

전달각을 이용한 오프셋 슬라이더-로커 링크장치의 합성

권 성 규*
(1999년 5월 14일 접수)

Offset Slider-Rocker Linkage Synthesis Using Transmission Angles as Synthesis Parameters

Sunggyu Kwon

Key Words: Offset Slider-Rocker(오프셋 슬라이더-로커), Transmission Angle(전달각), Linkage Synthesis(링크장치 합성)

Abstract

An analytical synthesis technique for offset slider-rocker 4-bar linkages is devised where transmission angles are used as essential synthesis parameters. Finding the location where both the maximum and the minimum transmission angles arise leads to establishing the algorithm for limiting transmission angles of the slider-rocker linkage which has different offsets according to the direction of the slider. Position analysis by the algorithm gives formula for the dimensional synthesis for the linkage. Application to examples shows that the algorithm and the formula yield proper slider-rocker linkages with regard to limiting transmission angles to the maximum value.

1. 서 론

슬라이더-크랭크 링크장치는 보통의 4 절 링크 장치의 출력 링크가 고정된 피벗점을 중심으로 회전 운동하는 대신, 출력 링크와 회전 조인트가 슬라이더와 미끄럼 조인트로 형태가 바뀐 4 절 링크장치이다. 크랭크의 회전 중심이 슬라이더의 운동축 상에 있으면 일직선(in-line) 슬라이더-크랭크, 크랭크의 회전 중심이 슬라이더의 운동축을 벗어나 있으면 오프셋(offset) 슬라이더-크랭크 기구라 부른다.⁽¹⁾ 장치가 설치되는 고정 링크에 회전 관절로 대우를 이루는 링크가 360°를 완전하게 회전하면 그 링크는 크랭크(crank)이지만, 그

링크가 완전 회전을 못하는 경우에는 로커(rocker)이므로, 슬라이더-로커라 부른다.

슬라이더-크랭크 링크장치는 내연기관, 증기기관, 압축기, 기계 프레스, 펀치, 그 외의 많은 다른 기계의 기초가 되는, 공학에서 가장 중요한 링크장치이다.⁽¹⁾ 내연기관 엔진에서는 실린더 내의 혼합기의 폭발에 의해 슬라이더에 가해지는 압력이 연결봉(connecting rod)을 거쳐 크랭크를 돌리는 모멘트로 전환되어 동력을 생성하는 역구동(back driven) 기구로 이용된다.⁽²⁾ 압축기, 기계 프레스 펀치, 펌프 등에서 사용되는 이 장치는 크랭크를 모터로 구동하고 슬라이더의 운동을 출력으로 이용하는 정구동(forward driven) 기구이다. 공작물 시편의 두께를 측정하는 기구나 볼트미터와 같은 정밀계측기에서도 측정량이 크랭크의 운동으로 전환되고 이 운동이 슬라이더로 전달되어 계측기의 지시계의 변위로 나타난다.⁽³⁾

슬라이더-크랭크 링크장치의 합성에 대해서는 여러 문헌에서 다양하게 그 방법들을 제시하고

* 회원, 계명대학교 기계공학과
E-mail : cmack@kmucc.keimyung.ac.kr
TEL : (053)580-5231 FAX : (053)580-5165

있다. Overlay method를 써서 정밀점(precision point)들에 대해서 합성하는 방법,⁽⁴⁾ 직선 왕복 행정만큼 슬라이더 운동 축을 따라 떨어진 두 지점에 대한 두 위치 합성, 세 정밀점과 그 점을 포함하는 어떤 선의 각 변위를 명시하고, 그 세 위치를 지나는 운동을 생성하도록 합성하는 방법 등이 있다.⁽⁵⁻⁹⁾ 어떠한 방법으로 합성하든지 슬라이더 크랭크 합성 결과는 무엇보다도 전달각의 관점에서 합성의 품질을 평가하여야 한다. 연결봉의 복합 운동이 회전 조인트에 의해 전달되어 직선 축을 따라 정해진 행정을 왕복운동하는 슬라이더는 전달각이 일정 크기를 넘어서면 작동에 문제를 일으킬 수 있다. 그러므로, 위치 합성에 바탕을 둔 방법에서는 합성에 이용하는 매개변수들의 일부를 수정하여 시행착오를 겪으면서 원하는 운동을 생성하는 장치를 합성할 수밖에 없다. 참고문헌 (3)에서는 오프셋 슬라이더-크랭크의 전달각을 최적으로 하는 합성 방법을 자세히 설명하였다.

