

박사학위논문

가현운동을 활용한 스케니마스코프
장치 제작 연구

2018년

한 성 대 학 교 대 학 원

미 디 어 디 자 인 학 과

시작 · 영상커뮤니케이션전공

박사학위논문
지도교수 조열

가현운동을 활용한 스캐니마스코프 장치 제작 연구

A Study on Developing Scanimascope Device
Using the Apparent Motion

2017년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

미 디 어 디 자 인 학 과

시각 · 영상커뮤니케이션전공

박사학위논문
지도교수 조열

가현운동을 활용한 스캐니마스코프 장치 제작 연구

A Study on Developing Scanimascope Device
Using the Apparent Motion

위 논문을 디자인학 박사학위 논문으로 제출함

2017년 12월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

미 디 어 디 자 인 학 과

시각 · 영상커뮤니케이션전공

강춘명의 디자인학 박사학위논문을 인준함

2017년 12월 일

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

국 문 초 록

가현운동을 활용한 스케니마스코프 장치 제작 연구

한 성 대 학 교 대 학 원
미 디 어 디 자 인 학 과
시 각 · 영 상 커뮤니케이션전공
강 춘 명

인간의 시각은 본능적으로 정지된 것보다 움직이는 것에 대해 더욱 민감하게 반응한다. 따라서 과거로부터 정지된 이미지를 움직이는 것처럼 보이게 하려는 많은 노력이 있어 왔다. 그 예가 무토스코프(Mutoscope), 스트로보스코프(Stroboscope), 조트로프(Zoetrope), 스캐니메이션(Scanimation)등과 같은 가현운동 원리를 이용한 방법이다. 가현운동은 실제로 물리적인 운동은 발생하지 않은 상태이지만, 움직이는 것처럼 보이는 시지각 상의 움직임이다. 이러한 방법들은 주변 환경이 어두워야 하고 평면에서만 사용할 수 있거나 전기를 사용해야 하고, 장치의 빠른 속도가 요구되는 등의 물리적인 제한이 있었다. 따라서 영화를 제외하고는 실제 환경에서 활용도가 지극히 낮은 것이 가장 큰 결점으로 지적되어 왔다. 그러므로 이와 같이 많은 제한적 요소를 해결하고 실용성 높은 가현운동 장치의 개발이 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 아나모르포시스(Anamorphosis)원리와 가현운동을 결합시킨 새로운 애니메이션 장치 개발 방법을 제시하고, 다양한 실험과 수학적 알고리즘을 통해

제작 가능성을 검증하는데 그 목적이 있다. 1장과 2장에서는 연구배경과 목적, 가현운동을 통한 다양한 애니메이션 장치에 대하여 분류 기술하였고, 3장에서는 새로운 애니메이션 장치인 스케니마스코프(Scanimascope)를 정의하고 예술적 의미와 디지털 시대에서의 역할에 관하여 기술하였다. 4장에서는 예비실험과 본 실험으로 나누어 진행하였다. 예비실험에서는 장치를 설치하기 위해 필요로 하는 다양한 요소들에 관한 기초실험을 진행하였다. 본 실험에서는 예비실험 결과를 바탕으로 아나모르포시스 왜곡률 계산과 실제 공간 배치 상에서의 왜곡률 적용 등 구체적인 계산법을 적용하여 실험 결과 도출하였다.

이상과 같은 과정을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 가현운동 원리를 이용한 애니메이션의 새로운 장치를 개발하는데 의의가 있으며, 이 장치의 이름을 “스케니마스코프(Scanimascope)”로 명명하였다.

둘째, 스케니마스코프는 공간을 대상으로 하기 때문에 양안 시차를 최우선으로 고려하지 않으면 안 된다. 따라서 그림과 그림 사이에 빈 프레임을 넣어주지 않으면 그림이 겹쳐 보임으로 인해서 애니메이션 효과를 상실하게 된다.

셋째, 스케니마스코프의 배치 방법은 총 8가지가 있다. 또한, 실행 방법에 있어서 평면거울뿐만 아니라 원기둥 거울에서도 실행 가능하다. 거울의 배치는 수평보다 수직으로 배치하는 방법이 그림을 인지하는데 있어서 보다 유리하다.

넷째, 잔상효과를 유지하기 위해서는 한 프레임이 지나가는 속도는 0.2~0.4 초 사이여야 한다. 이 속도는 거울의 너비와 밀접한 관련이 있으며, 본 실험에 있어서 속도에 비례하여 가장 효과적인 거울의 너비는 1.5mm 이다.

다섯째, 사람이 대상을 인지하는데 있어서 거울과 시점과의 거리는 거울의 너비에 비례하므로 거울을 지나치게 세분화하면 안 된다. 본 실험에서 제일 좋은 위치는 눈과 거울의 수평 거리 $S=100\text{cm}$, 눈과 바탕화면의 수직 거리 $H=75\text{cm}$, 그리고 거울 하단과 바탕그림의 수직 거리 $h'=10\sim15\text{cm}$ 이다.

이와 같이 기존 장치가 가지고 있는 긴 시점 거리, 빠른 속도, 어두운 환경 등 이미 설정된 구조에 지나치게 의존하는 단점이 있지만 스캐니마스코프는 환경의 영향을 별로 받지 않으며, 설치 장소나 조건에 있어서 매우 가변적이고 효율적이다.

이상과 같은 관점에서 스캐니마스코프는 가현운동 원리를 이용한 애니메이션 분야에 새로운 가능성을 제시함은 물론, 건축, 인테리어, 옥외 광고 등 입체적이고 공간적인 우리 생활공간 속에서 다양한 예술, 디자인 형식으로 적용될 수 있을 것이다. 따라서 다양한 분야에서 첨단 디지털 기술의 발전이 눈부신 현대에서 스캐니마스코프(Scanimascope)의 아날로그적 원리는 새로운 영역을 창출과 더불어 다양한 분야에서의 활용 가치를 기대해 본다.

【주요어】 스캐니마스코프, 가현운동, 아나모르포시스, 운동지각, 운동착시, 모션착시

목차

I. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구범위 및 방법	2
II. 선행연구	3
2.1 가현운동(apparent movement)	3
2.1.1 가현운동의 원리	4
2.1.2 가현운동의 분류	4
2.2 가현운동 애니메이션의 지각(知覺) 구조적 분류	6
2.2.1 순차적 구조	6
2.2.2 틈새(슬릿)구조	12
2.2.3 점멸 라이트 구조	17
2.2.4 거울 반사 구조	20
2.2.5 기타 구조	21
2.2.6 기존장치의 공통 원리 분석	22
2.3 아나모르포시스(Anamorphosis)	22
2.3.1 개념과 의미	22
2.3.2 기원	24
2.3.3 표현유형	27
2.3.4 활용 사례	31
2.4 거울을 이용한 아나모르포시스	34
III. 스캐니마스코프의 명명 및 의의	39
3.1 스캐니마스코프의 정의	39
3.2 시각 예술 장치로써 스캐니마스코프	42
IV. 스캐니마스코프 장치 개발	45

4.1 예비 실험	45
4.1.1 배치 방법 및 분석	45
4.1.2 명도의 조합	53
4.1.3 빈 프레임의 삽입	54
4.1.4 바탕 그림의 프레임 수	56
4.1.5 거울 폭과 간격의 비례	56
4.1.6 거울 폭과 속도의 관계	57
4.1.7 실험결과 도출	58
4.2 본 실험	58
4.2.1 아나모르포시스 왜곡률 계산	59
4.2.2 실제 공간 배치 왜곡률 적용	75
4.2.3 실험 결과 도출	95
4.3 다른 형식의 적용	95
4.3.1 H형 배치 방법에 적용	95
4.3.2 원기둥 거울에 적용	98
V. 스캐니마스코프 장치 평가	100
5.1 기존장치와의 차이점	100
5.2 본 장치의 한계점	101
5.3 본 장치의 응용 제안	102
VI. 결론	104
참고문헌	107
부록	111
ABSTRACT	127

표 목 차

[표 4-1] 각 상황에의 스캐니마스코프 이동 가능성 분석	52
[표 4-2] 상황①과 상황⑤의 계산 조건, 계산 결과 항목표	60
[표 4-3] 상황①과⑤의 알고리즘	62
[표 4-4] 상황①과⑤ 계산 조건, 계산 결과 항목표	65
[표 4-5] 상황②와⑥의 알고리즘	66
[표 4-6] 상황③과⑦의 계산 조건, 계산 결과 항목표	69
[표 4-7] 상황③과⑦의 알고리즘	70
[표 4-8] 상황④와⑧의 계산 조건, 계산 결과 항목표	73
[표 4-9] 상황④와⑧의 알고리즘	74
[표 4-10] 상황①과⑤, S=25, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	76
[표 4-11] 상황①과⑤, S=50, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	77
[표 4-12] 상황①과⑤, S=75, H=25/50/75/100	78
[표 4-13] 상황①과⑤, S=100, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	79
[표 4-14] 상황②와⑥, S=25, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	81
[표 4-15] 상황②와⑥, S=50, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	82
[표 4-16] 상황②와⑥, S=75, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	83
[표 4-17] 상황②와⑥, S=100, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	84
[표 4-18] 상황③과⑦, S=25, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	86
[표 4-19] 상황③과⑦, S=50, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	87
[표 4-20] 상황③과⑦, S=50, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	88
[표 4-21] 상황③과⑦, S=100, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	89
[표 4-22] 상황④와⑧, S=25, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	91
[표 4-23] 상황④와⑧, S=50, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	92
[표 4-24] 상황④와⑧, S=75, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	93
[표 4-25] 상황④와⑧, S=100, H=25/50/75/100, h'=0/5/10/15/20	94
[표 4-26] H형 배치방법의 계산 조건, 계산 결과 항목표	97

그 립 목 차

[그림 2-1] 알파가현운동	5
[그림 2-2] 베타 가현운동	5
[그림 2-3] 최초의 소마트로프. John Ayrton Paris. 『Philosophy in sport made science in earnest』	7
[그림 2-4] 소마트로프 원리. http://andrewrossnblog.blogspot.kr	7
[그림 2-5] 다양한 소마트로프 장치1. http://www.minieco.co.uk	8
[그림 2-6] 다양한 소마트로프 장치2. http://artimachines.com	8
[그림 2-7] 다양한 소마트로프 장치3. http://www.primaryhomeworkhelp.co.uk	8
[그림 2-8] 다양한 소마트로프 장치3. https://www.pinterest.com	8
[그림 2-9] 다양한 소마트로프 장치4. https://gallery.autodesk.com	8
[그림 2-10] 다양한 소마트로프 장치 5. http://www.flipbook.info	8
[그림 2-11] 소마트로프 포스터 카드. http://katie-hilton.blogspot.kr	9
[그림 2-12] 소마트로프 목걸이. https://www.gnr8.biz	9
[그림 2-13] 소마트로프 목걸이. https://www.notonthehighstreet.com	9
[그림 2-14] 플립북. https://www.commoncraft.com	10
[그림 2-15] Logo disney-Steamboat willie. https://www.youtube.com , 영상 캡처	10
[그림 2-16] 핀란드 여권. http://diet980.tistory.com/56	11
[그림 2-17] 모토스코프. http://www.icollector.com	11
[그림 2-18] 필로스코프. http://jurusanimasi.blogspot.kr	11
[그림 2-19] 페나키스티스코프. https://en.wikipedia.org	12
[그림 2-20] 조이트로프의 장치 구조. W.E. Lincoln. https://en.wikipedia.org	13
[그림 2-21] 3D조이트로프. https://en.wikipedia.org	14
[그림 2-22] BRAVIA-drome. 아르템리미티드 회사. https://mymodernmet.com	14
[그림 2-23] 마스트랜시스코프의 구조. https://untappedcities.com	15

[그림 2-24] 마스트랜시스코프. http://www.guerrillaexploring.com	15
[그림 2-25] 스캐니메이션의 구조. 조희. 「모션작시의 동적 표현에 관한 연구 스캐니메이션의 원리를 중심으로」	16
[그림 2-26] 스캐니메이션 책 http://designersof.tumblr.com	16
[그림 2-27] 스캐니메이션 램프 http://www.thinkgeek.com/	16
[그림 2-28] 스캐니메이션 패키지. https://trndmonitor.com/	16
[그림 2-29] Magic Carp-pet. John Leung. 2011. http://www.notcot.org	16
[그림 2-30] 최초의 스트로보스코프. https://encyclopedia2.thefreedictionary.com	17
[그림 2-31] 스트로보스코프의 원리. https://www.awn.com/	17
[그림 2-32] 디즈니랜드에서 설치된 3D스트로보스코프. https://thenextweb.com	18
[그림 2-33] 주프랙시노스코프. http://watvhistory.com/	18
[그림 2-34] 키네토스코프. https://en.wikipedia.org/	19
[그림 2-35] 키네토스코프가 소개된 뉴스. https://en.wikipedia.org/wiki/Kinetoscope	19
[그림 2-36] 키네토스코프에서 사용한 필름. https://en.wikipedia.org	20
[그림 2-37] 프랙시노스코프. http://proyectoidis.org	21
[그림 2-38] 레이븐 매직 미러. http://brightbytes.com	21
[그림 2-39] 포노트로프와 라이브 액션 카메라. https://en.wikipedia.org	21
[그림 2-40] Leonardo's Eye. Leonardo da Vinci. 1485	25
[그림 2-41] Daniello Barbaro. 『La pratica della prospettiva』. 1559	25
[그림 2-42] The Ambassadors. Hans Holbein the Younger. 1533	26
[그림 2-43] Gateway to the sea. Nico Laan. 2008	27
[그림 2-44] Five Concentric Black Circles. Felice Varini. 1997	28
[그림 2-45] Who to Believe? François Abélan. 2011	28
[그림 2-46] Pour Max. Tjeerd Alkema. 2007	28
[그림 2-47] Greek Column. István Orosz. 1994	29

[그림 2-48] 렌즈 아나모르포시스. 제주도 착시 박물관. 직접촬영	29
[그림 2-49] Hand With Reflecting Sphere. M.C.Escher. 1935	30
[그림 2-50] Escher to the Third Power. Dick Termes. 1983	30
[그림 2-51] Monroe in the Rain. 조열. 1983	30
[그림 2-52] ランチはヘルメットをかぶって…。福田繁雄,. 1987	31
[그림 2-53] 미국의 구급차. http://4.bp.blogspot.com/	32
[그림 2-54] 인도의 횡단보도. http://twistedstifter.com/	32
[그림 2-55] Anamorph영화 포스터. 2007. http://list.youku.com/	33
[그림 2-56] Luycho Mirror cup Series_Polar Bear. 2014. http://www.luycho.com	33
[그림 2-57] '2天来了' 광고 MV. OK Go. 2015. https://www.youtube.com . 영상 캡처	34
[그림 2-58] Dalston. Leandro Erlich. 2013	35
[그림 2-59] 원기둥 거울 아나모르포시스를 위한 방안지	35
[그림 2-60] 루이초 미리컵. 2017. http://www.luycho.com	35
[그림 2-61] 아나모르포즈 미리컵 시리즈: 나비. 조열. 2015	36
[그림 2-62] 학생작품, 2017	36
[그림 2-63] 피라미드형 거울 아나모르포시스를 위한 방안지	37
[그림 2-64] Atlantis Anamorphosis. István Orosz. 2000	37
[그림 2-65] The Representation of Space. Sténopé. 1992	37
[그림 2-66] 루이초 미리 컵. 2015. http://www.luycho.com	37
[그림 2-67] 각기둥 거울의 반사 구역	37
[그림 2-68] Love hate. 루이초(Luycho)의 메모지. 2014	38
[그림 3-1] 스캐니마스코프의 구조	39
[그림 3-2] 스캐니마스코프의 실제 구조	39
[그림 4-1] 스캐니마스코프의 분할 방법	45
[그림 4-2] 스캐니마스코프의 설치 방향	46
[그림 4-3] 스캐니마스코프의 왜곡 설명	46
[그림 4-4] 스캐니마스코프의 분할 및 왜곡	47

[그림 4-5] 스캐니마스코프의 배치 방법①	47
[그림 4-6] 스캐니마스코프의 배치 방법②	48
[그림 4-7] 스캐니마스코프의 배치 방법③	48
[그림 4-8] 스캐니마스코프의 배치 방법④	49
[그림 4-9] 스캐니마스코프의 배치 방법⑤	49
[그림 4-10] 스캐니마스코프의 배치 방법⑥	50
[그림 4-11] 스캐니마스코프의 배치 방법⑦	50
[그림 4-12] 스캐니마스코프의 배치 방법⑧	51
[그림 4-13] 스캐니마스코프의 이동 상태	53
[그림 4-14] 흰 바탕의 검은 그림	53
[그림 4-15] 검은 바탕의 흰 그림	53
[그림 4-16] 흰 틈새 거울	53
[그림 4-17] 검은 틈새 거울	53
[그림 4-18] 스캐니마스코프의 명도 조합	54
[그림 4-19] 스캐니메이션의 제작법	54
[그림 4-20] 두 그림 겹쳐 보인다	55
[그림 4-21] 두 그림 겹쳐 보이는 원인	55
[그림 4-22] 두 동작의 전환	55
[그림 4-23] 빈 프레임의 삽입	55
[그림 4-24] 빈 프레임의 삽입 후의 효과	56
[그림 4-25] 거울 폭과 간격의 비례	57
[그림 4-26] 스캐니마스코프의 배치 방법 및 이동 상태	58
[그림 4-27] 상황①	59
[그림 4-28] 상황⑤	59
[그림 4-29] 상황①과 상황⑤의 계산용 그림	60
[그림 4-30] 상황①과 상황⑤의 제작 방법	63
[그림 4-31] 상황②	63
[그림 4-32] 상황⑥	63
[그림 4-33] 상황②과 상황⑥의 계산용 그림	64

[그림 4-34] 상황②과 상황⑥의 제작 방법	67
[그림 4-35] 상황③	67
[그림 4-36] 상황⑦	67
[그림 4-37] 상황③과⑦의 계산용 그림	68
[그림 4-38] 상황③과⑦의 제작 방법	71
[그림 4-39] 상황④	71
[그림 4-40] 상황⑧	71
[그림 4-41] 상황④와⑧의 계산용 그림	72
[그림 4-42] 상황④와⑧의 제작 방법	75
[그림 4-43] S=100, H=75, h'=15cm때의 영상 캡처	95
[그림 4-44] H형 배치 방법의 계산용 그림	96
[그림 4-45] H형 배치 방법의 구조	98
[그림 4-46] H형 배치 방법의 적용	98
[그림 4-47] 원기둥 배치 방법	99
[그림 4-48] 원기둥 배치 방법의 적용1	99
[그림 4-49] 원기둥 배치 방법의 적용2	99
[그림 5-1] 스캐니마스코프가 실제 환경 적용 시 흐름도	103

I. 서론

1.1 연구배경 및 목적

인간의 시각은 본능적으로 정지된 것보다 움직이는 것에 대해 더욱 민감하게 반응한다. 따라서 과거로부터 정지된 이미지를 움직이는 것처럼 보이게 하려는 많은 노력이 있어왔다. 그 예가 무토스코프, 스트로보스코프, 조이트로프, 스캐니메이션(Scanimation) 등과 같은 가현운동 원리를 이용한 방법이다. 가현운동은 실제로 물리적인 운동은 발생하지 않은 상태이지만, 움직이는 것처럼 보이는 시지각 상의 움직임이다. 이러한 방법들은 주변 환경이 어두워야 하고 평면에서만 사용할 수 있거나 전기를 사용해야 하고, 장치의 빠른 속도가 요구되는 등의 물리적인 제한이 있다. 따라서 영화를 제외하고는 실제 환경에서 활용도가 지극히 낮은 것이 가장 큰 결점으로 지적되어 왔다. 그러므로 이와 같이 많은 제한적 요소를 해결하고 실용성 높은 가현 운동장치의 개발이 필요한 시점이다.

따라서 연구자는 아나모르포시스(Anamorphosis)라고 하는 가상 공간과 가현운동을 결합시켜서 새로운 장치를 제시하고, 이 장치를 스캐니마스코프(Scanimascope)로 명명하고자 한다. 아나모르포시스는 유럽 르네상스(Renaissance) 시대에 유행했던 옛 예술의 한 형식이었는데, 사람들의 시각 인식 속에 존재하는 실제로 물리적인 공간을 늘리고 줄이고 확장하고 압축하고 비틀고 옮기는 가상공간이다. 예술가들은 이러한 표현방법을 이용해서 특정 시점에서 다른 화면을 보이도록 함으로써 관객에게 시각적인 놀라움을 주는 작품들을 만들어왔다.

영화가 발명된 후, 스캐니메이션 외에 애니메이션을 연출하는 장치에는 큰 개선이 없었기 때문에 이 새로운 장치, 스캐니마스코프의 개발은 오히려 디지털 시대에서 더 큰 의미를 가질 수 있다. 이 아날로그적 원리를 디지털 매체를 활용하여 확장시킨다면 새로운 영역을 창출할 수 있고, 더 많은 가능성을 제공할 수 있으며, 첨단 기술과 결합될 때 더 많은 발전을 이루어 낼 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 다음과 같다.

첫째, 가상공간과 가현운동을 결합시켜 새로운 장치를 제시함으로써 디지털 시대에 새로운 원리를 제공한다.

둘째, 기본 장치의 한계점을 해결하고, 스캐니메이션과 아나모르포시스의 구조를 결합하여 전기의 사용 없이, 밝은 공간에서 육안으로 볼 수 있는 유희적 장치를 개발한다.

셋째, 거울을 통한 아나모르포시스 원리를 이용한 각각의 구조에 예술 형식을 혼합함으로써 새로운 시각 체험이 가능하도록 한다.

넷째, 여러 가지 배치방법을 토대로 각 방법의 활용 방안을 제안한다.

다섯째, 수학 공식을 수립하여 아나모르포시스의 효과를 더욱 증대시키고 더욱 정확하게 보일 수 있도록 한다.

여섯째, 각 변수를 측정하여 더 효과적인 애니메이션 시각효과를 얻는다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 범위는 시지각 착시원리 중에서 가현운동으로 한정하였다. 또한 가현운동 중 물리적인 움직임과 가현운동에 의해 얻어지는 움직임의 대상이 일치하지 않는 애니메이션 장치로 한정하였다. 실험물은 아나모르포시스 표현 방법 중 '평면거울'과 '원기둥거울'로 제한하였다.

연구방법은 다음과 같다.

첫째, 선행 연구를 통하여 가현운동의 원리와 아나모르포시스 형식의 거울 반사 원리를 파악하여, 새로운 표현 방법의 가능성을 제시한다.

둘째, 새로운 장치를 명명하고 범주화한다.

셋째, 새로운 장치 제작을 위해 예비실험을 통하여 결과를 도출한다.

넷째, 아나모르포시스 효과의 극대화를 위해 수학적 공식을 수립한다.

다섯째, 예비실험 결과를 토대로 본 실험도구를 제작하여 변수를 측정하고, 움직임의 인지에 어떠한 영향을 미치는지 분석한다.

여섯째, 본 실험결과를 토대로 새로운 장치를 평가하고, 활용 방안을 제안한다.

Ⅱ. 선행연구

본 연구에 사용되는 원리는 시지각 원리 중의 가현운동과 아나모르포시스 원리인데 이 원리들에 대한 이해는 향후의 실험을 위한 선행 과제이다.

2.1 가현운동(apparent movement)

운동이란 정지해 있는 물체의 공간적 위치가 연속하여 변화하는 것을 관찰을 통해 얻게 되는 경험과 관찰자 자신이 정지해 있는 환경 속에서 이동하면서 얻게 되는 경험, 모두를 말한다.¹⁾ 운동지각은 지극히 기본적인 시각 과정이다. 사람의 눈은 태어나자마자 이동하는 물체를 따라서 움직일 수 있다. 하지만 어떤 경우에는 실제로 운동하는 상태와 다르게 본다. 실제 정지된 물체가 움직이는 것처럼 보이거나, 실제 운동방향과 다르게 보이거나, 혹은 실제 운동하는 대상이 다르게 보이는 등 시각에서의 착각들이 발생한다. 운동지각은 크게 두 가지, 즉 대상이 실제로 움직일 때의 지각과 그렇지 않은 때의 지각으로 나누어 질 수 있다.²⁾ 후자를 운동착시이라고 한다. 운동착시에는 네 가지 종류가 있다. 흐르는 구름 사이의 달이 구름과 반대 방향으로 움직이는 것처럼 보이는 유도운동(誘導運動), 어두운 공간 안에서 하나의 점광원을 볼 때 그 광점이 움직이는 것처럼 보이는 자동운동(自動運動), 한 방향으로 움직이는 것을 지속적으로 관찰한 후에 정지된 다른 것을 볼 때 반대방향으로 움직이는 것처럼 보이는 운동잔상(運動殘像), 그리고 어두운 공간 안에서 두 광원을 일정한 거리에 배치하고 교대로 점멸하게 하면 한 쪽에서 다른 쪽으로 빛이 이동하는 것처럼 보이는 가현운동(假現運動)이다.

1) 원종혁. (2009). 「게임주체의 운동속도와 광고의 운동방향과의 상관관계 분석 _ 온라인 레이싱 게임 PPL광고를 중심으로」. 漢城大學校 藝術大學院 석사학위논문, p.34

2) 엄준영. (2002). 「애니메이션에서의 움직임과 운동지각에 대한 연구」. 홍익대학교 산업대학원 석사학위논문, p.28

2.1.1 가현운동의 원리

가현운동은 눈에 보이는 대상이 나타났다 사라졌다 할 때 지각되는 움직임이다.³⁾ 1910 년에 게슈탈트(Gestalt) 심리학의 세 창립자 중 한 명인 막스 베르하이머(Max Wertheimer)는 이 현상을 발견하였으며, 이를 1912 년 파이 현상(Phi phenomenon)이라는 이름으로 「운동지각에 관한 실험연구 (Experimental Studies on the Seeing of Motion)」라는 논문에서 발표했다. 현대 애니메이션 구현 원리 중에 ‘파이현상 은 베타(β)가현운동과 같은 원리 라고 본다.

일반적인 가현운동 실험에서는 피험자에게 그림 두 개를 번갈아 보여 준다. 첫 번 째 그림은 왼쪽에 세로 줄 하나가 그어져 있고, 두 번 째 그림에는 오른쪽에 세로 줄이 하나 그어져 있다. 두 그림을 교대로 보여주는데 시간 간격을 달리하면서 피험자에게 보이는 현상을 설명하게 하는 실험을 한다.

피험자들은 0-30ms 안에 양쪽의 세로줄을 동시에 보게 된다. 시간이 점점 길어지면서 하나의 선이 왕복으로 운동하고 있는 현상을 보이게 된다. 60ms 의 시간 간격일 경우 이런 왕복 운동 현상을 가장 잘 볼 수 있다. 또한, 어떤 피험자는 양쪽 선의 가운데에 배경과 같은 색의 공간이 보인다고도 하고 어떤 피험자는 구름이 이동한 것처럼 보인다고도 했다. 200ms 초과 시에는 두 선이 따로따로 나타나는 현상이 보인다.

가현운동의 특징인 우리가 심리적으로 보았다고 느끼는 움직임은 물리적으로 공간과 시간적인 연속성이 없다는 것이다. 사람의 눈은 일정한 시간 - 차를 두고 다른 위치에서의 자극을 받았을 때, 스스로 두 자극 사이의 시간과 공간적인 틈을 채우며 심리적으로 보이는 것처럼 만든다. 다시 말해, 가현운동은 나타났다 사라지는 대상이 있어야 한다.

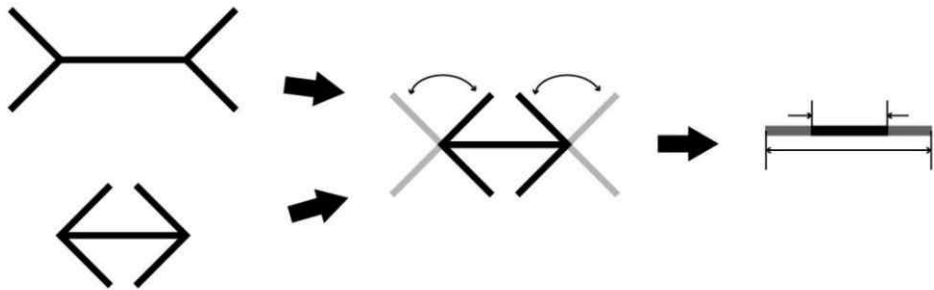
2.1.2 가현운동의 분류

가현운동은 대개 다음에 같이 세 가지로 분류한다.

3) 심복섭. (2000). 운동조형의 일루전 효과에 대한 연구. 기초조형학연구, Vol.1 No.2, p.15

1) 알파(α)가현운동

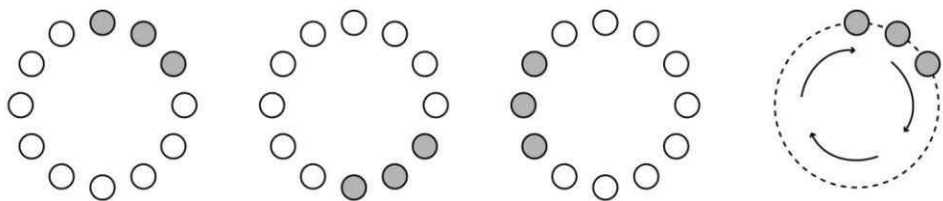
알파운동은 물체의 배경이 바뀔므로 인하여 물체가 움직이는 것처럼 보인다. 다음의 착시도형을 이용해서 알파운동을 설명할 수 있다. 같은 길이의 두 선이 있는데 한 선의 끝에는 바깥쪽으로 향한 화살표가 붙어 있고 다른 한 선은 안쪽으로 향한 화살표가 붙어 있는데, 이 두 선을 교대로 보여주는 경우에 화살표의 방향만 바뀌어 보여야 하지만 우리의 눈에는 화살표 가운데의 선이 신축운동을 하는 것처럼 보인다. 이러한 종류의 가현운동을 알파(α)가현운동이라고 한다.[그림 2-1]



[그림 2-1] 알파가현운동

2) 베타(β)가현운동

보통 가현운동을 논의할 때 사용하는 개념은 베타(β)가현운동이다. 다음 그림은 베타가현운동의 한 예를 설명한다. 전자 LED 광원은 아래 그림 순서대로 켜고 끄기를 반복하면, 특정 시간 간격으로 일련의 등불이 원운동 하고 있는 것을 볼 수 있다. 영화, TV, 애니메이션, 그리고 네온사인 등의 움직임을 표현하는 원리는 모두 베타가현운동 원리이다.[그림 2-2]



3) 감마(γ)가현운동

같은 공간적 위치에서 있는 운동 대상이 나타났다 사라졌다 하면, 나타날 때는 확대해 보이고 사라질 때는 축소해 보인다는 현상이 감마가현운동이다. 이러한 지각현상은 밤에 자동차의 깜박이 등을 통해서 볼 수 있을 것이다.⁴⁾

2.2 가현운동 애니메이션의 지각(知覺) 구조적 분류

애니메이션(Animation)이란 ‘움직임’이 있는 영상(映像)을 뜻한다.⁵⁾ 단순히 움직이는 그림만을 의미하는 것이 아니라 빛과 그림이 구성되어 인간의 마음속에 떠오르는 상상을 형태화한 것이다. 시대마다 영상 분야의 탐구가 다양하게 이루어졌고, 그로 인해 여러 가지의 장치와 구조가 개발될 수 있었고, 이러한 기술로 만들어진 영상 표현은 오늘날의 시각문화를 창조하게 되었다. 이 절에서는 영상의 역사적 발전과 흐름, 현대에 나타난 다양한 시각적 결과물을 소개하고, 영상의 다면성과 새로운 가능성을 살펴보고자 한다.

