

### 1. 서론

본 글을 시작하기에 앞서 Camera, Camcorder 등의 광학제품에 대한 몇 가지 특징을 언급하고자 한다.

첫번째로 중요한 특징은 물체의 영상을 촬상소자에 결상시키는 것이다. 그러나 단순히 "물체의 영상을 촬상소자에 결상"시키는 목적이라면 감시 카메라, 군사용 결상 광학계, 자동차용 전후방 감시 카메라와 차이가 없다. 이들 광학계와 결정적인 차이는 사진으로서 출력되는 결과물이 예술 작품이 되어 촬영자의 감성을 자극하게 된다는 것이다. 이러한 특징으로 인해 일반 산업용 결상 광학계와 달리 해상력 이외에도 ghost 및 flare, CCI(Color Contribution Index) 등 여러 항목에 대한 평가도 수반되어야 한다. 따라서 첫번째 특징은 소비자의 감성을 자극하는 결상 광학계로 요약될 수 있다.

의 평가가 이뤄지고 있다.

세번째 특징은 camera를 만드는 곳이 연구소가 아닌 이익을 목적으로 하는 일반 기업이라는 것이다. 또한 최종부가 가치세를 부담하는 일반 소비자를 대상으로 판매되는 제품이므로, camera의 최후 목적은 잘 판매되도록 제품 설계가 되어야 한다. 이를 위해서 camera 완제품의 중요 부품인 광학 module의 성능이 좋아야 함은 매우 당연하며, 이 외에도 camera 개발 이전에 시장 분석을 통해 적절한 사양과 알맞은 때에 제품을 출시하는 것도 중요하다.

네번째 특징은 생산 수량이 매우 많고, 다른 전자 제품과는 달리 불량률이 쉽게 발생할 수 있다는 것이다. 이는 광학계의 해상력은 광학계를 구성하는 렌즈의 작은 결점에 의해 많이 변화하기 때문이며, 이는 광학계에 종사하는 연구인력이라면 누구라도 수긍할 것이다. 앞서 말한 대로 타 광학제품에 비해 생산 수량이 월등히 많기 때문에, 공차

## 특집 ■ 첨단 광학 및 광기술 해설

# Digital 소형 카메라 모듈

류재명\*, 이해진\*, 강건모\*

두번째 특징은 휴대하면서 사용되는 광학계라는 것이다. 광학계가 한 곳에 고정되지 않고 휴대된다는 것으로 인해 광학 설계 단계에서 많은 것들을 고려하지 않으면 안 된다. 휴대성 때문에 경박단소화에 대한 요구가 생기게 되며, 휴대하면서 촬영을 하기 때문에 밝은 실외에서 촬영될 경우, 설계한 화각보다 큰 화각에서 들어오는 빛에 의한 내면 반사 또는 ghost 등에 의한 영향이 있으며, 어두운 실내에서 촬영될 경우는 촬영자의 손떨림에 의한 화질 저하가 생기며, 때로는 비가 내리는 야외에서는 물기가 camera 내부에 침투하지 못하도록 body가 설계되어야 한다. 또한 낙하 test, 열 충격, 습기 등의 다양한 악조건에서

분석이 매우 중요하다. 물론 생산 수량이 적은 제품이라도 공차 분석이 필요하지 않다는 것을 의미하지는 않는다. 다만 공차 분석의 목적이 다른데, 생산 수량이 적은 제품의 공차 분석은 제품의 성능이 극대화되는 조정 point를 찾는 것이 목적이 있지만, camera 광학계에서의 공차 분석은 제품 성능의 극대화뿐만 아니라, 불량률이 최소화되는 공정 관리 요소를 찾는 것이 목적이 된다. 세번째 특징에서 언급한 것처럼 camera를 만드는 곳이 경제적 이익을 목적으로 하는 기업이므로 불량률은 회사 이익에 직결되므로 이에 대한 관리가 매우 중요하다. 또한 생산 수량이 많아서 제품 간의 편차가 다소 크다. 즉 광학 성능이 높은

\* 삼성디지털이미징(주) 디지털카메라사업부, 렌즈개발그룹

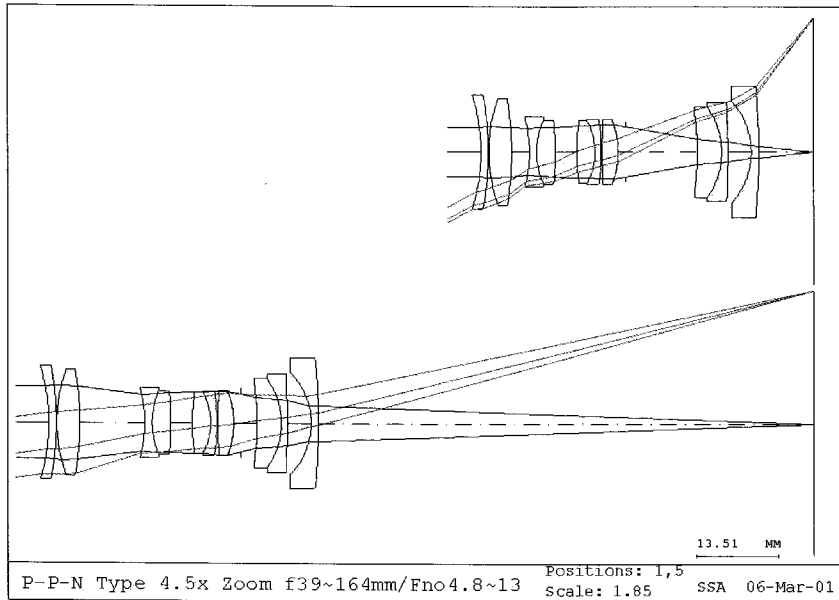
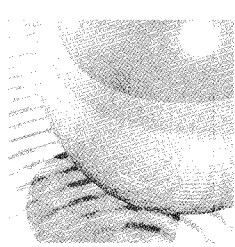


그림 1. 대표적인 Film camera 광학계의 예

제품이 있는가 하면, 약간 낮은 제품도 있는데, 광학 성능이 약간 낮은 경우라 하더라도 엄격한 자체 품질 test를 통과한 것이고, 품질 test 기준에 상당량의 여유가 있기 때문에 실제 사용상에는 전혀 문제가 없다.

