

광 디스크 드라이브의 P/U 낙하 추돌 거동

황효균*, 김남웅, 이동호, 이진우, 김외열(LG 전자)

Damage of P/U by Crash in the Optical Disk Drive

Hyo-Kune Hwang*, Nam Woong Kim, Dong-Ho Lee, Jin-Woo Lee, Wae Yeul Kim (LG Electronics INC.)

ABSTRACT

The optical disk drive is a basic option on the PC now. So the lower price and higher read/write speed goods are now on market. These trends make many difficulties to produce more reliable drives, comparing when they are treated as high price stuff. In mechanical terms, the lower price and higher read/write speed drive make higher vibration and noise, lower stiffness, even severe fracture of cheap and low quality disk, problems. Due to the internal crash of P/U inside of the drive, the failure of drives, inferior drives, increase more and more by the careless transportation and the originated low stiffness parts. This report is the introduction of the FE simple model to decrease the internal P/U crash problems, and the results.

Key Words : Optical Disk Drive (광디스크 드라이브, CD-ROM,R/W, DVD-ROM, R/W 포괄), P/U (Pick Up: 광드라이브 핀업), FE(Finite Element)

1. 서론

일반적으로 광디스크 드라이브라고 총칭하는 CD-ROM, CD-RW, DVD-ROM, DVD±RW 등의 레이저를 이용한 기록매체는 Data 의 Random Access 가능하고, 휴대가 간편하기 때문에 지속적으로 발전하고 대중화되었다. 하지만 개발 초기에 고가였던 CD-ROM이나 CD-RW 가 저가로 바뀌고 일반화되면서, 많은 기계적인 문제가 발생하게 되었다.

이러한 기계적인 문제를 야기시킨 가장 큰 원인은 바로 배속경쟁에서 오는 제품의 고속화이다. 고속화에 따른 빠른 Data Access 를 위한 기구적인 구성을 위해서, 진동측면에서는 방진 시스템의 구성이 어려워 졌으며, 내충격적인 면에서는 운반시에 발생하는 외부 충격에 취약한 면을 가지게 된 것이다. 두번째 원인으로는 과도한 가격 경쟁이다. 과도한 가격경쟁에 대해서 내충격이나 내진동적인 면에서 취약한 부품이 많이 채용되고 있는 점이다. 세번째는 대중화이다. 제품이 대중화 되면서, 예상하지 못한 사용자의 실수와 다량의 저가/저질 광디스크의 시장 유입에 대해서 심각한 구조상의 문제를 일으킬 수 있게 되었다.

위의 세가지 원인에 의해 인가된 문제는 다시 크게 두 가지 제품 불량 문제로 나뉠 수 있다. 하

나는 운반중의 불량이다. 저가의 고배속 광디스크 드라이브를 실현을 위해 P/U 의 이송계를 Gear 가 아닌 Guide-Feeder 와 Lead Screw System 으로 변경하면서 이송계의 강성이 급격하게 낮아져, 이송 시작은 충격에도 P/U 이 쉽게 이탈한다. 이에 따라 낙하 추돌에 의해 손상을 입어서, 사용 불능이 되는 경우가 잦아진 것이다. 다른 하나는 동작 중에 발생하는 불량이다. 고배속 실현을 위해 광디스크를 10,000RPM 이상으로 회전을 시키면서 저질 디스크의 질량 불균일로 인해 야기된, 과도 진동에 의한 Data Read/Write 불능, 디스크와 P/U 간의 추돌문제 그리고, 가장 심한 문제인 회전 중 광디스크 파손에 의한 파편으로 광디스크 드라이브가 파손되는 문제까지 발생 한다

본 논문에서는 위에서 제기된 광디스크 드라이브의 기계적인 문제를 해결해 나가는 Project 일환으로, 가장 중요한 부분인 P/U 의 운송 시 외부 충격에 대한 신뢰성 확보에 대한 것이다.

2. P/U 낙하 모사용 FE Model 개발

2.1 FE Model 개발 STEP

FE Model 은 Case Study 가 수월하고 실험과 결과를 Tuning 을 하면, Case Study 가 가능한 유효 모

델을 얻을 수 있다. 이러한 모델은 최적화된 값을 구하기 용이한 장점이 있다. 따라서 Fig.1 과 같은 순서로 FE Model 을 세워 나갔다.

