

**독일 PTB 초청 공동연구
(분자-전자 충돌반응 데이터 생산 및 분석)**

2021년 09월 11일 (토) – 10월 16일 (토)

한 국 핵 융 합 에 너 지 연 구 원

목 차

I. 출장개요	3
II. 세부내용	4
III. 건의사항 및 애로사항	8
IV. 수집자료 및 참고문헌	8
V. 출장지 정보	9
VI. 정보활용	10
VII. 기 타	10

I. 출장개요

1. 출 장 국 : 독일 (Germany)

2. 출장목적 :

- 독일 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) 초청 공동연구 수행:
분자-전자 충돌반응의 double differential cross section (DDCS) 데이터 생산 및 분석
- KFE-PTB 양해각서(MOU) 체결 후속 조치
- 분자-전자 충돌 연구의 국제 공동연구 기반 마련 및 미래 연구과제 기획

3. 출장기간 : 2021년 09월 11일(토) ~ 10월 16일(토) (34박 36일)

* 참고사항: 귀국 비행편의 24시간 지연으로 프랑크푸르트에서 1일 대기(기존 일정 대비 1박 추가)

4. 보고서 작성자 : 박 연 수 (parkys@kfe.re.kr, 063-440-4223)

5. 출장자 인적사항

소 속	직위(직급)	성 명 (영문)	비 고
물성측정연구팀	팀장 (책임연구원)	박연수 (Park, Yeunsoo)	

II. 세부내용

1. 출장의 배경 및 목적

- 2019년 한국핵융합에너지연구원(KFE) - 독일연방물리기술원(PTB) 간에 체결된 연구 협력 협약(양해각서(MOU))의 후속 조치로 독일 PTB 초청에 의한 국제 공동연구 수행
- PTB working group 6.36에 구축된 전자 충돌실험 장치를 활용하여 KFE에서 실험할 수 없는 고에너지 전자 영역(30eV ~ 1keV)에 대한 에탄올과 질소의 double differential cross section (DDCS)을 측정/분석한 데이터 생산
- 분자-전자 충돌 연구에 대한 국제 상호교류와 공동연구 기반 확립
- EU 연구공동체에서 준비 중인 환경 이슈 대형 프로젝트에 KFE 참여 준비
- 미래 국제 공동연구 과제 기획

2. 세부일정

일 자	장 소	주요활동	비 고
09. 11(토)	군산 → 인천 → Frankfurt(독일) → Braunschweig(독일)	1. 국내 도시 간 이동 (군산 → 대전 → 서울 → 인천) 2. 출국 및 독일 도착 (인천 → 독일) 3. 독일 도시 간 이동 및 PTB 도착 (Frankfurt → Braunschweig)	
09. 12(일)	PTB	1. 전자충돌 대상 분자 선정 및 실험 수행을 위한 사전 준비 회의	
09. 13(월) ~ 10. 13(수)	PTB	1. PTB 소개 및 방사선 안전교육 수강 2. Division 6 국장 및 department 6.3 부서장 면담 3. 에탄올 분자의 전자 충돌실험 (전자 에너지: 30eV ~ 1keV, 충돌 각도: 30°-135°) 4. 질소 분자의 전자 충돌실험 (전자 에너지: 30eV ~ 1keV, 충돌 각도: 30°-135°) 5. KFE 기관 및 개인 연구 소개에 대한 세미나 발표 6. PTB내 운영 중인 가속기 견학 7. 전자 충돌 생산 데이터의 분석 및 정리 8. 국제 공동연구 네트워크 구축 및 미래 연구과제 기획	
10. 14(목) ~ 10. 16(토)	Braunschweig(독일) → Frankfurt(독일) → 인천 김포 → 제주*	1. 독일 도시 간 이동 (Braunschweig → Frankfurt) 2. 귀국 및 한국 도착 (독일 → 인천) 3. 국내 도시 간 이동(해외입국자 코로나 수동 감시를 위해 자택 귀가)	

* 질병관리청의 코로나 질병 방역 조치에 따라 해외입국자 수동 감시를 위해 자택 귀가

3. 접촉인물(국정원 보안감사 요청 사항, 필히 작성)

