

전면 부양 방식 실감 디스플레이 기술 동향

□ 최희진 / 세종대학교

요약

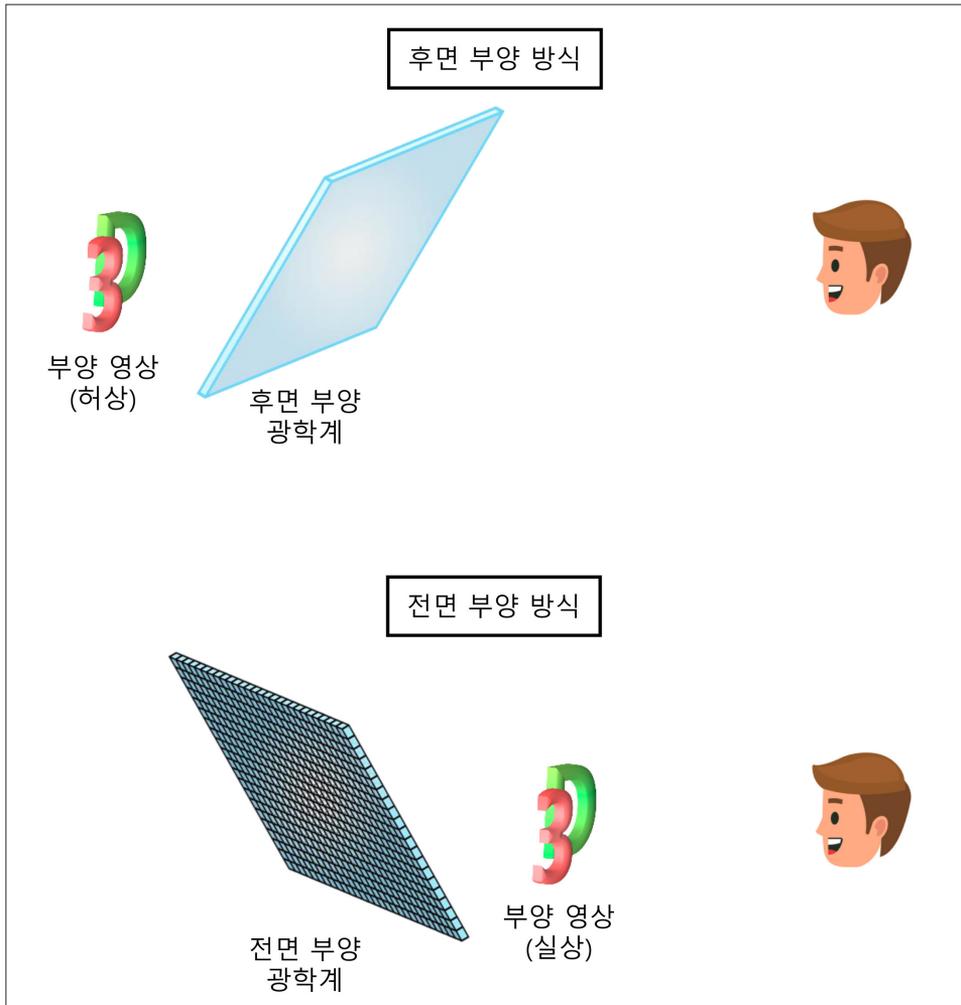
여러 가지 방식의 실감 디스플레이 중, 디스플레이 패널에 표시되는 영상을 특수 광학계를 이용하여 공중에 떠 있는 것처럼 보이도록 하는 부양형 실감 디스플레이는 홀로그래피와 같은 타 기술 대비 구현이 상대적으로 용이하면서도 공상과학 영화에 나오는 장면과 유사한 실재감을 제공 가능하다. 그간 반거울을 통해 간단하게 구현할 수 있는 후면 부양 방식의 실감 디스플레이 기술이 주로 사용되었으나, 이는 영상과 사용자 간의 거리가 멀어 상호작용에 어려움이 있었다. 이에 따라 최근 부양 영상이 사용자 쪽에 위치하는 전면 부양 방식이 많은 관심을 받고 있으며, 특히 코로나 팬데믹 시기를 거치면서 실감 콘텐츠를 비접촉식 인터페이스와 함께 구현할 수 있는 유력한 대안으로 평가받고 있다. 다만, 이와 관련한 특수 광학계 설계 및 제조 기술, 영상 품질 향상 기술에 대한 연구가 주로 국외 연구 사례들을 중심으로 이루어지고 있어, 국내 경쟁력 제고를 위한 기업 및 연구기관들의 관심과 적극적인 정책 지원이 필요하다고 사료된다.