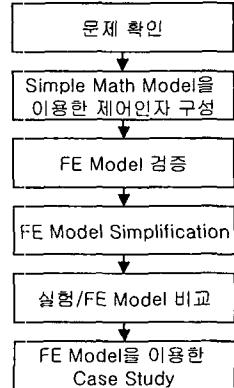


Fig.1 Step to make FE Model

2.2 광디스크 드라이브의 운송 시 외부 충격
광디스크 드라이브는 날개 포장으로 개인 사용자에게 직접 제공되는 경우도 있으나, 대부분 PC 업체에 10 개 단위로 포장되어 납품되는 것이 일반적이다. 일반적인 광디스크 드라이브의 포장 방법은 Fig.2 와 같이 10 개의 Set 를 Packing 에 넣고 Cotton Box 로 마감하여 운반 납품하는 것이다.

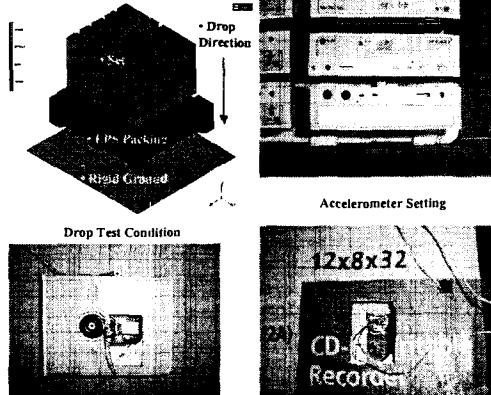


Fig.2 Optical disk drive package drop Test.

실험은 Fig.2 와 같이 Set 와 P/U 에 가속도계를 설치하고 120 cm에서 지면으로 1 각 3 등 6 면 낙하를 시행하여, 가속도를 재고, Set 의 파손 유무를 확인한다. Drop Simulation 또한 같은 방법으로 시행되며, Packing 은 Simulation 으로 제품에 적합한 모양으로 최적화 되어 제작된다.^(2,3)

낙하 실험에서 측정되는 Set 가속도는 최적화된 Packing 에서 대략 90~100G 이다. 그러나 지면 낙하 실험은 낙하시 제품이 회전을 하기 때문에 재현성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 단품 실험을 시행할 경우 Fig.3 과 같이 Set 에서 발생하는 가속도

를 충격 지속시간과 최대가속도가 일치하는 반정현파(Half-Sine Wave)로 가정하여, 재현 실험이 가능한 충격 시험기에 입력하여 실험을 하게 된다.

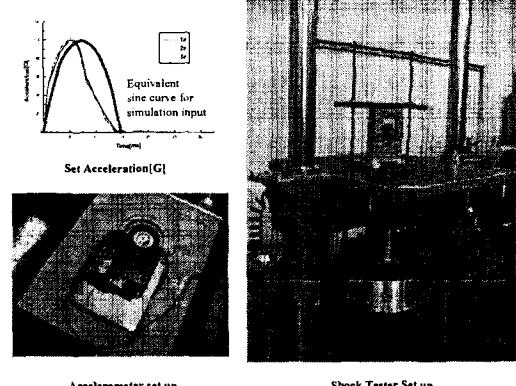


Fig.3 Single disk drive test with 'Shock tester'

2.3 P/U Crash Simple Mathematical Model

Set 를 포장한 박스를 운반하다 보면 취급 부주의로 지면으로 떨어뜨리는 경우가 있다. 이때 Guide Feeder 로 Lead Screw 에 고정되어 있던, P/U 이 이탈되면서 낙하하여 Set 자신과 추돌하게 된다. 이 상황이 운반 중 발생하는 제품 불량의 대부분을 차지하는 원인이며, 가장 간단한 수학 모델은 Fig.4 와 같은 두 강체간의 추돌이다.

