



광디스크 드라이브의 진동 제어 기술

진 경 복* · 이 문 노**
(*한국기술교육대학교, **동의대학교)

1. 머리말

현재까지 광디스크와 광디스크 드라이브가 개발되어온 경향은 크게 보면 다음 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째는 데이터의 기록 및 재생 속도를 증가하기 위하여 디스크의 회전속도를 증가하는 것이고, 둘째는 일정한 디스크 크기에 가능한 많은 데이터를 저장하기 위하여 고밀도의 디스크를 개발하는 방향으로 추진되어왔다. 이미 CD계열 디스크의 기록 및 재생은 물리적으로 한계 회전속도까지 도달했다고 볼 수 있고, DVD계열 디스크의 재생은 한계 회전속도까지 왔지만 기록은 아직 초보적인 단계라고 할 수 있다. 이와 같이 고배속/고밀도의 디스크에서 안정적으로 데이터를 기록/재생하기 위해서는 레이저 빔의 초점을 제어하는 고정도의 서보 시스템 설계가 필요하다. 특히 디스크의 고속 회전으로 인한 디스크 진동 성분은 종래의 제어 기술로는 만족할만한 성능을 얻을 수 없기 때문에 새로운 제어 기술들이 많이 적용되고 있다. 본 논문에서는 진동 제어 기술에 대해 전반적으로 살펴본다.

광디스크는 제조 상태에 따라 편향, 편심, 편중심을 가지고 있다. 편향은 안쪽 트랙의 기록면과 바깥쪽 트랙의 기록면이 평탄하지 않게 디스크가

제조되었기 때문에 나타나는 현상으로 디스크가 회전하게 되면 디스크의 데이터 기록면이 디스크의 수직 방향으로 움직이게 된다. 디스크의 회전에 의해 기록면의 위치가 이동하는 범위는 디스크의 편향량 (편향 성분의 정도)에 따라 달라지는데 최대 편향량은 $\pm 500 \mu\text{m}$ 정도이다. 편심은 디스크의 회전축과 트랙의 중심이 일치하지 않기 때문에 나타나는 현상으로 디스크가 회전하면 편심에 의해 레이저 빔이 트랙의 중심에 있지 못하고 트랙을 벗어나게 된다. 레이저 빔이 트랙을 벗어나는 정도는 디스크의 편심량에 따라 달라지는데 최대 편심량은 $\pm 300 \mu\text{m}$ 정도이다. 편중심은 디스크의 정중심이 무게 중심이 아니기 때문에 나타나는 현상으로 저배속에서는 영향이 거의 없지만 배속이 증가하게 되면 디스크의 편심 및 편향 성분을 증가시켜 트래킹 및 포커스 제어를 어렵게 한다. 이러한 디스크의 편향, 편심, 편중심은 디스크가 회전함에 따라 디스크의 수평, 수직 방향에 진동이 발생하게 되고 포커스, 트래킹 제어 시스템에서 제어하여야 할 가장 큰 외란이 된다. 편향 성분은 포커스 제어에 영향을 주는 포커스 외란이 되고 편심 성분은 트래킹 제어에 영향을 주는 트래킹 외란이 된다. 편중심 성분은 고배속에서 트래킹 및 포커스 제어하는데 외란이 증가하게 한다.

재생 및 기록 속도를 증가시키기 위해 디스크를 고속으로 회전시키면 디스크의 고속 회전으로 인

E-mail : * kbjin@kut.ac.kr, ** mnlee@dongeui.ac.kr

해 광디스크 드라이브에 진동과 소음이 많이 발생하게 된다. 디스크의 진동 크기는 드라이브를 구성하는 메카니즘 설계 정도와 디스크 장착 상태에 따라 많이 달라진다. 그리고 편향, 편심, 편중심 성분이 큰 디스크일수록 진동 성분이 크게 나타나고 배속이 증가할수록 진동 성분의 주파수가 증가하기 때문에 높은 루프 게인과 높은 대역폭을 갖는 서보 시스템이 필요하게 된다.