I. 서론

디스플레이 기술의 발전에 따라 단순히 화면 안에 있는 것처럼 보이는 기존의 2차원 평면 영상을 넘어서서 사용자와 영상이 한 공간 안에 있는 것과 같은 실재감을 주는 실감 디스플레이 기술을 구현하기 위한 여러 가지 시도가 이루어지고 있다. 공중에 떠 있는 영상이 단골 소재로 등장하는 공상과학 영화들의 영향으로 ‘홀로그램’이란 용어로 이러한 기술들을 통칭하는 것이 일반적이나, 이는 정확한 기술 분류는 아니며 실제로 홀로그래피 기술을 이용

한 공중 부양 영상의 구현은 아직 여러 가지 기술 난제들을 극복해야 구현 가능할 것으로 예상된다. 이에 따라, 본 고에서는 비교적 기술적 난도가 높지 않은 방법으로 구현 가능하면서도 높은 실재감을 제공 가능한 부양형 실감 디스플레이 기술 및 이에 활용되는 광학 소자들의 구조를 알아보고, 현 기술 수준의 한계점 및 향후 발전 방향을 함께 살펴보고자 한다.

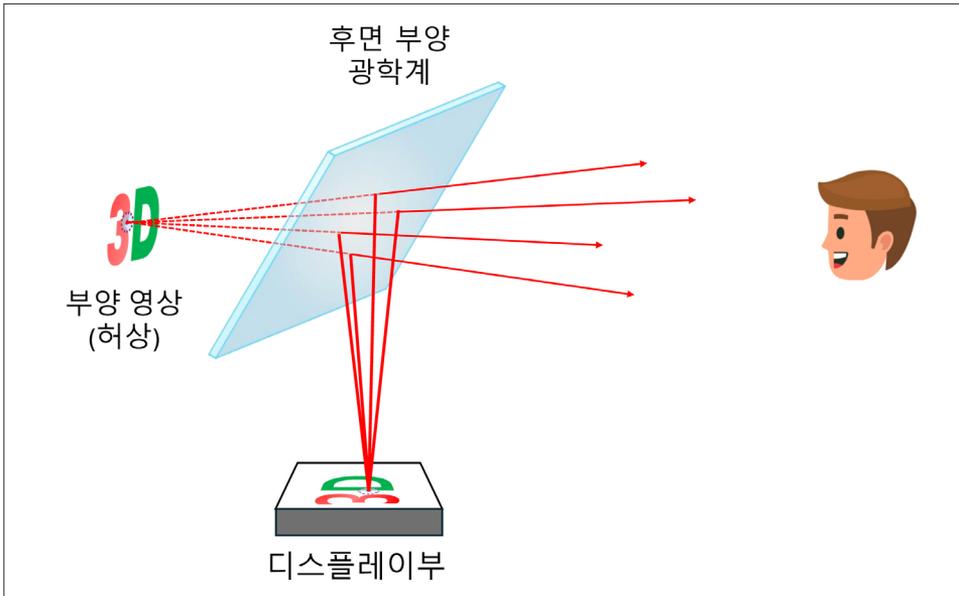
실감 디스플레이의 사용자에게 공중에 부양되어 있는 영상을 제공하기 위해서는 디스플레이 패널에 표시되는 영상을 사용자가 직접 보는 것이 아니라 부양 광학계를 통



