

〈論 文〉

비결합 다관절 평면기구의 컴퓨터원용 운동해석을 위한 컴포넌트 모듈기법

신 중 호*

(1992년 8월 19일 접수)

Component Modular Approach to Computer-Aided Kinematic Analysis for General Planar Uncoupled-Connected Multiloop Mechanisms

Joong-Ho Shin

Key Words : Component Modular Approach(컴포넌트 모듈기법), Computer-Aided Kinematic Analysis(컴퓨터원용 기구해석), Rigid Links(강성 링크), Multiloop Mechanism(다관절 기구), Closed-form Solution Procedure(폐쇄형 해석), Uncoupled-Connected Mechanism(비접촉 기구).

Abstract

Interactive computer-aided analysis of mechanical systems has recently been undergoing an evolution due to highly efficient computer graphics. The industrial implementation of state-of-the-art analytical developments in mechanisms has been facilitated by computer-aided design packages because these rigid-body mechanism analysis programs dramatically reduce the time required for linkage design. This paper proposes a component modular approach to computer-aided kinematic motion analysis for general planar multiloop mechanisms. Most multiloop mechanisms can be decomposed into several components. The kinematic properties (position, velocity, and acceleration) of every node can then be determined from the kinematic analysis of the corresponding component modules by a closed-form solution procedure. In this paper, 8 types of modules are defined and formulations for kinematic analysis of the component modules are derived. Then a computer-aided kinematic analysis program is developed using the proposed approach and the solution procedure of an example shows the effectiveness and accuracy on the approach.

————— 기 호 설 명 —————

<p>A, B, C : 상수</p> <p>L : 링크의 길이, 슬라이더의 위치 길이</p> <p>\dot{L}, \ddot{L} : 슬라이더의 속도와 가속도</p> <p>X, \dot{X}, \ddot{X} : 각 점의 수평방향 위치, 속도 및 가속도 성분</p>	<p>Y, \dot{Y}, \ddot{Y} : 각 점의 수직방향 위치, 속도 및 가속도 성분</p> <p>$\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$: 수평면에서 링크의 회전각, 각속도 및 각가속도</p> <p>XX, YY : 슬라이더의 초기 위치</p> <p>$X_s, \dot{X}_s, \ddot{X}_s$: 슬라이더의 수평방향 위치, 속도 및 가속도 성분</p> <p>$Y_s, \dot{Y}_s, \ddot{Y}_s$: 슬라이더의 수직방향 위치, 속도 및</p>
---	--

*정회원, 창원대학교 정밀기계공학과

가속도 성분
 θ_s : 슬라이더의 운동 축의 각도
 α, β : 굴곡 링크들 사이의 각도

1. 서 론

기계장치의 기구학적 해석은 동적해석을 위한 전 단계로서 장치를 구성하는 각 링크들의 정확한 위치, 속도 및 가속도를 규명하는 것이다. 최근 컴퓨터의 고속 발전에 의해 보다 보편적이고 빠르며 정확한 기구해석용 컴퓨터 프로그램들이 해외에서 연구개발되어 왔으며, 이들은 현재 많은 기술적 문제 해결에 응용되고 있다.

CAD기법을 이용한 프로그램 개발동향은 1981년 Ardayfio^(9,21)에 의해 자세히 기술되었는데, 미국에서 개발된 프로그램들로는 ADAMS,^(5,6) DRAM,⁽²⁾ IMP,⁽¹⁾ KINSYN,⁽⁷⁾ KINANL,⁽¹¹⁾ RECSYN,^(12,13) KADAM,⁽⁸⁾ DADS⁽²³⁾와 FORSS^(10,15,16,19)들이 있다. 그외로도 KOGEAN과 KOGEOP, (독일) LINKE, (캐나다) TADSOL, (네덜란드) KIDYAN, (체코) MLINK(이탈리아) 등이 응용되고 있다.^(9,21)

ADAMS와 DADS는 3차원 기구의 동적해석을 위한 프로그램으로서 기구들의 제한조건들을 매트릭스법으로 해석하며, DRAM은 Lagrange법을 이용한 평면기구의 동적해석용이고, IMP는 다관절 기구에 대해 Network이론을 응용하였다. KADAM은 각 링크에 대해 3개씩의 평형조건을 D'Alembert원리를 적용하여 공식을 유도하였으며 FORSS는 평면기구의 힘해석용 프로그램으로 개발되었다. KINANL은 모듈법에 의한 평면기구의 해석용이고 RECSYN는 평면기구의 설계용이며 KINANL은 4관절기구의 기구학적 해석과 설계용으로서, 폐쇄형 기구해석법(closed-form solution approach)을 이용하고 있다. 그 외로 기구학적 해석 및 설계를 위한 수치해석법들이 활발하게 연구되고 있는 실정이다.^(3,4,14,17,18,20,22) 이들 프로그램들은 거의 강성요소 링크로 구성된 기구장치의 응용을 목적으로 개발되었으며, 최근에 일부 프로그램들이 탄성링크의 효과를 고려한 해석을 시도하고 있다.

본 논문에서는 탄성링크로 구성된 기계장치의 기구학적 운동 및 동적해석을 위한 컴퓨터 원용 프로그램 개발의 첫 부분으로서 강성링크 기구의 기구학적 운동해석을 위하여 컴포넌트 모듈해석법을 제

시하고 요구되는 공식을 유도하고자 한다. 복잡한 다관절 평면 기구들에 보편적으로 구성도는 요소들을 모듈화하고, 이들 모듈들을 각각의 컴포넌트에 적용해서 기구해석을 수행하는, 매우 편리하고 빠른 컴퓨터원용 기구해석 프로그램을 개발하여, 적용하고 그 효율성을 제시하고자 한다.⁽²⁴⁾

2. 컴포넌트 모듈해석법

임의의 다관절 기구는 몇개의 컴포넌트(요소기구)들로 분리될 수 있다. 기구들은 크게 입력요소와 출력요소들로 구분되는데 입력요소는 입력링크에 해당되고 보통 하나의 링크로 구성된다. 출력요소들은 입력링크에 의해 운동이 전개되는 나머지 부분들로서 수개의 컴포넌트들로 구성되어 진다. 이들 컴포넌트들은 기능상으로 몇개의 유형으로 분류될 수 있는데, 주로 4절링크의 출력요소(dyad element in 4-bar linkage), 슬라이더부(sliding element in slide-crank linkage) 및 복합변형요소들이다. 몇개의 유형으로 분류될 수 있는 요소들을 모듈화하고 각 모듈에 대한 기구학적 해석이론을 적용하여 이론화한다면, 복잡한 다관절 평면기구들의 해석을 용이하게 수행할 수 있으며, 최근의 컴퓨터 그래픽스 기술을 도입한다면 매우 편리하고 정확한 컴퓨터 원용 해석용 프로그램을 개발할 수 있을 것이다. 이 제안이 본 연구논문에서 제시하는 해석법의 기본 이론이다.

예로서 Fig. 1의 다관절 평면 기구장치를 제시한다. 이 기구는 Fig. 2에서 제시한 5가지 컴포넌트들로 분해될 수 있다. Fig. 2(a)의 링크는 입력요소이며, 나머지 4개의 컴포넌트들은 출력요소들이다. Fig. 2(b)와 Fig. 2(d)는 같은 기능을 갖는 출력요소이며, Fig. 2(c)는 다른 기능의 출력요소이고, Fig. 2(e)는 또 다른형태의 복합 출력요소이다. 따라서 Fig. 1의 기구는 4가지의 모듈을 포함한 5개 컴포넌트들로 구성된 다관절 기구에 해당된다.

