

은이온 은나노 만들기: 은나노 세탁기를 둘러싼 나노의 정의와 위험 및 규제 관련 논쟁의 분석, 2006-2012[†]

유 상 운*

2003년 출시된 은나노 세탁기는 초기에 나노기술이 접목된 가전제품으로서 큰 관심을 끌었으나, 이후에는 은나노 없는 은나노 세탁기라는 조롱을 받기도 했다. 나노기술의 규제와 관련하여 미국 환경보호청 역시도 일관되지 않은 모습을 보였다. 이처럼 나노기술에 대한 규제 문제와 나노물질의 범주 설정 문제는 서로 결부된 모습을 보였는데, 본 논문은 은나노 세탁기를 둘러싼 논쟁들을 보다 구체적으로 분석하면서 은이온과 은나노의 경계가 해당 물질에 대한 위험인식과 어떻게 상호작용하며 변화했는지를 추적할 것이다. 논쟁의 초기에 두 물질 간의 경계는 한국과 미국의 맥락에 따라 서로 다른 형태의 위험인식을 거치면서 뚜렷해졌다. 하지만 미국의 환경 단체들은 은나노 물질에 대한 위험인식을 바탕으로 은나노 물질에 대한 새로운 정의를 제안했고, 미국의 환경보호청과 한국의 환경부가 나노물질을 분류하는 기준이 변화하기 시작했다. 본 논문은 은나노 세탁기를 둘러싼 최근의 역사에 대한 분석을 통하여 단순히 은이온과 은나노라는 물질의 정의가 사회적으로 구성되었다는 점을 확인하는데 그치지 않고, 특정 물질에 대한 위험인식이 그 물질에 관한 존재론적 논의에 어떤 방식으로 영향을 끼칠 수 있는지를 면밀히 살펴보고자 한다.

[주제어] 은이온, 은나노, 위험인식, 규제정책

† 이 글은 서울대학교에서 2012년 가을에 개설된 <과학기술과 문화연구> 수업에서 작성된 논문을 수정 및 보완한 것이다. 수정 및 보완의 단계에서 면밀한 검토를 해 주신 홍성욱 교수님께 깊이 감사드린다. 또한 연구 과정에서 조언을 해주신 김연화, 윤선희, 장하원 학생께도 감사드린다. 그리고 한국과학기술학회 학술대회에서 조언을 해주신 김기홍 교수님, 이상욱 교수님께도 감사드린다. 마지막으로 본 논문에 대해 의미 있는 논평을 남겨주신 세 분의 심사위원께도 감사드린다. 본 문에 여전히 남아 있는 부족한 부분들에 대한 책임은 전적으로 필자에게 있다.

* 서울대학교 자연과학대학 과학사 및 과학철학 협동과정 박사과정

전자우편: sangwoon.yoo@gmail.com

1. 문제 제기

나노기술은 2000년대에 들어 냉장고, 에어컨, 공기 청정기 등의 가전 용품뿐 아니라 화장품, 건축자재에 이르기까지 이전에 비해 그 적용 범위가 폭넓게 확장되었다(한국 경제, 2003. 2. 21; 한겨레, 2003. 10. 16). 이러한 분위기 속에서 삼성은 2003년 이른바 은나노 세탁기를 출시했고, 이에 대해 당시 삼성의 한 전무는 “국내 최초로 은나노 기술을 적용한 은살균 세탁기를 출시함으로써 녹색가전 확대에 대한 삼성전자의 의지를 확인시켰으며 앞으로도 고객의 건강 및 환경을 중시하는 제품을 지속적으로 선보일 예정”이라 밝혔다(전자신문, 2003. 4. 15). 이처럼 은나노 세탁기는 2000년대의 나노기술에 관한 장밋빛 전망과 맞물려, 제품의 기능뿐 아니라 소비자의 건강과 환경까지 책임지는 가전 제품, 즉 ‘녹색가전’을 상징하는 하나의 표상이 되었다.

그러나 2006년 11월 미국 환경보호청의 발표는 은나노 세탁기의 열풍에 제동을 걸었다. 미 환경보호청은 은나노 세탁기를 포함하여 은나노 기술을 사용하는 업체들로 하여금 자연에 무해하다는 것을 뒷받침할만한 과학적인 증거를 제출하도록 요구했고(Kinney, 2006), 이는 곧 은나노 기술의 위험성 여부에 관한 논쟁과 더불어 나노물질의 정의 문제로까지 이어졌다. 2007년 미 환경보호청은 동일한 세탁기 제품에 대해 은나노라는 용어를 사용했던 1년 전과 달리, “나노기술을 활용하고 있다고 볼 만한 정보가 없다.”며 해당 제품을 이온 생성기로 분류했다(EPA, 2007b). 다시 말해 미국 환경보호청은 삼성의 세탁기에 대해서 2006년에는 나노기술이 적용된 제품으로 파악한 반면, 2007년에는 나노기술이 아닌 은이온 생성 기술이 적용된 것으로 분류한 것이다. 이처럼 은나노의 위험을 평가하고 규제하는 과정에서 은나노 물질의 범주를 설정하는 작업은 반드시 선행되어야만 할 문제였다.

본 논문은 은나노 세탁기를 둘러싼 논쟁들을 분석하면서 은이온과 은나노의 구분 문제가 해당 물질에 대한 위험 인식과 어떻게 상호작용하며 변화하였는지를 추적할 것이다. 이러한 변화 과정은 특정한 하나의 국가 내에서 국한되

지 않은 채 진행되었지만, 각 국가 내에서는 당시의 맥락에 따라 독립적인 변화를 겪기도 하였다. 예를 들어 은나노 세탁기에 대한 효용성 논쟁은 한국에서만 일어난 현상으로, 이 과정을 통해 해당 제품에 사용된 은이온은 은나노와 다른 물질이라는 논의가 대중에 처음으로 드러나기 시작하였다. 그리고 이후에 이어진 은나노 물질의 위험성 논쟁에서 한국은 인체에 대한 위험성이 부각된 반면, 미국은 환경 위험성이 부각되었다. 이와 같이 서로 다른 위험 인식은 각 국가에서의 은이온과 은나노 간 경계 설정 작업에 영향을 끼쳤는데, 한국은 삼성이, 미국은 환경보호청이 결정적인 역할을 수행했다. 이후에 미국의 환경단체는 과학계의 연구 결과들을 기반으로 은나노 물질에 대한 위험 논의를 새롭게 전개해 나갔고, 이전과는 다른 방식으로 나노 물질을 정의할 것을 제안했다. 이와 같은 위험 인식과 은나노 정의 문제를 둘러싼 논쟁은 미국의 경우 제도적 차원에서 새로운 나노물질 구분 기준이 적용되는 것으로 이어졌고, 한국 역시 나노물질을 정의하는 새로운 기준을 모색 중이다. 은나노 세탁기를 둘러싼 최근의 역사에 대한 분석은 단순히 은이온과 은나노라는 물질의 정의가 사회적으로 구성되었다는 점을 확인하는 작업으로서뿐만 아니라, 어떠한 특정 물질에 관한 위험 인식이 그 물질에 대한 존재론적인 논의와 어떤 방식으로 상호작용할 수 있는지를 면밀히 살펴보는 작업으로서 그 의의가 있을 것이다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 나노기술과 위험 인식에 관한 선행 연구들을 간략하게 검토한 후 본 논문이 이전의 논의들과 차별화되는 지점을 제시할 것이다. 3절에서는 과학계에서 통용되는 기준을 기반으로 은이온과 은나노 간의 경계를 살펴본 뒤 은나노 세탁기에 적용된 기술을 분석할 예정이다. 그리고 4절에서는 한국과 미국에서의 은나노 세탁기를 둘러싼 위험 논쟁과 이로 인해 은이온과 은나노 간의 물질 구분이 명확해지는 과정을 분석할 것이다. 5절에서는 비슷한 시기에 과학계에서 수행된 은나노 위험 관련 연구들을 살펴보고, 6절에서는 이러한 연구 결과들을 활용한 미국 환경단체의 청원, 그리고 은나노에 관한 새로운 존재론의 출현을 분석할 예정이다. 마지막 7절에서는 이러한 변화들을 정리하고, 그 함의가 무엇인지 모색할 것이다.

2. 선행 연구 및 이론적 배경

위에서 간략하게 살펴본 바와 같이 은나노 세탁기를 둘러싼 위험 논쟁에서 은나노라는 물질을 어떻게 정의하는가의 문제는 언제나 핵심적인 화두였다. 이러한 과정에 대한 보다 면밀한 분석을 위해서는 나노라는 용어가 사회적으로 어떻게 정의되고 사용되었는지, 그리고 나노기술에 관한 위험이 어떠한 기제를 통하여 인식되는지에 관한 기존의 과학기술학 연구자들이 제시한 논의들을 살펴볼 필요가 있다.

‘나노’라는 용어의 사용을 둘러싼 사회적 배경 및 그 효과에 관한 연구는 다양한 방면에서 진행되어 왔다. 최형섭과 Mody는 1950년대 이후 분자전자공학(molecular electronics) 분야가 광고 및 언론을 통해 ‘나노기술’로 표현됨으로써 해당 연구자들이 나노공정시설(nano fabrication facility)에 접근하여 연구할 수 있게 되었음을 보였다(Choi & Mody, 2009). 유사한 상황으로, 80년대 중반 MIT의 마이크로구조연구소(Microstructures Laboratory)가 나노구조연구소(Nanostructures Laboratory)로 이름을 변경했던 상황을 예로 들면서 Mody는 이러한 접두어의 변경이 관료주의적인 연구비 지원 결정 절차 아래에서 지원을 받아내기 위한 전략이었다고 보았다(Mody, 2009). 또한 Ebling은 나노라는 접두어의 사용 여부가 물질적인 차원에서의 정의와 무관하게 마케팅을 위한 전략적인 차원에 의해 결정된다고 주장하였다. 그는 나노라는 용어를 사용하는 기업들을 둘러싼 논쟁에 관한 분석을 통하여, 연구 단계에 머물러 있을 때에는 매우 다양한 형태로 존재하고 있었던 여러 미세 공정 기술들이 상업화 단계를 거치면서 나노기술이라는 하나의 범주 아래에 편입되었음을 보여주었다(Ebeling, 2008).