“Digital 소형 카메라 모듈”을 논의하기 앞서서 현재 시장 상황을 살펴 보는 것이 중요하겠으나, 우리 회사에서 작성한 산업기술 로드맵, 광학기기협회에서 주관한 남부권 광학세미나, 디지털 카메라의 기술 전망 등의 글에서 이미 시장 상황을 여러 차례 언급했으며, 당시 예측한 것과 지금 예측하고 있는 것이 크게 다르지 않다. Compact Camera의 경우에는 전체 시장이 포화되는 추세이므로 여러 카메라 업체 사이에 치열한 경쟁을 하고 있으며, 이 와중에 소비자에게 잘 팔리는 제품이 되려면 차별화된 marketing point가 필요하다. 이러한 것은 여러 가지가 있으나, 본 글의 제목에 맞도록 Camera module에 대한 특징을 언급하고, 각 광학계의 형태에 따른 경박단소화 방법에 대한 기술적인 언급을 하고자 한다. 그러나 이에 앞서 과거 film 시절부터 camera의 대표적인 형태를 잠시 언급하고, camera와 유사한 Camcorder의 형태 역시 언급함으로써, 두 제품 간의 차이에 대한 사항을 안다면, 필자가 소속한 회사 이외의 광학 회사에도 도움이 되리라 예상된다.

카메라 광학계에서는 교환렌즈용 광학계도 포함되나,

교환렌즈의 경우 광학 전장이 길어서 compact camera에 비해서는 경박단소화가 크게 문제되지 않는기 때문에 여기서는 교환렌즈용 광학계를 제외한 촬상소자의 크기가 1/1.7inch 이하인 것을 사용하는 일반 소형 compact camera에 대해서만 논의하고자 한다.

## 2. Compact Film Camera의 형태

촬상소자 중 하나인 film은 CCD 또는 CMOS와 전혀 다른 구조를 지닌다. Film은 유기합성 수지 위에 은 화합물을 입혀서 만드는 것으로 화소에 해당하는 은 화합물의 배열이 불규칙하다. 또한 촬상소자의 크기가 일반적인 Digital Compact Camera의 촬상소자에 비해 매우 크고, 은 화합물이 만드는 화소는 digital 촬상소자의 화소보다 상당히 크기 때문에 film의 한계 해상력은 digital 촬상소자의 한계 해상력에 비해 상당히 낮은 편이다. 또한 digital 촬상소자에 최종적으로 입사하는 최대 화각의 주광선의 출사각(telecentric angle) 허용치가 상당히 넓다. 즉 film의 경우에는 최대 화각의 주광선의 telecentric angle이 커도 된다는 것인데, 이러한 특징 때문에 과거 Film Camera에 사용되는 광학 module은 그림 1과 같이 촬상소자 바로 앞에 위치한 균일 음의 굴절능을 갖도록 설

계되었다.

Film은 비교적 감도가 높은 촬상소자이므로 F/#가 큰 경우에도 촬영이 가능하므로, 변배시 F/#의 변화가 큰 편이다. 또한 주변 광량비 규제도 digital 촬상소자를 이용하는 광학계에 비해서는 낮은 편이다.

### 3. Camcorder 광학계의 형태

최근 Digital Camera에서는 Camcorder처럼 동영상 촬영이 가능하지만, 이는 어디까지나 부가적인 기능이고, 주로 정지 영상을 촬영하는 것이 주 목적이다. 그러나 Camcorder는 반대로 정지 영상 촬영이 부가적인 기능이

