

## Study of the Change of the Fatigue and the Visual Function before and after Viewing 2D and 3D Movies

Hyun-Goo Kang · Yung-San Jang · Ui-Ju Kim · Hyung-Ki Hong

Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea

### Abstract

**Purpose:** Change of the fatigue and the visual function before and after viewing 2D and 3D movie in 3D TV was analyzed using Simulator Sickness Questionnaire(SSQ) and the visual function test.

**Methods:** 15 participants with the normal visual function, the normal stereopsis, the corrected visual acuity of higher than 0.8 and the age of range from 23 to 29 years (average age of  $25.3 \pm 1.6$  years) were selected. Participants watched 2D or 3D movies for 30 minutes on 3D TV of the diagonal size of 47 inch at the distance of 2.5m. Before and after watching movies, Fatigues (survey of 5 categories, 28 items) and the visual function such as phoria at the far and the near, near point of convergence and relative accommodation were measured and analyzed.

**Results:** In the fatigue survey between before and after movies, scores of Burry ( $p=0.019$ ), Dry eye ( $p=0.023$ ) and Eye strain ( $p=0.003$ ) increased statistically significantly in viewing 2D movie while scores of Eye strain ( $p=0.019$ ) and Dizzy ( $p=0.047$ ) increased statistically significantly in viewing 3D movie. Among 28 items, changes occurred only 3 items in 2D and 2 items in 3D and the amount of score change was not so large. And no statistically significant difference was measured in visual function test.

**Conclusions:** Fatigues in viewing 2D and 3D movies was measured to be the same. This result contrasted with the previous report of increase of fatigue in viewing 3D. This may be attributed to the different 3D viewing environment such as 3D contents, viewing distance and 3D display. It also implies that the fatigue in viewing 3D TV under the specific condition would not be the serious compared with fatigue in viewing 2D.

**Key words:** Stereopsis, Fatigue, Visual function, 3D Display

## I. 서론

3D 입체 영상은 인간의 좌·우 안에 각기 다른 시차 정보를 가지는 영상을 통하여 시청자가 입체감을 느낄 수 있도록 제작되며, 다양한 플랫폼의 디스플레이들의 개발로 영화관에서의 입체영화 시청 뿐 만 아니라 3D TV 및 모바일 기기를 통해 가정에서나 실외에서도 쉽게 접할 수 있게 되었다.<sup>1-4)</sup> 하지만 2009년에 개봉된 극장용 3D 영화 ‘아바타(Avatar)’의 성공과 다양한 3D 콘텐츠의 보급 이후, 입체영상을 시청할 경우 불편감을 호소하는 경우가 있었으며, 이는 3D 시청에 대한 거부감으로 이어지기도 하였다.<sup>5)</sup> 이에 따라 다양한 분야에서 3D 휴먼 팩터 (human factor)에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며 피로가 발생하는 원인은 조절과 폭주의 불균형,<sup>6,8-11,13-16)</sup> 과도한 양안시차,<sup>6,8,15)</sup> 근거리 시청,<sup>7,19)</sup> 장시간 시청,<sup>8,12,26,28)</sup> 3D 영상의 품질<sup>14,18)</sup> 등으로 알려져 있다. 또한 3D 영상 시청 후 사위 및 융합여력<sup>17,22-23,25,27)</sup> 또는 조절 능력<sup>20-23,25)</sup>, 입체시력<sup>24,28)</sup> 등의 시기능 변화도 보고되고 있다.

최근 3D 콘텐츠의 경우 3D 영상 제작 경험이 쌓이게 되면서 영상 제작에서 적절한 단안단서를 가지도록 초점이 맞지 않는 부분을 흐리게 처리하는 등<sup>8)</sup> 점차 3D 영상의 품질이 향상되고 있으며, 이전의 3D 영상에서는 더 큰 입체감을 위해 양안시차 값을 크게 두어 제작되었지만 현재의 3D 영상은 파눈 융합역 내에 피로감을 유발하지 않는 영역 즉, 호롭터 전후 약  $\pm 1^\circ$  ( $+0.82^\circ \sim -0.82^\circ$ ),<sup>2)</sup> 또는 스크린 앞과 뒤에 맺히는 영상에 대한 조절반응이 1D 이내<sup>4)</sup> 로 권장하여 조절과 폭주의 불균형을 유발하지 않도록 과도한 양안시차를 지양하는 추세이다. 또한 입체영상의 질을 훼손하지 않고 시청할 수 있는 3D 영상 장비 등의 개발로 3D 영상으로 인한 불편감이 많이 개선되었을 것으로 예상된다.<sup>30-34)</sup> 예를 들어, 셔터 글래스 방식 3D의 빛의 깜빡임 (flickering)을 감소하는 기술의 개발,<sup>30,32)</sup> 색상 보정을 통한 3차원 TV의 입체영상 화질 개선,<sup>31)</sup> cross-talk 현상을 줄인 편광3D 안경<sup>33)</sup> 등의 3D 영상 장비의 성능 향상 기술이 개발되었다.<sup>34)</sup>

따라서 본 연구에서는 가정용 3D TV를 이용하여 2D 및 3D 영상을 시청할 경우, 자·타각적 변화가 있는지 피로도 측정과 시기능 검사를 통해 알아보았

다. 최근에 HMD(Head Mounted Display) 등 웨어러블 기기의 보급으로 가상현실(Virtual Reality)에 대한 관심이 증가하고 있다. 가상현실 기기에서는 좌우안의 상을 분리하여 표시되기 때문에 양안시차를 통해 3D 영상이 시청 가능하다. 그러므로 본 실험의 피로도 및 시기능 관련 연구는 가상현실 기기 사용 시 피로도와 시기능 변화와도 관련이 있을 것으로 생각된다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 실험대상

본 연구는 사시와 부등시 및 특별한 안과적 질환, 전신질환, 정신질환 등이 없고 3D 입체영상 시청이 가능하며 양안 교정시력 0.8 이상인 23-29 세(평균 연령  $25.3 \pm 1.6$ 세)의 남녀 15명(남자 10명, 여자 5명)을 대상으로 실시하였다. 근거리 입체시 검사시표 검사로 입체시가 가능한 피검자만을 선별하였다.

