

디지털 VCR 헤드 드럼의 밸런싱 연구

조 여욱*, 이진구**

Balancing of Digital VCR Head Drum

Yeo-Uk Joe*, Jin-Koo Lee**

ABSTRACT

Dynamic stability in rotation of the head drum of digital VCR is very important due to the nature of high rotation speed and small angular inertia. Therefore special considerations on reducing the unbalance and assuring the stability are required the design and manufacturing process. In this paper, newly developed digital head drum is introduced. And advanced methods in analyzing and reducing the unbalance is suggested. LDV(Laser Doppler Vibrometer) was used as a measurement system verifying our modeling and new method for balancing. Experiments show that the theoretical data estimated by modeling of shaft bending caused by unbalance mass and the measured data are almost identical. The deflection was reduced to 30 % by applying the suggested balancing method.

Key Words : Digital Video Cassette Recorder (디지털 영상 기록기), Magnetic head (자기 헤드), Head drum (헤드 드럼), Dynamic balancing(동적 밸런싱), Laser Doppler Vibrometer (레이저 도플러 진동계)

1. 서 론

1994년, 가정용 디지털 VCR의 규격이 발표되었고⁽¹⁾ 이에 따라 일본의 마쯔시다와 SONY사는 현 방송 규격인 NTSC와 PAL방식의 디지털 녹화를 위한 SD(Standard Definition: 표준 해상도) 규격의 디지털 캠코더를 1995년에 출시하였다. 또한 여러 전자회사에서 HDTV에 대응하는 HDTV용 VCR을 개발 중에 있다. 이를 DECK

MECHANISM면에서 살펴보면 8mm VCR DECK와 비교할 때, 전체 크기는 약 반 정도로 줄었으며, 그 중 헤드 드럼은 직경이 21.7mm로써 소형화 되었다⁽²⁾⁽³⁾. 특히, 이에 사용되는 헤드 드럼은 앞으로 외양면에서 더 이상의 소형화는 없을 것으로 판단되며, HDTV용 VCR에 있어서도 헤드 수의 증가(2개→4개)정도의 변화가 있을 것이다⁽⁴⁾.

한편, 디지털 헤드 드럼은 회전속도는 고속(9000rpm)

* 대우전자 전략기술 연구소

** 대우전자 전략기술 연구소, 정회원

이고 관성이 작으므로 동적 특성이 매우 중요하다. 동적 특성 중 드럼의 질량 편심에 의한 축 흔들림은 화질과 음질에 가장 중요한 성능 계수 중의 하나인 Jitter에 직접적인 영향을 미친다. 헤드 드럼은 회전 축에 Flywheel의 역할을 하는 상 드럼이 결합된 회전체이므로 양산 시에도 상 드럼의 편심에 의한 축 흔들림을 측정 한 후 상 드럼의 적당한 위치에 balancing hole을 뚫거나 부가 질량을 부착하는 공정이 필요하다. 그러나 현재 사용 중인 밸런싱 시스템들은 편심 측정 방법의 복잡성 등으로 지나치게 고가인 단점이 있다. 따라서 생산성과 경제성을 고려할 때 회전 상태에서의 안정성을 간편하고도 효율적으로 평가할 수 있는 방법이 필요하다.

회전체의 밸런싱 문제는 전통적으로 매우 중요하게 연구되어 왔다⁽⁶⁾. 특히 상대 질량(counter weight)을 추가하는 밸런싱 방법들⁽⁶⁻¹³⁾은 Flywheel이 속도 변동을 막기 위해 사용될 때 효과적인 것으로 연구되어 있다. 일 예로 Chiou와 Tsai⁽¹²⁾는 가진력(shaking force)과 가진 모멘트(shaking moment)에 의한 주파수 성분을 제거하기 위한 '3회전 질량 균형기'(three-rotating-mass-balancer)를 연구하였다. Stevensen⁽¹³⁾은 각각의 3축에 두개의 균형 질량을 추가하는 방법을 연구하였다.

