

Instrument로서의 테크놀로지와 수학 학습 패러다임의 변화

김 부 윤 (부산대학교)

이 지 성 (온천중학교)

I. 서론

오늘날 컴퓨터와 정보통신기술의 발달은 너무나 급속히 진행되고 있고, 학생들이 가지고 있는 여러 가지 기기들은 하루가 다르게 바뀌고 있으며, 더구나 그러한 기기들에 대한 학생들의 적응력은 놀라울 정도이다. 학교 환경도 많이 달라져서 교실의 낡은 데스크 탑은 사라지고, 교사들이 노트북을 가지고 무선인터넷을 통해 여러 콘텐츠를 활용하고 있다. 이러한 상황은 국가 교육 정책의 일환이기도 하지만, 급속한 사회발전의 한 일면이기도 하다.

수학 관련 테크놀로지에서도 많은 변화들이 있어 왔다. CAS(Computer Algebra Systems)를 내장한 Mathematica, Maple, Derive, 그리고 DGS(Dynamic Geometry Systems)를 내장한 Cabri, GSP, Cinderella 등은 계속 업그레이드되고 있다. 형태면에서는 JAVA, Flash와 같은 상호작용이 가능한 웹기반형, 휴대형인 Hane-Held Technology(TI-92, Casio-FX) 등이 기호연산조작을 수반하거나 3차원 표상을 실행할 수 있게 되고, 교실 내 네트워크 연결 등의 발전을 거듭하고 있다.

이러한 테크놀로지를 학교 수학의 학습에 도입하려는 시도 및 관련 연구들은 CAL(Computer Assisted Learning), CAI(Computer Assisted Instruction), CBT(Computer Based Teaching), ICAL(Intelligent Computer Assisted Learning), ICAI(Intelligent Computer Assisted Instruction), ITS(Intelligent Tutoring System) 등의 이름으로 행해져 왔다. 이러한

연구들은 테크놀로지가 교수방법, 학습방법뿐만 아니라 수학교육과정까지 변화시킬 수 있음을 시사하였으며, 더 나아가, 교육제도까지 변화시킬 수 있는 가능성을 보여 주었다.

수학 학습에 관한 연구는 주로 학습자들이 지식을 어떻게 구성해 나가는가에 관심이 많은데, 이것은 인식론적이거나 실용주의적 관점과 관련이 있다(Rivera, 2005). 그러나 그동안 학습자의 지식 구성에 테크놀로지를 도입하는 것을 다룬 많은 다른 연구들은 단순히 학습자, 도구, 과제 사이의 다소 동떨어진 관계를 논의한 것들이 많이 있었다(고상숙·고호경, 2007; 김남희, 2006; 김부윤·이지성, 2001b; 김향숙·김혜진, 2000; 신은주·이중희, 2004; 조재호 외, 2003; 최나니·하정임, 2003; 정원경 외 2003). 학습에 도구로서 활용되는 테크놀로지는 tool, artefact, instrument의 개념으로 볼 수 있는데, 그 가운데 instrument로서의 테크놀로지는 수학 학습을 중재하며, 학습자, 도구, 수학적 지식의 상호작용에서 중요시되고 있다.

본 연구에서는 수학 학습에 instrument로서의 테크놀로지 도입을 지지할 것이며, 도구와 독립적으로 개인이 발달시키는 심적 구조에 대해 이야기하는 개인적 구성주의보다는 테크놀로지를 사용하는 개인들이 instrumented scheme을 만들어낸다고 설명하는 인류학적 관점을 소개하고, 이를 기반으로 수학 학습에 있어 새로운 패러다임으로의 전환을 논의하고자 한다.

II. 수학 학습에서 테크놀로지의 개념

1. Tool

수학 학습에서 사용되는 도구¹⁾의 개념 중에 가장 일

* 2008년 2월 투고, 2008년 7월 심사 완료.

* JDM분류 : U13

* MSC2000분류 : 97U70

* 주제어 : 도구, 테크놀로지, 패러다임

1) tool, artefact, instrument는 모두 '도구'로 번역될 수 있으나,

반적이고 광범위하게 받아들여지는 것이 tool의 개념이다. Smith(1994)는 컴퓨터 보조수업/지능형교사, 프로그래밍, tool의 세 가지 역사적 접근을 다룬 바 있는데, 이들 중에서 tool이 수학 학습에서 가장 강력한 효과를 지닌다고 하였다.

그러나 tool의 특징은 tool 자체 내에 수학적 지식이 존재하는 것이 아니라, tool을 사용한 학습 활동 속에 수학적 지식이 내재해 있다는 것이다. 즉, tool은 수학 학습에서 활용되는 조작물 또는 보조 자료로 볼 수 있으며, 이러한 관점에서 십진블록, 컴퍼스, 자, 각도기는 물론 지필 환경까지도 tool의 일종이 될 수 있다.

한편, 신은주·이종희(2004)는 수학 학습에서 도구는 퀴즈네르 막대나 십진블록과 같은 물리적·기술적 도구, 달력, 우편요금 표나 수 체계와 같이 문화적 맥락에서 사용되는 인공물로서의 문화적 도구, 수학 기호체계와 같은 기호적 도구가 있다고 한다.

Tool로서 컴퓨터와 같은 테크놀로지의 활용은 좀 더 넓은 범위에 걸쳐 실제적이며 일반적인 수준에서 수학교수·학습에 요구되므로 '기술공학적'이라는 수식어를 tool에 붙여 '기술공학적 도구'라고 일컫기도 한다.

2. Artefact

Hoyles 외(2004)는 instrumental genesis의 개념을 Trouche로부터 가져오면서, 테크놀로지와 더불어 지식을 구성하는 과정에서 학습자와 artefact의 상호 변환에 관한 것이라고 설명하고 있다. 따라서 artefact란 일반적인 tool에서 학습자와 상호작용을 할 수 있도록 수학적인 면과 학생의 흥미를 고려하여 의도적으로 제시되는 것을 의미한다.

