

창의성에 대한 인지신경과학 연구 개관*

조 수 현[†]

중앙대학교 심리학과

창의성은 독창적이고 유용한 아이디어를 산출할 수 있는 능력을 말한다. 현대 사회의 많은 문제들을 해결하고 인류의 복지를 증진시키기 위해 창의성의 기전을 이해하고 이를 증진할 수 있는 방안에 대한 연구는 매우 중요하다. 창의성은 매우 이질적이고 복합적인 능력으로서 이를 하나의 능력으로 개념화하는 것은 적절하지 않다. 따라서 학계에서는 창의성의 개별 구성 요소를 중심으로 창의성의 기전에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 본 개관 연구에서는 창의성의 주요한 구성 요소인 확산적 사고, 통찰, 관계적 사고 그리고 예술적 창의성에 대한 인지신경과학 연구들을 소개한다. 여러 연구 결과를 종합적으로 고려한 결과, 창의성의 인지신경학적 기전과 관련하여 우반구가 좌반구보다 우세하다는 가설은 실험적 증거에 의해 지지되지 않았다. 또한, 창의성과 관련하여 특정 뇌 영역의 중요성이 일관되게 보고되고 있지 않으며, 다양한 뇌 영역의 활동성이 창의성과 관계된다는 연구 결과가 혼재하고 있다. 이러한 상이한 연구 결과가 관찰되는 이유는 창의성의 각 구성 요소의 이질성 뿐 아니라, 연구에 사용된 과제의 특수성과 과제에 의해 유발된 인지적 전략의 차이에 의해 뇌 활동이 달라지기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 본 개관 연구에서는 창의성의 요소 별 뇌기반과 창의성의 증진에 대하여 우수한 연구 방법을 사용하여 탁월한 연구 성과를 이룬 대표적인 사례들을 소개하고 현행 연구들의 제한점과 후속 연구의 방향을 제시한다.

주제어 : 창의성, 확산적 사고, 통찰, 관계적 사고, 예술성, 부화 효과, 인지적 자극, 창의성의 증진, 경두개 직류 전기 자극

* 이 연구는 미래 창조 과학부의 재원으로 한국 연구 재단의 지원을 받아 수행되었음
(2014R1A1A3051034).

† 교신저자: 조수현, 중앙대학교 심리학과, 서울특별시 동작구 흑석로 84
연구분야: 인지 신경 과학

Tel: 02-820-5816, E-mail: soohyun@cau.ac.kr

서 론

창의성이란, 새롭고 유용한 아이디어를 산출하는 능력을 의미한다(Stein, 1953; Sternberg and Lubart, 1993). 창의성은 매우 고차원적이고 복합적인 정신적 능력으로서 과학 기술, 예술, 사회 제도, 그리고 산업 등 많은 분야에서 다양한 양상으로 발휘되어 인류 사회를 풍요롭게 하고 발전시키는 원동력이 된다. 한글을 창제한 세종대왕과 집현전 학자들의 창의성, 해바라기를 그린 빈센트 반 고흐의 창의성, 상대성 이론을 정립한 아인슈타인의 창의성, 운명 교향곡을 만든 베토벤의 창의성, PC를 대중화시킨 빌 게이츠의 창의성 등은 모두 창의성이 발휘된 대표적인 사례이다. 현대 사회의 많은 문제들을 해결하고, 현대인의 삶의 질을 높이고, 발전된 미래 사회를 구축하기 위해서 창의성을 함양하고 증진하는 문제는 매우 절실하다. 창의성에 대한 연구는 다른 심리학적 주제와 비교할 때 발전 속도가 상대적으로 느렸다(Dietrich and Kanso, 2010; Fink and Benedek, 2014). 이는 창의성이 동질적이지 않은 복잡하고 다양한 인지 과정일 뿐 아니라, 창의적인 발상이 떠오르는 순간에 창의성을 실험실에서 포착하여 연구하는 것도 쉬운 일이 아니기 때문이다. 근래에 과학적인 연구 방법론의 발달과 맞물려 창의성에 대한 인지신경과학 연구가 활발해지고 있으며, 창의성을 증진할 수 있는 기술과 교육 프로그램에 대한 관심이 고조되고 있다.

창의성에 대한 인지신경과학 연구를 통해 창의성의 기전을 이해하는 것은 창의성의 증진을 위한 교육적, 기술적, 제도적 방안 마련을 위한 초석이 될 것이다. 본 연구에서는 인지신경과학 분야에서 이루어진 창의성의 기전에 대한 연구들을 중심으로 개관하였다. 본 연구에서는 창의성을 대표하는 구성 요소가 되는 인지적 능력들은 무엇인지, 창의성의 구성 요소에 대응되는 두뇌 기반은 무엇인지, 창의성을 증진할 수 있는 기술이나 방안이 있는지 등에 대한 물음에 답하고자 하였다. 본 논문에 소개된 연구들은 웹 오브 사이언스(Web of Science)와 구글 스칼라(google scholar) 검색 엔진을 통해 ‘creativity’, ‘neuroimaging’, ‘fMRI’, ‘brain’ 등의 단어들을 이용한 검색 결과에 포함된 연구들과 해당 연구들에 인용된 논문을 포함한다. 창의성의 뇌기반과 창의성의 증진에 대한 인지신경과학적 연구에 초점을 두었기 때문에, 두 편의 뇌손상 환자 연구를 제외하고는 선행 연구의 대다수를 차지하는 정

상 성인을 대상으로 한 연구가 주로 포함되었다.

본 논문의 첫 단원에서는 먼저 창의성에 대한 인지신경과학적 접근법을 설명한 후 두 번째 단원에서는 창의성에 대한 인지신경과학적 연구 결과들을 소개한다. 세 번째 단원에서는 창의성의 증진에 대한 연구 결과들을 소개하고 마지막 단원에서는 후속 연구의 방향에 대한 논의와 함께 결론을 제시하였다.

창의성의 요소에 대한 인지신경학적 접근

창의성은 단일한(unitary) 능력이라기보다 매우 다양하고 이질적인 능력을 아우르는 복합적 개념이다. 창의성의 인지신경과학적 기전에 대하여 연구할 때 다양하고 이질적인 창의성의 모든 측면을 한꺼번에 연구하는 것은 불가능하다. 최근 가장 성공적이라고 평가 받는 창의성 연구들은 대부분 과학적인 방법론으로 접근 가능한 창의성의 구성 요소들을 중심으로 연구(component process approach)되어 왔다. 인지 심리학에서 구성 요소 접근은 동질적이지 않고 다양한 측면을 지닌(multi-faceted) 구성 개념(construct)에 대한 연구를 할 때 사용되는 환원론적 접근법이다. 인지 신경과학에서 고등 인지 과정을 가능하게 하는 신경적 기반은 여러 신경 시스템이 과제의 요구에 따라 역동적으로 재결합한 것으로 이해되고 있다(Vartanian, 2012). 진화론적으로도 우리 두뇌가 다양한 고등 인지 과정을 구현하기 위해 여러 개의 개별 신경 체계를 사용하는 것보다는 구성 요소가 되는 신경 체계들의 다양한 조합을 이용하는 것이 더 효율적이라 할 수 있다. 따라서 복잡하고 고등한 인지 과정인 창의성의 뇌기반을 연구하기 위해 구성 요소 접근을 사용하는 것은 매우 타당한 것으로 판단된다(Kozbelt et al., 2010). 또한, 구성 요소 접근은 선행 연구 간에 불일치하는 결과들이 혼재하여 일관된 패턴의 결론을 도출하기 어려운 때, 연구 대상의 복잡한 구조를 분석하여 이를 연구 가능한 부분으로 나누어 접근함으로써, 연구 간 불일치를 해소하고 일관된 흐름을 찾을 수 있는 돌파구를 마련할 수 있다. 구성 요소 접근을 이용한 인지 신경과학 연구의 예로, 작업 기억의 뇌 기반에 대한 초기 연구에서 작업 기억 과정을 세부 구성 요소로 나누어 각 하위 과정(subprocess)에 대응되는 뇌 기반이 연구되었다(Johnson et al., 2003).

창의성은 인간에게서만 발현되는 가장 대표적인 고등 인지 과정으로서 새로운

발상, 어려운 문제의 해결, 예술적 창조 등 매우 이질적이고 다양한 능력을 아우르는 매우 복합적인 개념이다. 따라서 창의성에 대한 연구도 이를 구성하는 개별 요소로 나누어 접근할 필요가 있다. 창의성에 대한 선행 연구들은 주로 확산적 사고(divergent thinking), 통찰(insight), 관계적 사고(relational thinking) 그리고 즉흥적 예술성 등을 창의성을 대표하는 구성 요소로 정의하였다. 이번 단원에서는 창의성의 구성 요소들을 소개하고 이에 대한 인지신경과학적 접근법을 설명하고자 한다.

창의성의 요소 - 확산적 사고

확산적 사고(divergent thinking)란, 정답이 정해지지 않은(open-ended) 문제에 대하여 새롭고 유용한 해결 방안을 다양하게 생각해내는 능력으로 정의된다(Guilford, 1950). 이는 정해진 하나의 정답을 구하는 수렴적 사고(convergent thinking)와 반대되는 개념이다. 확산적 사고 능력을 측정하기 위해서 대표적으로 많이 사용되는 과제들은 다음과 같다. 첫째, 대안 용도(unusual uses 혹은 alternative uses) 과제는 어떤 사물에 대하여 일반적인 용도 외에 새로운 용도를 최대한 많이 생각해내는 과제이다(Guilford, 1967). 예를 들어, 크리넥스 화장지에 대한 새로운 용법을 생각해보라고 한다면, 얼굴을 닦는 일반 용도 외에 아이들의 놀이감으로 활용한다는 생각을 해볼 수 있다. 아이들은 화장지를 뽑아서 공중에 띄우고 바닥에 떨어지지 않게 계속 손으로 띄우면서 놀 수 있다. 또, 벽에 못을 박았던 흔적이 구멍으로 남은 경우 휴지를 말아 넣어 구멍을 메꿀 수 있다는 생각을 볼 수 있다. 이처럼 사물의 새로운 용도를 최대한 다양하게 생각해내는 대안 용도 과제를 통해 확산적 사고 능력의 개인차를 측정할 수 있다. 둘째, 개념 확장(conceptual expansion) 과제에서는 특정 개념의 정의와 특성을 새로운 방식으로 변형하고 확장시키는 능력을 측정한다. 예를 들어, 가장 보편적인 개념 확장 과제인 ‘동물 과제’에서는 피험자들에게 지구인과는 전혀 다른 모습의 외계인의 모습을 상상해서 그려보도록 한다(Ward, 1994). 이 때, 사람들은 흔히 팔, 다리 등의 신체 부위와 눈, 코, 입 등 감각 기관이 있고 좌우가 대칭인 모습 등 우리에게 익숙한 동물 형상으로 외계인을 그리게 마련이다. ‘동물 과제’에서의 창의성은 피험자가 그린 외계인의 모습이 이러한 익숙한 형상에서 벗어날수록 높게 측정된다(Abraham and Windmann, 2007). 확산적 사고를 측정하는 검사로 Torrance’s Test of Creative Thinking(TTCT, Torrance, 1974)가 사용되기도 한다.

TTCT에서는 언어적, 비언어적 형식을 이용하여 확산적 사고 능력을 측정한다. 예시 문항으로는 사물의 대안 용도 제시하기, 기본적인 도형의 조합을 이용하여 흥미로운 그림을 완성하기, 기존의 장난감의 단점을 보완하여 더 재미있는 장난감으로 개조하기, 그림에 제시된 상황에 대한 흥미로운 이야기 만들기 등이 있다.

창의성의 요소 - 통찰

창의성의 또 다른 요소인 통찰(insight)은 불현듯 문제의 해결 방안이 떠오르거나 깨달음에 이르게 되는 현상을 의미한다. 통찰적 문제 해결 방식은 비통찰적(non-insight) 문제 해결 방식과 세 가지 측면에서 차이가 난다(Bowden et al., 2005). 첫째, 통찰적 문제 해결의 실마리는 갑작스럽게 떠오르며 그 해법이 자명한 정답이라고 확신하는 주관적 경험(“아하(Aha!) 효과”)을 동반한다. 둘째, 통찰적 문제 해결의 실마리가 떠오르기 전에는 일정 기간 동안 문제 해결에 진전이 일어나지 않는 교착 상태에 빠진다. 셋째, 사람들은 통찰적으로 문제를 해결한 이후에 문제 해결의 실마리가 어떻게 떠올랐는지를 설명하지 못한다.

