



## 1. 머리말

1981년 음악 재생용 저장매체로 시장에 등장한 CD(compact disc)는 레이저 다이오드 및 대물렌즈 기술의 발전으로 DVD<sup>(1)</sup>(digital versatile disc)를 거쳐 BD<sup>(2)</sup>(blu-ray disc)로 저장할 수 있는 용량을 늘려 가는 방향으로 기술 개발이 전개되고 있다. 즉 사용하는 빛의 파장을 줄이고 대물렌즈의 개구수를 늘려 디스크에 집광되는 스폿을 줄임으로 용량을 늘이는 방향으로 기술이 전개되고 있으나 재생에 필요한 신호를 얻는 방법은 기본적으로 같은 방법이 사용되고 있다. 다만 용량 증가에 따라 줄어드는 시스템 구동 마진을 극복하기 위한 수단으로 새로운 신호의 검출 방법 및 마진 확대 방법들이 제안되고 있다.

광디스크 드라이브에서 기본적으로 사용되는 광검출 신호는 디스크의 일정 위치에 대물렌즈 중심을 맞추기 위해 사용되는 서보 신호와 디스크에 기록된 정보 신호인 정보 재생신호가 있다. 정보 재생신호는 광검출기로 돌아오는 신호의 합으로 단순히 얻을 수 있으며 서보 신호는 대물렌즈와 디스크 간의 축상 위치를 제어하기 위한 포커스 신호와 대물렌즈 중심 위치와 디스크 라디얼

(radial) 방향 위치 제어를 위한 트랙 신호가 있다. 이러한 서보 신호를 얻기 위한 검출 방법은 여러 방법이 존재하며 서로 장단점이 있어 디스크 종류에 따라 선택적으로 사용되어 지고 있다.

이와는 별도로 디스크 용량이 증가함에 따라 감소하는 드라이브 마진 확보를 위한 방법으로 DVD 계열 및 BD 드라이브에 사용되고 있거나 사용될 광검출 신호의 대표적인 것으로는 디스크 기울어짐 신호와 디스크 두께에러 검출 신호가 있다.

본 논문에서는 서보 신호 및 드라이브 마진 확보를 위해 새로이 사용되고 있는 광 검출 신호에 대하여 신호 검출 원리 및 장·단점을 중심으로 기술하고자 한다.

## 2. 서보 신호

### 2.1 포커스 에러 신호

디스크와 대물렌즈 사이의 축상 거리를 제어하기 위한 포커스 신호는 디스크 편향 성분에 의해 발생하는 디스크와 대물렌즈 사이의 축상 거리 변화에 의해 발생하는 광검출기에서의 광량 변화로 검출하게 된다. 그림 1이 전형적인 픽업의 광학계 구성도로 디스크와 대물렌즈 사이의 거리  $a$ 가 디스크 편향에 의해 변함에 따라 광검출기에 맺히는 광 스폿의 모양이 그림 2와 같이 변하게 된다. 포커스 검출 신호는 광검출기에서의 이러한 변화를

\* E-mail : cschung@samsung.com

검출하는 것으로 대표적인 방법인 비점수차법과 SSD(spot size detection)법에 대하여 설명하고자 한다.

비점수차법은 CD 재생기를 비롯하여 대부분의 재생 전용 드라이브에서 사용되고 있는 방법으로 광학계 및 광검출기 구성이 간단하다. 반면 DVD-RAM<sup>(3)</sup>(random access memory)과 같은 랜드(land) 그루브(groove) 방식의 디스크 재생 시는 랜드와 그루브 영역에서 디스크 깊이 차이에 의해 발생하는 포커스 옵셋으로 사용이 불가능하다. 광학계 구성은 그림 1과 같으며 수광렌즈로 비점수차를 갖는 실린더 렌즈를 사용한다. 실린더 렌즈를 사용함에 따라 그림 2의 광검출기 x, y 축의 광 파워가 서로 달라 디스크와 대물렌즈 사이의 거리 a가 바뀔때 따라 광검출기에 맺히는 스폿의 형상이 그림 2와 같이 변하게 된다.

