

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.1.515

JCCT 2020-2-65

## 의료용 침대를 위한 평행 4절 링크의 개선

### Enhancement of 4 Bar Parallelogram Linkage for a Medical Bed

이영대\*, 김창영\*\*, 최문수\*\*

Youngdae Lee\*, Changyoung Kim\*\*, Moonsoo Choi\*\*

**요약** 본 연구에서는 4절 평행 링크의 설계와 실제 구현에 대한 것으로 평행 4절 링크는 한축의 회전을 다른 축의 회전 운동으로 전달하기 위한 기본적인 기구학적 메카니즘으로 널리 이용되고 있다. 그런데 평행 4절 링크는 운동 도중에 전환점에서 위상 역전이 발생하는 문제가 발생하여 실제 구현에서는 이를 고려하여 설계하여야 한다. 링크 역전을 방지하기 위해서는 추가적인 위상 역전 억제용 링크를 오프셋을 두어 붙이는 2중 평행 사변형 형태의 링크를 제작하면 되는 것으로 일부 알려져 있으나 실제 제작하여 실험한 결과 전환점에서 운동이 부드럽지 않은 현상이 발생하였다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 위상 역전 방지를 위한 오프셋을 주는 링크외에 보조적으로 평활한 운동을 위한 링크를 추가시켜 피동축이 구동축을 따라 회전할 때에 특정지점에서 위상 역전이 발생하지 않고 평활한 운동을 수행하는 것을 확인 할 수 있었다.

**주요어** : 4절 링크, 전환점, 위상 오프셋, 평활한 운동

**Abstract** The design and actual implementation of the four-bar parallel link was studied in the paper. The parallel four-section link is widely used as a basic kinematic mechanism for transmitting the rotation of one axis to the rotational motion of the other axis. However, the parallel 4 link has a problem that phase reversal occurs at the turning point during the movement. In order to prevent the link reversal, it is known that a double parallelogram-type link is formed by attaching an additional phase reversal suppression link with an offset. However, as a result of the actual fabrication experiment, the movement is not smooth at the transition point. In order to solve this problem, in this study, a link for smooth movement is added in addition to a link that provides an offset to prevent phase reversal, so that the phase reversal does not occur at a specific point when the driven shaft rotates along the drive shaft. The test result confirms the validity of our suggestion.

**Key words** : 4 bar link, changing point, phase offset, smooth motion

#### 1. 서론

4절 링크는 기구학에서 회전운동을 전달하는 대표적인 메카니즘으로 널리 이용되고 있다[1]. 관절 조인트로 접지에 연결된 링크를 일반적으로 크랭크라고하며 두 크랭크를 연결하는 링크를 플로팅 링크 또는 커플러라

고 한다.

평행사변형 연결 RRRR 또는 4R 연결에는 네 개의 회전 조인트가 있고 한 링크는 접지되어 고정되며 접지 링크 또는 고정링크 또는 프레임이라고 한다. 프레임에 연결된 두 개의 링크를 접지 링크라 하며 일반적으로 시스템의 입력 또는 출력 링크라고 한다. 마지막 링크

\* 정회원, (주)나인벨 연구소장 (교신저자)

\*\* 정회원, (주)나인벨

접수일: 2019년 11월 11일, 수정완료일: 2019년 11월 26일

게재확정일: 2019년 12월 06일

Received: November 11, 2019 / Revised: November 26, 2019

Accepted: December 06, 2019

\*Corresponding Author: ydlee@ninebell.co.kr

Dept. of the faculty of liberal arts, Yewon Arts Univ, Korea

는 플로팅 링크로 입력에 출력을 연결하게 되므로 커플러 또는 커넥팅 로드라고 한다.

## II. 평면 4절 링크의 운동

### 1. 그라스호프의 법칙

그라스호프의 법칙(Grashof's law)에서는 평면 4절 링크 장치에서 적어도 하나의 링크가 완전 회전하기 위한 조건을 기술한다.

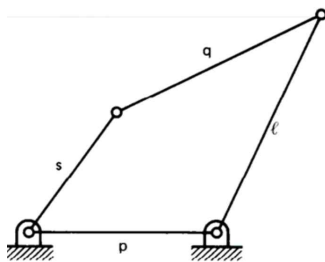


그림 1. 4절 링크  
Fig. 1. 4 links

2개의 링크간에 상대적으로 연속적인 회전을 하도록 하려면 최단 링크와 최장 링크의 길이의 합이 나머지 두 링크 길이의 합보다 커서는 안된다. 식(1)은 이것을 설명한다.

$$s + l \leq p + q \quad (1)$$

여기서  $s$ 는 가장 짧은 링크의 길이이고,  $l$ 은 가장 긴 링크의 길이이며  $p, q$ 는 나머지 링크의 길이이다.