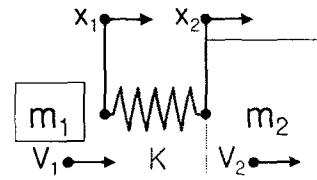


Fig.4 Crash between two rigid bodies

Fig.4 의 수식은 식(1)과 같으며, 식(2)와 같이 간단하게 정리가 된다. 이 식에서 보듯이 P/U 의 낙하 추돌에 의해 발생하는 가속도 값은 추돌 순간 두 물체의 상태 속도에 비례하는 것을 알 수 있다.

m_1 이 지면에 떨어지는 모델에서 발생하는 가속도인 $\ddot{x}_1(t) = -w_1 V_1 \cos \omega t$ 에 상호 속도비와 Mass 비의 수식이 곱해진 것을 알 수 있다. 지면 낙하 모델인 $V_2=0$, $a \rightarrow 0$ 을 넣어보면 같은 수식이 되는 것을 알 수 있다.

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k(x_1 - x_2) = 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 + k(x_2 - x_1) = 0 \end{cases} \quad \text{단 } t \geq 0, m_1 \leq m_2 \quad (1)$$

$$\ddot{x}(t) = \left(\frac{\sqrt{m_1}}{1+\alpha} \right) (V_2 - V_1) \cos \omega t \quad (\alpha = \dots) \quad (2)$$

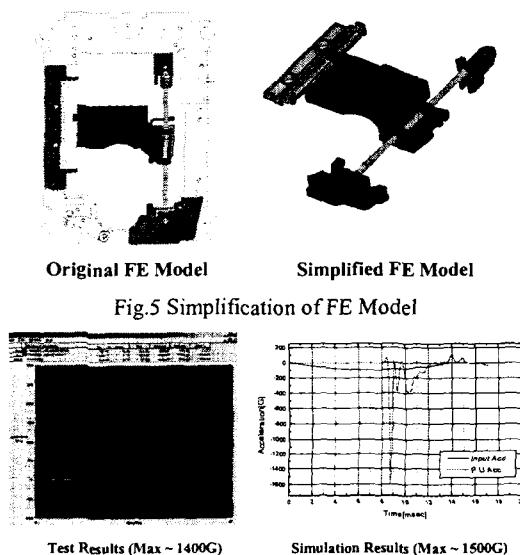
$$\ddot{x}(t) = \left(\frac{\sqrt{m_1}}{1+\alpha} \right) (-m_1 V_1 \cos \omega t)$$

위 식에서 제어인자는 속도비와 질량비로 표시되며, 대개의 경우 P/U 과 이를 제외한 Set 의 질량

비는 1/10 이하로 속도비가 더 지배적인 제어인자로 작용한다.

2.4 FE Model Verification / Simplification

Fig.5 와 같이 FE Model 을 세워 해석을 한 것과 추돌부 만을 간단하게 모델링하여 해석한 P/U 발생 가속도는 거의 차이가 없다. 추돌부를 간단하게 모델링 한 FE Model 의 P/U 가속도와 실품에서 측정된 가속도의 값을 비교해 보면, Fig.6 과 같이 10% 정도 FE Model 의 가속도가 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이정도 오차는 P/U 의 FE Model 을 강체로 하였기 때문에 생기는 오차로 생각된다.



P/U 의 낙하 거동은 대략 1msec 의 추돌 지속시간과 1000G 이상의 발생 가속도로 이루어 지며, FE Model 도 정확한 값을 보여주고 있다.

광 디스크 드라이브는 제품의 Spec. 따라 다양한 추돌부 형상과 강성을 가지고 있다. 따라서, 제품에 따라 추돌부를 최적화 하는 것이 필요하다. Fig.6 의 결과와 같이 추돌부 만을 이용하는 간략 모델은 요소 개수나 Time Step 을 고려할 때, Case Study 를 이용한 추돌부 최적화에 요구를 충분히 만족시킬 수 있을 것으로 생각된다.

