



대학생들의 과학기술관련 사회쟁점(SSI) 논의에서 기술의 본성(NOT)은 어떻게 나타나는가?

이현옥, 이현주*
이화여자대학교

Contextualized Nature of Technology in Socioscientific Issues

Hyunok Lee, Hyunju Lee*
Ewha Womans University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 January 2016

Received in revised form

7 March 2016

6 April 2016

14 April 2016

Accepted 18 April 2016

Keywords:

socioscientific issues, Nature of Technology, contextualized Nature of Technology

ABSTRACT

Socioscientific issues (SSI), by their nature, are conceptually embedded in technology. Previous research reported that nature of technology (NOT), unlike nature of science, was quite explicitly manifested in SSI decision-making, and NOT could be a promising construct for promoting SSI reasoning. In this study, authors introduced an integrated conceptual framework for NOT, which consisted of four dimensions (i.e., artifacts, knowledge, practice and system) as diverse modes of technology. We adapted the framework to investigate students' conceptualizations of NOT in the context of various SSIs. Data was collected from 45 college students enrolled in a liberal arts course on science and technology. The students participated in a team project, where they prepared and led discussions for SSI topics in class. Seven topics concerning SSIs were selected by students themselves. The preparation and class discussion of each student group were audio-recorded, and final reports were also analyzed. As a result, NOT sub-components in the dimensions of artifacts and system were explicitly represented in most contexts of SSI with various ranges of understanding. Other sub-components under the dimensions of knowledge and practice were rarely or implicitly shown in the discussion. The depth of students' understanding on NOT varied. Implications for science education were discussed.

1. 연구의 필요성 및 목적

현대 사회가 직면하고 있는 과학기술관련 사회쟁점(Socioscientific issues, 이하 SSI)에 대한 담화에 참여하고 합리적으로 의사결정할 수 있는 역량은 미래 사회의 시민으로서 갖추어야 할 과학적 소양 중 하나이다(AAAS, 1990; NRC, 2012; Roberts & Bybee, 2014; Zeidler, 2014). 이에, 지난 십여 년간 여러 과학교육 학자들이 학생들의 SSI 추론 과정을 탐색하고, 그 특징을 도출하기 위한 연구를 수행해왔다(Sadler & Zeidler, 2004, 2005; Zeidler, Walker, Ackett, & Simmons, 2002). 그 중, 일부 연구자들은 학생들의 과학의 본성(Nature of science, 이하 NOS)에 대한 이해 정도와 SSI 추론의 관계를 탐색했는데(Khishfe, 2012; Sadler, Chambers, & Zeidler, 2004), 그 상관관계에 대한 해석은 다소 불일치하는 경향을 보였다. 그러나 전반적으로 학생들의 SSI 추론 내용을 살펴보면 NOS에 대한 이해가 매우 제한적으로 드러나거나 명시적으로 드러나지는 않음을 알 수 있다(Bell, & Lederman, 2003; Eastwood *et al.*, 2012; Grace, & Ratcliffe, 2002; Sadler, 2009; Walker, & Zeidler, 2007). 예를 들어, Walker & Zeidler(2007)는 학생들에게 SSI를 포함하는 NOS 프로그램을 투입하였을 때 학생들의 NOS에 대한 이해는 유의미하게 증가하였지만, SSI 토론에서 NOS와 관련된 내용은 거의 포함되지 않았다고

보고하였다. Bell & Lederman(2003)은 NOS에 대한 이해가 상이한 두 집단의 SSI 의사결정에서의 추론 내용을 살펴보았을 때, SSI 의사결정 내용은 큰 차이를 보이지 않았다고 결론 내렸다. 두 집단에서 모두 개인적인 가치, 사회적 고려 그리고 도덕적·윤리적 논점 등을 주요한 의사결정의 근거로 활용하고 있었다고 서술하였다. 이러한 연구 결과들에 대해, Lee & Lee(2015)는 대부분의 SSI가 순수한 과학의 맥락을 넘어서서 기술과 공학적 요소가 포함되는 주제이기 때문에 NOS에 대한 이해뿐 아니라 기술의 본성(Nature of technology, 이하 NOT)에 대한 이해도 중요한 요인으로 작용할 수 있다는 점을 지적하기도 하였다.

실제로, 구체적인 SSI 사례들(예: 에너지 부족, 환경오염 및 문제, 원자력 발전소 건설 및 사고, 식품산업과 건강, 유전자재조합식품, 질병과 치료, 우주 개발 등)을 살펴보면 개념적으로 과학과 함께 기술과도 연관되어 있음을 알 수 있다(Albe, 2008; Zeidler *et al.*, 2009; Zeidler, & Kahn, 2014). 또한, 이러한 특성으로 인해 SSI 추론 및 의사결정과정에서 학생들은 과학지식을 단순히 적용해보는 것을 넘어 관련 기술이나 제품 및 정책의 장단점을 비교하거나 당면한 문제를 해결하기 위한 대안책을 제시해보기도 한다. 더욱이 해당 쟁점을 둘러싼 다양한 입장을 고려하고, 과학과 기술을 비롯한 경제, 정치, 사회·문화적 측면에서 접근하는 모습도 쉽게 관찰된다(Bell, &

* 교신저자 : 이현주 (hleee25@ewha.ac.kr)

** 본 논문은 제 1저자 이현옥의 2015년도 박사학위 논문에서 일부 발췌하여 정리하였음.
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2016.36.2.0303>

Lederman, 2003; Fleming, 1986; Chang, & Lee, 2010). 다시 말해 구체적인 SSI 사례들은 기술이나 공학의 측면을 내포하고 있고, 학생들은 SSI 추론과정에서 이와 관련된 내용을 빈번하게 언급한다. 그러나 아직까지 SSI와 NOT를 연결시켜 살펴본 연구들은 많지 않다. 이는 SSI 교육이 과학교육 분야에서 논의되기 시작 되었다는 현실적인 이유도 있지만, 기술적 측면을 보여줄 수 있는 NOT에 관련된 선행연구가 많지 않기 때문일 수 있다(Clough, Olson, & Niederhauser, 2013).

NOT라는 개념 자체는 과학적 소양을 함양하기 위한 주요 요소로 오래 전부터 소개되어 왔으나(AAAS, 1990), 과학교육이나 기술교육, 공학교육 분야에서도 NOT 개념에 대하여 구체적이고 심도 있는 논의는 많지 않았다. 이에, 연구자는 기술의 다양한 특징을 포함하는 통합적인 NOT 개념들을 개발하였다(Lee, 2015). NOT에 대한 이해는 기술의 전반적인 특징을 아는 것뿐 아니라 구체적인 맥락 및 사례에서 이와 관련된 기술의 특징을 인지하고 심도 있는 이해와 분석을 제공할 수 있는 역량으로 간주할 수 있다(Clough, 2013). 즉, NOT에 대한 충분한 이해를 한 학생들은 현대 사회가 당면한 과학기술관련 쟁점에 대하여 의미 있는 의사결정을 할 수 있을 것이라고 기대할 수 있다. 따라서 구체적인 SSI 사례 및 맥락에서 학생들이 어떻게 NOT를 인식하는지를 살펴보는 것은 과학 소양 함양의 측면에서도 매우 의미 있는 일이라 할 수 있다.

본 연구에서는 일반적인 기술의 특성을 나타내는 NOT와 구체적인 맥락 내에서 적용되는 NOT에 대한 이해가 의미 있는 방식으로 구분될 수 있음을 강조하고자 한다. 이는 오랜 동안 과학교육 분야에서 연구되어온 NOS와 관련된 유사 비판을 염두에 둔 것이다. NOS에 포함된 일반적인 과학의 특징이 학생들이 선연적으로 암기해야 하는 리스트로 활용되거나 그럴 우려가 있음에 대해 비판적인 목소리가 일고 있다(Allchin, 2011; Rudolph, 2000). 대표적으로 Allchin(2011)은 NOS가 맥락 없이 이해되었을 때 매우 큰 오해를 불러일으킬 수 있음을 지적하였다. 예를 들어, 학생이 ‘과학이 잠정적이다’라는 NOS의 한 특징을 선연적으로 수용하고 기후변화 쟁점에 적용하면, 이후 경쟁하는 다른 과학이론이 해당 현상을 대체할 것이라는 결론에 쉽게 도달할 수 있다는 것이다. 그리고 이러한 이해는 기후변화와 관련하여 수많은 과학자들 사이에서 합의된 내용으로서 인간에 의해 기후변화가 발생하고 환경적 위기가 도래했다는 결론을 일축하는 근거로 적절하지 않게 활용될 수 있다는 것이다. 더욱이 ‘과학이 잠정적이다’라고 아는 것만으로는 주요 문제를 해결하는데 실질적 역할을 하지 못하며, 오히려 과학적 주장의 신뢰도를 판단할 수 있느냐가 문제 해결에서는 더 중요한 요소라고 주장하였다. NOS에 대한 이해가 일반적이고 추상적인 과학의 특징을 단순하게 인지하거나 암기하는 것을 의미하지 않음에도 불구하고(Abd-El-Khalick, 2012; Schwartz, Lederman, & Abd-El-Khalick, 2012), 이러한 비판이 자주 제기되는 원인은 특정 맥락을 전제하지 않은 상황에서의 NOS에 대한 이해와 구체적인 맥락에서 드러나는 NOS에 대한 이해를 구별하지 않고 혼용해서 사용했기 때문일 수 있다.

이에, 본 연구에서는 다양한 SSI 맥락에서 NOT가 어떻게 드러나

는지를 살펴보고자 한다. 다시 말해서, 학생들이 일반적인 기술의 특징을 단순히 상기하는지의 여부를 살펴보는 것이 아니라, 구체적인 맥락에서 학생들이 어떻게 NOT를 개념화시키는지 분석하고자 한다. 특히, 본 연구에서 사용된 NOT 개념들에는 엔지니어의 활동 및 공학기술 지식에서 추출된 특징뿐 아니라 기술제품을 비롯하여 기술 발전에 관련된 사회·문화적 환경을 포괄하는 시스템 차원에서 추출된 요소가 포함되는데, 이는 SSI가 제시하는 다양한 맥락과 자연스럽게 연계될 수 있는 지점이 많다. 본 연구의 연구문제는 “다양한 SSI에 대한 학생들의 추론에서 NOT가 어떻게 개념화되어 나타나는가?”로 요약될 수 있다.

