

깊이감을 갖는 영상을 전시하는 방법으로는 크게 2가지가 있다. 첫 번째는 3차원 영상을 직접 전시하는 방식이며, 두 번째는 Stereo Viewing 방식이다.

3차원 영상을 직접 전시하는 방식으로는 홀로그래피 방식¹⁾, 체적영상 전시 방식²⁾ 등을 그 예로 들 수 있는데, 이러한 전시 방식들은 3차원 영상을 직접 전시하기 때문에 입체 Stereo View 방식과는 달리 전시되는 사물에 대한 전체적인 깊이감을 느낄 수 있으므로, 눈의 피로감이 적다는 장점을 갖고 있다. 이러한 방식은 정지 영상을 전시하기에는 좋은 방법이 될 수 있으나, 동영상을 전시하기에는 정보량이 너무 방대하기 때문에 현실적으로 구현이 매우 어렵다는 단점이 있다.

의 대표적인 예로는 편광 안경을 이용하는 방식³⁾, 색조 안경(Anaglyph)을 이용하는 방식⁴⁾, 시분할 안경 방식 등이 있다. 또한 특수 광학판을 이용하여 시역을 형성하고 시역내에 좌·우 영상을 분리 전시하는 방식으로 시차 장벽(Parallax Barrier)을 이용하는 방식⁵⁾, Holographic Screen을 이용하는 방식, Fresnel 렌즈를 이용하는 방식, 렌티큘라 판을 이용하는 방식⁶⁾, 렌즈 Array를 이용하는 Integral Photography 방식 등이 있다. 각각의 방식에 대한 특성과 크기를 표 1에 나타내었다. 현재로는 렌티큘라판이 입체영상을 제공하는 방식으로 가장 널리 개발되어 왔으며, 시차장벽은 영상의 밝기의 문제점, Fresnel 렌즈의 경우 해상도의 문제점 등을 갖고 있다.

특집 ━ 3차원 영상기술 II

입체영상 전시를 위한 레이저를 이용한 광학판 제작기술

이혁수*

Stereo Viewing 방식은 인간이 느끼는 양안시차를 이용하여 영상을 전시하는 방법으로 매우 다양한 방식이 있다. 영상 분리 방식에 의해 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 좌·우 영상의 분리를 위하여 특수안경을 이용하는 방식과 특수한 광학판을 이용하여 좌·우 영상을 분리하는 방식이 있다. 특수 안경을 이용하는 방식

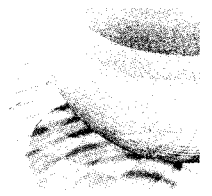
1. 입체영상 전시방법과 광학판의 구성 및 특성

편광안경을 이용하는 방식은 직선편광 된 두 빛의 편광방향이 다른 특성(S, P 편광)이나, 원편광 된 두 빛의 회전방향이 다른 특성을 이용한다. 시스템은

표 1. 광학판의 크기와 특성

Type	Size	Method of Production	Image Display	Surface
Lenticular	Several m ²	Mechanical Optical	Direct Projection	Digital
Integral Photography	Several ten cm ²	Mechanical Optical	Direct	Digital
Parallax	Several ten cm ²	Film	Direct	Digital
Holographic screen	Several m ²	Optical	Projection	Analog
Fresnel Lens	Several m ²	Mechanical	Projection	Digital

* 기술신용보증기금, lehyso@kibo.co.kr



좌·우 안에 해당되는 화상을 표시한 두 개의 투사기를 직각으로 두고 각 투사기에 편광 축이 서로 직각인 편광판을 둔다. 각 투사기 사이에 45도 반투과 거울을 이용하여 두 개의 영상을 한 개로 합성한 후 투사하고 편광안경을 통하여 관찰하면 양화면의 분리가 가능하여 입체영상을 전시할 수 있다.

색조안경 방식은 투과 파장 영역을 공통으로 갖지 않는 색필터의 조합을(적청, 적녹) 이용하여 좌·우 영상을 분리하는 방식으로 각각의 색으로 작성된 좌·우 영상이 필터를 거쳐 해당 눈으로 투사되어 입체영상 전시를 가능하게 하는 방식이다.

