

공업용 본봉 재봉기의 기구해석 및 봉환성능평가에 관한 연구
A Study on Kinematic Analysis and Stitch Performance Evaluation
of Industrial Lock Stitch Sewing Machine

진 경진*, 쇠 대영**, 송 창섭***

K. J. Chun, D. Y. Shin, C. S. Song

Abstract

The sewing machine is one of the oldest machine that has ever used, which is related with clothes' life.

Modern sewing machines are divided into three groups by the stitch character, which are the lock stitch sewing machine group, the over lock sewing machine group and the special sewing machine group. The lock stitch sewing machine have been used more than any others, which is also good model to study.

This work is part of the improvement of an industrial lock stitch(ILS) sewing machine's design. The research objectives are the kinematic analysis and evaluations of stitch performance. The feed dog and the needle extreme's motion, which are important two parts' motion in the sewing machine, are characterized by the stitch process and the needle trace. The needle trace is formulated as the stitch spacing, the stitch spacing's ratio(the static characteristic), and the stitch's phase difference(the dynamic characteristic). The tested ILS sewing machine is evaluated as a good static characteristic and a bad dynamic characteristic.

Namely, a stitch spacing's ratio is 0.01~0.063(mm/mm) and a stitch's phase difference ratio is 0.06~0.13(mm/mm).

1. 서론

원시 시대이후 자연환경으로부터 신체를 보호하려는 인간의 욕구는 바늘을 발명하게 되었으며, 근세에 이르러 신체나 물질, 이외에도 아름다움을 추구하는 문화에 대한 욕망과 인간의 증가에 따른 대량생산의 필요성은 1790년에 "Thomas Saint"에 의해서 재봉기를 발명하게 되었다. 현대에 이르러 재봉기는 사용용도에 따라 수십 가지의 기종으로 세분화되어 발전해왔다. 그런데 이를 재봉기 가운데 가장 기본이 되는 재봉기는 본봉재봉기(Lock stitch sewing machine)이다.

본 논문에서는 공업용본봉재봉기(Industrial lock stitch sewing machine, ILS 재봉기) 메카니즘의 기구학적 운동을 해석하고, 기구학적 운동의 결과로 발생하는 봉환(Loop, Stitch)

의 형상에 관하여 연구하였다.

ILS 재봉기는 둠니와 신체기의 바늘 그리고 가마의 운동을 통하여 봉환을 생성함으로써 재봉질을 하는 기계이다. 그런데 사용자가 재봉질의 상태를 평가할 때, 지금까지는 경험을 통한 막연한 평가를 해왔으나 본 논문은 재봉질의 상태를 수학화하여 객관적인 평가를 하고자 한다.

재봉질의 상태를 평가할 때 두 가지 관점에서 이루어진다. 첫째는 천에 나타나는 봉환의 모양을 살펴는 것이고 둘째는 봉환의 잔류응력을 살펴는 것이다. 그런데 본 논문은 천에 나타나는 봉환의 모양을 수식화하였다.

봉환의 모양을 수식화하기 위하여 본 논문은 ① 이송조절 기구와 둠니이송기구와 바늘대기구를 기구 해석하였으며, ② 둠니와 바늘의 운동을 바탕으로 봉환의 원반특성과 과도특성을 규명하였다.

NOMENCLATURE

θ_1	: Rotation angle of Top Shaft	$n_{x,y}$: Locus of Needle's extreme
d_f	: Feeding distance of Feed Regulator	ΔS_f	: Forward Stitch Spacing
θ_2	: Dial Shaft	ΔS_b	: Backward Stitch Spacing
θ_3	: Rotation angle of Feed Regulator	ΔS_{ratio}	: Stitch Spacing's Ratio
d_n,d_v	: Link	Δp_e	: Stitch's Instant Phase Difference
	: Locus of Feed Dog	ΔP_{ratio}	: Stitch's Mean Phase Diff. Ratio

* : 생산기술연구원

** : 생산기술연구원, 한양대학교

*** : 한양대학교 공과대학 경밀기계공학과

2. 메카니즘의 해석

ILS 재봉기는 8개의 단위 메카니즘, 즉 바늘대기구, 실채기구, 가마기구, 톱니이송기구, 노루발기구, 이송조절기구, 구동조절기구, 그리고 태유기구로 구성된다. 이들 메카니즘은 각각의 기능으로 구분된다. 그런데 본 논문에서는 ILS 재봉기의 메카니즘 가운데에서 ILS 재봉기의 봉환(Stitch)의 형성을 좌우하는 3개의 단위 메카니즘이 바늘대기구, 톱니이송기구, 그리고 이송조절기구를 해석하였다.

2.1. ILS 재봉기의 기본 메카니즘

위에서 제시한 3개의 단위 메카니즘은 미끄럼접촉기구(Sliding Contact Mechanism)와 4철기구(Four Bar Linkage) 그리고 슬라이드-크랭크기구(Slider Crank Mechanism)의 조합으로 이루어져 있는 메카니즘이다.

2.1.1. 미끄럼 접촉기구(Sliding Contact Mechanism)

ILS 재봉기의 이송조절기구에 작용되는 미끄럼 접촉기구는 그림 1과 같다.

