

〈論 文〉

## 회전헤드에 대한 주행테이프의 부상특성(Ⅱ)

—실험해석—

민 옥 기\* · 김 수 경\*\*

(1990년 9월 10일 접수)

### Flying Characteristics of Running Tape above Rotating Head(Ⅱ)

—Experimental Analysis—

Oakkey Min and Sookyung Kim

**Key Words :** Opto-Electrical Displacement(광학 전자 변위계), Elasto Hydrodynamic Lubrication(EHL; 탄성 유체 윤활 기구), Running Tape(주행 테이프), Elastic Thin Foil(박막 탄성체), Rotating Head(회전 헤드), Protruding Bump(돌출물), Spacing(틈새), Lubricated Air Film(공기 윤활막), Vertical Deformation(수직 변형), Flying Characteristics(부상 특성), Rotating Head(회전 헤드), Experimental System(실험 시스템)

#### Abstract

This dissertation analyzes the running mechanism of flexible and thin tape above rotating head through the experiment. The scope of study is confined to measure the vertical deformation of running tape under hydrodynamic pressure invoking phenomena of elasto-hydrodynamic lubrication between the protruded bump on a rotating cylinder and the running tape. Experimental system is devised to measure the vertical deflection of the running tape by opto-electronical displacement gauge, which enables to detect microscopic surface deflection of high frequency. Through the tests of small specimens of groove and bump, the accuracy and reliability of this experimental method is confirmed and achieved an accuracy within 5%(2 $\mu$ m) error for the microscopic deflection with high frequency. In experimental works, the effects of bump size on flying characteristics of the tape were evaluated and examined. For the vertical deformation of the running tape, the numerical results and its trend agree qualitatively with the experimental ones.

#### 1. 서 론

고속으로 회전하는 드럼 원주면 상에 미소하게 돌출된 헤드에 대해 주행하는 테이프의 거동에 대

한 해석 모델은 기록 장치 등의 정보의 기록/재생에 필연적으로 직면하게 되는 문제이다. 자기 기록 장치는 기록 매체인 자기 테이프에 정보를 기록하거나 재생하기 위하여 회전 헤드와 주행 테이프 간의 연속적이고 안정된 접촉 주행이 필요하게 된다. VCR(video cassette recorder) 등에서 사용하고 있는 회전 헤드형 자기 기록 장치에 있어서는 헤드

\*정회원, 연세대학교 공과대학 기계공학과

\*\* (주)금성사 AV사업부 설계실

와 기록 매체 간에 상대 속도에 의한 동압이 발생하여 공기 윤활막(lubricated air film)을 형성시킨다. 이러한 공기막에 의한 부상 효과는 자기 테이프와 회전 드럼 사이에 미소한 틈새를 갖게 하여 마찰을 막아주기도 하지만 헤드와 기록 매체 사이에 틈새 손실에 의하여 기록/재생 신호의 출력을 감소시키기도 한다. 자기 기록 장치에서는 고밀도 기록 특성이 크게 요구되어 지고 있는 추세이며 헤드와 기록 매체 간의 밀착성 및 주행 안정성이 매우 중요한 요소로 취급되어 진다.

지금까지 박막 탄성체와 같은 테이프와 돌출물인 헤드 간의 상대 운동에 따른 주행 특성에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 박막 탄성체의 부상 특성에 관한 연구로서는 1960년대 초 컴퓨터 자기 디스크 장치와 자기 테이프 장치 등을 대상으로 많이 연구되어 왔다. 헤드 및 기록 매체의 손상과 마찰을 방지하는 것을 주목적으로 박막 탄성체를 윤활 효과에 의해 헤드로부터 안정하게 부상시키기 위한 연구 등이 이루어져 왔다. 이러한 윤활 접촉 기구에 관한 연구로서 돌출물이 없는 공기 윤활 막 베어링(air lubricated foil bearing)에 대한 유체 윤활에 관한 연구를 시작으로 하여 실험적 연구가 많이 진행되어 왔다. Albrecht<sup>(1)</sup> 및 Feliss<sup>(2)</sup> 등은 돌출물이 없는 단순한 막 베어링의 부상 특성에 대해 정전 용량식의 센서를 사용하여 부상 특성에 대해 실험 해석을 하였다. Tani<sup>(3)</sup> 등은 자기 테이프의 변형에 있어서 윤활 유체의 압력 경계 조건을 변화시켜 가면서 수치 해를 구한 후 레이저 비접촉 측정계를 이용하여 실험 해석을 하였다. Okada<sup>(4)</sup> 등은 광학 전자 변위계를 이용하여 자기 테이프 변위에 대해 정밀 계측을 하였으며 헤드의 마모량의 평가에 대해 연구를 하였다. Li<sup>(5)</sup> 등은 레이저 변위계를 이용하여 자기 디스크의 변형을 계측하였고 빛의 반사율 등을 보정하여 정밀한 계측값을 얻을 수 있는 측정 시스템에 대해 연구하였다. Uenaka<sup>(6)</sup> 등은 헤드의 접촉력을 측정하고 테이프의 강성과 접촉 조건에 대해 실험을 하였다. Ohkubo<sup>(7)</sup> 등은 광대역의 주파수를 가진 레이저 광간섭기를 이용하여 마그네틱 헤드 슬라이더의 부상 특성을 서브 마이크로(sub-micron) 단위까지 계측을 하였다.

본 연구에서는 테이프의 미소한 수직 변형에 대한 실험을 수행하여 이에 대한 계측 이론 및 계측 방법을 정립한다. 회전 헤드와 주행 테이프를 구동

할 수 있는 실험 장치를 개발하고 주행 테이프의 변형을 정밀 계측할 수 있는 측정 시스템을 구성한다. 이러한 측정 시스템을 이용하여 고속이면서 미소한 주행 테이프의 변형에 대해 비접촉적인 방법으로 3차원 계측을 실시한다. 헤드의 형상 및 크기가 다른 모델들을 설계 및 가공을 통해 제작하여 주행 테이프의 부상 특성을 평가한다. 주행 테이프의 부상 특성에 관한 수치 해석 결과에 대하여 실제와의 부합 여부를 검토할 수 있도록 실험을 수행한다. 본 연구에서 구성한 비접촉 측정 시스템으로 계측한 테이프의 3차원 변형에 대한 실험 결과와 수치 해석 결과를 비교 검토한다.

## 2. 비접촉식 광학 전자 변위측정

본 장에서는 주행 테이프에 대하여 돌출물이 고속 회전할 때 테이프의 미소한 변형을 광학 변위계를 이용하여 계측하는 방법을 연구하였다. 테이프의 미소 변위에 대한 기본적인 계측 원리와 이를 위한 계측 시스템을 검토하였다. 계측치에 대하여 검증 실험을 실시하고 측정 편차 등을 파악 하였다. 주행 테이프의 미소 변위에 대하여 실험을 수행하고 그 결과를 검토하였다. 1편에서 발표한 수치 해석 결과와 계측한 테이프의 수직 변위를 비교 검토하였다.

