

# 고품질 3D 입체영상 제작을 위한 최대 스크린 시차(Max Parallax) 제안

\*박병진 \*\*정재우 \*\*\*박성환

한국교육방송공사

\*bookworm@ebs.co.kr, \*\*jwjung@ebs.co.kr, \*\*\*parkslab@ebs.co.kr

## Maximum Positive/Negative Screen Parallax for Creation of High quality Stereoscopic 3D Contents

\*Park, Byung-Jin \*\*Jung, Jae-Woo \*\*\*Park, Sung-Hwan

Korea Educational Broadcasting System

### 요약

스테레오스코픽 3D 입체영상은 좌/우 영상의 시차(視差)를 이용하여 시청자로 하여금 2D 영상에서 느낄 수 없었던 가상의 입체감을 느낄 수 있도록 한다. 이러한 가상의 입체감은 주로 좌/우 영상의 수평시차를 통해서 구현되며, 수평시차의 많고 적음에 의하여 피사체의 원근(遠近)이 조절된다. 시차가 지나치게 작을 경우 3D 입체영상은 2D와 다를 바 없이 평면으로 보이거나, 피사체의 볼륨감이 사라져서 종이인형들이 단순히 층을 나뉘어서 배열된 것처럼 보이게 된다. 반대로 시차가 지나치게 클 경우 좌/우 영상은 하나로 융합되어 입체감을 형성하지 못하고 이중상으로 관측되게 된다. 이렇듯 3D 입체영상에서 수평시차의 크기는 핵심적인 기능을 수행하고 있음에도, 프로그램 제작시 적절한 시차를 결정하는 판단기준이 부족하며 최대 시차에 대한 기준도 모호하여, 촬영자나 컴퓨터 그래픽스 작업자의 감(感)에 의하여 입체영상 콘텐츠 제작이 이루어지고 있어, 고품질 3D 영상 제작의 장애요인이 되고 있다. 본 논문에서는 NPP(Native Pixel Parallax) 계산을 바탕으로 입체영상의 시차는 스크린 크기별로 달라질 수 있음을 살펴보고, 좌/우 영상의 시차가 가상깊이로 환산되는 과정을 분석하여, 3D 방송에 적합한 최대 시차를 제안하고자 한다.

## 1. 서론

기존 2D 영상은 디스플레이 평면이라는 2차원 공간 내에서만 사물을 표현하던 것과 달리, 스테레오스코픽 3D(Stereoscopic 3D Dimension, 이하 S3D) 입체영상은 디스플레이 평면뿐만 아니라, 디스플레이 앞쪽과 뒤쪽으로 가상적인 공간을 형성하고 이곳에 사물을 배치하여 이를 시청자가 느낄 수 있게 함으로써, 기존 2D 영상에서 볼 수 없었던 특별한 현장감을 제공한다. 사람이 입체(또는 거리)를 지각할 수 있는 단서는 크게 단안요인(單眼要因)과 양안요인(兩眼要因) 두 가지로 구분할 수 있다. 기존 영상매체는 주로 단안요인을 이용하여 원근감을 표현하였지만, 3D 입체영상에서는 여기에 양안시차(兩眼視差, Binocular Disparity)와 폭주(輻輳, Convergence)로 대표되는 양안요인을 부가적으로 사용하여 영상에 깊이감과 피사체의 부피감을 붙여 넣는다.