### 2. 검사방법

피검자는 Fig. 1의 순서로 영상 시청 전후 피로도 설문과 시기능 검사를 진행하였다. 기존 문헌에서 2D와 3D 영상을 각각 30분 이내 시청 시 3D 영상에서 더 피로감을 느낀다는 결과가 보고된 점을 고려하여, 시청 시간은 30분으로 하였다.<sup>3,21-24,27,36)</sup> 실험에 사용된 30분 길이의 영상은 두 편의 영화의 일부분을 사용하였다. 사용한 영화는 아바타(Avatar, 2009년)의 전반부 50~80분, 후반부 120~150분과 어벤져스(The avengers, 2012년)의 전반부 70~100분, 후반부 100~130분이다. 각각의 영상에는 화면 아래쪽에 한글 자막을 표시하였고, 3D 영상의 자막은 좌우 영상간의 시차가 없는 조건이 사용되었다. 2D와 3D 영상 시청 순서의 영향을 배제하기 위해, 2D와 3D 영

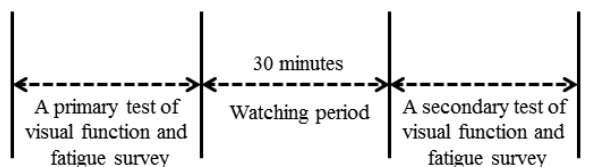


Fig. 1. Experimental procedure.

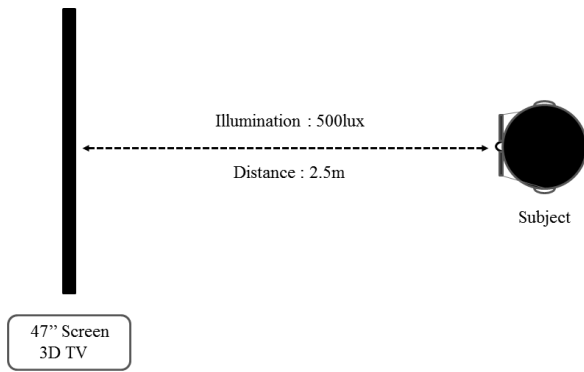


Fig. 2. Experimental setup for watching TV in 2D or 3D mode.

상 시청 방식을 통제하여 피검자의 절반은 2D 영상을, 나머지 절반은 3D 영상을 먼저 시청하였다. 영상 시청 후 피로감이 장시간 남을 수도 있기 때문에, 다른 날에 Fig. 1의 순서로 2D, 3D 영상 방식을 달리하여 같은 영화의 후반부를 시청하여 한 번 더 실험을 진행하였다. 결과적으로 1명당 2번의 영상 시청(각각 30분 길이, 동일 영화의 2D, 3D 방식을 바꾼 전반부와 후반부)과 2D 및 3D 영상 시청 전·후 총 4회의 설문과 시기능 검사가 진행되었다.

실험에 사용된 영상기기는 LG전자사의 Full HD급 47인치 LED 3D TV(47LW4500, Lg Electronics Inc., Korea)를 사용하였다. 조도는 500lux, 시청 거리는 2.5m로 일반적인 거실에서의 시청 환경을 참고하였다. 3D 시청 시 안경을 착용한 피검자는 3D 편광 안경 클립을 착용하였고 안경을 쓰지 않은 피검자는 3D 편광 안경을 착용하였다. 편광 클립과 안경은 제조사에서 제공한 것을 사용하였다.

2D 및 3D 영상 시청 전후 보완된 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire) 설문지를 사용하여 피로도 변화를 평가하였다(Appendix 1). 보완된 SSQ 설문지는 5가지 카테고리, 28개 평가항목으로 구성되었고, MSQ(the Pensacola Motion Sickness Questionnaire)에서 발전된 방법으로 Ukai 등에 의해 개발되었다.<sup>36)</sup> 피로도는 최소 1점에서 최대 7점의 7단계로 평가되었다. 1점은 무증상으로서 해당 항목에 대해 전혀 자각하지 못하는 상태이고, 7점은 매우 심각한 증상이 나타나는 경우이다. 피로도의 7가지 수준은 Fig. 3과 같다.

2D 및 3D 영상 시청 전후 시기능을 평가하기 위해 원거리 및 근거리 사위, 융합버전스, 폭주근점, 상대 조절력, 양안 최대조절력, 양안 조절용이성, 입체시

7	very severe symptoms
6	severe symptoms
5	moderately severe symptoms
4	moderate symptoms
3	slight symptoms
2	minor symptoms
1	asymptomatic

Fig. 3. Score of seven subjective ranking assessment.

검사를 시행하였다. 자료 분석은 SPSS 통계분석 프로그램으로 Paired t-test를 사용하였다. 95%의 신뢰구간에서  $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 3D TV와 2D TV시청 후 피로도의 변화

보완된 SSQ 설문지를 사용한 피로도 설문 결과는 Table 1과 같다. 통계 분석에서 28가지 항목 중 흐려 보임(흐려 보이거나 번져 보임, Blurry), 건조함(Dry eye), 피로함(Eye strain), 어지러움(어지럽고 핑 도는 느낌, Dizzy)의 4가지 항목이 2D 또는 3D에서 유의하게 증가하였다.

흐려 보임 수준은 2D TV 시청 전·후에 통계적으로 유의한 차이를 보였지만( $p=0.019$ ), 3D TV에서는 시청 전·후 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.104$ )(Fig. 4. A). 건조함 수준은 2D TV 시청 전·후 통계적으로 유의한 차이를 보였지만( $p=0.023$ ), 3D TV 시청 전·후 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.385$ )(Fig. 4. B). 피로함 수준은 2D TV 시청 전·후 유의한 차이를 보였으며( $p=0.003$ ), 3D TV에서도 시청 전·후 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.019$ )(Fig. 4. C). 어지러움 수준은 2D TV 시청 전·후 유의한 차이를 보이지 않았으나( $p=1.000$ ), 3D TV에서는 시청 전·후로 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.047$ )(Fig. 4. F).

