

# 과학창의성 평가 공식의 개발과 적용

임채성

(서울교육대학교)

## Development of an Assessment Formula for Scientific Creativity and Its Application

Lim, Chae-Seong

(Seoul National University of Education)

### ABSTRACT

Researchers have employed a diversity of definitions and measurement methods for creativity. As a result, creativity research is underrepresented in the literature and the findings of different studies often prove difficult to draw into a coherent body of understanding. With regard to assessment, there are some important problems both in creativity research and practice, such as originality bias and Big-C creativity bias in teachers' perceptions about creativity and creative thinking, and additive rather than multiplicative scoring systems of creativity assessment. Drawing upon most widely accepted conceptions of the creativity construct, I defined 'student's scientific creativity' as the ability to make a product both original and useful to the student in terms of little-c creativity, and 'scientist's scientific creativity' as the ability to come up with a product both original and useful to the science community in terms of Big-C creativity. In this study, an 'Assessment Formula for Scientific Creativity' was developed, which is consisted of the multiplication of originality and usefulness scores rather than the sum of the two scores, and then, with scores calculated from the assessment formula, the scientific explanations generated by children were categorized into four types: routine, useful, original, and creative types. The assessment formula was revealed to be both valid and reliable. The implications of the assessment formula for scientific creativity are examined. The new assessment formula may contribute to the comprehensive understanding of scientific creativity to guide future research and the appropriate interpretation of previous studies.

**Key words** : assessment formula, scientific creativity, types of scientific explanation, originality, usefulness

### I. 서 론

학생의 미래 생활뿐만 아니라 과학 교수학습에서도 언제든 예상치 못한 상황에 직면할 수 있다는 점을 예상할 수 있으므로(predictable unpredictable situation), 학생을 대상으로 하는 창의성 교수(teaching creativity)는 물론 교사 입장에서의 창의적 교수(creative teaching) 능력도 똑같이 중요하다. 일반적으로 예술, 과학, 테크놀로지, 정치적 노력에서 창의성에 많은 가치를 둔다(Batey, 2012). 창의적인 사람과 이들이 만들

어낸 산물은 창의성이 인류의 궁극적인 자원이라고 주장될 정도로 역사를 통해 중시되어 왔다(Nettle, 2001). 그러나, 이러한 중요성에도 불구하고 창의성은 지능이나 성격 등 유사한 구인에 비해 상대적으로 덜 빈번하게 연구된다(Batey & Furnham, 2006; Guilford, 1950; Sternberg & Lubart, 1999). 연구자들은 오랫동안 창의성에 대한 과학적 분석에 관심을 기울여 왔고, 심리분석적, 심리측정적, 인지적, 사회심리적, 최근에는 신경생물학적 접근 등 다양한 연구 접근법들을 통해 연구해왔다(Kaufman *et al.*,

2008; Mumford, 2003; Runco, 2004).

창의성 연구를 저해하는 일차적 문제는 명확하고 폭넓게 수용되는 창의성에 대한 정의가 없어, 결국 창의성이라는 구인을 측정하려는 노력을 방해해 왔다는 데 있다(Batey & Furnham, 2006). 어떤 연구자는 창의성을 전문가의 획기적이고 탁월한 업적으로 간주하지만, 어떤 연구자는 아이의 예술품에서도 창의성을 찾는다(Kaufman & Beghetto, 2009).

오늘날, 창의력 함양은 모든 수준의 교육과 모든 교과에서 공통적으로 중시되는 교육 목적이다(Fleming, 2008; Newton, 2010; Walker & Gleaves, 2008). 우리나라의 과학교육에서도 ‘자연 현상과 사물에 대하여 흥미와 호기심을 가지고 탐구하여 과학의 기본 개념을 이해하고, 과학적 사고력과 창의적 문제 해결력을 길러 일상생활의 문제를 해결할 줄 아는 과학적 소양을 기른다’(Ministry of Education and Science Technology, 2011)는 과학교육과정 목표에서도 알 수 있듯이 창의성이나 창의적 문제해결 능력을 강조하고 있다. 이 목표를 효과적으로 달성하기 위해서는, 효과적인 교수학습은 물론, 적절한 평가가 이루어져야 한다. 최근에 학교 과학에서 학생의 창의성을 향상시키기 위한 다양한 교수학습 자료와 방법이 많이 개발·시도되고 있으나(Cropley, 2003; Jung et al., 2002; Treffinger et al., 1993), 창의적 과학 활동을 효과적으로 평가하는 방법에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다(Barbot et al., 2011; Batey, 2012; Hu & Adey, 2002; Newton, 2010). 과학 수업에서 이루어지는 창의 활동에 대한 평가를 통해 학생들의 창의성 상태를 파악하고, 창의성을 향상시키기 위한 과학 수업을 계획하며, 지원을 최적화하여 과학 학습 내용을 학생에게 유의미하게 해주는 데 필요한 유용한 정보를 얻을 수 있다(Hébert et al., 2002; Torrance, 1966, 1974). 그렇다면, 과학 수업에서의 학생의 창의성을 평가할 수 있는가? 평가할 수 있다면, 무엇을 어떻게 평가할 것인가? 창의성의 다면성과 다차원성을 고려할 때(Barbot et al., 2011; Batey, 2012; Finke et al., 1992; Kaufman, & Beghetto, 2009), 이 질문들에 답하기는 쉽지 않다. 그러나, 과학에서 창의성이 갖는 중요성을 생각하면, 이 질문들에 대한 답을 찾아야 한다.

이 논문은 과학창의성(scientific creativity) 평가 방법과 그 적용을 다룬다. 현재까지 100가지가 넘는 창의성 검사가 이미 문헌상에 보고되어 있는데

(Treffinger et al., 2002), 왜 이처럼 또다른 창의성 평가 방법이 필요한가라는 질문을 제기할 수 있을 것이다. 이 질문에 대한 답은 과학창의성에 대한 과학적 요구에 있다. 우선, 과학하기(doing science)는 기존 지식을 마스터하거나 일단의 절차를 따르는 것보다 훨씬 더 많은 것을 요한다. 정의상, 과학적 연구에는 기존 지식과 기법들을 초월하여 새로운 이해를 창출하는 과정이 필요하다는 의미에서 창의성이 요구된다(Hu & Adey, 2002). 학생이 과학 문제를 해결하는 데에는 자신이 가지고 있는 정의적·행동적·인지적 레퍼토리를 탐색하고, 해결책에 이르는 다양한 경로를 안출하며, 지식을 새로운 방식으로 조합하거나 새로운 해결 기법들을 창출하는 과정이 자주 요구된다. 그러므로, 장차 과학자가 되거나 사회에서 과학자의 역할을 이해할 필요가 있는 학생을 교육시키는 학교 과학에서 과학창의성 함양을 중요하게 인식하고 실천해야 한다. 과학자들의 과학창의성에 관한 연구는 몇 가지 있지만, 학생들의 과학창의성, 특히 평가에 관한 연구는 많지 않은 실정이다(Barbot et al., 2011; Batey, 2012; Hu & Adey, 2002; Newton, 2010). 과학창의성은 학교 과학교육의 중요한 한 요소이므로, 형성평가나 총괄평가의 목적으로 사용할 수 있는 구체적이고 실용적인 과학창의성 평가 방법이 필요하다.

어느 학문 분야든 과학적 연구의 진보는 필요한 측정도구의 가용도에 의존한다. 일반 창의성 영역에서는 가용한 창의성 측정 도구가 많기 때문에 연구도 매우 많이 이루어졌다(Hu & Adey, 2002). 그러나, 일반 창의성 검사들은 과학창의성을 평가하기 위한 것이 아니다. 영역특이적 지식과 기능이 창의성의 한 가지 주요소라는 데에는 일반적으로 의견일치를 보인다(Alexander, 1992; Amabile, 1996; Barron, 1988). 이 문제와 관련하여 Findlay and Lumsden (1988), Mumford et al.(1991)은 식견있음(being knowledgeable)을 개념적으로 잘 조직화되어 있는 지식 베이스를 가지고 있고, 주어진 문제해결 상황이나 창의적 사고 상황의 요구와 관련하여 유창하고 효율적으로 인출하는 것으로 정의하였다. Barron and Harrington(1981)이 결론 내린 바와 같이, 창의적 생산성의 근거에는 발산적 사고의 영역특이적 측면들이 더 많이 차지하고 있다. Sternberg(1996)의 분석에 의하면 영역간 창의성의 상관계수는 0.37에 지나지 않는다. 그러므로, 영역특이적 창의성의 일

중인 학생들의 과학창의성은 다른 내용 영역이나 연령 집단들을 대상으로 설계된 검사들로는 적절히 측정될 수 없다.

과학에서 창의적 활동에 대한 평가는 학생들의 활동 지원 방안을 계획하고 최적화하는 데 유용한 정보를 제공하고, 학습을 개인화하는 데 도움을 줄 수 있다. 따라서, 이 연구에서는 창의성에 대한 공통적 정의를 토대로 학교 과학 교수학습 상황에서 창의성을 효율적으로 평가할 수 있는 공식을 개발한 다음, 이를 생명 현상에 대한 과학영재교육대상자들의 과학적 설명들에 적용함으로써 학교 현장에서의 활용가능성을 탐색하였다.

## II. 연구 방법 및 절차

이 연구는 문헌 분석과 과학창의성 평가 공식의 개발 및 적용으로 이루어졌다. 이 연구의 주요 내용과 기본적인 진행 절차는 Fig. 1과 같다.