시분할 안경 방식은 앞의 두 방식이 좌·우 영상을 동시에 제시하고 안경을 통해 영상을 분리하였다면, 이와는 달리 좌·우 영상을 전환시켜가며 교대로 제시하는 방식이다. 영상 투사기를 통해 좌·우 영상이 교대로 투사되며 투사되는 영상과 동기(Synchronized)된 셔터안경이, 좌측 영상이 투사될 때 좌측 셔터가 우측 영상이 투사될 때 우측 셔터가 열려 좌·우 영상이 해당 눈에 투사될 수 있도록 하는 방식이다.

시차장벽 방식은 좌·우 안에 해당하는 좌, 우 화상의 앞에 세로격자 모양의 개구(Aperture)를 두어 화상을 분리하여 관찰하는 방식이다. 개구의 위치, 슬릿의 폭, Barrier의 피치는 화상의 폭에 따라 변하고 Barrier 때문에 밝기가 저하하여 눈에 거슬리는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Barrier의 피치를 매우 작게해야 하므로 그 제작이 까다롭고 회절 현상에 의한 문제로 현재는 거의 사용되지 않고 있다.

홀로그래픽 스크린은 Holographic Optical Elements(HOE)의 하나로 구면경(or 렌즈)과 확산판의 특성을 동시에 갖고 있다. 그러므로 물체의 이미지를 형성해 낼 수 있다. 홀로그래픽 스크린은 스크린의 아날로그적인 특성에 의해 현재 3-D 영상 투사용 스크린 중에서 가장 높은 해상도를 제공하고 있다. 또한 홀로그래픽 스크린은 여러 시역을 만들 수 있어 여러 명에 동시 전시가 가능하다. 홀로그래픽 스크린의 문제점은 반사형의 경우 파장 선택성이 있다는 것과 투과형의 경우 파장 분산성이 있다는 것이다. 그러므로 스크린이 가시 파장 영역에서 폭넓은 파장에 반응하기 위해서는 스크린의 Fringe 구조가 변화하는 형태를 갖아야 한다. 이러한 개념에 근거하여 Korea

Institute of Science and Technology(KIST)의 “3차원 영상매체 연구팀”에서는 긴 슬릿 형태의 확산판을 이용하여 투과형 천연색 홀로그래픽 스크린을 제작하였으며^(7,8), Chirp 방식을 이용하여 반사형 천연색 스크린을 제작하였다⁽⁹⁾. 이러한 홀로그래픽 스크린은 Autostereoscopic 전시나 자동차, 비행기 등의 Head Up Display(HUD) 장비에 사용되고 있다.

렌티큘라 방식은 실린더형 렌즈를 배열한 렌티큘라판을 이용하는 방법이다. 이 렌즈판의 초점면에 좌·우 안에 해당하는 영상을 배치하고 이 렌즈판을 통하여 관찰하면 렌즈판의 지향특성에 따라 좌안과 우안에 영상이 분리되어 투사되어 입체로 보이게 되는 방식이다.

렌즈 Array 방식은 렌즈 Array 판을 배치시키고 렌즈의 초점면에 각 렌즈에 대응한 다른 방향에서 본 피사체의 무수히 많은 도립상을 기록할 수 있고, 기록된 영상을 초점위치에 배치시킨 후 뒤쪽에서 빛을 비추면 각상을 투과한 빛은 기록 때와 같은 경로의 역방향으로 진행해 가면서 원래의 피사체 위치에 3차원의 실상을 만든다. 이 방식은 일반 입체영상 전시 방식과는 달리 상·하 시차 정보를 줌으로써 3차원 영상 전시가 가능하다.

렌즈 Array 방식을 제외한 앞에서 제시한 방식들은 3차원 영상 전시와는 달리 영상의 전체 모습을 보여주지 못하고 일정한 깊이에 대한 깊이감만을 표현하므로(Hardboard Effect) 쉽게 눈이 피로해지고, 시역 사이의 장벽이 있다는 단점을 갖고 있지만 입체 영상 구현이 상대적으로 쉽기 때문에 많이 이용되고 있다. 특히 렌티큘라 방식은 다양한 방면으로 연구가 진행되어 일반 입체 영상 전시뿐만 아니라 TV 시스템으로도 개발되어 거의 완성 단계에 이르고 있으며 차세대 영상 전시 분야에 있어서 선두를 달리고 있다^(10,11). 이러한 렌티큘라 방식을 구현하기 위해서는 전자적인 장비 구성뿐만 아니라 렌티큘라 판의 제작이 필수적이다. 기존에 알려진 가장 보편적인 렌티큘라 판 제작 방식으로는 금형에 렌티큘라 형태를 직접 식각하여 판 위에 열과 압력을 가해 기록하는 방식이 있다. 일반적으로 사용되고 있는 렌티큘라판의 재질 및 특성은 표 2와 같다.

