한국화학연구원의 사례를 통한 K. Dunbar의 과학창조성 검토

장영선* · 고영주**

I. 서론

혁신시스템은 신기술을 창출하고 받아들이며, 이를 변화시키고 외부로 확산하는 활동과 상호작용을 하는 공공부문 및 민간부문의 조직들 간의 네트워크로 정의된다.[1] 혁신을 시스템으로 보는 관점은 역사적으로 선형 혁신이론(linear model of innovation)에 대한 반동으로 등장했다. 바네바 부시(Vannevar Bush)의 1945년 보고서 *Science: The Endless Frontier* 는 그 전범(典範)으로서 기초연구의 성과가 응용연구, 개발연구를 거쳐 경제성장으로 이어지는 그림을 그리고 있다. 지금도 실험실의 많은 과학자들은 이러한 선형과정에 따라 정부의 과학 정책이 이루어져야 한다고 믿고 있다. 그런데 1980년대 중반을 지나면서 이러한 추세에 변화가 일어나기 시작했다. 클라인·로젠버그의 체인링크 모델(chain-linked model, Klein & Rosenberg, 1986)을 시작으로 랄프 고모리의 순환혁신 모델(circle model, Ralph Gomory)과 같이 혁신과정의 非선형성을 주장하는 일단의 연구자들은 기초연구로부터 상품개발 단계의 전 과정이 서로 밀접하게 연계되어 있다고 주장했다.

뒤이어 프리만(Christoper Freeman)은 국가혁신체제론(National Innovation System)을 통해 혁신은 단순히 선형적이고 자연발생적인 과정만이 아니라 정책적 의지를 가진 정부 당국에 의해 제도적으로 시스템 구축을 통해서도 일어날 수 있음을 보였다. 이제는 혁신이 일어날 수 있는 환경을 정부가 적극적으로 개입해서 구축하는 것이 중요해진 것이다. 이는 룬드발(Lundvall, 1992), 넬슨(Nelson, 1993), 에드퀴스트(Edquist, 1997)의 연구로 발전했고, 회원국들의 전반적인 과학기술역량을 향상시키려는 OECD의 노력에 의해 급속하고도 광범위하게 전 세계적으로 확산되었다.

그러나 최근의 시스템 혁신이론은 몇 가지 이유에서 비판 받고 있다. 그 중의 하나는 분석수준이 거시적이라는 점 때문이다. 연구의 대상이 되는 분석 수준(level of analysis)이 지역·산업군·기술군·국가 등과 같이 규모 면에서 매우 크기 때문에 연구원의 랩 수준과 개인 수준의 혁신을 보기가 어렵다. 연구현장에서 혁신이 일어나는 바로 그 순간을 포착하는 것이 중요함에도 불구하고, 기존의 혁신 시스템이론은 이를 설명하는 데에 미흡한 상황이다. 이는 연구자 개인과 소수의 조직 단위의 창조성 연구의 한 가지 배경이 되었다.

한편 최근 4세대 R&D와 같은 기술경영이론들이 강조하는 수요 중심의 논설들에 대한 의문은 창조성 연구의 또 다른 배경이다. 그 의문이란 정말 시장성이 없는, 즉 수요가 없는 연구 및 기술개발은 혁신이라 할 수 없는가 하는 의문이었다. 인류의 오랜 과학기술의 역사에서 당대의 주류로 받아들여지지 않았던 많은 아이디어들이 상당한 시간이 흐른 후 그 가치를 인정받은 사례가 많음을 상기해 볼 때, 수요 중심의 연구개발 관리론이 반드시 모든 상황에 적용된다고 볼 수는 없을 것이다.

따라서 이러한 거시적 관점의 혁신이론에 대한 아쉬움과 수요중심의 R&D 관리론에 대한 보완적 접근으로서 과학적 창조성에 주목하게 되었다.

혁신의 모든 곳에는 창조가 존재한다. 우리가 혁신을 보다 깊이 연구해 들어갈수록 창조적인 인간이 존재

* 장영선, 한국화학연구원 UST 박사과정 연구생, 042-860-7708, ysjang@krict.re.kr
** 고영주, 한국화학연구원 책임연구원, 042-860-7760, yjko@krict.re.kr

1) Freeman(1987) in OECD(1997)

함을 알게 된다. 왜냐하면 결국 혁신은 어느 누군가의 아이디어에서 시작되는 것이기 때문이다. 법과 예산, 조직의 규칙, 이러한 제도들이 있다하더라도 그 제도 안에서 혁신을 만들어 내는 것은 결국 사람의 몫이기 때문이다. 우리는 결국 인간의 창조성, 인간에 대한 연구에도 관심을 기울여야 한다. 그리고 과학에서의 창조성의 원천을 알고 싶으면 창조적 성과가 발생하는 바로 그 현장으로 들어가야 한다. 이를 통해 창조성의 촉진요인과 방해요인을 파악하고, 이를 바탕으로 다양한 제도들을 설계할 수 있을 것이다. 바로 이것이 거시적 관점의 기존 혁신이론을 미시적 관점의 창조성 연구가 보완할 수 있는 부분이다.

또한 시장성을 강조하는 수요관점의 기술경영학에 있어서도 창조성은 중요한 의미를 지닌다. 주로 기술의 시장 경쟁력이라는 기술경영의 경제적 관점과는 달리, 창조성은 R&D의 투입 대비 효과라는 측면에서 그에 못지않게 경제적인 관점이다. 왜 같은 예산을 쓰고, 같은 지원을 받음에도 불구하고 더 성과를 내는 곳이 있고, 성과를 내지 못하는 조직이 있을까? 아마 정확히 같은 지원을 함에도 모든 조직은 그 성과에서 차이를 보일 것이다. 이것은 결국 그 구성원의 역량, 창조적인 역량이 많은 것을 좌우하기 때문이다.

더욱이 추격형 R&D에서 선도형으로 전환해야 하는 상황에서 창조성 연구는 그 필요성이 더욱 크다. 이제 예산의 증대와 같은 투입적 측면도 중요하지만, 효율이 강조되는 시대가 다가오고 있으며 그에 따라 창조성은 더욱 중요성을 더해갈 것이다. 창조성 연구에는 개인의 창조성, 조직의 창조성, 창조성과 혁신의 관계에 대한 연구들이 있지만, 그 중에서도 특히 과학사나 심리학 등 인접학문에서 주로 다루어져 온 이슈들을 과학기술정책·기술경영학이 보다 진지하게 연구할 필요가 있다.

II. K. Dunbar의 과학창조성 연구 개요

실험실(Lab)을 통해 창조성이 발현되는 환경을 연구한 대표적인 학자로 케빈 던바(Kevin N. Dunbar)를 들 수 있다.[2] 던바는 아마빌, 스턴버그(Sternber), 시몬톤(Simonton)으로 이어지는 심리학/인지과학적 전통에 속해 있다. 그러나 던바의 연구는 이들보다 상대적으로 순수과학에 가까운, 소위 고전적인 실험실(Wet Lab)[3]을 대상으로 창의성을 연구했다는 점에서 독특한 위치를 차지하고 있다.

이러한 던바의 연구가 기존 과학창의성 연구에서 어느 지점에 위치하고 있는지 보다 명확하게 이해하기 위해 해외의 기존 연구를 간략히 살펴보자. 해외의 과학창의성 연구를 종합적으로 살펴보면 크게 4가지 관점으로 분류할 수 있다.

첫째, 창의적 성과(creative outcomes)에 초점을 맞추는 학맥이다. 이들은 창의적 성과를 어떻게 정의하고 측정할 것인지에 대해 관심을 발전시켜 왔다. 둘째, 창의적인 사람들의 개인적인 특성(creative individuals)에 초점을 맞추는 학파가 있다. 이들은 개인의 성격이나 연령 등의 개인적 요소가 지능과 어떤 관계를 가지고 있는지에 관심을 두었다. 셋째, 창의적 사고과정(creative process)이 어떻게 이루어지는지에 관심을 두는 학파가 있다. 이들은 문제의 해결과정, 두뇌의 연상 작용과 같은 개인 또는 집단의 인지과정에 관심을 두고 이론을 발전시켜왔다. 넷째, 환경(creative knowledge environment)을 연구하는 그룹이다. 이들은 조직과 제도의 환경이 창의성에 가장 중요한 변수라고 생각하고 그러한 요인에 연구의 초점을 맞추고 있다.