### 2.1 측정 이론

고속으로 움직이는 운동을 측정하기 위한 방법으로 광학 전자 측정 장치(opto-electronical measuring device)를 이용하였다. 이 장치는 광량을 전자량으로 변환시켜주는 영상 분할관(image dissector tube)과 전자 증폭기(electron multiplier)로 구성되어 있으며 일정 방향의 변위를 아날로그 전압으로 출력시켜 주는 장치로서 Fig. 1에 도시하였다. 그림에서와 같이 움직이는 물체에 흑백의 경계선을 가진 타겟(target)이 투영되면 망원 렌즈를 통하여 영상 분할관(image dissector tube)의 포토 캐소우드(photo cathode)에 상이 맺혀진다. 포토 캐소우드의 뒷면에는 투사되는 빛의 광량에 따라 전자가 방출되어 타겟의 전자상(electron image)이 형성된다. 이 전자상은 주변에 가해진 전자장에 의해서 튜브로 가속되어 중앙에 작은 구멍을 갖는 디스크에 초점이 맞추어진다. 이 때 전자상의 중앙에 있는 작은 부분만이 전자 증폭기

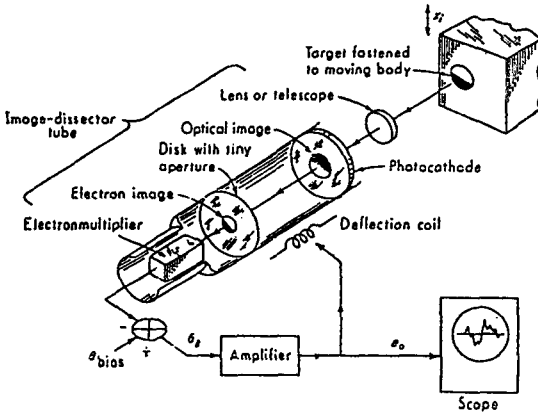


Fig. 1 Principle of the opto-electrical displacement measuring device<sup>(14)</sup>

(electron multiplier)에 비추어지며 이것에 의하여 이미지의 빛의 강도에 비례하는 전류가 발생한다. 만약 전자 증폭기에 비추어지는 전자상에서 백색이 많으면 큰 전류가 발생하며 흑색이 많으면 적은 전류가 발생한다. 출력 신호는 기준이 되는 광량에 대한 오차 전압으로서 출력 신호가 발생되고 앰프출력으로 증폭되어 변위에 비례하는 전압량으로 된다. 이 측정 장치는 광학적으로 명암의 대비가 되는 경계선이 측정의 기준이 되어 짐출이 된다. 따라서 측정하고자 하는 물체에 콘트라스트가 일정하고 강한 선을 만들어 주어야 오차가 적은 검출값을 얻을 수 있다.

측정 원리에서 언급한 타겟의 설정과 이 장치를 이용한 측정 방법에 대해서 검토한다. 타겟은 높은 흑백 대비를 갖는 흑색과 백색의 표면으로 구성되며 빛이 난반사(irregular reflection) 또는 경면 반사(specular reflection) 하지 않도록 해주어야 한다. 이러한 타겟에 요구되는 치수 조건의 한 예를 Fig. 2에 표시하였다. 이 치수 조건에서 흑백 대비를 갖는 타겟의 크기를 측정 장치의 측정 범위의 15% 이상으로 하여 주어야 한다.

피측정물의 변형 상태에 따라 계측기와 피측정물을 배합하는 여러가지 방법이 존재하게 되나 본 실험에서 응용하고자 하는 방법에 대해서 Fig. 3에 도시하였다. 표면에 흑백의 경계선을 갖고 있어 그 자체로도 타겟의 역할을 하는 피측정물 또는 흑백의 타겟이 부착된 피측정물에 대한 계측 방법으로서 Fig. 3(a)에 표시하였다. 이 방법은 이미 명암이 구별되어 있는 흑백의 경계선에 빛을 조사하는 방

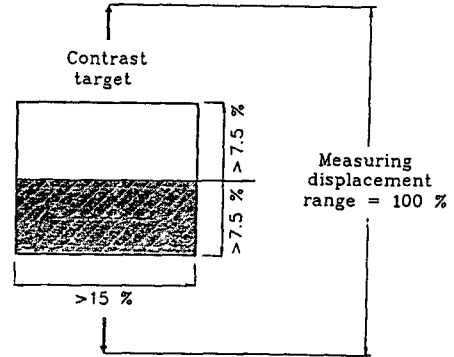
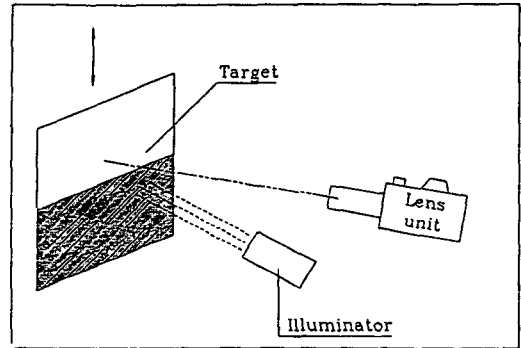
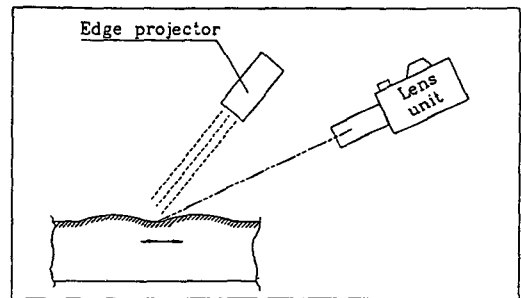


Fig. 2 Minimum requirement condition on the dimension of the target in opto-electrical displacement device<sup>(17)</sup>



(a) black and white color object with its boundary line and



(b) moving object and target on its surface directly by edge projector

Fig. 3 Adopted types of target and illuminations

법이며 명암의 대비(contrast) 정도와 빛의 강도에 따라 계측의 정밀도가 결정된다. 다른 한가지 방법은 피측정물의 표면에 흑백의 경계선을 갖고 있지 않는 물체 또는 타겟을 피측정물에 부착시켰을 때 물리적 특성이 변하는 경우에 대한 계측 방법을

Fig. 3(b)에 에 표시하였다. 이 방법은 빛의 한 부분을 날카로운 엣지(knife edge)로 가려주어 피측정물에 투사된 빛의 모양에 강한 빛의 대비를 갖게 하는 측정 방법이다. 이렇게 하면 엣지를 경계선으로 하여 빛이 투사되는 부분과 투사되지 않는 부분이 경계지어져 나타나는 명암의 차이를 이용하여 계측을 할 수 있다. 본 실험에서는 계측하고자 하는 피측정물은 자기 테이프로서 돌출물에 대하여 고속 주행을 할 때 돌출물의 전후에서 미소한 요철 변형이 생긴다. 미소 변위가 빠른 속도로 생기는 주행 테이프에는 흑백 타겟을 직접 부착할 수 없으므로 Fig. 3(b)의 방법을 사용하여 강한 빛의 대비를 만들어 준다.