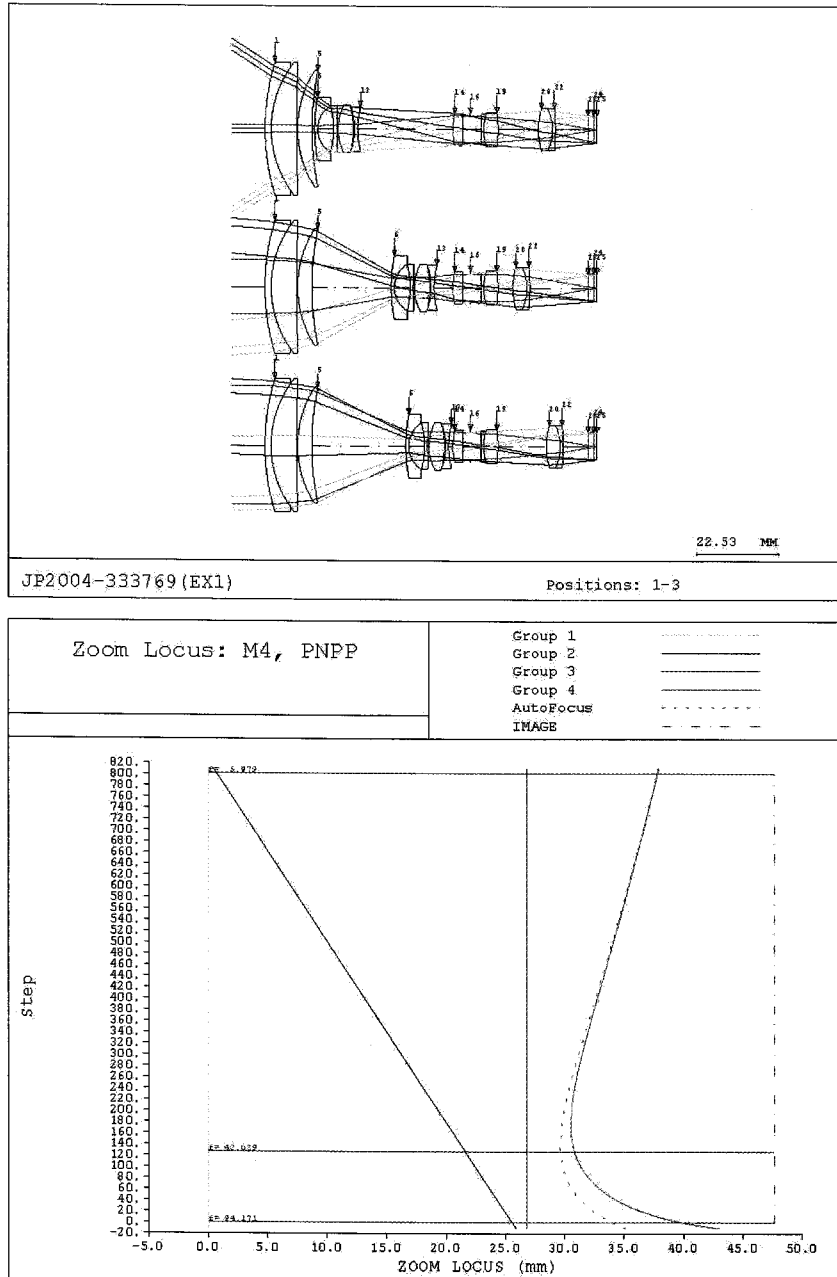
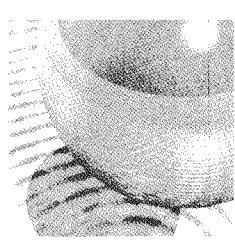


그림 2. Camcorder에 응용되는 PNPP type의 4군 줌 광학계의 광로도와 줌 궤적의 예



고, 동영상 촬영이 주 목적이 된다. 따라서 동영상 촬영에 대한 특징이 광학계에 반영이 되어야 한다. 동영상 촬영시에는 수시로 렌즈가 이동하게 되며, 화각이 변화함에 따라 punt 위치가 정확히 맞도록 해야 한다. 따라서 되도록 이동 군이 작은 것이 유리하며, 변배자(variator)와 보상자(compensator)만 움직이고 나머지 군은 고정되도록 설계를 하게 된다. 또한 현재 제품화되어 있는 Camcorder의 줌 배율은 보통 약 10배~30배이다. 그리고, 동영상 촬영에 맞도록 반드시 digital 촬상소자를 사용할 수 밖에 없다. 또한 F/#가 상대적으로 작아 밝은 광학계에 속하고, 같은 광학계를 감시 카메라에 사용하면 저조도 촬영을 위해서는 광각단 F/#가 1.4 정도까지 설계되는 경우가 있다. 어쨌든 이러한 고배율 광학계에서는 positive leading 방식의 광학계가 유리하며, PNPP type의 4군 줌 광학계가 일반적으로 사용된다. 그림 2는 Camcorder에 사용되는 대표적인 광학계의 광로도와 줌계적이다.

또한 Camcorder는 Wide 및 Tele 전장이 바뀌지 않기 때문에 광학계의 전장이 비교적 긴 특징이 있다.

#### 4. Digital Camera 광학계의 특징

앞서 film의 특징에 대해 잠시 언급했지만, 아래 그림 3과 같이 CCD 또는 CMOS 등의 digital 촬상소자에는 각 화소마다 micro array lens가 존재하게 된다.

이러한 micro array lens의 역할은 그림 3과 같이 각 화소의 수광부에 집광 효율을 높이는 역할을 하게 된다. 이때 micro array lens로 입사되는 주광선의 telecentric angle이 지나치게 크면 각 화소의 수광부에 집광이 되지 않는 shading이 발생하여 화면 주변부가 어두워지는 현상이 발생한다. 또한 광각단과 망원단에서의 telecentric angle 차이가 크지 않도록 제한되는 경우도 있다. 일반적인 소형 digital camera 광학계에서는 telecentric angle이 약 15도 이내가 되도록 광학 설계를 진행한다. 이를 위해서는 촬상소자 근처에 위치하는 군은 양의 굴절능이 되도록 구성한다. 그리고, 휴대성을 극대화하기 위해서는 수납이 되도록 구성하거나, 광학계 내부에서 광로를 90도로 꺾어지게 구성한다. 전자를 칩통형 광학계라 하고, 후자를 굴곡형 광학계라고 한다. 다음 장부터 조금 더 구체적으로 칩통형 광학계 및 굴곡형 광학계의 예를 들면서 그 특징을

