

## 조립오차의 광학식 측정에 의한 VCR HEAD 조정 SYSTEM

윤병한\*, 윤종순  
(주)LG전자 생산기술센터

### Adjustment System by Optical Measurements of Assembly Tolerances of VCR HEAD

Byung-han Yun, Jong -soon Yun  
LG Electronics Inc. Manufacturing Technology Center

#### Abstract

Magnetic heads on vcr drum are adjusted for protrusion, rotational angle, setting angle between two symmetrically positioned heads and height difference. Developed adjustment system covered assembly spec., namely  $\pm 2\mu m$  and  $\pm 30\mu m$  in rotational angle by using the image processing to determine head positions and S/W algorithm to compensate mechanical errors.

#### 1. 서론

VCR에서 깨끗하고 선명한 화면을 얻기 위해선 Drum에 부착되는 Head의 위치가 고정도로 조립되어야 한다.

빛의 간섭성을 이용한 VCR Head 조정기술은 10년전부터 일본에서 개발되어 전량 수입에 의존하고 있는 실정이고 현재 간섭계에 의한 물체의 형상측정기술은 수nm의 정확도를 얻을수 있으나 복잡한 계산을 요구하고 있어 시간이 오래 걸리는 단점을 갖는다. 하지만 간섭무늬를 직접 분석지 않고 물체의 위치를 인식하는 방법은 수 $\mu m$ 의 정확도를 가지면서 빠른 측정을 할 수 있어서 VCR Head 조정 System의 수 $\mu m$  조정 Spec.에 적합하다.

본고는 측정항목별 이론적 해석, 측정방법정립 및 영상처리 Algorithm개발과 System Error의 보상에 의해 VCR Head 조정 System 국산화 사례를 제시하고자 한다.

#### 2. 측정항목 및 SYSTEM 구성

Table 1과 그림 1은 네가지 측정항목을 나타낸 것이다. 각 검사항목에 대해 조정을 자동화 하기 위해서는 Drum이 장착될 때 생기는 장착오차측정과 다음과 같은 세 항목의 영상처리 작업이 필요하게 된다. 첫째 '돌출'양을 허용오차 이내로 조정하기 위해 간섭무늬가 발생했는지의 여부를 판단할 수 있어야 하고, 둘째 '각도'와 '단차'를 위한 조정량을 알기 위해서 Head의 기준점을 찾아야 하고, 세째 '자세'를 조정하기 위해서 간섭무늬의 중심을 찾아야 한다.

조정 시스템은 그림 2와같이 0.1 $\mu m$  resolution과 125 $\mu m$ 의 측정영역을 갖는 Gap Sensor와 간섭광학계로써 거리 및 Head영상을 PC로 전송받아 처리하는 구성이다.

측정항목	내 용	허용오차
각도	드럼중심에 대해 헤드와 헤드사이의 각도가 모델에 따라 정해진 값과 같어야 함.	$\pm 2\mu m$
돌출	헤드의 높이가 드림보면보다 42mm정도 위에 있어야 함.	$\pm 2\mu m$
자세	헤드의 주축을 헤드와 기준점에서의 헤드면에 대한 법선이라 할 때, 헤드의 주축이 드럼의 반경방향 축과 평행해야 함.	$\pm 30\mu m$
단차	두 헤드가 축방향으로 같은 거리에 놓여 있어야 함.	$\pm 2\mu m$

