

수학적 창의력에 대한 소고

이 대 현* · 박 배 훈**

1. 서 론

창의력을 신장시키는 교육을 해야 한다는 주장은 한국 교육의 문제점을 지적할 때마다 대두되었다. '암기 위주의 주입식 교육' 문제를 해결할 수 있는 방안이 바로 창의적인 사고를 중시하는 교육이며, 예측 불가능한 미래 사회에 적절히 대처할 수 있는 인간 육성에 필요한 대안이 바로 창의적인 사고력을 기르는 교육이라는 것이었다. 이런 주장은 많은 사람들의 동의의를 얻어, 이제는 창의적인 사고력을 기르는 교육이 중요하지 않다고 생각하는 사람이 거의 없을 정도로 일반화되었다. 그러나 창의적인 사고력을 신장시키는 교육을 해야 한다는 주장은 아직도 학교의 벽에 걸린 구호에 지나지 않는다는 데에 문제가 있다. '창의력 신장'이라는 구호와 이를 실제로 강조하는 행동간의 괴리 현상이 학교에서 쉽게 발견된다.

창의성이 인간의 중요한 지적 특성으로 이해되어 오긴 했지만, 학문적 관심의 중심 영역으로 들어 온 역사는 그리 오래되지 않았다. J. P. Guilford의 1950년도 미국 심리학회 회장 취임 연설에서 확인할 수 있듯이 창의성 교육에 대한 연구자들의 관심은 당시까지는 무척 미미한 것이었다. Torrance는 창의성 교육 관련 연구물 142편을 검토한 후 창의성 교육 방안을

아홉 가지로 구별하였다. 그는 창의성 교육 방안의 유형과 이들 각각의 방안을 지지하는 연구물 수 및 이를 반영한 창의성 교육 자료가 실제로 학교 교육 상황에 적용되었을 때 나타나는 성공률을 제시하였다(임선하, 1996). 이 연구 결과에 따르면, 이들 각각의 창의성 교육 방안은 학문적 관심도와 현장의 적용 정도 및 성공률이 일치하지 않는다는 것이다. 이런 현상은 창의성에 관련된 제반 지식의 부재와 교육현장에서 학생의 창의력 신장에 대한 연구가 더 요구됨을 시사한다.

우리나라의 경우, 교육에 투입하는 시간과 노력은 다른 나라에 비해 많음에도 불구하고 학생들의 창의력은 부족하다는 것이 지적되어 왔다. 또한 학생들이 저학년에서는 수학적 능력이 높으나, 고학년으로 갈수록 실력이 저하되어 간다. 이것은 수학이 논리적이고 창의적인 탐구를 요하는 과목임에도 불구하고, 정형화된 문제에 몰두하게 되어 어느 수준에 이르러서는 중도 탈락하는 학생들이 많기 때문이다. 이 같은 현상의 이유로는 수학적 창의력을 신장시키는 교육의 부재와 창의력 계발 교육 방안의 부적절성을 들 수 있다.

학교교육과정의 정상적 운영을 통하여 학생들의 창의력을 계발·신장시키고, 어떤 환경에서도 적용해 갈 수 있는 능력을 가진 인간을 육성하는 것이 현재 우리 교육이 안고 있는 과

* 한국교원대 대학원

** 한국교원대학교

제이다. 학생들의 창의성 계발은, 학생들이 강한 내발적 동기 즉, 호기심을 가지고 있는 존재이고, 이것은 저절로 계발되는 것이 아니며, 적절한 교수-학습 환경과 사회·문화적 여건이 조성되어야 가능하다는 전제에서 출발한다. 이 글에서는 수학적 창의력 계발에 관한 연구를 수행하기 위하여 창의성에 관한 일반적인 이론을 고찰한다. 이를 바탕으로 수학적 창의력에 대한 정의·특징과 요소를 추출하고, 수학적 창의력에 영향을 주는 요인을 분석한다.

II. 창의성의 주요이론

창의성에 대한 연구·이론·모델 등은 주로 창의적인 사람, 창의적인 과정, 창의적인 산물, 창의적인 환경에 중점을 두고 있다. 이러한 관심 영역의 차이는 연구자들이 다른 눈을 통하여 창의성에 대한 연구를 실행하게 하며, 이에 따라 창의성에 대한 정의는 하나의 단일한 어구로 분명한 정의를 내리는데 어려움을 초래한다. 그렇지만 창의성에 대한 다양한 정의는 창의성을 이해하는데 중요한 역할을 할 것이다. 창의성과 관련된 몇 가지 주목할 만한 정의를 살펴보면 다음과 같다.

· 창의적인 것은 유용한 새로운 결합이나 연상적인 성분으로 이루어져 있다(Poincaré, 1913; Balka, 1975, p. 17).

· 아이디어들의 결합에 의해 만들어지는 발견이나 발명이다(Hadamard, 1990).

· 창의성은 새로운 관계를 형성하거나, 한편으로는 개인의 특이성과 다른 한편으로는 개인의 삶에서의 체재, 사건, 사람 혹은 환경으로부터 벗어난 돌발행동이다(Rogers, 1954; Balka, 1975, p. 17).

· 창의성은 한 사람이 새로운 개념을 전달하는 현상이다. 정신력은 정의 속에 함축되어 있다(Rhodes, 1961; Balka, 1975, p. 17).

· 창의성은 한 문제를 사람의 머리 속에 분명히 일으켜서 아이디어·개념·깨달음 혹은 새롭거나 자유로운 선을 따르는 그림을 창작하거나 발명하는 과정이다(Vervalin, 1962; Balka, 1975, p. 17).

· 창의적 행동은 독특함과 그것의 결과에 가치가 있음이 나타나는 행동이다(Parnes, 1967; Balka, 1975, p. 17).

