영재교육연구 제 18권 제 3호
Journal of Gifted/Talented Education
2008. Vol 18. No 3, pp. 465~496

창의성 이론을 통해 본 수학 창의성

김 판 수

부산교육대학교

21세기 지식기반사회에서 창의성은 리더십 및 전문성과 더불어 인재의 핵심가치로 부각되고 있다. 창의성은 영재성의 주요한 요소이며, 영재교육에서 창의성 계발은 프로그램의 핵심이다. 특히 고차원의 사고력과 이해를 요구하는 수학영역에서의 창의성은 사고의 융통성을 잴 수 있는 척도로 창의성 연구의 기초 도구로 쓰인다. 그러나 수학 창의성에 대한 이론적 연구는 많지 않다. 본 논문에서는 Sternberg와 Lubart가 제안한 6가지의 창의성 접근, 즉 신비주의적 접근, 실용주의적 접근, 심리-역동적 접근, 심리-측정적 접근, 인지적 접근, 사회-성격적 접근에 따라 수학 창의성을 분석하였다. 이는 수학 창의성을 여러 측면에서 고찰해봄으로써 수학 창의성 개념과 최근 연구를 이해하는데 도움을 주고자 한다.

주제어: 수학 창의성, 창의성, 수학, 창의성 이론

I. 연구의 필요성과 목적

최근 창의성은 예술이나 과학 등의 학문연구 분야뿐만 아니라 기업, 정부, 사업, 스포츠 등 사회 각 영역에서 중요한 관심의 대상이 되고 있다. 창의성에 대한 가치와 중요도에 대한 인식은 인간 삶의 다양한 장면에서 부각되고 있으며, 특히 영재교육의 부곽과 함께 창의성 연구가 활발하다. 새롭고 가치 있는 아이디어나 산물의 기저가 된 사고로 인식되고 있는 창의성에 대한 정의가 학자마다 조금씩 다르며, 각 분야에서도 창의성에 대한

교신저자: 김판수(pskim@bnue.ac.kr)
* 본 연구는 2006학년도 부산교육대학교 해외파견 연구비 지원에 의한 것입니다.

여러 가지 시각이 있음은 주지의 사실이다. 이같이 창의성에 대한 다양한 정의와 해석 그리고 여러 접근들의 존재는 창의성이라는 주제가 여러 측면에서 고려되고 연구될 수 있는 주제임을 암시한다.

Sternberg와 Lubart(1999)는 창의성 연구를 위한 6가지의 기본적인 접근과 이들 접근의 종합인 3가지의 통합(confluence) 이론을 제안하고 있다. 말하자면, 신비주의적 접근, 실용주의적 접근, 심리역동적 접근, 심리-측정적 접근, 인지적 접근, 사회-성격적 접근이 있으며, 3가지의 통합 이론으로는 개인, 영역(domain), 분야(field)의 상호작용을 강조하는 체계 접근(Csikszentmihalyi, 1999), 사례연구(Gruber & Wallace, 1999)를 중심으로 하는 진화체계(evolving system) 접근, 그리고 투자이론 접근(Sternberg & Lubart, 1996)이 있다. 본 연구에서는 3가지의 통합 이론을 제외한 6가지의 기본 접근에 따라 영역 특수의 창의성을 조명해 보고자 한다.

수학 창의성에 대한 연구의 어려움은 상대적으로 일찍이 Hadamard(1990)에 의해 언급되었다. 수학 창의성을 연구할 수 있는 사람은 수학적 지식이 있는 수학자인 동시에 인간의 심리적 과정을 내성적으로 관찰할 수 있는 전문 심리학자라야 하는데, 그런 전문가는 희박하다는 것이다. 그러므로 창의성에 대한 이론 연구는 대단히 어려운 주제일 수밖에 없다. 다른 영역에서의 창의성 연구는 수학적 창의성을 연구하는데 좋은 소재꺼리를 제공하며 수학에 적용해 볼 수 있는 기회를 제공한다.

Sternberg와 Lubart(1999)의 분류에 따른 수학 창의성을 간략하게 언급한 연구물은 있으나(김부윤, 이지성, 2007; Sriraman, 2004) 그것이 그 연구의 주된 논의 대상이 아니었다. 이대현, 박배훈(1998)도 유사한 연구를 수행하면서 일반 교육학에서 창의성 이론을 언급하였지만 그것을 수학적 창의성과 연결시키지는 않았다.

본 연구에서는 Sternberg와 Lubart가 분류한 창의성 접근에 따라 수학 창의성을 심도있게 다루어 보고자 한다. 이같이 수학적 창의성을 다양한 관점에서 논의함으로써 수학 창의성 개념을 좀 더 명확히 하고 궁극적으로는 수학 창의성 교육에 이바지하고자 한다.

II. 수학 창의성

1. 창의성의 정의

창의성 측정을 위한 도구개발, 창의성 프로그램 개발과 실행, 창의성에 대한 문헌 연구 등 거의 모든 관련 연구는 그것의 명확한 정의에 근거하여 이루어지므로, 창의성 정의는 창의성 연구의 논리적 출발점이 된다(Mayer, 1999). 그런데 창의성을 나타내는 수많은 표현들이 적어도 100개 이상 있어(Treffinger, Young, Shelby & Shepardson, 2002) 공인된 하나의 정의를 내리기가 쉽지 않다.

Runco(1993)는 창의성을 다면적 구성으로 정의를 하였는데, 즉 확산적 수렴적 사고, 문제발견과 문제해결, 자기표현, 내적 동기, 알려고 하는 태도 그리고 자신감을 내포하는 것으로 보았다. Gruber와 Wallace(1999)는 창의적 작품은 외적 준거에 비추어 새롭고 가치 있는 것이라고 하며, Martindale (1999)은 창의적 아이디어는 독창적이며 그 상황에서 적절한 것으로 보았으며, Lumsden(1999)은 창의성은 사람들에게 유의미한 새로운 무언가를 생각해내는 능력으로 보았다. 그리고 Feist(1999)은 창의성은 문제에 대해 새롭고 적절한 해법이라는 생각에 동의했으며, Lubart(1999)는 서양의 관점에서 새롭고 적절한 작품을 만들어 내는 능력으로 정의하며, Boden(1999)은 창의성을 새롭고 가치있는 아이디어의 생성으로 보았으며, Nickerson(1999)은 창의적 산물은 새로움과 활용성(유용성, 적절성, 사회적 가치)을 포함하는 것으로 보았다(Mayer, 1999; 재인용).

이들 정의에서는 창의성이 독창성과 유용성이라는 두 가지 측면에서 고려되고 있다는 것을 발견할 수 있으며, 이는 여러 사람들이 공통적으로 받아들이는 관점으로 해석된다. 가치 기준은 시대에 따라 사람에 따라 달라질 수 있는데, Cropley(2004)는 창의성은 참신성(novelty), 효과성 그리고 윤리성이라는 3가지 측면이 있다고 한 것에서 '가치'가 효과성과 윤리성을 내포하는 것으로 볼 수 있다.

이러한 합의점에도 불구하고 몇 가지 논란이 남는다. 즉 창의성은 사람, 산물, 과정 중 어느 것인가? 창의성은 개인적 현상인가 아니면 사회적 현상

인가? 창의성은 평범한 것인가 희귀한 것인가? 창의성은 영역 일반적인 것인가 영역 특수한 것인가? 창의성은 양적인 문제인가 질적 문제인가(Mayer, 1999)? 이 같은 의문에 대해 학자와 학문 간에 차이가 있고 따라서 창의성에 대한 정의, 관심, 연구 분야가 다르게 나타나고 있다.

2. 학교수학과 수학 창의성

수학적 창의성은 순수 수학자만의 전유물인가? 수학자가 아니고서는 수학의 창의성을 언급할 수 없는가? 일반 사람들은 수학의 창의적 과정을 알 수 없는가? 이런 의문과 함께 수학 창의성이 수학전문가의 몫이라는 생각은 창의성의 의미를 제한하고 오히려 창의성에 대해 분분한 해석을 낳게 한다(Sriraman, 2005). 한편 많은 연구자들은 학교수학에서의 창의성을 강조하면서 학생들의 수학 창의성에 대한 연구를 진행하고 있다(황우형, 최계현, 김경미, 이명희, 2006). 창의성의 본질을 인지적 사고 과정의 관점과 객관적인 산출물의 관점으로 나누어 생각할 수 있는데(Haylock, 1987; 이강섭, 황동주, 2003) 전자는 수학 창의성을 하나의 고착된 정신작용에서 벗어나는 능력으로 보며, 후자를 비일상적이거나 독창적이면서 가능한 수학적 문제해결방법을 산출하는 능력으로 보았다(이강섭, 황동주, 2007). 이러한 생각은 전문수학자의 입장보다는 학교수학에서 수학적 창의성을 고려한 것이다.

인지적 사고 과정으로서의 수학 창의성 개념은 사고의 특별한 질적 특성을 강조하게 된다. 수학적 창의성과 수학 영재성을 연관시킨 Krutetskii (1969)는 수학 창의성을 쉽고 빠르게 전환하는 정신 조작 능력으로, Laycock (1970)은 다양한 방법으로 문제를 분석하고, 패턴을 관찰하여 유사성과 차이점을 보는 능력으로, Romey(1970)는 새로운 방법으로 수학적 아이디어, 기교나 접근들을 결합하는 능력으로 보았다(Haylock, 1987; 재인용).

Haylock(1985, 1987)은 수학적 창의성을 사고의 고착화를 극복하고 정신적 틀(set)을 벗어나는 능력, 즉 개방된 수학적 상황에서 다양하고 독창적인 반응을 할 수 있는 능력이라 하였다. Ervynck(2003)은 수학 창의성은 4가지의 요소, 즉 이해, 직관, 통찰력 및 일반화의 상호 작용에 의해 나타난다고 말하고, 수학 창의성에 대한 잠정적인 정의를 '수학의 특별한 논리-연역적

성격과 생성된 개념이 수학의 중요한 핵심에 통합되는데 적절한지를 고려하면서, 문제를 풀고 구조적으로 사고하는 능력'으로 규정하였다.

