

뇌신경과학기술 인식이 어려운 이유와 기술 도달 단계에 근거한 구체적 시나리오의 필요성*

국진호** · 류영준***

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1. 서론 | 3. 구체적 기술윤리시나리오의 필요성 |
| 2. 뇌연구에 이해가 어려운 이유 | 4. 맺음말 |

【국문초록】 뇌신경과학기술이란 동물 신경계의 구조, 기능, 발달 등을 연구하고 그 결과를 통해 신경계의 기능을 조절하는 방법을 연구하는 학문을 말한다. 범정용어로는 『뇌연구촉진법』 상의 ‘뇌연구’를 말하기도 하며 넓게는 동물의 뇌를 대상으로 하는 모든 연구 영역이 이 범주로 들어올 수 있다. 구체적으로는 자연과학, 의학, 약학, 공학, 심리학, 인지과학, 인류학 등 뇌와 관련된 모든 분야가 포함될 수 있다. 이 분야는 매년 새로운 분야가 활발히 발생하고 있는데 이것은 기존의 분야가 분화하거나 다른 분야와 융합하는 현상을 보인다. 한편 이런 급속한 영역 확장에 맞춰 인문학연구도 활발해지고 있다. 2002년 미국 샌프란시스코에서 열린 다나 재단 주최 회의에서 뇌연구 산물에 대한 신경윤리적 대응을 기존의 윤리 문제에 한정할 것이 아니라 사회적 및 법적 문제를 포함하여 복합적으로 다루어져 사회에 다방면의 실질적인 도움이 되기 위하여 연구 설계 단계에서 인문학이 참여하여야 한다는 주장 등 새로운 신경윤리의 정의와 개념이 제시됐다. 이를 위해 각 나라에서는 본격적으로 신경윤리적 대응을 위한 노력을 시작하였으나 인문학자들에게 이런 호호한 뇌연구 분야가 처음부터 인식조차 되지 않는 등 막연함과 혼란으로 인하여 난관에 봉착하고 있다. 이것은 뇌연구 분야가 다른 과학 분야와 구별되는 특성으로 인한 것으로 기존 생명윤리학적 접근법으로는 연구 초기 단계부터 참여하여 각 분야에서 복합적으로 실질적인 토론을 통해 상호 영향으로 발전하고자 하는 새로운 신경윤리 패턴에 적응하지 못하는 현상으로 보인다. 그러나 뇌신경과학기술에 대한 인문학자들의 인식 어려움에도 불구하고 그 결과물이 가져올 큰 사회적 영향력 때문에 인문학적 연구가 미뤄질 수는 없을 것이다. 본 연구는 인문학의 연구대상으로서의 뇌연구 인식이 어려운 이유를 찾고 그 해결책을 알아보려고 하였다. 저자들은 뇌연구계가 사용하고 있는 혼란스러운 단어 사용이나 학문적 난해함을 뇌연구계의 복잡계적 특성에서 그 이유를 찾아보았다. 이를 위해 뇌연구촉진법, 한국연구재단의 학문분류표를 분석하여 뇌연구 분야가 복잡계가 갖추어야 하는 특징인 구성요소를 충족하는지 알아보았다. 이런 독특한 특성을 가진 뇌 분야에 대한

* 본 연구는 2019년 연구재단 과제 (2109M3E5D2A02064481)의 지원을 받아 수행하였음.
 ** 제1저자, 성명: 국진호, 소속: 강원대학교 의학전문대학원 박사과정 대학원생
 *** 교신저자, 성명: 류영준, 소속: 강원대학교 의학전문대학원 의료인문학교실
 주소: 강원도 춘천시 대학로길 1 강원대학교 의학 2호관 301호, 전화: 033-250-8840, 이메일: mindmader@gmail.com

인문학적 접근을 위해서는 현재 기술이 도달해 있는 아주 구체적이고 현실적 사실에 근거한 기술윤리시나리오가 필요하며 다중영역을 가진 뇌신경과학기술을 위한 복수의 시나리오 마련이 필요함을 주장하고자 한다.

【주제분류】 신경윤리학, 생명윤리학, 의료윤리학

【색인어】 신경, 뇌, 뇌연구, 신경윤리, 기술윤리 시나리오, 복잡계 이론

1. 서론

1) 신경윤리와 그 연구대상의 변화

‘신경윤리(Neuroethics)’는 신경과학(Neuroscience)과 윤리학(Ethics)의 합성어로 인간의 뇌를 다루는 뇌신경과학기술이 가져올 수 있는 다양한 문제를 윤리적인 측면에서 다루는 학문이라 할 수 있다.¹⁾ 이 분야는 20세기 후반에 시작하여 아주 짧은 학문 역사를 가졌으나 그 연구대상이 뇌를 포함한 신경계이기 때문에 인류 역사와 함께 지속적인 관심을 받은 주제라고 할 수 있다. 근대 과학기술 발달 이후 인간 정체성의 바탕을 이루는 요소인 인지, 기억, 판단력의 기원이 뇌에 있다는 것이 밝혀졌지만, 동서양을 막론하고 어디에 ‘정신’이 존재하는지에 대하여 수많은 철학자와 과학자가 질문을 던지고 열띤 토론을 계속해왔다. 음양오행 세계관에 기반 둔 고대 중국의 대표적인 의서인 『황제내경(黃帝內經)』에는 인간 장기를 간장, 심장, 비장, 폐장, 신장 5장(五臟)과 대장, 소장, 쓸개, 위, 삼초, 방광 6부(六腑)로 나누고 있는데, 이 가운데 뇌는 속하지도 않았다. 게다가 정신을 담당하는 기관은 심장이라고

생각하고 있었으며 이런 생각은 원나라 이후 뇌가 생명의 원천이나 정신의 거처로서 인식하기 전까진 변하지 않았다.²⁾ 한편 고대 그리스에서는 인간의 두뇌가 인식과 정신의 원천이라고 생각하는 전통이 있었다. 예를 들면 그리스 신화에서 지혜의 여신 아테나가 제우스의 심장이 아닌 머리에서 태어난 것으로 묘사하고 있고,³⁾ 기원전 5세기 히포크라테스 전집에는 뇌는 “의식의 전조”라고 기술되어있으며, 데모크리토스는 뇌를 “신체의 보조병이자 지성의 파수꾼”이라고 하였다.⁴⁾ 이후에도 많은 철학자가 의식, 정신의 중추에 대한 다양한 가설을 제시하고 여러 방법으로 논증이 이어졌지만, 신경해부학의 발전과 뇌 연구를 가속하는 기계의 발달로 결국 뇌가 인지, 감각, 운동, 행동, 기억, 호르몬, 수면 등 정신 활동의 중추임이 명확해지고 나서야 논란은 종지부를 찍었다.⁵⁾ 이후 발전한 유전학과 진화학이 이 분야에 접목되면서 뇌의 기원, 발달, 분화에 대한 지식이 쌓였고, 그 결과 인간의 뇌가 가진 진화의 발자취를 알 수 있게 되었다.⁶⁾

뇌에 대한 인문학적 주제가 될만한 사건들은 인류의 역사와 함께 해왔다고 할 수 있다. 먼저 고대부터 사람들이 일상에 써왔던 신경계에 영향을 미치는 자연

1) Racine, Eric. "Pragmatic neuroethics." Cambridge: The MIT Press, 2010, pp. 27-51.

2) Song, Ji-Chung, et al. "A Review on quotations of Formulae of Chapters related to Five Viscera and Six Bowls in." Journal of Korean Medical classics 24/4, 2011, pp. 1-8.

3) Crivellato, Enrico, and Domenico Ribatti. "Soul, mind, brain: Greek philosophy and the birth of neuroscience." Brain research bulletin 71/4, 2007, pp. 327-336.

4) Vlastos, Gregory. "Ethics and physics in Democritus." The Philosophical Review, 54/6, 1945, pp. 578-592.

5) 정천기, et al. "사람 뇌의 구조와 기능." 서울:법문에듀케이션, 2014, pp. 157-171.

