

2021년 OO고 2학년 화학1 수행평가

실생활 속 화학기술의 양면성과 과학기술윤리 고찰

-프리트 하버의 업적과 과오를 중심으로-

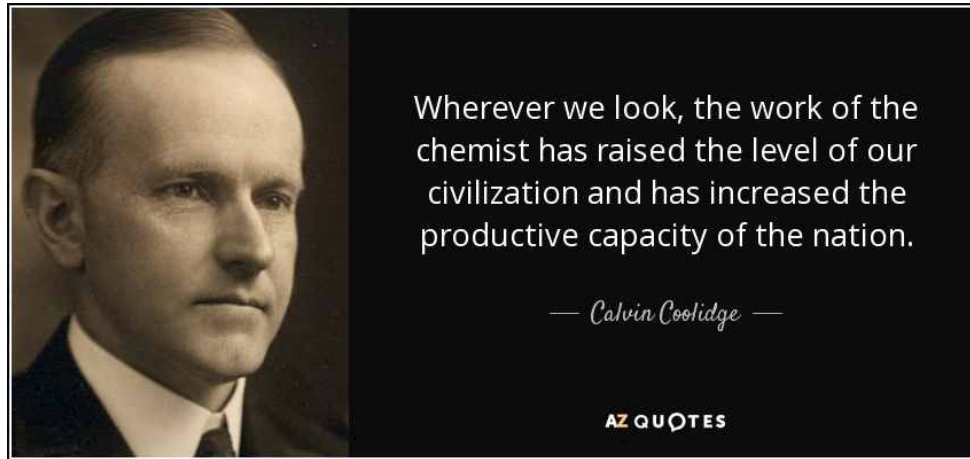
2021. 06.

모둠명	4조
모둠원	

목 차

I. 서론	1
II. 본론	2
1. 인간은 지구의 기생충? 인구 증가와 맬서스 트랩	2
2. 공기에서 빵을 만들어내다, 하버-보슈법	4
3. 벨 에포크의 종말, 염소 gas와 제1차 세계대전	7
4. 짝사랑의 비극적인 결말, 나치와 치클론 B	12
III. 결론	15
IV. 참고문헌	16

I. 서론



<그림1.1> 캘빈 쿨리지와 그가 남긴 명언

“어떻게 보더라도, 화학자들의 공로로 우리 문명의 수준이 높아졌고, 나라의 생산 역량이 증대된 것은 사실이다.” 이는 미국의 제30대 대통령이었던 캘빈 쿨리지(John Calvin Coolidge, Jr. 1872~1933)가 1924년 미국 화학회 연설에서 말한 발언이다. 이처럼, 화학은 과거부터 현대까지 인류 문명의 발전을 견인하는 중요한 역할을 맡은 학문이자, 우리 주변에서 화학기술이 사용되지 않은 곳을 더욱 찾기 어려울 정도로 매우 친숙한 학문이기도 하다.

그러나, 5000여 년의 인류 문명사에서 인류가 고도의 화학기술을 이용하게 된 것은 불과 2세기가 채 지나지 않았고 이후 인류는 역사상 한 번도 맞이하지 못했던 새로운 도덕적 고뇌와 직면하게 되었는데, 바로 과학기술윤리라는 개념이 등장한 것이다.

18세기 산업혁명 이후, 눈부신 과학적 발전을 겪으며 인류는 점차 기술의 발전은 무조건적인 선이며 인류에게 산적한 문제들을 모두 해결하고 평화를 가져다줄 것이라는 낙관주의적 관점(벨 에포크, Belle Époque)을 가지기 시작했으나 이는 곧 두 번의 세계대전으로 무참히 파괴되고 말았다.

특히 양 세계대전 중 제1차 세계대전에서는 당대 화학공업의 정수인 독가스가 수많은 인명을 살상하고, 제2차 세계대전에서는 당시 물리학을 뒤바꾼 상대성 이론과 핵물리학이 사용된 단 두 발의 핵폭탄이 전쟁을 마무리 짓게 되면서 인류는 유일하게 자신 스스로를 파멸시킬 수 있는 존재가 되어버렸다.

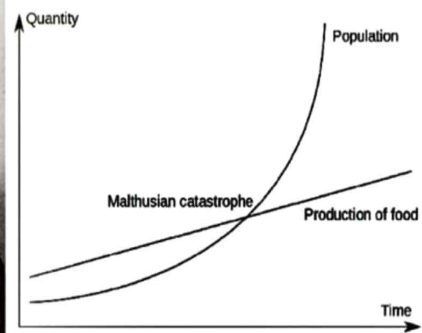
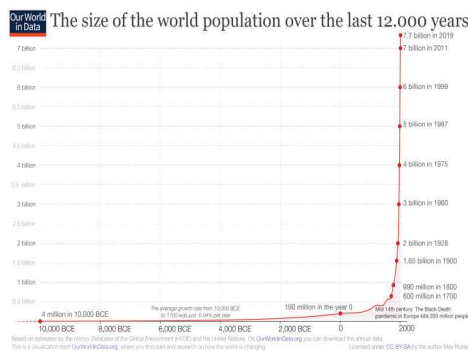
이는 곧 사람들이 과학기술 발전의 양면성을 깨닫게 되는 계기를 제공하였고 이후 과학자가 지녀야 할 덕목에 탐구심만이 아니라 도덕의식을 포함하는 결과를 불러왔지만 아직도 수많은 사람들이 과연 과학에 도덕적 잣대를 들이대는 것이 옳은지에 대하여 첨예하게 대립하고 있다.

본 보고서는 원래 실생활에 화학이 쓰여진 사례들을 다루려 하였으나 첫 사례로 암모니아 합성을 조사하던 중 프리츠 하버의 일생을 알게 되었고 매우 흥미로운 주제라고 생각하여 방향을 선회, 이 보고서가 쓰여지게 되었다.

본 보고서에서는 인류 문명에 큰 영향을 끼쳤고 프리츠 하버의 업적과 과오를 조사하고, 결론적으로 화학의 발전이 과연 인류에게 무조건적인 득인지, 그리고 과학자들과 일반인들이 과학 기술에 대하여 어떤 태도를 지녀야 할 지를 고찰해볼 것이다.

