 등이 논의되었다(Roco & Tomellini, 2002).

그러나 이 두 번에 걸친 기술영향평가 워크숍에서 발표된 글들은, 아직 나노기술이 이제 막 등장하고 있는 신생기술이라는 점에서 대체로 나노기술

에 대한 체계적인 영향평가라기보다는 영향평가를 위해 향후 수행해야 할 연구방향 정도를 제시하는 데 그치고 있다.

한편 2003년 미 상원이 제출한 “21세기 나노기술연구개발지원법”(S. 189)은 나노기술에 대한 사회문화적 영향평가를 전담하는 American Nanotechnology Preparedness Center를 설립하여 국립과학재단에서 매년 5백만 불씩을 지원받을 수 있도록 하는 내용을 담고 있다. 만약 이것이 실현되면, 1990년대에 시작되었던 인간계놈프로젝트에 대해 전체 연구비의 3-5%를 반드시 윤리적, 법적, 사회적 함의(ELSI: Ethical, Legal, and Social Implications) 연구에 할당하도록 함으로써 생명공학에 대한 기술영향평가가 활발히 수행될 수 있었던 것처럼, 나노기술에 대한 사회문화적 영향평가 역시 본격적으로 이루어질 것으로 전망된다.⁵⁾

② 영국

지난 2003년 4월 찰스 황태자가 나노기술이 가져올 수 있는 재앙에 대한 우려를 표시한 이후, 영국 내에서도 나노기술의 긍정적 측면과 부정적 측면을 둘러싸고 사회적으로 논란이 크게 제기되어 왔다.

이러한 상황에서 지난 6월 초 영국 정부는 왕립협회(The Royal Society)와 왕립공학아카데미(The Royal Academy of Engineering)에 나노기술의 잠재적인 혜택과 위험을 분석해 보고하라고 지시한 바 있었는데, 이 기술영향평가 작업은 캠브리지대학 기계공학과 앤 도울링(Ann Dowling) 교수가 이끄는 연구팀에 의해 이루어져, 그 결과가 2004년 7월에 발표되었다. 이 기술영향평가 과정에는 통계적 의견조사, 포커스 그룹(focus group)⁶⁾ 등의 연구

5) 미국은 현재 나노기술과 관련된 사회적 이슈들에 대한 연구에 꽤 많은 지원을 하고 있다. 이에 대한 전반적인 내용은 Roco(2003)를 참고할 것.

6) 포커스 그룹이란 피상적인 여론조사와는 달리 사람들이 가지고 있는 정보나 인식을 심층적으로 파악할 목적으로 10명 안팎으로 소그룹을 구성한 다음, 특정 이슈에 대해 참여자들 사이의 상호작용을 극대화한 상태에서 참여자들의 인식이나 선호를 도출하고자 한다. 자세한 내용은 윤미은·김두환(2002) 참고.

방법이 포함되었고, 영향평가 과정에 관련 전문가만이 아니라 일반시민들도 부분적으로 참여하였다.

이 보고서에서 연구팀은 전반적인 나노기술개발 현황과 개요를 소개하고 나노기술이 환경, 건강, 안전, 윤리, 사회에 미치는 영향을 진단한 다음 영국 정부에 21개의 권고안을 제시하고 있다. 보고서는 전반적으로 볼 때 나노기술은 사회 전체에 유익함을 제공할 가능성을 제공하지만, 나노기술개발이 안전하고 사회적으로 수용되기 위해서는 나노기술개발에 대한 적절한 규제도 필요하다고 주장하였다. 나노기술에 환경전과정평가(life cycle assessment)를 도입할 것, 나노튜브의 영향을 연구할 다학제 연구센터를 설립할 것, 나노입자와 나노튜브에 대한 환경영향이 확실해질 때까지는 이들의 배출을 최대한 억제할 것, 나노기술의 사회 윤리적 문제에 대한 연구를 지원할 것, 나노기술에 대한 일반시민들의 의식조사를 실시하고, 나노기술에 대한 공공토론(public dialogue)을 진행시킬 것 등은 보고서가 제시한 21개 권고안 중의 몇 가지 예이다(The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004).

③ 독일

독일 연방 의회 산하 기술영향평가 기구인 기술영향평가국(TAB: Technology Assessment Bureau, www.tab.fzk.de)에서도 헤르베르트 파셴(Herbert Paschen) 박사를 책임자로 하여 2001년 11월부터 2003년 4월까지 나노기술의 현황, 가능성, 그리고 사회적 영향 등을 연구하였다. 이 연구에서는 나노기술의 발전 전망, 나노기술의 바람직한 적용을 촉진하는 데 요구되는 조건들, 나노기술 발전에 대한 사회적 수요, 나노기술의 잠재력을 발전시키기 위해 요구되는 독일의 교육 및 연구시스템의 개혁방향, 나노기술의 사회적, 환경적, 그리고 신체적 위험, 나노기술의 군사적 적용가능성 및 이러한 군사적 적용이 국제안보체계와 군비통제노력에 미칠 영향, 나노기술이 지속가능한 발전에 기여할 가능성 등을 검토하였다고 한다.