3. Simple Model 적용

3.1 P/U 낙하 추돌 거동

2.4 에서 제시된 실험값과 해석값은 P/U 의 무게 중심에서의 측정 값이다. P/U 낙하 추돌의 문제는, P/U 에 과다한 가속도가 인가되어 작동 불능이 되는 것이 있다. 이외에 P/U 이 추돌하는 부분의 기계

적인 부품이 영구변형을 일으키고, P/U 이송의 주축인 Guide Shaft 를 추돌 후 회전에 의해 변형시켜, P/U 이송 불능 상태를 만드는 것도 있다. 가벼운 P/U 은 Guide Shaft 의 심각한 변형을 야기하지 않으나, 점차 P/U 이 고성능화 되면서 무게가 무거워져, 낙하 추돌 시 주축인 Guide Shaft 를 중심으로 회전하면서 Guide Shaft 를 심각한 변형을 일으킨다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 P/U 의 회전을 막는 Stopper 가 따로 설치가 되어, P/U 은 이탈 후 낙하 추돌에 의해 Stopper 를 포함하여, 2 개소 추돌을 일으키게 된다. 이와 같은 2 개소 추돌에 의해 P/U 의 1,2 차 추돌이 나누어 지고, P/U 의 가속도 값은 Mass Center 를 중심으로 비대칭 값을 갖게 된다. 이러한 비대칭 값에 의해서 발생하는 가속도가 P/U 에 Shock Input 으로 작용하므로, P/U 의 내부적인 파손은 무게중심에서 측정된 가속도 값이 같아도, 추돌 조건에 따라서 서로 다른 손상이 나타난다. 본 논문은 P/U 에 발생하는 가속도에 주안점을 두고 있으므로, 가속도에 대한 P/U 내부의 거동에는 관심을 두지 않는다.

P/U 에 발생하는 가속도를 중심으로 생각하면, P/U 의 일반적인 내충격 Spec.은 100~150G 에 10msec 정도이나, 실제 제품에서는 1000G 가 넘는 경우가 빈번히 발생하고 있으며, P/U 실품이 1000G 까지 견디어 내는 경우가 많다. Spec.의 재조정이 필요한 설정이다. 그러나 1msec, 1500G 를 실제 실험으로 재현성 있게 구현하기가 어려운 것이 현실이다. 그래서 현재는 특정한 Spec. 없이 실험이나 해석으로 최대한 가속도를 낮추는 방향으로 설계를 하고 있다.

3.2 Decelerator

앞서 제시한 간단한 수학 모델을 보면 추돌하는 두 물체간의 상대속도비가 추돌하는 물체의 발생가속도의 제어인자 임을 알 수 있다. 따라서 P/U 이 낙하할 때 기계적으로 감속을 하여, 속도를 줄인다면 발생하는 가속도를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 현재 광디스크 드라이브에서 기계적인 감속기를 개발하여 사용하는 것이 Fig.7(a)이다. 감속기의 원리는 Step Motor 의 Dead Torque 를 이용하는 것으로 P/U 이 Lead Screw 에서 이탈되지 않고, 타고 내려오게 하여 이때 반력을 이용 감속하는 것이다. 현재 사용되는 Step Motor 의 Dead Torque 는 대략 $7\text{gf}\cdot\text{cm}$ 이고, 이 값을 이용하면 Fig.7 의 Math Model 에서 정적 계산으로 $1.581 \times 10^{-3} \text{ KN}$ 의 반력을 구할 수 있고, 실측치는 $2.139 \times 10^{-3} \text{ KN}$ 이다. 그러나 이 값은 정적 계산으로 동적 거동에서는 값이 더 증가 한다. 따라서 계산된 값은 실제 거동에서 나타나는 반력값을 구하기 위한 초기 값으로만 사용할 수 있

다. 따라서 다른 모델이 이 감속기를 적용하여 해석하기 위해서, Fig.7(b)와 같이 간단한 FE Model 을 이용하여 적절한 감속값을 구해 보았다.

방법은 실험에서 감속되는 값을 측정하고, FE Model 을 이용하여 같은 감속값 및 추돌가속도 감쇠비를 가진 경우를 구하여, 이때의 감속치를 이용하기로 하였다. FEM Model 에서는 Explicit Code 인 Pam-Crash 를 이용하였으며, 계산 시간과 요소의 특성상 감속 System 을 모델링 하지 않고 수치적인 값을 확실히 구하기 위하여 반력으로 환산하여 입력하였다.

