

〈論 文〉

임피던스 로울러의 테이프 주행계에 대한 제진효과 분석

The Analysis of the Vibration Reduction Effect of the Impedance Roller in Tape Transport System

김 중 배* · 박 영 필*

Kim Joong-Bae and Park Young-Pil

(1993년 7월 21일 접수 ; 1993년 9월 30일 심사완료)

ABSTRACT

The longitudinal vibration of the tape in the tape transport system influences the performance of the magnetic tape-recording system. Generally it is controlled by a passive method with impedance roller which is easy to implement and cost-effective. Therefore the effect of the impedance roller in reducing the tape vibration was analyzed in this paper. The practical tape transport system was modelled mathematically as a mass-spring system. Both simulation and experimental study were carried out in order to show the vibration reduction effect of the impedance roller.

1. 서 론

테이프 주행계의 자기 테이프는 스프링 상수를 갖는 탄성체이므로, 주행중 테이프에 외력이 가해지면 탄성변형을 일으키게 되고 이에 따라 진동이 유발된다. 특히 자기 테이프 주행계에 있어서 테이프의 이송방향(종방향)으로의 진동은 VCR(video cassette recorder)의 경우 영상신호의 지터(jitter)와 음성신호의 와우/플러터(wow/flutter) 즉 테이프 주행속도의 변동으로서 나타나며, 영상과 음성신호의 기록과 재생의 성능에 결정적인 역할을 한다.

VCR에 있어서 이러한 테이프 종진동의 중요한 원인들을 살펴보면 공급릴의 주기적 속도변동, 각종 회전 로울러의 회전부 공차에 의한 주기적 외란, 회전 헤드드럼의 주기적 가진, 캡스탄 모터의 속도변동, 고정 포스트와 테이프 사이의 마찰에 기인한 진동 등이다. 특히 회전요소에 의한 주기적 진동성분들은 그 기본 주파수와 고조파 수파수 성분들이 현

저하게 나타나는 특성을 갖고 있다.

주행하는 테이프에서 발생하는 주파수 성분중 회전 헤드드럼에 의한 주기적 가진성분과 비틀림 공진⁽¹⁾ 그리고 고정 포스트와의 미끄럼 마찰에 의해 발생하는 비교적 높은 주파수의 성분들을 억제하기 위한 방법으로 많이 사용되는 것이 임피던스 로울러이다.

이러한 임피던스 로울러의 제진특성에 대하여 로울러의 갯수와 설치 위치에 따른 외란 억제효과에 대한 연구⁽²⁾가 실시된 바 있는데, 그 결과에 의하면 임피던스 로울러의 등가질량의 증가에 따라 주파수 영역에서의 제진범위가 넓어짐을 제시하였다. 그리고 저 지터 메카니즘의 VCR을 구현하기 위한 임피던스 로울러 설계에 대한 연구⁽³⁾에서 현재 상용화되고 있는 제품의 경우 임피던스 로울러에 의한 지터 억제효과는 150 Hz에서 1000 Hz 범위이며, 그 효과는 주행시 임피던스 로울러의 회전에너지에 비례함을 제시하였다. 임피던스 로울러의 제진효과를 수치 해석적으로 분석하기 위해서는 전체 주행계에 대한 모델링을 실시해야 하는데, 테이프 주행계의 모델링시 스프링-질량계로 등가화시켜 모델링하거나⁽⁴⁾, 이

*정회원, 연세대학교 공과대학 기계공학과

에 추가적으로 테이프의 감쇠특성을 고려하여 모델링한 연구결과⁽⁵⁾가 있다.

본 연구에서는 공급릴에서 부터 캡스탄 까지를 테이프 주행계로 가정하여 수학적 모델링을 실시하고, 주행계에 존재하는 외란에 대한 임피던스 로울러의 외란 억제효과를 분석하기 위하여 수학적 모델에 대한 수치해석을 실시하고, 인위적인 외란을 주행 테이프에 가한 상태에서 임피던스 로울러의 등가질량의 변화에 대응하는 제진특성을 실험적으로 분석하였다.

