

# 비디오 테이프 수직포스트들의 조립 허용차 결정에 관한 연구

김 정, 이영해  
한양대학교 산업공학과

## 요 약

비디오 주행계의 안정성에 영향을 주는 인자들은 많이 있다. 그중 수직포스트의 경사각은 수직포스트를 지나가는 테이프의 주행높이 변동에 영향을 주기 때문에 비디오 테이프의 조립상에서 수직포스트의 경사각을 관리하는 것이 비디오 주행계의 안정성을 확보하는데 있어서 필요하다. 특히 비디오 테이프의 조립시 수직 포스트의 경사각을 어느정도까지 허용해도 비디오 주행계의 안정성에 영향을 주지 않는지 알때 비디오 테이프의 조립시 보다 효과적인 조립공정의 관리가 이루어 질 것으로 사료된다. 본연구에서는 수직포스트의 경사각에 대한 허용오차를 결정하는 방법과 이에 따르는 다음 포스트들이 세워져야 할 위치를 결정하는 방법을 제시하였는데 이를 위하여 기구학과 통계적인 방법을 사용하였다.

## 1. 서 론

최근까지만해도 VCR 및 VTR에 관한 연구는 다른 분야에 비해 그리 활발한 편은 아니었다. 더우기 현재까지의 연구중에는 비디오 주행계의 안정성에 영향을 주는 인자에 관한 연구와 인자들의 허용차 결정에 관한 연구는 극히 희박하다. 최근에 이영해[2]등은 VCR 및 VTR주행계에서 일어나는 여러가지의 문제점을 해결하기 위하여 주행계 요소의 기하학적 배치, 주행하는 테이프의 진동분석, 주행관련 서보제어 방법, 그리고 부품사양 및 제조공정상에서 영향을 미치는 요인들을 연구하였다. 그리고 Shigeki Murata[6]는 3차원 공간상의 성질을 이용하여 기하학적인 인자의 배치를 위한 CROSS-LINE 개념을 이용한 설계 알고리즘을 개발했다.

주행계(그림 1)를 주행하는 테이프는 헤드 드럼과 T-Slant Post를 지나서 T-Guide Roller에 입사된다. 비디오 테이프의 조립 공정중 검사 및 조정의 공정에서는 영상 및 오디오 신호를 확인하면서 원하는 신호가 나오도록 조정인자들을 조정하게 되는데 T-Guide Roller는 주행중인 테이프의 높이를 상, 하단 규제를 하고 있으며 높이의 조정이 가능하다.

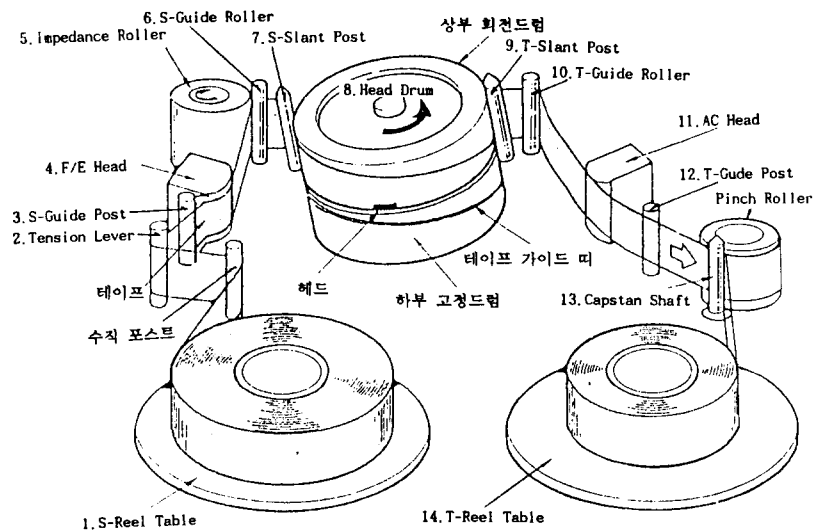


그림 1 비디오 주행계와 그 명칭

T-Guide Roller를 지난 테이프는 AC Head에 입사된다. AC Head는 테이프에 기록된 오디오신호를 읽어들인다. 테이프의 주행 상태에 따라 테이프에 기록된 오디오신호를 읽어들이지 못할 수도 있다. 오디오신호가 불안정할때 AC Head의 틸트각 조절을 통해 주행하는 테이프의 경사각을 조정하여 테이프에 기록된 오디오 신호가 정상적으로 출력되도록 한다. AC Head를 빠져 나온 테이프는 T-Guide Post로 입사된다. AC Head의 틸트각 조절이 있게 될 경우 T-Guide Post에 입사된 테이프의 높이는 변동될 수 있으며 이로 인하여 테이프의 높이를 상,하단 규제하는 T-Guide Post의 플렌지높이 또한 조정되어야 한다. T-Guide Post를 빠져 나온 테이프는 Capstan Shaft와 Pinch Roller사이로 입사된다. 비디오가 작동되면 테이프가 Capstan Shaft와 Pinch Roller사이로 통과되는 동시에 Pinch Roller는 Capstan Shaft쪽으로 밀착되어 맞물려 회전하면서 테이프를 T-Reel Table로 보내게 된다.