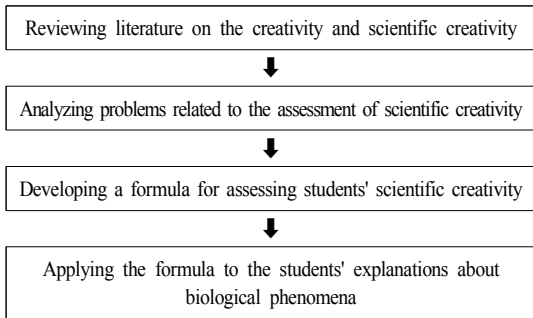


Fig. 1. Contents and process of the research

이 연구에서 목표로 하는 학생의 과학창의성 평가 공식의 개발과 적용을 위한 기본 방향, 내용, 방법은 다음과 같다.

1. 과학교육 현장에서 실용성이 있으면서 창의성의 핵심 요소를 충족시키는 평가 방식을 개발하기 위하여, 문헌 고찰을 통해 교사나 학생이 과학창의성 평가에 대해 가지고 있는 인식과 문제점들을 분석한다.

창의성 연구자들이 동의하는 몇 가지 중 하나는 창의성 평가가 어렵다는 점이다(Silvia *et al.*, 2012). 평가는 지난 수십 년간 창의성 연구자들에게 어려운 문제였다. 창의성 연구가 비전형적, 새로운, 혁신적, 비통상적인 산물, 아이디어, 사람을 관찰하고 측정해야 하는 것이 한 이유일 수 있다. 일부 교사들은 창의적 산물이 본질적으로 예측불가능한 것이기 때문에 등급 기준들을 가지고 평가할 수 없다고 믿는다(Newton & Newton, 2009). 이 문제를 해결할 수 있는 방안으로 Amabile(1996)은 전문가들이 창의적 산물이 자신에게 의미하는 바에 따라 직관적으로 평정하여 이견 조정 절차를 거쳐 결정하는 합의평가(consensual assessment) 방법을 제시하였고, Cropley(2001)는 의식적 추론 없이 직관에 의한 평가를 제안하였다. 또한, 창의성 평가는 일반적으로 창의적 산물, 인지, 성격 특성, 행동과 성취 등 몇 가지로 범주화된다(Kaufman *et al.*, 2008). 그런데, 각 범주별로 여러 하위 요소들이 있고, 과학교육 현장에서 이들을 모두 반영하여 평가하려면 너무 복잡하여 실용성이 적고, 오히려 혼란을 야기할 수 있다.

과학창의성 평가에서 교사와 관련된 여러 가지 문제점들이 있다. 우선, 많은 교사가 견고한 과학 배경을 가지고 있지 않고, 과학창의성에 대한 그들의 개인개념도 협소하며, 심지어 부적절하기도 하다(Newton & Newton, 2009). 예를 들면, 교사는 인과적인 과학적 설명을 항상 개인적인 것으로 보지는 않고, 지시에 따라 하는 재생적 구성 활동도 창의적 활동으로 인식하는 경우가 있다(Newton & Newton, 2010). 또 다른 장애 요인은 현실성(practicality)이다. 합의 평가에는 다수의 평정자가 필요하다. Cropley(2001)가 제시한 직관적 평가 방법은 평가자의 주관성이 많이 개입되는 문제가 있다.

평가 접근법의 다양성은 필요하기도 하고, 권장하기도 해야 하지만, 그간 창의성에 대해 의견이 일치되는 정의의 부재로 인해 다양한 측정 접근법이 야기되었고, 결국 학교 현장에서의 창의 활동과 그 평가가 제대로 이루어지지 못하였다(Batey, 2012). 본 연구에서는 창의성 연구자들 사이에 창의성을 새롭고 유용한 것을 만들어내는 능력으로 정의하는 데 의견일치를 보고 있다(Mumford, 2003; Runco, 2004)는 점을 토대로, 이 두 가지 요소와 관련된 교사의 인식 문제를 적절히 해결하여 과학창의성을 더 객관적이고 효율적으로 평가할 수 있는 방안을 모색하였다.

평가 접근법의 다양성은 필요하기도 하고, 권장하기도 해야 하지만, 그간 창의성에 대해 의견이 일치되는 정의의 부재로 인해 다양한 측정 접근법이 야기되었고, 결국 학교 현장에서의 창의 활동과 그 평가가 제대로 이루어지지 못하였다(Batey, 2012). 본 연구에서는 창의성 연구자들 사이에 창의성을 새롭고 유용한 것을 만들어내는 능력으로 정의하는 데 의견일치를 보고 있다(Mumford, 2003; Runco, 2004)는 점을 토대로, 이 두 가지 요소와 관련된 교사의 인식 문제를 적절히 해결하여 과학창의성을 더 객관적이고 효율적으로 평가할 수 있는 방안을 모색하였다.

2. 기존의 창의성 및 과학창의성 측정·평가 방

식의 문제점을 문헌 고찰을 통해 분석한다.

창의성 측정에는 1966년에 처음 개발된 이후, 네 번에 걸쳐 개정된 Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT; Torrance, 1998)이 가장 많이 사용되고(Davis, 1997), 다른 창의성 검사에서 가장 많이 준거로 삼는다(Lissitz & Willhoft, 1985). 이 검사는 독창성, 융통성, 유창성이라는 하위 영역으로 구성되고, 각 하위 영역의 점수를 합산하여 총점을 계산한다. 유창성 점수는 응답의 질에 관계없이 단순히 응답의 수를 세어 부여한다. 각 과제에 대한 융통성 점수는 답에서 사용된 접근법이나 영역의 수를 세어 부여한다. 독창성 점수는 모든 응답 빈도에서 5% 미만은 2점, 5~10%는 1점, 10%보다 더 많은 경우는 0점을 부여한다. 다른 창의성 측정도구들의 채점 방식도 이와 크게 다르지 않다(Kim, 2006). 이러한 평가 방식은 창의성을 구성하는 여러 요소 중 어느 한두 가지만 충족시켜도 창의적으로 평가될 수 있다는 문제점이 있다.

3. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 과학창의성의 핵심 요소를 객관적이고 타당하게 측정할 수 있는 평가 공식을 개발한다.


현재 보편적으로 사용되고 있는 창의성 측정·평가 방식이 갖는 한 가지 심각한 문제는 각 응답 항목에 대한 평가자의 판단 기준과 관련된다. 즉, 각각의 응답을 다른 방식으로 해석하고, 척도 기준을 주관적으로 해석할 수 있는 문제가 있다(Biernat, 2003). 그러므로, 본 연구에서는 과학창의성을 정의하는 핵심 요소들을 충실히 반영하면서 더 객관적으로 평가할 수 있는 방식을 제안한다.

4. 개발한 평가 공식을 실제 과학 내용에 적용하여 그 활용가능성을 확인한다.

과학은 자연 세계를 기술하고 정리하며 설명하는 것을 목적으로 한다(Kim et al., 1999). 구성주의의 관점에서 볼 때, 자연 현상에 대한 설명들을 생성해 내고, 그것들을 테스트하는 것은 창의적 과정들을 수반한다(Newton, 2000). 과학 교육과정상의 생명 영역은 과학의 두 본성 중 경험적 속성(empirical attribute)을 반영하는 사실·현상의 기술과 분석적 속성(analytical attribute)을 반영하는 자연 세계에 대한 타당한 설명의 생성을 다룬다(Jardine, 2000; Rigden, 1983). Klahr and Dunbar(1988)는 설명 구성

은 가설 공간(hypothesis space)에서 작용하고, 테스트 구성은 실험 공간(experiment space)에서 작용한다고 기술한다. 이들이 예로 든 것처럼, 초등 과학 수업에서 학생들에게 나무막대자를 제공하고 바닥에 떨어뜨려 튀어 오르게 할 수 있다. 문제는 ‘나무막대자가 왜 튀어 올라오는가?’이다. 가설 공간에서 생각해 보면, 이 학생들은 그들에게 다소 새로운 구체적인 다양한 설명들을 구성하고, 그 과정에서 심리적 창의성을 보여준다. 실험 공간에서 학생이 자기 설명들을 테스트할 실제 조사 방법을 고안하려면, 아이디어들을 모아 가능한 세계를 생성해내는 상상적 사고가 수반된다. 그들의 아이디어가 그들의 세계에서 새롭다면, 이것도 심리적 혹은 리틀-c 창의 활동의 한 예이다. 어떤 과학 교육과정은 적용 공간(application space)이라고 할 수 있는 또 다른 유형의 사고를 포함하기도 한다(Rose, 2009). 이것은 과학 지식과 이해 내용이 실제적 문제 해결에 활용되는 영역으로서, 학생에게 나무 막대의 이러한 탄력성에 대해 그들이 이해하고 있는 내용을 적용하여 문 닫는 장치를 고안하게 하는 활동이 해당할 수 있다. 한편, Mayr(1997)가 제시하는 생명 현상에 대한 생명과학자의 세 가지 설명 유형 중, 사실적·현상적 설명(factual and phenomenological explanation; what)은 과학의 경험적 활동, 근접인적 설명(proximal explanation; how)은 경험적 활동과 분석적 활동의 혼합, 궁극인적 설명(ultimate explanation, why)은 분석적 활동에 해당한다.

