

# 공학소양교육 모델로서의 막스 플랑크

남영  
한양대학교 창의융합교육원 부교수

## A Case of Max Planck as a Model of Engineering Literacy Education

Nam, Young  
Associate professor, Center for Creative Convergence Education, Hanyang University

### ABSTRACT

This study is an analysis of the life of Max Planck (1858–1947), the in view of engineering literacy education. Some expressions describing Planck include “the father of German science”, “the namer of Quantum”. Furthermore, he is the scientist who permanently engraved his name in a scientific invariant called the Planck Constant. Planck had already made remarkable scientific achievements in his mid-ages, which became the springboard of quantum mechanics, but he went on to achieve much more in his old age. Between 1910s and 1930s, he was the director of the Kaiser–Wilhelm Gesellschaft, the Berlin Academy, and the German Physics Society, which is the German core research group. In the 1910s, he endured the terrible personal suffering of losing his three children and then succeeded in rebuilding German science in the 1920s in his golden age of 70s. His achievement was great not only as a scientist but also as a science administrator. His life was contradictory in several ways. While fundamentally being a conservative, he initiated a great scientific revolution. While making efforts to preserve traditional values, he was in the center of great many upheavals and destruction. While being the incarnation of honesty, he was also given to extremely delicate political positions. In his long career, Planck lived with all his might as a leader of the German science organizations and permanently left his name on the institute representing Germany. Planck succeeded in his work for the institutional development of science, philosophical understanding of science, and as a role model of exemplary scientist. His long life was accompanied by both achievements and failures, intangible and difficult to judge. Today, as research and development management and scientific leadership have become increasingly important, Planck's life may be a good example of engineering literacy education.

**Keywords:** Science and technology leadership, Quantum mechanics, Max Planck, German science, Engineering literacy education

## 1. 서 론

과학기술의 규모가 날이 갈수록 커지고 세분화되고 있는 오늘날, 과학기술자가 갖춰야 할 덕목은 그만큼 더 많아졌다. 특히 전 방위적 문제에 대한 종합적 이해, 사회적 관계망의 관리, 후학 양성의 역량 등은 어느새 오늘날의 엔지니어가 갖춰야 할 필수적 덕목이 되었다. 이런 작업들을 훌륭히 수행해낸 과학기술자들의 사례를 발굴해 학생들에게 교육하는 일의 필요성은 특별히 강조할 필요조차 없을 것이나 이런 현대적 모범을 보인 과학기술자상에 대한 공학소양교육은 거의 이루어지지 못하고 있는 것이 현실이다. 이는 기본적으로 전공에 치우친 교과과정으로 인한 교육시간의 부재가 한 원인이기도 하지만, 한편으론 중등교육과정에서 과학기술자들에 대한 교육이 - 거대한 과학

이론이나 뚜렷한 기술적 발명을 이론 인물을 위주로 - 단편적 이론이나 기술발명 과정의 정보전달에 머무는 경우가 많았기 때문이다. 이런 약점을 보완하여 전체 분야의 열거를 그리며 융합적 연구를 수행하고, 개인을 넘어 팀 혹은 조직단위의 작업을 조율하는 종합적인 소양을 갖춘 현대과학기술 관리자에 대한 역할 모델 제공은 중요한 작업이며, 과학기술과 사회, 과학기술과 역사, 과학기술자의 리더십에 대한 고민에 답을 제시 할만한 사례발굴은 공학소양교육이 해결해야 할 중요한 숙제 일 것이다. 이런 문제의식 하에 이 연구는 독일과학의 아버지로 불렸던 막스 플랑크(Max Planck, 1858-1947)의 인생을 전술한 문제들의 간극을 메울 수 있는 방법론으로서 공학소양 교육의 측면에서 분석하고자 한다. 플랑크를 수식하는 표현들로는 ‘독일과학의 아버지’, ‘양자(Quantum)의 작명자’, ‘아인슈타인의 발견자’ 등이 있다. 나아가 그는 ‘플랑크 상수(Planck constant)’라는 과학적 불변량에 자신의 이름을 영구히 남긴 과학자이기도 하다. 무엇보다 그의 이름을 딴 막스플랑크 협회

Received October 13, 2021; Accepted October 20, 2021

† Corresponding Author: guderian@hanyang.ac.kr

©2021 Korean Society for Engineering Education. All rights reserved.

(Max Planck Gesellschaft)는 현재 독일을 대표하는 연구기관으로 뚜렷하게 자리 잡고 있다. 문제는 플랑크는 바로 이런 인상적이지만 단순화된 이미지로 피상적으로 알려진 대표적 사례라는 것이다. 그의 인생의 교육적 의미는 사실 그의 유명세 이상이다. 중년기에 이미 양자역학의 토대가 된 괄목할만한 과학적 업적을 만든 플랑크였지만, 그가 노년에 해낸 일은 훨씬 중요했다. 무엇보다 그는 1910-1930년대의 오랜 기간 동안 카이저 빌헬름 협회(Kaiser-Wilhelm Gesellschaft), 베를린 아카데미<sup>1)</sup>, 독일 물리학회라는 독일의 핵심연구 집단의 운영자였다. 그랬기에 상대성이론과 양자역학이 성립되던 시기 그의 역할은 그의 과학적 업적보다 더 주목해 보아야 한다. 또한 이 시기 플랑크는 끔찍한 개인사적 고통들을 참아 넘기며 독일 과학의 재건을 성공적으로 이끌었다. 그래서 그는 과학자로서의 업적뿐만 아니라 과학 관리자로서의 업적 또한 위대했다. 그리고 생의 마지막 십여 년간 나치 치하에서의 존경스러운 인생은 그의 가치를 더한다. 수많은 고난을 뚫고 과학자로서, 철학자로서, 과학 관리자로서, 무엇보다 인간으로서 모범적인 인생을 살았던 플랑크의 사례는 공학자로 성장할 학생들에게 큰 울림을 줄 수 있는 이야기가 될 수 있다.

이 연구는 전술한 맥락을 강조하며 플랑크의 일생을 재구성해서 공학소양교육에서의 시사점을 제시해보고자 한다. 따라서 이 논문은 역사적 사실을 몇 가지 주제에 집중해 해석한 기술적(Descriptive) 연구가 된다. 아흔에 가까운 인생을 살며 많은 이야기를 남긴 막스 플랑크의 인생은 다양한 자료로서 접근이 가능하다. 일차 사료로 냉전 말기에 연구된 『막스 플랑크: 한 양심적 과학자의 딜레마(The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science, 1986)』와 비교적 최근의 분석인 『막스 플랑크 평전(DER PHYSIKER, Max Planck und das Zerfallen der Welt, 2007)』의 잘 정리된 두 권의 표준연구가 있다.<sup>2)</sup> 이 이외에도 양자역학에 관련된 모든 설명에 빠짐없이 플랑크의 이야기가

1) 베를린 아카데미의 역사는 1700년까지 거슬러 올라간다. 정식 명칭은 프로이센 왕립 과학아카데미(Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften)로 브란덴부르크 선제후였던 프리드리히 1세가 베를린에 설립한 과학학회다. 라이프니츠가 초대학회장이었고, 프리드리히 1세가 1701년 프로이센 국왕을 겸하자 학회는 "왕립 프로이센 과학학회"가 되었지만 통상적으로 베를린 아카데미로 부른다.

2) 버클리 대학에 자리 잡았던 하일브론이 쓴 『막스플랑크』는 냉전 말기 미국학자의 현대 물리학사에 대한 시각이 잘 반영되어 있다. 특히 한 지식인의 성장과정과 학설에 해당 학자를 둘러싼 세계가 얼마나 큰 영향을 미치는지, 그리고 그것이 과학기술자의 삶에 어떤 딜레마를 드러내는지 설득력 있게 묘사하고 있다(임경순, 1992). 한편 세기가 바뀌어 출간된 피셔의 책 『막스플랑크』는 플랑크의 과학철학적인 입장들에 대한 분석이 두드러진다. 두 권의 책은 시대상과 사상적 맥락에서 과학기술이 받는 영향을 잘 보여준다는 강점이 있다.

등장할 수밖에 없어 그가 조연으로 등장하는 자료는 무수히 많다(Gribbin, 1984; Lindley, 2007; Kumar, 2008; Gilder, 2008; Baggott, 2011). 이 연구는 이런 자료들을 종합적으로 검토하여 공학 교육적 주제의 맥락에 맞게 탐구했다. 본문은 플랑크의 인생을 크게 네 단계로 나누어 추적해 보는 형식으로 정리하였고, 연구자의 강의경험을 바탕으로 공학소양교육에서 주목해 봐야 할 교훈들을 결론으로서 종합해 보는 순서로 구성되었다.

막스 플랑크의 긴 인생은 큰 굴곡이 없는 50년의 모범적 인생과 범세계적 혼란과 개인사적 비극 속에서 치열하게 살아야 했던 노년기의 40년에 가까운 인생으로 나뉘 볼 수 있다. - 그런 면에서 플랑크의 인생은 대부분의 사람들의 삶과 반대의 리듬을 가진다. 본문의 네 개 장은 먼저 그의 인생의 반세기에 걸친 전반기를 요약해 본 뒤, 행정가로서, 철학자로서, 교육자로서, 그리고 의연히 삶의 굴곡에 맞선 노장으로서의 삶을 1910년대, 1920년대, 1930년대 이후의 세 단계로 나누어 분석해 볼 것이다.

