

공업용 2본침(二本針) 침송(針送) 재봉기의 이송 메카니즘 해석 및 최적설계

(Mechanism Analysis and Optimal Desing of feeding Mechanism of Industrial 2 needle Sewing Machine)

이 장 용* (생산기술 연구원)

전 경 진 (생산기술 연구원)

Abstract

In this paper, we perform a mechanism analysis and optimal design of the feeding system in a industrial sewing machine. Sewing machines are classified by the transfer mechanism as (1) transferred by feed dog only (2) transferred by feed dog and needle (3) transferred by feed dog, needle and pressure bar . We took the sewing machine classified as (2) which is more efficient in transferring the clothes than the machine classified as (1). In analyzing the mechanism, we divide the feeding mechanism as feed dog mechanism and needle bar mechanism. The two mechanisms are connected with each other kinematically because the clothes are transferred by needle and feed dog simultaneously and stitched by needle which pass through the feed dog in every stitch cycle. We define good stitch as coincidence of stitch between the forward and reverse motion of feeding. And we optimize feeding mechanism for that purpose. It is illustrated that stitching performance of the optimized mechanism is compared to original feeding mechanism.

1. 서론

재봉기는 현대인의 의생활에 필수적인 기계로서 여타 기계류보다 품질 개발에 앞서 있으며 일반 가정에 가장 많이 보급된 기계중의 하나이다. 재봉기는 천의 이송방식과 탐이 형성되는 방식 및 바늘의 갯수에 따라 여러 종류로 나누어 질 수 있으며 봉재공장 등에서 쓰이는 공업용 재봉기는 가정용 재봉기에 비해 일반적으로 내구성이 강하며 고속운전이 가능하다.

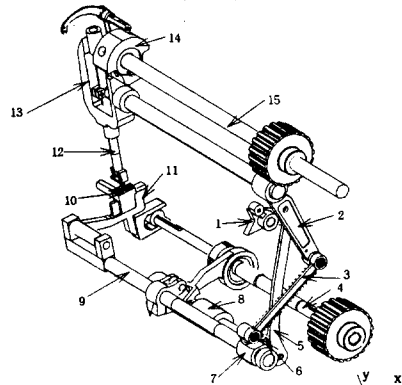
본 논문에서는 바늘이 두개(二本針)이며 톱니와 바늘에 의해 천의 이송이 이루어 지는 침송 재봉기의 이송 메카니즘 해석과 최적설계를 수행하였다. 침송 재봉기는 바늘대와 톱니와 보조를 맞추어 요동운동을 하며 천을 이송하고 동시에 천위에 탐을 형성한다. 따라서 재봉기의 상측에 연결된 바늘대 이송 메카니즘과 하측에 연결된 톱니이송 메카니즘이 서로 긴밀한 연관을 가지고 작동하게 된다. 위의 두 메카니즘이 천을 전진 시키거나 혹은 역진 시키게 되는 때 전진운동과 역진운동 상호간에 이송이 전환되었을 때 전진운동에서 형성된 탐수와 같은 위치에 역진운동의 탐수가 생기는 것이 보다 우수한 재봉질이 되며 이 목적을 위하여 이송 메카니즘을 이루는 기구학적 요소들을 설계변수로 삼고 메카니즘 해석 프로그램 및 최적화 프로그램을 이용하여 최적설계를 수행 하였다. 이때 두 개의 이송 메카니즘이 기구학적으로 연결되어 있어서 두 메카니즘의 기구학적 요소를 하나만 바꾸어 주어도 톱니 이송과 바늘대 이송 모두에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 보고서에서는 톱니이송 메카니즘에 대한 최적설계를 먼저한후에 그것의 결과를 토대로 바늘대 이송에 대한 최적설계를 수행하였다.

2. 이송메카니즘의 해석

2.1 톱니이송 메카니즘의 해석

톱니이송 메카니즘은(그림1) 몇가지 메카니즘의 결합으로 이루어졌는데 그것은 톱니의 이송거리를 조절하기 위해 이송조절기를 회전시키는 direct-contact 메카니즘과 이송

조절기 4절기구, 밀대를 축중심에 대하여 요동운동을 시키는 Slider-Crank 메카니즘 이다.