양안시차는 왼쪽 눈으로 보는 영상과 오른쪽 눈으로 보는 영상의 차이를 일컫는데, 이러한 시차는 사람의 좌/우 눈이 평균 6.5cm 떨어져 있기 때문에 발생한다. 일정한 범위내의 시차는 관람자로 하여금 입체감을 느낄 수 있도록 해 주지만, 과도한 양안시차는 제작자의 의도와는 달리 입체로 보여지지 않고 이중상(二重像)으로 관찰되고 만다. 폭주(輻輳)는 좌/우 눈의 주시선(注視線)이 우리가 바라보는 사물의 한 점에서 교차하여 만나는 눈의 움직임을 지칭한다. 우리 눈으로부터 가까운 곳에 위치한 피사체를 볼 때, 폭주각(輻輳角)은 증가하지만, 먼 거리에 위치한 피사체를 바라볼 때에는 폭주각은 점점 감소하여 무한대 거리에 위치한 사물을 바라보는 경우, 폭주각은 0°가 되며 좌/우 눈

의 시선은 평행이 된다. 따라서 사람의 안간(眼間)을 초과하는 시차는 무한대 거리 이상의 피사체를 표현하는 것이 되며, 이러한 영상은 시선의 발산을 유도하므로 매우 부자연스러운 상황을 초래한다.

그러므로 스크린 안쪽으로 들어가는 영상의 시차(Positive Parallax)의 최대값은 사람의 안간 이내로 제한되어야만 한다. 따라서 3D 영상의 최대시차 논의에 앞서 한국인의 평균 안간에 대한 검토가 필요하다. “韓國人의 瞳孔距離 및 內眥間隔에 對한 統計的 考察”에서 추정된 20대 남자의 평균 안간(眼間)은 6.4cm, 20대 여자의 평균 안간은 6.1cm 이다.[1] 따라서, 3D 입체 방송콘텐츠를 제작할 때, 평균 안간을 6.1cm 이내로 하여 입체관련 수치를 산정해야 할 것이다.

## 2. NPP(Native Pixel Parallax)를 적용한 최대시차

기존 2D 영상은 프로그램을 제작할 때, 디스플레이 크기를 고려할 필요가 없었지만, 스테레오스코픽 3D 입체영상을 제작할 때에는 영상이 재생되는 디스플레이 크기에 대한 사전 검토가 필수적이다. 이것은 좌/우 영상의 시차를 이용하는 S3D 입체영상의 특징에 기인하는데, 입체영상을 표시하는 디스플레이 크기에 적합하게 화면이 확대되거나 축소되면 좌/우 영상의 시차도 함께 확대되거나 축소되는 변형과정이 수반되기 때문이다. 디스플레이의 크기는 다양하지만 방송영상의 해상도 규격은 가로 1920픽셀, 세로 1080픽셀로 정해져 있으므로 입체영상의 시차(Parallax)를 계산하거나 표현할 때, 길이단위인 센티미터로 표시하는 것보다는 원본영상의 픽셀단위 시차로 환산하여 나타내는 것

이 적절하다. 이러한 픽셀단위의 시차를 NPP(Native Pixel Parallax)라고 하며, '현재 화면크기에서 미터단위의 최대 시차(Parallax)를 픽셀 단위로 환산한 수치'라고 정의할 수 있다.[2]

본 논문에서는 사람의 평균 안간(眼間)을 6.0cm로 가정하고, NPP 정의에 따라 <표1>에 시청자가 보는 화면크기에 따라 달라지는 6.0cm에 해당하는 시차를 픽셀로 환산하여 나타내었다.

표 1. 디스플레이별 Native Pixel Parallax

구 분	디스플레이 가로폭	화면크기 비율 (IOD 6cm)	NPP
극장 스크린(2K)	10m	0.6%	12px
72" 3DTV	1.60m	3.75%	72px
46" 3DTV	1.02m	5.88%	113px
22" 3D 모니터	0.48m	12.5%	240px

예를들어 46" 3DTV에서 6.0cm에 해당하는 NPP는 113 픽셀 시차는 좌/우 영상을 융합하여 입체로 시청가능한 범위 내에 있지만, 같은 시차를 갖는 영상을 10m 스크린에서 상영할 경우 좌/우 영상의 시차는 59cm에 달하여 도저히 입체로 감상할 수 없는 수준이 되고 만다. 따라서 3D 입체영상은 영상이 최종적으로 디스플레이 될 스크린 중 가장 큰 크기의 스크린을 기준으로 시차를 계산하여 제작되어야만 하는 것이다.

