



## I. 서 론

최근 3D 디스플레이 산업의 발달에 따른 3D TV 저변확대와 저렴한 가격, 휴대 및 사용이 편리한 소형 이안식 일체형 입체카메라(Dual Lens Stereoscopic Camera)의 등장으로 일반대중이 3D 콘텐츠를 제작할 기회가 증가하고 있다. 이러한 이안식 일체형 입체카메라는 편리한 촬영이 가능하지만 줌(Zoom)을 일반 핸드캠과 같은 방식으로 사용할 경우 3D 시청에 의한 어지럼증 및 시각적 불편함(Visual uncomfort)을 느낄 수 있다. 따라서 이안식 일체형 입체카메라에서 효과적으로 줌을 사용할 수 있는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

현재의 이안식 일체형 입체카메라는 일반 핸드캠과 같이 간단하고 편리한 줌기능 장치가 두 렌즈에 정확하게 동기화되어 있다. 두 렌즈의 수렴점인 컨버전스포인트(Convergence point)를 수동 또는 자동으로 조작하여 입체에 대한 깊이감을 설정할 수 있다. 하지만 비전문가에게는 촬영도중에 컨버전스포인트를 조정하는 것이 어려우며, 일반적으로 컨버전스포인트가 고정되어 있어 줌인을 할 경우에 피사체가 고배율로 확대되어 과도한 양안시차가 발생하고 이에 따른 시각적 불편이 발생한다.

본 논문에서는 이안식 일체형 입체카메라에서 줌인시 발생하는 시각적 불편의 문제를 해결하기 위해 줌인 이전의 포커스와 피사체 및 컨버전스포인트의 위치에 따른 관계모델을 제시한다. 제시하는 관계모델에서는 컨버전스포인트의 위치에 따라 발생될 수 있는 각각의 경우를 9가지로 분류하고 정의한다. 그리고 분류한 9가지 경우에 대해 컨버전스포인트를 조정하여 시각적 불편을 최소화하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구 동향에 대하여 기술하며 3장에서는 포커스와 컨버전스포인트의 관계 모델을 정의한다. 4장에서는 시각적 불편과 의미적 입체왜곡을 방지하는 컨버전스포인트 조정 기법을 제안하며 각 방법을 비교한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

## II. 관련연구

[1][2][5][6]에서는 인간의 두 눈이 받아들이는 영상의 차이를 양안시차라 정의했으며, 이 양안시차의 크기에 따라 깊이감은 비례하게 된다. 깊이감이 커짐에 따라 어지러움이 심해져서 시각적 불편을 느끼게 되는데 이때 나타나는 불편함은 두 눈이 주시하는 주시점과 눈의 초점거리가 불일치함에 의해 발생된다.

[3]에서는 콘텐츠 제작자를 위해 쾌적 시차 영역(comfort zone) 조건으로 1°의 양안 시차를 권고한다. 하지만 줌과 같이 초점거리가 변하여 화상의 변화가 발생하는 경우에 시차값에 대한 분석이 없으므로 추가적인 연구가 필요하다.

[4]에서는 영상 멀미(Visually-induced motion sickness)를 유발하는 요소인 다양한 카메라의 움직임(팬, 틸트, 롤, 줌)에 대하여 시각적 피로감을 측정하였다. 이를 통해 모션의 빠르기와 시각적 불편의 상관관계를 제시하였다. 하지만 단안영상에 기반 한 실험이므로 양안영상에서 모션에 의한 직접적인 영향을 유추하기 어려우며 특히 컨버전스포인트의 영향이 큰 줌에 관해서는 유추하기가 더욱 어렵다.

위의 관련연구에서와 같이 쾌적한 입체감을 구현하기 위해 줌 사용시 발생하는 과도한 양안시차를 조정하는 방법에 관한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 줌 사용시 쾌적한 시차영역을 유지할 수 있도록 컨버전스포인트를 조정하는 방법을 제시한다.