## II. 과학자 플랑크: 과학자로서의 성장과정

### 1. 중년까지의 플랑크

플랑크는 1858년 독일 북부의 항구도시인 킬에서 대대로 목사, 학자, 법률가를 배출하던 집안의 여섯째 자녀로 출생했다. 플랑크의 성장기는 1871년 탄생한 독일제국이 비스마르크의 집권 기간 최고도의 안정기를 누리던 시기와 일치했다. 조국 독일에 대한 자부심으로 가득 찬 시대를 살며 플랑크는 유년기를 보냈다. 따라서 플랑크의 성격과 생애는 그런 시대성과 가문의 틀에서 크게 벗어나지 않았다. 플랑크는 유년기에 뚜렷한 우수성을 보여주지는 못했다. 하지만 모든 과목에서 고른 성적 분포를 보였고 부지런하고 성실했다. 김나지움 선생님들은 플랑크의 내성적이고 강직한 성품과 인간적 자질을 훌륭히 평가했지만, 특별한 재능이나 적성을 발견하지는 못했다. 플랑크의 장점은 오랜 기간 몰두하며 서두르지 않는다는 것이었다. 하일브론의 표현을 빌리자면, ‘빨리’는 그의 속도가 아니었지만 일단 그가 이해했다는 것은 최선의 명쾌함으로 이해했음을 의미했다(Heilbron, 1986, 15-16).

플랑크는 1874년 말 김나지움 졸업 후 뮌헨대학 철학부에 등록해 학업을 시작했고, 1878년에 20세의 나이로 열역학에 대한 논문을 썼다. 당시의 여러 정황들로 볼 때, 플랑크가 세속적 유명세를 염두에 뒀었다면 인문학을 하는 것이 정상적인 분위기였다. 하지만 플랑크는 물리학의 길을 선택했는데, 그것이 자신이 추구하는 가치와 일치한다고 보았던 것 같다(Fisher,

2007, 43-44). 특히 19세기 정립되던 열역학 - 에너지 보존 법칙이나 변환 등에 대한 개념들 - 은 독실한 신앙심에 기반한 영원불변성을 추구하는 플랑크의 내면과 잘 맞아떨어졌다. 이런 플랑크의 성향은 이후 그의 과학철학적 선택에 지속적으로 영향을 미쳤다. 이후 플랑크는 학교를 옮겨 베를린 대학에서 헬름홀츠(Hermann von Helmholtz, 1821-1894)와 키르히호프(Gustav Kirchhoff, 1824-1887) 문하에서 수학하는 중요한 기회를 가졌다. 그리고 1879년 6월에 21세의 나이로 “열역학 제 2법칙에 관하여”라는 학위논문으로 뮌헨대학 최우등으로 박사학위를 받았다. 이후 1880년에 뮌헨대학에서 교수자격 논문이 통과되어 사강사 생활을 시작했고, 27세인 1885년에 고향인 쾰른 대학에서 수리물리학 부교수가 되었으며, 1889년에는 31세로 베를린 대학 부교수가 되는 등, 학자로서 안정적이고 보편적인 성장과정을 거쳤다. 그리고 마침내 1892년 34세 나이로 베를린대학 정교수로 자리 잡음으로써 학자로서 가장 안정적으로 창조적 활동을 할 수 있는 주기에 들어갔다. 1894년에는 베를린 아카데미 정회원이 되면서 뚜렷한 학계의 중진이 되었고, 1897년 자신의 연구를 책으로 엮어내면서 마흔을 바라보는 시점에는 고전열역학의 권위자로 자리매김했다. 무난한 19세기를 보낸 플랑크는 결국 40대 초반인 1900년에 유명한 흑체복사이론을 만들어내면서 과학사적 격동을 시작시켰다.

## 2. 열역학 논쟁에 대한 기어

열역학에 대한 논문으로 물리학계에 발을 들여놓은 플랑크의 삶을 이해하기 위해서는 당시 최신편이었던 열역학에 대한 소양이 필요하다. 19세기에 발전한 열역학은 결국 20세기에 이르러 상대성이론과 양자역학의 성립에도 근본적 토대가 되었다. 19세기 초가 되던 증기기관의 시대를 맞아 열효율에 대한 연구가 산업적으로 중요해졌고, 열 현상은 큰 관심을 받았다. 열 현상을 연구하던 학자들은 1840년대를 지나면서 운동, 화학반응, 열 등이 같은 물리적 양이고 이것들이 상호 변환 가능하다는 생각을 하기 시작했다. 그래서 이를 통칭하는 ‘에너지(Energy)’라는 개념이 자리 잡았다. 그렇게 19세기 후반이 되던 여러 연구와 논쟁 끝에 두 개의 열역학 법칙이 만들어진다. 열역학 제1법칙은 ‘우주의 에너지는 항상 일정하다’는 에너지 보존법칙이다. 에너지는 새로 만들어지거나 사라질 수 없으며 그 형태를 바꿀 수 있을 뿐이라는 의미다. 사실 이 법칙은 오늘날 대중들의 상식과 잘 부합하며 어렵지 않게 이해되고 논쟁이 발생할 여지도 거의 없었다. 문제는 제 2법칙이었다. 열역학 제 2법칙은 ‘우주의 엔트로피(entropy)는 항상 증가한다.’는 엔트로피 증가의 법칙인데 이 법칙을 사람들이 직관적으로 이해하기는 쉽지 않았다. ‘엔트로피’라는 개념 자체가 난해하기

때문이다. 처음 이 개념을 만든 과학자들조차 그랬다. 19세기 말까지 과학자들은 엔트로피라는 단어를 만들고 심지어 ‘계산했음에도’ 불구하고 엔트로피가 뭘지는 계속해서 논쟁거리였다.<sup>3)</sup> 많은 논란 끝에 이 질문에 현대적 답을 했던 사람은 루트비히 볼츠만(Ludwig Eduard Boltzmann, 1844-1906)이다. 볼츠만의 통계적 법칙으로 분석한 설명을 따르면 엔트로피 증가 법칙은 불가능의 선언이 아니며 단지 과거에서 미래로 되어져 갈 ‘확률의 정도’를 표현하는 법칙이다. 결국 엔트로피의 개념은 볼츠만에 의해 시간의 진행에 따른 물리적으로 ‘가능성이 가장 높은 배열’로 해석되어 오늘에 이르고 있다. 이런 설명은 매우 논쟁적이고 철학적이어서 과연 이 법칙을 어떻게 분석할 것이냐는 오늘날에도 여전히 난제라 할 수 있다.

그런데 볼츠만처럼 기체나 액체의 흐름을 통계적으로 다루려면 기체나 액체가 무수히 많은 작은 ‘입자’들로 구성되어 있음을 전제해야 한다. 볼츠만의 열역학은 분명하게 원자론을 전제하고 있었다. 이것은 볼츠만의 비극으로 연결된 에른스트 마흐(Ernst Mach, 1838-1916)와 볼츠만의 유명한 논쟁을 촉발시켰다. 음속의 단위에 자신의 이름을 남긴 마흐는 극단적 실증주의자였다. 자연과학에서 우리의 감각을 통해 경험하거나 관찰할 수 없는 모든 요소나 개념을 제거해야 한다고 주장했다. 마흐가 보기에 이론을 앞세워 만들어낸 수많은 개념들이 과학을 오염시키고 있었는데 그 대표적 개념이 ‘원자(atom)’였다. 정황만 제시될 뿐, 원자가 있다는 어떤 관찰증거도 없으며 마흐는 원자개념에 대해 격렬히 반대했다. 그런데 볼츠만의 업적은 철저히 ‘원자의 존재를 전제로’ 열역학을 통계적으로 발전시킨 것이다. 마흐는 아무리 보아도 수상해 보이는 확률과 통계라는 수학을 사용하여 원자론을 과학의 영역으로 확대하고 있는 볼츠만을 지속적으로 공격했다. 볼츠만으로서 마흐에게 자신의 인생이 부정당하는 셈이었다. 볼츠만은 열역학 제2법칙은 ‘원자론에 기초한 통계적 원리일 뿐이라는 자신의 해석을 되풀이해서 주장했다. 엔트로피는 ‘항상’ 증가하는 것이 아니라, ‘거의 항상’ 증가할 뿐이라는 것이다. 1906년 9월 6일, 빈 대학 물리학 교수였던 볼츠만은 가족과 함께 간 휴가지에서 극단적 선택을 했다. 많은 사람들은 볼츠만의 자살이 원자의 실재성에 대한 마흐와의 오랜 논쟁이 불러온

3) 에너지 보존 법칙과는 별개로 열은 시간의 흐름에 따라 일정한 경향을 띠며 움직였다. 뜨거운 물과 차가운 물을 섞으면 일정한 중간 단계 온도의 물이 된다. 하지만 반대로 그 물이 다시 뜨거운 물과 차가운 물로 저절로 나뉘지는 경우는 없다. 너무 자명해 보이지만 과학은 이를 합리적으로 설명할 방법이 없었다. 이 경향성을 설명하기 위해 엔트로피라는 개념을 만들고, 그것이 증가한다고 설명한 것이었다. 그래서 엔트로피 증가의 법칙을 흔히 ‘무질서도 증가의 법칙’으로 단순하게 이해하는 경우도 생긴다. 엔트로피라는 단어를 만들어 두고도 직관적인 이해를 할 수 없는 상황이 한동안 지속되었다. 19세기의 이 치열한 논쟁과정은 하만이 자세히 분석한 바 있다(Harman, 1982).