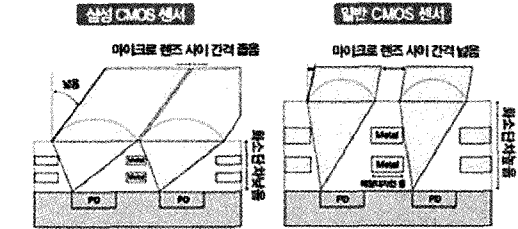
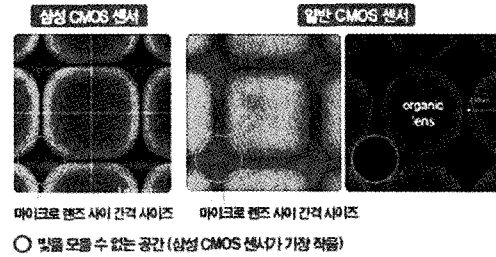


그림 3. Digital 촬상소자의 구성

논의해 보겠다.

#### 5. 칩통형 광학계의 특징

칩통형 광학계는 방금 언급한 것과 같이 휴대성을 극대화하기 위해 camera 전원 off시에 각 군이 최소 간격이 되도록 차곡차곡 쌓이도록 구성된 광학계이다. 따라서 광학계가 최소 전장을 가지는 줌 상태보다 얇게 camera를 만들 수 있다. 그림 4는 필자가 소속된 회사에서 제품화한 camera module의 광각단에서의 외형도와 수납시 외형도를 나타낸 것이다.

그림 4에서 보는 것처럼 수납시에 각 군이 모두 움직이게 되므로 변배시에도 모든 군이 움직이도록 구성된다. 또한 수납 전장을 줄이기 위해서는 기본적으로 렌즈 두께 합이 줄어들어야 하며, 그 외에도 변배자의 이동량도 영향을 준다.

칩통형 광학계는 1군의 굴절능에 따라 negative lead type과 positive lead type이 있다. Negative lead type 중에서 실제 제품에 가장 많이 이용되는 형태는 NPP type의 3군 줌 광학계이다. 그림 5는 자사에서 개발한 NPP type의 3군 줌 광학계에서 각 군을 무수차 광학계인 module lens로 변환하여 그린 광로도이다.