3. Instrument

Instrument는 수학 학습에서 tool로 언급되기도 하는데, 자연적인 것일 수도 있고, 인공(artefact)적으로 의도된 것일 수도 있으며, 이것들은 물질적·기호적 형태를 띠 수 있다(Rivera, 2005).

구성주의 입장에서 tool은 구체적 스킴의 구성을 가능하게 하지만, 도구 발생적(tool-generated) 스킴은 tool을 더 정교하고 면밀하게 한다. 여기서 사용되는 tool은 개인적 심상과 사회적 행동을 결정하는 tool이 되며, 학습자와 수학적 지식을 중재한다. 이러한 tool의 개념은 instrument로 해석될 수 있는데, instrument는 수학적 지식의 인지나 구성에서 중재 역할을 강조하며, 수학적 지식, 학습자, 도구와의 상호작용과 관계가 깊다.

따라서 instrumented activity는 instrument의 활용을 채택하고 그에 의해 형성되는 활동이며, 도구와 과제의 상호작용에 의해 두 가지의 활동으로 나누어 고려할 수 있다. 즉, instrumentalisation은 과제가 특별한 활용을 위해 artefact를 형성하는 것이고, instrumentation은 artefact를 가지고 하는 활동에 의해 과제가 형성되는 것이다(Artigue, 2000).

학습자와 artefact 사이에 이렇게 상호 구성되는 변증법을 instrumental genesis라고 한다(Hoyles 외, 2004). 즉, instrumental genesis는 지식을 구성하는 과정에서 학습자와 artefact와의 상호 변환에 관련되며, 이 때 활용되는 artefact는 탐구되고 있는 어떤 과제에 대한 지식을 얻도록 도와주면서 중재를 담당하므로 instrument로 생각될 수 있는 것이다.

Instrumental genesis에 있어서 컴퓨터 환경이 적합하며, 이때의 컴퓨터 환경은 CAS나 DGS를 수반하여 학습자와의 상호작용에 중점을 두므로 일반적인 tool이나 artefact를 넘어서 instrument라고 할 수 있다.

4. Technology

테크놀로지에는 계산기, 컴퓨터, 컴퓨터 소프트웨어 등의 모든 것이 포괄될 수 있으며, 그 활용에 따라 단순히 tool이 될 수도 있고, artefact, 혹은 instrument가 될 수도 있다. 즉, 판서 대응으로서 프리젠테이션을 활용하여 근의 공식을 유도하는 과정을 서술하고 제시하였다면, 일반적인 tool로 볼 수 있으며, DGS를 수반한 소프트웨어를 활용하여 테크놀로지가 중재하는 학습상황에서 삼각형 내각의 합이 180° 라는 지식을 획득했다면 이때의 테크놀로지는 instrument로 볼 수 있다.

본 논문에서는 세 가지의 의미를 구별하고자 하므로 원어 그대로 사용한다.

III. 수학 학습과 instrument로서의 테크놀로지

1. 개인적 구성주의와 사회적 구성주의

구성주의 관점에서는 학습자의 생각과 의지로 학습 과정에 참여할 수 있으며, 테크놀로지를 활용하면 실행 조작의 과정을 대상화할 수 있다. 이것은 반영적 추상화로 나아갈 수 있게 해 주며, 과정을 대상으로 대상화(encapsulating)할 수 있게 해 준다. 따라서 개인적 구성주의에서는 학습의 개별화 측면에서 테크놀로지의 사용을 중요하게 다루어 왔지만, 이후에는 사회적 구성주의 관점에서 테크놀로지를 중요하게 생각하여 왔다. 개인적 구성주의에서 연구자는 학습자의 눈을 통하여 학습자의 경험 세계를 모델화하려고 하며, 이 모델에서 사회적, 문화적 세계는 학습자의 경험세계에 포함된다. 한편, 사회적 구성주의는 경험세계에 있는 학습자의 의미를 개인에 두기보다는 사회적 milieu에 있는 참여자로서 개인에 초점을 둔다.

Smith(1994)에 의하면, 개인적 구성주의에서는 개인을 테크놀로지와 수학기초물 모두를 포함하는 경험적 세계의 이해자(理解者, sense-maker)로 보며, 컴퓨터가 경험적 세계로부터 분리될 수가 없다. 또한, 사회적 구성주의 입장에서는 지적(知的) 동료로서의 컴퓨터와 문화적 도구로서의 컴퓨터를 생각할 수 있는데, 전자는 컴퓨터를 지적 동료로 보는 생각 즉, '지적 부담의 공유, 지적 과정을 다루는 데에 함께 참여하는 도구에게 인지적 걱정을 부과하는 것'과 같은 생각을 제안한 바 있다. 후자는 Vygotsky 학파의 접근으로 이동하여, 테크놀로지가 인간 활동을 증대하도록 하는 문화적 도구의 역할을 하는 것이다.

이와 같은 사회적 구성주의 입장에서는 테크놀로지에 수반된 기호연산의 실행조작을 활용한 수학 개념 형성과정에서 비계 구성도 중요하다. 학생들은 자신이 구성한 개념 이미지가 수학자들의 개념 이미지와 같은 것인지 확인하는 과정에서 토론과 평가를 하게 되고, 이러한 의미에서 비계가 중요하다(박용범 외, 2001).

테크놀로지를 학습자 개인이 바라보는 독립된 경험세계에 포함되는 것으로 보는 관점보다는 테크놀로지와 학

습자 개인이 함께 milieu에 포함되는 관점이 테크놀로지를 instrument로 활용하는 학습에 더 근접하다고 할 수 있다. 따라서 instrument로서의 테크놀로지 활용은 개인적 구성주의보다는 사회적 구성주의의 관점에서 고려되는 것이 더 바람직하다고 하겠다.

2. 수학적 의사소통

Instrumental genesis는 학습자와 artefact 사이에서 일어나며, 학습자의 수학적 지식은 instrument에 의해 중재된다. 따라서 학습자와 tool, 또는 학습자와 artefact의 상호작용은 탐구하고 있는 과제에 대한 지식을 인지하고 학습하도록 도와주기 때문에, 이때의 tool이나 artefact는 중재 역할을 하는 instrument로 고려되어질 수 있음을 언급하였다. 따라서 이러한 중재 활동에서 상호작용으로서의 수학적 의사소통을 고려해야 한다.

