

과학문화의 증진과 과학적 소양의 평가 : PISA의 평가사례를 중심으로[†]

임 병 갑*

사회적 차원에서의 '과학문화'는 심리적 차원에서의 '과학교양, 과학적 소양'의 개념과 반드시 상관성을 지닌다. 성숙된 과학문화를 발전시키기 위해서는 우선, '과학문화의 평가가능성'에 대한 신념과 더불어 '평가기준의 모색'이 전제되어야 한다. 본 논문은 이러한 두 가지 전제에 바탕을 두고, OECD 주관 하에 시행중인 PISA (Programme for International Student Assessment)가 채택한 "과학적 소양"의 개념이 어떠한 과학철학적·인지과학적 배경 위에서 있는지를 분석한다. 그리고 실제로 활용된 예제 문항들을 검토해보고, 결론적으로 PISA의 "과학적 소양" 개념은 <논리 경험주의, 자연주의 과학철학, 사회적 구성주의>의 세 가지 입장이 함께 상보적으로 반영되었음을 주장한다. 마지막으로 최근의 과학철학적·인지과학적 연구에 입각해, 과학문화의 증진을 위해 보다 적극적인 과학적 소양 개념이 필요하며, 장차 그러한 과학적 소양 개념에 반영되어야 할 점 몇 가지를 제안한다.

[주제어] 과학 문화, 과학적 소양, 평가, PISA, 논리적 경험주의, 자연화된 과학철학, 사회적 구성주의, 비판적 구성주의, 과학학, 협동 프로그램, 인지과학.

1. 들어가며

'과학 문화(science culture)'는 '과학 교양'이라는 의미로도 쓰일 수 있다. 어원에 대한 언급을 차치하고 일상적인 언어사용의 관점에서 볼 때 '문화'가 맥락에 따라서는 '교양의 의미로도 쓰이는 것은 익숙한 일이다. 특정한 인지적 능력이 발휘되는 사회적 관계와 제도에 초점을 둘 때는 '문화', 한편 개인의 심성 구조(mental structure)나 행동 성향에 초점을 둘 때는 '교양'으로 각각 지칭한다고 할 수 있다. 인간의 인지적 능력 자체가 그 기원에 있

† 본 논문은 '2000년 고려대 교내 post-doc 연구 지원'을 받아 작성되었음.

* 고려대학교, 서울교육대학교 강사
전자우편: yimpk@unitel.co.kr

어서 특정 사회의 문화(external culture)가 사회적 상호작용을 통해 내면화된 것이고, 또 이렇게 개인들에게 내면화된 문화(internalized culture), 즉 교양이 다시금 일정한 방식의 새로운 사회적 상호작용을 형성해 간다고 본다. 사회적 문화와 개인의 교양은 같은 동전의 양면을 형성하는 셈이고 양자간에는 일정한 상관성(correlation)이 존재할 수밖에 없다.

그렇다면 우리가 한국사회에서 일정한 측면에서 과학문화의 미성숙을 느껴 이를 개선시켜야 한다면 동의한다면 이를 해결하는 방안은 두 가지 차원에서 동시에 진행되어야 한다. 즉 사회적 차원에서 과학문화를 새롭게 조직하고 제도화하는 방안에 대한 모색, 동시에 개인들의 심성에서 결핍된 일정한 과학 교양을 함양시킬 수 있는 방안에 대한 모색, 이 두 가지가 함께 진행되어야 한다. 그리고 이러한 모색과 함께 반드시 탐구되어야 할 것이 있다. 우리가 '어떤 능력을 향상시킬 필요가 있다'고 말할 수 있으려면 이에 앞서 '그 같은 능력이 평가 가능하다'는 것을 전제해야만 한다. 그리고 평가 가능할 수 있으려면 또한 '일정한 평가 기준이 있다'는 것을 전제해야 한다. 비록 문제의식 형성단계에서는 막연하고 암묵적인 수준의 기준에 머무르지라도 '일정한 기준의 설정' 없이는 어떤 상태를 두고 미숙하다, 성숙하다 여부를 평가할 수 없다.

다른 어떤 분야보다도 과학철학은 과학하는 활동과 관련해 이러한 평가의 가능 근거와 그 기준을 모색하는데 궁극적인 연구관심을 기울여 왔다. 이 논문은 1) 그 동안 과학철학에서 구성되었던 대표적인 몇몇 입장들이 '과학적 교양/소양(science culture, scientific literacy)'과 관련해 어떤 해석을 한다고 볼 수 있는지를 알아보고, 2) 최근 우리 나라에 비해 과학기술 선진국들이라고 할 나라들은 어떤 해석을 하는지를 알아본 다음, 3) 이러한 과학적 소양에 대한 견해들이 과학학(science of science)의 관점에서 어떤 평가를 받을 수 있는지, 그리고 보다 적극적인 발전방향은 있는지에 대해서도 탐구해보고자 한다. 여기서 과학기술 선진국의 최근 동향을 엿볼 수 있는 사례로 삼고자 하는 것은 1998년부터 OECD(경제개발 협력기구)의 주관 하에 추진되고 있는 'OECD 학업성취도 국제비교연구(Programme for International Student Assessment, 이하 PISA)의 평가들과 그에 따른 평가문항들이다.¹⁾

2. 과학적 소양에 대한 과학철학적 검토

인지적 주체(cognitive agents)와 관련해 ‘과학적 교양’은 ‘과학적 소양 (scientific literacy)’이라는 말과 거의 동의어라고 할 수 있다. 다만 전자가 후자에 비해 보다 포괄적인 내포를 지니며 후자는 주로 사회교육보다는 공식적인 학교교육의 맥락에서 친숙한 말로서 “의도적인 교육과정의 수립과 이를 구현하는 과정을 평가”하는 데 있어 주로 사용되고 있다. 따라서 보다 구체적이고 조작적인(operational) 정의가 요구되는 개념이라고 하겠다. 본고에서는 ‘과학적 교양’보다는 ‘과학적 소양’ 개념을 주로 음미해보고자 하는데, 그 현실적 이유는 우리 사회에서 현재 넓은 의미의 ‘과학문화/과학적 교양’을 ‘계획적으로 통제가능하면서도 효과적으로 보급하는’ 데 있어 가장 핵심적인 채널은 여전히 공교육 부문이라고 믿기 때문이다.