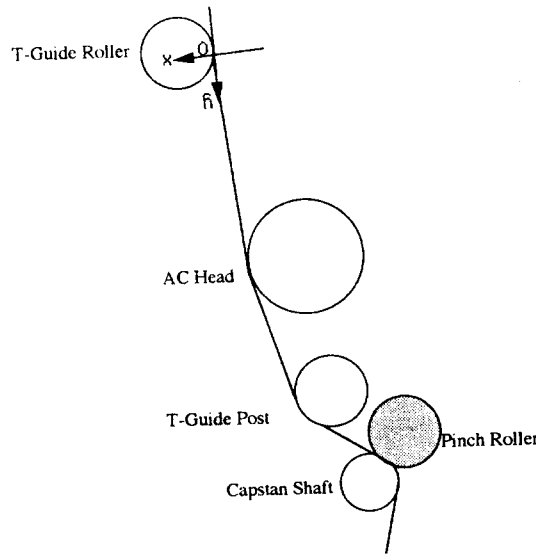


그림 2 T 측 주행계 개략도

주행계는 그림 1 및 그림 2에 나타나 있는 바와 같이 하나의 띠로 이루어진 시스템이므로 S측과 T측의 인자들간에는 상관계수가 크게 나타나야 함에도 불구하고 T측의 인자들간의 상관계수는 낮게 나타나 있었다.[1] 이는 수직포스트들의 경사각이 테이프의 주행높이의 변동에 영향을 주고 있기 때문이다. 수직포스트의 경사각으로 인해 테이프의 주행높이가 변동되면 테이프의 주행높이를 상,하단 규제하는 포스트의 플렌지에 대한 높이 또한 조정되어야 한다. 따라서 수직포스트가 경사각이 0이 되도록 수직으로 세워져서 테이프의 주행높이에 영향을 주지 않도록 해야한다.

그러나 실제의 현장에서 각 부품들을 조립할때 오차는 항상 존재하기 마련이다. 즉 포스트를 항상 수직이 되게 조립을 하는 것은 쉽지 않으므로 주행의 안정조건을 만족시키는 한도내에서 수직포스트의 경사각에 대한 허용차를 결정하는 것이 바람직하다. 주행하는 테이프는 T-Guide Roller부터 T-Reel Table에 이르기까지 테이프의 중심선이 기준면에 대하여 평행을 이루어야 하고 꼬이지 않아야 하는 주행계의 안정조건을 만족시켜야 함으로 T측 주행계의 모든 인자들을 수직포스트로 간주하여 다음과 같은 절차에 따라서 이들의 경사각에 대한 허용차를 결정하였다.

① 테이프의 주행높이는 조정인자인 수직포스트의 높이와 밀접한 관

계가 있음을 감안하여 두 포스트높이들 간의 함수식을 좌표변환을 이용하여 유도 하였다.

- ② 이 함수식을 이용하여 인자들간의 상관계수가 높을수록 시스템이 안정되어 있음을 설명하였다.
- ③ 안정된 시스템인 S측에서 포스트의 높이변동을 구하고 이를 이용하여 동일한 물리적인 특성을 갖고 있는 T측에 있는 포스트들의 경사각에 대한 허용차를 결정하는 방법을 제시하였다.
- ④ 한 포스트 경사각에 대한 허용차결정에 따른 다른 포스트의 위치를 좌표변환을 이용하여 결정하였다.

## 2. 수직포스트의 높이에 대한 함수식

그림 3a는 임의의 두 수직 포스트를 나타내고 그림3b는 임의의 두 수직포스트를 위에서 본 것을 나타낸다. 테이프는 두 포스트를 지나고 있으며 포스트의 중심선을 실선으로 나타내었다. 기준좌표계는 높이를 z축방향으로 정하고, 우측방향을 y축으로 정하였으며 지면을 뚫고 나오는 방향을 x축으로 정하였다. 그리고 포스트  $I_0$ 를 빠져나오는 테이프 중심선의 출사점을 원점으로 정하였다. 좌표는  $\{ \}$ 로 표시하였다. 즉  $\{I_0\}$ 는  $[0 \ 0 \ 0]^T$ 를 의미한다.

테이프가 기준점인  $\{I_0\}$ 에서 출발하여 우측으로  $\lambda_1$ 만큼 떨어져 있는 포스트  $I_1$ 에 입사한다. 포스트  $I_0$ 를 기준면에 대하여 수직인 포스트로 가정하면 테이프는 포스트  $I_0$ 의 높이에 대해서 수직방향으로 포스트  $I_0$ 를 빠져 나오므로 테이프의 중심선이 기준면과 이루는 각은 0이다.