통찰 능력을 측정하기 위해 사용하는 대표적인 과제는 애너그램(anagram), 복합 원거리 연합(compound remote associates 또는 remote associates) 과제 그리고 브레인 티저(brain teaser) 등이 있다. 애너그램(anagram)은 단어를 구성하는 철자의 순서를 뒤바꿔서 제시한 후 원래 단어가 무엇이었는지를 맞추는 과제이다(Novick & Sherman, 2003). 예를 들어, ‘srscosis’의 철자를 바로 잡으면 scissors가 된다는 것을 알아내면 된다. 복합 원거리 연합 과제는 몇 개의 단어를 제시한 후 그 단어들과 공통적으로 복합어를 구성할 수 있는 제 3의 단어를 맞추는 과제이다(Bowden et al., 2005; Mednick, 1962). 예를 들어, ‘cream’, ‘skate’, ‘water’ 를 제시 받았다면, 이들 각각의 단어와 복합어(ice cream, ice skate, ice water)를 이룰 수 있는 ‘ice’를 생각해 내면 된다. 브레인 티저는 복잡한 수수께끼와 같은 문제들을 말한다. 통찰적 문제 해결을 필요로 하는 브레인 티저 문제의 예시들이 그림 1에 제시되어 있다. 브레인 티저 문제는 개수가 많지 않고, 개별 문제의 형식이 매우 독특하기 때문에, 유사한 문제를 다수의 시행에서 제시하여야 하는 인지 신경과학적 실험 연구 방법의 요건으로 인하여, 애너그램이나 원거리 연합 과제에 비하여 연구에 사용되는 빈도가 상대적으로 적다.

가. 전구 스위치 수수께끼 (Sheth et al., 2009).

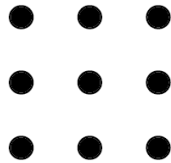


어떤 건물의 1층에는 3개의 스위치가 있다. 이 중 하나의 스위치는 그 건물의 3층에 있는 백열 전등을 켜고 끌 수 있다. 이 전등은 현재 꺼져 있다. 나머지 2개의 스위치는 연결이 끊겨 있다.

조건: 스위치를 껐다 켤 수 있는 회수에는 제한이 없으나, 3층에 올라가서 전구의 상태를 살펴보는 것은 딱 1번만 허용된다.

세 개의 스위치 중에서 어느 스위치가 3층의 전구를 제어하는지를 알아낼 수 있겠는가?

나. 9개의 점 수수께끼 (Maier, 1930).



종이에서 펜을 떼지 않은 채로 4개의 선분으로 9개의 점을 모두 지나가도록 한붓그리기를 해 보시오. 단, 한번 그린 선 위로 두 번 이상 덧칠해서는 안 됩니다.

그림 1. 브레인 티저 문제 예시.

가. 전구 스위치 수수께끼; 나. 9개의 점 수수께끼(정답은 부록 참조)

창의성의 요소 - 관계적 사고(relational thinking)

관계적 사고(relational thinking)는 두 가지 표상 간에 의미 있는 추상적 관계성을 생각해내는 능력으로서 유추 추론(analogical reasoning), 은유적 표현 산출(metaphor production) 등을 통한 창의성 발현에 필수적인 요소이다. 유추 추론은 두 표상 간에 관계적 구조(relational structure)의 유사성을 판단하는 논리적 사고 과정을 의미한다. 예제 1에 제시된 예시에서는 monkey와 banana 간의 관계를 horse와 빈 칸에 들어갈 단어와의 관계에 대응시켜야 한다.

[예제 1] monkey : banana :: horse : (?)

- ① cup ② carrot ③ race ④ diaper

예제 1의 유추 추론 문제를 풀기 위해서는 ‘banana(바나나)’가 ‘monkey(원숭이)’들이 좋아하는 음식이라는 관계성(relation)을 파악하고, 이를 ‘horse(말)’에 대응시켜, 말이 좋아하는 음식인 ‘carrot(당근)’을 추론해내야 한다. 관계성을 파악하고 이를 새로운 표상에 적용하는 과정을 ‘관계적 통합’(relational integration)이라 한다. 관계적 통합은 유추 추론의 핵심적인 인지 과정이자 창의성의 요소라 할 수 있다(Halford, 1998; Holyoak & Thagard, 1995). 유추 추론은 이미 알고 있는 지식에 빗대어 새로운 개념에 대한 통찰을 얻거나 유사한 현상에 착안하여 어려운 문제를 해결할 수 있는 창의성 발현의 요소가 된다. 예를 들어, 중학생이 원자의 구조를 이해하는 데에 이미 알고 있는 태양계에 대한 지식을 활용할 수 있다. 또 다른 예로, 의사가 방사선으로 암 조직을 치료하려고 할 때에 주변의 건강한 조직을 손상시키지 않으려면 어떠한 방식으로 방사선을 투사해야 하는가에 대해 고민할 때 장군이 적의 요새를 함락시키기 위해 병사들을 분산시켜 사방에서 동시에 공격하는 전술을 사용한다는 것을 떠올리면 약한 방사선을 사방에서 동시에 투사하면 된다는 아이디어에 착안할 수 있다(Holyoak & Thagard, 1995).

은유적 표현 역시 관계적 사고를 요한다. 예를 들어, ‘music is medicine’이라는 은유적 표현을 이해하기 위해서는, 사람을 치유할 수 있다는 공통점을 가진 음악과 약 간의 추상적 관계성을 추론해 낼 수 있어야 한다(Benedek et al., 2014). 은유적인 표현은 시나 미술 등 예술 작품에서 창의성 발현의 수단이 된다. 이러한 맥락에서 유추 추론이나 은유적 표현의 이해와 산출 등의 관계적 사고 과제를 이용하여 창의성이 연구되기도 한다(Benedek et al., 2014; Green et al., 2012a; 2012b; Jaarsveld et al., 2015; Prabhakaran et al., 2014; Vartanian, 2012).

창의성의 요소 - 즉흥 예술의 창의성

예술적 창의성에 대한 인지 신경과학적 연구들은 미술, 음악, 문학, 무용 등 다양한 예술 분야에서 주로 전문가들을 대상으로 하여 그들이 즉흥적인 창작 활동을 하는 동안 어떠한 뇌 활동의 변화가 일어나는지를 관찰하는 방식으로 이루어지고

있다. 물론, 실험실에서 즉흥적으로 창작을 하도록 요구받았을 때 일어나는 반응이 진정한 예술적 창의성을 반영하는지 혹은 예술을 창조하기 위해 의지적으로 노력하는 상태를 반영하는지를 분명하게 가리기 어렵다는 현실적인 한계를 부정할 수는 없을 것이다. 그러나, 이러한 실험 방법은 예술적 창의성을 실험적으로 연구하기 위해 창작 활동의 한 단면을 포착할 수 있는 유일한 방법일 것이다. 연구자들은 실험실에서 유도하는 예술 활동의 생태학적 타당도(ecological validity)를 높이기 위해 연주용 건반 악기, 태블릿 PC 등을 fMRI 촬영 중 사용 가능하도록 자성을 띄지 않는(MR compatible) 장비로 제작하여 사용하기도 한다(Ellamil, Dobson, Beeman, & Christoff, 2012; Limb & Braun, 2008). 최근에는 Liu 등의 연구자들이 전문 가수가 즉흥적으로 랩을 하는 동안 fMRI로 뇌 활동을 촬영한 결과를 발표하여 화제를 모으기도 하였다(Liu et al., 2012).

기타 창의성의 요소 및 영향 요인

앞서 소개한 창의성의 요소 외에, 이 분야의 연구에서 주류에 속하지는 않으나 간과되어서는 안 될 창의성의 요소들이 있다.

첫째, 확산적 사고와 반대되는 수렴적 사고 역시 창의성의 필수적인 요소임을 간과해서는 안 된다(Cropley, 2006; Jung et al., 2013). Cropley에 의하면, 창의적인 아이디어를 현실에 맞는 유용한 아이디어로 발전시키기 위해서는 수렴적 사고를 통한 평가와 검증 단계가 뒤따라야한다. 앞서 통찰 과제의 예로 들었던 원거리 연합 과제와 애너그램 과제는 통찰적 문제 해결을 유발할 수 있는 과제인 동시에 수렴적 사고를 통해 수행될 수 있는 과제이기도 하다(Chermahini & Hommel, 2010). 또한 확산적 사고를 요구하는 과제들에서도 다양한 아이디어의 산출 이후 이에 대한 평가와 선별 과정이 뒤따를 경우, 수렴적 사고가 요구된다. 창의적 평가 단계에서는 특히 풍부한 지식이 중요한 원천이 된다. 창의성이 무의식적 과정 혹은 순간적으로 떠오르는 영감이나 통찰에 의해 발현될 수 있지만, 그것이 가능한 이유는 그 이전에 많은 지식을 습득하고 의지적인 노력을 오랫동안 기울였기 때문일 것이다. 또한 지식에 기반한 창의적 평가 과정이 없다면 무엇이 창의적인가에 대한 판단 자체도 불가능하다. Ericsson과 Lehmann(1999)은 창의성 발현을 위한 지식과 기술적 기반을 다지기 위해서는 적어도 10년간의 훈련이 필수적이라고 하였다. 빈센트 반

고흐도 32세에 미술 학교에 입학하여 전통적인 미술 기법을 훈련 받은 이후에야 그의 작품에서 진정한 창의성을 발휘할 수 있었다. 이와 같은 사례들은 풍부한 지식에 기반한 수렴적 사고가 창의성 발현에 필수적인 요소임을 알 수 있게 한다 (Cropley, 2006).

둘째, 인지적 유동성(cognitive flexibility)도 사고와 행동이 민첩하게 새로운 상황에 적응할 수 있는 능력으로서 다양한 아이디어의 산출과 새로운 관계성의 발견에 기여하는 창의성의 요소라 할 수 있다(Barbey, Colom, Grafman, 2013; Collins & Koechlin, 2012). Barbey와 동료들(2013)은 범주 전환(category switching) 과제, 글자와 범주 유창성 과제(letter fluency test, category fluency test) 등을 이용하여 인지적 유동성을 측정하였다. 범주 전환 과제에서 피험자들은 ‘과일’과 ‘가구’ 범주에 해당하는 예시들을 번갈아 말하였다. 유창성 과제에서는 피험자들이 특정 범주에 속한 예시나 특정 글자로 시작하는 단어들을 생각나는 대로 모두 말하였다. 인지적 유동성과 관련한 연구는 또한, 창의성에 대한 긍정적 정서의 촉진적 영향과 함께 연구되기도 한다(Davis, 2009; De Dreu et al., 2011; Kaufmann, 2003).

셋째, 창의성은 새로움을 추구하는 능력으로서 익숙함이 주는 편안함에 안주하지 않는 성격, 낯선 것을 두려워하지 않는 성격, 도전을 즐기는 성격과도 관계가 있을 가능성이 높다(Feist, 1998; Williams, 1993). 창의성과 관련한 정서적 특성을 측정하기 위하여 Williams(1993)는 네 가지 요인 즉, 상상력, 모험(risk-taking), 호기심, 도전에 초점을 두어 ‘확산적 감정 검사(divergent feeling test)’를 개발하였다. 확산적 감정 검사는 ‘Williams 창의성 적성 검사(Williams creativity aptitude test)’라고도 불리며 창의성 관련 연구에 널리 사용되고 있다(Williams, 1993). 또한, 여러 심리학자들은 NEO Personality Inventory로 측정하는 다섯 가지 기본 성격 요인 중 특히 새로운 경험에 대한 열린 마음(openness to experience)과 외향성(extraversion)을 창의성과 관련한 성격 특질(trait creativity)로서 주목해왔다(Costa & McCrae, 1992; Feist, 1998; Li et al., 2015; Silvia et al., 2009). 이처럼 인지적 요인에 더하여 창의성과 관련한 성격적 요인에 대한 연구를 통해 창의성을 더 폭넓게 이해할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

창의성에 대한 인지신경과학적 연구

이번 단원에서는 과학적 방법으로 연구 가능한 창의성의 구성 요소들을 중심으로 인지행동 및 EEG, fMRI 등 뇌과학적 방법을 이용하여 수행된 주요 연구 결과들을 소개한다. 선행 연구들은 유사한 유형의 문제를 여러 시행에 걸쳐 반복적으로 제시하는 것이 가능한 과제를 사용해야 하는 실험 연구의 제약으로 인해 창의성 연구에 사용된 과제의 종류가 다양하지 않은 편이다(Abraham, 2013).

창의성 과제를 실시할 때 무엇보다 개별 피험자가 해당 문제를 미리 풀어본 경험이 없음을 확인해야 한다. 정답을 기억해서 문제를 푸는 과정은 창의적이라 볼 수 없기 때문이다. 또한, 과제를 수행하는 동안 피험자가 창의성을 발휘하여 생각하기보다는 아무렇게나 떠오르는 대로 반응을 하는 경우 혹은 창의적이기 위해 노력은 했으나 결과적으로 창의적이지 못했던 경우 측정된 반응들이 창의성을 반영한다고 보기 어렵다. 따라서, 창의성 과제 수행 시에 일어나는 반응이 참된 창의성을 반영하는지 아니면 임의적인 반응이나 창의적인 발상을 위해 노력하는 과정을 반영하는지 구별하기 어려울 수 있다. 이러한 한계를 보완하는 방법으로, 많은 수의 시행을 실시한 후 매 시행에서 피험자의 개별 반응의 창의성에 대한 평정을 통해 더 창의적인 반응과 덜 창의적인 반응을 구별하여 이에 대응되는 뇌 활동의 차이를 비교하는 추가 분석이 수반되어야 할 것이다. 또한, 창의성에 대한 인지신경과학적 연구 결과는 해당 연구에서 다루어진 창의성의 구성 요소에 국한하여 해석하여야 하며, 그것을 창의성 전체로 일반화시키지 않도록 주의해야 한다. 또한, 상관분석이나 회귀분석에 기반한 뇌영상 연구에서, 한 뇌 영역의 활동성이 특정 창의성의 요소와 관련이 된다는 보고는 상관관계가 있다는 의미로 해석해야 하며, 인과관계가 있는 것으로 비약해서는 안 된다.