위와 같이 나노라는 용어 사용의 범주가 사회적으로 변화를 겪는 것과 마찬가지로, 이러한 물질들에 대한 위험 인식 역시 유사한 과정을 거친다. 이와 같은 사회적 구성은 전문인 집단에서의 논쟁(Collins, 1992)을 통해 마무리되는 것이 아니라, 비전문인 이해당사자들이 포함된 대중의 영역에서의 논쟁 과정

을 거치게 된다(Epstein, 1993; Wynne, 1996). 특히 자사노프는 대중의 영역에서 형성된 위험 인식이 전문가들에 의해 밝혀진 실제적 위험에 주관적 요소들이 개입된 결과라는 주장은 비대칭적인 관점이라 비판하면서, 전문가들의 위험 인식 역시 외부적인 요소의 영향을 받는다는 점을 보였다(Jasanoff, 1998). 즉 그녀가 제시한 위험 인식의 구성주의적 모형은 객관적인 실체로서의 위험이 아닌 사회적이고 문화적인 요인들에 의해 형성된 위험을 그려냈다. 최근 몇몇 연구자들은 나노기술에 대한 긍정적 혹은 부정적 인식에 영향을 끼치는 요소로 “문화적 인지(cultural cognition)”를 꼽으면서, “평등주의-공동체주의(egalitarian-communitarian)”적 가치를 지닐수록,¹⁾ 그리고 종교적 성향이 강할수록 나노기술에 부정적이라는 연구 결과를 발표했다(Kahan et al., 2008; Scheufele et al., 2008).

국내에서 나노기술의 위험 인식과 관련하여 이루어진 연구들은 다음과 같다. 이상욱은 정책 입안 과정에서 기술에 대한 위험인식은 위험 자체에 비해 주관적인 요소를 지닌다 여겨지지만, 이는 다수의 개인들이 공유할 수 있다는 점에서 상호주관적이고, 모든 시민의 참여가 요구되는 민주사회의 특성상 반드시 고려해야 할 대상이라 주장했다(Yi, 2010). 서정임은 나노기술과 관련하여 논의되는 위험의 영역이 확장되어야 함을 주장하였는데, 그는 해당 기술의 위험을 평가하는 과정에서 “사회윤리적 가치를 개념요소로 도입”하고, 물리적 위험과 사회윤리적 위험을 모두 포함하는 위험 개념을 바탕으로 실제 나노기술의 사례들을 분석했다. 한 예로 나노 화장품은 “나노입자의 세포 내 유입으로 인한 나노 독성”이라는 물리적 위험 요소와, “안전성 확보의 미비로 [인한] 소비자 보호 침해”라는 사회윤리적 위험 요소를 모두 지니고 있는 것으로 분

1) “평등주의-공동체주의”적 성향이 위험 인식의 방식에 영향을 끼친다고 분석한 최초의 연구는 Douglas와 Wildavsky에 의해 행해졌다. 이들에 따르면 평등주의적이고 공동체주의적인 성향이 강할수록, 규제 받지 않는 시장이 불평등의 근원이 되어 사회에 부정적 영향을 끼칠 가능성에 대해 우려한다(Douglas & Wildavsky, 1983). Kahan et al.(2008)은 나노기술에 관한 설문 조사를 통하여 이러한 경향성을 통계적으로 입증했다.

석됐다(서정임, 2013: 184).

본 논문은 나노라는 용어의 의미와 위험인식의 형성을 각각 사회적 요소들과의 상호작용을 통해 그려낸다는 점에서 위의 연구들과 유사하나, 몇 가지 중요한 차이점들이 있다. 첫 번째로는 나노기술에 관한 국내외의 기존 논문들은 두 부류, 즉 나노라는 용어의 의미 및 사용의 범주가 사회적으로 변화하는 과정을 분석하는 논의(Choi & Mody, 2009; Mody, 2009; Ebeling, 2008), 그리고 해당 기술의 위험인식을 분석하는 논의(Kahan et al., 2008; Scheufele et al., 2008; Yi, 2010; 서정임, 2013)로 분류하는 것이 가능할 정도로 두 문제는 대체적으로 분리된 채 다루어져 온 반면 이 글은 나노물질에 대한 정의 문제가 위험인식 문제와 밀접히 연결되어 유기적으로 변화해 나간다는 점을 드러내 보일 것이다. 즉 나노물질에 대한 정의 문제가 해당 물질에 대한 시민단체의 위험인식에 의해 어떻게 변화하고, 이에 대한 결과로 규제를 위한 정책문 상에서의 나노물질의 구분 기준이 어떠한 변화를 겪게 되는지를 구체적으로 살펴볼 것이다.

두 번째 차이로 본 논문은 큰 틀에서 은나노의 정의에 관한 사회적 구성을 살펴봄과 동시에, 보다 구체적으로 은나노 물질에 대한 다양한 존재론들이 각 맥락 안의 행위자들에 의해 어떻게 형성되고 변화하며 간혹 겹쳐지기도 하는지를 살펴볼 것이다. 이 글은 “물질성(materiality)과 사회성(sociality)은 함께 생산된다”는 Law와 Mol의 통찰을 받아들이고(Law & Mol, 1995), “서로 다른 질서부여의 방식들(modes of ordering)이 동시에 존재”하는 상황 속에서 발생하는 은나노라는 실재의 “다양성(multiplicity)”을 탐색하고자 한다(Law & Mol, 2002; Mol, 2002).

3. 과학계에서의 은이온, 은나노, 세포, 그리고 전기분해

과학계에서 은이온과 은나노 간의 구분은 명확하다. 은이온은 한 개의 은 원자에서 전자가 떨어져 나온 것으로, 대부분 +1의 산화수(oxidation state)를 갖

는다. 이 입자는 전기적으로 양성이며 반지름은 약 115pm로,²⁾ 일반적인 나노미터의 범주에 포함되지 않는 작은 크기이다. 은이온은 박테리아 내부에서 티올기(thiol group)를 갖는 효소의 작용을 억제하고, DNA의 복제를 막는 작용을 함으로써 박테리아를 공격한다(Feng et al., 2000; Matsumura et al., 2003).

반면 은나노 입자는 수십에서 수만 개에 해당하는 은 원자들이 하나의 알갱이로 뭉쳐진 형태를 지닌다. 은나노의 반지름의 크기는 제조 기술에 따라 차이가 있지만 일반적으로 15~500nm³⁾이다(Lindemann, 1997). 이러한 입자는 박테리아의 세포벽을 관통할 수 있는 것으로 보고되었는데(Morones et al., 2005; Sondi & Salopek-Sondi, 2004), 이로 인해 세포벽의 투과성이 증가되어 물질 교환 제어 능력을 상실하게 되고 결과적으로는 박테리아 세포의 죽음으로 이어진다(Kim et al., 2007). 한편 은나노 입자가 세포를 공격하는 기제는 은이온의 반응성과 연관되어 있는데, 이는 은나노 입자의 표면에서 은이 해리를 통해 이온화될 수 있기 때문이다. 따라서 박테리아는 은나노 입자에 의해서 은나노로 인한 효과와 은이온으로 인한 효과 모두로부터 영향을 받게 되고(Hwang et al., 2008), 이 둘의 상대적 영향력은 용액에서의 리간드(Ligand)와 산소 분자의 농도에 의해서 변화할 수 있다(Xiu et al., 2011).

은이온과 은나노는 각각의 생성 기술에서도 큰 차이를 보인다. 은이온을 생성하는 대표적인 방법은 전기 분해법으로, 전하가 존재하는 용액 안에서 은으로 만든 전극판에 전압을 걸면 전자가 반대편의 전극판을 향해 이동하면서 은이온이 용액에 방출된다. 반면, 은나노 입자를 생성하는 기술은 크게 큰 입자를 깎아내는 방법의 하향식(top-down)과 작은 입자를 불러나가는 방법의 상향식(bottom-up)으로 나뉜다(Cao & Wang, 2011). 논쟁의 중심에 있었던 은나노 세탁기의 경우 전기 분해법을 사용하였음을 밝히고 있으며, 이에 따르면 은나노가 아닌 은이온이 방출되는 것이다⁴⁾.

2) pm(피코미터)는 10^{-12} m, 즉 1조분의 1미터에 해당하는 크기로 nm(나노미터)의 1000분의 1의 크기이다.

3) nm(나노미터)는 10^{-9} m, 즉 10억분의 1미터에 해당하는 크기이다.

위에서 살펴본 바와 같이 은이온과 은나노는 화학적으로 다른 성질을 지닐 뿐 아니라 서로 다른 기술을 통하여 생성되고, 생물학적인 반응 기제 역시 다르기 때문에 각각 다른 위험 요인들을 지니고 있다. 하지만 여기에서 짚고 넘어가야 할 점은 은나노의 위험 발생 기제는 은나노 입자가 세포를 공격하는 방식과 은나노 입자에서 해리된 은이온이 세포를 공격하는 방식을 모두 포함한다는 것이다. 다시 말해, 은이온을 배출하는 세탁기의 경우 기술적으로는 분명 은나노를 배출하는 장비와 구분되지만, 세탁기가 은이온을 배출함으로써 인해 발생할 수 있는 위험 가능성들은 은나노를 배출함으로써 발생하는 위험 가능성들의 부분집합에 해당한다. 4절부터 6절까지는 이와 같은 입자의 효과를 둘러싸고 각국 정부 부처와 시민 단체 등이 벌인 논쟁을 살펴봄으로써 이 두 입자의 구분이 어떻게 변화해왔는지를 분석할 것이다.

4. 은이온, 은나노의 초기 구분과 위험인식

삼성의 은나노 세탁기가 가전제품에 나노기술이라는 신기술을 적용시킨 사례로 전세계에 소개된 이후, 은의 우수한 살균력으로 인하여 낮은 온도에서도 세탁물에 묻은 박테리아의 99.9%가 제거되고 이러한 청결 상태가 30일간 유지될 수 있다는 제조사측의 주장은 큰 주목을 받았다(Daily Mail, 2006. 3. 28; The Wall Street Journal, 2006. 6. 6). 이른바 ‘은나노 기술’의 적용으로 인한 세탁기의 성능 향상에 대해 전세계가 크게 반응하던 무렵, 국내에서는 독자적으로 ‘은나노기술’의 효과에 대한 논쟁이 진행 중이었다. 2005년 한국소비자원은 삼성의 은나노 세탁기의 성능을 은의 전기분해 기술이 적용되지 않은 국내 및

4) 제조사측은 홈페이지에서 은나노 세탁기는 은의 전기분해기술(electrolysis)이 적용된 것으로, 은이온(Ag^+ ion)이 방출된다는 점을 밝히고 있다.