역사적으로 볼 때 ‘과학적 소양’의 개념은 과학철학과 직접적이건 간접적이건 함께 변천해왔음에 분명하다. 과학하는 활동의 본질을 캐묻는 과학철학의 탐구과제는 반드시 “과학이란 무엇인가, 과학(science)과 과학외적인 것(non-science)의 구획기준은 무엇인가, 과학하는 규범은 무엇인가” 등의 문제에 대해 일정한 대답을 내놓게 된다. 만약에 교육 프로그램을 수립하고 평가하는 전문가들 입장에서 사전에 이러한 대답들을 음미하지 않고 ‘과학적 소양’을 규정한다는 것은 위험한 시도일 것이다. 실제로 각국의 과학교과서는 시대변천에 따른 과학적 소양에 대한 새로운 이해를 수렴해서 반영하고자 최근에도 여러 가지 변화를 시도해 왔고 그에 따른 평가의 틀과 도구 또한 꾸준히 변화해왔다.

여기서 논자는 범위를 20C초부터 지금까지로 좁혀 그 동안 과학철학에서 전통적 입장을 대표해 왔다고 할 ‘논리 경험주의(logical empiricism, 이하

1) 한국 교육과정 평가원(이하 KICE, the Korean Institute of Curriculum & Development)에서 발간한 연구자료 ORM 2000-3: “OECD의 학생평가: 읽기 수학 과학 평가를 및 예시문항”(2000) 참조. 이 문건은 OECD(Organization for Economic Cooperation and Development)의 ‘교육, 고용, 노동, 사회통계 및 지표’ 분과에서 발간한 ‘Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy’을 번역한 것이다. 참고로 PISA는 Programme for International Student Assessment의 약자이며, OECD 회원국(28 개국)의 공동참여로 개발되었으며 각국의 만 15세 학생들을 대상으로 실시된다.

LP)의 과학관과 이에 따른 과학적 소양의 개념, 최근 사회 구성주의(social constructivism, 이하 SC)의 대두에 따른 '과학적 소양' 개념의 변화, 그리고 인지과학적 연구성과를 적극적으로 반영하려는 최근의 소위 '자연화된 과학 철학(naturalized philosophy of science, 이하 NP)'이 보는 과학적 소양의 개념 등을 차례로 살펴보기로 한다. 2)

2.1. LP의 과학적 소양 개념

'논리 실증주의'를 포함해 '논리 경험주의'로 통칭되기도 하는 LP의 공통된 입장은 과학이 다른 활동과 구별되는 주된 특징이 '감각경험을 논리적으로 질서지워서 측정가능한 데이터(data)로 바꾸고 이 데이터를 증거로 삼아 논리적 명제체계로서의 과학이론을 확증/반증해 나가는데 있다'고 본다. 이러한 과학관은 자연히 과학적 지식의 타당성을 살피는 데 있어서 심리적/사회적 영향은 우연적인 요소로 간주하는 경향을 띠게 된다. 그래서 대체적으로 '반심리주의적(anti-psychologist)' 입장을 취해왔으며, '발견의 맥락'과 '정당화의 맥락'을 엄정히 구분하여 과학철학의 본분은 '정당화의 조건들'을 집중 탐구하는 데 있다고 본다.3)

이러한 LP의 과학관에 비춰볼 때 '과학과 非과학을 구분할 수 있는 능력'은 '과학적 소양'을 갖추는데 있어 우선적 사항이 된다. 즉 어떠한 주장이 과연 경험에 의한 검증가능성(empirical testability)을 지니는가, 그리고 그 주장은 논리적으로 조직(logical construction)되어 있는가를 따져볼 수 있는 능력이 필수적이다. 만약 그렇지 않은 경우에는 해당 주장을 앞서의 요건에 맞게 번역해낼 수 있어야 한다. 그리고 그러한 번역작업에 있어서는 가치, 태도, 정서 등을 표현하는 '비인식적(non-cognitive) 내용들'을 털어내고 '인식적으로 유의미한 내용들'만을 간추려내서 앞서의 요건에 맞게 재구성할 수 있어야 한다.

피상적으로 이해할 때 LP의 과학적 소양 개념을 혹자는 그간의 과학교육

2) "논리 실증주의"와 "자연화된 과학철학", 그리고 "사회적 구성주의"가 지닌 입장 차이에 관한 논의는 Giere(1988), Giere(1999) 참고.

3) Giere(1999: 32-33).

이 충실히 대변해온 걸로 오해할 수 있다. 수학적으로 정식화된 공식을 주어진 조건에 기계적으로 대입해서 해답을 끌어내는 활동이 마치 LP의 영향을 받은 것으로 보는 것이다. 그러나 LP는 그러한 기계적이고 정태적 과정보다는 '수학적 정식이 과연 어떤 논리적 과정을 통해 유도되었는지, 과연 그 과정은 연역적으로 타당한지, 그리고 어떤 데이터가 과연 특정 이론을 지지할 수 있는지, 또 가능한 다른 경쟁이론에 견줄 때 과연 어느 쪽이 더 정당성을 확보하는지'를 따져보는 등, 지적으로 대단히 역동적인 활동을 요구한다. 논자의 경험으로는 어떤 이유에서건 이러한 지적 게임의 요소를 그간의 과학교과서는 충실히 반영하지 못했다. 다만 '인식적 유의미성 기준'이 너무 엄격하다 보니까 1) 여타의 인지적 자원, 가령 가치 관심, 지적 호기심, 미감(sense of beauty), 심상(mental image) 등이 미치는 영향을 반영하지 못한 점, 2) 정치, 경제, 종교 같은 문화적 요소들이 사회적 상호작용의 장(場)에서 과학의 인식적 규범들을 어떻게 제약하고 구현하는지에 대한 설명의 배제, 3) 실제로 과학하는 인지적 주체들에 대한 기술적(descriptive) 연구를 적극적으로 반영하지 않은 점등은 이후에 등장하는 SC와 NP의 비판의 표적이 되었다.