④ 네덜란드

네덜란드의 대표적인 기술영향평가 기관인 라테나우연구소(Rathenau Institute)에서는 2003-2004년 기술영향평가 사업 중의 하나로 나노기술을 선정하여, 나노기술의 현황, 발전전망, 그리고 사회적·환경적 함의에 대해 연구를 진행하고 있는 중이다.

⑤ NGO

정부나 의회뿐만 아니라 환경단체를 비롯한 NGO들도 근래 들어 나노기술 영향평가를 시도하고 있다. 가장 먼저 캐나다에 본부를 두고 있는 환경단체 ETC Group이 나노기술의 영향에 대한 비판적 평가서를 발표하였다. 이들은 2003년 1월에 "The Big Down"이라는 보고서를 출간하여 나노기술의 발전 동향과 그것이 산업, 기술, 그리고 사회에 미칠 영향을 분석하였는데, 이 보고서에서 ETC Group은 "예방원칙"(precautionary principle)에 입각하여, 안전성이 입증될 때까지 전 세계적으로 나노입자의 생산을 금지해야 한다고 주장하였다(The ETC Group, 2003).⁷⁾

또한 생태주의를 표방하는 대표적인 잡지인 <The Ecologist> 2003년 5월 호도 나노기술을 특집으로 다루면서 나노기술의 발전 동향과 나노기술이 사회와 생태계에 가져올 수 있는 위험성을 집중적으로 소개하였다. 이들 역시 일반시민대중이 이처럼 사회적, 생태적으로 커다란 영향을 미치게 될 신기술의 개발에 대한 정책결정과정에 참여할 수 있어야 함을 주장하였다(The

7) "예방원칙"이란 확실한 과학적 증거나 정보가 미약할지라도 만약 최악의 시나리오를 예상할 수 있다면 이를 회피하기 위한 적극적 조치를 취해야 한다는 원칙을 말한다. 이 "예방원칙"은 유럽과 미국에서의 GMO에 대한 규제 여부를 둘러싸고 벌어졌던 규제논쟁 과정에서 널리 알려졌다. 당시 GMO를 규제해야 한다고 보는 입장에서는, 비록 GMO가 전적으로 위험하다고 하는 과학적 증거는 없다고 하더라도 역으로 GMO가 충분히 안전하다고 하는 증거도 없는 상태에서는 GMO가 잠재적으로 커다란 재앙을 초래할 가능성도 배제할 수 없기 때문에 이것의 안전성이 입증될 때까지는 "예방원칙"에 입각하여 GMO 재배를 일시중지하자고 주장하였다. 허남혁(2000) 참고.

Ecologist, 2003).

한편 세계적인 환경단체인 그린피스(Greenpeace) 역시 2003년 7월에 나노 기술이 인간사회와 생태계에 미칠 영향을 분석한 보고서를 “미래의 기술들, 오늘의 선택”이라는 이름으로 발간하였다. 그린피스는 이 보고서에서 나노 기술이 가지고 있는 긍정적인 잠재력도 분명히 인정하지만, 부정적 잠재력이 발현될 가능성에 더 주의를 기울이고 있다(Arnall, 2003).

NGO들의 나노기술 영향평가는 비록 나노기술이 갖는 긍정적인 측면을 전혀 무시하고 있는 것은 아니지만, 정부와는 달리 나노기술에 대해 대체적으로 매우 비판적인 자세를 견지하고 있다. 그러나 전반적으로 볼 때 정부 측이나 NGO측의 기술영향평가가 체계적인 조사에 기반을 두고 있는 것은 아니고 아직은 시론적인 수준에 머무르고 있다고 평가할 수 있겠다.

2) 나노기술의 사회적 쟁점들

앞에서 살펴본 나노기술 영향평가의 결과들은 나노기술을 둘러싸고 다양한 쟁점들이 형성되어 있음을 보여준다. 여기에서는 이러한 다양한 쟁점들을 환경 관련 쟁점, 인체 관련 쟁점, 그리고 사회 관련 쟁점으로 세분해 살펴보고자 한다.⁸⁾

① 환경 관련 쟁점

나노기술이 자연환경에 어떠한 영향을 미치게 될 것인가에 대해서 현재 상반되는 주장이 대립하고 있다. 긍정적인 영향을 강조하는 쪽과 부정적인 영향을 우려하는 쪽이 팽팽하게 맞서고 있는 것이다. 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.⁹⁾

8) 여기에서 잠깐 ‘사회적’이라는 용어와 ‘사회 관련’이라는 용어의 차이에 대해 언급해 두고자 한다. 나노기술을 둘러싼 사회적 쟁점이라고 할 때, ‘사회적’은 ‘사회내의’(societal)라는 의미이다. 이에 비해 사회 관련 쟁점이라고 할 때 ‘사회 관련’이란 ‘사회적 차원의’(social)라는 뜻을 나타낸다.