이 논문에서는 연결봉과 슬라이더 사이의 최대와 최소 전달각을 매개변수로 이용하여 슬라이더의 운동 방향에 따라서 오프셋이 다른 오프셋 슬라이더-로커 4절 링크장치의 치수를 합성하는 기법을 기술하고, 그를 구현하는 공식을 전개하며, 기법과 공식을 예제에 적용하여 그 효용과 정당성을 평가하였다.

2. 슬라이더-로커와 평면 2 차원 운동

슬라이더의 운동 방향에 따라 오프셋이 운동 축에 직교하는 방향으로 달라지는 평면 2 차원 운동을 생성하기 위한 장치의 기구학적 형태(type)는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 첫 번째 링크는 그라운드이다. 링크 2는 그라운드와 회전 조인트 ①로 대우를 이루고 그림에 포함되지 않은 어떤 외부 장치에 의해 요동 운동하는 로커(rocker)이다. 링크 3은 링크 2와 링크 4를 회전 조인트 ②와 ③으로 각각 연결하는 연결봉이다. 링크 4는 합성하려는 장치의 출력 링크로서, X 방향 운동이 4절 장치의 출력 운동이며, Y 방향 운동은 링크 5의 운동에 전적으로 의존한다. 그런데, 링크 5는 링크 2에 입력 운동을 주는 외부 장치에 속하는 링크이다. 링크 4와 링크 5는 X 방향과 평행한 슬라이더 조인트로 대우를 이루고

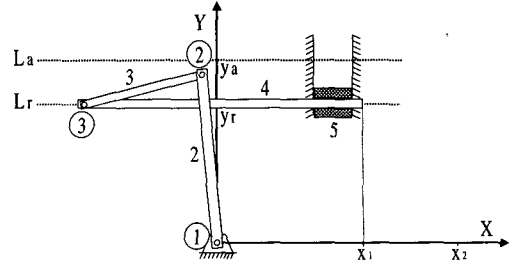


Fig. 1 An offset slider-rocker 4-bar linkage and its initial configuration

있으며, 링크 5는 그라운드와 Y 방향으로 평행한 슬라이더 조인트로 대우를 이룬다. 요약하면, 그라운드-링크 2-링크 3-링크 4로 구성되는 기구는 슬라이더-로커 4절 링크장치로 볼 수 있고, 링크 2가 입력 링크이며, 링크 5가 링크 4의 운동을 적절히 보조하고 있다.

Fig. 1은 이 장치가 운동을 시작하려는 형상의 개략도이다. 이 링크장치의 출력 링크인 링크 4의 X 좌표는 위치 x_1 에 있고, Y 좌표는 선 L_r 의 위치 y_r 에 일치한다. 링크 2의 운동이 일시 정지하는 동안, 링크 5가 양의 Y 방향으로 정해진 거리만큼 정확하게 직선 병진함으로써, 링크 4는 Y 좌표 y_r 로부터, 자신을 포함하는 장치의 입력 링크의 운동에 의하지 않고, 선 L_a 의 Y 좌표, y_a 로 상승한다.

링크 4가 상승하고 나면 링크 5는 일시 정지하고, 링크 2가 시계방향으로 회전하는 동안, 링크 4는 Y 방향으로 움직임이 없이(링크 축이 선 L_a 과 일치) 선 L_a 를 따라 양의 X 방향으로 전진한다. 이 운동으로 링크 4가 선 L_a 를 따라서 얼마만큼의 거리를 이동하는지와, 운동이 완료된 시점에서 링크 4의 X 좌표에 대해서는 직접적인 제한 조건은 없다.