II. 본론

1. 인간은 지구의 기생충? 인구 증가와 맬서스 트랩



<그림2.1> 12000년간 세계 인구수 추이¹⁾ <그림2.2> 토마스 맬서스와 그의 주장을 요약한 그래프

2021년 현재 전 세계의 인구수는 78억 7,496만 5,732명으로, 불과 10여년 전인 2011년 인구수가 70억을 돌파했던 것을 생각한다면 매우 빠른 속도로 인구가 증가하고 있다. <그림2.1> 에서 볼 수 있듯이 기원후 원년 당시 1억 9천만 명이었던 인구가 10억 명을 돌파하는 데에는 약 1800년이 걸렸지만, 20억이 되는 데는 약 130년, 30억이 되는 데는 약 30년, 40억이 되는 데는 15년... 처럼 20세기부터는 기하급수적으로 인구가 증가했음을 알 수 있다.

그러나, 사실 19세기까지만 하더라도 이러한 인구증가세는 있을 수 없을 것이란 견해가 당대 지식인들 대부분의 생각이었다. 1798년, 영국의 경제학자 토마스 맬서스(Thomas R. Malthus, 1766-1834)는 인구의 원리가 미래의 사회 발전에 미치는 영향에 대한 이론(Principle of Population as It Affects the Future Improvement of Society), 통칭 맬서스 트랩이란 이론을 발표하는데, 이 이론은 당대 사람들에게 큰 충격을 주었다.

1) Max Roser, Hannah Ritchie and Esteban Ortiz-Ospina (2013) - "World Population Growth", <https://ourworldindata.org/world-population-growth>

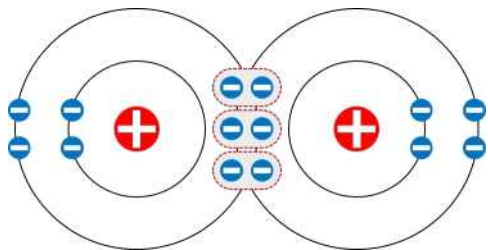
맬서스 트랩의 요지는, 인구를 부양하는데 필요한 식량 생산량은 일정량씩 산술급수적으로 증가하지만, 식량을 소비하는 인구는 일정한 배수로 기하급수적으로 증가하므로 언젠가는 인구수가 식량 생산량을 추월하게 될 것이며, 이는 인류에게 큰 재앙으로 작용할 수 있다는 것이었다.

물론 맬서스 트랩 자체는 2021년 현재에도 충분히 타당한 이야기로 들려질 수 있으나, 문제는 맬서스가 제시한 해결책이었다.

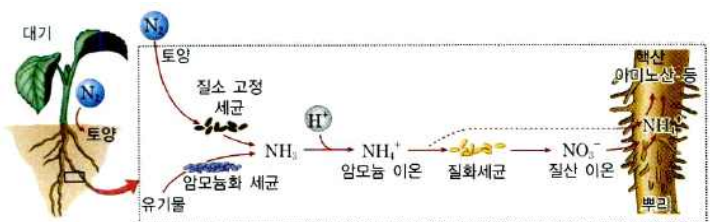
맬서스는 인류 모두를 위해서라는 공리주의적 관점 아래 인구 증가량을 “조절”해야 한다고 주장하였는데, 이는 산아제한정책 등의 소극적 수단에서, 심지어는 의도적인 전쟁 혹은 기근 등으로 일정량의 인구를 감소시켜버려야 하며, 조절되어야 할 인구의 대부분은 사회에 도움이 되지 않는 저소득층이라는 것이었다. 당대에도 논란이 많았던 그의 주장은 결국 당시 영국 총리가 이를 적극적으로 수용, 빈민들을 상대로 한 복지정책의 대부분을 폐지 및 축소시키는 결과를 불러왔다.²⁾

현대인의 관점으로는 매우 비인륜적이고 끔찍한 주장이라고 생각할 수도 있으나, 사실 맬서스를 제외하더라도 당대 지식인 및 고위층들은 비슷한 견지를 가지고 있었다. 맬서스를 비롯한 당시 사람들은 산업혁명의 태동을 직접 지켜본 이들로써, 수십여년 만에 전 국토가 철도망으로 연결되고 수공업 산업이 공장제 대량생산으로 대체되는 등 기술 발전의 열매를 가장 먼저 맛본 이들이었다. 기술에 대한 긍정적 인식을 가지고 있던 그들마저 이러한 이론을 내세우게 만들 정도로, 당시의 식량 문제는 심각하고 중대한 문제로 비추어졌다.

이를 이해하기 위해선 화학 비료 발명 이전의 당대 전통농업을 알아야 한다.



<그림2.3> 질소 분자(N₂)의 삼중결합



<그림2.4> 뿌리혹박테리아의 공생 원리

예나 지금이나 식물의 생장에 필요한 것은 광합성을 위한 햇빛과 물 및 이산화탄소, 그리고 토양의 영양분이었다. 특히 영양분 중에서도 가장 중요한 것이 질소였는데, 질소는 생명체의 근간을 이루는 단백질의 주 구성요소 중 하나로써, 토양에 함유된 질소가 토양의 비옥함을 결정할 정도로 농업의 필수요소로 간주되었다.

2) 김경미, "1834년 영국의 인구빈법에 관한 연구", 국내석사학위논문 이화여자대학교 대학원, 1990. 서울

그러나 문제는 질소가 매우 안정된 물질이란 것이었다. 질소는 대기 성분 중 78%를 차지할 정도로 지구상에 풍부하지만, 존재하는 질소의 대부분은 질소 원자 두 개가 결합한 질소 분자(N_2)이다.

식물이 이를 활용하기 위해선 질소 분자를 질소 원자로 분리하는 작업이 필요했지만, 질소는 무려 3개의 전자쌍을 공유하는 3중 결합 물질이기 때문에 번개 정도의 어마어마한 에너지가 아니라면 자연상에서 이를 분리해내기란 거의 불가능에 가까웠다. 물론 자연에도 뿌리혹박테리아가 질소를 암모니아로 변환시키는 등 질소를 사용하기 위한 다양한 방법들이 존재했지만, 이러한 전통적 수단으로는 당시 인구증가세와 동등은 커녕 뒤쫓아가기도 버거운 수준이었다.