NPP 계산을 통해 알 수 있는 또 하나의 중요 시사점은 방송콘텐츠의 경우, 3D 입체영화 제작시 흔히 사용하는 10m 스크린을 기준 스크린으로 사용하지 말아야 한다는 것이다. 10m 스크린을 기준으로 입체영상을 제작한다면, <표1>에 제시된 수치를 통해 알 수 있는 바와 같이, 영상의 최대 시차를 6cm로 제한하는 경우 표현할 수 있는 깊이는 화면 앞쪽으로 12픽셀, 뒤쪽으로 12픽셀 도합 24픽셀에 지나지 않게 된다. 따라서 만약 어떤 입체영상이 10m 스크린을 기준으로 제작되었다면, 그 입체영상 속의 피사체는 볼륨감을 상실하고 얇은 종이인 형으로 구성된 입체영상(Layered 3D 또는 Cardboard Effect)처럼 표현되고 말 것이다. 2011년 9월 현재 시판되고 있는 가장 큰 3DTV는 72인치이다. TV 화면은 갈수록 대형화 되는 추세에 있으나, 60인치 이상의 디스플레이는 Full HD를 뛰어넘는 4K급 이상의 해상도를 필요로 한다는 것이 중론이므로, Full HD 3D 콘텐츠 제작이 일반적인 현재 상황을 감안하면 72인치 디스플레이를 방송용 3D 콘텐츠 제작의 기준으로 사용해도 무리가 없을 것으로 생각된다.

### 3. 가상깊이 왜곡과 허용 최대 시차

물리적으로는 2D인 패널을 사용하는 3D 디스플레이에서 S3D 영상의 깊이는 좌/우영상의 수평시차의 형태로 표시된다. 삼각형의 닳음의 성질과 비례식을 이용하면 좌/우 영상의 수평시차를 시청자가 느끼는 가상깊이로 환산할 수 있다. <그림1>은 Positive Parallax(스크린 안쪽으로 들어가는 깊이)에 의하여 표현되는 가상깊이를 계산하기 위한 그림이다. 점선으로 그린 원은 왼쪽 눈에 보여지는 원거리 피사체의 이미지이며, 내부가 채워진 원은 시청자가 체감하는 가상위치를 표시하고 있다.  $d_{view}$ 는 스크린으로부터 시청자까지의 거리이며,  $D_{far}$ 는 스크린으로부터 피사체까지의 가상거리이다.  $P_f$ 는 시청자의 두 눈의 중점에서 스크린까지 수직으로 연결한 직선과 스크린의 교점으로부터 상이 맺혀진 위치까지의 거리이다.

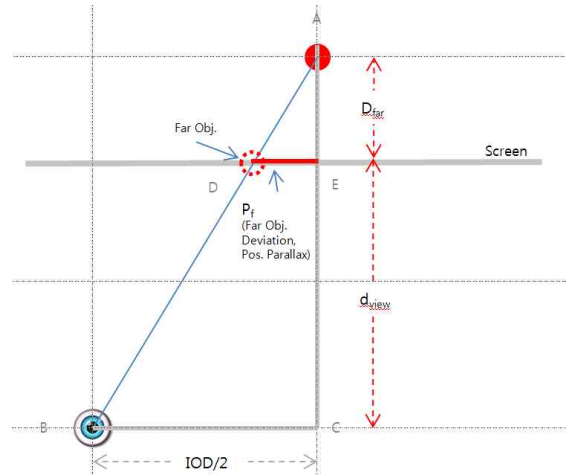


그림 1. Positive Parallax 가상깊이 변환

<그림1>에서  $\triangle ABC$ 와  $\triangle ADE$ 는 닳음이므로, 다음과 같은 비례식을 이용하여 Positive parallax  $P_f$ 를 갖는 피사체의 체감깊이를 구할 수 있다.