다른 한편으로 산출물을 강조한 수학 창의성은 수학적 문제를 위한 독창적이거나 비범하고 적용 가능한(즉, 적절한) 해법을 찾아내는 능력으로(Spraker, 1960), Jensen(1973)은 수학적 상황이 제시되었을 때, 많고 다양하며 적용 가능한(적절한) 문제를 제기하는 능력으로 보았다. 적절성은 창의적 산물을 판정하는 필수적인 준거이다(Jackson & Messick, 1965).

그리고 김부윤, 이지성(2005)을 비롯한 몇몇 사람들은 수학적 창의성을 '수학적 문제 상황에서 기존의 지식과 경험 등을 바탕으로 정형화된 틀을 벗어나, 주어진 문제를 다양한 방식으로 분석하여, 문제의 요소들이나 수학적 아이디어 등을 새로운 방식으로 결합하여 결과를 얻는 것'으로 규정함으로써 인지적 사고 관점과 결과 산출의 관점 모두를 가진다.

학교수학내에서도 수학 창의성을 전문 수학자 관점에서 바라보는 관점이 있다. 강 완(2003)은 수학의 발달과정이 수학 창의성의 발현 과정으로 보아, 수학적 창의성은 곧 수학의 발달로 간주했고, 김진호(2005)는 자신의 논문 제목 '수학자가 수학을 탐구하듯이 학습자도 수학을 탐구할 수 있는 방안 모색'에서 알 수 있듯이 수학의 구성을 강조하는 창의적인 교수학습 모형을 제시하려고 했다. Huckstep(2002)은 수학을 만드는 수학자처럼 수학적 개념을 학습해야 함을 강조한다. 이같이 수학 창의성에 대한 구성적 관점, 즉 수학의 지식 생성은 수학 창의성을 전문 수학자의 지식 생성과 동등한 것으로 본 것이다.

수학은 패턴의 과학이라는 말이 있듯이, 수학자는 패턴을 창조하는 시인이나 화가와 같은 창조자이다. 그런데 수학자의 패턴이 시대적 유행에 영향을 받지 않고 더 영구적인 이유는 수학이 더 고차적 아이디어의 산물이기 때문이다(Hardy, 1967). 수학적 문장은 작가의 창작 활동과 같은 것이며 새롭고 창의적인 아이디어들의 발견이다. 전문 수학자에게 있어 수학적 창의성은 자신뿐만 아니라 수학 사회에서 분명 새롭고 수학적 가치를 지닌 것이어야 한다.

3. 창의성과 수학적 사고

수학분야에서 대표적인 창의적 작품을 떠올려보면, 아르키메데스에 의해 왕관의 진품을 가릴 수 있는 아이디어의 발견, 가우스가 10세 때 해결한 1+2+3+… +98+99+100의 해법, 뉴턴의 미적분의 시초 발견, 그리고 비유클리드 기하학의 탄생과 같은 것이다. 이러한 것들은 역사적 가치를 가지고 있는 위대한 발견들이다.

이러한 발견들은 자신에게 주어진 문제를 해결하려는 시도 끝에 찾아낸 해법들이다. 오래전부터 수학에서 창의성은 문제해결 내에 있는 것으로 여겨졌다. 실제로 많은 창의적 생각은 문제에 직면하여 그것을 해결하려는 노력 속에서 발견되었다. 창의성은 문제를 남들과 다른 방법으로 해결하거나 다른 사람들이 해결하지 못하는 문제를 해결하는 능력으로 보았다. 그렇게 하기 위해서는 수학적 문제 상황에서 정형화된 틀을 깨어 새로운 방식으로 요소들을 결합하여 결과를 얻어야 한다.

Polya(1962)는 수학적 지식을 정보와 방법(know-how)으로 규정하면서, 전자를 체계적인 기성수학에 대응시키며, 후자를 독립성, 판단, 독창성과 창의성을 요구하는 문제해결 능력으로 간주하여 상대적으로 더 중요한 것으로 여겼다. 흔히 창의적 사고가 문제해결과정에서 나타나기 때문에 문제해결 연구가 창의성 연구의 기초를 이룬다.

잘 알려진 Polya의 문제해결은 문제 이해, 계획수립, 계획실행, 반성이라는 4단계를 거치는 반면, Gestalt의 창의적 문제해결에는 준비, 부화, 조명과 검증이라는 단계를 거친다(Poincare, 1952; Wallas, 1926). 이들 단계 중 문제이해에서 계획수립 단계로의 전이와, 부화단계에서 조명단계로의 전이에서 진정한 창의적 활동이 요구된다. 많은 사람들은 이 과정에서 통찰을 방해하는 정신적 고착에서 벗어나지 못하여 창의성을 발휘할 수 없게 된다. 이런 고착을 벗어날 수 있는 융통성이 곧 창의성이다. 결론적으로 융통성은 정신적 고착이나 정신적 틀(mind set)과 대비되는 개념이다(Duncker, 1945).

Haylock(1987)은 창의적 사고를 방해하는 것은 사고의 고착화로 보았다. 이런 고착에는 내용고착과 절차적 고착이 있다. 내용고착은 암묵적이지만

부정확한 전제에서부터 출발해서 정확한 시각을 갖지 못하여 대상의 적합성을 지각하지 못하는 것에서부터 발생하는 심리적 고착이다. 절차적 고착은 이미 Luchins(1942)의 'Einstellung'의 효과 조사에서 나타났다. Luchins의 실험은 특정 알고리듬이나 전형적인 해결 방법에 피험자의 마음이 고정되도록 설계된 일련의 문제해결에 초점을 둔 실험이다. 아인슈탈룽의 효과는 부적절한 경우에도 그 해결방법이나 과정을 지속적으로 적용하는 사이에서 나타난다. 학습자가 그런 부적절한 전략에 집착하는 이유는 그들이 과거에 성공했기 때문이다. 이들 고착은 Krutetskii(1976)가 말한 '자기-제한(self-restriction)'과 상통한다.

Poincaré(2007)는 수학을 하는데 사용되는 서로 상반되는 두 가지의 사고, 직관적 사고와 논리적 사고가 필수적이라 했다. 그는 이들 두 사고자를 기하학자(geometer)와 분석학자(analyst)로 명명하는데, 여기서 기하학자와 분석학자는 기하와 해석학을 전공하는 수학자를 의미하는 것이 아니라 직관적 사고를 사용하는 자와 논리적 사고를 사용하는 자를 칭한다. 수학자는 타고난 것이지 만들어지는 것이 아니며, 기하학자와 분석학자도 타고난 것처럼 보인다라 피력하고 있다. 유사하게 수학을 하는데 필요한 사고를, Skemp는 직관적 사고와 반영적 사고로, Bruner는 직관적 사고와 분석적 사고로 분류하지만, 많은 사람들은 두 가지의 사고가 완전히 분리되어 작용하는 것이 아니라 상호보완적 기능을 통해 창의성이 발현된다는 것에 동의한다.

창의적 문제해결에서 직관과 논리의 역할을 연구한 이대현(1999)은 의식적인 예비과정 후에 아이디어의 발현이 일어나는 직관을 경험하고, 발견된 사실에 확실성을 부여하기 위해 의식적인 과정인 논리적 작업이 수반된다고 말한다. 즉, 학교수학에서 논리와 직관의 상호보완성을 강조한 것이지만, 사실 전문 수학자에게 논리적 작업은 상대적으로 쉬운 작업이다. Poincaré (2007)는 분석학자 가운데 창조자가 있지만 극소수에 불과하며, 수학에서 감각적 직관은 가장 유용한 창조 도구라고 주장한다. 대부분의 수학자는 직관만으로는 통찰이나 해에 도달하기 힘든데, 통찰이나 해에 이르기까지는 논리적 사고가 요구된다. 비유적으로 말하면, 직관은 중간과정을 생략하는

논리적 비약이 가능케 하는데 대부분의 수학자는 그 간격을 논리적 사고로 메우면서 목표를 향해 나아 갈 수 있다는 것이다.

III. 창의성 이론에서 본 수학 창의성

1. 신비주의적 접근(mystical approaches)

신비주의적 접근의 입장에서, 창의성은 신성한 영감이나 또는 영적인 과정으로 간주되며 신이 내린 하나의 선물로 여겨진다. 창의적 인간은 신성한 생명체가 영감을 채워 넣을 빈 그릇으로 생각되었고, 그는 영감적인 아이디어를 쏟아내어 신비한 산물을 탄생시킨다. 이러한 관점 때문에 역사적으로 창의성을 과학적 연구로 인식하는데 어려움을 겪었다(Sternberg & Lubart, 1999).

이와 같은 관점은 수학 역사에서도 쉽게 찾아 볼 수 있다. Blaise Pascal은 자신의 많은 수학적 통찰이 신으로부터 나온 것이라 말했으며, 19세기 유명한 대수학자 Leopold Kronecker는 신은 정수를 만들고 나머지 모든 것은 인간이 만들었다고 말했다(Gallian, 1994). 피타고라스 시대 이후 인류는 정수에 대해 신과 같은 속성을 부여해왔다(Pickover, 1997)).

수학의 역사에서는 수학이 철학 및 신학과 연관되면서 수학은 신비한 대상으로 간주되었다. Clifford A. Pickover(1997)은 자신의 저서 '신의 베틀(Loom of God)'이 암시하는 바와 같이 수학은 신이 조직한 산물로 보고 있으며, 역사적으로 그것을 탐구하는 수학자는 매우 특별한 사람으로 간주되어왔다. '신의 베틀'의 첫 페이지는 이렇게 열고 있다.

> 수학과 신비주의는 문명의 태동기부터 인간을 사로잡는 문제였다. 역사적으로 수는 죽음을 피할 수 없는 미약한 존재인 인간들이 영혼에서 구원을 찾고 마법을 행하며 소원을 이룰 수 있도록 해주는 어떤 힘을 지닌 것으로 여겨져 왔다(p.1).

그리고 그는 수학과 종교와의 관련성을 이렇게 언급하고 있다.

