

<차례>

여는말 .....	1
I. 과학의 본성 .....	4
도입: .....	4
1. 과학의 정의 .....	5
2. 과학 속의 수학 .....	7
3. 과학 속의 기술 .....	8
II. 과학의 언어 및 도구 .....	10
도입: .....	10
1. 수학 .....	11
2. 논리 .....	12
3. 측정과 단위 .....	13
4. 과학자 공동체 .....	15
III. 과학의 방법 .....	17
도입: .....	17
1. 과학적 방법과 사고 .....	18
2. 다른 분야 속의 과학 방법 .....	19
3. 과학 역량과 태도 .....	21
IV. 물질계 .....	24
도입: .....	24
1. 물질의 구조 .....	25
2. 물질의 상태 .....	27
3. 지구와 우주 .....	28
4. 물질 사이의 힘 .....	31
5. 물질 변화의 규칙성 .....	33
6. 지구계와 상호작용 .....	35
V. 생명계 .....	38
도입: .....	38
1. 분자에서 생태계로 .....	39
2. 생명이란 무엇인가? .....	40
3. 생명의 연속성 .....	42
4. 인체의 생리 .....	44

5. 생태계 .....	45
6. 뇌과학 .....	46
VI. 수리·정보계 .....	48
도입: .....	48
1. 수 .....	49
2. 도형 .....	51
3. 추론 .....	52
4. 변화와 관계 .....	52
5. 자료의 분석과 신뢰 .....	53
6. 정보 이해 능력 .....	54
VII. 사회계: 과학과 인문사회학 .....	57
도입: .....	57
1. 인지과학과 사회 .....	58
2. 인공지능과 사회 변화 .....	59
3. 과학기술과 경제 변화 .....	60
4. 과학기술과 사회 변화 .....	62
VIII. 과학과 기술 .....	66
도입: .....	66
1. 과학과 기술의 관계 .....	67
2. 사회 속의 과학과 기술 .....	71
IX. 2050 미래사회 속 과학의 응용 .....	73
도입: .....	73
1. 메가트렌드와 미래사회 .....	74
2. 미래의 의식주 및 의료 .....	75
3. 미래의 소통과 교통수단 .....	78
4. 기후변화와 자원부족 극복을 위한 기술 .....	81
X. 한국인을 위한 제안: 과학소양 실현방안 .....	83
도입: .....	83
1. 한국 사회 속 과학기술 .....	84
2. 한국의 과학문화 .....	85
3. 한국 학교교육 개혁 .....	87
4. 한국 과학기술의 미래와 과학소양 .....	91
맺음말 .....	94

## 여는말

지난 천년 동안 인류 문명에 가장 기여한 발명중의 하나로 구텐베르크의 인쇄술을 꼽는다. 이는 종교가 절대적 권위를 지니던 유럽이 중세를 벗어나 르네상스를 거쳐 근대로 탈바꿈을 하는 데 가장 큰 기여를 한 발명품이기 때문이다. 그러나 이러한 사회적 변혁은 인쇄술이라는 단일한 기술 하나만으로 진행된 것은 아니다. 인쇄술 혁명이 가져온 지식의 전파는 인쇄기를 만드는 금속 조형 기술의 발달, 동양으로부터 전파된 종이를 만드는 기술 등 크고 작은 다양한 수준의 기술적 변혁들이 모여 유럽을 근대 세계로 이끌었다. 이와 같이 각기 다른 시대, 다른 장소에서 만들어진 다양한 기술들이 서로 연결되어 사회의 변혁으로 연결된 역사적 사례는 수없이 많다.

20세기 이래로 거의 모든 첨단 기술은 과학을 바탕으로 발전하여 왔다. 그리고 과학의 발전이 가져올 미래의 변화는 예측하는 것이 불가능할 정도이다. 우리가 길거리를 다니면서 스마트폰으로 음악을 듣게 된 것은 양자역학을 이론적 바탕으로 하는 반도체가 개발되어 스마트폰을 만들 수 있었던 덕분이다. 보어(N. H. D. Bohr)나 슈뢰딩거(E. Schrodinger)와 같은 양자역학 이론체계를 만든 과학자들도 현재의 결과를 예측하지 못했을 것이다. 이와 같이 과학과 기술의 발전, 더 엄밀하게 말하면 과학을 바탕으로 하는 기술의 발전은 예측하기 어려우며 미래에는 그 변화 속도가 더욱 빨라질 것이다.

또한 과학기술의 발전은 인류의 문화와 사회제도의 변화를 야기하여 왔다. 예를 들어 20세기 초 에어컨의 발명은 영화를 극장에서 편하게 볼 수 있게 만들어 영화산업 발전에 큰 영향을 주었고, 20세기 후반 가정용 에어컨의 대중화는 후덥지근한 기후인 미국남부에 북부 공화주의자들을 대거 이주하게 만들어 — 플로리다 주의 경우 1920년대 인구가 100만이었는데 반세기 만에 1,000만으로 증가 — 민주당의 아성이던 남부를 공화당 성향으로 만드는 데 기여하였다고 한다. 이와 같이 역사적으로 과학과 기술의 발전은 사회 전반을 변화시켰고, 이는 미래에도 마찬가지일 것이다. 서양의 과학기술 전통이 부족한 우리 국민은 과학과 기술에 대한 관점을 단지 실용적인 도구로만 생각하는 경향이 있다. 앞으로 미래를 살아갈 우리 국민은 과학에 대한 더욱 폭넓은 이해와 관심을 필요로 하므로, “모든 한국인을 위한 과학”에서는 2050년도를 살아갈 한국 국민이 갖추어야 할 과학소양에 대하여 제안하고자 한다.

이 보고서에서는 크게 세 가지 요소를 고려하여 연구를 진행하였다. 하나는 2050년 미래를 기준으로 하며, 다른 하나는 모든 한국인을 대상으로 하고, 또 다른 하나는 과학소양(Science Literacy)에 대한 공감대를 형성하고 제안하는 것이다. 이 각각에 대하여 명시하지는 않았지만 많은 사람들이 상식적, 암묵적으로 동의할 수 있는 개념과 범위를 고려하였다. 과학소양은 일찍이 1950년대 미국에서 제안된 개념으로 많은 국내외 과학교육학계의 연구가 있었고 그 동안 과학소양 개념에도 변화가 있었다. 최근 과학소양에 대해 공통적으로 제안되는 개념은 과학에

대하여 이해하고 이를 사회에 적용하는 것과 핵심역량과 과학 지식을 가지고 과학관련 사회적 이슈에 참여하는 능력, 두 가지를 핵심으로 한다. 따라서 이 보고서에서도 이를 구현할 수 있도록 과학소양을 구성하였다.

그리고 과학소양을 갖춘 사람이란 다음과 같이 정의할 수 있다. 첫째로 학습 가능한 능력을 바탕으로, 둘째, 개인과 사회 구성원으로서 성공적인 삶을 영위하기 위하여 갖추어야 할 보편적인 과학 능력을 지녔으며, 셋째로 사회 참여를 포함한 실제상황에서의 문제를 해결하기 위하여 과학의 지식과 태도, 핵심역량을 발휘하는 사람이라고 할 수 있다. 이 보고서에서는 과학소양의 두 가지 핵심과 과학소양을 갖춘 사람에 대한 보편적인 이해를 바탕으로 이를 구현할 수 있도록 과학소양을 구성하였다. 한국인의 과학소양을 개발하면서 설정한 네 가지 기본 방향은 다음과 같다.

### ▷ 미래지향적이다.

이 보고서는 30여년 후 성인으로서 살아갈 대한민국 국민이라면 기본적으로 갖추어야 할 과학소양을 서술하는데 미래가 어떻게 변화할 것인가를 예측하는 것도 쉽지 않고, 앞서 미래학자들이 제시한 예를 보더라도 예측한대로 변화하지 않는 경우도 많았다. 그리고 이 보고서의 목적은 미래를 예측하거나 미래 예측을 교육하려는 것도 아니다. 이 보고서는 30여년 후 성인으로서 살아갈 대한민국 국민이라면 기본적으로 갖추어야 할 과학소양을 서술하려는 것이다. 30년 후라고 하더라도 과학의 기본 소양의 상당 부분은 지금 우리가 필요로 하는 것과 크게 다르지 않을 수도 있다. 왜냐하면 30~50년 전에 배운 수학이나 물리학의 법칙이 달라질 것은 아니기 때문이다. 한편, 과학기술의 활용이라는 측면에서 보면 50년 전과 비교하여 변화한 것도 상당히 많다. 스마트폰이 일상화 되었고 전 세계 어느 곳이나 저렴한 비용으로 통화할 수 있고, KTX와 같은 운송수단의 발전으로 먼 거리를 단시간에 오갈 수 있다. 마찬가지로 30년 후 미래의 생활은 변화하지 않는 것도 있겠지만 지금과 상당히 달라질 부분도 있을 것이다. 따라서 지금 중시되는 능력이나 지식이 미래에는 별로 중요하지 않을 수도 있고, 역으로 지금 전혀 중요하지 않은 것이 미래에는 상당히 중요한 것으로 바뀔 가능성도 있다. 50여 년 전에는 중요하여 누구나 배웠던 구구단이나 암산 능력은 지금은 그 중요성이 덜하다. 지금은 우리가 영어로 읽고 쓰고 소통하기 위해 노력하지만, 미래에는 자동번역기가 보편화되면서 언어장벽을 극복하고 따라서 외국어 교육은 지금보다는 중요도가 낮아질 것이다. 따라서 이 보고서는 30년 후 미래를 살아갈 모든 한국인에게 중시될 삶과 직업 환경 등에 도움이 될 만한 과학지식과 역량을 서술하려고 하였다.

### ▷ 합리적이고 창의적인 문화형성 기여

일반적으로 우리나라 국민들은 인내심이 강하고 근면하며 성실하다고 알려져 있다. 그러나 창의성이 부족하고 때로는 너무 감성적이 되어 이성적이고 합리적인 판단을 하지 못하는 경우가 있다고도 한다. 문화는 단기간에 형성되는 것이 아니라 오랜 역사 속에서 형성되는 사회 관습이다. 문화는 오랜 동양 전통과 우리 생활 방식에 의하여 형성되었기 때문에 쉽게 변화하기 어렵지만, 사회, 경제적 변화에 적응하여 상대적으로 빠르게 변하기도 한다. 우리나라가 서양에 문호를 개방할 당시 조선을 방문했던 외국 선교사들이 남긴 글을 보면, 우리나라 사람들은 모든 면에서 매우 느리다고 표현하였다. 이러한 경향은 20세기 중반까지도 그다지 크게 바뀌지

않은 듯하다. 그러나 오늘날 외국 사람들의 한국인에 대한 평가는 ‘빨리 빨리’의 조급성으로 대변된다. 이는 아마도 지난 수십 년간 국가 발전을 이끌기 위하여 모든 국민들이 노력하는 과정에서 생긴 문화일 것이다. 과학소양 교육은 한국인에게 다소 부족하다고 지적되는 창의적이고 합리적인 사고와 실천 능력을 가지게 하는데 상당한 기여를 할 수 있을 것이다. 특히 과학 지식의 주입보다는 과학소양으로 핵심역량을 강화함으로써 한국의 합리적이고 창의적인 문화 형성에 기여할 필요가 있다.

### ▷ 과학의 능력과 한계 인식

과학은 인류 문명 발전에 크게 기여해왔다. 서양의 과학은 자연에 대한 이해에서 출발하였지만 최근에는 기술의 발전을 견인하여 현재의 인류 문명을 누리게 하였다. 과학과 기술의 어우러진 힘에 의하여 인류는 달에 도달할 수 있었고 지구상의 어디든지 어렵지 않게 도달할 수 있는 능력을 갖추게 되었다. 그러나 이해할 수 없는 자연현상은 항상 존재하기에 한계가 있었고 이를 알아내기 위한 노력이 과학 발전의 원동력이 되었다. 수십 년 전만 하더라도 암은 불치의 병이었지만, 원인을 찾아내고 치료방법을 고안해서 지금은 일부 암의 경우 거의 극복할 수 있는 수준에 와있다. 현재의 과학과 기술의 능력을 알고, 그 한계가 어디까지인지를 인식하는 것은 과학소양으로 반드시 필요하다. 이러한 과학과 기술의 능력과 한계 인식은 미래의 삶과 직업에 적용하는 데도 도움이 될 것이다.

### ▷ 과학에 대한 관심과 흥미 유발

많은 사람들이 초중등 교육에서 과학을 어려운 과목으로 인식하고 있다. 특히 중고등학교 과정에서 과학은 가장 기피하는 과목 중 하나로 알려져 있다. 과학 현상을 교육을 통하여 일반 학생들에게 이해시키는 것은 쉽지 않으므로, 과학을 효과적으로 교육시키는 방법에 대하여 많은 연구가 진행되었고 다양한 교육방법들이 시도되고 있다. 그러나 모든 국민이 과학을 완벽하게 이해하도록 교육하는 방법을 개발하기란 어려우며, 그것은 이 보고서가 추구하는 목적도 아니다. 이 보고서에서 목표로 하는 과학소양인이란, 기본적으로 과학이 무엇이며, 어디에 그리고 어떻게 적용할 수 있는지를 이해하고, 과학을 생활에 적용하면서 항상 관심을 가지고 과학과 기술을 후원할 수 있는 국민을 의미한다. 그리고 과학자, 공학자, 기술자는 어떤 사람이고 우리 사회의 주요 구성원으로서 어떤 기여를 하고 있는가를 이해하며, 나아가 과학자와 기술자가 되고자 하는 관심을 가지고 과학과 기술을 성원할 수 있는 과학소양인을 양성하려는 것이다.

이 보고서를 개발하는 데 각계각층의 다양한 사람들이 다양한 형태로 참여하였다. 최종 보고서는 과학, 기술, 교육관련 전문가들이 집필하고 정리하였지만, 과학소양 개발을 위해 진행한 설문조사, 토론회, 타운홀 미팅, 델파이조사, 의견수렴 등에는 전문가들뿐만 아니라 학생, 학부모, 관심 있는 일반 국민들이 참여하였다. 이 보고서는 단기간 내에 완성하느라 부족한 부분이 많다. 향후에도 지속적인 수정보완을 통해 보다 완성된 형태로 다듬어나야 할 것이다.

# <1범주> I. 과학의 본성

## 도입:

우리는 과학이 자연 세계를 설명하는 방식이라는 것에 동의한다. 과학은 그 자체로 사회적 활동이며, 역사적으로 축적된 지식과 일련의 실천을 특징으로 한다. 과학소양을 함양한다는 것도 결국은 과학의 기본이 되는 개념에 관한 지식을 개발하고, 과학을 실천하는 방식을 개발하는 것과 다르지 않다.

제 1장에서는 과학론, 과학철학, 과학사, 과학사회학, 과학교육 등에서 공유하는 과학소양으로서 함양해야 할 과학의 본성에 대해 논의한다. 1장의 논의는 이후 2장부터 전개되는 과학소양으로서의 과학의 언어와 도구, 과학의 방법을 위한 토대 역할을 한다. 즉, 과학이란 무엇인가에 대한 물음에서 출발하여 과학 속의 수학과 기술을 살펴봄으로써 과학의 본연에 대해 생각할 기회를 가질 수 있을 것이다.

먼저 ‘과학의 정의’에서는 과학의 기원, 과학의 의미와 목적을 점검하고, 최근 외연을 확장하고 있는 과학의 범위를 살펴본다. 과학기술, 과학기술사회(STS), 과학기술공학수학(STEM)을 넘어서서 예술과 인문학까지 포괄하는 융합인재교육(STEAM)에 이르기까지 과학의 학제화 움직임을 논의한다. 이어서 과학을 과학으로 규정하는 과학 지식과 과학적 실천인 탐구를 각각의 구성요소, 과학지식에 대한 전통적 인식론과 현대적 인식론의 차이, 과학 탐구의 본성과 일치하는 과학교육의 필요성 등을 논의한다.

‘과학 속의 수학’에서는 과학과 수학의 관계, 수학으로 표현하는 과학, 모든 한국인을 위한 과학속의 수학 등을 살펴본다. 과학은 자연을 표현하는 최고의 도구이자 언어인 수학을 활용하여 표현하고 소통하므로, 과학소양에 포함되는 과학 그리고 모든 한국인을 위한 과학속의 수학에서는 그 자체로 중요한 수학의 기본적인 개념, 과학과 수학의 관계 및 과학을 이해하는데 필수적인 수학에 초점을 둔다.

‘과학 속의 기술’에서는 과학과 기술의 관계, 모든 한국인을 위한 과학속의 기술 등을 살펴본다. 과학에 기초한 기술, 과학과 기술 혹은 기술과 공학의 차이를 간단히 살펴보고, 서로의 경계를 초월하여 교류·연계할 미래의 과학과 기술의 관계를 조망한다. 호모 파베르로서 인간은 과학기술을 통해 유형, 무형의 도구를 만드는 동시에 자기 자신도 만들어간다. 과학소양으로서의 기술 그리고 모든 한국인을 위한 과학속의 기술에서는 현재는 물론 미래에도 여전히 삶에 필요할 기술과, 과학의 원리를 통하여 새로운 기술을 창조할 수 있는 능력 함양의 필요성에 초점을 둔다.

## 1. 과학의 정의

### ▷ 과학의 정의와 과학의 본성의 외연 확장

과학(science)은 안다(to know)를 뜻하는 라틴어 scientia에 그 어원을 둔다. 과학은 과학적 방법을 적용하여 자연의 작동원리를 이해하고, 자연현상이 일어나는 원인을 설명하고 새로운 자연현상을 예상하며, 그리고 그에 관한 앎을 적용하여 자연을 통제하는 것을 목적으로 한다. 과학에서는 그런 방식을 적용하여 인과관계나 상관관계를 밝힐 수 있으며, 그런 관계를 통해서 자연현상 자체와 그들 사이의 관계를 이해하고 설명할 수 있다. 과학적 이해의 범위는 관찰과 측정이 가능한 현상으로부터 그런 현상이 일어나는 메커니즘에 관한 설명에 이르기까지 광범위하다.

전통적으로 넓은 의미의 과학에는 순수과학, 응용과학, 기술 등이 혼재해왔다. 그러나 기술을 통해서 과학지식이 폭발적으로 증가하여 기술의 지식이 체계화됨으로써 과학과 기술은 더욱 통합적인 의미를 지닌 과학기술(Science and Technology; S&T)로 불리게 되었다. 오늘날에는 과학과 기술이 대부분 통합되어 있어서 과학기술(S&T)이라는 용어로 불리며, 두 분야의 주된 활동도 통합되어 연구개발(Research and Development; R&D)이라는 종합적 접근법에 따라 이루어진다. 나아가, 사회구성원으로서의 과학자의 역할과 책임이 과학의 본성에 관한 논의에서 중요한 주제로 대두됨으로써 과학기술(S&T)이 이보다 더 종합적인 의미의 STS(science-technology-society)로 불리게 되었다. 한편 과학이 과학기술(S&T) 혹은 STS라는 새로운 과학관을 갖게 되면서, 과학교육학에서는 연구개발(R&D)의 주요한 활동 목적인 문제해결(problem solving)이 강조된다.

STS와 관련된 용어로 미국에서는 STEM을, 우리나라에서는 융합인재교육(STEAM)을 강조한다. 미국의 STEM은 과학기술과 사회 사이의 관계보다 과학기술과 공학 및 수학과와의 관계를 중요시한다. STEAM은 과학기술과 공학·예술·수학 사이의 관련성을 강조한 것으로, 기존 STEM을 넘어서서 예술과 인문학까지를 통합하는 학제간 과학(interdisciplinary sciences)을 지향한다. 이러한 학제화 움직임은 분야 간 경계를 초월하여 교류·연계함으로써 학문의 새로운 영역을 개척하는 것을 목적으로 한다.

### ▷ 과학지식의 구성

과학은 자연세계에 대한 지식을 산출하는 과정이며, 과학의 산출물은 과학 활동의 결과로 만들어진 지식과 사물을 포함한다. 과학지식은 수준에 따라 사실, 개념, 모형, 법칙, 이론 등으로 구분하기도 한다.

- 사실(facts): 사실은 관찰과 측정을 통해 얻은 구체적이고 검증 가능한 정보로, 개념, 원리, 이론 등과 같은 다른 과학지식의 바탕이 된다.

- 개념(concepts): 개념은 어떤 특성이나 속성을 공통적으로 가지고 있는 사상, 사물, 현상에 대한 추상화로 정의되며, 과학교육학에서는 개념의 구성요소로 이름, 정의, 속성, 가치, 사례의 다섯 가지를 제시한다.

- 모형(models): 모형은 우리가 관찰할 수 없는 어떤 것에 대한 표상(representations)으로, 추상적 관념을 설명하는 정신적 영상, 물리적 구조, 도표, 수학적 공식 등 다양한 방식으로 표현된다.



•법칙(laws): 법칙은 과학적 사실, 현상들 사이에 나타나는 규칙성을 정리한 것으로, 과학교육 학에서는 법칙과 원리를 혼용하기도 한다.

•이론(theories): 이론은 자연현상에 대한 잘 검증된 설명 체계로, 이론은 사실, 개념, 법칙을 조직화하여 특정 현상이 왜 그리고 어떤 메커니즘으로 일어나는지에 대한 설명을 제공한다. 한편, 아직 확실하게 검증되지 않은 이론으로, 문제에 대한 잠정적인 답을 별도로 가설(hypotheses)이라고 부른다.

이러한 과학지식에 대한 인식론적 관점은 과학적 지식이 관찰과 경험을 바탕으로 한다는 토대주의(foundationalism)에 근거한다. 20세기 초의 실증주의자부터 1950년대 과학철학계의 큰 흐름이었던 논리경험주의는 토대주의의 양상이다. 이들은 과학적 지식은 실험과 관찰에 입각하고, 주관과 객관을 구분하며 인식의 투명성, 관찰가능성, 보편적 진리의 성립가능성을 제시하였다. 그러나 그 후 과학 연구방법의 비판, 관찰의 이론 의존성(theory-ladenness), 증거에 의한 이론의 미결정성(under-determination of theory) 등과 같은 토대주의에 기반한 전통적인 인식론의 문제점과 비판이 제기되면서 현대적 인식론이 등장한다. 과학지식은 사회적 특성을 지니며 과학자 공동체에 의해 구성된 것으로, 잠정적이고 변화가능성을 지니고 있는 것으로 간주된다는 것이다.

### ▷ 과학 탐구

과학을 구성하는 실체론적 지식인 과학내용과 과학을 하는 방법은 긴밀한 관계를 가진다. 과학적 연구(scientific research)는 과학적 방법을 형식적이고 체계적으로 적용하여 자연현상을 조사하는 과학적 활동이다. 과학의 여러 학문 분야를 막론하고 과학적 연구 방법인 과학 탐구를 공유한다. 즉, 과학자 공동체는 증거 기반 검증, 가설과 이론의 활용, 과학적 추론 방식 등과 같은 과학 탐구 방법을 공유하여 과학적 연구를 수행하고 있다.

과학자가 과학적 연구에 활용하는 과학 탐구 방법을 과학교육에서는 과학적 탐구 과정 기능(inquiry process skills)으로 지도한다. 과학자들의 연구가 자연현상을 기술, 이해, 설명, 예상할 목적으로 수행된다면, 학생들의 과학 탐구는 탐구과정 및 기능의 습득과 발달을 통한 과학지식의 이해와 적용을 목적으로 한다. 과학적 탐구 과정을 기초탐구(관찰, 분류, 측정, 예상, 추리 등)와 통합탐구(문제인식, 가설설정, 변인통제, 자료 변환과 해석, 결론도출과 일반화 등)로 구분하기도 하는데, 여기서 통합탐구는 과학적 방법 혹은 실험 방법으로 부르기도 한다. 하지만 과학자들이 항상 따라야 하는 과학 탐구의 단계가 정해져 있는 것도 아니고 과학 지식생산을 담보하는 유일한 과학 탐구 방법이 있는 것도 아니다. 즉 과학 탐구 방법은 연구 대상과 목적에 따라 달라질 수 있다. 그렇지만 과학교육은 이러한 과학 탐구의 본성과 부합하는 형태로 이루어질 필요가 있다.



## 2. 과학 속의 수학

### ▷ 과학과 수학의 관계

생활 주변을 관찰하다 마주치는 많은 것들에 대하여 개수를 헤아리는 것은 흔한 일이다. 어린 아이에게 과자 한 개를 주면 한 개를 더 달라고 하고, 아이는 성장하면서 자신이 두 개를 원한다는 것을 알게 된다. 또한 주변에서 관찰되는 물체들 사이에는 비슷한 형태가 있다는 것도 파악하게 되고, 다양한 형태들의 가장 기본적이고 추상적인 형태를 도형과 같은 단순한 이미지로 생각해낸다. 이렇듯 인류의 역사는 자연을 관찰하는 과정에서 관찰을 단순화하여 표현하는 수학을 만들어냈다. 수학이 발견되었는지 혹은 발명되었는지는 불분명하지만, 인류는 자연을 표현하는 최고의 도구이자 언어라고 할 수 있는 수학이라는 수단을 가지게 되었고 이를 통하여 자연현상을 더 잘 이해하게 되었다.

### ▷ 수학으로 표현하는 과학

과학은 자연을 이해하는 아주 중요한 방법 중 하나이며, 과학은 자연현상이나 원리를 표현할 때 수학을 활용한다. 자연현상을 관찰하면 대부분은 매우 복잡하다. 관찰한 것을 일상의 언어로 표현한다면 사람들은 제각기 다르게 표현할 것이다. 해가 뜨고 지는 것도 단순히 동쪽에서 뜨고 서쪽에서 진다고 말하는 사람이 있는 반면, 어느 산에서 떠오르고 하늘의 구름을 뚫고 지나 어느 강 밑으로 사라진다는 등과 같이 시적으로 표현하는 사람도 있을 것이다. 그러나 매일 반복되는 해가 뜨고 지는 현상을 수치화된 방위로 정확히 표현하고 해가 지나가는 경로를 구면 위의 원을 가지고 표현한다면, 이를 메마른 표현이라고 생각할 수도 있겠지만, 누구나 해가 뜨고 지는 자연현상을 과학적으로 인식할 수 있는 표현이 될 수 있을 것이다. 따라서 지구상의 지역에 따라 달라서 소통이 어려운 일상 언어와는 달리, 수학은 과학을 표현하는 가장 중요한 언어로서 세계 공통의 소통 수단이다. 즉, 수학은 전 세계적으로 자연을 같은 방식으로 이해할 수 있도록 하며, 아마도 외계에 지능을 갖춘 생명체가 존재한다면 우리가 사용하는 것과 유사한 수학을 사용할 가능성도 있다.

### ▷ 모든 한국인을 위한 과학속의 수학

수학은 눈에 보이는 현상보다는 추상적인 개념을 다루는 학문으로, 자연현상을 더욱 잘 이해하고 소통하게 하는 수단이다. 과거, 현재, 그리고 미래의 수학은 그 자체로서 매우 중요한 분야이고, 나아가 자연에는 존재하지 않지만 추상적인 것을 가상하거나 창조할 수 있다. 따라서 미래의 수학이 어떻게 변화하고 발전할 것인지를 현시점에서 짐작하기는 어렵다. 또한, 수학은 과학 이상으로 중요도가 높고 다루는 분야도 방대하다. 따라서 과학소양에서 다루는 과학 속의 수학은 현재 그리고 미래에 중요하다고 예상하는 수학의 일부분으로, 과학과 수학의 관계 및 과학을 이해하는 데 필수적인 수학에 초점을 둔다.

많은 자연의 원리는 수학을 사용하여 나타낼 수 있다. 때로는 자연의 원리를 표현하는데 전문 학자가 아니면 이해하기 어려운 수학이 사용되기도 한다. 그러나 모든 한국인을 위한 과학에서는 과학법칙을 나타내는 어려운 수식을 이해하는데 목적을 두는 것이 아니라, 수학의 기본적인 개념과 그것을 적용하여 자연현상을 표현하는 방식을 이해하는데 목적을 둔다. 나아가 일

상생활이나 과학 이외의 분야에서 마주치게 되는 다양한 현상들을 수학적으로 분석하고 이해하며 새로운 것을 창조할 수 있는 능력을 함양하는 것을 목적으로 한다.

### 3. 과학 속의 기술

#### ▷ 과학과 기술의 관계

인간은 구석기 시대 이래로 삶을 유지하기 위하여 많은 것을 만들어왔다. 인류사에서 인간이 살아가는 데 필요한 도구를 만들었고 도구를 이용하여 삶을 유지하는 물건들을 만들어낸다는 점에서 도구의 인간이라는 호모 파베르(Homo Faber)로 표현하기도 한다. 인간은 유형적인 것뿐만 아니라 제도나 컴퓨터 소프트웨어 등과 같은 무형적인 것도 만들어 왔다. 이렇게 자연에 존재하는 것을 변형시켜 인간에게 유용한 것을 창조해내는 것으로 기술(technology)이라고 부른다. 전통적인 의미에서 과학은 자연현상이나 사물의 구조, 성질, 법칙 등을 관찰 가능한 방법을 통해 얻어낸 체계적이고 이론적인 지식 체계를 의미한다면, 기술은 과학지식을 이용하여 새로운 도구나 물질, 방법을 개발하여 그와 관련이 있는 일상생활의 문제를 해결하는 데 주된 목적이 있는 실용적 영역이다.

인류 역사를 보면 자연의 원리를 탐구하는 추상적인 과학과 실용적인 기술은 상호관련성이 거의 없이 발전해 왔다. 현대적인 관점에서 해석하더라도 유용성을 추구하는 기술은 여러 가지 자연의 원리들을 복합적으로 포함하고 있기 때문에 고대의 사변적인 과학으로부터 도움을 받는 것이 어려워 보인다. 그러나 근대 과학혁명이후 과학이 자연현상을 정량적으로 설명할 수 있게 되었고, 기술에도 적용되기 시작하였다. 또한 과학을 연구하는 과정, 특히 실험적인 과학 연구의 경우에는 기술을 활용하여 실험기구를 만들고 이를 과학연구에 활용하였다. 이처럼 근대이후 과학과 기술의 관계는 과학이 기술의 진보를 촉진하고, 기술은 과학의 범위를 확장하며 새로운 과학지식을 생성하는 관계를 맺게 되었다. 현재 삶의 유용한 대부분의 기술들은 과학적 원리를 기반으로 만들어졌으며 미래의 과학과 기술은 더욱 밀접하게 관련되어 상호 구분이 무의미해 질 수도 있을 것이다.

#### ▷ 모든 한국인을 위한 과학속의 기술

기술은 삶에 유용한 것을 창조하는 것을 목적으로 한다. 인간은 자신의 삶을 위하여 기존에 존재하지 않던 유용한 기술을 새로 고안한다. 따라서 미래에 만들어질 새로운 기술은 아직은 존재하지 않는 것일 수 있다. 기술을 과학과 접목하여 기술의 원리를 탐구하거나 과학의 원리를 적용하여 유용한 것을 만들어내는 과정을 공학(engineering)이라고 한다. 공학의 학문적 범위는 매우 넓고, 그 종류도 다양하다. 미래의 기술은 훨씬 더 다양하고 새로운 공학 분야를 만들 수도 있고, 현재는 덜 중요한 분야가 훨씬 더 중요해질 수도 있을 것이다. 모든 한국인을 위한 과학에서 다루는 기술은 현재 존재하는 공학 분야들을 모두 다루지는 않는다. 기술은 결국 인류의 삶에 유용한 것으로 규정되므로, 현재는 물론 미래에도 여전히 삶에 필요한 분야를 중심

으로, 그리고 미래에 더욱 발전할 과학의 원리를 활용하는 기술의 방향을 다룬다. 예를 들면, 의식주, 소통 및 이동 수단, 건강, 환경 등에 필요한 기술에 초점을 두고 있다.

모든 기술에는 다양한 과학적 원리들이 복합적으로 관여하며, 어떤 유용한 것을 만들 때 여러 기술들을 사용하므로 관련된 전문가들도 자신의 전문분야 이외에는 이해하지 못하는 경우가 발생한다. 따라서 모든 한국인을 위한 과학속의 기술에서는 모든 기술들을 나열하고 그에 적용되는 과학적 원리를 이해하려는 것이 아니라, 유형적 혹은 무형적으로 삶에 필요한 것과 관련된 기술을 규명할 수 있는 능력을 갖추는 것을 목적으로 한다. 나아가 이러한 기술과 과학 원리의 관련성을 파악하고, 과학 원리를 통하여 새로운 기술을 창조할 수 있는 능력을 함양하는 것을 목적으로 한다.

## <2범주> Ⅱ. 과학의 언어 및 도구

### 도입:

인간을 인간으로 그리고 인간답게 만들어온 것은 언어를 통한 소통 능력이다. 과학을 특정 지역의 언어가 아니라 글로벌 차원의 보편언어로 만든 것은 과학이 활용하는 언어와 도구 덕분이다. 즉, 과학은 수학이라는 언어로 기록되고, 논리라는 언어로 사고하며, 자연 법칙을 측정을 통해 양(量)과 양의 관계를 나타내는 단위로 표현한다고 볼 수 있다. 그리고 과학자 공동체는 이러한 과학의 언어와 도구를 공유하면서 과학적 담론의 정통성과 타당성을 담보하는 파수꾼 역할을 한다. 제 2장에서는 과학의 언어 및 도구로서 수학, 논리, 측정과 단위, 및 과학자 공동체를 살펴본다.

먼저 ‘수학’에서는 과학의 언어로서 수학, 과학의 언어로서 수학의 구조, 과학과 수학의 상호작용을 논의한다. 과학을 배우고 이해하기 위하여 기본적으로 학습해야 할 기초 언어로서의 수학, 수학의 추상적 언어로 자연의 구체화된 대상을 표현하는 과학, 그리고 서로의 필요에 의해 새로운 방법, 사고방식, 표현 등을 만들어내는 과학과 수학의 상호작용을 살펴본다.

‘논리’에서는 과학의 도구로서 논리, 논리에 의한 과학적 추론, 과학 교육을 통한 논리 교육 등을 살펴본다. 과학지식의 습득과 더불어 과학소양으로 과학적 방법의 이해, 비판적 사고의 함양 등이 중요하며, 이를 위해 논리적으로 표현된 과학 지식과 논리에 의한 과학적 추론을 필요로 한다. 특히 과학을 통하여 과학적 추론을 뒷받침하는 논리를 가장 쉽게 습득할 수 있기 때문에 논리는 과학교육에서 가장 중요하게 다루어야 하는 도구 중 하나이다.

‘측정과 단위’에서는 실험 과학에서 측정의 의미, 기본량과 유도량을 나타내는 단위, 양과 단위에 관한 국제기구, 기본상수를 이용한 단위의 재정의 등을 살펴본다. 측정 결과인 측정값은 숫자와 기준으로 표시하는데 기준의 하나로 단위를 사용한다. 즉, 다양한 양을 수치화하기 위해서는 단위를 정할 필요가 있다. 7개의 기본량을 나타내는 기본단위와 그 조합으로 만들어진 유도단위, 7개의 기본단위 및 유도단위를 포함하는 국제단위계, 양과 단위를 협의를 통해 결정하는 국제기구들, 측정값에 항상 내재하는 불확도, 불변이라고 믿는 기본상수를 이용한 단위의 재정의 등을 논의한다.

‘과학자 공동체’에서는 과학 공동체의 의미와 역할, 과거, 현재 그리고 미래의 과학 공동체의 특성 등을 살펴본다. 과학적 주장의 정통성과 타당성을 확보하는 방법 중 하나는 관련 연구 분야의 동료들, 즉 과학자 공동체의 검증이다. 특정 패러다임을 공유하는 과학자 공동체는 공동체 구성원들의 과학적 주장을 검증하고 타당화하는 등 일련의 과정에서 독자적인 역할을 수행한다. 연구자 개인의 경험을 바탕으로 소수의 몇몇 사람들로 구성된 과거의 과학 공동체에서부터 다양한 과학자 집단의 통합된 지성이 중시되는 현재의 과학 공동체, 그리고 과학기술의 발전으로 보다 다양하고 폭넓은 형태로 전개될 미래의 과학 공동체를 조망한다.

## 1. 수학

### ▷ 과학의 언어로서 수학

인류가 모든 생물 중에 특별한 존재가 된 이유 중 하나는 언어를 통한 소통 능력 때문이다. 일상에서 소통하기 위한 언어는 물론, 모든 학문도 언어와 문자를 통하여 소통하고 전수해왔다. 그러나 인류의 언어는 지역에 따라 다르게 만들어져 사용되어 왔기 때문에 서로 다른 지역에 거주하는 사람들 사이의 소통은 여전히 쉽지 않다. 과학의 모든 지식도 언어와 문자를 통하여 소통하고 기록하며, 근대 이전에는 지역에 따라 다른 언어로 기술하였다. 그러나 과학혁명 이후 수학은 과학을 표현하는 하나의 세계 공통 언어가 되었다. 비록 각기 다른 일상어를 사용하는 과학자라고 하더라도, 과학의 원리를 수학이라는 언어와 문자-문자라기보다는 부호-로 표현하고 소통하고 있다. 따라서 과학을 배우고 이해하기 위하여 기본적으로 수학이라는 기초 언어를 알아야 한다.

### ▷ 과학의 언어로서 수학의 구조

언어는 지역에 따라 자의적으로 만들어지므로, 특정 지역의 언어로 다른 지역 사람들과 소통하는 것이 쉽지 않다. 반면에 수학은 처음에는 지역에 따라 다른 표현으로 만들어졌지만, 근대의 과학 활동과 수학 연구를 통하여 꾸준히 전 세계적으로 통일되어왔다. 현재 수학은 지구상의 모든 지역에서 동일한 소통방식을 사용하는 과학의 통일된 언어 중 하나라고 할 수 있다. 모든 언어가 소리 혹은 문자와 같은 표현방식과 이를 연결하는 문법적 구조를 가지고 있다. 마찬가지로, 수학도 숫자나 도형과 같은 표현이 있으며, 이들 사이의 관계를 주로 기호를 사용하여 나타내는 규칙이 있다. 순수 수학에서 이러한 표현 방식은 구체적인 자연 속의 대상을 상징하지 않고도 추상적으로 표현할 수 있다. 그러나 과학에서는 구체화된 대상에 대하여 수학이 가지는 추상적인 개념을 대입하여 수학의 언어로 표현한다. 그리고 이렇게 추상적인 수학으로 표현함으로써 자연 속의 대상 혹은 그 변화의 핵심적 요인을 더 쉽게 이해할 수 있다.

### ▷ 과학과 수학의 상호작용

역사적으로 수학의 언어는 자연속의 대상을 가지고 그 표현 방식을 만든 것으로 추정한다. 근대의 대부분의 과학은 관찰한 자연현상을 표현하기 위하여 새로운 수학을 만들어내기도 하였다. 예를 들어 아주 큰 수를 표현하기 위해 로그(log)를 사용하거나, 물체의 운동을 명확하게 표현하기 위하여 미적분을 만들었다. 즉 수학의 언어는 자연의 현상을 표현하기 위한 새로운 방식을 지속적으로 만들어왔고 그 결과가 현대 수학이다. 그러나 최근의 수학은 자연속의 대상과 상관없이 자체적으로 만들어지기도 한다. 그리고 이러한 추상적인 수학에 해당하는 구체적인 자연현상이 그 이후에 발견되어 다시 수학의 언어로 표현되기도 한다.

일부 과학 분야에서는 수학의 언어와 표현 방식을 차용하여 과학적 현상을 표현하기도 한다. 예를 들어 우리가 순수 수학에서 수의 덧셈을 표현한 수식으로  $1+2=3$ 이라고 표현하지만, 화학 분야에서 수학의 수식을 차용하여 ‘두 개의 수소 분자와 한 개의 산소 분자가 화학결합을 하여 두개의 물 분자를 만드는’ 현상을  $2\text{H}_2+\text{O}_2=2\text{H}_2\text{O}$ 라는 화학식으로 표현하기도 한다. 이와 같이 다양한 형태의 자연현상을 수학의 언어를 차용하여 표현하기 때문에 과학이 필요로 하는 기본적인 수학의 개념을 언어처럼 이해할 필요가 있다. 또한 과학과 과학의 언어로서 수학이

서로의 발전에 어떤 영향을 주는지를 이해할 필요가 있다.

## 2. 논리

### ▷ 과학의 도구로서 논리

과학을 배우는 주요한 이유 중 하나는 자연에 관한 전문적인 지식을 습득하는 것이지만, 일반들에게는 과학지식 습득보다는 과학적 방법을 이해하고 비판적 사고를 함양하는 것이 더욱 중요하다. 과학적 방법과 과학적 사고는 다양한 형태의 자연현상에 대한 과학적 자료를 이해하고 평가하며 유용한 기술을 획득하도록 돕는다. 이를 위해 논리적인 사고와 표현의 습득이 가장 기본적으로 요청된다. 논리학은 사유작용의 형식과 규칙을 연구하며, 논리는 인간의 지적 활동을 명제들로 표현하고, 이러한 명제들 사이의 관계를 통하여 확실한 지식을 얻는 과정이라고 할 수 있다. 과학은 자연에서 일어나는 현상들에서 핵심적인 부분을 추출하고 이를 일반 언어나 수학과 같은 과학언어로 표현함으로써 과학자는 물론 관심 있는 일반인들도 현상에 대하여 이해할 수 있도록 한다. 이 표현 과정은 논리적이어야 한다. 수학은 이미 그 안에 합당한 논리를 포함하고 있지만, 수학이 아닌 일반 언어로 표현하는 경우 논리적으로 합당하게 구성할 필요가 있다.

### ▷ 논리에 의한 과학적 추론

논리학은 사고의 내용은 취급하지 않고 사고의 형식만을 다룬다. 과학은 이러한 형식을 사용하여 과학적 현상을 설명한다. 다시 말해, 과학은 자연의 현상을 이해하기 위하여 추론을 통해 가설을 만드는데, 이때 추론의 방식은 논리적이어야 한다. 즉 가설은 논리적 추론을 통해 제안되어야 한다.

논리적 사고의 가장 기본적인 요소는 증거에 의하여 판단하고 제안하는 논증적 과정이다. 과학에서도 기본적 원리는 다양한 자연현상들을 관찰하여 핵심적 증거를 수집하고 이를 증거로 가설을 제안한다. 그리고 제안된 가설을 유사한 다른 현상들에 적용할 수 있는지에 대하여 논리적으로 판단하고 검증함으로써 자연의 원리를 알아낸다.

일찍이 고대 그리스시대에 아리스토텔레스는 정확한 논리적 사고는 연역적이라고 생각하였다. 그 이후 중세를 거치면서 연역논리학이 철학의 가장 중요한 도구가 되었다<sup>1)</sup>. 근대에 들어와 베이컨(F. Bacon)은 귀납적 사고에 의한 논리학을 제안하였다. 하지만 지나치게 경험적 관찰만을 강조하는 베이컨의 귀납법은, 경험과는 상관없지만 무척 중요한 자연과학의 방법 또는 기본 논리인 수학을 등한시한다는 문제점을 지닌다. 즉, 아무리 귀납법을 통해 많은 관찰 자료를 수집하더라도, 그러한 관찰 결과에 바탕을 둔 이론이 보편성을 지니려면 수학적 법칙의 차

1) 근대이전까지 과학은 철학의 한 범주였다. 논리학은 올바른 사고의 형식 및 법칙을 연구하는 학문으로 크게 형식 논리학과 인식론적 논리학으로 나누어 볼 수 있다. 형식논리학은 사고의 내용으로부터 분리되어 기호적으로 표현할 수 있는 사고(판단, 추리 등)의 형식, 법칙을 연구하고, 인식논리학은 대상 인식을 위한 사고의 형식, 법칙을 연구하는 것으로, 인식의 본질, 인식의 발전 과정, 진리의 기준 및 범주 등의 연구를 포함한다.