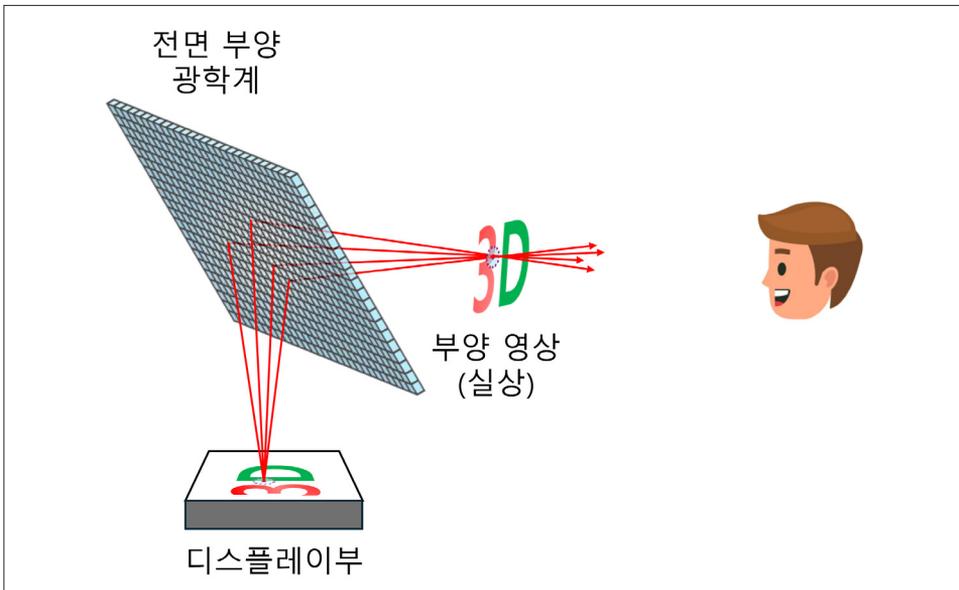
<그림 1> 부양형 실감 디스플레이 분류

해 관찰하도록 해야 한다. 또한, 디스플레이 면이 아닌 허공에 영상이 떠 있는 것처럼 보이도록 하기 위해 주변 환경도 영상과 함께 관찰되도록 시스템을 구성해야 한다. 이에 따라 부양형 실감 디스플레이는 반사와 투과의 두 가지 광학 현상을 모두 제공하는 특수한 부양 광학계를 주로 사용하며, <그림 1>과 같이 부양 광학계를 기준으로 사용자 반대편에 부양 영상이 위치하는 후면 부양 방식과 사용자 와 부양 광학계 사이에 부양 영상이 위치하는 전면 부양 방식으로 분류할 수 있다.

이 중, 후면 부양 방식은 <그림 2>와 같이 50:50의 투과/반사 비율을 갖는 반거울을 통해 비교적 용이하게 구현할 수 있으며, 부양 영상은 거울에 의해 반사된 허상(虛像: virtual image)으로 형성되게 된다. 이 방식은 기술적 난도가 높지 않아 오래 전부터 전시 및 홍보 목적으로 활용되었으나, 광량의 절반만 영상 표시에 사용되기 때문에 광효율이 떨어지고, 사용자와 부양 영상 사이에 광학계가 위치하기 때문에 사용자의 손이나 신체가 부양 영상 근처에 위치할 수 없다는 단점을 갖고 있다. 이를 보완하기 위



<그림 2> 후면 부양 방식의 허상 형성 실감 디스플레이 기술의 기본 구조 및 원리



<그림 3> 전면 부양 방식의 허상 형성 실감 디스플레이 기술의 기본 구조 및 원리

해 원거리에서 사용자의 제스처를 인식하여 영상을 조작하는 방식을 주로 사용해 왔으나, 사용자의 손과 영상 간 거리가 멀기 때문에 정교한 조작이 힘들고, 스마트폰처럼 손을 영상 위에 갖다 대어 조작하는 터치 방식의 구현이

어려워 점차 한계점이 부각되고 있다.

