

스테레오 방식의 3D TV를 위한 3차원 영상의 촬영과 표시 그리고 관찰자와 관련된 왜곡

□ 김성규 / 한국과학기술연구원

미래의 TV 모델에 있어서 3D TV는 중요한 대상으로 고려되고 있다. 2007년 12월부터 일본에서 위성방송 방식으로 3D TV 방송이 테스트 되고 있다. 아직 이상적 형태의 3D 디스플레이가 개발되지 않은 상황에서, 당분간의 3D TV에 대한 가능성 검토는 스테레오 방식으로 진행될 것으로 예상된다. 이러한 예상은 3D 디스플레이의 개발 문제, 촬영, 신호처리, 전송 및 방송 그리고 수신 등의 전체 영역에서 아직 다시점 또는 그 이상의 고수준의 3차원 영상을 다룰 준비가 되지 않았기 때문이다. 현재 단계에서의 3D TV는 스테레오 안경 방식을 기준으로 시청자에게 보다 적은 거부감을 주는 3차원 방송 영상을 준비하는 것에 대한 기준을 제시하는 부분은 3D TV를 대중화하기 위해서 반드시 해결해야 하는 부분이다. 현재에 이르기까지 스테레오 3차원 영상을 대상으로, 시청자 또는 관객에게 3D 영상을 보며 줌에 있어 거부감 또는 피로감 등을 주는 요인으로

알려진 것이 (1) 기하학적 3차원 영상의 왜곡과 관련된 3차원 영상의 촬영, 표시 및 관찰자와의 상관관계 (2)양안용 영상 각각의 광학적 특성의 차이 (3)과도한 양안시차 (4)깊이감 표현의 잦은 변화, 그리고 (5)양안 영상의 수렴작용에 상응하는 눈의 조절작용 사이의 불일치 문제 등이 알려져 있다. 이러한 요인들은 근래 들어 상당부분 고려되고 있어 장시간 관람용 3차원 영화가 최근 들어 상영되고 있다. 그러나 TV 환경은 극장 환경에 비하여 시청거리가 짧게 되는 변화를 반영하여야 한다. 이러한 변화를 고려하여 상기 거부감 또는 피로감에 대한 대책이 필요하며, 상기 중요 요인들 중에서 기하학적 3차원 영상의 왜곡과 관련된 3차원 영상의 촬영, 표시 및 관찰자와의 상관관계 부분을 검토할 필요가 있다. 이러한 고려의 기본적 관계 정립 및 정량화는 기하학적 기본 분석을 기반으로 상당부분 발전되어 있다. 이러한 기준에 정립된 분석 방법을 TV 환경에 맞게

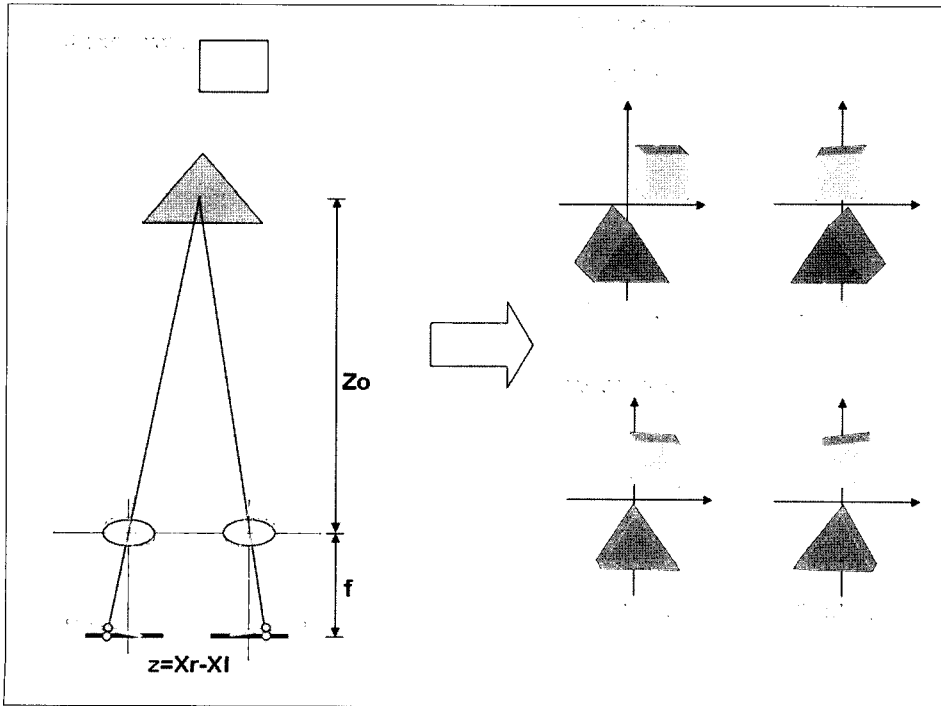
분석하고 보다 나은 3D TV용 3D 영상을 제작할 필요가 있다. 이러한 환경에서의 분석의 예를 아래와 같이 변형된 평행형 스테레오 카메라로 촬영한 영상을 기준으로 스테레오 3D TV 환경에서의 3차원 영상의 왜곡 발생과 제거에 대하여 시뮬레이션으로 분석하였다.

