

October 2019

K-LIGHT

코리아라이트

POLICY

한국광학회 창립 30주년을 맞이하여
정부 R&D 혁신에 “특별법” 제정 시급

LIGHT PULSE

신경망 기법을 홀로그래피
이미징에 적용하면?

TECHNOLOGY

3차원 영상 재현을 위한 홀로그램의
획득과 디스플레이

홀로그래피의 원리와 그 응용

홀로그램 생성 및 프린팅



Vol.2
No.3

제31회 한국광학회 정기총회 및 2020 동계학술발표회

OptoWin 2020 광산업전시회

일시 2020년 2월 19일(수)~21일(금)

장소 강원도 홍천, 비발디파크

논문접수 : 2019년 9월 30일(월) ~ 11월 22일(금)

사전등록 : 2019년 12월 2일(월) ~ 2020년 1월 17일(금)

전시 및 광고 신청 : 한국광학회 홈페이지 참조
<http://osk.or.kr>

주최 : 사단법인 한국광학회



Contents

October 2019

Vol. 2, No. 3

인사말

005 편집위원장의 편지

POLICY

006 한국광학회 창립 30주년을 맞이하여

010 정부 R&D 혁신에 “특별법” 제정 시급

LIGHT PULSE

012 신경망 기법을 홀로그래피 이미징에 적용하면?

NEWS CLICK

014 광융합산업, 위기에서 빛을 찾다

015 2019년 광융합 비즈니스페어 성황리에 폐막

016 도은 「진공증착용 코팅기법」 개발로 중국시장 공략

017 솔텍 「현장용착형 광커넥터」 광케이블 연결 10초만에...

NEWS BREAKS IN K-LIGHT

018 초고속 홀로그램 현미경 개발하여 신경망 꿰뚫어보다

019 약물 한 방울까지 정확하게... 과다투여 막는 모니터링 기술

020 체내에서 녹는 생분해성 항암치료 마이크로로봇 개발

021 초고속 전자현미경으로 1000조분의 1초 단위의 나노입자 움직임 찍는다

022 연속발전 레이저와 그래핀층의 상호작용을 이용한 고해상도 대기압 질량분석
이미징 신기술을 선보이다

023 희토류계 원소를 도입한 무연 페로브스카이트 무기 나노소재 개발

024 태양광 모듈 효율 향상을 위한 회절격자 집광필름 개발

025 CMOS 이미지 센서를 이용한 난수발생기

- K-LIGHT는 한국도서잡지윤리위원회의 실천요강을 준수합니다.
- 본지 게재기사 내용은 한국광학회 • 한국광산업진흥회의 공식 견해와 다를 수도 있습니다.
- 본지에 실린 글과 이미지는 K-LIGHT의 허락없이 전체 또는 일부를 무단으로 전재할 수 없습니다.

COVER STORY



2019 Photonics Convergence Industry Road Show 2019 **융합산업로드쇼**

2019 광주  산업 유망 기술 로드쇼 및 바이어 초청 수출 상담회
2019. 11. 27^수 ~ 28^목 (2일간) 김대중컨벤션센터

- 광산업 유망기술·제품 로드쇼
- 국내·외 유력바이어 초청 수출상담회
- 유관기관 설명회 및 기술교류회 개최





■ ■ ■ 참가신청

· 신청 기한 ~ 2019. 9. 27 (금)

· 참가 대상 광산업 및 광융합 기업

· 부 스 비

- 광주지역 : 무료

※ 광주지역에 본사·공장·지사가 소재한 광관련 기업 제품

※ 광관련 연구소·대학 및 광주 외 기업중 신기술을 개발하여 광주기업과 공동협력을 모색하는 기업

- 타지역 : 30만원(VAT포함)

· 신청 방법

- 참가 신청서 작성 후 이메일(swpark@kapid.org) 또는 FAX(062-605-9650)로 회신

- 신청서 다운로드

※ 한국광산업진흥회 홈페이지 : www.kapid.org

※ 국제광산업전시회 홈페이지 : www.photonickorea.org

· 참가 혜택

- 비즈니스 프라자

· 3m X 2.5m, 전시대 2(1m X 0.5m X 0.75m), 전기 220V 2구

- 해외바이어 초청 지원

· 항공료 : 계약 체결 시 80%(최대200만원), 협약 체결 시 70%, 현장방문 50%, 초청인원 최대 3명(동일기업 2명)

· 숙박 : 2박 100% (한국광산업진흥회 지정 호텔 또는 광주지역 숙박시설)

- 광산업 관련 해외 빅 바이어 매칭 및 통역 지원

■ ■ ■ 2017년 개최결과

[참가업체 분포 현황]



[초청 해외바이어 25개국 150명]



- 026 전광 능동형 고효율 광 소용돌이 생성 방법 발견
- 027 극초단 펄스 레이저 발생을 위한 새로운 2차원 물질 포화흡수체의 개발

TECHNOLOGY

- 028 3차원 영상 재현을 위한 홀로그램의 획득과 디스플레이
- 037 홀로그래피의 원리와 그 응용
- 045 홀로그램 생성 및 프린팅

MISCELLANY

- 쉬어가는 코너
- 054 가을은 거인의 발걸음처럼_주병권
- 055 아버지의 품격(feat. my son) _김재정
- 연구실 소개
- 060 한국표준과학연구원 우주광학팀 : 대형반사경 개발
- 기관 소식
- 062 한국광학회
- 070 한국광산업진흥회

구독 및 광고 안내

편집위원장
이관일 박사 한국과학기술연구원

편집부위원장
송원만 부장 한국광산업진흥회
이동훈 박사 한국표준과학연구원

책임편집위원
엄태중 박사 고등광기술연구소
유난이 박사 고등광기술연구소

편집위원
송형준 팀장 한국광산업진흥회
양은혁 대리 한국광산업진흥회
이광조 교수 경희대학교
정일석 교수 울산과학기술원
한준구 교수 경북대학교

2019년 10월호 Vol 2. No.3 | 판형 205·267mm
발행일 2019년 10월 21일 | 등록일 2018년 01월 15일
편집인 이관일
발행인 이병호·이재형
디자인 나무한그루 | 인쇄처 하정문화사
발행처 한국광학회, 한국광산업진흥회
주소 서울 마포구 독막로 320, 태영대시앙 1610호
전화 02-3452-6560 | 팩스 02-3452-6563

울긋불긋한 단풍과 노란 은행잎이 보이는 가을의 중턱입니다. <K-Light>의 편집을 맡고서 3번째 발행이라 이제 익숙할 법도 한데, 여전히 시작할 때는 어떤 내용으로 채워야 독자들에게 조금이라도 더 관심 받을지 고민하게 됩니다. 물론 사전에 여러 편집위원 분들과 논의를 해서 어느 정도 구조가 짜여 있지만, 제때 발행되기 위해서는 원고 독촉, 표지 디자인, 오타자 수정 등 신경 써야 할 일이 꽤 많습니다. 집을 짓는 것처럼 잡지 한 권을 완성하기 위해서는, 설계를 바탕으로 기초를 완성하고, 기둥과 벽을 세우고 서까래를 얹고 지붕을 덮은 후, 내부를 예쁘게 칠하고 꾸미는 모든 과정을 편집위원들과 디자이너, 인쇄 담당자와 함께 고민하고 최선의 결과물을 내놓기 위해 노력해야 합니다. 이 지면을 빌려 무보수로 <K-Light> 발행을 위해 소중한 시간을 할애해 주신 모든 편집위원들의 노고에 감사드립니다.

이번 호 특집에서는 홀로그래프 기술 및 응용에 대해 다루고 있습니다. 필자가 홀로그래프를 처음 접한 건 대학교 3학년 일반물리 실험시간이었습니다. 깜깜한 암실에서 레이저 빛을 2개로 나누어, 물체에 비추어 반사되어 나오는 물체파(Objective wave)와 분리했던 다른 광(참조파, Reference wave)을 합쳐 간섭무늬를 필름에 기록하고, 감광 및 인화를 거친 후 만들어진 간섭무늬 필름에 참조파를 비추어 3차원 홀로그래프를 재생했던 기억이 아직도 생생합니다. 당시 그 실험 후 영화 '스타워즈'의 레아공주 홀로그래프를 떠올리며, 실생활에서 언제쯤 실현 가능할까 생각했는데, 이번 호의 관련 글을 읽어보면 그런 모습이 더 이상 상상 속만의 일은 아니라는 걸 실감하게 됩니다. 광학계의 각 분야에서 애쓰고 있는 우리들의 땀과 노력이 그런 세상을 가능하게 할 것이므로, 올 가을에는 다들 자부심을 가져보면 좋겠습니다.

참 좋은 계절, 가을이 한창입니다. 가끔은 예쁜 단풍을 감상하는 여유도 갖길 바라며 글을 마칩니다.

한국광학회 창립 30주년을 맞이하여

한동대학교 홍 경 희

세월이 유수와 같다는 옛말이 새롭게 느껴진다. 한국광학회 창립 된 지 이제 만 30년이 되었다. 한국광학회 25년사에 근세부터 한국에 광학이 어떻게 발전되어 왔는가를 스승님들과 선배님들이 애써 자료를 모아 우리에게 잘 알려주셨다. 본인은 한국광학회가 어떻게 탄생되었고 어떻게 발전해 왔는가를 아는 대로 적어보려고 한다. 아울러 앞으로 어떻게 발전하면 좋을지 생각해 본대로 이야기를 펴 가려 한다.

국내 광학연구의 시작

1970년 초기에 대학에서 광학연구는 주로 물리학과 중심으로 미약하게 이루어지고 있었고 국가 연구소라고는 원자력연구소, 한국과학기술연구소(KIST) 그리고 국방과학기술연구소(ADD) 정도가 있었다. 당시 이상수 박사가 영국 런던대학 Imperial College에서 박사학위를 마치고 이화여대 물리학과 교수로 근무하다가 원자력연구소로 자리를 옮겨 광학실장으로서 레이저 연구를 중심으로 연구를 시작하였고 후에 전자광학, 원자분광학 연구실이 개설되어 광학연구를 확대해 나갔다. 한국과학기술 연구소에서도 응용광학연구실을 중심으로 광섬유 개발 및 다양한 연구가 있었고, 국방과학기술연구소에서는 레이저 무기 및 장비개발을 도모하였다.

1973년 한국과학원이 설립되면서 물리학과에서 광학 분야에 석박사 과정 교육과 연구가 시작되면서 다른 대학에 많은 영향을 끼치게 되었다. 당시 이상수 교수는 1년에 5명씩 배출하여 정년퇴임까지 약 10년 동안 50여 명을 배출하면 학계와 산업계에 기반을 확립하는데 필요한 인력양성이 가능할 것이라고 예상하며 출발했는데, 후에 그 목표를 초과 달성하게 되어 거의 200명을 배출하는 성과를 내었다. 한편 한국과학기술연구소, 국방과학기술연구소 그리고 선두주자인 원자력연구소 내에 광학 또는 레이저 관련 전문 연구실이 설립되고 대학에서도 한국과학원에 도전을 받아 광학-레이저 분야의 기초 및 연구개

발에 활력이 불어 나갔다.

1974년에는 프랑스 광과학자 일행(10명)이 일본에서 개최되었던 ICO(International Conference for Optics) 총회를 마치고, 당시 ICO 사무총장인 Vienot 박사와 함께 한국을 방문하여 한국과학원에서 심포지움을 열면서 한국광학은 국제 활동의 문을 열게 되었다. 그 때 Francon의 강의, Lowental의 연구발표 등을 들을 수 있었고, 양국 광 과학자의 교류를 협의하였다. 참고로 Vienot 박사는 프랑스 광학계의 대부라고 할 수 있을 정도이며 이상수 교수와 영국 Imperial College 동창생이다. 이를 계기로 우리는 ICO 회원 가입을 사무총장인 Vienot에 정식으로 요청하고 이상수 교수를 한국 대표로 추대하였다. 이것이 받아들여져서 1975년 ICO 총회에 상정되었으며, 1975년 8월 25일 프라하에서 개최되었던 제10차 총회에서 한국의 가입이 만장일치로 승인이 되었다. 그 후 1977년 1월에 재미 한인 레이저 과학자를 초청하여 국내 광학자들과 함께 Seoul Laser Symposium을 국방과학기술연구소와 한국과학원에서 개최하였다. 재미 광학자들의 연구발표와 레이저 연구개발에 대한 새로운 정보교환이 이루어지고 우리나라 광학 발전에 좋은 도움이 되었다. 1978년 이후부터는 한국과학원에서 연구한 결과가 해외 학술지(SCI)에 발표되기 시작하였다.

한국물리학회 내 광학 및 양자전자학 분과 출범

우리나라에서 광학 및 레이저(양자전자학) 분야의 연구가 점차 늘어나면서 한국물리학회의 대부분의 광학자들이 참가하고 있는 응용물리분과는 회원 수가 크게 늘어나고 발표하는 논문 편수도 많이 늘어나서 봄, 가을 총회에서 폐회시간이 넘어서까지 논문 발표가 끝나지 않는 형편에 이르게 되었다. 응용물리분과에서 발표하는 논문 중에 광학 및 레이저 관련 논문이 절반 이상을 넘나드는 경우가 있어서, 결국에는 1981년 한국물리학회 이사회에서 응용물리분과로부터 광

학 및 양자전자학 분과를 분리하여 신설하는 것을 결정하였고 1982년 춘계 학술발표회에서 독립된 분과로 활동하게 되었다. 초대 분과 위원장으로 이상수 교수, 간사는 장준성 교수가 맡게 되었다. 1981년 가을에 스탠포드 대학의 A.E. Siegman 교수를 제3회 이휘소 기념 물리학강좌에 초청하여 성황을 이루었고 강의록을 책자로 발간하였다. 국내 레이저 연구자와 대학생 및 대학원생들이 많이 참가하였고, 그 후에도 Siegman 박사가 한국광학계의 국제적 교류에도 적극 협력하였다. 1983년 여름에는 대우중공업 및 금성사와 레이저 제품 대리점인 우양구역 등 기업체와 한국과학재단, 산학협동재단 등의 지원을 받아 “극동 레이저 여름학교(Far Eastern Laser School-Seoul)”를 개최하여 중국, 태국 등 9개 외국에서 20여 명, 국내 대학, 연구소, 산업체에서 학생 및 연구원 40여 명이 정식으로 등록하였다. 장소는 한국과학원의 레이저 관련 연구실을 이용하였다. 1987년 5월에는 일본 오사카대학의 Yamanaka 교수를 초청하여 일본의 Laser Fusion 연구 현황을 듣게 되어 우리나라 고출력, 고에너지 레이저 연구에 추진을 독려하게 되었다. 이와 같이, 광학 및 레이저 분야의 연구와 산업이 활성화되며 국제 학술 교류도 확대되어 갔다. 본인은 1982년 여름에 한국과학재단 지원으로 미국 아리조나대학교 Optical Science Center로 해외연수를 가게 되었다. 그해 여름 미국 광학회 여름 총회 및 학술발표회가 바로 그 대학교가 소재하는 Arizona 주 Tucson에서 개최되었다. 월요일부터 목요일까지 학술발표회가 진행되었고 마지막 금요일에는 University of Arizona의 Optical Science Center Lab. tour가 있었다. 그리고 저녁에는 informal group meeting이 학술발표회장에서 개최되었다. 본인은 영어 실력이 짧은 관계로 그 meeting에는 참석하지 않았다. 당시에 Arizona 대학교에는 권오석 박사학위를 마치고 록히드사에 취직하여 떠났고, 김철중이 박사학위를 마치고 post doctor로 연구 중이었으며 이성묵이 박사 과정에 있었다. 후에 남기봉이 물리학과에 대학원생으로 오게 되었다. 권오석 박사가 informal group meeting이 산학 간에 정보를 교환하는 좋은 모임이라고 말해 참석하였으면 좋았을 것이라고 말해 주었다. 일 년 동안 연수하는 가운데 미국의 학술 연구 및 교류가 활발하고 산학협동이 활발한 것에 감동되었다. 그리고 방학 동안에 교수들이 미국 내에는 물론 세계 각지에 다니면서 연구 과제를 받아 오는 것을 알게 되어 도전을 받았다. 나도 한국에 돌아가면 산업체를 방문하며 연구과제도 창출하고 보다 활발하게

연구해야겠다고 굳은 마음을 가지게 되었다.

다음 해 귀국하여 그대로 해보려고 하였지만, 기동력도 약하고 당시만 해도 산학협동이 매우 부진한 상태였다. 다행히 그해 본인이 몸담고 있던 육군사관학교 물리학과에서 학회 또는 세미나 유치할 수 있는 예산을 확보하여 본인이 활용할 수 있었다. 마침 전해 겨울에 이상수 교수가 광산업체 CEO를 대상으로 세미나를 개최하며, 산업체 및 연구소의 주소를 확보하고 있었으며, 이것을 이용하여 세미나에 광학관련 연구원들을 초대할 수 있었다. 발표자로서는 광학 박막에 한성홍 교수, 광학 계통 성능평가에 김철중 박사 그리고 렌즈설계는 본인이 담당하였다. 아마도 그 시기가 1983년 늦은 가을이나 초겨울이었으며 산업체에 필요한 기술적 내용을 발표 및 토론을 가지며, workshop 형식으로 육군사관학교에서 개최하게 되었다. 약 70여 명이 참석하여 산학협동의 가능성을 확인하게 되었다. 이것이 한국물리학회 양자전자학 분과에서 개최하는 제1회 여름 workshop이 되었다. 광학회 25년사에는 제1회 workshop이 1984년에 시작된 것으로 기록되어 있으나 잘못된 것이다. 그 다음 해에는 주어진 예산도 없고 여의치 않아서 계속하지 못했다. 1985년 공홍진이 보다 적극적으로 프로그램도 만들고 장소도 휴양지인 강릉으로 하여 산업체들의 협찬을 받아 실시해보자는 제안을 하였다. 1985년 여름 강원대학교 강릉 캠퍼스에서 제2회 한국물리학회 양자전자학분과 여름 workshop을 개최하였다. 뜻밖에 호응이 좋아서 120여 명이 참석하였고 여러 기업들로부터 광고료 형식으로 지원을 받아 성황리에 마칠 수 있었다. workshop을 하면서 저녁 시간에 산학협동을 위해 상호 정보 교환 및 회원 간의 친목을 위해 informal group meeting 순서를 가졌으며 되도록 자유롭게 진행하였다. 이후로 여름 workshop은 매년 계속되었으며 informal group meeting도 한 동안 계속하였다. 이때부터 “광학소식”이라는 소식지를 년 2회씩 발간하여 회원 및 관련자들에게 분과소식과 광학관련 소식을 알리기 시작하였으며, 광학회가 발족 되어 1990년 6월에 마지막으로 폐간하였다.

한국광학회 창립

이 시기에 광전자공학분야의 학자들 사이에 협력이 요구되는 시대적 배경에 따라 한국물리학회, 대한전자공학회, 대한전기공학회 등이 공동으로 학술발표회를 개최하기로 합의하여 1986년 2월에 한국

물리학회 양자전자학분과 주관, 대한전기학회 파동 및 양자전자연구회 그리고 대한 전자공학회 광파 및 양자전자 연구회, 마이크로파 및 전파 전파연구회의 후원으로 제1회 파동 및 레이저 학술발표회를 개최하게 되었다. 이후로 계속하여 여름에는 한국물리학회 양자전자학 여름 workshop, 겨울에는 3개 학회가 돌아가며 주관하여 파동 및 레이저 학술발표회를 개최하게 되었다.

학술발표회가 점점 발전하여 발표 논문 수도 많아지고 참석인원도 증가하여 1989년 2월 겨울 파동 및 레이저 학술발표회가 끝난 후 간담회에서 한국광학회가 발족할 필요성이 다음과 같이 제기되었다. (1) ICO 한국위원회의 설립을 파동 및 레이저 학술발표회를 주관하는 회원들이 뜻을 모아 추진하기로하고, 한국 위원장에는 이상수 교수를 선출하였으며, (2) 광학 및 레이저 분야의 국내 인력이 상당수에 도달하였으므로 학문의 특수성에 비취 독자적인 학술활동을 할 수 있는 학회설립을 적극적으로 추진하자는 내용이었다. 그러나 광학 및 레이저 분야에 상당수가 물리학회 회원이었으므로 물리학회의 눈치를 보는 형편이었다. 드디어 1989년 8월에 한국해양대학교에서 개최된 제6회 한국물리학회 광학 및 양자전자학분과 workshop에 참가자 토론에서 폭탄선언이 나왔다. 광학 및 레이저 관련 분야 모두를 포괄하는 한국광학회를 설립하자는 것이다. 참가자 모두가 의견을 같이하였으며 일부는 그렇더라도 한국물리학회에 참여는 지속되어야 한다고 조심스러운 발언을 하였다. 지금도 물리학회 내에 광학 관련 분과는 존속되고 있으며 활동도 원만하게 이루어지고 있다.

1989년 9월 한국과학원에서 학회 발족을 위한 모임이 있었다. 한국물리학회, 대한 전기학회 그리고 대한 전자공학회 등에서 위원이 나오고 창립 준비원장에 이상수 교수, 위원으로 김웅, 이주희, 장준성, 박대윤 등으로 정하였고, 학회정관 기초위원을 두기로 하여 이에 홍경희, 이재형, 신상영, 공홍진을 선임하였다. 1989년 10월 10일에 한국과학원에서 준비위원회 최종회의를 개최하여 가칭 한국광학회 정관 안을 확정하고 학회창립 발기인 대표로 이상수, 김웅, 이주희 등이 맡고 창립취지문은 김웅 교수가 기초하기로 하였다. 드디어 1989년 10월 20일에 한국과학원 101호 강의실과 강당에서 창립총회를 개최하였다. 그 후 1990년 2월에서야 서울대학교에서 약 300명의 회원이 모여 제1회 한국광학회 정기총회 및 학술발표회를 가지게 되었다. 초대 회장으로 이상수 교수를 선출하였고 임기는 2년으로 정

하였다. 제2대는 이상수 교수가 연임하였고 3대 회장에 김웅, 제4대부터 임기를 1년으로 하고 이주희 교수를 선출하였다. 임기가 너무 짧다고 하여 ICO 회장단 운영을 참고로 하여, 차기 회장을 1년 전에 총회에서 미리 선출하여 1년 동안 회장을 보필하며 업무를 익히고 회장 역임 후 1년은 전임회장으로서 자문 및 차기 회장 선거위원장으로 역할을 한다고 내정하였다. 그 후에 다시 2년 임기를 암시한 적이 있으나 회원들 다수가 계속 1년으로 하는 것을 원하여 지금에 이르고 있다. 한국광학회의 정기총회 및 학술발표회는 겨울에, 임시총회 및 학술발표회는 여름에 실시하기로 하여 학회설립 전에 개최되었던 여름 workshop과 겨울 학술발표회를 정규 학회 학술발표회로 대체하였다.

한국광학회가 처음 발족할 때는 무일푼이었다. 당시 본인이 한국물리학회 양자전자학 분과 간사를 맡고 있었다. 분과위원장은 김웅 교수이었으며 대부분의 일을 간사에게 맡겨주어서 본인 소신대로 일을 처리한 편이다. 한국물리학회 광학 및 양자전자학 분과 workshop을 개최할 때마다 주로 경비를 광고 수입으로 충당하였으며, 다소 남은 것은 광학 소식 발간 및 기타 경비로 사용하였다. 본인이 간사 직을 인수 받았을 때는 잔액이 약 60만 원 정도이었다. 이 시기에는 광학 관련 중소기업이 활발한 편이었다. 특히 카메라 관련 및 광학 결상계통 산업이 활발하여, 대기업들도 손을 대었다. 여기저기 전화를 하거나 필요하면 사업체를 방문하여 광고를 유지해서 사업수입으로 하였으며, 경비는 절약하여 아껴 쓰고 일체 기타 경비 지출을 막아버렸다. 그리하여 약 700만 원 정도 잔액을 가지고 있었다. 한국광학회를 창립하기 위해서 최소한의 seed money가 필요하여 400만 원을 임차해 주었다. 사실상 그 임차는 받지 않았다. 창립총회를 열고 예산이 없어서 직원도 채용하지 못해 KIST 응용광학실 직원을 겸직으로 활용할 수밖에 없었고 학회 사무실도 없어서 KIST 응용광학실에서 학회 용무를 보는 사정이었다.

한국광학회의 성장

학회가 차츰 발전해 가고 회원 수도 많이 증가하여 분과를 설립하기로 하였다. 1992년 11월에 광자기술분과를 설립(초대 분과위원장 백운출 회원)하였고, 뒤이어 1983년 1월 광기술분과(초대 위원장 홍경희 회원)를, 2월에 광과학분과(초대 위원장 이종민 회원)를, 양자전자분과(초대 위원장 이재형 회원)를, 그리고 광정보처리분과(초대

위원장 신상영 회원을 설립하였다. 광기술분야에서는 한동안 분과 학술대회 기간 중 야간시간에 informal group meeting 순서를 가져 왔다. 후에 후배들이 그 중요성을 인식하지 못하고 폐하여서 본인이 계속 이어갈 것을 제안하였다. 1996년 3월에는 대구 경북지회를 발족(초대 지회장 오철환 회원)하였다. 이후로 계속 학회발전에 발맞추어 광자기술, 광기술, 광과학, 디지털홀로그래피, 바이오 포토닉스, 양자전자, 디스플레이, 양자과학 및 양자정보, 리소그래피 분과로 나누어지고 경부 지회는 계속 존속하고 있다.

회원이 숫자가 늘어나고 정부 보조 및 광고 수입으로 유지하던 중 사무원을 한 사람 두게 되었고 김웅 교수 친구의 호의로 오피스텔 하나를 무상 임차하여 학회를 어렵게 운영하였다. 그러면서 약 5년간 학회 사무실을 옮겨 다니던 중 한국과학기술회관이 신축되면서 학회전용 사무실로 입주하기로 결정하였다. 임대료가 7,200만 원이었고 우리 힘으로는 45% 밖에 감당이 안 되었다. 나머지는 1994년 8월 제21차 ICHSSP(International Congress on High Speed Photography)를 대전에서 유치하여 간접비와 기여금으로 45% 이상 충당하였다. 심지어 종신회원제도를 도입하였고 창립 위원으로 활동한 회원들이 종신회원이 되었으며 종신 회비로 20만 원씩 받아 학회를 운영비에 보태었다. 학회 유치 및 집행은 회원들이 무상으로 봉사하였다. 그리하여 1995년 7월에 과학기술회관 811호에 사단법인 한국광학회의 현판을 달게 되었다. 따라서 이즈음에는 사업 이사 활동이 중요하고 무겁게 되었다. 후원이 가능한 산업체들의 목록을 만들어 이사들이 분담하여 광고를 확보해야만 했다. 그 외에 한국과학재단, 학술진흥재단 등의 후원과 회비로 예산을 충당해 갔다. 이런 방법으로는 한계에 부딪힐 수밖에 없어서 더 큰 학술회의 즉 국제학술회의를 유치하여 대기업의 후원 기여금을 받아 기금을 조성하는 방향으로 지혜를 모았다. 특별히 학회의 재정 기반 확보와 안정화에 기여한 것은 한국광학회 주관으로 21st ICHSPP(1984.8), 2nd OECC(1997.7), 1st APLS(1998.4), OFS-13(1999.4), CLEO/PR'99(1999.8) 등의 국제회의와 협력 또는 공동주체로 개최된 "Korea-USA Work Shop in Optoelectronics(1998.9)" 등의 관련 국제학술대회로부터 간접비와 기여금으로 한국광학회의 기금을 조성하게 되었다. 어느 정도 재정이 안정되니 헌신적으로 국제학술회의에 무료 봉사하던 분위기가 서서히 사라지고, 언젠가는

event 회사에 업무를 의뢰하는 풍조가 생기기도 하였다. 이후에도 APOC(2006), CLEO-PR(2007), APBP(2009), APNFO(2009), APLS(2010), SPP(2011), OECC(2012), NBSIS(2013, 2015), CLEO-PR(2015) 등을 성공적으로 유치하여 기금을 적립할 수 있었고 어느 정도 재정이 안정되어갔다. 드디어 2010년 1월에 마포구 도화동에 30평의 오피스텔을 구입하여 독립된 사무실을 가지게 되었다. 그러나 기금을 제외하고는 재정 적자가 발생할 때가 종종 있었으니 젊은 세대들의 희생정신이 부족하고 광고 유치에도 그다지 힘쓰지 않았기 때문이었다. 회원들이 보다 더욱 헌신적인 봉사가 필요할 것이다. 회원도 처음 300명으로 출발하였으나 이제는 정회원만도 2500명이 넘고 학생회원 및 준회원 등 모두 합하면 7000명 이상이 되는 큰 학회로 비약적인 발전을 하여왔다. 앞에서도 언급하였지만, 초창기 가난한 시절 헌신적으로 학회를 섬겨왔던 선배님들의 뜻을 이어받아 근검절약하며 헌신적으로 섬겨서 더 훌륭한 학회로 계속 발전하기를 바란다.

한국광학회에 당부

이제 산업도 많이 발전하였고 학술연구수준도 상당히 높아졌다. 그럴수록 산학연 협동이 잘 이루어져야 할 것이다. 산업이 활발하게 발전해야 학술 연구에 투자할 수 있고, 학술연구가 활발하게 발전해야 산업도 국제 경쟁력이 강해지고 굳건한 기반을 갖추게 된다. 산업체 CEO들도 연구 투자에 인색하면 좋은 미래가 없다는 것을 인식하고, 학자들도 산업을 돕고 실용적인 학문에 힘써야 할 것이다. 그뿐만 아니라 지금은 융복합 시대이다. 학회도 다른 유사한 분야와 융복합체제로 뭉치게 되면 좋겠다. 예를 들면 조명공학회, 디스플레이학회 등 광학 분야와 관련된 학회를 통합 또는 협력하여 지금보다 더욱 폭넓은 학문의 발전과 융합이 이루어지면 좋겠다. 물론 OSA, SPIE, ICO 또는 일본 및 중국 광학회 등 국제간의 협력도 매우 중요하고 계속 유대를 강화하여 세계 제일의 선진 학회로 발전하여야 할 것이다. 그동안 열심히 연구하고 학회발전에 헌신한 여러 회원들께 감사하며 앞으로 무궁한 발전을 기원하면서 두서없는 글을 마치려 한다.

정부 R&D 혁신에 “특별법” 제정 시급



9월 23일 열린 “국가연구개발 혁신을 위한 특별법” 대토론회 © 김순강 / ScienceTimes

국회는 지난 2018년 12월 18일 이철희 의원을 포함한 11인 공동발의로 국가연구개발 혁신을 위한 특별법을 제안하였으며, 올해 9월 23일 국가연구개발 혁신을 위한 특별법 대토론회를 최기영 과기정통부 장관의 환영사와 함께 열었다.

2019년 R&D 예산은 20.5조 원으로, 올해 처음 국가 R&D 20조원 시대를 열었다. 이어 내년도 정부 R&D 예산안은 전년도 대비 17.3% 증가한 24.1조 원으로 편성됐다.

이는 일본의 수출 규제에 대한 대응 차원으로 소재·부품·장비 분야의

R&D 예산을 확대하여 돌파구를 찾겠다는 정부의 강한 의지가 담겨 있는 것이다.

이처럼 R&D 예산이 급격하게 증가함에 따라 국민들이 과학기술계에 거는 기대가 한층 더 높아졌다. 지금껏 R&D 투자 규모에 비해 성과가 미비하다는 급지 않은 시선을 받아온 과학기술계가 이를 떨쳐내기 위해서는 ‘국가연구개발 혁신을 위한 특별법’ 제정이 시급하다는 목소리가 높다. 국회에 제안된 특별법의 배경과 주요내용을 살펴보고자 한다.

제안 이유

각 중앙행정기관별로 국가연구개발사업이 지속적으로 확대되고 4차 산업혁명이 도래하는 등 국가연구개발사업 추진 체제의 혁신이 요구되는 시점임에도, 국가연구개발의 혁신의 방향성과 철학을 담고 있는 법률은 물론 정부가 추진하는 전체 국가연구개발사업에 관하여 종합적인 기준을 담고 있는 법률이 부재함.

따라서 현재 중앙행정기관별로 다르게 운용되고 있는 국가연구개발사업이 통합적·체계적으로 운영될 수 있게 하고, 국가연구개발사업을 추진하는 과정 전반의 비효율과 불필요한 부담을 제거함과 동시에 자율적이고 책임 있는 연구개발 환경을 조성하기 위하여 범부처 공통규범의 제정이 필요한 상황임.

이에 국가연구개발사업의 추진에 대한 범부처 공통규범으로서 국가연구개발사업의 혁신에 관한 내용을 포함한 「국가연구개발 혁신을 위한 특별법」을 제정하여 국가연구개발 체제의 근본적인 체질 개선이 이루어질 수 있도록 하려는 것임.

주요 내용

가. 국가연구개발사업과 관련하여 정부의 책무 및 연구개발기관·연구자의 역할을 규정함(안 제5조부터 제7조까지)

나. 중앙행정기관의 장이 국가연구개발사업을 추진하려는 경우에 수행하는 연구개발과제의 예고·공모·선정, 협약 체결 절차를 규정함(안 제9조부터 제11조까지).

다. 연구개발과제의 수행·관리·평가·변경 및 중단에 관한 내용을 규정함(안 제12조, 제14조 및 제15조).

라. 국가연구개발사업 연구개발비의 지급 및 사용 등에 관한 내용을 규정함(안 제13조).

마. 연구개발성과의 소유·관리 및 활용에 관한 내용을 규정함(안 제16조 및 제17조).

바. 연구개발성과의 실시 및 기술료의 징수·사용에 관한 내용을 규정함(안 제18조).

사. 중앙행정기관의 장으로 하여금 소관 국가연구개발사업의 효율적인 추진을 위하여 전문기관을 지정하고 국가연구개발사업의 추진 등에 관한 업무를 대행하도록 함(안 제22조).

아. 대통령령으로 정하는 기준에 해당하는 연구기관은 해당 연구기관에 소속된 연구자의 원활한 연구개발과제 수행을 위하여 연구지

원을 전담하는 인력과 조직을 포함한 연구지원 체계를 갖추도록 함(안 제24조).