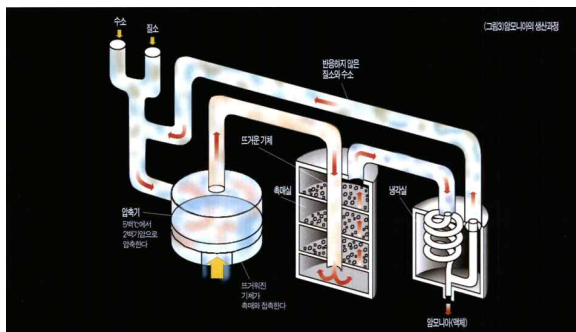
19세기 맬서스 트랩을 깨뜨리기 위한 최후의 수단으로 취급받던 구아노(인광석, 동물의 배설물이 굳어 만들어진 퇴적물로, 질소화합물이 풍부함)마저 바닥을 드러내자, 사람들이 할 수 있는 것은 그저 “조절” 당하는 이가 자신과 가족만이 아니기를 바라며 신에게 기도하는 것이 전부였다.

그러나, 1909년 어느 과학자의 등장과 함께 이러한 고민들은 자취를 감추게 되었다.

2. 공기에서 빵을 만들어내다, 하버-보슈법



<그림2.6> 하버-보슈법의 개발자인 프리츠 하버(우)와 카를 보슈(좌)



<그림2.7> 하버-보슈법 공정 간략도³⁾

1909년, 독일의 화학자 프리츠 하버(Fritz Haber, 1868~1934)와 카를 보슈(Carl Bosch, 1874~1940)는 공중질소고정법, 통칭 하버-보슈법이란 이름의 질소화합물 합성법을 발표한다. 그러나 당대 과학자들은 모두 그들의 발표를 크게 신경 쓰지 않았는데, 질소고정법 자체는 이미 19세기 말엽부터 수많은 학자들이 연구하고 있었으나 공정에 드는 막대한 에너지와 좋지 않은 효율이 발목을 잡았기 때문이었다. 그러나 하버와 보슈는 이를 해결할 혁신적인 방법을 도입하였다.

3) 김희준, “인류를 먹여 살린 화학비료”, 『과학동아』, 1998년 2월 1일, 72-77.



<그림2.8> 하버-보슈법의 기초가 되는 암모니아 합성식⁴⁾

하버-보슈법은 기본적으로 질소와 수소를 이용하여 암모니아를 합성한다. 그런데 사실 하버-보슈법 대로 암모니아를 합성하면 ΔH (엔탈피: 어떤 물질이 특정 온도와 압력에서 가지는 고유한 에너지를 나타내는 열역학 함수) 값이 마이너스, 즉 생성물의 에너지가 반응물의 에너지보다 낮은 발열 반응이 일어난다. 이는 매우 안정된 물질인 질소와 수소 분자가 분해되면서 생성되는 막대한 에너지 때문인데, 문제는 이것이었다.

화학 반응은 화학 평형을 위해 주어진 변화를 상쇄시키는 방향으로 결정⁵⁾되는데, 이를 르샤틀리에 법칙(Le Chatelier's principle)이라고 한다. 질소 분자를 원자로 분해하기 위해선 에너지, 즉 열을 공급해주어야 하는데, 정작 열이 공급되면 이는 발열 반응인 암모니아 합성반응의 반대이므로 합성된 암모니아가 도로 질소 분자로 돌아가는, 즉 원래 의도한 바와는 정반대의 반응이 일어난다.

이 때문에 하버의 초기 실험에서는 합성된 암모니아는 전체 반응물의 0.01% 수준 밖에 되지 않았다. 완전한 실패였다. 하지만 이에 그치지 않고 연구를 계속하던 하버는 생성되는 암모니아의 양을 늘릴 두 가지 방법을 찾아내는데, 그것은 바로 압력과 촉매였다.

먼저 압력은 르샤틀리에 법칙을 응용한 것으로, 암모니아 합성 반응은 질소 분자 1몰과 수소 분자 3몰이 반응하여 암모니아 2몰이 생성되기 때문에 전체 기체의 부피가 감소, 즉 압력이 감소한다. 이때 대기압 대비 높은 압력에서 반응을 일으킬수록 높은 압력을 받은 기체는 압력이 감소하는 방향으로 반응을 일으키려 하기 때문에 암모니아 합성반응이 촉진된다.

두 번째는 바로 촉매로, 촉매는 화학 반응에서 화학 반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지인 활성화 에너지를 낮춰주는 역할을 한다. 암모니아 합성반응에서 촉매를 이용한다면 르샤틀리에 법칙으로 인한 열적 평형의 이동을 일으키지 않을 정도의 상대적으로 낮은 에너지로도 암모니아 합성반응을 일으킬 수 있다.

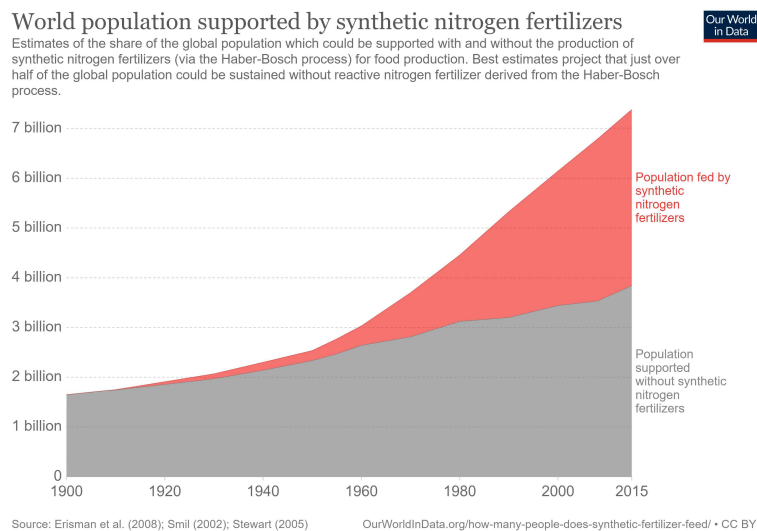
이에 하버는 여러 가지 촉매와 여러 가지 압력, 온도를 가지고 최상의 효율을 얻어내기 위해 수많은 실험을 반복했다.

4) Holleman, Arnold Frederik; Wiberg, Egon (2001), Wiberg, Nils (ed.), *Inorganic Chemistry*, translated by Eagleson, Mary; Brewer, William, San Diego/Berlin: Academic Press/De Gruyter, pp. 662-665.

5) Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby, 레이먼드 창외 일반화학(n.p.: 사이플러스, 2014), 607-610.