다만, 자동차의 전면 유리를 부양 광학계로 사용하는 헤드업디스플레이(HUD: head-up display)의 경우 운전자가 부양 영상을 터치하는 방식으로 조작할 일이 없고, 운

전 중 사용자의 시선이 주로 먼 곳에 위치하기 때문에 오히려 부양 영상과 사용자 사이의 거리가 멀다는 것이 장점으로 작용한다. 따라서, 헤드업디스플레이의 경우 향후에도 후면 부양 방식을 지속적으로 사용할 것으로 예상된다.

반면, 전면 부양 방식은 <그림 3>과 같이 영상이 부양 광학계와 사용자 사이의 허공에 실상(實像: real image)의 형태로 위치하도록 함으로써, 사용자의 손을 이용하여 부양 영상을 보다 직관적으로 조작 가능한 공간 터치 인터페이스를 채용할 수 있고, 영상이 사용자로부터 가까운 곳에 부양되어 실재감이 높다. 또한, 대부분의 전면 부양 방식이 100%에 가까운 높은 광효율을 갖고 있어 상기 후면 부양 방식 실감 디스플레이 기술의 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있을 것으로 기대를 모으고 있다.

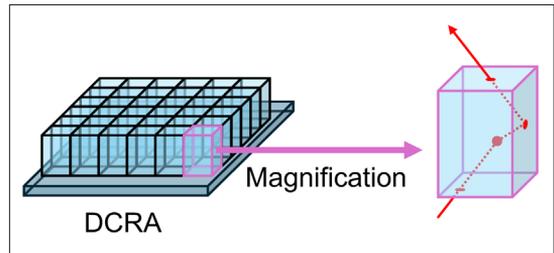
다만, 후술할 바와 같이 이를 구현하기 위해 필요한 부양 광학계의 구조가 복잡하며, 이로 인해 부양 광학계를 통해 다수의 영상이 생성되거나, 반사된 영상의 화질이 저하되는 등의 문제점들도 갖고 있다. 그럼에도 불구하고 전면 부양 방식은 위와 같은 장점들을 바탕으로 보다 높은 실재감을 구현할 수 있어 점차 적용 범위가 확대될 것으로 기대를 모으고 있다. 따라서, 본고에서는 전면 부양 방식 실감 디스플레이에 사용되는 부양 광학계의 구조 및 원리를 소개하고, 문제점과 기술 발전 동향도 함께 살펴보고자 한다.

II. 전면 부양 방식 광학 소자 기술

반거울을 주로 사용하는 후면 부양 방식과 달리, 전면 부양 방식 광학계는 그 구조와 원리에 따라 DCRA(Dihedral Corner Reflector Array) 방식, DSMA(Dual Slit Mirror Array), 그리고 RR(Retro-Reflector) 방식으로 분류할 수 있다. 후술할 바와 같이 DCRA 방식과 DSMA 방식은 부양 광학계로 광선이 입사하는 면과 출사하는 면이 서로 반대가 되는 반면, RR 방식은 광선의 입사면과 출사면이 동일하다는 차이점이 있다.

