creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

교육학 석사 학위논문

화학 교육에서 실험 수업의 역할: 19세기 리비히의 관점에 비추어

The Role of Laboratory Instruction in Chemistry Education: In the Light of Liebig's Perspective in the 19th Century

2023년 8월

서울대학교 대학원

과학교육과 화학전공

문 선 영

화학 교육에서 실험 수업의 역할: 19세기 리비히의 관점에 비추어

지도교수 정 대 홍

이 논문을 교육학 석사 학위논문으로 제출함
2023년 6월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
문 선 영

문선영의 석사 학위논문을 인준함
2023년 7월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

실험 수업은 현대 과학교육에서 중요한 부분을 차지해 왔다. 대학 실험실에서 화학 실험 수업은 학생에게 구체적인 감각과 합리적인 사고를 경험하게 하는 역할을 하고 학생의 실험 역량 증진을 위해 필수적인 것으로 간주되고 있다. 고등교육에서 실험 수업을 설계하는 것은 어려운 과제로 여겨지는데, 이때 실험 수업의 목적을 정하는 것이 필수적인 단계이다. 그러나 실험 수업의 목적은 그 맥락과 관점에 따라 다양하게 주장되고 있어 하나의 정답을 주장하는 것은 어려워 보인다. 한편, 19세기의 독일의 저명한 과학자인 리비히(Justus von Liebig, 1803-1873)는 유기화학, 의학, 약학, 생리학, 농업 등 다양한 분야에서 지적 진보를 이룬 과학자이자 독일 대학의 화학 실험실을 체계화하여 화학 교육에 한 획을 그은 인물로 평가받는다. 리비히는 독일에서 화학의 위상을 높이는 과정에서 화학 교육과 실험의 필요성 및 중요성을 강조했다. 이러한 측면에서, 리비히의 관점에 비추어 실험 수업의 목적을 살펴보는 것은 이에 대한 하나의 답을 제공해줄 수 있을 것으로 보았다. 본 연구에서는 대학 실험실에서 화학 실험 수업의 목적에 대한 리비히의 생각과 이것이 드러난 그의 실천을 살펴보고자 한다. 구체적으로, 리비히의 생각에 영향을 준 독일과 프랑스에서의 연구 경험, 그리고 이를 바탕으로 그가 지적한 독일에서 화학의 상태에 관해 정리한 후, 그의 관점에서 실험 수업의 목적을 살펴보았다. 그리고나서 이러한 리비히의 생각이 화학 교육의 실천에 어떻게 반영되었는지 알아보기 위해 실험 도구와 교수법을 분석하였다. 연구 결과, 리비히의 관점에 비추어 본 실험 수업의 목적은 (1) 현상의 언어를 습득하고 실천을 통해 이를 감각하기, (2) 문제

를 해결하고 목적을 달성하는 방법 습득하기, (3) 실험의 기초와 응용 학습하기, (4) 실험에 대해 서로 논의하고 소통하기였다. 이 연구 결과는 실험 수업이 목적에 맞는 체계적인 교육과정을 통해 진행되어야 하고 실험 수업에서의 도구는 사용 방법이 간단하고 실험은 연속성을 가짐으로써 학생이 도구와 실험에 익숙해질 수 있도록 해야 하며 실험 수업에서 교사와 학생 또는 학생 사이의 논의와 소통이 필수적임을 시사한다.

주요어 : 유스투스 폰 리비히, 화학 교육, 대학 실험실, 실험 수업의 목적, 현상의 언어

학 번 : 2021-24117

목 차

1. 서론 ····· 1
1.1. 연구의 필요성 ····· 1
1.2. 연구 문제 ····· 4

2. 이론적 배경 ····· 5
2.1. 실험 수업의 목적 ····· 5
2.2. 유스투스 폰 리비히 ····· 10

3. 유스투스 폰 리비히의 생애 ····· 13
3.1. 리비히가 경험한 독일에서의 화학 ····· 13
3.2. 리비히가 경험한 프랑스에서의 화학 ····· 15
3.3. 독일에서 화학의 상태(*Zustand*) ····· 17

4. 실험 수업의 목적 ····· 19
4.1. 실험 수업의 목적: “현상의 언어” ····· 20
4.2. 화학 교육에서 리비히의 실천 ····· 25
4.2.1. 유기물 분석 도구 ····· 25
4.2.2. 실험 교수법 ····· 32

5. 현대 화학 교육에 대한 시사점 ····· 35

6. 결론 및 제언 ····· 39

참고문헌 ····· 42
Abstract ····· 50

표 목 차

[표 2-1] 선행 문헌에 나타난 실험 수업의 목적 ····· 8

그 림 목 차

[그림 4-1] 베르셀리우스의 유기물 분석 도구 ····· 27
[그림 4-2] 리비히의 유기물 분석 도구와 칼리구 ····· 28

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

실험 수업은 현대 과학교육에서 중요한 부분이며, 오랜 기간 과학교육에서 특징적인 활동이 되어 왔다(Hofstein & Lunetta, 1982; Millar, 1987; Tobin, 1990; Kirschner, 1992; Lazarowitz & Tamir, 1994; Hofstein, 2004; Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007; Agustian & Seery, 2017). 전통적인 과학 수업에서 학생들은 기존 과학 활동의 결과물인 지식을 습득해왔으나(Pomeroy, 1993), 과학교육은 학생에게 과학적 탐구의 결과만이 아니라 그 과정도 함께 제공해야 한다는 주장이 제시되었다(Bates, 1978; Hofstein & Lunetta, 2004; Seery *et al.*, 2017). 더 나아가 실험 수업이 학생에게 다양한 이점을 제공할 수 있다는 것이 여러 과학교육자에 의해 주장되어왔다(Hofstein & Lunetta, 1982; Abd-El-Khalick *et al.*, 1998; Tobin, 1990; Roth, 1995; Hofstein, 2004; Seery *et al.*, 2019). 이에 실험 수업은 과학을 가르치는 데 있어 가장 중요하고 일반적으로 사용되는 과정이 되었고(Blick, 1955), 이처럼 과학교육은 지식 중심에서 실천 중심으로 바뀌며 강조점은 무엇을 아는지에서 어떻게 아는지, 즉 과학의 과정으로 이동했다(Bates, 1978).

화학 교육에서 실험 수업은 학생의 머릿속에 구체적인 개념과 이론적 모델을 만드는 역할을 해준다. 화학에서 실험 수업은 화학자를 가르치는 사람들 사이에서 본질적으로 당연한 것으로 존재해 왔고(Elliot *et al*, 2008) 화학의 발전과 지속적인 성장의 중심에는 실험이 있으며, 실험과 더불어 실험이 유발한 이론적 모델은 학문이 실행될 수 있게 만든다(Renner & Fix, 1979). 이에 더해 화학 수업의 중요한 목표는 학생의 머릿속에 명확하고 유용한 이론적 모델을 개발하는 것으로, 이러한 이론적 모델은 역사적으로 실험 결과에 대한 합리적인 사고의 자연스러운 결과

이기 때문에 학생이 개발할 수 있는 최고의 이론적 모델은 실험을 통해 얻은 결과에 대한 이성적인 사고로부터 나온다. 또한 실험을 강조하는 화학 교수법이 화학의 구조와 기능에 부합할 뿐만 아니라(Renner & Fix, 1979), 실험 수업이 없으면 학생들은 화학이 매우 추상적이고 이론적이라는 인식을 갖게 될 수 있다(Reid & Shah, 2007). 따라서 학생이 화학을 배울 때에는 구체적인 실제 경험, 즉 실험을 통해 학습이 이루어져야 한다.

19세기에 제도화되기 시작한 대학에서의 화학 실험 수업은 20세기 초 화학 교수법에서 필수적인 것으로 받아들여져 지금까지 이어지고 있다(Siebring & Schaff, 1977). Agustian *et al.* (2022)은 대학에서 화학 실험 수업과 관련하여 355개의 경험적 연구를 분석한 결과, 실험 수업을 통해 실험 역량, 규율 학습, 고차원 사고 및 인식 학습, 횡단 역량(transversal competences), 정서적 영역과 관련된 5가지 실험실 관련 역량을 습득할 수 있다고 정리하였다. 대학 실험실에서 학생들은 화학 실험 수업을 통해 이러한 실험 기술 및 실험 설계와 같은 탐구 관련 역량을 필수적으로 얻어야 하고(Seery *et al.*, 2019) 화학 지식이 확장됨에 따라 학생들의 연구 경험은 더 전문화될 필요가 있다(Reid & Shah, 2007). 따라서 요리책 형식의 검증적인 실험이 아닌 학생의 실험 역량을 증진시킬 수 있는 탐구 또는 문제 기반의 교수법(Agustian *et al.*, 2022)을 통해 실험 수업을 설계하여 이를 진행하는 것이 필요하다.

그러나 고등교육에서 실험 수업의 설계는 매우 어려운 과제로, 이때 매우 중요하고 기본적인 단계가 실험 수업의 목적을 정하는 것이다(Blosse, 1980, p. 126; Seery *et al.*, 2019). 실험 수업의 목적이 정해져야 이에 맞는 실험을 구성하여 목적을 성취하고 효과적인 수업을 진행하는 것이 가능해진다(Boud *et al.*, 1986; Reid & Shah, 2007). 또한 실험 수업의 이점을 실현하기 위해서는 지속해서 실험 수업의 역할과 목적에 대해 검토하는 것이 필요하다(Hofstein & Lunetta, 1982). 그러나 이에 관한 주장은 다양하게 제기되고 있어 실험 수업에서 어떤 것을 주요 목적으로 할지에 관한 의견은 하나로 통합되기 어려워 보인다.

몇몇 연구자들은 과학학(science studies)[1]의 관점에서 과학교육에 관한 해답을 찾거나 시사점을 얻기도 한다. 예를 들어, 과학사로부터 과학자 교육에 대한 시사점을 얻거나(e.g., Park & Hong, 2022), 과학사 관련 연극(e.g., Pantidos *et al.*, 2001; Begoray & Stinner, 2005) 또는 사회과학적 이슈(e.g., Xiao & Sandoval, 2017; Fooladi, 2020; Herman *et al.*, 2022)를 과학교육에 활용하여 학생이 과학 개념이나 과학적 사고 및 소양을 습득하는 것을 도와줄 수 있다. 그리고 과학학을 통해 사회적 맥락의 변화에 따른 새로운 이해를 얻거나(Kelly *et al.*, 1993), 과거에서 발견한 경험적 사실 또는 이론적 아이디어로부터 새로운 방향을 제시할 수도 있다(Chang, 2021). 따라서 실험 수업의 목적에 관해 과학의 역사와 철학으로부터 통찰을 얻는 것은 실험 수업을 올바른 역사적 역할에 맞게 구상하는 데 도움이 될 것이다.

이 연구는 대학 실험실에서의 화학 실험 수업의 목적을 정리하기 위해 화학 교육 실험실의 성공적인 초창기 모델을 제공한 리비히(Justus von Liebig, 1803-1873)의 사례를 선정한 후 관련 문헌을 통해 화학 실험 수업에 대한 리비히의 생각과 실천을 분석하였다. 리비히는 19세기 독일의 화학자로 화학뿐 아니라 화학 교육의 발전에 큰 영향을 미쳤으며, 화학에서 실험 수업의 중요성을 확립하고 이의 초창기 형태를 제공하였다(Hofmann, 1876; Volhard, 1898; Fruton, 1988). 이러한 점에서 그가 실험실을 설립할 때의 맥락과 관점에서 실험 수업의 목적이 무엇인지 분석한다면 이에 관한 하나의 답을 얻을 수 있을 것으로 생각하였다. 이를 위해 리비히의 생애사를 분석하였는데, 독일과 프랑스에서 그의 연구 경험을 살펴본 뒤 이러한 경험을 바탕으로 그가 지적한 독일에서 화학의 상태에 관하여 서술하였다. 그 후 리비히의 관점에서 실험 수업의 목적을 정리하였고 그의 실험 도구와 교수법을 분석함으로써 리비히의 생각이 화학 교육의 실천에 어떻게 드러나는지 알아보았다.

---

1) 과학학은 과학과 기술을 바라보는 다양한 학문적 관점을 아우르는 용어로, 과학사, 과학철학, 과학기술과 사회, 과학기술정책뿐만 아니라 인류학, 정치학, 철학, 젠더학, 역사학 등이 포함된다(Daston, 2009; 홍성욱, 2022).

1.2. 연구 문제

이 연구에서는 대학 실험실에서 이루어지는 화학 실험 수업의 목적을 정리하기 위해 리비히의 생각과 실천을 분석하였다. 이 연구에서의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1) 리비히의 관점에서 바라본 화학 교육에서 실험 수업의 목적은 무엇인가?
2) 실험 수업의 목적에 관한 리비히의 생각은 화학 교육의 실천에서 어떻게 드러나는가?

2. 이론적 배경

2.1. 실험 수업의 목적

실험 수업의 목적이 중요한 이유는 수업의 목적에 따라 수업의 형태가 정해지고(Ma & Nickerson, 2006) 목적이 정해져야 실험 수업이 효과적이고 효율적으로 이루어질 수 있기 때문이다. 교사는 과학 수업에서 무엇을 해야 하는지에 대한 자신의 신념에 맞게 교육과정을 조정하는데(Tobin, 1990), 명확한 목적 없이 실험 수업을 진행하면 실험이 비생산적인 활동이 될 수 있다. 교육과정을 계획할 때 무엇을 누구에게 어떤 방법으로 가르칠 것인지, 의도한 결과물이 무엇인지 등 교육과정의 목적을 명확하게 명시하는 것이 중요한 것처럼(Boud *et al.*, 1986), 실험 수업이 효과적으로 작용하기 위해서는 그 목적을 명확히 하고 목적에 맞는 활동을 설계하는 것이 필요하다(Hodson, 1990; Reid & Shah, 2007).