$$\frac{IOD}{2} : P_f = (d_{view} + D_{far}) : D_{far} \quad (1)$$

식(1)을  $D_{far}$ 에 관하여 정리하면 식(2)와 같이 가상깊이를 구할 수 있다.

$$D_{far} = \frac{P_f}{\left(\frac{IOD}{2} - P_f\right)} \times d_{view} \quad (2)$$

Negative Parallax에 의하여 표현되는 화면 앞으로 튀어나오는 깊이도 삼각형의 닳음의 원리와 비례식을 이용하여 구할 수 있다. <그림2>에서  $d_{view}$ 는 스크린으로부터 시청자까지의 거리이며,  $D_{near}$ 는 스크린으로부터 피사체까지의 가상거리이다.  $P_n$ 는 시청자의 두 눈의 중점에서 스크린까지 수직으로 연결한 직선과 스크린의 교점으로부터, 상이 맺혀진 위치까지의 거리이다. <그림2>에서  $\triangle ABC$ 와  $\triangle ADE$ 는 닳음이므로( $\therefore$  대응하는 세 각의 크기가 같으므로), 다음과 같은 비례식을 이용하여 Negative parallax  $P_n$ 을 갖는 피사체의 체감깊이를 구할 수 있다.

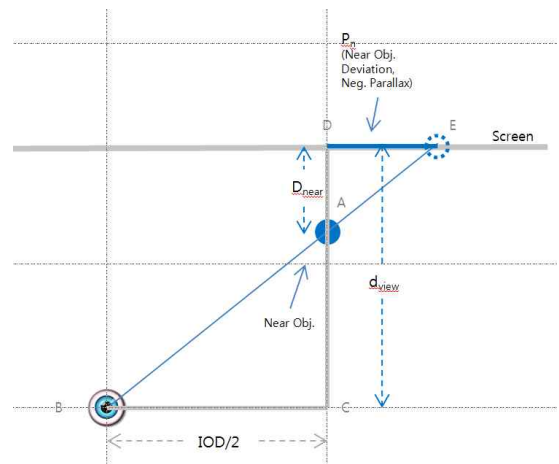


그림 2. Negative Parallax 가상깊이 변환

$$\frac{IOD}{2} : P_n = (d_{view} - D_{near}) : D_{near} \quad (3)$$

식(3)을  $D_{near}$ 에 관하여 정리하면, 식(4)과 같이 화면 앞쪽으로 튀어나오는 체감깊이를 계산할 수 있다.

$$D_{near} = \frac{P_n}{\left(\frac{IOD}{2} + P_n\right)} \times d_{view} \quad (4)$$

식(2), (4)의  $P_n$ 는 '미터' 단위의 시차이므로 픽셀단위의 시차를 이용하여 가상깊이를 계산하려면,  $P_n$ 과  $P_f$ 에  $1920/W_{scr}$ 을 곱해주면 된다. 앞서 72" 3DTV를 기준으로 NPP를 적용하는 경우 최대 Positive Parallax는 72픽셀임을 확인하였다. 이것은 한쪽 눈 기준으로 36픽셀 시차에 해당하므로, 1픽셀부터 36픽셀까지의 Positive Parallax를 체감깊이로 환산하여 그래프로 도시하면 <그림3>과 같은 결과를 얻게 된다.