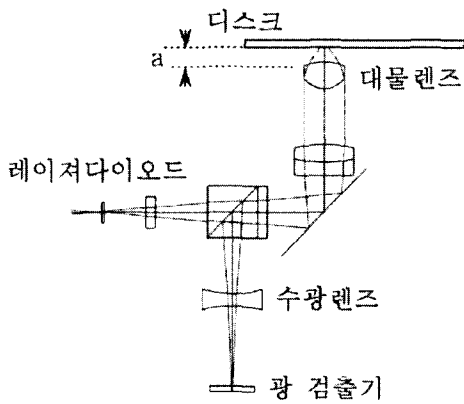


그림 1 광학계 구성도

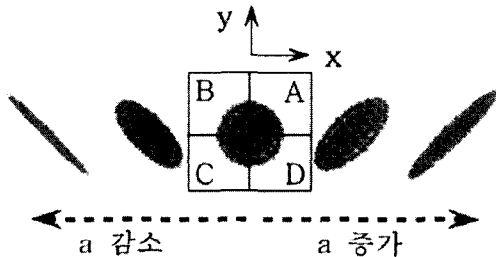


그림 2 비점수차 광검출기에서의 스폿 변화

이러한 스폿의 변화로부터 디스크와 대물렌즈 사이의 거리 a에 대한 정보를 얻기 위해 실린더 렌즈의 실린더 축을 광검출기 평면 좌표(x, y)에 대하여 45° 회전함에 따라 스폿의 변화가 대각선에 대해 대칭으로 변하게 되며 식 (1)의 연산으로 포커스 검출 신호(FES)를 얻게 된다.

$$FES = (A + C) - (B + D) \quad (1)$$

일반적인 광선추적 프로그램을 사용하여 이러한 현상의 수치해석이 가능하며 그림 3에 DVD계의 일반적인 변수를 사용하여 디스크와 대물렌즈 사이의 거리 a를 변수로 얻은 포커스에러 신호(점선)와 4개의 분할 검출기에 맞힌 전체 합 신호(실선)를 나타내었다. Y축 값은 연산 신호의 상대값을 나타낸다. 그림 3에서 X값 0은 디스크와 대물렌즈 사이 거리 a가 디스크에 맺히는 스폿이 가장 작게 맺히는 대물렌즈 설계 사양에 의해 결정되는 임의의 값에 해당하는 거리이며(즉 그림 3에서 X축 값은 이 값에 대한 상대적인 거리 차이를 표시한다) 이 경우 광검출기에 맺히는 스폿은 원형으로 식 (1)에 의한 검출 신호 값도 0이 된다.

SSD법은 비점수차법의 단점인 랜드-그루브 방식의 디스크에서 사용이 가능한 포커스 신호 검출

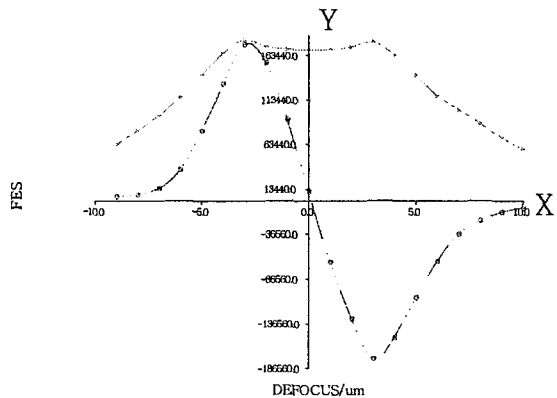


그림 3 FES 수치해석 결과

방법이다. 그림 1의 광학계 구조에서 센서렌즈 이후에 빔 분할 프리즘을 사용하여 빔을 2개로 나누고 각각의 빔으로부터 얻은 신호의 차등신호<sup>(4)</sup>로 얻게 된다.

그림 4가 수광 렌즈 이후의 광학계 구성으로 3분할된 광검출기 2개를 사용하며, 하나는 수광 렌즈 초점 앞에 또 다른 광검출기는 수광 렌즈 초점 뒤에 위치하도록 배치하여 디스크와 대물렌즈 사이의 거리  $a$ 가 변함에 따라 그림 5와 같이 스폿의 형상이 바뀌게 된다. 식 (2)가 포커스 검출 신호의 연산식으로 광검출기 1과 광검출기 2에 맺히는 스폿이 서로 상대적으로 커지거나 작아짐으로 신호를 얻게 된다.