일 자	성 명	소 속	직급/직위	연락처	면담목적	비 고
09. 11 - 10. 14	Dr. Woon Yong Baek	PTB	Head of working group 6.36	woonyong.baek@ptb.de	- 인사 및 연구 소개 - 공동연구 수행	
09. 13 - 10. 13	Philine Hepperle	PTB	Ph.D student	philine.hepperle@ptb.de	- 공동연구 수행 - 생체분자 전자충돌 연구 논의	
09. 13 - 10. 13	Dr. Oliver Hupe	PTB	Head of Department 6.3	oliver.hupe@ptb.de	- 인사 및 연구 소개 - 초청 발표 - 미래 공동연구 논의	
09. 21	Dr. Annette Röttger	PTB	Head of Division 6	annette.roettger@ptb.de	- 상호 인사, 기관/개인 연구 소개	
09. 13 - 10. 12	Nittmann Heike	PTB	Technician	nittmann.heike@ptb.de	- 인사, 실험장비 문제 해결 및 유지보수	
09. 20 - 10. 08	Andreas Pausewang	PTB	Technician	andreas.pausewang@ptb.de	- 인사, 전자 발생장치, 가스 주입관, 진공 장비 문제 해결 및 유지보수	

4. 주요 업무수행 활동 및 결과

(1) Double differential cross section (DDCS) 데이터 생산 및 평가

- 이차 미분 산란단면적 단면적(DDCS) 측정 실험 장치
 - 이차 미분 산란단면적 측정장치는 크게 전자 발생장치(electron source), 산란전자 에너지분석기(electron spectrometer), 가스 주입 시스템, 진공 시스템, 전자제어 시스템으로 구성 (그림1 참조)
 - 전자 발생장치는 Specs사의 EQ 22/35 모델로 에너지 영역 20eV ~ 5keV, 차동펄핑 가능 모델
 - 전자 에너지분석기는 Omicron사에서 주문 제작한 것으로 가스 빔축을 기준으로 360° 회전 가능
 - 가스 주입 시스템은 선정된 타겟 가스를 relative flow technique 방법을 이용하여 주입 및 표준가스와 규격화 가능
 - 진공 시스템과 전자제어 시스템은 전자충돌 실험을 위한 초고진공 환경을 만들고 각종 장치들을 제어하기 위해 구성
- Ethanol 분자, N₂ 분자에 대한 DDCS 측정 및 relative flow technique을 이용한 규격화
 - Ethanol 분자에 대한 DDCS를 전자 에너지 30eV ~ 1keV 영역에서 각각 측정
 - Ethanol 분자에 대한 DDCS를 산란 전자각도 30° - 135° 영역에서 15° 간격으로 측정
 - N₂ 분자에 대한 DDCS를 전자 에너지 30eV ~ 1keV 영역에서 각각 측정

- N₂ 분자에 대한 DDCS를 산란 전자각도 30° - 135° 영역에서 15° 간격으로 측정
- Relative flow technique 방법을 이용한 표준가스 nitrogen 분자의 DDCS 측정에 대한 ethanol 분자의 DDCS 측정 규격화(normalization)
- Ethanol DDCS 측정 결과에 대한 비교 평가(evaluation)

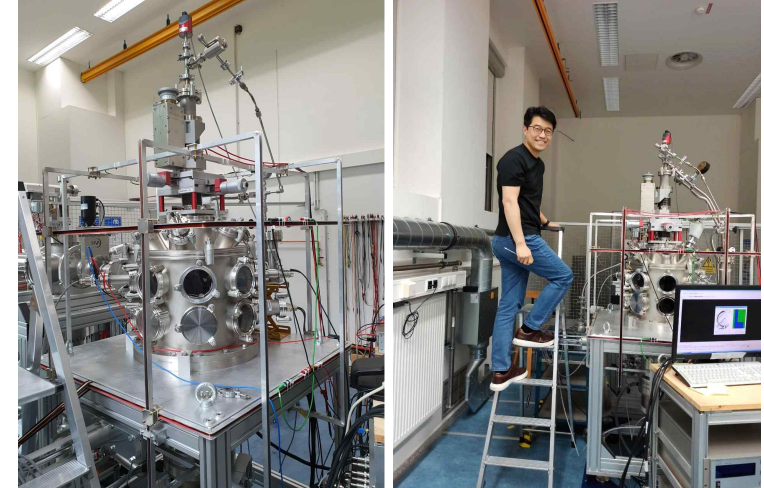


그림 1. DDCS 측정 실험장치 및 실험 모습.

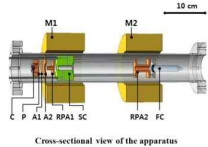
(2) 특별 세미나 발표(Dep. 6.3 scientific meeting)

- 발표자: 박연수
- 발표시간: 13:00 - 14:00 Tuesday, 05 Oct. 2021
- 발표주제: "Brief introduction of Korea Institute of Fusion Energy (KFE) and my study"
- 참석자: Department 6.3 연구자와 구성원
- 주요 발표내용
 - 한국핵융합에너지연구원(KFE)의 설립 배경 및 역사
 - KFE 구성 부서별 개략적 연구 소개
 - KFE에 운영 중인 전자충돌 실험장치 및 최근 연구 결과 소개 (그림2 참조)
 - PTB와 KFE의 미래 공동연구 중요성 강조 및 연구과제 제시

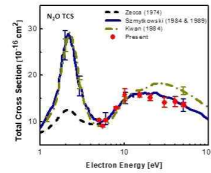
TCS measurement



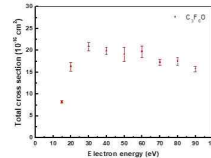
Total electron cross section measurement system



Cross-sectional view of the apparatus



Total electron scattering cross section of N_2O .



