

실험실과 창의성 : 책임자와 실험실 문화의 역할을 중심으로†

홍 성 욱* · 장 하 원**

과학적 창의성은 새롭고 중요한 과학적 사실, 방법, 이론, 설명, 측정기구와 이를 낳는 활동이다. 지금까지 창의성에 관한 연구가 많이 이루어졌지만, 대학의 실험실에서 팀 단위의 협동 연구에서 발견되는 과학적 창의성에 대한 이해는 부족하다. 본 논문은 우리나라에서 대표적으로 창의적인 실험실로 간주되는 서울대학교 RNA 유전체학 연구실에 대한 미시적, 경험적 참여관찰과 이론적 분석을 통해 실험실의 창의성을 구성하는 요소를 찾아내는 것을 목표로 한다. 창의적인 업적은 순간적인 영감에 의해서 이루어지는 것이 아니라 복잡하고 지속적인 진화의 과정을 필요로 하며, 이 과정에서 다양한 지식과 능력을 지닌 연구자들에게 맞는 분업과 협동 체계가 중요하게 요구된다. 또한 이러한 구조를 활성화 하는 실험실 문화와 실험실 책임자의 리더십이 중요하게 작용함을 관찰할 수 있었다.

【주제어】 과학적 창의성, 그룹 창의성, 과학적 실행, 실험, 실험실 문화, 리더십

† 본 연구는 과학문화연구센터의 연구비(2009) 지원을 받았다. 실험실 참여관찰과 인터뷰를 허용해 주신 서울대 RNA 유전체학 연구실의 김빛내리 교수와 연구원들에게 감사의 뜻을 전한다.

* 서울대학교 생명과학부 교수
전자우편: comenius@snu.ac.kr

** 서울대학교 과학사 및 과학철학 협동과정 석박통합과정
전자우편: hahawon@snu.ac.kr

1. 연구 목적

과학적 창의성(scientific creativity)은 새롭고 중요한 과학적 사실, 방법, 이론, 설명, 측정기구와 이를 낳는 활동으로 이해할 수 있다(Heinze et al., 2007). 이러한 창의적 연구는 축적된 지식 체계에 참신한 지식을 더하고, 기존의 연구에 새로운 중요성을 부여하거나, 아예 새로운 연구 영역을 개척하기도 한다. 과학계의 최고 영예라고 간주되는 노벨상은 보통 가장 창의적인 연구를 통해 새로운 연구 영역을 개척하는 데 공헌한 사람에게 주어진다.

우리나라에서도 최근에 창의적인 과학 연구에 큰 관심이 쏟아지고 있다. 특히 지금까지 한국 과학자들의 연구가 주로 기존의 외국 연구를 바탕으로 약간의 개선을 이루거나 이미 존재하고 있는 지식을 소화·흡수하는 추격형(catch-up) 연구였다는 점에 대한 반성적 성찰과 함께 이러한 한계를 극복할 수 있는 탈추격형(post catch-up) 연구에 대한 관심이 커지고 있는데, 이 탈추격형 연구의 요체는 바로 새로운 영역을 개척하는 창의적인 연구라고 볼 수 있기 때문이다(송위진, 2008). 최근 우리나라 과학정책의 많은 부분은, 최소한 의견상으로는, 탈추격형 연구를 만들어내고 이를 장려하는 정책을 지향한다.

과학적 창의성에 대해서는 20세기 중반 이후에 많은 연구가 이루어졌다. 그렇지만 지금까지 이루어진 창의성 연구가 창의적인 연구자를 육성하기 위한 교육이나 정책에 대해서 가지는 함의는 무척 제한적이다. 논문의 2절에서 자세히 보이겠지만, 과학사나 심리학 분야에서 이루어진 창의성 연구는 아인슈타인 같은 이론 과학자나 다윈처럼 혼자서 연구를 수행했던 과학자에 대한 연구가 대부분이었는데, 이들의 연구는 실험실이나 팀 단위로 이루어지는 요즘의 과학 연구와는 그 특성이 무척 상이하다(Wuchty et al., 2007). 반면에 팀이나 그룹의 창의성에 대한 연구들은 기업을 모델로 한 것이거나, 과학 실험실을 분석한 경우에도 그 실험실에서 수행되는 '실험'의 구체적인 특성을 고려하지 않았다는 문제를 안고 있다.

실험의 특성에 대한 부분은 여기에서 약간의 부연 설명을 할 필요가 있다. 실험에 대한 분석은 1980년대 이후 과학기술학(STS) 연구에서 나타나는 가장

뚜렷한 특징 중 하나이다. 그런데 그 동안 실험의 과정, 실험 기구의 역할, 실험을 둘러싼 논쟁, 실험실의 공간적 특성, 실험실 문화 등에 대한 수많은 연구가 있었지만, 창의성에 관심을 둔 연구는 거의 없었다. 반면에 최근 과학정책 분야에서 이루어지고 있는 그룹 창의성(group creativity)에 대한 연구는 보통 실험실의 책임자인 교수들을 인터뷰해서 얻은 데이터를 사용하는데, 이러한 연구는 실험실을 구성하는 다른 구성원에 대한 고려가 거의 없다는 문제와 함께 실험실 일상의 대부분을 차지하는 '실험' 과정 자체에 대한 성찰이 빠져있다는 한계를 안고 있다. 조금 단순하게 정리하자면, 과학적 창의성에 관심을 두었던 과학사나 심리학의 연구는 실험을 하는 연구 그룹에 대한 관심이 없었고, 실험에 관심을 둔 STS 학자는 창의성에 관심이 없었으며, 그룹이나 팀을 분석한 연구는 실험의 구체적인 과정에 대한 고려가 없었던 것이다.

본 연구의 목적은 우리나라 자연과학 분야에서 대표적으로 창의적인 실험실로 간주되는 하나의 실험실을 선택해서 이에 대한 미시적·경험적 참여관찰과 이론적 분석을 통해 실험실의 창의성을 구성하는 요소가 무엇인가에 대해 초보적인 윤곽을 제시하는 데에 있다. 본 연구 대상이 되는 서울대학교의 'RNA 유전체학 연구실'은 연구 결과, 새로운 연구 주제의 발굴, 새로운 실험 방법의 개발, 평등한 조직 문화 등 다양한 측면에서 창의적이라고 평가되는 실험실이다. 본 연구는 미시적인 참여관찰과 실험실 구성원들에 대한 인터뷰를 바탕으로 실험실에서 창의적인 성과가 이루어지는 과정을 살펴볼 것인데, 특히 실험실에서 과학적 지식이 생산되는 과정을 1) 연구 주제의 선택, 2) 가설과 모델의 설정, 3) 분업과 데이터의 생산, 4) 협력과 지식의 융합, 5) 의미의 구성이라는 다섯 가지 단계로 나누고, 이 다섯 가지 과정에 결정적으로 기여하는 실험실의 인적·문화적·제도적 요소가 무엇인지를 드러내려 한다. 이를 통해 본 연구는 대학 실험실의 창의성을 구성하는 독특한 요소가 무엇인가를 찾아내고, 실험실을 더 창의적으로 만들고 운영하는 데 정책적으로 지원될 수 있는 부분이 어디까지인가에 대한 경계를 그려볼 것이다.

2. 선행 연구 개관

20세기 중반 이후에 시작된 창의성 연구는 처음에 심리학자들에 의해서 주도되었다. 과학사자들은 과학적 창의성이라는 주제에 큰 관심을 두지 않다가, 1990년대 이후에야 기존의 창의성 연구를 보완하거나 그 한계를 극복하려는 시도를 하기 시작했다(Schaffer, 1996; Miller, 1996; Howe, 1999; Shermer, 2001; Pfenninger, 2001; 홍성욱, 2003; 2004). 이러한 연구를 통해서 과학사자들은 심리학자나 교육학자들이 사용하는 과학사의 사례들이 단순화되고 심지어는 왜곡된 것이 많다는 사실을 보였고, 창의적인 연구의 과정이 단순히 백일몽에 잠기는 것 같은 과정이 아니라 상이한 요소들을 하나로 결합해내는 어려운 정신노동의 과정임을 강조했다. 창의적인 연구를 하는 데 오랜 기간 동안의 노력이 필요하고, 그 과정에서 일반적으로 해결될 수 없는 특정한 모순적 상황에 직면하며, 이 모순적 상황을 상이한 '밑천'(resource)을 결합해서 해결하지만, 이 모든 과정이 천재의 '순간적인 영감'으로 신화화되는 경향이 있다는 것이 과학사 연구를 통해 드러난 과학적 창의성의 특성이었다(홍성욱, 2003; 2004).

이러한 연구의 대부분은 뉴턴, 다윈, 아인슈타인과 같은 유명한 과학자 개인의 창의성을 분석한 것들이었다. 그러나 요즘의 과학 연구는 대부분 실험실 단위의 그룹에 의해서 이루어진다(Wuchty et al., 2007). 하나의 실험실에는 하나의 실험 팀(team)이 있는 경우도 있지만, 3-6명으로 구성된 실험 팀이 복수로 있는 경우가 많다. 실험 팀은 실험을 디자인하고 이를 책임지고 수행하는 한 명(혹은 두세 명)의 연구원(1)과 이 실험을 보조하는 연구원들로 구성된다. 실험실 책임자(leader), 혹은 교수는 이러한 실험 팀들을 총괄적으로 지휘하고, 실험 데이터의 생산과 해석에 적극 참여하며, 논문의 출판과 저자 선정을 결정하고, 경쟁적인 연구비를 수주하는 등 실험과 실험실 운영에서 중요한

1) 논문이 나오는 경우, 이렇게 실험을 디자인하고 이를 책임지고 수행한 한 명(혹은 두세 명)의 연구원이 제 1저자(first author)가 되는 것이 일반적이다.

역할을 한다. 실험을 하는 과정에서는 외부 실험실의 멤버가 합류하기도 하고, 심지어 지구 반대편에 있는 연구 팀과도 협동 연구를 하는 경우가 드물지 않다(Shrum et al., 2007). 과학적 창의성에 대한 연구가 대학에서의 연구활동이나 탈추격형 과학정책에 의미를 지니려면 실험실이라는 공간에서 진행되는 연구 팀에 대한 분석이 이루어져야 한다.²⁾

과학기술학(STS) 연구들은 실험실의 연구팀의 협동연구를 분석하는 데에 도움이 될 수 있다. 특히 ‘실험실 연구(laboratory studies)’라고 불리는 STS의 한 분과는 지난 25년 동안에 여러 실험실에 대한 미시적인 관찰을 통해서 실험실의 특성에 대한 흥미로운 분석들을 제공했다. 이러한 연구의 결과로 우리는 실험실에서 과학적 사실이 ‘구성’되는 과정에 기기의 캘리브레이션(calibration)에 대한 합의가 관여한다는 점(Latour and Woolgar, 1979), 실험실의 구성원이 연구책임자-연구원-테크니션(오퍼레이터) 같은 위계적인 구조를 이루며 서로의 역할에 대한 동적인 규정이 일어난다는 점(Doing, 2004; Traweek, 1992), 실험실에서 과학자들이 수행하는 ‘지저분한’(messy) 연구가 출판된 논문에 나타난 깔끔한 결과와는 상당히 다르다는 점(Knorr-Cetina, 1981; Lynch, 1985), 다른 문화와 마찬가지로 실험실에도 나름대로의 질서와 ‘제식’(ritual)이 있다는 점(Gusterson, 1996; Mody, 2001) 등을 새롭게 이해할 수 있었다.

그런데 이러한 STS의 ‘실험실 연구’들 중에 실험실의 창의성을 분석의 대상으로 삼은 것은 찾아보기 힘들다. 이는 STS 학자들이 실험실 연구를 통해서 드러내려 했던 과학의 특성과도 관련이 있다. 즉, 실험실 연구를 수행한 STS 학자들의 대부분은 과학자들이 실험실에서 나누는 대화나 수행하는 행위들이 보통 사람들의 그것과 크게 다르지 않다는 것을 보임으로써 과학의 신화를 벗기려 했다(Doing, 2007 참조). 이 과정에서 자연스럽게 과학과 과학이 아닌 것 사이의 공통의 요소들에 초점이 맞추어졌으며, 과학의 특수성을 부각

2) 우리나라에서 이루어진 과학적 창의성 연구의 대부분도 과학 ‘지식’에 초점을 맞춘 것이었다. 강정하·최인수(2008), 박종원(2004) 등 참조.

할 수 있는 창의성이라는 주제는 자연스럽게 이들의 관심에서 멀어졌다. 놀랍게도 그 결과, 참여관찰에 근거한 STS의 실험실 연구 중에는 새로운 발견이나 이론을 가능하게 하는 창의성을 미시적으로 분석한 연구는 거의 없다.

반면에 심리학자와 경영학자 중에는 팀이나 그룹의 창의성에 관심을 두고 연구를 수행한 경우가 있었다. 우선 이러한 연구는 리더십(leadership)에 대한 연구의 일환으로 이루어진 것이 많은데, 팀의 창의성은 팀 리더의 리더십 유형에 의존하기 때문에 팀에 대한 이해는 리더십에 대한 이해와 관련되기 때문이다. 예를 들어, 다양한 이해관계를 중재하는 거래적 리더십(transactional leadership)에 대비되는 개념으로 제시된 변혁적 리더십(transformational leadership) 이론은 리더십의 구성요소로 지적인 자극, 개인에 대한 고려, 카리스마, 영감을 불러넣는 동기부여(motivation)의 네 요소를 강조하는데, 이러한 요소들은 특히 창의성을 중시하는 팀의 경우에도 매우 효과적인 수 있다(Bass, 1985; Bass and Avolio, 1995). 감독관의 감독 스타일이 도움을 제공하며 비통제적일 때 생산공정에 종사하는 피고용인들의 창의성이 증가함을 보여주고 있는 연구도 있다(Oldham and Cummings, 1996).

