

3D 영상제작과정과 휴먼 팩터

□ 감기택 / 강원대학교 심리학과

1. 머리말

두 개의 2D 영상으로부터 입체를 지각할 수 있다는 과학적인 발견은 약 170 여년을 거슬러 올라간다 (Wheatstone, 1838). Wheatstone이 거울형 입체경을 발명한 이후 렌즈나 편광 필터 등을 사용하여 입체 영상을 지각하고 감상할 수 있는 다양한 방식의 기구들이 만들어졌다. 20세기에 들어서면서 대중 앞에 선보인 입체 영화는 3D 영상의 감상을 가정 내의 단순한 오락으로부터 산업화가 될 가능성을 제시하였다. 입체 영화가 많은 대중적인 호응을 받았지만 점차적으로 대중의 관심으로부터 외면을 받게 된 것은 그 당시의 3D 콘텐츠나 디스플레이 시스템의 조악함에서 발생하는 여러 시각적 불편감을 해결하지 못했기 때문이다. 최근 아바타라는 3D 입체 영화의 성공과 더불어 3D TV가 대중에게 판매되면서 3D 영상과 디스플레이 시스템이 대중적인 인기를

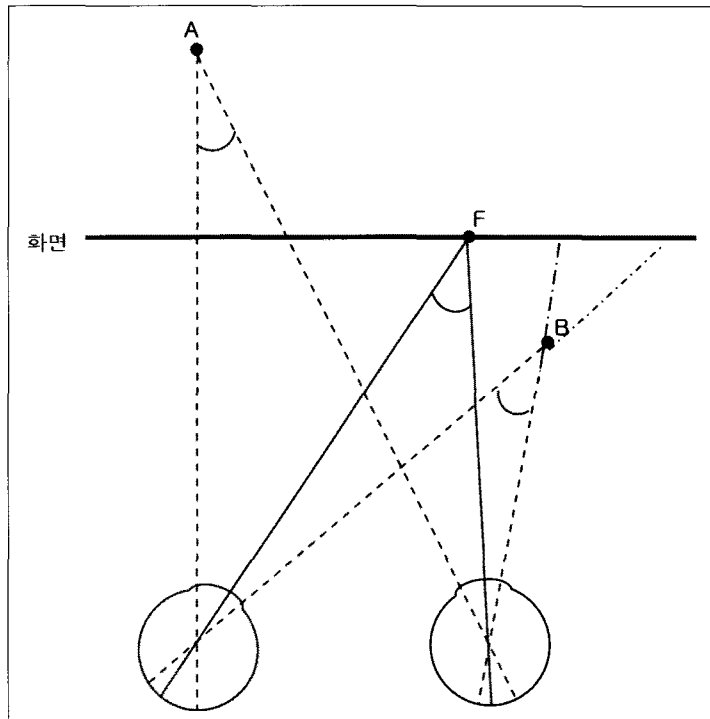
다시 획득할 수 있는 절호의 기회가 왔다. 이러한 기회를 바탕으로 3D 관련 산업이 안정적으로 안착하기 위해서 필요한 것들 중 하나가 3D 시청 환경에서 발생하는 불편감들을 해소하거나 최소화하여 3D 콘텐츠가 제공되어야 한다는 점이다. 3D 시스템과 관련한 휴먼 팩터는 기본적으로 3D 시청환경으로부터 각 개인이 지각할 수 있는 입체 깊이 지각과정을 이해하고 예측하는 데 있다. 또한 3D 디스플레이로부터 발생하는 불편감들의 원인을 밝히고 해소할 수 있는 방안을 제시하는 데도 일조를 할 것으로 생각한다. 3D 영상의 제작과정은 실제 이 영상들이 제시될 환경이 반드시 고려되어야만 시청환경에서 발생하는 입체감과 불편감을 예측할 수 있다. 본 고에서는 3D 시청환경에서 지각되는 깊이에 영향을 미치는 요인을 생각해보고 이를 통해 3D 영상 제작자들은 영상 제작단계에서 고려해야 할 각 요인들을 살펴보고자 한다.