그라스호프의 조건을 만족하는 링크의 종류로는 프레임에 고정된 최단 링크가 완전 360도 회전하는 크랭크와 프레임에 인접한 또 다른 링크가 왕복각 운동을 하는 로커가 있다.

식(1)의 부등식이 성립하지 않은 경우, 즉  $s + l > p + q$ 이면 어떤 링크도 회전할 수 없는 비그라스호프 링크기구(Non-Grashof mechanism)가 된다 [2].

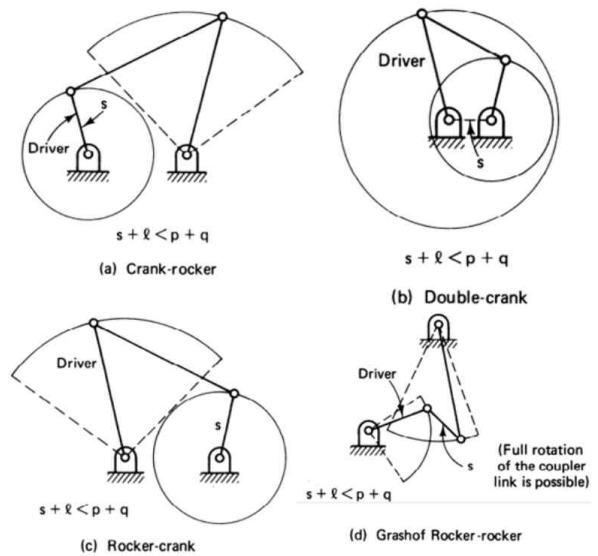


그림 2. 4절 링크의 운동  
Fig.2 The motion of 4 links

### 2. 4절 링크의 운동식

평면 4절 링크에 대한 벡터 방정식을 유도하면 다음과 같다.

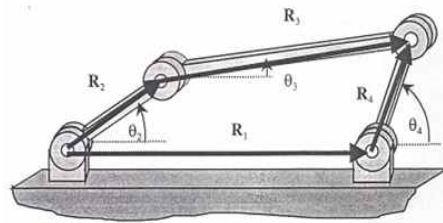


그림 3. 4절 링크의 기호와 심볼  
Fig.3. The notation and symbol of 4 links

$$\vec{R}_2 + \vec{R}_3 = \vec{R}_1 + \vec{R}_4 \quad (2)$$

식(2)는 좌하단 원점에서 반시계 방향으로 벡터의 합이 좌하단 원점에서 시계 방향으로 벡터의 합과 좌상단에서 같아져야 함을 의미한다.

위의 방정식을  $x, y$  성분으로 분해하고 미분 및 거듭 미분하면 표 1의 식(3)-(8)과 같은 위치, 속도 및 가속도에 대한 방정식을 얻을 수 있다.

표 1. 평행 4절 링크의 운동방정식 [2]  
 Table 1. The equation of 4 parallel link's motion [2]

