

## 광학엔진 렌즈의 고장 메커니즘에 대한 고찰

차종범\*, 김광섭\*

\*아주대학교 대학원 산업공학과

### Overview of Failure Mechanisms on Lens for Optical Engine

Jong-bum Cha\*, Gwang-sub Kim\*

\*Department of Industrial Engineering, Graduate School, Ajou University

#### Abstract

This paper presents a study on the failure mechanism for optical engine of Projection TV. The lenses of which optical engine composes are failed by various environmental conditions, that is, thermal effect, moisture effect, mechanical shock or chemical effect. By surveying on actual TV working condition, the major factor of failure was turned out the thermal effect. Because the actual surface temperature of optical engine rose at max. 51°C during it worked, the relative humidity around optical engine was kept at less than 20% that is difficult to do chemical reaction with humidity. Therefore we can make a conclusion that the major failure of optical engine resulted from thermal effect.

Key Words : optical engine(광학엔진), failure mechanism(고장메커니즘),  
environmental conditions(환경조건), thermal effect(열효과)

## 1. 서 론

급속히 발전하고 있는 정보화 시대에서 다량의 정보를 전달하기 위하여 비디오 영상뿐만 아니라 그래픽, 문자, 숫자 및 각종 데이터들을 표시하는 전자 디스플레이에 대한 요구가 급증하고 있다. 전자 디스플레이는 가정용 TV, 노트북 컴퓨터, 과학용 계측기, 각종 산업용 제어장치의 패널, 또한 교통, 항공, 우주 및 군사에 이르기까지 광범위한 분야에서 사용되고 있으며, 최근 사실감과 현장감은 물론 인간의 감정까지도 생생하게 전달할 수 있는 3차원 입체영상 TV도 등장하는 등 거듭되는 신기술 시대를 맞이하고 있다. 또한 가볍고 작으면서 해상도가 뛰어날 뿐 아니라 화면 크기가 수 m에 이르는 대화면까지 제공할 수 있는 새로운 고 품질 표시장치 개발을 시장에서 요구하고 있다. 한편, 디지털 방송시대를 맞이하여 전송받는 화상은 아날로그 방송에 비하여 5배 이상 많은 정보를 가지고 있으며 따라서 더 큰 화면으로 선명한 영상을 보는 것이 가능하게 되었다. 따라서 TV는 40에서 60인치 이상 대형 화면에서 고 해상도 및 보급형 수준의 가격을 요구하게 되었고 따라서 microdisplay를 이용한 디지털 TV가 주목받고 있으며, 또한 홈 시어터의 보급으로 기존 CRT TV가 프로젝션(projection) 방식으로 빠르게 대체되고 있다. 한편 현재까지 프로젝션 시스템을 구성하는 방식이 투과형 LCD, DLP, 반사형 LCD 등 다양하고 가격이 비싸기 때문에 microdisplay 성능개선 및 가격하락이 이루어질 경우 향후 높은 시장 점유율을 차지할 것으로 전망되며, 또한 이 과정에서 다양한 microdisplay들 간의 기술 경쟁이 심화될 것으로 예상된다.[14] [15] [17]

이와 같이 다양한 용도를 갖는 영상 및 데이터 표시장치에 대한 요구를 만족시키기 위해 신 방식 디스플레이 개발이 시도되어 왔으며, 그 중 하나로 평판 디스플레이(FPD; Flat Panel Display)가 개발되었다. FPD는 여러 가지 방식이 있으며 이미 PC 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 LCD(liquid crystal display)를 비롯하여 PDP(plasma display panel), OLED(organic light emitting diode), FED(field emission display) 등이 사용되고 있다. FPD는 두께가 얇고 가볍기 때문에 멀티미디어 시대 핵심 디바이스로 기대를 모으고 있다.

