

## 본봉용 재봉기의 톱니 운동에 관한 연구

전 경 진\*, 송 창 섭\*\*, 신 대 영\*\*\*

## A Study on Feed Dog Motion of a Lock Stitch Sewing Machine

Keyoung Jin Chun\*, Chang Seop Song\*\*, Dae Young Shin\*\*\*

## ABSTRACT

This study discusses the feed dog feeding mechanism of an industrial lock stitch sewing machine, which is a good example to study a machine kinematics. The feed dog feeding mechanism makes the fabrics directly be fed by an elliptic motion of the feed dog that is moved by a rotation of the top shaft and controlled by the feeding control mechanism. This study makes mathematical expressions of machine's motion in the feed dog feeding mechanism. Thus, the motions of this mechanism are characterized, namely, how an elliptic motion of the feed dog is affected by the feeding control mechanism. Therefore, the above mathematical expressions may be a basis for the new design of the feed dog feeding mechanism and may be adapted to analysis. Development of the similar feed dog feeding mechanism can be applied to other type sewing machine.

**Key Words** : kinematic analysis(기구 해석), sewing machine(재봉기), feed dog feeding mechanism(톱니이송기구)

## 1. 서 론

공업용 본봉용 재봉기는 전기 모터로부터 동력을 전달 받아 천을 재봉질하는 기계이다. 본봉용 재봉기의 재봉질은<sup>1,2,3)</sup> 워실과 밀실을 이용하여 두 장의 천을 고정시키는 운동이다. 일반적으로 본봉용 재봉기의 여러 기구<sup>4)</sup> 가운데서 천의 이송에는 제어기의 역할을 하는 이송조절기구(Feeding control mechanism)와 톱니의 타원운동을 이용하여 천을 직접적으로 이송하는 톱니이송기구(Feed dog feeding mechanism)<sup>5)</sup>로 구분된다. 본 연구는 톱니

의 타원 운동을 해석하기 위한 두 번째 단계로서 대부분 다른 기종<sup>6)</sup>의 톱니이송기구의 기본이 되는 본봉용 재봉기의 톱니이송기구를 해석하였다.

톱니이송기구는 상측에 고정된 이송캠의 회전운동과 이송조절기구의 출력인 이송조절링크(Feed regulator link)의 회전운동을 입력으로 하여 톱니의 타원운동을 출력시키는 기구이다. 톱니이송기구의 해석은 기구 해석을 이용하여 기계 요소(machine element)의 운동을 수식화하여 결과적으로 톱니의 운동 특성을 규명할 수 있었다. 톱니이송기구의 기구 해석 결과 이송조절기구의 이송

\* 한국생산기술연구원  
 \*\* 한양대학교 정밀기계공학과  
 \*\*\* 한양대학교 정밀기계공학과 (한국생산기술연구원)

조절다이알축(Feed regulator dial shaft)의 이송운동은 톱니의 타원 운동을 조절하여 천의 이송을 선형 제어하고 이송조절기(Feed regulator)에 적용된 힘의 방향은 톱니의 타원 운동 방향을 제어하여 천의 이송방향을 결정하고 있었다.

또한 본 연구에서는 톱니이송기구의 운동 특성 가운데 천의 이송 운동에 부정적 영향을 미칠 수 있는 요소들을 찾아내어 향후에 분체 성능을 개선하기 위한 설계 방향을 제시하였으며 각각의 기계 요소의 운동을 수식화하여 앞으로의 설계에 필요한 기본 수식을 제공하였다. 또한 이 수식들은 다른 기종의 재봉기의 톱니이송기구에도 유용하게 이용될 수 있게 하였다.

## 2. 톱니이송기구의 해석

톱니이송기구(Feed dog feeding mechanism)는 톱니(Feed dog)를 타원의 궤적으로 운동시켜 천을 직접 이송하는 기구이다.

톱니이송기구를 기구학적으로 표현하면 그림1과 그림2와 같이 상축(Top shaft)에 고정된 이송캠(Feed cam)의 회전( $\theta_c$ )과 이송조절기구의 이송조절링크의 회전( $\theta_r$ )을 입력으로 하여 톱니(Feed dog)의 타원 운동( $d_x, d_y$ )을 출력시키는 기구이다. 톱니이송기구는 톱니의 전후운동을 유발시키는 수평이송기구(Horizontal feeding mechanism)와 톱니의 상하운동을 유발시키는 상하이송기구(Vertical feeding mechanism)그리고 톱니의 타원

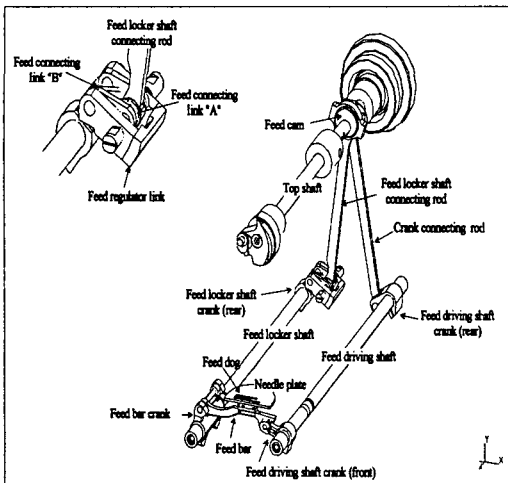


Fig. 1 Feed dog feeding mechanism

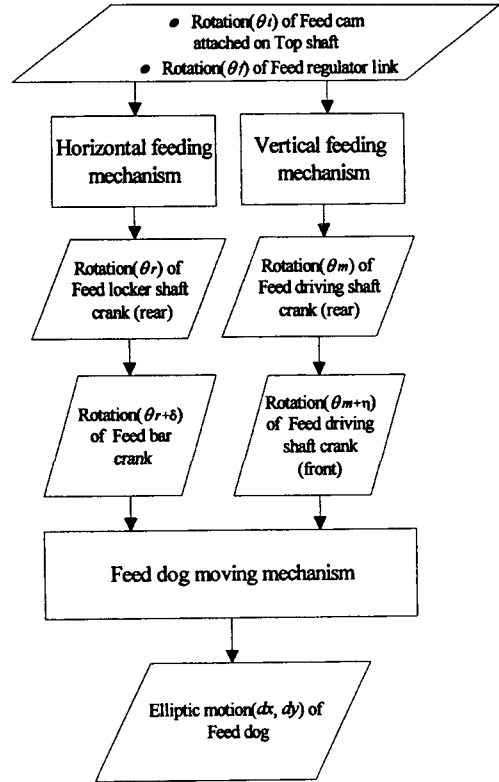


Fig. 2 Motion transfer process of Feed dog feeding mechanism

운동을 발생시키는 톱니운동기구(Feed dog moving mechanism)로 구성된다.

