

DVD/CD 호환 대물렌즈의 광학계

소형플라스틱렌즈분야에서 비구면의 활용이 일반화되고 점차 고성능 결상광학계를 중심으로한 특수렌즈의 활용이 늘어날 것으로 전망되고 있다. 전문가들은 향후 폭발적인 수요증가가 예상되는 DVD분야에도 국내 렌즈업체들이 적극적으로 뛰어들어 DVD픽업에 들어가는 플라스틱 비구면 특수렌즈와 대물렌즈 등의 개발에 적극 나서야 할 것이라고 말한다. 코스트 삭감이나 대량생산이 용이한 플라스틱이 DVD플레이어나 DVD드라이버의 보급에 큰 공헌을 하며 현재 호환 광학계에서는 대물렌즈와 콜리메타가 모두 플라스틱화 되고 있다. 본 고에서는 일본 광기술컨택트 2001년 9월호에 소개된 DVD/CD 호환(互換) 대물렌즈를 중심으로 DVD/CD 호환 광학계의 특징에 관한 내용을 번역·정리해 보았다.

〈편집자 주〉

서론

DVD플레이어는 1996년 11월에 발매되어 어느새 5년이라는 세월이 넘어 버렸다. 일본 국내에서도 DVD 비디오 소프트웨어의 출하 수량이 VHS를 상회하고 앞으로 더더욱 DVD의 양질(良質) 화면을 즐기려는 사람이 증가할 것으로 보여진다. 한편, 퍼스널 컴퓨터(PC)에 있어서도 최근 5년 간의 CPU 스피드의 고속화, 탑재된 RAM 메모리나 내장된 하드디스크의 대용량화는 눈이 번쩍 뜨이게 하지만 광 디스크 드라이브에 관해서도 PC메이커로부터 새로운 요구가 나와서 광 픽업 광학계와 대물렌즈도 이에 맞추어 변화해 왔다. 특히 최근에는 DVD와 CD를 읽어내는 것뿐만 아니라 기록에 대응할 것이 요구되고 있다.

DVD와 CD의 차이

DVD와 CD의 주된 차이점을 표 1에 정리하였다. CD의 재생에 있어서는 파장이 780nm인 근적외 반도체 레이저를 사용하는 경우 NA(구

경수)가 0.45인 대물렌즈가 사용된다. DVD는 CD와 비교해서 대용량이며 최단(最短) 피트 길이에 트랙 피치도 작게 되어 있다. 레이저 광선을 보다 작은 점으로 응축시킬 필요가 있으므로 DVD의 재생에서는 파장이 635~650nm인 적색 반도체 레이저를 사용하는 경우, NA가 0.6인 대물렌즈가 사용된다. 또한 DVD에서는 디스크가 대물렌즈의 광축에 대해 기울어졌을 때 발생하는 코마 수차에 의한 신호의 열화(劣化)를 완화시키므로, 기관두께를 CD의 반인 0.6mm로 하여 이것을 맞붙인 구조로 되어 있다.

광학계의 결상(結像)스포츠는 파면(波面)수차가 작은 회절(回折)한계성능영역에서는 광원의 파장에 비례하고 광학계의 NA에 반비례해서 작아진다. 따라서 파면수차가 제로인 이상(理想)대물렌즈에서는 파장 780nm에서 NA0.45인 경우 얻어지는 결상스포츠의 크기가 파장 650nm에서 NA0.38인 경우와 같다. 따라서 결상스포츠를 DVD와 CD에서 합친다는 관점에서 생각한다면 650nm의 광원을 사용하여 NA를 DVD와 CD에서 절환 되도록 하면 된다.