줌 배율이 3배 이하인 경우에는 비구면이 총 2매 정도

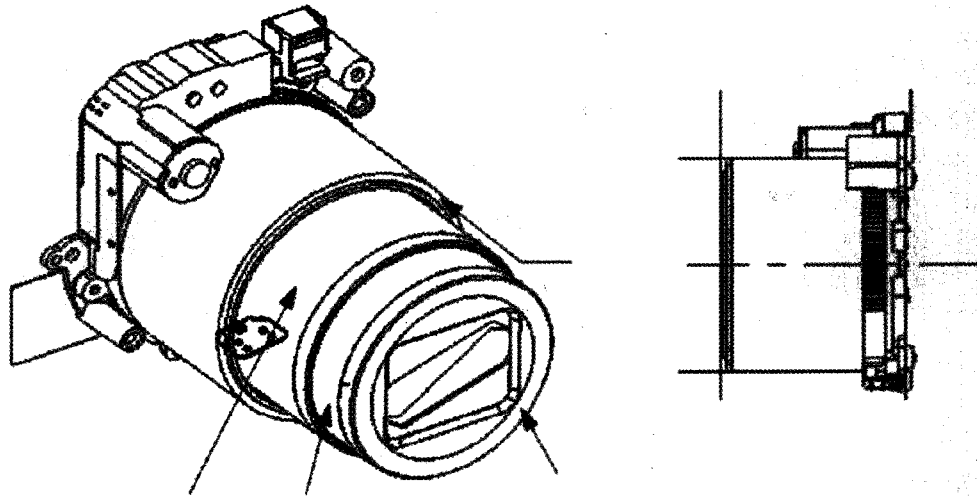


그림 4. 침통형 광학계의 광각단(좌) 및 수납시(우) 외형도

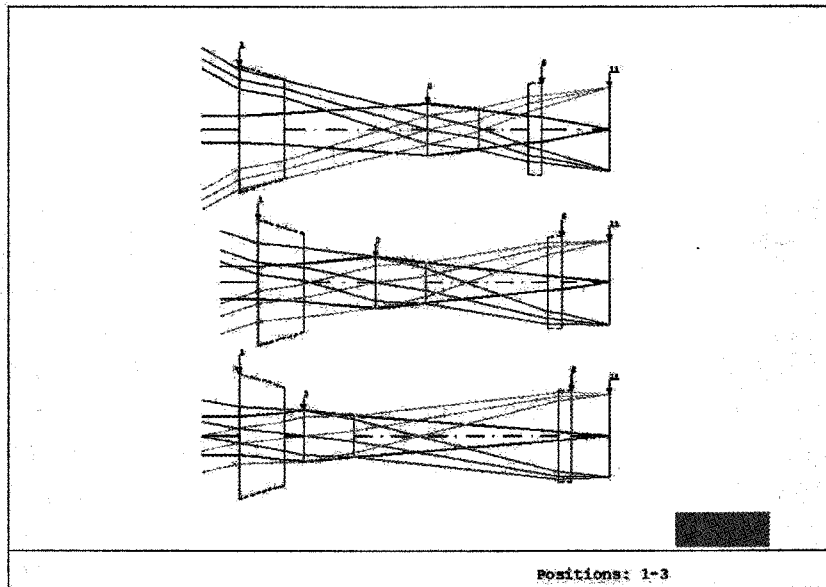
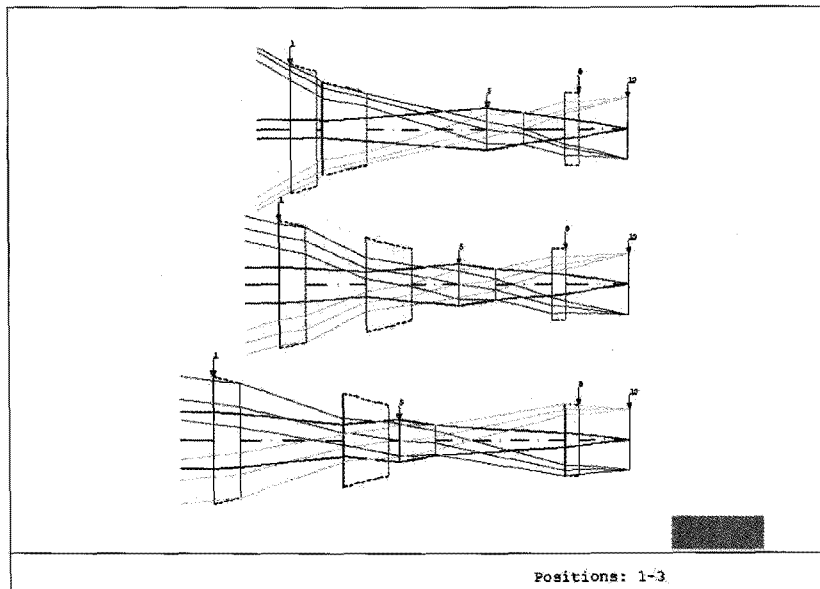
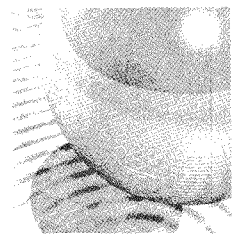


그림 5. 대표적인 NPP type의 3군 줄 광학계

사용되며, 제1군 내에 1장, 제2군 내에 1장이 사용된다. 제1군에 사용되는 비구면은 비점수차와 왜곡 보정에 사용되고, 제2군의 비구면은 구면수차 보정에 사용된다. 이는 식 (1)과 같이 비구면에 의한 Seidel 3차 수차 기여도에 관한 식으로부터 쉽게 유추할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_I^* &= (K_i c_i^3 + 8A_i)(n_{i-1} - n_i)h_i^4 \\
 S_{II}^* &= (K_i c_i^3 + 8A_i)(n_{i-1} - n_i)h_i^3 \bar{h}_i \\
 S_{III}^* &= (K_i c_i^3 + 8A_i)(n_{i-1} - n_i)h_i^2 \bar{h}_i^2 \\
 S_{IV}^* &= 0 \\
 S_V^* &= (K_i c_i^3 + 8A_i)(n_{i-1} - n_i)h_i \bar{h}_i^3
 \end{aligned} \quad (1)$$



Positions: 1-3

그림 6. 대표적인 PNPP type의 4군 줌 광학계

μ1020렌즈構成圖

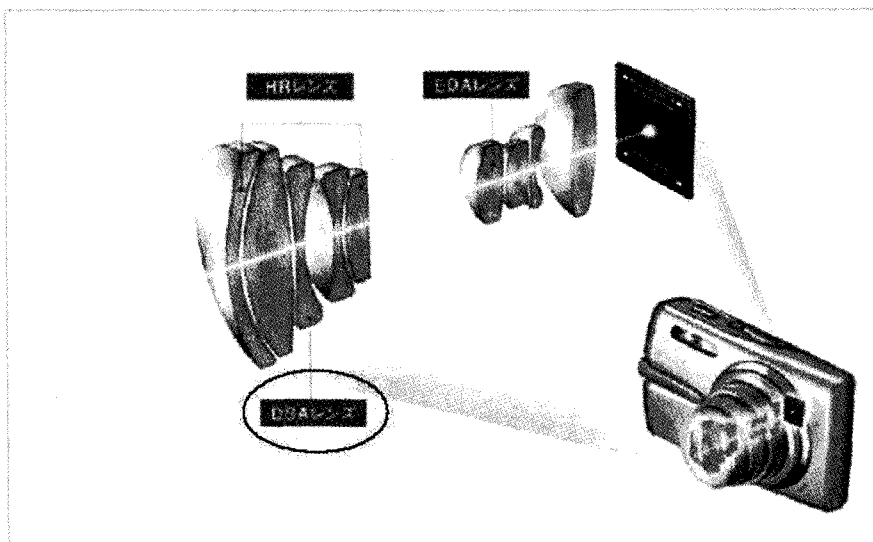


그림 7. 양오목 비구면의 사용 예(<http://olympus-imaging.jp/product/compact/mju1020/feature/index.html>)

여기서  $c$ 는 비구면의 곡률,  $K$ 는 비구면의 원추계수,  $A$ 는 4차항 계수이고,  $n$ 은 굴절률,  $h_i$ 는 주변 광선의 입사고,  $h_i$ 는 주광선의 입사고를 의미한다. 이 식에서 알 수 있듯이 상면만곡은 비구면에 의해 영향을 받지 않는 것을 주의해야 한다.