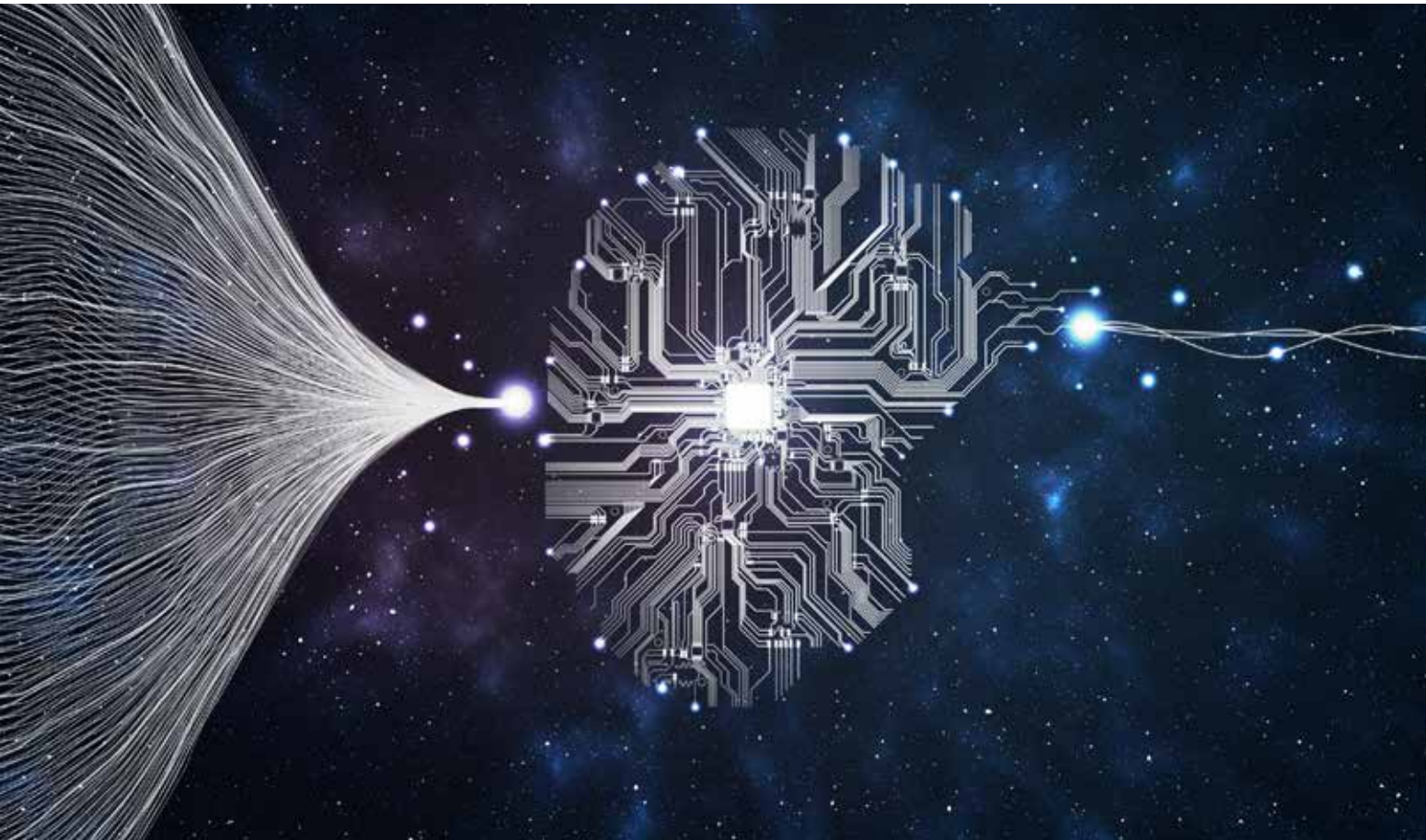
자. 국가연구개발사업의 추진에 필요한 행정제도의 운영·개선 및 개선의 체계화에 관한 내용을 규정함(안 제27조부터 제29조까지).

차. 과학기술정보통신부장관은 필요하다고 인정하는 경우 국가과학기술자문회의의 심의를 거쳐 전문기관, 연구기관 등이 운영하는 국가연구개발사업 및 연구개발과제와 관련된 제도개선을 권고할 수 있음(안 제30조).

카. 국가연구개발사업 관련 부정행위의 금지 및 부정행위 등에 대한 제재조치의 내용·절차를 규정함(안 제31조부터 제34조까지).

검토 의견

국가 R&D 예산이 증가되고 국민들의 기대치가 갈수록 커지는 상황에서 특정한 것들을 규약으로 정해서 지키게 하는 법률이 필요해 보인다. 하지만 법률을 제정하고 이에 따라서 관리 감독하는 것보다 우선되어야 할 것이 과학기술인들의 엄격한 연구윤리와 자기성찰이다. 시대의 상황에 따라서 연구윤리의 잣대가 많이 달라지고 있음을 현장에 있는 연구자들은 많이 체감하고 있을 것이다. 무엇보다 과학과 기술의 발전에 힘입어 성장하고 있는 우리나라에서 연구자들에게 요구되고 있는 도덕성과 윤리의식의 수준은 과거와 비교할 수 없을 만큼 높아지고 뚜렷해졌다. 빠르게 변화된 요즘의 연구 환경에서, 요구되는 수준까지 순응하지 못한 일부 연구자들에게 때로는 의도치 않는 과거의 일들이 파헤쳐져서 개인과 기관 또한 국민들에게 상처를 입히는 험한 보도들도 종종 있다. 일률적인 잣대로 법과 원칙에 따라서 해결해야 할 문제도 있지만, 과거 우리들이 처한 연구 환경을 고려할 때 원인과 결과를 잘 파악하여 선의의 연구자들을 지켜주는 노력도 정부의 관계부처에서는 법의 실행 못지않게 중요하고 절실히 필요하다고 본다. 연구도 개발도 모두 사람이 하는 일이다. 무엇보다 사람을 중요시 여기고 과학기술자들을 귀하게 여기는 나라가 부강한 국가가 될 수 있을 것이라 본다.



신경망 기법을 홀로그래피 이미징에 적용하면?

컴퓨터를 사용하여 미시세계를 이미징하는 기법들이 심층 신경망 기법(deep neural network)과 만나,
새로운 가능성의 문이 열리고 있다.

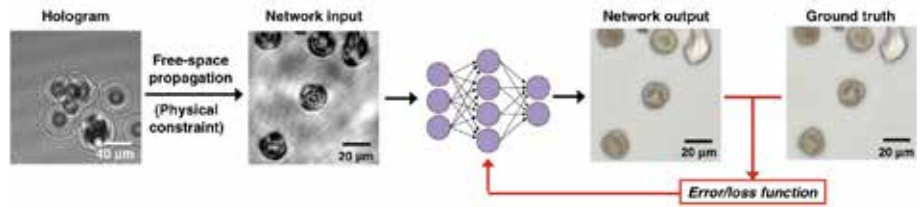


그림 a.

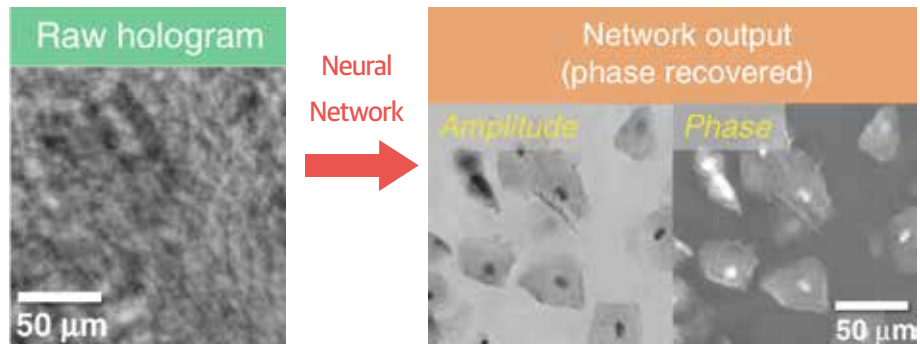


그림 b

컴퓨터를 사용한 현미경 이미징 기법 중 하나인 디지털 홀로그래피 현미경 (digital holographic microscopy)은, 관찰하려고 하는 샘플에서 산란된 빛과, reference 빛과의 간섭으로부터 생기는 홀로그램을 측정/분석함을 통해 샘플에 대한 3차원 정보를 얻는다. 단 한번의 홀로그램 데이터 처리를 통해, 적은 광량에서도 샘플의 label-free imaging을 할 수 있고, 살아있는 샘플을 이미징 할 수 있는 등 독특한 장점을 갖고 있다. 종래에는, 이미지의 질을 올리거나 위상(phase) 정보를 복원하기 위해서는, 복잡하고 alignment에 예민한 setup을 사용하여 여러 번 측정해야 했다. 이런 과정 후에도 coherence 관련된 speckle 잡음 등이 발생하기도 한다. 이 디지털 홀로그래피 기법에, 요즘 여러 분야에 적용되고 있는 심층 합성곱 신경망기법 (deep convolutional neural network; CNN)이 적용되어, 디지털 이미징 기법의 패러다임을 바꾸고 있다.

그림 a에서와 같이, 이미 구조가 알려진 샘플의 홀로그램을 신경망(CNN)에 입력으로 주고, 신경망의 이미지 결과물(network output)이 이미 알려진 고품질의 이미지(ground truth)에 접근해 가도록 신경망을 학습시킨다. 이런 학습 후에는, 임의의 홀로그램 입력으로부터 신경망을 통해 고품질의 이미지 결과물을 생성할 수 있게 된다. 그림 b는, HPV 유발 여성경부암 진단에 사용되는 자궁경부세포진 검사 (pap smear)의 이미지 향상을 보여준다.

자세한 내용은 Light: Science and Applications (2019)8:85에 게재되어 있음.

光융합산업, 위기에서 빛을 찾다

조 용 진

한국광산업진흥회 상근부회장



오늘날 혁신을 이끄는 기업인 애플, 구글, 네이버는 공통점이 있다. 모두가 위기를 말하던 시대에 도약했다는 점이다. IBM 하청업체였던 애플은 1970년대 전 세계를 몰아친 '오일쇼크' 이후 성장했고, 구글은 '닷컴버블' 시기 최악의 비즈니스 모델이라는 평가 속에서 탄생했다. 네이버는 우리나라가 IMF 외환위기를 겪으며 대기업이 줄줄이 무너지던 때 도전을 시작했다.

광산업은 지난 2000년 외환위기로 우리나라가 IMF(국제통화기금)의 경제위기속에서 어려움을 겪고 있을 때 세상에 나왔다. 박광태 전 광주시장이 국회 산자위원장 시절 광주 지역특화산업으로 집중육성하기 시작하여 2000년부터 2012년까지 "광산업 육성 3단계" 전략을 수립하여 38개 업체가 약 1천130억원의 매출로 시작했다. 2013년 광주에서 380여곳의 광산업 업체가 육성되었고 종업원 8,600여명에 연간 2조7천억원의 매출을 올리기도 했다.

하지만 최근 선진국과의 기술격차와 중국의 저가공세 사이에서 기술 및 가격 경쟁력 약화로 성장이 둔화되고 있는 상황이다. 이러한 상시(常時)위기의 시대에 접어들어 지금 더욱 주목받는 개념이 있다. 바로 회복력(Resilience)이다. 과학기술정책연구원에 따르면 회복력은 'Bounce back(제자리로 돌아옴)'을 넘어 'Bounce Forward(다른 시스템으로의 이행)'를 포괄하는 개념이다.

정부와 산업계도 광산업 생태계가 처한 상시적인 위기를 인지하고 더 나은 시스템을 향한 이정표를 마련했다. 지난해 '광융합기술지원법'을 제정하는데 이어 산업통상자원부에서는 '광융합기술종합발전계획' 청사진을 마련 중에 있다.

이는 지역전략산업으로서 태생적 한계를 극복하고 국가전략산업으로 도약할 계기가 마련됐다는 점에서 의미가 크다. 이러한 기회를 살

려 회복력을 실현하기 위해서는 광융합산업의 현장에서 발로 뛸 전담기구의 역할이 막중하다. 컨트롤타워로서 △광융합산업계의 기술개발 촉진 및 국제협력 △광융합기술 관련 정보의 관리 및 보급 △전문인력양성 △해외시장 진출 판로 다변화 등 전폭적인 시스템 전환을 위해서는 다양한 이해관계자들의 합의와 동시적 실천을 이끌어야 하기 때문이다.

한국광산업진흥회는 정부의 '광융합기술 지원법' 시행에 따라 전담기관 지정에 대비해 철저한 준비를 하고 있다. 광융합산업 육성방향에 대한 산학연 전문가들의 의견수렴을 위한 △광융합기술 정책협의회 및 연구협의회 구성과 △광융합산업 실태조사를 반영한 광융합기술 종합발전계획 수립 △광융합산업 육성 컨트롤타워 역할을 수행할 광융합종합지원센터 구축 계획 수립 등을 하나하나 추진하고 있다.

또한 2001년부터 전시회 및 수출상담회를 지속적으로 개최해 기업체의 해외시장 진출 지원 역량을 꾸준히 쌓아오고 있다. 연 평균 400여건, 2000억원의 계약지원 성과는 진흥회가 직영체제로 운영하여 보유한 구매력 높은 해외 바이어 DB를 활용한 결실이다.

더불어 중소기업은 기본적으로 자원이거나 인력이 부족해서 규모의 경제 이점을 누릴 수 없다는 점을 고려해 광주지역을 중심으로 광융합 협동조합 설립을 지원하고 있다. 개별 기업 단위의 경쟁력을 높이는 것도 중요하지만 현재의 위기를 극복하고 장기적인 산업 경쟁력을 확보하기 위해서는 협동을 통한 생산성 향상과 제품 개발 역량 제고를 지원하는 더 나은 시스템으로 이행하는 것이 필수적이라는 판단에서다.

위기와 혁신기업의 탄생은 우연이 아니다. 거센 위기가 몰아치는 만큼 이를 극복하기 위한 비상 대책을 세워 돌파구를 열어나가야 한다. 광융합기술지원법 시행 1주년을 맞은 지금, 광산업이 광융합산업으로서 재도약하는 기로에 서 있다. 한국광산업진흥회가 컨트롤타워의 역할을 통해 광융합산업발전과 성장을 주도하여 나갈 것을 기대한다.

2019년 광융합 비즈니스페어 성황리에 폐막

- 국내 최대 광융합 신기술·신제품 전시...수출계약 12,900만달러 성사
- 해외기관 및 바이어와의 네트워크 구축...협력방안 모색
- 2019년 11월 27일부터 28일, 광융합산업로드쇼 개최(광주김대중컨벤션센터)
- 2020년 광융합기업 '글로벌시장진출지원계획' 수립
- 2020년 광융합 비즈니스페어 8월 26일부터 28일까지 3일간 개최



‘2019 국제광융합비즈니스페어’가 수출계약 12,900만달러의 성과를 거두며, 국제 광융합 전문 산업전시회로 발돋움 했다는 평가 속에 지난 8월 28일 성황리에 폐막했다.

8월 26일부터 28일까지 3일간 서울 코엑스에서 열린 이번 전시회에는 미주, 유럽, 아시아, 중동 등 23개국 232명이 참가하여, 400여건의 상담을 통해 2,977억원의 수출상담이 이뤄졌으며 이 가운데 금호전기, 에이팩, ACT, 다운싸엔티에서는 1,568억원의 계약을 체결했다.

또한 이번 전시회에서는 베트남 에너지효율협회(VECEA) 및 태국 디지털경제진흥원(DEPA)과의 MOU 체결과 2019 국제광융합산업 발전포럼 및 세미나·설명회 등을 개최, 독일, 인도, 미국, 동남아 등의 시장·기술동향 및 해외시장 진출전략을 제공함으로써 우리나라 기업의 우수한 제품이 해외 시장창출로 이어질 수 있도록 했다는 평가를 받고 있다.

한국광산업진흥회 조용진 상근부회장은 “서울 코엑스에서 개최된 2019국제광융합 비즈니스페어를 통해 전시회의 성장 가능성을 확인할 수 있었다”며 “전세계 해외기관 및 바이어와의

네트워크 구축 확대 등 전시회의 규모와 내실을 더욱 충실하게 발전시켜 국제광융합 비즈니스페어를 세계적 전시회가 될 수 있도록 최선을 다하겠다”고 밝혔다.

‘2020 국제광융합비즈니스페어’는 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 클라우드, 인공지능(AI), 로봇의 흐름 등 4차 산업혁명에 대응할 수 있는 광융합 제품에 초점을 맞춘 계획이다. 내년 전시회는 8월 26일부터 28일까지 서울 코엑스 전시장 D홀에서 개최된다.

또한 ‘8월 국제광융합비즈니스페어’의 성과를 이어가기 위해 11월 27일부터 28일까지 이틀간 광주김대중컨벤션센터에 ‘2019 광융합산업로드쇼’를 개최한다.

산업통상자원부 후원아래 광주광역시 주최, 한국광산업진흥회 주관으로 광주 광융합 관련 100여개 기업 참가하여 150개 버스 규모로 개최되며, 25개국 150여 명의 해외 바이어들을 초청하여 국내 기업과의 수출상담을 지원한다. 동시에 일자리홍보관 운영, OLED 선진화 포럼, 광융합분야 신기술 정보교류회 등의 부대행사를 통해 산업 활성화를 위한 기회도 제공한다.

한편 한국광산업진흥회는 국내 광융합산업 기업의 해외시장 진출 및 판로개척 지원을 위해 19년 하반기 기업수요조사를 통해 아래와 같이 '2020년 글로벌 시장진출 지원계획'을 수립하고, 지원사업을 추진한다. 해당 지원사업에 대한 참여기업 모집공고는 한국광산업진흥회 홈페이지(www.kapid.org 공지사항 참조)를 통해 진행하며, 지원신청서를 접수하여, 지원기업을 선정할 계획이다.

	1월	2월	3월			4월
행사명	중남미 스마트 조명 프로젝트 발굴단	미국 광학전시회 (Photonics West)	독일 건축 조명 박람회 (L&B)	미국 광통신 전시회 (OFC)	일본 융합조명 시장조사단 (Next stage 전시회 연계)	동남아 스마트시티 프로젝트 발굴단
기간	1. 15 ~ 1. 23	2. 4 ~ 2. 6	3. 8 ~ 3. 13	3. 10 ~ 3. 12	3. 2 ~ 3. 5	4. 19 ~ 4. 25

	6월		9월		11월
행사명	싱가포르 광통신 전시회 (CommnicAsia)	CIS지역 LED 무역촉진단	베트남,태국 광융합제품보급사업 성과확산로드쇼 + 인도네시아 광융합수출상담회	유럽 광통신 전시회 (ECOC)	유럽 라이더 융합산업 시장조사단
기간	6. 9 ~ 6. 11	6. 14 ~ 6. 20	9. 9 ~ 9. 18(10일)	9. 21 ~ 23	11. 29 ~ 12. 5

도은「진공증착용 코팅기법」 개발로 중국시장 공략

- 도은「진공증착용 코팅기법」개발로 박막표면 실금·주름 생성 차단
- 열에 강하고 오랜기간 품질 유지
- 중국 법인 설립을 통해 글로벌 마케팅 시동



국내 중소기업 (주)도은 (대표 신도현)은 불량을 없애고 강한 내구성을 갖춘 광학용 하드코팅액 SV-55를 개발하였다. 저굴절 소재로 SiO₂(이산화규소/실리카)가 AR/IR의 코팅시 보편적으로 사용되고 있으나, 갈수록 슬림화와 고화질을 동시에 추구하는 추세이다. 이 제품은 높은 응력과 과도한 스트레스로 박막 표면에 미세한 실금(크랙)이나 찌꺼기(주름) 등과 같은 불량현상이 생기는 코팅제의 주원료인 이산화규소(실리카) 단점을 개선한 것이 특징이다. SV-55는 유리나 플라스틱으로 만든 기판에 VIS에서NIR까지 코팅이 가능하며 화학적 안정성이 매우 뛰어나 열에 의한 충격 및 응력에 의

한 박막 스트레스에 매우 강한 내구성을 보인다. 안경렌즈 및 모바일 렌즈와 같은 사출렌즈 및 각종 광학 필름, 정밀광학용 글라스 소재에 서도 SiO₂ 대체물질로 적용이 가능하다.

(주)도은은 광학분야에 사용되는 진공증착용 특수 Chemical 및 플라스틱 표면처리제인 hard Coating Solution을 생산 공급하기 위하여 1980년에 설립되었으며, 1992년 자체 연구기술력을 바탕으로 진공 증착물질의 국산화에 성공하였다.

고품질, 저렴한 가격의 다양한 상품을 공급하기 위하여 중앙연구소를 설립, 고순도 복합증착물질인 SV시리즈 및 초발수 수막(SH-HT)과 범용성이 뛰어난 Hard Coating Sol (VH-10) 등의 신제품을 잇따라 출시하여, 광학분야에서 두각을 나타내고 있다.

세계 60여개국 시장을 확보하고 있으며, 거대해지는 중국시장과 적극적인 해외시장 공략방안으로 2002년 중국 현지법인인 도은광학(상속)유한공사를 설립, 자체 브랜드인 VACO를 상표등록하여 중국 시장 개척에 박차를 가하고 있다.

솔텍 「현장용착형 광커넥터」 광케이블 연결 10초만에...

- 「현장용착형 광커넥터」개발을 통해 소비자 편의성 증대
- FTTX 시장진출 확대



광통신 통합솔루션 전문업체 (주)솔텍인포넷(이하진)은 통신회사 및 공사업체의 Cost 절감과 품질개선을 간편하게 실현할 수 있는 '현장용착형 광 커넥터'와 '현장용착형 커넥터 메이커'를 출품했다.

'현장용착형 광 커넥터'는 현장조립형 커넥터를 대체하기 위한 목적으로 개발이 되었으며, 특허 받은 간단한 조작방식의 '현장용착형 커넥터 메이커'로 현장에서 Fiber를 직접 용착하여 10초만에 커넥터를 만들 수 있다. 이러한 손쉬운 조작방법과 0.1db이하의 손실율, 그리고 반영구적인 수명은 현재 글로벌 시장에서 품질이슈로 사형되고 있는 현장조립형 커넥터의 대체재로 손색이 없다는 호평을 받고 있다.

'현장용착형 광 커넥터 메이커'는 현장용착형 광 커넥터의 메이커 톨로서 기존의 용착기들에 비해 휴대가 간편하고 작업이 용이한 장점을 가지고 있다. 특히, 가격대가 낮고 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점은 사용방법이 어려운 고가의 용착기 시장에서 새로운 고객층을 형성하고 있다.

마이크로 5핀 충전시스템을 장착하여 일반 핸드폰 충전기로도 충전이 가능하여 현장에서 작

업도중 보조배터리로도 충전이 가능하다.
(주)솔텍인포넷은 광스위치(광 네트워크 장비) 시장을 넘어 광용착 시장(FTTX시장)에도 진출하기 위하여 이 제품을 개발했다. 기존 광용착 관련 시장에서의 문제점들을 보완하여 가격, 품질, 실용성 등을 고려한 새로운 광용착을 선도하기 위해선 광용착기의 간소화와 현장조립식 커넥터의 접속 손실과 작업효율성을 강화할 필요성을 느꼈고 그를 개선하고자 연구개발을 진행한 결과, '현장용착형광커넥터'와 현장용착형 광 커넥터 메이커가 탄생했다.

2001년 설립된 (주)솔텍인포넷은 매년 20%가 넘는 매출신장을 보이며 2018년 기준으로 매출 200억원을 달성했다. 올해부터 새로운 아이템으로 개발된 "현장용착형 광 커넥터"를 통하여 국내 통신3사, 국외 베트남, 인도, 아프리카시장 진출을 눈앞에 두고 있다. 동남아와 아프리카는 지금 광용착이 시작되는 시장으로 이 제품들을 통하여 동남아, 아프리카 시장을 선점 할 계획이다.

이해진 대표는 "광용착시장에 혁신적인 아이템을 출품하여 국내외로 솔텍인포넷이 제공하는 새로운 솔루션을 통하여 광용착 시장에 새바람이 불 것을 기대한다"고 밝혔다.

초고속 홀로그래프 현미경 개발하여 신경망 꿰뚫어보다

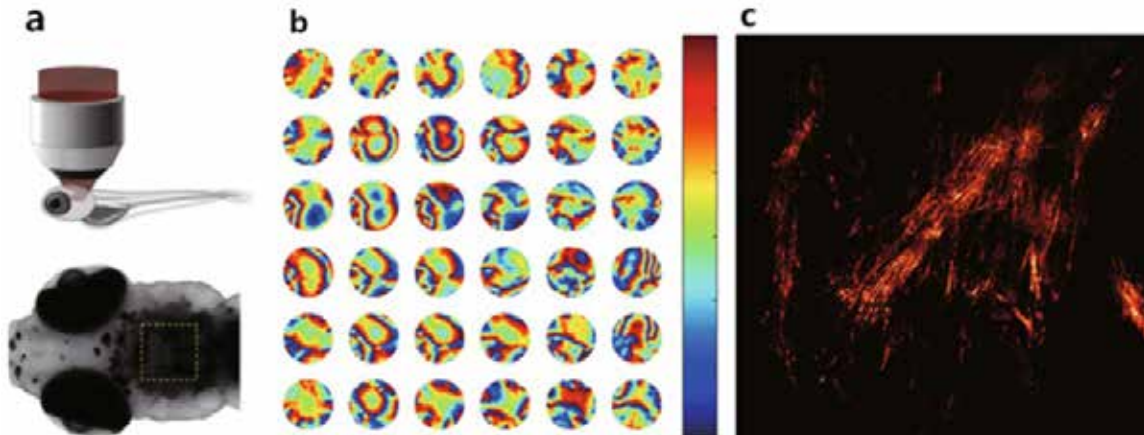


그림. 생체조직에서 일어나는 파면왜곡 보정기술

생체조직은 다양한 세포들로 이뤄진 복잡한 내부 구조로 인해 진행하는 빛의 파면을 왜곡시킨다. 이런 파면왜곡 현상때문에 일반적으로 광학 현미경은 생체조직 내부 깊은 곳까지 관찰하기 어려운 한계가 있다. 파면왜곡을 극복하여 살아있는 생물체의 고심도 생체영상을 획득하기 위해서는 특정 깊이를 선택적으로 빠르게 측정하여 빛의 파면을 정량화하는 것이 중요하다. 그러나 파면왜곡을 극복하기 위한 기존 기술들은 파면을 측정하고 제어하는 일을 하드웨어적으로 반복 수행해야 했기 때문에 영상속도가 느리다는 문제가 있었다. 고려대학교 최원식 교수 연구팀(기초과학연구원 분자 분광학 및 동력학 연구단)은 이러한 문제를 해결하는 영상기술로 초고속 홀로그래프 현미경을 개발했다. 빛의 파면을 정량화하는 한 방법으로 홀로그래프 현미경은 빛의 세기만 관찰 가능한 일반 현미경과 달리 빛(레이저)을 물체광과 참조광으로 나누어 간섭을 이용해 빛의 세기와 위상을 동시에 측정할 수 있다. 특히, 시분해 홀로그래프 현미경은 간섭의 길이가 $10\ \mu\text{m}$ 정도로 매우 짧은 광원을 이용해 샘플을 비추는 빛과 참조로 주입한 빛의 간섭으로부터 특정 깊이에서 광신호를 선택적으로 획득할 수 있다. 이 신호를 기록하기 위해서는 참조광과 물체광의 펄스면, 즉 시간적인 광경로가 동일한 파면을 일치시키는 정밀

한 광학기술이 필요하다. 연구진은 물체광과 참조광을 동시에 회전시키는 방식으로 기존보다 데이터 획득 속도를 수십 배 이상 향상시켰다. 기존 액정기반의 공간광변조기를 사용하는 시분해 홀로그래프 현미경의 경우 홀로그래프 데이터 획득 속도가 초당 10장 정도 수준이었으나, 새롭게 개발한 기술은 초당 500장 정도로 향상되었다. 연구진은 초고속 홀로그래프 현미경을 이용해 형광표지 인자를 사용하지 않고 살아있는 제브라피쉬의 후뇌부에서 고해상도 뇌신경망 영상을 얻는데 성공했다. 기존 대다수의 광학현미경 기술은 주로 부화한지 1주일 이내인 어린 제브라피쉬에 형광물질을 주입해 신경섬유 구조를 파악하는 수준에 머물러 있다. 이에 반해 개발된 기술은 수 주 이상 성장한 개체에서 비표지 방식으로 중추신경계의 신경망 영상을 고해상도로 획득할 수 있다. 연구결과는 국제학술지 네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)에 게재되었으며 기초과학연구원, 한국연구재단, 전기연구원의 지원을 받았다.

부화한 지 21일된 제브라피쉬의 경우 후뇌부를 덮는 부위에 비늘이 두껍게 형성돼 기존 기술로는 그 내부를 관찰하기 어려웠다(a). 연구진은 각 영역에서 일어나는 빛의 파면왜곡을 수치적으로 찾아낸 뒤(b), 얹혀있는 신경계의 섬유구조까지 선명하게 관찰할 수 있었다(c).

약물 한 방울까지 정확하게… 과다투여 막는 모니터링 기술 극미한 투여량까지 정확히 측정하는 유량계 개발

미국 식품의약국(FDA)의 보고에 따르면, 2005~2009년 동안 약물 주입기(infusion pump)에 의한 사고는 56,000여 건이며 그 중 500여 건이 사망에 이르렀다. 의료진이 나 기기의 잘못으로 정량이 아닌 약물을 환자에게 투여했기 때문이다. 국내 또한 약물 주입기의 설정치에 의존해야 하는 것은 물론, 관리 시스템은 더욱 취약하다. 약물 투여 의료사고가 개선되기 어려운 이유다.

KRISS 열유체표준센터 이석환 선임연구원은 시간당 2 밀리리터(mL)의 극미한 투약량까지 정확히 파악할 수 있는 유량계를 개발했다. 이번 기술을 활용하면 투약량을 실시간으로 확인할 수 있어, 과다투여와 같은 의료사고를 방지할 것으로 기대된다. 정확한 양의 약물 투여는 모든 의료행위의 기본이다. 하지만 실제 현장에서는 환자 수가 많다보니, 의료진이 초기 설정만 하고 투약량을 지속적으로 확인하기 어려운 것이 실정이다. 문제는 실제 내 몸에 실시간으로 투여되는 약물량이 설정 값과 상당한 차이를 보인다는 것이다. 흔히 수액을 맞을 때 주입 속도가 빠르거나 느리다고 갑자기 느끼게 느껴지는 이유다. 투약량 문제의 주요 원인은 약물 주입기를 오래 사용할수록 찾아지는 기계적 오류와 오작동에 있다. 하지만 지금까지는 약물 주입기 내부의 유량이 설정 값과 일치하는지 확인할 방법이 없었

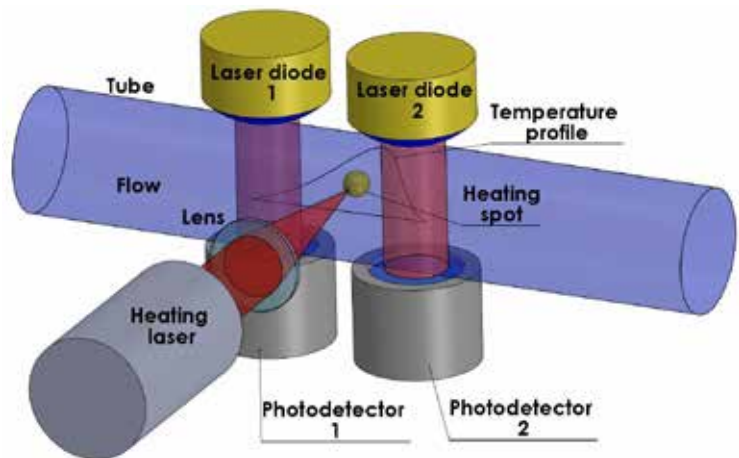


그림. 적외선 흡수 기법을 활용한 열식질량유량계의 모식도

다. 초음파를 사용한 비접촉적인 방법은 몇 방울 수준의 극미한 유량을 측정할 수 없다. 따라서 약물 주입기의 배관을 자르고 유량계를 별도로 설치하는 접촉적 방법이 유일했는데, 오염에 노출되는데다 매우 비싸 현장에서 사용하는 것은 불가능에 가까웠다.

연구팀은 적외선 흡수 기반의 열식질량유량계를 개발, 기존의 문제점을 해결했다. 주입기를 전혀 훼손하지 않으면서도 2 mL/h 까지의 미소 유량을 측정할 수 있게 된 것이다. 개발된 유량계는 클램프는 타입으로, 약물 주입기 배관을 빨래집게처럼 바깥에서 집기만 해도 유량 측정이 가능하다. 유량 측정의 핵심은 온도에 있다. 열원이 배관 내에 있는 경우 유량에 따라 열의 이동이 발생하는데, 이 열의 이동정도를 파악하여 유량을 정량적으로 측정할 수 있다. 연구팀은 여기에 온도에 따라 특정 파장에서 물의 적외선 흡수도가 변한다는 개념을 접목했다. 그 결과, 1450 나노미터(nm) 파장의 레이저로 액체의 국소부위를 가열한 다음, 상류와 하류의 온도차를 측정하는 방식으로 비접촉적 유량 측정법을 실현했다.

KRISS 이석환 선임연구원은 “이번 기술을 바탕으로 투약량을 실시간 모니터링하게 되면, 기계적 오류나 의료진의 판단 착오로 발생하는 과다투여와 같은 의료사고를 크게 줄일 수 있다”며 “다양한 약물을 동시 주입할 때도 사용이 가능한데다, 소형화가 가능하고 가격이 상대적으로 저렴하여 상용화의 가능성이 매우 크다”고 말했다. 유럽측정표준협력기구(EURAMET)와 한국연구재단의 지원을 받은 이번 연구결과는 측정과학분야의 세계적 학술지인 메트로로지아(Metrologia) 8월호에 게재되었다.

체내에서 녹는 생분해성 항암치료 마이크로로봇 개발

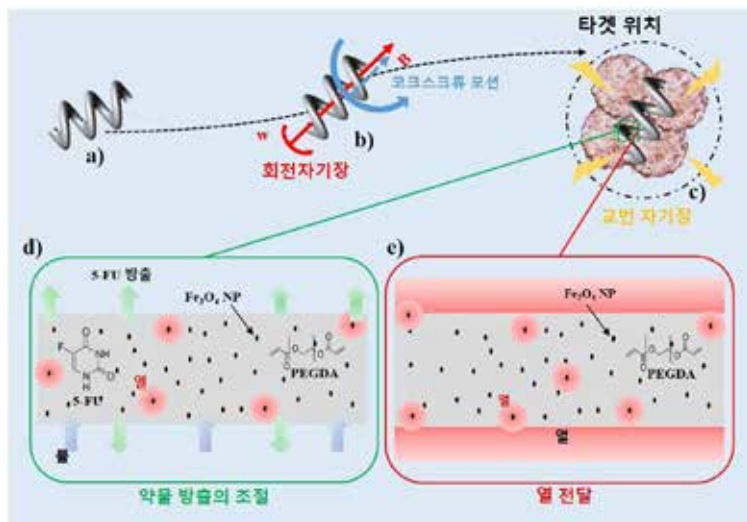


그림. 생분해성 마이크로로봇의 암세포 치료 메커니즘 모식도

원하는 부위에서 고열치료 및 약물방출 조절이 가능한 생분해성 마이크로로봇을 개발하는데 성공했다. 항암치료는 약물 및 고열치료, 방사선, 수술 등 여러 방법으로 치료가 행해지고 있다. 그 중 약물치료는 가장 많이 쓰이는 방법이나 약물은 신체의 순환기능에 의해서만 전달되기에 원하는 양만큼 특정 부위에 정확히 전달이 어렵다. 또한 고열치료는 부작용이 적어 최근 각광받고 있지만 특정 부위에 고열을 정확히 전달하기 어렵다는 단점이 있다.

이러한 한계를 극복하고자 DGIST 최홍수 교수 연구팀은 3D레이저 리소그래피 공정으로 자성나노입자와 약물을 탑재할 수 있는 3차원 생분해성 마이크로로봇을 개발했다. 마이크로로봇을 체내에서 직접 사용하려면 마이크로로봇이 사용 후에는 체내에서 분해되거나 회수되어 추가적인 유해효과를 최소화시켜야 한다. 이에 연구팀은 마이크로로봇의 소재를 생분해성 폴리머로 제작하여 제 할 일을 다한 로봇이 부작용 없이 체내에서 생분해될 수 있도록 설계했다. 또한 외부자기장을 이용한 무선제어방식으로 체내에서 빠르고 정밀하게 약물을 이송 가능한 것도 장점이다.

원하는 부위에 도달한 로봇에 고주파의 교반자기장(Alternating magnetic field, 강도 H와 역방향 강도 -H사이를 시간과 함께 주기적으로 변화하는 자기장)을 걸어주면 마이크로로봇에 탑재된 자성나노입자로부터 발생된 열이 주변의 온도를 올려 국부 고열치료를 수행할 수 있도록 설계했다. 추가로 교반자기장 의 강도와 노출시간을 조절하여 약물 방출을 정확하게 조

절할 수 있도록 설계한 점이 이번 연구의 큰 성과다.