사실적·현상적 설명과 근접인적 설명은 수렴적 속성이 강하고, 궁극인적 설명은 발산적 속성이 강하다고 판단하여, 본 연구에서는 가설 공간에서 구성된 학생들의 과학적 설명들, 즉 궁극인적 설명들의 창의성을 본 연구에서 개발한 공식에 따라 평가하여 이 평가 공식의 활용가능성을 확인한다. 이를 위해 S교육대학교 과학영재교육원 프로그램을 이수하는 초등학교 학생(4-6학년) 20명을 대상으로 5가지 생명현상에 대한 설명을 제시하게 하고, 응답이 가장 다양하게 나온 항목을 분석 대상으로 하였다(Fig. 2). 5개 항목 중 응답이 가장 다양하게 나온 것을 선택한 이유는 본 연구에서 개발한 평가 공식의 적용가능성을 알아보기 위해서이다. S교육대학교 교육대학원에 재학하는 초등학교 교사들에게 초등과학평가론 수강과목 활동의 일부로서, 앞에서 초등 과학 영재 교육 대상 학생들이 제시한 설명들



오른쪽 곤충(나비)을 관찰하여 알 수 있는 사실들을 모두 적고, 각각의 특징들을 가지고 있는 이유들을 매우 구체적으로 적으시오

그러한 특징을 가지고 있는 이유(...때문에 ...일 것이다, ...을 위해 ...할 것이다.)

---



---



---



---

☞ 칸이 모자라면 뒷면에 추가하여 적으시오.

Fig. 2. Task that requires the students to explain a biological phenomenon

을 분류하여 빈도를 구하고, 학생의 수준을 고려하여 각 설명에 대해 과학적 타당성이나 적절성에 따라 0~10점의 범위에서 평정하게 하였다. 구분되는 설명들의 빈도와 유용성 점수를 본 연구에서 개발한 공식에 대입하여 각 학생별로 과학창의성 점수를 산출하였다. 한 학생이 여러 설명을 제시한 경우, 창의성 점수가 가장 높은 것을 선택하였다. 독창성과 유용성 점수별로 상하로 나누어 4개 범주로 나누어 분석하였다.

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 창의성 평가와 관련된 문제점들

창의성의 정의와 관련하여 교사들은 독창성 편향의 문제를 가지고 있다. 창의성에 대한 정의는 그 본질을 탐색하는 연구자의 수만큼이나 다양하고 문헌상의 정의만 해도 200가지 이상이며(DasGupta, 1994; Taylor, 1988; Weisberg, 1992), 창의성을 보여준다고 간주되는 특징들은 300가지 이상이고(Treffinger, 2009), 창의성 평가 기법도 100여 가지로 매우 다양하다(Treffinger *et al.*, 2002). 그러나, 대부분의 정의는 행동, 물리적 대상, 문제해결 등 그 형태에 관계없이 공통적으로 독창성(참신성)과 유용성(적절성)을 포함한다(Sternberg, 1998). 그러므로, 창의성을 새로운 아이디어를 만들어내는 생성요소(generative component)와 그 유용성을 판단하는 평가요소(evaluative component)라는 두 가지 요소를

수반하는 과정을 통해 문제 상황에 대해 새롭게 적절한 해결책을 창출하는 능력, 즉 독창적이고 유용한 산물을 만들어내는 성향이나 능력으로 정의하는 데 의견일치를 보인다(Lubart, 1994; Mayer, 1999; Mumford, 2003; Sternberg, 1998).

이러한 정의는 생물학적 측면에서도 중요성이 있다. 생물은 일종의 문제 상황이라고 할 수 있는 변화하는 환경에 변이와 선택 과정을 통해 새롭게 적응하여 진화하는 방식으로 살고 있는데(Darwin, 1859), 창의성을 정의하는 독창성은 변이 즉 다양한 형질의 생성요소를 의미하고, 유용성은 그 형질들의 적절성을 선택하는 평가요소를 의미한다. 즉, 변화된 환경에 적합한 새로운 형질을 가진 개체가 살아남아 자손을 남기는 원리·과정은 문제 상황에서 독창적이고 유용한 것을 만들어 문제를 해결하는 원리·과정과 본질적으로 똑같다. 이런 의미에서 인간을 비롯한 모든 생물의 생존·번식 과정도 일종의 창의 과정이라고 할 수 있다(Simonton, 1999a, 1999b).

Lim(2012)은 과학의 정의적·행동적·인지적 요소와 생물, 과학, 과학자의 과학적 활동, 인간의 뇌 기능에서 나타나는 진화적 과정을 반영하여 뇌 기반 진화적 접근법에 따른 창의적 과학 문제해결 지도 모형을 제안하면서 평가의 중요성은 강조하였으나, 그 연구의 성격상 각 요소와 관련된 창의성을 구체적으로 평가하는 방안은 제시하지 않았다. 어떤 것을 창의적이라고 할 수 있으려면 독창성과

유용성이라는 두 가지 근본적 기준을 충족시켜야 한다(Barron 1969). 즉, 아이디어, 행동, 산물이 참신성을 가지고 있어야 하는 동시에, 행위나 그 결과가 유의미하고 중요하거나 가치가 있어야 한다. 그러므로, 본 연구에서는 과학창의성을 과학적으로 새롭고 유용한 것을 만들어 내는 능력이라고 정의하고, 리틀-c 창의성과 빅-C 창의성 차원에서 학생 과학창의성(student's scientific creativity)을 학생 수준에서 과학적으로 새롭고 유용한 것을 만들어내는 능력으로, 과학자 과학창의성(scientist's scientific creativity)을 과학계에서 새롭고 유용한 것을 만들어내는 능력으로 정의한다. 이렇게 볼 때, 학교 교육 상황에서는 일반적으로 빅-C 창의성보다는 리틀-c 창의성에 초점을 맞추는 것이 바람직하다(Spendlove, 2005).

독창성은 가장 널리 인식되는 창의성 속성이기 때문에(Runco, 2004), 교육자들은 흔히 독창성을 창의성과 동등시한다(Beghetto, 2010). 그러나, 창의성 연구자들은 일반적으로 독창성이 창의성의 필요조건이기는 하지만, 충분조건은 아니라는 데 동의한다. 예를 들면, Plucker *et al.*(2004)은 창의성의 가장 공통적인 속성들로서 독창성, 고유성, 참신성과 사회적으로 결정되는 적합성, 적절성, 유용성의 몇 가지 조합을 포함함을 밝혔다. 독창성은 사람들이 창의성에 대해 가장 먼저 떠올리고 가장 널리 수용하여 창의성을 평가하는 기준인데, 어떤 아이디어나 산물이 독창적일 수는 있지만 문제 상황에 비추어 볼 때 부적절할 수 있으므로, 창의성을 평가할 때 반드시 유용성 요소를 포함시켜야 한다.

창의성이 독창성과 유용성의 조합을 수반한다는 인식은 제약조건(constraint)들이 어떻게 해서 창의성을 억제하는 것이 아니라, 창의성을 발전시키는 역할을 하는지 이해하는 데 도움을 줄 수 있다(Stokes, 2006). 독창성에 어느 정도의 제약조건들이 부과되지 않으면, 괴상한 사고나 정신분열증적 사고와 창의적 사고를 구분할 수 없다(Feist, 1998). 일부 창의성 연구자들(Cattell & Butcher, 1968; Heinelt, 1974)이 제어되지 않은 독창성(unchecked originality)은 창의성에 오히려 위협할 수 있다고 주장하는 것은 바로 이러한 이유 때문이다.

제약조건은 독창적인 어떤 아이디어나 산물이 적절한지의 여부와 어떤 방식으로 적절하기 때문에 창의적인가를 판단하는 데 필요한 경계들을 제

공하기도 한다(Beghetto, 2010). 교사가 창의성에서 제약조건들의 중요하면서도 필요한 역할을 인식하지 않으면, 창의성을 파괴적 행동, 과제 이탈 행동, 교육과정 혼란 같은 부정적 일탈형(negative forms of deviance)과 연관시키고, 자기 교실에서 창의성은 적절하지 않다고 느끼기 쉽다(Plucker *et al.*, 2004). 그러므로, 교사는 과학창의성을 다룰 때 위와 같은 독창성 편향에서 벗어나, 진정한 창의성과 Heinelt (1974)가 말하는 무질서한 태도와 고집, 창의성 징후(신속성, 언어유창성)들을 포함하는 것으로서의 사이비창의성(pseudocreativity)이나 창의성의 요소들을 포함하고 있지만 현실성이 없는 것으로서의 의사창의성(quasicreativity)을 구분하려면 반드시 유용성 요소를 균형 있게 고려해야 한다. 이와 함께 창의성 연구 분야에서는 창의성의 영역일반성(domain-generality)과 영역특이성(domain-specificity)에 관한 논란이 계속되고 있는데, 창의성을 정의하는 두 가지 핵심 요소 중 독창성 요소는 영역일반성과 관련되고, 유용성은 영역특이성과 관련되는 것으로 해석하면 독창성 편향을 극복하고 사이비창의성과 의사창의성을 구분하는 데에도 크게 도움이 될 것이다.

한편, 창의성 평가에서는 평가 요소의 과다 문제가 있다. 창의성 평가는 일반적으로 창의적 산물, 인지, 성격 특성, 행동과 성취 등 몇 가지로 범주화된다(Kaufman *et al.*, 2008). Batey(2012)는 창의성에 대해 합의된 정의를 토대로 창의성 측정을 위한 새로운 휴리스틱 틀로서 4×4×3 행렬 형태를 제시하여, 창의성이 수준(개인, 팀, 조직, 문화), 국면(형질, 과정, 환경, 산물), 측정 접근법(객관식, 자기평정식, 타인평정식) 측면에서 평가될 수 있다고 하였다. 이는 사실상 창의성 구인을 평가할 수 있는 방법이 최소한 48가지 있음을 의미한다. 각 범주별 하위 요소들을 고려하면 훨씬 더 많아진다. 과학 교수학습 현장에서 이들을 모두 반영하여 평가하려면 너무 복잡하여 실용성이 적고 오히려 혼란을 야기할 수 있다.