광디스크 드라이브에서 발생하는 진동 성분이 증가하면 안정적인 기록 재생을 위해 더욱 정밀한 제어 기술이 필요하게 된다. 만약, 설계된 서보 시스템에서 제어할 수 있는 진동의 범위를 벗어나게 되면 안정적으로 데이터를 재생하거나 기록할 수 없게 된다. 그래서 아직까지 대부분의 광디스크 드라이브에서는 디스크의 편향, 편심, 편중심 성분을 측정하여 편향, 편심, 편중심 성분이 큰 특수 디스크이면 최대 배속을 제한하는 알고리즘을 사용한다. 현재 대부분의 광디스크 드라이브 회사들은 배속이 증가함에 따라 증가하는 진동 성분의 영향을 최소화하기 위해 종래의 제어 방식 대신 학습 제어, 강인 제어, DOB(disturbance observer) 제어 등의 고급 제어 기술을 적용하고 있고 디스크마다 배속에 따라 진동량을 측정하여 최적의 서보 시스템을 설계하려는 노력을 하고 있다.

본 논문에서는 종래의 제어 기술에 대해 간단히 설명하고 현재까지 적용되고 있는 제어 기술들의 장단점에 대해서도 간단히 살펴본다. 그리고 제어 기술의 발전 방향에 대해서도 간단히 살펴본다.

2. 진동 제어 원리 및 종래의 제어 기술

광디스크 드라이브는 데이터 기록 재생을 위한 광픽업, 디스크를 회전시키기 위한 스피들 모터, 광픽업이 디스크의 기록면에 초점을 맞추기 위한 포커스 서보, 디스크의 트랙 중심에 레이저 빔을

추종하기 위한 트래킹 서보, 임의의 트랙으로 레이저 빔을 빠르게 이동하기 위한 트랙 점프 서보로 구성된다. 기록 재생을 위해 레이저 광원에서 대물렌즈를 통해 광이 디스크에 출력되고 디스크에서 반사되는 광은 포토 다이오드에 맺혀 서보 제어를 위한 여러 신호 검출에 사용된다.

디스크의 회전축과 트랙의 중심은 다음의 그림 1과 같이 일치하지 않기 때문에 디스크가 회전하게 되면 편심에 의해 트래킹 에러는 정현파 형태의 신호가 출력된다.

레이저 빔이 트랙을 추종하지 않으면 항상 동일한 트랙 위치에 존재하기 때문에 트래킹 에러는 DC값이 출력되어야 한다. 그러나 디스크의 편심 때문에 마치 레이저 빔이 트랙 바깥쪽으로 움직였다가 다시 트랙 안쪽으로 움직이는 현상이 디스크 회전 주파수의 주기로 반복하여 나타난다. 그림 1에서 하나의 정현파는 레이저 빔이 한 트랙을 벗어남을 의미하는데 디스크의 편심량이 클수록 트랙을 벗어나는 정현파의 수가 많아져 높은 트래킹 루프 게인이 필요하다. 그리고 배속이 증가함에 따라 트랙을 벗어나는 정도인 편심 속도가 증가하게 되므로 트래킹 서보의 대역폭이 증가하여야 한다. 편심 성분이 큰 디스크와 높은 배속에서도 트랙 추종 성능을 유지하기 위해서는 높은 트래킹 루프 게인과 서보 대역폭이 필요한데 이로 인해 트래킹 서보 설계는 더욱 어렵게 된다. 디스크의 편향 성분에 의한 포커스 서보에의 영향은 편심에

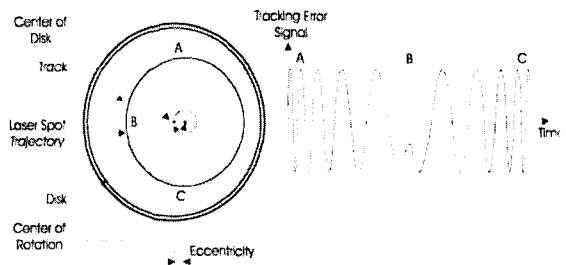


그림 1 정현파 형태의 트래킹 에러



광디스크 드라이브의 진동 기술

의한 트래킹 서보에의 영향과 거의 동일하기 때문에 본 논문에서는 트래킹 서보를 토대로 진동 제어 기술을 설명한다.