초기에는 과학과 수학 모두가 허구적 믿음과 관련시켰는데, 피타고라스는 수를 바탕으로 하는 종교를 창시했을 정도로 엉뚱한 면이 있었다. 수학과 신학을 결합하기 시작한 피타고라스학파는 결국 그리스의 모든 종교 철학에 영향을 미쳤고, 그리고 그들에게 수학은 황홀한 신의 계시였다(p.14).

수학적 대상 그 자체가 신비와 신의 영역으로 간주되었다. 피타고라스가 '수는 만물의 척도이다'라고 천명할 정도로 수를 신비의 대상으로 보았다. 피타고라스학파는 수와 수적 비례 그리고 수가 가지는 기이한 특성에 매료되어 수학을 신비주의적 종교와 관련지었다. 그들은 숫자를 기초로 하여 전체 세계의 해석 체계를 정립하였다. 피타고라스학파는 세상에서 가장 현명한 것이 바로 숫자이며, 가장 아름다운 것은 바로 조화라고 자문자답하였다. 숫자는 다양한 사물들의 본질이며 핵심으로 보고 있다.

숫자의 역사는 인간의 역사, 예술, 종교와 매우 밀접하게 관련되어 있다. 우리자신과 세계에 대해 곰곰이 생각해볼 때, 개별적인 것들을 관찰하고 그 사이의 관계들을 인식하기 시도할 때, 우리는 온 사방에서 드러나는 비밀스런 질서에 주목하게 된다(Bets, p.242). 수학 내에 내포되어 있는 여러 가지 원리와 규칙은 신비 그 자체라고 말할 수 있다.

한편 수학적 신비는 도형이 가지는 아름다움에서도 발견되기도 한다. 이러한 수학적 아름다움도 컴퓨터가 개발된 이후로 순수 수학자가 경험할 수 있는 수학의 내재적 아름다움을 일반인들도 쉽게 알 수 있도록 표현되고 있다. 혼돈 역학(chaotics dynamics)은 컴퓨터와 관련된 새로운 수학 분야이다. 이 분야의 수학은 다른 수학 분야와 마찬가지로 어렵고 추상적이나 그 결과로 얻어지는 구조의 본질적인 아름다움을 전문가뿐만 아니라 일반인들도 컴퓨터 화면에 나타낼 수 있다(Devlin, 1996).

각 종교는 인간사에 대한 이상적인 체계를 탐구하고 이 이상의 실현을 목표로 한다. 유사하게 수학도 이상적인 지식을 추구하고 이를 통해 발견한 이상과 세계사이의 관계를 연구하는 한, 수학은 종교와 얼마간의 공통점을 갖는다(Davis & Hersh, 1981). 수학과 종교가 가지는 공통점은 첫째는 이상적인 지식을 추구하는 것이며, 둘째는 수학의 대상이 인간 정신의 공통 의

식 내에 존재하는 개념이고 이와 같이 공유된 수학적 개념들은 수학적 믿음의 교리를 구성한다는 점이다. 그러나 현대의 수학자는 대부분 불가지론자이며 종교를 믿는다 하여도 과학과 종교를 분리해서 생각한다. 현대의 수학자들과 과학자들은 피타고라스의 신비주의를 마치 유행처럼 비웃고 있다(King, 2001). 대부분의 학자들은 신비주의적 수학이 서양 수학에 부정적인 영향을 끼쳤다는데 동의한다.

이런 점에도 불구하고 신비주의적 접근을 학교수학에서 긍정적으로 이용할 수 있다. 수학적으로 신비한 규칙과 미적 자료를 수학수업에서 학습의 동기유발 자료로 활용할 수 있다. 그리고 '수학이 신비하다'는 생각을 하는 학습자나 연구자는 수학에 대한 흥미와 더 깊은 탐구에 이끌리어 수학적 발견에 집중하거나 심취할 수 있게 된다.

2. 실용주의적 접근(pragmatic approaches)

창의성에 대한 과학적 접근이나 이해보다는 실제적인 창의성 개발에 일차적 관심을 두고 있는 실용주의적 접근은 Edward De Bono의 Plus, Minus, Interesting(PMI), Osborn(1953)의 브레인스토밍, Gordon(1961)의 시네틱스 등과 같은 대표적인 주창자와 기법에 기초하고 있다. 이런 접근법에는 상당히 대중적 시각을 가지고 있어 창의성 개발에 유용하지만, 심리학적 관점에서 타당성과 이론적 근거가 결여되어있다(Sternberg & Lubart, 1999).

수학에서는 Polya(2005)가 발견한 문제해결을 위한 여러 가지의 발견술(heuristic)은 분명 실용적 접근의 한 가지 예로 볼 수 있다. 더욱이 어떤 문제를 해결할 때 가능한 한 많은 해나 아이디어를 찾으므로 창의성을 유발시키는 기법은 학교교실에서 유행하는 방법 중 하나이다.

Polya가 제안한 수학적 문제해결의 4단계는 '문제에 대한 이해 → 계획의 작성 → 계획의 실행 → 반성'으로 구성되어 있다. 문제를 이해하였지만 문제를 어떻게 해결할 것인지에 대한 감각이 있어야만 계획을 세울 수 있다. 계획을 세울 수 있다면 이미 문제를 해결할 방도를 찾았다는 의미이다. 그러므로 문제의 이해에서 계획의 작성까지가 가장 중요한 단계인데, 이 단계에서 발견술의 역할이 강조되므로 발견술은 문제해결에서 결정적인 역할

을 할 수 있다.

모든 종류의 문제, 그런 문제를 다루는 방법, 문제풀이 경험과 다른 사람들이 문제 푸는 방법을 종합해서 일반적인 특징을 찾아내는 발견술은 (1) 그림을 그리고 적절한 기호 붙이기 (2) 문제의 변형 (3) 정의로 되돌아가기 (4) 분해와 재결합 (5) 유추하기 (6) 일반화와 특수화 (7) 보조 요소 도입하기 (8) 거꾸로 연구하기 (9) 방정식 세우기 등이 있다. Polya는 이들 발견술이 실용적 목적을 가지고 있음을 분명히 하고 있다(Polya, 2005).

> 우리는 문제의 주제와 무관한 일반적인 특징을 목표로 해야 한다. 발견술의 연구는 실제적인 목적을 가지고 있다. 곧, 문제풀이에 전형적으로 유용한 정신적 조작을 보다 잘 이해하면 교수, 특히 수학을 가르치는데 좋은 영향을 미칠 수 있는 것이다(p.55).

교실에서 사용할 수 있는 수학적 창의성 증진 프로그램은 수학 창의성의 실용적 측면으로 볼 수 있는데, 유행하는 수학 창의성 프로그램 중 하나는 개방형 문제를 다룬다. 개방형 문제는 1970년대 일본에서 Shimada와 다른 연구자들이 함께 '미완결 문제'를 과제로 제시하여 다양한 정답을 추구하며 이전에 학습했던 지식 또는 방법들을 결합함으로써 새로운 것을 발견하도록 하는 지도 방법을 제안하였다(권오남 외, 2005; 재인용). '미완결문제'란 문제에서 무엇을 요구하는지 정확히 묻고 있지 않는 문제를 말하므로 정답이 하나가 아니라 여러 가지 유형의 답이 가능하다. 이러한 문제를 개방문제로 불린다. 개방형 문제를 통한 접근은 학생들이 창의적인 수학활동을 자극하며 학생들의 흥미를 이끌어 내는 전략으로 볼 수 있어 실용적 접근으로 볼 수 있다.

한편, 황우형 외(2006)는 수학 창의성을 학교교육 측면에서 수학 창의성을 정의하고 학교수학의 창의성 모델을 제안하고 있다. 학교수학에서의 창의성은 새로운 개념을 배우거나 문제를 해결하려고 할 때 기존에 갖고 있는 개념을 연결·연합하여 새로운 개념을 쉽게 이해하거나 스스로 새로운 개념을 구성하는 능력으로 정의하였다. 이는 창의성을 이용자 측면에서 고려한다는 점이므로 하나의 실용적 입장이라고 볼 수 있다. 수학 창의성이 전문 수학자의 전유물은 아니지만 그들만이 최고의 수학 창의성을 발휘한

다. 그와 같은 수학자의 활동을 학교 교육에 접목해 봄으로써 수학적 창의성을 고취시키려는데 목적을 두고 있다.

학교수학에서의 수학 창의성은 일반적인 창의성에서 강조하는 독창성, 유창성, 융통성, 정교성과는 차이가 있으며 전문 수학자의 관점과도 차이가 있다. 대신 그것은 학교수학의 내용으로 제한한 것이며, 학생으로 인해 창조된 수학은 과거에 발견된 정제된 수학내용임을 강조한다.

3. 심리 역동적 접근(psycho-dynamic approaches)

창의성은 의식적 실체와 무의식적 충동(drives)사이의 긴장에서 발생한다는 아이디어에 기초한 심리 역동적 접근은 창의성 연구에 있어 20세기 주요한 이론적 연구방법이다. 창의성에 대한 개념은 전통적인 심리 분석적 사고에서 시작하여 오늘날의 심리 역동적 접근으로 발전하였으며, 이 접근의 주요 주제는 창의성과 병리학의 관계이며 Freud, Jung 등의 다양한 관점이 있다(Houtz, 2002).

Freud는 병리학적이고 창의적인 과정의 잠재적인 자원으로서 무의식적 마음을 더 강조한다. Jung은 개인의 무의식적 갈등경험이 증후군을 반영한 어떤 창의적인 작품으로 나타날 수 있다는 점에서 Freud와 같지만, 독특한 창의적 행위는 집단 무의식의 결과로 보았다.

심리 역동적 접근이 창의성 연구에 다소의 공헌을 하였지만 20세기 과학적 연구 흐름에 편승하지 못하였다. Gestalt 학파가 창의성의 한 단면인 통찰을 연구하였지만 그들의 연구는 통찰의 특성에 국한되었고 통찰의 본질에 관해서는 진전을 보지 못했다. 심리 역동적 접근과 창의성에 대한 초기 저작은 거의 대부분 유명한 창작자의 사례연구에 독점적으로 의존함으로써 창의성 연구를 더 고립시켰다(Sternberg & Lubart, 1999). 유사하게 수학 창의성의 관점에서 본 심리 역동적 접근도 매우 제한적일 수밖에 없다.