방정식	수식
위치방정식	$\begin{aligned} \text{x-성분: } & r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 = r_1 \cos \theta_1 + r_4 \cos \theta_4 \\ \text{y-성분: } & r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 = r_1 \sin \theta_1 + r_4 \sin \theta_4 \end{aligned} \quad (3)$
속도방정식	$\begin{aligned} -\omega_2 r_2 \sin \theta_2 - \omega_3 r_3 \sin \theta_3 &= r - \omega_4 r_4 \sin \theta_4 \\ \omega_2 r_2 \cos \theta_2 + \omega_3 r_3 \cos \theta_3 &= \omega_4 r_4 \cos \theta_4 \\ \begin{bmatrix} -r_3 \sin \theta_3 & r_4 \sin \theta_4 \\ r_3 \cos \theta_3 & r_4 \cos \theta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \omega_2 r_2 \sin \theta_2 \\ -\omega_2 r_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$
가속도방정식	$\begin{aligned} -\alpha_2 r_2 \sin \theta_2 - \omega_2^2 r_2 \cos \theta_2 - \alpha_3 r_3 \sin \theta_3 - \omega_3^2 r_3 \cos \theta_3 &= -\alpha_4 r_4 \sin \theta_4 - \omega_4^2 r_4 \cos \theta_4 \\ \alpha_2 r_2 \cos \theta_2 + \omega_2^2 r_2 \sin \theta_2 + \alpha_3 r_3 \cos \theta_3 - \omega_3^2 r_3 \sin \theta_3 &= \alpha_4 r_4 \cos \theta_4 - \omega_4^2 r_4 \sin \theta_4 \\ \begin{bmatrix} -r_3 \sin \theta_3 & r_4 \sin \theta_4 \\ r_3 \cos \theta_3 & r_4 \cos \theta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \alpha_2 r_2 \sin \theta_2 + \omega_2^2 r_2 \cos \theta_2 + \omega_3^2 r_3 \cos \theta_3 - \omega_4^2 r_4 \cos \theta_4 \\ -\alpha_2 r_2 \cos \theta_2 + \omega_2^2 r_2 \sin \theta_2 + \omega_3^2 r_3 \sin \theta_3 - \omega_4^2 r_4 \sin \theta_4 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$
$R_p (=R_2 + R_{p3})$ 지점상에서 위치, 속도 및 가속도	
위치방정식	$\begin{aligned} r_{px} &= r_2 \cos \theta_2 + r_{p3} \cos (\theta_3 + \theta_p) \\ r_{py} &= r_2 \sin \theta_2 + r_{p3} \sin (\theta_3 + \theta_p) \end{aligned} \quad (6)$
속도방정식	$\begin{aligned} \dot{r}_{px} &= -r_2 \omega_2 \sin \theta_2 - r_{p3} \omega_3 \sin (\theta_3 + \theta_p) \\ \dot{r}_{py} &= r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_{p3} \omega_3 \cos (\theta_3 + \theta_p) \end{aligned} \quad (7)$
가속도방정식	$\begin{aligned} \ddot{r}_{px} &= -r_2 \alpha_2 \sin \theta_2 - r_2 \omega_2^2 \cos \theta_2 - r_{p3} \alpha_3 \sin (\theta_3 + \theta_p) - r_{p3} \omega_3^2 \cos (\theta_3 + \theta_p) \\ \ddot{r}_{py} &= r_2 \alpha_2 \cos \theta_2 - r_2 \omega_2^2 \sin \theta_2 + r_{p3} \alpha_3 \cos (\theta_3 + \theta_p) - r_{p3} \omega_3^2 \sin (\theta_3 + \theta_p) \end{aligned} \quad (8)$

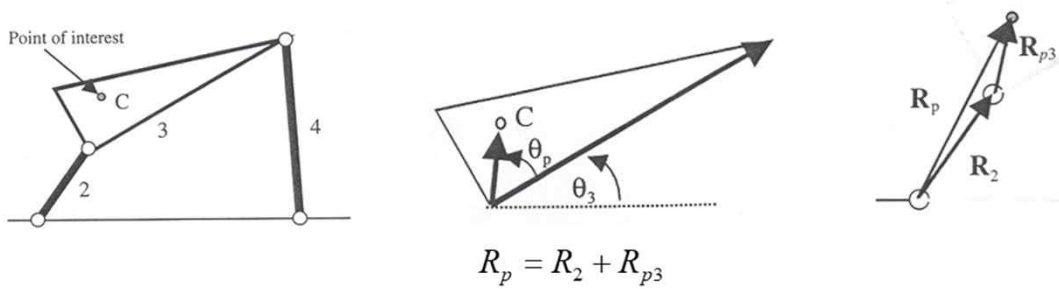


그림 7  $R_p$  지점상에서 위치

Fig. 7. The position in  $R_p$

식(4)는 식(3)을 시간에 대해 한번 미분한 것이고 식(5)는 두 번 미분한 것이며, 식(7)은 식(6)을 한번 미분한 것이고 식(8)은 두 번 미분한 것이다.

### III. 평면 평행 4절 링크의 운동

#### 1. 평행 4절 링크의 운동

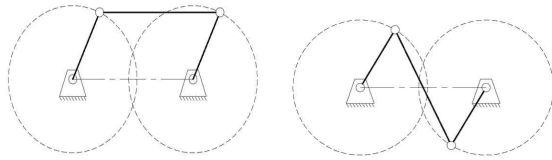
평행 4절 링크는 그라스호프 링크 기구의 특수한

형태 ( $s + l = p + q$ )로 모든 링크는 이중 크랭크나 크랭크 로커가 되며 입력 크랭크의 1회전에 대해 2번의 전환점이 발생하게 된다[2].

