

연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 몰입형 전시 응용을 위한 디지털 홀로그래픽 광학소자 기술 개발

1. 개요

가. 기술의 개념 및 정의

- 제4차 산업혁명 시대의 도래와 더불어 (HUD, HMD를 포함한) 증강/혼합 현실, 원격화상회의, 드론/로봇의 영상 기반 원격 제어 등의 몰입형 (Immersive) 전시 응용이 초산업분야로 확산되고 있음. 이들 응용에서 핵심 광학소자로서 홀로그래픽 광학소자(Holographic Optical Element)는 원하는 광학기능을 갖는 복잡한 광학계를 하나의 광학소자로 간편하게 대체하거나, 독특한 광학적 기능을 구현하려는 목적으로 종종 이용되고 있음.
- 최근 학·연계는 기존 아날로그 방식의 HOE가 가지는 기술적 한계를 극복하기 위하여 컴퓨터에 의해 생성된 홀로그램을 직접 기록하고 용이하게 복제할 수 있는 DWDH(Direct-Writing Digital Hologram) 기술들을 개발하고 있고, 일부분 개발에 성공하였음.
- 이에 본 연구는 증강/혼합현실, 원격화상회의, 드론/로봇의 영상 기반 원격 제어 등 몰입형(Immersive) 디스플레이 응용을 위한 DWDH 기술 개발을 목표로 디지털 홀로그램의 생성, 홀로그래픽 파면 프린팅 (Holographic Wavefront Printing) 기반의 마스터 HOE 제작, 그리고 마스터 HOE의 복제 등의 요소기술을 개발하고, 시제품의 성능시험과 HOE를 이용한 반구형 프로젝션 디스플레이 시연을 통하여 개발 결과를 검증하고자 함.

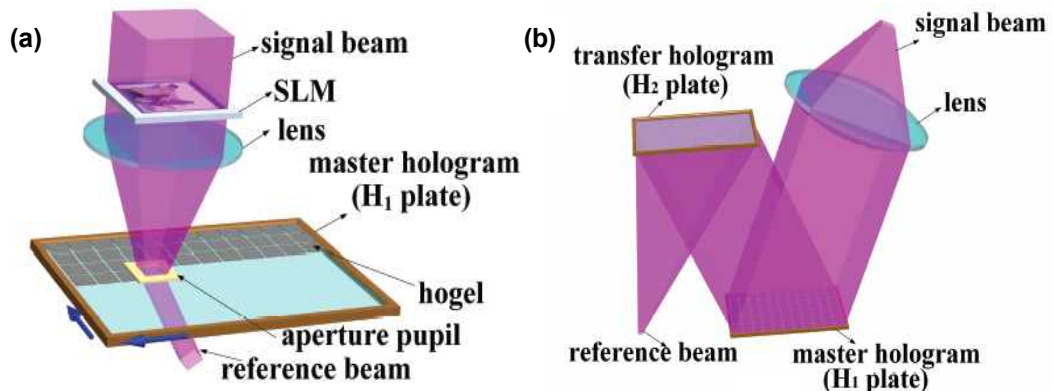


그림 1. 개발추진대상, DWDH 기술의 구성요소를 개략적으로 나타내었음 ; 마스터 HOE의 생성 (a), 마스터 HOE의 복제 (b)

나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

○ 기술의 중요성/필요성

- 홀로그래픽 파면 프린팅 기반 HOE는 디지털적으로 마스터 홀로그램을 생성함으로 설계·제작이 간편하여, 복잡한 광학기능이 요구되는 HOE 응용조차도 다양한 산업분야로 용이하게 보급·확산 가능하게 함.
- 또한 DDHOE(Digitally Designed Holographic Optical Element) 기술은 원하는 광학기능을 갖는 광학계를 지난 빔과 참조 빔에 의하여 형성된 간섭 무늬를 기록하는 기존 HOE에 비하여, 경제적, 개발기간 측면에서 우월함.