디스크가 회전하면 디스크 편심 성분은 트래킹 서보에서 제어하여야 하는 외란으로 나타나게 된다. 트래킹 외란은 디스크 회전 주파수에서 가장 큰 성분을 가지게 되고 디스크 회전 주파수의 정수 배에 해당하는 주파수에서 상대적으로 큰 성분이 발생한다. 이것은 광디스크 드라이브와 같은 회전체 시스템에서 일반적으로 나타나는 현상이다.

그림 2는 트랙 추종 시스템의 간단한 블록도를 나타낸 것이다. 레이저 빔이 디스크의 트랙을 정밀하게 추종하도록 하는 트랙 추종 시스템은 센서블럭 $K(s)$, 트래킹 제어기 $C(s)$, 드라이버 $V(s)$, 트래킹 액추에이터 $P(s)$ 로 구성된 선형 시스템으로 간단히 나타낼 수 있다. 트래킹 에러 $e(t)$ 는 포토 다이오드에서 검출한 후 센서 계인으로 증폭되는데 고유적으로 디스크의 편심적인

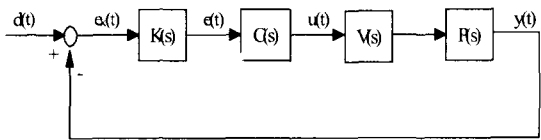


그림 2 트랙 추종 시스템의 블록도

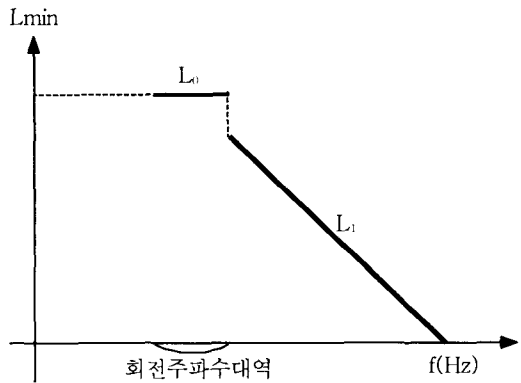


그림 3 트랙 추종을 위한 최소 루프 게인

회전에 의해 발생하는 정현파 외란 $d(t)$ 을 포함하게 된다. 트래킹 에러는 트래킹 제어기에 의해 보상이 되고 트래킹 제어기 출력 $u(t)$ 는 드라이버를 통해 트래킹 액추에이터에 인가된다.

편심에 의해 발생하는 트래킹 외란에 대해서 트래킹 에러가 항상 허용 에러 범위 내에 존재하기 위해 트래킹 루프 게인 $L(s)$ 은 그림 3의 최소 루프 게인 L_{min} 보다 커야 한다. 트랙 추종을 위한 최소 루프 게인은 최대 진동량과 최대 진동 가속도를 이용하여 구할 수 있다. 광디스크 드라이브에서 발생하는 특정 주파수의 진동을 다음의 식과 같이 정현파 $d(w)$ 로 나타낸다면 최대 가속도는 두 번 미분한 최대값으로 구할 수 있고 최대 가속도를 이용하여 각 주파수별 진동량 dw 는 최대 진동 가속도를 주파수의 제곱으로 나눈값으로 구할 수 있다.

$$d(w) = dwsin wt, \\ a(w) = -dw w^2 sin wt, dw = \frac{a_{max}}{w^2} \quad (1)$$

디스크 회전 주파수보다 큰 주파수의 최대 진동량은 최대 진동 가속도를 주파수의 제곱으로 나눈 값으로 구할 수 있다. 그러나 각 주파수에서 계산한 최대 진동량은 최대 진동량보다 클 수 없기 때문에 진동량의 주파수 특성은 그림 3과 같은 형태가 된다. 위의 수식에 의해 구한 각 주파수별 진동량은 트래킹 서보 설계를 위한 최소 루프 게인을 구하는데 사용된다. 최소 루프 게인은 진동량을 허용 에러값으로 나눈 값으로 정의되는데 저주파 최소 루프 게인 L_0 는 최대 진동량을 허용 에러로 나누어서 구하게 되고 고주파 최소 루프 게인 L_1 은 주파수별로 구한 진동량을 허용 에러로 나누어서 구하게 된다.

