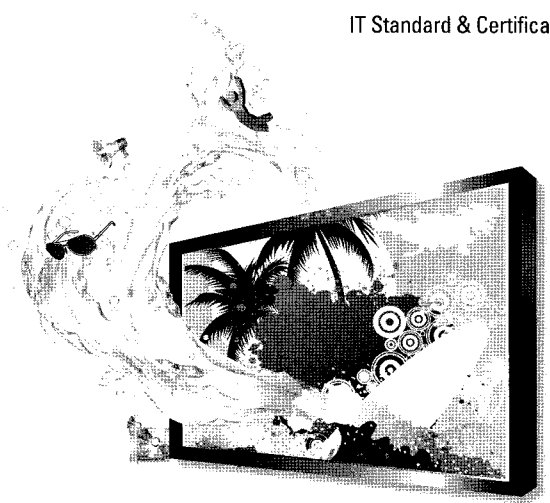


# 인간의 3D 정보 처리와 휴먼 팩터

김기택 | 강원대학교 심리학과 교수



◆◆◆

## ◆ 1. 머리말

할리우드 입체 영화인 <아바타>의 열풍이 몰아치고 있다. 입체 영화의 등장은 이번이 처음이 아니라 20세기 초반으로 거슬러 올라간다. 그러나 이 시기의 3D 디스플레이 장치가 조작하기에 발생하는 두통, 어지러움 등 시각적 피로나 불편감으로(Lipton, 1982) 인해 입체 영화는 대중들의 관심에서 점차 멀어져 갔다. 3D 방송의 경우 입체 영화와는 달리 평균 시청시간이 훨씬 더 길어질 것을 예상할 수 있기에 3D 방송이 성공적으로 정착할 수 있기 위해서는 시각적 피로와 불편감을 해소하거나 최소화하는 것이 핵심 요인이라 할 수 있다.

본 고에서는 3D 정보의 처리와 관련된 역사적 배경과 제기된 문제들을 간단히 개관하고 인간의 3D 시각 과정과 관련된 주요 개념을 살펴본 후 이러한 개념들을 바탕으로 시각적 피로와 관련해서 고려해야 할 영향요인, 디스플레이 요인, 개인 요인들과 같은 휴먼 팩터 주제들을 알아볼 것이다.

◆◆◆

## ◆ 2. 3D 정보 처리 연구들의 역사적 배경

본 저널의 주요 독자들은 그 학문적 배경이 공학이라고 생각되지만 잠시 공학적 주제에서 과학적 주제로 우리의 관심을 돌려 보자. 거의 모든 척추동물들은 두 개의 눈을 가지고 있다. 사람이나 호랑이 혹은 부엉이와 같이 두 눈이 얼굴 전면에 있는 동물도 있고 말이나 닭과 같이 두 눈이 얼굴의 좌우 측면에 있는 동물도 있다. 전자의 경우를 양안시각(Binocular Vision)이라 하고, 후자의 경우를 파노라마식 시각이라고 부른다. 파노라마식 시각을 가진 동물의 경우 각 눈이 바라보는 대상은 각기 다르기에 각 눈으로 들어온 정보를 단순히 펼쳐서 처리하면 보다 넓은 영역을 한 번에 볼 수 있게 된다. 이와 달리 양안시각을 가진 동물들의 경우 각 눈은 거의 동일한 장면을 보게 되어 양안 시스템은 중복적인 정보를 받아들인다.

양안시각을 가진 동물들의 시각정보 처리 과정에서 처음으로 던질 수 있는 중요한 질문은 “우리는 두 개의 눈을 가지고 있는데 어떻게 하나의 사물을 지각하는가?”이다. 만약 이러한 질문에 대해서 “실제 존재하는 대상이 하나이기에 하나로 지각하는 것은 지극히 당연하다.”고 답변한다면 이러한 답변은 과학적이지 못하

다. 한 시스템에 두 개의 정보가 입력되었지만 그 시스템이 최종적으로 출력하는 정보가 하나라면 그 시스템 안에서는 모종의 처리가 개입되었음을 추정할 수 있다. 즉 하나의 정보가 다른 하나의 정보를 억제해 단지 하나의 정보만 남았거나 혹은 두 정보가 적절하게 합쳐져 하나의 정보로 통합되었을 두 가능성을 가정해 볼 수 있다.