원에서 설명될 필요가 있다. 이러한 약점에도 불구하고, 베이컨의 귀납법은 아리스토텔레스의 연역적 논리학을 절대시하던 경향에서 벗어나, 근대적인 실험 과학의 방법론을 주창했다는 점에서 중요한 의의를 지닌다.

### ▷ 과학 교육을 통한 논리 교육

과학은 분야에 따라 자연현상을 정의하고 설명하는 것을 목적으로 하며, 수치적으로 표현할 수 있으면 수학을 통하여 논리를 전개한다. 그러나 주어진 자연현상을 명확하게 정의할 수 없고 수치로 측정하기에도 모호한 경우에는 정성적인 표현을 활용하여 자연현상의 내재적 원리를 추론하게 된다. 이 경우 어떠한 수학적 포함하지 않고 단지 자연의 관찰들을 모으고 분석하여 논리적 추론을 하게 된다. 예를 들어 19세기 중엽 다윈(C. Darwin)은 갈라파고스 군도의 여러 섬들에서 관찰한 핀치새들의 부리 형태를 분석하는 과정에서 오직 논리적 추론을 활용하여 생명체의 다양한 종들은 자연선택에 의한 진화라고 추론하였다. 현대의 발달된 생명과학의 다양한 도구들은 정량적인 실험결과를 통하여 진화론을 뒷받침하고 있지만, 과학의 과정에서는 항상 논리적 추론이라는 도구를 사용하게 된다. 논리적 추론은 자연현상 연구에 유용한 도구이지만 사회를 살아가는 동안 과학 이외의 분야에서도 유용한 도구로 사용할 수 있다. 그리고 일반인들은 과학을 통하여 과학적 추론을 뒷받침하는 논리를 쉽게 습득할 수 있기 때문에 논리는 과학교육에서 가장 중요하게 다루어야 하는 도구 중 하나이다.

## 3. 측정과 단위

**Key words:** 측정, 기준, 양, 단위, 국제단위계, 기본상수, 재정의

### ▷ 측정이란? (또는, 측정의 의미)

과학은 이론과 실험이 나란히 발전할 때 비로소 발전한다. 실험이 먼저 이루어진 경우에는 그 결과를 설명할 수 있는 이론이 나와야만 새로운 현상을 예측할 수 있고 또 응용할 수 있다. 역으로, 이론이 먼저 나온 경우에는 그것을 실험적으로 증명해야만 그 이론을 신뢰할 수 있다. 이론이 수학과 논리를 바탕으로 만들어진 것이라면 실험은 측정을 통해서 이루어진다. 측정이란 측정하려는 대상, 즉 양을 그것의 기준과 비교하여 구체적인 값을 얻는 과정을 말한다. 측정 결과인 측정값은 숫자와 기준으로 표시하는데, 그 기준의 하나로 단위를 사용한다. 예를 들어, ‘내 키는 180 cm이다.’ 라고 할 때 180의 숫자와 cm의 단위가 합쳐져서 ‘키’ 라는 ‘길이’의 양을 나타낸다.

### ▷ 기본량과 기본단위, 유도량과 유도단위

과학에서 측정하려는 양의 종류는 아주 많다. 그리고 과학과 기술이 발전할수록 측정할 양은 점점 더 늘어난다. 그런데 이렇게 많아 보이는 양도 결국 길이, 질량, 시간, 전류, 열역학적 온도, 물질량, 그리고 광도라는 7개의 기본량으로 구성된다. 이 기본량을 나타내는 단위를 기본단위라고 하는데, 7개의 기본량 각각에 대해 미터(m), 킬로그램(kg), 초(s), 암페어(A), 켈빈(K), 몰(mol), 그리고 칸델라(cd)로 나타내는데, 괄호 속은 단위를 나타내는 기호이다. 이 기본단위들의



조합으로 유도단위가 만들어진다. 예를 들면, 속력은 유도량인데 이는 길이와 시간의 조합으로 구성되며 그 단위는 m/s 로 표시한다. 유도단위 중에는 특별한 명칭을 가진 것이 있다. 예를 들면, 유도량인 힘을 기본단위로 표시하면  $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 인데, 이것은 너무 복잡하므로 별도로 뉴턴(N)이라는 명칭과 단위로 나타낸다. 이런 식으로 특별한 명칭을 가진 유도단위로는 주파수의 헤르츠(Hz), 에너지의 줄(J), 전하의 쿨롱(C), 조명도의 럭스(lx) 등과 같이 현재는 22개가 있는데, 앞으로 더 늘어날 것으로 전망된다.

### ▶ 양과 단위에 관한 국제기구

이런 기본량, 유도량, 기본단위 및 유도단위들은 국제적으로 협의를 통해 만들어진다. 양과 관련된 국제기구로는 ISO(국제표준화기구)와 IEC(국제전기기술위원회)가 있다. 단위와 관련된 국제기구로는 CGPM(국제도량형총회)가 있고, 그 산하에 CIPM(국제도량형위원회) 및 BIPM(국제도량형국)이 있다. ISO/IEC에서 다루는 7개의 기본량을 기반으로 한 시스템을 국제적 양의 체계(International System of Quantities; ISQ)라고 부른다. 그리고 7개의 기본단위 및 유도단위를 포함한 계를 ‘국제단위계(Le Système international d’unités; SI)’라고 부른다. 이런 식으로 국제적으로 통일된 양과 단위를 사용하면 지식과 정보를 공유하기 쉽고, 무역과 상거래가 편리해지는 장점이 있다. 그런데 이런 국제단위계를 채택하지 않은 나라들이 있다. 미국과 영국이 대표적인데, 이 나라들도 과학기술분야에서는 국제단위계를 사용하려는 경향이 있다.

### ▶ 기준으로서의 단위, 측정값의 불확도

측정량을 나타낼 때 기준이 되는 단위는 무엇보다도 쉽게 변하지 않아야 한다. 길이의 단위인 미터(m)는 1899년에 백금과 이리듐이라는 귀금속의 합금으로 만들어진 국제 미터원기에 의해 정해졌었다. 이 합금은 잘 변하지 않는다는 특성을 가지고 있다. 반면에, 인공적으로 만든 것은 예상치 못한 재난이나 사고로 파손될 위험이 있고, 온도나 습도와 같은 환경의 변화에 의해 원치 않는 길이의 변화가 생길 수 있다. 이런 이유로 미터의 정의는 국제 미터원기의 크립톤 원자에서 발생하는 복사선의 파장으로 바뀌었다가 1983년에 현재와 같이 빛의 속력을 기반으로 재정의되었다. 즉, 미터는 빛이 진공 중에서  $1/299,792,458$  초 동안 진행한 경로의 길이이다. 여기서 분모의 숫자는 진공에서의 빛의 속력에 해당한다. 이 값은 아인슈타인의 특수상대성 이론에서 언급된 것처럼 변하지 않는 상수이다. 그리고 이 값의 불확도는 0이다. 여기서 불확도란 같은 양을 여러 번 측정했을 때 그 측정값이 분산되어 있는 정도를 나타내는 것으로, 참값이 존재할 것으로 여겨지는 범위를 의미한다. 따라서 불확도가 작다는 것은 그만큼 정확도가 높다는 것을 뜻한다. 불확도가 0인 상수는 국제적으로 전문가들이 기준으로 정한 어떤 정확도보다 그 측정값이 더 정확하다고 판단될 때 협의를 통해 결정된다. 이런 일을 수행하는 국제기구는 과학기술데이터위원회(CODATA)이다. 이 기구는 전 세계적으로 기본상수와 관련된 데이터를 수집하고, 그 데이터를 통계 처리하여 기본상수 값들을 결정한다. 상수들의 새로운 값은 매 4년마다 발표되는데, 최근에는 2014년에 발표되었고, 다음 발표는 2018년에 있을 예정이다.

### ▶ 기본상수를 이용한 단위의 재정의

현재 7개 기본단위는 각각 나름의 역사적 배경과 특성에 따라 정의되었다. 예를 들어 질량의

킬로그램(kg)은 아직도 백금과 이리듐의 합금으로 만들어진 국제 킬로그램원기에 의해 정의된다. 이것의 복사본들을 만들어 세계 여러 나라에 보급하였으며, 해당 국가에서는 이들을 국가 킬로그램원기로 사용하고 있다. 이 복사본은 원본과 주기적으로 비교 측정하는데, 그 값이 세월의 흐름에 따라 서로 어긋나고 있다는 것이 밝혀졌다. 원본에 대해 복사본이 변한 것으로 나타나지만 어쩌면 원본이 변했을 수도 있을 것이다. 이런 이유로 인해 킬로그램(kg) 단위의 재정의에 대한 요구가 오래 전부터 있었다. 이에 CGPM(국제도량형총회)은 7개 기본단위 모두를 기본상수를 바탕으로 2018년에 재정의하기로 결정했고, 이를 위해 세계 여러 나라의 국가측정 연구기관에서는 수년 전부터 집중적으로 연구를 수행해왔다. 그 결과, 킬로그램은 플랑크 상수를 이용하여 재정의할 예정이다. 그리고 암페어(A)는 기본전하를, 켈빈(K)은 볼츠만 상수를, 몰(mol)은 아보가드로 상수를 이용하여 재정의할 것이다. 이에 앞서 기본단위의 재정의에 사용하는 기본상수들은 모두 불확도가 0인 값으로 정의할 것이다.

한편, 7개의 기본단위 중에서 2018년 이후에 다시 정의될 것으로 예상되는 단위가 있다. 그것은 현재 세슘(Cs)원자의 초미세 분리 주파수에 의해 정의되어 있는 시간의 단위인 초의 정의이다. 시간의 단위 초는 좀 더 보편적인 루드베리 상수에 의해 재정의될 것으로 예상된다.

## 4. 과학자 공동체

### ▷ 과학자 공동체

과학자 공동체(the scientific community)는 이론적 가정과 법칙의 타당성, 연구 진행 방식, 정식 과학 여부를 판단하는 기준 등을 포괄하는 ‘패러다임’을 공유하는 집단이다.

오늘날 과학을 생산하는 전문가 집단인 과학자 공동체는 연구 규범을 준수하고 공동체 구성원들의 과학적 주장을 검증하고 타당화하는 등 일련의 과정에서 독자적인 역할을 수행한다. 과학 활동은 동료 과학자 집단의 검토와 인정을 받아야 비로소 과학의 지위에 오를 수 있기 때문이다. 사회의 다른 부분으로부터 상대적 자율성을 확보한 과학자 공동체는 새로 제안된 과학적 담론을 공동으로 협의하고 기존 주장이나 이론에 비추어 새로운 관점을 전문적인 입장에서 증거와 논거에 기반을 두고 검토하고 논의한다. 이를 통해 과학적 주장이나 담론의 정통성과 타당성을 확보하고 관리하는 파수꾼 역할을 한다.

### ▷ 과거의 과학자 공동체

인류가 보유한 과학 지식은 그리스 시대에 시작되었다. 문명시대 이전의 자연은 인류에게 위협적 존재였다. 너무 덥거나 너무 춥고, 먹을 것도 부족하여 생활환경이 나빴고, 가뭄과 홍수, 화산과 지진 등과 같은 자연재해는 순식간에 많은 죽음을 초래하기도 했다. 고대 그리스 시대의 자연철학은 신이 지배한다고 믿었던 자연현상의 원인을 자연현상 자체에서 찾기 시작하였다.

자연의 변화에 대한 설명이 현대적 모습을 갖추기 시작한 것은 17세기 무렵이었다. 코페르니쿠스에서 시작된 천문학 혁명은 뉴턴의 운동 법칙으로 정점에 달했으며, 이러한 일련의 사건들은 과학적 사유의 체계로 정립되었다. 근대 자연과학의 시작은 귀납적 방법에 의하여 연구되었다. 이 방법은 많은 과학자들이 함께 자연 현상들을 관찰하여 공통의 원리를 찾아내는 것이다.

이후 과학자들은 뉴턴의 방법을 모델로 삼아 전기, 자기, 열 분야에서 새로운 사실을 알아내었고, 비슷한 논리적 도구를 사용하는 사람들끼리 집단을 형성하면서 학문 분야가 분화되었다. 약 200년 전에는 물리학, 생물학 등을 필두로 학문 분야가 형성되었고, 각 학문 분야는 더 작은 세부 분야로 나뉘어졌다. 과학자 공동체들이 활용한 주된 연구 방법은 복잡한 문제를 보다 단순한 조건의 문제로 나누어, 문제의 가장 중요한 본질을 해결하는 분석적 방법이었다. 그 당시의 대부분의 과학 연구는 개인 연구자 수준에서 산발적으로 수행되었지만, 이전 과학자들의 관찰을 참조하는 방식의 협력적 결과물이었다.

### ▷ 현재의 과학자 공동체

20세기 초에 과학은 상대론과 양자 역학으로 대표되는 또 한 번의 커다란 혁명을 경험한다. 상대론은 아인슈타인(A. Einstein)이 10여년에 걸쳐 독자적으로 정교화하였지만, 인간의 자연에 대한 이해를 완전히 바꾼 양자 역학의 경우는 수십 명의 과학자들이 약 30년 동안 모여서 논의하고 협력하면서 만들었다.

과거의 환원론적 방법 역시 한계에 부딪혔다. 전체를 세부 구성요소로 나누고, 각 구성요소를 이해하면 전체를 이해할 수 있을 것이라는 생각의 한계가 드러났다. 즉, 각 구성요소를 이해해도 전체에는 각 구성요소의 단순한 총합과는 다른 새로운 현상이 나타났다. 예를 들어 인체의 근골격, 내장과 순환계를 이해하더라도 생명이 어떻게 나타나는지를 이해할 수는 없었다. 여러 구성요소가 모일 때 전혀 예기치 못했던 현상이 나타나는 창발 현상은 또 다른 차원의 이해를 필요로 한다. 이런 종합적이고 총체적인 이해를 위해 보다 다양한 전공 분야의 과학자들이 협력하여 과학 지식을 공동으로 생산할 필요성이 대두되었다. 즉 소수의 우수한 과학자의 능력이 중요했던 과거와는 달리 현대 사회에서는 다양성과 독립성을 가진 여러 과학자 집단의 통합된 지성이 보다 중요하게 되었고, 이를 위해 과학자 공동체가 필수적인 도구가 되었다.

### ▷ 미래의 과학자 공동체

미래 사회는 현대보다 정보나 지식의 생성과 공유 측면에서 양적 및 질적 증가가 매우 빠르고 방대하게 일어날 것으로 예측된다. 과거의 산발적인 협력은 자발적인 소규모 그룹 활동이나 공공적인 학회나 국가지원 아카데미 활동 등에 의한 협력이었다. 그러나 미래에는 학문 분야와 연구 방법 등이 더욱 세분화, 전문화될 뿐만 아니라, 융합적 성격을 지닌 학문들도 더욱 더 발전하게 될 것이다. 이러한 변화는 과학 활동이나 연구에도 크고 작은 영향을 미칠 것이다. 즉 미래의 과학 활동 및 연구에서는 더욱 대규모로 융합되고, 창의적인 문제해결의 집단 능력과 집단 지성 등이 더욱 강조되므로, 과학 발전을 위한 과학자 공동체의 역할이 보다 더 중요해질 전망이다. 그리고 과학자 공동체의 역할은 보다 다양하고 폭넓은 형태로 이루어질 것이다.

## <3범주> Ⅲ. 과학의 방법

### 도입:

과학은 결과로서의 지식만이 아니라 과학이 무엇이고 과학을 어떻게 하는지도 포함한다. 즉, 과학은 과학적 방법과 사고, 과학 역량과 태도 등으로 특징지을 수도 있다. 과학의 방법으로 대변되는 과학 탐구, 실증적 과학 연구방법, 과학탐구를 기업교육과 평생학습의 맥락에서 재해석한 과학과 핵심역량, 과학에 대한 태도와 과학적 태도를 포괄하는 과학 태도 등은 그 자체로 과학교육의 목적이기도 하다. 즉, 과학과의 실험 설계 및 가설 설정 능력, 과학적 증명과 경험적 증거에 기초한 설득의 능력, 과학적 근거의 타당성 분석능력 등과 같은 탐구능력과 과학태도, 과학의 핵심역량 등은 그 자체로 과학지식과 더불어 과학교육을 통해 학생들에게 길러주어야 할 과학소양에 해당한다. 제 3장에서는 과학적 방법과 사고, 과학 역량과 태도를 살펴보고, 이러한 과학적 인식방법과 탐구방법이 다른 학문 분야에서 어떻게 활용되고 있는지를 살펴본다.

‘과학적 방법과 사고’에서는 과학적 탐구 방법과 과학적 사고 등에 대해 논의한다. 즉, 귀납적 방법, 연역적 방법, 가설-연역적 방법 등과 같이 연구의 주제와 목적에 따라 다양하게 활용하는 과학적 방법을 살펴본다. 과학적 방법의 근간이 되는 과학적 사고에서는 동전의 양면과도 같은 비판적 사고와 창의적 사고를 살펴보고, 이들 과학적 사고를 문제해결에 어떻게 활용하는지를 논의한다.

‘다른 분야 속의 과학 방법’에서는 실험이나 현장조사 등을 특징으로 하는 자연과학의 실증주의적 연구방법의 특징을 살펴보고, 자연과학 이외에 심리학, 고고학, 예술, 체육 등 자연과학 이외의 분야에서 활용되는 과학적 방법의 예를 살펴본다. 자연과학, 사회과학, 인문과학 등과 같은 영역 구분을 막론하고 과학으로 분류되는 까닭은 그 인식방법과 탐구방법이 과학적이라는 공통점 때문이다. 이어서 사회를 과학적으로 탐구하는 사회과학과 자연과학의 차이, 과학 지식의 사회적 구성을 파악하려는 과학사회학 등에 대하여 논의한다.

‘과학 역량과 태도’에서는 핵심역량, 과학과 핵심역량, 과학 태도 등에 대해 살펴본다. 즉 학교교육에서 강조하는 핵심역량의 등장 배경과 의미, 과학과 핵심역량의 요소와 특징, 과학 태도의 요소와 특징 등에 대하여 다룬다.

# 1. 과학적 방법과 사고

## ▷ 과학적 방법

과학적 방법이란, 관찰과 경험을 바탕으로 어떤 자연현상의 원리를 이해하기 위해 사용하는 방법이다. 지금은 일반적으로 받아들이고 있지만 500여 년 전만 해도 서양의 지식인들은 경험적 관찰을 그대로 받아들이는 데 회의적이었다. 고대 그리스시대 이래로 연역법이라고 부르는 방법에 의해 ‘진정한 이해는 가장 보편적 지식이나 기준의 명제를 전제로 하여 논리적 형식에 따라 추론하여 새로운 명제를 도출’ 하는 것이었다. 갈릴레오(G. Galilei)는 자연현상, 특히 역학 문제를 수학적-연역적(mathematical deductive)으로 설명하는 방법을 사용했으며, 데카르트(R. Descartes)가 이를 더욱 정교화 하였다.

그러나 베이컨(F. Bacon)은 자연현상의 이해를 위하여 귀납법(inductive method)이라고 불리는 새로운 방법을 제안하였다. 베이컨은 수학적 접근법과 연역적 논리의 유용성을 불신하였으며, 자연현상을 연구하는 방법은 기본적으로 실험적이고, 질적이며, 귀납적 특성을 지닌다고 보았다. 귀납법은 다양한 경험과 관찰을 통하여 각각의 특수한 사례로부터 공통적인 원리를 얻는 방법으로 근대 이후 과학 연구의 기본적인 방법이 되었다. 귀납법에서는 관찰과 경험을 통하여 가설을 설정한 후, 경험적 사실을 통해 그 가설의 진위를 판별함으로써 일반적인 원리를 도출해낸다(혹은 귀납법에서는 관찰과 경험을 통하여 가설을 도출한 후, 가설을 검증할 수 있는 실험을 수행하고 반복되는 검증을 통과하면 이 가설을 원리 또는 이론으로 인정한다). 20세기 들어 경험주의의 귀납적 방법과 합리주의의 연역적 방법에 내재된 문제와 한계를 극복하기 위해 등장한 논리실증주의와 반증주의에서는 가설-연역적(hypothetical inductive) 방법을 제안하였다. 가설-연역적 방법은 자연현상에서 변인들 사이의 인과관계를 확인하기 위해 수행하는 연구나 탐구에서 적용되기도 한다. 이 방법은 전제를 참으로 가정하고 연역하는 연역법과 달리 가정된 전제를 통하여 연역된 결과를 경험 또는 실험을 통하여 전제의 진위를 판단한다. 오늘날에는 주제와 연구의 목적에 따라 귀납적 방법, 연역적 방법, 가설-연역적 방법 등과 같은 과학적 방법을 선택적으로 사용하고 있다.

## ▷ 과학적 사고

과학적 사고(scientific thinking)는 과학적 방법의 근간이 되는 것으로, 과학적 연구나 탐구에서 추론할 때 이용되는 정신적 과정, 혹은 과학에서 널리 이용되는 특수한 유형의 추리를 말한다. 과학적 사고는 귀납·연역·비유·문제해결·인과추리 등과 같은 인지적 작용과 관련이 있다. 과학적 사고는 논리적 사고와 창의적 사고 등을 근간으로 하며, 비판적 사고도 과학적 사고의 한 유형이다.

논리적 사고란, 문제와 해결을 논리적 절차와 규칙에 따라 생각하는 과정을 뜻하며, 논리적 사고는 귀납적·연역적 사고를 필요로 한다. 비판적 사고는 논리적 사고를 근간으로 한다. 창의적 사고란 기존의 지식을 바탕으로 새로운 아이디어, 작품 등을 산출하는 사고 능력으로, 창의적 사고에는 분석력, 종합력, 평가력 등이 필요하다. 대부분의 선진국에서 수십 년 전부터 과학교육의 목표의 하나로 창의적 사고를 강조해왔으며, 우리나라에서도 2009 개정 교육과정에서부터 창의적 사고를 강조하고 있다.

비판적 사고는 믿음이나 행위를 결정하기 위한 합리적이고 반성적인 사고이며, 더 나아가 생



각을 더 잘하기 위해 생각에 관해 생각하는 사고를 가리킨다. 한편, 비판적 사고는 수렴적 사고인 반면, 창의적 사고는 발산적 사고로 간주되기도 한다. 비판적 사고는 현행 과학과 교육과정에서 강조하는 창의적 사고, 특히 좁은 의미의 창의적 사고와 명확히 구분된다.<sup>2)</sup>

비판적 사고와 창의적 사고는 별개의 것이 아니라 동전의 양면과 같아서 실제 문제해결에 함께 작용한다. 예컨대 창의적 산출물을 만들려면, 먼저 발산적 사고 과정을 통해 새롭고 독창적인 아이디어를 생성한 다음, 비판적(수렴적) 사고 과정을 통해 생성된 아이디어들 중에서 최선의 아이디어를 선택한다. 이러한 특성을 지닌 비판적 사고는 과학윤리와 관련된 문제의 해결에 기여할 수 있다.

## 2. 다른 분야 속의 과학 방법

### ▷ 과학 이외 분야와 과학적 연구 방법

자연과학 이외에 사회과학은 물론 심리학, 고고학, 예술, 체육 등의 분야에서도 자연과학의 방법을 활용한다. 자연과학은 무작위로 선택된 다수의 사례들에 대한 연구를 통해 도출된, 확률에 근거한 보편적이고 객관적인 과학을 추구한다. 흔히 실증주의자라고 불리는 자연과학의 연구자는 수학적 모델, 통계표, 그래프 등을 사용하며, 대개는 개인의 감정을 섞지 않은 객관적인 3인칭의 문체로 연구결과를 표현하고 보고서를 작성한다. 자연과학의 연구 방법은 현상 관찰이나 문제점 인식으로부터 특정 가정을 전제로 하는 가설을 수립한 후, 실험이나 현장조사를 통해 가설을 검증하여 이론이나 명제로 확립하거나 가설을 기각하는 것을 특징으로 한다. 여기서 실험과 인위적 조건통제 가능성 여부와 현실조건과의 근접성 여부에 따라 설명력에서 차이가 발생한다.

예컨대 심리학의 연구방법 중 가장 중요하게 사용되는 방법은 실험법으로, 이는 원인과 결과에 관한 가설을 검증하는 가장 강력한 과학적 방법이다. 실험법에서는 인위적으로 통제된 조건을 갖춘 상태에서 연구하고자 하는 변인을 체계적으로 변화시킨 후 그 효과를 측정하는 방법이다. 이 밖에도 심리학에서는 조사연구법, 관찰법, 면접법 등을 활용한다. 사회과학 중에서 가장 정밀한 연구방법을 갖추고 있다고 말하는 경제학에서는 복잡한 경제 활동에서 특정한 규칙성을 발견하여 경제 현상의 원인과 결과를 탐구하고 예측하는 것을 목표로 한다. 따라서 경제학에서는 연구방법으로 주로 현실 경제에서 수집한 통계자료에 입각하여 어떤 가설이 타당한지를 검증하는 연구 방법을 사용하며 최근에는 컴퓨터에 의한 시뮬레이션의 방법을 사용하기도 한다.

고고학은 지표조사와 발굴조사 등과 같은 현장조사 방법을 활용하며, 연대결정을 위해 나이트연대측정방법이나 방사성탄소연대측정방법과 같은 절대연대측정방법과 층서학(層序學)과 같은 상대연대측정방법을 활용한다. 전통적 고고학의 귀납적 접근을 비판하면서 등장한 신고고학에서는 미리 연구가설을 세우고 발굴을 통해 과학적인 검증 과정을 거치며, 컴퓨터와 통계학의 활용 등과 같은 과학적 분석방법을 적극적으로 응용한다.

2) 비판적 사고는 수렴적 사고(convergent thinking, 혹은 수직적 사고)인 반면, 창의적 사고는 발산적 사고(divergent thinking, 수평적 사고)로 간주되기도 한다. 한편, '창의성'을 포괄적인 용어로 사용할 경우, 수렴적 창의성(기호적 사고, 분석적 사고, 추론적 사고, 종합적 사고, 대안적 사고를 기반으로 하는 창의성)과 발산적 창의성(발산적 사고와 상징적 사고를 기반으로 하는 창의성)으로 구분하기도 한다.

미술품과 문화재를 발굴, 보존, 감정하는 데도 방사성탄소연대측정방법, 방사선 조사기술을 이용한 멸균과 강화 작용, 다중분광 촬영 등의 과학적 방법을 활용한다. 체육에서도 인체의 움직임을 규명하고 응용하기 위해 과학이론을 적용할 뿐만 아니라, 인간의 신체활동이나 움직임에 관한 문제해결이나 이론 생성을 위해 과학적 탐구방법을 활용한다. 이렇듯 다양한 학문 분야에서 과학적 방법을 차용, 활용하고 있다.

### ▷ 사회를 과학하는 방법과 과학지식의 사회적 구성

과학은 연구대상에 따라 자연과학, 인문과학, 사회과학으로 구분할 수 있다. 영역 구분을 막론하고 과학으로 불리는 까닭은 그 인식방법과 탐구방법이 과학적이라는 공통점 때문이다. 그러나 자연과학은 객관적 자연세계를 대상으로 인과관계를 규명하여 주어진 현상을 설명하고 나아가 미래를 예측하는 것을 목적으로 하는 반면에, 사회과학은 예측보다는 언어와 같은 상징체계의 법칙에 따라 의사소통하고 상호작용하는 것을 목적으로 한다. 따라서 영역에 따라 이론이나 명제를 도출하는 과학적 엄밀성에서 차이가 나기도 한다.

연구방법 측면에서 비교적 자유로운 인문과학과는 달리, 사회과학은 자연과학과 마찬가지로 관찰 가능한 정보를 바탕으로 지식을 생산하고 축적하는 것을 목표로 한다. 예컨대 심리학, 인지과학, 뇌과학 등과 같은 사회과학의 경우 사람들 사이의 상호 의존 관계와 이러한 상호 의존 관계를 통해 나타나는 개인적, 집단적 특성이나 행동의 원리와 메커니즘을 밝히기 위해 과학적 방법을 사용한다. 이처럼 개인의 통찰이나 역사적 사례를 통해 인간과 사회에 대한 통찰을 얻으려고 했던 사회과학은 지식의 축적을 가능케 하는 과학적 방법을 접목하면서 과학적 절차에 따라 이루어지는 지적 활동으로서 과학의 분야로 정립된다. 즉, 데이터 수집과 이론 구축 과정에서 과학적 절차를 이용하면서 개인과 역사의 통찰을 넘어선 사회과학적 지식의 축적이 가능하게 되었다. 사회과학이 접목한 과학적 방법은 사회 현상에 관한 사실적 데이터를 수집하되 표준화된 절차를 따라 재현 가능한 형태로 유의미한 데이터를 수집하고, 특정 현상들 사이에 발견된 상관관계가 인과관계를 의미하는 것인지를 검증하며, 원인에서 결과가 도출되는 과정이나 메커니즘을 밝히는 일련의 과정을 특징으로 한다. 자연과학의 연구방법을 활용하는 경제학, 사회학, 인류학 등의 경우에도 기존 명제에 일정한 가정이나 조건을 전제하고, 그런 가정이나 조건이 충족될 경우 발생할 가능성이 상당하다는 정도로 예측하기도 한다.

연구 대상과 연구 방법에 따라 다른 학문분야 속의 과학 방법은 차별화된다. 즉, 역사적 자료 혹은 실험적 발견에 의존하는지, 질적 혹은 양적 방법을 어떻게 활용하는지, 기본 법칙과 전제들을 어떻게 활용하는지 등에서 사회과학과 자연과학은 차이를 나타낸다. 자연과학 연구자는 객관적이고 보편적인 일반화에 초점을 맞추므로 세부사항에는 별다른 관심을 두지 않는다. 자연과학을 대변하는 실증적, 양적 연구에서는 자세한 세부사항들이 일반화된 결과의 도출을 오히려 방해하므로, 풍부한 세부사항에 의도적으로 무관심한 반면에, 사회과학 분야의 연구에서는 사회적 현상 및 세상에 대한 풍부한 기술 및 묘사에 가치를 두면서 질적 연구를 접목하기도 한다.

한편, 자연과학의 지식 생산 양상과 과학자 공동체의 역동적인 구조의 존재 양상을 파악하려는 과학사회학의 전개와 더불어 과학적 지식 구성에 영향을 주는 사회문화적 측면의 정체와 비중을 점검하기도 한다. 지금은 과학자들 스스로 과학에 대한 정치·경제학적 이슈가 연구에 영향을 미친다는 것을 인식하고 있다. 아울러 지금처럼 과학이 인간과 사회는 물론 생태계에



엄청난 영향력을 행사하는 상황에서, 과학이 사회에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고 그 대응방안을 모색하려는 노력도 필요하다.

### 3. 과학 역량과 태도

#### ▷ 핵심역량

21세기 미래사회 대비의 일환으로 과학교육은 물론 모든 학교교육을 통해 강조하는 교육 정책의 키워드 중 하나가 핵심역량(key competencies)<sup>3)</sup>이다. 핵심역량은 개인으로 또는 사회의 구성원으로서 행복하고 성공적인 삶을 영위하기 위해 누구라도 기본적으로 갖추어야 할 보편적 능력을 가리킨다. 국내외를 막론하고 교육 경쟁력이 곧 국가 경쟁력의 원천이 된다는 점에서 현재 및 미래사회에 요구되는 학습자의 핵심역량을 찾아내고, 이를 학교교육을 통해 실현하려는 정책을 추진하고 있다.

핵심역량 개념의 출발점은 경제협력개발기구(OECD)의 DeSeCo(Definition and Selection of Competencies) 프로젝트이다. OECD는 1997년부터 2003년까지 개인적 차원의 성공적 삶과 사회적 차원의 발전에 기여할 수 있는 21세기형 인간에게 요구되는 핵심역량을 규명하기 위해 DeSeCo 프로젝트를 추진하였다. 완성된 DeSeCo 프로젝트 보고서에서는 핵심역량을 “직업적 상황을 포함한 삶의 상황에서 발생하는 요구를 개인의 인지적, 심리사회적 특성을 동원하여 성공적으로 대처해나가는 능력”으로 정의하였다. 그리고 개인적 차원의 성공과 사회적 차원의 성공이라는 학교교육의 두 가지 목적을 근거로 핵심역량의 구성요소를 제안하였다. 세계 여러 나라에서 OECD DeSeCo 프로젝트에서 발표한 핵심역량을 중심으로 국가 교육과정을 재구조화하는 작업을 추진하였다. 한국의 경우 2015 개정 교육과정을 핵심역량을 반영한 교육과정으로 재구조화하였다.

#### ▷ 과학과 핵심역량

우리나라를 비롯하여 세계 각국에서는 학교교육을 통해 핵심역량을 길러주기 위해 역량중심 교육과정을 강조한다. 교과별로도 교과 성격, 교과 고유의 논리체계나 구조 등을 고려하여, 교과 교육을 통해 학생들에게 기대되는 혹은 길러져야 할 핵심역량을 선정한다. 우리나라의 2015 개정 과학과 교육과정에서는 과학과 핵심역량으로 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등을 선정하였다.

과학과의 역량 개념은 과학탐구의 형태로 구현되어 과학적 사고력, 추론능력, 표상과 의사소통 등의 역량을 강조한다. 과학과 핵심역량은 ‘오래된 미래’로, 지식이 학습되는 학교교육 맥락에서 가정하고 있던 인식론적 틀이 바뀐 것으로 볼 수 있다. 과학과 핵심역량의 특성을 살

3) (핵심)역량이라는 표현은 역량 중에서 특정 영역에서 특징인이 필요로 하는 주요 역량 또는 일반적인 역량들에 비해서 특히 강조되어야 할 역량임을 나타내기 위해 ‘핵심(key, core)’을 붙여서 표현하기도 한다. 핵심역량에 대한 정의는 나라마다, 학자마다 조금씩 다르며, 역량에 관한 영어 표기도 제각각이다. OECD를 포함한 유럽에서는 competence로, 뉴질랜드와 싱가포르 등에서는 competency로, 스코틀랜드에서는 capacity로, 미국의 P21(The Partnership for 21st Century Skills, P21)에서는 skill로 표현하고 있다(이찬승, 2015: 1).

펴보면, 과학과 핵심역량은 다차원적이고 총체적인 개념으로, 인성 역량, 지적 역량, 사회적 역량 등을 포괄한다. 즉, 과학적 문제해결력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등과 같은 과학과 핵심역량도 지적 측면뿐만 아니라, 자율적 실천의지와 실천역량까지 포괄하는 통합적, 다차원적이고 총체적인 개념이다. 또한, 과학과 핵심역량은 과학과 내용지식을 전제로 하며, 학습 가능한 능력이다.

과학과 핵심역량을 규명함에 있어서 환원주의적 사고를 경계할 필요가 있다. 과학과 핵심역량을 추출하고 목록을 작성함에 있어서, 과학과를 통해 길러주어야 할 핵심역량의 총체를 몇 개의 상호배타적인 구성요소로 구분하여 기술할 수 있다거나 명료화해야 한다는 등과 같은 환원주의적 사고를 경계해야 한다. 더 중요하거나 덜 중요한 핵심역량이 있는 것이 아니라, 과학교과를 통해 더 잘 길러줄 수 있고 중점적으로 관심을 기울여야 할 핵심역량이 있을 뿐임을 명심해야 한다.

미래사회는 백과사전적 지식이나 앎의 형태에 머무는 지식으로는 충분치 않으며, 과학소양으로서 핵심역량 함양을 필요로 한다. 즉, 과학에서 학습한 앎이나 지식을 올바르게 인지하고 판단하며, 이를 실제 상황에 적용하여 문제를 해결하거나 실천으로 옮기며, 실제 맥락에 적합한 지식을 생성하고 창출할 수 있는 핵심역량 개발을 목표로 한다. 따라서 학교 안팎의 과학교육을 통해 과학개념과 아이디어를 활용한 추론 능력, 추론에 대해 효과적으로 의사소통하는 능력, 주어진 지식과 시간을 효과적으로 활용하는 능력 등과 같은 과학과 핵심역량을 함양해야 한다.

### ▶ 과학 태도

과학 태도는 과학에 대한 태도와 과학적 태도 두 가지를 포함하는 개념으로 사용한다. ‘과학에 대한 태도’는 일반인이 과학이나 과학자에 대해 지니고 있는 과학의 사회적 의미와 가치 인식으로서의 태도를 의미한다. 그 자체로 과학교육의 목적 중 하나인 ‘과학적 태도’는 자연 세계에 대한 정보를 얻는 방법으로서의 과학적 현상과 탐구에 대한 태도와 관련된 것이다. 과학적인 사람 혹은 과학자를 과학자로 만드는 특성은 호기심, 개방성, 객관성, 비판적 사고 등의 태도로 간주된다. 과학소양으로서 과학 태도는 주로 과학적 태도를 의미하며, 개방성, 호기심, 객관성, 계속성, 비판성, 신중성과 판단유보, 정직성, 준비성, 협동성, 호기심, 겸손, 근면성, 긍정성, 논리성, 창의성 등으로 구성된다. 하지만 연구자에 따라 세부 구성요소는 달라지기도 한다. 일부 과학적 태도 요소의 의미를 살펴보면 다음과 같다.

- 개방성은 자신의 주장을 변경하거나 반대 견해나 결론도 기꺼이 수용하며 새로운 사실, 방법, 아이디어 등을 추구하는 태도를 의미한다.
- 객관성은 결론을 내리기 전에 자연현상의 관찰은 개인의 경험이나 이론에 의존할 수밖에 없음을 인식하고 자신의 주관적인 생각에 치우치지 않으면서 되도록 많은 자료를 수집하여 타당한 근거로 결론을 내리려는 태도를 말한다.
- 자발성은 타인의 권유와 강요에 의해서가 아니라, 스스로 흥미와 관심 있는 일을 찾아 참여하여 적극적으로 해내는 태도를 의미한다.
- 신중성은 확실한 근거에 의하거나 자신의 주장이 옳다고 인정되지 않는 한 성급히 판단하거나 결론을 내리지 않는 태도를 의미한다.
- 정직성은 어떤 결과나 일을 왜곡하거나 선택적으로 취하지 않고 사실 그대로 나타내는 태

도를 의미한다.

- 준비성은 어떤 일에 대하여 준비가 부족하여 실패하거나 급하게 하지 않고 필요한 것을 미리 준비하는 태도를 의미한다.
- 협동성은 주관적이거나 독단적으로 일을 처리하기보다 여러 사람들과 어울려서 일을 하는 태도를 의미한다.
- 호기심은 새로운 것에 대한 경험을 좋아하며 궁금한 것이 있으면 그냥 지나치지 않고 질문을 하거나 그 원인을 알아보는 태도를 뜻한다.
- 계속성은 한번 시작한 일은 중도에 어려움이 있어도 포기하지 않고 계속적으로 해결하고 노력하는 태도를 의미한다.
- 비판성은 기존의 권위나 다른 사람의 주장을 비판 없이 수용하기보다는 특정 의견이나 결론에 대해 옳고 그름을 판단하는 태도를 말한다.

이러한 특징을 지닌 과학적 태도는 학생이 과학을 통해 학습하고 갖추어야 할 주요 교육목표로, 일상생활은 물론 과학적 문제해결 상황에서 합리적이고 증거에 기초한 의사결정을 가능케 할 것으로 기대한다.

## <4범주> IV. 물질계

### 도입:

오래전부터 인류는 우주가 어떻게 구성되었는지, 우주를 구성하는 물질은 무엇이며 어떻게 생성, 진화하였는지, 우주가 어떤 원리로 돌아가는지 등에 대하여 지속적인 관심을 가져왔다. 그리고 이에 관한 다양한 연구들을 끊임없이 수행하여 우주의 구조와 원리에 대하여 상당한 성과를 이루었다.

이 장에서는 우주의 전반적인 구조 및 우주의 작동 원리에 대하여 소개한다. 먼저 우주의 구조는 규모에 따라 물질의 기본 구조, 물질의 상태, 지구와 우주의 순으로 구성하였다. 물질의 기본 구조에서는 물질의 근원과 물질을 이루는 입자로서의 소립자, 원자, 이온, 분자, 신소재 등으로 분류하여 기술하였으며, 물질의 파동성에 대하여 설명하였다. 물질의 상태에서는 물질의 기본 상태인 고체, 액체, 기체와 함께 액정과 플라즈마에 대하여 구조적 특징과 성질을 소개하였다. 지구와 우주에서는 인간의 우주에 대한 이해의 시작, 우주의 역사와 미래, 빅뱅 우주론과 우주의 가속 팽창, 태양계의 형성 및 지구에서의 생명 현상 등을 설명하기 위해 만든 우주 모델을 중심으로 내용을 구성하였고, 지구계의 의미와 구성 요소를 간략하게 기술하였다.

우주의 작동 원리는 물질 사이의 힘, 물질 변화의 규칙성, 지구계와 상호작용으로 세분하여 내용을 구성하였다. 물질 사이의 힘에서는 다양한 규모의 입자 및 물질 사이에 작용하는 힘인 중력, 전자기력, 강력과 약력 등에 대하여 소개하였다. 또한, 이 힘들과 운동의 관계 및 이를 통일된 방식으로 설명하고자 하는 통일장 이론에 대하여 소개하였다. 물질 변화의 규칙성에서는 원소의 주기성, 물질 변화의 종류와 특성, 물질 변화의 규칙성 등과 같이 자연계에 작용하는 규칙성을 다루었다. 지구계와 상호작용에서는 지구계의 구성요소들의 상호작용과 진화 등의 내용으로 구성하였다.

## 1. 물질의 구조

### ▷ 물질의 근원

오래전부터 인류는 무엇이 물질을 구성하는지에 대하여 궁금증을 가져왔으며, 고대 그리스의 4원소설을 시작으로 이를 설명하기 위하여 지속적으로 노력해왔다. 우리 주변에 있는 물체들은 다양한 물질들로 만들어지며, 물질은 상대적으로 적은 종류의 기본 물질인 원소들이 서로 다른 방법으로 결합한 것이다. 지구와 생명체를 비롯한 우주의 구성 원소들은 빅뱅과 별의 진화 과정을 통해 만들어졌다고 추정하고 있다. 즉 빅뱅 초반에 기본 입자가 만들어졌고, 이 기본 입자로부터 수소와 헬륨이 생성되었으며, 별의 진화를 통해 수소와 헬륨보다 무거운 원소가 생성되었다. 현재까지는 약 100여개의 화학 원소가 존재하는 것으로 알려져 있으며, 그 중 우주에 풍부하게 존재하는 것은 일부이다.