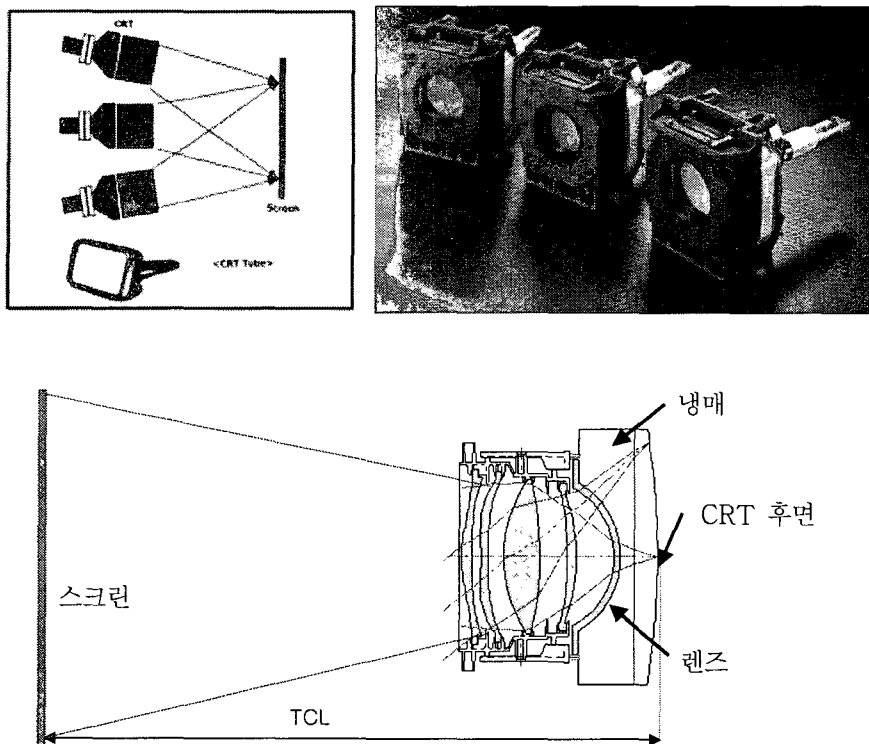
디스플레이 장치는 화상 구현 방식에 따라 크게 화상을 만드는 곳과 보는 곳이 일치하는 직시형과 전기적 신호 화상을 만드는 곳과 형상화 부분이 물리적으로 나뉘어 있는 프로젝션 타입으로 구분할 수 있다. 일반적으로 프로젝션 타입은 직시형 보다 큰 화상을 구현할 수 있으며 따라서 CRT, LCD가 구현하기 어려운 40" 이상의 대화면 디스플레이를 지향한다. 프로젝션 TV에서 사용되는 화상 표시 소자는 스스로 발광하는 CRT(Cathode Ray Tube), 레이저, 그리고 외부 광원이 필요한 Light Valve(투과형 LCD, 반사형 LCD, DMD)를 사용하여 화상을 구현한다[16].

신뢰성(Reliability)은 규정된 사용조건에서 정해진 기간 동안 제품의 최초 품질과 성능을 만족스럽게 유지하는 특성으로, 전자, 기계 및 자동차산업의 기술 경쟁력을 제고하기 위해 필요한 핵심 요소이다. 최근 글로벌 경쟁이 심화되면서 개발기간 및 수명주기가 단축되고 있고, 신기술을 적용하는 제품 개발이 증가함에 따라 기술적 불확실성이 급속히 높아지고 있다. 그 결과 소비자가 요구하는 신뢰성을 빨리 효과적으로 보증할 수 있는 신뢰성기술의 확보가 모든 산업, 특히 경쟁이 치열한 디지털기기 분야에서는 시장에서의 경쟁력 확보를 의미하는 시대가 되었다.

신뢰성 보증은 고장 메커니즘에 대한 이해로부터 출발한다고 하여도 과언이 아니다. 본 논문에서는 프로젝션 TV의 핵심 부품인 광학엔진 모듈 렌즈의 고장 메커니즘을 조사한다. 광학엔진모듈의 구조와 기능을 소개하고, 온도, 습도, 진동 및 화학적 반응에 의한 광학엔진모듈의 고장 메커니즘을 소개한다.

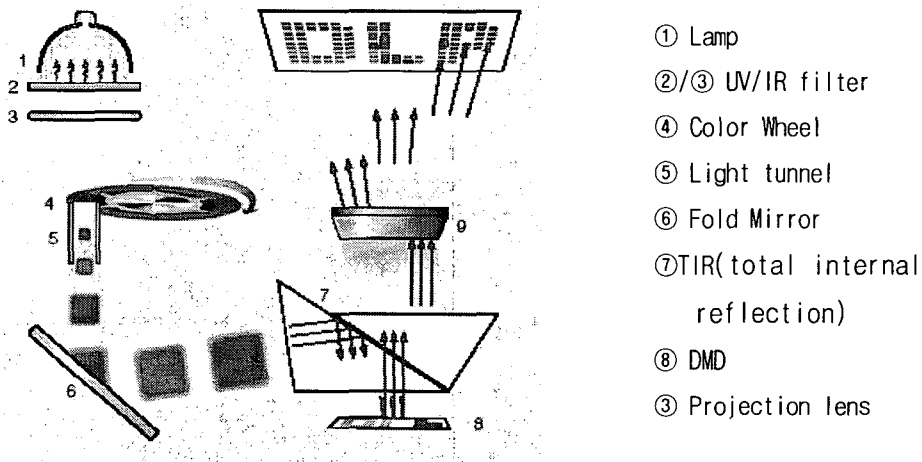
## 2. 광학엔진 모듈의 개요

광학엔진모듈은 적색, 녹색, 청색의 빛을 내는 3개의 렌즈 유니트로, 소형 CRT, LCD, DLP 등에 맺혀지는 영상을 40" 이상의 화면으로 확대하여 프로젝션 TV의 영상을 감상할 수 있도록 하는 부품이다. [그림 1]은 CRT 타입 광학엔진모듈로서, 영상을 3가지 색으로 분해하고 각 CRT에 한 가지 색으로 영상이 맺히도록 하며, 이를 렌즈를 통하여 스크린에 투영함으로써 3가지 색의 화면이 겹쳐 대화면의 컬러 영상을 얻는다. 이때, 스크린에 맺혀지는 영상을 화면의 앞 또는 뒤에서 보는가에 따라 후면 투사형과 직시 투사형으로 나누어지는데, 프로젝션 TV는 후면 투사형이다.[16]



[그림 1. CRT용 Projection의 광학계]