그런데 PC의 용도에 있어서는 대용량 데이터

〈표 1〉 DVD와 CD의 사양 비교

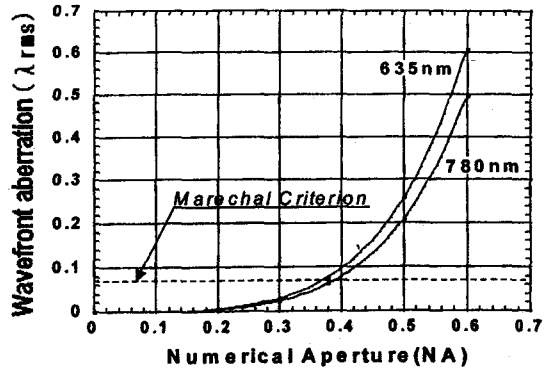
	항 목	단 위	DVD	CD
디스크	USER 용량	GB	4.7	0.64
	디스크 구조		맞붙임	단판
	디스크 직경	mm	120	120
	기판두께	mm	0.6	1.2
	트랙 피치	μm	0.74	1.6
	최소 피트 길이	μm	0.4	0.834
드라이버	선속도	m/sec	3.49	1.2~1.4
광학계	광원파장	nm	635~650	780
	대물렌즈의 NA		0.60	0.45

의 보존 수단으로서 CD-R과 CD-RW가 보급되고 있다.

CD-ROM의 기록면이 알루미늄 증착으로 되어 있으므로 가시광에서 근적외선까지 높은 반사율을 지니고 있는데 비해서, CD-R의 정보기록층은 색소이기 때문에 반사율의 파장의존성이 크다. CD-R의 반사율은 일반적으로 650nm에서는 낮으므로 재생을 위해서는 780nm의 광원을 필요로 한다. 즉 CD-R의 재생을 필요로 하느냐 않느냐에 따라 광 픽업에 탑재되는 반도체 레이저가 하나로 좋을지 두 개가 필요할지가 결정되며, DVD와 CD의 호환을 실현시키기 위한 기술수단이 달라진다.

DVD와 CD의 호환방식을 생각함에 있어서 가장 연구가 요구되는 점은 디스크의 기판 두께가 DVD와 CD 서로 다르다는 점이다. 초기 DVD/CD 호환 광 픽업에서는 DVD 전용으로 설계된 대물렌즈와 CD 전용으로 설계된 대물렌즈라는 두 개의 대물렌즈를 사용하여 DVD 전용 광 픽업과 CD 전용 광 픽업을 결합한 2 픽업 방식이나, DVD 전용 대물렌즈와 CD 전용 대물렌즈를 한 개씩 액츄에이터에 탑재하여 절환시켜 사용하는 2렌즈 방식이 쓰여지고 있었다.

또 하나의 대물렌즈로서 DVD와 CD의 호환을 달성하는 방식이 여러 가지 형태로 제안되고



〈그림 1〉 구경 수와 파면수차의 관계 (DVD용 대물렌즈를 CD 기판두께에서 사용한 경우)

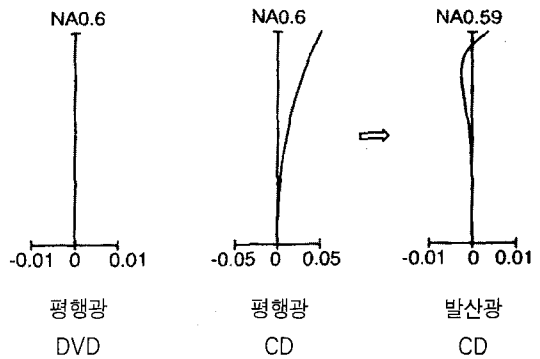
실용화되고 있다. 그림 1은 DVD의 파장과 기판두께를 고려하여 설계된 대물렌즈를 CD의 기판두께에서 사용했을 때 발생하는 파면수차를 그래프 화한 것이다. CD-R에 대응하지 않는 635~650nm 인 광원 하나를 사용하는 광 픽업(이하 1파장방식이라 부른다)과 CD-R에 대응하는 635~650nm와 780nm인 두 개의 광원을 사용하는 광 픽업(이하 2파장방식이라 부른다)에서는 기판두께의 차이에 의해 발생하는 파면수차가 상이하다. 또한 2파장방식에서는 광원이 2개 있음으로써 DVD와 CD의 호환방식을 생각함에 있어 설계상의 자유도가 크다고 할 수 있다. 계속해서 1파장방식, 2파장방식 각각에 있어서의 호환대물렌즈에 관해서 설명한다.