연구팀은 개발된 마이크로로봇이 체외에서 배양한 암세포에 마이크로로봇을 사용한 고열치료가 암세포 치료에 유의미한 효과가 있음을 확인했으며, 교반자기장으로 인해 조절된 각각의 다른 약물방출모드의 치료적인 효능을 확인하는 것에 성공했다. DGIST 로봇공학전공 최홍수 교수는 “이번 연구결과를 통해 기존의 암세포 치료방법의 단점을 개선시켜 암세포 치료의 효율을 높이고 부작용을 줄일 수 있을 것으로 기대한다” 며 “앞으로도 지속적으로 병원 및 관련 기업과 후속 연구를 진행해 실제 의료 현장에서 활용될 수 있는 마이크로로봇 기반 정밀치료 시스템을 개발하는데 노력하겠다”고 말했다. 연구 결과는 Advanced healthcare materials 학술지에 2019년 7월 10일 게재됐으며, 과학기술정보통신부와 산업통상자원부의 지원으로 수행됐다.

초고속 전자현미경으로 1000조분의 1초 단위의 나노입자 움직임 찍는다

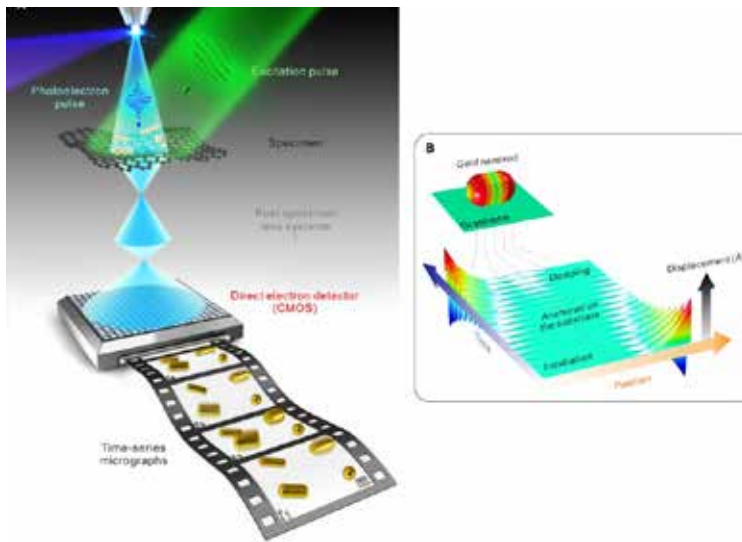


그림. 고해상도 초고속투과전자현미경 : 나노수준의 국부적 시공간 동시 이미징으로만 검출될 수 있는 정보로, 초고속투과전자현미경의 강점이다.

원자수준의 정밀도에 이르는 구조연구는 화학, 물리뿐만 아니라 복잡계인 재료 및 생물학 연구에 있어서도 출발점이 되는 매우 중요한 분야이다. 우리가 연구하고자 하는 대상이 무엇으로 구성되어 있고 어떻게 생겼는지를 알고 나서야, 기능이나 현상을 조절할 방법을 고안해 낼 수 있기 때문이다. 이러한 물질을 구성하는 원자나 분자는 가만히 있는 것처럼 보이지만 실제로는 끊임없이 움직인다. 이를테면, 웅스트롬 (10-10 m) 수준의 화학 결합은 펨토초 (10-15 초)에 이르는 빠른 속도로 생성되고 끊어진다. 나노미터의 공간 영역대에서 일어나는 생체 고분자의 형태변화는 나노초에서 밀리초에 걸치는 다양한 시간 영역대에서 일어난다. 물질의 기초 물성을 제대로 파악하고 이를 활용하기 위해선 나노미터 이하의 시공간 수준에 직접 도달하여 구조 동역학을 관측하고 제어를 할 수 있는 이론적 및 물리화학적 분석의 기틀을 마련하는 것이 필요하다.

울산과학기술원 (UNIST) 권오훈 자연과학부 교수팀은 초고분해능 구조 분석 장비인 투과전자 현미경에, 펨토초에 이르는 시간 분해능을 장착하여 원자수준의 시공간 분해능을 지니는 “초고속 투과전자현미경 (ultrafast transmission electron microscope)”을 활용, 전 세계에서 유일하게 전자 직접검출 카메라를 검출기로 채택함으로써 검출한도를 약 5-10배 향상시키며 나노미터 이하 수준에서 일어나는 단일 금 나노입자의 플라스몬성 음향진동 동역학을 최초로 직접 관측하는데 성공했다. 금 나노입자에 레이저를 쬔어 음향진동을 발생시키고 펨토초

단위로 전자빔을 쬔 시간이 지나면서 변하는 모습을 포착한 것이다. 플라스몬성 나노입자의 경우 전도성 전자의 집단 진동으로 인해 빛과 강하게 상호작용하므로, 매우 작은 입자 크기 (~1 nm) 및 높은 진동 주파수 (GHz-THz)까지 원거리장 (far-field) 광학 기술을 사용하여 음향진동을 여기 및 검출할 수 있다. 이러한 고주파 음향진동을 실시간으로 검출하기 위해서는 검출장비의 시간 분해능은 최소한 1~2 피코초 (10-12 초), 공간 분해능은 나노미터 이하 수준이 요구된다.

단 한 번의 시간분해 촬영으로 수십 개 나노입자의 다양한 음향진동 거동을 실시간 광역 측정할 수 있고, 나노미터 크기의 단일 입자 수준의 감도에서 초고속 동역학의 시공간 구조화가 가능함을 보여줌으로써 초고속 투과전자현미경법의 강점을 극대화 하였다. 계면 상호작용에 의한 나노입자 동역학 변이로부터 이번 관찰이 거의 제로에 가까운 마찰에너지 발산 및 초유효 연구의 관측 및 분석 방법에 기여하리라 기대되며, 이러한 새로운 물리화학적 실험 방법은 나노입자 구조동역학 및 나노 물질의 물성 제어 연구에 널리 활용될 수 있을 것이다. 연구결과는 국제 학술지 'Matter, 1, 7 (2019)'에 발표되었으며 한국연구재단과 기초과학연구원(IBS), 삼성종합기술원의 지원을 받아 수행됐다.

연속발진 레이저와 그래핀층의 상호작용을 이용한 고해상도 대기압 질량분석 이미징 신기술을 선보이다

질량분석 이미징 기술은 조직과 세포에 있는 생체분자를 탈착시켜 이들의 분자량을 측정해 조직과 세포의 생체분자 정보를 얻는 동시에 공간분포 정보도 알 수 있는 방법으로 어떤 물질이 어느 부위에 어떻게 존재하는지 측정하여 시각화하는 기술이다. 질량분석 이미징 기술이 생명과학 분야에서 점차 널리 사용되고 있지만, 상온 상압에서 생체 시료를 파괴하지 않고, 수분을 포함하고 있는 상태에서 시료를 직접 채취하여 분석하는 방법은 시료 탈착 및 이온화의 기술적인 어려움으로 최근에 들어서야 연구가 본격적으로 진행되고 있다.

DGIST 뉴바이올로지전공 문대원 석좌교수 김재영 리서치펠로우 연구팀이 시편을 수 마이크로미터 해상도로 분석할 수 있는 고분해능 질량분석 이미징 시스템을 개발했다. 본 연구는 살아있는 생체시편을 질량분석하기 위해 기본적으로 상온 상압의 환경에서 질량분석 이온화 방식을 채택하였으며, 이러한 분석 방법을 구현하기 위해, 낮은 출력의 레이저 사용, 추가적인 이온화원 채택, 분석 감도를 높이기 위한 이온 전달 장치 개발 등의 내용을 포함하고 있다.

연구팀은 독립형 광학현미경을 분석 스테이지로 활용해 연속발진 레이저를 생체 샘플 아래쪽 현미경의 대물렌즈로 집속한 후 생체 시편 쪽으로 집속된 레이저를 쬔어 생체 샘플을 탈착시키고, 생체 분자를 이온

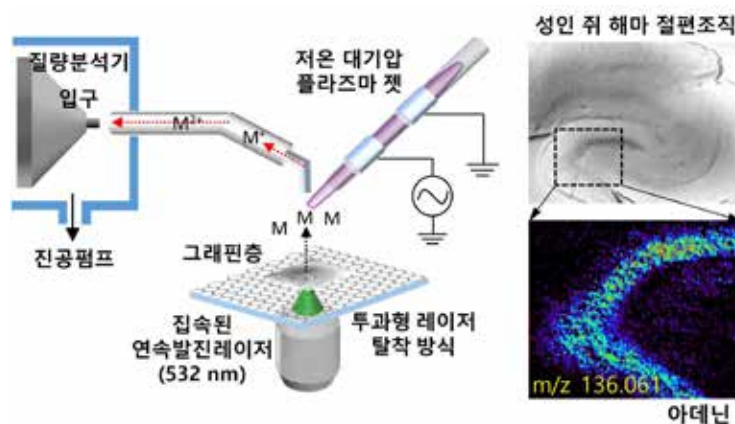


그림. 그래핀기판과 연속발진 레이저를 적용한 고해상도 대기압 질량분석 이미징 시스템 모식도

화할 때에는 저온 대기압 플라즈마 젯을 이용해 생체 시편의 질량분석을 동시에 진행했다. 상대적으로 낮은 에너지의 레이저광으로도 탈착이 쉽게 일어날 수 있도록 슬라이드기판에 광열 전환효과를 일으키는 그래핀층을 옮겨 올려 광에너지 흡수층으로 사용하였다. 상온 상압 조건에서 그래핀 기판을 이용하여 시편에 아무런 전처리를 하지 않고도 마이크로미터 해상도의 질량분석 이미징을 얻을 수 있으며, 부피가 작고 저렴한 연속발진 레이저 연속발진 레이저를 질량분석에 적용하여 고정밀 투과형 연속발진 레이저 탈착 기술을 개발하고 생체시편을 분석하는 것에 성공했다. 이 시스템을 이용하면 높은 배율 (20x) 의 대물렌즈를 사용해 레이저를 집속시켜도 생체 샘플 위쪽 공간이 방해받지 않아 해상도 높은 질량분석 이미징을 얻을 수 있다. 성인 쥐의 뇌 조직인 해마 조직절편으로부터 200 여개의 생체 분자 물질을 추출했으며, 10 여개의 생체 분자 물질에서 픽셀사이즈 1.4 μm 의 질량분석 이미징을 획득했다. 펄스형 레이저보다 가격이 저렴하고, 장치가 간단하고, 부피가 작으며, 높은 레이저 광학 지식을 요구하지 않는 연속발진 레이저기기를 질량분석에 적용하고, 그래핀층 기판을 사용하여 시편의 전처리과정을 완전히 없애고도 고해상도 대기압 질량분석 이미징을 얻을 수 있음을 보여주었다. 연구결과는 ACS Applied Materials & Interfaces 지에 표지논문으로 게재되었다.

희토류계 원소를 도입한 무연 페로브스카이트 무기 나노소재 개발

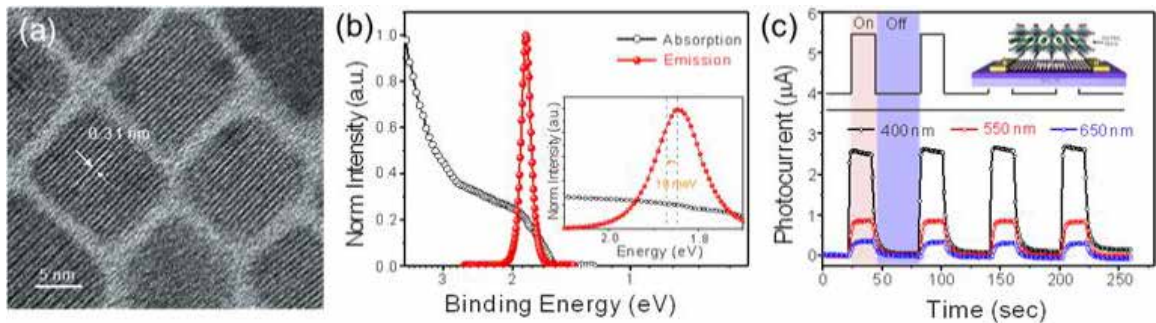


그림. CsYbI₃ 나노입자의 (a)TEM 관찰 이미지, (b) 광학적 특성, 및 (c) 그래핀 하이브리드 광검출기 구조 및 특성

페로브스카이트는 사면체, 팔면체 또는 입방체의 결정구조를 가지는 물질로 구성 원자에 따라 부도체·반도체·도체의 성질 및 초전도 현상까지 보이는 물질이다. 빛을 전기로 바꾸거나 전기를 빛으로 바꾸는 특성이 있어서 고체 상태의 조명, 레이저 등의 산업 분야에 응용되고 있으며, 최근에는 태양전지 산업에서도 크게 주목받고 있다. 하지만, 현재까지의 연구는 페로브스카이트의 합성된 나노 구조체의 성능 극대화를 위하여 납(Pb) 성분을 활용하고 있다.

페로브스카이트의 상용화를 위해서는 인체 및 환경에 유해한 납 성분이 들어가지 않은 합성법의 개발이 필수적으로 해결해야 할 우선 과제였다. 이에 전남대학교 이상현 교수 연구팀은 다양한 시도 끝에 유해한 납 대신 희토류계 원소인 이터븀(Ytterbium)을 사용하여 고품질, 고균일도를 가지는 페로브스카이트 나노소재 합성에 성공하였으며, 이를 이용하여 고성능 광검출기 소자를 제작한 결과를 보고하였다.

연구팀은 극저온 분광학적 방법을 통해 합성된 이터븀 기반 페로브스카이트 나노소재의 전하 운반체 동역학 메커니즘을 분석하여, 물질이 빛을 흡수함으로써 생성된 여기자와 물질의 격자 진동에너지의 겹침 현상인 여기자(exciton)-포논(phonon) 커플링 효과를 관찰하였다. 이를 통해 해당 소재가 가지는 우수한 양자 효율과 더불어

어 좁은 파장 너비에 대한 원리를 효과적으로 규명할 수 있었다. 연구는 납이 들어가지 않은 페로브스카이트 나노소재 연구에 대한 새로운 활로를 제시함과 더불어, 해당 원소재의 응용 및 상업화를 위한 발판이 될 것으로 볼 수 있다. 연구결과는 재료화학분야의 권위지 Advanced Materials에 게재되었으며, 과학기술정보통신부 지원으로 KIST 기관고유사업 및 한국연구재단 나노소재원천기술개발사업으로 수행되었다.

태양광 모듈 효율 향상을 위한 회절격자 집광필름 개발

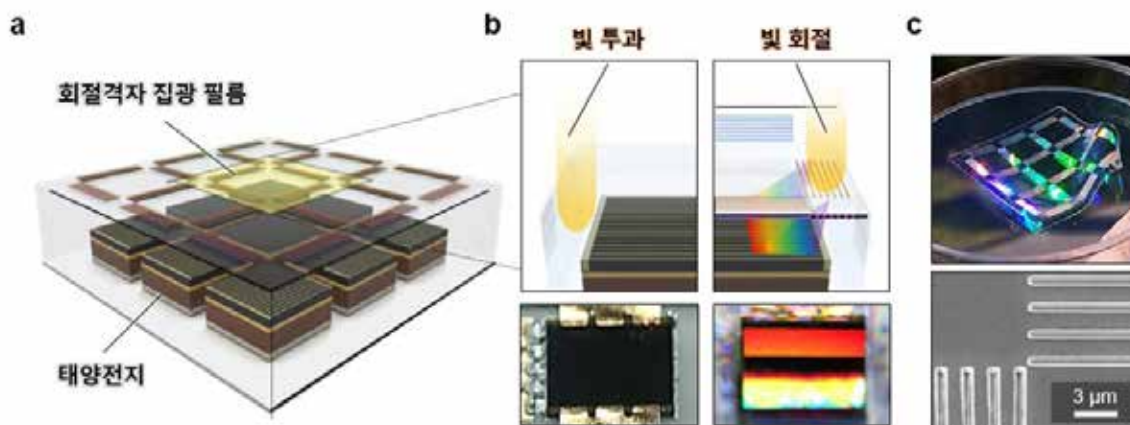


그림. (a) 회절격자가 부착된 태양전지 모식도 (b) 회절격자 필름의 유무에 따른 빛 제어 (c) 회절격자 필름의 사진 및 주사전자현미경 분석

태양전지는 햇빛을 전기로 변환하여 전력을 생산하는 발전 방식이다. 태양전지로 빛이 조사되었을 때 음의 전하를 띠고 있는 기본 입자와 양의 전하를 띠고 있는 기본 입자가 형성되며 각각이 양 전극으로 이동하여 전력을 생성한다. 초기 셀레늄 원소(Se)를 이용한 태양전지는 1~2% 수준에 불과하였지만, 최근 들어 다양한 태양전지가 개발되면서 효율은 47%까지 증가하였다. 또한 얇고 유연한 태양전지로 인해 기존 제한적이었던 활용분야(건물, 자동차와 우주 태양광 발전) 외에도 유연한 소자에도 적용 가능하여 여러 생활에서 태양전지의 실사용이 이루어지고 있다.

이러한 유연태양전지를 제작하기 위해 태양전지의 어레이화가 불가피하며, 어레이 형성 시 태양전지 셀 간의 간격이 발생하게 된다. 셀 간 간격은 면적 대비 효율의 저하를 일으킨다. 따라서 효율적인 광-전기 변환을 위해 셀 간 간격을 이용하기 위한 빛의 재분배가 필요하다. 이를 해결하기 위해서는 나노 및 마이크로 크기를 갖는 회절격자 필름을 태양 전지에 도입함으로써 빛을 효율적으로 집광할 수 있는 광학 구조의 설계가 가능하다.

연구에서는 서로 다른 에너지띠를 갖는 물질의 삼중접합 태양전지

를 활용하였다. 단파장에서부터 장파장까지 태양광 흡수 스펙트럼을 고려한 태양전지로써 태양에너지 갖는 넓은 파장 영역에서 흡수가 가능하다. 제작된 고분자의 두께는 수십 마이크로미터로 기존 모듈의 무게는 유지하고 태양전지의 효율은 크게 증가시킬 수 있어, 단위 무게 당 생산되는 전력을 크게 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션을 통해 회절격자가 적용된 태양전지의 흡수율 증가를 확인하였으며, 광-전류밀도는 기존 태양전지 모듈 대비 10% 증가됨이 확인되었다. 송영민 교수는 “태양전지 어레이 형성 시 불가피하게 발생하는 셀 간 간격을 해결하기 위해 광학구조를 설계 및 제작하였으며, 유연하며 부착이 가능한 회절격자 필름은 플렉서블 태양전지에 응용 가능하여 향후 태양광을 활용한 다양한 에너지 하베스팅 소자에 널리 활용할 수 있을 것으로 기대된다”고 연구의 성과를 시사했다. GIST 송영민 교수와 나노종합기술원의 강일석 박사가 주도한 이번 연구는 재료 및 계면 분야의 세계적인 국제학술지인 ACS Applied Materials and Interfaces 9월 6일에 게재되었다.

CMOS 이미지 센서를 이용한 난수발생기

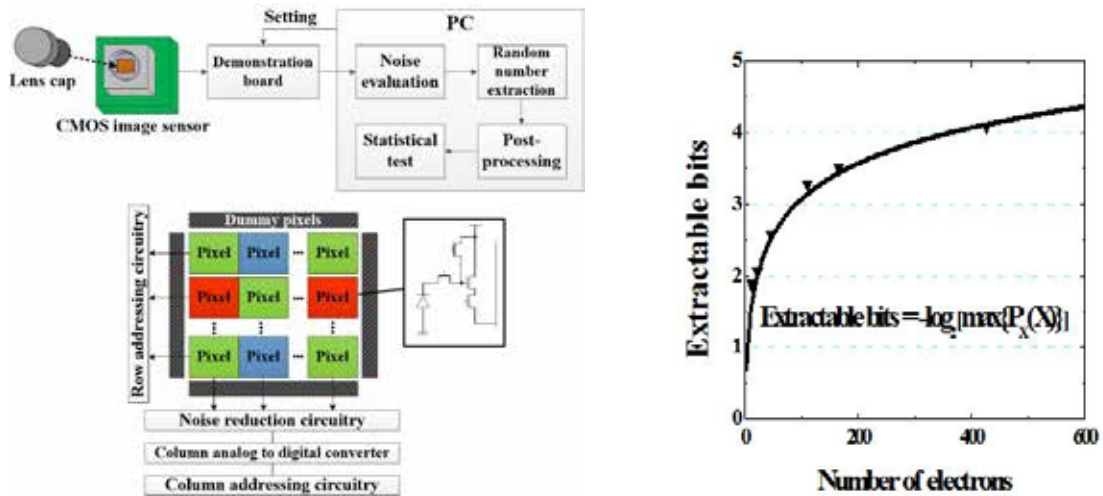


그림. (왼쪽) 난수발생기 실험 셋업 및 CMOS 이미지센서 구조. (오른쪽) 최적화된 엔트로피를 갖는 난수를 생성하기 위해 Dark electron 개수에 따른 추출 난수 bit 수.

난수발생기는 정보보호, 시뮬레이션, 게임 등 여러 분야에서 사용되고 있다. 수학적인 알고리즘을 이용한 의사난수발생기는 난수생성 속도가 빠르며, 경제적으로 구현이 가능하지만, 난수 주기로 인해 진성난수가 아니다. 반면에 열적 노이즈, 소자의 지터 등의 물리적 잡음을 이용한 난수발생기는 보다 랜덤한 난수를 생성할 수 있지만, 안정적인 난수를 추출하기 위해서는 후처리가 필수적이다. 높은 엔트로피의 난수는 특히 안전성이 중요한 정보보호 분야에서 사용되고 있다. 최근 원천적으로 진정한 난수를 발생시킬 수 있는 양자난수발생기 연구가 활발히 진행되고 있는데, 양자적인 특성을 가지는 잡음원을 이용하므로 출력 난수의 엔트로피가 매우 높다.

한국과학기술연구원 양자정보연구단의 한상욱 박사팀은 CMOS 이미지 센서의 dark shot noise를 잡음원으로 이용한 난수발생기를 개발하고 IEEE Access, vol. 7, pp. 91407-91413, Jul. 2019.에 논문을 출판하였다. 그림1 (왼쪽)은 CMOS 이미지 센서를 이용한 실험셋업을 보여준다. 일반적인 이미지 센서에 렌즈캡을 덮어서 암상태를 구현하였다. (오른쪽)은 센서에서 출력되는 Dark electron 개수에 따라 몇 bit의 난수를 추출해야 최적화된 엔트로피를 갖는지를 보여주는 그래프이다. 실험에서 평균적으로 30개 정도의 dark electron 신호

를 이용했기 때문에 1 pixel의 샘플 당 2bit의 난수를 추출하였다. 초기 난수를 평가한 결과 CMOS 이미지 센서의 dark shot noise는 안정된 엔트로피를 가지는 잡음원으로 밝혀졌으며, 추출된 난수는 후처리를 통해 균일하고 안정된 난수를 꾸준히 생성할 수 있었다.

CMOS 이미지 센서는 이미 범용적으로 Mobile 기기에 사용하고 있고, 센서의 암신호를 사용하므로 추가적인 하드웨어 없이 구현이 가능하다. 간편하게 소프트웨어 설치만으로 구현이 가능하기 때문에 다양한 응용분야에 적용될 수 있을 것이라 기대된다.



그림. 난수발생기의 적용분야

전광 능동형 고효율 광 소용돌이 생성 방법 발견

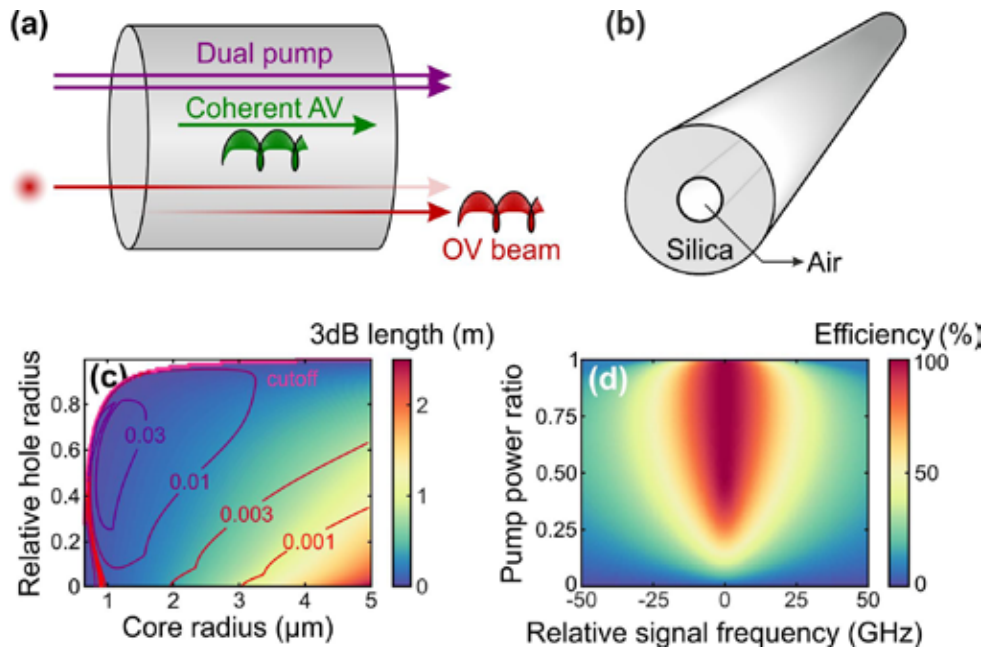


그림. (a) 제안된 전광 능동형 광 소용돌이 생성 방법 모식도. (b) 파장보다 가는 모세관이 둘러 있는 광도파로의 구조. (c) 광도파로의 코어 반지름 및 모세관 반지름에 따른 3dB 결합 길이 (color map)와 이웃하는 공간 모드 간 유효굴절률 차이(contour plot). (d) 신호광 주파수 및 펄스폭 출력 조건에 따른 광 소용돌이 최대 생성 효율.

광 소용돌이(optical vortex)는 진행 방향을 축으로 파면이 나선 모양으로 회전하는 빛으로서, 빔 중앙에 세기가 0인 위상 특이점이 존재하고 궤도 각운동량을 갖는 독특한 특성을 기반으로, 최근 새로운 형태의 광-물질 상호작용 및 광소자로의 응용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 나선 구조가 포함된 3차원 나노 공정, 초고분해능 현미경, 마이크로 입자의 운동을 제어하는 광학 스캐너, 이론적으로 전송 용량에 제한이 없는 광통신 채널 등으로 활용될 수 있다. 이러한 응용을 위해서는 높은 품질의 광 소용돌이를 능동적으로 발생시키고 제어하는 것이 매우 중요한데, 지금까지 연구되어 온 방식에서는 광학적 비선형성으로 인해 생성 효율이 원리적으로 제한되는 문제점이 있었다. 한국과학기술원(KAIST) 물리학과 강명수 교수 연구팀은 파장보다 가는 모세관이 둘러 있는 광도파로(subwavelength-hole photonic waveguide)에서 '전방 유도 모드간 브릴루앙 산란(forward stimulated intermodal Brillouin scattering)'이라는 비선형 광음향 현상을 이용해 광 소용돌이를 전

광 생성하는 새로운 개념을 제안하였다.

이 방법을 이용하면 주파수와 공간 모드가 서로 다른 두 빛의 광학적 힘에 의해 생성된 음향 소용돌이(acoustic vortex)가 광 소용돌이를 발생시키게 되는데, 기존의 방식과는 달리 여러 비선형 광학 효과가 존재하는 현실적인 상황에서도 거의 100%의 효율로 매우 높은 순도의 광 소용돌이가 발생할 수 있음을 보였다. 이 광 소용돌이 생성 방식은 특히 차세대 초고속 광통신의 핵심 기술의 토대가 되리라 기대된다. 본 연구는 과학기술정보통신부의 우수신진연구자지원사업 및 중견연구자지원사업의 지원을 받았고, "Reconfigurable generation of optical vortices based on forward stimulated intermodal Brillouin scattering in subwavelength-hole photonic waveguides"라는 제목의 논문으로서 올해(2019년) Photonics Research 지 7월호에 게재되었으며 [Photon. Res. 7, 754 (2019)], 올해 한국광학회 하계학술발표회에서도 이 연구 결과를 발표하여 우수논문상을 받았다.

극초단 펄스 레이저 발생을 위한 새로운 2차원 물질 포화흡수체의 개발

서울시립대 이주한 교수(전자전기컴퓨터공학부) 연구팀은 펨토초 펄스 레이저를 생성시킬 수 있는 새로운 전이금속 모노칼코게나이드계 포화흡수 물질을 개발하였다. 1000조 분의 1초의 짧은 펄스 폭을 지니는 펨토초 레이저는 펄스폭이 매우 짧고 순간적으로 강한 에너지를 전달할 수 있어 초정밀 물질가공, 초정밀 안과수술, 테라헤르츠빔 발생, 초고속 광통신 등 다양한 첨단 응용 분야에 활용될 수 있다. 초단펄스 생성을 위해서는 레이저 캐비티 내에 빠른 변조 소자가 필요하며 능동형 변조 소자를 사용하여서는 펄스폭을 어느 수준 이하로 줄일 수 없어 극초단 펄스 레이저를 생성하기가 어렵다는 단점이 있기에 이에 따라 입사되는 광의 세기에 따라 투과도가 달라지는 포화흡수 물질을 기반으로 하는 수동형 변조 소자의 연구가 최근 들어 활발히 이루어지고 있다. 포화흡수 소자는 광의 변조가 물질 자체 내에서 포톤의 흡수 및 전자의 에너지 상태 이동에 의해 이루어지기 때문에 매우 빠른 소자의 작동이 가능하다.

이번 연구에서 새로운 포화흡수 물질로 연구팀이 제시한 전이금속 모노칼코게나이드계 2차원 물질은 현재 많은 각광을 받고 있는 차세대 2차원 물질인 포스포린과 유사한 원자 수준의 아코디언 형태의 주름진 물질 구조를 가지기에 전자의 빠른 완화가 가능할 뿐 아니라 포스포린과는 달리 강한 내산화성을 가지기에 다양한 소자제작에 용이하다. 이에 따라 전이금속 모노칼코게나이드계 2차원 물질을 기반으로 하는 포화흡수 소자는 페룰-형, Evanescent-형 등과 같은 다양한 소자 형태에서 매우 짧은 시간폭을 가지는 펄스 레이저의 발생과 빠른 광학 스위칭의 작동이 가능하다는 장점을 보인다. 또한 물질 조성에 따라 다양한 전자 에너지 밴드갭을 가지기에 각각의 대역대에서 최적화된 펄스 레이저 시스템을 구축할 수 있다. 대표적인 모노칼코게나이드계 2차원 물질인 Tin Monoselenide에 대한 비선형 광학 투과도 측정과 이 물질 기반 포화흡수 소자를 사용한 모드금 펨토초 레이저 시스템에 대한 특성 분석은 상기 물질로 만들어진 포화흡수 소자가 기존 포화흡수 소자 대비 탁월한 광학 스위칭 성능과 펨토

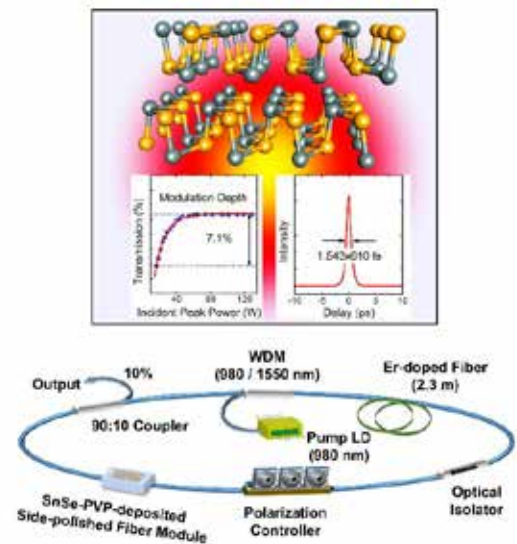


그림. (위) Tin Monoselenide 2차원 물질의 구조와 비선형 광학 투과도 및 펨토초 펄스 레이저 측정. (아래) Evanescent-형 Tin Monoselenide 포화흡수체를 사용한 광섬유 펄스 레이저 구성도.

초 레이저 변조 특성을 모두 가지고 있음을 보여 준다.

앞으로 연구팀은 뛰어난 광학 응용 잠재성에 불구하고 연구가 거의 이루어지지 않았던 전이금속 모노칼코게나이드계 2차원 물질에 대한 다양한 비선형 광학 연구를 통하여 기존의 광학 소재 및 소자를 뛰어넘는 새로운 소자 개발 연구를 이어나갈 계획이다.

이번 연구는 연구팀의 2016년 Advanced Functional Materials에 발표된 Tungsten Ditelluride 비선형 광학흡수 거동 연구, 2017년 Advanced Materials에 발표된 금속성 2차원 신물질 광학 연구에 이은 2차원 물질 기반 광학소자 개발연구의 일환으로 연구 결과는 광학재료공학 분야의 국제학술지인 'Advanced Optical Materials'(2019.3)에 "van der Waals Layered Tin Selenide as Highly Nonlinear Ultrafast Saturable Absorber"라는 제목으로 게재되었다.

3차원 영상 재현을 위한 홀로그래프의 획득과 디스플레이

$$\varphi_r(x, y) = a \exp(-jkz_0) \quad \varphi_o(x, y) = \frac{1}{r} \exp(-jkr), \quad \text{where } r = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + z_0^2}$$

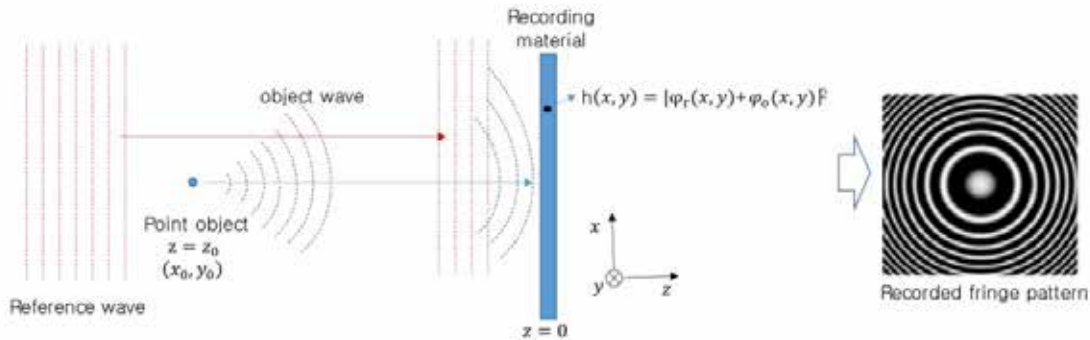


그림 1 홀로그래프의 기록 개념과 기록된 프린지패턴의 형태

1. 서론

디지털 기술을 기반으로 홀로그래프 동영상을 디스플레이하기 위한 기술은 아직 충분히 발전되지 못하고 있다. 아날로그 홀로그래프에 근접하는 고화질 영상을 얻기 위해서는 막대한 크기의 디지털 데이터를 획득, 처리, 전송 및 재현하는 모든 기술이 갖추어져야 하기 때문이다. 최근의 빠른 기술 발전은 SF 영화에 등장하는 것과 같은 홀로그래프 텔레프레젠텐의 실현도 머지 않은 장래에 가능할 것으로 예측되고 있다.

본 고에서는 홀로그래픽 3차원 영상 시스템 구현 기반기술 확보를 위해 한국전자통신연구원에서 연구하고 있는 테이블탑형 홀로그래픽 3차원 영상 재현 시스템에 대한 주요 내용을 기술한다.