---

2) Heinze et al. (2009), p.610

3) Wet Lab은 주로 화학, 생물학, 유전학 분야의 전통적인 실험실을 말한다. 반면 이론연구나 컴퓨터를 이용한 분석연구 분야는 Dry Lab으로 불리는데, 여기서는 이러한 실험실을 중심으로 연구가 진행되는 기존의 학문분야들을 가리키는 용어로 활용되었다.

<표 1> 창의성 연구의 관점[4)]

창의성 연구 관점	내 용
창의적 성과 (creative outcomes)	• 성과물의 창의적인 정도 또는 질에 대한 연구 • 새로움, 유용성, 매력도 측정 등에 관심
창의적 개인특성 (creative individuals)	• 창의적인 사람의 특성에 대한 연구 • 성격, 연령, 지능과의 관계 규명에 관심
창의적 사고과정 (creative process)	• 창의적인 사고가 이루어지는 과정에 대한 연구 • 문제해결과정, 연상, 확산과 수렴적 사고과정 등에 관심
창의적 지식환경 (creative knowledge environment)	• 개인, 집단, 조직의 창의성에 영향을 주는 환경에 대한 연구 • 조직적·제도적 환경요인 규명에 관심

던바의 연구는 이 중에서 세 번째의 인지과정을 추적하는 전통에 속해 있다. 현대 과학에서는 과학자 개인이 홀로 연구를 수행하던 과거와 달리 랩과 같이 조직 단위로 연구가 이루어진다는 관점에서, 개인의 특성보다는 조직을 연구하는 게 적합하다고 본 것이다. 또한 창의성의 원천과 발현 메커니즘을 규명하기 위해서는 성과나 환경과 같은 2차적이고 보다 간접적인 접근 보다는 그것이 일어나는 과정 속으로 직접 들어가야 한다고 본 것이다. 그런 측면에서 던바의 연구가 과학창조성의 메커니즘을 실증적으로 규명하려는 본 연구에 적합한 모델이라고 판단하였다.

1. 던바의 연구의 배경과 목적

과학자 집단의 창조적이고, 혁신적인 과학적 사고가 일어나는 바로 그 순간을 포착하고, 그 과정을 규명하는 데 목적을 두었다. 이를 통해 과학적 창조성에 관한 핵심적인 의문들에 해답을 제시하고, 창조적 사고를 증진시킬 수 있는 전략들을 도출하고자 하였다. 이를 우주 탄생의 비유로 들자면, 던바의 의도는 빅뱅의 순간이 어떻게 일어났는지를 포착하고자 하는 현대 입자물리학의 노력과 유사하다고 할 수 있다. 혁신의 바로 그 순간, 무엇이 일어났는지를 잡아내고 그 과정을 재구성하는 것, 그것이 핵심이라고 할 수 있다.

2. 연구 대상

이를 위해 분자생물학 분야의 연구자를 선택했다. 분자생물학 분야는 현대 과학에서 가장 혁신적인 분야로서 우수한 인재와 많은 자금이 몰리고 있기 때문이었다. 즉, 이 분야는 현재 커다란 과학적 발견 및 돌파의 기간을 거치고 있기 때문에 창조적 사고를 연구하는 데 이상적인 영역이라고 판단하였다.

그리고 대상은 미국의 한 명문대학에 소속되어 있는 세계적 명성의 연구자 4명과 그의 랩으로 선정되었다. 이들은 모두 해당 분야의 프론티어를 넓혀가는 혁신적 연구로 세계적 명성을 떨치고 있었다. 던바는 이들의 랩 미팅이 새로운 아이디어와 개념의 보고임을 발견하고 랩 미팅을 중심으로 이들의 연구과정을 추적했다.

3. 연구 방법

인간의 사고 과정에 대한 연구의 특성상 질적인 접근법을 취하였다. 대표적인 방법으로 인터뷰가 있는데, 연구자를 대상으로 창조적 사고과정을 상기해 내도록 요청하는 식이다. 그러나 이러한 방식은 사후적으로 기

4) Stumpf(1995); Hemlin et al(2004), 김왕동(2008) pp.12-13 에서 재인용

억을 더듬어 내어야 하기 때문에 피험자가 기억을 잃어버렸을 경우에 적절하게 사고과정을 재구성하기 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 연구의 전개과정이 기록된 실험노트, 연구노트, 논문 프로포절 등 문서(documents)를 참고하는 방법이 있다. 그러나 이 방법도 아이디어가 도출된 '과정' 보다는 '결과물'을 기록하는 데 초점이 맞춰지는 경우가 많아서 결과들 간의 고리를 찾아내는 데에는 적절하지 못한 경우가 많다.

따라서 이 모든 단점을 보완하기 위해 수행한 방법이 랩 미팅을 실시간으로(on-line) 녹화 및 녹음하는 방법이었다. 랩 미팅이 이루어지는 동안 연구자들이 서로 나눈 대화를 모두 녹화하여 새로운 아이디어와 개념의 형성 과정을 분석하는 것이다. 이 방법은 사고의 과정을 추적하는 데에는 아주 강력한 방법이다. 그러나 모든 랩 미팅을 직접 녹화하고 그 기록을 청취, 필사, 코딩, 분석하는 작업을 수행하는 데에는 아주 많은 노력이 들어가기 때문에, 상당한 동기와 의지가 있지 않으면 쉽지 않다. 그런 점에서 이 방법은 일종의 '장인정신'을 요구하는 작업이며 현장 연구에 대한 강한 의지를 가진 연구자가 수행하기에 적합한 방법이다. 하지만 우리의 과학기술계의 실정에 대한 정확한 이해를 위해서는 이러한 방식의 실증분석이 많이 늘어나야 할 것이다.

한편 랩 미팅 이전에 연구자들을 미리 인터뷰해 두었다가 미팅이 끝나고 난 후에 그들의 변화된 인식과 비교하여 랩 미팅의 前-中-後로 이어지는 인지과정을 추적하고자 하였다. 이렇게 인터뷰와 실시간 녹화 방식의 적절한 조합을 통해 기억의 손실 없이 비교적 정확한 사고과정을 확보하는 것이 가능하였다.

4. 실험결과 및 그 함의

거의 1년에 걸쳐 밀착 취재한 실험실은 네 곳이었다. 이 실험실들은 발생생물학(developmental biology)이나 병원체를 연구하는 랩들이었고, 각각의 인적 구성은 정(부)교수 및 조교수, 박사 후 연구원(post doctoral), 대학원생, 기술원으로 이루어져 있었다.

네 곳의 랩에 대한 분석을 통해 나타난 창조적 인지(creative cognition)의 주요 원천은 세 가지였다.

첫째, 유추(Analogy)가 중요한 역할을 한다. 유추는 새로운 현상을 발견했을 때 그것을 설명할 수 있을 만한 유사한 다른 기제를 끌어와 이를 비유로 설명하는 것이다. 이러한 유추의 방식은 네 곳의 랩 모두에서 매우 빈번하게 사용되는 것으로 나타났다. 그런데 유추에서 한 가지 유의해야 할 부분은 흔히 과학사에서 러더포드의 태양계 비유와 케큘레의 뱀 모형 비유를 통해 설명하듯이 새로운 현상과 크게 동떨어진 대상을 활용한 유추가 중요한 역할을 한다고 주장하는 것과 달리, 실험결과는 비교적 유사한 대상이 활용되었다는 점이다. 실제 실험실에서는 어떤 새로운 현상이 발견됐을 때 그것과 유사한 기관을 비유의 모체로 활용하여 이를 설명하려는 경우가 대부분이었다. 따라서 과학사에서 말하는 매우 상이한 대상을 끌어오는 비유나 획기적인 발견들은 작은 유추의 누적이거나, 아니면 대중에게 쉽게 전달하기 위해 고안된 수단으로 보아야 한다. 던바의 실험에서 큰 개념 변화를 이끌어낸 랩들은 계속된 연구 과정에서 다양한 유추들이 누적되어 종합된 결과로서 나타난 것이었다.