양안시각에서도 이와 유사한 두 관점들이 억제 이론(Suppression theory)과 융합 이론(Fusion theory)으로 불리면서 오랫동안 대립해 왔다. 두 눈의 정보가 입력되지만 특정 시점에 지각하는 것은 단지 한 눈의 정보뿐이며 시간이 지남에 따라 각 눈의 정보가 교대로 지각된다고 설명하는 억제 이론은 양안 경쟁(Binocular rivalry) 현상을 통해 지지받아 왔다. 왼쪽 눈에는 45도의 격자를, 오른쪽 눈에는 135도의 격자를 제시하면 두 자극이 겹쳐져 십자 모양의 패턴을 지각하는 것이 아니라 45도 격자와 135도의 격자가 시간이 지남에 따라 번갈아 가면서 보인다. 양안 경쟁은 각 눈에 제시된 자극의 방위, 대비 극성, 색깔, 운동 방향 등 시각적 속성이 다른 다양한 상황에서 발생한다(Blake, 2001).

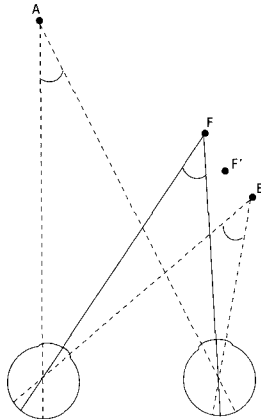
각 눈에 완전히 상이한 자극을 강제로 제시할 수 있는 실험실 상황에서는 양안 경쟁 현상을 쉽게 유발할 수 있지만 일상적인 환경에서 두 눈은 아주 유사한 자극을 받아들인다. 이러한 상황에서는 두 눈의 정보가 합쳐되어 처리된다는 여러 정신물리학적 결과들이 많이 있다. 예를 들면, 밝기가 다른 두 자극이 각 눈에 제시되면 지각되는 자극의 밝기는 두 자극의 평균 밝기에 해당된다. 융합 이론을 지지하는 보다 강력한 증거는 양안시차(Binocular parallax)가 있는 영상으로부터 지각되는 대상의 3D 깊이이다(Wheatstone, 1838). 왜냐하면

한 눈의 정보가 억제 된다면 양안시차는 결코 계산될 수 없기 때문이다. 결론적으로 두 눈의 자극이 매우 다른 특정한 상황에서는 각 눈의 정보가 억제되기도 하지만 일반적인 상황에서는 두 눈의 정보가 합쳐되면서 각 눈에 투사된 2D 정보와는 완전히 구별되는 3D 지각이 가능하다.

### ●●● ● 3. 인간의 3D 정보 처리

융합이론은 두 눈의 정보가 합쳐지고 그 과정에서 3D 깊이가 산출되는 것으로 설명할 수 있지만, 엄밀하게 말하자면 융합 과정은 양안 시차를 가진 두 눈의 정보로부터 어떻게 단일상을 형성하느냐와 관련이 있으며 양안 시차를 가진 두 정보로부터 어떻게 입체감을 추출하느냐는 또 다른 문제이다. 단일상을 형성하는 융합 기제(Fusional mechanism)는 3D 깊이를 형성하는 입체시 기제(Stereopsis)와는 구별되며, 작동하는 양안 시차의 범위도 전자가 훨씬 좁다. 따라서 양안 시차가 증가함에 따라 단일상이 형성되지 못해 이중상이 보이지만, 입체시 깊이는 여전히 지각되는 양안 시차의 범위도 발생하게 된다(Ogle, 1952).

일반적으로 시차를 가진 영상을 제시하면 해당 영상으로부터 입체시 깊이를 지각한다는 사실은 잘 알려져 있지만 이 과정을 보다 분석적으로 이해하기 위해서는 영상과 디스플레이 그리고 양안시각처리와 관련된 개념들을 명확하게 이해할 필요가 있다. '입체시 깊이를 제공하는 시차를 가진 영상'에서 언급된 시차는 일반적으로 상대 시차를 의미한다. [그림 1]에서 볼 수 있듯이 특정한 대상 F를 응시하면 그 응시 대상의 영상은 각 눈의 중심와로 투사되어 절대시차는 0이 된다. 특정 대상을 응시하고 있을 때 응시하는 대상과 삼차원상에