○ 기술개발의 시급성

- 선진국들은 홀로그래픽 파면 프린팅 기술에 관한 연구개발을 착수하고 일부 기술들을 이미 확보하고 있음으로 멀지않은 장래에 상용화가 가능할 것으로 예상됨.
- 최근 더 이상의 성장 동력을 잃어버린 국내 디스플레이 산업계의 돌파구로서 증강/혼합현실 응용과 군사적 측면에서 드론/로봇의 영상 기반 원격 제어·조종 등의 원격-몰입형 응용(Tele-Immersive Applications)과 더불어 HOE에 대한 긴급한 소요가 일어나고 있음.



그림 2. 원격-몰입형 응용의 개념 ; 몰입형 조종석(Immersive Cockpit)의 가능성이 있는 응용 (a), 지지 구조물에 의한 가림 현상을 방지하여 광시야각 (c), (d)을 광시야각을 제공하기 위한 유연한 카메라들의 배치 (b)

다. 연구개발 최종 목표

○ 민·군수용

- 자유형(Freeform) HOE 제작을 위한 홀로그래픽 파면 프린팅 기반의 요소기술을 개발하고 시제품(Holographic Screen)의 성능시험과 HOE 기반 반구형 프로젝션 디스플레이 시연

항 목		목 표 성 능
HOE ¹⁾	HOE 크기 (cm)	$\geq 20.0 \times 20.0$
	호겔 피치 (mm)	≤ 1.5
	픽셀 피치 (nm)	≤ 400
	호겔 기록 최대 속도 (/sec)	10
	Fill Factor (%)	90
반구형 프로젝션 디스플레이	시야각 (deg.)	90 (Hor.), 45 (Ver.)
	스크린 직경 (m)	1.8

1) 홀로그래픽 파면 프린팅 법을 이용하여 생성한 DWDH 광학소자

2. 국내·외 기술현황 및 전망

가. 국내 기술동향 및 전망

○ 디지털 홀로그래픽 프린터(Digital Holographic Printer)는 3D 컴퓨터 그래픽 툴이나 CAD 등에서 생성한 가상 객체에 대해, 다수의 디지털 홀로그램을 생성 후에 감광 매질 한 장에 모아서 인쇄할 수 단임. 국내에서는 현재 ETRI, KETI, 한교아이씨, 저스텍과 충북대학교 등을 중심으로 관련 기반 기술 연구를 진행 중에 있으며 스테레오그램과 프린지 프린트 기술을 병행하여 연구하고 있음. DHP 기술이 향후 일반 사용자가 불편함 없이 사용할 수 있도록 하려면 집적화 기술을 통해 시스템이 간소화되어야 하며 또한 진동에 안정적인 기술 개발뿐 아니라, 고휘도를 만족하는 기록 매질 과 다양한 핵심 원천 기술의 개발이 필요함.