구동원리를 살펴보면 구동질(Ⓐ)이 고정면 위에서 X축 방향으로 직선운동할 때, 중동질(Ⓑ)은 구동질과 접촉하며 회전운동을 하게된다. 즉 구동질의 수평이송거리(d)에 의하여 중동질의 회전운동(α)을 일으키는 메카니즘이다. 수평이송거리(d)와 회전운동(α)의 관계식은 식 1과 같다.

$$\alpha = \pi + \cos^{-1}\left(\frac{r_1 + r_2}{d}\right) \quad (1)$$

2.1.2. 4철기구(Four Bar Linkage)

4철기구는 가장 유용하고 일반적인 기구중의 하나로서 운동전달과정을 살펴보면 그림 2와 같이 구동질(Ⓐ)의 회전운동(θ_1)이 연결기(Ⓑ)를 거쳐 중동질(Ⓒ)의 회전운동(θ_2)으로 전달된다. 구동질의 회전운동(θ_1)과 중동질의 회전운동(θ_2)의 관계식은 식 2와 같다.

$$\theta_2 = \phi - \chi$$

$$\text{여기에서 } \chi = \tan^{-1} \left\{ \frac{d^2 + l_1^2 + l_3^2 - l_2^2 - 2l_1 d \cos(\theta_1)}{2l_3 \sqrt{d^2 + l_1^2 - 2l_1 d \cos(\theta_1)}} \right\} \quad (2)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{l_1 \sin(\theta_1)}{l_1 \cos(\theta_1) - d} \right\}$$

2.1.3. 슬라이드-크랭크기구(Slider Crank Mechanism)

슬라이드-크랭크기구는 회전운동을 직선운동으로 또는 직선운동을 회전운동으로 변환시키는 기구로서 운동전달과정을 살펴보면 그림 3과 같이 구동질(Ⓐ)의 회전운동(θ_1)이 연결기(Ⓑ)를 거쳐 중동질(Ⓒ)의 직선운동(d)으로 전달된다. 구동질의 회전운동(θ_1)과 중동질의 직선운동(d)의 관계식은 식 3과 같다.

$$d = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\phi)$$

$$\text{여기에서 } \phi = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sigma - l_1 \sin(\theta_1)}{l_2} \right\} \quad (3)$$

2.2. ILS 재봉기의 주요 단위 메카니즘

2.2.1. 이송조절기구(Feed Regulating Mechanism)의 해석

이송조절기구는 천의 이송방향을 바꾸거나 천의 이송량을 조절하는 메카니즘이다.

이송조절기구의 구동은 그림 4와 그림 5와 같이 이송조절다이얼축(Feed Regulator Dial Shaft)의 직선운동(d_h)과 이송조절기(Feed Regulator Dial)에 작용하는 힘(F_1 또는 F_2)을 입력으로 하여 이송조절링크(Feed Regulator Link)의 회전운동(θ_1)을 출력시키는 기구이다.

2.2.2. 톱니이송기구(Feed Dog Feeding Mechanism)의 해석

톱니이송 기구는 천과 직접 접촉하면서 천을 이송하는 메카니즘이다.

톱니이송기구의 구동은 그림 6과 그림 7과 같이 상축(Top Shaft)의 회전운동(θ_1)과 이송조절링크(Feed Regulator Link)의 회전운동(θ_1)을 입력으로 하여 톱니(Feed Dog) 중간점(Point 'P')의 타원운동(d_x, d_y)을 출력시키는 기구이다. 이때 톱니의 타원운동은 천을 이송하는 역할을 한다. 여기에서 상축의 회전각은 첫 번째 4철기구의 구동질의 회전각(θ_1) 즉 상축에 부착된 이송캡(Feed Cam)의 회전각을 의미한다.

2.2.3. 바늘대기구(Needle Bar Mechanism)

바늘대기구는 봉환을 형성하는 과정에서 웃실을 침판(Needle Plate) 밑으로 끌고 내려가는 메카니즘이다.

바늘대기구는 그림 8과 그림 9와 같이 상축의 회전운동(θ_1)을 입력으로 하여 바늘끝의 직선운동(n_x, n_y)을 출력시키는 기구이다. 이때 링크캡(Link Cam)과 이송캡(Feed Cam)사이의 사이각은 119° 이므로 바늘대기구의 구동질인 링크캡의 회전각은 $\theta_1 + 119^\circ$ 이다.

3. 봉환 성능의 수식화

ILS 재봉기는 이송조절다이얼축의 이송(d)에 의하여 천의 이송량을 조절하고 이송조절기에 작용하는 힘(F_1 또는 F_2)에 의하여 천의 이송방향을 조절하는 기계이다. 그런데 천의 운동은 톱니의 타원운동에 의하여 결정되며 그림 10과 그림 11과 같다.

재봉질은 그림 11과 같이 웃실(Needle Thread)과 밀실(Bobbin Thread)을 이용하여 두 천을 고정시킨 상태를 나타내고 있다. 웃실과 밀실이 루프(Loop)의 형태를 일반적으로 봉환(Stitch)라 한다.

그런데 ILS 재봉기의 재봉질 상태를 어떻게 객관적인 차수로 표현할 수 있을까? 본 논문은 이를 위하여 봉환의 형

성운 수식화함으로써 재봉질 성능을 평가하고자 한다. 봉환의 평가는 3가지 관점, 즉 땀폭 기울기(Slope of Stitch Spacing), 땀폭비(Stitch Spacing's Ratio), 그리고 땀위상차비(Stitch's Phase Difference)로 살펴볼 수 있으며 다음과 같다.