창의성에 대한 교사의 인식에서 빅-C 창의성 편향 문제도 있다. 창의성은 소수 영재의 전유물이 아니고, 모든 사람은 일상생활에서 접하는 문제를 어느 정도는 창의적으로 해결한다(Amabile, 1983; Boden, 2004). 그러나, Ausubel(1978)과 Csikszentmihalyi (1996) 같은 연구자는 학생은 일반적으로 세상에

새롭기도 하고 가치 있기도 한 것을 만들어 내기 어렵기 때문에 창의적 사고를 할 수 없다고 주장한다. 반면, William(1970)과 Petty(1997) 같은 연구자는 학생이나 일반인은 최소한 그들에게 새롭고 가치 있는 것은 만들어낼 수 있다고 주장한다. 진자와 같은 ‘세상에 새로운 것(new to the world)’ 관점은 역사적 창의성(historical creativity) 혹은 빅-C 창의성(Big-C creativity)으로, 후자의 ‘개인에게 새로운 것(new to the person)’ 관점은 심리적 창의성(psychological creativity) 혹은 리틀-c 창의성(little-c creativity)으로 구분하여 지칭되어 왔다(Beghetto & Kaufman, 2009; Boden, 1996; Gardner, 1993; Richards, 1993). 이러한 구분은 다양한 종류의 창의성을 발휘할 수 있는 다양한 방식을 정의하기 때문에, 창의성 연구 분야에서는 크게 도움이 되지만(Beghetto & Kaufman, 2009), 학교 과학에서는 리틀-c 창의성 관점에서 접근하는 것이 현실적이고 바람직하다.

과학자의 독창성과 적절성에 대한 판단은 광범위하고 심층적인 지식과 방략, 정확한 해결책이라고 간주되는 것에 의존한다(Simonton, 1999b; Taylor et al., 1975). 과학창의성의 이러한 영역특이성을 고려할 때, 학생들의 과학 지식이나 과학 전문성은 제한적이기 때문에, 학교 과학 교육 상황에서 학생들이 빅-C 창의성을 발휘할 가능성, 즉 학생들이 과학 공동체의 엄격한 검증 과정을 견딜 정도로 적절하고, 세상에 새로운 것을 만들어 낼 가능성은 매우 낮을 뿐만 아니라(Kind & Kind, 2007), 그것을 요구하는 것도 비현실적이다. 그렇지만, 모든 사람이 일상생활의 문제를 해결할 수 있기만 하다면 어느 정도 창의적이다. 이를 토대로 볼 때, 학생은 예를 들어 자신에게 새로운 의미, 설명, 가설, 논증, 절차 등을 구성하므로, 심리적으로 창의적이라고 할 수 있다(Givens, 1962). Torrance(1975)는 어린 학생들이 그러한 창의적 사고를 할 수 있고, 연습을 하면 이러한 능력을 개발하는 데 도움이 된다는 사실을 밝혔다.

창의성은 영역특이적 속성이 있기 때문에, 창의성 측정에서 창의성 발현 영역을 중요하게 고려해야 한다. 그러므로 초등학생의 과학창의성은 초등 과학 교수학습의 맥락에서 평가되어야 한다. 즉, 초등 과학이라는 영역에서 과학자적 창의성보다는 학생 수준의 창의성을 다뤄야 한다.

또한, 창의성의 하위 요소들에 대한 점수를 합산

하여 총점을 산출하는 방식에도 문제가 있다. 창의성 점수를 산출하기 위해 사용되는 합산 방식은 크게 두 가지로 나누어 고찰할 수 있다. 첫째, 창의성 구성 요소는 4P, 즉 개인(person, personality trait), 과정(process), 산물(product), 환경(press; environment)과 각각의 하위 구성요소를 고려하면 매우 많지만, 여기에서는 학교 현장에서의 효율성을 위하여 창의성을 정의하는 두 가지 핵심 요소인 독창성과 유용성만을 고려한다. 각 요소별로 50점 만점으로 채점하는 경우, 학생 A는 독창성 요소에서 50점, 유용성 요소에서 0점을 받아 창의성 점수 50점, 학생 B는 각 요소에서 0점과 50점을 받아 창의성 점수 50점, 학생 C는 각 요소에서 25점씩 받아 창의성 점수 50점을 받았다고 하자. 그러면, 이 세 학생의 창의성 점수가 모두 똑같다고 평가되는 심각한 문제가 있다. 과학창의성을 평가할 때, 이처럼 합산하거나 평균하면 편리하긴 하지만, 창의성이 독창성과 유용성이라는 두 가지 핵심 요소를 동시에 충족해야 하는 요건을 적절히 반영하지 못한다. 이 문제에 대해서는 이 논문에서 개발한 평가 공식을 제시한 후에 더 논의한다.

한편, 아이디어나 산물별 창의성 점수들을 합산하여 평가하는 방식에도 문제가 있다. 예를 들어, 학생 D가 다섯 가지 산물을 낸 경우, 산물 D1에 대한 창의성 점수 30점, 산물 D2에 대해 40점, 산물 D3에 대해 30점, 산물 D4에 대해 20점, 산물 D5에 대해 30점을 받아 150점이라는 창의성 점수를 받는다. 한편, 학생 E는 두 가지 산물을 내어, 산물 E1에 대해 90점, 산물 E2에 대해 50점을 받아 140점이라는 창의성 점수를 받는다. 과연 학생 D가 E보다 창의성이 더 높다고 할 수 있는가? 이러한 합산 방식으로 평정하면 창의성이 유창성 요소에 의해 과대 평가되거나 왜곡되는 면이 있으므로, 단순 합산보다 산물들에 대한 점수들 중 가장 높은 점수만 반영하거나, 이들을 평균하거나, 산물의 유창성에 비중을 더 두고자 하는 경우 교사가 필요에 따라 각 아이디어의 과학창의성 점수에 가중치를 부여하는 등 더 합리적인 방법을 사용해야 한다.

합산의 문제는 아니지만, 연구 방법에서 제시한 바와 같이 독창성을 출현 빈도에 따라 0, 1, 2점으로 범주화하여 측정·평가하는 방식에는 정보가 축소되거나 상실되는 중요한 한 가지 문제가 있다. 즉, 독창성 점수를 모든 응답 빈도에서 5% 미만은

2점, 5~10%는 1점, 10%보다 더 많은 경우는 0점으로 부여하면, 5%, 5~10%, 90% 내에 존재하는 희귀성이나 참신성 정도의 차이가 드러나지 않는다. 리틀-c 창의성 측면에서 보더라도 학생의 어떤 아이디어나 산물이 학생 수준에서 얼마나 독창적인가를 학생 자신이나 교사가 판단하기는 어렵다. 그러므로, 독창성의 정의대로 다른 사람이 생각하지 못한 것을 생각해낸 정도가 실제와 상응되게 더 다양한 범위의 연속 점수로 드러나게 평가하는 방식이 필요하다.

## 2. 과학창의성 평가 공식 개발

현재까지 제안된 것 중, Simonton(2012)은 개별 과학자의 창의성과 그것이 나타나는 확률을 설명하기 위해 학자들이 동의하는 창의성의 두 가지 핵심 요소인 독창성(아이디어 생성 확률)과 유용성을 반영하고, 여기에 비자명성 요소를 추가하여 (식 1)과 같이 창의성에 대한 3기준 공식을 제안하였다.

$$c = (1-p) \times u \times (1-v) \quad (\text{식 1})$$

여기에서 c는 창의성이 전혀 없는 경우인 0에서부터 가장 높은 수준의 창의성의 경우인 1의 범위에 걸쳐 있는 소수이다. 일반적으로 c는 어떤 아이디어가 창의적이라고 간주될 확률이다.

p는 특정 과학자가 그 아이디어를 생성해낼 초기 확률(initial probability)로서  $0 \leq p \leq 1$ 이다. 만약,  $p=0$ 이면, 그 아이디어는 곧바로 가용하지는 않지만, 적절한 촉발 자극이나 다른 자극이 필요한 부화기를 거친 후에 접근될 수 있는 것이라고 추정된다(Hélie & Ron, 2010; Seifert et al., 1995). 그러므로 어떤 사상에서든 (식 1)의 요인  $(1-p)$ 는 그 과학자의 마음속에 있는 초기의 독창성을 나타낸다. 생성될 확률이 높은 아이디어는 독창성이 낮다.

유용성을 나타내는 u는 과학자가 그 아이디어가 결국 유용하다고 판단할 최종 확률(final probability)로서  $0 \leq u \leq 1$ 이다. 아이디어의 유용성은 잠재적으로 연속 변인이지만, 많은 경우에 u는 0~1의 양분형 변인이다. 예를 들면, Watson은 주어진 네 가지 핵산을 가지고 DNA 코드를 발견해내기 위해, 분자모형을 사용하여 네 가지 가능한 배열을 검토하였지만, 이 배열쌍들 중 오직 한 세트(즉, A-T과 G-C)

만 완전한 유용성 값을 나타내었다(Watson, 1968). 그가 선호했던 ‘같은 것은 같은 것끼리’라는 해결책을 포함하여 다른 것들은 유용성이 0이었다.