피로도 검사에서는 2D 영상에서는 흐려 보임, 건조함, 피로함의 3가지 항목이 영상 시청 후 통계적으로

**Table 1.** Mean and standard deviations of the score of fatigue survey before and after watching 3D and 2D movies. (\* : p < 0.05 by paired t-test)

Category	Fatigue	2D			3D		
		pre	post	p-value	pre	post	p-value
		Mean ± SD	Mean ± SD		Mean ± SD	Mean ± SD	
Eye related symptom	<b>Blurry*</b>	1,20±0,40	1,53±0,72	0,019	1,21±0,56	1,50±0,73	0,104
	<b>Dry eye*</b>	1,47±0,72	2,07±1,29	0,023	1,43±0,49	1,64±0,72	0,385
	<b>Eye strain*</b>	1,87±0,88	2,73±1,24	0,003	1,86±1,12	2,93±1,16	0,019
	Gritty	1,07±0,25	1,02±0,54	0,164	1,14±0,35	1,21±0,56	0,336
	Eye pain	1,07±0,25	1,40±0,88	0,136	1,00±0,00	1,36±1,04	0,239
	Sting	1,07±0,25	1,20±0,40	0,164	1,00±0,00	1,21±0,56	0,189
	Eyes heavy	1,53±0,81	1,93±1,00	0,164	2,07±1,39	2,43±1,29	0,486
	Hazy	1,13±0,34	1,47±0,88	0,136	1,14±0,35	1,50±0,91	0,136
	Warm eyes	1,07±0,25	1,20±0,40	0,164	1,07±0,26	1,50±1,05	0,165
	Flickering	1,00±0,00	1,07±0,25	0,334	1,07±0,26	1,21±0,56	0,336
	Watery eyes	1,13±0,50	1,13±0,34	1,000	1,21±0,56	1,21±0,56	1,000
General discomfort	Feeling heavy in the head	1,27±0,57	1,80±1,17	0,088	1,71±1,28	1,43±0,82	0,500
	Feel heavy	1,40±0,71	1,73±1,18	0,136	1,50±1,05	1,29±0,80	0,551
	Difficulty concentrating	1,20±0,40	1,27±0,57	0,751	1,36±0,81	1,43±1,05	0,583
	<b>Dizzy*</b>	1,13±0,34	1,13±0,34	1,000	1,29±0,59	1,79±1,21	0,047
	Stiff shoulder	1,53±1,20	1,53±1,09	1,000	1,14±0,52	1,29±0,45	0,336
	Stiff neck	1,53±0,88	1,60±1,02	0,582	1,14±0,35	1,50±0,82	0,136
	sleepy	1,67±0,87	2,07±1,24	0,054	2,07±1,28	2,64±1,44	0,135
Nausea	Vomiting	1,13±0,50	1,07±0,25	0,334	1,00±0,00	1,00±0,00	1,000
	Vertigo	1,07±0,25	1,13±0,34	0,334	1,07±0,26	1,07±0,26	1,000
	Nausea	1,20±0,54	1,13±0,34	0,334	1,07±0,26	1,07±0,26	1,000
Focusing Difficulty	Difficulty focusing	1,07±0,25	1,07±0,25	1,000	1,00±0,00	1,00±0,00	1,000
	Double vision	1,00±0,00	1,00±0,00	1,000	1,00±0,00	1,07±0,26	0,336
	Near vision difficulty	1,00±0,00	1,07±0,25	0,334	1,07±0,26	1,00±0,00	0,336
	Far vision difficulty	1,00±0,00	1,07±0,25	0,334	1,00±0,00	1,00±0,00	1,000
Headache	Pain in the temple	1,00±0,00	1,07±0,25	0,334	1,29±1,03	1,14±0,35	0,655
	Pain in the middle of the forehead	1,07±0,25	1,07±0,25	1,000	1,07±0,26	1,07±0,26	1,000
	Pain in the back of the forehead	1,00±0,00	1,00±0,00	1,000	1,00±0,00	1,29±0,80	0,218

유의하게 증가하였고 3D 영상에서는 피로함, 어지러움의 2가지 항목이 영상 시청 후 통계적으로 유의하게 증가하는 결과를 보였다(Table 1). 머리가 무거운

느낌(Feeling heavy in the head), 졸림(Sleepy)은 2D 와 3D 모두 유의한 차이가 없었으며(Fig. 4, D, E), 그 외의 항목들에서도 유의한 변화는 없었다.

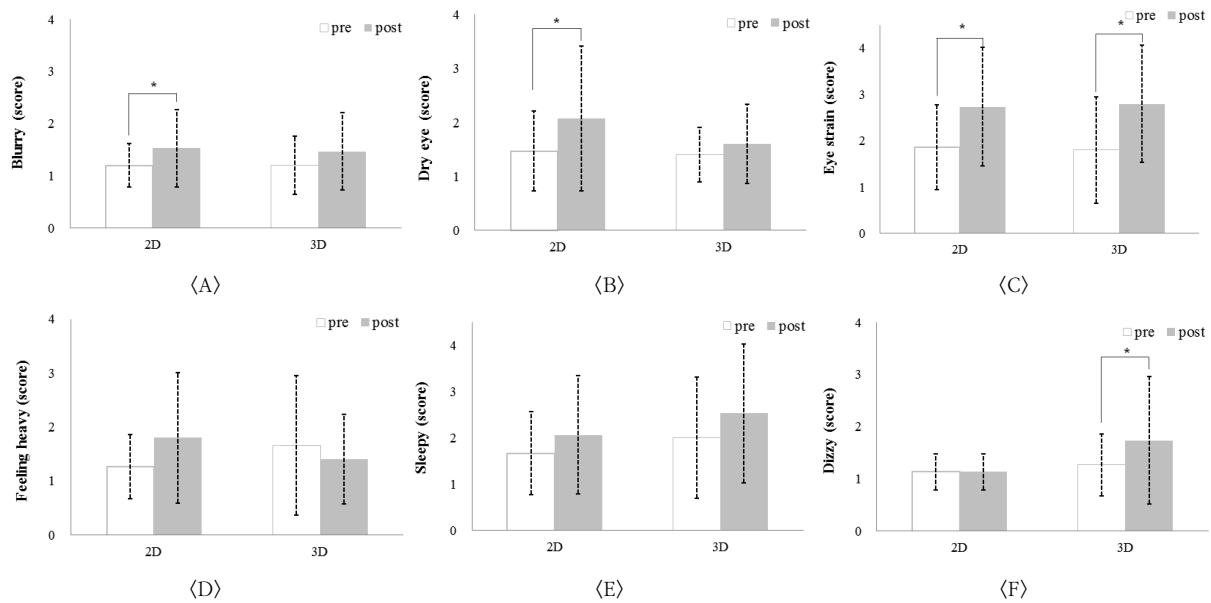


Fig. 4. Results of fatigue survey before and after watching 3D and 2D movies.

