

세계 빛의 해 (IYL) 2015 특집 ■ 우리나라 광학 연구 및 개발의 역사 (개인적인 소회 및 경험을 바탕으로)

KAIST, KAERI, KRISS



초창기 광학연구의 체험적 이야기

이인원*

1. 시작하는 말

출연연구소에서 연구원과 보직자로 33년을 일했고 그 후 대학에서 5년간의 연구소장직을 수행한 다음 마지막 한 학기 강의를 마치고 정년퇴직하였다. 퇴직 후에는 광학부품을 만드는 중소기업에서 일하고 있고 출연연구소 연구팀에도 참여하고 있다. 광학과 함께하는 삶을 살아왔고 지금도 광학과 함께 살고 있는 셈이다.

광학은 과학적으로도 매력이 있고 실용적 기술로서도 중요한 역할을 해내고 있다. 새로운 진리를 찾아낼 수 있는 기초과학적인 분야도 광학 안에서 만날 수 있고, 광학은 '가능하게 하는 기술(enabling technology)'로서 새로운 가능성이나 더 좋은 기술적 해법을 제공하기도 하니 이러한 매력 있는 광학을 선택하여 광학과 함께 살아온 것을 행운으로 생각하지 않을 수 없다. 우리나라에서 광학교육과 연구가 본격적으로 시작된 시기에 배우고 연구하는 중심에 있었던 한 사람으로서 개인적인 경험을 즐기 삼아 초창기의 광학교육과 연구의 단면을 소개하고자 한다.

2. 체험을 중시했던 KAIST의 초창기 광학교육

학사과정 없이 대학원과정 만으로 시작했던 한국 과학원(KAIS) 수학 및 물리과에 석사과정 1기생으로 내가 입학한 것은 1973년이였다. 홍능의 캠퍼스에는 학생기숙사인 소정사가 유일하게 준공되어 있었고 강의동과 연구동은 신축공사가 진행되고 있었다. 강의가 없었던 첫 학기 동안 이상수 교수님께서 시키는 광속확대기(*beam expander*) 설계를 수행했던 것이 광학과의 첫 만남이었다. 컴퓨터는 물론이고 전자식 계산기도 없이 기계식 계산기를 이용하여 설계를 진행했었는데 탁상에 올려놓은 그 계산기는 작동될 때 소리가 요란하여 탱크라는 이름으로 학생들이 사이에서 불리기도 했었다.

광학교육과 연구에 있어서 세계적 본산지 중의 하나인 영국 Imperial College에서 광학 전공으로 박사 학위를 받고 귀국하신 이상수 교수님이야말로 우리나라에서 광학 교육과 연구를 본격적으로 시작하신 분이라고 할 수 있다. 이상수 교수님은 학생들이 직접 체험을 통하여 손과 발로 익히고 머리로 생각하는

* GIST 명예연구위원, KRIS 초빙연구원, 3L광학씨스템(주) 연구소장

KAIST, KAERI, KRISS 초창기 광학연구의 체험적 이야기

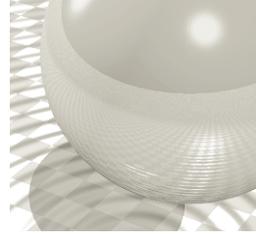
것을 강조하였다. 물리과 학생들의 필수과목이었던 광학실험에서 여러 가지 체험을 할 수 있도록 이끄는 데 그 중에는 광학가공실에서 사각 판유리 덩어리를 자르고, 깎고, 갈고, 광을 내어 렌즈를 직접 만들어 보는 실험도 있었고, 사진을 찍어 암실에서 현상, 정착, 인화하는 실험도 있었으며, 진공증착으로 광학박막을 만들어 보는 실험 등, 광기술의 기초가 되는 실험들도 많이 포함되어 있었다.

과학원은 우리나라에서 대학원 교육을 선진국 수준으로 도약시키는 모델을 만들어 보자는 취지에서 전체 학생들에게 병역특혜를 처음으로 주기도 했고 정부의 재정적 지원도 집중적으로 받았다. 그러나 당시의 우리나라 경제력으로는 연구에 필요한 장비를 충분히 도입할 수 없는 상황이었다. 몇 년 후에 레이저가 도입되기도 하고 일부 레이저는 자체 개발되기도 하였지만 70년대 초반에는 레이저 광원 대신에 수은 방전등을 시중에서 구입하여 필터로 단색광을 얻어 간섭실험을 수행하였고 방진광학대는 항공기 타이어 속의 고무 튜브를 구입하여 그 위에 무거운 철판을 올려놓아 사용하였으며 수십 kV 이상의 고전압, 고전류 다이오드나 대형 저항 등의 전자 부품은 종로3가 부근의 장사동 상가에 나가 구입하였다. 장사동 골목은 잘 뒤지면 중고품이나 신품 상태인 전기, 전자 부품, 금속이나 플라스틱 재료를 포함하여 다양한 부품이나 재료를 구입할 수 있었기에 실험하는 대학원생들의 필수 코스이었다.