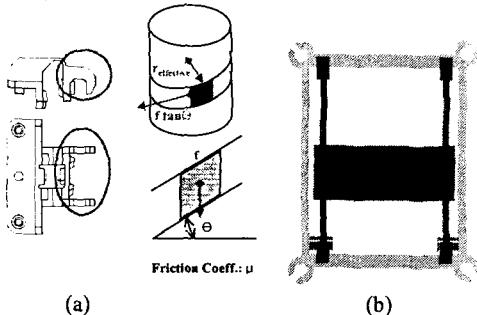


Fig.7 (a) P/U Decelerator Guide Feeder & Math Model
(b) Simple FE Model For Deceleration

Simple FE Model 의 속도 곡선은 Fig.8 와 같다. 반력이 작용할수록 가장 중요한 제어인자 상대 속도는 줄어들게 된다. 이때 반력과 발생하는 가속도는 Fig.9 과 같다

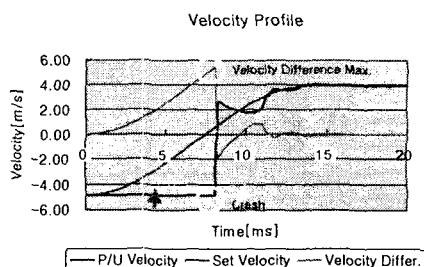


Fig.8 P/U crash velocity profile

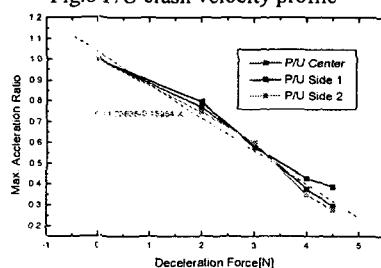


Fig.9 P/U maximum acceleration / reaction force

실험 측정 값인 Table.1 의 감쇠비 0.33 을 이용하여 FE 를 이용한 Fig.9 의 경향식에서 반력을 계산해 보면 Static 상태에서 측정한 값에 2 배의 반력인 4.43N 정도가 작용한다.

Fig.10 은 4.43N 의 외력이 Decelerator 에 의해서 가해질 때 Set 의 속도 분포도이다. 그럼에서 보듯이 P/U 에 발생하는 낙하 가속도의 최대 값이 발생 할 수 있는 낙하 거리가 존재함을 알 수 있다. 이 그래프를 이용하여, 추후에 다른 모델에 이와 같은 기계적인 Decelerator 가 적용되었을 때, P/U 에 발생하는 최대 가속도의 크기를 예측하고 적절한 추돌부의 형상이나 강성을 결정할 수 있다.

Table.1 Test Result with Decelerator

구분(평균)	P/U(내주)	비고
작업 위치	G/F	G 값
최외주	양산품	1.000
	New	0.330
최내주	양산품	0.491
	New	0.179
		주축 및 부축 동시 충돌
		0.413
		주축 및 부축 동시 충돌
		0.174

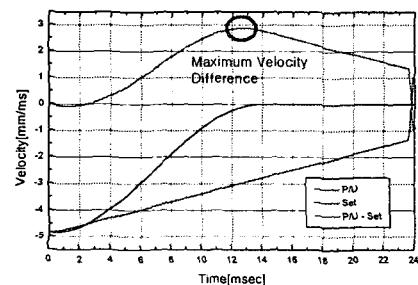


Fig.10 Velocity profile with 'Decelerator'

4. 결론

P/U 의 낙하에 의한 품질 열화 문제는 오래된 Deck 설계의 문제 중 하나이다. 이러한 문제를 PAM-CRASH 를 이용하여 Case Study 가 용이한 간략 FE Model 을 이용하여 모델을 만들고 검증 하여 사용함으로써 광디스크 드라이브의 설계에 내충격 개념을 도입하고 있다.

참고문헌

1. Singiresu S. Rao, "Mechanical Vibrations", Second Edition
2. LG 전자 품질센터 포장팀, "強性評價 Process 運營을 為한 衝擊試驗 Guide", 1997.
3. HLDS 開發 3 室 Mecha 2 Group, "충격 低減을 위한 포장재 開發 및 MD 緩衝 設計 標準 定立", 2001.
4. ESI, "PAM-CRASH Users' Manual", 2002