1. 스테레오 영상의 획득 방법

일반적인 2D 방식의 디스플레이는 영상을 얻기 위하여 한 대의 카메라를 사용하지만 스테레오 영상을 얻기 위해서는 두 대의 카메라 사이에 간격이 존재하는 동일 조건의 카메라를 필요로 한다. 영상 획득과정에서 카메라의 배열에 따라 크게 수렴타입

과 평행타입으로 나눌 수 있다[1].

수렴타입은 두 대의 카메라가 깊이 방향의 하나의 기준점(수렴점)을 가지고 회전되어 있는 형태이다. 이는 인간과 시각계와 가장 유사한 형태이다. 또 다른 타입인 평행타입은 두 대의 카메라가 무한대의 깊이를 바라보며 서로 평행하게 배열되어 있는 형태이다. 스테레오 영상의 재생은 스테레오 영상의 획득과 중요한 관련이 있다. 영상을 획득하는 카메라의 배열에 따라 재생되는 영상은 동일한 디스플레이 장치 조건에서도 다른 결과를 보이게 된다. 카메라 CCD에 기록된 두 영상은 디스플레이 장치에 재생되고 관찰자는 두 영상의 시차를 통한 입체감을 느끼게 된다. 이 때 카메라 방식에 따라 얻어지는 영상은 달라지게 된다. <그림 1>은 카메라 방식에 따라 달리 획득되는 영상을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 동일

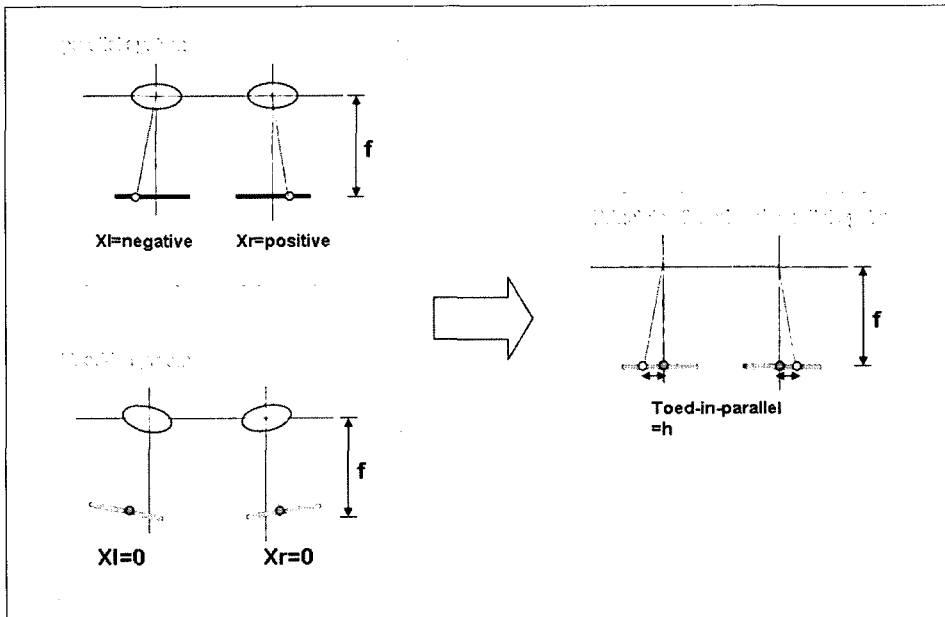


<그림 1> 카메라의 평행 타입과 수렴 타입에 의해 획득되는 영상의 차이

물체를 동일 위치에서 촬영했을 때, 평행타입과 수렴 타입은 좌우 카메라 모두 각각 다른 영상을 획득하게 된다. 하지만 인간의 시각계와 유사한 수렴타입이 근 거리를 볼 때는 유리하고 자연스럽다.