2. 이론해석

2.1 임피던스 로울러의 제진효과

테이프 주행계에 임피던스 로울러를 부가하여 제진효과를 얻기 위해서는 테이프의 이송속도와 임피던스 로울러의 선속도가 일치해야 한다. 즉 임피던스 로울러와 테이프는 서로 접촉한 상태로 운동을 해야하며, 이것은 양자 사이에 정마찰이 유지되어 슬립이 발생되지 않는 상황에서 얻어진다. 따라서 고정된 가이드 포스트에서는 주행중 테이프와 항상 슬립이 존재하므로 제진효과를 기대할 수 없다. 그리고 회전 가이드 로울러의 경우는 자체의 관성 모우멘트가 극히 작기 때문에(상용 캡코더의 경우 $0.0132 \sim 0.0186 \text{ gcm}^2$), 테이프와의 접촉면에서 슬립이 존재하지 않더라도 실질적인 제진효과를 얻을 수 없다.

테이프 주행계에서의 임피던스 로울러의 설치위치도 외란에 의한 효과를 억제하기 위해 중요한 인자가 된다. 즉 임피던스 로울러는 계의 입력으로 작용하는 외란과 출력으로 선정된 지점 사이에 위치해야 고주파영역에서 우수한 제진효과를 나타낼 수 있다.

2.2 테이프 주행계의 모델링

실제 주행계에서 임피던스 로울러의 제진효과를 알아보기 위해 임피던스 로울러를 포함한 테이프 주행계에 대하여, 테이프 진행방향에 대한 진동변위만을 고려하여 진동계로 모델링한다. 이와 같은 모델링에 있어서 테이프의 분포질량, 테이프의 감쇠계수, 임피던스 로울러와 테이프의 접촉마찰력 변동, 임피던스 로울러 회전축의 점성저항 등은 무시하고, 테이프와 임피던스 로울러는 슬립이 없이 항상 접촉하고 있다고 가정하여 단순화된 모델을 구한다.

Fig. 1은 단순화시킨 VHS방식 VCR의 테이프 주행계이다. 주행계는 크게 공급릴(supply reel), 가이

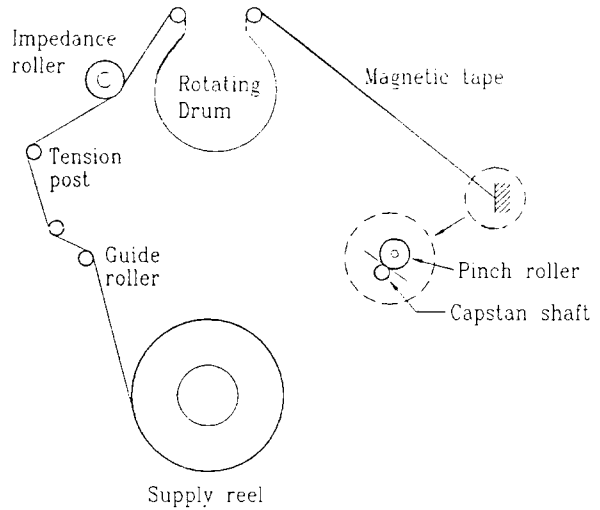
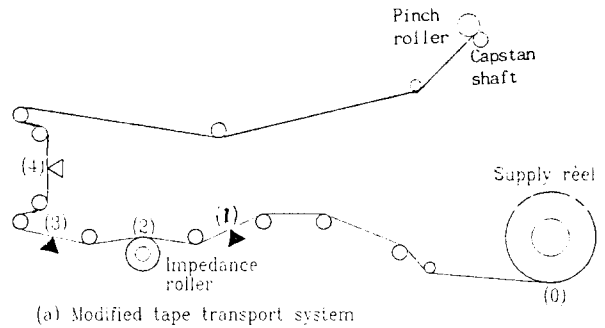
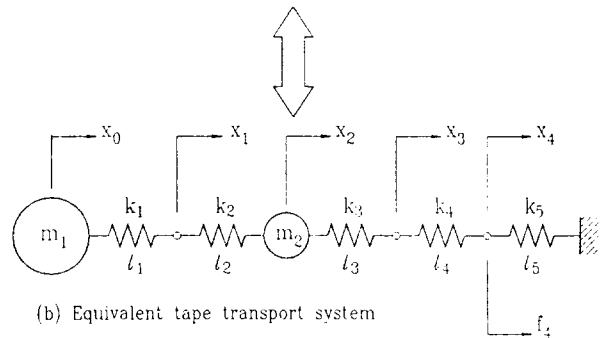