즉 구동축의 일방향 운동에 있어서 피동축이 이를 제대로 추종하지 못하고 전환점에서 피동축의 회전각이 반전하는 현상이 발생하게 된다[1][2].

여기서 전환점(change point)란 모든 링크가 일직선상에 놓이는 현상으로 전환점에서의 출력링크의 운동

은 예상이 불가능하게 된다. 그림 4의 전환점에서 (a)와 (b)는 서로 바뀔 수 있으므로 이를 위한 대책이 필요하다.[2]. 즉 피동축이 구동축을 따라 (a)와 같이 되지 않고 (b)와 같이 위상 역전이 있을 수 있다.



(a)정상운동 (b)전환점  
(a)Normal motion (b)Changing points

그림 4. 4절 평행사변형 링크의 운동  
Fig. 4. The motion of 4 bar parallelogram

2. 전환점을 피하는 방안

기존의 4절 링크에서 전환점을 피하는 방안으로는 조인트각이 전환점에 도달하지 못하도록 제한하는 방안이나 가능하다면 구동축과 피동축 사이를 스프라켓-체인으로 동기화 시키는 방안이 제시되어 있다. 체인을 사용하는 경우에 단점은 체인의 백래시와 소음 그리고 비용 증가 문제를 들 수 있다.

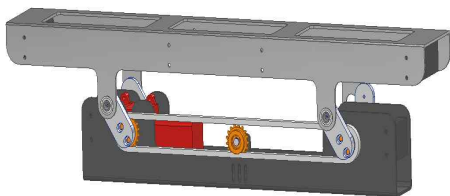


그림 5. 스프라켓-체인 메카니즘  
Fig.5. Spracket-chain mechanism

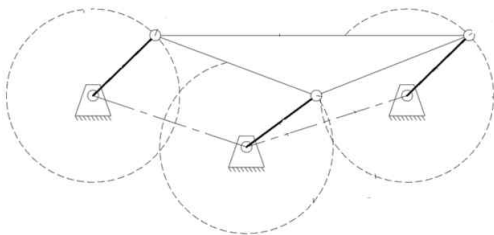


그림 6.위상차를 갖는 이중 평행 사변형 링크 메카니즘  
Fig.6. The double parallelogram linkage mechsansim with offset

또 다른 방법으로는 그림 6와 같이 이중 평행 사변형 링크를 사용하는 것이 있다. 이 방법은 종동축과 피동축 사이에 위상차 옵셋을 갖는 추가적인 조인트 링크를 두어 두 개의 평행 사변형이 위상차를 가지고 운동하도록 메카니즘을 설계하는 방법으로 이론적으로는 위상차에 의해 전환점에서의 위상 반전을 피할 수 있다.

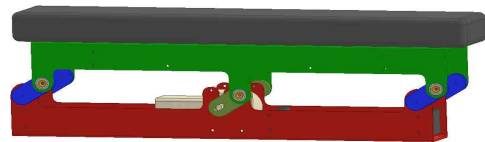
III. 위상 옵셋이 있는 이중 평행 사변형 링크 및 개선 방안

1. 위상 옵셋이 있는 이중 평행 사변형 링크 메카니즘

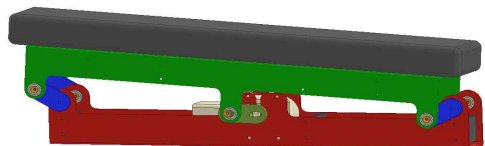
이중 평행 사변형 링크 메카니즘이 이론적으로는 종동축 2개가 구동축 1개를 따라 전환점없이 완전히 동기화된 운동을 해야 하지만, 실제 제작한 결과 피동축이 구동축을 완전히 추종하지 못하고 전환점 부근에서 순간적으로 위상 반전이 발생하여 피동축이 덜그덕 거리는 지점이 발생하였다.

문헌 [3]에서는 링크의 유연성과 조인트의 강성을 고려한 4절 링크의 성능 평가를 제시하였지만 본 연구에서 제작된 4절 링크는 조인트와 링크의 강성이 충분하므로 이에 해당하지 않는다.

그림 7의 (a), (b)는 제작된 옵셋이 있는 이중 평행 사변형 링크에서 피동축이 구동축을 못 추종하는 경우를 설명하는 그림이다.