수평이송기구는 그림 3과 같이 상축에 고정된 이송캠의 회전 운동( $\theta_c$ )과 이송조절링크의 회전 운동( $\theta_r$ )이 일련의 5절 기구와 4절 기구<sup>7,8)</sup>를 통하여 수평밀대크랭크後(Feed locker shaft crank (rear))의 요동 운동( $\theta_r$ )을 발생시킨다. 수평이송기구의 5절 기구는 상축에 연결된 이송캠(구동절)과 이송조절링크(구동절)의 구동에 의하여 수평이송롯드(연결기)(Feed locker shaft connecting rod)의 운동과 이송연결링크 B(종동절)(Feed connecting link "B")의 요동 운동( $\theta_b$ )을 발생시킨다. 수평이송기구의 4절 기구는 이송연결링크 B(구동절)의 구동에 의하여 이송연결링크 A(연결기)(Feed connecting link "A")의 운동과 수평밀대크랭크後의 요동운동을 발생시킨다.

수평이송롯드의 회전각( $\theta_1$ )과 이송연결링크 B의 회전각( $\theta_b$ )은 다음과 같다.

$$\theta_1 = \pm \cos^{-1} \left[ \frac{-h_2^2 + h_3^2 - h_1^2}{2h_2h_1} \right] + \zeta_1 \quad (1)$$

$$\theta_u = \pm \cos^{-1} \left[ \frac{-h_2^2 + h_3^2 + h_1^2}{2h_3h_1} \right] + \zeta_1 \quad (2)$$

여기에서  $h_1$ 은 대각선  $L_1$ 의 길이, 즉,  $h_1 = \sqrt{[h_1 \cos(\theta_1) - r_x - k_4 \cos(\theta_f)]^2 + [h_1 \sin(\theta_1) - r_y - k_4 \sin(\theta_f)]^2}$  이고  $\zeta_1$ 은 대각선  $L_1$ 의 회전각, 즉,  $h_1 \cos(\theta_1) \geq r_x + k_4 \cos(\theta_f)$  일

때에는  $\zeta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{h_1 \sin(\theta_1) - r_y - k_4 \sin(\theta_f)}{h_1 \cos(\theta_1) - r_x - k_4 \cos(\theta_f)} \right)$  이고,

$r_x + k_4 \cos(\theta_f) \geq h_1 \cos(\theta_1)$  일 때에는

$$\zeta_1 = \pi + \tan^{-1} \left( \frac{h_1 \sin(\theta_1) - r_y - k_4 \sin(\theta_f)}{h_1 \cos(\theta_1) - r_x - k_4 \cos(\theta_f)} \right) \text{ 이다.}$$

식 (1)과 식 (2)를 보면  $\theta_u$ 와  $\theta_1$ 는 각각 2가지 값을 가질 수 있는데 이는 5절 기구에서 이송연결링크 B와 수평 이송로드의 자세가 2가지가 될 수 있다는 것을 의미한다.

이송연결링크 B의 요동 운동( $\theta_u$ )에 의한 이송연결링크 A의 회전각( $\theta_2$ )과 수평밀대크랭크後的의 회전각( $\theta_r$ )은 다음과 같다.

$$\theta_2 = \pm \cos^{-1} \left[ \frac{-h_4^2 + h_5^2 - h_r^2}{2h_4h_r} \right] + \zeta_2 \quad (3)$$

$$\theta_r = \pm \cos^{-1} \left[ \frac{-h_4^2 + h_5^2 + h_r^2}{2h_5h_r} \right] + \zeta_2 \quad (4)$$

여기에서  $h_r$ 은 대각선  $L_2$ 의 길이, 즉,  $h_r = \sqrt{[-h_x + r_x + k_4 \cos(\theta_f) + h_3 \cos(\theta_u)]^2 + [-h_y + r_y + k_4 \sin(\theta_f) + h_3 \sin(\theta_u)]^2}$  이고  $\zeta_2$ 은 대각선  $L_2$ 의 회전각, 즉,  $r_x + k_4 \cos(\theta_f) + h_3 \cos(\theta_u) \geq h_x$  일 때에는

$$\zeta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{-h_y + r_y + k_4 \sin(\theta_f) + h_3 \sin(\theta_u)}{-h_x + r_x + k_4 \cos(\theta_f) + h_3 \cos(\theta_u)} \right) \text{ 이고,}$$

$h_x \geq r_x + k_4 \cos(\theta_f) + h_3 \cos(\theta_u)$  때에는

$$\zeta_2 = \pi + \tan^{-1} \left( \frac{-h_y + r_y + k_4 \sin(\theta_f) + h_3 \sin(\theta_u)}{-h_x + r_x + k_4 \cos(\theta_f) + h_3 \cos(\theta_u)} \right) \text{ 이다.}$$

식 (3)과 식 (4)를 보면  $\theta_2$ 와  $\theta_r$ 는 각각 2가지 값을 가질 수 있는데 이는 4절 기구에서 이송연결링크 A와 수평밀대크랭크後的의 자세가 2가지가 될 수 있다는 것을 의미한다.

일반적으로 재봉질에서 작업자는 천의 이송량을 조절하기 위하여 상측의 회전을 멈추고 이송조절링크의 이송조절링크의 회전을 조정한다. 이송조절링크의 회전이 원하는 회전각으로 고정되면 다시 상측의 회전을 계속하여 톱니의 타원 운동을 만들어 천을 이송할 수 있다. 따라서 톱니의 타원 운동을 기구 해석하는데 있어서 이송조절링크의 회전각( $\theta_1$ )는 시간 불변 변수(time invariant variable)라고 할 수 있으며, 이송조절링크의 각속도( $\omega_1$ )는 0으로 설정할 수 있다.

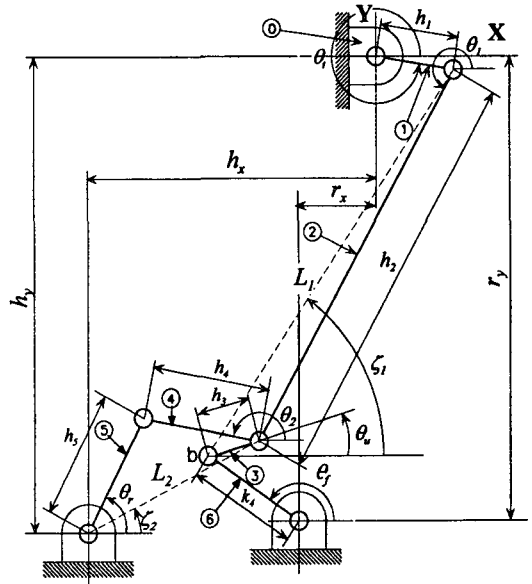
수평이송로드의 각속도( $\omega_1$ )와 이송연결링크 B의 각속도( $\omega_u$ )와 이송연결링크 A의 각속도( $\omega_2$ )와 수평밀대크랭크後的의 각속도( $\omega_r$ )은 다음과 같다.

$$\omega_1 = -\omega_r \frac{h_1 \sin(\theta_u - \theta_1)}{h_2 \sin(\theta_u - \theta_1)} \quad (5)$$

$$\omega_u = -\omega_r \frac{h_1 \sin(\theta_1 - \theta_u)}{h_3 \sin(\theta_1 - \theta_u)} \quad (6)$$

$$\omega_2 = -\omega_u \frac{h_3 \sin(\theta_r - \theta_u)}{h_4 \sin(\theta_r - \theta_2)} \quad (7)$$

$$\omega_r = \omega_u \frac{h_3 \sin(\theta_2 - \theta_u)}{h_5 \sin(\theta_2 - \theta_r)} \quad (8)$$



①:Frame ①:Feed cam ②:Feed locker shaft connecting rod  
③:Feed connecting link "B" ④:Feed connecting link "A"  
⑤:Feed locker shaft crank (rear) ⑥:Feed regulator link

Fig. 3 Horizontal feeding mechanism

여기에서  $\omega_i$ 는 상축의 각속도이다.