컴포넌트 모듈해석법은 이들 각각의 컴포넌트가 프로그램에서 제시된 모듈과 짝을 지워주면서 해석을 완료할 수 있다. 즉, Fig. 2(a)의 입력링크는 점2의 위치, 속도 및 가속도가 주어진 회전각과 링크의 길이에 의해 입력링크 모듈에서 결정된다. 이 점2의 결정된 성질은 Fig. 2(b)의 다이어드 모듈로 연결되면서 점4의 기구학적 성질을 결정하게 된다. 점2와 점4의 결정된 값들에서 Fig. 2(c)의 단일링

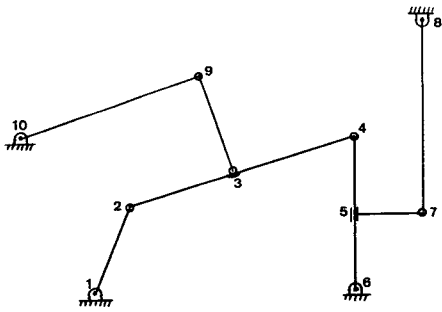


Fig. 1 A general multiloop mechanism

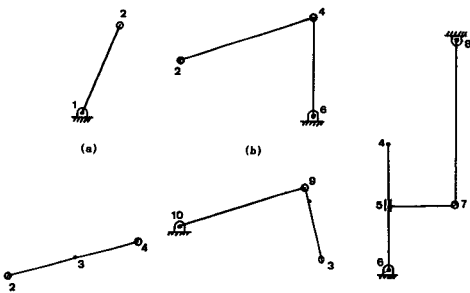


Fig. 2 Components of the multiloop mechanism

크모듈로 점3의 위치, 속도 및 가속도가 계산되며, 이 값들은 Fig. 2(d)의 다이어드모듈에 다시 연결되면서 점9의 성질을 결정한다. 끝으로 Fig. 2(b)에서 결정된 점 4의 데이터들은 Fig. 2(e)의 슬라이드출력모듈에 연결되면서 점5와 점7의 기구학적 성질이 해석되며, 각 링크들의 회전각, 각속도 및 각 가속도도 동시에 계산된다.

기존의 기구학적 해석방법으로는 각 링크들의 운동제한조건들로부터 비선형연립방정식을 구성하여 반복접근방법으로 해결하는 매트릭스법이나 벡터방법들이 대부분이다. 본 논문에서 제시하는 컴포넌트 모듈해석법은 기존의 전체 기구의 제한조건들을 동시에 푸는 방법과는 다르게, 각 링크에 대해 폐쇄형 해석법(closed-form solution)을 이용하면서 각 모듈 단위의 해석법은 비선형반복수치법이 아닌 직접치환법을 사용하므로써 계산의 신속, 정확성을 얻을 수 있으며, 임의의 위치에서도 기구를 해석할 수 있는 장점을 보유하고 있다.

3. 모듈의 정의

Fig. 3은 자유도 1을 갖는 8가지 모듈들을 보여

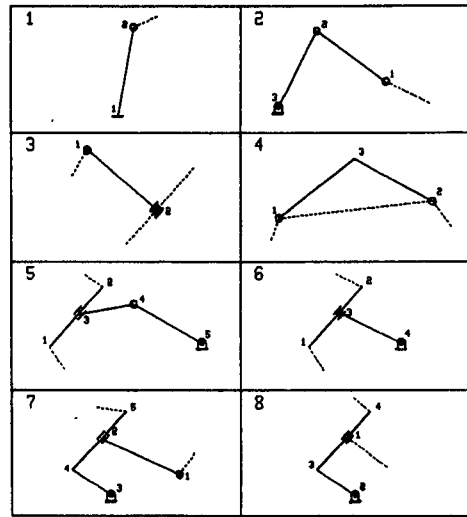


Fig. 3 Types of component modules

주고 있다. 이들 모듈들은 대부분의 다관절 평면 기구장치의 구성요소로서 복잡한 기계장치들도 비 접촉 기계장치인 경우에는 이들 모듈들의 몇개의 구성품으로 분해될 수 있다. 모듈1은 단순 입력링크로서 2개의 점들로 구성되며, 입력링크의 회전각도와 각속도는 입력자료이다.

모듈2는 2개의 링크가 회전 연결부로 연결되어 있는 다이어드(dyad)로서, 모듈1과 모듈2의 연결은 4절 링크시스템을 구성하게 된다. 모듈3은 일정 경사축에 따라 움직이는 슬라이더로서, 모듈1과 모듈3의 연결은 슬라이더 크랭크시스템이 된다. 모듈4는 단일링크로서 굴곡된 링크내의 임의의 점에서 기구학적 성질을 구하는데 사용된다.

모듈5는 임의의 링크상을 움직이는 고정슬라이더가 2개의 링크들이 연결되어 출력링크부를 형성하는 모양을 갖고 있으며, 모듈6은 모듈5의 변형 형태로서 회전슬라이더가 1개의 링크와 연결되어 있는 모양이다. 모듈7은 임의의 링크끝에 고정슬라이더가 굴곡된 출력링크에 연결된 형상이며, 모듈8은 모듈7의 특수한 경우로서 회전슬라이더가 연결된 변형형태이다.

4. 폐쇄형 해법에 의한 모듈의 공식유도

컴포넌트 모듈 해석법을 위하여 설정된 8가지 모듈들은 다관절 평면기구들을 구성하는 요소들로서,

모듈내의 각 점들의 위치, 속도 및 가속도 해석과 구성링크들의 회전각, 각속도 및 각가속도 해석을 위한 공식들을 폐쇄형 기구해법에 의거 유도하였다.

4.1 Input-Link Module(Type 1)

Fig. 4의 링크는 입력링크로서, 일반적 산업기계들은 일정한 속도로 회전운동하므로 각가속도는 0으로 설정하고, 입력링크의 회전각과 각속도에 대해 점2의 기구학적 성질의 수평과 수직성분들은 다음식들에 표현된다. 이때의 L 은 입력링크의 길이이며 θ 와 $\dot{\theta}$ 은 입력링크의 회전각과 각속도 값이다.

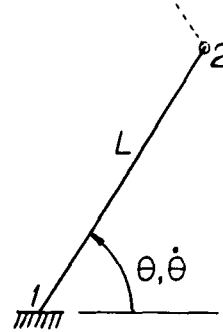


Fig. 4 Input-link component module

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + L \cdot \cos \theta & (1a) \\ Y_2 &= Y_1 + L \cdot \sin \theta & (1b) \\ \dot{X}_2 &= -L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta & (2a) \\ \dot{Y}_2 &= L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta & (2b) \\ \ddot{X}_2 &= -L \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos \theta & (3a) \\ \ddot{Y}_2 &= -L \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin \theta & (3b) \end{aligned}$$

4.2 Dyad Module(Type 2)

Fig. 5의 컴포넌트는 4절링크의 출력부에 해당되는 다이어드 모듈로서 점1의 위치 (X_1, Y_1), 속도 (\dot{X}_1, \dot{Y}_1) 및 가속도 (\ddot{X}_1, \ddot{Y}_1)에 대해 모듈내의 성질을 결정하여야 한다. 링크들의 길이가 L_2 와 L_3 의 경우에, 출력링크의 경사각 θ_2 을 위한 상수들과 각도는 식(3)과 식(4)에 각각 주어진다.

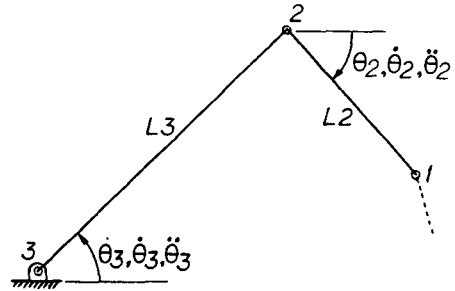


Fig. 5 Dyad component module

$$\begin{aligned} A &= 2 \cdot L_3 \cdot (X_3 - X_1) & (3a) \\ B &= 2 \cdot L_3 \cdot (Y_3 - Y_1) & (3b) \\ C &= (X_3 - X_1)^2 + (Y_3 - Y_1)^2 + L_3^2 - L_2^2 & (3c) \\ \theta_3 &= 2 \tan^{-1} \left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{C - A} \right) & (4) \end{aligned}$$

식(4)의 각과 링크의 길이를 이용하면 점2의 위치는 식(5)와 같으며 링크 L_2 의 각도 θ_2 는 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} X_2 &= X_3 + L_3 \cdot \cos \theta_3 & (5a) \\ Y_2 &= Y_3 + L_3 \cdot \sin \theta_3 & (5b) \\ \theta_2 &= \tan^{-1} \left(\frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \right) & (6) \end{aligned}$$

속도성분과 가속도성분들은 식(7)과 식(8)에 의해 제시될 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_3 &= \frac{\dot{X}_1 \cdot \cos \theta_2 + \dot{Y}_1 \cdot \sin \theta_2}{-L_3 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_2)} & (7a) \\ \dot{\theta}_2 &= \frac{\dot{X}_1 \cdot \cos \theta_3 + \dot{Y}_1 \cdot \sin \theta_3}{L_2 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_2)} & (7b) \\ \ddot{X}_2 &= -L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 & (7c) \\ \ddot{Y}_2 &= L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 & (7d) \end{aligned}$$