대학 실험실에서 실험 수업의 목적에 대해 정리한 선행 문헌을 [표 2-1]에 나타내었다. Blanchard (1919)는 학생이 실험 수업을 통해 현상을 경험하는 것이 교과서나 교수의 시연보다 학생의 머릿속에 더 선명한 인상을 남길 수 있다고 보았다. 또한 연구에 의하면, 분리된 짧은 실험보다는 미지시료의 정성 분석과 같이 지속적인 실험이 이루어지는 것이 필요하다. 지속적인 실험은 명확한 목표가 설정되어 있고 학생에게 실험에 관한 관심을 꾸준히 불러일으킬 수 있을 정도로 작업이 길어지며 가시적인 결과를 만들 수 있다. 그는 지속적인 실험을 통해 독창적인 조사를 수행하는 것이 실험 수업의 주요 목적이고, 이 과정에서 실험에 대한 학생들의 접근성을 높여 이들이 연구 정신을 느낄 수 있도록 하는 것이 필요하다고 하였다.

Carmody (1935)는 실험실 과정의 전체적인 성공에 있어 흥미를 가장 중요한 것으로 보았는데, 흥미를 고려하지 않으면 다른 목표가 무익한

것이 될 수 있다고 보았다. 그에 의하면 흥미는 자연스러운 호기심과 성취에 대한 자부심으로 분류되는데, 이중 성취에 대한 자부심을 발달시키는 것이 필수적이다. 또한 그는 교수자 뿐만 아니라 학생도 실험 수업의 전반적인 내용과 목표를 이해해야만 실험을 발전시키고 이에 대한 결실을 맺을 수 있다고 하였다.

Blick (1955)은 고등교육에서 실험 수업의 중요성을 인식하고 이해하기 위해 고등 교육 기관의 역사를 분석하였다. 연구에 의하면 대학 교육 기관이 각각의 목표를 달성하기 위해 독립적으로 교육과정을 구축하고 발전해왔기 때문에 대학 과학교육은 중등학교만큼 표준화되어 있지 않다. 그는 실험 수업을 평가하려면 목표를 분석하는 것이 중요하다고 보았는데, 여러 실험실 매뉴얼을 분석한 결과 학습하는 자료와 실제로 접하기, 조작 기술의 발달, 호기심 충족 등이 실험 수업의 목적으로 정리되었다.

Cheronis (1962)는 대학 실험실에서 화학 입문 과정의 핵심은 물질의 본질과 변형 등에 관한 연구로, 교사는 학생이 과학적 개념을 단계적으로 이해할 수 있도록 도와주는 촉매제 역할을 한다고 보았다. 그는 잘 구성된 프로그램을 통해 학생이 실험실에서 시행착오를 겪음으로써 화학을 배울 수 있다고 보았고, 학생이 스스로 실험하고 탐구하는 것에 초점을 맞추어 실험 수업의 목적을 정리하였다.

Kirschner & Meester (1988)는 네덜란드 오픈 대학교에서 진행할 실험 수업의 목적을 명확히 하고 이를 구현하는 데 중점을 두었다. 실험실에서 보내는 시간을 효과적이고 효율적으로 사용하는 것이 필수적이므로, 이들은 과학 실습을 위한 120여 가지의 구체적인 목표를 분류하여 학생 중심의 8가지 일반 목표로 나누고 각 목표에 대한 구체적인 행동 목표를 정리하였다.

Domin (1999)은 화학 교육의 역사에 대한 문헌 검토를 통해 결과, 접근 방식, 절차를 분류자(descriptor)로 하여 실험 수업의 유형을 설명식, 탐구식, 발견실험, 문제 기반 수업으로 분류하였다. 그에 따르면, 이러한 실험 수업 유형의 차이는 서로 다른 학습 결과로 이어지게 된다. 그는

개념적 이해, 과학적 추론 능력, 실험실 조작 기술 등을 실험 수업의 목적으로 제시하며 이를 달성할 수 있는 교수법에 관한 후속 연구를 제안하였다.

Reid & Shah (2007)는 고등교육 수준에서 화학 실험 수업은 목적을 명확히 하고 이를 학생에게 전달할 필요가 있다고 주장하였다. 이들은 선행 문헌을 종합하여 실험 수업의 목적을 크게 4가지로 정리하였고, 이러한 목적은 학생이 생각하고 논의하고 탐구하는 등 여러 잠재력을 향상시킬 가능성을 제공한다고 보았다. 이 연구에 의하면, 단순히 주어진 절차대로 실험하는 것에서 벗어나고 수업 전후의 맥락까지 실험 수업을 설정한다면 학생들이 실험실에서 훨씬 더 많은 것을 얻을 수 있다고 하였다.

Bruck *et al.* (2010)은 22명의 대학 교수진과의 반구조화된 면담을 통해 대학의 일반 화학과 유기화학, 상급 과정 실험실에서의 수업 목적을 정리하였다. 실험실마다 추구하는 목적이 다른 부분도 있었지만, 이들은 교육과정 전반에서 실험실 기법을 중요한 목표로 강조하였다. 그러나 강의와 교수진마다 실험실 기법에 대해 다른 의미를 지니고 있어 이에 대한 합의를 이루고 목표 달성을 측정할 수 있는 구체적인 지침을 정하는 것이 필요하다고 하였다.

이처럼 선행 문헌에서 나타난 실험 수업의 목적을 보면 문헌마다 실험 수업의 목적이 다르게 정의되는 것을 알 수 있다. 이는 실험 수업의 목적이 저마다 다른 맥락과 관점에서 정리되었기 때문으로, 대학 과학교육에서 실험 수업의 목적에 대해 한 가지 정답을 주장하는 것은 어려울 것으로 보인다(Blick, 1955).

[표 2-1] 선행 문헌에 나타난 대학 실험실에서 실험 수업의 목적

Blanchard (1919)	Carmody (1935)
• 현상에 대한 학생의 친숙도를 높이기 위해 • 독창적인 조사를 수행하기 위해 • 학생들이 연구 정신을 느낄 수 있도록 하기 위해	• 실험 작업에 대한 흥미 조성 • 실험과 사고에 관한 논리적 또는 '과학적' 방법에 대한 훈련 • 실험실에서의 실험에 대한 이해와 감각에 관한 기술 발달 • 직접 연구함으로써 물질과 현상에 대한 지식과 친숙함 발달
Blick (1955)	**Cheronis (1962)**
• 학습하는 자료와 실제로 접하기 • 단순히 공부만으로는 제공할 수 없는 주제에 대한 지식 습득 • 조작 기술의 발달 • 자립심과 창의력의 발달 • 측정의 정확성과 실험 데이터의 해석에 대한 훈련 • 만족스러운 보고서 작성 훈련 • 호기심 충족 • 과학적 태도의 함양 • 실험적 조사를 통한 과학적 방법의 이해	• 학생들이 최소한의 감독으로 간단한 실험을 안전하게 수행할 수 있도록 조작의 기초와 기술 배우게 하는 것 • 기본적인 화학적 방향을 얻기 위해, 선택된 화학 원소 및 화합물의 물리적, 화학적 특성에 대한 몇 가지 사실을 직접 학습하도록 하는 것 • 학생 스스로 선택한 몇 가지 화학 개념과 원리에 대한 실제 예시를 제공하여 강사의 도움을 받아 이러한 개념과 원리를 설명하는 이론과 연관시킬 수 있도록 가르치는 것 • 학생들이 학습한 사실과 원칙을 이른바 미지의 해결책에 의해 제시되는 것과 같은 새로운 상황이나 문제에 적용할 수 있도록 하는 것
Kirschner & Meester (1988)	**Domin (1999)**
• 가설을 세우기 위해 • 문제를 해결하기 위해 • 익숙하지 않은 상황에서 지식과 기술을 사용하기 위해 • 가설을 검증하기 위한 간단한 실험을 설계하기 위해 • 실험 수행에 있어 실험실 기술을 사용하기 위해 • 실험 데이터를 해석하기 위해 • 실험을 명확하게 설명하기 위해 • 상당히 긴 시간에 걸쳐 실험의 중요한 아이디어를 기억하기 위해	• 개념적 이해 • 내용 지식 보유 • 과학적 추론 능력 • 고차원 인지 • 실험실 조작 기술 • 더 나은 과학에 대한 태도 • 과학의 본성에 대한 더 나은 이해

Reid & Shah (2007)	Bruck *et al.* (2010)
• 학습과 관련된 기술: 화학을 현실화하고, 아이디어를 설명하고, 실험적인 아이디어를 테스트하고, 새로운 아이디어를 가르치는 것. • 실용적 기술: 장비 및 화학물질을 안전하게 취급하고, 신중하게 측정 및 관찰 • 과학적 기술: 연역과 해석의 기술을 배우고, 작업할 때의 과학을 보고, 실험을 고안 • 일반적 기술: 팀 작업, 보고, 발표 및 토론, 문제 해결 방법 발달	• 공통 목표: 실험실 기술 및 기법 비판적 사고 능력과 실험적 설계 • 일반 화학: 강의와 실험의 연결 과학에 참여하기 팀워크 기술 습득 • 유기화학: 서면 의사소통 기술[실험 노트 기록 및 보고서 작성] • 상위 과정 실험실: 측정의 불확실성 이해

2.2. 유스투스 폰 리비히

리비히(Justus von Liebig, 1803-1873)는 19세기 독일의 화학자로, 독일과 영국, 미국의 화학, 농업, 화학 교육, 산업에 영향을 미쳤으며, 화학에 미친 학문적인 영향과 대학 실험실의 체계화로 그 공로를 인정받아 왔다(Van Klooster, 1956; Siebring & Schaff, 1977; Fruton, 1988). 그는 뵐러(Friedrich Wöhler, 1800-1882)와의 협업을 통해 유기화학의 발전에 상당한 역할을 했으며 1840년 이후에는 특히 영국과 미국에서 농업과 동물 생리학에 관한 그의 저술이 대중의 찬사를 받으며 대중의 인정 역시 받아 왔다(Fruton, 1988). 또, 현재 대학 실험실에서 널리 사용되고 있는 것과 같은 실험 교육의 가장 초기의 형태를 제공한 곳이 바로 리비히가 오랜 기간 교육 활동을 했던 기센(Giessen) 대학교이다(Hofmann, 1876). 렘슨(Ira Remsen, 1846-1927)은 리비히가 세상에 두 가지 교훈을 남겼다고 하였는데, 하나는 화학을 가르치려면 학생을 실험실로 데려가야 한다는 것과 다른 하나는 과학적 사고와 방법을 산업에 적용하려면 과학에 대한 철저한 지식이 있어야 한다는 것이다(Getman, 1980, pp. 121-122). 리비히 시대 이후 화학에서 실험 수업은 화학 교육과정의 중요한 부분으로 간주되어 왔고, 유능한 화학자를 양성하고 양질의 연구 데이터를 생산하는 리비히의 접근 방식이 없었다면 19세기 동안 화학이 빠르게 발전하지 못했을지도 모른다(Elliot *et al.*, 2008).

리비히는 은뇌산염과 벤조일 작용기, 말론산, 은거울 반응 등에 관해 연구하여 이들을 발견 또는 발명하였으며 논문 저널의 편집자 또는 교과서의 저자로서 당대의 과학에 기여했다(Oesper, 1927). 리비히의 제자 중에는 아닐린의 발견자이자 영국 왕립 화학 대학의 초대 학장인 호프만(August Wilhelm von Hofmann, 1818-1892), 구조 유기화학의 발전에 결정적인 벤젠의 구조적 해석을 제공한 케큘레(Friedrich August Kekule von Stradonitz, 1829-1896), 19세기 후반 영국 화학 산업의 리더였던 머스프랫(James Muspratt, 1793-1886), 19세기 미국의 신흥 화학 공동체에서 핵심 인물이었던 깁스(Oliver Wolcott Gibbs, 1822-1908) 등이 있다

(Heitmann, 1989).

리비히에게 가르침을 받았던 제자들은 그의 과학적 업적과 열정 등을 칭송하며 그가 화학과 실험실 교육에 미친 영향을 높게 평가하였다. 호프만은 리비히가 세운 실험실은 당시 떠오르는 세대의 엘리트 화학자들을 불러 모았으며 리비히를 통해 과학 연구를 위해 필요한 준비를 배울 수 있었다고 하였다(Hofmann, 1876). 휘트니(Josiah Dwight Whitney, 1819-1896)는 "리비히와 함께 공부하지 않았다면 어떤 젊은이도 화학에 대해 아무것도 알 수 없는 것처럼 보인다."라며 화학 연구를 위해서는 리비히에게서 가르침 받는 것을 중요한 것으로 여겼다(Brewster, 1909, pp. 79-80). 더 나아가, 돌링거(Ignaz von Döllinger, 1799-1890)는 리비히는 과학적, 지적 업적뿐 아니라 인격 역시 훌륭했고 학자로서, 인간으로서 다양한 방향으로 유익한 힘을 발휘하였으며, 그에게서 가르침과 지적 자극을 받아 왔다고 말하였다(Volhard, 1898).

리비히와 그의 실험실에 관한 연구는 많이 이루어져 왔다. 기본적인 리비히의 일생과 명성, 연구 내용에 관한 연구(e.g., Oesper, 1927; Berl; 1938; Heitmann, 1989; Brock, 1995)와 리비히의 실험실이 성공적으로 운영될 수 있었던 상황에 초점을 맞춘 연구(e.g., Morrell, 1972; Turner, 1982; Fruton, 1988; Holmes, 1989)가 이루어졌는데, 대부분이 역사적인 관점에서 리비히의 업적을 분석한 것이었다. 이외에도 Sheppard & Horowitz (2006)은 강의와 실험을 결합하여 과학을 가르치는 리비히의 방법이 호스포드(Eben Horsford, 1818 - 1893)와 엘리엇(Charles William Eliot, 1834 - 1926)을 통해 미국 과학교육에 자리 잡게 된 것에 관해 연구하였고, Elliot *et al.* (2008)은 학부 과학 전공자에게 있어 실험 수업의 역할에 관해 연구하였는데, 화학 실험실 역사에서 리비히와 다른 화학자들이 미친 영향을 통해 이를 분석하였다. 그러나 과학 및 화학 교육의 맥락에서 리비히의 인식과 견해를 종합하고 이를 통해 그의 실험 도구와 교수법을 분석한 연구는 찾아보기 어렵다.