초창기에는 1군에 3매의 렌즈를 사용했지만, 현재는 1

군에 2매가 일반적이며, 줌 배율이 3배를 초과하거나, 광각화를 이루기 위해서는 1군 2매 모두 비구면 렌즈를 채용하게 된다. 특히 첫번째 렌즈의 뒷면에 비구면을 채용하는 경우에는 유효경 끝 부분에서의 접선 각도가 지나치게 커지지 않도록 광학 설계를 해야 비구면 성형이 가능하다. 하지만 광학계의 전장을 더 줄이기 위해서는 이러한 제약

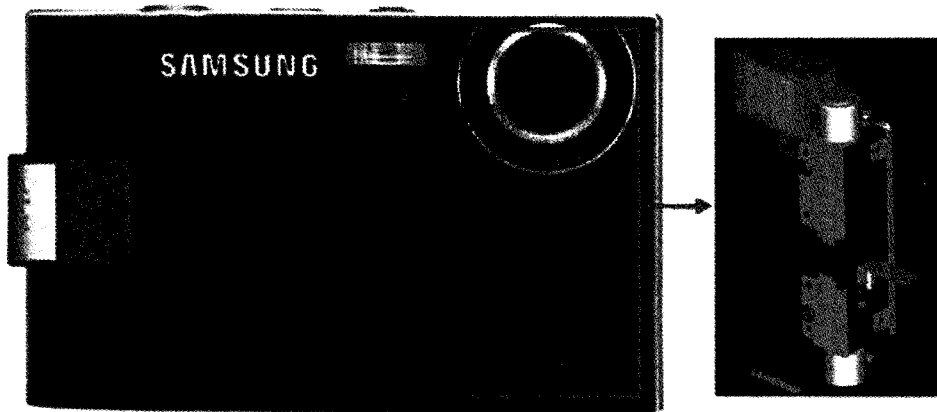


그림 8. 굴곡형 광학계가 적용된 camera와 기구 구성의 예

을 완화하거나, 고굴절 소재를 사용하여 접선 각도를 줄이는 방법을 사용하게 된다. 이러한 광학계로 현재까지 달성한 최대 줌 배율은 약 5배 정도이다.

한편 줌배율이 5배 이상인 경우에는 PNPP type의 4군 줌 광학계 또는 PNPPP type의 5군 줌 광학계가 사용된다. 여기서 5군 광학계는 4군 광학계의 변형이며, 대체로는 4군 광학계가 주로 채용된다. 이러한 positive lead type의 광학계는 negative lead type 광학계와 달리 stop 앞에 위치한 군들의 합성 굴절능이 양의 값을 가지므로 광각단에서 망원단까지  $F/\#$  변화가 크지 않아, 망원단에서 보다 밝은 광학계를 얻을 수 있다. 그림 6은 자사에서 개발한 침통형 광학계에서 사용되는 PNPP type의 4군 줌 광학계이며, module lens로 변환하여 그린 광로도이다. 같은 형식의 4군 줌 광학계인 그림 2의 camcorder 광학계와는 달리 모든 군이 이동하는 것을 볼 수 있다.

PNPP type에서는 비구면이 2군과 3군에 위치하고, 경우에 따라서는 4군에 추가적으로 비구면이 위치하는 경우도 있다. 대략적으로 줌배율 7배까지는 1군에는 2매가 사용되고, 그 이상에서는 1매가 추가되어 총 3장으로 구성되며 렌즈가 추가되는 이유는 망원단에서의 색수차를 보정해야 하기 때문이다. 또한 조리개는 주로 3군에 위치하므로 3군에 사용되는 비구면은 구면수차 보정용이다. 이때 수납 전장을 최소화하기 위한 방법으로 그림 7처럼 2

군에 양오목 비구면을 적용하는 경우가 있다.

## 6. 굴곡형 광학계의 특징

현재 제품화된 굴곡형 광학계는 1군 내에 prism이 있고, 광학 전장이 바뀌지 않는 형태이다. 하지만, 일부 제품화된 것 중에는 2군 내에 prism이 있고, 2군에서 상면까지의 거리가 유지되지만, 1군이 이동하는 형태의 제품도 있다. 하지만 대부분의 제품은 1군 내 prism이 있는 방식이므로 여기서는 1군 내 prism이 있는 방식에 대해서만 설명하고자 한다.

굴곡형 광학계는 변배시 광학 전장이 고정되므로 'Inner Zoom'이라고 불리기도한다. 특허를 검색하면, 1군이 음의 굴절능을 갖는 것도 많이 있는데, 실제 제품화된 것은 거의 없다. 이러한 형태에서는 조리개가 위치하는 2군이 움직이기 때문에 기구 구성 방법이 어려워지기 때문이다. 그래서 제품화된 것의 대부분은 조리개는 고정된 3군에 위치하고 1군이 양의 굴절능을 갖는다. 그림 9에서 예를 든 광학계는 가장 마지막 군이 음의 굴절능을 갖지만, 양의 굴절능을 갖는 경우도 많이 있으며, 어느 경우에 있어서도 마지막 군의 굴절능은 타 군에 비해 상당히 약하다. 현재 제품화된 것 중에서는 PNPP 4군 형태로 구성된