2.2. SC의 과학적 소양 개념

SC는 종래의 구조-기능주의 접근을 위주로 한 과학사회학자들이 LP가 '발견의 맥락/정당화의 맥락' 구분에 따라서 과학적 지식의 내용을 정당화하는 작업은 과학철학에 귀속시키고, 사회학이나 심리학은 '발견의 맥락'에 작용하는 심리적/사회적 영향에 대해서만 설명하도록 한정했던 데에 안주해왔음을 비판하면서 등장했다. SC는 대체로 그 같은 '이원화된 맥락의 구별'을 따르지 않는다. SC는 사회적 상호작용이 발견이나 정당화의 과정에 두루 개입되어 있으며 사회적 상호작용을 빼고서 지식의 정당화는 충분히 설명될 수 없다고 본다. 이 같은 SC의 입장은 크게 봐서 '환원주의적 SC'와 '비환원주의적 SC'로 대별할 수 있다. 환원주의적 SC는 '모든 과학적 지식의 변화는 사회적 상호작용에 의해 남김없이 설명될 수 있다'는 강한 입장이라면, 비환원주의적 SC는 '물리적 상호작용, 심리적 상호작용, 사회적 상호작용의 세

가지 차원의 활동을 거쳐 과학적 지식이 구성되는데 그 동안 전통적인 과학 철학이 물리적, 심리적 측면에 집중하여 또 하나의 필수적인 차원인 사회적 상호작용을 설명하지 못했다'는 상보적 입장이라고 할 수 있다.⁴⁾

여기서 논자는 비환원적-상보적 입장에 선 SC를 통해서 SC의 과학적 소양 개념을 추정해보고자 한다. SC는 LP에 의해 중요시된 과학이론이 지나야 하는 핵심적 요건, 즉 '검증가능성(verifiability), 또는 반증가능성(falsifiability)' 기준은 논리의 선험적 타당성에 기초해 그 설명을 시도하는데 비해, 사회적 상호작용을 읽어 해당 지식이 어떻게 사회적으로 구성되어 왔는가를 살피는 것은 경험과학적으로 보다 풍부한 설명을 내놓을 수 있다고 본다. 이러한 SC의 입장은 과거 LP가 주도한 과학에 대한 설명이 간과해온 측면, 즉 과학 지식의 구성 과정에 미치는 다양한 문화적, 제도적 요인들을 설명하고 있다.

여기서 논자는 SC가 새롭게 부각시킨 요인들을 살펴볼 때 앞으로 과학적 소양을 형성하는 데 주요한 요소들 몇 가지를 다음과 같이 추정해 본다. 1) 과학적 지식은 사회적 협업(collaboration)을 통해서만 생산될 수 있다. 2) 과학적 지식은 사회적 의사소통 과정을 통해서 선택되고 보급된다. 3) 과학적 지식이 정당화되는 과정도 일종의 사회적 합의(social consensus)의 과정이다. 4) 과학적/기술적 지식이 생산-선택-정당화-보급되는 과정에서 모두 일정 정도 정치-경제적인 요인들이 개입한다. 그리고 이러한 요소를 의도적인 과학교육과 관련지워 다음과 같은 과학적 소양의 사회적 요소들이 제시될 수 있다고 본다. 1) 과학적 지식을 구성하기 위해 협동할 수 있다. 2) 자신의 생각을 과학적으로 검증하는데 적절하게 의사소통할 수 있다. 3) 정당화를 위한 사회적 합의를 위한 토론기술을 훈련받는다. 4) 과학적/기술적 판단을 내릴 때 미치는 정치-경제적 요인을 적시할 수 있고 또 앞으로 나타날 수 있는 정치-경제적 결과를 고려할 수 있다.

2.3. NP의 과학적 소양 개념

NP는 LP가 내세운 '발전/정당화 맥락 구분'의 필요성은 어느 정도 인정

4) LP, NP, SC의 상보적 관계에 관한 논의는 Thagard(1999: ch. 1 & 14) 참고.

하면서도 ‘반심리주의적’ 입장은 거부한다. 과학하는 실제의 활동에 대한 심리학적/사회학적인 기술적 연구에 바탕해서 과학철학의 고유 과제인 과학활동의 ‘인식적 규범(epistemic norms)’이 모색되어야 한다는 것이 NP의 입장이다. NP는 일정 부분 LP의 주장을 받아들이면서도 그 동안 인지과학, 특히 인지심리학이나 인공지능 등의 분야에서 이뤄진 연구성과들을 적극적으로 수용하려는 노력을 기울인다. 또 과학사 연구나 SC를 통해 엿보게 된 사회적 상호작용의 제 측면들을 포괄해서, LP에 비해서 심리적으로나 사회적으로 실천가능하고 적용이 용이한 과학함의 규범을 모색하고자 노력한다.