〈A〉 Blurry, 〈B〉 Dry eye, 〈C〉 Eye strain, 〈D〉 Feeling heavy, 〈E〉 Sleepy, 〈F〉 Dizzy  
p-value by paired t-test, \* p<0.05

피로도 설문 의 경우 절대적인 수치가 아닌 상대적 인 수치로 7점에 가까운 높은 점수에 근접하지 않을 경우 심한 정도의 피로를 느낀다고 보기 어려우며 시청 전후의 1점 정도의 적은 차이는 유의미하게 증상을 느낀다고 보기 어려울 것으로 예상할 수 있다. 실제로 본 실험에서는 5점 이상의 수치가 나타난 경우는 거의 없었으며 시청 전후의 차이는 최대 평균 1점 내외로 큰 변화를 보이지 않았다. 또한, 2D 및 3D 영상 시청 전·후를 비교한 결과, 유의차가 있는 항목 개수를 비교하면 2D 영상 시청 후가 3개, 3D 영상 시청 후가 2개에 불과하다. 따라서 본 실험의 시청 환경에서는 2D 영상은 물론 3D 영상 시청 시에도 심각한 정도의 피로는 유발하지 않는 것으로 보인다.

이전 연구들에서는 30분 내외의 시청시간에 대해 3D 영상이 2D 영상에 비해 더욱 불편감을 느낀다고 보고되었으며, 조절과 폭주의 불균형,<sup>6,8-11,13-15)</sup> 과도한 양안시차,<sup>6,8,15)</sup> 근거리 시청,<sup>7,19)</sup> 장시간 시청,<sup>8,12,26,28)</sup> 영상의 질<sup>14,18)</sup> 등의 영향을 받는 것으로 보고되었다. 그러나 본 실험 결과에서는 3D 영상 시청 후의 자각적인 불편감이 2D 영상 시청 후의 자각적인 불편감과 정도에서 차이를 보이지 않았다.

그 이유는 첫째, 이는 본 연구에서 사용한 3D 영상이 3D 측면에서 적절한 깊이감을 가지는 영상이기 때문이다. 이전에는 앞으로 물체가 튀어나와 보이는 과

도한 깊이감을 주어 시청자들의 호기심을 유발하는데 치중한 놀이동산의 입체 영상 체험관이나 3D 영상이 많이 사용되었으나, 이후 3D 영상 시청 시 입체적으로 융합이 가능한 피눈 영역은 스크린 앞쪽 보다 뒤쪽에서 넓다는 사실<sup>35)</sup>과 피로를 유발하는 조절과 폭주의 불균형 문제를 감소시키기 위해 초점심도를 벗어난 과도한 양안시차 (호류터 전·후 약  $\pm 1^\circ$  이상)의 사용을 자제해야 한다는 연구가 보고되었다.<sup>2,6,8-11,13-16,18)</sup> 본 논문에 사용된 영상은 앞으로 튀어나오는 보이는 3D 효과가 적고, 화면 뒤쪽의 배경 공간을 표시하는데 중점을 두었기 때문에 피로도가 크지 않았던 것으로 생각된다.

둘째, 시청 거리와 실험에 사용한 3D 표시 장치의 차이이다. 본 실험에서는 일반적인 거실에서의 시청 환경을 참고하여 시청 거리를 2.5m로 하였기 때문에, 근거리 시청과 비교하여 피사체 심도가 넓어져 조절과 폭주의 불균형 문제가 감소하였다고 볼 수 있다. 또한, 초기에 개발된 3D 표시장치는 매우 어두웠고, shutter glass 방식의 3D TV를 시청하는 경우 깜박거림(flickering) 때문에 피로감을 유발한다고 알려져 있었으나,<sup>30,32)</sup> 본 연구에서는 깜박거림(flickering)이 없고, 명실에서도 어둡게 보이지 않는 편광방식의 3D TV를 사용하였기 때문에 이에 따른 차이가 발생할 수 있을 것으로 여겨진다.<sup>31,34)</sup>

**Table 2.** Mean and standard deviations of the result of visual function test before and after watching movies.(\* : p < 0.05 by paired t-test)