둘째, 예상치 못한 실험 결과에 대한 과학자들 특유의 대응방식이 중요한 역할을 한다. 일반적으로 심리학에서는 몇 가지 심리실험을 통해 사람들은 자신의 신념과 일치하는 정보는 수용하고, 그렇지 않은 정보는 무시하는 확증편향(confirmation bias)을 가지고 있다고 본다.[5] 그런데 실험실의 과학자들은 심리학에서 말하는

5) 2-4-6은 유명한 심리학의 실험 사례다. 이 실험에서 피험자들은 2, 4, 6이 쓰인 카드를 차례로 보고 이 숫자들이 가지고 있는 규칙을 맞춰야 했다. 그러면 사람들은 보통 짝수나 2씩 늘어나는 수라는 자신이 세운 가설이나 규칙에 몰두하게 된다. 하지만 정답은 단순히 증가하는 세 개의 수 일 뿐이었다. 이렇게 정답을 찾기 어려운 것은 사람들이 자신이 원래 가지고 있던 가설이 옳다는 것을 입증하는 데에만 집중하고 가설에 맞지 않는 사례는 무시하기 때문이다. 이를 확증편향이라고 한다. (비합리성의 심리학, 183-184, 스튜어트 서덜랜드, 이세진 역, 교양인, 2008) 이 2-4-6 실험은 뒤에서 보다 자세히 다루도록 하겠다.

사람들인 일반적인 대중들과는 다른 특이한 전통을 가지고 있었다. 즉, “만일 예상치 않은 현상이 나타나면, 그 현상에 집중하고 그 원인을 찾아내라”와 같은 지침을 따라 연구를 진행한다는 점이다. 이러한 사고방식은 확증편향의 그것과는 사뭇 다르다. 과학자들은 자신의 기존 가설과 일치하지 않는 실험결과가 나왔을 때, 이를 무시하기보다는 오히려 그 오류에 초점을 맞추어 그 원인을 분석하는 경향이 있다는 것이다. 이러한 태도는 창조적인 발견을 이끌어내는 주요한 원동력이었다.

셋째, 분산추론 또는 집단추론(Distributed Reasoning)이다. 분산추론이란 집단을 이루는 다양한 구성원들이 실험 결과에 대해 함께 분석하고 토론하는 것을 말한다. 현대 과학의 집단성은 이러한 분산추론의 역할을 기반으로 하고 있다. 던바의 연구 결과, 연구자들의 직급이나 신분의 고저를 떠나서 서로 다른 배경지식과 사고방식을 가진 랩 구성원들은 서로의 추론을 논박·수정·확대·폐기하면서 새로운 아이디어와 개념을 형성해 나갔다. 이는 개인이 혼자서는 대안적인 추론을 제시하거나 아이디어를 확장하는 등의 새로운 방향으로 나아가는 것이 극히 어렵다는 것과, 집단적인 분산추론이 큰 기여를 하고 있음을 시사한다.

던바는 이러한 세 가지 원천들이 어떻게 서로 복합적으로 상호작용하여 창조적 성과를 만들어내는지, 그 동태적인 메커니즘을 자기면역질환을 연구하던 한 실험실의 사례를 통해 설명하였다. 이 사례를 통해 우연한 오류의 발견, 오류에 집중하고 이를 설명하려는 연구자들 특유의 문화, 유추를 이용하여 현상을 설명하는 이론을 만들려는 노력, 그리고 그 과정에서 이루어지는 치열한 토론 및 집단추론이 차례로 이어지면서 세계적인 성과로 이어졌다.

그런데 주목할 만한 부분은 정작 해당 연구원들은 불과 일주일 뒤, 그리고 조금 길게는 한두 달 후에 자신들의 ‘발견’ 과정을 거의 기억해내지 못했다는 점이다. 어떤 유추가 있었는지, 분산추론이 있었는지도 기억해내지 못했다. 만일 랩 미팅 기록이 없었다면 ‘발견’ 직전의 추론만 단편적으로 기억해냄으로써 창조적 성과는 누적적인 과정이라기보다는 추론의 급격한 도약이라는 기존의 신념을 강화시킬 수밖에 없을 것이다.

즉, 이 연구를 통해서 창조적 인지과정은 일종의 ‘땜질(tinkering)’과 같은 것임을 알 수 있다. 작은 성과의 누적이 큰 성과로 이어진다는, 얼핏 보면 단순한 이 사실은 주로 거시적이고, 제도적인 대상에 관심을 두고 있는 기존의 혁신시스템론에 시사하는 바가 크다고 하겠다. 또한 이 연구결과에 따르면 리스크가 큰 연구를 하는 랩의 경우에 창조성의 세 가지 원천이 발현될 상황이 더 많이 조성된다는 사실이 드러났다. 즉, 창조적인 과학자들을 공통으로 묶어주는 요소는 위험 수용적(risk-taking) 태도였던 것이다. 도전적인 연구가 창조성이 발현될 환경을 조성한다고 볼 수 있다. 이러한 두 가지 결론은 혁신시스템론과 그에 기반한 기존 국가 과학기술 R&D 정책에 중요한 의미를 지닌다. 과학창조성의 원천을 보다 심층적으로 이해하기 위해서는 소규모 랩 단위의 현장연구가 꼭 필요하다는 점이다. 본 연구에서는 분자생물학과 같이 실험실을 통해 연구가 주로 이루어지는 화학을 대상으로, 특히 화학연의 사례분석을 통해 과학창조성의 실제 메커니즘을 규명해보고 그 정책적 함의를 살펴볼 것이다.

Ⅲ. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

Dunbar의 기존연구를 검증해보기 위하여 한국화학연구원의 사례에 이를 적용하였다. 연구대상이 된 실험실은 ‘나노세공체(MOF)에 대한 원자층 증착법(ALD)’을 적용하는 기술개발 과제를 수행하는 A 랩으로, 본 연구를 위해 2013년 12월부터 2014년 4월까지 약 4개월 동안 A랩의 랩 미팅에 참가하였다. A 랩은 S 대학교

연구진과 공동으로 이 과제를 실시하였는데 공동연구이므로 통칭하여 A 랩이라고 하겠다. A 랩의 연구책임자는 한국화학연구원 A 책임연구원이고 S 대학은 B교수이다. 이 과제에 참여하고 있는 연구자는 공동연구책임자 각 1명(2명), 책임연구원(1명), 박사과정연구원(3명)이다. 주로 실험을 직접 수행하는 것은 박사과정 연구원 C로서, 연구결과 논문이 저널에 투고될 때 C가 제1저자로, 다른 책임연구원들은 교신저자로 실리게 될 예정이다.

참여관찰을 실시한 정기 랩 미팅은 총 2회 실시되었다.[6] (2013.12.20., 2014.3.19.) 이와 더불어 박사과정 연구원 C에 대한 인터뷰를 5회 실시하였다. (2013.12.30., 2014.1.13., 1.20, 1.21, 3.10)

주요 데이터 확보 원천으로는 랩 미팅을 녹음한 녹음기록이었고, 프로토콜 분석을 위한 전사 작업(transcribing)의 일환으로 모든 랩 미팅에서 대화 내용을 녹음하였다. 그리고 랩 미팅의 보완자료로서 연구자 인터뷰, 과제 신청서(grant proposal), 실험 데이터 및 프리젠테이션 자료를 참고하였다.

A 랩은 현재 본 과제의 1차 마무리 단계에 있으며 이 연구 성과를 화학분야의 저명 학술지인, 앙게반테 케미(Angewandte Chemie)紙 또는 켐컴(Chemical Communications)紙에 투고할 예정이다.

<표 2> K. Dunbar와의 연구 비교

	K. Dunbar	YS. Jang
연구 대상	분자 생물학 4곳의 랩(세포분화 조절, 박테리아 형실 조절, 기생충 DNA-RNA 코드, 바이러스 매커니즘)	화학 1곳의 랩(MOF-ALD)
연구 기간	1년	4개월 (13.12~14.3)

2. 데이터 수집 및 분석방법

데이터의 수집 방법으로는 질적 연구방법의 하나인 랩 미팅에 대한 참여관찰법을 적용하였다. 이는 Dunbar의 연구 방법을 그대로 적용한 것으로, 혁신적 사고과정을 실시간으로 포착하는 데에 매우 효과적이다. 창조적인 과학적 사고가 일어나는 바로 그 순간을 규명하고, 이를 포착하기 위해서는 과거를 회상해야 하는 인터뷰와 같은 방식 보다는 직접 현장에 참여하여 피험자들을 방해하지 않는 조건 내에서 이들을 실시간으로 관찰 및 기록하는 것이 훨씬 효과적이다.