NP가 LP가 제시하는 논리적 요소가 지닌 중요성을 수용하면서도 새롭게 드러낸 측면들을 볼 때 논자는 대체로 다음의 측면이 과학적 소양을 규정할 때 중요하게 감안되어야 한다고 본다. ① 논리적 명제나 수학적 정식에 선행해서 스키마(schema) 또는 모델(model)이 과학적 탐구활동에서 중요하게 작용한다. ② 이 같은 스키마나 모델은 논리적 기호에 앞서서 다양한 심상(mental imagery)들을 통해 형성된다. ③ 과학적 지식이 구성되는 과정에서 연역논리, 귀납논리 못지 않게 유비논리(analogical inference)가 중요하게 작용한다. ④ 실제에 있어 발견/정당화의 인지적 과정은 병행된다. ⑤ 과학탐구 활동은 시종일관 물리적/사회적/심리적 상호과정의 동시적 진행이다. ⑥ 과학의 인식적 규범은 경험과학적 연구성과를 바탕으로 해서 수립되어야 한다.

위의 요소들을 다시금 과학교육의 관점에서 해석해 보면, 1) 과학적으로 중요한 핵심적인 모형을 인지하고, 2) 이를 유사한 상황에 적용해 문제를 해결할 수 있으며, 3) 시각적으로 효과적인 표상들(graph, diagram 등)을 문제 해결을 위해 활용할 수 있고, 4) 문제의 성격에 따라 가설과 증거, 원인과 결과 사이의 적절한 관계를 추정할 수 있고, 5) 과학적 탐구활동을 적절히 수행하기 위한 선언지(declarative knowledge, know-that)와 절차지(procedural knowledge, know-how)를 함께 습득했을 때, 비로소 적절한 과학적 소양이 구비되었다고 할 수 있을 것이다.

지금까지 논자가 추정해본 과학적 소양에 대한 해석들은 소위 과학학(science of science)의 관점에서 과학에 대한 철학적/심리학적/사회학적 측

면의 연구를 종합해서 과학 교육에 적용해본 것이다. 여기까지의 논의를 정리해볼 때 우리는 LP, SC, NP의 세 가지 과학에 대한 이해는 ‘상충되는’ 과학관을 견지한다기보다는 ‘상보성’을 지닌다고 할 수 있다. 즉 과학의 규범은 ‘논리적 선형성’에만 기초해야 한다거나, 또는 과학이 ‘개인의 인지적 메커니즘’만의 산물이라거나, ‘사회적 상호작용’의 차원에서 과학적 지식이 남김없이 다 설명될 수 있다는 식의 환원주의적 태도만 아니라면 LP나 SC는 NP의 유연한 입장을 통해 ‘과학, 과학 문화, 과학적 소양에 대한 협동연구 프로그램’ 안에 함께 참여할 수 있다. 이러한 논자의 판단은 PISA의 평가들과 어느 정도 합치하고 있다.

3. PISA의 평가들에 대한 과학철학적 검토

PISA의 평가들은 ‘소양(literacy)’을 세 가지 차원으로 나누어 규정하고 있다. 1) 과정에 대한 능력(process skills), 2) 지식과 이해(knowledge and understanding), 3) 적용의 맥락(context of application) 등. 이 중에서 1) ‘과정에 대한 능력’과 관련해,

과학적 소양은 증거와 자료를 결론이나 주장과 연결하는 능력과 깊은 관련이 있다. 특히 과학적 소양은 과학적으로 조사할 수 있는 문제를 인식하는 능력과 관계가 있다. 이러한 능력의 구체적인 예로는 현재 검증되어야 할 문제를 파악하고, 과학적 조사에 의해 답을 구할 수 있는 문제와 그렇지 않은 문제를 구분할 수 있으며... 결론을 도출하고 그 타당성을 평가하는 일..., 타당성 있는 결론을 전달하는 능력 등... 5)

과학적 소양을 이루는 데 중요한 요소들을 열거하고 있다. 여기에 열거된 요소들을 살펴볼 때 전통적인 LP의 입장이 강하게 반영된 것을 쉽게 알 수 있다. 특히 ‘과학/비과학의 구별, 증거와 가설의 논리적 관계, 주장할 수 있는 것과 없는 것의 한계’ 등을 이해하는 문제 등은 LP의 주요한 탐구과제였음은 주지하는 바이다. 실제로 PISA는 과학적 소양이 갖춰진 사람은 “수집

5) KICE(2000: 4-13).

된 증거와 정보를 보고 타당하면서도 신중한 결론을 도출하는 능력을 지녀야 하고, 제시된 증거를 보고 다른 사람이 주장하는 바를 반박할 수 있으며, 의견을 증거에 기초한 진술과 구분할 수 있어야 한다”고 본다. 그리고 이러한 능력의 함양은 단지 과학에서만 아니라 다른 영역의 소양을 형성하는데 있어서도 매우 중요한데, 그 이유는 “과학이 어떤 생각과 이론을 실생활에 나타나는 증거에 비춰 검증하는 논리성과 밀접한 관련성을 갖기 때문”이라고 본다.

다음으로 2) ‘지식과 이해’의 차원에서는 종래 과학적 소양의 요소에서도 빠짐없이 나타나듯이 주요 과학적 개념(에너지 보존, 적응, 분해 등)을 잘 이해하는 것을 꼽고 있다. 그런데 많은 주요 개념 중에서도 특히 실생활 문제를 해결하는 데 필요한 것을 우선시하는 특징이 있다. 이러한 면은 실생활에 부딪혀 풀게 되는 과학적 문제의식을 잘 활용해서 과학적 개념을 유도하고자 한다는 점에서 프래그머티즘의 자연주의적 과학철학과 도구주의적 지식관을 적극 반영하고 있다. 그리고 개념 중심의 이해를 강조하는 면은 인지과학적 연구를 충실히 반영한다는 점에서 NP의 입장을 수용한 것으로 볼 수 있으며, 해당 사회의 주요 개념의 선정에 있어서 사회적 관심사를 중요하게 고려한다는 특징은 SC의 입장과 연결된다고 볼 수 있다.