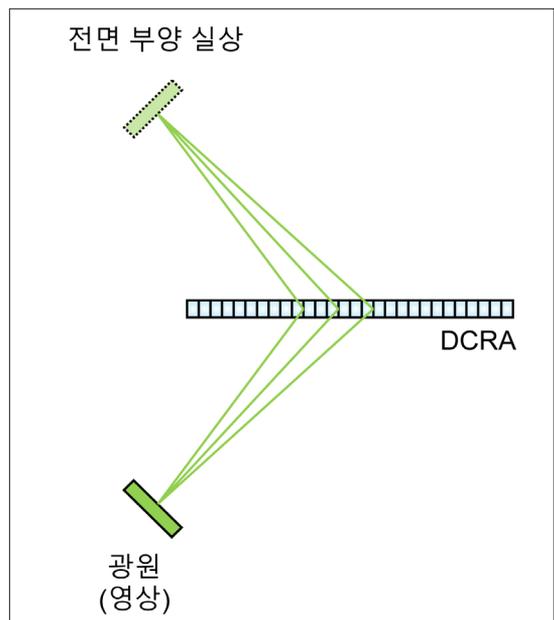
1. DCRA 방식

DCRA는 아래 그림과 같이 후면으로 입사된 광선의 방향을 반대로 바꾸어 전면으로 출사시킴으로써 실상을 결상하는 광학 구조물을 주기적으로 배열하여 제작한다. 이를 통해 하나의 점이 아닌 영상 전체를 부양할 수 있다.



<그림 4> DCRA의 구조 및 광선 입사/출사 방향

상기 DCRA의 특성 중 입사광과 반사광의 방향이 바뀌는 것은 일반적인 평면 거울과 동일하나 입사면과 출사면도 반대가 되기 때문에 아래 그림과 같이 DCRA를 기준으로 영상과 영상의 실상이 대칭으로 위치하게 되며, 이 원



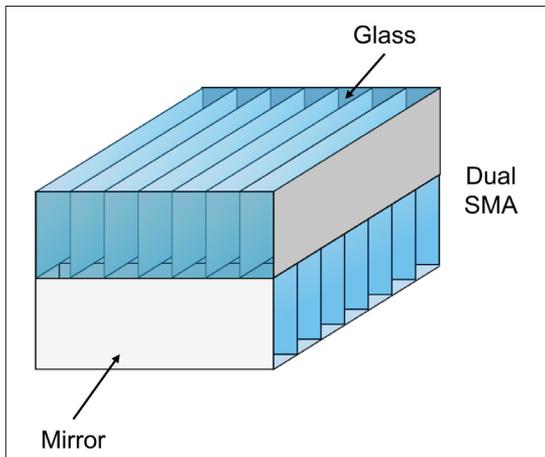
<그림 5> DCRA를 이용한 전면 부양 실상 형성 원리

리를 이용하여 광학계를 기준으로 사용자쪽 방향으로 영상을 전면 부양시킬 수 있다.

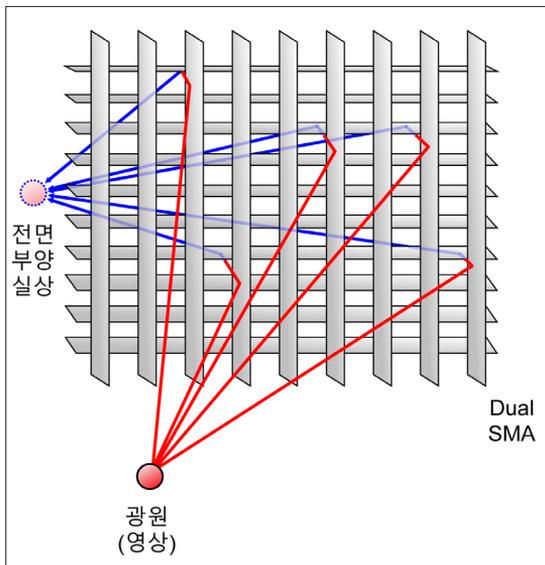
2. DSMA 방식

Dual SMA는 한 방향으로 정렬된 Slit Mirror들을 배열함으로써 입사면의 반대쪽으로 광선들을 반사하여 출사시키는 광학 소자이다. 다만, 정렬된 방향에 따라 가로 또

는 세로 중 한쪽 방향으로만 입사광을 반대면으로 반사할 수 있다. 따라서, DCRA와 같이 가로와 세로 방향으로 입사하는 광선들을 모두 반대면으로 출사하도록 만들기 위해 <그림 6>과 같이 서로 수직한 방향으로 정렬된 두 층(Dual)의 SMA를 접합하는 구조를 갖는다. 이러한 구조를 통해 상기 DCRA와 동일한 원리로 광원 또는 영상의 전면 부양 실상을 형성할 수 있다.