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{\ddot{X}_1 \cdot \cos \theta_2 + \ddot{Y}_1 \cdot \sin \theta_2 + L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_2) + L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2}{-L_3 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_2)} \quad (8a)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{\ddot{X}_1 \cdot \cos \theta_3 + \ddot{Y}_1 \cdot \sin \theta_3 + L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_2) + L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2}{L_2 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_2)} \quad (8b)$$

$$\begin{aligned} \ddot{X}_2 &= -L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 - L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \cos \theta_3 & (8c) \\ \ddot{Y}_2 &= L_2 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 - L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \sin \theta_3 & (8d) \end{aligned}$$

4.3 Sliding revolute-End Module (Type 3)

Fig. 6는 슬라이더 부분으로서 점1의 위치 (X_1 와

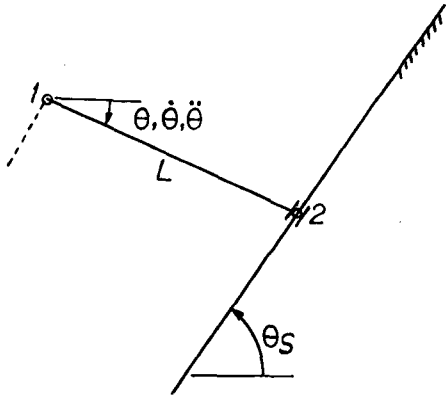


Fig. 6 Sliding revolute-end component module

Y_1), 속도 (\dot{X}_1 와 \dot{Y}_1), 가속도 (\ddot{X}_1 와 \ddot{Y}_1) 및 슬라이더인 점2의 초기위치 (XX 와 YY)에 의해 점 2의 기구학적 성질을 구할 수 있다. 점1과 점2의 길이는 L 에 해당하고 슬라이더인 점2는 θ_s 각만큼 경사진 면에 따라 운동된다. 출력 링크의 각도는 다음식들의 상수들을 이용하여 식(10)에 의해 결정된다.

$$A=L \cdot \tan\theta_s \quad (9a)$$

$$b=-L \quad (9b)$$

$$C=(X_1-XX) \cdot \tan\theta_s-(Y_1-YY) \quad (9c)$$

$$\theta=2 \tan^{-1}\left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2+B^2-C^2}}{C-A}\right) \quad (10)$$

점2의 위치는 점1의 위치에서 식(10)의 결과를 이용하여 구할 수 있다.

$$X_2=X_1+L \cdot \cos\theta \quad (11a)$$

$$Y_2=Y_1+L \cdot \sin\theta \quad (11b)$$

링크의 각 속도와 슬라이더인 점2의 속도성분들은 식(12)에 의해 주어진다.

$$\dot{\theta}=\frac{\dot{X}_1 \cdot \sin\theta_s-\dot{Y}_1 \cdot \cos\theta_s}{L \cdot \cos(\theta-\theta_s)} \quad (12a)$$

$$\dot{X}_s=\dot{X}_2=\dot{X}_1-L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta \quad (12b)$$

$$\dot{Y}_s=\dot{Y}_2=\dot{Y}_1+L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta \quad (12c)$$

끝으로 링크의 각가속도와 슬라이더인 링크의 가속도 성분들은 식(13)과 같다.

$$\ddot{\theta}=\frac{\ddot{X}_1 \cdot \sin\theta_s-\ddot{Y}_1 \cdot \cos\theta_s+L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin(\theta-\theta_s)}{L \cdot \cos(\theta-\theta_s)} \quad (13a)$$

$$\ddot{X}_s=\ddot{X}_2=\ddot{X}_1-L \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin\theta-L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos\theta \quad (13b)$$

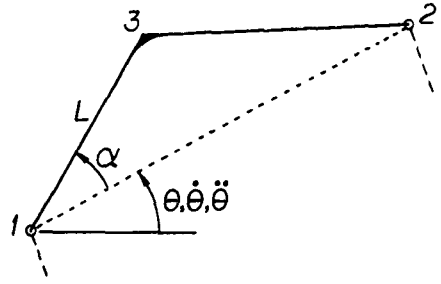


Fig. 7 Solid link component module

$$\dot{Y}_s=\dot{Y}_2=\dot{Y}_1+L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta-L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin\theta \quad (13c)$$

4.4 Solid link Module (Type 4)

Fig. 7은 단일 링크내의 임의의 점에 대한 위치, 속도 및 가속도의 정의가 목적이며, 단일 링크의 경우에도 점1과 점2의 기구학적 성질은 결정된 상태에서 점3의 성질을 기하학적 관계로부터 설정할 수 있다. 점1에서 점2를 연결하는 선의 선과 점3의 연결선의 각도 α 는 식(14)와 같다.

$$\alpha=\tan^{-1}\left(\frac{Y_3-Y_1}{X_3-X_1}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{Y_2-Y_1}{X_2-X_1}\right) \quad (14)$$

점3의 위치성분은 식(15), 속도성분은 식(16) 및 가속도 성분은 식(17)과 같이 각각 제시된다.

$$X_3=X_1+L \cdot \cos(\theta+\alpha) \quad (15a)$$

$$Y_3=Y_1+L \cdot \sin(\theta+\alpha) \quad (15b)$$

$$\dot{X}_3=\dot{X}_1-L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(\theta+\alpha) \quad (16a)$$

$$\dot{Y}_3=\dot{Y}_1+L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(\theta+\alpha) \quad (16b)$$

$$\ddot{X}_3=\ddot{X}_1-L \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin(\theta+\alpha)-L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\theta+\alpha) \quad (17a)$$

$$\ddot{Y}_3=\ddot{Y}_1+L \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos(\theta+\alpha)-L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin(\theta+\alpha) \quad (17b)$$

4.5 Slider-Dyad Module (Type 5)

Fig. 8의 모듈은 링크와 다이어드가 고정슬라이더로 연결된 출력요소모듈로서 점3과 점4 및 슬라이더의 기구학적 성질을 구하는 것이 목적이다. 링크 L_1 과 링크 L_2 의 경사각 α 는 운동 중에 변화될 수 없으며 각도 θ_2 는 링크 L_1 의 경사각과 기하학적 관계에서 식(18)과 같다.

$$\theta_2=\theta_1+\pi-\alpha \quad (18)$$

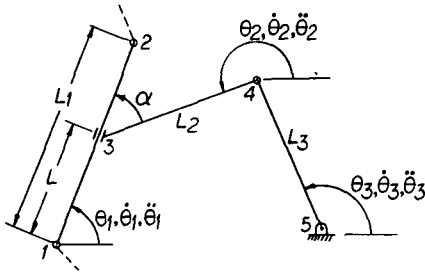


Fig. 8 Slider-dyad component module

다이어드의 각도 θ_3 를 구하기 위한 상수들은 식 (19)와 같으며 각도 θ_3 는 식(20)과 같다.

$$A = L_3 \cdot \sin \theta_1 \quad (19a)$$

$$B = -L_3 \cdot \cos \theta_1 \quad (19b)$$

$$C = (X_5 - X_1) \cdot \sin \theta_1 - (Y_5 - Y_1) \cdot \cos \theta_1 - L_2 \cdot \sin \alpha \quad (19c)$$

$$\theta_3 = 2 \tan^{-1} \left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{C - A} \right) \quad (20)$$

점4의 위치와 슬라이더인 점3의 위치 및 점1에서 부터 슬라이더의 위치 L 은 각각 식(21), 식(22) 및 식(23)과 같다.

$$\dot{L} = \frac{-\dot{X}_1 \cdot \cos \theta_3 - \dot{Y}_1 \cdot \sin \theta_3 + L \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \sin(\theta_1 - \theta_3) - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_3)}{\cos(\theta_1 - \theta_3)} \quad (28)$$

모듈내의 가속도는 다음과 같다.

$$\ddot{\theta}_2 = \ddot{\theta}_1 \quad (29a)$$

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{-\dot{X}_1 \cdot \sin \theta_1 + \dot{Y}_1 \cdot \cos \theta_1 + 2\dot{L}\dot{\theta}_1 + L\ddot{\theta}_1 + L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_1) - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) + L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1)}{L_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_1)} \quad (29b)$$

점4과 링크 L_1 위의 점3의 가속도 성분들은 다음 식과 같다.

$$\ddot{X}_4 = -L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 - L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \cos \theta_3 \quad (30a)$$

$$\ddot{Y}_4 = L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 - L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \sin \theta_3 \quad (30b)$$

$$\ddot{X}_3 = \ddot{X}_1 - L \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \sin \theta_1 - L \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot \cos \theta_1 \quad (31a)$$

$$\ddot{Y}_3 = \ddot{Y}_1 + L \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 - L \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot \sin \theta_1 \quad (31b)$$

슬라이더 자체의 가속도 성분은 식(32)와 같다.