(a) 이상적인 경우  
(a) Ideal case



(b) 실제의 경우  
(b) Real case

그림 7. 위상 옵셋이 있는 이중 평행사변형 링크의 전환점에서의 문제

Fig. 7. The Problem in double parallelogram linkage with offset in the changing point

이중 평행사변형 링크는 이상적인 경우 피동축이 종동축을 추종하나 실제 이중 평행 사변형 링크를 제작한 결과 일직선상에서 피동축이 종동축을 순간적으로 추종치 못하고 덜그덕 거리는 현상이 그림 과 같이 발생하였다. 이는 가운데 링크의 위상옵셋을 증가하여도 발생하였다,

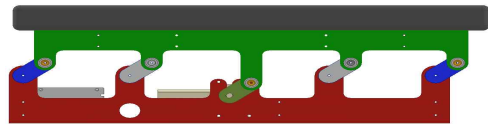
2. 개선된 평행 링크 메카니즘 및 제작 결과

이중 평행 사변형 링크의 옵셋을 충분히 주어도 전환점 순간적으로 피동축이 구동축을 추종하지 못하고 덜거덕 거리는 현상은 추가적인 조인트 링크를 삽입하여 방지할 수 있다.

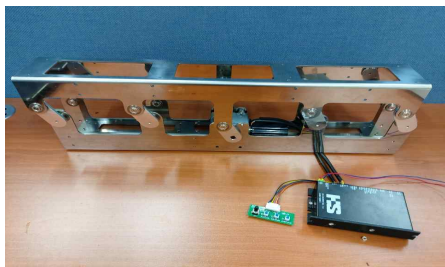
2개의 평행 사변형 링크보다 3개나 4개의 평행 사변형 링크를 구성하는 식으로 조인트 링크 메카니즘을 구현하면 되는 데 본 연구에서는 4개의 평행 사변형 링크를 구성하고 이중 가운데 조인트 링크에 위상 옵셋을 두는 방법을 채택하였다.

추가적인 조인트 링크는 제약조건의 역할을 수행하여 실제 제작물이 운동중 전환점에서 덜거덕 거리는 현상을 방지하는 역할을 수행하는 것으로 사료된다.

구동입력축과 링크 옵셋을 가운데 중심에 두고 전환점 해결을 위한 링크들을 좌우에 2개씩 각각 배치하여 출력축이 입력축과 동기화되도록 하였으며 전환점에서의 급격한 각 변위 변화를 억제하고 부드러운 운동을 이룰 수 있도록 설계하여 제작하였다.



(a) 그림 옵셋이 있는 4중 평행사변형 링크 설계  
 (a) Quad parallelogram link design with offset



(b) 제작된 4중 평행 사변형 링크 메카니즘  
 (b) The quadrilateral link mechanism fabricated

그림 8. 4중 평행사변형 링크 메카니즘  
 Fig. 8. The quad parallelogram link mechanism

#### IV. 의료용 침대에서의 적용

제작된 평행사변형 링크 메카니즘은 의료용 침대에 적용하기 위하여 설계되었다. 그림 9는 이런 메카니즘을 16개 장착한 건반 구조형 기구물로 욕창방지, 시트자동교환 및 환자이송을 위한 의료용 전동 침대이다.

기존에 제작된 의료용 침대[4]에서는 건반을 설계

할 때 슬라이딩이 있는 크랭크 메카니즘으로 건반 링크 당 2개의 모터가 소요되었으나 새로이 설계된 평행사변형 링크 구조물에서는 건반당 1개의 모터가 소요되며 16개 건반의 운동으로 욕창 방지외에도 환자회이송 및 ASX모듈과의 동기운동으로 시트 자동교환을 행할 수 있게 된다[5].

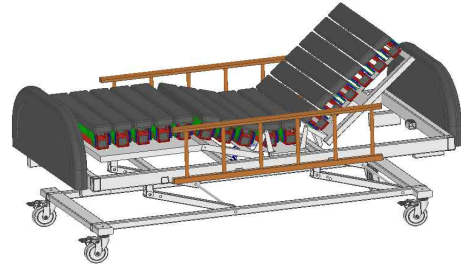


그림 9. 개발중인 의료용 전동 침대의 외관  
 Fig. 9. The appearance of the developing medical bed

#### V. 결론

4절 링크는 다양한 산업용 장비 및 제품에서 널리 사용되는 기구이며 4절 링크 중 평행 사변형 링크는 평행 4절 링크는 그라스호프 링크 기구의 특수한 형태로 입력 크랭크의 1회전에 대해 2번의 전환점이 발생하게 된다.

