

Light Field 기술개발 동향

Trends in the Technology Development of Light Field

- I. 서론
- II. Light Field 카메라
- III. Light Field 디스플레이
- IV. 결론 및 시사점

전황수 (H.W. Chun, chun21@etri.re.kr)

기술경제연구그룹 책임연구원

한미경 (M.K. Han, mkhan@etri.re.kr)

실감감성플랫폼연구실 책임연구원/실장

장중현 (J.H. Jang, jangjh@etri.re.kr)

기가서비스연구부 책임연구원/부장

A light field (LF) is a field for expressing the intensity and direction of light reflected from a subject in a 3D space. Dual LF cameras are equipped in smart phones in Korea, mainly those by Samsung and LG. Lytro, Apple, Nvidia, MIT Media Lab, Magic Lip, and NHK are also developing LF camera technologies. LF displays are being researched by ETRI, Samsung Electronics, KIST, KAIST, SNU, MIT Media Lab, USC, HP, Apple, Microsoft, SeeReal, Musion Eyeliner, Dimenco, and Holografika.

* DOI: 10.22648/ETRI.2018.J.330207

*본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업의 일환으로 수행되었음[17ZF1200, 실감콘텐츠 산업 활성화를 위한 XD미디어 핵심 기술개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

I. 서론

Light Field(LF)는 3차원 공간상에서 피사체로부터 반사되는 빛의 세기와 방향을 표현하기 위한 장으로써, LF 영상획득 및 재현 기술은 카메라를 통해 LF를 획득한 후 디스플레이를 통해 그대로 재현하여 시각적으로 왜곡이 없는 완전 입체의 실감영상을 시청하게 하는 기술이다[1]. 자연스러운 완전 입체영상을 재현하면서도 홀로그램에 앞서 실현 가능한 기술로 기술개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 카메라로 빛의 세기와 방향 정보를 획득 후 디스플레이로 그대로 재현함으로써 시각적으로 왜곡이 없는 완전 입체의 실감영상을 시청할 수 있고, 조밀한 시점영상, 깊이영상의 제공으로 3D 단말 분야뿐만 아니라, 초점조절 기능을 통해 다양한 2D 응용 기술로 활용되고 있다[2].

LF 카메라는 국내에서 삼성전자와 LG전자를 중심으로 스마트폰에 듀얼카메라를 탑재하고 있으며, 해외에서는 Lytro, 애플, 엔비디아, MIT 미디어랩, 매직립, NHK가 기술을 개발하고 있다. LF 디스플레이는 국내에서 ETRI, 삼성전자, KIST, KAIST, 서울대 등이 연구를 수행하고 있고, 해외에서는 MIT 미디어랩, USC, HP, Light Blue Optics, Ostendo Technologies, 애플, 마이크로소프트, SeeReal, Musion Eyeliner, Dimenco, Holografika 등이 기술을 개발하고 있다.

본고에서는 카메라와 디스플레이부문에서 새롭게 부상하고 있는 Light Field의 국내외 기술개발 동향을 살펴보고 정책적 시사점을 도출해보고자 한다.

II. Light Field 카메라

Light Field 카메라는 메인 렌즈의 초점면에 여러 개의 마이크로렌즈를 사용하고, 이미지 센서는 마이크로렌즈 보다 약간 뒤쪽에 위치해 이미지들을 사용해 포커스가 맞지 않은 부분들을 분석하고 심도에 대한 정보를

얻을 수 있다. 수많은 작은 이미지들을 분석한 후 그것들을 조작 및 배합할 수 있는 소프트웨어를 사용해 하나의 이미지로 만들어 매우 깊이있는 심도를 표현한다 LF 영상획득 방법은 수평 및 수직 어레이로 구성된 다중카메라를 통해 획득하는 방법과 마이크로렌즈 어레이 기반 카메라로 획득하는 방법이 있다. LF 카메라로 획득된 영상은 수평/수직 시차 시점영상, 깊이영상 등의 실감영상 포맷을 지원하기 때문에 스마트폰, 방범용 CCTV 카메라, 영상인식 카메라, VR 서비스 등에 이용할 수 있다[3].