- | | | |
|-----------------|--------------|-------------|
| 1. 이송조절기 | 6. 절환기 크랭크 | 11. 톱니받침 |
| 2. 바늘대 요동축 연결로드 | 7. 바늘대 요동크랭크 | 12. 바늘대 |
| 3. 바늘대 요동링크 | 8. 절환기 | 13. 바늘대 프레임 |
| 4. 하축 | 9. 밀대 | 14. 링크캠 |
| 5. 절환기 연결로드 | 10. 톱니 | 15. 상축 |

그림 1. 재봉기 이송 메카니즘

이송조절기 4절기구에서(그림 2) 각도 θ_1 이 탐수를 조절하기 위한 input으로 주어지면 절환기의 기울어진 각도 θ_2 는 다음식으로 얻어진다.

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{l_1}{d} \sin \theta_1\right) + \cos^{-1}\left(\frac{d^2 + l_3^2 - l_2^2}{2d \times l_3}\right) \quad (1)$$

식 (1)의 각도 θ_1 에 의해서 절환기의 기울어진 각도가 변하며 이것이 Slider-Crank 메카니즘의 Sliding되는 면이

되어 톱니의 이송거리를 조절하게 된다. 밀대와 하축에 연결된 톱니받침에 의해 톱니가 이송 되는데(그림 3) Equivalent link 개념을 사용한 Kinematic Diagram은 그림 4와 같다.

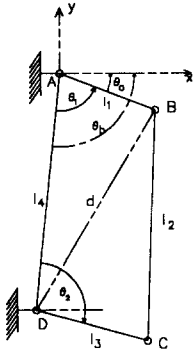


그림 2. 이송조절기 4절기구

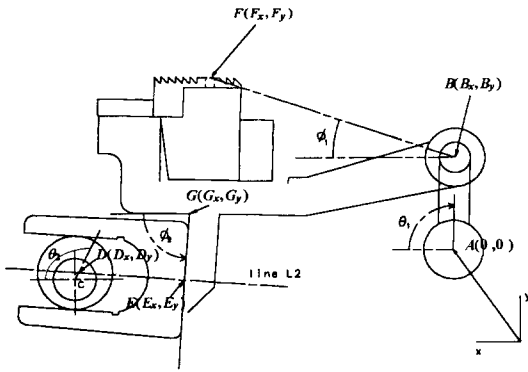


그림 3. 밀대와 하축에 연결된 톱니

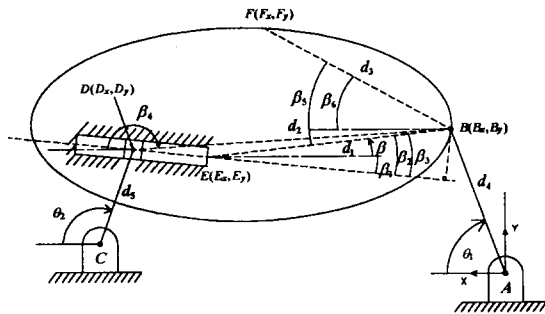


그림 4. Kinematic Diagram

그림 4에서 다음의 관계를 알 수 있다.

$$\theta_1 = \theta_3 + \theta_4 - \pi \quad (2)$$

$$\theta_0 = \theta_2 - \theta_1 \quad (3)$$

$$\theta_6 = \theta_3 - \theta_0 \quad (4)$$

여기서,

$$\theta_3 = \sin^{-1}(d_1 \sin(\theta_2) / d_2) \quad (5)$$

$$\theta_4 = \tan^{-1}((B_y - D_y) / (B_x - D_x)) \quad (6)$$

이며 θ_2 와 θ_3 는 고정된 값이며 부품의 조립상태로부터 알 수 있다. 톱니의 좌표 $F(F_x, F_y)$ 는 다음 수식과 같이 구해진다.

$$F_x = B_x + d_3 \cos \theta_6 \quad (7)$$

$$F_y = B_y + d_3 \sin \theta_6 \quad (8)$$

2.2 바늘대 이송 메카니즘의 해석

침송재봉기는 바늘이 톱니와 함께 천을 이송 시키기 때문에 바늘대에 요동운동을 시키기 위한 바늘대 프레임 4절기구와(그림 5) 바늘대에 상하운동을 시키는 Slider-Crank 메카니즘이 바늘대 이송 메카니즘을 형성한다.(그림 6) 그림 5에서 링크 l_1 은 하축에 연결되어 있어서(그림 1) 톱니이송 메카니즘과 기구학적으로 연결되며 점 B는 그림 6의 점 A와 같으며 바늘대 프레임 4절기구에 의한 점 A의 요동운동은 바늘대가 Sliding운동을 하는 각도를(그림 6) 바꾸어 줌으로서 바늘대가 톱니와 같이 이송운동을 하게 해준다.