3.1. 땀폭 기울기(Slope of Stitch Spacing)

땀폭 기울기(A)는 식 4와 같이 이송조절다이알축의 이송거리(d_i)에 대한 땀폭(Stitch Spacing)(ΔS)의 증가량의 비율을 의미한다. 여기에서 땀폭은 투니의 1주기 운동에 대한 천의 이송양을 의미한다. 즉 그림 10과 그림 11과 같이 투니의 타원체작에서 침판 위에서 움직인 투니의 거리를 의미한다.

$$A = \frac{\Delta S}{d_i} \quad (4)$$

3.2. 땀폭비(Stitch Spacing's Ratio)

투니의 타원운동에 따라 천이 이송될 때, 땀폭은 전진땀폭(Forward Stitch Spacing, 천의 이송방향이 전진일 때의 땀폭, ΔS_f)과 역진땀폭(Backward Stitch Spacing, 천의 이송방향이 역진일 때의 땀폭, ΔS_b)으로 구분될 수 있다. 그림 10과 그림 11 참고.

$$\Delta S_{ratio} = |1.0 - \frac{\Delta S_b}{\Delta S_f}|$$

여기에서 ΔS_{ratio} : 땀폭비(Stitch Spacing's ratio) (5)
 ΔS_b : 역진땀폭
 ΔS_f : 전진땀폭

땀폭비는 재봉질될 때 천에 나타나는 봉환의 일반특성을 나타낸다. 즉 천의 이송이 전진에서 역진으로 바뀌어 봉환의 생성이 정상상태에 이를 때, 식 5와 같이 전진땀폭과 역진땀폭 사이의 오차를 말한다.

3.3. 땀위상차(Stitch's Phase Difference)

천을 전진방향으로 이송하는 도중에 이송조절기에 작용하는 힘을 F_1 에서 F_2 로 바꾸면 천의 이송방향은 전진방향에서 역진방향으로 바뀌게 된다. 또는 천을 역진방향으로 이송하는 도중에 이송조절기에 작용하는 힘을 F_2 에서 F_1 로 바꾸면 천의 이송방향은 역진방향에서 전진방향으로 바뀌게 된다. 그런데 이러한 일련의 과정 속에서 천에 나타나는 봉환은 그림 11과 같이 서로 엇갈리게 된다.

본 논문은 천의 임의방향으로 이송중 봉환의 마지막 매듭과 천의 이송방향이 바뀌었을 때 형성된 봉환의 최초 매듭사이의 거리를 땀의 순간위상차(Stitch's Instant Phase Difference)라고 정의하며 그림 12를 보면 쉽게 알 수 있다. 이때 땀의 순간위상차는 재봉질될 때 천에 나타나는 봉환의 최초특성을 나타낸다.

땀의 순간위상차의 생성과정을 이해하기 위하여 투니 중간점, 바늘끝, 그리고 천의 움직임을 살펴본다.

① 천의 이송방향이 전진일 때, 상축의 회전에 의하여 투니 중

간점의 위치가 점2에서 점a로 이동하게 되면, 천은 투니 중간점의 위치가 침판상면에 있을 때에만 이송하게 되므로 천의 이송거리는 $\vec{A}_x^{(1)}$ 가 될 것이다. 그런데 투니 중간점의 위치가 점2에 있을 때 바늘끝은 천을 통과하여 침판 밖으로 나오게 되기 때문에 천에 하나의 봉환의 매듭이 생성된다. 여기에서 \vec{A} 는 점f에서 점a를 잇는 벡터이다.

② 상축의 회전이 멈춘 상태에서 이송조절기에 작용하는 힘을 F_1 에서 F_2 로 바꾸면 투니 중간점의 위치는 점a에서 점a'로 이동하게 되고 천은 $\vec{B}_x^{(2)}$ 만큼 이송하게 될 것이다. 여기에서 \vec{B} 는 점a에서 점a'를 잇는 벡터이다.

③ 이송조절기에 작용하는 힘을 F_2 로 유지한 상태에서 상축이 회전을 계속하면 투니 중간점의 위치가 침판하면으로 이동하게 되며 점3에 이르면 바늘끝은 천을 통과하여 침판안으로 들어오게 된다. 결국 천에 세로운 봉환의 매듭이 생성된다. 그런데 천은 투니 중간점의 위치가 침판상면에 있을 때에만 이송하게 되므로 천은 $\vec{C}_x^{(3)}$ 만큼 이송하게 될 것이다. 여기에서 \vec{C} 는 점a'에서 점r을 잇는 벡터이다.

④ 그러므로 천의 전진이송 운동중 생성된 마지막 봉환매듭으로부터 $|\vec{A}_x + \vec{B}_x + \vec{C}_x|$ 만큼 떨어진 곳에 새로운 봉환매듭이 생성된다.

3.3.1. 땀위상차(Stitch's Phase Difference)의 수식화

땀위상차는 전진땀의 순간위상차와 역진땀의 순간위상차로 구분하여 정의할 수 있다.

전진땀의 순간위상차(Forward Stitch's Instant Phase Difference)는 천의 이송방향이 전진일 때 마지막으로 형성된 봉환매듭과 천의 이송방향이 역진으로 바뀌었을 때 형성된 봉환의 최초의 매듭사이의 거리라고 정의하며 식 6과 같이 수식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta p_{c,f} = |\vec{A}_x + \vec{B}_x + \vec{C}_x| \quad (6)$$

여기에서 $\Delta p_{c,f}$: 전진땀의 순간땀위상차

그런데 재봉질의 특성을 일반화하기 위해서는 상축이 1회 전하는 동안에 모든 전진땀의 순간위상차를 고려하여야 한다. 그래서 식 7과 같이 상축이 1회전하는 동안 전진땀의 순간위상차의 모든 합을 정규화하여 전진땀의 평균위상차비(Forward Stitch's Mean Phase Difference Ratio)를 유도

1. \vec{A}_x 는 벡터 \vec{A} 의 x 성분을 의미한다. 만약 \vec{A}_x 가 음의 값을 갖고 있다면 천의 이송방향이 역진이고, \vec{A}_x 가 양의 값을 갖고 있다면 천의 이송방향이 전진이다.
2. \vec{B}_x 는 벡터 \vec{B} 의 x 성분을 의미한다. 만약 \vec{B}_x 가 음의 값을 갖고 있다면 천의 이송방향이 역진이고, \vec{B}_x 가 양의 값을 갖고 있다면 천의 이송방향이 전진이다.
3. \vec{C}_x 는 벡터 \vec{C} 의 x 성분을 의미한다. 만약 \vec{C}_x 가 음의 값을 갖고 있다면 천의 이송방향이 역진이고, \vec{C}_x 가 양의 값을 갖고 있다면 천의 이송방향이 전진이다.