이송연결링크 B의 각가속도( $\alpha_u$ )와 수평밀대크랭크後의 각가속도( $\alpha_r$ )은 다음과 같다.

$$\alpha_u = \frac{\alpha_i \omega_u}{\omega_i} - \frac{h_2 \omega_i^2 + h_1 \omega_i^2 \cos(\theta_1 - \theta_i) - h_3 \omega_u^2 \cos(\theta_1 - \theta_u)}{h_3 \sin(\theta_1 - \theta_u)} \quad (9)$$

$$\alpha_r = \frac{\alpha_u \omega_r}{\omega_u} - \frac{h_4 \omega_2^2 - h_5 \omega_r^2 \cos(\theta_2 - \theta_r) + h_3 \omega_u^2 \cos(\theta_2 - \theta_u)}{h_3 \sin(\theta_2 - \theta_r)} \quad (10)$$

일반적으로 톱니의 타원 운동은 톱니의 전후진 운동과 톱니의 상하운동의 조합으로 만들어진다. 본봉용 재봉기에서 수평이송기구는 톱니의 전후진 운동을 결정하고 상하이송기구는 톱니의 상하운동을 좌우하고 있다. 일반적으로 톱니의 타원 궤적을 위하여 수평이송기구의 구동절의 회전운동과 상하이송기구의 구동절의 회전운동사이에는 적당한 위상차( $\beta$ )가 유지되고 있다. 본 연구에서는 수평이송기구의 구동절의 회전각을  $\theta_i$ 라 정하였으므로 상하이송기구의 구동절의 회전각은  $\theta_i + \beta$ 이다. 본 연구 대상의 재봉기에서는 그림 1과 같이 이송캠이 수평이송기구와 상하이송기구의 구동절의 기능을 갖고 있으며 두 구동절 사이에는 사이각( $\beta$ )를 두고 있다.

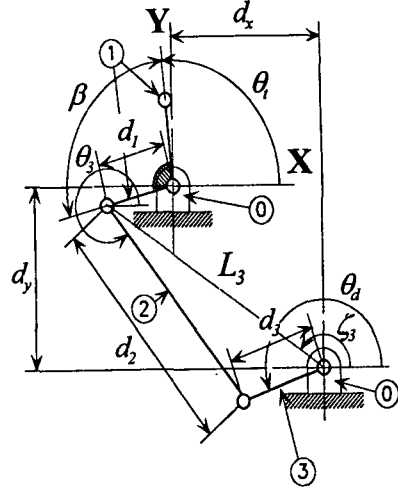
상하이송기구는 그림 4와 같이 상축에 고정된 이송캠의 회전 운동( $\theta_i + \beta$ )이 4절 기구를 통하여 들대크랭크後(Feed driving shaft crank (rear))의 요동 운동( $\theta_d$ )을 발생시킨다. 상하이송기구의 4절 기구는 상축에 연결된 이송캠(구동절)의 구동에 의하여 크랭크로트드(연결기)(Crank connecting Rod)의 운동과 들대크랭크後(종동절)의 요동운동을 발생시킨다.

크랭크로트드의 회전각( $\theta_3$ )과 들대크랭크後( $\theta_d$ )의 회전각은 다음과 같다.

$$\theta_3 = \pm \cos^{-1} \left[ \frac{-d_2^2 + d_3^2 - d_d^2}{2d_2 d_d} \right] + \zeta_3 \quad (11)$$

$$\theta_d = \pm \cos^{-1} \left[ \frac{-d_2^2 + d_3^2 + d_d^2}{2d_3 d_d} \right] + \zeta_3 \quad (12)$$

여기에서  $d_d$ 는 대각선  $L_3$ 의 길이, 즉,  $d_d = \sqrt{[-d_x + d_1 \cos(\theta_i + \beta)]^2 + [-d_y + d_1 \sin(\theta_i + \beta)]^2}$  이고  $\zeta_3$ 은 대각선  $L_3$ 의 회전각, 즉,  $d_1 \cos(\theta_i + \beta) \geq d_x$  일 때에는



①:Frame                      ②:Feed cam  
③:Crank connecting rod  
④:Feed driving shaft crank (rear)

Fig. 4 Vertical feeding mechanism

$$\zeta_3 = \tan^{-1} \left( \frac{-d_y + d_1 \sin(\theta_i + \beta)}{-d_x + d_1 \cos(\theta_i + \beta)} \right) \text{ 이고, } d_x \geq d_1 \cos(\theta_i + \beta)$$

$$\text{때에는 } \zeta_3 = \pi + \tan^{-1} \left( \frac{-d_y + d_1 \sin(\theta_i + \beta)}{-d_x + d_1 \cos(\theta_i + \beta)} \right) \text{ 이다.}$$

식 (11)과 식 (12)를 보면  $\theta_3$ 와  $\theta_d$ 는 각각 2가지 값을 가질 수 있는데 이는 4절 기구에서 크랭크로트드와 들대크랭크後의 자세가 2가지가 될 수 있다는 것을 의미한다.

크랭크로트드의 각속도( $\omega_3$ )과 들대크랭크後( $\omega_d$ )의 각속도는 다음과 같다.

$$\omega_3 = -\omega_i \frac{d_1 \sin(\theta_d - \theta_i - \beta)}{d_2 \sin(\theta_d - \theta_3)} \quad (13)$$

$$\omega_d = \omega_i \frac{d_1 \sin(\theta_3 - \theta_i - \beta)}{d_3 \sin(\theta_3 - \theta_d)} \quad (14)$$

들대크랭크後( $\alpha_d$ )의 각가속도는 다음과 같다.

$$\alpha_d = \frac{\alpha_i \omega_d}{\omega_i} \quad (15)$$

$$- \frac{d_2 \omega_3^2 - d_3 \omega_d^2 \cos(\theta_3 - \theta_d) + d_1 \omega_i^2 \cos(\theta_3 - \theta_i - \beta)}{d_3 \sin(\theta_3 - \theta_d)}$$

톱니운동기구는 그림 1과 그림 5와 같이 톱니받침크랭

크(Feed bar crank)의 요동운동( $\theta_r + \delta$ )과 들대 크랭크前(Feed driving shaft crank (front))의 요동운동( $\theta_d - \eta$ )이 5절 기구<sup>9)</sup>를 통하여 톱니(Feed dog)의 타원 운동을 만든다. 톱니운동기구의 5절기구는 톱니받침크랭크(구동절)의 구동과 들대크랭크前(구동절)의 구동에 의하여 톱니받침블럭(연결기)(Feed bar block)의 운동과 톱니를 고정시킨 톱니받침(종동절)(Feed bar)의 운동을 발생시킨다. 여기에서 톱니받침과 톱니받침블럭 사이에는 미끄럼 운동이 존재하며 직선  $L_4$ 와 미끄럼 평면은 평행하다. 또한 수평밀대에 고정된 톱니받침크랭크과 수평밀대크랭크後의 사이각은  $\delta$ 이고 들대에 고정된 들대크랭크後와 들대크랭크前의 사이각은  $\eta$ 이다.