그러한 훈련을 통하여, 주어진 국내 환경에서 문제를 풀어나가는 능력을 키울 수 있었던 반면에 적절한 재료를 구하지 못해서 많은 시간과 노력이 투입되는 문제점이 있었던 일도 기억난다.

박사과정 중에 TEA CO₂ 레이저를 만들 때의 일이다. 길이가 60 cm 정도이고 폭이 6 cm 정도인 한 쌍의 전극을 마주보게 설치하고 두 전극 사이에 고전압을 걸어서 전극 사이에 채워진 혼합기체에 균일한 글로우 방전을 일으켜야 하는데 기체 압력이 대기압 정도로 높고 방전 단면적이 아주 크기 때문에 균일한 방전을 일으키는 것이 무척 어려운 일이었다. 전극의 가장자리를 둥글게 잘 다듬고 표면 형상을 최적화하여 전극 표면에서의 전기장의 세기가 균일하게 분포되도록 해야 함은 물론이고 전극 사이의 기체 매질에

균일하게 전자와 이온을 먼저 만들어준 다음에 펄스 전압을 걸어주면 전극 사이의 전체 부피에서 동시에 방전이 일어나게 할 수 있다. 균일하게 전자와 이온을 분포시키기 위해서 외부에서 전자빔을 가속하여 주입시키는 방법도 사용되지만 장치가 복잡해지기 때문에 자외선을 쬐여주는 방식이 많이 사용된다. 자외선을 생성시키기 위한 방법으로 굽기가 아주 가는 도체선을 주전극 중 하나와 가까이 평행되게 설치한 다음에 도체선과 인접 주전극 사이에 먼저 고전압을 펄스로 가하여 균일한 코로나 방전을 일으키고 그 코로나 방전에서 발생된 자외선이 기체를 균일하게 이온화시키도록 하는 방법이 문헌들에 보고되어 있었다. 문헌에 의하면 직경이 0.2 mm 인 텅스텐 도선을 사용하는 것으로 되어 있었는데 장사동을 아무리 뒤져도 찾을 수 없었고 납품업자도 텅스텐 도선을 구해오지 못했다. 그래서 텅스텐 대신에 같은 굽기의 구리선을 사용하였는데 균일한 방전이 일어나지 않고 전극 사이의 한 두 지점에서 아크 방전이 일어났다. 전극 형상이 최적이지 않을 수 있겠다는 생각에서 전극을 몇 시간씩 사포를 이용하여 손으로 갈고 표면에 얼룩이 묻어 있지 않도록 알코올로 세척하는 작업을 여러 차례 반복하느라 시간과 노력이 많이 들었지만 균일 방전은 여전히 이루어지지 않았다. 박사과정 중에 많은 일을 해보겠다고 학교 앞으로 전세방을 얻어 이사도 했고 매일 밤늦게 까지 실험실에 있으면서 빠른 진척을 바라며 노력해도 제자리걸음이니 스트레스 요인이 되고 있었다. 전극을 갈고 있는 모습을 측은한 눈빛으로 바라보는 후배도 있었고 구리선과 주전극 사이에서 방전이 일어날 때 구리선이 땀뭍땀 진동하는 것을 보고 전자들이 줄넘기를 한다며 함께 웃었던 후배도 기억난다. 문헌조사도 철저히 하고 여러 가지 시도들도 하면서 상당한 시간이 흐른 후에 납품업자가 몰리브덴 선을 구해다 주었다. 구리선을 치우고 몰리브덴 선으로 바꾼 다음에 방전을 시켰더니 전극 사이의 전체 부피가 균일한 핑크색으로 부드럽게 방전되는 것이 아닌가! 만세를 부르고 싶은 심정이었다. 몇 군데에서만 아크가 생길 때 들리던 금속성의 높은 소리가 부드러운 저음으로 바뀌었고 구리선이 진동하면서 관찰되었던 전자들의 줄넘기도 사라졌다. 구리선은 쉽게 늘어나기 때문에 중력에 의해서



아래로 처지고 전류가 흐르면서 생기는 힘도 작용하여 진동이 생기고 따라서 전극 간격을 일정하게 유지할 수 없는 문제가 있었던 것이다.