Dunbar에 다르면 랩 미팅이 인터뷰나 연구노트, 논문보다 훨씬 더 정확하게 실험실에서 개념들이 어떻게 변화해 가는지를 설명해 준다고 한다. 대개 연구자들은 특정 개념이나 추론이 어떻게 발전해나갔는지 그 과정을 기억하지 못하는 경우가 많다. 왜냐하면 랩 미팅 과정은 논리적인 순서에 따라 질서정연하게 이루어지지 않고 다양한 피드백이 얽히고 설킨 복잡한 과정이기 때문이다. 예를 들어, 랩 미팅 초기에 나온 추론이 구성원들의 뇌리에 잠재적으로 남아 있지만, 중간에 잠시 거론되지 않고 사라졌다가, 후반에 이와 연관관계를 가진 개념에 대한 얘기가 나오면서 갑자기 따라 함께 등장하는 경우가 많다. 이런 경우 대개 연구자들은 앞선 추론에서 영향을 받았음에도 불구하고, 그 과정을 잘 인식하지 못한다. 따라서 어떤 개념이 만들어지는 사고과정을 추적하기 위해서는 실시간으로 이를 관찰하고, 그 기록물을 가지고 거꾸로 개념의 탄생 과정을 추적해 나가는 것이 효과적이다.

한편 약 4개월에 걸친 참여관찰을 통해 두 차례의 랩 미팅 데이터를 수집하게 되었다. 이 데이터들은

6) 두 차례의 랩 미팅 중 2차 랩 미팅의 자료는 아직 모두 분석되지 않았다.

Dunbar가 했던 것과 마찬가지로 프로토콜 분석 방법을 통해 분석하였다. 프로토콜 분석(Protocol Analysis)은 인지심리학 분야에서 널리 활용되어 온 것으로 피실험자의 생각 혹은 사고과정을 이해하기 위하여 언어적인 데이터를 활용하는 연구방법을 말한다.[7] 분석의 기본단위는 과학자들의 발언이었고 전사작업(transcribing)을 거쳐 문장이 최종적인 분석의 단위가 되었다. 또한 연구자들이 서로 진술을 주고받기 때문에 의미가 동일한 뭉치를 끊어서, 의미 단위로 말뭉치(corpora)를 분리하였다.

그러나 데이터를 분석하는 과정에서 Dunbar의 경우 코딩 및 데이터베이스 소프트웨어를 이용하였고, 본 연구의 경우는 직접 분석하였다. 이는 본 연구가 1 곳의 랩, 그리고 2차례의 랩 미팅만 연구대상으로 삼았기에 그 복잡도가 Dunbar 보다 훨씬 덜 하다고 판단하였기 때문이다. 비록 그렇다하더라도 향후 데이터 분석의 신뢰성 확보를 위하여 컴퓨터를 활용한 데이터 분석을 보완하면 좋을 것이다.

Ⅳ. 한국화학연구원의 사례연구 결과

1. 유추 (Analogy)

유추에는 크게 두 가지 유형의 유추가 작용하고 있는 것으로 나타났다. 한 가지는 자신의 연구 분야와 관련이 있는 다른 과학자(연구자)들의 연구결과를 기억해내어 회상하는 것이고, 다른 한 가지는 자신이 과거에 이미 수행한 적 있는 연구결과를 기억해내어 회상하는 것이었다. 이는 마치 옆을 돌아보는 것과, 뒤를 되돌아보는 것에 비유할 수 있다. 즉 다른 과학자(연구자)들의 연구결과를 생각해보는 것은 옆을 돌아보는 것이고, 자신이 이미 수행한 연구결과를 생각하는 것은 뒤를 돌아보는 것과 유사하기 때문이다.

1) 유추 사용의 빈도

2차례의 랩 미팅에서 총 12회의 유추가 사용되었다.[8] 1차 랩 미팅에서 6회가 사용되었고, 2차 랩 미팅에서 현재까지 6회가 나타났다. Dunbar의 연구에서는 랩 미팅 당 유추 사용범위가 2회에서 14회에 걸쳐있고, 평균은 6.1회로 나타나 유추가 빈번히 사용되고 있다고 해석했다. 그와 비교해보면 본 연구에서도 유추가 빈번히 사용되고 있다고 할 수 있을 것이다.

<표 3> K. Dunbar와 본 연구의 유추빈도 비교

	K. Dunbar	Jang
유추 빈도	총 99회 (16차례 랩미팅) 미팅당 2회~14회 (평균 6.1회)	총12회 이상 (2차례 랩미팅) 현재 미팅당 6회

2) 유추 사용의 범위

생물학 실험실을 연구한 Dunbar의 경우 유추의 종류를 그 목적과 사용범위에 따라 나누고 있는데, 목적에

7) 김은진, 김관명 (2013), “프로토콜 분석을 통한 디자이너의 인지과정 이해”, p.318
8) 2회 랩 미팅 분석은 아직 완료되지 않았음

는 (1) 가설의 형성 (2) 실험의 설계 (3) 실험의 수정 (4) 설명이 있고, 사용범위로는 (1) 기관내부 유추 (2) 타기관 유추 (3) 비생물 유추로 나누고 있다. 즉 사용범위라는 것은 유추나 비유의 대상이 설명하고자 하는 연구주제와 얼마나 멀리 떨어져 있는 것인가를 보여주는 것이다.

예를 들어 체내의 HIV 바이러스의 작용원리를 설명하기 위해 체외의 HIV 구조를 연관시켜 유사성을 이끌어내는 경우, 같은 기관(HIV)에 대한 유추로서 기관내부 유추라고 정의하였다. 타기관 유추는 연구주제와 유추 대상이 서로 다른 두 조직에 속하는 것으로서, 에볼라 바이러스를 설명하기 위해 다른 기관인 헤르페스나 포진 바이러스를 언급하는 것이다. 마지막으로 비생물 유추의 경우는 거리가 먼 유추라고 할 수 있는 것으로서, PCR(Polymerase chain reaction)을 설명하기 위해 셰익스피어의 작품을 타이핑하는 원숭이의 사례를 들었는데, 이렇듯 동떨어진 대상을 참고하는 것을 비생물 유추 또는 먼 유추라고 보았다.

한편 본 연구의 대상인 화학 실험실의 경우 생물학 실험실과는 다른 기준으로 유추를 분류하여야 한다. 본 연구는 MOF라는 구조체에 ALD 기법을 성공시키는 것이 목표였기 때문에 어떤 현상의 원리를 설명하는 매커니즘을 밝히는 연구라기보다는 기술을 개발하는 응용적 연구에 가까웠다. 그리고 이러한 기술을 개발하기 위한 유추들이 주로 활용되었다. 따라서 유추 대상의 거리가 멀고 가까움을 기준으로 하되, Dunbar의 생물학 실험과 달리 화학 실험실의 응용적 성격을 모두 고려하여 (1) MOF에 해당하는 나노체, ALD 기법과 동일한 기법을 유추의 대상으로 가져올 때 ALD·MOF 유추(기관내부 유추에 해당), (2) MOF 나노체, ALD 기법은 아니지만 화학의 테두리 내에 있는 연구대상을 가져올 때 인접분야 유추(타기관 유추에 해당), (3) 완전히 화학의 테두리를 벗어난 대상을 유추의 대상으로 가져올 때 비화학적 유추(비생물학적 유추에 해당)로 정의하였다.

비록 세 번째의 거리가 먼 유추가 학계에서 가장 많은 관심을 받아왔으나 실제 연구에서는 빈번하게 사용되지 않았다는 Dunbar의 주장을 확인하는 것도 본 연구의 하나의 이슈이다.

분석결과 총 12회의 유추 중 비화학적 분야의 유추대상은 발견되지 않았고 모두 ALD·MOF 유추 또는 인접분야 유추 중 하나에 해당되었다. 따라서 대부분의 유비추론은 동일한 화학의 영역을 벗어나지 않는 곳에서 이루어졌고, Dunbar의 연구결과와 궤를 같이하였다. 유명한 러더포드의 원자구조-태양계 비유나 케큘레의 벤젠구조-뱀 비유는 실험실에서 찾아보기는 어려운 것으로 보인다.