본 연구에서 계측하고자 하는 테이프의 변형은 이의 형태가 미소한 산과 골을 갖는 요철 변형이다. 따라서 여러가지 계측 방법중 골 부분의 변형까지 측정 가능한 방법을 선택하여야 한다. 앞절에서 언급한 계측 방법으로 얻은 계측치는 피측정물과 계측장치의 기하학적 배치 관계에 따라 실제 변위와는 다른 값이 측정된다. 피측정물의 표면에 타겟상을 만들어 주는 엣지 프로젝터의 각도 및 계측 렌즈 유니트의 각도에 따라 보정 계수(correction factor)를 곱해주어야 한다. 피측정 장치와 계측 장치에 대한 배치 관계를 Fig. 4 및 Fig. 5에 표시하였으며 이에 사용된 기호는 Table 1에 표시하였다.

실린더 원주면에 Fig. 5의 점 A로 도시한 바와 같이 돌출물이 도달하기 전에 타겟상을 이용하여 측정점을 지정하고 빛의 입사각과 출사각을 각각

$\theta'$  및  $\theta''$ 로 지정한다. 이 타겟상의 위치는 돌출물이 없는 실린더가 회전하고 테이프가 주행하여도 변화하지 않도록 해준다. 회전 실린더에 취부된 돌출물이 접근하여 이 측정점을 벗어나게 되는 동안에는 Fig. 5(b)와 같은 상태에 있게 된다. 테이프와 돌출 헤드가 접촉하는 순간의 기하학적 관계는

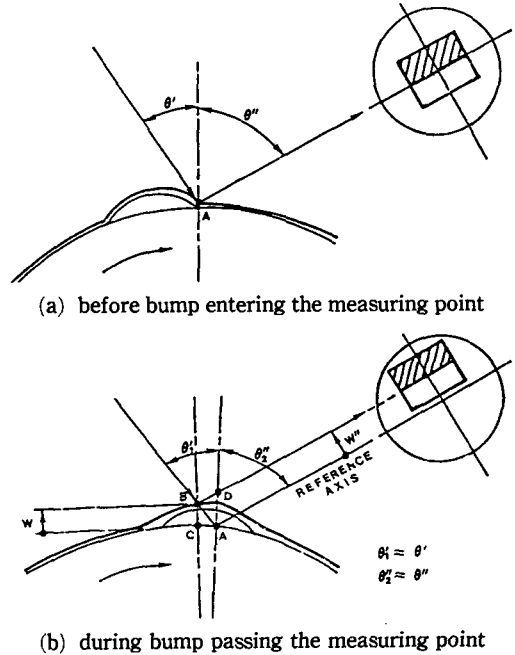


Fig. 5 Schematic view for the relationship of the actual displacement and measured displacement

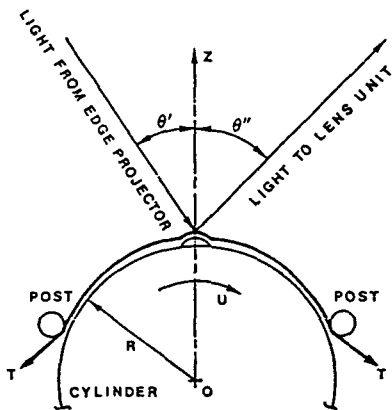


Fig. 4 Schematic relations of object, light edge projector, and measuring telescope lens

Table 1 Representation of the notation for the displacement of the object and measuring device

Nomenclature	Meaning
$O$	Center of the cylinder
$R$	Radius of the cylinder
$\theta'$	Light angle from edge projector
$\theta''$	Light angle to lens
$W$	Actual displacement of the object
$W'$	Displacement of the target position
$W''$	Measured displacement of the optical target

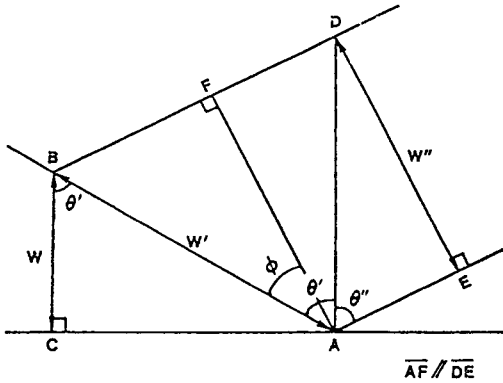


Fig. 6 Geometrical relationship of actual displacement and measured displacement  $w''^{(12)}$

Fig. 6에 구체적으로 도시하였다. 피측정물의 실제 수직 변위는 Fig. 5 및 Fig. 6에서  $w$ 가 되나, 렌즈를 통하여 측정된 타겟상의 변위는  $w''$ 이다. 또한 테이프가 변형됨으로 해서 타겟상의 위치는 A에서 B로  $w'$ 만큼 이동하게 된다. 이때  $w$ 가 피측정물의 실제 변위이나  $w''$ 가 계측되어지게 된다. 실린더의 반경  $R$ 에 비하여 변위  $w$ 가 매우 작다고 가정하면 Fig. 5에서  $\angle ABC$ 와  $\angle CAD$ 는 근사적으로 직각이 되어

$$\theta_1' \approx \theta', \theta_2' \approx \theta''$$

의 관계가 성립한다. 이 경우 실제 변위  $w$ 와 계측 변위  $w''$ 와의 관계는 Fig. 6의 각도 관계로부터 다음의 관계식이 성립한다.

$$\Phi = \theta' + \theta'' - \pi/2 \quad (1)$$

$$w' = w'' / \cos \Phi \quad (2)$$

$$w' = w / \cos \theta' \quad (3)$$

위의 관계식으로 부터 실제 변위  $w$ 와 계측 변위  $w''$  사이의 관계는

$$w = \frac{\cos \theta'}{\cos(\theta' + \theta'' - \pi/2)} w'' \quad (4)$$

로 정리된다.

주행 테이프의 변형 상태에 대한 돌출물의 상대적 위치를 파악하여야 돌출물 전후에서의 변형 상태를 정확히 예측할 수 있다. 본 연구에서는 회전 드럼을 직접 구동시켜 주는 모터에 주파수 발전기(frequency generator)와 위상 발전기(phase generator; PG)를 장착하였다. 주파수 발전기는 모터가 1회전하는 동안 회전 속도에 비례하는 펄스 신호(pulse signal)를 발생시켜 모터의 속도를 알 수

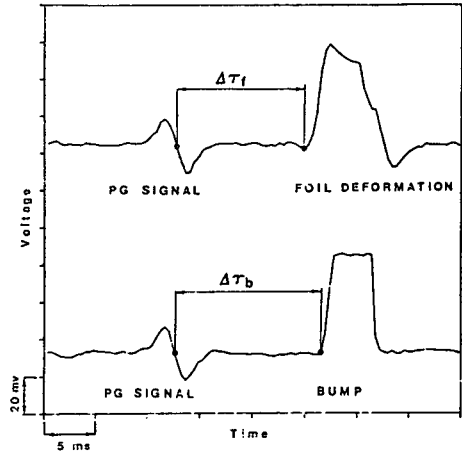
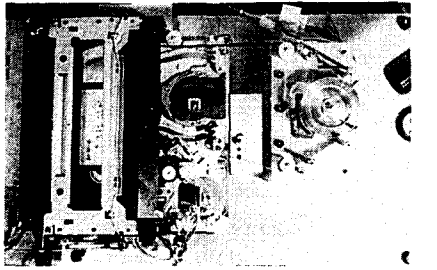