(식 1)에서 v는 u에 대한 과학자의 사전지식으로  $0 \leq v \leq 1$ 이다. 만약  $v=0$ 이면, 과학자는 그 아이디어를 생성한 후 테스트해 보지 않고는 그 아이디어가 유용한지의 여부를 알 수 없는 상태이지만,  $v=1$ 이면, 그 과학자는 확인할 필요 없이 u 값을 이미 알고 있는 상태이다. 그 아이디어는 명확한 것이다. v가 0과 1 사이이면, 그 아이디어는 명료화될 수 없는 암묵 지식을 토대로 하고 특정 값을 알고 있다고 느끼는 상태인 예감이다(Bowers et al., 1990). 사전 지식이 이러한 중간 범위에 걸쳐 있으면, 그 아이디어의 유용성을 알아내는 것은 여전히 어느 정도의 의외성을 야기할 수 있다.

이 공식은 두 가지 중요한 특징을 가지고 있다. 첫째, 이 창의성 평가 공식은 대부분의 창의성 연구자들이 동의하는 창의성의 두 가지 핵심 요소인 독창성과 유용성을 반영한다는 점이다. 둘째, 독창적이고 유용한 것을 만들어 내는 능력으로 정의되는 창의성의 본질을 적절히 반영한다. 즉, 독창성이나 참신성 중 어느 한 요소만 충족시켜도 됨을 의미하는 합산 방식이 아니라, 두 요소를 모두 충족시켜야 함을 의미하는 곱셈 형식을 취한다.

한편, 이 공식이 가지고 있는 세 가지 문제점도 동시에 고려할 필요가 있다. 첫째,  $(1-v)$  항은 본질적으로 독창성 요소와 중복되는 면이 많다. Simonton(2012) 자신도 참신성(novelty)을 독창성(originality)과 의외성(surprisingness)이 융합된 것이라고 보았지만, 이들 둘을 엄격한 의미에서는 분리할 수 있다고 보고, 위와 같은 3기준 공식을 제안하였다. 실제로, 창의성에 대한 대부분의 정의에서는 참신성과 독창성을 구분하지 않고 사용한다. 둘째, 학교 과학이라는 맥락에서 볼 때, 세 항 모두 과학 공동체가 합의하는 독창성, 유용성, 의외성을 갖는 산물을 의미하고, 특히  $(1-v)$  항은 Simonton 자신이 미국 특허청 기준을 반영하여 도입했다고 밝혔듯이, 주로 전문 과학계에 해당되는 빅-C 창의성과 많이 관련되므로, 학생 과학인 리틀-c 창의성에 직접 적용하기는 쉽지 않다. 그러므로, 학교 과학의 맥락에서는 위 공식의 첫째 항과 셋째 항을 융합된 것으로 보고 독창성 요소로 다루는 것이 현실적으로 더 바람직하다. 셋째, 위 공식의 세 항 모두 개념적으



로는 타당성이 있으나, 너무 추상적이어서 학교 현장에서 곧바로 활용하는 데 한계가 있다. 즉, 학교 현장에서 100점 만점 형태 같이 흔히 사용되는 유용한 점수 형태를 곧바로 제공하는 데에는 한계가 있다.

본 연구에서는 이 평가 공식의 위와 같은 장점은 반영하고, 문제점들을 해결하기 위해 추상적인 부분을 구체화하고,  $(1-v)$  항을 독창성 항과 통합하는 의미로 삭제하여 학생의 과학창의성을 평가하기 위한 공식을 (식 2)와 같이 개발하였다.

$$SC = \left[ \left( 1 - \frac{n-1}{N-1} \right) \times 10 \right] \times U \quad (\text{식 2})$$

여기에서, SC는 과학창의성(scientific creativity)이다. 이 논문에서는, 과학창의성을 100점 만점으로 평가하는 경우를 설명한다.

$[(1-(n-1)/(N-1)) \times 10]$  항에서  $n$ 은 집단(학급)에서 특정한 아이디어나 산물을 제시한 학생의 수이고,  $N$ 은 집단 구성원 수(학급 인원수)로서, 그 아이디어의 희귀성, 즉 고유한 정도를 나타내는 창의성의 독창성(originality, newness, novelty, unexpectedness, uniqueness, unusualness) 요소이고, 0~10 사이의 값으로 계산된다. 예를 들어, 30명 집단(학급)에서 한 학생만이 X라는 아이디어를 제시했다면 이 아이디어에 대한 독창성 점수는  $[(1-(1-1)/(30-1)) \times 10]$ 과 같이 계산되어 10점이고, 30명이 모두 Y라는 아이디어를 제시했다면 이 아이디어에 대한 독창성 점수는  $[(1-(30-1)/(30-1)) \times 10]$ 이므로 0점이다. 이 값은 아이디어의 출현 빈도를 토대로 계산되므로 비교적 객관적으로 산출된다. 이와 관련하여 Runco *et al.*(1987)은 독창성 지수로서  $(1-n/N)$ 을 제안했는데, 본 연구에서 제안하는 것보다 더 단순하기는 하지만, 이렇게 계산하면 아무리 독창적인 아이디어라도  $[(1-1/30) \times 10]$ 처럼 계산되므로 만점을 받을 수 없다.

U는 아이디어나 산물이 과학적으로 유용하거나 타당할 정도를 나타내는 창의성의 유용성(usefulness, adaptiveness, appropriateness, effectiveness, meaningfulness, practicality, relevance, significance, utility, validity) 요소이다. 이 값은 평가자가 1~10점 범위에서 결정하므로, 어느 정도 평가자의 전문적 주관이 개입될 수밖에 없다.

앞에서 예로 든 X와 Y라는 두 아이디어에 대한 유용성 점수가 모두 9.8점이라면 X 아이디어에 대한 과학창의성 점수는 98점, Y 아이디어에 대한 과학창의성 점수는 0점이 된다. 즉, 리틀-c 창의성 혹은 학생 창의성 측면에서 볼 때, 아이디어 X는 매우 독창적이고 유용성도 상당히 높으므로 과학창의성이 높다고 평가할 수 있는 반면, 아이디어 Y는 유용성은 매우 높더라도 독창적이지 않기 때문에 과학창의성이 없다고 평가할 수 있다. 여기에서는, 독창성 요소와 유용성 요소 각각에 10점씩의 비중을 두어 총점이 100점이 되게 한 것이다. 학교 현장에서는 교육 목적이나 맥락에 따라, 각 요소에 대한 가중치를 다르게 부여할 수 있고, 총점도 100점이 아닌 다른 점수로 설정할 수 있다.

앞 소절에서 예로 제시한 세 학생 모두 합산 방식으로 계산할 경우에는 과학창의성 점수가 50점이었다. 이 공식을 적용할 경우, 독창성은 매우 높지만 과학적 유용성이나 타당성은 없는 산물을 낸 학생 A의 과학창의성 점수는 0점(10점  $\times$  0점), 과학적 유용성은 매우 높으나, 독창성은 없는 산물을 낸 학생 B의 과학창의성 점수도 0점(0점  $\times$  10점), 어느 정도 독창성과 유용성을 갖는 산물을 낸 학생 C의 과학창의성 점수는 25점(5점  $\times$  5점)이다.

한편, 학생들의 창의 산물에는 학생 A와 같은 경향이 많이 나타나는데, 이는 Cattell and Butcher(1968), Heinelt(1974), Spendlove (2005), Cropley(2006, 2010), Surkova(2012) 등이 말하는 사이비창의성이나 유사 창의성에 해당하므로, 앞에서 언급한 교사의 창의성 개념에 대한 독창성 편향 문제와 관련하여 과학 창의성을 위한 교수학습과 평가에서 주의를 요한다.

이 과학창의성 평가 공식이 Simonton(2012)의 공식(식 1)과 중요하게 다른 점 중 하나는 Simonton은 세 가지 요소를 모두 확률론적으로 다루었지만, 이 연구에서 개발한 공식에서는 이 요소들을 실제로 점수화한다는 점이다. 이는 과학 교수학습 현장에서 교사들이 실용적으로 활용할 수 있는 가능성을 높일 것이다. 또한, 학생들에게도 과학창의성의 의미를 단순하고 명확하게 구체적으로 인식시켜 줄 수 있을 것이다.

이 평가 공식의 또 다른 중요한 의미는, 이 공식이 창의성이 드물게 나타나는 이유를 설명해준다는 점이다. 창의성이 드물게 나타나는 이유는 창의

성의 정의상 독창성과 유용성 중 어느 한 가지만 충족시키면 되는 것이 아니라, 이 요소들을 모두 충족시켜야 하기 때문이다. 그러므로, 고도로 창의적인 아이디어는 나타날 확률이 매우 낮은 아이디어와 매우 유용한 아이디어들이 따로 나타나는 것보다 훨씬 더 드물게 나타난다. Simonton(2012)이 제시한 3기준 평가 공식(식 1)뿐만 아니라, 이 논문에서 제시한 평가 공식(식 2)도 높은 수준의 창의성이 정상분포가 아닌 정적 비대칭(positive skew; 우측으로 긴 꼬리) 분포를 나타내는 이유를 설명해 준다(Simonton, 2008). 이와 관련하여 Eysenck(1993)는 창의성 특성들 각각은 정상분포를 따르지만, 창의적 성취는 Poisson 분포를 따르기 때문이라고 설명한다. 그러므로, 창의성 요소별 점수의 합산으로 점수를 산출하면 정상분포를 나타내는데, 이는 창의성이 실제로 나타나는 현실과 맞지 않는다.