4가지 목적에 따라 유추를 살펴보면 절반의 유추(6회)는 '실험 설계'를 위한 것이었고, 나머지 가설을 세우기 위한 목적의 유추와 실험 결과를 설명하기 위한 유추가 각각 3회로 동일하게 나타났다. Dunbar의 경우 거의 절반의 유추가 '설명'이 목표였다는 점에서 차이를 보이는데, 이것은 본 연구대상이 과제 초기 단계에 위치해 있어 아직 연구방향과 실험설계에 많은 에너지를 쏟고 있었기 때문으로 보인다. 이는 Dunbar의 랩미팅 참여기간이 1년이었고 본 연구는 불과 4개월이었다는 점에서 그 원인을 짐작할 수 있다.

<표 4> MOF·ALD, 인접분야, 비화학 유추의 연구목표들

목표의 유형	MOF·ALD 유추	인접분야 유추	비화학적 유추	계
가설 형성	1	2	-	3
실험 설계	4	2	-	6
실험 수정	-	-	-	-
설명	2	1	-	3
총계	7	5	-	12

2. 뜻밖의 발견에 대한 탐구적 태도 (Unexpected Findings)

1) 확증편향의 문제

앞서 간단히 언급한 확증편향과 2-4-6실험에 대해 다시 자세히 살펴보자. 실험심리학의 유명한 심리실험의 사례로 간단히 2-4-6 실험이라는 것이 있다. Dunbar는 이 실험을 확증편향의 사례로 소개하고 있다. 이 심리실험은 연구자가 먼저 실험 참가자들에게 2, 4, 6 이라고 써진 카드를 보여주는 것으로 시작한다. 그리고 이 세장의 카드가 가리키는 숫자 배열의 규칙이 있음을 설명하고, 그 규칙이 무엇인지를 맞춰보라고 요구한다. 참가자들은 각자 그 규칙이 무엇인지를 생각해본 후 그 규칙에 부합하는 숫자 3개를 제시할 수 있다. 그러면 연구자가 맞는지 틀린지를 알려주는데, 이 과정을 여러차례 거친 뒤 규칙을 답하면 된다. 3가지 숫자를 제시하는 과정은 여러 번 반복할 수 있지만 최종 규칙을 대답하는 것은 오직 한 번만 가능하기 때문에 실험 참가자는 신중하게 자신의 가설을 검토해야 한다.

이 실험에 참가한 사람들은 대부분 2의 배수 또는 짝수 등의 대답을 제시했다. 이러한 대답을 말한 사람들은 먼저 자기가 생각하는 규칙에 관한 가설을 마음속으로 세운 다음 이를 확인해보는 절차를 여러 번 반복했다. 예를 들어 4-6-8, 20-22-24 등과 같이 자신의 가설이 맞는지를 확인해보기 위해 그 규칙에 부합하는 3가지 숫자의 조합을 제시했다. 이어서 연구자가 그 숫자 조합이 규칙에 부합한다는 답변을 하면 참가자는 자신의 가설이 정답임을 확신하고 최종 대답을 하는 방식으로 진행되었다.

그러나 정답을 맞춘 참가자는 극히 소수였다. 대다수가 대답한 규칙과 달리 정답은 단순히 증가하는 세 개의 숫자였기 때문이다. 그것이 짝수이든, 2의 배수이든, 3의 배수이든, 무작위든 상관이 없었다. 단순히 늘어나는 일련의 3개의 숫자면 됐다.

대다수 참가자들이 이렇게 단순한 규칙을 찾아내지 못한 이유는 무엇이었는가? 심리학에서는 그 이유를 인간의 확증편향(Confirmation Bias)에서 찾고 있다. 사람들은 자기가 처음 생각한 가설을 입증해주는 증거들만을 선택한 것이다. 2의 배수라는 가설을 세운 참가자들은 3의 배수나 4의 배수를 확인해보는 시도를 하지 않았다. 짝수라는 가설을 세운 참가자들은 홀수의 사례를 검증해보지 않았다. 즉 사람들은 자신의 생각을 입증해주는 증거들만을 찾았던 것이다. 즉 자기가 확신(confirmation)하는 것에 대한 편견(bias)을 가지고 있는 것이다.

이 실험이 우리에게 시사하는 바는 무엇인가? 그것은 바로 사람들이 자신의 오류를 극복하기 매우 어렵다는 것이다. 사람들은 자기가 옳다고 믿는 가설을 확인해주는 사실들에만 주목하는 경향이 있다. 이러한 경향은 과학에서 큰 문제를 초래할 수 있다.

2) 뜻밖의 발견에 대한 반응분석 결과

본 연구에서는 2차례의 랩 미팅에서 나온 '뜻밖의 발견(unexpected findings)'에 대해서 일반 심리실험과 달리 실험실의 과학자(연구자)들은 어떻게 반응하는지를 살펴보기로 했다. 우선 뜻밖의 발견을 정의하기 위해서 Dunbar와 마찬가지로 뜻밖의 발견에 비교되는 대조군인 '예상된 발견(expected findings)'과 '탐구적 발견(exploratory findings)'을 설정하였다. 예상된 발견은 미리 가설을 세워두고 자신들의 예측과 실험결과가 일치할 때 예상된 발견으로 분류하였고, 탐구적 발견은 의도적이든 비의도적이든 아무런 예측 없이 그저 순수하게 어떤 현상이 일어날지를 알기 위해 실험한 경우를 말한다. 이에 반해서 뜻밖의 발견은 연구자들이 당초 예상했던 것과 다른 결과가 나왔거나 확보한 실험 결과에 놀라움을 표시하는 경우로 정의하였다.

2 차례의 랩미팅에서 나온 발견은 총 15건이었다. 뜻밖의 발견은 8건이었고, 탐구적 발견은 7건이었다. 그

런데 이번 연구에서 예상된 발견은 등장하지 않았다. 아직 2차 랩미팅 데이터 분석이 완료되지는 않았지만, 예상된 발견이 한 건도 없었다는 것은 연구대상의 탐구적 성격과 관련이 있는 것 같다. MOF에 대한 ALD 연구는 비교적 프론티어 연구로 탐구적 성격이 강하다는 인터뷰가 그러한 사실을 어느 정도 뒷받침 하고 있다. 이는 향후 연구에서 추가적으로 검토되어야 한다.

<표 5> 예상과 다른 발견의 빈도

발견의 유형	빈도
뜻밖의 발견 (Unexpected Findings)	8
예상과 일치하는 발견 (Expected Findings)	-
탐구적 발견 (Exploratory Findings)	7
총계	15

이러한 발견들에 대해서 과학자(연구자)들은 어떻게 반응을 하였을까. 그 반응을 살펴보기 위해서 그들의 진술(문장)을 분석 대상으로 삼았다. 이러한 진술은 의미 단위 별로 분류하였는데 이러한 단위를 추론뭉치(reasoning block)라 한다. 이러한 추론뭉치의 수를 통해 과학자가 그 발견에 얼마나 주의를 기울이고 있는지를 간접적으로 알 수 있다.

추론뭉치는 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 해당 연구를 주도적으로 진행하는 과학자(본 연구에서는 정명근 박사과정)가 실험결과에 대해서 자신의 추론을 제시하는 것이고, 다른 하나는 이러한 추론에 대해 나머지 랩 미팅의 구성원들 간에 일어나는 다양한 상호작용이다.