2. 홀로그래픽 3D 영상 재현 기술

2.1 광학 홀로그래프

홀로그래프의 기본 원리는 파장이 동일한 두 개의 광파를 간섭시켜 그 결과를 기록하고, 이 둘 중 하나의 광파에 대한 정보를 정확히 알고 있으면 미지의 다른 광파를 완벽하게 분리하여 재현할 수 있다는

것이다. 홀로그래프에 있어 정보를 정확히 알고 있는 광파를 '기준파(Reference wave)'라고 하며 통상 아주 단순한 파라미터로 표현할 수 있는 평면파(plane wave) 또는 구형파(spherical wave)를 사용한다. 미지의 다른 광파는 우리가 재현하고자 하는 물체로부터의 반사파이며, 이를 물체파(object wave)라고 한다.

우선, 가장 간단한 물체(하나의 점으로 표현된)에 대한 홀로그래프의 기록과 재현에 대해 설명한다.

그림 1은 하나의 점으로 표현된 물체에 대한 홀로그래프 기록의 예를 보여주며, 이 때 감광물질은 두 광파가 합쳐진 빛의 세기에 반응하여 그에 비례하는 프린지 패턴을 형성하게 된다. 이를 $h(x, y)$ 로 표현하면,

$$\begin{aligned} h(x, y) &= |\varphi_r(x, y) + \varphi_o(x, y)|^2 \\ &= |\varphi_r(x, y)|^2 + |\varphi_o(x, y)|^2 + \varphi_r(x, y)^* \varphi_o(x, y) + \varphi_o(x, y)^* \varphi_r(x, y) \end{aligned}$$

의 네 개의 요소가 포함되어 있는 홀로그래프가 된다. 이 홀로그래프에 기록할 때 사용했던 기준파를 조사한다고 하면, 이로부터 재현되는 광파는 다음 식과 같이 표현된다.

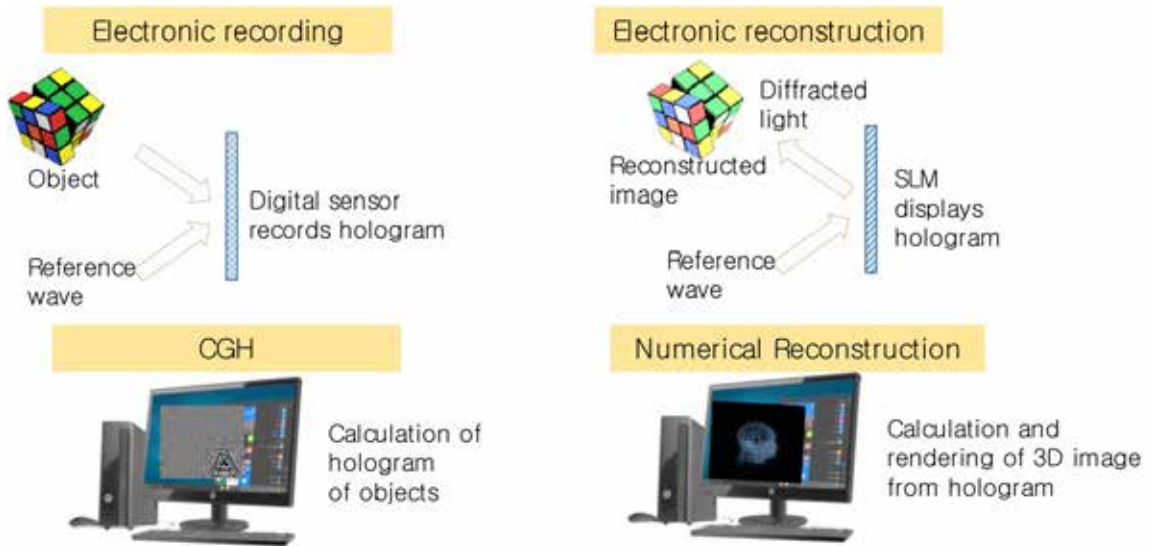


그림 2 디지털 홀로그래피 기술 요소

$$\begin{aligned}\varphi_r(x, y)h(x, y) &= \varphi_r(x, y)[\varphi_r(x, y) + \varphi_o(x, y)]^2 \\ &= \varphi_r(x, y)[|\varphi_r(x, y)|^2 + |\varphi_o(x, y)|^2 + |\varphi_r(x, y)|^2\varphi_o(x, y) \\ &\quad + \varphi_o(x, y)^*\varphi_r(x, y)\varphi_r(x, y)]\end{aligned}$$

여기서 첫번째 항은 (세기가 변화된)기준파에 해당하고, 세번째 물체파의 공역파(conjugate wave)이며, 두번째 항이 우리가 얻고자 하는 물체파의 정보를 온전히 가지고 있다. 따라서, 이 두번째 항을 다른 두 항으로부터 분리하여 관찰할 수 있다면 우리는 원래 물체로부터 반사된 빛을 그대로 보게 되며, 원래 물체가 있는 것과 차이를 느끼지 못하게 된다. 이를 최초로 가능하게 한 것이 Michigan 대학교의 Leith와 Upataniels 두 사람이 발견한 off-axis holography 원리이며, 꿈의 3차원 영상 재현 기술로써의 홀로그래피는 이로부터 비롯되었다고 할 수 있다[1].

여기서, 이 홀로그램(기록된 프린지 패턴)을 제대로 기록할 수 있는 조건을 살펴보도록 하자. 위에서 설명한 점광원(하나의 점으로 표현된 물체)에 대한 홀로그램 패턴을 흔히 Fresnel Zone Plate(FZP)라고 하며, 이 패턴의 공간주파수는 다음 식과 같이 표현된다[2].

$$f_{local} = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dx} \left(\frac{k}{2z_0} x^2 \right) = \frac{x}{\lambda_0 z_0}$$

여기서 λ_0 는 기준파의 파장, z_0 는 물체의 거리, x 는 패턴의 중심으로

부터의 거리에 해당한다. 구체적인 예를 들면 표 1과 같다.

표 1 FZP의 공간 주파수, 660nm 파장의 Red레이저 사용 경우 (ppi: pixel per inch)

λ_0 (nm)	z_0 (cm)	x (cm)	f_{local} (lp/mm)	pixel resolution (ppi)
660	50	10	303	15,394
660	50	30	909	46,182
660	50	50	1,515	76,970
660	10	50	7,576	384,848

이는 기본적으로 수백~수천 line pair/mm 정도의 주파수를 갖는 신호를 기록할 수 있어야 원래의 신호 정보를 잃지 않고 복원할 수 있다는 것을 의미한다. 아날로그 홀로그램 기록을 위한 감광물질은 입자 크기가 수십 nm 정도로, 기록할 수 있는 해상도는 대부분의 silver halide 필름이 3,000 lp/mm 이상이다[3]. 이를 디지털 소자의 픽셀 구조에 대응해서 생각해보면, 표의 제일 우측 행에 나타난 것처럼 현재 통상적으로 사용되고 있는 디스플레이에 비해 훨씬 고해상도의 디스플레이 소자가 요구되는 것을 알 수 있다.

위에서는 개념적 설명을 쉽게 하기 위해 하나의 점으로 이루어진 물체를 가정했으나, 일반적인 물체의 표면을 위에서 예로 든 점의 집합으로 생각하면 각 점이 만들어내는 FZP가 모두 합쳐져서 그 물체의 홀로그램이 됨을 알 수 있다.

2.2 디지털 및 전자 홀로그램

디지털 홀로그램은 감광물질을 사용하여 홀로그램을 만드는 대신에 간섭무늬를 CCD 또는 CMOS 등과 같은 디지털 센서로 획득하고, 이렇게 얻어진 디지털 데이터를 처리 및 변환하여 사용하는 기술을 의미한다. 디지털 홀로그램의 영상 재현은 주로 수치적 복원 방식을 사용하며, 컴퓨터 그래픽 도구를 통해 가시화한다. 컴퓨터 형상 홀로그램(CGH: Computer Generated Hologram)은 광학 홀로그램의 획득 과정을 위에서 설명한 것과 같이 수학적으로 모델링하고, 이를 수치적으로 계산하여 홀로그램 데이터를 만들어내는 기술이다. 이 기술의 장점은 레이저 광원을 사용하여 실험환경을 만드는 번거로움과 어려움을 피할 수 있으며, 실제로 존재하지 않는 가상의 물체에 대한 홀로그램도 생성할 수 있다는 점이다. 다만, 이를 위한 계산량이 너무 커서 아직 실시간화가 어려운 한계가 존재한다. 전자 홀로그램은 전자소자를 이용하여 홀로그램 정보를 처리하거나 재현하는 기술을 의미한다. 주로 LCD, LCoS, DMD와 같은 픽셀 구조를 갖는 디지털 공간광변조기(SLM: Spatial Light Modulator)를 통하여 홀로그램 영상을 재현하는 기술이다. 광학 홀로그램과의 차이점은 기본적으로 동영상 홀로그램을 재현할 수 있다는 것이며, 궁극적인 3차원 영상 재현 기술로서의 가능성이 가장 큰 분야이다. 다음 그림은 위에서 설명한 홀로그램 기술을 개념적으로 표현한 것이다.

3. 테이블탑형 홀로그래픽 3차원 영상 시스템

3.1 배경

광학 홀로그램이 보여주는 것과 같은 사실적인 3차원 영상을 전자적으로 재현할 수 있는 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 대한 본격적인 연구는 1990년대 미국 MIT의 Benton 교수 Lab에서 시작되었다. 하지만, 아직 아날로그 홀로그램 기록에 사용되는 감광물질과 같은 고해상도를 제공할 수 있는 대면적 광변조 소자가 없으므로, 현재 상용으로 사용 가능한 디지털 소자를 기반으로 부가적인 광학 장치를 이용하여 성능을 끌어올리고자 하는 여러가지 구조가 연구되었다. 대표적인 연구 결과를 표2에 요약하였다([4]~[9]).

MIT의 Holo-video display 시스템은 픽셀 구조를 갖지 않는 1차원적 소자인 AOM을 공간광변조기로 채택하여 수평 방향의 선형 홀로그램을 만들고, scanning 광학계를 통하여 이를 수직으로 배열(공간 타일링) 함으로써 원하는 홀로그램 영상을 재현하였다. NICT에서는 4K급 LCoS 소자를 16개 사용하여 4x4 멀티비전 형태의 디스플레이를 구현하여 영상 크기의 확대 가능성을 보였으며, 서울대에서는 16개의 LCD 소자를 관찰자를 향한 곡선 형태로 배열함으로써 시야각을 16배로 확대하는 기술을 발표하였다. 독일의 SeeReal사에서는 회절각이 아주 작은 대형 LCD 패널을 기반으로 각 회절빔을 필드 렌즈를 통해 관찰자의 동공에 모아지도록 viewing window(VW)를 설계하고, 이 VW가 눈동자를 추적하여 따라가게 함으로써 20인치급의 큰 홀로그램을 재현하는 시스템을 구현하였다. 다만 이경우는 단일 관찰자만 영상을 볼 수 있는 한계가 있다. 이와는 다른 방향의 연

표 2 대표적인 홀로그래픽 디스플레이 시스템 구현 연구

Systems	SLM	Architecture	Characteristics	Ref
MIT Holo-Video Display (Mark-I, II, III)	AOM (1-dimensional light modulation)	multi-channel mechanical scanning	HPO, mono, color(2012)	[4][5]
SNU Curved-SLM Display	LCD (pixel pitch : ~12μm)	Angular multiplexing for viewing angle increase	Image size: 0.6 inch Viewing angle: 22.8°	[6]
NICT Full Color Display	4K LCoS	4x4 spatial tiling for image size enlargement	Image size: 3.4 inch Viewing angle: 5.6°	[7]
SeeReal VISIO 20	LCD (pixel pitch : ~100μm)	Eye tracking-viewing window steering	Image size: 20 inch HPO	[8]
U of Arizona Rewritable printing display	Rewritable photorefractive polymer material	6-ns pulsed laser at a rate of 50 Hz write LEDs for readout	Image size: 12 inch, Full Parallax Frame rate: 0.5 fps	[9]

표 2 대표적인 홀로그래픽 디스플레이 시스템 구현 연구

Type	Pixel pitch(H,V)	Resolution	Refresh rate	Size (inch)	Viewing angle(°)	System
LCD	156, 52	2,560 x 2,048	60	16.3	0.2	SeeReal
LCoS	4.8, 4.8	3,840 x 2,160	60	0.8	7.9	NICT
DMD	13.7, 13.7	1,024 x 768	32,000	0.7	2.8	ETRI

구로는 아리조나 대학에서 발표한 것으로, 반복적으로 쓰고 지우는 것이 가능한 소재를 개발하여 2초에 한번씩 refresh되는 준 동영상 홀로그래프 디스플레이를 구현한 결과가 있다. 이에 대한 좀더 상세한 내용은 열거한 참고문헌을 통해 파악할 수 있다.

이와 같은 여러 진지한 연구에도 불구하고 아직 상용화 할 수 있는 수준의 홀로그래픽 디스플레이 시스템 구현은 쉽지 않은 상황이다. 대표적인 어려움은 크게 다음과 같은 3가지로 요약해볼 수 있다.

- (1) 핵심 소자인 공간광변조기의 성능 한계
 - (2) 대용량 데이터의 실시간 처리 및 전송 한계
 - (3) 자연 환경에서의 실객체에 대한 홀로그래프 데이터 획득 기술 한계
- 최근에 발표된 Review 논문에서는 이와 관련된 기술적 이슈를 상세히 다루고 있으며, 홀로그래픽 디스플레이를 크게 HMD type, 단일 사용자용, 다수 사용자용의 3가지 범주로 나누고 이 순서대로 상용화가 진행될 것으로 전망하였다[10].

현재 개념 검증용으로 개발된 홀로그래픽 디스플레이 시스템들은 대략 3~4인치 내외 크기의 영상과 이 영상을 관찰할 수 있는 시야각이 20도 정도이고, 디스플레이 패널 앞뒤로 영상의 거리감만이 느껴지는 형태이며, 두 사람 이상이 동시에 관찰하기 어려운 성능을 가지고 있다.

이와 같이 실제 홀로그래프 원리에 기반한 3차원 영상 재현 기술은 연구 단계에서 상용화로 발전하기 위해 노력하고 있는 시점에 있으나, 일반인들에게는 SF 영화를 통한 홀로그래프의 이미지가 강하게 각인되어 있어 이를 충족시켜주고자 하는 시도들이 다양한 유사 홀로그래프의 형태로 표현되고 있다. 허공에 떠 있는 영상, 실제 사물과 거의 동일한 크기의 영상이라는 이미지가 그것이며, K-pop 가수들의 홀로그래프 공연 영상이 대표적인 예라고 할 수 있다. 유사 홀로그래프는 본 고에서 설명하는 홀로그래프 기술과는 아무 연관성이 없으며, 홀로

그래프 영상이 가져다주는 시각적 효과만을 만들어내고자 하는 것으로 이해해야 한다. 이와 같이 일반인들이 가지고 있는 홀로그래프에 대한 인식과 실제 기술과의 괴리로 인한 불일치가 홀로그래프 연구에 대한 추가적인 어려움이 되는 것도 사실이다[11].

3.2 디스플레이 시스템과 360도 홀로그래프 재현

2013년부터 시작된 기가코리아 사업의 홀로그래픽 단말 기술 개발 과제에서는 위에서 언급한 여러 이슈들을 고려하여 다음과 같은 목표를 가지고 연구를 진행하고 있다.

- (1) 기존 연구들과는 차별화되는 360도 전방향의 영상이 재현 가능한 홀로그래픽 디스플레이 기술
- (2) 일반인들이 가지고 있는 홀로그래프 이미지와 유사한 형태로 테이블 위에 실제 물체와 같이 보이는 형태로 재현되는 디스플레이 기술

- (3) 기존 성능 한계를 극복할 수 있는 공간광변조기 구현 기술

본 고에서는 위의 (1),(2) 목표를 전제로 수행한 연구 결과를 요약해 설명하기로 한다. 위 (3)의 연구에 대해서는 참고문헌 [12]를 참조하기 바란다.

홀로그래프의 재현은 기본적으로 SLM에 의존한다. 표 3은 대표적인 SLM의 성능 특성을 나타낸다.

SLM의 성능은 표에서 보인 바와 같이 수 도 이내의 매우 작은 시야각을 가지고 있어서 360도의 시야각을 확보하기 위해서는 여러 형태의 다중화 방법을 동원하여야 한다. 다중화 방법은 크게 공간적인 다중화 방법(다수 SLM의 타일링: SNU, NICT)과 시간적인 다중화 방법(단일 SLM의 기계적 스캐닝 방법(MIT), 또는 이를 혼합하여 사용하는 방법이 있다. 개발된 시스템에서는 고속 동작이 가능한 DMD를 SLM으로 채용하여 시간적인 다중화 방법을 사용하였으며, 수평

/ 글 김진웅, 박민식, 신승협, 임용준

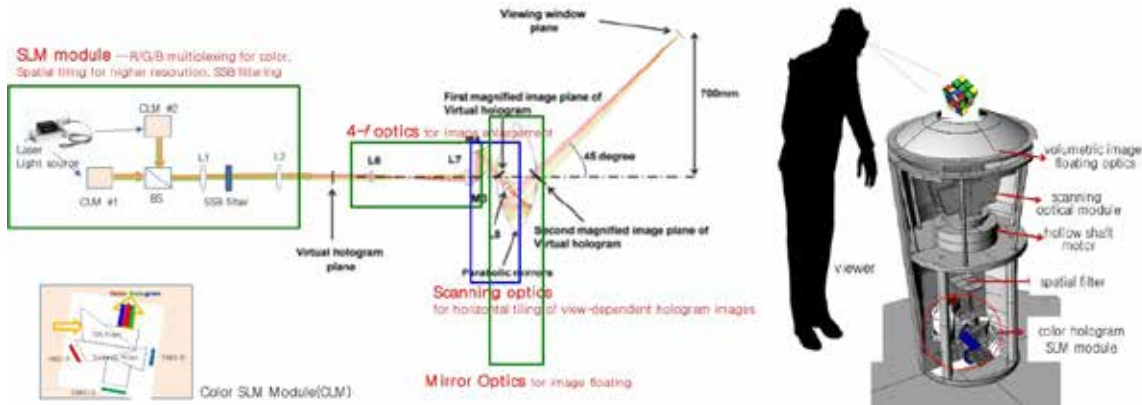


그림 3 광학구조 개념도 및 시스템 형상

방향으로 회전하는 스캐닝 광학계에 의해 1,024개의 홀로그램 영상이 다중화되어 수평 360도의 시야각을 만들어내도록 하였다. 사용된 DMD는 32,000 초당 32,000 프레임의 속도로 동작하므로, 전체 시스템은 약 30 fps의 동영상상을 360도 방향에서 재현할 수 있는 성능을 가지게 된다. 이 홀로그램 영상이 테이블 위 공간상에 위치하는 형태로 재현하기 위해서 2개의 파라볼릭 거울로 구성된 광학계를 사용한다. 이 광학계는 mirage mirror로도 불리며, 한쪽 거울의 초점에 형성된 영상을 다른 거울의 초점 위치로 옮겨주는 역할을 한다. 결과적으로 최종적인 홀로그램 영상은 디스플레이 시스템의 뒷면 중앙에 형성된 볼륨 상에 재현되며, 마치 실제 물체가 있는 것과 동일한 홀로그램 영상을 관찰할 수 있게 된다. 이에 대한 개념도와 시스템 형상을 그림 3에 보였다.

컬러 영상을 만들기 위해 3개의 DMD소자를 사용하였으며, 각 DMD는 R,G,B에 해당하는 단색 홀로그램을 만들어내고, 이를 결합하는 프리즘 광학계를 이용하여 하나의 컬러 홀로그램을 만들어낸다. 여기서는 가장 핵심적인 아이디어만을 간략하게 소개하였으나, 실제 구현을 위해서는 이미지 확대를 위한 4f 시스템 설계 및 이에 따른 회절각의 축소, DC 및 트윈 이미지 제거를 위한 SSB 필터링, viewing window 형성을 위한 field 렌즈 설계, parabolic mirror 광학계에서의 비축 광경로에 의한 수차 왜곡 보상 등에 대한 고려 및 보상 설계가 정밀하게 이루어져야 함을 밝혀둔다. 좀더 상세한 내용은 참고문헌 [13]을 통해 파악할 수 있다.

본 과제에서 개발한 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이는 기존에

제시된 여러 설계 방법을 활용하여 구현되었으나, 기존 시스템들과는 다음과 같은 차별성을 가지며, 세계 최초로 여러 사람이 동시에 관찰할 수 있는 컬러 동영상 홀로그램 재현에 성공했다는 데 큰 의미가 있다.

- (1) 기존의 깊이감 있는 영상을 앞쪽에서 바라보는 구조가 아닌, 테이블 위에 홀로그램 영상을 재현하는 구조를 제안함
- (2) 360도 전방향에서 보이는 영상을 공간상에 재현함으로써 기존에 깊이감만 강조되던 관점에서 벗어나 볼륨감을 가진 홀로그램 영상을 만들었음

다음은 구현된 디스플레이 시스템에서 재현된 여러 홀로그램 영상을 보여준다. 기존 시스템이 가지고 있던 한계를 상당히 극복하였음에도 불구하고, 영상의 화질 측면에서는 아직 부족하여 세밀한



그림 4 광학적으로 재현된 홀로그램 영상(여러 시점에서 본 영상)

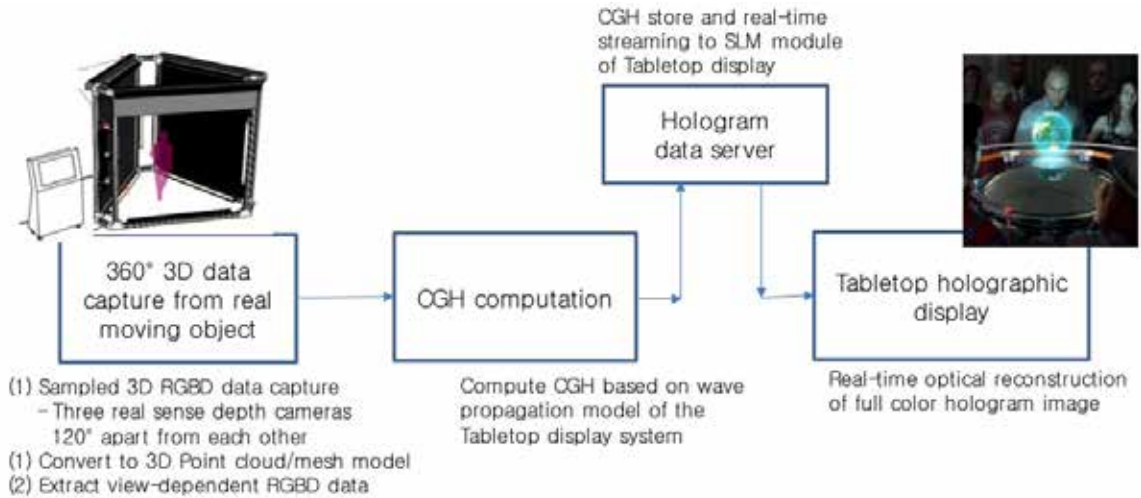


그림 5 홀로그램 콘텐츠 획득-생성-재현 pipeline 구성도

영상을 표현하기에는 한계가 있다. 이는 사용된 SLM의 해상도가 768x768 정도라서 매우 낮는데 기인하며, 향후 4K 이상의 초고해상도 SLM이 적용되면 실용화 할 수 있는 화질에 근접하리라 예상된다. 개발된 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 영상을 재현하기 위해서는 이에 맞는 홀로그램 데이터의 획득 또는 생성이 필수적이며, 이를 위한 기술이 함께 개발되었다. 그림 5는 일반적인 실객체에 대한 동영상 홀로그램 데이터를 생성하여 디스플레이하기 위한 '360도 3D 정보획득-CGH 홀로그램 생성-360도 홀로그램 영상 재현' pipeline을 보여준다.

다음 섹션들에서는 실물 객체로부터의 3D 정보 획득과 이 정보를 기반으로 테이블탑 홀로그래픽 디스플레이에서 재현 가능한 360도 CGH 홀로그램을 생성하는 과정을 설명한다.

3.3 실물 객체의 3차원 영상 정보 획득 및 CG 모델링

CGH 홀로그램을 생성하기 위해서는 객체의 3D 정보가 필요하다. 실사 객체 표면의 3D 정보는 점광원(point cloud)들의 집합인 포인트 클라우드(point cloud)와 빛의 방향성을 가지는 광선(light ray)들의 집합인 라이트 필드(light field)로 표현될 수 있다. CGH 홀로그램 생성시 계산의 용이성으로 인하여 객체의 포인트 클라우드 데이터가 입력으로 보통 사용되는데, 폐색영역(occlusion resion)의 처리가 어려워 홀로그램 재현시 앞쪽에 위치한 불투명한 객체 표면에

가려서 보이면 안되는 뒤쪽에 위치한 객체 표면이 보이는 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 CG(computer graphics) 기술을 이용하여 포인트 클라우드로부터 3D 메쉬 모델로 변환한 후 이를 입력으로 CGH 홀로그램을 생성하기도 한다. 3차원 영상 정보의 획득 시스템과 그 과정은 다음과 같다.

① 삼각기둥 구조물의 3개의 측면과 3개의 모서리에 총 6대의 Intel사의 RealSense D435 카메라를 설치하고, 구조물 중앙에 위치한 실물 객체에 대하여 360도 전방위로 총 6개의 컬러 영상과 깊이 영상을 획득한다.

② 획득된 컬러 영상과 깊이 영상간에 위치와 해상도가 서로 달라 이를 일치시키는 영상 정합 과정과 각 카메라간의 위치 관계 및 3D 실세계 좌표를 2D영상 좌표 변환 관계를 나타내는 카메라 파라미터(camera parameter)를 계산하는 과정을 거친다.

③ 실물 객체 표면의 3D 공간 정보를 추출하기 위하여 컬러 영상간의 스테레오 매칭(stereo matching)을 통하여 포인트 클라우드를 계산하거나[14], 복셀 체적(voxel volume)을 생성하여 깊이 영상 정보를 이용하여 객체 표면을 구성하는 복셀들을 계산한다[15].

④ 포인트 클라우드는 포아송 표면 복원(Poisson surface reconstruction)방법, 복셀 볼륨(voxel volume)은 marching cube 알고리즘을 이용하여 추출된 실물 객체 3D표면 정보로부터 메쉬 모델로 변환한다.



그림 6 실물 객체의 3D 영상 정보 획득 과정

⑤ 최종적으로 컬러 텍스처 정보가 포함된 실물 객체 메쉬 모델에 가상 카메라를 회전시키는 설정을 통하여 360도 방향으로 원하는 시점에 대한 컬러 및 깊이 영상 정보를 추출한다.

3.4 CGH를 통한 홀로그램 생성

CGH는 회절 광학에 기반하여 광파의 진행을 수치적으로 모델링하고 컴퓨터로 시뮬레이션하여 홀로그램 영상을 생성하는 과정이다. 통상적으로 평면 파면의 진행을 계산하기 위해서는 Rayleigh-Sommerfeld 회절 적분식을 간략화한 다음의 Fresnel 근사(Fresnel approximation)식을 사용한다[16]

$$u_z(x, y, 0) = \frac{\exp(ikz_0)}{i\lambda z_0} \exp\left(ik \frac{x^2 + y^2}{2z_0}\right) \mathcal{F}(u_0(\xi, \eta, z_0))$$

이는 $z=z_0$ 위치에 있는 물체파 $u_0(\cdot)$ 로부터 $z=0$ 위치까지 전파된(회절된) 파동면을 계산하며, \mathcal{F} 는 푸리에 변환을 의미한다. 연속적인 3차원 정보를 양자화된 각 파면에 n 개의 파면의 집합으로 재구

성하면샘플로 구성되된 디지털 데이터의 경우, 프레넬 Fresnel 근사식은 근사식을 적용할 수 있으며, 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform; FFT)을 통하여 $O(n \log n)$ 의 복잡도로 빠르게 계산할 수 있다 (n 은 픽셀의 개수).

테이블탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 CGH 단계에서는 실사 객체로부터 획득한 각 시점 별 컬러 및 깊이 정보로부터를 바탕으로 Fresnel 근사식을 이용하여 시점 별 홀로그램을 계산한다. Fresnel 근사식은 편평한 평면 간의 파동면의 전파식이므로, 주어진 컬러 정보를 홀로그램 평면에 평행한 Layered layered 이미지들로 분할하고, 각 Layerlayer에 대한 홀로그램을 계산하여한 후 합하는 방식으로 최종 홀로그램을 계산한다.

4. 맺음말

본고에서는 꿈의 기술로 간주되는 디지털 홀로그래픽 3차원 영상 획득 및 재현 시스템에 대한 기본 개념과 최근 연구 결과를 소개하였다. 홀로그래피 기술은 그 기본 특성상 실용화를 위해서는 매우 높은

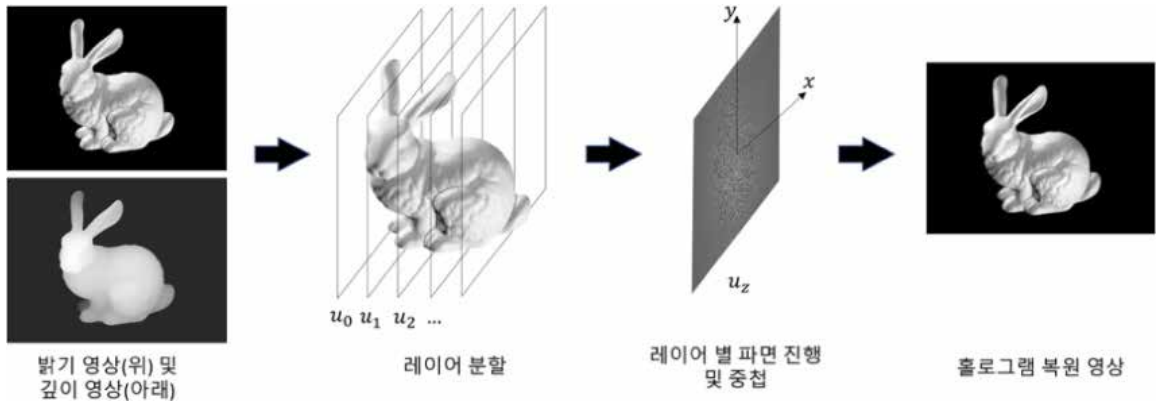


그림 7 layer 분할 기반 CGH 계산 개념

수준의 초고해상도 소자, 초고속 계산 성능 및 초대용량 데이터 전송이 요구되고 있어 여전히 실용화를 위해서는 많은 난제를 해결하는 것이 필요한 상황이다. 그러나, 최근 메타 surface를 통한 복소변조 연구[17], AI를 적용한 CGH 고속 생성, 시스템 구현을 위한 새로운 아이디어[18] 등 여러 방향에서의 연구가 활발하여, 머지않은 장래에 홀로그래피 연구도 새로운 도약과 상용화를 이루어내리라 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행된 연구의 결과물임. (GK19D0100, 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말기술 개발)

참고 문헌

- (1) Stephen A. Benton and V. Michael Bove Jr., Holographic Imaging, Chapter 10, Wiley, 2008
- (2) T.C. Poon, Optical Scanning Holography with Matlab, Springer, 2007
- (3) Graham Saxby, Practical Holography 3rd Edition, Chapter 5, IOP Publishing, 2004
- (4) Pierre St. Hilaire, et. al., "Synthetic aperture holography: a novel approach to three-dimensional displays," J. Opt. Soc. Am., Nov. 1992

- (5) D. E. Smalley, et. al., "Anisotropic leaky-mode modulator for holographic video displays," Nature 498, 313-317 (2013)
- (6) H. Sasaki, et. al., "Large size three-dimensional video by electronic holography using multiple spatial light modulators," Sci. Rep. 4, 6177 (2014)
- (7) Joonku Hahn, et. al., "Wide viewing angle dynamic holographic stereogram with a curved array of spatial light modulators," Optics Express 12372, Vol. 16, No. 16, Aug. 2008
- (8) R. Haussler, et. al., "Large real-time holographic displays: from prototypes to a consumer product," SPIE 2009
- (9) P. A. Blanche, et. al., "Holographic three-dimensional telepresence using large-area photorefractive polymer," Nature vol. 468, Nov. 2010
- (10) D. Blinder, et al., "Signal processing challenges for digital holographic video display systems," Signal Processing: Image Communication (2018)
- (11) V. Michael Bove, Jr., "Live Holographic TV: From Misconceptions to Engineering," SMPTE Meeting Presentation, 2011
- (12) Ji-Hun Choi, et. al., "Evolution of spatial modulator for high-definition digital holography," ETRI Journal, Feb. 2019
- (13) Yongjun Lim, et. al. "360-degree tabletop electronic holographic display, Optics Express Vol. 24, No. 22, Oct. 2016

/ 글 김진웅, 박민식, 신승협, 임용준

- (14) Yang, Q., et. al., "Real-time global stereo matching using hierarchical belief propagation," BMVC, 2006
- (15) Werner, et. al., "Truncated signed distance function: experiments on voxel size," Int'l Conf. Image Analysis and Recognition. Springer, Cham, 2014.
- (16) Joseph W Goodman, Introduction to Fourier Optics, 2nd Edition, Chap. 4, McGraw Hill, 1996
- (17) Gun-Yeal Lee, et. al., "Recent advances in metasurface technologies," ETRI Journal, Feb. 2019
- (18) Jongchan Park, et. al., "Ultrathin wide-angle large-area digital 3D holographic display using a non-periodic photon sieve," Nature communications, (2019)10:1304

저자 약력

김진웅 박사는 미국Texas A&M 대학교에서 1993년에 전기공학 박사학위를 취득하였다. 한국전자통신연구원에서 책임연구원으로 재직중이며, 주로 영상 압축 및 멀티미디어 신호처리를 적용한 디지털 방송 기술 연구를 하였다. 2005년 이후에는 주로 3차원 영상 시스템, 3DTV 방송 및 홀로그래피 연구를 하고 있으며, 현재 과적정보부 기가코리아사업의 홀로그래피 기술연구 과제책임자를 맡고 있다.

박민식 박사는 충남대학교에서 2016년에 컴퓨터 공학 박사 학위를 취득하였다. 한국전자통신연구원에서 책임연구원으로 재직중이며, 디지털 홀로그래픽 디스플레이 및 신호처리 기술 연구를 수행하고 있다.

신승협 박사는 2006년 KAIST에서 전산학 박사 학위를 취득하였다. 한국전자통신연구원에서 물리 기반 시뮬레이션 및 고속 가시화, 실시간 다시점 영상 생성 연구를 수행해 왔고 현재 디지털홀로그래피연구실에서 고품질 홀로그램 생성과 계산 고속화 기술을 연구하고 있다.

임용준 박사는 2010년 서울대학교 전기컴퓨터공학부에서 박사 학위를 취득하였다. 학위 후 삼성전자 반도체 메모리 사업부 책임연구원으로 근무하였으며, 2014년 9월부터 한국전자통신연구원 선임연구원으로 재직중에 있다. 광학 설계 및 시스템 구현을 비롯하여, 디지털 홀로그래픽 디스플레이, 홀로그래픽 현미경, 그리고 근접장 측정 관련 연구를 하고 있다.