Table 1 Vcr Head의 조정항목

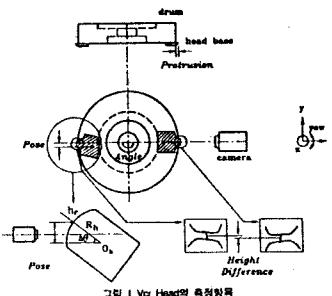


그림 1 Vcr Head의 조정항목

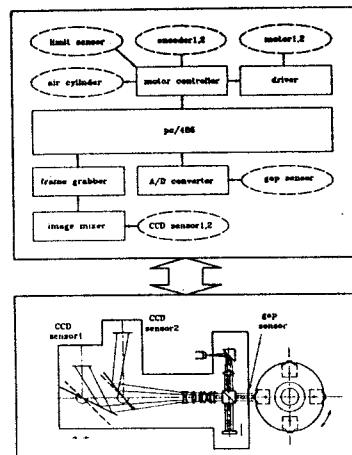


그림 2 Vcr Head 조정 System 구성도

### 3. 장착오차 측정

Drum이 Spindle에 장착되면 수  $\mu\text{m}$ 의 장착오차가 발생하게 되는데 헤드를 조정하기 위해서는 드럼을 정해진 각도 만큼 정확하게 회전시켜 주어야 한다. 그러므로 장착오차를 측정하여 정확한 Spindle의 회전각기준으로 조정할 수 있게 된다.

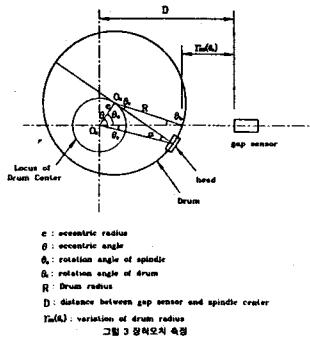


그림 3은 Drum의 편심량  $e$ , 편심각  $\theta$ 와 캠센서로 측정하는 Drum반경값의 관계를 나타내고 있다. 그림 3의 기하학적 관계로부터 다음과 같은 식이 성립한다.

$$esin\theta = Rsin\alpha$$

$$esin\theta_a = Rsin\theta_b, \quad \theta_a = \theta - \theta_s$$

캡센서를 통해 측정한 Drum의 반경값 변화와  $e$ ,  $\theta$  사이의 관계가 다음과 같다.

$$r_m(\theta_s) = D - r(\theta_s)$$

$$= D - [ecos(\theta - \theta_s) + \sqrt{(R^2 + e^2 sin^2(\theta - \theta_s))}]$$

$$\approx (D-R) - (ecos\theta cos\theta_s + esin\theta sin\theta_s)$$

여기서,  $a = ecos\theta$ ,  $b = esin\theta$ 라고 할때, Spindle 1회전시키면서 Spindle 회전각  $\theta_s$ 의 변화에 대한 관계는 다음과 같다.

$$acos\theta_s + bsin\theta_s = (D-R) - r_m(\theta_s), (\theta_{s1} \leq \theta_s \leq \theta_{sN})$$

여기서 D,R에 무관하게  $e$ ,  $\theta$ 를 측정하기 위해 D,R을 제거하면

$$a(cos\theta_s + cos\theta_{s+1}) + b(sin\theta_s + sin\theta_{s+1})$$

$$= -r_m(\theta_s) + r_m(\theta_{s+1})$$

$$\rho = -[r_m(\theta_s) + r_m(\theta_{s+1})]$$

$$= (\cos\theta_s - \cos\theta_{s+1} \quad \sin\theta_s - \sin\theta_{s+1}) \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

와 같이 되고 오차의 영향을 최소화하기 위해 이 식을 최소 자승법으로 풀면  $a$ ,  $b$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$A = (a_i \quad b_i) = (\cos\theta_s - \cos\theta_{s+1} \quad \sin\theta_s - \sin\theta_{s+1})$$

라고 할때,

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (\sum A^T A)^{-1} (\sum A^T \rho)$$

$$= \left( \begin{array}{cc} \sum a_i^2 & \sum a_i b_i \\ \sum a_i b_i & \sum b_i^2 \end{array} \right)^{-1} \left( \begin{array}{c} \sum a_i \rho(\theta_s) \\ \sum b_i \rho(\theta_s) \end{array} \right)$$

이된다. 이로부터 Drum의 편심량  $e$ ,  $\theta$ 를 구할 수 있다.