[그림 1]

서 다른 깊이에 놓여있는 대상들의 영상은 각 눈의 서로 다른 위치에 맺히게 되어 절대시차는 0이 아닌 다른 값들을 갖게 된다. 특정 대상의 절대시차를 수렴각으로 표현하면 응시점의 수렴각과 특정 대상의 수렴각의 차이로 표현할 수 있으며, 다른 깊이에 있는 대상인 점  $F'$ 로 응시점이 옮겨감에 따라 각 대상의 절대 시차는 달라진다. 이에 반해 상대시차는 각 대상들이 가지는 절대시차의 차이이다. 상대시차의 경우에는 응시 대상이 깊이가 변화됨에도 불구하고 항상 고정되어 있으며, 인간의 양안시기제도 절대시차보다는 상대시차에 보다 민감하게 반응한다. 절대시차는 응시 대상이 어디인지에 대해서 각기 다른 값을 가지므로 응시대상의 깊이가 계산되지 않고서는 대상의 절대시차만으로는 3차원 공간상에서의 대상의 실제 깊이를 알 수 없다.

입체 디스플레이로부터 지각되는 대상의 깊이는 응시 대상과의 시선 수렴(Vergence)에 의해 응시 대상까지의 깊이가 파악된 후 이 깊이를 기준으로 해당 대상의 상대 시차에 따라 응시 대상과의 상대적인 깊이가 계산되는 과정을 통해서 결정된다. 이 과정에서 주목해야 되는 것이 깊이 척도화(Depth scaling) 과정이다. 절대시차가

동일한 경우에도 응시하는 대상까지의 깊이가 멀어질수록 해당 시차로부터 실제 지각되는 공간상에서의 깊이는 증가하기 때문이다.

이러한 개념들을 3차원 영상 디스플레이에 적용해 보면 동일한 입체 영상이라고 하더라도 화면에 제시하는 방식에 따라 실제 지각되는 3차원 공간상에서의 위치는 달라진다. 실사 영상이 아닌 입체 영상을 제작한다고 가정할 때 입체 영상을 구성하는 단계에서는 사람들이 어떤 대상을 응시할 것인지를 알 수 없으므로 서로 다른 깊이에 제시하고자 하는 대상들의 상대 시차만을 조작할 수 있다. 깊이차가 큰 대상들 간의 상대 시차는 크게 하고 깊이 차이가 없는 대상들의 상대 시차는 0으로 고정하는 조작만을 할 수 있다. 이렇게 만들어진 입체 영상을 화면에 제시할 때 먼저 고려해야 하는 것은 입체 영상을 구성하는 좌측 영상과 우측 영상의 제시 간격 즉, 화면에 제시되는 시차를 어느 정도로 할 것인가 결정되어야 한다. 결정된 화면시차로 좌, 우측 영상을 제시한 후 관찰자들이 특정 대상을 응시하면 비로소 수렴각이 결정되고 응시 대상까지의 거리가 결정될 수 있다. 따라서 동일한 입체 영상인 경우에도 좌, 우측 영상의 화면 시차를 얼마로 하는 지에 따라 동일한 대상을 응시하는 경우에도 수렴각은 변화되어 응시대상의 깊이와 그것을 준거로 하는 다른 대상들의 지각된 깊이도 변하게 된다. 결론적으로 입체 영상을 제공할 때 입체 영상을 제작하는 과정에서는 대상들의 상대깊이만을 조작할 수 있으며 입체 영상을 제시하는 과정에서는 응시 대상의 수렴각을 변화시킬 수 있다. 실제 입체 디스플레이로부터 관찰자들이 느끼는 대상들의 깊이는 최소한 이 모든 과정을 고려해야만 결정될 수 있다.