II. 영상에서 제공되는 양안시차: 절대시차와 상대시차의 구별

영상 제작자들은 영상에 포함된 각 대상의 상대적인 깊이를 제공하기 위해서 각 대상에 서로 다른 크기의 양안시차를 부여할 수 있다. 영상에 제공되는 양안시차로부터 지각되는 각 대상의 상대적인 깊이 관계를 예측할 수 있지만, 인간의 시각시스템에 입력되는 각 영상의 양안 시차는 영상 제작단계에서는 확정할 수 없다. 왜냐하면 시각 시스템에 입력되는 영상의 양안 시차(즉, 절대시차)는 두 눈이 어떤 대상을 응시하고 있는 지에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 그림 1에는 화면에 시차없이 제시된 점 F와 비교차시차(화면보다 멀리 있는 것으로 지각되는 시

차)를 가진 점 A, 교차 시차(화면보다 가깝게 지각되는 시차)를 가진 점 B가 제시되어 있다.

점 A와 F, 그리고 점 B의 화면시차를 각각 $-3, 0, +2$ 라고 가정하자. 이때 점 A와 점 B의 상대시차는 5이다. 이러한 상황에서 관찰자가 다른 대상을 응시함에 따라 각 눈에 투사되는 각 대상들의 절대시차와 상대시차는 어떻게 변화되는지 살펴보자. 화면시차가 0인 점 F를 응시하게 되면 점 F의 영상은 각각 두 눈의 중심와(fovea)로 투사되어 점 F의 양안시차는 화면시차와 동일하게 0이 된다. 또한 점 A와 점 B도 화면시차와 동일한 시차를 가진 영상으로 두 눈에 투사된다. 그러나 동일한 상황에서 만약 두 눈의 수렴 정도를 변화시켜 점 A를 응시하게 되면 화면상에 제시된 영상에는 전혀 변화가 없지만 우리



〈그림 1〉 세 가지 다른 화면시차를 가진 영상들의 예

눈에서의 절대시차는 변화된다. 즉 점 A에 대한 영상들이 각 눈의 중심와(fovea)로 투사되므로 점 A의 영상의 절대시차는 0이 되며 점 F의 절대시차는 3의 교차 시차를 가지는 반면, 점 B의 절대시차는 5의 교차 시차를 가지게 된다. 즉 각 영상들의 두 눈에서의 절대시차는 화면시차와 무관하게 어느 대상을 응시하느냐에 따라 결정되지만 어떤 상황에서도 점 A와 점 B의 상대시차는 5로서 변함없이 유지된다.

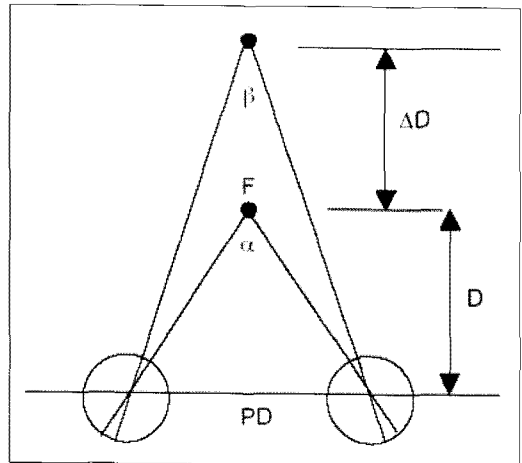
화면 시차가 변화되지 않아도 각 눈에 투사되는 영상들의 절대시차가 변화된다는 사실은 입체 영상을 지각하는 과정에서 중요한 의미를 지닌다. 만약 우리의 양안시 기제가 허용할 수 있는 절대시차의 범위가 ± 3 이라고 하자. 점 F를 응시하는 경우 점 A와 점 B 모두 양안시 기제의 허용 범위내의 시차를 가지지만 점 A를 응시하는 경우 점 B는 양안시 기제가 허용하는 양안시차의 범위를 넘어서게 된다. 이는 단일상이 깨어지고 이중상이 지각되거나, 깊이감이 더 이상 양안시차의 크기만큼 변화되지 않거나, 혹은 과도한 양안시차로 인해 시각적 불편감을 야기할 수도 있다.