II. 연구 방법

1. 기술의 본성 (NOT) 분석틀

본 연구에서 사용한 NOT 개념들은 과학교육뿐 아니라 기술사·기술철학·기술사회학 분야의 문헌 연구를 바탕으로 초기 개념들을 개발한 후, 관련 분야 전문가들이 여러 차례의 검토를 거쳐 도출된 것이다. 이 개념들에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다. NOT 개념틀 구성의 첫 단계는 기술이 무엇인지를 정의하고 기술이 포함하는 범위를 규정하는 작업이었다. 이 과정에서 ‘기술’이라는 용어가 역사적으로 다양한 맥락에서 사용되었을 뿐 아니라 집단에 따라 다른 의미로 활용됨을 알 수 있었다(Feibleman, 1961; Mitcham, 1994). 본 연구자는 학생들의 ‘기술’에 대한 다양한 측면의 이해를 포착함으로써 보다 폭넓은 영역에서의 교육적 함의를 도출하기 위해, ‘기술’을 광의적으로 정의한 Mitcham (1994)의 정의를 따랐다. 또한, 그가 제시한 기술의 4가지 범주를 수정·보완하여, 인공물(artifacts), 지식(knowledge), 실행(practice) 그리고 시스템(system) 차원을 NOT 개념틀에 도입하였다. 이후 문헌연구 및 관련 분야 전문가(기술사학자, 기술철학자, 공학자, 과학교육자)와의 논의 및 검토과정을 통해 각 차원의 하위요소들을 구성하였다. 결과적으로 기술의 네 가지 차원에 하위요소 3개씩, 총 12개의 요소로 구성된 NOT 개념틀이 도출되었다.

다음은 네 가지 차원에 대한 소개이다. 첫째, ‘인공물’ 차원은 많은 사람들이 ‘기술’이라고 할 때 떠올리는 컴퓨터, 비행기 같은 첨단기술에 속하는 제품뿐 아니라 연필, 가위, 그릇과 같이 현대인의 눈에는 단순해 보이는 물체를 포함한다. 즉, 인류의 역사를 통해 인간이 만들어 온 도구 및 기기를 포괄한다(De Vries, & De Vries, 2006; DiGironimo, 2011). 둘째, ‘지식’ 차원은 통상적으로 말하는 기술지식 및 공학지식을 의미한다. 즉, 엔지니어가 사용하고 생산하는 지식이다. 여기서 기술자가 아닌 엔지니어가 지식의 생산과 소비의 주체로 등장한 것은 광의적 접근을 통하여 ‘기술’을 정의한 것과 연계된다. 일반적으로 기술자는 일상생활에서 기능적인 일을 하는 사람으로 통용된다. 그러나 포괄적 의미의 ‘기술’은 공학 분야까지 확장될 수 있다(Pacey, 1983; Mitcham, 1994). 따라서 기술자보다 외연이 큰 전문가 집단을 지칭하기 위하여 ‘엔지니어’라는 용어를 사용하였다(Kim *et al.*, 2013). 엔지니어는 기술자뿐 아니라 다양한 전공을 가진 공학자들과 기술적인 문제를 해결하기 위해 현장에서 활동하는 전문가도 포함한다. 공학자(工學者)는 공학을 전문적으로 연구하는 사람이라는 개념을 담고 있어 대학의 공학계열 교수 및 연구자만을 지칭할 수 있기

1) NOT 개념틀 및 개발과정에 대한 자세한 설명은 제1저자의 박사학위 논문(2015)에 제시되어 있으며, 현재 투고 준비 중이다. 이에, 본 논문에서는 NOT 개념틀 자체 보다는 이 틀을 활용하여 SSI 추론과정을 분석하는데 초점을 둔다.

때문에 공학자보다는 엔지니어가 적합하다고 판단하였다. 셋째, ‘실행’ 차원은 기술제품 및 기법을 개발하기 위한 설계(design)와 생산 그리고 제품을 사용, 보수, 유지 그리고 평가와 같은 일련의 활동을 포함한다. 특히, 연구자는 엔지니어의 다양한 활동 중에서 설계에 초점을 맞추었는데 여러 기술철학자뿐 아니라 엔지니어들 스스로 공학 기술의 가장 특징적인 활동으로 설계를 주목하기 때문이다(De Vries, & De Vries, 2006; Vincenti, 1990). 마지막은 ‘시스템’ 차원이다. 기술 시스템은 과학과 기법적(technical) 요소뿐 아니라 이와 연계된 사회, 정치, 문화적 요소들까지도 포함하는 의미이다. 교육관련 문서 및 선행연구에서 기술을 시스템으로 정의하거나 기술 시스템과 관련된 특징이 자주 언급되었다(AAAS, 1990, 1993; Hughes, 2012; ITEA, 2007; Volti, 2009; Waight, & Abd-El-Khalick, 2012). AAAS(1990)는 기술을 복잡한 사회적 체제(complex social enterprise)로 상정하고 여기에 포함되는 것으로 연구, 설계, 기예, 금융, 제조업, 관리, 노동, 마케팅 그리고 유지·보수를 나열하였다. 연구자는 시스템 차원을 도입함으로써 기술의 협소한 의미에 해당하는 기법적 요소뿐 아니라 다양한 문화적, 사회적인 요소들을 포괄하고 전체론적 시각에서 기술을 조망하고자 하였다. 다시 말해 시스템적 접근은 전체가 부분의 합 이상의 의미를 지닌다고 가정하는데, 시스템 차원은 기술의 다양한 요소들이 상호 연계되어 공존하면서 변하는 과정을 전체적인 시각에서 설명할 수 있고 전술한 세 가지 차원과 구분되는 기술의 특징을 제공할 수 있다. 기술의 차원 4개의 하위에 포함된 NOT요소는 <Table 1>에서 개괄적으로 설명하였다.

2. 자료 수집 및 분석

본 연구에는 서울 소재 대학에 재학 중인 45명의 1학년 학생들이 참여하였다(인문계열 전공자 18명, 공학계열 27명). 이들은 모두 과학 기술과 관련된 역사, 철학, 사회학을 포함하는 교양과목(2개반)을 수강하였다. 수업 커리큘럼에 모듈별로 SSI를 선정하여 수업 시간에 전체 토의 및 토론을 이끄는 과제가 제시되었으며, 학생들은 4~5명이 한 모듈이 되어 자유롭게 SSI 토론 주제를 선정하였다. 총 10개 모듈으로, 이들이 선택한 주제는 <Table 2>과 같이 총 7가지였다(SSI 1 - SSI 7). 참여자들이 선택한 SSI 토론의 소재가 유사한 경우도 있으나, 토의 및 토론에서의 논점은 다소 차이를 나타내었다(주제별로 SSI 1 - SSI 7으로 표시하였고 동일 주제에 대하여 두 개의 다른 학급에서 진행된 경우는 1 혹은 2를 덧붙여 표시하였음). 본 연구를 위한 자료는 각 모듈의 사전 준비과정(주제 선정을 위한 보고서, 준비 과정을 확인하고 지원하기 위한 사전 면담 녹음본), 실제 수업에서의 토의 및 토론 과정(발표 자료, 전체 토의 및 토론 녹음본, 동료 평가를 위한 평정서) 그리고 모듈 프로젝트를 마치고 작성한 보고서(각 모듈별 주제에 대하여 개별 의견 및 의사결정에 대한 글쓰기 포함) 등에서 다양하게 수집되었다. 모듈별로 SSI 토론 수업을 진행하도록 하는 과정은 학생들이 자발적으로 선정한 다양한 SSI 주제에 대한 논의 자료뿐 아니라 학생들의 쓰기와 말하기와 같은 다른 형태의 자료들을 풍성하게 수집할 수 있는 환경을 제공하였다. 또한 인문 및 공학계열의 다양한 전공을 가진 참여자들은 SSI 추론에서 폭넓은 스펙트럼을 제공할 것으로 기대되었다.

다양한 SSI 토의 및 토론 내용에서 대학생들이 인식하는 NOT를 확인하기 위하여 연구자들은 앞에 제시한 분석틀을 활용하여 SSI 쟁점별로 어떤 NOT 요소가 언급되었는지를 찾고 해당 내용에 대한 논의를 통하여 합의할 때까지 지속하였다(Miles, & Huberman, 1994). 두 연구자는 NOT 개념틀 개발에 같이 참여 하였으며, 연구자 중 한명은 10여 년 동안 SSI 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 1차적으로 SSI 쟁점별로 수집된 자료를 읽고 NOT 요소가 포함된 부분을 직접적으로 발췌하여 표의 형식으로 구성하였다. 분석결과 학생에 따라 NOT 요소에 대한 언급에서 깊이가 다른 이해의 수준을 발견하였다. 따라서 어떤 수준의 NOT 이해를 기준으로 할 것인지에 대한 논의가 필요하였다. 본 연구의 목적은 다양한 SSI 추론에서 NOT 요소가 어떻게 나타나는지를 구체적으로 보여주는 것이 목표이기 때문에 해당 NOT 요소가 자주 등장하는지를 기준으로 분석하고, 이후에 NOT 언급에서 이해의 수준이 질적으로 다른 부분은 구체적으로 묘사하기로 하였다. 두 연구자는 1차 분석결과를 토대로 참여자의 발췌문 내용을 구체적으로 비교하여 주요 어휘 및 맥락을 도출한 후 이것을 활용하여 발췌문을 도출한 해당 SSI 뿐 아니라 다른 SSI 논의 내용도 재차 분석을 하는 방식으로 SSI 주제별로 7번을 수행하였다. 2차 분석 결과에서 다양한 SSI 추론에서 어떤 NOT 요소가 언급되는지에 대한 총괄적인 분석은 일치하였고, 학생들이 언급한 NOT 요소에 대한 차별화 된 이해의 수준을 보여주기 위해 두 연구자가 이론적 근거를 토대로 합의하여 결과보고에 포함시킬 참여자의 발췌문을 선정하였다.

III. 결과 및 논의

학생들이 선정한 7가지 주제의 SSI에 대한 토의 및 토론 과정에서 나타나는 NOT를 세부 요소별로 표시하면 <Table 3>과 같다. 이는 다양한 SSI에 대한 추론 과정에서 나타나는 NOT 요소의 경향성을 개괄적으로 보여준다. 첫째, SSI 주제별로 다소 차이는 있으나, SSI의 모든 맥락에서 NOT의 요소가 명시적으로 등장하였다. 특히, 인공물과 시스템 차원의 NOT 요소가 빈번하게 등장하고, 그 중에서도 ‘현실 세계 문제의 해결안’, ‘인공물의 양면성’ 그리고 ‘다양한 이해관계자와 기관’이라는 기술의 특성은 대부분의 SSI 추론에서 등장하였다. 둘째, ‘지식’과 ‘실행’ 차원의 NOT 요소들은 다른 차원의 요소들에 비해 SSI 추론에서 자주 나타나지 않았다. 특히, 구체적인 공학기술 지식 혹은 엔지니어의 실제 활동을 주요하게 지적하기 보다는 간접적으로 제시하는 경우가 많았다. 다양한 SSI 추론에서 NOT 요소가 어떻게 나타나는지에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

1. 인공물 차원

인공물 차원에 해당하는 NOT 요소는 다양한 SSI 논의에서 자연스럽게 나타난다. 특히, 참여자들이 선정한 SSI 토론 질문 및 시나리오에서 전제처럼 포함되는 경우가 많았다. 모듈별로 토론을 구성하여 진행하는 과제에서 참여자들은 특정 주제를 선택하라는 요구를 받지 않았지만, 그들이 구성한 SSI 토론 질문에는 인공물 차원의 NOT 요소가 연계되어 있다.