그룹의 창의성에 대한 이러한 연구를 통해 우리는 개인의 창의성과 그룹의 창의성이 복잡한 방식으로 상호의존적인 관계를 맺고 있음을 알 수 있다. 가장 중요한 점은 그룹의 창의성이 개개인들의 창의성의 합이 아니라는 것이다. 어떤 리더십이 발휘되며, 어떤 보상체계가 있는가에 따라서 그룹의 창의성은 개개인들의 창의성의 단순 합을 훨씬 뛰어 넘을 수도 있고, 거기에 못 미칠 수도 있기 때문이다. 그룹의 창의성을 연구한 우드맨 등도 그룹의 창의성이 원래 개개인이 가지고 있었던 능력은 물론 개개인에게 영향을 미치는 그룹의 특성(예를 들어, 커뮤니케이션, 리더십의 유형, 그룹의 구성·크기·전략 등), 그리고 그룹을 둘러싼 더 큰 조직적, 환경적 영향에 의존한다는 점을 강조하고 있다(Woodman et al., 1993). 또 다른 연구도 그룹의 창의성이 커뮤니케이션의 효율성이나 빈도, 작업 과정에 대한 운영, 피드백의 제공, 갈등 관리, 중심성(centrality), 다양성 등에 의해서 고양됨을 드러냈다(Ebadi and Utterback,

1984; Tagger, 2002). 거꾸로 개인의 창의성 역시 그룹의 창의성에 의해서 변할 수 있는데, 환경이 개인의 창의성에 미치는 영향을 오랫동안 연구한 경영학자 애머빌은 최근에 개인의 창의성이 팀에 의한 격려, 자율성, 충분한 자원, 약간의 적절한 압력 등에 의해 높아짐을 보여주고 있다(Amabile et al., 1996).

이러한 연구들은 개인-그룹-조직의 창의성이 피드백 회로로 연결된 매우 복잡한 시스템임을 보여주지만, 기업에서 생산활동이나 기술개발을 담당하는 팀을 대상으로 이루어졌기 때문에 실험실에 대한 본 연구와 관련해서는 그 한계 또한 분명하다. 주로 개발연구를 담당하는 기업의 팀과 창의적인 기초 연구가 이루어지는 대학 실험실의 차이는 명백하다. 전자는 잘 정의된 문제를 잘 확립된 알고리즘을 통해서 해결하는 경우가 많은 반면, 후자의 경우에는 문제 해결 전략과 연구 환경의 상호작용이 훨씬 더 복잡하고 비예측적이며, 심지어 연구의 발전 방향조차 미리 예측하기 힘든 경우가 종종 있다. 특히, 매우 창의적인 연구들은 연구자 자신도 예상하지 못한 곳에서 문제가 찾아지고, 역시 처음에는 예상하지 못한 방향으로 문제가 해결되면서, 이 과정에서 새로운 결과를 낳는 경우도 드물지 않다. 대부분의 실험 과정은 과학철학 교과서에 등장하는 논리적인 과정을 따르지 않는다(Rheinberger, 1997; Dunbar, 1997).

과학정책의 관점에서 창의성에 관심을 가진 연구 전통도 오랫동안 존재했다. 1960년대에 펠즈와 앤드류스는 미국의 17개의 연구기관과 실험실의 연구 환경을 조사했고, 이 연구의 후속 연구로 앤드류스는 1970년대에 유네스코의 의뢰를 받아 전 세계의 1200개의 연구소를 정량적 방법을 사용해서 비교분석했다(Pelz and Andrews, 1966; Andrews, 1979). 최근에 홀링스워쓰는 20세기 생물학에서 중요한 업적을 남긴 연구소와 대학 128개를 분석하여 창의적인 연구 결과를 낳는 데 유리한 환경적인 요소를 추출해내어 제시했다(Hollingsworth, 2002; 2004). 그의 연구는 연구소 구성의 다양성, 개개인 연구자의 깊이있는 전문지식, 조직적 차원에서 용이한 인력의 이동가능성, 실험팀의 작은 규모, 전통과 명망있는 학과나 조직, 유능한 인력의 수급, 리더의 적

극적인 참여가 좋은 연구를 하는 데 기여함을 보여주었다. 이러한 전통에서 하인제는 최근 나노 과학과 바이오 제노믹스 분야에서 최고의 창의적인 성과를 내고 있는 전 세계 20개의 연구팀의 업적을 정량적인 방법과 책임자 인터뷰를 통해 분석한 뒤에 이러한 연구팀의 특성으로 작은 규모, 보완적이고 다양한 기술적 숙련에의 접근성, 연구 재원의 안정성, 실험실 외부의 지식과 재원에의 접근성, 소통을 용이하게 하는 리더십 등을 꼽았다(Heinze et al., 2007; 2009).

그렇지만 과학정책적인 목표를 가지고 수행된 연구들과 과학학적인 관심에서 기인한 본 연구는 연구의 방법론과 초점에서 차이를 지닌다. 본 연구는 하나의 실험실에 초점을 맞추는 대신에 3개월에 걸친 참여관찰과 실험실 구성원 전원에 대한 인터뷰를 수행했다. 이러한 차이는 본 연구가 1980년대 이후 STS에서 집중적으로 논의된 ‘과학적 실행’(scientific practice)에 대한 분석과 창의성을 결합시키는 것을 시도했기 때문이다. 즉, 홀링스워쓰나 하인제 같은 연구자들의 연구는 실험을 포함한 지식 생산 과정에 대한 분석을 연구 책임자에 대한 인터뷰와 출판된 논문의 내용에 의존하는데 그치고 있지만, 여기서 문제는 복잡하고, 성공과 실패가 섞여있고, 굴절된 실험 과정이 인터뷰나 출판된 논문을 통해서 잘 드러나지 않는다는 것이다. 본 연구 대상이 된 RNA 유전체학 연구실에서 연구 주제가 선택된 시점에서 논문이 씌어질 때까지의 시간은 보통 2년 정도의 시간이 걸린다. 실험은 연구자의 숙련과 암묵지(tacit knowledge)를 많이 필요로 하며, 원하는 결과를 내지 않는 경우가 대부분이기 때문에 가설이나 모델과 다른 결과가 나왔다고 곧바로 그 가설이나 모델이 폐기되지는 않는다.

이러한 실험 과정을 분석하면서 우리가 주목했던 요소는 실험실의 책임자, 즉 교수의 역할과 실험실이라는 소그룹의 문화적 특성이다. 대학 실험실의 경우에 교수의 역할이 중요하다는 데에는 이견이 있을 수 없을 것이다. 우리의 연구 대상인 RNA 유전체학 연구실에서도 책임자인 김빛내리 교수는 연구 주제의 결정, 데이터의 평가와 해석, 논문의 작성, 연구비 프로포절 작성, 대외

학문적 네트워크 유지, 다양한 실험실 미팅의 주재 등 실험실에서 일어나는 중요한 일들을 처리하고 담당한다. 그렇지만 책임자의 역할은 이렇게 눈에 보이는 일에서 끝나지 않는데, 이보다 훨씬 더 중요한 역할은 예상치 못한 문제 해결의 모범을 보이고, 최고 수준의 연구라는 목표를 설정하고 이를 공유하도록 독려하며, 이를 위해서 실험실의 문화를 경쟁적이며 동시에 상호 협조적인 것으로 만들고, 공정성을 유지하고 수평적인 소통을 규범화하는 것이다. 책임자의 이 같은 역할은 우리가 주목한 두 번째 요소인 조직의 문화와 자연스럽게 연결된다. 개인의 연구 활동은 다른 구성원들과 이루는 사회적 시스템 속에서 이루어지며(김왕동, 2008; Woodman et al., 1993), 따라서 개인의 능력의 함에 덧붙여서 팀의 소통, 행동 양식, 갈등해소 전략, 공유된 규범 같은 조직 문화가 조직의 창의성을 구성하는 요소가 된다. 사실상 실험 팀의 성과를 극대화할 수 있는 효율적인 실험실 문화를 만들어가는 과정 자체가 실험실의 창의성이 심화되는 과정이기도 한 것이다.

3. 연구대상 및 방법론

(1) 서울대학교 RNA 유전체학 연구실³⁾

본 연구에서는 우리나라에서 가장 창의적인 실험실 중 하나라고 평가되는 서울대학교 생명과학부 김빛내리 교수의 RNA 유전체학 연구실을 분석의 대상으로 선정했다.⁴⁾ RNA 유전체학 연구실의 구성원은 2010년 현재 18인으로,

3) 이 연구실은 RNA 유전체학 연구실, RNA 생물학 연구실, RNA biology lab, microRNA 연구단, microRNA research center, 서울대 김빛내리 교수팀 등 다양한 명칭으로 불린다. 여기서는 본 연구 당시(2009년) 학교에서 공식적으로 사용하던 명칭인 'RNA 유전체학 연구실'이라는 이름을 사용했다. 최근에는 연구실 이름이 'RNA 생물학 연구실'로 바뀌었다.

4) 김빛내리 교수는 Thomson Reuters의 조사에서 2002년부터 2006년 사이에 분자 생물학 및 유전학 분야에서 가장 영향력 있는 논문의 저자 13위에 올랐으며, 출판이 어

김빛내리 교수를 비롯하여 연구 교수 1인, 박사후연구원 5인, 박사과정생 7인, 석사과정생 2인, 테크니션 1인, 사무원 1인으로 구성되어 있다.⁵⁾ 교수와 사무원을 제외한 나머지 인원은 하나의 실험실에서 함께 생활하는데, 개인별 책상과 실험 공간은 정해져 있다. 이 실험실 외에 방사성동위원소(Radio Isotope) 실험실, 세포 배양실(cell culture room), 암실, 저온실(cold room), 휴게실 등이 마련되어 있고, 고가의 장비가 갖추어져 있는 공동기기실과 초파리, 쥐 등을 키우는 공간은 다른 연구실과 함께 사용하고 있다.

실험실의 책임자인 김빛내리 교수는 서울대학교 미생물학과에서 학부와 석사과정을 마친 후 1998년 영국의 옥스퍼드 대학에서 바이러스 연구로 박사학위를 받았다. 이후 펜실베이니아 대학교, 하워드휴즈의학연구소(Howard Hughes Medical Institute)에서 박사후연구원으로 있으면서 전령 RNA(messenger RNA)와 단백질에 대해 연구했고, 2001년에 귀국해서 모교인 서울대학교에서 연구교수로 근무하면서 새로운 주제를 찾던 중 단백질을 합성하지 않는 비암호화(non-coding) RNA의 일종인 마이크로 RNA(microRNA, 이하 miRNA)⁶⁾에 관심을 갖게 되었다. 당시에는 miRNA의 중요성이 인식되지 않아 연구하는 사람이 많지 않았고 생성 기작부터 기능까지 알려진 바가 거의 없었다. 김교수는 산재되어 있는 문제들 중 miRNA의 생성 과정을 밝히는 것이 가장 중요하다고 보고 연구를 시작했다.

려운 것으로 정평이 나 있는 리뷰 논문을 Nature등에 수차례 게재한 바 있다. 또한 여성과학계의 노벨상이라고 불릴 만큼 권위가 있는 '2008 로레알-유네스코 여성과학자 상'을 수상하였다. 국내에서도 2004년의 '마이크로젠 신진과학자 상'을 시작으로 '2007 과학기술부 올해의 여성과학자 상', '2007 과학기술부 젊은 과학자 상', 2009년 호암상 등을 수상했다. 이러한 사실들 김빛내리 교수와 RNA 유전체학 연구실의 성과가 국내는 물론 세계적으로 인정받고 있음을 보여준다.

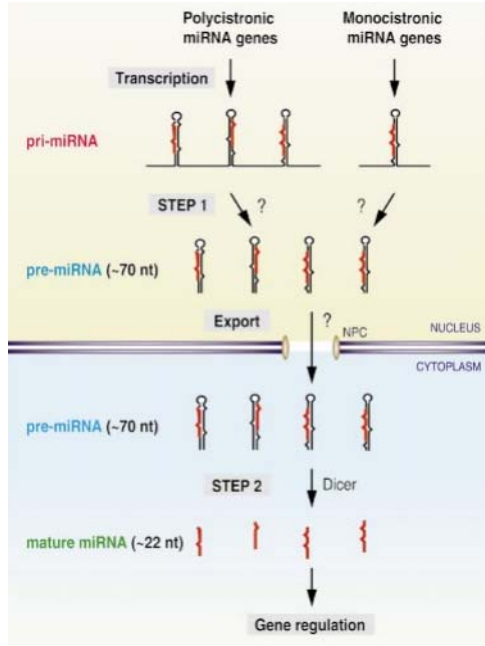
- 5) RNA 유전체학 연구실 홈페이지(<http://www.narrykim.org>) 참조. 실험실의 인원은 상황에 따라 변화하는데, 정식으로 입학하는 학생들 외에도 장기 연구원, 단기 방문 연구원, 실험을 배우는 학부생 등으로 구성된다. 필자 중 한 명이 실험실에서 참여관찰을 하던 2009년 2월에는 교수를 포함하여 총 17인이었고, 2009년 7월과 8월 중에는 단기 방문 연구원과 학부생들이 머물면서 총인원이 21인으로 늘어난 적도 있었다.
- 6) microRNA는 22개 이하의 뉴클레오티드(nucleotide)로 이루어진 단일나선 RNA(single stranded RNA)로, miRNA, miR 등으로 축약해서 표기하기도 한다.

miRNA의 생성 과정에 대해 김빛내리 교수와 그녀의 초기 연구팀이 세운 가설은 miRNA가 miRNA 유전자(gene)로부터 성숙(mature) miRNA가 되기까지 핵 내와 핵 외에서 여러 단계에 걸쳐 잘려져 만들어진다는 것이다. 이러한 추측 하에 진행한 실험에 의해 만들어진 모델은 핵 내에서 miRNA 유전자가 미지의 중합효소(polymerase)에 의해 전사(transcription)가 일어나 70개 이상의 뉴클레오티드로 이루어진 primary miRNA(이하 pri-miRNA)로 만들어지고, pri-miRNA는 미지의 물질에 의해 70개 이하의 뉴클레오티드로 이루어진 헤어핀(hairpin) 모양의 precursor miRNA(이하 pre-miRNA)로 잘리고, pre-miRNA는 미지의 물질에 의해 핵 밖으로 나온 뒤 세포질에서 Dicer에 의해 22개 이하의 뉴클레오티드로 이루어진 성숙 miRNA로 잘린다는 것이다(Lee et al., 2002) (그림 1 참조). 이 모델을 기반으로 하여 연구팀은 pri-miRNA가 pre-miRNA로 변화하는 과정에서 Drosha라는 물질이 작용한다는 사실을 밝혀냈고, 이 결과가 세계적인 학술지인 *Nature*에 실리면서 이 모델이 세계적으로 인정받게 되었다(Lee et al., 2003).