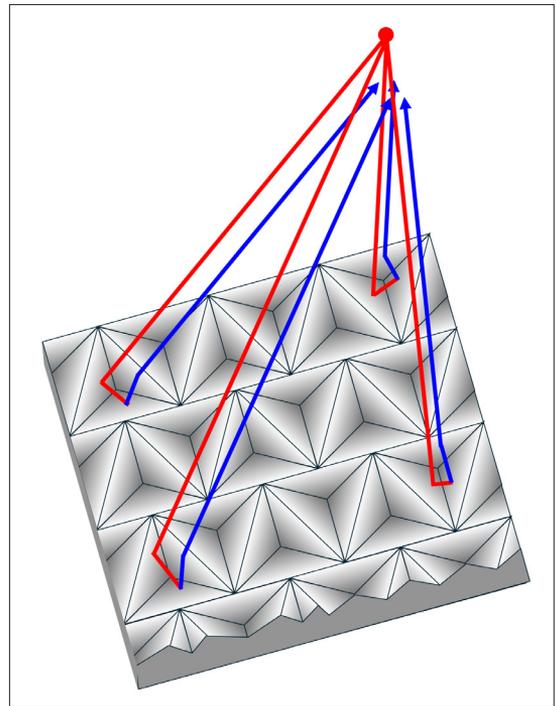
<그림 6> Dual SMA의 구조



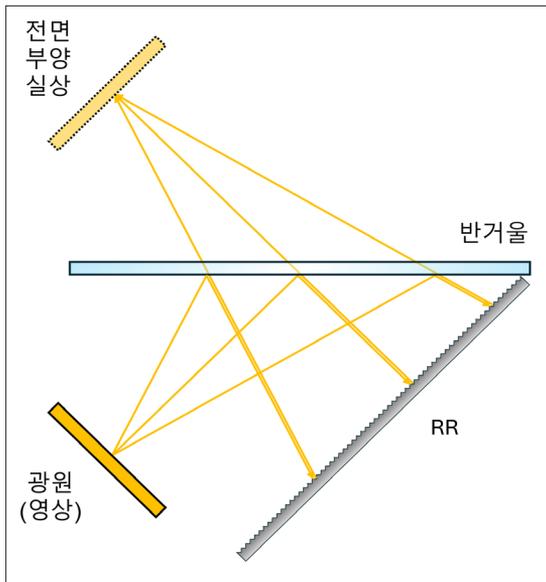
<그림 7> Dual SMA를 이용한 전면 부양 실상 형성 원리

3. RR 방식

RR 방식은 상기 DCRA 및 DSMA와 달리 입사면과 출사면이 동일한 특성을 가지고 있다. 즉, <그림 8>과 같이 RR에 입사된 빛은 내부에서 두 번의 반사를 거쳐 입사 방향과 동일한 방향으로 출사하게 된다. 따라서 RR 광학계만을 이용하는 경우 상기 두 가지 전면 부양 방식과 달리 광원(영상)과 부양 실상의 위치가 동일해지게 되어 <그림 3>과 같은 원리를 구현할 수가 없다.



<그림 8> RR의 구조 및 광선 입사/출사 방향



<그림 9> RR 방식 전면 부양 실상 형성 광학계 구조 및 원리

이를 보완하기 위하여 RR 방식의 전면 부양 실감 디스플레이는 <그림 9>와 같이 후면 부양 방식에 사용되는 반거울을 추가로 적용하여 광원(영상)의 허상을 형성하고 이를 RR을 통해 다시 전면으로 부양시키는 방식을 이용한다. 즉, 반거울에 의한 광원(영상)의 허상 위치에 실상

을 형성하는 원리를 이용한다. 이러한 원리는 부양 영상의 위치만 놓고 보면 기존의 후면 부양 방식과 동일하다고 볼 수 있으나, 허상이 아닌 실상이 형성되기 때문에 반거울을 중심으로 관찰자와 실상 영상이 같은 방향에 위치하도록 만들어 줌으로써 전면 부양 방식 실감 디스플레이를 구현할 수 있다.