링크 4가 전진을 완료하면, 링크 5가 음의 Y 방향으로 병진하고, 그 동안 링크 2의 운동은 두 번째로 일시 정지하고 있어서, 링크 4는 상승한 거리만큼 하강한다. 이로 인해, 링크 4의 Y 좌표는 L_r 의 Y 좌표, y_r 이 되고, X 좌표는 x_2 가 되어야 한다.

링크 4가 하강을 완료하면, 링크 2가 이번에는 반시계방향으로 회전하는 동안 링크 5는 두 번째

로 일시 정지하고 있어서, 링크 4는 선 L_r 을 따라 음의 X 방향으로 운동하고, 장치는 다시 Fig. 1의 위치로 귀환한다.

이 네 단계의 운동이 이 장치의 운동의 한 사이클이다. 이 사이클 동안, 전진할 때의 슬라이더의 오프셋과 귀환할 때의 슬라이더의 오프셋이 일정 거리만큼 차이가 난다. 이런 운동은, 예를 들면, 링크 4가 공작물을 어떤 위치에서 집어서 정해진 높이 만큼 들어 올려서 일정 거리만큼 이동하였다가 다시 정해진 위치에 정확하게 내려놓아야 하는 트랜스퍼 프레스의 공작물의 2 차원 이송 장치에서 볼 수 있다.⁽¹⁰⁾

이 논문에서 합성하려는 기구의 운동을 요약하면 다음과 같다. Fig. 1에서 4절 슬라이더-로커 링크장치의 출력 링크인 슬라이더가 정해진 거리만큼 Y 방향으로 병진하여 상승하고, 양의 X 방향으로 직선 병진하여 전진한 뒤, 상승한 만큼의 거리를 하강하고, 마지막으로 정해진 거리만큼 귀환하여, 장치는 운동 시작 당시의 위치로 정확하게 되돌아와야 한다.

3. 운동의 분석

이 장치를 합성하는데 이용할 수 있는 문제에서 주어진 조건들은 다음과 같다. Fig. 1에서 링크 4는 외부 장치의 일부인 링크 5의 운동에 의해 행정 l_{ud} 의 상승-하강 운동을 하고, 링크 2가 반시계방향으로 요동할 때 행정 l_{st} 의 직선 병진 귀환 운동을 한다. 즉, $y_a - y_r = l_{ud}$, $x_2 - x_1 = l_{st}$. 링크 2의 요동 각 변위는 ($\angle C_1OC_3 =$) h 이지만 링크의 위치에 대해서는 아는 바가 없다.

이 장치의 운동 사이클을 도식적으로 설명하기 위해 Fig. 1과는 형상이 약간 다른 Fig. 2를 그린다. 이 그림에서 $\overrightarrow{OC_3}$ 와 $\overrightarrow{C_3R_3}$ 는 Fig. 1의 링크 2와 3을 나타낸다. Fig. 1의 링크 4는 Fig. 2에서는 나타나 있지 않지만, 장치의 운동을 설명하는 관점에서, 조인트 ③을 나타내는 R_3 을 시작점으로 선 L_r 를 따라 링크 4의 길이만큼 양의 X 방향으로 뻗어 있는 어떤 선으로 생각하면 될 것이다. 그리고 링크 4가 병진 운동을 하고 조인트 ③은 링크 4의 한 절점(node)이므로, 장치를 합성하는데 있어서 링크 4의 운동을 조인트 ③의 운

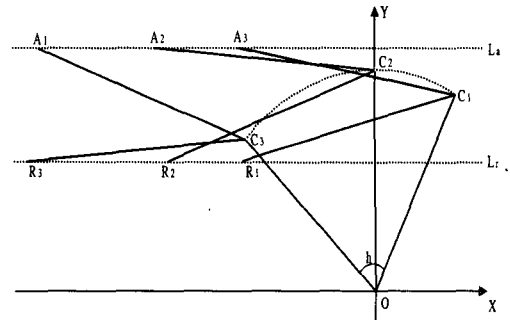


Fig. 2 Locations of the links during a cycle of the linkage

동으로 나타내어도 아무 문제가 되지 않는다.