입체영상 전시를 위한 레이저를 이용한 광학판 제작기술

표 2. 렌티큘라판의 재질 및 특성

	PVC (PolyVinyl Chloride)	PMMA (PolyMethyl MethAcrylate)	PC (PolyCarbonate)
성형온도(℃)	141 ~ 204	149 ~ 219	249 ~ 327
비중	1.30 ~ 1.58	1.17 ~ 1.20	1.2
굴절율	1.52 ~ 1.55	1.49	1.58
광선투과율(%)	76 ~ 82	93	83 ~ 91
태양광 영향	조성에 따라 달라짐	없음	조금 변색
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 결정성이 낮음 · 투명성이 좋음 · 자기 소화성이 있음 · 산, 알칼리에 강함 	<ul style="list-style-type: none"> · 광학특성이 우수 · 내광성이 양호 · 흠에 강함 	<ul style="list-style-type: none"> · 내충격성이 좋음 · 사용온도 범위 넓음 · 흡수율이 낮음 · 안정성 좋음
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 성형시 안정제 배합 	<ul style="list-style-type: none"> · 쪼개지기 쉬움 · 타기 쉬움 · 일부 유기용제에 Crack 발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 성형시 수지 건조 · 금형 온도가 적정하지 않을 시 Crack 발생

이 방식은 우리가 원하는 렌티큘라를 가장 올바른 형태로 기록할 수 있다는 장점을 갖고 있으나 렌티큘라 금형을 제작하는데 상당한 비용이 소요되고, 우리가 원하는 변수 값을 갖는 다양한 형태의 렌티큘라 판을 제작하기 위해서는 매번 렌티큘라 금형을 제작해야 하는 단점이 있다. 또한 대형 입체영상 전시를 위하여 대형 Gelatine판에 Line 마스크를 만든 후 Xenon Lamp를 이용하여 자외선 영역의 빛을 조사하여 Conical 또는 Spherical Lens Raster를 제작하는 방식도 있으나, 이 방식은 대형 Gelatine 판에 빛의 세기 분포를 조정하기 어려워 원하는 형태의 Lens Raster를 만들기가 매우 어려우며 이중 코팅을 해야하는 단점이 있다^[12].

2. Dichromated Gelatine(DCG)과 레이저를 이용한 렌티큘라판 제작

KIST의 3차원 영상 그룹에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 Dichromated Gelatine (DCG) 판에 빛의 세기 분포가 조절된 레이저를 주사하여 렌즈를 기록하는 방법을 제시하였다^[13]. 동 방식을 이용하면 DCG 판에 렌티큘라를 제작할 수 있을 뿐 아니라, 소형의 단일 렌즈, 사각형 형태를 갖는 렌즈 등의 제작이 가능하여 Integral Photogrphay 용 렌즈 Array의 제작도 가능하다.

레이저 주사방식의 장점은 레이저 빔의 세기와 주사

하는 빔의 크기를 조절하여 우리가 원하는 다양한 형태의 광학 판을 제작할 수 있다는 것이며 또한 기존의 금형 방식에 비해서는 매우 적은 제작비로 제작이 가능하다는 것이다. 레이저 주사 방식은 Gaussian 세기 분포를 갖고 있는 레이저빔을 적당한 광학 마스크(Filter)를 이용하여 구형의 세기 분포를 갖도록 하여 이 레이저빔을 DCG 판에 주사하는 방식으로, 마스크를 통과하여 구형의 세기 분포를 갖는 빔은 DCG 감광층을 조사하게 되고, 조사된 레이저빔을 흡수한 DCG 감광층은 원하는 형태의 구형 Lens Raster를 형성하며, 레이저빔을 흡수하지 못한 부분은 감광층 현상 시 녹게된다.