홀로그래피의 원리와 그 응용

1. 서론

최근 개봉 영화 “스파이더맨 파 프롬 홈”을 보면 메인 빌런으로 등장한 미스터리오가 드론을 이용하여 홀로그램 상을 만들어 주인공인 피터에게 가상현실을 보여주는 장면이 나온다. 4차 산업혁명의 핵심 기술들(드론, 인공지능, 홀로그램, 가상현실)을 조화롭게 버무린 이 악역은 비록 스파이더맨에게 패배하였지만 화려한 시각적 효과와 인상깊은 기술력을 바탕으로 이전까지의 빌런들과는 색다른 면모를 보여주었다. 한편 이러한 세상은 비단 영화 속에서만 볼 수 있는 것은 아니다. ICT분야의 4차 산업혁명의 핵심을 이루는 5G통신기술이 이미 실용화가 되었고, 성황리에 마친 평창 올림픽에는 군집제어 기술이 적용된 드론 요원이 하늘을 수놓았으며, 알파고와 이세돌의 대국은 우리에게 잊혀지지 않는 장면을 선사하기도 하였다. 증강현실과 가상현실은 게임과 같은 디지털 콘텐츠의 형태로 우리에게 이미 친숙하고, 디스플레이 기술은 나날이 발전하고 있다. 아직까지 홀로그램 디스플레이 기술은 플로팅 홀로그램을 사용한 몇몇 콘텐츠를 제외하면 지속적인 발전 단계에 있으나, 보안, 회절광학계, 전시 등 점차 그 활용도가 높아지고 있으며, 최근 국가적으로도 신규 과학 기술 분야로의 개발 필요성을 크게 인정받아, 2019년 6월 약 1800억 규모의 “디지털 라이프 서비스 실현을 위한 홀로그램기술개발사업”이 과학기술정보통신부의 예비타당성조사를 통과하는 등 세계적 우수기술력 선점 확보를 위한 노력들이 이루어지고 있는 시점이다. 빛이 지닌 회절과 간섭 특성을 활용하여 만들어지는 홀로그램은, 실시간 영상화 하기에는 너무 많은 정보량, 영상 재생을 위한 디스플레이 장치의 픽셀 크기, 그리고 제한된 시야각과 같은 이슈들로 인해 완전한 홀로그램 디스플레이에는 도달하지 못하고 있는 상황이다. 그러나 최근 들어 발전하고 있는 3D프린팅 기술, 메타물질기술, 나노기술, 그리고 5G통신기술 등은 점차 홀로그램 기술의 새로운 발전 가능성을 제시하고 있어 영화에서나 볼 수 있었던 홀로그램 가상회의, 인터랙티브 홀로그램 등이 가능해질 날도 먼 미래는 아닐 것이라 생각된다. 본 고에서는 일반인들을 대상으로 아직까지 조금은 생소할 수 있는 홀로그램 기술에 대해 소개하고자 한다. 구체적으로 홀로

그램이란 무엇이며 어떻게 만들어지는지, 또 홀로그램이 응용되는 사례에는 어떠한 것들이 있고 기술적 한계점들은 어떤 것들이 있는지 살펴보고자 한다.

2. 홀로그래피의 원리

홀로그램은 그리스어의 전체를 뜻하는 “Holos”와 의미, 정보를 뜻하는 “Gramma”가 합쳐진 단어로, 어원 그대로 빛이 지니고 있는 모든 정보를 담는다는 의미를 지니고 있다. 일반적으로 우리가 볼 수 있는 가시광선은 약 400~700 나노미터의 파장을 지니는 전자기파로, 입자의 성질과 파동의 성질을 모두 가지고 있음이 잘 알려져 있다. 홀로그램에 주로 활용되는 빛의 성질은 파동의 성질로, 파동은 그 고유 특성으로서 진폭(amplitude)과 위상(phase)을 지니고 있으며, 이중 파동의 진폭은 광원의 밝기를 결정하며, 위상의 공간적 분포를 알면 그 빛의 전파양상을 파악할 수 있는데, 물체가 홀로그램 기록면으로부터 얼마나 멀리 떨어져 있는지, 허상인지 혹은 실상인지 등을 결정하는데 있어 중요한 정보를 제공한다. 간단한 예를 들어 설명해 보자면, 연못에 똑같은 돌을 하나는 내게서 가까운 곳에, 다른 하나는 먼 곳에 던진다고 생각해 보자. 각각의 돌이 떨어진 위치로부터 원형으로 물결파가 생성될 것인데, 가까운 곳에 떨어진 돌에서부터 도달하는 물결파의 곡률반경이 더 작을 것이다. 이와 같이, 멀리 떨어진 광원과 가까운 곳에 있는 광원이 만들어내는 파면의 곡률반경이 다르고, 이 위상 정보가 우리 눈의 수정체를 통과하면서 서로 다른 깊이에 초점이 맺히게 함으로써, 우리는 자연스럽게 물체의 원근감을 인지하게 된다. 3D영화와 같이 양안시차를 이용하는 3차원 디스플레이와는 달리, 홀로그램은 공간상에 맺히는 상 자체가 깊이 정보를 지닌 채 재생되는 특징이 있기 때문에 스테레오 방식의 3차원 디스플레이에서 느껴지는 눈의 피로감이나 부자연스러움, 두통, 어지러움 등의 증상이 없는 자연스러운 3차원 영상의 관측이 가능하게 된다.

그렇다면 홀로그램은 어떠한 원리로 빛의 위상을 기록하는 것일까? 1948년 헝가리 부다페스트 출신의 영국 물리학자인 데니스 가보르

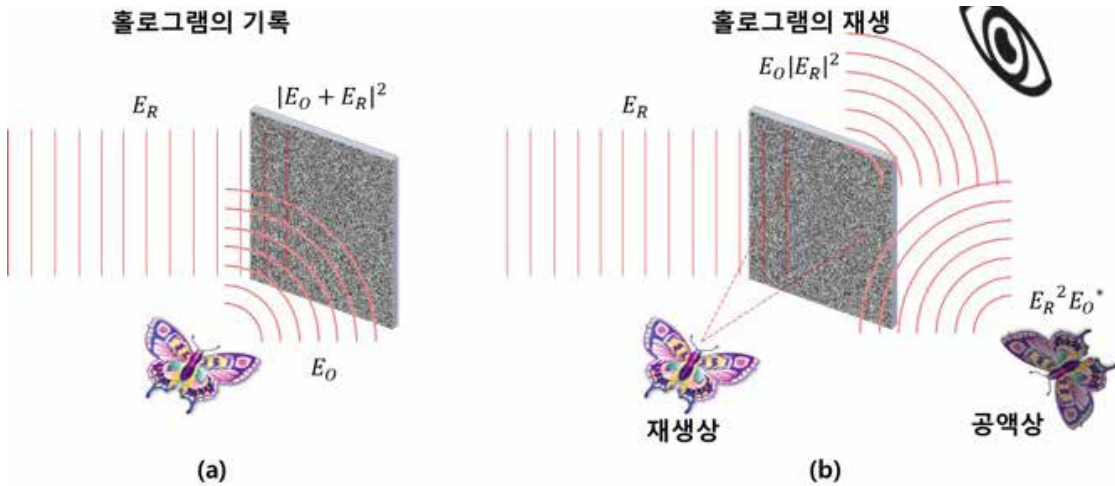


그림 1 (a) 홀로그래ムの 기록 과정과 (b) 재생 과정

(Dennis Gabor, 1900~1979)는 빛의 간섭 현상을 이용함으로써 그 해답을 최초로 제시하였다[1]. 파동의 성질 중 하나의 간섭은, 두 개 이상의 파동이 합쳐졌을 때, 두 파동 사이의 위상 차이에 따라 파동이 보강 혹은 상쇄되는 현상이다. 즉 간섭을 이용하면 위상 정보를 가시화하고 기록할 수 있다는 점에 착안하여, 가보르는 수은 램프로 부터 발생하는 광원을 잘 필터링한 뒤 이를 두 개의 광원으로 나누고, 한쪽 광원은 물체를 통과시킨 뒤(물체파, object wave), 분리했던 광원(참조파, reference wave)과 합쳐 두 광원의 간섭무늬를 감광제를 이용하여 기록하였다. 이 간섭무늬에는 물체파가 지닌 위상 정보가 그대로 저장되어 있기 때문에, 추후 간섭무늬를 기록할 때 사용한 참조파를 그대로 쏘여주게 되면 기록했던 물체파가 지닌 정보가 그대로 재생된다. 이와 같이 간섭무늬를 기록하기 위해 물체파와 참조파를 동시에 쏘여주는 과정을 홀로그래프의 기록 과정이라 하고, 만들어진 간섭무늬에 참조파를 쏘여 물체파를 다시 만들어내는 과정을 홀로그래프의 재생 과정이라 한다.

그림 1에서 보여지는 바와 같은 물체파와 참조파의 간섭 무늬는 다음과 같은 수식을 통해 나타낼 수 있다[2].

$$|E_O + E_R|^2 = |E_R|^2 + |E_O|^2 + E_O E_R^* + E_R E_O^*$$

E_O 는 물체파의 정보를 담고 있고, E_R 는 참조파의 정보를 담고 있다고

할 때, 기록된 간섭무늬에 다시금 참조파를 쏘여주게 되면, 다음과 같은 수식이 얻어지게 된다.

$$|E_O + E_R|^2 E_R = (|E_R|^2 + |E_O|^2) E_R + E_O |E_R|^2 + E_R^2 E_O^*$$

이 식의 우변의 세번째 항을 살펴보게 되면 물체파의 정보가 그대로 담긴 채 참조광의 세기에 비례하여 만들어지는 것을 알 수 있다. 이 세번째 항이 재생된 홀로그램 상이며, 네번째 항의 경우 물체파의 컬러 복소수 항이 만들어지게 되는 것을 확인할 수 있는데, 이 항이 만들어내는 상을 홀로그램의 공역상이라 한다. 일반적으로 참조광이 평면파인 경우, 공역상과 물체파의 재생상은 홀로그램 건판을 기준으로 대칭점의 위치에 형성됨이 알려져 있다. 비광축(off-axis) 홀로그램은 참조광과 물체파 간에 각도를 준 채 기록하는 방식인데, 이 방식을 활용하게 되면 공역상과 재생상을 분리하여 관찰할 수 있다는 장점이 있다.

가보르가 홀로그램을 제안했던 때는 아직 레이저(LASER)가 개발되기 전이었고, 가간섭성이 뛰어난 광원을 마련하는 것이 무척 어려웠기 때문에 홀로그램의 제작이 매우 어려운 일이었으나, 1960년 Hughes사의 메이먼(Theodore Maiman)이 루비를 사용한 레이저를 개발한 이후, 기체 레이저 및 반도체 레이저 기술이 발전함에 따라 홀로그램의 보급이 점차 늘어나게 되었다 [3].

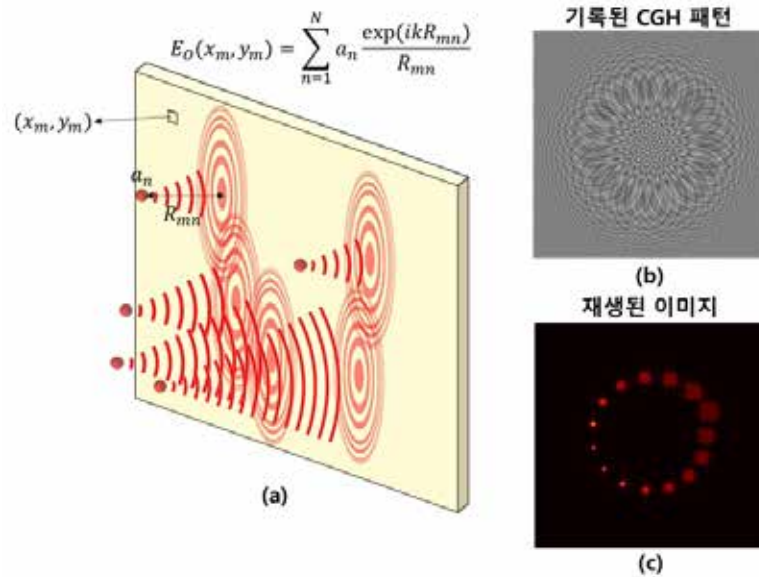


그림 2 (a) 점집합(Point cloud) 기반의 CGH 형성 과정
(b) 점집합(Point cloud) 기반으로 기록된 CGH 패턴과 (c) 그 재생 결과

가보르에 의해 제안된 것과 같이 물체파와 참조파의 간섭무늬를 직접 기록하여 홀로그래를 제작하는 방식을 아날로그 홀로그래 방식이라 한다. 아날로그 홀로그래 방식은 간섭무늬를 오랜 시간 지속시킬 수 있어야 기록이 가능하기 때문에 고성능의 레이저 광원이 필요하며, 결정적으로 폴라로이드 사진과 같이 건판에 한번만 기록이 가능하고, 또 정지된 이미지만을 기록할 수 있다는 단점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위한 방법으로 1966년 B.R. Brown, A.W. Adolf는 컴퓨터를 이용해 3차원 디스플레이를 위한 홀로그래 패턴을 형성하는 Computer-generated Hologram (CGH) 알고리즘을 제안하였다 [4]. 이를 이용하면 기존의 홀로그래와는 달리 실제 물체가 존재하지 않더라도, 가상의 물체를 가정하여 기록이 가능하다. 물체파라는 것은 결국 3차원 물체로부터 회절 되어 만들어지는 광파이므로, 기존에 잘 알려져 있는 광학 이론들인 프레넬 회절 이론(Fresnel diffraction)과 하위헌스의 원리(Huygens' principle) 등을 이용하여 가상의 물체를 두고 이로부터 만들어지는 물체파를 계산할 수 있다. 몇 가지 대표적인 디지털 홀로그래 계산 방식에 대해 설명하면 다음과 같다.

1) 점집합(Point cloud) 기반의 CGH

가장 일반적이고 직관적인 CGH 형성 방법 중 하나로 3차원 물체의 공간 상 정보를 무수히 많은 점들의 집합의 형태로 표현하여 이에 대한 회절 패턴을 계산해 내는 방법이다. 이 경우 재생하고자 하는 물체를 수만개 내지는 수십만 개 이상의 점광원의 형태로 표현한 뒤, 각각의 점광원을 구면파 (spherical wave)의 형태로 표현하여 계산하고자 하는 평면상에 모든 구면파를 합산한 결과를 다음과 같이 계산하게 된다.

$$E_O(x_m, y_m) = \sum_{n=1}^N a_n \frac{\exp(ikR_{mn})}{R_{mn}}$$

위 식에서, a_n 은 주어진 n 번째 점광원이 지는 밝기 및 초기 위상 정보를 포함하고 있는 복소수 값이며, R_{mn} 이란 n 번째 점광원과 CGH를 계산하고자 하는 평면상의 좌표 (x_m, y_m) 간의 거리를 나타낸 값이다. 점집합의 의한 CGH계산 방법은 가장 직관적인 형태의 CGH 계산 방법 이기에 복잡한 회절 이론없이도 CGH를 계산해 낼 수 있다는 장점이 있으나, 점의 개수에 비례하여, 또 홀로그래 패턴의 해상도가 증가함에 따라 모든 (x_m, y_m) 지점에서의 CGH값을 개별적으로 계산해야 하기 때문에 점의 개수가 많은 경우 특히 계산시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또한 하나하나의 점광원을 계산함에 있어서 Nyquist 이

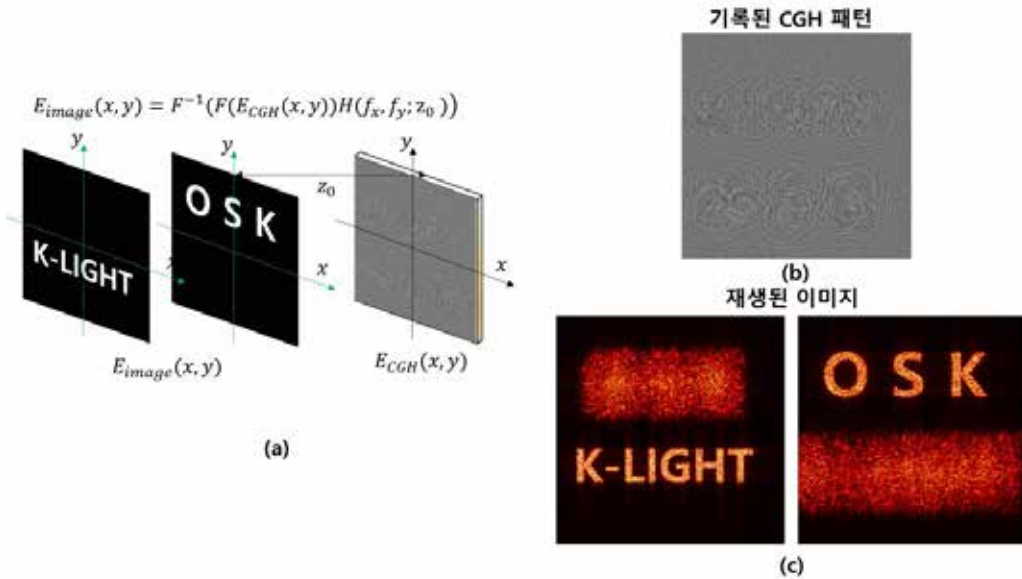


그림 3 a) 각주파수(Angular spectrum) 도메인과 FFT를 이용한 CGH 계산
(b) 해당 방식으로 기록된 CGH 패턴과 (c) 그 재생 결과

론에 입각한 필터를 고려해야 하는 문제점이 있는데, 하나의 점광원이 만들어 내는 위상 패턴은 CGH 평면 상에서 2차 포물면의 위상 함수로 나타내어지며 그 분포를 그려보면 그림 2의 inset과 같다. 이 2차 포물면은 점광원과 가까운 위치에서는 그 위상이 천천히 변화하나, 점광원과 먼 위치일수록 급격하게 그 위상의 변화량이 커지게 된다. 만약 (x_m, y_m) 의 인접한 픽셀에서 계산된 2차 포물면의 위상 차이가 2π 를 초과하게 되면, 이렇게 계산된 값들은 홀로그램 상의 선명도를 저하시키는 speckle noise나 ghost image의 형태로 나타나게 된다. 그 외에도 물체들 간 가려짐 효과 (occlusion) 등을 고려하기 위해 점광원 기반 CGH에도 다양한 기술들이 추가되고 있다. [5-7]

2) 각주파수(Angular spectrum) 도메인과 FFT를 이용한 CGH 계산

점광원에 대한 2차 포물면 위상 패턴을 계산하고자 하는 모든 위치에 대해서 연산하려면 convolution 연산이 필요하기 때문에 지나치게 많은 계산량을 요구하는 문제가 있다. 각주파수 도메인이란, (x, y) 평면을 2차원 푸리에 변환하였을 때 얻어지는 2차원 평면으로, 홀로그램 상이 놓여 있는 image plane과, 이로부터 z_0 만큼 떨어져 있는 CGH 패턴을 계산하고자 하는 CGH plane의 각주파수 도메인 사이

에는 다음과 같은 관계식이 성립함이 알려져 있다.

$$E_{image}(x, y) = F^{-1}(F(E_{CGH}(x, y))H(f_x, f_y; z_0))$$

여기서 F함수는 2차원 푸리에 변환을 뜻하며, $H(f_x, f_y)$ 는 z_0 만큼의 거리에 대한 전달함수로 다음과 같이 기술 할 수 있다.

$$H(f_x, f_y; z_0) = \exp(i2\pi z_0 \sqrt{\frac{1}{\lambda^2} - f_x^2 - f_y^2})$$

이와 같은 방식을 활용하게 되면 하나의 image Layer에 놓여있는 이미지 패턴을 점광원들의 집합으로 분해하지 않으면서도 일정 거리 떨어진 지점에서의 CGH 패턴을 계산할 수 있다. 여러 층의 layer로 이루어진 홀로그램 패턴의 경우에는 각 층에 대한 계산을 위에 설명한 바와 같이 수행한 뒤, 이들을 중첩하여 계산할 수 있다. 연속적인 깊이로 이루어진 3차원 물체의 경우에는 1)의 방법과 2)의 방법을 결합하여 계산 시, 1)의 방법만을 활용하는 경우보다 빠른 속도로 홀로그램의 계산이 가능하다. 그림 3은 이러한 방식으로 홀로그램을 계산하는 기법에 대해 설명한 그림이며, 해당 방식으로 형성된 홀로그램 이미지를 다시 재생한 결과가 함께 도시되어 있다.

3) 다각형 메쉬를 기반으로 하는 CGH 계산

점광원을 바탕으로 하는 CGH는 점의 개수가 충분히 많아지지 않는 이상 물체가 불연속적인 점들의 집합으로 이루어져 있음이 눈에 띄게 나타나는 단점이 있으며, 2)의 기법은 특정 레이어에 놓여 있는, z 축 방향으로 바라보는 평면 상에 물체가 놓여져 있는 경우에만 구현이 가능하다는 단점을 지니고 있다. 다각형 메쉬는 3차원 물체의 정보를 점이 아닌, 유한한 개수의 서로 연결된 평면 다각형의 형태로 표현하는 기법으로 점집합 대비 물체의 정보를 적은 양으로, 보다 자연스럽게 표현 가능하다는 장점을 지닌다. 이 방법은 2)의 방법에 회전 변환을 적용하여 다각형으로 잘게 잘려진 물체의 정보를 표현하게 된다. 여러 개의 다각형 정보로부터 얻어진 홀로그램 패턴을 중첩하는 방식은 1)의 방식과 유사하게 계산이 가능하다. [8]

3. 홀로그래피의 응용 및 전망

최근 홀로그램 산업은 국가적 지원을 통해 육성하고자 하는 신기술로 주목되어 큰 관심을 받고 있으며, 본 절에서는 홀로그램 사업을 중심으로 중점적으로 육성하고자 하는 홀로그램의 응용 분야들에 대해 간단히 알아보고자 한다. 홀로그램 산업이 응용되는 분야는 제어 계측, 의료, 에너지, 자동차, 디스플레이, 문화/관광, 보안 등 매우 광범위하기에 본 절에서는 이를 일반인들에게 조금 더 친숙하게 입력, 출력, 정보처리 의 3개 갈래로 나누어 설명해 보고자 한다.

1) 홀로그램 입력: 홀로그램 획득 및 계측 분야

홀로그램은 공간 상에 3차원 광 정보를 획득하는 방법 중 가장 정밀한 방법 중 하나라고 볼 수 있다. 빛의 위상을 변화시켜가며 그 정보를 기록하는 홀로그래픽 현미경 기술은 기존 현미경 대비 수배 이상 정밀한 계측이 가능함이 알려져 있으며 [9], 이를 활용하여 서브파장 스케일의 광 이미지를 계측하고, 반도체 리쓰그래피, 3차원 프로파일링 등에 홀로그램 계측 기술이 응용되고 있다. 의료 영상에 활용되는 OCT 기술 또한 광범위하게 보면 빛의 간섭을 이용하는 기술이다. OCT기술을 활용하여 각막 조직, 피부 조직 등의 내부를 인체에 무해한 방식으로 스캔하는 기법들이 Nidex사, Zeiss사 등에 의해 상용화되어 응용되고 있다 [10]. 또한 태양광 에너지 발전과 관련해서도 홀로그램 기술이 응용되고 있다. 미국의 Prism Solar사는 태양광 집광을 위해 회절 격자를 활용하여 에너지 집광 효율을 증가시키는 연구

보고를 발표한 바 있다 [11]. 특히 최근에는 가간섭광이 아닌 자연광을 활용하여 물체에 대한 홀로그램 이미지를 획득할 수 있는 자가간섭 홀로그래피에 기술이 많은 관심을 받고 있다 [12]. 자가간섭 홀로그래피 기술은 전통적인 홀로그램 기록 방식과 같이 물체파와 참조파의 두 개의 채널을 지닌 간섭계를 활용하는 대신, 가간섭성이 매우 낮은 일반적인 광원을 바탕으로 간섭 현상을 일으켜 이를 바탕으로 홀로그램 이미지를 기록하는 기술이다. 하나의 채널을 통해 들어온 광원을 공간적인 방식, 혹은 편광을 이용하는 방식 등을 활용하여 간섭 무늬를 형성하는데, 본 방식을 이용하게 되면 레이저를 이용하지 않아도 홀로그램 정보의 취득이 가능하기에, 멀지 않은 미래에는 생방송으로 중계되는 야구 중계를 3차원 홀로그램으로 시청할 수 있을지도 모르겠다. 이와 같이 홀로그램 신호, 좀 더 넓게 말하면 3차원 공간상에 분포하는 광 신호를 수집하여 데이터화하는 기술은 그 외에도 자율주행 자동차의 거리 인식 시스템이나, 인공지능 장치의 컴퓨터 비전, 오클러스 등의 VR 가상현실 장치에서 위치 및 동작 인식 기술 등 다양한 분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

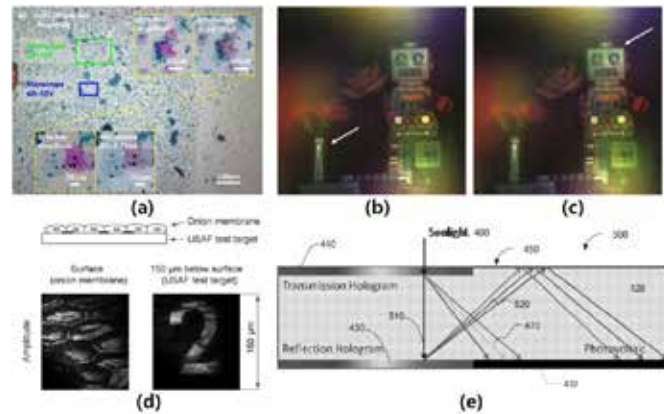


그림 4 홀로그램의 획득 및 계측을 활용한 잠재적 응용 분야 (a) 홀로그래픽 현미경으로 촬영한 자궁경부암 검사 (b), (c) 자가간섭 디지털 홀로그래피를 이용한 홀로그램 획득 (d) OCT 기술 (e) 회절격자를 이용한 태양에너지 집광 기술

2) 홀로그램 출력: 홀로그램 재생 및 전시 분야

홀로그램 신호의 출력을 중점적으로 활용하는 응용 분야는 우리에게 친숙한 홀로그램 디스플레이, 홀로그램 콘서트, 문화재 전시와 같은 응용 분야가 있다. 현재까지 출시되어 있는 홀로그램 디스플레이는 피라미드 홀로그램으로도 잘 알려져 있는 플로팅 홀로그램 기

/ 글 이승열

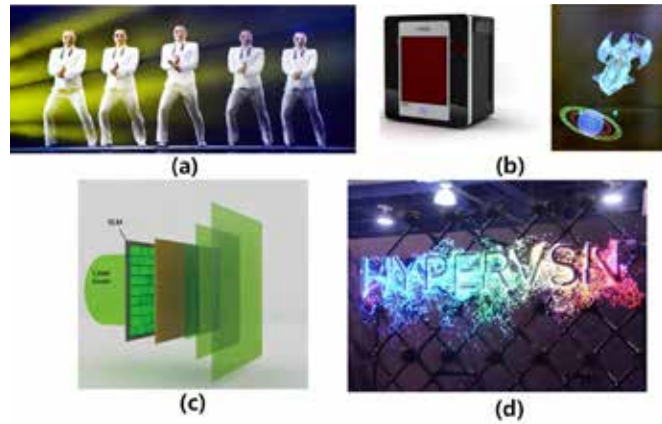


그림 5 홀로그램 디스플레이, 전시 기술들이 활용된 응용 분야 (a) 플로팅 홀로그램 기술을 활용한 싸이 콘서트 (b) Seareal 사의 VISIO 20 (c) 핀홀 어레이를 이용한 시야각 확장 기술 (d) 홀로그램을 활용한 옥외 전시물

법을 바탕으로 한 디스플레이 [13], 회전하는 팬을 활용하여 동기화된 이미지를 띄워 3차원 영상을 관측할 수 있게 하는 방식, 동공 추적 방식을 적용하여 사용자의 관심 영역에 원하는 홀로그램 영상을 보여주는 독일 Seareal사의 VISIO20 등 [14], 홀로그램 출력 분야에 있어서 가장 큰 이슈는 더 큰 홀로그램 영상을, 더 입체감 있게, 더 많은 사람들에게 동시다발적으로 보여주는 것에 초점이 맞추어져 있다. 그러나 아쉽게도 상기 언급한 세가지 조건을 동시에 만족시키는 이상적인 홀로그램 디스플레이 장치는 홀로그램 정보처리량의 과부하와, 홀로그램을 출력하는 공간 광 변조장치(Spatial Light Modulator)의 픽셀 크기의 한계로 지속적인 개발이 필요한 시점에 놓여 있다.

특히 홀로그램 영상 디스플레이 장치의 시야각은 픽셀 크기에 반비례하는 관계에 놓여 있으며, 픽셀 크기만을 줄인 채 홀로그램의 영상 크기를 늘리려면 어마어마한 양의 정보량이 필요하다. 최근 삼성 디스플레이에서는 5인치 크기에 2250ppi 수준의 해상도를 지닌 모바일 디스플레이 패널을 개발하고자 하는 '엔데카EnDK' 프로젝트를 진행하여 AR/VR 및 초고해상도 홀로그램 시장에 이르기까지 적용 가능한 세계 최고 성능의 미소 픽셀 크기를 지닌 디스플레이 장치를 개발하고자 연구에 박차를 가하고 있다. 또한 기존의 수십 마이크로미터 급의 큰 픽셀 크기를 지닌 디스플레이 패널은 유지하면서 추가적인 산란체나 핀홀 어레이 등을 전면에 배치함으로써 홀로그램의 시야각을 확장시키는 다양한 방식의 연구결과가 카이스트, 한

국전자통신연구원 등을 통해 다방면으로 이루어지고 있다 [15]. 또한 정지상 홀로그램의 응용 분야는 더욱 다양한데, 국내 기업들을 통해 홀로그램 이미지가 삽입된 책자, 광고물, 그리고 각종 문화재의 3차원 복원을 위해 사용되는 홀로그램 기술 등 전시, 교육, 문화와 관련된 다양한 산업들이 산출되고 있는 상황이다 [16].

3) 홀로그램 정보처리: 홀로그램 인터랙션 및 보안 분야
홀로그램의 입력과 홀로그램의 출력이 직접적인 홀로그램 콘텐츠의 생성과 소비를 담당한다면, 홀로그램 정보처리 분야는 형성된 홀로그램을 합성, 변환, 압축하여 보다 데이터 전송에 용이한 형태로 만들거나, 홀로그램 신호와 외부 신호간의 인터랙션 기술, 그리고 홀로그램 신호를 판독하여 보안 등에 사용하는 기술 범주를 포함하였다. 보안 분야에 있어서 홀로그램은 ID카드 등에 삽입되어 수십년 이상 응용되어 왔으며, 서울대, 포항공대 등에서는 홀로그램 기술과 메타물질 기술을 접목하여, 편광 상태에 따라 다양한 이미지를 보여주는 보안용 홀로그램 메타표면을 개발하거나, 메타표면을 활용하여 홀로그램을 AR기술에 활용하기도 하였다 [17,18]. 특히 한국전자통신연구원에서 10년간에 걸쳐 추진되는 “디지털 콘텐츠를 위한 Holo-TV” 사업은 홀로그램 데이터 및 콘텐츠의 생성과 그 홀로그램 데이터의 압축 기술, 그리고 근미래 수준의 데이터 통신 기술을 활용하여 압축된 홀로그램의 전송과 변환 등, 최종 렌더링을 포함하는 디지털 통신 기술로의 홀로그램 콘텐츠를 직접 활용하기 위한 기초 사업으로서 추진되고 있다. 특히, 기존 디스플레이 장치들과 달리, 표준화된 픽셀 크기와 해상도가 존재하지 않는 SLM들에 동일한 영상 이미지를 출력하기 위한 홀로그램 해상도 upscaling 변환이나 [19], 다양한 경로를 통해 취득된 홀로그램 이미지들을 합쳐서 형성하는 홀로그램 기반의 CG기술들이 최근 연구되고 있으며, 추후 일반인들에게 홀로그램 영상 콘텐츠가 보급될 때 유용하게 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

4. 결론

빛의 회절과 간섭 현상을 바탕으로 3차원 광 이미지를 기록하고 재생하는 기술인 홀로그래피는 3차원 공간 상의 정보를 2차원 평면에 기록 및 재생하는 기술로 살펴본 바와 같이 기존 2차원 디스플레이 대비 수백 내지 수만 배에 달하는 정보량을 필요로 하고 있다. 이러

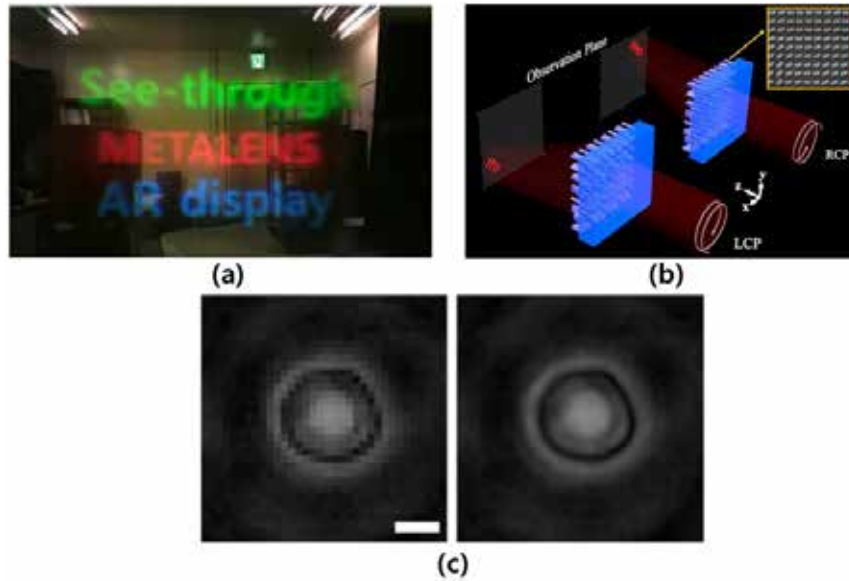


그림 6 홀로그램 보안 기술과 메타표면 홀로그램. (a) 메타표면을 이용한 AR 디스플레이, (b) 편광 상태에 따라 다양한 이미지를 보여주는 보안용 홀로그램 메타표면 (c) 인공지능을 이용한 홀로그램 해상도 upscaling 변환 연구

한 어마어마한 정보 전송량의 차이는 한때 홀로그램이 상용화 불가능한 기술이라는 이야기까지 나올 정도로 그 실현 가능성이 불투명한 시점도 존재하였으나, 지속적인 CPU/GPU연산기술의 발달과 5G 세대로 이어지는 통신기술의 발달, 그리고 이를 아우르는 4차산업혁명의 시대에 도달함으로써 홀로그램 기술의 상용화된 구현 가능성 또한 점차 가까워지고 있다. 앞선 절들에서 살펴본 바와 같이 홀로그램은 타 스테레오스코픽 3차원 영상 기술들과는 달리 양안시차에 의한 착시 현상이 아닌 3차원 정보 자체를 기록하기에 눈에 피로감이 매우 적고 자연스러운 영상을 보여줄 수 있다. 이러한 장점들을 바탕으로 홀로그램은 단순히 3차원 영상을 관측하는 것을 넘어서 최근 많은 관심을 받고 있는 증강현실(AR)/혼합현실(MR) 기술에 적용되어 일상생활에 응용될 수 있을 뿐 아니라, 의료기술의 발달과 더불어 많은 발전이 이루어지고 있는 원격 수술, 가상전투 및 가상회의와 같은 군사적 응용분야를 비롯한 다양한 응용 분야를 지닐 수 있을 것으로 기대한다.