리비히가 실험실을 설립하고 실험 수업을 시작하던 시기는 화학 및 화학 교육과 실험 수업의 필요성이 받아들여지지 않아 그 기반이 미흡했

다(Volhard, 1909; Turner, 1982). 그러나 후술할 바와 같이 리비히는 화학과 실험 또한 교육으로서 가르쳐져야 한다고 생각했기 때문에 이러한 리비히의 생각과 교육 방식으로부터 대학 실험실에서 화학 실험 수업의 목적을 이끌어 낼 수 있을 것으로 보았다. 이 연구에서는 교육 실험실의 초기 형태를 제공한 리비히가 학생에게 실험을 가르칠 때 무엇을 목적으로 했는지 알아보고 이 목적이 반영된 그의 실천을 살펴봄으로써 화학 교육에 대한 시사점을 얻고자 한다.

3. 유스투스 폰 리비히의 생애

해당 장에서는 리비히가 생각하는 실험 수업의 목적에 관해 알아보기 전에, 이러한 리비히의 생각에 영향을 준 독일과 프랑스에서의 연구 경험을 살펴보고자 한다. 먼저 그가 처음 화학을 공부하기 시작한 독일에서의 경험과 이후 프랑스에서의 유학 경험을 살펴본 뒤, 마지막으로 이러한 경험을 바탕으로 리비히가 지적한 독일에서 화학의 상태에 관해 서술하였다.

3.1. 리비히가 경험한 독일에서의 화학

리비히가 화학 공부를 시작한 시기에는 화학을 가르치는 사람도 가르치기 위한 시설도 제대로 갖춰져 있지 않았다(Liebig, 1892). 그 당시에는 되베라이너(Johann Wolfgang Döbereiner, 1780-1849)와 푹스(Johann Nepomuk von Fuchs, 1774-1856), 미첼리히(Eilhard Mitscherlich, 1794-1863), 스트로마이어(Friedrich Stromeyer, 1776-1835) 이외에 독일에서 화학에 뛰어난 사람은 아무도 학생을 가르치지 않았다(Berl, 1938; Blick, 1955). 게다가 실험실에서 화학을 배우는 것은 특정 학생에게만 주어지는 기회였고, 대부분은 독학으로 훈련하거나 약국에 도제 형식으로 참여하며 공부하였다(Volhard, 1898; Turner, 1982). 그 당시의 실험실은 리비히의 말로 잘 묘사되어 있다:

> 그 당시에는 분석(analysis)을 가르치는 화학 실험실은 어디에도 존재하지 않았고, 사람들이 그렇게 부르는 것은 오히려 모든 종류의 퍼니스(furnace)와 금속 또는 제약 공정을 수행하기 위한 도구들로 가득 찬 부엌이었다. 아무도 분석을 가르치는 방법을 이해하지 못했다(Liebig, 1892, p.660).

이후 시간이 지나 리비히가 기센 대학의 교수로 임명받았을 때도 실험실이 제대로 갖춰져 있지 않아 자신의 봉급으로 실험실 경비를 충당해야

했다(Fruton, 1988).

리비히는 17살이 되던 해, 화학을 더 공부하기 위해 독일의 본(Bonn) 대학에 입학하였다. 그리고 그곳에서 그 당시 독일의 훌륭한 화학 선생인 카스트너(Karl Wilhelm Gottlob Kastner, 1783-1875)를 만났고, 리비히의 재능을 알아차린 카스트너가 그를 조수로 삼았다. 카스트너는 리비히에게 화학 분석 방법을 알려주기로 약속하였고, 이에 1년 후 리비히는 카스트너를 따라 에를랑겐으로 갔으나 관찰이나 실험으로 증명되지 않은 화학에 실망하였다(Oesper, 1927). 이 시기의 카스트너는 독일의 잘 알려진 화학 교수 중 한 명이었음에도 불구하고, 혼란스러운 자연철학 개념을 이용해 화학을 가르쳤으며, 후에 리비히는 그의 가르침이 다소 형편없다고 묘사했다. 리비히는 그의 자서전에서 "카스트너 자신도 몰랐고 나와 분석을 함께한 적이 없다."라고 말하며 그에 대한 실망감을 드러냈다(Liebig, 1892, p. 660; Volhard, 1898, p. 34).

리비히는 대학에서 화학을 공부할 기회가 전혀 없다는 것을 깨닫고, 이 문제를 해결하는 것에 압박감을 느꼈다(Volhard, 1898). 리비히는 학생들에게 화학 연구에 대한 실험적인 소개를 제공하는 것이 그의 가장 시급한 과제라고 생각했다(Volhard, 1909, p. 58). 1821년 자기의 아버지에게 보내는 편지에 리비히는 '가르치는 일에 완전히 전념하기로 결심'했다며 '트롬스도르프의 기관(연구소) 같은 것을 세울 수 있을 것'으로 기대하였다(Berl, 1938, pp. 558-559). 그의 목표는 화학을 철저히 실습 또는 실험실에 기반을 두고 유기화학의 거의 배양되지 않은 영역에 관심을 집중시킴으로써 지금까지 독일 대학에서 의대생과 약사의 의·약학 보조에 불과했던 화학 교육을 확대하고 제도화하는 것이었다(Brock, 1995).

3.2. 리비히가 경험한 프랑스에서의 화학

리비히는 이 시기에 스톡홀름의 위대한 화학자인 베르셀리우스(Jöns Jacob Berzelius, 1779-1848)와 그의 제자 미첼리히가 광물 화학을 어느 정도 완성했다고 느꼈으며, 식물과 다른 유기물들의 화학에서 더 큰 발전이 기대되었다(Berl, 1938). 슈브뢸(Michel Eugène Chevreul, 1786-1889)과 게이뤼삭(Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850)이 있는 프랑스 학교는 유기화학 분야에서 뛰어난 연구를 수행하고 있었고 훌륭한 선생님들과 연구원들이 이를 가르쳤는데, 이것이 리비히가 파리에서 공부하는 이유임이 분명했다(Berl, 1938).

1822년, 리비히는 나라에서 제공하는 장학금을 통해 프랑스의 소르본(Sorbonne) 대학에 입학하였는데, 이곳에서 이전에는 상상하지 못했던 수준의 과학 활동을 접하게 되었다(Holmes, 1989). 파리에서 그는 비오(Jean-Baptiste Biot, 1774-1862), 라플라스(Pierre Laplace, 1749-1827), 퀴비에(Georges Cuvier, 1769-1832), 게이뤼삭, 테나르(Louis Jacques Thénard, 1777-1857), 뒬롱(Pierre Louis Dulong, 1785-1838) 등의 잘 정돈된 강의에 참석하여 그 강의에서 그가 오랫동안 원했던 것을 발견하였다:

> 프랑스어 강의는 특히 강의의 진실과 모든 거짓 설명에 대한 조심스러운 회피로 나에게 어필되었다; 그것들은 과학적 가르침이 연역의 우위에 의해 그들의 모든 확고한 틀을 빼앗긴 독일어 강의와는 정반대였다(Liebig, 1892, p. 662).

리비히는 주로 게이뤼삭과 테나르의 화학 강의를 들었는데, 두 과학자 모두 최근의 이슈에 관하여 깊은 인상을 남겼다(Holmes, 1989). 또한 두 강의 모두 리비히가 독일에서 익숙했던 '헛된 가설'과 '철학화'에 탐닉하지 않으면서 과학의 기본 원리를 강조하고 사실에 입각한 정보, 엄격한 분석, 실험적인 증명으로 빠르게 나아갔다(Holmes, 1989).

같은 독일 출신인 훔볼트(Alexander von Humboldt, 1769-1859)의 도움으로 리비히는 게이뤼삭의 특별 조교가 되어 연구를 시작할 수 있었다(Oesper, 1927). 그의 지도하에 리비히는 정연한 이론과 분석 화학의 실

용적이고 암묵적인 기술을 배우고 후술할 유기물 분석법의 기초를 놓기도 하였다. 또한 리비히는 신뢰할 수 있는 가이드를 통해 화학 실험을 배울 때 시간과 노동의 절약이 얼마나 큰지 알게 되었다(Hofmann, 1876).

이러한 경험을 바탕으로 리비히는 학생들에게 실험을 통해 화학을 소개하는 것을 목표로 삼았다. 게이뤼삭의 실험실에서 일하면서 그는 게이뤼삭이 그에게 했던 것처럼 이따금씩 학생들을 가르치는 실험실이 아니라, 지속적으로 가르칠 수 있는 실험실을 독일에 설립하고자 했다(Hofmann, 1876; Volhard, 1909). 이후 리비히는 실험실에서의 교육을 계획하고 이를 실천하는 과정에서 이것의 목적에 관해 생각하였으며 이를 바탕으로 학생에게 실험을 가르쳤다.

3.3. 독일에서 화학의 상태(*Zustand*)

프랑스에서 독일로 돌아온 리비히는 파리에서 높은 표준의 화학 실험을 경험한 것을 통해 독일 교육 실험실에서 일반적으로 따르는 과정의 불만족스러운 결과를 쉽게 인식할 수 있었다(Holmes, 1989). 독일과 프랑스에서의 연구 경험을 바탕으로 리비히는 독일에서 화학의 상태를 총 3가지 측면에서 지적하였고(Liebig, 1840; Liebig, 1852), 이러한 리비히의 지적과 이의 대안이 그가 실험실을 운영하고 학생에게 실험을 가르치는데 반영되었을 것이다.

첫 번째 측면은 화학이 의·약학에 종속된 보조학문(*Hilfswissenschaft*)으로 여겨진다는 것이다. 유기화학의 두 그룹 중 하나였던 동물 화학이 의학의 관점에서 묘사되었던 것처럼(Partington, 1989, p. 216) 당시 독일에서 화학은 자연과학이나 의학 교수에 의해 가르쳐지고 부수적인 문제로 여겨졌다(Oesper, 1927). 리비히의 다음과 같은 말은 화학이 의학과 약학에 속해 있어 자립할 수 없었음을 보여준다:

> 화학은 의사의 하인으로 소화제와 구토제를 준비했으며 의학에 접목되어 독립성을 얻을 수 없었다. 의사는 초보적인 방법으로만 그것[화학]에 대해 알게 되었고 [화학은] 그[의학]와 약학 외에는 존재하지 않았다(Liebig, 1840, p. 10).

둘째로, 독일에서의 교육은 빌둥(*Bildung*[2])에 기초하여 인문학, 언어학 위주로 이루어졌는데, 그로 인해 화학이 교육에 포함되지 못했을 뿐만 아니라 자연철학의 영향을 받아 그 가치가 왜곡되었다는 점이다(Turner, 1982). 그 당시 독일의 지적 생활은 일반적으로 철학과 언어학, 역사학, 법학 등 소위 모든 인문학에서 가장 활발하였고, '교육'이라는 표

---

2) 빌둥은 자기 형성(self-formation) 또는 자기 수양(self-cultivation)의 개념으로, 독일의 훔볼트(Wilhelm Von Humboldt, 1767-1835)가 20년 동안 발전시킨 개념이며 그가 내무부 종교교육과장(Head of the Section for Religion and Education in the Ministry of the Interior)으로 재임하는 동안(1809년 2월~1810년 6월) 빌둥에 따라 프로이센 교육 시스템이 개편되었다(Sorkin, 1983).

현 역시 인문학에만 적용되었다(Liebig, 1840; Volhard, 1909). 인문학은 '자연철학'이라는 이름으로 화학에도 영향을 미쳤고, 그로 인해 리비히는 카스트너에게 가르침을 받을 당시에도 독일에서 유행했던 자연철학 주의에 상당한 불만을 가졌으며 이에 대한 경계심을 드러내기도 했다:

> 완고하고 무지한 세대로부터 과학은 아무런 발전을 기대할 수 없다. 그들은 독일 자연철학이라고 불리는 거짓된 여신을 붙잡고자 하는 욕망, (...) 관찰이나 조사도 없이, 설명하고자 하는 것의 특성과 형태, 목적과 활동에 대해 배우는 것 없이, 역동적이고, 구체적이고, 의미 없는 말들로 그들이 이해하지 못하는 말로, 그들도 이해하지 못하는 현상을 설명한다. 자연철학의 생명력은 무지의 중추인 공포의 공허함이다(Liebig, 1840, p. 28).

> 나는 금세기 최고의 철학자이자 형이상학자가 학생들에게 마법을 걸었던 대학에서 학생 생활의 일부를 보냈다. 이 감염으로부터 안전한 사람은 누구였을까? 나 역시 말과 생각은 풍부했지만 진정한 지식과 진정한 학문이 부족했던 이 시기를 보냈고, 이로 인해 내 인생의 소중한 2년을 낭비했다(Liebig, 1840, pp. 44-45).

마지막으로 리비히는 화학 연구 및 실험을 기술과 동일시하는 인식을 지적하였다. 기센 대학의 교수로 부임하고 나서 리비히는 대학에 연구소를 설립하고자 하였으나 대학 이사회는 실험 교육을 아우스빌둥(*Ausbildung*[3])과 동일시하며 이를 거절하였다(Holmes, 1989). 그들은 대학의 적절한 역할은 미래의 공무원을 교육하는 것이지 약제사나 비누 제조업자, 양조업자와 같은 장인들을 교육하는 것이 아니라는 이유로 연구소의 설립을 반대하였다. 이는 이 시기에 독일어권 대학에서 정신 수양을 위한 일반 교육의 이상(*Bildung*)과 특정 기술의 훈련 목표(*Ausbildung*) 사이에 반복적으로 나타난 갈등이 드러난 것이었다(Holmes, 1989). 리비히가 보았을 때 그 당시 프로이센인들은 화학을 소다와 비누를 만들거나 더 나은 철과 강철을 제조하는 데 유용한 규칙으로 구성된 실험으로만 생각하고 자연과학으로는 알지 못하였다(Liebig, 1840).

---

3) 아우스빌둥이란 주로 빌둥과 반대되는 개념으로, 특정 직업을 위한 기술 교육을 의미한다(Collins & Clemens, 2022).