우리 몸을 이루고 있는 주요 원소는 수소뿐만 아니라 탄소, 질소, 산소, 철 등인데 이러한 원소들은 별 내부의 핵에서 핵반응에 의하여 생성된다. 철보다 무거운 우라늄과 같은 원소는 초신성의 폭발에 의하여 생성된다. 따라서 우리가 살고 있는 지구와 우리 몸을 이루는 원소들은 우주의 탄생 초기부터 그리고 별의 내부에서 그리고 초신성 폭발에 의해 만들어진 것이다.

### ▷ 물질을 이루는 입자

19세기의 원자론은 20세기에 더욱 정교하게 발전되어 물질을 이루는 소립자의 세계를 이해하는 데 기초가 되었다. 물질에 대한 현대 이론의 기본 전제는 원자가 여러 종류의 기본 입자들로 이루어져 있고, 원자들이 서로 결합하여 물질을 만든다는 것이다. 물질을 이루는 기본 입자를 소립자라 하는데, 이들의 종류와 관계는 소위 표준 모형으로 잘 설명할 수 있다. 소립자의 종류에는 강입자(hadron)와 경입자(lepton)가 있다. 핵을 이루는 양성자와 중성자는 강입자이고, 전자와 중성미자는 경입자에 속한다. 비교적 질량이 큰 강입자는 더 작은 쿼크들이 모여 만든다. 쿼크는 6가지 종류가 있으며 3개의 쌍으로 분류하고 있다. 쿼크는 특이하게 분수 전하를 갖고 있으며, 색소 전하라는 또 다른 종류의 물리량도 갖고 있다. 경입자는 더 작은 구성 요소가 없다. 이들이 모여 100여 가지의 원자를 이룬다.

각 원자는 양전하로 대전된 원자핵과 음전하로 대전된 전자로 구성되어 있는데, 핵이 중심에 있고 전자는 원자핵 주변에 존재하고 있다. 원자를 잠실 야구장 크기로 확대시키면 핵은 그 안의 모래알 크기 밖에 안 된다. 한편, 핵은 원자 부피의 매우 작은 부분만을 차지하지만 원자 질량의 대부분을 가지고 있고, 전자가 존재하는 공간은 원자 부피의 상당 부분을 차지하지만 질량은 거의 무시할 수 있다. 한 중성 원자 안에 들어 있는 전자의 수는 핵 안의 양의 전하로 대전된 입자인 양성자의 수와 같다. 양성자의 수에 따라 우주에는 100여 가지의 원자가 존재한다.

핵 안에는 전기적으로 중성이고 질량은 양성자와 비슷한 중성자가 있는데, 원자의 질량수는 양성자수와 중성자수를 합한 것이다. 이로 인하여 같은 원소라고 하더라도 중성자수가 달라 질량수가 다른 원소들이 존재하는데 이를 동위원소라고 한다. 동위원소들은 화학적 성질은 같다.

### ▷ 원자, 분자, 신소재

각 원자는 중성인데 에너지를 받으면 원자의 가장 밖에 있는 전자가 분리되어 양이온을 형

성하고, 에너지를 받아 전자를 얻으면 음이온을 형성한다. 원자 안에 있는 전자가 어떻게 배치되어 있는지에 따라 원자가 다른 원자와 결합하는 성질이 크게 달라진다. 한 원자에서 다른 원자로 전자가 이동하거나 두 원자가 전자를 어느 정도 공유하면 결합이 만들어진다. 이때 원자가 상대적으로 적은 수로 일정한 규칙에 따라 결합하면 분자, 반면 많은 수가 단순한 대칭성을 가지면서 공간을 차지하면 결정이 된다.

분자는 산소 분자처럼 같은 종류의 원자 두 개가 결합한 단순한 것부터, 수십 개의 원자가 결합한 것, 그리고 단백질이나 DNA 분자처럼 수천, 수만 개의 원자가 결합한 것까지 다양하다. 또한 분자의 크기도 매우 작은 것부터 큰 것까지 다양하다. 대부분의 거대 분자들은 원자나 분자 수준에서 단위체를 만들고 이들이 일정한 규칙으로 모여 형성된다. 결정을 이루는 고체의 경우, 원자의 가장 밖에 있는 전자들을 공유하는 결합을 하면 금속 결합이 형성되고, 그 공유된 전자들이 물체의 내부를 비교적 자유롭게 돌아다닐 수 있게 된다. 이렇게 만들어진 물질은 거의 도체다. 한 원자가 다른 원자에게 거의 전자를 빼앗기다시피 결합되면 이온 결합이 형성되고, 이렇게 만들어진 물질은 거의 부도체다. 두 원자가 각각 1개의 전자를 내놓아 만든 전자쌍을 동시에 공유하면 공유 결합이 형성된다. 이렇게 만들어진 물질은 거의 부도체나 반도체가 된다.

인류는 자연계에 존재하는 물질을 인공적으로 만들거나 존재하지 않는 새로운 물질과 새로운 성질을 가진 물질을 만들어내기도 한다. 즉 최근에는 나노 기술이 발전하면서, 나노미터( $10^{-9}$  m) 크기의 소자를 제작하거나, 인공적으로 설계된 분자를 합성하여 새로운 물질을 개발하고 있다. 대표적인 예가 탄소 나노 튜브와 그래핀이다. 탄소 원자가 벌집 모양으로 연결된 판 한 장이 그래핀이고 이것이 관으로 말린 것이 나노 튜브다. 이들은 무게에 비해 매우 단단할 뿐만 아니라, 도체, 반도체, 부도체로 가공할 수 있어, 새로운 응용 분야를 개척하고 있다.

### ▷ 물질의 파동성

파동은 한 장소에서의 진동이 매질을 통해 공간으로 퍼져나가는 것을 말한다. 파동에는 수면파, 음파, 지진파, 전자기파 등이 있고, 이들은 진동수, 파장 등을 사용해 수학적으로 기술할 수 있다. 파동은 새로운 매질을 만나면 굴절되어 방향이 바뀌거나, 매질 경계면에서 반사되기도 한다. 작은 구멍이나 장벽을 만나면 에돌아가면서 퍼지기도 한다. 예를 들어 관악기는 양쪽이 열린 관이나 한 쪽이 닫힌 관을 이용하여 음파의 진동수를 조정하면서 만든다. 공기의 흐름이 강해지면서 배진동이 일어나면 진동수가 두 배가 되고, 음은 한 옥타브가 올라간다. 파원이나 관측자가 움직이면 진동수가 달라진다. 즉 둘이 접근하면 측정되는 진동수가 커지고, 멀어지면 작아진다. 이를 이용하면 파원이나 관측자의 속도를 알 수 있고, 이 기술은 기상 관측, 자동차 속도 측정, 우주의 팽창 속도 측정에 이용된다.

전자기파는 매질 없이 전달되는 특별한 파동이다. 전기장과 자기장의 진동이 빛의 속도로 퍼져나간다. 파장이 줄어들며 따라 장파, 단파, 초단파, 적외선, 가시광선, 자외선, 엑스선, 감마선 등으로 불린다. 파장이 줄어들면 전자기파가 운반하는 단위 에너지가 커지고, 에너지에 따라 물체와 상호작용하는 성질도 달라진다. 예를 들어 식물의 잎은 광합성을 위해 빨강색과 파랑색을 흡수하고, 초록색을 반사시키기 때문에 초록색으로 보인다. 대기권에 있는 이산화탄소 층은 태양에서 오는 가시광선은 모두 통과시키지만, 지표면에서 복사되는 적외선을 흡수한다. 이산화탄소 층이 없으면 우주로 방출되었을 에너지를 다시 지구로 되돌리기 때문에 온실 효과를



유발하는 것이다. 대기권에 있는 오존층은 에너지가 높은 자외선 영역의 빛을 흡수하여 지구의 생명체를 보호한다.

가시광선은 우리 눈이 주변의 모습을 감지하기 위해 사용하는 전자기파의 좁은 영역으로 파장이 약  $0.4 \mu\text{m}$ 에서 약  $0.8 \mu\text{m}$  범위이다. 우리의 감각 능력을 확장하기 위해 또는 기록하기 위해 여러 가지 광학 기기들이 개발되었다. 예를 들어 망원경은 먼 곳의 물체를 가까이 보여주고, 현미경은 작은 물체를 확대해 보여준다. 카메라는 순식간에 사라지는 모습을 기록해 준다. 이런 능력의 확장은 최근에 더욱 광범위하게 일어나고 있다. 우주를 바라보는 망원경은 적외선과 자외선 등 다양한 파장 대의 사진도 찍을 수 있고, 현미경은 빛 대신 전자나 기계적인 탐침을 사용하여 배율을 10,000배 정도 늘렸다.

원자의 크기인  $1\text{\AA}$  ( $10^{-10} \text{ m}$ ) 정도의 아주 작은 세계에서 입자의 행동은 우리가 일상생활에서 보는 입자와는 성질이 다르다. 전자는 파동의 성질이 있기 때문에 동시에 여러 곳에 존재할 수도 있다. 이 때문에 원자핵 주변에 전자가 구름처럼 퍼져 있다고 말한다. 파동의 성격은 파동이 높은 에너지 장벽을 통과해 지나가게 할 수도 있다. 이를 이용하면,  $1\text{\AA}$ 의 구조까지 볼 수 있는 정밀한 현미경을 만들 수도 있다.

## 2. 물질의 상태

### ▷ 물질의 세 가지 기본 상태와 상태 변화

분자가 만든 물질의 밀도 및 분자 사이의 힘의 종류와 세기에 따라 물질의 거시적인 물리적 성질이 정해진다. 온도와 압력 등의 외부 조건이 바뀌면 거시적인 물리적 성질이 변하는데, 특정한 조건에서 불연속적 변화를 보이며 상전이가 일어난다. 대부분의 변화는 열역학적으로 안정된 상태로 변화하지만, 열역학적으로 불안정하지만 반응 속도가 매우 낮은 경우 준안정 상태로 오랫동안 존재할 수도 있다. 이런 특징에 따라 물질의 상태는 기본적으로 고체, 액체, 기체로 구분되고 있다.

고체 상태에서 입자(원자, 이온, 분자 등)들은 정해진 자리에 거의 고정되어 진동 운동만 할 수 있으며, 입자 사이의 인력이 강하여 입자 사이의 거리가 입자의 지름에 비해서 매우 짧고 조밀하게 배열되어 있다. 이로 인하여 고체는 외부 온도나 압력 변화에 따라 부피와 모양이 거의 변하지 않는 성질이 있다.

고체 물질은 구성 입자의 배열의 규칙성 정도에 따라 결정성 고체와 비결정성 고체로 구분된다. 즉 구성 입자가 매우 규칙적으로 배열되어 있는 고체를 결정성 고체라고 한다. 결정성 고체는 입자 사이의 인력을 끊는 데 필요한 에너지가 일정하므로 녹는점이 일정하다. 그리고 결정의 기본 구성단위와 종류에 따라 원자 결정(흑연, 다이아몬드 등), 분자 결정(드라이아이스, 아이오딘 등), 이온 결정(소금, 염화세슘 등), 금속 결정(은, 구리 등) 등으로 구분된다. 한편, 비결정성 고체는 구성 입자가 불규칙적으로 배열되어 있어 녹는점이 일정하지 않아 상전이 온도를 정확히 정의하기 어렵다. 비결정성 고체의 대표적인 예로는 유리, 아교, 젯, 플라스틱, 고무 등이 있다.



고체 상태에 열을 가하면 구성 입자의 운동이 약간 활발해져 입자 사이를 비켜 지나갈 수 있고 느슨하지만 아직은 서로 구속되어 있는 액체 상태가 된다. 액체 상태는 고체 상태와는 달리 입자들이 부분적으로 질서 있는 운동을 하므로, 모양은 일정하지 않으나 부피는 일정한 성질이 있다.

기체 상태는 구성 입자의 운동이 매우 활발하고 무질서하고 밀도가 작다. 기체 분자의 속도 분포는 온도와 기체 분자의 질량에 따른 함수로 주어진다. 기체 분자 사이의 거리가 액체나 고체에 비하여 상당히 크기 때문에 직접 충돌하는 경우를 제외하고는 입자 사이의 상호작용을 무시할 수 있다. 기체 상태는 모양과 부피가 일정하지 않은 성질이 있다.

### ▷ 플라스마

기체 상태에 더 큰 에너지를 가하면 음전하를 가진 전자와 양전하를 띤 이온으로 분리된 기체 상태가 되는데, 이것을 플라스마 상태라고 한다. 플라스마는 전하 분리도가 상당히 높으면서도 음전하와 양전하의 총 전하수가 같아 전체적으로는 전기적인 중성을 띤다. 하지만 자유전하가 있어서 높은 전기 전도율과 전자기장에 대한 반응성을 가진다.

이러한 성질을 이용하기 위하여 오래전부터 플라스마를 인공적으로 생성 및 실용화하려는 노력이 지속되고 있다. 인공적인 플라스마 상태로는 형광등, 수은등, 네온사인, PDP 등이 있다. 일상생활에서의 인공적인 플라스마 생성 노력과는 달리 우주 전체에서 보면 플라스마가 가장 흔한 상태라 할 수 있다. 예를 들어 번개, 북극 지방의 오로라, 대기 속의 이온층뿐만 아니라, 별의 내부나 별을 둘러싸고 있는 주변 기체, 별 사이의 공간을 채우고 있는 기체가 대부분 플라스마 상태이다.

### ▷ 액정

액정은 액체와 고체의 특징을 모두 가지고 있는 물질을 의미하며, 어떤 방향에서는 분자 배열이 액체 상태와 같이 불규칙하지만 다른 방향에서는 규칙성을 나타낸다. 일부 유기 물질이 고체 상태에서 액체 상태로 변할 때 액정과 같이 중간 상태를 포함하는 단계들을 거치기도 한다. 액정은 온도나 전압의 변화에 따라 색, 투명도, 분자 배열 등이 달라지는 성질이 있어, 최근 다양한 영역에서 폭넓게 응용되고 있다.

## 3. 지구와 우주

### ▷ 우주에 대한 이해의 시작

지구에 살고 있는 인류는 하늘에서 관측되는 태양, 달, 행성, 별과 같은 천체를 관측하여 그 운동을 기원전 수 천 년 전부터 알았고, 이를 자신들의 문자로 기록하였다. 이러한 천체들의 운행과 함께 지구를 포함하는 우주의 시작과 시간에 따른 변화를 그들 나름의 우주 모델을 만들어 설명하였다. 이러한 모델은 신화적이고, 서사적이었다.

인류는 밤하늘의 반짝이는 천체인 별과 행성을 관측하여, 별들은 일정한 패턴을 유지하며 회

전함을 알게 되었다. 별들이 만드는 일정한 패턴에 자신들의 이야기 속에 나오는 인물이나 동물들의 이름을 붙여 별자리를 정하였다. 또한, 행성들이 이러한 별자리 사이를 빠르게 이동함을 관측하였다. 더구나 달의 위상이 변함을 알아 달이 지구를 공전하고 있음을 알게 되었다. 더구나 일식과 월식의 관측, 태양의 고도 측정 등을 통해 태양 직경, 달의 크기 및 지구에서 태양과 달까지의 거리를 개략적으로 알게 되었다.

문명의 발달 이후 인류는 지구가 세계의 중심이라고 믿었고 천체가 지구를 중심으로 회전한다고 생각하였다. 우리가 보는 천체는 하늘에 고정된 채 회전하는 것처럼 관찰되기 때문이다. 문제는 고정된 천체 사이를 누비고 다니는 태양계의 행성들이었다. 근대 이후 별자리 사이를 움직이는 행성들의 움직임을 정확하게 설명하기 위해 태양을 중심으로 하는 지동설로 대체되었다.

### ▷ 빅뱅 우주론과 우주의 가속 팽창

관측 기술의 발전으로 우주 내의 천체의 특성을 알게 되었다. 안드로메다은하가 우리 은하 밖의 외부 은하라는 것을 파악하고, 이러한 외부 은하들이 모여 은하군 혹은 더 큰 규모의 은하단을 형성하고 있음을 알게 되었다. 1929년 허블은 외부 은하들의 거리를 세페이드 변광성을 이용하여 측정하고, 시선 방향의 운동 속도를 분광 관측과 도플러 효과를 이용하여 측정함으로써, 외부 은하의 시선 방향 운동 속도(V)가 거리(D)에 비례한다는 허블의 법칙( $V=HD$ , 비례상수 H는 허블 상수)을 발견하였다. 이는 현재 우리가 살고 있는 우주가 팽창하고 있으며 과거로 시간을 되돌리면 우주는 하나의 특이점으로부터 시작하였다는 것을 상상하게 하는데, 이를 빅뱅 우주론이라 한다.

### ▷ 태양계의 형성 및 지구에서의 생명 현상

대략 45억 년 전에 우리 은하의 나선팔 근처에 위치해 있던 태양계 성운에서 태양계가 형성되면서 우리가 살고 있는 지구도 함께 만들어졌다. 지구 형성 초창기에는 지구 부근에 위치한 두 원시 행성의 대규모 충돌에 의하여 지구-달 계가 형성되었다. 특별히 태양계 내에서 지구의 위치는 물이 액체로 존재할 수 있는 생명가능지대에 속한다. 더구나 지구의 자전축이 공전 궤도면에 기울어져 있어 계절의 변화가 있고, 태양과 달에 의한 기조력에 의하여 해수면의 변화를 일으킨다. 지구에서의 생명이 어떻게 시작되었는지는 확실하지 않지만 지구에 생명이 존재하기 시작하였고, 화학 및 생물학적인 진화를 통하여 현재에 이른다. 원시 지구가 진화 과정을 통하여 지권, 수권, 기권 등을 형성하고 그 과정에서 상호작용이 일어나면서 지구 생명체가 탄생하고 살아갈 수 있는 환경적 조건을 갖추었다. 탄산가스로 이루어진 대기는 물의 강수 현상으로 인하여 제거되고, 화산 활동과 광합성 작용으로 인하여 지구 대기는 주로 질소와 산소로 구성된다. 대양에서의 생물은 조석에 의한 해수면의 변화로 육상으로 진출하게 되었다고 한다. 결국 육상으로 진출한 생물로부터 우리와 같은 현생 인류가 탄생하게 된다.

### ▷ 지구계의 구성 요소

보통 지구라 하면, 우리가 딛고 있는 땅덩어리로 이루어진 고체 지구를 떠올리기 마련이다. 그러나 지구를 이루는 것은 고체 지구뿐만 아니라 고체 지구를 감싸는 해양과 대기 그리고 그 속에서 살고 있는 생물들을 모두 포함한다. 지구과학 분야에서는 지구를 크게 지권, 수권, 기

권, 생물권의 4가지 권역으로 구분하고, 이 권역들이 상호작용하여 지구의 모든 자연 현상을 일으킨다는 관점에서 지구계(Earth system)라는 용어를 쓰고 있다.

지권은 고체 지구로 지구의 대부분을 차지한다. 겉 부분은 우리가 딛고 있는 땅으로 암석으로 이루어지며, 지하 깊은 곳은 밀도가 높은 물질로 채워져 있다. 수권은 물이 차지하는 공간으로 바다, 호수, 강 그리고 지하수와 빙하를 포함한다. 기권은 고체 지구와 바다를 감싸는 부분으로 여러 가지 기체(질소, 산소, 아르곤, 이산화탄소 등)로 이루어지며, 생물권은 생물들이 차지하고 있는 영역을 말한다.

지구는 엄청나게 큰 물체이다. 지구는 둥글지만 사실 완벽한 구형은 아니며, 적도 부근이 약간 볼록한 타원체다. 지구 내부는 층상 구조를 이루고 있으며, 겉에서부터 지각, 맨틀, 외핵, 내핵으로 구분된다. 고체 지구를 이루는 것은 단단한 암석이다. 암석은 광물로 이루어지고, 또 광물은 더 작은 알갱이인 원소로 이루어진다. 현재 자연에서 산출되는 원소는 94종이지만, 지구를 이루는 원소의 99%는 산소와 규소를 비롯한 8개의 원소가 차지한다. 암석은 크게 화성암, 퇴적암, 변성암으로 나누어진다. 화성암은 지하에 녹아있던 물질인 마그마가 굳어져 만들어지며, 퇴적암은 지각 물질이 풍화·침식·운반·퇴적 과정을 거쳐 깊이 매몰된 후 굳어져 만들어진다. 변성암은 화성암이나 퇴적암이 지하 깊은 곳에서 높은 온도와 압력의 영향으로 만들어지며, 온도와 압력이 매우 높으면 이들이 녹아 다시 마그마가 된다. 이 과정을 통해서 암석은 끊임없이 순환한다.

지구의 물은 대부분 해양(수권의 97.25%)에 들어있다. 그 다음으로 물을 많이 간직하고 있는 곳은 빙하(2.05%)이며, 지하수의 양(0.68%)도 적지 않다. 반면에 우리의 일상생활에 밀접하게 연결되어 있는 강이나 호수가 차지하는 비중은 모두 합해도 0.01%에도 미치지 못한다. 그런데 물은 제자리에 있는 것이 아니라 끊임없이 움직인다. 마치 사람의 몸속에 피가 흘러 생명을 유지하도록 하듯이 물은 수권·기권·지권·생물권을 순환하면서 지구의 생명을 유지하도록 한다. 이 과정에서 물은 지표면을 깎고 다듬어 지구의 모습을 끊임없이 바꾸어간다.

지구가 다른 행성과 구별되는 중요한 특성으로 액체 상태의 물과 생물의 존재를 들 수 있다. 그러나 더 깊이 생각하면, 생물과 물은 아마도 대기가 없었다면 존재할 수 없었을지도 모른다. 지구가 생명이 넘치는 행성이 된 것은 태양 복사 에너지 덕분이다. 태양 복사 에너지는 대기 속에 들어있는 기체에 흡수되거나 지표에 도달하여 지구를 데우고, 식물이 광합성 활동을 하도록 함으로써 생명이 유지되도록 한다. 또한, 성층권에 오존층을 형성하여 우주로부터 들어오는 해로운 광선을 막음으로써 생물이 안정적으로 살아갈 수 있도록 해준다. 따라서 기권은 지구를 외계의 해로운 물질로부터 막아주는 보호막이라고 말할 수 있다.

우리 지구는 물이 있기 때문에 다른 행성과 다르다고 말한다. 또 산소가 있기 때문에 지구는 독특하다고도 말한다. 하지만, 지구의 가장 특별한 점은 무엇보다도 다양한 생물의 존재이다. 생물의 분포는 기후에 따라, 고도에 따라, 또 수심에 따라 달라진다. 지구의 생물이 생명을 이어가는 것은 에너지를 이용하여 물질대사를 하고 자손을 번식하기 때문인데, 이 에너지는 주로 태양에서 얻는다. 식물은 광합성 활동에 의하여 에너지를 만들고, 동물은 식물을 섭취하거나 다른 동물을 먹어 에너지를 얻으며, 균류는 죽은 생물을 분해하여 에너지를 얻는다. 이처럼 생물은 먹고 먹히는 먹이사슬을 통하여 복잡한 생물권을 형성하였다.

## 4. 물질 사이의 힘

### ▷ 중력

우주의 모든 물체들은 서로 중력이 작용하여 잡아당긴다. 중력은 두 물체의 질량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다. 종종 우리는 하나의 질량이 주변의 공간에 중력장을 형성하고, 다른 질량이 중력장에 놓이면 중력을 받는다고 해석하기도 한다. 일반적으로 작은 물체 사이의 중력은 매우 약해서 우리가 감지하기 어렵지만, 천체와 같이 큰 물체 주변에서는 충분히 강해진다.

지구의 중력은 지상의 모든 물체를 지구 중심방향으로 잡아당기고, 공기 분자도 잡아당겨 대기권을 형성한다. 태양의 중력은 행성들을 잡아당겨 태양 주위를 돌게 한다. 더 큰 규모에서 중력은 우주의 먼지를 모아 은하를 형성하고 은하가 모여 있는 은하단을 구성하게도 한다.

### ▷ 전자기력

전기력은 전하와 전하 사이에 작용하는 힘이다. 같은 부호의 전하는 서로 밀고, 다른 전하끼리는 잡아당긴다. 종종 우리는 하나의 전하가 주변의 공간에 전기장을 형성하고, 다른 전하가 전기장에 놓이면 전기력을 받는다고 해석하기도 한다. 전기력은 원자핵 근처에 전자를 붙들어 놓고, 화학 반응에 관여하기도 한다. 옷이 몸에 달라붙게 하기도 하고, 번개를 만들기도 한다. 일상생활에 사용하는 전기도 전하의 흐름인 전류를 만드는 전기력에 의존한다.

자기력은 자석과 자석, 전류와 전류, 자석과 전류 사이에 작용하는 힘이다. 같은 부호의 자극은 서로 밀고, 다른 자극끼리는 잡아당긴다. 종종 우리는 자석이나 전류가 공간에 자기장을 형성하고, 다른 자석이나 전류가 자기장에 놓이면 자기력을 받는다고 해석하기도 한다. 자기력은 냉장고에 메모를 붙이거나, 냉장고 문을 문틀에 붙게 하는 데에 사용된다. 자석을 센서와 함께 사용하면 스위치로 사용할 수도 있다. 나침반에 사용되는 자석은 지구 자기장의 방향을 알려주고, 전동기에 사용되는 자석은 회전 운동을 만들고, 스피커에 사용되는 자석은 진동을 만들기도 한다.

전기력과 자기력은 비슷하게 행동할 뿐 아니라, 비슷한 방식으로 서로에게 영향을 준다. 예를 들어, 변하는 자기장은 전기장을 만들고, 변하는 전기장은 주변에 자기장을 만든다. 따라서 전류로 운동을 만드는 전동기를 거꾸로 적용하면, 운동으로 전류를 만드는 발전기로 사용할 수 있다. 이러한 상호 영향을 고려하여 전기력과 자기력을 전자기력이라 부른다. 전자기력은 우리가 일상생활에서 접하는 많은 접촉력을 설명한다. 대부분의 물체는 전기적으로 중성이지만, 미시적인 세계에서 보면 각 물체의 표면에는 전자들이 분포한다. 두 물체가 서로 가까워지면 양쪽의 전자가 서로 밀어내어 두 물체는 서로 밀게 된다. 즉, 일상생활에서 물체를 밀거나 당길 때 나타나는 접촉력은 접촉면의 맨 바깥에 위치한 전자끼리 밀어내는 힘이므로, 전자기력의 일종이다. 접촉력에는 물체가 맞닿아 서로 밀고 당기는 힘, 줄에 의해 전달되는 장력, 두 접촉면이 미끄러지려 할 때 작용하는 마찰력 등이 있다.

### ▷ 강력과 약력

강력과 약력은 원자보다 훨씬 작은 원자핵 크기( $10^{-15}$  m)의 거리 안에서만 작용하므로, 일상생활에서는 겪을 수 없다. 강력은 핵의 구성 입자인 양성자와 중성자 사이에 작용하며, 서로

잡아당긴다. 이 때문에 핵은 아주 짧은 거리의 양성자와 양성자 사이에 작용하는 강한 반발력을 이기고 안정적으로 존재할 수 있게 된다. 양성자 수가 많아지면, 전기력에 의한 반발력을 이기기 위해 더 많은 중성자가 필요하게 된다.

약력은 강력보다는 훨씬 약하고, 핵변환이 일어날 때 작용한다. 예를 들어, 중성자가 양성자로 붕괴되거나, 양성자가 전자와 만나 중성자가 되는 과정에 관여하는데, 원자핵 안에서 이런 변화가 일어나면 양성자 수가 바뀌면서 원자의 종류가 바뀐다.

핵변환은 우연히 일어난다. 핵변환을 할 수 있는 물질은 방사능을 지녔다고 이야기 한다. 퀴리 부부는 자연물에서 방사능을 지닌 두 개의 원소를 찾아 이름을 붙였고, 그 업적으로 노벨상을 수상하였다. 2차 세계대전 직전에 과학자들은 방사성 우라늄의 핵이 비슷한 크기의 작은 핵으로 분리되는 것을 발견하였다. 이 핵분열 과정은 에너지를 방출할 뿐 아니라, 충분한 양의 방사성 우라늄이 주변에 있으면 연쇄적으로 다른 핵분열을 유도한다. 이 연쇄반응이 급격하게 일어나는 것이 핵폭탄이고, 서서히 일어나도록 조절한 것이 핵반응로이다. 핵분열이 만드는 산물도 대부분 방사능을 띠고 있어, 이를 처리하는 데에 어려움이 따른다.

철보다 큰 핵은 분열하면서 에너지를 내어놓지만, 철보다 작은 핵은 서로 뭉쳐지면서 에너지를 내어놓는다. 이 핵융합 과정은 항성들이 끊임없이 에너지를 방출하도록 해준다. 태양에서는 양성자 4개가 융합되면서, 헬륨 원자핵, 에너지, 그리고 몇 가지 부산물을 내어놓는다. 핵분열과 달리 핵융합의 부산물은 위험하지 않다. 핵융합이 내어 놓는 에너지를 이용하기 위해 연구가 진행되고 있지만, 아직 실용적인 단계에 이르지 못하는 못하였다.

### ▶ 힘과 운동

일찍이 뉴턴(I. Newton)이 제안한 고전역학이라 불리는 이론에 의하여 눈에 보이는 정도의 물체의 운동을 기술한다. 물체 사이의 상호작용인 힘은 그 힘을 받는 물체의 운동 상태를 변화시킨다. 어떤 물체에 작용하는 힘을 모두 합한 힘을 알짜힘이라 한다. 알짜힘이 없으면 물체는 현재의 운동 상태를 지속한다(뉴턴의 제1법칙). 정지해 있던 물체는 정지 상태를 유지하고, 움직이던 물체는 같은 속력으로 계속 움직인다. 알짜힘이 있으면, 물체의 운동 상태가 바뀐다. 속도의 변화인 가속도는 작용하는 힘의 크기에 비례하고, 힘을 받는 물체의 질량에 반비례한다(뉴턴의 제2법칙).

이러한 힘들은 몇 가지 특징이 있다. 첫째 힘을 작용하는 주체가 있고, 힘을 받는 객체가 있다. 둘째, 힘은 크기와 방향을 가진다. 셋째, 힘을 받는 객체는 거꾸로 힘을 작용한 주체에게 같은 크기의 힘을 반대 방향으로 작용하는데, 이를 반작용이라 한다(뉴턴의 제3법칙).

물체의 운동은 기본적으로 물체의 위치와 속도로 기술할 수 있다. 속도는 위치가 시간에 따라 얼마나 빠르게 변하느냐를 알려주고, 가속도는 속도가 시간에 따라 얼마나 빠르게 변하느냐를 알려주는 양이다. 우주 공간은 광대하고 천체는 모두 움직이고 있기 때문에, 정지해 있는 기준점은 정의할 수 없고, 모든 물체의 운동은 상대적으로만 기술할 수 있다. 정지해 있는 자동차는 지표면에 대한 속도는 0이지만, 지구 자전 때문에 매 초 당 460m의 거리를 움직인다. 속도가 커지거나, 작아지거나, 방향이 바뀌면, 운동의 상태가 변하였다고 한다. 운동의 변화는 그 물체에 작용하는 알짜힘에 의한 것이고, 물체에 작용하는 힘을 이해하면 물체의 운동을 예측할 수 있다.

20세기 초 원자를 이루는 전자와 같은 입자의 운동은 고전역학으로 기술할 수 없음을 알게



되었다. 전자의 입자성과 파동성을 동시에 만족시키면서 운동을 기술하는 역학체계인 양자역학이 고안되었다. 양자역학은 모든 물체의 변화를 기술하는 체계로서 고전역학은 양자역학 체계의 일부이다. 그리고 뉴턴의 고전역학체계에서 3차원 공간과 시간의 상호 독립적이면서 절대 기준이었던 기본 가정은 상대성이론에 의하여 시공간 차원으로 통합되어 빛의 속도가 절대 기준이 되었고 중력도 공간의 변형으로 이해되었다.

### ▷ 통일장 이론

이 세상의 모든 변화는 물질 사이의 상호작용에 의해 이루어지며, 물리학이 인정하는 상호작용은 앞서 언급한 중력, 전자기력, 강력, 약력 4가지뿐이다. 중력과 전자기력은 일반 사람들에게는 익숙하나, 강력과 약력은 다소 생소할 수 있다. 중력은 천체의 구성을 지배하고, 전자기력은 우리의 일상생활 곳곳에 나타난다. 강력과 약력은 원자가 존재하게 하고, 핵의 변환을 지배한다.

아인슈타인(A. Einstein)은 이러한 4가지 힘을 하나의 통일된 방식으로 설명하고자 하였다. 소위 통일장 이론이라 불리는 이 이론은 아직 완성되지 않았다. 전자기학과 약력이 먼저 통일되었고, 강력도 어느 정도 포함되었으나, 중력의 통합까지는 좀 더 기다려야 할 것이다.

뉴턴 또한 물리적 운동에 대해 통일된 설명 방식을 도입했다. 뉴턴 이전에는 지상과 천상의 물체가 서로 다른 운동 원리에 따라 움직인다고 믿었다. 천상의 물체는 힘이 작동하지 않아도 영원히 등속 원운동을 한다고 믿었던 반면, 지상의 물체는 외부의 힘이 작용하지 않으면 물체의 운동이 결국에는 멈춘다고 생각하였다. 뉴턴은 만유인력의 개념을 통해 지상계와 천상계의 물체 사이에 동일한 형태의 물리적 법칙이 작동한다는 것을 밝혔다.

뉴턴은 눈에 보이지 않는 마찰력을 도입하면서 힘의 개념을 현대적으로 바꾸었다. 밖에서 일체의 외력이 전혀 작용하지 않더라도, 물체에는 운동 방향의 반대 방향으로 마찰력이 작용하고, 물체의 운동이 멈춘다고 해석한 것이다. 결국 중력과 뉴턴의 세 가지 운동 법칙은 지상의 운동과 천상의 운동을 한 가지 이론으로 해석한 통일장 이론의 효시인 셈이다.

## 5. 물질 변화의 규칙성

### ▷ 원소의 주기성

다양한 원소들이 발견되고, 이들의 성질을 정량적으로 측정하게 되면서 원소들을 분류하는 작업이 이루어 졌다. 지구상에 존재하는 100여 개의 원소들은 다양한 기준으로 분류될 수 있다. 예를 들어 원자의 상대적인 질량, 금속과 비금속 등 물리적 또는 화학적 성질, 화학 반응성 여부 등을 사용하여 분류할 수 있다. 1869년 멘델레예프는 원자량에 따라 원소들을 배열해 보면 원소의 일반적인 특징이 반복되는 규칙성을 발견하였다. 그는 이를 주기율표로 정리하였는데 주기율표는 오늘날까지도 원소의 성질과 반응성을 이해하고 설명하는데 큰 도움이 된다. 원자 구조가 밝혀진 현대에는 원자량 대신 원자 번호, 즉 원자핵 양성자의 수를 기준으로 주기율표를 작성한다.

여러 원소들의 성질이 주기적 규칙성을 보이고, 특정한 원소들끼리는 비슷한 성질을 보이는

이유는 각 원소의 가장 바깥쪽 전자 껍질에 들어 있는 원자가 전자의 개수, 즉 전자 배치와 연관이 있다. 원자가 전자의 숫자는 원소의 반응성에 영향을 주고, 전자 껍질이 늘어나도 같은 원자가 전자를 가진 원소들끼리는 비슷한 성질을 보인다. 예를 들면 리튬과 소듐은 원자가 전자가 한 개씩인 원소들로, 같은 알칼리 금속 족 원소라고 불린다. 이 두 원소는 모두 쉽게 +1가 이온이 되고, Cl<sup>-</sup> 이온과는 1:1로 결합하여 이온성 화합물을 형성한다.

### ▷ 물질 변화의 종류와 특징

화학적 조성이나 성질이 변하면 화학적 변화가 일어난 것이다. 즉, 두 개 이상의 물질이 상호작용하여 새로운 물질이 만들어지면 구성 원자들이 재배치되는 화학 반응이 일어난 것이라 할 수 있다. 원자들 사이에 새로운 화학 결합이 형성되고, 새로운 원자 배치가 탄생하는 것이다. 원자로 이루어져 있어도 원자들의 배치가 다르면 완전히 다른 성질을 보인다. 물질의 화학적 변화를 일으키지 않고 측정할 수 있는 성질을 물리적 성질이라고 하고, 물리적 성질이 변하는 것을 물리적 변화라고 한다. 물질을 이루고 있는 원자나 분자의 종류, 배열을 알면 그 물질의 거시적 성질을 예측할 수 있다.

물질을 이루는 분자의 미시적 구조와 운동은 구성 입자의 수가 늘어나면 통계적으로 거시적 성질을 설명할 수 있다. 화학적 변화를 미시적으로 설명하려면, 화합물 분자가 서로 충돌해서 새로운 화합물이 만들어져야 한다. 이때 반응물 분자의 전자는 새로운 환경의 영향을 받고 기존의 결합을 끊고 새로운 결합을 형성하는데 참여하게 된다. 화합물이 가지고 있는 내부 에너지도 적절하게 재배치되어 반응에 도움을 주기도 한다. 충돌한 반응 분자들이 활성화 에너지 이상을 가지게 되면 화학 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성된다. 충돌 횟수와 반응물 분자 사이의 충돌 에너지는 거시적으로 관찰되는 반응물질의 농도와 구성 분자들의 온도와 연관되어 반응 속도를 결정한다.

전자를 양자 역학적으로 기술하면 물질의 양자 역학적 상태가 가지는 대칭성도 화학 반응의 여부를 결정하는 또 다른 요소가 된다. 물질이 전자기파를 흡수하거나 방출하는 경우 분자나 원자의 양자 역학적 상태와 대칭성을 함께 고려해야 한다.

### ▷ 물질 변화의 규칙성

화학 반응에서 일어나는 질량 변화를 측정하면 반응 전후의 물질의 총질량은 일정하다는 것을 알 수 있다. 이는 일상 화학반응 조건에서 물질이 생겨나거나 없어지지 않는다는 것을 뜻한다. 그러나 극한 조건에서 핵반응이 일어날 경우 물질과 에너지가 변환될 수 있다.

질량을 정확하게 측정하기 어려웠을 때는 화합물의 구성 성분이 다양한 비율로 가능하다고 생각하였다. 예를 들어, 어떤 물은 다른 물보다 산소가 조금 더 많을 수도, 혹은 적을 수도 있다고 생각한 것이다. 그러나 화합물이 다양한 비율로 구성될 수 있다는 생각이 틀리고, 원소들이 일정한 질량 비율, 그것도 정수비로 결합해서 화합물을 구성한다는 것이 밝혀졌다. 이는 화합물이 반드시 불연속적인 입자 형태의 원자들이 결합해서 형성되어야 하며, 원자들이 저마다 고유한 질량을 가지며, 더 이상 쪼개지지 않는 원자들이 재배치하여 이루어진다는 것을 의미한다. 이 결과를 바탕으로 원자들의 상대적인 무게를 이용하여 원자를 구별하는 것이 가능해졌으며, 원자론의 중요한 증거가 되었다.



기체의 성질과 반응에 대한 여러 실험 결과를 설명하기 위해서는 원자와 분자의 존재 뿐 아니라 온도와 압력이 같을 때 같은 부피의 기체는 같은 수의 기체 분자를 포함한다는 가설이 필요하다. 일정 부피 속 분자의 수를 설명하는 기준으로 아보가드로 수를 사용하는데, 이는 12그램의 탄소 원자에 들어 있는 원자수로 정의된다. 기체 반응에서 반응물과 생성물 기체의 부피를 측정해 보면, 부피도 정수비를 이룬다. 예를 들어 수소 2L와 산소 1L가 반응하여 수증기 2L가 만들어지는 것이다. 화합물과 화학 반응에서 질량과 부피를 정확하게 측정하게 되면서, 상대적 원자량과 분자식 등이 확립되었고 물질의 변화를 정량적으로 연구할 수 있게 되었다.

열과 온도, 일과 에너지에 관한 연구는 우리가 인지할 수 있을 정도의 양의 물체의 상태와 상태의 변환에 대한 것이다. 그러나 정교한 과학적 정의를 사용하지 않고도 일상생활에서 매일 경험하고 있는 개념이기도 하다. 에너지는 위치 에너지, 운동 에너지, 화학 에너지, 전기 에너지, 열에너지, 빛에너지 등과 같이 여러 가지 형태로 나타난다. 그리고 에너지는 여러 가지 형태의 에너지로 바뀔 수 있는데, 어떤 형태의 에너지가 감소하면 다른 형태의 에너지가 같은 양만큼 증가한다. 계의 에너지는 계에 일을 해주거나 계를 가열함으로써 변화시킬 수 있다. 계가 물질 출입이나 열 출입이 불가능하게 고립되어 있으면, 계의 내부 에너지는 일정하다. 자연은 에너지가 낮은 상태를 선호하지만, 자발적인 변화의 방향은 단순히 에너지 측면만으로는 설명하고 예측할 수 없다. 자발적 변화의 방향을 정해주는 것은 물질과 에너지가 분산되는 쪽으로 관찰된다. 이를 설명하기 위해서 분산 혹은 무질서의 정도를 엔트로피라는 물리량으로 정의하고, 계와 주변의 엔트로피 총합이 증가하는 방향으로 자발적 변화를 예측한다. 고립되어 있는 계의 엔트로피는 계속 증가하며, 계의 온도가 절대온도 0도에 가까워지면 엔트로피 값의 기준점(최솟값)에 가까워진다.

## 6. 지구계와 상호작용

### ▷ 지구계의 에너지와 물질 순환

우리가 살고 있는 지구는 형성 당시에 가지고 있었던 열과 방사성 원소들의 붕괴로 인한 열에 의하여 마그마를 형성할 뿐 아니라 지구의 내부가 대류에 의하여 움직인다. 이러한 움직임은 지각판을 이동하게 하여 판이 부딪히는 곳에서는 화산 폭발이나 대규모 지진이 발생하고, 대양에서는 새로운 지각을 생성하기도 한다. 지구가 자전축이 기울어져 자전하기에 지구의 대기도 대규모로 순환한다. 더구나 대기의 순환에 의한 바람, 해양의 온도차, 지구 자전 등에 의하여 해양도 대규모로 순환을 한다.

지구계를 이루는 4권역의 크기를 비교해 보면 고체 지구가 질량의 99.9%, 부피의 80%로 거의 대부분을 차지하지만, 지표에서 관찰되는 대부분의 자연 현상은 이들 4권역의 상호작용에 의하여 일어난다. 4권역은 물질과 에너지를 서로 주고받으며 지구의 모습을 끊임없이 바꾸어 간다. 예를 들어 물의 이동을 추적해 보면, 수권의 대부분을 차지하는 바닷물이 증발하여 수증기가 되면 이는 기권의 한 요소가 되고, 구름을 이루고 있던 수증기는 비나 눈이 되어 다시 수권으로 돌아간다. 물은 식물체에 흡수되어 생물권의 영역으로 들어가기도 하고, 광물이나 암석에 포획되어 지권의 구성원이 되기도 한다. 이처럼 물은 수권, 기권, 생물권, 지권 사이를 끊임

없이 오가면서 지구를 하나의 계로 연결하고 있다. 만일, 이러한 흐름이 끊어진다면 어떻게 될까? 비도 내리지 않고, 강도 흐르지 않으며, 호수도 없는, 그리고 생물도 살 수 없는 황량한 행성이 될 것이다.