본 논문에서는 고유 모델로 설계, 제작한 디지털 헤드 드럼을 소개하였고 이의 동적 특성의 분석 방법과 밸런싱 방법을 제시하였다. 또한 이를 근거로 하여 동적 특성 측정 실험을 수행하여 밸런싱방법을 검증하였다.

2. 디지털 헤드 드럼 설계 및 제작

2.1 설계 주안점

디지털 헤드 드럼의 설계는 다음 사항을 중점으로 진행되었으며 이의 결과는 우선 특허권을 확보하는 것으로 가시화하였다.

- 경제성을 고려하여 구조의 단순화를 추구하였다.
- 생산성을 고려하여 조립성을 향상시키고자 하였다.
- 품질의 안정성 확보를 위하여 설계단계에서 동적 성능을 측정 분석하는 방안을 고안하고 이를 이용하여 헤드 드럼의 성능의 검증 및 성능향상을 도모하고자 하였다.

상술한 설계 주안점을 바탕으로 하여 고유 모델의 디지털 헤드 드럼을 설계 제작하였으며 실물 사진은 Fig. 1과 같다.

2.2 회전구조설계

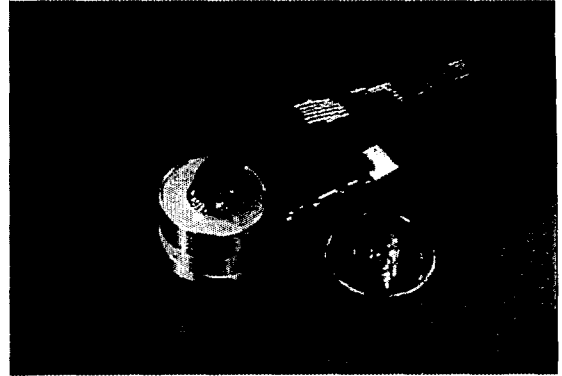


Fig. 1 Appearance of newly developed digital head drum

Fig. 2의 디지털 헤드 드럼의 회전축 구조를 살펴보면 축이 고정되어 베어링 외륜이 회전하는 구조이며, 축의 하부가 하드럼에 압입고정되어 있다. 이는 베어링 외륜이 고정되고 축이 회전하는 VHS용 헤드 드럼(직경62mm)이나 8mm 헤드 드럼과의 상이점이다. 따라서 디지털 헤드 드럼은 기존 헤드 드럼과 비교하여 동적 특성이 매우 다를 것이며, 이는 헤드 드럼의 성능에 지대한 영향을 미칠 것이다. 따라서 본 논문에서는 이를 해석하고 그 결과를 실제적으로 실험 분석하는 방법을 제안하여 밸런싱 등의 기반 기술로 사용하고자 하였다.

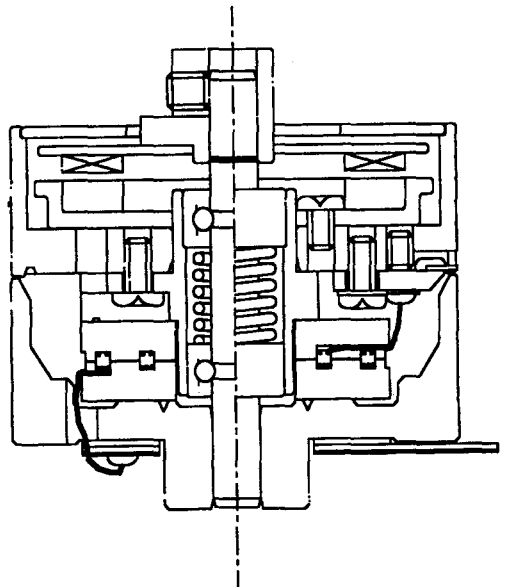


Fig. 2 Cross sectional view of the digital head drum

3. 동적 특성 모델링(MODELING) 및 밸런싱(BALANCING) 방법 제안

본 연구에서는 우선 헤드 드럼의 동적 해석을 위한 모델링을 제안하였고 이를 통하여 밸런싱을 구현하는 기법을 제안하였으며 이를 실험을 통하여 검증하였다.