끝으로 3) ‘적용의 맥락’ 차원의 경우, PISA는 과학적 소양은 “실생활 상황에서 문제를 해결하는 능력”이기 때문에 문제의식 형성의 발단이 되는 실제적인 삶의 상황을 제시하여 사전에 습득된 ‘개념’과 ‘탐구 기술(process skills)’을 적용하여 문제 해결에 임하는가를 평가하는 방식을 채택한다. 이 점은 PISA의 평가들이 대체적으로 피어스(C. S. Peirce)나 듀이(J. Dewey)의 ‘탐구’ 개념에 바탕하고 있음을 재확인시켜 준다. 특히 탐구 활동은 다른 아닌 ‘문제 상황을 문제가 해소된 상황으로 전환시키는’ 노력으로 파악했던 듀이의 탐구 개념은 PISA의 평가철학과 거의 일치한다.⁶⁾ 한편 과학지식을 적용해야 할 맥락은 동시에 정치-경제적 맥락이 복합되어 있기 때문에 SC의 ‘사회적 문맥(social contexts)’을 통찰하는 능력’으로서의 과학적 소양을 평가

6) Peirce(1955: 10-11).
Dewey(1938: 104).

할 수 있는 가능성도 PISA는 열어놓고 있다. 그러면 이제 구체적으로 PISA의 예시문항을 살펴보자.)

한 농부가 농업 실험장에서 젓소를 키우고 있었다. 젓소 우리에 파리가 너무 많아져서 젓소의 위생에 문제가 생기자, 농부는 젓소 우리에다가 살충제 A를 뿌렸다. 살충제로 거의 모든 파리가 죽었으나, 시간이 어느 정도 경과하니 파리가 다시 많아졌다. 농부는 다시 살충제를 뿌렸다. 그 결과, 첫 번째와 마찬가지로 거의 모든 파리가 죽었다. 파리는 거의 다 죽었지만 전부 다 죽은 것은 아니었다. 얼마 되지 않아 또 다시 파리가 많아졌고, 다시 살충제를 뿌려 파리를 죽였다. 이와 같은 일이 다섯 번이나 반복되면서 살충제 A는 점점 파리를 죽이는 효력이 떨어지는 것 같았다. 농부는 살충제를 한꺼번에 많이 만들어 이를 매번 살충할 때마다 사용했음을 알게 되었다. 따라서, 그는 살충제 용액이 시간이 지남에 따라 변질되었을 가능성이 있다고 주장하였다.

출처: 1998년 워싱턴시 National Academy Press에 게재된 "Teaching about Evolution & the Nature of Science" p. 75.

예시문제 3 (서술형)

농부는 시간이 지남에 따라 살충제가 변질되었다고 생각했다. 이 주장을 검증할 수 있는 방법을 간략하게 설명하시오.

예시문제 4 (서술형)

농부는 살충제가 시간이 지남에 따라 변질되었다고 생각하였다. "살충제 A가 점점 파리를 죽이는 효력이 떨어지는..."에 대한 원인 두 가지를 설명하시오.)

위에 예시된 지문은 어떤 농부가 맞닥뜨린 문제상황을 나름대로 해결하고자 애쓰는 과정을 보여주고 있다. 그 과정에서 농부는 살충제의 반복되는

7) 여기서 살펴보는 문항은 논자가 판단하기에 그 동안의 전통적인 '과학 소양'의 평가문항과 비교해볼 때 '평가하고자 하는 소양 요소'와 관련해 뚜렷한 차이가 있다고 여겨지는 것을 기준으로 선택해본다.

8) KICE(2000: 84-87).

살포에도 해충이 박멸되기는커녕 점점 살충제에 더 잘 견디는 것을 보고 살충제의 효능이 점점 떨어지고 있다는 결론을 내린다. 그리고 그 원인은 '살충제가 시간이 흐름에 따라 변질된 탓'인 것으로 진단한다. 지문 자체가 하나의 '문제상황'을 '문제가 해소된 상황'으로 전환시키려는 어느 농부의 탐구 과정을 보여주고 있다. 그런 다음 '예시 문제 3'에서는 "살충제 효능 약화의 원인은 <시간 경과에 따른 살충제 성분의 변질>이다"는 농부의 인과 가설(주장, 결론)을 검증해볼 방법을 제시할 것을 요구한다. 그리고 '예시 문제 4'에서는 농부의 문제상황을 보고 피험자 스스로가 추정해볼 수 있는 인과 가설들을 제시해보도록 한다. 여기서 우리는 일단 '지문과 예시문제 3, 4'가 모두 LP의 과학적 소양 개념에서 중시하는 가설과 증거 사이의 관계를 파악하는데 초점을 설계되었음을 알 수 있다. 동시에 과학적 지식을 문제해결의 도구로 규정하는 NP의 자연주의적 과학관에 기초해서 과학적 소양을 평가하는 점, 그리고 선택된 문제 상황이 사회적 파급 효과가 큰 살충제 남용의 문제를 적용의 맥락으로 제시한 것을 봐서 과학의 사회성을 강조하는 SC의 입장도 잘 반영된 것으로 분석해볼 수 있다. 이러한 분석을 뒷받침하는 또 다른 문항을 검토해보자.

1996년 2월, 프랑스 국립 농업 연구소의 한 연구팀은 다섯 마리의 복제 송아지를 탄생시키는데 성공하였다. 5마리의 각기 다른 암소에서 태어났지만 모두 같은 유전자를 갖고 있는 이 복제 송아지들은 복잡한 과정을 거쳐 탄생한다. 우선 연구진은 암소(이 암소를 1번 암소라고 부르기로 한다)로부터 약 30개의 난세포를 떼어낸 후 다시 각각의 난세포에서 핵을 떼어내었다. 그리고 나서 다른 암소(이 암소를 2번 암소라고 부르기로 한다)에서 약 30개의 세포로 구성된 배(эм브리오)를 떼어낸 다음, 이 세포 덩어리로부터 각각의 세포를 분리시켰다. 분리된 각각의 세포로부터 핵을 떼어내고 1번 암소에서 떼어낸 30개의 난세포에 각각 떼어낸 핵을 주입시켰다. 이 때 1번 암소의 난세포는 고유의 핵이 이미 제거된 상태이다. 마지막으로 대리모가 되는 30마리의 암소에게 주입된 30개의 난세포를 각각 이식하였다. 9개월 후 이 암소들 중 5마리가 복제 송아지를 출산하게 되었다. 연구진 중 한 사람은 이러한 복제 기술을 광범위하게 적용하면 축산 농가에 경제적인 이익을 줄 수 있을 것이라고 전망하였다.

