

## 사업 소개

# 고려대학교 세종캠퍼스 집적광학소자및시스템 연구실

## “초경계 무한메타버스를 위한 융합현실주의적 적응시각 전환기술”

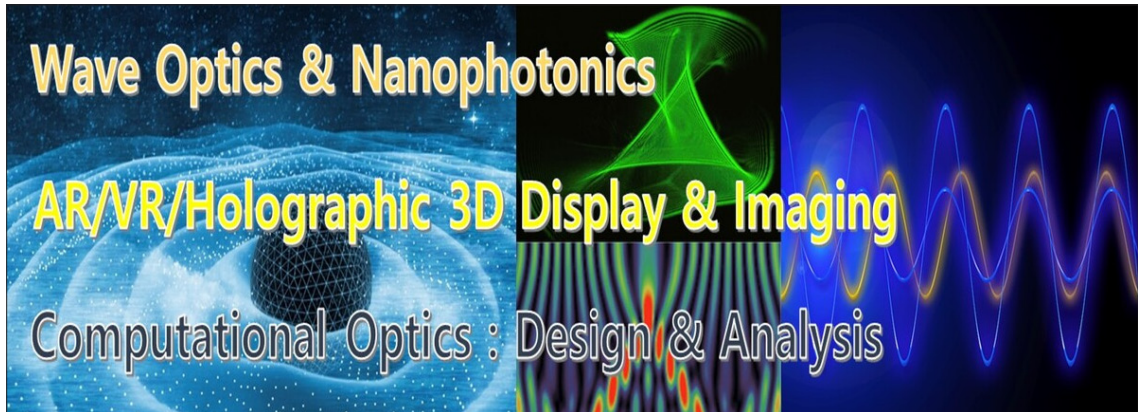
김휘 / 고려대학교 세종캠퍼스 집적광학소자및시스템 연구실

고려대학교 세종캠퍼스 집적광학소자및시스템 연구실(김휘 교수)과 산업기술 알키미스트 프로젝트 “초경계 무한메타버스를 위한 융합현실주의적 적응시각 전환기술” 테마에 대해서 소개하고자 한다.

### 1. 고려대학교 세종캠퍼스 집적광학소자및시스템 연구실 개요

고려대학교 세종캠퍼스 집적광학소자및시스템 연구실(IPDS Lab., 김휘 교수)은 파동광학과 포토닉스 설계 및 해석, 홀로그래피 3D 디스플레이 및 이미징 관련 기술을 주요 응용연구 테마로 하고 있다. 다양한 광학 매질, 소자 및 시스템 구조에서 발생하는 파동광학 현상을 중심으로 벡터 푸리에 광학이라는 새로운 장르의 기초 이론을 연구하는 연구실이기도 하다. 벡터 푸리에 광학은 공간과 매질 내부에 존재하는 빛의 분포를 푸리에 표현 모드의 전개로 표현하고, 이를 기반으로 다양한 광파와 매질, 소자 및 시스템 구조의 상호작용을 해석하고 최적화하는 기법을 제공할 수 있다. 빛의 정보량에 대한 최소한의 조건을 찾아내어, 물리적인 의미를 잃지 않으면서도 계산적으로는 효율적인 공간 광파 분포의 푸리에 근사 표현론의 기초에 대해서 깊이 있는 연구를 해 왔다. 현재 연구실에는 여러 대의 PC들로 구성된 계산 클러스터들을 1호기부터 3호기까지 구축하여 이론의 완성도를 높이고 있으며, 산업적 기반 기술로써 활용될 수 있도록 연구하고 있다.

이를 통해 대면적 광학 구조의 공간 광파 병렬 시뮬레이션 알고리즘, 메타물질 소자의 광학 구조 역설계 이론, 홀로그래피 광학 소자의 최적화, 광파의 계층 이론들을 확장하여 다루고 있다. 이러한 광파에 대한 기초 연구를 기반으로, 응용연구로서 회절광학소자 및 시스템, 공간 광변조기술, 컴퓨터 생성 홀로그램(OGH, Computer-Generated Hologram), AR/VR/홀로그래피 3D 디스플레이 시스템, 디지털 홀로그래피, 도파로 회절 광학, 반도체/디스플레이 광학 계층 기술 등 광파의 파동성이 주요한 역할을 하는 파동-광공학 분야의 연구를 수행하고 있다.