Table 1. Contents of Nature of Technology Conceptual Framework

| Dimension of Technology | NOT components | Contents |
|-------------------------|---|---|
| I. 인공물 Artifacts | I-1. 의도를 내재한 인공물 Intentional artifacts | 인공물은 기능적으로 물리적으로 인간의 의도를 반영하는 물체이다. 인간이 특정 목적 혹은 의도를 가지고 물건을 설계하고 생산하려고 했던 해당 인공물에 필요한 재료 및 활용 기법이 접근가능하지 않거나 재물에 포함된 재료의 물리적 성질로 인하여 의도한대로 완성되지 않는 경우도 있다. |
| | I-2. 현실세계 문제의 해결안 Solution for real-world problems | 인공물은 종종 현실세계의 특정 문제들을 해결하고자 개발되거나 사용된다. 인공물 도입으로 현실세계의 문제를 항상 완전하게 해결할 수는 없다. 해결안으로 제안된 인공물이 원래의 문제를 변형시키거나 다른 문제를 발생시킬 수도 있기 때문이다. |
| | I-3. 인공물의 양면성 Positive and negative impacts of artifacts | 인공물은 인간의 사고 및 행동에 영향을 미칠 뿐만 아니라 사회적, 문화적, 경제적, 그리고 정치적인 영역의 변화를 초래하기도 한다. 인공물은 긍정적이거나 부정적인 효과 및 영향력을 발휘할 수 있다. |
| II. 지식 Knowledge | II-1. 절차적 지식 Procedural knowledge | 공학기술지식은 제품의 설계 및 생산 그리고 활용 기법의 개발 등의 목적을 달성하고자 할 때 이를 실현하는 절차에 관련된 지식을 포함한다. 엔지니어들은 효율성 및 유용성을 중요한 가치로 고려하면서 주어진 목표를 달성하기 위하여 노력하는데, 이 과정에서 최적 조건이나 최대 효율과 같은 개념이 구체화되어 관련 실행 및 의사결정에서 주요한 기준으로 활용되기도 한다. |
| | II-2. 실천적 지식 Practical knowledge | 엔지니어가 기술적 활동을 하면서 얻는 지식으로서 축적된 실행(accumulated practice)에 대한 지식이다. 실천적 지식에는 말이나 글로 표현되기 힘든 암묵적(tact) 특성이 나타나는데, 이 때문에 지식을 전수할 때에는 시범이나 그림 및 도해 등의 시각적인 도구를 활용하는 것이 효과적일 수 있다. |
| III. 실행 Practice | II-3. 맥락 의존적 지식 Context-dependent knowledge | 특정 상황에 성공적으로 적용되던 공학기술 지식이 다른 상황에도 항상 성공적으로 적용되는 것은 아니다. 엔지니어들은 특정 공학기술 지식을 적용할 때 상황적 요건에 해당하는 다양한 조건과 변수를 고려하는데 어떤 변수를 고려해야 하는지 미리 정해져 있지 않는 경우가 많다(uncertainty). |
| | III-1. 제한조건과 가치 적재적 의사결정 Constraints & value-laden decisions | 엔지니어들의 실제 활동은 필요한 것을 만들어 내기 위하여 다양한 제한조건(constraints)을 고려한 의사결정과정이다. 제한조건에는 물리 법칙이나 물질의 성질 혹은 자원의 매장량처럼 절대적이고 변경할 수 없는 조건들이 있고, 마케팅(소비자 요구 및 위험 인식 등), 정치, 법률, 윤리 및 문화적 요소를 포함하여 시간 및 상황에 따라 유동적이거나 변경 가능한 제한조건이 있다. 엔지니어들의 의사결정은 다양한 제한조건 중 주요하다고 생각하는 요소를 가려내어 선택하고, 제한조건에 비중에 고려하여 설계에 반영할 수 있다는 점에서 가치 적재적(value-laden) 이다. |
| | III-2. 최적화와 창조적 활동 Optimization & creative activities | 현실 세계에서 제한조건들을 고려할 때 서로 배타적인 경우가 많아, 엔지니어들은 현실 상황을 고려하여 가장 기능적이고 효과적인 지점을 찾거나 조정하는 최적화(optimization) 과정을 거친다. 엔지니어들은 최적화 및 여러 가지 가능한 대안을 고안하는 과정에서 창의성을 발휘하여 발명(invention)과 혁신(innovation)을 이룬다. |
| IV. 시스템 System | III-3. 피드백과 다학제적 접근 Feedback & multidisciplinary approach | 엔지니어들은 설계 단계에서 기술제품의 고장 및 부작용에 대비하려는 노력을 함으로써 결과물이 실제 사용될 때 제대로 작동할 수 있도록 한다. 고객 혹은 소비자의 요구를 만족시키고 기술이 장기적으로 어떤 변화를 겪을 것인지 그리고 어떤 기술이 살아남을 것인지를 판단하기 위하여 엔지니어들은 다양한 학문과 영역의 전문가들과 함께 협업한다. |
| | IV-1. 다양한 이해관계자와 기관 Multiple stakeholders & organizations | 기술시스템은 물리적 성질을 지닌 인공물뿐 아니라 엔지니어와 소비자들을 비롯한 인적 요소와 다양한 사회, 문화적 요소 등을 포괄한다. 기술의 역사를 살펴보면 특정 기술제품의 특징 및 형태가 표준이 되는 기술적 종결(technological closure)이 발생하는데, 다양한 이의 단체와 시대의 상황 등이 주요한 역할을 한다. |
| | IV-2. 상호연계적 집합체 Systemic structure | 기술시스템을 구성하는 요소들은 각기 어느 정도의 자유도를 갖으면서도 서로 연결되어 있어 하나가 변하면 이와 연관된 부분들은 서로 영향을 주고받는다. |
| | IV-3. 기술발전과 시스템 모멘텀 Technology development & system momentum | 기술은 다양한 방향으로 발전할 수 있는데 어떻게 발전할 것인지를 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 특정 기술이 성공적으로 발전하여 사회에 정착되면 해당 기술과 관련된 해당 기술과 관련된 새로운 이해관계자가 형성되고 증가하면서 그들 사이에 이해관계가 고착화 되는데, 이 때 해당 기술시스템의 목적과 방향성 및 변화 속도가 되도록 일정하게 유지되는 시스템 모멘텀(system momentum)의 특성을 보인다. |

Table 2. Topics for SSI discussion

| SSI | 주 제 | 토의 및 토론 개요 |
|-------|----------------------------------|--|
| SSI 1 | 첨단정보통신기술제품 구글글래스 | 안경처럼 생긴 웨어러블 제품인 구글글래스는 사진 및 비디오 촬영 기능과 장면을 공유하는 편리한 기능을 가지지만 이와 함께 사생활 침해 및 다양한 정보 누출과 같은 부작용이 예상 됨. 이 제품이 출시되면 소비자로서 구매할 것인지에 대하여 묻고 이로 인한 사회적 변화에 대한 논의를 진행함. 정보화 시대의 정보기술이 적용된 첨단기술제품에 대한 토의 및 토론(SSI 1). |
| SSI 2 | CCTV 활용 | 범죄율을 낮추기 위하여 CCTV를 적극적으로 도입하는 방안에 대하여 논의. 치안을 위해 흔히 활용되는 CCTV가 실제로 범죄율을 낮출 수 있는지를 고려하고 사생활 침해 및 민간인 사찰 등과 같은 역기능을 우려하여 CCTV 도입과 함께 필요한 사회적 제도 등을 논의(SSI 2). |
| SSI 3 | 원자력발전 | 고리 1호기처럼 사용기한을 넘긴 원자력 발전소를 수리하여 다시 가동시켜야 하는지에 대하여 토론. 원자력 발전소 재가동으로 인한 이득과 과학기술을 활용하여 미래의 발생할 수 있는 위험을 어느 정도 제어할 수 있는지를 논의. 다양한 원전사고의 원인에 대한 분석과 함께 고리 1호기와 관련된 구체적인 정보 및 이와 유사한 다른 나라의 사례 및 정책 등을 비교(SSI 3-1) 일본의 후쿠시마 원전사고가 벌어진 것을 경험한 우리는 국내 원자력발전소를 유지 발전시켜야 할지 아니면 폐기해야 하는지에 대하여 토론. 과학기술의 발전으로 인류가 위험을 피하거나 줄일 수 있게 되었는지 아니면 과학기술로 인하여 더 큰 위험이 유발되는지에 대한 논의와 함께 원전사고의 위험성을 다양한 관점으로 해석(SSI 3-2). |
| SSI 4 | 전쟁 무기 개발 | 구체적인 전쟁무기로 원자탄 및 전자기펄스탄을 제안하고 각각을 개발한 과학기술자에게 어떤 책임을 물을 수 있을지를 논의. 전쟁 무기와 기술의 구체적인 특성에 따라 이를 개발하고 제작한 과학기술자의 책임이 달라질 수 있다고 전제하고 해당 무기의 물리적 특성뿐 아니라 피해 특성 및 규모를 대조하여 제시하고 이를 고려하여 개발자인 과학기술자의 책임을 판단(SSI 4-1). 현실 세계에서 전쟁관련 기술이 가지는 모순적인 양면성에 대한 논의를 바탕으로 과학기술자로서 무기제작에 대한 의뢰를 받았을 때 어떤 선택을 할지에 대하여 토론. 무기개발에 직접 참여하였거나 관련되었던 실제 과학기술자들의 사례를 제시하며 그들의 개인적인 선택에 영향을 주었던 사회, 정치, 문화적 환경적 요소와 이에 대한 해석에 대하여 논의(SSI 4-2). |
| SSI 5 | 말라리아 방지를 위한 살충제 DDT와 환경오염 물질 DDT | 말라리아 방지에 뛰어난 효과를 보이는 살충제이자 환경오염 물질로 밝혀진 DDT의 사용을 허용해야 하는지에 대하여 토론. 말라리아로 인하여 피해가 심해 DDT 사용이 절실한 국가와 DDT가 장기간 생태계를 교란시키면서 피해를 입은 국가를 대조시키고 각 입장을 고려한 후 어떤 결정을 해야 하는지를 논의 (SSI 5) |
| SSI 6 | 에이즈 치료제 개발 및 보급 | 에이즈 치료제가 개발되고 보급되는 과정에 관련된 다양한 이해관계자를 고려하여 어떤 정책을 제안해야 할지에 대하여 토의. 에이즈 치료제는 내성 문제가 심각한데 이 때문에 새로운 치료제 개발이 지속적으로 요구되는 상황에서 다국적 제약회사에서는 경제 논리를 내세우며 고가의 약값을 책정. 에이즈는 전염병이기 때문에 치료가 되지 않을 때는 사회적 문제로 확산이 된다는 인지를 통하여 국가적 정책의 마련과 적절성에 대하여 논의(SSI 6). |
| SSI 7 | 동물실험 | 동물실험에 대한 찬반 의견의 근거를 정리하고 각자 어떤 입장에 있는지를 결정하고 논의. 동물실험의 실행 현황과 관련 동물보호법에 대한 구체적인 정보를 제공. 반대 입장에서는 비윤리적 동물실험의 실태, 동물 실험의 대안 및 오류에 대한 내용을 제시하고 찬성 입장에서는 의약품 안정성 확인을 위해서는 동물실험이 필수이며 기초연구 발전에 동물 실험이 기여했을 뿐 아니라 일부 실험에서 대안이 없다는 현실 등을 근거로 제공(SSI 7-1). 인간이 동물들을 실험의 대상으로 삼을 권리가 있는지에 대하여 다양한 입장을 가진 실제 과학기술자와 철학자의 주장을 정리하여 역할극 도입. 신약개발에 있어서 동물실험이 유용했던 사례와 동물실험 결과에서 통과된 신약이 인체에 해를 끼쳐 동물실험의 실효성에 대하여 의심을 제기했던 경우를 제시하고 신약개발에 의무화 되어 있는 동물실험제도에 대하여 토론. 동물실험에 관련된 윤리적 원칙을 제시하여 방향성 제안(SSI 7-2). |