포스트  $I_1$ 이 x축에 대하여  $\alpha_1$ 만큼 회전되어 있고 y축에 대하여  $\beta_1$ 만큼 회전되어 있을때 기준좌표계에서 본 입사점의 좌표는 식(1)와 같이 표현된다.[2]

$$\{I_{1p}\} = \begin{bmatrix} x_{1p} \\ y_{1p} \\ z_{1p} \end{bmatrix} = \text{Rot}(y, \beta_1)\text{Rot}(x, \alpha_1) \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \{I_0\} \quad (1)$$

식(1)에서 아래 첨자<sub>p</sub>는 입사점을 나타내고 아래 첨자<sub>1</sub>은 포스트  $I_1$ 을 나타낸다. 따라서  $\{I_{1p}\}$ 는 포스트  $I_1$ 의 입사점의 좌표를 나타낸다. 그리고 Rot는 회전행렬을 나타내므로  $\text{Rot}(y, \beta_1)$ 와  $\text{Rot}(x, \alpha_1)$ 는 각각 y축에 대하여  $\beta_1$ 만큼, x축에 대하여  $\alpha_1$ 만큼 포스트가 회전되었을때 곱해 주게 되는 회전 행렬이다. 그리고  $[0 \ \lambda_1 \ 0]^T$ 는 수직포스트  $I_1$ 이 경사져 있지 않을 경우 입사되는 테이프 중심선의 좌표이다. 따라서 테이프가 포스트  $I_1$ 에 입사될 때 기준좌표계의  $\{I_0\}$ 에서 본 포스트  $I_1$ 에서의 테이프 중심선의 입사점 좌표  $\{I_{1p}\}$ 는 식(1)와 같이 되는 것이다.

## 3. 두 포스트에서의 테이프의 주행높이 관계의 표현

임의의 포스트  $I_i$ 의 입사점의 좌표  $[x_i \ y_i \ z_i]^T$ 에서  $z_i$ 는 입사된 테이프 중심선의 높이를 나타낸다. 테이프가 수직포스트  $I_{i-1}$ 의 법선방향으로 빠져 나와서 다음의 포스트  $I_i$ 에 입사되므로, 포스트  $I_i$ 가 기준면에 대하여 수직이면 입사되는 테이프 중심선의 높이는 포스트  $I_{i-1}$ 에서의 테이프 중심선의 높이와 같다. 그런데 포스트  $I_i$ 가 x축에 대하여  $\alpha_i$ 만큼 회전되어 있고 동시에 y축에 대하여  $\beta_i$ 만큼 회전되어 있다면 포스트  $I_i$ 에 입사되는 테이프 중심선의 높이는 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$z_i = z_{i-1} + f(\alpha_i, \beta_i) \quad (2)$$

식(25)에서  $f(\alpha_i, \beta_i)$ 는 포스트  $I_i$ 가 x축에 대하여  $\alpha_i$ 만큼 회전되어 있고 동시에 y축에 대하여  $\beta_i$ 만큼 회전되어 있을때 포스트  $I_i$ 에 입사되는 테이프 중심선의 높

이변동량을 나타낸다. 또한 포스트  $I_i$ 가 조정인자인 경우, 입사되는 테이프 중심선의 높이가 변동되었으므로 테이프의 높이를 상,하단 규제하는 포스트  $I_i$ 의 플렌지 높이를 조정해야 하는 조정량을 나타낸다.

식(1)에서  $\alpha_i$ 와  $\beta_i$ 의 값이 0이 되면  $f(\alpha_i, \beta_i)$ 이 또한 0이 되어 수직포스트의 경사각이 테이프의 중심선의 높이에 영향을 주지 않게 되어  $z_i$ 와  $z_{i-1}$ 의 상관계수는 1에 근사한 값을 갖는다. 역으로 두 수직 포스트의 높이들에 대해서 상관계수가 1에 근사한 값을 갖게 되면 자체의 경사각에 의한 변동이 미미함을 의미한다.