$$e = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

### 4. 돌출량 측정

Head의 돌출항목을 측정하기 위해서 빛의 간섭을 이용하여 헤드가 원하는 위치에 놓였을 때에만 간섭무늬가 발생하도록 광학계를 구성한뒤 간섭무늬의 발생여부를 확인하여 헤드의 위치정도를 평가한다. 그림 4는 '돌출'측정을 위한 간섭광학계의 구조 및 간섭의 원리를 보여준다. 입사광속이 분광기(beamsplitter)에 의해 기준광속과 측정광속으로 분리된후 기준면과 측정표면에 입사되고 반사되어 다시 만나는 빛이 이루는 빛의 세기는 다음의 파동면방정식에서

$$W(x, y) = ae^{-k(xd-2b)}$$

$$W(x, y) = be^{-k(xd-2b)}$$

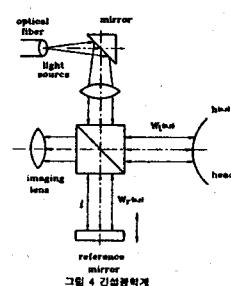
$$\gamma = \frac{2ab}{a^2 + b^2}, I_o = a^2 + b^2 \text{이라 할때}$$

$$I = I_o [1 + \gamma \sin c \left( \frac{\Delta\omega}{c} (h(x, y) - l) \right) \cos \left( \frac{2\omega}{c} (h(x, y) - l) \right)]$$

두 빛의 광경로의 차이( $\delta_c = 2(h(x, y) - l) = \frac{\lambda_o^2}{4\Delta\omega}$ )에 의해

이 값 이상이 되면 간섭무늬는 나타나지 않게 된다. Vcr Head에 사용되는 광원은 백색광이므로, 파장폭이 대략 200 nm, 중심파장을 600 nm정도라고 할때 발생할 수 있

는 간섭무늬의 총 수는  $\frac{\delta_c}{\lambda_o/2} = \frac{1.8 \mu\text{m}}{600/2} \approx 6$  개가 된다.



간섭무늬는 헤드의 모양에 따라 주기 합수로서 발생하므로 푸리에변환(fourier transform)에 의해서 주기성을 발견할 수 있다. 1차원 푸리에변환을 취할 경우,

$$F(u) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp[-j2\pi ux/N]$$

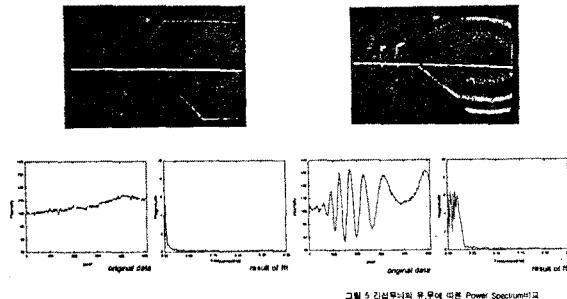
$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp[j2\pi ux/N] \quad |N = 512|$$

의 관계가 성립한다. 여기서  $f(x)$ 는 영상에서 한 line의 x방향 data이고,  $F(u)$ 는  $f(x)$ 를 푸리에변환한 결과이다.  $F(u)$ 에서 주파수의 분해능  $\Delta u$ 는,

$$\Delta u = \frac{1}{N \Delta x} = \frac{1}{512} / pixel$$

가 된다. 발생하는 간섭무늬가  $\frac{4}{512} \sim \frac{10}{512} / pixel$  의

주파수를 가지므로  $F(u)$ 에서 이 영역의 주파수에 대한 스펙트럼을 모두 더하면 이 값으로부터 간섭무늬가 발생했는지의 여부를 판단할 수 있고 그림 5는 간섭무늬의 유무에 대한 Power Spectrum을 나타내고 있다. 1 Frame처리속도는 0.1초 소요됐다.

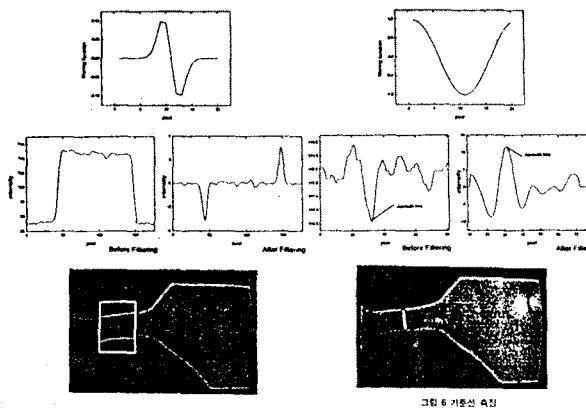


## 5. Head의 기준점 측정

헤드의 기준점은 헤드의 기준점이 있는 부근의 영역을 찾은 뒤, 가우스 함수를 1차미분한 함수로 필터링 후 경계검출기법(edge detection)으로 헤드의 방위선을 찾으며 cosine 함수 필터링한 후 기준선을 찾는다. 결과는 그림 6과 같다.