· 창의성이란 어떤 개인의 독특성에서 나오는 그 사람 내부의 힘으로써, 그 사람에게 가치가 있는 새로운 생각이나 참신한 통찰들을 산출하는 것이다(Olsan, 1988; 윤종건, 1996, p. 10).

· 새로움에 이르게 하는 개인의 사고 관련 특성이다(임선하, 1996).

여기에서, 창의성에 대한 두 가지의 의구심이 생긴다. 하나는, 창의성이란 무(無)에서 유(有)를 이끄는 기적과 같은 것인가 아니면 이미 축적된 경험과 지식을 바탕으로 새롭고 가치있는 것을 산출하는 것인가 하는 것이고, 다른 하나는 새롭고 가치있는 산물이 산출한 개인에게 유용하면 되는가 아니면 모든 사람에게 유용해야 하는가 하는 것이다. 이 글은 학생들의 창의력을 신장시키기 위한 교육 방안 마련을 목적으로 하는 만큼 주로 교수학적 측면에 비중을 두고 이 문제를 조명하고자 한다. 따라서 창의력의 개념을 한 개인에게, 축적된 지식과 경험을 바탕으로 새롭고 가치 있는 아이디어를 생산하는 능력이나 문제해결능력이라고 보고, 이를 토대로 창의력 제고를 위한 교육방안을 다각적으로 모색해 보고자 한다.

1. 창의적 사고의 과정이론

교수학적 측면에서 볼 때 창의성에 대한 많은 이론들은 주로 창의적인 과정에 초점을 두고 연구되어 왔다. 창의적인 사고의 과정을 몇 개의 단계로 나누어 이들 각각의 단계를 분석함으로써 창의성을 이해하려는 시도의 선구자는 Wallas(1926)이다. 그는 창의적인 사고과정을 준비(preparation), 부화(incubation), 발현(inspiration), 검증(verification)의 4단계로 나누어 해석하고 있다.

준비단계는 주어진 문제의 배경정보를 흡수하고, 문제에 대하여 생각하여, 가능한 최선의 아이디어를 산출하는 단계이다. 부화단계에서는 문제에 대하여 의식적으로 생각하지 않으며, 문제 해결자는 문제와 관련이 없는 활동을 한다. 이 단계는 윌러스 이론의 핵심으로, 문제 해결의 미완성 상태에서, 휴식하는 동안에 문제 해결에 관한 기발한 해결책이 떠오르기 쉽다는 것이다. 이 단계는 의식적으로 다른 일을 함으로써 문제를 부화하는 경험이 문제를 그냥 잊고 있는 상태보다 능률적이라는 것으로, 해답이 막 나오려는 암시를 갖게 된다. 발현단계는 지금까지 찾고 있던 문제해결책이 번쩍 떠오르는 단계이다. 검증단계는 문제해결책으로서의 아이디어의 타당성, 효용성, 적절성 등을 검증하고, 그 결과에 따라 완전한 아이디어로 정교하게 정리하는 것이다. 만약 아이디어가 불만족스럽다고 판단되면 다시 전 과정을 수행한다. 윌러스는 '부화와 발현'에 대한 생각을 형식화하는데 있어 Hermann von Helmholtz와 Poincaré의 영향을 받았다. 헬름홀츠는 새로운 사고 형성에서 준비-부화-조명으로 이어지는 3단계설을 주장했다. 포앙카레도 의식적인 문제 해결과 비슷하게 무의식적인 정신활동이 부화 단계에서 일어난다고 확신했으며, 다른 수학자

Hardy도 이 의견에 동의했다.

이 창의성 모델은 윌러스에 앞서서 Dewey (1920)의 문제해결 모델에서도 발견된다(Starko, 1995, p. 23재인용). 듀이는 과학자들이 문제에 접근하는 방법에 기초하여 5개의 논리적 단계- ① 어려움을 감지하는 단계 ② 반성활동을 통해 문제를 더 명백하게 정의하는 단계 ③ 가능한 해결 대안의 출현 단계 ④ 가능한 해결책을 분석하는 단계 ⑤ 해결책을 실험을 통해 검증하는 단계-로 문제해결과정을 기술했다.

Torrance(1988)도 듀이와 마찬가지로 창의성의 정의·과정 모델을 제시했는데, 그 단계는 ① 문제나 어려움의 감지 ② 문제에 대한 추측이나 가설 만들기 ③ 가설을 평가하고 가능한 수정하기 ④ 결과를 의사소통하기 이다(Starko, 1995, p. 25).

브레인스토밍(Brainstorming)에서 유도된 Osborn (1963)의 창의적인 문제해결(CPS)모델은 문제의 엄밀한 정의, 많은 아이디어의 산출, 산출된 아이디어의 평가과정을 따른다. 이 과정은 Isaksen & Treffinger(1992)에 의해, 3개의 주요 요소(문제 이해, 아이디어 산출, 실행을 위한 계획)를 6개의 특별한 단계인 곤란인식, 사실 발견, 문제 발견, 아이디어 발견, 해결안 발견, 수용안 발견으로 나눈, 창의적인 문제해결 과정의 변형으로 제시되었다(Starko, 1995, p. 23).

2. 창의성의 주요이론

창의성에 대한 이론들은 Starko(Creativity in the classroom, 1995)에 의해 구분된 <표 1>에 의해 이해될 수 있다. 이 글에서는 Starko의 분류에 근거하여 창의성 이론들을 개략적으로 살펴보고자 한다.