3.1 디지털 헤드 드럼의 동적 모델링의 가정

- 1) 축이 회전하지 않고 하단이 고정되어 있으므로 축의 휨 현상이 가장 큰 동특성일 것이다.
- 2) 축고정방식이기 때문에 공진주파수는 높고 가진력이 미미할 것이므로 비틀림진동은 고려하지 않는다.
- 3) 헤드 드럼의 성능에 직접되는 상드럼의 동적 특성의 해석에 있어서 상드럼의 형상과 조립상태에 좌우되는 상드럼의 회전 상태에서의 거동을 분석하기보다는 동적 특성 현상이 분명하게 나타나는 축을 중점적으로 모델링하기로 한다.

3.2 헤드 드럼의 동적 모델링의 제안

만일 편심질량이 상드럼조립체에 존재한다면 상드럼이 회전할 때 편심질량에 의한 회전불균일이 발생한다. 이를 해석하고 해결하려면 헤드 드럼의 동적 특성을 파악해야 하므로 다음과 같은 가정으로 모델링을 행하였다. 즉, 똑같은 원심력이 축에 항상 작용하고 상드럼조립체의 질량 M 은 축상에 존재한다고 가정하면 축의 변위는 편심 질량의 회전에 의한 원심력에 의해서만 생긴다고 볼 수 있다. 그래서 축의 휨에 의한 변위로 편심 질량 m 과 축에서의 거리 r 의 곱을 구할 수 있다. 이는 편심에 의한 불평형을 해석하기가 쉽고 측정이 쉬우며 편심질량과 편심질량의 위치를 정량적으로 구할 수 있어서 불평형을 없애는데도 좋은 모델링이라 생각된다.

3.3 헤드 드럼의 동적 모델링

축고정형이므로 편심질량 m 이 존재한다면 $m\omega^2$ 만큼의 원심력이 축의 휨을 일으킨다고 가정하였다. 그리고 축이 가진에 의한 진동의 영향보다 단순히 휨에 의한 변위만을 가지고 밸런싱량을 고려하였다.

P 라는 축하중이 Fig. 3과 같이 축에 주어질 때의 변위 δ 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\delta = \frac{Pc^2}{6EI}(3L-c) \quad (1)$$

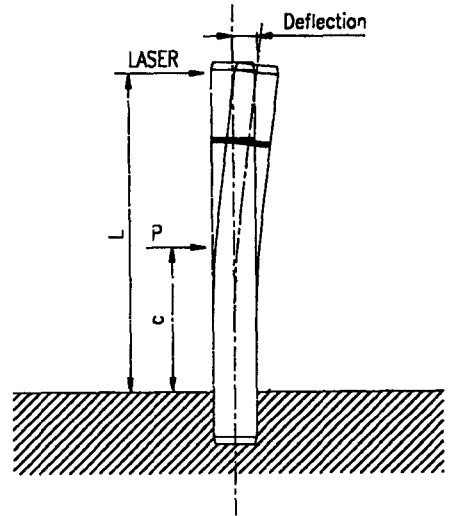


Fig. 3 Deflection of shaft due to lateral load

으로 주어진다. 여기서 EI 는 굽힘 계수인데 E 는 Young's Modulus이고 I 는 2차단면모멘트이다. 그리고 P 라는 원심력이 작용할 때 축에 가해지는 힘은 두 베어링에서의 반력이다.