2.2.1 순차적 구조

1) 소마트로프(Thaumatrope)

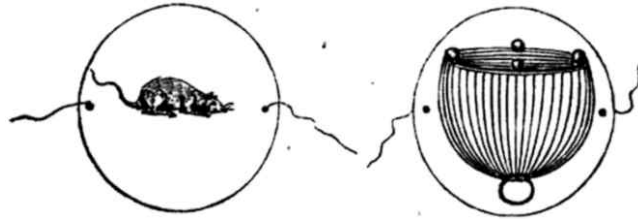
영화 역사가들은 소마트로프(Thaumatrope)는 영화와 애니메이션의 중요한 전제 조건이며 최초의 형식이라고 한동안 인정해 왔다. 1827년, 존 에일튼 파리스(John Ayrton Paris)라는 영국의 의사가 『Philosophy in sport made science in earnest(스포츠의 철학이 과학을 진지하게 만들었다)』라는 책에서 이 장치를 묘사했다. 이것은 바로 이 장치에 대한 최초의 문자 기록이다.

원형 판지 한쪽 면에는 쥐, 다른 한쪽 면에는 쥐의 우리(cage)가 그려져 있다. 두 개의 끈은 엄지와 검지를 이용하여 회전하도록 고정되어있는데. 회

4) 심복섭. (2000). 운동조형의 일루전 효과에 대한 연구. 기초조형학연구, Vol.1 No.2, p.16

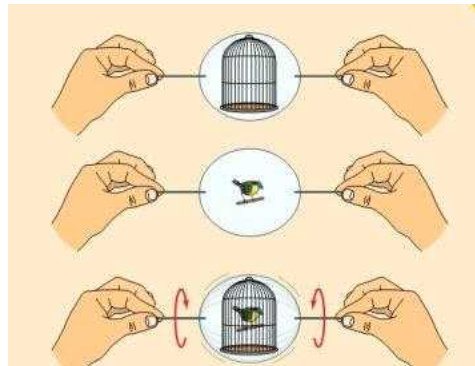
5) 이종상. (1999). 애니메이션의 구현원리 연구: β 가현운동과 파이현상의 심리학적 접근을 중심으로. 공주문화대학·논문집, Vol.26 No.-, p.232

전을 시키면 쥐가 그 우리에게 간혀있는 것처럼 보일 것이다.⁶⁾ [그림 2-3]



[그림 2-3] 최초의 소마트로프. John Ayrton Paris.
『Philosophy in sport made science in earnest』

원형 판지가 회전할 때 양쪽에 그려진 두 이미지가 번갈아 나타난다. 첫 번째 이미지를 본 후에 0.1~0.4 초 동안 잔상이 그대로 남아 있다. 이 시간 사이에 두 번째 이미지가 나타나면 두 이미지가 겹쳐진다. 판지가 끊임없이 돌면 이 상황도 계속 반복되기 때문에 우리는 두 이미지를 동시에 볼 수 있다.[그림 2-4]



[그림 2-4] 소마트로프 원리. <http://andrewrossncblog.blogspot.kr>

사실은 위에서 언급한 것처럼, 소마트로프는 진정한 의미의 애니메이션이 아니고, 다만 잔상(After Image)⁷⁾의 원리를 이용하여 두 개의 화면을 동시에 볼 수 있을 뿐이다. 움직이는 효과는 없지만 그림에도 불구하고 사람들은 이

6) John Ayrton Paris. Philosophy in sport made science in earnest(n.p.: Longman, Rees, Orme, Brown and Green, 1872). B4-7

7) 잔상이란 보였던 물체가 사라졌어도 망막에 물체의 상이 잠시 남아 있는 현상을 말한다. 황신길. (1998). 『애니메이션 영화사』. 서울: 범우사, p.25

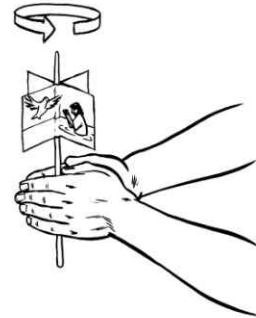
것에 많은 관심을 보였으며, 다양한 화면 효과를 위해 지속적으로 많은 장치를 개발했다. [그림 2-5~10]



[그림 2-5] 다양한 소마트로프 장치 1.
<http://www.minieco.co.uk>



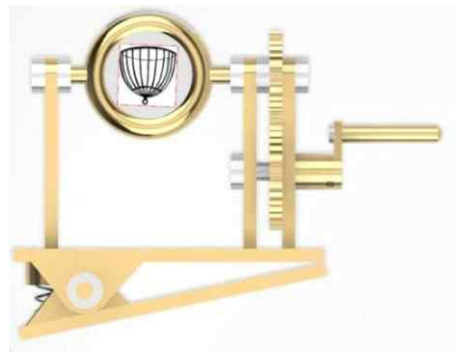
[그림 2-6] 다양한 소마트로프 장치 2.
<http://artimachines.com>



[그림 2-7] 다양한 소마트로프 장치 3.
<http://www.primaryhomeworkhelp.co.uk>



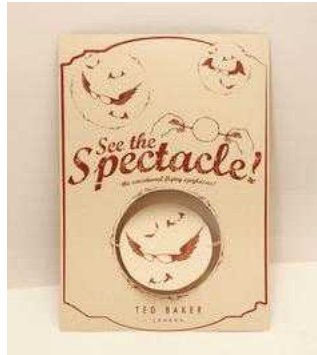
[그림 2-8] 다양한 소마트로프 장치 3.
<https://www.pinterest.com>



[그림 2-9] 다양한 소마트로프 장치 4.
<https://gallery.autodesk.com>



지금까지도, 소마트로프를 볼 수 있는데 어린이 장난감뿐만 아니라 카드, 액세서리에서도 적용되고 있다. [그림 2-11~13]



[그림 2-11] 소마트로프 포스터 카드.
<http://katie-hilton.blogspot.kr>



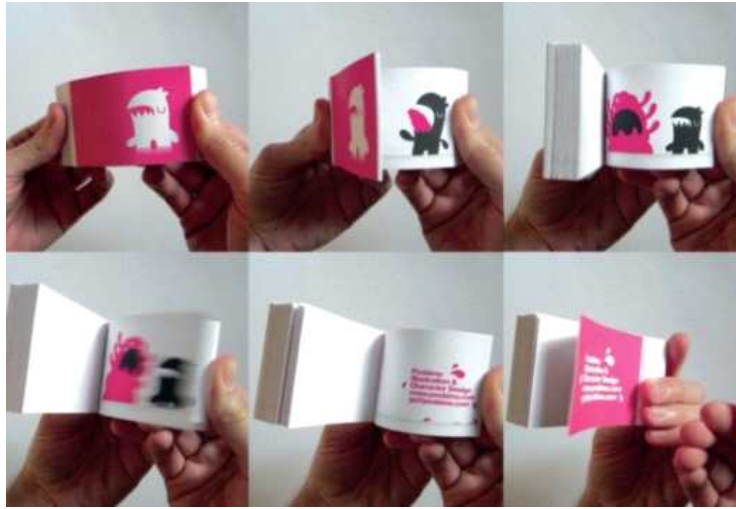
[그림 2-12] 소마트로프 목걸이.
<https://www.gnr8.biz>



[그림 2-13] 소마트로프 목걸이. <https://www.notonthehighstreet.com>

2) 플립북(Flip-Book)

플립북은 한 페이지에서 다음 페이지로 점진적으로 변화하는 그림들이 담긴 책이다. 페이지를 빠르게 돌릴 때 그림이 움직이는 것처럼 보인다[그림 2-14]. 플립북은 이미지의 선형 시퀀스를 사용하는 최초의 형태의 애니메이션으로 알려져 있다.

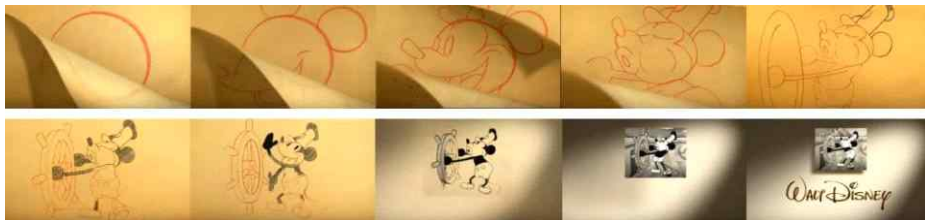


[그림 2-14] 플립북. <https://www.commoncraft.com>

1868년 9월, 존 반즈 린넛(John Barnes Linnett)이라는 영국 사람이 키네오그래프(kineograph)라는 움직이는 그림으로 특허를 받았다. 이것은 가장 오래된 플립북으로 알려진 텍스트 레코드이다.

지금도 플립북이 아이들의 장난감이나 독특한 재미있는 도구로 여겨지고 있어. 많은 예술품 소장가들의 관심을 받고 있다.

플립북이 활용된 예로 월트 디즈니 애니메이션 스튜디오가 만든 플립북을 연상시키는 영상이 있는데 빈 페이지부터 시작하여 페이지가 넘어가면 미키 마우스가 향해하고 있는 모습을 드러낸다.⁸⁾[그림 2-15]



[그림 2-15] Logo disney-Steamboat willie. <https://www.youtube.com>, 영상 캡처

또한 2012년에 새로 만들어진 핀란드 여권[그림 2-16]은 플립북 형태인데 페이지를 넘기면 순록이 걷는 모습을 볼 수 있다.

8) https://www.youtube.com/watch?v=7Y_Vh6zH8q8



[그림 2-16] 핀란드 여권. <http://diet980.tistory.com/56>

3) 무토스코프(Mutoscope)와 필로스코프(Filoscope)

1894 년에 허먼 캐슬러 (Herman Casler)는 책으로 묶기보다는 중앙 회전식 실린더에 페이지를 장착한 무토스코프(Mutoscope)라고 하는 플립북(Flip-Book)의 기계화된 형태를 발명했다. 20 세기 중반에 무토스코프는 놀이 공원에서 동전으로 볼 수 있는 작동 기계로 인기가 많았으며, 지금까지도 여러 박물관에 소장되어 있다.[그림 2-17]



[그림 2-17] 모토스코프.
<http://www.icollector.com>



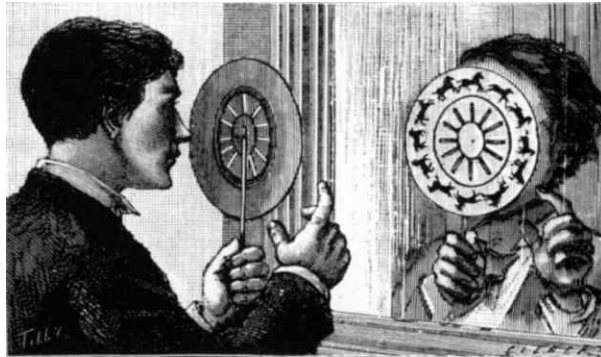
[그림 2-18] 필로스코프.
<http://jurusananimasi.blogspot.kr>

한편, 1897 년 영국의 영화 제작자 헨리 윌리엄 쇼트(Henry William Short)는 필로스코프라는 보기 쉬운 휴대용 플립북을 발명했다[그림 2-18]. 그림)필로스코프는 금속 막대기로 지탱하여 페이지 넘기는 속도를 조절하기 쉽다. 손으로 페이지를 넘기기보다는 애니메이션 효과가 더 매끄럽게 보일 수 있다.

2.2.2 틸새(슬릿)구조

1) 페나키스티스코프(Phenakistiscope)

1832년 12월 벨기에 물리학자 조셉 플라토(Joseph Plateau)는 페나키스티스코프를 발명했는데 이것은 부드러운 모션을 연출한 최초의 애니메이션 장치였으며, 동영상과 영화의 첫 번째 형태로 간주된다.⁹⁾ 페나키스티스코프는 핸들에 수직으로 부착된 회전 판지 디스크 형태인데, 디스크의 중심에서 방사형으로 애니메이션의 이미지가 순차적으로 배열되어 있다. 디스크 주변에 고르게 뚫린 작은 직사각형 슬릿을 통해 거울에 반사된 이미지를 볼 수 있으며, 디스크를 회전시키면 반사된 이미지를 애니메이션처럼 볼 수 있다.



[그림 2-19] 페나키스티스코프. <https://en.wikipedia.org>

애니메이션 커트 수가 슬릿의 수와 동일할 경우, 이미지는 고정된 위치에서 움직인다. 슬릿 수보다 애니메이션 커트 수가 적으면 이미지는 회전하는 디스크와 반대 방향으로 움직이며, 반대의 경우는 이미지가 회전 디스크와 같은 방향으로 움직이는 것처럼 보인다.¹⁰⁾

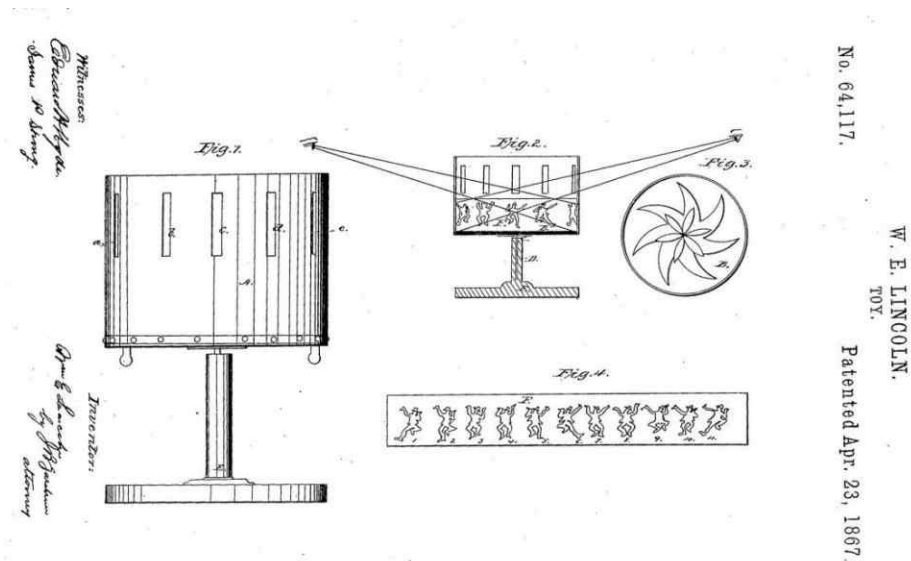
2) 조이트로프(Zoetrope)

조이트로프는 1865년 미국 브라운대학(Brown University)의 2학년 학생

9) Stephen Prince. (2010). Through the Looking Glass: Philosophical Toys and Digital Visual Effects. Berghahn Journals, Volume4 Issue2 winter, p.29

10) Stephen Herbert. "Zoetrope 2".
<http://www.stephenherbert.co.uk/wheelZOETROPEpart2.htm>

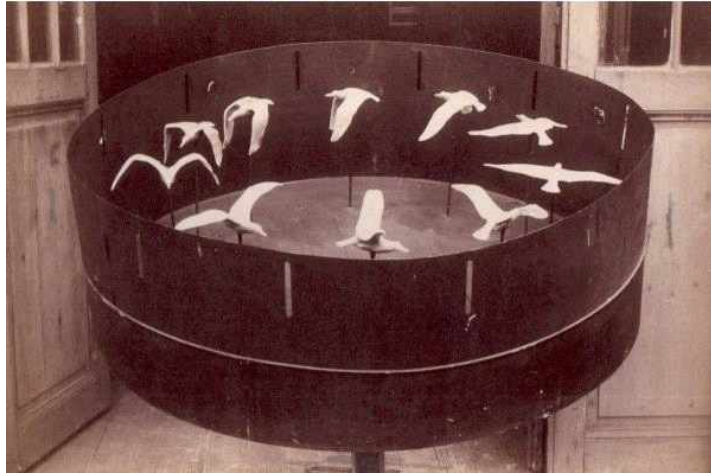
이었던 윌리엄 엔자인 링컨(William Ensign Lincoln)이 발명한, 이 장치는 측면 수직으로 절개된 원통 내부 표면에 시퀀스 그림이 그려져 있는 밴드가 있고, 원통이 회전함에 따라 사용자는 수직으로 절개된 틈새를 통해 그림을 볼 수 있다. 그림이 움직이는 것 같은 환상이 만들어지는 것으로, 원통을 빨리 회전시킬수록 애니메이션이 부드럽게 나타난다. 여러 사람들이 동시에 볼 수 있다는 것이 장점이다.¹¹⁾



[그림 2-20] 조이트로프의 장치 구조. W.E. Lincoln. <https://en.wikipedia.org>

이 원리를 3차원 모델에 적용한.[그림 2-21] 에티엔느 줄레 마레이(Étienne-Jules Marey)는 1887년 여러 발명가들의 제안을 받아들여 비행하는 새의 형태를 석고 모델로 만들어 입체 조이트로프를 제작했다.

11) W.E. Lincoln. (1876). U.S. Patent. No.64,117 of Apr.23



[그림 2-21] 3D 조이트로프, <https://en.wikipedia.org>

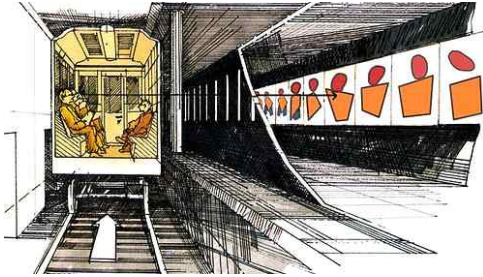
2008 년 영국의 시각효과 제작회사인 아르템리미티드(Artem Limited)는 소니(Sony)회사를 위해 브라비아드롬(BRAVIA-drome)이라는 조이트로프 장치를 제작했다. 이 장치는 지름이 10 미터인 원형으로, 브라질 축구선수 카카(Kaká)의 64 컷 사진을 나열해 놓고 이 선수의 움직임을 볼 수 있도록 했는데 세계에서 가장 큰 조이트로프로 기네스 세계 기록에 등록되어 있다.



[그림 2-22] BRAVIA-drome. 아르템리미티드 회사, <https://mymodernmet.com>

1980 년 9 월 독립 영화 제작자인 빌 브랜드(Bill Brand)는 미국 뉴욕시 지하철의 머틀 애비뉴 (Myrtle Avenue) 역에 "마스트랜시스코프(Masstransiscope)"라는 일종의 직선형 조이트로프를 설치했다. 그것은 228 개

의 슬릿이 있는 벽으로 이루어져 있는데 각 슬릿 뒤에는 손으로 칠한 패널이 있어 열차가 통과할 때 영화가 보인다.¹²⁾ 이것의 영향으로 다양한 예술가와 광고주들이 지하철 터널 벽을 사용하여 이동하는 열차에 이 조이트로프효과를 적용하기 시작했다.



[그림 2-23] 마스트랜시스코프의 구조.
<https://untappedcities.com>



[그림 2-24] 마스트랜시스코프.
<http://www.guerrillaexploring.com>

3) 스캐니메이션 (Scanimation)

스캐니메이션도 틈새(슬릿)구조이지만 페니키스티스코프 와 조이트로프의 움직임의 원리는 완전히 다르다. 연속 동작으로 그려진 몇 개의 그림들을 일정한 간격으로 자르고 한 줄씩 건너 뛰어 하나의 이미지로 합성한 후, 이 이미지 위에 아래의 그림처럼 투명 필름에서 검은 긴 사각형을 같은 간격으로 배열한다. 필름은 합성 이미지 위를 지나가면서 검은 긴 사각형 사이의 틈새로 자르기 전의 그림들을 하나씩 보여 준다. 그림을 잘 인지하기 위해 보통 흑백으로 표현한다.

스캐니메이션은 원래 바리어 그리드 애니메이션(Barrier grid animation), 또는 피켓 펜스 애니메이션(picket fence animation)이라고 부른다. 2006 년 미국의 예술가인 루퍼스 버틀러 세더(Rufus Butler Seder)는 스캐니메이션이라는 이름으로 브랜드 등록을 하고 스캐니메이션 책을 썼다. 그 이후에 이러한 구조가 스캐니메이션으로 알려졌으며, 카드 디자인, 패키지 디자인에 널리 활용되고 있다.

12) https://www.youtube.com/watch?v=c-_eHFXqxpQ



[그림 2-25] 스캐니메이션의 구조, 조희, 「모션착시의 동적 표현에 관한 연구 스캐니메이션의 원리를 중심으로」



[그림 2-26] 스캐니메이션 책
<http://designersof.tumblr.com>



[그림 2-27] 스캐니메이션 램프
<http://www.thinkgeek.com/>



[그림 2-28] 스캐니메이션 패키지.
<https://trndmonitor.com/>

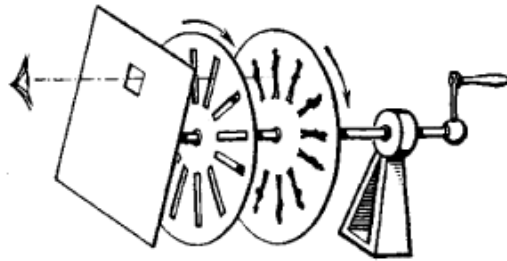


[그림 2-29] Magic Carp-pet.
John Leung. 2011.
<http://www.notcot.org>

2.2.3 점멸 라이트 구조

1) 스트로보스코프(Stroboscope)

1833년 호주의 사이몬 리터 본 스탬퍼(Simon Ritter von Stampfer) 발명한 스트로보스코프는 처음 등장했을 때의 모습은 페나키스토스코프(Phenakistoscope)와 비슷했지만 이와는 무관하게 제작된 것이었다.



[그림 2-30] 최초의 스트로보스코프. <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com>

1917년 프랑스 엔지니어였던 에스티엔느 오흐미셴(Etienne Oehmichen)은 최초의 전기식 스트로보스코프를 만들어 특허를 취득했는데 본 논문에서 언급한 스트로보스코프는 스트로보라이트(strobe light)를 사용하는 장치이다.



[그림 2-31] 스트로보스코프의 원리. <https://www.awn.com/>

스트로보스코프는 앞의 가상운동에서 언급한 두 개의 램프 실험 원리와 같다. 주변 환경이 어두워야 하고 불이 켜지는 순간마다 프레임이 한 컷씩 넘어가면서 애니메이션의 효과가 보인다.

요즘 전 세계 디즈니랜드에서는 3D 스트로보스코프를 전시하고 있는데, 이러한 애니메이션의 제작 과정의 시연 전시는 애니메이션의 역사를 기념하기 위해서 이다.



[그림 2-32] 디즈니랜드에서 설치된 3D 스트로보스코프. <https://thenextweb.com>

2) 주프랙시노스코프(Zoopraxiscope)

주프랙시노스코프는 영화의 초기 장치이다. 1879 년 영국의 유명한 선구적 사진작가였던 에드워드 머이브리지(Eadweard Muybridge)가 이 장치를 발명했다. 주프랙시노스코프는 빠르게 회전하는 유리 디스크에 이미지를 그리고, 이 유리 디스크를 빠르게 회전시키면 움직이는 효과를 얻을 수 있다.



[그림 2-33] 주프랙시노스코프. <http://watvhistory.com/>

이 장치는 토머스 에디슨(Thomas Edison)과 윌리엄 케네디 딕슨(William Kennedy Dickson)의 최초의 영화 영상기(Kinetoscope)의 주요한 영감이 되었다.¹³⁾

13) Doug Bierend. (2014). SEE THOMAS EDISON'S STEAMPUNK VERSION OF

3) 키네토스코프(Kinetoscope)

1888년 2월 25일 미국의 뉴저지(New Jersey) 주의 오렌지(Orange) 시, 에서 있었던 에드워드 머이브리지의 주프랙시노스코프에 대한 특강에서 영감을 얻은 토마스 에디슨은 자신의 재능 있는 직원이었던 디슨(Dickson)에게 이 장치를 개발하라고 했다. 이러한 이유로 에디슨이 모든 발명권을 가지고 있다고 해도 그 혼자서 발명했다고 인정할 수는 없다.

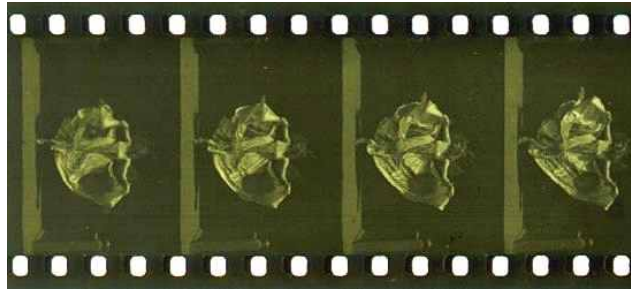
키네토스코프는 최초의 영화 디스플레이 장치로 알려져 있다. 하나의 나무 박스 속에 설치되어 있는 이 장치는, 19mm 너비의 필름을 한 세트의 기어에 고정하고, 기어의 움직임에 따라 필름 뒤에서 비추어지는 간헐적 광원으로 이미지를 보게 되는데 필름 가장자리에 일정한 간격의 구멍을 뚫어 필름이 고정되어 움직일 수 있도록 한다. 장치 위의 확대 렌즈를 끼우면 관객들은 영화를 볼 수도 있기 때문에, 비디오가 나오기 전에는 이 키네토스코프가 한동안 모든 영화 방송의 전형적인 장치였다.



[그림 2-34] 키네토스코프.
<https://en.wikipedia.org/>



[그림 2-35] 키네토스코프가 소개된 뉴스.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Kinetoscope>



[그림 2-36] 키네토스코프에서 사용한 필름. <https://en.wikipedia.org>

2.2.4 거울 반사 구조

1) 페나키스티스코프(Phenakistiscope)

‘틈새(슬릿)구조’에서 언급된 원리이므로 여기에서는 설명을 생략한다.

2) 프랙시노스코프(Praxinoscope)

1876 년에 프랑스의 샤를 에밀 레이너드(Charles-Émile Reynaud)는 페나키스티스코프와 조이트로프를 바탕으로 프랙시노스코프를 디자인하여 1877 년 12 월 21 일에 특허를 신청했다. 이 장치는 12 각 거울기둥에 12 개의 그림을 배치하고 거울과 그림을 회전시키면서 사람들이 거울을 통해 반사된 그림을 보게 하는 장치이다.. 페나키스티스코프와 조이트로프보다 선명하고 밝은 이미지를 얻을 수 있고, 움직임의 효과가 더욱 향상되었다. 이 장치는 1878 년에 파리에서 있었던 세계 박람회 (Paris World 's Fair)에서 큰 성공을 거두었으며, 그 이후 레이어드의 수차례의 발전 과정을 거쳐 1892 년 세계 최초의 애니메이션 영화를 방송하게 되었다..

1956 년 프랙시노스코프는 음악 레코드판에도 활용되었는데 16 각 거울기둥을 레코드 판 가운데 설치하여 레코드판이 회전하면 사람들이 거울을 통해 노래 내용에 관한 애니메이션을 볼 수 있다. 이것을 레드 레이븐 매직 미러(The Red Raven Magic Mirror)라고 칭했다.



[그림 2-37] 프렉시노스코프.
<http://proyectoidis.org>

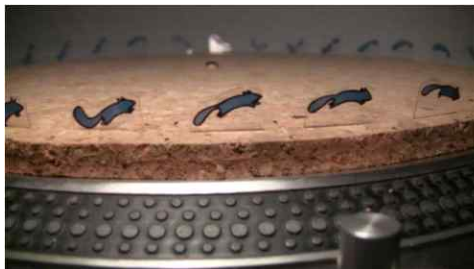


[그림 2-38] 레이븐 매직 미러.
<http://brightbytes.com>

2.2.5 기타 구조

포노트로프(Phonotrope)

애니메이션 감독인 짐 르 페브르(Jim Le Fevre)는 2007년 3월 영국의 빅토리아앤앨버트 박물관(Victoria and Albert Museum)에서 열린 프라이데이레이트(Friday Late) 행사에서 포노트로프를 소개했다. [그림 2-39]



Live Action Camera

[그림 2-39] 포노트로프와 라이브 액션 카메라. <https://en.wikipedia.org>

포노트로프는 카메라 안에서 일어나는 효과이기 때문에 육안으로는 볼 수 없다. 라이브 액션 카메라(live-action camera)를 사용하여 끊임없이 회전하는 디스크를 찍고, 라이브 액션 카메라의 프레임 속도와 디스크의 회전 속도가 맞아질 때 애니메이션 효과가 나타난다. 여기서 라이브 액션 카메라가 스트로보라이트(strobo light)와 같은 역할이다. 카메라의 뷰 파인더나 이에 연결된 모니터를 통해서, 또는 촬영 후 영상으로 볼 수 있다.

2.2.6 기존장치의 공통 원리 분석

기존장치를 통해 애니메이션을 보는 방법은 순차적 구조, 틸트(슬릿)구조, 스트로보라이트(strobo light)로 보는 애니메이션, 거울 반사 구조와 기타 구조로 총 다섯 가지가 있는데 이미지를 바꾸는 방식으로 분류하면 두 가지로 정리할 수 있다.

순차적 구조의 경우 앞의 이미지를 본 후에 시간차를 짧게 두고 뒤의 이미지를 보게 하면 우리의 눈은 가현운동의 원리로 두 그림의 차이를 움직임으로 인식하게 한다.

틸트(슬릿)구조, 점멸 라이트 구조, 거울 반사 구조, 기타 구조의 경우, 일정한 방향으로 한 커트씩 지나가는 과정은 실제운동이며 어떠한 애니메이션 효과도 없다. 가현운동 효과를 보이게 하려면 두 그림의 사이에 시간과 공간의 틸트를 주어야 한다. 즉, 그림이 한 장씩 나타날 때 중간에 이미지가 바뀌는 과정을 삭제해 주어야 하는데, 틸트, 스트로보라이트, 거울 등의 수단은 모두 이 삭제에 이용한 수단이다.

따라서 앞에 언급한 기존장치는 모두 공통적으로 가현운동의 원리를 이용했다. 모든 장치의 역할은 불연속적인 시간과 공간을 만들어주는 것으로써, 관찰자가 심리적으로 불연속적인 시간과 공간을 연결시켜서 실제 운동처럼 지각한다.

2.3 아나모르포시스(Anamorphosis)

2.3.1 개념과 의미

아나모르포시스(Anamorphosis)는 어원적으로 그리스어의 접두사인 ‘ana-’와 ‘morphe’ 합성되었다. ‘ana-’는 ‘다시’, ‘뒤로’의 뜻이고 ‘morphe’는 ‘형태’, ‘조형’의 의미¹⁴⁾로 본래의 형태를 되찾기 위하여 현재의 형태를 파괴

14) The word "anamorphosis" is derived from the Greek prefix "ana", meaning "back" or "again", and the word "morphe", meaning "shape" or "form".
<https://en.wikipedia.org/wiki/Anamorphosis>

하고 재구성 한다는 말이다.¹⁵⁾ 다른 문헌 중에서는 아나모르포즈(Anamorphose)라고도 부르는데 이 단어는 프랑스어이다. 덧붙여 설명하면. 아나모르포시스 그림은 일반 시점에서 모양이 왜곡되어 알아보지 못하겠지만 지정된 시점에서나 광학기구를 이용하면 다시 정상적인 그림을 볼 수 있다. 즉, 아나모르포시스는 가역(可逆) 변화이기 때문에 아무런 계획 없이 왜곡시킨 것이 아니라 특정 수단을 사용하면 이 전의 상태로 되돌아올 수 있어야 한다.

조형적으로 살펴보면 아나모르포시스는 원근법의 확대이라고 할 수 있다. 원근법을 반대로 응용하여 실제 공간의 형태를 바꾼다. 시각적으로 실제 공간을 늘리고, 줄이고, 확장하고, 압축하고, 비틀며 이동시킨다. 거울 속의 허상 공간까지도 이렇게 변형 시킨다. 다시 말하면, 아나모르포시스가 실제 세계의 공간을 바탕으로 사람들의 시각적인 인식 속에 존재하는 가상공간을 만든다. 어떻게 보면 가짜현실이라고도 할 수 있다.

문화적으로는 아나모르포시스가 은유적 소통이라고 한다. “일반적 방법으로 아나모르포즈의 세계는 도덕적, 철학적 법칙을 동반한다. 아는 은밀한 담화라고 할 수 있는데, 우리가 노골적으로 이야기하기를 원치 않는 그것을 아나모르포즈적이라 한다. 예컨대, 에로틱하거나, 난잡하며 불가사의 하고 철학적 은유나 종교적 비유의 장면 등등...”¹⁶⁾ 이라고 미술사학자 유르기스 발트뤼자이티스(Jurgis Baltrušaitis)가 말한다.