이후 연구팀의 작업은 miRNA가 생성되는 단계에 각각 작용하는 물질들과 상제 기작을 밝히는 데 집중되었다. 결과적으로 연구팀은 miRNA 유전자로부터 pri-miRNA가 생성되는 과정(Lee et al., 2004; Kim and Kim, 2007), pri-miRNA가 pre-miRNA로 잘리는 크로핑(cropping) 과정(Han et al., 2004; Han et al., 2006; Yeom et al., 2006; Han et al., 2009), pre-miRNA가 성숙 miRNA로 잘리는 다이싱(dicing) 과정(Lee et al., 2006) 등 각각의 단계에서 작용하는 특정한 단백질과 이를 돕는 물질, 그리고 이 물질들이 특정 도메인(domain)을 인지하고 자르는 기작을 밝혔고, 몇몇 핵심 물질들의 특성을 세부적으로 연구했다. 이러한 miRNA의 생성 기작에 대한 연구 결과들이 *Cell*, *Nature*, *EMBO* 등 세계적인 저널에 발표되면서 김빛내리 교수와 연구팀은 miRNA 연구를 주도하는 실험실로 발돋움 하였다.

7) 일반적으로 miRNA라고 하면, pri-miRNA, pre-miRNA 등의 전구체들을 거쳐 완전히 만들어진 성숙 miRNA를 의미한다.

<그림 1>⁸⁾



자료: Lee et al., 2002

생성 기작에 대한 연구는 miRNA의 생성량이 조절(regulation)되는 과정에 대한 연구를 낳기도 했다. miRNA가 생성되는 과정을 분석하면서 이러한 연구의 일환으로 Lin28이라는 물질의 역할을 탐색하던 중 이것이 특정한 miRNA가 생겨나지 못하도록 함으로써 miRNA의 양을 조절하는 데 관여한다는 것을 밝혀내면서, miRNA의 조절 과정에 대한 연구가 또 하나의 큰 연구 흐름으로 형성되었다. 연구팀은 RNA에 결합하는 단백질의 일종인 Lin28이라는 물질이 let-7 pre-miRNA의 한 쪽 끝부분에 유리딘(uridine)을 붙이는

8) microRNA 생성 과정에 대한 모델. 이 그림은 연구팀이 처음 만들어낸 모델로, 핵 내에서 miRNA 유전자로부터 생성된 pri-miRNA가 pre-miRNA로 잘리고(STEP1), 이 pre-miRNA가 핵 밖으로 나와 세포질에서 Dicer에 의해 성숙 miRNA로 만들어진다고(STEP2) 설명하고 있다.

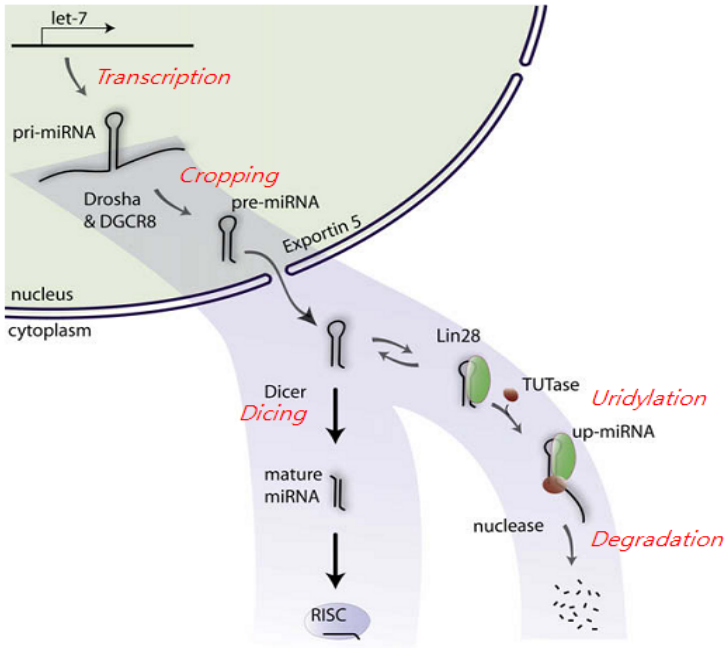
유리딘화(uridylation)를 촉진시켜 긴 유리딘 꼬리를 갖는 up-miRNA가 형성되고, 이것은 보통의 pre-miRNA처럼 다이싱을 거쳐 성숙 miRNA로 만들어지지 못한 채 분해(degradation)되어 없어진다는 점을 발견하였다(Heo et al., 2008)(그림 2 참조). 후속 연구에서는 Lin28과 TUT4라는 효소 물질이 함께 작용하여 miRNA의 생성을 억제하는 기작이 상세히 밝혀졌다(Heo et al., 2009).

이렇게 miRNA의 생성 과정과 이로부터 파생된 연구들이 연구팀의 중심 주제였지만, 한 편에는 miRNA의 기능(function) 연구가 또 하나의 흐름을 이루고 있다. 연구팀은 주로 암 세포의 발현과 관련된 유전자의 작용에 있어서 miRNA의 기능에 대해 연구해왔으며(Park et al., 2009; Kim et al., 2009), 최근에는 초파리와 사람의 세포에서 모두 관찰되는 특정 miRNA의 기능을 찾아 발표한 바 있다(Hyun et al., 2009).

(2) 연구 방법론

오랜 시간에 걸친 실험을 통해 나오는 실험실의 성과는 어느 한 개인에 의해서가 아니라 구성원들의 상호작용 속에서 만들어진다. 따라서 실험실의 창의성을 이해하기 위해서는 창의적인 성과가 나오기까지 구성원들의 행위가 어떻게 이루어지는지를 관찰해야 하며, 이와 동시에 구성원의 행위에 영향을 미치는 실험실의 문화를 읽어야 한다. 문화는 한 조직의 구성원들이 공유하고 있는 가치관, 신념, 규범, 지식과 기술의 총체로서 구성원들의 행동을 특정한 방향으로 인도하거나 이에 제약을 가하며(김인수, 1999; Schein, 2004), 구성원들은 서로 상호작용하면서 공유된 의미체계로서의 문화를 학습하고 유지할 뿐만 아니라, 이를 변형시킨다(Spradley, 1980).

<그림 2>⁹⁾



자료: Heo et al., 2008,

본 연구에서는 실험실의 문화를 해석해내기 위해서 참여관찰과 심층 인터뷰와 같은 문화기술지(ethnography)의 질적 방법론을 사용했다.¹⁰⁾ 기어츠가

9) microRNA의 성숙과 조절 과정에 대한 모델. 이 그림은 연구팀이 let-7 miRNA의 양이 조절되는 경로를 발견한 뒤 만들어낸 모델로, miRNA의 생성 과정 모델(그림의 왼쪽 줄기)에 Lin28과 TUTase의 작용으로 유리딘이 붙은 up-miRNA가 분해되는 경로(그림의 오른쪽 줄기)가 새롭게 더해졌다. 참고로 <그림 2>에서 이탤릭체는 본 논문의 이해를 돕기 위해 저자가 추가한 것이다.

10) 저자 중 한 명인 장하원은 2009년 2월, 7-8월의 3개월 동안 실험실에서 간단한 실험 보조 업무를 수행하면서 실험의 과정과 구성원들의 대화를 관찰·기록했다. 이 기간 동안 저자들은 매주 1-2차례의 미팅을 통해 참여관찰의 결과에 대해서 토론했고, 이렇게 파악된 실험실 문화의 특성을 인터뷰를 위한 기초 자료로 활용했다. 인터뷰는 김빛내리 교수(2회)를 포함해서 실험실 전 구성원에 대해 2009년 3월 25일부터 9월 11일까지 이루어졌다.

‘중층 기술(thick description)’이라고 칭한 문화기술지 연구는 현상적 관찰을 넘어서 저변에 깔린 문화를 해석해내는 것을 의미한다(Geertz, 1973). 문화의 발견은 단순한 관찰을 통해 이루어질 수 있는 것이 아니라, 그 속에 속함으로써 그들의 관점과 방식을 깨닫는 것이다. 참여관찰은 구성원들과 밀접하고 친숙한 관계를 유지하고 같은 환경에서 생활하면서 구성원들이 공유하고 있는 인공물과 지식, 행동 등을 실험실의 맥락 속에서 관찰함으로써 실험실의 문화를 해석해낼 수 있는 방법이다. 또한, 실험의 주기가 참여관찰을 수행한 3개월을 넘고, 실험실의 문화가 긴 과정을 거쳐서 만들어졌다는 점에서, 본 연구에는 참여관찰의 대상이 되는 시공간의 경계를 뛰어넘는 상상력이 필요했으며(Marcus, 1995; Hine, 2007), 저자들은 이를 위해서 구성원들이 기억하는 실험실 역사에 대한 구술과 출판된 논문 같은 자료를 활용했다.

4. 실험의 단계별 특성과 실험실의 창의성

연구 주제가 선택되고 이것이 논문으로 완성되는 과정은 2년이 넘는 오랜 시간이 걸리며, 여기에는 실험실 책임자인 교수와 연구원들의 다양한 사고와 행위가 포함된다. 실험에는 이를 지지하는 가설과 모델이 반영되어 있고, 실험을 하는 연구자의 숙련과 암묵지가 포함되어 있으며, 실험을 가능하게 하는 준비 작업과 인적, 물질적 자원이 투입된다. 또한 대부분의 실험은 원하는 결과로 이어지지 않고, 이 과정에서 가설과 모델의 수정이 일어나는데, 여기에는 실험실의 독특한 문제 해결 방식과 이를 뒷받침하는 실험실의 문화가 영향을 미친다. 이렇게 볼 때, 실험실의 창의성은 실험실이 생산해 낸 새롭고 가치 있는 과학적 지식에 국한되는 것이 아니라, 실험실 책임자와 구성원들의 상호작용을 통해 만들어지는 팀의 행동 양식과 공유된 규범 같은 조직 문화의 창의성을 포함한다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 과학적 지식이 만들어지는 실험의 과정을 1) 연구 주제의 선택, 2) 가설과 모델의 설정, 3) 분업과 데

이터의 생산, 4) 협력과 지식의 융합, 5) 의미의 구성이라는 다섯 단계로 보고, 이 '과학적 실행'의 과정에서 구성원들의 행위에 영향을 미치는 실험실 책임자의 역할과 실험실의 문화를 분석하였다.

(1) 연구 주제의 선택

과학이나 예술 분야 모두에서 창의적인 작업에 대한 판단은 동료 집단에 의해서 이루어지며, 이런 의미에서 창의성은 사회적이며, 분야 의존적(domain-dependent)인 개념이다(Csikszentmihalyi, 1996). 따라서 창의적인 업적을 내기 위해서는 관련 분야에서 무엇이 새롭고 의미 있는 문제인지를 판단하는 능력이 중요하게 된다. 그렇지만 모든 중요한 문제를 풀려고 덤벼들 수 없는 것 또한 분명하며, 연구자에게는 자신이 해결하기를 원하는 문제의 범위를 어느 정도 정하고 정의하는 것이 중요해진다. STS 학자인 후지무라는 이러한 범위를 정하는 요소들을 실험, 실험실, 사회 세계의 세 층위로 나누고, 이 세 층위들이 잘 조정(alignment)될 때 해당 문제의 '수행가능성'(doability)이 생겨난다고 보았다(Fujimura, 1987). 그러나 문제의 수행가능성만을 생각하다 보면 새로운 영역을 개척하는 연구 혁신을 이룰 수 없다. 창의적인 연구팀은 수행가능성의 기준을 높게 잡고, 연구의 일부는 결과가 나오기 힘들지만 보상이 큰 연구에 할당한다.