우울증 때문으로 추정했다. 그만큼 당시 원자의 존재여부는 심각한 과학 철학적 문제였다.<sup>4)</sup>

이렇게 열역학 제2법칙이 난해함으로 인해 많은 논쟁의 중심에 있었던 시기 플랑크는 열역학에 대한 학위 논문을 썼다. 이 시기 플랑크는 볼츠만을 존경했지만 열역학 제 2법칙이 절대적인 것이 아니라 통계적인 성격을 지니는 것이라는 볼츠만의 생각은 받아들이지 않았다. 절대 확실한 진리를 찾고자 하는 플랑크의 성향으로는 볼츠만의 확률론적 해석이 마음에 들지 않았다. - 뒷날 확률에 기대는 양자역학을 마주했을 때도 플랑크는 똑같이 반응했다. 플랑크는 원자론이 과학발전에 별 소독을 주지 못하리라 보았고, 그는 이런 입장을 1880년대 내내 유지했다. 그런데 놀랍게도 플랑크는 중년의 나이에 원자론으로 '개종'했고 볼츠만을 이어 마흐와 싸우기 시작했다. 그는 자신이 틀렸다고 생각하면 언제나 그것을 솔직히 인정했다. 플랑크는 자신의 신념과 업적들이 사실과 다르다고 판단될 때는 미련 없이 사실을 택했다. 이것이 플랑크의 놀라운 점이다. 양자론은 플랑크의 이런 태도 때문에 시작될 수 있었다.

### 3. 양자의 발견

양자론은 1900년 막스 플랑크가 '작용양자' 개념을 제창하면서 시작되었다고 볼 수 있다.<sup>5)</sup> 그래서 양자론에 대한 설명은 어떤 자료를 보아도 예외 없이 플랑크에서 시작한다. 플랑크가 제시한 양자개념은 독일산업의 발전과정에서 발생한 문제의 해결과정에서 탄생했다. 복사광의 세기를 정밀 측정하는 것은 1880년대 이후 전기조명산업이 발전하면서 갑자기 중요해졌다. 전력산업의 주도권을 쥐고 싶었던 독일은 엄청난 예산을 투입하기 시작했고 효율적 전구를 개발하려는 노력 속에 다양한 표준이 마련되어야 했다.<sup>6)</sup> 백열전구 상용화 과정에서 전기적 측정에 대한 합의된 단위와 표준설정 문제가 중요해졌던 것

이다. 물체에서 방출되는 빛의 색과 세기의 상관관계에 대한 연구는 결국 흑체에서 방출되는 에너지의 양을 알아내는 문제로 변환되었다. 이것이 바로 플랑크 앞에 제시된 '흑체문제(blackbody problem)'였다. 즉 '양자'의 발견, 다시 말해 즉 흑체복사와 관련된 체계적인 실험은 당시 독일 산업의 요구에 부응한 결과였다. 결국 방대한 실험결과들이 플랑크가 복사관계식을 찾게 되는 토대가 되었다. 이 이야기는 왜 양자가 독일에서 탄생했는지 잘 보여준다. 양자의 발견은 독일산업의 발전과정과 무관하지 않았다. 그리고 전기조명산업이라는 신산업이 결국 이론과학의 발전을 앞당긴 것이라 볼 수 있다. 사회 환경의 변화가 가장 근본적인 이론과학의 흐름에도 큰 영향을 줄 수 있음을 보여주는 사례다.

하지만 한편으로 그것은 플랑크였기에 가능했던 업적이었다. 플랑크는 1900년 흑체복사 연구를 통해 얻어낸 새 복사법칙의 이론적 근거를 찾다가 볼츠만의 통계역학적인 엔트로피 개념을 받아들여야 하는 상황임을 깨달았다. 1877년 볼츠만이 제기했던 논의였고, 1880년대 내내 자신은 반대한 해석이었다. 하지만 플랑크는 겸허히 이를 인정했다. 흑체복사 과정은 에너지가 연속적이지 않고 불연속적으로 방출된다고 해석하면 손쉽게 이해되는 것이었다. 플랑크는 그 불연속적 알갱이를 '양자'라 이름 짓고 그 알갱이의 최소크기도 결정했다. 그것이 플랑크 상수  $h$ 다. 19세기 내내 원자론을 의심스럽게 바라봤던 플랑크는 20세기에 들어 그렇게 열렬한 원자론 홍보자가 되었다. 40대가 넘어 자신의 이전 입장을 이렇게 완전히 바꾼 과학자는 흔치 않을 것이다.

## III. 과학철학자 플랑크: 1910년대의 삶

### 1. 제1차 세계대전 전후의 삶

중년기 플랑크의 일상적 삶은 세기말 지식인의 모범이었다. 국가와 전통에 대한 신뢰 속에 회의, 시험, 수업 등으로 가득찬 일상의 업무를 병행하면서도 베를린 대학교수, 베를린 아카데미 회원, 독일물리학회 원로, <물리학 연보> 편집인의 역할을 빈틈없이 수행했다. 20세기 들어 '양자'의 시대를 시작시킨 플랑크는 1910년대에 접어들면서 더욱 중요한 역할을 담당했다. 독일과학을 조직하고 후학을 교육하는 실천적 교육가와 조직가로서 삶이었다. 플랑크는 박사과정 학생들을 자유롭게 방임하는 정책을 취했기 때문에 러더퍼드(Ernest Rutherford, 1871-1937, 1908년도 노벨화학상)의 캐번디시 학파나 보어(Niels Bohr, 1885-1962, 1922년도 노벨물리학상)의 코펜하겐 학파처럼 학파를 세우지는 못했다. 하지만 총 20명이 플랑크 밑에서 박사학위를 받았다.<sup>7)</sup>

4) 이 논쟁은 볼츠만의 전기인 『볼츠만의 원자(Boltzmann's Atom, 2001)』에 잘 묘사되어 있다. 원자의 실재성 논쟁이 얼마나 거대하고 치열한 것이었는지 잘 알려준다.

5) 플랑크는 1900년 12월 14일 독일물리학회에서 “흑체복사의 에너지( $e$ )는 특정한 상수( $h$ ) - 후일 플랑크 상수라 불리게 된다. - 와 진동수( $\nu$ )의 곱의 정수배가 되어야 한다.”는 유명한 주장을 했다. 이렇게 그의 유명한 공식 ' $e=h\nu$ '가 등장하며 우리가 몸담은 세계가 아날로그가 아니라 사실은 디지털의 세계라는 것이 선포되었다 (Gribbin, 1984, 64-73; Heilbron, 1986, 33-35; Fisher, 2007, 139-143; Kumar, 2008, 45-48; Baggott, 2011, 35-47).

6) 이시기 황립물리기술연구소(PTR: Physikalisch-Technische Reichsanstalt)가 영미의 기술체계에 도전하려는 독일의 야심찬 계획의 일환으로 만들어졌다. 국제적으로 공인된 정확한 광도단위를 고안하는 것도 이 연구소의 중요연구과제였다. 결국 더 좋은 전구를 만들어야 한다는 필요성이 1890년대 흑체연구 사업으로 이어졌고, 양자의 발견이 뒤따랐다.

청년기와 중년기까지 평온해 보이던 플랑크의 인생은 50세를 넘으면서 파란 많은 시기로 접어들게 된다. 어쩌면 1909년에 23년을 해로한 첫 부인과 사별했던 것이 첫 신호였다.<sup>8)</sup> 이후 1911-1913년 사이 플랑크의 입지에는 중요한 변화들이 있었다. 1911년 카이저 빌헬름 협회가 설립됐다. 세계과학의 중심이 되기 위해 독일 내 과학단체들을 망라하는 통합조직으로 출범해 이후 30여 년간 이 협회는 독일과학의 통합증추 역할을 했다. 플랑크는 재능 있는 핵심 물리학자들을 카이저 빌헬름 협회에 포진시켜 나갔다. 1912년 54세의 플랑크는 베를린 아카데미의 수학, 물리학 분과 상임서기로 선출됐다. 1913년 플랑크는 베를린 대학 학장이 됐고, 독일물리학회 회장은 3회 연속 역임했다. 베를린 대학 학장, 베를린 아카데미 서기, 독일물리학회장이라는 중요한 직책들을 수행하며 1910년대는 플랑크가 과학행정가로서 역량을 발휘하기 시작한 시기다. 하지만 동시에 그의 조국과 그의 가족 모두가 비극으로 얼룩진 시기이기도 했다.