Table 3. Analysis of NOT in SSI contexts

| 차원 | 세부요소 | SSI 1 | SSI 2 | SSI 3 | SSI 4 | SSI 5 | SSI 6 | SSI 7 |
|---------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I. 인공물 | I-1. 의도를 내재한 인공물 | ○ | ○ | | ○ | | | |
| | I-2. 현실세계 문제의 해결안 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | I-3. 인공물의 양면성 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| II. 지식 | II-1. 절차적 지식 | | | | | | | ○ |
| | II-2. 실천적 지식 | | | | | | | |
| | II-3. 맥락 의존적 지식 | | | | | ○ | | ○ |
| III. 실행 | III-1. 제한조건과 가치 적재적 의사결정 | | | | ○ | | | |
| | III-2. 최적화와 창조적 활동 | ○ | | | | | | |
| | III-3. 피드백과 다학제적 접근 | | | | | ○ | | |
| IV. 시스템 | IV-1. 다양한 이해관계자와 기관 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | IV-2. 상호연계적 집합체 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | IV-3. 기술발전과 시스템 모멘텀 | ○ | | | | ○ | | |

가. 의도를 내재한 인공물

참여자들은 특정 기술제품의 기능 및 활용 그리고 새로운 제품의 개발에 대한 논의들을 진행하면서 ‘의도를 내재한 인공물’에 대한 언급을 자주 하였다. 예를 들어, SSI 1과 SSI 2에서는 구글클래스 및 CCTV와 같은 특정 기술제품이 소재로 활용되었는데 각 제품이 어떤 방식과 기능으로 작동하는지에 대한 논의를 하면서 개발자 의도와 함께 구체적이고 물리적인 구현방식에 대한 내용을 언급하였다. 특히, 전쟁 무기 개발을 다룬 SSI 4에서는 해당 NOT 요소에 대한 풍부한 논의가 이루어졌다. 해당 쟁점에서는 적에게 심각한 피해를 줄 수 있는 무기 개발이 가능한 상황에서 과학기술자들이 어떤 입장을 취해야 하는지를 묻고 있다. 참여자들은 자연스럽게 “보통 무기를 만든 이유는 사람을 죽이는 것과 같이 인명 피해를 입히기 위한” (SSI 4-1) 의도가 있다는 것을 전제하였고, 일부 학생들은 특정 무기를 제시하면서 물리적인 구현 방식 및 기능이 적에게 어떤 피해를 줄 수 있는지에 대하여 구체적으로 설명하였다. 이 과정에서 인공물에는 개발자의 의도와 같은 심적인 영역과 함께 물리적이고 물질적인 영역이 동시에 구현되지만 각 영역의 자유도가 있다는 이해가 나타나기도 하였다. 즉, 개발자가 의도한 그대로 인공물이 구현될 때도 있지만 인공물의 물리적 부품과 기능이 개발자가 의도했던 것과 일치하지 않는 경우도 많다. 예를 들어, 첨단무기를 개발하는 과학기술자의 책임에 대해 논의하는 과정(SSI 4-1)에서 심적인 영역에 해당하는 과학기술자의 의도 자체를 고려할뿐 아니라 개발된 무기의 물질적 특성과 기능을 구체적으로 확인하여 이것을 역으로 과학기술자의 의도 및 책임을 판단하는 기준으로 사용하였다. 다음은 EMP(electronic magnetic pulse)라는 폭탄을 개발한 과학기술자의 책임을 묻기 위해 참여자들이 법정 형식을 빌어서 역할극의 형태로 구성한 내용의 일부이다.

피고 변호사 : 지금까지 저희는 개발된 EMP 무기에 관련된 장단점을 얘기를 했는데 과학기술자의 잘잘못을 따지는 재판이기 때문에 과학기술자의 의도가 무엇보다 중요하다고 생각합니다. 사전에 조사한 바로는 개발자님은 무기개발 프로젝트에서 두 가지를 제안 받았다고 들었는데 맞습니까? ... 하나는 인명피해가 큰 무기 K-9 핵무기였고 다른 하나는 (인명 피해는 직접적으로 없지만 전자기기를 무차별적으로 파손하여 오랜 기간 해당 지역을 마치 비문명 사회처럼 만드는) EMP 무기 개발이었다고 들었습니다. 두 가지 무기 중 개발에 참여할 때 기준이 무엇이었습니까?

과학기술자 : 결과적으로는 인명피해가 제일 적어야 된다고 생각했습니다.

피고 변호사 : 개발자는 결과적으로 인명피해가 적은 무기를 개발하여 피해를 최소화하고자 하였습니다. 이렇게 인류를 생각한 의도를 재판장님과 배심원들께서 참고해주시기 바랍니다. 감사합니다.

원고 변호사 : 일단 무기를 개발했다는 것은 전쟁에 대한 의지를 보여주는 것이고 이것이 결국 전쟁을 발생 시키는 어느 정도의 원인이 됩니다. 또한 EMP 같은 경우는 (해당 지역에) 지속적으로 영향을 준다는 것이 가장 큰 특징입니다. (EMP에서 발생하는 전자기펄스의 영향력이 지속되는) 10년이라는 세월이 짧지는 않거든요. 그 동안 어떤 과학기술적인 혜택도 받지 못하고 원시사회로 돌아간다면 육체적 고통만큼 정신적인 고통도 클 것이라 생각합니다. 또한 EMP는

파장의 형태이기 때문에 주변국에 어떤 영향을 끼칠지도 모릅니다. 그 외에도 EMP가 인체에 미치는 영향이 어떨지는 아직 판단이 안 된 상태이므로 이에 대해서도 유의해야 된다고 생각합니다. (SSI 4-1)

이 학생들은 EMP라는 첨단 무기를 개발한 과학기술자의 책임을 당사자의 의도를 고려하고 실제 EMP 라는 인공물의 특징과 기능을 재고하여 판단하고자 하였다. 이 역할극을 본 다른 학생들은 핵폭탄과 EMP 폭탄은 개발자의 의도가 유사한 전쟁무기이지만 각 인공물을 구현하는 원리 및 구조 그리고 물질에 따라 매우 다른 결과가 도출될 수 있다는 것을 지적하였다. “핵폭탄은 터지면 인명 피해가 발생해서 되돌릴 수 있는 방법이 없는데, EMP 폭탄은 되돌릴 수 있는 (방안이 있는) 과학기술인 것 같고”(SSI 4-1)라는 근거를 통하여 EMP 개발자의 책임이 덜하다는 입장을 제안하였다. 정리하면, 대학생인 참여자들의 수준에서는 인공물이 설계자 의도를 나타내는 물체라는 것은 평이한 사실로 인지되었지만, 일부 학생들은 설계자의 의도를 인공물을 구현하는 물리적인 영역을 같이 고려하여 두 영역에서 일치하지 않는 경우에 발생할 수 있는 다양한 논의와 고려사항을 구체화 하였다.

나. 현실세계 문제의 해결안

사회의 문제를 해결하기 위하여 제안된 과학기술 제품 및 정책에 대한 논의는 SSI 맥락에서는 전형적인 사례이다. 분석결과 거의 모든 SSI 논의에서 ‘현실세계 문제의 해결안’에 대하여 언급되었다. 특히, SSI 2에서 “범죄율이 높아서 치안에 위협을 받고 있는 상황”을 해결하기 위하여 도입한 CCTV(closed-circuit television, 폐쇄회로텔레비전) 허용 여부를 묻는 토의 질문에 해당 NOT 요소와의 연계가 분명히 나타났다.

A: 저는 지금 다른 방법이 없다고 봅니다. 그래서 이토록 효과적인 CCTV가 나온 거고, 다른 방법이 있으면 좋겠죠. 그런데 현재 없으니까 CCTV를 하는 것 아닐까요.

B: 저는 낙후된 지역만 조금만 보안을 해도 그리고 방법이나 여러 가지 제도적인 부분을 이런 것을 실질적으로 도입을 하면 범죄율을 어느 정도 줄일 수 있지 않을까 하는 생각을 합니다. CCTV에 더 의존하고 CCTV를 해야만 한다고 말하는 자체가 다른 가능성들을 배제하고 한 가지에만 꽂혀 있는 것은 아닌가요. (SSI 2)

위의 발췌문과 같이 여러 참여자들이 CCTV가 범죄율을 낮추는데 활용될 수 있다는 것을 인지하고 긍정적으로 고려하였다. 그러나 CCTV와 같은 기술제품이 현실세계 문제를 해결하는데 절대적으로 기여하거나 만능으로 활용될 수 있다는 주장에 대해서는 참여자들 사이에서도 비판이 제기되기도 하였다. B학생이 CCTV 이외의 다른 가능성을 고려해봐야 한다고 지적하는 것은 이러한 이해가 반영된 것이다. 더욱이 일부 학생들은 사회 문제의 근본적인 원인이 무엇인지를 분석하여 적절한 대안을 제시해야 한다는 의견을 제시하고, 다음과 같이 CCTV를 사용함으로써 발생할 수 있는 다른 문제들을 지적하기도 하였다.