RNA 유전체학 연구실을 책임지는 김빛내리 교수는 miRNA라는 새로운 연구주제를 선점했는데, 이는 단순한 행운이나 우연의 결과는 아니었다. 그녀는 “새로운 패러다임을 세우는 연구”를 선호하며, 대학원생들에게도 “교과서에 실릴 수 있는” 중요한 연구를 하라고 독려할 정도로 새롭고 중요한 (즉 창의성을 높게 인정받을 수 있는) 연구 주제에 대한 집착이 강하다. 그녀는 자신이 박사후연구원(post-doc) 시기에 수행한 전령 RNA 결합 단백질(mRNA binding protein)에 대한 연구는 지도교수가 정해진 경계를 벗어나기 힘들고 새로운 패러다임을 세울 수 있는 연구가 아님을 인식하고 있었다. 2001년에 귀국해서 서울대학교의 BK 연구교수로 있으면서 “나름대로의 영역을 개발”

하는 것이 중요하다는 점을 깨닫고, 자신이 가진 테크닉과 배경지식을 기반으로 하되 새로운 질문을 던질 수 있는 분야를 찾아 나섰다. 그러던 중, 김교수는 miRNA가 사람의 몸에도 존재한다는 논문을 읽고 흥미를 느껴 2001년부터 본격적으로 이에 대한 연구를 하기 시작했다.¹¹⁾ 당시에는 비암호화(non-coding) RNA인 miRNA의 중요성이 인식되지 않았고 이를 연구하는 사람도 많지 않았으며 miRNA의 기초적인 생성 메커니즘도 밝혀지지 않은 상태였다. ‘수많은 생명체에 존재하지만 우리가 아는 바가 거의 없는 miRNA가 대체 어떻게 만들어지는가’라는 질문은 김교수의 새 연구가 시작된 지점이 되었다.¹²⁾

이렇게 새로운 패러다임을 열어 교과서에 실릴 수 있는 연구 주제를 택해야 한다는 생각은 RNA 유전체학 연구실의 구성원들 모두가 공유하고 있다. ‘위험도’가 높지만 보상도 큰 주제를 선택해야 한다는 생각은 RNA 유전체학 연구실을 특징짓는 문화 중 가장 두드러진 것이다. 그러나 언제나 이런 주제를 선택하는 것도, 선택할 수 있는 것도 아니다. 실제 주제의 선택은 연구자의 기반 지식, 연구팀이 처한 상황에 따라 제한되고 변화된다. 생물학 분야는 거의 대부분의 연구 주제가 실험을 통해 입증되기 때문에 실험 재료와 도구, 인력과 같은 자원이 연구의 시작점을 결정하는 데 많은 영향을 미친다.

당시에 p53 stability가 매우 중요한 것 같다고 생각을 하고 있었는데, 마침 J 교수님 방에 p53 activity를 측정할 수 있는 reporter gene의 plasmid가 있어서 그것을 받게 되었다. ... 그 reporter를 받은 김에, 그리고 cervical cancer에서 p53 stability도 궁금했고, miRNA를 넣으면 그 reporter activity가 어떻게 변할까 궁금해서, 선생님께 부탁해서 cell line을 구입해서 한 20개 정도 모아서 다 실험을 했다.¹³⁾

11) 김빛내리 교수 인터뷰(2009년 8월 21일).

12) BRIC이 만난 사람들: 서울대학교 생명과학부 김빛내리 교수 인터뷰 (2006년 7월 3일)(http://www.ibric.org/myboard/read.php?Board=interview&id=158&itv_flag=1 참조)

13) 박사후과정 2년차 연구원 인터뷰(2009년 6월 26일). 본 논문에서 인용한 인터뷰 자료는 당시 연구원이 사용한 전문 용어와 내용은 그대로 유지하면서 가독성을 높여

여러 주제들 중에 실험실 세팅에서 할 수 있는 것을 고르다보니 Lin28과 관련된 연구를 하게 되었다. 처음 시작할 때는 Lin28이 Drosha process와 연관되어 있을 것이라고 생각했고, Drosha와 관련된 연구는 우리 실험실이 경쟁력이 있다고 생각해서 시작하게 되었다.¹⁴⁾

이렇게 실험 재료, 실험실 전통, 실험 방법 및 기구, 보유 기술의 존재 여부가 실험실에서 수행할 작업을 결정하는 데 큰 영향을 미치는데, 실험실에서 논문들이 나오고 기술과 데이터가 축적되면서 보류되어 있던 문제가 다시 풀어야 할 중요한 문제로 떠오르기도 한다.

일정한 연구가 되면 그 문제가 풀어질 시점이 있는 것 같다. 그래서 어느 시점에 어느 문제가 풀릴 수 있는지를 잘 알아야 연구를 잘 할 수 있다. ... 어떤 문제들은 무척 오랜 질문으로 남아있는데, 계속 그 쪽으로 아이디어가 없거나, 구체적으로 연구가 끝까지 쌓이지 않으면 풀리기 어렵다. 그런데 우리 랩에서도, 다른 랩에서도 연구들이 점차 쌓인다. 그러면 그런 문제가 풀어질 시기가 어느 시기에 딱 오는 것 같다. ... 작년에 비슷한 유형의 단백질에 대한 논문이 다른 랩에서 나오고, 에세이(assay) 방법도 하나 나오면서 [이런 문제가 풀릴 시점이 온 것이다].¹⁵⁾

이렇게 연구 주제의 선택에는 불확실성이 존재한다. 연구 주제는 주제를 찾는 시점에 실험실에서 접근 가능한 재료, 장비, 인력, 데이터에 의존하며, 이는 자기 실험실에서의 선행 연구는 물론, 다른 실험실에서의 연구 상황에 의해서 그때그때 결정된다. 문제는 정부에서 받을 수 있는 대부분의 연구비가 분명한 문제를 설정하고 이를 해결하는 구체적인 과정을 요구한다는 것이다 (김왕동, 2008). 김빛내리 교수는 이 점과 관련해서 좋은 조건을 확보했는데, 처음에 귀국해서 연구교수를 할 때는 외부의 연구비를 마련하기 어려운 상황

기 위해 문장만 조금 다듬은 것이다.

14) 석박통합과정 5년차 연구원 인터뷰(2009년 7월 30일).

15) 석박통합과정 6년차 연구원 인터뷰(2009년 9월 11일).

에서 BK 연구비와 선배 교수들의 지원을 받았고, 이를 이용해서 상대적으로 자유롭게 1~2명의 대학원생들과 함께 miRNA의 생성 기작에 대해서 협동실험을 할 수 있었다. 2004년에 서울대학교 생명과학부의 교수가 되었을 때에는 miRNA의 생성과 관련된 논문들이 세계적으로 유명한 학술지에 수록되었고, 이를 기반으로 개별 연구비를 수혜하다가 2006년에 당시 과학기술부의 창의 연구사업단에 선정되어 상대적으로 안정적이고 많은 액수의 연구비를 지원받았다. 창의사업단의 연구비는 실험실에서 수행하는 연구들의 큰 주제를 정하기는 하지만, 실제로는 원래의 주제와 차이가 있더라도 하고 싶은 것을 할 수 있는 여지를 허용하는 유연성을 가지고 있으며, 연구비의 이러한 특성은 연구원이 연구 주제를 선정하는 데에서 발생하는 불확실성을 보완하는 외적 기제로 작동하고 있다.

(2) 가설과 모델의 설정

김빛내리 교수와 RNA 유전체학 연구실이 초기에 이룬 성과는 주로 miRNA의 생성 기작을 밝히는 데 집중되었다. 초기 연구 결과들은 모두 하나의 모델과 가설을 기반으로 하여 나온 것들인데, 이렇게 모델과 가설은 과학자들에게 목표와 방향을 설정해줌으로써 이들의 실행을 인도하는 역할을 한다.

우리 실험실에서 진행한 miRNA 연구는 그야말로 hypothesis부터 시작되었다고 할 수 있다. 학생들과의 미팅 자리에서 miRNA의 생성 과정에 대한 모델을 세우고 그것을 증명하기 위한 실험을 디자인했다. 그런데 실험을 해보니까 생각했던 대로 데이터가 나왔다. 그런 경우는 아주 드물다. ... 모델과 함께 그것을 확인할 수 있는 새로운 측정 방법을 제시했는데, 이런 새로운 assay 방법을 내놓는 것도 중요한 성과라고 생각한다. ... 그 다음에 한 일은 (모델에서 제시하는 첫 번째 단계에 작용하는) 단백질을 분리해서 증명한 것이다. 이것은 Nature에 실렸고, 지금까지 우리 랩에서 impact가 가장 큰 논문이다. 이 논문 이후에는 우리가 제시한 모델이 miRNA 분야의 도그마가 되었다.¹⁶⁾

2001년 김교수가 miRNA 연구를 시작할 당시에는 세포질에서 헤어핀 모양의 pre-miRNA가 다이싱(dicing) 과정을 거쳐 성숙 miRNA로 만들어진다고 알려져 있었다. 김교수는 이 pre-miRNA가 더 큰 RNA가 절단되어 순차적으로 만들어질 것이라는 추측을 바탕으로, 길다란 miRNA 유전자에서 pri-miRNA가 생성되고, 이것이 미지의 물질에 의해 pre-miRNA로 잘리는 과정이 핵 내에서 먼저 일어나고, 이 pre-miRNA가 핵 밖으로 나와 성숙 miRNA로 잘리는 과정을 거친다는 모델을 세운 것이다. 초창기에 세워진 모델을 바탕으로 연구팀이 가장 먼저 집중한 부분은 핵 내에서 pri-miRNA가 pre-miRNA로 만들어지는 단계에 작용하는 물질을 밝히는 연구였다. 이를 위해 가설을 세우는 과정에서 기존에 알려져 있는 사실들과의 유비(analogy)가 중요한 역할을 했다. 핵 외에서 pre-miRNA가 Dicer 단백질의 작용을 통해 성숙 miRNA로 만들어지는 과정이 이미 알려져 있었기 때문에, 핵 내에서 pri-miRNA로부터 pre-miRNA가 만들어지는 과정에도 비슷한 기능을 하는 단백질이 존재할 것이라는 유비적 추론을 할 수 있었다. 이러한 유비적 가설을 기반으로 몇 가지 가능한 후보 물질들을 선정하여 실험한 결과, 연구팀은 Drosha라는 물질이 이 과정에 작용한다는 것을 밝히게 되었다. 곧이어 Drosha와 상호작용하는 DGCR8이라는 물질이 존재한다는 사실을 밝히는 과정에서도 파리에서 miRNA가 만들어지는 과정에서 Dicer를 도와주는 R2D2, LOQ 등의 단백질과의 유비가 적중했다.

이렇게 앞서 수행된 연구와의 유비를 추구하는 행위가 과학적 발견을 이루어내는 과정에 포함되어 있다는 점은 이미 많은 과학자들의 사례를 통해 알려져 있다. 홈즈는 생리학자 베르나르(Claude Bernard)와 크렘스(Hans A. Krebs), 발명가 에디슨 등 다양한 연구자들의 사례에서 유비 추론(analogous reasoning)의 과정이 나타남을 보여주었고(Holmes, 1986), 너세시안과 모리슨은 19세기 물리학자 맥스웰의 '별집모형' 유비가 새로운 발견을 낳는데 결정적인 역할을 했음을 강조했다(Necessian, 2002; Morrison, 2000).

그러나 유비를 통해 만들어진 가설이 바로 과학적 발견으로 이어지는 것은

16) 김빛내리 교수 인터뷰(2009년 8월 21일).

아니다. 이러한 가설을 실제로 입증해내는 과정은 상당히 오랫동안 진행되며, 이 과정에서 많은 가설들이 폐기되거나 변형된다. 연구원들은 “대부분이 실험이 사실 잘 안 된다”고 하면서, “어떤 실험 계획을 세워서 했을 때, 10개 중에 한 개 맞으면 성공한 것”이라고 평가할 정도이다.¹⁷⁾ 또 다른 연구원도 “실험은 항상 힘들고, 한 번도 쉬운 적이 없었다”고 한다. 데이터가 나오지 않으면 나오지 않는 대로 힘들고, 데이터가 나오면 “그 데이터가 왜 나왔는지, 또 이게 어떻게 흘러 갈 수 있는 건지, 전체 스토리(story)가 보이지 않으면 막막하다”는 것이다.¹⁸⁾

세부적인 가설이 만들어지고 시험되고 입증되거나 폐기되는 과정 속에서 가설과 모델은 변화한다. 과학자들의 연구는 설정된 모델과 가설을 밝히는 것을 목표로 하여 수행되지만, 처음에는 예상하지 못했던 방향으로 문제가 나아가는 경우도 많다. 예측하지 못한 결과나 변칙은 분자생물학 실험 과정에서 연구자들이 종종 직면하는 것인데, 경험이 많고 배경 지식이 풍부한 연구자일수록 이러한 결과를 창의적으로 해석해서 새로운 발견을 이끌어 낸다 (Rheingenger, 1997; 1998; Darden and Cook, 1994; Dunbar, 1997). 같은 문제라고 하더라도 연구자에 따라 다른 해결 방향을 제시하는데, 이 과정에서 연구자의 암묵지는 창의적인 결과로 이어지는 데 영향을 미친다(Polanyi, 1954; 1966). 해당 분야에 대한 경험과 지식이 쌓이면서 연구자는 연구 동향을 파악하고 최신의 논문에 드러나 있지 않은 정보를 파악하는 능력과 함께, 특정한 실험 수행 방식이나 연구 방향에 관한 암묵지를 갖게 되는데, 이는 연구자의 연구 방향을 이끄는 역할을 한다(Collins, 2001).

RNA 유전체학 연구실에서 세운 miRNA의 생성 과정에 대한 모델은 전체적으로 초기 모습을 그대로 유지하고 있다고 볼 수 있지만, 일부 pre-miRNA가 분해되는 기작을 통해 miRNA의 양이 조절되는 새로운 메커니즘을 발견하면서 이 과정이 초기 모델에 추가되었다. 이러한 새로운 메커니즘은 기존의

17) 석박통합과정 6년차 연구원 인터뷰(2009년 4월 30일).

18) 박사후과정 2년차 연구원 인터뷰(2009년 6월 26일).

miRNA의 생성 과정에 대한 세부적인 가설을 입증하던 중 발견된 현상을 해석하는 과정에서 발견되었다.