하였다.

$$\Delta P_{f,ratio} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_{c,f}}{\Delta S_f * n} \quad (7)$$

여기에서 $\Delta P_{f,ratio}$: 전진땀의 평균위상차비
 $\Delta p_{c,f}$: 전진땀의 순간위상차
 ΔS_f : 전진땀폭
 n : 상축이 1회전하는 동안의 측정점

역전땀의 순간위상차(Backward Stitch's Instant Phase Difference)는 친의 이송방향이 역전될 때 마지막으로 형성된 봉합매듭과 친의 이송방향이 전진으로 바뀌었을 때 형성된 봉합의 최초의 매듭사이의 거리를 역전땀의 순간위상차(Backward Stitch's Instant Phase Difference)라 정의하며 식 8과 같이 수식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta p_{c,b} = |\vec{A}_x + \vec{B}_x + \vec{C}_x| \quad (8)$$

여기에서 $\Delta p_{c,b}$: 역전땀의 순간위상차

그런데 재봉질의 특성을 일반화하기 위해서는 상축이 1회전하는 동안에 모든 역전땀의 순간위상차를 고려하여야 한다. 그래서 식 9와 같이 상축이 1회전하는 동안 역전땀의 순간위상차의 모든 합을 정규화하여 역전땀의 평균위상차비(Forward Stitch's Mean Phase Difference Ratio)를 유도하였다.

$$\Delta P_{b,ratio} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta p_{c,b}}{\Delta S_b * n} \quad (9)$$

여기에서 $\Delta P_{b,ratio}$: 역전땀의 평균위상차비
 $\Delta p_{c,b}$: 순간역전땀위상차
 ΔS_b : 역전땀폭
 n : 상축이 1회전하는 동안의 측정점

4. 실험

이송조절기에 작용하는 힘을 임의 방향(F_1 또는 F_2)으로 고정시킨 후 이송조절다이알축을 1.376(mm)에서 2.231(mm) 까지 순차적으로 증가시키며 재봉질을 하였다. 이 때 재봉질 조건은 표 1에 나타나있다.

미상		Sun Star KM-137A (1분침 공업용본봉재봉기)	
친	재질 두께	: 합성피혁 : 1.70 (mm)	
신	재질 혼용도 번수	: 폴리에스텔 : 100 (%) : 39.3/2	
작업조건	상축의 회전속도 노루발의 수직력	: 100 (rpm) : 3.44 (kg/mm)	

Table 1. Sewing Condition

이송조절기에 작용하는 힘을 F_1 로 고정한 후 이송조절다

이 알축의 이송거리(d_i)를 증가시키며 재봉질 하였을 때 친에 생성된 땀폭, 즉 실험 전진땀폭($\Delta S_{f,expr}$)의 변화는 그림 13과 같다. 그림 13을 보면 이송조절다이알축의 이송거리(d_i)와 실험 전진땀폭사이에는 선형특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 식 10 참고.

$$\Delta S_{f,expr} = A_f \times d_i + Y_{f,expr} \quad (10)$$

여기에서 $\Delta S_{f,expr}$
 d_i
 $A_f \cong 2.29$
 $Y_{f,expr} \cong -1.09$

: 실험 전진땀폭
 : 이송조절다이알축의 이송거리,
 ($1.376\text{mm} \leq d_i \leq 2.231\text{mm}$)
 : 실험 전진땀폭기울기
 : y절편

이송조절기에 작용하는 힘을 F_2 로 고정한 후 이송조절다이알축의 이송거리(d_i)를 증가시키며 재봉질 하였을 때 친에 생성된 땀폭, 즉 실험 역진땀폭($\Delta S_{b,expr}$)의 변화는 그림 14와 같다. 그림 14를 보면 이송조절다이알축의 이송거리(d_i)와 실험 역진땀폭사이에는 선형특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 식 11 참고.

$$\Delta S_{b,expr} = A_b \times d_i + Y_{b,expr} \quad (11)$$

여기에서 $\Delta S_{b,expr}$
 d_i
 $A_b \cong 1.98$
 $Y_{b,expr} \cong -0.67$

: 실험 역진땀폭
 : 이송조절다이알축의 이송거리,
 ($1.376\text{mm} \leq d_i \leq 2.231\text{mm}$)
 : 실험 역진땀폭기울기
 : y절편

5. 결 과

IIS 재봉기의 기구해석은 Sun Star KM-137A를 대상으로 하여 SDRD사의 I-DEAS S/W와 본 연구실에서 개발한 IIS 재봉기 전용프로그램인 KASM을 병행하였다.

5.1. 이송조절기구와 톱니이송기구의 해석

재봉질과정은 친의 이송이 필수적이다. 그런데 친의 이송은 톱니의 운동에 의하여 발생하므로 이송조절기구와 톱니이송기구의 기구해석에 의한 톱니 운동을 살펴야 하겠다. 기구해석은 이송조절기에 작용하는 힘을 임의 방향(F_1 또는 F_2)으로 고정시킨 후 이송조절다이알축을 1.376(mm)에서 2.231(mm)까지 증가시키며 이송조절기구와 톱니이송기구를 해석하였다.

그림 15는 이송조절기에 작용하는 힘을 F_1 로 고정한 후 이송조절다이알축의 이송(d_i)에 따른 톱니의 궤적이다. 그림 15를 보면 톱니는 반시계방향으로 타원궤적을 그리고 있다.