Visual function test		2D			3D		
		pre	post	p-value	pre	post	p-value
		Mean ± SD	Mean ± SD		Mean ± SD	Mean ± SD	
Horizontal phoria at far (Δ) <sup>a</sup>		-1.37±1.13	-1.17±1.29	0.395	-1.03±1.97	-1.43±2.19	0.276
Vertical phoria at far(Δ) <sup>a</sup>		0.27±1.40	0.13±1.20	0.334	-0.07±1.43	-0.13±1.48	0.751
Divergence at far (Δ)	Blur	7.17±2.98	6.18±2.09	0.569	6.67±1.56	7.45±1.51	0.168
	Break	9.67±3.98	8.60±2.10	0.238	8.67±1.80	9.40±2.77	0.052
	Recovery	7.13±3.58	6.67±1.95	0.596	6.53±1.46	7.07±2.34	0.164
Convergence at far (Δ)	Blur	13.67±5.80	13.14±4.02	0.511	13.92±5.92	12.29±5.28	0.231
	Break	22.29±7.76	22.87±8.75	0.796	21.57±7.01	22.07±8.88	0.364
	Recovery	17.07±7.49	17.67±8.41	0.730	16.93±6.91	17.47±8.59	0.458
Horizontal phoria at near (Δ) <sup>a</sup>		-4.77±3.81	-4.37±3.91	0.384	-4.40±5.01	-4.40±4.68	1.000
+1D Gradient lateral phoria (Δ) <sup>a</sup>		-6.73±4.15	-6.67±4.27	0.865	-6.20±4.77	-6.33±4.18	0.758
Vertical phoria at near (Δ) <sup>a</sup>		0.13±0.93	0.10±1.49	0.904	0.07±1.74	0.13±1.72	0.777
Divergence at near (Δ)	Blur	11.08±4.10	12.46±3.99	0.171	12.67±4.64	13.00±5.67	0.776
	Break	17.47±4.76	17.07±5.34	0.604	18.13±4.96	17.40±5.78	0.466
	Recovery	15.13±4.50	14.67±4.95	0.574	15.47±4.67	15.00±5.11	0.697
Convergence at near (Δ)	Blur	17.90±5.95	17.50±6.85	0.344	17.30±5.93	17.70±7.18	0.789
	Break	23.20±7.61	23.33±6.87	0.898	21.20±6.66	22.53±8.06	0.499
	Recovery	20.07±7.28	20.27±7.06	0.860	18.07±6.84	19.33±8.35	0.492
Vergence facility (cycle/minute)		12.60±3.60	12.80±2.93	0.792	13.53±5.13	13.47±4.50	0.925
Near point of convergence (cm)		6.71±2.56	7.53±3.09	0.053	6.62±2.41	7.46±2.96	0.107
N,R,A. (D) <sup>b</sup>		+2.75±0.66	+2.68±0.67	0.546	+2.88±0.50	+2.32±1.63	0.217
P,R,A. (D) <sup>b</sup>		-2.65±1.05	-2.65±1.38	1.000	-2.33±1.34	-2.42±1.29	0.794
Amplitude of Accommodation O,D. (D)		12.05±2.41	11.65±2.46	0.422	12.36±3.23	11.98±2.56	0.402
Amplitude of Accommodation O,S. (D)		11.63±2.05	11.34±3.05	0.499	11.63±3.34	11.96±3.36	0.508
Amplitude of Accommodation O,U. (D)		13.78±4.26	13.42±3.67	0.557	14.25±4.25	13.32±3.97	0.126
Accommodative facility O,D. (cycle/min)		14.60±5.00	13.73±5.60	0.299	14.53±4.45	14.80±4.57	0.753
Accommodative facility O,S. (cycle/min)		13.40±4.47	12.80±4.68	0.328	13.47±4.70	14.00±5.25	0.527
Accommodative facility O,U. (cycle/min)		12.07±4.06	11.67±4.81	0.643	13.14±3.57	12.07±4.76	0.749
Accommodative lag O,D. (D)		1.68±0.64	1.58±0.73	0.212	1.83±0.51	1.63±0.57	0.111
Accommodative lag O,S. (D)		1.63±0.63	1.65±0.71	0.872	1.72±0.75	1.88±0.65	0.388
Stereopsis (arc sec)		88.00±126.67	74.67±98.99	0.334	77.33±98.52	104.67±196.79	0.322

<sup>a</sup>Negative(-) and positive(+) signs indicate exo- and eso-, hyper- and hypor- phoria, respectively.

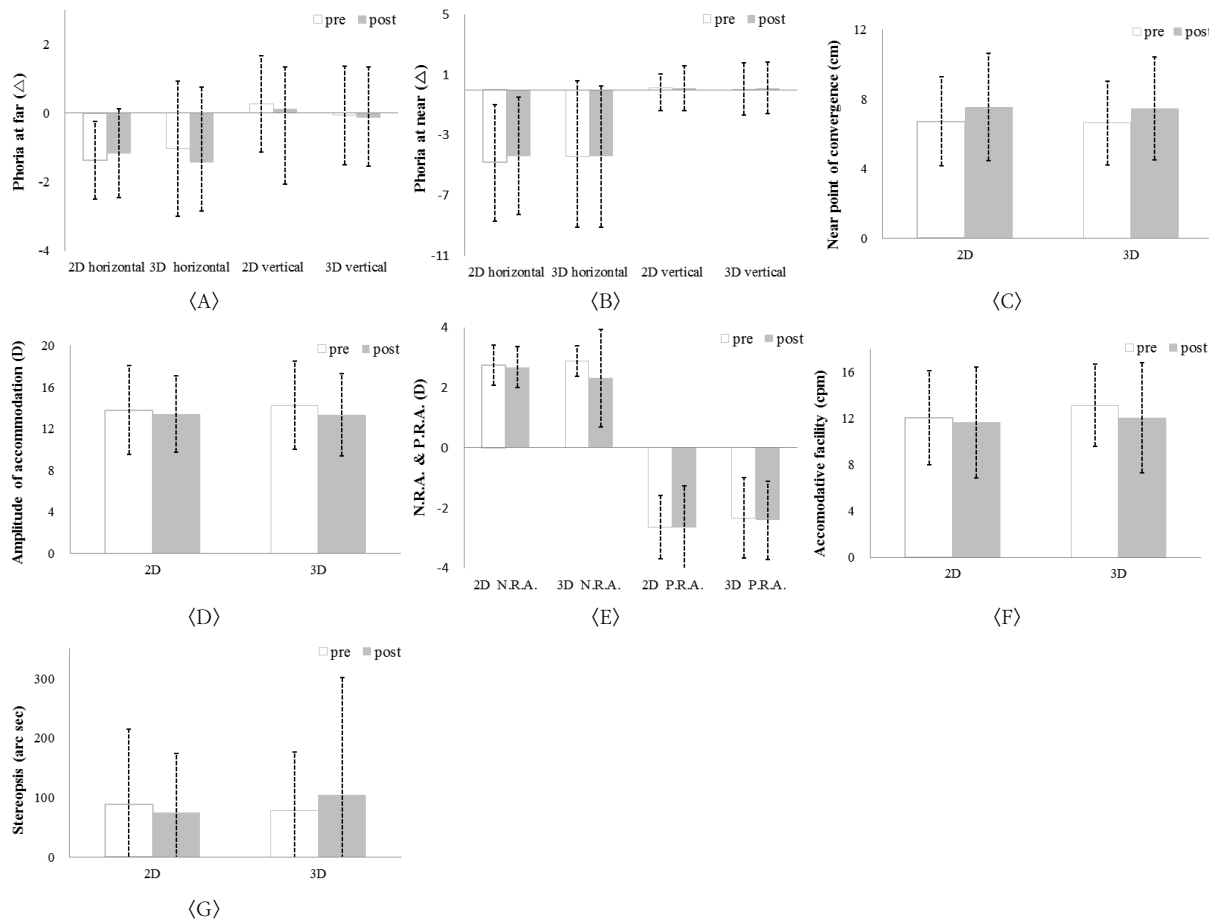
<sup>b</sup>Negative(-) and positive(+) signs indicate minus- and plus- lens, respectively.