## III. 포커스와 컨버전스포인트

### 3.1. 문제정의

이안식 일체형 입체카메라는 2D 카메라와 같이 간단하고 편리한 줌 기능장치가 두 렌즈에 정확하게 동기화되어 있어서 일반대중도 손쉽게 줌 기능을 사용할 수 있다. 하지만 현재의 이안식 입체카메라에서는 입체영역을 결정하는 컨버전스포인트가 줌과 연동되어 움직이지 않는다. 따라서 컨버전스포인트가 고정된 채 줌인을 할 경우 피사체만 고배율로 확대되어 과도한 양안시차가 발생할 수 있다.

예를 들어 그림 1(a)와 같이 줌인 이전의 와이드 한 상태에서는 피사체보다 가까운 곳에 컨버전스포인트를

두어도 양안시차가 많이 발생하지 않는다. 하지만 그림 1(b)와 같이 줌인 이후에서는 피사체가 고배율로 확대됨에 따라 좌우영상의 차이가 커져 과도한 양안시차가 발생한다.

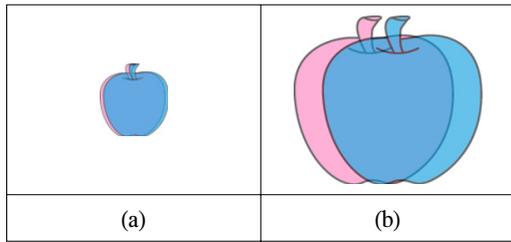


그림 1. 줌인에 의한 양안시차 증가  
(a) 줌인 이전 (b) 줌인 이후

Fig. 1 Increase in binocular disparity caused by zoom-in  
(a) zoom-in before (b) zoom-in after

이와 같이 컨버전스포인트와 피사체간의 거리에 의해 발생하는 양안시차가 클수록 불편한 입체영상을 만들어 낼 수 있다. 이런 현상을 본 논문에서 줌에 의한 시각적 불편(Visual Uncomfort)이라 정의한다. 따라서 시각적 불편을 최소화하기 위해 줌인에 따른 컨버전스포인트의 변경 또는 조정이 필요하다. 본 논문에서는 줌인시 발생하는 시각적 불편의 문제를 해결하기 위하여 컨버전스포인트의 위치를 조정하는 기법을 제안한다.

### 3.2. 용어정의

본 논문에서 사용되는 용어를 다음과 같이 정의한다.

- 포커스 : 포커스는 피사체에 초점이 맞는 것을 말하며, 본 논문에서는 줌인 이전의 포커스를  $F_b$ , 줌인 이후의 포커스를  $F_a$ , 줌인 피사체(Zoom in Object)를  $ZO$ 라 표기한다. 이 경우 카메라와의 거리를 함수  $d()$ 라 정의하면  $F_b$ 와  $ZO$ 의 관계는 다음 표2와 같이 세 가지 경우로 분류된다.

본 논문에서는 오토 포커스 환경을 다루므로  $d(F_a) = d(ZO)$ 이다.

- 컨버전스포인트(Convergence Point) : 교차법(Toed-in configuration)에 의해 두 카메라 시각의 수렴점을 말하며 입체시의 스크린 면을 형성하게 된다. 이 스크린 면을 중심으로 피사체의 도출과 후퇴를 결정지게 된다. 그리고 두 시각의 교점을 이루는 각을 폭주

각이라고 한다. 본 논문에서는 줌인 이전의 컨버전스포인트를  $C_b$ , 줌인 이후의 컨버전스포인트를  $C_a$ 라 표기한다.

- 의미적 입체왜곡(Semantic stereoscopic distortion) : 줌인으로 인해 특정 피사체의 입체 위치가 바뀌는 왜곡 현상을 말한다. 즉, 줌인에 따라 컨버전스포인트의 위치가 변동되어 피사체의 깊이감이 바뀌는 것을 말한다. 예를 들어 피사체가 도출인 상태에서 줌인을 했을 경우 피사체가 후퇴로 바뀌는 경우이다.
- 입체쾌적 임계값(Stereoscopic comfort threshold) : 시청자가 시각적 불편함 없이 입체영상을 시청하기 위해 컨버전스포인트가 이동할 수 있는 유효 범위의 최대 또는 최소값이다.