그리고 1909년 3월, 질소고정법 연구를 시작한지 5년만에 하버는 400~500°C와 200기압의 조건에서 오스뮴을 촉매로 이용하면 암모니아의 수율을 10~20%까지 끌어올릴 수 있음을 발견, 마침내 이를 공표한다.

이후 하버는 비록 성공적이었지만 아직은 소규모 실험에서만 가능했던 암모니아 합성의 실용화를 위해 독일의 대표적인 화학공업기업 바스프(BASF)사의 지원을 받아내어 보슈와 함께 실용화를 위한 연구에 돌입, 1913년 최초의 암모니아 합성 공장을 세우고 일당 20t의 암모니아를 생산해내는데 성공한다.



<그림2.9>전 세계 인구 중
 합성비료 없이 식량을 공급할 수 있는 한계 인구(회색)과
 합성비료로 재배된 식량을 공급받는 인구(빨강색)⁶⁾

합성비료가 생산되기 시작한 지 3년만인 1916년, 전 세계의 식량 생산량은 인구 증가량의 두 배를 기록⁷⁾했다. 118여년간 인류를 괴롭혀온 맬서스 트랩의 종말을 뜻하는 대사건이었다. 이후 하버와 보슈는 “공기(질소)에서 빵(식량)을 만들어낸 과학자”라며 크게 칭송받았고, 하버는 1918년, 보슈는 1931년 각각 노벨 화학상을 수상했다.

현재 전 세계에서는 2020년 기준 연간 3억 1343만 3000톤에 이르는 합성비료가 생산되고 1억 9485만 7000톤의 합성비료가 사용⁸⁾되고 있다. <그림7>에서 볼 수 있듯이 합성비료로 재배된 식량을 공급받는 인구수는 2015년 기준 35.4억명으로 추산되며, 이는 전체 인구수의 45%에 달한다. 즉 합성비료의 발명은 전세계의 인구수가 큰 폭으로 증가하는데 결정적인 역할을 했다고 볼 수 있다.

6) Hannah Ritchie (2017) - "How many people does synthetic fertilizer feed?", <https://ourworldindata.org/how-many-people-does-synthetic-fertilizer-feed>

7) 오후, 나는 농담으로 과학을 말한다(n.p.: 웨일북, 2019), 51.

8) FAO, 2019, World fertilizer trends and outlook to 2022, Rome.

그러나, 이렇게나 칭송받던 하버가 1918년 노벨상 수상자로 선정되었을 때 사람들의 반응은 축하와 환호가 아닌 비난과 야유였다. 그 뒤에는 1913년 그리고 1918년 사이에 일어난 어느 거대한 사건이 존재했다.

3. 벨 에포크의 종말, 염소 가스와 제1차 세계대전



<그림2.10> 제1차 세계대전 당시
군수공장에 동원되어 탄약을 생산중인
여성들의 모습



<그림2.11>제1차 세계대전 당시 촬영된
참호 속 병사들의 모습

1914년 7월 28일, 훗날 모든 전쟁을 끝내기 위한 전쟁이라고 불릴 제1차 세계대전이 발발했다. 한 가지 씁쓸한 점은, 제1차 세계대전 급의 거대한 전쟁이 일어날 수 있었던 이유들 중 하나가 바로 하버의 질소고정법이었던 것이다. 제1차 세계대전은 여러모로 전쟁의 패러다임을 뒤바꿔버린 전쟁이었는데, 바로 총력전과 참호전이 그것이다.

먼저 총력전은 국가가 사용 가능한 모든 국력(병력, 산업력 등)을 총동원하는 전쟁을 뜻하는 말로 이전까지 벌어졌던 전문 군인들끼리의 소규모 전투가 아닌 전투가 가능한 모든 인구들을 병력으로 징집하여 전장으로 내보내고, 전투를 직접 치를 수 없는 인구들은 모두 군수물자 생산을 위하여 산업현장으로 동원되는 사실상 모든 인구를 군사력으로 활용하는 전쟁이었다. 즉 총력전이 실제로 벌어지기 위해선 전쟁 수행에 동원될 수많은 인구와 그 인구들을 충분히 무장시키고 보급할 군수물자가 필요했고, 하버의 질소고정법은 이 조건을 충족시키는데 직간접적으로 도움을 주었다.

먼저 하버의 질소고정법은 인구를 유지시킬 식량 생산량을 큰 폭으로 증가시켰고, 화학비료의 도입은 농사에 드는 노동력을 크게 감소시켜 추수기가 되면 전쟁을 지속하기 어려웠던 여태까지와의 전쟁과는 달리 적은 수의 농부들 만으로도 계속 전쟁을 수행할 수 있도록 기여했다. 게다가 질소고정법으로 생산된 질소의 쓰임새는 비료뿐만이 아니었다. 총기와 폭탄 등등 전쟁 수행에 가장 핵심적인 역할을 맡는 화약과 폭발물의 주 구성원이 바로 질소를 포함한 질산이기 때문이다.

이전까지는 자연에 존재하는 소량의 질소화합물로만 만들 수 있었던 화약의 대량생산을 가능케 한 것 또한 질소고정법이었고, 실제로 영국이 막강한 해군력을 바탕으로 독일 군수산업의 생명줄이나 다름없는 질산염 광물 수입을 막아버렸음에도 불구하고 독일 제국은 하버의 질소 고정법에서 얻어낸 암모니아로 질산을 제조, 전쟁을 무려 5년간 수행할 수 있었다.

여기에서만 멈췄어도 하버는 선한 의도로 행한 발명이 전쟁 수행에 도움을 주게 되어버린 비운의 과학자이자 여전히 인류 최고의 화학자 중 하나로 남을 수 있었을 것이다. 그러나 하버는 결국 넘어서면 안되는 선을 넘어버리고 말았다.

제1차 세계대전이 보여준 새로운 전쟁의 모습 중 두 번째는 바로 참호전이었다. 전쟁이 발발하자 서부의 프랑스와 동부의 러시아라는 두 잠재적국 사이에 위치한 독일은 양면전선 발생을 저지하기 위하여 최대한 빠른 시일 내에 프랑스를 항복시키고 동부전선에 집중하려 했으나, 파리를 불과 50km 남겨둔 상황에서 프랑스군이 독일군을 저지하는데 성공하면서 전선이 고착화되고야 만다.