6) Northcutt, R. Glenn. "Understanding vertebrate brain evolution." Integrative and comparative biology 4/4, 2002, pp. 743-756.

물과 관련된 것들이 있었다. 고대 이집트 귀족들이 사용했다고 알려진 마약 성분이 포함된 남수련 (Blue Lotus)부터 지금까지 기호나 의학적 치료 목적으로 사용되고 있는 아편(Opium), 대마(Marihuana), 커피 등은 뇌에 약리적 작용을 일으키는 '정신 약물'로 대표적 신경윤리의 주제라 할 수 있다.⁷⁾ 이것은 각성, 통증 완화, 환각 작용을 일으키고 정신적 육체적 중독까지 유발해 큰 사회적 문제가 되고 있기 때문이다. 두 번째 신경윤리의 대표적 주제는 근대 산업혁명 이후에 개발되어 '정신병' 치료를 위해 사용된 기계와 시술이었다. 1935년 포르투갈의 안토니오 에가스 무디스 박사 (Antonio Cantano de Abreu Freire Egas Moniz)가 처음 시술하였고 1945년 노벨의학상을 수상한 안와로 기구를 삽입하여 전두엽을 파괴하는 '뇌엽절리술(Frontal Lobectomy)과 1930년대 처음 개발되어 환자의 관자놀이 양측에 전기를 통하게 하는 전기경련요법 (Electroconvulsive Therapy; ECT)이 그 대표적인 예이다. 이 두 치료법은 임상 정신과학 분야에서 널리 적용되면서 정신 질환을 앓는 환자의 강제 입원 등의 인권 문제와 함께 주요 연구 소재가 되었다. 이 문제가 대중적으로 널리 알려지게 된 것은 영화를 통해서이다. 1962년 소설가 켄 키지(Ken Kesey)의 경험적 고발 소설 <빠꾸기 등지 위로 날아간 새 (One flew over the cuckoo's nest)>는 1975년 밀로서 포먼(Milos Forman)이 영화화하면서 큰 사회적 반향을 일으키기도 했다. 세 번째 신경윤리의 대표적 주제로는 1930년대 이후 화학의 발전과 함께 등장한 LSD(Lyseric acid diethylamide), 코카인(Cocain), 암페타민

(Amphetamine)과 같은 합성마약 즉 '향정신성 약물'이 있다.⁸⁾ 합성으로 만들어졌지만 이 역시 정신 약물에 포함시킬 수 있다. 전술한 세 가지는 모두 정신 약물이나 정신과 임상 영역에 사용되는 기계와 시술로서 결국 '신경계와 관련된 윤리'인 신경윤리의 주제임이 틀림없지만 1970년대 이전에는 이런 연구를 '신경윤리 연구'라고 따로 이름 붙여 부르지 않았다.

처음으로 '신경윤리'라는 단어를 사용한 사람은 1973년 신경심리학자 폰티우스(Pontius)로 유아의 발달에 관한 논문에서 언급했다.⁹⁾ 이후 정신과와 신경과 임상 분야의 인권 문제를 윤리연구를 '신경윤리'라는 단어가 사용하며 공식적으로 편입시킨 것은 1989년 크렌포드(Cranford)에 의해서라고 할 수 있다. 그는 정신과와 신경과적 문제를 인간의 도덕성에 대한 생물학적 접근으로 보았다.¹⁰⁾ 이후 신경윤리는 학회와 학회지를 갖춘 독립된 학문 영역으로 자리를 잡기 시작하였고, 한동안 정신 약물과 신경정신과에서 치료받는 환자들의 인권이라는 전통적인 두 분야에 집중하여 연구해왔다.

그러나 2002년 미국 샌프란시스코에서 다나 재단 (DANA foundation) 주최로 열린 학술대회를 계기로 이 두 전통적인 영역을 크게 뛰어넘어 확장되는 새로운 국면을 맞이하게 된다. 이 회의의 공식적인 주제어는 '신경윤리학; 분야 설정하기(Neuroethics: Mapping the field)'이었으며 윤리학자나 인권운동가 외에도 법률, 사회학, 경제학, 정부 관리 등 여러 분야 전문가의 참여 폭이 크게 확대되었다. 그것은 신경윤리의 학문 대상이 '뇌신경과학기술의 응용과 발전'이라는 새로운

7) Counsell, David J. "Intoxicants in Ancient Egypt? Opium, nymphaea, coca, and tobacco." Egyptian mummies and modern science, 2008, pp. 195-215.

8) 강은영, and 조소연. "약물사용실태 및 의식에 관한 연구 (II)." 형사정책연구원 연구총서, 2014, pp. 1-350.

9) Pontius, Anneliese A. "Dysfunction patterns analogous to frontal lobe system and caudate nucleus syndromes in some groups of minimal brain dysfunction," Journal of the American Medical Women's Association 26/6, 1973, pp. 285-292.

10) Cranford, Ronald E. "The neurologist as ethics consultant and as a member of the institutional ethics committee: the neuroethicist," Neurologic clinics 7/4, 1989, pp. 697-713.

영역 확대에 기인했기 때문이다. 기술력이 가지는 경제적 파급력과 함께 사회적 영향 분석과 대응이라는 새로운 역할이 신경윤리에 부여되면서 새로운 분야에 관한 관심이 또한 고조되었다. 몇몇 신경윤리 학자들은 변화된 연구대상에 맞추어 새로운 신경윤리의 정의들을 내놓았다. 뉴욕타임스 저널리스트인 사파이어(Safire)는 2005년에 샌프란시스코 회의를 정리하는 백서에서 "신경윤리는 인간의 뇌를 치료하거나 강화하는 것의 시비를 논하는 철학의 분야"로 정의하였다.¹¹⁾ 그랜논(Glannon)은 2007년에 "신경윤리는 뇌 혹은 중추 신경계에 대한 서로 다른 측정들과 외과적 개입들에서 발생하는 윤리적 쟁점들과 관련된 생명윤리 분과"로 정의하면서 연구대상을 구체화하고 확대시켰다.¹²⁾ 2008년 라슨(Racine)은 '신경윤리는 신경 과학 연구의 윤리와 신경 과학 연구를 임상 및 공공 영역으로 변환하는 과정에서 나타나는 윤리적 문제에 중점을 둔 생물 윤리와 신경 과학의 교차점에 있는 새로운 분야'로 정의하며 의학적 전문성의 윤리와 환자 관리 같은 진료의 측면을 새삼 강조하기도 했다.¹³⁾ 이와 같은 신경윤리 분야의 급격한 발달은 인간 뇌라는 미지의 영역으로 달려가는 과학기술 '골드러시'에 의해 인문학 주도가 아닌 과학계와 경제계의 요구에 의한 영역 확장이 시작된 것을 의미하였으며, 인문학이 기술을 따라 가야 하는 상황의 전환을 의미하는 것이었다.

2) 기존의 단일분야 접근법

일반적으로 과학기술에 대한 인문학적 연구를 위해서는 사전에 최소한의 과학적 지식이 필요하다. 예를 들어 '인간배아복제 줄기세포'라는 주제를 살펴보자.