이 상수 교수님은 기하광학, 파동광학, 레이저광학을 포함한 광학 전반에 대한 강의를 통하여 광학교육의 토대를 확립하셨고 연구 분야도 광학계 설계 및 평가, 광학코팅, optical pattern recognition, 광스위칭, 고속현상 관측, 레이저 개발 및 응용 등 다양한 연구를 수행하셨다. 우리나라의 광학 개척자로서 조속히 광학의 뿌리를 내리게 하고 싶었던 이상수 교수님의 의욕이 크셨고 정부의 적극적인 지원이 있었으며 우수한 학생들이 많이 모여들었기 때문에 KAIST의 광학연구실은 국내의 선도주자로, 그리고 세계적인 연구실로 성장할 수 있었다고 생각된다.

3. 가장 오래되고 풍량이 심했던 원자력연구원의 광학연구

원자력연구소는 정부조직이었던 원자력원의 산하 연구소로서 1959년에 발족되었으며 구성원들은 공무원 신분이었으나 많은 분들이 후에 정부 부처로 출범된 과학기술처에 합류했고 출연연구소로 출범된 KIST에도 합류했다. 영국에서 광학을 전공하여 박사학위를 받은 이상수 박사가 원자력연구소 물리학 연구실장으로 부임하면서 광학연구가 활성화되기 시작한 것이 1960년이다.

이 상수 박사가 주도 하여 렌즈 가공, 간섭광학, 분광학, Cherenkov 복사, 레이저 개발 연구 등이 수행되었는데 1964년에 HeNe 레이저 연구를 시작하였고 1971년에는 이상수, 박대운 팀이 CO₂ 레이저 연속발진에 성공하여, 유효방전 길이 80 cm에서 78 W의 연속출력을 얻었다고 보고되었다. 이상수 박사는 1971년에 한국과학원이 생기면서 초대 원장으로 가시게 된다.

내가 원자력연구소에 연구원으로 입소했던 1975년에는 박대운 선생님을 포함한 세 분의 선임연구원이 광학연구를 이끌고 있었는데 그 후 4년간 활발하게 연구가 진행되어 CO₂ 레이저의 Q-switching, N₂ 레이저, TEA CO₂ 레이저, 색소 레이저, 루비 레이저, 아

르곤이온 레이저의 자체 개발 등이 성공적으로 수행되었다.

1970년대 말에는 원자력연구소의 대전 분소 성격이었던 핵연료공단으로 광학연구실을 강제로 이동시키는 조치가 취해졌다. 세 분의 선임연구원 중 두 분은 항의하다가 자진 퇴직하셨고 한 분은 광학이 아닌 다른 분야로 부서를 옮겨 서울에 남으셨다. 나를 포함한 연구원들은 대전의 핵연료공단으로 이사하게 되었는데 트럭에 실어 옮기는 과정에서 레이저를 포함한 정밀광학기기들이 손상되기도 했었지만, 연구원들은 꼴을 빼앗긴 별들이 다시 열심히 일하듯이 장비를 다시 설치하고 연구를 계속해 나아갔다. 그러나 2년 뒤에는 광학연구실을 다시 서울로 이사시켜 다른 연구실에 합병하는 조치가 시행되었고 1981년에는 레이저 연구를 중단하라는 지시가 내려졌다. 합병한 연구실의 실장님에게 섭섭하기도 했고 연구소에도 불만이 커서 일할 의욕도 나지 않고 밥맛도 없는 시간이 한동안 계속되었다. 그러다가 어느 날, “인정해주고 지원해줄 때에는 누구나 신나게 일할 수 있다. 인정받지 못하는 조건에서도 내가 할 일은 열심히 하자”고 생각을 정리하니 마음이 훨씬 편안해졌다. 해오던 일과는 거리가 있는 토카막 플라즈마 진단에 대한 연구를 1년 동안 열심히 수행했더니 실장님과의 관계도 좋아 졌고 새로운 일에도 재미를 느낄 수 있게 되었다. 1982년에는 표준연구소와 원자력연구소 두 출연기관 사이의 인력 전보 형식으로 나는 KRISS 광학연구실로 옮기게 되었다. 원자력연구소에서의 광학연구는 중단되고 광학팀은 해산되었으니 대단히 아쉬운 일이었고 국가적인 손실도 큰 조치였다고 생각된다. 실장이나 연구소 경영진이 광학팀을 적극적으로 지원하지 않은 점도 있기는 했지만 외부 요인이 더 컸다는 사실은 세월이 흐른 뒤에 알게 되었다. 박정희 대통령의 서거에 따른 정치적 불안정 시기에 핵무기와 관련된 가능성이 있는 연구들에 대한 미국의 압력이 거세었고 우리 정부가 제대로 대응할 수 없었기 때문에 일선의 연구원들에게 닥쳐온 시련이기도 했던 것이다.