이 시기 플랑크의 또 하나 중요한 업적은 다른 아인슈타인의 발굴과 지원이다. 청년 아인슈타인을 발굴하고 상대성이론을 빠르게 물리학의 주류로 편입시키는 플랑크의 작업들은 이 시기에 이루어졌다. 먼저 1905년 아인슈타인의 도발적인 논문 “움직이는 물체의 전기동역학에 대하여”(특수상대성이론)를 <물리학연보>에 실어줬던 플랑크는 여기서 그치지 않았다. 이후 플랑크는 아인슈타인의 논문을 확장시키는 일에 몰두했다. 플랑크는 아인슈타인을 지지했던 첫 이론가였고, 그의 위상이 아인슈타인이 초기에 지지를 얻는 데 큰 도움이 되었다. 상대성이론의 공간수축과 시간지연, 시공간을 단일한 좌표축으로 통합하는 충격적 개념들은 많은 이들이 패러독스라고 생각했지만, 플랑크는 이것이야말로 시공간에 관한 뿌리 깊은 직관까지 초월하는 물리학의 위대성을 보여주는 것이라고 평가했다. 상대성이론에 관한 한 플랑크는 주류 물리학자 중 당시 가장 진보적이었다. 그는 여러 반대의견들 앞에서 강하게 상대성이론을 옹호했다(Heilbron, 1986, 40-43; Fisher, 2007, 166-177). 이 시기 플랑크는 지도 중인 대부분의 박사과정 학생들에게 상대성이론의 후속논문을 쓸 것을 종용했다. 특히 1906-1914년 사이 지도한 박사학위 논문들은 거의가 상대성이론을 주제로 했다. 베를린이라는 과학의 한 중심축에서

계속해서 상대성이론을 밀어붙인 셈이었다. 그런 플랑크가 1912년 베를린 아카데미 신임 서기가 되었을 때 맨 처음 한 일은 아인슈타인을 아카데미에 영입한 것이었다. 이후 1913년에 플랑크는 취리히로 직접 찾아가 아인슈타인에게 거절하기 힘든 최고의 대우를 제시하며 베를린으로 부른다. 플랑크는 ‘강의 의무 없는’ 베를린 대학교수직과, ‘보수 높은’ 베를린 아카데미 정회원, ‘행정업무가 전혀 없지만 권위 있는’ 카이저 빌헬름 물리연구소 소장직을 ‘묶어서’ 아인슈타인에게 제시했다(Heilbron, 1986, 44; Fisher, 2007, 178). 자신의 힘이 미치는 범위 내에서 최고의 예우를 아인슈타인에게 제시한 것이다. 그 결과 일반 상대성 이론이라는 위대한 이론은 베를린에서 탄생할 수 있었다. 우파 제국주의자이며 전통가치를 옹호하는 가정적인 플랑크와, 좌파 인도주의자며 개방적 자유연애를 추구하는 아인슈타인의 우정은 서로의 엄청난 가치관 차이에도 불구하고 잘 유지되었다.

## 2. 마흐주의에 대한 저항

20세기에 들어서도, 볼츠만의 자살 이후에도 마흐는 직접적 경험의 중요성을 강조하며 계속해서 원자론을 거부하고 있었다. 원자론이 너무나 당연시되는 오늘날의 관점에서는 어이없어 보이지만, 당시 이런 마흐의 태도는 매우 인기 있고 겸손해 보이는 시각이었다. 반면 검증 불가능한 원자를 계산상의 편의나 간편한 설명을 위해 계속해서 전제하는 이론들은 특히 많은 젊은 학생들에게 현학적인 표현에 숨어버린 무책임으로 느껴졌다.<sup>9)</sup> 마흐의 태도는 ‘경험에 입각한 교육’이라는 일견 당연하고 진보적인 입장으로 생각되기 쉽다. 오늘날에도 과학에 문외한인 경우 환영할만한 교육철학으로 보일 수 있다. 하지만 물리학 교육에서 사고실험이라는 중요한 과정이 배제된다면 중등물리에서 사실상 아무것도 배울 수 없을 것이다. 사실 상대성이론이나 양자역학 모두 ‘감각 증거’를 거부함으로 이루어진 업적이었다. 마흐의 입장을 선택했다면 이런 과학들은 등장하지 못했을 것이다.

플랑크 역시 중년에 이르기까지 마흐의 방법론이 옳다고 생각했다. 하지만, 마흐가 최신의 물리학에 대해 거의 무지하다는 것을 인식했다. 그리고 곧 마흐의 시각이 새로운 물리학에 유해하다고 생각을 바꿨다. 플랑크가 보기에 마흐는 자신이 이

7) 이 중에는 발터 보테(Walther Bothe, 1891-1957, 1954년도 노벨물리학상)와 평생에 걸쳐 가장 충실한 제자이자 동료였던 막스 폰 라우에(Max von Laue, 1879-1960, 1914년도 노벨물리학상), 심지어 빈 학파(Vienna Circle)의 중심인물인 철학자 모리츠 쉐리크(Moritz Schlick, 1882-1936)도 있었다.

8) 플랑크는 1년 반 뒤 첫 부인의 조카와 재혼했는데 이는 시대 분위 가장 자연스러운 것이었다. 집안 관리와 자녀교육의 필요성이 있었고, 교수가 부인이 있는 것이 ‘정상적’이던 시대였다.

9) 사실 마흐의 태도는 한 과학자의 돌출행동이 아니라 오랜 역사적 전통을 가진 입장이다. 마흐는 물리학이 ‘현상의 기술’ 이상의 목표가 없다고 선언함으로써 종교나 도덕질서와 같음을 가져올 수도 있는 ‘사물의 본성’에 대한 주장을 회피한 것이다. 즉 마흐의 입장은 철학적, 종교적 공격으로부터 물리학을 지키는 일종의 방어논리였다.

해하지 못한 부분들을 물리학이 아니라고 생각해 버린 것이다. 마흐는 유일한 실재를 ‘감각’으로 봤다. 그래서 원자론은 마흐가 보기에 하나의 종교에 불과했다. 하지만 플랑크는 물리학에서 모든 형이상학적 요소들을 제거하는 것은 불가능하며 마흐에 정면으로 반박했다(Fisher, 2007, 186-192).

마흐가 보기에 과학은 수많은 경험에 대한 편리한 요약이어야 했다. 따라서 관찰자로부터 독립적인 실재세계의 검증은 불가능한 것이다. 이처럼 후일 양자역학에 내포된 기본입장이 마흐의 주장 안에 이미 녹아있었다. 이런 마흐의 주장에 접어서부터 노출된 학자들이 양자역학을 만들어 낸 것은 우연이 아니다. 뒤이어 물리학계를 전율시키게 될 양자론 역시 마흐라는 시대유행의 결과물 중 하나였던 셈이다.

이제 반대편에 선 플랑크는 마흐가 원자론을 공격함으로써 물리학자들을 잘못된 방향으로 인도하고 있다고 생각하며 1908년 이후 적극적으로 물리학의 통일성과 자연의 실재성을 강조했다. 이런 플랑크의 시각은 독일과 오스트리아에서 마흐의 생각에 공감하던 많은 당대 지식인들에게 불편한 것이었다. 하지만 곧 주요 과학이론가들은 플랑크를 지지했다.<sup>10)</sup>

이런 마흐와 플랑크의 충돌은 많은 당대 학자와 젊은 물리학자들에게 엄청난 지적 토양이 되어주었다. 플랑크는 그 후에도 물리학에 대한 과대평가와 과소평가를 모두 경계했다. 마흐와의 논쟁을 겪으며 플랑크의 이미지는 철학자로 그 위상이 높아졌다(Heilbron, 1986, 73).

### 3. 플랑크의 오점과 가족사적 비극

열정적인 과학철학적 논쟁을 이어가던 플랑크는 제1차 세계 대전 시기 자신의 인생에 오점을 남겼다. 플랑크의 평화주의적 가치관에도 불구하고, 독일인으로서, 특히 프로이센인으로서의 그의 감성은 군대와 뗄 수 없는 것이었다. 그가 후일 두고두고 후회한 행동은 이런 감성과 전쟁 초기의 낭만적 분위기 속에서 나왔다. <문명세계에 대한 호소> 혹은 <지식인 93인 성명서>라는 제목으로 불리는 선언문이 1914년 10월 4일에 10개 국어로 발표되었다. 이 93인 중에는 물리학자 빌헬름 뢰트겐(Wilhelm Röntgen, 1845-1923, 1901년도 노벨물리학상), 화학자 프리츠 하버(Fritz Haber, 1868-1934, 1918년도 노벨화학상), 수학자 펠릭스 클라인(Felix Klein, 1849-1925) 등 쟁쟁한 독일학자들이 포함되어 있었다. 선언문은 벨기에의 그 어떤 시민의 삶과 재산도 독일군에 의해 손상되지 않았다는 내용

이었다. 플랑크를 비롯한 독일 교수와 지식인들은 자신들이 교육시킨 독일의 젊은이들이 마구잡이의 학살, 테러, 방화, 약탈을 행하고 있다는 연합국의 선전을 믿을 수 없었다. 그들은 독일의 잔학행위들에 대한 소문이 연합군이 꾸며낸 억울한 누명이라 생각하고 분개했던 것이다. 그래서 플랑크는 전문을 읽어보지도 않고 쉽게 그 성명서에 서명했다. 하지만 문제는 그 소문들이 정확한 사실이었다는 것이다. 성급한 애국주의에서 나온 이 성명은 역효과만 초래했다. 선언문의 내용은 뻔뻔하게 받아들여졌다. 플랑크를 비롯한 독일 지식인들의 위상이 크게 추락했다. 플랑크는 이 경솔했던 서명을 후회했다. 그리고 이후부터는 평생에 걸쳐 선언에 서명하는 것에 신중했다. 이후 플랑크는 <93인 성명서>에 대해서 신중하지 못했다며 공개적으로 반쯤은 부정했고, 1915년에 로렌츠(Hendrik Lorentz, 1853-1928, 1902년도 노벨물리학상)에게 보낸 개인적 편지에서는 성명서에 서명한 것에 대해 사과했다(Heilbron, 1986, 83-87; Fisher, 2007, 229-236). 이렇게 플랑크는 실수 후 언제나 이를 솔직히 인정하며 바로잡기 위해 노력했다.