톱니의 타원 운동에서 톱니 중간점의 변위( $m_x, m_y$ )은 다음과 같다.

$$m_x = h_x + m_1 \cos(\theta_r + \delta) + m_3 \cos(\theta_4 + \mu) \quad (16)$$

$$m_y = h_y + m_1 \sin(\theta_r + \delta) + m_3 \sin(\theta_4 + \mu) \quad (17)$$

여기에서  $m_i$ 는 직선  $L_i$ 의 길이, 즉  $m_i = \sqrt{l_{4x}^2 + l_{4y}^2}$  이며  $\theta_4$ 는 직선  $L_4$ 의 회전각, 즉  $\theta_4 = \tan^{-1}(l_{4y}/l_{4x})$ 이며

$$l_{4x} = d_x - h_x + m_2 \cos(\theta_d - \eta) - m_1 \cos(\theta_r + \delta) \text{ 이며}$$

$$l_{4y} = d_y - h_y + m_2 \sin(\theta_d - \eta) - m_1 \sin(\theta_r + \delta) \text{ 이다.}$$

톱니의 타원 운동에서 톱니 중간점의 속도( $v_x, v_y$ )은 다음과 같다.

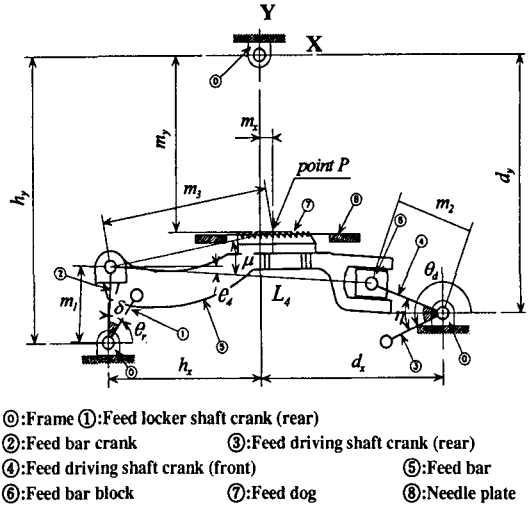
$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_4 \end{bmatrix} \quad (18)$$

여기에서  $J = \begin{bmatrix} -\sin(\theta_r + \delta) & -\sin(\theta_4 + \mu) \\ \cos(\theta_r + \delta) & \cos(\theta_4 + \mu) \end{bmatrix}$  이고  $\omega_4$ 는  $\theta_4$ 의 각속도이며 다음과 같다.

$$\omega_4 = \frac{m_2 \omega_d \cos(\theta_4 - \theta_d + \eta) - m_1 \omega_r \cos(\theta_4 - \theta_r - \delta)}{m_1} \quad (19)$$

톱니의 타원 운동에서 톱니 중간점의 가속도( $a_x, a_y$ )은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} [J] \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_4 \end{bmatrix} + [J] \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_r \\ \alpha_4 \end{bmatrix} \quad (20)$$



①:Frame ①:Feed locker shaft crank (rear)  
 ②:Feed bar crank ③:Feed driving shaft crank (rear)  
 ④:Feed driving shaft crank (front) ⑤:Feed bar  
 ⑥:Feed bar block ⑦:Feed dog ⑧:Needle plate

Fig. 5 Feed dog moving mechanism

식(20)에서  $\alpha_4$ 는  $\theta_4$ 의 각가속도이며 다음과 같다.

$$\alpha_4 = \frac{df/dt}{m_1} - \frac{f}{m_1^2} \frac{dm_1}{dt} \quad (21)$$

여기에서  $f = m_2 \omega_d \cos(\theta_4 - \theta_d + \eta) - m_1 \omega_r \cos(\theta_4 - \theta_r - \delta)$ 이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구는 임의의 공업용 본봉 재봉기(an example model)의 톱니이송기구를 대상으로 해석하였으며 그림 3에서 그림 5에 걸쳐 나타나는 각 설계변수의 기준치수(nominal size)는 표 1과 같다.

Table 1 Nominal sizes of an example model

	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	
수평	4.3	184.42	20.0	23.3	17.9 mm	
이송	mm	mm	mm	mm		
기구	$k_4$	$r_x$	$r_y$	$h_x$	$h_y$	
	20.0	-30.1	-182.0	-63.1	-193.0	
	mm	mm	mm	mm	mm	
상하	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_x$	$d_y$	$\beta$
이송	1.0	197.0	20.0	55.8	-184.3	99°
기구	mm	mm	mm	mm	mm	
톱니	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$\eta$	$\delta$	$\mu$
운동	24.1	27.1	58.7	31.4°	44.6°	14.1°
기구	mm	mm	mm			

톱니이송기구는 그림 2와 같이 상축에 고정된 이송캠의 회전( $\theta_f$ )과 이송조절기구의 이송조절링크의 회전( $\theta_l$ )를 입력으로 하여 톱니의 타원 운동을 출력시키는 기구이다.

일반적으로 재봉질은 상축이 정속도로 회전할 때 이루어지므로 본 연구에서는 이송캠의 각속도는  $\alpha_f = 0.0 \text{ rad/sec}^2$ 으로 설정하였다. 해석모델의 이송조절기구의 운동 특성은 그림 6과 같이 이송조절다이알축(Feed regulator dial shaft)의 이송(d)에서  $0.0 \text{ mm} \leq d \leq 3.0 \text{ mm}$ 일 때 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_1$ 일 경우에는  $2.57 \text{ rad} < \theta_f \leq 2.98 \text{ rad}$ 이며 힘의 방향이  $F_2$ 일 경우에는  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 3.39 \text{ rad}$ 이며 이송(d)에 대한 회전운동( $\theta_f$ )의 상관 관계는 다음 식과 같다.

$$\theta_f = (-1)^n Ad + \theta_{f,0} \quad (22)$$

여기에서 힘의 방향이  $F_1$ 일 경우에는  $n=2$ 이며 힘의 방향이  $F_2$ 일 경우에는  $n=1$ 이다.

또한  $A = -0.14[\text{rad/mm}]$ 이고  $\theta_{f,0} = 2.98[\text{rad}]$ 이며  $\theta_{f,0}$ 는  $d = 0.0[\text{mm}]$ 일 때 이송조절링크의 회전각이다.

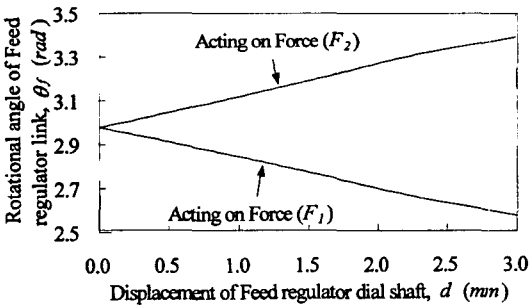


Fig. 6 Feeding control mechanism

그림 6에서 힘( $F_1, F_2$ )는 이송조절기에 작용하는 힘의 방향을 나타낸다.