이러한 광학판 제작을 위해서는 DCG 감광판을 제작하여야 하며, DCG 감광판을 제작하는 방법으로는 Dip Coating 방식, Doctor Blade 방식, Silver Halide 건판 이용 방식, Mold 방식 등이 있으며, 각각의 방식들이 서로 다른 장·단점을 갖고 있으나 렌티큘라 판을 제작하기 위해서는 DCG 판의 감광층이 가능한 두꺼운 것이 좋으므로 이에 합당한 Mold 방식을 선택하였다. 그림 1에 이러한 광학판 제작을 위한 광학적 구성을 나타내었다.

레이저에서 나온 빔은 빔 확대기와 Spatial Filter와 렌즈를 거쳐 Gaussian 형태의 세기 분포를 갖는 수준된 레이저빔으로 바뀐다. 수준된 레이저빔이 마스크를 통과하면 레이저의 세기 분포가, 광학판에 렌즈 Raster나 렌즈 Array 제작을 위한 빔 세기 분포로 변하게 된다.

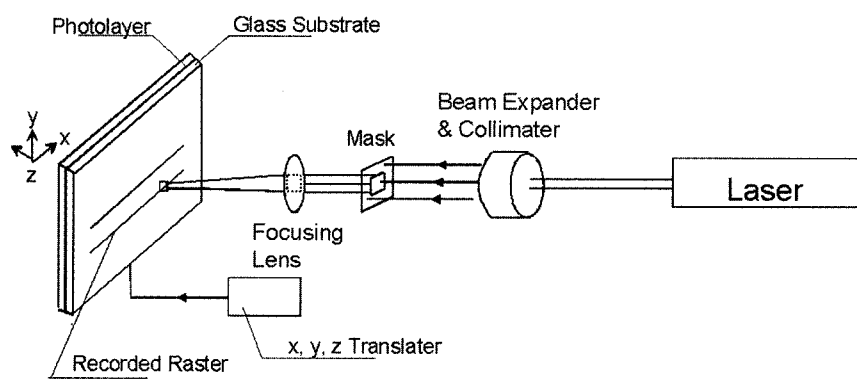
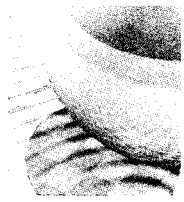


그림 1. DCG판을 이용한 광학판 제작

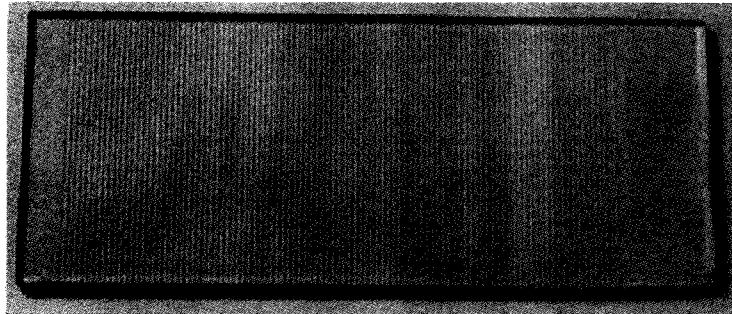
빔 세기 분포가 조절된 레이저빔을 그림 1의 x축으로 주사하면 DCG 판의 감광층에 원하는 형태의 렌즈 Raster가 기록되게 되며 렌즈 피치만큼 y축으로 이동한 후 다시 주사하면 연속적으로 렌즈 Raster가 형성되며, 이러한 방식으로 렌티큘라 판을 제작할 수 있다. 레이저 주사 방식을 이용하면 DCG판을 z축으로 이동하여 렌즈의 피치를 조절할 수 있으며, 마스크 제작에 따라 렌즈 형태를 쉽게 조절할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 사용되는 마스크는 광밀도가 연속적으로 변화하여야 하며 마스크의 흡수분포는 아래와 같이 구할 수 있다.