1파장(波長) 호환방식

(1) 액정(液晶)서터 방식

DVD전용 대물렌즈를 NA0.38로 줄이면 파면수차는 회절한계성능의 가늠이 되는 말레설의 허용치 정도가 된다. 여기서 대물 렌즈의 구경을 DVD와 CD로 절환함으로써 DVD와 CD의 호환 재생이 가능하다. 제안되고 있는 광학계(光學

系)에서는 CD를 재생할 때의 NA를 0.35로 하고 있다. 그렇게 함으로써 스포트 경은 커지지만 파면수차가 작아져서 결상스포츠의 사이드로프가 작아진다. 광학계에는 외주(外周)부에 편광 특성을 지닌 띠구상(狀)의 편광판과 TN형의 액정판이 배치되어 있다. 액정판의 ON, OFF로서 편광판으로 입사하는 광선의 편광 방향을 바꾸어 띠구상인 편광판의 주변부의 광선의 투과, 차단을 제어함으로써 기계적인 가동부 없이 구경 절환을 실현하고 있다.



<그림 2> 결상비율을 변화시켰을 때의 구면수차 보정

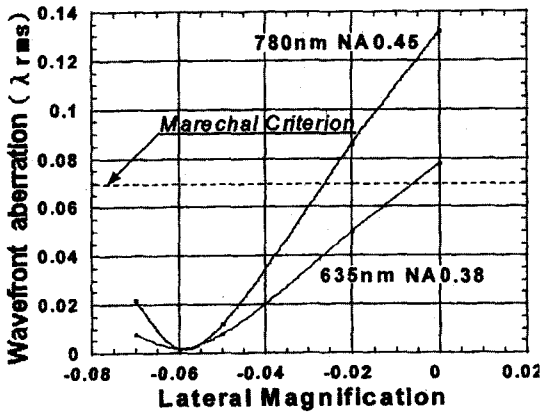
(2) 띠구차폐 방식

액정서터 방식에서는 대물렌즈 이외에 띠구편광판과 액정판을 필요로 한다. 부품수도 많고 또한, 띠구편광판은 대물렌즈와 한 몸으로 구동시킬 필요가 있으므로 액투에이트에 부담이 걸리고, 콤팩트화(化)라는 목적에 대해서도 불리했다. 띠구차폐방식에서는 DVD 전용 대물렌즈의 NA가 0.37에서부터 0.42에 상당하는 부분을 띠구상으로 차폐함으로써 CD 재생 때의 구경제한의 역할을 맡는 방식이다. DVD에서는 광 이용 효율은 악화되지만 재생신호에의 큰 영향은 없다. CD의 재생에 있어서 NA가 0.37이하의 영역에서는 수차가 작은 점과 구경제한 효과 때문에 결상스포츠는 액정 서터방식과 동등하다. 또 NA가 0.42에서 0.6까지의 광 다발은 결상스포츠에서 약간 떨어져서 크게 넓어진 광반(光斑)이 된다. CD의 정보기록면과 광검출기와와의 사이의 결상배율, 광검출기의 크기를 최적화하여 광반이 광검출기에 들어가지 않게 함으로써 CD의 재생신호에 대한 광반의 영향을 작게 할 수가 있다.