누가, 어디서, 언제, 무엇을, 어떻게, 왜라는 육하원칙에 따라 인간배아복제 줄기세포 주제에 대해 찾아갈 수 있었다. 먼저 만드는 기관과 사람의 파악이 필요하다. 한국에서는 서울대 수의대, 미즈메디병원, 차병원이 이 연구를 수행하는 기관이었고 이 기관에 소속된 연구원의 명단을 확실히 파악할 수 있었다. 이를 통해 기관과 연구원의 과학적 신뢰성 검증과 기관윤리위원회 등 절차 검증을 시작할 수 있었다. 이 사건이 언제 이루어졌으며 언제 대중에게 알려졌는가는 보도와 논문을 통해 알 수 있다. 또 인간배아복제 줄기세포의 내용을 파악하기 위해서는 최소한의 과학적 지식을 습득하면 됐다. 줄기세포의 종류, 인간 난자는 어떻게 얻는가, 과배란 처리의 절차, 난자 처리 과정, 배아복제 과정, 복제 후 배양과정, 배아로부터 줄기세포 추출과정, 줄기세포 배양과정, 배양 후 분화능 검증과정, 필요한 인력과 시설에 대한 지식이 여기에 해당한다. 또 줄기세포의 수립 목적에 대한 설명에서 희귀난치성 질환의 범위와 조건에 대한 이해도 필요했다. 이런 과학적 지식을 토대로 해로움과 위험, 자율성, 인간 존엄성, 프라이버시, 분배적 정의 등의 인문학적 주제를 각자의 영역에서 다룰 수 있다. 이것은 '인간배아복제 줄기세포'라는 주제 안에 산부인과, 수의대, 축산대로 안정된 인적·기관적 구성, 행위 내용의 과학적 단순성, 산부인과와 생식의학 이해의 수월성이 있었기 때문에 가능한 것이다. 그러나 뇌연구는 달랐다. 주체가 하나가 아니라 수없이 많으며 연구자도 다양함도 특정할 수 없이 변한다. 기술 자체의 이해도 힘들며 하나의 기관이나 사람이 하지 않았다. 그래서 이런 진입장벽을 유발하는 뇌연구 분야의 특성에 대해 알아볼 필요가 있다.

11) Safire, W. "Neuroethics: Mapping the Field. Conferences proceedings." Nueva York, The Dana Foundation, Disponible en: <http://www.dana.org>, 2002.

12) W. Glannon, Bioethics and the Brain, Oxford: Oxford University Press, 2007, p. 4.

13) Racine, Eric, "Pragmatic neuroethics," Cambridge: The MIT Press, 2010, pp.

2. 뇌연구계 이해가 어려운 이유

1) 혼란스러운 용어들

일반적으로 “뇌연구”는 “뇌과학”, “신경과학”, “뇌신경과학”, “정신과학”, “인지과학”, “심리학”, “진화심리학”, “인지과학”, “뇌인지과학”, “뇌공학” 등 다양하고 비슷한 단어로 일관성없이 표현되고 있다. 원인은 여러 가지가 있겠지만 이것은 신경계 연구 분야가 복잡하게 융합하면서 확장하고 다시 재융합과는 과정에서 벌어진 ‘구별’과 관련이 있다. 이를 이해하기 위해선 신경계에 대한 간략한 지식이 필요하다. 신경계는 동물에만 있는 것으로 운동과 이를 위한 판단을 위해 존재한다. 신경계란 개체가 자극에 대해 반응하고 이를 전달 및 통합하여 판단하고 명령을 전달하는 체제를 말하는데, 크게 중추신경계와 말초신경계로 구분할 수 있다. 중추신경계는 뇌(대뇌와 소뇌)와 척수로 구성되어있고, 말초신경계는 중추신경계와 연결되어 신체 각 부위에 분포하는 신경 말단부까지 이어주는 네트워크와 같다. 또 신경계는 기능적으로는 자신이 임의로 조절 가능한 체성신경계와 조절을 할 수 없는 자율신경계로 구성되어있으며, 자율신경계는 다시 운동이나 흥분과 관련되어있는 교감신경계와 안정 및 휴식과 관련되어있는 부교감신경계로 나뉜다.¹⁴⁾ 따라서 뇌는 신경계, 그중 중추신경계의 일부로서, 엄밀히 말해 “뇌연구”라는 표현은 신경계 중 “뇌”를 특별히 부각하여 연구대상으로 삼는다는 말이지 실제 “신경계”를 연구한다는 뜻으로는 맞지 않는 것이다. 그렇다고 해서 단어의 뜻에 충실하여 “신경연구”라고 지칭하는 것은 의학 분야 중 임상 의학의 한 종류인 “신경과학”과 구분이 힘들다는 점에서 과학계에선 사용을 꺼리고 있다. 그러므로 “신경”이

라는 말을 넣는 경우는 “뇌”라는 단어를 첨부하여 “뇌신경과학”이라는 말을 ‘구별하여’ 사용하게 된 것이다. 한편 “정신”이라는 단어는 현대 신경연구 분야에서 배척되는 표현인데, 이는 “영혼”이나 “자아” 등과 함께 증명 불가능한 전제나 가정이기 때문이다. “정신”이라는 단어가 유일하게 사용되는 곳은 신경계를 연구하는 전체 분야 중에서 정신 질환을 다루는 의학 임상 분야에 서뿐이다. “인지과학”의 경우는 더 복잡하다. 학문의 탄생 시기가 비교적 최근인 1970년대에 등장한 신생 학문으로 크리스토퍼 롱게히긴스가 1973년에 처음 사용하고 1976년에 <인지과학(Cognitive Science)>이라는 학술지가 창간되어 지금에 이르렀다. 인지과학은 상기한 모든 뇌연구 분야를 포함하여 신경계를 가진 동물을 넘어 인공적인 지적 시스템(Artificial Intelligence)까지 포함하여 뇌의 작동이나 몸의 움직임 제어, 지능의 표현, 작동 과정을 연구하는 종합적이고 다학문적 복합학으로, 또 심리학, 철학, 신경과학, 언어학, 인류학, 전산학, 교육학, 사회학, 생물학, 로보틱스 등 여러 학문과 연관되어있다.¹⁵⁾

이렇듯 신경계를 대상으로 여러 학문이 연관되어있는 “신경연구”는 “뇌연구”라는 전체를 포괄하지 못하는 단어로 사용되고 있고, 그 복잡성으로 인해 전공자조차 정확히 구분해 내지 못하는 상태에 이르게 되었다. 전공자도 설명할 수 없는 이런 상황에서 인문학자들이 “뇌연구”라는 학문을 대상으로 연구하기 위해 인식하는 과정에서 큰 어려움을 겪게 되는 것은 당연한 일인 지도 모른다.

2) 신경계 연구의 학문적 난해함

신경계를 대상으로 연구하는 모든 이공계 연구자에

14) 정천기, et al. "사람 뇌의 구조와 기능." 서울:범문예듀케이션, 2014, pp. 23-36.

15) Thagard, Paul, Mind: Introduction to cognitive science. Vol. 17, Cambridge, MA: MIT press, 2005.

게 지금까지 밝혀진 신경계의 지식을 이해하고 학습하는 과정은 필수적이다. 그러나 이 과정에서 수많은 연구자가 탈락하여 다른 영역으로 전향하는 현상이 발생하기도 하는데, 그 이유 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 학문 자체의 어려움 때문이다. 이 때문에 자연과학대학 생물학과, 수의과대학, 의과대학 등 극히 분화된 학문이 모여있는 거대 학문 집단 속에서 복잡하고 정확히 규명되지 못한 부분이 많은 신경계를 공부하는 학생들이 신경계 지식을 배우는 과정에서 어려움을 겪고 포기하거나 회피하는 선택을 하는 경우가 적지 않다. 그래서 신경생물학, 신경발생학, 신경해부, 신경생리, 신경약리, 임상신경과학, 임상신경외과학 등 신경계 연구에 투신하는 사람의 수가 비교적 소수이며, 향후 학위를 끝내고 모이는 학술모임은 소규모 모임이 가지는 특성을 그대로 보인다. 하지만 비록 인원은 적으나 뇌신경과학자들이 과학계 영향력이 큰 연구 결과를 지속해서 생산하고 있다. 이것은 신경계 관련한 국제학술논문 중 높은 인용지수를 보이는 저널이 다수 존재하는 것을 보아도 쉽게 알 수 있다. 대표적인 관련 저널로는 〈Nature Reviews Neuroscience〉, 〈Lancet Neurology〉, 〈Neuron〉 등이 있는데 이들의 2019년 인용 영향지수(Impact Factor)는 약 33, 28, 14로 높은 순위에 있다.¹⁶⁾ 사회적 영향력이 높은 연구 결과를 지속적으로 이끌어내는 소수의 연구자 단체, 하지만 학문 자체의 어려움 때문에 진입이 쉽지 않은 폐쇄적인 특성이 뇌연구자들의 정체성이라 할 수 있다. 이처럼 이공계 전공자에게도 이해가 어려운 학문 분야를 인문학자들이 신경윤리적 접근을 위해 이해하는 과정은 매

우 힘들 수밖에 없으며 구체적이고 세분화된 연구를 가로막고 있는 원인으로 볼 수 있을 것이다.