예시문제

이상과 같은 프랑스의 암소 실험 결과, 중요한 아이디어 하나가 확인되었다. 그렇다면 위의 실험으로 어떤 아이디어가 검증될 수 있는가?⁹⁾

이 문항은 “과학적으로 조사가능한 문제 인식” 여부를 묻는데 초점이 있는데, 문항의 성격은 앞서 ‘농부와 살충제’ 문항의 경우처럼 사회적 파급효과가 크면서 일반의 관심을 모으고 있는 문제를 다루고 있으며, 피험자는 사전에 유전자와 유전자 조절에 관한 일정한 지식을 저장했다가 문제에 닥쳐 인출할 수 있어야 적절한 답을 할 수 있도록 설계되어 있다. 전체적으로 PISA가 설정한 세 가지 평가 차원에 따라 검토해보면 탐구 과정상의 기술(process skills) 차원과 지식과 이해(knowledge and understanding) 차원에서는 LP와 NP의 입장이, 그리고 적용의 맥락(context of application) 차원에서는 NP와 SC의 입장이 잘 드러나고 있다. 이 밖에도 여러 가지 문항이 예시되어 있는데 일관되게, 탐구수행에 있어 논리적 절차의 중시(LP), 개념중심의 이해력 우선(NP), 과학 지식의 사회성 강조와 사회 참여 능력(SC) 등을 기본적인 평가철학으로 삼고 있다.

4. 과학 문화의 증진을 위한 적극적 평가 방향

앞서 살펴본 PISA 평가들은 우선 과학적 소양을 종래에 비해 한층 적극적으로 해석하고 있다는 평가를 내릴 수 있다. 그리고 논자의 분석에 의하면 과학에 대한 <협동연구 프로그램>으로서의 과학학(science of science)의 관점에서 볼 때 그 동안 넓혀져 온 과학에 대한 새로운 이해를 비교적 충실히 반영하고 있다. 그러나 평가의 목적과 동기에서 비롯된 일정한 제약을 안고 있기도 하다. 여기서는 그러한 한계를 지적해보고 ‘과학문화의 증진’이라는 목표에 초점을 둘 때 보다 적극적인 평가방향은 어떤 것이 있을지 알아보자.

9) 앞의 책: 97-99.

1) 우선 PISA는 특정 교과에 매이지 않는 폭넓은 ‘소양’ 개념을 채택하면서도 일단 읽기-수학-과학 등 세 영역 분할을 존중하기 때문에 보다 과감한 실생활 장면을 제시하지 못하고 있다. 가령 ‘살충제’ 문제에서 우리는 애써 ‘환경 오염’의 측면을 배제한 의도를 이해하면서도 실제로 전지구적인 고민거리인 환경문제의 맥락을 지나치게 단순화시킨 면을 지적하지 않을 수 없다. 마찬가지로 ‘동물 복제’ 문제에서도 ‘생명윤리’의 측면을 사상시키고 복제와 관련된 과학적 기술적 과정만을 제시하고 있다. 물론 가치 판단, 윤리적 논란의 여지가 큰 상황제시는 피험자의 지적 발달 단계나 평가의 목적상 변인 통제가 어렵다고 판단했음을 이해한다. 여하튼 PISA는 사실/가치 정보를 구분하는 능력을 증시하는 한편으로 ‘가치 판단을 포괄한 평가모형’을 제시하고 있지 못하다.¹⁰⁾

2) 과학문화의 증진과 관련해서 극복해야 할 중요한 난관의 하나는 과학기술이 일반시민에게 문명의 이기를 가능하게 하면서도 “정서적 만족은 줄 수 없는” 문화적 산물로 각인되어 있는 현실이다. 그러나 이 점은 과학은 “자연에 대한 경이감, 심미감, 강렬한 지적 호기심”은 물론 진리를 발견해 사회발전에 기여한 사람으로 기억되고픈 “명예심이나 경쟁심” 같은 욕망이 동기가 되어 이를 만족시키기 위한 노력의 산물이라는데 동의한다면 아주 부조리한 현상이 아닐 수 없다. 기술의 경우도 “좌절감을 동반하는” 강렬한 문제의식에 추동될 때 놀라운 혁신을 가져왔다는 점을 생각해보면 과학기술에 대한 대중적 이해는 심각한 왜곡을 안고 있다. 그 원인은 다양하겠지만 무엇보다 인간의 인지에서 정서가 미치는 영향에 대한 연구의 부진, 이에 따른 교육 프로그램과 평가 모형의 부재가 중요한 원인의 하나임은 쉽게 추측할 수 있다. 이러한 문제점은 PISA의 경우도 여전히 과제로 남아 있다.

3) 논자의 분석에 의하면 과학 기술이 “사회가 만들어 가는 것이고 또 사회에 중대한 영향을 미치는” 것이라는 인식이 어느 정도 반영되었으면서도 과학지식이 구성되는 ‘인지적-논리적 과정(cognitive-logical process skills)’에 비해 ‘사회적 과정(social process skills)’에 대한 주목은 미흡한 편이다. 과학기술에서의 사회적 구성(social construction)의 측면은 갈수록 심화되고 있고

10) 사실/가치를 통합된 맥락에서 평가하는 문제와 관련, 임병갑(2000: 58-60) 참조.

이에 따른 시민들의 참여역량이 점점 더 중요해지는 현실에서 이 점은 적극적인 검토가 있어야만 한다.