홀로그램 기술의 발전은 이에 국한되지 않고, 회절광학을 기반으로 하는 다양한 광학 소자들의 개발에도 적용될 수 있을 것이다. 3차원 정보를 2차원 공간 안에 저장할 수 있다는 큰 장점은 홀로그래픽 메모리라 불리는 차세대 메모리 기술에 적용될 수 있으며 이는 현재

장매체의 용량을 수백 TB급으로 올릴 수 있을 것으로 기대한다. 우리가 잘 알고 있는 홀로그램 스티커 등은 홀로그램 패턴이 지나는 복잡도로 인해 정보 보안 분야에 널리 사용되고 있다. 홀로그램의 원리를 기반으로 하는 광 소자들은 기존의 렌즈, 거울과 같은 광학 부품들의 초소형화를 가능하게 해 주며, 최근 메타물질 등의 나노기술들이 발전함에 따라 더욱 다양한 형태로 연구되고 있다. 초소형화된 홀로그래픽 광학 소자(HOE) 등은 미세 반도체의 리소그래피 공정이나, 초소형 로봇 내에 탑재될 수 있는 광학 렌즈 등에 응용될 수 있을 것이다. 더 나아가 최근에는 인공지능에게 시각을 주고자 하는 컴퓨터 비전 등과 같은 차세대 시각 인식 기술들이 활발하게 개발되고 있는데, 홀로그램의 원리를 이용하여 보다 정확한 3차원 정보를 인식시키고 이를 응용하여 자율주행차의 위치 감지 시스템, 로봇 간 인식 시스템 등 다양한 광 시스템들로 응용분야가 확장될 수 있을 것으로 기대한다.

5. 참고 문헌

- [1] D Gabor, "A new microscopic principle," Nature, 161, 777-778 (1948).
- [2] J.W. Goodman, Introduction to Fourier Optics, 4th edition

- (2017).
- [3] T. H. Maiman, "Stimulated optical radiation in ruby," *Nature*, 187, 493-494 (1960).
- [4] B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Complex Spatial Filtering with Binary Masks," *Appl. Opt.* 5, 967-969 (1966).
- [5] P. Su et al., "Fast Computer-Generated Hologram Generation Method for Three-Dimensional Point Cloud Model," *Journal of Display Technology*, 12, 12, 1688-1694, (2016).
- [6] T. Shimobaba, H. Nakayama, N. Masuda, and T. Ito, "Rapid calculation algorithm of Fresnel computer-generated-hologram using look-up table and wavefront-recording plane methods for three-dimensional display," *Opt. Express* 18, 19504-19509 (2010).
- [7] R. H.-Y. Chen and T. D. Wilkinson, "Computer generated hologram from point cloud using graphics processor," *Appl. Opt.* 48, 6841-6850 (2009).
- [8] H. Kim, J. Hahn, and B. Lee, "Mathematical modeling of triangle-mesh-modeled three-dimensional surface objects for digital holography," *Appl. Opt.* 47, D117-D127 (2008).
- [9] Y. Wu, and A. Ozcan, "Lensless digital holographic microscopy and its applications in biomedicine and environmental monitoring," *Methods*, 136, 4-16 (2018).
- [10] P. Massatsch, F. Charrière, E. Cuche, P. Marquet, and C. D. Depeursinge, "Time-domain optical coherence tomography with digital holographic microscopy," *Appl. Opt.*, 44, 1806 (2005).
- [11] E.D.Aspnes, "Solar energy concentrator with multiplexed diffraction gratings," Patent Application, No.US 2013/0319524 A1, United States, 2013.
- [12] 민성욱, 최기홍, "자가간섭 디지털 홀로그래피 기술," *방송과 미디어 제 24권 2호* p127-139. (2019).
- [13] <http://www.etnews.com/201401160531?m=1>
- [14] S. Reichelt, R. Haussler, N. Leister, G. Futterer, H. Stolle, and A. Schwerdtner, "Holographic 3-D Displays - Electro-holography within the Grasp of Commercialization", *Advances in Lasers and Electro Optics*. (2010).
- [15] J. Park, K. Lee, and Y. Park, "Ultrathin wide-angle large-area digital 3D holographic display using a non-periodic photon sieve", *Nature Communications*, 10(1), (2019).
- [16] <http://korean.hologram3ddisplay.com/sale-10812838-kino-mo-3d-holographic-display-fan-holographic-player-projector-hypervsn-110-240v.html>
- [17] G.-Y. Lee, J.-Y. Hong, S. Hwang, S. Moon, H. Kang, S. Jeon, and B. Lee, "Metasurface eyepiece for augmented reality". *Nature Communications*, 9(1), (2018)
- [18] M. A. Ansari, I. Kim, D. Lee, M. H. Waseem, M. Zubair, N. Mahmood, and J. Rho, "A Spin-Encoded All-Dielectric Metahologram for Visible Light", *Laser & Photonics Reviews*, 1900065. (2019)
- [19] H. Byeon, T. Go, and S. J. Lee, "Deep learning-based digital in-line holographic microscopy for high resolution with extended field of view", *Optics & Laser Technology*, 113, 77-86. (2019)

저자 약력

이승열 교수는 서울대학교에서 전자공학 박사학위(2014년)을 취득한 뒤, 서울대학교 광공학연구소(2014~2015), 한국전자통신연구원 ICT소재부품연구소 실감영상소재연구실의 연구원(2015~2016)으로 근무하였다. 2016년 9월부터 경북대학교 전자공학부 조교수로 임용되어 현재까지 재직중이며, 홀로그램 생성과 재생, 회절광학소자, 나노광학, 메타물질과 관련된 연구를 하고 있다.

E-mail: seungyeol@knu.ac.kr

홀로그램 생성 및 프린팅

1. 서론

Laser의 발명 이후 1964년에 Leith와 Upatnieks는 최초의 아날로그 홀로그램을 시연하며 세상에 충격을 안겨주었다 [1]. 아날로그 홀로그램은 완벽에 가까운 3차원 영상의 재생이 가능하지만 필름이라는 매질의 한계에 의해 정지영상만을 기록 및 재생할 수 있으며 기록된 데이터의 처리 및 전송 또한 불가능하다. 따라서 사진을 촬영하고 줄기는 방법이 필름 카메라에서 디지털 카메라로 넘어갔듯, 아날로그 홀로그래피를 디지털의 방식으로 구현하고자 하는 것은 당연한 흐름이라 할 수 있다. 사실 홀로그래피 기술의 기반은 1960년대에 이미 대부분 완성되었음에도 불구하고 현재까지도 제대로 된 디지털 홀로그래픽 카메라나 디지털 홀로그래픽 디스플레이 (원래 electro-holographic display로 불리웠으나, 최근 digital holographic display도 혼용되고 있음)를 볼 수 없는 이유는 무엇일까?

첫번째 대표적인 걸림돌은 홀로그램의 촬영(혹은 획득)에 있어서 광원의 문제이다. 홀로그래픽 카메라는 간섭 무늬를 기록하기 위해서 하나의 laser에서 나온 빛을 두개로 나누어 기준광과 촬영 대상에 대한 조명으로 사용하며, 이때 다른 광원이 개입하여서는 안된다. 하지만 일반적으로 피사체로 많이 선택되는 인물이나 풍경을 홀로그래픽 카메라로 촬영하고자 한다고 생각해보자. 피사체가 인물인 경우, 레이저를 광원으로 사용한다고 하면 아무도 선뜻 피사체로 나서지 않을 것이다. 하지만 인물의 경우 안전문제를 무시한다면 촬영을 강행할 수도 있겠지만, 피사체가 야외 풍경인 경우 야에 촬영이 불가능하다. 먼저 laser 이외의 광원의 영향을 제거하기 위해 햇빛을 포함해 자연광을 모두 제거하여야 하는데 일단 이것부터 불가능하며, 촬영하고자 하는 대상 풍경 전체를 하나의 laser로 비추어 주어야 하는데 이 또한 불가능한 일이다. 따라서 보통 디지털 홀로그래피를 이용한 디지털 홀로그램의 직접 획득은 주로 통제가 가능한 실험실 환경에서 이루어지며, 현미경의 목적으로 많이 활용이 되고 있다. 반면, 일반적인 환경에서 홀로그램을 획득하기 위해서는 덤스 카메라나 라이트 필드 카메라 등 여러가지 3차원 정보 획득 장치를 이용하여 촬영하고자 하는 대상의 3차원 정보를 먼저 획득하고, 이 3차원 정보

로부터 computer generated hologram(CGH) 생성 방식을 적용하여 계산적으로 홀로그램을 생성하여 홀로그램을 간접적으로 획득하는 방식이 많이 활용되고 있다.

디지털 방식으로 홀로그래피를 구현하고자 할 때 또 한가지 문제는 흔히 space-bandwidth-product(SBP)라 불리는 요구 데이터량이 엄청나게 크다는 점이다. Sampling된 홀로그램 데이터의 각스펙트럼(angular spectrum) 값의 최대값은 픽셀 크기와 파장에 의해 결정되는데, 이는 홀로그램 획득 및 재생시 field of view(FOV)를 결정하게 된다. 예를 들어, 모바일 디스플레이의 일반적인 서브 픽셀 크기 수준인 30 μm 픽셀 크기에 사용되는 광원의 파장이 532 nm 일 경우 회절각은 대략 1° 정도밖에 되지 않는다. 30° 의 회절각을 가지는 경우를 역산해보면 픽셀 크기가 1 μm 정도가 되어야 하고, 그러한 디스플레이는 5인치의 크기라도 대략 100K급의 해상도를 요구한다. 이렇게 엄청나게 큰 요구 해상도는, 이를 만족시키는 디스플레이 및 획득 장치의 개발도 요원한 일이고, 이러한 데이터의 처리 및 전송도 문제이다. 따라서 아직은 기존의 아날로그 홀로그래피의 기록 및 재생 과정에 일대일 대응이 되는 디지털 홀로그래피 기술의 구현은 가까운 시일내에 이루어지기 어렵다고 할 수 있다.

하지만 지난 수십년간 주어진 resource 내에서 디지털 홀로그래피 기술을 구현하고자 하는 연구가 오래도록 이루어져왔고, 최근 다양한 방향으로 돌파구가 이루어지고 있다. 본고에서는 특히 홀로그램을 생성하는 일반적 방법에 대해 소개하고, 홀로그램 프린팅을 통해 디지털 홀로그램 데이터를 아날로그 홀로그램의 품질로 보여주는 방법에 대해 소개한다. 마지막으로 관련 분야의 최근 동향과 전망에 대해 간략히 소개하며 글을 마무리하고자 한다.

2. 홀로그램 생성

홀로그램을 계산적으로 생성하는 것은 개념적으로 아날로그 홀로그래피의 기록 과정을 시뮬레이션하는 것이라 할 수 있다. 따라서 CGH의 생성은 크게 두가지 단계로 나눌 수 있다. 첫번째는 기록하고자 하는 3차원 모델의 표면으로부터 산란된 빛이 전파(propagation)하

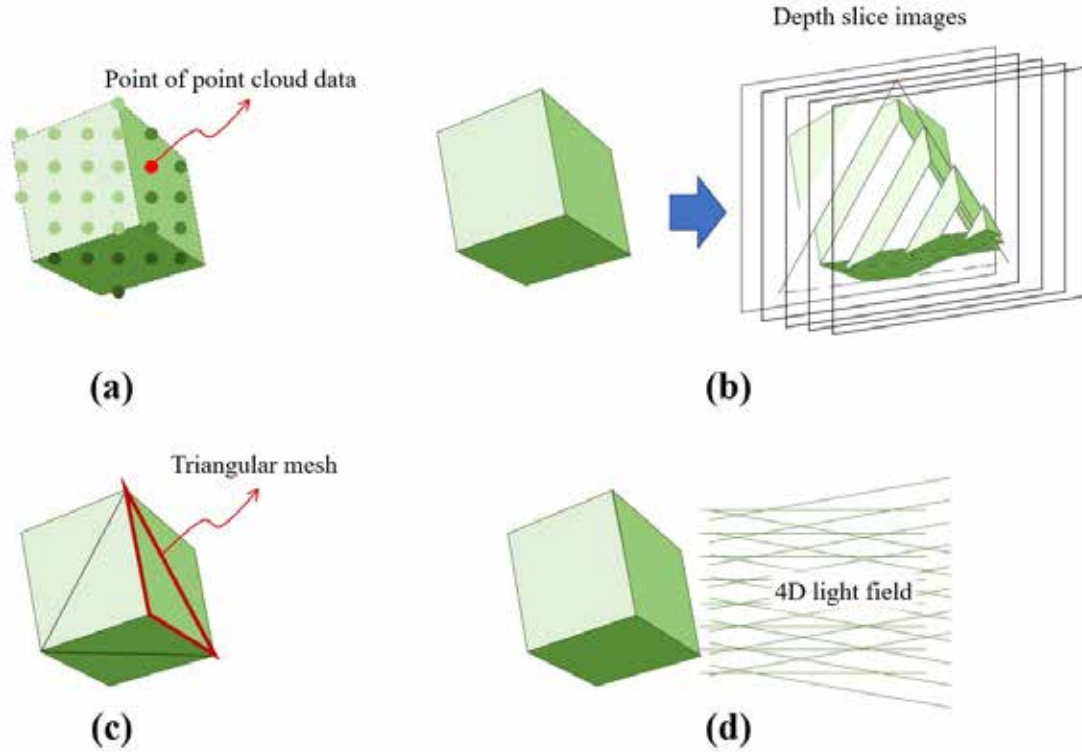


그림 1 3차원 모델의 표현 방법: (a) Point cloud data. (b) Depth slice image. (c) Polygon mesh. (d) 4D light field.

여 가상의 센서면에 도달하여 만들어내는 complex field를 계산해내는 단계이다. 이 때 얻어진 complex field는 그 자체로 amplitude(진폭)와 phase(위상) 정보를 모두 가지는 complex hologram(복소 홀로그램)이라 할 수 있다. 만약 진폭과 위상을 모두 갖는 complex field를 표현할 수 있는 SLM이 존재한다면 이 complex hologram을 바로 사용할 수 있겠으나, 일반적인 spatial light modulator (SLM)는 amplitude만 표현 가능한 amplitude SLM이거나 phase만 표현 가능한 phase SLM이다. 따라서 아날로그 홀로그래피에서 물체광과 기준광을 간섭시켜 Intensity 정보만을 갖는 간섭무늬로 필름에 기록하였듯이, complex hologram을 물체광으로 생각하여 이를 진폭 혹은 위상 정보만을 가지는 이미지로 encoding하는 단계가 필요하다.

2.1. Complex hologram의 계산

3차원 모델의 표면으로부터 산란된 빛이 전파하여 진행되는 과정을 계산하는 가장 직관적이고도 쉬운 방법은 Huygens-Fresnel 원

리를 적용하는 것이다. 이는 대상 3차원 모델 표면을 수많은 점광원의 집합으로 생각하고, 각 점광원이 구면파(spherical wave)를 발산하는 것으로 빛의 전파를 설명하는 것이다. 이 때 가상의 센서면에 기록되는 complex hologram은 이 구면파들의 중첩으로 계산할 수 있으며, 이는 파동광학적 관점에서 사실상 ground-truth인 해로 취급할 수 있다. 이러한 접근법은 3차원 모델을 표현하는 여러가지 방법 중 그림 1. (a)와 같은 point cloud 방식의 표현법에 적용이 가능하다. Point cloud 데이터는 (x, y, z)좌표와 색상값을 attribute로 갖는 수많은 point들의 집합으로 이루어져 있으며, 이로부터 complex hologram을 계산하기 위해서는, 각 point와 센서면 각 지점과의 거리를 r , 파장을 λ , wavenumber $k=2\pi/\lambda$ 라 할 때, 아래의 수식을 kernel로 하는 2D convolution을 계산하여야 하며, 이를 Rayleigh-Sommerfeld diffraction integral (이하 R-S integral)이라 한다 [2]:

$$\frac{z}{j\lambda} \frac{\exp(jkr)}{r^2}$$

하지만 센서면의 pixel number를 N_p , point cloud 데이터의 point 수를 N_p 라 할 때, 2D convolution은 $O(N_p N_p)$ 의 계산 복잡도를 가지며, 이는 현실적으로 굉장히 비효율적인 계산량을 필요로 한다.

따라서 효율적인 complex hologram의 계산을 위해 여러가지 다른 접근법들이 연구되고 있으며, 그 중 한가지가 RGB-D 방식으로 표현된 3차원 모델로부터 complex hologram을 계산하는 것이다. CG 모델을 하나의 카메라로 렌더링을 하거나, 실제 물체를 TOF 카메라 등의 depth 카메라로 촬영하였을 때, 렌더링된 컬러 이미지(RGB 이미지) 및 depth map 이미지(Depth이미지)를 얻을 수 있는데, 이를 RGB-D 데이터라 한다. 보통 depth map 이미지는 quasi-continuous한 depth 값을 표현할 수 있는 point cloud와 달리 quantized depth값을 표현하는데, 각각의 depth level에 RGB 이미지 중 해당되는 부분을 mapping함으로써, 그림 1. (b)와 같이 3차원 모델을 여러 평면 이미지들의 집합인 소위 depth slice image들로 표현하게 된다. 이 접근법의 장점은, R-S integral을 각 depth slice image에 적용하였을 때, convolution theorem에 의해 frequency domain에서의 2D multiplication으로 계산할 수 있다는 것이다. 이를 angular spectrum method라 하며, 2D convolution을 수행하는 대신 $O(N \log N)$ 의 계산 복잡도를 갖는 FFT 2번(사실은 FFT 한번과 IFFT 한번) 및 2D multiplication으로 계산할 수 있으므로, 2D convolution에 비해 현저히 낮은 계산량으로 계산이 가능하다. 하지만 RGB-D 데이터를 이용한 complex hologram 계산은, 각 depth slice image에 의한 complex field를 계산하여 중첩을 함으로써 얻게 되는데, quantization step을 줄이기 위해 depth level의 수를 늘리면 결국 이 또한 계산량이 상당히 되며, 그럼에도 불구하고 discrete depth밖에 표현할 수밖에 없는 단점이 있다.

최근의 흥미로운 연구 방향 중 한가지는, 임의의 aperture가 3차원 공간상에 임의의 translational shift 및 rotation을 갖더라도, 이로부터 전파된 파면이 센서면에 만들어내는 complex field를 angular spectrum method에 기반하여 계산해낼 수 있게 되었다는 것이다 [3-5]. 따라서 complex hologram을 계산하고자 하는 대상이 그림 1. (c)와 같이 polygon mesh로 이루어진 CG 모델일 경우, CG 모델을 구성하는 각 mesh로부터 센서면에 전파된 complex field를 계산할 수 있으며, 이들의 중첩으로 complex hologram을 계산할 수 있다. 이 방식의 장점은 대상 3차원 물체가 CG 모델일 경우 quantization

이나 approximation 없이 complex hologram을 얻어낼 수 있다는 것이지만, mesh 하나당 complex field 계산이 복잡하여 대상 3차원 물체를 구성하는 mesh의 개수가 많을 경우 계산량이 기하급수적으로 늘어나는 문제가 있다.

Computer graphics 기술의 발전과 함께 최근 3차원 정보의 획득 및 표현하는 방식 중 한가지로 light field 방식이 각광받고 있는데, 이는 그림 1. (d)와 같이 3차원 물체로부터 산란된 빛의 분포를 ray optics의 관점으로 표현하는 방법이다. 공간상의 전체 ray distribution을 표현하기 위해서는 원래 5D plenoptic function으로 표현하여야 하나, 대상 물체가 convex hull object일 경우, 특히 3차원 디스플레이를 위한 응용과 같이 관찰 방향이 정해져있는 경우에는 ray들의 방향만 가지고도 필요한 정보를 충분히 표현할 수 있다. 따라서 ray field를 한차원 낮추어 4차원 function으로 표현할 수 있는데, 이를 4D light field라 한다 [6]. 4D light field는 대상 물체의 깊이 정보를 얻지는 못하지만 reflectance 정보 표현에 유리한 장점이 있으며, 이를 이용하여 complex hologram을 생성하는 방법도 제안되었다 [7]. 하지만 light field 정보 획득 방식에서 근본적으로 angular resolution을 얻기 위해 spatial resolution을 희생하는 한계가 있으며, light field로부터 complex hologram을 생성하였을 때, 생성된 홀로그램에 이러한 한계가 그대로 반영되는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 최근 spatial resolution을 희생하지 않고 complex hologram을 계산하는 방법이 제안되었으나 [8], 이 방식은 상당한 계산량을 요하는 단점이 있다.

2.2. 홀로그램 생성 고속화

앞서 complex hologram을 계산하기 위한 다양한 방법에 대해 소개하였으나, 대부분 계산 복잡도가 상당히 높으며, 궁극적으로 아날로그 홀로그래피를 대체할 수 있는 높은 해상도를 고려한다면, 그 계산량은 현실적으로 불가능한 수준에 이르게 된다. 따라서 이러한 complex hologram을 계산함에 있어서 고속화를 하기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있다.

홀로그램 생성 고속화를 위한 한가지 방향은 approximation 등을 통하여 새로운 알고리즘을 개발하는 것이다. 예를 들어, Phase-added stereogram은 R-S integral을 이용하여 complex hologram을 계산할 때, 그림 2. (a)와 같이 complex hologram을 작은

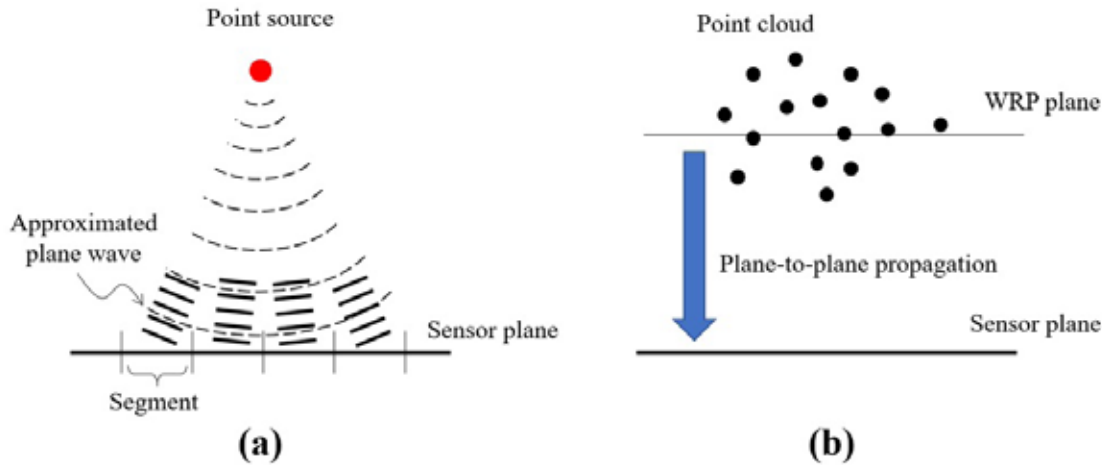


그림 2 (a) Phase added stereogram. (b) WRP method.

segment들로 나누어, 각 segment 내에서는 point cloud의 각 point로부터의 파면을 구면파가 아닌 평면파로 근사하여 계산하는 것이다 [9]. 이 때 각 segment별로 complex hologram의 계산을 2D convolution이 아닌 FFT를 통해 계산할 수 있으며, 전체적으로 계산량을 현저히 줄일 수 있다. 하지만 이러한 접근법은 구면파를 다수의 평면파로 근사함으로써 재생된 3차원 영상의 품질을 저하시키는 단점이 있다. Wavefront recording plane (WRP) 방법은 R-S integral을 계산함에 있어 convolution kernel의 크기가 점광원의 센서면으로부터의 거리에 비례하여 커진다는 점을 이용하여, 그림 2. (b)와 같이 point cloud data의 point들의 중심에 WRP라 불리는 intermediate plane을 위치시켜 이 plane에 대해 R-S integral을 이용해 complex hologram을 계산하고, 이렇게 계산된 intermediate plane상의 complex field를, angular spectrum method 등 FFT에 의해 구현되는 plane-to-plane propagation 방식을 이용하여 원하는 센서면에 전파함으로써, 목표로 하는 complex hologram을 계산하는 방식이다 [10]. WRP 방법은 이러한 과정을 통해 전체적인 계산량을 최적화할 수 있으며, 계산량을 더욱 최적화하기 위한 여러가지 방법들이 계속 개발되고 있다.

홀로그램 생성 고속화의 또다른 한가지 방향은 컴퓨터의 하드웨어 자원을 활용하는 방법이다. 예를 들어 look-up table (LUT) method

는 컴퓨터의 메모리 자원을 사용하여 점광원이 센서면에 만들어내는 complex field를 거리별로 미리 계산하여 LUT로 저장해놓고, 홀로그램 계산시에 각 point에 대응하는 kernel을 계산하는 대신, LUT에 저장된 데이터를 가져와 사용하는 방식이다 [11]. 따라서 홀로그램 계산에 걸리는 시간을 크게 단축할 수 있으나, LUT 저장을 위해 굉장히 큰 메모리 용량을 요구하는 단점이 있다.

최근에는 컴퓨터 그래픽스 기술의 발전과 더불어 GPU의 성능이 빠르게 발전하고 있으며, GPU를 활용한 병렬 처리를 통해 계산 시간을 줄이는 방법도 많이 연구되고 있다 [12]. 병렬 처리의 경우 최적화 여부에 따라 성능이 크게 좌우되는데, 특히 R-S integral 등 2D convolution을 사용하는 방식은 그 계산 과정이 GPU의 rendering pipeline과 유사하기 때문에 병렬 처리 최적화가 쉬워서, 과거에는 높은 계산 복잡도 때문에 기피하는 방식이었으나 최근에는 오히려 선호도가 높아지고 있다.

2.3. Complex field의 encoding 방법

가상의 센서면에 complex hologram을 계산해냈다 하더라도, 이를 실제로 SLM을 통해 디스플레이 하기 위해서는 진폭 정보만 있거나(amplitude-only) 혹은 위상 정보만 있는(phase-only) 영상으로 encoding하는 과정을 거쳐야 한다. 진폭만을 가지는 영상으

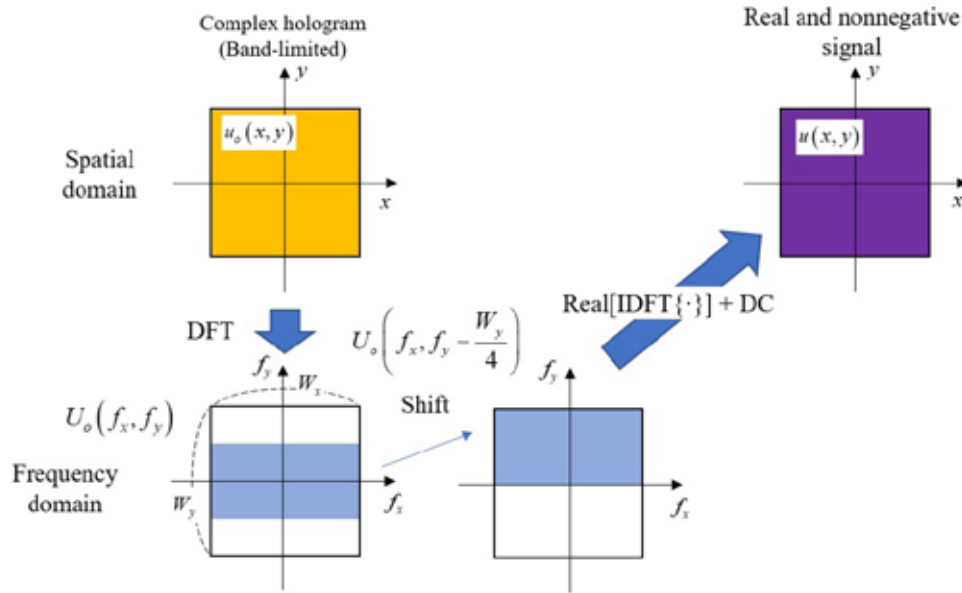


그림 3 Single-sideband encoding 방법.

로 encoding 하는 방법은 그림 3과 같은 single-sideband (SSB) encoding 방법이 많이 사용된다 [13].

SSB encoding을 거치게 되면 frequency domain에서 전체 영역의 절반만을 유효한 signal로 사용하게 되는데, 결국 SBP의 절반을 희생하여 complex signal을 표현하는 방법이라 할 수 있다. SSB encoding을 하게 되면 그 결과로 real-valued signal을 얻게 되는데, 이 signal에는 음수가 포함되어 있으므로, 음수를 제거하여야 비로소 SLM 등 디스플레이 장치에 표시가 가능한 영상 정보가 된다. 음수를 제거하는 가장 쉬운 방법은 영상 전체적으로 적절한 DC값을 더해 양수값으로 만들어주는 것인데, 이는 전체 신호를 회색조로 만들게 된다. 이론적으로 이러한 DC값은 frequency domain에서의 filtering에 의해 완벽히 제거가 가능하나 실험적으로는 완벽히 제거가 되지 못하고 background noise로 남게 된다. 이러한 background noise를 제거하기 위해 Burckhardt가 제안한 방법으로 대표되는 phase detour 방법을 통해 3개의 pixel을 macro pixel로 묶어 encoding을 해주면, DC값을 더해줄 필요없이 바로 실수이면서 양수인(real and nonnegative) signal로 encoding이 되어 background noise 문제에서 자유롭게 된다 [14]. 하지만 SBP의 1/3밖에 사용하지 못하

기 때문에 FOV 등 시스템의 특성이 제한되는 문제가 있다. 최근에는 SSB encoding 후 음수값을 버리는 등 signal의 일부 손상을 감수하고 encoding을 하는 방식이 제안되었다 [15]. 이 경우, phase detour 방식보다 높은 정보량을 사용(SBP의 절반)하면서도 background noise를 제거할 수 있으며, 재현되는 3차원 영상의 품질도 인지적으로 원본에 비해 크게 차이가 없다는 결과가 보고된 바 있다. 위상만을 가지는 영상 정보로 encoding을 하기 위해서는 2개의 pixel을 macro pixel로 묶어 phase detour 방식으로 encoding 하는 방식을 사용할 수 있으며 [16], 이 밖에도 홀로그램의 생성을 하는 단계에서 바로 phase-only image를 만들어내는 iterative Fourier transform algorithm (IFTA) 방식을 사용할 수도 있다 [17]. 또한 디스플레이의 형태에 따라서 binary 정보로 홀로그램을 표현하는 방식으로 encoding이 이루어지기도 한다 [18].

3. 홀로그램 프린팅

3.1. 홀로그램 프린팅 방법

앞서 설명한 방식으로 디지털 홀로그램 데이터를 생성한다고 해도, 이를 통해 아날로그 홀로그램 수준의 3차원 영상을 보여주기 위해

서는 수백K의 해상도에 달하는 영상 정보를 보여줄 수 있어야 한다. 하지만 가장 최신의 SLM조차 기껏해야 8K 정도의 해상도에 머무르기 때문에 SLM을 통해 수백K의 해상도의 영상 정보를 보여주는 것은 아직 요원한 일이라 할 수 있다. 따라서 최근에는 홀로그래픽 프린팅이라는 방법을 통해 동영상 재생은 포기하더라도 디지털 데이터로부터 생성된 수백 K 해상도의 3차원 영상을 아날로그 필름 위에 인쇄하여 아날로그 홀로그래피에 필적하는 화질로 보여주고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 홀로그래픽 프린팅은 아날로그 필름 위에 수K 수준의 낮은 해상도의 영상 정보들을 타일링하여 기록함으로써 전체적으로 수백K 해상도의 영상 정보를 구현하는 방법이다. 이 때 낮은 해상도의 영상 정보는 SLM에 레이저를 광원으로 사용하여 아날로그 필름에 전달되며, 아날로그 홀로그램 수준의 영상 품질을 위해 필요한 sub-micron의 해상도를 위해 이 영상 정보는 충분한 배율을 갖는 축소광학계를 통과한 후 아날로그 필름 위에 전달된다. 이 때 전달된 SLM의 영상 정보를 물체광으로 하고, 이 물체광을 아날로그 필름 위에 아날로그 홀로그래피의 방법으로 기록을 하게 된다. 그리고 아날로그 필름을 기계식 스테이지로 옮겨가며 같은 방법으로 영상 정보를 순차적으로 기록하면, 시간은 걸리지만 결과적으로 수백K의 디지털 영상 정보를 아날로그 필름에 기록할 수 있다. 이 때 SLM 하나에 의해 기록되는 단위를 hogel이라한다. 이 때 hogel에 기록되는 정보의 형태에 따라 holographic stereogram printer와 holographic wavefront printer로 나뉘게 된다. Holographic stereogram printer의 경우, 각 hogel은 기록 및 재생하고자 하는 대상 3차원 물체를 각각의 hogel 중심에 위치한 가상의 perspective camera로 렌더링한 perspective view를 보여주게 되며, 이 때 3차원 영상은 light field (그 중에서도 integral imaging)의 방식으로 보여지게 된다 [19]. 이를 위해서는 각 hogel의 기록시에 SLM에 대응되는 perspective view를 표시해주고, 이를 그대로 축소하여 아날로그 필름면에 기록해주게 된다.

반면, holographic wavefront printer는 기존의 아날로그 홀로그램과 같이 프린팅된 결과물이 고해상도의 complex field를 기록하는 것을 목적으로 하는 프린팅 방식이다 [20]. 따라서 이 경우 3차원 영상의 디스플레이를 위해서는 대상 3차원 물체로부터 산란된 파면이 아날로그 필름면에 전파하여 생성된 complex field를 계산하여 hogel 단위로 나누어 기록하여야 한다. SLM은 amplitude 혹은

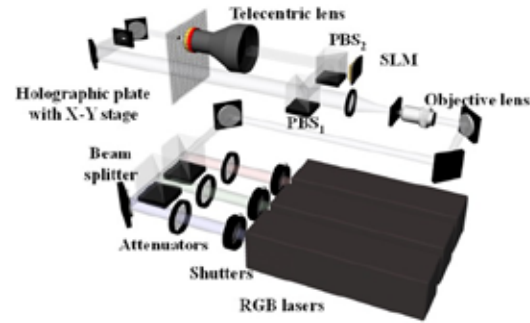


그림 4 Holographic wavefront printer의 구조

은 phase 값만 표시할 수 있으므로, hogel에 complex field를 전달하기 위해서는 기록하고자 하는 complex field를 SLM의 타입에 맞추어 amplitude-only 또는 phase-only hologram으로 encoding하여 SLM에 표시하여 주어야 한다. 만약 SLM이 amplitude-type SLM이라면, 전술한 SSB encoding에 의해 amplitude-only hologram으로 encoding된 영상을 SLM에 표시해 주고, 이 영상을 아날로그 필름에 전달할 때, 4f-system을 이용하여 주파수 영역에서 spatial bandpass filter를 이용함으로써 의도한 complex field가 아날로그 필름면에 전달되도록 할 수 있으며, 그림 4와 같은 시스템을 통해 구현할 수 있다.

3.2. Digitally-designed holographic optical element

Holographic wavefront printer에 의해 기록된 홀로그램은 근본적으로 고해상도로 표현된 임의의 digital complex field를 기록하는 것이기 때문에, 3차원 영상의 디스플레이 뿐만 아니라, 아날로그 홀로그래피의 다른 분야에 모두 적용이 가능하다. 그 대표적인 응용분야가 holographic optical element (HOE)이다. HOE는 임의의 optical component가 만들어내는 파면을 아날로그 홀로그래피의 방식으로 기록하여 만들 수 있으며, 기록된 HOE에 기준광을 입사하여 주었을 때 기록시 사용된 optical component와 동일한 파면을 재생하게 된다. 이 때, 필름 내부에는 보통 volume grating이 새겨지게 되는데, HOE를 반사형으로 기록하였을 경우 volume grating의 특성에 의해 입사광에 대해 파장 및 각도 선택성을 가지게 된다. 따라서 기록시 사용되었던 기준광과 동일한 파장 및 각도의 빛 이외에는 대

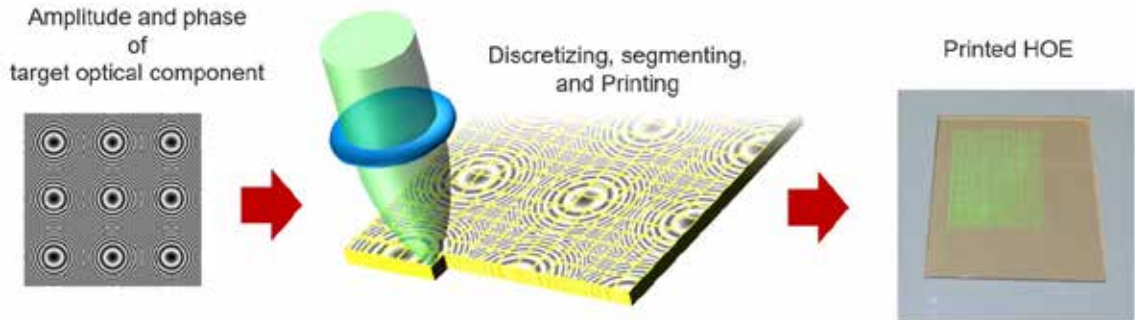


그림 5 HOE를 printing 하는 과정.