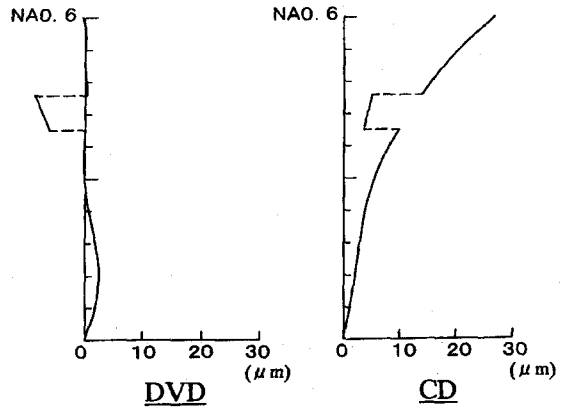
(3) 배율가변(倍率可變) 방식

DVD전용 대물렌즈를 사용한 광학계에서는 DVD를 CD로 대체하면 정(正)의 구면수차가 발생한다. 따라서 부(負)의 구면수차를 발생시킬

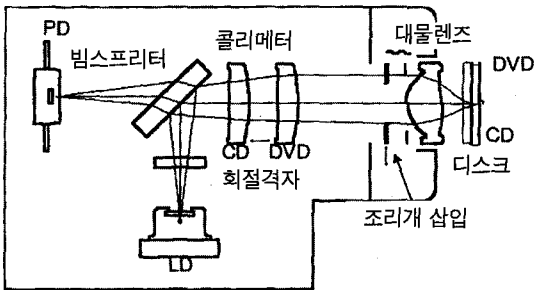
으로서 이것을 보정하여 DVD와 CD의 호환을 달성할 수가 있다. DVD 전용 대물렌즈가 평행광 입사(入射) 때에 구면수차가 보정된다고 한다면 발산광(發散光)이 입사함으로써 언더(under)가 된다. 결상배율을 최적화함으로써 CD에 있어서도 구면수차를 큰 폭으로 개선할 수 있다. 그림 2에 구면수차의 보정상황을 보인다. 또 무한공역(無限共役)인 DVD 전용 대물렌즈에 있어서 디스크를 CD로 했을 때의 결상배율과 파면수차의 관계를 그림 3에 보인다. 실선, 점선은 각각 1파장방식의 경우와 2파장방식의 경우이다. 어느 경우에도 결상배율이 -0.06 부근에서 파면수차가 최소가 되어 파면수차가 말레설의 공차를 크게 밀들고 있다. 1파장방식의 경우 콜리메터 혹은 반도체 레이저를 광축 방향으로 움직임으로써 결상배율을 변화시킬 수 있다. 코니카에서는 이 방식을 줌(Zoom) 방식이라 부르고 광 픽업을 시작(試作)했다. 그림 4에 광학계의 일례를 보인다. 콜리메터는 광축 방향으로 움직일 수가 있다. DVD 재생시에는 콜리메터의 초점과 반도체 레이저의 발광점이 일치하고 있어, 콜리메터로 부터는 평행광을 출사한다. CD 재생시에는 콜리메터를 반도체 레이저에 근접시킴으로써 콜리메터로부터는 발산광이



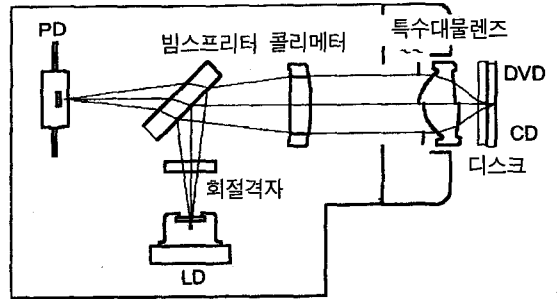
<그림 3> 결상배율과 파면수차의 관계
(DVD용 대물렌즈를 CD 기판 두께에서 사용한 경우)



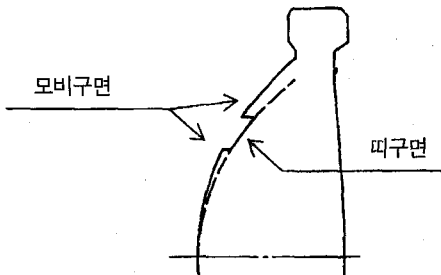
<그림 6> 특수대물렌즈의 구면수차



<그림 4> 줌 방식 픽업 광학계의 일례



<그림 7> 특수대물렌즈 사용 광학계의 일례(파장)