우리가 지구를 이해하는 일은 지구 탄생 이후 이들 4권역 사이의 순환이 어떻게 일어났느냐를 이해하는 일이기도 하다. 4권역들 사이의 순환은 때에 따라 빠르기도 하고 느리기도 한다. 예를 들면, 태풍은 며칠 사이에 엄청난 양의 물을 바다에서 육지로 옮기지만, 수증기가 눈으로 내려 빙하에 갇히면 수만 년 또는 수십만 년 동안 바다로 돌아가지 못하기도 한다. 이처럼 권역들 사이의 물질 교류 속도가 달라지면 각 권역의 크기나 구성 성분에 변화를 가져오는데, 이러한 변화들이 모이면 지구 환경을 크게 바꾸게 된다. 예를 들면, 인류가 에너지를 과도하게 소비하는 등 이들 모든 권역의 자연적인 순환과 균형에 큰 영향을 미쳐 지구 온난화와 같은 문제가 발생하게 되었다. 이처럼 단기적으로 최근 수 년 또는 수십 년 사이에 일어나고 있는 변화를 알아내어 지구의 미래를 예측하는 일도 중요하고, 장기적으로 지구계의 총체적 이해를 바탕으로 수만 년 또는 수억 년에 걸쳐 일어났던 변화를 밝히는 일도 중요하다.

### ▷ 지구계 상호작용과 지구 환경 변화

앞서 살펴본 것처럼, 지구계는 태양계의 역학적 시스템 안에 존재하는 구성 요소이면서 그 자체로 수많은 생명체를 포함하는 하나의 시스템이다. 또한 지구계는 내부(지구 내부의 방사성 원소의 붕괴로 인한 에너지) 및 외부 에너지원(태양 에너지)에 의해 유지되며, 지구계 각 권의 상호작용에는 에너지의 흐름과 물질의 순환이 수반된다. 이러한 에너지 흐름과 물질의 순환으로 인해 지표의 변화, 날씨의 변화 등과 같은 자연 현상이 일어난다. 특히 기권의 대기와 수권의 해양은 서로 긴밀하게 상호작용하며 유지되는데, 대표적인 것이 대기 대순환과 해류의 분포이다.

태양 에너지가 지구에 도달하여 물과 공기 및 지표에 흡수 및 재방출되는 과정과 위도에 따른 에너지 비평형으로 인해 다양한 기상 현상과 기후 변화 및 대기와 해양의 대순환이 나타난다. 또한 태양 에너지는 식물의 광합성 과정에 흡수되어 식물과 동물의 에너지원으로 저장되기도 한다. 즉 대기와 해양의 대순환을 통하여 지구 전체는 에너지 평형을 이루게 된다. 이 과정에서 대기 중으로 방출되는 열과 연소 부산물인 이산화탄소가 온실 효과를 일으키면서 지구 환경 변화의 중요한 원인이 된다. 특히, 지구계의 에너지 순환 과정에서 엘니뇨나 라니냐와 같은 해양 순환의 변화가 나타나며, 이러한 변동은 지구 전체의 기후에 영향을 미친다. 또한 온대 저기압과 태풍과 같은 기상 현상은 매우 큰 규모의 대기 변화이며, 황사와 해일 등 여러 기상 현상들이 대기뿐만 아니라 지권, 수권 등 다른 권역과의 유기적인 관계 속에서 일어난다.

이처럼 크고 작은 규모의 여러 가지 기상 현상들은 대기와 해양의 대순환과 연관되어 있는데, 날씨를 예측하기 위해 수치예보에 의존한다. 수치예보(Numerical Weather Prediction; NWP)란 대기 현상의 역학 및 물리적 원리에 대한 방정식을 컴퓨터를 활용하여 연속적으로 분석함으로써 현재의 대기 상태를 분석하고 나아가 미래의 대기 상태를 정량적으로 예측하는 일련의 과정을 의미한다. 수치예보에는 첨단 과학과 기술이 동원되는데, 통신망, 슈퍼컴퓨터 및 예보 모델 3가지가 필수적이다. 그리고 지구 역사를 통한 기후 변화를 파악하기 위해 고기후 연구 방법을 활용하고 있는데, 이 방법을 활용하여 과거의 기후 변화에 관한 정보를 분석함으로써 미래의 지구 기후 변화를 예측할 수 있다.

대기와 해양의 대순환의 변화는 사람을 포함한 생물권에 큰 영향을 미친다. 즉 지질 시대를 통해 그리고 오늘날에도 지구 환경은 끊임없이 변화하고 있으며 이러한 환경 변화에 적응하면서 오늘날의 생물 다양성이 형성되었다. 따라서 이러한 지구계를 이루는 하부 권역들의 상호작용이 지구 생명체의 존속에 기여하고 있으며, 후대를 위해 지구계를 최적의 상태로 보전하는 것이 인류의 책임임을 인식할 필요가 있다.

### ▶ 지구계의 진화

지권, 수권, 기권 등이 상호작용함으로써 균형을 이루는 가운데 지구의 생명체는 진화를 거듭하여 왔다. 지구는 약 46억 년 전에 탄생한 것으로 알려져 있다. 지구 탄생 이후, 지구의 역사는 크게 명왕 누대, 시생 누대, 원생 누대, 현생 누대로 나누어진다. 명왕 누대는 지구 탄생 이후 가장 오랜 암석이 알려진 시기(약 40억 년 전)까지의 기간이다. 따라서 명왕 누대의 기록은 남겨진 것이 없다. 하지만, 이 기간에 지권, 수권, 기권, 그리고 어쩌면 생물권도 형성되었다는 사실이 알려져 있다.

시생 누대는 약 40억 년 전에서 25억 년 전 사이의 기간으로 암석 기록이 있기는 하지만, 암석이 생성된 이후 조산 운동과 변성 작용으로 남겨진 기록이 희미하다. 원생 누대는 25억 년 전에서 캄브리아기 시작(5억 4100만 년 전) 이전의 기간으로 지구가 환경적으로 커다란 변화를 겪었던 시기이다. 원생 누대에는 대륙의 규모도 컸고 많은 부분이 육지로 드러났으며, 맨틀의 대류가 느려지면서 오늘날과 비슷한 판구조 운동이 일어났다. 기권은 산소가 없는 환경에서 산소가 있는 환경으로 바뀌었고, 생물권도 원시적인 원핵생물인 세균에서 좀 더 발전된 진핵생물로 바뀌어 갔다. 현생누대는 약 5억 4100만 년 전 이후에서 현재까지의 기간으로 지구에 생명이 넘쳐나기 시작한 시기이다. 현생 누대에 지구 환경은 오늘날과 비슷한 모습을 갖추었으며, 우리 인류를 포함한 지구상의 거의 모든 생물들이 등장하였다. 더구나 2050년경에는 인류가 만들어낸 인공지능이 인류의 지능보다 더 높아지는 시대를 맞이하게 될 지도 모른다. 이때가 되면 자연적인 진화 대신 인류에 의한 진화가 이 지구에서 이루어질 수 있다. 그 결과 현재의 우주에서 초인류(transhuman) 시대를 맞이할 지도 모른다.

## <5범주> V. 생명계

### 도입:

생명과학은 생명현상을 탐구하는 학문이다. 생명현상 역시 물리·화학 법칙을 따르지만 생물 또는 생명체는 비생물과 다른 몇 가지 특징이 있다. 생물이 비생물과 구분되는 가장 중요한 특징 두 가지는 생식과 물질대사이다. 생식이란 자신과 닮은 개체를 만드는 것을 말한다. 물질대사란 주변의 물질을 끌어들이어 필요한 물질을 만들거나 분해하는 것을 말하는데, 이는 생명활동에 필요한 에너지를 활용하고 생식에 필요한 물질을 만들기 위해 필요한 과정이다. 생물 또는 생명체란 물질대사를 통해 자신과 닮은 개체를 스스로 만드는 존재라고 정의할 수 있다. 형태를 막론하고 이러한 조건을 만족하면 그 존재는 생물이라고 할 수 있다. 이 장에서는 생명을 구성하는 물질과 생명현상을 유지하기 위한 원리에 대해 살펴본다.

먼저 ‘분자에서 생태계로’에서는 생명현상의 기본단위인 세포와 세포를 구성하는 물질, 세포가 모여 개체가 되는 과정, 개체들이 모여 생태계를 이루는 과정을 살펴보고, 지구에 사는 다양한 생물을 어떻게 분류하는지 알아본다. ‘생명이란 무엇인가’에서는 생명현상의 특징인, 생식, 물질대사, 유전, 항상성, 진화에 대해 간략하게 살펴봄으로써 생물이 비생물과 다른 점을 알아본다. ‘생명의 연속성’에서는 생물이 개체의 유한한 삶을 넘어 종족을 보존하기 위한 과정인 유전, 진화를 자세히 살펴본다. ‘인체 생리’에서는 우리 몸을 구성하는 기관계의 기능과 질병에 대한 방어시스템을 소개한다. ‘생태계’에서는 생태계를 구성하는 요소와 이들 사이의 상호작용, 에너지 흐름과 물질 순환 등을 살펴본다. 마지막으로 ‘뇌과학’에서는 아직 상당부분이 미지의 세계이지만 인류가 다른 생물들과 구분이 되게 하는 가장 중요한 뇌의 작동에 관하여 살펴본다.

## 1. 분자에서 생태계로

### ▷ 생명체의 구성 물질

생물은 유기물로 구성되어 있다. 생물은 흔히 유기체라고도 하는데, 유기물이란 유기체, 즉 생물에서 비롯된 화합물이란 뜻을 담고 있다. 유기물은 탄소를 포함한 화합물이다. 탄소 원자는 주변에 네 개의 다른 원자와 결합할 수 있어서 다양한 물질을 만들 수 있다. 탄소 원자의 이러한 특성 때문에 고분자 유기화합물을 만들 수 있다. 생물을 구성하는 물질 역시 핵산, 단백질, 지질, 탄수화물과 같은 고분자 유기화합물이다. 핵산은 유전정보를 저장하거나 전달하는 역할을 하며, 단백질은 마치 공장의 도구나 기계처럼 다양한 기능을 담당한다. 지질은 세포막을 구성하거나 에너지를 저장하는 형태로 쓰이며, 탄수화물은 주로 에너지원으로 활용된다.

### ▷ 생명의 기본 단위 : 세포

1600년대에 현미경을 이용하여 맨눈에는 보이지 않는 미시세계를 탐구하던 과학자들은 생물이 세포로 이루어져 있다는 사실을 알아내었다. 세포라는 단어는 로버트 훅(R. Hooke)이 코르크를 관찰한 결과를 기록하면서 처음 사용하였는데, 그 후 여러 학자들의 공로로 세포가 생명체의 기본 단위임이 밝혀졌다. 현미경의 성능 향상과 염색법의 발달, 20세기에 이르러 광학현미경의 한계를 뛰어넘는 전자현미경의 발달 등으로 세포의 미세구조가 밝혀졌으며 이러한 구조물이 어떻게 상호작용하는지를 알게 되었다.

세포 중에는 유전물질인 DNA가 핵막에 둘러싸여 세포의 다른 부분과 구획이 나뉘진 것이 있는데, 이를 진핵세포라고 한다. 반면 핵막이 없고 세포 내부의 구조가 훨씬 단순한 경우를 원핵세포라고 한다. 원핵세포로 이루어진 생물을 원핵생물이라고 하는데, 원핵생물의 다른 이름은 세균이다. 진핵세포에는 유전물질인 DNA가 들어있는 세포의 생명현상을 통제하는 핵 이외에도 유기물을 분해하여 생명활동에 필요한 에너지를 만드는 미토콘드리아, 포도당을 합성하여 빛에너지를 저장하는 엽록체, 물질 합성 장소이자 이동 통로 역할을 하는 소포체 등 여러 기관들이 있다. 이러한 기관들이 상호작용하여 세포의 생명현상을 유지한다.

### ▷ 세포에서 개체로

생물이 가진 가장 중요한 특징인 생식과 물질대사를 온전하게 영위할 수 있는 최소 단위를 개체라고 한다. 아메바나 짙신벌레처럼 세포 하나로 생식과 물질대사를 모두 할 수 있는 생물은 세포가 곧 개체이며, 이를 단세포생물이라고 한다. 그러나 생식을 담당하는 세포와 물질대사를 담당하는 세포가 따로 나뉘어 있어서 이들이 뭉치지 않으면 온전한 개체가 될 수 없는 생물을 다세포 생물이라고 한다. 다세포 생물은 문자 그대로 해석하면 여러 개의 세포로 이루어진 생물이란 뜻인데, 세포 수가 많다고 다세포생물이 아니고 세포의 역할이 생식과 물질대사로 구분되어 있어야 한다. 다세포 생물은 일반적으로 세포, 조직, 기관, 개체의 단계를 거쳐 이루어진다. 먼저 같은 기능을 하는 세포들이 모여 조직을 이룬다. 그런 다음 여러 가지 조직이 모여 특정한 기능을 수행하는 기관을 만드는데, 기관은 정해진 모양이 있다. 그런 다음 여러 가지 기관이 모여 하나의 개체가 된다. 예를 들어 근육세포들이 모여서 근육조직을 이루며, 신경세포들이 모여 신경조직을 만든다. 그런 다음 서로 다른 조직들이 연합하여 기관을 형성한다. 예를 들어 심장은 근육 조직, 신경조직, 상피조직, 결합조직으로 구성된다. 그런 다음 여러



기관들이 모여 개체를 이룬다. 동물의 기관들 중에는 서로 연합하여 공동의 목적을 달성하는 것들이 있는데, 이들을 묶어 기관계라고 한다. 예를 들어 입, 식도, 위, 소장, 대장, 간, 이자 등은 음식물을 소화하여 우리 몸에 양분을 공급하는 일을 하는데, 이들을 묶어 소화(기관)계라고 한다. 동물은 소화계, 순환계, 호흡계, 배설계, 신경계, 근골격계 등의 기관계가 모여 개체를 이룬다.

### ▷ 개체에서 생태계로

생물은 혼자 살지 않는다. 모든 생물은 같은 종의 다른 개체 또는 다른 종의 개체들과 서로 영향을 주고받는다. 일정한 지역을 차지하면서 상호작용하고 있는 같은 종에 속하는 개체들의 모임을 개체군이라고 한다. 예를 들어 아프리카 초원에서 무리를 지어 생활하는 얼룩말은 얼룩말 개체군이 된다. 한편 아프리카 초원에는 사자 개체군도 있는데, 사자와 얼룩말은 먹고 먹히는 상호작용을 한다. 이처럼 일정한 지역을 차지하고 상호작용하고 있는 개체군들의 집합을 군집이라고 한다. 한편 생물 군집은 햇빛, 공기, 온도, 물과 같은 비생물 환경에서 영향을 받으며, 반대로 비생물 환경을 변화시키기도 한다. 이처럼 일정한 공간에서 상호 작용하고 있는 생물 군집과 비생물 환경을 통틀어 생태계라고 한다.

### ▷ 생물의 다양성

지구에 사는 생물은 1000만종이 넘는다. 종이란 형태와 습성이 뚜렷이 구분되는 생물 집단을 말하는데, 보통 종이라고 하면 생물학적 종을 말한다. 생물학적 종이란 자연 상태에서 생식적으로 독립된 집단이라고 정의한다. 가령 호랑이와 고양이는 생김새가 비슷하지만 둘 사이에는 자손이 태어날 수 없다. 이처럼 서로 교배할 수 없거나 교배가 되어 생긴 자손이 생식능력이 없어서 더 이상 두 집단에서 유전자를 교류할 수 없는 경우를 ‘생식적으로 독립’되어 있다고 말한다. 한편 자연 상태에서는 생식적으로 독립되어 있으나 인위적으로 둘을 교배했을 때 생식능력이 있는 자손이 태어나는 경우가 있다. 예를 들어 개와 늑대를 인위적인 환경에서 교배하면 생식능력이 있는 자손이 나온다. 그러나 개와 늑대를 같은 종으로 취급하지 않는 것은 이러한 사건이 예외적이기 때문이다. 이렇게 생물학적 종 개념으로 지구의 생물을 헤아렸을 때, 현재까지 과학자들이 이름을 붙여준 것만도 200만종이 넘으며 아직 이름을 붙이지 못했거나 발견하지 못한 것까지 계산에 넣으면 지구에 사는 생물이 1,000만종이 넘는다. 지구에 이처럼 다양한 생물이 살고 있는 것을 생물다양성이라고 한다. 이처럼 다양한 생물은 크게 세균역, 고세균역, 진핵생물역의 세 범주로 구분된다. 세균과 고세균은 세포 속에 핵이 따로 구분되지 않는 원핵생물이다. 우리가 흔히 보는 생물들은 대부분 진핵생물역에 속하며, 진핵생물역에는 원생생물, 균류, 식물, 동물이 포함되어 있다.

## 2. 생명이란 무엇인가?

### ▷ 생명체의 특징

생명이란 무엇인가? 이는 생물학에서 가장 중요한 질문이다. 현대 물리학의 선구자인 슈뢰딩거(E. Schrödinger)는 생명은 스스로 엔트로피를 감소시킨다고 주장하였다. 비생물은 에너지를



있으면서 분해되어 엔트로피가 높아지지만 생물은 살아있는 동안 에너지를 얻어 질서 있는 생명현상을 유지한다. 슈뢰딩거가 주목한 것은 생명체의 특징 중 하나인 물질대사이다.

지구에 살고 있는 모든 생물에는 공통점이 있다. 이들은 세포로 구성되어 있으며 생식, 물질대사, 유전, 항상성, 진화 등의 생명현상을 나타낸다. 바이러스는 생명체가 가진 특성 중 일부만 가지고 있어서 비생물로 간주한다. 생물학자들은 생물체에서 공통으로 나타나는 생명현상에 주목하고 연구한다.

### ▷ 생명현상 1: 생식

원래 있던 개체에서 또 다른 개체가 만들어지는 것을 생식이라고 한다. 세포 하나가 개체인 단세포 생물은 세포 분열이 곧 생식이다. 생식 방법에는 무성생식과 유성생식이 있다. 무성생식은 새로운 개체, 즉 자손을 만드는 과정에서 모체 한 개체만 필요한 경우를 말하며, 유성생식은 자손을 만들 때 부모 두 개체가 협력해야 하는 경우를 말한다. 단세포 생물이 세포분열을 통해 증식하거나 다세포 생물이 몸의 일부를 떼어내어 자손을 만드는 경우가 무성생식에 해당하는데, 이러한 생식방법은 모체와 유전자 구성이 동일한 자손을 만들게 되므로 환경이 안정적일 때 유리하다. 반면 유성생식은 감수분열을 통해 생식세포를 만든 다음, 두 개의 생식세포가 결합하여 자손을 만드는 방법인데, 이 과정에서 부모와는 유전자 구성이 다른 다양한 자손을 만들 수 있다. 따라서 유성생식은 부모와 똑같은 유전자 구성으로는 살아남기 힘든 환경에서 종족을 보존하는데 유리하다. 다양한 자손들 중 성공적으로 살아남은 개체들에 의해 집단의 유전자 구성이 점차 변화하게 된다.

### ▷ 생명현상 2: 물질대사

생명체가 새로운 개체를 만들려면 재료가 필요하다. 생명체는 주변에서 물질을 흡수하여 자신이 필요한 물질로 바꾼다. 즉 생명체 안에서 화학반응이 일어난다. 이를 물질대사라고 한다. 화학반응에는 반드시 에너지의 출입이 따르는데, 생물은 물질대사에서 출입하는 에너지를 이용하여 생명현상을 유지한다. 생물이 사용하는 에너지는 탄수화물, 단백질, 지방 등의 유기물에서 나오는데, 생물은 이 에너지를 ATP에 일시적으로 저장했다가 필요한 곳에 사용한다.

한편 생명체 안에서 일어나는 화학반응은 대부분 효소의 도움을 받아 일어난다. 효소는 단백질이 주성분인 촉매로 반응에 필요한 에너지를 낮추어 주기 때문에 낮은 온도에서도 반응이 일어날 수 있게 해준다.

### ▷ 생명현상 3: 유전

생명체의 가장 중요한 특징인 생식은 생물이 자손을 만드는 것을 말하는데, 이때 자손은 부모를 닮는다. 즉 생물은 부모와 닮은 자손을 만든다. 자손이 부모를 닮는 것을 유전이라고 한다. 즉 생명체의 특징으로서 생식과 유전은 따로 떼어낼 수 없다. 자손이 부모를 닮는 이유는 부모가 자손에게 자신의 유전자를 전달하였기 때문이다. 유전자란 생명현상을 유지하는데 필요한 정보의 단위로서 다양한 규모로 정의할 수 있다. 작게는 하나의 폴리펩타이드를 어떤 아미노산 서열로 만들 것인가부터, 크게는 날개 전체를 만드는 데 필요한 정보까지도 하나의 유전자로 정의할 수 있다. 이러한 정보는 DNA 속에 저장되어 있는데, 1953년 왓슨(J. Watson)과 크릭(F. Crick)은 DNA 구조를 밝혀 유전정보를 해독할 수 있는 길을 열었다. 유전 정보는 DNA의

뉴클레오티드의 서열에 의해 결정되며, 이 서열에 따라 RNA나 단백질이 만들어진다.

#### ▷ 생명현상 4: 항상성

18세기 영국의 과학자 찰스 블랙던(C. Blagden)은 공기의 온도가 127°C가 넘는 방에 살아있는 개와 소고기를 집어넣는 실험을 하였다. 소고기는 익어서 스테이크가 되었지만 개는 그대로였다. 생명체는 이처럼 외부 환경 변화에 대응하여 체온, 삼투압, pH 등 내부 환경 요소를 일정하게 유지할 수 있는데, 이것을 항상성이라 한다. 항상성을 유지해야 하는 이유는 세포 안에서 일어나는 화학반응을 일정한 속도로 순조롭게 일어나도록 하기 위함이다. 항상성을 유지하기 위해서는 외부 환경 변화를 감지하고 이에 적절하게 반응해야 한다. 따라서 외부 환경 변화를 감지할 수 있는 감각세포나 감각기관이 필요하며, 감각기관에서 내놓은 신호를 처리하여 적절한 판단과 명령을 내리고 실행해야 한다. 이를 위해 신경계, 내분비계, 배설계, 근골격계 등이 협력한다.

#### ▷ 생명현상 5: 진화

만약 모든 생명체가 무성생식을 통해 자신과 똑같은 자손만 만든다면 생명체의 모습은 과거와 오늘이 다르지 않을 것이다. 그러나 단세포 생물조차도 무성생식만으로 번식하지는 않는다. 단세포 생물도 환경이 불리해질 경우 자신과 다른 유전자 구성을 가진 자손을 만들기 위해 유성생식을 한다. 유성생식을 통해 다양한 유전자 구성을 가진 자손들이 만들어지고 이들의 적응력에는 차이가 생기게 된다. 반드시 적응력의 차이 때문만이 아니더라도 우연에 의해서도 생사가 달라질 수 있다. 결국 변화하는 환경에 잘 적응하는 생물은 살아남아 자손을 남길 확률이 클 것이고 그렇지 못한 생물은 도태될 것이다. 오랜 세월 동안 이런 일이 반복되면 생물의 모습이 변하게 되는데, 이를 진화라고 한다. 19세기 중엽 다윈(C. Darwin)은 ‘자연선택을 통해 생물이 진화한다.’는 생각을 발표하여 당시 사람들에게 큰 충격을 주었다. 다윈은 육종학에서 단서를 얻었다. 식물이나 동물에는 다양한 변이가 있는데 이들 중 하나를 인위적으로 선택하여 번식시키고, 이들 중 또 다시 변이를 선택하여 번식시키면 결국 원래 종과는 상당히 다른 형태의 종을 만들어낼 수 있다. 예를 들어 오늘날의 다양한 견종들은 인위적 선택의 결과이다. 인류는 회색늑대를 길들여 개로 만드는 과정에서 특정 형질을 가진 개체들을 선택적으로 교배하고 번식시켜 다양한 견종을 만들었다. 다윈은 육종학에서 사람이 선택을 하듯이, 같은 일이 자연에서도 일어날 수 있다고 생각한 것이다.

### 3. 생명의 연속성

#### ▷ 유전의 원리

19세기에 멘델(G. Mendel)은 유전 현상에 관하여 처음으로 과학적인 설명을 내놓았다. 멘델은 부모가 자식에게 물려주는 유전자에 의해 유전 현상이 나타나며, 이 유전자는 쌍으로 존재하면서 생식세포가 만들어질 때 분리되었다가, 수정과정에서 다시 합쳐진다고 주장하였다. 또한 두 가지 이상의 형질이 동시에 유전되더라도 어떤 형질에 관한 유전자가 다른 형질의 관한

유전자의 행동에 간섭하지 않음을 발견하였다.

멘델의 발견은 유전현상이란 자손 대대로 물려주더라도 흩어지거나 희석되지 않고 고유성을 유지할 수 있는 유전자에 의해 일어난다는 사실을 알아냈다는데 의의가 있다. 멘델의 발견 이후 과학자들은 유전자의 정체가 무엇인지를 밝혀내기 위해 노력하였고, 그 결과 DNA에 담겨 있는 정보가 유전자임을 밝혀내었다.

### ▷ 유전정보 발현 : 중심원리

DNA는 아데닌(A), 구아닌(G), 시토신(C), 티민(T) 뉴클레오티드의 중합체로서 세포내에서 이중 나선으로 존재한다. 이중 나선은 아데닌과 티민, 구아닌과 시토신 염기가 상보적으로 수소 결합을 하여 만들어진다. 세포가 분열할 때 DNA가 복제되는데, 이중나선을 만드는 각각의 가닥이 분리된 후 이를 주형으로 DNA 중합효소가 새로운 상보적 가닥을 합성하여 DNA가 복제된다. 이를 반보존적 복제라고 하며, 새롭게 만들어진 두 개의 DNA는 염색체로 포장되어 딸세포에게 전달된다.

1958년 프랜시스 크릭(F. Crick)은 유전정보가 DNA에서 RNA를 거쳐 단백질로 전달되어 나타난다는 중심원리<sup>4)</sup>를 제안한다. 이후 많은 실험에 의해 중심원리가 증명되었다. RNA 중합효소는 DNA 가닥 중 하나를 인식하여 상보적인 mRNA를 합성하는데 이를 전사(transcription)라고 한다. mRNA는 DNA로부터 전사된 유전정보를 가지고 있으며, 세포질에서 리보솜과 결합하여 20개의 아미노산이 종류별로 붙어 있는 t-RNA를 불러들인다. 아미노산을 달고 온 두 개 tRNA가 mRNA와 리보솜 복합체로 들어가 나란히 부착되면 tRNA에 붙어있던 아미노산 사이에서 펩티드 결합이 만들어진다. 이처럼 RNA로부터 단백질이 만들어지는 과정을 번역(translation)이라고 한다.

DNA가 복제되거나 RNA를 거쳐 단백질로 발현되는 과정에 오류가 생기면 돌연변이 단백질이 만들어진다. 돌연변이 단백질은 원래기능이 사라져 문제를 일으키는 경우도 있고 다른 기능을 방해하기도 한다. 만일 DNA 복제단계에서 돌연변이가 생기면 이것은 자손에게 전달되어 유전병의 원인이 되기도 한다. 이는 중합효소의 복제기능이 완벽하지 않기 때문에 일어나는 현상이다. 그러나 돌연변이가 정상 기능에 영향을 주지 않거나 새로운 기능을 하는 경우도 있는데, 이는 유전학에서 다루는 주요 주제중 하나이다.

### ▷ 진화의 원리

다윈은 ‘변이를 가진 자손들 간의 생존 능력 차이에 따라 진화가 일어난다.’고 주장하였는데, 정작 변이가 일어나는 원리에 대해서는 알지 못하였다. 다윈과 멘델을 동시대에 살았지만 서로 교류할 기회가 없었기 때문이다. 현대의 진화론은 유전 현상에 대한 비밀이 밝혀지면서 더욱 정교한 이론으로 발전하였다. 오늘날에는 진화를 ‘유전자풀(gene pool)에 나타난 변화’로 정의한다. 유전자풀이란 개체군에 있는 모든 유전자의 집합을 말한다. 유전자풀에서는 대립 유전자간의 빈도를 계산할 수 있는데, 대립유전자의 빈도가 세대를 거치면서 변화하고 이것이 축적되어 진화가 일어난다. 유전자풀을 변화시키는 요인은 다윈이 제안한 자연선택 외에도, 돌연변이, 격리, 유전자 부동 등이 있다. 돌연변이란 부모 세대에 없던 유전자가 자손에서 갑작스

4) 중심원리(Central dogma of molecular biology)는 분자생물학의 중심원리를 줄인 말이며 크릭이 제안하였다. 이는 유전정보의 전달 과정으로 유전정보가 DNA에서 RNA를 거쳐 단백질 순서로 전달되어 나타난다는 원리이다.

렵게 나타나는 것을 말한다. 방사선, 화학물질 등에 의해 DNA가 손상된 후 이를 복구하는 과정에서 오류가 생기면 돌연변이가 생긴다. 지리적 장벽 등으로 하나의 개체군이 두 개로 갈라진 후 서로 교류하지 않은 채 오랜 세월이 흐르면 두 집단의 유전자풀이 달라질 수 있는데, 이를 격리라고 한다. 한편 개체수가 작은 집단일수록 우연한 사고에 의해 유전자풀이 변화할 가능성이 크다. 이를 유전자 부동이라고 한다. 진화는 단순히 생명체가 다양해진 이유를 설명해주는 이론이 아니라 현대 생물학을 관통하는 원리이다. 즉 현대의 생물학은 진화의 관점에서 모든 생명현상을 서술하고 있다.

## 4. 인체의 생리

### ▷ 인체를 구성하는 기관계

우리 몸은 항상성을 유지하기 위해 다양한 생리적 기능을 수행한다. 우리 몸의 기관은 크게 소화계, 순환계, 배설계, 신경계, 생식계, 면역계 등으로 나뉘어진다. 생리학에서는 생리학적 기능들을 종류별로 구분하여 해당 기능을 수행하는 기관들의 기능과 상호작용을 다룬다. 소화계는 음식을 소화하여 영양소와 부영양소를 흡수하는 기능을 한다. 순환계는 호흡기관인 허파를 통해 공기 중의 산소를 흡수하여 세포의 호흡을 돕고 대사과정에서 생긴 이산화탄소를 배출한다. 또한, 혈액을 통해 산소와 이산화탄소를 운반하고, 체온 및 pH, 삼투압을 조절하며, 응고반응을 통해 방어기능을 한다. 심장은 혈액을 순환시킨다. 배설계는 신장 등에서 당의 재흡수와 노폐물의 배출을 담당한다. 신경계는 뇌와 척추를 포함하는 중추신경계와 말초신경계로 나뉘는데, 자극과 반응을 매개하며 학습 및 기억 등 고등 기능을 수행한다. 생식계는 생식세포에서 정자와 난자를 생산한다.

### ▷ 질병과 방어

질병이란 정신과 신체가 건강하지 못한 상태를 말한다. 항상성이 유지되지 않으면 질병에 걸릴 수 있다. 따라서 건강검진을 할 때는 혈당량, pH 등 체액의 물리화학적 환경 요소를 검사한다. 또한 외부에서 미생물이나 바이러스와 같은 병원체가 침투해도 질병에 걸릴 수 있다. 이러한 질병을 감염성 질병이라고 하며, 우리 몸은 병원체의 침투와 증식을 막기 위한 방어시스템을 갖추고 있다. 우리 몸의 방어시스템은 비특이적 방어와 특이적 방어로 구분할 수 있다. 비특이적 방어란 병원체의 종류에 상관없이 동일하게 작용하는 경우를 말하며, 피부나 점막에 의한 장벽 방어, 병원체의 침투를 국소에서 차단하기 위한 염증반응 등이 이에 해당한다. 특이적 방어란 항원-항체 반응의 특이성에 따른 방어 작용으로 병원체의 종류에 따라 다르게 작용하는 경우를 말한다. 인체에 특정한 병원체가 침투하면 그 병원체가 가지고 있는 항원에 대항하는 항체가 만들어진다. 이 항체는 병원체가 사라지면서 같이 사라지지만 항체를 만드는 기억세포가 남아 동일한 항원을 가진 병원체의 침입에 대항한다. 따라서 열이나 방사선으로 약하게 만든 병원체, 즉 백신을 주사하면 그 병원체가 가진 항원에 대항하는 항체를 만들 수 있는데, 이를 예방접종이라고 한다. 한편 체세포가 변형되면 면역세포가 공격하는 경우가 있는데 이를 자가면역질환이라 한다. 류머티스 관절염이 대표적이다.

## 5. 생태계

### ▷ 생태계의 구성과 상호작용

생태계를 구성하는 요소는 동물, 식물, 균류 같은 생물 요소와 빛, 온도, 물과 같은 비생물 요소로 구분할 수 있다. 생태학은 이러한 생태계에서 일어나는 각각의 요소들 사이에 일어나는 상호작용을 연구한다.

생태계를 구성하는 생물 요소는 역할에 따라, 생산자, 소비자, 분해자로 구분할 수 있다. 생산자는 식물이나 조류처럼 광합성을 통해 스스로 유기물을 만드는 생물이며, 소비자는 초식동물, 육식동물처럼 생산자가 만든 유기물을 직간접으로 소비하는 생물을 말한다. 분해자란 곰팡이와 세균을 말하는데, 생물의 사체나 배설물을 분해하여 무기 환경으로 돌려보내는 역할을 한다.

비생물 요소인 빛, 온도, 물과 같은 무기 환경은 생물의 삶에 영향을 미치는데, 생물 역시 비생물 요소에 영향을 미친다. 생물은 무기 환경이 어느 정도 변해도 적응할 수 있는데 이러한 범위를 내성범위라 한다. 생물의 삶에 영향을 미치는 여러 요인 중 가장 부족하여 생물의 생존을 제한하는 요인을 한정요인이라 한다.

### ▷ 생태계의 에너지 흐름과 물질 순환

지구 생태계 에너지의 근원은 태양의 빛에너지이다. 빛에너지는 생산자를 통해 유기물의 화학에너지로 전환되어 생태계로 유입된 다음 먹이사슬을 통해 흐른다. 생물의 몸에서 사용된 에너지는 결국 열에너지로 전환되어 지구 밖으로 방출된다. 이처럼 생태계에서 에너지는 일정한 방향으로 흐른다.

한편 먹이사슬을 통해 이동하는 에너지의 양은 상위 단계로 갈수록 줄어들게 되는데, 이를 쌓아올리면 피라미드 모양이 된다. 생태계를 구성하는 각 요소들이 큰 변화 없이 일정한 상태를 유지하는 것을 생태계의 평형이라고 하는데, 생태계의 평형을 유지하는 데는 먹이사슬이 중요한 역할을 한다. 생태계의 평형은 산불이나 홍수 등 자연재해에 의해서도 깨질 수 있다. 생태계는 평형이 깨지면 다시 회복할 수 있는 능력이 있다. 산불로 숲이 사라지면 땅속에 묻혀있던 관목식물의 씨앗이 자라나는 것을 시작으로 이후 침엽수림, 활엽수림으로 발전하며 숲이 회복된다. 동물들도 장거리를 이동하면서 물질의 순환에 기여한다.

오늘날 자연의 회복력의 한계를 넘는 무분별한 개발로 생태계 균형이 깨지고 있다. 특히 화석연료 사용에 따른 기후 변화가 심각한데, 연평균온도가 6°C 이상 올라가면 생태계가 크게 교란될 것이라고 과학자들은 경고한다. 1991년 미국 애리조나 주에서는 지구 환경의 축소판을 만들어 햇빛만 통과할 뿐 외부와 물질 출입이 전혀 없는 완전히 밀폐된 공간에서 사람이 살도록 하는 바이오스피어2 계획을 실행하였으나 실패하였다. 이는 생태계 평형의 중요성과 이것이 무너졌을 경우 피할 수 없는 재앙이 될 수 있다는 것을 보여준 사례이다.



## 6. 뇌과학

### ▷ 뇌, 21세기 과학의 프런티어

뇌는 동물에만 존재하는 기관이다. 스펀지와 같이 돌아다니지 않는 해면동물은 분화된 조직이 없으므로 뇌도 없다. 멧게유생은 뇌가 있으며 척색이 있어 헤엄을 치며 환경을 탐색할 수 있으나, 변태를 하여 고착생활을 하는 성체가 되면 뇌가 없어진다. 이는 뇌가 행동을 조절하는 중요한 기관임을 말해준다. 1906년 신경세포의 발견으로 카밀로 골지와 레이몬드 카할이 노벨상을 수상하였다. 이후 뇌기능의 기본 단위인 신경세포를 연구하여 감각, 인지, 학습, 기억, 행동 등 뇌의 다양한 기능을 이해하는 신경과학이 태동하고 발전한다. 신경과학 원리들은 최근 활발하게 연구되는 인공지능 및 기계학습에 활용되고 있다.

### ▷ 신경세포의 작동원리

신경세포는 흥분하여 전기적인 신호를 만들어낸다. 신경은 신호를 만들어 내기 전에 에너지인 ATP를 사용하여 신호를 만들어낼 준비를 한다. 이렇게 준비된 상태를 ‘휴지막 전위(resting potential)’라고 한다. 휴지막 전위는 마치 활시위를 미리 당겨 놓은 상태와 유사하다. 외부에서 자극이 오면 활시위를 놓듯, 휴지막 전위가 사라지면서 신경신호를 만들어낸다. 이렇게 만들어진 신경신호를 활동전위(action potential)라고 한다. 활동전위는 신경세포 말단에서 신경전달물질을 분비한다. 분비된 신경전달물질은 연결되어 있는 이웃신경을 다시 자극하게 된다. 신경과 신경의 연결을 시냅스라 한다. 시냅스란 뇌 세포들을 서로 이어주는 연결고리로, 이를 통해 신경세포들 사이에 신호를 교환함으로써 뇌가 작동하게 된다. 말단 감각신경은 시냅스를 통해 뇌로 다양한 정보를 전달하고, 뇌는 시냅스를 통해 말단 운동신경을 자극하여 근육을 움직여 행동을 만들어낸다. 신경간의 시냅스는 강화될 수도 있고 약화될 수도 있다.

### ▷ 시냅스를 통한 학습 및 기억

파블로프는 개에게 소리를 들려주면서 음식을 주면, 개는 소리와 음식을 연결하여 소리만 들어도 침을 흘리게 된다는 사실을 발견하였다. 이렇게 두 가지 서로 다른 자극이 연결되는 현상을 ‘조건화’ 혹은 ‘연관학습’이라 한다. 캐나다 심리학자인 도날드 헵(D. Hebb) 박사는 신경의 시냅스 연결을 통해 연관학습을 설명하였다. 동시에 들어온 자극에 의해 동시에 흥분한 신경세포들은 서로의 시냅스가 강화되고, 나중에 이들 신경의 일부만 흥분해도 시냅스를 통해 원래 기억에 관여한 신경들을 소집할 수 있다는 것이다. 다양한 연구를 통해 시냅스가 강화되는 원리가 규명되었다. 또한 치매 등 기억에 이상이 생기는 뇌질환은 시냅스의 기능이상과 연관이 있다.

### ▷ 뇌-컴퓨터 접속 및 인공지능

신경이 전기적인 신호를 통해 커뮤니케이션 하는 원리를 활용하여 다양한 응용분야 및 산업이 태동하고 있다. 뇌가 만들어내는 전기신호를 컴퓨터로 분석하면 신경정보의 의미를 파악할 수 있고, 컴퓨터에서 만들어진 전기신호로 신경을 자극하면 뇌에 정보를 입력할 수 있게 된다. 이러한 기술을 ‘뇌-컴퓨터 접속’이라 한다. 뇌-컴퓨터 접속기술을 활용하면 생각하는 대로 로봇 팔을 움직이거나, 척수손상으로 움직이지 못하던 다리를 움직이게 할 수 있다. 현재 신경



손상 환자들의 불편함을 해소할 수 있는 다양한 신경보정기술이 발전하고 있다.

또한 신경과학의 원리를 수학적으로 재해석하여 컴퓨터가 뇌의 기능을 모사하게 하는 ‘인공지능’ 분야가 있다. 1997년 체스게임에서 인공지능 왓슨이, 2015 바둑에서 인공지능 알파고가 인간을 상대로 승리하였다. 컴퓨터가 발전함에 따라 인공지능의 실용화 가능성이 높아지고 있다.

뇌가 학습하는데 정보가 필요하듯이, 인공지능도 학습을 위한 정보가 필요하다. 생물체는 경험을 통해 정보를 습득하지만, 인공지능을 위한 정보는 따로 입력을 해주어야 한다. 인공지능은 쉬지 않고 막대한 데이터를 수용하여 처리할 수 있으므로 특정 부분의 정보처리 및 해석에서 인간의 능력을 앞설 수 있는 것이다. 이러한 막대한 양의 정보를 ‘빅데이터’라 한다. 예컨대 인공지능 왓슨(Watson)은 수많은 환자들의 임상 빅데이터를 학습하였다. 그 결과 환자의 영상데이터를 통해 질병을 알아내고 치료방법을 제시하는데 그 수준이 전문의사보다 더 뛰어난 수준에 도달하게 되어, 가까운 미래에 의료현장에 적용될 예정이다. 하지만 왓슨이 판단하는 근원이 되는 지식은 인간이 작성하므로 인간의 지식을 뛰어넘는 진단 및 치료 제안까지는 어렵다고 할 수 있다.

## <6범주> VI. 수리·정보계

수학은 인류의 역사시대만큼이나 오래된 학문이다. 양을 측정하거나 순서를 나타내기 위해서 수가 필요하였으며 땅을 측량하고 집과 도시를 건설하기 위해서 도형과 연산 등이 필요하였다. 생활의 필요에서 시작된 수학은 사회의 규모가 커지고 항해 및 교역 등이 이루어지면서 발전을 거듭하였다. 그러면서 구체적인 상황이 아닌 추상적인 것을 주로 다루게 되었고 이러한 수학의 특성은 과학과 공학 등 여러 학문의 도구 역할을 하게 하였다. 또한, 수학은 이들 학문으로부터 영감을 받게 되었고, 이에 미적분학과 같은 수학의 분야가 급속히 발전하기도 하였다.

이 장에서는 수학의 기초를 이루는 수, 도형, 추론, 변화와 관계, 자료의 분석과 신뢰, 정보 이해 능력에 대하여 소개한다. ‘수’에서는 수와 양, 수의 이름과 표현, 수와 연산, 여러 가지 수의 체계를 설명하였고, ‘도형’에서는 평면도형과 공간도형, 도형과 계량을 다루었다. 수학을 전개하는 사고 방법인 ‘추론’에서는 수학에서 사용되는 정의, 명제, 추론, 정리, 증명의 개념과 수학의 아름다움을 설명하였다. ‘변화와 관계’에서는 여러 가지 함수와 더불어 집합에 대해 설명하였고, 미분법과 적분법에 대해서도 간략히 소개하였다. ‘자료의 분석과 신뢰’에서는 자료를 정리하고 분석하는 방법인 대푯값, 상관관계, 정규분포 등을 다루었고 이를 바탕으로 하는 확률과 통계적 추측에 대해 설명하였다. ‘정보 이해 능력’에서는 정보 이론에서 사용되는 이진법, 로그함수, 이산수학, 조합론과 그래프, 알고리즘과 순서도, 컴퓨터·정보 소양 및 컴퓨팅 사고력 등에 대해 소개하였다.