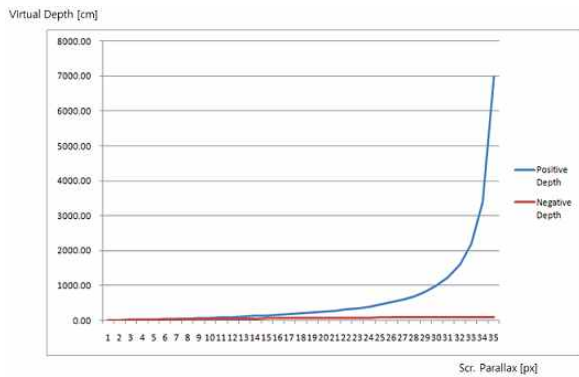


그림 3. 72인치 3DTV에서의 픽셀시차와 가상깊이의 변환비율

<그림3>에서 확인할 수 있는 바와 같이 스크린 앞쪽으로 튀어나오는 깊이(Negative Depth)는 픽셀시차와 선형적 비례관계에 있다. 그러나 스크린 뒤쪽으로 들어가는 체감깊이(Positive Depth)는 지수적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 지수적 증가는 스테레오스코픽 3D 영상을 통하여 형성되는 가상공간의 깊이왜곡을 초래하므로, S3D 영상의 왜곡을 최소화하려면, 안간(眼間, IOD)과 동일한 수준(6.0cm)까지 시차를 허용해서는 안되고, 선형적으로 근사할 수 있는 범위내의 시차까지만 사용해야 함을 의미한다.

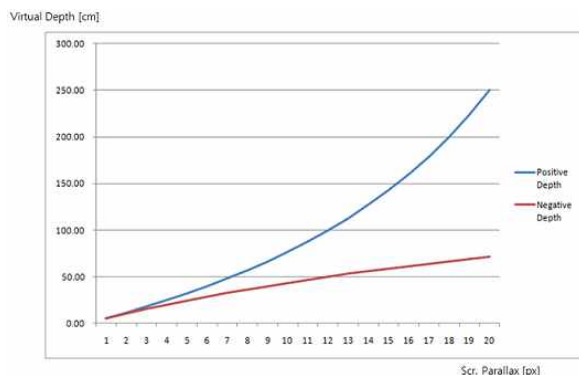


그림 4. 72인치 3DTV에서 20픽셀(한쪽 눈 기준) 시차의 가상깊이

<그림4>는 한쪽 눈 기준 20픽셀 시차까지의 시청자 체감깊이를 도시한 것이다. 공간 왜곡을 최소화하기 위해서는 Positive Parallax를 한쪽 눈 기준 10픽셀 정도로 제한하는 것이 좋겠지만, 그렇게 하는 경우 표현할 수 있는 깊이의 단계가 지나치게 제한되므로 제작된 결과 영상에서는 Cardboard Effect를 피할 수 없다. 따라서 한쪽 눈 기준 20픽셀, 양쪽 눈 기준 40픽셀을 Positive Parallax의 최대시차로 정하는 것이 합리적인 것으로 생각된다. 40픽셀 Positive Parallax는 시청거리 정도의 깊이, 즉 2m 거리에서 TV를 시청하는 경우 스크린 뒤쪽 2m까지 가상 깊이를 표현할 수 있다.

#### 4. 폭주 및 초점조절의 불일치와 시차각을 고려한 최대 시차

이번에는 화면 앞쪽으로 튀어나오는 가상깊이를 형성하는 Negative Parallax의 최대수치를 추정하기 위해 S3D 영상의 시각피로 관점에서 접근해보자. 초점조절거리와 폭주거리의 불일치는 3D 입체영상 관람하는 경우 발생하는 시각피로의 주된 요인의 하나로 꼽히고 있다.[3] 우리가 실물을 바라볼 때는 <그림5>의 왼쪽에서와 같이 초점 조절거리와 폭주거리가 일치한다. 그러나 3D 입체영상을 시청하는 경우에는 <그림5>의 오른쪽과 같이, 우리 눈의 초점은 스크린의 위치에 맞춰지지만, 폭주거리는 좌/우 영상의 시차를 통해 형성된 가상의 위치에 맞춰지게 된다.