Fig. 1 Schematic diagram of the tape transport system



(a) Modified tape transport system



(b) Equivalent tape transport system

Fig. 2 Tape transport system for simulation and experiment

드, 임피던스 로울러, 캡스탄부로 구성되어 있다. 캡스탄부는 핀치로울러와 캡스탄축으로 테이프를 압착하고 있으므로 주행계 모델링시 고정단으로 고려한다. 그리고 임피던스 로울러 및 공급릴의 관성모우멘트는 회전축으로부터 테이프 접촉면까지의 거리 즉 반경의 자승으로 나눈 등가질량을 이용하여 회전 운동계를 직선운동계로 등가화시켜 해석한다.

실제의 해석대상과 실험대상인 계로서 Fig. 2와 같

은 주행계를 고려한다. 제시된 테이프 주행계는 실험에 편리하도록 포스트의 위치들을 변화시켰으며, 임피던스 로울러에 대한 테이프의 감김각을 임의로 조정할 수 있게 하였으며[(2)지점], 외부에서 주기적 가진을 줄 수 있는 공간을 확보할 수 있게 하였다[(4)지점].

Fig. 2(a)는 실제 테이프 주행계를 나타내는데, J_1 과 J_2 는 각각 공급릴과 임피던스 로울러의 관성모우멘트이다. 그리고 사용된 가이드 포스트는 마찰에 의한 영향을 가급적 감소시키기 위하여 모두 회전 가이드 로울러를 사용하였다. (1)과 (3)지점에는 오디오 헤드를 장착하여 주행하는 테이프의 진동을 측정하도록 하였다. 측정원리는 3 kHz의 정현파 신호를 테스트 테이프에 기록시킨 상태에서 테이프 주행 중 이 신호를 읽어들이므로써 기록된 신호의 시간축상 위상차를 판독하여 속도변동을 구하는 원리를 취하였다.

Fig. 2(b)는 Fig. 2(a)를 직선운동계로 등가화시킨 모델이며, 각 지점에서의 하첨자는 Fig. 2(a)의 ()로 표시된 지점에 해당된다. l_i 는 각 구간에서의 테이프 길이이며, k_i 는 이에 해당되는 테이프 스프링상수이다.

Fig. 2(a)에 제시된 계에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_0 + k_1(x_0 - x_1) &= 0 \\ k_1(x_0 - x_1) + k_2(x_1 - x_2) &= 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) + k_3(x_2 - x_3) &= 0 \\ k_3(x_3 - x_2) + k_4(x_3 - x_4) &= 0 \\ k_4(x_4 - x_3) + k_5 x_4 &= f_4 \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)을 라플라스 변환하여 외력 f_4 에 대한 변위 x_1 의 콤플라이언스 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X_1(s)}{F_4(s)} = \frac{As^2 + B}{Cs^4 + Ds^2 + E} \quad (2)$$

여기서

$$\begin{aligned} A &= m_1 k_2 k_3 k_4 \\ B &= k_1 k_2 k_3 k_4 \\ C &= m_1 m_2 (k_1 + k_2) (k_3 k_4 + k_3 k_5 + k_4 k_5) \\ D &= m_1 (k_1 k_2 k_3 k_4 + k_1 k_2 k_3 k_5 + k_1 k_2 k_4 k_5 + k_1 k_3 k_4 k_5 \\ &\quad + k_2 k_3 k_4 k_5) + m_2 (k_1 k_2 k_3 k_4 + k_1 k_2 k_3 k_5 + k_1 k_2 k_4 k_5) \\ E &= k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \end{aligned}$$

그리고 외력 f_4 에 대한 변위 x_3 의 콤플라이언스 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X_3(s)}{F_4(s)} = \frac{As^4 Bs^2 + C}{Ds^4 + Es^2 + F} \quad (3)$$