# 1. 수

## ▷ 수와 양

하나, 둘, 셋과 같이 사물의 양을 헤아리거나 첫째, 둘째, 셋째와 같이 순서를 나타낼 때 사용되는 자연수는 모든 것의 기본이라 할 수 있다. 역사적으로 수는 독립적인 개념으로 사용되기보다 나무 한 그루, 돼지 한 마리, 집 한 채 등과 같이 사물의 단위가 정해지면, 그 크기와 양을 알려주는 수량으로 널리 사용하였고, 모든 도량형의 기초가 되었다. 현대 수학은 매우 추상화되어 있지만, 인류 초기의 수학은 헤아리고, 관찰하고, 측량하는 것이 큰 비중을 차지하였다. 우리가 기하라고 부르는 학문의 처음 뜻도 땅 측량(geo-metry)이었고 오늘날 자연과학이나 의학, 공학이라 부르는 많은 것들이 과거에는 수학에 속하였으며, 고대에는 천문학이나 음악도 수학의 한 부분이라고도 할 수 있었다. 이러한 현상은 수학이 급진적으로 발전하고 자연과학이 성장하기 시작한 17세기까지 계속되었다. 저명한 수학자인 오일러(L. Euler)는 18세기에 『대수학 원론(Elements of Algebra)』에서 “수학은 양(量, quantity)의 과학이다”라고까지 말하기도 하였다. 그러나 시간이 지나면서 수학은 질(質, quality)을 함께 다루고, 크기나 양에 못지않게 관계나 패턴을 주요하게 여기는 등 매우 추상화되었다.

현대 수학이 추상적인 것들을 다루기는 하지만 구체적인 것을 알지 못하면 추상은 헛된 것이 된다. 그렇기 때문에 초·중학교 교육과정에서 여러 가지 것들을 측정하고 기록하는 구체적인 조작적인 활동을 강조한다. 이러한 활동을 통해 측정값과 오차에 대하여 생각하고 평균값을 이해할 수 있다. 또 지렛대 원리 등의 사례를 통하여 ‘동질의 두 수량을 비교하여 얻은 비율’은 단위가 없는 순수한 수임을 이해할 수 있다. 이와 같이 과거에 인류가 고민하면서 생각하였던 수학적 개념들이 어떻게 진화하여 현대적으로 발전하였는지 구체적인 사례와 경험을 통하여 설명할 수 있다.

## ▷ 수의 이름과 표현

하나, 둘, 셋 이후에도 수는 한없이 계속된다. 이 수들에 이름을 짓고, 글로 나타내는 것이 인류 문명의 초기에는 매우 어려운 일이었다. 고대인들은 돌맹이나 끈 또는 몸의 일부분을 사용하여 수를 나타내기도 하였다. 고대 중국에서 사용하던 숫자(一 二 三 四 五 六 七 八 九 十 百 千 萬 億)나, 고대 로마에서 사용하던 숫자(I II III IV V VI VII VIII IX X L C D M) 등을 보면 이들 문명에서는 새로운 수를 나타내기 위해서 새로운 이름과 기호를 도입하였음을 알 수 있다. 그러나 이러한 발상은 현대적인 관점에서는 모두 불완전한 표기법들이었다. 각 자리를 나타내는 이름이나 기호를 일일이 암기하여야 했으며, 특히 이들의 수 체계에는 영을 나타내는 기호가 없었다.

한편, 한글에는 수의 이름이 잘 발달되어 있지 않아 중국식 숫자의 이름을 사용하고 있다. 그러나 하나, 둘, 셋과 같은 고유한 수세기 언어도 있어서, 숫자를 배울 때 1을 일로 읽지 않고 하나라고 읽게 하거나 하나라고 써야 할 곳에 1로 쓰게 하면 언어에 혼란이 일어날 수도 있다. 수를 가르치거나 배울 때에는 주어진 숫자를 기계적으로 암기하고 수동적으로 받아들이기보다 수를 나타내는 상징을 만들고, 이름을 지었던 인류의 역사적 문화적 보기들을 파악하고 그 표현 방식을 이해함으로써 심진법이 수를 표현하는 유일한 수단이라는 편견에서 벗어나고 수학

이 인류 문화의 산물임을 느끼게 할 수 있을 것이다.

우리가 평소에 십진법을 사용하지만 이진법과 같은 진법은 정보과학기술을 이해하는 데 필요한 개념이다. 땅과 하늘과 별을 관측하던 기하학자들은 일 년의 날수에 따라 온각을 360도라 하였다. 또한, 정삼각형의 한 내각의 크기는 60도이고, 1도를 60등분한 것을 1분, 1분을 60등분한 것을 1초라하였다. 이와 같은 육십진법은 십진법과 십이진법의 공통진법으로 동양에서는 10간12지를 사용한 60갑자가 날수와 해수의 이름으로 오랫동안 사용되었다. 60진법은 오늘날 시간을 나타낼 때에도 그대로 사용하고 있다.

### ▷ 수와 연산

동질의 양은 더하여 증가시킬 수도 있고, 빼서 감소시킬 수도 있다. 이는 수의 가장 기본적인 연산인 덧셈과 뺄셈을 설명한다. 여러 사람이 행과 열을 이루며 직사각형 형태로 정렬하여서 있을 때 모두 몇 명인가를 알려면, 단순히 덧셈을 해서 얻는 것보다 곱셈을 하는 것이 훨씬 편리하다. 또한 여러 명이 어떤 것을 나누어 가지기 위해서는 나눗셈이 필요하고, 분수와 같은 표현법도 필요하다. 덧셈, 뺄셈, 곱셈과 달리 나눗셈의 기호로는  $\div$ 와  $/$ 를 모두 사용할 수 있다. 또한 등호(=), 즉 같음이라는 개념은 수학의 모든 서술 중에 으뜸이다. 수의 연산에는 더하기, 빼기, 곱하기, 나누기, 즉 가감승제가 있지만, 두 수의 대소를 비교하는 순서 개념도 있다. 이때 이상( $\geq$ ), 이하( $\leq$ ), 초과( $>$ ), 미만( $<$ ) 등의 용어가 도입된다.

수에는 자연수뿐만 아니라 영과 음수를 포함하는 정수가 있고, 나아가 유리수와 무리수가 있다. 무리수란 합리적이 아닌 수라는 뜻에서 유래한 것으로, 두 양의 비를 자연수의 비로 나타낼 수 없는 수이다. 따라서 이를 배울 때에는 정사각형의 한 변의 길이와 대각선의 길이와 같이 서로 비교 가능하지 않는 양(incommensurables, 공측성(公測性)이 없는 양)들에 대하여 파악할 필요가 있다.

구체적인 수를 인도-아라비아 숫자로 표현하고 계산하는 것을 배우지만 한 층 더 높은 시각에서 문자를 사용하여 변수나 미지수로 대상을 표현하는 것과 이들 간의 연산을 배운다. 즉, '1 + 2 = 2 + 1' 등을 대신하여 'x + y = y + x' 등으로 나타낸다. 변수를 통해 우리는 자연 법칙을 표현하는 언어의 필요성과 유용성을 파악할 수 있고 수학의 추상성에 한 걸음 더 나아갈 수 있다.

### ▷ 여러 가지 수의 체계

수의 종류에는 자연수, 정수, 유리수, 실수, 복소수, 사원수, 팔원수 등 여러 가지가 있다. 실수 중에는 고전적인 자와 컴퍼스를 사용하여 나타낼 수 있는 작도가능수와 정사각형 종이를 접어서 얻을 수 있는 종이접기 수, 정수계수 다항식의 근으로 표현되는 대수적 수가 있고, 더 나아가 현대적인 알고리즘을 통하여 얻을 수 있는 계산가능수가 있다. 계산가능성의 개념은 현대논리학과 컴퓨터 및 정보이론의 발전에 큰 역할을 하였다.

한편 홀수나 짝수, 일 년 후의 오늘 날짜는 무슨 요일일까? 사백 년 후의 오늘 날짜는 무슨 요일일까? 등을 계산할 수 있는 범산(modular arithmetic)의 개념 또한 이산(discrete) 수학에서 유용하게 사용된다. 이를테면 달력에서 15일은 1일과 같은 요일이다. 이를 범산에서는 7을 법(modulo)로 하여  $15 \equiv 1$  (modulo 7)로 나타낸다.

## 2. 도형

### ▷ 평면도형과 공간도형

수학의 또 다른 측면에는 사물의 모습과 대칭을 이해하는 것이 있다. 이것은 직관을 키우고 추상적 사고를 함양하기 위한 기본적인 훈련이다. ‘직관과 추론’은 수학적 훈련의 큰 부분인데, 이때 그림 그리기(아날로그적인 연속적 표현)와 글쓰기(디지털적인 이산적 표현)가 큰 도움을 준다.

평면도형을 공부할 때 학생들은 먼저 즐긋기를 연습한다. 주어진 용지에 정해진 개수의 줄을 가로로 긋고, 또한 세로로 그어 모눈종이와 같은 모양을 만드는 연습을 한다. 이를 기초로 하여 이후에 좌표를 정하고, 각 점에 주소를 부여하는 법을 알게 된다. 이런 훈련은 데이터베이스 파일을 다루거나 각종 정책이나 사회 제도를 수립할 때, 또는 기계를 만들거나 컴퓨터 프로그램을 짤 때에도 활용된다. 또 모눈종이에 연필로 원을 정교하게 그리는 활동을 통해, 원이 모눈의 특별한 점들을 지나는지 살펴볼 수 있고, 직각삼각형에 대한 피타고라스의 정리도 확인할 수 있다.

종이를 이용하여 각종 도형을 접어보고, 이를 이용하여 평면에 사방연속무늬를 만들어보면서 점대칭, 선대칭, 회전대칭 등 각종 평면대칭을 이해할 수 있다. 이는 수학자들이 거의 이백년 동안 개발한 대칭군에 대한 개념과 관련된다. 대칭군은 자연을 설명하는 가장 기본적인 개념으로, 도형을 통해 친숙해질 수 있다. 또, 나선을 알고, 식물이나 동물들이 가진 여러 대칭을 이해할 필요가 있다. 이러한 개념은 타원, 포물선, 쌍곡선 등과 같은 이차곡선의 이해로 연결된다.

우리가 살고 있는 세상은 2차원 평면이 아닌 3차원 입체로 이루어져 있다. 따라서 평면도형과 함께 공이나 타원체, 각기둥과 각뿔, 정다면체 등과 같은 입체도형에 대한 이해와 공간인지능력이 필요하다. 각 입체도형의 성질을 이해하고, 여러 가지 방향에서 이들을 바라보았을 때의 모양을 올바르게 추론할 수 있어야 한다. 또, 이들 입체도형의 겉넓이와 부피를 구하는 방법도 파악할 필요가 있다.

### ▷ 도형과 계량

기하학은 땅의 측량에서 발전한 것이다. 땅의 측량은 평면도형의 넓이나 둘레의 길이를 구하는 법과 밀접하게 관련되며, 이는 공간도형의 부피와 겉넓이를 구하는 것으로 확장된다. 이를 통해 둘레의 길이가 일정한 사각형 중에는 정사각형이 가장 넓이가 넓다는 것을 알고, 나아가 겉넓이가 일정한 원기둥 중에서 가장 부피가 큰 것이 어떤 모양인지를 파악할 수 있다.

삼각형의 무게중심을 이해하면 여러 도형의 무게중심을 이해하고 구할 수 있다. 또한 삼각법을 활용하면 멀리 있는 두 지점 사이의 거리나 건물의 높이 등을 구할 수 있다. 나아가, 넓이나 부피 등의 계량이 가지는 더함에 관한 기본 성질을 이해하고, 닭은 도형은 닭음비에 따라 넓이 또는 부피의 비가 어떻게 되는지를 이해할 수 있다.

좌표계에서는 평면이나 공간에 좌표계를 도입하는 법을 다룬다. 이때 직선이나 원 등 도형을 표현하는 식을 파악하고, 역으로 식이 나타내는 도형을 이해한다. 이것은 논증기하학적으로 해

결이 어렵거나 불가능했던 것들을 해결해주고 발전적으로 사고하게 한다. 구면기하학에서는 구면에서 대원(great circle)을 알고, 최단거리가 대원호임을 다룬다. 우리가 살고 있는 지구는 정육면체 모양이 아닌 구 모양이므로 이를 다루는 구면기하학은 실제적인 여러 곳에서 유용하게 사용될 수 있다.

### 3. 추론

#### ▷ 정의와 명제, 추론, 정리, 증명

사용하는 용어의 뜻을 밝히는 것을 정의(定義, definition)라 하고, 뜻이 분명한 용어를 사용하여 만든 문장 중에서 옳고 그름을 판정할 수 있는 것을 명제라고 한다. 명제는 부정하거나 연결하여 새로운 명제들을 만들 수 있다. 두 명제  $p$ ,  $q$ 를 연결하는 명제 연산에는 ‘이고(and,  $p \wedge q$ )’, ‘이거나(or,  $p \vee q$ )’, ‘이면(if then,  $p \rightarrow q$ )’ 등이 대표적이다. 이때 진리표는 논리 기호의 뜻과 특성을 알고, 논리 기호로 연결된 명제의 참, 거짓을 판별하는 데에 도움이 된다. 특히 ‘이면( $\rightarrow$ )’ 이 뜻하는 것은 인과율과는 다르다. 이런 표현 등은 전기회로를 구성할 때에도 사용된다.

모든 이론에는 명제들이 있는데, 이 중에서 참인 명제들과 정의를 이용하여 새로운 참인 명제, 즉 정리(定理, theorem)를 이끌어 내는 추론법이 있다. 이때 어떤 명제가 참인지 추론을 통하여 밝히는 과정을 증명이라 한다. 추론에 사용되는 규칙은 다음과 같다:

‘ $p$ 와  $q$ 가 명제일 때,  $p$ 와  $(p \rightarrow q)$ 에서  $q$ 를 추론할 수 있다.’

증명법에는 간접증명법인 귀류법이 있고, 자연수의 기본 성질을 이용하는 증명법인 수학적 귀납법이 있다. 수학적 귀납법은 알고리즘이나 정보과학에서도 필수적으로 이용된다.

증명하는 훈련은 결과가 아니라 과정을 이해하는 훈련으로 교육의 가장 중요한 부분을 차지한다. 이때 ‘다음 명제를 증명하라.’ 고 하는 것보다 ‘다음 명제가 옳은지 그른지 판정하고, 그 까닭을 밝혀라.’ 고 하는 것이 더 좋다. 참·거짓이 주어지고 그것을 밝히는 것은 사고를 한 방향으로 이끌지만 참 거짓을 추측하고, 자신의 추측을 정당화하는 것은 다방면으로 사고하게 할 수 있으므로 이러한 과정을 통해 수학적 사고를 함양할 수 있다. 증명이란 객관적이고 논리적이어야 하며, 나아가 증명은 아름다워야 한다. 증명을 통해 수학이나 논리에 지극한 예술성이 내재되어 있음을 이해하고 음미할 수 있다.

### 4. 변화와 관계

#### ▷ 함수와 그래프, 집합, 비례, 수열, 다항함수, 지수함수, 삼각함수, 로그함수

함수란 정의역의 원소마다 공역의 원소를 오직 하나만 대응시키는 관계의 일종이다. 함수는 식으로 표현하거나, 표 또는 그래프로 나타낼 수 있다. 정의역이나 공역 등은 모두 집합이므로 현대적인 집합 개념의 간단한 내용을 이해하는 것은 필요하다. 칸토어의 유명한 정의에 따르면



‘집합이란 우리의 직관이나 상상을 통하여 분명히 인식할 수 있는 대상들을 모은 것을 하나의 실체로 본 것’이다. 집합을 수학에서 명백하게 다루게 된 것은 상당히 현대에 이르러서인데 19세기 말과 20세기 초에 걸쳐 집합론의 여러 가지 의문점들이 발견되었고, 이를 해결하는 과정에서 디지털 혁명이 일어났다.

과거에는 함수의 정의역의 원소를 독립변수, 공역의 원소를 종속변수라고 부르기도 하였다. 함수에서 독립변수가 의미하는 것은 상황에 따라 다양하다. 예를 들어, 독립변수가 시각을 나타낼 때 함수는 공역의 원소가 시각에 따라 변하는 것을 서술한다. 공역이 벡터공간 또는 아핀 공간이면 속도나 가속도, 평균변화율 등을 서술한다.

함수 중에 가장 대표적인 것은 항등함수이다. 또, 정비례 또는 반비례로 표현되는 함수들은 매우 기본적인 것으로, 그 그래프는 직선 또는 쌍곡선으로 나타난다. 수열도 일종의 함수이다. 이웃한 항의 차가 일정한 등차수열과 이웃한 항의 비가 일정한 등비수열을 이해하는 것이 필요하다. 또, 다항함수와 지수함수도 다루는데, 지수함수는 온도의 변화, 동식물의 번식이나 방사능 붕괴 등을 설명하며, 정규분포 곡선도 지수함수로 표현된다. 삼각함수, 즉 원(circle)함수는 전통적으로 땅을 측정하는 삼각측량과 천문에 사용되었다, 사인(sine), 코사인(cosine) 등의 삼각함수는 주기함수로, 음의 높낮이나 전류 이해 등에 사용된다.

함수의 합성, 일대일 함수, 역함수, 그리고 제곱근 함수 등과 같은 대수적 함수와 로그함수도 학교수학에서 다루어야 한다. 로그함수의 가장 중요한 성질은 ‘두 변수의 곱의 로그값은 각 로그값의 합’이라는 것이다. 이로부터 변수를 거듭제곱하면, 로그값은 거듭배가 됨을 알 수 있다. 로그함수는 밑에 따라 다양하게 있지만, 그 중 대표적인 것은 상용로그, 자연로그, 그리고 2를 밑으로 하는 이진로그이다. 로그는 20세기 후반에 전자식 계산기가 나오기 전까지 가장 중요한 계산기였다. 로그함수는 감각의 느낌을 표현하고, 지진의 강도, 식품의 산성, 알칼리성, 빛이나 별의 밝기, 소리의 세기, 음의 높낮이에도 활용한다. 또 엔트로피나 정보량을 설명하는 데에도 활용한다.

### ▶ 미분법과 적분법

미분법과 적분법은 극한과 연속함수의 개념을 토대로 한다. 미분법은 최대최소 문제뿐만 아니라 그래프의 개형을 그리고, 어림값을 구하는 데에도 활용할 수 있다. 속도나 가속도 등의 순간적인 변화량도 미분법으로 설명할 수 있다. 적분법을 사용하면 여러 가지 도형의 넓이나 각뿔, 구 등의 부피를 구할 수 있다. 더 나아가 적분법을 활용하면 각종 도형의 기하중심 또는 질량중심을 알 수 있다. 또 정규분포에서 표준편차나 확률을 이해하는 데에도 쓰인다. 미적분학의 기본정리는 이와 같이 활용도가 높은 미분법과 적분법 사이의 중요한 관계(역관계)를 밝혀준다.

## 5. 자료의 분석과 신뢰

### ▶ 자료의 정리와 대푯값, 상관관계, 정규분포

다양한 자료를 수집하고 이를 정리·분석하는 일은 과거나 현재의 상태를 알아보는 데 도움

을 주고, 앞날을 예측하고 설계하는 데에도 매우 중요한 역할을 한다. 예를 들어 인구가 얼마나 증가하고 감소하는지 등을 아는 것은 미래를 구상하는 데 도움이 된다. 도수분포표나 히스토그램 등은 자료의 정리에 도움을 준다. 이러한 자료에서 얻는 대푯값에는 평균값, 최빈값, 중앙값, 사분위수 등이 있다. 자료의 분산이나 표준편차는 자료의 분포 정도를 알려주고, 상관관계는 두 자료의 관련 정도를 나타낸다. 많은 자료들이 보이는 정규분포는 여러 가지 통계적 처리의 기준이 된다.

### ▷ 확률과 통계적 추측

경우의 수와 확률에서는 주어진 상황에서 일어날 가능성이 있는 사건들의 전체집합 또는 표본공간을 이해하고, 특정한 사건이 일어날 정도를 생각한다. 순열이나 조합 등은 경우의 수 또는 다항식의 전개와 같은 수학뿐 아니라 생물의 염기서열이나 유전자, 돌연변이를 이해하는 데에도 활용된다.

통계 조사 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 조사의 대상 모두, 즉 모집단을 조사하는 전수조사이고, 또 하나는 모집단의 일부, 즉 표본을 조사하여 전체를 추측하는 표본조사이다. 어떤 사안이든 모집단을 모두 대상으로 조사하면 좋겠지만 시간과 인력 등의 한계로 인해 표본을 조사하고 이를 바탕으로 전체를 추측하는 경우가 많다. 좋은 표본을 얻으려면 특정 집단에서 추출하는 것보다 임의추출하는 것이 좋다. 모집단의 평균과 표준편차는 모평균, 모표준편차라 하고, 표본의 평균과 표준편차는 표본평균, 표본표준편차라 한다. 표본평균과 표본표준편차와 같은 표본의 자료는 모집단의 자료와 일치하는 것이 아니므로 이를 바탕으로 모평균을 추정하기 위해 적절한 신뢰도를 가진 신뢰구간을 사용한다.

통계자료를 해석할 때에는 성급하게 원인과 결과를 판단하지 않도록 유의하고, 통계 이면에 숨겨진 실제 원리를 파악할 필요가 있다. 즉, 통계자료 해석 시 오류나 왜곡이 발생하지 않도록 유의할 필요가 있다. 이를테면 모집단과 표본의 크기는 어느 정도이고 어떤 방법으로 추출 및 조사하였으며 어느 정도 신뢰도의 신뢰구간을 사용하였는지 등을 유의해서 보아야 하고, 관련된 다른 자료도 함께 보는 것이 좋다. 앞으로는 전수조사를 할 수 있는 환경이 더욱 발전될 것이므로 확률 이론이나 정수나 논리연산같이 서로 구분되는 값을 가지는 대상을 다루는 이산수학이 기계학습(machine learning)에 많이 활용될 것이다.

## 6. 정보 이해 능력

### ▷ 이진법

문자, 소리, 그림, 색, 모양, 생물의 유전자 등을 표현하는 법은 다양하지만, 이들은 모두 두 가지 기호, 즉 0과 1의 수열로 나타낼 수 있다. 예를 들어 한글이나 로마자 등에서 자모를 차례로 배열하여 대응하는 수를 정하면, 마치 휴대전화기에서 문자를 보내는 것처럼 원하는 글을 다 쓸 수 있다. 그림 또한 점이나 색으로 나타내고, 이를 0과 1로 나타낼 수 있다.

이진법은 전기회로 설계에 적합하지만, 이진법 외에도 다른 진법을 사용할 수 있다. 미래 세대에는 아미노산이나 코돈, 전기의 역할을 더 잘 이해하고 삼진법, 사진법 등 다른 진법의 유용성에 대한 획기적인 발견을 할 수도 있을 것이다.

### ▷ 로그함수

정보이론(Information Theory)의 아버지라고도 불리는 새넨(C. Shannon)은 20세기 중반에 확률과 로그함수를 도입하여 정보의 크기(정보도, 엔트로피)를 재는 획기적인 방법을 표현하였다. 그는 1비트(bit, binary digit)라는 용어를 도입하여 오늘날 통신의 발전에 혁명을 가져왔다. 새넨은 밑이 2인 로그함수를 사용하였는데, 예를 들어 책상 위에 놓인 동전 하나를 보고 앞면이 나와 있음을 아는 것은 1비트의 정보를 얻은 것이고, DNA의 유전정보를 64가지 코돈으로 표시하거나 주역의 64배를 표시하는 것은 6비트의 정보를 얻은 것이다. 이와 같이 현대 사회에서는 전통적인 상용로그나 자연로그 이외에 이진로그 역시 유용하게 사용되고 있다.

### ▷ 이산수학, 조합론과 그래프론

자연수 또는 정수의 연산에서 범산의 개념은 매우 유용하다. 예를 들어 십진법으로 표현된 자연수를 9로 나눈 나머지는 각 자리의 수를 모두 더한 것의 나머지와 같다. 이런 범산은 곱셈에도 그대로 적용된다. 이는 신용카드나 주민등록번호, 서적이거나 물품분류번호 등에 널리 활용된다. 범산은 이산수학에서 다루는 내용 중 하나이다. 다음의 그래프 이론도 이산수학의 한 분야이다.

조합론에서 그래프라고 부르는 것은 오늘날 인터넷이나 네트워크, 빅데이터를 이해하는 데 바탕이 되는 개념으로 18세기 오일러(L. Euler)가 해결한 한붓그리기 문제 이후 수학의 중요한 분야가 되었다. 이를 통해 오일러 회로, 해밀턴 회로, 판매원 문제 등을 이해할 수 있다. 더 나아가 구글(google)에서 사용하는 페이지 알고리즘도 이해할 수 있다. 빅데이터 시대에는 그래프의 위상적 성질을 이해하는 것도 도움이 된다. 그래프의 노드 사이의 거리에 따라 연결성분이 어떻게 변하는지 등을 통해 그래프의 위상적 구조를 파악할 수 있다. 이는 인간 또는 생물의 뇌 활동을 분석하는데 사용되기도 한다.

### ▷ 알고리즘과 순서도

알고리즘과 순서도는 작업의 체계와 절차를 보기 좋게 나타내는 도구로서 인공지능의 발전과 더불어 새롭게 조명을 받고 있다. 예를 들어 유클리드 호제법, 주어진 자료를 차례대로 정렬하는 법, 엘리베이터를 한 대 또는 여러 대 운행할 때의 순서도, 보행자와 차량이 다니는 건물목에서 교통신호등 제어하는 법 등의 경우를 다양한 알고리즘과 순서도로 나타낼 수 있다. 좋은 알고리즘을 기획하는 것은 기업이나 산업현장에서 좋은 물건을 만들 때뿐만 아니라, 정부나 법원, 국회 등에서 각종 정책이나 사업을 구상하고, 국제적인 외교에서도 실수를 방지하는데 활용된다.

### ▷ 컴퓨터·정보 소양과 컴퓨팅 사고력

컴퓨터·정보 소양(Computer and Information Literacy; CIL)은 미래 지식·정보 사회를 살아가는 데 필수적인 역량 중 하나로 최근에 각광을 받고 있다. 미국이나 영국의 경우 일찍부터 컴퓨터·정보 교육 내용을 교육과정에 도입하여 컴퓨터·정보 소양 교육을 활발하게 실시하고 있으며, 우리나라를 포함한 세계 여러 나라에서도 컴퓨터·정보 소양 관련 역량 향상을 위해 다양한 연구들을 진행하고 있다. 또한, 국제교육성취도평가협회(IEA)에서는 국제 컴퓨터·정보 소양

연구(International Computer and Information Literacy Study: 이하 ICILS)를 수행하고 있다. ICILS에서 측정하는 컴퓨터·정보 소양(CIL)은 컴퓨팅 사고력의 특성이라 할 수 있는 문제해결력을 포함하여 ‘컴퓨터를 사용하여 자료를 조사, 생성, 소통하고 문제를 해결하는 능력’으로 정의된다.

전세계적으로 컴퓨터·정보 소양의 구성 영역으로 컴퓨팅 사고력(Computational Thinking)의 중요성이 점차 강조되고 있다. ICILS에서도 2018년부터 평가 내용에 컴퓨팅 사고력을 포함하였는데, 컴퓨팅 사고력의 정의 및 하위요소는 국가나 연구자마다 다르게 제시하고 있어서 통일되어 있지 않다. ICILS의 정의는 ‘컴퓨터를 이용하여 프로그래밍하거나 그밖의 디지털 기기를 위한 응용프로그램을 개발할 때 사용하는 사고방식’이다. 컴퓨팅 사고력은 추론 전략을 기초로 하며, 문제를 효과적으로 해결하기 위해 문제를 형식화하고, 표현하고, 분석하는 활동을 포함한다. ICILS에 따르면, 컴퓨팅 사고력은 문제의 개념화와 해결방안의 조작(Operationalizing solutions)이라는 2개의 영역으로 구성된다. 문제의 개념화는 해결방안을 개발하기 이전에 문제가 무엇인지를 이해하고 문제해결 과정을 돕는 알고리즘이나 시스템을 파악하는 것이다. 해결방안의 조작은 실제 문제에 대한 해결방안의 계획과 평가, 문제해결에 필요한 단계와 규칙을 체계적으로 나타낸 알고리즘의 개발, 수행 및 알고리즘 자동화 과정을 포함한다.

## <7범주> VII 사회계: 과학과 인문사회학

### 도입:

인류 역사의 여정에서 과학과 사회는 서로 밀접하게 연계하여 상승작용하면서 발전을 이루어왔다. 생각과 상상을 발전시키기 위해 사용한 관찰, 실험과 검증 등은 과학의 본질이자 지식에 이르는 방법으로, 다른 학문들과 과학의 차별점이기도 하다. 이러한 방법적 토양 위에서 인류는 스스로를 둘러싼 환경에 대해 더욱 포괄적이고 명확한 이해를 얻을 수 있었다. 본 장에서는 과학이 인류의 가치 기준이나 관점을 반영하는 사회적 활동임을 전제로 과학과 사회변화의 관계를 살펴본다.

‘인지과학과 사회’에서는 인지과학혁명이라 불릴 만큼 그 중요성이 부각되고 있는 인지과학의 발전이 제시하는 미래상에 대해 논의한다. 인지과학은 인간이 자신을 둘러싼 사회와 자연체계를 인식하고 설명하는 새로운 세계관으로 주목받고 있으며, 인공지능 분야와 직결되어 우리 주변에서 눈에 띄는 변화를 불러일으키고 있다.

‘인공지능과 사회 변화’에서는 인공지능과 로봇의 시대에 직업의 의미 자체가 변화하고 있는 현실을 진단하고, 사람과 사회를 연결하는 인공지능 연구의 새로운 전망을 소개한다.

‘과학기술과 경제 변화’에서는 과학기술의 발전이 경제 지형도를 어떻게 변화시키고 있는지에 대하여, 미래의 직업 전망과 공유경제를 통해 조명한다. 자동화와 연결성이 극대화된 새로운 경제 패러다임인 공유경제 체제에서는 기존 대량생산체제의 소유 개념과 대비되는 협력 소비 경제활동이 이루어지며, 이는 미래의 성장 동력 창출의 기반으로 주목받고 있다.

‘과학기술과 사회 변화’에서는 과학기술의 진전과 급격한 사회 변화가 열어놓은 가능성과 인류의 대응에 대해 논의한다. 특히 과학기술 시대에서 인간의 가치를 중심에 둘 때, 위기를 기회로 바꿀 수 있다는 점을 강조하고, 관련 사례로 융합을 촉진하는 빅데이터, 과학의 발전과 인문학적 통찰의 중요성, 과학기반 사회에서 과학 대중성과 다학제성의 확대 가능성을 살펴본다.

# 1. 인지과학과 사회

## ▷ 컴퓨터 과학과 인지심리학

컴퓨터란 기술공학적 관점에서 보면 사람의 작업을 돕기 위해 프로그램에 의해 작동, 운영되어 지능적인 작업을 수행하는 보조적 장치일 뿐이다. 하지만, 인공지능은 사람의 마음에 대한 이해와 직·간접적으로 연관될 수 있다. 이러한 관점은 다시 다음의 두 가지로 나누어진다.

우선, 컴퓨터를 사람의 마음에 대한 심리학 이론을 검증하는 도구로 사용하는 관점이다. 이는 사람의 인지작용에 대한 가설이 제시되었을 때 이를 컴퓨터 프로그램에 입력하여 실행시켜 보는 것이라 할 수 있다. 실행 결과가 사람의 인지행위와 유사하게 나타나면 제시된 가설이 사람의 인지작용에 대한 올바른 이론임을 증명하게 되는 반면, 사람의 인지행위와 다르게 나타나면 가설이 틀렸음을 의미한다. 두 번째는, 지능적으로 작동하는 컴퓨터는 마음을 이해하는 도구일 뿐만 아니라 그 자체가 마음을 갖는다는 관점이다.

이와 같이 현대에 들어서 인공지능을 통해 사람의 인지에 접근하는 방법론이 일반화되면서 컴퓨터 과학과 인지심리학은 밀접한 관련을 갖게 되었다. 이제 인공지능으로 컴퓨터라는 기기는 기술공학적인 관심을 넘어 사람의 지능에 대한 모델을 제시하기에 이르렀다. 사람의 마음이 컴퓨터의 프로그램과 같은 방식으로 진행된다는 생각이 받아들여지고, 사람의 인지과정을 연구하는 인지심리학은 인지에 관한 이론의 발전 및 검증을 위하여 컴퓨터 과학에 의존하게 된 것이다. 현대의 많은 인지심리학자들이 곧 인공지능학자이기도 하다는 사실은 이러한 경향을 입증한다. 이러한 경향이 통섭학문으로서 인지과학의 발전적 모태를 이루게 될 것이다.

## ▷ 인지과학혁명과 인지사회

인지과학은 인간의 뇌와 마음, 컴퓨터 그리고 동물에게서 어떻게 정보처리가 일어나는지 또한 그러한 정보처리를 통해서 ‘지(intelligence)’가 어떻게 구현되는지를 탐구하고 이를 통해 마음과 각종 ‘지’의 본질을 이해하려는 종합과학으로 볼 수 있다. 인지과학은 사람과 컴퓨터가 본질적으로 동일한 추상적 원리를 구현하는 일련의 정보처리 체계라는 생각에서 출발하였다. 인지과학이 등장하여 과학계에 새로운 관점을 제공하였다. 20세기 후반, 정보라는 개념을 제시하여 정보사회를 가능케 했다. 미래사회는 인간의 마음과 뇌, 컴퓨터를 연결하는 개념적 틀을 통해 세상을 보게 하는 인지과학적 혁명으로 전개될 인지사회이다.

1950년대를 기점으로 하여 진행되고 있는 인지과학혁명을 통해 과학계는 인간 자신과 동물, 컴퓨터, 인간문화 체계 등에 대해 새로운 방식으로 이해하고 설명하는 틀을 지니게 되었다. 이러한 인지적 패러다임을 구체적으로 구현하며 그 기초이론과 응용적 구현의 근거를 탐구하는 학제적 과학이 인지과학이다. 인지과학이 없었다면 현재 일반화되어있는 정보처리 기능의 컴퓨터, 정보 중심의 디지털 사회, 인간지능과 컴퓨터의 연결, 인공지능 연구 등은 등장하지 못했을 것이고, 정보과학의 이론적 개념과 틀도 형성하지 못했을 것이다. 또한 단순한 숫자처리 기능을 수행하는데 불과했던 계산기를 정보처리와 지능을 지닌 컴퓨터로의 대변혁을 가능하게 한 것도, IT과학의 모태적 학문도 역시 인지과학이다.

인지과학은 20세기의 전통적 관점인 물질 및 기계 중심의 과학기술 개념과 연구를 넘어 인간 자신과 사회, 자연의 질서 전체를 인식, 이해, 설명하는 전혀 새로운 세계관을 제시하였다.



이는 인간의 뇌와 심리적, 문화적 특성을 동시에 고려한 융합과학기술을 추구해야만 미래 과학 기술 사회가 발전가능하다는 것으로, 향후 인공지능 분야와 직결되면서 다양한 가능성을 시사한다. 인간의 작업 수행 능력을 향상시키는 원리를 제공하고, 컴퓨터와 마음과 두뇌와 문화를 창의적으로 조합한 인지적 변혁에 의해 인간의 한계를 극복할 수 있는 가능성을 제시하려는 인지과학의 발전 가능성은 매우 크다.

## 2. 인공지능과 사회 변화

### ▷ 인공지능의 등장과 딥러닝(deep learning)

인공지능(Artificial Intelligence; AI)이란 인식, 판단, 추론, 학습, 문제해결 등 인간의 지능이 가지는 기능을 갖춘 컴퓨터 시스템이다. 온도를 알아서 조절해주는 냉난방 가전제품부터 애플(Apple)의 시리(Siri)나 구글(Google)의 검색시스템, 또는 페이스북(Facebook) 등과 같은 소셜네트워크서비스(SNS)에서 제공하는 맞춤형 정보에 이르기까지 이미 인공지능은 우리 생활 깊숙이 들어와 있다. 현재의 인공지능은 연구 초기단계를 이제 막 벗어난 수준이지만, 시장규모의 급격한 팽창과 더불어 발전 속도는 매년 배로 상승해 2045년에는 인간의 판단능력과 거의 유사한 형태의 인공지능이 완성될 것으로 전망하고 있다.

인공지능은 크게 약인공지능(Weak AI)과 강인공지능(Strong AI)으로 나눌 수 있다. 약인공지능은 체스를 두거나 번역을 하는 등 자의식 없이 주어진 조건 하에서 지시를 따르는 것이 특징이다. 아무리 인간 지능의 수준을 넘어서는 인공지능이라 하더라도 자의식을 갖추지 않았기에 인간의 통제 하에 움직이게 된다.

인공지능 연구 가운데 2016년 바둑프로그램 알파고로 인해 딥러닝(deep learning)이 급부상하였다. 딥러닝은 대량의 데이터로부터 스스로 핵심적인 개념을 간추려내도록 하는 기계학습(machine learning) 방법론으로, 사람이 일일이 판단 기준과 정답을 알려주지 않아도 수많은 데이터를 통하여 컴퓨터가 스스로 방법을 찾아나가는 것이 특징이다. 이러한 딥러닝은 연결의 시대가 만들어낸 빅데이터(big data)와 결합해 인공지능에 획기적인 변화를 가져왔다.

약인공지능의 다음 단계에 등장할 강인공지능은 지각능력과 자의식을 가지고 인간을 넘어설 수도 있다고 한다. 강인공지능의 관점에서는, 프로그램된 컴퓨터를 단지 심리학적 설명을 검증하기 위한 도구가 아니라, 마음에 대한 설명 그 자체로 간주한다. 이는 물리학자 스티븐 호킹(S. Hawking), 테슬라의 엘론 머스크(E. Musk), 마이크로소프트의 빌 게이츠(W. Gates) 등이 진지하게 인류의 위협으로 경고했듯이 단순한 공상이 아니라 단지 실현에 얼마나 걸리는가의 문제일지도 모른다.

### ▷ 인공지능 시대 직업의 의미

인공지능과 로봇 기술의 발전은 앞으로 10년 안에 국내 직업종사자 절반 이상의 일자리를 위협할 것으로 예측될 만큼 빠르게 진행되고 있다. 2000년대 이후 로봇의 단가는 매년 낮아지고 있고, 앞으로 로봇이 주요국의 생산 비용을 평균 16% 낮출 것이라는 전망도 있다. 노동시장에서 인간보다 기계지능인 로봇이 선호되는 이유는 비교적 분명하다. 로봇은 학습 속도와 양에

서 인간과 비교할 수 없을 정도로 앞서는데다, 죽지도 늙지도 않으며 교체나 업데이트 시 비용도 적게 들고 빠른 재학습이 가능하기 때문이다. 더욱이 임금인상이나 근로조건 개선을 요구하지도 않고 감정적인 알력을 겪을 필요도 없다.

인류는 빠르게 로봇의 시대를 맞이하게 될 것이다. 우리에게 필요한 프로그램을 만들고 사용하는 로봇에 우리 자신이 프로그램화 되어 그 일부가 되어버린 역설적 상황에 놓여있다고 볼 수도 있지만, 그렇다고 이러한 변화를 인류의 공포로 받아들이는 것은 다소 위험한 발상이다. 반대로, 어렵고 힘든 업무를 로봇과 인공지능이 대신하니 편리하다고 생각하는 것 또한 단순한 발상이다. 혁신일 수도 위협일 수도 있는 로봇의 세계를 이해하기 위해서 관심을 기울이고 노력할 필요가 있다.

로봇에게 위임할 수 있는 기능과 일들이 늘어난다는 것은 우리가 반복적이고 고된 업무로부터 해방되어 여유로워짐과 동시에, 로봇이 대체할 수 없는 사람만의 기능이 무엇인지 찾아내는 계기가 된다. 인간이 직업적 생존과 동시에 의미 있는 삶을 영위하기 위한 기본 요건도 변화하고 새롭게 정립할 것으로 기대한다.

### ▷ 인공지능 연구의 전망

특정 기능에서 인간을 넘어서는 로봇은 이미 등장했고, 사람의 생각을 표준화 한 인공지능을 가진 더 나은 로봇이 나올 수도 있을 것이다. 하지만 아무리 기술이 발달한다고 해도 돌발적이고 상황적인 인간의 특성으로 인해 발생하는 수많은 변수들을 실시간에 반응하고 실현할 수 있는 ‘로봇의 감정적 인간화’는 불가능하다. 이세돌이 알파고와의 대국에서 보여준 1승의 그 한 점이 좋은 예이다. 이는 과학기술이 한류(Korean wave)를 확산하게 할 수는 있어도 한류를 만들 수는 없는 것과 마찬가지로이다.

변함없이 안정적인 직업이란 개념이 사라지는 시대적 변화에 대비하여 개인적으로나 또는 국가적으로 충분한 자원과 여유를 갖추기란 어려운 일이다. 그러나 각 개인의 책임으로 남겨진다면 지금도 심각한 불균형이 더욱 심화되어 사회적 문제로 이어질 것이다. 따라서 과학 혁신과 정책, 프로세스를 촉진하는 관점에서든 윤리, 프라이버시, 안전과 관련한 문제를 다루어야 하며, 과학의 발전에 따른 인공지능의 혜택을 공정하게 확산할 수 있는 방안을 마련해야 한다.

과학발전에 대해 막연한 걱정이나 설부른 기대를 하기보다는 개인적, 사회적으로 현실에서 공존할 수 있고 해결이 가능한 부분을 고민하는 실질적 대응 방법도 필요하다. 보다 근본적으로는 과학을 바탕으로 또 다른 ‘지(intelligence)’를 위한 끊임없는 자각의 탐구에너지를 발휘하여 기계와 사람, 사람과 사회를 연결하는 새로운 틀에서 인간의 가치를 만들어내야 한다. 폭발적으로 증가하고 있는 인공지능 연구와 그 활용이 인간과의 공존에 긍정적인 영향을 미칠 수 있도록 인류의 생각하는 능력, 즉 호모 사피엔스(homo sapiens)의 사고의 힘을 사회적 역량으로 응집시켜 적극적 대응을 시작해야 할 것이다.

## 3. 과학기술과 경제 변화

### ▷ 미래의 직업 전망

경제는 돈의 원리에 관한 학문이고 경영학은 돈을 버는 학문이다. 과학기술은 대상을 추론하고 검증하여 정형화한 성과를 창조하고 제품화하여 경제와 경영으로 연결되고 진화해나간다. 18세 이후 경제발전에서 과학기술이 성장의 동력이 되었다. 그러나 과학기술이 소수의 부를 증식하는 수단으로 존재해서는 당위성을 잃게 된다. 과학은 인간을 배제하고 존재할 수 없기에 과학기술은 다수의 미래에 대한 희망이 되어야 한다. 이는 경제와 경영, 과학기술이 함께 가치사슬(value chain)을 만들어가야 하는 이유이다. 이러한 과정에서 과학과 시장이 함께 이루어지는 시대를 반영한 새로운 접근으로서 과학기술을 경제·경영과 접목한 기술경제경영학이 등장하여 발전하였다.