그래핑 계산기와 같은 테크놀로지를 활용한 수업에 사용되는 학습지가 더러 개발되어 있는데, 이러한 학습지는 대화형 실행매체²⁾(김부윤·이지성, 2001a; 허만성의, 1999)로서, 그래핑 계산기와 학생이 상호 의사소통을 통하여 자신의 학습을 자신이 주도하도록 보조해 준다. 대화형 실행매체의 중심요소는 문자, 수식, 도형이며, 기존의 학습매체의 대부분이 정적인 제시형이었다면, 대화형 실행매체는 학습자의 실질적인 활동을 요구하며, 이전과 이후 단계의 연결고리가 된다고 할 수 있다. 그러므로 대화형 실행매체를 작성할 때는 테크놀로지의 그래픽 기능을 최대한 활용하도록, 과정을 반복 수행할 수 있도록, 그리고 처음 결과와 최종결과를 비교하고 대조할 수 있도록 해야 한다. 또한, 대화형 실행매체는 탐구 활동의 주제를 일반화 과정으로 이행할 수 있도록, 복습 및 재구성이 가능하도록 구성되어야 하며, 외부적 흥미보다 수학 자체의 개념으로부터 즐거움을 느낄 수 있도록 구성되어야 한다. 따라서 대화형 실행매체는 컴퓨터 세대의 새로운 교과서 유형이 될 것이라고 주장되기도 한다(허만성의, 1999).

대화형 실행매체는 테크놀로지와 학습자의 상호작용을 구성하기 때문에 instrumental genesis를 유도해 낼 수 있으며, 이때의 테크놀로지는 instrument로서 학습을

2) 대화형 실행매체 : IMTs, Interactive Mathematics Texts

중재하게 된다. 테크놀로지를 instrument로서 활용하는 데에는 학습자와 테크놀로지의 상호작용도 중요하지만, 학습자, 수학적 지식, 테크놀로지의 세 가지의 상호작용 모두 의미가 있으므로 그에 해당하는 적절한 수학적 의사소통이 요구된다고 할 수 있다.

3. 인류학적 접근

수학적 사고와 이해에 대한 많은 연구들은 모든 인간 경험이 물질, 기호, 테크놀로지 체계에 의해 중재되고 있다는 인류학적 사실에도 불구하고, 학습자의 지식 구성에 대해서만 대부분의 관심을 기울여 왔기 때문에 tool의 instrument로서의 역할을 정교하게 다루지 못하였다(Rivera, 2005).

인류학적 관점은 학습자의 사고과정을 원조하는 tool과 독립적으로 수학적 대상에 대한 태도, 수학적 대상의 성질 또는 수학적 대상 내의 관계를 발달시키는 것으로 학습자를 틀에 맞추는 심리학적 관점과는 동떨어져 있다. 대신에, 인류학적 관점은 instrumental genesis에 의한 국소 발생적 상호작용에 중점을 둔다. 예를 들어, 전형적인 구성주의 기반의 연구는 중등학교 학생들이 학습 활동 내에서 급진적 과정 또는 사회적 과정을 통해 임의의 삼각형의 내각의 합이 180°라는 성질을 수립하는 방법을 탐구한다. 그러나 인류학적 연구는 학습자가 주어진 활동을 수행하기 위해 사용하는 tool을 어떻게 다루는가를 탐구하며, 그리고 학생들이 내각의 합에 대한 성질을 획득하도록 돕는 tool-induced 과정을 확인하게 된다(Rivera, 2005).

인류학적 접근에서는 tool이 instrument로서 그것들을 사용하는 학습자에게 강력한 영향을 미칠 수 있는데, 이것은 상호작용의 결과로 도출된다. 학습자가 원래 사용하려고 의도해 왔던 것들과는 다른 상황에서 tool을 사용한다면, 상황에 의해 tool이 형성된 것이므로 tool은 instrumentalisation을 수행한 것이며, instrumented activity에 있는 학습자가 tool을 적절하게 사용하기 위해 사고의 주요 부분을 변환한다면 instrumentation의 결과가 되는 것이다.

따라서 Rivera(2005)는 instrumental genesis라는 용어가 개인이 instrument의 물질적 또는 기호적 본질에서

부터 instrumentalisation과 instrumentation의 중요성까지 심리학적 기능을 부여하는 것으로 instrument를 어떻게 변환하는가와 관련된다고 하였다.

Tool에 대한 인류학적 접근은 instrument의 개념을 더 강조하며, 이것은 테크놀로지를 간단하게 supported, used, based라는 단어와 연결된 학습이 아니라 mediated 또는 induced라는 단어와 연결되는 학습으로서 고려해야 함을 의미한다.

IV. 수학 학습과 테크놀로지에 관한 현재의 상황

1. 테크놀로지에 대한 수학적 정당성

사회적으로 컴퓨터의 탁월한 기능과 능력은 교수·학습의 방법 측면에서 현저하게 변화시킬 것으로, 그리고 수학적 내용도 긍정적인 변화가 있을 것으로 기대되어지고 있다. 그러나 오늘날 학생들이 학습하고 있는 수학의 내용은 기존의 지필환경에서도 학습해 왔던 것들이기 때문에 본질적으로 변한 것이 없다. 또한, 수학의 내용면에서 지필환경이 현재의 학습 환경보다 부적절하다거나 테크놀로지 환경이 상대적으로 더 적절하다는 정당성도 제대로 갖추지 못하고 있다.

바꾸어 말하면, 농경사회, 산업사회, 정보사회로 이어지는 흐름을 따라가지 못한 채, 정보사회에서의 수학은 산업사회의 내용을 계속 반복 학습하면서 그대로 활용하고 있는 실정이다.