Sriraman(2004)은 준비-부화-조명-검증의 단계로 이어지는 창의적 과정에 대한 Gestalt 모델이 수학적 창의성 연구의 심리 역동적 접근의 중요한 예시를 제공하였으며, 이 모델은 Polya, Schoenfeld 및 Lester의 문제해결 모델을 만드는 계기를 제공하였다고 주장하였다.

이러한 설명은 수학 창의성의 심리 역동적 접근의 결론에 불과하며 그 과정을 말해주지는 못한다. 수학적 문제해결과 무의식간의 관계를 설명한 수학자는 Jules Henri Poincaré(1854~1912)와 Jacques Salomon Hadamard (1865~1963)를 제외하고는 찾기 힘들다. 심리 역동적 접근을 설명하기 위해서는 자신의 무의식을 의식적으로 조사하거나 내성적 성찰을 할 수 있는 능력이 요구된다. Hadamard(1990)의 저서 '수학분야에서의 발명의 심리학'에는 많은 무의식에 대한 Poincaré의 일화를 담고 있다. 그는 Poincaré가 의식적인 자아와 잠재의식의 자아가 공존하는 것을 느낄 수 있었다고 기술하면서, 무의식적 사고의 전개를 관조할 수 있었다는 일은 그에서만 일어나는 독특한 일이라고 기술하고 있다.

Poincaré의 또 다른 일화를 담고 있는 저서는 Toulouse가 1910년에 발행한 'Henri Poincaré'이다. 1908년 Poincaré는 파리에 있는 한 심리학 연구소에서 자신의 관찰에 대한 강연을 했다. 그는 어떻게 여러 가지를 발견하게 되었는지를 자신의 사고방식과 연결시켰다. 그의 정신 조직은 그에게 흥미로울 뿐만 아니라 파리의 고등연구원의 심리학자였던, Toulouse에게도 관심의 대상이 되었다. 그의 자료에 의하면 Poincaré의 작업 습관은 이 꽃에서 저 꽃으로 날아다니는 벌에 비유할 수 있었다. 그는 그의 마음이 작동하는 것에 관심을 갖게 되었다. 그는 매일 늘 같은 시간에 짧은 시간동안 일을 했다. 그는 한 문제를 오랫동안 일하지 않았는데, 왜냐하면 그는 그가 다른 문제에 마음을 쓰는 동안 잠재의식은 바로 그 문제에 대한 일을 계속하고 있을 거라 믿었기 때문이었다(Toulouse, 1910).

종종 인지심리학에서도 부화 효과(incubation effect)를 설명하기 위해 수학자 Poincaré의 진술을 인용하고 있다. 다음 문구는 어떤 사람이 특정 과제를 여러 번 시도한 후에도 문제의 실마리를 풀지 못해 다른 일을 하고 있을 때, 다시 어떻게 그 문제로 돌아가서 해결책을 발견할 수 있었는지를 보여준다(Anderson, 2000).

그 다음 나는 어떤 수학 문제에 관심을 가졌으나 별다른 성과도 없었고, 그 문제가 나의 선행 연구와 어떤 연결이 된다는 생각조차 하지 않았다. 실패 때문에 기분이 나빠져,

해변에서 며칠을 보내면서 다른 것들을 생각했다. 어느 날 아침, 벼랑 위를 걷고 있었는데, 부정 삼원 이차 방정식의 산술 변형이 비유클리드 기하학의 그것과 동일하다는 생각이 간단히, 갑자기, 그리고 즉각적 명료성을 가지고 떠올랐다.

Toulouse는 또한 Poincaré가 특별한 기억력을 가지고 있으며, 대부분의 수학자들이 이미 잘 설정된 원리로부터 작업하지만 Poincaré는 매번 기본적인 원리에서 출발하다는 점을 주목했다(O'Connor & Robertson, 2005). 그는 Poincaré의 사고를 이렇게 요약하고 있다: 그는 세밀한 부분을 무시했다. 그는 아이디어에서 아이디어로 도약을 했고, 각 아이디어에서 얻어진 사실을 모아 문제를 해결했다(Belliver, 1956). Hadamard는 무의식이 발명에 필수적인 것으로 간주하고 있다. 그는 발견이 내성의 결과와 우연의 개입뿐만 아니라 무의식의 작업이 반드시 있었다는 것을 알 수 있다고 결론짓고 있다.

서두에 말한 바와 같이 무의식을 수학적 사고나 수학적 창의성과 연결한 연구물의 부족으로 심리 역동적 측면에서 수학적 창의성을 다루는 작업은 제한될 수밖에 없다. 무의식이 수학적 통찰과 수학적 창의성의 발현에 어떻게 기능하는지에 대한 연구는 우수한 주제이지만 그것을 연구할 객관적인 도구가 없다. 이 주제는 본 연구의 범위를 넘어서는 것으로 추후과제로 남긴다.

4. 심리 측정적 접근(psychometric approaches)

베토벤이나 아인슈타인과 같은 유명한 음악가나 과학자를 대상으로 심리학 실험실에서 창의적 인물을 연구하기가 어렵다. APA 의장 수락 강연에서 Guilford(1950)는 이런 인물의 희소성이 창의성 연구에 제약이 됨을 주목하고, 심리 측정적 접근과 필기도구를 사용하여 일상적 주제를 다루면서 창의성을 연구할 수 있음을 제안했다. 이런 연구 방법 중의 하나가 Unusual Uses Test인데, 이 검사는 피험자가 평범한 대상(예, 벽돌)을 사용할 수 있는 방법을 가능한 한 많이 생각해내는 것이었다. 많은 연구자들은 Guilford의 제안을 채택하였고, '발산적 사고'는 빠르게 창의적 사고력을 측정하는 주요 도구가 되었다. 이런 검사들은 표준적인 '창의성' 척도로 사람들을 비교하는 편리한 방법이 되었다(Sternberg & Lubart, 1999).

Guilford의 업적을 토대로, Torrance는 유창성 유연성, 독창성, 그리고 정교성을 점수화한 'Torrance 창의적 사고 검사(TTCT)'를 개발하였다. 수학적 창의성 연구에서 심리 측정적 방법은 Torrance의 TTCT와 유사한 형태로 연구되고 있다. 우리나라 수학에서는 Torrance의 TTCT와 같이 표준화되고 대중화되어있는 수학 창의성 검사 세트는 없다고 하나, 실험 연구나 영재교육 대상자의 선발에서 수학의 일부 능력에 대한 창의성 검사가 이용되고 있다. 예를 들면, 한국교육개발원에서(김홍원, 김명숙, 방승진, 황동주, 1997) 개발한 표준화된 수학 창의성 문제해결력 검사(MCPSAT; Mathematical Creative Problem Solving Ability Test)는 수학적 창의성을 수학적 문제 상황에서 고정된 사고방식을 탈피하여 다양한 산출물을 내는 과정 및 능력으로 간주하여 개발된 검사로써 유창성, 융통성, 독창성이라는 3개의 하위 구성요인을 가진다.

Torrance의 TTCT의 하위 영역인 도형검사의 최근판은 그림구성, 그림완성, 선 더하기로 구성되는데, 불완전한 모양으로 제시된 이것들은 모두 유의미한 것으로 완성시킬 것을 요구한다. 이 검사의 구성요인으로 유창성, 독창성, 정교성, 제목의 추상성, 성급한 결론에 대한 저항이나 이것은 사실상 수학에서의 기하나 도형의 학습과는 거리가 있다(김부윤·김철언·이지성, 2005)는 비판이 있다. 물론 Torrance의 TTCT에 대한 타당성이나 신뢰성에 대한 이론적 근거가 부족하다는 지적이 있다. 특히 Dirkes의 연구에서는 수학의 확산적 사고 수행은 일반 확산적 사고 검사와 무관하며(Haylock, 1987; 재인용), 수학에서 확산적 산물은 하나의 특정 능력인 것이지 일반 창의성 능력과 수학적 재능의 단순 조합이 아니라는 것이다(Haylock, 1987). 그렇다면 수학에서 확산적 산출물 능력과 수학적 수행 간에는 어떤 상관이 있는가?

이강섭, 황동주(2003)는 김홍원 외(1997)가 개발한 수학 창의성 문제해결력 검사(MCPSAT)를 초등학교 5학년을 대상으로 Torrance의 TTCT 중 도형검사와 상관을 알아보는 연구를 하였다. 그들의 연구에서 일반 창의성 중 도형 영역과 확산적 산출에 의한 수학 창의성(유창성, 융통성, 독창성을 요인으로 함) 간에 유의미한 정적 상관이 있지만 요인에 따라 상관의 크기가

달랐으며 그 편차가 큰 것으로 나타났다. 수학 창의성의 3가지 요인들은 도형 영역의 '독창성'과 '정교성'과는 중간 정도의 상관(0.3~0.4)을 보였으나, '제목의 추상성'과 '성급한 종결에 대한 저항'은 매우 낮은 상관을 보였다.

Jensen(1973)의 11~12세 아동을 대상으로 시행된 연구에서, 확산적 산출물에 의한 수학 창의성과 수리적성능력(numerical aptitude)이나 수학 성취사이의 관계는 유의미하나 약한 상관관계를 보였다. 11~12살의 아동을 조사한 Haylock의 연구에서 수학학력검사는 확산적 산출물을 측정한 수학 창의성 검사이건 고착을 극복하는 능력을 측정한 수학 창의성 검사이건 상관없이, 학력과 창의성의 두 점수는 서로 결코 결정적인 영향을 미치지는 않는다는 것을 밝히면서 수학 창의성은 수학 성취도나 학력과는 다른 어떤 수학적 능력이라는 생각에 지지를 더 하게 되었다(Haylock, 1987; 재인용).