경제의 효율성과 과학의 효과성은 조화롭다. 수량화 할 수 없는 많은 요소가 경제에 영향을 미친다. 수많은 요소들 중 정보비대칭의 해결과 합리적 의사결정은 인문학적 경제논리이지만 뇌과학과 결합하면 인간의 행동과 감정을 패턴화하여 그 반응을 소비와 연결할 수 있다. 이는 경제와 과학의 절묘한 만남이다. 또한 과학기술과 문화가 만났을 때 새로운 가치를 창출하고 창의적 제품을 낳는다. 애플은 그 좋은 사례이다.

과학과 기술의 발전은 일자리의 양과 지형도도 변화시켜왔다. 증기기관이 이끈 1차 산업혁명부터 시작하여 기계화가 이끈 2차 산업혁명, 컴퓨터와 인터넷이 이끈 3차 산업혁명이 진행되는 동안 기계는 직업 세계에서 인간의 역할을 대체해 온 것이 사실이지만, 기술의 변화에 따라 새로운 많은 직업들도 끊임없이 생겨나고 있다.

특히 2010년 이후 언급되고 있는 소위 4차 산업혁명시대에는 직업변화의 폭과 내용이 더욱 커지고 다양해질 수도 있을 것이다. 4차 산업혁명은 2016년 1월 스위스에서 개최된 제 46회 다보스포럼의 주제로 채택된 이후 최근 국내외적으로 관심이 확대되고 있다. 이 포럼이 주목을 받게 된 이유는 『일자리 미래보고서』에서 고용이 감소할 것이라고 경고하였기 때문이다. 보고서에 따르면 2015-2020년 기간에 새 일자리는 2백만 개 증가하는 반면 7.1백만 개의 일자리가 감소하여 전체적으로 5.1백만 개의 일자리가 감소할 것으로 전망하였다.

4차 산업혁명은 빅데이터, 클라우드, 인공지능 등에 의해 자동화와 연결성이 초극대화 되며, 기술, 인간, 사회, 나아가 현실세계와 가상세계의 연결과 융합이 기하급수적으로 확대되면서 ‘초연결성’ 사회가 되는 것이다. 이렇게 되면 인간의 욕구가 물질에서 정신으로 이동하게 되고 결국 놀이와 문화가 최대의 산업으로 부상하게 되면서 새로운 직업이 생겨나게 된다. 2015년도 『한국직업사전(The Future of Jobs)』에 등장한 빅데이터 전문가, 스마트헬스케어 기기 및 서비스 개발자, 3D프린터 개발자, 홀로그램전문가 등은 이전에는 존재하지 않았던 새로운 직업들이다.

그럼에도 불구하고 로봇과 인공지능, 사물인터넷 등이 주도하는 4차 산업혁명 시대에는 상대적으로 안전하리라 여겨졌던 지식기반 업무 역시 컴퓨터 알고리즘과 소프트웨어에 의해 대체될 것으로 전망된다. 3차 산업인 서비스업 중에 기자, 회계사, 변호사, 의사, 약사 등과 같이 부가가치와 전문성이 높은 영역마저 기계와의 경쟁에 직면할 수도 있다. 이것은 기계에게 일자리 하나를 빼앗기는 것으로 끝나는 것이 아니라 경쟁 상황과 시장조건이 근본적으로 달라진다는 의미이다. 단순히 재교육을 받아 업무 능력을 업그레이드 한다면 새로운 기술과 서비스 방법을 습득하는 것으로는 해결하기가 어려운 문제이다. 다시 한 번 거대한 경제 변화의 시대가 도래할 수도 있을 것이다.

### ▷ 과학기술의 발전과 공유경제

공유경제(sharing economy)란, 한번 생산된 제품이나 서비스를 소유 독점하는 것이 아니라 필요에 따라 서로 공유해서 사용하는 협력 소비 경제활동을 말한다. 이는 4차 산업혁명의 상징인 자동화와 연결성이 극대화된 새로운 개념으로 대량생산체제의 소유 개념과 대비된다. 매일 수 억 명의 이용자가 스마트폰을 이용해 접속하는 SNS와 같은 인터넷 플랫폼은 사람과 자산, 그리고 데이터를 한데 모아 재화와 서비스를 소비하고 제작하는 방식을 완전히 바꿔놓았다. 소비자와 공급자가 모바일을 통해 자신의 유희자원을 인터넷 플랫폼에서 손쉽게 공유한다. 이러한 플랫폼은 비즈니스 환경을 변화시켜, 개인과 기업 간의 장벽을 낮추고 고른 부의 창출을 유도한다. 특정한 사람들이 아닌 일반인 누구라도 스스로의 능력을 선보일 수 있는 미디어에 접근하기가 용이해진 것이다.

인터넷과 SNS 등의 서비스를 중심으로 하는 IT기술의 발전은 개인 대 개인의 거래를 편리하게 만들어 공유경제의 활성화를 가능하게 하였다. 또한 디지털 플랫폼은 개인이나 조직이 자산을 활용해 거래를 할 때 발생하던 비용을 대폭 감소시켰다. 이제 개인과 기업은 인터넷의 힘을 이용해 협력을 촉진하고 있으며, 기민한 개인은 이미 1인 기업으로 경제에 참여하고 있다. 모바일과 인터넷 발달에 힘입어 개인 모두가 참여하는 경제민주주의에 한 발씩 다가가고 있는 것이다. 공유경제는 더욱 활성화될 것이고, 여기서 그치지 않고 새로운 기술과 함께 또다시 새로운 경제 패러다임이 등장할 것이다. 경제활동이 과학기술에 기반을 두고 현재의 변화를 이끌고 있다. 글로벌 경제 위기 상황에서 위기를 극복하고 미래의 성장 동력을 창출하기 위해 모두가 관심을 가져야 할 것이 바로 과학기술기반 공유경제인 것이다.

이미 시작된 4차 산업혁명의 물결 속에서 개개인은 경제 주체이고, 인터넷은 플랫폼이며, 주변의 유희자원은 공유할 때 더 큰 가치가 되는 경제적 자산화가 되고 있다. 이러한 변화를 받아들이는 우리의 자세는 좀 더 유연해질 필요가 있다. 낡은 기준으로 현재를 판단하려다 보면 시대착오라는 오류로 이어지게 된다. 이미 낡은 고성장시스템의 정치, 법률, 행정 등의 제도는 현재의 경제시스템에 영향을 미치지 못한다. 스마트사회, 공유경제, 수요자중심 경제, 맞춤형 경제, 혼밥·혼여·혼술 등 1인 경제, 신뢰경제, 플랫폼경제 등은 과학기술 없이는 상상할 수 없는 변화이다. 존속적 혁신이라는 기존의 틀이 아니라 과학기술과 경제가 함께 하여 파괴적 혁신과 와해성 경영이 사회전반에 일어날 때 다시 한 번 과학기술이 경제의 패러다임을 바꾸고 경제력이 과학기술력을 퀀텀점프(quantum jump)하게 할 것이다.

## 4. 과학기술과 사회 변화

### ▷ 과학기술시대의 기회와 도전

우리의 일상은 이제 기계와 떼려야 뗄 수 없는 관계에 있다. 기계음에 따라 일어나고 기계에 둘러싸인 채 하루 종일 일을 하고 기계에 의지해 먹고 마시고 운동하고 보일러와 에어컨으로 조절된 아파트에서 잠이 든다. 현대인은 과학기술의 풍요 속에 가장 인간적인 과학, 가장 경험적인 기술, 가장 과학적인 사회에서 살고 있다. 기계와 대화할 수 있는 이 시대에 컴퓨터가 할

수 있는 영역에서 인간이 기계의 기능적 능력과 속도, 정확성을 따라 잡는 것은 불가능하게 여겨진다. 과학기술의 발전은 인간의 판단보다 기계의 결정을 더욱 신뢰하는 세상을 열고 있다. 그러나 과학기술은 결국 인간을 위한 학문이다. 어려움과 극복의 과정이 인류문화의 역사이고, 도전이 없었다면 진화도 없었을 것이다. 과학 발전의 동력은 바로 인류의 인식 확장이었다. 이것이 기계완전주의 시대에서도 인간이 중심인 이유이다. 인간은 자신만의 세상에 갇히지 않도록 함으로써 타인과 세계에 대한 이해의 폭을 넓히고 차이를 만들어간다.

불과 30년 전 우리는 운전자가 있는 엘리베이터를 타고 조수가 있는 버스를 이용했다. 새로운 것을 발견하는 혁신과 새롭게 하는 진화가 함께 하고 있다. 영국이 만든 최초의 증기자동차는 적기조례(Red Flag Act)<sup>5)</sup>의 틀에 갇혀 혁신하지 못하였으나 헨리 포드(H. Ford)는 모델T를 출시하여 이동과 연결에 대변혁을 만들어냈다. 아이폰은 소통의 기기를 넘어 하나의 소통 문화로 인식되고 있다. 이렇듯 오늘날에는 과거 영화에서나 보던 상상의 세상이 하나하나 현실이 되고 있다. 지구가 직면한 에너지와 환경보존, 우주 탐험, 빈곤 등의 과제를 해결할 지구개발, 교육, 생명공학 등에 수여하는 X Prize라는 상까지 만들어 세상의 변화를 더욱 촉진하고 있다. 머지않아 무인자동차가 본격화되어 인간이 운전하는 것이 더 위험해질 수도 있고 X Prize가 노벨상의 명성을 능가할 수도 있을 것이다.

해마다 반복적으로 나오는 이야기가 하나 있다. 정치인은 물론 경제, 사회, 인문, 문화, 예술 등등 각 분야는 물론이고 지역, 국가 나아가 글로벌 차원에서도 강조되고 있는 그 말의 핵심은 ‘위기’ 라는 것이고 해법은 ‘기회’ 라는 것이다. 로봇이 노동을 대체하고 인공지능이 판단을 대체하고 지식은 공유되어 교육을 대체하고 우리의 기억은 저장기가 대체해간다. 기술은 넘쳐나는데 일자리는 없다. 노동력은 고령화 되어가고 저성장이 자리를 잡고 있다. 이것은 엄청난 위기이자 급속한 위기이다. 전기가 상용화되는데 70년이 걸렸던 데 비해 이 위기의 다가오는 속도는 엄청나서 지금의 IT제품주기는 1년을 넘기지 못한다. 70억 인구가 필요한 것보다 더 많은 식량을 생산하는데도 사망원인 중 상당 부분이 기아라는 것은 인류의 아이러니이다. 풍요 속의 빈곤을 해결해야 하는 위기를 융합과 연결이라는 변화를 통하여 기회로 만들어야 하는 것이다.

### ▶ 빅데이터와 사회 변혁

빅데이터(big data)란 수치 데이터뿐 아니라 문자와 영상 데이터를 포함하는, 과거 아날로그 환경에서 생성되던 데이터에 비해 방대한 규모를 가진 대규모 데이터를 뜻한다. 디지털 과학이 발전하면서 가늠할 수 없을 정도로 많은 정보와 데이터가 생산되는 환경이 도래하여 급속히 학문 간의 벽과 지식의 격차를 허물고 능력을 평준화하고 있다. 우리는 500년의 역사도 그 자리에서 분석할 정도로 기계적 이점이 최적화된 개방형연결정보(Linked Open Data; LOD)의 사회에서 살고 있다. 정보재난으로 표현될 만큼 넘치는 데이터와 이를 이용한 상업화가 새로운 산업으로 등장하여 데이터가 만사형통인 것으로 간주되고 있다. 데이터는 분석을 통하여 새로운 정보를 주지만, 주어진 정보를 새롭게 하고 해석하는 것은 경제, 인문, 사회, 문학, 그리고 역사학적 깊이를 가진 고찰이 함께 할 때 비로소 분석을 넘어 통찰이 되고 가치가 될 수 있다.

5) 영국에서 19세기 중반에 제정된 도로교통 관련법으로 정식 명칭은 ‘The Locomotive Act’(1865년)이다. 자동차를 포함하여 도로를 주행하는 운송기관의 최고속도는 교외에서는 시속 4마일, 시내에서는 시속 2마일로 제한되었다. 이후 속도 제한은 점차 완화되었으며, ‘The Locomotives Highways Acts’(1896년)를 통해 자동차의 실용화를 예고하는 영국 자동차 산업 관련 입법화가 이루어졌다.



순간적 가치이지만 인간의 정보를 통한 현상 인지능력은 무한히 확장된다. 한류의 초석이 된 TV드라마 ‘대장금’은 조선왕조실록이 디지털 데이터화되어 그 성과로 만들어진 좋은 예이다.

인간의 기억은 기계를 매개로 기록되어 왔다. 이 기록은 문자에서 이미지로, 이미지에서 디지털, 즉 0과1로 변화해왔다. 이제 인류의 역사는 기록의 역사에서 나아가 모든 것이 저장되는 남김의 역사로 변해가고 있다. 패러다임이 바뀌었다. 역사의 주기가 물질혁신의 쇠퇴기에서 연결혁신의 도입기로 가고 있다. 인류문화는 이제 더 이상 천재가 만들고 대중이 환호하는 것이 아니고, 대중이 만들고 천재가 새롭게 하는 것이다. 과학기술에서도 시민과학에 대한 관심이 커지고 실험에도 리빙랩(Living Lab)이 강조되고 있다. 이제 누구라도 바라보는 것을 넘어 스스로 자신의 방에서 창조와 혁신에 동참할 수 있고 그 성과를 누릴 수 있다. 인간의 생각이 철학과 예술을 만들고 철학과 예술에 대한 성찰이 과학으로 발전하고 인문학과 경제학이 분화되어 학제가 되었다. 그러나 과학의 발전은 연결성을 극대화하고 이 모든 것을 다시 하나하나 융합하고 결합하여 우리 인간에게로 다가오게 하고 있다.

우리는 과학과 과학, 기술과 기술만이 아니라 모든 영역이 함께하는 융합의 시대에 살고 있다. 과학의 발전으로 전통적인 ‘사람답다’고 하는 정의가 재정립되고 가치가 바뀔으로써 우리는 지금까지 상상하지 못했던 변화를 맞이하고 있는 것이다. 과학기술은 전문가들의 것이지만 과학기술의 혜택은 모두를 지향한다. 과학기술은 누구나 할 수 있는 것이 아니지만 누구나 과학기술적으로 능력을 발휘할 수 있다. 빅데이터와 만물인터넷(Internet of Everything; IoE)이 이를 가능하게 하고 융합의 가치가 인간의 새로운 모험과 의지를 실험하고 사회를 변혁할 수 있다.

### ▶ 과학의 발전과 인문학적 통찰

사람은 감정의 동물이다. 인간의 감정 연구는 심리학이라는 학문으로 체계화되어 이어져 왔다. 심리학은 인간의 본성과 마음, 그리고 욕망과 사랑 등 눈에 보이지 않은 것을 과학적으로 연구하는 학문이다. 이제까지 심리학은 과학 보다는 인문학으로 머물러 있다고 보는 것이 일반적이었지만, 최근 과학기술의 발달로 유전자 등 과학기술적 용어로 기존의 심리학 용어를 대체해 나가는 경향이 나타나고 있다. 생각의 합리화란 어떤 법칙에 의해 설명할 수 있을 때 과학기술적인 것이고, 이러한 법칙은 과학기술에 기반을 두어야 한다는 것을 전제로 한다.

뇌과학 또는 인지과학의 발전으로 기계와 인간의 상호연결성이 높아지고 있다. 그럼에도 불구하고 과학의 발전은 인문학적 통찰과 밀접하게 연관되어 있다. 뉴로컴퓨팅을 통해 마인드 업로딩과 다운로드가 개발되고 있지만 인간의 행동의사결정은 기계적 집합에서 찾는 것이 아니라, 사고 자체를 연구하는 과정에서 찾아져야 한다. 고전에 대한 이해나 인문학적 상상력과 같은 자양분이 중요한 이유가 여기에 있다. 노벨상 수상자들의 모임인 독일의 린다우 회의 행사에서 보여주는 사이언스 스케치에서는 고전 이야기가 많이 거론된다. 고전을 읽다가 과학적으로 새로운 아이디어를 얻는다는 것이다. 합리성을 기반으로 한 과학기술에 대한 연구개발에서 비합리적인 감정과 감성을 접목했을 때 더 큰 가치를 만들어 갈 수 있다. 파킨슨병을 앓는 환자의 손떨림을 보정하는 손가락 개발 등은 과학만으로 이루어지는 것이 아닌 것과 마찬가지로

유전자, 뇌과학 등과 같은 생명과학의 발전으로 인간에 대한 지식과 이해를 심화하더라도, 과학기술이 인간을 완전히 해석하고 규범화하지는 못한다. 인간은 관계 속에서 사고하고 행동



하므로, 이로 인해 나타날 수 있는 판단과 행동의 조합은 무수히 많기 때문이다. 같은 이유로 과학기술이 아무리 인류에 많은 기여를 하더라도 도덕적·윤리적 문제에 대해 우리의 행동이 옳은지 여부는 알려줄 수 없다.

### ▷ 과학기반사회 시대의 인간

인류가 지구에 등장한 역사가 200만년이라면 그 중 문명이 기원한 것은 5천년에 지나지 않는다. 식량을 채집하며 유목하던 구석기에서 농업기반의 정착생활을 하는 신석기로의 이행에는 아주 오랜 시간이 걸렸다. 솥씨를 가진 식량 생산자로서의 인류가 등장함에 따라 신석기 혁명이 일어나고, 불을 조작하는 기술을 이용하여 인공적으로 돌을 활용할 수 있게 되면서 거석문화가 이 시기에 발전하였다. 이후 관개기술과 고밀도 농업의 발달을 기반으로 메소포타미아, 이집트, 인더스, 황허 등을 중심으로 인류의 문명이 등장하였다. 이러한 농업문명의 시기에 유럽은 문명의 변방이었다. 그러나 혁신적 농업혁명이 일어나 식량의 잉여가 발생하면서 농업을 위한 관찰로서의 학문인 천문학이 코페르니쿠스를 전환점으로 하여 과학혁명에 불을 지폈고, 구텐베르크의 인쇄술 발명으로 말미암아 소통의 혁명까지 일어나게 되었다. 이를 발판으로 르네상스로 거듭 발전하고 이러한 과학혁명은 근대과학의 중심이 유럽이 되는 계기가 되었고 산업혁명에까지 영향을 미치고, 과학기술의 발전을 가속화했다.

인류의 역사가 이어져오는 동안 구석기, 신석기, 청동기, 철기 등의 도구 발달을 기준으로 전개된 혁신의 단절적 구간과 산업혁명이라는 대전환기에도 새로운 과학과 기술의 도입은 이전 시대의 삶에 익숙한 인류에게는 매우 중요한 위기로 받아들여졌으나, 인류는 이를 슬기롭게 극복하여 지금에 이르렀다. 과학기술이 사회문제 해결의 고리이고 경제의 경쟁력이며 정치에 영향력을 미치는 국가의 동력이 되었다. 멜더스(T. Malthus)의 인구론은 과학의 발전으로 그 당위성을 잃게 된다. 앞으로 당분간은 이러한 과학기술중심사회는 변하지 않을 것이며 과학의 대중성과 다학제성은 더욱 확대될 것이다. 과학이 대중의 호응에 민감해지는 이유가 바로 여기에 있다. 우리는 이제 자의반 타의반으로 ‘과학기반사회’ 시대를 살아가야 한다. 이러한 변화가 미래의 인류에 축복이 될지 재앙이 될지는 알 수 없으나, 이것을 위기로 생각한다면 어떻게 기회로 만들 수 있는 것인가를 깊이 고민하고 함께 풀어나가야 한다는 것만은 확실하다.

인간은 진화의 과정을 통하여 문자발견으로 지식을 전달하고 확산하였다. 과학기술을 통하여 객관적 경험과 사실을 정형화하여 사회를 발전시켜 왔다. 지금까지 인간은 도구를 만들고 사용하는 존재, 즉, 호모 파베르(homo faber)였다. 이제 인류는 인터넷을 만들어내고 가상공간을 통하여 연결함으로써 눈에 보이지 않는 것까지 도구로 사용하게 되었다. 초연결성은 그동안의 정보 불평등 장벽을 마법처럼 제거해 나가고 있다. 과거의 인류가 부족이라는 결핍 속에서 생존을 위해 필사적으로 창의적 문제해결 방법을 집단적으로 탐색했다면, 초연결, 초집적, 초고속의 스마트사회에서 인공지능을 바탕으로 한 엄청난 지식융합과 결합의 힘은 개개인이 미래를 스스로 계획하는 주체이자 주인공이 될 수 있게 한다. 인류의 긴 역사는 존재와 경험의 가치를 논리적이고 사실적으로 설득하고 증명하면서 오늘에 이르렀다. 이제 과거의 존재방식을 바꾸려면 경험을 바꾸어야 한다. 과학기술이 사회변화를 담고 사회변화가 과학기술을 촉진하여 과학과 사회가 함께 가치혁신을 확장하여야 할 것이다.

## <8범주> Ⅷ. 과학과 기술

Key words: 기술, 기술의 특징, 과학과 기술의 관계, 과학기술과 사회

### 도입:

과학이 발전하면 무엇이 좋은가? 과학이 발전하면 지구촌을 더 빨리 이동하거나, 인간의 수명이 더 늘어나는 등 과학이 발전한 사회는 더 편안하고 풍요로운 사회가 될 것이라고 상상한다. 하지만, 가만히 생각해 보면 이런 상상은 대부분 기술 발전에 관한 것이다. 이처럼 우리는 과학 발전의 필요와 의미를 기술 발전에서 찾는 데 익숙하다. 과학의 발전과 기술의 발전을 동일시하는 이런 태도는 과학기술이라는 표현에서도 찾아볼 수 있다.

이 장에서 우리는 과학과 기술의 관계를 살펴볼 것이다. 둘의 관계를 보기 위해, 기술이 무엇인가에 대한 탐색부터 시작한다. 기술의 목적과 방법, 기술 지식이 갖는 특징을 통해 기술에 대한 관념을 명확하게 하고, 나아가 과학과 대비를 통해 기술에 대한 이해를 추구함으로써 과학과 기술 사이의 선을 긋는 작업도 동시에 진행한다. 이렇게 과학과 기술을 구분한 후, 과학과 기술의 현대적 관계를 규명하고 과학과 기술의 관계에 대한 통념을 반성적으로 고찰한다. 과학과 기술의 현대적 관계에 대한 이해와 통념에 대한 반성의 연장선 위에서 2050년 과학과 기술의 관계에 대해 전망한다.

과학과 기술, 사회의 관계도 이 장에서 다룰 중요한 부분이다. 과학과 기술이 우리 사회에서 가지는 의미와 가치를 살펴보고, 사회와의 관계 속에서 2050년 과학기술 연구의 변화 방향에 대해 전망하고자 한다.

# 1. 과학과 기술의 관계

## ▷ 기술의 목적

과학과 기술의 관계를 살펴보기 위한 선행 작업으로 기술이 무엇인가에 대해서부터 생각해 본다. 기술의 특징을 이해하기 쉽도록 과학에 견주어 기술의 특징을 규명해 본다.

기술은 주어진 환경의 제약 속에서 최고의 효율을 내는 것을 목표로 한다. 여기서 환경의 제약이라는 조건을 눈여겨보아야 한다. 기술에서는 최고의 효율을 내는 인공물을 만들거나 기술적 절차를 고안해 내는 것을 목표로 삼지만, 그 목표는 항상 현실과의 타협 속에서 이루어진다. 재료가 가지는 한계 또는 재료의 특성이 그 첫 번째 환경적 제약이다. 전기의 전파를 예로 들어보자. 전기가 공기나 다른 매질을 통해 전파될 때는 그 매질의 특성에 따라 전기 에너지의 손실이 일어나게 된다. 그와 같은 현실적 제약을 고려해야 하는 것이 기술의 중요한 특징이다.

과학의 목표와 비교해 보면 환경의 제약을 고려해야 하는 기술의 특징은 더욱 두드러지게 나타난다. 과학은 자연의 참모습을 이해하고 설명하는 것을 목표로 한다. 자연의 참모습은 과학적 진리라고 할 수 있는데, 과학적 진리는 항상 옳은 것이어야 한다. 언제 어디서나 옳은 과학적 진리를 만들 때는 환경의 제약이나 현실의 한계를 고려하지 않는다. 그런 것을 고려하면 언제나 옳은 보편적 진리가 될 수 없기 때문이다. 이렇게 언제나 항상 옳은 보편적 진리를 찾기 위해 과학에서는 현실적 제약을 초월하는 비현실적인 상황을 상정한다. 예를들어, 물리학의 운동 법칙을 찾을 때 물리적 마찰이 없는 상황과 같은, 현실에서는 거의 경험하기 힘든 환경을 상정하는 것이다.

기술이 만나는 현실적 제약에는 경제적인 요소도 포함된다. 최고의 효율 속에는 경제적 효율에 대한 고려도 포함되어 있다. 한 마디로, 아무리 좋은 기술일지라도 생산 비용이 크면 상용화하기 어렵다. 경제성까지 고려한다는 점에서 기술은 가치를 내포한다. 경제성은 물질적 요소뿐만 아니라 사회적, 문화적, 정치적 요소의 영향이 복합적으로 작용하여 결정된다. 그러므로 기술에도 이런 가치들이 포함되어 있다고 할 수 있다.

이 점에 있어서 과학은 기술과 다르다. 과학은 보편적 진리성을 확보하기 위해 현실을 초월한 이상적 물리 세계를 상정한다. 비현실적이고 이상적인 물리적 세계는 가치를 담을 자리가 없다. 따라서 과학적 진리는 가치중립성을 표방한다.

## ▷ 기술의 방법

기술은 설계, 발명, 생산을 통해 발전한다. 이 과정에서 모형 만들기와 실험을 주된 탐구 방법으로 채택한다. 기술에서의 모형은 현실을 최대한 가깝게 모방하는 것을 목표로 삼는다. 현실을 모방하되, 실험실이라는 제한된 공간에 맞춰 모형의 규모는 축소한다. 이런 모형을 스케일 모형이라고 한다. 기술에서 스케일 모형은 실제 환경 하에서 기술적 인공물이 어떻게 작동하는지를 관측하고 예상치 못했던 변수들을 찾아내기 위한 용도로 사용한다. 그런 점에서 기술에서의 스케일 모형은 실제 환경을 최대한 모방하는 데 주안점을 둔다. 기술에서의 실험의 사용도 이와 비슷한 목적을 갖는다. 기술에서의 실험은 다양한 변수에 따라 나타나는 기술적 인공물이나 기술적 절차에서의 변화를 관찰하기 위해 사용한다. 즉, 모형이나 실험 모두 기술적 인공물이 작동하는 환경의 복잡성을 이해하기 위한 용도로 이용하는 것이다.

기술의 방법으로서 모형 만들기와 실험이 갖는 특성은 과학에서의 모형과 실험이 하는 역할

과 비교해보면 더욱 두드러지게 나타난다. 기술처럼 과학도 자연을 탐구하는 방법으로 모형만 들기와 실험을 활용한다. 과학에서의 모형은 자연 현상을 가설로 설명하고 예측하기 위한 이론적 모델이다. 이를 위해 과학에서 모형을 만들 때는 설명과 예측을 효과적으로 하기 위해 자연의 복잡성을 단순화시킨다. 자연에 대한 보편적 진리를 찾기 위해 비현실적인 조건을 상정하는 것과 일맥상통하는 부분이다. 도선에서 자유 전자의 흐름을 예로 들어보자. 도선의 자유 전자가 흐르는 모형으로 긴 파이프에 (-)전하를 띤 자유전자 알갱이들이 같은 방향으로 움직이는 그림을 종종 보게 된다. 이 모형은 자유 전자를 쉽게 설명하기 위해 여러 특징을 생략한 것이다. 예를 들어, 실제로 도선 속 자유전자들이 모두 같은 방향으로 움직이는 것이 아니지만, 이 모형에서는 (-)극에서 (+)극으로 움직이는 알갱이만 나타난다. 도선이 속이 텅 빈 파이프와 같다는 것도 사실과는 맞지 않는 부분이다. 도선을 구성하는 금속원자들은 결합되어 있고, 실제 도선이라면 불순물에 해당하는 입자들도 존재하고 있다. 하지만, 자연의 실제에 가깝게 한다고 이런 것들을 모두 모형에 담는다면, 과학적 모형은 그 존재 이유인 단순화를 통한 설명과 예측을 포기해야만 한다.

과학에서의 실험도 기술에서의 실험과는 용도가 다르다. 과학에서는 이론을 입증할 용도로 실험을 사용한다. 이런 방법론적인 차이에서 과학은 현상과 환경의 단순화를 통해 정확한 데이터를 얻고 이를 기반으로 올바른 결론을 얻는 것을 목표로 삼는다. 그 반면에 기술은 현상의 복잡성으로 인해 정확한 데이터를 얻는 것이 거의 불가능에 가까우며, 그 복잡한 변수들을 모두 포함시키는 모델링도 사실상 불가능하다. 이로 인해 기술에서는 불완전한 데이터와 근사 모델을 결합하여 최선의 결정을 내리는 것을 추구한다. 한마디로, 과학은 불완전성과 부정확성을 용납하지 않지만, 기술은 그것을 불가피한 것으로 보고, 불완전하고 부정확한 세계 속에서 최선의 선택과 최고의 효율을 추구하고자 한다.

### ▷ 기술의 지식

기술의 지식은 암묵적이고 개별적인 성격이 강하다. 암묵적 지식이란 말이나 글로 표현하기 쉽지 않은 지식을 의미한다. 예를 들어, 자전거 타는 방법을 예로 들어보자. 자전거 타는 법을 글로 적거나 말로만 설명한다면, 그것만 보고 자전거 타는 법을 배우기는 어렵다. 자전거 타는 법을 배울 때 몇 번 타보면 안다든지, 서너 번만 넘어지면 금세 배울 수 있다 등의 말은 암묵적 지식의 존재를 암시한다. 자전거를 타기 위해서는 언어로 표현되는 지식 이상의 것이 필요하며, 그 지식은 머리가 아니라 몸으로 체득된다.

기술의 지식들은 이런 암묵지의 형태로 존재하는 경우가 많다. 기술적 인공물을 만들고 절차를 마련해가는 과정에 실제 몸을 움직여 얻어야 하는 지식들이 많다는 것이 그 이유 중 하나지만, 기술적 지식들이 개별 사례별로 발달해왔다는 점에서도 그 이유를 찾을 수 있다. 기술의 지식은 기술이 적용되는 조건과 환경이 달라지면 그 기술을 적용하는 방식도 달라지는 경우가 많기 때문에, 그 개별 조건과 환경에 따른 개별 지식이 중요하다. 개별 지식별로 정리하는 것이 효율적이지도 않고 지식의 전달 효과도 떨어지기 때문에 이런 지식들을 명백한 형태의 지식으로 정리해야 할 필요성이 상대적으로 낮았던 것이다. 기술의 전수에서 강의실이 아닌 작업장(workshop)이 강조되고 책이 아닌 도제식 교육이 강조되는 것은 바로 기술 지식이 지니는 이런 특징에서 비롯된 것으로 볼 수 있다.

암묵적 지식은 과학에서도 중요하다. 실험실에서 실험 기구를 능숙하게 다루는 지식들 중 상

당 부분은 암묵적 지식의 형태인 경우가 많다. 수학적 지식과 같은 수학 도구들처럼 그 의미가 분명해 보이는 이론적 지식조차도 온전히 이해하려면 암묵적인 형태의 지식까지 포함해야 한다. 하지만, 과학의 지식은 보편성을 추구하는 특성상 기술에 비해 암묵적 지식의 비중이 낮다.

기술의 지식이 갖는 또 다른 특성으로 기술의 지식은 어떤 일을 수행하는 데 필요한 절차를 요약한 절차적 지식의 성격을 띤다는 점을 들 수 있다. 이는 과학의 지식은 명제적 형태의 지식인 것과 대비되는 특징이다. 설계도나 조립도는 기술의 절차적 지식을 시각적인 형태로 요약한 것이라고 할 수 있다.

### ▷ 과학과 기술에 대한 관계

기술과 과학은 겉보기에 매우 비슷해 보이지만, 앞서 살펴본 것처럼 그 목적, 방법, 지식의 특성 등 세부적인 사항을 따져보면 그 목적이 근본적으로 다르고 방법과 지식의 특성도 구분되는 활동임을 알 수 있다.

과학과 기술의 이런 관계를 ‘쌍둥이 거울 이미지(twin mirror image)’에 비유할 수 있다. 과학과 기술은 서로 거울에 비친 쌍둥이처럼 비슷한 모습을 가지고 있다. 하지만, 거울에 비친 모습을 자세히 살펴보면 거울에 비친 상의 좌우가 바뀌어 보이듯이, 과학과 기술도 상반되는 특징을 가지고 있다. 과학이 앎을 추구하는 반면, 기술은 실행을 추구한다는 점이 이런 상반된 특징의 하나에 해당한다. 과학에서는 추상화, 일반화, 이론화가 중요한 반면, 기술에서는 기구와 지식의 응용을 중시한다는 점도 또 다른 상반된 모습이라 할 수 있다.

### ▷ 과학과 기술에 대한 통념들

이처럼 기술과 과학이 목적, 방법, 지식의 형태에서 차이가 남에도 불구하고, 과학기술이라는 말에서 볼 수 있듯이 기술과 과학을 동일시하거나, 또는 동일시까지는 아니더라도 과학과 기술이 서로 밀접하게 연결되어 있다는 생각이 널리 퍼져 있다. 이에 과학의 발전을 기술의 발전과 동일시하거나 인과관계처럼 보는 입장의 연원을 살펴봄으로써 그 입장이 무엇을 대변하고 있는지를 살펴본다.

과학이 발전하면 기술도 발전한다는 식으로 과학과 기술을 인과관계로 보는 입장 중 대표적인 것으로 생산라인(assembly line) 이론을 들 수 있다. 이 이론은 제2차 세계대전이 끝난 1945년 직후부터, 미국의 과학 정책가들을 중심으로 채택된 입장이다. 이에 따르면 과학과 기술의 관계는 생산라인의 시작과 끝처럼 연결되어 있다. 마치 생산라인의 시작에서 원자재를 투입하면 라인의 마지막에서 완제품이 생산되는 것처럼, 과학을 투입하면 그 결과로 기술이라는 완제품이 만들어진다.

이 이론은 제2차 세계대전 중에 이루어진 원자폭탄 개발을 통해 인상적으로 입증되었다. 응용성을 전혀 염두에 두지 않았던 핵분열 이론이 기술의 최정점에 있는 원자폭탄의 완성으로 이어진 사례는 생산라인 이론을 뒷받침하는 강력한 사례이다. 생산라인 이론에서는 기술을 응용과학으로 파악한다. 전자기술은 전자기학이, 철강기술은 재료과학이 응용된 사례에 해당한다. 이 입장에서는 열역학의 발전은 디젤 엔진의 발전을 이끌고, 고체물리학의 발전은 반도체 기술의 발전을 이끌며, 분자생물학의 발전은 유전공학을 이끌어 낸다고 본다.

생산라인 이론은 기술을 발전시키려면 기초과학을 우선 발전시켜야 한다는 주장으로 연결된다. 대표적으로 미국과학재단(National Science Foundation; NSF)의 설립 철학을 제공한 미국 과학



학 정책가 바네바 부시(Vannevar Bush)의 『과학, 끝없는 프론티어』가 이런 입장을 대표하고 있다. 제2차 세계대전 이후 세계 각국은 과학, 그중에서도 기초과학에 대해 강력한 정부 지원을 시작하였다. 과학과 기술을 인과관계처럼 보는 생산라인 식의 입장은 기초과학을 위해 기술을 동원했다고 볼 수 있다.

### ▷ 2050 과학과 기술의 관계

지금까지 살펴본 것에 따르면 기술과 과학은 거울에 비친 쌍둥이처럼 비슷해 보이지만 그럼에도 근본적인 차이를 갖고 있다. 둘 사이의 유사성으로 인해 과학이 발견하고 기술이 이를 응용한다는 식의 생산라인 이론이 등장하기도 하고 이것이 기초과학에 대한 강력한 정부 지원의 근거가 되기도 했지만, 과학과 기술은 그 유사성에도 불구하고 독자적인 영역을 차지하고 있다.

각자 독자적인 영역을 차지하고 있던 과학과 기술을 연결하는 접점은 19세기 말부터 폭발적으로 늘어나고 있다. 19세기 말의 화학공학, 전기공학이 가져온 제 2차 산업혁명은 과학과 기술이 만났을 때 나타나는 시너지 효과를 입증해주는 것처럼 보였다. 1970년대 이후 DNA 재조합 실험 이후 유전공학이 등장하고 1990년대 이후 나노과학이 나노기술로 이어지면서 과학과 기술, 그리고 연구와 상업화의 간격은 많이 사라졌다. 과학 연구를 통해 얻은 결과물은 개발 과정 없이 곧바로 특허 출원의 대상이 되고 있다. 이처럼 과학과 기술의 경계가 흐려짐에 따라 기술과학(technoscience)이라는 말까지 등장하고 있다.

과학과 기술의 경계가 흐려지는 추세는 장기적으로 계속될 것이다. 과학 연구의 대표 공간인 대학 연구의 상업화는 1980년대 이래로 지속되고 있고, 최근의 전세계적인 경기 악화는 이런 추세를 역전시킬만한 여지를 점점 줄이고 있다. 1950년대 이래 기초과학 지원을 정당화했던 냉전이라는 정치적 논리도 1990년대에 약화되었다 이런 상황에서 경기 악화는 과학 연구 지원에 대한 사회적 정당화 요구를 강화시킨다. 실제로 미국 기초과학 지원을 담당하는 미국과학재단(NSF)은 2002년부터 해당 연구의 사회적 영향력을 명시하지 않은 지원서는 연구의 우수성에 관계없이 평가 과정을 거치지 않고 반송하고 있다. 과학 연구에서 유용성을 강조하는 흐름이 지속됨에 따라 과학과 기술 간의 경계는 점점 더 흐려질 것으로 전망된다.

### ▷ 기술의 독자 영역

과학과 기술의 관계에 대한 논의에서 종종 놓치는 것이 있다. 과학과 기술에 대한 많은 논의들은 혁신 중심적인 관점에서 과학과 기술에 접근한다. 즉, 과학의 핵심은 새로운 발견에, 기술의 핵심은 새로운 발명에 있다는 생각이다. 혁신 중심적 관점에서는 일상에서 이루어지는 기술 활동의 상당수를 놓치게 된다. 기술 활동의 상당 부분이 인공물의 유지와 관리에 집중되어 있고 기술자 중에는 발명을 하는 기술자보다 유지 관리 활동을 하는 기술자들이 더 많다. 기술이 유지와 관리를 충실히 하고 있을 때, 우리는 기술이 작동하고 있다는 사실을 종종 잊는다.

혁신 중심적 관점은 최첨단 기술로 우리의 이목을 집중시킨다. 그로 인해 우리를 둘러싼 수많은 물건들이 기술의 산물이라는 것을 잊게 만들기도 한다. 책, 인쇄, 종이, 책상, 의자 등등의 물건은 오래된 기술의 산물이자 현재도 진화하고 있는 기술의 인공물이다. 혁신 중심적인 관점에서 벗어나 기술을 바라보면 과학과 연결되지 않은 기술의 영역을 볼 수 있다. 우리 주변을 둘러싼 대부분의 기술적 인공물은 과학 발견이나 과학의 진보 없이도 기술적 전통 안에서



독자적으로 발전해왔다. 이런 점을 고려하면 우리는 기술에 대해 다음과 같이 말할 수 있을 것이다. 장기적으로 보면 기술과 과학의 경계가 흐려질 것이지만, 그 흐려짐은 경계에 국한될 것이다. 과학과 구분되는 기술의 독자적 영역은 계속 유지될 것이다.

## 2. 사회 속의 과학과 기술

### ▶ 과학과 기술의 정신

오늘날 과학과 기술은 물질적 풍요나 경제 발전과 연결되어 있지만, 과학과 기술의 가치는 물질적인 것에서 멈추지 않는다. 과학과 기술은 우리 사회에서 합리성과 효율성을 상징한다.

과학은 근대적 합리성의 기반이다. 근대성 합리성이 형성되던 18세기 계몽주의 시대에 과학은 인간 이성을 계몽하는 도구이자, 토론을 통해 합의에 도달하는 이상적인 사회의 모델로서 합리성의 가치를 상징하게 되었다. 지난 세기 근대적 합리성에 대한 비판의 연장선상에서 과학이 비판받았던 이유가 바로 여기에 있다. 기술은 효율성을 상징하며, 기술은 절차의 체계화와 기계화를 통해 신속하고 정확하게 일을 처리한다.

과학과 기술의 교육 및 대중화는 과학과 기술의 지식을 전달하는 데에만 그 목적이 있는 것이 아니다. 지식을 전달함으로써 그 안에 담긴 합리성과 효율성의 정신을 전달하는 데 그 목적이 있다. 다른 분야와는 달리, 유독 과학기술 분야에 한해서만 정부가 대중화를 정책으로 채택하는 이유가 바로 여기에 있는 것이다.

### ▶ 사회문제 해결형 과학과 기술

과학과 기술을 한편에, 다른 한편에 사회를 놓았을 때 그 양쪽의 관계에 대해서는 그동안 다양한 논의가 이루어져 왔다. 19세기 과학이 전문화되는 과정을 거치면서 과학은 사회와 분리되어 있고 과학에는 과학의 발전을 이끌고 조절하는 자율성이 있다는 믿음이 확산되었으며 이 믿음은 최근까지 지속되고 있다. 기술은 경제적 요소의 영향을 많이 받기 때문에 과학에 비해 상대적으로 분리된 영역이라는 생각이 강하지 않았으나, 기술의 빠른 발전 속에서 기술이 스스로의 발전 방향을 결정하고, 심지어 사회의 발전 방향까지 결정한다는 생각이 확산되기도 했다.

과학과 기술이 사회로부터 분리된 독자성을 가진다는 주장은 과학과 기술이 경제 발전의 역할을 충실히 수행하는 동안에는 별다른 이의 제기를 받지 않았다. 그러나 20세기 후반 환경오염, 기후변화 등 과학기술로 인한 사회적 문제들이 대두됨에 따라 사회적 비판에 직면하였다. 독자성에 대한 주장, 사회적 영향에 대한 무관심이 과학기술의 부작용을 낳았다는 것이다.

21세기에는 과학기술과 사회의 연관성이 강조되고 있다. 과학기술과 사회의 관계를 대등한 수준에서 영향을 주고받는 관계로 보는 데에서 더 나아가, 과학과 기술을 사회 속에서 이루어지는 사회적 활동의 하나로 축소시키는 정도로까지 사회와의 연관성을 강화하는 흐름이 이어지고 있다. 이에 따라 21세기 과학과 기술에서는 사회에 책임지는 과학과 기술, 사회문제 해결을 위한 과학과 기술의 역할이 점점 더 커지고 있다. 그동안의 경제 발전과 산업 발전의 동력으로서의 과학기술의 역할을 넘어 국민의 삶의 질을 향상시킨다는 더욱 원대한 목표를 위해 과학기술이 필요해진 시기가 된 것이다. 고령화, 환경과 에너지 문제, 보건 및 의료 문제, 식품

문제 등이 중요한 사회문제로 대두됨에 따라 이를 해결해 줄 과학기술 연구개발의 역할이 더욱 중요해졌다.