### 3.3. 포커스와 컨버전스포인트의 관계 모델

앞 절에서 포커스 정의시  $ZO$ 를 기준으로  $F_b$ 의 위치에 따라 크게 세 가지로 분류하였다. 첫 번째는  $F_b$ 가  $ZO$ 보다 카메라에 가까이 놓여 있을 때이며, 두 번째는  $F_b$ 가  $ZO$ 와 같을 때이다. 마지막으로  $F_b$ 가  $ZO$ 보다 멀리 있을 때로 분류하였다. 그리고 여기에 표1과 같이  $C_b$ 의 위치에 따라 각각 9가지로 다시 세분화하여 포커스와 컨버전스포인트간의 관계를 정의한다.

표 1. 줌인 이전의 포커스 위치에 따른 컨버전스포인트의 위치관계 모델

Table. 1 Relational Model based on location of convergence point depending on the position of focus

줌인 이전의 포커스 위치	줌인 이전의 컨버전스포인트 위치
$d(F_b) < d(ZO)$	$d(C_b) < d(F_b)$
	$d(F_b) \leq d(C_b) \leq d(ZO)$
	$d(ZO) < d(C_b)$
$d(F_b) = d(ZO)$	$d(C_b) < d(F_b)$
	$d(C_b) = d(ZO)(d(C_b) = d(F_b))$
	$d(ZO) < d(C_b)$
$d(F_b) > d(ZO)$	$d(C_b) < d(ZO)$
	$d(ZO) \leq d(C_b) \leq d(F_b)$
	$d(F_b) < d(C_b)$

먼저 표 1의  $d(F_b) < d(ZO)$ 인 경우는  $F_b$ 가 카메라와  $ZO$  사이에 위치하는 경우이다. 이 경우는 그림 2와 같이 컨

버전스포인트의 위치에 따라 세 가지로 분류된다. 그림 2(a)는 Cb가 카메라와 Fb의 사이에 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에 가까울수록 폭주각이 커져 과도한 양안시차가 발생하고 ZO는 스크린 면보다 후퇴이다. 그림 2(b)는 Cb가 Fb와 ZO 사이에 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 피사체에 가까이 있기 때문에 적당한 폭주각을 형성하고 ZO는 스크린 면이거나 후퇴이다. 그림 2(c)는 Cb가 카메라로부터 Fb와 ZO보다도 먼 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에 멀수록 폭주각은 낮아지고 ZO는 스크린 면에서 도출된다.

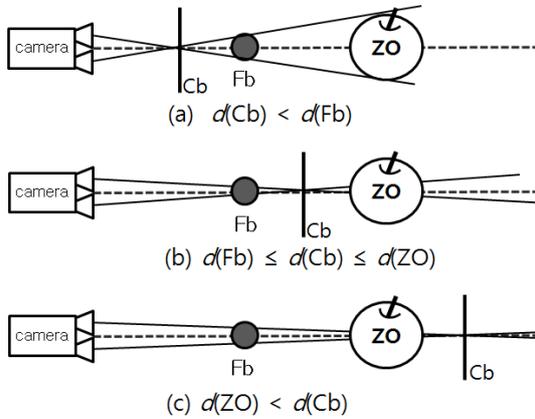


그림 2.  $d(Fb) < d(ZO)$ 인 경우 컨버전스포인트의 위치  
Fig. 2 Location of convergence point if  $d(Fb) < d(ZO)$