하지만, 수렴 타입은 카메라의 수렴으로 인하여 두 영상간의 기하적인 변형이 심하여 재생시 깊이 방향의 영상이 휘어지는 Depth plane curvature라는 본질적인 깊이방향의 왜곡을 나타낸다[1]. 평행 타입은 인간의 시각계와는 달리 일정한 위치에 수렴되는 위치가 없으므로 카메라 정렬과 관련된 단점을 가지고 있다. 그리고 촬영 당시의 조건과 관찰 조건 사이의 상관 관계에서 특정 조건과 일치하지 않으면 깊이방향의 비선형성이 발생하게 된다. 위 두 방식과 더불어 수렴타입에서의 문제점을 해결하고자 평행타입으로 묘사한 방식을 변형된 평행타입이라고 말한다. 변형된 평행 타입은 평행 타

입의 장점을 가지면서도 수렴타입을 묘사할 수 있다[2]. <그림 2>는 변형된 평행 타입에 대하여 보여 주고 있다. 평행타입과 수렴타입은 똑같은 물체에 대한 정보를 획득할 때에 카메라 렌즈를 중심으로 한 카메라 축의 회전으로 인하여 같은 물체에 대한 정보를 다르게 획득하게 된다. 그림에서와 같이 수렴타입에서 수렴점에 위치한 물체는 좌우 카메라의 CCD면의 정중앙에 정보를 입력하게 된다. 하지만 똑같은 물체에 대한 정보를 평행타입은 좌우 카메라의 CCD에 중앙이 아닌 각각 좌우로 옮겨진 위치에 정보를 입력하게 된다. 이것은 카메라 수렴각 만큼의 회전으로 인한 것이다. 두 타입의 정보를 동일한 조건하에서 비교하면 그림의 오른쪽과 같이 좌우 카메라 각각에서 두 타입에 대한 정보 차이를 얻을 수 있는데, 만약 차이를 없애준다면 영상을 합성하여 스테레오 영상 재생 시 수렴타입을 묘사하면



<그림 2> 평행타입과 수렴타입 그리고 변형된 평행타입에 대한 묘사

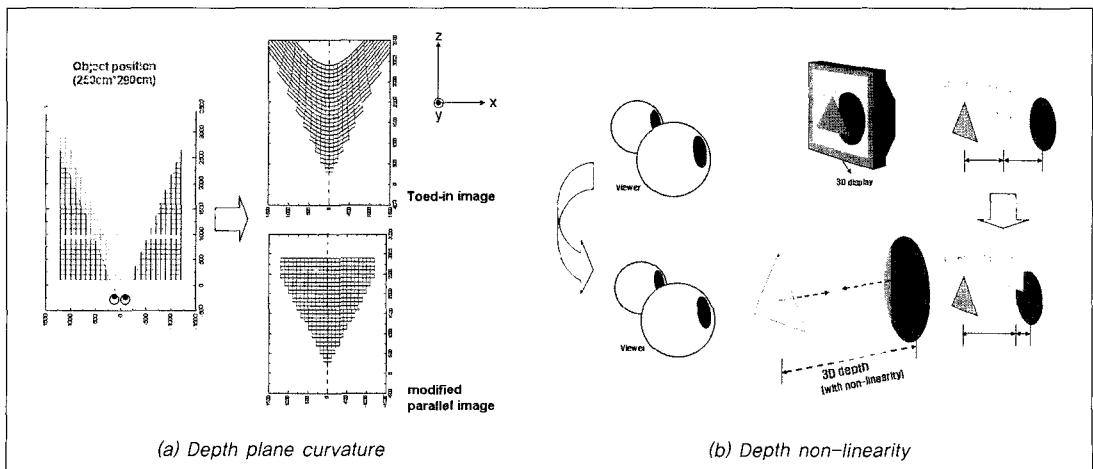
서 평행 타입의 장점인 깊이방향의 Depth plane curvature의 왜곡이 없는 영상을 얻을 수 있다. 이 방식을 '변형된 평행타입'이라 부른다.