또한, 아나모르포시스는 시각적인 수수께끼처럼 관객들에게 유희적인 체험 줄 수 있다. 전혀 알아보지 못하는 그림 속에 무엇이 숨겨 있을까, 어떻게 보아야 알 수 있을까 하는 호기심을 만들어 내며 이를 알 수 있을 때의 쾌감은 매우 즐거운 체험이다.

15) 김혜주, 이수균. (1995). 서양미술의 기학적 원근화법에 대한 비정상적이고 왜곡된 원근화법으로써의 아나모르포즈(Anamorphose). 미술사학보, Vol 7, p.102

16) Jurgis Baltrušaitis. (1984). 『Anamorphose ou Thaumaturgus opticus』. Paris: Flammarion, p.17

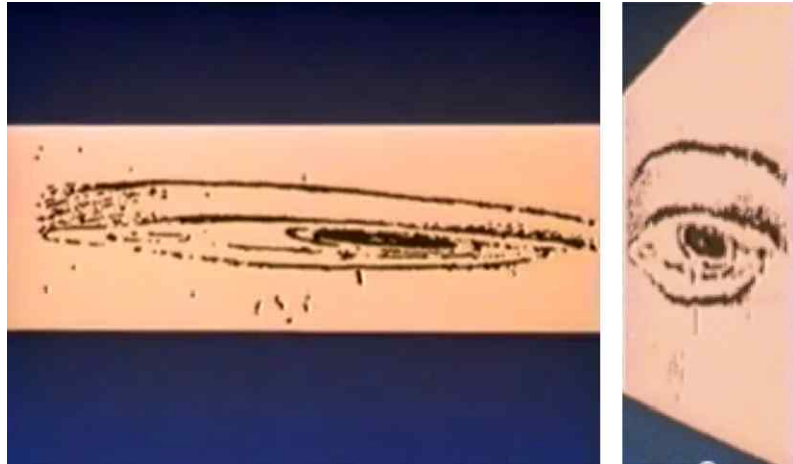
2.3.2 기원

아나모르포시스에 관한 최초의 이야기는 고대 그리스 시대로 올라간다. 어느 날 전쟁여신 미네르바를 찬양하기 위해서 조각 대회를 열었는데, 그 당시에 유명한 조각가 피디아스(Phidias)과 제자 알카멘느(Alcamène)가 이 대회에 참석했다. 제자 알카멘느가 만든 조각상은 매우 훌륭하여 사람들의 칭찬을 받은 반면, 피디아스가 만든 여신의 조각상은 눈, 코, 입 모두 비뚤어지고 매우 못 생겼다는 이유로 사람들은 여신을 모독한다고 생각하여 피디아스에게 돌을 던졌다. 하지만 두 작품을 높은 심사대 위에 올려놓았을 때 결과는 완전히 뒤집혔다. 피디아스가 만든 조각상의 눈, 코, 입은 더 이상 이상해보이지 않았고, 아주 성스러운 여신으로 보였으며, 반대로 알카멘느의 여신 조각상은 비율이 맞지 않았다. 피디아스의 작품은 조각상 심사대 위에 올려진 상황을 먼저 고려하여 원근법을 수정하여 제작된 작품인 반면, 알카멘느의 작품은 그러하지 못했다.¹⁷⁾ 이 스토리를 통해 고대 그리스 시대에 원근법을 알고 있었다는 것을 증명할 수 있다.

아나모르포시스는 르네상스(Renaissance) 시대에 매우 유행했었으나 그 시대에는 교황이 아주 강력하게 지배했던 시대였기 때문에 문화, 예술, 과학 등은 발전을 가져오지 못했다. 오히려 앞 시대 즉, 고대 그리스와 고대 로마 시대의 훌륭한 문화와 예술을 부흥시켜 시작했는데, 앞에서 언급한 피디아스가 사용했던 외상(歪像) 조형방법도 부흥시킨 예술 형식 중의 하나이라고 추측할 수 있다.

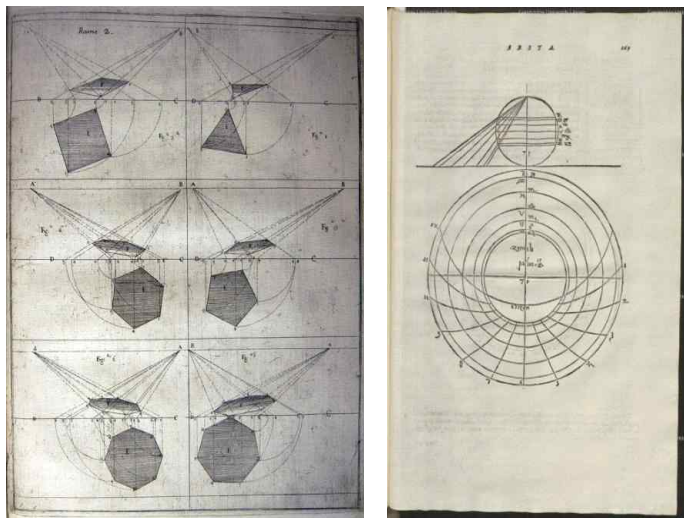
현존하는 최초의 아나모르포시스 그림은 레오나르도 다빈치(Leonardo da Vinci)의 친필 원고 중의 '레오나르도의 눈(Leonardo's Eye)'이다.[그림 2-40] 이 눈은 매우 길게 늘려 그렸는데 오른쪽 끝에서 보면 원래 비율로 돌아오게 된다.

17) 하태환. (1994). 아나모르포즈(Anamorphose)와 마르셀 프루스트. 프랑스어문교육, Vol.2 No.-, p.340



[그림 2-40] Leonardo's Eye. Leonardo da Vinci. 1485

최초로 왜곡된 형태에 대해 저술된 것은 1559년 다니엘 바르바로 (Daniello Barbaro)의 『원근화법의 실습(La pratica della prospettiva)』이다. 그는 보는 사람의 위치에 따라 달라져 보이는 아나모르포시스의 미묘한 느낌을 원근법의 범주에 포함시켰다.¹⁸⁾



[그림 2-41] Daniello Barbaro. 『La pratica della prospettiva』. 1559

18) 한승희. (1997). 「아나모르포즈(Anamorphose)기법을 이용한 현대회화의 의미」. 東國大學校 大學院 석사학위논문, p.13

아나모르포시스는 일정한 위치에서 보거나 광학 기구로 통해서 봐야 그림의 원래 모습을 알 수 있기 때문에 화가들이 항상 정치에 대한 아이러니와 불만을 그림 속에 숨겼다. 그 중에 가장 대표적인 사례로 1533년 한스 홀바인(Hans Holbein)의 ‘대사들(The Ambassadors)’이다. 이 그림중의 왼쪽 사람은 영국의 대사 댁트빌(Jean de Dinteville)이고, 오른쪽 사람은 프랑스 남부 지방의 주교 드셀브(Georges de Selve)이다. 두 사람은 아주 근엄한 모습으로 자신들이 맡은 임무의 중요성을 깊이 새기고 있는 것처럼 보이지만 아래쪽에 왜상화법으로 숨겨진 해골이 그려져 있다. 권력, 지식, 예술은 담은 광경은 자취를 감추고 모든 것의 종말을 암시하는 죽음의 기호가 관람객을 바라보고 있는 것이다.¹⁹⁾



[그림 2-42] The Ambassadors, Hans Holbein the Younger, 1533

아나모르포시스를 만들기 위해 전문 지식과 원근법이 필요하므로 16세기까지는 일부 지식인이나 상류층이 좋아하는 고급스러운 놀이이었다. 그리고 17세기에 이르러서는 가벼운 손 놀이 그림으로 일반 가정에까지 보급되었다. 그 원인은 니세롱이의 저서 『신기한 원근법: 1638년』에 왜상에 대한 작도법을 상세하게 소개했기 때문이었다.²⁰⁾ 그 이후에 여러 가지 광학적 기술을

19) Delavaux, Celine. (2012). 『착각을 부르는 미술관』. 서울: 시그마북스, p.68

사용하여 새로운 아나모르포시스의 해체와 재구성을 게임처럼 즐길 수 있게 되었다. 현대적인 컴퓨터이나 영상 디지털 기술 등을 이용하여 쉽게 완성할 수 있다. 그 전에는 어느 때보다도 더 흥미롭고 재미있는 아모르포시스 작품을 만들어 낼 수 있겠다.

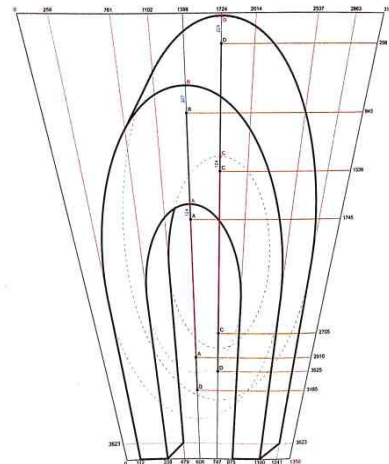
2.3.3 표현유형

아나모르포시스의 표현유형은 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 즉, 기하학적 투시법을 이용하여 직접적인 표현과 광학기계를 이용한 간접적인 표현이다.

1) 기하학적 투시법을 이용한 표현법

기하학적 투시법은 특정한 시점에서 바로 왜곡된 그림의 원래 모습을 찾을 수 있다. 이 표현 방법은 왜곡 그림이 그려진 위치에 따라 다음 네 가지 범주로 나눌 수 있다. 또한, 곡면에서도

·가) 왜곡된 그림은 한 평면에 그려진 길거리 그림, 벽화, 또한 교통표시에서 자주 찾을 수 있다. 특히 사람들의 이목을 끌기 위해 많이 사용된다.



[그림 2-43] Gateway to the sea. Nico Laan. 2008

나) 왜곡된 그림은 여러 평면에 그린 후, 특정 시점에서 볼 때 여러 평면

20) 板根嚴夫, (1984). 『新遊びの博物誌』, 朝日新聞社, p.231

에 있는 그림이 모아져 한 이미지로 합해져 보인다. 이 방법은 항상 긴 공간이 짧게 보이기 위해서 많이 활용된다.



[그림 2-44] Five Concentric Black Circles. Felice Varini, 1997

□다) 곡면에 그린 이미지는 곡면을 평면화 시키거나 불규칙한 곡면을 규칙적으로 보이게 할 때 많이 활용한다.



[그림 2-45] Who to Believe? François Abélan. 2011

—라) 이러한 입체적인 조형 표현은 평면보다 입체가 모든 각도에서 관찰할 수 있으므로 더 경이롭고도 풍부한 시각 체험을 만들어 낼 수 있다.



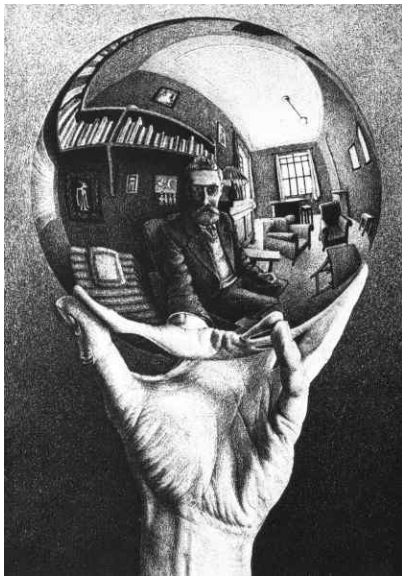
2) 광학도구를 이용한 표현법

기하학적 투시법을 비해서 광학도구를 이용한 표현법은 원래의 그림 찾기가 조금 힘들지만 매우 흥미롭다. 이런 표현방법은 직접 볼 수 없으며 특정한 도구를 특정 위치에서 놓아 특정 시점에서만 볼 수 있다. 도구, 도구의 위치, 그리고 시점 이 3 가지 조건 중 한 가지라도 틀리면 그림의 원래 모습을 볼 수 없다. 여기에 제일 많이 사용되는 도구는 거울이다. 렌즈와 빛을 이용한 작품도 있다.



[그림 2-47] Greek Column, István Orosz, 1994





[그림 2-49] Hand With Reflecting Sphere. M.C.Escher. 1935



[그림 2-50] Escher to the Third Power. Dick Termes. 1983



[그림 2-51] Monroe in the Rain. 조열, 1983



[그림 2-52] ランチはヘルメットをかぶって…。福田繁雄, 1987

2.3.4 활용 사례

아나모르포시스는 쉽게 시선을 끌릴 수 있으므로 생활 속에 많이 활용하고 있다. 중요한 장소에서 주목을 끌기 위해 사용하기도 하고, 사람들이 신비롭고 재미있게 느끼도록 활용하기도 한다.

아래 사진은 구급차 앞면 모습이다. 위에는 "AMBULANCE"가 써 있고 가운데에는 이 단어의 반전된 형태를 그렸는데, 이것은 앞 차의 운전 기사가 잘 볼 수 있도록 쓰인 예이다. 앞 차의 기사가 사이드 미러를 통해 반전된 단어를 보면 거울을 통해 반전되어 정상적으로 보이는 "AMBULANCE"를 볼 수 있기 때문이다.



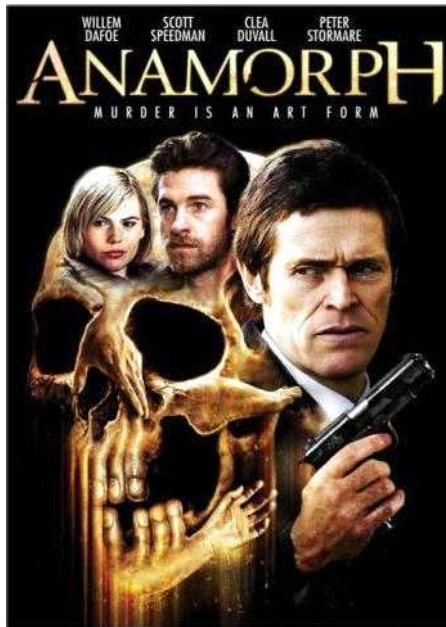
[그림 2-53] 미국의 구급차. <http://4.bp.blogspot.com/>

요즘은 길거리 그림이나, 벽화의 제작에 많이 쓰이고 있다. 어느 곳에서나 교통표지에 응용하여 사람들의 주의력을 향상시킬 수 있다. 아래 그림은 인도의 한도시의 횡단보도이다. 이것은 보행자를 보호하기 위해 제작된 그래픽으로 운전자들은 이를 장애물로 느끼고 자동으로 속도를 감속하게 된다.



[그림 2-54] 인도의 횡단보도. <http://twistedsifter.com/>

2007 년 미국의 헨리 밀러(Henry Miller)라는 감독은 아나모르포시스 기법의 줄거리로 ‘아나모르프(Anamorph)’라는 영화를 찍었다. 감독이 표현하고자 한 것은 그림은 다른 시점에서 보면 또 다른 그림으로 보일 수 있는데 죽음도 어떤 시점에서 보면 일종의 예술이라는 것이다..



[그림 2-55] Anamorph 영화 포스터. 2007. <http://list.youku.com/>

2013 년 한국의 루이초 회사는 거울 아나모르포시스 원리를 이용한 커피잔과 받침 세트를 판매하기 시작했다. 이 커피잔은 24 각으로 된 원형으로 그 면은 거울로 제작하였고, 커피 받침에는 멸종위 기 동물들을 조각된 패턴으로 그려 넣었다. 커피 잔을 조금씩 회전시키면 받침의 패턴 속 에 숨겨진 이미지가 나타나고 또 사라지는 유희적인 효과가 있다. 멸종위기 동물들의 삶은 인간의 손에 달려있다는 뜻이 담겨 있다.



독특한 MV 로 알려진 “OK Go”밴드는 2015 년 3 월에 중국의 가구 매장 “The Red Star Macalline(红星美凯龙)”에게 “2 天来了(이틀이 왔다)”²¹⁾라는 광고 MV 를 만들어 줬다. 이 MV 에서 많은 아나모르포시스 표현을 이용하여 사람들의 호기심을 자극함으로써 그 당시에 엄청난 성공을 거두었다.



[그림 2-57] '2 天来了' 광고 MV. OK Go. 2015.
<https://www.youtube.com>. 영상 캡처

따라서 오래 된 예술 형식인 아나모르포시스는 계속 새로운 기술과 조합하여 개선되어 왔다. 앞으로 첨단 기술과 결합하여 더 놀라운 시각 효과를 보여줄 것을 기대한다.

2.4 거울을 이용한 아나모르포시스

1)평면거울

평면거울은 제일 쉽게 각도와 방향을 바꿔 줄 수 있다. 다음 작품처럼 거울을 45 도로 설치하여 수평으로 그린 건축물은 수직으로 바뀐다. 이러한 방식으로 사람들은 수평적인 건축물에서 실제로는 불가능한 행동을 할 수 있게 만들었다.

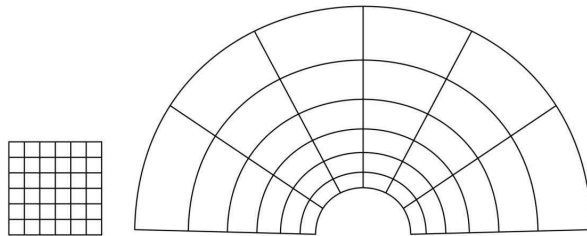
21) <https://www.youtube.com/watch?v=ZQMH52O9e84>



[그림 2-58] Dalston. Leandro Erlich. 2013

2) 원기둥거울

[그림 2-59] 은 원기둥 거울 아나모르프시스의 방안지이다. 방안지 가운데 원 위에 원기둥형 거울을 올리면 정상적인 그림을 볼 수 있다. 바닥 그림은 거울과의 거리가 멀수록 늘어나는 효과가 두드러진다.



[그림 2-59] 원기둥 거울 아나모르프시스를 위한 방안지



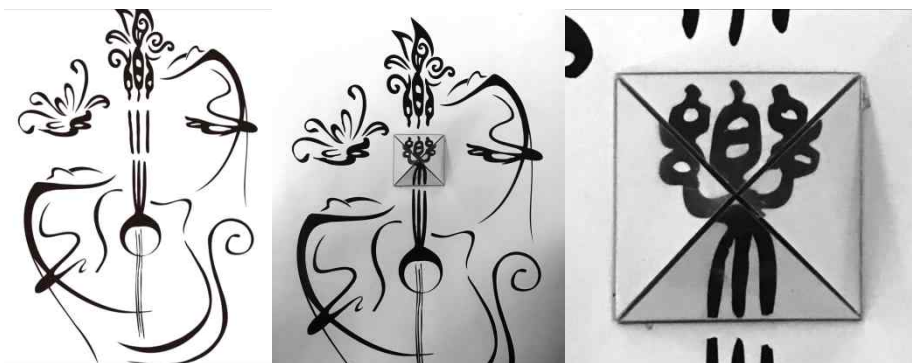
바닥의 왜곡된 그림은 평면뿐만 아니라 다른 모양으로도 가능하다. 아래 작품의 왜곡된 그림은 굴곡진 형태에 만들어졌다. 물론 이러한 방법은 평면에 적용하는 것보다 훨씬 어렵다.



[그림 2-61] 아나모르포즈 미러컵 시리즈: 나비. 조열. 2015

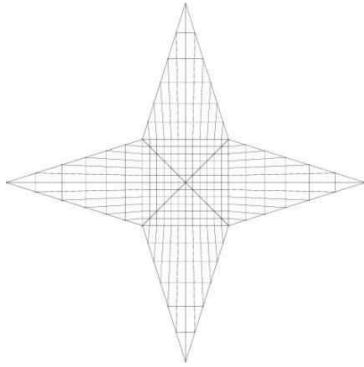
3) 피라미드형 거울

피라미드형 거울은 같은 크기의 네 개 이등변 삼각형을 합한 거울이다. 꼭지점을 위에서 바라보면 숨겨진 그림이 나타난다. 아래 바닥에는 기타와 아름다운 문양이 그려져 있는데 지정된 위치에 피라미드형 거울을 올리면 음악의 뜻인 “樂”자가 보인다.



[그림 2-62] 학생작품, 2017

아래 피라미드형 거울 아나모르포시스의 방안을 보면 거울 반사 구역은 비연속적인 것을 알 수 있다. 이 원리를 오각, 육각, 심지어 원뿔형 거울에 활용한 아나모르포시스도 만들어 질 수 있다.



[그림 2-63] 피라미드형 거울
아나모르포시스를 위한 방안지



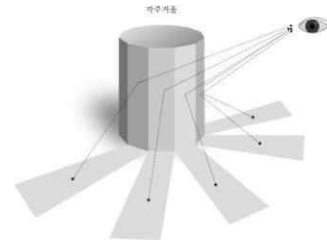
[그림 2-64] Atlantis Anamorphosis.
István Orosz. 2000



[그림 2-65] The Representation of Space. Sténopé. 1992

4) 각기둥 거울

각기둥 거울도 피라미드형 거울처럼 반사된 구역은 비연속적이다. 따라서 거울의 위치가 조금만 맞지 않아도 정확한 이미지를 보이기 힘들다. 이러한 원리에 따라 아래의 거울컵 작품은 . 우리가 주의를 기울이지 않는다면 멸종 위기 동물들은 사라질 것이라는 메시지와 일맥상통한다.



5) 도트형 거울

도트형 거울은 작은 평면거울을 합한 것이다. 평면거울이 각도와 방향을 쉽게 바꿀 수 있는 속성을 이용하여 여러 각도에서의 색을 가져와 그 색으로 픽셀 그림을 만든다. 밑그림은 도트형 거울로 만든 메모지이다. 종이를 한 장씩 넘길 때마다 “love”와 “hate”가 교대로 나타난다.



[그림 2-68] Love hate. 루이초(Luycho)의 메모지. 2014

Ⅲ. 스캐니마스코프의 명명 및 의의

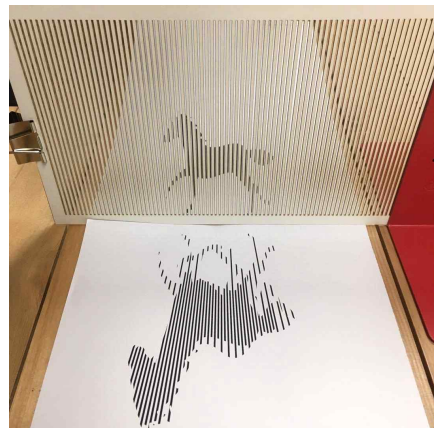
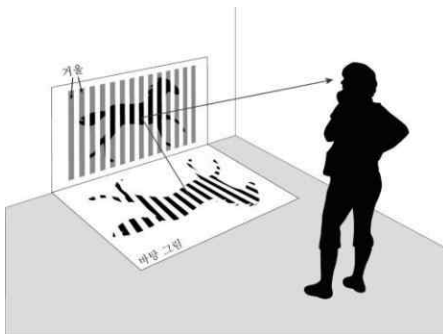
3.1 스캐니마스코프의 정의

스캐니마스코프는 거울과 바탕 그림으로 구성되어 있는 장치 구조이다. [그림 3-1]와 같이 거울과 바탕 그림을 90° 로 배치한다. 또한, 같은 간격으로 얇게 자른 거울을 거울과 거울 사이에 일정한 간격을 두고 나란히 배치한다.

바탕은 연속 동작을 몇 개의 그림으로 그려서 그 이미지를 합친 그림이다. 이러한 그림들을 일정한 간격으로 자르고 한 줄씩 건너 뛰어 붙여서 하나의 이미지로 만드는데 이 이미지는 아나모르포시스 원리를 이용해서 바탕 그림을 왜곡 시킨다.

특정 위치에서 보면 일정하게 분할된 바탕 그림은 거울 반사를 통해 정상적인 그림으로 볼 수 있다. 이 그림은 완전한 것이 아니라 분할된 거울의 반사로 모아지는 합성 이미지이다.

일정한 간격을 두고 있는 거울과 거울 사이에는 다른 그림들이 숨겨져 있다. 시점, 거울반사, 바탕 그림의 위치가 변경되는 경우, 거울의 반사 위치가 달라짐으로써 원래 숨겨져 있던 그림이 보이게 되는 원리이다.



바탕의 그림은 아나모르포시스 원리를 이용하여 형태를 왜곡시킨다. 거울 반사를 통해 분할된 이미지를 하나로 보이게 하는 것은 주관적 윤곽선의 인지원리와 거울 반사원리의 결합이다. 또한, 연속적으로 움직임이 보이는 것은 잔상원리와 가현운동의 원리이다.

따라서 이 장치는 기초적인 애니메이션의 한 장치 구조로써 아나모르포시스 장치 구조라고 할 수도 있다.

그러므로 본 장치는 스캐니메이션과 프랙시노스코프를 합한 장치이다.

스캐니마스코프를 명명하기 전에 우선 다른 애니메이션 장치구조의 이름을 고찰해 보고자 한다. 앞서 언급한 기본 장치는 소마트로프(Thaumatrope), 조이트로프(Zoetrope), 포노트로프(Phonotrope), 무토스코프(Mutoscope), 필로스코프(Filoscope), 페나키스티스코프(Phenakistiscope), 스트로보스코프(Stroboscope), 주프랙시노스코프(Zoopraxiscope), 키네토스코프(Kinetoscope), 프랙시노스코프(Praxinoscope), 마스트랜시스코프(Masstransiscope), 플립북(Flip-Book), 그리고 스캐니메이션 (Scanimation)까지 13 가지가 있다. 플립북(Flip-Book)과 스캐니메이션(Scanimation)을 제외하고, 모두 'trope'와 'scope'라는 단어가 포함되어 있다.

'trope'의 어원은 그리스어 트로프스(Trópus)에서 유래한다. 그 뜻은 '덧붙여진 멜로디'를 의미하는 것으로,²²⁾ 즉, '돌리다'의 뜻이다. 소마트로프(Thaumatrope)는 '신기한 회전'²³⁾, 조이트로프(Zoetrope)는 '생명의 바퀴'²⁴⁾라는 뜻이다. 그리고 포노트로프(Phonotrope)는 처음에 축음기를 이용해서 만들어졌으므로 '돌리는 축음기'라는 의미이며, scope 는 '보는 기계'를 뜻한다.²⁵⁾

22) 네이버 지식백과.

<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=390207&cid=42612&categoryId=42612>

23) The coined name translates roughly as "wonder turner", from Ancient

Greek: $\theta α ῥ ῖ μ α$ "wonder" and $τ ρ ό π ο ς$ "turn".[Etymology]

위키백과. <https://en.wikipedia.org/wiki/Thaumatrope>

24) The name zoetrope was composed from the Greek root words $ζ ω ῆ$ zoe, "life" and

$τ ρ ό π ο ς$ tropos, "turning" as a transliteration of "wheel of life".[Etymology]

위키백과. <https://en.wikipedia.org/wiki/Zoetrope>

25) 네이버 영어사전.

<http://endic.naver.com/enkrEntry.nhn?sLn=en&entryId=c0a3fb60c78048689dc8a81e9542d7b8&query=scope>

페나키스티스코프는 '소용돌이를 본다'²⁶⁾, 주프랙시노스코프(Zoopraxiscope)는 '동물 실험을 본다', 키네토스코프(Kinetoscope)는 '움직임을 본다'²⁷⁾, 프랙시노스코프(Praxiscope)는 '액션을 본다'²⁸⁾, 그리고 마스트랜시스코프(Masstransiscope)는 '대중교통을 통해서 본다'는 뜻이다.

플립북(Flip-Book)은 '뒤집히는 책'이라는 뜻으로 책장을 넘기는 동작을 나타낸다. 또한, 스캐니메이션 (Scanimation)은 스캔 방식으로 보는 애니메이션이다. 'scan'은, 대상물의 전체를 그 일부분씩 순차적으로 확인해 보는 동작이다.²⁹⁾

따라서, 기본 장치의 이름을 짓는 방식은 4 종류로 분류될 수 있다.

- 1) 장치의 구성 요소 (예, 포노트로프(Phonotrope), 마스트랜시스코프(Masstransiscope), 주프랙시노스코프(Zoopraxiscope).)
- 2) 장치를 통해 보이는 상태 (예, 조이트로프(Zoetrope), 스트로보스코프(Stroboscope), 주프랙시노스코프(Zoopraxiscope), 네토스코프(Kinetoscope), 프랙시노스코프(Praxiscope).)
- 3) 장치의 운행 상태 (예, 조이트로프(Zoetrope), 소마트로프(Thaumatrope), 플립북(Flip-Book), 스트로보스코프(Stroboscope), 스캐니메이션 (Scanimation).)
- 4) 장치를 보는 느낌 (예, 소마트로프(Thaumatrope), 페나키스티스코프(Phenakistiscope).)

본 장치 구조는 위의 내용을 통해 아래와 같은 이유로 장치의 구성 요소

26) The etymology is from the Greek words $\sigma\tau\rho\acute{o}\beta o\varsigma$ - strobos, meaning "whirlpool" and $\sigma\kappa o\pi\epsilon\acute{\iota}\nu$ - skopein, meaning "to look at".
위키백과. <https://en.wikipedia.org/wiki/Stroboscope>

27) Kinetoscope, derived from the Greek roots kineto- ("movement") and scopos ("to view").
위키백과. <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinetoscope>

28) The word praxiscope translates roughly as "action viewer", from the Greek roots $\pi\rho\alpha\acute{\xi}\iota$ - (confer $\pi\rho\acute{\alpha}\xi\iota\varsigma$ "action") and scop- (confer $\sigma\kappa o\pi\acute{o}\varsigma$ "watcher").
위키백과. <https://en.wikipedia.org/wiki/Praxiscope>

29) 네이버 지식백과.
<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=758344&cid=42341&categoryId=42341>

로 이름을 짓는 것이 가장 합당하다고 생각된다. 즉 장치의 구조는 스캐니메이션과 프렉시노스코프의 결합이며, 그림과 거울의 분할 방법은 스캐니메이션의 원리이다. 또한, 거울을 통해 보는 방법은 프렉시노스코프이다. 그리고 외관상으로는 스캐니메이션과 더 가깝다고 볼 수 있다.

따라서 이 장치는 '스캐니마스코프(Scanimascope)'로 명명할 수 있다. 어원으로 따지면 'scan', 'anima', 'scope' 이렇게 3 가지 단어가 합성되어 있는 것이다. 'scan'는 위 문장에서 언급했듯이 순차적으로 보는 동작이다. 'anima'는 '영혼, 생명' 또한 '쭉쭉하게, 활발하게'의 뜻을 가지고 있으며³⁰⁾, 생명은 스스로 움직일 수 있는 것이다. 즉, 원래 움직이지 않는 것에 생명을 부여하여 움직이게 하는 것이다. 'scope'는 '보는 장치'이다. 따라서 스캐니마스코프는 '스캔 방식대로 움직임을 보는 장치'라고 할 수 있다.

3.2 시각 예술 장치로써 스캐니마스코프

과학 기술이 나날이 크게 발전함에 따라 예술 또한 그 기술에 힘입어 진화하는 방식으로 끊임없이 발전되어 왔다. 예를 들어 사진과 영화, 애니메이션 등 많은 예술과 디자인 분야는 기술의 교체로 인해 다양한 형식이 생겼다. 즉, 새로운 기술이 낡은 기술을 대체하며 낡은 기술은 오히려 예술이 되기도 하였다. 예를 들어서 사진 기술이 생기면서 회화가 예술이 되었으며, 현대 인쇄 기술이 생기면서 판화가 예술이 되었다. 이렇게 옛 예술 형식이 새로운 방식으로 현대에 나타나면서 사람들은 새로운 기술의 힘을 경탄할 뿐만 아니라 옛 예술의 매력과 선인들의 지혜에도 감탄하게 되었다. 다시 말하면 선인들의 지혜가 담겨 있는 새로운 원리의 발견은 생활의 지혜와 기술을 접목한 형식으로 오늘날 기술과 예술의 발전을 이루게 된 것이다.

디지털 시대의 컴퓨터는 인간을 대신해서 더 많은 일을 할 수 있고, 음향, 빛, 전기 기술의 발전은 더 놀라운 시각 효과를 만들 수 있다. 그러나 이러한 시점에서 스캐니마스코프를 통한 기초 연구의 필요성은 매우 중요하다. 우선

30)) 네이버 영어사전.