Fig. 1의 형상에서 링크 5의 작동에 의하여 링크 4가 상승을 완료하면, Fig. 2에서 장치는 $\overrightarrow{OC_3}: \overrightarrow{C_3A_1}$ 의 형상이 된다. 상승 전후의 조인트 ③의 위치를 나타내는 두 점 R_3 과 A_1 은 일반적으로 Y 축과 평행한 직선 상에 있지 않다. 이것은 조인트 ③의 운동 경로가 조인트 ②를 회전 중심으로 하는 원호여서, 링크 4와 링크 5 사이에 상대 운동이 있기 때문이다. 그렇지만, 상승한 뒤의 링크 4의 X 좌표에 대해서는 구속 조건이 없고, 링크 4와 링크 5 사이의 상대 운동은 합성에서 고려하지 않아도 된다. 단지 정해진 l_{ud} 만큼 상승하면 되는데, 이것은 외부 링크의 운동에 의해 온전히 달성된다.

$\overrightarrow{OC_3}: \overrightarrow{C_3A_1}$ 의 형상에서 출발한 전진 운동은 $\overrightarrow{OC_2}: \overrightarrow{C_2A_2}$ 를 거쳐 $\overrightarrow{OC_1}: \overrightarrow{C_1A_3}$ 의 형상으로 끝난다. 전진하는 동안 복합운동을 하는 연결봉(링크 3)과 슬라이더(링크 4) 사이의 각도는 계속 해서 변할 것이다. 이 각도(링크 3과 링크 4가 이루는 예각, deviation angle(편차각)⁽⁵⁾ 또는 transmission angle(전달각^(3,6))는 기구의 입력 링크가 아닌 부동 링크(floating link)로부터 출력 링크로 운동이 전달되는 성향을 가능하는 척도로서,⁽⁵⁾ 출력 링크가 자유로이 운동하는 정도를 측정하기 위해 사용한다.⁽⁷⁾ 링크 3의 복합운동을 전달받아 링크 4는 직선 병진 운동하여야 하므로, 이 운동 기간 중에 이 각도는 될 수 있는 대로 작게 유지되어야 한다. 전달각의 크기가 너무 크면 생성되는 과외의 마찰력으로 인해 운동이 크랭크로부터 슬라이더로 전달될 수 없게 한다. 일반적으로, 이

각도는 슬라이더-크랭크의 경우에 50° 보다는 작아야 한다.⁽³⁾

장치는 $\overrightarrow{OC_1} : \overrightarrow{C_1A_3}$ 에서 하강을 시작하여 링크 4가 음의 Y 방향으로 l_{ud} 만큼 병진한 뒤, $\overrightarrow{OC_1} : \overrightarrow{C_1R_1}$ 에서 운동을 마친다.

$\overrightarrow{OC_1} : \overrightarrow{C_1R_1}$ 의 형상에서 귀환을 시작하여 링크 4가 음의 X 방향으로 행정 l_{st} 만큼 병진한 뒤, $\overrightarrow{OC_3} : \overrightarrow{C_3R_3}$ 형상으로 귀환을 완료한다. 귀환 운동 기간에도 전진 운동에서와 마찬가지로, 링크 3과 링크 4 사이의 전달각은 합성에서 중요하게 고려해야 하는 매개변수이다.