4년간 중단되었던 원자력연구소의 광학연구는 대전으로 옮긴 원자력연구소의 소장으로서 1984년에 한필순 박사가 부임하면서 재탄생하게 된다. 김철중

KAIST, KAERI, KRISSE 초창기 광학연구의 체험적 이야기

박사가 전자광학연구실 실장으로, 이종민 박사님이 기초연구부 부장 겸 원자분광학연구실 실장으로 새로이 영입되어 핵연료 다발의 지지격자를 용접하기 위한 레이저장치, 핵연료 소결체의 외경 측정용 레이저장치 등을 개발했고 동위원소분리를 위한 레이저들도 개발되었으며 80년대 말에는 수은의 동위원소 분리 실증에도 성공하게 된다.

1980년대 이후에도 정밀분광학기술의 개발로 다양한 종류의 동위원소 분리에 성공하였으며 이에 필요한 고출력 색소 레이저, 색소 레이저를 펌핑하기 위한 고출력 급속증기 레이저, 다이오드 여기 고체 레이저 등이 개발되었으며 Nd:YAG 레이저, 아르곤 레이저, HF 레이저, 고출력 화학요오드레이저(COIL), 자유전자레이저도 개발되었다.

4. 국가측정표준 발전을 선도한 KRISSE의 광학연구

길이의 단위는 국제단위계에서 미터(m)이며 시간의 단위는 초(s)이다. 국제단위계에서는 7개 기본단위를 정의하고 있는데 미터와 초는 기본단위이고 기본단위들의 조합으로 수많은 유도단위들이 만들어진다. 국가측정표준대표기관인 한국표준과학연구원(KRISSE)은 우리나라에서 이루어지는 측정이 국제적으로 일치되는 값이 되도록 보장하기 위하여 표준원기와 측정기술을 개발하고 KRISSE의 측정치를 측정선진국들의 측정치와 상호 비교하며 국제적 동등성이 확인된 측정표준을 국내에 널리 보급시키기 위하여 교정, 시험 서비스를 제공하고 있다.

7개 기본단위는 m와 s를 포함하여 질량의 단위인 kg, 전류의 단위인 A, 온도의 단위인 K, 광도의 단위인 cd, 물질량의 단위인 mol로 구성된다. 7개 기본단위 중에서 길이, 시간, 광도의 단위가 광학기술에 바탕을 두고 구현되고 있으며 온도의 단위에서도 고온 영역에서는 광학기술이 중요하게 사용되고 있다. 또한 광학측정기술은 비접촉 측정, 정밀측정이 가능하기 때문에 KRISSE 연구실에서는 광학이 광범위하게 활용되고 있으며 광학분야 R&D가 활발하게 수행되고 있다.

1982년에 내가 원자력연구소에서 표준연구소로 전보된 것은 표준연구소의 광학연구실장을 맡고 있던 임동건 박사님이 고려대학교로 옮겨간 후 표준연의 박공식 소장님이 원연의 차종희 소장님에게 할애 요청을 했기 때문이었다. 나는 광학연구실에서 출발하여 광학분야 연구실들이 모여 있던 광기술부의 부장 보직 등을 맡으면서 2008년까지 KRISSE에서 근무하였다.

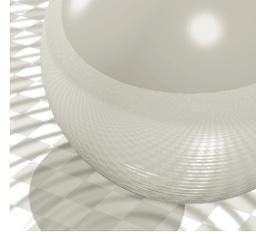
길이 표준은 파장의 변화가 아주 적도록 파장을 안정화시킨 레이저에 의해 구현되고 있으며 KRISSE에서는 요오드 원자의 흡수선에 파장을 안정화시킨 He-Ne 레이저를 개발하여 10^{-13} 수준의 안정도를 가지는 레이저를 개발하였고 게이지블록간섭계, 미소각도형성기, X-선 간섭계, 장거리측정표준, 광통신용 파장표준 등을 광기술을 활용하여 개발하였다.