Filtering 된 레이저빔이 수준 렌즈와 제작된 마스크를 지나 DCG 판에 기록되는 빔 세기 분포는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

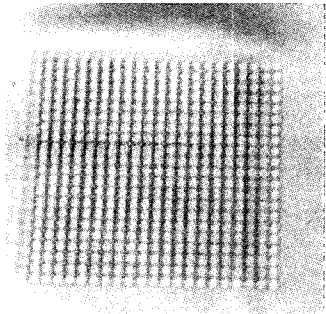
$$F(K_x, K_y) = I_0 \iint e^{-i \frac{x^2+y^2}{d}} \cdot A(x,y) \cdot e^{-i(K_x x + K_y y)} dx dy \quad (1)$$

여기서, K_x, K_y 는 x, y 축으로의 Wavenumber, d는 초점 지워지는 빔의 크기와 관련된 값이고, $A(x, y)$ 는 마스크의 흡수분포를 나타낸다. 빔의 세기 분포는 x, y축에 대해 대칭이므로 계산의 편의를 위해 식을 극좌표로 바꾸고, $F(K_x, K_y)$ 에 기록되기를 원하는 식을 대입한 후 Inverse Fourier Transform을 하면 마스크의 흡수분포 $A(r)$ 과 Gaussian 함수가 섞여있는 식을 얻을 수 있으며, 얻어진 식을 Gaussian 함수로 나누면 Numerical한 결과를 얻을 수 있다. 얻어진 결과와 반대의 밀도 분포를 갖는 마스크를 제작하고 제작된 마스크를 은염 건판에 밀착시킨 후 레이저를 조사하고 정착(Fixing)시키면 은염 건판에 우리가 원하는 마스크를 제작할 수 있다^[14].

x축 주사로 제작된 렌티큘라 판을 z축으로 주사한 후 렌즈 피치만큼 이동하며 z축으로 계속주사하면 사각형의 구조를 갖는 렌즈 Array 제작이 가능하며, 단



(a) 제작된 렌티큘라판



(b) 제작된 렌즈 Array

그림 2. 제작된 렌티큘라판과 렌즈 Array

입체영상 전시를 위한 레이저를 이용한 광학판 제작기술

일 렌즈를 제작하기 위해서는 세기 분포가 조정된 레이저빔을 DCG 판에 적당 시간 노광시키면 된다. DCG 판을 x, y축으로 렌즈 지름만큼 이동시키며 연속적으로 단일 렌즈를 제작하면 렌즈 Array를 제작할 수 있다. 이와 같은 방식으로 제작된 렌즈 Array를 이용하여 Integral Photography를 구현할 수 있다.

그림 2에서 DCG와 레이저를 이용하여 제작된 렌티큘라 판과 렌즈 Array를 볼 수 있다.

위와 같은 방식으로 제작된 렌티큘라판과 렌즈 Array의 각각의 렌즈는 렌즈 피치의 경우 오차가 거의 없으며 초점거리도 5% 내로 3차원 영상 전시용으로 전혀 손색이 없는 수준이다. 또한 DCG를 이용하여 렌티큘라 판을 제작하는 과정에서 주어진 에너지 정도에 따라 Lens Raster의 형태에 왜곡 현상이 일어나기도 하는데, 이러한 왜곡 현상은 DCG의 감광층 두께와 DCG의 에너지 흡수 정도와 밀접한 관계가 있어, 최적의 DCG 감광층의 두께와 에너지 흡수정도를 조절하여 없앨 수 있다.

이 방식의 단점으로는 젤라틴 고유 성질에 의해 렌티큘라 각 Raster의 끝 부분에서 Drying Stress에 의한 곡면 현상이 발생해 해상도가 약간 떨어질 수 있다는 것을 들 수 있으나, 렌티큘라판 이용을 위한 오차 범위를 벗어나지는 않는다.

위의 두 개의 광학판은 입체상의 직접 전시나 입체 영상 투사식 스크린으로 사용되며, 투사식 입체 영상 전시 방법으로는 렌티큘라 판과 빛의 산란 반사판을 이용하는 반사형과 두 개의 렌티큘라 판을 이용하여 상을 전시하는 투과형이 있다.

3. 광학판의 용도 및 전망

광학판들은 3차원 영상전시 및 입체영상 전시를 위하여 지속적으로 이용되어 왔으나 시차장벽 방식은 Barrier에 의한 밝기 저하로 거의 사용되고 있지 않은 상태이며, 홀로그래픽 스크린의 경우 스크린의 고유 특성을 이용하여 HUD 용으로 사용되고 있고, 일부 업체에 의해 다시점 입체 게임기용 디스플레이 스크린, 의료용 장비의 스크린으로 개발되고 있어 홀로그래픽 스크린의 문제점 해결을 위한 지속적인 연구 개발이 이루어 질 것으로 예상되며, Fresnel 렌즈의 경