$$\ddot{X}_s = \ddot{X}_4 - L_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 - L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 \quad (32a)$$

$$\ddot{Y}_s = \ddot{Y}_4 + L_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot \cos \theta_2 - L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 \quad (32b)$$

4.6 Slider revolute module (type 6)

Fig. 9의 모듈은 링크인 L_1 상에 회전 슬라이더로

$$X_4 = X_5 + L_3 \cdot \cos \theta_3 \quad (21a)$$

$$Y_4 = Y_5 + L_3 \cdot \sin \theta_3 \quad (21b)$$

$$X_5 = X_3 = X_4 + L_2 \cdot \cos \theta_2 \quad (22a)$$

$$Y_5 = Y_3 = Y_4 + L_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (22b)$$

$$L = (X_3 - X_1) \cdot \cos \theta_1 + (Y_3 - Y_1) \cdot \sin \theta_1 \quad (23)$$

모듈내의 각속도는 다음과 같다.

$$\dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_1 \quad (24a)$$

$$\dot{\theta}_3 =$$

$$\frac{-\dot{X}_1 \cdot \sin \theta_1 + \dot{Y}_1 \cdot \cos \theta_1 + L \cdot \dot{\theta}_1 + L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos \alpha}{L_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_1)}$$

점 4의 속도성분과 링크 L_1 위의 점 3의 속도성분들은 식(25)와 식(26)에서와 같다.

$$\dot{X}_4 = -L_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 \quad (25a)$$

$$\dot{Y}_4 = L_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 \quad (25b)$$

$$\dot{X}_3 = \dot{X}_1 - L \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \sin \theta_1 \quad (26a)$$

$$\dot{Y}_3 = \dot{Y}_1 + L \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 \quad (26b)$$

슬라이더 자체의 속도성분은 식(27)에서, 슬라이더의 축방향 운동속도는 식(28)과 같다.

$$\dot{X}_s = \dot{X}_4 - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (27a)$$

$$\dot{Y}_s = \dot{Y}_4 + L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos \theta_2 \quad (27b)$$

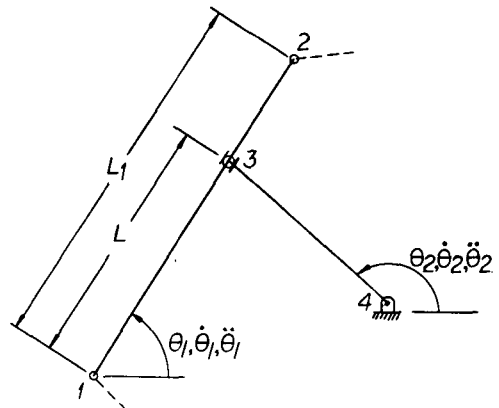


Fig. 9 Sliding revolute component module

출력 링크 L_2 가 연결되어 있는 모듈로서, 링크 L_1 위의 점3과 슬라이더인 점3의 기구학적 성질을 구하는 것이 목적이다. 출력링크 L_2 의 회전각 θ_2 를 구하기 위한 상수와 계산식은 다음과 같다.

$$A=L_2 \cdot \sin \theta_1 \quad (33a)$$

$$B=-L_2 \cdot \cos \theta_1 \quad (33b)$$

$$C=(X_4-X_1) \cdot \sin \theta_1-(Y_4-Y_1) \cdot \cos \theta_1 \quad (33c)$$

$$\theta_2=2 \tan^{-1}\left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2+B^2-C^2}}{C-A}\right) \quad (34)$$

슬라이더 위치성분과 점 1에서 슬라이더의 위치는 다음식과 같다.

$$X_s=X_3=X_4+L_2 \cdot \cos \theta_2 \quad (35a)$$

$$Y_s=Y_3=Y_4+L_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (35b)$$

$$\ddot{\theta}_2=\frac{-\ddot{X}_1 \cdot \sin \theta_1+\ddot{Y}_1 \cdot \cos \theta_1+2\dot{L} \cdot \dot{\theta}_1+L \cdot \ddot{\theta}_1+L_2 \cdot \ddot{\theta}_2^2 \cdot \sin (\theta_2-\theta_1)}{L_2 \cdot \cos (\theta_2-\theta_1)} \quad (41)$$

$$\ddot{X}_3=-L \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \sin \theta_1-L \cdot \dot{\theta}_1^2 \cos \theta_1 \quad (42a)$$

$$\ddot{Y}_3=L \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1-L \cdot \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_1 \quad (42b)$$

$$\ddot{X}_s=-L_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2-L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot \cos \theta_2 \quad (43a)$$

$$\ddot{Y}_s=L_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot \cos \theta_2-L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot \sin \theta_2 \quad (43b)$$

4.7 Slider-Follower Module (Type 7)

Fig. 10에 제시된 모듈은 링크가 굴곡된 출력링크와 고정슬라이더로 연결된 모듈로서, 점1의 위치 (X_1, Y_1) , 속도 (\dot{X}_1, \dot{Y}_1) 및 가속도 (\ddot{X}_1, \ddot{Y}_1) 로 부터 모듈내의 각 점에서의 기구학적 성질을 구하는 것이다. 고정형 슬라이더이므로 링크 L_2 와 링크 L_1

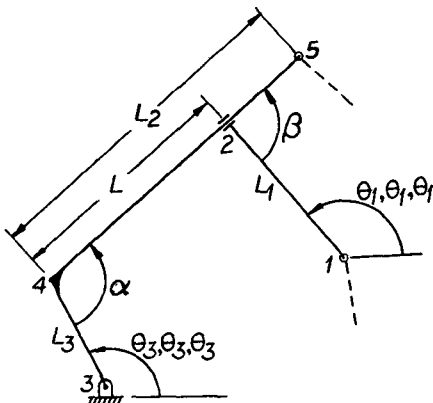


Fig. 10 Slider-follower component module

$$L=(X_3-X_1) \cdot \cos \theta_1+(Y_3-Y_1) \cdot \sin \theta_1 \quad (36)$$

출력링크의 회전 각속도, 입력 링크상의 점3의 속도성분, 슬라이더의 속도성분 및 길이방향의 운동속도는 다음과 같다.

$$\dot{\theta}_2=\frac{-\dot{X}_1 \cdot \sin \theta_1+\dot{Y}_1 \cdot \cos \theta_1+L \cdot \dot{\theta}_1}{L_2 \cdot \cos (\theta_2-\theta_1)} \quad (37)$$

$$\dot{X}_3=-L \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \sin \theta_1 \quad (38a)$$

$$\dot{Y}_3=L \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 \quad (38b)$$

$$\dot{X}_s=-L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (39a)$$

$$\dot{Y}_s=L \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos \theta_2 \quad (39b)$$

$$\ddot{L}=\frac{-\ddot{X}_1 \cdot \cos \theta_2-\ddot{Y}_1 \cdot \sin \theta_2-L \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \sin (\theta_2-\theta_1)}{\cos (\theta_2-\theta_1)} \quad (40)$$

끝으로 출력링크의 각속도, 점3과 슬라이더의 가속도 성분은 다음식들로 표현될 수 있다.

의 경사각 β 는 운동중에 고정된다. 기하학적 관계에서 각 α 와 β 는 다음식으로 정의될 수 있다.

$$\alpha=\tan^{-1}\left(\frac{Y_5-Y_4}{X_5-X_4}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{Y_3-Y_4}{X_3-X_4}\right) \quad (44)$$

$$\beta=\tan^{-1}\left(\frac{Y_5-Y_2}{X_5-X_2}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{Y_3-Y_2}{X_3-X_2}\right) \quad (45)$$

여기서 점3과 점4가 동일점일 경우에는 $\alpha=\pi$ 가 된다.