II. 변형된 평행형 스테레오 카메라 상환에서의 영상왜곡 없는 최적의 조건

스테레오스코픽 디스플레이에서 영상을 재생할 때 여러 종류의 이미지 왜곡이 나타나게 된다. 이것은 여러 가지 카메라 시스템과 디스플레이 시스템에서의 변수(parameter)와 렌즈의 수차에 의한 것이다[1,3]. 이런 변수에 의해 나타나는 왜곡현상은 깊이 방향의 면이 휘는 Depth plane curvature이 있고, 재생된 깊이 방향의 간격이 일정하지 않은 Depth non-linearity이 있다[1,4,5,6]. 또한 수직방향에서는 수렴형 카메라에 의한 키스톤 효과 등이 있다[1,7,8]. <그림 3(a)>는 Depth plane curvature를 보여주고 있고, <그림 3(b)>는 Depth non-

linearity를 보여주고 있다. 그러므로 렌즈의 수차를 제외한 왜곡이 없는 최적의 조건을 알아낼 필요가 있다. Depth plane curvature는 물체의 휘어짐을 야기시키고, Depth non-linearity는 움직이는 물체의 운동시차 및 깊이감 재현에 대한 문제가 생긴다[9].

최적의 조건을 도출함에 있어서 우리는 앞서 언급한 여러 타입 중 기준 모델을 정해야 한다. 평행타입은 디스플레이면 앞뒤 모두에서 정확한 깊이감을 표현하기가 어렵고, 수렴 타입은 기본적으로 카메라의 CCD면의 기울어짐으로 인해 영상 재생 시의 중앙의 물체보다 좌우의 영상이 더 멀리 나타나는 Depth plane curvature가 나타난다. 이것은 수직방향 고려 시 키스톤 왜곡과도 관련되어 있는 단점이 있다. 변형된 평행 타입은 위에서 고려한 단점이 없고, Depth non-linearity와 재생영상의 배율만을 고려하면 되므로 변형된 평행 타입을 기준으로 최적의 조건을 도출할 수 있다[2]. 여기에서는 수식적 고찰 보다는 정성적 의미를 기준으로 수식적



<그림 3> 스테레오스코픽 영상에서의 대표적 왜곡 현상

로 계산한 시뮬레이션 결과를 제시한다. 앞서 언급된 변형된 평행 타입의 재생된 영상의 위치는 양안 거리와 촬영영상의 확대비율 그리고 수렴타입과 변형된 평행타입의 보정값을 이용하여 계산하면 넓이 방향의 왜곡이 없어지게 되어 최적의 조건이 성립된다. 만약 양안거리와 카메라 간격이 같지 않다면 깊이방향의 비선형은 없앨 수 있지만 물체의 위치와 입체영상의 위치가 정확히 일치하지 않고 일정한 배율에 의해 배치된다.