2. 교육과정에서 강조하는 테크놀로지

국가 교육과정 내에서 계속적으로 테크놀로지의 활용을 강조하고 그것을 표명하여 왔으나, 그 진술이 명료하고 구체적이라기보다는 다소 포괄적이었다고 할 수 있다. 우리나라 수학과 교육과정에서는 다음과 같이 컴퓨터와 계산기를 비롯한 교구의 사용을 권장하고 있으나, 실제로 이에 대한 구체적인 지침이나 자료가 없기 때문에 학교 현장에서 이러한 교구는 제대로 활용되지 못하고 있는 것이 현실이다.

수학 교수·학습 과정에서 교육기자재의 활용은 다음 사항에 유의한다.

- (1) 교수·학습의 전 과정을 통하여 적절하고 다양한 교육 기자재를 수단으로 활용하여 수학 학습의 효과를 높이도록 한다.
- (2) 계산 능력 배양을 목표로 하지 않는 경우의 복잡한 계산 수행, 수학적 개념·원리·법칙의 이해, 문제해결력 향상 등을 위하여 계산기, 컴퓨터, 교육용 소프트웨어 등의 공학적 도구와 다양한 교구를 확보하여 활용할 수 있다(교육인적자원부, 2006).

교육과정의 포괄적 진술에 의해 제작된 수학 교과서에는 instrument로서의 테크놀로지라기보다는 일반적인 tool의 단순 제시에 의한 테크놀로지의 활용을 다루는 경우가 많다. 따라서 교사가 직접 tool을 instrument로서 활용하는 학습 활동을 구상할 뿐만 아니라, 제작까지 함으로써 수업에 투입해야 하는 책무성을 모두 가져야 하는 부담을 안게 된다.

3. 테크놀로지의 실제 활용

테크놀로지가 instrument로서 활용되고 수학적 정당성을 획득하였다고 가정하더라도 현실적인 고려 사항들이 많이 존재하고 있다. 예를 들면, 테크놀로지에 대한 실제 예산의 확보와 학교 관리자의 관점 등을 고려해야 한다. 뿐만 아니라, CAS를 수반하고 있는 소프트웨어는 대부분 외국에서 개발되었기 때문에 높은 가격도 문제가 되며, 학생들의 수학 학습에서 언어의 변수를 고려하지 않으면 안 된다.

테크놀로지 사용의 편리성, 용이성, 단순성 등이 실제로 학교 현장에 테크놀로지를 도입할 수 있도록 하는 정당성으로 연결되는가는 수학 교과만의 고려 사항이라기 보다는 학교 체계 전반에 대한 고려사항이다. 이와 더불어, 사회적으로 발전된 도구를 학교 현장에 가져와 수학 학습의 도구로 변환시키기 위해 엄청난 비용이 지불되어야 하는데, 그에 대한 정당성을 찾을 만한 근거가 제시되지 못하고 있다.

4. 테크놀로지의 교수학적 측면

이종영(1999)은 컴퓨터 환경에서 제기되는 여러 가지 문제점을 분석하였는데, 수학적 지식을 컴퓨터 환경에서 표현할 때 생길 수 있는 문제점, 컴퓨터와 학생 사이의 상호작용의 특성을 살펴보고 그 특성으로 인하여 기존의 수학 학습지도에 적용 될 때의 문제점, 컴퓨터 환경과 기존 환경에서 다루어지는 개념의 차이점, 컴퓨터 환경에서 발생할 수 있는 교수학적 문제점 등을 고찰하였다. 따라서 그는 이러한 문제점의 처방을 위해 컴퓨터의 효율적 활용에 대하여 적절한 교수학적 처방이 요구됨을 지적하고, 바람직한 방향을 탐색하였다.

위에서 지적한 교수학적 문제점 중, 형식적 고착 현상에 가까운 것들은 Brousseau(1997)가 언급한 극단적 교수 현상의 범주에 속한다. 테크놀로지를 통해서 학생이 수학적 개념을 정확히 획득하지 않아도 버튼 조작 기능만으로 옳은 결과의 도출 방법을 택하게 되면, 형식적 고착화가 이루어질 가능성이 크다. 또한 학생이 인지해 내지 못한 수학적 지식이라도 테크놀로지의 기능에 의해 마치 목표 지식을 획득한 것과 같은 효과가 드러났다면, 조르당 효과를 가져 올 수도 있다. 수학 학습보다 테크놀로지라는 tool에 집중한 나머지 메타인지적 능동이 발생할 수도 있으며, 만일 웹에서 제시되는 플래시 콘텐츠에서 정답과 힌트 버튼이 함께 제시된다면, 토파즈 효과를 발생시킬 수도 있다.

5. 테크놀로지에 대한 교사들의 연구

테크놀로지의 발전과 그 활용 교육의 강조로 교사의 역할이 변화함에 따라 교사 스스로 전문성 개발에 노력하는 연구 활동이 많이 있어 왔다. 일반적인 자격연수나 자율연수를 통해 테크놀로지를 접해 볼 수 있는 기회도 있지만, 교사들의 자발적인 커뮤니티 생성을 통한 연구가 더 활발한 편이라고 할 수 있다.

예를 들면, 부산 지역 교사들의 연구회는 2001년~2002년에 실험학급(experimental class) 2개 및 시범학교

(pilot school) 2개교를 운영하고, 2003년~2005년에는 저시수준의 중단연구를 계획하고 준비하였다. 또한 교과과정, 학습자료 등에 관한 연구를 지속적으로 하면서, 교사 재교육과정으로서 예비과정(15시간), 기초과정(60시간), 심화과정(60시간), 전문가과정(60시간)을 개설하여 1998년~2005년까지 200여명의 교사들이 연수에 참가하도록 하였으며, 관련 연구물도 발표하였다(조재호 외, 2003; 최나니 외, 2003).

한편, 2000년 7월 인제대학교는 미국 Wolfram Research사와 손잡고 수학과 과학교육 및 관련 소프트웨어 개발을 위해 국내 최초로 메스메타카기술교육센터(MTTC: Mathematica Technical and Training Center)를 유치하여 수학과 과학교육 방법론에 관한 학술발표회 및 심포지움 등을 개최한 바 있다(김향숙·김혜진, 2000).