부분 HOE를 투과하므로, 외부광에 대해 see-through한 특성을 가지며, 기준광에 대해서만 optical component로써 기능을 하게 된다. 특히 이러한 특성은 최근 AR 기기를 만드는데 있어 see-through 특성을 갖는 렌즈를 만드는데 주목을 받고 있다 [21]. 하지만 HOE를 기록하기 위해서는 구현하고자 하는 광학적 기능을 재현해주는 실물 optical component가 필요하며, 보통 이러한 실물 optical component를 설계하여 제작하는데는 많은 비용이 들어가게 된다. 따라서 마치 3D 프린터가 금형을 제작할 필요없이 설계 데이터에서 바로 3D 모델을 만들어낼 수 있는 것처럼, 광학적 기능을 설계한 데이터가 있다면 그에 대응되는 complex field 값을 holographic wavefront printer에 의해 프린팅 함으로써 optical component의 제작없이 HOE를 제작할 수 있다 [22, 23]. 이러한 접근 방법을 통해 원하는 광학적 기능을 갖는 HOE의 설계치를 테스트해볼 수 있으며, 이를 통해 더욱 완벽한 optical component의 설계가 가능하다.

4. 연구 동향 및 전망

그간 아날로그 홀로그래피 수준의 디지털 홀로그래피 기술을 구현하는 것은 요원한 일로 여겨져 왔으나, 새로운 기술들의 개발로 이전에는 생각하지 못했던 방향으로 디지털 홀로그래피의 현실화가 앞당겨지고 있다. 자연광 환경에서 홀로그램 획득은 광원의 문제로 어렵다고 앞서 밝혔으나, 최근 자간섭이라는 방법을 통해 자연광의 환경에서도 홀로그램을 기록할 수 있는 방법이 제안되었다 [24]. 이를 통해 저자가 아는 한 역사상 최초의 야외 풍경에 대해 홀로그램을 기록한 사례가 발표되며 [25], 일반적인 환경에서도 홀로그램을 직

접 획득할 수 있는 홀로그래픽 카메라의 실현이 가능할 것으로 기대되고 있다. 또한 video-rate으로 refresh가 가능한 홀로그래픽 매질이 개발됨으로써 [26], 아직 10K도 안되는 해상도를 갖는 pixelated SLM이 수백K 해상도를 표현 가능하게 되는 날을 기다리는 대신, holographic material을 디지털 홀로그램 동영상을 표시하기 위한 디스플레이 장치로 사용하는 방안에도 고려해볼 수 있게 되었다. 뿐만 아니라 랜덤 핀홀을 디스플레이 장치 픽셀 앞에 위치시킴으로써 홀로그래픽 디스플레이의 요구 SBP를 낮출 수 있는 방안도 개발되는 등 [27], 아날로그 홀로그램에 필적하는 디지털 홀로그래픽 디스플레이 장치의 개발도 앞당겨지고 있다.

따라서 홀로그램 생성 기술 역시 이에 발맞추어 video-rate으로 생성이 가능한 기술을 개발하기 위해 박차를 가하고 있으며, 컴퓨터 기술의 발전으로 그 현실화 시기가 생각보다 일찍 다가올 것으로 기대되고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 최신의 GPU는 홀로그램 생성 속도를 매우 높이고 있으며, 최근에는 하드웨어적으로 홀로그램 생성에 최적화된 FPGA를 개발하여 7877 포인트로 구성된 point cloud 데이터에 10,000x10,000 픽셀의 홀로그램을 video-rate으로 생성하는 성능을 보여주는 연구 결과도 보고된 바 있다 [28]. 또한 컴퓨터 공학 분야에서 최근 각광받고 있는 deep learning 기술을 활용하거나 [29], VR/AR 분야에서 새롭게 제안된 foveated rendering 기술을 적용하는 등 타 분야와의 융합을 통한 새로운 홀로그램 생성 기술도 활발하게 제안되고 있다 [30, 31].

특히, 최근 각광받고 있는 분야인 AR 디스플레이 개발에 있어서, 수렴초점 불일치 문제를 해결할 수 있는 홀로그래픽 디스플레이 기술

을 활용하는 방안이 관심을 받고 있는데 [32], 사실 사람의 눈과 디스플레이 장치와의 상대적 위치가 고정되는 near-eye display에서는 상대적으로 낮은 SBP로도 홀로그래픽 디스플레이를 구현할 수 있으므로 홀로그래픽 디스플레이를 적용할 수 있는 현실적인 응용 분야라고 할 수 있다. 따라서 AR 기기에 성공적으로 적용될 경우, 생각보다 일찍 시장에서 홀로그래픽 디스플레이를 만나보게 될지도 모른다. 이와 같이 디지털 홀로그래피 기술이 생각보다 일찍 상용화가 될지도 모른다는 기대감에 JPEG 등의 국제 표준화 단체에서는 이미 홀로그램 데이터 압축의 표준화를 추진하고 있으며 [33], MPEG 등 타 표준화 단체에서도 홀로그램 데이터에 대한 표준화 추진을 검토 중이다. 하지만 홀로그래피 기술의 이론적 배경을 깊이 이해하고 구현하는 것은 적지 않은 노력이 필요한 일이기 때문에, 홀로그래피 관련 SW 개발을 위한 문턱을 낮추고 시장을 확대하기 위해 전자부품연구원에서는 과학기술정보통신부의 지원을 받아 Openholo라는 이름의 오픈소스 라이브러리를 깃허브를 통해 개발하는 중이며 2020년 말에 정식 릴리즈 및 배포가 이루어질 예정이다 [34]. 따라서 홀로그래피 기술에 새롭게 관심을 가지게 된 독자라면 Openholo를 활용한다면 홀로그래피 관련 SW 개발에 도움이 될 것으로 생각한다.

5. 참고 문헌

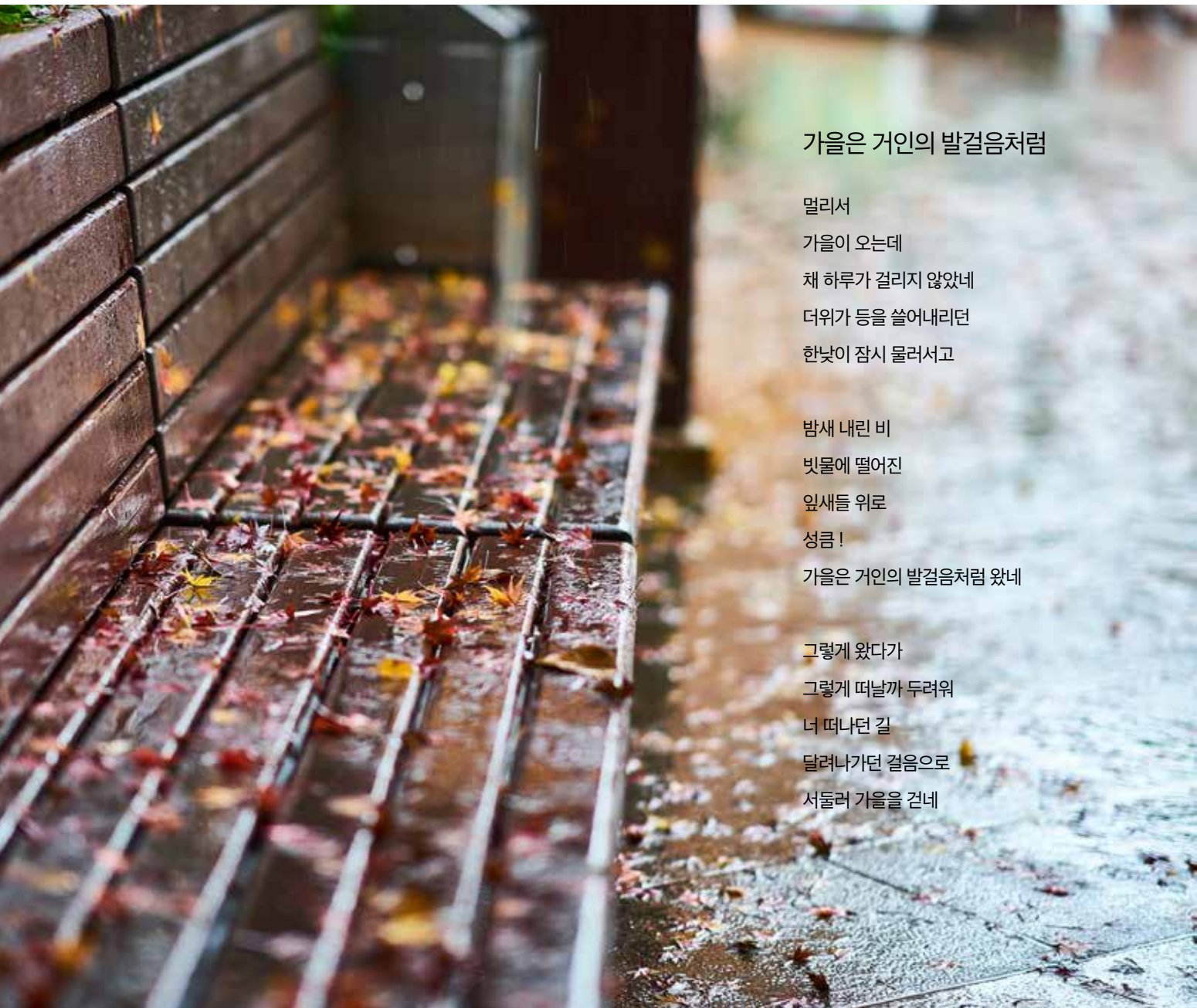
- [1] E. N. Leith and J. Upatnieks, "Wavefront reconstruction with diffused illumination and three-dimensional objects," J. Opt. Soc. Am. 54, 1295 (1964).
- [2] J. W. Goodman, Introduction to Fourier Optics (W. H. Freeman, 2017).
- [3] L. Ahrenberg, P. Benzie, M. Magnor, and J. Watson, "Computer generated holograms from three dimensional meshes using an analytic light transport model," Appl. Opt. 47, 1567 (2008).
- [4] K. Matsushima and S. Nakahara, "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method," Appl. Opt. 48, H54 (2009).
- [5] H. Kim, J. Hahn, and B. Lee, "Mathematical modeling of triangle-mesh-modeled three-dimensional surface objects for digital holography," Appl. Opt. 47, D117 (2008).
- [6] R. Ng, "Fourier slice photography," ACM Trans. Graph. 24, 735 (2005).
- [7] N. T. Shaked and J. Rosen, "Multiple-viewpoint projection holograms synthesized by spatially-incoherent correlation with broadband functions," J. Opt. Soc. Am. A 25, 2129 (2008).
- [8] J.-H. Park and M. Askari, "Non-hogel-based computer generated hologram from light field using complex field recovery technique from wigner distribution function," Opt. Express 27, 2562 (2019).
- [9] H. Kang, E. Stoykova, and H. Yoshikawa, "Fast phase-added stereogram algorithm for generation of photorealistic 3D content," Appl. Opt. 55, A135 (2016).
- [10] T. Shimobaba, N. Masuda, and T. Ito, "Simple and fast calculation algorithm for computer-generated hologram with wavefront recording plane," Opt. Lett. 34, 3133 (2009).
- [11] Lucente, M. Interactive computation of holograms using a look-up table. J. Electron. Imaging 2, 28 (1993).
- [12] N. Masuda, T. Ito, T. Tanaka, A. Shiraki, and T. Sugie, "Computer generated holography using a graphics processing unit," Opt. Express 14, 603 (2006).
- [13] X. Wang, H. Zhang, L. Cao, and G. Jin, "Generalized single-sideband three-dimensional computer-generated holography," Opt. Express 27, 2612 (2019).
- [14] C. B. Burckhardt, "A Simplification of Lee's Method of Generating Holograms by Computer," Appl. Opt. 9, 1949 (1970).
- [15] J. An, et al., "High-contrast Encoding Method for Amplitude-only Computer Generated Hologram," in SID Digest 49, 64 (2018).
- [16] P. M. Birch, R. Young, D. Budgett, and C. Chatwin, "Two-pixel computer-generated hologram with a zero-twist nematic liquid-crystal spatial light modulator," Opt. Lett. 25, 1013 (2000).
- [17] R. W. Gerchberg and W. O. Saxton, "A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane figures," Optik (Stuttgart) 35, 237 (1972).
- [18] B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Computer-generated

- binary holograms," IBM J. Res. Dev. 13, 160 (1969).
- [19] J. Su, X. Yan, Y. Huang, X. Jiang, Y. Chen, and T. Zhang, "Progress in the synthetic holographic stereogram printing technique," Appl. Sci. 8, 851 (2018).
- [20] Y. Kim, E. Stoykova, H. Kang, S. Hong, J. Park, J. Park, and J. Hong, "Seamless full color holographic printing method based on spatial partitioning of SLM," Opt. Express 23, 172 (2015).
- [21] K. Hong, J. Yeom, C. Jang, J. Hong, and B. Lee, "Full-color lens-array holographic optical element for three-dimensional optical see-through augmented reality," Opt. Lett. 39, 127 (2014).
- [22] J. Hong, J. Yeom, Y. Kim, J. Park, J. Cho, S. Hong, K.-M. Jung, H. Kang, and B. Lee, "See-through three-dimensional display using printed holographic-optical-element," in Digital Holography & 3-D Imaging Meeting, OSA Technical Digest, paper DW4A.2, (Optical Society of America, Shanghai, 2015).
- [23] K. Wakunami, P.-Y. Hsieh, R. Oi, T. Senoh, H. Sasaki, Y. Ichihashi, M. Okui, Y.-P. Huang, and K. Yamamoto, "Projection-type see-through holographic three-dimensional display," Nat. Commun. 7, 12954 (2016).
- [24] J. Rosen and G. Brooker, "Non-scanning motionless fluorescence three-dimensional holographic microscopy," Nature Photon. 2, 190 (2008).
- [25] M. K. Kim, "Full color natural light holographic camera," Opt. Express 21, 9636 (2013).
- [26] P.-A. Blanche, A. Bablumian, R. Voorakaranam, C. Christenson, W. Lin, T. Gu, D. Flores, P. Wang, W.-Y. Hsieh, M. Kathaperumal, B. Rachwal, O. Siddiqui, J. Thomas, R. A. Norwood, M. Yamamoto, and N. Peyghambarian, "Holographic three-dimensional telepresence using large-area photorefractive polymer," Nature 468, 80 (2010).
- [27] J. Park, K. Lee, and Y. Park, "Ultrathin wide-angle large-area digital 3D holographic display using a non-periodic photon sieve," Nat. Commun. 10, 1304 (2019).
- [28] T. Sugie, T. Akamatsu, T. Nishitsuji, R. Hirayama, N. Masuda, H. Nakayama, Y. Ichihashi, A. Shiraki, M. Oikawa, N. Takada, Y. Endo, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "High-performance parallel computing for next-generation holographic imaging," Nature Electronics 1, 254 (2018).
- [29] R. Horisaki, R. Takagi, and J. Tanida, "Deep-learning-generated holography," Appl. Opt. 57, 3859 (2018).
- [30] J. Hong, Y. Kim, S. Hong, C. Shin and H. Kang, "Gaze contingent hologram synthesis for holographic head-mounted display," Proc. SPIE, 9771, 97710K (2016).
- [31] Y.-G. Ju and J.-H. Park, "Foveated computer-generated hologram and its progressive update using triangular mesh scene model for near-eye displays," Opt. Express 27, 23725 (2019).
- [32] A. Maimone, A. Georgiou, and J. S. Kollin, "Holographic near-eye displays for virtual and augmented reality," ACM Trans. Graph. 36, 85 (2017).
- [33] P. Schelkens, T. Ebrahimi, A. Gilles, P. Gioia, K.-J. Oh, F. Pereira, C. Perra, and A. M. G. Pinheiro, "JPEG Pleno: Providing representation interoperability for holographic applications and devices," ETRI J. 41, 93 (2019).
- [34] <http://openhologo.org>

저자 약력

홍지수 박사는 LG전자기술원에서 선임연구원으로 근무(2004~2008) 후, 서울대학교에서 전기컴퓨터공학 박사학위를 취득하였다(2012). 이후, Univ. of South Florida에서 박사후 연구원으로 재직하며 자연 광 기반의 홀로그래픽 카메라 기술 연구를 수행(2013~2014)하였으며, 2014년 6월부터 전자부품연구원(KETI)에서 홀로그래픽 프린팅, 홀로그램 고속 생성, 라이트필드 디스플레이 및 AR 디바이스 기술에 대한 연구를 하고 있다. 또한 2018년부터는 한국정보디스플레이학회 산하 3D 및 AR/VR 연구회 회장을 맡으며 산학연의 관련 연구 활성화 및 협력을 위해 노력하고 있다.

E-mail: jhong@keti.re.kr



가을은 거인의 발걸음처럼

멀리서
가을이 오는데
채 하루가 걸리지 않았네
더위가 등을 쓸어내리던
한낮이 잠시 물러서고

밤새 내린 비
빗물에 떨어진
잎새들 위로
성큼!
가을은 거인의 발걸음처럼 왔네

그렇게 왔다가
그렇게 떠날까 두려워
너 떠나던 길
달려나가던 걸음으로
서둘러 가을을 건네



주병권(朱炳權)

1962년 충북 제천 출생
1988년~2005년 KIST 미래기술연구본부, 책임연구원
2005년~현재, 고려대학교 전기전자공학부 교수
한국문인협회 종로지부(종로문협) 회원, 이사
작가블로그, <http://blog.daum.net/jbkist>



아버지의 품격(feat. my son)

최근 동료 직원과 점심을 먹고 있는데 핸드폰이 울렸다.

같이 식사를 하던 동료가 “어! 무슨 일이지? 아들한테 전화가 왔네.” 하면서 내게 양해를 구하고 밖으로 나가서 전화를 받는다. 그렇게 수차례 전화를 받고, 또 전화를 거느라 식사도 제대로 하지 못했다.

내가 물었다. “아들에게 무슨 일이라도 생긴 거야?”

“아니요. 아들 녀석이 목이 아파서 오늘 학원을 빠지고 집에서 쉬면 안되냐고 묻네요.”

그 말에 내가 “그럼 그냥 쉬라고 하면 되지, 뭐가 그리 복잡해?”라고 물었다.

그랬더니 심각하게 대답한다. “그게 그렇게 쉽지가 않습니다.”

왜냐고 묻자, 아내에게 반드시 허락을 받아야 한단다.

“그러면! 아들한테 엄마와 직접 통화 하라고 하지, 왜 가운데 끼어서 두쟁이처럼 이쪽 저쪽으로 말을 전하고 있어?”

동료의 아들은 중학교 2학년인데, 중2병에 걸렸는지 엄마와는 거의 대화를 하지 않는다고 한다. 웃었다. 한참을 웃었더니 남은 심각해 죽겠는데 왜 그렇게 웃느냐고 성화다.

“이 차장! 난 아들만 돌을 키우고 있는 사람이야. 대학교 2학년, 고등학교 2학년. 난 이 차장이 겪고 있는 현재의 악몽을 이미 경험한 부모지. 그래서 지금이 어떤 상황인지, 아들이 무엇을 원하는지 명확하게 알 것 같아서 웃은 거야.”

“미치고 팔짝 뛴 노릇인데 정말 이럴 땐 어떻게 해야 하는 거예요?”
라고 내게 질문을 한다. 우린 점심식사를 마치고 자리를 옮겨 커피를
마시면서 아들 문제에 대해 한참을 더 이야기 했다.

‘좋은 아빠’가 된다는 것!

어린 시절, 어른이 되면 나는 꼭 ‘좋은 아빠’가 되겠다고 마음먹었던
적이 있다.

그렇다고 지금 팔순이 되신 시골에 계신 아버지가 내게 나쁜 아빠였
다는 것은 아니다.

그냥 막연한 생각에 불과했지만 - 부모라면 다 하는 생각이겠지만 -
결혼을 하고 아이를 낳고, 아이를 키우게 되면 반드시 ‘좋은 아빠’가
되겠다고 생각한 것이다.

당시에 내가 생각하는 ‘좋은 아빠’는 어떤 아빠였을까?

아이에게 아빠가 지난 날의 경험을 토대로 아이의 눈높이에서 친구
처럼 부드럽고 때로는 정감 어린 눈길과 어투로 세상을 가르쳐주는,
그런 자상한 아빠가 아니었을까?

가정을 위해 늘 일단 중요하게 생각하시던 아버지, 자식을 키우는 일
을 엄마에게만 미루시던 아버지, 마음에 들지 않는 일에는 화부터 내
시던 아버지, 융통성 없고 무뚝뚝하며 늘 고집스러운 이미지의 아버
지, 함께 있으면 어색하고 불편하던 아버지.

나는 내 아이들에게 그런 아버지의 이미지를 심어주지 않으리라 마
음 먹었다.

그리고 결혼을 했고, 두 아들을 둔 아빠가 되면서 한 때는 세상을 다
가진 것 같이 기뻐했다. 그리고 지금도 그런 소중한 아이들을 키워가
고 있는 중이다.

과연 나는 ‘좋은 아빠’가 되었을까?

아이들에게 나는 어떤 이미지의 아버지일까?

내가 내린 결론은 ‘나는 좋은 아빠가 되는 데 실패했다!’고 생각한다.
아이들이 아주 어린 시절부터 ‘좋은 아빠’가 되려는 시도는 다양하게
했다. PC방에 가겠다고 하면 주말에 한해 허락을 했고, 학원에 가기

싫다고 하면 그런 날도 있는 거라며 편히 쉬라고 했다. 또 시험기간에
책상에 엎드려 잠을 자면 침대에서 편하게 자라고 깨워주기도 했다.

아내가 그렇게 하면 애들 버릇만 나빠진다고 수 없이 지적을 했지만
그래도 나는 내 방식을 고수했다. 『자율을 바탕에 둔 주도적 행동과
책임감 부여』, 아이들이 주도적으로 의사결정을 할 수 있도록 했고,
엄마가 아이들을 지적할 때마다 “제가 알아서 할 테니 신경 쓰지 마
세요”라고 말하는 아이들이 대견스럽기도 했다.

이렇게 키운 우리 아이들에게 아빠에 대한 이미지는 어떻게 자리매
김 하였을까?

어린 시절 내가 아버지에게 느꼈던 고지식한 이미지들을 혹여 우리
아이들도 내게서 똑같이 느끼고 있지는 않을까? ‘좋은 아빠’가 되어
보고자 했던 나의 바람들은 오늘 현재도 달성하기 어려운 꿈이자 목
표에 불과하지 않을까? 가까이 하기엔 너무 먼 당신이 되어 버린 것
만 같아 지난 시간들이 아쉽기도 하다.

한국 남자들은 자신의 감정을 표현하는 일에 마냥 서툴고 쩜병이다.
아내에게도 속스러워서 사랑한다는 표현을 하지 않고 사는데, 하물
며 뻔뻔한 착신인 아들에게 사랑한다고 말을 하고 사는 아빠가 얼마
나 될까? 딸이라면 몰라도... ㅎㅎ

남자들 대부분이 감정 표현에 약하고, 타고난 말투도 투박하여 애초
에 부드럽고 따뜻한 감정표현과는 거리가 멀다. 그렇기에 아빠는 아
이들에게 따뜻하게 말을 건넸다고 생각하는 데 반해 아이들은 또 ‘공
자 왈 맹자 왈’ 잔소리를 들었다고 생각하는 경우가 많다.

한때 내가 아이들을 키우는 기준과 원칙이 틀렸다는 생각이 든 적이
있다. 『자율을 바탕에 둔 주도적 행동과 책임감 부여』는 온데간데 없
어지고, 잘못된 것을 사사건건 지적하는 『스파르타』 방식으로 궤도
를 전면 수정하고 다그쳐본 적도 있다. 아내는 그런 내게 진즉 그렇
게 했어야 한다고 나를 응원했지만 ‘갑자기 왜 이래? 왜 나만 미워하
는 거야?’ 하는 냉랭한 분위기가 자리잡았고, 점점 나는 외톨이가 되
어가고 있음을 느꼈다.

아이들은 이제는 무슨 일이 생겨도 아빠에게 말해봐야 소용도 없으니 아예 말도 꺼내지 않는 분위기가 되었고, 아빠가 퇴근해서 왔다 갔다 해도 그냥 본체만체 그림자 취급을 받기 일쑤였다. 그러다가 아이들의 잘못을 하나 발견하면 대차게 지적하고 이야기 끝에 “할 말 있냐?”고 물어보곤 했다. 그럴 때면 아이들은 늘 침묵으로 ‘아빠 말씀이 다 맞잖아요.’하는 눈짓과 행동을 보이면서 말없이 자리를 피하곤 했다.

지금은 아이들을 대하는 방법을 또 바꾸었다.

아빠나 부모의 기준과 잣대로 맞추라고 하기 보다는 아이들 기준에서 할 수 있는 자신들의 일들을 먼저 생각하게 하고, 하고 싶어하는 것들을 조력하는 수준에서 소통, 관심, 관여를 하고 있는 중이다.

아빠들은 소통을 한다고 생각하고 있지만, 사실 알고 보면 불통인 경우가 대부분이다.

싸움은 선제공격이 중요하지만 아이들과의 대화와 소통은 ‘먼저’ 상대방이 의사표현을 할 수 있도록 기다려 주는 시간이 절대로 필요하다. 한 쪽으로 조금만 기울어도 대화는 일방통행이 되기 십상이고, 결과적으로 의미 없는 시간이 되어버리는 경향이 많다.

특히 부자시간에 대화가 되지 않는 이유 중 하나는 ‘버럭’ 화부터 내고 보는 아빠의 습관 때문인 경우가 많다. 남자 아이들은 누군가에게 인정받고 싶어하는 욕구가 강한데 반해 정작 기부터 죽이면서 대화를 시작하니 제대로 된 소통이 이루어질 리가 만무하다. 돌이켜 생각하면 내 눈에 비친 불만들을 지적하기에 앞서 잘한 것들을 찾아내서 칭찬하는 방식으로 대화를 했다면 좀 더 부드러운 분위기에서 시작했을 것이고, 하고 싶은 이야기도 명확하게 전달되지 않았을까 싶은 아쉬움이 남는다.

지금은 더 이상 아이들과 싸우지 않는다.

싸움 필요가 없다는 것을 이제야 알았기 때문이다. 아이들에게 다정 다감하고 늘 내 편인 슈퍼맨 같은 ‘좋은 아빠’는 되지 못하더라도, 꼭 막히고 고지식한 ‘꼰대’같은 아빠는 될 필요가 없다는 걸 뒤늦게 깨달은 덕분이다.

아이들에게 오늘도 이런 말을 한다.

“불만이 있더라도, 엄마가 너네 입장을 받아주지 않더라도 엄마와 싸우지 않았으면 좋겠다. 너희들에게는 하나밖에 없는 엄마라서 그렇게 막 대해도 되는지 모르겠다만, 엄마는 아빠가 사랑하는 여자가기도 하다. 너희 여자친구에게 누군가가 욕하고, 함부로 대하면 기분 좋겠냐? 아빠가 사랑하는 엄마를 너희가 함부로 대하지 않았으면 좋겠구나.”

또 이런 말도 한다.

“아빠는 너희가 싫어하는 것을 앞으로 안 할 생각이다. 최근 들어서 아빠가 너희들을 혼낸 적이 있냐? 요청한 것들을 안 들어 준 적이 있냐? 아빠도 나름대로 너희들이 싫어하는 것을 안 하려고 노력하고 있으니까 앞으로 너희들도 아빠가 싫어하는 일은 되도록 안 했으면 좋겠다.”

“그게 뭔데요?” 하고 아이들이 묻는다.

“너희들의 직업은 학생이다. 학생의 본분은 뭐냐? 열심히 공부하는 사람? 아빠는 그렇게 생각하지 않는다. 학생은 정해진 등교시간에 맞춰서 학교에 잘 가는 게 당연한 책무라고 생각한다. 제발 아침에 스스로 일어나서 제 시간에 등교했으면 좋겠다!!!!”

그럼에도 여전히 아침마다 시끄럽다. 엄마는 학교에 갈 시간이 되었다고 아이들을 깨우고 있고, 아이들은 그런 엄마와 치열하게 아침부터 싸우면서 하루를 시작한다.

아빠가 출근하고 없는 집은 아이들이 왕이다.

딸을 키워보고 싶다.

두 아들!! 드세기는 세계 최강인 듯 싶다.

사랑스러움을 넘어서는 아름다움은 징그러움인가???

P.S 요즘은 화가 났을 때 직접 다투는 것보다는 ‘카톡’으로 장문의 문자를 보내곤 한다. 부끄럽지만 최근 아들에게 보낸 문자들을 소개한다.

Q1. 몸이 아파서 아침에 병원 들렀다가 학교를 가겠다고 하는 경우,
아파서 학교에서 조퇴를 하거나, 오후에 학원을 못 가겠다고 하는 경우

A1. 사실 너도 알다시피 요즘 아빠는 몸도 마음도 많이 아프다. 몸이 아픈 것은 운동도 제때 안하고, 독서나 학습을 통한 자기계발을 게을리 했기 때문이기도 하고, 특히 요즘 주식시장도 안 좋은 까닭에 스트레스가 더 심해져서 힘든 것 같다.

이런 것들이 복합되면서 감기, 몸살까지 왔고 머리도 신경을 자극할 만큼 아프다. 엄마가 걱정할까 봐 내색은 않지만 아무래도 오늘은 퇴근 후에 사우나에 가서 뜨거운 물에 몸을 좀 담궈야겠다. 그렇게라도 해야 심신의 안정을 되찾고 두통도 어느 정도 해결 될 거라고 생각한다.

특히 몸이 아픈 것은 하고 있는 일이 제대로 되지 않을 때 자주 발생하기에 네게 힘든 일이 있는데도 아빠가 제대로 알고 있지 못한 것이 있다면 이야기해주기 바란다. 그리고 아파서 꼭 필요하다고 생각되는 경우에는 선생님이나 학원에 말하고 그렇게 하렴.

아빠는 “자식이 잘못되는 경우 부모에게 전적으로 책임이 있다”는 말에 공감을 하는 사람이다.

Q2. 시험 끝나고 친구 집에서 외박을 하고 오겠다는 요구에 대하여

A2. 너는 비교적 요구가 명확한 것 같다. 자기주장도 잘 하는 편인데 아빠는 이런 것들은 참 좋다고 생각한다. 주눅들어서 아빠에게 아무런 요구도 못하는 아이들도 많을 테니까...
다만 아쉬운 것은, 권리를 주장할 때는 명분과 논리를 따지면서 정작 네가 감당해야 할 책무나 네 나이와 시기에 요구되는 일에는 그 어떤 명분도 논리도 필요 없고 지나치게 자신에게 관대하다는 점이다.

네게는 섭섭하게 들릴지 모르겠지만, 문제가 생길 때마다 “변하려고 노력하고 있다. 변하는 과정이다”는 너의 대답이 이 아빠에게는 “전혀 변할 생각이 없다”는 이야기로만 들리는구나.

변화는 굳은 결의를 통해서 가능한 것으로, 누가 뭐라 해도 본인 의지로 반드시 실행에 옮기게 되어 있는 것이다. 그 실행력이 집중을

가능하게 하고, 그렇게 되면 옆 사람도 그런 변화를 금방 알아차릴 수 있지.

너의 요구사항도 그런 굳은 의지가 엿보인다. 금요일부터 2박 3일 일정으로 외박을 해도 되느냐는 요구인데, 허락을 받기 위한 요청이라기 보다는 이미 네 마음 속으로 결정을 내린 상태에서 던지는 형식적인 요청 - 통보 식으로 보인다.

그럼에도 아빠는 너의 요청을 수락한다.

Q3. 외박 요청 수락에 대한 감사함으로 본인의 변화를 상세하게 작성한 것에 대하여

A3. 너의 제안에 대한 아빠의 생각은 이렇다.
요청을 들어주었으니 너도 앞으로는 핸드폰 보는 것도 줄이고, 생활패턴에 변화를 주겠다는 의지를 표현해 주었지. 그런데 시험이 끝난 뒤나 방학 때는 놀아야 한다고 이미 마음을 먹고 있는 학생에게 무슨 변화가 일어나고, 어떤 성취를 할 수 있는 것인지 아빠는 사실 잘 모르겠다.

핸드폰 보는 것을 줄이거나 멈추는 것은 그래야 할 이유가 생겨야 가능한 일인데, 네게 핸드폰을 접어야 할 어떤 동기가 생겼는지 모르겠다. 미안한 이야기지만 아빠가 보기엔 당장 필요한 네 요구를 관철하기 위해서 내민 알박한 방책으로 밖에 안 보인다.

너의 제안이 되려 너의 자유를 스스로 억압하는 것인데 과연 지킬 수 있을까?

그렇게 네가 약속을 지키고 변할 수 있다면 아빠는 기꺼이 기뻐할 것이다.

Q4. 수용할 수 없는 부탁을 계속해 올 때

A4. 부모에게 부탁할 수 있는 일과 부탁할 수 없는 일이 있다고 생각한다. 사실 네가 요청하는 일들은 대체로 부모로서 허락할 수 없는 일들이 많다.

아침에 병원 들렀다가 늦게 학교를 가는 일, 아픈데 조퇴를 하면 안 되느냐는 일, 친구 집에서 자고 오겠다는 일, 친구들과 놀아야 하니 용돈을 추가로 달라고 하는 일 등.

부탁을 할 때는 상대방 입장에서, 이리이러한 부탁들을 했을 때 어떤 선택을 할 것인지도 한번쯤은 생각해봤으면 좋겠다.

사실 아빠나 엄마도 너희들에게 부탁을 엄청나게 많이 한다. 학교에 가야 하니 제 때 스스로 일어났으면, 침대의 이부자리 정도는 알아서 정리를 좀 했으면, 학교 갈 준비를 미리 좀 했으면, 공부에 전념했으면, 이왕 하는 거 남보다 더 잘 했으면, 좋은 성적을 얻어서 좋은 기회를 얻었으면, 핸드폰을 그만 좀 봤으면...

하지만 너희들은 거의 대부분 부모의 부탁을 들어주지 않는다. 그러면서도 수락하기 힘든 어려운 부탁들을 봇물처럼 쏟아낸다. 퇴근 길에 맛있는 거 사 가지고 와라, 뭐 먹을 게 없느냐, 밥은 뭐에다가 먹으라는 거냐, 우유가 없다, 라면이 다 떨어졌다, 웃은 왜 안 빨아놓은 거냐...

삶에 열정도 부족하고, 무엇인가에 도전정신도 없고, 구름이 흘러가듯 그렇게 유유자적 사는 삶의 미래가 어찌될지 뻔히 보이기에 부모 입장에서는 속이 까맣게 타 들어가는 것이다.

앞으로 부탁할 일이 있다면 한번쯤 입장 바꿔 생각해 보고 부탁하기 바란다.
언제나 아빠는 너의 부탁과 요구를 존중한다.

Q5. 초등학교 때 전학을 가서 친구들을 사귀기가 어려웠고, 공부를 하는 데도 영향을 미쳤다는 고충을 듣고

A5. 좋은 습관을 기르는 것이 아주 중요하다. 좋은 사람에게만 좋은 친구가 생긴다고 생각한다. 공부하는 것도 습관이고, 남보다 경쟁에서 이기려고 최선을 다하는 것도 습관이고, 존댓말 사용하는 것도 습관이고, 거짓말 안 하는 것도 습관이고, 일찍 자고 일찍 일어나는 것도 습관이다.