요약하면, Fig. 1에서 링크 5가 정해진 행정 l_{ud} 만큼 정확하게 상승하고 하강함에 따라 링크 4가 행정 l_{ud} 를 달성하고, 링크 2가 정해진 각 변위 h 로 요동할 때 출력 링크 4가 요구되는 귀환 행정 l_{st} 를 달성하는 동안, 링크 3과 링크 4의 전달각을 되도록 작게 유지하는 슬라이더-로커 4절 링크장치를 합성하면 된다.

4. 전달각-합성 매개변수

보통의 슬라이더-로커 4절 링크장치의 합성 문제는 슬라이더가 정해진 전진-귀환 행정을 달성하기 위한 두 위치 합성의 문제이다. 이 경우에는 단순히 두 위치에 대한 기하학을 기술하는 벡터 루프식을 이용해서 링크 2와 링크 3의 길이를 구하면서 두 위치에 대한 링크 3의 위치를 구할 수 있다. 그러나, 이 논문에서는 슬라이더의 전진 행정 동안의 오프셋과 귀환 행정 동안의 오프셋이 다른 경우로써, 전진-귀환 운동 동안의 전달각을 최적화 하는 합성 기법을 개발하려고 한다.

전진 운동과 귀환 운동 기간 중에 전달각을 작게 유지할 수 있도록 링크장치를 합성하는 방법 중의 하나는 운동 사이클을 통틀어 전달각의 최대값이 어떤 값이 되도록 구속하는 것이다. 그렇다면 운동 사이클 중에 운동의 어느 시점에서 전달각이 최대가 되는지를 규명해야 한다.

이 장치를 합성하는 기법을 개발하기 위하여, 위에서 고려한 사항들을 Fig. 2에 반영하여 장치의 위치를 해석하기 위하여, Fig. 3을 그린다. 이

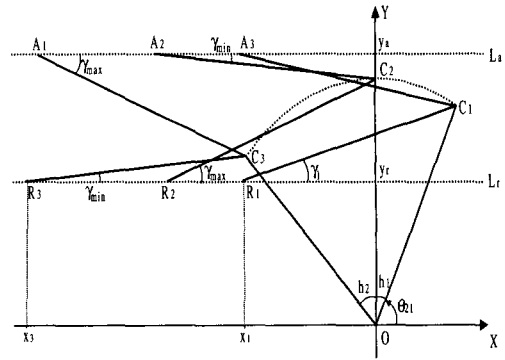


Fig. 3 Link locations and position analysis scheme for linkage synthesis

그림에서 y_a 와 y_r 은 선 L_a 와 선 L_r 의 Y 좌표를 나타내고, x_1 과 x_3 는 조인트 ③이 귀환할 때의 R_1 과 R_3 의 X 좌표이다. h_1 과 h_2 는 로커의 요동 변위 h 가 1 사분면과 2 사분면에 배분된 크기를 나타내는데, $h = h_1 + h_2$. θ_{21} 은 슬라이더가 하강을 완료하여 곧 귀환을 시작하려는 때의 링크 2의 각도를 나타내지만, 주어진 것은 아니다. 그렇다면, 슬라이더가 귀환을 완료했을 때 로커의 각도는 $\theta_{21} + h = \theta_{23}$ 로 표기하자.

장치의 운동 사이클 동안, 전달각의 최대값은 Fig 3에서 조인트 ②의 경로점들을 나타내는 C_1, C_2 및 C_3 들이 선 L_a 나 선 L_r 으로부터 가장 멀리 있을 때에 발생하는 것이 명백하다.

링크 2가 시계 방향으로 회전하여 링크 4가 전진하는 동안에 전달각이 최대가 되는 곳은 조인트 ②의 원호 경로의 양 끝점 중의 어느 한 곳이다. 전진이 시작하는 점일지 끝나는 점일지는 링크 2의 요동 범위가 Y 축을 기준으로 어떻게 배분되는가에 따라 즉, h_1 과 h_2 의 대소에 따라 정해진다. 또, 전달각이 최소가 되는 때는 링크 2가 Y 축과 일치할 때이다.