범죄율이 높아질 수밖에 없는 근본적인 이유를 찾아 그것을 해결해야 한다고 생각한다. 높은 범죄율의 원인이 개인에게 있는 사회에 있는 그것을 탐색하고 해결하려는 시도가 선행되지 않은 채 그저 감시만 한다면 이 CCTV제가 운영되지 못할 경우 이전과 같이 범죄가 빈번하게 일어나는 사회로 회귀할 수밖에 없을 것이다. (SSI 2)

구글에서 이름을 치면 웬만한 정보 다 나오고 SNS 글 올리는 거 다 나옵니다. 그러니까 마음만 먹으면 그 사람의 정보를 캐낼 수 있는 사회 속에서 CCTV까지 설치를 해버리면 너무 만 천하에 우리 정보를 공개하고 있지 않나 그런 생각도 들고, 무엇보다도 국가 차원에서 CCTV를 도입하다 보면 민간인 사찰이나 국민들의 정보를 국가 특정 집단의 이익을 위해서 쓰일 가능성도 있지 않나라는 생각이 들어서 (반대합니다). (SSI 2)

첫 번째 발췌문에서 CCTV를 적극적으로 도입하는 제도를 도입하기 전에 범죄율이 높아지는 근본적인 원인을 분석하고 확인해야 한다고 지적하였다. 다시 말해, 범죄가 일어나는 근본적인 원인을 무시한 채 CCTV와 같은 과학기술에만 의존하여 문제를 해결하는 것은 피상적인 접근에 불과하다는 평가를 하였다. 두 번째 발췌문에서는 CCTV를 국가 차원에서 적극적으로 도입하면 개인의 사생활 침해를 넘어서 민간인 사찰과 같은 국가 권력의 남용이라는 다른 심각한 문제가 발생할 수 있다고 언급하였다.

다. 인공물의 양면성

대부분의 SSI주제에서 인공물의 양면성에 대하여 논의되었다. 일 반론적인 수준에서 과학기술이 인간에게 이롭거나 해로울 수 있다는 이해는 참여자들이 직접 언급하기도 하고 맥락적으로 전제되기도 하였다. “과학기술은 우리에게 이로운 점을 주기도 하면서 반면에 우리에게 위험을 더 불러일으키는”(SSI 3-2) 영역이라고 지적되었다. 더욱이 인간에게 이롭게 사용되는 과학기술의 사례와 그렇지 않은 경우를 구체적으로 제시한 경우도 있었다.

과학기술은 자연의 위협에서 막아준다 혹은 우리를 보호해주는 힘이라고 생각하는데요, 그 대표적인 사례가 쓰나미 경보 같은 경우나 지진피해를 막을 수 있는 내진설계 같은 경우로 과학기술로 인해서 자연재해를 좀 더 막을 수 있는 것이 됩니다. 의료장비도 과학기술로서 우리 삶을 좀 더 나아지게 합니다. 그런데 이렇게 과학기술은 우리에게 이로운 점만 주는 것이 아니라 반대로 위험을 불러오기도 합니다. 예를 들어 환경호르몬이나 혹은 GM식품, GM식품은 아직 논란이 있기는 한데, 그것의 부작용들이 없지는 않잖아요. (SSI 3-2)

발췌문에서 인공물의 좋은 측면을 보여주는 인공물이 여럿 나열되었고, 부정적인 영향을 주는 사례로는 플라스틱 등에서 발생하는 환경호르몬이나 GM식품의 부작용 등이 제시되었다. 한편, SSI 1에서는 구글글래스라는 첨단기술 인공물이 도입되었는데 대부분의 참여자들은 해당 상품의 장점과 단점 등을 비교하여 이를 구매 및 사용할 것인 지에 대한 의사결정을 하였다. 구글글래스라는 첨단기술 제품은 여러 가지 편리한 기능과 함께 일반적으로 사람들이 원하거나 필요로 하는 제품으로 묘사되었는데, 일부 참여자들은 이 제품이 가질 수 있는

문제점을 고려하여 구매에 신중한 모습을 보이거나 구글글래스가 사회·문화적으로 부정적인 영향을 끼칠 수 있다는 것을 지적하며 이 제품의 상품화를 반대하기도 하였다.

구글글래스는 기술이 인간을 위협하는 대표적 사례라고 본다. 스마트폰이나 디지털카메라 등의 기술과는 다르다. 구글글래스의 기술이 다른 것보다 은밀하기 때문에 악용의 가능성이 훨씬 크기 때문이다... 한 번 잘못 유포되었을 때 사회에 불러올 파장을 예측할 수 없으므로 신중히 고려함은 물론이고 모든 사람들의 초상권이 침해받을 수 있기 때문에 그것을 해결하지 못한다면 절대 그런 기술을 허용해선 안 된다. (SSI 1)

기술적 인공물은 일반적으로 인간의 필요 및 요구에 따라 개발되어 생산되기 때문에 우리에게 긍정적이라는 인식이 강하지만 일부 참여자들은 해당 제품의 편리한 기능과 함께 부정적인 영향이 있을 수 있다는 의심을 했다. 더욱이 시간이 흐름에 따라 혹은 특정 상황 및 지역에서 인간에게 해를 끼치거나 부정적인 측면으로 드러나는 경우도 있다는 인식도 나타났다.

2. 지식 차원

지식 차원에 있는 NOT 요소는 주로 동물실험에 관련된 SSI에서 나타났고, 그 외 SSI 주제에서는 거의 드러나지 않았다. 더욱이 ‘실천적 지식’이라는 NOT 요소는 동물실험 쟁점에서도 나타나지 않았다. 동물실험은 인간이 사용하는 화학제품 및 의약품에 대한 안전성 등을 확보하기 위하여 실행되는 것으로, 이와 관련된 토의 및 토론에서는 동물실험의 결과로 생성되는 지식에 대한 내용을 포함하고 있다. 이 과정에서 학생들은 지식 차원의 NOT요소를 언급하였다.

가. 절차적 지식

동물실험에 대한 찬성 입장에서 참여자들은 신약 개발과정에서 동물실험을 통하여 해당 의약품의 안전성에 대한 지식을 획득할 수 있다는 근거를 자주 제시하였다. 즉, “의약품의 경우 안정성 확보를 위해 동물실험이 필요”(SSI 7-1)하더라는 언급을 흔히 발견할 수 있다. 목표 달성을 위하여 절차적으로 필요한 지식이 동물실험이라는 것이다. 이와 같은 ‘절차적 지식’에 대한 기본적인 인식뿐 아니라 해당 지식이 신약개발을 위하여 효율적이고 유용한 역할을 할 수 있는 지에 대한 논의가 일부 학생들 사이에서 진행되기도 하였다.

유전학적 분야에서는 높은 번식률과 빠른 일대기를 관찰할 수 있는 모델을 통해 통계 자료를 얻어야 합니다. 인간의 경우 한 세대가 70~80년 정도로 오랜 시간 관찰을 해야 유전학적 특성을 밝힐 수 있습니다. 그래서 인간을 직접적으로 대상으로 하는 실험은 한계가 있습니다. 특히 돌연변이에 대한 연구에서 대장균이나 초파리는 빠른 증식 속도와 다양한 변이로 실험자들 사이에서 많은 사랑을 받고 있습니다. 인간의 경우 특정 형질을 가진 사람을 직접 교배시키거나 방사선으로 돌연변이를 일으키는 것은 윤리적으로 문제가 되기 때문에 많은 유전자가 일치하는 초파리나 생쥐를 대상으로 실험합니다. (SSI 7-2)

위 참여자는 인간에 비하여 동물이 번식률이 높고 짧은 일대기를 갖기 때문에 효율적으로 유전학 분야의 지식을 생성할 수 있다는 근거를 제시하였다. 반면, 동물실험에 대한 반대 입장에서는 동물실험으로 생성되는 지식에 회의적 의견을 피력하기도 하였다.

인간과 동물이 공유하는 질병은 1.16% 정도 밖에 안 돼요. 다시 말해 동물이 가지는 질병이 있고 인간이 가지는 질병이 있으면 공유하는 것이 1.16%밖에 안 됩니다. 그러면 동물실험(을 적용하는 질병관련) 항목이 인간과 동물이 공유하는 1.16%에 모두 포함되나요? 아마도 (동물실험을 하는 목적의) 대부분은 공유하지 않는 질병에 관련된 항목일 가능성이 많습니다. 따라서 이러한 실험에 대한 결과를 인간에게 적용을 했을 때 문제가 되지 않는다고 할 수 없겠지요? (SSI 7-1)

위 참여자는 동물실험을 통해 생성되는 지식이 실제로 인간에게 적용하기에는 충분한 안전성을 보장하지 않기 때문에 유용하지 않다는 근거를 들어 동물실험에 반대하고 있다. 절차적 지식에 대한 인식은 특정 쟁점에서 서로 다른 의견을 뒷받침하는 근거로 활용될 수 있다.

나. 맥락 의존적 지식

동물실험관련 쟁점에서 해당 NOT 요소는 동물실험에서 생성된 지식이 인간에게 적용이 될 때는 전혀 다른 결과를 가져올 수도 있다는 인식으로 드러났다.

동물실험에서 동물에게 해를 입힌다고 판명이 되었던 물질이 오히려 사람에게 약이 되는 경우도 있었고, 동물과 사람에게서는 서로 다른 증상이 나타나는 경우도 있었습니다. 그리고 동물에게는 아무런 해가 없었지만 사람에게서는 심각한 해를 주는 경우도 있었습니다. 이것은 동물실험이 동물에게서 실험과 예측을 통해서 정확한 산출된 결과를 얻는다고 할지라도 사람에게서는 다른 결과가 나타날 수 있다는 것을 보여줌으로써 동물실험에 대하여 의문을 가지게 합니다. (SSI 7-2)

위 참여자는 인간과 동물은 서로 다른 생물학적 구조를 가지고 있기 때문에 동물실험의 결과에 해당하는 지식이 그대로 인간에 적용될 수 없다는 것을 지적하고 있다. 덧붙여 동물실험과 인간에 직접 적용하였을 때의 결과가 다른 경우들의 구체적인 사례를 제시하기도 하였다. 대표적으로 임신부 입덧 방지제 탈리도마이드가 동물실험에서는 안정성이 입증되었지만 인간에게는 큰 부작용을 일으켰던 사례와 페니실린이 동물에게는 문제를 발생시키지만 인간에게는 성공적이었다는 사례를 제시하였다.

3. 실행 차원

실행차원에 속하는 NOT 요소는 자주 언급되지 않거나 간접적으로 나타나는 경향을 보였다. 이는 NOT 개념틀에서 이 차원의 요소들은 엔지니어의 일련의 활동에서 도출된 것인 반면에, 참여자들은 소비자 혹은 일반시민의 역할을 염두에 두고 SSI 토론을 진행하는 경우가 많았기 때문에 추측해볼 수 있다. 물론, 일부(SSI 4) 토론 내용에서

는 엔지니어 혹은 과학기술자의 입장에서 의사결정을 요구하였고, 특정 입장을 대변하지 않는 경우에도 관련된 과학기술에 대한 논의를 하면서 엔지니어의 입장 및 활동에 대하여 언급하기도 하였다.