표 1의  $d(Fb) = d(ZO)$ 인 경우는 Fb와 ZO가 같은 위치에 있는 경우이다. 이 경우는 그림 3과 같이 컨버전스포인트의 위치에 따라 세 가지로 분류된다. 그림 3(a)는 Cb가 카메라와 Fb의 사이에 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에 가까울수록 폭주각이 높아져 과도한 양안시차가 발생하고 ZO는 스크린 면보다 후퇴이다. 그림 3(b)는 Cb가 Fb와 같을 경우이다. 컨버전스포인트가 피사체에 맞추어져 적당한 폭주각을 형성하고 ZO는 스크린 면에 위치하게 된다. 그림 3(c)는 Fb와 ZO와 같은 위치에 있고 Cb가 이 보다 멀리 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에서 멀수록 폭주각은 낮아지고 ZO는 도출된다.

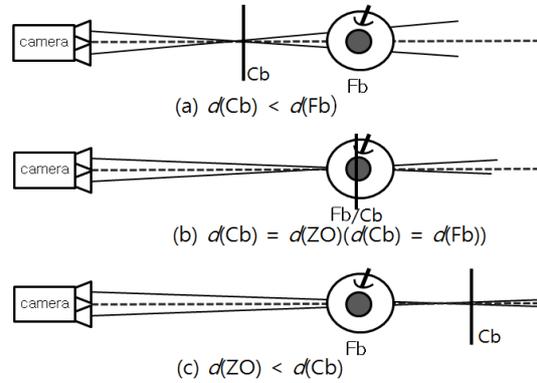


그림 3.  $d(Fb) = d(ZO)$ 인 경우 컨버전스포인트의 위치  
Fig. 3 Position of convergence point, if  $d(Fb) = d(ZO)$

표 1의  $d(Fb) > d(ZO)$ 인 경우는 Fb가 ZO보다 멀리 위치하는 경우이다. 이 경우는 그림 4와 같이 컨버전스포인트의 위치에 따라 세 가지로 분류된다. 그림 4(a)는 Cb가 카메라와 ZO 사이에 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에 가까울수록 폭주각이 커져 과도한 양안시차가 발생하고 ZO는 스크린 면보다 후퇴이다.

그림 4(b)는 Cb가 ZO와 Fb와 같거나 그 사이에 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에서 멀수록 폭주각은 낮아지고 ZO는 스크린 면이거나 도출된다. 그림 4(c)는 Cb가 ZO와 Fb보다 멀리 있는 경우이다. 컨버전스포인트가 카메라에서 멀수록 폭주각은 낮아지고 ZO는 도출된다.

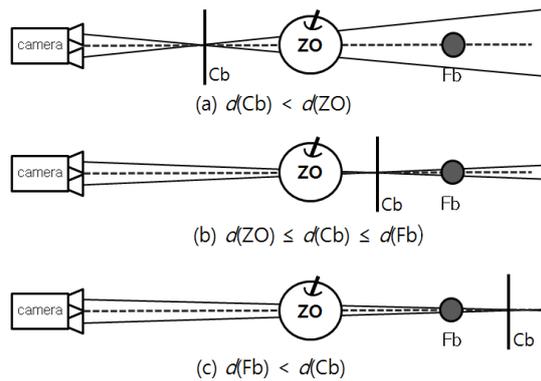


그림 4.  $d(Fb) > d(ZO)$ 인 경우 컨버전스포인트의 위치  
Fig. 4 Location of convergence point, if  $d(Fb) > d(ZO)$

#### IV. 컨버전스포인트의 조정기법

본 논문에서는 줌인에 의한 시각적 불편과 의미적 입체왜곡을 최소화하기 위해 컨버전스포인트를 고정하는 고정 컨버전스포인트 기법, 포커스와 컨버전스포인트를 일치시키는 포커스-컨버전스포인트 일치 기법, 포커스가 움직인 거리만큼 연동되는 포커스-컨버전스포인트 연동 기법, 그리고 마지막으로 입체채적 임계값을 기반으로 하는 입체채적 임계값 기반 컨버전스포인트 이동 기법을 제시한다.