<그림 5> 따구면의 개념도

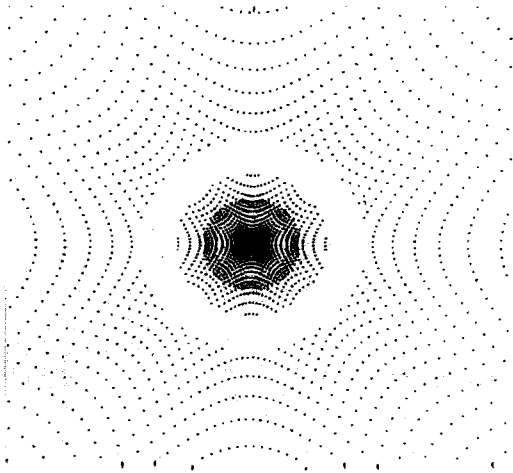
출사되어 구면수차가 보정되고, 더욱이 조리개가 광학계에 삽입되어 결상점을 CD 재생에 가장 적합한 크기로 만든다. 시작(試作)된 픽업에서는 콜리메터의 이동과 조리개의 삽입을 간단한 구조로 실현시켰지만, 구경제한은 액정서터 방식을 이용하는 것도 가능하다.

(4) 특수대물렌즈 방식

따구차폐방식에서는 차폐부분의 광 다발이 결속에 기여하지 않기 때문에 CD측의 NA에 관해서는 제한이 있었다. 그래서 대물렌즈를 내주부분, 따구부분, 외주부분 등의 3영역으로 나누어, 내주부와 외주부의 광다발을 주로 이용하는 것

<표 2> 특수대물렌즈의 설계 예(1파장)

띠구면 상측 NA		0.410
띠구면 하측 NA		0.370
DVD ($\lambda=650\text{nm}$)	스포츠 직경($1/e^2$)	μm 0.89
	사이드로프	% 1.7
	모비구면 잔류수차	λrms 0.024
CD ($\lambda=650\text{nm}$)	스포츠 직경($1/e^2$)	μm 1.35
	사이드로프	% 1.7



<그림 8> 특수대물렌즈에 의한 CD 디스크 기록면상의 스포트 다이어그램

으로 DVD를 재생하고, 내주부와 띠구부분의 광다발을 주로 이용함으로써 CD를 재생하려는 시도가 이뤄졌다. 이렇게 함으로써 CD의 NA를 높여 결상점을 작게 할 수가 있다. 이 방식을 특수대물렌즈방식이라 칭하고 있다. 구체적인 설계에서는, 모(母)비구면을 설계하고, 그림 5와 같이 띠구부분에 띠구면 비구면을 설치한다. 띠구면비구면과 모비구면과의 경계에는 수 m 정도의 단차가 있다. 그림 6은 특수대물렌즈의 구면수차도이다. 구면수차는 2곳에서 불연속이 되어 있다. 표 2에 대물렌즈의 설계예를 정리했다. 그

림 7에 광학계의 일례를 보인다. 스포트경(徑)에서 환산한 실효 NA는 0.40이며 이것을 780nm로 환산하면 0.48이 된다. CD 규격보다 작은 스포트 경으로 줄여져서, 액정 셔터방식, 띠구차폐방식과 비교할 때 양호한 재생신호가 얻어진 다.

띠구차폐방식과 마찬가지로 외주부분에 입사하는 광다발은 결상스포츠에서 약간 비껴나 크게 번지는 광반(光斑)이 되기 때문에 같은 배려가 필요하게 된다. 그림 8에 CD의 정보기록면에 집광(集光)했을 때의 스포트 다이어그램을 보인다.

(5) 2초점 대물렌즈 방식

대물렌즈의 입사광을 분할하여 두개의 초점을 형성하여, 한편은 DVD에 대하여 최적인 광 스포트를, 다른 한편은 CD에 대하여 최적인 광 스포트가 되도록 고안한 대물렌즈를 사용하는 호환방식을 말한다. DVD 전용 대물렌즈의 입사측면에 동심원상의 폴로그램을 형성하여 0차광(0次光)을 DVD의 재생에 1차광을 CD의 재생에 사용한다. CD의 NA를 0.4로 설정하여 광축에서 설정한 CD의 NA까지의 범위가 폴로그램화 되어 있다. 금형을 사용한 성형으로 렌즈를 만들기 위해 굴곡방식의 폴로그램을 채용하고, 피치를 최적화 함으로써 CD에서 1차광의 파면수차가 0이 되도록 설계되어 있다. NA가 0.4에서 0.6인 외주부분은 DVD 전용부분이다. DVD에서는 외주부분보다 내주부분의 투과율이 낮으므로 수차로서는 작지만 고차회절상소거법(apodization) 효과에 의해 DVD 전용대물렌즈와는 스포트 형상이 다르다는 점에 유의할 필요가 있다. DVD 재생시에는 CD의 스포트는 퍼진 상이 되어 크게 퍼지고 CD 재생시에는 그 반대가 되지만 퍼진 상이 재생신호에 미치는 영향은 적다.