출력링크의 회전각 θ_3 를 구하기 위한 상수들과 관계식은 다음과 같다.

$$A=Y_1-Y_3 \quad (46a)$$

$$B=X_3-X_1 \quad (46b)$$

$$C=L_3 \cdot \sin (\alpha-\pi)-L_1 \cdot \sin (\theta-\pi) \quad (46c)$$

$$\theta_3=\pi-\alpha+2 \tan^{-1}\left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2+B^2-C^2}}{C-A}\right) \quad (47)$$

기하학적 관계에 의해 입력링크 L_1 의 회전각 θ_1 는 식 (48)과 같다.

$$\theta_1=\theta_3+\alpha-\beta \quad (48)$$

다음은 슬라이더의 위치, 점4와 점5의 위치성분 및 점4에서 슬라이더의 위치길이는 다음 식들로 표현된다.

$$X_s=X_2=X_1+L_1 \cdot \cos \theta_1 \quad (49a)$$

$$Y_3 = Y_2 = Y_1 + L_1 \cdot \sin \theta_1 \quad (49b)$$

$$X_4 = X_3 + L_3 \cdot \cos \theta_3 \quad (50a)$$

$$Y_4 = Y_3 + L_3 \cdot \sin \theta_3 \quad (50b)$$

$$X_5 = X_4 + L_2 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) \quad (51a)$$

$$Y_5 = Y_4 + L_2 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \quad (51b)$$

$$L = (X_2 - X_4) \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) + (Y_2 - Y_4) \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \quad (52)$$

링크들의 회전 각속도와 각 점들의 속도 성분들은 다음과 같다.

$$\dot{\theta}_3 = \dot{\theta}_1 = \frac{-\dot{X}_1 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) + \dot{Y}_1 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi)}{L - L_1 \cdot \cos(\beta - \pi) + L_3 \cdot \cos(\alpha - \pi)} \quad (53)$$

$$\dot{X}_4 = -L_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 \quad (54a)$$

$$\dot{Y}_4 = L_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 \quad (54b)$$

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_4 - L \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 \quad (55a)$$

$$\dot{Y}_2 = \dot{Y}_4 + L \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 \quad (55b)$$

$$\dot{X}_5 = \dot{X}_4 - L_2 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \quad (56a)$$

$$\dot{Y}_5 = \dot{Y}_4 + L_2 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) \quad (56b)$$

슬라이더 속도성분과 길이방향의 속도는 식 (57) 과 식 (58)에 의해 표현될 수 있다.

$$\dot{X}_s = \dot{X}_1 - L_1 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \sin \theta_1 \quad (57a)$$

$$\dot{Y}_s = \dot{Y}_1 + L_1 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 \quad (57b)$$

$$\begin{aligned} \dot{X} &= \frac{\dot{X}_1[-L_1 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \theta) + L_3 \cdot \cos \theta_3 + L \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi)]}{L - L_1 \cdot \cos(\beta - \pi) + L_3 \cdot \cos(\alpha - \pi)} \\ \dot{Y} &= \frac{\dot{Y}_1[-L_1 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \beta) + L_3 \cdot \sin \theta_3 + L \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi)]}{L - L_1 \cdot \cos(\beta - \pi) + L_3 \cdot \cos(\alpha - \pi)} \end{aligned} \quad (58)$$

링크들의 각가속도와 각점들의 가속도 성분 및 슬라이더의 가속도 성분들은 다음의 식에 의해 제시된다.

$$\ddot{\theta}_3 = \ddot{\theta}_1 = \frac{-\ddot{X}_1 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) + \ddot{Y}_1 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) + \dot{X}_1 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin(\beta - \pi) - \dot{Y}_1 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin(\alpha - \pi) - 2\dot{L}\dot{\theta}_3}{L - L_1 \cdot \cos(\beta - \pi) + L_3 \cdot \cos(\alpha - \pi)} \quad (59)$$

$$\ddot{X}_4 = -L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \sin \theta_3 - L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \cos \theta_3 \quad (60a)$$

$$\ddot{Y}_4 = L_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \cos \theta_3 - L_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \sin \theta_3 \quad (60b)$$

$$\begin{aligned} \ddot{X}_2 &= \ddot{X}_4 - L \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \\ &\quad - L \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) \end{aligned} \quad (61a)$$

$$\begin{aligned} \ddot{Y}_2 &= \ddot{Y}_4 + L \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) \\ &\quad - L \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \end{aligned} \quad (61b)$$

$$\begin{aligned} \ddot{X}_5 &= \ddot{X}_4 - L_2 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \\ &\quad - L_2 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) \end{aligned} \quad (62a)$$

$$\begin{aligned} \ddot{Y}_5 &= \ddot{Y}_4 + L_2 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot \cos(\theta_3 + \alpha - \pi) \\ &\quad - L_2 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot \sin(\theta_3 + \alpha - \pi) \end{aligned} \quad (62b)$$

$$\begin{aligned} \ddot{X}_s &= \ddot{X}_1 - L_1 \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \sin \theta_1 - L_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot \cos \theta_1 \\ &\quad (63a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ddot{Y}_s &= \ddot{Y}_1 + L_1 \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 - L_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot \sin \theta_1 \\ &\quad (63b) \end{aligned}$$

4.8 Sliding revolute-Follower Module (Type 8)

Fig. 11의 모듈은 입력점이 회전용 슬라이더로서 굴곡된 출력링크의 운동을 제어하고 있다. 입력점

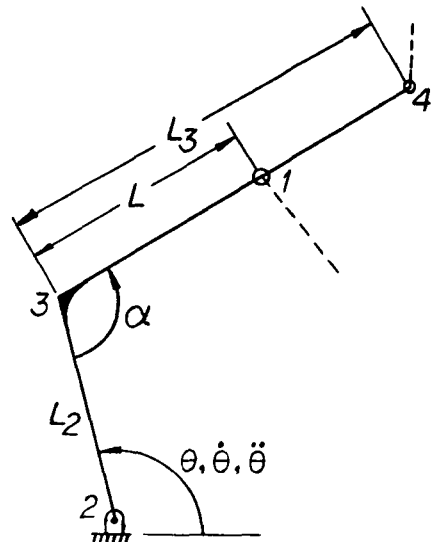


Fig. 11 Sliding revolute-follower component module

의 위치 (X_1, Y_1) , 속도 (\dot{X}_1, \dot{Y}_1) 및 가속도 (\ddot{X}_1, \ddot{Y}_1) 에 의해 모듈 내의 모든 점을 규정하고자 한다. 굴곡된 출력링크의 굴곡부의 각도 α 는 기하학적 관계에서 식(64)와 같다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{Y_4 - Y_3}{X_4 - X_3}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{Y_2 - Y_3}{X_2 - X_3}\right) \quad (64)$$

여기서 점 2와 점 3이 일치할 때 $\alpha = \pi$ 가 된다. 입력점의 위치에 대한 출력링크의 회전각을 구하기 위한 상수들과 각도 θ 는 다음과 같다.

$$A = Y_2 - Y_1 \quad (65a)$$

$$B = X_1 - X_2 \quad (65b)$$

$$C = L_2 \cdot \sin(\alpha - \pi) \quad (65c)$$

$$\theta = \pi - \alpha +$$

$$2 \tan^{-1}\left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{C - A}\right) \quad (66)$$

점3과 점4의 위치성분들과 점3에서 슬라이더의 위치길이는 식(67), 식(68) 및 식(69)에 각각 제시된다.

$$X_3 = X_2 + L_2 \cdot \cos \theta \quad (67a)$$

$$Y_3 = Y_2 + L_2 \cdot \sin \theta \quad (67b)$$

$$X_4 = X_3 + L_3 \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \quad (68a)$$

$$Y_4 = Y_3 + L_3 \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) \quad (68b)$$

$$L = (X_2 - X_4) \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) + (Y_2 - Y_4) \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) \quad (69)$$

출력링크의 회전 각속도, 각점들의 속도성분 및 슬라이더의 길이방향 속도는 다음 식들로 표현될 수 있다.

$$\dot{\theta} =$$

$$\frac{-\dot{X}_1 \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) + \dot{Y}_1 \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi)}{L + L_2 \cdot \cos(\alpha - \pi)} \quad (70)$$

$$\dot{X}_3 = -L_2 \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta \quad (71a)$$

$$\dot{Y}_3 = L_2 \cdot \dot{\theta} \cdot \cos \theta \quad (71b)$$

$$\dot{X}_4 = \dot{X}_3 - L_3 \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) \quad (72a)$$

$$\dot{Y}_4 = \dot{Y}_3 + L_3 \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \quad (72b)$$

$$\dot{X}_1 = \dot{X}_3 - L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) \quad (73a)$$

$$\dot{Y}_1 = \dot{Y}_3 + L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \quad (73b)$$

$$\ddot{L} = -L_2 \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin(\alpha - \pi) + \dot{X}_1 \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) + \dot{Y}_1 \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \quad (74)$$

출력 링크의 회전 각가속도는 식(75)와 같으며 각 점들의 가속도 성분들은 다음의 식들과 같이 정의된다.