##### 4.1. 고정 컨버전스포인트 기법

고정 컨버전스포인트 기법은  $C_b$ 가 줌인 이후에도 움직이지 않는 기법이다. 현재의 이안식 입체카메라의 원리이며 거리값으로 표현하면 다음과 같다.

$$d(C_b) = d(C_a) \quad (1)$$

고정 컨버전스포인트 기법은 줌인 이전과 이후의 거리값을 고려하여 사전조절이 필요하다. 사전조절 없이 촬영할 경우에는 시각적으로 불편한 영상을 만들 수 있다. 그림 5는 3Ds MAX를 활용한 에너글리프 방식의 예이다. 렌즈간의 간격은 6.5cm, 카메라 높이는 80cm 설정에서 시야각 100°에서 8°까지 10초간 줌인을 한다. 피사체(원구)까지의 거리는 5.25m이며 가장 가까운 피사체(콘)는 1.25m이고 1m 간격으로 피사체가 놓여 있는 설정이다. 그림 5(a)는 줌인 이전의 화면으로 첫 번째 콘에 컨버전스포인트가 맞추어져 있고 이 상태로 피사체에 줌인 되어진 것이 그림 5(b)이다. 컨버전스포인트의 움직임이 없으나 그림 5(b)와 같이 양안시차가 커지는 것을 알 수 있다.

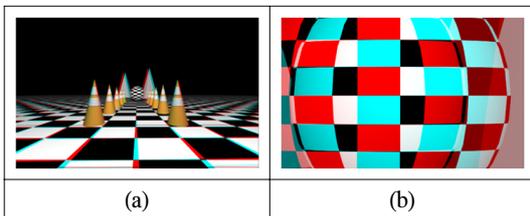


그림 5. 고정컨버전스기법 실험  
(a) 줌인 이전 (b) 줌인 이후

Fig. 5 Experiment of fixed convergence point method  
(a) zoom-in before (b) zoom-in after

##### 4.2. 포커스-컨버전스포인트 일치 기법

포커스-컨버전스포인트 일치 기법은  $C_b$ 가 줌인과 함께 포커스 되는  $ZO$ 로 이동하는 기법을 말한다. SONY사의 PMW-TD300 카메라의 원푸쉬(One-push) 오토기능과 유사한 원리이며 거리값으로 표현하면 다음과 같다.

$$d(C_a) = d(ZO) \quad (2)$$

포커스-컨버전스포인트 일치 기법은 교차점인 스크린 면을 피사체로 이동하기 때문에 줌인 이전과 줌인 이후에도 시각적으로 아무런 불편이 없는 입체영상을 만들어 낸다.

예를 들어 그림 6(a)와 같이 줌인 이전에는 첫 번째 콘에 컨버전스포인트가 맞추어져 원구는 후퇴이지만 그림 6(b)와 같이 줌인과 함께 피사체가 스크린 면에 위치하여 의미적 입체왜곡이 발생한다.

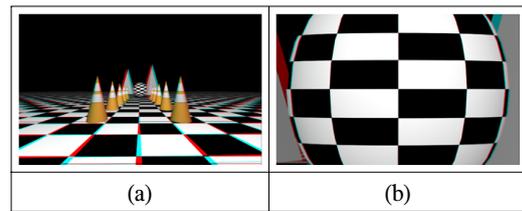


그림 6. 포커스-컨버전스포인트 일치 기법 실험  
(a) 줌인 이전 (b) 줌인 이후

Fig. 6 Experiment of focus-convergence point correspondence method  
(a) zoom-in before (b) zoom-in after

##### 4.3. 포커스-컨버전스포인트 연동 기법

포커스-컨버전스포인트 연동 기법은  $C_b$ 가 줌인과 함께 포커스의 이동거리만큼 포커스 방향으로 이동하는 방법이다. 포커스-컨버전스포인트 일치 기법에서 일어날 수 있는 의미적 입체왜곡을 최소화하기 위해 포커스의 이동방향으로 포커스 이동거리만큼의 컨버전스포인트가 이동하는 것으로 거리값을 표현하면 다음과 같다.