<http://endic.naver.com/search.nhn?sLn=en&searchOption=all&query=anima>

스캐니마스코프는 두 가지 측면에서 유용하게 활용 될 수 있다.

첫째는 평면적인 스캐니메이션 구조에서 벗어나 입체 공간에서도 활용이 가능하게 됨으로써 책이 아닌 실제 생활 속에서도 적용할 수 있게 되었다. 즉, 건축, 인테리어 옥외 광고 등 동적 시각 효과를 필요로 하는 예술 디자인 분야에서도 활용이 가능하게 될 것이다

둘째는 오늘날과 같은 첨단 아이티 (IT) 시대에서 스캐니마스코프 개발은 컴퓨터에게도 새로운 원리를 제공함으로써 새로운 분야로의 발전을 비약시킬 수도 있을 것이다. 바둑에서의 알파고는 인간을 이길 수 있지만도 바둑을 설명할 수는 없다. 바둑이 무엇인지, 바둑을 어떻게 두는지, 어떻게 하면 이길 수 있는지 또는 어떻게 지게 되는지 모두 인간들이 알파고에게 가르쳐 준 것과 같은 이치이기 때문이다.

실제로 1917년 개발된 스트로보스코프는 빛을 사용하기 때문에 주변 환경이 어두워야 하는 단점이 있었다. 그러나 90년이 지난 2007년 라이브 액션 카메라라는 최첨단 연속촬영 카메라가 개발되면서 밝은 환경에서도 스트로보스코프 효과를 즐길 수 있게 되었다

가현운동은 오래 전부터 사용된 운동 착시 현상이다. 애니메이션은 영화가 나오기 이전부터 가현운동 현상을 이용하여 끊임없이 화면이 자연스럽게 움직일 수 있도록 노력해 왔다. 1872년 소마트로프 이후 페나키스티스코프, 조이트로프, 스트로보스코프, 프렉시노스코프 등의 여러 가지 원리를 만들어 많은 장치를 발명해왔는데. 1888년에 키네토스코프가 발명되면서 영화가 등장했고, 그 이후 음향, 빛, 전기 기술이 발달하면서 영화는 지속적으로 발전하여 왔다. 그러나 영화의 발명 이후 백년이 훨씬 지났지만 스캐니메이션 이외에는 새로운 기초 원리가 개발되지 못했고 이 스캐니메이션 역시 평면적인 응용에서 벗어나지 못하였다. 그러나 이것을 공간적인 가현운동의 표현방식과 아나모르포시스 원리를 결합시키면 실용성이 더 높은 시각 예술 장치로서의 기대 효과를 얻을 수 있게 될 것이다. 스캐니마스코프는 이러한 측면에서도 더 큰 의미가 가진다.

이상과 같은 관점에서 스캐니마스코프는 가현운동 원리를 이용한 애니메이션 분야에 새로운 가능성을 제시함은 물론, 건축, 인테리어, 옥외 광고 등

입체적이고 공간적인 우리 생활공간 속에서 다양한 예술, 디자인 형식으로 적용될 수 있을 것이다. 지금은 그 시작에 불과하나 향후에는 다양한 기술이 더욱 더 적용되어 발전할 것이며, 이는 관련분야의 연구에 많은 기대 효과를 얻을 수 있을 것이다.

Ⅳ. 스캐니마스코프 장치 개발

4.1 예비 실험

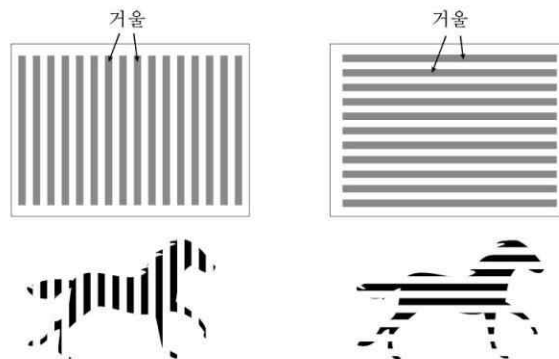
4.1.1 배치 방법 및 분석

1) 자르는 방향

스캐니마스코프는 거울과 그림, 두 부분으로 구성된다. 사람들은 잘라낸 거울을 통해 반사된 이미지를 본다. 거울을 자르는 방향은 두 종류로 나뉘는데 하나는 수평 구조이고 하나는 수직 구조이다. 스캐니메이션의 원리에서 그림이 거울과 같은 방향으로 잘려야 함으로 그림이나 거울이 자르는 방향과 수직으로 움직일 때 다른 숨겨진 그림을 볼 수 있음을 알 수 있다. 따라서 자르는 방향은 다음 그림과 같이 두 가지 조합으로 할 수 있다.[그림 4-1]

가) 거울을 세로로 자르고, 그림도 세로로 자른다.

나) 거울을 가로로 자르고, 그림도 가로로 자른다.



[그림 4-1] 스캐니마스코프의 분할 방법

2) 설치 방향

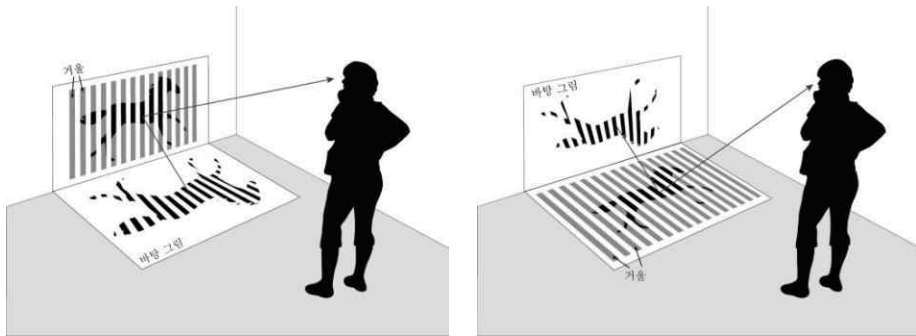
스캐니마스코프 구조는 거울과 그림의 위치가 서로 수직이다. 따라서 거울과 그림의 배치 방법은 다음과 같이 두 가지가 있다.[그림 4-2]

가) 거울의 방향은 수직이고, 그림의 방향은 수평이다. 수직 거울을 통해

반사된 수평 그림을 볼 수 있다.

나) 거울의 방향은 수평이고, 그림의 방향은 수직이다. 거울을 내려다보고 반사된 수직 그림을 볼 수 있다.

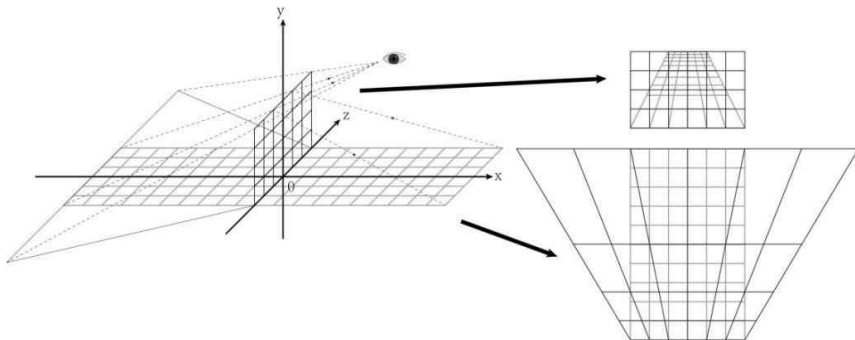
이 두 가지 조합에 대한 왜곡률 계산 방법은 다르기 때문에 자세한 계산 방법은 본 실험에서 설명하고자 한다.



[그림 4-2] 스캐니마스코프의 설치 방향

3) 왜곡 및 분할

스캐니마스코프 구조에서 각 조각 거울은 각 조각 그림의 위치와 일대일로 대응해야 거울로 명확한 반사 그림을 얻을 수 있다. 그러나 원근법 때문에 우리가 보는 모든 것은 왜곡 되어 있는데 수직인 것을 기준으로 참조할 때 수평으로 된 것은 왜곡된다. 수평한 것을 기준으로 할 때는 수직인 것이 왜곡된다.[그림 4-3]



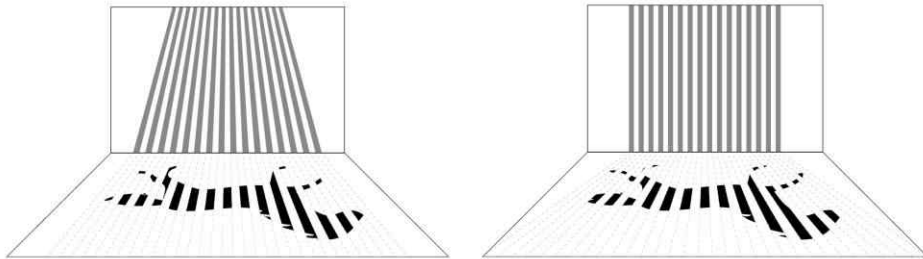
[그림 4-3] 스캐니마스코프의 왜곡 설명

따라서 자르는 선의 형태는 다음 그림과 같이 두 가지 방법으로 나눌 수

있다.[그림 4-4]

가) 거울을 정상적으로 자르고, 그림은 왜곡시켜 자른다.

나) 그림을 정상적으로 자르고, 거울은 왜곡시켜 자른다.

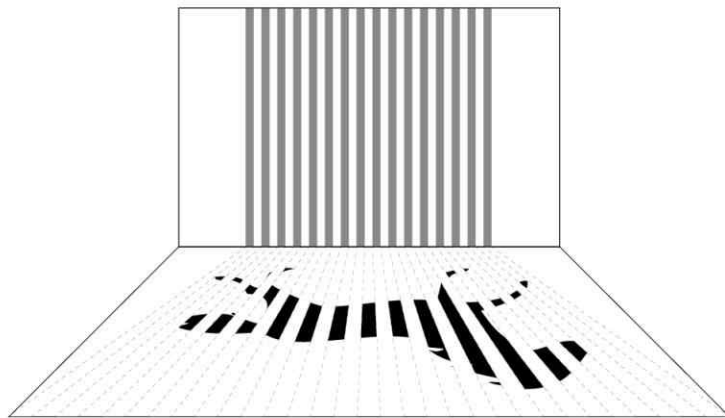


[그림 4-4] 스캐니마스코프의 분할 및 왜곡

4) 배치 방법

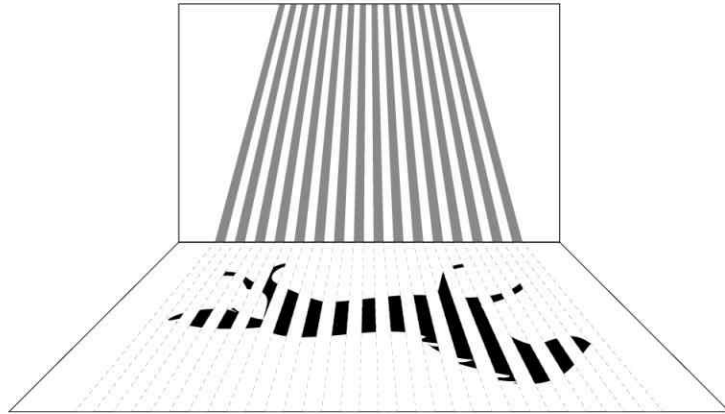
위의 분석에 따라 스캐니마스코프의 배치 방법은 총 8 가지($2 \times 2 \times 2 = 8$)가지가 있다.

·① 거울과 그림을 세로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수직이고, 그림의 설치 방향은 수평이다. 거울을 정상적으로 자르고 그림을 왜곡시켜서 자른다.



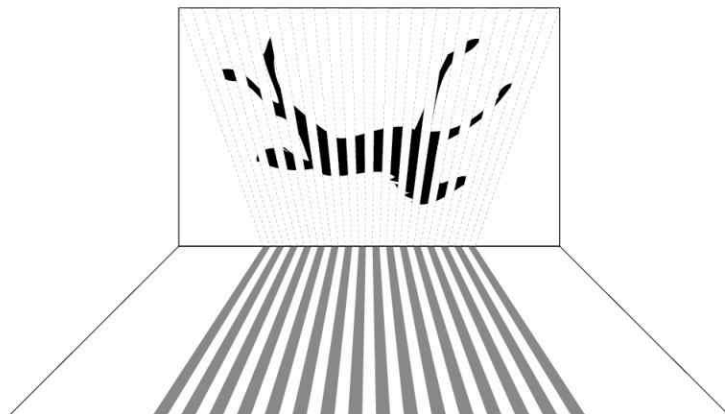
[그림 4-5] 스캐니마스코프의 배치 방법①

② 거울과 그림을 세로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수직이고, 그림의 설치 방향은 수평이다. 거울을 왜곡시켜서 자르고 그림을 정상적으로 자른다.



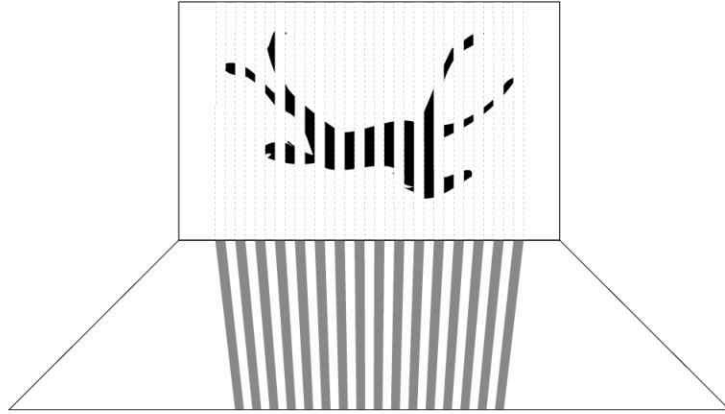
[그림 4-6] 스캐니마스코프의 배치 방법②

③ 거울과 그림을 세로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수평이고, 그림의 설치 방향은 수직이다. 거울을 정상적으로 자르고 그림을 왜곡시켜서 자른다.



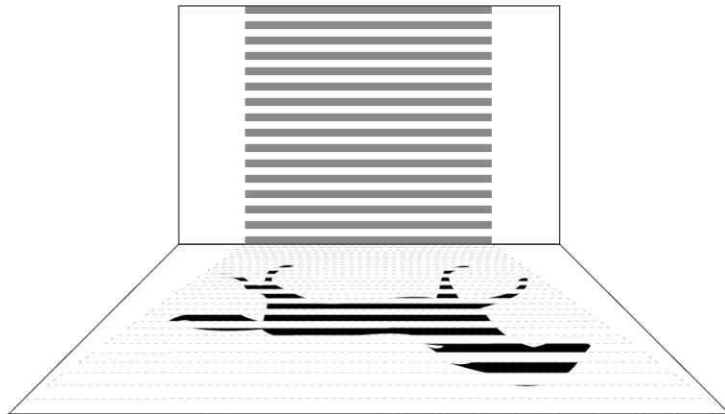
[그림 4-7] 스캐니마스코프의 배치 방법③

④ 거울과 그림을 세로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수평이고, 그림의 설치 방향은 수직이다. 거울을 왜곡시켜서 자르고 그림을 정상적으로 자른다.



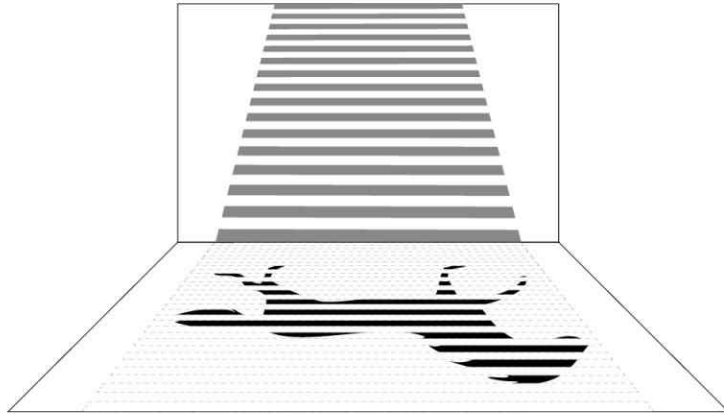
[그림 4-8] 스캐니마스크의 배치 방법④

⑤ 거울과 그림을 가로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수직이고, 그림의 설치 방향은 수평이다. 거울을 정상적으로 자르고 그림을 왜곡시켜서 자른다.



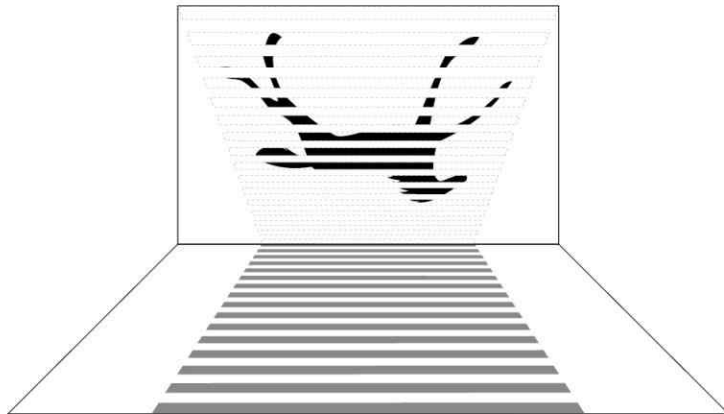
[그림 4-9] 스캐니마스크의 배치 방법⑤

⑥ 거울과 그림을 가로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수직이고, 그림의 설치 방향은 수평이다. 거울을 왜곡시켜서 자르고 그림을 정상적으로 자른다.



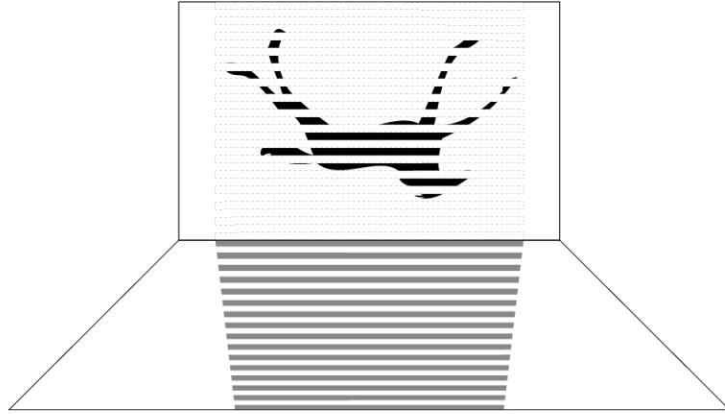
[그림 4-10] 스캐니마스코프의 배치 방법⑥

⑦ 거울과 그림을 가로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수평이고, 그림의 설치 방향은 수직이다. 거울을 정상적으로 자르고 그림을 왜곡시켜서 자른다.



[그림 4-11] 스캐니마스코프의 배치 방법⑦

⑧ 거울과 그림을 가로로 자른다. 거울의 설치 방향은 수평이고, 그림의 설치 방향은 수직이다. 거울을 왜곡시켜서 자르고 그림을 정상적으로 자른다.



[그림 4-12] 스캐니마스코프의 배치 방법⑧

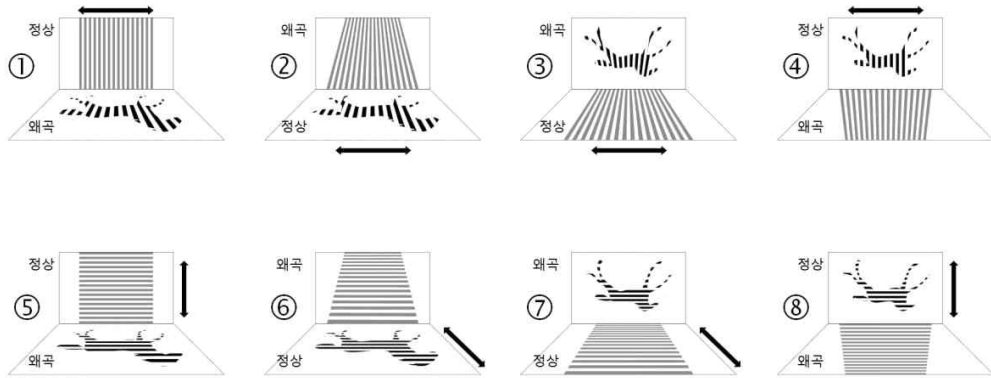
5) 이동 상태

위의 8 가지 경우에 각각 3 가지 운동 상태가 있는데, ‘거울이 이동한다’, ‘그림이 이동한다’. 그리고 ‘눈이 이동한다’이다. 여기에서, 각각의 이동 방향은 그림 또는 거울을 자르는 방향과 수직이어야 한다.

실험 결과에 따라 실행 가능성은 다음[표 4-1]과 같다.

실행 가능한 상황은 다음과 같다. 밑그림을 통해서 정상적인 방법으로 자르는 거울 또한 그림은 이동 가능하다는 사실을 밝힐 수 있다. 그리고 단거리에서도 눈이 움직일 수 있다. 각 그림에 표시된 원숫자 번호는 앞에서의 설명에서 사용될 것이다.

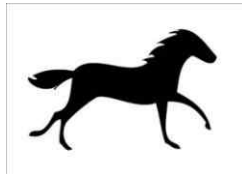
자르는 방향	설치 방향		자르는 선의형태		도설	이동 상태			실행 가능성
	거울	그림	거울	그림		거울	그림	눈	
세로	수직	수평	정상	왜곡		이동	정지	정지	가능
						정지	이동	정지	불가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
			왜곡	정상		이동	정지	정지	불가능
						정지	이동	정지	가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
	수평	수직	정상	왜곡		이동	정지	정지	가능
						정지	이동	정지	불가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
			왜곡	정상		이동	정지	정지	불가능
						정지	이동	정지	가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
가로	수직	수평	정상	왜곡		이동	정지	정지	가능
						정지	이동	정지	불가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
			왜곡	정상		이동	정지	정지	불가능
						정지	이동	정지	가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
	수평	수직	정상	왜곡		이동	정지	정지	가능
						정지	이동	정지	불가능
						정지	정지	이동	단거리 이동 가능
			왜곡	정상		이동	정지	정지	불가능



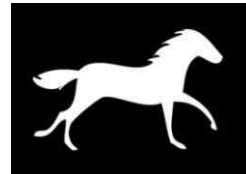
[그림 4-13] 스캐니마스코프의 이동 상태

4.1.2 명도의 조합

그림은 흰 바탕의 검은 그림과 검은 바탕의 흰 그림 두 종류로 나뉜다.



[그림 4-14] 흰 바탕의 검은 그림

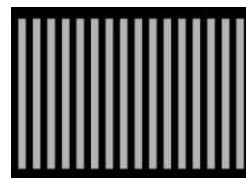


[그림 4-15] 검은 바탕의 흰 그림

거울도 흰 틈새와 검은 틈새 두 종류가 있다.



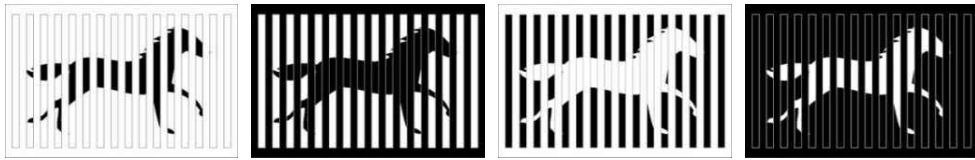
[그림 4-16] 흰 틈새 거울



[그림 4-17] 검은 틈새 거울

따라서 명도의 조합은 다음과 같이 4 종류이다.

- 1) 흰 바탕의 검은 그림 + 흰 틈새의 거울
- 2) 흰 바탕의 검은 그림 + 검은 틈새의 거울
- 3) 검은 바탕의 흰 그림 + 흰 틈새의 거울
- 4) 검은 바탕의 흰 그림 + 검은 틈새의 거울



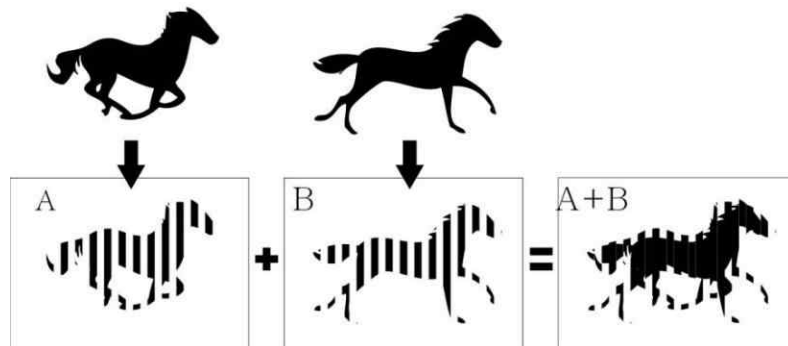
[그림 4-18] 스캐니마스코프의 명도 조합

기본 스캐니메이션 중에 2 번과 3 번의 경우에는 주관적 윤곽선의 인지도가 제일 높지만 스캐니마스코프 중에는 1 번과 4 번의 주관적 윤곽선 인지도가 높게 나온다. 즉, 그림의 바탕 색과 거울 틈새의 명도가 같아야 잘 보인다.

본 실험에서는 1 번 명도 조합(흰 바탕에 흑 그림 + 흰 틈새의 거울)으로 진행하고자 한다.

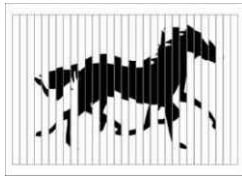
4.1.3 빈 프레임의 삽입

우선 움직이는 말 이미지를 두 장 골라서 스캐니메이션의 방법에 따라 이들을 자르고 조합한다.

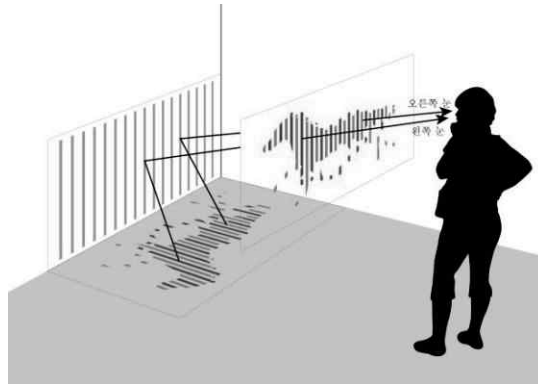


[그림 4-19] 스캐니메이션의 제작법

거울 또한 바탕 그림을 이동할 때 스캐니마스코프에서 같이 합성한 두 가지 이상의 그림이 반드시 보이는 현상이 발생한다.

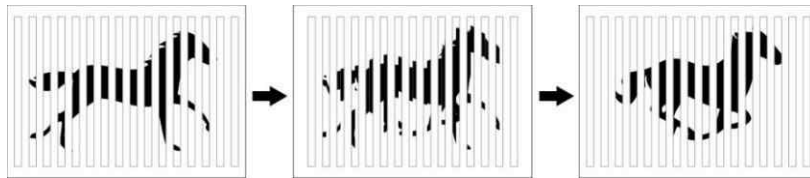


[그림 4-20] 두 그림 겹쳐 보인다



[그림 4-21] 두 그림 겹쳐 보이는 원인

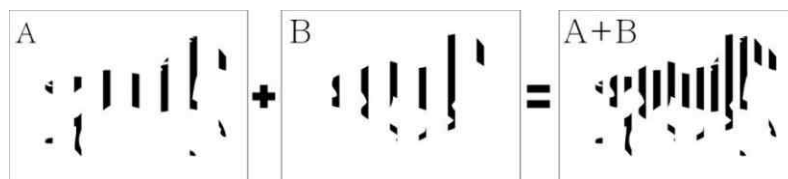
이런 현상은 양안(兩眼)이 스캐니마스코프 틸새를 통해서 서로 다른 이미지를 볼 수 있기 때문이다. 또한, 첫 번째 이미지에서 두 번째 이미지로 전환될 때, 연결된 두 개의 화면이 동시에 거울에서 나타나기 때문이다.



[그림 4-22] 두 동작의 전환

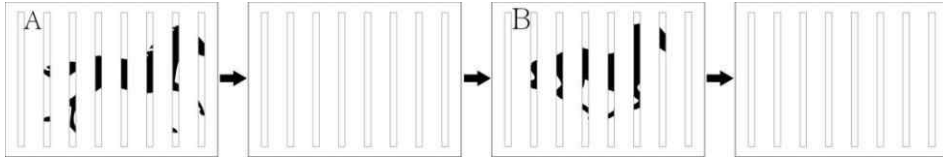
이 상황을 피하기 위해 스트로보 기능이 필요하다.

이로 인하여 두 동작 사이에는 여백 프레임을 실험했다.



[그림 4-23] 빈 프레임의 삽입

빈 프레임의 삽입은 두 이미지의 겹침을 방지하는 역할이다. 거울이나 그림이 움직일 때, 우리가 거울에서 보는 순서는 그림 A, 빈 프레임, 그림 B, 빈 프레임, 그림 A 등... A와 B는 동시에 거울에 나타나지 못한다.



[그림 4-24] 빈 프레임의 삽입 후의 효과

빈 프레임은 스캐니마스코프에서 매우 중요한 역할을 한다.

4.1.4 바탕 그림의 프레임 수

스캐니마스코프 프레임 사이에 빈 프레임이 삽입되므로 스캐니마스코프에 삽입 할 수 있는 프레임 수는 짝수여야 한다. 삽입된 그림 수는 프레임 수의 절반이다. 삽입 된 그림의 개수 n , 프레임의 개수는 $2n$ 이라고 가정하면, 각 이미지는 $1 / 2n$ 만 보일 수 있다.

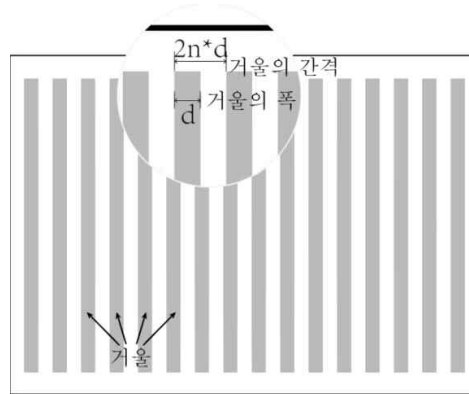
스캐니메이션에서 프레임을 많이 삽입할수록 움직임이 부드럽게 보이는 반면에 주관적 윤곽선의 인지도는 떨어진다. 스캐니메이션에 삽입할 수 있는 최대 프레임 수는 6 프레임이다.³¹⁾ 이 결론에 따라스캐니메이션 경우의 절반을 적용하면 스캐니마스코프는 최대 3 개의 이미지를 삽입할 수 있다. 즉, $n=2, 3$ 이다.

다시 말하면, 스캐니마스코프에서는 2~3 개의 이미지만 놓을 수 있다. 이미지의 주관적 윤곽선이 명확하게 보이게 하기 위해서 본 실험에서는 이미지를 두 개만 사용하기로 한다.

4.1.5 거울 폭과 간격의 비례

거울을 통해 한 프레임의 이미지를 보고 거울과 거울의 사이에는 다른 프레임 이미지를 숨겨야 하기 때문에 거울의 폭과 간격의 비례는 $1 : \text{총 프레임 수}$ (즉, $1:2n$) 이어야 한다. 따라서, 거울의 폭을 d 로 가정할 때 거울의 간격은 $2n*d$ 이다.

31)) 조희. (2015). 「모션착시의 동적 표현에 관한 연구 스캐니메이션의 원리를 중심으로」. 한성대학교 석사학위논문, p.64



[그림 4-25] 거울 폭과 간격의 비례

본 연구에서 $n = 2$ 이므로 거울 폭과 간격의 비례는 1 : 4 이다. 또한, 본 연구에서 0.75mm, 1mm, 1.5mm, 2mm 이렇게 4 가지 거울의 폭으로 실험하며 거울의 간격은 3mm, 4mm, 6mm, 8mm 이다.

4.1.6 거울 폭과 속도의 관계

거울 또한 바탕 그림이 이동하는 속도에 따라서 이미지가 잘 보이지 않는 상황이 발생한다. 빨리 이동할 때 두 이미지가 겹쳐 보이지만 느리게 이동할 때는 두 이미지가 따로따로 보여 두 동작은 이어지지 않는 상황이 발생한다.