<표 1> 창의성 이론 (Starko, 1995, p. 55)

	이론가	해설
정신분석학 적 이론	Freud Kubie Kris Jung Rothenberg Miller	창의성은 무의식이나 전의식 과정에 의해 설명되어진다.
인간주의와 발달적 이론	Maslow Rogers Gowan Vygotsky	창의성은 건전한 발달의 자연적인 부분이고, 일련의 단계에서 발달한다.
행동/연합주 이론	Skinner Mednick	창의성은 특별한 자극에 대한 반응의 결과이다.
인지로서의 창의성	Guilford Perkins Weisberg	창의성은 인지의 다른 측면으로서 같은 과정을 이용하는 것으로 설명된다. 이런 과정들은 컴퓨터에 의해 모델화될 수 있다(Boden, Shank).
체계이론	Simonton Feldman Sternberg & Lubart Gruber Gardner Csikszentmihalyi	창의성은 인지과정, 개인적 특성, 그리고 환경·영역·현장의 상호작용을 포함하는 요소들의 복잡한 상호작용을 수반한다.

1) 정신분석학적 이론

정신분석학적 이론은 인간의 행동, 발달 그리고 성격의 특성을 강한 무의식과정에 의해 구체화 되는 것으로 설명하고, 개인의 행동을 자극하는 보이지 않는 욕구를 밝히려고 시도한다. Freud는 인간의 행동이 무의식적 욕구와 외부로 나타나는 행위사이의 갈등을 조사하는 것에 의해 설명될 수 있다고 믿었다. 그는 인간 특성의 세 측면(id, ego, superego)을 가정하고, id로부터 끌어내어지는 충동의 승화된 행동과 창의성을 결합시켰다. 그에게 창의성은 생산적인 목적을 위하여 드러나지 않는 무의식적 충동을 이용하여 승화된 형태로 나타내는 것이다.

Kris는 프로이드의 창의성 이론에 약간의 수정안을 제시했다. 그에게 창의성은 두 개의

id의 욕망-성적 충동, 공격적인 본능-의 결과이다. 창의적인 공상은 전의식에서 일어난다. 이 '전의식'은 의식의 초보단계에서 나타나는 백일몽과 같은 말로 이해될 수 있다. 전의식에서의 의식으로의 창의적인 사고의 이동은 문제의 전의식적 부화의 결과로 갑작스런 'Eureka'로 경험되어진다.

Kubie는 창의적인 사고가 우리의 의식과 무의식 사이의 전의식 체계(Preconscious system)에서 일어난다고 주장했다. Jung은 창의적인 산물을 산출하는데 있어서 개인적 경험과 무의식적인 정신의 중요성을 믿었다. 특히 인류의 공동유산인 집단적인 무의식을 가정하고, 개인이 이 무의식을 받아들일 때 고도의 창의적인 활동을 할 수 있다고 주장했다. Rothenberg도 다른 정신분석학자들처럼 무의식적 정신과정에 관심을 두기는 하였지만, 그는 창의적인 과정이 창의적인 사람의 의식적인 조절 하에 있다고 보았다.

2) 행동/연합주의이론

연합주의 심리학자들은 인간의 활동을 일련의 자극과 반응의 결과로 본다. 이 관점의 유명한 옹호자인 Skinner는 개인의 행동은 강화의 과정에 의해 결정된다고 믿었다. 만약 행동이 만족스런 결과를 초래하면 이러한 행동은 계속해서 반복되어지고, 결과가 만족스럽지 못하면 유사한 행동은 일어나지 않을 것이다. 이 이론에 따르면 개개인의 경험의 필연적인 산물을 제외하고는 진실로 독창적인 행동이나 아이디어는 없다. 창의적인 사람은 강화를 통해서 만들어진다. 창의적인 행동이 강화될수록 더 창의적으로 된다.

다른 연합주의자 Mednick은 창의적인 아이디어는, 떨어져 있고 관련 없는 아이디어들을 결합하는 반응의 특별한 유형의 결과라고 제안

했다. 떨어져 있는 아이디어를 자주 결합시킬 수 있는 사람은 다른 사람들보다 창의적인 아이디어를 더 산출할 것이다. 다양한 연합의 수가 증가할수록 떨어져 있는 아이디어를 연결할 가능성도 커진다. 그는 특별한 자극에 대한 연합의 수를 측정하도록 고안된 검사를 이용하여 창의성을 측정하였다.

3) 인간주의와 발달적 이론

인간주의 이론가들은 창의성을 잘 적용된 정신적 발달의 절정으로 본다. Maslow는 인간 욕구의 계층에 근거하여 '자기실현 창의성'을 제시했다. 메슬로우에 따르면, 높은 수준의 '자기실현 창의성'은 유지하는 사람들은 모든 일을 창의적으로 하는 경향이 있다는 것이다. 창의성은 '모든 또는 대부분의 인간에게 태어날 때부터 주어지는 기본적인 특성·인간의 본성·잠재력이며, 사람들이 문화화 됨에 따라 사라지거나 망각되어 가는 것'으로 기술한다 (Maslow, 1968, Starko, 1995, p. 37).

Rogers는 창의성을 건강한 인간 성장의 산물이며 개인과 환경과의 상호작용을 통하여 새로운 산물을 산출하는 것으로 보았다. 로저스는 상호작용이 일어나게 하는 창의성과 연합된 특성으로, 경험의 개방성·평가의 내적위치·요소와 개념들을 다루는 능력을 들고 있다.

Gowan은 피아제와 에릭슨의 이론과 유사한 일련의 단계로 창의적인 발달을 가정하고, 피아제와 에릭슨의 인지적·정의적 단계를 통합했다. 특히 그는 형식적 조작기 후의 6번째 인지적 단계를 창의성으로 명시했다. 또한, 메슬로우나 로저스와 같이 창의적인 활동을 계속적인 발달의 특징으로 보았고, 정신적 건강을 계속적인 인지적 성장을 통하여 가능한 것으로 보고, 이를 통하여 창의성을 이끈다고 했다.