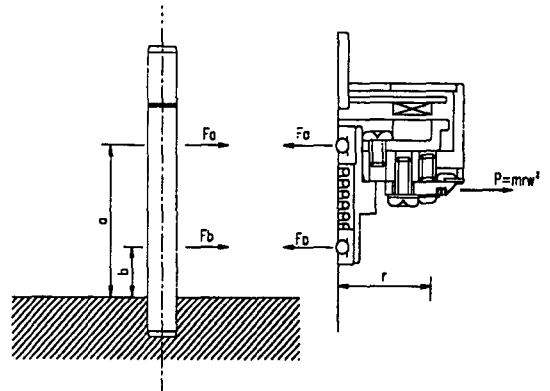


Fig. 4 Force modeling

Fig. 4와 같이 반력을 F_a , F_b 라 하면 힘과 모멘트 평형에 의하여

$$F_a = \frac{(c-b)}{(a-b)} P \quad (2)$$

$$F_b = \frac{(c-b)}{(a-b)} P$$

가 된다. 그러므로 두 힘에 의한 변위의 중첩을 고려하면 측정 높이 L에서의 변위는

$$\delta = \frac{Fa \cdot a^2}{6EI}(3L-a) + \frac{Fb \cdot b^2}{6EI}(3L-b) \quad (3)$$

$$= \frac{P}{6EI(a-b)}\{a^2(c-b)(3L-a) + b^2(a-c)(3L-b)\}$$

이다.

3.4 밸런싱의 제안

불균형회전은 정적 불균형과 동적 불균형으로 나누어 생각할 수 있다. 불균형 회전을 해결하는 방법도 많이 제시되었는데 우선 정적 불균형은 편심질량이 있는 곳의 반대 위치에 동일한 질량을 부가하여 밸런싱을 하면 되는데 다시 말해 회전 중심을 기준으로 힘들의 합이 0이 되면 된다는 것이다. 그리고 동적 불균형은 각 힘들의 모멘트 합이 0이 되면 밸런싱이 된다는 것이다. 그러나 디지털 헤드 드럼은 회전 중심(축)이 고정되어서 고정단에서 모멘트가 작용하고 있다. 그래서 디지털 헤드 드럼의 밸런싱은 앞의 예처럼 정적, 동적 불균형을 해결하는 방법이 적용되기 곤란하고 헤드 드럼의 편심질량을 보상할 수 있는 위치도 기구적으로 C의 위치(Back Yoke면)만으로 밸런싱을 해야 하기 때문에 경제성과 양산성을 고려할 때 편심 질량을 변위를 통하여 관측한 후 이를 보상하는 방법을 제안한다. 3.3절에서 편심질량에 의한 불균형은 단순히 축의 휨 현상으로 모델링하였다. 이를 이용하여 고정단에서 C의 위치에 보상 질량 m0와 거리 r0를 조절하여 편심 질량에 의한 변위와 보상 질량에 의한 변위가 같도록 하여 밸런싱을 하자는 것이다(Fig. 5).

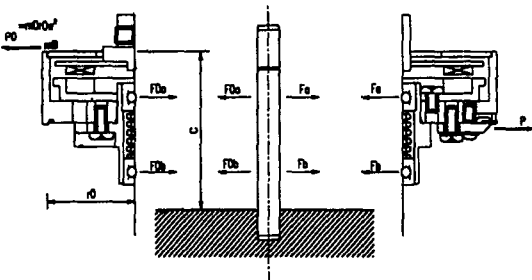


Fig. 5 Force diagram after balancing

이를 수식으로 전개하면,

$$P0 = F0a + F0b \quad \text{에서}$$

$$F0a(a-b) = P0(C-b)$$

$$F0a = \frac{(C-b)}{(a-b)} P0, \quad (4)$$

$$F0b = \frac{(a-C)}{(a-b)} P0$$

가 된다. 그러므로 L에서의 변위는

$$\delta = \frac{F0a \cdot a^2}{6EI}(3L-a) + \frac{F0b \cdot b^2}{6EI}(3L-b) \quad (5)$$

$$= \frac{P0}{6EI(a-b)}\{a^2(C-b)(3L-a) + b^2(a-C)(3L-b)\}$$

이다. 여기서 $\delta = \delta_0$ 가 되도록 m0와 r0를 조절하면 밸런싱이 될 것이다. 그래서 C=13.22mm가 되고 r0를 백요크(Back Yoke)의 끝단(r0=10.3mm)으로 정하면 단지 m0만을 조정하여 밸런싱을 행할 수 있다.