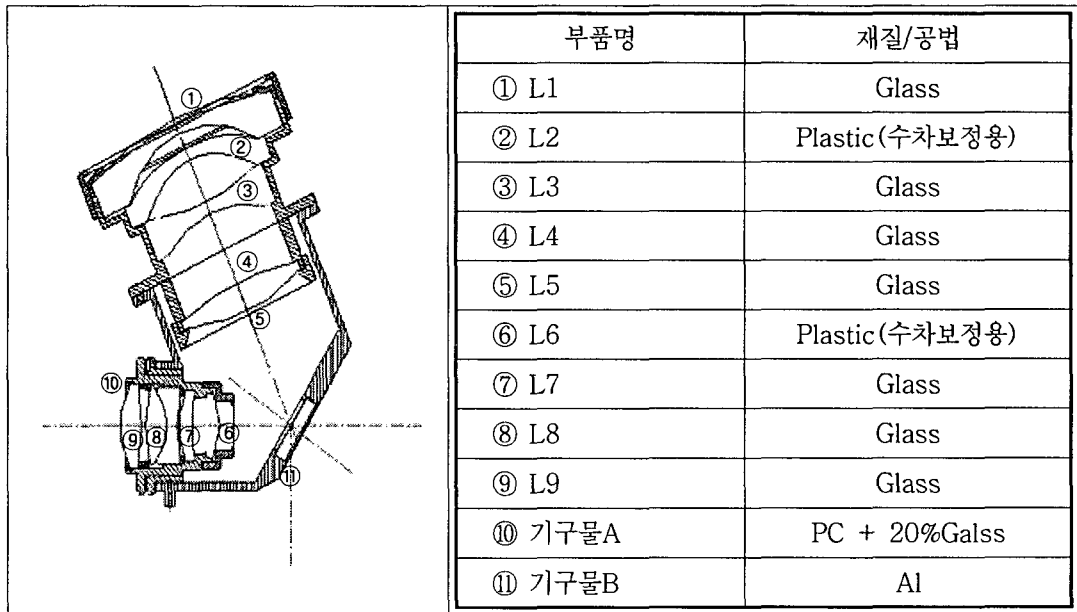
[그림 2] 는 DLP 프로젝션 TV의 광학엔진과 구성 부품들을 나타낸 것이다. 각 부품의 기능은 다음과 같다. ① Lamp는 프로젝션TV의 스크린에 영상이 맺힐수 있도록 빛을 공급해주는 역할을 한다. 램프는 업체마다 사용되는 램프의 종류는 각기 다른데 UHP(Ultra High Pressure) 램프, Metal Halide 램프, Xenon 램프, 크세논(Xe) 램프 등이 이용된다. ②/③ UV/IR filter는 lamp에서 고 에너지의 UV와 고온의 IR이 방출되며 이는 프로젝션 system에 영향을 주게 되어 수명 감소의 원인이 된다. 따라서 UV와 IR을 반사시키고 가시광선만 효율적으로 투과시킬 수 있는 filter의 역할이다. ④ Color wheel은 1 chip 구조를 쓰는 DLP에서 색을 구현하기 위하여 사용되며 일반적으로 3색을 많이 사용하여 왔으나 현재는 다양한 구조가 개발되고 있다.



<그림 2. DLP 프로젝션 TV의 광학엔진>

⑤ Light tunnel은 lamp에서 방출된 빛은 lamp구면에 따라 직진하도록 설계되어 DMD chip의 면적에 비하여 그 방출되는 빛의 면적이 크므로 광손실이 크게 된다. 따라서 광을 집적하여 주는 역할을 한다. 광의 집적은 디바이스의 면적의 절반보다 작게 하는 것이 일반적이다. ⑥ Folding mirror는 프로젝션 system을 구현하기 위해서는 빛을 원하는 경로로 변화시킬 필요가 있으며 이를 위하여 사용되는 mirror이다. mirror에 요구되는 조건은 환경 변화에도 고유한 특성을 유지해야 하며 전체 가시광선영역에서 높고 균일한 반사특성을 보여야 한다. ⑦ TIR은 주로 rear 프로젝션 system에서 사용되며 광 경로를 변화시키기 위하여 사용된다. lamp에서 나온 빛이 TIR을 통과하여 DMD로 향하도록 되어있으며 DMD가 on 상태에서 반사된 빛은 다시 TIR을 통과하여 image를 형성하게 된다. ⑧ TI에서만 생산되고 있는 DMD chip은 CMOS SRAM Memory 위에 Wafer Process를 토대로 Micro Machine 기술에 의해 형성되고 전기/기계/광학 기능을 1개의 반도체 Chip상에 집적한 광 변조기이다. 구동은 반도체 칩 위에 13 $\mu$ m의 Al Mirror가 14 $\mu$ m pitch로 수십만 개의 알루미늄(Al) 미러가 메모리 출력에 따라 빛을 두 방향(+10° , -10° ) 중 한 방향으로 반사하는 원리로 되어 있다.

한편 광학엔진모듈은 적색, 녹색, 청색의 빛을 내기 위한 렌즈와 수차 보정을 위한 플라스틱, 그리고 외부의 기구물로 구성되어 있다. [그림 3]은 DLP 광학엔진모듈의 구조와 구성 부품을 나타낸 것이다.