호의 연산식으로 광검출기 1과 광검출기 2에 맺히는 스폿이 서로 상대적으로 커지거나 작아짐으로 신호를 얻게 된다.

$$FES = (a + c + e) - (d + f + b) \quad (2)$$

2.2 트랙 에러 신호

트랙 에러 신호는 디스크에 기록된 정보 신호인 피트 또는 마크와 트랙 서보를 위해 만(A): 디스크와 대물렌즈 거리가 가까울 때 들어진 그루브에 의한 회절 및 간섭 현상에 의해 발생하는 스폿의 광량 분포 변화<sup>(5)</sup>로부터 얻는다. 이를 간단히 설명하기 위하여 일차원으로 형성된 그루브 디스크에 의한 회절과 간섭에 의한 광량 변화에 대하여 살펴본다. 그림 6과 같이 대물렌즈에 의해 그루브에 집광된 광은 그루브의 주기성에 의해 회절되어 3개의 광으로 나뉘어 반사하게 되며 이들 각각의 광은 그루브 깊이 및 듀티(duty)에 의존하는 위상을 갖게 되어 집광 위치에 따라 서로 보강 또는 소멸간섭에 의해 반사된 광은 광량이 변하게 된다.

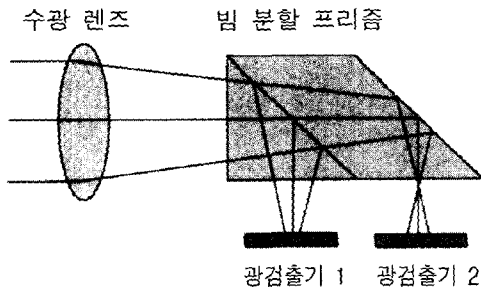
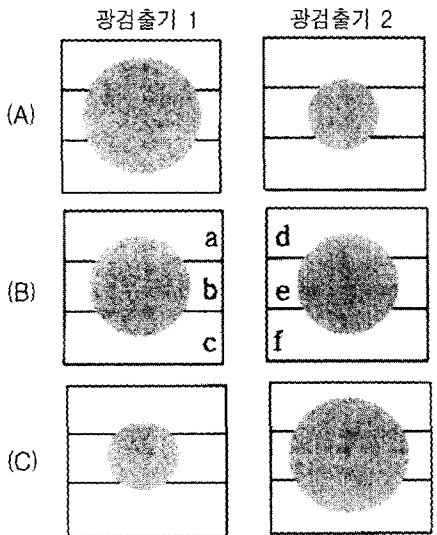


그림 4 SSD법 광학계 구성



(A): 디스크와 대물렌즈 거리가 가까울 때  
(B): 디스크와 대물렌즈 거리가 최적일 때  
(C): 디스크와 대물렌즈 거리가 멀어질 때

그림 5 SSD법에 의한 스폿 변화

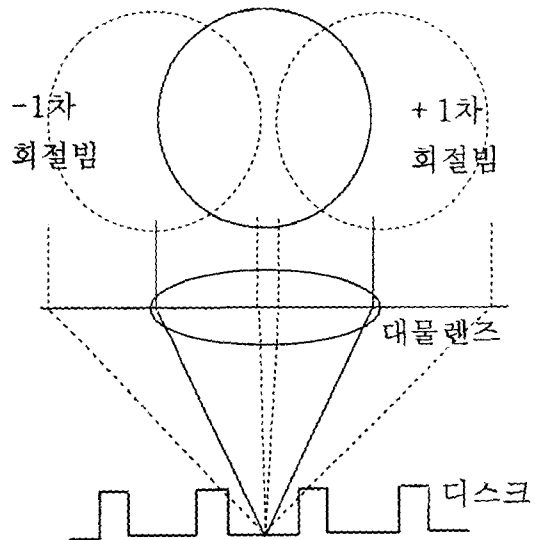


그림 6 일차원 격자에 의한 회절광

그림 7에 대물렌즈에 의해 집광된 광의 집광 위치 및 각각의 위치에서 반사된 광의 광량 분포를 표시하였다. 따라서 그림 8에 표시한 방향으로 이분할 광검출기를 배치하여 각각의 채널로부터 얻은 신호의 차 신호를 검출함으로써 디스크에서의 집광 스폿 위치의 제어가 가능하게 된다.