9) 나노기술이 자연환경에 미치는 영향을 둘러싼 쟁점에 대해서는 특별히 출처를 밝

나노기술이 자연환경에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 보는 입장에서는 나노 수준의 물질 제조는 자원효율을 증가시키고, 폐기물과 오염 물질의 배출을 줄여줌으로써 환경적 편익을 증대시킨다고 주장한다(Drexler & Peterson, 1995; Mulhall, 2004). 다시 말해, 나노기술은 기존에 존재하지 않던 신 물질을 만들어내는 것뿐만 아니라 기존에 존재하던 물질을 나노 수준에서 통제하고 재형성할 수 있기 때문에 자동차나 항공기를 비롯하여 가전제품에 이르기까지 활용되는 각종 소모성 부품에 열과 마모 등에 대한 내구성 향상과 자기수복성 부여를 통해 일상적으로 소모되는 자원을 절약할 수 있다는 것이다. 또한 부품소모로 인한 제품의 성능저하를 방지함으로써 상품주기를 향상시키는 효과도 가져올 수 있다고 한다. 아울러 나노기술을 폐기물 처리에 활용할 경우 폐기물 배출공정에 청정기술을 도입함으로써 기존의 기술로는 분해 혹은 정화하기 어려웠던 환경오염원을 제거할 수 있다고 한다. 즉, 나노 수준의 필터나 분자 막 등을 이용하여 미세오염물질의 환경유입을 원천적으로 차단할 수 있다는 것이다.

그러나 이에 대해 나노기술과 같이 검증되지 않은 새로운 기술의 탄생은 환경 위해성을 잠재적으로 내포하며, 인간의 오감으로 식별할 수 없는 초미세 인공물질 등의 출현으로 인해 통제 불능의 상황이 발생할 수도 있다는 반론도 강력하게 제기되고 있다. 즉 나노입자, 나노물질, 혹은 나노소자 등의 나노기술은 잔류성 유기오염물질(POPs: Persistent Organic Pollutants)처럼 생물학적으로 분해되지 않거나 분해되기 어려운 새로운 오염물질이 될 수 있다는 것이다. 나노기술의 환경 위해성에 대한 가장 극단적인 전망은 아마도 에릭 드렉슬러(Eric Drexler)가 제시한 바 있는 '회색 점액질'(gray goo) 시나리오일 것이다. 드렉슬러는 1980년대 중반에 이미 스스로 자기복제를 거듭하는 '나노봇'(nanobot)이 인간의 통제를 벗어나 마치 꽃가루처럼 바람을 타고 이동하면서 주위 환경에 있는 것들을 모조리 먹어치워 지구 생

하지 않는 한 주로 기술영향평가위원회(2004)를 참고하여 정리한 것이다.

태계를 불과 며칠 만에 회색 먼지 내지 '회색 점액질'로 바뀌버릴지도 모른다는 최악의 디스토피아 시나리오를 제시한 바 있다(김명진, 2004). 이러한 '회색 점액질' 시나리오에 대해 대체로 과학계에서는 냉소적이다. 특히 1980년대 중반에 풀러렌(fullerene)을 발견하여 1996년도에 노벨 화학상을 수상한 바 있는 리처드 스몰리(Richard Smalley) 교수는 자기복제하는 나노기계는 미래학자들의 백일몽에 지나지 않는다고 하면서 드렉슬러의 주장을 정면으로 반박하고 나선 바 있다(Smalley, 2002).

② 인체 관련 쟁점

아마 현재 나노기술의 영향을 평가함에 있어 가장 쟁점이 되는 부분은 과연 나노기술이 우리 인간의 몸에 어떠한 영향을 끼치게 될 것인가의 문제일 것이다.