1. 국내 개발 동향

삼성전자는 2018년 2월 ‘MWC 2018’에서 공개한 차세대 프리미엄 스마트폰인 갤럭시 S9 플러스의 후면에 삼성전기의 듀얼 카메라를 탑재하였다. 듀얼 카메라 모듈은 듀얼 픽셀 1,200만 화소로 구성되었다[4].

(그림 1)에서 보듯이 LG전자가 ‘V10·G5’ 등에 듀얼 카메라를 탑재하고 있다. G5의 후면에 있는 800만 화소 광각 카메라와 1,600만 화소 카메라 중 상황에 따라 선택해 사진을 찍을 수 있다.



(그림 1) 듀얼카메라가 장착된 LG전자 G5 스마트폰

[출처] LG 전자, ‘LG G5와 프렌즈(Friends)’ 공개, <https://flic.kr/pDpq3pb>, CC BY 2.0.

2. 해외 개발 동향

Lytro는 ‘Light-Field’ 기술을 응용해서 ‘1세대 라이

〈표 1〉 이동 통사들의 글로벌 장비업체들과의 협력

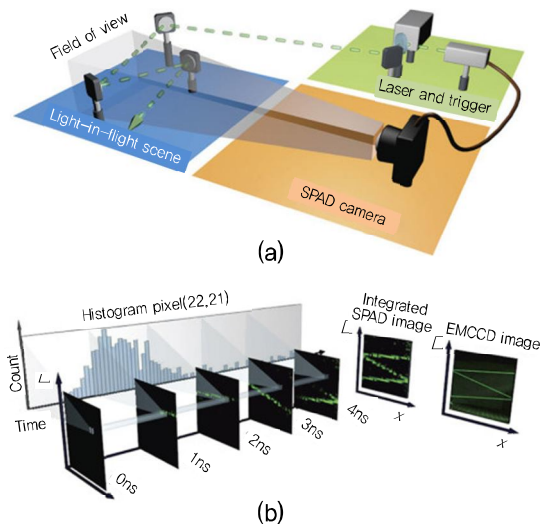
구분	사양	구분	사양
크기	86mm × 145mm × 166mm	ISO	80~3,200
무게	940g	이미지 포맷	라이트필드 RAW(lfr)
바디 재질	마그네슘, 알루미늄	화면 비율	3:2
그림/렌즈링 재질	실리콘	2D 변환 이미지	2,450 × 1,634
초점 거리	9.5~77.8mm(35mm 환산 30~250mm)	저장 방식	SDXC/SDHC
줌 비율	광학 8X	셔터 방식	포컬플레인 방식
최대 조리개	전 구간 F2.0	셔터 스피드	1/4,000~32초
최단 촬영거리	렌즈 앞 0mm(최대 광각 시)	플래시 동조	1/250초
매크로 비율	1:03	드라이브 모드	싱글, 연사, 셀프타이머
이미지센서 타입	라이트필드 센서(CMOS기술 베이스)	연사 속도	3fps
라이트필드 해상도	400만 배열	노출 모드	프로그램 ISO 우선, 셔터 스피드, 매뉴얼
센서 사이즈	1/1.2"	틸트 액정	-10~90°

[출처] 조인원, “찰나의 시간을 기록하여 언제든지 볼 수 있도록 해주는 LYTRO ILLUM,” 조선일보, 2015. 4. 2.

트로 카메라를 2012년에 개발했다. 운영체제의 특성에 관계없이 Mac이나 Windows 어디에서나 디스플레이 호환이 가능하다. 스마트폰, 아이패드 등의 모바일 기기에서도 소프트웨어 설치 없이 촬영물의 감상이 가능하다.