이를 해결하기 위한 방안으로는 체인-스프라켓에 의한 입출력 링크의 동기화 방법과 위상 옵셋을 주기 위한 링크를 추가하는 이중평행사변형 링크 구조 메카니즘이 있다. 그러나 위상 옵셋을 갖는 이중평행사변형 링크를 실제 제작하여 실험해보면 여전히 출력링크가 입력링크를 일직선상에서 잘 추종하지 못하고 덜거덕 거리는 현상이 발생한다.

본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 보조 조인트 링크를 위상 옵셋을 두고 추가한 4중 평행 사변형 링크 메카니즘을 제작하여 시험한 결과 출력 링크가 입력 링크에 동기되어 전환점에서 덜거덕 거림이 없이 회전하면서 부드러운 운동을 실행하는 것을 확인하였다.

추가한 조인트 링크는 제약조건의 역할을 수행하여 피동 출력축이 구동 입력축을 잘 추종하지 못하고 덜거덕 거리는 것을 억제하는 것으로 사료된다.

본 의료용 침대는 평행사변형 링크에 의해 승하강이 독립적으로 제어되는 다수의 승하강 링크 모듈이 인접하여 평행하게 배치되고 상기 각 승하강 링크 모듈

의 결합축 하나에는 전기 모터가 링크 구동을 위해 결합되는 것을 특징으로 한다. 이러한 구조로 인해 욕창 방지 운동, 시트자동교환운동 및 환자횡이송을 용이하게 할 수 있도록 설계되어 있다.

앞으로 남은 연구는 위상옵셋을 갖는 제작된 다중평행사변형 링크 메카니즘의 기구동력학적인 특성을 이론적으로 해석하여 문제 현상과 해결이유를 분명히 파악하는 것이다.

### References

[1]. Hartenberg, R., Denavit, J., Kinematic synthesis of Linkages, *McGraw Hill Book Company*, N.Y.

[2] I. Angeles, J. and Callejas, M., "An Algebraic Formulation of Grashof's Mobility Criteria with Application to Linkage Optimization Using Gradient-Dependent Methods," *J. Mech. Transm-T. ASME*, Vol. 106, No. 3, pp. 327-332, 1984.

[3] A. M. Vaidya\* and P. M. Padole, "A Performance Evaluation of Four Bar Mechanism Considering Flexibility of Links and Joints Stiffness", *The Open Mechanical Engineering Journal*, 4, 16-28, 2010

[4] Youngdae Lee, Moonsoo Choi, et al., "Research on the Development of Automated Multifunction Integrated Motion Bed", *The J. of the Inst. of Internet, Broadcasting and Communication*, vol.18, Issue 5, pp.215-222, 2018.

[5] Youngdae Lee, Moonsoo Choi, et al., "A Study on the Automatic Sheet Exchange for a Hospital Bed", *The J. of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, vol.5, no.4, pp.361-366, November 30, 2019

[6] G. Gilardi, and I. Sharf, "Literature survey of contact dynamics modeling," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 37, no. 10, pp.1213-1239, 2002.

[7] P. Flores, J. Ambro'sio, J.C.P. Claro, H.M. Lankarani, and C.S.Koshy, "A study on dynamics of mechanical systems including joints with clearance and lubrication," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 41, pp. 247-261, 2006.

[8] A.L. Schwab, J.P. Meijaard, and P. Meijers, "A comparison of revolute joint clearance model in the dynamic analysis of rigid and elastic mechanical systems," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 37, no. 9, pp. 895-913, 2002.

[9] S.K. Dwivedy, and P. Eberhard, "Review

dynamic analysis of flexible manipulators, a literature review," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 41, pp. 749-777, 2006.

[10] D.A. Turcic, and A. Midha, "Dynamic analysis of elastic mechanism systems. Part I: Applications, measurement and control," *Journal of Dynamic Systems*, vol. 106, pp. 249-254, 1984.

[11] D.A. Turcic, A. Midha, and J.R. Bosnik, "Dynamic analysis of elastic mechanism systems. Part II: Experimental Results measurement and control," *Journal of Dynamic Systems*, vol. 106, pp. 255-260, 1984.

[12] S.D. Yu, and F. Xi, "Free Vibration analysis of planar flexible mechanisms," *Journal of Mechanical Design*, vol. 125, 764-772, 2003.

[13] S.D. Yu, and W.L. Cleghorn, "Dynamic instability analysis of high-speed flexible four-bar mechanisms," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 37, pp. 1261-1285, 2002

※ 본 논문은 경기도 기술개발사업의 사업비지원(과제번호 D191970)에 의해 수행되었습니다

※ This research was supported by a grant(code D191970) from Gyeonggi Technology Development Program funded by Gyeonggi Province.