나노기술이 인체에 긍정적인 영향을 미치게 될 것이라고 전망하는 사람들은 대체로 나노기술개발과 관련된 과학자들인데, 이들은 주로 나노 로봇의 의료적 이용에 큰 기대를 걸고 있다. 대표적으로 드렉슬러는 의료용 나노 로봇이 인체 내부에서 이동하면서 바이러스와 암세포를 파괴하고 손상된 인체구조를 치료하며, 두뇌에 쌓인 노폐물을 제거하고 신체를 젊고 건강한 상태로 되돌릴 수 있을 것이라고 주장한다(Drexler, 2002).¹⁰⁾ 어떤 이들은 한 걸음 더 나아가 나노기술이 질병 치료와 노화 방지뿐만 아니라 인간의 신체적 능력을 높이는 데도 활용될 수 있을 것이라고 예측한다. 즉 나노기술로 인해 인간의 신체는 믿을 수 없을 정도로 향상되어 인간은 부러지지 않는 뼈, 독수리와 같은 시력, 경찰견과 같은 예민한 후각을 갖게 된다는 것이다(Wood, Jones, & Geldart, 2003).

10) 이러한 드렉슬러의 전망은 1996년에 개봉되었던 영화 <환상여행>(Fantastic Voyage)와 유사하다. 영화 <환상여행>에서는 대담한 의사팀과 첨단기술의 잠수정이 아주 작은 크기로 축소되어 환자의 혈관 속으로 들어간 뒤, 혈류를 따라 여행하며 환자의 뇌에서 생명을 위협하는 혈전을 제거한다.

반면 인체에 대한 나노기술의 부정적 영향에 대해서는 특히 환경단체들이 많이 문제제기를 하고 있는 상황이다. 환경단체들은 주로 나노입자로 구성된 물질이 인체 내에 삼입되거나 이식 혹은 무의식중에 흡입되는 경우 나타날 수 있는 부작용들을 우려하고 있다. 예컨대 나노물질이 환경에 널리 퍼질 경우, 유해한 성분들(농약이나 PCB 등)과 결합하여 인간에게 투과될 가능성이 있다는 것이다. 나노입자들이 살아있는 세포를 관통하여 동물기관(organs)에 축적될 수 있기 때문이다(The ETC Group, 2003).

한편, 나노기술의 인체 유해성을 이야기할 때 가장 많이 거론되는 것이 바로 나노물질의 독성 문제이다. 물질이 나노미터 수준으로 작아지면 거시 세계에서는 볼 수 없는 특이한 물리 화학적 성질이 나타나는데, 나노물질의 경우 독성이 관찰된다는 연구결과들이 잇따라 제출된 바 있다. 2003년 3월에 미국화학회에서 일부 과학자들은 탄소나노튜브가 동물에 대해 독성을 보였다고 발표하였다. 과학자들이 탄소나노튜브를 용액 형태로 쥐의 폐 조직에 주입하고 90일 동안 관찰한 결과 나노튜브는 시간이 지날수록 폐 속에서 서로 뭉쳤고, 결국 폐 조직을 손상시켰다는 것이다. 듀폰사 연구팀도 비슷한 실험을 한 결과, 폐에서 나노튜브가 응집하면서 기관지 튜브를 막아서 쥐가 질식사했다고 한다. 또한 미국 로체스터대 쿨터 오베르되스터 교수는 입자가 작을수록 흡입하면 치명적일 수 있음을 보여주었다. 그에 따르면, 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)이란 물질로 만든 지름 20nm의 나노입자를 쥐에게 15분 동안 호흡하게 한 결과 대부분 4시간 이내에 죽었다. 반면 130nm 크기로 입자를 만들어 흡입시켰을 때에는 쥐가 죽지 않았다(신동호, 2003). 이러한 사례들은 모두가 마이크로미터 이상의 크기에서는 별다른 독성을 보이지 않던 물질이 나노미터 크기로 작아짐에 따라 전에 없던 독성이 새롭게 발현함을 보여주었다는 점에서 나노물질의 독성 문제에 사람들의 관심을 불러일으켰다.

그러나 이상과 같은 동물실험 결과들에도 불구하고, 아직은 나노물질이 인체 내에 삼입되거나 이식될 경우 어떤 일이 발생할 것인가에 대해서는 정

확히 알려진 바 없다. 따라서 실제적으로는 나노기술을 이용한 화장품이나 선크림 등이 시장에서 널리 유통되고 있지만, 이러한 제품들이 과연 인체에 유해한지의 여부를 판단할 능력이 없는 현실이 더욱 큰 문제인 것이다. 이처럼 나노기술이 갖고 있는 불확실성 문제는 당연히 나노기술에 대한 규제 논란으로 이어지고 있다(Wood, Jones, & Geldart, 2003). 나노기술개발에 종사하는 대부분의 과학기술자들은 아직 나노기술이 인체에 해로운 영향을 미친다는 직접적인 증거는 존재하지 않으므로 나노기술개발에 대한 규제는 불필요하거나 아니면 최소한으로 그쳐야 한다는 입장이다.¹¹⁾ 반면에 ETC Group과 같은 환경단체는 나노기술의 유해성 여부가 알려질 때까지 나노기술개발을 일시 중지(‘모라토리움’)하자고 제안하고 있다(The ETC Group, 2003). 나노기술에 대한 논쟁적인 비판자인 빌 조이는 여기서 한걸음 더 나아가 아예 나노기술개발 자체를 ‘포기’하자고 제안한 바 있다(Joy, 2000).