Fig. 7 Compound signals of phase signal and bump and foil deformation

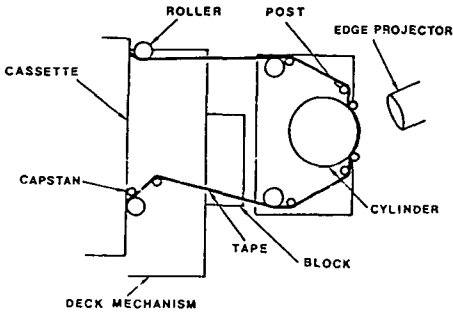
있도록 해준다. 위상 발전기는 돌출물과 기구적으로 일정한 위상각을 갖고 있어서 실린더가 회전하는 동안 위상 신호(phase signal)를 발생하여 돌출물의 위치를 알 수 있도록 해준다. 위상 발전기로부터 발생하는 위상신호를 박막 탄성체의 변형에 대한 계측 신호와 합성시키면 Fig. 7과 같이 변형에 대한 돌출물의 상대적 위치를 알 수 있게 된다. 그림에서  $\Delta\tau_f$ 는 위상 신호로부터 테이프 변형이 발생하기 시작하는 시점까지의 시간이고  $\Delta\tau_b$  위상 신호로부터 돌출물이 시작되는 시점까지의 시간이다. 먼저 테이프가 없는 돌출물만 회전하는 상태에서 위상 신호와 돌출물의 시작점까지의 상대 위치를 시간  $\Delta\tau_b$ 로부터 계산한다. 다음에 회전 돌출물과 주행 테이프가 있는 상태에서 위상 신호와 테이프 변형의 시작점까지의 상대 위치를 시간  $\Delta\tau_f$ 로부터 계산 한다. 돌출물과 변형된 테이프의 상대 위치는 각각 위상 신호와의 상대 위치의 차이로 정확하게 결정된다.

## 2.2 실험 장치의 구성 및 데이터 처리

테이프의 변위를 계측하는 실험 시스템은 크게 세가지로 구성된다. 첫째는 테이프를 주행시키고 돌출물이 있는 실린더를 회전시키는 구동 장치이며 둘째는 주행 테이프의 미소 변위량을 계측하는 계측장치이며 셋째는 계측된 값을 계측 장치로부터 받아들이고 분석, 도식화시켜 주는 자료 처리 장치이다. 구동 장치에서는 일정 속도 범위 내에서 테



(a) Photo

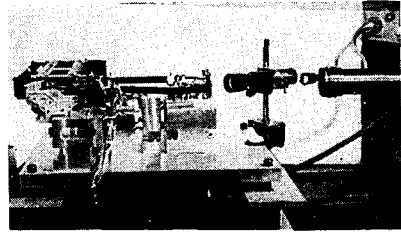


(b) Schematic view of major experimental components

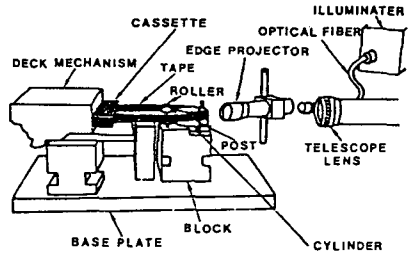
Fig. 8 Running mechanism of the running tape and rotating bump

이프를 임의의 속도로 구동시켜야 하며 실린더를 임의의 속도로 회전시켜 줄 수 있도록 하였다. 본 실험에서 사용한 테이프 구동 장치는 Fig. 8에 도시하였다.

광학 전자 변위 측정기는 타겟을 만들어주는 에지 프로젝터, 광 발생기(illuminator), 피측정물에 투사된 타겟상을 수광하는 렌즈 유닛으로 구성되어 있으며 Fig. 9에 도시하였다. 렌즈 유닛에서 검출된 신호는 이를 증폭 및 제어하는 콘트롤 유닛이 있다. 자료 처리 장치는 계측 장치로부터 출력된 아날로그 전기값을 디지털 신호로 변환하여 주는 A/D 변환기, A/D 변환기를 제어하고 A/D 변환기로부터 나온 디지털 값을 저장하여주는 컴퓨터, 저장된 자료를 정리하고 분석하는 프로그램, 결과를 프린트하는 출력 장치로 구성되어 있다. 이와 같은 세가지 시스템을 도식화하면 Fig. 10과 같다. 계측 장치에서 사용한 렌즈 유닛 및 영상 분할관의 분해능은  $0.4\mu\text{m}$ 이며 주파수 특성은  $0\sim 200\text{kHz}$  범위 내에서  $\pm 1\%$ 의 직선성 오차를 가지고 응답 속도는  $2.5\mu\text{s}$  이내 이다. 계측에 사용한 노이즈 필터는 저주파 필터(low pass filter)로



(a) Photo



(b) Schematic view of major experimental components

Fig. 9 Arrange of opto-electronical displacement measuring device

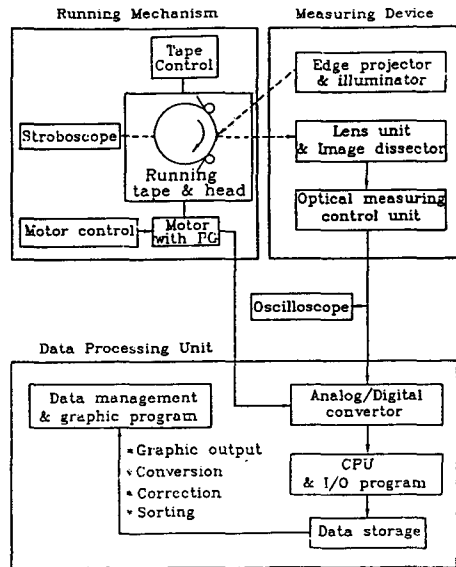


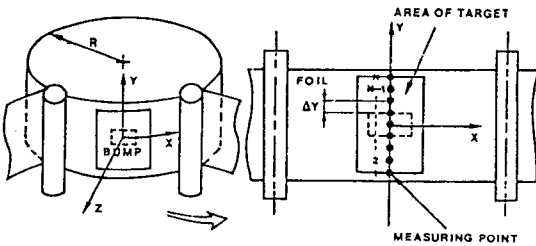
Fig. 10 The concept of flow chart of the data and electronic signal in experimental system

서  $5\sim 20\text{kHz}$  이상의 노이즈를 제거할 수 있다. 실험에 사용한 광학 전자 변위 측정기의 동작 특성을 요약하면 Table 2와 같다.