<http://www.samsung.com/sg/consumer/learningresources/silvernano/silvernano/washing-machine.html> (2013년 2월 1일 접속)

외국 업체의 세탁기들의 성능과 비교하였다. 그 결과 모든 제품이 99.9% 이상의 균 제거 능력을 보였고, 이에 따라 소비자들은 “어떤 특별한 기능에 의해서만 99.9% 살균이 구현될 수 있다는 표현은 문제가 있다.”고 결론 내렸다(소비자원, 2005). 이와 같은 소비자들의 발표는 은나노 세탁기가 성능에 있어서 전혀 새로울 것이 없다는 것을 의미했고, 은나노라는 용어를 둘러싼 논쟁이 시작됐다. 한 전문가는 칼럼을 통하여 해당 세탁기에서 전기 분해 방법으로 만들어내는 것은 은이온으로, 이는 수돗물에 다량으로 녹아 있는 염소 이온과 결합하여 침전을 일으키기 때문에 아무런 효능이 없을 것이라 주장했다. 특히 그는 “은 이온은 은나노 입자와는 전혀 다른 물질”이라 밝히면서, 나노와 같은 과학용어를 무분별하게 사용하는 광고 행태를 지적하였다(중앙일보, 2006. 5. 11). 이와 같이 은나노 세탁기의 성능을 둘러싼 논쟁은 제조사측에서 사용한 은나노라는 용어와 실제 적용된 기술의 관계에 대한 논의로 이어졌고, 이 과정에서 은나노와 은이온은 서로 다른 물질이라는 과학계의 지적이 대중에게 소개되기 시작했다.

이처럼 해당 제품에 은나노가 사용되지 않았다는 점이 과학계로부터의 지적에 의해 드러났음에도 불구하고 삼성 측은 은나노라는 용어를 여전히 사용하고 있었다. 그러나 이후에 새롭게 발생한 위험 논쟁은 은이온과 구분되지 않았던 은나노라는 용어의 사용에 결정적인 변화를 야기했다. 2009년 8월 식품의약품안전청은, 한국생활환경시험연구원에 의뢰하여 은나노 입자의 흡입 독성을 시험한 결과 90일 동안 은나노를 흡입시킨 흰 쥐의 폐에서 암수 모두 폐포염이나 염증성 세포덩어리가 발견되었고 ‘육아종성 부위’ 등 폐조직 이상이 발견됐다고 밝혔다(연합뉴스, 2009. 8. 23). 이는 은나노 물질의 위험성에 관한 국내의 논쟁을 촉발시켰는데, 이에 대해 삼성 관계자는 “마케팅을 위해 나노라는 용어를 채택”했음을 강조하며, “나노와 이온의 차이를 소비자들에게 설명하기 어렵다는 판단에 따라 사용한 마케팅 용어가 불필요한 오해를 산 것 같다”고 해명하였다(내일신문, 2009). 이는 은나노 세탁기의 과대 광고를 둘러싼 논쟁 당시 기업이 지적 받았던 사실들을 오히려 활용하고 있는 모습

으로, 이전 입장과는 달리 자사 제품을 은나노 기술과 구분 지으려는 시도를 볼 수 있다. 실제로 은나노 세탁기의 위험 논쟁을 촉발시킨 한국생활환경시험 연구원의 논문을 살펴보면, 이들의 연구는 세라믹 가열기를 활용한 증발/응축 (evaporation/condensation) 기술을 통해 2-65nm 크기의 은나노 입자를 사용했다 (Sung et al., 2009).⁵⁾ 이러한 과학계에서의 은이온 및 은나노 간의 물질 구분 기준과 위험 논쟁으로부터 탈피하고자 기업의 구사한 상업적 전략은 효과적으로 결부되어 한국에서의 은이온과 은나노의 경계는 보다 뚜렷해졌다.⁶⁾

한편 미국에서는 삼성의 은나노 세탁기를 대상으로 또 다른 논쟁들이 발생하였고, 이 역시 해당 제품이 야기할 수 있는 위험 인식들과 결부되어 은이온과 은나노의 구분 문제를 야기시켰다. 2006년 초 미국의 두 환경단체는⁷⁾ 은이온을 방출하는 세탁기로 인한 하수의 오염을 우려하며 미환경청에게 해당 제품을 농약법(FIFRA: Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide ACT)에 의거하여 규제할 것을 청원하였고, 환경청은 이러한 청원에 대해서 긍정적으로 검토하겠다고 답변하였다(EPA, 2006a, 2006b; Kirk, 2006; Weir, 2006). 여기에서 주목할만한 점은, 이들이 청원서와 답변 모두에서 나노라는 용어는 단 한번도 등장하지 않았다는 것이다. 환경단체와 환경부 모두 은이온이라는 용어를 사용하고 있었고 그들이 우려했던 위험 문제는 은이온이 수중 생물에 영향을 미칠 수 있다는 가능성이었다.

5) 연구원의 논문은 독성과학 학술지(*Toxicological Sciences*)의 호흡기 독성(*Respiration Toxicology*) 부문에서 하이라이트 논문(Highlighted Article)으로 분류되는 등 높은 평가를 받았다. <http://toxsci.oxfordjournals.org/content/108/2.toc> (2013년 10월 8일 접속)

6) 결과적으로 은나노의 위험성에 관한 논쟁은 세탁기 이외의 은나노 제품들을 둘러싸고 계속되었는데, 기타 은나노 제품 생산업체들은 해당 연구에서의 은나노의 과도한 투입량을 문제 삼으며 이를 비판하였다. 이러한 논쟁으로 인하여 결국 한국생활환경시험연구원은 “은나노가 인체에 유해하다는 인터뷰를 한 사실이 없다”는 입장을 표명하기에 이르렀다. 연구원의 공지사항은 http://www.kemti.org/board/notice/notice_bbs_View.asp?page=1&num=323 (2012년 11월 13일 접속)을 참조.

7) 두 환경단체는 국립청정수연합(NACWA: National Association of Clean Water Agencies)과 캘리포니아공유처리작업기술자문단(Tri-TAC: technical advisory group for Publicly Owned Treatment Works in California)이다.

같은 해 11월 미 환경청은 이러한 청원들을 받아들이고 새로운 규제 결정을 언론을 통하여 발표했는데, 이 때 은나노라는 용어가 처음으로 사용되기 시작하였다. 이들은 “은나노 입자는 환경에 예상치 못한 위험을 유발”할 수 있기 때문에 “살균 목적으로 은나노 기술 혹은 관련된 기술을 사용하였음을 주장하는 어느 기업이든 해당 제품이 환경적인 위험을 유발하지 않는다는 과학적인 근거를 제공해야만 한다”고 밝혔다(Kinney, 2006). 이에 대해 우드로윌슨국제센터(Woodrow Wilson International Center for Scholars)의 최신나노기술프로젝트(Project on Emerging Nanotechnologies)의 수석자문위원인 메이나드(Andrew D. Maynard)는 이 발표가 “하나의 시험 사례(test case)”로 작용할 것이라고 예측하였다. 그는 나노기술이라는 용어가 “서로 다른 너무나도 다양한 물질들을 의미할 수 있다”는 점을 바탕으로, 은나노 세탁기에 대한 규제와 같은 “특정한 사례는 현존하는 규제들이 적절한지 명확하게 판별할 수 있게 한다”고 보았다(Washington Post, 2006. 11. 23). 메이나드의 지적에서도 살펴볼 수 있듯이 나노기술을 뚜렷하게 규정하고 있는 규제가 존재하지 않았던 당시의 상황 속에서 미 환경보호청은 은나노 세탁기가 나노기술이 적용된 제품의 범주에 속한다고 간주한 것으로 보인다.

반면, 약 1년 후인 2007년 9월, 미 환경청은 새로운 규제를 발표하였는데 이는 앞선 규정과 비교하여 큰 차이점을 지니고 있었다. 새로운 규정에서는 해당 세탁기가 농약법의 적용 하에 규제를 받을 것이라는 점을 재차 확인하면서도, 세탁기가 방출하는 물질에 대해 은나노라는 용어 대신 은이온이라는 용어를 사용하면서, “이온을 생성하는 세탁기가 나노기술을 사용한 것이라고 볼 만한 근거가 없다.”는 점을 밝혔다(EPA, 2007b). 즉 규제의 대상을 은나노 물질이 함유된 모든 제품이 아닌 은이온 물질과 관련된 제품에 국한시킴으로써, 이전까지 은나노라는 용어에 포함되어 있었던 은이온이 은나노로부터 명확하게 분리되기 시작한 것이다.

은이온을 은나노의 범주에 포함시켰던 2006년과 달리 2007년에 들어 미 환경청이 두 물질을 분리하게 된 배경과 관련하여 2006년 발표 당시 언론의 반

응을 살펴볼 필요가 있다. 미 환경청의 2006년 발표에 대해서, 언론은 이 사례가 “재료과학과 의학에서 주된 진보를 약속하는 기술적 진보의 새로운 엔진인 나노기술에 초점을 맞춘 최초의 규제“라는 전문가의 의견을 소개하며, 이는 “급성장하는 나노기술 분야에 예상치 못한 장애물”이 될 것이라 보도했다 (Washington Post, 2006. 11. 23). 이는 물론 나노기술산업의 침체에 대한 우려가 은이온과 은나노 간의 분리의 직접적인 원인임을 나타내지는 않지만, 2006년 당시 환경청의 규제로 인해 나노기술 관련 산업이 침체될 수 있다는 우려가 존재했음을 암시한다. 그리고 2007년 미 환경청이 두 물질을 구분하면서 발표문의 마지막에 “이 발표는 나노기술을 규제하기 위함이 아니다”라고 거론한 문장은 이러한 우려를 불식시키는데 어느 정도 기여했을 것으로 보인다.

위에서 살펴본 바와 같이, 한국과 미국은 공통적으로 은이온과 은나노 간의 물질 구분이 명확해지는 과정을 경험했으나 각각의 경우는 독자적인 맥락을 지니고 있었다. 한국은 미국과 다르게 은나노 세탁기에 대한 효용성 논쟁을 통하여 처음으로 물질의 경계 문제가 논의되기 시작했고, 은나노 물질의 독성에 관한 한국생활환경시험연구원의 보고서로 발생한 위험 관련 논쟁으로 인하여 보다 명확하게 구분되기 시작했다. 은나노의 위험 관련 논쟁에서 드러나는 위험 인식의 내용적인 측면 역시 한국과 미국은 서로 다른 모습을 지니고 있었다. 한국에서는 한국생활환경시험연구원이 쥐를 대상으로 수행한 연구 결과가 보도되면서 은나노 물질에 대한 인체 위험성이 주된 논쟁 거리가 되었다. 반면 미국은 두 환경단체의 청원으로 인한 규제 결정 보도 이후로 환경 위험성에 대한 우려가 어느 정도의 기간 동안 지속된 모습을 보였다. 이는 동일한 세탁기 제품에 대해 한국과 미국이 각각 인체 위험성과 환경 위험성이라는 서로 다른 위험 인식을 지니고 있었다는 점에서 흥미롭다.