4. 실험 수업의 목적

리비히와 그의 제자들은 기센 실험실에 화학 실험 교육이 도입된 것이 리비히의 생애에서 가장 독창적이고 생산적인 부분이라고 이야기한다(Hofmann, 1876; Volhard, 1898). 이 시기의 위대한 화학자들인 베르셀리우스와 게이뤼삭, 슈브뢸, 테나르, 로즈(Heinrich Rose, 1795-1864)는 리비히처럼 실험실에서의 교육을 하지 않았고, 화학에 관심 있던 학생들은 독학으로 훈련하거나 약국에 도제 형식으로 참여하며 공부하였다(Volhard, 1898). 실험실에 학생의 접근이 가능하더라도 이는 교수가 특정 학생에게 자신의 시설을 서비스로 개방하는 방식이었고, 공식적인 체계가 존재하지 않았다(Smeaton, 1954; Turner, 1982). 그러나 리비히를 기점으로 실험실에서의 화학 교육이 활성화되면서 화학 교육과정에서 실험 수업이 중요한 부분으로 간주되기 시작했다(Hofmann, 1876; Elliot *et al.*, 2008).

리비히는 실험실에서 학생들에게 화학에 대한 올바른 이해를 제공하고 화학적으로 사고하는 법을 가르치면서 학생들이 화학을 연구할 필요성을 강조하였다(Volhard, 1898). 또한 그는 끊임없이 화학 교육과 화학 실험실의 보편화를 위해 노력하고 이 과정에서 화학과 실험에 관해 고찰해왔다. 따라서 이러한 화학 교육과 실험에 관한 그의 생각이 실험 수업의 목적과 실천에 나타났으리라고 생각한다. 이를 알아보기 위해 우선 리비히가 생각한 실험 수업의 목적을 리비히가 바라본 독일에서 화학의 상태에 비추어 살펴볼 것이다. 그리고 실험 수업에 관한 리비히의 생각이 화학 교육의 실천에 어떻게 반영되었는지 알아보고자 한다.

4.1. 실험 수업의 목적: “현상의 언어”

리비히가 보았을 때 독일에서 화학은 실용적인 의·약학 또는 산업에 종속된 보조학문으로만 여겨지고, 지적 교육의 수단이나 자연 연구로서는 고려되지 않았다(Liebig, 1840). 그러나 그는 화학을 보조학문으로만 여기는 것이 아니라 화학을 배우고 행함으로써 얻어가는 모든 지식에 중심을 두어야 한다고 보았다. 즉 화학을 배우고 연구하는 그 자체의 필요성을 이야기한 것이다. 리비히는 화학 연구의 주요 목적은 유용성이 아니고, 삶에 적용할 수 있고 유용한 것만이 자연 연구의 대상이 되는 것은 아니라고 하였다(Liebig, 1878). 덧붙여 그는 과학과 화학이 자연 현상의 원인과 매일 우리를 둘러싸고 있는 모든 것의 변화에 관한 질문들에 만족스러운 대답을 제공하기 때문에 인문학이나 철학과 마찬가지로 정신 문화(*die Cultur des Geistes*)에 많은 영향을 미친다고 보았고, 이러한 이유로 이들이 교육의 수단이 될 수 있다고 보았다(Liebig, 1840; Liebig, 1878). 화학과 교육에 관한 리비히의 생각은 다음에 추가로 나타내었다:

> 교육의 수단으로서 자연과학에 관한 연구는 우리 시대의 요구다. 도덕과 종교의 원칙에 대한 교육 외에도 다음으로 가장 중요한 임무는 개성에 따라 다양한 인간 능력을 교육을 통해 개발하고 행사하는 것이며, 정신은 어느 정도의 일반적이고 유용한 지식을 얻어야 한다. 모든 과학 중에서 화학만큼 인간에게 사고의 대상, 성찰의 대상, 신선하고 끊임없이 새로워지는 지식을 제공하는 것은 없으며, [화학만큼] 현상의 유사점과 차이점을 같은 방식으로 발견하는 관찰의 재능을 일깨우고 설명의 진실을 증명하는 엄격한 방법이나 현상의 원인과 결과를 찾는 데 있어서 사고의 법칙을 똑같이 생생하고 친숙하게 만드는 데 더 적합한 것은 없다. 인간의 이해력이 어떤 한 방향에서 흘러들어오는 통찰력과 함께 증가함에 따라, 그 능력은 다른 모든 방향으로 강화되고 높아진다. 새로운 진리의 획득은 인간에게 성장한 새로운 감각이며, 이제는 다른 사람과 마찬가지로 과거의 자신에게는 보이지 않고 숨겨져 있던 다양한 현상들을 인식하고 알아차릴 수 있게 된다(Liebig, 1878, pp. 1-2).

리비히는 국가 번영과 의학, 생리학, 지구과학, 광물학의 이해와 일반 교육을 위해, 그리고 특히 자연철학의 불명확하고 혼란스러운 개념의 영향력을 없애기 위해서도 화학이 중요하다고 하였다(Volhard, 1898). 이에 리비히는 인문학, 철학이 아닌 실험을 통해 화학을 가르치고자 하였고, 이러한 목표는 그가 화학에 관해 설명할 때 자주 사용한 '현상의 언어(*die Sprache der Erscheinungen*)'라는 용어에서도 드러났다(Liebig, 1840; Liebig, 1852; Liebig, 1878). 리비히의 관점에서 화학은 눈에 보이는 물질세계와 보이지 않는 물질세계 사이의 연관성과 규칙을 보여줄 뿐만 아니라 물질의 언어와 특성에 대해 배우고 나서 가시적·감각적 현상의 언어에 익숙해지도록 돕기 위한 과목이었다(Liebig, 1852). 그에 따르면 화학에서 현상의 언어는 의사소통의 수단이 되고, 현상의 언어에 익숙해져야 한 걸음 더 나아갈 수 있다(Liebig, 1840). 곧, 물체의 특성과 상호 작용이 현상으로 나타나 사람에게 언어로서 인식되는 것을 '현상의 언어'로 표현한 것이다. 덧붙여 언어에는 이러한 다양한 현상이 담겨있다고 볼 수 있는데, 예를 들어 산소와 염소, 요오드, 수은, 납 등 이러한 단어들은 물질 각각의 특성과 현상을 알려주고 이를 이해하는 데 필요한 의미들을 지니고 있다. 그리고 리비히는 이들 단어 자체가 아닌 단어와 관련된 현상의 중요성을 말했다(Liebig, 1852).

리비히는 이러한 현상의 언어와 규칙을 아는 것에 그치지 않고 실험을 통해 이를 직접 경험하고 감각해야 한다고 하였다(Liebig, 1852).

> 알 수 없는 암호로 쓰인 책을 읽고 이해하고 현상의 연관성을 파악하여 현상과 현상이 생성되는 힘을 우리의 의지에 따라 만들려면 먼저 알파벳에 익숙해져야 하며 이러한 기호의 사용에 익숙해지고 이를 취급하는 기술과 경험을 습득해야 한다. 우리는 모든 조합의 기초가 되는 규칙을 배워야 한다. 고등 역학과 물리학이 수학적 분석에서 많은 연습을 전제로 하는 것처럼 자연 과학자로서 화학자는 화학 분석과 그 독특한 조합 이론에 대해 가장 친밀한 지식을 습득해야 한다. 그는 모든 결론과 결과를 현상과 실험을 통해 표현하며 모든 실험은 현상 속으로 가져온 아이디어다(Liebig, 1840, pp. 23-24).

그는 학생들이 화학의 기본 알파벳과 이러한 기호의 사용법을 배우고, 현상의 언어를 읽고 결합의 규칙과 기술들을 적용하며 실천할 기회를 얻

어야 한다고 생각했다(Liebig, 1840).

리비히가 실천(*Praxis*)이라는 단어를 사용할 때, 이는 예술이나 무역에서 개인의 실용적인 기술(technique)을 의미하는 것이 아니었다(Liebig, 1852; Liebig, 1878). 다시 말해, 실험실에서 받는 교육과 기술 교육을 달리 보았다는 것이다.

> (...) 실천(*Praxis*)이라는 단어를 사용할 때 예술이나 무역에서 개인의 실제 기술을 의미하지 않는다. 실험 물리학자는 기계공에게 정확하고 상세하게 온도계나 기압계를 만들기 위한 과정, 튜브를 보정하는 방법, 수은의 특성 등을 알려준다. 그러나 유리를 부는 기술을 배우지 않았기 때문에 온도계를 만들 수는 없다. 실험 화학자는 황산 제조자에게 황이 통과하는 특정 공기 흐름에서 얼마나 많은 황을 연소시켜야 최대한 많은 황산을 얻을 수 있는지 확실하게 알려준다. 그러나 상업적 이점을 가지고 황산을 제조하는 방법을 알지 못한다. (...) 이러한 자연법칙의 기술적 응용에 기초한 실천은 유리 기술자, 황산 제조자, 농부 및 의사의 숙련도와 생리학자의 지식을 평가할 수 있는 척도를 제공하지만, 화학자의 실제 능력은 그것으로 측정할 수 없다. 화학자는 자연법칙을 실질적으로 이해하고, 그것들을 연구하는 방법과 그 적용 원리를 실질적으로 알아야 하므로 자연과학의 다른 분야에 관한 연구와 수학 및 화학 산업에 대한 지식은 그에게 없어서는 안 될 필수 요소이다(Liebig, 1852, pp. 21-22; Liebig, 1878, p. 20).

덧붙여 리비히는 이론과 실천을 별도의 것으로 보지 않았다. 일반적인 상황에서 이론과 실천은 종종 정반대의 의미를 갖고 이론은 사실과 자연법칙에 대한 지식이 부족한 것으로 나타나지만, 리비히가 보았을 때 자연과학에서 이론은 모든 실천의 총합이고, 사실과 자연법칙에 대한 가장 정확한 지식을 기반으로 하여 나온 것이다(Liebig, 1852; Liebig, 1878). 그렇기 때문에 리비히는 이론과 실천을 모두 필요한 것으로 보고 이들의 조화를 중요시해 왔다.

리비히는 화학의 자율적이고 과학적인 성격과 경제적·기술적 중요성을 강조하기를 원했기 때문에, 연구자뿐만 아니라 산업 화학자를 훈련하는 데에도 실험실에서의 교육을 강조했다(Turner, 1982). 그는 오류의 원인 및 손실 제거, 장치 개선과 같이 기술 작업에 필요한 다양한 지식은 단순히 레시피에 따라 작업해서는 배울 수 없다고 하였다(Liebig, 1840).

리비히는 산업적인 목적만을 위해 학생들을 기술 위주로 가르치는 것을 경계하였고, 화학과 실험을 배우면 기술자 역시 문제를 해결하고 목적을 달성하는 방법을 배울 수 있다고 보았다(Liebig, 1840; Volhard, 1898).

리비히는 화학에 관한 철저한 연구가 그 분야의 응용을 스스로 발견하게 한다고 믿었으며 화학이 제공하는 수단과 방법, 물질의 특성을 더 많이, 정확하게 알수록 응용에 보다 쉽고 완벽하게 도달할 수 있다고 생각하였다(Liebig, 1852). 이러한 그의 생각은 "진정한 과학교육은 모든 응용 분야에 대한 능력과 수용력을 갖추어야 하며 과학의 기본 원리와 법칙에 대한 지식이 있으면 응용은 쉽고 저절로 드러난다(Liebig, 1840, p. 35)."라는 말에 잘 나타난다. 즉 리비히는 화학의 산업적 응용을 위한 기술보다는 기초가 되는 지식과 연구 방법을 가르치기 위한 화학 교육이 필요하다고 보았던 것이다.

그에 의하면 "일련의 실험을 하는 것은 종종 생각을 개별적인 부분으로 나누고 감각적인 현상을 통해 그것을 시험하는 것을 의미한다(Liebig, 1852, p. 19; Liebig, 1878, p. 19)." 학생들은 실험하는 동안 실험을 어떻게 진행할지 구상하고 직접 가설들을 시험해보는데, 이러한 실험 화학을 통해 학생들은 실험의 기초를 배우고 특정 질문을 해결할 수 있는 능력을 습득할 수 있게 된다(Liebig, 1852).

실험을 가르칠 때 리비히는 기초만이 아니라 그것의 응용을 함께 가르쳐야 한다고 보았다. 학생들이 실험 화학을 통해 물질의 특성이나 원리와 같은 기초만 배우고 이들의 응용은 배우지 않으면 그들에게 있어 화학 연구가 피상적이고 어려워지게 된다(Liebig, 1852). 예를 들어, 학생에게 인과 그것의 성질을 설명할 때, 인이 성냥을 만드는 데에 사용되고 작업자가 최단 시간에 가능한 한 많은 성냥을 생산하기 위해 어떻게 진행하는지 가르쳐야 한다는 것이다(Liebig, 1852). 이런 식으로 여러 응용 분야와 연관 지어 실험을 가르치는 것이 필요하지만 응용만을 목적으로 교육하는 것은 지양해야 하는데, 흥미를 위해 문제와 관련이 없는 응용을 엮어 가르치면 학습자의 시선이 목표에서 멀어지고 수업의 주요 목적을 놓치게 되기 때문이다(Liebig, 1852).

마지막으로, 리비히는 서로 소통하고 연구 내용을 공유하는 활동 역시 실험실에서 필요한 활동의 일환으로 여겼는데, 이는 학생들의 일, 공부, 그들 사이의 경쟁을 격려하기 위한 것이었다:

> 함께 생활하고 서로 끊임없이 교류하면서 모두의 일에 참여함으로써 각자가 서로에게서 배웠다. 겨울에 나는 일주일에 두 번 하루 중 가장 중요한 문제들에 대한 개요를 제공했다. 그것은 대부분 다른 화학자들의 연구와 관련된 나의 연구와 그들 자신의 연구에 대한 개요였다(Liebig, 1892, p. 664).

매일 아침 연구 내용을 공유하고 이에 대해 논의하기 위해 세미나가 진행되었는데, 이 역시 실험에 있어 서로 소통하는 것의 중요성을 생각한 리비히의 계획으로 볼 수 있겠다.