가. 제한조건과 가치 적재적 의사결정

SSI 토론에서는 과학 및 기술적 원리, 그리고 자원의 매장량과 같은 물리적·절대적인 제한조건보다는 사회, 윤리, 문화적 요인 등 논란이 제기되거나 상황에 따라 변형이 가능한 제한조건이 주로 논의되었다. 예를 들어, SSI 3에서 사용기간을 넘긴 원자력 발전소의 연장 가동에 대하여 의견을 묻는 과정에서 참여자가 “경제적인 이유만으로 결정되지는 않는다. 안전상의 문제 등 여러 가지 요소들을 종합적으로 검토한 후” (SSI 3-1) 판단을 내려야 한다고 지적하였다. 즉, 구체적인 제한조건을 낱말이 언급하지는 않았지만, 다양한 제한조건이 고려되어야 한다는 것은 이해하고 있다. 또한, 여러 제한 조건을 견주면서 의사결정을 내리는 과정에서 가치 적재적 특징이 잘 드러났다. 다음은 과학기술자의 입장에서 무기개발에 대한 판단을 요구하는 SSI 4 논의 과정에서 엔지니어의 가치 적재적 의사결정을 보여주는 내용이다.

과학기술자들은 자신의 선택에 따라서 전쟁공범이 될 수도 있고, 평화의 사자가 될 수도 있다고 생각을 해요. ... (전쟁 상황과 같은 모순적인 환경에서) 과학기술자에게 필요한 것은 어떤 선택을 내리던 간에 철학적이고 윤리적인 사고를 해야 된다고 생각을 해요. 예를 들어서 맨해튼 프로젝트 같은 얘기를 하자면, 물론 맨해튼 프로젝트에 참여한 과학기술자들이 처음에는 조국을 위해서라는 목적으로 참여를 했었지만 맨해튼 프로젝트에 참여했던 과학자들이 되게 이상적인 연구 환경 속에서 연구를 즐기던 사람도 많았다고 해요. 왜냐하면 과학자들은 연구를 좋아하는 사람들인데 국가 차원에서 많이 지원해주기 때문에 자기가 하고 싶은 연구를 충분히 할 수 있는 상황이 주어진 거 같아요. 그러한 상황에서 과학기술자들은 이 연구가 왜 진행되고 있는지 이 연구로 인해서 어떤 피해가 발생할 지를 예상하지 않고 자신의 연구에만 몰두하는 모습을 보였다고 하는데요. ... 과학기술자가 윤리적이거나 철학적인 사고 없이 자신의 연구에만 몰두하게 된다면 그것도 어쩌면 무사유인 거고, 그것이 결국에 죄가 될 수 있다고 생각합니다. (SSI 4-2)

위 발췌문에서는 원자폭탄 개발을 위한 맨해튼 프로젝트에 참여했던 과학기술자의 윤리적이고 가치 적재적 의사결정에 대하여 논의되었다. 학생은 원자폭탄 개발자로서 참여한 과학기술자를 비판하면서 시간이 지나면서 바뀌었던 정치적 상황과 전쟁의 형세라는 제한조건을 고려하지 않았다고 지적하였다.

나. 최적화와 창조적 활동

대부분의 SSI 논의에서 엔지니어가 기술제품을 설계하거나 개발하는 과정의 특징에 대한 인식은 구체적으로 드러나지 않았다. SSI 1에서는 구글글래스를 개발한 사례가 제시되었는데 “구글글래스 기술 자체는 굉장히 혁신적이다. 마치 아이폰이 나왔을 때처럼” (SSI 1)과 같은 일반론적 언급을 통하여 첨단 기술 제품이 혁신적이거나 창조적 활동의 산물이라는 인식을 간접적으로 보여주었다. 그러나 엔지니어

들이 설계과정에서 특정 목적을 만족시키기 위하여 효과적이고 효율적인 방안을 찾아서 최적화 시키려는 노력을 하고 그 과정에서 다양한 창조적 활동을 하는 모습을 구체화 시키거나 직접적으로 언급하지는 않았다.

다. 피드백과 다학제적 접근

엔지니어는 일렬의 기술제품을 개발하거나 설계하면서 기존 제품에 대한 반응과 문제점을 재고하는 피드백과정을 거친다. 그런데 타겟 소비자의 다양한 욕구와 해당 제품으로 발생할 수 있는 예상하기 힘든 문제점과 의도치 못한 사용에 대응하기 위하여 다양한 분야의 전문가들과 협의한다. 해당 NOT요소가 직접적이고 구체적으로 언급된 경우는 많지 않았다. 다만, SSI 5에서 소개된 살충제 DDT 개발 과정과 이후 DDT가 대량으로 활용되면서 발생한 환경오염과 같은 문제점이 유사 제품의 개발에 피드백으로 적용되어 다양한 관점과 분야에서 접근해야 된다는 언급이 나왔다.

말라리아 (발병 억제)와 같은 과학기술의 (문제)해결을 위해서 단순히 말라리아를 DDT라는 화학물질로 해결하려고 했는데, 과학기술의 한 분야만의 방법이 아니라 여러 가지 분야와 함께 회의를 하면서 여러 가지 방안을 모색해야 되는 것을 알 수 있습니다. ... 한 분야에서만 해결책을 찾으려는 것이 아니라 여러 분야를 고려해서 해결책을 찾는 것이 가장 효과적인 것이라고 말하고 싶습니다. (SSI 5)

발췌문에서 참여자는 DDT 개발에 관련된 역사와 사회적 상호작용에 대한 이해를 바탕으로 말라리아 문제를 해결하기 위하여 시도되는 새로운 공학기술적 노력이 협소한 분야에 한정되지 말아야 한다는 제안을 하였다. 즉, DDT의 역사에서 배운 것들을 피드백으로 적용해야 한다는 의견을 보여주었다.

4. 시스템 차원

시스템 차원의 NOT 요소는 여러 SSI 논의에서 나타났다. ‘다양한 이해관계자와 기관’에 대한 인식은 대부분의 SSI 토론에서 참여자들이 다양한 입장을 고려하는 내용에서 나타났고, 역할놀이와 같은 형식으로도 구체화되었다. ‘상호연계적 집합체’에 대한 인식은 여러 SSI 토론에서 나타났지만 구체적이거나 깊은 이해를 보여주는 학생은 일부에 한정되었다. ‘기술발전과 시스템 모멘텀’에 대한 이해는 대부분 피상적이거나 현상적인 수준에 머물렀다.

가. 다양한 이해관계자와 기관

여러 SSI 토론에서 개발자 및 엔지니어 등의 전문가와 소비자 혹은 일반 시민 같은 이해관계자가 흔히 등장하였다. 학생들은 각 이해관계자의 역할과 요구 등을 서술하면서 해당 NOT 요소에 대한 인식을 드러냈다. SSI 5에서는 말라리아 발병률을 줄일 수 있는 효과적인 살충제이면서 환경오염이라는 문제를 일으키는 DDT의 사용 허가에 대하여 논의하였다. 특히, 환경문제에 대해 민감한 선진국 입장과 아프리카와 같이 말라리아 발병으로 인한 사망률이 높은 제3세계의 극

명한 입장 차이를 미리 고려하여 세계보건기구라는 어느 정도 중립적일 수 있는 기관의 입장에서 다양한 관점 차이를 균형감 있게 제시하고자 하였다. SSI 6에서는 에이즈 치료제의 개발 및 보급에 대하여 다국적 제약회사, 에이즈 환자, 에이즈 협회라는 입장을 설정하여 역할극 형태의 토의를 진행하였다.

당사자인 에이즈 환자들, 그들을 대표하는 단체, 그리고 기업과 보건 당국은 오랫동안 같은 문제로 골머리를 앓고 있었습니다. 과연 다국적 제약사의 (에이즈 약을 고가로 판매하는) 기업적 횡포를 횡포가 아닌 자신들의 정당한 권리 추구로 받아들여야 할지, 생명을 자본과 동급으로 보고 있는 비윤리적인 판단을 하고 있다고 보아야 하는지. 그리고 그 가운데에 있는 정부는 어떤 입장을 취해야 하는 것인지에 대해 모두 다 함께 생각해 보셨으면 좋겠습니다. (SSI 6)

위 발췌문은 다국적 제약사의 입장에 대한 비판과 함께 옹호적인 관점을 동시에 포함하고 있으며 그 외 에이즈 환자와 그들을 지원하는 민간단체 그리고 국가 기관인 보건 당국의 입장에서도 고려해 볼 필요가 있다는 의견을 제안하고 있다. 논의 과정에서 학생들은 구체적으로 각 이해관계자의 입장을 제시하였는데, 다국적 제약사는 “기업이라는 단체의 가장 큰 속성은 이윤추구”(SSI 6)와 같은 주장을 하고, 에이즈 환자 및 단체에서는 “우리나라에서 에이즈 치료제 가격이 너무 비싼 것에 대한 대책 마련이 부족”(SSI 6)하다고 언급하며 치료를 받지 못하는 환자들의 상황과 이로써 발생할 수 있는 에이즈 확산이라는 사회적인 문제를 제시하였다.

나. 상호 연계적 집합체

‘다양한 이해관계자와 기관’ 요소가 드러난 SSI 맥락에서는 대부분 ‘상호 연계적 집합체’에 대해서도 언급되는 경향을 보였다. 많은 학생들이 다양한 이해관계자와 기관이 존재한다는 인식과 함께 각 입장별 주장을 서술할 수는 있었지만, 일부 학생들만이 그들 사이의 상호관계 및 사회·문화적 환경의 영향을 설득력 있게 지적하였다. 다음은 다양한 이해관계자를 포함하여 에이즈 치료제 개발 및 보급에 대한 논의가 진행되었다. 다음은 SSI 6에 대한 토의에서 각 이해관계자들의 상호 연계적 관계를 보여주는 내용이다.

- A: 대한민국 같은 경우는 정부에서 30~60만원까지 약값을 지원을 하고 있어요. 그럼에도 불구하고 에이즈 환자들이 제대로 치료를 받지 못하는 건 정부에서 지원해주는 약 값이 시중에서 판매하는 약 값보다 훨씬 싸기 때문이거든요. 정부의 역할은 일단 지원금을 올려줘야 하는 것이고, 하지만 그 지원금을 올리는 데 한계가 있기 때문에 그런 의미에서 제약회사에서 약값을, 그러니까 공급을 늘여야 한다는 거죠. 왜냐하면 에이즈 환자는 절대적으로 소수가 아니고 감염될 위험성이 다분히 많기 때문에 그런 사회적 의미나 다른 위험성을 고려한다면 제약회사에서 약값을 낮추는 것이 더 이익을 볼 수 있는 것이 아닌가 생각합니다.
- B: (다국적 제약사는) 한국적 상황만을 고려할 수 없습니다. 한국에서 그런 식으로 약 값을 내려 주면은 저희는 다국적 회사이므로 전 세계에 퍼져있는 저희 모든 지점에서 약 값을 내려야 할 테고 그러므로 어떤

나라의 사정만을 생각해서 저희가 할 수 있는 것은 아닙니다. 전 세계를 시장으로 생각하고 있기 때문에 전 세계 상황을 고려해서 약 값을 정하고 있는 것입니다. 그러므로 정부가 힘들다고 하는 것은 저희에게 떠를 쓰는 것과 마찬가지로입니다. 그것은 그 나라의 정부가 생각해야 할 일이지 저희와 같이 초국가적이고 초 다국적인 제약회사에게 그것을 강제해서는 안 된다고 생각합니다.