이는 이분할 광검출기에서 차동 신호로 검출되어 푸시풀(push-pull) 신호라고 부른다. 푸시풀 신호는 그루부 깊이 및 듀티에 의존하며 듀티가 0.5일 경우 그루부 깊이가 사용하는 파장의 1/8일 경우 가장 크며 1/4일 때는 발생하지 않는다. 본 신호의 큰 단점은 디스크 편향에 의해 발생하는 대물렌즈 라디얼 방향의 이동에 따라 광검출기에

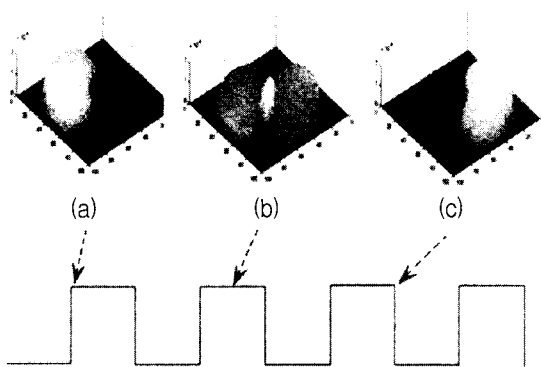


그림 7 디스크 위치에 따른 반사 회절광 광량 변화

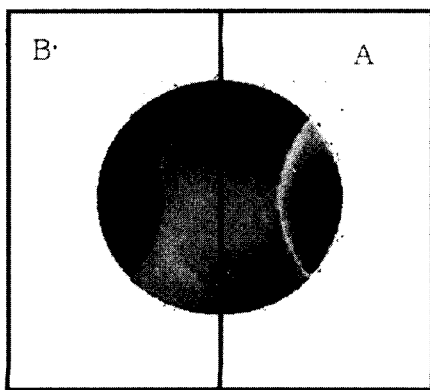


그림 8 집광 스폿과 이분할 검출기

서의 집광 스폿 이동에 의한 옵셋이 발생하는 것이다. 이를 보정하는 방법 중 대표적인 것이 DPP<sup>(6)</sup>(differential push-pull)방법으로 이는 디스크에 그림 9와 같이 회절격자를 사용하여 3개의 광을 디스크에 집광하고 각 광에서 발생하는 옵셋을 이용하여 옵셋을 제거한다.

옵셋을 제거하기 위한 연산 방법은 식 (3)과 같으며, 디스크에 맺힌 스폿 2와 3에 대응하는 이분할 검출기 b와 c에서 검출된 차동신호의 옵셋

$$DPP = TE1 - G*(TE2 + TE3) \quad (3)$$

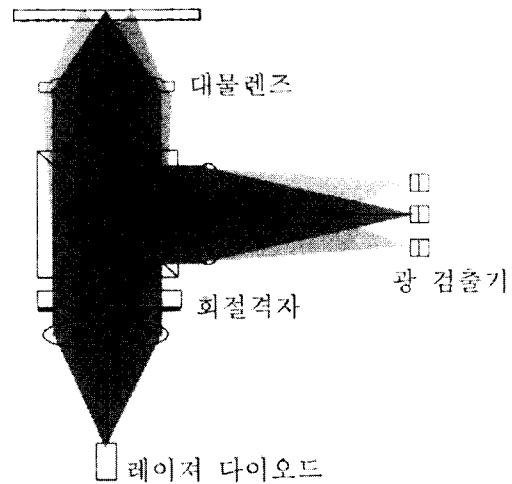


그림 9 DPP 트랙 에러 신호를 위한 광학계

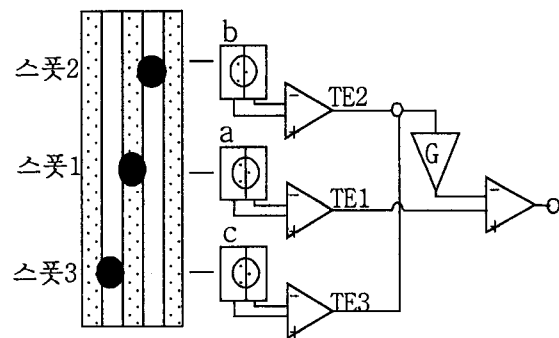


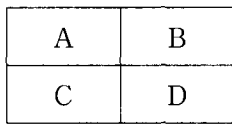
그림 10 DPP 신호 연산 블록



## 광디스크 드라이브의 진동 기술

과 주검출기  $a$ 에서 발생한 옵셋의 크기가 같도록 진폭을 게인값  $G$ 로 조절 후 상쇄가 가능하다. 이의 연산 블록은 그림 10과 같다.