이번 단원에서는 확산적 사고, 통찰, 관계적 사고, 예술적 창의성 그리고 기타 창의성의 요소와 영향 요인과 관련한 인지신경과학연구들을 차례로 소개할 것이다. 본 개관 논문에서 여러 연구들을 종합적으로 고려하여 살펴보고자 한 주요 내용은 다음과 같다. 첫째, 창의성의 각 요소 별로 선행 연구 간에 특정 뇌 영역의 관련성이 일관되게 보고되는지를 살펴보고자 한다. 둘째, 창의성에 대한 선행 연구 중 우수한 연구 방법으로 탁월한 연구 성과를 이룩한 대표적인 사례들을 소개하고

자 한다.

확산적 사고에 대한 인지신경과학적 연구

창의성의 구성 요소 중 확산적 사고에 대한 인지신경과학적 연구는 다른 창의성의 요소와 비교할 때 그 수가 압도적으로 많다. 연구에 사용된 기술적 방법도 다양하여 EEG(electroencephalography), fMRI(functional magnetic resonance imaging), PET(positron emission tomography) 그리고 NIRS(Near InfraRed Spectroscopy) 기법 등이 포함된다. 초기의 연구들은 창의성과 관련하여 우반구와 좌반구 간 비대칭성(hemispheric asymmetry) 혹은 EEG 알파(alpha) 파의 변화에 대한 가설을 검증하는데 주력하였다. 반구 간 비대칭성이란, 일반적으로 좌-우반구 간에 어떤 인지적인 활동에 대한 관여도나 중요도 측면에서 차이가 나는 현상을 의미한다. 창의성 연구에서의 반구 간 비대칭(hemispheric asymmetry) 가설은 창의성이 좌반구보다는 우반구의 기능에 의해 발현된다는 이론으로서 학계 뿐 아니라 대중에게도 보편적으로 알려져 있다. 그러나 최근까지 보고된 많은 연구들을 종합하여 고려한 결과, 창의성의 뇌기반과 관련한 반구 간 비대칭성에 대한 가설은 지지되지 않는 것으로 판단된다(Dietrich & Kanso, 2010). 왜냐하면, 우반구가 우세하다는 결과와 좌반구가 우세하다는 결과가 혼재하고 있으며, 대부분의 연구에서는 양반구가 함께 기능하는 것이 관찰되기 때문이다. 한편, 초기 연구들이 EEG 알파 파에 주목했던 이유는 선행 심리학 이론에 기반하여 가설을 검증하였기 때문이다. EEG 신호는 두뇌 피질 세포들의 전기적 활동을 기록한 전기 신호로서 다양한 주파수의 진동(oscillation)을 내포한다. EEG 신호는 주파수 분석을 통해 일반적으로 알파, 베타, 감마 등 몇 가지 범위의 주파수 대역으로 분리된다. 알파 파란, 8-13 Hz의 주파수 범위에서 나타나는 EEG 신호를 의미한다(Bear, Connors and Paradiso, 2007). 지난 세기에 Kris(1952)와 Mendelsohn(1976)은 창의성이 각기 ‘일차 과정 인지’(primary process cognition)와 ‘분산된 주의’(defocused attention)와 관련된다는 가설을 제기하여 초기 창의성 연구를 이끌었다. 일차 과정 인지는 정신 분석 이론에서 말하는 꿈이나 몽상과 같이 매우 비논리적이고 주관적이며 통제받지 않은 자유로운 의식적 활동을 의미한다. Kris의 이론에 따르면, 빠르고 유동적으로 ‘일차적인 사고’로 환원할 수 있는 능력은 독창적인 아이디어를 산출하는 데에 필수적이라고 한다. 창의적인 사람들은 추

상적이고 분석적인 ‘이차적인 사고’와 ‘일차적인 사고’ 간의 전환이 매우 용이하다고 한다. 또한, Martindale(1999)에 의하면, 창의적인 사람은 한 가지 업무에만 집중하기보다는 동시에 여러 가지 생각과 과제를 담당할 수 있는데 이러한 인지적 과정은 피질의 저각성(low arousal) 상태에서 더 잘 이루어진다고 주장하였다. Martindale(1999)의 가설은 알파 파의 증가가 피질의 저각성 상태를 반영한다는 몇몇 연구 결과(Pfurtscheller et al., 1996; Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999)에 의해 뒷받침되어, 창의성이 알파 파의 증가와 관계된다고 알려지게 되었다. 그러나 후속 연구들에서는 확산적 사고와 관련하여 알파 파의 활동성이 증가하는 결과(Fink, Grabner, et al., 2009) 뿐 아니라 감소하는 결과(Jausovec & Jausovec, 2000; Razumnikova et al., 2009)가 혼재하여 확산적 사고와 알파 파의 활동성이 일관적으로 증가한다고 단정 지을 수는 없다. 또한, EEG와 fMRI를 모두 이용한 Fink와 동료들의 연구(2009)는 확산적 사고와 관련하여 알파 파가 증가함을 보고하였으나, fMRI 실험으로 확인한 결과 그것이 피질의 저각성 상태를 반영하는 것이 아니라 뇌의 활동성 증가를 반영한다는 것을 확인시켜주었다(Fink, Grabner, et al., 2009). 최근에는, 창의성과 관련한 알파 파의 증가가, Martindale(1999)의 초기 이론과는 달리 뇌가 적극적으로 정보를 처리하는 상태를 반영한다는 해석이 더 지배적이다. 예를 들어, 알파 파의 증가가 과제와 무관한 정보를 적극적으로 억제하는 정보 처리 혹은 감각적 정보의 유입에 의해 영향을 받지 않는 순수한 하향식(top-down) 정보 처리 혹은 내면적 주의(internally oriented attention)를 반영한다고 보고되었다(Fink et al., 2009; Fink & Benedek, 2014; Klimesch et al., 2007; Sauseng et al., 2005; von Stein and Sarnthein, 2000).

EEG와 비교할 때 공간적 해상도가 높은 fMRI를 이용한 연구들에서는 구체적으로 뇌의 어떠한 세부 영역이 창의성과 관련되는지를 관찰하는 것이 주요 목표 중의 하나였다. 확산적 사고와 관련한 뇌영상 연구들에서 전두엽의 활동성이 비교적 일관되게 보고되고 있으나 전두엽 외의 영역의 중요성을 강조하는 연구도 다수 존재한다. 또한, 전두엽 내에서도 창의성과의 관련성이 보고된 세부 영역도 연구마다 매우 다양하다. Chrysikou와 Thompson-Schill(2011)에 의하면 대안 용도 과제를 수행하는 동안에는 후두엽과 측두엽의 활동성이 증가하는 반면에 사물의 일상적 용도를 보고하는 일상 용도(common uses) 과제를 수행하는 동안에는 외측 전두엽의 활

동성이 증가하였다고 한다(Chrysikou & Thompson-Schill, 2011). 확산적 사고와 관련하여 후두엽과 측두엽 외에도 두정엽 및 시각 피질, 전대상회(anterior cingulate cortex) 등 다양한 피질 영역과 해마(hippocampus), 시상(thalamus), 선조체(striatum) 등의 피질 하 영역(subcortical region)과의 관련성을 보고하는 연구들이 혼재한다(Fink, Grabner, et al., 2009; Howard-Jones et al., 2005). 여러 연구 간에 보고된 뇌 영역의 차이는 확산적 사고를 유발하기 위해 사용된 과제나 피험자의 인지적 전략의 다양성으로 인해 나타난 결과로 해석할 수 있다.

상관관계에 기반한 뇌영상 연구 결과를 보완해줄 수 있는 신경 심리학 연구로서 Shamay-Tsoory와 동료들(2011)은 내측 전두 피질(medial frontal cortex), 하측 전두 회(inferior frontal gyrus), 후측 두정 피질(posterior parietal cortex) 그리고 측두 피질(temporal cortex)이 각기 손상된 뇌손상 환자 집단을 대상으로 하여 확산적 사고 능력과 여러 두뇌 영역 간의 인과적 관계성을 비교 분석하였다(Shamay-Tsoory et al., 2011). 그 결과, 특히 우반구의 내측 전두 피질의 손상이 창의성에 가장 큰 장애를 일으키는 것으로 확인되었으며, 좌반구의 하측 전두회와 후측 두정 피질의 손상은 오히려 창의성을 향상시키는 것으로 드러났다. 저자들은 우반구의 전두-두정 연결망이 창의성 발현에 기여하며, 내측 전두 피질이 이 연결망의 일부로서 기능한다고 해석하였다. 저자들은 또한, 좌반구의 하측 전두회와 후측 두정 피질은 일상적인 언어적 정보처리를 담당하기 때문에, 이 영역들의 손상은 독창적인 발상과 상충할 수 있는 정보처리를 감소시켜 창의성을 증가시킬 수 있다고 해석하였다.

한편, 최근 확산적 사고와 휴지 상태 신경망(resting state network)의 활동성 간의 관계를 분석한 연구 결과들이 보고되었다(Beaty et al., 2014; Takeuchi et al., 2012). 휴지 상태 신경망이란, 휴식 상태에서 자발적으로 활동하는 두뇌 영역들이 서로 기능적으로 연결되어 형성한 신경 체계를 의미한다(Gusnard & Raichle, 2001). 휴지 상태 신경망 중 대표적인 디폴트모드 네트워크(default mode network)은 목표지향적인 인지적 정보처리가 배제된 자연스럽게 자발적인 의식 상태를 반영하는 신경망을 의미한다. 초기 모드 신경망은 내측 전두 피질, 후측 대상 피질, 하측 두정엽 등의 영역 간의 기능적 연결 구조로 이루어져 있다. Takeuchi와 동료들(2012)의 연구에 의하면 확산적 사고를 측정하는 창의성 검사 점수와 초기 모드 신경망의 주요 영역들인 내측 전두 피질과 후측 대상 피질 간의 기능적 연결의 강도가 유의한

정적 상관관계가 있다고 한다(Takeuchi et al., 2012). 저자들을 이 결과에 대하여 설득력 있는 해석을 제공하지 못하였으나 이와 유사한 연구를 발표한 Beaty와 동료들(2014)을 통해 초기 모드 신경망과 창의성의 관계성에 대한 흥미로운 해석을 접할 수 있다(Beaty et al., 2014). Beaty와 동료들(2014)은 확산적 사고 검사 점수를 이용하여 창의성 점수가 높은 집단과 낮은 집단을 비교한 결과, 창의성이 높은 집단에서 하측 전두 피질과 초기 모드 신경망 영역 간의 기능적 연결성이 높게 나타났다고 보고하였다(Beaty et al., 2014). Beaty와 동료들에 의하면, 창의적 사고는 통제되지 않은 자발적인 정보처리와 통제된 하향식 정보처리를 모두 포함한다. 창의적인 사고 과정 중 다양한 개념들이 무선적으로 조합될 때에는 자발적인 초기 모드 신경망의 기능이 관여될 수 있으며, 이러한 개념들을 평가하고 선별하는 데에는 전두엽에 의해 지휘되는 통제된 하향식 정보처리가 필요하다. 전두엽에 의한 집행 기능은 창의적이지 않거나 부적절한 아이디어를 억제하고 불필요한 정보로부터 주의를 이동시키는 데에도 필요하다. 따라서 창의적인 사람들에게서 초기 모드 신경망과 전두엽의 기능적 연결성이 높게 관찰된 것은 집행기능과 하향식 정보처리에 의해 자발적인 아이디어의 생산 과정이 잘 통제되고 있음을 반영한다고 볼 수 있다. 이와 같은 Beaty와 동료들의 해석을 고려하면, Takeuchi와 동료들(2012)의 연구에서 창의적인 사람들에게서 초기 모드 신경망의 기능적 연결성이 높게 나타난 것은 자발적 아이디어의 생산이 활발하게 일어났기 때문일 가능성을 추측해볼 수 있다.