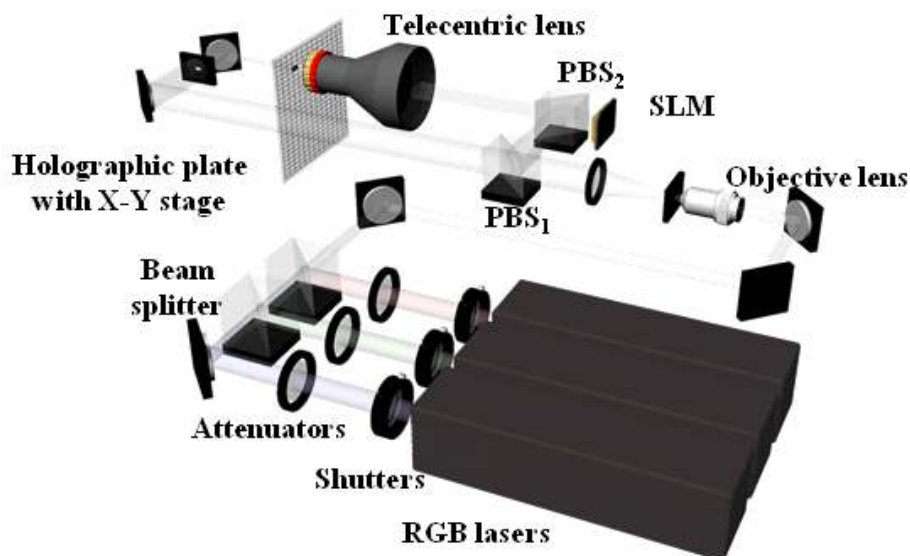


그림 3. 홀로그래픽 프린지 프린터의 개략도

- 홀로그래픽 광학소자(HOE)는 투명하고 얇은 필름 또는 플라스틱 형태로 다양한 기능을 포함할 수 있어 기존의 광학소자를 대체하거나 기존에 불가능했던 것으로 알려진 다기능 소자를 제작할 수 있다는 장점을 갖고 있어 광학제품, 통신과 디스플레이 분야에서 다양한 연구 개발이 진행되고 있음.
- 현재 2차원인 홀로그래픽 투영 스크린은 광고, 공연, 증강현실 등에서 폭발적인 수요 증가를 보이고 있으며, 3차원인 홀로그래픽 3D 스크린은 3D TV의 개발 방향이 무안경 방식으로 진행하고 있으므로 홀로그래픽 광학소자의 활용도와 필요성은 매우 높아질 것으로 예측됨.
- 이러한 홀로그래픽 광학소자 개발을 위해서는 기본적으로 기록매질(Recording Material)과 개발 시스템, 그리고 대량생산을 위한 복제기술이 요구됨.
- 그러나 세계적으로도 소재는 미국의 Dupont社와 독일의 Bayer社가, 복제기술은 일본의 DNP社에서만 상용화 가능하여 아직 대중화를 위한 높은 장벽이 남아 있음. 특히 국내의 경우, 일부 대학을 중심으로 광학소자 개발에 대한 활발한 연구가 진행되고 있지만 재료 수급이 어려운 문제가 있고, 복제기술 분야의 기술은 전무한 것으로 알려져 있음. 최근에는 Bayer社가 공급을 늘려, 다소나마 기록매체의 수급의 어려움은 해소되었음.

나. 국외 기술동향 및 전망

- 미국의 Zebra Imaging社의 홀로그래픽 프린터는 스테레오그램 방식을 채택하고 펄스 레이저(pulsed laser) 기반의 기록 광학계를 사용하고 있음. 펄스 레이저는 스캐닝 방식으로 구동되어 고속 기록이 가능함. 이를 통해 만들어진 호겔(Hogel)들을 순차적으로 감광 매질에 기록함. Zebra Imaging의 Hogel 크기는 약 1mm 정도이며, 수십 인치 가량의 고해상도 대형 이미지도 출력할 수 있는 기술 수준을 확보하고 있음.