한편 DVD 디스크의 등장과 함께 대부분의 DVD 재생기에서 사용되는 트랙에러 검출 신호로는 DPD(differential phase detection) 방법이



4분할 광검출기

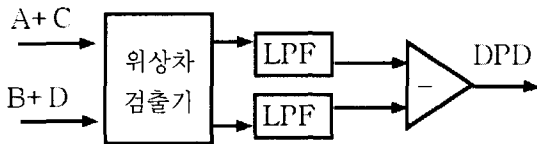


그림 11 DPD 연산 블록

있다. 이는 4분할 광검출기를 사용하여 디스크에 기록된 정보 신호로부터 반사된 광에 의한 신호를 그림 11과 같은 연산 블록으로 검출 신호의 위상 변화를 검출하여 얻게 된다.

본 방법은 디스크 편심에 의해 발생하는 대물렌즈 이동에 의한 트랙에러 옵셋 발생이 없으며 디스크 편향 등에 의한 신호 변화가 적어 DVD 재생기에 많이 채용되고 있으나 정보 신호가 없는 기록기 디스크에서는 사용이 불가하다는 단점이 있다.

### 3. 드라이브 마진 확보 신호

#### 3.1 디스크 기울어짐 검출 신호

디스크의 저장 용량을 늘리기 위한 방법으로 대물렌즈의 개구수가 증가함에 따라 디스크 기울어

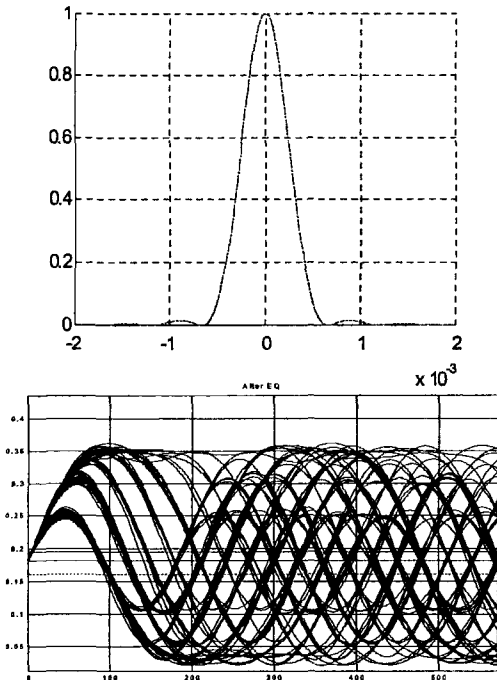


그림 12 기울어짐 0° 시 집광 스폿과 재생 신호

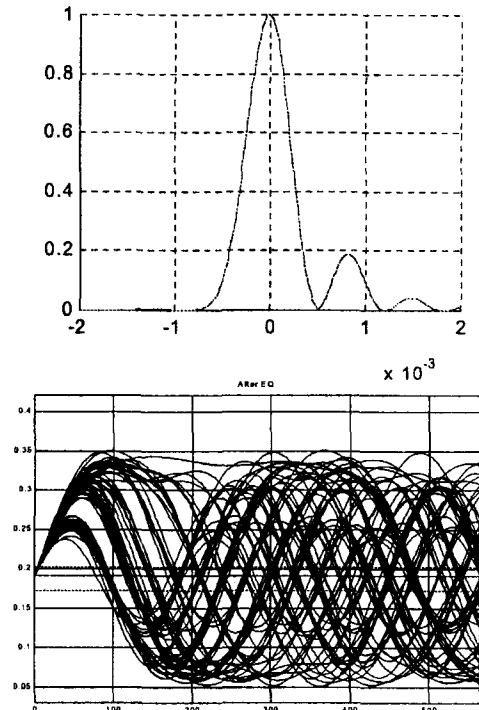


그림 13 기울어짐 0.7° 시 집광 스폿과 재생 신호

짐에 따른 집광 스폿의 찌그러짐이 심해져 기록 및 재생 신호의 품질이 열화된다. 그림 12 및 그림 13에 DVD의 경우 디스크 기울어짐  $0^\circ$ 와  $0.7^\circ$  발생 시 디스크에 집광되는 스폿의 광량분포와 재생 신호를 나타내었다.