③ 사회 관련 쟁점

나노기술은 현재 사회적 차원에서도 많은 쟁점들을 낳고 있다. 사회적 차원과 관련된 다양한 쟁점들 중에서 여기에서는 나노불평등 문제, 인권문제, 군사적 이용의 문제에 집중하고자 한다. 이러한 사회 관련 쟁점들은 주로 환경단체, 시민사회단체들에 의해 제기되어 왔다.¹²⁾

먼저 나노불평등(nano-divide) 문제를 살펴보자.¹³⁾ 나노불평등은 나라들

11) 드렉슬러가 이끄는 ‘미래예측연구소’(The Foresight Institute, www.foresight.org)에는 나노기술 분야에 종사하는 과학기술자들이 다수 참여하고 있는데, 이 연구소에서는 나노기술 개발 시 준수해야 할 기본 가이드라인을 발표하였다. 이는 과학기술자들 집단의 자율규제(self-regulation)로, 봉쇄를 통한 자기복제의 방지, 환경영향평가의 실시 등을 주 내용으로 하고 있다. 수 매이어는 나노기술개발에 대한 이러한 자율규제 전략이 GMO 연구가 시작되었을 때 과학기술계에서 취했던 자율규제 전략과 매우 유사함을 지적하고 있다. Mayer(2002) 참고할 것.

12) 나노기술개발과 관련되어 있는 과학기술자 집단 내에서 아직 이러한 사회적 쟁점들에 대해 뚜렷한 입장을 밝히고 있는 경우는 찾기 어렵다. 다만, 이들은 나노기술개발의 사회적 정당성을 나노기술이 국가경쟁력과 시민들의 삶의 질 향상에 필수불가결하다는 점에서 찾는 경향이 있다.

사이에서, 그리고 한 나라 내부에서 나노기술로 인해 불평등이 심화되는 현상을 가리키는 말이다. 나라들 사이에서의 나노불평등은, 향후 국가의 기술 경쟁력과 직결될 나노기술 개발능력이 뛰어난 선진국과 그렇지 못한 후진국 사이의 빈부 격차가 지금보다 더욱 커지게 되는 것을 의미한다. 특히 향후 제품과 서비스의 경쟁력이 나노기술의 성과들을 얼마나 잘 활용했느냐에 의해 결정될 경우, 선진국과 후진국 사이의 격차는 지금보다 훨씬 더 커질 수밖에 없을 것이다. 한 나라 내부에서의 나노불평등은 나노기술을 활용한 제품과 서비스를 구매할 능력이 있는 부자와 그렇지 못한 가난한 자들 사이의 불평등이 더욱 확대되는 현상을 의미한다. 예컨대 의료 분야에서 나노기술을 이용한 새로운 치료법이 등장하였지만 그것에 대한 구매비용이 매우 높을 경우, 지불능력이 있는 자들은 그러한 신기술과 신치료법을 적극적으로 향유할 수 있지만 지불능력이 없는 자들은 여기에서 소외될 수밖에 없어 이들 간의 격차는 더욱 커지게 되는 것이다. 생명공학의 경우에서처럼, 대기업에 의해 개발된 나노 관련 신기술과 신치료법 등이 특허나 지적 재산권 등에 의해 배타적으로 전유될 경우 부자와 빈자 사이의 이러한 나노불평등은 더욱 커질 수밖에 없을 것이다(The ETC Group, 2003; Arnall, 2003).

나노불평등 문제 못지않게 또한 관심을 불러일으키고 있는 쟁점은 나노기술이 시민적 권리, 인권에 어떠한 영향을 미치게 될 것인가의 문제이다(The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004). 나노기술은 기본적으로 작고 값싸고 오래 지속되는 센서와 같은 감지기구들이 등장할 수 있는 기술적 기반이 된다. 특히 나노기술과 정보기술이 융합됨에 따라 원격 감지기구의 복잡한 네트워크가 컴퓨터와 연동될 수 있다. 이처럼 아주 작아진 감지기구들은 개인이나 집단에 대한 은밀한 감시도구로 활용됨으로써 이들의 프라이버시를 침해할 수 있다. 나노기술을 이용한 바이오센서와 칩들이 일상적 삶의 전 영역에서 경제와 사회의 모든 측면들을 감시할 수

13) 'nano-divide'라는 표현은 원래 정보의 불평등을 나타내기 위해 미 상무성이 개발한 'digital divide'라는 용어에서 따온 것이다.