2파장 호환방식

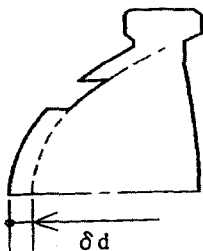
(1) 배율가변방식

1파장 호환방식에서는 배율을 바꾸기 위해서 콜리메터의 위치를 절환시켰지만, 2파장방식에서는 콜리메터와 반도체 레이저의 거리를 바꾸는 것으로 실현 가능하다. 2파장 방식의 구경제한은 파장선택성의 필터를 사용하는 것이 일반적이다. 사용하는 파장선택성 필터는 동일 기판 상에서 내주부(內周部)와 외주부(外周部)에서 서로 다른 성질의 막이 붙어있다. 외주부는 파장 650nm는 투과, 파장 780nm는 반사하도록 된 단파장 투과막이며, 내주부는 650nm 파장에서 외주부와 내주부에서 출사파면(出射波面)에 위상(位相) 어긋남이 발생하지 않도록 구성된 위상조정막이다.

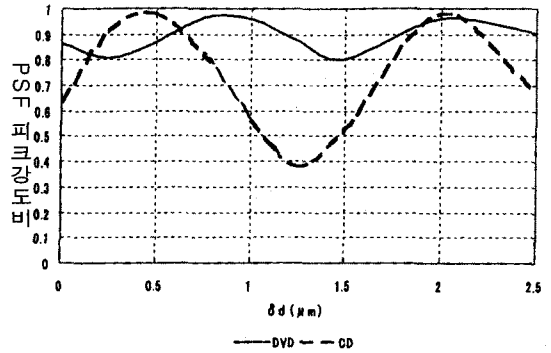
배율가변방식에서는 DVD와 CD에서 각각 별도의 광 검출기를 사용하는 것이 일반적이다.

(2) 특수대물렌즈 방식

2파장 방식의 특수대물렌즈에서는 1파장 방식의 경우와 비교해서 CD의 NA를 크게할 필요가 있고 띠구부분의 폭이 넓어지며 그만큼 DVD의 광량이 감소할 것이 염려된다. 그래서 DVD, CD 각각에서 최대의 강도를 얻기 위해 띠구의 단차량(段差量)을 최적화 했다. 그림 9와 같이 띠구면의 비구면을 광축까지 연장한 경우의 정



<그림 9> 띠구면의 단차량



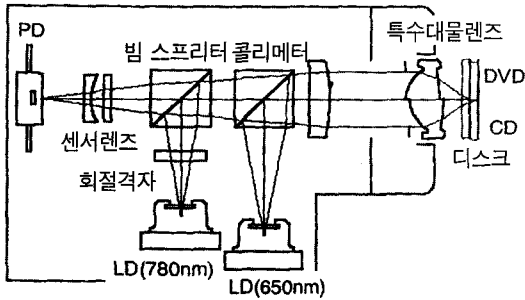
<그림 10> 단차량과 PSF 피크 강도의 관계

<표 3> 특수대물렌즈의 설계 예(2파장)