〈표 1〉에서 보듯이 Lytro ILLUM 카메라는 찰나의 시간을 기록하여 언제든지 볼 수 있도록 해주는 카메라로 조리개 심도와 상관없이 앞 뒤 초점이 다 맞는다. 사진 한 장을 찍는 데 속도가 느리지만, 앞과 뒤 피사체의 초점을 모두 정확한 초점과 풍부한 계조로 촬영해 조리개가 없는 대신, 촬영이 끝난 후에 조리개를 2.8부터 16까지 마음대로 조절할 수 있다[5]. 그러나 결과물의 해상도가 일반적인 디지털카메라와 비교해 너무 낮으며 이미지 파일로 출력할 경우 최대 해상도는 2,450 × 1,634에 불과해 연사 속도나 노이즈 억제 등 고화질 사진 위해 필요한 고급기능이 부족하다[6].

애플은 2015년 이스라엘 조리개 알고리즘 업체 ‘LinX Computational Imaging’을 인수해 듀얼 카메라 소프트웨어 기술을 확보했다. 스마트폰과 태블릿에 특화된 모바일 기기용 다초점 카메라 장치를 개발하고 있다. 링스 카메라는 리트로 카메라처럼 촬영 후 초점을 변경할 수 있으며 어두운 곳에서도 플래시를 사용하지 않고 선명한 영상을 촬영할 수 있다. 듀얼카메라는 아이폰7 플러



(그림 2) MIT미디어랩의 Foci 시스템

[출처] MIT Media Lab., “Synthetic Light Field Archives,” Accessed Feb, 2017. <http://web.media.mit.edu>

스에 적용됐다[7].

MIT 미디어랩은 마이크로 프로젝트와 마이크로렌즈 어레이를 이용해 초점조절 가능한 투시를 개발했다. (그림 2)에서 보듯이 ‘Foci’ 시스템은 20 메카픽셀 감지기의 단일 노출로부터 완전한 20 메가픽셀 다시점 3D 영상을 만들 수 있다. 매우 작은 렌즈들의 배열을 사용한 카메라의 해상도와 일치하는 해상도를 가진 광학장 카메라를 만들 수 있는 것을 입증했고, 상용 장치에 채



(그림 3) NHK의 다초점 로봇카메라 시스템

[출처] NHK, “NHKグループネット,” Accessed 2018, <http://www.nhk.co.jp>

택했다[8].

매직립(Magic Leap)은 2010년 설립된 VR·AR 분야에 서 혁신적인 기술을 보유한 기업이다. 핵심기술인 ‘포토 닉스 라이트 필드(Photonics Light Field)’는 단말기에 탑재된 초소형 프로젝터로 사용자의 눈에 직접 고해상 도 3D 영상을 투사해 인공 객체를 현실처럼 구현한다. 아직 제품을 출시하지 않았지만, 동종 업계 중 가장 앞 선 기술을 보유하고 있다[9].

(그림 3)에서 보듯이 일본의 공영방송인 NHK는 2013년 6월 피사체 움직임에 따라 동적 멀티 시점 영상 촬영할 수 있는 ‘로봇 카메라 시스템(Multi-view point robot camera system)’을 개발했다. 격렬한 움직임의 스포츠 중계의 결정적인 순간을 다(多) 관점 영상을 촬 영할 수 있다[10].

화웨이의 스마트폰 ‘P9’과 ‘Honor 6 Plus’가 공개되면 서 듀얼 카메라가 부각됐다. ‘CES 2017’에서 스마트폰 아너(Honor) 6X’ 신제품을 발표하면서, 듀얼 카메라를 적용했는데, 1,200만 화소와 200만 화소의 카메라가 들 어가며, 200만 화소 카메라를 보조 센서로 활용한다. ‘MWC 2017’에서 P10과 P10 플러스를 출시했는데, P10 시리즈는 독일 카메라업체 라이카와 공동 개발 한 듀얼카메라를 탑재했는데, 후면 듀얼카메라 1,200 만·2,000만 화소, 전면 카메라 800만 화소를 지원한 다[11].

오포는 MWC 2017에서 5배 듀얼 카메라 줌 기술을 공개했는데, 카메라 모듈은 두께가 5.7mm로 스마트폰 안에 망원렌즈 넣어 5배 줌 촬영이 가능하다.