Vygotsky는 아동들의 상징적 놀이에서 시작

되는 창의적인 상상과 청소년 그리고 어른들의 창의적 사고와 활동을 구분했다. 청소년기 이전에 상상과 사고는 발달에서 분리되어 나타나지만 청소년기에 이르러 이들은 같이 나타난다. 청소년들은 추상적인 개념들을 조작할 수 있는 능력이 발달함에 따라 아동들보다 적극적인 창의력을 발달시키기 시작한다. 비고츠키는 창의성의 이러한 발달이 내적 언어, 형식적인 교육, 개념에 대한 사고에 의해 영향을 받는다고 믿었다. 그래서 그는, 창의적인 상상은 아동들의 상징적인 놀이에서 시작되고 의식적으로 조절하는 정신적 기능으로 발달하며, 내적 언어와 개념발달에 의해 영향을 받는 발달이론을 제시했다. 이 이론에 따르면 상상과 사고의 연계는 청소년기에 시작되고 어른이 되어야 성숙에 이르게 된다.

4) 인지로서의 창의성

Yamamoto는 지능의 역치 즉, 창의성과 지능 사이에는 거의 관계가 없다고 지적한 바 있지만, 대체로 창의성과 지능과의 관계는 '의존하는 것'으로 알려져 왔다. Demille은 지적능력과 창의성은 모든 수준에서 높게 연관되지는 않을 지라도 '공존'하는 경향이 있다고 보았다. 낮은 IQ는 낮은 창의성을 예견하지만 높은 IQ가 높은 창의성을 예측하지는 못한다고 결론지었다. Torrance는 IQ 120 정도에서 가장 창의적인 아이들을 발견했다고 언급했다. 가장 설득력 있게 받아 들여지는 견해는 IQ 120의 약간 아래에서 창의성과 지능과의 관계가 가장 정적인 상관관계를 유지하며, IQ 120 이상에서는 관계가 약화되는 것으로 보는 견해이다.

Guilford의 잘 알려진 3차원 지능구조모델(SOI)은 내용, 조작, 산출로 구성된다. 인간 지능에 의해 수행되는 1차원적 조작은 인지, 기억, 확산적 사고, 수렴적 사고, 평가로 분류된

다. 2차원은 작용이 적용되는 내용에서의 다양한 형태를 나타내는 것으로 시각적, 청각적, 상징적 그리고 의미론적, 행동적인 것을 포함한다. 산출물의 차원인 3차원은 단위, 분류, 관계, 체계, 변형 그리고 함축성을 포함한다. Guilford는 특히, 확산적 사고 요인으로 독창성, 유창성, 융통성 등을 들고, 확산적 사고를 창의적 사고의 특징으로 간주했다. 여기서 확산적 사고란, 미리 정해진 정답을 갖지 않고 가능한 다양한 해결책을 산출하는 독창적인 사고를 의미한다. 그는 창의성에 관계되는 요인으로 문제에 대한 민감성, 유창성, 독창성, 융통성, 정교성, 재정의 등을 제시하였다.

5) 체계 이론

이 이론은 개인과 외부세계 사이의 상호작용으로 창의성을 연구하며, 따라서 정신만으로는 창의적인 과정을 설명하기에 충분하지 않다고 본다. Simonton은 창의성은 사회적 상황으로부터 고립되어 이해될 수 없다고 주장했다. 체계이론에 따르면 창의성은 환경에 의해 영향을 받는다.

Feldman은 창의적인 과정에서 통찰과 무의식의 중요성을 옹호하며 발달이론에 기초하여 세 요소를 포함하는 창의성 모델을 제시했다. 첫째는 무의식적인 방법에서 현실적인 것을 바꾸려고 하는 정신의 자연스런 경향이다. 둘째는 현실적인 것에서 긍정적인 변화를 하려는 의식적인 욕구이다. 셋째는 새로운 창의적인 노력은 이전의 창의적인 노력의 결과들에 의해 고무된다는 것이다. 그는 다른 사람들의 창의적인 노력과 산물과의 상호작용의 중요성을 강조한다.

Lubart는 창의적인 성취에 기여하는 6개의 상호작용요소(지적 과정, 지식, 지적 양식, 개성, 동기, 환경적인 상황)를 제안했고, Gruber는 창의적인 과정을 조사하기 위해 다윈의 진화론에 근거한 사례연구방법을 이용하였다. 그루버

는 창의성을 긴 시간에 걸쳐 발달하는 것으로 보며, 창의적인 활동은 상호작용으로 인식되고, 역사적 상황·개인간의 관계·전문적인 협력 등에 의해 영향을 받는다고 말한다.

Csikszentmihalyi는 사람(persons), 영역(domains), 현장(fields)을 포함하는 창의성 패적도(The locus of creativity)를 제시했다(김재은, 1994). 이 삼자는 서로가 서로에게 영향을 주고 받는 관계에 있다. 어떤 사람에게 아이디어가 떠올랐다고 하면, 그것은 그가 속해 있는 문화의 체계 속에 있었던 것으로 시크젠트미할리는 이를 영역이라고 했다. 또 하나의 요소는 아이디어가 유용한지를 판단하는 현장요소이다. 즉, 언어·기호·개념·문화전통에 기초한 새로운 아이디어가 그가 속한 문화속에서 유용하려면 사회조직, 제도라는 현장요소에서 선별되어야 한다는 것이다. 시크젠트미할리는 이 시스템은 똑같은 창조과정의 세 개의 다른 계기를 나타내는 것이라고 했다(김재은, 1994).