<그림 1> 고려대학교 세종캠퍼스 집적광학소자및시스템 (IPDS) 연구실의 연구 분야

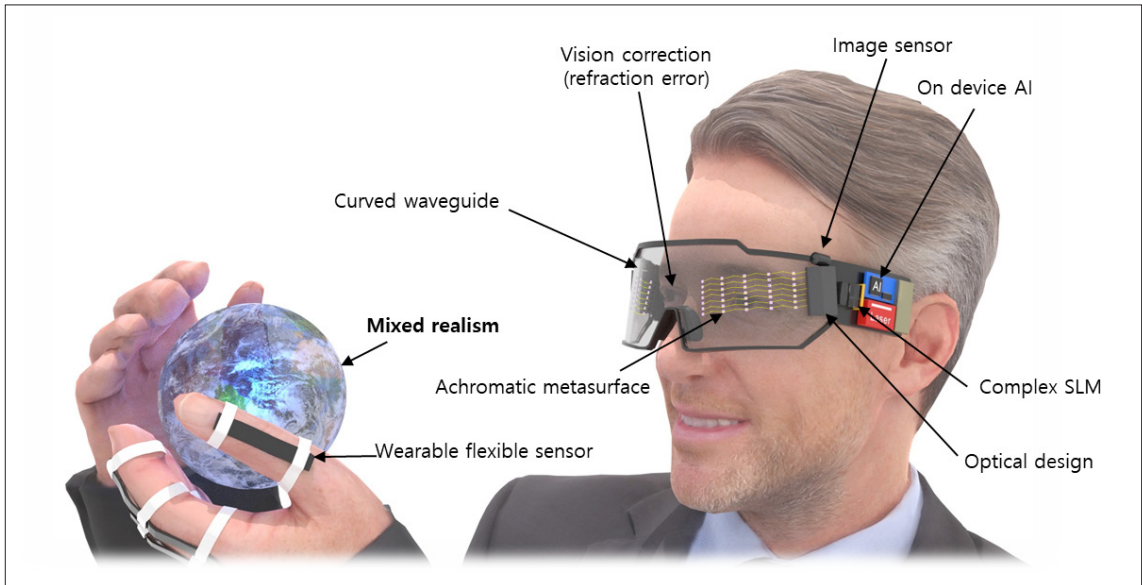
## II. 산업기술 알키미스트 ‘초실감 메타버스 시각화’ 프로젝트 개요

본 연구실은 최근에 여러 공동 연구기관들과 연구팀을 구성하여, 산업통상자원부에서 지원하는 산업기술 알키미스트 프로젝트(이하 알키미스트 프로젝트)를 시작하였다. 알키미스트 프로젝트는 미래 산업의 판도를 바꿀 수 있는 경제·사회적 파급효과가 큰 도전적·혁신적 핵심 원천 기술개발을 통해 새로운 시장 및 산업영역을 창출하기 위해서 테마와 관련된 산업기술을 지원해주는 연구·개발 지원사업(5년간 200억원 지원)으로, 본 연구팀은 ‘초실감 메타버스 시각화’ 테마의 알키미스트 프로젝트를 통해 ‘초경계 무한메타버스를 위한 융합현실주의적 적응시각 전환기술’의 개발을 목표로 연구하고 있다.

적응시각 전환기술은 증강 및 융합현실을 가장 자연스러운 형태로 경험할 수 있도록 하는 증강현실(Augmented Reality, AR) 기기와 인공지능 기반 상호작용 기술을 의미한다.

우선, 기존 AR 글래스 기기들이 가지고 있는 기술적 한계의 극복에 중점을 두고, 융합현실 상호작용을 위한 근거리 3차원 홀로그램 영상을 볼 수 있는 홀로그램 글래스 기술을 구현하고자 한다. 홀로그램 기술은 광파의 파동 간섭성과 회절 특성을 활용하여, 실제와 같은 공간 이미지를 구현하는 기술로서, 수렴초점충돌(Vergence Accommodation Conflict, VAC)과 같은 기존 3차원 디스플레이 기술이 갖는 한계 문제를 자연스럽게 해소할 수 있는 3차원 공간 영상 합성 기술이다. 본 알키미스트 프로젝트에서는 이를 안경형 폼팩터로 구현할 계획이다. 홀로그래픽 커브드 광도파로(holographic Curved Waveguide)라는 혁신적인 폼팩터를 사용하여 사용자가 실제와 같은 3차원 홀로그래픽 영상 시스템을 구현하고자 한다.