개인사의 측면에서, 플랑크는 1차 대전 시기 상상하기 힘든 비극의 주인공이 된다. 처음에 플랑크는 젊은 제자들이 하나둘씩 전행터로 사라져가는 것을 지켜봐야 했다. 그리고, 장남 칼이 포병으로, 차남 에르빈은 전선으로, 엠마와 그레테 두 딸은 간호사로 가족들도 전쟁에 휘말려 들었다. 그러던 중 1916년에는 장남 칼이 부상약화로 포로수용소에서 사망했다. 비극은 여기서 그치지 않았다. 1917년에 하이델베르크 교수였던 페르디난트 펠링과 결혼했던 장녀 그레테(Grete)가 출산 후 일주일 만에 급사했다. 쌍둥이 동생이었던 엠마(Emma)가 아기를 돌보다 1919년 1월에 형부였던 펠링과 결혼한다. 하지만 그해 말에 엠마 역시 출산 직후 사망했다. 실화라고 믿기 힘든 수준의 사건이었다(Heilbron, 1986, 95-96; Fisher, 2007, 240-242). 삼 년 만에 플랑크는 세 명의 자녀를 잃었다. 이 시기 플랑크가 겪은 슬픔의 강도를 상상하기는 쉽지 않다. 로렌츠에게 보낸 편지에는 “때론 나의 삶 자체의 가치를 의심한 적도 있습니다.”라고 썼다.<sup>11)</sup> 1919년에는 1918년도 노벨물리학상 수상자로 선정되었지만 그의 상실감을 만회하기엔 부족했을 것이다.

10) 쪼머펠트는 “(마흐주의는) 해충을 몰아낼 수 있을 뿐 생명을 낳을 수는 없다.”고 했고, 아인슈타인은 “그(마흐)는 훌륭한 과학자였으나, 개탄할만한 철학자였다.”라고 평했다(Heilbron, 1986, 70-71).

11) 당시 아인슈타인은 “플랑크의 불행이 내 가슴을 찢어지게 합니다. 그를 보고 나는 눈물을 참을 수 없었습니다.....그는 놀랄 만큼의 인내력으로 깨끗하게 버티고 있지만, 슬픔이 그를 갈아먹고 있음을 알 수 있습니다.”라고 기록했다(Heilbron, 1986, 96).

## IV. 과학관리자 플랑크: 1920년대의 삶

### 1. 독일과학의 재건 작업

1920년대 독일과학의 미래는 암담했다. 1919-1923년 사이 독일의 초 인플레이션(hyper-inflation)은 상상조차 힘든 수준이었다.<sup>12)</sup> 위기 속에서 플랑크는 독일 과학을 지키기 위한 작업을 치열하게 전개했다. 특히 1920년대 초반 재정 악화로 파탄상태에 직면한 독일과학조직들을 되살리기 위해 동분서주했다. 1920년대가 되자 독일의 연구기관들은 자금난으로 장비는 물론 심지어 해외학술지를 사들여오는 것조차 불가능해진 상황이 되었다. 그러자 독일은 1920년 출범한 독일과학비상협회를 통해 체계적으로 기금을 모았다. 대부분의 정부기관, 과학단체, 기업들이 주저 없이 지원했다. 정치적 혼란기임에도 패전 독일의 마지막 자부심이라 할 수 있는 독일과학만은 지켜야겠다는 공감대가 사회지도층에 어느 정도 형성되어 있었다. 그래서 악조건 속에서도 카이저 빌헬름 협회를 중심으로 한 과학기술에 대한 국가보조는 지속적으로 증가했다. 플랑크는 이 기금들이 특히 원자물리학과 양자물리학에 우선 지원될 수 있도록 배려했다. 베를린의 아인슈타인, 뮌헨의 쪼머펠트(Arnold Sommerfeld, 1868-1951), 괴팅겐의 보른(Max Born, 1882-1970, 1954년도 노벨물리학상) 등 핵심 연구자들 모두가 이런 과정에서 연구비 지원을 받을 수 있었다. 원자연구가 세계적 주제로 떠오르는 시기 플랑크는 독일과학의 회생을 위한 가장 경제적이고 가능성 높은 일에 적절히 투자한 셈이다. 1920년대에 전개된 독일 원자 과학의 황금기는 플랑크의 이런 작업들이 있었기에 가능했다. 플랑크가 주도한 지원을 받은 이론가들은 양자역학 성립의 핵심작업을 이루어냈다. 결국 독일 물리학은 양자역학으로 세계의 주목을 끌었고, 독일과학이 여전히 건재함을 보여줬다.

1930년 카이저 빌헬름 협회 이사회가 72세의 플랑크를 회장으로 선출했다.<sup>13)</sup> 이로부터 플랑크는 7년간 재임하게 되는데

아주 힘든 기간이었다. 1911년 설립된 카이저 빌헬름 협회는 1933년 나치 집권 당시에 산하연구소 30개, 직원 1,050여 명, 연구자 300명 이상을 보유한 거대연구기관으로 과학정책에서 핵심적 지위를 차지한 기관이 되어 있었다(송충기, 2007, 227; Albrecht & Hermann, 1990, 356-406). 70대의 플랑크는 처음 3년은 세계경제대공황의 타격을 완화해보기 위한 노력을 해야 했고, 뒤의 4년 동안은 나치의 폭압적 정책에 맞서서 학회의 독립성을 유지시키려고 필사적으로 움직여야 했다. 플랑크는 그때마다 신문 기고, 인터뷰, 라디오 연설, 로비 등의 모든 가능한 방법을 사용했다. 플랑크의 여러 지위가 요구하는 다양한 작업들에는 초인적 노력이 필요했다. 사실상 대체 불가능한 인력이었기에 플랑크는 1927년 정년으로 은퇴한 뒤에도 강의와 논문심사를 계속해야 했다. 74세가 된 1932년에도 대학 행정 일을 돌봤다. 그의 작업들은 이런 기본적인 업무를 모두 두 처리하며 이루어진 활동이었다(Fisher, 2007, 265-269).

1920년대 독일과학이 당면한 어려움은 독일의 경제 상황만이 아니었다. 독일 학문의 국제적 지위도 추락했다. 1919년 연합국에 의해 결성된 국제연구평의회는 정관에서부터 독일과 그 동맹국 국적자들의 참가를 배제했다. 1920-1924년 사이 국제학술회의에서 실제로 독일과 오스트리아 학자들은 철저히 배제되었다. 1925년 로카르노 조약 후 1926년에 독일이 국제연맹에 가입하고 나서야 국제적 학술회의들의 정관에서 독일 배제 조항이 삭제되었다. 하지만 그 후에도 많은 독일학자들이 국제회의에 참여를 거부했다. 가혹한 베르사유 조약 내용에 충격을 받은 독일지식인들의 심적 반발이 심했던 것이다. 이 시기 국제과학기구들에서 탈퇴를 요구하는 강경파도 독일과학자들 중 상당수였다. 실제로 2차 대전이 끝난 후야 독일의 학문 활동은 다시 세계와 완전하게 연결될 수 있었다. 플랑크는 1차 대전 종전 후에도 승패를 떠나 국제적 학술협력이 이루어져야 한다고 봤고 여러 실제적 행동들을 통해 노력했다. 그리고 아카데미 내에 호전적이고 광적인 분위기가 나타나는 것을 최대한 막았고 적대적 논조들을 완화시켰다. 전후 국가 간 화해의 상징으로서 플랑크는 큰일을 이뤄냈다(Heilbron, 1986, 117-119).

### 2. 반상대론과 양자역학에 대한 대응

레나르트(Philipp Lenard, 1862-1947, 1905년도 노벨물리학상)와 슈타르크(Johannes Stark, 1874-1957, 1919년도 노벨물리학상)는 대표적인 친나치 과학자였다. 그들은 이미 1924년경부터 히틀러를 열렬히 지지했으며, ‘독일적이고’, 응용적이고, 산업적이고, 실용적인 물리학을 옹호했다. 실험물리학이야말로 독일적인 물리학이라는 주장은 시행착오를 거쳐

12) 한 예로 1918년 0.5마르크였던 빵 한 개 가격은 1923년 17억 마르크가 되어 5년 만에 34억 배로 인상되었다. 플랑크는 스스로가 당시 인플레이션의 정도를 가늠케 하는 유명한 일화의 주인공이 되기도 했다. 어느 날 아카데미의 업무로 지방출장을 갈 때 ‘기차를 타고 가는 사이’ 호텔비가 올라 지급받은 출장비로 요금지급이 어렵게 되었다. 어쩔 수 없이 노년의 노벨상 수상자는 기차역 대합실에 앉아 첫 기차가 올 때까지 밤을 새워야 했다(Fisher, 2007, 280-281). 당시 독일 최고 과학자가 감내해야 할 상황이 이 정도였다.

13) 1911년 창립 후 1930년까지 카이저 빌헬름 협회를 이끌던 하르낙(Adolf von Harnack, 1851-1930)이 사망하자, 오래전부터 후임자로 자연스럽게 거론되던 막스 플랑크가 다음 연구원장이 되었다(송충기, 2007, 229).

연단되는 기술습득이라는 이상에 익숙한 기술자들, 과학의 빠른 산업적 응용을 바라는 대기업들, 상대론과 양자역학이 유대인들의 퇴폐적인 작품이라고 보았던 반유태주의자들 모두에게 호소력이 있었다(Fisher, 2007, 271). 사실 레나르트나 슈타르크 같은 이들이 이론물리학을 독일과학답지 못하다고 느낀 이유는 아주 간단했다. 그들이 이해하기에는 너무 어려웠기 때문이다. 그리고 ‘노벨상 수상자인’ 자신들도 이해 못 한다는 것은 단지 말장난의 사기극이라는 생각이 그 뒤를 따랐다. 이렇게 1920년대 독일에서는 이론물리학과 실험물리학의 반목이 특수한 정치사회적 의미를 띄며 심각하게 전개되었다. 당시 플랑크의 자원배분은 이처럼 반유태주의 과학자들이 유대인 그룹에게 자원이 집중된다고 비난하는 상황을 극복하면서 이루어져야 했다.