회전 실린더에 임의의 각도로 감겨져 있는 테이

**Table 2** Characteristics of the opto-electronical displacement measuring device

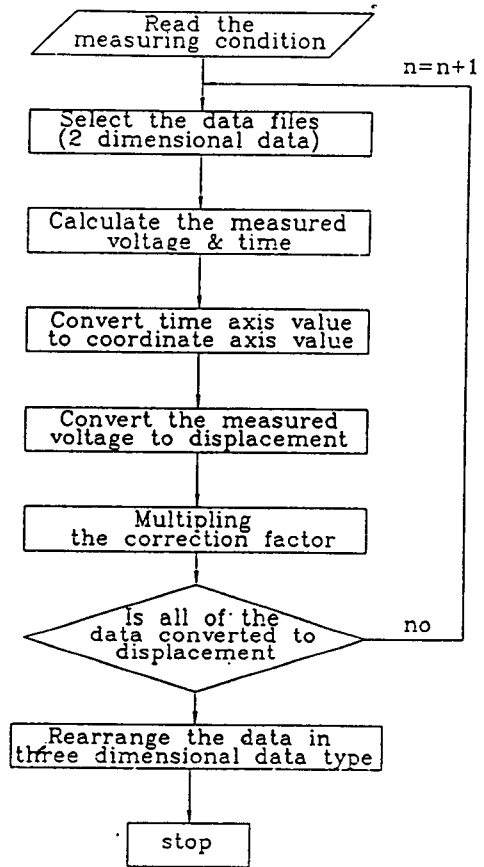
Item	Value
Working distance	213 mm
Displacement range	$\pm 5$ mm
Resolution	$0.4 \mu\text{m}$
Linearity	0~200 kHz, $\pm 1\%$ error
Target illumination	500 Lux min
Low pass filter	5~20 kHz
Rising time	within $2.5 \mu\text{s}$ (63%)

**Fig. 11** Schematic view of measuring points for 3 dimensional deformation, with one point yielding 2-dimensional deformation by running bump

프의 한 점의 변형을 돌출물이 지나가는 일정 시간 동안 계속하면 2차원 변형이 측정된다. 3차원 변형에 대한 측정은 Fig. 11과 같이 테이프와 폭 방향으로 일정한 거리  $\Delta Y$  만큼 측정 위치를 수직으로 이동시켜 가면서 수행하였다. 테이프의 표면에 설정된 측정점의 X축(주행 방향)의 값을 고정시키고 테이프의 폭 방향인 Y축 상으로 일정한 간격  $\Delta Y$  로 등분하여 N회수만큼 측정한 데이터를 조합하면 삼차원 변형 형상(profile)이 된다. 테이프의 3차원 변형을 도식화시켜 주기 위하여 Fig. 12와 같은 자료 처리 과정을 거치게 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

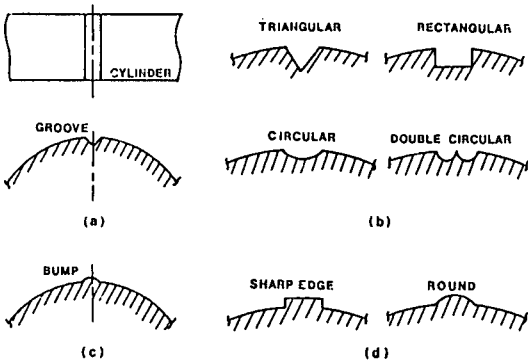
본 장에서는 실험을 통하여 박막 탄성체와 돌출물간의 주행 특성에 대한 결과를 검토하였다. 실험

**Fig. 12** Flow chart of the program for the experimental data management

에서는 박막 탄성체로서 1/2" 폭의 VCR용 자기 테이프를 사용하였으며 돌출물은 크기 형상 등을 바꾸어 설계하여 제작하였다. 먼저 실험에서 사용한 측정 방법의 정확성을 판단하기 위하여 기초 실험을 실시한다. 다음에 여러가지 측정 모델 및 조건을 바꾸어 가면서 테이프의 변위를 측정하고 결과를 검토한다.

### 3.1 기초 실험

본 절에서는 실험에서 사용한 측정 방법과 실험 장치로서 측정 결과에 대한 정확성을 판단한다. 검토 모델로서는 형상을 알고 있는 여러가지의 기초 검증 모델을 선택하였다. 주행 테이프의 요철 변형에 대한 측정 정도를 검토하기 위하여 회전 실린더에 여러 가지 홈(groove), 돌출물(bump)을 가공하여 측정하였다. 회전 실린더에 가공된 홈과 돌출



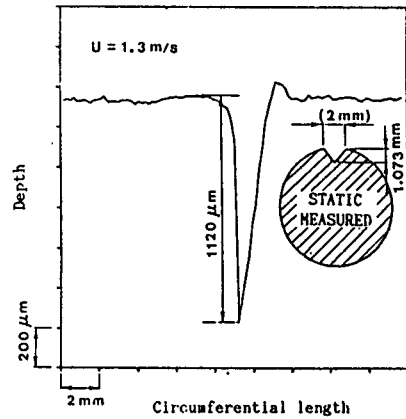
(a) Groove on cylinder  
 (b) Enlarged views of groove  
 (c) Bump on cylinder  
 (d) Enlarged views of bump

**Fig. 13** Test models for the adopted measuring method with small profiles on cylinder

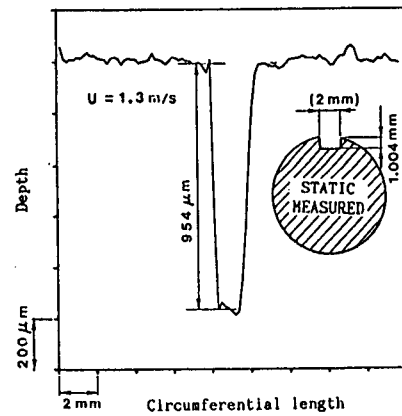
물은 그 형상 및 크기를 각각 달리하여 제작하였다. 검토 방법으로서는 본 실험에서 사용한 계측 방법 이외의 다른 방법으로서 정적인 상태에서의 계측 결과와 본 실험 해석의 결과를 비교 검토하였다. 주행 테이프의 미소 고속 변형에 대한 측정 정도를 검토하기 위하여 기초 검증 모델에 대하여 일정 속도 상태에서의 측정 결과를 검토하였다. 속도를 변화시켜 가면서 측정한 결과도 검토하였다. 정적인 상태에서 실린더에 가공한 홈 및 형상에 대한 측정 결과와 본 실험에서의 측정 결과를 여러 가지 검증 모델에 대해 정량적으로 비교 검토하였다.

검증 모델로서는 Fig. 13과 같은 모델을 사용하였다. 검증 모델로 선정한 Fig. 13의 형상에 대해서 광학 전자 변위계를 이용하여 측정된 결과와 표면 조도 측정기 및 레이저 변위계를 이용한 측정 결과를 비교 검토한다. 선정한 검증 모델이 실린더의 원주면에 가공한 형상이므로, 표면 조도 측정기 및 레이저 변위계로서 각각 실린더가 정지한 상태와 저속인 상태에서 이 미소 형상을 측정하였다. 사용한 표면 조도 측정기는 정적인 상태에서만 측정이 가능하며 분해능은  $0.1 \mu\text{m}$ 이다. 또 레이저 변위계는 샘플링 주파수가 10 kHz로서 비교적 저속인 상태에서만 측정이 가능하며 분해능은  $0.2 \mu\text{m}$ 이다. 레이저 변위계로서의 측정은 계측 정도를 높이기 위해 정적인 상태에서 측정하였다.