사회문제 해결형 과학기술은 다음과 같은 몇 가지 특징을 지닌다. 첫째, 사회문제 해결형 과학기술 연구는 문제 해결형 융합을 통해 이루어진다. 환경, 에너지, 고령화, 식품 등의 사회문제는 과학기술의 특정 분야, 혹은 과학기술에만 국한된 문제가 아닌 복합적인 문제로서 과학기술만 가지고는 해결이 어렵다. 이에 따라 사회문제 해결형 과학기술 연구는 당면한 문제의 해결을 위해 인문학, 사회학 및 법·제도 등과 융합을 통해서만 문제를 온전히 해결할 수 있다. 둘째, 사회문제 해결형 과학기술에서는 수요자 위주의 연구개발이 이루어진다.

### ▷ 과학과 기술이 만드는 미래사회의 모습

과학기술이 만드는 미래사회의 모습은 과학기술 유토피아와 과학기술 디스토피아의 상반된 모습으로 그려진다. 과학기술 유토피아는 인간 삶과 사회를 개선하고 발전시키는 과학기술의 역할을 강조한다. 과학기술로 질병을 정복하고 인간 생명을 연장한 사회, 과학기술로 생산량을 증대하여 모두가 잘 먹고 잘사는 사회, 과학기술로 정보에 대한 접근이 평등해진 사회 등이 바로 과학기술 유토피아적 전망이 그려내는 사회이다. 일찍이 17세기 영국의 철학자 베이컨(F. Bacon)이 『새로운 아틀란티스』에서 현대적인 과학기술과 연구조직을 갖춘 과학기술 유토피아를 그려냈을 정도로 과학기술 유토피아의 역사는 길다.

과학기술 디스토피아적 세계관도 뿌리가 깊다. 과학기술 디스토피아는 과학기술의 본말이 전도되어 인간이 과학기술의 노예가 되고 과학기술이 자연을 파괴하며 환경오염과 인류 사회의 멸망까지 가져올 수 있다는 부정적인 전망을 담고 있다. 파우스트 전설이나 셸리(M. Shelley)의 『프랑켄슈타인』에서 신에 대한 도전이라는 종교적 의미를 담고 있던 과학기술 디스토피아적 세계관은 20세기 들어서 핵폭탄, 환경오염과 지구 온난화 등을 겪으면서 현실적인 공포로 자리 잡았다.

과학기술 유토피아나 디스토피아는 공상과학(SF) 소설이나 영화 속에 주로 등장하는 것 같지만, 과학기술 정책에서도 유용하게 사용되고 있다. 과학기술정책 기관들은 미래예측 보고서에서 유토피아적 상상력을 발휘하여 미래 유망 기술을 선정하고 그것이 바꾸는 미래사회를 예측한다. 디스토피아적 상상력은 기술영향평가에서 영향력을 발휘하여, 5-10년 정도의 가까운 미래에 첨단 기술이 낳을 수 있는 명과 암을 예측하는 데 종종 이용된다. 오늘날 과학기술정책 기관들에서는 유토피아적 혹은 디스토피아적 과학기술 세계관을 점성술사들처럼 미래를 예언하는 데 이용하는 것이 아니라, 미래를 만들어 간다는 능동적인 의미로 활용하고 있다.

## <9범주> IX. 2050 미래사회 속 과학의 응용

### 도입:

2050년 미래사회는 2017년 현재의 과학기술과 현재의 사회적 관심이 모여 만들어 나간다. 이에 미래사회의 거대한 흐름을 보여주는 메가트렌드에서 출발하여 미래에 등장하게 될 기술 변화의 방향을 개인, 사회, 세계의 순서로 짚어나갈 것이다.

개인 차원의 변화는 개인의 생존을 위한 의식주와 의료에 초점을 맞춘다. 사회 차원의 변화는 소통기술과 이동기술의 발전에 초점을 둔다. 세계 차원에서는 기후변화, 자원 부족 등과 같은 글로벌 위기에 대한 국제적 대응과 국내적 대응을 살펴본다.

## 1. 메가트렌드와 미래사회

### ▷ 인구감소와 초고령 사회로의 진입

2050년 세계 인구는 90억 명이 넘을 것으로 추산되지만 우리나라의 인구는 현재보다 더 감소할 것으로 전망하고 있다. 2016년 현재 우리나라는 인구는 5,000만 명이 넘는 데 반해, 2050년에는 인구가 오히려 감소할 것으로 예측된다. 낮은 출산율과 기대 수명 증가에 따라 2020년대 중반이 되면 65세 이상 노인 인구의 비중이 상당히 높아져 초고령 사회로 진입하게 될 것이다. 이에 따라 생산인구는 감소하고 노인 부양 비율은 급증할 것으로 전망된다.

### ▷ 기후변화

산업혁명 이후 지구의 평균 기온은 증가해왔다. 현재의 상태를 유지한다면 그 증가폭은 과거보다 미래에 더 커질 것으로 예측된다. 우리나라의 변화 폭은 더 커서 지구 평균기온보다 더 큰 상승폭을 보이고 있다. 수면 상승 또한 세계 평균보다 높은 수치를 기록하고 있다.

기후변화는 인류에 다양한 위협을 초래한다. 기상 이변과 그로 인한 재해, 생태환경 변화로 인한 동식물 멸종, 기후 변화로 인한 식량 수급의 불안, 질병 및 전염병의 증가, 국가 간 갈등 발생 등을 들 수 있다. 전지구적 기후변화에 대처하기 위한 국제사회의 노력으로, 2016년 11월 파리 기후변화협정이 정식으로 발효되었다. 이에 따라 국제 사회는 지구 평균 온도 상승폭을 산업화 이전 대비 2°C 이하로 유지하기로 결의하였다. 우리나라도 여기에 참여하기로 결정함에 따라, 온실가스를 2030년 전망치 대비 37% 감축해야 한다.

### ▷ 에너지 및 자원 부족

전세계 화석연료는 계속해서 줄어들고 있다. 채굴 기술의 발전으로 인간이 사용할 수 있는 화석연료는 과거보다 늘어났지만, 그럼에도 불구하고 인류가 화석연료를 사용할 수 있는 시간은 많이 남지 않았다. 그에 비해 우리나라의 화석연료 의존도는 80%에 육박하며, 에너지원의 90% 이상을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 우리나라의 신재생 에너지 보급률은 1.4%에 불과해, OECD 평균인 6.7%에 못 미친다. 에너지 부족과 자원 부족이 심화될 경우 우리나라는 그 직격탄을 맞게 될 것으로 보인다.

### ▷ 융합기술

최근 기술의 발전은 IT(정보기술), BT(바이오기술), NT(나노기술), CT(문화기술), ET(에너지기술)를 융합하는 추세로 나아가고 있다. 이에 따라 기존 학문이나 산업에 따른 구분이 약화되고, 기술적 발전뿐만 아니라 콘텐츠 발전도 산업의 원동력이 되고 있다.

초고속 정보망 구축과 인공지능, 사물인터넷이 결합되어 4차 산업혁명을 이끌어내고 있다. 이에 따라 인간과 인간, 인간과 사물, 사물과 사물이 네트워크로 연결되어 더욱 지능화된 사회로 나아가고 있다. 이와 함께, 현재의 전자식 컴퓨터도 광컴퓨터, 양자컴퓨터, 바이오컴퓨터로 계속해서 변화해나갈 것으로 예측된다. 특수 처리된 레이저와 같은 빛을 이용한 광컴퓨터, DNA, RNA 등의 고분자 바이오 물질을 정보저장 및 연산 매체로 사용하는 바이오컴퓨터 등을 개발하면 초고속 정보처리가 가능해질 것이다.

## 2. 미래의 의식주 및 의료

### 1) 미래의 의식주

#### ▷ 미래의 의(Clothing): 친환경 의류와 스마트 의류

환경오염, 기후변화, 에너지 부족에 따라 미래사회에서는 친환경 의류에 대한 요구가 증가한다. 천연섬유, 폐자재를 가공한 재활용 섬유, 생분해 섬유 등 친환경 소재를 활용한 의류를 만들어 환경에 미치는 영향을 최소화하려는 노력이 이루어질 것이다. 친환경 디자인의 측면에서는 다양한 스타일을 연출할 수 있는 다기능 디자인을 통해 의류의 활용도를 높이고, 원단 폐기물을 최소화하는 디자인을 개발할 것이다.

에너지 소비를 줄이는 기능성 섬유의 개발이 가속화될 전망이다. 현재 개발 중인 기능성 섬유로 땀 흡수 및 건조가 빠른 섬유, UV 차단 섬유, 접촉 냉감 섬유, 저탄소 배출 섬유, 수분 반응을 통해 섬유의 길이 변화가 나타나는 인지기능 섬유 등을 들 수 있는데, 2050년 미래사회에서는 기능성 섬유의 사용이 좀 더 보편화될 것이다.

또한, 웨어러블 디바이스(wearable device)의 발전에 따라 의복과 정보통신 기술을 결합한 스마트 의류가 확산될 전망이다. 스마트 의류는 전도성 특수 소재, 초소형 IC 칩 등을 이용하여 센서, 네트워크, 제어, 저장, 신호처리 등을 할 수 있다. 헬스케어 기능, 위치기반 서비스 등 스마트 기기의 다양한 기능을 의복에 결합시킨 스마트 의류를 활용하면 착용자의 심박수, 체온 등을 감지할 수 있고 네트워크를 통해 이 정보를 의료진에게 보내어 원격진료 데이터를 수집할 수도 있다.

스마트 의류는 전자섬유 기술의 발달과 함께 발전하고 있다. 실 형태의 전도성 섬유의 개발로 전자섬유 회로 설계, 전자섬유와 IT 기기의 접목이 이루어지고 있다. 전자섬유를 활용한 섬유 트랜지스터, 압전 온도 센서, 섬유 디스플레이 등의 연구도 진행 중이다. 새로운 섬유 소재 개발을 통해 에너지 발전, 저장 방안도 연구하여 섬유형 에너지 발전 및 저장 복합소재, 직물형 태양전지 개발도 진행하고 있다.

#### ▷ 미래의 식(Food): 기후 변화에 따른 농수산물 생산의 변화 및 식품 안전성과 식량 안보

기후변화에 따라 우리나라의 남부지역과 해안지역이 아열대 기후대로 변화할 것으로 예측되고 있다. 이에 따라 농작물의 주산지도 이동한다. 망고, 키위, 감귤 등 고온성 작물의 재배 가능지역이 확대되고 열대과수 재배도 가능해지는 반면, 한반도 이남에서 사과 재배는 힘들어질 것이다. 온난화와 대기 중 탄소 증가가 지속되면 작물 수확량 감소, 채소 및 과수의 생육 지연과 품질 저하가 나타날 수도 있다. 기온 증가로 인한 병해충 발생, 생물다양성 변화, 수자원 변화 등도 예상된다.

기후변화에 대응하기 위한 새로운 식량 생산 방식의 도입과 스마트 기술의 도입으로 미래사회의 식량 생산 방식에 변화가 나타난다. 거름·제조용 로봇의 보편화, 스마트더스트(초소형 센서)를 활용한 온습도, 빛, 이산화탄소 정보 수집 및 조절 등 원격농업 등 스마트 기술이 농업에 적극적으로 도입된다. 식물공장을 통한 공장제 생산 방식, 물 부족에 대처하는 해수 농업,

더 나아가 우주 농업으로까지 식량 생산의 장소가 변화해 나간다. 줄기세포를 이용한 배양육 생산, 유전자 변형을 통해 질병 예방이나 건강관리 기능을 강화한 농산물 생산의 확대도 나타날 것으로 보인다.

IT, BT, NT와의 융합으로 농축산물 가공 기술도 진일보할 것이다. BT 기술과 식품 가공 기술의 융합을 통해 특정 질병이나 용도에 맞는 맞춤형 기능성 식품 생산이 이루어지고, 생리 활성 물질을 추출해서 정제하는 기술도 발전한다. NT는 식품의 오염도를 나노 수준에서 감지하는 나노센서 기술의 발전을 가져온다. IT와의 융합기술로 맛, 냄새를 감지할 수 있는 생화학센서가 개발되어 식품 신선도의 실시간 확인도 가능하다. IT로 식품 유통 과정 단축을 비롯한 식품 유통의 효율성이 높아질 것으로 예상된다.

한편, 식량 생산 기술의 획기적 발달과 함께 식품 안전성에 대한 요구도 커질 것이다. 유전자 변형 식품 기술의 발달로 미래사회에는 기능성 유전자 변형 식품이 대거 등장할 것으로 예상된다. 특정 질병 예방을 위한 식품 등이 그에 해당할 것이다. 현재도 제기되고 있는 유전자 변형 식품 안전성에 대한 의심은 당분간 지속될 것으로 보인다.

이밖에 광우병, 조류독감I 등 질병의 전염 공포, 방사능 오염 식품에 대한 공포 등 식품 안전성과 관련된 문제들이 계속해서 제기될 것으로 예상된다. 우리나라는 수입 농축산물에 대한 의존도가 높으므로 검역 체계의 강화 및 해당 기술의 발전이 같이 이루어질 필요가 있다. 식량 수입 의존도가 증가함에 따라 식량 안보의 문제도 제기된다. 특히 우리나라는 미국, 호주, 중국 등 외국에 대한 식량 의존도가 큰 반면, 기후변화로 식량 수급의 불안정성이 커짐에 따라 식량 안보가 더욱 현실적인 문제로 부각될 전망이다.

식량 부족이 생산의 문제가 아니라 분배의 문제에서 기인한다는 점도 계속해서 제기되고 있는 문제이다. 식량 증산을 위한 기술적 해결책뿐만 아니라 공정한 분배를 위한 사회적 해법도 동시에 모색해야 할 것으로 보인다. 특히, 통일 이후 한국 사회는 북한의 식량 부족을 해결하기 위한 기술적, 사회적 해법을 찾을 필요가 있다. 오랜 기간 식량 부족에 시달린 북한 주민과의 공정한 분배를 위한 방안을 찾아야 할 것이다.

### ▷ 미래의 주(Shelter): 새로운 형태의 도시 및 스마트 주택

미래에는 교통기술의 첨단화, 에너지 부족과 기후 변화 등으로 현재와는 다른 형태 및 기능의 도시가 등장한다. 에너지 부족과 기후변화에 대응하여 고밀 개발과 직장과의 거리를 좁혀 자동차 수요 및 통행거리를 줄이는 압축도시(compact city), 태양열, 지열, 풍력을 활용하여 자체적으로 에너지를 생산하거나 순환 메커니즘을 이용하여 에너지와 자원 활용도를 높이는 에너지 고효율 도시, 저탄소 도시가 새로운 도시 형태로 발전할 것이다.

도시와 농촌의 구분은 점차 사라지고 생산과 소비가 한 장소에서 이루어진다. 그 한 가지 방식으로 도시의 고층 빌딩에서 태양광과 LED를 이용하여 연중 친환경 농작물을 재배하는 수직농장(vertical farm)이 발달할 것이다. 기후변화로 인한 수면 상승으로 가용 토지가 감소할 것으로 전망됨에 따라, 지구 전체 면적의 70% 이상을 차지하는 바다가 새로운 도시의 공간으로 개발될 것이다. 이에 따라 수상 및 수중 건축물을 활용한 부유하는 도시(floating city)도 등장하게 될 것으로 보인다. 첨단 정보통신 인프라와 사물인터넷의 결합으로 지능형 도시로의 발전은 가속화될 전망이다. 공공시설물의 원격 관리, e-거버넌스, 재난·재해 예방 및 대처에 인공지능 적용 등 스마트 시티의 발전이 예상된다.



새로운 형태의 도시와 더불어, 2050년 미래사회의 주거 공간은 사물인터넷과 인공지능, 로봇 기술이 결합된 스마트 주택, 에너지 효율화를 극대화한 제로에너지 주택이 될 것이다. 스마트 주택은 무선 기술을 이용한 1세대, 가전제품을 관리하는 인공지능의 2세대를 넘어 인간과 교류하는 가정용 로봇이 도입되는 3세대 스마트 주택으로의 진화가 예견되고 있다. 이에 따라 노인이나 장애인 등의 생활 편의 및 건강을 관리하는 스마트 로봇, 원격의료 등 스마트 기술이 주택 설계에 도입될 것이다.

기후변화가 심화됨에 따라 에너지를 자급하는 제로에너지 주택도 등장한다. 건축물이 국가 온실가스 배출 총량의 1/4 정도를 차지함에 따라, 주거공간의 에너지 효율을 높이는 것이 현재에도 시급한 문제이다. 고효율 태양광 발전, 소규모 풍력 발전 등을 통한 자체 에너지 생산, 단열의 극대화를 통한 에너지 소비 최소화를 통해 에너지 자급이 가능해진다. 또한, 친환경적 건축 자재 개발 및 공법 개발도 함께 이루어진다. 2050년 미래사회에서는 기술 개발을 통해 제로에너지 주택의 건축 및 유지비용이 낮아져 제로에너지 주택의 실용성이 높아질 것으로 전망된다.

또한, 기후변화가 심해짐에 따라 태풍, 집중 강우, 한파의 빈도와 강도가 강해지고 그로 인한 주거지 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 또한 2016년 일어난 경주 지역 지진으로 주택 안전에 대한 관심도 커지고 있다. 홍수해, 지진, 화재 등 각종 재해에 대비하고 거주자의 생명을 보호할 수 있는 견고한 주택에 대한 요구가 증대될 것으로 보인다. 새로운 건축물의 내진 설계, 기존 건축물의 내진 설계 강화 방안, 홍수해에 대비할 수 있는 배수 구조, 화재 경보 및 화재 진압 장치 등 건물의 안전성을 강화하는 기술의 개발이 예상된다.

## 2) 미래 의료

### ▶ 의료와 헬스케어

의료의 패러다임이 변하고 있다. 아픈 사람의 질병을 치료하는 좁은 의미의 의학(science of medicine)에서, 전체적으로 건강하고 행복한 상태를 유지·관리하는 넓은 의미의 헬스케어(art of healthcare)로 진화하고 있다. 헬스케어는 하얀 가운을 입은 의료인들이 수행하는 전통적인 치료 및 의료행위 외에도 재택 간호, 음악 치료, 마사지 등 건강 유지와 관련된 유사 의료행위도 포괄한다. 관리의 대상은 신체적, 정신적 상태와 같은 생리학적 요소 뿐 아니라 환경, 생활 습관, 의료 시스템, 사회 제도적인 요인도 포함한다. 이러한 패러다임 진화 속에서 의료는 차세대 경제 성장 동력으로 또한 국민의 먹거리 산업으로 자리매김이 가능할 것이다.

### ▶ 의료의 산업화

아픈 환자의 건강과 생명은 돈벌이의 대상이 아니다. 의료는 기본적으로 제조업이 아닌 서비스업이기에, 의료의 산업화는 흔히 의료서비스의 산업화와 동일시되는 경향이 있다. 이때 의료서비스를 의료행위로만 국한하게 되면 의료 산업화는 영리 의료 시비와 더불어 이념 논쟁으로 번지면서, 더 이상 산업화 대상이 아닌 사회 보장이거나 복지의 도구로만 위치하게 된다. 의료는 건강과 행복을 총괄 관리하는 헬스케어로 확대 발전하는 것을 고려할 때, 의료 산업화의 논의는 아픈 환자를 치료하는 의료행위 영역에서 인간 존엄과 가치를 훼손하지 않도록 주의하면서

헬스케어의 나머지 요소들을 산업으로 발전시키는 방향으로 갈 필요가 있다.

#### ▷ 4차 산업혁명과 의료

4차 산업혁명의 최대 수혜자는 의료일 것이다. 초연결 기술의 발전으로 물리와 생물학의 융합을 통해 이미 의료에도 상상을 초월하는 변화가 일어나고 있다. 의학의 파괴적 혁신을 가져오는 이런 변화는 ‘청진기가 사라진다.’는 표현에 상징적으로 나타난다. 이는 의료서비스의 커다란 변화를 예고하는 동시에 새로운 산업성장 동력에 대한 메시지를 주는 것으로, 3D 바이오 프린팅, 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능, 클라우드, 의료 로봇, 바이오 헬스, 스마트 의료 등이 미래 의료기술을 예측하는 핵심 키워드로 떠오르고 있다.

환자 진료에서도 빅데이터를 활용한 개인 맞춤형 정밀 의료의 실용화, 인공지능을 활용한 진단 및 치료 방향 설정, 사이버 물리시스템을 통해 질병 및 건강 정보를 공유하는 글로벌 플랫폼 등이 도래할 것이다. 이는 의료서비스 공급자인 의사, 간호사, 약사 등의 역할과 기능을 대폭 변화시킬 뿐 아니라 일부 직능은 컴퓨터와 인공지능이 대체하면서 사라지게 만들 것이다.

#### ▷ 과학기술과 의료

의료는 인문학이다. 의학은 사람을 탐구하는 학문이며, 의료의 기본은 인간의 존엄성과 행복을 추구하며 인류를 건강하고 오래 살게 하는 것이다. 따라서 미래의료는 수명의 단순한 연장이 아닌 삶의 질과 양이 균형을 이루는 방향으로 발전할 것이다. 과학기술이 의료행위와 지식을 대체하면 할수록 의료인은 더더욱 따뜻한 감성과 지성을 갖추는 것이 경쟁력이 되는 세상이 올 것이다.

새로운 과학기술의 융합과 더불어 저출산 고령화에 따른 생산 인구의 감소, 기술의 노동 대체에 따른 고용없는 저성장 등도 4차 산업혁명을 촉진할 것이고, 첨단 디지털 바이오헬스 산업은 부의 편중과 사회적 양극화 및 고용 없는 성장 등을 부작용으로 예고하고 있다. 의료는 산업적인 요소 및 공공적인 요소, 사회 안전망 유지 기능 등을 복합적으로 가지고 있는 영역으로서 이러한 부작용을 최소화해주는 도구로도 활용될 것이다.

### 3. 미래의 소통과 교통수단

#### 1) 미래의 소통

##### ▷ 초연결사회 속의 소통

4차 산업혁명으로 인한 초연결사회의 도래에 따라 미래사회는 지금보다 훨씬 더 다층적으로 네트워크화 될 것이다. 이제 사람과 사람 간의 소통을 넘어 사람과 사물 간의 소통, 사물과 사물 간의 소통이 일어나는 사회가 되고 그 기반에는 스마트 기기들이 놓여 있다. 현재 각 가정에 있는 스마트 기기들은 가정 구성원의 수를 넘어서는 경우가 많다. 미래사회에서는 1인당 소유하는 스마트 기기의 수가 현재에 비해 몇 배 더 증가할 것이다.

### ▷ 뇌-기계 인터페이스

미래사회의 소통의 가장 큰 변화는 글과 말을 이용한 언어적 소통의 비중이 줄어든다는 점이다. 뇌-기계 인터페이스 기술의 발달에 따라 뇌파를 이용한 기계 제어가 가능한 시대가 도래할 것이다. 생각만으로 TV채널을 바꾸고, 컴퓨터 검색을 할 수 있고, 전자제품을 작동할 수 있다. 뇌-기계 인터페이스의 발달은 인간 대 인간의 소통 방식에도 큰 변화를 가져올 수 있다. 언어적 소통 없이 뇌에서 뇌로 직접 정보 전달이 가능해질 것이다.

뇌-기계 인터페이스 기술에 의한 비언어적 정보 소통이 활발해짐과 동시에 언어를 통한 감성적 소통에 대한 열망도 커질 것으로 보인다. 즉, 1인 가구 시대의 증가 및 초고령화 사회가 됨에 따라 정서적 나눔에 대한 욕구가 커질 것이다. 인간과 감정을 교류하는 정서 로봇이 친구와 가족의 빈자리를 채워줄 것이다. 증강현실 기술은 소통의 거리감을 소멸시켜, 멀리 떨어져 있는 친구나 가족과 마치 한 곳에서 만난 것과 같은 소통의 기회를 마련할 것이다.

### ▷ 디지털 소통 시대의 소통과 불통

통번역 프로그램 개발은 현재에도 상당한 수준으로 진행되어 가까운 미래에는 외국어의 장벽이 소통을 가로막지 못하는 사회가 될 것이다. 영어나 여타 외국어에 비해 한국어 번역률의 정확성은 아직 낮은 편이지만, 그 개선 속도가 점차 빨라지고 있는 추세로 볼 때 머지않아 한국어와 다른 외국어 사이의 완벽한 통번역이 가능해질 것으로 보인다. 통번역 프로그램의 개발로 더 양질의 정보에 접근할 기회가 높아지게 될 것이다.

새로운 소통 기술의 등장은 역설적으로 소통의 단절을 초래할 수도 있다. SNS에 적응하지 못한 세대가 젊은 세대와의 소통에 애를 먹는 것처럼, 새로운 소통 기술에 접근하지 못한 사람들은 소통에서 배제될 가능성이 점차 높아지고 있다. 새로운 소통 기술의 비용으로 인해 접근성이 제한될 경우, 이는 사회 계층 간의 불통으로 이어질 수도 있다.

또한, 새로운 소통 기술이 폐쇄형 네트워크 구성을 통해 파편화를 가져올 수도 있다. 동질의 구성원 간의 네트워크 강화 및 다른 의견을 가진 사람들과의 네트워크를 단절함으로써, 집단 간의 파편화가 나타날 수 있다. 이는 다양한 이견들이 만나 충돌하고 조율되어 합의에 이르는 자연스러운 소통을 막아 사회적 갈등을 심화하는 결과를 낳을 수 있다.

### ▷ 사이버 범죄

네트워크화된 소통기술이 프라이버시 침해, 사이버 범죄 등의 위협성을 가중시킬 수 있다. 사물 인터넷 기술의 발달에 따라 사소한 가전제품에까지 개인의 다양한 정보가 축적되고, 외부에서 이 정보에 접근할 수 있는 가능성이 높아짐에 따라 이 정보를 훔쳐서 악용하는 사례가 증가할 수 있다. 디지털 저작권 침해나 사이버 명예훼손 등의 사례도 증가할 것이다. 소통 기술에 사이버 범죄 방지를 위한 예방 기술을 도입함과 함께, 사이버 범죄에 대한 법적 정비와 윤리적 반성이 함께 이루어져야 할 것이다.

## 2) 미래의 교통

### ▶ 초고속 교통수단

미래의 교통수단은 지금보다 더 빠른 속도를 추구할 것이다. 극초음속 비행기는 램제트 엔진이나 스크램제트 엔진을 이용하여 음속의 수십 배의 속도를 낼 수 있을 것으로 보인다. 현재 개발 중인 스크램제트 엔진의 상용화에 성공하면 장거리 비행 시간을 획기적으로 감소시켜 서울에서 LA까지 2시간 안에 도착할 수 있다. 지상에서 진공터널을 이용한 초고속 이동 시스템의 개발도 현재 진행 중이다. 공기의 압축을 이용해 진공터널 속의 운반체를 빠르게 이동시키는 방법을 비롯하여, 진공터널로 물체를 이동시키는 다양한 기술을 개발 중이다. 이런 초고속 이동 시스템을 개발하면 시속 1,000km가 넘는 빠른 속도로 이동할 수 있을 것이다.

초고속 이동수단은 우주로까지 확대될 전망이다. 화성을 비롯한 행성 간 유인 우주여행이 기술적으로 가능해질 것이다. 달까지 개발이나 다른 행성까지 개발을 통해 행성 간 여행, 항성 간 여행의 중간 기착지가 마련될 것이다.

### ▶ 자율주행 자동차와 자동 고속도로 시스템

인간의 개입 없이 완전히 자율주행하는 자동차는 먼 미래가 아니다. 초음파, 레이저, 라이더(LiDAR) 센서 등 근거리·장거리 센서를 개발하였고 카메라 영상과 결합하여 주변을 파악하는 기술의 분석력 및 정확성을 높이고 있다. 최신 도로 정보를 반영한 3차원 디지털 지도를 이용하여 차량에서 항상 최신 도로 정보를 이용할 수 있을 것이다. 인공지능의 발전에 따라 자동차의 자체 위치와 주변 상황 판단은 더욱 정확해질 것이다.

자율주행 자동차의 등장과 함께 자동 고속도로 시스템의 가능성도 높다. 자동 고속도로 시스템은 고속도로에 들어선 자동차들이 고속도로 중앙 관제 시스템의 통제에 따라 자율주행하는 기술이다. 자율주행과 중앙 관제 시스템의 결합으로 날씨나 주변 환경에 관계없이 안전한 운행이 가능하다. 또한 더 많은 자동차의 동시 운행이 가능하고, 목적지에 따라 차선별 분류 운행이 가능해지는 등 더 효과적인 운행이 가능해질 것이다.

자율주행 기술의 발전과 함께 법적, 윤리적 논의도 동시에 이루어질 필요가 있다. 자율주행 자동차의 사고 발생 시 그 법적, 윤리적 책임 소재가 어디에 있는가의 논란이 발생할 수 있으므로, 이에 관한 다양한 경험 축적과 사회적 논의가 필요하다.

### ▶ 친환경 교통수단

친환경 기술 개발을 위해 자동차 연료의 변화와 배출가스 정화 기술의 발전이 이루어질 것이다. 태양 전지나 풍력 등 신재생 에너지를 이용하는 전기자동차가 개발될 것이고, 이를 위해 충전시간이 짧고 용량이 큰 배터리 개발이 선행되어야 할 것이다.

현재 개발되어 판매, 시범 운영되고 있는 연료전지 자동차도 친환경 교통수단으로 미래사회에서 환영받는다. 수소가 수소이온과 전자로 분리된 후, 이 전자의 이동으로 전기를 생산하는 연료전지를 이용하는 자동차는 배기물이 물이어서 환경오염이 거의 없다. 연료전지 자동차의 상용화를 위해서는 수소 충전 인프라의 확대가 필요하다.

## 4. 기후변화와 자원부족 극복을 위한 기술

### ▷ 글로벌 차원의 기후변화와 대처 노력

기후변화와 환경오염은 글로벌 차원의 영향력을 지닌다. 1986년 소련의 체르노빌 사고로 유럽까지 방사능 물질이 퍼졌고, 한국과 일본에도 방사능 낙진이 검출된 것을 봐도 알 수 있다. 원인은 국소적이더라도 파급력은 국제적이기 때문에 이에 대한 대응 또한 국제적인 협력을 통해 이루어져야 한다. 최근 기후변화에 대한 국제적 대응 노력은 기후변화 방지 노력에 경제적인 중요성을 부과하는 추세이다. 즉, 기후변화 예방 기술의 개발은 전지구의 미래를 위한다는 도덕적인 명분 위에 경제적 효과라는 실리까지 더해지고 있다.

그동안의 기후변화 대응 노력이 기후변화를 유발하는 온실가스 감축 및 흡수를 통한 기후변화 완화에 초점을 맞추었다면, 최근의 노력은 기후변화 사회에 대한 적극적 적응을 포함하는 방향으로 변화하고 있다. 기후변화의 위해에 노출되는 것을 막고 취약한 부분을 보완하는 조치들이 강화되고 있다. 다양한 의견수렴이 가능한 의사결정 시스템, 자연재해 등 재난방지 시스템, 자연과 공존하는 공생 시스템, 생물다양성 확보 등 기후변화로 인해 나타나는 위해에 대한 적극적인 대처가 기후변화에 대한 적응 방안으로 마련되고 있다. 물론, 기후변화에 대한 적응은 기본적으로 온실가스 감축을 통한 완화가 출발점이 되고, 완화와 적응 사이에 균형점을 찾아 효과적인 대응책을 찾는 것이 중요하다.

### ▷ 국내의 자원 부족, 국경 밖의 분쟁

1970년대 오일 쇼크는 자원이 무기가 될 수 있다는 것을 절감하게 하였다. 전세계 화석연료의 매장량이 점점 줄어들고, 구리 같은 금속 자원의 매장량도 감소함에 따라 자원의 해외 의존도가 높은 우리나라에는 자원 부족으로 인한 위기가 닥칠 수도 있다. 역사적으로 자원 부족이나 자원 독점은 많은 국제적 분쟁을 낳았던 것처럼, 미래에도 자원 고갈이 국제적인 전쟁을 일으킬 위험성이 높다. 새로운 연료원의 개발, 고효율 추구, 자원 재순환 강화 등 자원개발과 자원의 효율적 사용이 점점 더 중요해질 것으로 전망된다.

화석연료 고갈과는 별도로, 물 부족 문제도 글로벌 차원에서 문제가 될 수 있다. 물 부족이 국가 간 분쟁을 일으킬 것이라는 전망에도 불구하고 물 부족은 아직 현실적인 분쟁으로 나타나지는 않았다. 그럼에도, 생명과 직결된 물의 중요성에 비추어 볼 때 효율적인 물 관리 및 담수 확보의 중요성은 미래사회에서도 줄어들지 않을 전망이다.

이와 관련하여 전지구상 물의 97.5%를 차지하고 있는 해수의 담수화 기술이 미래사회의 물 부족 문제를 해결하는 주요 기술로 이용될 것이다. 인공 강우 등을 통해 국지적 물 부족 문제를 해결하는 것도 가능하다. 전 세계 물 사용량의 70%를 차지하는 농업의 변화도 나타날 것이다. 관개 기술의 개발과 함께 물소비가 적은 새로운 농법 개발이 이루어진다.

### ▷ 신재생 에너지와 원자력 에너지 안전성 확보

전세계 에너지 수요는 증가하는 반면, 2020년경 석유생산이 정점에 도달할 것으로 보여 화석연료의 비용이 점점 더 상승할 것으로 예상된다. 에너지 고가화로 인해 경제적, 사회적 비용이 증가함에 따라 신재생 에너지가 현실성 있는 대안으로 부각될 것으로 전망된다.

태양광, 풍력, 조력, 지열, 바이오매스 에너지, 수소에너지 등은 신재생 에너지로 주목받고 있



다. 현재 경제성과 효율성이 낮지만, 관련 기술의 발전으로 에너지 생산 비용이 낮아지고 에너지 고가화 시대로 접어들게 되면 신재생 에너지는 경쟁력을 갖추게 된다. 2050년 경 우리나라의 신재생 에너지는 전체 에너지 수요의 20% 정도를 담당할 것으로 보인다.

한때 원자력 에너지는 현실적인 미래 에너지로 각광받았으나 2011년 후쿠시마 사태 이후 원자력 발전소의 안전성이 심각한 사회문제로 대두됨에 따라 미래 에너지로서의 전망은 불투명해졌다. 그에 비해 노후 원자력 발전소 관리, 원자력 폐기물 처리 등 원자력 발전소의 안전을 확보할 기술력이 더 중요해졌다. 우리나라는 국내에 원자력 발전소 23기, 전체 전력 수요의 30%(2012년 기준)를 원자력 에너지에 의존하고 있고, 중국 동해안 인근에 100여 기 이상의 원자력 발전소가 건설되고 있어서, 원자력 발전소의 안전성 확보가 더욱 심각한 문제이다. 핵분열 방식의 현행 원자력 발전소와는 별개로, 미래사회에서는 상온 핵융합 기술 개발 및 실용화가 가능해질 것이다. 핵융합 발전 기술 개발에서도 안전성 확보 노력을 병행해야 할 것이다.

### ▷ 저탄소 사회의 실현 및 바이오 정제 기술

지구 온난화의 주된 요인으로 지목받고 있는 이산화탄소 감축은 향후 수십 년간 인류 최대의 과제가 될 전망이다. 온실가스 배출량 감축과 대기 중 온실가스 포획을 위한 기술 개발과 함께, 저탄소, 제로탄소 배출을 목표로 하는 생활방식의 정착이 이루어질 것이다.

온실가스 배출량 감축은 신재생 에너지의 사용 확대, 온실가스 대체 물질의 개발을 통해 이루어진다. 친환경 교통수단, 탄소 순환형 바이오 화학공장도 온실가스 배출량 감축에 기여한다. 대기 중 탄소포획 저장기술은 현재 경제성이 낮지만, 미래사회에서는 관련 기술이 개발되고 경쟁 기술 대비 비용이 낮아지면서 대기 중 탄소량을 인위적으로 조절하는 시대를 가져올 것이다. 이와 함께 온실가스 감축을 위한 생활방식이 확산될 것이다. 폐기물 억제, 탄소성적 표시제에 따른 상품 구매 기준의 변화 등이 나타날 것이고, 효율적인 폐기물 순환 시스템이 구축되어 개인의 효과적인 참여가 가능해질 것으로 보인다.

한편, 온실가스 감축에 적극적으로 대응하고 화석연료 매장량 감소에 대처하기 위해, 바이오 정제(Bio-refinery) 기술의 발전이 가속화될 것이다. 바이오 정제 기술은 옥수수, 콩, 사탕수수, 목재류 등의 원료에 효소, 효모 등 생축매를 이용한 생물공학기술을 적용하여 연료나 화학약품을 생산하는 기술이다. 새로운 바이오매스의 개발도 함께 이루어질 것이다. 민물과 해수에서 자라는 미세조류(algae)는 곡물 바이오 작물보다 연료 생산이 단위 면적당 300배 더 높다. 조류에서 짜낸 기름으로 변환하여 만든 바이오디젤을 연료로 사용할 수 있다.

### ▷ 자원 재순환 체계 구축

2050년 미래사회에서 자원의 안정적 확보를 위해 자원 재순환 체계를 효율적으로 구축할 필요가 있다. 해외 자원 개발사업 확대, 자원 유망국에 대한 조사단 파견 등 해외 자원 확보를 위한 노력과 함께 산출량이 적은 희유금속 확보를 위해 희유금속 추출 기술 역량을 확보해야 한다. 사용된 자원의 회수 기술 개선을 통해 자원 회수의 경제성과 효율성을 높인다. 자원 재활용 기술의 개발도 이루어질 것이다. 자원 재활용 체계 강화를 위해 수거 체계 효율화 등의 제도적 개선도 함께 이루어져야 할 것이다.



# <10범주> X. 한국인을 위한 제안: 과학소양 실현방안

## 도입:

미래사회 메가트렌드별 교육 요구나 분단 등 한국적 특수성을 반영한 미래 전망을 거론하지 않더라도 미래사회에서 요구하는 과학소양을 갖추고 성공적으로 살아갈 수 있는 시민을 길러 내려면 질 높은 학교교육과 과학교육을 필요로 한다. 이 장에서는 한국 과학기술의 과거와 미래, 한국 학교교육 개혁의 방향과 정책, 한국의 대중과학문화, 한국 과학기술의 미래와 한국인의 미래 과학소양 등에 대하여 논의한다.

먼저 ‘한국 과학기술의 과거와 미래’에서는 한국 과학기술의 역사와 함께 한국 과학기술의 가능성과 한계 및 과학의 가치중립성과 윤리 등에 대하여 살펴본다. ‘한국의 대중 과학문화’에서는 과학의 본질을 체험하게 하는 대중 과학문화의 필요성, 과학의 과정과 소통과 협력의 과학문화 정착의 필요성 그리고 참여하는 대중 과학문화 확산의 필요성에 대해 논의한다.

‘한국 학교교육 개혁의 방향과 정책’에서는 국내외 교육 정책의 동향과 함께 미래사회 메가트렌드에 따른 미래 한국의 학교교육 요구와 개혁의 방향, 국내외 과학교육 동향 및 미래의 과학 교실의 변화 및 이때 교사와 학생의 역할 변화 등을 논의한다. ‘한국 과학기술의 미래와 과학소양’에서는 한국 과학기술의 미래 이슈와 미래 한국인을 위한 과학소양 등에 대하여 다룬다.

## 1. 한국 사회 속 과학기술

### ▷ 한국의 과학기술 정책

한국의 과학기술정책은 정부의 주도로 경제개발 계획과 함께 추진해왔다. 1962년에 경제개발 5개년 계획에 맞추어 기술진흥 5개년 계획을 수립하였으며, 이는 철강, 화학, 금속, 기계 등의 산업 육성을 위하여 핵심 기술을 선정하고 경제개발을 위해 기술을 혁신하고 생산성을 늘리는 데 목적을 두었다. 1970년대 경제부흥기의 한국은 정부주도로 선진 과학기술의 도입하여 빠른 모방을 통하여 경제적으로 효율적인 제품을 생산하기 위한 방안으로 과학기술 발전을 도모하였다. 즉, 창조적인 연구보다 사회경제개발에 기여할 수 있는 기술들을 선진국으로부터 빠르게 도입하여 제품 생산에 적용하는 데 최우선을 두었다. 그리고 중화학공업 육성이라는 목표를 이 끌어 나갈 주역을 양성하기 위하여, 기술자 육성을 위한 중등교육, 공학자 양성을 위한 고등교육에 주력하였다. 이러한 정부정책의 성과로 포항제철, 삼성, 현대 등과 같은 세계적인 기업을 육성할 수 있었다.

1980년대에 이르러 민간 투자가 확대되고, 90년대에는 대학이 과학기술 혁신의 주체로 자리하게 되었다. 1989년 기초과학연구진흥법을 바탕으로 국가 연구개발사업의 규모를 확대하고 생명공학, 나노, 환경, 우주항공 분야에 미래 고부가 가치 기술 창출을 위한 투자가 이어졌다. 20세기 한국의 과학기술정책이 선진국을 모방하고 사회경제적 수요 충족을 위해 경제성장과 더불어 과학기술산업을 육성하는 것이었다면, 21세기 한국의 과학기술 정책은 연구과제중심으로 연구개발 투자가 이루어지고 있다는 특징이 있다. 향후에는 기업의 연구개발 투자 확대와 기술 이전이나 사업화를 통한 연구개발 성과의 확산을 위한 노력, 연구기관의 조직 개방성과 인력의 유동성 부족과 같은 문제 해결을 위한 지속적인 노력이 요구된다.

### ▷ 과학의 가능성과 한계

과학기술의 발전은 자원을 증진하고 인간의 삶을 풍요롭게 해왔다. 이러한 과학의 정점에는 무엇이 있을까? 인류는 20세기에 원자력으로 대표되는 현대 과학기술의 비약적인 발전과 한계에 대한 사회적 논의를 경험했다. 20세기 초 방사성 원소와 핵에너지에 대한 연구로부터 인류는 에너지 혁명의 가능성을 열었고, 그 에너지는 인류의 복지를 위해 사용될 것이라고 믿었다. 그러나 핵에너지를 활용한 핵폭탄이 만들어지고, 체르노빌 원자력 발전소 사고와 같은 문제가 벌어지자 인류는 과학자의 윤리성과 책임을 탓하게 되었고, 과학기술 발전의 위험성 및 한계를 경고하기에 이르렀다. 더욱이 환경과 관련된 문제는 인류의 안녕을 위협하는 요인이 되고 있다. 21세기에는 생명과학 분야에서 중대한 변혁이 시작되고 있다. 특히 인간의 생명에 대한 기술의 발전은 인류 파괴라는 잠재적 위험을 지니고 있고 그 결과와 영향력에 대해 짐작이 어렵다는 점에서 도덕적, 정치적, 법적, 종교적 함의를 갖는다. 핵에너지에 대한 경험을 바탕으로 미래사회 생명공학의 잠재적 위험을 극소화하기 위해 노력해야 할 것이다.