1919년 이후에는 아인슈타인이 세계적 유명세를 타자 극우 언론의 주 공격목표가 됐다. 레나르트와 슈타르크는 아인슈타인의 과학은 유대인들의 종교만큼이나 유해하다고 주장했다. 레나르트는 아인슈타인의 노벨상 수상을 저지하려고 노벨상 위원회 위원들에게 자신의 영향력을 최대한 발휘했다. 1920년대부터 아인슈타인은 직접적 테러가 가해질지도 모르는 위험한 상황이 되었다. 플랑크는 특유의 어법으로 문제를 봉합하려고 노력했다. 레나르트의 물리학은 직관적이고, 아인슈타인의 물리학은 추상적인데 이는 ‘취향의 문제’라고 설명했다. 그럼에도 상황은 훨씬 심각해졌다. 뒤이은 아인슈타인의 1922년도 노벨물리학상 수상 소식은 극우주의자들의 증오를 더 키웠고, 1923년에 아인슈타인은 아예 네덜란드로 피신했다. 이때 플랑크는 아인슈타인을 잃지 않으려고 계속해서 노력했다. 플랑크는 아인슈타인에게 부담을 주지 않으려고 베를린을 공식적 거주지로만 유지하고 베를린에서 최소 1년에 한 번 이상만 학술 강연을 하면 현 직위를 모두 유지한 채 원하는 곳에 머물 수 있도록 조치했다(Heilbron, 1986, 128-129).

과학철학적 논쟁도 계속해서 발생했다. 1920년대에는 코펜하겐의 보어를 필두로 보른, 파울리(Wolfgang Pauli, 1900-1958년, 1945년도 노벨물리학상), 하이젠베르크(Werner Heisenberg, 1901-1976, 1932년도 노벨물리학상) 등의 젊은 세대가 양자역학을 만들어내며 관찰자의 간섭이라는 개념을 과학에 도입하는 시도를 했다. 유명한 핵심쟁점인 코펜하겐 해석(Copenhagen interpretation)은 1927년 두 번에 나누어 발표되었다. 먼저 하이젠베르크가 불확정성 원리(uncertainty principle)를 발표해 어떤 경우에도 전자의 위치와 운동량을 동시에 정확히 아는 것은 불가능하다는 것을 수학적으로 보였다. 그 뒤 1927년 가을 보어가 그간의 세 가지 핵심가설을 바탕으로 상황을 종합해 냈다. 이른바 상보성 원리

(complementarity)가 탄생했다. 이 과정에서 보이는 독립적으로 존재하는 사물의 성질을 물리학의 범위에서 제외시켜 버렸다. 이 해석에 따르면 파동과 입자 개념은 반대가 아니라 상보적인 것이다. 실험자는 파동과 입자 둘 중 어느 측면을 나타낼 것인지 ‘결정’한다. 즉 선택된 실험의 방법이 두 측면 중 한 측면으로 해석하게 한다. 보이는 사실이 둘 중 무엇인지를 따지는 것 자체가 의미가 없는 것이고, 그것은 물리학이 해야 할 일이 아니라고 선언했다(Heilbron, 1986, 142-145; Lindley, 2007, 169-180; Baggott, 2011, 171-201; Gilder, 2008, 190-197; Gribbin, 1984, 169-173).

이것은 플랑크의 입장에서 그렇게 배제하고자 했던 마호적인 사유들을 재도입한 것이었다. 플랑크는 이 괴팅겐-코펜하겐 해석을 강력히 거부했다. 그는 자신이 시작시킨 양자론에서 결코 불확정성 원리 같은 것을 기대하진 않았다. 이것은 플랑크가 그렇게 배제하고자 했던 인간중심적 요소, 즉 마호주의를 과학에 끌어들이는 것이었다. 코펜하겐 학파는 더 이상의 탐구 자체를 거부하고 있는 것으로 느껴졌고, 플랑크로선 경악스러웠다. 플랑크와 유사한 생각을 가진 사람은 더 있었다. 아인슈타인은 양자역학을 “진정제 철학 혹은 종교”라고 표현했고, 슈뢰딩거(Erwin Schrödinger, 1887-1961, 1933년도 노벨물리학상)는 “파동함수의 확률론적 해석은 무책임한 해결책이다.”라고 했다. 막스 폰 라우에(Max von Laue, 1879-1960, 1914년도 노벨물리학상)는 아예 “(코펜하겐 해석은) 문화적 비관주의”라고 봤다(Heilbron, 1986, 147). 양자역학에 의심의 눈초리를 보인 이 핵심 인물들은 거의 베를린에 거주하고 있었다. 어찌 보면 이후 이 싸움은 코펜하겐-괴팅겐 연합 대 베를린 그룹의 싸움이 되어갔고 오늘날까지의 결과로는 결국 베를린이 패배했다.

1930년대가 되었을 때, 플랑크에게는 과학 외적인 더 심각하고 불행한 문제들이 등장했다. 1930년대 초 세계적 경제공황이 발생하자 공산당과 나치가 약진했고 반유태주의가 공공연히 학문 세계에 침투했다. 학자들은 연구목표를 정하지 못하고 학계 전반에 방향감각 상실이 만연했다. 이런 외중에 일부 과학자들과 신학자들은 하이젠베르크의 불확정성 원리를 비결정론의 증거라며 자유의지나 도덕적 책임의 근거로 해석했다. 플랑크는 특히 확률론적 해석으로부터 비인과율과 자유의지의 개념을 끌어내려는 시도들에는 강력히 반대했다. 하지만 플랑크는 당시 주류 독일물리학의 흐름에서 소수파에 해당했다.<sup>14)</sup>

14) 하이젠베르크는 ‘실재하는 외부세계’라는 것은 ‘거의 확실히 패배한 견해’로 평가했다. 그가 보기에 엄밀한 인과율을 가진 객관적 세계는 존재하지 않았다. 보어, 파울리, 요르단 등 대부분의 양자역학 개척자들은 이런 생각을 공유했다(Heilbron, 1986, 158).



플랑크와 베를린 그룹의 견해는 고립되어 있었고 코펜하겐 학파의 해석은 물리학계에 빠르게 퍼졌다. 그럼에도 흥미로운 것은 물리학자가 아닌 당시의 철학자나 인문학자들에게는 플랑크의 말과 글이 주요 자료원이 되었다는 점일 것이다. 코펜하겐 학파의 주장들은 과학자 사회 안에서조차 극소수만 이해할 수 있는 언어로 되어 있었기 때문에 당대 지식인들은 주로 플랑크의 해석을 통해 양자론을 이해했다(Heilbron, 1986, 159). 하지만 이런 고상한 과학철학적 논쟁을 지속할 수 있었던 시기는 길지 않았다. 플랑크가 75세이던 1933년 1월, 히틀러가 수상에 취임했다. 이로부터 플랑크는 인생의 황혼에 가장 고통스럽고 논쟁적이며 치열한 인생을 살아야 했다.

## V. 인간 플랑크: 나치시대의 삶

### 1. 나치집권 초 독일과학을 지키는 과정

나치시기의 학문정책은 크게 3단계로 나뉜다. 첫 단계는 1933-1935년 사이 학문기구의 ‘단일통폐합’(Gleichschaltung) 시기로, 유대인과 나치에 방해가 된다고 본 지식인들을 연구기관에서 추방하고, 친 나치 학자들을 연구기관에 포진시키는 과정이 진행되던 기간이다. 두 번째 단계는 1936-1941년까지 군비증강이 이루어지며 과학기술이 군수산업에 서서히 연루되어 가던 시기다. 세 번째 단계는 전쟁이 본격화한 1942-1945년 시기로 군수산업에 모든 연구기관이 총동원되었던 시기로 나눌 수 있다(송충기, 2007, 228; Mehrtens, 1993, 245-265). 플랑크는 이 중 두 번째 시기까지 자리를 지켰고 정권의 간섭으로부터 최대한 독일 과학연구기관들의 독립성을 유지하고자 노력했다.

히틀러 집권 초인 1933년 5월에 플랑크는 히틀러와 독대했다. 플랑크는 유대인 추방정책이 독일 과학에 악영향을 미칠 것이라고 조언했지만 히틀러는 자신은 유대인을 보호하려 하는 것이라는 궤변을 늘어놓은 뒤 갑작스럽게 격분해 플랑크를 으박지르며 쫓아냈다고 한다.<sup>15)</sup> 당시 독일과학이 처한 운명을 상징적으로 보여주는 장면이었다. 이후 불과 몇 년 사이 괴팅겐, 베를린 같은 독일과학의 주요 중심지가 핵심인물들을 잃고 붕괴되었다.