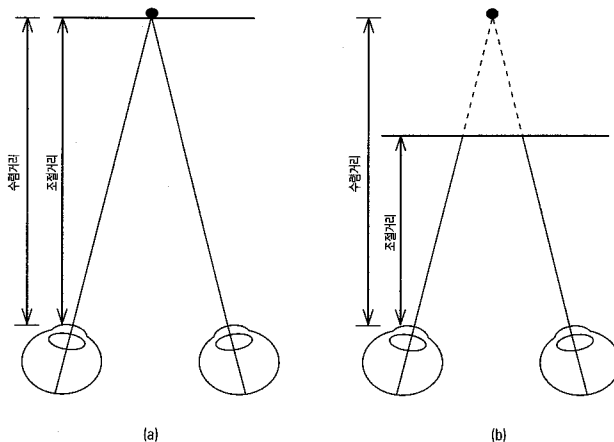
#### 4. 3D 디스플레이와 휴먼 팩터

휴먼 팩터의 주요 목적은 인간이 다양한 시스템과 상호작용하는 과정에서 어떻게 하면 안전하게, 편안하게 그리고 오류없이 수행을 할 수 있도록 하는 가에 있다. 3D 디스플레이 시스템과 관련하여 휴먼 팩터를 정의하면 '어떻게 하면 삼차원 영상을 관람하는 때 보고 되는 신체적인 불편감을 최소화하며, 콘텐츠 제공자가 의도한 입체 깊이를 시청자가 지각할 수 있느냐 하는 문제로 좁힐 수 있다. 최근 <아바타>라는 입체 영화가 폭발적인 인기 하에 상영되고 있음에도 불구하고 이 영화를 본 사람들 중에서 운동 멀미, 어지러움을 포함 하는 불편감을 호소하는 이가 적지 않다. 2D 영상의 경우 초대형 스크린과 같은 특수한 환경에서 제시될 경우 전정기관과 시각 정보와의 불일치에 의해서 어지럼증이 발생되기는 하지만 영화관이나 혹은 TV와 같이 상대적으로 작은 화면에 제시될 때에는 이와 같은 불편감은 거의 발생되지 않는다. 이는 작은 화면에 제시된 3D 영상의 관람 시에도 보고되는 불편감과 구분되는 것으로 이를 제거하거나 최소화시키는 것이 3D

방송에서 고려해야 할 중요한 문제임을 시사한다.

시각적 불편감의 원인이 좌우 영상 간 크로스톡(Crosstalk)과 같이 입체 영상 제시시스템과 관련된 것인 경우 하드웨어의 개선에 의해 해결될 수 있지만, 인간의 3D 정보 처리와 관련된 문제인 경우 이 불편감을 완전히 제거하기는 어렵다. 단지 인간의 입체시 기제의 반응특성을 파악하여 이를 최소화할 수 있는 환경과 3D 콘텐츠를 제공하는 것이 가장 최선의 방안이다.

두 눈에 제시된 영상의 밝기차가 극단적이지 않을 경우 각 눈에 투사된 영상의 밝기가 다른 경우에도 양안 경쟁은 발생하지 않고 두 눈의 정보가 융합되어 평균적인 밝기로 처리되므로(Levitt, 1965), 각 카메라와 조명과의 각도에서 발생될 수 있는 밝기차와 색상차는 시각적 피로도에 크게 영향을 주지 않을 것으로 추정된다. 3D 디스플레이에서 발생하는 시각적 피로도나 불편감은 수렴과 조절과정의 불일치가 가장 주된 원인으로 고려되고 있다. 한 대상을 응시하는 경우 각 눈은 망막에 해당 영상을 깨끗하게 맺도록 하기 위해 대



[그림 2]