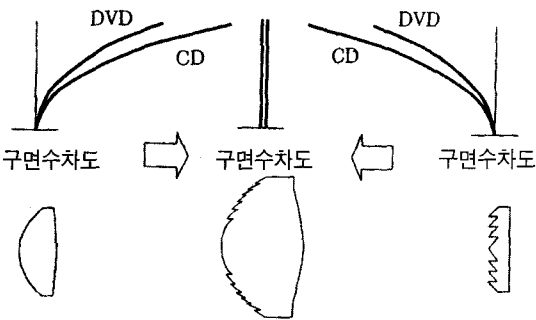
띠구면 상측 NA			0.455
띠구면 하측 NA			0.392
DVD ($\lambda=650\text{nm}$)	소프트 직경($1/e^2$)	μm	0.89
	사이드로프	%	1.4
	모비구면 잔류수차	λrms	0.024
CD ($\lambda=780\text{nm}$)	소프트 직경($1/e^2$)	μm	1.37
	사이드로프	%	1.5

점과 베이스 비구면의 정점과의 간격을 δd 로 한다면, δd 의 변화에 따라 소프트 강도가 정현파상(正弦波狀)으로 변화한다. 2파장방식에서는 DVD와 CD와의 주기가 다르기 때문에 δd 를 최적화 하는 것으로 DVD와 CD의 소프트 강도가 거의 극대가 되도록 설계가 가능하다.

그림 10에 단차량과 소프트 강도(PSF 피크 강도)의 관계의 일례를 보인다. 또 표 3에 대표적인 2파장방식 특수대물렌즈의 사양, 그림 11에 픽업 광학계의 일례를 보인다. DVD, CD 모두 평행광 입사에 최적화 되어있으므로 광검출기는 DVD와 CD와의 병용이 가능하다. 또 1파장방식인 경우와 같이 구경제한은 기본적으로 불필요하다. 이 방식에서는 두 개의 반도체 레이저와 광검출기가 공역(共役)위치에 있으므로 두 개의 반도체 레이저를 패키징한 2파장 레이



<그림 11> 특수대물렌즈 사용 광학계의 일례(2파장)



<그림 12> 2파장회절호환렌즈의 원리

저 사용이 가능하고, 게다가 2파장 레이저와 광검출기를 집적(集積)하여 유니트화 할 수도 있다.

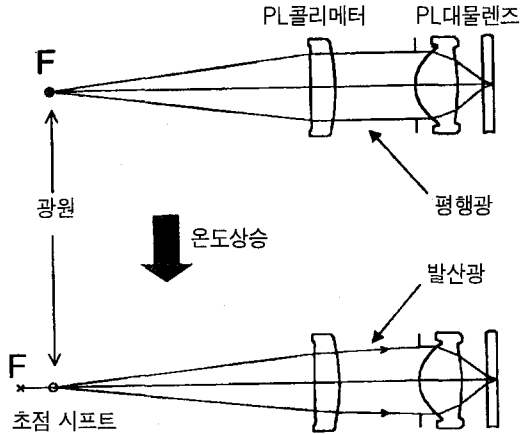
(3) 회절(回折)대물렌즈 방식

2파장방식에 있어서는 회절광의 파장의존성을 이용함으로써 DVD와 CD의 호환을 달성하고자 하는 시도가 행해지고 있다. 그림 12에 호환 회절대물렌즈에서의 구면수차 보정의 원리도를 보인다. 굴절형 대물렌즈의 입사측면에 동심원상의 회절면이 형성되어 1차광이 DVD, CD의 재생에 사용된다. 베이스가 되는 대물렌즈는 DVD의 파장에서는 오버(over)되는 구면수차를 가지고 있다. CD의 경우 렌즈소재의 분산과 기판두께의 차에 의해 구면수차가 더 한층 오버되

어 있다. 한편 DVD파장에서 언더(under)의 구면수차를 가진 회절렌즈에서는 파장이 길어질수록 회절각이 커지므로 CD파장에서는 더욱 언더가 된다. 회절렌즈의 분산이 크기 때문에 실용적인 회절굴절형 대물렌즈가 설계되고 있다. 회절호환대물렌즈에서는 파장의존성을 이용해서 기판두께 차에 의한 구면수차를 보정하고 있기 때문에 구면수차의 파장의존성이 굴절렌즈보다 커지므로 주의가 필요하다. 광 픽업의 광학계로서는 2파장특수대물렌즈와 같다.