통찰에 대한 인지신경과학적 연구

창의성의 구성 요소 중 통찰에 대한 인지신경과학적 연구는 확산적 사고에 비해 그 수가 상대적으로 많지 않다. 창의성의 요소로서 통찰적 문제 해결과 관련하여 Jung-Beeman과 동료들(2004)은 사건 관련 전위(event-related potential, ERP)와 fMRI를 이용하여 매우 흥미로운 연구 결과를 보고하였다. Jung-Beeman과 동료들의 연구(2004)에서는 통찰이 일어나는 순간 뇌에서 어떤 신호가 발생하는지를 보고하였다(Jung-Beeman et al. 2004). 이 연구자들은 피험자들에게 복합 원거리 연합 과제를 수행하도록 하였으며, 정답이 떠오르는 순간에 버튼을 누르도록 지시하였다. 과제 수행 중 측정된 사건 관련 전위 신호에서 통찰의 순간에 이르기 300 ms 전에 높

은 주파수의 감마(gamma) 파¹⁾가 관찰되었으며, 이는 우반구 측두엽에서 기원하는 신호일 것으로 예측하였다. fMRI를 이용한 추가 실험 결과, 이러한 통찰 관련 뇌 활동이 우반구 상측 측두회(superior temporal gyrus, STG)에서 일어난다는 것을 확인하였다. 상측 측두회 영역은 언어의 의미를 처리하는 영역으로 단어 간의 연합에 대한 창의적인 정보 처리 시에 이 영역에서 감마 파에 반영된 특별한 활동이 일어나는 것으로 해석할 수 있다. 통찰적 문제 해결과 감마 파 간의 관련성은 브레인 티저 등 언어적 수수께끼 문제(그림 1)를 이용한 Sheth와 동료들(2009)의 연구에 의해서도 뒷받침된다. Sheth와 동료들(2009)의 연구에서는 피험자 스스로 통찰적 문제 해결에 성공한 시행과 스스로 풀지 못하는 시행에 주어진 힌트를 사용하여 통찰적 문제 해결에 성공한 시행에만 선택적으로 감마 파가 증가하였다(Sheth et al., 2009). Jung-Beeman과 동료들의 연구(2004)에서는 또한, 앞서 언급한 감마 파가 발생하기 직전에 우반구 시각 피질에서 알파 파가 관찰되었다. 저자들은 시각 피질에서 발생한 알파 파가 시각적 정보를 억제하는 인지 통제 기제를 반영하는 것으로 해석하였다. 즉, 불필요한 시각 정보를 억제하는 것은 통찰적 문제 해결에 도움이 될 수 있다는 것이다. 이는 우리가 어떤 문제에 대해 집중하며 골똥히 생각을 하는 동안 저절로 눈을 감게 되는 것처럼 우리 두뇌에서도 통찰적 문제 해결을 위해 불필요한 시각적 정보를 억제하는 기전이 작동할 가능성을 시사한다. 같은 연구자들의 후속 연구에서 Kounios와 동료들(2006)은, 피험자들이 풀어야 할 문제가 제시되기 수 초 전의 뇌 활동성이 몇 초 후 그 문제가 통찰적으로 해결될 것인지, 아니면 분석적으로 해결될 것인지를 예측할 수 있었다고 한다(Kounios et al., 2006). 이 연구에서, 복합 원거리 연합 문제 제시 직전에 측두엽과 전대상회의 활동성 증가는 이후 통찰적 방식의 문제 해결을 예측한 반면, 시각 피질의 활동성 증가는 분석적인 방식의 문제 해결을 예측했다고 한다. 저자들은 이러한 뇌 활동이 문제 풀기 전 뇌의 준비 상태를 반영하는 것으로, 시각 피질의 활동성 증가는 외적 시각 자극에 대한 주의 증가를, 전대상회의 활동성 증가는 내면으로의 주의 증가를 의미하는 것으로 해석하였다.

한편, 통찰적 문제 해결에 대하여 전두엽의 중요성을 보고한 논문들도 다수 존

1) 감마(gamma) 파: 30 Hz 이상의 주파수 범위의 뇌파

재한다(Aziz-Zadeh et al., 2009; Bechtereva et al., 2004; Darsaud et al., 2011; Luo & Niki, 2002; Rose et al., 2005). 그 중에서 매우 흥미로운 Darsaud와 동료들(2011)의 fMRI 연구 결과를 소개하고자 한다. Darsaud와 동료들(2011)은 피험자들에게 암묵적 학습 과제를 12시간 간격으로 이틀에 걸쳐 실시하였는데, 두 번째 회기에서 통찰적으로 문제를 해결한 피험자와 그렇지 못한 피험자의 두 회기 동안의 뇌 활동을 비교 분석하였다. 흥미롭게도, 두 번째 회기에서 통찰에 이르게 된 피험자들은 그렇지 못한 피험자들과 비교할 때 첫 회기에서부터 전두엽의 상측 전두회 영역과 두정엽 그리고 섬엽(insula)에서 더 높은 뇌 활동성이 관찰되었다(Darsaud et al., 2011). 물론, 통찰과 관련하여 전두엽의 관련성을 보고한 여러 연구들 간에도 강조된 전두엽의 세부 영역은 각기 다르다. 이러한 차이는 각 연구에 사용된 과제의 특성이나 피험자의 인지적 전략의 차이를 반영하는 것으로 해석할 수 있다.

통찰에 대한 사건 관련 전위 연구들 중 전대상회 영역의 활동성 변화를 강조한 연구도 있다(Mai et al. 2004; Qiu et al. 2008a; 2008b). 전대상회 영역은 일반적으로 오류 혹은 불일치하는 정보의 탐지 및 불일치 해소 등의 정보 처리와 관계된다고 알려져 있다(Carter, et al., 1999). 따라서 통찰적 문제 해결 과정에서 교착 상태에서 벗어나는 결정적인 전환 단계에서도 전대상회의 활동이 일어나는 것으로 생각할 수 있다.

창의성의 요소로서 통찰적 문제 해결에 대한 연구를 수행할 때 주의할 점은, 원거리 연합이나 애너그램 등의 문제를 풀 때, 통찰적 문제 해결이 아닌 수렴적 사고나 장시간에 걸친 시행 착오(trial and error) 방식의 문제 해결 전략이 사용될 수 있다는 점이다. 따라서 피험자들에게 시행 별로, 어떠한 인지적 과정에 의해 문제를 풀었는지에 대한 반응을 함께 수집하여 통찰적 문제 해결과 비통찰적 문제 해결을 명확히 구별하는 분석이 중요하다.

여러 연구 결과를 종합하면, 통찰적 문제 해결과 관련한 인지 신경과학 연구들에서도 과제의 특성에 따라 전두엽, 측두엽, 두정엽 등 다양한 영역의 관련성이 보고되고 있으며 우반구가 좌반구보다 창의성에 더 많은 기여를 한다는 이론은 지지받지 못한다. 각각의 연구 결과는 해당 연구에서 조작적으로 정의된 창의성의 한 단편에 대한 뇌 기반으로 이해해야 할 것이며, 개별 연구 결과를 창의성 전체로 일반화시키지 않도록 주의해야 한다.

관계적 사고에 대한 인지신경과학적 연구

창의성의 요소로서 관계적 사고에 대한 인지신경과학적 연구의 수는 아직까지 매우 적으나, 관계적 사고는 창의적 문제 해결과 추론 등 지능적인 인지 과정의 필수적인 요소로서 많은 후속 연구가 이어질 것으로 전망된다. Green et al.(2012a)은 관계적 사고를 요하는 유추 추론 과제를 이용한 fMRI 실험을 통해 더 창의적인 유추 추론 과정이 일어날 때 좌반구 전두극 피질(frontopolar cortex)에서 활동성이 더 높아진다고 보고하였다(Green et al., 2012a). 이 연구에서는 각 시행에서 유발된 유추 추론의 창의성을 측정하기 위해 의미적 거리(semantic distance) 분석을 실시하였다. Green과 동료들에 의하면, A:B::C:D와 같은 형태로 제시되는 언어적 유추 추론에서 A:B 와 C:D 두 단어 쌍 간의 의미적인 거리가 멀수록 더 깊이 있고 창의적인 관계적 사고를 필요로 한다. 예를 들어, [kitten:cat::spark:fire]은 [kitten:cat::puppy:dog] 보다 더 창의적이고 깊이 있는 관계적 유사성에 대한 추론을 필요로 한다. 왜냐하면, [kitten:cat]과 [puppy:dog]은 표면적으로 유사하기 때문에 의미적인 거리가 가까운 반면, [kitten:cat]과[spark:fire]는 표면적으로 전혀 유사하지 않기 때문에 의미적인 거리가 멀고 추상적인 수준에서 유사성을 발견해야 하기 때문이다. 유사한 논리에 기반하여 Prabhakaran과 동료들(2014)은 동사 산출하기(verb generation) 과제를 이용하여 두 개념 간의 의미적인 거리가 먼 경우의 관계적 정보 처리가 여러 가지 창의성 검사 점수들과 매우 높은 상관관계가 있음을 보고하였다(Prabhakaran et al., 2014). 동사 산출하기 과제는 각 시행에서 제시된 명사와 의미적으로 관련된 동사를 산출하는 과제이다. 예를 들어, ‘ball’을 제시받으면 ‘throw’, ‘play’ 등의 답을 말할 수 있다. 저자들은 절반의 시행에서는 피험자들에게 창의적으로 답을 하라는 지시를 한 반면, 나머지 절반의 시행에서는 그러한 지시를 하지 않았다. 두 단어 간의 의미적 거리에 대한 분석 결과, 창의적으로 답하도록 지시받은 조건에서 그렇지 않았던 조건에서보다 의미적 거리가 높게 나타났으며, 의미적 거리가 더 높게 측정된 피험자들이 그렇지 못한 피험자들보다 확산적 사고, 글쓰기, Torrance test 등 다양한 방식으로 측정된 창의성 점수가 더 높았다.

한편, Benedek과 동료들(2014)은 은유 산출(metaphor production) 과제를 통해 더 창의적인 은유적 표현과 관련한 두뇌 영역을 보고하였다(Benedek et al., 2014). 이 연구에서는 피험자들에게 ‘the lamp is (glaring)’과 같은 문장을 보여주고, 괄호 안의

형용사를 대체할 수 있는 단어를 말하도록 하였다. 실험 조건은 두 가지였는데, 이 중 한 조건에서는 동의어를 말하도록 하였고, 다른 조건에서는 창의적인 은유적 표현을 말하도록 하였다. fMRI 분석 결과, 은유적 표현 산출은 좌반구의 각회 (angular gyrus), 배내측 전전두 피질(dorsomedial prefrontal cortex), 후측 대상 피질 (posterior cingulate cortex)의 활동성 증가와 관계되었으며, 더 창의적이라고 평정된 은유적 표현이 산출된 시행일수록 좌반구의 배내측 전전두 피질과 중측두회(middle temporal gyrus)에서의 신호 강도가 높았다.

Jaarsveld와 동료들(2015)은 비언어적인 관계적 추론 과제를 이용하여 창의성과 관련된 뇌파를 측정하였다(Jaarsveld et al., 2015). 이 저자들은 피험자들에게 비어 있는 3 x 3 행렬을 보여주고 Raven's progressive matrices 검사와 같은 지능 검사 문항을 직접 개발하도록 지시하였다(Raven et al., 1998). 피험자들은 기하학 도형들을 이용하여 행렬의 가로와 세로 방향으로 도형들 간에 논리적인 관계성이 성립하도록 추론 문항을 완성해야 했다. '추론' 단계와 '그리기' 단계를 나누어 사건 관련 전위 신호를 분석한 결과, 추론 단계에서 알파 파의 증가가 관찰되었는데, 특히 추론의 초기와 후기에서 전두엽과 전전두엽의 알파 파의 강도가 가장 높았다. 추론 단계의 초기에 관찰된 알파 파의 증가는 과제에 적합한 정보들을 장기기억으로부터 선택적으로 인출하는 과정을 반영하는 것으로 해석되었다. 한편, 추론의 중반기에서 인출된 정보들을 한 번에 하나 씩 문제 상황에 대입해보고 평가하는 시행 착오 방식의 정보처리가 일어나는 동안에는 상대적으로 알파 파가 감소하는 것으로 해석되었다. 추론 단계의 후기에서는 '그리기' 단계에 들어가기 직전 최종적으로 모든 정보를 종합하고 연결(binding)지어 최선의 아이디어를 선정하는 과정이 알파 파의 증가에 반영된 것으로 해석되었다. 관계적 사고를 통한 창의성 발현이 전두엽에서의 알파 파의 증가와 관계된다는 실험적 증거는 확산적 사고 과제를 이용하여 창의성을 연구한 Fink와 동료들의 연구 결과와 일치한다(Fink & Benedek, 2014; Fink, Grabner et al., 2009).

종합하면, 관계적 사고를 요하는 창의성에 대한 인지신경과학 연구에서는 공통적으로 전전두엽을 포함한 전두엽의 활동성 증가가 관찰된다고 볼 수 있다. 관계적 사고는 추론의 일종이기 때문에 추론 과제에서 일관되게 관찰되는 뇌 영역들이 관계적 사고를 통한 창의성 발현에도 관여하는 것으로 이해할 수 있다(Bunge et

al., 2004; Christoff et al., 2001; 2003; Cho et al., 2010; Green et al. 2006; Kroger et al., 2002; Luo et al. 2003; Prabhakaran et al., 1997; Wendelken et al., 2008).