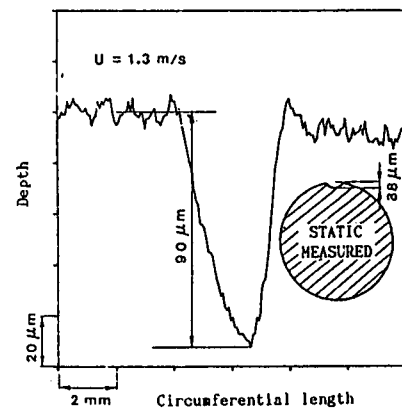
검증 모델로 선정한 Fig. 13의 미소 형상에 대한 측정 결과를 Fig. 14~Fig. 21에 도시하였다. 또 이



**Fig. 14** The measured shape of the triangular groove ( $U=1.3\text{m/s}$ )



**Fig. 15** The measured shape of the rectangular groove ( $U=1.3\text{m/s}$ )



**Fig. 16** The measured shape of the circular groove ( $U=1.3\text{m/s}$ )



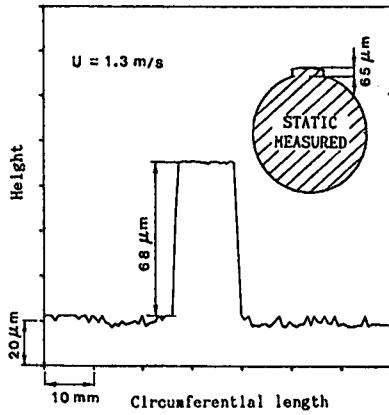


Fig. 17 The measured shape of the sparp edge bump ( $U=1.3\text{m/s}$ )

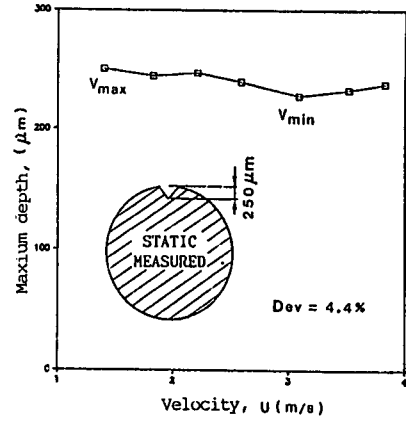


Fig. 20 The measured value of maximum depth of triangular groove vs. velocity

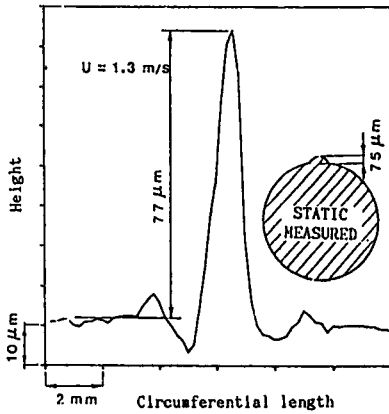


Fig. 18 The measured shape of the cylindrical bump ( $U=1.3\text{m/s}$ )

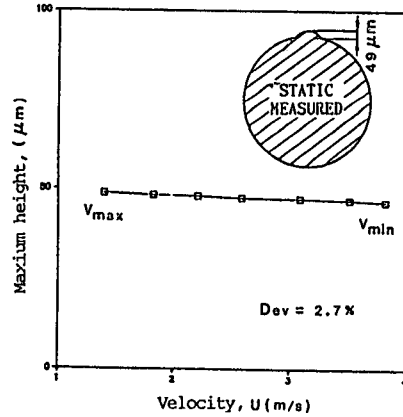


Fig. 21 The measured value of maximum height of cylindrical bump vs. velocity

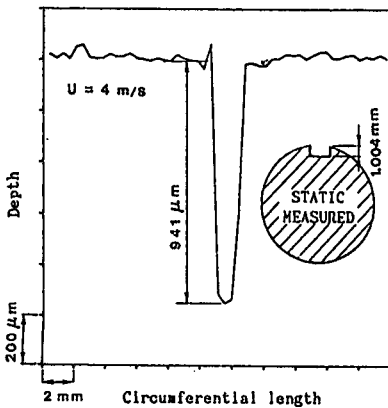


Fig. 19 The measured shape of the rectangular groove ( $U=4\text{m/s}$ )

에 대한 결과를 Table 3에 정리하였다.

돌출물에 대한 측정 결과는 측정 오차를 포함하여 약  $\pm 5\%$  이내이며 형상 변화가 완만한 미소 형상 또는 미소 변형일 때는 이 오차는 약  $2\mu\text{m}$  정도로서 실제와 거의 근사하게 측정됨을 알 수 있다. 또 속도 변동이 적은 범위에서 측정을 수행하면 속도 변화에 따른 오차는 무시할 정도로 작은 것으로 취급할 수 있다로 본다.

실린더의 표면은 알루미늄으로서 테이프 재질 폴리아스테르 필름과는 빛의 반사율이 다르다. 측정 오차를 줄이기 위해서는 측정할 때의 기준이 되는 면과 테이프의 표면은 빛의 반사율이 같은 동일 색상으로 해주는 것이 좋으며 이와 같은 것이 불가피

Table 3 Result of the experiment for test profiles

Type	Opto-electronical displacement meter	Surface roughness meter	Laser displacement meter	Deviation (%)
Triangular groove	1.120mm	1.073mm (static value)	—	4.4%
Rectangular groove	0.954mm	1.004mm (static value)	—	4.6%
Circular groove	0.090mm	—	0.088mm (static value)	2.3%
Sharp edge bump	0.068mm	—	0.065mm (static value)	4.6%
Cylindrical bump	0.077mm	—	0.075mm (static value)	2.7%

\* Note : 1. Deviation =  $|(static\ value - measured\ value)| / (static\ value) \times 100\%$

2. Measured as static object by surface roughness meter and laser displacement meter and moving object by opto-electronical displacement meter

할 경우, 측정치에 대한 보정치(correction factor)를 고려해 주어야 한다. 각 검증 모델에 대한 측정 결과를 종합하면 약 5% 이내의 측정 오차 범위 내에서 측정 결과가 잘 일치됨을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 검토한 미소 변형에 대한 측정 방법 등을 응용하여 테이프의 미소한 용철 변형을 비교적 정확하게 측정할 수 있다고 본다.