$$L_0 = 20 \log_{10}(d_{max} / e_{max}), \\ L_1 = 20 \log_{10}(a_{max} / w^2 e_{max}) \quad (2)$$

최대 진동량과 최대 진동가속도에 의해 구한 최소 루프 게인을 토대로 트래킹 서보는 트래킹 루프 게인이 최소 루프 게인보다 크고 충분한 위상 마진과 게인 마진이 확보되도록 트래킹 제어기를 설계한다. 지금까지 설명한 방법이 종래의 진동 제어 설계 방법인데 포커스 서보를 설계할 때에도 동일한 방법을 사용한다.

종래의 진동 제어 기술의 가장 큰 문제점은 디스크의 최대 진동량과 진동 가속도를 정확하게 알 수 없다는 것이다. 1배속에 대한 데이터만 규격집에 나와 있고 배속이 증가함에 따라 최대 진동량과 진동 가속도가 어떻게 변하는지에 대한 데이터가 없다. 그래서 배속이 증가함에 따라 최소 루프 게인을 정확하게 구할 수 없고 설계자의 경험을 토대로 설계와 실험을 반복하면서 제어기를 설계하여야 한다. 이러한 종래의 제어 기술은 대응하여야 하는 디스크의 종류와 배속이 많아짐에 따라 제어기 설계 시간이 길어질 수 있다는 단점이 있다. 그래서 최근에는 배속과 디스크 종류에 따라 포커스, 트래킹 진동량을 측정하는 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾ 정밀하게 진동량을 측정하는 방법이 있다면 디스크 종류마다 그리고 각 디스크의 배속마다 진동량을 주파수별로 직접 측정하여 최소 루프 게인을 좀 더 정확하게 얻을 수 있고 이를 토대로 제어기를 설계한다면 짧은 시간에 최적의 시스템을 설계할 수 있다. 초기의 진동량 측정 방법은 포커스 서보와 트래킹 서보를 구동하지 않고 디스크 회전 배속을 변화시키면서 최대 편향량, 최대 편심량, 최대 편향 가속도, 최대 편심 가속도 등을 측정하였다. 그러나 최근에는 포커스, 트래킹 서보를 구동하면서 에러 신호, 제어 입력 등의 서보 신호를 이용하여 실시간으로 진동량을 측정하는 방법에 대해 많이 연구하고 있다. 최근연구⁽¹⁾에서 광디스크 드라이브를 구동한 상태에서 액추에이터 감도 변화나 디스크 반사율 변화를 고려한 실시간 진동량 측정 방법을 제안하

였다. 진동량 측정 방법은 종래의 제어 방법에서 최적의 시스템을 설계할 수 있게 하지만 진동량이 큰 디스크나 배속 증가에 따른 제어 대역폭 증가 등의 근본적인 문제점을 해결하지는 못한다. 다만, 진동량 측정을 통해 최적 시스템 설계, 디스크별 최대 배속 설정 등을 좀 더 정확하게 할 수 있다.

3. 적용 제어 기술 장단점

종래의 제어 기술은 최대 진동량과 진동 가속도를 정확하게 알아야 하지만 최근에 적용되고 있는 제어 기술들은 진동의 종류, 형태, 크기에 상관없이 강인한 서보 시스템을 설계할 수 있다. 3장에서는 현재까지 적용되고 있는 제어 기술들에 대해 간단히 알아보고 장단점에 대해 설명한다.

3.1 강인 제어 기술

H_{∞} , μ -분석 및 설계 등의 강인 제어 기술들은 다양한 형태의 외란에 대해 만족할 만한 성능을 얻기 위해 많이 사용된다. 종래의 제어 기술에서는 외란의 형태를 주파수별로 정확히 알아야 하지만 강인 제어 기술에서는 외란의 전체적인 크기만을 정의하면 가중 함수 등을 사용하여 안정적이고 성능을 보장하는 제어 시스템을 설계할 수 있다.