Gardner는 시크젠트미할리의 모델에 근거하여 개인, 영역, 현장 사이의 상호작용의 중요성을 인식하는 창의성의 '상호작용적인 관점'을 제시했다. 가드너는 개개인들은 특히 영역의 특별한 방법에서 창의적이라고 했다. 그는 창의성이 일반적인 개인적 특징이 아니라 특별한 영역 내에서의 창의적인 기능이라고 보았다. 창의적으로 되는 개인의 영역은 지능·개성·사회적 지원, 영역/현장의 기회에 의해 영향을 받는다. 우수한 창의적인 사람들의 연구에서, 그는 다른 영역의 창의적인 사람들에 의해 증명된 지적인 힘의 다양한 차이를 발견했다.

Ⅲ. 수학적 창의성의 특성

창의성에 대한 연구들이 연구가들에 의해

다양하게 밝혀져 왔지만, 창의성에 대한 교육적인 측면의 결론은 다음의 진술과 대체로 일치한다. “창의성은 과정이다. 모든 사람들에게 창의성은 존재한다. 창의성은 개인적·사회적 과정이다. 창의성은 재능의 복합체이다. 창의성은 많은 분야에 적용된다. 창의성은 환경의 영향을 받는다. 창의성은 개발될 수 있다”(Lunaas, 1968; Balka, 1974, p. 24). 이런 맥락에서 이 장에서는 수학적 창의성의 특성과 이에 대한 선행 연구를 고찰하고자 한다.

수학적 창의성은 일반적인 창의성과 무관하지 않다(Hadamard, 1945). 수학에서 창의적 능력의 특성에 대하여 Poincaré(오병승 외 역, 1982)와 Hadamard(1990)는 다양한 단계를 포함하는 창의적 사고과정을 강조했다. Hadamard는 준비, 부화, 조명으로 이어지는 사고과정을 제안했다. 이는 Wallas의 개념과 유사한 것으로 부화기에서의 통찰이 창의적 문제해결과정의 초점임을 강조한다. Poincaré는 의식과 무의식의 관계를 고찰하고, 무의식적인 작업이 갑작스런 영감을 떠오르게 한다고 했다(오병승 외 역, 1982).

“이 때 나는 당시 살고 있던 캉(Caen)을 떠났는데 광산학교에서 준비한 지리학 답사에 참가하기 위해서였다. 여행에서의 이런 일 저런 일들로 나는 수학 일을 잊어버렸다. 쿠탕스(Coutances)에 도착해서 우리는 산책을 하러 마차에 올랐다. 마차의 승강대에 발을 딛는 순간 폭스함수를 정의하기 위해 사용했던 변환이 비유클리드 기하학의 변화와 동일하다는 생각이 떠올랐다. 내가 전에 생각했던 것과는 전혀 상관없이 말이다.”

그러나 위의 인용에서와 같은 갑작스런 영감이 단지 무의식적인 과정을 통하여 성취되는 결과만은 아니다. 이러한 영감은 우연에 의해 이루어질 수 있지만, 고도의 의식적인 선행과

정에 의존한다(Hadamard, 1945). Poincaré가 마차에 오를 때 떠오른 폭스함수에 대한 영감도 신중한 준비단계에서의 의식적인 노력이 전제되었고, 이런 과정후의 무의식적인 과정이 영감을 떠오르게 작용하였다고 볼 수 있다. Armbruster(1989)도 창의적인 사고과정은 의식적인 과정과 무의식적인 과정의 상호작용의 반복으로 가능하다고 지적하고, 부화와 발현은 일어나는 순간에는 의식이 개입되지 않지만 그 이전에는 많은 의식적인 노력이 전제되어야 한다고 했다(송상헌, 1998, p. 36).

창의력을 측정하는 일은 Guilford의 확산적 사고와 관련된 몇 개의 하부 테스트로 구성된 검사와 Torrance에 의한 MTCT(The Minnesota Tests of Creative Thinking)등이 있으나(Balka, 1974, pp. 30-31), 창의성에 대한 구성요인과 판별가능성에는 일치된 견해가 없다. 그럼에도 불구하고 수학에서 수학적 창의성을 판별하고 측정하고자 하는 시도들은 계속되어 왔다. Balka(1974)는 그의 박사학위 논문에서 학생들이 가진 수학적 특별한 특성과 창의적인 학생들을 판별하는 도구 개발의 필요성을 강조하고, 지필평가를 통해 수학적 창의성을 측정할 수 있는 구체적인 방안을 제시하였다. 또한 그는 유창성, 융통성, 독창성을 측정하기 위한 수학적 창의성 측정 문항을 개발하여 중학생을 대상으로 측정하였고, 이를 통해 개발한 측정도구의 타당성을 구축하였다.

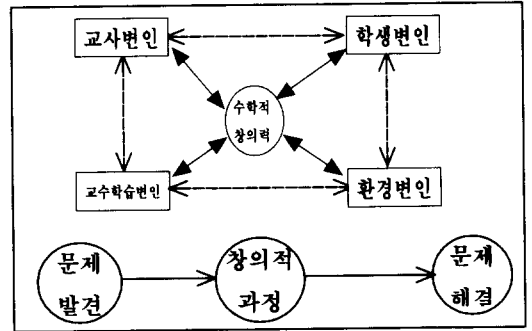
많은 연구들이 공통적으로 들고 있는 수학적 창의성을 나타내는 특징으로는 민감성, 유창성, 융통성, 독창성, 정교성 등을 들 수 있다(윤종건, 1996, 임선하, 1996, 서울시교육청, 1997). 민감성은 문제에 예민한 관심을 보이고, 문제에 대한 탐색의 범위를 넓히는 능력이다. 이것은 문제이해 단계에서 문제상황을 특정한 관점에서만 보지 않도록 하고, 고정된 사고와

지배적인 아이디어를 벗어나야 한다는 것을 의미한다. 또한 사고의 기능적 고착성(functional fixedness)을 탈피해야 한다. 유창성은 문제상황에서 의미 있는 여러 가지 반응이나 아이디어를 산출하는 능력으로 의미 있는 반응의 개수로 판별할 수 있다. 융통성은 서로 다른 범주 및 유형의 아이디어를 산출하는 능력으로 반응의 유형별 가지 수로 판별된다. 독창성은 다른 사람들과는 다른 아이디어를 산출하는 능력이다. 정교성은 산출한 결과를 보다 구체화하고 세밀하게 다듬어 내는 능력이라고 할 수 있다. 이 특징에는 해결된 문제에 대한 선택과 평가가 요구되며, 산출결과에 대한 수학적 용어, 기호 및 개념의 사용이 매끄럽게 전개되어야 한다.