그림 16은 이송조절기에 작용하는 힘을 F_2 로 고정한 후 이송조절다이알축의 이송(d_i)에 따른 톱니의 궤적이다. 그림 16을 보면 톱니는 시계방향으로 왜곡된 타원궤적을 그리고 있다.

톱니의 타원궤적을 이용하여 d_i 와 ΔS 의 관계식을 유도하면 다음과 같다.

5.1.1. 전진땀폭의 해석

이송조절기에 작용하는 힘을 F_t 로 고정한 후 이송조절다이알축의 이송량(d_t)에 대한 전진땀폭(ΔS_t)의 변화는 그림 17과 같다. 그림 17을 보면 d_t 와 ΔS_t 는 선형특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 식 12 참고.

$$\begin{aligned} \Delta S_t &= A_t \times d_t + Y_t \\ \text{여기에서 } \Delta S_t &: \text{전진땀폭} \\ d_t &: \text{이송조절다이알축의 이송거리}, \\ &(1.376\text{mm} \leq d_t \leq 2.231\text{mm}) \quad (12) \\ A_t &\cong 2.01 : \text{전진땀폭기울기} \\ Y_t &\cong -0.41 : \text{y절편} \end{aligned}$$

그림 18에서 이송조절다이알축의 이송량(d_t)에 대한 실험 전진땀폭($\Delta S_{t,expr}$)과 전진땀폭(ΔS_t)을 비교하였다. 그림 18을 보면 $\Delta S_{t,expr}$ 와 ΔS_t 사이에는 최대 14%, 최소 1%의 오차가 발생하고 있으며 d_t 가 증가할수록 오차는 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 실험 전진땀폭기울기($A_{t,expr}$)와 전진땀폭기울기(A_t)사이에는 14%의 오차가 발생하고 있다. 이 오차의 발생원인은 톱니의 형상, 노루발에 의하여 천에 가해지는 수직력, 천의 관성등으로 추정된다.

5.1.2. 역진땀폭의 해석

이송조절기에 작용하는 힘을 F_b 로 고정한 후 이송조절다이알축의 이송량(d_b)에 대한 역진땀폭(ΔS_b)의 변화는 그림 19와 같다. 그림 19를 보면 d_b 와 ΔS_b 는 선형특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 식 13 참고.

$$\begin{aligned} \Delta S_b &= A_b \times d_b + Y_b \\ \text{여기에서 } \Delta S_b &: \text{역진땀폭} \\ d_b &: \text{이송조절다이알축의 이송거리}, \\ &(1.376\text{mm} \leq d_b \leq 2.231\text{mm}) \quad (13) \\ A_b &\cong 1.76 : \text{역진땀폭기울기} \\ Y_b &\cong -0.10 : \text{y절편} \end{aligned}$$

그림 20에서 이송조절다이알축의 이송량(d_b)에 대한 실험 역진땀폭($\Delta S_{b,expr}$)과 역진땀폭(ΔS_b)을 비교하였다. 그림 20을 보면 $\Delta S_{b,expr}$ 와 ΔS_b 사이에는 최대 14%, 최소 1%의 오차가 발생하고 있으며 d_b 가 증가할수록 오차는 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 실험 역진땀폭기울기($A_{b,expr}$)와 역진땀폭기울기(A_b)사이에는 11%의 오차가 발생하고 있다. 이 오차의 발생원인은 톱니의 형상, 노루발에 의하여 천에 가해지는 수직력, 천의 관성등으로 추정된다.

5.2. 바늘대기구

상축을 회전함에 따라 바늘끝의 Y축 방향의 움직임(n_y)⁴⁾은 시뮬레이션 하면 다음과 같다. 그림 21 참고.

① 상축의 회전각이 ($\theta_t = -69.63^\circ$)일 때, 바늘끝은 上死點 ($n_y = -141.45\text{ mm}$)에 위치한다.

② 상·주의 회전각이 ($\theta_t = -176.32^\circ$)일 때, 바늘끝은 침판 상면과 일치한다. 즉 바늘끝은 ($n_y = -159.00\text{ mm}$)에 위치한다.

③ 상축의 회전각이 ($\theta_t = -250.00^\circ$)일 때, 바늘끝은 下死

4) 바늘끝의 X축 방향의 움직임(n_x)은 항상 0이다.

點($n_y = -172.30\text{ mm}$)에 위치한다.

- ④ 상축의 회전각이 ($\theta_t = -322.94^\circ$)일 때, 바늘끝은 침판 상면과 일치한다.

- ⑤ 바늘끝의 행정거리는 30.85 mm이다.

5.3. 땀폭비

이송조절다이알축의 이송에 따른 땀폭비를 살펴보았다. 그림 22 참고.

시뮬레이션의 결과를 보면 이송조절다이알축의 이송과 땀폭비사이에는 선형관계(기울기:0.053)갖고있다. 그러나 실험 결과는 이송조절다이알축의 이송거리가 증가하면 땀폭비 역시 증가하는 경향(기울기:0.063)을 나타내고 있다. 이때 땀폭비는 0.01~0.063(mm/mm)사이에 있다.

5.4. 땀의 평균위상차비

그림 23은 이송조절다이알축의 이송거리가 2.231(mm)일 때, 상축이 2° 회전마다 증가하여 1회전하는 동안 땀의 순간위상차를 시뮬레이션 하였다. 그림 22를 보면 땀의 순간위상차는 $-358.0^\circ \leq \theta_t \leq -12.0^\circ$ 일 때와 $-162.0^\circ \leq \theta_t \leq -184.0^\circ$ 일 때의 2차례에 걸쳐 크게 증가하고 있다.