[그림 3. DLP 광학엔진모듈의 구조와 구성 부품]

### 3. 광학엔진모듈의 고장 메커니즘

1790년 G.L. Guinand이 크라운 유리에 PbO를 첨가하여 굴절율을 향상시킨 Flint 유리를 최초로 제조하였다. 크라운 계통의 광학유리는 굴절율 수가 커서 색수차는 작지만 굴절율이 낮은 단점이 있으며 Flint 계통의 광학유리는 굴절율은 크지만 Abbe 수가 작다. 1885년 Ernest Abbe, Otto Schott는 Flint 유리에 BaO를 첨가한 광학 유리를 제조하여 굴절율을 향상시켰다. 1930년 이후에는 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> 등이 첨가된 광학 렌즈가 생산되고 있다.

1936년 유기렌즈로서 중요한 위치를 차지하는 아크릴산계 수지인 메칠, 메타크릴레이트(methyl methacrylate ; MMA)가 소개되었으며, 이 수지는 오늘날 광학용 플라스틱렌즈로서 대량생산이 가능한 중요한 렌즈소재이다. 1938년 상업적인 플라스틱렌즈로 이용되기 시작한 폴리스티렌(polystyrene ; P.S)이 생산되었다. 1957년경 폴리카보네이트 수지(polycarbonate resin)가 개발되었다. 플라스틱렌즈용 수지재료로서 대표적인 것은 1942년 미국의 유리제조사

인 '피츠버그 플레이트 글라스(Pittsburg Plate Glass Co., P.P.G)사의 콜롬비아(Columbia) 연구소에서 개발된 것으로 Ally-di-glycol-carbonate(A.D.C)와 Poly-methyl-methacrylate(P.M.M.A), Polycarbonate(PC) 및 Polystyrene(PS)등이 있다.

본 절에서는 광학엔진모듈을 구성하고 있는 렌즈의 고장메커니즘을 소개한다.

### 3.1 온도에 의한 고장 메커니즘

온도는 재료의 열적 상태를 나타내는 척도이다. 일반적으로 고체에서 온도는 재료의 열 진동으로 나타나고, 온도가 올라갈수록 진폭이 커지며, 진폭의 변화는 재료물성의 변화로 나타나게 된다. 이때 재료의 부피, 열전도도, 광 투과성 등 물성이 변화되며, 이러한 변화는 재료뿐만 아니라 시스템 전체에 영향을 미치게 된다. 특히, 재료별로 상이하게 작용되는 온도는 부위별로 다른 스트레스를 작용하게 되고 이러한 스트레스 차이는 또 다른 스트레스를 유발하게 된다. 즉, 열팽창 계수의 차이가 많은 재료들이 접합된 부위는 열팽창 변형량의 차이로 인해 기계적 스트레스가 작용하게 된다.[24]

프로젝션 TV는 광원인 램프에서 발생한 열이 광학모듈의 color wheel, DMD 패널 및 하우징(housing), 광축을 통해 렌즈 쪽으로 전달이 된다. 플라스틱 렌즈의 장점은 비구면의 복잡한 형상을 용이하게 제작할 수 있고 가격이 싸다는 점을 들 수 있으나, 환경(온도, 습도 등)에 대한 성능 변화 폭이 매우 크다는 단점이 있다. 따라서 렌즈의 광학성능에 미치는 영향과 사용조건에서의 온도에 대한 안정성이 고려되어야 한다.

온도 상승에 의한 광학계의 설계변수 변화로는 렌즈의 굴절률 변화와 선팽창계수에 의한 곡률, 두께 및 비구면 계수의 변화가 있다. 플라스틱 렌즈는 온도의 변화에 따른 굴절률 및 곡률 변화가 유리(glass)에 비하여 매우 크므로 플라스틱 렌즈에 광학계의 굴절능력을 집중시키는 것은 바람직하지 않다. <표 1>은 프로젝트 렌즈계에서 사용되는 재질과 마운트(mount)의 선팽창계수와 굴절률 변화를 나타낸 것이다.[23]

<표 1. 재질간 특성에 따른 선팽창계수의 차이와 굴절률의 변화>

재질	선팽창계수 ( $\times 10^{-7}$ mm/°C)	굴절률변화(dn/dT) ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
BK7	71	1.7
Bacd5	54	2.4
Coolant	5000	-300
PMMA	630	-100

한편, 고온에 노출된 플라스틱 구조체는 더운 물 또는 알칼리 용액에서 가수분해가 일어나기 매우 쉽고, crazing이나 분자량 감소 또는 취화(brittleness)가 쉽게 일어난다고 알려져 있다.