A: 기업에게 도덕적 책임을 지라고 말하는 자체가 어떻게 보면 이상론에 가깝게 들릴 수도 있지만 이것을 현실적으로 말했을 때 사회적으로 받는 비난이나 아니면 시민단체와 환자들과의 충돌을 감안했을 때 어느 정도 기업도 이미지적인 측면이나 여러 가지 측면에서 이익을 볼 수 있지 않느냐. 라는 관점에서 현실적인 가능성을 제안을 한 것(입니다). (SSI 6)

다국적 제약회사와 국가 그리고 에이즈 환자는 이익이 대립하는 것처럼 보이지만, 결국 제약회사는 환자들에게 약을 팔아 이윤을 획득한다. 국가는 자국민의 건강과 복지를 증진시켜야 하는 역할을 하면서도 일정한 경제적 제약을 가지고 에이즈 환자 이외의 다른 국민들도 함께 고려해야 한다. 특히, 다국적 회사는 한 국가에 귀속되지 않기 때문에 더 복잡한 이해관계를 가진다. 참여자 A는 사기업으로서 이윤 추구라는 본질적 특성이 사회 환원 및 도덕성이라는 기업적 이미지와 홍보의 역할을 고려한다면 기업의 이윤획득과 필연적으로 대치되는 것은 아니라는 논리도 제시하였다. 즉, 참여자들은 각 입장이 대립하고 있는 상황에서 갈등을 해결하기 위하여 이해관계자들의 상호 관계와 다양한 상황을 고려하였다.

다. 기술발전과 시스템 모멘텀

해당 NOT에 대한 인식은 소수의 SSI 맥락에서만 언급되었는데 내용을 분석해보면 현상적인 이해 수준에 머무는 경우가 많았다. ‘시스템 모멘텀’이라는 특징은 개인 소비자 혹은 개별 단체가 특정 기술의 사용여부를 자율적으로 결정하는 것이 어려워지거나, 의식하지 못하는 사이에 이를 사용해야만 하는 환경이 조성되는 방식으로 드러난다. 많은 학생들이 이러한 현상 자체는 인지하였지만, 이 특징이 생기는 구조적인 원인에 대한 이해를 보여주지는 못하였다. 한 예로 SSI 1의 구글클래스라는 최신 정보기술제품을 구매 및 사용할 것인지에 대하여 의사결정을 하면서, 학생들은 그것이 개인의 자율적인 선택이 될 수 없다는 인식을 보여주었다.

저는 이 기술이 사용되는 상황을 생각해봤는데 제가 처음으로 구글클래스를 사용하는 사람이라면 저는 사용하지 않을 것 같아요. 왜냐하면 저는 구글클래스가 가지고 있는 부정적인 영향들을 피할 수 없는 거고... 일단 구글클래스를 긍정적인 기술로 보지는 않아서 구글클래스는 이용하지 않을 것 같아요. 그런데 다른 사람들이 다 사용하고 있다면 내가 다른 사람의 감시를 받고 있는데 다른 사람을 감시하지 않으면 안 되겠다는 불안감 같은 것이 생겨서 구글클래스를 어쩔 수 없이 사용할 수도 있을 것 같다는 생각을 했습니다. (SSI 1)

참여자는 구글클래스가 보편화되었을 때 개인적으로 원치 않아도 사용해야 하는 압력을 느낀다고 서술하였다. 그러나 구글클래스와

관련하여 어떤 이해관계가 형성되고 세부적으로 어떤 제약이 발생할 수 있는지에 대한 논의는 부족하다. 다만, 이 제품이 보편화되면서 다른 사람의 감시대상이 될 수 있다는 불안감만을 제시하였다. 전쟁 무기 기술의 발전에 대한 논의에서도 “저는 개인적으로 군사기술 발전을 억제 시켜야 하지만 억제 시킬 수 없다는 생각을 하는데요”(SSI 4.2)라는 의견과 함께 어떤 변화도 가져올 수 없다는 무기력한 모습을 보였다. 기술이 성공적으로 발전하여 사회에 안착되면서 기술시스템은 공고화되고 해당 기술과 관련된 이해관계자가 형성되고 증가하면서 그들 사이에 이해관계가 고정된다. 따라서 개인 소비자는 해당 기술시스템의 목적과 방향성 및 변화속도에 맞추어야만 하는 무력함을 느낄 수 있는 것이다. 즉, 기술시스템이 공고화되면 그것 자체의 발전 양상을 가지기 때문에 개인이 기술발전 및 방향을 변경시키는 것은 어렵다. 그러나 이것이 필연적으로 어떤 변화도 만들어낼 수 없다는 것을 함축하지 않는다. 개인들이 모여 집단적인 목소리를 내고 관련 상황과 요건이 동시 변경이 된다면 기술의 발전 속도와 방향을 변경하거나 혹은 다른 시스템으로 대체될 수 있기 때문이다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 다양한 SSI 주제에 대한 학생들의 추론 내용을 분석하여 NOT 요소를 탐색하였다. 결과적으로, 여러 SSI 맥락에서 NOT 요소가 자연스럽고 명시적으로 나타남을 알 수 있었다. 특히, 학생들이 선정한 SSI 주제 및 시나리오 맥락이 사회 속에서 존재하는 기술의 본질적인 특성과 맞닿아 있는 경우가 많았다. 이는 학생들의 자발적인 SSI 추론 및 의사결정 내용에서 NOS에 대한 언급을 찾아보기 힘들다는 결과(Bell, & Lederman, 2003; Eastwood *et al.*, 2012; Grace, & Ratcliffe, 2002; Walker, & Zeidler, 2007)와 대조하여 함축하는 의미가 크다. 물론 SSI의사결정과 NOS의 관계에 대한 해당 연구결과에 대해서는 다양한 방식으로 해석해 볼 여지가 있고, 후속 연구가 필요한 부분이다. 그러나 본 연구의 결과는 SSI 교육 및 연구에서 NOT의 역할과 연관성에 대한 논의들을 활발히 진행할 수 있는 토대를 제공한다.

특히, NOT에 대한 학생들의 다양한 개념을 분석하는 과정에서 NOT 이해의 깊이와 수준이 다르다는 것을 발견하였다. NOT를 이해한다는 것은 일차적으로 다양한 NOT 요소를 인지하여 서술할 수 있는 역량이지만, 이와 함께 구체적인 맥락에서 NOT에 대하여 심도 있는 추론을 제시하는 역량을 함축한다. 더욱이 결과에서 사례를 통하여 보여준 NOT 이해 수준의 차이가 발생하는 지점들이 Ratcliffe(1997)가 질적으로 우수한 SSI 추론의 주요 특징으로 제시한 내용과 자연스럽게 연계될 수 있는 것으로 보인다. Ratcliffe가 제시한 특징들은 1) 문제의 합리적 분석에 대한 이해, 2) 유효한 정보의 인지와 활용, 3) 쟁점이 제기하는 논지와 가치에 대한 명확한 분석, 4) 과학적 증거가 어떻게 의사결정에 도움이 될 수 있는지를 인지, 5) 해당 쟁점에 대한 논의에 참여하고자 하는 충분한 동기, 6) 쟁점과 연관된 다른 입장과 관점들에 주목하고 고려하는 것이다. 예를 들어, ‘기술발전과 시스템 모멘텀’에 해당하는 NOT 요소를 충분히 이해하지 못한 학생들은 공고화된 기술시스템에서 자신을 무기력한 개인 소비자로서 인지하며 기술발전과 방향을 변경시키는 것에 회의적이었다. 즉, 해당 NOT요소에 대한 이해가 부족하면 관련 SSI 논의에

참여하고자 하는 충분한 동기(Ratcliffe의 5번 특징에 해당)를 발견하지 못하는 듯하다. 그러나 구체적 사례에 적용된 시스템 모델에 대하여 이와 관련된 특정 이해관계자들을 인지하여 그들의 특징을 분별하고 그들 사이에 형성되어 고착된 관계와 사회·경제적 흐름을 이해한다면, 기술시스템의 변화를 위해 집단적인 노력이 필요하다는 인식뿐 아니라 구체화된 해결 방식을 제안할 수 있는 발상의 기회를 가질 수 있을 것이다. 다시 말해 본 연구의 결과는 NOT에 대한 이해가 현대 사회가 당면한 과학기술관련 쟁점에 대하여 의미 있는 의사 결정을 할 수 있는 토대가 될 수 있다는 것을 구체적인 사례를 통해 제시했다는 함의를 갖는다. 물론, NOT 이해의 수준에 대한 체계적인 논의를 위해서는 추후 연구로 NOT 이해에 대한 개념 정립 및 측정 도구 개발이 진행될 필요가 있다. 본 연구의 결과에서 제시된 학생들의 반응은 이를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

연구결과의 세부내용을 분석하여 과학교육을 비롯하여 SSI 교육 및 연구에서 제시할 수 있는 제언은 다음과 같다. 첫째, 다양한 SSI 주제 및 맥락에 상관 없이 자주 나타나는 NOT 요소가 있다. 구체적으로는 ‘현실세계 문제의 해결안’, ‘인공물의 양면성’, ‘다양한 이해관계자와 기관’ 그리고 ‘상호연계적 집합체’가 자주 언급되었는데, 주로 인공물 차원과 시스템 차원에 해당하는 NOT 요소들이다. 특히, 학생들이 구성한 SSI 토의·토론 질문 자체에 해당 NOT 요소가 가시적으로 표현되는 경우가 많았다. 따라서 학생들의 관점 및 수준에서 SSI 주제를 선정할 때 기술과 관련하여 인공물과 시스템 측면을 고려하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 SSI를 적용하여 교육 및 수업을 계획하고자 하는 교사들은 인공물 및 시스템 차원의 NOT 요소를 염두에 두고 소재 및 내용을 개발하거나 전개하는 것이 학생들의 흥미와 관심을 반영하면서도 자연스러운 시작점이 될 수 있다. 또한, ‘상호연계적 집합체’와 같은 NOT 요소는 자주 언급되에도 불구하고 심도 있는 분석과 이해를 형성하지 못하는 경우가 많았다. 이때 수업의 진행과 흐름을 고려하여 해당 기술의 특징에 대한 사고를 유도하거나 촉진할 수 있는 질문을 제시할 수 있을 것이다. 더욱이 시스템 차원의 ‘기술발전과 시스템 모델링’ 요소에 대해 충분한 이해를 보이는 학생들은 거의 없었다. 따라서 이와 관련된 사례를 고려할 때에는 해당 요소에 대한 인지뿐 아니라 충분한 이해를 제공할 수 있는 교육 및 교수전략이 마련될 필요가 있다. 그렇지 않다면 학생들은 현대 사회에서 발생하는 기술발전 방향과 변화에 대하여 무기력한 태도를 견지하며 스스로 어떤 변화도 시도할 수 없다는 결론에 도달할 수 있기 때문이다.