이송캠의 각속도( $\omega_f$ )가  $-1 \text{ (rad/sec)}$ 일 때 상축에 고정된 이송캠의 회전( $\theta_f$ )에 대한 톱니의 중간점(point P)의 운동을 해석하였다. 그림 7은  $2.57 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 2.98 \text{ rad}$ 일 때 톱니의 중간점의 변위( $d_x, d_y$ )를 나타내며 그림 8은  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 3.39 \text{ rad}$ 일 때 톱니의 중간점의 변위를 나타내며 다음과 같은 운동특성을 갖고 있다. 여기에서 상축에서 침판(Needle plate)의 거리는  $-159.0 \text{ mm}$ 이다.

1.  $2.57 \text{ rad} < \theta_f < 2.98 \text{ rad}$ 일 때 톱니는 반시계 방향으로 회전하며 타원 궤적을 그리고 있다.

2.  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 3.39 \text{ rad}$ 일 때 톱니는 시계 방향으로 회전하며 찌그러진 타원 궤적을 그리고 있다.

3. 바느질에서 천의 이송은 침판 위에서의 톱니의 운동에 의하여 결정되므로  $2.98 \text{ rad} > \theta_f$ 일 때의 천의 이송 방향과  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f$ 일 때의 천의 이송 방향은 서로 반대이다. 따라서 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_1$ 일 때 천은 우측에서 좌측 방향으로 이송(전진 이송)하며 힘의 방향이  $F_2$ 일 때 천은 좌측에서 우측 방향으로 이송(후진 이송)한다.

4. 천의 이송량( $\Delta s$ )은 침판 위에서의 톱니 궤적의 폭에 의하여 결정된다. 그림 9를 보면 이송조절링크의 회전운동( $\theta_f$ )과 천의 이송량 사이에는 선형관계가 유지되며 다음 식과 같다.

$$\Delta s_f = A_f(\theta_f - \theta_{f,0}) \quad (23)$$

$$\Delta s_b = A_b(\theta_f - \theta_{f,0})$$

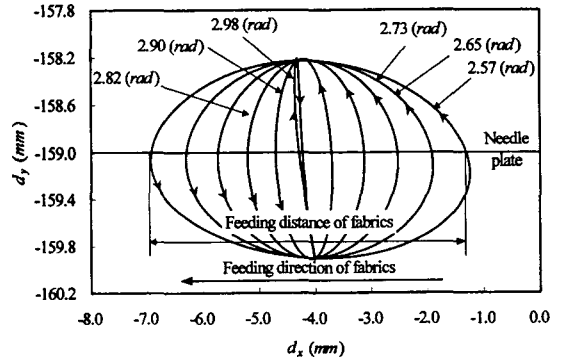


Fig. 7 Movement of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

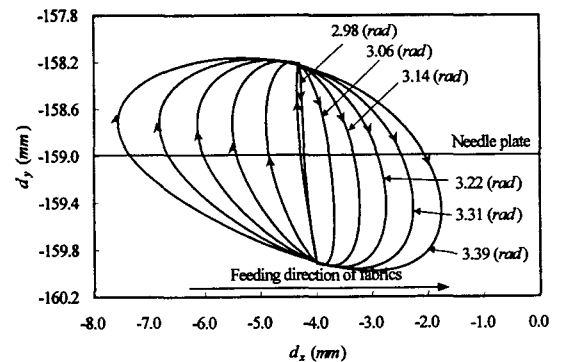


Fig. 8 Movement of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator

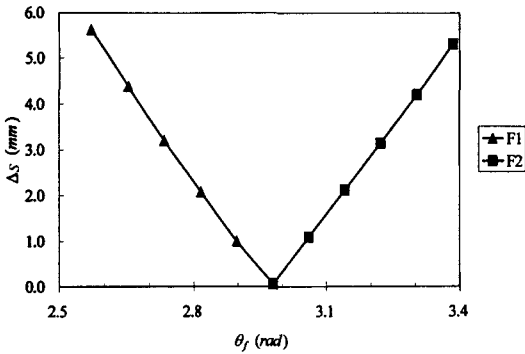


Fig. 9 Feeding distance ( $\Delta s$ ) of fabrics

여기에서  $\Delta s_f$ 는 힘의 방향이  $F_1$  일 때 천의 이송량이며  $\Delta s_b$ 는 힘의 방향이  $F_2$  일 때 천의 이송량이며  $A_f \approx -13.7(mm/rad)$ 이고  $A_b \approx 12.8(mm/rad)$ 이다.

식 (22)와 식 (23)으로부터 이송조절다이얼축의 이송거리( $d$ )와 천의 이송량 사이에는 선형 관계가 유지되며 다음 식과 같다.

$$\Delta s_f = A \cdot A_f d \quad (24)$$

$$\Delta s_b = A \cdot A_b d$$

식 (24)으로부터 이송조절다이얼축의 이송으로 천의 이송량을 선형적으로 제어할 수 있으며 이송조절기에 작용하는 힘으로 천의 이송방향을 제어할 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만  $A_f \neq A_b$ 이다. 이것은 동일한 이송조절다이얼축의 이송 거리에서 이송조절기에 작용하는 힘( $F_1, F_2$ )에 따라 천의 이송량이 약 7%정도 다르다는 것을 의미한다. 이러한 특성은 재봉질의 마무리 작업에서 봉제 성능의 저하를 발생시킬 수 있다.

톱니이송기구의 해석에서 이송캠의 각속도( $\omega_i$ )가  $-1 (rad/sec)$ 이므로 이송캠의 회전( $\theta_i$ )의 회전방향은  $360^\circ \rightarrow 270^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 0^\circ$  일때 톱니 중간점의 변위·속도·가속도는 다음과 같다.

그림 10과 그림 11은 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_1$  일 경우, 즉  $2.57 rad \leq \theta_f \leq 2.90 rad$  일 때 톱니의 중간점의 변위( $d_x, d_y$ )를 나타낸다. 천의 이송은  $-159 mm \leq d_y$  일 때 이루어지므로  $\theta_i = 79.5 \pm 7.5^\circ$  (선 a)일 때 톱니는 천의 이송을 시작하고  $\theta_i = 355.5 \pm 4.5^\circ$  일 때 톱니는 상사점( $d_x = -158.2 mm$ )에 다다르며  $\theta_i = 271.0 \pm 2.9^\circ$  (선 b)일 때 톱니는 천의 이송을 끝낸다. 그림 12와 그림 13은  $2.57 rad \leq \theta_f \leq 2.90 rad$  일때 톱니의 중간점의 속도( $v_x, v_y$ )를 나타낸다. 천의 이송이 시작