#### 4. 수직포스트 경사각의 허용차결정

입사되는 테이프 중심점의 높이에 변동이 있을 경우 수직포스트가 조정인자이면 플렌지의 높이를 조정하게 됨을 이전의 논문에서 설명하였다.[1] 결국 조정인자의 높이의 변동은 테이프의 입사점의 변동을 반영한다. 검사 및 조정공정에서 주행테스트를 마친  $n$ 개의 데크에 대해서 수직포스트들의 높이들에 대해서 상관분석을 실시하여 상관계수가 1에 근사한 값을 갖게 되었을 경우 수직포스트를 조립하고 있는 공정은 안정되었다고 할 수 있다. 안정된 시스템 내에 존재하는 수직 포스트들 중에서 조정인자의 높이에 대한 통계량을 구한 후 조정인자인 수직포스트의 높이변동량을 구했을때 그 값을  $d$ 라고 하면  $d$ 는 주로 그 수직포스트의 경사각에 의존함을 식(1) 및 식(2)를 통해 알 수 있다. 그런데 수직 포스트의 경사각이 입사되는 테이프 중심선의 높이에 영향을 주게 됨으로써 조정인자인 수직포스트의 높이를  $d$ 만큼 조정하게 되었다고 할 수 있으며 그러한 변동은 주행계의 안정조건을 위협하지 않음을 알 수 있다. 즉 주행계의 안정성에 영향을 주는 경사각등의 영향을 보정하기 위하여 조정인자인 수직포스트의 높이를  $d$ 까지 변화시켜도 됨을 의미한다. 만일 수직포스트  $I_i$ 에 입사되는 테이프 중심선의 허용할 수 있는 높이 변동량을  $d$ 라고 하면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$f(\alpha_i, \beta_i) = d \quad (3)$$

기준면에 대해서 포스트  $I_1$ 의 높이를  $h_1$ , 포스트  $I_0$ 에서  $I_1$ 까지의 거리를  $\lambda_1$ , 안정된 시스템에서 구한 수직포스트의 높이의 변동량을  $d$ , 포스트  $I_1$ 가  $x$ 축에 대하여  $\alpha_1$ 만큼 회전되어 있고 동시에  $y$ 축에 대하여  $\beta_1$ 만큼 회전되어 있을때 수직포스트  $I_1$ 이  $z$ 축에 대해서 경사진 최대 경사각을  $\delta_1$ 이라고 하자. 그리고 높이가  $h_1$  되는 지점에서, 경사각이 0점에서부터  $\delta_1$ 인 점까지의 거리를  $x_1$ 이라고 하자. 테이프의 중심선이 포스트  $I_1$ 에 입사되는 입사점은 포스트  $I_1$ 의 경사각으로 인해  $d$ 만큼 변동됨으로, 테이프 중심선의 출사점에서부터 입사점까지, 그리고 포스트  $I_1$ 의 기준면에 접한 점에서부터 높이가  $h_1$ 인 점까지에 대해서 비례식이 성립하며 그 결과는 다음과 같다.

$$x_1 = dh_1/\lambda_1 \quad (4)$$

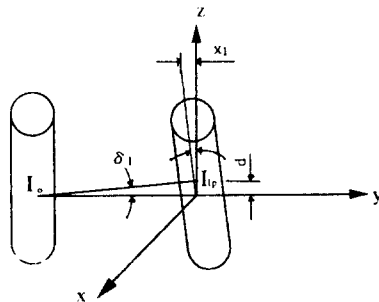


그림 3a 테이프가 한 포스트에서 다른 포스트로 입사되는 경우의 정면도.

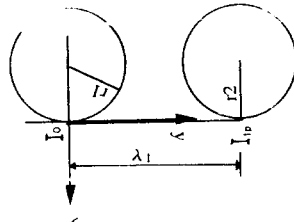


그림 3b 테이프가 한 포스트에서 다른 포스트로 입사되는 경우의 평면도.

여기서  $x_1$ 을 구하였고  $h_1$ 을 이미 알고 있으므로 수직포스트의 최대 허용 경사각  $\delta_1$ 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\delta_1 = \sin^{-1}(x_1/h_1) \quad (5)$$

#### 5. 다음 포스트가 세워지게 되는 위치의 계산

한 포스트가 세워지는 위치는 이전의 포스트에 대한 경사각에 따라 달라진다. 이는 주행계의 안정조건을 만족시키면서 테이프가 주행하게 되는 위치이어야 한다. 즉 주행하는 테이프가 꼬이지 않으며 수직 포스트를 지나는 테이프의 높이가 일정하게 유지되게 하는 위치에 세워져야 되는 것이다. 만일 앞의 포스트가 완전히 수직인 경우라면, 다음의 포스트가 어디에 세워지든지에 관계없이 앞의 포스트경사각의 변동에 영향을 받지 않는다. 또한 경사각이 크면 클수록 다음의 포스트에 더 많은 영향을 준다. 따라서 만일  $x$ 축에 대해서 포스트의 경사각에 대한 최대 허용치인  $\delta_1$ 만큼 회전되어 있고 동시에  $y$ 축에 대해서도  $\delta_1$ 만큼 회전되었다고 하면 다음과 같은 절차에 따라서 다음 포스트가 세워져야 하는 위치를 결정할 수 있다.