Haylock(1987)은 관련 연구의 자료를 조사하였는데, 대부분의 연구에서 수학에서 확산적 산출에 의한 창의성과 수학적 수행 간에는 약한 상관이 있었다. 그의 결론은 확정적이라고 말하기는 힘들지만, 수학에서의 확산적 산출에 의한 창의성 검사가 수학적 능력들과 관련은 있어 보이지만 전형적인 수학 학력(attainment) 평가들과는 반드시 관련 있다고 볼 수 없다고 결론지었다.

확산적 산출에 의한 수학 창의성과 수학 학력과의 낮은 상관은 아마도 그와 같은 수학 창의성 검사가 다소 일반 창의성과 유사하기 때문이다. 일부 학자들은 그와 같은 수학 창의성이 수학의 고유한 본질이나 특성을 반영하지 못한다고 주장한다. 유윤재(2004)는 이 같은 창의성 판별도구가 확산적 사고능력과 수학 문제를 연합한 형태를 취하고 있어 수학 사회의 문화적 성격을 고려하지 않기 때문에 창의성의 환경적 영향을 간과하고 있다고 주장한다.

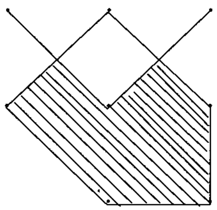
일본의 齊藤昇(1998)도 수학적 지식 획득과 정리 및 조직화의 중요성을 강조하면서, 확산적 산출에 의한 수학 창의성 검사를 개선하려는 노력을 해왔다. 그의 수학 창의성 도구는 논리성, 독창성, 유연성, 확산성(총 반응의 수), 유창성(정답의 수)으로 구성되어 있다. 예를 들면, 초등학교 6학년 학생에게 적합한 수학 창의성 문제는 다음과 같다: '가로와 세로의 비가 3:2

인 동일한 15개의 직사각형이 있다. 이들을 일부 또는 전부를 사용하여 가로와 세로의 비가 6:5가 되는 사각형을 가능한 한 많이 만들어 보시오.' 이런 유형의 문제가 좀 더 고차적인 수학적 사고력과 관련이 높으며 더 많은 시간이 필요함을 알 수 있으나 실제 초등학교 학생들에게 다양한 반응을 기대하기 어렵다.

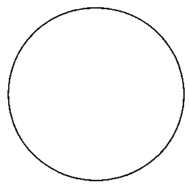
김홍원 등(1997)이 개발한 수학 창의성 문제해결력 검사는 수학적 사고를 요구하는 문제를 사용할 뿐만 아니라 하위 구성요인을 단지 유창성, 융통성, 독창성으로 제한함으로써 창의적 문제해결력 검사의 타당도와 검사의 의미를 높이려고 하였다. 국내의 수학 창의성 검사에 사용되는 대부분의 문제는 Haylock(1987)이 분류한 3가지 유형에 귀속된다.

Haylock(1987)은 확산적 산출물 검사에 의해 평가되고 있는 수학 창의성 검사를 3가지로 분류하였는데, 그것은 문제해결, 문제설정, 재정의이다. 첫째, 문제해결 형태는 단순히 많은 해를 가진 수학적 문제로써 전형적인 과제는 다음과 같다: 자연수 18, 2, 10, 12, 40, 48, 3, 20, 90, 15의 전부 또는 일부와 자신이 알고 있는 수학 기호를 사용하여 답이 30이 되는 식을 만들어 보시오(권오남, 2005). 3×3 격자위에 선분을 그어 넓이가 2cm^2 되는 서로 다른 도형을 가능한 한 많이 그려보시오(그림 1; Haylock, 1987).

둘째는 문제설정인데, 이것은 제7차 초등학교 교육과정의 수학교과서에 '문제를 만들어 보라'는 활동이 도입되면서부터 수학교실에서 쉽게 만날 수 있는 문항이다. 흔히 사용하는 문제로는 수학적 요소가 들어가는 상황을 주고, '가능한 한 많은 문제를 만들어 보시오'이다. 학생들에게 제시될 수 있는 수학적 요소가 들어가는 상황은 수를 포함하는 글이나 그래프, 차트, 도형 등이 될 수 있다. 중등과정에서 사용할 수 있는 한 예는 다음과 같다. 다음 원을 보고 자신이 해결할 수 없거나 의문이 나는 문장을 가능한 한 많이 만들어보라(그림 2; 유윤재, 2004).



[그림 1]



[그림 2]

끝으로 재정의는 단지 수학적 속성으로서 그 상황의 요소를 연속적으로 재정의 함으로써 학생들에게 많은 다양한 독창적인 방법으로 반응하도록 상황을 주는 것이다. 예를 들면, Foster(1970)의 카드 분류 검사는 학생들이 여러 속성(예, 모양, 색, 수)에 따라 카드들을 지속적으로 재정의를 요구하는 검사이다. 또는 몇 개의 숫자를 주고 이것들을 두 가지이상의 집합으로 분류하도록 요구한다. 재정의의 다른 예는 두 수 25와 36의 공통점을 가능한 한 많이 찾는 문제인데, 이 문제도 두 수의 속성에 따라 연속적인 재정의를 요구한다.

유윤재(2004)는 창의적 문제해결의 검사 도구를 좀더 복잡하고 정교하게 분류하고 있지만 국내에서 실제로 사용되고 있는 대부분의 수학 창의성 검사의 평가요인은 응답자가 제시한 범주의 개수(융통성)와 응답의 총 개수(유창성), 응답 빈도(독창성)가 가지는 비율에 따라 점수를 부여한다. 좀 더 구체적인 평가 틀은 권오남 외(2005, 2000), 김정효 외(2000)를 참고할 수 있으며, 여기에 정교성을 첨가한 평가 기준은 남승인(2007)을 참고할 수 있다. 이들 문항의 특성 분석은 조석희 외(2006)와 이강섭 외(2003)를 참고하며, 이런 평가를 문항의 개발을 위해서는 김부윤 외(2005)를 추천한다.

수학에서의 심리 측정적 접근은 Torrance의 TTCT의 문제유형과는 다른 형태를 취하고 있는데, 문제를 해결하기 위해서는 근본적으로 수학적 사고력이 높으며, 정보처리가 빠르고, 아이디어가 풍부해야 풀 수 있는 문제를 창의성 측정의 도구로 본다.

5. 인지적 접근(cognitive approaches)

창의성에 대한 인지적 접근은 창의적 사고에 깔린 정신적 표상과 인지 과정에 대한 이해를 추구한다. 인간 연구 또는 컴퓨터 시뮬레이션으로 창의성을 연구하는 두 가지 형태가 있다. 인간 연구를 기초로 하는 접근은 아마도 Finke, Ward와 Smith(1992)의 업적으로 나온 Geneplore라는 모델일 것이다. 이 모델에 따르면 창의적 사고는 생산적 국면과 탐구적 국면이라는 두 가지의 주요 과정을 거친다. 생산적 국면에서 개인은 전발명적(preinventive) 구조라 불리는 심적 표상을 구성하게 된다. 이들 표상은 결국 창의적 발견을 조장하지만, 창의적 아이디어를 떠올리기 위해 이런 모든 특성들이 사용되는 시기는 탐구적 국면이다(Sternberg & Lubart, 1999).

한편, 컴퓨터 시뮬레이션 접근은 전문가들의 생각하는 방식대로 컴퓨터가 작동하도록 프로그램화 시켜 새로운 사고를 창출하게 하는 방식이다. 예를 들면 Langley, Simon, Bradshaw, Zytkow(1987)는 기본적인 과학 법칙들을 재발견하는 프로그램 세트를 개발하였다. 이 컴퓨터 모델은 데이터나 개념적 공간을 찾고, 입력 변수간의 숨은 관계를 찾아내는 발견술과 문제해결 안내에 의존한다. BACON이라는 초기 프로그램은 '두 항의 값이 다 같이 증가하면, 비율을 생각하라'는 식의 발견술을 사용하여, 행성 궤도에 대해 Kepler가 이용한 관찰 데이터를 조사하여 행성 운동에 대한 Kepler의 제3의 법칙을 재발견했다(Sternberg & Lubart, 1999; 재인용). 이러한 이점에도 불구하고 인지적 접근은 창의성을 발현하는 사람들이나 창의성이 발생되는 상황과는 무관하게 일련의 과정을 기계적인 방법으로 정의하고 있기 때문에 오히려 창의성을 감소시키는 위험을 야기한다(Cropley, 2004).

수학 영역에서 컴퓨터가 도움을 줄 수 있는 것은 인간의 힘으로 분류하거나 분석하기 어려운 방대한 자료를 다룰 수 있다는 것이다. 컴퓨터의 도움을 받아 연구를 진행하는 수학자들은 컴퓨터가 발견한 사례나 사실에 힘입어 그것의 존재성이나 사실을 수학적으로 증명한다. 컴퓨터가 제공하는 단서는 연구의 방향을 결정하고 연구자의 시간을 절약하는데 중요한 역할을 한다. 그러나 그 단서가 수학적 증명을 의미하는 것이 아니므로 그것에

대한 수학적 증명은 결국 연구자의 몫으로 남게 된다. 수학 창의성에 관한 한 컴퓨터 시뮬레이션 접근은 상상하기 힘들 것이다. 그러므로 여기서는 수학에서 창의적 인간들의 인지적 특성을 연구한 자료를 토대로 인지적 접근을 간략히 논의하고자 한다.

이미 언급한대로 순수 수학자에 대한 직접적인 연구의 결핍으로 수학 창의성에 대한 이론적 연구는 힘들지만, 최근 영재에 대한 연구가 활발하게 진행되면서 수학적 영재의 인지적 특성을 통해 수학자의 인지과정을 간접적으로 살펴볼 수가 있고, 순수 수학자들을 대상으로 이루어진 조사연구에서 나타난 문헌들도 검토할 것이다.