사실 우리 논문이 나오기 전에 Lin28에 대한 3개의 논문이 나왔는데, 첫 번째 것은 Lin28이 Drosha processing에 작용한다는 것이었고, 두 번째 것도 Drosha processing에 대한 것이었고, 세 번째 것은 Dicer processing에 작용한다는 것이었다. 우리는 pre-miRNA에 집중해서, 여기에 uridylation이 일어나면 mature form이 만들어지지 않고 그 uridine이 붙은 물질이 degradation 된다는 것을 밝힌 것이다. uridylation이 일어난다는 점은 정말 우연하게 발견한 것이다. 처음에 포닥분이 실험을 했는데, non-specific한 밴드가 나와서 단순히 실수라고 생각했다. 포닥과정이라 하더라도 생물학을 전공하지 않았고 당시 실험실에 들어온 지 얼마 되지 않았기 때문에 생물학 실험에 익숙하지 않아서 실험이 잘못되어 이상한 밴드가 나왔다고 생각했다. 그런데 그 데이터를 보시고 선생님이 먼저 miRNA가 modify 되었을 가능성에 대해서 제시했다. 당시 선생님은 miRNA가 modify 될 수도 있다는 점을 염두에 두고 있었고, 또 plant의 mature miRNA나 mRNA에서는 uridylation이 일어난다는 점이 알려져 있었다. 그런데 선생님이 그 데이터를 보시는 순간에 그런 생각들이 떠오른 것이다. 그래서 그 물질을 sequencing을 해봤더니, 정말 uridine이 붙어있다고 나와서 uridylation이 된 것을 확인할 수 있었다. 당시로써는 다른 논문들과 차별화되는 새로운 생각이었고, 특히 miRNA가 분해되는 과정에 대해서는 아직까지 별로 알려지지 않았던 상태라 더 중요한 결과였던 것 같다.¹⁹⁾

김빛내리 교수는 보고 자료나 랩미팅에서 발표되는 데이터가 아니라 바로 만들어진 ‘가공하지 않은 데이터’(raw data)를 검토할 때가 많으며, 이 과정에서 연구원들이 실수라고 생각한 데이터나 비정상적인 데이터를 간과하지 않고 해석하려고 노력함으로써 새로운 발견을 이룬 경우가 여럿 있었다.

19) 석박통합과정 5년차 연구원 인터뷰(2009년 7월 30일).

학생들의 경우에는 실험을 했을 때, 실험 데이터에서 이상한 것이 보이면 그냥 잘못 나왔다고 생각하고 더 이상 생각을 하지 않고 접는 경우가 많다. 하지만 선생님은 데이터가 이상하게 나오면 그 현상에 주목해서 이유를 밝히고, 이 과정에서 아이디어가 나오고 실제로 논문까지 이어진 적도 종종 있다. ... 보통 pri-miRNA에서 헤어핀 구조의 아래 부분에 DGCR8이 작용해서 잘려진다고 생각을 하고 실험을 했는데, 자꾸 이상한 위치에 밴드가 존재(예상하지 못했던 size의 miRNA가 존재)하는 것이 관찰되었다. 그것을 보고 학생들은 별로 관심을 갖지 않았는데, 교수님은 그 결과를 보고 그 현상이 일어나는 이유를 찾기 위해 노력했다. 교수님은 헤어핀 구조의 윗부분에서도 절단이 일어날 수 있다고 생각하고 그래서 더 짧은 RNA 조각이 나왔다고 보았고, 실제로 해보니까 이 가설이 맞았다. 어차피 DGCR8이 인지하는 것은 junction 부분과 double strand 부분인데, 사실 헤어핀 구조의 아래 부분도 그렇지만, 윗 부분도 생각해 보면 junction과 double strand가 인지될 수 있는 것인데, 학생들은 생각을 못했던 것이다.²⁰⁾

이러한 사례에서 실험은 가설이나 모델과는 다른 결과를 내어놓기 일쑤이며, 보통 대부분의 실험이 원하는 결과를 내지 않기 때문에 이 결과는 연구자의 미숙이나 실험 오류로 해석할 수도 있고, 혹은 원래 가설과 모델 중 특정 부분이 잘못되었다고 해석할 수도 있다. 실험의 진화 과정에서 이러한 상황을 잘 평가하고 판단하는 것은 매우 중요하며, 이러한 판단은 단순한 '영감'에 의해서가 아니라 같은 대상에 대한 다른 연구들, 비슷한 현상들에 대한 실험 결과들, 유사한 대상에 대한 이론들에 얼마나 정통하고 있으며, 이를 통해 다양한 가능성들을 해석의 스펙트럼에 얼마나 배열하고 있었는가에 의해서 결정된다. 창의적인 업적은 어느 한 순간의 영감을 통해 멋진 가설이나 모델이 낳는 것만이 아니라, 연속적이고 단계적으로 부딪치는 어려운 문제들을 지속적으로 해결해 나가는 과정에서 나오는 결과인 것이다.

20) 석박통합과정 6년차 연구원 인터뷰(2009년 4월 30일).

(3) 분업과 테이터의 생산

김빛내리 교수가 조교수가 된 2004년 이후부터 현재까지 RNA 유전체학 연구실에는 한 해에 2~3인 정도의 구성원이 지속적으로 들어왔다. 이 과정에서 몇 가지 특징이 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 우선, 실험을 담당하는 연구원들이 다른 일로 시간을 빼앗기는 것을 최소화하기 위한 조치들이 있었다. 일례로, 초기에는 한 사람이 사무원과 테크니션(technician)을 겸했지만 2008년 이후에는 이 일을 분리해서 행정적인 일을 처리하는 사무원과 랩의 물품 관리, 실험 준비 등을 담당하는 테크니션을 따로 두기 시작했다.²¹⁾ 또한, 2006년부터 박사후연구원을 꾸준히 뽑아왔는데, 이들 대부분은 miRNA와는 다소 다른 분야를 전공한 연구원이었다. 최근에는 물리학, 생물정보학 등 생물학이 아닌 전공의 연구원들이 들어오고 있으며, 여기에 더해, 컴퓨터공학과, 의과대학, 다른 실험실과의 협력 연구가 추진되고 있다. 이러한 특징들은 실험실이 유명해지고 그 규모가 커지면서 어느 정도는 자연스럽게 생겨나는 현상이기도 하지만, 동시에 김빛내리 교수의 의도가 들어있는 것이기도 했다. 그녀는 “여러 분야의 배경 지식을 가지는 사람들이 모여 있는데, 이것이 좋은 연구를 하는 데 중요하다고 생각한다. 그래서 물리학, 생물정보학 분야의 학생들을 뽑았다. 실제로 그 후로 최근 1~2년 동안 실험실이 많이 발전했다.”고 평가한다.²²⁾

창의성을 연구한 학자들은 조직 구성원의 다양성(diversity)이 조직의 창의성을 높이는 요소라고 평가한다(Ebadi and Utterback, 1984; Woodman et al., 1993; Hollingsworth, 2002; Heinze, 2009). 그런데 분자생물학, 물리학, 생물정보학 등 다양한 전공을 한 연구원이 한 실험실에 모여 있는 것이 자동적으로 창의성을 높여주는 것은 아니다. 중요한 것은 실험실의 운영에 요구되는 여러 가지 작업들을 적절히 분배하고 개인이 갖는 능력을 적재적소에 배분함으로

21) 사무원 인터뷰(2009년 8월 3일).

22) 김빛내리 교수 인터뷰(2009년 8월 21일).

써 효율을 극대화하는 것이다. RNA 유전체학 연구실의 경우, 가설을 세우고 입증하는 일련의 과정은 가설을 세우는 작업, 실험을 디자인 하는 작업, 실험을 수행해서 데이터를 생산하는 작업, 실험을 위해 필요한 준비 작업 등 여러 개의 작은 작업들로 쪼개져 있으며, 각각의 작업들은 구성원의 특징과 능력에 따라 배분된다. 이러한 작업들은 주로 교수의 판단과 구성원들의 합의가 자연스럽게 일치하는 형태로 배분된다. 교수는 시급하게 해결해야 할 문제가 생기면 많은 수의 구성원들이 그 과제에 집중하도록 하는가 하면, 연구원의 특성이나 상황에 따라서는 혼자서 오랫동안 과제를 진행하도록 하기도 한다.

이러한 ‘노동의 분업’은 유연성을 가지고 있다는 점에서 산업혁명 시기의 공장의 분업과는 성격이 다르다. 한 사람에게 부과된 업무는 전체 실험실의 효율을 극대화하는 방향으로 변화한다. 테크니션을 예로 들어보자. 실험실에 처음 테크니션이 고용되었을 때에 그녀에게는 실험 도구의 세척 및 재고 관리, 실험실의 정리 등 단순 작업이 주어졌다. 그러나 일정 시간이 지나고 테크니션이 실험실에서 수행되는 실험에 익숙해지면서 그녀는 조금 더 복잡한 세포 배양액이나 단백질을 분리하는 젤 등의 실험 재료를 만드는 일을 배웠고 이를 전담하기 시작했다. 테크니션이 이러한 일들을 큰 문제없이 수행한 뒤에는 그녀에게 항체 제조나 단백질 정제와 같이 좀 더 특수한 능력을 요하는 실험 준비 업무가 주어졌고, 이전까지 그녀가 했던 작업 중에 비교적 단순한 업무들을 담당할 테크니션을 한 명 더 뽑는 것을 고려하게 되었다. 이렇게 테크니션 업무의 분화는 연구원들이 실험 준비와 관련된 일들에서 더 완벽하게 벗어나서 가설과 모델을 입증하기 위한 실험의 설계와 실제 실험 과정에 집중할 수 있게 하는 방향으로 이루어졌다.²³⁾

연구원들 사이에서도 분업은 존재한다. 가장 단순한 형태의 분업은 한 세트의 실험을 할 때 테스트해야 할 샘플의 양이 너무 많을 경우에 이 샘플을 여러 명이 나누어 시험하는 것이다. 또 연구원들의 전공에 따른 분업도 명백한

23) 테크니션 인터뷰(2009년 8월 7일).

데, 생물정보학을 전공한 연구원은 실험에 종사하기 보다는 주로 컴퓨터를 다루면서 많은 양의 유전 정보를 처리해서 여기서 가능성이 있는 후보 물질의 목록을 뽑아내거나, 특정 물질이 작용하는 도메인을 예측하는 등, 다른 실험을 디자인 하는 데 필요한 작업을 한다. 경험과 암묵지에 근거한, 눈에 잘 보이지 않는 분업도 있다. 실험실 책임자는 중요한 아이디어를 가장 많이 내고, 박사학위에 근접한 연구원이나 박사후연구원들도 스스로 아이디어를 내리는 경향이 강하다. 반면에 실험실에 막 들어온 학생들은 실제 실험을 하는 데 대부분의 시간을 쏟아 붓는다. 해당 분야에 대한 기반 지식과 암묵지를 충분히 습득하고 있는 교수나 연구원들이 새로운 아이디어나 가설을 생각해내는 것이 비교적 쉽기 때문에 이러한 경향이 생겨난다고 볼 수 있다.

몇 년 간의 시행착오를 거치면서 실험실의 구조와 도구들의 배치는 분업 체계가 잘 운영되도록 만들어져 있다. 예를 들어, 테크니션에게 단백질 분리용 젤을 만드는 작업을 맡기는 연구원은 자신이 필요로 하는 젤의 규격과 수량, 사용 일시를 실험실 구석에 놓인 화이트보드에 적도록 되어 있다. 이는 테크니션 개인에게 그녀가 할 작업을 알리는 동시에 전체 구성원들이 테크니션에게 부과된 일의 양을 알 수 있도록 함으로써 작업이 물리는 일을 방지하는 기능을 한다(그림 3 참조). 또한, 여러 가지 실험실 운영에서 필요한 일, 예컨대 플라스미드(plasmid) 관리, 실험실 안전 관리, 생일파티 주관 등은 각 구성원 별로 분담되어 있으며, 이는 문서화되어 공유된다. 1주일에 한 번씩 있는 실험실 전체 청소의 경우에도, 각자 맡은 구역이 나누어져 있다. 이렇게 작업의 분담이 명시적으로 이루어져 있는 것은 실험실 내에서 발생할 수 있는 불확실성을 낮춤으로써 연구 팀의 수행가능성(doability)을 높이는 역할을 한다(Fujimura, 1987).

<그림 3>24)



역할의 분담이 효율적으로 작동하는 데에는 교수의 적극적인 참여와 지도 스타일이 큰 영향을 미친다. 대부분의 연구원들은 교수가 연구에 가장 많이 기여한다고 평가하며, 어떤 연구원들은 교수의 열정과 참여가 RNA 유전체학 연구실을 다른 실험실과 구별하는 가장 중요한 요소라고 말한다. 김교수는 거의 매일 실험실에 들러 학생들에게 “잘 되가니?”, “재미있는 거 없니?”라고 말하며 진행 상황을 체크하고,²⁵⁾ 필요한 경우 실험실 내, 복도, 점심 식사 자리에서 데이터에 대한 토론을 이끈다. 김교수는 이러한 토론에서 “도망가면

-
- 24) Board for Technician. 연구원은 실험실의 한쪽 구석에 놓여있는 화이트보드에 자신이 필요로 하는 젤의 규격과 수량, 사용 일시를 적어놓는다. 또한 이 게시판의 왼쪽 중앙에는 실험실 운영에 필요한 일들을 각 구성원 별로 분담한 결과가 적힌 종이가 붙어있다.
- 25) 연구원들은 김교수가 불쑥 던지는 질문이 “구체적이다”라고 평가한다. “몽땡그러서 ‘너 요즘 잘 되가니’ 식의 질문이 아니고 ‘그 실험 어떻게 됐나’라는 식으로 물어보면 얘기가 나올 수밖에 없다”는 것이다(박사후과정 1년차 연구원 인터뷰, 2009년 4월 1일).