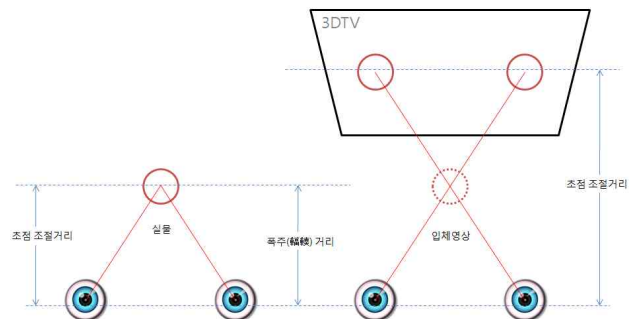


그림 5. 3D 입체영상을 관람할 때 발생하는 폭주거리와 초점거리의 불일치

이러한 폭주거리와 초점거리의 불일치 정도를 나타내는 지표로서 시차각(視差角)이 종종 사용된다. 시차각은 2D 화면을 관찰할 때의 폭주각과 3D 입체영상을 주시(注視)할 때의 폭주각의 차이로 정의된다.[3]

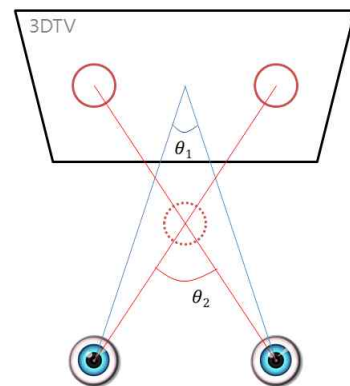


그림 6. 시차각의 정의

화면 앞으로 튀어나오는 깊이감을 두고 시차각을 생각해보면 <그림6>에서  $\theta_1 - \theta_2$ 로 시차각을 정의할 수 있다. 이렇게 정의하는 경우 화면 앞으로 돌출되는 이미지는 ‘음’의 시차각을 갖게 되고 화면 안쪽으로 들어가는 이미지는 ‘양’의 시차각을 갖게 되며, 이것은 3D 입체영상의 Parallax를 논할 때, Positive Parallax 또는 Negative Parallax라고 언급하는 부분과 동일한 부호체계를 갖게 된다. 많은 연구보고서나 3D 입체영상 관련 가이드라인 등에서는 3D 입체영상 제작시 돌출영역의 시차를 '-1°' 이내로 유지할 것을 권고하고 있다.[3] 이러한 권고를 바탕으로 돌출영역의 최대시차를 계산할 수 있을 것이다.

시차각의 기준이 되는 2D 폭주각은 시청거리에 따라 달라지므로, 우선 3DTV의 적정 시청거리를 산정할 필요가 있다. 2010년 12월 TTA(한국정보통신기술협회) 3DTV 프로젝트 그룹(PG806)에서 제정한 '3DTV 방송 안전 가이드라인'에서는 “디스플레이 세로길이의 3배 ~ 6배 범위 내에서 시청하는 것이 바람직하다.”고 권고하고 있다.[5] 그리고 3D 방송진흥센터의 3D 시청 안전성 협의회에서 2010년 12월 제시한 '3D 영상 안전성에 관한 임상적 권고안'에서는 “화면 세로길이의 2배보다 먼거리, 6배 보다는 짧은 거리에서 시청할 것을 권고” 하고 있다.[6] 두 기관의 권고안의 공통 시청거리 범위는 디스플레이 세로길이의 3배 ~ 6배이며, 이것은 72인치 3DTV를 시청할 때는 3m ~ 5m 거리, 46인치 3DTV를 시청하는 경우에는 2m ~ 3.5m가 된다.