둘째, 지식 및 실행 차원의 NOT 요소는 자주 등장하지 않거나 간접적으로 나타났다. 우선, 해당 연구결과를 다양한 방식으로 해석해 볼 수 있다. 지식 및 수행 차원에 속하는 NOT 요소는 엔지니어들이 사용하고 생산하는 지식과 활동의 특징을 포착하고 있다. 참여자들이 교양 수업 중 토론발표 과제로 구성한 SSI 주제에서 전문적인 공학기술지식 및 엔지니어들의 활동 영역을 고려하는 것은 용이하지 않을 수 있다. 특히, 수월한 토의·토론 진행을 위하여 다른 학생들도 일반적으로 알고 있는 지식 및 내용을 취사선택 했을 수 있다. 모둠발표가 전체 학생들과의 토론을 진행하는 것을 요구하기 때문에 이러한 경향은 더욱 강화되었을 수 있다. 또 다른 이유로 지식 및 수행 차원에 속하는 NOT 요소에 대한 참여자들의 인식 및 이해가 다소 낮을 수 있다는 것을 의심해 볼 수 있다. 명확한 이유를 탐색하기 위하여 다음과 같은 후속 연구가 가능하다. 교양 수업이 아닌 다른

교수학습 환경에서 연구를 수행했을 때의 차이점, 대학생이 아닌 다른 대상에게도 이러한 경향성이 유사하게 반복되는지, 그리고 엔지니어의 활동과 전문지식을 명시적으로 연계시킨 SSI 사례를 직접 제공했을 때의 반응 등을 검토할 필요가 있다. 더욱이 이 부분은 NOS에 대한 유사 연구의 결과를 투영해서 비교할 수도 있을 것이다. 학생들의 SSI 추론과 NOS의 연관성을 탐색한 연구에서는 NOS에 대한 언급을 찾아보기 힘들었다(Eastwood *et al.*, 2012; Walker, & Zeidler, 2007). 무엇보다 관련 연구에서 활용했던 NOS가 과학자들의 지식 생성과정과 과학지식에서 추출된 특징이라는 것을 고려한다면, NOT의 지식 및 수행 차원에 속하는 요소가 SSI 추론에서 잘 드러나지 않는다는 해당 연구 결과와 연계될 수 있는 지점이 있을 수 있다. 다만, 과학 및 공학기술 지식이 구체화되어 직접적으로 연계된 동물 실험 주제(SSI7)에서는 ‘절차적 지식’과 ‘맥락 의존적 지식’에 해당하는 NOT 요소가 나타났다. 더욱이 학생들은 구체적인 연구사례 및 자료를 고찰하여 언급한 NOT 요소를 상술했었다. 결국, 학생들의 SSI 추론에서 과학자를 포함하여 엔지니어의 전문적인 지식과 활동에 대한 특징을 탐색하는 것은 NOT 지식차원에 대한 후속 연구에서 보다 구체적인 단서를 제공할 수 있을 것이라고 기대된다.

마지막으로 본 연구의 결과는 현재 개발된 NOT 개념틀을 SSI 추론의 분석틀로 활용하는 것에 대한 가능성과 한계를 동시에 보여 주었다. NOT 개념틀은 일반적이고 추상적인 기술의 특징을 포함하는데, SSI 추론에서 학생들이 어떤 NOT 요소를 인식하는지를 분석하는 도구로서는 활용 가능 하였다. 그러나 NOT 요소별로 이해의 정도와 수준을 구별하는 기능으로 활용하기에는 한계를 지닌다. 따라서 후속 연구에서는 NOT 이해가 무엇인지에 대한 개념 정립을 토대로 NOT 요소별로 이해 수준을 가능하는 단계 혹은 기준을 제시할 필요가 있고, 다양한 NOT 요소가 함께 나타나는 경우의 특징 및 차별성을 구체화시키는 것이 요구될 것이다.

국문요약

본 연구는 다양한 과학기술관련 사회쟁점(SSI)에 대한 논의과정에서 기술의 본성(NOT)이 어떻게 나타나는지를 분석하여 SSI 교육 및 과학교육에서 NOT의 연계성 및 역할을 제안하는 것을 목적으로 한다. 원자력 발전소 건설 및 사고, 유전자재조합식품, 우주 개발과 같은 다양한 SSI 사례를 살펴보면 개념적으로 과학과 함께 기술이 연계되어 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 연구자는 선행연구에서 초기 형태의 NOT를 구성하여 유전자재조합식품에 관련된 SSI 의사결정에서 NOS보다는 일부 NOT 요소가 명시적으로 나타난다는 결과를 확인한 바 있다. 이를 기반으로 하여 본 연구에서는 과학기술과 연관된 다양한 SSI 맥락을 도입하였고, 연구자가 개발한 통합적 NOT 개념틀을 채택하여 체계적인 분석을 시도 하였다. 해당 NOT에서는 기술의 다양한 존재 양식을 보여주는 인공물(artifacts), 지식(knowledge), 실행(practice) 그리고 시스템(system)이라는 4 가지 차원을 도입하였는데, 이러한 통합적인 접근을 반영한 NOT는 학생들의 다양한 SSI추론을 포착하고 분석하기에 적절하였다. 서울 소재 대학교의 교양수업 커리큘럼으로 모둠별로 SSI를 선정하여 수업에서 전체 토의 및 토론을 이끄는 과제를 제시하였는데, 대학생 45명이 참여하여 총 7 가지 SSI 주제를 구성하여 발표 하였다. 그 과정에서 다양한 SSI 추론 자료를

수집하였고, 학생들이 어떤 NOT 인식하고 어떻게 이해하고 있는지를 분석하였다. 결과적으로 다양한 SSI 추론에서 일부 NOT 요소가 자연스럽게 명시적으로 나타났다. 특히, 인공물 및 시스템 차원에 해당하는 NOT 요소는 SSI의 맥락에 상관없이 자주 나타났고, 지식 및 실행 차원의 NOT 요소는 자주 등장하지 않거나 간접적으로 드러났다. 더욱이 학생들의 NOT 이해의 깊이와 수준에서 질적 차이를 확인할 수 있었는데 이 결과는 과학교육 현장에서 학생들에게 요구하는 NOT 이해가 무엇인지를 구체적으로 제안할 수 있는 기회를 제공하였다.

주제어 : 과학기술관련 사회쟁점, 기술의 본성, 맥락화된 기술의 본성

References

- Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the sources for our understandings about science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353-374.
- Albe, V. (2008). When scientific knowledge, daily life experience, epistemological and social considerations intersect: Students' argumentation in group discussions on a socio-scientific issue. *Research in Science Education*, 38(1), 67-90.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- American Association for the Advancement of Science [AAAS] (1990). *Science for all Americans*. New York, NY: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science [AAAS] (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bell, R. L., & Lederman, N. G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352-377.
- Chang, H., & Lee, H. (2010). College students' decision-making tendencies in the context of socioscientific issues (SSI). *Journal of Korean Association in Science Education*, 30(7), 887-900.
- Clough, M. P. (2013). Teaching about the nature of technology: Issues and pedagogical practices. In M. P. Clough, J. K. Olson, & D. S. Niederhauser (Eds.), *The nature of technology: Implications for learning and teaching* (pp. 345-369). Rotterdam, Netherlands: Sense.
- Clough, M. P., Olson, J. K., & Niederhauser, D. S. (2013). *The nature of technology: Implications for learning and teaching*. Rotterdam, Netherlands: Sense.
- De Vries, J., & De Vries, M. (2006). *Teaching about technology: An introduction to the philosophy of technology for non-philosophers* (Vol. 27). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- DiGironimo, N. (2011). What is technology? Investigating student conceptions about the nature of technology. *International Journal of Science Education*, 33(10), 1337-1352.
- Eastwood, J. L., Sadler, T. D., Zeidler, D. L., Lewis, A., Amiri, L., & Applebaum, S. (2012). Contextualizing nature of science instruction in socioscientific issues. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2289-2315.
- Feibleman, J. K. (1961). Pure science, applied science, technology, engineering: An attempt at definitions. *Technology and Culture*, 2(4), 305-317.
- Fleming, R. (1986). Adolescent reasoning in socio-scientific issues part I: Social cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 677-687.
- Galison, P. (1997). *Image and logic: A material culture of microphysics*. USA: University of Chicago Press.
- Grace, M. M., & Ratcliffe, M. (2002). The science and values that young people draw upon to make decisions about biological conservation issues. *International Journal of Science Education*, 24(11), 1157-1169.
- Hughes, T. P. (2012). The evolution of large technological Systems. In W. E. Bijker, T. P. Hughes, T. Pinch, & D. G. Douglas (Eds.), *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology* (pp. 45-74). Cambridge: MIT Press.
- International Technology Education Association [ITEA] (2007). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: ITEA.
- Khishfe, R. (2012). Nature of science and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(1), 67-100.
- Kim, D., Mun, J., Lee, J., Song, C., & Park, J. (2013). *The birth of modern engineers*. Seoul: Ecolivres.
- Lee, H. (2015). *Construction of nature of technology framework and its utilization for investigation of changes in college students' perception of nature of technology through SSI-based program*. Unpublished Doctoral Dissertation. Ewha Womans University.
- Lee, H. & Lee, H. (2015). Analysis of students' socioscientific decision-making from the nature of technology perspectives. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 35(1), 169-177.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. London: Sage.
- National Research Council [NRC] (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Mitcham, C. (1994). *Thinking through technology: The path between engineering and philosophy*. United States of America: University of Chicago Press.
- Pacey, A. (1983). *The culture of technology*. Cambridge, MA: MIT press.
- Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision-making about socio-scientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19(2), 167-182.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 545-558). New York, NY: Routledge.
- Rudolph, J. L. (2000). Reconsidering the 'nature of science' as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32(3), 403-419.
- Sadler, T. D., (2009) Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Sadler, T. D., Chambers, F. W., & Zeidler, D. L. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26(4), 387-409.
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2004). The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas. *Science education*, 88(1), 4-27.
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (2012). A series of misrepresentations: A response to Allchin's whole approach to assessing nature of science understandings. *Science Education*, 96(4), 685-692.
- Vincenti, W. G. (1990). *What engineers know and how they know it*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Volti, R. (2009). *Society and Technological Change*. New York, NY: Worth Publishers.
- Walker, K. A., & Zeidler, D. L. (2007). Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1387-1410.
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of technology: Implications for design, development, and enactment of technological tools in school science classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2875-2905.

- Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: Theory, research and practice. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 697-726). New York, NY: Routledge.
- Zeidler, D. L., & Kahn, S. (2014). *It's debatable!: Using socioscientific issues to develop scientific literacy K-12*. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Applebaum, S., & Callahan, B. E. (2009). Advancing reflective judgment through socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(1), 74-101.
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A., & Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367.