홀로그램 AR 글래스 기술을 기본 플랫폼으로 하여, 홀로그램 융합현실 상호작용을 위한 인공지능, 나노기술 등 주요 첨단 분야 기술들의 융합과 사용자의 망막이 갖는 비균일 광반응 셀 분포에 적응적으로 해상도를 조절하는 새로운 홀로그램 시각 전환기술을 구현하는 것을 프로젝트의 최종 목표로 하고 있다. 이 프로젝트에서는 최종 목표 기술 뿐만 아니라 이를 구현하기 위한 광학, 인공지능, 나노기술 융합 기술 분야에서의 다양한 소재, 소자 및 시스템, 알고리즘 기술들이 파생될 것으로 기대된다.



<그림 2> Curved waveguide를 적용한 혼합현실(Mixed Realism)용 Near Eye Display(NED)

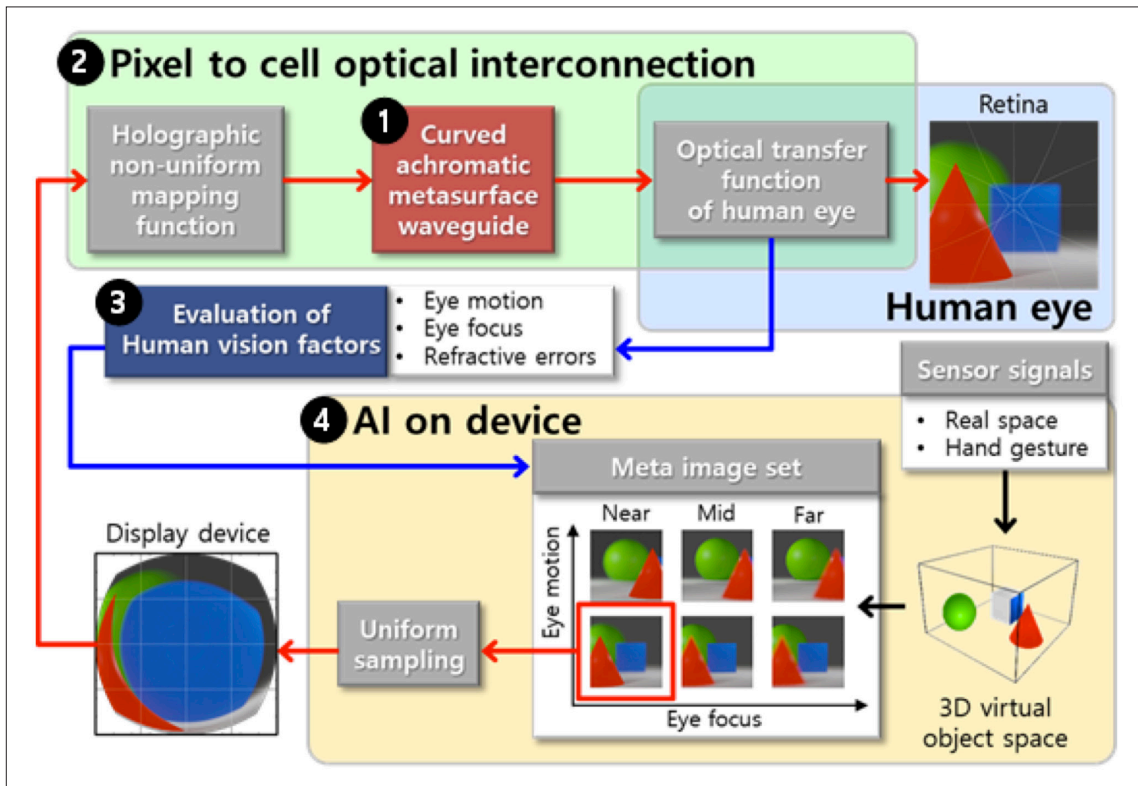
### Ⅲ. 주요 연구 내용

#### 1. 주요 내용

홀로그래프 증강현실은 실제 존재하는 사물이나 환경에 가상 정보를 마치 실제 환경과 이질감 없이 덧대어 보여주는 기술을 의미한다. 하지만 현재까지 사용자의 시각적 피로감과 괴리감을 완화할 수 있는 기술적 방향성은 아직 명쾌히 제시되지 않았다. 무엇보다 이상적인 증강/가상현실을 구현하기 위해서는 사용자 착용성은 물론 가상 정보를 인지하는 인적요소에 자연스럽게 적응하는 기술적 접근이 중요하다.

궁극적으로 공간상의 특정한 평면상에서 가상 정보를 구현하기 위해서, 사용자의 초점에 따라 현실적으로 피로감 또는 어지러움 없이 홀로그래피 증강현실 디스플레이를 구현하는 것을 연구의 주요 방향으로 설정하였다. 또한, 망막에서의 시각세포 분포를 고려하여 디스플레이 장치에서 망막으로 광학적 사상을 구현하는 인간 시각 인자에 기반한 적응시각 전환기술을 통해 디스플레이 장치의 픽셀 수가 지금보다 훨씬 많아야 한다는 기존의 패러다임을 바꿀 수 있고 기존보다 더 높은 화질을 구현할 수 있을 것이다.