콜리메터

콜리메터는 고(高)NA 광학계에서는 필수적인 광학소자이다. 현재의 호환광학계에 있어서는 대물렌즈, 콜리메터 쌍방이 모두 플라스틱화되고 있다. 물론 코스트 삭감이나 대량생산이 가능한 플라스틱화가 DVD 플레이어나 DVD 드라이브의 보급에 공헌하고 있으나 진작부터 플라스틱 콜리메터와 플라스틱 대물렌즈를 조합하여 사용함으로써 파면수차의 온도변화가 개선되는 메리트를 강조하여 왔다. 그림 13에 온도개선 특성의 원리를 보인다. 이 그림은 상온상태에서 광원 위치와 콜리메터의 초점 위치가 일치하여 콜리메터로부터의 광다발은 평행광이 된다. 대물렌즈 단체(單體)에서는 온도가 상승하면 구면수차가 오버가 된다. 한편 콜리메터가 플라스틱인 경우, 온도상승에 의해 초점거리가 길어진다. 광원위치와 콜리메터의 위치는 고정되어 있으므로 온도가 상승하면 그림 13의 아래그림과 같이 콜리메터로부터의 광다발은 발산광이 된다. 대물렌즈에 발산광이 입사하면 구면수차가 언더가 됨으로서 대물렌즈 단체의 온도특성을 개선할 수가 있다. 콜리메터의 초점거리는 DVD용 대물렌즈의 출사광 특성에 따르지만, 통상 대물렌즈의 결상배율이 1/6에서 1/7.2의 범위에 있어 CD 전용 대물렌즈보다 크지만 CD의 재생에는



<그림 13> 플라스틱 콜리메터에 의한 온도특성 개선의 원리

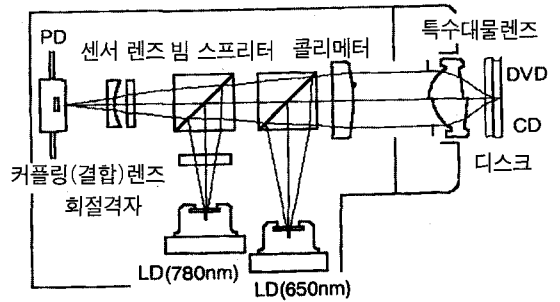
문제가 발생하지 않는다.

기록에의 대응

CD-R/RW의 보급과 함께 하나의 드라이버에서 DVD, CD의 재생과 CD-R, CD-RW의 기록, 재생 기능을 모두 지닌 장치용의 호환광학계의 대응이 필요하여 왔다. CD-R/RW 기록대응의 전용 드라이버에서는 광 이용 효율이 중요하다. 대물렌즈의 NA가 0.5, 결상배율은 1/3에서 1/4배이다. 호환대물렌즈에 있어서도 CD측의 고NA화와 DVD와 CD 각각에 대해 결상배율을 최적으로 할 필요가 생긴다.

CD측의 고NA화는 특수대물렌즈의 띠구면수를 늘리거나, 띠구부분을 플로그램 렌즈로 하거나 하는 방법이 제안(提案)되고 있다. 또 회절 방식도 유력한 방법이다.

한편, 광학계에서는 DVD와 CD 각각에 대해서 전용 콜리메터를 사용하는 방법도 있으나 그림 14와 같이, CD측에는 광원과 공통 콜리메터와의 사이에 결상배율을 변화시키는 결합



<그림 14> CD-R/RW 기록대응 DVD호환 광학계의 일례

(coupling)렌즈를 넣음으로서 광학계를 대형화시키지 않고 요구를 충족시킬 수가 있다.

결론

대표적인 DVD와 CD 호환광학계의 특징에 관해서 소개했다. 유력한 호환방식은 모두 모인 듯하고 청자(靑紫) 레이저를 사용한 차세대 광디스크 장치에의 관심이 높은 듯 여겨진다.

그러나 기록계에의 응용은 겨우 시작한 단계로 앞으로도 실질적인 광학계의 개량에 의해 더 더욱 DVD 플레이어와 DVD 드라이버의 보급이 진척되기를 기대하고 있다.