먼저 과학자 당사자가 보인 반응을 살펴보면 상대적으로 예상된 발견(0건)이나 탐구적 발견(3건의 추론뭉치) 보다 뜻밖의 발견(21건의 추론뭉치)에 대해서 활발한 의견 개진이 이루어졌음을 알 수 있다. 그런데 연구자가 애초에 자신이 예상했던 것과 다른 실험 결과를 접했을 때, 그것을 받아들이는 방식은 두 가지 종류가 있다. 하나는 그것을 오류라고 보고 오류의 원인을 설명하거나 해결방법을 찾는 반응(오류추론), 다른 하나는 그것이 오류가 아니라고 보고 그것을 다른 지식과 결합할 수 있는 새로운 설명방식을 찾는 반응(설명추론)이 그것이다. 뜻밖의 발견에 대한 21건의 추론뭉치 중에서 8건은 이를 오류가 아닌 새로운 현상으로 보고 그것을 설명할 수 있는 추론에 관한 진술이었고, 나머지 13건은 이것을 오류라고 보고 그 실험오류가 어디서 발생했는지를 분석하는 추론뭉치였다. 한편 탐구적 발견에서는 3건의 추론뭉치 모두 설명적 추론으로 분류되었다. 그런데 Dunbar의 연구에서는 오류의 원인을 찾는 진술보다 결과를 설명하려는 추론뭉치가 압도적으로 많았음을 생각해 볼 때, 이러한 차이가 어디서 비롯되는지는 추가적인 연구가 필요하다고 하겠다.

그러나 이러한 차이는 중요한 의미를 지닐 수 있다. 실험결과에서 예상과 다른 결과가 나타났을 때, 즉 오류가 나타났을 때 이를 오류로 단정하고 그 원인을 찾는 태도와, 어떤 새로운 현상일 수 있음을 가정하고 이를 설명하는 매커니즘을 찾는 태도는 매우 상이한 태도라고 할 수 있다. 연구자들은 종종 오류를 설명하는 다른 방식을 찾는 과정에서 기존 지식과는 다른 새로운 발견을 하고 창조적인 지식을 만들어 내는 경우가 있는데, 이렇게 오류에 대한 탐구적인 태도는 당연히 그러한 창조적 발견의 기회를 강화시키는 조건이 될 수 있을 것이다.

공공연구소에서 근무하는 한 연구원은 대학과 공공연구소의 중요한 차이로 바로 이러한 태도를 꼽았다. 공공연구소의 경우 엄격하게 제한된 기간 안에 정해진 목표를 달성해야 하는 시스템이기 때문에 처음에 세운 연구목표와 다른 실험결과가 나타나면 폐기되는 경우가 많다는 것이다. 목표 달성이 시급한 과제이기 때문에, 그 오류가 생긴 원인을 심도 있게 분석하기 어려운 경우가 많음은 물론이고, 이를 새롭게 조명해 보는 것은

더욱 어렵다는 것이다. 반면 대학의 경우는 공공연구소에 비해서는 연구의 방향이 비교적 덜 엄격하고 연구의 자유가 보장되므로 창조적인 사고가 가능하다고 말하였다.

비록 추가적으로 연구가 필요한 부분이 있음에도 불구하고 뜻밖의 발견이 실험실에서 자주 일어나는 현상임은 분명했다. 또한 뜻밖의 발견에 대한 연구자 당사자의 개인적 진술도 빈도가 매우 높다는 것을 통해 과학자들이 실험실에서 자주 발생하는 예상 밖의 실험 결과에 대해 주의 깊게 살펴보고 있음을 알 수 있었다.

이번에는 연구자 당사자 이외의 랩미팅의 구성원들이 표출한 추론뭉치의 수를 계산해 보았다. 의미의 단위별로 연구자들 간의 토론이 이루어지는 상호작용의 수를 측정 지표로 사용하였는데, 예상된 발견은 0건, 뜻밖의 발견에 대한 상호작용은 67건, 탐구적 발견에 대한 상호작용은 21건으로 나타났다. 여기서도 마찬가지로 뜻밖의 발견에 대한 추론이 예상된 발견이나 탐구적 발견에 비해 훨씬 많이 등장함을 알 수가 있다. 개인이 아닌 연구자 집단이 뜻밖의 발견에 얼마나 주의를 기울이고 있는지를 보여주는 이 지표는 개인뿐만 아니라 집단도 예기치 못한 발견에 집중하고 이에 대한 다양한 추론을 제시하고 있음을 보여준다.

<표 6> 연구 '당사자 개인' 추론뭉치* / '구성원 집단'** 상호작용 빈도

발견의 유형	개인 추론뭉치	집단 상호작용
뜻밖의 발견	21	67
(설명추론)	(8)	n/a
(오류추론)	(13)	n/a
예상된 발견	-	-
탐구적 발견	3	21
총계	24	98

* 실험을 주관하는 연구자가 주도적으로 의견을 개진해서 주의를 환기시키는 경우

** 위의 연구자를 제외한 나머지 랩 구성원들의 상호작용(단순 대화, 추론 등)

3. 분산추론(Distributed Reasoning)

MOF에 대한 ALD 실험에서 이를 주도적으로 수행한 과학자는 2차례의 미팅에서 5가지의 실험 결과를 발표하였다. 그리고 그 실험 결과에 대한 자신의 추론을 제시하였다. 제시된 추론의 건수는 총 8건이었는데, 랩 구성원들은 이 중 7건의 추론에 대해 개입하여 토론을 벌였다. 1건에 대해서는 구성원 간 상호작용을 거쳐 '동의'에 이르렀고, 3건에 대해서는 동의를 전제로 그 추론의 내용을 보다 '확장'시켰으며, 다른 3건에 대해서는 동의하지 않으면서 본래의 추론을 일부 '변경'하였다. 그러나 Dunbar의 연구와는 달리 제안자의 추론을 '폐기'하는 수준까지 간 적은 없었다. 개입하지 않은 1건은 옳다 그르다하는 반응이 없이 넘어간 것으로 동의한 것으로 보아도 될 듯하다.

<표 7> 실험결과의 최초 추론에 대한 랩 구성원들의 대응적 분산추론 결과

추론 참여 여부	소계	추론에 동의		추론에 이의	
		수용(동의)	추론 확장	추론 수정	추론 폐기
참여	7	1	3	3	-
불참	1	1	-	-	-

실험결과에 대한 이러한 집단적 추론 방식은 현대 과학의 특징으로 꼽히고 있는데, 분산추론은 개인이 혼자서 수행하는 연구의 단점을 보완해줄 수 있다. 처음에 제시된 추론이 상호작용 과정에서 확대되거나 변경된 사실을 통해 이를 확인할 수 있다. 이는 개인은 혼자서는 데이터로부터 자신의 최초의 생각을 뒤집는 대안적인 아이디어를 제시하기가 어렵고, 그 추론을 제한하거나 확장하기가 어렵다는 것을 시사한다. 또한 분산추론이 이러한 어려움을 극복하도록 도와줄 수 있음을 시사한다.

한편 분산추론에 참여한 연구자의 수에 관한 이슈가 있다. 얼마나 많은 연구자들이 분산추론에 참여해서 같은 추론을 공유하게 되는지를 보는 것인데, 이는 앞선 실험결과에 대한 연구자들의 '상호작용'을 중심으로 살펴본다. 단순한 상호작용이 아닌, 분산추론이 일어난 상호작용의 비중은 얼마나 되는지, 그리고 이 과정에서 2명 이상의 연구자가 같은 추론에 동의하게 되는 '의견 공유'가 일어나는 분산추론의 비중이 얼마나 되는지를 살펴본다. 이를 통해 분산추론이 실제로 많이 일어나는 현상인지, 그리고 이를 통해 새로운 의견이나 지식이 만들어지고 과학자들 사이에서 확산되는 모습을 볼 수 있다.

먼저 분산추론의 비중을 살펴보면 앞서 본 뜻밖의 발견의 상호작용 67건 중에서는 40건, 탐구적 발견의 상호작용 21건 중에서는 16건이 분산추론으로 분류되었다. 단순한 상호작용을 제외한 집단추론이 발생한 비중은 뜻밖의 발견과 탐구적 발견 각각 약 60%, 76%에 달했다. 즉 과학자들은 연구과정에서 발견하게 된 사실에 대해 매우 집약적으로 추론을 전개하고 있음을 알 수 있다. 이는 랩 미팅이 단순한 의사소통이 아닌 고도로 압축된 사고의 장(場)임을 시사하는 것이다.