시간주파수표준은 현재 가장 정밀한 측정이 이루어지는 분야이며 초의 정의가 세슘 133 원자의 바닥 상태에 있는 두 초미세 준위 사이의 전이에 의한 복사선에 기준을 두고 있기 때문에 분광학 기술이 필요하고 레이저 광을 이용한 원자 냉각, 원자포획 등의 기술이 필요하기 때문에 광학전문 지식이 요구되는 연구 분야이다. KRISSE에서는 광펄펄방식의 세슘원자시계를 개발하여 10^{-14} 수준의 정확도를 확보하였고 원자분수시계 개발연구도 수행하였다.

육안으로 느끼는 밝기를 말하는 광도와 물리적인 복사 세기를 말하는 복사도를 다루는 광도복사도 표준에서는 광원과 광검출기, 그리고 광을 흡수, 반사, 투과시키는 물질의 특성에 대한 측정을 다루게 된다.

KRISSE에서는 1980년대 초반과 중반에 표준광검출기 개발, 표준광원 개발 등을 통하여 표준을 확립하고 현대자동차가 처음으로 유럽 지역에 수출될 때 전조등과 후미등의 광특성과 색특성을 측정하여 유럽의 시험에 통과할 수 있게 기여하였다. 또한 수입되는 집어등의 유해 자외선 측정으로 불량제품의 수입을 막았고 가시광과 적외선 반사율이 조절되는 염색기술의 개발로 주야간위장복 국산화에 기여하였다.

2000년대에는 광섬유특성 측정표준 확립, LED 특성 측정표준 확립 등의 새로운 역량이 축적되었다. 특히 LED 광특성에 대한 국제비교를 주도하게 됨으로써 국제적으로 광도표준을 선도하는 연구실임을



인정받게 되었다.

광학적인 영상을 얻기 위해 사용되는 렌즈나 광학 거울의 초점길이, 수차특성 등의 측정과 분해능을 정량적으로 표시해 주는 OTF 측정장치를 개발하였고 굴절률 측정장치의 개발, 광학 간섭계 개발 등의 연구도 수행되었다.

약 력



이인원

1. 학 력

- 1978 ~ 1981 KAIST(이학박사, 물리학(광학))
- 1973 ~ 1975 KAIST(이학석사, 물리학(광학))
- 1969 ~ 1973 서울대학교(공학사, 원자핵공학)

2. 경 력

- 2014.9 ~ 2015.7 현재
쓰리엘광학시스템(주) 연구소장, 한국표준과학연구원 초빙연구원
- 2008.11 ~ 2014.8
광주과학기술원 물리 광학과과 교수
- 2008.11 ~ 2013.9
광주과학기술원 고등광기술연구소/ 소장
- 2006 ~ 2008 한국표준과학연구원 광학실, 정책실 / 연구위원
- 2006 ~ 2007 한국광학회 / 회장
- 2003 ~ 2006 한국표준과학연구원 / 선임연구부장
- 2000 ~ 2003 한국표준과학연구원 광기술표준부 / 부장
- 1999 ~ 2000 한국표준과학연구원 영상연구그룹 / 책임연구원
- 1998 ~ 1999 한국표준과학연구원 / 산업측정표준부장
- 1998 ~ 1998 과학기술정책관리연구소(STEPI) / 파견근무(전문위원)
- 1993 ~ 1997 한국표준과학연구원 양자연구부 / 부장
- 1983 ~ 1993 KAIST / 겸직교수
- 1991 ~ 1992 미국 RMI / 방문연구원
- 1983 ~ 1984 독일 PTB / 박사후 연수
- 1982 ~ 1993 한국표준과학연구원 광학연구실 / 실장
- 1975 ~ 1982 한국원자력연구소 핵융합연구실 / 선임연구원

3. 연구분야

- 레이저 개발 및 레이저 응용 계측기술
- 광원, 광검출기 특성평가 및 광분포측정기술
- 결상과학소자의 수차, MTF 특성평가기술
- 반사율, 투과율 및 색채측정기술

4. 학회활동

- 한국광학회 : 평의원(경력 : 사업이사, 광기술분과위원장, 용어심의위원장, 부회장, 회장)
- 한국물리학회 : 평의원(경력 : 광학 및 양자전자학분과위원장)
- 한국원자력학회 : 종신회원
- 국제광공학회(SPIE) : 정회원(경력 : Korea Chapter 사무국장)

5. 수상경력

- 최봉상(한국표준과학연구원, 2006. 10)
- 공로상(한국광학회, 2003. 2)
- 논문상(한국물리학회, 1990. 10)
- 첨단산업훈장(1987. 6)