수학 창의성을 수학의 영재성과 동일한 개념으로 간주한 러시아의 심리학자 Krutetskii(1976)에 의하면 수학적 능력의 구조는 세 개의 요소, 즉 ① 수학 정보의 획득, ② 수학정보의 처리, ③ 수학정보의 기억과 저장으로 구성되어 있다. 이러한 능력의 구조는 수학적 재능의 독특한 징후, 즉 수학적 성향을 구성한 것이다. 서로 밀접한 관련을 갖는 이 세 가지는 서로 영향을 미치며 총체적이고 단일한 체계로서의 수학적 재능을 형성한다. 따라서 수학적 재능이 있는 영재는 주로 인지 과정의 내면화에서 일반 아동과는 질적으로 다른 차이를 보인다. 즉, Krutetskii가 언급한 수학적 능력의 구조, 즉 빠른 정보의 수용, 처리과정 및 파지 능력은 수학 영재들의 수학적 성향인 동시에 인지적 특성으로 볼 수 있다.

다음으로는 독일 함부르크 시에 살고 있는 16~20세의 청소년 후기의 수학 영재를 연구한 Kieβwetter(1985)의 연구결과를 언급하는 것은 의미 있을 것이다. 그는 수학적 사고 과정에 가장 중요한 여섯 가지의 활동을 제시하였다. 즉, ① 자료의 조직, ② 패턴이나 규칙의 인식, ③ 문제의 표상을 변화시키기; 새로운 영역에서 패턴이나 규칙의 인식, ④ 매우 복잡한 구조의 이해와 처리, ⑤ 가역적 사고 및 사고전환, ⑥ 관련된 문제의 발견 및 구성 등이다.

위에서 언급한 두 연구자의 연구에서, 두 학자가 추출한 수학적 능력을 일대일 대응시키기는 힘들지라도 그들이 발견한 것은 대략적으로 정리해보면, 정보의 빠른 처리, 표상 및 파지 능력으로 볼 수 있을 것이다.

수학교육학 측면에서 인지적 접근 내용을 요약하면 다음과 같다. 인지에 대한 논의는 수학적 문제해결과 수학적 사고를 강조하게 되면서부터 학교 수학의 중요한 부분이 되었다. 1922년에 출간된 Thorndike의 산술심리학(psychology of arithmetic)이 산술 학습에서 '연습의 법칙'을 반영하였다. 학습은 기계적 수단이 아니라 이해를 강조한 Brownell의 유미의 학습시기를 거쳐, 처음부터 문제의 모든 요소들을 함께 받아들이려 시도를 했던 형태심리학이 사고와 문제해결 분야에서 일정 부분 공헌을 하게 되었다. 문제해결에서 형태심리학의 모델은 포화(saturation), 부화(incubation), 영감(inspiration), 실증(verification)인데 이 모델은 이후 Hadamard가 말한 창의적 문제해결 4단계인 준비, 부화, 조명, 검증과 내용적으로 동일하다(English & Halford, 2003). 그리고 Sriraman(2004)의 연구에서도 수학 분야, 경력, 그리고 대학원생 지도경력을 고려하여 5명의 수학전문가를 선정하여 면담한 결과를 분석해보았더니 그 중 3명은 수학을 창조하는 과정이 위 4단계를 거치는 것으로 확인되었다.

또한 Hadamard가 말한 창의적 문제해결 단계가 Liljedahl(2004)에 의해서도 재확인되었다. Liljedahl은 Hadamard가 1945년에 발표한 The psychology of mathematical invention in the mathematical field의 부록에 실린 31개의 설문문항 중 특히 수학적 발견이나 창조현상과 가장 직접적으로 관련된 5개의 질문 문항들을 포함하여 33개의 문항을 선정하였다. Hadamard가 했던 것처럼 유명한 수학자, 필드메달 수상자 등으로 한정하여 150명에게 e-메일을 보내어 응답한 25명의 수학자의 답신을 분석한 결과 Hadamard의 4단계가 확증되기도 했지만 그것을 확장하는데 도움이 되었다. 예를 들면, ① 부화과정에서는 전체를 이해하려는 것이지 구체적이고 상세하게 사고하지 않는다. ② 준비단계에서 수학자는 독서보다는 대화를 통해 지식을 주고받는다. ③ 초기단계에서 수학자는 다른 사람의 연구물을 수동적으로 받아들이는 것이 아니라 능동적으로 그들의 작업을 소화하고 연습을 하면서 자신만의 수학을 재창조한다. ④ 조명 단계에서 기회(내재적 기회, 외재적 기회)는 조명과 통찰에서 간혹 결정적인 역할을 한다.

다시 수학교육학적 측면에서 본 인지적 접근의 논의로 되돌아간다. 1960

년대 이후부터 Bruner의 EIS이론, Dienes의 구체적 조작과 게임의 개발과 그 심리학적 원리 발견, Piaget의 인지발달 이론이 나오면서 좀더 정교한 수학교육 이론을 발달시켜 현대수학교육 발달을 이끌게 된다. 최근 일어난 구성주의와 인지과학의 대두도 여전히 인지에 대한 하나의 패러다임이다. Polya가 문제해결을 위해 발견한 여러 가지 발견술을 제대로 사용하기 위해서는 문제해결자 자신이 무엇을 하고 있는지를 알아야 하기 때문에 메타인지에 대한 연구도 동등하게 중요하다. 물론 메타인지가 수학적 창의성과는 어떤 관련이 있는지를 설명하는 연구는 부재하다.

6. 사회-성격적 접근(social-personality approaches)

국어사전에 창의성은 '창의를 나타내는 특성'이라고 기술하며, 창의력은 '새로운 생각을 해 내는 힘'으로 정의하고 있다. 창의력이 창의성의 인지적 능력을 나타내는 것인데 반해, 창의성은 인지적 특성과 사회-성격적 특성을 포함하는 개념으로 볼 수 있다. 사회 성격적 접근에서는 창의성의 한 가지 원천으로서 성격적 변인, 동기변인, 사회문화적 환경에 대해 관심을 갖는다.

Amabile, Barron, Eysenck, Gough, MacKinnon 등의 연구자들은 창의적인 사람은 어떤 성격적 특성(traits)으로서 특징지어지는 것에 주목했다. Barron과 Harrington(1981)은 높은 창의성과 낮은 창의성을 가진 표본(저명인사와 보통사람)을 대조하는 조사와 상관연구를 통해, 잠재적으로 관련 있는 많은 특성들을 찾아냈었다. 이런 특성에는 판단의 독립성, 자신감, 복잡성에 대한 매력, 심미적 성향, 모험심을 내포한다(Sternberg & Lubart, 1999; 재인용).

여기서도 역시 수학적 인물에 대한 연구의 부족으로 그들만의 독특한 심리적, 성격적, 사회적 특성을 찾는 것이 쉽지 않다. 대신 우리는 수학 영재를 대상으로 한 연구에서 수학 영재성에서 그 특성을 알아본다. Kieβwetter(1985)는 3가지 차원의 인지적 능력들, 그리고 과제 집착력과 수학능력에서의 융통성(즉, 창의성)으로 보았다. 그리고 일반적 특성을 언급하였는데 그중에서 사회, 성격적 특성과 관련되는 요인은 이해와 공감(empathy), 정서적 안정, 민감성, 환상, 탐미적 감수성, 리드믹한 감정, 모험심, 자신감, 음악성이 있다. 그리고 '과제 집착력'은 문제해결에서의 끈기, 과제 집착력,

목적 지향성, 야망, 과제 완수에서의 항상성, ·학습에 대한 영구적 준비성, 구체화하는 능력으로 보았다.

창의성과 지적 능력 간에는 이미 많은 연구가 이루어졌다. 그러나 최근에는 창의성과 성격유형과의 관계연구(Hang, 2006), 수학 창의성과 수학 자기효능감에 대한 연구(서종진, 황동주, 2004) 등과 같이 수학 창의성과 비인지적 요인에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

우리나라 중학생들의 수학, 과학 영재와 일반 학생간의 인지적, 정의적, 정서적 특성을 비교한 연구에서 정의적 측면에서 수학영재는 일반학생보다 수학적 성향이 긍정적이며, 과학영재에 비해서 수학에 대한 자신감, 호기심, 수학에 대한 과제집착력, 메타인지의 성향이 더 높았다. 수학영재는 일반 학생보다는 도전적 과제를 선호, 발표에 대한 자신감이 더 컸으며, 과학영재보다는 자기조절이 더 효율적이었다. 정서 지능 면에서 수학영재는 정서 조절과 정서 활용이 일반 학생보다 더 높았다(김선희, 김기연, 이종희, 2005).

한편 창의성에 대한 사회-성격적 태도를 검사할 수 있는 도구가 일본의 齊藤昇(1998)에 의해 개발되었다. 그는 수학에서의 창의적 태도는 확산성, 논리성, 적극성, 집중성·지속성, 독자성, 수렴성, 정밀성의 7개 요인을 구성하는 것으로 보고, 27개의 문항으로 이루어진 검사를 개발하였다. 이 검사는 김부윤, 이지성(2006)에 의해 한글판(CAS-K)으로 수정 번안되었는데, 여기서는 확산성을 유창성으로, 논리성을 적절성으로 용어를 수정한 7개의 인자들에 대하여 33개의 문항으로 구성되어 있다.

학문적 연구에서 찾아보기 힘든 하나의 그러나 자연스러운 의문이 생긴다. 일반인은 수학자의 성격적 특성이 어떠할 것이라 생각하는가? 수학자에 대한 일반인의 암묵적 표상은 분명 수학의 특성과 연관될 것이며 이런 연구가 관련자에게 흥미를 줄 것이다.

IV. 맺으면서

지금까지 우리는 수학 창의성을 Sternberg와 Lubart(1999)가 언급한 6가지의 기본적인 접근, 말하자면, 신비주의적 접근, 실용주의적 접근, 심리역동

적 접근, 심리-측정적 접근, 인지적 접근, 사회-성격적 접근에 따라 관련 문헌을 찾아 연구의 경향을 알아보았다. 이는 수학 창의성을 여러 측면에서 고찰해봄으로써 수학 창의성 개념과 최근 연구를 이해하는데 도움을 주고자 하였다.