여기서

$$\begin{aligned} A &= m_1 m_2 (k_1 + k_2) k_4 \\ B &= m_1 (k_1 + k_2 + k_1 k_3 + k_2 k_3) k_4 + m_2 k_1 k_2 k_4 \\ C &= k_1 k_2 k_3 k_4 \\ D &= m_1 m_2 (k_1 + k_2) (k_3 k_4 + k_3 k_5 + k_4 k_5) \\ E &= m_1 (k_1 k_2 k_3 k_4 + k_1 k_2 k_3 k_5 + k_1 k_2 k_4 k_5 + k_1 k_3 k_4 k_5 \\ &\quad + k_2 k_3 k_4 k_5) + m_2 (k_1 k_2 k_3 k_4 + k_1 k_2 k_3 k_5 + k_1 k_2 k_4 k_5) \\ F &= k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \end{aligned}$$

3. 제진효과 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션

식 (2)와 식 (3)으로 주어진 콤플라이언스 전달함수의 주파수영역 특성을 분석하기 위하여 컴퓨터에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션의 목적은 임피던스 로울러의 등가질량에 따른 제진효과와 분석과 임피던스 로울러의 주행계내 설치위치에 따른 제진효과와 분석을 하기 위함이다.

시뮬레이션을 위해서는 수식상에 포함된 각종 물리적 상수를 구해야 하는데, 이들은 실험적인 방법으로 구했다.

(가) 공급릴부의 관성모우멘트

공급릴부는 크게 3가지로 분류되는데 테이프, 릴 호울더, 토크 리미터 등이다. 특히 공급릴에 감겨있는 테이프(2시간용)는 그 감김양에 따라 관성모우멘트가 변하므로 이를 크게 5가지로 분류하여 실험적으로 구했으며, 기어에 의해 상호 연결되어 있는 릴 호울더와 토크 리미터에 대한 관성모우멘트 또한 실험적으로 구해 공급릴부에 대한 관성모우멘트 측정 결과를 Table 1에 제시하였다.

(나) 임피던스 로울러

임피던스 로울러는 이중구조로 되어 있는데 외부는 황동으로 내부는 합성수지 계통의 재료로 되어 있다. 임피던스 로울러의 종류는 4가지를 선택하였으며 이에 대한 내용이 Table 2에 제시되어 있다. 특히 임피던스 로울러의 단면형상이 T형으로 된 것은 등가질량을 증가시키기 위한 방안으로 도입되었다.

(다) 테이프의 스프링상수

테이프의 스프링상수는 재질특성상 비선형성을 갖고 있으나, 테이프가 주행하고 있는 상태의 장력하

Table 1 Moment of inertia of the supply reel part

Tape (2hr)	Mass(g)	Supply reel Moment of inertia(gcm ²)	Holder + Torque limiter moment of inertia(gcm ²)	Supply reel radius of rotation(mm)	Equivalent mass of supply reel part(g)
Empty	22.6	183.7	9.767	13.0	114.5
1/4	43.5	252.3	9.767	22.8	56.3
1/2	64.3	397.8	9.767	29.2	48.0
3/4	85.2	634.5	9.767	35.3	51.8
Full	106.0	928.5	9.767	40.0	58.6

Table 2 Moment of inertia and equivalent mass of the impedance roller

Impedance roller type	Diagram			
<i>J</i> and <i>M_{eq}</i>				
Moment of inertia(gcm ²)	1.20	2.50	2.51	2.48
Equivalent mass(g)	4.80	7.00	10.05	20.27

에서 선형으로 간주하여 스프링상수를 구했다. 소형 인장시험기에 의해 측정된 결과에 의하면, *A*를 테이프의 단면적, *E*를 테이프의 영률(Young's modulus)이라 할때 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$AE = 723(N) \tag{4}$$

따라서 테이프의 길이를 *l*이라할 때, 테이프의 스프링상수 *k*는 다음과 같다.

$$k = AE/l \tag{5}$$

이제 Fig. 2에 제시된 계에 대한 주파수 응답을 구하도록 한다. 먼저 식 (2)로 주어진 콤플라이언스 전달함수에 대하여, 공급릴의 등가질량이 최대인 경우 Table 2에 제시된 4종류의 임피던스 로울러에 대해 주파수응답을 구한 결과가 Fig. 3에 제시되어 있다. 임피던스 로울러의 등가질량 증가에 따라 2차 고유진동수가 저하하므로 이에 따라 입력 *f_i*에 대한 감도 특성이 고주파 영역에서 감소됨을 알 수 있으

며, 결과적으로 제진범위가 넓어짐을 알 수 있다.