예술적 창의성에 대한 인지신경과학적 연구

예술적 창의성에 대한 인지신경과학적 연구는 그 수가 많지 않으나, 연구에 사용된 방법론이 매우 흥미롭고 생태학적 타당도가 높다고 판단된다. 본 단락에서는 다양한 분야의 예술적 창의성을 연구한 흥미로운 사례들을 소개하고자 한다. 먼저, Bhattacharya와 동료들은 EEG를 이용하여 미술 작품을 머리 속으로 구상하는 동안 전문 화가와 일반인의 두뇌 활동을 비교하였다(Bhattacharya & Petsche, 2005). 피험자들은 EEG 측정이 끝나면 도화지에 구상한 그림을 그렸다. 분석 결과, 전문 화가들은 일반인에 비해 델타(delta)²⁾ 파의 동시 활동성(synchrony)이 증가하는 한편, 알파 파의 동시 활동성이 감소하였다. 이 연구의 저자들은 이러한 결과가 전문 화가들이 작품을 구상하는 동안 시각 예술에 대한 장기 기억의 활성화와 강도 높은 하향식 정보처리가 일어나는 것을 반영한다고 해석하였다. Bengtsson과 동료들(2007)은 전문 피아니스트들이 즉흥적으로 간이 키보드를 이용하여 작곡을 하는 동안의 뇌 활동을 fMRI로 측정한 결과, 통제 조건과 비교할 때 즉흥적으로 작곡을 하는 동안 배외측 전전두 피질(dorsolateral prefrontal cortex), 전 보조 운동 영역(presupplementary motor area), 배측 전 운동 영역(dorsal premotor area) 등에서 활동성이 증가하였음을 보고하였다(Bengtsson et al, 2007). 한편, 유사한 방법론으로 Limb와 Braun(2008)은 전문 재즈 피아니스트들이 즉흥적으로 연주할 때, 배외측 전전두엽, 외측 안와 전두피질(lateral orbital frontal cortex)의 활동성이 더 감소하며, 내측 전전두엽(medial prefrontal cortex)의 활동성이 더 증가한다고 보고하였다(Limb & Braun, 2008). 음악적 창조성과 관련하여 유사한 연구 방법을 이용한 두 연구 간에 매우 대조적인 결과가 보고된 것에 대한 명확한 해석을 내리기는 어려우나, 의지적인 노력과 하향식 정보 처리에 의존하는 창작과 자유롭고 절제되지 않은 상향식 정보처리에 의존하는 창작 등 다양한 창작의 방식에 따라 뇌 활동이 달라질 가능성을 추측해볼 수 있다. Limb 와 Braun(2008)의 연구 결과와 일치하는 연구 결과가 최근에 Liu와 동료

2) 델타(delta) 파: 4 Hz 이하의 낮은 주파수 범위의 뇌파

들(2012)에 의해 발표되었다. 이 연구에서는 전문 프리스타일 래퍼(free style rapper)들이 즉흥적으로 랩을 하는 동안 배외측 전전두엽의 활동성은 감소하고, 내측 전전두엽의 활동성을 증가하는 것이 관찰되었다(Liu et al., 2012). 이 연구의 저자들은 외측 전두엽에 기반한 집행 기능이 약화된 상태가 통제되거나 걸리지 않는 자유로운 정보 처리를 가능하게 하여 즉흥적인 랩과 같은 창조 활동을 원활하게 한다고 해석하였다.

Ellamil와 동료들은 창작 과정을 두 단계로 나누어 창의적 아이디어 산출(creative generation) 단계와 자신이 산출한 아이디어에 대한 창의적 평가(creative evaluation) 단계와 관련된 뇌 활동을 측정하였다(Ellamil et al., 2011). 이 연구에서는 피험자들이 책의 표지를 디자인하기 위해 태블릿 PC에 그림을 그리거나 글을 적는 동안 뇌 활동을 측정한 결과, 아이디어 산출 단계에서는 내측 측두엽의 활동이 증가되었으며, 아이디어 평가 단계에서는 집행 기능 관련 전두엽 영역 및 디폴트모드 네트워크와 섬엽 등에서 활동성이 증가되었다. 이 연구의 저자들은 새로운 아이디어의 산출 과정에서는 내측 측두엽에 기반한 연합적 정보 처리와 기억 표상의 산출이 이루어지며, 산출한 아이디어를 평가하고 걸러내는 과정에서는 전두엽에 기반한 분석적인 집행 기능과 함께 초기 모드 신경망과 섬엽에 기반한 정서적이고 본능적인 평가 과정이 복합적으로 관여된다고 해석하였다.

Shah와 동료들(2013)은 창의적 글쓰기를 ‘브레인스토밍’과 ‘글쓰기’ 단계로 나누어 그 뇌 기반을 fMRI로 연구하였다(Shah et al., 2013). 저자들은 창의적 글쓰기를 유도하기 위하여 문학작품과 신문 기사의 일부를 발췌한 후 피험자들로 하여금 글을 이어 쓰도록 하였다. 통제 조건으로는 글 읽기와 글 따라쓰기 조건이 포함되었다. 분석 결과, 창의적인 글을 쓰기 위해 아이디어를 구상하고 계획을 세우는 브레인스토밍 단계에서는 양반구의 하측 전두 피질과 좌반구 하측 두정 피질, 상측 측두 피질 등을 포함하는 두정-전두-측두 연결망에서 폭넓게 활동성이 높아졌으며, 창의적 글쓰기 단계에서는 운동 영역, 측두-후두 피질, 시각 영역 및 소뇌 등에서 폭넓게 활동성이 높아졌다. 글 따라쓰기 조건에서의 뇌 활동을 창의적인 글쓰기 조건에서의 뇌 활동으로부터 감하였을 때, 좌반구 상측 측두 피질과 좌반구 하측 전두 피질에서 나타난 뇌 활동의 차이 신호가 특히 여러 가지 검사를 통해 측정된 창의성 점수와 정적 상관성이 있었다. 이 저자들의 후속 연구(2014)에서는 창의적 글

쓰기에 전문적인 훈련을 받은 피험자 집단과 일반 피험자의 휴지 상태 신경망의 활동을 비교하였다(Lotze et al., 2014). 그 결과, 전문가 집단에서 양반구 하측 전두 피질 간의 연결성과, 좌반구의 미상핵(caudate nucleus)과 측두극(temporal pole) 간의 연결성이 더 낮았다. 저자들은 이러한 결과가 전문가 집단에서 탈억압적(disinhibitory)인 정보 처리, 선행 지식에 의해 제약받지 않는 자유분방한 사고가 더 활성화되는 현상을 반영하는 것으로 해석하였다.

예술적 창의성에 대한 연구들에서도 역시 반구 간 비대칭성에 대한 가설이 지지되지 않을 뿐 아니라, 특정 뇌 영역의 활동성이 일관되게 관찰되지 않았다. 이는 문학, 미술, 음악 등 다양한 예술적 창의성을 연구하기 위해 사용된 과제의 특성에 따라 두뇌 활동이 달라지기 때문일 것이다. 예술적 창의성에 대한 연구들은 창의성을 유발하기 위해 사용된 과제들의 생태학적 타당도가 매우 높다고 판단되나 참된 예술적 창의성이 단시간에 발현되는 것이 아님을 고려할 때, 실험 중 과제의 수행이 실제로 얼마나 창의적인지에 대한 평가를 통해 단순히 창의성 유도 과제를 수행할 때의 뇌 활동과 실제로 높은 수준의 창의성이 과제의 수행 중에 발현될 때의 뇌 활동을 구별할 수 있는 분석이 중요하다. 또한, 즉흥 예술 활동을 연구한 fMRI 연구에서는 피험자가 창작 활동 시에 머리를 움직이지 않도록 메모리 폼(foam) 등을 이용하여 머리를 고정하는 것이 중요하며 머리 움직임 관련 측정치를 이용한 사후 분석을 통해 창의성 관련 뇌 활동 신호에 신체 움직임에 의한 인위적인 잡음(artifact)이 반영되지 않았는지를 확인하는 작업이 필수적이다.

기타 창의성의 요소 및 영향 요인에 대한 인지신경과학적 연구

이번 단락에서는, 연구된 자료는 적으나 간과해서는 안 될 기타 창의성의 요소 및 영향 요인에 대한 인지신경과학적 연구를 소개하고자 한다.

Barbey와 동료들(2013)은 두뇌 손상 환자들을 대상으로 전환(switching)과 유창성(flucy) 과제 등을 이용하여 창의성의 요소로서 인지적 유동성을 측정하였다(Barbey, Colom & Grafman, 2013). 뇌손상 환자들에 대하여 병변과 증상 간의 매핑(lesion-symptom mapping) 분석을 실시한 결과, 인지적 유동성에 특히, 우반구 상측 측두회(superior temporal gyrus)의 역할이 결정적임을 발견하였다. 이 뇌 영역은 Jung-Beeman과 동료들(2004)이 선행 연구에서 통찰적 문제 해결과 새로운 의미적

관계성 발견과 관계되는 것으로 보고한 영역과 일치한다(Jung-Beeman et al., 2004). 뇌손상 연구는 특정 뇌 영역의 기능과 인지행동적 결함 간의 인과관계를 확인시켜 주는 매우 유용한 자료를 제공하여 뇌영상 연구에서 발견된 상관관계를 보완해준다. 즉, Barbey와 동료들(2013)의 뇌손상 연구 자료는 기존에 창의적 문제 해결 시 우반구 상측 측두 피질의 활동성이 증가한다는 상관관계를 발전시켜 이 영역이 손상될 경우, 유동성이 요구되는 창의적 문제 해결 능력에 결함이 발생한다는 인과관계를 확인시켜준다.

한편, 창의성의 성격적 요인에 대한 연구들은 상태(state)가 아닌 특질(trait)로서의 창의성에 더 주목한다. Li와 동료들은 Williams 창의성 적성 검사 점수가 우반구 후측 중측두회(posterior middle temporal gyrus)의 회백질(gray matter) 부피와 관계됨을 보고하였으며, 기본 성격 요인 중에서 특히 새로운 경험에 대한 열린 마음(openness to experience)이 두 변인 간의 관계성을 매개한다고 보고하였다(Li et al., 2015). Silvia와 동료들(2009)은 다섯 가지 기본 성격 요인(Big Five)이 상위 요인인 ‘가소성(plasticity)’과 ‘안정성(stability)’으로 대표될 수 있다는 선행 연구(De Young, 2006; Digman, 1997; Silvia et al., 2008)에 기반하여, 창의성과 새로운 경험에 대한 열린 마음, 가소성 간의 관계를 분석하였다(Silvia et al., 2009). 가소성은 기본 성격 요인 중 새로운 경험에 대한 열린 마음과 외향성을 포함하는 상위 요인이며, 안정성은 나머지 성격 요인(agreeableness, conscientiousness, emotional stability)들을 포함한다. 연구 결과, 새로운 경험에 대한 열린 마음은 확산적 사고, 창의적 성취(creative achievement), 일상적 창의성(everyday creativity), 창의적 자기 개념(creative self-concept) 등 다양한 지표의 창의성 점수와 폭넓은 상관관계가 있었다. 새로운 경험에 대한 열린 마음과 유일하게 상관관계가 나타나지 않은 창의성 지표는 수학과 과학 분야에서의 창의적 자기 개념이었다. 가소성 역시 앞서 언급한 거의 모든 창의성 점수와 상관관계가 있었으나 안정성은 창의적 성취와 일상적 창의성 점수와 오히려 부적 상관관계가 있었다.

창의성의 기타 요소로 소개한 인지적 유동성이나 성격 요인 등에 대해서는 앞으로 많은 후속 연구가 필요한 상황이다. 창의성에 대한 다양한 인지적 요소와 성격적 요소를 함께 고려한 후속 연구를 통해 창의성의 발현과 특질로서의 창의성을 더 심도 있게 이해할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다. 다음에 이어질 창의

성의 증진 단위에서는 특질이 아닌 상태로서의 창의성에 주목하여 창의성 발현을 촉진할 수 있는 방안을 다룬다.

창의성의 증진

창의 인재의 육성은 국가적인 관심사에 해당한다. 창의성을 증진할 수 있는 효과적인 방법이 있을까? 창의성은 타고난 능력에 의해서 어느 정도 결정되는 측면도 있겠지만, 최근 연구에 의하면, 창의성은 역동적인 상태로서 환경적 맥락에 의해 영향을 받아 증진될 수 있는 것으로 드러나고 있다. 이를 뒷받침하는 한 예로, Green과 동료들(2012b)은 피험자들이 유추 추론 과제를 수행할 때 “창의적으로 생각하라”고 명시적으로 지시를 전달할 때 실제로 수행이 높아진다고 보고하였다(Green et al., 2012b). 또한, Förster와 동료들(2004)은 통찰 과제의 수행에 앞서 가까운 미래보다는 먼 미래를 가정하는 시간적 관점을 갖도록 유도하면, 특히 추상적인 사고를 요하는 창의성 과제의 수행이 높아짐을 관찰하였다(Förster et al., 2004). 이처럼 개인의 잠재적인 창의적 능력을 극대화할 수 있는 교육적, 기술적 방안을 찾기 위해 심리학자와 인지신경과학자들이 활발하게 연구를 진행하고 있다. 이번 단위에서는 창의성의 증진과 관련하여 학계에서 가장 많은 관심을 기울이고 있는 부화 효과, 인지적 자극 기법과 경두개 직류 전기 자극(transcranial direct current stimulation; tDCS) 기법의 효과를 검증한 연구들을 소개할 것이다.