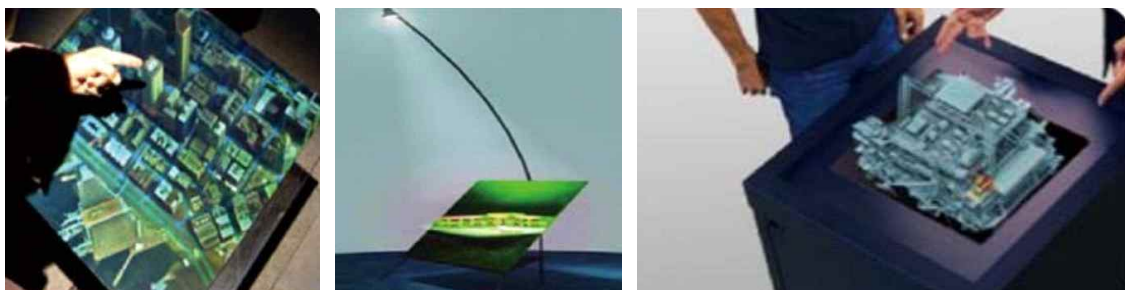


그림 4. Zebra Imaging社의 홀로그래픽 프린팅 시연

- Nihon 대학교의 프린지 프린터는 스테레오그램 방식과 달리 간섭 패턴을 수치적으로 계산한 후 이를 SLM을 통해 물체 빔으로 변조한 후 렌즈를 통해 크기를 변환하여 매질에 기록하는 방식으로 일본의 니혼대학교에서 최초로 연구를 시작하였음.
- 한편 영국의 라이트블루옵틱스(LBO)社は 홀로그래픽 기록매체 대신에 능동적인 홀로그래픽 광학소자(FLCOS μ -display)를 이용하여 성냥갑만한 크기(부피: 63cm³)의 휴대형 프로젝터를 개발하였음. 이 제품은 아직 녹색의 영상만을 제공하고 있지만, 홀로그램과 같은 회절패턴을 발생시킴으로써 초점 조절이 불필요한 장점이 있음.
- HOE는 주요 응용분야는 HMD로 HOE를 적용하면 광학소자의 매수가 현저히 줄어들기 때문에 좁은 공간에 시스템을 용이하게 구성할 수 있을 뿐 아니라, 기존의 HMD 시스템보다 상당히 가볍고 상대적으로 높은 광효율과 넓은 시야각이 장점임.
- BAE system社は HMD 기술 및 기술적인 혁신 분야의 세계적인 선도 기업이며, 헬멧과 HMD이 일체화된 Q-Sight 제품군을 출시하였음. 그림 5에 BAE system의 HMD 시스템 구성도와 실제 군인이 착용한 모습을 보였음. Q-Sight에서는 양자 도파관 기술을 적용하여 LCD 프로젝터의 출력을 바로 결합함으로 중간 렌즈가 필요 없음.



그림 5. BAE System社の Q-sight 100 디스플레이의 외관과 핵심 부품의 기능

- Digilens社の 제품에서는 Off-axis 광학계를 사용하여 디스플레이의 무게 중심이 귀 뒤로 위치함으로 머리의 움직임에 따라 중심이 이동하지 않고 시스템의 무게를 보다 큰 공간에 옮김으로 디스플레이가 훨씬 가볍게 느껴짐. 그림 5에 Digilens社 제품의 구성도를 나타내었는데, 이 제품은 See-through 타입으로 장기간 사용에도 편안하고 넓은 시야각을 제공하며 높은 해상도를 가고 있음. 이 제품에서 채택한 홀로그래픽 광학소자(Optical Waveguide)는 기록매질로서 포토폴리머를 사용하였음.

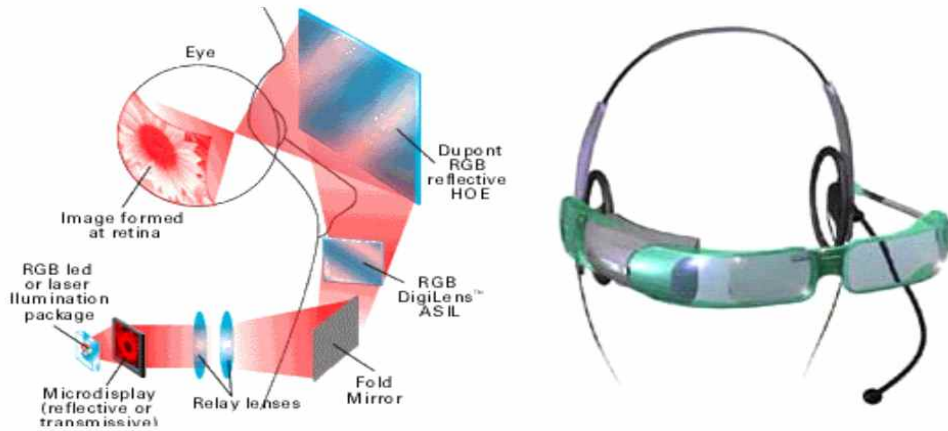
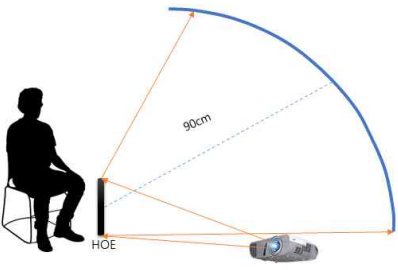