신비주의적 접근을 요약해보면, 수학은 수학사에서 그 자체가 신비의 대상이었다. 수학은 신이 조직한 산물이며, 그것을 탐구하는 수학자는 매우 특별한 사람으로 간주되어왔다. 이 접근이 과학의 발전과 이성적 사고를 마비켰다는 비판을 받고 있으나 수학의 탐구를 멈추게 하지는 못했다.

수학의 순수성과 비상업적 특성 때문에 수학 창의성의 실용주의적 접근을 기술하는 것이 어렵다. Polya가 제안한 문제해결을 위한 발견술은 대표적인 예로 볼 수 있다. 브레인스토밍과 같은 일반 창의성 기법을 모방한 수업기법도 성행하는 실용주의적 접근이다. 예를 들면, 어떤 문제를 해결할 때 가능한 한 많은 해나 전략 또는 아이디어를 찾게 하여 학생들의 창의성을 자극하는 수업이 그런 예가 된다.

자신의 무의식을 의식적으로 관찰할 수 있고 내성적 성찰을 표현하고 기술한 수학자의 희소성 때문에 심리 역동적 접근을 연구하는데 많은 어려움이 따랐다. 그러나 Poincaré와 Hadamard는 수학 창의성 연구에 귀중한 자료를 남겼다. 특히 Poincaré가 자신의 작업양식에 대해 일화는 다른 학문영역에서도 무의식의 중요성을 언급할 때 인용되기도 한다. 즉, 그는 다른 과제와 작업을 하는 동안 자신의 무의식은 그 전에 마무리하지 못한 과제에 대해 계속 작업을 하는데, 그러는 사이에 통찰이 일어난다고 하였다.

수학영역에서의 심리 측정적 접근은 Torrance의 창의적 사고 검사(TTCT)를 모방하기 시작하였다. Haylock(1987)는 대부분의 연구에서 확산적 산출에 의한 수학 창의성과 수학적 수행 간에 상관이 매우 약하여 수학적 능력들과 관련은 있어 보이지만 확정적인 결론을 내리기 어렵다라 했다. 유사하게 유윤재(2004)도 초등학생이나 유아는 빈약한 전공지식 때문에 확산적 사고에 의한 검사가 유효하다고 인정하더라도 영역별 특성을 요구하는 중학교의 경우에는 확산적 사고요소의 무지향성은 여전히 비판적이라 하였다.

교육학에서 말하는 인지적 접근에는 인간 연구 또는 컴퓨터 시뮬레이션

으로 창의성을 연구하지만 수학에서는 컴퓨터 시뮬레이션은 논의의 대상이 되지 못한다. 수학이 관심을 갖는 창의성은 컴퓨터 프로그램 자체이기 때문이다. 순수 수학자에 대한 실험실 연구의 결핍으로 인해 수학 창의성에 대한 이론적 연구가 어렵지만, 수학적 영재의 인지적 특성을 통해 수학자의 인지과정을 간접적으로 살펴볼 수가 있는데, Krutetskii(1976)와 Kieβwetter(1985)가 발견한 것을 대략적으로 정리해보면, 정보의 빠른 처리, 표상 및 파지 능력으로 구분해 볼 수 있을 것이다. 창의적 문제해결인 준비, 부화, 조명, 검증의 단계는 여전히 수학을 연구하는 전문 수학자에게 여전히 유효하다.

사회-성격적 접근은 창의성의 인지적 측면에 대비되는 창의성의 원천으로서 성격적 변인, 동기변인, 사회문화적 환경에 대해 관심을 갖는다. Barron과 Harrington(1981)은 높은 창의성과 낮은 창의성을 가진 표본을 연구하여 나온 정의적 특성은 판단의 독립성, 자신감, 복잡성에 대한 매력, 심미적 성향, 모험심을 내포한다(Sternberg & Lubart, 1999; 재인용). 이를 압축한 것이 '과제 집착력'이며 이는 문제해결에서의 끈기, 목적 지향성, 야망, 과제 완수에서의 항상성, 학습에 대한 영구적 준비성, 구체화하는 능력으로 보았다.

일본의 齊藤昇(1998)는 확산성, 논리성, 적극성, 집중성·지속성, 독자성, 수렴성, 정밀성을 가진 27개의 문항으로 이루어진 수학 창의성 태도 검사를 개발하였는데, 김부윤, 이지성(2006)는 이것을 한글판(CAS-K)으로 수정 번안하였다.

Skemp(1991)는 지식 구성을 스키마의 구성으로 보았는데, 스키마의 구성(construction)은 3가지 차원의 스키마 형성(building)과 확인(testing)로 이루어진다. 차원1은 경험으로부터 수학적 개념을 형성하고, 차원2는 의사소통과 토론을 통해 개념을 구성하며 차원3은 이미 알고 있는 지식에서부터 추론, 직관 및 상상을 통해 더 높은 차원의 개념을 형성하는 창의적 구성이다. Skemp의 지식구성은 수학자가 마치 수학적 세계를 창조하는 것과 같이 수학을 이해하고 수학적 지식을 쌓아가는 방식으로 아동의 수학 학습을 강조하고 있다.

또한 NCTM의 1989년 규준집(standard)에서도 수학교육의 목표는 궁극적으로 수학적 힘을 기르는 것인데, 수학적 힘은 비정형적인 문제를 푸는 다양한 수학적 방법을 효과적으로 사용하는 능력뿐만 아니라, 탐구하고, 추측하고, 논리적으로 추론하는 개인적 능력을 말한다. 이런 입장은 수학을 숙달된 기술이나 개념이 아니라 수학을 창의적 문제해결 능력뿐만 아니라 창의성을 기르는 사고기술을 포함하는 능력으로 보고 있다.

수학은 다른 학문에 비해 높은 차원의 사고를 요구하고 결과나 현상보다는 과정적 차원의 창의성에 더 많은 관심을 가진다고 말할 수 있다. 이것이 학교수학에서는 단점이 될 수 있지만 학교 안과 밖의 수학, 수학적 지식의 습득과 창조는 근본적으로 서로 달라서는 안 될 것이며, 수학교육에 관여하는 사람은 수학의 본질은 옳은 해답을 내는 것이 아니라 창의적 사고라는 점을 인식해야 할 것이다. 결론적으로 Mann(2006)이 언급한 것처럼 '수학의 본질은 창의성이다.'는 점을 강조하고 싶다.

참 고 문 헌

강 완 (2003). 창의성 개발을 위한 수학과 교육과정 구성. **이화여자대학교 교육과학연구소 2003 정기학술대회 발표논문집.** 서울: 이화여자대학교.

권오남, 박정숙, 박지현, 조영미 (2005). 개방형 문제 중심의 프로그램이 수학적 창의력에 미치는 효과. **한국수학교육학회 시리즈 A <수학교육>.** 44(2). 307-323.

권오남, 김정효 (2000). 창의적 문제해결력 중심의 수학 교육과정 적용 및 효과 분석. **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>.** 39(2). 81-99.

김선희, 김기연, 이종희 (2005). 중학생들의 수학영재와 과학영재 및 일반 학생의 인지적, 정의적, 정서적 특성 비교. **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>.** 44(1). 113-124.

김정효, 권오남 (2000). 창의적 문제해결력 중심의 수학 교육과정 개발 및 적용: 초등학교수준을 중심으로. **한국수학교육학회지 시리즈 C <수학교육>.** 4(2). 83-103.

김진호 (2005). 수학자가 수학을 탐구하듯이 학습자도 수학을 탐구할 수 있는 방안 모색, **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>.** 44(1). 87-101.

김부윤, 이지성 (2007). 수학적 창의성에 대한 관점 연구, **한국수학교육학회지 시리**

즈 A <수학교육>. 46(3). 293-302.

김부윤, 이지성 (2006). 수학에서의 창의적 태도의 측정도구 개발과 그 적용, **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>**. 45(1). 25-34.

김부윤, 이지성 (2005). 수학 창의성의 평가에 대한 모색. **한국학교수학회논문집.** 8(3). 327-341.

김부윤, 김철언, 이지성 (2005). 수학적 창의성의 평가에 대한 고찰(II). **한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육 논문집>**. 19(1). 241-251.

김홍원, 김명숙, 방승진, 황동주 (1997). **수학영재판별도구개발연구(II)-검사제작편.** 수탁연구 CR pp.97-50. 서울: 한국교육개발원.

남승인 (2007). 수학 창의성 신장을 위한 평가 문항 개발 방안. **한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육 논문집>**. 21(2). 271-282.

서종진, 황동주 (2004). 영재 학생과 일반 학생의 수학 창의성과 수학 자기효능감에 대한 차이에 관한 연구. **한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육논문집>.** 18(3). 209-226.

조석희, 황동주 (2006). 수학 영재 판별을 위한 수학 창의적 문제해결력 검사 개발. **한국수학교육학회 주최 제11회 국제수학영재교육세미나 프로시딩.** 211-226.

유윤재 (2004). 수학적 창의성의 개념. **한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육논문집>.** 18(4). 81-94.

이강섭, 황동주 (2003). 일반 창의성(도형)과 수학 창의성과의 관련 연구—TTCT; Figural A와 MCPSAT; A를 바탕으로—, **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>.** 42(1). 1-9.

이강섭, 황동주 (2007). 수학 영재학생과 일반학생의 수학 창의성과 문제설정과의 상관연구. **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>.** 46(4). 503-519.

이강섭, 황동주, 서종진 (2003). 수학과 창의성 평가에서 개방형 문항의 특성과 중학교 학생들의 반응유형에 관한 연구. **한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육논문집>.** 16. 201-215.

이대현 (1999). 창의적인 문제해결과정에서의 직관과 논리의 역할. **한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>.** 38(2). 159-164.

이대현, 박배훈 (1998). 수학적 창의력에 대한 소고. **대한수학교육학회 논문집.** 8(2). 679-690.