4. 적용 사례

상술한 바와 같이 전면 부양 방식 실감 디스플레이는 홀로그래피 기술 대비 상대적으로 구현이 용이하면서도 높은 실제감과 직관적인 공간 터치 인터페이스 기반의 실감 콘텐츠를 사용자에게 제공할 수 있다. 따라서 공공장소용, 키오스크용, 자동차 실내용 등과 같이 다양한 분야에서 전면 부양 방식 실감 디스플레이를 적용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 상기 전면 부양 광학계 제작사 중 하나인 일본 ASKA3D社는 전면 부양 방식 실감 디스플레이를 이용한 public display를 시연한 바 있다.

또한, 일본 Mitsubishi社 및 중국 Easpeedtech社는 공간 터치 인터페이스를 활용한 전면 부양 터치패드가 탑재



<그림 10> ASKA3D社의 전면 부양 방식 public display



<그림 11> 전면 부양 방식 키오스크 및 터치패드 예시: (상) Mitsubishi社, (하) Easpeedtech社

된 키오스크 또는 조작 장치를 제안하였다.

자동차 분야 역시 독일 BMW社 및 UAE W Motors社 등에서 전면 부양 기술을 적용한 차내 인터페이스를 선보인 바 있다. 특히 W Motors社의 적용 사례의 경우, 평상시에는 빈 공간으로 활용하고, 조작이 필요할 때에만 전면 부양 영상이 표시되는 식으로 차별화를 시도하

였다.

이처럼 전면 부양 방식 실감 디스플레이 기술은 다양한 분야에 적용되고 있으며, 점차 그 활용처를 넓혀 나가고 있다. 그러나, 위에서 소개한 바와 같이 해외 기업 또는 연구기관들을 중심으로 활용되고 있어 상대적으로 국내 기술 기반이 취약한 편이다.