## 2. 3D TV와 2D TV시청 후 시기능의 변화

시기능 검사 결과는 Table 2와 Fig. 5와 같다. 통계 분석에서 29가지 항목 중 유의한 항목은 없었다.

원거리 및 근거리의 수평 수직 사위는 2D 와 3D TV 시청 전 · 후로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 5. A, B). 폭주 근점은 2D TV 시청 전 · 후로 유의한 차이를 보이지 않았으며(p=0.053), 3D

TV 또한 시청 전 · 후로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.107)(Fig. 5. C). 조절력과 관련한 검사에서 양안 최대조절력은 2D 와 3D TV 시청 전 · 후로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며(Fig. 5. D), 음성 및 양성 상대조절력의 경우(Fig. 5. E)와 양안 조절용이성(Fig. 5. F) 또한 유의미한 차이를 보이지 않았다. 입체 시력도 2D와 3D영상 시



**Fig. 5.** Results of visual function test before and after watching 2D and 3D movies.  
 (A) Phorias at far, (B) Phorias at near, (C) Near point of convergence,  
 (D) Amplitude of accommodation, (E) Negative & Positive relative accommodation,  
 (F) Accommodative facility, (G) Stereopsis.

청 전·후 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Fig. 5. G). 다만 폭주 근점의 경우 2D 시청 전·후 ( $p=0.053$ ), 3D 시청 전·후( $p=0.107$ )로 비교적 유의 수준 0.05에 근접한 결과가 나와 피실험자의 수가 늘어나면 유의한 차이가 보일 수도 있음을 예상할 수 있다.

3D 입체영상 시청이 사위 및 융합여력,<sup>17,22-23,25,27</sup> 조절 능력,<sup>20-23,25</sup> 입체시력<sup>24</sup> 등 시기능에 영향을 미치는 것으로 여러 연구에서 보고하고 있으며 이로 인해 시각적 피로가 발생한다고 알려져 있다.<sup>16,19-28</sup> 하지만 본 실험의 피 실험자들은 모두 부등시, 사시 및 사위, 조절기능 등 양안시 기능에 이상이 없는 20대 초반이었으며, 실험에 사용된 영상 또한 과도한 양안 시차<sup>6,8,15</sup>를 가지지 않는 영상으로 조절과 폭주의 불균형<sup>6,8-11,13-16</sup>이 적었기 때문에 사위 및 융합여력 등의 시기능적 변화가 통계적으로 유의하게 발생하지

않았음을 예상할 수 있다. 특히 1m 내외의 근거리 시청의 경우 조절기능에 영향을 미친다고 알려져 있지만,<sup>17,21-24</sup> 본 실험에서의 시청거리(2.5m)는 이론적으로 약 0.4D의 조절반응을 요구하며 따라서 조절기능에 미치는 영향이 적음을 예상할 수 있다.

본 연구에서는 시기능 검사로 폭주 근점 검사, 원거리 및 근거리 사위도 검사, 양안 최대조절력 검사, 상대조절력 검사, 양안 조절용이성 검사, 입체시 검사를 실시하였으나 2D 영상과 3D 영상 시청 시 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다. 그러므로 본 연구의 시청 조건에서 2D 영상 시청과 비교하여 3D 영상 시청이 시기능에 주는 영향은 비슷한 수준으로, 3D 영상 시청이 시기능에 문제를 유발하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

## IV. 결 론

본 실험에서는 3D TV를 이용하여 2.5m거리에서 30분간 2D 및 3D 영상을 시청하였을 경우 자·타각적 영향의 정도를 알아보기 위하여 피로도 조사 및 시기능 검사를 실시하였다.

피로도 평가에서는 통계적으로 유의한 차이들을 확인할 수 있었으나 시청 전후 점수 차가 크지 않았으며 총 28개의 항목 중에 2D에서 흐려 보임, 건조함, 피로함의 3가지 항목, 3D에서 피로함, 어지러움의 2개 항목 외에는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 시기능 측면에서는 2D와 3D 영상 시청 전후를 비교하였을 때 모든 항목에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

기존 연구들에서 3D와 2D 시청을 비교하여 피로도 증가와 시기능 변화가 보고된 것에 비교하여, 본 연구에서는 큰 피로도와 시기능 변화가 관찰되지 않았다. 3D 영상 시청 시 피로도와 시기능은 3D 영상, 시청 거리, 3D 영상 표시 장치의 특성에 영향을 받기 때문에, 시청 환경의 차이에 의해 기존 보고와는 다른 결과가 나타난 것으로 생각된다. 하지만 2D 및 3D 영상 시청 시 모두 시차 없이 스크린 아래쪽의 자막과 함께 시청한 점과 실험 대상자가 부족한 점은 일부 결과에 영향을 미칠 수 있음을 고려해야 할 것이다.

본 연구의 결과는 3D 시청 시 시청자에게 발생하는 피로도와 시기능 변화는 항상 문제가 되는 수준이 아니며, 양호한 3D 영상 품질과 3D TV 성능, 그리고 적절한 시청거리를 유지한 환경 내에서 3D TV를 시청하면, 2D 시청과 유사한 수준의 피로가 발생하며 시기능에 영향을 거의 주지 않을 수 있다는 것을 나타낸다.