당시 플랑크의 입장은 정권의 비위를 거스르지 않으면서 독일과학을 보호하는 것으로 요약된다. 사소한 것은 순응하고 공

개적인 반항은 삼가면서 적당히 타협했다. 그리고 같은 태도를 취할 것을 오토한(Otto Hahn, 1879-1968, 1944년도 노벨화학상) 슈뢰딩거, 하이젠베르크 등 주변 학자들에게 권고했다(Heilbron, 1986, 164-168). 이로 인해 플랑크에게는 후일 많은 비판이 제기되었다. 플랑크는 이런 자신의 태도에 명확한 확신을 가지고 있었다. 이 답답해 보일 정도의 고결한 자세는 플랑크 자신에게도 적용되었다. 그는 어떤 경우에도 사임하지 않고 웬만한 모욕을 묵묵히 받아들였다. 공적 업무에서 물러나고 싶었지만, 많은 사람들이 그의 도움과 존재감에 의지하고 있었기 때문이다. 플랑크의 활동은 해직에 항거하는 것이 아니라 해직자가 민간에서 일자리를 얻도록 도와주고, 해외이주는 가급적 말리다가 꼭 필요하면 해외이주를 도와주는 형태로 진행되었다.

그 과정은 많은 논쟁적 행동과 인내를 필요로 했다. 1933년 아인슈타인이 미국에서 아카데미를 사직하고 신랄하게 독일을 비판하자 결국 아카데미는 공식적으로 아인슈타인 비난성명을 발표하고 제명해야 했다(Heilbron, 1986, 169-172). 친 나치 과학자의 대표 격이 된 레나르트와 슈타르크의 지속적인 집요한 공세에도 대응해야 했다. 그들은 상대성이론을 반복적으로 폄하했고, 양자역학조차도 ‘유태 물리학’이라며 공격했다. 오늘날의 관점에서 그들은 20세기 물리학의 성취 전체를 부정할 것이나 다름없다. 특히 1934년에 그들은 라우에와 하이젠베르크를 ‘백색 유대인’이자 ‘아인슈타인 도당’이라며 공격했다. 그래도 1934-1935년 사이 아카데미에서는 플랑크의 영향력이 최후의 보루가 되어 최악의 상황을 간신히 막아 줄 수 있었다.

하지만, 시간이 지나면서 결국 카이저 빌헬름 연구소는 모든 유대인을 해고하고 나치 앞잡이들을 고용해야 했다. 불과 2-3년 사이 독일은 빠르게 병영국가가 되었다. 물리학회는 이사회에 나치 인사를 받아들이고, 나치 깃발을 게양하고, ‘하일 히틀러’로 서신을 끝맺고, 공식행사에서 나치식 경례를 하며 버티어 나갔다. 1937년까지 버티던 플랑크는 결국 학회를 떠났다. 이후 학회의 독립성은 돌이킬 수 없이 위축되었다. 1939년에 마지막 유대인 정회원에게 사임이 요구되었다. 이것은 당시 독일의 어떤 조직보다 유대인이 오래 남아있었던 경우였다. 1938년 말에 플랑크는 80세를 맞아 1912년부터 26년간 재직했던 아카데미 서기직도 물러났다. 이렇게 고령의 플랑크는 1937-1938년 사이 아카데미와 카이저 빌헬름 연구소에서 모두 물러났다(Fisher, 2007, 336-337).

### 2. 플랑크의 말년

모든 공직에서 물러난 이후에도 플랑크는 자신이 할 수 있는 일을 계속했다. 80세의 나이에 전국을 돌아다니는 순회 설교자

15) 이 일화에는 다양한 해석이 있다. 한 기록에서는 1933년 히틀러와 독대에서 히틀러가 유대인은 모두 적이고 공산주의자라고 하자, 플랑크는 유대인은 가치 있는 사람과 가치 없는 사람이 있으니 “구별해야 한다.”고 했다. 이 말 자체가 오늘날의 관점에서는 반유대주의적이지만 플랑크로서는 우수한 과학자를 보호해 보려는 소극적 시도였다(Planck, 1988, 71; Heilbron, 1986, 167; Fisher, 2007, 307-308).

가 된 플랑크는 과학과 종교의 조화를 자주 언급했다. 이 강연 여행은 제2차 세계대전 기간에도 계속되었다. 1943년 코블렌츠에서 강연 도중 폭격으로 연설을 중단해야 했고, 카셀에서는 폭격으로 황폐화된 지옥도를 눈으로 목격했으며, 어떤 때는 방공호에서 지내기도 했다. 1944년 2월 15일 베를린 대공습에서 플랑크 생애에 또 하나의 큰 고통이 지나갔다. 플랑크의 집이 폭격으로 완전히 불타버려 수십 년을 모아 온 그의 서적, 일기, 편지 등 모든 유품이 일거에 소실되었다(Heilbron, 1986, 204-205; Fisher, 2007, 344-345). 그런데도 더 큰 비극이 계속되었다. 1944년 7월 말 유명한 히틀러 암살미수 사건이 터졌고, 차남 에르빈은 동조자로 체포되었다. 반란진영은 정권 획득에 실패하고 모두 잔인하게 차례차례 처형당했다. 플랑크는 위기감 속에 아들의 사형만은 막아보려고 백방으로 손을 썼다. 플랑크의 간곡한 청원에도 불구하고 사전예고도 없이 에르빈은 처형당했다. 어떤 유품도, 유언도 남기지 못했다. 플랑크는 87세의 나이에 하나 남은 아들마저 잃었다(Heilbron, 1986, 206-207; Fisher, 2007, 348-353).

1945년 봄, 연합군이 독일영토 깊숙이 진격했다. 플랑크는 이 무렵 급격한 노화로 척추가 녹아 붙어 걸을 수조차 없었음에도 집을 떠나야 했다. 소련군을 피해 노부부는 걸어서 피난했고, 건초더미에서 잠을 자며 버티던 플랑크는 녹아 붙은 척추의 고통을 이기지 못해 밤마다 비명을 질렀다. 천신만고 끝에 간신히 미군 점령지역인 괴팅겐에 도착해 5주간 입원해 있다가 간신히 걸을 수 있게 되었으나, 집중력과 기억력에 장애를 겪었다(Heilbron, 1986, 207; Fisher, 2007, 354). 전쟁이 끝난 뒤, 1946년 1월에 석방된 하이젠베르크가 괴팅겐으로 이사해 플랑크의 옆집에 자리를 잡았다.<sup>16)</sup> 각각 88세와 45세가 된 두 노벨상 수상자는 이리저리 피난하고 억류되는 천신만고 끝에 간신히 서로를 의지하며 괴팅겐에 정착했다. 그리고 플랑크는 ‘뭔가 하고 있다’는 만족감에 전후에도 다시 강연을 계속했다. 플랑크는 89세인 1947년 1월에도 난방조차 되지 않는 열차를 타고 강연을 다녔다(Heilbron, 1986, 208).

이 시기 카이저 빌헬름 협회 산하연구소들은 모두 파괴되었고 연구진들은 뿔뿔이 흩어져 버렸다. 패전으로 학회자산들은 증발했다. 거기다 미군은 카이저 빌헬름 협회의 해산을 원했다. 30년 사이 세계를 공포로 몰아간 대 전쟁을 두 번이나 벌인 독일이 또다시 군국주의 냄새가 풍기는 과학협회로 어떤 결과를 만들지 모른다고 본 것이다. 간신히 해산은 막았지만, 미군은

카이저 빌헬름이라는 이름은 남겨둘 수 없다고 못 박았다. 그래서 1946년 9월 11일 카이저 빌헬름 협회는 ‘과학진흥을 위한 막스 플랑크 협회’로 이름을 바꿔 재출범했다. ‘나치에 저항한 막스 플랑크와 그의 아들 에르빈의 희생’이라는 설명이 미군을 간신히 설득시켰던 것이다(Heilbron, 1986, 210; Fisher, 2007, 365-367). 그렇게 막스 플랑크 협회는 지금까지 독일을 대표하는 종합학술단체로 남을 수 있었다. 이 마지막 일을 마치고 플랑크는 1947년 10월 4일 뇌일혈로 사망했다.

## VI. 결론: 교훈과 시사점

막스 플랑크의 생애는 비스마르크 시대 이전에 시작해서 히틀러 시대 이후에 끝났다. 그의 생존 기간 자신이 살고 있는 국가의 명칭은 다섯 번이나 바뀌었다. 이 기간은 세계사적인 면에서 독일과 유럽의 상황이 급박하고 참담했던 긴 비극의 시대였다. 한편 물리학의 측면에서는 과학이론들이 산업기술과 융합되며 열역학, 핵물리학, 양자역학 같은 전혀 새로운 분야들이 태동했던 시기를 아우르고 있다. 플랑크는 바로 이런 시기에 독일 이론물리학의 지도자로서 독일과학의 상징 그 자체였다. 엄혹한 때에 그는 모범적 과학자이자 교육자의 역할 뿐 아니라, 과학 철학적 해석과 과학의 제도화까지 성공적으로 수행해냈다. 책임, 자제, 중용, 성실, 정직 같은 교과서적 용어의 화신으로 그 긴 생애 동안 플랑크는 언제나 전력을 다해 살았다. 이처럼 플랑크의 인생은 현대사회에서 과학기술자로서의 인생을 살아가는 방법에 대한 유용하면서도 감동적인 교훈들을 제공하고 있다. 그는 긴 인생을 살아가며 학생들이 과학기술자로서 평생 동안 겪을 수 있는 수없이 다양하고 복잡한 상황들을 간접경험하고 상상하기에 충분한 인생을 살았다. 결론적 요약으로서 연구자의 강의경험을 바탕으로 플랑크의 인생에서 공학소양교육에서 특히 주목해 볼 구체적인 몇 가지 시사점을 제시해 볼 수 있을 것이다.