$$d(ZO) - d(F_b) = d(C_a) - d(C_b) \quad (3)$$

$$\therefore d(C_a) = d(C_b) + (d(ZO) - d(F_b))$$

즉, 컨버전스포인트의 이동거리는 원래의 컨버전스포인트의 거리에 줌으로 인해 포커스가 이동한 거리를

합한 거리이다. 그러나 과도한 컨버전스포인트의 이동은 의미적 입체왜곡을 발생시킬 수 있다.

예를 들어 그림 7(a)와 같이 줌인 이전에 피사체가 컨버전스포인트의 뒷쪽에 위치하여 후퇴이다. 하지만 그림 7(b)와 같이 줌인 이후에 컨버전스포인트가 피사체 뒤로 이동하여 피사체가 도출하는 의미적 입체왜곡이 발생한다.

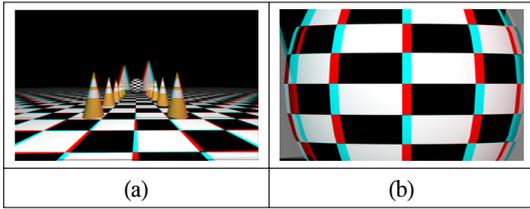


그림 7. 포커스-컨버전스포인트 연동 기법 실험  
(a) 줌인 이전 (b) 줌인 이후  
Fig. 7 Experiment of focus-convergence point coupled method  
(a) zoom-in before (b) zoom-in after

4.4. 입체쾌적 임계값 기반 컨버전스포인트 이동 기법  
입체쾌적 임계값 기반 컨버전스포인트 이동 기법은  $C_b$ 가 줌인과 함께 포커스의 이동거리만큼 포커스 방향으로 이동하지만 임계값 범위내에서 이동하는 방법이다. 이는 포커스-컨버전스 일치 및 연동기법에서 일어날 수 있는 의미적 입체왜곡을 방지하기 위한 방법으로 시각적 불편함이 발생하지 않는 경우와 발생하는 경우로 나누어 이동 거리를 결정한다. 식(4)에서  $d(\theta)$ 는 시각적 불편함을 발생시키지 않는 최대거리이다.

$$\begin{aligned} d(C_b) + (d(ZO) - d(F_b)) &\leq |d(\theta)| \text{ 이면} \\ d(C_a) &= d(C_b) + (d(ZO) - d(F_b)), \\ d(C_b) + (d(ZO) - d(F_b)) &> |d(\theta)| \text{ 이면} \\ d(C_a) &= d(\theta) \end{aligned} \quad (4)$$

예를 들어 그림 8(a)와 같이 줌인 이전에는 첫 번째 콘에 컨버전스포인트가 맞추어져 피사체가 후퇴이다. 그림 8(b)와 같이 줌인과 함께 컨버전스포인트를 임계값 내까지만 이동하여 피사체의 후퇴를 유지하여 의미적 입체왜곡을 방지한다.

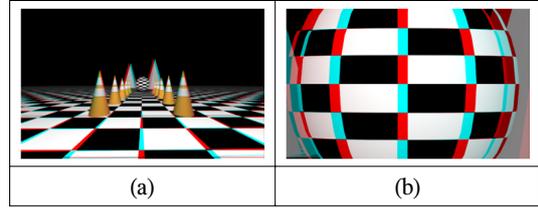


그림 8. 입체쾌적 임계값 기반 컨버전스포인트 이동 기법 실험  
(a) 줌인 이전 (b) 줌인 이후  
Fig. 8 Experiment of convergence point moving method based on stereoscopic comfort threshold  
(a) zoom-in before (b) zoom-in after

표 2에서 포커스와 연동된 컨버전스포인트의 움직임에 대한 방법을 비교하였다. 컨버전스포인트가 움직이지 않는 고정 컨버전스포인트기법은 시각적 불편과 의미적 입체왜곡이 발생할 수 있다. 포커스-컨버전스포인트 일치 및 연동기법은 시각적 불편은 발생하지 않으나 의미적 입체왜곡이 발생할 수 있다. 입체쾌적 임계값 기반 컨버전스포인트 기법은 시각적 불편과 의미적 입체왜곡이 발생하지 않는다.