III. 시뮬레이션 결과

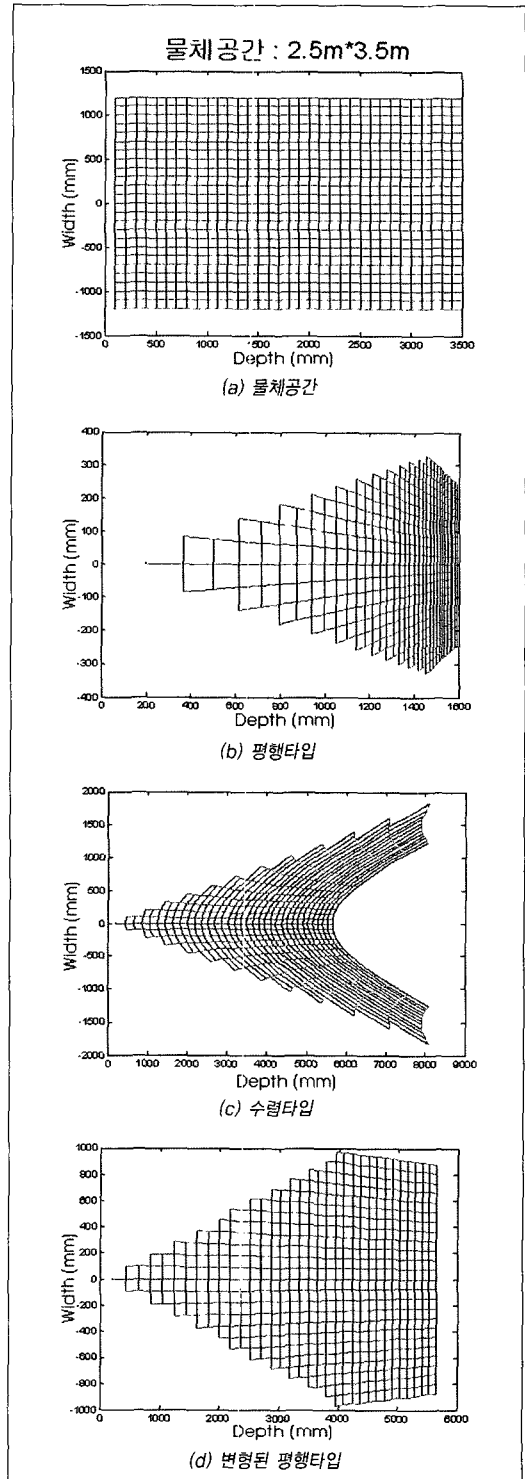
1. TV 관찰 조건의 예

위에서 언급한 세가지 조건의 카메라 타입에 대하여 일반적인 조건에서 시뮬레이션 해 보았다. 본 시뮬레이션에서 적용한 조건은 표1과 같다.

〈표 1〉 TV 관찰조건의 한 예에서의 공동 변수

시스템	변수	값(mm)
카메라 (35mm 렌즈)	초점거리 f	35
	CCD 크기 W_c	36
	카메라 간격 t	65
디스플레이(16:9 42인치)	양안거리 e	65
	관찰거리 V	1000
	디스플레이 크기 W_s	929.797

위의 조건들을 통하여 각 방식에서 시뮬레이션 결과를 〈그림 4〉에 나타내었다. 〈그림 4(a)〉는 실제 공간을 나타내고 있다. 공간은 격자로 표시되어 있고 격자간격은 10cm×10cm이다. 〈그림 4(b)〉는 평행타입의 결과이다. 깊이방향의 면이 휘지는 않지만 스테레오 영상은 디스플레이면 앞에서 수렴되고



〈그림 4〉 일반적 관찰조건에서의 입체영상 재생 결과

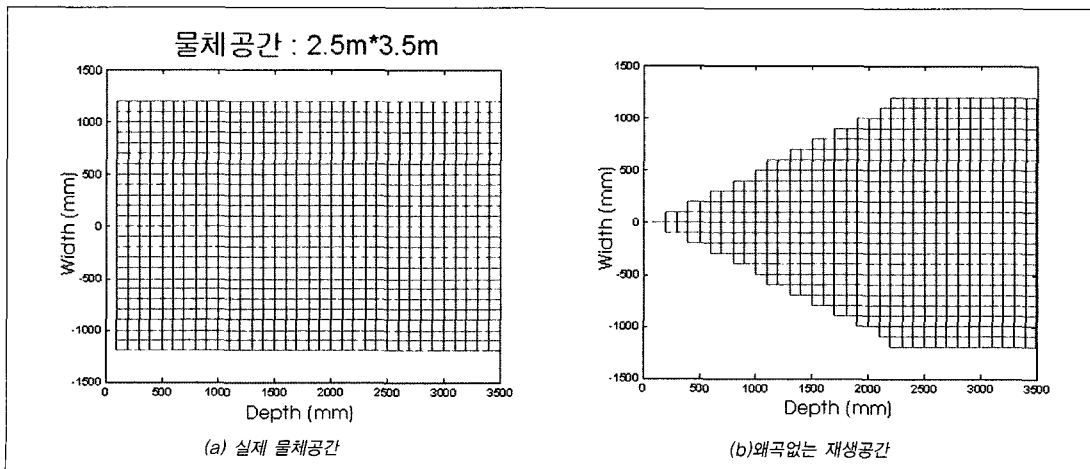
이에 따라 깊이방향의 비선형성이 나타남을 알 수 있다. <그림 4(c)>는 수렴타입의 결과이다. 이때 두 카메라는 깊이방향 1m 거리에 수렴하고 있고, 수렴 각 1.86도(각각의 카메라에 대한 값)이다. 재생된 영상은 깊이방향으로 휘어짐을 보이고, 깊이방향의 비선형도 나타나고 있다. 하지만 평행타입과는 달리 디스플레이면 앞뒤 모두에서 깊이감이 표현됨을 알 수 있다. <그림 4(d)>는 변형된 평행타입의 결과이다. <그림 4(c)>의 결과와 비교하여 중심에서 동일한 깊이를 표현하고 있지만 깊이방향의 휘어짐은 사라졌음을 확인할 수 있었다. 그러므로 변형된 평행타입은 수렴형의 장점을 가지면서도 깊이방향의 휘어짐은 왜곡도 제거됨을 확인할 수 있다.