4) '비판적 분석능력'에 비해 '창의적 구성능력'을 제고하려는 고민이 PISA의 평가들에서는 잘 나타나고 있지 않다. 물론 이 점은 앞서 지적한 바 처럼 사전에 설정한 평가 목적에서 오는 제약이기는 하지만, 지금 인류에게 있어 과학기술의 창의적 구성, 지혜로운 활용은 과학기술이 실제 삶에 미치는 영향력이 증대해갈수록 그만큼 중요해지고 있는 현실을 고려할 때 유보할 수 없는 중요한 평가 요소이다. 누구도 미처 생각 못한 '비범한 창의성'을 사전 설계에 따라 평가한다는 것은 일종의 모순이라고 할 수 있다. 그렇지만 과학적 탐구활동에서 진행되는 비판과 구성의 과정을 모형화해 본다면 '평범한 창의성'은 얼마든지 측정 가능하다. 그리고 최근의 인지과학적 연구를 보면 이러한 모형의 추출은 가능하다는 것이 논자의 판단이다.

지금까지는 주로, PISA의 평가들이 '과학학'이라는 과학사, 과학철학, 과학사회학, 인지과학 등을 망라하는 학제간 연구에 의해 드러난 '과학기술에 대한 통합적 이해'를 일정 부분 반영하면서도 소극적으로 비치는 측면을 비판해보았다. 다음은 건설적 제안의 차원에서 과학문화의 증진을 위해 예상되는 평가의 방향을 위의 네 가지 측면에 각각 대응시켜 제시해 보자.

1) 일단 '읽기-수학-과학'의 소양을 구분할 필요를 인정하더라도, 지문에서는 "실생활에 최대한 근접시킨 복합적인 맥락을 제시한다"는 차원에서 하나로 통합한 다음에 구체적인 문항의 수준에 가서 별도로 나눠 평가하는 방법을 생각해볼 수 있다. 이 점은 "실생활과 유리되지 않은, 실제 삶에 적용가능한 소양(literacy)을 중시"하는 PISA의 평가철학으로 보나, '과학적 문제해결의 방식'을 전형으로 삼아 다양한 사회적 문제들에 대처하고자 '과학문화의 성숙'을 지향하는 시대적 관심으로 보나, 진지하게 검토되어야할 부분이다.

2) 과학이 '정서적 공백상태'에서 진행되는 활동이라는 대중적 오해가 지금까지 방치되어 온 가장 근본적인 이유는 이성과 감성이 "지시하고 복종하

는 주종관계"에 놓여 있다는 계몽주의적 패러다임을 극복할만한 충분한 경험과학적 연구가 이뤄지지 못한다. 그러나 경험과학적 성격의 증거가 빈약하기는 기왕의 '이성/감성-주종관계' 패러다임도 마찬가지이다. 여기서 논자는 과학문화의 증진을 도모하기 위해서는 '이성/감성-동반자관계' 패러다임의 채택이 유리하다고 판단한다. 따라서 비록 객관성을 지닌 신뢰할만한 평가모형이 없더라도 일단 놀라움, 아름다움, 호기심 등 "정서적 표현(emotional expression)"이 담긴 지문을 제시해보는 시도는 진일보한 결과를 가져올 수 있다고 생각한다. 최소한 이 같은 시도를 통해서 정의적(emotive) 측면과 인지적(cognitive) 측면을 병렬적으로 놓고 사고하는 습관(habits of mind)은 유도할 수 있을 것이고, 그렇다면 '학습의 연장'으로서의 평가활동 본연의 의미를 살릴 수 있을 것이다.

3) 타가드(P. Thagard)는 그 동안의 사회 구성주의자를 비롯한 과학 사회학자들의 연구를 정리해볼 때 '과학 지식의 사회성'과 관련해 가장 주목할 측면을, '협업(collaboration), 의사 소통(communication), 사회적 합의(social consensus), 기금 확보(funding)' 등 4 가지로 정리한다.¹¹⁾ 그런데 이러한 측면들은 뒤집어 보면 모두 치열한 경쟁이 작용하는 측면이기도 하다. 여기서 특히 논자가 강조하고 싶은 것은 "과학적 지식은 치열한 사회적 협력과 경쟁을 통해 구성-선택된다"는 사실이다. 그리고 다른 것은 몰라도 이러한 경쟁-선택의 과정만큼은 충분히 평가에 반영할 수 있다. 가령 특정 현상을 설명하는데 있어서 '단일 가설'이 아니라 '복수의 가설들(rival hypotheses)'이 등장해 경쟁하는 사회적 맥락을 제시해볼 수 있다. 이미 우리들은 다양한 사회적 이해관계에 따라 편향된 과학기술 정보와 경쟁가설들에 에워싸인 채 하나하나 끊임없이 그 신뢰도를 따져봐야 하는 현실을 살고 있다. 따라서 이러한 현실을 충실히 모의하는 평가모형의 개발은 과학문화의 성숙을 위해 필수적이다.

4) 그 동안 진행된 과학철학 및 과학사, 인지과학 분야의 연구들을 종합해보면 '유비추론(analogical inference)'과 '상정논법(abductive inference)'이 특히 '창의적 사고'와 깊은 연관을 지닌 것으로 알려지고 있다. 유비추론의

11) Thagard(1999: 167-179).