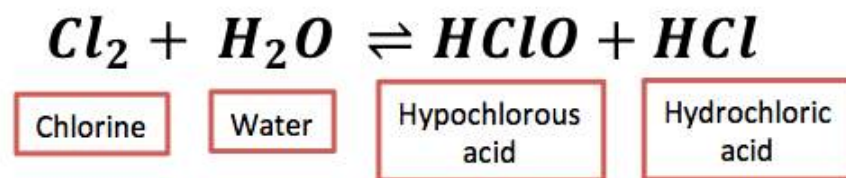
이에 양측은 서로의 공세를 막기 위하여 참호를 판 후 방어전을 수행하기 시작했으나, 문제는 양측 모두 더 이상 대규모의 공세를 벌일 수 없는 상태였고, 이에 참호를 파고 수비에만 집중하여 이전처럼 상대방의 영토로 진격하기 위해선 어마어마한 희생을 요구하는 참호전 돌파만이 유일한 방법이 되어버린 것이었다.

이는 결국 4년간 몇 km짜리 전진과 후퇴만을 반복하며 수많은 사상자를 내버리는 결과를 가져왔다. 이에 고심하던 독일군을 찾은 자는 다름 아닌 국가의 영웅이었던 하버였다. 하버는 유대인 집안에서 태어나 자랐지만 19세기의 독일은 우리가 상상하는 모습과는 다르게 은밀하게 이루어지는 몇몇 차별들을 제외한다면 유대인일지라도 “독일인”의 구성원으로 대우해주는 경향이 짙었다.

이에 유대교에서 기독교로 개종하는 등 점점 자신을 유대인보다는 독일인으로 생각하는 사람들이 차츰 늘어갔고⁹⁾ 하버도 그러한 부류들 중 하나였다. 하버는 종교보다는 과학을 더욱 사랑했고 또한 자신에게 과학의 길을 열어준 당대 독일의 선진 교육체계에 또한 사랑했으며 이는 곧 조국 독일에 대한 애국심으로 드러나게 된다. 하지만 하버의 애국심은 강력한 국수주의를 내포하고 있었으며, 이는 곧 “조국 독일”을 위해서라면 어떤 방법이든 가리지 않는 성향으로 표출되었다.

전쟁이 발발하자 하버는 독일군에 자원입대까지 하려 했으나 고령의 나이 때문에 입대 신청은 거절, 대신 전쟁의 판도를 뒤바꿀 신무기 개발에 착수한다. 그리고 그는 마침내 방법을 찾아냈지만, 이는 지금까지의 그 어떤 무기보다도 끔찍하고 잔혹한 것이었다.

9) 최윤영. (2014). 인종의 가시성과 소속성: 독일 유대인의 동화와 패싱을 중심으로. *독일어문화권연구*, 23.



<그림2.12> 염소 가스가 점막과 접촉할 시 일어나는 염산 생성 반응

하버가 찾아낸 방법은 바로 그의 전문분야였던 화학을 응용한 화학무기였다. 하버가 처음으로 군부에 사용을 제안했던 화학물질은 바로 염소 가스로, 신체의 점막 부위에 닿거나 흡입하는 순간 체내의 물과 반응하여 염산을 생성, 생성된 염산이 신체를 파괴하여 결국은 폐까지 호흡이 불가능할 정도로 손상, 호흡곤란으로 사망에 이르게 만드는 무시무시한 무기였다.

하버가 염소 가스의 무기로의 전환을 연구하기 시작하자, 하버의 부인이자 동료 화학자였던 클라라 임머바르(Clara Immerwahr, 1870~1915)는 크게 경악하여 신문에 자신의 남편인 하버를 비난하는 사설까지 게시하며 이를 막으려 하였고, 하버는 역으로 클라라를 비난하는 사설을 실는 등 가정까지 파탄으로 치닫고 말았다. 이에도 불구하고 계속 연구를 지속한 하버는 결국 염소 가스의 무기로서의 효용성을 입증, 곧바로 독일 군부에 독가스의 사용을 건의하기 시작하였다.

문제는 1899년 독일을 포함한 전 세계 국가들이 모인 만국평화회의(혹은 헤이그 회담)에서 화학무기 사용을 금지하는 조약이 체결¹⁰⁾되었는데, 만약 독일이 그의 제안대로 독가스를 사용할 시 독일은 국제법 위반으로 비난받을 것이 분명하였다. 이에 조약안을 다시 살펴보던 하버는 일종의 편법을 고안해내는데, 사실 조약에서 금지한 것은 독가스의 전면적인 사용 금지가 아닌 "질식성 독가스를 퍼트리는 단일 물질을 이용한 발사체 사용 금지에 대한 선언", 즉 독가스 살포용 포탄(화학탄)의 사용이었다. 이에 하버는 독가스를 포탄이 아니라 자연풍을 이용하여 살포하면 된다는 주장을 펼쳤고, 결국 그의 주장은 1915년 지속되는 전선의 고착화에 염증을 느끼던 독일 군부의 승인을 받아냈다.

1915년 4월 22일, 벨기에의 이프르(Ypres) 지역에서 벌어진 제2차 이프르 전투가 염소 가스의 첫 실전 무대가 되었다. 독일군은 프랑스군 참호를 향해 168 톤의 염소가스를 5730여 개의 실린더를 통해 살포¹¹⁾했고, 결과는 "성공"적이었다. 이날 협상국 진영에서는 15000여 명이 가스에 중독되었고 이 중 5000여 명이 사망¹²⁾했다. 덕분에 이날 독일은 협상국이 점령하고 있던 5마일(약 8km)에 이르는 땅을 점령할 수 있었다.

10) Webster, A. (2011). Hague Conventions (1899, 1907). In The Encyclopedia of War, G. Martel (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781444338232.wbeow271>

11) Josset, P., & Hall, A. H. (2014). History of Chemical Burns and Scope of the Problem. In *Chemical Skin Injury* (pp. 1-19). Springer, Berlin, Heidelberg.

12) 전성원. (2011). 프리츠 하버(Fritz Haber, 1868~1934). 인물과사상, (), 95-121.



<그림2.13> 화학탄에 대해 설명하는 하버와 설명을 듣고 있는 독일군 지휘부



<그림2.14> 방독면을 착용한 영국군 기관총수의 모습

그러나 이 성공은 오래가지 못했다. 독일군의 독가스 사용에 분노한 협상군은 조약을 무시하고 1912년 노벨화학상 수상자인 빅토르 그리냐르(François Auguste Victor Grignard, 1871~1935)의 지휘 아래 화학무기 개발에 착수했고, 결국 5개월 후인 9월 25일 벌어진 루스 전투(Battle of Loos)부터 독가스를 사용하기 시작했다.