<그림 4>에 해당한 결과와 더불어 변형된 평행타입으로 최적의 조건을 도출하였다. 최적의 조건은 실제공간과 재생 영상 공간이 완벽히 일치되는 조건이다. 이 때, 앞서 언급한대로 Depth non-linearity의 제거와 재생영상의 배율만을 고려하면 된다. 앞서 언급한 일반조건에서와 같은 촬영조건을 가지고 있을 때, 영상 재생시 조건만을 고려하면 된다. 영상 재생

시 고려할 사항은 관찰거리, 디스플레이 크기, 양안 간격이다. 이 때, 양안간격은 일반적으로 고정이므로 디스플레이 크기와 관찰거리만이 변수조건이 된다. 이러한 변수들에서 관찰거리를 기준으로 디스플레이 크기를 최적화하면 재생 영상의 비선형은 사라진다. 그리고 카메라 촬영간격을 양안 간격으로 동일하게 하고 화면의 관찰거리와 카메라의 초점거리와의 배율관계를 최적화하면 실제공간의 좌표값과 재생공간의 좌표값은 일치하게 된다. 이 조건에서의 시뮬레이션 결과를 <그림 5>에 나타내었다. <그림 5(a)>는 실제공간을 나타내고 있다. <그림 5(b)>는 재생 공간을 나타내고 있다. 카메라 화각에 의해 재생되지 않은 구간을 제외하면 재생공간이 격자간격은 실제공간과 완벽히 일치함을 알 수 있다. 그러므로 왜곡없이 실제공간을 완벽히 재생하였음을 확인할 수 있다.

IV. 고찰

위에서 3D TV 환경에서 발생할 수 있는 한 가지



<그림 5> 최적의 조건에서 왜곡없는 재생공간

의 예를 대상으로 분석하여 변형 수렴 방식의 스테레오 영상 촬영과 최적 조건의 재생환경으로 시청자가 인식하는 3차원 영상이 전혀 왜곡되지 않을 수 있음을 보여주었다. 그러나 3D TV 환경 자체는 시청자 각자가 여러 위치로 움직일 수 있어 보다 일반

적인 왜곡의 최소화를 위한 많은 연구가 필요함을 알 수 있다. 또한 3차원 영상의 인식과 관련된 왜곡은 어느 정도 허용될 수 있는지는 피험자들을 대상으로 하여 연구되어야 한다.

● 참고 문헌 ●

- [1] A. Woods, T. Docherty, R. Koch, "Image Distortions in Stereoscopic Video Systems", Proc. Of SPIE, Stereoscopic Displays and Applications IV, J O Merritt, S S Fisher, Vol. 1915, pp. 36-48, (1993)
- [2] C. Smith, "3-D or not 3-D?", New Scientist, Vol.102#1407, pp. 40-44, (1984)
- [3] Larry F. Hodges "Basic principles of stereographic software development", Proc. Of SPIE, Stereoscopic Displays and Applications II, J O Merritt, S S Fisher, Vol. 1457, pp. 9-17, (1991)
- [4] J. T. Rule, "The shape of stereoscopic images", J. Opt. Soc. Am. 31, 124-129 (1941)
- [5] B. G. Saunders, "Stereoscopic drawing by computer—is it orthoscopic?" Appl. Opt. 7, 1459-1504 (1968)
- [6] H. Yamanoue, "The relation between size distortion and shooting conditions for stereoscopic images", J.SMPTE 106, 225-232 (1997)
- [7] D.L. MacAdam, " Stereoscopic perception of size, shape, distance and direction", J. SMPTE 62, 271-293 (1954)
- [8] J.-Y. Son, Yuri N. Gruts, K.-D. Kwack, K.-H. Cha, S.-K. Kim, "Stereoscopic image distortion in radial camera and projector configurations", J. Opt. Soc. Am. A, 24, 643-650 (2007)
- [9] D. Diner, "Danger of Collisions for Tele-Operated Navigation due to Erroneous Perceived Depth Accelerations in 3-D Television", Annual Meeting of the American Nuclear Society, 1991.

필자 소개



김성규

- 2000년 : 고려대학교 물리학과 양자광학 박사
- 1999년 ~2001년 : 일본 우정성 산하 TAO 해외 초청 연구원
- 2001년 ~ 현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어센터 선임연구원
- 주관심분야 : 다초점 3차원 영상 표시 장치, 초다시점 3차원 영상표시 장치, 3차원 영상의 왜곡, 홀로 그래픽 영상 표시 장치, 디지털 홀로그래피, 회절 광학 소자