경통 재질인 PC와 플라스틱 렌즈의 재질인 PMMA 및 Glass 렌즈의 내열성은 Glass, PC, PMMA의 순으로 감소하며, PC는 내열성 및 강도가 플라스틱 중에서도 가장 뛰어난 것으로 알려져 있다.[28] <표 2>는 시판되고 있는 광학플라스틱 및 유리의 특성을 조사, 비교한 것이다.[27]

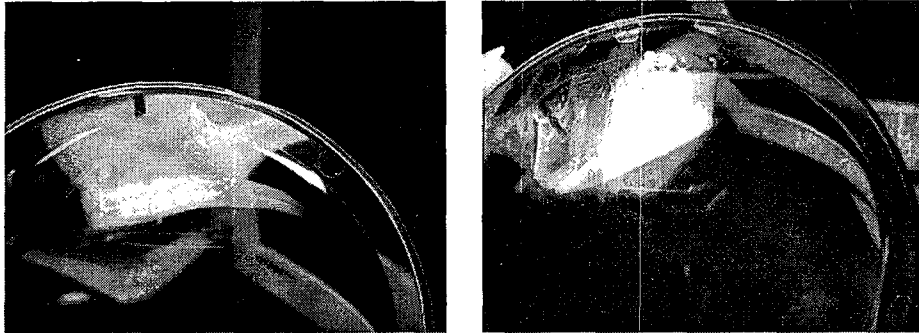
<표 2. 광학 플라스틱 및 유리의 특성 비교>

물 성	PMMA	PC	무기유리	시험방법 (ASTM)
비중	1.19	1.20	2.53	D792
충격강도(kg-cm/cm <sup>2</sup> )	1.6~4.8	100~120	-	D256
경도(로크웰M)	68~100	153	-	
열변형온도	70-91	134-138		D648(18.5kg)

### 3.2 습도에 의한 고장 메커니즘

습도는 렌즈 코팅 층 박리와 부식의 요인으로 작용하며 광학적 성능을 저하시키는 결과를 초래하며, 특히 온도와와의 상호작용에 의하여 열화를 가속화하기 쉽다. 렌즈의 표면에 물기가 남아 있는 상태에서 고습조건에 방치되면, 유리 전면에 남아있던 수분이 장시간에 걸쳐 건조되면서 높은 농도의 알칼리로 변화되어 표면 부식을 초래하며, 미세한 요철형태로 변형되게 된다. 이러한 열화는 코팅 층의 파괴와 더불어 유리 및 플라스틱 자체의 노화에 직접적인 영향을 미치게 된다.[10 [그림 5]는 렌즈 코팅 층이 박리된 것을 나타낸다.

일반적으로 유리는 내식성 재료이지만 물이나 화학약품에 대하여 완전한 내식성을 갖고 있는 것은 아니며, 특히 알칼리에 약하다. 또한 유리는 오랜 세월이 지나면 대기 중의 습기로 인해서 풍화된다. 표면에 흡착된 수분이 내부로 확산되면서 이산화탄소, 암모니아, 이산화황 등과 작용하여 유리 성분 중 알칼리가 녹아나와 광택도가 떨어지게 된다. 이러한 풍화가 아주 심하게 진행된다면, 표면이 침식되어 박리(delamination) 되고 또한 색채를 띤 피막으로 덮히게 되어 광학 특성의 저하를 초래한다. [13]

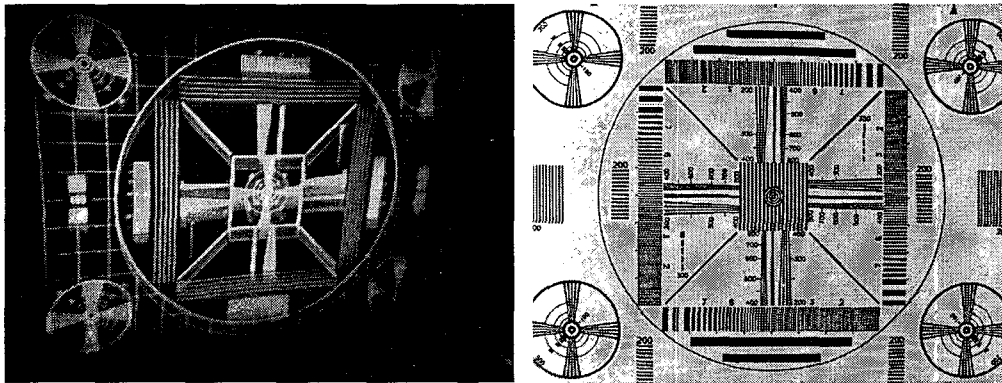


[그림 5. 렌즈 코팅 층의 박리]

### 3.3 진동 및 충격에 의한 고장 메커니즘

광학엔진 모듈은 소비자에게 인도되기까지 운반, 적재 등과 같은 과정에서 진동 및 충격을 받게 된다. 이러한 진동 및 충격은 광학 렌즈 하우징에 큰 충격을 주게 되고, 렌즈의 정렬을 흐트러지게 함으로써 [그림 6]과 같이 광학엔진 모듈의 초점이 틀어지게 된다.