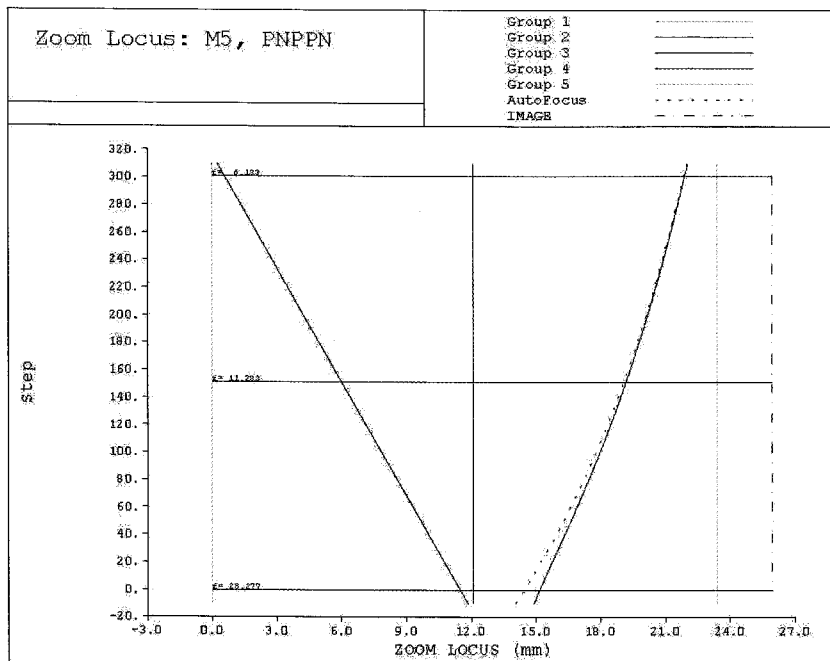
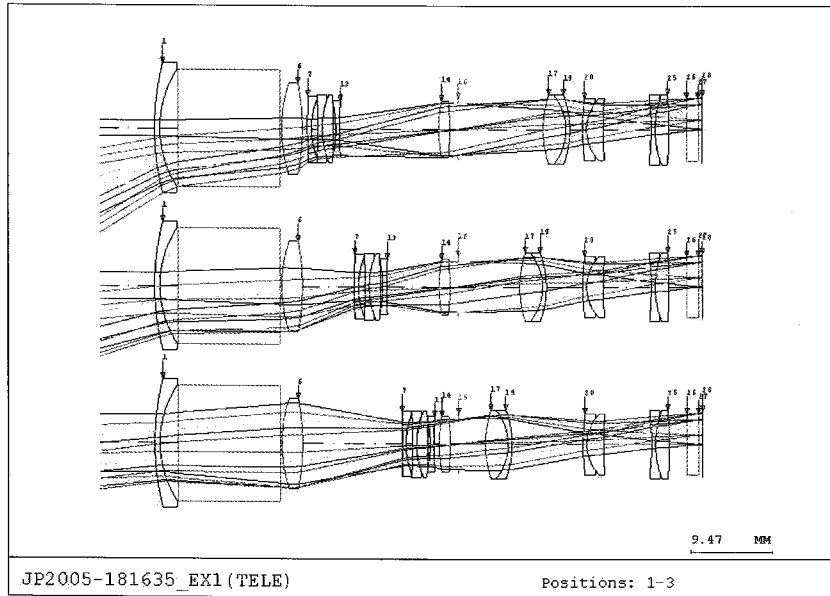
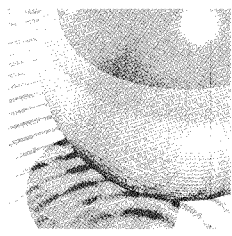


그림 9. 대표적인 굴곡형 광학계의 광로도와 줌 궤적의 예

것도 있으며, 이러한 광학계의 줌 궤적은 그림 2의 줌 궤적과 매우 유사하다. 5군 구성의 경우는 4군의 궤적이 단순 증가하는 형태가 된다. 현재 제품화된 굴곡형 광학계의 최대 배율은 약 7배 정도이나, 대다수 제품의 줌 배율은 3배~5배 정도이다. 굴곡형 광학계의 경우는 렌즈 두께 합보다는 광학 전장과 광학계의 폭을 줄이는 것이 중요한데,

광학계의 폭은 1군에 사용된 prism 두께로 결정이 된다. 광학계의 폭을 줄이기 위해서 prism에 고굴절 소재를 사용하며, 이러한 고굴절 소재는 prism 빛면의 전반사에도 유리한 조건이 된다. 또한 prism 두께는 단면 화각의 하광선(下光線)의 입사각으로 결정되므로 광학 설계 단계에서 이를 고려해야 한다. 그리고 제품 제작에 있어서는 첫번째



렌즈와 prism 다음에 위치한 두번째 렌즈는 D-cut을 해서 제품의 폭을 줄이고 있다. 이렇게 D-cut을 하는 경우에는 편심 측정이 어려워지므로 불량률이 많이 발생하는 원인이 되기도 한다. 여기서 설명한 굴곡형 광학계는 Positive lead type이므로 전장을 줄이기 위해서는 침통형 광학계의 PNPP type과 마찬가지로 2군에 양오목 비구면을 채용하고 있다.

## 7. 결론

지금까지 주로 소형 digital camera 광학계의 특징에 대해 언급했다. 마지막으로 필자가 소속된 회사에서 개발한 module의 실제 수납 전장의 예를 들고자 한다.