Total electron scattering cross section of C_2F_6O

그림 2. 세미나 발표 자료(예시).

(3) 논문 투고

- 제목: Measurement of doubly differential cross sections of ethanol-electron collision at energies between 30 eV and 1 keV
- 저자: 박연수(KFE), Philine Hepperle(PTB), 송미영(KFE), Woon Yong Baek(PTB)
- 저널: Physical Review A
- Ethanol 실험 결과에 대한 해석과 평가가 마무리되면 Physical Review A에 논문 투고
- 현재 논문 초안 작성 중

(4) 공동연구 논의

- EU 연구공동체에서 준비 중인 환경 이슈 연구 프로젝트에 KFE 참여 논의
- 미래 국제 공동연구의 연구과제 기획

III. 건의사항 및 애로사항

건의사항:

해외 출장 항공권 결제 후 법인카드 사용 신청에 관한 공지 필요(법인카드 결제 마감 전)

애로사항 및 참고사항:

- 코로나 팬데믹 상황으로 지방에서 인천공항까지 공항 리무진 버스 운행이 중단되었다. 비행 출발 시간이 12시 50분인 관계로 출장 당일 군산에서 출발이 어려워 하루 전날 대전에서 숙박 후 출발하였다.
- 코로나 상황으로 독일을 방문하는 입국자는 입국에 필요한 서류를 미리 챙기고 지속적으로 상황을 확인 할 필요가 있다. 그리고 비행편은 경유보다는 직항을 이용하는 것이 독일 입국에 용이하다. 다만, 이러한 상황은 코로나 상황이 종식되면 해결될 수 있는 한시적인 것이다.
- 독일 기차를 이용하는 경우 대도시의 중앙역은 동유럽 출신, 아랍 출신, 집시 등의 소매치기가 많아 소지품과 금품에 대한 주의가 요구된다. 그리고 독일 기차는 지연되는 경우가 빈번하여 미리 확인 후 대비가 필요하다. DB Navigator 앱은 독일 기차 예약이 가능하고 각종 변경에 대한 공지를 미리 받을 수 있어 매우 유용하다.
- 해외입국자의 경우 국내에서 백신접종을 마쳤다면 귀국 비행 출발 72시간 전 PCR 검사를 반드시 받아야 한다. 그리고 2021년 10월 기준으로 입국 1일차, 6~7일차에 PCR 검사를 두 차례 더 받게 되는데, 음성 결과가 확인되면 연구원 복귀가 가능하다. 독일에서 PCR 검사는 대부분 대도시에 위치한 Covidzentrum.de를 통해 예약하고 검사를 받을 수 있다.

IV. 수집자료 및 참고문헌

- PTB 기관소개 자료(PDF 파일)
- PTB Annual reports 및 기술자료
다운로드: PTB 홈페이지(<https://www.ptb.de/cms/en.html>) 내 'PRESS & WHAT'S NEW' 항목
- 에탄올, 질소에 대한 전자 충돌 실험 데이터 (USB)
- 실험 참고문헌
 1. J. Chem. Phys. 145, 104301 (2016): <https://doi.org/10.1063/1.496271>
 2. Phys. Rev. A 93, 052711 (2016): <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.93.052711>
- PTB news article

Successful cooperation between Department 6.3 and Korea Institute of Fusion Energy - 05.10.2021 -
The successful cooperation between the Department 6.3 "Radiation Protection Dosimetry" and the Division "Fundamental Technology" of the Korea Institute of Fusion Energy (KFE), which began in 2019, has been extended for a further two years. The KFE is a member of the international experimental reactor ITER and it also operates its own superconducting fusion research facility. It is one of the world's leading institutes in the field of determining basic atomic and molecular data for interaction processes with charged particles. The aim of the collaboration is to use cost-saving synergy effects by not only pooling the expertise of both institutes, but also sharing experimental capacities. The determination of electron interaction cross-sections of human tissue components is just one example of this collaboration, which exploits the KFE's high-level expertise and experimental capacities for low-energy electrons, and the experience of Department 6.3 in determining the

cross-sections over an energy range between 50 eV and 2 keV. These are important input data required for accurate calculation of the dose distribution in human organs in radiation therapy using Monte Carlo simulation. The cooperation between the two institutes will expand to include environmental applications in the near future. One such activity is the determination of the production rate of reactive radicals produced from the excitation of natural and anthropogenic atmospheric gases by cosmic radiation. As these reactive radicals act as catalysts to increase ozone depletion in the stratosphere, such data is particularly important for the development and validation of climate models.