#### 5.1 테이프의 입사점의 좌표

테이프가 주행계의 수직 포스트  $I_0$ 에서 출발하여  $y$ 축 방향으로  $\lambda_1$ 만큼 떨어져 위치하고 있는 포스트  $I_1$ 까지 주행하게 될때 포스트  $I_1$ 에 입사되는 입사점의 좌표  $[x_1, y_1, z_1]^T$ 는 식(6)과 같다. 입사점의 좌표를 구하기 위하여 먼저 포스트  $I_1$ 의 경사각에 따른 좌표 변환행렬  ${}^0T_1$ 을 구하여 식(6)에 나타내었고, 이를 포스트  $I_1$ 이 수직인 경우 테이프 중심선이 입사하게 되는 입사점의 좌표에 곱해 주었다.

${}^0T_1$ 는 포스트  $I_1$ 이 기준좌표계  $I_0$ 에 대해  $x$ 축에 대하여  $\delta_1$ 만큼 회전되어 있고  $y$ 축에 대하여  $\delta_1$ 만큼 회전되어 있을때 기준좌표계에서 본 포스트  $I_1$ 의 입사점 좌표 변환 행렬이다.

$${}^0T_1 = \text{Rot}(y, \delta_1)\text{Rot}(x, \delta_1) = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 & \sin^2 \delta_1 & \cos \delta_1 \sin \delta_1 \\ 0 & \cos \delta_1 & -\sin \delta_1 \\ \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \sin \delta_1 & \cos^2 \delta_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

포스트  $I_1$ 에 입사되는 테이프 중심선의 입사점좌표  $[x_1, y_1, z_1]^T$ 은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = {}^0T_1 \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \{I_0\} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \sin^2 \delta_1 \\ \lambda_1 \cos \delta_1 \\ \lambda_1 \cos \delta_1 \sin \delta_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 5.2 입사점에서 테이프의 중심선이 기준면과 이루는 각

x축에 대하여  $\delta_1$ 만큼 회전되고 y축에 대해서도  $\delta_1$ 만큼 회전된 포스트  $I_1$ 에 입사된 테이프 중심선의 기준면과 이루는 경사각은 식(6)에 나타난 좌표변환 행렬을 이용하여 구할 수 있다. 입사점에서 테이프 중심선의 진행 방향 단위벡터를 구하기 위해 포스트  $I_1$ 의 경사지기 전의 단위벡터  $[0 \ 1 \ 0]^T$ 에 입사점의 변환행렬  ${}^0T_1$ 을 곱해 주어 식(8)에 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = {}^0T_1 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin^2 \delta_1 \\ \cos \delta_1 \\ \cos \delta_1 \sin \delta_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

포스트  $I_0$ 에서 출사되어 포스트  $I_1$ 으로 입사되는 테이프 중심선은 기준면과 평행하게 진행하다가 포스트  $I_1$ 의 경사로 인해 진행방향이 변동되었다. 따라서 진행하는 방향의 단위벡터의 높이성분은 테이프의 중심선이 기준면과 이루는 경사각에 대한 사인(sin)성분이므로 입사점에서 테이프의 중심선이 기준면과 이루는 각  $\varphi_1$ 은 식(9)과 같다.

$$\sin \varphi_1 = \cos \delta_1 \sin \delta_1 \quad (9)$$

### 5.3 테이프의 법선이 기준면과 이루는 각 $\rho_1$

테이프의 면을 뚫고 나오는 방향벡터의 x성분이 기준면과 이루는 경사각도 포스트의 경사각이 변동됨에 따라 달라진다. 포스트  $I_0$ 에서 출사된 테이프의 면은 기준면과 수직을 이루며 포스트  $I_1$ 에 입사된다. 포스트  $I_1$ 이 기준좌표계  $I_0$ 에 대해 x축에 대하여  $\delta_1$ 만큼 회전되어 있고 y축에 대하여  $\delta_1$ 만큼 회전되어 있으므로 입사된 테이프 면이 기준면과 이루는 각도는 변동된다. 포스트  $I_1$ 에 입사되는 입사점에서 테이프 면에 대한 법선방향의 단위벡터  $[1 \ 0 \ 0]^T$ 에 좌표변환 행렬  ${}^0T_1$ 을 곱해주면 포스트  $I_1$ 의 입사점에서 기준면에 대한 좌표  $[1 \ 0 \ 0]^T$ 가 포스트의 경사각으로 인하여 변환된 좌표  $[x_2 \ y_2 \ z_2]^T$  구할 수 있으며 이는 식(10)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = {}^0T_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 \\ 0 \\ -\sin \delta_1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

또한 변환된 좌표  $[x_2 \ y_2 \ z_2]^T$ 의 높이 성분인  $z_2$ 는 테이프 면의 법선성분이 기준면과 이루는 각도의 사인(sin)값에 해당된다. 따라서 테이프 면의 법선성분이 기준면과 이루는 각  $\rho_1$ 을 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$\sin \rho_1 = -\sin \delta_1 \quad (11)$$