있게 되는 것이다(The ETC Group, 2003). 이처럼 거의 눈에 보이지도 않는 초소형 전화기, 카메라, 그리고 위치추적 도구가 널리 활용된다면 과연 개인의 프라이버시는 어떻게 보호될 수 있겠는가?(Mnyusiwalla, Daar & Singer, 2003).

한편, 나노기술의 군사적 이용 문제에 대해서도 많은 우려들이 제기되고 있다. 현재 나노기술개발을 선도하고 있는 미국의 정부 기관들 중 국방성은 국립과학재단 다음으로 나노기술개발에 많은 예산이 투입되고 있다. 이는 나노기술개발이 군사적 목적과 매우 밀접하게 연결되어 있음을 말해주는 것이다. 예컨대 미 육군으로부터 5000만 달러의 연구비를 받고 신소재를 연구하고 있는 미국 MIT의 군사나노기술연구소(US Institute for Soldier Nanotechnologies)에서는 현재 군인들을 적과 거친 환경으로부터 보호하고 전투 수행능력을 증대시킬 수 있도록 나노기술에 기반을 둔 21세기형 첨단 고기능 군복을 개발하고 있다고 한다. 현재 이곳에서는 나노기술을 응용하여 20 피트 높이의 벽을 뛰어넘을 수 있고, 초인적인 인공 손발로 싸울 수 있는 미래의 군인상을 개발하고 있으며, 또한 자신을 안보이게 만들 수 있음과 동시에 자동으로 응급처치를 가능케 하는 군복도 개발하고 있다고 한다(The Ecologist, 2003). 아울러 나노기술에 기반을 둔 첨단 감지도구의 개발 역시 군대의 작전능력을 향상시킬 수 있다.

비록 일부에서 주장하는 자기 복제하는 나노 로봇 병사의 출현 시나리오는 아직 지나치게 공상적이라고 하더라도, 나노기술의 군사적 활용은 많은 사회적 논란을 불러일으키고 있다. 군사적 목적으로 나노기술을 이용하여 생물학적, 화학적 성분들을 조작하게 되면 감지하거나 제압하기 거의 불가능한 완전히 새로운 위험 상황이 발생할 수 있고, 이는 군인뿐만 아니라 민간인에게도 치명적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 다시 말해 나노기술은 대량 살상과 파괴를 위한 새로운 무기를 만들어내는 데 이용될 수 있는 것이다(Altmann & Gubrud, 2002). 나노기술의 이러한 군사적 이용 가능성은 결국 나라들 사이에 새로운 형태의 군비경쟁을 야기할 가능성을 높여주고

있음도 지적되고 있다(Arnall, 2003). 또한 나노기술의 군사적 이용 가능성의 증대는 나노기술개발에 관련된 과학기술자 공동체에 개방적인 동료심사의 관행을 질식시키고 비밀주의를 만연케 할 것이라는 우려를 자아내고 있기도 하다(The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004).¹⁴⁾

우리는 지금까지 나노기술을 둘러싼 다양하게 제기되는 사회적 쟁점들을 환경 관련 쟁점, 인체 관련 쟁점, 그리고 사회 관련 쟁점들로 나누어 살펴봐 왔다. 지금까지의 논의를 요약하면 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 나노기술을 둘러싼 사회적 쟁점 요약

| 쟁점 | 낙관론 | 비관론 |
|-------|------------------------------------|---|
| 환경 관련 | - 나노기술은 지구 환경문제 해결에 기여 | - 나노기술은 새로운 오염물질의 원천 - '회색 점액질'의 문제 |
| 인체 관련 | - 나노 로봇에 의한 질병 정복 - 인간의 신체능력 향상 | - 나노물질의 독성 창출 가능성 강조 |
| 사회 관련 | - 국가경쟁력, 삶의 질 향상 | - 나노불평등 심화 - 프라이버시침해 등 인권유린 - 나노기술의 대량살상무기화 |
| 제 관련 | - 과학기술자들의 자율규제 | - 기술개발 일시중지(모라토리움), 또는 항구적인 폐기 |

4. 맺음말

한 예측에 따르면 앞으로 불과 2-3년 이내에 나노기술은 생명공학보다 더 많은 관심과 논란을 불러일으킬 것이고, 2010년까지는 산업경제의 거의 모

14) 이와 관련하여 빌 조이 역시 나노기술은 기본적으로 건설적인 용도보다는 파괴적인 용도로 쓰일 가능성이 훨씬 높다고 보고, 특히 군사적 목적이나 테러 행위를 위해 악용될 수 있음을 강력하게 경고하고 있다(Joy, 2002).