수학교육 현장에서 창의적인 사고의 이해와 격려는 수학 교육자에게 중요하다. 학습자는 수학자들이 수학을 발견하는 것과 같이 그들에게 주어진 문제를 해결하도록 지도되고 격려되어야 한다. 결론적으로, 교수학적인 측면에서 수학적 창의력이란 '수학적인 문제상황에서 학습자가 기지의 사실이나 스스로 창안한 전략이나 방법을 이용하여 새롭고 가치있는 결과(문제해결)를 산출해내는 능력'이라고 정의할 수 있다. 따라서 수학교육의 목적도 학생들이 창의적인 문제해결과정을 통해 수학적인 문제를 해결하는 것에 두어야 할 것이다.

IV. 수학적 창의력에 영향을 주는 요인들

교수학습이 일어나는 교실에서 수학적 창의성 신장에 영향을 주는 요인들의 해석적 구조는 <그림 1>과 같다. 각각의 변인들은 서로 유기적으로 영향을 끼치게 되며(접선), 수학적 창의력 신장에 직접적으로 관련되어 있다(실선).



<그림 1> 수학적 창의력에 영향을 주는 요인들

1) 교사 변인

교사는 풍부한 전문적인 지식을 필요로 한다. 다양한 사고를 요구하지 않고 단지 명확하게 표현된 정답만을 요구하는 학습상황에서 전문적인 기술이란 교과 내용 자체에만 국한된다. 이러한 상황에서 교사는 지식의 전달자일 뿐 그 이상의 의미를 갖지 못한다. 그러나 창의적인 사고를 요구하는 학습에서 교사는 교사 자신이 스스로 창의적이어야 하며, 학생들의 창의력을 신장시키는 교육방법을 알고 있어야 한다. 학생들이 적극적으로 수업에 임하도록 유도하고, 개방적이고 허용적인 풍토를 조성해야 한다. 또한 창의적인 사고를 자극하는 발문을 하며, 과제도 습득한 지식의 반복보다는 새로운 현상에 적용시킬 수 있고 스스로 구성해 가는 제재를 제시해야 한다. 평가도 단편적인 지식의 기억이나 재생에서 벗어나 과정을 중시하고 수학적 창의력을 파악하기에 적합한 수행평가로 전환되어야 한다.

윤종건(1996)은 창의력 신장을 위한 교사활동 가운데 가장 중요한 것으로 발문기법을 들고 있는데, Blosser(1988)는 발문을 <그림 2>와 같이 분류하고, 창의적 사고력을 신장시키기 위해서는 확산적 사고 발문을 적절히 활용하여야 한다고 하였다(윤종건, 1996, p. 85).

<표 2> 발문의 종류

수준 I	수준 II
폐쇄적 발문	인지·기억적 발문 수렴적 사고 발문
개연적 발문	확산적 사고 발문 평가적 사고 발문

Polya(1957)는 네가지 사고 단계(문제이해-계획수립-계획실행-반성)에 따른 발문과 권고들을 제시하고 있다. 이 발문과 권고들은 아주 자연스럽게 학생들에게 제시되어야 하고, 학생들에게 제시한 것과 똑같은 발문을 자기 자신에게 제시해야 한다. 이렇게 함으로써 어떤 수학적 사실에 대한 지식보다 더욱 중요한 것을 얻게 될 것이다.

교사는 학생들이 실제적인 문제를 다룰 때 창의적인 사고력과 문제해결력을 사용하는 방법을 익히도록 도와야 한다. 이제 교사는 지식의 전달자가 아니라, 지식의 촉진자이고 학습의 안내자이어야 한다.

2) 학생 변인

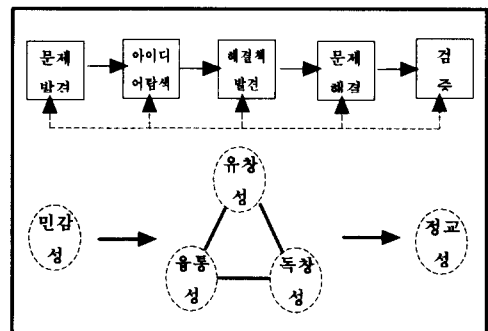
학생들의 수학적 창의성을 신장시키는 교육을 위해서는 먼저 학생이 수업 흐름의 중심에 있어야 하고, 학생의 자발적인 참여를 최대한 보장하여야 한다. 학생들은 수학적 개념이나 원리, 법칙을 스스로 탐구하고 창조하는 적극적인 태도를 가져야 하며, 학습에 대한 흥미와 자신감을 가져야 한다. 또한 수학에 대한 불안감과 부정적인 태도를 버려야 한다. 학생들은 그들이 가지고 있는 부정적인 태도와 성격으로 인해 창의력을 저해하고 있다. 윤종건(1996)은 창의력을 저해하는 요인으로 적극적인 태도의 부족, 타인 동조성, 권위애의 맹종, 노력의 부족 등을 들고 있다. 이러한 현상은 전통적인 교사의 설명식 수업에 대한 결과이다.