표 2. 시차각(視差角) -1°를 적용한 경우 시청거리별 최대 시차

시청거리 (m)	2D 폭주각 (°)	3D 폭주각 (-1° 적용)	최근접 피사체 가상 거리 (m)	Max Parallax (cm)	Max Parallax (px)	
					Scr. 72"	Scr. 46"
0.5	7.44	8.44	0.06	0.44	5	8
1.0	3.72	4.72	0.21	0.87	11	16
1.5	2.48	3.48	0.43	1.31	16	25
2.0	1.86	2.86	0.70	1.75	21	33
2.5	1.49	2.49	1.00	2.18	26	41
3.0	1.24	2.24	1.34	2.62	32	49
3.5	1.06	2.06	1.70	3.05	37	58
4.0	0.93	1.93	2.07	3.49	42	66
4.5	0.83	1.83	2.46	3.93	47	74
5.0	0.74	1.74	2.87	4.36	53	82

시청거리별 2D 폭주각과 -1°를 적용한 시차각, 그리고 그때의 최대시차를 계산하여 <표2>에 제시하였다. 적정 시청거리와 시차각 -1°를 반영한 돌출영상의 시차는 65 ~ 110 픽셀 정도가 된다. (표2에 제시한 시차는 한쪽 눈을 기준으로 계산된 수치이므로, 전체 시차는 2배를 해 주어야 함.)

<표2>에 제시한 Max Parallax 수치를 보면 시청거리가 가까울수록, 시차가 작아야 함을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안하고자 하는 것은 시각피로를 최소한으로 하는 최대시차를 도출하는 것이 목표이므로, 디스플레이 세로길이의 3배에 해당하는 시차인 65픽셀을 Negative Parallax의 최대치로 제한하는 것이 바람직하다고 생각한다.

## 6. 결론

본 논문에서는 한국인의 평균 동공거리와 3DTV 디스플레이 크기

등의 요인들을 고려하여 안정적인 시청이 가능한 3D 입체영상을 제작하기 위한 최대 시차를 제안하였다. S3D 콘텐츠는 기존 2D 콘텐츠와 달리 디스플레이 크기에 대한 사항이 중요하게 고려되어야 한다. 본 논문에서는 현재 시판되는 최대크기의 3DTV를 기준으로 3D 입체영상을 제작해야함을 제안하였다.

그리고 NPP(Native Pixel Parallax)와 가상깊이 변환과정 및 깊이 왜곡요인을 고려하여, 화면 안쪽으로 들어가는 깊이를 형성하는 Positive Parallax의 최대치를 40픽셀(화면크기의 2%)로 추정하였다.

또, 3DTV 시청거리와 시각피로를 최소화하기 위한 시차각(視差角)을 고려하여, 화면 앞으로 튀어나오는 깊이를 형성하는 Negative Parallax의 최대치를 65픽셀(화면크기의 3.4%)로 추정하였다.

좌/우 시야의 분리를 통하여 가상의 입체감을 체험하게 해주는 3D 콘텐츠는 입체영상의 고유 특성상 시각피로를 동반하므로, 고품질 3D 콘텐츠 제작을 위해서는 최대시차를 일정 범위내로 제한하여야 하며, 색상/밝기 일치여부, 스테레오스코픽 윈도우 위반 등 기타 제반사항에 대한 세심한 고려가 필요하다. 3DTV 서비스의 활성화를 위해서 3D 콘텐츠 제작을 위한 가이드라인에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 보인다.

## 참고문헌

- [1] 한국인의 동공거리 및 내자간격에 대한 통계적 고찰, 대한안과학회, 박영관, 1975
- [2] <http://shoot3dtv.blogspot.com/2010/06/what-is-native-screen-pixel-parallax.html>
- [3] 3D 입체영상 표현의 기초, 카와이 다카시 外, 성안당, 2011
- [4] 3D Movie Making, Bernard Mendiburu, Focal Press, 2009
- [5] 3DTV 방송안전 가이드라인, TTA, 2010
- [6] 3D 영상 안전성에 관한 임상적 권고안, 3D시청안전성협의회, 2010
- [7] 동공중심간 거리에 대한 통계적 고찰, 대한안과학회, 김혜동, 2009