부화 효과를 통한 창의성의 증진

왕관에 불순물이 섞여 있는지를 알 수 있는 방법을 고민하던 중 목욕을 하다가 유레카를 외친 아르키메데스의 일화 이후 부화 효과(incubation)³⁾에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 이 중 대부분의 연구는 행동 연구이며, 아직 신경과학적 방법론을 이용한 연구는 많지 않다. 창의성의 증진과 관련하여 Baird와 동료들(2012)은 매우 흥미로운 행동 연구 결과를 발표하였다(Baird et al., 2012). 그들의 연구 결과에 따르면 공상(mind wandering)이 부화 효과를 일으켜 창의적인 문제 해결을 촉진한다고

3) 부화 효과: 의식적 문제 해결이 중단된 일정 기간 이후에 창의적 문제 해결 능력이 향상되는 현상

한다. Baird와 동료들은 피험자들에게 대안 용도 과제를 두 회기에 걸쳐 실시하였는데, 1차 회기를 마친 후 2차 회기가 시작되기 전에 부화 효과를 검증하기 위하여 4가지 실험 조건을 삽입하였다. 이 중 첫 번째 실험 조건에서는 피험자들이 삽입 과제로 쉬운 지각적 인지 과제(0-back task: 현재 시행의 표적 자극을 보고하는 과제)를 수행하였고, 두 번째 실험 조건에서는 삽입 과제로 어려운 작업 기억 과제(1-back task: 바로 전 시행의 표적 자극을 보고하는 과제)를 수행하였다. 세 번째 실험 조건에서는 피험자들이 삽입 과제를 수행하지 않고 휴식만 취하였고, 네 번째 실험 조건에서는 피험자들이 부화 기간 없이 곧바로 2차 회기에 들어갔다. 흥미롭게도, 2차 회기에서 1차 회기에서와 동일한 문제를 다시 접했을 때에, 쉬운 삽입 과제를 수행한 두 번째 실험 조건의 피험자 집단에서 대안 용도 과제의 점수의 향상도가 가장 높았다(2차 회기에서 새로운 문제를 풀도록 했을 때에는 실험 조건 간의 차이가 없었다). 저자들은 매우 쉬운 과제를 수행하는 상황에서처럼 딴 생각을 할 수 있는 여유가 있을 때 무의식적인 연합적 정보 처리가 창의적 문제 해결을 도모하여 부화 효과가 일어나는 것으로 해석하였다. 그러나, 쉬운 과제를 수행하는 상황과 비교할 때, 삽입 과제가 주어지지 않은 휴식 조건에서 부화 효과가 일어나지 않은 이유에 대해서는 별도의 해석을 제공하지 않았다. Gilhooly와 동료들(2013)은 창의성 과제와 삽입 과제의 특성에 따라 부화 효과가 달라지는지를 검증하였다(Gilhooly et al., 2013). 두 가지 종류의 창의성 과제(시각적 과제 대 공간적 과제)에 대하여 두 가지 종류의 삽입 과제(시각적 과제 대 공간적 과제) 수행의 영향을 관찰한 결과, 부화 기간 동안 시각적인 과제를 수행한 경우에는 공간적인 창의성 과제에서 부화 효과가 있었으며, 부화 기간 동안 공간적인 과제를 수행한 경우에는, 시각적인 창의성 과제에서 부화 효과가 있었다. 이 연구의 저자들은, 창의성을 증진시키기 위해서는 해결해야 할 과제와 질적으로 다른 성격의 과제를 수행하는 것이 부화 효과를 일으킨다는 것을 보여주었다.

창의성을 증진시키는 부화 효과의 기전에 대해서는 아직 명확히 밝혀지지 않았으나 Ritter와 Dijksterhuis(2014)는 개관 연구를 통해 부화 기간 동안 무의식적인 정보 처리가 창의성 증진에 기여하는지 혹은 부화 기간 동안 의식적인 문제 해결이 중단되는 것만으로도 부화 효과가 나타나는지를 살펴보았다(Ritter & Dijksterhuis, 2014). Gallate와 동료들의 연구(2012)에 의하면 의식적 문제 해결이 중단되는 것만

으로는 부화 효과가 나타나지 않으며, 부화 기간이 끝난 후 다시 동일한 문제를 해결해야하는 목표가 주어질 경우에만 부화 효과가 나타난다(Gallate et al., 2012). 또, Ritter와 동료들(2012)은, 1차 회기에서 피험자들이 문제 풀이를 하는 동안 특정 향기를 제시된 문제와 조건 형성(classical conditioning)시켰다. 그 다음, 피험자가 문제 풀이를 중단한 채 수면을 취하는 동안 문제와 조건 형성시킨 향기를 맡도록 하면 자는 동안 무의식적으로 문제를 다시 떠올리게 함으로써 깨어난 이후 창의적 문제 해결 능력이 향상되었다(Ritter et al., 2012). Ritter와 Dijksterhuis(2014)는 이러한 연구 결과들에 기반하여 단순히 의식적 문제 해결이 중단되는 것만으로는 부화 효과가 일어나지 않으며, 목표 지향적인 무의식적인 정보 처리가 부화 효과를 야기한다고 주장하였다. 이를 “무의식적 사고 이론”이라 한다. Ritter와 동료들은 무의식적인 사고가 창의적 문제 해결을 돕는 과정을 다음과 같이 설명하였다. 즉, 무의식적 사고는 정보를 효율적으로 재조직하고, 불필요한 정보를 정리하고, 기억 표상을 더 압축된 형태로 변형하고, 중요한 정보에 우선순위를 부여하는 등의 과정을 통해 창의적 문제 해결을 촉진한다. 무의식적 사고 이론은 부화 효과에 대한 행동적 증거들에 의해 결과론적으로 지지되고 있으나 수면 기간 혹은 삼입 과제를 실시하는 동안 실제로 목표 지향적인 무의식적 정보 처리가 일어나는지에 대한 직접적인 실험적 증거에 의해 뒷받침되고 있지는 않다. 부화 효과의 기전을 밝히기 위해 기존의 행동 연구의 한계를 보완할 수 있는 인지신경과학적인 후속 연구가 필요하다.

인지적 자극(cognitive stimulation)을 통한 창의성의 증진

다른 사람의 창의적인 아이디어를 접하게 되면 창의성 발현에 도움을 받을 수 있을까? 다른 사람의 창의적인 아이디어에 노출시켜 창의성을 자극하는 방법을 인지적 자극(cognitive stimulation)이라 한다. Fink와 동료들(2010; 2012)은 인지적 자극의 효과를 검증하였다. Fink와 동료들(2010)은 대안 용도 과제를 세 가지 조건으로 나누어 실시하였다. 인지적 자극 조건에서는 피험자들이 다른 사람들의 창의적인 답안을 보면서 대안 용도 과제를 수행하였고, 부화 조건에서는 대안 용도 과제 수행 중 자신이 제시했던 아이디어에 대해 생각해보고 이를 더 발전시키거나 수정하도록 하였으며, 일반 조건에서는 특별한 조치 없이 평이하게 대안 용도 과제를 수행

하였다. 연구 결과, 인지적 자극 조건, 부화 조건, 일반 조건 순으로 독창성 점수가 높았다. 다시 말해, 피험자들이 다른 사람의 창의적인 아이디어에 노출된 조건에서 가장 독창적인 아이디어를 산출하였다. 이와 유사한 방식으로 실시된 Wei와 동료들(2014)의 연구에서도 다른 사람의 아이디어에 노출될 때 대안 용도 과제의 수행이 좋아졌다(Wei et al., 2014). 이 연구에서 저자들은 또한 인지적 자극 훈련 이후 내측 전두 피질과 중측 측두 피질(middle temporal cortex) 간의 휴지 상태 신경 연결의 강도가 더 강해졌다고 보고하였다. 이 두 연구의 결과만을 놓고 보면, 다른 사람의 창의적인 아이디어에 노출되는 인지적 자극이 창의성을 높이는 것으로 생각할 수 있다. 그러나, Fink와 동료들의 후속 연구(2012)에서는 인지적 자극의 효과에 대하여 다소 다른 결론이 도출되었다. Fink와 동료들(2012)은 대안 용도 과제를 세 가지 조건으로 나누어 실시하였다. 독창적 인지적 자극 조건에서는 다른 사람들의 매우 창의적인 답안이 제시되었으며, 보편적 인지적 자극 조건에서는 다른 사람의 보편적인 대답 혹은 약간(moderately) 창의적인 답안이 제시되었으며, 통제 조건에서는 유사 비단어(pseudoword)들이 제시되었다. 연구 결과, 보편적 인지 자극 조건에서만 통제조건과 비교하여 창의성 점수가 향상되었다. 독창적 인지 자극 조건에서의 창의성 점수는 통제 조건보다 높았으나 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았다. 이 결과에 따르면, 다른 사람의 아이디어에 노출되는 것이 창의성 향상에 도움이 되나, 다른 사람의 매우 독창적인 아이디어를 접할 경우에는 큰 도움이 되지 못할 수 있음을 알 수 있다. 인지적 자극의 효과에 대한 보다 분명한 결론을 내리기 위해서는 보다 많은 후속 연구가 필요한 상황이다.

지금까지 소개된 연구들은 개인 단위로 실시된 인지적 자극의 효과를 검증하였다. 그렇다면, 집단적인 인지적 자극은 창의성에 어떠한 영향을 미칠까? 집단적 브레인스토밍의 효과를 연구한 Paulus와 Brown(2007)에 의하면, 다른 사람과의 상호작용을 통한 창의적인 아이디어의 구상은 다양한 사회적, 인지적, 동기적 과정의 영향을 받는다(Paulus & Brown, 2007). 집단적 브레인스토밍은 혼자 아이디어를 구상할 때보다 더 장시간 지속될 수 있다는 장점이 있다고 한다. 그러나, 집단 속에서 브레인스토밍을 할 때, 내 아이디어에 대해 다른 사람이 부정적인 평가를 할 수도 있다는 불안감이 아이디어 산출을 방해할 수도 있으며, 다른 사람의 아이디어에 노출되는 것이 때로는 독창적인 사고를 방해하거나 억제할 수도 있다고 한

다. 예를 들어, 다른 사람의 아이디어에 고착되게 되면, 이에 대한 생각으로부터 의식적으로 벗어나려는 노력에도 불구하고 새롭고 독창적인 발상에 제약이 생기기도 한다. 또한, 다른 사람의 아이디어가 자신이 잘 모르는 분야와 관계될 때 집단적 브레인스토밍이 창의적 아이디어의 산출에 부정적인 영향을 미친다고 한다. 이처럼, 다른 사람의 아이디어를 접하는 인지적 자극이 개인의 창의적 사고에 미치는 영향은 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 모두 지닌다. 집단적 브레인스토밍이 가장 효과적이기 위해서는 상호보완적인 역할을 수행할 수 있도록 다양한 사람이 모이되 원활한 의사소통과 의견 교류를 위해 개념적 지식이 공유되는 사람들로 집단이 구성되어야 한다고 한다. 또한, 브레인스토밍 회기가 끝나기 전까지는 다른 사람의 아이디어에 대한 평가적인 발언은 금지되어야 아이디어가 제약 없이 발표될 수 있다고 한다(Osborn, 1957).

경두개 직류 전기 자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)을 통한 창의성 증진

창의성을 증진하는 방법으로 경두개 직류 전기 자극(transcranial direct current stimulation; tDCS) 방법이 주목받고 있다. 경두개 직류 전기 자극은 기존에 학습, 작업 기억, 의사 결정 등 인지 기능을 향상시키는 효과가 있다고 알려져 왔다(Fregni et al., 2005). 창의성 증진과 관련한 대표적인 경두개 직류 전기 자극 실험 결과를 소개하고자 한다. Chrysikou와 동료들(2011)은 앞 단락에서 언급하였듯이 확산적 사고가 인지 통제 기능이 저하된 상태에서 여과되지 않은 감각적 정보 처리에 의해 향상될 수 있다고 주장한 바 있다. 이 연구자들은 후속 연구(2013)에서 두뇌 기능을 억제시키는 경두개 직류 전기 자극 방법을 이용하여 좌반구의 외측 전두엽의 기능을 억제시키는 전기 자극(cathodal tDCS)이, 우반구의 동일한 위치에 전기 자극을 준 조건이나 모의(sham) 전기 자극 조건과 비교할 때 대안 용도 과제로 측정된 확산적 사고 향상 효과가 크다는 것을 보고하였다(Chrysikou et al., 2013). 이러한 향상 효과는 대안 용도 과제에서만 선택적으로 나타났으며, 창의성과 무관한 통제 과제들에서는 나타나지 않았다. Cerruti와 Schlaug(2009)는 좌반구 배외측 전전두엽의 기능을 촉진하는 경두개 직류 전기 자극이 원거리 연합 과제의 수행을 향상시켰다고 보고하였다(Cerruti & Schlaug, 2009). Chi 와 Snyder(2011)는 좌반구 전측 측두엽의