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{\left[-\dot{X}_1 \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) + \dot{Y}_1 \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \right] - L_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot \sin(\alpha - \pi) - 2L\dot{\theta}}{L + L_2 \cdot \cos(\alpha - \pi)} \quad (75)$$

$$\ddot{X}_3 = -L_2 \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin \theta - L_2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos \theta \quad (76a)$$

$$\ddot{Y}_3 = L_2 \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos \theta - L_2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \theta \quad (76b)$$

$$\ddot{X}_4 = \ddot{X}_3 - L_3 \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) - L_3 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \quad (77a)$$

$$\ddot{Y}_4 = \ddot{Y}_3 + L_3 \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) - L_3 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) \quad (77b)$$

$$\ddot{X}_1 = \ddot{X}_3 - L \cdot \ddot{\theta} \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) - L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) \quad (78a)$$

$$\ddot{Y}_1 = \ddot{Y}_3 + L \cdot \ddot{\theta} \cdot \cos(\theta + \alpha - \pi) - L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin(\theta + \alpha - \pi) \quad (78b)$$

5. 컴퓨터 원용 프로그램의 응용예

Fig. 1에 주어진 다관절 평면기구의 해석을 본 논문에서 제시한 컴포넌트 모듈해석법을 이용하여 개발된 컴퓨터 원용 프로그램에 적용하였다. Fig. 2에 분류된 5개의 컴포넌트들을 해당되는 모듈에 일치시키는 작업만 수행하면 신속하고 정확한 해석이 완료된다. 전체기구는 10개의 점들로 구성되고 이들의 기하학적 위치를 컴퓨터에 입력시키고 각점과의 연결상태를 정의한다. 각 점에서의 링크간의 연결부 상태를 정의하는 것이 다음 단계로서, 지면과 연결되는 점들인 점1, 점6, 점8 및 점10을 지정하여 준다. 회전 연결부로서 점2, 점3, 점4, 점7 및 점9를 지정하고 점5는 고정슬라이더로 지칭하면 각 점들의 연결상태는 모두 정의 되었다.

다음은 Fig. 2에 지정된 각각의 컴포넌트를 해당하는 모듈과 연결시키는 작업이 수행된다. Fig. 12는 입력링크로서 Fig. 2a에 주어진 요소들을 모듈1과 연결하면서, 일치하는 점들에 번호를 지정한다. Fig. 13은 다이어드 요소에 해당하는 모듈2에 Fig. 2b의 요소를 연결하는 상태를 보여주고 있으며, Fig. 14는 단일링크요소인 모듈4에 Fig. 2c의 요소를 연결하면서 해당 점들을 정의하고 있다. Fig. 15는 모듈2를 호출하여 다이어드 요소인 점3-점9-점10의 번호를 모듈내의 해당번호 1번-2번-3번과 일치시키고 있으며, Fig. 16은 모듈5를 Fig. 2e의 요소와 연결시키고 있다.