신경윤리 연구는 뇌연구 전반에 관한 인문학적 탐구를 목적으로 하므로 위에서 살펴본 바와 같은 어려움이 있더라도 연구대상으로서의 해당 기술의 인식이 반드시 선행되어야 한다. 정확한 사전 과학 지식을 근거로 해야만 윤리적, 법적, 사회적 측면에서 함의를 도출하는 과정으로 연구를 진행할 수 있는 것이다.¹⁷⁾ 그러나 인문학자들은 최소한의 기술적 이해를 위해 과학 내용을 파악하는 과정에서부터 어려움에 봉착하게 된다. 예를 들어 뇌는 약 1,000억 개의 신경 세포(Neuron)와 9,000억 개의 아교세포(Glial cell)로 구성되어있으며 각 세포 간의 연결인 시냅스(Synapse)가 100조 개나 있다.¹⁸⁾ 100조 개의 신경 세포는 서로 전기적 대화와 화학적 대화를 하며 그 결과로 뇌파를 만들어낸다. 데카르트로 대표되는 기계론에서 인체라는 기계를 이해하기 위해서 보다 작은 요소들로 분해하여 그 각각의 기능을 탐구해야 한다는 기존의 환원주의적 접근으로는 근접할 수 없는 너무나 큰 숫자이다. 이렇듯 전문가조차도 이해하기 어려우며 밝혀져 아는 것보다 아직 밝혀지지 않은 부분이 더 많아 스스로 인문학자들의 질문에 대답하기도 어려운 분야로 남아있다. 실제 신경윤리연구를 위해 모인 인문학자들에게 기본적인 신경해부, 신경생리, 신경 조직학을 전달을 시도 하였으나 성공하지 못한 예도 있었다.¹⁹⁾ 뇌가 포함된 신경계 영역은 의과대학 학생들조차 어려워하는 지식의 난이도를 가지고 있으며, 뇌를 연구대상으로 하는 학문분류만 해도 300개가 넘는다.²⁰⁾ 각 대학의 해당

16) Yue, Weiping, and Concepcion S. Wilson, "Measuring the citation impact of research journals in clinical neurology: A structural equation modelling analysis," *Scientometrics* 60/3, 2004, pp. 317-332.

17) Andersen, Hanne. "The history of reductionism versus holistic approaches to scientific research," *Endeavour* 25/4, 2001, pp. 153-156.

18) 정천기, et al. "사람 뇌의 구조와 기능." 서울:범문예듀케이션, 2014, pp. 1-4

19) 2017년~2019년 한국뇌연구원의 뇌연구용역과제 연구 과정에서 뇌과학자들이 말하는 내용을 인문학자들이 이해하기 어려움을 호소하였다.

학과도 자주 변동하고 그 수가 매년 증가하고 있으며, 각 분야에 종사하는 뇌연구자의 전공도 크게 다르며 그조차 유동적이다. 또한, 이들을 통해 나온 연구의 결과물을 보면 하나가 아닌 다양한 영역에서 다발적으로 나오고 있으며 시험실 단계, 동물실험단계, 인간대상 연구 단계 등 다양한 층 위의 결과물이며, 이마저도 하나의 기관, 분야, 사람에게서 나오는 결과물이 아니라 여러 분야의 협동 과정으로 나오고 있으니 도저히 기존의 환원주의적 방식으로 이해할 수 없었다. 이에 저자는 '이런 어려움이 뇌연구계가 복잡계이기 때문이 아닌가?'라는 가정을 하고 살펴보았다.

3) 뇌연구계는 복잡계인가?

(1) 복잡계 이론과 대표적 성립조건

19세기 말까지 과학자들은 자연현상이나 사회현상을 선형적 논리로 바라보았다. 이들은 복잡하고 비선형적인 현상에 대해서도 복잡한 방식으로 설명하는 대신 전통적인 뉴턴의 일반역학 체계 방식을 고수했다. 하지만 복잡한 끓는 물 분자의 움직임을 예측하는 실험에서 일반역학 체계 방식의 환원주의적 접근은 불가능함이 증명되었다. 뉴턴의 인과적 결정론을 기반으로 환원적 예측을 하는 라플라스 프로그램²⁰⁾을 이용해서 열에 반응하는 분자 현상을 규명해 보고자 시도했으나 실패할 수밖에 없었다. 이에 맥스웰은 이 난제를 풀기 위하여 확률과 통계적 접근을 하였으며 그제야 비로소 시간과 엔트로피의 방향성을 알아낼

수 있었다.²²⁾ 학자들은 이와 같은 과정을 통해 세계가 비선형적이란 자각을 갖게 되었고, 현실계에도 이와 같은 비선형적 요소로 이루어져 있는 물리학, 통계학, 경제학 등 계(system)가 존재한다는 것을 알게 되었다.²³⁾ 이같이 날로 복잡해지는 현실을 다루기 위한 새로운 개념과 기법들이 필요해지면서 하나의 이론체계가 차츰 형성하게 되었다. 1960년대 시스템이론(system theory), 1970년대 파국이론(catastrophe theory), 1980년대 혼돈이론(Chaos theory)을 거쳐 1990년대 복잡계 이론(Complex system theory)으로 이어지는 이론체계이다.²⁴⁾

복잡계 이론은 완전한 질서나 완전한 무질서를 보이지 않고 그사이에 존재하는 시스템을 말하며, 가열된 공기 분자와 같이 1) 경계가 불분명한 열린 시스템(개방성과 팽창성), 2) 비선형 상호작용, 3) 구성인자의 유동성과 창발성 등을 특징으로 하고 있다. 이 복잡계 이론의 발상과 설립은 한 사람에 의해서 수립된 것은 아니며 1948년 사이버네틱스 연구를 통해 통제와 의사교환에 관한 새로운 이론을 제기한 워너(Nobert Wiener), '정보론(Informatics)'을 통해 피드백 루프를 개념화한 새넌(Claude Shannon), 제반 과학의 대통합을 지향한 일반체계론(General system theory)의 선도자인 버탈란피(Ludwig von Bertalanffy), 결정론을 대신한 구성주의적 관점을 제시한 프리고진(Ilya Prigogine), 동역학 이론의 모태가 되는 비선형 수리체계를 정립한 푸앵카레(Jules H. Poincare), 인지적 연결망의 자동생산성에 기초한 새로운 생명관을 제시한 마투라나(Humberto R. Maturana)와 바렐라

20) 한국연구재단 "학술연구 분야분류표" 2016, https://www.nrf.re.kr/biz/doc/class/view?menu_no=323 (검색일 2020.5.29)

21) Percival, Ray Scott, "Nitpicking Newton (Review of: Pierre Simon Laplace: A Life in Exact Science)." New Scientist, 1998.

22) Leff, Harvey, and Andrew F. Rex, eds, Maxwell's Demon 2 Entropy, Classical and Quantum Information, Computing, CRC Press, 2002.

23) 김문조, "복잡계 패러다임의 특성과 전망." 과학기술학연구 3/2, 2003, pp. 1-27.

24) Gell-Mann, Murray, "Complex adaptive systems," 1994, pp. 17-45.

(Francisco J. Varela)의 노력이 모여 정립되었다. 복잡계 이론은 물리학에서 시작하였지만, 수학, 화학, 생물학 등 자연과학영역에도 적용되었으며 통계학, 경제학, 사회학 등 비슷한 복잡성을 띠고 있는 분야로 적용의 폭을 넓혀가고 있다. 저자는 위 내용에 맞춰 신경계 연구 분야인 뇌신경과학기술의 복잡계 특성을 검토해보았다.