광디스크 드라이브에서도 많은 강인 제어 기술들이 적용되어 왔고 많은 연구가 진행되어 왔다.⁽²⁻⁴⁾ 대부분의 강인 제어 방법들은 새로운 제어 블록을 추가함이 없이 적용할 수 있기 때문에 종래 제어 블록과 같이 구현은 간단히 할 수 있다. 그러나 외란의 특성을 정확하게 모델링하지 않기 때문에 정밀한 성능을 요구하는 시스템에서는 효율적이지 못한 단점이 있다. 즉, 강인 제어 기술은 어떤 외란에도 시스템이 강인 안정한 제어를 설계하는 것이 가장 큰 목적이기 때문에 광디스크 드라이브와 같이 외란의 형태가 정형화되

어 있는 시스템에서는 효율적이지 못하다. 그래서 다목적 제어 방법과 같이 강인 제어에 성능을 보장하는 별도의 설계 방법이 추가되어야 효율적인 제어를 설계할 수 있어 제어 시스템 설계가 복잡해진다.⁽²⁾

3.2 학습 제어 기술

학습 제어 기술은 회전체 시스템과 같이 주기적인 외란이 있는 경우 외란의 주파수에 대한 루프 게인을 주기가 증가함에 따라 점점 증가시켜 특정 주파수의 외란의 영향을 완전히 제거해주는 알고리즘이다.

일반적인 반복 제어 시스템의 블록도는 그림 4와 같고 반복 학습 제어기 형태는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u^K(t) &= u_{ff}^K(t) + u_{fb}^K(t), \\ U_{ff}^{K+1}(s) &= P_f(s) U_{ff}^K(s) + Q_f(s) u_{fb}^K(s), \\ U_{fb}^K(s) &= C(s)E^K(s) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $u_{ff}(t)$ 는 학습 제어기의 출력, $u_{fb}(t)$ 는 피드백 제어기의 출력, K 는 K 번째 주기, $K+1$ 은 $K+1$ 번째 주기를 나타낸다. 학습 제어기 출력은 이전 주기의 학습 제어기 출력과 피드백 제어기 출력을 토대로 만들어지기 때문에 이전 주기의 데이터들을 메모리에 매주기마다 저장하여야 한다. 학습 제어기 출력을 기존의 피드백 제어기에 첨가

하면 주기가 진행될수록 에러의 크기가 점점 작아져서 결국 에러는 0이 된다. 즉, 주기가 진행될수록 학습 제어기 출력은 에러가 점점 작아지는 방향으로 학습되어진다. 반복 학습 알고리즘은 특정 주파수의 외란의 영향을 제거하는 데는 효과적이지만 그 밖의 형태의 외란에 대해서는 시스템의 안정도 여유를 감소하게 하여 시스템을 더 불안하게 할 수 있으므로 주기적인 외란의 영향이 큰 시스템에만 적용해야 하는 단점이 있다.

광디스크 드라이브에서 편향, 편심, 편중심 성분은 디스크의 회전에 의해 주기적인 외란으로 나타나기 때문에 반복 학습 알고리즘을 적용하기가 적합한 시스템이다. 반복 학습 알고리즘은 외란의 크기에 상관없이 주기적인 외란을 효율적으로 제거할 수 있기 때문에 그림 4의 제어 시스템을 디스크와 배속에 상관없이 적용할 수 있다.⁽⁵⁾ 포커스 서보나 트랙킹 서보에 반복 학습 알고리즘을 적용하면 포커스, 트랙킹 에러가 허용 범위 안에 존재할 때까지 매주기마다 계속 학습 제어기의 출력을 update하여 포커스, 트랙킹 제어기 출력에 더해줌으로써 편향량, 편심량, 편중심량이 큰 디스크도 안정적으로 제어할 수 있게 된다. 그러나 매주기마다 학습하는 알고리즘을 하드웨어로 구현하면 복잡하고 제품의 단가에 문제가 있기 때문에 대부분의 광디스크 드라이브에 적용되는 알고리즘은 구현상의 편이를 위해 제어기가 적용할 때마다 학습을 계속하는 알고리즘 대신 어느 정도 학습하면 학습된 데이터를 저장하였다가 다음 주기부터는 저장한 학습 제어기 출력을 피드백 제어기에 더해 주는 알고리즘을 사용한다. 현재 대부분의 광디스크 드라이브에 사용되고 있는 서보칩에는 편심 보정을 위해 반복 학습 알고리즘이 구현되어 있다. 광디스크 드라이브에서는 FG신호로부터 한 주기 경과를 알 수 있기 때문에 반복 학습 알고리즘도 FG신호를 사용하여 구현된다. 한 주기 동안 몇 개의 학습 데이터를 저장하느냐는 반복 학습 제어