서, 막 바쁘다고 하면서, 대답하는 스타일”이 아니라, “너하고 있을 때는 너한테만 충실하겠다”는 자세로 학생을 대한다.²⁶⁾ 공식적인 랩 미팅은 주 1회로 다른 실험실들과 비슷하지만, 다른 실험실 출신 연구원들과의 인터뷰에서도 드러나듯이 평균적인 토론의 빈도는 다른 실험실에 비해 월등히 높은 편이다. 효율적인 업무 분담과 교수의 적극적 ‘돌봄형’ 지도 스타일의 결합은 RNA 유전체학 연구실의 연구 진행 속도를 빠르게 유지한다.

구성원들은 실험실이 지향하고 있는 높은 수준에 자신의 연구를 맞추기 위해, 교수의 잦은 점검과 토론에 대비하기 위해서 전체적으로 각자의 일에 전력을 다한다. 실험실 연구원들은 높은 성취욕을 가진 실험실 초기 멤버들이 열심히 해서 좋은 성과를 냈던 모습을 보았거나 전해 들었기 때문에, ‘성공’에 대한 갈망과 ‘노력하면 그에 상응하는 보답이 온다’는 인식을 내면화하고 있다. 실험실 구성원들 간에는 사적인 대화가 거의 없으며, 대화의 대부분은 실험에 대한 토론이다.²⁷⁾ 교수가 화를 내거나 학생을 무섭게 대하는 경우가 거의 없는데도 불구하고, 대부분의 학생들이 교수가 요구하는 일정을 지키기 위해 노력하기 때문에, 연구원들은 교수가 “부드러운 카리스마”를 가지고 있다고 평가한다.²⁸⁾ 이러한 분위기에서 교수는 강압적인 방법을 쓰지 않고도 자발성을 끌어낼 수 있다. 이렇게 교수와 실험실 구성원들의 상호작용 속에서 연구원들은 각자 내면화된 동기(internal motivation)를 갖게 되었는데, miRNA라는 새로운 분야의 열린(open) 문제들을 푸는 과정에서 연구원들의 내면화된 동기는 가장 적극적인 형태의 창의성인 주도적인 창의성(proactive creativity)을 낳는 토대가 된다(Hemlin et al., 2004).

지금까지의 논의에서도 짐작할 수 있지만, RNA 유전체학 연구실의 커다란

26) 박사후과정 3년차 연구원 인터뷰(2009년 8월 7일).

27) 박사후과정 1년차 연구원 인터뷰(2009년 4월 1일). 연구원들 사이에 사적인 관계가 거의 없다는 것은 장점일수도 있지만 단점일 수도 있다. 한 연구원은 “학생들끼리 잘 뭉치게 되면 사적으로 많이 가까워지면서 문제가 많이 생기는 것 같다”고 평가한다(석박통합과정 6년차 연구원 인터뷰, 2009년 4월 30일).

28) 박사후과정 4년차 연구원 인터뷰(2009년 7월 8일).

특징으로는 교수와 연구원 사이, 연구원들 사이의 관계가 수평적이고 탈권위적이라는 점이 꼽힌다. 김교수는 실험실 운영 초기부터 학생들 사이에 위계가 없는 조직을 만들기 위해 노력했다. 이를 위해 초기에 입학한 박사후연구원이 학생들에게 존댓말을 쓰도록 요청했고, 또한 모든 지시를 교수가 학생 개개인에게 직접 전달함으로써 다른 실험실에서처럼 선배로부터 후배로 지시 내용이 하달되는 식의 위계적 문화가 형성되는 것을 피했다. 이렇게 형성된 수평적인 문화는 각자의 능력을 서로 존중하고 신뢰하는 태도를 만들어내면서, 구성원 간 커뮤니케이션을 원활하게 함으로써 새로운 아이디어를 낼 수 있는 분위기를 형성했다.²⁹⁾ 또한 박사후연구원부터 석사과정 학생까지 모든 구성원들이 업무를 공평하게 나누는 문화를 만듦으로써, 실험실의 ‘게임의 법칙’(rules of game)이 공정하다는 인식이 구성원들 사이에 공유되었다. 이는 연구원들이 출판된 논문의 저자자격부여(authorship) 과정과 결과는 물론, 서로의 아이디어에 대한 감사의 표시가 전반적으로 매우 공정하게 이루어진다고 생각하는 데에서도 드러난다.³⁰⁾ 수평적 소통과 공정한 ‘게임의 법칙’은 분업에서 생길 수 있는 갈등을 최소화하는 동시에, 분업의 효과를 극대화하는 방향으로의 융합이 가능하게 만드는데, 이는 다음 소절에서 조금 더 자세히 살펴보겠다.

(4) 협력과 지식의 융합

개인의 능력과 결과가 온전히 평가되고, 실험을 해서 나온 결과가 나의 발전과 직결된다는 인식은 자율성과 의욕을 높여 빠른 업무를 가능하게 할 뿐

29) 보통 다른 실험실은 “가장 높은 분이 있고, 일사불란하게 움직이고, 퇴근시간을 똑같이 맞추는” 문화가 있는데 비해서, 이 실험실은 그러한 문화가 없다는 것이 장점이라고 답한 연구원도 있었고(석사과정 1년차 연구원 인터뷰, 2009년 7월 17일), 실험실의 가장 큰 특성이 “사람들이 불만이 없다”는 것이라고 답한 경우도 있었다(석박통합과정 7년차 연구원 인터뷰, 2009년 3월 25일).

30) 석박통합과정 3년차 연구원 인터뷰(2009년 5월 7일).

만 아니라 분업의 결과를 효율적으로 융합할 수 있도록 한다. 실험실 입학을 위해서는 서류 전형을 통해 지적인 능력을 평가받은 뒤에 일정 기간의 실험실 생활이 주어지며, 이 과정에서 일 처리 능력뿐 아니라 협동 능력이 평가된다. 김교수는 열악한 상황에서 미국의 우수한 대학과 경쟁하려면 결국 효율적인 협동 연구가 절실하기 때문에 인화력 있는 성격을 갖는 것이 중요하다고 강조한다. 또한, 다양한 배경 지식과 기술을 가진 연구원들이 선발되고, 시너지 효과를 최대화 할 수 있도록 배치된다.³¹⁾ 연구원들은 주로 교수의 결정에 따라 특정한 프로젝트에서 일하게 되는데, 흥미로운 연구 결과가 나오면 교수는 프로젝트의 인원을 갑자기 늘리거나 새로운 팀을 구성하는 등 역동적인 조직 변화를 꾀하기도 한다. 이러한 융합은 프로젝트 구성의 초기 단계에서 일어나는 경우도 있고, 실험을 다 마치고 발표를 하거나 논문을 쓰는 단계에서 일어나기도 한다.

RNA 유전체학 연구실에서 실험이 진행되면서 그 결과를 논문으로 출판하는 데에는 교수의 판단과 결정이 절대적인 역할을 한다. 대체로 80% 정도 결과가 나오면 교수는 실험을 담당할 연구원에게 논문의 초고를 써오라고 지시한다. 초고를 쓰기 시작하면서 추가로 필요한 데이터를 생산하기 위한 실험이 병행되고, 논문의 작성은 교수와 연구원이 협동하여 진행한다. 논문을 쓰는 과정은 빠르게 진행되며, 특히 시급하게 논문을 제출해야 하는 경우에는 작성 시간을 단축하기 위해 교수가 초고를 쓰기도 한다. 논문을 투고하는 과정에서도 교수의 역할은 매우 중요한데, 김빛내리 교수는 관련 분야의 전문가들에게 전화를 걸어서 결과에 대한 의견을 물어보거나 외국 학회에서 만난 학술지 편집자에게 실험 결과를 얘기하면서 투고 가능성을 타진하기도 한다. “길게 완성된 스토리를 만들어서”³²⁾ *Nature*, *Science*, *Cell* 등과 같이 영향력이 큰 저널에 투고를 하기 위해서는 학계의 관심이나 분위기를 잘 읽어내고 그 흐름을 선도할 수 있는 주제와 수준의 결과를 담은 이야기를 구성할 필요가 있는데,

31) 김빛내리 교수 인터뷰(2009년 8월 21일).

32) 석박통합과정 7년차 연구원 인터뷰(2009년 3월 25일).

논문의 가치를 높여서 더 좋은 저널에 투고하기 위해서 각 그룹별로 따로 수행된 연구 결과를 합치는 경우가 종종 있다.

2004년에 논문을 낸 것에서 Drosha라는 효소는 RNaseIII 라는 효소 그룹에 속한 것이다. 그 그룹에 비슷하게 작용하는 Dicer라는 물질이 있는데, 그것이 miRNA maturation의 두 번째 단계에 작용하는 효소이다. 그런데 내가 그 Drosha에 대해서 어느 부분이 중요하고 어떻게 miRNA를 자르는지에 대한 연구를 하고 있는데, 학회에서 한 사람이 Dicer에 대해서 연구한 내용을 발표 하였는데, 그것이 방법과 결론에 있어서 내 연구와 매우 유사했다. 완전히 내가 만든 슬라이드를 보는 것 같은 느낌이 들 정도였다. 이런 상황이 되면 내 연구 결과의 novelty가 떨어진다. 그래서 그때 DGCR8을 찾아낸 연구 결과랑 묶어서 논문을 냈다. 당시에 DGCR8을 찾았다는 논문들도 막 나오고 있을 때 였기 때문에, 이야기의 흐름을 조금 바꿔 묶어서 내는 식으로 했다.³³⁾

위의 경우는 연구를 수행하는 단계에서는 따로 논문을 내려고 했던 두 그룹의 결과가 당시의 학계 상황에 맞춰 하나의 연구 결과로 합쳐진 경우이다. 이와 달리, 처음 연구를 시작하는 단계부터 하나의 논문으로 취합할 것을 염두에 두는 경우도 있다. 일례로, Lin28에 대한 실험과 줄기세포에 대한 실험은, 다른 성질의 실험을 한 논문으로 합칠 것을 계획하고 진행된 실험들이었다.³⁴⁾ 합쳐질 연구들이 나뉘어서 수행되는 것은 실험실 내부적으로 이루어지기도 하고, 실험실 내부에 자원이 충분하지 않은 경우에는 다른 실험실과의 협동을 통해서 이루기도 한다. 예를 들어, 암과 관련된 miRNA의 기능을 연구하는 분야는 암 세포와 관련된 동물 실험을 필요로 하기 때문에 주로 의대 실험실과의 협동 연구가 이루어진다.

지금까지 학자들은 주로 그룹 대 그룹, 기관 대 기관의 '거시적' 협동연구를 분석했고, 이러한 분석은 협동연구가 지식과 숙련의 공유와 전파, 아이디

33) 석박통합과정 7년차 연구원 인터뷰(2009년 3월 25일).

34) 석박통합과정 5년차 연구원 인터뷰(2009년 7월 30일).

어의 융합을 가져오면서 창의적 업적을 낳는데 기여하지만, 더 많은 경비가 필요하고 더 오랜 시간이 걸리는 위험 요소가 있다는 점을 지적했다(Katz and Martin, 1997). 이러한 '거시적' 협동연구에 비해서 실험실 내부의 협동은 거의 주목을 받지 못했는데, 그 이유는 실험실 책임자인 교수 외에 실험실 구성원 개개인을 실험의 주제로 주목한 경우가 거의 없기 때문이었다. 다른 말로 하자면, 실험실 내의 협동은 당연하고 자연스러운 것으로 간주되었고, 실험실은 다양한 구성원의 집합체라기보다는 하나의 단위나 하나의 주제로 간주되었다는 것이다. 그런데 본 연구는 소규모 실험실에서 진행되는 연구에서는 내부 구성원들 사이의 '협력'이 차지하는 비율과 역할이 크다는 것을 보여주고 있다. 한 연구원은 실험실 내부의 협력을 잘 이끌어 내는 것이 연구 책임자의 리더십의 핵심이라고 평가한다.

좀 더 넓게 보면 실험실에서도 코워크(co-work)가 이루어지고 코워크해가는 사람들 간에 정보의 교환이 활발하게 일어나는데, 선생님은 그런 네트워크를 잘 구성하시고, 잘 이끌어나가시는 능력이 있다. 그것이 굉장히 중요하다고 생각한다. 왜냐하면 리더십이 결여되어 있으면, 혼자서 모든 일을 다 해나가야 하고, 혼자서 모든 일을 다 해나가기에는 이쪽 연구가 쉽지 않기 때문이다. ... 중요한 것은 과학자들 간의 네트워크에는 분명히 전제되어야 하는 약속이 있는데, 아이디어의 정체성(identity)이 결여되면 안 된다는 것이 그것이다. 내가 B라는 사람과 일을 했는데, B가 이상적인 모델과 아이디어를 제기해줬다면, 그것을 내가 생각한 것이라고 다른 사람들에게 얘기하고 다니면 안 된다는 것이다. 정체성(identity)이 있으니까. 그것이 신뢰에서도 중요한 것 같다.³⁵⁾

위와 같은 평가는 내부 구성원들 사이에 '신뢰'에 바탕한 결속력이 존재할 때 협력이 효율적으로 이루어 질 수 있으며, 이러한 신뢰를 잘 유지하는 것이 실험실 리더십의 핵심적 요소임을 보여주고 있다. 교수에 대한 신뢰를 유지하

35) 석박통합과정 3년차 연구원 인터뷰(2009년 5월 7일).