가상 정보를 사용자의 초점에 따라 자연스럽게 구현하기 위해서, 공간상의 빛의 분포를 제어할 수 있는 고해상도 복도 광 변조 기술과 곡면 도파로 구조화 형태 및 이에 최적화된 도파로 CGH 생성 알고리즘이 필요하다. 특히, 복도 광 변조기, 메타 표면, 홀로그래픽 광학 소자 등의 기하-파동 하이브리드 광학 디자인 및 제조 기술이 집적된 곡면 도파로(diffractive curved waveguide) 소자를 개발하여, 넓은 시야각을 갖는 홀로그래피 3D 가상 이미지를 구현하고자 한다. 기존 AR 장치에서 제공되는 시야각이 사람의 시야각에 비해 부족했던 문제를 곡면형 광도파로 기술을 통해 넓은 시야각을 제공하여 해결할 수 있고, 무 색수차 메타표면 광도파로 기술을 구현하여 종래의 광학 컴바이



<그림 3> 본 연구의 4대 핵심 기술(계측-적응 광학-미터 광학-딥러닝 신경망)의 파이프라인

너에서는 피할 수 없었던 색 분산 문제 같은 기존 기술적 문제들을 해결하는 등, 이 분야에서 독자적 기술 우위성을 확보하고자 한다. 또한, Ai on Device를 통해 홀로그램 콘텐츠 생성의 실시간성을 확보하고, wearable flexible sensor로 사용자의 손동작을 공간에서 감지하는 기술들을 추가하여, 사용자에게 현실과 가상의 융합현실(Mixed Realism, MR) 경험을 제공하는 핵심 기술 플랫폼을 구축한다는 계획이다.

## 2. 연구 추진체계 구성 및 참여기관

본 프로젝트의 참여기관인 고려대학교 세종캠퍼스, 경북대학교, 서울대학교, 한국과학기술원, 포항공과대학교, 한국기계연구원, 한국전자기술연구원, (주)에임퓨터, (주)딥인사이트 등 총 9개 기관의 전문가들이 모여, 광학 엔지니어링 기술팀, UI/측정 기술팀, 메타 도파로 컴바이너 광학기술팀, AI-AR 영상 기술팀을 구성하고, 각 팀 안에서도 연구자들이 협력하여 연구를 진행한다.