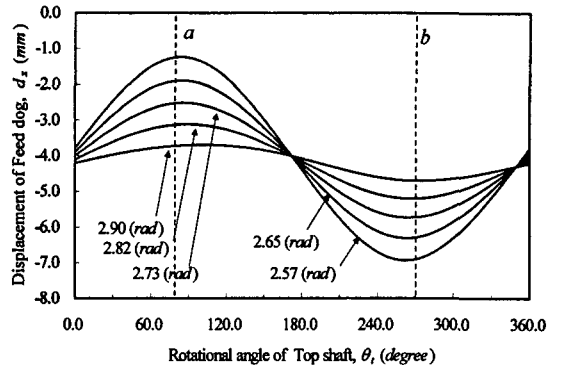


Fig. 10 Displacement ( $d_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

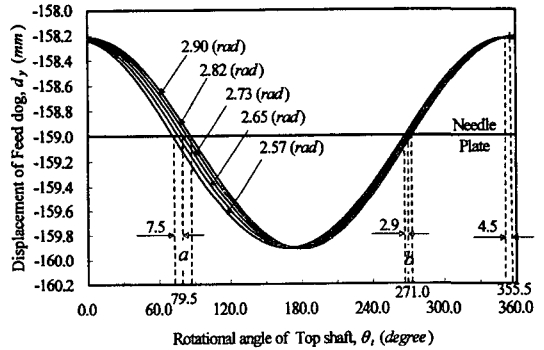


Fig. 11 Displacement ( $d_y$ ) of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

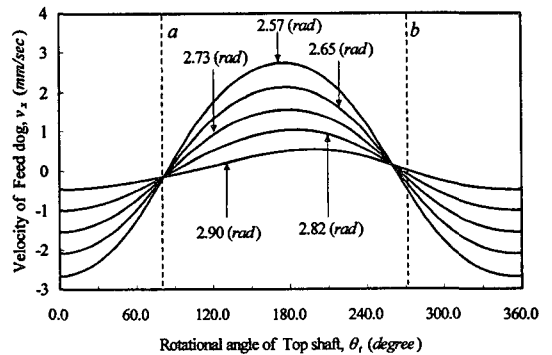


Fig. 12 Velocity ( $v_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

될 때에는 ( $v_x \approx -0.37 \pm 0.27 mm/sec, v_y \approx 0.85 \pm 0.01 mm/sec$ )이고 천의 이송이 끝날 때에는 ( $v_x \approx -0.13 \pm 0.13 mm/sec, v_y \approx -0.83 \pm 0.01 mm/sec$ )이며 톱니가 상사점에 있을 때에는 각각의 톱니의 타원운동에서 최고 수평 속도

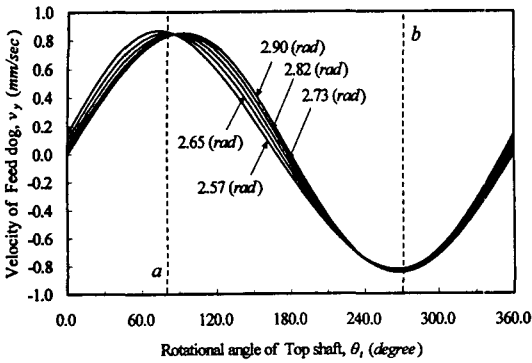


Fig. 13 Velocity ( $v_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

( $v_x$ )와 거의 0.0에 가까운 수직 속도( $v_y$ )를 갖는다. 톱니가 상사점에 있을 때에 최고 수평 속도( $v_x$ )를 보면  $\theta_f = 2.90 \text{ rad}$  일 때  $v_x = -0.47 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 2.82 \text{ rad}$  일 때  $v_x = -1.0 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 2.73 \text{ rad}$  일 때  $v_x = -1.54 \text{ mm/sec}$ ,  $\theta_f = 2.65 \text{ rad}$  일 때  $v_x = -2.10 \text{ mm/sec}$ ,  $\theta_f = 2.57 \text{ rad}$  일 때  $v_x = -2.68 \text{ mm/sec}$ 이며 이송조절링크의 회전각과 최고 수평 속도 사이에는 선형관계 ( $\Delta v_x / \Delta \theta_f \approx 6.6$ )

가 성립한다. 따라서 천이 이송되는 동안 톱니의 속도  $v_x$ 는 항상 음수이다. 그림 14와 그림 15는  $2.57 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 2.90 \text{ rad}$  일 때 톱니의 중간점의 가속도( $a_x, a_y$ )를 나타낸다. 천의 이송이 시작될 때에는 톱니는 각각의 톱니의 타원운동에서 최저 수평 가속도( $a_x$ )를 갖는 반면에 천의 이송이 끝날 때에는 톱니는 각각의 톱니의 타원운동에서 최고 수평 가속도( $a_x$ )를 갖는다. 그런데 천의 이송이 시작할 때의 수평 가속도( $a_x$ )와 천의 이송이 끝날 때의 수평 가속

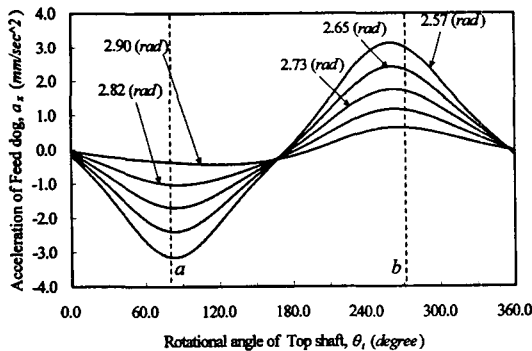


Fig. 14 Acceleration ( $a_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

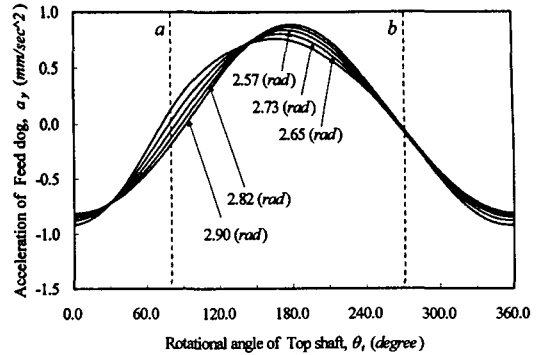


Fig. 15 Acceleration ( $a_y$ ) of Feed dog when a force ( $F_1$ ) is acting on Feed regulator

도( $a_y$ )는 서로 크기가 거의 같으며 방향은 반대이다. 천의 이송이 시작할 때의 수평 가속도( $a_x$ )를 보면  $\theta_f = 2.90 \text{ rad}$  일 때  $a_x = -0.39 \text{ mm/sec}^2$ ,  $\theta_f = 2.82 \text{ rad}$  일 때  $a_x = -1.03 \text{ mm/sec}^2$ ,  $\theta_f = 2.73 \text{ rad}$  일 때  $a_x = -1.69 \text{ mm/sec}^2$ ,  $\theta_f = 2.65 \text{ rad}$  일 때  $a_x = -2.39 \text{ mm/sec}^2$ ,  $\theta_f = 2.57 \text{ rad}$  일 때  $a_x = -3.14 \text{ mm/sec}^2$ 이다. 또한 톱니가 상사점에 있을 때 톱니의 수평 가속도( $a_x$ )는  $0.02 \text{ mm/sec}^2$ 이고 수직 가속도는  $a_y = 0.85 \text{ mm/sec}^2$ 이다.