상까지의 거리에 따라 눈의 수정체의 두께를 변화시키는 조절작용을 수행한다. 이와 동시에 두 눈은 수렴각을 변화시켜 각 눈이 특정한 대상을 응시하도록 한다. [그림 2]의 (a)에 제시되어 있는 것과 같이 실제 장면을 보는 경우 응시대상의 수렴거리와 조절거리는 동일하며, 일반적으로 두 과정은 서로 밀접하게 연결되어 거의 자동적으로 이루어진다(e.g. Schor, 1999). 이와 달리 [그림 2]의 (b)에 제시되어 있는 것과 같이 3D 디스플레이 장치를 통해 장면을 보는 경우 조절거리는 스크린까지의 거리에 해당되지만, 수렴거리는 좌, 우 영상의 화면 시차에 따라 변하게 되어 수렴거리와 조절 거리에 불일치가 발생되어 자동적으로 서로 연결되어 동작하는 두 기능의 연결이 깨어지게 된다. 실제 영상을 보는 상황과 3D 디스플레이에서 영상을 보는 상황을 살펴보면 수렴-조절 불일치가 두 상황을 구별해주는 요인임을 쉽게 파악할 수 있기에 시각적 피로나 불편감을 일으키는 원인으로 생각해 왔지만 최근까지 이를 체계적으로 살펴본 연구는 거의 없었다. 최근의 한 연구(Hoffman 등, 2008)는 각 대상의 지각될 깊이에 해당 대상의 입체 영상을 제시하는 방법으로 수렴-조절 불일치가 3D 지각에서 미치는 영향을 조사했다. 그 결과 수렴-조절 불일치의 정도가 줄어들수록 입체 자극을 확인하는 시간이나 정교하게 입체 깊이를 구별하는 입체시력(Stereocuity)과 같은 3D 자극에 대한 사람의 수행이 좋아질 뿐만 아니라 지각된 대상의 왜곡이나 피로도가 감소함을 발견했다. 이 연구는 수렴-조절 불일치가 3D 지각의 전반적인 과정에 영향을 미치며 특히 시각적 피로도에 대한 수렴-조절 불일치 가설을 체계적인 실험으로 확인했다는 데 중요한 의미를 가진다.

3D 시청환경에서 수렴과 조절의 불일치 정도에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하다. 수렴각에 직접적으로 영향을 주는 좌우 영상 간의 거리, 즉 화면 시차를 먼저 꼽을 수 있다. 화면시차가 커질수록 수렴각이 커지고 수렴거리는 짧아지지만 화면까지의 거리인 조절 거리는 변화가 없기에 수렴-조절 불일치는 커지게 되어 시각 피로도를 증가시킬 가능성이 높다. 둘째, 특정 장면이 주어졌을 때 사람들은 눈운동을 통해 장면의 여러 대상들을 탐색하므로 입체 영상이 갖고 있는 상대시차의 최대폭(가장 가까운 대상과 가장 먼 대상의 절대시차의 차이)이 커지게 되면 각 대상들을 탐색할 때 수렴-조절 불일치 정도는 지속적으로 변화되며 불일치 정도의 변화율이 커지게 된다. Hoffman 등의 연구에서는 단지 수렴-조절의 불일치의 정도와 시각적 피로감의 관계만 고려했지만 불일치의 변화율 또한 시각적 피로도에 영향을 줄 가능성이 매우 크다. 또한 하나의 대상을 응시하고 있는 경우 이 대상이 깊이 방향으로 다가오거나 물러나는 운동을 하고 있는 경우에도 수렴-조절 불일치의 정도는 지속적으로 변화하게 되며 깊이 방향의 운동속도가 변화됨에 따라 수렴-조절 불일치의 변화율은 달라진다. 따라서 한 장면에서 각 대상들이 가지는 깊이 차이가 커질수록 수렴-조절 불일치의 변화율은 커지게 되므로 시각 피로도를 증가시킬 가능성이 높아진다.

위에서 논의한 3D 콘텐츠 요인과 디스플레이 요인 이외에 수렴-조절 불일치에 영향을 미치는 또 다른 중요한 요인은 응시거리이다.<sup>1)</sup> 동일한 화면시차를 가진 영상이 제시되어도 응시거리가 멀어지면 수렴각은 작

1) 응시거리는 3D 분야뿐만 아니라 일반적인 시각 기제를 연구할 때에도 매우 중요한 요인으로 고려되는데 이는 시각 기제의 입력인 망막상의 크기가 응시거리에 따라 달라지기 때문이다. 따라서 시각 기제를 연구할 때 자극의 크기는 실제 외부 대상에서의 크기가 아니라 망막으로 투사되는 영상의 크기인 시각각(visual angle)을 기준으로 삼는다.