물론 네가 잘하는 것도 있다. 저녁시간에 늦게 들어오는 아빠에게 식사는 드셨냐고 물어봐 주고 관심 가져주는 것, 아빠가 좋아하는 과자를 사다 주는 것, 엄마가 없을 때 식사를 챙겨주는 것. 이런 모습들은 칭찬받을 만한 행동이라고 생각한다.

나쁜 습관은 빨리 고쳤으면 좋겠다. 세 살 버릇 여든까지 간다고 하지 않느냐!

기분 나쁘면 말을 안 하는 것, 걱정되면 잠만 자는 것, 늑장 부리다 허둥지둥 서두르는 것, 잘 모르는 것들은 해보기도 전에 짜증부터 내고 금방 포기하는 것, 외박하는 것, 전화하면 제 때 안 받는 것, 핑계부터 대는 것, 밤 늦은 시간에 운동한다고 나가는 것.

잘하는 것은 더 잘 하려고 노력하고, 잘못된 것들은 고치려고 노력하는 사람이 되자.

Q6. 화나는 일이 있을 때 아빠나 엄마에게 문자로 화풀이 하는 경우

A6. 고민해서 정성스럽게 쓴 너의 문자에 또 긴 잔소리로 대응을 하는 것 같아서 미안하다. 하지만 아빠가 잔소리를 한다고 생각하지 말고, 이제 너도 고민하고 행동할 나이가 되었으니 두고 두고 읽어보고 참고하길 바라면서 한자 한자 쓰고 있다.

이 세상의 모든 부모는 자식들이 올바른 방향으로 깨끗하게 걸어가서 좋은 결과를 얻어냈을 때 비로소 한시름 놓고 편히 쉴 수 있다고 생각한다. 그렇지 못하면 평생 죄인처럼 살 수 밖에 없는 게 부모의 마음이고 부모의 입장이란다.

비록 화풀이하는 문자였지만 오늘도 너의 문자에 감사함을 전한다. 사랑한다, 아들!

한국표준과학연구원 우주광학팀 : 대형반사경 개발



그림 우주용 비구면 반사경 개발 과정

들어가며

한국표준과학연구원 첨단측정장비연구소의 우주광학팀은 1985년부터 첨단산업용 광학부품 및 광학계 평가기술 개발과 지원을 주로 하였으며, 2005년 한국항공우주연구원과 국가 전문연구단을 구성하여 고해상도 위성카메라 국산화를 위한 우주용 대형 거울을 개발하고 있습니다. 그동안 관련 핵심기술을 자체 개발하고 가공 및 시험 시설을 집적화하였으며, 직경 0.6 m ~ 1.5 m의 천체망원경, SLR(Satellite Laser Ranging) 관측장치, 고출력레이저 시준장치, 진공용 시준장치, GMT (Giant Magellan Telescope)의 부경용 비축 비구면 거울, 초정밀 측정용 기준거울 등을 개발하였습니다. 또한 현재 운용 중인 다목적위성 3A호용 적외선 광학계와 2020년 발사예정인 차세대중형위성용 반사경 뿐만 아니라 직경 1 m 이상의 고해상도 위성용 반사경도 항우연과 공동으로 개발하고 있습니다. 이외에도 복합자유곡면형상측정, 적층형 3D 소자 토모그래피 측정기술, 가상현실광학기기 평가기술 개발 등 산업체에서 요구하는 신기술수요에도 대응하고 있습니다. 본 소개자료에서는 대형반사경 개발 기술에 관하여 중점적으로 소개하고자 합니다.

대형 반사경 개발

대구경 비구면 반사경의 개발은 단순한 광학설계 및 가공뿐만 아니라 광기계 설계, 경량화, 예칭, 비구면 형상측정, 대면적 박막증착, 광기계 조립, 환경시험 등 다양한 기술이 필요하므로 많은 전문 인력과 특수시설이 확보되어야 가능합니다. 현재 우주광학팀은 유리 소재를 제외하고는 직경 2 m 광학거울의 모든 공정을 자체적으로 진행할 수 있는 만큼 관련 기술을 확보한 상태입니다.

경량화는 반사경의 무게를 줄이는 작업으로 우주용 광학계 또는 빠른 구동을 원하는 지상망원경의 경우 반드시 필요합니다. 경량화를 하면 반사경의 강성이 많이 약해지므로 이를 보완하기 위하여 특수한 구조물을 설계해야 하는데, 특히 우주용 반사경의 경우 발사 진동뿐만 아니라 우주에서의 온도변화를 견디기 위하여 플렉서(flexure)와 베젤(bezel)이라고 하는 기계구조물로 반사경을 고정합니다. 일반적으로 베젤은 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)로 만들어져서 가벼우면서도 강성이 매우 높은 반면 플렉서는 발사체의 진동을 흡수하면서도 베젤의 변형이 반사경으로 전달되지 않고 흡수되도록 유연한 구조로 만듭니다. 이러한 조건들을 만족하면서도 전체적으로 고유진동수는 120 Hz 이상의 강성이 유지되도록 설계합니다.

이렇게 광기계 설계가 완료되면 CNC(Computer Numeric Control) 기계를 이용하여 경량화하고, 표면의 미세한 금들을 제거하기 위해 화학약품을 이용한 식각작업을 수행하는데 경량화 패턴이 복잡하기 때문에 특화된 식각을 진행합니다. 식각이 완료되면 본격적으로 연삭 및 연마 작업을 거쳐 반사면의 형상오차를 10 nm rms 이하까지 맞추게 되는데 이때 정밀한 측정이 필수적입니다. 비구면을 정밀하게 측정하기 위해서는 레이저 간섭계와 별도의 널 렌즈(null lens)가 필요합니다. 과거에는 구면 렌즈 2장 또는 3장으로 구성된 널 렌즈를 이용하여 비구면을 측정하였으나 근래에는 매우 정밀하게 정렬할 수 있는 다기능 CGH(Computer Generated Hologram) 널 렌즈가 이를 대체하고 있습니다. 반사경의 반사율을 매우 높이기 위하여 지지구조물의 최종 조립 전에 증착합니다. 반사 박막은 사용하는 파장과 반사율에 따라 달라지는데 적외선의 경우 금이 많이 사용되고 가시광의 경우 은이 주로 사용됩니다. 은 박막은 산화력이 매우 커서 보호막을 충분히 입혀주어야 산화로 인한 반사율 저하를 막을 수 있

는데, 반사경이 지상에서 보관되는 2~3년 동안과 우주에서의 방사선 피폭 등으로 특성이 변하지 않아야 합니다.

코팅 후에는 반사경과 지지구조물을 특수한 접착제로 접착을 하게 됩니다. 최종 조립이 완료된 후에 우주환경시험을 수행하는데 크게 진동시험과 열주기 시험으로 나누어질 수 있습니다. 진동시험은 발사충격을 견디는지 여부를 확인하고 열주기 시험은 우주환경에서 광학계가 최악의 온도변화에 대한 생존 및 실제 광학계가 가동하는 온도에서 광학계의 성능이 제대로 나오는지 확인하는 시험으로 항우연과 표준연에 있는 우주환경용 특수 시험시설을 이용하여 진행하게 됩니다. 우주환경시험이 통과되어야 우주에서 사용할 수 있는 상태가 됩니다. 광학계 조립은 레이저 간섭계로 파면수차를 측정하면서 진행하며, 최종 성능은 설계 값과 비교하기 위하여 특정한 파장에서 MTF(Modulation Transfer Function)를 측정하여 평가합니다.

나오며

우주광학팀의 12명 연구원들이 지난 15년간 반사경 소재를 제외한 대형 반사경 개발과 관련한 모든 기술들을 국산화하는데 성공하였습니다. 그리고 이러한 기술들이 좀 더 적극적으로 활용될 수 있도록 연구소기업도 만들었습니다. 우주광학팀의 이러한 연구결과가 앞으로 우리나라의 기초과학기술 향상에서 국가안보에 이르기까지 다양하게 사용될 수 있기를 희망합니다.

2019년 7월 14일 (일)부터 17일 (수)까지 부산 BEXCO 컨벤션홀에서 Optics & Photonics Congress 2019(OSK Summer Annual Meeting & OSK-OSA-OSJ Joint Symposia)가 성황리에 개최되어, 다양한 관련 분야에서 활동하고 있는 약 630명이 참가하여 최신 연구 동향을 파악하고 서로 소통하는 자리를 가졌다.

이번 행사에서는 한국광학회 30주년을 기념하여 특별히 나흘간 개최되었으며, 하계 학술발표회와 Joint Symposia가 동시에 열려 많은 국내외 석학들과 최고 전문가들의 기조강연, Keynote 발표, 초청발표 등이 진행되었다. 본 행사에는 Jacobus M. Oschmann SPIE 회장, Ursula Gibson OSA 회장, Susumu Yamaguchi 일본광학회 회장, Gilles Pauliat 유럽광학회 차기회장, Malgorzata Kujawinska 폴란드 광학회 대표(전 SPIE 회장) 등이 참여하여 국제 광학학술단체의 역할에 대한 토론회도 개최하였다.

구두 71편, 포스터 114편 그리고 일반 초청강연 53편을 포함해 총 238편의 하계 학술발표회 논문이 발표 되었으며, Joint Symposia의 경우 Optical Science분야에서 33편, Applied Optics분야에서 76편이 접수되어, Plenary 및 Invited talk 논문 24편을 포함하여 총 133편의 논문이 발표되었다. 광고 및 전시현황은 OPC 프로그램북 광고 업체 20곳, Table-Top 전시 업체 9곳으로 전시 및 광고 또한 활발한 교류의 장이 되었음을 알 수 있다.

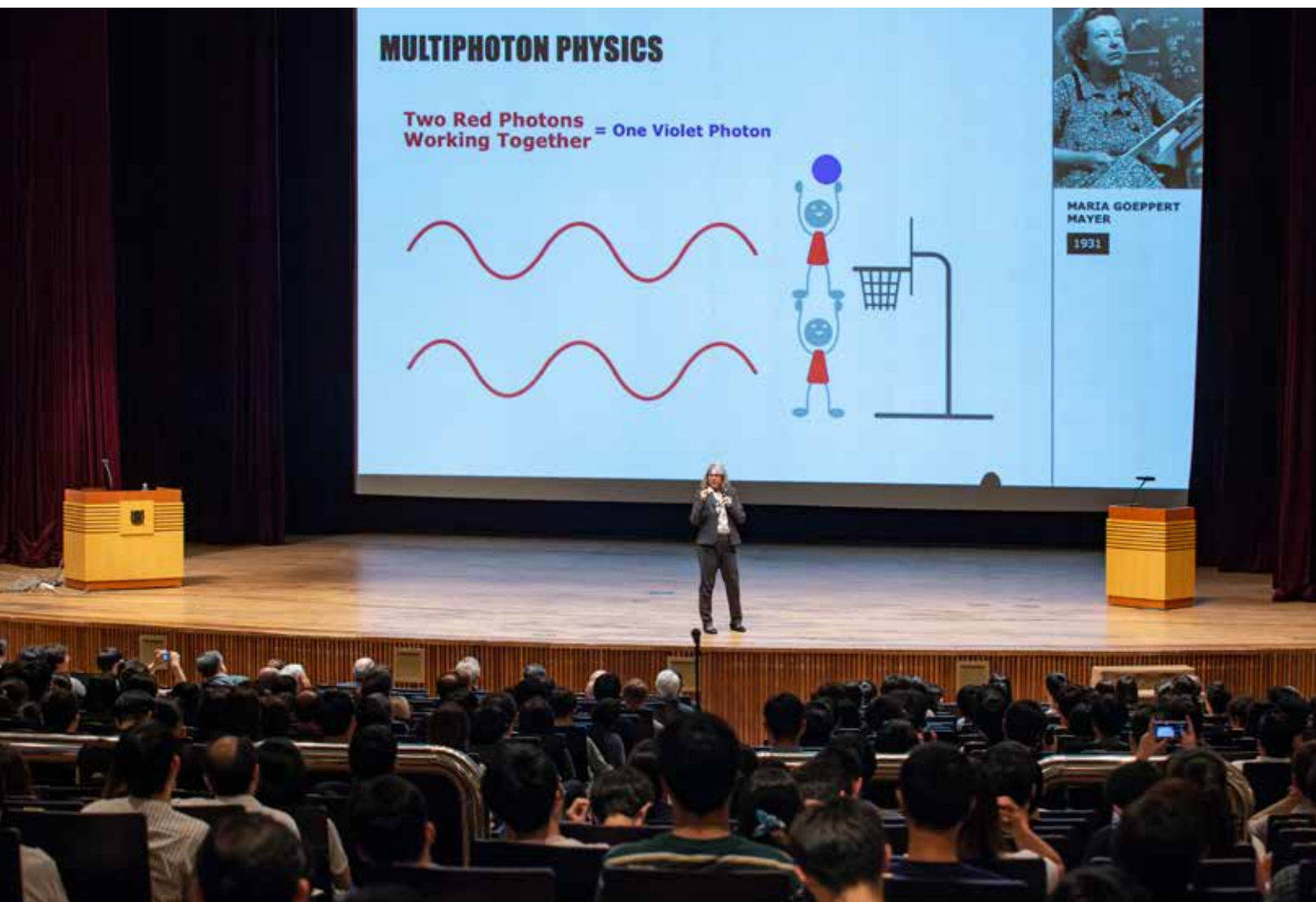




2019년 10월 19일 (토) 오전 10시 30분부터 KAIST 서울 홍릉캠퍼스 1호관 국제회의실에서 약 4시간 동안 한국광학회 창립 30주년 기념식 및 강연회가 개최되었다. 은퇴 회원 및 1989년 창립총회 참가자, 역대 임원을 비롯하여 약 50여명이 참석하여 첫 창립총회가 개최되었던 KAIST에 다시 모여 의미있는 30주년을 기념하였다.

이 행사에서는 최근 우리나라에서 대형 연구 사업이 기획되고 있는 홀로그래피 분야와 양자기술 분야에 대한 강연을 포함하여 광학과 영상처리를 비롯한 다양한 분야에 이용되는 인공지능과 딥러닝에 대한 특별 강연도 진행되었다.





2018년도 노벨 물리학상 수상자인 Donna Strickland 교수(University of Waterloo, Canada)가 7월 12일(금) 오후 2시에 서울대학교 문화관에서 대중강연을 하였다. 이 행사는 한국과학기술한림원 주최, 서울대와 한국광학회의 주관으로 이루어졌다. 강연 후에는 이병호 한국광학회장의 사회로 30분간 청중과의 질의 응답이 있었다. 이번 대중강연에는 280명의 중고등학생 등 1천 여명의 청중이 참석하여 뜨거운 관심을 보였다. 이 행사에 앞서 Donna Strickland 교수는 한국광학회가 후원하여 경주에서 개최된 The 28th Annual International Laser Physics Workshop에서 7월 9일(화)에 기조강연을 하였다.



2019 차세대 리소그래피 학술대회 (2019 Next Generation Lithography Conference, 2019 NGL)가 지난 8월 21-22일에 셰라톤 그랜드 인천 호텔에서 개최되었다. 이번 학술대회는 반도체, 디스플레이 관련기업, 연구소, 학교 등에서 240여 명이 등록하였으며, 이 중에서 기업체 및 연구소의 전문가들은 48%를 차지하고 있다. 이번 학술대회는 차세대 리소그래피 분야, 검사 계측(Metrology and Inspection, MI) 분야, 반도체 재료 및 소재 분야 등의 기조연설을 포

함하여 85편의 초청 및 일반 강연이 있었다. 특히 첫날의 패넬토의 는“반도체 포토레지스트의 어제, 오늘, 그리고 미래”의 주제로 진행 되었으며 전자신문을 비롯한 여러 전문지에서 열띤 취재가 있었다. 이번 학술대회는 16개의 반도체 관련 기업과 연구소 등에서 후원을 해주었으며, 석사, 박사과정 학생들이 발표한 논문 중에서 우수 논문 4편을 선정하여 상장과 상금을 수여하였다. (www.ngl.or.kr)



한국과학기술한림원이 주최하고, 기초과학연구원과 광주과학기술원이 주관한 2018년도 노벨상 수상자 Gérard Mourou 교수의 대중강연이 한국광학회의 후원으로 개최되었다. 10월 22일(화) 오후 3:30~6:00시에 광주과학기술원 오룡관 다산홀에서 “극강의 빛을 향한 열정”이라는 제목으로 진행된 이 강연회에는 많은 중고등학생들과 대학생들이 참여하여 강연을 듣고 질의응답 시간을 가졌다.



2019년 이달의 과학기술인상 9월 수상자로 한양대 물리학과 송석호 교수가 선정되었다. 과학기술정보통신부와 한국연구재단은 송석호 교수가 '열린-양자역학계에서의 비대칭적 에너지 흐름'을 독창적으로 연구하여 기존 나노광학이 해결하지 못한 에너지 손실 문제와 처리 속도를 개선하고 신개념 광소자를 개발한 공로가 높이 평가되었다고 선정 배경을 설명했다. 송석호 교수는 "기존 나노광학의 한계를 극복한 신개념 광소자는 앞으로 차세대 이동통신과 국가기간망 사업, 양자컴퓨터 개발 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다."라며 "앞으로도 나노광학 분야의 독창성 있는 연구를 통해 기존 난제를 해결하며 새로운 광과학 영역을 개척해 나가겠다."라고 수상 소감을 밝혔다.



한국연구재단은 7월 1일자로 기초연구본부 ICT·융합연구단장에 최영완(崔永完) 중앙대학교 교수를 선임했다.

기초연구본부 ICT·융합연구단장은 ICT·융합연구단 소관인 전기/전자, 통신, 컴퓨터·소프트웨어, 정보기술융합, 바이오·의료융합, 에너지·환경융합, 산업기술융합 분야 지원사업의 △평가관리, 기획 및 정책수립 △진도점검 및 성과활용 촉진 △연구동향 조사·분석 등 업무 수행을 2년간 담당하게 된다. ICT·융합연구단장에 선임된 최 교수는 1985년 서강대 전자공학부를 졸업하고 미국 뉴욕 버팔로대에서 석사와 박사 학위를 취득했다. 1995년부터 중앙대 전기전자공학부 교수로 재임하며 중앙대 창의 ICT공과대학 학장, 한국광학회 부회장을 역임하였으며, 2010년부터 2014년까지 한국연구재단 전자정보단 전문위원을 지냈다.



한국광학회 회장인 이병호 교수(서울대)는 2019년 9월 15일~19일에 미국 워싱턴 DC에서 개최된 미국광학회(OSA)의 연례학술대회 Frontiers in Optics (FiO) 2019의 General Chair로 봉사하였다. 이 학술대회에는 1,300여 명이 참석하여 성황을 이루었다. 이병호 교수는 2020년 9월 13일~17일에 같은 장소에서 열릴 FiO 2020의 General Chair로 다시 봉사할 예정이다. 또한 이병호 교수는 2020년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지 SPIE의 이사(Director)로 선임되었다.

국내학술회의

11월 1일(금)~2일(토)	Annual Biophotonics Conference 2019 (ABC 2019)	성균관대학교 수원캠퍼스
12월 4일(수)~6일(금)	Photonics Conference (PC 2019)	강원도 평창 휘닉스파크
2월 19일(수)~21일(금)	제31회 한국광학회 정기총회 및 2020 동계학술발표회	강원도 홍천 비발디파크

국제학술회의

19/11/05 - 19/11/06	IEEE Avionics & Vehicle Fiber-Optics & Photonics Conference (AVFOP)	IEEE	Arlington, VA USA
20/02/01 - 20/02/06	SPIE Photonics West	SPIE	San Francisco, California, USA
20/03/08 - 20/03/12	Optical Fiber Communications and Exhibition (OFC)	OSA	San Diego, California, USA
20/05/10 - 20/05/15	CLEO 2020: Laser science and applications	OSA	San Jose, California, USA
20/06/08 - 20/06/12	The 27th International Conference on Optical Fiber Sensors (OFS 2020)	OSA	Alexandria, Virginia, USA
20/07/05 - 20/07/09	2020 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)	IEEE	Taipei, Taiwan
20/08/02 - 20/08/06	2020 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR)	IEEE	Sydney, Australia
20/08/23 - 20/08/27	SPIE, Optics+Photonics	IEEE	San Diego, California, USA

회 / 원 / 가 / 입 / 안 / 내

사단법인 한국광학회 회원구분은 일반회원, 특별회원 및 단체회원으로 구분하며, 다음과 같은 자격에 따라 정회원, 학생회원으로 구분하며, 기업을 위한 특별회원과 도서관과 같은 자료실을 위한 단체회원으로 구성되어 있습니다.

1. 홈페이지 회원

- 개인 회원은 연회비를 납부할 필요가 없는 한국광학회 홈페이지 회원과 연회비 납부 의무가 있는 한국광학회 정식 회원 (정회원/학생회원)으로 구분됩니다. 그러나 홈페이지 회원으로 가입하는 경우에는 학술지/발표논문 검색과 광 전문가 활동, 회원 조회 등 학회의 유용한 회원 지원 서비스를 받으실 수 있습니다.

2. 일반회원

- 학생회원 : 2년제 대학 이상에서 광학 및 관련 분야를 수학하고 있는 자
- 정 회원 : 광학에 관심을 가진 개인으로 4년제 대학과정을 수료한 후 광학 및 관련 분야에서 연구 혹은 실무경력이 2년 이상인 자, 2년제 대학을 이수한 후 광학 및 관련 분야에서 연구 혹은 실무경력이 4년 이상인 자 또는 연구 혹은 실무경력이 위와 동등한 자격을 가진 것으로 이사회에서 인정되는 자

3. 특별회원

- 특별회원은 본 학회의 목적사업에 기여하는 기업체, 단체
- 연간 6회 발행되는 국문지(한국광학회지), 영문지(Current Optics and Photonics, COPP), 학회 주관 국내외 학술발표회 프로그램과 학회정보를 발송해 드립니다.
- 한국광학회(OSK), 한국광산업진흥회(KAPID)가 공동 발행하는 광융합분야 매거진(K-LIGHT)을 무료로 발송해 드립니다.
- 동·하계 학술발표회 프로그램북 광고게재료 및 OptoWin 광산업전시회 참가비를 20% 할인 및 무료 등록(최대 2명)해 드립니다.
- 한국광학회 홈페이지 특별회원 리스트에 회사정보를 무료로 등재해 드립니다.
- 한국광학회에서 주최하는 산학연 간담회 초청장을 보내드립니다.

4. 단체회원

- 학교, 도서관, 연구소 기타 비영리 학술단체 또는 기관
- 연간 6회 발행되는 국문지(한국광학회지), 영문지(Current Optics and Photonics, COPP)와 광융합분야 매거진(K-LIGHT)을 보내드립니다.

특별회원 가입안내

가입대상

한국광학회 목적사업에 기여하는 기업체

연 회 비

100만원(부가세 별도)

특별회원 가입 시 받는 혜택

- 연간 6회 발행되는 국문지(한국광학회지)와 영문지(Current Optics and Photonics, COPP), 학회 주관 국내외 학술발표회 프로그램과 학회정보를 보내 드립니다.
- 한국광학회(OSK), 한국광산업진흥회(KAPID)가 공동 발행하는 광융합분야 매거진(K-LIGHT)을 보내드립니다.
- 동·하계 학술발표회 프로그램북 광고게재료 및 OptoWin 광산업전시회 참가비를 20% 할인 및 무료등록(최대 2명)해 드립니다.
- 한국광학회 홈페이지 특별회원 리스트에 회사정보를 무료로 등재해 드립니다.
- 한국광학회에서 주최하는 산학연 간담회 초청장을 보내 드립니다.

가입 방법

- 홈페이지(<http://www.osk.or.kr>) 접속하여 특별회원가입 클릭
- 계좌이체를 이용한 회비 납부
예 금 주 : (사단)한국광학회
계좌번호 : (기업은행) 600-034920-04-013

- 한국광산업진흥회 -

『2020년 글로벌 시장진출』지원기업 통합 모집공고

광산업 육성·진흥을 위해 적극적으로 협조해 주시는 본회 회원사 및 광산업체 대표이사, 임직원 여러분의 무궁한 발전을 기원합니다.

한국광산업진흥회에서는 국내 광산업체의 해외마케팅 활동 지원 및 네트워크 구축을 통한 글로벌 자립기반 확보를 위해 「2020년 글로벌 시장진출 지원기업 통합 모집공고」를 아래와 같이 시행하고자 하오니, 공고문의 세부 내용을 참조하시어 마감 전 신청해주시기 바랍니다.

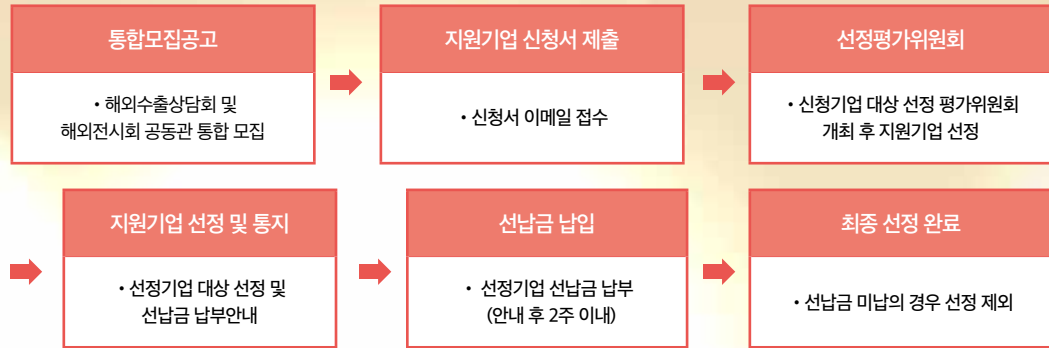
- 아 래 -

- 공고기간 : '19. 10. 14 ~ 사업별 선착순 마감
※ 부적격 기업 신청의 경우 추가공고 진행
- 신청대상 : 전국 광융합 산업체

항목	지원 내용	기간	장소
해외 수출상담회/ 시장개척단	<input type="checkbox"/> 일본 융합조명 시장조사단 (Next Stage 참관 포함)	'20. 03. 02 ~ 03. 05	도쿄(일본)
	<input type="checkbox"/> 동남아 스마트시티 프로젝트 발굴단	'20. 04. 19 ~ 04. 25	치앙마이(태국) 하노이(베트남)
	<input type="checkbox"/> CIS 지역 융합조명 무역촉진단	'20. 06. 14 ~ 06. 20	알마티(카자흐스탄) 타슈켄트(우즈베키스탄)
	<input type="checkbox"/> 베트남, 태국 광융합제품 보급사업 성과확산 로드쇼 + 인도네시아 광융합 수출상담회(선택신청 가능)	'20. 09. 09 ~ 09. 18	하노이(베트남) 치앙마이(태국) 자카르타(인도네시아)
해외전시회 공동관	<input type="checkbox"/> 미국 광학 전시회 (Photonics West 2020)	'20. 02. 04 ~ 02. 06	샌프란시스코(미국)
	<input type="checkbox"/> 미국 광통신 전시회 (OFC 2020)	'20. 03. 10 ~ 03. 12	샌디에고(미국)
	<input type="checkbox"/> 싱가포르 광통신 전시회 (Communic Asia 2020) *광주시 지원 위탁사업(광주기업 신청)	'20. 06. 09 ~ 06. 11	싱가포르(싱가포르)
	<input type="checkbox"/> 유럽 광통신 전시회 (ECOC 2020)	'20. 09. 21 ~ 09. 23	브뤼셀(벨기에)

- 신청방법 : 이메일 접수 (한국광산업진흥회 홈페이지 공지사항 참조/www.kapid.org)
- 문의 및 접수처 : 김혜림 연구원(1020khl@kapid.org / 062-605-9655)

● 지원기업 신청절차



※ 선납금 납입의 경우 해외전시회 공동관 참여를 신청한 기업 대상으로 하며, 향후 기업부담금 납입시 선납금 제외한 금액 입금

● 문의 및 접수처 : 김혜림 연구원(1020khl@kapid.org / 062-605-9655)

※ 참여업체 수 및 현지 사정에 따라 파견일정 및 지역, 참가 전시회 등은 변경/조정될 수 있음

● 지원사업별 세부내용

구분	행사명	장 소
해외 수출상담회/ 시장개척단	[일본 융합조명 시장조사단] - 파견기간 : '20. 03. 02 ~ 03. 05 - 장소 : 도쿄(일본)	• 왕복항공료 80%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비
	[동남아 스마트시티 프로젝트 발굴단] - 파견기간 : '20. 04. 19 ~ 04. 25 - 장소 : 치앙마이(태국), 하노이(베트남)	• 왕복항공료 80%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비
	[CIS 지역 융합조명 무역촉진단] - 파견기간 : '20. 06. 14 ~ 06. 20 - 장소 : 알마티(카자흐스탄), 타슈켄트(우즈베키스탄)	• 왕복항공료 80%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비
	[베트남, 태국 광융합제품 보급사업 성과확산 로드쇼 + 인도네시아 광융합 수출상담회] - 파견기간 : '20. 09. 09 ~ 09. 18 - 장소 : 하노이(베트남), 치앙마이(태국), 자카르타(인도네시아)	• 왕복항공료 80%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비
해외전시회 공동관	[미국 Photonics West 2020] - 전시기간 : '20. 02. 04 ~ 02. 06 - 장소 : 샌프란시스코(미국)	• 공동관 부스·장치비 90% • 왕복항공료 60%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비
	[미국 OFC 2020] - 전시기간 : '20. 03. 10 ~ 03. 12 - 장소 : 샌디에고(미국)	• 공동관 부스·장치비 90% • 왕복항공료 60%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비
	[싱가포르 Communic Asia 2020] - 전시기간 : '20. 06. 09 ~ 06. 11 - 장소 : 싱가포르(싱가포르)	• 공동관 부스·장치비 90% • 왕복항공료 60%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비 *광주시 지원 위탁사업(광주기업 신청)
	[유럽 ECOC 2020] - 전시기간 : '20. 9. 21 ~ 09. 23 - 장소 : 브뤼셀(벨기에)	• 공동관 부스·장치비 90% • 왕복항공료 60%(1인, Economy Class기준) • 통역 및 차량지원 등 현지 행사추진비

회 / 원 / 사 가 / 입 / 안 / 내

가입대상

한국광산업진흥회 설립취지와 목적 및 정관에 동의하며 현재 광산업체를 운영 중에 있거나,
광산업에 관심이 있어 본회의 회원사로 가입을 희망하시는 업체)

회비

입회비

- 기업규모에 따라 차등 적용

→ 부과기준 (만원) : 대기업 200, 중기업 100, 소기업 50

→ 입회비의 납부는 회원사 가입신청서 제출 시 본회에서 납입계좌를 안내하며, 입회비는 회원사 가입시 1회만 납부

연회비 : 전년도 법인결산 결과 총매출액 규모에 따라 차등 적용

매출액 (억원)	~10 미만	10~20 미만	20~50 미만	50~70 미만	70~100 미만	100~200 미만	200~500 미만	500~ 1,000미만	1,000~ 3,000미만	3,000 이상
연회비 (만원)	80	100	140	200	280	350	420	600	1,200	3,400

연회비 면제 및 경감 기준

1. 기본원칙 : 총매출액 기준

2. 연회비 면제 : 광산업체를 신규로 창업한 회원사로서 매출이 없는 경우, 창업 당해년도에 한해서 면제

3. 연회비 경감

- 연회비를 연납(일시납)할 경우 연회비 10% 감면

- 광산업과 타업종이 혼합되어 있는 회원사

전체 매출액으로 연회비를 산정한 후 광매출액이 차지하는 비율에 의거 경감

→ 전체 매출액 중 광매출액 비율이 30% 미만인 경우 : 50% 감면

→ 전체 매출액 중 광매출액 비율이 30% 이상 50% 미만인 경우 : 30% 감면

- 광산업체로서 총매출액이 2,000억원 이상인 회원사 중 다수의 사업자 단체에 중복하여기 회원으로 가입해 있는 회원사

→ 1~3개 협회 가입회원 : 40% 범위내 경감

→ 4개 이상 협회 가입회원 : 50% 범위내 경감

- 매출액 비율과 타 협회 중복가입에 따른 경감 등 이중경감은 적용 배제

- 상기 기준에 의하여 경감시, 최소 연회비 기준 이하 경감 불가

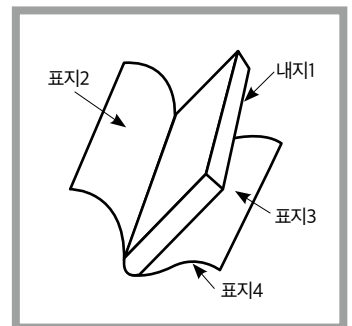
◆ 회원사는 한국광산업진흥회 발전을 위해 회비 이외에 찬조금을 지원할 수 있습니다 ◆

가입문의

- 한국광산업진흥회 정책기획부 김현호 팀장
- 전 화 : 062-605-9611 E-mail : h2k1103@kapid.org

K-LIGHT가 한국광학회와 한국광산업진흥회의 공동발간으로 새롭게 태어났습니다. K-LIGHT는 국내 광학분야 전문가들로 구성된 편집위원들이 최신 기술 동향과 정책, 뉴스를 여러분께 제공하며, 한국광학회 홈페이지에서 내려받을 수 있습니다. 광고게재를 희망하시는 업체는 한국광학회로 신청하시면 됩니다.

구분	금액
표지 4	150만원(부가세 별도)
표지 3	100만원(부가세 별도)
표지 2	100만원(부가세 별도)
내 지	80만원(부가세 별도)
내 지	1/2쪽 광고 40만원(부가세 별도) 1/4쪽 광고 20만원(부가세 별도)



정기구독 및 광고문의

02-3452-6560

osk@osk.or.kr

Leading Optical Solution Provider / (주)팬옵틱스



Enhanced CFP / CFP8



OSFP / QSFP-DD /
QSFP28 / QSFP+



CFP4 / SFP28 / SFP+ / SFP



VOA, Optical Switches



WSS / OCM / Interleaver
Balanced PD



DFB-LD, PD



AOC / DAC



Copper SFP(1/2.5/5/10G)



SOA



Modulator



DCM / DCF



ITLA



Fiber Geometry System
Interferometric end face inspection for fibers



Insertion Loss & Return Loss Meter
Multichannel Optical Power Meter



Ultra-Narrow Tunable Filter
Electrical Pulse Generator



Optical Vector Analyzer



Optical Backscatter Reflectometer

Optical Distributed Sensor Interrogator



High Resolution Optical Spectrum Analyzer
Optical Complex Spectrum Analyzer



4-Channel 28 Gbps BERT



Multiple Application Platform
(Attenuator, Light Source, Power Meter, Switch)



Sub-Micron Bonder,
Rework Station (IC, LED,...)



Jasper Display Corp.



Silicon Backplane & LCoS-SLM



High power Pump Lasers
8xx nm ~ 9xx nm up to 300W



980 Pumps Lasers
10xx nm FP, DFB Seed Lasers



High power
VCSEL Arrays



VCSEL Chips &
Arrays up to 25Gbps



Visible (RGB) Laser diode
0.2 ~ 7.0 μm Laser



Bare bars & Chip-on-Submount



Reflectors for Kw Lasers
FBGs for Ultrafast Lasers



TEC / TEG



PD Arrays



Customized LEDs

OCLARO CIG eoptolink emcore IVI iXblue USHIO PicoLAS YOFC

Optoplex CORPORATION OPLINK SUNSTAR AFR General Photonics AGILTRON FISBA SUSS MicroOptics



경기도 성남시 분당구 판교로 700, D-908 (야탑동, 분당테크노파크)
Tel. 0502-702-9999, Fax. 0502-703-9999, www.panoptics.net