이것은 잔상(殘像)으로 인한 것이다. 정상적인 조명 환경에서는 이 잔상이 우리의 시각에 0.1~0.4 초간 머문다. 따라서 이 시간 안에 두 이미지가 지나가면 두 이미지가 겹쳐 보이고, 이 시간을 초과하면 빈 프레임으로 인해 두 이미지가 따로따로 보인다.

한 프레임이 지나가는 시간을 t 로 가정하면 거울 또한 바탕 그림의 이동 속도는 d/t 이다. 빈 프레임이 안 보이기 위해서 한 프레임 지나가는 시간(t)은 잔상시간보다 짧아야 한다. 두 이미지가 겹치지 않기 위해서 두 프레임이 지나가는 시간($2t$)은 잔상 시간보다 길어야 한다.

$$\text{즉, } t \leq 0.4s, \quad 2t \geq 0.4s.$$

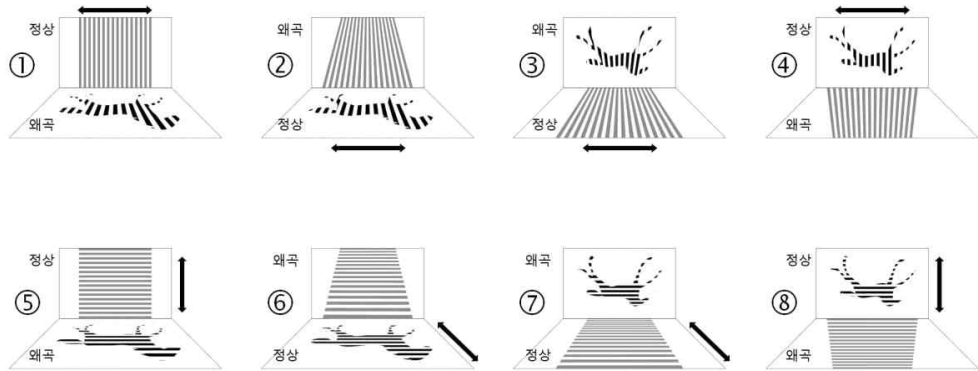
$$\therefore 0.2s \leq t \leq 0.4s$$

거울의 폭 d 가 넓어질수록 이동 속도는 빨라져야 한다.

거울의 폭 d 가 얇아질수록 이동 속도는 느려져야 한다.

4.1.7 실험결과 도출

1) 실행 가능한 배치와 이동 방법은 총 8 가지가 있다. 정상적인 방법으로 자르는 거울 또한 그림은 이동이 가능하다.



[그림 4-26] 스캐니마스코프의 배치 방법 및 이동 상태

2) 스캐니마스코프 중에 그림의 바탕 명도와 거울 틈새의 명도가 같아야 잘 보인다.

3) 두 동작 사이에 빈 프레임 하나를 삽입해야 한다.

4) 지금 연구 상태에서는 들어갈 수 있는 동작은 2, 3 개 밖에 되지 않는다.

5) 거울 폭과 간격의 비례는 $1:2n$ (n =동작 수)이다.

6) 한 프레임이 지나가는 시간은 0.2~0.4 초 이어야 한다. 거울의 폭이 넓어질수록 이동 속도가 빨라져야 하고, 거울의 폭이 얇아질수록 이동 속도가 느려져야 한다.

4.2 본 실험

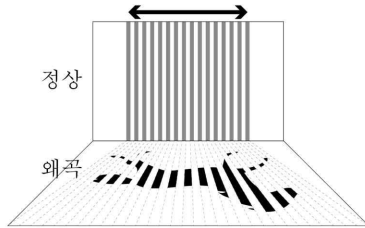
예비 실험결과를 바탕으로 본 실험을 진행하였다. 본 실험은 움직임을 잘 확인하기 위해서 동작 2 개만 가지고 실험하였다. 즉, $n=2$.

4.2.1 아나모르포시스 왜곡률 계산

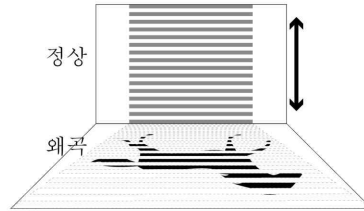
배치와 이동 방법은 총 8 종류이지만 그 중에 ①&⑤, ②&⑥, ③&⑦, ④&⑧으로 아나모르포시스 왜곡률 4 가지로 실험하였다.

그림의 왜곡률은 분할법의 왜곡률과 다르다.

1) 상황①과 상황⑤를 합한 경우



[그림 4-27] 상황①



[그림 4-28] 상황⑤

상황①과⑤의 공통점은 거울의 설치 방향은 수직이고, 그림의 설치 방향은 수평이다. 또한 거울을 정상적으로 자르고 그림을 왜곡시켜서 자른다.

따라서 다음과 같은 계산을 통해 그림을 그릴 수 있다.

가정: H - 눈과 바탕 그림 사이의 높이

h - 거울의 상단에서 바탕 그림까지의 높이

h' - 거울의 하단에서 바탕 그림까지의 높이

h_0 - 거울을 배치된 직사각형의 높이

w - 거울을 배치된 직사각형의 너비

W - 거울과 가까운 쪽의 그림 분할선 너비

W' - 거울과 먼 쪽의 그림 분할선 너비

W'' - 거울과 먼 쪽의 왜곡된 그림 너비

S - 거울과 눈의 수평 거리

L - 그림 분할선 먼 쪽에서 거울까지의 수평 거리

L' - 그림 분할선 가까운 쪽에서 거울까지의 수평 거리

L_0 - 그림 분할선의 길이

$$h = h' + h_0, \quad W = \frac{w \cdot H}{H - h'}, \quad W' = \frac{w \cdot H}{H - h}$$

$$L = \frac{h \cdot S}{H - h}, \quad L' = \frac{h' \cdot S}{H - h'}, \quad L_0 = L - L'$$

$$h'' = \frac{H \cdot L_0 \cdot \sqrt{(S + L')^2 + H^2}}{H^2 + (L + S) \cdot (L' + S)}, \quad W'' = W \cdot \frac{\sqrt{(S + L)^2 + H^2}}{\sqrt{(S + L')^2 + H^2 + h''^2}}$$

수식에 따르면 다음과 같이 세 가지 결론을 얻을 수 있다.

가) H와 S가 일정 할 때, h'가 높아질수록 L'과 L은 거울과 멀어지고, L0는 길어지고, W와 W'는 넓어지고, W''의 수치는 W'와 비슷해진다.

나) H와 h'가 일정 할 때, S가 멀어질수록 L'과 L은 거울과 멀어지고, L0는 길어지고, W와 W'는 변화 없고, W''의 수치는 W'와 비슷해진다.

다) S와 h'가 일정 할 때, H가 높아질수록 L'과 L은 거울과 가까워지고, L0는 짧아지고, W와 W'는 좁아지고, W''의 수치는 W와 비슷해진다.

위의 수학 공식에 의해 다음과 같은 알고리즘을 얻을 수 있다. (예, 계산 조건은 S=100, H=75, h'=15, h=25, w=15, h=10 일 때 다음과 같이 계산 결과를 얻을 수 있다.)

계산 조건(단위: cm)		
눈의 위치	거울과 눈의 수평 거리 S	100
	눈과 바탕 그림 사이의 높이 H	75
거울의 위치	거울의 하단에서 바탕 그림까지의 높이 h'	15
	거울의 상단에서 바탕 그림까지의 높이 h	25
거울의 크기 (직사각형)	거울의 배치된 직사각형의 너비 w	15
	거울을 배치된 직사각형의 높이 h0	10
계산 결과(단위: cm)		
그림의 위치	그림 분할선 가까운 쪽에서 거울까지의 수평 거리 L'	25.0
	그림 분할선 먼 쪽에서 거울까지의 수평 거리 L	50.0
그림 분할법의 왜곡율 계산 (사다리형)	거울과 가까운 쪽의 그림 분할선 너비 W	18.8
	거울과 먼 쪽의 그림 분할선 너비 W'	22.5
	그림 분할선의 길이 L0	25.0
바탕 그림의 왜곡율(단위: cm)		
정상 그림의 크기(직사각)	정상 그림의 너비 W	18.8
	정상 그림의 높이 h"	11.2
왜곡된 그림의 크기(사다리 꼴)	거울과 먼 쪽의 왜곡 그림 너비 W"	16.3
	거울과 가까운 쪽의 왜곡 그림 너비 W	18.8
	왜곡 그림의 길이 L0	25.0

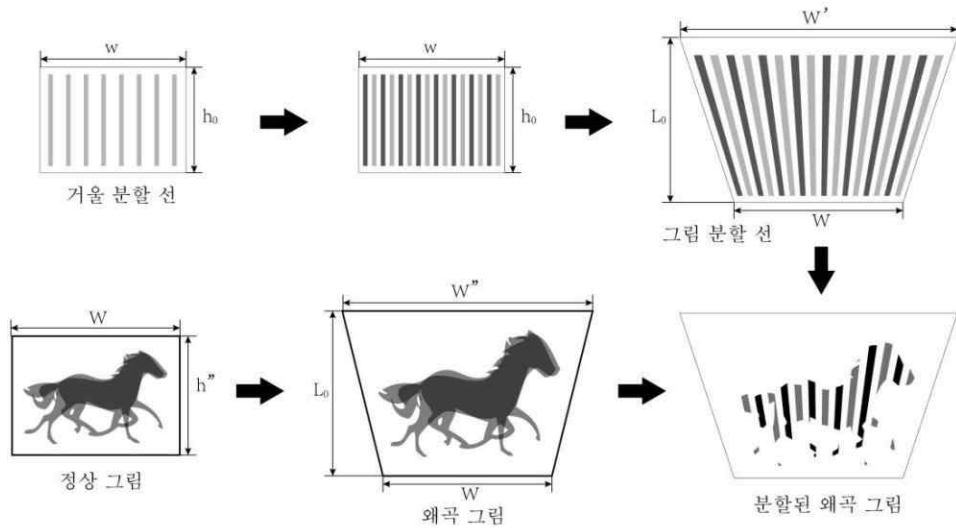
[표 4-3] 상황①과⑤의 알고리즘

제작 방법은 다음과 같다.

가) 거울의 폭과 간격의 비례는 $1:2n$ (n =포함된 동작 수)으로 지정된 직사각형 안에 배치한다.

나) 거울의 배치 도형에서 $n-1$ 세트 도형을 추가한다. 직사각형에서 사다리꼴로 늘린다. 바탕 그림의 분할선을 제작 완성한다.

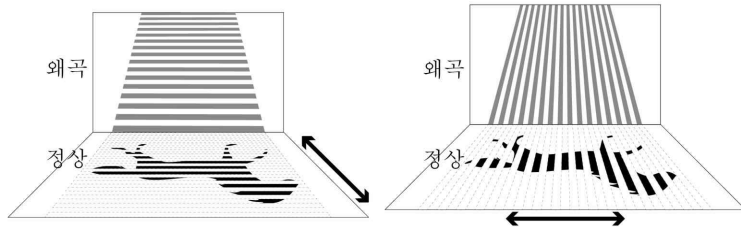
다) n 개의 동작 합쳐진 그림을 길이 W 와 너비 h"의 직사각형에 놓는다. W", W, L0 의 사다리꼴로 늘린다. 그 다음에 그림의 분할선과 병합한다.



[그림 4-30] 상황①과 상황⑤의 제작 방법

2) 상황②와 상황⑥을 합한 경우

상황②와⑥의 공통점은 거울의 설치 방향과 수직이고, 그림의 설치 방향은 수평이다. 또한 거울을 왜곡시켜 자르고 그림은 정상적으로 자른다.



[그림 4-31] 상황②

[그림 4-32] 상황⑥

따라서 다음과 같이 계산용 그림을 그릴 수 있다.

가정: H - 눈과 바탕 그림 사이의 높이

h - 거울의 상단에서 바탕 그림까지의 높이

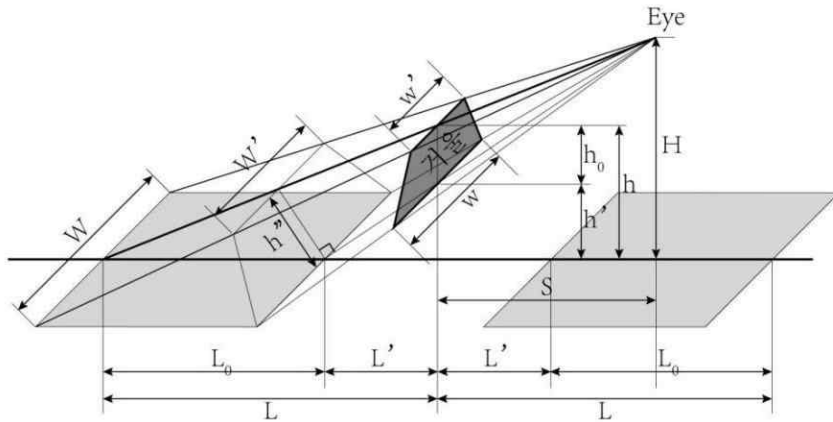
h' - 거울의 하단에서 바탕 그림까지의 높이

h0 - 거울을 배치된 사다리꼴의 높이

h'' - 사다리꼴형 정상 그림의 높이

w - 거울 하단의 너비

- w' - 거울 상단의 너비
 W - 바탕 그림의 너비
 W' - 사다리꼴형 정상 그림의 상단 너비
 S - 거울과 눈의 수평 거리
 L - 그림 먼 쪽에서 거울까지의 수평 거리
 L' - 그림 가까운 쪽에서 거울까지의 수평 거리
 L_0 - 그림의 길이



[그림 4-33] 상황②과 상황⑥의 계산용 그림

바탕 그림(W , L_0)은 고정되어 있다. 눈의 높이(H), 눈과 거울의 거리(S), 그리고 바탕 그림과 거울의 거리(L')는 설정할 수 있는 변수이다. 나머지 부분은 계산을 통해서 얻을 수 있다. 계산 조건과 계산 결과, 그리고 수식은 아래와 같다.

계산 조건		
눈의 위치		거울과 눈의 수평 거리 S
		눈과 바탕 그림 사이의 높이 H
그림의 위치		그림에서 거울까지의 수평 거리 L'
		그림 먼 쪽에서 거울까지의 수평 거리 L
그림 크기 (직사각형)		바탕 그림의 길이 L_0
		바탕 그림의 너비 W
계산 결과		
그림의 위치		거울의 하단에서 바탕 그림까지의 높이 h'
		거울의 상단에서 바탕 그림까지의 높이 h
그림 분할법의 왜곡율 계산(사다리형)		거울 상단의 너비 w'
		거울 하단의 너비 w
		거울을 배치된 사다리꼴형의 높이 h_0
바탕 그림의 왜곡율 계산	정상 그림의 크기(사다리꼴)	정상 그림의 상단 너비 W'
		정상 그림의 하단 너비 W
		정상 그림의 높이 h''
	왜곡된 그림(직사각형)	왜곡 그림의 너비 W
		왜곡 그림의 길이 L_0

[표 4-4] 상황②와⑥의 계산 조건, 계산 결과 항목표

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{L \cdot H}{L + S}, \quad h' = \frac{L' \cdot H}{L' + S}, \quad h_0 = h - h' \\
 w &= \frac{W \cdot S}{L + S}, \quad w' = \frac{W \cdot S}{L' + S}, \quad L = L' + L_0 \\
 W' &= W \cdot \frac{\sqrt{(S + L')^2 + H^2 + h''^2}}{\sqrt{(S + L)^2 + H^2}}, \quad h'' = \frac{H \cdot L_0 \cdot \sqrt{(S + L')^2 + H^2}}{H^2 + (L + S)(L' + S)}
 \end{aligned}$$

가) H와 S가 일정 할 때, L'이 멀어질수록 h와 h'는 높아지고, h0는 낮아진다. 또한, w와 w'는 좁아지고, W'도 좁아진다.

나) H와 L'이 일정 할 때, S가 멀어질수록 h와 h'는 낮아지고, h0도 낮아진다. 또한 w와 w'는 넓어지고, W'는 좁아진다.

다) S와 L'이 일정 할 때, H가 높아질수록 h와 h'는 높아지고, h0도 높아진다. w와 w'는 변화가 없다. W'는 넓어지고 수치는 W와 비슷해진다.

위의 수학 공식에 의해 다음과 같은 알고리즘을 얻을 수 있다. (예, 계산 조건은 $S=100$, $H=75$, $L'=15$, $L=45$, $L_0=30$, $W=20$ 일 때 다음과 같이 계산 결과를 얻을 수 있다.)

계산 조건(단위: cm)		
눈의 위치	거울과 눈의 수평 거리 S	100
	눈과 바탕 그림 사이의 높이 H	75
그림의 위치	그림에서 거울까지의 수평 거리 L'	15
	그림 먼 쪽에서 거울까지의 수평 거리 L	45
그림 크기 (직사각형)	바탕 그림의 길이 L_0	30
	바탕 그림의 너비 W	20
계산 결과(단위: cm)		
거울 위치	거울의 하단에서 바탕 그림까지의 높이 h'	9.8
	거울의 상단에서 바탕 그림까지의 높이 h	23.3
거울 분할법의 왜곡을 계산(사다리꼴)	거울 상단의 너비 w'	13.8
	거울 하단의 너비 w	17.4
	거울을 배치된 사다리꼴형의 높이 h_0	13.5
바탕 그림의 왜곡을 계산(단위: cm)		
정상 그림의 크기 (사다리꼴)	정상 그림의 상단 너비 W'	16.9
	정상 그림의 하단 너비 W	20.0
	정상 그림의 높이 h''	13.9
왜곡된 그림(직사각형)	왜곡 그림의 너비 W	20.0
	왜곡 그림의 길이 L_0	30.0

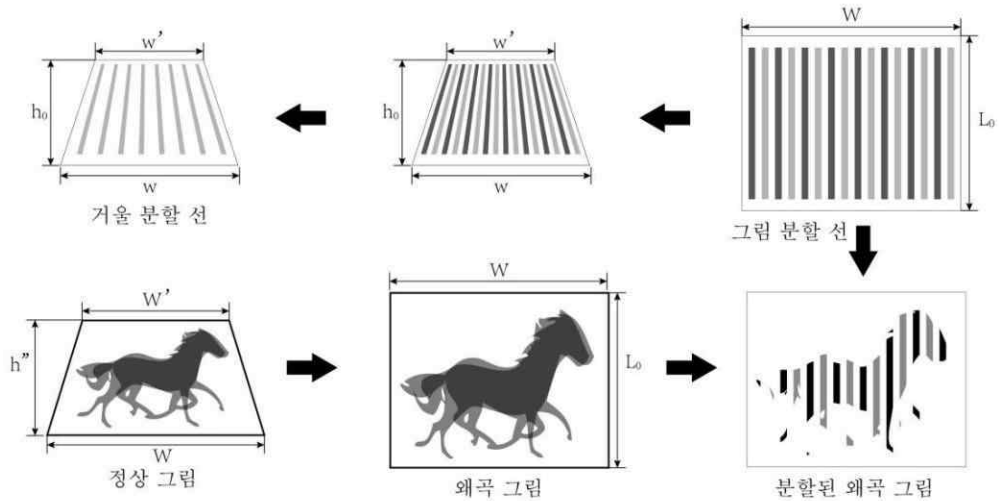
[표 4-5] 상황②와⑥의 알고리즘

제작 방법은 다음과 같다.

가) n 세트의 그림 분할선을 지정된 직사각형(W, L_0) 안에 배치한다(n=포함된 동작 수). 그림의 분할선을 제작 완성한다.

나) 이 직사각형에서 사다리꼴로 압축하여 n 세트의 분할선에서 한 세트로 줄인다. 거울 분할을 완성한다.

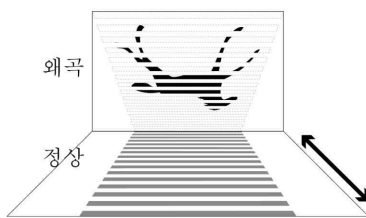
다) n 개 동작의 합쳐진 그림을 사다리꼴에 놓아 직사각형(W, L_0)으로 늘린다. 그 다음에 그림의 분할선과 병합한다.



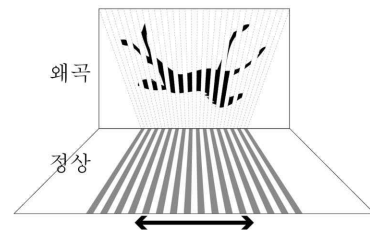
[그림 4-34] 상황②와⑥의 제작 방법

3) 상황③과 상황⑦을 합한경우

상황③과⑦의 공통점은 거울의 설치 방향은 수평이고, 그림의 설치 방향은 수직이다. 또한 거울을 정상적으로 자르고 그림을 왜곡시켜서 자른다.



[그림 4-35] 상황③



[그림 4-36] 상황⑦

따라서 다음과 같이 계산용 그림을 그릴 수 있다.

가정: H - 눈과 바탕 그림 사이의 높이

h_0 - 그림의 높이

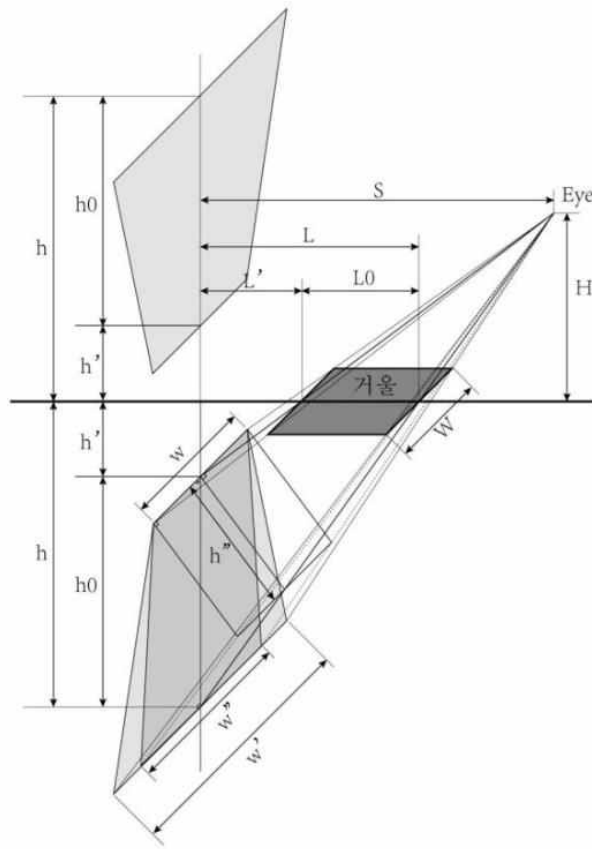
h - 그림의 상단에서 거울까지의 높이

h' - 그림의 하단에서 거울까지의 높이

h'' - 정상 그림의 높이

W - 거울을 배치된 직사각형의 너비

w - 그림 분할선을 배치한 사다리꼴 하단의 너비
 w' - 그림 분할선을 배치한 사다리꼴 상단의 너비
 w'' - 왜곡된 그림 상단의 너비
 S - 거울과 눈의 수평 거리
 L_0 - 거울을 배치된 직사각형의 길이
 L - 그림에서 거울의 먼 쪽까지 수평 거리
 L' - 그림에서 거울의 가까운 쪽까지 수평 거리



[그림 4-37] 상황③과⑦의 계산용 그림

거울을 배치하는 직사각형(W , L_0)은 고정되어 있다. 눈의 높이(H), 눈과 그림의 수평 거리(S), 그리고 그림에서 거울의 가까운 쪽까지 수평 거리(L')는 설정할 수 있는 변수이다. 나머지 부분은 계산을 통해서 얻을 수 있다. 계산

조건과 계산 결과, 그리고 수식은 아래와 같다.

계산 조건		
눈의 위치		눈과 거울의 수평 거리 S
		눈과 바탕 그림 사이의 높이 H
거울의 위치		그림에서 거울 가까운 쪽까지의 수평 거리 L'
		그림에서 거울 먼 쪽까지의 수평 거리 L
거울의 크기(직사각형)		거울을 배치된 직사각형의 길이 L_0
		거울을 배치된 직사각형의 너비 W
계산 결과		
그림의 위치		그림의 하단에서 거울까지의 높이 h'
		그림의 상단에서 거울까지의 높이 h
그림 분할법의 왜곡율 계산(사다리꼴)		그림 분할선을 배치한 사다리꼴 하단의 너비 w
		그림 분할선을 배치한 사다리꼴 상단의 너비 w'
		그림의 높이 h_0
바탕 그림의 왜곡율 계산	정상 그림의 크기(직사각형)	정상 그림의 너비 w
		정상 그림의 높이 h''
	왜곡된 그림의 크기(사다리꼴)	왜곡된 그림 하단의 너비 w
		왜곡된 그림 상단의 너비 w''
		왜곡된 그림의 높이 h_0

[표 4-6] 상황③과⑦의 계산 조건, 계산 결과 항목표

$$h' = \frac{H \cdot L'}{S - L'}, \quad h = \frac{H \cdot L}{S - L}, \quad h_0 = h - h'$$

$$w = \frac{W \cdot (H + h')}{H}, \quad w' = \frac{W(H + h)}{H}, \quad L = L' + L_0$$

$$h'' = \frac{S \cdot h_0 \cdot \sqrt{S^2 + (h' + H)^2}}{S^2 + (h + H) \cdot (h' + H)}, \quad w'' = \frac{w \cdot \sqrt{(h + H)^2 + S^2}}{\sqrt{S^2 + (h' + H)^2 + h''^2}}$$

이 수식에 따르면 다음과 같은 세 가지 결론을 얻을 수 있다.

가) H와 S가 일정할 때, L'이 멀어질수록 h'와 h는 높아지고, h0도 높아진다. 또한 w와 w'는 넓어지고, w"의 수치는 w'와 비슷해진다.

나) H와 L'가 일정할 때, S가 멀어질수록 h'와 h는 낮아지고, h0도 낮아진다. w와 w'는 좁아지고, w"의 수치는 w와 비슷해진다.

다) S와 L'가 일정 할 때, H가 높아질수록 h'와 h는 높아지고, h0도 높아진다. w와 w'는 변화가 없다. w"는 넓어지고 w"의 수치는 w'와 비슷해진다.

위의 수학 공식에 의해 다음과 같은 알고리즘을 얻을 수 있다. (예, 계산 조건은 S=100cm, H=75cm, L'=15cm, L=25cm, L0=30cm, W=20cm 일 때 다음과 같이 계산 결과를 얻을 수 있다.)

계산 조건(단위: cm)		
눈의 위치	눈과 거울의 수평 거리 S	100
	눈과 바탕 그림 사이의 높이 H	75
거울의 위치	그림에서 거울 가까운 쪽까지의 수평 거리 L'	15
	그림에서 거울 먼 쪽까지의 수평 거리 L	25
거울의 크기(직사각형)	거울을 배치된 직사각형의 길이 L0	10
	거울을 배치된 직사각형의 너비 W	15
계산 결과(단위: cm)		
그림 위치	그림의 하단에서 거울까지의 높이 h'	13.2
	그림의 상단에서 거울까지의 높이 h	25.0
그림 분할법의 왜곡율 계산(사다리꼴)	그림 분할선 배치된 사다리꼴 하단의 너비 w	17.6
	그림 분할선 배치된 사다리꼴 상단의 너비 w'	20.0
	그림의 높이 h0	11.8
바탕 그림의 왜곡율(단위: cm) 계산		
정상 그림의 크기(직사각형)	정상 그림의 너비 w	17.6
	정상 그림의 높이 h"	8.3
왜곡된 그림의 크기(사다리꼴)	왜곡된 그림 하단의 너비 w	17.6
	왜곡된 그림 상단의 너비 w"	18.7
	왜곡된 그림의 높이 h0	11.8

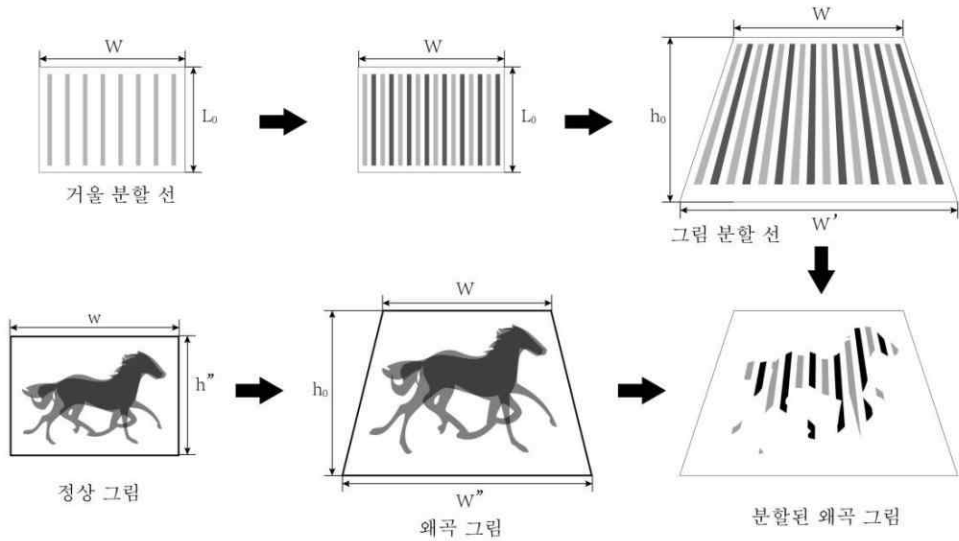
[표 4-7] 상황③과⑦의 알고리즘

제작 방법은 다음과 같다.

가) 거울 폭과 간격의 비례는 1:2n (n=포함된 동작 수)으로 지정된 직사각형(W, L0) 안에 배치한다.

나) 거울 배치 도형에서 n-1 세트 도형을 추가한다. 직사각형에서 사다리꼴로 늘린다. 그림의 분할선을 제작 완성한다.

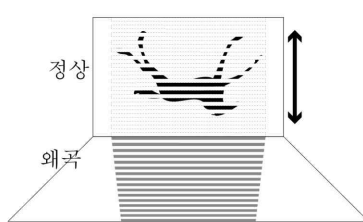
다) n 개의 동작이 합쳐진 그림을 길이 w 와 너비 h ”의 직사각형에서 놓는다. W'' , W , h_0 의 사다리꼴로 늘린다. 그 다음에 그림의 분할선과 병합한다.



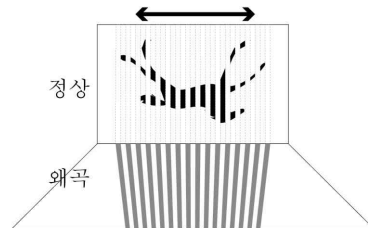
[그림 4-38] 상황③과⑦의 제작 방법

4) 상황④와 상황⑧을 합한 경우

상황④와⑧의 공통점은 거울의 설치 방향은 수평이고, 그림의 설치 방향은 수직이다. 또한 거울을 왜곡시켜서 자르고 그림을 정상적으로 자른다.



[그림 4-39] 상황④



[그림 4-40] 상황⑧

따라서 다음과 같은 계산용 그림을 그릴 수 있다.