디스크 기울어짐을 검출하는 방법은 여러 가지가 제시되고 있으며 대표적인 방법으로는 별도의 센서를 사용하는 방법, 디스크 기울어짐에 따라 변화되는 디스크와 대물렌즈 사이의 거리 변화에 의한 액추에이터 인가 전압 변화 검출 그리고 기울어진 디스크에서 반사된 광의 광량 변화를 다분할 광검출기를 이용하여 검출하는 방법 등이 있다.

여기서는 랜드 그루브 디스크의 기울어짐에 따라 반사되는 광량의 변화와 이로부터 검출되는 디스크 기울어짐 검출 방법<sup>(7)</sup>에 대하여 간단히 살펴보고자 한다. 그림 14에 광검출기 구조 및 디스

크 기울어짐에 따른 광검출기에서의 광량 변화를 표시하였다. 이는 랜드 그루브 디스크에서 회절되는  $\pm 1$ 차 회절광과 0차 회절광의 위상 분포가 디스크 기울어짐에 따라 변화하여 나타나는 현상으로 식 (4)의 연산으로 신호를 얻는다.

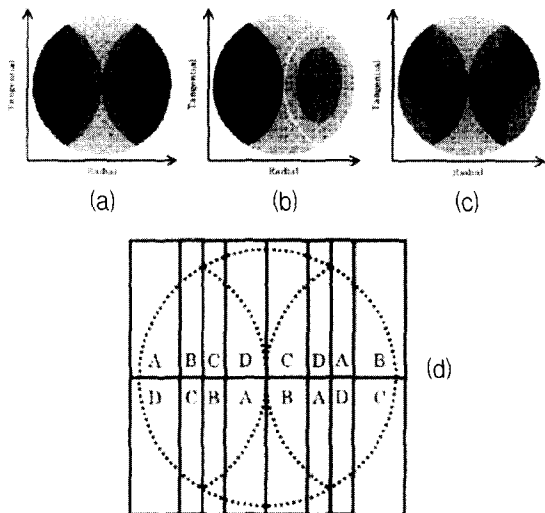
$$\text{반경방향 검출신호} : (A + D) - (B + C)$$

$$\text{접선방향 검출신호} : (A + B) - (C + D) \quad (4)$$

디스크 기울어짐에 의한 기록 재생 신호 열화를 보상하는 방법으로는 기울어짐 조정이 가능한 액추에이터<sup>(8)</sup>를 사용하는 방법과 픽업 전체를 기울이는 방법이 있다. 기울어짐 조정이 가능한 액추에이터는 기존의 2축 구동 액추에이터에 디스크 라디얼 방향으로의 기울어짐 운동이 가능하도록 별도의 자계회로를 구성하여 가능하며 최근의 DVD 계열 드라이브에 채용되고 있다. 한편 픽업 전체를 기울이는 방법은 픽업이 장착되는 기구물을 디스크에 비하여 성능이 최대가 나오도록 기울여 주는 방법으로 일부 드라이브에서 채용되고 있다.

### 3.2 디스크 두께 변화 검출 신호

광 저장기기에서의 디스크 두께가 디스크 제조상의 문제로 규격에서 정한 두께로부터 어긋날 경우 구면수차가 발생하여 디스크에 집광하는 스폿이 열화된다. DVD의 경우 디스크 두께는 기관 두께가  $0.6 \text{ mm} \pm 30 \mu\text{m}$ 의 사양으로 제조되고 있다. 본 사양에서 기관 제조 공차에 해당하는  $\pm 30 \mu\text{m}$ 가 디스크의 기관 두께 변화의 허용치를 표시하는 것으로  $\pm 30 \mu\text{m}$  이상의 값으로 제조시 구면수차의 발생으로 재생신호가 열화된다. 디스크 두께 변화에 대한 구면수차는 대물렌즈의 개구수에 따라 다르게 발생하여 저장 용량을 늘리기 위한 방법으로 대물렌즈 개구수를 0.85로 크게 사용하는 차세대 광저장기기의 경우 디스크 두께 변화에 의한 신호 열화 정도가 심해져 디스크 두께 변화



(a) 기울어짐 각  $0^\circ$   
 (b) 반경방향 기울어짐  $0.2^\circ$   
 (c) 접선방향 기울어짐  $0.2^\circ$   
 (d) 광검출기 구조

그림 14 디스크 기울어짐에 따른 광량 변화

검출 및 보상 방법들이 제시되고 있다.