일반적으로 바렐(barrel)의 경우, 렌즈간 거리, 동심도, 경통 흔들림의 치수 변화에 민감하여 약간의 위치 변화에도 렌즈의 초점 및 정렬에 많은 영향을 주므로 공차가 엄격해야 하며, 외부의 진동 및 충격에 둔감하도록 설계되어야 한다.[3]



(a) 초점이 틀어진 경우

(b) 정상 초점

[그림 6. 광학엔진 모듈의 초점 틀어짐]

### 3.4 화학적 반응에 의한 고장 메커니즘 [11] [12]

코팅 부의 결함에 의한 고장의 발생과 내환경성 부족으로 인한 코팅부의 파괴 내지 파손은 과부하(overstress)에 의한 파국고장 혹은 점진적인 스트레스 상태에 노출됨으로서 발생하게



된다. 즉, 유리 렌즈 코팅 부의 결함뿐만 아니라, 사용상의 복합적인 스트레스 인자에 의한 열화(degradation) 과정을 의미하게 되며, 이를 촉진하는 환경인자 중에서 가장 주요한 스트레스 인자는 고온·고습조건과 화학적 오염이라고 판단된다. 렌즈 표면의 화학적 반응에 의한 고장 메커니즘을 정리하면 다음과 같다.

### 1) Dimming

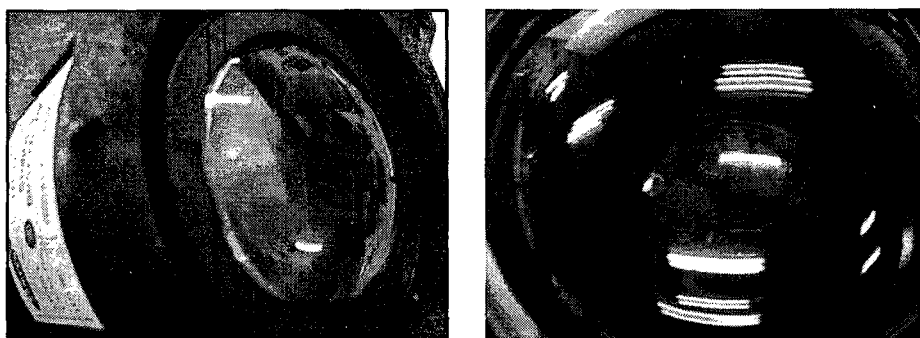
고습과 빠른 온도변화에 연마된 유리가 노출되면 sweat하게 된다. 수증기는 유리 표면에 응축되어 물방울을 형성시키며 유리의 특정 성분이 물방울에 녹아들어 표면을 공격하고 대기 중의 가스성분(CO<sub>2</sub>)과 반응하게 된다. 반응부위는 표면이 건조됨에 따라 흰점으로 남거나 흐린 필름막을 형성하며, 이런 현상을 “dimming” 이라고 부른다.

### 2) Leaching & Disintegration

유리의 전 표면에 걸쳐서 수분이 침투하면, 유리내의 용해성 이온의 용해(leaching) 발생이 용이할 뿐만 아니라 가수분해에 의하여 SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 결합구조의 붕괴가 쉽게 된다. 이러한 용해나 결합구조의 붕괴(disintegration)에 대한 유리의 내성은 수분에 대한 화학적 내성과 깊은 관련이 있다. 수분 내성(water durability)은 Powdered method 과정에 의해 측정되는 질량 감소율에 의해 6 등급으로 결정된다.

### 3) Staining

수분의 접촉은 수분 속의 수소성분과 유리의 양이온 간의 이온교환에 따라 화학적 반응을 유발하여 표면층에 실리카가 축적되게 된다. 이 층들은 간섭색(interference color)을 야기하며, 이를 “staining” 이라고 부른다. 이와 같은 오염에 대한 내성을 전통적으로 표현한 것이 acid durability by the powdered method이다.



(a) 양품

(b) 불량품

[그림 7. Staining의 예]

#### 4) 잠재 스크래치 발생

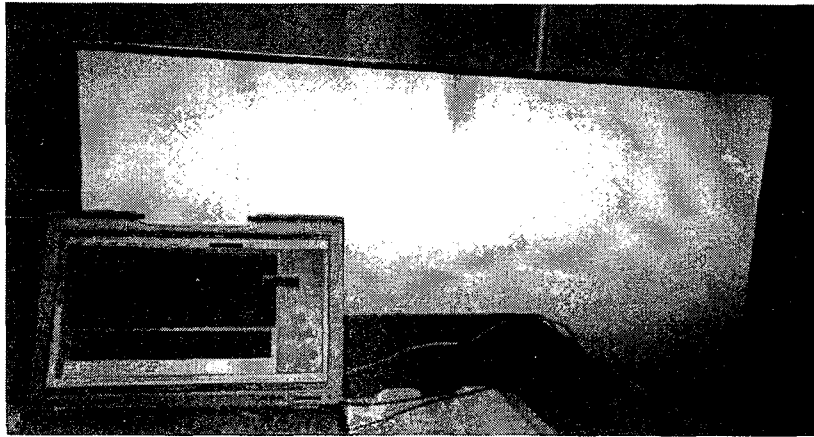
렌즈 연마공정에서 유리 표면에 가해진 스크래치가 세척제의 무기질 활성제에 노출되면 육안으로 확인할 수 있는 정도의 크기로 발전되며 습기 침투가 매우 용이하게 된다.(이렇게 성장한 스크래치를 latent scratch라고 부른다) 이때, SEM을 이용하여 코팅 층을 관찰하면 수많은 균열이 존재하고 있으며, 이러한 균열들은 부식물질이나 수분이 피막 내로 침투하는 것을 매우 용이하게 한다. 균열을 통해 피막 내로 침투한 수분은 팽창과정을 거쳐서 피막의 밀도를 변화시키고 결국 분자의 사슬을 파괴하여 코팅 층을 열화시킨다. 또한, 습윤/건조 환경을 반복하면서 공기 중에서 유입되는 부식 성분에 의해 모재에 공식(pit)이 발생할 수도 있다.