첫째, 과학기술과 사회의 관계성에 대한 통찰이다. 그가 과학적 업적에 도달하는 과정은 산업기술과 순수과학의 관계가 생각 외로 가까울 수 있다는 깨달음을 얻을 수 있다. 더 나아가 그 과정은 역사문화적 맥락과 정치경제적 맥락과도 연결되어 있음을 알게 된다. 플랑크의 대표적 업적인 흑체복사 공식에 의한 ‘양자’의 탄생과정은 흔히 생각하듯 현실과 유리된 고고한 철학적 사유 끝에 나온 것이 아니다. 흑체복사와 관련된 체계적인 실험이 진행된 이유는 당시 독일 산업의 요구에 부응한 결과물이었다. 독일은 전기조명산업의 주도권을 쥐기 위해 여러 투자를 아끼지 않았다. 결국 이 방대한 실험결과들이 플랑크가 복사관계식을 찾게 되는 토대가 되었다. 이처럼 양자의

16) 하이젠베르크, 오토한 등의 독일 원자 과학자들은 독일의 원폭개발계획의 진척상황을 알아보고자 했던 연합국에 의해 9개월간 보호의 명분하에 감금당했다(Hermann, 1976, 117-126; Heisenberg, 1969, 313-325).

발견은 독일산업의 발전과정과 무관하지 않았다. 학생들은 산업과 연계로서 순수과학을 잘 떠올리지 못한다. 과학과 기술과 사회가 가진 밀접한 관계는 최근의 갑작스러운 현상이 아니다. 가장 형이상학적으로 보이는 양자역학조차도 독일 산업의 발전과정과 밀접하게 연계되어 있었다는 깨달음은 학생들에게 신선한 충격으로 다가온다.

둘째, 열역학과 양자를 둘러싼 논쟁을 통해 과학이 고도의 철학적 논쟁임을 살펴볼 수 있다. 플랑크는 종교와 무신론적 과학 사이에서 이신론적 종교인의 길을 걸었고, 마흐와 볼츠만의 논쟁에서 사실에 굴복하며 진영을 바꿨다. 또한 자신의 종교적·철학적 가치관에 기초한 상대론에 대한 열광과 양자역학에 대한 불만은 주목할 만하다. 하나하나 쉽지 않은 주제들이나 과학과 공학을 아직도 테크니션의 기예 중 하나로 인식하는 학생들에게 플랑크의 태도는 큰 경종을 울린다.

셋째, 1910년대 이후 플랑크의 인생에서 과학기술 관리로서의 역할에 주목해 볼 수 있다. 아이슈타인 등의 인물을 발굴하고, 후학을 양성하고, 정계와 재계의 후원을 적극적으로 유치하는 등 플랑크는 오히려 이 방면에서 더 탁월한 업적을 이뤘다고도 볼 수 있을 정도다. 그의 인생은 과학기술자는 과학기술 관리자로 완성되는 것이며, 한 시대의 학문적 네트워크의 탄생에 단 한 명의 관리자가 얼마나 큰 역할을 하는지 분명히 보여준다.

넷째, 과학자의 윤리적 책임은 어디까지인가에 대해 많은 고민을 던져준다. <93인 선언>이나 나치에 대한 그의 대응들은 때에 따라 비겁해 보일 수 있었기에 후일 모두 논란이 됐다. 아마 그가 전후 더 오래 살았다면 살아서 그런 비판에 직면했을 수도 있다. 바람직한 과학자와 엔지니어의 길을 고민하는 연구자들이 미묘한 입장을 요구받는 현실에서, 플랑크의 인생은 흑백논리에 빠지지 않고 윤리적으로 대처한다는 것이 무엇인지에 대한 깊은 성찰을 얻어 볼 수 있다.

다섯째, 플랑크의 어마어마한 개인적 고난과 이의 극복과정이다. 과학자 이전에 한 인간으로서 그의 모습은 놀라움과 존경심을 불러일으킨다. 실제 강의과정에서 어떤 과장도 없이 있었던 일만의 나열만으로도 장기간에 걸쳐 그가 겪고 감내한 고난과 초인적 인내에 학생들이 받는 충격은 크다. 물론 플랑크가 해낸 일을 제대로 느껴보기 위해서는 당대 독일의 시대적·정치적 상황이나 열역학 법칙과 양자론의 흐름 등에 대한 개괄적 이해가 어느 정도 필요하다. 교수자가 적절한 정보로 이 진입장벽을 낮춰주기만 하면 그의 인생은 감동적으로 다가온다. 연구자는 그간 공학소양 및 교양과학 관련 교육을 수행하며 수천 명의 학생들을 관찰해왔다. 과학기술의 역사에 대한 강의에서 예외 없이 과학기술자의 인생이야기를 통한 교육이 가장 교

육효과가 높다. 나아가 그것이 학생들이 거의 들어보지 못한 과학기술의 다른 측면을 부각하며 진행되었을 때, 학생들은 충격과 함께 학문하는 방법론에 대한 새로운 시각을 명확히 얻게 된다. 플랑크의 인생은 무엇보다 바로 그 ‘과학의 뒷면’을 생생히 보여준다는 강점이 있다.

중년기까지의 과학적 업적과 과학철학적 논쟁, 노년의 과학기술관리자와 교육자로서의 노력들, 말년의 논쟁적인 윤리적 딜레마와 지식인으로서의 고난 등 플랑크의 인생은 풍성한 교육적 주제들로 가득 차 있다. 그는 과학의 제도화, 과학 철학적 해석, 그리고 모범적 과학자의 롤 모델로서의 역할을 성공적으로 수행해냈으며, 쉽게 판단하기 힘든 공과 과가 그의 긴 인생에 함께했다. 연구개발 관리와 과학적 리더십의 중요성이 갈수록 커지고 있는 오늘날, 플랑크의 인생은 공학소양교육현장에서 유용하게 참고할 모범 사례가 될 수 있을 것이다.

이 논문은 한양대학교 교내연구지원사업으로 연구되었음 (HY-2018년도)

## 참고문헌

1. 송충기(2007). 나치의 과학정책과 기업가 1933~1945, *역사학보* 196, 225-251.
2. 임경순(1992). 서평: A. 헤르만(이필렬 옮김), 하이젠베르크(미래사, 1991); 존 L. 하일브론(정명식·김영식 옮김), 막스 플랑크(민음사, 1992), *한국과학사학회지*, 14(2), 223-225.
3. Armin Hermann(1976). *Heisenberg*. Reinbek: Rowohlt [국역: 이필렬 옮김, 하이젠베르크, 미래사, 1997].
4. David Lindley(2001). *Boltzmann's Atom*. New York: The Free Press [국역: 이덕환 옮김, 볼츠만의 원자, 승산, 2003].
5. David Lindley(2007). *UNCERTAINTY*. The Doubleday Broadway Publishing Group [국역: 박배식 옮김, 불확정성, 시스템아, 2009].
6. Ernst Peter Fisher(2007). *DER PHYSIKER, Max Planck und das Zerfallen der Welt*. Germany: Siedler Verlag [국역: 이미선 옮김, 막스 플랑크 평전, 김영사, 2010].
7. Helmuth Albrecht & Armin Hermann(1990). Die KWG im Dritten Reich (1933~1945). *Forschung im Spannungsfeld von Politik und Gesellschaft, Geschichte und Struktur der Kaiser-Wilhelm / Max-Planck-Gesellschaft*, 356-406.
8. Herbert Mehrrens(1993). Wissenschaftspolitik im NS-Staat-Strukturen und regionalgeschichtliche Aspekte. *Exodus von Wissenschaften aus Berlin, Fragestellungen-Ergebnissen-Desiderate, Entwicklungen vor und nach 1933*, 245-265.

9. Jim Baggott(2011). *THE QUANTUM STORY*. Oxford University Press [국역: 박병철 옮김, 쿼텀 스토리, 반니, 2014].
10. John Gribbin(1984), *In Search of Schrödinger's Cat*. David Higham Associates Limited [국역: 박병철 옮김, 슈뢰딩거의 고양이 이를 찾아서, 휴머니스트, 2020].
11. John L. Heilbron(1986). *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*. Berkeley: University of California Press [국역: 정명식·김영식 옮김, 막스 플랑크, 민음사, 1992].
12. Louisa Gilder(2008), *THE AGE OF ENTANGLEMENT*. Knopf Doubleday Publishing Group [국역: 노태복 옮김, 얽힘의 시대, 부키, 2012].
13. Manjit Kumar(2008). *QUANTUM: Einstein, Bohr and the Great Debate about the Nature of Reality*. Janklow & Nesbit Limited [국역: 이덕환 옮김, 양자혁명, 까치글방, 2014].
14. M. Planck(1988). Mein Besuch bei Adolf Hitler. *Chronik der Kaiser-Wihlem-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaft*, 71.
15. Peter M. Harman(1982). *Energy, force and matter*. Cambridge University Press [국역: 김동원·김재영 옮김, 에너지, 힘, 물질, 성우, 2000].
16. Werner Heisenberg(1969). *Der Teil und das Ganze*. Piper Verlag GmbH [국역: 유명미 옮김, 부분과 전체, 서커스, 2016].



**남 영(Nam, Young)**

2009년: 중앙대학교 대학원 과학문화학과 박사  
 2006-2010년: 한양대학교 인문과학대학 수행인문학연구  
 소 연구교수  
 2010년~현재: 한양대학교 창의융합교육원 부교수  
 관심분야: 과학기술사, IT 산업사, 공학윤리, 과학 및 공  
 학교육  
 E-mail: guderian@hanyang.ac.kr