Contact person at PTB: Woon Yong Baek, Department 6.3, Working Group 6.36

V. 출장지 정보

- 방문장소: PTB Braunschweig, Germany

주소: Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

PTB는 대중교통으로 Hanover에서 약 1시간, Berline에서 약 2시간 거리에 위치한 인구 약 27만의 도시인 브라운슈바이크에 있다. 전체 근무 인력은 대략 1,500명 정도이며, 이번에 함께 근무했던 Division 6의 경우 대략 200명 정도가 근무하고 있다. 아래 그림 3은 PTB 전경을 보여주는 지도인데, 브라운슈바이크 외곽 넓은 숲과 함께 자리 잡고 있다.

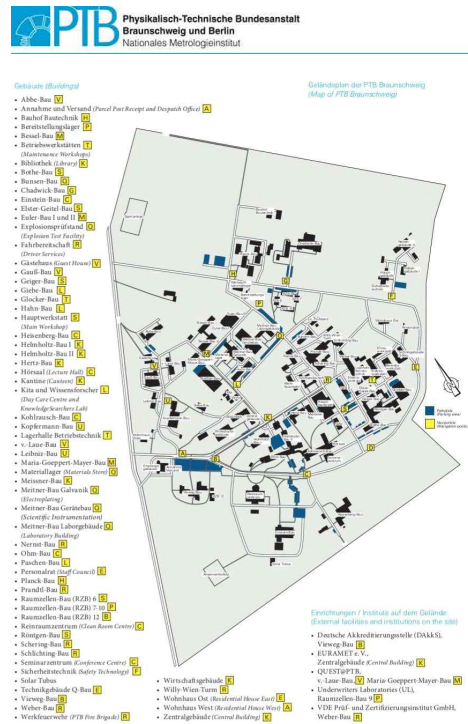


그림 3. PTB 전경 (공동연구 장소).

- PTB가 위치한 Braunschweig

코로나19 상황으로 브라운슈바이크를 둘러볼 기회는 없었지만, 다양한 소개자료를 통해 살펴본 브라운슈바이크는 다음과 같다. 브라운슈바이크는 독일 북부 니더작센주의 중앙에 위치한 도시로 오랜 역사를 갖고 있다. 하노버 남동쪽 약 64km 지점 오커강(江) 연안에 위치한다. 시(市)는 9세기에 창건되었으나, 1166년 사자공(獅子公) 하인리히가 도읍으로 정한 후 발전했으며, 13세기에는 한자동맹의 일원으로서 번영했다. 1753년 브라운슈바이크 공작령의 주도가 되었으며, 1918~45년에는 옛 브라운슈바이크주의 주도였다. 비교적 비옥한 농업지대의 중심지로서 곡물·사탕무·감자·야채 재배가 성하다. 공업으로는 자동차·광학기기 제작이 대표적인 산업이며, 남부 산지에서는 은·구리·납 등의 자원을 산출하며, 금속·화학공업을 비롯하여 제당·맥주·초콜릿 등의 식품공업이 성하다. 현재 시의 북쪽을 미텔란트 운하가 통하기 때문에 항만기능도 지니고 있으며, 시에는 공업대학·칸트교육대학, 그 밖에 각종 연구소와 기관들이 있다. 부르크 광장에는 사자공의 동상, 로마네스크 양식의 대성당이 있으며, 상점가의 중심인 알트마르크트 광장에는 13~15세기에 건립된 옛 시청사, 후기 르네상스 양식의 게반트하우스, 13세기에 건립된 성(聖)마틴 성당 등이 있다.

- 참고 웹사이트

독일철도: <http://www.bahn.de/>

주독일대사관: <https://overseas.mofa.go.kr/de-ko/index.do>

독일정보: <https://www.germany.info/us-en>

코로나 상황 입출국 정보: 질병관리청 <http://www.kdca.go.kr>

VI. 정보활용(해당사항에 ✓표시 요망)

- 네트워크를 통한 원문유통
 - 소내 : 가능(✓), 불능()
 - 소외 : 가능(✓), 불능()
- 원문열람(네트워크를 통한 원문유통이 불가능일 경우)
 - 소내 : 가능(✓), 불능()
 - 소외 : 가능(✓), 불능()

VII. 기타

※ 불임(출입국일자 표시분 항공권) : 출입국항공권