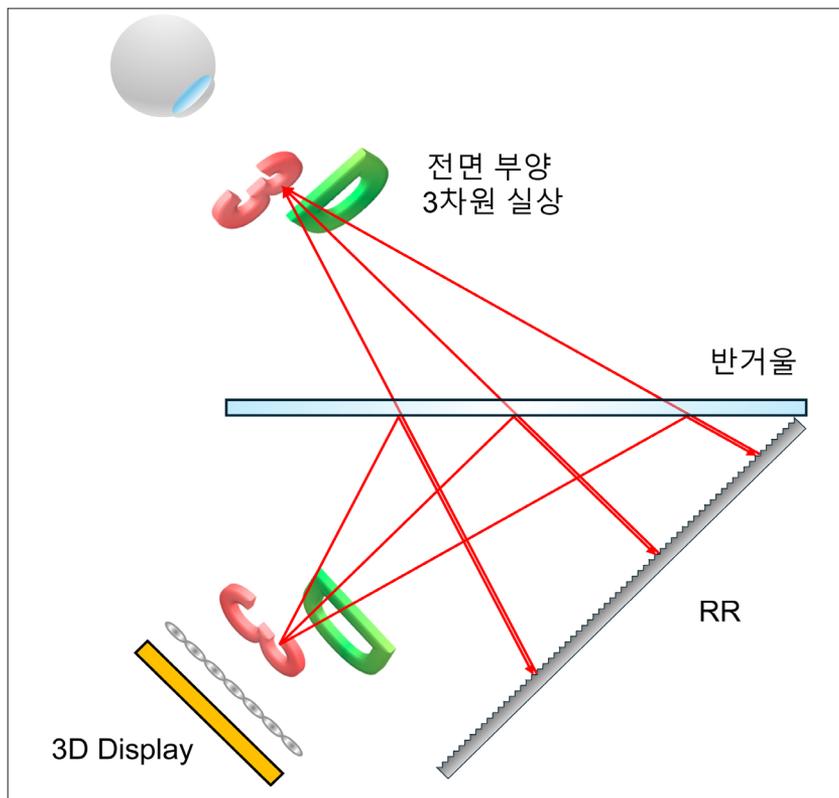


<그림 12> 자동차 실내용 전면 부양 방식 실감 디스플레이 예시: (좌) BMW社, (우) W Motors社

5. 연구 동향

상기 장점들에도 불구하고, 전면 부양 방식 실감 디스

플레이 기술은 광학계 면에서의 비균일 반사, 주기적인 구조로 인한 여러 각도에서의 다중 반사 등으로 인해 원하지 않는 위치에도 추가 실상이 형성되는 ghost image 문제



<그림 13> 3차원 디스플레이를 이용한 전면 부양 실감 디스플레이 개념도

를 안고 있다. 이상적으로는 ghost image가 발생하지 않도록 하는 것이 바람직하나, 전면 부양 광학계 제작 기술의 한계 및 주기적인 구조로 인해 이러한 문제를 완전히 해결하는 것은 어렵기 때문에, 사용자가 전면 부양 영상을 관찰할 수 있는 시역(eye-box)의 크기 및 위치를 용도에 맞추어 최적화하는 방식으로 시인되는 ghost image를 최소화하는 연구들이 이루어지고 있다.

또한, 일반적인 평판 디스플레이 기기에 표시되는 영상은 공간이 아닌 평면에 존재하는 2차원 영상이기 때문에, 비록 영상이 공중에 부양되어 있더라도 사용자가 느끼는 실재감에서 한계가 존재하게 된다. 이를 개선하기 위하여 최근에는 <그림 13>과 같이 3차원 디스플레이 기기와 전면 부양 광학계를 결합하여 전면 부양 3차원 실상을 형성함으로써 실재감을 더욱 높이고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 이를 통해 공상 과학 영화에서 등장하는 부양 영상들의 품질에 근접한 수준의 전면 부양 방식 실감 디스플레이를 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 결론

지금까지 전면 부양 방식 실감 디스플레이에 대한 소개 및 이를 구현하기 위해 사용되는 여러 방식의 광학계의 구조와 원리와 전면 부양 방식 실감 디스플레이를 통해 사용자가 느끼는 몰입감을 향상시키기 위한 연구 동향들을 소개하였다. 최근 코로나19 팬데믹을 거치면서 공중위생에 대한 기준이 높아지게 되어 여러 사람이 같이 사용하는 기기에 직접 손을 대지 않고도 조작이 가능한 공간 터치 기술에 관심이 모이고 있다. 사용자와 영상간의 거리 및 중간에 위치한 부양 광학계로 인해 사용자가 부양 영상을 직접 조작할 수 없었던 후면 부양 방식과 달리, 전면 부양 방식 실감 디스플레이는 스마트폰과 유사한 방식의 공간 터치를 활용하기에 유리한 조건을 갖추고 있어 향후 직관적인 조작이 필요한 분야를 중심으로 점차 활용도가 증가할 것으로 기대된다. 반면, 이를 구현하기 위해 필요한 광학계 설계/제조/응용 기술의 국내 기반이 취약하여 이에 대한 지원 대책이 필요하다.

저 자 소개



최희진

- 2002년 : 서울대학교 전기공학부 학사
- 2004년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
- 2008년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 삼성전자 선임연구원
- 2010년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 물리천문학과 교수
- 2016년 3월 ~ 2017년 2월 : Schepens Eye Research Institute Research Fellow (Affiliate of Harvard Medical School)
- 2023년 3월 ~ 2024년 2월 : North Carolina State University Visiting Scholar
- 주관심분야 : 3차원/초실감/XR 디스플레이, Human Factor