는 것도 중요하지만, 구성원들 사이의 신뢰를 만들고 이를 유지하는 것 역시 효율적인 협력을 위해서는 필수적이다. 소통과 참여의 리더십, 공정하고 예측 가능한 실험실 문화는 구성원들 사이에 신뢰에 기반한 협력의 네트워크를 만드는 데 기여하는 요소들인 것이다.

(5) 의미의 구성

연구팀이 이룬 성과에 대한 평가는 과학자 사회에 의해서 이루어진다. 과학자 사회의 평가에는 연구 질문이나 결과가 기존의 선행 연구에 비해 얼마나 새로운가, 얼마나 유용하게 쓰일 수 있는가와 같은 잘 알려진 기준 외에도 다른 기준들이 개입한다. 이 다른 기준 중 한 가지는 연구 결과가 지배적인 관념이나 선호도와 얼마나 잘 부합하는가이다. 김빛내리 교수는 초기에 연구팀이 세운 모델이 과학자 사회에서 '도그마'로 받아들여지는 과정에 대해 설명하면서 다음과 같이 말한다.

miRNA가 두 단계를 거쳐서 만들어지는데, 한 단계는 핵 안에서 다음 단계는 핵 밖의 세포질에서 일어난다. 각각의 단계에서 작용하는 단백질이 서로 유사한 기능을 한다고 설명하는데, 이런 설명에 미학적인 요소가 있는 것 같다. 논문을 내기 전에 학회에서 발표를 했을 때 반응이 굉장히 좋았다. 과학자들이 복잡하고 전문적인 것을 선호할 것 같지만 사실 그렇지 않다. 오히려 단순하게 설명하는 것, 대칭성을 더 좋아하는 것 같다. 이런 점이 이 모델이 받아들여지는 과정에 영향을 미쳤다고 생각한다.³⁶⁾

김교수가 제시한 모델은 과학적 단순성과 대칭성 등을 만족하면서, 과학자 사회에서 선호하는 모델의 전형에 들어맞았다. 결과에 대한 인정은 사회적인 합의이며, 중요한 것은 연구팀과 팀의 책임자가 이러한 합의를 이끌어낼 수

36) 김빛내리 교수 인터뷰(2009년 8월 21일).

있는 요소들을 잘 인식하고 이에 맞는 결과를 산출해내는 능력이라고 볼 수 있다.

연구팀의 업적이 인정이 되고 과학자 사회에 의해 수용되면서 연구팀은 성장한다. 그러면서 연구팀의 활동은 사회적인 요구에 부합하는 작업을 만드는 단계에서, 수행된 작업의 가치를 높게 평가하는 사회적인 네트워크를 구성하는 단계로 이행한다. 연구팀이 제시한 모델은 물론 연구팀이 새로 개발한 *in-vitro processing* 방법은 miRNA 네트워크라는 과학자 사회의 확장에서 중요한 역할을 담당했다.³⁷⁾ *In-vitro processing* 방법은 연구팀이 pri-miRNA가 pre-miRNA로 잘리는 크로핑 과정에 개입하는 Drosha라는 물질을 찾아내는 과정에서 정립한 것인데,³⁸⁾ 이 방법은 연구팀이 Drosha에 대한 연구를 진행할 때마다 깔끔한 데이터를 빠른 속도로 생산해내는 데 사용되면서 연구팀의 경쟁력 있는 기술이 되었다. 이 기술로 만들어진 데이터가 논문에 실리면서, 이 데이터들이 Drosha와 크로핑 과정의 현상들을 해석하는 기준이 되고, 그 결과 *in-vitro processing* 방법은 일부 교과서에 실릴 정도로 표준적인 방법이 되었다. 이후 유사한 연구에 뛰어들어 다른 연구팀들은 이 방법을 그대로 적용하기 위해 RNA 유전체학 연구실을 직접 방문해서 이 기술을 전수 받기도 하고, 학회에서 연구원들을 만나 이를 배우기도 하였다(cf. Collins, 1974). 이렇게 초기에 생산해 낸 모델, 방법론, 실험 데이터는 이후의 학자들이 따라야 할 지침, 즉 의무통과점(obligatory passage point)으로 기능하면서 miRNA 연구 네트워크를 확장시켰고, RNA 유전체학 연구실은 miRNA 연구 네트워크의 '계산의 중심'(center of calculation)이 되었다(Latour, 1987).

실험실이 '계산의 중심'이 되면서, 학술지에 논문을 투고하는 스타일에도

37) 학술정보 검색도구 Scopus에 따르면, 현재(2010년 3월)까지 실험실의 첫 논문인 miRNA의 생성 기작 모델이 실린 논문(Lee et al., 2002)은 498회, Drosha를 찾아내 발표한 논문(Lee et al., 2003)은 868회 인용되었다. 여기에는 *in-vitro processing* 방법에 대한 설명과 이를 이용해서 얻은 데이터가 실려있다.

38) 이것은 김교수가 박사후연구원 시절에 사용했던 *in-vitro splicing*이라는 방법을 변형하여 miRNA에 적용시켜서 만들어낸 방법이다.

미묘한 변화가 생겼다. 연구실 초기에는 다른 경쟁 연구팀에서 비슷한 실험을 하고 있다는 사실을 과도하게 의식해서, 독창적인 연구 결과도 다른 팀이 출판하기 전에 학술지에 먼저 투고하는 쪽으로 결정을 내린 경우가 있었다. 즉, *Nature*, *Science*, *Cell* 같은 최고 학술지에 투고할 경우에는 심사와 논문의 수정 과정이 길어져서 경쟁 연구팀에 우선권을 빼앗길 수 있다고 판단해서, 이보다 한 단계 낮은 학술지에 연구 결과를 투고해서 출판했던 것이다. 그렇지만 연구실이 점차 miRNA 연구의 세계적인 중심이 되면서 김교수와 연구원들은 자신들의 실험 결과에 대해 더 자신감을 가지게 되었고, 경쟁 팀을 덜 의식하게 되었다. 동시에 이들의 투고 스타일도 실험 결과를 가장 게재하기 힘든 *Nature*, *Science*, *Cell* 같은 최고 학술지에 먼저 보내서 결과를 받아보자는 방식으로 바뀌었다.³⁹⁾ 위험을 감수하는(risk-taking) 투고 스타일은 이러한 연구실의 역사를 통해 형성된 것이며, 2010년 현재 연구실의 위상을 더 높이는 결과를 낳고 있다.⁴⁰⁾

5. 요약 및 결론

창의적인 업적은 순간적인 영감에 의해서만 이루어지는 것이 아니라 그보다 훨씬 더 복잡하고 지속적인 진화의 과정을 필요로 한다. 사람들은 창의성을 단지 좋은 아이디어를 내는 섬광과 같은 것이라고 생각하는 경향이 있다.

39) 2003년에 Droscha를 발견한 논문을 *Nature*에 게재한 이후, 이와 관련된 연구들이 주로 *Cell*과 *Nature Review* 등 최고 학술지에 출판되었다. 또한, Lin28이 관여하는 분해 기작에 대한 연구를 비롯한 최근의 연구들은 *Cell*, *Science*, *Nature*에 투고되는 경향을 보였다. 이 결과, 2009년에는 *Cell*에 4편의 논문이 실렸다.

40) 물론 이러한 '전략'이 득만 있는 것은 아니다. *Nature*에 투고된 한 논문은 심사 과정이 길어졌고, 그 결과 다른 연구팀에서 비슷한 논문이 나오면서 *Nature*와 *Cell*에 실리지 못하고 *Molecular Cell*에 실리게 되었으며, *Nature*에 투고된 또 다른 논문은 심사위원의 요청을 받아들여 수정해서 *Science*에 투고되었지만 다시 수정 요구를 받으면서 게재가 지연되기도 했다. 다행스럽게 이 논문은 최종적으로 *Cell*에 게재되었다.

그러나 실험을 하는 중에 많은 아이디어들이 수정되고 심지어 폐기되는 경우도 있기 때문에, 결국 중요한 것은 처음에 아이디어를 생각해내는 과정만이 아니라 이를 수정하고 입증하면서 의미 있는 과학적 사실을 도출해내기까지의 긴 과정이 된다. 현대의 과학 연구는 대부분 협동 연구의 형태로 이루어지기 때문에 다양한 지식과 능력을 지닌 연구자들의 분업과 협동이 체계적이고 효율적으로 이루어질 때 더욱 가속화된다. 이를 위해서는 구성원들의 특성과 이에 맞는 분업 구조, 이를 활성화 하는 실험실 문화, 그리고 이렇게 나온 결과들을 효과적으로 통합할 수 있는 실험실 책임자의 리더십이 매우 중요해진다.

본 연구는 실험을 중심으로 한 과학적 실행의 과정에서 다양한 구성원들이 갖는 서로 다른 배경지식과 능력이 결합되는 모습을 보여주었다. microRNA 유전체학 연구실에서 김빛내리 교수는 통찰력과 전문성을 가지고 실험 과정에 깊이 개입하고 가공되지 않은 데이터를 관찰하는 과정을 통해 예상치 못한 실험 결과나 변칙을 창의적으로 해석해 낼 수 있었다. 또한 다양한 분야의 배경지식과 각기 다른 전문성을 지닌 연구원들과 테크니션, 사무원의 역할이 나누어 분배되어 있었다. 이러한 분업의 효율성은 이를 뒷받침 하는 실험실 문화에 의해 높아졌다. 수준 높은 연구를 지향하는 실험실의 전통 속에서 연구원들의 몸매 체화된 강한 동기와 수평적 소통을 가능하게 하는 문화 등이 이 연구실의 특징적인 문화라고 할 수 있다. 이렇게 수행된 연구들이 창의적인 논문으로 만들어지기 위해서는 지식의 융합, 실험실 구성원들의 협동 등이 요구되는데, 이 과정에는 실험실 책임자의 리더십이 중요한 역할을 했다. 김빛내리 교수의 지적 전문성과 개인적 성향, 사회적 관계 등은 논문의 구성 방식을 결정하고 연구 성과가 연구자 네트워크에 확산되는 데 큰 영향을 미쳤다. 또한, 교수의 실험실 운영 방식은 공정성에 대한 기대와 신뢰를 높임으로써 실험실의 구성원들이 서로의 이해관계를 조율하고 협력하는 데 도움이 되었다.

본 연구의 사례에서 정책적으로 유용한 결론이 유도될 수 있는 부분은 연

구비, 연구 인력, 실험 기구 등 연구에 필요한 자원에 대한 것들이다. 예를 들어, 박사를 받고 독립적인 연구를 수행하기 시작한 유망한 젊은 연구자들을 발굴해서 이들에게 지도교수 밑에서 수행하던 연구 주제가 아니라 완전히 새롭고 중요한 주제를 발굴하게 하면서 몇 년간 그 시험적인 연구(pilot study)에 몰두하게 할 수 있는 연구 공간, 약간의 인력, 그리고 유동적인 연구비를 수여하는 '펠로'(fellow) 제도를 만드는 것이 그 중 하나가 될 수 있다.⁴¹⁾ 물론 연구자의 입장에서 볼 때 이렇게 새로운 연구 주제의 선택에는 위험이 뒤따른다. 지원 기관의 입장에서 볼 때에도 신진 연구자들의 우열을 가르기가 쉽지 않을뿐더러, 이들이 새로운 분야를 잡아 연구하는 것을 지원하는 것 역시 위험이 따른다는 문제가 있다. 그렇지만 결국 노벨상을 수상할 수 있는 가장 창의적인 연구는 논문의 편수에 의해서가 아니라 새로운 분야를 열 수 있는 주제를 선점하는 데에서 나온다. 이러한 점을 고려한다면 신진학자들에게 지원하는 전체 연구비 중 일부를 이러한 '고위험 고이익'(high-risk high-return) 성격의 연구를 감수하겠다는 야심이 있는 신진 연구자에게 할당해야 할 것이다.

창의적인 연구를 위해서 분야의 선점만큼이나, 투입된 자원이 효율적으로 배분, 결합될 수 있게 하는 리더십과 조직 문화 또한 중요하다. 이는 어느 한 개인의 노력이나 특정한 제도에 의해 단기적으로 만들어질 수 있는 것은 아니다. 각각의 분야별 특성과 팀 리더와 구성원의 상호 작용, 조직 외부의 환경적 요소들이 긍정적인 상승 작용을 이룰 때, 조직의 창의성이 극대화 될 수 있다. 본 연구에서 찾아진 창의성의 구성 요소들은 비록 개성이 강한 하나의 실험실을 대상으로 한 연구에서 추출한 것이지만, 다른 실험실에도 적용이 가능한 것들이다.

이러한 점을 고려해보면, 현재 우리의 과학기술정책은 창의적인 연구를 고무하는 것과는 반대 방향으로 나가고 있는 것이 많다. 한국의 과학기술지원정

41) 김빛내리 교수 인터뷰(2009년 11월 9일).

책은 창의적인 성과를 낸 과학자들을 국가과학기술정책 자문에 더 깊이 관여하게 하고, 여러 위원회와 심사, 토론회 등에 더 자주 참여시킴으로써, 이들의 창의성을 다양하게 '활용'하는 것을 꾀한다. 그런데 이는 창의적인 과학자들을 연구 외의 다른 문제에 대해서 더 고민하게 하고, 연구 외의 이유로 더 바빠지게 만들기 십상이다. 창의적인 과학자들이 할 수 있는 최고의 '서비스'는 더욱 창의적인 연구를 내놓는 것이며, 이러한 연구는 실험에서 한 발 떨어져서 실험실을 '관리'함으로써 나오는 것이 아니라는 사실을 본 연구는 보여주고 있다. 아무리 능력 있는 과학자라고 해도 연구 외의 다른 일에 쏟아야 하는 관심과 시간이 늘어나면 지식 생산 과정에 깊이 개입하고 몰두하는 시간은 적어질 수밖에 없다. 매우 독창적인 기여가 예기치 않은 변칙의 해결에서 나오는 경우가 많기 때문에 연구원들이 잘 '가공한' 데이터를 랩미팅에서 보고 받는 식으로는 가장 창의적인 연구를 끌어낼 수 없기 때문이다.