한편, 링크 2가 반시계방향으로 회전하여 링크 4가 귀환하는 동안에는, 링크 2가 Y 축과 일치하는 때에 전달각이 최대값이 되고, 귀환을 시작하는 점이나 끝나는 점 중의 어느 한 곳에서 최소값이 생긴다. 따라서, 이 장치가 한 사이클을 운동하는 동안 전달각의 최대값은 링크 4의 운동 방향에 따라 전달각이 최소가 되면서 최대도 되

는 같은 점에서 발생한다. 결과적으로 전달각이 최대가 될 수 있는 곳은 다음의 세 경우 중의 한 곳이다: (1) 전진을 시작할 때, (2) 전진이 끝나는데 또는 (3) 귀환하는 중에 링크 2가 Y 축과 일치하는 때.

이 세 곳의 경우를 Fig. 3에서 고려해보자. 여기서 어떤 점에서 어떤 선까지, 예를 들어, 점 C_2 에서 선 L_a 까지의 거리를 $\overline{C_2L_a}$ 로 표기하기로 하자. 제일 먼저, 전달각의 최대값이 전진을 시작할 때, 즉 $\angle C_3A_1A_2$ 가 운동 사이클을 통틀어서 최대의 전달각이 되기 위해서는, $\angle C_3A_1A_2$ 가 귀환하는 동안 제일 큰 전달각인 $\angle C_2R_2R_1$ 보다 커야 한다. 그러기 위해서는, 점 C_3 로부터 선 L_a 까지의 거리가 점 C_2 로부터 선 L_r 까지의 거리보다 커야 하므로, $\overline{C_2L_r} < \overline{C_3L_a}$ 의 관계가 있어야 한다.

다음으로, 전달각의 최대값이 귀환하는 도중 링크 2가 Y 축과 일치하는 때, 즉 $\angle C_2R_2R_1$ 가 운동 사이클을 통틀어서 최대의 전달각이 되기 위해서는, $\angle C_2R_2R_1$ 가 전진하는 동안 제일 큰 전달각 $\angle C_3A_1A_2$ 보다 커야 한다. 그러기 위해서는 점 C_2 로부터 선 L_r 까지의 거리가 점 C_3 로부터 선 L_a 까지의 거리보다 커야 하므로, $\overline{C_3L_a} < \overline{C_2L_r}$ 의 관계가 있어야 한다.

이 두 경우 중에 한 곳에서 전달각의 최대값이 발생한다면, 두 경우에서의 최대 전달각의 크기가 같다고 해도, 최대값을 어떤 값으로 제한하려는 입장에서는 같은 상황이다. 그러므로, 두 경우에 있어서 $\overline{C_3L_a} = \overline{C_2L_r}$ 의 관계가 성립한다고 해도 위의 두 관찰은 여전히 타당하다.

그러므로 Fig. 3에서처럼, $h_1 < h_2$ 일 때 최대 전달각은 $\angle C_3A_1A_2 = \angle C_2R_2R_1 = \gamma_{\max}$ 이고, 최소 전달각은 $\angle C_3R_3R_2 = \angle C_2A_2A_3 = \gamma_{\min}$ 이다. 전달각의 최대와 최소가 같을 수 있는 기하학적 구성은 불가능한데, 그렇게 되면 $\overline{C_2L_a} = \overline{C_2L_r}$ 가 되어 조인트 ②의 경로가 원호라는 조건에 위배되기 때문이다.

$h_1 > h_2$ 인 경우에는, 전달각의 최대는 전진을

완료했을 때와 귀환 도중에 링크 2가 Y 축과 일치한 때이고, 최소는 귀환을 시작할 때의 C_1 에서 이다.

한편, $h_1 = h_2$ 인 경우에는, $\overline{C_2L_r} < \overline{C_3L_a} = \overline{C_1L_a}$ 이면, 전달각의 최대값이 전진의 시작과 끝에서 생긴다. 또 $\overline{C_1L_a} = \overline{C_3L_a} < \overline{C_2L_r}$ 이면, 전달각의 최대값이 귀환할 때 C_2 에서 생긴다. 그렇다면, 이 경우에도 전진의 시작과 끝에서의 전달각과 귀환의 C_2 에서의 전달각을 최대값으로 같게 둘 수 있으므로, 앞서 살펴본 두 경우에 속한다.