#### 5.4 포스트 I<sub>2</sub>가 세워지는 위치의 계산

테이프가 z축에 대해  $\tau_1$ 각도 만큼 경사진 포스트 I<sub>1</sub>을 지나서 포스트 I<sub>2</sub>에 입사된다. 이때 테이프는 안정주행 조건을 만족시키기 위해 포스트 I<sub>1</sub>을 일정한 각도 만큼 감아 주어야 한다. 이때 감기는 감김각을  $\Omega_1$ 이라고 하면 포스트 I<sub>2</sub>는 테이프가 포스트 I<sub>1</sub>을  $\Omega_1$ 만큼 감은후 빠져나가는 위치에 세워져야 한다. 즉 테이프가 포스트 I<sub>1</sub>으로 입사된 방향에서 z축에 대하여  $\Omega_1$ 만큼 회전된 위치에 포스트 I<sub>2</sub>가 세워질때 안정 주행조건을 만족시킬 수 있으며 이를 위한  $\Omega_1$ 은 다음의 절차로 계산한다. 테이프는 포스트 I<sub>1</sub>의 경사진 방향으로 x축에 대해서  $\tau_1$ 만큼 회전된 상태로 주행을 하게 된다. 또한 안정 주행 조건을 만족시키도록 포스트 I<sub>1</sub>을 z축에 대해서  $\Omega_1$ 감은 후 출사되고 출사점에서는 입사점에서 회전된 각도인  $\tau_1$ 을 보상해 주어야 한다. 즉 출사점에서의 좌표변환 행렬은 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PT_0 = \text{Rot}(x, \tau_1)\text{Rot}(z, \Omega_1)\text{Rot}(x, -\tau_1)$$

$$= \begin{bmatrix} c\Omega_1 & c\tau_1s\Omega_1 & s\tau_1s\Omega_1 \\ -s\Omega_1 & c\tau_1c\Omega_1 & c\tau_1c\Omega_1 \\ c\tau_1s\Omega_1 & c^2\tau_1c\Omega_1+s^2\tau_1 & c\tau_1c\Omega_1-s\tau_1s\Omega_1 \\ -s\tau_1s\Omega_1 & s\tau_1c\Omega_1-c\tau_1s\Omega_1 & s^2\tau_1c\Omega_1+c^2\tau_1s\Omega_1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

포스트 I<sub>1</sub>이 기준면에 대해 수직으로 세워져 있을 때, 출사점에서 테이프 중심선의 주행방향에 대한 단위벡터  $[0 \ 1 \ 0]^T$ 는 포스트 I<sub>1</sub>이 경사짐으로 인해서 변동된다. 변동된 좌표  $[x_3 \ y_3 \ z_3]^T$ 는  $[0 \ 1 \ 0]^T$ 에 출사점에서의 변환행렬  $PT_0$ 을 곱해 줌으로써 식(13)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = PT_0 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \tau_1 \sin \Omega_1 \\ \cos^2 \tau_1 \cos \Omega_1 + \sin^2 \tau_1 \\ \sin \tau_1 \cos \Omega_1 \cos \tau_1 - \sin \tau_1 \cos \tau_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

그런데 변동된 좌표  $[x_3 \ y_3 \ z_3]^T$ 에서  $z_3$ 는 테이프 중심선의 높이성분(sin값)을 나타낸다. 포스트의 출사점에서 테이프의 중심선이 기준면과 이루는 각을  $\phi_1'$ 라고 하면 이 각과  $z_3$ 사이에는 식(14)와 같은 관계가 있으며 이 식을 통해서 출사점에서의 테이프 중심선이 기준면과 이루는 각을 구할 수 있게 된다.

$$\sin \phi_1' = \sin \tau_1 \cos \Omega_1 \cos \tau_1 - \sin \tau_1 \cos \tau_1 \quad (14)$$

한편 포스트 I<sub>1</sub>의 출사점에서, 테이프 면의 법선성분 단위벡터는 포스트 I<sub>1</sub>이 수직인 경우  $[1 \ 0 \ 0]^T$ 이 된다. 그런데 포스트 I<sub>1</sub>이 경사지게 될때, 기준 좌표계에서 그것을 보는 경우 그 벡터성분에 좌표변환행렬을 곱해 주어야 하며 그 결과로 나타난 좌표  $[x_4 \ y_4 \ z_4]$ 를 식(15)에 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{bmatrix} = PT_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Omega_1 \\ -\cos \tau_1 \sin \Omega_1 \\ -\sin \tau_1 \sin \Omega_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

또한 변동된 좌표  $[x_4 \ y_4 \ z_4]^T$ 에서  $z_4$ 는 포스트  $I_1$ 의 경사각으로 인해 변동된 테이프 면의 법선에 대한 높이성분을 나타낸다. 포스트  $I_1$ 의 출사점에서, 테이프 면의 법선이 기준면과 이루는 각을  $\varphi_1'$ 라고 하면 이 각과  $z_4$ 사이에는 식(16)과 같은 관계가 있으며 이 식을 통해서 출사점에서의 테이프 면의 법선이 기준면과 이루는 각을 구할 수 있게 된다.