또한 두 명 이상의 연구자가 추론을 공유하는 경우를 살펴보면 뜻밖의 발견 40건 중에서 23건, 탐구적 발견 15건 중 10건으로 나타나, 각각 약 58%와 67% 비중을 보였다. 이를 전체 상호작용을 기준으로 보면 각각 34%, 48%였다. 이는 연구자들이 함께 추론하는 과정에서 동의, 의견 일치가 이루어지는 순간으로서 과반수의 추론 사례에서 이를 발견할 수 있다. 즉 많은 경우 분산추론을 통해 지식의 확산이 일어나고 이것이 새로운 지식을 만들어 가는 하나의 징검다리가 되는 것이다.

<표 8> 랩 구성원 상호작용에서 분산추론의 비중[9)]

추론	뜻밖의 발견	탐구적 발견
집단 상호작용	67	21
분산추론	40	16
(2인 이상 동의)	(23)	(10)
총계	107	37
분산추론 비중 (=분산추론/상호작용*100)	59.7 %	76.2 %
분산추론 중 동의 비중 (=동의/분산추론*100)	57.5 %	62.5 %
동의 비중 (=동의/상호작용*100)	34.3 %	47.6 %

9) 앞의 표 1의 집단 상호작용 참고

V. 결론 및 시사점

이번 연구를 통해 Dunbar가 제시한 과학적 창조성의 세 가지 원천이 한국화학연구원의 사례에도 적용되는지 확인하였다. 그 결과 화학(연)에서도 유추는 매우 빈번하게 나타남을 확인할 수 있었고, 예상 밖의 발견에 대해 연구자들은 실제로 주의 깊게 살펴보고 있으며, 랩 구성원 간에 분산추론이 활발하게 이루어져 처음의 추론을 다듬어 간다는 사실을 확인하였다. 그러나 Dunbar의 미국 대학의 생물학 실험실 사례와 달리 우리의 사례에서는 뜻밖의 발견에 대해 이를 오류로 보고 그 원인을 찾는 경우가 많았다는 부분에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 이것이 과연 대학과는 다른 미션을 가진 정부출연연구소의 특성인지, 그리고 그것이 과연 연구 탁월성에 어떤 영향을 미칠 것인지 보다 심도 있는 분석이 이어져야 할 것이다.

또한 이번 결과는 2차 랩 미팅 분석이 완전히 완료되지 않은 결과이기 때문에 향후에 2차 랩 미팅 분석을 완료한 후 다시 정리해보아야 할 필요가 있다. 또한 향후 화학이 아닌 다른 분야의 창의성 연구도 이어져야 할 것이다. 학문적 성격의 차이에 따라 창조성의 양상에 분명한 차이가 있을 것으로 생각하기 때문이다.

이어 이번 연구가 가지는 정책적, 이론적 시사점에 대해 살펴보자.

1. 정책적 시사점

우선 과학적 창조성의 첫 번째 요소로 살펴본 유추로 돌아가 보자. 연구자들은 어떻게 유추를 만들어 내는가? 우리가 흔히 생각하듯이 완전히 다른 개념을 비유적으로 사용하는 경우는 실제 연구에서는 거의 없음을 알게 되었다. 이는 Dunbar의 연구결과와 일치하고 있다.

Dunbar의 연구에서도 먼 유추가 새로운 가설이나 개념을 형성하는 경우는 전혀 존재하지 않았고, 방법론적 이슈나 기타를 설명하는 데에만 쓰였다. 또한 가설형성에 쓰이는 유추의 대다수는 다른 기관이나 인접분야에서 끌어오고, 그 빈도가 비생물이나 거리가 먼 유추보다 압도적으로 많음도 밝혔다.

창조적 사고의 핵심이라 할 수 있는 가설의 형성에 있어서 인접분야의 지식이 얼마나 중요한 역할을 하는지는 비록 본 연구에서는 관찰 데이터가 충분히 확보되지 못하여 위의 사실을 정량적으로 확인할 수는 없었으나, 일부 진술을 통해 간접적으로 확인할 수 있었다.

S 대학의 연구책임자인 B 교수는 나노 수준보다 비교적 큰 단위 입자들을 전문적인 연구 분야로 하고 있었고, 화학(연)의 연구팀은 nano 수준의 입자(MOF)를 연구대상으로 삼고 있었기에 bulk 단위 연구자는 nano 수준과는 다른 지식을 가지고 설명하는 경우가 많았다. 그는 현상을 설명하고 가설을 형성하는 과정에서 bulk 수준에서 일어나는 현상을 묘사해 줌으로써 몇몇 문제에 대한 새로운 시각을 보여줄 수 있었다.

B 교수 : 그런데 MOF는 제가 잘 모르겠습니다. 사실 표면은 그런 경우가 많아요. 고체의 단결정 1st layer와 2st layer의 거리가 표면에 뭐가 흡착되느냐에 따라서 늘었다가 줄었다 하는 경우는 많거든요. 주변의 electronic 환경에 따라서 자기들 사이의 bond가 바뀌면서 거리가 늘었다 줄었다는 하는 거죠. 꼭 안에 뭐가 들어가지 않더라도.
D 연구원(화학연) : 아 밖에 있을 경우라도?
B 교수 : 네. 표면에 platinum이 이렇게 주욱 있는데 (손동작으로 비유적 설명), 첫 번째 층, 두 번째 층이 이렇게 있을 때, 표면에 산소가 붙으면 첫 번째 층과 두 번째 층 사이의 거리가 조금씩 달라지는 경우들이 있습니다.
A 연구원(화학연) : ○○○로도?[10]
B 교수 : bulk는 물론 이제 더 깊은 곳은 안 변하지만, 표면은 그런 것이 매우 흔하거든요.

<그림 1> 인접분야 유추를 통한 분산추론 실제 과정

이러한 유추과정에 대한 분석은 창의적인 연구수행을 위해 인접분야 유추를 촉진시킬 필요가 있음을 시사한다. 완전히 동떨어진 연구배경을 가진 전문가들의 집단보다는, 비교적 인접한 분야의 연구자들이 모였을 때 시너지 효과가 높을 수 있다. 가령 전자 분야와 생물학 분야의 융합을 통한 창조적 아이디어를 발전시키고 싶다면, 두 분야 사이의 넓은 거리를 메울 수 있는 연구자들이 단계적으로 많이 필요할 것이다. 그러한 네트워크의 구성은 너무 먼 분야가 되지 않도록 세심하게 조직할 필요가 있을 것이다. 그렇지 않다면 효과를 크게 기대하기 어려울 가능성이 있다

한편 뜻밖의 발견과 분산추론 연구결과를 통해 우리는 '전문 반박추론 팀'의 기능을 고려해 볼 필요가 있음을 알게 된다. 전문 반박추론 팀이란 연구자 개인의 추론 능력에 한계가 있음을 감안하여 의도적으로 제안된 가설에 반박을 전문으로 하는 팀을 말한다. 이는 앞서 살펴본 바대로 분산추론이 개인이 혼자서 수행하는 연구의 단점을 보완해줄 수 있다는 사실에 기반 한다. 분산추론을 통해 개인이 혼자서는 자신의 최초의 생각을 뒤집는 대안적인 아이디어를 제시하기가 어렵고, 그 추론을 제한하거나 확장하기가 어렵다는 것을 확인하였다. 하지만 분산추론을 통해 새로운 가설을 제시하는 것이 가능하였고 이것이 연구의 돌파구를 마련하는 기회가 될 수도 있음도 보았다.

따라서 랩의 연구과정에서는 반대로 분산추론의 가능성을 적극적으로 활용하는 방법을 생각해볼 수도 있다. 즉 특정 연구자들로 하여금 의도적으로 실험 분석에 대한 반박 역할을 하는 임무를 부여하는 방법이다. 또한 특정 연구자들에게는 항상 다른 방식으로 생각해 볼 것을 요구하는 임무를 맡길 수도 있다. 이러한 임무 설정은 동양의 엄격한 권위주의적 문화를 가진 우리 실험 환경에서 연구책임자나 주관자에 대한 반박과 대안 제시에 대한 부담을 해소할 수 있는 하나의 방법이 될 것이다.