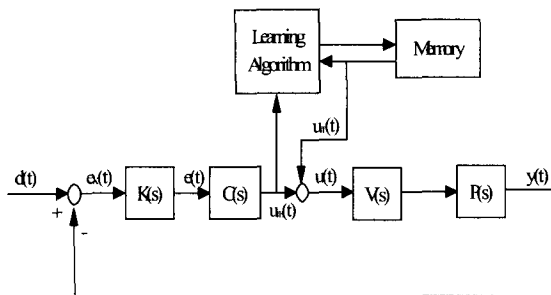


그림 4 반복 제어 시스템의 블록도

기 성능과 밀접한 관계가 있다. 많은 데이터를 저장하면 성능은 좋지만 구현상의 문제가 발생할 수 있으므로 대부분의 서보칩에서는 가능한 작은 데이터를 저장하는 알고리즘을 사용하고 있다.

광디스크 드라이브는 기록 재생 조건에 따라 배속이 자유롭게 바뀌기 때문에 이전 배속에서 학습한 학습 데이터를 다음 배속에서 어떻게 사용할 것인지에 따라 배속 변화에 따른 반복 학습 알고리즘이 달라지게 된다. 배속이 달라졌을 때 이전 배속의 학습 데이터를 그대로 사용할 수도 있으나 학습 알고리즘의 성능을 계속 유지하기 위해서는 배속 변화 후 학습 과정을 다시 반복하는 것이 좋다. 이런 경우 학습 초기 데이터로 이전 배속에서 학습한 데이터를 사용하면 학습 시간을 많이 줄일 수 있다. 만약, 성능을 위해 많은 데이터를 저장하는 경우 배속 변화에 따라 데이터를 interpolation 해야 하는 문제점도 있다. 위와 같이, 반복 학습 알고리즘을 광디스크 드라이브의 진동 제어를 위해 사용하는 경우 구현상의 문제나 배속이 달라질 때 알고리즘의 재적용 등 복잡한 면은 있으나 현재까지는 가장 효율적으로 적용되고 있는 제어 기술이다. 그리고 트랙 추종과 트랙 점프를 반복하는 상황에서도 효율적으로 적용할 수 있는 장점이 있다.

3.3 DOB(disturbance observer)

학습 제어 기술과 같이 DOB도 주기적인 외란을 효율적으로 제어하기 위한 제어 기술이다. 반복 학습 알고리즘이 이전 주기의 트래킹 제어기 출력을 다음 주기에 더하여 주기적인 외란의 영향을 점점 줄이는 구조인 반면에 DOB는 주기적인 외란 성분을 출력이나 에러에서 추출하여 제어기에 더해줌으로써 주기적인 외란의 영향을 최소화 하는 제어 기술이다. DOB 제어 시스템의 블록도는 그림 5와 같다.

DOB는 플랜트 불확실성이 존재하여도 주기적인 외란을 효율적으로 제거할 수 있다는 장점이 있으며 DOB 성능은 Q 필터를 어떻게 설계하느냐에 달려있다. Q 필터는 일반적으로 1차나 2차의 저주파 필터로 구성되기 때문에 디스크 회전 주파수를 고려하여 필터의 대역이 적절하게 선택되어야 한다. 트랙 점프 시스템과 같이 주기적인 외란 이외의 저주파 외란이 존재하는 시스템에서 주기적인 외란을 제거하기 위해 DOB를 적용하면 시스템이 더 불안해지는 단점을 가질 수 있다.