이제 독가스는 더 이상 전쟁의 판도를 뒤바꿀 무기가 아니라 그저 상대방의 병력을 조금이라도 더 많이 줄이기 위한 대량살상의 수단이 되었다. 그러나 하버는 오히려 총격으로 인한 사망보다는 독가스로 인한 죽음이 더 신사적이라며 자기합리화에 빠져들기 시작¹³⁾했다.

이러한 하버의 태도는 또 하나의 비극을 불러오고야 마는데, 5월 2일 하버는 독가스의 성공적인 투입을 "기념"하는 파티를 열었다. 파티가 열리는 도중 클라라는 하버에게 제발 이제라도 독가스 개발을 그만두어 달라고 애원했지만, 하버는 그녀를 조국을 위한 연구를 방해하는 반역자 취급하면서 거절하고야 말았다. 이에 크게 상심한 클라라는 결국 그 날 남편의 서재에서 권총을 자신의 심장으로 저격, 자살하고야 만다.

심지어 그녀의 시신을 맨 처음 발견한 것은 열 살배기인 하버의 아들이었다. 그러나 하버는 아들에게 클라라의 장례를 맡긴 후 독가스 살포를 위하여 동부전선으로 떠났다.¹⁴⁾ 그녀가 자살한 바로 다음날의 일이었다.

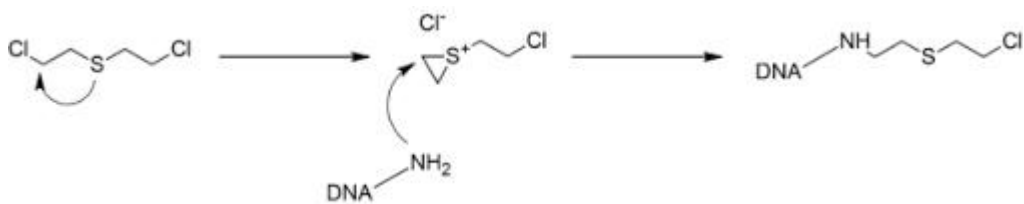
아내의 죽음이 오히려 기폭제가 된 것이었을까? 하버는 아들마저 내버려둔 채 독가스 연구에 더더욱 매진하기 시작했고, 이는 곧 더욱 "효과적"인 화학무기의 개발로 이어졌다.

13) Haber, Fritz (1924). Die Chemie im Kriege: Fünf Vorträge (1920-1923) über Giftgas, Sprengstoff und Kunstdünger im Ersten Weltkrieg. Berlin: Comino Verlag (reprint 2020), p. 50.

14) 전성원. (2011). 프리츠 하버(Fritz Haber, 1868~1934). 인물과사상, (), 95-121.



<그림2.15> 화학전 훈련 중 살포된 겨자 가스의 모습



<그림2.16> 겨자 가스가 DNA와 반응하는 과정

1917년, 하버와 그의 연구진들은 머스타드 황(sulfur mustard), 속칭 겨자 가스(mustard gas)라는 이름의 새로운 독가스를 개발¹⁵⁾했다. 특유의 노란색과 겨자 향과 비슷한 냄새 때문에 겨자 가스라는 이름이 붙어진 이 기체는 얼핏 보면 친숙하게 들릴 수 있는 이름과는 정반대의 성질을 지닌 매우 악독한 무기였다.

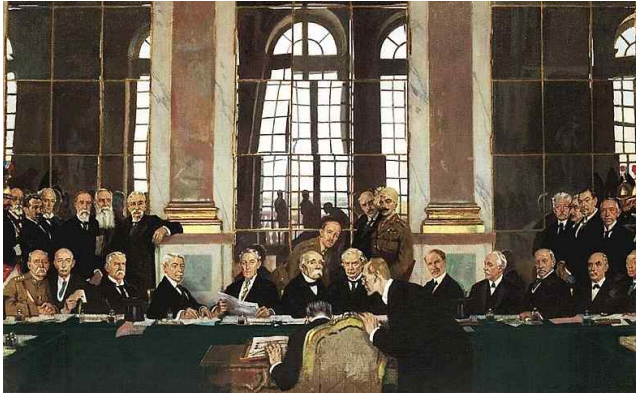
겨자 가스는 수포작용제라고도 불려지는데, 겨자 가스는 일단 피부나 점막 등에 침투하여 염소를 하나 뺏어내고(이 때 이 염소는 염소 가스와 비슷한 작용을 한다) 황을 중심으로 삼각형 결합구조를 만들어내는데, 이 때 DNA의 염기와 결합구조가 결합하면서 DNA를 손상시킨다. 이 때문에 가스에 노출된 병사들은 약 24시간 정도의 잠복기를 거친 후 피부와 점막 부위, 호흡기 등에 큰 자극과 손상을 입게 된다. 피부는 물집을 일으켜 감염에 취약해지며, 각막이 부풀어올라 일시적으로 시력을 상실하고, 폐포도 화학적 화상을 입어 폐수종 등의 질병이 발생하게 된다.

전쟁이 종결되는 1918년까지 양 진영은 총 12만 5000여 톤에 이르는 화학무기를 살포했고, 이로 인하여 발생한 사망자는 8만여 명, 부상자는 120만여 명에 달했다.¹⁶⁾ 그러나, 이 모든 것을 조국을 위한 대가라고 생각하며 계속 연구에 임했던 하버의 애국심은 결국 모두 수포가 되어버리고 말았다.

15) 이내주, (2020). 전쟁이 드리운 반(反)문명의 그림자 : 제1차 세계대전 시 화학전(戰)과 영국의 대응. 문명과 경계, (3), 111-146.

16) 마이클 스티븐슨, 전쟁의 재발견 (n.p.: 교양인, 2018), 302.

4. 짝사랑의 비극적인 결말, 나치와 치클론 B



<그림2.16> 베르사유 조약 체결 모습을 담은 그림



<그림2.17> 당시 독일인들의 심정을 드러낸 배후중상설

전쟁 5년 차인 1918년, 독일의 패색은 점점 짙어지기 시작했다. 해상봉쇄로 인한 경제 파탄, 식량난, 동맹국들의 연이은 항복을 견디지 못한 독일은 결국 1918년 11월 11일 항복한다. 이후, 다음 해인 1919년 6월 베르사유 궁전에서 제1차 세계대전 종전 조약, 속칭 베르사유 조약이 체결된다. 복수심에 눈이 먼 영국과 프랑스는 독일에 가혹한 조건을 요구하는데, 1320억 마르크(당시 독일 국민총생산(GNP)의 약 4배)에 달하는 어마어마한 금액을 요구한 것이다.