2. 이론적 시사점

Nemet(2009)은 기술공급설과 수요견인설 간의 역사적인 이론 논쟁을 소개하면서 공급설에 대한 비판의 중심적인 주장 두 가지를 다음과 같이 소개하고 있다. 첫째, 공급적 관점은 혁신의 수익률에 영향을 미칠 수 있는 경제적인 조건(가격 등)의 변화를 무시한다. 둘째, 혁신과정의 무방향성(a unidirectional progression)에 대한 강조는 그 뒤에 나온 혁신연구들, 즉 피드백, 상호작용, 네트워크를 강조하는 혁신연구와 양립되지 못한다. 그리고 피드백, 상호작용, 네트워크를 강조하는 연구들로 Kline and Rosenberg (1986), Freeman (1994), Freeman and Louca (2001)를 소개하고 있다. 이들은 오늘날 비선형적 혁신이론, 그리고 시스템 혁신이론으로 정립된 이론들이다.

그런데 앞에서 살펴본 창조성의 연구는 기본적으로 공급적 관점에 기반하고 있다. 공공연구소들의 미션에 대한 고영주(2012)의 연구를 보면, 연구소들의 미션은 크게 공공성, 연계성, 탁월성으로 구분되고 이러한 구분에 따르자면 과학자(연구자)들의 창조성 요인에 대한 연구는 탁월성에 해당되는 바, 이는 최근에 중요성이 커지고 있는 사회문제 해결형이 공공성에 해당된다고 볼 때 그 대조가 뚜렷하다. 즉 사회문제해결형의 연구사업들이 주로 수요적 관점에 기반하고 있다면 본 연구주제인 창조성 연구는 과학자(연구자)들의 역량을 증대하는 공급적 관점에 기반하고 있다고 할 수 있다.

최근 강조되는 수요 관점의 R&D는 Mode Ⅱ이론에 기반을 두고 있다. Mode Ⅱ이론은 사회 수요적 관점에서 사회문제해결형 R&D에 대한 이론적 근거를 제공하고 있으며 상이한 이해관계자 간의 상호작용을 중시한다. '활용', '해결지식', '맞춤형 지식 창출'과 같은 지식의 활용과 확산에 초점을 맞추는 것이 특징이다.

하지만 창조성의 원천에서 집단연구, 특히 다른 학문배경을 가진 과학자(연구자)들의 네트워크의 잠재성에

10) 연구정보 보호를 위하여 일부 내용은 기호로 대체한다.

대해 살펴보았듯이, 공급설에 대한 비판론들의 두 번째 주장인 시스템 혁신이론과 공급설이 양립하지 못한다는 주장에 대해서는 의문이 제기된다. 과학적 창조성과 혁신을 촉진하기 위해서는 동일한 배경을 가진 연구자 집단보다는 다양한 배경을 가진 연구 네트워크가 중요하다는 것을 상기해 볼 때, 이것이 과연 시스템 혁신이 강조하는 네트워크와 양립되지 못하는가 하는 의문이 남기 때문이다. 완전히 상이한 영역의 전문가들로 이루어진 집단이 아니고 서로 중첩되는 분야라면, 연구의 시너지를 증대시킬 가능성이 높다.

또한 이러한 창조성 연구의 성격은 ModeⅡ의 수요적 관점에 공급 관점을 더함으로써 시스템 혁신이론의 공급과 수요 밸런스를 맞추는 데 기여할 수 있다. 혁신 시스템 내에서 혁신을 위해서는 창조적 아이디어와 지식의 창출이 중요하기 때문에, 이를 강화하기 위해 미시 수준, 중간 수준, 거시 수준에서 노력한다면 시스템 혁신에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

고영주 (2012), “제4세대 R&D 패러다임에 대응하기 위한 출연(연)의 역할 및 거버넌스 개편 방향”, 「과학기술정책 정책동향」, 22(4) : 121-133.

권승혁·권용주 (2013), “생물 분류 탐구에서 과제 집착의 인지적 모형 규명”, 「과학교육연구지」, 37(1) : 170-185.

권용주·최상주·박윤복·정진수 (2003), “대학생들의 귀납적 탐구에서 나타난 과학적 사고의 유형화 과정”, 「한국과학교육학회지」, 23(3) : 286-298.

권용주·신동훈·박지영 (2005), “생물학 가설의 생성에서 나타난 과학적 감성의 생성 과정”, 「한국과학교육학회지」, 25(4) : 503-513.

김왕동 (2008), 「공공연구조직의 창의성 영향요인 및 시사점」, 서울: 과학기술정책연구원.

김은진·김관명 (2013), “프로토콜 분석을 통한 디자이너의 인지과정 이해”, 「한국디자인학회 학술발표대회 논문집」, 2013년 12월 : 318-321.

김종애 (2009), “학술정보이용자의 서지데이터베이스 검색과정의 사고발화(think aloud) 프로토콜 분석”, 「한국비블리아학회 발표논집」, 21: 173-185.

김종애 (2011), “학술정보데이터베이스 검색과정의 사고구술 프로토콜분석.” 「한국비블리아학회지」, 22(3): 335-351.

스튜어트 서덜랜드 저, 이세진 역 (2008), 「비합리성의 심리학」, 교양인.

안은정·이혜정·권용주 (2008), “생물교육전공 대학생들의 생명현상에 대한 추측의 사고과정 연구”, 「중등교육연구」, 56(1): 189-214.

양일호·정진수·권용주·정진우·허명·오창호 (2006), “과학자의 과학지식 생성 과정에 대한 심층 면담 연구”, 「한국과학교육학회지」, 26(1): 88-96.

이혜정·김유미·신동훈·이준기·권용주 (2008), “과학 현상에 대한 가설 평가의 사고 과정 모형 개발”, 「한국생물교육학회지」, 36(4): 478-489.

조휘형·홍일유 (2009), “언어적 프로토콜 분석을 이용한 쇼핑몰 웹사이트 사용성 측정방법에 관한 연구”, 「디자인학연구」, 26(3): 141-158.

진선태 (2013), “사용자의 디자인행위에 관한 탐색적 프로토콜분석 사례연구”,

홍성욱·장하원 (2010), “실험실과 창의성 : 책임자와 실험실 문화의 역할을 중심으로”, 「과학기술연구」, 10(1)

: 27-71.

홍성욱 (2003), "과학적 창조성, 천재를 어떻게 이해할 것인가",「계간 과학사상」, 여름 : 157-197.

Chi, Michelene T.H. (1997), "Quantifying Qualitative Analyses of Verbal Data: A Practical Guide", *The Journal of The Learning Sciences*, 6(3): 271-315

Dunbar, Kevin N. (1995), "How Scientists Really Reason: Scientific Reasoning In Real-World Laboratories", in R.J. Sternberg and J. Davidson (eds.), *Mechanisms of Insight,* Cambridge MA.: MIT Press.

Dunbar, Kevin N. (1997), "How Scientists Think: On-Line Creativity and Conceptual Change in Science", in T.B. Ward,, S.M. Smith, and J. Vaid (eds.), *Creative Thought: An Investigation of Conceptual Structures and Processes,* Washington, DC, US: American Psychological Association, 461-493.

Ericsson, K. A. and Simon, Herbert A. (1996), *Protocol Analysis: Verbal Reports As Data Revised Edition,* The MIT PRESS.

Ericsson, K. A. (2006), "Protocol Analysis and Expert Thought: Concurrent Verbalizations of Thinking during Experts' Performance on Representative Tasks", In K. A. Ericsson, N. Charness, P. Feltovich, and R. R. Hoffman, R. R. (eds.). *Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 223-242). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Heinze, T., Shapira, P., Rogersb, J.D. and Senkerd, J.M. (2009), "Organizational and institutional influences on creativity in scientific research", *Research Policy,* 38: 610-623.

Mason, J. (2005), *Qualitative Researching* (2st edition), SAGE Publication

Nemet, Gregory F. (2009), "Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change", *Research Policy,* 38: 700-709.

OECD (1997), "National Innovation Systems", http://www.oecd.org/science/inno/2101733.pdf/ (6 September 2013).

Sanderson, Penelope M., Scott, J., Johnston, T., Mainzer, Larry W. and James, J. (1994), "MacSHAPA and the enterprise of exploratory sequential data analysis (ESDA)", *International Journal of Human-Computer Studies*, 41(5): 633-681

Sanderson, Penelope M. and Fisher, Carolanne. (1994), "Exploratory Sequential Data Analysis: Foundations", *Human-Computer Interaction*, 9: 251-317

Stumpf, H. (1995), "Scientific Creativity: A Short Overview", *Educational Psychology Review,* 7(3): 225-241