전달각의 크기가 어떻게 변화하는 지를 알아보기 위해서 지금까지 살펴본 바를 요약한다. 전달각이 최대가 되는 곳은, Fig. 3에서 보는 바와 같이, 전진을 시작하는 점이면서 귀환이 끝나는 점인 C_3 과 귀환 도중 링크 2가 Y 축과 일치하는 점인 C_2 에서 이다. 또한, 최대 전달각이 생기는 곳은 최소 전달각이 생기는 곳이기도 하다. 결론적으로, 전달각이 최대값이 되는 곳은, 전진할 때는 점 C_3 에서이고 귀환할 때는 점 C_2 에서 이다. 반대로 전달각이 최소값이 되는 곳은, 귀환을 마칠 때 점 C_3 에서와 전진할 때 점 C_2 에서이다. 두 곳의 최대 최소 값이 같으므로, 귀환할 때 점 C_2 에서 최대 전달각이, 전진할 때 같은 곳에서 최소 전달각이 생긴다고 하자. 즉, $\angle C_3A_1A_2 = \angle C_2R_2R_1 = \gamma_{\max}$ 및 $\angle C_3R_3R_2 = \angle C_2A_2A_3 = \gamma_{\min}$ 이다. 이 조건을 만족하는 링크간의 기하학을 염두에 두고, 최적의 운동을 생성하는 슬라이더-로커 링크장치를 합성하기 위하여 전달각의 최대값을 중요한 매개변수로 사용하자.

5. 해석적 치수합성

전달각의 최대값을 합성의 매개변수로 사용하기 위하여 위에서 기술한 분석에 기초하여, 이제 해석적 치수합성을 위한 공식을 전개하기로 하자. 아래의 세 경우 모두, 링크 4가 귀환하는 도중에 링크 2가 Y 축과 일치하는 때에 전달각이 최대가 되는 것을 전제 조건으로 한다.

5.1 전달각의 최대값이 전진을 시작하는 때에 발생하는, $h_1 < h_2$ 인 경우

Fig. 3에서, 제일 먼저 링크 5가 이동하는 거리만큼의 행정 l_{ud} 을 링크 4가 상승하는 동안 링크 3이 C_3 을 중심으로 시계 방향으로 회전하여 위치가 $\overrightarrow{R_3C_3}$ 에서 $\overrightarrow{A_1C_3}$ 로 바뀌는데, 이 동안의 링크 3과 링크 4 사이의 각도가 γ_{\min} 에서부터 γ_{\max} 로 변하므로,

$$l_3(\sin \gamma_{\min} + \sin \gamma_{\max}) = l_{ud} \quad (1)$$

이 식은 앞에서 기술한 합성 알고리즘을 반영하는 중요한 사항으로, 이 식을 이용하여 간단하게 링크 3의 길이는 간단하게 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$l_3 = \frac{l_{ud}}{\sin \gamma_{\min} + \sin \gamma_{\max}} \quad (2)$$

이것으로서, 링크 3의 길이는 문제에서 요구하는 상승-하강 행정의 크기와, 설계자가 매개변수로 사용하는 전달각의 최대와 최소값에만 의존하고 있음을 관찰할 수 있다.