ZTE는 2016년 2월 스마트폰 ‘Axon’ 시리즈에 듀얼 카메라를 탑재하고, MWC 2017에서 ‘Axon 7 Max’를 공개했다. 후면에 장착된 1,300만 화소 듀얼 카메라를 통해 3D 사진 촬영이 가능하고, 별도 안경을 사용하지 않고 3D를 감상할 수 있다[12].

III. Light Field 디스플레이

1. LF 디스플레이

LF 디스플레이는 LF를 관측자 공간으로 재현하는 디 스플레이 기술이다. 특정한 면으로부터 관측자 방향으 로 LF를 재현하면 실제 물체가 있었을 때와 동일한 광 선들을 보게 되므로 LF가 재현 범위 내에서 물체의 3차 원 영상을 관측한다. LF 디스플레이 기술은 양안 시차 에 의존하는 3차원 디스플레이 기술과는 달리 3차원 물 체에 해당하는 LF를 재현해 전달하므로, 모든 깊이 인 지 요인을 일관성있게 전달하는 이상적 디스플레이로서 기능한다. 현재 연구되고 있는 LF 디스플레이는 ① 프 로젝트 어레이, ② 렌즈 어레이와 디스플레이 패널, ③ 디스플레이 패널 적층 방식이 있다. LF 디스플레이 기술 은 주로 헤드 마운트 디스플레이(HMD: Head Mounted Display)와 시력 보정 디스플레이에 응용되고 있다[13].

2. LF 3D 디스플레이

LF 3D 디스플레이는 가상의 공간에 LF를 형성하는 컴퓨터 그래픽 분야와 달리 현실 공간에 LF를 표현하고 자 하며, 이러한 특성을 가질 때 시각인지 요소들도 실 제 사물과 가장 비슷한 자연스러운 3차원 영상에 도달 한다. 대표적으로 집적 영상 방식, 부피 표현 방식, 홀로 그래픽 등이 있다. 홀로그래피는 양안시차 방식을 이용 하는 기존 안경형과 무안경 방식 3D 기술의 단점인 두

통과 어지러움 문제가 없어 3D 대중화를 이끌 핵심으로 기대되고 있다. 그러나 재생 특성상 간섭을 이용하기 때문에 단파장 재생만이 가능하고 총천연색 영상을 재생할 수 없으며 처리해야 할 영상 정보량이 방대해 가까운 미래에 상업화는 어려울 전망이다[14].

3. 국내 개발 동향

ETRI는 2015년 12월 360도 3D 컬러 홀로그래프를 개발했는데, 빛의 회절 현상을 이용해 입체 영상을 구현하는 홀로그래프 재현 기술이다. 3D 디지털 홀로그래픽 디스플레이는 빛의 회절과 간섭을 이용해 보는 시점에 따라 다른 면 영상을 볼 수 있는 완전한 3차원 입체영상을 재현한다. 2021년까지 영상 화질 개선과 크기 확대 및 시스템 소형화 기술을 개발하고, 실사 영상 홀로그래프를 5G 네트워크로 송수신하는 기술도 개발해 실용화할 계획이다[15].

(그림 4)에서 보듯이 ETRI 실감디스플레이연구그룹은 2017년 2월 상전이(相轉移) 물질을 이용해 초고해상도 픽셀 구현할 수 있는 차세대 홀로그래프 개발에 성공해 홀로그래프 동영상 재생이 가능한 디스플레이 패널 구현이 가능할 전망이다. 기존 액정 이용한 방법보다 1/4 픽셀을 작게 만들 수 있게 되면서 빛의 파장에 가까운 픽셀 크기를 구현한다. 별도의 컬러 필터 공정 없이 박막 두께를 조절함으로써 투명 전극층의 두께에 따라 다



(그림 4) ETRI의 차세대 홀로그래프

[출처] 한준호, “ETRI, 차세대 홀로그래프 기술 개발 성공,” 아주경제, 2017. 2. 3.