각 대상의 절대시차는 관찰자가 어느 대상을 응시하느냐에 따라 변화된다는 사실은 단순히 영상이 갖고 있는 최소, 최대 양안시차만으로는 주어진 영상이 인간의 입체시 허용 범위를 넘어서는 지를 결정하기 어렵다는 것을 시사한다. 한 가지 대안은 인간의 응시 습관을 고려한 휴리스틱을 적용할 수 있을 것이다. 영상에서 가장 중요한 대상이나 주의를 끌만한 대상은 주로 영상의 중앙에 제시되므로 중앙에 제시된 영상을 기준으로, 즉 중앙에 제시된 영상의 화면시차와 무관하게 이 영상을 응시한다고 가정하고 이 영상의 시차를 0으로 고려한 후 각 대상의 상대시차를 고려할 수 있다. 영상의 관점에서 이를 고려하면 비록 영상의 최소 최대 양안시차의

값은 동일하다고 할지라도, 중앙에 제시된 자극이 영상의 가장 최소 깊이를 가지는 경우와 중앙에 제시된 자극이 영상의 평균 깊이를 가지는 경우 인간의 시각시스템에 이를 달리 처리할 것을 예상할 수 있다.

III. 양안시차로부터 지각된 깊이에 영향을 주는 요인: 응시거리와 개인의 동공간 거리

양안시차를 가진 영상으로부터 관찰자들이 지각하는 깊이에 대한 기하학적 이해를 위해서 먼저 응시점과 또 다른 대상과의 상대적인 깊이 차에 따라 만들어지는 양안시차의 크기를 먼저 이해할 필요가 있다. 그림 2는 주어진 동공간 거리(PD)를 가진 관찰자가 관찰거리 D에 놓여있는 점 F를 응시할 때 이와 $\angle D$ 만큼의 깊이차를 가진 점 A가 주어진 상황을 보여주고 있다. 점 A의 양안시차는 두 점의 수렴각인 α 와 β 의 차로 표시할 수 있으며, 그 근사치로 $PD \cdot$



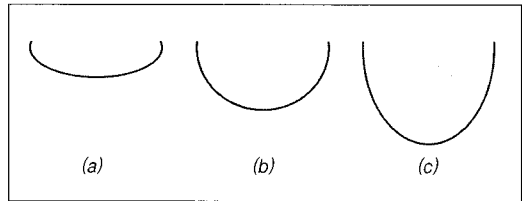
〈그림 2〉 두 대상의 상대적인 거리에 따라 발생하는 양안시차의 크기

$\angle D/D^\circ$ 로 표시할 수 있다. 따라서, 점 A의 양안시차는 동공간 거리가 클수록 그리고 두 점 사이의 깊이차가 클수록 비례하여 커지지만 응시점까지의 거리인 D° 에는 반비례한다.

양안시차로부터 입체시 깊이를 지각하는 과정은 위 과정의 역순에 해당되며, 양안시차로부터 구할 수 있는 깊이는 응시점과의 상대적인 깊이인 $\angle D$ 이다. $\angle D$ 는 양안시차를 구하는 공식의 역으로부터 쉽게 얻을 수 있으며 응시점까지의 거리(D)의 제공에 양안시차를 곱한 값을 동공간 거리로 나누어 줌으로써 기하학적으로 쉽게 구할 수 있다. 동공간 거리와 양안시차는 우리의 시스템이 파악할 수 있지만 응시점까지의 거리는 어떻게 구할 수 있을까?