Fig. 4는 식 (3)으로 주어진 콤플라이언스 전달함수에 대하여 앞의 경우와 동일한 상황에서 주파수응

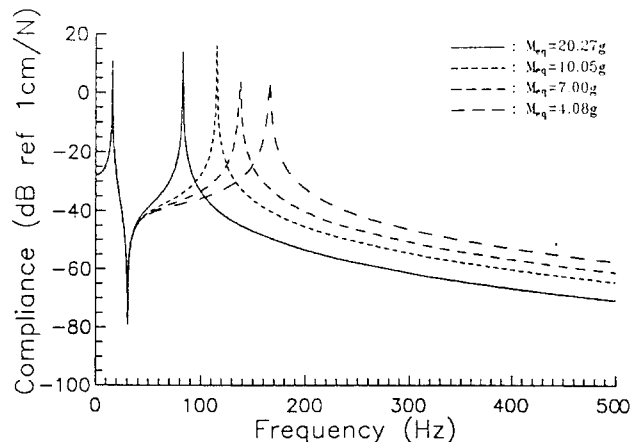


Fig. 3 Compliance plot for $\frac{X_1(j\omega)}{F_i(j\omega)}$

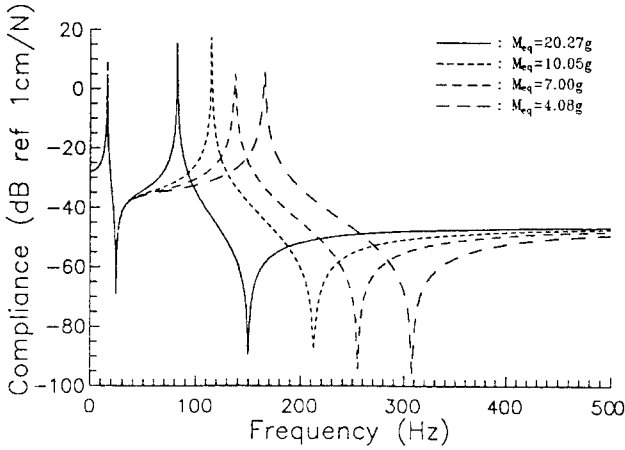


Fig. 4 Compliance plot for $\frac{X_3(j\omega)}{F_4(j\omega)}$

답을 구한 결과이다. 임피던스 로울러의 등가질량 증가에 따라 2차 고유진동수는 저하하나, 고주파수 영역에서는 입력 f_4 에 대한 주파수응답 크기가 감소하지 않고 일정함을 알 수 있다. 따라서 임피던스 로울러의 설치위치에 따라 제진특성의 차이가 있음을 알 수 있다.

3.2 실험

임피던스 로울러의 제진효과를 살펴보기 위하여 주파수를 변화시켜 가면서 주행하는 테이프에 외력을 가하고, 이에 대한 테이프의 속도변동을 주파수 분석하고자 한다. 먼저 외력을 가하기 위한 장치로서 Fig. 5에 제시된 바와 같이 회전 드럼의 양쪽에 홈을 가공하고 여기에 직경 $\phi 2$ 의 연마봉을 삽입하여, 드럼의 회전시 테이프와의 접촉면에서 주기적인 가진을 발생시키도록 하였다. 이러한 가진은 Fig. 2의 (4)지점에서 실시되며, 드럼과 테이프의 접촉면이 클 경우 오디오 헤드에 의한 속도변동의 측정이 곤란할 정도로 진동이 크게 되므로 접촉정도를 시행착오에 의해 선정하였다. 테이프에 가해지는 가진성분에 대한 테이프의 진동은 Fig. 2 (2)지점에 해당되는 임피던스 로울러를 거쳐 (1)지점에 설치된 오디오 헤드에 의해서 검출된다. 그리고 검출된 신호는 와우/플러터 미터로 입력되고 이의 출력신호는 주파수분석을 위해 데이터 수집된다.