한편, 유리는 사용조건에 따라 가끔 세균에 침식되기도 하며, 곰팡이가 생긴다. 유리 표면에 생기는 약한 알칼리성은 세균 발생에 좋은 조건이 되며, 생물은 이 상태에서 물과 이산화탄소를 발생해서 더욱 풍화를 촉진시킨다. 이러한 반응은 고온에 의하여 촉진될 수 있다. 또한 반복적인 고온·고습 조건에서 광학 코팅 층의 박리는 더욱 가속될 수 있다. 증착된 박막은 증착 조건에 크게 영향을 받는데, 증착 입자의 에너지가 0.01~0.1 eV 정도로 매우 작기 때문에 표면에서 증착입자의 이동도가 낮아 자유롭게 이동하지 못하고, 빈 공간을 포함하는 다공성의 기둥 미세구조를 형성한다. 이 기둥 미세구조의 영향으로 덩어리 물질에 비해 박막의 조밀도는 낮아지게 되고 굴절률이 작아진다. 코팅 층의 기둥미세구조는 수분, 열 등에 의해 부착력을 감소시키고 균열의 원인이 되어 외부 환경에 대한 내구성을 약화시켜 수명이 단축되는 결과를 초래한다. 따라서 온도, 수분 등의 환경변화에 대한 광학적, 기계적 특성의 안정화와 내구성이 요구되고 있으며, 이와 같은 문제를 해결하기 위해 코팅 표면의 온도를 높이는 이온빔 보조 증착법이 사용되고 있다.

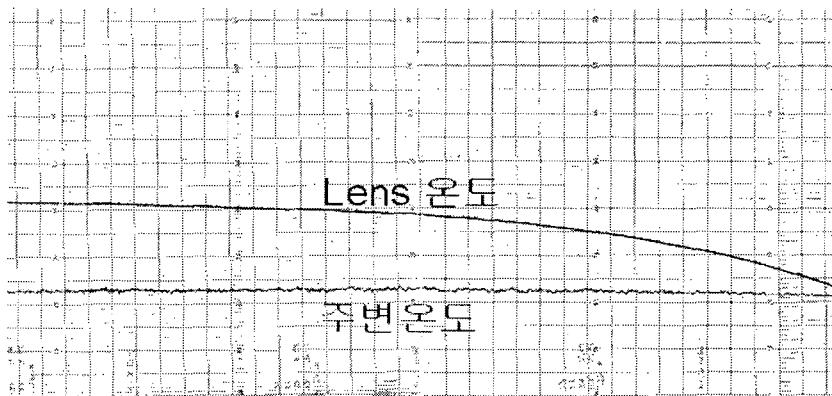
## 4. 실영상조건의 조건 분석

광학엔진의 렌즈설계는 보통 30℃, 760mHg의 사용조건을 가정하고 진행되지만, 실제 Projection TV의 경우 power를 ON시킨 후 3시간 정도에 이르면 광원측쪽 cabinet의 온도는 약 43℃ 도달하고, 광학엔진의 렌즈표면의 온도가 약 51℃ 수렴함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

○ 측정조건(온도/습도 : 상온상습)