은나노 세탁기의 사용이라는 같은 현상에 대해 두 국가에서 인체 위험성과 환경 위험성이라는 서로 다른 위험인식을 갖게 된 배경에는 세탁을 둘러싼 위험 논쟁에 관한 역사적인 맥락이 자리잡고 있다. 한국에서는 세탁기가 널리 사용되기 이전에 먼저 합성 세제가 세탁 비누를 대체하면서 널리 확산되기

시작했는데, 이러한 상황 속에서 합성 세제가 자연에 미치는 영향력보다는 인체에 미치는 영향력이 언론에 의해 보다 부각됐다. 1970년 동아일보의 한 기사는 합성세제가 “피부 깊숙이 스며들어 기름기를 녹이기 때문”에 “손[을] 거칠게 하기도” 한다며 이는 “세제 자체가 가루로 된 것이 세탁기 사용을 전제로 한 것처럼 구태여 손으로 만질 필요가 없는 선진국 본위의 개발 결과”라 보도했다(동아일보, 1970. 11. 5).⁸⁾ 이와 같은 세제의 인체 위험성에 관한 인식은 드럼 세탁기의 유행 이후 다시 한번 등장했다. 2009년 쥐 실험 결과가 보도되기 이전인 2007년에는 은나노 세탁기를 포함한 모든 드럼 세탁기들에 대해서 세제가 물에 충분히 행구어지지 않는다는 우려가 공론화됐다. 소비자 불만에 관한 제보를 통해 소비 제품이나 서비스의 문제점을 고발하는 프로그램인 MBC <불만제로>의 제작진은 2007년 9월 20일의 방송에서 드럼 세탁기를 사용하는 세탁 실험을 수행했고 그 결과 세탁을 끝낸 세탁물에서 다량의 비누 거품이 발생함을 확인했다. 이러한 내용이 방영된 이후 드럼세탁기의 세제 잔여물로 인한 아토피 피부염과 같은 인체 위험에 대한 우려는 더욱 증폭됐고, 이에 대응하여 삼성전자와 LG전자는 각각 ‘하우젠 드럼세탁기 청정행궁’과 ‘안심 행궁 스팀 트롬’이라는 신제품을 출시하기도 했다(동아일보, 2008. 3.

8) 위의 보도 이후로 합성세제가 인체 위험성에 관한 논의는 지속적으로 거론된 반면, 합성세제의 환경 위험성에 관한 논의의 빈도는 1980년대 후반에 들어서야 급증하기 시작했다. 물론 1973년에는 환경 오염을 우려하는 논의들이 일부 등장했는데, 이는 미국의 우지수출 금지의 여파로 세탁비누의 생산이 어려워지면서 이를 대체하기 위한 합성세제의 증가가 야기할 수 있는 가능성을 염두에 둔 우려로 이는 1973년 이후 지속적으로 이어지지 않은 것으로 보인다. 예를 들어 1984년의 한 기사는 기사의 서두에 합성 세제가 “강과 바다를 오염시키고 우리의 건강에도 적지 않은 악영향을 미치고 있다” 말하면서도 정작 본문에서는 환경 오염에 관한 논의는 조금도 제시하지 않은 반면, 우리 몸에 다양한 증상들이 발생할 가능성을 제기하며 이 중 특히 유아 피부병, 여성들의 자궁 질환에 대해서는 “합성세제 잔류분이 중요한 원인으로 의심”된다고 보도했다. 이들과 관련된 기사들은 다음을 참조. (매일경제, 1973. 6. 13; 경향신문, 1973. 7. 13; 동아일보, 1973. 7. 13; 매일경제, 1984. 10. 5; 동아일보, 1987. 8. 5; 동아일보, 1989. 8. 17; 경향신문 1990. 6. 20; 경향신문 1990. 10. 15; 한겨레 1990. 11. 30; 경향신문 1992. 1. 22; 매일경제 1993. 6. 9).

한편 1960년 후반 미국에서는 오대호 중 특히 이리호(Lake Erie)의 녹조 및 적조 현상과 세탁 세제 물질과의 연관성을 둘러싼 논쟁이 발생했고 이와 동시에 환경 오염에 대한 대중의 경각심이 한층 고조되기 시작했다. 깬럽 조사에 따르면 해결이 시급한 국내 문제가 무엇인지를 묻는 질문에 대해 1965년에는 미국인의 17%가 환경 오염의 문제를 지목한 반면 1970년에는 53%에 달하는 미국인이 환경 오염 문제를 선택했다(Gallup, 1972). 또한 수질오염이 심각하다고 응답한 비율 역시도 1965년 35%에서 1968년 58%로 급증했다(Davies, 1970: 79). 당시 오대호의 녹조 및 적조 현상의 원인으로 세탁 세제가 지목된 원인은 세제의 성분 중 물 속에서 칼슘과 같은 물질들을 잡아두는 역할을 하는 인산염(phosphate)이 조류를 비정상적으로 증식시키는 것으로 밝혀졌기 때문이다(Commoner, 1971: 151-155). 이에 대응하여 버팔로 주에서는 1970년 4월 오염을 끝내기 위한 주부들(Housewives to End Pollution)이란 여성 단체가 결성됐고 이들은 세제 제조사들의 모임인 비누 및 세제 연합(Soap and Detergent Association)에게 모든 세제 상품들의 인산염 함량 자료를 공개하도록 압력을 가했다. 이들은 이후에 이리 자치주(Erie County)의 인산염 규제 관련 입법 과정에서 자문 위원으로 활동했고 이어서 인디애나와 뉴욕 등 다른 지역 역시 인산염 포함 상품에 대한 전면 금지 법안이 통과됐다(Kehoe, 1992: 31-32).

한국과 미국에서의 세탁 세제를 둘러싼 과거의 논쟁 사례들은 은나노 세탁 기라는 동일한 제품에 대해 각국에서 인체 위험성과 환경 위험성이 상대적으로 뚜렷이 부각되었던 문화적 맥락을 제공한다. 물론 한국과 미국에서 과거에 세탁 세제에 대해 인체 위험성과 환경 위험성만 제기되었던 것은 아니다. 1980년대 이후 한국에서도 세제의 환경 위험성에 관한 논의가 진행된 것과 같이 미국에서도 이후 인산염 대체제로 제안된 NTA(Nitritriacetic acid, $C_6H_9NO_6$)라는 물질이 인간의 생식 능력과 건강을 위협할 수 있다는 우려가 발생했다. 그러나 적어도 이를 통해 확인할 수 있는 측면은 세탁 세제에 대해서 한국과 미국이 각각 인체 위험성과 환경 위험성과 관련된 문제에 보다 빠르게 관심을 보이며 민감하게 반응했다는 점이다. 본질적으로는 인체 위험성

과 환경 위험성을 모두 지니고 있는 세탁 세제에 대해서, 한국에서는 세탁기의 등장 이전 합성 세제에 관한 우려로부터 일반 드럼 세탁기의 세탁 잔여물 논쟁에 이르기까지 인체 위험성이 상대적으로 부각된 반면, 미국에서는 환경단체들의 적극적인 활동과 더불어 세제의 환경 위험성이 상대적으로 부각됐다. 이러한 문화적 성향은 은나노 세탁기에 대해서도 마찬가지로 적용되어 같은 제품에 대해 서로 다른 위험인식을 형성한 것으로 보인다.

이처럼 한국과 미국 간의 서로 다른 역사적 맥락은 은나노 세탁기에 대해 서로 다른 위험인식으로 이어졌고 이를 해소하는 과정에서 한국과 미국은 각각 삼성과 환경청이 은이온과 은나노 간의 경계 설정에 결정적인 역할을 수행했다.⁹⁾ 하지만 정책적인 필요성에 의해 만들어진 나노물질에 대한 정의는 한국과 미국이 일관된 기준을 지닌 채 은이온 및 은나노 간의 물질 구분에 있어서 삼성과 환경청의 작업을 뒷받침하고 있음을 알 수 있다. 미 환경청은 은이온과 은나노를 구분한 두 번째 발표를 하기 전인 2007년 2월에 출판한 나노기술백서를 통하여 나노기술의 범주를 명확하게 설정하고 있다. 이에 따르면 나노기술은 1~100nm의 크기를 다루는 것으로 정의되는데, 이에 대한 근거로 나노기술계획(NNI: National Nanotechnology Initiative)에서 정의된 기준을 들고 있다(EPA, 2007a: 5). 그리고 나노기술계획 역시 나노기술을 “1~100nm의 범위에서 수행되는 과학, 공학, 기술”로 정의하고 있다(NSTC, 2000). 즉, 이들이 정의하고 있는 나노기술에 범주에 의하면, 은이온은 나노기술의 영역으로부터 배제되는 것이다.

국내의 경우, 한국과학기술평가원의 나노기술영향평가 보고서에 따르면, 나노기술을 “나노미터 수준의 물질에 대한 이해와 제어를 가능하게 하는 과학

9) 앞서서도 확인할 수 있듯이 삼성과 미 환경청의 경계 설정 이전에 은나노 세탁기의 기능성 과장광고 논란과 관련하여 은이온과 은나노는 다른 물질이라는 전문가의 견해가 언론을 통해 소개된 적이 있다. 물론 이 역시 두 물질 간의 경계 설정에 어느 정도 영향을 끼쳤을 것이나, 소비자원의 과장광고 시정조치 요구에 대해 공정거래위원회가 혐의 없음을 발표함으로써(주간경향, 2007. 7. 17), 해당 논쟁은 이후의 위험 논쟁에 비해 상대적으로 지속적인 관심을 끌지 못했던 것으로 보인다.

기술”로 규정하고, 이에 대한 근거를 2001년 7월 수립된 나노기술종합발전계획에 명시된 나노기술의 개념에서 찾고 있다(한국과학기술기획평가원, 2005). 그리고 나노기술종합발전계획 역시 나노기술에 대해 “물질을 나노미터 크기인 원자, 분자 수준에서 현상을 규명하고, 구조 및 구성요소를 조작, 제어하는 기술”이라 정의하고 있다(국가과학기술위원회, 2001: 2). 이를 통하여 나노기술 관련 정책 수립 과정에서 한국과 미국 정부가 나노기술에 대해 유사한 정의를 제시하고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같이 유사한 정의가 나타나는 원인은 실제로 “나노기술종합발전계획의 주요 내용이 NNI를 따랐기 때문”으로, 이는 “초기 단계에 과감하게 진입하여 선진국과 나란히 경쟁”하기 위함이었다(이은경, 2007).