DOB는 반복 학습 시스템과 달리 이전 주기의 제어 입력과 에러를 저장하기 위해 메모리를 사용하지 않기 때문에 반복 학습 제어 시스템보다 구현이 간단하다. 그리고 실시간으로 주기적인 외란을 보상하는 출력을 만들어주기 때문에 응답 특성이 반복 학습 알고리즘보다 빠르다는 장점이 있다. 그러나 shock 등의 순간적으로 발생하는 외란에 대해서 DOB는 반복 학습 시스템보다 더 민감하게 반응하기 때문에 시스템이 더 불안해질 수 있는 단점이 있다. 반복 학습 알고리즘은 학습한 데이터를 메모리에 저장하기 때문에 반복 제어를 다시 실행하는 경우 저장된 데이터를 다시 사용할 수 있지만 DOB는 학습 데이터를 저장하지 않기 때문에 초기 안정화 시간은 항상 필요하게 된다.

3.4 트랙 점프시의 진동 제어 기술

광디스크 드라이브의 경우 디스크에 따라 배속

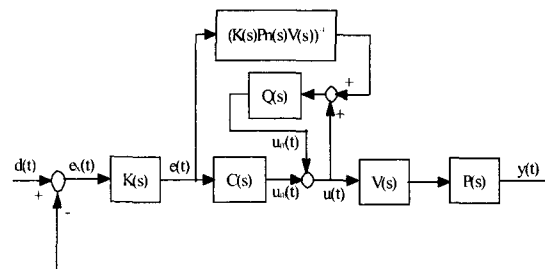


그림 5 DOB의 구성도

변화도 자주 발생하고 트랙 추종과 트랙 점프도 수시로 반복한다. 트랙 추종은 트랙을 추종하기 위해 위치 제어를 하고 트랙 점프는 특정 트랙으로 안정하게 이동하기 위해 속도 제어를 하므로 두 제어 시스템의 제어 구조는 다르게 된다. 그러나 편심에 의한 영향은 항상 동일하게 주기적인 외란으로 나타나게 된다. 편심에 의한 영향은 트랙 점프 시스템에서 속도 외란으로 나타나고 배속이 증가함에 따라 속도 외란의 크기는 증가하게 된다. 그래서 어느 정도 이상의 고배속이 되면 트랙 추종 후 안정적으로 트랙 추종을 시작할 수 없게 된다.⁽⁷⁾ 트랙 점프 종료 후 안정적으로 트랙 추종을 시작하기 위해서는 트랙 점프 동안에도 편심 성분을 제어하고 있어야 한다. 다음의 그림 6은 편심을 보상하기 위해 편심 보정 제어기 $C_f(s)$ 가 포함된 트랙 점프 시스템의 블록도를 나타낸다.⁽⁸⁾

트랙 점프 후 트랙 추종을 안정적으로 할 수 없으면 광픽업은 속도가 안정화될 때까지 기다려야 하고 기다리는 동안 목표 트랙을 많이 벗어나게 되어 다시 목표 트랙으로 이동하기 위한 트랙 점프를 실행하게 된다. 이런 이유로 인해 배속이 증가함에 따라 트랙 점프 시간이 증가하게 되는데 배속이 증가하더라도 트랙 점프 시간이 유지되기 위해서는 트랙 점프 시에도 편심을 보상해주는 블록이 그림 6과 같이 포함되어 있어야 한다. 즉, 트랙 추종 시와 같은 형태의 편심 보정 출력이 트랙 점프 시에도 계속 출력되어야 트랙 점프를 안정적으로 실행할 수 있다.

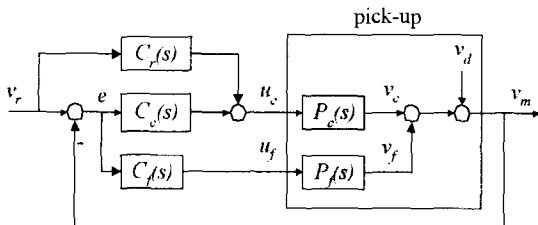


그림 6 편심 보정을 고려한 트랙 점프 구성도

그림 6과 같은 편심 보정 블록을 포함하지 않는 경우에 효율적인 진동 제어 방법은 반복 학습 알고리즘을 사용하는 것이다. 트랙 추종에서 학습한 학습 데이터를 트랙 점프 동안에도 편심 보정을 위해 계속 사용한다. 편심 보정을 위해 출력되는 학습 제어 출력은 시스템의 안정도를 고려하여 게인에 의해 크기가 조절된다. 이런 방법으로 속도 제어에 영향을 받지 않고 반복 학습 알고리즘은 편심 보정 출력을 출력할 수 있다. 그러나 DOB를 트랙 점프 동안에 사용하면 제어되지 않은 속도 에러의 저주파 성분이 보상 출력에 나타나기 때문에 시스템은 더욱 불안하게 된다. 그래서 트랙 추종 시 진동 제어를 위해 DOB를 사용하는 경우 트랙 추종에서는 DOB를 구동하고 트랙 점프에서는 DOB를 OFF 하는 스위칭 알고리즘이 별도로 있어야 한다.