이송조절다이알축의 이송에 따른 땀의 평균위상차비를 살펴보았다. 그림 24를 보면 이송조절다이알축의 이송에 따라 전진땀의 평균위상차비는 선형증가(기울기:0.06)를 하고 있으며, 그리고 역진땀의 평균위상차비 역시 선형증가(기울기:0.04)를 하고 있다. 이때 전·후진땀의 평균위상차비는 0.06~0.13(mm/mm)사이에 있다.

6. 결론

실험대상의 재봉기의 해석결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

이상적인 재봉질이란 천의 이송방향에 관계없이 천에 나타나는 봉환의 위치가 항상 일정하여야 한다. 즉 전진땀폭기울기(A_t)와 역진땀폭기울기(A_b)는 서로 같아야 하며, 땀폭비는 0.0이 되어야 하며, 그리고 땀의 평균위상차비는 0.0이 되어야 한다. 그러나 ILS 재봉기의 기구해석과 톱니 채적의 해석에 의한 땀폭, 땀폭비, 땀의 평균위상차비를 시뮬레이션 한 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

① 전진땀폭기울기(A_t)와 역진땀폭기울기(A_b)는 약 12% 정도 다르게 나타나고 있다. 이것은 ILS 재봉기의 성능의 저하요인인 되고 있다.

② 땀폭비(ΔS_{ratio})는 0.01~0.063(mm/mm)사이에 있으므로 이송조절다이알축이 이송함에 따라 땀폭비는 증가하고 있다. 즉 이것은 양호한 봉환의 일반특성을 나타내고 있다.

③ 땀의 평균위상차비($\Delta P_{t,ratio}, \Delta P_{b,ratio}$)는 0.06~0.13(mm/mm)사이에 있으며 이송조절다이알축이 이송함에 따라 땀폭비는 증가하고 있다. 즉 이것은 양호한 봉환의 과도특성을 통계적으로 나타내고 있다.

④ 상축의 회전각이 ($-69.60^\circ \leq \theta_t \leq -250.0^\circ$) 일 때 바늘

은 은 上死點에서 下死點으로 이동하고 있다. 이것은 봉환의 형성용 위하여 웃설을 침관하면서 공급하는 과정이다.

3 차의 이송방향을 바꿀 때 양호한 봉환의 과도특성을 일기 위해서는 $-12.0 \leq \theta_1 \leq -162^\circ$ 또는 $-184.0 \leq \theta_1 \leq -358.0$ 일 때 이송조절기에 작용하는 힘의 방향을 바꾸어야겠다.

⑥ 새봉점에서 마감작업은 천의 이송방향을 전진에서 역전방향으로 바꾼 후 역전에서 전진방향으로 다시 바꾸는 작업을 반복하여 설계에 페들이 풀리지 않도록 하고 있다. 그런데 이러한 마감작업을 자동으로 수행하는 기능을 ILS 재봉기에 부여할 때, 설계자는 양호한 과도특성을 갖는 상축의 회전구간 내에서 천의 이송방향을 바꾸는 제어기를 설계하여야 한다.

참고 문헌

1. George H. Martin, "Kinematics and Dynamics of Machines", 2nd edition
2. Edward J. Haug, "Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems", Volume I: Basic Methods
3. 朴信雄, 孔錫鶴, "機械科學", 1991