(2) 뇌연구계의 개방성

먼저 '뇌연구'라는 법정용어에서 이 분야의 구성을 알아보았다. 『뇌연구촉진법』은 법률 제14839호로 2013년 3월 23일에 시행되었다. 주무부서는 과학기술정보통신부 바이오기반팀이며 뇌연구 촉진의 기반을 조성하여 뇌연구를 보다 효율적으로 하는 것을 목적으로 하는 육성법이다. 제2조 정의에는 신경계를 대상으로 하는 연구를 '뇌연구'라 하고 뇌과학(腦科學), 뇌의 약학(腦醫藥學), 뇌공학(腦工學) 및 이와 관련된 모든 분야에 관한 연구로 정의하고 있다. 뇌연구에 속해 있는 4분야 중 3분야를 구체적으로 따로 정의하고 있는데 다음과 같다.

"뇌과학"이란 뇌의 신경생물학적 구조, 인지(認知), 사고, 언어 심리 및 행동 등의 고등신경(高等神經) 정신 활동에 대한 포괄적인 이해를 위한 기초학문을 말한다.

"뇌의약학"이란 뇌의 구조 및 기능상의 결함과 뇌의 노화 등으로 인한 신체적·정신적 질환 및 장애의 원인 규명과 이의 치료, 예방 등에 관한 학문을 말한다.

"뇌공학"이란 뇌의 고도 지적 정보처리 구조와 기능을 이해하고 이의 공학적 응

용을 위한 이론 및 기술에 관한 학문을 말한다.

그러므로 뇌연구 분야는 기존의 의학, 약학, 공학뿐만 아니라 인지과학과 같이 심리학에서 파생하거나 다른 영역과 융합하여 생긴 복합학이 추가되는 등 영역의 확장이 지속적으로 일어날 수 있는 법적 근거가 있다. 실제 대학의 학과가 신설되고 전공이 새로 만들어지는 과정에서 완전히 다른 다양한 학문 영역 전공자들이 '뇌'를 연구대상으로 삼을 때 이전에는 없었던 영역이 생기게 되며 이는 뇌연구계의 개방성으로 인한 결과라고 할 수 있다.

(3) 뇌연구계의 팽창성

『뇌연구촉진법』의 '뇌연구'의 정의와 4가지 분류만을 보고 쉽게 이해하기 어렵다. 뇌과학, 뇌의약학, 뇌공학 등에 대한 더 자세한 분류가 필요하다. 19세기 이후 산업혁명과 함께 과학 기구의 발전이 가속되면서 뇌의 구조와 기능에 관한 연구 성과도 폭발적으로 증가하였다.²⁵⁾ 뇌신경과학기술이 발달은 20세기를 거쳐 점점 가속되어 근래에는 작년에 없던 학문의 분야가 생기고, 기존의 학과가 분열되어 나뉘고, 이전엔 없던 생소한 이름의 학과가 대학에 개설되는 정도가 되었다. 그중 신경계를 연구하는 분야도 이와 동일한 발전을 지속하였다. 뇌의 해부학적 구조, 세포, 생리 등의 기초의학 분야에서 충분히 쌓인 기본 지식 토대 위에 전자현미경, 분자생물학 기법 등의 발전과 더불어 세포의 연결, 신경전달 회로, 기능적 단위 등과 같은 새로운 지식이 들어가면서 학문적 융합과 다중 소통이 활발히 이루어지게 되었다. 이렇게 급속히 늘어나는 신경계 연구 분야 등을 주기적으로 반영하여 발간하는

25) Musson, Albert Edward, and Eric Robinson. Science and technology in the industrial revolution, Vol. 3, Taylor & Francis, 1989.

〈한국연구재단 학술연구 분야분류표〉에서 보다 구체적인 것을 확인할 수 있었다.²⁶⁾

2016년 기준, 총 4241개의 학문분류가 있으며 크게 8개 군으로 나누어져 있다. 그중 '신경'이라는 단어가 포함되어있거나 직접적인 관련이 있는 학문은 총 311개이며 의약학 분야 225개, 복합학 분야 57개, 공학 분야 21개, 자연과학 분야 7개로 구성되어있다. 이를 이용해서 뇌과학, 뇌의약학, 뇌공학에 더 자세한 분류를 시도하였다. 먼저 뇌과학은 신경생물학과 복합학으로 나뉜다. 신경생물학은 신경계 발생학, 신경조직학, 분자신경생물학, 자율신경학, 말초신경학, 기타로 분류되며 조직해부학에는 신경해부학이 포함된다. 복합학에는 뇌과학, 인지과학, 감성과학, 학제간 연구로 분류되며, 뇌과학에는 뇌과학 일반, 뇌신경과학, 인지신경과학, 신경심리학, 인지심리학, 언어심리학, 신경회로망, 인공시각, 인공청각, 인공추론, 인공학습, 생체전자, 지능로봇, 기타 뇌과학으로 나뉜다. 인지과학에는 인지과학 일반, 인지과학이론, 감각/지각 및 감각/운동협응, 의식/학습/기억, 지식표상및추론, 언어습득/처리, 인지발달 및 병리, 사회인지 및 인지생태학, 신경인지과학, 사이버학습/인지, 응용인지과학 일반, 응용인지과학 뇌인지연구기법, 응용인지과학 인지공학, 기타 인지과학으로 나뉜다. 복합학 중 감성과학에는 일반 감성과학, 감성이론/개념, 감성지수/계측, 감성생리지표, 감성감각과학, 감성심리, 감성문화/사회, 감성기술/공학, 감성환경, 감성색채, 감성치료/의공, 감성표현예술, 감성모델링, 감성마케팅, 감성오락/레저, 감성교육, 감성디자인, 기타 감성과학으로 나뉜다. 감성과학 중 감성디자인 영역은 다시 감성디자인일반, 감성의료, 감성가전, 감성건축, 감성인테리어, 감성미디어, 감성자동차, 감성완구, 감성헬스, 감성색채, 기타 감성디자인으로 나뉜다.

다음은 뇌공학 영역이다. 뇌공학은 의공학과 기타 공학으로 분류된다. 의공학은 의공학기술, 의공학 재료, 생체역학, 기초의학, 기타 의공학으로 나뉘며, 의공학 재료는 다시 의과학 재료 일반, 의용금속, 의용고분자, 의용 세라믹으로 분류된다. 생체역학 분야는 생체역학 일반, 의용/생체물리, 의용 영상처리, 의용전자, 의용전기, 의용 기계로 나뉜다. 뇌공학 기초의학은 기초의학 일반, 생체자료, 의료정보, 생체계측, 인공장기, 생체 신호 처리, 재활공학, 의학영상 시스템으로 분류한다.

가장 많은 분야가 있는 뇌의약학을 살펴보면 다음과 같다. 해부학, 생리학, 생화학, 병리학, 정신과학, 신경과학, 언어심리학, 신경회로망, 인공시각, 인공청각, 인공학습, 생체전자, 지능로봇, 기타 뇌과학으로 나뉜다. 해부학은 다시 신경해부학, 신경조직학, 신경생리학으로 분류된다. 생리학, 생화학, 병리학은 계통학으로 각각 신경생리학, 신경생화학, 신경병리학으로 나뉘며 신경병리는 신경병리 일반, 신경병리, 말초신경병리, 근육신경병리로 나뉜다. 정신과학은 정신과학 일반, 정신행동과학, 정신분석/분석심리학, 정신치료학, 정신약물학/약품학, 감성심리, 정신면역학/내분비학, 정신신체의학/자문조정, 감성환경, 정신역학/역동학, 뇌명상학, 유전학, 신경생리학, 정신보건의학, 정신병리학/진단분류, 인지신경과학/신경생물학, 스트레스/정신생리학, 정신장애, 정신과행정/교육학, 지역사회정신의학, 기타정신과학으로 나뉜다. 정신행동과학은 다시 정신행동과학 일반, 인지행동, 인지장애, 과잉행동장애, 수면의학, 최면의학, 성의학, 사회/문화정신의학, 가정정신의학, 생물정신의학, 소아청소년정신의학, 노인정신의학, 사법정신의학으로 분류한다. 정신분석학/분석심리학은 다시 정신분석학/분석심리학 일반, 자아심리학, 대상관계이론학, 자기심리학, 대인관계심