정리하자면 리비히가 생각한 실험 수업의 목적은 다음과 같다.

- 현상의 언어를 습득하고 실천을 통해 이를 감각하기
- 문제를 해결하고 목적을 달성하는 방법 습득하기
- 실험의 기초와 응용 학습하기
- 실험에 대해 서로 논의하고 소통하기

리비히의 관점으로 바라보았을 때 화학 실험실에서의 교육은 연구를 위한 기초 지식과 이를 직접 경험하고 적용하는 기회를 제공하고, 학생들이 실험실에서 물질 및 도구의 여러 특성이나 사용 방법을 익히고 적용하도록 해야 한다. 또한, 학생들은 실험 수업을 통해 현상의 언어를 감각하고 기본 지식과 응용을 학습해나가면서 문제 해결 능력을 얻고, 이 과정에서 서로 소통하고 논의하는 것이 필요하다고 볼 수 있겠다.

4.2. 화학 교육에서 리비히의 실천

4.2.1. 유기물 분석 도구

앞서 리비히의 관점에 비추어 본 실험 수업의 목적이 그가 만든 도구에 어떻게 반영되었는지 알아보기 위해, 리비히가 만든 도구 중에서도 대표적으로 유기물 분석 도구를 살펴보고자 한다. 리비히의 유기물 분석 도구는 리비히 성공의 핵심이며, 유기화학의 빠른 성장을 가능하게 할 뿐만 아니라 이를 통해 유기화학과 19세기 화학 교육에 혁명을 일으켰다(Oesper, 1927; Heitmann, 1989).

리비히의 도구를 사용하여 유기물을 분석하는 방법은 당시 유기 화학자들 사이에서 빠르게 확산된 것으로 보이며, 이들에게 높은 평가를 받았다. 뒤마(Jean-Baptiste Dumas, 1800-1884)는 리비히의 방법이 유기화학의 상태를 변화시킬 운명임을 단번에 예견하고 이를 채택하였다(Dumas, 1831). 리비히 이전 방법의 대가인 베르셀리우스는 1833년 1월, 리비히에게 보내는 편지에 리비히가 현재 유기 분석 기술의 가장 위대한 대가라고 칭송하였다(Berzelius *et al.*, 1893). 그의 제자들은 리비히의 방법에 대해 다음과 같이 이야기하였다:

> 그의 발명 능력의 가장 빛나는 발산이 다른 어떤 발견보다 화학계의 생산적인 노동을 촉진하고, 특히 앞으로 우리 시대의 주요 영광 중 하나로 되돌아볼 유기화학의 놀라운 발전의 주요 원천이 된 것이 확실하다는 것을 광고해야 한다(Hofmann, 1876, p. 1087).

> 마침내 그는 알려진 방법을 발견했는데, 그것은 장치의 단순성과 실행의 용이성, 결과의 신뢰성 면에서 무기 화학의 가장 좋은 분석 방법에도 결코 뒤떨어지지 않는다. 그것의 실행은 실제로 단순한 광물 분석보다 지식과 기술을 덜 필요로 한다(Volhard, 1898, p. 6).

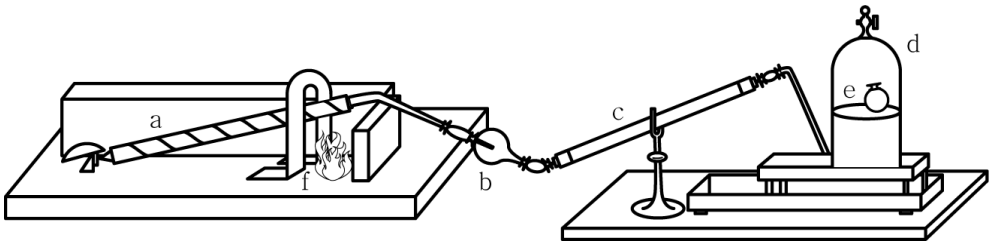
리비히의 유기물 분석법은 그 당시 부정확한 유기화학 지식과 분석 방법으로부터 시작된 것으로 보인다. 리비히가 유기화학 연구를 시작하

던 시기에 유기화학은 다른 화학 분야에 비해 덜 발전되고 상반된 관찰과 개인적인 의견의 잡동사니를 바탕으로 한 부정확한 기술 과학(descriptive science)이었다(Heitmann, 1989; Partington, 1989, p. 216). 유기 물질에 대한 실행 가능한 분류 체계는 존재하지 않았고, 이러한 물질의 기본 구성 요소인 분자에 대한 합의는 거의 없었을 뿐만 아니라 일반적으로 유기 화합물의 합성을 위해서는 생명 자체에서 발생하는 생명력이 필요하다고 생각되었다(Heitmann, 1989; Asimov, 1965, pp. 94-95).

리비히의 유기물 분석법에 관한 관심은 그가 게이뤼삭과 공동으로 폭발물 연구를 진행하던 중, 당시 유기물의 조성을 결정하는 데 여전히 어려움이 있다는 것을 알게 되며 시작되었다(Volhard, 1898). 리비히는 유기화학의 모든 발전이 분석 방법의 단순화와 개선에 달려있다는 것을 깨달았고, 파리에서 게이뤼삭과 테나르로부터 배운 유기물 분석 기술의 속도를 높이고 단순화할 필요성을 느꼈다(Liebig, 1892; Volhard, 1898).

리비히의 유기물 분석 도구가 완성되기 전에는 유기물을 분석하는 방법이 매우 복잡하고 어려워 게이뤼삭과 테나르, 베르셀리우스와 같은 몇몇 매우 뛰어난 사람만이 이 어려움을 극복하고 정확한 결과를 만들어낼 수 있었다(Volhard, 1898). 예를 들어, 리비히 이전 방법의 대가였던 베르셀리우스는 다음과 같은 방법으로 유기물을 분석하였다. 먼저, 튜브([그림 4-1, a])에 분석할 유기 물질을 염소산칼륨, 염화나트륨과 함께 갈아 넣어 반응이 과도해져 폭발이 발생하는 것을 방지하였다. 연소 생성물은 물을 모으는 역할을 하는 벌브(bulb, [그림 4-1, b])와 응축되지 않은 나머지 물을 모으는 염화칼슘 건조 튜브([그림 4-1, c])를 지나 종 항아리([그림 4-1, d]) 내의 수은 위에 모이도록 하였다. 종 항아리 안에는 수은이 있고 그 위에 벌브([그림 4-1, e])가 떠 있는데, 이 안에 들어있는 고체 수산화칼륨이 이산화탄소를 흡수하였다. 벌브의 입구는 장갑 가죽으로 막아 수은이 안으로 들어가지 못하게 되어있고 분석 물질을 넣는 튜브는 기체의 압력으로 인해 터지는 것을 방지하기 위해 금속으로 감싸져 있다. 가림막([그림 4-1, f])을 오른쪽 끝에서 왼쪽 끝으로 옮기면서 튜브를 가열하면 기체가 종 항아리의 상당 부분을 채우며 수은의 수

위가 낮아진다. 종 항아리에 이산화탄소와 산소가 채워지면 그중 이산화탄소가 수산화칼륨에 흡수되어 종 항아리에는 산소만 남게 되고 총 기체의 부피가 감소하면서 수은의 수위가 상승한다. 이후 수산화칼륨이 들어있던 벌브의 무게가 얼마나 증가하였는지 측정하여 물질의 조성을 결정하였다(Partington, 1972, pp. 236-237). 그러나 이 방법은 이산화탄소가 모두 흡수되기까지 약 12시간을 기다려야 했고 이로 인해 분석하는 데 하루 이상이 필요할 정도로 분석 시간이 오래 걸렸으며 고도로 숙련된 조작 기술을 필요로 했다.

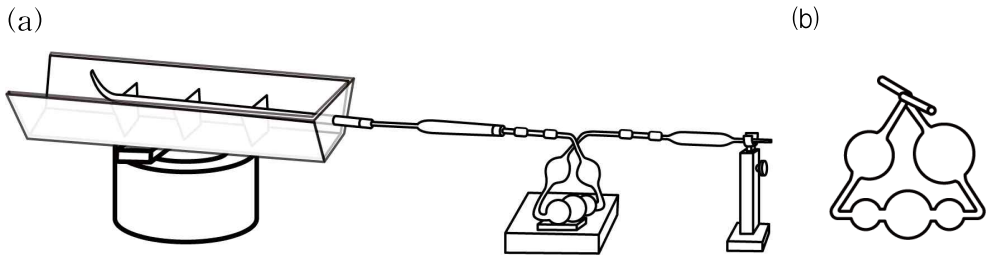


[그림 4-1] 베르셀리우스의 유기물 분석 도구[4)]

반면 리비히는 이전 방법들의 아이디어를 사용하면서도 더 간단하고 신속할 뿐만 아니라 정확한 결과를 만들 수 있는 도구를 만들었다([그림 4-2, (a)]). 분석할 화합물을 넣는 튜브는 직사각형 모양의 얕은 철제 상자의 연소로에 위치하였고, 화합물을 가열하는 속도는 깃털 부채와 뜨거운 숯을 추가하거나 제거함으로써 조절되었다(Oesper, 1927). 튜브의 끝은 염화칼슘 튜브와 칼리구(*Kaliapparat,* [그림 4-2, (b)])에 연결되었다. 화합물을 수백분의 1g만 태울 수 있는 기존 방식과 달리 이 도구는 연소 튜브를 길게 늘리기만 하면 유기물을 얼마든지 연소시킬 수 있었다(Liebig, 1831). 실제로 리비히는 화합물의 탄소 비율에 따라 시료를 0.5~3그램까지 사용하여 대부분 필요한 수준의 정확도를 달성할 수 있었다(Holmes, 1989). 화합물이 연소하여 발생한 기체가 물을 모으기 위한 염화칼슘 튜브를 통과하고 그다음 이산화탄소를 모으기 위한 칼리구를 지나는데, 이 칼리구 안에는 수산화나트륨 수용액이 들어있었다

4) Berzelius (1831)에 있는 도구 그림을 새로 그려 나타내었다.

(Partington, 1972, p. 238). 리비히는 칼리구의 한쪽 밑에 나무 조각을 받쳐 칼리구가 기울어지게 만들었는데, 그로 인해 이산화탄소가 칼리구를 통과할 때 수산화나트륨 수용액을 충분히 버블링하여 용액에 잘 섞이면서 흡수되었다. 칼리구는 사용 방법이 간단하여 화학자가 매우 정확하고 정밀하게, 그리고 비교적 쉽게 화합물의 탄소 비율을 결정할 수 있게 해주었다(Heitmann, 1989).



[그림 4-2] (a) 리비히의 유기물 분석 도구[5]; (b) 칼리구

리비히의 유기물 분석 도구의 장점은 단순성과 그에 따른 신속함이었다. 4명이 계속 작업해야 했던 라부아지에(Antoine Lavoisier, 1743-1794)의 큰 도구나 이산화탄소가 모두 흡수될 때까지 밤새 기다려야 했던 베르셀리우스의 도구와 달리 리비히의 도구는 학생 한 명이 유기물을 분석하는 것을 하루에 3번까지 가능하게 했다. 게이뤼삭과 테나르 (1810), 베르셀리우스 (1813), 되베라이너 (1816)가 도입한 도구보다 분석을 더 빠르고 안정적으로 수행할 수 있었고 화학 기술도 덜 필요로 했다(Fruton, 1988). 리비히의 방법은 유기 화합물 연구에 대한 화학자들의 일반적인 참여를 가능하게 했고, 유기화학의 빠른 발전을 가능하게 했다(Volhard, 1898).

리비히는 학생들이 이 새로운 방법을 매우 빨리 배울 수 있고 이를 통해 신뢰할 수 있는 결과를 만들 수 있다는 것을 알아차렸다(Holmes, 1989). 실제로 연습을 통해 어떠한 학생도 리비히의 도구를 통해 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있었으며 본래 재능이 없는 학생들도 이 기구를 통해 유능한 연구를 할 수 있게 되었다(Oesper, 1927; Morrell, 1972).

5) Liebig (1831)에 있는 도구 그림을 새로 그려 나타내었다.

리비히의 학생들이 그의 분석법을 응용하고 새롭게 떠오르는 유기화학 분야에 기술들을 연관시키기 시작하자 상당히 많은 지식이 생산될 수 있었다. 결과적으로 리비히의 유기물 분석 도구를 사용해 매년 평균 400건 이상의 분석을 실험실에서 수행할 수 있었다(Partington, 1972, p. 238). 또한 1846년에는 그의 실험실에서 15명의 학생이 리비히의 학술지(*Justus Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie*)에 32개의 연구 논문을 발표하였다(Volhard, 1909). 리비히의 도구를 사용함으로써 더욱 간단하고 균일해진 분석 절차는 유기화학을 발전시키고 핵심 문제를 해결하는 동시에 유기화학이 일관된 하위 학문(subdiscipline)으로 성장하는 데 기여했다(Holmes, 1989). 리비히의 학생들이 받는 훈련은 화학의 이론적인 측면과 실험적인 측면을 모두 포함하였는데, 이때 리비히의 도구는 일반적인 사람도 가치 있는 기여를 할 수 있도록 하면서 체계적인 교육과정의 필수적인 부분이 되기도 하였다(Heitmann, 1989).

리비히가 고안한 유기물 분석 도구와 방법은 유기화학에 있어 해결되어야 할 문제 중 하나였지만, 그것이 리비히의 최종 목표는 아니었다. 앞서 언급했듯이, 리비히의 관점에서 실험을 배우는 목적 중 하나는 자신의 주제에서 문제를 해결할 수 있는 능력을 습득하는 것이었다. 또한 그가 생각한 유기화학의 주요 목표는 단순히 유기 화합물의 조성을 결정하는 것이 아니었고, 이외에 여전히 화합물의 분리와 정제, 특성 확인 등이 핵심적인 연구과제로 남아있었다:

> 이미 형성된 유기 화합물에 대한 조사와 설명은 그 자체로 중요하지만, 유기 자연에서 변형과 분해가 일어나는 법칙에 대한 정보는 거의 제공하지 못하므로 주로 이러한 변형을 조사해야 하며, 이러한 점에서 분석적 방법만이 유기화학의 목표로 이어질 수 있다(Liebig, 1834, p. 1).