5. 과학계에서의 은나노 위험 연구

2000년대에 들어 과학계에서는 은나노의 독성에 관한 연구들이 활발히 진행됐는데 이 중 몇 논문들은 환경단체들에 의해 인용되면서 이후 새로운 위험 인식의 형성에 적지 않은 영향을 미쳤다. 환경단체들이 주목한 이 시기의 연구 결과들은 은나노의 포유류 세포에 대한 독성 반응 연구, 독성 반응에 대한 기제 연구, 은이온 및 은나노의 박테리아 변화 유발에 관한 연구로 분류할 수 있다.

한 연구 그룹의 실험 결과에 따르면 은나노 입자는 다른 종류의 나노 입자들에 비해 포유류 세포에 여러 측면에서 강한 독성을 일으키는 것으로 나타났다. 이들은 다양한 종류와 크기의 나노 입자들, 즉 15nm, 100nm 크기의 은나노 입자, 30nm, 150nm 크기의 무수몰리브덴(MoO_3), 30nm, 103nm 크기의 알루미늄(Al), 30nm, 47nm 크기의 사산화삼철(Fe_3O_4), 40nm 크기의 이산화티타늄(TiO_2)을 세포에 노출시킨 뒤 그 결과를 관찰했다. 이 실험에서 사용된 세포는 포유류인 쥐의 간에서 추출된 BRL 3A 세포로 이를 위의 나노 입자들이 각각

다양한 농도로 용해된 용매에 24시간동안 노출시켰다. 이들은 세포의 파괴 정도를 분석하기 위해 용매 상에 존재하는 LDH(lactate dehydrogenase)의 농도를 측정했다. 이 물질은 정상적인 세포의 세포질에 존재하지만 세포막이 파괴될 경우 용매로 빠져나가기 때문에 용매에서의 LDH 농도의 증가는 곧 파괴된 세포의 비율의 증가를 의미하는 것이었다. 측정 결과 은나노가 아닌 물질들의 용매에서는 250 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도에서 LDH의 농도가 증가한 반면 은나노 용매의 경우 25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도부터 LDH의 농도가 크게 증가했고, 은나노 물질이 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 농도 이상으로 존재할 때 미토콘트리아의 활성이 50% 이하로 저하됐다. 이와 동시에 세포를 손상시키는 활성산소(Reactive Oxygen Species)의 농도는 10 배 이상 증가했으며 세포 내에 존재하는 강력한 항산화제로서 세포의 손상을 방지하는 GSH(Glutathione Sulfhydryl)의 농도는 절반 이하로 감소했다(Hussain et al., 2005). 위와 동일한 나노 물질들에 대해 동일한 측정법을 동원하여 쥐의 줄기 세포를 대상으로 수행된 실험에서도 다른 물질들에 비해 은나노의 10~25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도에서 세포 파괴와 미토콘트리아의 활성 감소가 두드러졌고 이와 동시에 LDH 농도 증가가 관찰됐다(Braydich-Stolle et al., 2005).

2008년에는 은나노 입자의 독성을 보고한 연구 결과들을 정리한 종설 논문이 발표됐는데 이 논문에서는 위의 두 실험 결과가 발생하게 된 기제를 추측하는 논의가 이루어졌다. 저자들은 특히 은나노 입자가 미토콘드리아의 활성 저하를 일으키는 현상에 주목하면서, 이 현상 자체는 다수의 연구들을 통해 분명하게 입증됐지만 이를 설명할 수 있는 기제는 명확히 제시되지 않았음을 지적했다. 이들은 간세포를 대상으로 수행된 위의 연구 결과에서 활성 산소 농도의 증가와 미토콘드리아의 활성의 저하가 동시에 일어났다는 점에 기반하여 산화 작용을 통해 독성이 발생했을 가능성을 제시했다. 특히 이들은 은이온이 미토콘드리아의 기능을 저해했다는 연구 결과와 GSH 물질이 이러한 반응을 저지될 수 있다는 연구 결과를 인용하면서, GSH 농도의 감소라는 결과는 미토콘드리아에 대한 은이온의 작용으로 인한 것이라 추정했다(Chen & Schluesener, 2008). 결국 이들이 제시한 은나노의 독성 반응 기제에서 가장 핵

심적인 물질은 은나노 입자가 아닌 은나노 입자의 표면으로부터 해리된 은이온이었던 것이다.

은나노 물질의 포유류에 대한 위험 연구뿐 아니라 은나노가 박테리아를 공격함으로써 발생할 수 있는 위험 연구도 다양한 방식으로 전개됐다. 은나노 물질의 박테리아에 대한 영향력에 관해 연구한 결과들을 정리한 한 보고서에 의하면 박테리아는 은나노의 공격에 대응하여 그들의 세포벽을 더욱 강하게 만들고 심지어는 독성 물질을 세포 밖으로 방출하는 새로운 펌프를 만들어내기도 했다. 이러한 방출 펌프(efflux pump)를 위한 유전자 암호는 박테리아의 염색체 내에 자리잡고 있는데 이는 은의 공격이 극심할 경우 발현되는 것으로 알려졌다. 실제로 새에서 추출한 박테리아와 살모넬라 균 중 일부, 그리고 인간의 입 안에 있는 박테리아 중 일부는 이미 은에 대한 저항력이 강화됐다는 사실이 보고되기도 했다(Melhus, 2007). 이러한 연구 결과는 은나노의 강한 독성이 박테리아의 내성 강화로 이어지고, 이는 곧 환경 생태계의 교란과 같은 환경 위험뿐만 아니라 인체 위험과도 직결되는 문제라는 점을 가리킨다.

과학계에서 수행된 위의 연구 결과들에 대해 몇 가지 검토할 사항들이 있다. 위의 결과들은 은나노 물질의 위험성에 관해 상당한 정도의 불확실성을 지니고 있다. 이와 관련하여 가장 중요한 사실은 쥐의 간세포와 줄기세포 실험은 모두 생체 외(in vitro) 반응 실험으로 이상화된 조건을 바탕으로 생화학적 반응을 관찰한 결과라는 점이다. 이는 주어진 조건에 한해 비교적 명확한 인과 관계를 제시할 수 있지만 실제로 훨씬 더 복잡한 생체 내에서의 나노 물질과 세포 간의 반응에 대해서는 정확한 예측을 제공하지 못한다. 마찬가지로 은나노의 세포 공격 기제가 은이온의 반응성에 있다는 연구 결과는, 은이온을 방출하는 삼성의 세탁기가 은나노를 방출하는 기기들에 비해 훨씬 더 위험하다는 점을 지지하는 것으로 보인다. 하지만 이 역시도 논란의 여지가 충분한데, 그 이유는 은이온이 염화물(chloride) 또는 황화물(sulfide)과 같은 리간드들과 결합하여 침전될 수 있다는 점을 감안할 경우 은이온이 생명체의 세포까지 도달하여 상호작용할 확률과 그 기제를 예측하는 작업은 더욱 복잡

해질 수밖에 없기 때문이다. 그렇다고 해서 이처럼 과학계의 연구 결과들이 지니고 있는 불확실성들이 은이온 또는 은나노 물질의 위험성을 부정하는데 기여하지는 않는다. 다만 여기에서 확인할 수 있는 사실은 이러한 물질 위험 연구들이 각각의 실험에 사용된 특정한 조건의 개입으로 인해 보다 일반화된 진술로 확장될 수 없다는 한계를 지니고 있었다는 것이다. 그러나 과학계의 연구 결과물들은 이후 환경 단체들의 주장을 뒷받침하기 위해 인용되었고, 그 결과 이전과는 구분되는 새로운 위험 인식과 은나노 물질에 관한 존재론을 구성하는데 크게 기여했다.

6. 은나노의 새로운 정의

위와 같은 과학계에서의 연구 결과들은 미 환경청이 은이온과 은나노를 명확히 구분함으로써 발생하게 된 새로운 문제에 대해 시민단체들이 대응하는 과정에서 중요한 자원으로 활용됐다. 여기에서 새로운 문제란, 2006년의 최초 규제의 범위가 은나노 기술을 적용한 생산품 모두에 해당되었던 것과 달리 새로운 기준은 그 범위를 은이온에 국한시킴으로써 오히려 은나노 제품 자체가 규제로부터 자유롭게 되었다는 것이었고, 이에 대해 국제기술평가센터(International Center for Technology Assessment)는 그린피스 등 13개의 시민단체들과 연합하여¹⁰⁾ 2008년 5월 미 환경청에 청원서를 제출하며 최소 260개에 달하는 은나노 제품들에 대한 조속한 법적 절차 마련을 요청하였다. 여기에서

10) 청원에 참여한 시민단체는 다음과 같다(ICTA, 2008). The International Center for Technology Assessment, The Center for Food Safety, Beyond Pesticides, Friends of the Earth, Greenpeace, The Action Group on Erosion, Technology and Concentration, Center for Environmental Health, Silicon Valley Toxics Coalition, Institute for Agriculture and Trade Policy, Clean Production Action, Food & Water Watch, Loka Institute, The Center for the Study of Responsive Law, Consumers Union.

이들의 이전 청원서와 다른 점은 은나노와 은이온이라는 용어를 모두 사용하면서도 은나노라는 용어를 더욱 적극적으로 사용했으며, 또한 수중 생물에 대한 위험성만을 강조했던 과거와 달리, 인간의 건강에 대한 위험 가능성도 제기하면서 이와 관련된 과학계 연구 결과를 환경청이 신속하게 반영할 것을 요구했다는 것이다(ICTA, 2008).

시민단체들은 은나노 입자에서 해리된 은이온들이 수중 생물에 대해 독성을 지닌다는 기존의 연구 결과와 함께(Hogstrand, 1997) 위에서 제시된 당시의 연구 결과들을 인용함으로써, 은나노에 대한 새로운 위험 인식을 제시했다. 이들은 포유류에 대한 은나노 입자의 위험 요소를 제시하는 과정에서 위의 Hussain과 Braydich-Stolle의 연구 결과들을 인용하며 “은나노가 활성산소를 생산”하고, 이러한 독성이 “포유류의 간세포, 줄기세포”에도 영향을 미칠 수 있음을 주장했다. 또한 Chen과 Schluesener의 논문을 인용하면서 “은나노는 독특한 독성 메커니즘”을 통해 “활성산소의 축적을 이끌고 미토콘드리아의 파괴를 유도”한다고 주장했다. 즉 이들은 은나노 입자의 위험 요소를 고려하는 과정에서 은나노 입자 자체의 위험성뿐만 아니라 은이온의 위험성, 그리고 은나노 입자로부터 은이온으로의 해리 가능성과 연관된 연구 결과들을 모두 반영함으로써 은나노의 위험성에 은이온의 위험성을 포함시킨 것이다. 더욱이 이들은 Melhus의 연구 논문을 인용하면서 “은에 대한 노출이 증가할수록 [...] 항생 물질에 대한 내성의 잠재력을 증가시킬 것”이라 우려하면서, 박테리아의 이러한 변화가 환경뿐 아니라 인간의 건강에 대한 직접적인 위협으로 이어질 수 있음을 주장했다(ICTA, 2008).