### 3. 평가 공식의 적용

나비가 화려한 색깔을 띠고 날개에 눈동자 무늬들을 가지고 있는 생명 현상에 대해 학생들이 제시한 설명들을 본 연구에서 개발한 평가 공식에 따라 계산한 결과, 과학창의성 점수는 전체 평균이 100 점 만점에 48.6점으로 나타났다. 두 가지 구성 요소별로 보면, 독창성 점수는 5.2점부터 10점에 걸쳐 평균 7.3점으로 나타났고, 유용성 점수는 5.2점부터 8.1점에 걸쳐 평균 6.7점으로 나타났다. 전체적인 점수 분포는 Fig. 3과 같다.

실제 과학 교수학습 상황에서, 학생들에게 구체적인 피드백을 제공하고, 이후에 적절한 교수학습 활동을 계획하기 위해서는, 학생 개인의 과학창의성 특성이나 프로파일을 파악할 필요가 있다. 이를 위해, 본 연구에서 정의한 과학창의성의 두 가지 핵심 요소인 독창성과 유용성 요소에 대한 점수들을 상하로 나누어 4가지로 범주화함으로써, 과학창의성 4분면(quadrant of scientific creativity)으로 나타내고, 각각을 진부형(routine type), 독창형(original type), 유용형(useful type), 창의형(creative type)으로 명명하였다(Fig. 3).

진부형은 흥미·호기심, 행동, 산물 영역의 구체적인 성격에 따라 미숙형(immature type), 평범형(ordinary type), 관습형(관습순응형; conformist type), 잠재형(latent type), 미발현형(unexpressed type) 등 다양한 명칭이 가능하다. 이 유형은 학생들이 제시

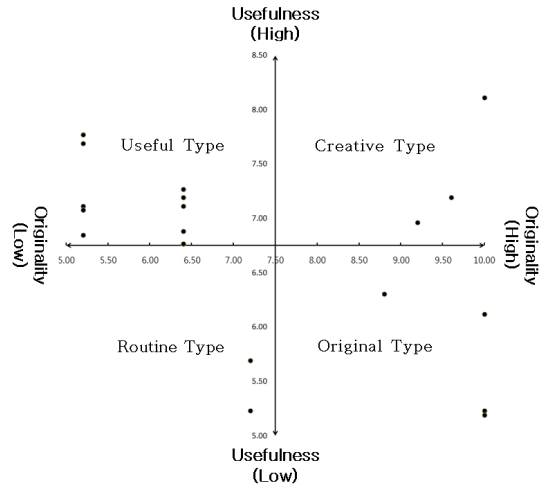


Fig. 3. Distribution and categorization of the scores of scientific creativity scores on the students' explanations

한 설명들 중 독창성과 유용성이 모두 낮은 경우로서, 오개념이 포함되어 있거나 정교성이 부족한 것들이고, 2명(10%)이 이 유형에 속한다. 독창형은 다른 학생들이 많이 제시하지 않은 설명 유형이지만, 과학적 타당성이나 유용성이 낮은 설명들로서, 4명(20%)이 이 유형에 속한다. 유용형은 다수의 학생들이 제시하였는데, 내용이 어느 정도 과학적 타당성이나 유용성을 갖는 설명들로서, 11명(55%)이 이 유형에 속한다. 마지막으로, 창의형은 독창성과 유용성이 모두 높은 설명들로서, 3명(15%)이 이 유형에 속하는 것으로 나타났다. 과학창의성 교육에서는 창의형을 지향해야 할 것이다. 학생들이 제시한 설명들을 각 유형별로 분류한 결과는 Table 1과 같다.

이 연구에서는 개발한 과학창의성 평가 공식을 생명 현상에 대한 학생들의 궁극인적 설명들에 적용하여 활용가능성을 알아보았다. 그러나, 과학창의성은 현상에 대한 창의적 해석뿐만 아니라, 창의적 과학 문제해결에도 적용된다. 이와 관련하여 Amabile (1996)과 Simonton(2011)은 문제해결을 답이 거의 확실하게 예상되는 알고리즘적 문제해결(algorithmic problem solving)과 답이 확실하지 않은, 즉 창의적인 문제해결이라고 할 수 있는 휴리스틱 문제해결(heuristic problem solving)로 나누었고, Mayer(1995)는 인간의 문제해결은 직면한 문제에 대한 과거의 여러 해결책들을 재인하고, 이들 중 하나를 선택하여 실행하는 통상적 혹은 기계적 문제해결(routine problem solving)과 정신적 청사진을 토대로 도구들

**Table 1.** Classification of students' explanations according to the four types of scientific creativity

Useful type	Creative type
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because the leaves of trees are generally flat, the body shape of the butterflies will also be flat. The thickness of the butterfly body will be similar to that of tree leaves in order to avoid their natural enemies. (O: 6.4 / U: 7.2)<sup>a)</sup></li> <li>• Eyes of the butterflies are positioned axisymmetrically in order to trick as if there are several natural enemies. (O: 5.2 / U: 7.7)</li> <li>• It may be a kind of designs to threaten their natural enemies. (O: 5.2 / U: 6.7)</li> <li>• The reason of having symmetrical round patterns on their wings may be that if their natural enemies approach, the butterfly would spread its wings in order to be seen as if that patters look like the faces of insects. (O: 6.4 / U: 7.3)</li> <li>• The butterflies have several eyeball-shaped patterns so as not to get caught easily by their natural enemies, because that patterns would give feelings as if several eyes look them. (O: 5.2 / U: 7.8)</li> <li>• To make them secure by startling other insects. (O: 6.4 / U: 6.9)</li> <li>• When the natural enemies look the butterfly, round patterns on its wings would make it hard for them to approach to it because that patterns are look like several owls' eyes. (O: 5.2 / U: 7.1)</li> <li>• The butterflies would escape from their natural enemies by looking like owls. (O: 6.4 / U: 7.1)</li> <li>• In order to trick predators as if there are three frightful animals with large eyes. (O: 5.2 / U: 7.1)</li> <li>• To startle predators by spreading their wings to show the patterns. (O: 6.4 / U: 6.8)</li> <li>• The butterflies have threatening patterns on their wings in order not to get caught by their natural enemies. (O: 6.4 / U: 6.8)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• If the butterflies flap their wings, then the eyeball-shaped patterns would be looked like staring by birds, which threaten their natural enemies. (O: 10 / U: 8.1)</li> <li>• If the natural enemies look these patters, then they may think there are two or three owls. (O: 9.2 / U: 7.0)</li> <li>• The butterflies can make their natural enemies confused by spreading their wings with eyeball-shaped patterns. (O: 9.6 / U: 7.2)</li> </ul>
Routine type	Original type
<ul style="list-style-type: none"> <li>• The showy patterns make the butterflies safe from their predators. (O: 7.2 / U: 5.2)</li> <li>• The butterflies have those patterns in order to attract their mates or other things. (O: 7.2 / U: 5.7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because butterfly-eaters may be not herbivores, the butterflies have plant-like shapes in order not to be eaten by their natural enemies. (O: 10 / U: 5.2)</li> <li>• The butterflies have very large wings because they need to fly quickly. (O: 10 / U: 5.2)</li> <li>• Although one wing is at the state of being folded, the scary shape of eye will still be seen. (O: 8.8 / U: 6.3)</li> <li>• The butterflies have eyeball-shaped patterns on their wings in order to chase away their natural enemies by looking like a larger animals. (O: 10 / U: 6.1)</li> </ul>

<sup>a)</sup> O and U represent scores of originality and utility respectively.

을 창안하는 것과 같이 더 추상적이고 창의적인 활동을 하였다. 처음에는 무관해 보이는 개념들을 종합하며, 이전에 해결해 본 적이 없는 문제에 대한 새로운 해결책을 고안해내는 비통상적·창의적 문제해결(nonroutine creative problem solving)로 구분하였다. 알고리즘적 문제해결이나 기계적 문제해결은 이미 구축된 공식에 대입하여 답을 찾는 것과 비슷하므로, 이런 방식에서는 앞의 (식 1)에서 답에 대한 예견성을 나타내주는  $v$  값이  $v=1$ 이다. 이는 본 연구에서 4가지로 유형화한 것 중 유용하기는 하지만 독창적이지는 않은 유용형에 해당한다고 할 수 있다. 한편, 가장 좋은 가능한 해답이나 최적의 해

결법에 접근하기 위한 방법을 얻기 위해 사용되는 휴리스틱 문제해결이나 비통상적 문제해결에서는  $v \ll 1$ 인데, 이 연구에서 유형화한 것 중 독창적이기도 하고 유용하기도 한 창의형에 해당한다고 할 수 있다.

측정·평가 도구는 타당도와 신뢰도를 갖춰야 하는데, 본 연구에서 개발한 과학창의성 측정·평가 공식에 대해서도 이 두 가지 기준에 비추어 체크해 볼 필요가 있다. 우선, 창의성에 대한 정의가 100여 가지로 매우 많은 상황에서 연구자들 사이에 의견일치를 보이는 두 가지 핵심 요소인 독창성과 유용성을 반영했다는 측면에서 타당도를 확보

했다고 볼 수 있다. 특히, 이러한 핵심 요소를 반영하면 과학창의성은 과학적으로 독창적‘이거나(or)’ 유용한 것이 아니라, 독창적‘이고(and)’ 유용한 것을 만들어 내는 능력으로 정의할 수 있으므로, 측정·평가 공식에서 이 두 요소에 대한 점수들을 합(+)하는 방식이 아닌 곱(×)하는 방식으로 과학창의성 점수를 산출한다는 측면에서도 타당도를 확보했다고 볼 수 있다.