$$\sin \rho_1' = -\sin \tau_1 \sin \Omega_1 \quad (16)$$

테이프의 안정주행을 위해서는 평행조건과 높이조건, 그리고 꼬이지 않는 조건을 만족시켜야 함을 설명하였다. 위의 세가지 조건을 고려해 볼때 포스트  $I_1$ 가 경사짐으로 인해 변동된 테이프의 기울기(식(9) 및 식(11))는 테이프가 포스트  $I_1$ 을 빠져나갈때 출사점에서 보상되어야 한다. 즉 식(17)과 식(18)와 같은 관계가 성립될 때 안정 주행조건이 만족된다.

$$\sin \varphi_1 = -\sin \varphi_1' \quad (17)$$

$$\sin \rho_1 = -\sin \rho_1' \quad (18)$$

식(17)과 식(18)를 연립하여 포스트  $I_1$ 이  $z$ 축에 대하여 경사진 최대 경사각  $\tau_1$ 과 안정주행조건을 만족시키기 위하여 포스트  $I_1$ 을 감고 빠져나가야 할 감김각  $\Omega_1$ 을 구할 수 있게 된다. 식(17)과 식(18)을 연립하여 풀어서  $\tau_1$ 과  $\Omega_1$ 에 대해서 정리하여 식(19)과 식(20)에 나타내었다.

$$\tan \tau_1 = \frac{1 - [1 - (\sin^2 \varphi_1 + \sin^2 \rho_1)]^{1/2}}{\sin \varphi_1} \quad (19)$$

$$\cos \Omega_1 = 1 - \frac{\sin^2 \varphi_1 + [1 - (\sin^2 \varphi_1 + \sin^2 \rho_1)]^{1/2}}{[1 - (\sin^2 \varphi_1 + \sin^2 \rho_1)]^{1/2}} \quad (20)$$

즉 포스트  $I_1$ 을 빠져나온 테이프가 입사하게 되는 포스트  $I_2$ 의 위치는 포스트  $I_1$ 에 입사되어 이를  $\Omega_1$ 만큼 감고 빠져 나가는 위치, 즉 포스트  $I_1$ 의 입사방향에서  $z$ 축에 대해  $\Omega_1$ 만큼 회전된 선상에 위치되어야 한다. 이는 포스트  $I_1$ 이  $x$ 축에 대하여  $\alpha_1$ 만큼,  $y$ 축에 대하여  $\beta_1$ 만큼 회전되어 있을때 포스트  $I_2$ 가 세워지게 되는 위치이다. 또한  $\alpha_1$ 과  $\beta_1$ 이 0이면 포스트  $I_2$ 가 어디에 세워져도 안정주행조건을 만족시킨다. 따라서 포스트  $I_2$ 의 위치는 테이프가 포스트  $I_1$ 에 입사되는 선상에서 부터  $\Omega_1$ 만큼  $z$ 축에 대하여 회전된 선상 사이가 된다.