일반적으로 기구장치의 동적해석을 위해 요구되

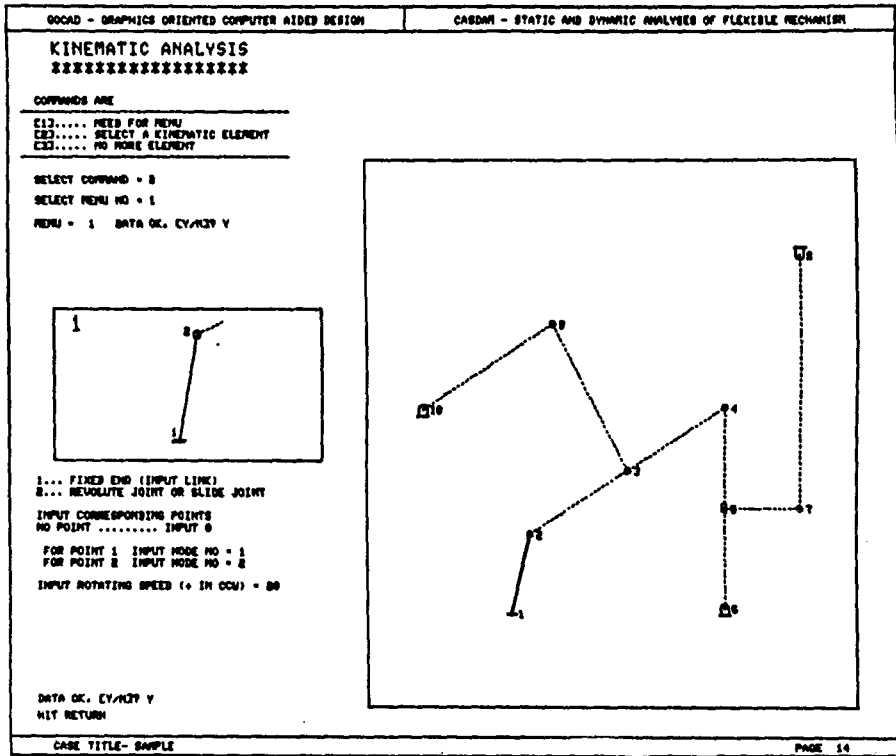


Fig. 12 Screen output of Input component to module 1

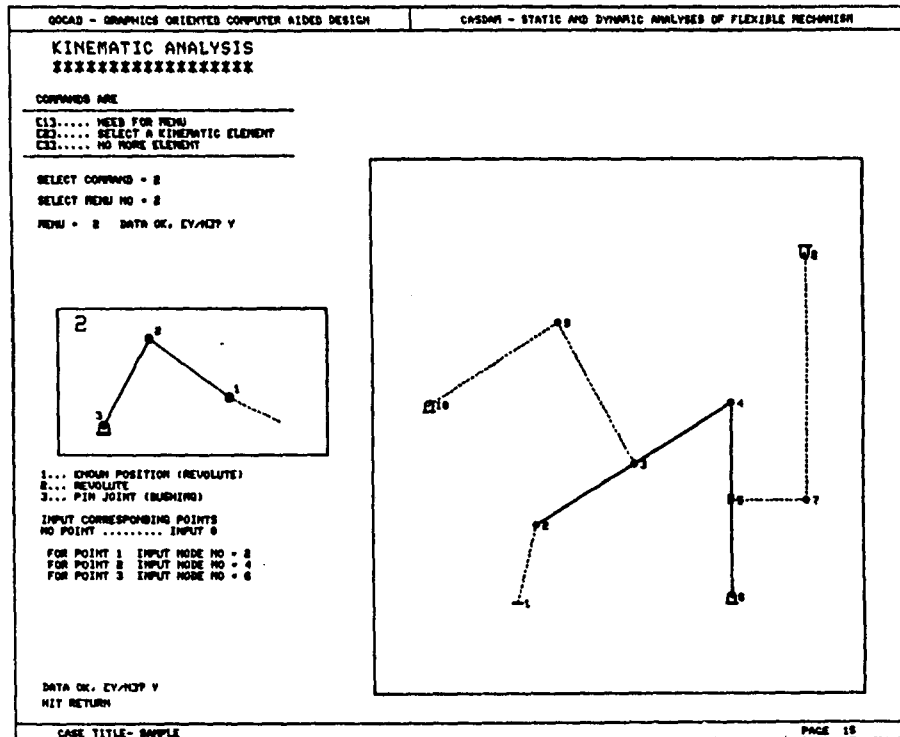


Fig. 13 Screen output of dyad component to module 2

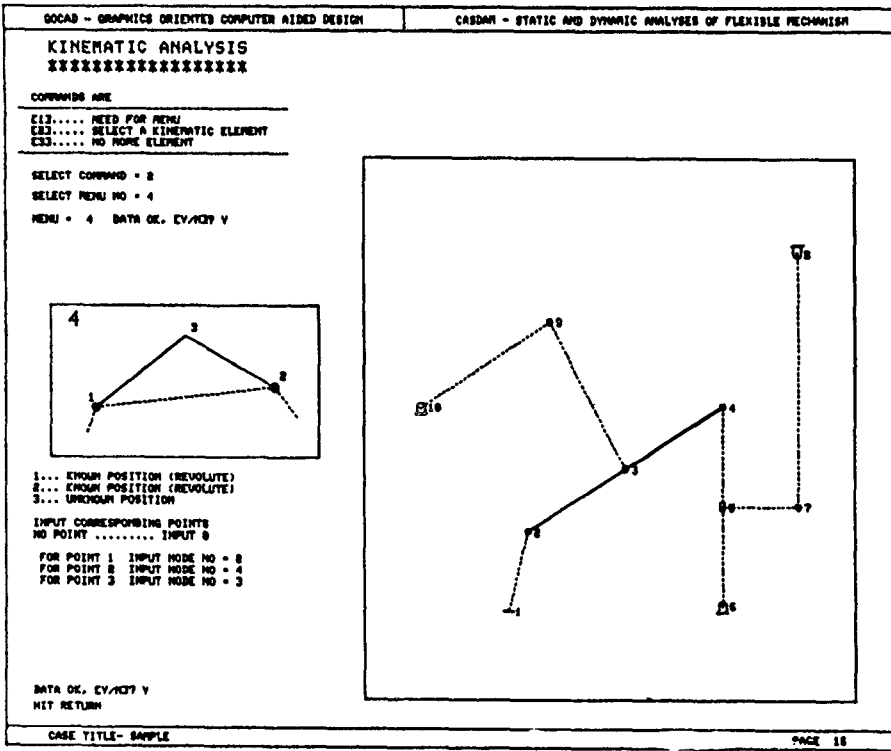


Fig. 14 Screen output of solid link to module 4

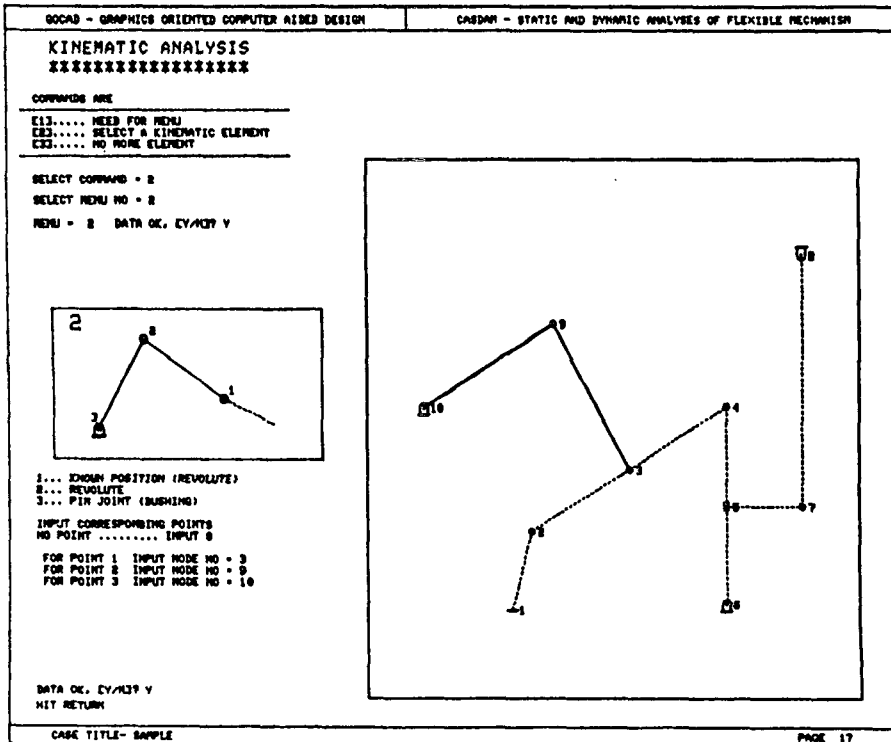


Fig. 15 Screen output of dyad component to module 2

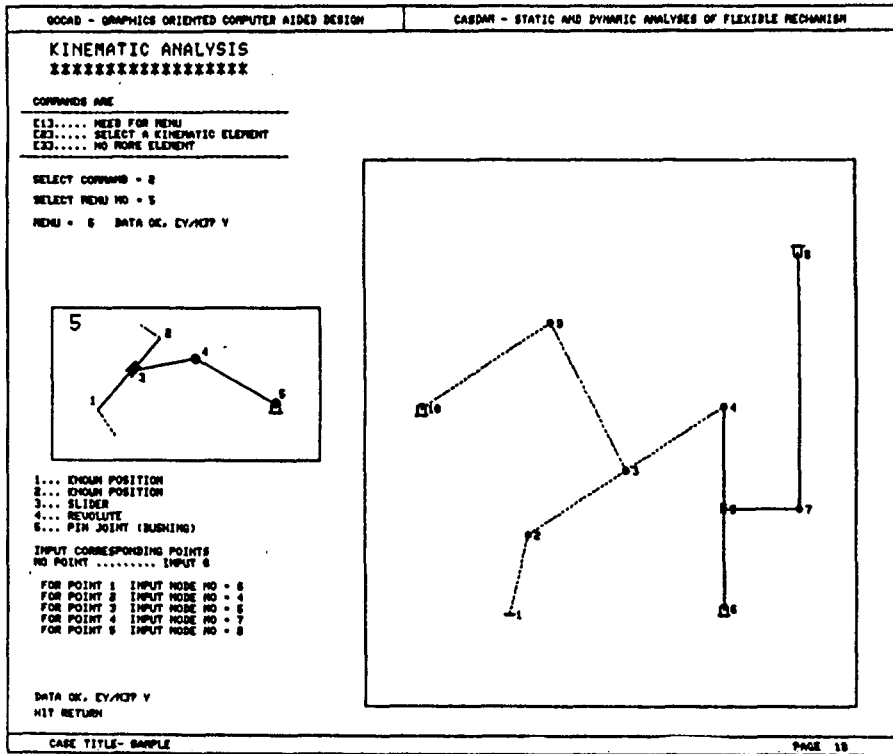


Fig. 16 Screen output of solid link to module 5

Table 1 Postions and accelerations of nodes

Total Nodes =10
 Rotating Speed =20 rad/sec
 Input-link Angle=75 degree
 Units =mm, mm/sec²

Node No.	Positions		Accelerations		Slider Acc.	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.000	0.000	0.00	0.0		
2	32.868	122.682	-13139.42	-49072.80		
3	197.841	217.932	-25130.76	-29819.60		
4	362.712	313.182	-35077.40	-14112.24		
5	362.712	160.782	-17538.70	-7056.12	-7048.50	-11793.22
6	362.712	8.372	0.00	0.00		
7	489.712	541.782	-11658.60	2821.94		
8	489.712	541.782	0.00	0.00		
9	70.841	437.896	9398.00	-19679.92		
10	-149.123	310.896	0.00	0.00		

Table 2 Angular Accelerations of Links

Link between Node and Node		Angular Acceleration (rad/sec ²)
1	2	0.00
2	3	97.55
3	4	97.55
4	5	115.10
5	6	115.10
6	7	115.10
7	8	-30.60
8	9	-137.70
9	10	-85.10

는 자료로는 기하학적 형상을 정의하기 위한 위치와 관성력을 구하기 위한 가속도성분이므로, Table 1은 각 점에서의 위치와 가속도성분들을 보여주고 있으며, Table 2는 각 링크의 각가속도를 제시하고 있다. 이들 결과들은 입력링크가 75도 경사의 경우에 20 rad/sec 회전속도 상태에 해당된다. 입력축의 회전에 따라 각 점의 위치와 가속도 및 링크의 각가속도의 값들은 변화하는데, Fig. 17은 입력링크가 완전히 회전할때의 각 점들의 위치를

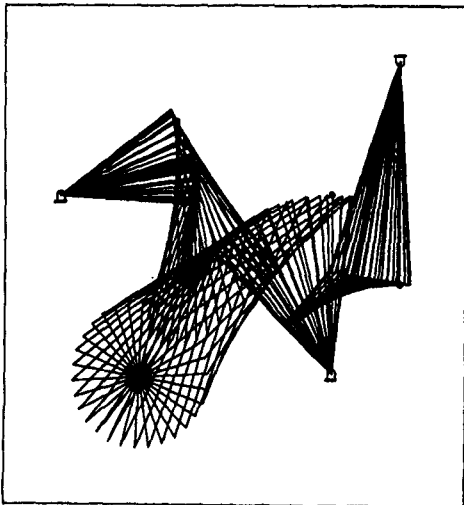


Fig. 17 Screen output of kinematic motion with whole rotation

연속적으로 기록한 것으로 결과의 정확성을 파악하는데 널리 이용될 수 있다.

5. 결 론

최근의 컴퓨터 응용기술의 확대로 컴퓨터 원용기구 해석용 프로그램들이 기계산업분야에 널리 이용되고 있다. 보편적 알고리즘들은 기구학적 제한조건들을 각 링크에 적용하고, 이들 비선형 제한식들을 전체 시스템으로 구성하여 매트릭스법 또는 벡터법을 이용함으로써, 계산속도가 매우 느리며 임의의 위치에서 단순분석이 어렵다. 그러나, 본 논문에서 제시된 해석법은 이러한 단점을 보완한 방법으로서 각 링크에 대한 해석은 폐쇄형 기구해석법을 이용하여 입력점의 데이터로서 모듈내의 모든 기구학적 성질을 구할 수 있다.