이러한 주장들은 은나노 세탁기에 대해 환경 위험성만을 우려하였던 과거의 모습과 달리, 환경 위험성과 인체 위험성이 서로 분리되지 않은 채 인식되고 있음을 보여주고 있다. 이들은 은나노와 은이온의 위험 문제가 이처럼 서로 분리될 수 없다는 점을 보이고 더 나아가, ‘나노’라는 접두어가 단순히 10억분의 1미터라는 크기의 의미를 지니는 것이 아니라 “근본적으로 다른 방식으로 반응할 가능성이 있는 물질”이라고도 이해되어야 한다고 주장했다(ICTA,

2008: 9). 미 환경단체들은 과학계에서 발표된 새로운 관계들 즉, 은나노와 활성 산소와의 관계, 활성산소와 포유류 세포와의 관계, 은이온과 포유류 세포와의 연결고리들을 청원서에 제시함으로써 이전과는 달리 은이온을 포함하는 은나노의 존재론을 형성한 것이다. 이를 바탕으로 한국생활환경시험연구원의 논문에 의해 촉발된 국내에서의 은나노 위험성 논쟁을 면밀히 재검토하는 것은 은나노에 관한 새로운 존재론의 출현에 요구되는 조건이 무엇이었는지를 가능하게 해준다.

한국에서의 인체 위험성 논란의 중심에 있었던 위의 연구 논문은 앞서 밝힌 바와 같이 은나노 입자의 제조기술을 이용하여 실험을 함으로써 은나노의 체내 축적 효과를 측정하였다. 그런데 이 논문 후반부의 토의 부분에서 해당 논문에 대한 한계점 중 하나로 “은의 이온 형태들을 구분하지 않았음”을 거론하며, 이에 따라 “관측된 은의 분포에 관한 기제를 기술할 수 없었다”는 점을 인정하고 있다(Sung et al., 2009: 460). 즉, 이 논문에서 은이 쥐의 체내에 축적되는 과정에서 주입될 당시의 은나노 형태가 그대로 유지되었는지는 알 수 없다는 것으로, 이러한 독성 실험 결과는 중간에 은이온으로 형태가 변화하였을 가능성을 모두 포함한 결과를 보여주고 있는 것이다. 이 논문이 발표되었던 2009년은 앞 절에서도 확인할 수 있었듯이 은나노의 위험 기체로서 은이온이 제시된 이후였다. 당시 한국생활환경시험연구원의 실행이 내포했던 부분적 한계점, 그리고 은나노의 위험 기체로서 은이온의 반응을 지목한 학계에서의 논문들은 은나노의 위험성에 은이온의 위험성이 결부된다는 점을 명백히 보여주고 있으나, 이들은 청원서와 같은 매개물을 통하여 서로 연결되지 못했고 그 결과 은나노에 관한 새로운 존재론은 형성되지 않았다.

은이온과 은나노의 위험인식에 기반한 미국 시민단체들의 청원에 대한 결과로, 미 환경청은 2008년 11월, 온라인 및 오프라인 매체를 통하여 해당 청원서에 관한 시민의 의견을 수렴하기 시작하였다. 의견 수렴 기한은 2009년 1월 20일까지였는데, 이 기간 동안 온라인 상의 의견 수렴 공간인 regulation.gov에 등록된 의견들의 수는 633개에 달하였고, 기한은 3월 20일로 연장되어, 이 기

간 동안 1284개의 의견이 등록되었다.¹¹⁾ 이들은 미 환경청의 은나노에 대한 규제에 대해서 찬성과 반대로 나뉘어 열띤 논쟁을 벌였는데, 양 진영에서 인식하고 있는 효용 및 위험 인식은 대부분 은나노와 은이온의 기체로 인한 효과를 모두 포함하고 있었고 이러한 효과들을 드러내는 문장들에서 대부분 은이온이 아닌 은나노라는 용어가 사용됐다.¹²⁾

이듬해 미 환경청은 3일에 걸쳐 농약법과학자문패널(FIFRA Scientific Advisory Panel Meeting)을 개최하고, 과학 전문가, 시민단체연합, 기업연합 대표 등이 모여 은나노의 위험성을 재평가하는 작업에 착수했다.¹³⁾ 이들은 “현재의 과학지식 수준으로는 은나노의 위험을 절대적인 수치의 형태로 평가하는 것이 불가능하다”고 인정하면서도, “위험 평가를 위해 나노물질의 물리화학적 특성들을 통합시키는 방법에 관한 작업 틀을 개발해야 한다”고 주장했다. 특히 이들은 “명확히 해야만 할 중대한 문제는 나노라는 용어의 사용”이라는 점을 들어, 표준화 작업을 위하여 은나노의 고유한 특성들이 모두 밝혀져야 함을 강조했다. 또한 위험으로 이어지는 노출 정도를 평가하기 위해서 은나노 입자에 해당되는 “단위 질량 농도(unit mass concentration), 표면적 농도(surface area concentration), 개수 크기 분포(number and size distribution)들이 정의되어야만 한다”고 보았다 (FIFRA, 2010: 37-38). 이들의 논의에서 비록 과학자, 시민단체, 기업 등 각각의 참여자들이 어떤 주장을 제기하고 각 주장들이 어느 정도로 반영되었는지에 대해서는 면밀히 파악할 수 없지만, 적어도 이들은 은나노

11) 안전번호는 다음과 같다. EPA-HQ-OPP-2008-0650. 이와 관련한 보다 세부적인 정보는 <http://www.regulations.gov>에 접속 후 메인 검색 창에서 안전번호를 입력하거나, <http://www.regulations.gov/#!searchResults;rpp=25;po=0;s=EPA-HQ-OPP-2008-0650;fp=true;ns=true>로 직접 접속하여 확인할 수 있다. (2013년 3월 17일 접속)

12) 해당 게시판은 다음을 참조. <http://www.regulations.gov/#!searchResults;rpp=25;po=0;s=EPA-HQ-OPP-2008-0650> (2012년 11월 13일 접속)

13) 이들은 2009년 11월 3일부터 5일까지 미 환경청에서 모임을 갖고 이에 대한 보고서를 2010년 1월 26일에 발표하였다(FIFRA SAP, 2010). 모임에 관한 안전 번호는 EPA-HQ-OPP-2009-0683이다. 직접 접속하기 위한 경로는 다음을 참조. <http://www.regulations.gov/#!searchResults;rpp=25;po=0;s=EPA-HQ-OPP-2009-0683;fp=true;ns=true> (2013년 4월 6일 접속)

물질을 정의하는 과정에서 입자의 크기뿐 아니라 해당 물질의 위험과 연계되는 입자의 특성들에 보다 주목하고 있다는 점에서 과거와 구별되는 모습을 보인다.

다음 해인 2010년 미 환경청이 발표한 은나노에 관한 새로운 보고서는 은이온과 은나노를 구분했던 과거와는 확연히 다른 모습이 드러난다. 이 보고서는 먼저 일반적인 나노물질의 크기에 대해 1-100nm의 범위를 그대로 따르지만(EPA, 2010: 1), “은나노물질은 적어도 한쪽 길이가 100nm 이하인 입자”라며 하한선을 생략한 채 정의하고 있다(EPA, 2010: 10). 이러한 문장 상의 미묘한 차이 외에 삼성 세탁기 제품에 대한 인식 변화는 더욱 명료한데, 이들은 해당 세탁기 제품을 이온 생성기라 분명하게 지칭하면서도 동시에 이를 은나노를 함유하고 있는 제품 목록에 포함시키고 있다 (EPA, 2010: 86). 더욱 직접적으로 이 보고서는 해당 세탁기 제품의 사진을 삽입하고 이에 대해 “은나노를 함유하고 있는 최초의 소비자 상품 중 하나”로 소개하고 있다(EPA, 2010: 84-85).

나노물질의 관리를 제도화하는 과정에서 한국의 환경부 역시 최근에 이와 같은 물질 정의 변화의 일환으로 해석할 수 있는 움직임을 보였다. 국내의 경우 2011년 11월에 환경부 주관으로 수립된 제1차 나노 안전관리 종합계획을 발표한 바 있다(환경부, 2011). 제1차 계획은 2012-2016년에 걸쳐서 나노안전관리 기반을 구축하고 나노관리를 제도화 하는 등 나노안전관리 체계를 마련하는 것을 목표로 하고 있었다. 환경부의 화학물질과 담당자는 “나노 안전관리 종합계획을 통하여 나노의 정의를 만들고” 있으며, “정의와 관련한 가이드라인을 산업계의 상황에 따라 탄력적으로 적용”하되, 이러한 가이드라인은 “2011년 10월 발표된 EU의 기준이 토대가 될 것”이라고 밝혔다(조광연, 2012. 10. 12). 즉, 국내 정부부처의 나노물질에 대한 정의가 미국의 나노기술계획과 같이 명확한 크기 범위를 지니고 있었던 과거와는 달리, 안전관리의 제도화 과정에서는 EU의 영향을 받아 보다 탄력적인 정의를 마련 중임을 알 수 있다.

여기에서 우리는 한국의 환경부가 나노물질을 제도적으로 재정의하는 과정

에서 가장 큰 영향을 끼치게 될 EU의 나노물질 구분 기준을 잠시 간략하게나마 살펴볼 필요가 있다. EU 집행위(환경총국)는 2011년 10월 나노물질에 대한 정의를 EU 집행위 권고(Commission Recommendation) 형식으로 발표하였다. 이들은 신규발생위해성과학위원회(SCENIHR: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)와 EU 공동연구센터의 연구를 기초로 공공의 건강 수렴과정을 거쳐 국제표준화기구(International Organization for Standardization)가 사용하고 있는 정의를 기본으로 하되 규제적 측면에서 실제 응용이 가능하도록 보완했다. 권고안의 2항은 나노물질을 정의하는 과정에서 크기 분포(size distribution)라는 새로운 변수를 도입하고 있는데, 이에 따르면 최소 한쪽의 크기가 1-100nm인 입자가 50% 이상 존재할 때 이것을 나노물질로 정의하였다. 그러나 건강 및 환경과 연관될 경우, 함량 비율의 한계값은 50%에서 1~50% 중 한 값으로 변경될 수 있다. 더 나아가 제 5항은 완전히 새로운 정의를 내리고 있는데, 특별한 법률 제정 과정에서 요구될 경우, 부피 대비 표면적 값을 기준으로 이 값이 $60\text{m}^2/\text{cm}^3$ 이상일 때 나노물질로 정의한다 (Commission, 2011: 5). 다시 말해 1-100nm 크기의 물질이 전체의 1%만 차지하더라도, 혹은 이보다 작은 물질들로만 이루어져 있더라도 해당 물질을 나노물질로 분류할 수 있는 탄력성이 보장된 것으로, 은이온은 위의 물리량 기준을 따를 경우 은나노 물질의 범주에 포함될 수 있게 된다.