양한 색상의 홀로그래프 이미지 생성을 가능토록 제작되었다[16].

삼성전자는 2015년 12월 홀로그래피 3D 프린팅 기술 핵심특허를 취득했다. 개발에 3년 이상 소요된 이 기술은 빛의 파장을 이용해 사물의 형상을 3D 홀로그래프 형태로 저장하는 혁신 기술이다.

KIST는 2017년 1월 ‘CES 2017’에서 로봇미디어연구소의 영상미디어연구단이 개발한 ‘무안경 3D 디스플레이 기술’을 공개했다. 5.6인치 모바일 3D 디스플레이에서부터 100인치급 타일형 3D 디스플레이까지 다양한 크기의 무안경 3D 디스플레이들을 전시했다. 입체안경 없이 홀로그래프처럼 자연스럽고 사실스러운 3D 영상을 보여주는 초다시점 3D 디스플레이의 핵심 원천 기술을 개발해 자연스러운 3D 영상을 볼 수 있는 무안경 3D 디스플레이 상용화한 것이다[17].

KAIST 물리학과 박용근 교수팀은 2017년 1월 빛의 방향을 조절해 3차원 홀로그래프를 만드는 광학제어장치 성능을 수천 배 높여 3차원 영상의 크기를 배 이상, 시청각 각도를 10배 이상 확대하는 데 성공했다. 기존 기술보다 공간대역폭이 2,600배 이상 향상됐고, 기존 공간광파면조절기에 간유리만 추가해 제작할 수 있어 일반 디스플레이장치와 결합해 상용화가 가능해 특수안경 없이 볼 수 있는 실용적인 디스플레이의 기반이 될 것으로 전망된다[18].

서울대 전기정보공학부 이병호 교수 연구팀은 2016년 7월 홀로그래픽 광학소자를 이용하여 기존 디스플레이의 구조적 한계를 극복한 투명 3차원 다층 디스플레이를 개발했다. 기존 다층 디스플레이의 구조적 한계로 여겨진 낮은 투과율 및 회절 문제 등을 크게 개선했다[19].

4. 해외 개발 동향

MIT 미디어랩 연구소는 2013년 6월 10달러의 저비용 컬러 홀로그래프 프로젝터를 개발했으며, 2014년 5월

에는 무안경 3D 프로젝터를 개발했다. 홀로그래픽 디스플레이는 3×2cm 크기로 평면 20도 내외서 3D를 구현한다[20].

남가주대(USC) 연구진은 2015년 8월 ‘SIGGRAPH 2015’에 ‘Automatic Projector Array for Interactive Digital Human’ 기술을 발표했다. 실제 사람 크기의 무안경 다시점 디스플레이를 216개 프로젝터를 활용해 135도 수준의 디스플레이 시야각을 구현하고 대화형 휴먼을 소개했다[21].

휴렛패커드(HP)는 64 시점 3차원 동영상까지 구현되어 의학용 트레이닝 또는 게임 등 모바일폰에서 응용할 수 있는 기술을 개발했다. 미터 거리까지도 가시거리로 180도의 시야각 영역에서 고해상도의 전체 패럴 렉스 3D 이미지 렌더링을 허용하는 다방향, 회절 백라이트 기술이다.

Ostendo Technologies는 3D 안경 없이 3D 홀로그램 영상을 공중에 투사해주는 초소형 프로젝터를 개발했다. 스마트폰이 인치당 326 픽셀 초고해상도 3D 이미지를 보여준다[22].

SeeReal은 핵심영역만을 홀로그램 영상으로 생성함으로써 영상정보의 양을 줄이는 서브 홀로그램(Sub-hologram) 기술을 개발했다. 게임, 동영상, 전문적인 애플리케이션용으로 풍부한 오리지널의 3D 콘텐츠가 준비되어 있다. (그림 5)에서 보듯이 세계 최초로 20인치



(그림 5) SeeReal의 홀로그램 디스플레이

[출처] <http://www.seereal.com>

급 홀로그래피 프로토타입 3D 디스플레이인 ‘비지오 20(VISIO20)’을 개발했다[23].