경우 과학적 발견의 주요 사례에서 거의 빠짐없이 중요한 발견의 계기로 작용했다.¹²⁾ 그리고 상정논법은 일상적 발견의 경우는 물론 비범한 발견의 사례에까지 두루 창의적 문제해결을 주도하는 탐구의 논리로 간주되고 있다.¹³⁾ 이러한 연구 결과를 잘 정리하면 창의적 사고를 평가할 수 있는 근거는 얼마든지 마련될 수 있다. 단 ‘창의적 사고’와 ‘비판적 사고’를 이원화시켜 별개로 취급할 경우 ‘창의성’ 개념이 너무 느슨해질 우려가 있다. 따라서 비판적 사고와 상보적 관계를 지닌다는 전제에서 창의적 사고의 개념을 엄밀히 제약해야 할 것이다.¹⁴⁾ 그렇게만 된다면 ‘사전에 잘 이해된 지식과 개념’을 활용해서 ‘새로운 상황에 부딪혀 유비추론과 상정논법의 패턴에 맞춰 적절한 가설과 해결책’을 구성해내는지에 대한 객관적 평가기준을 세워볼 수 있다.

5. 마무리

지금까지 논자는 ‘과학문화의 증진을 막연한 문제의식 수준을 넘어 구체적 계획과 프로그램에 의해 추진하기 위해서는 일정한 평가기준의 모색작업이 선행되어야 한다’는 전제에서 출발, ‘한 사회의 과학문화 성숙도를 가늠하는 기준은 개인의 차원에서 과학적 소양을 측정하는 문제로 맞물려 있다’는 점에 착안하여, 최근에 세계적으로 시행된 PISA의 평가틀을 선택해서 이를 ‘과학학’의 관점에서 검토해보았다. 그 과정에서 전체적으로 과학학을 통해 넓혀진 과학기술에 대한 이해가 비교적 균형 있게 잘 반영되었다는 논자 나름의 분석과 더불어, 몇 가지 아쉬운 면을 지적하고 보다 적극적인 이해의 방향에 대해서도 몇 가지를 제안해 보았다. 따라서 본 논문은 개인의 소양 차원에 제한해 평가문제를 검토해 보았을 뿐 사회적 차원의 문화수준을 평가하는 문제는 일단 보류한 셈이다. 그러나 일단 개인적 차원의 과학적

12) 유비추론과 관련해 Vosniadou, S. & Ortony, A.(1989), Holyoak, K. & Thagard, P.(1999) 참고

13) 상정논법과 관련해 Thagard(1988: 54-63) 참고.

14) 이초식(1996: 9-10)은 ‘비판적 구성주의’의 입장에서 구성적 사고를 “전통적 구성/창의적 구성”으로 나눈 다음 ‘창의적 사고’를 구성적 사고의 한 유형으로 분류해서 설명한다.

소양을 분석해보면 보다 복잡한 수준에서의 과학문화 성숙도를 측정하고 평가하는 방법에 대해서도 많은 시사점을 얻을 수 있을 것이다. 물론 그렇기 위해서는 보다 다양한 연령과 계층을 대상으로 한 유사한 연구가 본격적으로 진행되어야 함은 물론이다.

□ 참고문헌 □

- 이초식 (1993) 「인공지능의 철학」, 고려대 출판부.
- 이초식 (1996) 「논리교육」, 대한교과서.
- 임병갑 (2000) 「과학적 탐구와 윤리적 탐구의 통합 프로그램을 위한 기초-듀이의 탐구이론과 다가드의 연결주의를 중심으로-」, 고려대 과학학과 박사 학위 논문.
- 한국교육과정 평가원 (1999) 연구보고: 「RRE 99-8, OECD 학업성취도 국제비교 연구」.
- 한국교육과정 평가원 (2000) 연구보고: 「ORM 2000-3, OECD의 학생평가: 읽기 수학 과학 평가를 및 예시문항」.
- AAAS, American Association for the Advancement of Science (1989) *Science for all Americans*, Oxford Univ. Press.
- AAAS (1993) *Benchmarks for Science Literacy*, Oxford Univ. Press.
- Dewey, J. (1938) *Logic: The Theory of Inquiry*, Henry Holt and Company.
- Goldman, A. I. (1993) *Philosophical Applications of Cognitive Science*, Westview Press.
- Giere, R. N. (1988) *Explaining Science: A Cognitive Approach*, Chicago Univ. Press.
- Giere, R. N. (1991) *Understanding Scientific Reasoning*, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Giere, R. N. (1999) *Science Without Laws*, The University of Chicago Press.
- Holyoak, K. & Thagard, P. (1999) *Mental Leaps : An Analogy in Creative Thought*, The MIT Press.

Peirce, C. S. (1955) *Philosophical Writings of Peirce*, ed. by J. Buchler, Dover Publications, Inc.

Thagard, P. (1988) *Computational Philosophy of Science*, The MIT Press.

Thagard, P. (1992) *Conceptual Revolutions*, Princeton Univ. Press.

Thagard, P. (1999) *How Scientists Explain Diseases?*, Princeton Univ. Press.

to be closely related with the fact that the 'goal-directed' rationality has been discarded as nonsensical. The goal-directed rationality was dealt a severe blow in the latter part of the last century, when the rationality of science was challenged by the scientific relativists.. This paper investigates the possibility of making sense of the goal-directed rationality in the modern age of science.

On Enhancing Science Culture and Evaluating Scientific Literacy: Focusing on PISA's Projects

Lim, Byoung-Kap

Science cultures in the dimension of social interaction must be correlated with science cultures or science literacy in the dimension of psychological interaction. In order to develop a mature science culture, it must be assumed 1) that a science culture in a society can be evaluated and 2) that we have to set up the criteria for evaluating it. This paper, based on the assumptions, makes an attempt to analyze the concept of science literacy underlying the PISA (Programme for International Student Assessment) conducted by OECD. The analyses are driven by the questions such as "which philosophical backgrounds are absorbed into the concept of PISA' science literacy?" and "What suggestions can be found with respect to the goal of enhancing the science culture?" In conclusion, the science literacy in PISA reflects the elements proposed by logical empiricism, naturalized philosophy of science, and social constructivism, which are being incorporated by the 'collaboration research program' conducted by the newly-emerging interdisciplinary field of 'science of science.' Finally, some further suggestions are added to the analyses to pursue more positive directions to induce mature science cultures in our society.