마지막으로 본 제안의 장점은 축 힘에 의한 변위만 측정하면 편심질량의 고정단에서의 거리c를 몰라도 밸런싱이 가능하다. 모멘트 합이 0이 되도록 하려면 반드시 c를 알아야 하는데 본 제안에서는 필요가 없다는 것이다.

4. 동적 특성 측정 시스템 고안

4.1 구동 시스템

헤드 드럼을 원하는 각속도로 회전을 시키고 그 속도를 알아야만 원하는 실험과 데이터를 구할 수 있다. 드럼 모터를 원하는 각속도로 회전시키기 위해 드라이브 IC를 포함한 드라이브 지그를 제작하였으며 여기서 나오는 PG 신호를 이용하여 현재 헤드 드럼의 속도를 구할 수 있었다. 그리고 PG신호와 레이저로 측정된 변위의 위상을 비교하여 편심질량의 위치를 알 수 있었다.

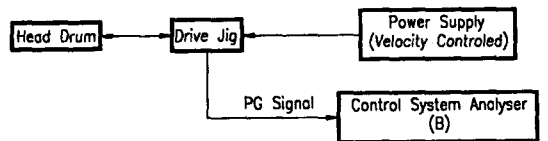


Fig. 6 Driving system

4.2 측정 시스템

기술된 모델링을 검증하고 밸런싱을 수행하기 위해서

측정 시스템에 요구되는 사항은 다음과 같다.

- 1) 고속 회전(9000rpm)의 회전 물체가 측정 대상이므로 비접촉식 측정장치가 필요하다.
- 2) 측정이 간편하고 신뢰성이 있어야 한다.
- 3) 측정 대상물의 측정진동변위를 0.1 μ m단위로 측정할 필요가 있으므로 분해능이 그 이하이어야 한다.
- 4) 측정 데이터의 샘플링 주파수가 1kHz 이상이어야 한다.

상술한 조건을 가장 만족하는 측정 방법은 레이저 간섭계를 이용한 측정이며 본 실험에서는 독일 Polytec사의 레이저 변위 측정기를 사용하여 회전 드럼의 흔들림을 측정하였다. 레이저를 이용한 측정의 가장 큰 특징은 비접촉 측정이 가능하다는 것과 고분해능을 가지는 것이다. 한편 본 실험에서는 안정적인 측정 신호를 얻기 위하여 가장 고려한 점은 외부 진동의 차단과 측정의 편이성이었다. 이를 실현하기 위하여 Fig. 7와 같이 측정 시스템을 구성하였다. 또한 측정점인 레이저 광초점의 원활한 이동을 위하여 3축 정밀이송 시스템을 사용하였다.

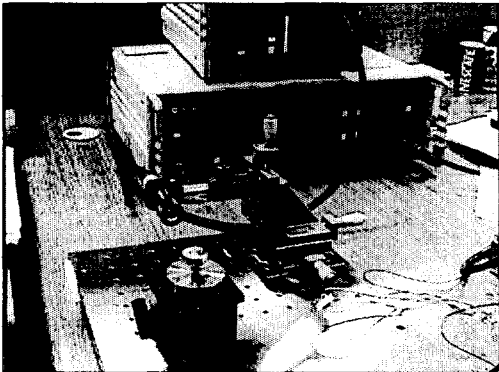


Fig. 7 Measuring setup

5. 벨런싱 측정 실험 및 분석

3장에서 가정한 바대로 고정축의 거동과 상드럼의 거동을 분리하여 고려할 수 있음을 확인하고자 하였다. 우선 상드럼의 거동은 70 RPM 정도의 저속의 회전 상태에서 상드럼의 외경면을 측정하여 상드럼의 형상 요인을 살펴 보았으며 그 결과는 Fig. 8와 같다. 즉, 한 지점에서의 변위는 한 회전에 동기되어 나타나는 모습을 나타내며, 그 변위 값은 디지털 헤드 드럼에서 요구하는 값보다 크게 나타나지만 상드럼형상의 효과를 분명히 나타내기 위해

서는 실험 대상으로 적합하다 할 수 있겠다. 3장의 가정에서 예상한 바대로 9000rpm의 고속에서의 상드럼의 거동을 측정한 결과는 상드럼의 형상 요인과 축 흔들림이 가산되어 나타난다(Fig. 9).