그러나 교사들의 이러한 연구들은 이후에 지속적으로 이루어진 것이 아니라, 일정기간 활발한 활동 이후에 현재는 다소 휴면상태를 보이고 있다.

V. 수학 학습 패러다임의 변화

1. 패러다임 변화의 필요성

테크놀로지는 수학에서 문제의 성격이나 본질을 변화시켰고, 수학자가 수학을 탐구하기 위해 사용하는 방법을 변화시켰다. 연역적 증명이 아닌 방대한 사례의 처리를 바탕으로 하는 새로운 종류의 증명이 도출되었으며, 테크놀로지의 능력을 바탕으로 한 프랙탈과 같은 분야가 탄생하기도 하였다. 이것은 학교 수학의 내용에서 대수, 기하, 함수, 미적분으로 이어지는 계통 이외에 수치해석이나 알고리즘을 다루는 이산수학이 새롭게 도입된 것과 같은 맥락이다. 따라서 수학 과제의 특별한 활용을 위해 artefact를 형성하는 instrumentalisation과 artefact를 사용하는 활동에 의해 과제가 형성되는 instrumentation의 관계를 볼 때, 학생들이 학습하는 수학적 내용도 instrumentalisation과 instrumentation의 변증법적 과정을 거쳐 정당성을 얻을 수 있을 것이다.

Smith(1994)은 Collins가 컴퓨터는 우리 사회의 인공 보철물(implant) 즉, '사회적 보철물(prosthesis)'이라고 한

의견을 빌어, 사회적 삽입물로서 컴퓨터를 수용하는 것은 그것에 대한 사회의 민감성이나 거부반응에 대해 다양한 비용이 들며, 수학교실에서 어딘가에서 그 비용을 감수하고 있다고 하였다. 이것은 적절한 패러다임이 아니라 기존의 패러다임에 삽입물을 그대로 적용해서 일어나는 일이라고 할 수 있다.

현재의 상황에서 언급된 테크놀로지의 활용을 통해 발생할 수 있는 극단적 교수 현상들은 기존의 패러다임 내에서 테크놀로지를 도입한 데에 그 원인을 찾을 수 있다. 마찬가지로, 교사들의 활발한 연구 활동에도 불구하고 테크놀로지를 통한 학습활동의 확대가 다소 침체된 이유는 Steen(1999)이 언급한 20개의 질문 중 '테크놀로지가 수학적 추론을 증대시킬 수 있는가?'의 세부 사항인 다음 질문에 대한 해답을 찾으면 밝혀질 수 있을 것이다.

학교 수학에서 테크놀로지의 사용 결과가 왜 복잡한가?
기대되는 것과 획득되는 것 사이에 왜 큰 차이가 있는가?

이 질문에 대한 해답은 패러다임의 관점에서 찾을 수 있다. 학교 수학이 포함된 패러다임과 테크놀로지의 중재가 포함된 패러다임이 상이하기 때문에 그 결과가 복잡하게 얽혀 있으며, 기대되는 것이 속한 패러다임과 획득되는 것이 속한 패러다임 또한 다르기 때문에 그 차이가 크다고 할 수 있다.

Smith(1994)은 은유적 표현을 사용하여 우리가 모든 학생들이 '그들의 머릿속에 있는 생각을 연주'하도록 하는 교육적 배경(setting)을 어떻게 창출할 것인가라는 질문이 교육 개혁 과정에서 무시되어질 수 없다고 했다. 따라서 위에서 언급된 여러 가지 현재의 상황에 대한 원인과 그 대응으로서 instrument로서의 테크놀로지 활용은 패러다임의 변화를 불러올 수밖에 없다는 것이다.

2. 패러다임 변화의 조건

(1) 교육과정의 변화

이미 제도화되어 있는 교육과정에 새로운 패러다임의 테크놀로지를 도입하는 것은 매우 복잡한 일이다

(Crawford, 1994). 현재는 국가교육과정에 테크놀로지의 활용이 명시되어 있긴 하지만, 그 서술이 개괄적이기 때문에 테크놀로지 도입은 물론 instrument로서의 중재로 인한 복잡성을 해결할 수가 없다. 변화된 패러다임에 기초하여 교육과정을 기술하기 위해서는 근본적인 접근 방법부터 제시해야 할 것이다. instrument로서의 테크놀로지와 instrumental activity를 통한 instrumental genesis를 고려한다면, 개인적 구성주의보다는 사회적 구성주의, Vygotsky의 관점, 상호작용론, 인류학적 접근을 기반으로 해야 할 것이다.

(2) 인식론적 변환

테크놀로지는 인간의 의식 실재를 바꾸고 인간 활동의 맥락을 변화시켰다(Crawford, 1994). 절대론적 관점은 구성주의와 Vygotsky에 의해 논쟁되기 시작했고, Engstrom(1990)과 같은 활동이론가들은 '활동 체계'라는 용어를 사용하면서 학교와 같은 제도적 환경에서 집단으로 행동할 때 발생하는 과정을 서술하였다(Crawford, 1994 재인용). 또한 상호작용론, 포스트모더니즘 등의 새로운 관점과 사상들이 생성되어 왔다.

이러한 흐름 속에서 1980년대의 Logo 프로젝트에서 컴퓨터에 의해 수학적 지식이 변환되는 방법이 있어 왔고, 학습에서 학생들이 컴퓨터와 상호작용하기 때문에 학생들의 지식에 대한 인식론적 변환에 초점을 맞추는 연구가 점점 증가하였다(Hoyles, 2004). 이에 따라 학습자가 직접 조작하고 체험하면서 실생활에 근거한 자료를 획득하는 실험적 행동을 할 수 있어야 하므로, 교사주도형에서 학습자 중심의 관점으로 바뀌어 온 것이다.