아지며, 영상 내의 시각도로 표시되는 상대시차의 크기도 작아지게 된다. 따라서 응시거리가 짧을 때보다는 길 때 시각 기제의 부담은 경감될 수 있고 결과적으로 시각적 피로도도 줄어들 수 있다. 마지막으로 논의할 수 있는 변인은 개인차 변인인 동공 간 거리(Interpupillary distance)이다. 양안시차가 발생하는 원인이 두 눈이 측면으로 떨어져 있기에 발생되므로 두 눈의 동공 간 거리는 양안시차의 크기에 결정적으로 영향을 미친다. 실제 환경에서 동일한 장면을 동일한 거리에서 보는 경우에도 동공 간 거리가 긴 사람의 경우 양안시차의 크기는 커지게 된다. 하지만 주관적으로 지각하는 깊이는 각 개인이 환경과 상호작용하면서 만들어지게 되므로 동공 간 거리에 따라 각기 다른 양안시차가 주어지더라도 동일한 장면에서 동일한 깊이를 지각하게 된다. 그러나 3D 디스플레이에서는 실제 환경과는 반대로 개인의 동공 간 거리와 무관하게 동일한 장면을 바라보게 되므로 동일 환경에서 동일 장면을 시청하는 경우에도 실제 지각되는 대상의 깊이는 동공 간 거리가 짧아질수록 커지게 되며 시각적 피로도도 심하게 느낄 가능성이 있다. 일반적으로 동공 간 거리에 따라 지각되는 대상의 깊이는 양안시차와 응시 길이 그리고 동공 간 거리에 의해서 계산할 수 있는 기하학적 예측과 거의 일치한다(감기택, 2003).

## 5. 맺음말

수렴-조절 불일치에 의해 시각 피로도가 발생한다는 가설 하에서 3D 정보처리 원리에 기초하여 3D 콘텐츠, 제시환경, 개인차 변인 등 시각 피로도를 발생시킬 수 있는 중요한 요인들을 간략하게 개관해 보았다. 수렴-조절 불일치가 시각 피로도에 직접적으로 영향

을 주는 지를 살펴보는 기초 연구들(Emoto 등, 2005; Hoffman 등, 2008)이나 시청거리나 깊이방향의 운동속도 등 시각 피로도를 발생시킬 수 있는 시청환경이나 콘텐츠 요인을 살펴본 연구(이형철, 감기택, 이승현, 2009)들이 있지만 시청환경요인, 콘텐츠 요인, 개인차 변인들을 체계적으로 살펴본 실증적 자료는 여전히 부족하다. 또한 특정 변인들에 대한 심도 깊은 연구와 자료가 축적되었다고 하더라도 3D TV에 적용할 수 있는 표준적인 가이드라인을 구축하기 위해서는 개념적 수준의 기초연구보다는 3D TV라는 특정한 시청환경에서 수행된 구체적인 자료들이 필요하다.

## [참고문헌]

- [1] 감기택, 이주환 (2003). 동공간 거리가 입체시 지각에 미치는 영향, *인지과학*, 14, pp. 37~49.
- [2] 감기택, 이형철, 이승현 (2009). 시각적 피로도에 영향을 미치는 시청거리와 깊이방향의 운동속도, *감성과학*, 12 (2), pp. 169~180.
- [3] Blake, R. (2001). A Primer on binocular rivalry, including current controversies, *Brain and Mind*, 2 (1), pp. 5~38.
- [4] Emoto, M., Niida, T., & Okano, F. (2005). Repeated vergence adaptation causes the decline of visual functions in watching stereoscopic television, *Journal of Display Technology*, 1, pp. 328~340.
- [5] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue, *Journal of Vision*, 8(3):33, 1-30, <http://journalofvision.org/8/3/33/>, doi:10.1167/8.3.
- [6] Levelt, W. J. M. (1965). On binocular Rivalry, Institute for Perception, Soesterberg, The Netherlands.

- [7] Lipton, L. (1982). Foundations of the stereoscopic cinema—A study in depth, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA.
- [8] Ogle, K. N. (1952). On the limits of stereoscopic vision, Journal of Experimental Psychology, 44 (4), pp. 253~259.
- [9] Schor, C. (1999). The influence of interactions between accommodation and convergence on the lag of accommodation, Ophthalmic and Physiological Optics, 19, pp. 134~150.
- [10] 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, pp. 371~394. **TTA**

## 정보통신용어해설

### Very High Throughput

Very High Throughput, VHT [무선]

IEEE에서 802.11n 후속으로 진행하고 있는 표준안.

802.11n 대비 2배 이상의 전송속도인 1Gbps 이상을 지원하여 압축되지 않은 HD 동영상의 전송을 가능하게 하며, 802.11n 과 비교할 때 개선된 커버리지와 전력소모 기능을 갖고, 기존 무선랜 사양들에 대한 하위 호환성을 지원할 수 있다.