따라서 당시 유기물 분석의 주된 목적은 유기 화합물에 포함된 각 원소의 원자 수를 결정하는 것이었으나, 더 나아가 화합물 사이의 관계, 반응에 대한 정보를 획득하는 것 역시 중요한 목적이었다. 이러한 점에서 그의 유기물 분석 도구는 유기화학과 실험 수업의 목적을 달성하기 위한

필수이자 시작이었다고 볼 수 있다.

이러한 리비히의 생각은 실제로 제자들에게 실험과 연구를 가르칠 때도 드러났다.[6] 리비히에게서 실험을 배우기 시작한 지 1년도 채 되지 않았던 슈들러(Friedrich Schödler, 1813-1884)는 이끼산과 파라말레산, 푸마르산의 비교 분석을 통해 이들이 모두 같은 물질이라는 것을 알아냈다. 1826년에 발견된 이끼산은 분석적 특성이 충분히 설명되어 있지 않아 새로운 식물산으로 확인된 적이 없었다. 슈들러는 리비히가 이러한 부족함에 주목했고 그의 제안과 좋은 지시 덕분에 연구 결과를 얻을 수 있었다고 하였다. 슈들러는 순수한 결정 형태의 이끼산을 얻고 그 염을 생산하여 가장 유사하다고 알려진 두 가지 산인 파라말레산, 푸마르산과 이것의 물리적, 화학적 특성을 비교했다. 그는 유기물 분석을 진행하여 세 산의 화합량(combining weights)을 결정하고 세 산의 원소 조성이 동일하다는 결과를 얻어 이를 통해 세 산의 정체를 '의심할 여지가 없는' 것으로 판단했다(Schödler, 1836).

약대생이었던 냅(Friedrich Ludwig Knapp, 1814-1904)은 리비히에게서 더 복잡한 연구 문제를 받았는데, 멜람에서 시아누르산이 형성되는 반응의 중간 생성물들을 알아내는 작업이었다. 멜람을 칼륨 용액에서 가열하면 멜라민과 암멜린이라는 두 가지 새로운 염기가 생기는 반면, 진한 질산으로 가열했을 때는 "시아누르산과 암모니아 이외의 다른 화합물을 생성하지 않았다"고 한다. 리비히는 후자의 반응이 이 두 가지 생성물만으로 알 수 있는 것보다 더 복잡하다고 의심했고, 냅에게 다른 중간 생성물을 찾아달라고 요청했다(Knapp, 1837). 냅은 멜람과 질산의 반응을 매우 낮은 열에서 수행하여 시아누르산이 형성되는 것을 방지함으로써 중간 생성물을 분리하려고 시도했고, 하나는 비교적 쉽게 분리되어 유기물 분석을 통해 암멜린이라는 것이 밝혀졌다. 다른 생성물은 만들어내기가 훨씬 더 어려웠으나 마침내 냅은 시아누르산을 순수한 결정으로 만드는 방법을 고안하여 두 번째 생성물이 리비히가 암멜리드라고 불렀

6) 리비히의 유기물 분석 도구 활용과 관련한 실례는 Holmes (1989)를 주로 참고하였다.

던 또 다른 화합물이라는 것을 밝혀냈다. 관련된 각 화합물의 원소 조성을 다시 결정한 후 냅은 이러한 화합물의 화학식과 물, 암모니아의 원자 또는 분자를 연속적으로 더하거나 빼는 방식으로 멜람에서 시아누르산이 형성되는 것을 설명할 수 있었다(Knapp, 1837).

슈들러와 냅은 이미 알려진 물질과 반응을 더 자세히 규명한 것에 불과했지만, 이들은 리비히의 유기물 분석 방법을 일상적으로 적용하는 이상의 것을 배웠다. 슈들러는 스승인 리비히가 발견한 유기화학 문헌의 작은 틈을 메우기 위해 기센에서 잘 확립된 방법과 조사 전략을 사용했고 냅은 실험실에서 익힌 조사 절차의 레퍼토리를 적용하고 변형하는 방법과 실험적 장애물을 극복하는 방법을 배웠다(Homes, 1989). 이처럼 리비히는 학생들이 단순히 주어진 방법대로 실험하여 물질의 성분을 파악하는 것에서 그치지 않고 그 이상까지 나아가기를 바랐다. 이는 자신의 제자인 타우로프(Moritz Christian Julius Thaulow, 1812-1850)에게 가해진 물질 성분의 해석이 틀렸다는 비판에 그를 변호하며 쓴 글에서도 알 수 있었다:

> 나는 새로운 결정성 물질을 발견하는 것이 어렵지 않고, 현재로서는 그것에 대한 정확한 분석을 수행하는 것이 더 쉽다고 생각한다. 그러나 그러한 물질이 말을 하게 하고, 어떤 물질에서 유래했으며, 친척이 누구인지 말하게 만드는 것이 과제라고 생각한다. 당산의 경우 헤스가 칼륨염을 발견한 후에도 이에 대한 불확실성이 컸는데 (...) 이것이 바로 타우로프가 해결하고자 했던 문제였으며, 그가 이 문제를 해결했다는 데는 아무도 의심의 여지가 없다 (Liebig, 1839, p. 314).

리비히의 목표는 분석 기술을 활용하여 문제를 해결하는, 즉 연구자가 되는 방법을 가르치는 것이었다. 화합물을 분리, 정제, 동정한 후 표준 유기물 분석 방법인 기센의 분석법을 적용하는 것은 쉽지만 이를 활용하여 해당 화합물의 구성과 유사한 화합물, 그리고 해당 화합물에서 파생되거나 전환될 수 있는 화합물 간의 관계를 설명하는 것은 어려운 문제였다. 이러한 과정은 학생들이 도구를 능숙하게 조작하는 것만큼 화학에 관해 명확하게 사고하도록 가르치기 위한 리비히의 계획이었다(Homes, 1989).

4.2.2. 실험교수법

리비히는 학생들에게 실험을 가르치는 과정에 자기의 유기물 분석 도구를 포함하여, 학생들이 현상의 언어를 습득하고 실천하는 것에 익숙해지게 하고 문제를 해결하는 능력을 키워주고자 하였다. 리비히의 지도를 받은 학생들은 정량적인 실험 과정을 체계적으로 익히고 독립적인 연구자로 성장할 수 있었으며(송성수, 2006), 호프만은 실험실에서의 주기적인 가르침은 리비히의 업적 중에서도 가장 큰 성공이었다고 평가하였다(Hofmann, 1876). 이처럼 리비히가 성공적인 교육 실험실을 운영했다는 것은 잘 알려진 사실이고 그의 교수법은 오늘날 대학 실험실에서 학생에게 실험을 가르칠 때도 일반적으로 사용되는 주요 모델이다. 따라서 그가 학생에게 어떠한 방식으로 실험을 가르쳤고 앞서 살펴본 실험 수업의 목적이 그 과정에 어떻게 반영되었는지 알아본다면 오늘날 실험 수업에 시사점을 얻을 수 있을 것으로 생각하였다.

리비히 가르침의 기본 아이디어는 명확한 기술 분야를 고려하지 않고 광범위한 기초 훈련을 시키는 것이었다(Oesper, 1927). 그의 가르침의 본질은 학생들이 순수 과학에 입문하고 미래의 직업에 상관없이 화학자가 될 수 있도록 훈련받은 후 연구뿐만 아니라 모든 종류의 화학 응용 분야에 동등하게 유능해질 수 있도록 하는 것이었다(Volhard, 1898). 농업과 생리학, 병리학, 의학에 화학을 실용적으로 응용한 리비히의 업적은 이 교육 철학의 실천이며, 순수한 화학에 대한 완전한 지식이 실질적인 문제를 해결하는 데 필수적이라는 것을 보여준다(Oesper, 1927).

또한 리비히는 순수한 화학 지식의 발전에서 불순한 응용으로 벗어나는 것을 허용하지 않았고 학생에게 기술 화학(technical chemistry)을 가르치는 것을 단호하게 거부하였다. 그럼에도 불구하고 학생들은 적절하게 훈련된 화학자가 기술적 문제를 빠르고 쉽게 해결할 수 있을 것이라는 그의 격렬한 주장에 매료되었다(Morrell, 1972). 이러한 리비히의 모습은 진정한 과학교육과 철저한 화학 연구를 통해 기초를 습득한다면 응용은 자연스레 따라온다는 그의 생각과 일치한다.

리비히의 실험실에서 학생들은 정성·정량 분석에 대한 교육을 받은 후 훈련을 거치고 나서야 독립적인 연구를 할 수 있었다. 리비히는 정성 분석을 통해 학생들에게 물질의 특성과 화학적 변환을 이해하도록 가르치고 그 과정을 단순한 혼합물에서 복잡한 혼합물로 전환해 나갔다. 그리고나서 물질의 정성 분석에서 정량 분석으로 교육이 전환되고, 특정 물질을 합성하는 연습이 뒤따랐다(Volhard, 1898). 이 과정에서 학생은 원재료로부터 높은 수득률로 좋은 순수한 물질을 생산해야 했는데, 리비히는 이 방법을 통해서만 물질의 성질을 알 수 있다고 믿었기 때문에 이 부분에 큰 중점을 두었다(Liebig, 1892). 이 단계를 성공적으로 마친 후 학생이 화학적으로 생각하고 작업하는 법을 배웠을 때, 유기 물질의 반응과 조성을 탐구하기 위해 유기물 분석 도구를 사용하는 독립적인 과학 연구의 자격이 학생에게 주어졌다(Liebig, 1892; Volhard, 1898). 이러한 교육과정을 통해 학생들은 알아차리지 못하게 훈련이 연구로 변형되는 실험 화학의 체계적인 과정을 경험할 수 있었다(Liebig, 1892). 이렇게 서서히 심화되는 실험 교육은 학생들이 현상의 언어를 경험하고 습득하며 실험의 기초가 되는 지식과 연구 방법을 학습할 수 있게 하였다.

이러한 초급 학생을 위한 훈련은 리비히가 직접 가르치지 않고 사수 제도를 통해 상급 학생이 제공하였다(Liebig, 1892). 초급 학생들은 상급 학생의 지도하에 기본적인 화학 과정과 유기물 분석에 대한 모든 세부 사항을 배웠는데 이것은 멘토로서 행동하는 상급 학생들의 과제였다(Elliot *et al*, 2008).

이뿐만 아니라 상급 학생들은 매일 아침 세미나를 통해 리비히와 함께 다른 학생들과 소통하였다. 세미나에서 상급 학생들은 전날 그들의 실험에 대한 진행 상태와 계획을 보고하였다. 이러한 보고에 대해 리비히는 승인하거나 비판하였고 학생들과 논의하며 연구를 계획하였다(Liebig, 1892). 이렇게 하여 리비히의 실험실에서는 굉장히 많은 연구가 진행되었고, 학생들은 리비히에게서만이 아니라 서로에게서도 연구에 대해 배울 수 있었다. 사수 제도와 세미나는 학생들이 서로 연구 내용을 배우고 공유해야 한다는 리비히 생각의 실천이며, 리비히는 이를 촉진하

는 역할을 하였다.

마지막으로 리비히는 학생들의 연구에 간섭하지 않고 학생들이 독립적으로 관찰하고 추론하는 것을 중요시했다. 리비히는 화학이 과학이자 전문적인 일일 뿐만 아니라, 독립적인 개성과 자유로운 놀이를 허용해야 하는 예술이라고 믿었고(Oesper, 1927) 항상 학생들이 스스로 생각하고 주의 깊게 관찰하도록 안내하려고 노력하였다(Volhard, 1898). 리비히는 학생에게 자신이 진행 중인 연구 영역 내에서 하위 문제의 주제를 제안했고, 학생은 스승이 이미 연구한 방법을 적용하며 그보다 더 나아가 주제의 특정 측면을 추구했다(Holmes, 1989). 리비히는 자신의 교육 방법에 대하여 다음과 같이 말했다:

> 실험 조교가 담당한 실험실에서의 실제 교육은 초보자에게만 적용되었고, 나의 특별한 학생들[상급 학생들]은 그들이 가져온 것에 비례해서만 배웠다. 원에 반지름에는 모두 공통의 중심이 있듯이 나는 과제를 주고 그 실행을 감독했다. 매일 아침 나는 각 학생으로부터 전날 무엇을 했는지, 그리고 앞으로 무엇을 할 것인지에 대한 의견을 보고받았고, 나는 동의하거나 이의를 제기했지만, 학생은 각자 자신의 길을 찾아야 했다. 동료애와 끊임없는 교류, 그리고 각자가 모두의 일에 참여하는 과정에서 모두가 다른 사람들로부터 배웠다(Liebig, 1892, p. 664).

리비히는 직접적인 지시 대신 유기물 분석 도구와 같이 학생들이 분석을 더 효율적으로 수행할 수 있는 도구와 절차를 발명함으로써 간접적으로 초급 학생들의 공식적인 훈련에 적극적이었다(Elliot *et al.*, 2008).

5. 현대 화학 교육에 대한 시사점

앞서 4장에서는 리비히의 관점에서 바라본 실험 수업의 목적을 정리하고 더 나아가 그가 학생들을 교육할 때 이 목적을 어떻게 실천하였는지 알아보았다. 5장에서는 4장에서의 내용을 바탕으로 리비히의 사례가 현대 화학 교육에 주는 시사점을 살펴보고자 한다.