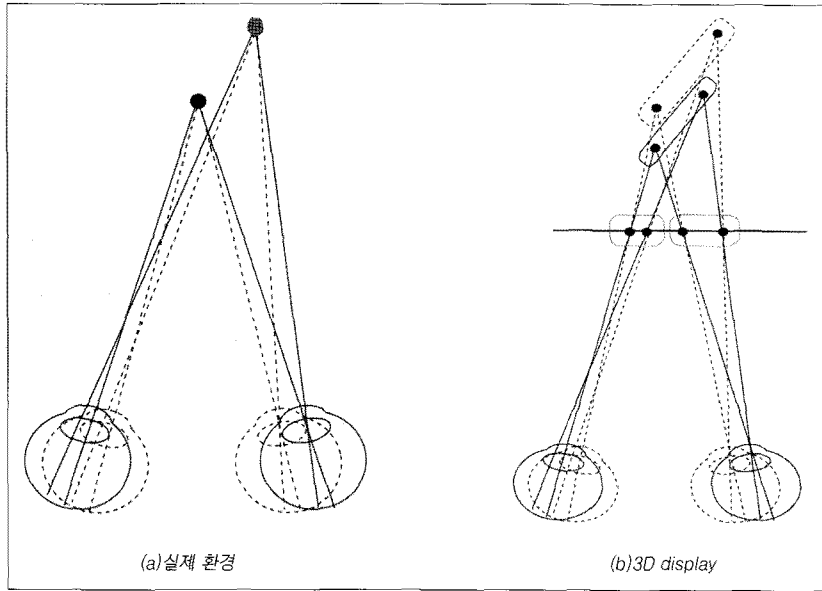
이론적으로 응시점까지의 거리 역시 응시점에서 만들어지는 시선수렴 정도로부터 기하학적으로 계산해 낼 수 있지만, 실제 인간의 시선수렴은 응시 대상까지의 거리가 2-3 m 내에서는 신뢰롭지만 이보다 더 먼 거리에서는 응시 대상까지의 거리가 변화됨에도 시선수렴은 거의 변화되지 않는다. 만약 응시점까지의 거리에 대한 시각기체의 추정치가 정확하지 못하면 어떤 일들이 일어날까? 그림 2와 같은 두 점 상황에서는 응시점까지의 거리인 D에 대한 추정이 정확하지 못하면 $\angle D$ 의 추정치 역시 정확한 값을 얻지 못한다. 특히 $\angle D$ 는 응시점까지의 거리 추정치인 D의 제공에 비례하게 되므로 D를 과소추정하게 되면 과소추정한 것의 제공에 비례하여 점 A의 지각된 거리는 감소하게 되며, 이와 반대로 D를 과대추정하게 되면 과대추정한 것의 제공에 비례하여 점 A의 상대적 거리는 증가하게 된다. 두 점 상황에서 발생하는 깊이 정도에서의 오류는 부피를 가진 대상이 주어지는 상황에서의 오류와 비교하면 오히려 미미하다. 두 점 상황에서는 점 A의 지각된 깊이의 과소 혹은 과대 추정만이 발생하지만 부피를 가

진 대상이 주어지는 경우 그 대상의 깊이 방향의 부피가 변화되어 형태의 심각한 오류를 가져오게 된다. 그림 3의 (b)에서와 같이 반구를 제시한 경우임에도 불구하고 응시점까지의 거리를 과소평가하게 되면 그림 3의 (a)와 같은 납작한 형태의 입체를, 과대평가하는 경우 그림 3의 (c)와 같은 매우 볼록한 형태의 입체를 지각하게 된다. 즉 입체 영상을 제작할 때 특정 장면에서 응시 대상까지의 지각된 거리에 대한 고려가 필요함을 시사한다.



<그림 3> 응시점까지의 추정된 거리에 따라 지각되는 반구의 모양

지각된 입체 깊이에 영향을 미치는 또 다른 중요한 변인은 개인차 변인인 두 눈간(혹은 동공간) 거리이다. 그림 4의 (a)는 실제 환경에서 동공간 거리가 다른 두 사람이 동일한 장면을 보고 있는 상황을 도식적으로 그린 것이다. 양안시차가 두 눈이 수평으로 이격되어 있기 때문에 발생하는 것이므로 두 눈 사이의 거리가 증가할수록 양안시차의 크기는 커질 것을 예상할 수 있다. 즉, 일상생활에서 동공간 거리가 먼 사람의 경우 동일한 장면을 보더라도 동공간 거리가 가까운 사람보다 상대적으로 보다 큰 양안시차를 처리하게 된다. 양안시차로부터 지각된 깊이는 각 개인별로 오랜 시간동안 환경과의 상호작용한 결과에 의해 발생하는 것이므로 각자의 시각 시스템에 입력되는 양안시차의 크기가 다를 지라도 일상생활에서 지각되는 대상의 깊이는 차이가 없을 것