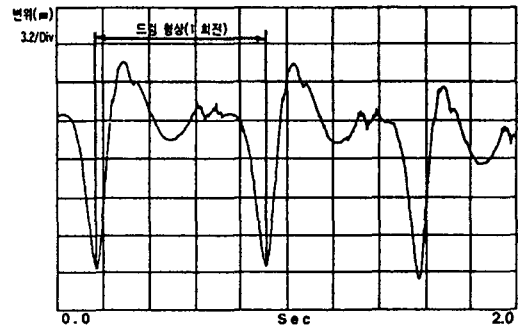


Fig. 8 Deflection measured on the upper drum surface (70 rpm)

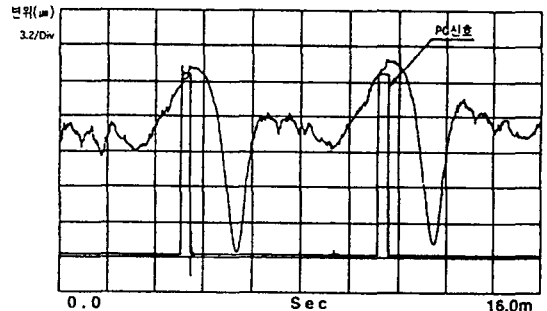


Fig. 9 Deflection measured on the upper drum surface (9000 rpm)

5.1 휨량의 측정값과 계산값과의 비교

회전속도에 따른 측휨량을 측정하기 위하여 축의 최상부에 레이저를 조사하고 그 변위를 측정하였다. 이의 결과는 Fig. 10에 나타난 바대로 계산값과 측정값이 근사함을 보여준다. 즉 0.203g의 편심질량을 상드럼의 헤드 취부위치에 두었고 그에 따른 변위 계산은 식 (3)을 이용하였다. 여기서 실험에 쓰인 각 상수값은 다음과 같다.

5.2 벨런싱방법과 그 결과

먼저 5.3절에서 밝혔듯이 편심질량을 임의로 부가한 후 레이저로 고정축 상부의 변위를 측정해보았다. Fig. 11은 벨런싱을 하지 않은 고정축 휨량의 측정이다. 또한 측휨은 회전체에서의 편심 질량이 위치한 방향으로 일어남

Table 1 Parameters

상수	데이터
a	12.1 mm
b	5.2 mm
c	9.27 mm
L	17.87 mm
m	0.203g
r	6.2 mm
E	21200 kg f/mm ²
$I (= \pi d^4 / 64)$	1.3737 mm ⁴