대학의 화학 교육과정에서 실험 수업은 필수적인 요소로(Kirschner & Meester, 1988; Agustian & Seery, 2017), 의미 있는 실험 수업을 진행하기 위해서는 실험 수업의 목적을 정하고 이에 맞는 교과과정을 계획하는 것이 중요하다. 리비히의 관점에서 실험 수업의 목적을 달성하기 위한 첫 시작이자 중요한 것은 현상의 언어를 습득하고 실천을 통해 이를 감각하는 것으로, 실험교수법에는 이러한 그의 생각이 반영되어 있었다. 그의 학생들은 현상의 언어에 익숙해지기 위해 기본적인 분석에서 시작하여 응용과 문제 해결을 배워나가며 복잡한 과제를 해결하는 전문가가 되는 과정을 경험한다. Elliot *et al.* (2008)은 이러한 정규 교과과정 중심(formal course-oriented)의 실험 수업은 실험실에서의 화학 학습에 도움이 되는 환경을 만들어 줄 수 있다고 보았다. 또한 이들은 리비히의 모델을 인지적 도제 학습 이론(cognitive apprenticeship theory)의 조직 템플릿으로 사용하여 처음 연구를 시작하는 학부 수준의 학생이 화학 연구 환경을 경험하는 것도 도울 수 있다고 제안하였다.

인지적 도제 학습 이론은 교수를 위한 일종의 교육 패러다임으로, 학생이 전문가가 되도록 장려하고 교사가 학생에게 상당히 복잡한 과제를 가르칠 필요가 있을 때 유용하다(Collins *et al.*, 1991). 물리적이고 가시적인 활동(activity)을 배우는 중세의 도제 교육과 달리, 이를 대체한 정규 학교 교육에서 학생은 문제 풀기, 독해력과 같은 눈에 보이지 않는 사고 과정의 실천(practice)을 배운다. 인지적 도제 학습 이론은 이러한 사고 과정을 가시화하기 위한 교육 모델이다(Collins, 1988; Collins *et*

al., 1991). 인지적 도제 수업에서 과제는 체계적인 것부터 다양한 것까지 변화를 주며 제시되고 교사가 학생에게 목표 기술을 제시함에 따라 학생은 그러한 기술을 여러 맥락에 적용한다. 이를 통해 학생은 학습한 기술을 일반화하고 새로운 상황에 직면했을 때 이 기술을 독립적으로 이전할 수 있게 된다(Collins *et al.*, 1991).

리비히의 경우는 학생이 실험을 배우고 문제 해결 능력을 습득해나가며 전문가가 되는 하나의 인지적 도제 학습 사례를 보여준다. 리비히의 실험실에서 학생들은 전문가가 되기 위해 도구에 하나씩 익숙해지는 것부터 시작한다. 본 연구에서는 리비히의 도구 중 유기물 분석 도구를 대표적인 예시로 선택하였는데, 학생들은 유기물 분석 도구를 활용하여 답이 알려진 물질의 정성 분석과 정량 분석을 진행하고 원재료로부터 순수한 물질을 생산하는 과제까지 마치면 독립적인 과학 연구의 자격을 얻었다(Liebig, 1892; Volhard, 1898). 리비히는 학생에게 주는 과제의 난이도와 다양성을 서서히 높여감으로써 학생이 여러 현상을 경험하고 화학적으로 사고하며 문제를 해결하고 목적을 달성하는 방법을 습득하게 하였다. 리비히의 사례에서처럼 명확한 실험 수업의 목적을 갖고 이를 통해 체계적인 실험 교육과정을 만들어 학생에게 화학과 실험을 가르치는 방식은 더 원활하고 효과적인 실험 수업을 가능하게 한다.

이처럼 학생들은 실험 수업에서 매뉴얼에 제시된 지침을 그대로 따르는 단순한 요령 이상의 것을 배우는 것이 필요한데(Venkatachelam & Rudolph, 1974), 반대로 주어진 실험 과정을 그대로 따라 하는 요리책 형식이나 분절적인 실험은 실험 수업의 목적을 달성하기 어렵게 만든다. 또한 실험을 배우는 학습자는 새로 습득하는 정보에 대한 구조화가 부족하기 때문에 작업 기억으로 들어오는 정보의 양이 과도한 경우 학습이 어려워진다(Johnstone & Wham, 1982). 그러므로 학생에게 처음부터 복잡하고 어려운 과제를 제공하기보다는 학생을 위한 명확한 목표를 세우고 새로 노출되는 정보의 양을 제한하는 전략을 사용하여 실험 수업을 용이하게 할 수 있을 것이다. 리비히의 사례에서 보았듯이 도구의 사용 방법을 배우고 이를 적용하며 서서히 실험을 발전해나가는 방식은 학생

에게 주어지는 정보의 과부하를 줄여주면서 실험의 연속성을 제공할 수도 있을 것이다.

실험 수업을 원활히 하는 다른 방법으로는 실험 수업에서 사용할 수 있는 간단하고 쉬운 도구를 개발하는 것이 있다. 화학 실험에서 도구는 현상을 특징지어주는 역할을 하는데(Skoog *et al.*, 2017), 실험에 참여하는 이들은 도구를 사용한 개입으로부터 경험적 지식을 축적하고 도구를 이용하여 보이지 않는 실체를 조작함으로써 이에 대한 믿음의 근거를 쌓게 된다(Hacking, 1983). 이처럼 실험에서 도구의 사용은 필수적이고 도구에 적응해야 화학 실험을 수행하는 것이 가능해진다. 실험 수업에서 사용 방법이 간단한 도구의 사용은 학생이 현상과 상호작용하는 것을 촉진할 뿐만 아니라 도구로 인해 정보의 과부하가 걸리는 것을 줄여줄 수 있을 것이다. 이와 달리 사용 방법이 너무 복잡하여 도구에 익숙해지는 데 시간이 오래 걸리거나, 도구의 원리나 사용 방법을 이해하지 못한다면 학생이 실험 수업에 적응하는 데 어려움이 생길 것이다. 리비히의 유기물 분석 도구는 리비히 이전의 도구들과 달리 사용 방법이 간단하여 학생 또는 연구자가 실험과 연구에 일반적으로 참여하는 것을 가능하게 하였다(Volhard, 1898). 다시 말해 학생이 실험 수업에 참여하는 것을 원활하게 하기 위해선 누구나 손쉽게 사용할 수 있는 도구가 필요하다는 것이다. 반면, 실험 수업에 조작 방법이 어려운 실험 도구를 사용하거나 도구에 익숙해질 시간을 주지 않고 분절적인 실험 수업을 진행하는 것은 학생들이 실험 수업에 적응하고 실험 수업의 목적을 달성하는 것을 어렵게 만들 것이다.

마지막으로, 학생이 실험 수업을 통해 의미 있는 학습을 하려면 실험을 진행하는 동안과 실험이 끝난 후에 학생과 교사, 또는 학생 사이에 실험 과정과 결과에 관한 논의나 의사소통과 같은 언어 기반 활동이 필요하다(Millar, 1987; Agustian *et al.*, 2022). 리비히의 실험실 교육 방식은 Domin (1999)의 교육 실험실 분류 체계 중 탐구식 또는 문제 기반 수업으로 설명된다(Elliot *et al.,* 2008). 그의 실험실에서 학생들은 정답과 방법이 정해지지 않은 문제에 관해 실험을 진행하여 활발한 논의가

이루어지고 학생들이 서로에게서 배울 수 있었다. 과학교육의 목표 중 하나는 학생들에게 과학적 맥락에서 추론하고 비판하는 주장을 공식화할 수 있는 능력을 제공하는 데 있다(Katchevich *et al.*, 2013). 이는 학부 교육과정에서 특별히 가르쳐지지 않는 경우가 많지만 아이디어의 설명과 발전을 위해서 효과적인 의사소통은 필수적이다(Jalali *et al.*, 2009). 실험의 과정과 결과에 대해 논의가 이루어지는 동안 학생들은 이에 대한 지식을 구성할 기회를 갖는데, 정답과 방법이 정해진 검증형 또는 요리책 형식의 실험보다는 탐구형 실험에서 더 유의미한 논의가 이루어진다(Katchevich *et al.*, 2013). 따라서 탐구형 실험을 기반으로 하여 실험 수업에서 학생들의 논의가 활발하게 이루어질 수 있도록 해주는 것이 필요하다.

6. 결론 및 제언

본 연구는 공식적인 체계를 갖춘 교육 실험실을 세우고 그곳에서의 교육을 잘 이루어냈다고 많은 이들에게 평가받는 19세기 리비히의 생애사를 분석하고 리비히의 관점에서 실험 수업의 목적과 이것의 실천을 살펴봄으로써 대학 실험실에서 이루어지는 화학 실험 수업에 기여하고자 하였다. 효과적이고 효율적인 실험 수업을 위해서는 그 목적을 잘 세우는 것이 중요한데, 과학사의 관점에서 성공적으로 교육 실험실을 설립하고 운영한 자의 생각을 분석하는 것은 오늘날 실험 수업에 영감을 줄 수 있을 것으로 보았다.

리비히는 화학 교육과 실험의 필요성에 관한 인식이 부족한 상황 속에서 교육 실험실을 세우고 화학을 실험과 함께 가르쳐야 한다는 생각을 직접 실천하였다. 리비히의 관점에서 바라본 결과, 실험 수업의 목적은 (1) 현상의 언어를 습득하고 실천을 통해 이를 감각하기, (2) 문제를 해결하고 목적을 달성하는 방법 습득하기, (3) 실험의 기초와 응용 학습하기, (4) 실험에 대해 서로 논의하고 소통하기였음을 발견하였다. 현상의 언어를 습득하고 실천을 통해 이를 감각하는 것은 리비히가 가장 우선했던 것으로, 그는 학생들이 화학에서 의사소통의 수단이 되는 현상의 언어를 습득하고 이를 실험실에서 경험하면서 화학을 배우기를 바랐다. 더 나아가 리비히는 학생들이 단순히 매뉴얼대로 실험하는 것이 아니라 질문에 대한 답을 찾아 나가며 문제를 해결하고 목적을 달성하는 방법을 습득하기를 바랐고 화학의 기초와 함께 응용을 가르침으로써 학생들에게 화학 연구가 피상적인 것이 되지 않도록 노력하였다. 마지막으로 이러한 실험 과정에서 학생들이 끊임없이 교류하면서 서로에게서 배우고 논의하며 소통하는 것이 리비히가 생각한 실험 수업의 목적이었다.

이러한 실험 수업의 목적은 그의 도구와 교수법에서도 잘 드러났다. 리비히의 도구를 이용한 유기물 분석은 이전 도구들과 달리 조작 방법이

단순하여 실험 기술이 부족한 학생도 연구를 가능하게 하고 학생들이 현상의 언어를 습득하고 경험하며 분석의 기초를 학습하는 것을 더 수월하게 하였다. 그리고 학생들은 이 도구를 활용하여 물질 사이의 관계나 반응의 메커니즘을 규명하며 문제를 해결하는 경험을 하였다. 또한 단순한 작업에서 시작하여 순차적인 단계를 거쳐 독립적인 연구까지 이어지는 교육과정은 현상의 언어와 실험에 익숙해지는 것에서 문제를 해결하고 목적을 달성하는 것까지 이어질 수 있도록 도와주었다. 사수 제도와 세미나는 리비히와 학생들이 서로 소통하고 연구 내용을 공유하며 이에 대해 논의할 수 있도록 해주는 중요한 역할을 해주었다. 이러한 연구 결과는 실험 수업에서의 도구는 단순하고 실험은 연속성을 가짐으로써 학생들이 도구와 실험에 익숙해질 수 있도록 하는 것이 필요하다는 것을 시사하고 실험 수업에서 학생들이 논의와 소통에 참여하는 것이 필수적임을 이야기한다.

기존에 리비히에 관한 연구는 리비히의 일생과 명성 또는 그가 실험실을 성공적으로 운영할 수 있었던 이유와 상황 등 그의 업적에 초점을 맞춘 것이 대부분이었다. 이에 본 연구에서는 화학 교육의 맥락에서 리비히의 인식과 견해에 초점을 맞추고 리비히의 관점에 비추어 대학 실험실에서 화학 실험 수업의 목적을 정리하였다. 실험 수업이 유의미한 활동이 되기 위해서는 실험 수업의 목적을 정하고 이를 달성하기 위한 교육과정을 구성해야 한다. 이러한 목적들은 일회성 실험으로 달성할 수 없으므로, 지속적인 탐구형 실험을 통해 학생들이 실험을 배울 수 있도록 해야 한다. 실험 수업을 진행하는 데 있어 목적이 중요한 만큼, 이와 관련한 연구가 꾸준히 이루어져야 한다. 그뿐만 아니라 구체적인 사례를 통해 이러한 목적들을 달성하기 위한 실험 수업의 지침에 관한 연구가 필요하고, 교수자와 학습자, 교육과정, 정책 등 여러 측면에서 이를 바라보는 연구가 필요하다(Bruck *et al.*, 2010).

본 연구는 실험 수업의 목적을 위주로 리비히의 관점을 살펴보아 본문에 포함하지 않았으나, 연구를 진행하며 화학 교육을 바라보는 리비히의 관점에서 몇 가지 특징을 발견할 수 있었다. 하나는 리비히의 일생에

걸친 생각과 실천이 특정 뛰어난 과학자나 부유한 계층만을 위한 것이 아니라 모두를 위한 것이었다는 점이다. 리비히는 사용이 간단한 도구를 발명하고 실험실을 확충하고 제도화했을 뿐만 아니라 대중이 화학 지식과 연구 결과를 이용할 수 있도록 노력하고 후기에는 뮌헨 대학에서 대중을 위해 강의하거나 책을 집필하며 화학 교육과 실험을 보편화하기 위해 노력하였다(Liebig, 1878; Volhard, 1898). 또 다른 특징 하나는 리비히가 사회적인 맥락에서 실험 수업의 목적에 관해 이야기하였다는 것이다. 리비히 시대에는 화학의 사회적인 위치가 낮아 지원이 부족하여 실험실을 운영하는 것이 어려웠는데, 그는 이러한 환경과 분위기 속에서 실험 수업의 필요성을 주장하였다. 화학을 어떻게 가르치는지에 관한 문제는 물론, 화학 교육과 실험을 제도화하기 위해 유용성을 주장하는 것 역시 중요했다. 이처럼 리비히는 화학을 단순히 지식체계로만 바라본 것이 아니라 이것의 사회적인 위치를 고려하고 고민하였다. 이외에도 리비히는 화학의 역사를 언급하며 화학사가 갖는 교육적인 측면을 강조하기도 하였다(Liebig, 1878, p. 24) 이러한 점에서 화학 교육에 대한 리비히의 업적만이 아니라 그의 생각과 사상, 견해를 자세히 분석하는 추가 연구가 이루어지기를 제안한다.