이 외에도 군대 규모 제한과 영토 헌납(전체 면적의 13%) 등 조약 한번으로 독일은 사실상 만신창이가 되어버렸고, 독일 국민들에게 남은 것은 패전국의 국민이라는 꼬리표와 부담해야 할 막대한 배상금, 그리고 크나큰 분노와 절망감이었다. 특히 독일 국민들은 자신들이 패배했다는 사실을 잘 받아들이지 못했는데, 이는 독일이 패전하는 순간까지 독일군의 언론통제로 제대로 된 전황을 모르고 그저 간간히 들려오는 독일군의 승전 소식만 들을 수 있었기 때문이었다.

독일 국민들의 분노와 절망감은 점점 자신들이 패배한 것이 내부의 적 때문이라는 음모론을 만들어냈고, 그리고 그 "내부의 적"으로 낙인 찍힌 것은 바로 유대인들이었다. 독일 제국 시절 유대인 차별이 대부분 철폐되었고 하버처럼 자신을 독일인으로 여기는 유대인들도 존재하였으나 기본적으로 유대인은 독일인들에게 그저 이방인일 뿐이었다. 게다가 유대인들은 특유의 국민성으로 당대 독일의 상당수의 부를 소유하고 있었고, 이는 가난해진 국민들을 분노케 하기에 충분했다.

이렇게 독일 내부에서 흐르기 시작한 심상치 않은 기류와는 별개로, 하버는 패전 후에도 "조국 독일"을 위해 새로운 연구를 시작하였는데, 바로 바다 속에 녹아있는 금 성분을 채취하는 기술이었다. 이를 위해 하버는 전세계의 바다를 돌아다니며 연구에 매진했지만 금의 채산성은 터무니없는 수준이었고, 결국 그는 연구를 포기하고 만다.

옆친 데 댄친 격으로 첫째 부인의 사망 이후 재혼한 두 번째 부인과의 이혼까지 일어난 후, 하버는 심한 상실감을 얻고 우울증에 걸린다. 그러나 아직 그에게는 카이저 빌헬름 학회 연구 소장이라는 직책이 남아있었고, 그를 따르는 수많은 과학자들이 있었다. 그러나 1933년 하버는 이마저도 잃게 되는데, 그 이유는 다름 아닌 그가 평생을 바쳤던 "조국 독일"의 배신 때문이었다.



<그림2.18> 나치식 경례를 하는 아돌프 히틀러



<그림2.19> 스위스의 회른리(Hörnli) 공동묘지에 묻힌 하버와 클라라의 묘

1933년, 당시 독일의 정치적 불안과 국민들의 불만을 교묘하게 이용한 아돌프 히틀러와 그의 당인 국가사회주의 독일 노동자당(Nationalsozialistische Deutsche Arbeiterpartei, 속칭 나치(Nazi))이 집권에 성공한다. 강한 반유대주의 사상을 가졌던 히틀러는 집권하자마자 대규모 유대인 탄압 정책을 펼쳤는데, 이는 하버가 소속된 연구소도 피해갈 수 없었다.

당시 하버가 소속된 카이저 빌헬름 학회 연구소는 국가소속 연구소였고 연구원들도 대부분 국가직이었는데, 히틀러가 유대인 공직자들을 모두 추방시키라는 명령을 내렸고 다행히도 하버는 1차대전 당시 "국가를 위해 헌신"했다는 이유로 추방을 피해갈 수 있었으나 그의 부하 연구원들은 하루 아침에 직장을 잃게 되었다. 하버는 명령을 보류한 채로 대부분의 연구원들의 일자리를 구해다 준 후, 국가의 명예 따르겠다면서 연구소장 직을 사임, 자신을 초청한 영국의 케임브리지 대학으로 향했다.

그러나 조국에선 독일인이 아닌 유대인이라고 손가락질 당했던 하버는 정작 영국에서는 독일인이자 살인마라면서 비난받기 일쑤였고, 이를 견딜 수 없었던 하버는 때마침 같은 화학자이자 이스라엘의 건국자 중 하나인 하임 바이트만(Chaim Weizmann, 1874~1952)의 제안으로 이스라엘 지역에 새로 창립될 연구소장으로 부임하기 위하여 영국을 떠난다.

그러나 이미 노인이 되어버린 하버는 종전 이후 계속된 심적 고통으로 너무나 쇠약해져 있었고, 결국 연구소 개소식을 참석하기 위해 떠난 여정에서 잠시 머무르기 위해 들린 스위스 바젤의 한 호텔에서 심장마비로 사망했다. 1934년 1월 29일, 향년 66세의 일이었다.

이후 하버는 바젤 근교에 위치한 회른리(Hörnli) 공동묘지에 안장되었고, 그의 유언을 따라 아내 클라라의 묘도 1937년 이곳으로 이장되었다. 그렇게 전쟁과 함께 관계마저 최악의 형태로 파탄 나버린 하버와 클라라는 아이러니하게도 유일하게 전쟁에 휘말려들지 않았던 중립국 스위스에서야 다시 만나 안식을 취할 수 있었다. 그러나, 하버의 비극은 거기서 끝나지 않았다.



<그림2.20>홀로코스트에 실제로 사용되어진
빈 치클론 B 깡통



<그림2.21>아우슈비츠 수용소 가스실의 모습

하버의 사망 이후 나치의 반유대주의는 약해지기는커녕 더욱 거세졌고, 결국 1942년 "최종 해결책"이라는 미명 하에 유대인은 절멸되어야 할 종족으로 결정, 이후 1945년까지 3년 간 유럽 각지에 세워진 유대인 강제수용소에서 총 600만명에 달하는 유대인들이 학살¹⁷⁾당한다.

나치는 유대인들을 가스실에 몰아넣은 후 독가스를 살포하여 그들을 학살하였는데, 홀로코스트에 사용된 가스는 치클론 B(Zyklon B)라는 이름의 살충제로, 아이러니하게도 1920년대 하버가 개발에 참여한 기체였다. 유대인이 개발에 참여했음에도 아랑곳하지 않고 나치는 이 가스를 애용했는데, 미처 해외로 피신하지 못한 수많은 하버의 친척들이 이 가스로 목숨을 잃어야만 했다.