Instrument로서의 테크놀로지를 고려하는 패러다임이라면, 테크놀로지와 학습자가 같은 경험세계 속에서 서로 상호작용하는 가운데 심리학적 기능들이 발휘되어야 한다. 테크놀로지를 사용하는 학습자가 목표지식이 구성되는 방식에 주요하게 영향을 주는 instrumented schemes을 만들어 낸다는 인식론적 변환이 있어야 할 것이다.

(3) 관련 연구의 실행

패러다임을 변화시키기 위해서는 많은 관련 연구가 이루어져야 한다. 패러다임의 변화는 연구내용과 방법의 변화를 초래하기 때문에 정교하고 면밀한 새로운 연구들

은 다시 패러다임의 변화를 가속화하는 순환적 관계를 형성하게 된다.

Pierce & Stacey(2001)는 기호 감각(symbol sense)의 일부분으로서 '대수적 통찰(algebraic insight)'을 설명한 바 있다. 대수적 통찰은 다시 '대수적 기대'와 '표상 사이의 연결 능력'으로 나누어 설명된다. 그들은 CAS를 사용하기 위해서는 대수적 통찰이 요구된다고 주장하며, 이를 검사한 결과를 분석하였다. 이 연구는 대수적 통찰이라는 새로운 분야를 생성하였으며, 이것은 새로운 패러다임을 기대하는 연구자들로부터 많은 지원 및 지지를 받을 수 있다.

Kennedy(2002)는 그래핑 계산기의 발전을 요약한 후, AP Calculus에 그래핑 계산기를 도입하게 된 역사를 서술하면서 평가에서의 변화된 관점을 탐구하였다. 이러한 연구는 기존의 패러다임에서 새로운 패러다임으로의 이동에 얼마나 많은 시간과 노력이 필요한가를 인지하게끔 해 준다.

이러한 긴 역사에 대한 탐구와는 다른 방향으로, 김남희(2006)는 수학적 문제해결에 있어서 최초로 Cabri3D의 도입과 함께 방향제시를 하고 있다. 이러한 초기 연구들은 그 결과들의 축적을 통해, 새로운 패러다임에 기여할 수 있다.

고상숙·고호경(2007)은 전통적 학습 환경에서는 응용과 활용면의 실생활 접근을 어려워하는 것에 비해 테크놀로지 환경에서는 응용적 수학화가 쉽지만 수직적 수학화가 어려운 과정임을 제시하였다. 이는 테크놀로지 환경이 전통적인 환경과 다른 특성이 있음을 나타낸 것으로 패러다임의 변화에 대한 요구를 인정한 것이라고 할 수 있다.

이와 같이 테크놀로지 활용에 대한 연구가 다양한 방법으로 이루어지고 있지만, instrument로서의 테크놀로지와 관련된 패러다임을 위해서는 상호작용론과 인류학적 접근 그리고 instrumental genesis에 대한 다양한 연구들이 국내에서 많이 이루어져야 할 것이다.

3. 패러다임의 변화

(1) 수학 학습의 본질

Crawford(1994)는 테크놀로지의 도전은 수학 지식의

본질을 변화시키고 수학적으로 사고하는 방식을 변화시킨다고 하였다. 이전에는 불가능했던 방식으로 수학적 아이디어를 접근하게 하고, 테크놀로지가 수학의 인간 활동 부분을 어느 정도 가져간다면, 수학 과제의 인지적 요구의 개혁, 학습의 질의 변화를 가져오게 될 것이며, 테크놀로지가 상호작용적인 학습 환경과 새로운 가능성을 제시할 것이라고 하였다.

Gutiérrez 외(1999)는 수학의 지도에서 테크놀로지의 사용에 의하여 수학의 새로운 인식론에 대한 다소 중요한 질문들이 일어난다고 하였는데, 특히, 그 질문들은 모델링이 예전보다 컴퓨터 시대에 더 관련된다고 생각한다. 이들은 증명의 본질 또한 테크놀로지 사용에 의해 변화하는 주제이며, 수학은 그 지식을 개발하는 특별한 방법과 내부 구조를 가르쳤던 기본적인 과학이라기보다는 모델링의 과학이 될 것이라고 주장한다.

이와 같이, 패러다임의 변화는 학습상황에서 수학을 교사의 머릿속에서 존재하고, 책 속에 정적으로 기록되어 있는 것이 아니라 역동적인 과정을 테크놀로지의 표상으로 표현하고 학습자와 상호작용하게 할 것이다.

(2) 수학 학습의 목표

패러다임의 변화는 구체적인 학습 목표를 변화시키는 데, instrument로서의 테크놀로지와 상호작용이 용이한 귀납적 학습이 가능하도록 진술되어야 할 것이다. 그래핑 계산기를 활용한 평가모형의 설계에 관한 연구에서 김부윤·이지성(2001b)은 학습 목표의 변화를 진술한 바 있는데, 새로운 학습 목표 진술에 대한 예를 들면, 다음과 같다.

- 그래핑 계산기의 Graph 어플리케이션을 이용하여 $y = ax + b$ 의 b 의 값을 자유롭게 변화시켜 관찰한 후, $y = ax + b$ 의 그래프가 $y = ax$ 의 그래프를 y 축의 방향으로 b 만큼 평행이동한 것임을 알고 몇 개의 예를 들 수 있다.
- 이차함수 $y = ax^2 + bx + c$ ($a \neq 0$)에서 a, b, c 의 값을 변화시키고 그래프를 관찰하여 계수가 그래프의 모양과 어떤 관계가 있는지 알고 스스로 그래프의 개형을 그릴 수 있다.

이러한 목표 진술의 변화는 수업의 변화뿐만 아니라 평가에서의 변화도 초래하게 된다. 따라서 학습 목표는

접근방법, 평가 수단까지 구체적으로 기술하여야 하며, 이러한 진술은 새로운 패러다임에서 평가의 실행을 적절하고 공정하게 해 줄 수 있다.