‘초경계 무한메타버스를 위한 융합현실주의적 적응시각 전환기술’ 개발이라는 하나의 목표는 핵심 기술 4개로 나누어져 있는데 각 핵심 기술은 수많은 세부 기술로 구성되어 있고, 각 세부 기술은 광학, 인공지능, 나노 기술, 센서 기술, 제조 기술 등이 융합되어 있다. 핵심 기술을 구성하는 세부 기술들을 구현하기 위해서는 참여기관들이 갖추고





<그림 4> 산업기술 알키미스트 프로젝트 참여 연구자들

있는 연구성과와 기술들의 장점들을 창의적으로 결합하고, 신기술을 개발해 나가는 것이 중요하다. 알키미스트 프로젝트의 목표에는 '연구 결과를 통해 사업화 성과 창출을 도모'가 포함되어 있다. 이를 위해 산업계 멤버십 기업 프로그램을 자체적으로 포함하고 있으며 본 연구팀은 (주)삼성디스플레이, (주)에임퓨처, (주)딥인사이트 등의 기업과 협약을 맺어 산업계 수요를 적극적으로 반영하고 있고 기업의 참여 유도를 통해 수요자 중심의 연구개발을 추진 중이다.

### 3. 연구성과

알키미스트 프로젝트는 각 1년씩의 1단계, 2단계 연구 기간을 거쳤으며 해당 기간에 핵심기술들의 선행개발을 수행하였다. 특히, 도파로(waveguide) 구조에서 컴퓨터생성 홀로그램(Computer Generated Hologram, CGH) 이미지를 결상할 수 있는 새로운 CGH 생성 기술을 개발하였다. 본 테마에서는 CGH 영상의 화질을 높이는 연구를 계속 진행하고 있다. 이를 위해 우선 홀로그램 생성 엔진 기술로서 복소변조(complex modulation) 공간광 변조기(Spatial Light Modulator, SLM) 기술을 연구했고, 다양한 투과형 및 반사형 SLM 아키텍처를 제안하고, 복소 변조 공간광변기 기술의 방향성을 확립할 수 있는 유의미한 시뮬레이션 및 실험적 결과를 얻었다. 또한, 대면적 도파로 기반 광학 컴바이너의 파동 광학적 해석 및 설계가 필수적인데, 기존에는 해석하기 어려운 대면적 파동광학 시뮬레이션 기반 기술을 개발하였다. 대면적 메타표면 제조와 홀로그래픽 광학소자의 프린팅 기술을 개발하여, 홀로그래픽 3차원 영상을 도파로를 통해 디스플레이하는데 필요한 파면 제어 소자 기반 기술을 확보하였다.

## IV. 초실감 입체영상 기술이 미래에 미칠 영향 및 방향

현실과 공존 가능한 확장현실 기술 기반으로 인간의 시각인지 한계에 최대한 가까운 수준의 초실감 입체영상을 제공할 수 있는 디스플레이 및 근거리 상호작용 기술이 개발되면, 수많은 사회적 서비스가 창출될 수 있을 것이다. 사용자의 움직임이나 운동시차 대비 늦은 반응 속도는 융합현실 시스템의 현실감을 떨어뜨리는 주요 이슈이다. 이를 해소하기 위해서는 본 프로젝트에서 연구하는 디스플레이 및 상호작용 기술을 뒷받침할 수 있는 저지연 고대역폭 네트워크 기술과 인프라가 함께 뒷받침되어야 한다. 이러한 기술적 이슈들이 해결되면, 디스플레이의 공간적 제약이 사라져, 3차원 공간상의 어떤 위치에서도 3D 홀로그램 영상을 실시간으로 디스플레이할 수 있어서, 사용자의 공간이 확장되는 원거리 실시간 홀로그래픽 커뮤니케이션이 가능하게 될 것이다. 새로운 인터넷 망과 인공지능 통신 기술, 그리고 융합현실을 위한 적응시각 전환기술이 결합된 다자간 홀로그래픽 커뮤니케이션이 가능한 초경계 무한메타버스가 사회의 기본 인프라로 구축되어 우리의 삶이 시공간적 제약에 구애받지 않는 형태의 새로운 미래 사회를 예견할 수 있다.

### 저 자 소 개



#### 김 휘

- 1996년 3월 ~ 2000년 8월 : 서울대학교 전기공학부 학사
- 2001년 3월 ~ 2003년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
- 2003년 3월 ~ 2007년 8월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2007년 8월 ~ 2008년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 Post-doc
- 2008년 3월 ~ 2010년 2월 : 삼성전자 책임연구원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 세종캠퍼스 전자정보공학과 교수
- 2018년 2월 ~ 2019년 2월 : Univ. of California at Davis, Visiting Professor
- 2022년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 크림산산학융합원 원장