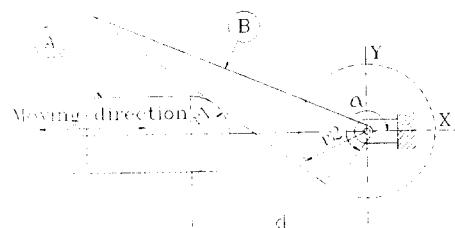


Fig 1. Sliding Contact Mechanism

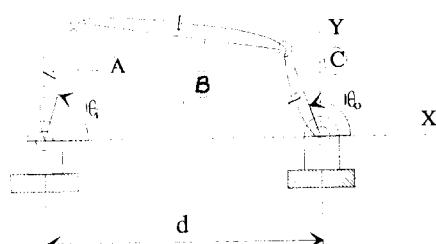


Fig 2. Four Bar Linkage

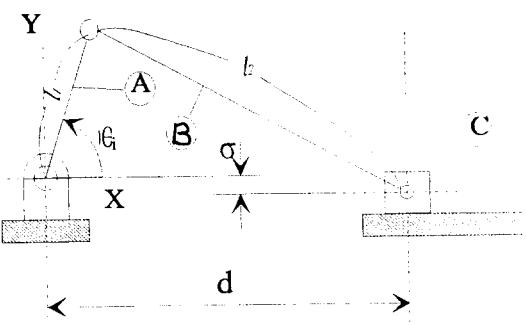


Fig 3. Slide Crank Mechanism

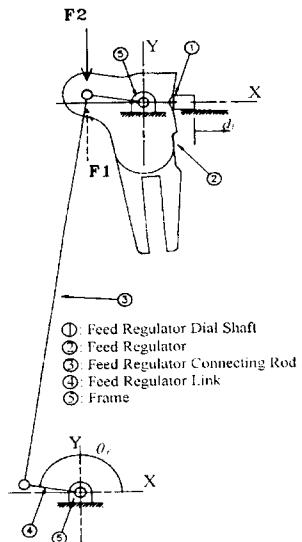


Fig 4. Feed Regulating Mechanism

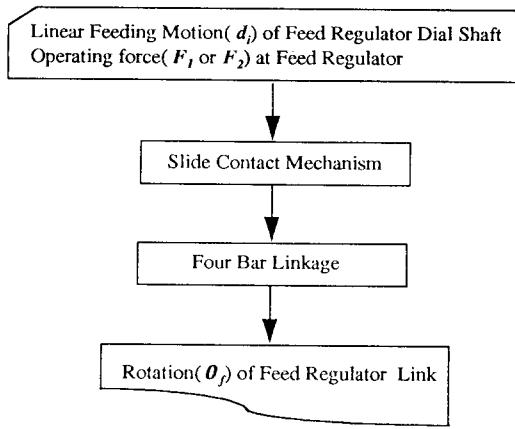


Fig. 5. Motion Transfer Process of Feed Regulating Mechanism

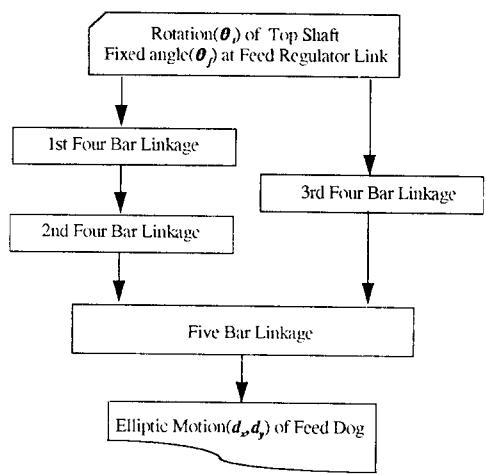


Fig. 7. Motion Transfer Process of Feed Dog Feeding Mechanism

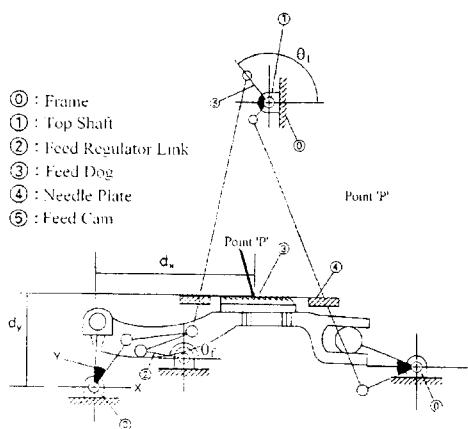


Fig. 6. Feed Dog Feeding Mechanism

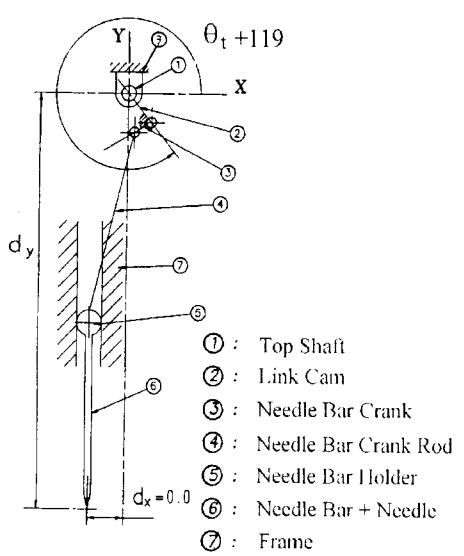


Fig. 8. Needle Bar Mechanism

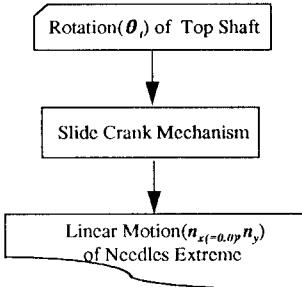


Fig. 9. Motion Transfer Process of Needle Bar Mechanism

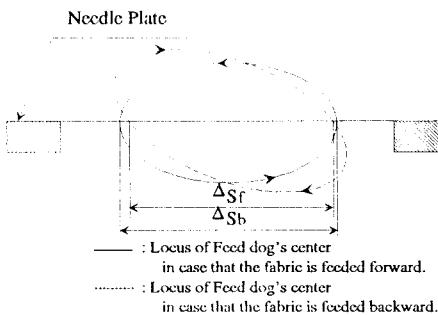


Fig. 10. Forward Stitch Spacing & Backward Stitch Spacing

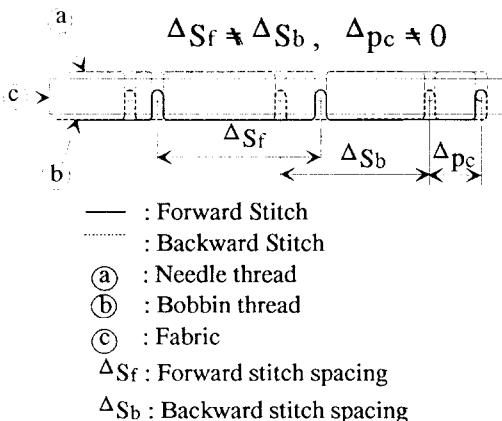


Fig. 11. Sewing Condition

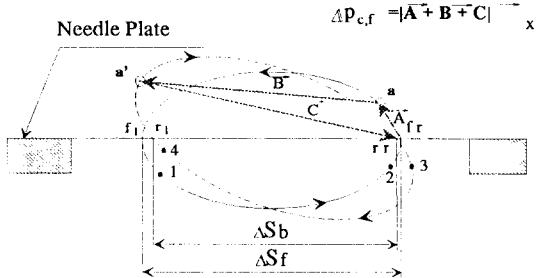


Fig. 12. Example of Stitch's Instant Phase Difference
1,3 : Point at which Needle's extreme goes into Needle Plate
2,4 : Point at which Needle's extreme goes out Needle Plate