(3) 수학 학습의 내용

이종영(1999)은 컴퓨터 환경에서 다루어지는 변수와 도형은 동적인 측면과 조작적인 측면이 강하여, 이와 관련된 개념 학습에는 도움이 되지만 가르치려는 수학적 개념과 무관한 부수적인 특성을 배우게 되어 수학 학습에 방해가 된다고 하였다. 이것은 기존 패러다임에서 테크놀로지를 활용한 수업을 접목하기 때문에 방해요인이 생성되는 것이라고 할 수 있다. 따라서 새로운 패러다임에서는 테크놀로지의 동적인 측면과 조작적인 측면이 강한 내용으로 구성되어야 한다.

Balacheff(1991)는 컴퓨터에 의한 교수학적 변환에 대해 언급한 바 있는데(이종영, 1999 재인용), 이 시기에 Balacheff가 테크놀로지의 발전을 명확하게 예측했다고는 볼 수는 없지만, 컴퓨터의 한계에 의해 일어날 수 있다고 한 수학적 지식의 표현방법과 구조에서 올 수 있는 필연적인 변화는 컴퓨터의 한계뿐만 아니라 능력 때문에도 가능하다. 결론적으로 수학적 지식의 변환이 필연적이라는 것은 올바른 견해였다고 할 수 있다.

(4) 수학 학습의 평가

패러다임의 변화는 학생이 알고 있는 것뿐만 아니라, 행하는 것에 대한 학습과 그에 따른 평가도 가능하게 한다. 기존의 패러다임 내에서 테크놀로지를 도입하게 되면 테크놀로지에 의해 중재되는 수업을 한 이후에 기존의 지필평가만으로 평가를 구성하는 부적절한 전개가 이루어지기도 한다. 새로운 패러다임에서는 과정적 평가와 총체적 평가가 실질적으로 이루어져야 하며, instrumental genesis를 관찰해 낼 수 있어야 할 것이다.

김부윤·이지성(2001a)이 시도한 평가의 새로운 접근은 지속적으로 이루어지지 못했고, 패러다임을 변화시키기보다는 기존의 교육과정 안에서 연구자 개인이 이루어 낸 성과이기 때문에 한계가 있었다. 그러나 Kennedy(2002)의 경우에는 패러다임의 변화에 기초하여 평가 관련 위원회 구성과 위원회의 지속적인 활동으로 평가에서 실질적인 변화를 가져올 수 있었다.

(5) 교사의 역할

학생들의 학습을 구성하는 교수학적 상황을 교사가 구성하는데 있어서, 학생들이 획득하는 지식에 적합한 테크놀로지를 선택하고 그와 관련된 교육과정을 택할 수 있어야 한다. 채택된 테크놀로지를 일반적인 tool로서 활용할 것인지, 상호작용에 기반을 두고 instrumented scheme을 생성할 수 있도록 instrument로서 활용하는 맥락을 설정할 것인지는 최종적으로 교사의 역할에 달려 있다고 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 먼저 테크놀로지의 개념을 tool, artefact, instrument로 나누어 살펴보고, instrument가 수학 학습을 중재하며, 학습자, 도구, 수학적 지식의 상호작용에서 중요시됨을 언급하였다. 이어서 instrument로서의 테크놀로지를 개인적 구성주의와 사회적 구성주의, 수학적 의사소통, 인류학적 접근에서 고찰함으로써, 수학 학습에 instrument로서의 테크놀로지 도입을 지지하고, 테크놀로지를 사용하는 개인들이 instrumented scheme을 만들어낸다고 설명하는 인류학적 관점을 중시하며, 이를 기반으로 새로운 패러다임으로의 전환을 논의하였다.

다음으로, 테크놀로지에 대한 현재의 상황을 수학적 정당성, 교육과정, 실제 활용, 교수학적 측면, 교사들의 연구 측면에서 살펴보고 패러다임의 변화가 필연적임을 밝혔다. 또한 패러다임이 변하기 위해서는 교육과정의 변화, 인식론적 변환, 관련 연구의 실행이 먼저 이루어져야 한다.

마지막으로 instrument로서의 테크놀로지 활용을 위한 패러다임의 변화는 수학 학습의 본질, 목표, 내용, 평가, 교사의 역할에서 이루어져야 함을 주장하였다.

모든 막대기는 두 끝을 가지고 있으며, 각각의 끝은 그 실재 내에 포함되는 다른 끝의 요소와 연결되어 있다(Mason, 1994). 즉, instrument를 도입하여 패러다임이 변한다고 하더라도 사실은 기존의 패러다임과 완전히 단절될 수는 없다. 막대기의 양 끝처럼 수학이라는 큰 실재를 공유하고 있기 때문에 두 패러다임이 서로 연결되어 있다고 할 수 있으며, 이 연결은 한 패러다임에서 다

른 패러다임으로의 이동에 대한 가교(架橋) 역할을 할 것이다.

또한, 연구자는 탐구되어지고 있는 교육적 주제의 수학적 뿌리와 접촉을 유지하고, 그들 자신의 수준에서, 경험과 유사한 구조를 찾음으로서 교사와 연구자는 가장 좋은 수학적 방법론과 교육적 방법론을 결합시키는 분야를 만들 수 있다(Mason, 1994). 따라서 연구자와 교사는 패러다임의 변화를 위해 새로운 연구를 계속 진행해야 하며, 그 연구들이 패러다임의 변화를 불러오고 다시 새로운 연구를 진행하는 순환적 구조를 형성해야 할 것이다. 이러한 과정 속에서 instrument로서의 테크놀로지는 수학 학습에 있어서 인공삼입물이 아닌 학습의 일부로서 놓이게 될 것이다.