여담으로, 놀랍게도 우리에게도 친숙한 과학자들 중 한명이자 20세기를 대표하는 물리학자들 중 한명인 알버트 아인슈타인(Albert Einstein, 1879~1955)은 하버와 친분이 있었는데, 하버의 사망 소식을 접한 아인슈타인은 크게 씘쓸해하면서 다음과 같은 말을 남겼다고 전해진다.

"유대계 독일인의 비극, 짝사랑이 낳은 비극."
"the tragedy of the German Jew: the tragedy of unrequited
love."

<그림2.22> 하버(좌)와
아인슈타인(우)의 모습

17) 황정봉. (2007). 유대인의 商慣習에 관한 研究.

III. 결론

본 보고서는 하버의 생애를 중심으로 당대 과학 기술의 명암을 차근차근 되짚어 보았다.

하버의 질소고정법은 세계 인구의 반을 먹여살리지만 반대로 사람을 살상할 수 있는 화약의 재료가 되기도 하였고, 도덕적 신념 중 하나로 취급받는 애국심을 충실하게 따른 하버는 결국 수많은 병사들을 죽인 독가스의 아버지가 되었으며, 인류에게 도움이 되기 위한 살충제로 개발된 치클론 B는 결국 600만명의 무고한 유대인들을 학살하는데 사용되고야 말았다.

이러한 점들을 파악한 후 본 보고서가 내린 결론은 총 두가지이다.

첫째, 과학 기술의 발전은 무조건적인 선이나 악, 득이나 실로 나눌 수 없으며 심지어 각 개인의 신념이나 관점에 따라서 판단이 바뀔 수도 있다. 그러므로 과학 기술 자체에 도덕적 잣대를 들이치는 것은 공정한 판단이 아닌 개인의 시각이 들어간 편향된 판단일 가능성이 있으므로 지양해야 한다.

둘째, 그러나 과학 기술 자체에는 선과 악이 없지만 특정 과학 기술은 공익보다는 특정 개인이나 집단의 이익을 위하여 개발되는 경우가 잦고, 심지어 공익을 위하여 개발된 과학 기술조차도 사용되는 용도에 따라서는 도덕적 문제에서 자유롭지 못할 수 있다. 그러므로 과학자들은 늘 자신의 연구가 사회에 미칠 영향을 감안하며 책임감 있게 행동하고 보편적 가치에 어긋나는 목적을 가진 연구는 지양해야 할 것이다.

그리고 정부와 국제사회 등은 이러한 과학 기술들이 악용되지 않도록 관리하는데 힘써야 할 것이며, 마지막으로 개개인들은 과학 기술을 무조건적인 선 혹은 미지의 악과 같은 흑백논리로 구분하기 보다는 과학 기술의 본질을 제대로 이해하고 비윤리적인 연구나 과학 기술의 사용이 일어나지 않도록 감시하는데 힘을 보태야 할 것이다.

과학이 본격적으로 발전하기 시작한 20세기부터 제기되어온 과학기술윤리의 중요성은 2021년 현재 줄어들기는커녕 인공지능, 생명과학 등의 발달로 더욱 높아지고 있는 추세이다. 이에 대비하기 위하여 이 보고서의 후속으로 현재 활발하게 연구되는 기술들 중 윤리적 문제를 안고 있는 기술에 대하여 조사하거나 과학기술윤리적 문제에 대한 일반인들의 인식 조사 혹은 이와 관련한 권위자의 입장 등을 조사하는 것이 필요할 것이라 전망한다.

마지막으로, 과학기술윤리 때문에 고민하고 있을 수많은 이들에게 SF 영화 <인터스텔라>의 대사 한 줄을 바치며 이만 글을 마치도록 하겠다.

우린 답을 찾을 것이다. 늘 그랬듯이.

We will find a way. We always have.

IV. 참고문헌

- Max Roser, Hannah Ritchie and Esteban Ortiz-Ospina (2013) - "World Population Growth", <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
- 김경미. "1834년 영국의 인구빈법에 관한 연구". 국내석사학위논문 이화여자대학교 대학원. 1990. 서울
- 김희준, "인류를 먹여 살린 화학비료", 『과학동아』, 1998년 2월 1일, 72-77.
- Holleman, Arnold Frederik; Wiberg, Egon (2001). Wiberg, Nils (ed.). Inorganic Chemistry. translated by Eagleson, Mary; Brewer, William. San Diego/Berlin: Academic Press/De Gruyter. pp. 662-65.
- Raymond Chang. Kenneth A. Goldsby. *레이먼드 창 의 일반화학*(n.p.: 사이플러스, 2014). 607-610.
- Hannah Ritchie (2017) - "How many people does synthetic fertilizer feed?", <https://ourworldindata.org/how-many-people-does-synthetic-fertilizer-feed>
- 오후. *나는 농담으로 과학을 말한다*(n.p.: 웨일북, 2019). 51.
- FAO. 2019. World fertilizer trends and outlook to 2022, Rome.
- 최윤영. (2014). 인종의 가시성과 소속성: 독일 유대인의 동화와 패싱을 중심으로. 독일어문화권연구, 23.
- Webster, A. (2011). Hague Conventions (1899, 1907). In The Encyclopedia of War, G. Martel (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781444338232.wbeow271>
- Josset, P., & Hall, A. H. (2014). History of Chemical Burns and Scope of the Problem. In Chemical Skin Injury (pp. 1-19). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 전성원. (2011). 프리츠 하버(Fritz Haber, 1868~1934). 인물과사상, (), 95-121.
- Haber, Fritz (1924). Die Chemie im Kriege: Fünf Vorträge (1920-1923) über Giftgas, Sprengstoff und Kunstdünger im Ersten Weltkrieg. Berlin: Comino Verlag (reprint 2020), p. 50.
- 이내주. (2020). 전쟁이 드리운 반(反)문명의 그림자 : 제1차 세계대전 시 화학전(戰)과 영국의 대응. 문명과 경계, (3), 111-146.
- 마이클 스티븐슨, 전쟁의 재발견 (n.p.: 교양인, 2018), 302.
- 황정봉. (2007). 유대인의 商慣習에 관한 研究.