조석희, 황동주 (2006). 수학 영재 판별을 위한 수학 창의적 문제해결력 검사 개발. **한국수학교육학회주최 제11회 국제수학영재학세미나 프로시딩,** 211-226

황우형, 최계현, 김경미, 이명희 (2006). 수학교육과 수학적 창의성. **한국수학교육학**

회지 시리즈 E <수학교육논문집>. 20(4). 561-574

齊藤昇 (1998). 創造性創出過程のモデルの構築とるの實踐, 日本數科敎育學會誌. 21(2). 45-53.

Anderson, J. R. (2000). **인지 심리학과 그 응용** [이영애, 역]. 이화여자대학교출판부. (원본출판년도: 1995)

Barron, F., & Harrington, D. H. (1981). Creativity, intelligence, and personality. *Annual Review of Psychology, 32.* 439-476.

Bets, O. (2004). **숫자의 비밀** [배진아, 김혜진, 역] 서울: 도서출판 다시. (원본출간년도: 1999).

Belliver, A. (1956). *Henri Poincaré ou la vocation souveraine.* Gallimard.

Boden, M.A. (1999). Computer models of creativity. In R.J. Sternberg(Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 351-372). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Cropley, A. J. (2004). **창의성 계발과 교육** [이경화, 최병연, 박숙희, 역] 서울: 학지사. (원본출간년도: 2001).

Csikszentmihalyi, M. (1999). Implications of a systems perspective for the study of creativity. In R.J. Sternberg(Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 297-312). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Davis, P. J., & Hersh, R. (1995). **수학적 경험・상** [양영오, 허 민, 역] 서울: 경문사. (원본출간년도: 1981).

Devlin, K. (1996). **새로운 황금시대** [허민, 역] 서울: 경문사. (원본출간연도: 1988).

Duncker, K. (1945). On problem-solving, *Psychological Monographs,* 58.

English, L.D., & Halford, G.S. (2003). **수학교육론** [고상숙, 고호경, 박만구, 이중권, 정인철, 황우형, 역]. 서울 경문사. (원본출간년도: 1995)

Ervynck, G. (2003). **수학 창의성 [고등 수학적 사고**; 편저자, Tall, D.(Ed.); 류희찬, 조완영, 김인수, 역]. 서울: 경문사. (원본출간연도: 1991)

Feist, G.J. (1999). The Influence of personality on artistic and scientific creativity. In R.J. Sternberg(Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 273-296). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Finke, R.A., Ward, T.B., & Smith, S.M. (1992). Creative cognition: *Theory. research, and applications.* Cambridge, MA: MIT Press.

Foster, J. (1970). An exploratory attempt to assess creative ability in mathematics. *Primary mathematics, 8.* 2-7.

Gallian, J.A. (1994). *Comtemporary abstract algebra.* Lexington, MA: Heath.

Gordon, W.J.J. (1961). Synectics: *The development of creative capacity.* New York: Harper & Row.

Gruber, H.E., & Wallace, D.B. (1999). The case study method and evolving systems approach for understanding unique creative people at work. In R.J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 93-115). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Guilford, J.P. (1950). Creativity. *American Psychologist, 5.* 444-454.

Hadamard, J. (1990). **수학분야에서 발명의 심리학** [정계섭, 역]. 서울: 범양사. (원본출간년도: 1975).

Hang, D.J. (2006). A study on the relationship mathematical creativity and psychological types in middle school students. **대한수학교육학회지 수학교육학연구.** 16(4). 313-326.

Hardy, G.H. (1967). *A Mathematician's apology,* Cambridge University Press.

Haylock, Derěk W. (1987). A Framework for assessing mathematical creativity in schoolchildren. *Educational Studies in Mathematics, 18*(1). 59-74.

Haylock, Derek W. (1985). Conflicts in the assesment and encouragement of mathematical creativity in schoolchildren. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 16*(4). 547-553.

Houtz, J. (2007). **창의성을 부르는 심리학** [김정희, 역]. 서울: 시그마프레스. (원본출간년도: 2002).

Huckstep, P. (2002). Making mathematics. *Cambridge Journal of Education, 32*(2). 405-407

Jackson. P.W., & Messick, S. (1965). The person, the product and the response: Conceptual problems in the assessment of creativity. *Journal of Personality, 35.* 302-329.

Jensen, L. R. (1973). *The relationships among mathematical creativity, numerical aptitude and mathematical achievement.* Doctorial dissertation, University of Texas at Austin.

Kieβwetter, K. (1985). Die Förderung von mathematisch besonders begabten und interessierten Schülern-ein bislang vernachlässigtes sonderpädagogisches. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht,* 38. 300-306.

King, J. (2001). **수와 신비주의** [김량국, 역]. 서울: 도서출판열린책들. (원본출간년도: 1996).

Krutetskii, V. A. (1976). *The psychology of mathematical abilities in school children.* The University of Chicago Press.

Krutetskii, V. A. (1976). Mathematical aptitudes. In J. Kilpatrick and I. Wirzup (Eds.), *Soviet Studies in the Psychology of Learning and Teaching Mathematics, Volume II.* University of Chicago Press, Chicago.

Langley, P., Simon, H.A., Bradshaw, G.L., & Zytkow, J.M. (1987). *Scientific discovery: computational explorations of the creative process.* Cambridge, MA: MIT Press.

Laycock, M. (1970). Creative mathematics at Nueva. *Arithmetic Teacher, 17.* 325-328.

Liljedahl, P. (2004). Mathematical discovery: Hadamard resurected. *Proceedings of the 28th conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education.*

Lubart, T.I. (1999). Creativity across cultures. In R.J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 339-350). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Luchins, A.S. (1942). Mechanization in problem solving: *The effect of Einstellung. Psychological Monographs, 54*(6).

Lumsden, C.J. (1999). Evolving creative minds: Stories and Mechanism. In R.J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 153-168). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Mann, E. L. (2006). Creativity: The Essence of mathematics. *Journal for the Education of the Gifted, 30*(2). 236-260.

Martindale, C. (1999). Biological bases of creativity. In R.J. Sternberg(Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 137-152). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Mayer, R. (1999). Fifty years of creativity research. In R.J. Sternberg(Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 449-460). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Nickerson, R.S. (1999). Enhancing creativity. In R.J. Sternberg(Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 392-430). Cambridge UK. Cambridge University Press.

O'Connor, J. J. & Robertson, F. E. (2005). University of St. Andrew, School of Mathematics and Statistics. Archive: 인터넷자료 http://www-history.mcs.st- andrews. ac.uk/HistTopics/Poincare_mines.html. (금색일: 2008. 10.10).

Osborn, A.F. (1953). *Applied imagination* (rev.ed.). New York: Scribner's.

Pickover, C.A. (2002). 신의 베틀 [이상원, 역] 서울: 경문사. (원본출간년도: 1997).

Poincaré, H. (2007). Intuition and logic in mathematics. :인터넷자료*http://www-history. mcs.st-andrews.ac.uk/Extras/Poincare_Intuition.html.*

Poincaré, H. (1952). Mathematical Creation. In B. Ghiselin (Ed.). *The Creative Process.* New American Library, New York.

Poincaré, H. (1929). *The value of science (in English),* New York: Dover. (원본출간년도: 1929).

Polya, G. (2005). 어떻게 문제를 풀 것인가? [우정호, 역] 서울: 교우사 (원본출판년도:1954).

Polya, G. (1962). *Mathematical discovery, Vol. I.* John Wiley & Sons, Inc..

Romey, W.D. (1970). What is your creativity quotient? *School Science and Mathematics, 70.* 3-8.

Runco, M. A. (1993). *Creativity as an educational objective for disadvantaged students (RBDM9306). Storrs:* University of Connecticut, The National Research Center on the Gifted and Talent.

Skemp, R. (1991). *Mathematics in the primary school.* London, Routledge.

Spraker, H.S. (1960). *A study of the comparative emergence of creative behavior during the process of group and individual study of mathematics.* Dissertation Abstracts, 20. 4637.

Sriraman, B. (2005). Are giftedness and creativity synonyms in mathematics? *The Journal of Secondary Gifted Education, 17*(1). 20-36.

Sriraman, B. (2004). The characteristics of mathematical creativity. *The Mathematics Educator, 14*(1). 19-34.

Sternberg, Robert J., & Lubart, Todd I. (1999). Concept of creativity. In Robert J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity,* (pp. 3-15). Cambridge UK. Cambridge University Press.

Sternberg, R.J., & Lubart, T.I. (1996). Investing in creativity. *American Psychologist, 51.* 677-688.

Toulouse, E. (1910). Henri Poincaré. 인터넷자료: planetmath.org/encyclopedia/JulesHenriPoincare.html.

Treffinger, D.J., Young, G.C., Shelby, E.C., & Shepardson, C. (2002). *Assessing creativity: A guide for educators (RM02170). Storrs:* University of Connecticut, The National Research Center on the Gifted and Talent.

Wallas, G. (1926). *The art of thought.* New York: Harcourt, Brace & Jovanovich.

= Abstract =

Mathematical Creativity in the View of General Creativity Theory

Pan-Soo Kim

Busan National University of Education

With leadership and speciality, creativity is cutting a fine figure among major values of human resource in 21C knowledge-based society. In the 7th school curriculum much emphasis is put on the importance of creativity by pursuing the image of human being based on 'creativity based on basic capabilities'. Also creativity is one of major factors of giftedness, and developing one's creativity is the core of the program for gifted education. Doing mathematics requires high order thinking and knowledgeable understandings. Thus mathematical creativity is used as a measure to test one's flexibility, and therefore it is the basic tool for creativity study. But theoretical study for mathematical creativity is not common.

In this paper, we discuss mathematical creativity applied to 6 approaches suggested by Sternberg and Lubart in educational theory. That is, mystical approaches, pragmatical approaches, psycho-dynamic approaches, cognitive approaches, psychometric approaches and scio-personal approaches. This study expects to give useful tips for understanding mathematical creativity and understanding recent research results by reviewing various aspects of mathematical creativity.

Key Words: Mathematical creativity, Sternberg and Lubart, creativity, mathematics

1차 원고접수: 2008년 11월 10일
수정원고접수: 2008년 12월 4일
최종게재결정: 2008년 12월 20일