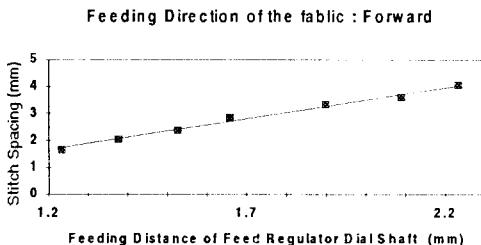


Fig. 13. Forward Stitch Spacing($\Delta S_{f,expr}$)
from the experiment

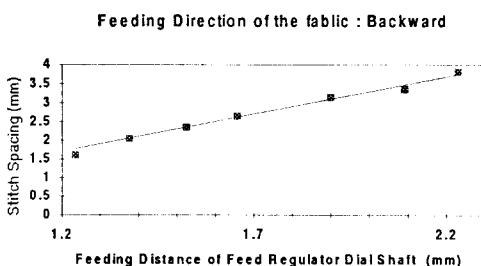


Fig. 14. Backward Stitch Spacing($\Delta S_{b,expr}$)
from the experiment

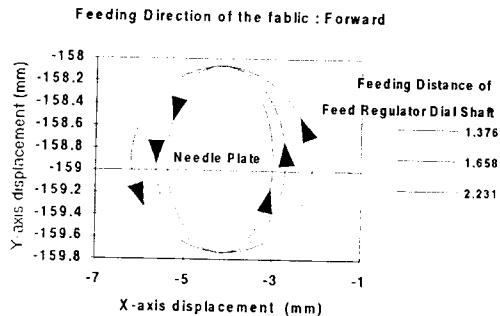


Fig. 15. Loca of Feed Dog
in case that the feeding direction of the fabric's is forward

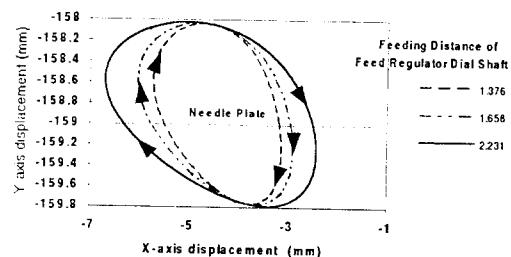


Fig. 16. Loca of Feed Dog
in case that the feeding direction of the fabric's is
Backward

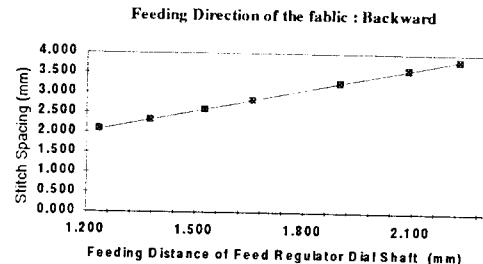


Fig. 18. Backward Stitch Spacing (ΔS_b)

from the kinematic analysis

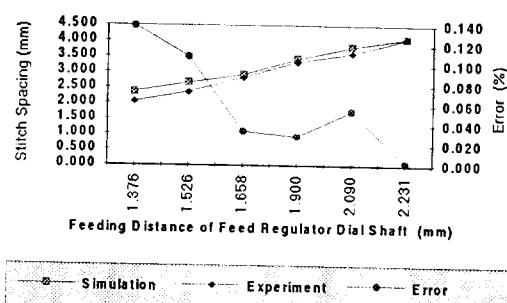


Fig. 19. Comparison of ΔS_f with $\Delta S_{f,exp}$

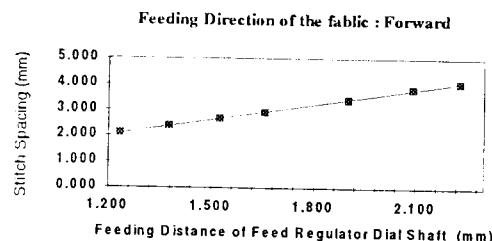


Fig. 17. Forward Stitch Spacing (ΔS_f)

from the kinematic analysis

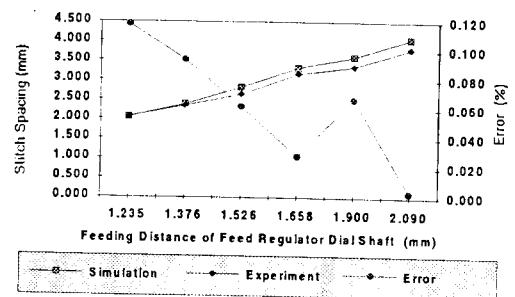


Fig. 20. Comparison of ΔS_b with $\Delta S_{b,exp}$

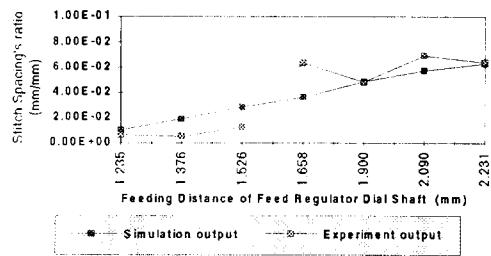


Fig 21. Stitch Spacing's Ratio

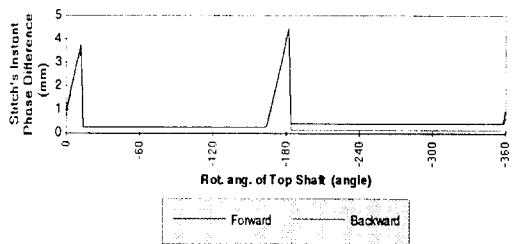


Fig 22. Stitch's Instant Phase Difference

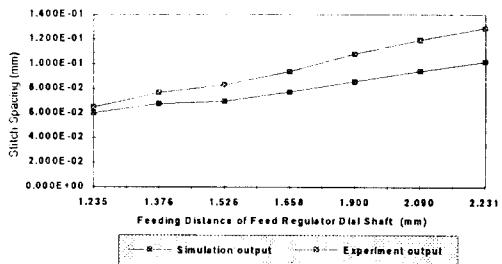


Fig 23. Stitch's Mean Phase Difference Ratio