표 2. 줌과 컨버전스포인트 연동기법 비교  
Table. 2 Comparison of convergence point adjustment methods with zoom

조정 방법	의미적 입체왜곡	시각적 불편
고정 컨버전스포인트기법	O	O
포커스-컨버전스포인트 일치 기법	O	X
포커스-컨버전스포인트 연동 기법	O	X
입체쾌적 임계값 기반 컨버전스 이동 기법	X	X

O: 발생가능 X: 발생없음

## V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 이안식 일체형 입체카메라에서 줌 사용시 발생하는 시각적 불편의 문제를 해결하기 위해 줌인 이전의 포커스와 피사체 및 컨버전스포인트의 위치에 따른 관계모델을 제시하였다. 제시한 관계모델에서는 컨버전스포인트의 위치에 따라 발생할 수 있는 각각

의 경우를 9가지로 분류하고 정의하였다. 그리고 분류한 경우에 대해 컨버전스포인트를 조정하여 시각적 불편을 최소화하는 기법을 제안하였다.

향후 연구로는 본 논문에서 제안된 기법의 임계값 범위를 객관적으로 검증하기 위해 컨버전스포인트 조정 방법을 설계하고 구현할 것이다. 이러한 연구는 손쉽게 입체영상을 촬영할 수 있는 카메라제작에 기초연구 결과로 활용될 수 있다.

### 참고문헌

- [1] S. Yano, M. Emoto, T. Mitsuhashi "Two Factors in visual fatigue caused by stereoscopic HD TV images", Proc. of Displays, Vol 25, pp 141-150, 2004
- [2] T. Motoki, H. Isono, and I. Yuyama "Present status of three dimensional television reserch", IEEE, pp 1009-1021, 1995.
- [3] 3D Consortium, "3DC Safety Guidelines for Popularization of Human-friendly 3D", 3D Consortium, 2006.
- [4] H. Ujike, "Estimation of Visually Induced Motion Sickness from Velocity Component of Moving Image", Virtual and Mixed Reality, vol 5622, pp.136-142, 2009.
- [5] S. Knorr, K. Ide, M. Kunter and T. Sikora, "The Avoidance of Visual Discomfort and Basic Rules for Producing Good 3D Pictures", SMPTE, Vol 7, pp 72-79, 2012
- [6] Takashi Shibata, Joohwan Kim, David M. Hoffman and Martin S. Banks, "The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays", Journal of Vision, Vol 11, pp 1-29, 2011

### 저자소개



**하종수(Ha JongSoo)**

2002.3 오사카예술대학교  
영화영상(MFA)  
2002.9 ~ 경남정보대학교 첨단방송  
영상계열 조교수

※ 관심분야 : 입체영상, 방송기술, 모바일콘텐츠



**반재훈(Ban ChgaeHoon)**

2006.2 부산대학교  
공학박사  
2008.9 ~ 고신대학교 인터넷  
비즈니스학과 조교수

※ 관심분야 : 인터넷응용, RFID, 모바일



**김대웅(Kim DaeWoong)**

1998.3 일본 큐슈예술공과대학  
예술공학연구과(박사)  
2002.4 ~ 큐슈예술공과대학  
부교수

※ 관심분야 : 입체영상, 3DCG, 모바일콘텐츠



**김치훈(Kim ChiHun)**

2011.2 부경대학교  
영화영상학(석사)  
2002.2 ~ (주)엑스윈프로덕션  
대표이사

※ 관심분야 : 방송통신융합, 모바일콘텐츠