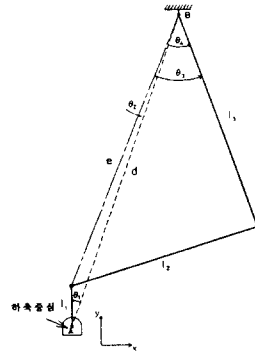


그림 5. 바늘대 프레임 4절기구

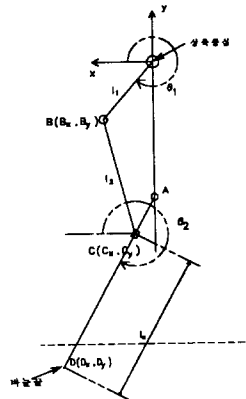


그림 6. 바늘대 Slider-Crank 메카니즘

3. 이송 메카니즘의 최적설계

3.1 톱니 이송메카니즘의 최적설계

톱니이송 메카니즘을 다음의 2가지 목적을 위하여 최적설계를 수행하였다.

- i) 전진운동 및 역진운동의 팜수를 사용자가 주어진 팜수와 일치시킴.(예, 1팜은 1mm)
- ii) 전진운동에서 역진운동으로의 전환이 일어났을때 천위에 팜이 형성되는 위치를 일치시킴(이는 미려한 재봉질을 위한것임)

최적설계를 위한 목적함수를 다음과 같이 나타내었다.

$$U = \sum_{n=0}^4 (w_1 |S_n - T_n| + w_2 \cdot V_n) \quad (9)$$

여기서, w_1, w_2 는 weighting factor이며, S_n 은 각 팜수에 대하여 이송 메카니즘이 한 싸이클을 완료할때 바늘구멍이 전진 또는 후퇴하는 거리이다. T_n 은 각 팜수마다 바늘구멍이 이동하게끔 사용자에게 의해 주어진 거리를 나타내며 V_n 은 전진운동할때 바늘구멍이 침판 밑으로 내려갈때와 역진운동할때 바늘구멍이 침판위로 나올때의 x좌표값의 차이를 나타낸다.(그림 7)

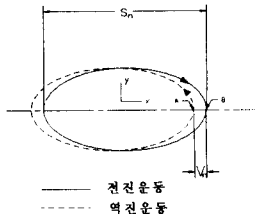


그림 7 톱니 바늘구멍의 설계

S_n 과 V_n 은 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

$$S_n = |l(1, N, b) - l(2, N, b)| \quad (10)$$

$$V_n = |l(1, N, 1) - l(2, N, 2)| \quad (11)$$

위의 두 수식에서 사용된 함수 $l(a, N, b)$ 는 점자 (a, N, b) 가 정해진 상태에서 바늘끝의 x좌표값을 나타낸다. 점자 (a, N, b) 이 의미하는 바는 다음과 같다.

a : 톱니운동의 해석이 시작되어서 바늘구멍이 침판과 같은 높이에 위치하는 첫번째 경우인지($a=1$) 두번째 경우($a=2$)인지를 나타낸다.

N : 사용자가 정해줄 수 있는 팜의 길이를 나타내며 0 ~ 4까지의 값을 갖는다.

b : 전진운동($c=2$)과 역진운동($c=1$)을 나타낸다.

식 (9)의 목적함수를 최적화 하기위한 설계변수는 표1과 같다.

3.2 바늘대 이송메카니즘의 최적설계

침송재봉기는 톱니와 바늘이 천을 함께 이송시키게 됨으로 그 두 메카니즘이 간섭없이 운동하게끔 설계하는것이 좋은 팜수를 위한 가장 중요한 요인이다. 바늘의 이상적인 운동 조건은 그림 8에 나타난 것과 같이 바늘의 이송량이 톱니의 이송량($x_{n1} - x_{n2}$)과 일치하며 톱니가 침판과 같은 높이에 위치할때($y_{n1} = y_{n2} = y_h$) 바늘도 같은 위치에 있어야 한다. 위의 두 조건이 만족되어야 천이 재봉질한 팜에 의해서 구겨지거나 부리하게 늘어나는 것을 피할 수 있다. 위의 목적을 위한 바늘대 이송메카니즘 최적화의 목적함수를 다음과 같이 세웠다.(목적함수에 사용된 변수의 의미는 그림 8참조)