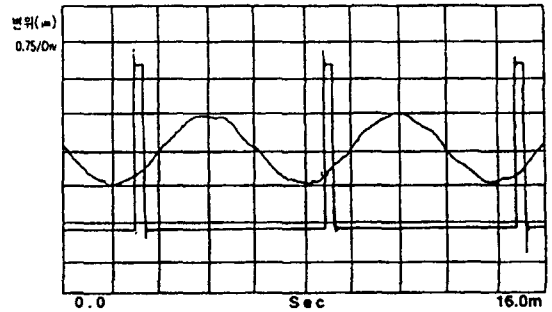


Fig. 12 Shaft deflection with balancing

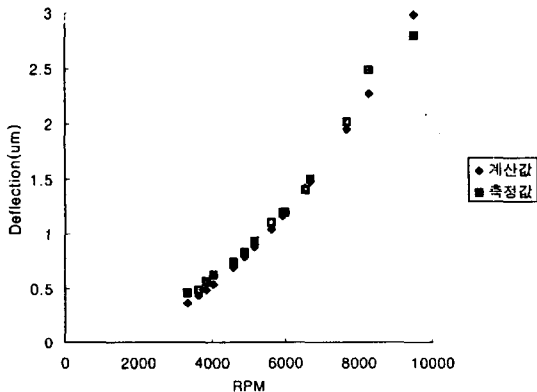


Fig. 10 Comparisons of the data

을 모터 스테이터에서 발생하는 PG신호와의 위상 비교를 통하여 확인할 수 있었다. 그리고 3.3절에 제시한 기법으로 밸런싱을 고려한 후 측정한 결과는 Fig. 12와 같다. 3장에서 제시한 방법으로 밸런싱을 수행한 결과 축휨량이 약 1/3정도 감소함을 확인할 수 있었다.

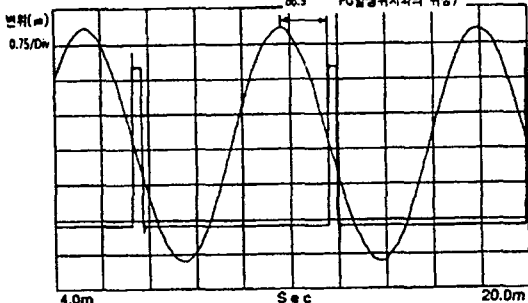


Fig. 11 Shaft deflection without balancing

6. 결론

본 연구에서는 디지털 헤드 드럼의 회전 불균일의 요인을 상드럼의 형상 요인 및 베어링에 의한 영향과 축의 휨 현상에 의한 영향으로 분리하였고 축의 휨 현상을 가장 크다고 가정하여 축의 휨 현상을 모델링하였으며 이의 타당성을 흔들림의 변위 측정을 행하여 검증하였다. 또 효율적인 변위 측정을 위하여 레이저 변위 측정기를 이용한 측정 시스템을 사용하여 실제 회전속도에서의 측정을 하여 신뢰성 있는 측정을 하였다.

본 연구의 결과로 양산 시에 적용할 수 있는 효율적인 밸런싱 방법이 다음과 같이 제안 되었다.

- ① 저속(1rps)에서 상드럼의 형상 및 베어링 영향을 측정한다.
- ② 편심질량의 영향이 극대화되는 고속(10000rpm)에서 축의 흔들림을 측정하여 밸런싱량을 계산한다.
- ③ 모터 백요크(Back Yoke)에 계산량 만큼의 보상 질량(밸런싱량)을 부착한다.
- ④ 보상 질량은 5mg이하로 한다.

7. 참고 문헌

1. HD DIGITAL VCR CONFERENCE, *Specifications of Consumer-Use digital VCRs*, Part 1, 1994.
2. K. Mori, et al., *A Digital deck mechanism using new precision actuators for high density recording*, *IEEE Transactions for Consumer Electronics*, Vol. 39, No. 3, pp304-311, 1993.
3. Shosuke Oka, et al., *A small size deck*

- mechanism and recording technology for digital VCRs, IEEE Transactions for Consumer Electronics*, Vol. 40, No. 3, pp363-370, 1994.
4. HD DIGITAL VCR CONFERENCE, *Specifications of Consumer-Use digital VCRs*, Part 4, 1995.
 5. Lowen, G. G., Tepper, F. R. and Berkof, R. S., *Mechanism and Machine Theory*, Vol.18, pp213-220, 1983.
 6. Chiou, S. T. and Davies, T. H., *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 208, pp29-37, 1994.
 7. Davies, T. H. and Niu, G. H., *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 208, pp39-45, 1994.
 8. Gheronimus, Y. L., *Journal of Mechanisms*, Vol.3, pp235-281, 1986.
 9. Tsai, L. W. and Maki, E. R., *Transactions of the ASME, Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automations in Design*, Vol. 111, pp530-536, 1989.
 10. Han, C. Y., *Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry*, pp111-118, 1967.
 11. Mewes, E., *Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics*, Vol. 80, pp225-232, 1958.
 12. Chiou, S.T. and Tsai, R. J., *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 30, pp405-416, 1995.
 13. Stevensen Jr., E. N., *Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol. 95, pp650-659, 1973.