이에 따라 수학적 창의력을 신장시키기 위해서는 학생들 스스로 개념을 이해하고 아이디어를 탐색하고 문제를 해결해 가는 능력을 갖도록 해야 하며, 수학에 대한 긍정적인 태도를 갖도록 이끌어야 한다.

3) 교수학습 변인

수업목표는 학생들에게 지식을 만들어 가는 것이라는 느낌을 전달해 주어야 한다(Wall, 1975; 김선 역, 1996, p. 117). 즉, 교수학습 과정이 창의적으로 지식을 구성해 가는 과정으로 인식되어야 한다. Osborn(1963)은 창의적인 문제해결과정을 사실의 발견-아이디어 발견-해결안 발견으로 제시하였다. 사실의 발견과정은 문제를 정의하고 관련된 자료를 수집하고 분석하는 준비 역할을 수행한다. 아이디어 발견과정은 가설적인 아이디어를 가능한 많이 생산하고, 생산된 결과로부터 수렴과 결합의 수단을 거쳐 새로운 아이디어를 재구성하는 것을 포함한다. 아이디어를 탐색하는 동안에는 마음의 개방성이 중요하며, 이는 창의력 신장에 필수적인 요소이다. 해결안의 발견과정은 산출된 해결책을 검증하고 평가하는 과정을 거친다.

수학적 창의력을 신장시키는 문제해결 과정과 각 단계에서 강조되는 수학적 창의성의 특징을 제시하면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 수학적 문제해결과정과 수학적 창의성 특성 관계

· 문제 발견 : 문제를 발견한다는 것은 문제를 이해한다는 것을 의미한다. 학생들은 문제를 이해할 뿐만이 아니라 해결하려는 욕구를 가져야 한다(Polya, 1957). 문제는 학생들 수준에 적합하게 제시되어야 하며, 충분히 사고할 수 있는 내용을 다루어야 한다.

· 아이디어 탐색 : 학습자는 문제와 관련된 수학적 지식·개념·원리들을 도출하며, 문제 해결에 필요한 다양한 아이디어를 산출한다. 학생들은 특정한 관점에서 문제를 보지 않아야 하고 고정된 사고와 지배적인 아이디어를 버려야 한다. 이에 대한 대안으로 De Bono(1995)는 수평적 사고(lateral thinking)를 제안했다. 논리적 사고를 강조하는 수직적 사고(vertical thinking)와는 반대로, 수평적 사고는 기존의 인습적이고 관례적인 사고의 틀에서 벗어나 다른 시각으로 문제를 보게 하며 많은 아이디어와 해결책을 생성시킬 수 있다.

· 해결책 발견 : 아이디어의 탐색 결과로써 문제에 대한 통찰이 일어나는 단계이다. 이 과정은 의식적인 사고 과정과 무의식적인 과정을 통하여 일어날 수 있으며, 아이디어 탐색 과정과 동시에 일어날 수도 있다. 학생들이 만족할 만한 해결책을 찾기 위해서는 튼튼한 기초지식과 문제 해결력을 가져야 하며, 창의적으로 사고하도록 해야 한다.

· 문제 해결 : 떠오른 해결책으로 문제를 해결하는 과정이다. 이 단계에는 논리적이고 형식적으로, 발견한 해결책을 진술해야 한다. 학생들이 최종 목표에 도달할 때까지 인내를 가지고 실행하도록 지도해야 한다.

· 검증 : 산출된 결과를 평가하고 선택한다. 또한 산출결과를 보다 세밀하고 정교하게 다듬고, 수학적 용어, 기호 및 개념의 사용이 매끄럽게 이용되었는가를 확인한다. 만약 결과가 만족스럽지 못하였을 때는 다시 과정을 반

복한다.

4) 환경 변인

여기에서 환경은 교수학습이 일어나는 교실에 한정한다. 이는 이 글의 해석구조가 교실에 국한되기 때문이다. 교실환경은 심리적 환경과 물리적 환경을 포함한다. 교실환경은 학생들에게 수용적이고 개방적이고 허용적인 풍토를 제공하도록 구성되어야 한다. 학생 상호간에, 학생과 교사간에 신뢰가 전제되어야 하고, 부드럽고 온화한 분위기가 형성되어야 한다. 이러한 심리적 환경에 못지 않게 물리적 환경도 구비되어야 한다. 교과서, 칠판, 분필만으로 지식을 전달하던 환경 내에서 학생들의 수학적 창의성을 개발하기란 불가능하다. 학생들이 사고하고 판단하고 스스로 지식을 구성해 갈 수 있도록 자극을 줄 수 있는 환경을 구성해야 한다. 학습내용에 적절한 좌석의 의도적 배치, 개인용 컴퓨터 및 다양한 소프트웨어의 제공, OHP와 실물 화상기 등 다양한 학습 기자의 구비, 충분하고 다양한 학습자료의 비치, 추상적인 개념을 구체화 할 수 있는 모형 등이 풍부하게 구비된 수학교실의 형성이 요청된다.

V. 결 론

다가올 21세기를 이끌어 갈 학생들을 지도하는 학교 현장에서 다량의 지식을 주입하는 것보다는 창의적으로 사고하고 문제를 해결하는 교육이 필요함은 주지의 사실이다. 더욱이 대학입시제도의 변화와 수요자 중심 교육으로의 변화 등에 비추어 교사위주의 설명식·주입식 교육은 더 이상 생존의 가치를 갖지 못하게 되었다. 다양한 미래사회에 적응해 가는 창의

적인 인간육성에 근간이 되는 창의적인 사고력을 기르는 교육의 중요성에도 불구하고, 창의성이라는 개념 자체의 모호성, 혼란 효과의 비일관성, 측정 방법의 곤란 등으로 인하여 창의적인 능력을 기르는 교육적 대안의 모색이 경시되어 왔다.