든 부문에서 수익성을 좌우하는 결정 요인이 될 것이며, 2015년 정도가 되면 나노기술을 통제하는 자들이 세계 경제를 지배하는 세력이 될 것이라고 한다(The ETC Group, 2003). 이 예측이 얼마나 정확하게 들어맞을지는 모르지만, 적어도 앞으로 나노기술이 사회적으로, 경제적으로 매우 중요한 역할을 하게 될 것이라는 점만큼은 사실이라고 판단된다.

그러나 문제는 엄청나게 빠른 속도로 발전하고 있는 나노기술에 비해 지금까지 나노기술의 사회적 함의에 대한 연구는 별로 이루어지고 있지 않다는 사실이다. 즉 나노기술의 연구개발과 나노기술에 대한 사회학적 연구 사이에는 커다란 격차(gap)이 존재하고 있는 것이다(Mnyusiwalla, Daar & Singer, 2003). 나노기술이 정보기술이나 생명공학만큼이나 사회에 미치게 될 영향이 클 것으로 예상된다는 점을 감안한다면 이러한 격차는 심각한 문제가 아닐 수 없다. 이 글은 바로 이러한 격차를 메우려는 작은 시도에 불과하다. 지금까지 우리는 최근 나노기술을 둘러싸고 제기되었던 다양한 사회적 쟁점들을 검토해 봄으로써 나노기술에 대한 매우 상이한 시각들과 입장들이 공존하고 있음을 알게 되었다. 그러나 이러한 상이한 시각과 입장들도 불구하고 한 가지 분명한 것은, 나노기술은 어쨌든 사회에 엄청난 영향을 미치게 될 것이라는 점이었다.

따라서 향후 나노기술이 사회구성원들이 느끼기에 보다 안전하고 바람직한 방향으로 발전하기 위해서는 나노기술개발을 그냥 시장의 논리에만 맡겨둘 것이 아니라, 나노기술의 발전과정에 일정한 정책적 개입을 하는 것이 필요하다고 판단된다. 정책적 개입의 구체적 내용에 대해서는 또 다른 연구가 필요할 것이므로 여기에서는 정책적 개입의 몇 가지 기본 원칙만을 제시하는 것으로 결론에 대신하고자 한다. 먼저 나노기술을 본격적으로 개발하기에 앞서 과연 개발하려고 하는 나노기술이 인간과 사회, 그리고 자연환경에 어떠한 영향을 미치게 될 것인가를 보다 체계적으로 분석하는 기술영향평가 작업을 수행하고, 그 결과를 기술기획과 기술개발과정에 반영시킴으로써 나노기술의 개발이 인간과 사회, 자연환경에 부정적인 영향을 미치지 않

도록 유의해야 한다.¹⁵⁾ 그런데 한 가지 강조하고 싶은 것은, 이러한 기술영향평가를 수행함에 있어서 기술 관련 전문가와 인문사회과학 전문가뿐만 아니라 시민단체, 그리고 일반 시민들의 목소리도 충분히 들을 수 있는 장치를 강구해야 한다는 점이다. 앞에서 소개한 바 있는, 최근 영국에서 행한 기술영향평가는 이러한 점에서 비교적 모범적이라고 할 수 있다. 또한 최근 나노기술을 둘러싸고 제기되는 논란 중에서 가장 심각한 것은 나노기술이 인체에 미치는 영향이므로 나노기술의 인체 유해성(안전성) 여부를 평가할 수 있는 나노 안전성 평가기술개발에도 많은 투자가 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다. 아울러 최근 나노 열풍이 불면서 나노기술을 기존의 제품에 다양한 형태로 응용(예컨대 나노샴푸, 나노화장품, 나노선크림 등)하고자 하는 움직임이 거세어지고 있는데, '예방원칙'에 입각하여 나노기술의 안전성이 확실하게 입증되기 전까지는 이러한 나노기술의 상품화를 중지시킴으로써 개발자와 사업자들이 나노기술개발과 응용에 있어 안전성 확보를 최우선의 가치로 삼도록 유도해야 할 것이다.

15) 우리나라에서도 2003년 하반기에 KISTEP의 주관으로 나노-바이오-정보 융합기술(NBIT)을 대상으로 한 기술영향평가가 실시되었다. 이것은 한편으로는 우리나라에서 기술영향평가라는 이름으로 구체적인 기술을 대상으로 수행한 최초의 시도라는 점에서 의미 있는 성과라고 할 수 있지만, 다른 한편으로는 기술영향평가에 주어진 시간이 너무 짧았고, 평가위원들이 전문가들로만 구성되었으며, 영향평가 주관기관이 과학기술부의 영향력 아래 있는 KISTEP이었던 관계로 평가의 공정성 시비를 불러일으키기도 했다는 점에서 한계를 지니는 것이었다.