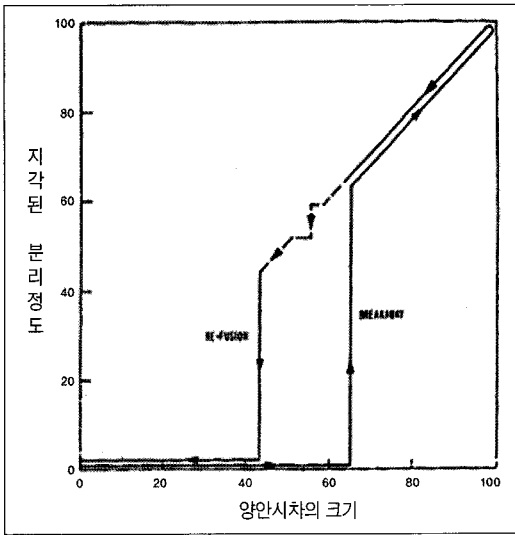


〈그림 4〉 실제 환경과 3D 디스플레이에서 동공간 거리의 영향

이라고 가정할 수 있다. 이와 달리 그림 4의 (b)는 3D 디스플레이에서 제시되는 입체 영상을 동공간 거리가 다른 두 사람이 보고 있는 상황을 도식적으로 그린 것이다. 동일한 장면을 동일한 시정거리에서 3D 콘텐츠를 보고 있기 때문에 동일한 크기의 양안시차가 두 사람의 시각 시스템에 입력된다. 그러나 기하학적인 분석에 따르면 동공간 거리가 짧은 사람이 더 큰 깊이를 지각하게 된다. 이는 다른 말로 표현하면 일상생활에서 동공간 거리가 큰 사람은 상대적으로 보다 큰 양안 시차를 경험하게 되며 양안시차에 대한 허용 범위가 더 클 것을 예상할 수 있으며, 입체 영상으로부터는 동일한 양안 시차를 가진 영상을 보는 경우에도 이로부터 지각되는 입체시 깊이는 상대적으로 작다는 것을 시사한다. 이는 지각되는 입체감뿐만 아니라 3D 영상을 시청하는 환경에서 발생하는 시각적 불편감과도 밀접하게 연결될 수 있다. 동공간 거리가 좁은 사람의 경우 일상생활

에서 받아들이는 양안시차의 범위가 상대적으로 좁기 때문에 동일한 크기를 가진 입체 영상으로부터도 보다 큰 시각적 불편감을 불러일으킬 수 있다. 또한 시정거리와 동공간 거리를 함께 고려해보면 동공간 거리가 좁은 사람이 시정거리가 짧은 상황에서 3D 영상을 관람하거나 시청하는 경우 주어진 시청환경에서 가장 큰 범위의 양안시차가 입력될 수 있으므로 얼굴이 좁아 동공간 거리가 좁은 사람의 경우 시정거리를 가능한 한 멀게 하는 것이 불편감을 해소하는 데 도움이 될 것이다.

동공간 거리가 3D 영상을 지각하는 데 중요한 변인이 될 수 있다는 사실은 3D 영상을 제작하는 단계에서 시청환경이 고정되더라도 각 관찰자 별로 지각되는 영상이 입체감은 일정 범위를 가질 수 있음을 고려할 필요가 있음을 제안한다. 이를 위해서는 각 개인의 동공간 거리에 대한 구체적인 자료 즉 평균 값과 표준편차들에 대한 파악이 필요하다.



〈그림 5〉 양안시차의 크기와 융합 범위

IV. 정적 입체시와 동적 입체시

자극이 움직이는 상황에서의 입체시 기체의 특성은 정지된 영상으로부터 얻어진 입체시 기체의 특성으로부터 정확히 예견하기 어렵다. 3D 영상에서의 움직임은 화면의 관점에서 이차원에서의 움직임뿐만 아니라 깊이 방향으로 운동하는 경우(motion-in-depth)를 포함하며 인간의 입체시 기체에 대한 기초 연구들은 정지된 영상의 입체시 깊이를 처리하는 기체와 깊이 방향의 움직임을 처리하는 기체는 구별될 수 있음을 보고하고 있다. 본 고에서 두 입체시 기체의 여러 특성들을 포괄적으로 비교하기는 어렵지만 입체시 영상 제작에서 고려할 필요가 있는 한 개념을 소개하고자 한다. 영상이 고정된 경우에서도 입체시 기체의 융합범위는 고정되어 있지 않다. 시야의 중심 영역에서 주변 영역으로 갈수록 융합범위는 넓어지며, 대상의 공간 주파수가 낮아질수록(흐릿한 영상일수록) 융합범위는 넓어진다. 정지