그림 6. Digilens사의 HMD 제품은 ‘Head-Up’ 영상의 구현이 가능함.

3. 연구개발계획

가. 연도별 연구개발 목표

○ 민·군수용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물
응용연구 (3년)	홀로그래픽 파면 프린팅 기반 Freeform HOE 설계·제작 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Color freeform HOE 제작을 위한 홀로그래픽 파면 프린팅 시스템 기술 개발 ◦ 스칼라 회절 기반 Freeform HOE 마스터 설계/제작 기술 개발 ◦ HOE 마스터 복제 기술 개발 ◦ HOE 시제품 성능 평가 ◦ HOE를 이용한 반구형 프로젝션 디스플레이 시연  <p>[반구형 스크린을 갖는 HOE 기반 프로젝션 디스플레이 예]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ DDHOE 시제품 크기 $\geq 20 \times 20 \text{ cm}$, 호겔 피치 $\leq 1.5 \text{ mm}$ 픽셀 피치 $\leq 400 \text{ nm}$ ◦ 반구형 프로젝션 디스플레이 시야각: (H) 90°, (V) 45°, 직경: 1.8m

최종 연구개발 목표를 달성하기 위한 연도별 목표, 연구개발 내용, 주요 연구결과물 및 예산은 연구개발계획서 양식에 따라 제안기관에서 제시 요망.

예시) 응용연구 3년 과제의 경우

연구단계	응용연구		
연차	1차년도	2차년도	3차년도
연차별 기간	15개월 (‘18.10~‘19.12)	12개월 (‘20.1~‘21.12)	9개월 (‘21.1~‘22.9)
평가	<div>▲</div> <div>진도평가</div> <div>▲</div> <div>진도평가</div> <div>▲</div> <div>최종평가</div>		
예산 지급	▲ ▲	▲	▲

나. 연구기간 및 연구비

- 연구기간 : 응용연구 3년
- 총 연구비 중 정부출연금 : 40억 원 (응용: 40억원)

4. 적용 및 파급효과

가. 적용분야

- 군수 : 원격-몰입형(Tele-Immersive) 응용을 위한 디스플레이 ; 드론봇의 원격 조종, AR 기반 모의 전투훈련 시뮬레이션, 무기체계(항공, 전차, 함정 등) 시뮬레이션 등



- 민수 : 몰입형(Immersive) 광시야각 디스플레이 응용 ; 중장비/산업용 로봇의 조종 및 제어, 원격화상회의, 문화, 광고/홍보, 전시(Digital Signage), 자동차, 항공기 등의 전방 정보 전시 등



나. 파급효과

- 기술적 측면 : 국내에서도 AR/VR 응용에서 홀로그래픽 광학소자(HOE)를 활용하는 사례들이 증가 일로에 있고 HOE 관련 연구개발이 활발히 진행되고 있지만, 아직까지 홀로그램 기록매체, 복제, 직접기록(Direct-Writing Digital Hologram) 등의 기반기술은 해외에 크게 의존하고 있는 실정임. 이러한 시점에서 홀로그래픽 프린팅에 관한 연구개발은 국내의 취약한 기술기반 구축에 크게 이바지할 것임.
- 경제·산업적 측면 : 최근 홀로그래픽 광학소자는 산업 전반으로 확산하고 있는 추세로 더 이상의 성장동력을 잃어버린 국내 디스플레이 산업계에도 활력을 불어 넣을 수 있는 기폭제로서의 역할이 기대됨.
- 군사적 측면 : 원격-몰입형(Tele-Immersive) 응용은 최근 우리 군이 소요를 제기하고 있는 드론 붓의 핵심요소로서 부각될 것이며, 드론붓의 탑재 센서와 더불어 HOE를 이용한 원격-몰입형(Tele-Immersive) 디스플레이는 원격 상황인지(Situation Awareness) 측면에서 결정적인 역할을 할 것으로 예상됨.