이 글에서는 수학적 창의력을 신장시키는 교육적 대안을 탐색하기 위한 첫 시도로 일반적인 창의성에 대한 이론과 수학적 창의성에 대한 특성을 고찰하였다. 또한 수학적 창의력에 영향을 주는 요인을 교사변인, 학생변인, 교수학습변인, 환경변인으로 나누어 각 요인들을 분석하였다.

II장에서는 창의성에 대한 다양한 정의와 주요 이론, 그리고 Wallas 이론을 중심으로 창의적인 과정에 초점을 둔 이론들을 살펴보았다. 창의적인 사고과정이론들은 창의적인 사고과정을 몇 개의 단계로 나누어 각각의 단계를 분석하고 해석한다. Helmholtz와 Poincaré의 영향을 받은 윌러스는 창의적인 사고과정 4단계를 제시했다. 그는 무의식적인 정신활동을 창의적인 사고의 중요한 요소로 보았으며, 무의식적인 활동 중에 갑작스런 해결책이 떠오르는 '부화-발현' 단계를 형식화하였다. 창의성에 대한 주요 이론들은 Starko의 분류에 근거하여, 정신분석학적 이론, 인간주의와 발달적 이론, 행동/연합주의 이론, 인지로서의 창의성, 체계이론으로 나누어 개략적으로 살펴보았다.

III장에서는 수학적 창의성의 특성에 대하여 살펴보았다. 많은 연구들이 공통적으로 들고 있는 수학적 창의성의 특성으로는 민감성, 유창성, 융통성, 독창성, 정교성 등을 들 수 있다. 수학적 창의력은 신장될 수 있다. 학습자는 창의적으로 사고하고 문제를 해결하도록 지도되어야 한다. 따라서 수학적 창의력이란 '수학적인 문제상황에서 학습자가 기지의 사실이나

스스로 창안한 전략이나 방법을 이용하여 새롭고 가치있는 결과(문제해결)를 산출해내는 능력'이라고 정의했다.

IV장에서는 수학적 창의력에 영향을 주는 요인들(학생변인, 교사변인, 교수학습변인, 환경변인)을 살펴보았다. 각 요인들은 서로 유기적으로 영향을 끼치며, 수학적 창의력에 직접적으로 관련되어 있다. 학생들은 수업 흐름의 중심에 있어야 하고, 교사는 지식의 촉진자이며 학습의 안내자이어야 한다. 또한 교수학습 과정은 창의적으로 지식을 구성해 가는 과정으로 인식되어야 한다. 교실환경은 수용적이고 허용적인 분위기를 제공하도록 구성되어야 하며, 이에 못지 않게 물리적 환경도 구비되어야 한다.

수학적 창의력은 개발될 수 있다. 수학교육자들은 이 전제에서 출발해야 한다. 학생들의 수학적 창의력을 신장시키기 위해서는 지적·정의적·신체적 요인에 대한 분석과 연구가 필요하다. 이것은 수학 교육자에게 주어진 의무이며 사명이다. 결국 수학 교육은 학생들의 수학적 창의력을 개발하고 신장시키는 데에 초점을 두어야 한다.

참고문헌

- 김재은(1994). 한국 교육학의 맥. 나남 출판.
- 송상헌(1998). 수학 영재성 측정과 판별에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
- 윤종건(1996). 창의력-이론과 실제-. 정민사.
- 임선하(1996). 창의성에의 초대. 교보문고.
- Starko. A. J.(1995). *Creativity in the classroom*. Longman publishers USA.
- Osborn, A., & Osborn, F.(1963). 신세호 (역) (1984). 창의력 개발을 위한 교육. 교육과

- 학사.
- Cropley, A. J. (1995). 김선(역) 교육과 창의성. 집문당.
- Shaffer, D. R. (1996). *Developmental psychology*. brooks/Cole Publishing Company.
- Balka, D. S. (1934). *The development of an instrument to measure creative ability in mathematics*. Doctoral Dissertation, Missouri University.
- Sisk, D. (1987). *Creative teaching of the gifted*. McGraw-hill book company.
- de Bono, E. (1986). 전영길 외1 (역)(1995). 수평적 사고와 창의성. 서원.
- Davis, G. A. (1983). *Creativity is forever*. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Davis, G. A., & Rimm, S. B. (1989). *Education of the gifted and talented*. Prentice Hall.
- Polya, G. (1957). 우정호(역)(1986). 어떻게 풀 것인가. 천재교육.
- Gardner, H. (1973). *Creating minds*. Basic Books.
- Dewey, J. (1933). 임한영(역)(1986). 사고하는 방법. 범문사.
- Hadamard, J. S. (1949). *An essay on the psychology of invention in the mathematical field*. Princeton: Princeton University Press,
- Paker, J. P. (1989). *Instructional strategies for teaching the gifted*. Allyn and Bacon Inc.
- Poincaré, H. (1982). 과학의 방법(오병승 외 1 역). 단대 출판부.
- Gregory, R., & Marstrand, P. K. (1987). *Creative intelligence*. Frances printer.
- Wallas, G. (1926). *The Art of Thought*. Harcourt Brace.

A review of Mathematical creativity

Lee, Dae-hyon · Park, Bae-hun

I wish to search for educational alternatives which improve students' mathematical creativity. As the first attempt for this, theories of general creativity and characters of mathematical creativity are discussed. And four factors(teacher variables, student variables, teaching and learning variables, environment variables) affecting mathematical creativity are analyzed.

It is a educational well-known fact that

students should think creatively and solve the problems for themselves. We postulate the fact that students' mathematical creativity can be developed. I think it is a mission and a duty for mathematics educators to develop the students' mathematical creativity fully. Mathematics educators should search for the methods which encourage the students to have mathematical creativity and should develop them.