애플도 2014년부터 홀로그래피 관련 기술에 투자를 하고 있다. 3D 홀로그래피 이미지를 생성할 수 있는 ‘인터랙티브 홀로그래픽 디스플레이’를 개발했다. 궁극적으로 스마트폰, 태블릿PC 등 모바일기기에서 홀로그램을 활용하는 것을 목표로 한다.

Microsoft는 2016년 3월 증강현실 기술 ‘홀로포테이션’을 공개했다. (그림 6)에서 보듯이 상상 속 순간이동을 현실세계에서 가능하게 해주며, 시공간의 제약 없이 공동 작업이 용이해짐은 물론 멀리 떨어진 가족과의 실시간으로 대면할 수 있다.

영국의 Musion Eyeliner는 DLP 프로젝터와 투명막을 사용한 세계 최초의 유사 홀로그램 기술을 개발했다. 플로팅 방식 홀로그램의 원형으로 Single camera shoot만 필요하고, 3D 안경 등은 필요 없다. 가수 마돈나 공연, 영화 고질라, 모디 인도 총리 선거유세 등에 사용되었다.

네덜란드의 3D 디스플레이 업체인 Dimenco는 상용화 수준의 다시점 3D 무안경 디스플레이(8시점 64인치) 및 3D 플레이어를 개발했다. 2+Depth, Side-by-Side 영상을 입력받아 8시점 영상 콘텐츠를 제시했다.

헝가리의 3D 디스플레이 업체인 Holografika는 (그림 7)에서 보듯이 3D LF 모니터 ‘Holovizio’를 출시하여 전



(그림 6) MS의 홀로포테이션

[출처] <http://www.microsoft.com>



(그림 7) Holovizio

[출처] Holografika, “3D Light Field Display Technology,” Accessed 2017, <http://www.holografika.com>

시 및 광고형 다시점 단말의 표준을 제시했다. 각각의 복셀은 명암과 색깔의 다중 광선을 여러 각도에서 동시 투영되며, 모니터 주변에서 있으면 고글이나 다른 입체 영상장비가 없더라도 다양한 관점에서 물체를 볼 수 있다[24].

IV. 결론 및 시사점

Light Field 기술은 대형 디스플레이에서 시작되어 모바일 단말, HMD 등으로 적용이 확산되고 있다. 국내에서는 앞으로 현재 듀얼 카메라를 적용하고 있는 스마트폰뿐 아니라 CCTV, HMD, 영상카메라 등에 적용이 확대될 전망이다.

LF 카메라가 VR 서비스에 접목되기 위해서는 HMD 및 투시형 디스플레이를 사용자 친화적으로 개선이 필요하다.

Light Field 디스플레이는 시점 영상들을 시청자의 양안에 투사하는 기존의 3D 디스플레이 기술들과는 달리 3차원 물체로부터 시청자 공간으로 오는 광선들의 위시 및 각도 분포를 재현함으로써 3D 영상을 표현한다. 시청자의 초점 조절 반응을 이끌어 낼 수 있다는 점에서 Light Field 디스플레이는 매우 매력적이며, 증강현실(AR) 등의 응용에 필수적인 기술로 발전할 가능성이 있다.

용어해설

LF(Light Field) 3차원 공간상에서 피사체로부터 반사되는 빛의 세기와 방향을 표현하기 위한 장으로서, LF 영상획득 및 재현 기술은 카메라를 통해 LF를 획득한 후 디스플레이를 통해 그대로 재현하여 시각적으로 왜곡이 없는 완전 입체의 실감영상을 시청하게 하는 기술이다.

3D(Three Dimension) 3차원 입체영상으로 기본원리는 인간의 두 눈이 다른 영상을 봄으로써 두 눈 사이의 운동 시차에 따라 물체의 움직임을 파악하는 것에 기초한다.