$$f(i) = \frac{(\mu-i)}{\sqrt{2}\sigma^3} \exp\left(-\frac{(\mu-i)^2}{2\cdot\sigma^2}\right), \quad i = -n/2 \sim n/2$$

$$f(i) = \cos\left(\frac{2\pi i}{n}\right), \quad i = -n/2 \sim n/2$$



## 6. 간섭무늬 중심측정

간섭무늬가 타원의 모양을 가지므로 하나의 간섭무늬의 좌표점을 얻으면 이를 타원의 방정식에 끼워맞춤(fitting)해서 간섭무늬의 중심을 구할 수 있다.

간섭무늬의 중심을 찾기 위해서는 간섭무늬만의 영상을 알아야 한다. 간섭무늬가 있는 영상  $I$ , 에서 기준면을 차단한(간섭무늬가 없는)영상  $I_0$ 를 뺀 배경이 제거된 간섭무

늬만의 영상을 얻을 수 있고 간섭무늬의 추적(Tracking) 알고리즘(그림 7)에 의해 구한 좌표를 아래 타원방정식에 Fitting하여 간섭무늬의 중심을 찾는다. 그림 8은 Head 기준점과 간섭무늬중심의 좌표를 구한 결과다.

$$\left(\frac{x-x_c}{a}\right)^2 + \left(\frac{y-y_c}{b}\right)^2 = 1$$

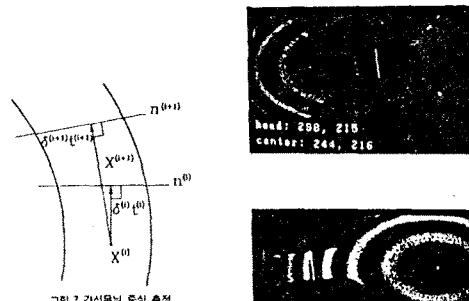


그림 7 간섭무늬 중심 측정



그림 8 Head 기준점과 간섭무늬중심검출

## 7. 측정 System 보정

Drum을 장착하는 Spindle의 축방향과 반지름방향의 흔들림은 단차 및 180도함목의 조정결과에 오차가 바로 나타나므로 측정한 결과는 축 보상을 행하므로써 보정 가능하다. 각 측정값은 아래와 같다.

축방향 흔들림 :  $6 \mu m$

반지름방향 흔들림 :  $8 \mu m$

카메라배율은 120line/mm의 보정판에 의해 측정한 CCD화소는  
 $\Delta x = 0.541 \mu m/pixel$   
 $\Delta y = 0.444 \mu m/pixel$

## 8. 결론

본 논문에서는 빛의 간섭성을 이용하여 물체의 위치를 수  $\mu m$  정도로 빠르게 측정할 수 있는 방법에 대해서 연구하였다. 간섭무늬를 인식하기 위한 영상처리 알고리즘을 개발하였으며 특히 Vcr Head의 위치를 측정하는데 응용하였다. 측정System의 조립오차가 측정정확도에 미치는 영향을 분석하고 해결방법을 제시하였다. 각 항목에 대한 조정 Spec.에 만족하는 결과를 보여주었다.

## 참고문헌

- 1) G.T.Reid, 1986, "Automatic Fringe Pattern Analysis : A Review", Opt. Lasers Eng. pp37-68
- 2) Sridhar Krishnaswamy, 1991, "Algorithm for computer tracing of interference fringes", Applied Optics, Vol.30,pp1624-1628
- 3) John Canny, 1986, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Trans. Pattern Analysis , Vol.PAM1-8, NO.6,pp 679-698
- 4) D.G.Chetwynd, 1985, "Applications of Linear Programming to Engineering Metrology", Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Vol.199 No.B2,pp.93-100