4. 맺음 말

이 글에서는 광디스크 드라이브에 적용되는 진동 제어 기술에 대해 장단점을 살펴보았다. 배속이 증가됨에 따라 편향, 편심, 편중심 등에 의한 진동 성분의 영향이 더욱 증가하게 되므로 종래의 제어 기술로는 효율적으로 진동 성분을 제어할 수 없다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 반복 학습 제어 기술, DOB 제어 기술 등의 고급 제어 기술들이 광디스크 드라이브에 적용되어 왔고 검증된 알고리즘들은 고배속의 서보 칩에 구현되고 있다.

광디스크 드라이브의 진동 제어 기술은 트랙 추종과 트랙 점프 모두에 효율적으로 적용되어야 하므로 기존의 이론에 실험을 통한 알고리즘 보완 작업이 반드시 필요하다. 또한 적용되는 알고리즘은 배속 변화에도 효율적으로 대응할 수 있어야 하며 구현하기도 간단해야 한다.

현재까지 진동의 영향을 최소화하기 위해 드라

이브를 구성하는 메커니즘 설계보다는 서보 알고리즘을 효율적으로 적용하는데 초점을 맞추어왔다. 그러나 근본적으로 진동의 영향을 최소화하기 위해서는 광디스크 드라이브의 메커니즘 설계 단계에서 진동 발생 요인을 충분히 고려하여 진동 발생이 최소화되도록 설계하는 것이 중요하다. 메커니즘 설계 단계에서 진동 발생을 최소화한 후에도 남은 진동 성분은 본 논문에서 소개한 진동 제어 기술을 적용하면 효과적으로 대응할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 최진영, 전찬호, 김홍걸, 이문노, 양현석, 박영필, 2001, "페루프 외란 검출기를 통한 광디스크 외란 추정," 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 1166~117.
- (2) Lee, M. N., Moon, J. H., Jin, K. B. and Chung, M. J., 1998, "Robust H_{∞} Control with Multiple Constraints for the Track-following System of an Optical Disk Drive," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 4, pp. 638~645.
- (3) Steinbuch, M., Schootstra, G. and Bosgra, O. H., 1992, "Robust Control of a Compact Disk Player," CDC92, Arizona, USA, pp. 2596~2600.
- (4) Kamoshita M. and Fujita, M., 1995, "Tracking Control of a Optical Disk Drive Using μ -analysis and synthesis," in Proc. Conf. Dec. Contr., pp. 873~874.
- (5) Moon, J. H., Lee, M. N., Chung, M. J., Jung, S. Y. and Shin, D. H., 1996, "Track-following Control for Optical Disk Drives Using an Iterative Learning Scheme," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 42, No. 2, pp. 192~198.
- (6) Fujiyama, K., Katayama, R., Hamaguchi, T. and Kawakami, K., "Digital Controller Design for Recordable Optical Disk Player Using Disturbance Observer," AMC2000, Nagoya, Japan, pp. 141~146.
- (7) Suzuki, M., Tanaka, H. and Miura, Y., 1990, "Pull-in Condition and Method of Tracking Servo in Optical Disk Drive," J. Inst. Television Jpn. Vol. 44, No. 10, pp. 1391~1397.
- (8) Jin, K. B., Lee, H. K. and Chung, M. J., 1998, "Direct Seek Control Scheme for High-speed Rotational Optical Disk Drives," Electronics Letters, Vol. 34, No. 15, pp. 1476~1477.
- (9) Zhou, K., Doyle, J. C. and Glover, K., 1989, Robust and Optimal Control, Prentice-Hall, Inc.