## 감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. Bando T, Iijima A, Yano S : Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: A review. *Displays* 33(2), 76-83, 2012. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938211000825>
2. Howarth PA : Potential hazards of viewing 3-D stereoscopic television, cinema and computer games: a review. *Ophthalmic Physiol Opt.* 31(2), 111-122, 2011. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21309798>
3. Lambooij MTM, IJsselsteijn WA, Heynderickx I : Visual discomfort in stereoscopic displays: a review. *Proc SPIE.* 6490, 1-13, 2007. <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1298390>
4. Patterson R : Human factors of stereo displays: an update. *J SID.* 17(12), 987-996, 2009. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1889/JSID17.12.987/abstract>
5. Allen N : 3D films such as 'Avatar' give viewers headaches, 2010. Available at <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/northamerica/usa/6963430/3D-films-such-as-Avatar-give-viewers-headaches.html>. Accessed October 15, 2015
6. Yano S, Emoto M : Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images. *Proc SPIE.* 4864, 2002. <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=877621>
7. Ehrlich DL : Near vision stress: vergence adaptation and accommodative fatigue. *Ophthalmic Physiol Opt.* 7(4), 353-357, 1987. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3454910>
8. Ukai K, Howarth PA : Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations.



- Displays 29(2), 106–116, 2008. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938207001047>
9. Okada Y, Ukai K et al. : Target spatial frequency determines the response to conflicting defocus and convergence driven accommodative stimuli. *Vision Res.* 46(4), 475–484, 2006. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16198392>
  10. Torii M, Okada Y et al. : Dynamic measurement of accommodative responses while viewing stereoscopic images. *J Modern Opt.* 55(4–5), 557–567, 2008. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500340701467652>
  11. Shibata T, Kawai T et al. Stereoscopic 3-D display with optical correction for the reduction of the discrepancy between accommodation and convergence. *J SID.* 13(8), 665–671, 2005. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1889/1.2039295/abstract>
  12. Day M, Seidel D et al. : The effect of modulating ocular depth of focus upon accommodation microfluctuations in myopic and emmetropic subjects. *Vision Res.* 49(2), 211–218, 2009. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18992269>
  13. Kruger PB, Pola J : Dioptric and non dioptric stimuli for accommodation target size alone and with blur and chromatic aberration. *Vision Res.* 27(4), 555–67, 1987. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3660618>
  14. Lambooij M, Ijsselstein WA, Heynderickx I : Visual discomfort of 3D TV: Assessment methods and modeling. *Displays* 32(4), 209–218, 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938211000564>
  15. Yano S, Ide S et al. : A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images. *Displays* 23(4), 191–201, 2002. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938202000380>
  16. Lee HJ, Jang MH, Mah KC : The visual effect resulting from virtual reality. *Korean J Vis Sci.* 12(3), 153–162, 2010. <http://www.riss.kr/link?id=A82423616>
  17. Emoto M, Nojiri Y, Okano F : Changes in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV. *Displays* 25(2–3), 67–76, 2004. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938204000472>
  18. Chen C, Li K et al. : EEG-based detection and evaluation of fatigue caused by watching 3DTV. *Displays* 34(2), 81–88, 2013. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938213000048>
  19. Lambooij M, Fortuin M et al. : Reading performance as screening tool for visual complaints from stereoscopic content. *Displays* 33(2), 84–90, 2012. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938212000170>
  20. Maeda F, Tabuchi A et al. : Influence of three-dimensional image viewing on visual function. *Jpn J Ophthalmol.* 55(3), 175–182, 2011. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21538004>
  21. Kim JH, Hwang HY et al. : The influence of accommodation on watching home 3D TV at close distance. *J Korean Oph Opt Soc.* 18(2), 157–163, 2013. [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\\_2013\\_v18n2\\_157](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL_2013_v18n2_157)
  22. Lee WJ, Kwak HW et al. : Changes in visual function after viewing an anaglyph 3D image. *J Korean Oph Opt Soc.* 16(2), 179–186, 2011. [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\\_2011\\_v16n2\\_179](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL_2011_v16n2_179)
  23. Son JS, Kim DS et al. : The evaluations of phoria and AC/A ratio by watching 3D TV at near. *J Korean Oph Opt Soc.* 20(3), 319–324, 2015. <http://www.koreascience.or.kr/article/>

- ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\_2015\_v20n3\_319
24. Lee WJ, Son JS et al. : Self-reported symptoms and stereopsis in viewing 2D and 3D images. *J Korean Oph Opt Soc.* 16(1), 83-90, 2011. [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\\_2011\\_v16n1\\_83](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL_2011_v16n1_83)
25. Lee MH, Son JS et al. : Evaluation of visual responses in viewing a 3D image. *J Korean Oph Opt Soc.* 17(2), 165-170, 2012. [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\\_2012\\_v17n2\\_165](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL_2012_v17n2_165)
26. Yoon JH, Lee IH et al. : Visual fatigue in watching 3 dimension television. *J Korean Oph Opt Soc.* 17(1), 47-52, 2012. [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\\_2012\\_v17n1\\_47](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL_2012_v17n1_47)
27. Kim DS, Lee WJ et al. : Change of phoria and subjective symptoms after watching 2D and 3D image. *J Korean Oph Opt Soc.* 17(2), 185-194, 2012. [http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL\\_2012\\_v17n2\\_185](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OGHHBL_2012_v17n2_185)
28. Kwon JK, Kang SY et al. : The ocular fatigue of watching three-dimensional (3D) images. *J Korean Ophthalmol Soc.* 53(7), 941-946, 2012. <http://synapse.koreamed.org/search.php?where=aview&id=10.3341/jkos.2012.53.7.941&code=0035JKOS&vmode=FULL>
29. Huh YS, Yu SW et al. : Assessment of stereopsis, phorias and self-reported symptoms in viewing anaglyph 3D image. *Korean J Vis Sci.* 14(4), 382-390, 2012. [http://210.101.116.36/journalSearch/ISS\\_Detail.asp?key=3119590&tname=kiss2002](http://210.101.116.36/journalSearch/ISS_Detail.asp?key=3119590&tname=kiss2002)
30. Park DJ, Kwak SH et al. : Low-power discrete-event SoC for 3DTV active shutter glasses. *J Institute of Electronics Engineers of Korea* 48(6), 18-26, 2011. <http://www.riss.kr/link?id=A82731280>
31. Jung GS, Kang MS et al. : 3D video quality improvement for 3D TV using color compensation. *J Broadcast Engineering* 15(6), 757-767, 2010. <http://www.riss.kr/link?id=A82451348>
32. Choi SK, Lee IS, Kim GT : Picture quality compensation for PDP-TV in shutter-glass type 3D image. *J Institute of Electronics and Information Engineers* 51(2), 133-140, 2014. <http://www.riss.kr/link?id=A99919191>
33. Hong HK, Jang JW et al. : Analysis of angular dependence of 3-D technology using polarized eyeglasses. *J SID.* 18(1), 8-12, 2010. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1889/JSID18.1.8/abstract>
34. Lee HJ, Chung DH et al. : Assessment of fatigue with viewing the shutter glasses and film patterned retarder 3D TVs. *Korean J Vis Sci.* 16(2), 169-179, 2014. [http://210.101.116.36/journalSearch/ISS\\_Detail.asp?key=3250428&tname=kiss2002](http://210.101.116.36/journalSearch/ISS_Detail.asp?key=3250428&tname=kiss2002)
35. Kang HG, Hong HK : Experimental determination of the range of binocular disparity for which stereoscopic fusion occurs at a viewing distance of 2.5m for a stereoscopic TV. *J SID.* 21(7), 317-323, 2013. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsid.185/full>
36. Kuze J, Ukai K : Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images. *Displays* 29(2), 159-166, 2008. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938207000984>