26) 한국연구재단 “학술연구 분야분류표” 2016, https://www.nrf.re.kr/biz/doc/class/view?menu_no=323 (검색일 2020.5.29)

리학, 발달심리학, 소아정신분석, 청소년정신분석, 노인정신분석으로 나뉜다. 정신치료학은 다시 정신치료학 일반, 인지행동치료, 집단치료, 인지치료, 가족치료, 예술치료, 놀이치료로 분류하고, 뇌신경생리학은 다시 뇌신경학 일반, 뇌전기생리학, 뇌연상학으로 나뉜다. 정신장애는 다시 정신장애 일반, 신경성장애, 신경쇠약, 기질성정신장애, 알코올/약물남용, 자살/폭력, 망상성장애/정신분열병, 정동장애, 불안/적응장애, 공황장애, 신체형장애/해리성장애, 식이식사장애, 성격/인격장애, 기분장애로 분류한다. 신경과학은 발생신경, 뇌신경, 척수신경, 내분비신경, 신경손상, 행동신경, 소아신경과학, 신경안과/이과학, 일반신경학, 기타신경과학으로 나뉘며, 발생신경은 다시 발생신경일반, 말초신경, 중추신경계, 자율신경계로 나뉜다. 뇌신경은 다시 뇌신경일반, 뇌혈관질환, 치매/퇴행성뇌질환, 뇌파학으로 분류되며, 척수신경은 다시 척수신경일반, 척수외상, 척수질환, 디스크로 나뉜다. 신경종양은 신경종양일반, 뇌종양, 척수종양으로 세분한다. 행동신경은 다시 행동신경일반, 근전도학, 근육질환, 운동성질환, 경련성 질환, 파킨슨병으로 나뉜다. 신경외과학은 발생신경, 뇌신경외과, 척수신경외과, 내분비신경외과, 신경손상외과, 척수종양외과, 행동신경외과, 소아신경외과, 기타신경과학으로 분류하며, 발생신경은 다시 발생신경일반, 말초신경, 중추신경계, 자율신경계로 나뉜다. 뇌신경외과는 뇌신경외과 일반, 중풍, 뇌경색, 뇌혈관질환, 뇌동맥질환, 뇌외상, 뇌정회, 뇌기능질환, 뇌종양으로 나누며, 척수신경외과는 척수신경일반, 척수외상, 척수질환, 디스크로 세분한다. 통증의 중추인 뇌를 마비시키는 마취과학은 마취과학일반, 통증학, 신경근관리, 기타 마취과학으로 분류한다. 또 통증을 다루는 학문에는 재활의학이 있는데 신경/근골격재활, 재활치료, 청각/언어재활로 분류하고, 신경/근골격재활은 다시 중추신경계재활, 말초신경계재활, 근전도재

활, 척추손상재활, 척추질환재활, 뇌질환 재활, 신경학으로 나뉜다. 재활과 관련 학문으로 물리치료학이 있는데 물리치료학 기초, 임상물리치료, 기타물리치료로 분류하며 물리치료학기초는 운동생리학, 전기생리학으로 재분류하고 임상물리치료는 임상물리치료일반, 정형물리치료학, 신경물리치료학, 소아물리치료학, 노인물리치료학, 심폐물리치료학, 산부인과물리치료학, 스포츠물리치료학으로 나뉜다. 신경관련 치료가 포함되어있는 방사선과학 중에는 신경진단방사선학, 두정부/뇌종양치료방사선, 신경뇌종양학, 신경핵의학이 포함되어있다. 노인들에게 흔히 나타나는 퇴행성 뇌질환을 다루는 영역은 정신과, 신경과, 재활의학과도 있으나 가정의학과와 한 분야인 가족건강에서 노인의학/노인병이 세부 학문으로 존재한다. 12개의 뇌에서 직접 나오는 뇌신경중 1번 후신경, 5번 삼차신경, 7번 안면신경, 8번 청각신경, 9번 설인신경, 12번 설하신경을 다루는 이비인후과는 이비인후과 일반, 이과학, 인후과학, 소아이비인후과, 기타이비인후과학으로 분류한다. 12개 뇌신경중 2번 시신경, 3번 동안신경, 4번 활차신경, 6번 외전신경을 다루는 안과학은 안질환, 시력학, 안병리, 안성형, 신경안과/시신경, 안해부/이식, 사시/소아안과, 기타안과학으로 분류하며, 안질환은 다시 안질환 일반, 망막, 각막, 결막, 포도막, 전안부, 외안부, 녹내장, 백내장으로 세분한다. 또 눈과 관련된 학문으로 임상안광학이 있는데 이는 임상안광학일반, 안경학, 안경처방검사, 콘택트렌즈, 안광학, 안구해부생리학으로 분류한다. 또 5번 삼차신경과 7번 안면신경을 다루는 치의학에는 신경약리학과 구강해부학 중 신경해부학이 관여된다. 말초신경을 다루는 임상영역은 정형외과가 있는데 크게 수부, 족부, 척추, 미세수술이 신경영역에 있고 그 중 척추는 척추일반, 경추질환, 요부질환, 목디스크, 허리디스크, 미세수술로 세분화된다. 신경말단이 많은 피부과에는 피부신경영역이 있으

며 말초신경 중 수지사지의과가 있는 성형외과는 수부 재건과 하지재건 분야가 신경과 관련 있는 분야이다.

이 한국연구재단의 학문분류도 전체를 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 연구재단이 이 분류표를 만든 주요 목적은 학술연구지원사업의 효율적 운용을 목적으로 하는 것이어서 매년 새롭게 생성되는 학문을 적극적으로 반영하지 못한다는 점에서 311개의 신경 관련 학문의 영역도 전체라고 할 수 없다. 마지막 개정판인 2015년 분류에서 영역의 개수가 2468개에서 2019년 기준 4241개로의 매우 증가한 것을 보아도 알 수 있다. 이러한 한계에도 불구하고 학문분류 살펴봄으로써 뇌신경연구라는 한 주제에 많은 세부 분류와 중복되는 영역이 있고, 이들이 서로 간 많은 영향을 끼치면서 한 영역의 발전이 다른 영역의 변화를 초래하여 뇌연구 분야의 영역을 넓히고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 뇌연구 분야가 복잡계 영역의 중요 특징인 팽창성을 충분히 가진 영역임을 확인해주고 있다.

(4) 인적 유동성과 영역 창발성

인문학자들이 과학을 연구대상으로 삼아 연구를 시작하면 먼저 특정 분야의 행위나 결과물, 행위나 결과물을 일으키는 연구자, 해당 연구자가 일하는 현장, 그 현상이 일어난 원인 등을 특정해 나가는 과정을 거친다. 그중 연구자의 과학에서부터 신경계 연구 분야 연구자 부분은 다른 영역과 다른 특징을 보인다. 연구자가 전공이 여러 가지이거나 여러 가지 영역의 일을 하는 경우가 허다하다. 그래서 해당 연구자가 실제 무엇을 하는지 파악하기 어려운 경우가 많다. 전술한 바와 같이 신경계 연구자로 진입할 때 어려운 장벽이 있고, 일단 들어온 연구자는 출신 학부, 학위 전공과 관계없이 자유로이 다른 연구주제를 수행하며 실험실을 옮겨 다니거나 개설한다. 또한, 새로운 인력의 유입이 한정

적인 상황에서 기존 학자들의 협업이 크게 강화되기 때문에 기초 뇌연구에서부터 질병 진단 치료연구, 뇌 기능 조절을 위한 공학 연구, 뇌의 고위기능이나 행동을 연구하는 사회 경제적 연구까지 자신의 전공에 유도될 수 있는 모든 연구가 학문적 영역으로 확장될 수 있으며 인적인 복잡성과 연계성이 심화된다. 그러므로 뇌연구 영역은 뇌연구자의 가소성(可塑性:Plasticity)을 이해하지 않고는 파악하기 어렵다. 이런 인적 유동성과 전공 유동성은 팽창성에 영향을 미치는 내적 피드백 루프를 형성하며 새로운 학문적 영역을 개척하는 창발성을 가지고 있다고 할 수 있다.