한편, 신뢰도는 실제 적용한 데이터로부터 계산한다. 본 연구에서 수집한 데이터로 볼 때, 36명의 현장 교사들이 독창성 요소에 대해 평가한 점수들의 상관계수는 .87이고, 유용성 요소에 대해서는 .75였으며, 공식에 따른 전체 점수에 대해서는 .72로서 신뢰로운 수준이라고 볼 수 있다. 이는 평가자들이 유용성 요소보다 독창성 요소에 대해 더 일관되게 평정했음을 보여준다. 독창성 요소는 나타난 빈도에 따라 계산하면 되기 때문에, 평가자간 일치도가 거의 1에 가까울 것이라고 예상할 수 있지만, 실제로는 학생들이 제시한 설명들을 분류할 때 평정자마다 다른 측면이 있다.

#### IV. 결론 및 제언

창의성의 정의에서 핵심 요소를 반영하면서 학교 현장의 과학 교수학습 상황에서 비교적 객관적이고 효율적으로 활용할 수 있는 과학창의성 평가 공식을 개발한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하고, 이를 토대로 학교 현장에서의 실제적 적용 방안과 후속 연구 과제를 제안한다.

문헌 분석 결과, 교사들은 창의성과 관련하여 독창성 편향, 빅-C 창의성 편향의 문제점들을 가지고 있는 것으로 나타났고, 창의성 평가에서는 평가 요소가 너무 많으며, 하위 요소들을 합산하여 총점을 산출하는 방식은 창의성의 정의와 상충되는 문제가 있다.

본 연구에서는 창의성을 정의할 때 공통적으로 수용되는 두 가지 요소인 독창성과 유용성 요소를 모두 충족시키는 평가 공식을 개발한 다음, 생명현상에 대한 과학영재 교육 대상자의 과학적 설명들에 적용하여 타당도와 신뢰도를 점검하였다.

본 연구에서 실시한 것처럼, 학생들에게서 나타나는 과학창의성은 리틀-c 창의성 측면에서, 창의성을 정의하는 두 가지 핵심 요소인 독창성과 유용

성 차원으로 나누어 이들을 동시에 만족시키는 정도로 평가하는 방식은 교육적 실용성 측면에서 가치가 있다. 특히, 다른 사람들이 생각하지 못하는 아이디어를 생각해 내거나 만들어 내지 못하는 새로운 산물을 만들어 내는 것으로 정의되는 독창성은 본 연구에서 개발하여 제시한 공식에 따라 비교적 객관적으로 평가할 수 있지만, 유용성에 대한 평가 결과는 불가피하게 평가자의 주관에 의해 이루어질 수밖에 없다. 그러므로, 아이디어나 산물의 유용성 차원을 더 객관적으로 평가할 수 있는 방안을 모색하는 연구가 필요하다.

생명 현상에 대한 학생들의 사실적·현상적 설명, 근접인적 설명, 궁극인적 설명들에서 나타나는 과학창의성을 평가하여 비교함으로써 바람직한 교수학습이나 교육과정을 탐색할 수 있을 것이다. 본 연구에서 개발한 과학창의성 평가 공식을 생명과학 영역 이외의 물상과학 영역에도 적용하여 실용성을 평가할 필요가 있다.

본 연구에서 제시한 공식에 따라 평가한 결과의 유형화(진부형, 독창형, 유용형, 창의형)에 대한 더 심층적 연구가 필요하고, 각 유형별로 적절한 교수학습 활동 자료와 피드백을 제공하는 접근법에 관한 연구가 필요하다.

창의성의 두 가지 핵심 요소 중, 독창성은 유창성과 밀접한 관계가 있는데, 몇몇 연구자들은 유창성은 독창성 점수를 왜곡시킬 수 있다고 보고해왔다. 예를 들면, 유창성이 높은 학생은 독창성 점수도 잘 받는 경향이 있다(Hocevar, 1979; Hocevar & Michael, 1979; Silvia *et al.*, 2008). 이처럼, 유창성이 독창성 점수 계산에 방해 요인이 될 수 있으므로, 독창성을 유창성의 영향을 통제하는 대안적 방법으로 평가하는 방안을 모색할 필요가 있다.

#### 참고문헌

- Alexander, P. A. (1992). Domain knowledge: Evolving themes and emerging concerns. *Educational Psychology*, 27, 33-51.
- Amabile, T. M. (1982). Social psychology of creativity: A consensual assessment technique. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43(5), 997-1013.
- Amabile, T. M. (1983). *The social psychology of creativity*. New York: Springer-Verlag.
- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context: Update to*

- the social psychology of creativity. Boulder, CO: Westview Press.
- Ausubel, D. P. (1978). Educational psychology. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Barbot, B., Besançon, M. & Lubart, T. I. (2011). Assessing creativity in the classroom. *The Open Education Journal*, 4, 58-66.
- Barron, F. & Harrington, D. M. (1981). Creativity, intelligence, and personality. *Annual Review of Psychology*, 32, 439-476.
- Barron, F. (1969). Creative person and creative process. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Barron, F. (1988). Putting creativity to work. In Sternberg R. J, (Ed.). *The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 76-98.
- Batey, M. & Furnham, A. (2006). Creativity, intelligence and personality: A critical review of the scattered literature. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 132, 355-429.
- Batey, M. (2012). The measurement of creativity: From definitional consensus to the introduction of a new heuristic framework. *Creativity Research Journal*, 24(1), 55-65.
- Beghetto, R. A. & Kaufman, J. C. (2009). Beyond big and little: The four C model of creativity. *Review of General Psychology*, 13(1), 1-12.
- Beghetto, R. A. (2010). Creativity in the classroom. In J. C. Kaufman, & R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 447-466.
- Biernat, M. (2003). Toward a broader view of social stereotyping. *American Psychologist*, 58, 1019-1027.
- Boden, M. A. (1996). What is creativity? In M. A. Boden (Ed.) *Dimensions of creativity*. Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology. pp. 75-117.
- Boden, M. A. (2004). *The creative mind: Myths and mechanisms*. London: Routledge.
- Bowers, K. S., Regehr, G. & Balthazard, C. (1990). Intuition in the context of discovery. *Cognitive Psychology*, 22, 72-110.
- Cattell, R. B. & Butcher, H. J. (1968). *The prediction of achievement and creativity*. New York: Bobbs-Merrill.
- Cropley, A. (2003). *Creativity in education & learning: A guide for teachers and educators*. London: Kogan Page Limited.
- Cropley, A. (2006). Functional creativity: A socially-useful creativity concept. *Baltic Journal of Psychology*, 7(1), 26-38.
- Cropley, A. (2010). Creativity in the classroom: The dark side. In D. H. Cropley, J. C. Kaufman, A. R. Cropley, and M. A. Runco (Eds.), *The dark side of creativity*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 297-315.
- Cropley, A. J. (2001). *Creativity in education and learning*. London: Routledge Falmer.
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. New York: Harper Collins.
- Darwin, C. (1859). *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life*. Champaign: Project Gutenberg.
- Davis, G. A. (1997). Identifying creative students and measuring creativity. In N. Colangelo, & G. A. Davis (Eds.), *Handbook of gifted education* (pp. 269-281). Needham Heights, MA: Viacom.
- Diehl, M. & Stroebe, W. (1987). Productivity loss in brainstorming groups: Toward the solution of a riddle. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53, 497-509.
- Eysenck, H. J. (1993). Creativity and personality: Suggestions for a theory. *Psychological Inquiry*, 4, 147-178.
- Findlay, C. S. & Lumsden, C. J. (1988). The creative mind: Toward an evolutionary theory of discovery and innovation. *Journal of Social and Biological Structures*, 11, 3-55.
- Finke, R. A., Ward, T. B. & Smith, S. M. (1992). *Creative cognition: Theory, research, and applications*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Fleming, M. (2008). *Arts in education and creativity: A review of the literature*. Creative Partnerships, Arts Council England: London.
- Ford, C. M. & Gioia, D. A. (2000). Factors influencing creativity in the domain of managerial decision making. *Journal of Management*, 26, 705-732.
- Fryer, M. (1996). *Creative teaching and learning*. London: Paul Chapman Publishing Ltd.
- Gardner, H. (1993). *Creating minds*. New York: Basic Books.
- Givens, P. R. (1962). Identifying and encouraging creative processes. *The Journal of Higher Education*, 33(6), 295-301.
- Glover, J. A., Ronning, R. R. & Reynolds, C. R. (1989). *Handbook of creativity: Perspectives on individual differences*. NY: Plenum.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444-454.
- Hadamard, J. (1954). *The psychology of invention in the*