우 Over Head Projector와 같은 범용 광학 부품으로의 용도가 지속적으로 발생할 것이며, 렌티큘라 판은 대형 입간판 입체 광고(현재 $2 \times 2 \text{ m}^2$), 일반 입체 사진, 소형 입체 광고 등에 활발히 적용되고 있으며, 2002년 월드컵 입체 중계 등을 위한 렌티큘라 TV 시스템의 개발이 한창 진행 중인 등 향후 지속적인 사용처의 증가가 예상되고 있으며, 3차원 이미지 전시가 가능한 IP 용 렌즈 Array는 디지털 카메라, 소프트웨어를 통한 전시용 영상의 개발이 이루어진 상태로 다양한 방식을 통한 렌즈 Array 개발이 지속적으로 이루어지고 있는 상태이다.

현재는 다양한 방식으로 필요에 의해 3차원 및 입체 영상 디스플레이 방식이 개발되고 있으며, 각각의 방식에 따른 다양한 광학판이 개발되고 있어 3차원 영상 디스플레이를 위한 표준이 정해질 때까지는 다양한 연구개발이 이루어 질 것이고 그에 따른 다양한 디스플레이용 광학판이 개발될 것이 예상된다.

- (1) Gabor D., "A New Microscopic Principle", Nature 161, 777 (1948).
- (2) Chinnock C., "Volumetric imaging provides a walk-around view", Laser Focus World 30, 20 (1994).
- (3) Johnston H. R., Hermanson C. A. and Hull H. L., "Stereo Television for Remote Control", Electronics, 120 (1951).
- (4) Mengel L. I., "3-Dimensional TV System", Electronics 45, 128.
- (5) Ives F. E., U.S. Patent 725,567.
- (6) Okoshi T., "Optimum Parameters and Depth Resolution of Lens-Sheet and Projection-Type Three-Dimensional Displays", Appl. Opt. 10, 2284 (1971).
- (7) Jung-Young Son, V. I. Bobrinev, S. A. Shestak and Hyung-Wook Jeon, "The Achromatized Transmission Type Holographic Screen for the Stereo Imaging and the Multiview Projection", SPIE Proc. vol. 2951, Holographic and Diffractive Techniques, pp.168-172 (1996).
- (8) V. I. Bobrinev, J. Y. Son, S.A. Shestak, S. H. Hwang, and H. W. Jeon, "Achromatized Transmission-Type Holographic Screen for a Multiview Stereoscopic Image System", Applied Optics, 1997, vol.36, ?26, p.6605, 1997.
- (9) R. D. Rallison, U.S. Pat. 4,913,990, 1990
- (10) Shinichi Shiwa et al., "Development of direct-view 3D display for videophones using 15 inch LCD and lenticular sheet," IEICE Trans. Information and Systems E77-D, 940 (1994).
- (11) KIST-2000 연구프로그램, 1단계, 제 2 차년도 보고서, "3차원 영상 매체 기술 개발", 549 (1996).
- (12) Technological Documentation for "Photomechanical Method of Lens Raster Screen Manufacturing", NIKFI, Russia (1996).
- (13) Jeon H. W., Lee H. S., Son J. Y., Smimov V., Choi Y. J., Chun Y. S., "Fabrication of Lens Rasters Using a Laser Beam Scanning Method",

Jpn. J. Appl. Phys. 37, 5604 (1998).

[14] 이혁수, 손정영, 김상천, 박승한, "은염 감광성 물질을 이용한 연속 Neutral Density(ND) 필터제작", 한국광학회지, Vol. 11, No. 4, pp 261-264, 2000.

약 력

이혁수

1992. 2 연세 대학교 물리학과 졸업
1994. 2 연세 대학교 물리학과 이학 석사
1999. 8 연세 대학교 물리학과 이학 박사
1994. 1 - 1994. 6 (주) SKC Hologram Team 연구원
1994. 9 - 2000. 4 한국과학기술연구원 연구원
2000. 4 - 현재 기술신용보증기금 기술 평가 위원으로 재직중

관심분야

- 3차원 영상 기술
 - 감광성 물질 : Dichromated Gelatine
 - 렌티큘라 : 레이저 주사 방법
 - 홀로그래픽 스크린 : 다시점 영상 디스플레이를 위한 총천연색 투과형 및 반사형 스크린
 - 레이저를 이용한 광학기구 구성 및 측정
-