5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 최종 개발결과보고서
- DWDH 광학소자(HOE) 시제품 [크기: 20 x 20 cm, 호젤 피치: 1.5 mm]
- 반구형 프로젝션 디스플레이 [시야각: 90°(H), 45°(V), 스크린 : ϕ 1.8 m]

나. 연구개발 결과 평가항목

항 목		목 표 성 능
HOE ¹⁾	HOE 크기 (cm)	≥ 20.0 x 20.0
	호겔 피치 (mm)	≤ 1.5
	픽셀 피치 (nm)	≤ 400
	호겔 기록 최대속도 (/sec)	10
	Fill Factor (%)	90
반구형 프로젝션 디스플레이	시야각 (deg.)	90 (Hor.), 45 (Ver.)
	스크린 직경 (m)	1.8

1) 홀로그래픽 파면 프린팅 법을 이용하여 생성한 DWDH 광학소자

6. 참여 요건

가. 추진 체계 요건

- 주관기관 : 민·군기술협력사업 촉진법 제7조 제2항 및 동법 시행령 제14조 제2항 각호에 해당하는 기관 또는 단체
- 참여기관 : 제한 없음
- 기업분담율 : 기업 참여시 민·군기술협력사업 공동시행규정 제 27조 적용

나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격 : 관련분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 함.
- 과제 신청요건 : 주관기관은 컨소시엄을 구성함에 있어서 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며 과제 참여기관은 각 분야의 연구 및 개발경험이 풍부하여야 함.

다. 기타

- 해당없음

7. 참고문헌

- Jian Su et al., "Progress in the Synthetic Holographic Stereogram Printing Technique", App. Sci. 2018, 8, 851, 1 - 15 (2018)

- Koki Wakunami et al., "Projection-Type See-Through Holographic Three-Dimensional Display", Nat. Commun. Vol.7, 12954 (2016)
- Ryutaro Oi et al., "Three-Dimensional Reflection Screens Fabricated by Holographic Wavefront Printer", Opt. Eng., Vol.57(6) 061605 (2018)
- Performance Optimization in Mass Production of Volume Holographic Optical Elements (vHOEs) Using Bayfol HX Photopolymer Film, Proc of SPIE, Vol.10233, 102330G-1 - 102330G-15 (2017)
- Nam Kim and Mei-Lan Piao, "Application of Holographic Optical Elements and Systems", Korean J. Opt. Photonics, Vol. 25(3), 125 - 130 (2014)
- Wai-Kwan Tang et al., "A System for Real-Time Panorama Generation and Display in Tele-Immersive Applications", IEEE Trans. Multimedia Vol. 7(2), 280 - 292 (2005)
- 이득주 외, "영상 디스플레이를 위한 홀로그래픽 광학소자 설계", 대한 전자공학회 학술발표회 논문집, 1994.1, 1 - 4
- 김성민, "홀로그래피 산업 전망 및 디지털 홀로그래피 상용화를 위한 고려사항", 방송과 미디어, Vol.18(3), 109 - 117 (2013)
- 이봉호 외, "디지털 홀로그래픽 기록 기술 동향", 전자통신동향분석, Vol.27(6), 21 - 30 (2012)
- 최현준 외, "디지털 홀로그래픽의 고속기록 기술 동향", 방송과 미디어, Vol.16(2), 109 - 117 (2011)

8. 과제 문의사항 연락처

소 속	성 명	연락처
민군기술협력센터	박영식	042) 607-6013