- mathematical field. New York: Dover Publications.
- Hébert, T. P., Cramond, B., Neumeister, K. L. S., Millar, G. & Silvian, A. F. (2002). E. Paul Torrance: His life, accomplishments, and legacy. Storrs: The University of Connecticut, The National Research Center on the Gifted and Talented (NRC/GT).
- Heinelt, G. (1974). Creative teachers/creative students. Freiburg, Germany: Herder.
- Hélie, S. & Ron, S. (2010). Incubation, insight, and creative problem solving: A unified theory and a connectionist model. *Psychological Review*, 117, 994-1024.
- Hocevar, D. & Michael, W. B. (1979). The effects of scoring formulas on the discriminant validity of tests of divergent thinking. *Educational and Psychological Measurement*, 39, 917-921.
- Hocevar, D. (1979). Ideational fluency as a confounding factor in the measurement of originality. *Journal of Educational Psychology*, 71, 191-196.
- Houtz, J. C. & Krug, D. (1995). Assessment of creativity: Resolving a mid-life crisis. *Educational Psychology Review*, 7, 269-300.
- Hu, W. & Adey, P. (2002). A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education*, 24(4), 389-403.
- Ivcevic, Z. (2009). Creativity map: Toward the next generation of theories of creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 3, 17-21.
- Jardine, L. (2000). Ingenious pursuits. London: Little Brown and Company.
- Jung, H. C., Han, K. S., Kim, B. N. & Choe, S. U. (2002). Development of programs to enhance the scientific creativity - Based on theory and examples - *Journal of Korean Earth Science Education*, 24(4), 334-348.
- Kaufman, J. C. & Beghetto, R. A. (2009). Beyond big and little: The four model of creativity. *Review of General Psychology*, 13(1), 1-12.
- Kaufman, J. C., Plucker, J. A. & Baer, J. (2008). Essentials of creativity assessment. Hoboken, NJ: Wiley.
- Kim, C. J., Chae, D. H. and Lim, C. S. (1999). Introduction to science education. Seoul: BooksHill.
- Kim, K. H. (2006). Can we trust creativity tests? A review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT). *Creativity Research Journal*, 18(1), 3-14.
- Kind, P. M. & Kind, V. (2007). Creativity in science education: perspectives and challenges for developing school science. *Studies in Science Education*, 43, 1-37.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Lim, C. S. (2012). Development of an instructional model for brain-based evolutionary approach to creative problem solving in science. *Biology Education (Korea)*, 40(4), 429-452.
- Lissitz, R. W. & Willhoft, J. L. (1985). A methodological study of the Torrance Tests of Creativity. *Journal of Educational Measurement*, 22, 1-111.
- Litchfield, R. C. (2008). Brainstorming reconsidered: A goal-based view. *Academy of Management Review*, 33, 649-668.
- Mayer, R. E. (1995). The search for insight: Grappling with gestalt psychology's the nature of insight. In R. J. Sternberg and J. E. Unanswered questions. Davidson. Cambridge, The MIT Press. pp. 3-32.
- Mayr, E. (1997). This is biology. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press.
- Ministry of Education and Science Technology (2011). Science curriculum. Ministry of Education and Science Technology Announcement 2011-361 (Supplement 9).
- Mumford, M. D. (2003). Taking stock in taking stock. *Creativity Research Journal*, 15, 147-151.
- Mumford, M. D., Mobley, M. I., Uhlman, C. E., Reiter-Palmon, R. & Doares, L. M. (1991). Process analytic of creative capacities. *Creativity Research Journal*, 4, 91-122.
- Nettle, D. (2001). Strong imagination: Madness, creativity and human nature. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Newton, D. P. & Newton, L. D. (2009). Some students' conceptions of creativity in school science. *Research in Science and Technology Education*, 27(1), 45-60.
- Newton, D. P. & Newton, L. D. (2010). What teachers see as creative incidents in elementary science lessons. *International Journal of Science Education*, 32(15), 1989-2005.
- Newton, D. P. (2000). Teaching for understanding. London: Routledge.
- Newton, D. P. (2010). Assessing the creativity of scientific explanations in elementary science: an insider-outsider view of intuitive assessment in the hypothesis space. *Research in Science and Technological Education*, 28(3), 187-201.
- Newton, L. D. & Newton, D. P. (2008). Conceptions of creativity in elementary school science. Excellence in education, 2008: Future minds & creativity. The International Centre for Innovation in Education, Conference Proceedings. Paris, July 1-4, 2008.

- Petty, G. (1997). How to be better at creativity. London: Kogan Page.
- Plucker, J. A., Beghetto, R. A. & Dow, G. T. (2004). Why isn't creativity more important to educational psychologists? Potentials, pitfalls, and future directions in creativity research. *Educational Psychologist*, 39, 83-96.
- Richards, R. (1993). Everyday creativity, eminent creativity and psychopathology. *Psychological Inquiry*, 4(3), 212-217.
- Rigden, J. S. (1983). The art of great science. *Phi Delta Kappan*, 64(9), 613-617.
- Roberts, S. (2004). Self-experimentation as a source of new ideas. *Behavioral and Brain Sciences*, 27, 227-288.
- Rogers, C. R. (1961). On becoming a person. Boston: Houghton Mifflin.
- Rose, J. (2009). The independent review of the primary curriculum: Final report. Nottingham: DCSF Publications.
- Runco, M. A. (2004). Creativity. *Annual Review of Psychology*, 55, 657-687.
- Runco, M. A., Okuda, S. M. & Thurston, B. J. (1987). The psychometric properties of four systems for scoring divergent thinking tests. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 5(2), 149-156.
- Seifert, C. M., Meyer, D. E., Davidson, N., Patalano, A. L. & Yaniv, I. (1995). Demystification of cognitive insight: Opportunistic assimilation and the prepared-mind perspective. In R. J. Sternberg and J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight*. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 65-124.
- Silvia, P. J., Wigert, B., Reiter-Palmon, R. & Kaufman, J. C. (2012). Assessing creativity with self-report scales: A review and empirical evaluation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6, 19-34.
- Silvia, P. J., Winterstein, B. P., Willse, J. T., Barona, C. M., Cram, J. T., Hess, K. I., Martinez, J. L. & Richard, C. A. (2008). Assessing creativity with divergent thinking tasks: exploring the reliability and validity of new subjective scoring methods. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 2, 68-85.
- Simonton, D. K. (1999a). Creativity as blind variation and selective retention: Is the creative process Darwinian? *Psychological Inquiry*, 10(4), 309-328.
- Simonton, D. K. (1999b). *Origins of genius: Darwinian perspectives on creativity*. New York: Oxford University Press.
- Simonton, D. K. (2008). Distribution, normal. In W. A. Darity, Jr. (Ed.), *International encyclopedia of the social sciences* (2<sup>nd</sup> ed., Vol. 2). Detroit: Macmillan Reference USA. pp. 415-417.
- Simonton, D. K. (2011). Creativity and discovery as blind variation: Campbell's (1960) BVSR model after the half-century mark. *Review of General Psychology*, 15, 158-174.
- Simonton, D. K. (2012). Assessing scientific creativity: Conceptual analyses of assessment complexities. Commissioned paper, The Science of Science and Innovation Policy Conference, National Academy of Sciences.
- Spendlove, D. (2005). Creativity in education: A review. *Design and Technology Education; An International Journal*, 10(2), 9-18.
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. In R. J. Sternberg (Ed.), *Creativity research handbook*. New York: Cambridge University Press. pp. 3-15.
- Sternberg, R. J. (1996). *Successful intelligence*. New York: Basic Books.
- Surkova, I. (2012). Towards a creativity framework. *Society and Economy*, 34(1), 115-138.
- Taylor, C. W., Smith, W. R. & Gheselin, B. (1975). The creative and other contributions of one sample of research scientists. In C. W. Taylor, & F. Barron (Eds.) *Scientific creativity: Its recognition and development*. Huntington, New York: R. E. Krieger. pp. 53-76.
- Torrance, E. P. (1966). *The Torrance tests of creative thinking-norms-technical manual research edition-verbal tests, forms A and B-figural tests, forms A and B*. Princeton, NJ: Personnel Press.
- Torrance, E. P. (1974). *The Torrance tests of creative thinking-norms-technical manual research edition-verbal tests, forms A and B-figural tests, forms A and B*. Princeton, NJ: Personnel Press.
- Torrance, E. P. (1975). *Explorations in creative thinking in the early school years*. In C. W. Taylor, & F. Barron (Eds.) *Scientific creativity: Its recognition and development*. Huntington, New York: R. E. Krieger. pp. 173-183.
- Torrance, E. P. (1998). *The Torrance tests of creative thinking norms - Technical manual figural (streamlined) forms A & B*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service, Inc.
- Treffinger, D. J. (1996). *Creativity, creative thinking, and critical thinking: In search of definitions*. Sarasota, FL: Center for Creative Learning.
- Treffinger, D. J. (2009). Myth 5: Creativity is too difficult to measure. *Gifted Child Quarterly*, 53, 245-247.

- Treffinger, D. J., Sortore, M. R. & Cross, J. A. (1993). Programs and strategies for nurturing creativity. In K. A. Heller, F. J. Monk, & A. H. Passow (Eds.), *International handbook of research and development of giftedness and talent* (pp. 555-567). New York: Pergamon.
- Treffinger, D. J., Young, G. C., Selby, E. C. & Shepardson, C. A. (2002). *Assessing creativity: A guide for educators*. National Research Center on the Gifted and Talented.
- Walker, C. & Gleaves, A. (2008). An exploration of students' perceptions and understandings of creativity as an assessment criterion in undergraduate-level studies within higher education. *Irish Educational Studies*, 27(1), 41-54.
- Watson, J. D. (1968). *The double helix: A personal account of the discovery of the structure of DNA*. New York: Atheneum.
- Williams, F. E. (1970). *Classroom ideas for encouraging thinking and feeling*. Buffalo: DOK Publishers.