앞절의 실험 해석에 대한 타당성 검증 실험 결과

를 근거로 주행 테이프의 미소 고속 변형에 대하여 실험 해석을 수행한다. 실험 모델은 돌출물의 가로 길이와 세로 폭의 크기가 다른 여러가지 모델을 제작하여 실험하였다. 돌출물의 곡률 반경을 달리한 모델을 제작하여 그 영향을 파악하였다. 실험 조건은 Table 4와 같다. 실제 VCR의 헤드에 비해 실험 모델의 경우 돌출물의 크기 및 돌출량은 다소 큰 편이다. (실제 VCR의 경우 헤드의 길이와 폭은

Table 4 Condition of experimental analysis

Nomenclature	Parameters	Value & unit
$U$	Relative velocity	4, 4.2, 4.3m/s
$T$	Tension	20N/m
$R$	Radius of cylinder	0.008, 0.031m
$\theta$	Scanning angle	0°
$b_1 + b_2$	Foil width	0.0126m
$l_1 + l_2$	Foil length	0.044m
$\theta'$	Light angle from edge projector	25°
$\theta''$	Light angle to lens unit	0°
$b_z$	Protrusion of bump center	$6 \times 10^{-5}$ , $7.5 \times 10^{-5}$ m

Note : Foil length 0.044m is equivalent to 40° wrapping angle on the cylinder

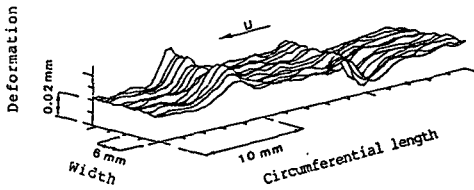


Fig. 22 Three dimensional derormation profile of the running tpe on the rotating bump (bump size  $12.6 \times 12.6 \text{ mm}$ ;  $r=31 \text{ mm}$ )

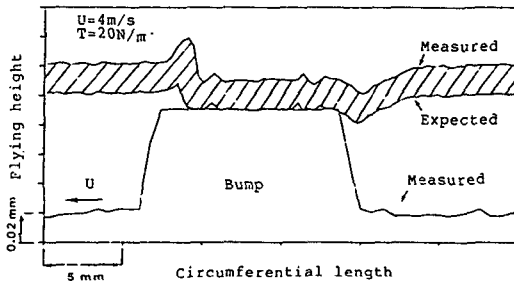


Fig. 23 Flying height of the running tape on the rotating bump (bump size  $12.6 \times 12.6 \text{ mm}$ ,  $r=31 \text{ mm}$ )

$3.2 \times 0.16 \text{ mm}$ , 돌출량은  $0.04 \sim 0.05 \text{ mm}$ 이다.)

가로 길이와 세로 폭이 서로 같은 모델 3가지에 대해 실험 해석을 수행하였다. 돌출물의 크기는 각각  $12.6 \times 12.6 \text{ mm}$ ,  $5 \times 5 \text{ mm}$ ,  $2 \times 2 \text{ mm}$ 이고, 돌출물의 곡률 반경은  $31 \text{ mm}$  돌출량은  $0.06 \text{ mm}$ 이다. 돌출물의 길이와 폭의 크기가  $12.6 \text{ mm}$ 와  $12.6 \text{ mm}$ 인 모델에 대하여 테이프의 폭방향 즉,  $y$ 축 방향으로 일정한 길이만큼 증감시켜서 예측한 테이프의 3차원 변형을 Fig. 22에 도시하였다. 테이프와 두께를 고려하고 돌출물의 크기 및 높이(돌출량)를 예측하여 돌출물에 대한 상대적인 테이프 변형을 Fig. 23에 도시하였다. 테이프는 변형 중에도 두께는 일정하다고 가정하여 변형된 테이프를 표시하였고 돌출물 위치는 테이프를 제거하고 예측한 후 위상 신호와의 상대 위치로 부터 계산하였다. 그림에서 알 수 있듯이 돌출물의 중앙 부위에서는 테이프가 돌출물에 거의 접촉해 있음을 나타내고 돌출물의 전후에서 양의 변형과 음의 변형이 있음을 보여주고 있다. 이는 1편의 이론 해석에서 검토한 결과를 참조하면 압력의 영향으로 인하여 최소 윤활 틈새가 돌출물의 중앙 및 후방에 나타나 잘 일치되고 있다.

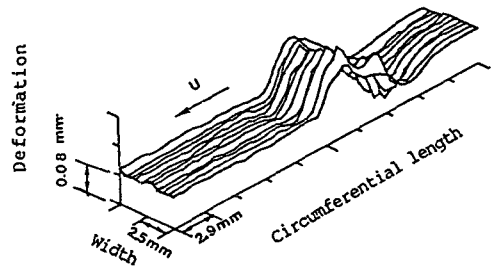


Fig. 24 Three dimensional deformation profile of the running tape on the rotating bump (bump size  $5 \times 5 \text{ mm}$ ,  $r=31 \text{ mm}$ )

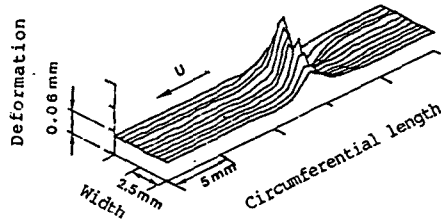


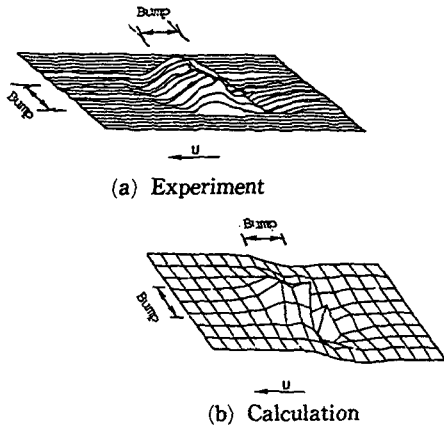
Fig. 25 Three dimensional deformation profile of the running tape on the running bump (bump size  $2 \times 2 \text{ mm}$ ,  $r=31 \text{ mm}$ )

돌출물의 길이와 폭의 크기가  $5 \text{ mm}$ 와  $5 \text{ mm}$ 인 모델에 대하여 테이프의 폭 방향으로 예측한 테이프의 3차원 변형을 Fig. 24에 도시하였다. 돌출물의 길이와 폭이  $12.6 \text{ mm}$ 와  $12.6 \text{ mm}$ 인 모델과 비교하면 양의 변형과 음의 변형이 발생하는 구간이 좁아지고 양의 변형이 다소 커진 것을 알 수 있다. 이는 돌출물의 길이가 작아진데서 기인한 것이다.

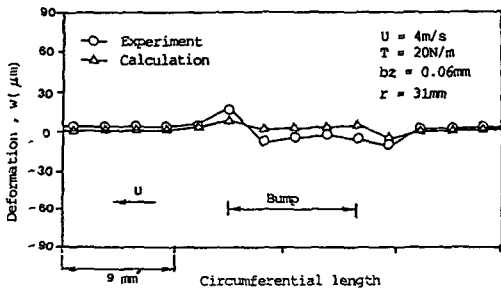
돌출물의 길이와 폭이 앞의 모델과는 다소 작은  $2 \text{ mm}$ 와  $2 \text{ mm}$ 인 돌출물에 대해 테이프의 3차원 변형을 Fig. 25에 도시하였다. 돌출물의 길이와 폭이 작아짐에 따라 테이프 전체 영역에 걸쳐서 음의 변형에 비해 양의 변형이 두드러진 것을 나타내 주고 있다. 앞의 다른 모델들과는 달리 돌출물의 주행 방향에 대해 돌출물 전방에서 양의 변형이 생기고 돌출물 중앙 부위에서 변형이 가장 크게 되며 후방에서는 음의 변형이 거의 없어진 것을 알 수 있다. 이것은 돌출물의 크기가 앞의 모델들에 비해 상당히 작아짐에 따라 윤활 유체의 관성의 효과가 많이 줄어들어 기인한다.