(5) 소결

앞서 살펴본 바와 같이 뇌연구 연구 분야는 복잡계의 특성이라고 할 수 있는 개방성, 팽창성, 인적 유동성, 창발성, 뇌연구자의 가소성, 영역 및 인력 간의 상호작용 등이 있음을 확인할 수 있었으며 이는 뇌연구 분야가 복잡계라는 가설을 입증하였다고 할 수 있다. 이제 뇌신경과학기술에 대한 인문학적 접근이 기존에 해왔던 연구 방식으로 접근하면 왜 한계가 있는지 일부 설명이 되었다. 여기에서 복잡계를 대상으로 연구하기 위해 지금까지 개발되고 사용되는 검증된 이론을 인문학에 도입할 수 있는 당위성의 근거를 갖게 될 것이다.

3. 구체적 기술윤리시나리오의 필요성

1) 시나리오 기법 이론

‘기술윤리시나리오’는 기술(Technology), 윤리(Ethics), 시나리오(Scenarios)의 합성어로 구체적 기술

에 대한 윤리적 접근에 필요한 시나리오를 의미한다. 시나리오 기법은 1950년 랜드(RAND)사의 허먼 칸 등이 중심이 되어 무기개발과 군사전략의 관계를 분석하는 데 처음 사용되었다.²⁷⁾ 시나리오는 예견(Prediction)이라기보다 과거, 현재, 미래에 관한 상이한 관점을 반영하여 있음직한 미래에 관한 서술을 의미하며, 미래의 불확실성을 해소하여 원하는 미래상을 명확히 하고 체계적인 계획을 수립하는 것을 목적으로 한다. 훌륭한 시나리오는 근거, 신뢰성, 일관성, 중요성, 도전성 등을 갖추었을 때 비로소 의미를 가지게 된다. 군사 목적의 시나리오 기법은 이후 공공과 민간에서 폭넓게 활용되어 국가 차원의 적극적 미래예측 분야뿐만 아니라 민간기업의 비즈니스 전략과 제품 개발을 목적으로도 적극적으로 사용하고 있다. 주요 시나리오 기법의 사례로는 피터 슈워츠의 시나리오 프래닝(Scenario planning)이 있는데, 그는 다음의 총 8단계에 걸친 시나리오 프래닝 프로세스를 제시하였다. 1) 중심주제/의사결정 사항규정 2) 핵심요인 결정 3) 동인 규명 4) 우선순위 결정 5) 시나리오 논리 선택 6) 구체적 시나리오 작성 7) 함축된 의미 설정 8) 중요 지표 및 길잡이 선택이 그것이다.²⁸⁾²⁹⁾ 보엔링크(Boenink)는 이런 시나리오 기법을 새롭고 떠오르는 과학과 기술(New and Emerging Science and Technology; NEST)에 관한 윤리적 연구에 적용하면서 3가지 단계를 제시하였다. 1) 도덕적 전망을 스케치하여 현재 문체시되는 새로운 기술과 그 기술에 직간접적으로 연관된 현재의 도덕적 신념, 관행, 규제를 서술하고, 2) 잠재적인 도덕적 논쟁거리를 생성하고, 3) 2단계에서 나

온 일련의 찬성과 반대 논리에 대하여 어느 정도의 해결책이 담긴 내용을 판정하는 것이다. 그는 기술윤리 시나리오 접근법으로 기술과 도덕의 상호작용 그리고 그 상호작용에서 생길 수 있는 도덕에서의 변화를 예상하는 것을 목표로 삼고 있다.³⁰⁾³¹⁾ 그러나 이 시나리오 기법은 큰 한계도 가지고 있는데 아직 실현되지 않은 미래를 예측한다는 명목으로 허황된 주장을 하거나 구체적이지 못하여 여러 가지 이론을 파생시키는 경우가 있다. 이런 부작용을 방지하기 위해서는 현실에서 실제 이루어진 출판된 과학 업적 논문 내용을 바탕으로 한 구체적이고 현실적인 시나리오의 개발이 필수적인 첫 단계라고 할 수 있다.

2) 구체적 시나리오로 접근하는 예

(1) 실제 기술 수준을 확인할 수 있는 결과물 선정

2002년의 샌프란시스코 미팅에서 확장된 정의에 따르면 '신경윤리'는 보엔링크가 말한 윤리적 접근뿐만 아니라 뇌연구의 결과물로 나온 약물, 기계, 수술법, 서비스 등 구체적 사항에 대한 철학, 윤리, 사회학, 법학, 경제학을 포함한 광범위한 인문학적 접근이 있어야 한다. 기존의 윤리 연구대상은 일반적으로 하나의 기술, 한가지 전공의 과학자, 하나의 기관 등 대상에서 일어나는 윤리적인 사건들이 일반적이었다. 그러므로 이를 하나씩 파악하여 정리하면서 인문학적 연구를 위한 기본 지식을 갖추면 쟁점에 대한 접근이 가능하기 마련이었다. 그러나 전술한 바와 같이 뇌연구 분야의 뇌신

27) Kahn, Herman. "Use of different Monte Carlo sampling techniques." rand.org, 1955.

28) Van Notten, Philip WF, et al. "An updated scenario typology." Futures 35/5, 2003, pp. 423-443.

29) Ringland, Gill, and Peter Préfacier Schwartz. Scenario planning: managing for the future, John Wiley & Sons, 1998.

30) Boenink, Marianne, Tsjalling Swierstra, and Dirk Stemerding. "Anticipating the interaction between technology and morality: A scenario study of experimenting with humans in bionanotechnology." Studies in ethics, law, and technology, 4/2, 2010.

31) Swierstra, Tsjalling. "Introduction to the ethics of new and emerging science and technology." Handbook of digital games and entertainment technologies, 2017, pp. 1271-1295.

경과학기술은 여러 분야 전문가들의 초융합적 연구가 많다. 하나의 기술이 아닌 여러 가지 기술이 섞여 있어 기존의 생명윤리 논쟁들과는 다른 성격을 띠는 것이기 때문에 뇌연구결과물에 관한 인문학적 연구를 위해 필요한 기본 지식을 파악하는데 많은 시간과 노력이 필요하다. 예를 들어 뇌파, 비침습적 체외전자기 자극술, 심부자극기술, 뇌영상기술, 뇌-기계 연결장치 등 구체적인 기술의 측면에서 어느 특정한 기술 하나를 주제로 인문학적 연구를 한다고 가정해보자. 또 증강(Enhancement)에 대한 테마(Thema) 하나만을 독립적으로 연구를 진행한다고 가정해보자. 실제 신경윤리 이슈의 발생은 주로 뉴스의 형태로 전달되며, 그 내용에서 단독의 기술이나 단독의 테마가 이슈로 발생하는 경우는 거의 없을 것이다. 이런 경우 하나의 기술과 하나의 윤리 테마에 대한 연구가 복합적 신경윤리 이슈 발생에서 사회적으로 대응할 수 있는 ELSI 연구의 결과물이 될 수 있을 것인가에 의문이 제기하지 않을 수 없다.