약어 정리

3D	Three Dimension
AR	Augmented Reality
CCTV	Closed Circuit Television
HMD	Head Mounted Display
LF	Light Field
QPI	Quantum Photonic Imager
VR	Virtual Reality

참고문헌

- [1] S. Cooper, “What is Light Field?” Light Field Science, Nov. 2015.
- [2] 이광순, 이응돈, 정원식, 허남호, “Light-Field 영상획득 및 재현 기술동향,” 전자통신동향분석, 제31권 제3호, 2016. 6, pp. 50-52.
- [3] 이광순, 이응돈, 정원식, 허남호, “Light-Field 영상획득 및 재현 기술동향,” 전자통신동향분석, 제31권 제3호, 2016. 6, pp. 53-58.
- [4] A.P. Murr “혁신 아닌 발전, 갤럭시 S9 플러스 카메라 테스트 및 아이폰X·메이트 10과의 비교,” IT World, 2018. 3. 13.
- [5] 이상우, “사진대신 공간을 찍는 카메라-라이트로 일룸,” IT동아, 2015. 4. 13.
- [6] 조인원, “찰나의 시간을 기록하여 언제든지 볼 수 있도록 해주는 LYTRO ILLUM,” 조선일보, 2015. 4. 2.
- [7] 안희권, “애플 2천만 달러에 카메라 기술업체 인수,” 아이뉴스24뉴스, 2015. 4. 15.
- [8] MIT Media Lab., “Synthetic Light Field Archives,” Accessed Feb. 2017. <http://web.media.mit.edu>
- [9] 김유진, “삼성전자, 구글알리바바가 투자한 美 ‘매직리프’와 AR 협력 초읽기?” 이투데이, 2016. 12. 23.
- [10] 久富健介, “多視点映像技術の概要,” NHK技研 R&D, No. 144, Mar. 2014, pp. 18-25.
- [11] 최호섭, “성능은 더블, 가격은 249달러? 아니 6X, 달라진 스마

- 트폰 시장,” 동아사이언스, 2017. 1. 6.
- [12] SEM Story, “진격의 듀얼카메라 모듈,” 2016. 10. 26, Accessed 2017. <http://www.semstory.com>
- [13] 박재형, “Light Field 디스플레이 기술,” 인포메이션 디스플레이, 제16권 제4호, 2015. 9, pp. 3-13.
- [14] 민성욱, “Light Field 3D Display,” TTA Journal, 제140호, 2012. 3, pp. 65-70.
- [15] 최서윤, “평면 스크린서 3D 바로 본다·ETRI, 세계 최초 360도 컬러 홀로그램 디스플레이 개발,” 아주경제, 2015. 12. 3.
- [16] 한준호, “ETRI, 차세대 홀로그램 기술 개발 성공,” 아주경제, 2017. 2. 3.
- [17] 김성규, “끊임없는 노력과 인내가 기술 도약 원동력,” 전자신문, 2017. 2. 3.
- [18] 김영준 “KAIST, 특수 안경 없이 볼 수 있는 3D 홀로그래픽 디스플레이 개발,” 전자신문, 2017. 1. 24.
- [19] 이혜리, “빛 투과율 높은 3D 투명 디스플레이 개발,” YTN, 2016. 7. 29.
- [20] 신동훈, “3D 홀로그램 기술개발 산업 동향,” CCTV뉴스, 2015. 10. 19.
- [21] A. Jones et al., “Automatic Projector Array for Interactive Digital Human,” *ACM SIGGRAPH Emerg. Technol.*, Los Angeles, CA, USA, Aug. 9-13, 2015, Article No. 6.
- [22] 임용근, “실감 홀로그래픽 디스플레이 상용화 전망,” 주간기술동향, 제1714호, 2015. 9. 23, pp. 4-7.
- [23] 추현곤 외, “디지털 홀로그래픽 디스플레이 기술개발 동향,” 인포메이션 디스플레이, 제16권 제4호, 2015. 9, pp. 7-8.
- [24] Holografika, “3D Light Field Display Technology,” Accessed 2017. <http://www.holografika.com>