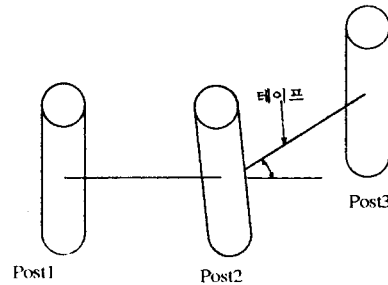


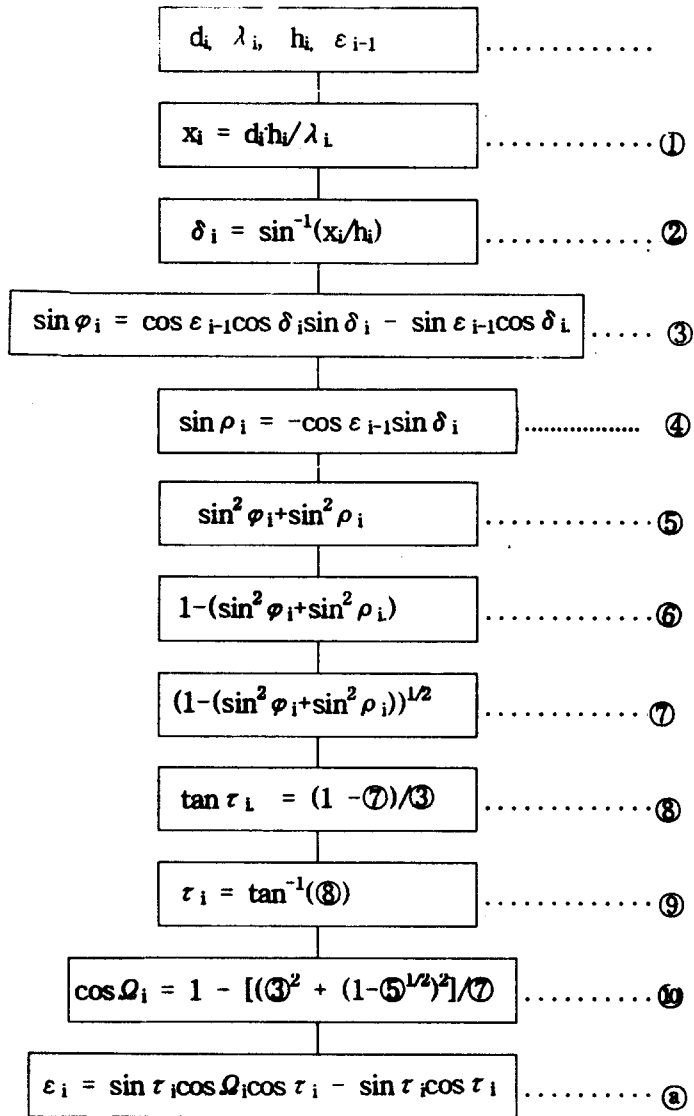
그림 4 다음에 세워지게 되는 포스트의 위치

#### 6. 수직포스트의 경사각 허용차 계산절차

수직 포스트의 경사각에 대한 허용차를 결정하는 절차는 식(1)에서부터 식(20)까지 정리되어 있다.  $\varepsilon_1$ 는 테이프가 포스트  $I_1$ 를 빠져 나올때 테이프의 중심선이



기준면과 이루는 각이다. 수직 포스트의 경사각에 대한 허용차 결정절차를 요약하면 아래와 같다.



7. 허용차 결정을 위한 수치예제

포스트 사이의 거리가 24mm, 포스트의 높이가 15mm, 그리고 조정될 수 있는 높이의 범위가 0.27mm인 경우의 값들은 다음과 같다.

표 1. 수직 포스트 경사각의 허용차와 테이프 입사높이의 변동

수직 포스트의 허용경사각	0° - 0.64459°
포스트를 빠져 나가는 테이프의 경사각	0° - 0.010921°
포스트에 입사되는 입사점의 z좌표	0 - 0.27mm

## 8. 결 론

본 연구에서는 테이프가 주행하는 동안에 접촉하게 되는 수직포스트들의 경사각의 허용차를 결정하는 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 상관 및 회귀분석을 이용하였으며, 또한 기구학의 좌표변환을 이용하였다. 이에 대한 본 연구의 결론을 요약하면 아래와 같다.

(1) 포스트에 입사되는 테이프의 입사점의 좌표를 함수식으로 나타내었다. 그리고 상관 및 회귀분석을 이용하여 시스템의 안정성에 영향을 주는 인자는 포스트의 경사각임을 유도하였다.

(2) 통계적 방법을 이용하여 안정된 시스템에서 입사점의 허용변동을 구하였으며 입사점의 허용변동을 이용하여 입사되는 포스트의 경사각의 허용차를 결정하였다.

(3) 좌표변환을 이용하여 경사각의 허용차의 범위안에서 다음의 포스트가 세워질 위치를 결정하였다.

## 9. 향후 연구과제

안정된 시스템을 정확하게 규정할 수 있는 기준이 명확하지 않다. 상관계수가 얼마가 되어야 안정된 시스템이라고 할 수 있는지 이론적으로 명확하게 설명하기가 어렵기 때문이다. 시스템의 특성마다 안정성의 기준을 평가하는 방법도 다양할 수 있다. 만일 안정된 시스템에 대한 기준이 보다 명확해질 때  $d$ 값을 보다 더 합리적으로 결정할 수 있고 이로 인하여 포스트의 경사각을 보다 더 정확하게 결정할 수 있을 것으로 기대된다.

## 10. 참고문헌

- (1) 이 영해외, VTR테이프 주행계의 문제점 개선에 관한 연구, 한양대학교 산업과학 연구소, 1992
- (2) 이영해, 김정, 회귀분석을 이용한 비디오 주행계의 주요인자 선정에 관한 연구, 한양대학교 생산공학논문집, 제1권, 제1호, pp.141~151, 1992.9
- (3) Craig, J.J., Introduction to Robotics: Mechanics and control Addison-Wesley, 1986
- (4) 河内健, VTR 테이프<sup>0</sup> 走行系の設計と評價, トリケツフ<sup>0</sup> スフル-ヘ-ハ<sup>0</sup>-ス, No.32, 昭和 59年
- (5) Shigeki Murata, "Tape Transport system Design of Helical Scanning VTRs", National Technical Report, Vol. 31, No. 6 Dec. 1985
- (6) 한영신, VTR기술입문, 전파기술사, 1981