물론 이러한 새로운 움직임이 국내 제조업체의 세탁기를 둘러싼 은이온과 은나노의 구분 문제에 초점이 맞추어진 채 진행된 것은 아니었다. 권고안의 3항은 크기 분포라는 새로운 변수를 활용한 정의에 의해서 나노물질로 간주되어야만 하는 물질을 열거하면서 풀러렌(fullerene), 그래핀 플레이크(graphene flake), 단일 벽 탄소나노튜브(single wall carbon nanotube)를 그 예시로 들고 있다 (Commission, 2011: 5). 비록 이러한 정책적 변화 과정이 오직 은이온을 나노물질로 포함시키기 위해서 이루어진 작업은 아니지만, 이와 같은 일반적인 나노물질에 대한 새로운 정의는 과거의 정의와는 명료하게 차별화되는 것으로, 은나노와 은이온을 구분하는 문제에 효과적으로 적용될 수 있는 새로운

기준이 마련되고 있는 상황이라는 점에서 그 의미가 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 은나노와 은이온간의 경계는 학계에서의 구분 법에만 기대지 않은 채 논쟁에 참여한 시민단체 및 기업, 규제 기관들 간의 상호작용 속에서 끊임없이 변화해왔다.¹⁴⁾ 이와 같은 변화의 과정에서 한국과 미국은 각각 다른 형태의 위험 인식을 드러냈고 서로 다른 시기에 은나노와 은이온 물질의 경계가 변화를 겪었다. 특히 미국의 경우, 환경단체가 위험 인식에 기반하여 그려낸 나노물질에 관한 새로운 존재론은 환경청이 해당 물질에 대한 위험성을 재평가하는 과정에서 과학계가 제시한 새로운 물리량들(단위 질량 농도, 표면적 농도, 개수 크기 분포)과 결합하면서 은이온으로 하여금 은나노에 포함되게끔 만들었다. 이는 위험인식과 연계된 시민단체의 은나노에 관한 존재론, 그리고 물리량들과 연계된 과학계의 존재론이 모두 반영된 결과로, 공존하는 “서로 다른 질서부여의 방식들(modes of ordering)” 중에서 “하나가 선택되기보다는 이러한 방식들이 결합”함으로써 최종적으로는 은이온을 포괄하는 은나노의 존재론을 형성하게 된 것이다(Law & Mol, 1995; Mol, 2002).

7. 결론

본 논문에서는 은나노 세탁기를 둘러싼 국제적인 논쟁에 대한 분석을 통하여 나노기술의 정의 문제와 위험 문제가 긴밀히 연결되어 있음을 확인할 수 있

14) 물론 은나노와 은이온 간의 경계가 모든 분야에 걸쳐 총체적으로 변화한 것은 아니다. 예를 들어 국제표준화기구(International Organization for Standardization), OECD의 제조나노물질작업반(Working Party Manufactured Nanomaterials), 미국 NNI의 경우 이전의 나노물질 정의를 고수하고 있다. 하지만 본 논문의 목적은 나노의 정의에 대한 전반적인 변화보다는 은나노 세탁기의 위험 논쟁을 둘러싸고 있는 국소적인 맥락 하에서의 변화를 살펴보고자 하는 것으로, 이에 따라 미국의 환경보호청과 한국의 환경부에 보다 주목하여 이들의 규제문 상에서의 나노물질 및 기술의 경계가 어떻게 재설정되어 가는지를 살펴보는 것은 의미가 있을 것이다.

었다. 이와 관련하여 본 논문의 4절에서는 은이온과 은나노의 구분 문제가 단순히 과학지식에 기반하여 결정되지 않고, 각국의 맥락에 따라 서로 다른 종류의 위험인식이 형성되면서 서로 다른 행위자에 의해 경계가 형성될 수 있음을 확인했다. 은나노 세탁기가 처음 출시되었을 무렵, 은이온 생성기술은 나노기술의 일종으로 주목을 받았지만 국내의 경우 효용성 논란 이후로 은이온과 은나노는 다른 물질이라는 과학 전문가의 의견이 대중 매체를 통해 소개됐다. 이 기간 동안 제조사 측은 명시적으로 은이온과 은나노를 분리하지 않았으나, 은나노 물질에 대한 위험 논쟁이 불거지자 제조사 역시 은이온을 은나노와 구분하기 시작했다. 국제 시장을 대상으로 판매된 해당 제품의 특성상 이러한 논쟁의 양상은 미국에서도 형성되었다. 환경단체의 청원을 시작으로 논쟁이 시작된 미국의 경우, 은나노 세탁기로 인한 환경 위험성이 상대적으로 부각되었다. 반면, 쥐를 대상으로 한 임상 실험이 매체를 통하여 소개된 한국의 경우, 환경 위험성에 비해 인체 위험성이 주된 우려의 대상으로 부각되었다. 이와 같이 은나노 세탁기라는 동일한 제품에 대해 한국과 미국에서 서로 다른 위험 인식이 구성된 배경에는 각국이 과거로부터 지니고 있었던 세탁 세제 위험에 관한 서로 다른 문화적 맥락이 자리잡고 있었고, 이는 곧 미국의 경우 환경보호청에 의해, 한국의 경우 제조사에 의해 은나노와 은이온의 분리로 이어졌다.

5절에서는 비슷한 시기에 수행된 과학계에서의 은나노 및 은이온의 위험 관련 연구 결과물들을 살펴봄으로써, 이들이 은나노의 위험 발생 기제와 은이온의 위험 발생 기제가 분리되지 않는다는 사실을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 어떤 연구자는 은으로 인한 박테리아의 변형이 수중 생태계 뿐만 아니라 인간에게도 악영향을 끼칠 수 있음을 우려하기도 했다. 이와 같은 과학계의 논문들을 대부분 실험실의 이상적인 실험 조건 하에 수행된 연구들이었지만 미국의 환경 단체들은 이를 기반으로 이전과는 다른 위험인식을 제시하기 시작했다. 6절에서 살펴볼 수 있었던 미국의 환경 단체들은 환경 위험성만을 우려했던 과거와는 달리, 청원서를 통해 과학계의 연구 결과들을

적극적으로 인용하면서 인체 위험성과 환경 위험성을 모두 우려하는 통합된 위험인식을 보여주었다. 이들은 새로운 위험인식에 기반하여 나노 물질을 정의하는 새로운 방법, 즉 크기가 아닌 반응성으로 정의되는 은나노 물질에 대한 새로운 존재론을 제시했는데 이를 따를 경우 은이온이 은나노의 범주에 포함될 수 있었다. 결과적으로 환경보호청의 과학자문패널을 통해 은나노 물질을 정의하는 새로운 물리량들이 제시됐고, 이러한 물리량 기준들은 은이온을 더 이상 배제하지 않았다. 한국 역시도 환경부 주관으로 나노 물질을 재정의하는 작업을 수행 중인데, 이들의 참고 대상이 되는 EU의 규제문에서의 물리적 기준을 적용할 경우에도 은이온이 은나노의 범주에 포함되게 된다.

위에서 살펴본 바와 같이 은나노 세탁기를 둘러싼 논쟁은 은나노의 물질성을 변화시켰다. 이 과정은 논쟁에 참여한 정부 부처, 기업, 시민단체 등이 결부된 사회적 역사임과 동시에 은이온을 배제하던 은나노의 존재가 은이온을 포함하는 은나노의 존재로 전환되는 사물의 역사이기도 했다. 우리가 살펴본 은나노의 역사는 1-100nm 크기의 은나노로부터 출발하여, 위험 논쟁에 참여한 기업, 규제 기관, 전극판, 세포 등의 정렬에 따라 국내와 미국에서 은나노의 물질성이 서로 다른 방식으로 분화되는 과정을 거친 뒤, 최근에는 각국 규제문들의 변화와 함께 은이온을 포함하는 은나노의 존재가 출현하는 것으로 마무리됐다. 본 논문은 이러한 흐름에 대한 면밀한 관찰을 통하여 은나노를 구성하는 사회적 요소들뿐 아니라 이들과 결부된 입자 생성 기술, 입자와 세포의 관계를 규정하는 논문들, 시민단체의 실행들의 연결망을 탐색하고, 이로 인해 새로운 은나노의 물질성이 형성되는 과정을 분석했다는 점에서 의의를 지닐 것이다.

□ 참고 문헌 □

- 국가과학기술위원회 (2001), '나노기술종합발전계획'.
- 서정임 (2013), 『리스크 거버넌스에서 리스크 개념 및 영역의 확장과 그 효과-나노과학기술을 중심으로』, 이화여자대학교 대학원 박사논문.
- 이은경 (2007), 「한국의 나노기술: 초기 정책 형성과 사회적 수용을 중심으로」, 『과학기술학연구』, 제7권 제1호, pp. 91-116.
- 조광연 (2012), 사무관 전화 인터뷰 (2012. 10. 12).
- 한국과학기술기획평가원 (2005), '나노기술영향평가 보고서'.
- 한국소비자원 (2005), '드럼세탁기 시험결과 보고서'.
- 환경부 (2011), 「제1차 나노 안전관리 종합계획(2012~2016) 수립」 .
- Braydich-Stolle, L., Hussain, S., Schlager, J. & Hofmann, M. (2005), "In vitro cytotoxicity of nanoparticles in mammalian germline stem cells", *Toxicological Sciences*, Vol. 88, pp. 412-419.
- Cao, G. & Wang, Y. (2011), *Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications*, World Scientific.
- Chen, X. & Schluesener, H. (2008), "Nanosilver: a nanoproduct in medical application", *Toxicology Letters*, Vol. 176, pp. 1-12.
- Choi, H. & Mody, C. (2009), "The Long History of Molecular Electronics Microelectronics Origins of Nanotechnology", *Social Studies of Science*, Vol. 39, pp. 11-50.
- Collins, H. (1992), *Changing order: Replication and Induction in Scientific Practice*, University of Chicago Press.
- Commission, E. (2011), "Commission Recommendation on the

Definition of Nanomaterial".