그림 16과 그림 17은 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_2$ 일 경우, 즉  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 3.39 \text{ rad}$ 일 때 톱니의 중간점의 변위( $d_x, d_y$ )를 나타낸다. 천의 이송은  $-159 \text{ mm} \leq d_y$ 일 때 이루어지므로  $\theta_f = 93.6 \pm 4.0^\circ$ (선 c)일 때 톱니는 천의 이송을 시작하고  $\theta_f = 6.0 \pm 4.0^\circ$ 일 때 톱니는 상사점( $d_y = -158.2 \text{ mm}$ )에 다다르며  $\theta_f = 280.8 \pm 6.0^\circ \text{ rad}$ (선 e)일 때 톱니는 천의 이송을 끝낸다. 그림 18과 그림 19는  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 3.39 \text{ rad}$ 일 때 톱니의 중간점의

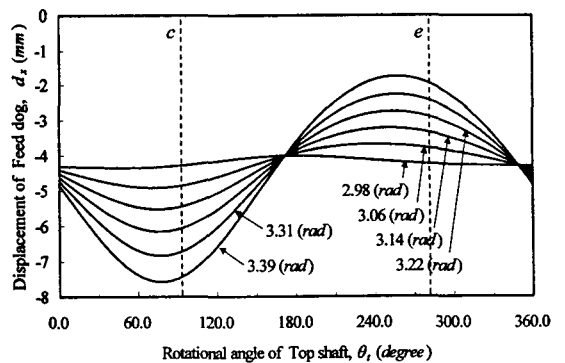


Fig. 16 Displacement ( $d_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator



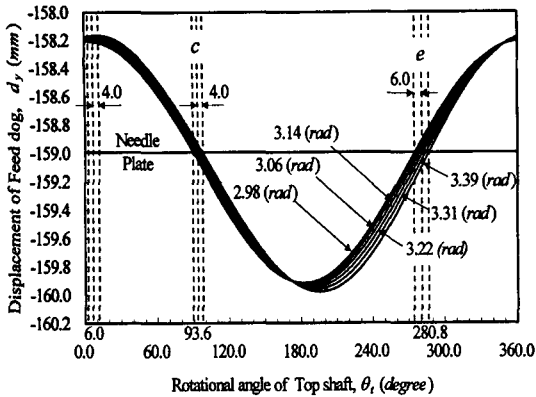


Fig. 17 Displacement ( $d_y$ ) of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator

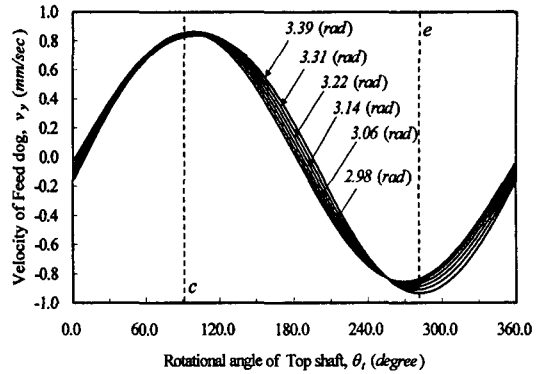


Fig. 19 Velocity ( $v_y$ ) of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator

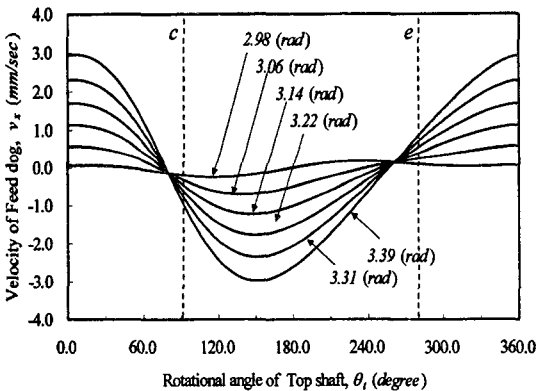


Fig. 18 Velocity ( $v_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator

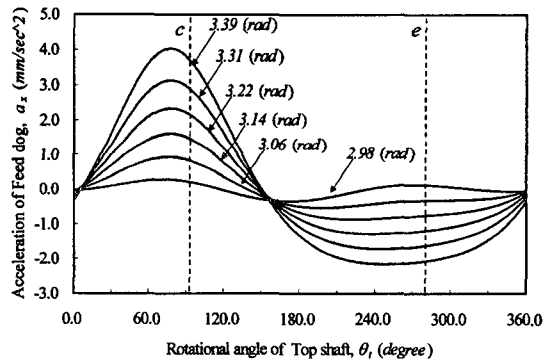


Fig. 20 Acceleration ( $a_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator

속도( $v_x, v_y$ )를 나타낸다. 천의 이송이 시작될 때에는 ( $v_x \approx -0.76 \pm 0.57 \text{ mm/sec}$ ,  $v_y \approx 0.85 \pm 0.01 \text{ mm/sec}$ )이고 천의 이송이 끝날 때에는 ( $v_x \approx 0.60 \pm 0.49 \text{ mm/sec}$ ,  $v_y \approx -0.89 \pm 0.04 \text{ mm/sec}$ )이며 톱니가 상사점에 있을 때에는 각각의 톱니의 타원운동에서 최고 수평 속도( $v_x$ )와 거의 0.0에 가까운 수직 속도( $v_y$ )를 갖는다. 톱니가 상사점에 있을 때에 최고 수평 속도( $v_x$ )를 보면  $\theta_f = 2.98 \text{ rad}$  일 때  $v_x = 0.06 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 3.06 \text{ rad}$  일 때  $v_x = 0.59 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 3.14 \text{ rad}$  일 때  $v_x = 1.14 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 3.22 \text{ rad}$  일 때  $v_x = 1.70 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 3.31 \text{ rad}$  일 때  $v_x = 2.30 \text{ mm/sec}$ 이고  $\theta_f = 3.39 \text{ rad}$  일 때  $v_x = 2.95 \text{ mm/sec}$ 이며 이송조절링크의 회전각과 최고 수평 속도는 선형관계 ( $\Delta v_x / \Delta \theta_f \approx 7.1$ )가 성립한다. 천이 이송되는 동안 톱니의

수평 속도( $v_x$ )를 보면 천의 이송 초기에는 음수이지만 톱니의 상사점에서는 양수로 바뀌며 천의 이송 종료시까지 양수가 유지된다. 이는 천의 이송에서 급격한 방향전환을 나타내고있다. 실제로 그림 8을 보면 천의 이송 초기에 이송방향이 변하고 있다. 그림 20과 그림 21은  $2.98 \text{ rad} \leq \theta_f \leq 3.39 \text{ rad}$  일 때 톱니의 중간점의 가속도( $a_x, a_y$ )를 나타낸다. 그림 20을 보면  $\theta_f = 76^\circ$ 일 때의 최고 수평 가속도( $a_x$ )를 갖는다. 따라서  $\theta_f = 76^\circ$ 일 때 천의 이송 방향이 바뀌게된다. 반면에 천의 이송이 끝날 때에는 톱니는 각각의 톱니의 타원운동에서 최저 수평 가속도( $a_x$ )를 가지며 크기는 최고 수평 가속도의 약 50%정도이다. 톱니가 상사점에 이를 때 톱니의 수평 가속도는 ( $a_x = 0.0 \text{ mm/sec}^2$ )이고 수직 가속도는 최저 가속도( $a_y = -0.88 \text{ mm/sec}^2$ )을 갖는다.