또한 복잡한 다관절 기구장치들이 몇개의 컴포넌트로 분할할 수 있다는 개념을 응용하여 보편적 모듈을 설정하였으므로, 비접촉기구에 대하여 쉽게 응용될 수 있다는 장점이 있다. 컴퓨터 그래픽스기법을 이용하여 개발된 프로그램은 각 컴포넌트들을 상관되는 모듈을 선정하고 해당되는 번호와 일치시키는 방법을 사용하였으므로 사용이 매우 편리하고, 결과의 분석이 용이하다.

참고문헌

- (1) Sheth, P. N. and Uicker, J. J. Jr., 1972, "IMP(Integral Mechanisms Program), A Computer-Aided Design. Analysis System for Mechanisms and Linkage," J. of Engineering for Industry, pp. 454~464.
- (2) Smith, D. A., Chace, M. A. and Rubens, A. C., 1973, "The Automatic Generation of a Mathematical Model for Machinery Systems," J. of Engineering for industry. pp. 629~535.
- (3) Gupta, V. K., 1974, "Dynamic Analysis of Multi-Rigid-Body Systems," Trans. ASME, Paper No. 73-WA/DE-12, J. of Engineering For Industry, Aug.
- (4) Bacci, C., 1975, "Dynamic Motion Analysis of Plane Mechanisms with Columb and Viscous Damping via the Joint Force Analysis," Trans. ASME, Paper No. 74-DET-37, J. of Engineering

for Industry.

- (5) Orlandea, N., Chace, M. A. and Calahan, D. A., 1977, "A Sparsity-Oriented Approach to the Dynamic Analysis and Design of Mechanical Systems: Part I," Trans. ASME, Paper No. 76-DET-19, J. of Engineering for Industry.
- (6) Orlandea, N., Chace, M. A. and Calahan, D. A., 1977, "a Sparsity-Oriented Approach to the Dynamic Analysis and Design of Mechanical Systems: Part II," Trans. ASME, Paper No. 76-DET-20, J. of Engineering for Industry.
- (7) Rubel, A. J. and Kaufman, R. E., 1977, "KIN-SYN III: A New Human-Engineered System for Interactive Computer-Aided Design of Planar Linkages," J. of Engineering for Industry, Trans. ASME, 76-DET-48, pp. 440~448.
- (8) Williams, R. J. and Rupperecht, S., 1981, "Dynamic Force Analysis of Planar Mechanisms," J. of Mechanism and Machine Theory, Vol. 16, pp. 425~440.
- (9) Ardayfio, D. D., 1981, "Design of The 7th Applied Mechanisms Conference, at OSU, Kansas City, Mo., pp. XXI. 1~5.
- (10) Carson, W. L. and Oladiran, O. B., 1981, "An Interactive Computer Program for force System Structural and Dimensional Synthesis," proceedings of The 7th Applied Mechanisms Conference, at OSU, Kansas City, Mo., pp. XXII. 1~15.
- (11) Kinzel, G. L. and Chang, C., 1981, "The analysis of Planar Linkages Using a Modular Approach," Proceedings of the 7th Applied Mechanisms Conference, at OSU, Kansas City, Mo., pp. XLVII. 1~7.
- (12) Waldron, K. J., 1977, "Graphical Solution of the Branch and Order Problems of Linkage Synthesis for Multiply Separated Positions," J. of Engineering for Industry, Trans. ASME, 76-DET-16, pp. 591~597.
- (13) Waldron, K. J. and Song, S. M., 1981, "theoretical and Numerical Improvements to and Interactive Linkage Design Program-Recsyn," proceedings of The 7th Applied Mechanisms Conference, at OSU, Kansas City, Mo., pp. VIII. 1~8.
- (14) Bagci, C. and Abounassif, J. A. -N., "Compter Aided Dynamic Force, Stress and Gross-Motion Response Analysis of Planar Mechanism Using Finite Line Element Technique," ASME Paper No. 82-DET-72.
- (15) Carson, W. L. and Lee, C. -S. I., "A Force System Synthesis Algorithm for Use as a Companion to Mechanism Dynamic Analysis Program," Trans. ASME, Paper No. 82-DET-72.
- (16) Carson, W. L. and Lee, C. -S. I., "A Interactive Force System Synthesis Program for Use with A Host Mechanism Dynamic Analysis Program," Trans. ASME, Paper No. 82-DET-74.
- (17) Benedetto, A. D. and Pennestri, E., "Analysis of Angular Velocities and Accelerations in Plane Linkages by Means of Numerical Procedure," Trans. ASME, Paper No. 82-DET-82.
- (18) Fallahi, B. and Ragsdell, K. M., 1983, "A Compact Approach to Planar Kinematic Analysis," Trans. ASME, J. of Mechanisms, Transmissions, and Automation Design, Vol. 105, pp. 434~440.
- (19) Carson, w. L., Muenks, J. and Pourmand, B., 1983, "Example of Force System Structural and Dimensional Synthesis by Use of Interactive Computer Graphics," Proceedings of The 8th Applied Mechanisms Conference, at OSU, Saint Louis, Mo.
- (20) Sharma, R. P., 1983, "Mechanism Analysis on Microcomputers," proceedings of The 8th Applied Mechanisms Conference, at OSU, Saint Louis, Mo.
- (21) Ardayfio, D. D., Mittler, J. P. and Park, A. S., 1984, "Interactive Microcomputer Package for the Dynamic Analysis of Machines," Trans. ASME, Paper No. 84-DET-9.
- (22) Sparis, P. D. and Mouroutsos, S. G., 1984, "A new Matrix Method for the Kinematic Anlysis and Motion Simulation of Planar Mechanisms with Lower Pairs," Trans. ASME, Paper No. 84-DET-193.
- (23) Haug, E. J., Wehage, E. and Barman, N. C., 1981, "Design Sensitivity Analysis of Planar Mechanism and Machine Dynamics," Trans.

ASME, Paper No. 84-DET-6, J. of Mechanical Design, Vol. 103, pp. 560~570.

(24) Shin, J. H., 1986, "An Iterative Transfer Matrix Approach to The Kineto-Elasto static and Dynamic Analyses of General planar Flexible Mechanisms," ph. D Dissertation, The Ohio State University.

부 록

●삼각함수의 이중각을 이용한 위치해석 알고리즘

Fig. 5의 Dyad 컴포넌트에서 위치해석을 위해 θ_3 를 구하는 방법이 여러방법이 제시되고 있다. 성분별 요소로 분리하면

$$X\text{성분} : X_1 = X_3 + L_3 \cdot \cos \theta_3 + L_2 \cdot \cos \theta_2$$

$$Y\text{성분} : Y_1 = Y_3 + L_3 \cdot \sin \theta_3 + L_2 \cdot \sin \theta_2$$

각 성분속에는 구해야 하는 θ_3 와 θ_2 가 sine과 cosine함수로 결합되어 있으므로 일반적으로 제시되고 있는 해석법에는 앞 식들을 조정하고 반복적 수렴방법으로 값을 찾는다.⁽¹¹⁾ 그러나, 본 연구에서는 삼각함수들의 이중각 성질을 이용하는 방법을 제시하였다. 즉 θ_3 를 구하기 위해 우변의 항들을 좌변으로 옮겨 우변에는 θ_2 를 포함한 함수만 두고

제공하면 다음과 같다.

$$(X_3 - X_1)^2 + L_3^2 \cdot \cos^2 \theta_3 = L_2^2 \cdot \cos^2 \theta_2$$

$$(Y_3 - Y_1)^2 + L_3^2 \cdot \sin^2 \theta_3 = L_2^2 \cdot \sin^2 \theta_2$$

위식을 합하고 정리하면

$$A \cos \theta_3 + B \sin \theta_3 + C = 0$$

여기서

$$A = 2 \cdot L_3 \cdot (X_3 - X_1)$$

$$B = 2 \cdot L_3 \cdot (Y_3 - Y_1)$$

$$C = (X_3 - X_1)^2 + (Y_3 - Y_1)^2 + L_3^2 - L_2^2$$

삼각함수의 이중각의 성질을 이용하기 위해 $\tan(\theta/2) = t$ 라고 정하고 $\sin \theta$ 와 $\cos \theta$ 를 정의하면 다음과 같다.

$$\sin \theta = \frac{2t}{1+t^2} \quad \cos \theta = \frac{1-t^2}{1+t^2}$$

sine과 cosine값을 앞 식에 대입하고 정리하면 다음의 2차함수로 정리된다.

$$(C-A)t^2 + 2Bt + (C+A) = 0$$

결국 θ_3 는 2차함수의 근에 해당하므로 다음과 같이 정의되고 ±부호의 선택은 초기조건에서 결정될 수 있으며, 다음의 표기로 본문의 식(4)와 동일하다.

$$\theta_3 = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{-B \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{C - A} \right)$$