□ 참고 문헌 □

- 기술영향평가위원회 (2004), 「2003 기술영향평가보고서(안)」, 한국과학기술 기획평가원.
- 김동광 (2003), 「생명공학과 시민참여에 관한 연구: 재조합 DNA 논쟁 사례를 중심으로」, 고려대 박사학위논문.
- 김명진 (2004), 「나노기술, 꿈인가 악몽인가?」, 「창비 웹매거진」, 6월호.
- 신동호 (2003), 「나노의 반란? 나노튜브 동물실험에서 독성 확인」, 『과학동아』, 4월호.
- 이인식 (2002), 「나노 시대가 온다」, 이인식 편 (2002), 「나노기술이 미래를 바꾼다」, 김영사.
- 이영희 (2000), 「과학기술의 사회학」, 한울아카데미.
- 윤미은·김두환 (2002), 「포커스 그룹」, 참여연대 시민과학센터 편, 「과학기술·환경·시민참여」, 한울아카데미.
- 허남혁 (2000), 「유전자 조작을 둘러싼 담론」, 권영근 편, 「위험한 미래」, 당대.
- 현택환 (2002), 「거대한 나노기술: 나노기술 개요」, 이인식 편, 「나노기술이 미래를 바꾼다」, 김영사.
- Altmann, J. & M. Gubrud (2002), "Risks from Military Uses of Nanotechnology", Roco, M. & R. Tomellini eds., *Nanotechnology: Revolutionary Opportunities and Societal Implications*, 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology.
- Arnall, A. (2003), *Future Technologies, Today's Choices: Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics*, Greenpeace Environmental Trust.
- Drexler, E. & C. Peterson, 한정환 외 역 (1995)[1991], 「나노 테크노피아」,

세종서적.

Drexler, E. (2002)[2001], 「나노 비전/기계 단계의 나노테크」, 박성근 편역,
「작은 나노의 큰 세상」, 과학과 문화.

Joy, B. (2002)[2000], 「왜 우리는 미래에 필요 없는 존재가 될 것인가」, 이
인식 편, 「나노기술이 미래를 바꾼다」, 김영사.

Mayer, S. (2002), "From Genetic Modification to Nanotechnology: The
Dangers of 'Sound-Science'", Gilland, T. et al. eds., *Science: Can
We Trust the Experts?*, Hodder & Stoughton.

Mnyusiwalla, A., Daar, A. & P. Singer (2003), "'Mind the Gap': Science
and Ethics in Nanotechnology", *Nanotechnology*, 14.

Mulhall, D., 노용한 역 (2004)[2002], 「분자혁명과 준비된 미래」, 한티미디
어.

Ratner, M. & D. Ratner, 김희봉 역 (2004)[2003], 「미래를 위한 기술, 나노테
크놀로지」, 야스미디어.

Roco, M. & R. Tomellini eds. (2002), *Nanotechnology: Revolutionary
Opportunities and Societal Implications*, 3rd Joint EC-NSF
Workshop on Nanotechnology.

Roco, M. & W. Bainbridge eds. (2001), *Societal Implications of Nanoscience
and Nanotechnology: NSET Workshop Report*, National Science
Foundation.

Roco, M. (2003), "Broader Societal Issues of Nanotechnology", *Journal of
Nanoparticle Research*, 5.

Smalley, R. (2002)[2001], 「나노 오류/화학, 사랑, 그리고 나노봇」, 박성근
편역, 「작은 나노의 큰 세상」, 과학과 문화.

The Ecologist (2003), "Special Report: Nanotechnology", *The Ecologist*, May.

The ETC Group (2003), *The Big Down: From Genomics to Atoms*, The ETC Group.

The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004), *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunitites and Uncertainties*, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering.

Wood, S., Jones, R. & A. Geldart (2003), *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology*, ESRC.

A Study on the Social Issues of Nanotechnology

Lee, Young-Hee

ABSTRACT

Nanotechnology is a rapidly expanding field, focused on the creation of functional materials, devices, and systems through the control of matter on the nanometer scale. Recently many countries including Korea are rushing into promoting research and development of nanotechnology. Because the nanoscale is not just another step toward miniaturization, but a qualitatively new scale, progress in nanotechnology will have very far-reaching social, ethical, and environmental impacts.

This paper aims to examine social issues and implications of nanotechnology development. To do so, this paper divides the issues around nanotechnology into several sub-issues: environmental, health-related, and societal issues. And then this paper reviews the debates and disputes around those sub-issues. Based on this review, this paper proposes some policy recommendation.

Key terms:

nanotechnology, technology assessment, social implications of nanotechnology