가정: H - 눈과 수평 거울 사이의 높이

h - 그림의 상단에서 거울까지의 높이

h' - 그림의 하단에서 거울까지의 높이

h_0 - 그림의 높이

h'' - 사다리꼴형 정상 그림의 높이

w - 그림의 너비 (기지既知)

w' - 사다리꼴형 정상 그림의 하단 너비

W - 그림에서 가까운 쪽의 거울 너비

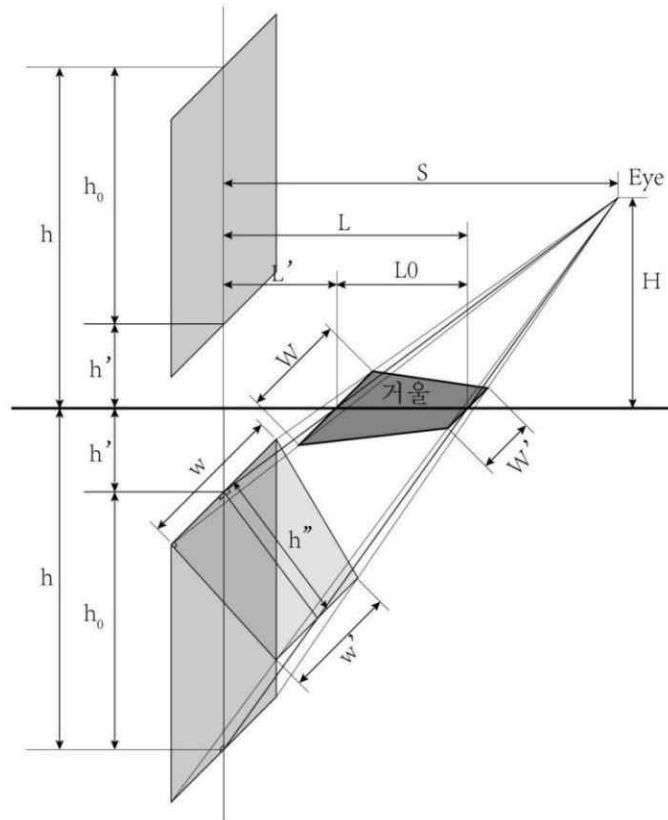
W' - 그림에서 먼 쪽의 거울 너비

S - 거울과 눈의 수평 거리

L - 거울 먼 쪽에서 그림까지의 수평 거리

L' - 거울 가까운 쪽에서 그림까지의 수평 거리 (기지既知)

L_0 - 거울의 길이 (미지未知)



[그림 4-41] 상황④와⑧의 계산용 그림

바탕 그림(w , h_0)은 고정되어 있다. 눈의 높이(H), 눈과 거울의 거리(S),

그리고 바탕 그림과 거울의 거리(L')는 설정할 수 있는 변수이다. 나머지 부분은 계산을 통하여 얻을 수 있다. 계산 조건과 계산 결과, 그리고 수식은 아래와 같다.

계산 조건		
눈의 위치		거울과 눈의 수평 거리 S
		눈과 수평 거울 사이의 높이 H
그림의 위치		그림의 하단에서 거울까지의 높이 h'
		그림의 상단에서 거울까지의 높이 h
그림 크기 (직사각형)		그림의 높이 h_0
		그림의 너비 w
계산 결과		
그림의 위치		거울 그림까지의 수평 거리 L'
		거울 먼 쪽에서 그림까지의 수평 거리 L
그림 분할법의 왜곡율 계산(사다리형)		그림에서 먼 쪽의 거울 너비 W'
		그림에서 가까운 쪽의 거울 너비 W
		거울의 길이 L_0
바탕 그림의 왜곡율 계산	정상 그림의 크기(사다리꼴)	사다리꼴형 정상 그림의 상단 너비 w'
		사다리꼴형 정상 그림의 하단 너비 w
		사다리꼴형 정상 그림의 높이 h''
	왜곡된 그림(직사각형)	왜곡 그림의 너비 w
		왜곡 그림의 길이 L_0

[표 4-8] 상황④와⑤의 계산 조건, 계산 결과 항목표

$$L = \frac{S \cdot h}{H + h}, \quad L' = \frac{S \cdot h'}{H + h'}, \quad L_0 = L - L'$$

$$W = \frac{w \cdot H}{H + h}, \quad W' = \frac{w \cdot H}{H + h'}, \quad h = h' + h_0$$

$$h'' = \frac{S \cdot h_0 \cdot \sqrt{(H + h')^2 + S^2}}{S^2 + (h + H)(h' + H)}, \quad w' = w \cdot \frac{\sqrt{S^2 + (h' + H)^2 + h''^2}}{\sqrt{(h + H)^2 + S^2}}$$

수식에 따르면 다음과 같은 세 가지 결론을 얻을 수 있다.

가) H와 S가 일정 할 때, h'가 높아질수록 L과 L'은 멀어지고, L0는 짧

아진다. 또한, W 와 W' 는 좁아지고, w' 도 좁아진다.

나) H 와 h' 가 일정 할 때, S 가 멀어질수록 L 과 L' 은 멀어지고, L_0 는 짧아진다. W 와 W' 는 변화가 없다. w' 는 넓어지고 수치는 w 와 비슷해진다.

다) S 와 h' 가 일정할 때, H 가 높아질수록 L 과 L' 은 가까워지고, L_0 도 짧아진다. W 와 W' 는 넓어지고. w' 는 좁아진다.

위의 수학 공식에 의해 다음과 같은 알고리즘이 만들어진다. (예, 계산 조건은 $S=100\text{cm}$, $H=75\text{cm}$ $h'=15\text{cm}$, $h=45\text{cm}$, $h_0=30\text{cm}$, $w=20\text{cm}$ 일 때 다음과 같이 계산 결과를 얻을 수 있다.)

계산 조건(단위: cm)		
눈의 위치	거울과 눈의 수평 거리 S	100
	눈과 수평 거울 사이의 높이 H	75
그림의 위치	그림의 하단에서 거울까지의 높이 h'	15
	그림의 상단에서 거울까지의 높이 h	45
그림 크기 (직 사각형)	그림의 높이 h_0	30
	그림의 너비 w	20
계산 결과(단위: cm)		
그림 위치	거울 그림까지의 수평 거리 L'	16.7
	거울 먼 쪽에서 그림까지의 수평 거리 L	37.5
그림 분할법의 왜곡을 계산(사다리꼴)	그림에서 먼 쪽의 거울 너비 W'	12.5
	그림에서 가까운 쪽의 거울 너비 W	16.7
	거울의 길이 L_0	20.8
바탕 그림의 왜곡을 계산(단위: cm)		
정상 그림의 크기(사다리꼴)	사다리꼴형 정상 그림의 상단 너비 w'	17.4
	사다리꼴형 정상 그림의 하단 너비 w	20.0
	사다리꼴형 정상 그림의 높이 h''	19.4
왜곡된 그림(직 사각형)	왜곡 그림의 너비 w	20.0
	왜곡 그림의 길이 L_0	30.0

[표 4-9] 상황④와⑧의 알고리즘

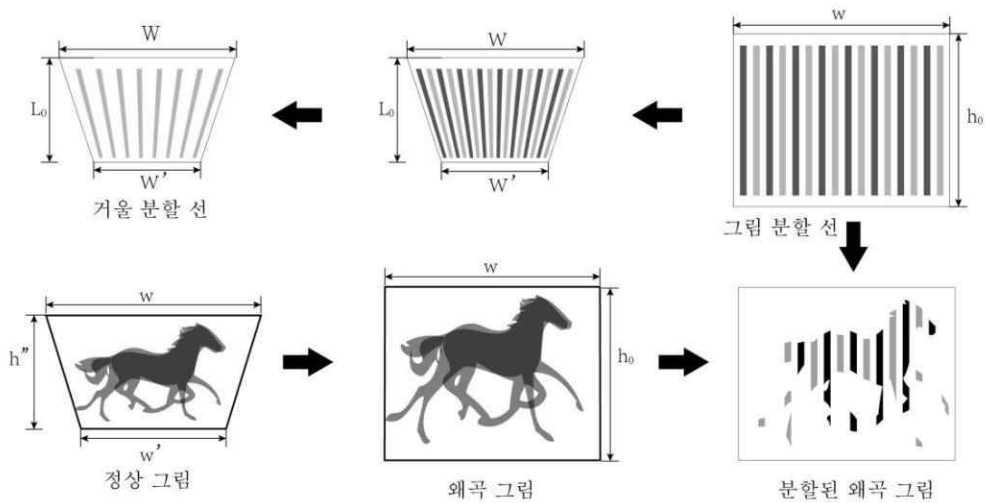
제작 방법은 다음과 같다.

가) n 세트의 그림 분할선을 지정된 직사각형(w , h_0) 안에 배치한다(n =포

함된 동작 수). 그림의 분할선을 제작 완성한다.

나) 이 직사각형에서 사다리꼴(W, W', L_0)로 압축하여 n 세트의 분할선에 서 한 세트의 줄인다. 이것은 거울 분할 방법이다.

다) n 개 동작 합쳐진 그림을 사다리꼴(w, w', h'')에 놓아 직사각형(w, h_0)으로 늘린다. 그 다음에 그림의 분할선과 병합한다.



[그림 4-42] 상황④와⑧의 제작 방법

4.2.2 실제 공간 배치 왜곡률 적용

1) 상황①과 상황⑤를 합한 경우

정수: 커울의 크기 $w=15\text{cm}, h_0=10\text{cm}$

변수: 거울의 위치 $h'=0, 5\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}, 20\text{cm}$

눈의 위치 $S=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

$H=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

거울의 너비 $0.75\text{mm}, 1\text{mm}, 1.5\text{mm}, 2\text{mm}$

총 320 개의 데이터는 다음과 같다.[표 4-10~13]

상황①과 상황⑤를 합해 총 640 개 그래픽이 부록을 참조한다.

계산 조건		1&5 S25H25		1&5 S25H50		1&5 S25H75		1&5 S25H100		1&5 S25H125	
본의 위치	S	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	H	25	25	25	25	50	50	75	75	100	100
거울의 위치	h'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	h	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30
거울의 크기 (직사각형)	w	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	h0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
계산 결과											
그림의 위치	L'	0.0	6.3	16.7	37.5	####	0.0	2.8	6.3	10.7	16.7
	L	16.7	37.5	100	#DIV/0!	####	6.3	10.7	16.7	25.0	37.5
그림 분할범 의 왜곡율 계 산(사다리형)	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0
	W'	25.0	37.5	75.0	#DIV/0!	####	18.8	21.4	25.0	30.0	37.5
	L0	16.7	31.3	83.3	#DIV/0!	####	6.3	7.9	10.4	14.3	20.8
바탕 그림의 왜곡율											
정장 그림의 크기(직사각)	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0
	h"	8.8	12.1	17.4	#DIV/0!	53.1	5.3	6.5	8.1	10.2	13.3
왜곡된 그림 의 크기(사다 리형)	W"	10.7	11.0	9.4	#DIV/0!	69.2	14.2	15.4	16.9	18.4	20.1
	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0
	L0	16.7	31.3	83.3	#DIV/0!	####	6.3	7.9	10.4	14.3	20.8

계산 조건	1&5 S50H25				1&5 S50H50				1&5 S50H75				1&5 S50H100			
	S	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	75	75	75	100	100	100	100
거울의 위치	h'	0	5	10	15	20	25	30	30	0	5	10	15	20	0	5
	h	10	15	20	25	30	30	10	15	20	30	10	15	20	10	15
거울의 크기 (직사각형)	w	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	h0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
계산 결과	L'	0.0	12.5	33.3	75.0	###	75.0	###	75.0	###	75.0	###	75.0	###	75.0	###
	L	33.3	75.0	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
그림 분할법 의 왜곡율 계 산(사다리꼴)	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	37.5	75.0	37.5	18.8	21.4	25.0	15.0	16.1	17.3	18.8
	W'	25.0	37.5	75.0	###	###	###	###	###	18.8	21.4	25.0	37.5	17.3	18.8	20.5
바탕 그림의 왜곡율	L0	33.3	62.5	###	###	###	###	###	###	12.5	15.9	20.8	28.6	41.7	7.7	8.9
	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	37.5	75.0	37.5	18.8	21.4	25.0	15.0	16.1	17.3	18.8
장상 그림의 크기(직사각)	h''	9.7	12.5	16.9	###	###	###	###	###	7.9	9.2	10.8	12.9	15.7	6.1	6.9
	W''	9.6	9.9	8.6	###	###	###	###	###	13.2	14.2	15.3	16.6	17.9	14.3	15.1
왜곡된 그림 의 크기(사다 리꼴)	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	37.5	75.0	37.5	18.8	21.4	25.0	15.0	16.1	17.3	18.8
	L0	33.3	62.5	###	###	###	###	###	###	12.5	15.9	20.8	28.6	41.7	7.7	8.9

계산 조건		1&5 S75H25			1&5 S75H50			1&5 S75H75			1&5 S75H100		
본의 위치	S	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
	H	25	25	25	25	25	50	50	50	75	75	100	100
거울의 위치	h'												
	h	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5
거울의 크기 (직사각형)	w	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	h0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
계산 결과													
그림의 위치	L'	0.0	18.8	50.0	###	###	0.0	8.3	18.8	32.1	50.0	0.0	5.4
	L	50.0	113	300	#DIV/	#DIV/	18.8	32.1	50.0	75.0	113	11.5	18.8
그림 분할법 의 왜곡율 계 산(사다리형)	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.1
	w'	25.0	37.5	75.0	#DIV/	####	18.8	21.4	25.0	30.0	37.5	17.3	18.8
	L0	50.0	93.8	250	#DIV/	####	18.8	23.8	31.3	42.9	62.5	11.5	13.4
바탕 그림의 왜곡율													
정상 그림의 크기(직사각	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.1
	h"	9.9	12.5	16.8	#DIV/	50.3	8.9	10.1	11.7	13.6	16.2	7.6	8.4
왜곡된 그림 의 크기(사다 리형)	w"	9.3	9.6	8.5	#DIV/	74.3	12.7	13.6	14.7	16.0	17.3	13.9	14.7
	W	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.1
	L0	50.0	93.8	250	#DIV/	####	18.8	23.8	31.3	42.9	62.5	11.5	13.4

[illegible]

2) 상황②와 상황⑥을 합한 경우

정수: 그림의 크기 $L_0=30\text{cm}$, $h_0=20\text{cm}$

변수: 그림의 위치 $L'=0, 5\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}, 20\text{cm}$

눈의 위치 $S=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

$H=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

그림 분할선의 너비 $0.75\text{mm}, 1\text{mm}, 1.5\text{mm}, 2\text{mm}$

총 320 개의 데이터는 다음과 같다.[표 4-14~17]

상황②와 상황⑥을 합해 총 640 개 그래픽이 부록을 참조한다.

계산 조건		2&6 S25H25										2&6 S25H50										2&6 S25H75										2&6 S25H100									
눈의 위치	S	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25			
	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25			
그림의 위치	L'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	L	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직사각형)	L0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	W	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과																																									
거울 위치	h'	0.0	4.2	7.1	9.4	11.1	0.0	8.3	14.3	18.8	22.2	0.0	12.5	21.4	28.1	33.3	0.0	16.7	28.6	37.5	44.4	0.0	16.7	28.6	37.5	44.4	0.0	16.7	28.6	37.5	44.4	0.0	16.7	28.6	37.5	44.4	0.0	16.7	28.6	37.5	44.4
	h	13.6	14.6	15.4	16.1	16.7	27.3	29.2	30.8	32.1	33.3	33.3	40.9	43.8	46.2	48.2	50.0	54.5	58.3	61.5	64.3	66.7	54.5	58.3	61.5	64.3	66.7	54.5	58.3	61.5	64.3	66.7	54.5	58.3	61.5	64.3	66.7	54.5	58.3	61.5	64.3
거울 분할법의 왜곡율 계산(사	w'	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7
	w	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1
다리꼴)	h0	13.6	10.4	8.2	6.7	5.6	27.3	20.8	16.5	13.4	11.1	40.9	31.3	24.7	20.1	16.7	54.5	41.7	33.0	26.8	22.2																				
바탕 그림의 왜곡율 계산																																									
정상 그림의 크	W'	12.5	12.6	12.8	13.0	13.3	16.1	15.8	15.6	15.5	15.4	17.9	17.6	17.3	17.2	17.0	18.7	18.5	18.3	18.1	18.0																				
	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
기(사다리꼴)	h"	13.3	12.1	11.1	10.3	9.7	21.6	20.3	19.2	18.1	17.2	25.4	24.5	23.6	22.7	21.9	27.2	26.5	25.9	25.2	24.6																				
왜곡된 그림(직	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
	L0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	

계산 조건	2&6 S50H25				2&6 S50H50				2&6 S50H75				2&6 S50H100			
	S	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
그림의 위치	L'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	L	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직사각형)	L0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	W	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과	거울 위치	h'	0.0	2.3	4.2	5.8	7.1	0.0	4.5	8.3	11.5	14.3	0.0	6.8	12.5	17.3
	h	9.4	10.3	11.1	11.8	12.5	18.8	20.6	22.2	23.7	25.0	28.1	30.9	33.3	35.5	37.5
거울 분할법의 왜곡율 계산(사다리꼴)	w'	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0
	w	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3
바탕 그림의 왜곡율 계산	h0	9.4	8.0	6.9	6.1	5.4	18.8	16.0	13.9	12.1	10.7	28.1	24.1	20.8	18.2	16.1
	W'	13.5	13.8	14.0	14.3	14.5	15.4	15.4	15.4	15.5	15.6	16.9	16.8	16.7	16.7	17.8
정상 그림의 크기(사다리꼴)	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h"	9.1	8.5	8.1	7.7	7.3	16.3	15.5	14.8	14.2	13.6	21.1	20.3	19.6	18.9	18.3
왜곡된 그림(직사각형)	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	L0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

계산 조건	2&6 S75H25				2&6 S75H50				2&6 S75H75				2&6 S75H100			
	S	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	50	50	50	50	50	50	75	100	100	100
그림의 위치	L'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	L	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직사각형)	L0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	W	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과	거울 위치	h'	0.0	1.6	2.9	4.2	5.3	0.0	3.1	5.9	8.3	10.5	0.0	6.3	11.8	16.7
	h	7.1	8.0	8.7	9.4	10.0	10.0	14.3	15.9	17.4	18.8	20.0	21.4	28.6	34.8	40.0
거울 분할법의 왜곡율 계산(사다리꼴)	w'	14.3	13.6	13.0	12.5	12.0	14.3	13.6	13.0	12.5	12.0	14.3	13.6	13.0	12.5	12.0
	w	20.0	18.8	17.6	16.7	15.8	20.0	18.8	17.6	16.7	15.8	20.0	18.8	17.6	16.7	15.8
바탕 그림의 왜곡율 계산	h0	7.1	6.4	5.8	5.2	4.7	14.3	12.8	11.5	10.4	9.5	21.4	19.2	17.3	15.6	14.2
	W'	14.7	14.9	15.1	15.3	15.4	15.7	15.8	15.8	15.9	16.0	16.7	16.7	16.7	17.4	17.4
정상 그림의 크기(사다리꼴)	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h"	7.0	6.7	6.4	6.1	5.9	13.0	12.5	12.1	11.6	11.2	17.7	17.1	16.6	15.6	14.4
왜곡된 그림(직사각형)	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	L0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

계산 조건	2&6 S100H25				2&6 S100H50				2&6 S100H75				2&6 S100H100			
	S	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	75	75	75	75	100	100	100
그림의 위치	L'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	L	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직사각형)	L0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	W	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과	거울 위치	h'	0.0	1.2	2.3	3.3	4.2	0.0	2.4	4.5	6.5	8.3	0.0	3.6	6.8	9.8
	h	5.8	6.5	7.1	7.8	8.3	8.3	11.5	13.0	14.3	15.5	16.7	17.3	19.4	21.4	23.3
거울 분할법의 왜곡율 계산(사다리꼴)	w'	15.4	14.8	14.3	13.8	13.3	13.3	15.4	14.8	14.3	13.8	13.3	15.4	14.8	14.3	13.8
	w	20.0	19.0	18.2	17.4	16.7	16.7	20.0	19.0	18.2	17.4	16.7	20.0	19.0	18.2	17.4
바탕 그림의 왜곡율 계산	h0	5.8	5.3	4.9	4.5	4.2	4.2	11.5	10.6	9.7	9.0	8.3	17.3	15.9	14.6	13.5
	W'	15.6	15.7	15.9	16.0	16.1	16.1	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.8	16.8	16.9	16.9
정상 그림의 크기(사다리꼴)	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h"	5.7	5.5	5.3	5.1	4.9	4.9	10.8	10.5	10.1	9.8	9.5	15.1	14.7	14.2	13.9
왜곡된 그림(직사각형)	W	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	L0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

3) 상황③과 상황⑦을 합한 경우

정수: 거울의 크기 $w=15\text{cm}$, $L_0=10\text{cm}$

변수: 거울의 위치 $L'=0, 5\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}, 20\text{cm}$

눈의 위치 $S=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

$H=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

거울의 너비 $0.75\text{mm}, 1\text{mm}, 1.5\text{mm}, 2\text{mm}$

총 320 개의 데이터는 다음과 같다.[표 4-18~21]

상황③과 상황⑦을 합해 총 640 개 그래픽이 부록을 참조한다.

계산 조건	3&7 S25H25											
	S	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	50	50	50	75	100	100
거울의 위치	L'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0
	L	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30	10
거울의 크기(직사각형)	L0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	W	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
계산 결과												
그림 위치	h'	0.0	6.3	16.7	37.5	##	##	##	##	##	##	##
	h	16.7	37.5	100	#DIV	##	##	##	##	##	##	##
그림 분할법의 왜곡률 계산(사다리꼴)	w	15.0	18.8	25	37.5	75.0	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0
	w'	25.0	37.5	75	#DIV	##	##	##	##	##	##	##
	h0	16.7	31.3	83.3	#DIV	##	##	##	##	##	##	##
바탕 그림의 왜곡률 계산												
정상 그림의 크기(직사각형)	w	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0
	h"	8.8	12.1	17.4	#DIV	53.1	9.7	12.5	16.9	#DIV	50.8	9.9
왜곡된 그림의 크기(사다리꼴)	w	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0	18.8	25.0	37.5	75.0	15.0
	w"	20.0	30.2	61.8	#DIV	69.2	23.0	34.9	70.9	#DIV	74.3	24.4
	h0	16.7	31.3	83.3	#DIV	##	##	##	##	##	##	##

계산 조건	3&7 S50H25				3&7 S50H50				3&7 S50H75				3&7 S50H100			
	S	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
거울의 위치	L'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	L	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30
거울의 크기(직사각형)	L0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	W	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
계산 결과																
그림 위치	h'	0.0	2.8	6.3	10.7	16.7	0.0	5.6	12.5	21.4	33.3	0.0	8.3	18.8	32.1	50.0
	h	6.3	10.7	16.7	25.0	37.5	12.5	21.4	33.3	50.0	75.0	18.8	32.1	50.0	75.0	113
그림 분할법의 왜곡률 계산(사다리꼴)	w	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0
	w'	18.8	21.4	25.0	30.0	37.5	18.8	21.4	25.0	30.0	37.5	18.8	21.4	25.0	30.0	37.5
	h0	6.3	7.9	10.4	14.3	20.8	12.5	15.9	20.8	28.6	41.7	18.8	23.8	31.3	42.9	62.5
바탕 그림의 왜곡률 계산																
정상 그림의 크기(직사각형)	w	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0
	h"	5.3	6.5	8.1	10.2	13.3	7.9	9.2	10.8	12.9	15.7	8.9	10.1	11.7	13.6	16.2
왜곡된 그림의 크기(사다리꼴)	w	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0	15.0	16.7	18.8	21.4	25.0
	w"	15.8	17.8	20.5	24.3	30.1	16.9	19.3	22.6	27.2	34.2	17.6	20.2	23.6	28.5	35.8
	h0	6.3	7.9	10.4	14.3	20.8	12.5	15.9	20.8	28.6	41.7	18.8	23.8	31.3	42.9	62.5

계산 조건		3&7 S75H25										3&7 S75H50										3&7 S75H75										3&7 S75H100									
눈의 위치	S	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75			
	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
거울의 위치	L'	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180			
	L	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190			
거울의 크기(직사각형)	L0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10			
	W'	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15				
계산 결과																																									
그림 위치	h'	0.0	1.8	3.8	6.3	9.1	12.5	16.7	20.5	24.3	28.1	31.9	35.7	39.5	43.3	47.1	50.9	54.7	58.5	62.3	66.1	69.9	73.7	77.5	81.3	85.1	88.9	92.7	96.5	100.3	104.1	107.9	111.7	115.5	119.3	123.1	126.9				
	h	3.8	6.3	9.1	12.5	16.7	20.5	24.3	28.1	31.9	35.7	39.5	43.3	47.1	50.9	54.7	58.5	62.3	66.1	69.9	73.7	77.5	81.3	85.1	88.9	92.7	96.5	100.3	104.1	107.9	111.7	115.5	119.3	123.1	126.9	130.7	134.5				
그림 분할법의 왜곡률 계산(사다리꼴)	w	15.0	16.1	17.3	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0			
	w'	17.3	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0			
	h0	3.8	4.5	5.2	6.3	7.6	8.9	10.5	12.5	15.2	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5				
바탕 그림의 왜곡률 계산																																									
정상 그림의 크기(직사각형)	w	15.0	16.1	17.3	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0			
	h	3.6	4.1	4.8	5.6	6.6	7.8	9.1	10.5	12.5	15.2	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0				
왜곡된 그림의 크기(사다리꼴)	w	15.0	16.1	17.3	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0			
	w"	15.2	16.4	17.7	19.3	21.2	23.1	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5				
	h0	3.8	4.5	5.2	6.3	7.6	8.9	10.5	12.5	15.2	18.8	20.5	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5				

계산 조건	3&7 S100H25										3&7 S100H50										3&7 S100H75										3&7 S100H100									
	S	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	50	50	50	50	50	50	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75				
거울의 위치	L'	0	5	10	15	20	30	30	30	30	0	5	10	15	20	30	30	30	30	30	0	5	10	15	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
	L	10	15	20	25	30	30	30	30	30	10	15	20	25	30	30	30	30	30	30	10	15	20	25	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
거울의 크기(직사각형)	L0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10					
	W	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15					
계산 결과																																								
그림 위치	h'	0.0	1.3	2.8	4.4	6.3	10.7	5.6	8.8	12.5	0.0	2.6	5.6	8.8	12.5	0.0	3.9	8.3	13.2	18.8	25.0	32.1	11.1	17.6	25.0	33.3	42.9													
	h	2.8	4.4	6.3	8.3	10.7	5.6	8.8	12.5	16.7	21.4	8.3	13.2	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0					
그림 분할법의 왜곡률 계산(사다리꼴)	w	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6					
	w'	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0	21.4	16.7	17.6	18.8	20.0					
바탕 그림의 왜곡률 계산	h0	2.8	3.1	3.5	3.9	4.5	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8					
정상 그림의 크기(직사각형)	w	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6					
	h"	2.7	3.0	3.3	3.7	4.2	4.9	5.3	5.9	6.5	7.3	4.2	4.9	5.3	5.9	6.5	7.3	4.2	4.9	5.3	5.9	6.5	7.3	4.2	4.9	5.3	5.9	6.5	7.3	4.2	4.9	5.3	5.9	6.5						
왜곡된 그림의 크기(사다리꼴)	w	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6	18.8	15.0	15.8	16.7	17.6					
	w"	15.1	15.9	16.8	17.8	19.0	15.3	16.2	17.2	18.3	19.5	15.6	16.5	17.5	18.7	20.0	15.8	16.8	17.8	19.0	20.4	16.1	17.1	18.1	19.3	20.7	16.4	17.4	18.4	19.6	21.0	16.7	17.7	18.8						
기(사다리꼴)	h0	2.8	3.1	3.5	3.9	4.5	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8	8.9	5.6	6.2	6.9	7.8					

4) 상황④와 상황⑧을 합한 경우

정수: 그림의 크기 $L_0=30\text{cm}$, $h_0=20\text{cm}$

변수: 그림의 위치 $L'=0, 5\text{cm}, 10\text{cm}, 15\text{cm}, 20\text{cm}$

눈의 위치 $S=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

$H=25\text{cm}, 50\text{cm}, 75\text{cm}, 100\text{cm}$

그림 분할선의 너비 $0.75\text{mm}, 1\text{mm}, 1.5\text{mm}, 2\text{mm}$

총 320 개의 데이터는 다음과 같다.[표 4-22~25]

상황④와 상황⑧를 합해 총 640 개 그래픽이 부록을 참조한다.

계산 조건	4&8 S25H25				4&8 S25H50				4&8 S25H75				4&8 S25H100			
	S	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
그림의 위치	h'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	h	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직사각형)	h0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	w	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과																
그림 위치	L'	0.0	4.2	7.1	9.4	11.1	0.0	2.3	4.2	5.8	7.1	0.0	1.6	2.9	4.2	5.3
	L	13.6	14.6	15.4	16.1	16.7	9.4	10.3	11.1	11.8	12.5	7.1	8.0	8.7	9.4	10.0
그림 분할법의 왜곡 을 계산(사다리꼴)	W'	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	14.3	13.6	13.0	12.5	12.0
	W	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	20.0	18.8	17.6	16.7	15.8
	L0	13.6	10.4	8.2	6.7	5.6	9.4	8.0	6.9	6.1	5.4	7.1	6.4	5.8	5.2	4.7
바탕 그림의 왜곡을 계산																
정상 그림의 크기 (사다리꼴)	w'	12.5	12.6	12.8	13.0	13.3	13.5	13.8	14.0	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.4
	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h''	13.3	12.1	11.1	10.3	9.7	9.1	8.5	8.1	7.7	7.3	7.0	6.7	6.4	6.1	5.9
왜곡된 그림(직사각형)	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

계산 조건	4&8 S50H25											
	S	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
그림의 위치	h'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0
	h	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30
그림 크기 (직 사각 형)	h0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	w	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과												
그림 위치	L'	0.0	8.3	14.3	18.8	22.2	0.0	4.5	8.3	11.5	14.3	0.0
	L	27.3	29.2	30.8	32.1	33.3	18.8	20.6	22.2	23.7	25.0	14.3
그림 분할법의 왜곡 을 계산(사다리꼴)	W'	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	14.3
	W	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	20.0
	L0	27.3	20.8	16.5	13.4	11.1	18.8	16.0	13.9	12.1	10.7	14.3
바탕 그림의 왜곡을 계산												
	w'	16.1	15.8	15.6	15.5	15.4	15.4	15.4	15.4	15.5	15.6	15.7
	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h''	21.6	20.3	19.2	18.1	17.2	16.3	15.5	14.8	14.2	13.6	13.0
왜곡된 그림(직사각 형)	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

계산 조건	4&8 S75H25				4&8 S75H50				4&8 S75H75				4&8 S75H100			
	S	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	50	50	50	50	50	75	100	100	100
그림의 위치	h'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	h	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직 사각 형)	h0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	w	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과	L'	0.0	12.5	21.4	28.1	33.3	0.0	6.8	12.5	17.3	21.4	0.0	6.8	12.5	17.3	21.4
	L	40.9	43.8	46.2	48.2	50.0	28.1	30.9	33.3	35.5	37.5	21.4	23.9	26.1	28.1	30.0
그림 분할법의 왜곡 을 계산(사다리꼴)	w'	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	14.3	13.6	13.0	12.5	12.0
	W	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	20.0	18.8	17.6	16.7	15.8
	L0	40.9	31.3	24.7	20.1	16.7	28.1	24.1	20.8	18.2	16.1	21.4	19.2	17.3	15.6	14.2
바탕 그림의 왜곡을 계산 정상 그림의 크기 (사다리꼴)	w'	17.9	17.6	17.3	17.2	17.0	16.9	16.8	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h''	25.4	24.5	23.6	22.7	21.9	21.1	20.3	19.6	18.9	18.3	17.7	17.1	16.6	16.0	15.6
왜곡된 그림(직사각 형)	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

계산 조건	4&8 S100H25				4&8 S100H50				4&8 S100H75				4&8 S100H100			
	S	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
눈의 위치	H	25	25	25	25	25	25	50	50	75	75	75	100	100	100	100
그림의 위치	h'	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
	h	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50
그림 크기 (직 사각 형)	h0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	w	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
계산 결과	L'	0.0	16.7	28.6	37.5	44.4	0.0	9.1	16.7	23.1	28.6	0.0	6.3	11.8	16.7	21.1
	L	54.5	58.3	61.5	64.3	66.7	37.5	41.2	44.4	47.4	50.0	28.6	31.8	34.8	37.5	40.0
그림 분할법의 왜곡 을 계산(사다리꼴)	W'	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7	12.5	11.8	11.1	10.5	10.0	14.3	13.6	13.0	12.5	12.0
	W	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	20.0	18.8	17.6	16.7	15.8
	L0	54.5	41.7	33.0	26.8	22.2	37.5	32.1	27.8	24.3	21.4	28.6	25.6	23.0	20.8	18.9
바탕 그림의 왜곡을 계산 정상 그림의 크기 (사다리꼴)	w'	18.7	18.5	18.3	18.1	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h"	27.2	26.5	25.9	25.2	24.6	24.0	23.3	22.7	22.1	21.5	21.0	20.4	19.9	19.4	18.9
왜곡된 그림(직사각 형)	w	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	h0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

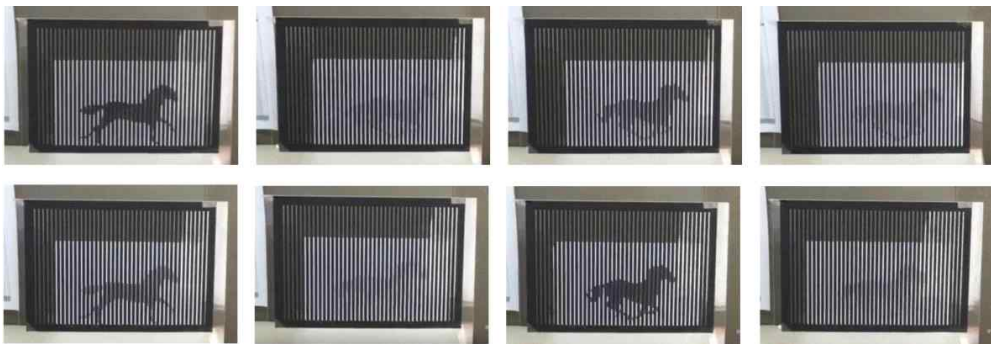
4.2.3 실험 결과 도출

위 2560 개 상황을 실험하여 실험 결과를 다음과 같다.