저자는 이와 같은 문제를 해소하기 위한 대안으로서 복잡하고 아직 일어나지 않은 연구 결과가 구체적인 내용으로 포함된 시나리오 접근을 고려하였다. 구체적으로 심부 뇌 자극기술(Deep brain stimulation)을 이용하여 기억을 담당하는 뇌 영역인 해마(hippocampus)를 자극하여 기억 조작 쟁점을 인문학적 연구를 수행하려고 했을 때, 연구자는 이 기술이 무엇이며 실제 어느 단계에 와 있는 기술인지, 누가 이런 연구를 하는지 등에 대한 구체적인 내용을 파악하는 데 어려움을 느끼고 연구 진행에 한계를 느낄 것이다. 특히 현재 심부 뇌 자극기술에 대한 공학적 개발과정과 기억을 발생시키는 해마의 연구 내용이 개별적으로 광범위하게 이루어지고 있어서 연구 초기 단계에 필요한 기

술 파악이 더욱 힘들 것이다. 이때 만약 실험 단계에 와 있는 구체적인 결과물이 있어 이를 기준으로 시나리오를 만들어 접근한다면 이야기는 달라진다. 2020년 1월 발표된 서울대 신경외과 정천기 교수의 연구는³²⁾ 인간을 대상으로 뇌 심부의 직접적인 전기자극을 통해 해마와 기억기능의 인과관계를 증명한 실험이다. 이 논문에서 뇌 연구자들은 기억장애헤를 겪고 있는 난치성 간질환자 10명을 대상으로 뇌에서 기억을 관장하는 해마 부위에 직접 전극을 삽입하여 전기자극을 주고, 기억 과제를 수행하는 동안 뇌파를 측정하여 기억 향상 정도를 측정하였다. 기술적으로는 심부 자극을 통해 기억 향상이 될 수 있음을 보여주는 성공적인 연구이기는 하나, 인간 대상으로 최신 기술을 적용하는 과정에서 나타날 수 있는 연구윤리 준수 여부, 기관위원회 승인과정, 법적 문제 등 신경윤리적으로도 많은 과제를 내포하고 있는 흥미로운 논문이다. 앞서 언급한 '심부 뇌 자극 기술을 이용한 해마 자극으로 기억 조작'이라는 주제로 인문학연구를 할 때 이 논문을 기준으로 진행한다고 가정해보자. 연구자들은 이 논문에 등장한 뇌신경과학기술인 심부 뇌 자극술과 뇌파측정을 구체적으로 파악할 대상 기술로 특정할 수 있고, 현재 사람을 대상으로 구체적인 성과를 보일 정도로 이 기술이 발달이 빠르게 진행되고 있음을 파악할 수 있을 것이다. 또 신경외과라는 임상에서 해마 자극이 실제 기억 장애 환자 치료를 위해 사용될 수 있음도 알 수 있을 것이다. 이를 통해 연구자는 복잡한 뇌연구 분야에 더 수월하게 접근할 수 있을 것이며 이를 토대로 확장하여 만약 이 기술이 승인되어 일반적인 사람이 접근할 수 있는 상황을 상정한다면 현실적이고 구체적인 시나리오를 만들 수 있을 것이다. 예를 들어 이 시나리오와 같은 상황에서는 10대 수험생들이 기억 향상을 목적으

32) Jun, Soyeon, Sang Ah Lee, June Sic Kim, Woorim Jeong, and Chun Kee Chung. "Task-dependent effects of intracranial hippocampal stimulation on human memory and hippocampal theta power." *Brain Stimulation* 13/3, 2020, pp. 603-613.

로 기술을 받았을 때 발생할 수 있는 사회 문제나 분배정의 연구 등은 기존의 향상에 국한되어있는 연구를 보다 구체적으로 확장할 수 있도록 도울 것이다.

이처럼 논문이나 과학적 결과물을 토대로 하여 구체적 예를 든 적절한 시나리오를 작성하여 연구할 수 있다면, 복잡계 특성을 보이는 뇌연구 접근에 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 이에 저자는 뇌연구계의 불확실성 해소하고 인문학적 접근을 용이하게 하는 방법으로 기술윤리시나리오 이론을 적용하는 것을 제안하고자 한다. 이는 과학기술에 적용하는 기존 연구방법의 한계를 극복하고 연구대상의 인문학적 인식을 수월하게 하여 예측 가능한 사회 문제의 폭을 넓히고 효과적인 대응도 가능하게 해줄 것으로 기대한다

4. 맺음말

본 논문에서 신경윤리의 연구대상으로서의 뇌연구계와 구체적인 뇌신경과학기술의 인식을 위해 신경계

를 대상으로 연구하는 뇌연구계를 검토하였다. 21세기 들어서면서 급격하게 발전하고 있는 뇌신경과학기술은 인문학적 연구가 기술 개발 초기부터 함께 가야 하는 필요가 있다. 인문학적 연구를 위해 필수적인 대상을 인식하는 초기 과정에서 마주치는 혼란스러운 단어의 사용, 신경계 자체의 이해 어려움, 방대하고 유동적이며 확장일로의 특성을 가진 복잡계인 뇌연구계를 기존의 일반적인 생명윤리 접근 방법으로 이해하기란 쉽지 않다. 복잡계로서의 뇌연구를 이해하기 위해서는 결국 새로운 인문학적 접근법을 요구하는 것이며 이를 위해 기술윤리시나리오 이론을 적용하는 것을 제안하였다. 기존의 시나리오 이론 자체가 가지는 많은 부작용을 막기 위하여 기술 발전의 현 단계를 알 수 있는 논문을 기반으로 하는 사실성과 구체성이 반드시 해당 시나리오에 담겨야 할 것이다.

이 논문은 인문학자의 신경윤리연구에 대한 접근의 폭을 넓히고 뇌과학자들의 인문학적 이해를 도움으로써 나아가 신경윤리 분야의 저변을 넓히는데 이바지할 수 있을 것으로 기대한다.

【Abstract】

**Characteristic of neuroscience as the neuroethics research subject
and the necessity of a concrete technology ethics scenario***

Jin-Ho Kuk · Young-Joon Ryu*****

'Neuroscience and technology' refers to a study that researches the structure, function, and development of the animal's nervous system and studies how to regulate the function of the nervous system through the results. It is also refer to the legal definition of the 'Brain Research Promotion Act'. Broadly, it can be included that all research areas targeting the animal nervous system can fall into this category. Specifically, all brain-related research fields, such as natural science, medicine, pharmacology, engineering, psychology, cognitive science, and anthropology, can be included in brain research. In this field, new fields are rapidly created every year, and the existing fields are differentiating or converging with other fields. In addition, the humanities research is also active in line with the rapid expansion of the domain. In 2002, at the conference hosted by the Dana Foundation in San Francisco, USA, the new definition of neuroethics suggested that neuroethical responses to neuroscience research products should not be limited to existing ethical issues, but should be addressed in a complex way, including social and legal issues. To this end, each country has begun efforts to respond to neuroethics in earnest, but due to its vagueness and confusion, it faced difficulties. Due to the characteristics of the brain research field that are different from those of other science fields, the traditional bioethical approach is facing limitations. Despite this difficulty in the recognition of brain neuroscience and technology, humanities research cannot be put off due to the large social impact of the results. This study aims to find out why it is difficult to recognize brain research as a research subject of humanities and to find solutions. In addition, the reason for the confusion of words and academic difficulties used by the brain research community is found in the complex system characteristics of the neuroscience research and its community. For that purpose, the 'Brain Research Promotion Act' and the Korea Research Foundation's academic classification are analyzed, and it is checked whether the brain research field satisfies the characteristics of the complex system. It is intended to argue that the humanities approach to the brain field with these unique characteristics requires a very specific and reality-based technology ethics scenario

* This study was supported by 2019 Reserch Grant from NRF-2109M3E5D2A02064481.

** Jin-Ho Kuk, Graduate Student, Department of Medical Ethics and Medical Humanities, Kangwon Univ., South Korea

*** Young-Joon Ryu, Professor, Department of Medical Ethics and Medical Humanities, Kangwon Univ., South Korea

and the preparation of multiple scenarios for multi-domain brain neuroscience.

Key words: Neuronal system, brain, brain research, neuroethics, technical ethics scenario, complex system theory

투고(접수)일(2020년 5월 29일), 심사(수정)일(1차: 2020년 6월 8일, 2차: 6월 20일), 게재확정일(2020년 6월 24일)