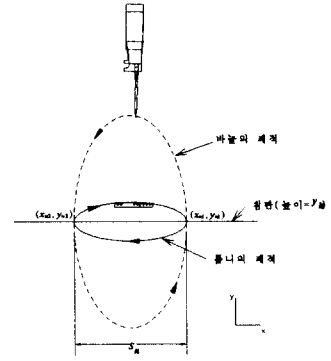


그림 8. 바늘끝과 톱니구멍의 배치

$$U = \sum_{n=0}^4 \{ (|x_{n1} - x_{n2}| - S_n) + |y_{n1} - y_h| + |y_{n2} - y_h| + P_{inter} \} \quad (12)$$

식 (12)에 사용된 P_{inter} 는 penalty function으로서 바늘과 톱니가 간섭을 일으킬 경우 이를 피하기 위해서 사용하였다. (간섭은 필히 피해야 하기 때문에 P_{inter} 는 매우 큰값 (=100)을 갖게했다) 최적화를 위해 사용된 설계변수는 표 2와 같다.

표 1. 톱니이송 메카니즘의 설계변수

설계변수	
1	이송조절기가 다이알축과 접촉하는 부분의 벌어진 각도
2	0팜일때 이송조절기와 이송조절기 중심에서 전환기 중심을 잇는 직선 사이의 각도
3	이송조절기 중심에서 전환기 연결로드와 결합되는 위치까지의 길이
4	전환기 연결로드의 길이
5	전환기 크랭크의 길이
6	다이알 plate 눈금의 0팜과 1팜의 사이각
7	다이알 plate 눈금의 1팜과 2팜의 사이각

표 2. 바늘대 이송 메카니즘의 설계변수

번호	설계변수
1	바늘대 요동 크랭크의 길이
2	바늘대 잡이에서 바늘끝 까지의 길이
3	바늘끝이 바늘구멍으로 들어가는 순간의 링크의 기울어진 각도
4	바늘대 요동링크의 길이
5	바늘대 요동축 연결로드의 길이
6	바늘대 프레임 메카니즘을 하축에 결합할때의 바늘대 프레임의 기울어진 각도

4. 결과

2.1 절에서 해석한 톱니 바늘구멍의 전진,역진운동의 궤적과 3.1에서 최적화한 메카니즘에서의 톱니 바늘구멍의 전진,역진운동 궤적(뿔폭 4)을 각각 그림 9와 그림 10에 실었다. 두 그림에서 침판과 같은 높이일때 전진,역진운동의 톱니 바늘구멍의 위치를 비교하면, 그림 9의 본래 메카니즘이 많은 차이가 남을 볼 수 있다. 이것은 결국 톱니가 운동을 바꿀때(전진 → 역진, 혹은 반대) 이전 운동에서 형성된 지점에 뿔이 형성되지 않게 한다. 2.2절에서 해석한 바늘끝의 궤적과 3.2절에서 최적화한 메카니즘에 대한 궤적을 그림 11과 12에 실었다. 톱니 바늘구멍의 경우와 마찬가지로 최적화한 메카니즘의 경우 침판과 같은 높이에서 전진,역진 운동 간의 위치 차이가 본래의 메카니즘 보다 훨씬 적은 것을 알 수 있다. 최적화한 메카니즘일 경우, 전진 운동에서 역진 운동으로 전환하고 10뿔 만큼 이동하였을때 바늘구멍의 위치차이(이전에 형성된 뿔과의)를 그림 13에 실었다.(뿔폭 4) 이 경우 10뿔 까지 이동해도 0.04mm 이상 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 3절에서 최적화한 메카니즘에서 톱니에 의한 이송량과 바늘대에 의한 이송량의 편차를 각각의 주어진 뿔수에 대하여 나타내면 그림 14와 같다.