### ▷ 지속가능한 과학 발전

‘지속가능한 발전’이란 경제성장, 환경보존, 사회발전을 균형적으로 포괄하는 것으로 환경을 고려한 개발을 말한다. 일반적으로 지속가능한 발전을 위해서는 미래세대를 위한 자연자원

의 보존이라는 ‘세대간 형평성’, 합리적 자연자원 이용을 위한 ‘자연과 환경의 지속가능한 이용’, 경제개발 계획에서의 ‘환경과 개발의 통합’, 다른 국가의 필요를 고려한 ‘자연자원의 공평한 이용’ 등과 같은 공통의 원칙을 필요로 한다. 후기 산업사회에 접어들면서 성장의 한계에 이르게 되자 낙관적이었던 미래 비전에 반발하여 반산업주의와 환경보전주의가 태동하였다. 특히 유조선 기름유출로 인한 해양오염, 후쿠시마 원자력발전소 사고, 북유럽과 캐나다의 산성비, 아마존 유역의 삼림황폐화, 오존층의 파괴 등은 환경문제에 대한 국민과 정치인 모두의 관심을 모으고, 전지구적인 협력과 공동의 책임, 공동 대처의 필요성에 대한 국제적 공감대를 형성하는 계기가 되었다. 유엔은 2016년에 기후변화 대응에 주안점을 둔 ‘지속가능한 발전을 위한 2030년 아젠다’를 발표했다. 이 합의안에서는 경제·사회의 양극화, 각종 사회적 불평등의 심화, 지구환경의 파괴 등 지속가능발전 위협요인들을 완화해 나가기 위한 국가별 혹은 미래 사회 공동의 과제를 제시하고 있다.

### ▷ 과학의 가치중립성과 윤리

과학의 가치중립성이란 과학적 사실이나 기술은 증거에 기초하여 사실 명제를 다루는 것으로 도덕이나 법, 사회문화적 가치와 무관함을 의미한다. 그러나 근대이후 과학기술이 발전하면서 과학기술이 인간의 삶과 가까워지고 일상생활에 영향을 주게 되면서 경제적 가치를 지니게 되고 정치, 사회, 문화와 밀접한 관계가 형성되었다. 이 과정에서 과학기술과 과학기술자의 사회적 책임과 윤리가 중요한 쟁점으로 부상하게 되었다. 과학기술자는 연구결과가 지니는 윤리적 문제는 물론 연구를 수행하는 과정에서의 윤리적 문제를 모두 고려해야 한다. 특히 현대 과학기술이 인류는 물론 자연생태계까지 영향을 미친다는 점에서 과학기술자의 책임과 윤리가 더욱 중요해지고 있다. 과학기술자는 연구를 수행하는 과정에서 이와 관련된 드러난 문제와 잠재적 위험을 발견할 수 있으며, 동시에 문제의 해결 방안을 모색할 수 있는 전문성을 지닌다. 따라서 과학기술자는 전문가로서 공익을 생각하고 연구 과정과 성과, 그리고 한계에 대해 과학자 집단은 물론 대중과 소통할 필요가 있다.

## 2. 한국의 과학문화

### ▷ 쉬운 과학과 대중 과학문화

과학은 실험실과 학계 바깥으로 끊임없이 확장하고 있고 확장할 필요가 있다. 대중은 학교교육뿐만 아니라, 영화, TV, 라디오, 인터넷, 박물관, 동물원, 클럽활동, 스포츠 경기 등을 통해서도 과학을 배운다. 따라서 과학자, 과학교사 뿐만 아니라 보다 폭넓은 사회의 인적자원들이 학교밖 과학문화 활성화와 과학 대중교육에 관여할 필요가 있다.

과학문화라고 하면 쉽고 재밌는 과학을 만들어 대중들에게 쉽게 다가가야 하고 교육 방법을 그렇게 만들도록 노력해야 한다고 한다. 하지만 대부분의 경우 과학은 일상어와는 동떨어진 특이한 수식과 기호로 소통하는 학문이기 때문에 쉽지만은 않다. 수식과 기호 없이 과학을 쉽고 재밌게 가르치려는 시도들이 있다. 하지만 많은 경우에 핵심을 빼놓고 과학자 주변의 일화만을 들려주는 데서 그치고 만다. 과학관의 전시와 교육도 마찬가지인 경우가 많다.

과학은 쉬워서 하는 것이 아니라 어렵지만 그 어려움을 극복하고 깨달을 때, 그리고 뭔가 새로운 것을 알아내고 만들었을 때 재미가 있기 때문에 하는 것일 수 있다. 그리고 새로운 발견과 지식이 이 세상에 의미가 있기 때문에 보람을 느끼게 한다. 대중 과학문화도 어려운 것을 피해가는 것이 아니라, 어렵더라도 과학의 본질에 도전하고 접근하도록 해야 의미가 있다.

### ▷ 과정을 중시하는 과학문화

과학은 문제에 대한 답을 얻는데서 멈추기보다는, 새로운 질문을 유도하며 이어가야 한다. 실제로 과학은 그렇게 발전해왔다. 천동설은 그 좋은 예이다. 우리는 흔히 지동설은 과학이고 천동설은 비과학이라고 말한다. 하지만 천동설을 주장한 옛 사람들은 아주 정직한 관찰자였다. 그들은 관찰에 따라 해와 달과 행성 그리고 하늘의 모든 별들이 지구를 중심으로 완벽한 원운동을 하는 초기 우주 모형을 만들었다.

관찰에 따라 모형을 만들었으니 천동설은 과학적이다. 그러나 이 모형에 어긋나는 현상이 계속 관찰되었다. 행성들이 일시적으로 운행의 방향을 거꾸로 바꾸더니 다시 원래 방향으로 움직이는 것이었다. 즉 순행 후 역행하다가 다시 순행하는 것이 관찰되었다. 지구가 중심이고 일정한 속도로 움직인다면 이런 일은 일어날 수 없고, 행성들은 항상 앞으로 순행만 해야 한다. 이 문제를 해결하기 위해 고대의 과학자들은 행성이 지구를 중심으로 하는 공전 궤도 상에 중심을 둔 작은 원인 주전원을 도입함으로써 문제를 해결하려고 하였다.

하지만 17세기초에 갈릴레오 갈릴레이가 망원경으로 하늘을 관측하여 얻은 여러 증거들은 천동설이라는 세계관으로는 도저히 설명할 수가 없었다. 2000년 동안 굳건하던 천동설의 권위가 무너지면서 근대 과학이 태어난 것이다. 즉, 기존의 세계관을 버리고 새로운 세계관, 즉 지동설을 채택하였다. 천동설에서 지동설로 넘어간 과정에는 관찰하고, 관찰에 따른 모형을 만들고, 모형에 어긋나는 새로운 관찰을 하면서 모형을 수정하고, 수정된 모형으로 도저히 설명할 수 없는 현상이 나타나면 과감히 옛 생각을 버리고 새로운 혁신을 받아들이는 과학의 발전 방식이 들어 있는 셈이다. 따라서 과학을 옳고 그름을 가리는 것이라기보다는 ‘의심을 통해서 잠정적인 해답을 찾아가는 과정’이라고 생각하는 문화를 정착시킬 필요가 있다.

### ▷ 소통하고 협력하는 과학문화

우리 전통에서 학문을 하는 학자들은 조용한 곳에서 사람들과 접촉을 끊고 혼자서 책을 읽고 사색을 해야 한다고 생각하고, 훌륭한 학자들 중에 그렇게 공부하는 경우가 많았던 것도 사실이다. 그러나 과학과 기술은 혼자 하는 것이 아니었고, 최근에는 더욱 많은 과학자와 기술자들이 협력하여 좋은 과학적 업적을 만들고 인류 문명에 기여하는 많은 기술들을 확립할 수 있었다. 우리나라는 전통적으로 교육은 많은 것을 아는 선생님이 학생들에게 가르치는 것으로 여긴다. 따라서 선생님으로부터 일방적으로 배운 것을 혼자서 되새기는 것을 공부라고 생각하고, 선생님이 가르치는 것은 절대적으로 옳은 것이기에 그것을 기억하고 활용하기 위하여 노력하는 과정이 공부와 연구로 간주되었다. 하지만 과학은 지식이 아니라 세상을 대하는 태도다. 대중과학을 포함하여 과학문화는 지식을 전달하는 데 머물러서는 곤란하다. 과학은 영원하고 완전한 진리라기보다는 그 당시의 최선의 지식이라고 볼 수 있다. 따라서 이미 알려져 있는 과학 지식을 받아들이고 이해하는 것보다는, 문제를 찾아내고 구체화하는 과정이 중요함을 인식하고 이를 위하여 교사와 학생, 그리고 관심을 가진 사람들끼리 항상 소통하고 협력하는 과학 문화

를 만들고 정착시켜 나갈 필요가 있다.

### ▷ 참여하는 대중 과학문화

과학문화의 대중화는 과학을 대하는 일반인들의 태도를 개선하는 데 상당히 중요하다. 따라서 정부와 학계는 과학문화를 개선하기 위하여 다양한 사업과 행사를 개최하여 일반인들의 관심을 유도하고 있다. 그러나 일회성 행사나 일시적인 관심을 모으기 위한 사업은 과학문화를 개선하는데 도움이 되지 않고 경우에 따라 잘못된 문화를 형성하기도 한다. 쉽게 보기 힘든 전시물을 전시하는 대형 자연사박물관이나 과학관을 국가사업으로 건설하는 것은 중요하다. 그러나 이러한 시설만으로는 일반 대중에게 과학을 항상 생활 속에 가깝게 느끼게 하는 데 한계가 있다. 만약 생활 속에 과학문화를 더욱 확산시키는 시설이 필요하다면 동네 가까이, 훨씬 규모는 작지만 자주 갈 수 있는 곳을 만드는 것이 더 효과적일 것이다. 과학에 조예가 깊은 경험 있는 자원봉사자들과 함께 직접 실험에 참여하고 소통하면서 기초적인 과학 원리를 터득할 수 있는 소규모 시설을 전국적으로 만들어감으로써 더 효과적으로 과학문화를 확산할 수 있을 것이다.

## 3. 한국 학교교육 개혁

### ▷ 국내외 교육 정책 동향

교육은 전 세계 어느 나라를 막론하고 국민들이 중시하는 사회적 관심사이다. 교육은 현재가 아니라 미래를 위한 것이기에 미래 국가 발전의 척도가 된다. 그러나 인구가 5천 만 명 이상이 되는 인구대국치고 교육정책이 잘 되고 있다는 평가를 받는 나라는 거의 없다. 간혹 북유럽의 나라들, 싱가포르 등에서 좋은 교육이 이루어지고 있다는 평가를 받지만, 이 나라들은 인구가 천만 명 미만인 인구 중소국들이다. 미국, 유럽, 일본 등 인구대국인 선진국도 대학 이상의 고등교육은 훌륭한 인재를 배출하여 세계를 선도하고 있지만, 초중등의 공교육은 많은 문제를 안고 있다. 그 이유 중 하나는 아마도 인구대국에서는 생활수준이나 삶의 환경에 따라 여러 집단들로 구분되고 이 집단들 사이에 선호하는 교육 정책이 충돌하기 때문에 일관성 있는 교육정책을 추진하기 어렵기 때문일 것으로 추정된다. 우리나라의 교육열은 어느 나라보다 높으며 현재의 대한민국이 있게 한 원동력도 교육열이다. 초기의 계층 간 교육의 불평등은 국가 발전과 더불어 평등한 공교육 시스템을 만들면서 자연스럽게 많이 해소하였지만, 입시위주 교육, 더 좋은 교육을 받기 위한 사교육 경쟁 등으로 인해 오늘날 공교육 시스템이 위기에 처하게 되었다. 국민이 교육을 중요하게 생각하는 것은 국가의 힘이지만, 이것이 바람직하지 않은 방향으로 전개될 경우 문제가 발생한다. 따라서 국민들의 교육에 대한 관심을 유지하면서 좋은 방향으로 유도하는 것이 교육정책의 가장 큰 화두가 될 것이다.

### ▷ 미래 한국의 학교교육 요구

미래사회 변화를 전망한 메가트렌드별 교육 요구와 미래교육 방향에 대한 요구도 다양하게 제안되고 있다. 메가트렌드별 교육 요구를 살펴보면, 먼저 사회분야의 경우, 저출산과 고령화, 외국인 및 다문화 가족 증가, 가족 구조 변화 등과 같은 인구구조의 변화로 인해 미래사회의



교육은 특정 지식의 전달보다는 인성교육, 인권교육, 생명존중 교육 등 더불어 사는 삶의 중요성을 강조하고, 다양한 집단들의 다양한 교육적 요구를 충족시키기 위해 표준화되었던 학습내용을 다양화, 유연화 할 필요가 있다. 기술 분야의 경우에는 과학·정보 통신 기술발전으로 인한 네트워크(유비쿼터스) 사회, 가치관 및 생활양식 변화 등으로 인해, 미래사회의 교육에서는 공교육 내에서 재택교육 활용 방안, 정보격차 해소 지원 방안, 정보 활용 및 분석능력 제고 방안 등을 마련할 필요가 있다.

경제 분야의 경우, 직장 및 직종 다양화, 시장의 확대, 사회·경제적 양극화 등과 같은 경제 환경 변화로 인해 미래사회의 교육에서는 학생들의 요구와 선택을 중시하는 교육, 지식보다는 문제해결능력이나 의사결정능력 등과 같은 역량 함양을 강조할 필요가 있다. 환경 분야에서는 생태계 및 기후의 변화, 자원 및 에너지 고갈, 지속가능발전에 대한 위협 등과 같은 환경 및 자원문제로 인해 미래사회의 교육에서는 친환경적 삶을 배우는 매개체의 역할, 자원부족과 고갈에 따른 대체적 과학기술 개발 등에 관한 교육 등을 강화할 필요가 있다. 정치·문화 분야의 경우에는 국제교류 확대, 다원화, 남북관계 변화 등과 같은 지구촌 다원화사회로 인해 미래사회의 교육은 문화 다양성 교육, 문화적 정체성 및 자긍심을 제고할 수 있는 교육, 통일대비 교육 등을 강화할 필요가 있다.

메가트렌드에 따른 미래교육에 대한 요구는 우리 교육의 변화를 요구한다. 즉, 미래사회를 살아갈 소양을 갖춘 창의적 글로벌 인재 양성을 위해 한국의 학교교육은 입시 중심의 획일적 교육에서 벗어나 창의성 중심의 학습 환경을 조성하여 무엇을 아는 것보다는 무언가를 할 수 있는 역량을 키우는 학습 시스템을 구축하고, 고등교육을 다양화·글로벌화하며, 온라인과 오프라인, 지역과 세계, 학교안과 학교밖 등 교육시스템의 전면 개방, 교육과 산업의 접목 등이 요구된다.

이러한 맥락에서 정부 교육체제 안에서 중요한 부분을 차지하고 있는 한국의 초중등 과학교육 역시 변화가 필요하다. 특히 과학교육의 수요자라고 할 수 있는 학생, 공급자라고 할 수 있는 교사, 교육자, 과학자, 교육정책 담당자 등 다양한 참여자가 존재하며, 교육 정책에 따라 수요자와 공급자들 간에 이해관계가 상충되는 경우가 발생한다. 나아가 최근 들어 초중등 과학교실이 대부분의 학생들로부터 외면 받고 있는 등 많은 문제가 대두되고 있으므로 과학교육의 개혁이 절실히 필요하다.

### ▷ 한국 학교교육 개혁의 주요 방향

메가트렌드에 따른 요구와 현실의 요구에 비추어 한국 학교교육 개혁의 주요 방향을 설정해 보면, 먼저 한국 학교교육에서는 장기적 교육정책 추진 체제를 마련할 필요가 있다. 대부분의 교육정책의 효과는 단기간에 평가하기가 어려움에도 불구하고 우리나라는 헌법에 따라 5년마다 새로 대통령을 선임할 때마다 교육행정 체제와 교육정책 및 교육과정의 틀을 바꾸고 있다. 그리고 5년 동안에도 세부적인 정책을 수시로 바꾸기도 하며, 이로 인해 그동안 수행한 다양한 정책들의 성과조차도 정확하게 판단하기 어려운 실정이다. 따라서 정부 교체와 무관하게 최소한 10년 이상 장기적으로 교육정책을 연구하고 추진하며, 그 결과를 판단하는 체제를 만들어 유지할 필요가 있다. 즉, 오랜 기간 동안 연구하고, 연구 성과를 시험적으로 시행해보고 정책을 확정된 후, 확정된 정책을 상당기간 동안 실행하여 결과를 얻고 노출된 문제점을 검토하면서 새로운 정책을 연구할 필요가 있다. 그리고 이러한 체제를 정부 교체와 무관하게 일관되게 추



진하는 법 체제를 갖추어야 한다. 이 체제에는 정부나 교육 행정, 정책가 등만 참여하는 것이 아니라 교육관련 모든 이해당사자인 학생, 학부모, 교사, 교육이론가, 과학자 등이 함께 참여하는 체제여야 할 것이다.

또한, 한국 학교교육은 다양성을 존중하는 교육 체제를 마련할 필요가 있다. 역사적으로 발전한 국가들은 다양성을 존중한다는 공통점을 지니며, 교육에서도 예외가 아니다. 우리나라도 다문화 배경을 가진 학생 수가 증가하고 있고, 학생들의 다양한 배경과 특성에 따라 교육에 대한 요구 사항이 다를 수 있다. 지금까지 우리나라의 공교육 정책은 모든 국민이 평등하게 교육받을 권리를 존중한다는 의미에서 통일되고 획일화된 교육체제를 유지하였다. 모든 국민이 평등하게 교육받는 것이 기본 원칙이어야 하지만, 국민의 다양성을 인정하지 않은 채 획일적으로 교육하는 것은 결국 하향평준화를 초래하여 국력의 낭비가 될 수 있다. 따라서 평등한 공교육 체제를 유지하되, 교육 수요자들이 자신의 능력을 최대한으로 끌어올릴 수 있는 다양한 기회를 제공하는 교육 체제를 개발하고 적용할 필요가 있다.

### ▷ 국내·외 과학교육의 동향

세계 여러 나라들에서도 효율적인 과학과 교육과정을 위해 연구와 실행을 계속하고 있다. 예컨대 영국의 현행 과학과 교육과정에서는 모든 학생들을 위한 과학교육의 목적을 세 가지로 나누어 제시하고 있다. 첫째는 생물학·화학·물리학을 통한 과학 지식과 개념적 이해를 발달시키는 것이다. 즉, 주변 세계에 관한 과학적 질문에 답하는 데 유용한 과학의 본성·과정·방법에 관한 이해를 발달시키고, 현재와 미래에서 과학의 이용과 시사점을 이해하는 과정에서 요구되는 과학 지식을 충분히 갖추게 하는 것을 목적으로 한다. 두 번째 목적은 학생들이 일반적인 언어로 과학 관련 과정과 핵심적 특징을 기술할 수 있고, 과학 전문용어와 친숙해지고 나아가 그 용어를 정확하고 명확하게 사용할 수 있도록 하는 것이다. 나아가 학생들이 전문 어휘력을 증진하고, 수학적 지식을 이용하여 과학을 이해하며, 과학의 사회적·경제적 시사점을 해당 분야에서 교수 및 학습할 수 있도록 하는 것이다. 세 번째 목적은 과학의 본성·과정·방법을 과학 내용과 별개로 교수 및 학습하는 것이 아니라, 학생들이 다양한 접근법을 이용하여 과학적 질문에 답할 수 있도록 과학적 탐구의 핵심적 속성에 부합하는 것을 선정하여 과학 내용의 교수 및 학습 상황에서 적절하게 반영하는 것이다. 이때의 탐구 요소에는 관찰하기, 양상 찾기, 분류·범주화하기, 타당한 검증, 2차 자료를 이용한 연구 등을 포함해야 한다.

미국의 차세대과학기준(Next Generation Science Standard; NGSS)에서는 K-12 학생들을 위한 학교 과학교육 경험을 과학·공학적 실천(practices), 공통(관통) 개념(cross-cutting concepts), 학문 영역별 핵심개념(disciplinary core ideas)을 중심으로 선정·조직하고 있다. 여기서 기존 과학의 과정이나 탐구 기능 대신에 실천(practices)으로 표현하는 이유는 과학적 탐구에 참여하는 것은 기능뿐만 아니라 각 실행마다 구체적 지식을 포함하기 때문이다. NGSS에서 제시한 공통 개념은 패턴, 원인과 결과, 척도·비율·양, 시스템과 모델, 에너지와 물질, 구조와 기능, 및 안정성과 변화의 7가지로 구성된다. 처음 두 요소인 패턴, 원인과 결과는 자연과학의 필수 개념이며, 척도·비율·양 개념은 사물의 크기와 서로 다른 요소들 사이의 수학적 관계와 관련된다. 나머지 4가지 개념들은 서로 관련되어 있으며, 특히 시스템과 모델 개념은 에너지와 물질 및 안정성과 변화 개념에 의해 조명된다. 이와 같이 영국과 미국에서도 지속적으로 더 나은 과학교육 방법을 제안 및 실행하고 있다.

이러한 흐름은 우리나라에도 반영되고 있다. 우리나라의 2015 개정 과학과 교육과정에서는 공통 교육과정으로 초중학교 과학과 고등학교 통합과학 및 과학탐구실험을, 그리고 선택 교육과정으로 물리학·화학·생명과학·지구과학 I, II, 과학사, 생활과 과학, 융합과학 과목을 설정하고 있다. 공통 교육과정인 과학 과목은 기본 개념의 통합적인 이해 및 탐구 경험을 통하여 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등의 과학과 핵심역량을 함양하는 것을 목적으로 한다. 2015 개정 교육과정에서 공통과목으로 새로 도입한 고등학교 통합과학에서는 기존 과학과의 운동과 에너지, 물질, 생명, 지구와 우주 등의 내용영역을 통합하거나 융합하여, 이를 다시 물질과 규칙성, 시스템과 상호작용, 변화와 다양성 및 환경과 에너지 등의 핵심개념(big idea)을 중심으로 재구성하고 있다.

### ▷ 미래의 과학 학습

우리나라는 교육방법이 대학입학시험 등 선발시험의 공정성에 초점이 맞추어져 있었다. 따라서 지식위주 암기 교육, 이를 위한 주입식 교육이 주요 방법이었다. 전통적인 학습관에서는 학습이란 지식을 획득하고 소유하는 것이며, 학습자는 공통의 지식으로 채워야 할 텅빈 용기이고 교사는 지식의 원천으로 간주되었다. 하지만 전통적인 방법으로는 학습자의 이해 부족을 해소하기 어렵고, 학습자의 나이와 학년에 무관하게 대부분의 지식이 수동적인 수준에 머물고 있다는 점에 연구자와 교사의 관심이 모아져왔다. 교수 및 학습에 있어서 보다 나은 방법을 찾고자 전통적 교수 및 학습의 대안으로 제안된 것이 구성주의 학습이론이다.

구성주의자들은 지식이 한 사람으로부터 다른 사람에게 수동적으로 전수되는 것이 아니라, 각 개인이 물리적 및 사회적 환경과의 상호작용을 통하여 스스로 구성해나가는 것이라고 본다. 이렇게 개개인이 독특하게 구성한 지식은 다른 사람들과 함께 토의·토론의 협상 과정을 거치면서 학습자 각자가 구성한 의미들에 차이가 있을 경우 각 개인은 내면적으로 의미 재구성 과정을 겪게 된다. 학습자가 도제로서 자신보다 식견이 높은 어른, 동료 등과 같은 사회 구성원의 도움을 받으며 문제해결에 참여하는 과정에서 해당 문화의 지식 및 기술을 개발하고 학습해나간다. 예컨대 과학학습의 경우, 학습자는 도제로서 처음에는 주변적 구성원으로 문제해결에 전문가와 함께 참가하지만, 과학적 지식 및 방법을 점차 배워나감에 따라 과학이라는 문화활동의 정식 참가자로 성장해나가는 것이다. 이 과정에서 도제로서 참가하는 초보자의 인지적 발달은 사회적 상황에서 경험한 인지적 과정을 개인이 내면화함으로써 이루어진다. 이렇게 개인적 인지영역 속으로 내면화된 인지적 과정은 결국 나중에 학습자가 독립적으로 문제를 해결할 수 있는 능력을 향상시키게 된다.

학습자가 자신의 학습을 통제하고 감독한다는 것이 구성주의적 접근법의 핵심이다. 즉 구성주의적 관점에서는 교사가 모든 학습자들이 똑같은 개념을 같은 시간에 배울 수 있도록 교실 수업 및 교육과정을 조직한다고 하더라도, 개별 학습자는 여전히 각자의 인지적 절차를 통해 제각각 고유한 의미를 구성해나간다고 본다. 그리고 구성주의 교수·학습은 학습자 측면에서도 높은 인지적 능력을 요구한다. 즉 원하는 정보가 손쉽게 주어지던 기존 강의식 수업과 달리, 구성주의적 교수·학습 실현을 위해서는 학습자 측에서도 많은 노력이 요구되며, 모든 학습자들이 이러한 도전에 잘 적응하는 것은 아니다. 요컨대 미래사회는 독립적, 자율적, 능동적으로 학습을 수행하는 자기주도적 학습자를 요구하며, 나아가 자신의 학습에 대해 책임을 지는 학습자를 요구한다.

## ▷ 미래의 과학 교사

미래사회에서는 메가트렌드와 현장의 요구로 과학 교실의 모습에서 최첨단 스마트기기, 과학 실험실과 교실 및 증강 현실 구현 등과 같은 많은 변화가 있을 것으로 전망된다. 그러나 아무리 좋은 교육정책이나 개혁이라도 이를 현장에서 가능케 하는 사람은 교사이다. 미래사회에서 학습자의 역할과 과학 교실환경 등의 변화와 더불어 교사의 역할에도 변화가 요청된다.

미래의 학생들에게는 과학지식의 획득 못지않게 기존 과학지식을 이용할 수 있는 능력과 자기주도적 능력 및 자신의 학습에 대한 책임감이 더 중시될 것이다. 과학과 교육과정에서는 전통적 물리학·화학·생명과학·지구과학 등을 기반으로 하되, 많은 학생들에게 친숙한 통합적·융합적·간학문적 영역의 과학지식과, 이를 적용한 문제해결 능력이 강조될 것이다. 또한, 학습관이 달라지고, 과학지식보다는 핵심역량이 강조되면서 학생이 스스로 의미구성에 참여할 기회를 보장하기 위해 프로젝트형 학습, 질문이 있는 수업, 학생 참여형 수업 등이 더욱 더 강조될 것이다. 이와 함께 교사의 역할 변화도 요청된다.

요컨대 과학소양, 핵심역량, 구성주의 교수학습 방법 등을 교실에서의 실제 경험으로 현실화하는 책임은 교사에게 달려있다. 교사들이 제안된 과학소양이 무엇을 요구하는지 충분히 이해하고, 핵심역량이나 학생 참여형 수업 등을 도입할 준비가 되어 있어야 할 것이다. 과학소양과 핵심역량을 갖춘 21세기의 시민을 준비하는 교육에서 교사의 역할은 매우 중요하다. OECD에서도 미래사회에서 학교의 위상 변화에 따른 교사의 역할 변화를 주문하고 있다. 즉, 미래학교 교육에서 교사 요인은 더 중요해지며, 21세기 미래학교의 교사는 완성된 패키지 형태로 전달되는 교육과정을 학생들에게 전달하는 역할이 아니라, 학생들에게 필요한 과학소양과 핵심역량을 개발해주기 위해 어떤 교육과정이 필요한지를 고민하고, 이론과 실천을 연계하는 반성적 실천가로서의 역할을 수행하도록 기대된다. 즉, 지식기반사회에서 교사는 개별 학생의 학습능력과 특성을 제대로 파악하여 적절한 조치를 할 수 있는 역량과 함께, 교실 상황을 분석하고 문제를 해결하여 이론화할 수 있는 연구 역량도 필요로 한다.

## 4. 한국 과학기술의 미래과 과학소양

### ▷ 한국 과학기술의 역사

20세기 이전 우리나라의 문화와 과학기술 전통은 중국을 중심으로 한 동아시아의 과학기술 전통의 일부였다고 할 수 있다. 세계 최초의 금속활자를 제작하였고, 세계에 자랑할 만한 과학기술의 결과로 첨성대, 고려자기, 목판인쇄, 제지술, 측우기, 최석정의 마방진, 송이영의 혼천시계 등 훌륭한 유형 혹은 무형의 과학과 기술의 전통이 있었다. 그러나 대부분은 실용적인 기술이거나 개인적 취향에 의한 성과에 국한되었다. 이는 중국과 우리나라가 속한 동아시아에서 추상적인 과학이론보다 실용적인 기술을 중시하는 전통과 사농공상 순서로 기술인을 낮게 대우한 영향도 무시할 수 없다.

우리나라는 지난 20세기 초중반 격변의 시대를 거쳐 왔다. 선진국들은 치열한 경쟁을 통하여 과학기술을 기반으로 세계 문명을 이끌어 나갈 때, 한국은 후진국으로 일제 강점기와 한국 전

쟁 등 국가적 어려움과 빈곤을 겪었고, 과학기술 분야 역시 암흑기를 보내야 했다. 이러한 혼란기를 거친 후 약 50여 년간 국민의 노력에 의하여 경제적으로 선진국 문턱에 다가갈 수 있었고 과학기술 분야도 국가 발전에 기여하면서 선진국으로 도약하기 위한 발판을 마련하였다. 우리나라는 1960~70년대에 정부주도로 선진국으로부터 과학기술을 빠르게 도입하여 경제개발에 주력하였다. 그러나 과학기술 전통의 부재와 모방에 의한 기술사업화 중심의 정책은 선진국 진입을 위하여 더 이상 통하는 정책이 아니다. 그리고 과학 교육 정책에서도 교육 전체 문제와 맞물려서 대학입시 중심의 교육 등 복잡한 사회 이슈들과 혼재하면서 혼란을 거듭하고 있어서 우리의 미래에 대한 우려를 낳는다.

### ▶ 한국사회의 현재와 미래

현재 한국은 여러 문제들에 직면하고 있으며, 이러한 문제들은 우리가 선진국에 진입하여 국민 대다수가 안녕과 행복을 누리며 미래의 한국이 번영할 수 있는가를 결정할 수 있는 다양한 과제들이다. 우리나라의 경우 발달된 과학기술을 보유하고 있으나, 자원의 부족과 지정학적 한계점, 지역이기주의 등으로 인하여 많은 문제점을 안고 있다. 무엇보다도 대한민국은 전 세계에서 유일한 분단국가로, 전 세계적으로 흔치 않은 가장 폐쇄적인 북한과 대치하고 있기에 항상 전쟁의 위험이 잠재되어 있다. 그리고 2,000만 명이상의 북한 주민 중 상당수는 의식주, 건강, 환경 등 가장 기본적인 생활 여건을 갖추지 못하고 살아가고 있다. 통일 전에 무고한 북한 주민의 생활을 돕기 위한 방안, 그리고 통일 후 같은 한민족으로 동질성 회복은 미래 한국사회의 중요한 이슈가 될 것이다.

통일은 대한민국의 미래 의료를 얘기할 때 반드시 고려해야 하는 핵심 요소이므로, 선도 국가들의 경쟁자로서 미래를 대비하면서 동시에 우리만의 통일 미래에 대한 대안도 확보할 필요가 있다. 『UN 미래보고서 2050』에서는 교통, 금융, 교육 혁명으로 파괴와 창조가 공존하지만 건강 수명과 의료혁명이 인류에게 가장 중요하다고 전망하였다. 그러나 통일 이후 의료 분야에 심각한 우려가 예상된다. 통일이 되면 대한민국에서는 오래 전에 사라진 집단 영양실조, 기생충, 감염증, 결핵 등이 만연한 2,000만 북한 주민들이 통일을 기점으로 남쪽 주민들과 섞이는 상황이 도래할 것이다. 북한 주민들은 남한 의료를 구매할 경제적 여력이 없다. 인도적인 차원에서 남한 주민들이 기꺼이 고통을 분담하고 세금을 더 내서 무상 의료를 제공해야겠지만 거기에선 분명 한계가 있다. 이런 문제에 대한 해결책의 하나로 제시할 수 있는 것이 바로 원격의료 기술이다. 원격의료는 추가적인 부가가치를 창출해서 국가 총생산을 늘리는 산업이라기보다는 의료비용을 줄이는 산업이라는 것을 고려할 때 적절한 대안이 될 것이다.

이렇듯 한국적 특수성을 반영하면서 미래사회에 직면할 문제들을 해결하고 나아가 한국이 미래에 선진국으로 도약하고 국민들이 안락한 생활을 누릴 수 있으려면 지속가능한 환경을 마련할 필요가 있다. 이를 위해 안보와 안락한 삶을 위한 인프라, 특히 에너지와 자원 확보는 무엇보다 중요하다. 인프라 구축은 상당한 비용과 시간을 필요로 하기 때문에 한 번의 결정은 국가의 운명을 좌우할 수 있으며, 이는 국가적 정책의 문제이다. 한국은 65세 이상 인구의 비중이 총인구의 14% 이상이 되는 고령사회에 이미 진입하였고, 2026년에는 65세 이상 인구의 비중이 20% 이상을 차지하는 초고령사회에 진입할 것으로 예상된다. 따라서 노동인구의 감소에 따른 문제와 고령인구의 건강 문제는 미래 한국인의 행복을 결정하는 주요 요인이 될 것이다. 지속적으로 안전, 건강, 환경 등 다양한 사회적 이슈들이 미래 한국의 문제로 떠오를 것이며,



사안에 따라 이해집단간의 상충으로 문제가 심화될 수도 있다. 따라서 정부의 합리적 정책 결정을 위하여 국민들의 공감대를 형성하여야 하고, 국민들은 정책 결정을 내리기 위해 이슈와 합리적인 제안을 이해할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

최근 쟁점이 되었던 고속열차 건설을 위한 터널 공사, 원자력 폐기물 보관 장소의 건설, 간척지 사업 등과 같이 경제적, 사회적, 기술적 문제 등이 복합적으로 연결된 사회적 이슈들이 발생한다. 이렇듯 국가적으로 꼭 필요하지만 이해관계가 얽혀있는 사회적 이슈들에 대한 큰 논란이 있었고, 해결과정에서 사회적 투명성과 신뢰성에 타격을 입었을 뿐만 아니라, 정책 시행의 지연으로 사회적 경제적으로도 큰 손실을 초래하였다. 이밖에도 전지구적 차원에서 미세먼지가 지나 초미세먼지의 증가, 지구 온난화로 인한 기후 변화 등으로 인하여 우리의 생활과 건강까지 위협받고 있는 상황이다. 이러한 문제와 이슈들은 미래에는 더욱 많아질 것이고, 이를 합리적으로 해결하기 위하여 국민들은 최소한의 과학기술적인 소양과 역량을 초중등 과학교육을 통하여 함양할 필요가 있다.

### ▶ 과학 소양 함양을 위한 모든 한국인의 미래지향적 교육

과학기술은 국민들의 생활과 점점 더 밀접해질 것이다. 미래의 사회는 과학기술과 연관되는 이슈가 더욱 많아지지만 전문적인 지식을 다 알고 있을 필요는 없을 것 같다. 세부적인 기술은 전문가의 영역이 되고 어쩌면 인공지능이나 로봇과 같은 기기들이 일부 담당할 수도 있다. 현재 스마트폰은 우리 생활의 필수적 기기로서 통화 이외에 알고 싶은 정보를 찾는 데 사용하고 있지만, 미래의 스마트폰은 지금보다 훨씬 더 진화할 것이다. 이미 알려진 지식 또는 정보에 대하여 기억할 필요 없이 의문이 떠오르는 순간 바로 그에 대한 대답을 알 수도 있을 것이다. 그리고 논란이 되는 사회적 이슈가 있을 때 과학기술적인 정보가 필요하면 실시간으로 문제와 관련된 정보를 공유하면서 해결책을 논의하기 위한 시스템이 만들어질 수 있다. 따라서 이러한 상황에서는 과학기술에 대한 지식 자체보다 과학기술에 대한 이해 능력, 합리적 사고방식, 협력의 태도 등이 미래 한국 국민의 주요 덕목이 될 것이다. 따라서 초중등 과학 교육을 통하여 이러한 능력을 키워줄 필요가 있다.

역사적으로 보면 모든 과학과 기술은 완벽하지 않았고, 따라서 여러 문제를 일으킬 소지를 지니고 있으며 때에 따라 문제는 재앙으로 변하는 경우도 있었다. 과학은 새로운 이론이 지난 이론을 대체하고, 기술은 점점 더 인류 생활에 유용하게 진보하지만 그 과정에서 무지 또는 인간의 욕심에 의하여 문제를 야기하기도 한다. 그럼에도 불구하고 과학기술의 진보는 멈추지 않았고, 그를 계기로 더 향상된 과학과 기술이 탄생하였다.

문명의 진보는 우리의 한계를 뛰어 넘는 순간 이루어진다. 그러자면 먼저 우리의 한계를 알아야 하고, 이를 위하여 현재까지 알려진 지식을 이해할 수 있는 능력과 한계를 극복하는 데 필요한 능력들, 즉 논리적이며 합리적으로 생각할 수 있는 능력, 창의적으로 생각할 수 있는 능력 등을 배양해야 한다. 이러한 능력은 미래를 살아갈 모든 한국인의 기본적인 과학 소양으로 교육을 통하여 함양해야 할 것이다.



## 맺음말

현재를 살고 있는 우리는 언제나 미래의 모습을 그린다. 지금의 미래인 2050년의 사회는 어떤 모습이고, 그 시대를 살아갈 우리 국민은 무엇을 알아야 할까? 그동안 미래에 대한 많은 기대와 예측이 있어왔고 많은 것이 실현이 되었으며 그렇지 않은 것들도 있었다. 이처럼 미래가 어떻게 될 것이라는 것을 예측하는 것은 어렵고 또한 불필요할지도 모른다. 그러나 분명한 것은 21세기의 미래는 지금보다 빠른 속도로 변화할 것이며, 과학기술이 그 변화를 이끌 것이라는 점이다. 때문에 미래사회를 책임져 나갈 성인들이 과학소양을 갖추는 것이 중요하다.

이 보고서는 2050년 미래사회에서 성인으로서 우리 사회를 이끌어갈 모든 한국인이 갖추어야 할 과학소양을 다루고 있다. 따라서 2050년을 살아갈 지금의 어린이들이 학교교육을 통해 무엇을 배우고 어떤 능력을 갖추어야 하는지에 대한 방향과 개괄적 제안이 될 수 있을 것이다. 인류는 지난 역사 속에서 많은 지식을 생산하고 기록하며 축적해 왔다. 이러한 지식은 사회를 유지하고 발전시키는 원동력이 된다. 지난 수년 동안 우리는 이러한 지식을 가능한 많이 배우고 익혀서 응용하는 능력을 강조하여 왔다. 그러나 지금은 정보통신기술의 발전을 바탕으로 지식 정보에 접근할 수 있는 방법이 다양해 졌다. 기존의 교육이 지식의 이해와 암기에 기초를 두었다면 미래의 교육은 다른 가치를 향해 새로운 방식으로 이루어져야 할 것이다.

이 보고서는 이미 발표되어 활용되고 있는 미국의 “모든 미국인을 위한 과학”이나 일본의 “과학기술의 지혜”를 참고하고 있다. 이들 보고서에 이미 제안되고 상세히 서술된 것들 중에서 우리에게도 필요하다고 판단하지만 과감하게 생략하거나 간략하게 기술한 부분이 있다. 특히 과학과 과학응용의 지식 부분에서 최소 필수 내용만을 선별하여 서술하였다. 따라서 앞으로 이 보고서를 활용할 때 미국과 일본의 보고서를 함께 참고할 수 있을 것이다. 이 보고서 초고가 완성된 후 의견을 수렴하는 과정에서 가장 많이 지적된 문제는 이 보고서의 내용에 대한 논의보다는 과거로부터 이어온 과학교육 현장의 문제를 어떻게 변화시켜 2050년에 보고서에 포함한 내용을 실현시킬 수 있을 것인가에 대한 내용이었다. 현재 제기되는 교육 분야의 많은 문제들은 대학입시와 연관되어 있다. 교육을 책임지는 정부는 모든 국민에게 동등한 기회를 부여하고 공정하게 평가하는 체제를 운영하기 위하여 노력한다. 따라서 수학과 과학에서도 채점 신뢰성이나 객관성을 담보할 수 있는 객관식 문제를 빠른 시간에 답을 하도록 유도하고 있고 변별력을 확보하기 위하여 난이도 높은 문제도 일부 의도적으로 출제한다. 그 결과 우리나라 수학과 과학의 중등교육은 외우고 있는 간단한 공식을 적용하여 빠른 시간에 문제의 답을 얻는 요령을 배우는 것으로 인식되고 있다. 평가의 목적중 하나는 학생의 수준을 변별하는 것이지만 국가적으로 더 중요한 평가의 목적은 평가를 준비하는 과정 자체가 학생이 대학에서 또는 성인이 되었을 때에 필요한 능력을 육성할 기회를 가지는 것이어야 한다. 즉, 평가는 선발이나 관리의 목적보다는, 학생의 성장과 발달을 위한 학습의 한 과정이어야 한다. 그러나 현재 우리나라 초중등 교육에서는 평가를 대비한 문제의 답을 찾는 요령 습득에 주력하는 경향이 있다. 이러한 문제는 누구나 알고 있고 해결을 위한 다양한 노력이 시도되고 있으나, 오히려 혼란이 가중되는 현실이다.

이러한 문제들을 당장 해결할 수 있는 방안을 이 보고서에서 제안하는 것은 아니다. 그러나 이 보고서를 만드는 과정에서 각계각층의 전문가들과 일반인들의 생각을 접하면서 그 지향점

은 대체적으로 일치하는 것을 알게 되었다. 그것은 단순한 지식을 암기해서 지엽적인 문제를 해결하는 것은 미래에는 그렇게 중요하지 않을 것이라는 점이다. 미래에는 이러한 것은 틀림없이 대중화될 것으로 예측하는 인공지능 로봇이 담당할 것이기 때문이다. 최근 미국 정부에서 예측한 바로는 인공지능에 의하여 미국 내에만 500만정도의 일자리가 사라질 것이라고 한다. 따라서 중요한 것은 해결해야할 문제를 포착하는 능력, 문제를 해결할 수 있는 방식으로 재구성하는 능력, 그리고 그것을 해결하는 과정에서 서로 공감하면서 협동할 수 있고, 새로운 가치를 창출하는 창의력을 가져야 한다는 것이다. 또한 빠르게 변화하는 사회는 지속적으로 새로운 능력을 요구하기 때문에 이러한 변화를 두려워하지 않고 적극적으로 대응하고 적응하는 능력도 필요할 것이다. 과학교육은 이러한 능력을 육성하는데 틀림없이 기여할 것이고 기여하기 위하여 과학교육의 혁신이 필요하다. 그리고 지속적인 후속 연구를 통하여 그 혁신을 구체적으로 구현해 나가야 할 것이다.

이 보고서는 대한민국의 일반인들이 필요로 하는 과학 소양을 제안하는 첫 시도라고 볼 수 있다. 그리고 이 보고서의 내용은 많은 변화가 있을 것으로 예측하는 다가오는 미래에도 지속적으로 연구하여 논의와 검토를 거쳐 개선되어야 할 것이다. 따라서 이 보고서는 마지막이 아닌 시작으로 볼 수 있고 앞으로 지속적인 연구가 필요하다.