Fig. 6은 이러한 가진실험의 결과를 제시한 것이다. 그림에서 수평축은 가진성분의 주파수를 나타내며, 수직축은 각각의 가진 주파수에서 측정된 속도변동신호의 파워스펙트럼이다. 그림에서 제시된 바

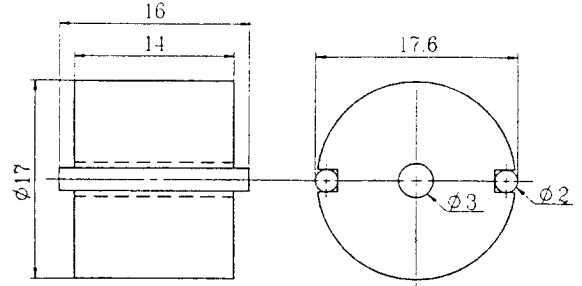


Fig. 5 Structure of the rotating drum

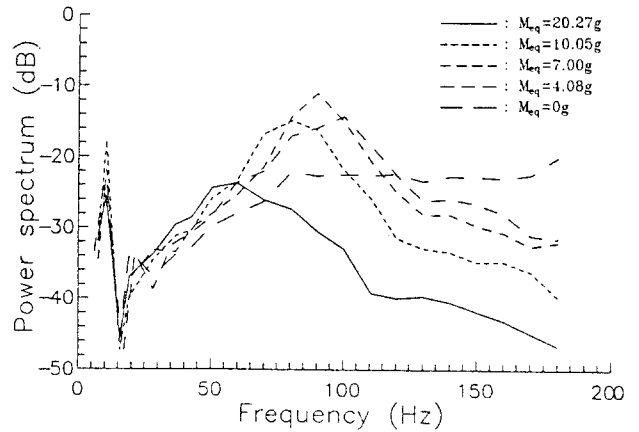


Fig. 6 Frequency response plot of the tape vibration for the exciting force

와 같이 임피던스 로울러의 등가질량 증가에 따라 속도변동성분의 파워스펙트럼이 감소되고 있음을 알 수 있으며, 임피던스 로울러에 의해 얻어지는 공진봉도 임피던스 로울러의 등가질량에 따라 저하됨을 알 수 있다. 그리고 임피던스 로울러를 제거시켜 실시한 실험결과에서는 고주파 영역에서도 속도변동성분의 파워스펙트럼이 감소되지 않고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3과 Fig. 4에 제시된 시뮬레이션 결과와 Fig. 6에 제시된 실험결과를 비교해볼 때 수치적으로 고유진동수가 일치하지는 않으나, 임피던스 로울러의 등가질량에 따른 고유진동수의 증감은 일치하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 임피던스 로울러를 제거하여 실험한 경우 진동진폭이 감소하지 않는 경우는 식 (2)에서 $m_2=0$ 인 경우의 전달함수와 비교함으로써 그 경향을 분석할 수 있다.

4. 결론

임피던스 로울러의 제진효과를 분석하기 위하여

전체 주행계에 대한 모델링 및 이에 대한 시뮬레이션, 그리고 실제 실험세트상에서의 제진효과 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 먼저 임피던스 로울러의 등가질량에 따라 전체 테이프 주행계에서 임피던스 로울러에 대한 고유진동수의 차이가 있으며, 등가질량 증가에 따라 고유진동수는 낮아지므로 결과적으로 제진범위는 넓어진다. 그리고 주행계상에서의 임피던스 로울러의 위치에 따라 제진효과에 차이가 있으며, 외란이 가해지는 지점과 신호를 검출하고자 하는 지점 사이에 임피던스 로울러를 설치하는 것이 바람직하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 '90 목적기초 연구과제 "테이프 주행 자기기록장치의 성능향상"의 과제로 수행된 연구의 일부분이며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 中西徹, 1985, "VTRドラのねじり共振現象," シャープ技報, 第31號, pp. 81~84.
- (2) 久保觀治 外 3人, 1979, "VHS方式VTRのテープ走行系," National Technical Report, Vol. 25, No. 1, pp. 61~69.
- (3) 加納清志 外 4人, 1988, "VHSハイファイVTRの高音質化," National Technical Report, Vol. 34, No. 6, pp. 591~599.
- (4) W. Fell, 1980, "The Influence of the Elasticity of Magnetic Tape on Some Parameters of Magnetic Recording," The Radio and Electronic Engineer, Vol. 50, No. 11/12, pp. 624~630.
- (5) 류두현, 1991, 테이프 주행 자기기록장치 텐션 압계의 동특성 해석, 연세대학교 석사학위 논문.
- (6) F. Jorgensen, 1988, The Complete Handbook of Magnetic Recording, 3rd Ed., TAB Books Inc..