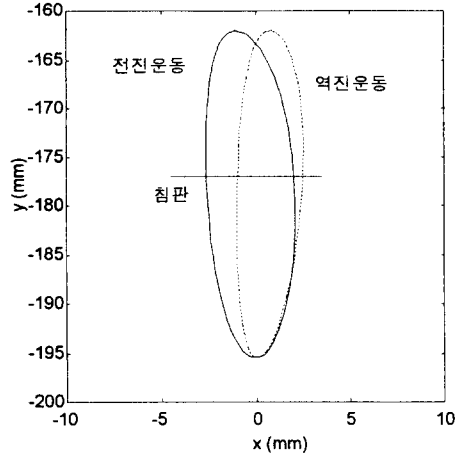


그림 11. 바늘끝의 궤적(본래 메카니즘)

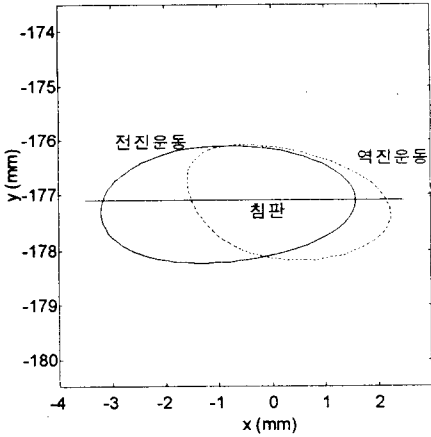


그림 9. 톱니 바늘구멍의 궤적(본래 메카니즘)

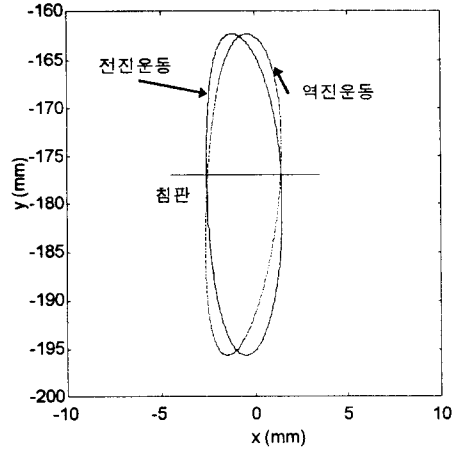


그림 12. 바늘끝의 궤적(최적화 메카니즘)

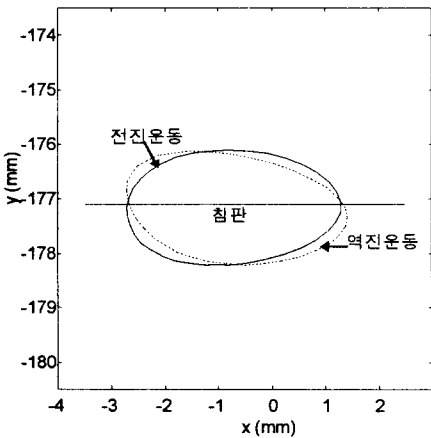


그림 10. 톱니 바늘구멍의 궤적(최적화 메카니즘)

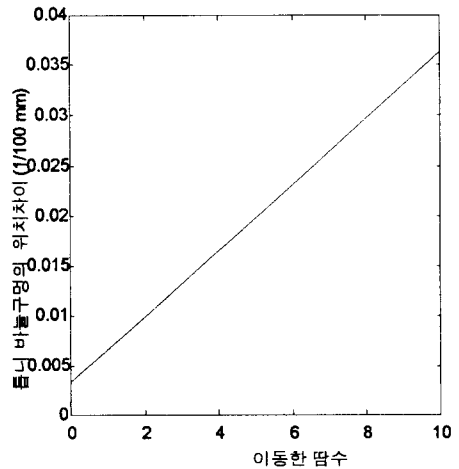


그림 13. 톱니 바늘구멍의 위치차이

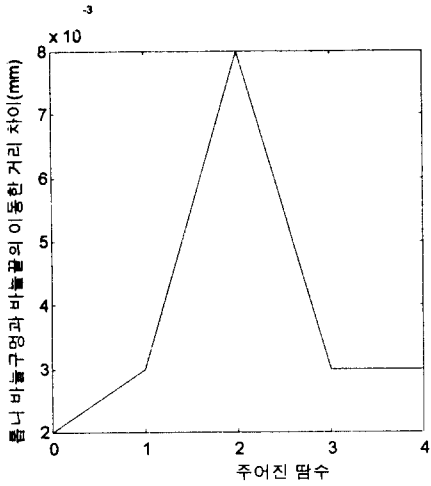


그림 14. 바늘구멍과 바늘끝의 위치차이

참고문헌

1. George H. Martin, "Kinematics and Dynamics of Machines", 2nd edition
2. James N. Siddall, "Optimal Engineering Design",