1) 거울의 배치는 수평보다 수직으로 배치하는 방법이 그림을 인지하는데 있어서 보다 유리하고, 거울의 분할은 왜곡시켜 분할하는 것보다 정상적으로 분할하는 방법이 그림을 인지하는데 있어서 보다 유리하다.

2) 잔상효과를 유지하기 위해서는 한 프레임이 지나가는 속도가 0.2~0.4 초 사이여야 함으로 이 속도에 가장 효과적인 거울의 너비는 1.5mm 이다.

3) 제일 잘 보이는 위치는 눈과 거울의 수평 거리 $S=100\text{cm}$, 눈과 바탕화면의 수직 거리 $H=75\text{cm}$, 그리고 거울 하단과 바탕그림의 수직 거리 $h'=10\sim15\text{cm}$ 이다.

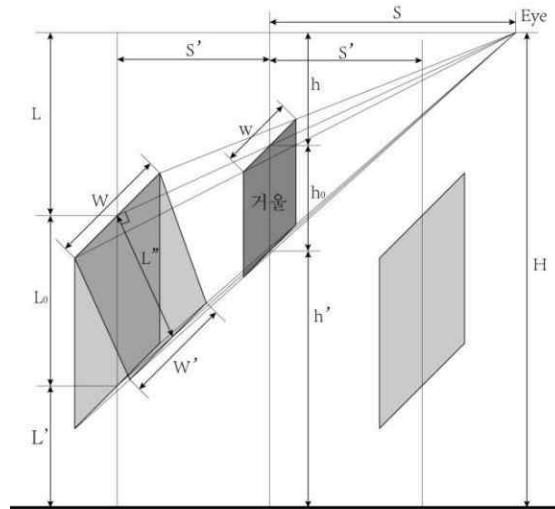


[그림 4-43] $S=100$, $H=75$, $h'=15\text{cm}$ 때의 영상 캡처

4.3 다른 형식의 적용

4.3.1 H형 배치 방법에 적용

H 형 배치 방법은 거울과 왜곡된 그림이 서로 평행하게 설치하는 구조이며, 그림이나 거울의 이동하기는 물론이지만 시점 이동하기도 가능하다. 계산용 그림, 계산 조건, 계산 결과, 수식, 그리고 결과물은 아래와 같다.



[그림 4-44] H 형 배치 방법의 계산용 그림

- 가정: S - 눈과 눈거울의 수평 거리
 S' - 거울과 그림의 수평 거리
H - 눈과 그림 사이의 높이
h - 거울의 상단에서 눈까지의 높이
 h_0 - 거울을 배치된 직사각형의 높이
 h' - 거울의 하단에서 바닥까지의 높이
L - 그림의 상단에서 눈까지의 높이
 L_0 - 그림을 배치된 직사각형의 높이
 L' - 그림의 하단에서 바닥까지의 높이
 L'' - 눈에 인식한 정상 그림의 높이
w - 거울을 배치된 직사각형의 너비
W - 그림을 배치된 직사각형의 너비
 W' - 눈에 인식된 정상 그림의 하단 너비

계산 조건		
눈의 위치		눈과 눈거울의 수평 거리 S
		눈과 그림 사이의 높이 H
거울의 위치		거울의 상단에서 눈까지의 높이 h
		거울의 하단에서 바닥까지의 높이 h'
거울의 크기(직사각형)		거울을 배치된 직사각형의 너비 w
		거울을 배치된 직사각형의 높이 h0
그림의 위치		그림과 거울의 수평 거리
계산 결과		
거울의 위치		거울의 하단에서 바닥까지의 높이 h'
그림의 위치		그림의 상단에서 눈까지의 높이 L
		그림의 하단에서 바닥까지의 높이 L'
그림 분할법의 왜곡율		확대율 r
그림의 왜곡율 계산	정상 그림의 크기(사다리꼴)	정상 그림 상단의 너비 W
		정상 그림 하단의 너비 W"
		정상 그림의 높이 L"
	왜곡된 그림의 크기(직사각형)	그림을 배치된 직사각형의 너비 W
		그림을 배치된 직사각형의 높이 L0

[표 4-26] H 형 배치방법의 계산 조건, 계산 결과 항목표

$$\begin{aligned}
 h' &= H - h - h_0, & L &= \frac{h \cdot (S + S')}{S}, & L0 &= \frac{h0 \cdot (S + S')}{S}, \\
 L' &= H - L - L_0, & W &= \frac{w \cdot (S + S')}{S}, & r &= \frac{S + S'}{S} \\
 L'' &= \frac{L_0 \cdot (S + S') \cdot \sqrt{(S + S')^2 + L^2}}{(S + S')^2 + (L + L0) \cdot L} \\
 W' &= \frac{W \cdot \sqrt{(S + S')^2 + L^2}}{\sqrt{(S + S')^2 + (L + L0)^2}}
 \end{aligned}$$



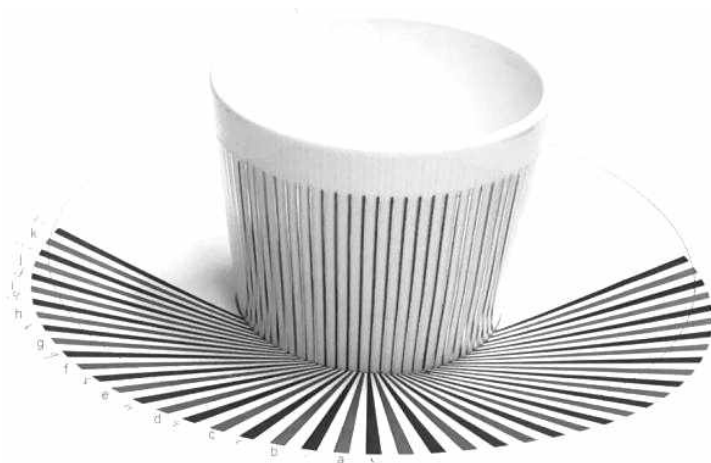
[그림 4-45] H 형 배치 방법의 구조



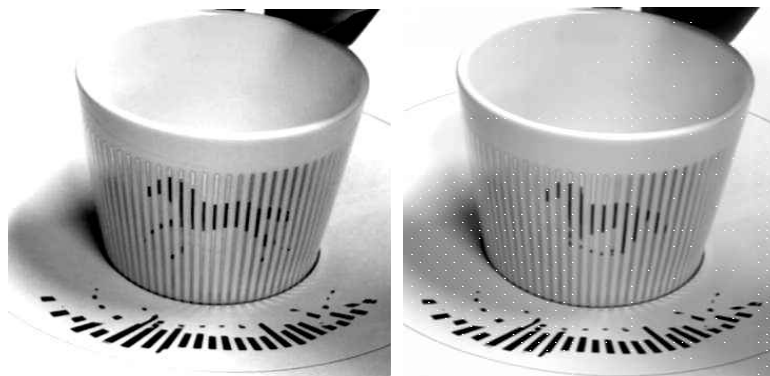
[그림 4-46] H 형 배치 방법의 적용

4.3.2 원기둥 거울에 적용

원기둥 거울에의 왜곡을 계산은 <https://www.anamorphosis.com/> 사이트에서 제공하는 아나모르포미(AnamorphMe)라는 소프트웨어를 사용하여 적용한다. 결과물은 다음과 같다.



[그림 4-47] 원기둥 배치 방법



[그림 4-48] 원기둥 배치 방법의 적용 1



V. 스캐니마스코프 장치 평가

5.1 기존장치와의 차이점

앞서 언급한 기존 장치는 13 가지가 있으며 관찰 방법으로는 5 가지로 나누어 볼 수 있다.

1) 순차적 구조는 소마트로프, 플립북, 무토스코프, 그리고 필로스코프가 있다. 소마트로프는 애니메이션의 최초 형식으로 인정해 왔지만 사실은 움직임 효과가 별로 없다. 플립북은 종이의 종류와 손가락의 압력에 영향을 받아서 책 넘김의 일정성 유지가 힘들다. 무토스코프와 필로스코프는 이러한 문제를 잘 해결했지만 자기 장치와 독특한 구조에 전적으로 의존하기 때문에 실용성이 떨어진다. 스캐니마스코프의 구조는 각각 90° 로 배치된 거울과 바탕 그림으로 구성이 매우 간단하다. 어디서든지 쉽게 설치할 수 있는 구조라서 그 활용도가 높다.

2) 슬릿으로 보는 애니메이션은 페나키스티스코프, 조이트로프, 마스트랜시스코프 그리고 스캐니메이션이 있다. 페나키스티스코프, 조이트로프, 마스트랜시스코프는 슬릿이 하나씩 지나갈 때마다 동작도 하나씩 보여야 한다. 또한 가현운동의 시간에 있어서 빠른 속도와 긴 거리가 필요하다. 그러므로 돌리는 장치나 지하철같이 빠른 속도를 가진 장치에 의존할 수밖에 없다. 하지만 스캐니마스코프는 천천히 보는 장치이다. 시선의 방향이 조금 바뀌도 동작이 바뀌기 때문에 긴 거리와 빠른 속도가 필요치 않다.

스캐니메이션은 페나키스티스코프, 조이트로프와 달라 슬릿을 통해서 분할된 이미지를 보는 평면장치이다. 틈새가 뚫린 마스크와 분할된 바탕 이미지가 반드시 부착된 상태에서 서로 반대 방향으로 이동해야 한다. 이런 이동 방식은 이용할 수 있는 장치가 드물다. 스캐니마스코프는 스캐니메이션을 바탕으로 발전시킨 것이지만 평면장치를 탈피한 것이다. 그 입체적인 구조가 평면거울이나 원기둥 거울을 사용할 수 있고 또한 H형 배치방법도 적용할 수 있다. 또한, 배치 방법에 따라서 사람의 이동, 거울의 이동, 그림의 이동, 이렇

제 3 가지 이동 방법을 선택 할 수 있으므로 주변 환경과 잘 결합할 수 있다.

3) 점멸 라이트 구조는 스트로보스코프, 주프랙시노스코프, 그리고 키네토스코프가 있다. 이런 장치들은 빛이 투사될 때마다 한 동작을 보여주는 것으로 주변환경이 어두워야 한다. 하지만 스캐니마스코프는 빛에 대한 요구가 없으며 아무 환경에서도 볼 수 있는 장점이 있다.

4) 거울 반사 구조는 페나키스티스코프와 프랙시노스코프가 있다. 두 장치는 모두 빠른 회전 속도를 필요로 한다. 그러나 스캐니마스코프는 앞서 1)에서 언급했듯이 그럴 필요가 없다.

5) 기타 구조로는 포노트로프가 있다. 포노트로프는 육안으로 볼 수 없으며, 라이브 액션 카메라의 뷰파인더를 통해 보거나, 연결된 모니터를 통해 보거나, 또는, 촬영 후에 영상으로 볼 수 있다. 하지만 스캐니마스코프는 어떤 특정한 장치를 통해서 볼 필요가 없으며, 육안으로도 직접 볼 수 있다.

따라서 스캐니마스코프는 긴 거리나 빠른 속도가 필요 없이 밝은 환경에서 육안으로 볼 수 있는 입체적인 구조이다. 거울과 바탕 그림은 L 형 방식으로 설치할 수도 있고, H 형 방식으로 설치할 수도 있다. 분할된 거울은 평면에서도 배치할 수 있고, 원기둥에서도 배치할 수 있다. 또한 움직이는 방식은 사람, 거울, 바탕 그림, 이렇게 3 가지를 선택할 수 있다. 따라서 스캐니마스코프는 환경 요구에 따라 매우 융통성이 있는 장치이다. 스캐니마스코프는 환경 제한을 별로 받지 않으며, 향후 활용 측면에 있어 매우 광범위하다.

5.2 본 장치의 한계점

스캐니마스코프는 분할된 거울을 통해 모아지는 그림을 보는 것이므로 주관적 윤곽선의 인지에 제한을 받는다. 투입되는 이미지가 많아질수록 실제로 보이는 이미지는 면적이 적어지므로($1/n$), 주관적 윤곽선을 인지하기 어렵다. 따라서 이미지가 너무 많을 경우에는 효과가 떨어지는 면이 있다. 다른 연구 결과를 참고해 볼 때 이미지가 2~3 개 정도 들어가는 것이 가장 이상적이지만 이미지의 개수가 적을수록 동작의 흐름이 매끄럽지 못하는 단점이 있다.

윤곽선의 한계성은 거울을 좀 더 세분화시키는 방법으로 해결할 수 있다.

거울을 세분화시킬수록 이미지도 세분화되며 주관적 윤곽선의 인지도는 향상된다. 하지만 색상은 채도가 떨어지게 되는 문제가 발생한다. 이러한 문제는 이미지 인지에 영향을 미친다. 그리고 사람이 대상을 인지하는데 있어서 거울과 시점과의 거리는 거울의 너비에 비례하므로 거울을 지나치게 세분화하면 안 된다.

또한, 거울이 세분화 될수록 관찰자의 위치는 좀 더 정확져야 된다. 조금만 부정확해도 거울의 반사위치가 달라져 이미지가 잘 보이지 않게 된다. 거울을 세분화 할수록 다음 이미지를 볼 수 있는 이동거리가 단축되므로 같은 이동거리에서 볼 수 있는 이미지의 동작이 풍부해진다. 즉 동작의 변환속도가 증가한다. 하지만 스캐니마스코프는 이미지 동작변환시간이 0.2~0.4 초 안에서 형성되어야 함으로 거울의 세분화를 지나치게 많이 하면 안 된다.

요약하면, 스캐니마스코프는 주관적 윤곽선과 이동속도, 그리고 시력에 의해 제한되는데 동작이 많아지거나, 거울을 지나치게 세분화하거나, 또는 이동속도가 너무 빠르면 바람직한 효과를 기대하기 힘들다. 하지만 스캐니마스코프는 이러한 단점에도 불구하고 다양한 배치방법과 이동방법으로 인해 그 응용범위와 활용성이 매우 넓다고 할 수 있다.

따라서 좀 더 효율적인 스캐니마스코프의 활용을 위해서 앞서 언급한 단점을 보완할 수 있는 후속 연구를 지속할 것이다.

5.3 본 장치의 응용 제안

스캐니마스코프는 환경의 움직임에 의하여 설치할 것이다. 생활 속에 쉽게 보일 수 있는 움직임은 다음과 같이 정리했다.

평면 벽의 좌우 움직임: 미닫이

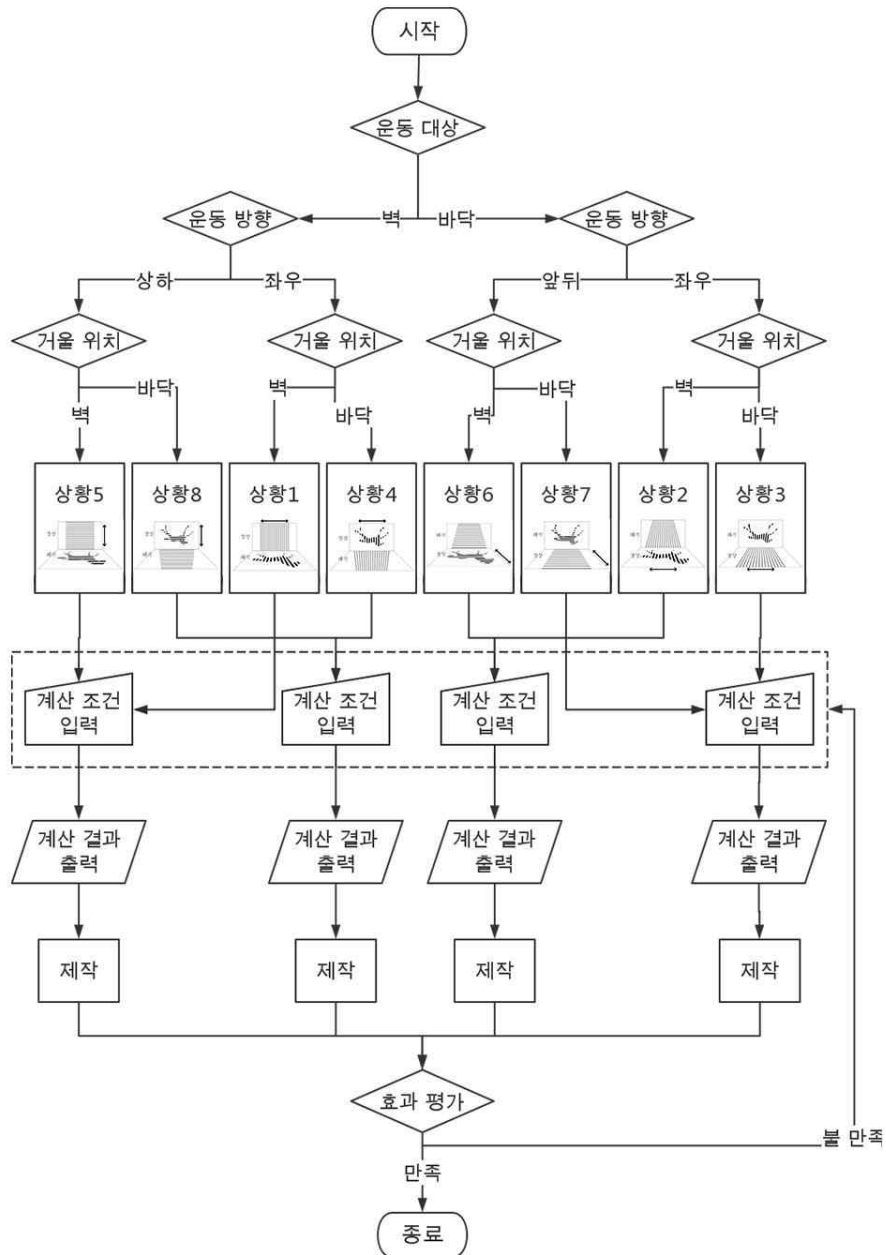
평면 벽의 상하 움직임: 커튼, 엘리베이터, 수직 승강기

바닥 좌우 움직임: 공항 컨베이어

앞뒤 움직임: 공항 컨베이어

원기둥 벽의 회전 움직임: 컵, 오르골

실제 환경의 상황을 판단하여 스캐니마스코프의 적용 과정은 [그림 5-1]과 같다.



VI. 결론

인간의 시각은 본능적으로 정지된 것보다 움직이는 것에 대해 더욱 민감하게 반응한다. 따라서 과거로부터 가현운동의 원리를 이용하여 정지된 이미지를 움직이는 것처럼 보이게 하려는 많은 노력이 있어왔다. 가현운동은 실제로 물리적인 운동은 발생하지 않은 상태이지만, 움직이는 것처럼 보이는 시각 상의 움직임이기 때문에 주변 환경이 어두워야 하고 전기 사용이 요구되는 등의 물리적인 제한이 크다. 따라서 실제 환경에서의 활용도가 지극히 낮은 것이 가장 큰 결점으로 지적되어 왔다. 따라서 이와 같이 많은 제한적 요소를 해결하고 실용성 높은 가현 운동장치의 개발이 절실한 시점이다.

본 연구는 가현운동 원리를 이용한 애니메이션 기존 장치의 한계점을 분석하고 새로운 장치를 개발하는데 의의가 있다. 이 장치의 이름은 '스캐니마스코프'로 명명하였으며, '스캔 방식대로 움직임을 보는 장치'의 뜻을 부여했다. 실험결과 분석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 새로운 가현운동 장치개발

1) 스캐니마스코프는 공간을 대상으로 하기 때문에 양안 시차를 최우선으로 고려하지 않으면 안 된다. 따라서 프레임구조에서 제일 중요한 역할을 하는 것은 분할된 그림 중 빈 프레임 부분이다. 공간상에서 거울을 통해 보는 스캐니마스코프의 특성상 양안 시차에 의해 오른쪽 눈과 왼쪽 눈은 그림을 서로 다른 그림으로 인지한다. 따라서 그림과 그림 사이에 빈 프레임을 넣어주지 않으면 그림이 겹쳐 보임으로 인해 애니메이션 효과를 상실하게 된다. 빈 프레임 때문에 실제 동작을 위한 그림은 2-3 개 까지만 배치가 가능하지만 거울 반사의 특성상 애니메이션 효과에는 큰 문제는 없다.

2) 스캐니마스코프의 배치 방법은 총 8 가지가 있다. 또한, 실행 방법에 있어서 평면거울뿐만 아니라 원기둥 거울에서도 실행 가능하다. 거울의 배치

는 수평보다 수직으로 배치하는 방법이 그림을 인지하는데 있어서 보다 유리하다.

3) 잔상효과를 유지하기 위해서는 한 프레임이 지나가는 속도는 0.2~0.4 초 사이여야 한다. 이 속도는 거울의 너비에 밀접한 관련이 있으며, 본 실험에 있어서 속도에 비례하여 가장 효과적인 거울의 너비는 1.5mm 이다.

4) 사람이 대상을 인지하는데 있어서 거울과 시점과의 거리는 거울의 너비에 비례하므로 거울을 지나치게 세분화하면 안 된다. 본 실험에서 제일 좋은 위치는 눈과 거울의 수평 거리 $S=100\text{cm}$, 눈과 바탕화면의 수직 거리 $H=75\text{cm}$, 그리고 거울 하단과 바탕그림의 수직 거리 $h'=10\sim15\text{cm}$ 이다.

이와 같이 스캐니마스코프는 기존 장치가 가지고 있는 긴 시점 거리, 빠른 속도, 어두운 환경 등 이미 설정된 구조에 지나치게 의존하는 단점이 있지만 스캐니마스코프는 조건 및 환경의 영향을 별로 받지 않으며, 설치 장소나 조건에 있어서 매우 가변적이고 효율적이기 때문에 다양한 분야에서의 활용 가치를 기대해 본다.

2. 디지털 시대의 의의

영화가 발명된 후, 스캐니메이션 외에 애니메이션을 연출하는 장치에는 큰 개선점이 없었다. 새로운 장치, 스캐니마스코프의 등장은 오히려 디지털 시대에서 더 큰 의미가 있다. 오늘날, 스캐니마스코프를 이용한 아날로그적 원리는 IT, 첨단시대에 있어서 새로운 영역을 창출할 수가 있다. 또한, 컴퓨터의 수학적 알고리즘을 통해 더 많은 가능성을 기대할 수 있다. 실제로 1917년 개발된 스트로보스코프는 빛을 사용해야 함으로 주변 환경이 어두워야만 하는 단점이 있었다. 그러나 90년이 지난 2007년 라이브 액션 카메라라는 최첨단 카메라가 개발되면서 밝은 환경에서도 스트로보스코프 효과를 줄 수 있게 된 것이다

이상과 같이 스캐니마스코프는 가현운동 원리를 이용한 애니메이션 분야에 새로운 가능성을 제시함으로써 건축, 인테리어, 옥외 광고 등 입체적이고 공간적인 우리 생활공간 속에서 다양한 예술 · 디자인 형식으로 적용될 수 있을 것이며 이와 관련된 다양한 분야에서 많은 기대 효과를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 국내문헌

- 강민구. (2013). 「입체영상에서 시지각 요소가 운동지각에 미치는 영향 연구」. 동국대학교 박사학위논문
- 김희율,성정환. (2016). 예술 형식이 갖는 공간성과 시간성의 지속에 관한 연구 -3차원 조이트로프를 중심으로. 기초조형학연구, Vol.17 No.3
- 로버트 L. 솔소(2000). 『시각 심리학』, 시그마프레스
- 로버트 스노우텐 . (2013). 『시각심리학의 기초』. 학지사
- 박길배. (2012). 「Study on three-dimensional anamorphic volumetric display system」. 서울대학교 박사학위논문
- 서상득. (2015). 「도시 공공디자인에서 스캐니메이션 기법을 활용한 사인」. 대구대학교 석사학위논문
- 심복섭. (2000). 운동조형의 일루전 효과에 대한 연구. 기초조형학연구, Vol.1 No.2
- 심복섭. (2012). 아나모르프즈의 표현특성과 조형적 의미. 기초조형학연구, Vol.13 No.3
- 엘 세켈. (2002). 『당신의 눈은 믿을 수 없다』. 파주: 김영사
- 염준영. (2002). 「애니메이션에서의 움직임과 운동지각에 대한 연구」. 홍익대학교 산업대학원 석사학위논문
- 원종혁. (2009). 「게임주체의 운동속도와 광고의 운동방향과의 상관관계 분석 _ 온라인 레이싱 게임 PPL광고를 중심으로」. 漢城大學校 藝術大學院 석사학위논문
- 유경주. (2003). 「가현운동 경로에서 발생하는 채움 현상의 시공간적인 특성」. 연세대학교 석사학위논문
- 이동희. (2008). Anamorphic 프리즘을 위한 계산 평가 프로그램 개발. 한국안광학회지, Vol.13 No.3
- 이미희 (2013). 「디지털 시각환경에서 착시 기법 유형에 관한 연구」. 국민대학교 테크노디자인전문대학원 석사학위논문

- 이상원. (2002). 「대학원애니메이션 Movement 연출에 따른 지각반응 연구 : 타이밍 기법과 프레임 제작방식, 대상물의 상호작용 효과를 중심으로」. 홍익대학교 박사학위논문
- 이상현, 조열. (2005). 가현운동원리를 활용한 인터랙티브 디자인에 관한 연구. 기초조형학연구, Vol.6 No.1
- 이재동. (2017). 「Design and Evaluation of Out-of-body Tactile Illusion for Interacting with Virtual Augmented Object」. Korea University 박사학위논문
- 이정암. (2012). 「(A) design of a projective information display system for human-robot interaction in the intelligent space」. Korea University 박사학위논문
- 이정윤. (2015). 「아나모르포즈(Anamorphose)지각현상에 의한 공간 표현 연구」. 국민대학교 석사학위논문
- 이종상. (1999). 애니메이션의 구현원리 연구 : β 가현운동과 파이현상의 심리학적 접근을 중심으로. 공주문화대학·논문집, Vol.26 No.-
- 이진경. (1995). 「운동적 시지각 원리를 이용한 Symbol mark의 사례 연구 _ Optical art에 나타난 운동성을 중심으로」. 숙명여자대학교 석사학위논문
- 전신중. (2016). 「그림자와 거울반사를 활용한 시각표현 연구」. 한성대학교 박사학위논문
- 전형도. (2006). 「영상 애니메이션 제작에 있어서 색채관리와 명멸현상의 위험성에 관한 연구」. 대구대학교 석사학위논문
- 정수연. (2013). 「시각적 상호작용의 인터페이스로서 착시 효과 연구 : 유리조형을 중심으로」. 숙명여자대학교 박사학위논문
- 조열. (1996). 『착시디자인』. 서울: 브랜미술
- 조윤희. (2009). 「왜상화법(Anamorphose)을 이용한 조각의 물리적 허상 연구 _ 왜상이 적용된 현대조각과 본인 작품을 중심으로」. 서울시립대학교 석사학위논문
- 조희. (2015). 「모션착시의 동적 표현에 관한 연구 스케니메이션의 원리를

- 중심으로」. 한성대학교 석사학위논문
- 주유림. (2015). 「착시효과를 수반한 왜상(Anamorphosis) 그리기 수업지도
방안 연구」. 부산대학교 대학원 석사학위논문
- 하태환, (1994). 아나모르포즈(Anamorphose)와 마르셀 프루스트.
프랑스어문교육, Vol.2 No.-
- 한승희. (1997). 「아나모르포즈(Anamorphose)기법을 이용한 현대회화의
의미」. 東國大學校 大學院 석사학위논문

2. 국외문헌

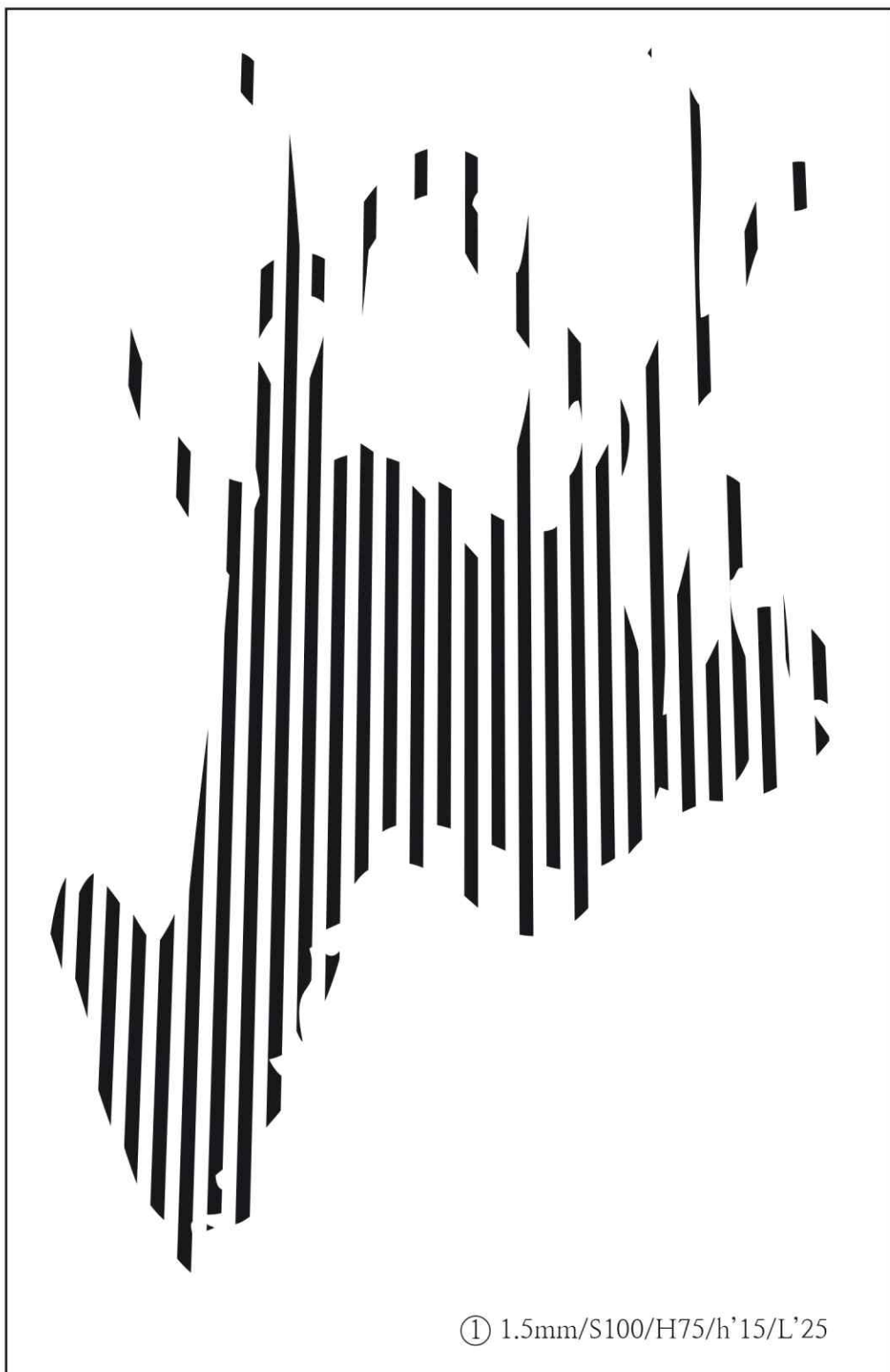
- 陈光大. (1993). 『運動構成的體系建立與實踐』. 台北市:
全華科技圖書股份有限公司
- 林品章. (2008). 『方法論』. 臺南市永康市: 基礎造型學會
- 林品章. (2012). 『設計學方法論』. 台北市: 桑格文化
- 林如瀚. (2010). 人類視覺控制與運動知覺關係探討. 中華體育季刊, 24(2)
- 图说天下世界历史系列编委会. (2009). 『文艺复兴:中世纪的觉醒』. 长春:
吉林出版集团有限责任公司
- Clement Greenberg.(2015). 『艺术与文化』. 桂林: 广西师范大学出版社
- E.H.Gombrich. (2015). 『艺术与错觉:图画再现的心理学研究』. 桂林:
广西美术出版社
- E.H.Gombrich. (2016). 『图像与眼睛:图画再现心理学的再研究』. 桂林:
广西美术出版社
- Hippolyte Adolphe Taine. (2009). 『艺术哲学』. 北京: 当代世界出版社
- Laybourne Kit.(1998). 『The animation book: a complete guide to
animated filmmaking--from flip--books to sound cartoons to 3D
animation』. New Youk: Tree Rivers Press
- Paul M.Baars. (2013). 『Illusion Confusion』. London: Thams&Hudson
- Rudolf Arnheim. (1998). 『艺术与视知觉』. 成都: 四川人民出版社
- Wang Shaoqiang. (2016). 『Optical Illusions : Graphic Design
Elements』. Hongkong: Sandu Publishing Co., Ltd.,