그림 15에 대물렌즈에 의해 집광되는 광을 도시 하였으며, 실선으로 표시한 광은 무수차로 설계된 대물렌즈의 출사동 A로부터 상면 I에 집광되는 것을 나타내며, 점선은 두께 d를 갖는 평판이 출사동 A와 상면 I 사이에 삽입된 경우의 광 진행 경로를 표시하였다. 그림과 같이 두께가 d인 평판의 삽입으로 대물렌즈 중심축 근처를 통과하는 근축 광선의 경우 상점 O'에 맺히게 되며 대물렌즈의 외곽부를 통과하는 광은 상점 O''에 맺히게 된다. 굴절율이 n이며 두께 d인 평판의 삽입으로 근축 광선은 평판이 없는 경우 상점인 O에 비하여  $(n-1)d/n$  만큼 광축으로 거리를 두고 맺히며 광축에서 벗어난 광들은 다른 점에 맺히게 되어 결국 디스크에 맺히는 집광 스폿이 커지게 된다. 식 (5)가 두께 d인 평판이 삽입된 상태에서 최적화된 대물렌즈에서 평판의 두께가  $\Delta d$  만큼 변화 시 발생하는 구면수차를 나타낸다. 디스크 두께 변화에 의해 발생하는 구면수차는 대물렌즈 개구수의 내제곱에 비례하여 고밀도를 목적으로 대물렌즈 개구수가 증가하는 경우 디스크 두

께 변화에 의한 구면수차 발생이 매우 민감하게 된다.

여기서  $W_{40}$  : 구면수차

n : 디스크 굴절률

NA : 대물렌즈 개구수이다.

이러한 현상은 DVD 다음 세대인 광디스크 저장기기의 새로운 규격으로 용량 20 GB 이상 저장 가능한 blu-ray disc의 경우 개구수가 0.85인 대물렌즈 채용이 제안되고 있어 디스크 두께 허용량이  $\pm 2 \mu m \sim \pm 3 \mu m$  이내로 관리되어야 하는 어려움이 있다. 따라서 디스크 두께 변화를 검출하는 방법과 이를 보상하는 방법들이 최근 관련 학회에서 발표되고 있으며 본 고에서는 검출 방법 중 하나로 차동 포커스 검출 신호에 대하여 설명한다.

차동 포커스 검출 신호<sup>(9)</sup>는 디스크 두께 변화에 의해 발생하는 구면수차의 영향으로 수광렌즈 중심 부분 광과 외곽부분 광이 서로 다른 점에 집광되는 현상을 이용한다. 즉 그림 16에서 디스크 두