Commoner, B. (1974), *The Closing Circle: Nature, Man and Technology*,
New York: Knopf.

Daily Mail (2006. 3. 28), "Silver Dream Machine that Banishes Bugs in
Your Wash; The Latest Cleaning Technology 'Can Keep
Clothing Fresh for 30 Days'".

Davies, J. (1970), *The politics of pollution*, New York: Pegasus.

Douglas, M. & Wildavsky, A. (1983), *Risk and culture: An essay on the
selection of technological and environmental dangers*, University of
California Press.

Ebeling, M. (2008), "Mediating Uncertainty Communicating the
Financial Risks of Nanotechnologies", *Science Communication*,
Vol. 29, pp. 335-361.

EPA (2006a), "Letter from James Jones, Director, Office of Pesticide
Programs, Environmental Protection Agency, to Chuck Weir,
Chair, Tri-TAC".

_____ (2006b), "Letter from James Jones, Director, Office of Pesticide
Programs, Environmental Protection Agency, to Ken Kirk,
Executive Director, National Association of Clean Water Agencies".

_____ (2007a), "Nanotechnology White Paper".

_____ (2007b), "Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets Pesticide
Registration: Clarification for Ion Generating Equipment."

_____ (2010), "State of the Science Literature Review: Everything
Nanosilver and More Scientific, Technical, Research,
Engineering and Modeling Support Final Report".

- Epstein, S. (1993), *Impure science: AIDS, activism, and the politics of knowledge*, University of California Press.
- Feng, Q., Wu, J., Chen, G., Cui, F., Kim, T. & Kim, J. (2000), "A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*", *Journal of Biomedical Materials Research*, Vol. 52, pp. 662-668.
- FIFRA (2010), "A Set of Scientific Issues Being Considered by the Environmental Protection Agency Regarding: Evaluation of the Hazard and Exposure Associated with Nanosilver and Other Nanometal Pesticide Products".
- Gallup, G. (1972), *The Gallup Poll: Public Opinion 1935-1971*, New York: Random House.
- Hogstrand, C. (1997), "The Acute and Chronic Toxicity of Silver to Marine Fish", Paper presented at the 5th International Conference on the Transport, Fate and Effects of Silver In the Environment.
- Hussain, S., Hess, K., Gearhart, J., Geiss, K. & Schlager, J. (2005), "In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells", *Toxicology in vitro*, Vol. 19, pp. 975-983.
- Hwang, E., Lee, J., Chae, Y., Kim, Y., Kim, B., Sang, B. & Gu, M. (2008), "Analysis of the Toxic Mode of Action of Silver Nanoparticles Using Stress-Specific Bioluminescent Bacteria", *Small*, Vol. 4, pp. 746-750.
- ICTA (2008), "Citizen Petition for Rulemaking to the United States Environmental Protection Agency".

- Jasanoff, S. (1998), "The political science of risk perception", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 59, pp. 91-99.
- Kahan, D., Braman, D., Slovic, P., Gastil, J. & Cohen, G. (2008), "Cultural cognition of the risks and benefits of nanotechnology", *Nature Nanotechnology*, Vol. 4, pp. 87-90.
- Kehoe, T. (1992), "Merchants of Pollution?: The Soap and Detergent Industry and the Fight to Restore Great Lakes Water Quality, 1965-1972", *Environmental History Review*, Vol. 16, pp. 21-46.
- Kim, J., Kuk, E., Yu, K., Kim, J., Park, S., Lee, H., Kim, S., Park, Y., Park, Y. & Hwang, C. (2007), "Antimicrobial effects of silver nanoparticles", *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, Vol. 3, pp. 95-101.
- Kinney, J. (2006), "EPA to regulate nanoscale silver used in washing machines to kill bacteria", *Daily Environmental Reporter*, pp. A-3.
- Kirk, K. (2006), "Letter from Ken Kirk, Executive Director, National Association of Clean Water Agencies, to Stephen Johnson, Administrator, Environmental Protection Agency".
- Law, J. & Mol, A. (1995), "Notes on materiality and sociality", *The Sociological Review*, Vol. 43, pp. 274-294.
- Law, J. & Mol, A. (2002), *Complexities: Social studies of knowledge practices*, Duke University Press.
- Lindemann, P. A. (1997), "Colloidal Silver", <http://www.whale.to/a/lindemann.html>
- Matsumura, Y., Yoshikata, K., Kunisaki, S. & Tsuchido, T. (2003), "Mode of bactericidal action of silver zeolite and its

- comparison with that of silver nitrate", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 69, pp. 4278-4281.
- Melhus, A. (2007), "Silver threatens the use of antibiotics", <http://www.docstoc.com/docs/44755926/Silver-threatens-the-use-of-antibiotics>
- Mody, C. (2009), "Introduction", *Perspective on Science*, Vol. 17, pp. 111-122.
- Mol, A. (2002), *The body multiple: Ontology in medical practice*, Durham and London: Duke University Press.
- Morones, J., Elechiguerra, J., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J., Ramírez, J. & Yacaman, M. (2005), "The bactericidal effect of silver nanoparticles", *Nanotechnology*, Vol. 16, pp. 23-46.
- NSTC (2000), "National Nanotechnology Initiative: The initiative and its implementation plan".
- Scheufele, D., Corley, E., Shih, T., Dalrymple, K. & Ho, S. (2008), "Religious beliefs and public attitudes toward nanotechnology in Europe and the United States", *Nature Nanotechnology*, Vol. 4, pp. 91-94.
- Sondi, I. & Salopek-Sondi, B. (2004), "Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 275, pp. 177-182.
- Sung, J., Ji, J., Park, J., Yoon, J., Kim, D., Jeon, K., Song, M., Jeong, J., Han, B. & Han, J. (2009), "Subchronic inhalation toxicity of silver nanoparticles", *Toxicological Sciences*, Vol. 108, pp. 452-461.

The Wall Street Journal (2006. 6. 6), "This War Against Germs Has a Silver Lining".

Washington Post (2006. 11. 23), "EPA to Regulate Nanoproducts Sold as Germ-killing".

Weir, C. (2006), "Letter from Chuck Weir, Chair, Tri-TAC, to James Jones, Director, Office of Pesticide Programs, Environmental Protection Agency".

Wynne, B. (1996). "May the Sheep Safely Graze? A Reflexive View of the Expert - Lay Knowledge Divide", in Lash, S. et al. eds., *Risk, Environment and Modernity: Towards a New Ecology*, pp. 44-83, London: Sage.

Xiu, Z., Ma, J. & Alvarez, P. (2011), "Differential effect of common ligands and molecular oxygen on antimicrobial activity of silver nanoparticles versus silver ions", *Environmental science & technology*, Vol. 45, pp. 9003-9008.

Yi, S. (2010), "Risk and Risk Perception of Nanotechnology", *Journal of the Korean Vacuum Society*, Vol. 19, pp. 453-459.

경향신문(1973. 7. 13), 「洗滌力 강한 合成洗劑」 .

_____ (1990. 6. 20), 「세탁, 행균 性能 과장표시」 .

_____ (1990. 10. 15), 「합성세제 이젠 그만」 .

_____ (1992. 1. 22), 「저공해 洗劑 큰 인기」 .

내일신문(2009. 8. 25), 「삼성 은나노 세탁기 “문제없어요” 은나노는 마케팅 용어일 뿐... 실제로는 은이온 사용」 .

동아일보(1970. 11. 5), 「괜찮을까요? (4) 合成洗劑」 .

_____ (1973. 7. 13), 「提言 합성 洗劑 권유 전에 水質汚染 걱정부터」 .

- _____ (1987. 8. 5), 「합성洗劑- 「죽음의 물」 만든다」 .
- _____ (1989. 8. 17), 「합성洗劑 거품 河川 죽인다」 .
- _____ (2008. 3. 7), 「액체세제 행균 개선 드럼세탁기 세제 찌꺼기 걱정 끝」 .
- 매일경제(1973. 6. 13), 「消費生活과 環境汚染」 .
- _____ (1984. 10. 5), 「합성 세제 잘못 쓰면 위험하다」 .
- _____ (1993. 6. 9), 「세탁세제 無公害 세제 뿌리 내렸다」 .
- 연합뉴스(2009. 8. 23), 「은나노, 폐와 간 ‘공격’. 흡입독성 동물실험 결과」 .
- 전자신문(2003. 4. 15), 「나노기술 가전제품 적용 ‘급물살」 .
- 주간경향(2007. 7. 17), 「소비자원에 빗맞아도 ‘기업은 줄도」 .
- 중앙일보(2006. 5. 11), 「드러나는 은나노의 허상」 .
- 한겨레(2003. 10. 16), 「세균잡는 ‘나노실버’ 집안 곳곳에」 .
- _____ (1990. 11. 30), 「물을 썩게 하는 ‘합성세제」 .
- 한국경제(2003. 2. 21), 「건강 챙기는 가전제품 봇물…銀코팅 항균냉장고, 산소에어컨 등」 .
- 「한국건설생활환경시험연구원」 , http://www.kemti.org/board/notice/notice_bbs_View.asp?page=1&num=323
- "Regulations.gov", <http://www.regulations.gov>
- "Silver nano", <http://www.samsung.com/sg/consumer/learningresources/silvernano/silvernano/washingmachine.html>
- "Toxicological Sciences", <http://toxsci.oxfordjournals.org/content/108/2.toc>

논문 투고일 2013년 10월 12일
논문 수정일 2013년 12월 9일
논문 게재 확정일 2013년 12월 9일

Silver ions and nanoparticles in the making

Yoo, Sang Woon

Launched by Samsung in 2003, nano-silver washing machines were a representative application of nanotechnology in commercial products until the US Environment Protection Agency (EPA) decided to regulate companies that produce nano-silver products in 2006. A year later, however, the EPA reclassified the washing machines not as an application of nanotechnology but as an ion-generating machine. As shown by the EPA's equivocation on this issue, establishing a category for nano-silver material should be considered in the procedure of risk assessment and regulation. This paper analyzes the controversy over Samsung's nano-silver washing machines more in detail to study how the demarcation between silver ion and nano-silver can vary according to the risk perception of nanotechnology. In Korea and the US, the boundary between silver ion and nano-silver was malleable and mobilized depending on the contexts. Based on an analysis of the recent history of nano-silver washing machines, this paper explores the influence of risk perception over the ontological perspectives on a certain material.

Key terms

Silver ion, Nano silver, Risk perception, Regulatory policy