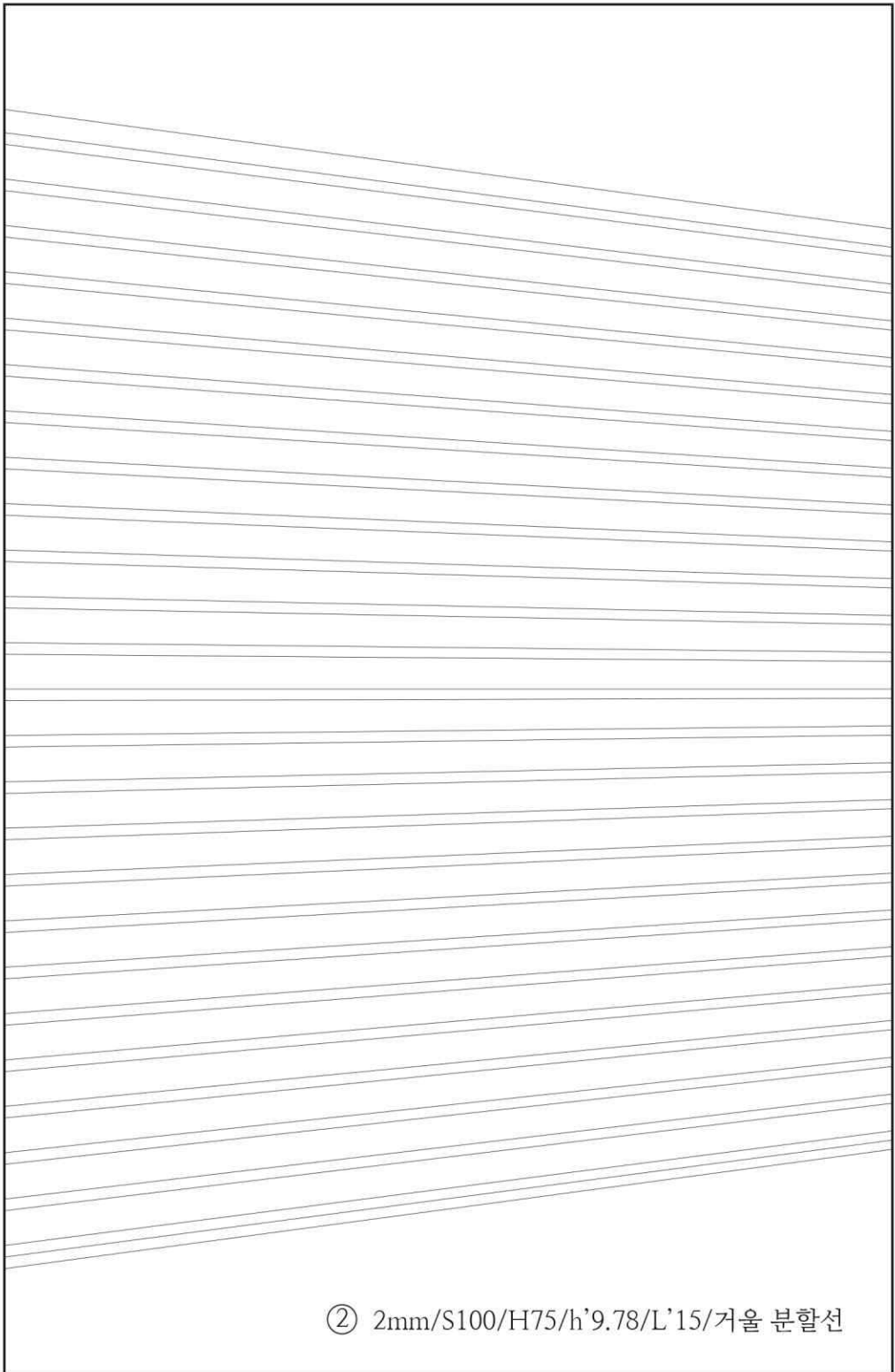
- D. J. ワイントロブ. (1982). 『知覚』. 東京: 福材出版
- M.D ヴァーノン. (1977). 『知覚の心理学』. 東京: ダヴィッド社
- P.H.リンゼイ, D.A.ノーマン. (1983). 『情報処理心理学入門1
感覚と知覚』. 東京: サイエンス社
- ゴブ. (1982). 『おもしろい錯覚の生理学』. 東京: 東京図書
- ジョン P フリスビー. (1982). 『シーイング 錯視-脳と心のメカニズム』.
東京: 試信書房
- メッツガー. (1981). 『視覚の法則』. 東京: 岩波書店
- 川野 洋. (1984). 『コンピュータと美学 人工知脳の芸術をさぐる』. 東京:
東京大学出版会
- 高橋正人. (1981). 『視覚デザインの原理』. 東京: 株式会社ダヴィッド社
- 高山宏, 岩本憲児 외. (2002). 『Relmagination映像体験ミュージアム
イマジネーションの未来へ』. 東京: 工作舎
- 後藤倬男, 田中平八. (2005). 『錯視の科学ハンドブック』. 東京:
東京大学出版社
- 藤澤英昭. (1972). 『造形心理学上』. 東京: アカデミア書院
- 田崎京二, 大山正, 梶渡涓二 編集. (1979). 『視覚情報処理: 生理學・心理學・
生體工學』. 東京: 朝倉書店
- 下條信輔. (1996). 『視覚の冒険』. 東京: 産業圖書
- 趙烈, 原田昭. (1997). 運動錯視を利用した芸術、デザインにおける表現の
規則. 디자인학연구, Vol.22 No.-

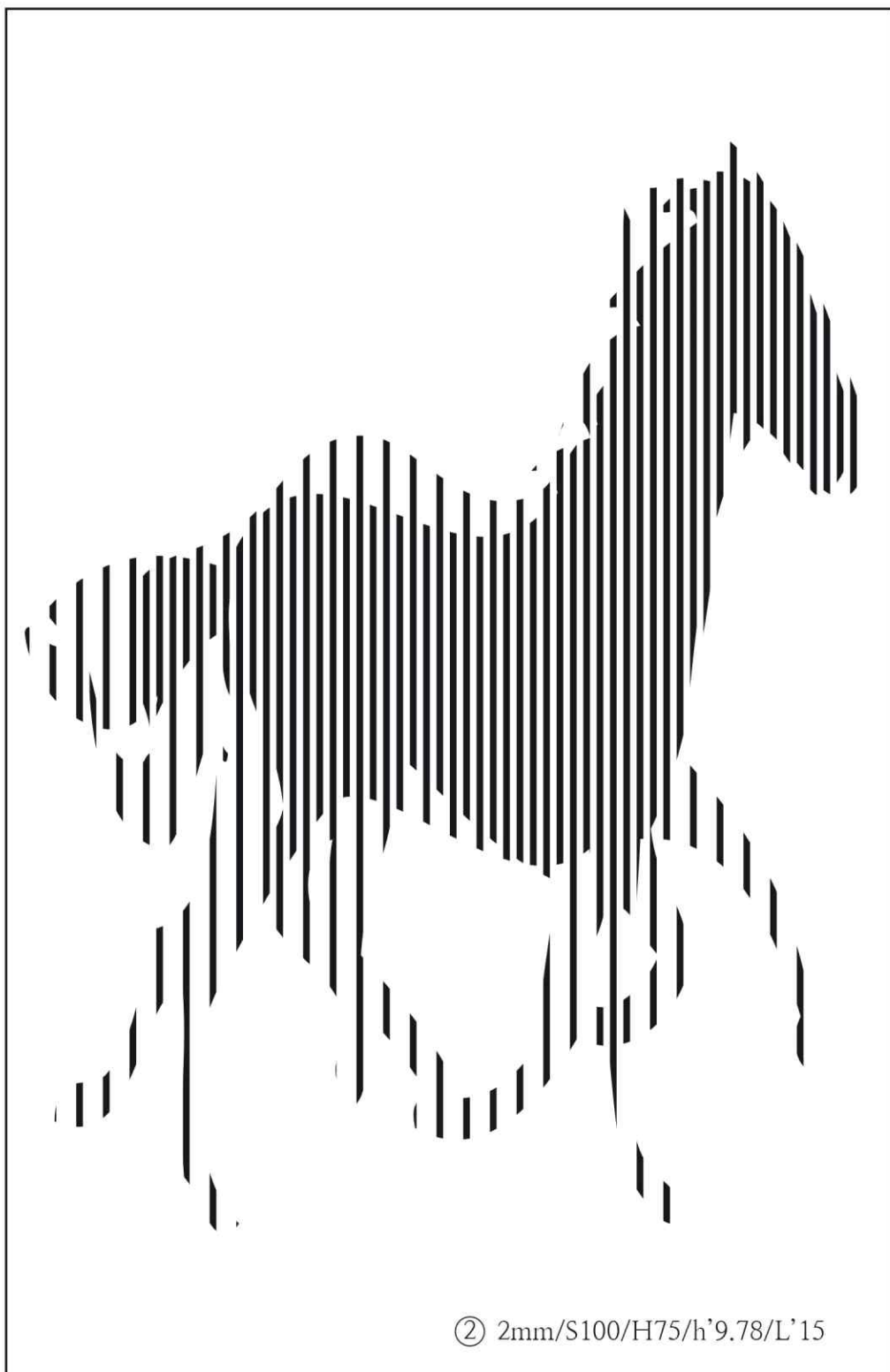
부록

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

① 1.5mm/S100/H75/h'15/L'25/거울 분할선

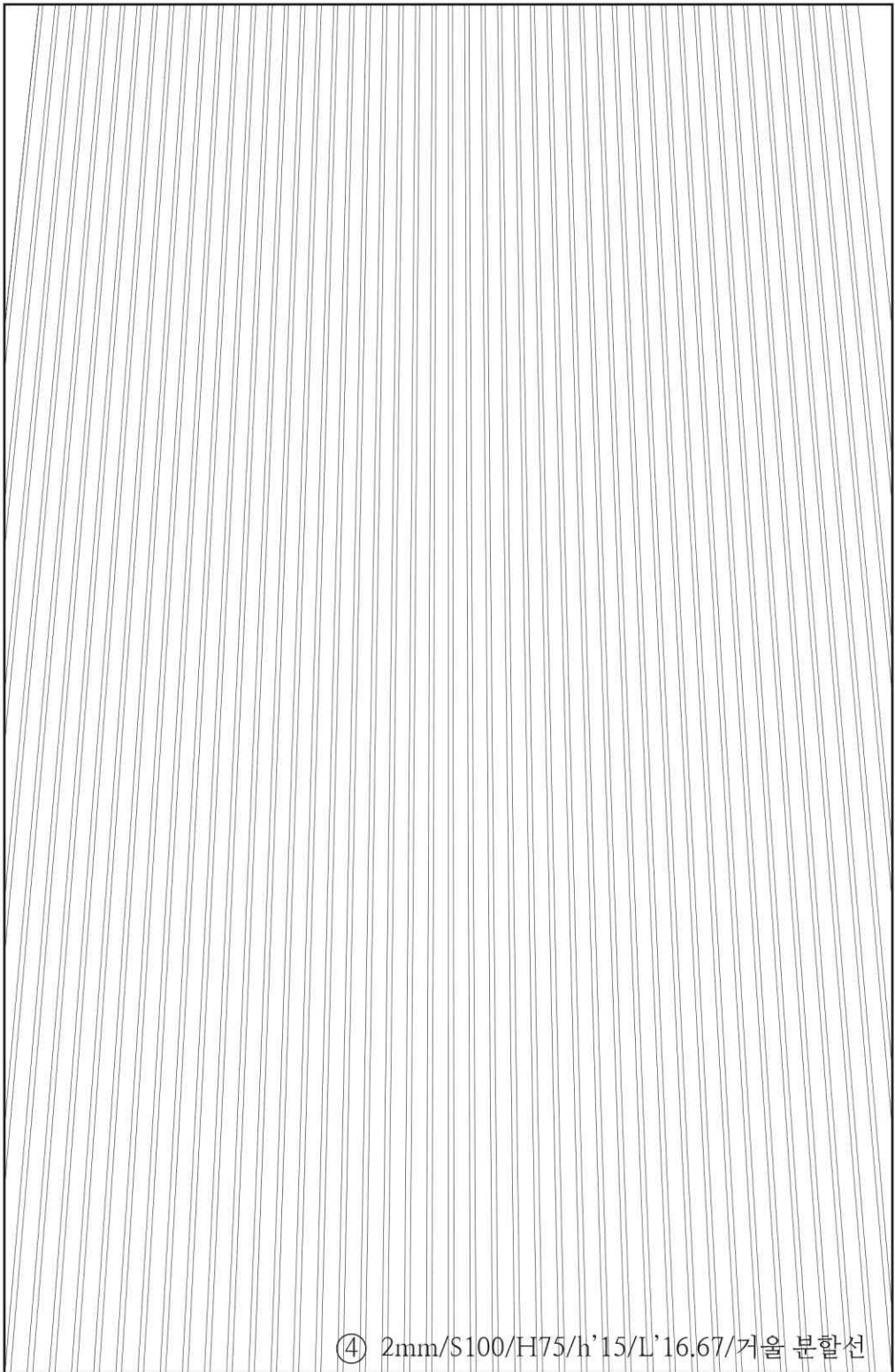




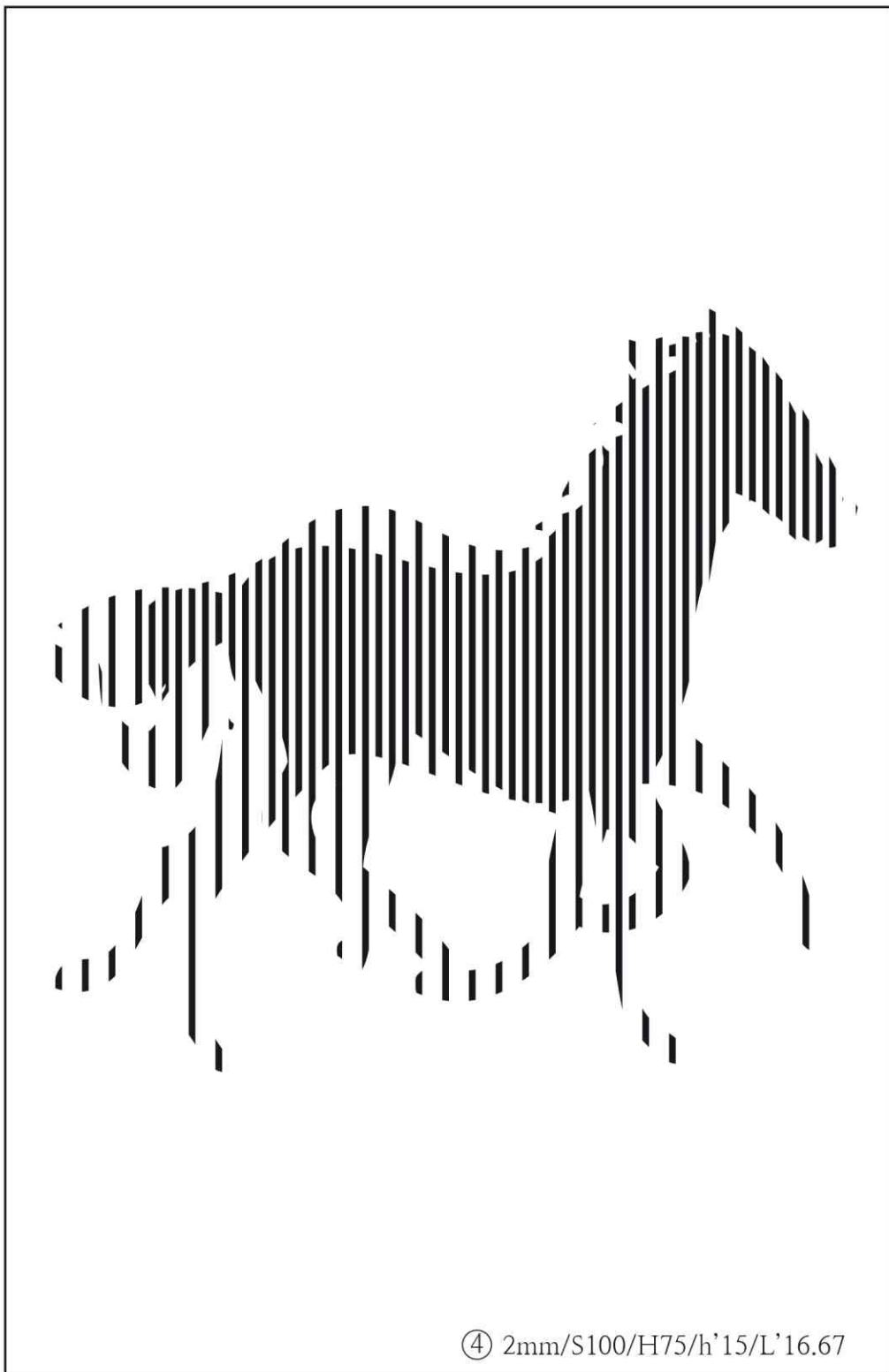


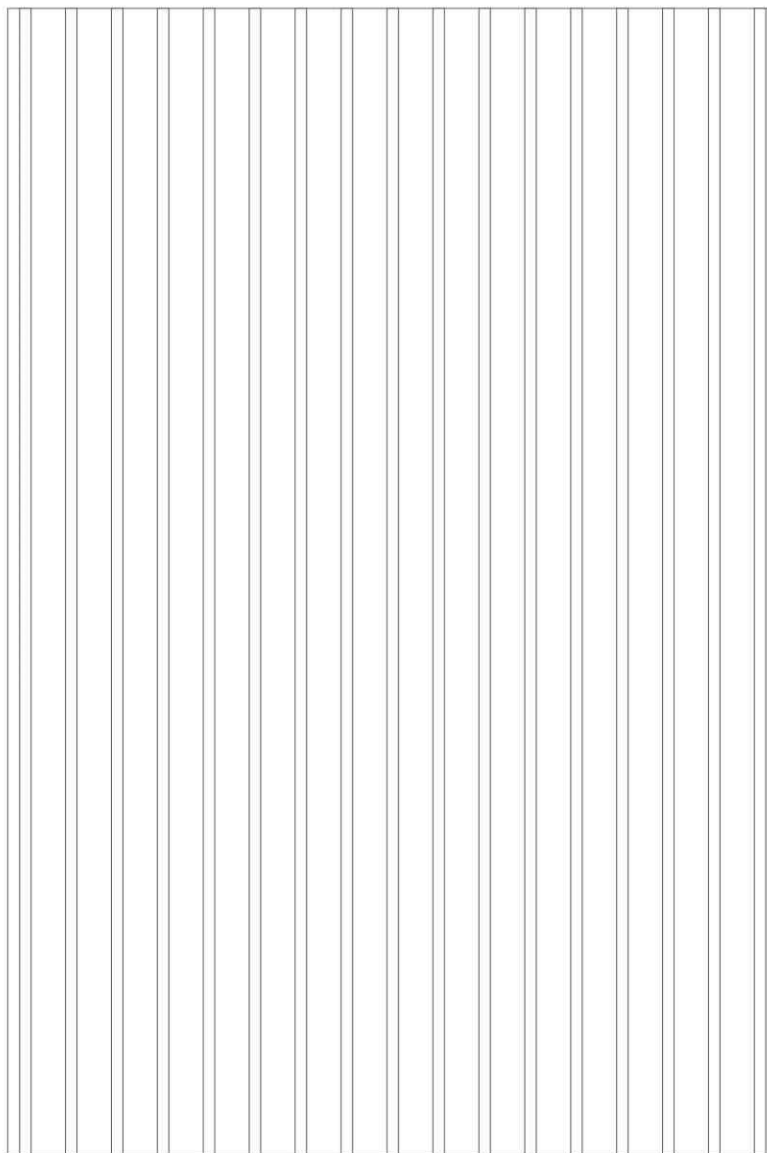


③ 1.5mm/S100/H75/h'13.24/L'15



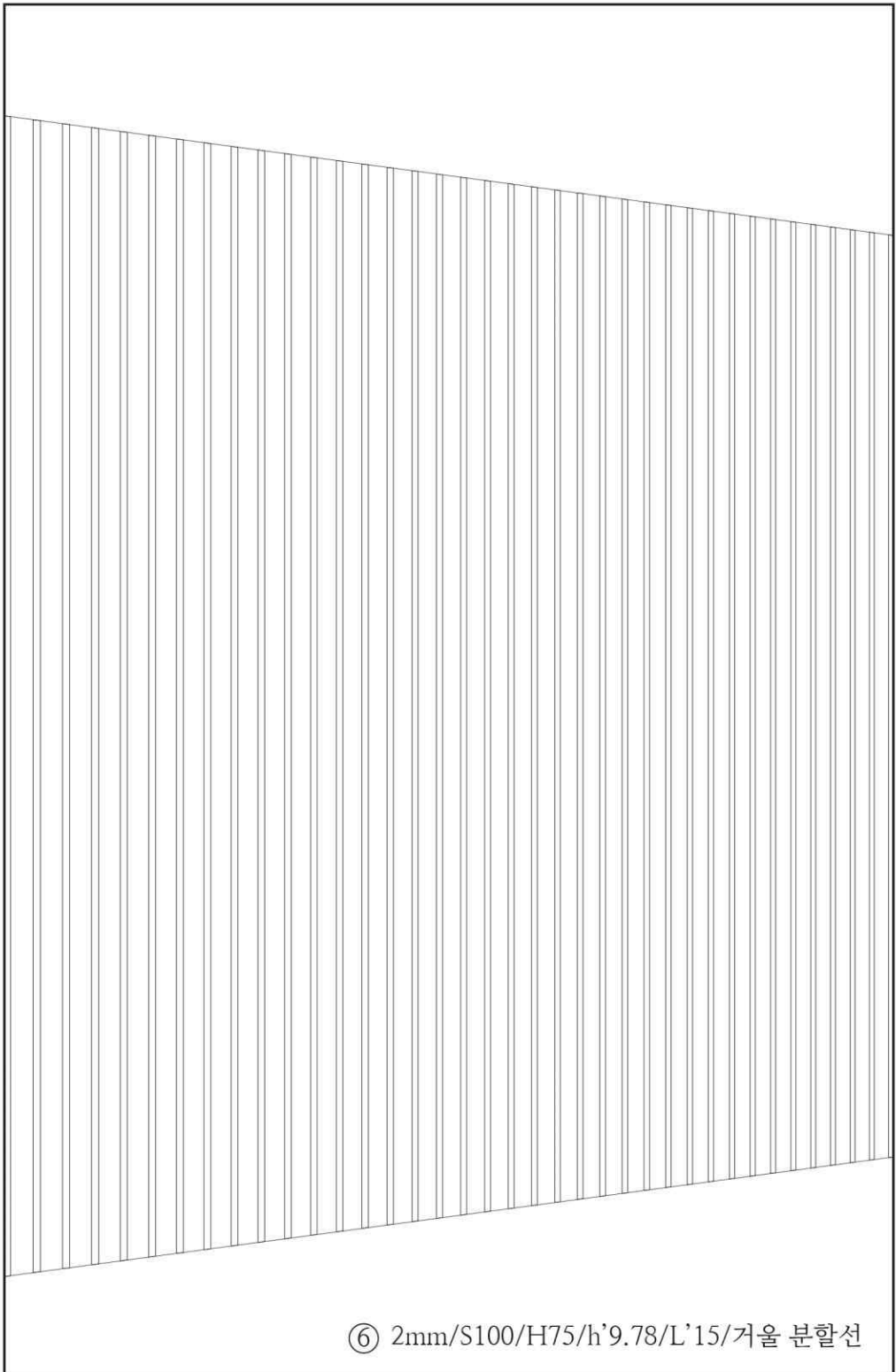
④ 2mm/S100/H75/h'15/L'16.67/거울 분할선





⑤ 1.5mm/S100/H75/h'15/L'25/거울 분할선

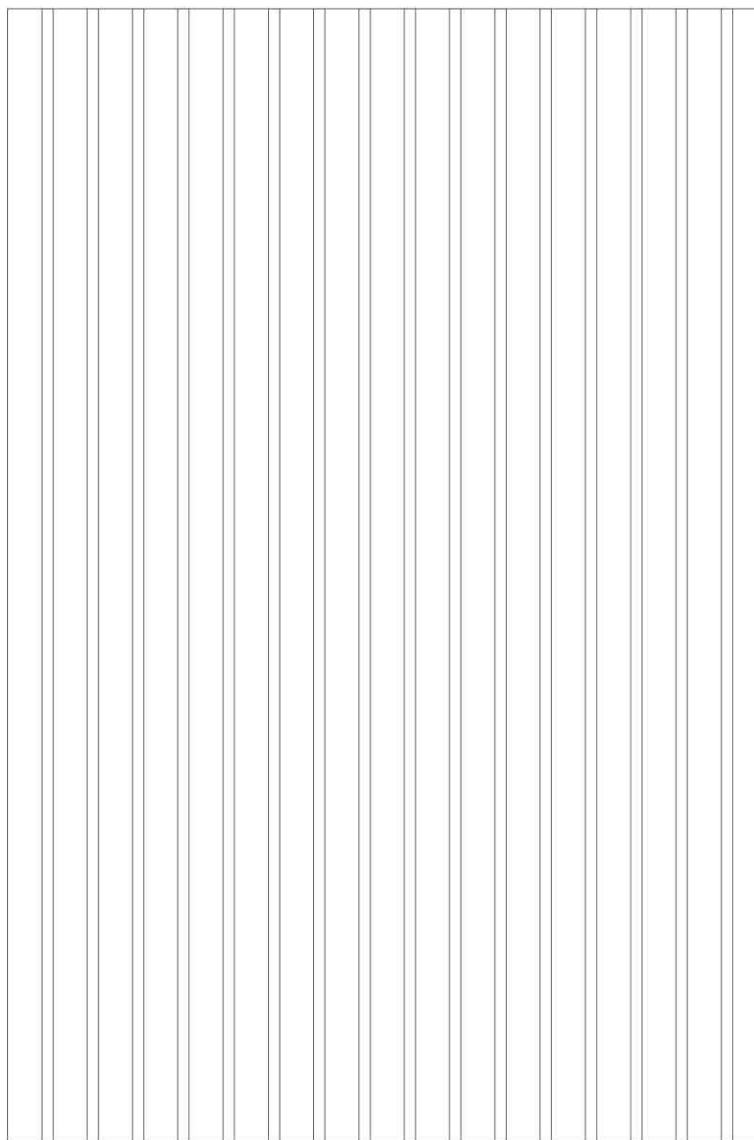




⑥ 2mm/S100/H75/h'9.78/L'15/거울 분할선



⑥ 2mm/S100/H75/h'9.78/L'15



⑦ 1.5mm/S100/H75/h'13.24/L'15/거울 분할선



⑦ 1.5mm/S100/H75/h'13.24/L'15





⑧ 2mm/S100/H75/h'15/L'16.67

ABSTRACT

Gang, Chunming

Major in Visual & Digital Media
Communication

Dept. of Media Design

The Graduate School

Hansung University

As the human vision instinctively responds more sensitively to movement than still forms, efforts have been made to make bring movement to still images. The fruits of such efforts are mutoscope, stroboscope, zoetrope, and scanimation, etc. which are based on the principle of apparent motion. Apparent motion refers to a state which is perceived to move visually but does not actually involve physical motion. The methods devised using the principle of apparent motion hold physical limitations, such as needing a dark environment, being reproducible only on a flat surface, needing electricity, and requiring a fast speed. As a result, except for their use in films, the most prominent drawback of these methods has been their extremely low utility in real life. In this context, this study highlights the need to develop a practical apparent motion device that solves many of the limitations above.

To this end, this study illustrates the development of a new animation device that combines the principles of anamorphosis and apparent motion and verifies the production possibility through various experiments and mathematical algorithms. Chapters 1 and 2 describe the background and purpose of this research as well as the multiple types of animation devices that use apparent motion. In Chapters 3 and 4, we explain the significance of the scanimaskope, the new animation device we develop in this study, and present the various experimentations conducted in the process of developing the device.

Through this research, the following conclusions can be made. First, developing a new animation device based on the principle of apparent motion, such as the scanimaskope, is a meaningful task. Second, binocular disparity is of highest consideration in the scanimaskope as it is an illusion of space. Due to the characteristics of the scanimaskope, the binocular disparity between the right eye and left eye leads to their perceiving the image differently. Therefore, it is the empty frame between the segmented images that plays the most important role in the frame structure, without which the images will look overlapped and lose the animation effect. Because of this empty frame, only 2–3 images can be placed to create the illusion of motion, but due to the characteristics of mirror reflection, this does not impact the animation effect. Third, there are a total of eight ways the scanimaskope can be structured, and it can be operated using not only flat mirrors but also cylindrical mirrors. Also, positioning the mirror vertically than horizontally allows for better image perception. Fourth, to maintain the afterimage effect, the speed of the frame should be between 0.2 and 0.4 seconds. This speed is closely related to the width of the mirror, and in our experiment, the most effective mirror width was 1.5 mm. Fifth, since the distance between the mirror and the viewpoint of the audience is proportional to the width of

the mirror, the mirror should not be overly segmented. In our experiment, the scanimascope's components were optimally positioned when the horizontal distance between the viewpoint and the mirror (S) is 100cm, the vertical distance between the viewpoint and the background screen (H) is 75cm, and the vertical distance between the bottom of the mirror and the background image (h') is 10–15cm.

Unlike existing animation devices which heavily rely on pre-set structures such as long viewpoint distance, fast speed, and dark environment, the scanimascope is minimally affected by its surrounding environment or conditions and has the flexibility to be efficiently installed anywhere under any circumstances. We hope that the scanimascope's analog principles, against today's cutting-edge advances in information technology, will open a new field with great utility in various areas.

【Keywords】 Scanimascope, Apparent Motion, Anamorphosis, Motion Perception, Motion Illusion