A : 대물렌즈

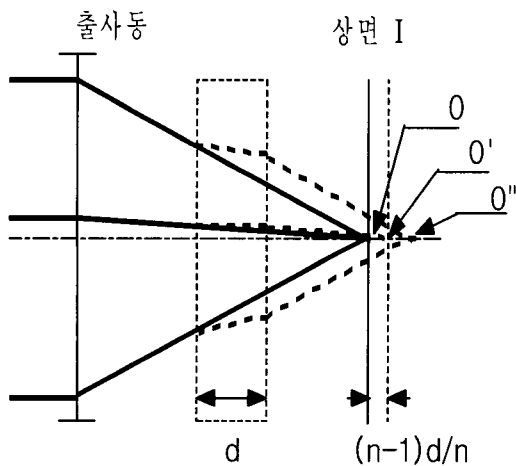


그림 15 디스크 두께 변화에 의한 수차 발생

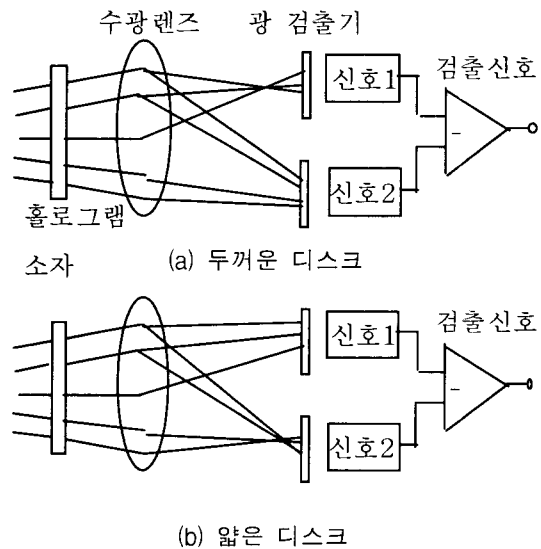


그림 16 디스크 두께 변화 검출 방법

계가 두꺼운 경우 중심부 광은 수광 렌즈에 가까운 곳에 집광되며 외곽부 광은 먼 곳에 집광된다. 한편 디스크 두께가 기준치 보다 얇은 경우 반대의 현상이 발생한다. 수광 렌즈 중심부 광과 외곽부 광을 분리하는 수단으로는 홀로그램 소자를 사용하였으며 분리된 광은 2분할 광검출기의 차동 신호로 검출되어 각 신호의 합 신호는 포커스 제어 신호로 사용하며 차등 신호로부터 디스크 두께 변화 검출 신호를 얻는다.

#### 4. 맺음말

이 글에서는 광디스크 드라이브에서 사용되고 있는 광신호 검출 기술에 대하여 살펴보았다. 광디스크 제조상 발생하는 디스크의 편향 및 편심에 의한 디스크와 대물렌즈 사이의 공간적인 위치 제어를 위한 포커스 검출 신호 및 트랙 검출 신호에 대하여 대표적인 검출방법을 살펴보았다. 또한 광저장기기의 기록 밀도가 올라감에 따라 필요가 되고 있는 디스크 기울어짐 검출 신호 및 디스크 두께 변화 신호에 대하여 기술하였다. 이러한 광 검출 신호는 광디스크에서 회절 반사된 신호의 광량 변화가 다분할 광검출기를 사용하여 검출되며, 검출되는 신호는 검출하고자 하는 신호 성분 이외의 변화에 대하여는 무관한 특성을 유지하여야 한다. 한 예로 디스크 기울어짐 검출 신호는 포커스 제어 정도 및 트랙 제어 정도에 무관하게 일정한 크기와 민감도를 가지고 디스크 기울어짐에 의하여만 발생되어야 사용이 가능하다. 특히 광디스크 저장기기의 고 밀도화와 더불어 줄어드는 시스템 마진 향상을 위한 디스크 기울어짐 검출 신호 및 디스크 두께 검출 신호 등은 검출 방법에 따른 실용성 및 신호의 신뢰성에 따라 시스템 성능에 미치는 영향이 큼으로 여러 종류의 방법들이 현재 제시되고 있으며 이를 이용한 제어 결과들이 발표되고 있다.

#### 참고 문헌

- (1) Ohara, S., Akahira, N. and Ishida, T., 1996, "High Density Recording Technology on Phase Change Disk System", ISOM/ODS'96, pp. 32~34.
- (2) Ichimura, I., Masuhara, S., Nakano, J., Kasami, Y., Yasuda, K., Kawakubo, O. and Osato, K., 2002, "On Groove Phase Change Optical Recording for a Capacity of 25GB", SPIE, Vol. 4342, pp. 168~177.
- (3) Miyamoto, M., Ando, K., Anzai, Y., Hirotsune, J., Ushiyama, T., Toda, H., Kando, M., Terao, T., Nishida, and Maeda, T., 1998, "4.7 GB DVD-RAM", ODS'98, pp. 142~144
- (4) Oka, M., Fukumoto, A., Osato, K. and Kubota, S., 1987, "A Focus Servo Method for Magneto-optical Disk Systems", ISOM'87, pp. 187~190.
- (5) Mansuripur, M., 1995, "The Physical Principles of Magneto-optical Recording", Cambridge University Press, pp. 29~33.
- (6) Ohsato, K., 1986, "A New Tracking Servo Method", Optical Memory Symposium'86, pp. 127~132.
- (7) Katayama, R., Meguro, S. and Yamanaka, Y., 2000, "Radial and Tangential Tilt Detection for Rewritable Optical Disks" ISOM2000, pp. 86~87.
- (8) Choi, I. H., Hong, S. N., Suh, M. S., Son, D. H., Kim, Y. J., Park, K. W. and Kim, J. Y., 2001, "3-Axis Actuator in Slim Optical Pick-up for Disc Tilt Compensation", ODS'01, pp. 178~180.
- (9) Shimano, T., Umeda, M. and Ariyoshi, T., 2000, "Spherical Aberration Detection for HD-DVD Optical Pickups", ISOM '00, pp. 242~243.