수평적 소통을 가능하게 하는 문화, 연구원들의 몸에 체화된 강한 동기, 공정한 '게임의 법칙', 효율적인 역할 분담, 변칙에의 주목, 지식의 융합, 수준 높은 연구를 지향하는 실험실의 전통, 실험실 책임자의 통찰력 등은 정책적으로 창출되기 힘들다. 마치 새로운 문화의 전파나 습득처럼, 이러한 요인들은 R&D 정책이나 평가 정책과 같은 과학기술정책에 의해서는 직접적으로 유도되기 힘든 것들이다. 그렇지만 정책적으로 유도하기는 어려워도 사람들이 새로운 문화를 배우고 체화하는 것이 불가능하지는 않다. 마치 새로운 언어를 배우거나 새로운 연구 주제에 대해서 오랜 시간 공부하듯이, 창의적인 실험실 환경을 만드는 것도 바람직한 문화를 배우고 체화하려는 책임자와 연구원들의 의식적인 노력에 의해서 어느 정도는 가능할 수 있다. 본 연구의 결과는 그러한 노력에 조금의 보탬은 될 수 있을 것이다.

□ 참고 문헌 □

- 강정하·최인수 (2008), 「과학적 창의성: 지식의 성장으로서의 창의성에 대한 사례연구」, 『교육심리연구』, 제22권 제3호, pp. 537-562.
- 김왕동 (2008), 『공공연구조직의 창의성 영향요인 및 시사점』, 서울: 과학기술정책연구원.
- 김인수 (1999), 『거시조직이론』, 서울: 무역경영사.
- 박종원 (2004), 「과학적 창의성 모델의 제안: 인지적 측면을 중심으로」, 『한국과학교육학회지』, 제24권 제2호, pp. 375-386.
- 송위진 (2008), 「탈추격형 공공부문 연구활동의 특성 분석」, 『기술혁신연구』, 제16권 제1호, pp. 239-259.
- 홍성욱 (2003), 「과학적 창조성, 천재를 어떻게 이해할 것인가」, 『과학사상』, 2003년 여름호, pp. 157-197.
- _____ (2004), 「과학자의 창의성 - 천재의 신화를 넘어」, 『과학은 얼마나』, pp. 220-255, 서울: 서울대학교 출판부.
- Amabile, T. M. et al. (1996), "Assessing the Work Environment for Creativity", *Academy of Management Journal*, Vol. 39, pp. 1154-1184.
- Andrews, F. M. (1979), *Scientific Productivity*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Bass, B. M. (1985), *Leadership and Performance beyond Expectation*, New York: Free Press.
- Bass, B. M. and Abolio, B. J. (1995), *MLQ Multifactor Leadership Questionnaire*, Redwood City, CA: Mind Garden.
- Collins, H. M. (1974), "The TEA Set: Tacit Knowledge and Scientific Networks", *Science Studies*, Vol. 4, pp. 165-186.

- _____ (2001), "Tacit Knowledge, Trust and the Q of Sapphire", *Social Studies of Science*, Vol. 31, pp. 71-85.
- Csikszentmihalyi, M. (1996), *Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*, New York: Harper Collins.
- Darden, L. and Cook, M. (1994), "Reasoning Strategies in Molecular Biology: Abstractions, Scans and Anomalies", *Philosophy of Science Association*, Vol. 2, pp. 179-191.
- Doing, P. (2004), "Lab Hands and the Scarlet 'O': Epistemic Politics and (Scientific) Labor", *Social Studies of Science*, Vol. 34, pp. 299-323.
- _____ (2007), "Give Me a Laboratory and I Will Raise a Discipline: The Past, Present and Future Politics of Laboratory Studies in STS", in Hackett, E. J. et al. eds., *The Handbook of Science and Technology Studies*, Third Edition, Cambridge, MA: MIT Press.
- Dunbar, K. (1997), "How Scientists Think: On-line Creativity and Conceptual Change in Science", in Ward, T., Smith, S., and Vaid, S. edS., *Conceptual Structures and Processes: Emergence, Discovery and Change*. Washington DC: APA Press.
- Ebadi, Y. M. and Utterback, J. M. (1984), "The Effects of Communication on Technological Innovation", *Management Science*, Vol. 30, pp. 572-585.
- Fujimura, J. H. (1987), "Constructing 'Do-able' Problems in Cancer Research: Articulating Alignment", *Social Studies of Science*, Vol. 17, pp. 257-293.
- Geertz, C. J. (1973), *The Interpretation of Cultures: Selected Essays*, New York: Basic Books.
- Gusterson, H. (1996), *Nuclear Rites: A Weapons Laboratory at the End of the Cold War*, Berkeley and Los Angeles: University of California

Press.

- Han, J. et al. (2004), "The Drosha-DGCR8 Complex in Primary MicroRNA Processing", *Genes & Development*, Vol. 18, pp. 3016-3027.
- Han, J. et al. (2006), "Molecular Basis for the Recognition of Primary MicroRNAs by the Drosha-DGCR8 Complex", *Cell*, Vol. 125, pp. 887-901.
- Han, J. et al. (2009), "Posttranscriptional Crossregulation between Drosha and DGCR8", *Cell*, Vol. 136, pp. 75-84.
- Heinze, T. et al. (2007), "Identifying Creative Research Accomplishments: Methodology and Results for Nanotechnology and Human Genetics", *Scientometrics*, Vol. 70, pp. 125-152.
- Heinze, T. et al. (2009), "Organizational and Institutional Influences on Creativity in Scientific Research", *Research Policy*, Vol. 38, pp. 610-623.
- Hemlin, S., Allwood, C. M. and Martin, B. R. (2004), *Creative Knowledge Environments: The Influences on Creativity in Research and Innovation*, Massachusetts: Edward Elgar Publishing.
- Heo, I. et al. (2008), "Lin28 Mediates the Terminal Uridylation of Let-7 Precursor MicroRNA", *Molecular Cell*, Vol. 32, pp. 276-284.
- Heo, I. et al. (2009), "TUT4 in Concert with Lin28 Suppresses MicroRNA Biogenesis through Pre-MicroRNA Uridylation", *Cell*, Vol. 138, pp. 696-708.
- Heo, I. et al. (2009), "Conserved MicroRNA miR-8/miR-200 and Its Target USH/FOG2 Control Growth by Regulating PI3K", *Cell*, Vol. 139, pp. 1096-1108.
- Kim, Y. K. and Kim, V. N. (2007), "Processing of Intronic MicroRNAs", *EMBO*, Vol. 26, pp. 775-783.

- Kim, Y. K. et al. (2009), "Functional Links between Clustered MicroRNAs: Suppression of Cell-cycle Inhibitors by MicroRNA Clusters in Gastric Cancer", *Nucleic Acids Research*, Vol. 37, pp. 1672-1681.
- Lee, Y. et al. (2002), "MicroRNA Maturation: Stepwise Processing and Subcellular Localization", *EMBO*, Vol. 21, pp. 4663-4670.
- Lee, Y. et al. (2003), "The Nuclear RNase III Drosha Initiates MicroRNA Processing", *Nature*, Vol. 425, pp. 415-419.
- Lee, Y. et al. (2004), "MicroRNA Genes Are Transcribed by RNA Polymerase II", *EMBO*, Vol. 23, pp. 4051-4060.
- Lee, Y. et al. (2006), "The Role of PACT in the RNA Silencing Pathway", *EMBO*, Vol. 25, pp. 522-532.
- Park, S. Y. et al. (2009), "miR-29 miRNAs Activate p53 by Targeting p85a and CDC42", *Nature Structural and Molecular Biology*, Vol. 16, pp. 23-29.
- Yeom, K. H. et al. (2006), "Characterization of DGCR8/Pasha, the Essential Cofactor for Drosha in Primary miRNA Processing", *Nucleic Acids Research*, Vol. 34, pp. 4622-4629.
- Hine, C. (2007), "Multi-sited Ethnography as a Middle Range Methodology for Contemporary STS", *Science, Technology & Human Values*, Vol. 32, pp. 652-671.
- Hollingsworth, R. (2002), *Research Organizations and Major Discoveries in Twentieth-century Science: A Case of Excellence in Biomedical Research*, Berlin: WZB.
- _____ (2004), "Institutionalizing Excellence in Biomedical Research: The Case of Rockefeller University", in Stapleton, D. H. ed., *Creating a Tradition of Biomedical Research: Contributions to the History of the Rockefeller University*, New York: Rockefeller University Press.

- Holmes, F. L. (1986), "Patterns of Scientific Creativity", *Bulletin of the History of Medicine*, Vol. 60, pp. 19-35.
- Howe, M. (1999), *Genius Explained*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Katz, J. S. and Martin, B. R. (1997), "What Is Research Collaboration?", *Research Policy*, Vol. 26, pp. 1-18.
- Knorr-Cetina, K. (1981), *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Oxford: Pergamon Press.
- Latour, B. and Woolgar, S. (1979), *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, London: Sage.
- Latour, B. (1987), *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lynch, M. (1985), *Art and Artifact in Laboratory Science: A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*, London: Routledge and Kegan Paul.
- Marcus, G. E. (1995), "Ethnography in/of the World System: The Emergence of Multi-sited Ethnography", *Annual Review of Anthropology*, Vol. 24, pp. 95-117.
- Miller, A. (1996), *Insights of Genius: Visual Imagery and Creativity in Science and Art*, New York: Springer-Verlag.
- Mody, C. (2001), "A Little Dirt Never Hunt Anyone: Knowledge-Making and Contamination in Materials Science", *Social Studies of Science*, Vol. 31, pp. 7-36.
- Morrison, M. (2000), *Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (2002), "Maxwell and 'the Method of Physical Analogy': Model-based Reasoning, Generic Abstraction, and Conceptual

- Change", in Malament, D. ed., *Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics*, LaSalle, IL: Open Court.
- Oldham, G. R. and Cummings, A. (1996), "Employee Creativity: Personal and Contextual Factors at Work", *The Academy of Management Journal*, Vol. 39, pp. 607-634.
- Pelz, D. C. and Andrews, F. M. (1966), "Autonomy, Coordination, and Simulation in Relation to Scientific Achievement", *Behavioral Science*, Vol. 12, pp. 89 - 97.
- Pfenninger, K. H. (2001), "Insights into the Foundations of Creativity: A Synthesis", in Pfenninger, K. H. and Shubik, V. R. eds., *The Origins of Creativity*, Oxford: Oxford University Press.
- Polanyi, M. (1958), *Personal Knowledge: Towards a Post-critical Philosophy*, Chicago, IL: University of Chicago Press.
- _____ (1966), *The Tacit Dimension*, Gloucester, Mass, MA: Peter Smith.
- Rheinberger, H. (1997), *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*, Stanford: Stanford University Press.
- _____ (1998), "Experimental Systems, Graphematic Spaces", in Lenoir, T. ed., *Inscribing Science: Scientific Texts and the Materiality of Communication*, Stanford, CA: Stanford University Press.
- Schaffer, S. (1996), "Making up Discovery", in Boden, M. ed., *Dimensions of Creativity*, MA: The MIT Press.
- Schein, E. H. (2004), *Organizational Culture and Leadership*, San Francisco: Jossey-Bass.
- Shermer, M. (2001), "The Amadeus Myth: Mozart and the Myth of the Miracle of Genius", in Shermer, M., *The Borderlands of Science: Where Sense Meets Nonsense*, New York: Oxford University Press.
- Shrum, W., Genuth, J. and Chompalov, I. (2007), *Structures of Scientific*

- Collaboration*, MA: The MIT Press.
- Spradley, J. P. (1980), *Participant Observation*, Orlando, EUA: Harcourt.
- Tagger, S. (2002), "Individual Creativity and Group Ability to Utilize Individual Creative Resources: A Multilevel Model", *The Academy of Management Journal*, Vol. 45, pp. 315-330.
- Traweek, S. (1992), *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists*, MA: Harvard University Press.
- Woodman, R. W., Sawyer, J. E. and Griffin, R. W. (1993), "Toward a Theory of Organizational Creativity", *Academy of Management Review*, Vol. 18, pp. 293-321.
- Wuchty, S., Jones, B. F. and Uzzi, B. (2007), "The Increasing Dominance of Teams in Production of Knowledge," *Science*, Vol. 316, pp. 1036-1039.

논문 투고일	2010년 04월 25일
논문 수정일	2010년 05월 30일
논문 게재 확정일	2010년 06월 06일

Laboratory and Creativity

: The Role of the Leader and Laboratory Culture

Sungook Hong and Ha Won Chang

ABSTRACT

Scientific creativity is defined as the production of novel scientific facts, methods, theories, explanations, and instruments, as well as the entire process by which these novel facts, theories, explanations and instruments are generated. There have been many studies on scientific creativity, but there were few studies on the scientific creativity of a research team collaborating in laboratory settings. This paper aims to find the elements that constitute the creativity of a laboratory through empirical participant observation and theoretical analysis of RNA Biology Lab in Seoul National University — a lab which is considered to be the most creative laboratory in Korea. Creative accomplishments demand not just a sudden inspiration but also a complicated and continuous evolutionary process which requires a systematic division of labor and a corporation between researchers who have diverse knowledges and capabilities. Also, this paper shows that laboratory culture and leadership are an important factor for vitalizing the corporative structure of the laboratory.

Key Terms

Scientific Creativity, Group Creativity, Scientific Practice, Experiment, Laboratory Culture, Leadership