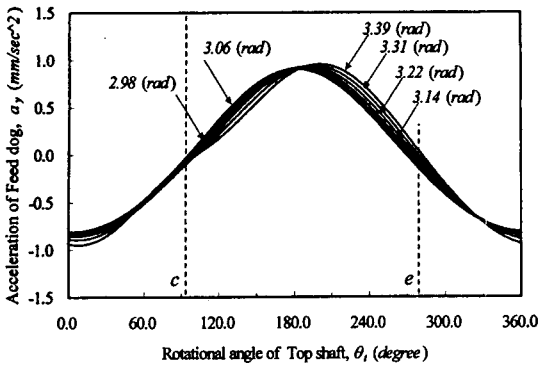


Fig. 21 Acceleration ( $a_x$ ) of Feed dog when a force ( $F_2$ ) is acting on Feed regulator

#### 4. 결 론

본 연구 대상의 톱니이송기구에서 이송조절링크의 회전각( $\theta$ )이  $\theta_f < 2.98 \text{ rad}$  일 때에는 톱니의 타원 운동 방향이 반시계 방향으로 회전하면서 천을 전진 이송시키며  $\theta > 2.98 \text{ rad}$  일 때에는 톱니의 타원 운동 방향이 시계 방향으로 회전하면서 천을 후진 이송시킨다. 또한 이송조절기구에서 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_1$  일 경우에는 이송조절링크의 회전각( $\theta$ )는  $\theta_f < 2.98 \text{ rad}$  이 되고 힘의 방향이  $F_2$  일 경우에는  $\theta > 2.98 \text{ rad}$  이 된다. 따라서 이송조절기구에서 이송조절기에 작용하는 힘의 방향은 톱니의 타원 운동 방향을 제어하여 천의 이송방향을 결정하게 된다. 본 연구 대상의 이송조절기구에서 이송조절다이알축의 이송량( $\Delta d$ )은 이송조절링크의 회전량( $\Delta \theta$ )을 선형 제어하고 있으며 톱니이송기구에서 이송조절링크의 회전량( $\Delta \theta$ )는 톱니의 타원 형상을 조절하여 천의 이송량( $\Delta s_f$  또는  $\Delta s_b$ )을 선형 제어하고 있다. 따라서 이송조절기구에서 이송조절다이알축의 이송량은 천의 이송량을 조절하는 역할을 하고 있다. 그러므로 이송조절기구는 천의 이송량과 이송방향을 결정하는 제어기 역할을 하며 상축에 고정된 이송캠의 회전 운동은 톱니의 타원 운동을 발생시켜 결과적으로 천의 이송을 유도한다.

이상적인 재봉질에서 동일한 이송조절다이알축의 이송에 대하여 이송조절기에 작용하는 힘의 방향에 관계없이 동일한 타원 형상의 톱니의 궤적을 유지하여야 한다. 이는 천이 전진할 때 톱니의 운동특성(변위, 속도, 가속도)이 과 천이 전진할 때 톱니의 운동특성이 서로 타원의 단축(Y축 방향)에 대하여 대칭성을 유지하게 되어 천의 이송

방향이 바뀌게 되더라도 천의 전후진 운동 특성이 서로 같게 되며 또한 천의 이송량이 서로 같게 된다. 하지만 본 연구대상의 톱니이송기구에서는 톱니의 궤적이 서로 비대칭이며 톱니 운동 특성 역시 서로 타원의 단축(Y축 방향)에 대하여 서로 비대칭이고 천의 이송량은 약 7% 정도 차이가 나고있다. 이러한 특징은 재봉질의 마무리 작업에서 봉제 성능의 저하를 발생시킬 수 있다.

천의 전후진 운동에서 각각의 이송량이 서로 같도록 즉  $\Delta s_f = \Delta s_b$  하기 위한 방법으로 다음과 같이 두가지 방법을 제시할 수 있다.

① 이송조절기구에서 설계변수의 기준치수를 변경하는 방법 : 식 (22)와 그림 6에 나타난 이송조절링크의 선형 운동특성에서 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_1$  일 때에 기울기가 이송조절기에 작용하는 힘의 방향이  $F_2$  일 때에 기울기보다 약 7% 정도 크도록 하는 방법으로 이송조절기구의 설계변수의 기준치수를 변경하는 방법이다. 일반적으로 이송조절기구는 톱니이송기구보다 단순한 기구이므로 천의 이송량의 문제를 보다 쉽게 해결할 수 있지만 톱니 궤적의 비대칭성 문제를 근본적으로 해결하지 못하는 단점을 지니고 있다.

② 톱니이송기구에서 설계변수의 기준치수를 변경하는 방법 : 전자의 방법보다 다소 복잡한 방법이지만 톱니 궤적의 비대칭성 문제와 천의 이송량 문제를 동시에 해결할 수 있는 방법으로 추후에 기구합성(kinematic synthesis) 또는 최적설계(optimum design)를 이용하여 문제 해결을 수행하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

1. Masayuki Onoue, Influences of The Sewing Conditions of The Lock-stitch Sewing Machine for Industrial Use on The Needle Thread Tension, Journal of The Society of Fiber Science and Technology Japan, Vol. 40, No. 10, T395-401, 1984.
2. F.B.N. Ferreira, S.C. Harlock, P. Grosberg, A Study of Thread Tensions on a Lock Stitch Sewing Machine, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 14-19, 1994.
3. J. Lewis Dorrity, New Developments for Seam Quality Monitoring in Sewing Applica-

- tions, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 6, pp. 1371-1375, 1995.
4. K. J. Chun, D. Y. Shin, J. Y. Lee, Mechanism Design of An Industrial Lock Stitch Sewing Machine, Journal of Federation of Asian Professional Textile Associations, Vol.2, No. 1, pp. 102-107, 1995.
  5. K. J. Chun, D. Y. Shin, A Study on Feeding Control Mechanism Analysis of Industrial Lock Stitch Sewing Machine, Proc ASPE, pp. 300-305, 1996.
  6. 이장용, 전경진, 공업용 침송 재봉기의 톱니와 바늘대 이송 메카니즘 해석 및 최적설계, 한국정밀공학회지, 제 14권, 제 10호, pp. 35-43, 1997.
  7. George H. Martin, Kinematics and Dynamics of Machines, 2nd edition, Michigan State University, pp 44-47, pp. 128-132, 1982.
  8. Edward J. Haug, Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Volume I :Basic Methods, Allyn and Bacon, pp. 48-69, 1989.
  9. P. S. Basu, K. Farhang, Kinematic Analysis and Design of Two-Input, Five-Bar Mechanisms Driven by Relatively Small Cranks, Trans. of the ASME, Vol. 116, pp.1108-1114, 1994.