참 고 문 헌

송성수. (2006). 실험실을 개방한 카리스마, 리비히. 기계저널, *46*(7), 29-32.

홍성욱. (2022). 과학학이란 무엇인가?. 지식의 지평, (33), 166-179.

Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural. *Science Education*, *82*, 417-436.

Agustian, H. Y., Finne, L. T., Jørgensen, J. T., Pedersen, M. I., Christiansen, F. V., Gammelgaard, B., & Nielsen, J. A. (2022). Learning outcomes of university chemistry teaching in laboratories: A systematic review of empirical literature. *Review of Education*, *10*(2), e3360.

Agustian, H. Y., & Seery, M. K. (2017). Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: a proposed framework for their design. *Chemistry Education Research and Practice*, *18*(4), 518-532.

American Association for the Advancement of Science. (2001). *Atlas of Science Literacy*. 미국: American Association for the Advancement of Science.

Asimov, I. (1965). *A Short History of Chemistry*. 미국: Anchor Books.

Bates, G. C. (1978). The role of the laboratory in secondary school science programs. In M. B. Rowe (Ed.), *What research says to the teacher*: Vol. 1 (pp. 55-87). 미국: National Science Teachers Association.

Begoray, D. L., & Stinner, A. (2005). Representing science through historical drama: Lord Kelvin and the age of the Earth debate. *Science & Education*, *14*, 457-471.

Berl, E. (1938). Justus Liebig, May 14, 1803-April 18, 1873. *Journal of*

Chemical Education, *15*(12), 553-562.

Berzelius, J. J. v. (1831). *Traité de chimie minérale, végétale et animale*. 프랑스: Firmin Didot Freres.

Berzelius, J. J. v., Liebig, J. v., & Wöhler, F. (1893). *Berzelius und Liebig: ihre Briefe von 1831-1845 mit erläuternden Einschaltungen aus gleichzeitigen Briefen von Liebig und Wöhler, sowie wissenschaftlichen Nachweisen*. 독일: Lehmann.

Blanchard, A. A. (1919). Laboratory Instruction in Chemistry; Its Aims and Its Limitations. *Science*, *50*(1283), 112-114.

Blick, D. J. (1955). The purpose and character of laboratory instruction. *Journal of Chemical Education*, *32*(5), 264-266.

Blosser, P. E. (1980). *A Critical Review of the Role of the Laboratory in Science Teaching*. 미국: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education, Ohio State University, College of Education.

Boud, D., Dunn, J., & Hegarty-Hazel, E. (1986). *Teaching in Laboratories*. 영국: Society for Research into Higher Education.

Brewster, E. T. (1909). *Life and Letters of Josiah Dwight Whitney*. 미국: Houghton Mifflin.

Brock, W. H. (1995). Justus von Liebig. Gatekeeper of chemistry. *Chemical Society Reviews*, *24*(6), 383-389.

Bruck, L. B., Towns, M., & Bretz, S. L. (2010). Faculty perspectives of undergraduate chemistry laboratory: Goals and obstacles to success. *Journal of Chemical Education*, *87*(12), 1416-1424.

Carmody, W. R. (1935). Elementary laboratory instruction. A critical analysis of aims, methods, and accomplishments. *Journal of Chemical Education*, *12*(5), 233-238.

Chang, H. (2021). Presentist history for pluralist science. *Journal for*

General Philosophy of Science, *52*, 97-114.

Cheronis N. D., (1962). The philosophy of laboratory instruction, *Journal of Chemical Education*, *39*(2), 102-106.

Collins, A. (1988). *Cognitive Apprenticeship and Instructional Technology*. 미국: Bolt, Beranek and Newman.

Collins, A., & Clemens, M. (2022). From play to self-cultivation: Contesting the opposition between Bildung and Ausbildung in language education. *Educational Philosophy and Theory*, *54*(11), 1910-1921.

Collins, A., Brown, J. S., & Holum, A. (1991). Cognitive apprenticeship: Making thinking visible. *American Educator*, *15*(3), 6-11.

Daston, L. (2009). Science studies and the history of science. *Critical Inquiry*, *35*(4), 798-813.

Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, *76*(4), 543-547.

Dumas, J. B. A. (1831) Procédés de l'analyse organique. *Annales de chimie et de physique*, *47*, 198-213.

Elliott, M. J., Stewart, K. K., & Lagowski, J. J. (2008). The role of the laboratory in chemistry instruction. *Journal of Chemical Education*, *85*(1), 145-149.

Fooladi, E. C. (2020). Between Education and Opinion-Making: Dialogue between Didactic/Didaktik Models from Science Education and Science Communication in the Times of a Pandemic. *Science & Education*, *29*(5), 1117-1138.

Fruton, J. S. (1988). The Liebig research group: A reappraisal. *Proceedings of the American Philosophical Society*, *132*(1), 1-66.

Getman, F. H. (1940). *The Life of Ira Remsen*. 미국: Journal of

Chemical Education.

Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science.* 영국: Cambridge University Press.

Heitmann, J. A. (1989). Justus von Liebig. *History Faculty Publications*. *3*(91), 1353-1356.

Herman, B. C., Poor, S. V., Oertli, R. T., & Schulte, K. (2022). Promoting young learners' NOS views through place-based SSI instruction. *Science & Education*, 1-46.

Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, *71*(256), 33-40.

Hofmann, A. W. v. (1876). *The Life-work of Liebig in Experimental and Philosophic Chemistry: With Allusions to His Influence on the Development of the Collateral Sciences and of the Useful Arts*. 영국: Macmillan and Company.

Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education Research and Practice*, *5*(3), 247-264.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, *52*(2), 201-217.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty first century. *Science education*, *88*(1), 28-54.

Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art. *Chemistry Education Research and Practice*, *8*(2), 105-107.

Holmes, F. L. (1989). The complementarity of teaching and research

in Liebig's laboratory. *Osiris*, *5*, 121-164.

Jalali, H., Hanlan, L., & Canal, J. P. (2009). The use of writing-intensive learning as a communication and learning tool in an inorganic chemistry laboratory course. *Chemistry Education in the ICT Age*, 153-160.

Johnstone A. H. & Wham A. J. B., (1982). The demands of practical work. *Education in Chemistry*, 71-73.

Katchevich, D., Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2013). Argumentation in the chemistry laboratory: Inquiry and confirmatory experiments. *Research in Science Education*, *43*, 317-345.

Kelly, G. J., Carlsen, W. S., & Cunningham, C. M. (1993). Science education in sociocultural context: Perspectives from the sociology of science. *Science Education*, *77*(2), 207-220.

Kirschner, P. A., & Meester, M. A. M. (1988). The laboratory in higher science education: Problems, premises and objectives. *Higher education*, *17*(1), 81-98.

Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science & Education*, *1*, 273-299.

Knapp, F. (1837). Ueber die Entstehung der Cyanursäure aus Melam. *Annalen der Pharmacie*, *21*(3), 241-257.

Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on the use of laboratory instruction in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 94-128). New York: McMillan.

Liebig, J. v. (1831). Ueber einen neuen Apparat zur Analyse organischer Körper, und über die Zusammensetzung einiger organischen Substanzen. *Annalen der Physik*, *97*(1), 1-43.

Liebig, J. (1834). Uber einige Stickstoff Verbindungen. *Annalen der*

Pharmacie, *10*(1), 1-47.

Liebig, J. (1838). Ueber Laurent's Theorie der organischen Verbindungen. *Annalen der Pharmacie*, *25*(1), 1-31.

Liebig, J. v. (1839). Ueber die vorstehende Notiz des Hrn. Akademikers Hess in Petersburg. *Annalen der Pharmacie*, *30*(3), 313-319.

Liebig, J. v. (1840). *Ueber das Studium der Naturwissenschaften und über den Zustand der Chemie in Preussen*. 독일: Vieweg.

Liebig, J. v. (1852). *Ueber das Studium der Naturwissenschaften: Eröffnungsrede zu seinen Vorlesungen über Experimental-Chemie im Wintersemester 1852/53*. 독일: Cotta.

Liebig, J. v. (1878). *Chemische Briefe*. 독일: C.F. Winter.

Liebig, J. v. (1892). Justus von Liebig: An autobiographical sketch. *Popular Science Monthly*, *40*, 655-666.

Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *38*(3), 7-es.

Millar, R. (1987). Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. *Studies in Science Education*, *14*, 109-118.

Morrell, J. B. (1972). The chemist breeders: the research schools of Liebig and Thomas Thomson. *Ambix*, *19*(1), 1-46.

Oesper, R. E. (1927). Justus von Liebig-Student and teacher. *Journal of Chemical Education*, *4*(12), 1461-1476.

Pantidos, P., Spathi, K., & Vitoratos, E. (2001). The use of drama in science education The case of “Blegdamsvej Faust”. *Science & Education*, *10*, 107-117.

Park, C., & Hong, H. G. (2022). Educational Practices in Sommerfeld School: A Case of Scientist Education from the View of Nature of Science. *Science & Education*, *31*(1), 173-191.

Partington, J. R. (1972). *A History of Chemistry*: Volume 4. 영국: Macmillan Press Limited.

Partington, J. R. (1989). *A Short History of Chemistry*: Third Edition. 영국: Dover Publications.

Pomeroy, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, *77*(3), 261-278.

Reid, N., & Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, *8*(2), 172-185.

Renner, J. W., & Fix, W. T. (1979). Chemistry and the experiment in the secondary schools. *Journal of Chemical Education*, *56*(11), 737-740.

Roth, W. (1995). *Authentic School Science: Knowing and Learning in Open-Inquiry Science Laboratories*. 네덜란드: Springer Netherlands.

Schödler, F. (1836). Identität der Flechtensäure mit der Paramalëin - und Fumarsäure. *Annalen der Pharmacie*, *17*(2), 148-157.

Seery, M. K., Agustian, H. Y., Doidge, E. D., Kucharski, M. M., O'connor, H. M., & Price, A. (2017). Developing laboratory skills by incorporating peer-review and digital badges. *Chemistry Education Research and Practice*, *18*(3), 403-419.

Seery, M. K., Agustian, H. Y., & Zhang, X. (2019). A framework for learning in the chemistry laboratory. *Israel Journal of Chemistry*, *59*(6-7), 546-553.

Sheppard, K., & Horowitz, G. (2006). From Justus von Liebig to Charles W. Eliot: the establishment of laboratory work in US high schools and colleges. *Journal of Chemical Education*,

83(4), 566-570.

Siebring, B. R., & Schaff, M. E. (1977). The purpose and nature of laboratory instruction from an historical point of view. *Journal of Chemical Education*, *54*(5), 270-271.

Skoog, D. A., Holler, F. J., Crouch, S. R. (2017). *Principles of Instrumental Analysis*. 미국: Cengage Learning.

Smeaton, W. A. (1954). The early history of laboratory instruction in chemistry at the Ecole polytechnique, Paris, and elsewhere. *Annals of science*, *10*(3), 224-233.

Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, *90*(5), 403-418.

Turner, R. S. (1982). Justus Liebig versus Prussian chemistry: reflections on Early Institute-building in Germany. *Historical Studies in the Physical Sciences*, *13*(1), 129-162.

Van Klooster, H. S. (1956). Liebig and his American pupils. *Journal of Chemical Education*, *33*(10), 493-497.

Venkatachelam, C., & Rudolph, R. W. (1974). Cookbook versus creative chemistry: A new approach to research-oriented general chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, *51*(7), 479-482.

Volhard, J. (1898). *Justus v. Liebig: Vortrag in der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker*. 독일: Springer-Verlag.

Volhard, J. (1909). *Justus von Liebig*. 독일: Barth.

Xiao, S., & Sandoval, W. A. (2017). Associations between attitudes towards science and children's evaluation of information about socioscientific issues. *Science & Education*, *26*, 247-269.

Ziman, J. M. (1980). *Teaching and learning about science and society*. 영국: Cambridge University Press.

Abstract

The Role of Laboratory Instruction in Chemistry Education: In the Light of Liebig's Perspective in the 19th Century

Seonyeong Mun

Department of Science Education, Major in Chemistry

The Graduate School

Seoul National University

Laboratory instruction has been an important part of modern science education, and in chemistry at the university level it serves to expose students to concrete sensations and rational thinking, and is considered essential for the development of students' experimental capabilities. Designing laboratory instruction in higher education is considered a challenging task, and defining the purpose of laboratory instruction is an essential step. However, it is argued that the purpose of laboratory instruction varies according to the context and perspective, and it seems difficult to argue for a single answer. Justus von Liebig (1803-1873), a famous 19th century German

scientist, is regarded not only as a scientist who made intellectual advances in various fields such as organic chemistry, medicine, pharmacy, physiology, and agriculture, but also as a person who made his mark on chemistry education by systematizing German university laboratories. In the process of raising the status of chemistry in Germany, Liebig emphasized the necessity and importance of chemistry education and experiments. In this respect, examining the purpose of laboratory instruction from Liebig's perspective can provide an answer to the role of laboratory instruction. In this study, we examine Liebig's thoughts on the role of the laboratory instruction and his practices in which these appeared. Specifically, the role of laboratory instruction from his perspective was investigated after analyzing his research experiences in Germany and France that influenced his thoughts, as well as the state of German chemistry as he described it. We then looked closely at the experimental instruments and pedagogy to see how these ideas were reflected in the practice of chemistry education. The results of this study showed that, in the light of Liebig's perspective, the roles of laboratory instruction were (1) to acquire the language of phenomena and to feel them through practice, (2) to learn how to solve problems and achieve goals, (3) to learn basic and applied aspects of experiments, and (4) to discuss and communicate with each other about experiments. The results of this study suggest that in laboratory instruction, instruments should be easy to use, experiments should have continuity so that students can become familiar with instruments and experiments, and discussion and communication between teachers and students, or among students, are essential in laboratory instruction.

keywords : Justus von Liebig, Chemistry education, University laboratory, Role of laboratory instruction, Language of phenomena

Student Number : 2021-24117