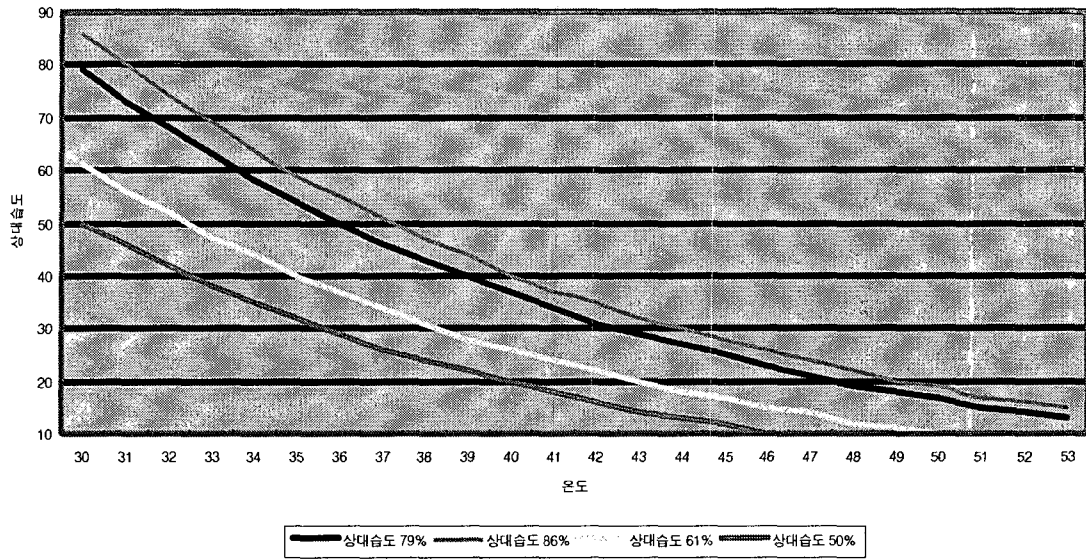
<그림 8 . Full white 영사상태에서의 내부 온도변화 측정>



<그림 9. 투사렌즈 온도변화>

[그림 9]는 Projection TV의 대한 Full white 영사상태에서 연속동작동안 투사렌즈부분에 온도 분포를 나타내고 있다. 투사렌즈의 최고온도는 약 50.24℃로 측정되었다. Projection TV는 광원인 Lamp에서 발열이 발생하고, 이 열은 광학모듈의 color wheel과 housing과 광축을 통하여 렌즈계 쪽으로 전달이 된다.

온도의 변화에 민감하게 반응하는 것이 상대 습도 이다. 온도가 상승하면 상대습도는 떨어지게 되어 있다. 온도상승에 따른 상대습도의 변화는 [그림 10]과 같다.



<그림 10. 온도변화에 따른 상대습도 변화>

[그림10]에서 보듯이 30°C에서 상대습도 86%, 79%, 61% 및 50%가 온도가 증가함으로 상대습도가 떨어짐을 알 수가 있다. 특히 온도가 49°C이상이 되면 상대습도는 모두 20% 이하로 됨을 알 수가 있다

## 5. 결론

신뢰성시험을 설계하기 위해서는 제품에서 부품별/부위별로 일어날 수 있는 고장 메커니즘에 대한 정보가 필수적이다. 본 논문에서는 온도, 습도, 진동 및 화학적·기계적 반응에 의한 광학엔진모듈의 고장 메커니즘을 소개하였고, 실제 동작환경을 조사 분석하여 고장메카니즘과의 상관성을 살펴보았다.

본 논문에서는 광학엔진모듈의 고장 메카니즘에 가장 영향을 많이 미치는 것은 온도로 판단되고 있다. Lamp에서 발생하는 열은 주변의 온도를 올려서, 광학렌즈 재질의 굴절률 변화를 시킴으로 선팅창계수에 의한 곡률, 두께 및 비구면 계수의 변화, Glass 렌즈의 광학적 열화촉진의 영향을 미치고 있으나, 주변의 상대습도를 낮추어 습기 제거의 효과가 있는 것으로 판단된다. 주변온도가 49°C이상이 되면 상대습도가 20%이하를 유지함으로 인하여 화학적인 반응이 일어나지 못하게 하는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 이를 바탕으로 광학엔진모듈에 대한 신뢰성보증시험을 위한 설계를 위한 연구를 할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] ISO-9022-1 part1 : Definitions, extent of testing Environmental test method (optics)
- [2] ISO-9022-2 part2 : Cold, heat, humidity Environmental test method (optics)
- [3] ISO-9022-3 part3 : Mechanical stress Environmental test method (optics)
- [4] KS M 3832 플라스틱의 광학적 특성 시험방법
- [5] ISO 9039-1994 optic & optical
- [6] A.P. Russell, K.S. Fletcher, Anal. Chim. Acta 170 (1985) 209.
- [7] F. Boltinghouse, K. Abel, Anal. Chem. 60 (1989) 1863.
- [8] S.K. Khijwania, K.L. Srinivasan, J.P. Singh, Sens. Actuators B 104 (2005) 217.
- [9] B.D. Gupta, Ratnanjali, Sens. Actuators B 80 (2001) 1
- [10] Yasufumi, N. Brown, Environmental crazing and intrinsic tensile deformation in polymethyl methacrylate: Part 2. Morphology, J. Mater. Sci. 11 (1976) 425.
- [11] HOYA Corporation USA Optics Division, Optical Glass
- [12] Japanese Optical Glass Industrial Standards JOGIS, 03-1975
- [13] Dong-Ping Zhang, Jianda Shao, Hongji Qi, Ming Fang, Kui Yi, Zhengxiu Fan, Defect-induced failure of optical coating filters, Optics & Laser Technology, Volume 38, Issue 8, November 2006, Pages 654-657
- [14] 전자부품연구원, 디지털가전의 산업동향, 2003.2 vol 6. No 1
- [15] 전자부품연구원, 일본 평면TV용 디스플레이시장 분석, 2006. 2.
- [16] 전자부품연구원, TV(CRT, LCD, PDP, RP)최근 시장 동향 2006.2.
- [17] <http://www.displaybank.com>
- [23] Robert H. Doremus, Glass science, a wily-interscience pulication, Jhon Wily&Sons Inc. 1994
- [24] Holloway, DG, The physical properties of glass, London, Wykehan Publication Ltd, 1973
- [25] Matveev, M.A, Caculation and control of electronical, optical and thermal properties of glass, ordentlich Publ, 1975
- [26] Arun K. varshneys, Fundamentals of inorganic glass, Academic Press Inc. .1994. P503~505

[27] 플라스틱기술정보센터, 플라스틱해설과 물성집, 2001

[28] James M. Margolis, *Engineering plastics hand book*, McGAW-Hill, 2006