된 영상이 아니라 역동적인 자극인 경우 자극의 양안시차가 점진적으로 변화하는 경우 융합될 수 있는 양안 시차의 범위는 순간적으로 제시된 자극의 융합 가능한 양안시차의 범위보다 넓다. 예를 들어 두 수직선의 양안시차를 점진적으로 증가시키면 더 이상 하나의 대상으로 융합시킬 수 있는 양안시차의 범위를 넘어서게 되면서(시각으로 약 60분) 두 개의 수직선을 지각하게 된다. 한번 융합이 깨진 두 수직선의 양안시차의 범위를 줄이면 다시 하나의 수직선으로 지각되게 되는 데 이때 다시 융합이 되는 양안시차 값은 시각으로 약 40분 정도로 먼저 융합이 깨어질 때의 양안시차 값보다 훨씬 줄어들게 된다. 그림 5는 Fender와 Julesz(1967)에 의해서 발견된 전형적인 히스테레시스 현상을 보여주고 있다. 3D 영상의 제시 과정에서 이 히스테레시스 현상의 중요성은 양안시차가 융합의 범위 내에 있는 대상이 양안시차가 커지는 경우에도 인간의 시각시스템은 훨씬 더 강건하게 융합을 유지하려는 경향을 보여주지만 급작스럽게 제시된 자극의 경우 융합될 수 있는 범위는 훨씬 더 줄어들든다는 것을 의미한다. 따라서 융합 범위를 넘어서는 양안시차를 가진 자극이 제시되는 경우에도 작은 수준의 양안시차에서 점진적으로 증가한다면 양안시기체는 이 정보를 큰 무리없이 처리할 것을 예상할 수 있다. 이와달리 장면이 변화되는 경우와 같이 새로운 장면이 제시될 때 양안시차의 허용폭은 상대적으로 좁아질 수 있음을 예상할 수 있다.

V. 맺음말

주어진 3D 영상으로부터 깊이를 지각하는 과정은 매우 복잡하다. 본 고에서 간단히 살펴본 것과 같이

동일한 영상이 주어지더라도 이 영상을 보는 거리나 개인의 동공간 거리, 그리고 자극상황에 의해서도 지각된 깊이는 달라진다. 따라서 3D 영상을 제작하는 과정에서는 반드시 이 영상들이 제시될 환경에 대한 고려들이 필요하며 각 개인들의 특징들의 범위 까지도 고려해서 영상을 제작하는 것이 필요하다. 왜냐하면 이와같은 요인들이 3D 영상으로부터 지각되는 3차원적인 공간의 생생함뿐만 아니라 시각적 불편감과도 밀접하게 연관되어 있을 가능성이 크기 때문이다. 인간의 입체시 기체의 특성을 살펴본 많은 연구들이 존재하지만 이러한 자료들은 입체시 기체의 일반적인 특성들만 반영할 뿐이다. 실험실 상

황에서 어떤 자극이 이용되었는지, 어떤 상황에서 실시된 실험을 통해 얻어진 자료인지에 대한 고려가 없다면 해당 실험에서 얻어진 변수 값들의 실용적 의미는 줄어든다. 특히 실제 지각된 영상의 깊이는 아주 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 따라서 3D TV 혹은 3D 영화와 같이 특정한 시청환경이 결정된다면 이에 가장 적합한 영상 변인들의 범위 등을 결정하기 위해서는 특정 상황에서 사람을 대상으로 하는 실험이 필수적으로 요구되며 이 과정을 통해 여러 변수들의 최적화된 값이나 한계, 그리고 허용 범위들을 결정할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision - Part the first; On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 128, 371-394.
- [2] Fender, D., & Julesz, B. (1967). Extention of Panum's fusional area in binocular stabilized vision. Journal of Optical Society of America, 57, 819-830.

필자 소개



감기택

- 1988년 : 연세대학교 심리학과
- 1997년 : 연세대학교 본 대학원 심리학과(삼차원 공간 지각 전공)
- 1997년 ~ 1999년 : Vanderbilt 대학교 시각연구소 (post-doc fellow)
- 1999년 ~ 2006년 : 연세대학교 인지과학연구소, 연구교수
- 2006년 ~ 현재 : 강원대학교 심리학과