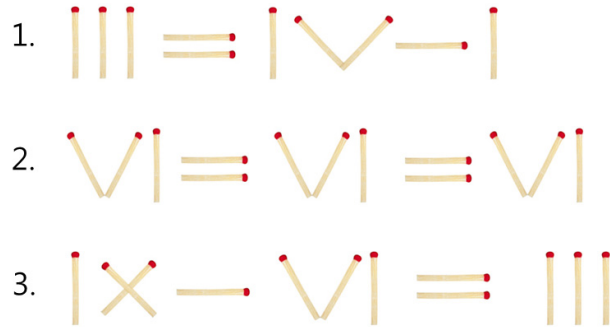


그림 2. 성냥개비 로마 숫자 산술 과제의 예시(Chi & Snyder, 2011). 성냥개비로 표현된 수학식들의 오류를 바로 잡는 과제 예시. 피험자들은 하나의 성냥개비를 다른 위치로 옮겨 수학식이 참이 되게 바꾸어야 한다. (정답은 부록 참조)

기능을 억제시키는 동시에 우반구 전측 측두엽의 기능을 촉진하는 경두개 직류 전기 자극이 성냥개비 로마 숫자 산술 과제(matchstick arithmetic task, 그림 2)라 불리는 통찰 과제의 수행을 향상시켰다고 보고하였다(Chi & Snyder, 2011). 이 연구의 저자들은 이러한 결과에 대하여, 좌반구 전측 측두엽의 기능을 억제하면 고착된 마음의 틀에서 벗어난 사고의 전환이 용이해져 통찰적 문제 해결이 촉진될 수 있다고 해석하였다. 이 연구의 저자인 Snyder는 창의적인 아이디어가 필요한 사람들의 브레인스토밍을 도와 줄 경두개 직류 전기 자극을 이용한 “생각하는 모자 (thinking cap)”를 개발하는 중에 있다고 한다. 이러한 연구 결과들을 종합하여 판단할 때, 경두개 직류 전기 자극은 창의성을 증진시키는 효과가 있다고 판단되나, 창의성 과제의 종류와 특성에 따라 억제적 혹은 촉진적 전기 자극을 전달해야 할 뇌 영역이 달라졌다. 따라서, 창의성의 증진에 대한 연구에서도 창의성의 종류와 구성 요소 별 접근이 필요하다. 또한, 경두개 직류 전기 자극을 이용한 실험 연구는 매우 약한 전류를 사용하였기 때문에 안전성에 큰 문제가 없는 것으로 받아들여지고 있으나, 전류의 세기가 일반적인 사용 기준보다 강해질 경우 안전성이 우려된다. 경두개 직류 전기 자극과 관련한 가장 큰 위험은 발작을 유발할 가능성이 있다는 점이다. 경미한 부작용으로는 두통, 구역질, 가려움, 간지러움, 그리고 살이 타는 듯한 느낌 등이 유발될 수 있다(Krause & Cohen Kadosh, 2013).

결론 및 제언

창의성은 다른 동물과 인간을 구별 지을 수 있는 가장 고차원적인 능력이며 단일한 능력이라기보다는 매우 이질적인 다양한 능력들을 아우르는 개념이라 할 수 있다. 따라서 창의성의 뇌기반에 대한 연구는 대부분 구성 요소 접근법을 통해 이루어져왔다. 본 개관 연구는 선행 연구가 많이 이루어졌던 확산적 사고, 통찰, 관계적 사고 그리고 즉흥 예술의 창의성에 대한 연구 결과를 중점적으로 다루었다. 또한 현재까지 많은 연구가 이루어지지 않았으나, 간과되어서는 안 될 창의성의 요소와 영향 요인에 대한 연구들도 함께 소개하였다. 후속 연구에서는 창의성의 다양한 인지적 요소와 함께 창의성과 관련한 성격적 요인 및 창의성에 영향을 미치는 요인에 대한 종합적인 연구를 통해 창의성을 더 폭넓게 이해할 수 있는 기반을 마련해야 한다.

현재까지 창의성에 대한 인지신경과학적 연구들은 대부분 실험적 방법으로 접근 가능한 창의성의 구성 요소에 대한 기전에 초점을 맞추었다. 따라서 창의성의 다양한 측면들에 대한 연구가 균형적으로 이루어지지 못한 현실적인 한계가 있다. 인지신경과학적 실험에서는 여러 시행에 걸쳐 동일한 인지 과정을 반복적으로 유도해야하기 때문에 동질적인 문제를 다수 만들어 사용할 수 있는 대안 용도 과제 혹은 원거리 연합 과제가 대부분의 확산적 사고 혹은 통찰 관련 연구에서 사용되고 있다. 창의성의 다양한 측면에 대한 연구를 위해 이 밖의 다양한 창의성 과제들을 고안할 필요가 있다. 창의성의 요소 별 접근에 기반한 연구들이 누적된 이후에는 다양한 창의성의 요소들 간의 관계적 구조에 대한 모델을 구축하고 검증하는 연구들이 뒤따라야 할 것이다.

현대 사회의 문제 해결과 발전을 위해 창의적인 인재 양성이 강조되고 있다. 비록 아직까지 그 수가 많지 않으나, 창의성을 함양하고 증진시킬 수 있는 교육적, 기술적 방법에 대한 연구 결과들은 매우 고무적이다(Baird et al., 2012, Chrysikou et al., 2013; Fink et al., 2010; 2012). 그러나, 장기간에 걸쳐 충분한 검증이 이루어지지 않은 채 몇몇 연구 결과에 기반하여 상업적으로 개발된 지능, 작업 기억 등 사고력 증진 훈련의 효과에 대한 철저한 검증이 요구되고 있는 것과 마찬가지로, 창의성을 증진시키는 방법들에 대한 연구들에 대해서도 폭넓고 철저한 반복, 교차 검

증 작업이 함께 수반되어야 할 것이다. 후속 연구에서는 또한, 스마트폰, 이메일 등 커뮤니케이션 수단을 끊임없이 사용하는 현대인의 생활 습관이 창의적 사고에 미치는 부정적인 영향과 이로 인한 사회경제적 비용도 연구될 필요가 있다.

참고문헌

- Abraham, A. (2013). The promises and perils of the neuroscience of creativity. *Frontiers in human neuroscience*, 7: 246.
- Abraham, A., & Windmann, S. (2007). Creative cognition: The diverse operations and the prospect of applying a cognitive neuroscience perspective. *Methods*, 42(1), 38-48.
- Aziz Zadeh, L., Kaplan, J. T., & Iacoboni, M. (2009). "Aha!": The neural correlates of verbal insight solutions. *Human brain mapping*, 30(3), 908-916.
- Aziz-Zadeh, L., Liew, S. L., & Dandekar, F. (2013). Exploring the neural correlates of visual creativity. *Social cognitive and affective neuroscience*, 8(4), 475-480.
- Baird, B., Smallwood, J., Mrazek, M. D., Kam, J. W., Franklin, M. S., & Schooler, J. W. (2012). Inspired by distraction: mind wandering facilitates creative incubation. *Psychological science*, 23(10), 1117.
- Barbey, A. K., Colom, R., & Grafman, J. (2013). Architecture of cognitive flexibility revealed by lesion mapping. *Neuroimage*, 82, 547-554.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). Neuroscience: exploring the brain. Hagerstown, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beaty, R. E., Benedek, M., Wilkins, R. W., Jauk, E., Fink, A., Silvia, P. J., ... & Neubauer, A. C. (2014). Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest. *Neuropsychologia*, 64, 92-98.
- Bechtereva, N. P., Korotkov, A. D., Pakhomov, S., Roudas, M. S., Starchenko, M. G., & Medvedev, S. V. (2004). PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *International Journal of Psychophysiology*, 53(1), 11-20.
- Benedek, M., Beaty, R., Jauk, E., Koschutnig, K., Fink, A., Silvia, P. J., ... & Neubauer,

- A. C. (2014). Creating metaphors: The neural basis of figurative language production. *NeuroImage*, 90, 99-106.
- Bengtsson, S. L., Csíkszentmihályi, M., & Ullén, F. (2007). Cortical regions involved in the generation of musical structures during improvisation in pianists. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(5), 830-842.
- Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2005). Drawing on mind's canvas: Differences in cortical integration patterns between artists and non artists. *Human brain mapping*, 26(1), 1-14.
- Bowden, E. M., Jung-Beeman, M., Fleck, J., & Kounios, J. (2005). New approaches to demystifying insight. *Trends in cognitive sciences*, 9(7), 322-328.
- Bunge, S. A., Wendelken, C., Badre, D., & Wagner, A. D. (2005). Analogical reasoning and prefrontal cortex: evidence for separable retrieval and integration mechanisms. *Cerebral Cortex*, 15, 239-249.
- Carter, C. S., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (1999). The contribution of the anterior cingulate cortex to executive processes in cognition. *Reviews in the Neurosciences*, 10(1), 49-58.
- Cerruti, C., & Schlaug, G. (2009). Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 1980-1987.
- Chermahini, S. A., & Hommel, B. (2010). The (b) link between creativity and dopamine: spontaneous eye blink rates predict and dissociate divergent and convergent thinking. *Cognition*, 115(3), 458-465.
- Cho, S., Moody, T. D., Fernandino, L., Mumford, J. A., Poldrack, R. A., Cannon, T. D., Knowlton, B. J., Holyoak, K. J. (2010). Common and dissociable prefrontal loci associated with component mechanisms of analogical reasoning. *Cereb Cortex*. 20(3), 524-33.
- Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J. K., Holyoak, K. J., & Gabrieli, J. D. (2001). Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning. *Neuroimage*, 14, 1136-1149.
- Christoff, K., Ream, J. M., Geddes, L. P. T., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Evaluating

- self-generated information: Anterior prefrontal contributions to human cognition. *Behavioral Neuroscience*, 117(6), 1161-1168.
- Chrysikou, E. G., Hamilton, R. H., Coslett, H. B., Datta, A., Bikson, M., & Thompson-Schill, S. L. (2013). Noninvasive transcranial direct current stimulation over the left prefrontal cortex facilitates cognitive flexibility in tool use. *Cognitive neuroscience*, 4(2), 81-89.
- Chrysikou, E. G., & Thompson Schill, S. L. (2011). Dissociable brain states linked to common and creative object use. *Human brain mapping*, 32(4), 665-675.
- Chi, R. P., & Snyder, A. W. (2011). Facilitate insight by non-invasive brain stimulation. *PLoS one*, 6(2), e16655.
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biol*, 10(3), e1001293.
- Costa PT, McCrae RR. (1992). Professional Manual: Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI). Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Cropley, A. (2006). In praise of convergent thinking. *Creativity research journal*, 18(3), 391-404.
- Darsaud, A., Wagner, U., Baetou, E., Deseilles, M., Sterpenich, V., Vandewalle, G., ... & Maquet, P. (2011). Neural precursors of delayed insight. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(8), 1900-1910.
- Danko, S. G., Starchenko, M. G., & Bechtereva, N. P. (2003). EEG local and spatial synchronization during a test on the insight strategy of solving creative verbal tasks. *Human Physiology*, 29(4), 502-504.
- Davis, M. A. (2009). Understanding the relationship between mood and creativity: A meta-analysis. *Organizational behavior and human decision processes*, 108(1), 25-38.
- De Dreu, C. K., Nijstad, B. A., & Baas, M. (2011). Behavioral activation links to creativity because of increased cognitive flexibility. *Social Psychological and Personality Science*, 2(1), 72-80.
- DeYoung, C. G. (2006). Higher-order factors of the Big Five in a multi-informant sample.

- Journal of Personality and Social Psychology*, 91, 1138-1151.
- Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822-848.
- Digman, J. M. (1997). Higher-order factors of the Big Five. *Journal of Personality and Social Psychology*, 73, 1246-1256.
- Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M., & Christoff, K. (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *Neuroimage*, 59(2), 1783-1794.
- Ericsson, K. A. & Lehmann, A. C. (1999). Expertise. In M.A. Runco & S. R. Pritzker (Ed.), *Encyclopedia of creativity*, Vol. 1 (pp. 695-707). San Diego, Academic Press.
- Feist, G. J. (1998). A meta-analysis of personality in scientific and artistic creativity. *Personality and Social Psychology Review*, 2(4), 290-309.
- Fink, A., & Benedek, M. (2014). EEG alpha power and creative ideation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 111-123.
- Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., Reishofer, G., Hauswirth, V., Fally, M., ... & Neubauer, A. C. (2009). The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Human brain mapping*, 30(3), 734-748.
- Fink, A., Grabner, R. H., Gebauer, D., Reishofer, G., Koschutnig, K., & Ebner, F. (2010). Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: evidence from an fMRI study. *Neuroimage*, 52(4), 1687-1695.
- Fink, A., Koschutnig, K., Benedek, M., Reishofer, G., Ischebeck, A., Weiss, E. M., & Ebner, F. (2012). Stimulating creativity via the exposure to other people's ideas. *Human brain mapping*, 33(11), 2603-2610.
- Förster, J., Friedman, R. S., & Liberman, N. (2004). Temporal construal effects on abstract and concrete thinking: consequences for insight and creative cognition. *Journal of personality and social psychology*, 87(2), 177.
- Fregni, F., Boggio, P. S., Nitsche, M., Berman, F., Antal, A., Feredoes, E., ... & Pascual-Leone, A. (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental brain research*, 166(1), 23-30.