그림 10은 1/1.8" inch CCD를 사용하고, 같은 NPP 3군 광학계에 대한 두께 합 변화 및 평균 굴절률 변화에 대한 graph이다. 이는 최초로 개발된 module 1의 두께 합을 100%, filter 및 CCD cover glass의 굴절률을 제외한 렌즈의 평균 굴절률을 100%로 했을 때, 각 기종별 상대 두께 합과 상대 평균 굴절률을 의미한다. 가장 최근에 개발된 module 4의 경우, module 1에 대해 비교해 보면 줌 배율은 오히려 3배에서 3.6배 정도로 증가되었음에도 불구하고, 렌즈 두께 합 기준으로는 약 60% 정도 이상 줄어들었다. 또한 상대 평균 굴절률은 약 4% 정도 증가했다. 상대적으로 굴절률 변화가 작다고 느껴지는데, 이는 d-line에서의 굴절률 분포가 약 1.45~2.0 정도로 두께 변화량에 비해서는 그 양이 작기 때문이다. 이러한 고굴절화는 타사에서조차 마찬가지로 보여지며, 모 소재업체에서 받은 자료에 의하면 최근 소재 가격의 기준은 과거 BSC7에서 FDS90으로 변경되고 있다. 이를 근거로 최근에 가장 많이 생산되는 소재는 FDS90으로 추정되며 타사도 광학 전장을 줄이기 위해 고굴절 소재가 많이 사용하고 있다는 증거라고 보여진다.

전장이 줄어들기 위해서는 각 군의 이동량이 작아져야 하며, 이를 위해서는 각 군의 초점거리가 작아져야 한다. 그러므로 렌즈의 곡률이 작아지거나, 소재의 굴절률이 높아져야 한다. 렌즈의 곡률이 작아지면, 수차 보정이 어려워지므로 소재의 굴절률을 높이는 것이 유리하기 때문에 이러한 결과가 나온 것이다.

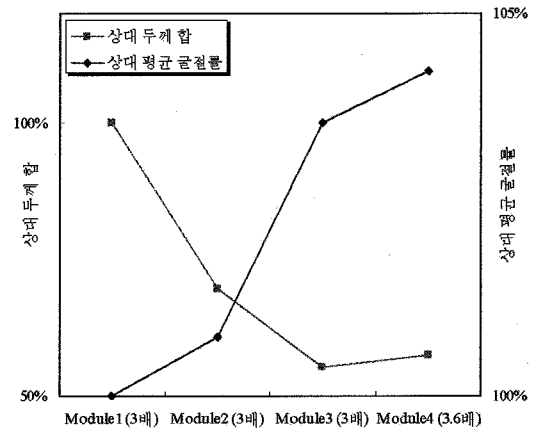
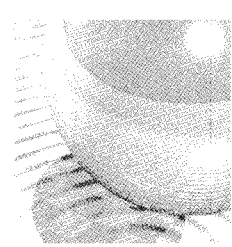


그림 10. 자사에서 개발한 NPP 3군 줌 광학계의 두께 합 및 평균 굴절률 변화

또한 이렇게 렌즈 두께 합이 줄어들 수 있었던 이유는 소재의 고굴절화 이외에도 렌즈 매수 감소, 앞 장에서 계속해서 언급한 비구면화 및 비구면 성형 기술 향상, 화상 처리 엔진의 왜곡 보정에 의한 설계 여유 확보 등이 가능했기 때문이다. 과거 침통형 광학계의 Wide단 F/#는 대략 2.8 정도였으나, 최근에는 이보다 약간 커서 3.0~3.5 정도의 제품도 많이 출시되고 있다. 이는 제품의 구경을 줄여 소형화를 달성하기 위함인데, 제품의 구경이 줄면 렌즈의 크기가 줄게 되고 그만큼 edge 두께를 줄일 수 있는 여유가 생기게 되므로 렌즈 두께 합을 줄이는데, 많은 도움이 되기 때문이다.

같은 줌 배율을 갖고, 비슷한 시기에 자사에서 개발된 NPP type 3군 광학계에서 sensor를 1/1.8" inch를 사용하는 경우와, 1/2.5" inch를 사용하는 경우가 있다. 1/2.5" inch CCD는 1/1.8" inch CCD에 비해 크기가 대략 78.2% 정도 작다. 산술적으로는 광학계의 두께 합도 그 정도 줄 것이라고 예상하지만, 실제로는 약 80% 정도만 차이가 있다. 이는 설계자의 능력이 아니고, 렌즈가 작아져도 가공 가능한 edge 두께는 확보해야 하기 때문에 정확히 sensor 비율만큼 작아지지 않는 것이다. 이는 NPP type 3군 광학계에서만 해당되는 것이 아니고, 일반적인 모든 결상 광학계에도 해당되는 것이라고 판단된다.



**약 력**



**류재명**

1974. 6 서울생  
 1993. 3 인하대학교 물리학과 입학  
 1997. 2 인하대학교 물리학과 졸업  
 (이학사)  
 1999. 2 인하대학교 대학원 물리학과 졸업  
 (이학석사)  
 1998. 9 서울광학산업(주) 입사  
 2004. 3 삼성테크윈(주) 입사  
 2005. 8 한남대학교 대학원 물리학과 졸업  
 (이학박사)  
 2006~ 현재 삼성디지털이미징(주) 책임연구원

**약 력**



**이해진**

1965. 대구생  
 1983. 연세대학교 물리학과 입학  
 1987. 연세대학교 물리학과 졸업  
 1988. 삼성항공 입사  
 2000. 삼성테크윈으로 사명 변경  
 2009. 2 삼성디지털이미징(주)로 사명  
 변경  
 1989년~ 현재 렌즈개발부서 근무(광학설계)  
 현재 렌즈개발 수석 연구원

**약 력**



**강건모**

1956. 서울생  
 1975. 연세대학교 물리학과 입학  
 1983. 연세대학교 물리학과 졸업  
 1984. 삼성정밀 입사  
 2006년~현재 삼성디지털이미징(주) 연구임원  
 (상무급) : 렌즈개발