### 3.3 수치 결과 및 실험 결과의 비교

돌출물의 길이와 폭이  $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  및  $12.6 \text{ mm} \times$



**Fig. 26** Three dimensional deformation distribution of the running tape on the bump (bump size  $5 \times 5\text{mm}$ ,  $bz=0.06\text{mm}$ ,  $r=31\text{mm}$ ,  $T=20\text{N/m}$ ,  $U=4\text{m/s}$ )



**Fig. 27** Deformation of the running tape along the center line of the bump (bump size  $12.6 \times 12.6\text{mm}$ ,  $bz=0.06\text{mm}$ ,  $r=33\text{mm}$ ,  $T=20\text{N/m}$ ,  $U=4\text{m/s}$ )

12.6mm인 모델에 대하여 수치해석 결과와 실험 결과를 비교하여 보았다. 테이프 변형의 경향을 보여주는 Fig. 26에서는 돌출물의 주행 방향에 대한 테이프의 3차원 변형의 경향이 서로 정성적으로 일치하는 것을 보여주고 있다. 테이프 폭 방향의 중심선 상에서 구한 테이프의 변형을 Fig. 27에 도시하였다. 수치 결과와 실험 결과는 정량적으로 오차가 크게 나타나고 있으나 변형의 전체적인 경향은 유사한 것을 알 수 있다. 향후 수치 해석 부분에서 좀더 정확한 결과를 얻고 실험에서도 계측 정도를 높여 이를 보완해 나갈 예정이다.

#### 4. 결 론

박막 탄성체인 테이프가 회전 하는 드럼에 부착

된 마그네틱 헤드와 같은 돌출물에 대하여 주행하면서 갖는 부상 특성에 대하여 실험을 통하여 테이프의 부상 정도를 측정하였다. 측정 방법으로는 광학 전자식 비접촉 변위계를 이용하였고 측정 데이터의 입출력 프로그램을 개발하여 테이프의 미소 변형에 대한 3차원 변형을 구하였다. 측정 시스템에서는 돌출물의 크기 및 테이프의 주행 속도와 드럼의 회전 속도 및 방향을 가변할 수 있도록 구동장치를 제작하였으며 강한 콘트라스트를 만들어 주는 에지 프로젝터를 제작하여 계측 정도를 높여주었다. 회전 드럼에 부착된 돌출물과 주행하는 박막 탄성체의 부상 특성에 대한 실험 결과 및 수치 결과와의 비교로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 형상 변화가 완만하고 크기가 미소하며 고속으로 주행하는 검증 모델에 대하여 약 5%( $2\mu\text{m}$ ) 이내의 측정 오차 범위 내에서 실제 형상과 계측치는 잘 일치하며 테이프의 수치 미소 변형에 대하여 근사하게 측정이 가능하다.

(2) 주행중인 테이프와 회전 돌출물 간의 부상 특성에 대한 수치 결과와 실험 결과는 정성적으로 잘 일치한다.

(3) 돌출물의 주행 전방에서 테이프의 양의 변형은 주행 후방에서 음의 변형보다 비교적 크게 나타나며 돌출물의 길이와 폭이 작아질 수록 음의 변형은 감소한다.

#### 후 기

본 논문은 (주)금성사 AV 사업부의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Albrecht, D. M., Laenen, E. G. Lin, Chua, 1977, "Experiments on The Dynamic Response of a Flexible Strip to Moving Loads", Journal of Research and Development, IBM, Vol. 21, pp. 379~383.
- (2) Feliss, N. A. and Talke, F. E, 1977, "Capacitance Probe Study of Rotating Head/Tape Interface", Journal of Research and Development, IBM, Vol, 21, pp. 289~293,
- (3) Tani, T. Yabe, Shimegi, H. and Miwa, H, 1986, "On the Behavior of Magnetic Tape in Self-Acting Foil Bearings", 日本機械學會論文集(C編), 第52卷, 第480號, pp. 2135~2141.

- (4) Okada, K. and Namura, K., 1984, "Fine Mechanics for Video Tape Recorder", 日本機械學會誌, 第87卷, 第791號, pp. 1187~1192.
- (5) Li, H., Kato, T. and Hori, Y., 1989, "Accurate Measurement of the Flying Height of a Slider Taking into Account The Reflectance Variation of The Magnetic Disk Surface", 日本機械學會論文集(C編), 第55卷, 第520號, pp. 3009~3012.
- (6) Uenaka, H., Mukae, H., Kuroe, A. and Mikoda, M., 1989, "Relationship between Head/Tape Stiffness", 日本應用磁氣學會誌, Vol. 13, No. 2.
- (7) Ohkubo, T., Hayashi, T. and Mitsuya, Y., 1987, "Accurate Measurement and Evaluation of Dynamic Characteristics of Flying Head Slider for Large-Capacity Fast-Access Magnetic Disk Storage", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. Mag-23, No. 5, pp. 3456~3458.
- (8) Kato, H., Matsuno, S. and Sahara, K., 1988, "Analysis of the Spacing between a Tape and the Video-Head on a Rotary Head Recording Device", 日本機械學會論文集(C編), 第54卷, 第504號, pp. 1866~1873.
- (9) Yoneda, K. and Savada, T., 1988, "Simulation of Tape Flying Characteristics above VTR Drum Considering In-Plane Stress", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 24, No. 6, pp. 2766~2768.
- (10) Yoneda, K. and Sawada, T., 1989, "Simulation of Tape Flying Characteristics on VTR Drum Considering In-Plane Stress", IEEE Translation Journal on Magnetics in Japan, Vol. 4, No. 2, pp. 128~134.
- (11) Yoneda, K. Sawada, T., 1987, "Simulation of Spacing between Magnetic Head and Medium of Video Floppy", IEEE Translation Journal on Magnetics in Japan, Vol. TJMJ-2, No. 6, pp. 490~496.
- (12) 민옥기, 김수경, 이광호, 1989, "삼차원 미소 고속 변위 측정 시스템", 대한기계학회 춘계학술대회 초록집(Ⅰ), pp. 400~403.
- (13) 민옥기, 김수경, 1989, "비접촉 미소 변위 측정 시스템에 대하여", 대한기계학회지, 제29권, 제3호, pp. 317~325.
- (14) Ernest O. Doebelin, 1983, "Measurement Systems", McGraw-Hill.
- (15) Eugen Hecht, 1987, "Optics", Addison-Wesley,
- (16) Cooper, W. D. and Helfrick, A. D., 1985, "Electronic Instrumentation and Measurement Techniques", Prentice-Hall
- (17) Zimmer OHG, 1985, Instruction Manual, Electro Optical Displacement Transducer, Model 100D, Serial NO. 16D, Zimmer
- (18) Keyence corp., 1988, "Measuring Instruments General Catalog".