- Gallate, J., Wong, C., Ellwood, S., Roring, R. W., & Snyder, A. (2012). Creative people use nonconscious processes to their advantage. *Creativity Research Journal*, 24(2-3), 146-151.
- Gilhooly, K. J., Georgiou, G., & Devery, U. (2013). Incubation and creativity: Do something different. *Thinking & Reasoning*, 19(2), 137-149.
- Green, A. E., Fugelsang, J. A., Kraemer, D. J., Shamosh, N. A., & Dunbar, K. N. (2006). Frontopolar cortex mediates abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096, 125-137.
- Green, A. E., Kraemer, D. J., Fugelsang, J. A., Gray, J. R., & Dunbar, K. N. (2012a). Neural correlates of creativity in analogical reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(2), 264.
- Green, A., Cohen, M., Kim, J., & Gray, J. R. (2012b). An Explicit Cue Improves Creative Analogical Reasoning. *Intelligence*, 40, 598-603.
- Goldman, R. I., Stern, J. M., Engel Jr, J., & Cohen, M. S. (2002). Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm. *Neuroreport*, 13(18), 2487.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York, NY, US: McGraw-Hill.
- Gusnard, D. A., & Raichle, M. E. (2001). Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(10), 685-694.
- Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 803-865.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Howard-Jones, P. A., Blakemore, S. J., Samuel, E. A., Summers, I. R., & Claxton, G. (2005). Semantic divergence and creative story generation: An fMRI investigation. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 240-250.
- Jaarsveld, S., Fink, A., Rinner, M., Schwab, D., Benedek, M., & Lachmann, T. (2015). Intelligence in creative processes: An EEG study. *Intelligence*, 49, 171-178.

- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology*, 36(1), 73-88.
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Mitchell, K. J., Greene, E. J., & Anderson, A. W. (2003). fMRI evidence for an organization of prefrontal cortex by both type of process and type of information. *Cereb Cortex*, 13(3), 265-273.
- Jung, R. E., Mead, B. S., Carrasco, J., & Flores, R. A. (2013). The structure of creative cognition in the human brain. *Frontiers in human neuroscience*, 7.
- Jung-Beeman, M., Bowden, E. M., Haberman, J., Frymiare, J. L., Arambel-Liu, S., Greenblatt, R., ... & Kounios, J. (2004). Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS biology*, 2(4), 500-510.
- Kaufmann, G. (2003). Expanding the mood-creativity equation. *Creativity Research Journal*, 15(2-3), 131-135.
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain research reviews*, 53(1), 63-88.
- Kounios, J., Frymiare, J. L., Bowden, E. M., Fleck, J. I., Subramaniam, K., Parrish, T. B., & Jung-Beeman, M. (2006). The prepared mind neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight. *Psychological Science*, 17(10), 882-890.
- Kozbelt, A., Beghetto, R. A., & Runco, M. A. (2010). Theories of creativity. *The Cambridge handbook of creativity*, 20-47.
- Krause, B., & Kadosh, R. C. (2013). Can transcranial electrical stimulation improve learning difficulties in atypical brain development? A future possibility for cognitive training. *Developmental cognitive neuroscience*, 6, 176-194.
- Kris, E. (1952). *Psychoanalytic explorations in art*. New York: International Universities Press.
- Kroger, J. K., Sabb, F. W., Fales, C. L., Bookheimer, S. Y., Cohen, M. S., & Holyoak, K. J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: a parametric study of relational complexity. *Cerebral Cortex*, 12(5), 477-485.
- Limb, C. J., & Braun, A. R. (2008). Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation. *PLoS ONE*, 3(2), e1679.

- Li, W., Li, X., Huang, L., Kong, X., Yang, W., Wei, D., ... & Liu, J. (2015). Brain structure links trait creativity to openness to experience. *Social cognitive and affective neuroscience*, 10(2), 191-198.
- Liu, S., Chow, H. M., Xu, Y., Erkinen, M. G., Swett, K. E., Eagle, M. W., ... & Braun, A. R. (2012). Neural correlates of lyrical improvisation: an fMRI study of freestyle rap. *Scientific reports*, 2.
- Lotze, M., Erhard, K., Neumann, N., Eickhoff, S. B., & Langner, R. (2014). Neural correlates of verbal creativity: differences in resting-state functional connectivity associated with expertise in creative writing. *Frontiers in human neuroscience*, 8.
- Luo, J., & Niki, K. (2003). Function of hippocampus in “insight” of problem solving. *Hippocampus*, 13(3), 316-323.
- Luo, Q., Perry, C., Peng, D., Jin, Z., Xu, D., Ding, G., & Xu, S. (2003). The neural substrate of analogical reasoning: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 527-534.
- Martindale, C. (1999). *Biological bases of creativity*. In R. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mai, X. Q., Luo, J., Wu, J. H., & Luo, Y. J. (2004). “Aha!” effects in a guessing riddle task: An event related potential study. *Human brain mapping*, 22(4), 261-270.
- Maier, N. R. (1930). Reasoning in humans. I. On direction. *Journal of comparative Psychology*, 10(2), 115.
- Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological review*, 69(3), 220.
- Mendelsohn, G. A. (1976). Associative and attentional processes in creative performance. *Journal of Personality*, 44(2), 341-369.
- Novick, L. R., & Sherman, S. J. (2003). On the nature of insight solutions: Evidence from skill differences in anagram solution. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 56(2), 351-382.
- Osborn, A. F. (1957). *Applied Imagination: Principles and procedures of creative problemsolving*. 1957. New York: Charles Scribner's Sons.

- Paulus, P. B. and Brown, V. R. (2007), Toward More Creative and Innovative Group Idea Generation: A Cognitive-Social-Motivational Perspective of Brainstorming. *Social and Personality Psychology Compass*, 1: 248-265.
- Pfurtscheller, G., Stancak, A., & Neuper, C. (1996). Event-related synchronization (ERS) in the alpha band-an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. *International journal of psychophysiology*, 24(1), 39-46.
- Pfurtscheller, G., & Da Silva, F. L. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical neurophysiology*, 110(11), 1842-1857.
- Prabhakaran, R., Green, A. E., & Gray, J. R. (2014). Thin slices of creativity: Using single-word utterances to assess creative cognition. *Behavior research methods*, 46(3), 641-659.
- Prabhakaran, V., Smith, J. A., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1997). Neural substrates of fluid reasoning: an fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices Test. *Cognitive Psychology*, 33(1), 43-63.
- Qiu, J., Li, H., Jou, J., Wu, Z., & Zhang, Q. (2008). Spatiotemporal cortical activation underlies mental preparation for successful riddle solving: an event-related potential study. *Experimental brain research*, 186(4), 629-634.
- Qiu, J., Li, H., Yang, D., Luo, Y., Li, Y., Wu, Z., & Zhang, Q. (2008). The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study. *Brain and cognition*, 68(1), 100-106.
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). Raven manual: Section 1, general overview. Oxford, England: Oxford Psychologists Press.
- Razumnikova, O. M., Volf, N. V., & Tarasova, I. V. (2009). Strategy and results: Sex differences in electrographic correlates of verbal and figural creativity. *Human physiology*, 35(3), 285-294.
- Ritter, S. M., & Dijksterhuis, A. (2014). Creativity-the unconscious foundations of the incubation period. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 215.
- Ritter, S. M., Strick, M., Bos, M. W., Van Baaren, R. B., & Dijksterhuis, A. P. (2012). Good morning creativity: task reactivation during sleep enhances beneficial effect of

- sleep on creative performance. *Journal of sleep research*, 21(6), 643-647.
- Rose, M., Haider, H., & Büchel, C. (2005). Unconscious detection of implicit expectancies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 918-927.
- Sandkühler, S., & Bhattacharya, J. (2008). Deconstructing insight: EEG correlates of insightful problem solving. *PLoS One*, 3(1), e1459.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pecherstorfer, T., Freunberger, R., & Hanslmayr, S. (2005). EEG alpha synchronization and functional coupling during top down processing in a working memory task. *Human brain mapping*, 26(2), 148-155.
- Shah, C., Erhard, K., Ortheil, H. J., Kaza, E., Kessler, C., & Lotze, M. (2013). Neural correlates of creative writing: an fMRI study. *Human brain mapping*, 34(5), 1088-1101.
- Shamay-Tsoory, S. G., Adler, N., Aharon-Peretz, J., Perry, D., & Mayseless, N. (2011). The origins of originality: the neural bases of creative thinking and originality. *Neuropsychologia*, 49(2), 178-185.
- Sheth, B. R., Sandkühler, S., & Bhattacharya, J. (2009). Posterior beta and anterior gamma oscillations predict cognitive insight. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1269-1279.
- Silvia, P. J., Nusbaum, E. C., Berg, C., Martin, C., & O'Connor, A. (2009). Openness to experience, plasticity, and creativity: Exploring lower-order, high-order, and interactive effects. *Journal of Research in Personality*, 43(6), 1087-1090.
- Stein, M. I. (1953). Creativity and culture. *Journal of Psychology*, 36(2), 311-322.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1993). Investing in creativity. *Psychological inquiry*, 4(3), 229-232.
- Takeuchi, H., Taki, Y., Hashizume, H., Sassa, Y., Nagase, T., Nouchi, R., & Kawashima, R. (2012). The association between resting functional connectivity and creativity. *Cerebral Cortex*, 22(12), 2921-2929.
- Torrance, E. P. (1974). *Torrance Tests of Creative Thinking: norms and technical manual*. Bensonville, IL: Scholastic testing services.
- Vartanian, O. (2012). Dissociable neural systems for analogy and metaphor: Implications for the neuroscience of creativity. *British Journal of Psychology*, 103(3), 302-316.

- Von Stein, A., & Sarnthein, J. (2000). Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization. *International journal of psychophysiology*, 38(3), 301-313.
- Ward, T. B. (1994). Structured imagination: The role of conceptual structure in exemplar generation, *Cognitive Psychology*, 27(1), 1-40.
- Williams FE. (1993). Creativity Assessment Packet Examiner's Manual. Austin, TX: PRO-ED.
- Wei, D., Yang, J., Li, W., Wang, K., Zhang, Q., & Qiu, J. (2014). Increased resting functional connectivity of the medial prefrontal cortex in creativity by means of cognitive stimulation. *cortex*, 51, 92-102.
- Wendelken, C., Nakhavenko, D., Donohue, S. E., Carter, C. S., & Bunge, S. A. (2008). Brain is to thought as stomach is to ???: Investigating the role of rostralateral prefrontal cortex in relational reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 682-693.

1차원고접수 : 2015. 07. 16
1차심사완료 : 2015. 09. 09
2차원고접수 : 2015. 09. 18
2차심사완료 : 2015. 10. 01
3차원고접수 : 2015. 10. 05
최종게재승인 : 2015. 11. 09

(Abstract)

A Review of the Cognitive Neuroscience of Creativity

Soohyun Cho

Department of Psychology, Chung-Ang University

Creativity refers to the ability to generate novel and useful ideas. Understanding the mechanism of creativity and its enhancement is important in order to solve major problems of the modern society and to improve the wellness of mankind. Creativity is a highly heterogeneous and complex ability which should not be conceptualized as a single entity. Thus, the current literature on creativity is based on a component process approach to creativity. The present study introduces cognitive neuroscience research studying the mechanism of divergent thinking, insight, relational thinking and artistic creativity which are the major components of creativity. Based on an expansive review, the early hypothesis of hemispheric asymmetry emphasizing the importance of the right as opposed to the left hemisphere is not supported by scientific evidence. In addition, there is no consensus or consistency on which specific brain region is related to a certain component of creativity. In fact, there is a mixture of studies reporting involvement of various brain regions across all four lobes of the brain. This inconsistency in the literature most likely reflects heterogeneity of the component processes of creativity and sensitivity of the neural response to differences across tasks and cognitive strategy. The present study introduces examples of representative studies reporting seminal findings on the neural basis and the enhancement of creativity based on innovative methodology. In addition, we discuss limitations of the current cognitive neuroscience approach to creativity and present directions for future research.

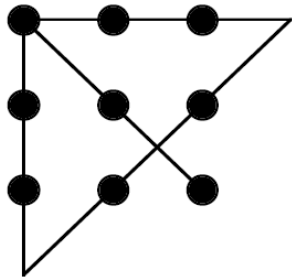
Key words : Creativity, Divergent Thinking, Insight, Relational Thinking, Artistic Creativity, Incubation Effect, Cognitive Stimulation, Enhancement of Creativity, Transcranial Direct Current Stimulation

부 록

I. 그림 1에 제시된 수수께끼에 대한 정답

가. 첫 번째 스위치를 켜고 한 시간 정도 기다린 후 첫 번째 스위치를 끄고 두 번째 스위치를 켜다. 그리고 3층에 올라가 백열 전구가 켜져 있는지 확인한다. 만약 전구가 꺼져 있으면 전구를 만져본다. 전구가 뜨겁게 달아올라 있다면, 첫 번째 스위치가 전구를 작동시키는 스위치임을 알 수 있다. 만약 전구가 켜져 있다면 두 번째 스위치가 전구를 작동시키는 스위치임을 알 수 있다. 만약, 전구가 꺼져 있고, 뜨겁지도 않다면 3번 스위치가 전구를 작동시키는 스위치임을 알 수 있다.

나.



II. 그림 2에 제시된 성냥개비 산술 과제에 대한 정답

- 1.
- 2.
- 3.