## 2D 및 3D 영상 시청 전, 후의 피로도 및 시기능 변화에 대한 연구

강현구 · 장영산 · 김의주 · 홍형기  
서울과학기술대학교 안경광학과

### 요 약

**목 적:** 3D TV에서 2D 및 3D 영상 시청 전, 후 피로도와 시기능 변화를 피로도 설문지(Simulator Sickness Questionnaire)와 시기능 검사를 통해 비교 분석하였다.

**방 법:** 시기능의 이상이 없고 3D 입체영상 시청이 가능하며 양안 교정시력 0.8 이상인 23-29세(평균 연령  $25.3 \pm 1.6$ 세)의 15명을 대상으로 하였다. 47인치 3D TV를 이용하여 2.5m 거리에서 30분 길이의 2D 및 3D 영화를 시청하였다. 시청 전, 후 피로도(5가지 범주, 28가지 항목의 설문) 및 시기능(원거리 및 근거리 사위, 폭주 근점, 상대조절력 등)을 검사하여 분석하였다.

**결 과:** 2D 및 3D 영상 시청 전, 후에 피로도 검사에서 2D 영상에서는 흐려 보임( $p=0.019$ ), 건조함( $p=0.023$ ), 피로함( $p=0.003$ )이 영상 시청 후 통계적으로 유의하게 증가하였고 3D영상에서는 피로함( $p=0.019$ ), 어지러움( $p=0.047$ )이 영상 시청 후 통계적으로 유의하게 증가하는 결과를 보였다. 총 28개의 항목 중에 2D에서 3개 항목, 3D에서 2개 항목에서만 차이가 있었고, 그 점수 변화는 크지 않았다. 또한 시기능 검사에서는 모든 항목에서 유의한 변화가 나타나지 않았다.

**결 론:** 2D 및 3D 영상 시청 전, 후에 피로감은 동일하게 측정되었다. 이는 3D 영상 전후 피로도가 증가했다는 이전의 보고와 다른 결과이다. 이는 본 실험과 이전 보고들의 3D 시청 환경(3D 콘텐츠, 시청 거리, 3D 영상 표시 장치 등)이 다르기 때문으로 생각된다. 이는 또한 3D TV 시청 시 특정 조건에서는 피로감이 2D에 비교하여 심각하지 않을 수 있다는 것을 의미한다.

**찾아보기 낱말:** 입체시, 피로도, 시기능, 3D 표시장치

APPENDIX 1. Simulator Sickness Questionnaire.

평가 요소	항목	1 (증상없음)	2 (아주약간)	3 (조금느낌)	4 (보통)	5 (조금심함)	6 (심함)	7 (매우심함)
눈의 불편함	흐려 보이거나 번져 보임 (Blurry)							
	건조함 / 뻑뻑함 (Dry eyed)							
	피로함 (Eyestrain)							
	이물감 (모래가 있는 것 같은 느낌) (Gritty)							
	안구의 통증 (Eyeache)							
	따가움 / 쓰라림 (바늘로 찌르는듯한 느낌) (Sting)							
	눈의 줄음 / 몽롱함 Eyes heavy(Heavy eyes)							
	안개 낀 듯 희뿌옇게 보임 (Hazy)							
	안구의 발열 (Warm eyes)							
	자극을 받아 깜박임 (Flickering)							
	눈물이 나는 (Watery eyes)							
전반적인 불편함	머리가 무거운 느낌 (Feeling heavy in the head)							
	몸이 무거운 느낌 (무기력함 / 축 처짐) (Feel heavy)							
	집중하기 어려움 (Difficulty concentrating)							
	어지럽고 핑 도는 느낌 (Dizzy)							
	어깨의 뻣근함 (Stiff shoulder)							
	목의 뻣근함 (Stiff neck)							
	졸림 (Sleepy)							
메스꺼움	구토 (Vomiting)							
	현기증 / 어지러움 (Vertigo)							
	메스꺼움 (토할 것 같은 느낌) (Nausea)							

집 중 력	한곳을 보기 어려움 (Difficulty focusing)							
	복시 (상이 두 개로 보임) (Double vision)							
	가까운 것이 잘 안보임 (Near vision difficulty)							
	먼 것이 잘 안보임 (Far vision difficulty)							
두 통	관자놀이 쪽 두통 (Pain in the temple)							
	이마나 머리 앞쪽 두통 (Pain in the middle of the forehead)							
	뒤통수 쪽 두통 (Pain in the back of the head)							