참 고 문 헌

- 고상숙·고호경 (2007). 수학 교수·학습과정에서 사고력 신장을 위한 계산기 활용. 한국수학교육학회 시리즈 A <수학교육> 46(1), pp.97-122. 서울: 한국수학교육학회.
- 교육인적자원부 (2006). 초·중등학교 교육과정 부분 수정 고시. 교육인적자원부 고시 제 2006-75호.
- 김남희 (2006). 문제해결력 신장을 위한 Cabri3D의 교육적 활용. 수학교육학연구 16(4), pp.345-366. 서울: 대한수학교육학회.
- 김부윤·이지성 (2001a). 그래핑 계산기를 활용한 수학 성취도 평가의 새로운 접근법. 추계수학교육학연구발표대회논문집. pp.707-724. 서울: 대한수학교육학회.
- 김부윤·이지성 (2001b). 그래핑 계산기를 활용한 평가 모형의 설계에 관한 연구. 추계수학교육학연구발표대회논문집. pp.1015-1032. 서울: 대한수학교육학회.
- 김향숙·김혜진 (2000). Technology를 활용한 수학교육. 제2회 메스메티카 심포지움프로시딩. 메스메티카를 이용한 고등학교 수학교재, 인제대학교 메스메티카기술포럼센터. pp.9-26.
- 박용범·김부윤·허만성 (2001). 컴퓨터 대수학 알고리즘의 개념 및 변화를 이용한 응용모듈 설계모형 작성. 한국수학교육학회 시리즈 E <수학교육 논문집> 12, pp.249-264. 서울: 한국수학교육학회.

- 신은주·이종희 (2004). 모델 개발 과정에서 도구를 조작하는 활동 분석. 학교수학 6(4), pp.384-409. 서울: 대한수학교육학회.
- 이종영 (1999). 컴퓨터 환경에서의 수학 학습-지도에 관한 교수학적 분석. 서울대학교 박사학위 논문.
- 정원경·정두영·김부윤 (2003). 그래핑 계산기를 사용하는 문제상황기반학습(PBL) 개념 적용의 실제. 추계수학교육학연구발표대회논문집, pp.877-899. 서울: 대한수학교육학회.
- 조재호·김정연·김부영·김부윤·허만성 (2003). 제7차 교육과정에서 테크놀로지(그래핑 계산기)를 활용한 교수-학습 방안 연구: 수학 10-나 의 규칙성과 함수 단원을 중심으로. 추계수학교육학연구발표대회논문집, pp.983-1000. 서울: 대한수학교육학회.
- 최나니·하정임 (2003). HH 그래핑 계산기를 사용한 기간에 따른 학생들의 수학적 태도 및 이해과정. 추계수학교육학연구발표대회논문집, pp.847-861. 서울: 대한수학교육학회.
- 허만성·박용범·김부윤 (1999). 수학교수-학습을 위한 컴퓨터 응용 프로그램 모형설계에 따른 대화형 실행 매체(IMT)의 작성에 관한 소고. 수학교육연구 9(1), pp.321-332. 서울: 대한수학교육학회.
- Artigue, M. (2000). Instrumentation Issues and the Integration of Computer Technologies into Secondary Mathematics Teaching. *Proceedings of the Annual Meeting of the GDM. Potsdam, 2000*. (<http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/e/gdm/2000>).
- Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics*. Norwell, MA : Kluwer Academic Publishers.
- Crawford, K. (1994). The Context of Cognition: The Challenge of Technology. In P. Ernest (Ed.), *Constructing Mathematical Knowledge: Epistemology and Mathematics Education*. (pp.92-106). London : The Falmer Press.
- Gutiérrez, A., Laborde, C., Noss, R., & Rakov, S. (1999). Tools and Technologies. In Inge Schwank (Ed.), *European Research in Mathematics Education I* (Proceedings of the First Conference of the European Society in Mathematics Education Vol. 1). pp.183-188.
- Hoyle, C., Noss, R., & Kent, P. (2004). On The Integration of Digital Technologies into Mathematics Classrooms, *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 9, pp.309-326.
- Kennedy, D. (2002). AP Calculus and Technology: A Retrospective. *Mathematics Teacher* 95(8), pp.576-581.
- Mason, J. (1994). Enquiry in Mathematics and in Mathematics Education. In P. Ernest(Ed.), *Constructing Mathematical Knowledge: Epistemology and Mathematics Education*. pp.190-200. London : The Falmer Press.
- Pierce, R., & Stacey, K. (2001). A Framework for Algebraic Insight. In J. Bobis, B. Perry & M. Mitchelmore (Eds.), *Numeracy and Beyond*. (Proceedings of the 24th Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Vol. 2 pp.418-425). Sydney : MERGA.
- Rivera, F. D. (2005). An Anthropological Account of the Emergence of Mathematical Proof and Related Processes in Technology-Based Environments. In William J. Masalski & Portia C. Elliott (Eds.), *Technology-Supported Mathematics Learning Environments*. pp.125-136. Reston, VA : National Council of Teachers of Mathematics.
- Smith, E. (1994). Mathematics, Computers and People: Individual and Social Perspectives. In P. Ernest (Ed.), *Constructing Mathematical Knowledge: Epistemology and Mathematics Education*. pp.73-91. London : The Falmer Press.
- Steen, L. A. (1999). Twenty Questions about Mathematical Reasoning. In Lee V. Stiff & Frances R. Curcio (Eds.), *Developing Mathematical Reasoning in Grades K-12*. pp.127-137. Reston, VA : National Council of Teachers of Mathematics.

Technology as Instruments and the Change of Paradigm in Mathematics Learning

Kim, Boo Yoon

Department of Mathematics Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

E-mail: kimby@pusan.ac.kr

Lee, Ji Sung

Onchun Middle School, Busan 607-060, Korea

E-mail: dongms@hanmail.net

First, we have reviewed the concepts of technology as tools, artefacts, and instruments and then introduced constructivism, mathematical communication, and anthropological views on the technology as instruments.

Next, this study has supported the anthropological studies considering the facts that learners develop instrumented schemes in the interactions among learners, tools, and mathematical knowledge, and has discussed the change of paradigm.

Finally, we have argued that curriculum, epistemology, and relevant studies should be changed to the new paradigm, and then we have discussed that the change of paradigm should be established on the nature, the purpose, the contents, and the assessment in mathematics learning and the role of teachers.

* ZDM classification : U13

* 2000 Mathematics Subject Classification : 97U70

* Key Words : technology as instrument, paradigm,
instrumented schemes