전달 각도가 최대가 되는 점이 귀환 도중에 링크 3의 각도를 알 수 있는 유일한 위치이므로, 링크 2가 $\overrightarrow{OC_2}$ 에 있고, 링크 3이 $\overrightarrow{C_2R_2}$ 에 있을 때 조인트 ③(R_2)의 Y 좌표는 귀환을 완료했을 때 링크 3의 위치 $\overrightarrow{C_3R_3}$ 에서의 조인트 ③(R_3)의 Y 좌표와 같다는 사실을 이용하자. 이 사항도 이 논문에서 제시하는 합성 알고리즘에 의한 중요한 정보이다. 그래서,

$$\overrightarrow{OC_3} + \overrightarrow{C_3R_3} = \overrightarrow{OC_2} + \overrightarrow{C_2R_2} + \overrightarrow{R_2R_3} \quad (3)$$

이 벡터식의 Y 성분만 대해서만 고려하여

$$l_2 \sin \theta_{23} + l_3 \sin \theta_{33} = l_2 \sin \frac{\pi}{2} + l_3 \sin \theta_{32}. \quad (4)$$

이 식에서, θ_{23} 는 벡터 $\overrightarrow{OC_3}$ 의 방향각이고, θ_{32} 는 벡터 $\overrightarrow{C_2R_2}$ 의 방향각이며, θ_{33} 는 벡터 $\overrightarrow{C_3R_3}$ 의 방향각이다. 귀환을 완료한 때에 전달각이 최소값이므로, $\theta_{33} = \pi + \gamma_{\min}$ 이다. 또한, $\theta_{32} = \pi + \gamma_{\max}$. 그래서, 좌변에 미지항을 모으고 정리하면,

$$l_2(\sin \theta_{23} - 1) = l_3\{\sin(\pi + \gamma_{\max}) - \sin(\pi + \gamma_{\min})\} \quad (5)$$

이 식에서 우변은 이제 상수항이다. 그래서,

$$l_2 = \frac{A}{(\sin \theta_{23} - 1)} \quad (6)$$

여기서

$A = l_3\{\sin(\pi + \gamma_{\max}) - \sin(\pi + \gamma_{\min})\}$. 그러므로, θ_{23} 를 알면 l_2 를 구할 수 있다.

링크 4의 귀환 시작과 완료 상태에 대해 벡터 루프식을 세우면

$$\overrightarrow{OC_1} + \overrightarrow{C_1R_1} - \overrightarrow{R_1R_3} = \overrightarrow{OC_3} + \overrightarrow{C_3R_3},$$

이 식을 X와 Y 성분별로 나누어 쓰면,

$$l_2 \cos \theta_{23} + l_3 \cos \theta_{33} = l_2 \cos \theta_{21} + l_3 \cos \theta_{31} - l_{st} \quad (7)$$

$$l_2 \sin \theta_{23} + l_3 \sin \theta_{33} = l_2 \sin \theta_{21} + l_3 \sin \theta_{31} \quad (8)$$

여기서, θ_{31} 는 벡터 $\overrightarrow{C_1R_1}$ 의 방향각이다. 이 두 식에서 미지의 각도 θ_{31} 를 소거하기 위하여,

$l_3 \cos \theta_{31}$ 와 $l_3 \sin \theta_{31}$ 만을 우변에 남기고 나머지 항들은 좌변으로 이항하고 정리하여, 양변을 제곱하고 나서, 두 식을 더하면

$$l_3^2 = 2l_2^2 + C^2 + D^2 - 2l_2^2(C_{21}C_{23} + S_{21}S_{23}) + 2l_2\{C(C_{23} - C_{21}) + D(S_{23} - S_{21})\} \quad (9)$$

여기서, $C_{21} = \cos \theta_{21}$, $S_{23} = \sin \theta_{23}$. 또한,

$C = l_{st} + l_3 \cos \theta_{33}$, $D = l_3 \sin \theta_{33}$ 로서 둘 다 상수항이다. $\theta_{23} = \theta_{21} + h$ 이므로,

$C_{21}C_{23} + S_{21}S_{23} = C_h$ 이고, $\cos \theta_{21} = \cos(\theta_{23} - h)$ 이므로, $C_{21} = C_{23}C_h + S_{23}S_h$ 이며 $S_{21} = S_{23}C_h - C_{23}S_h$ 인데, 여기서, $C_h = \cos h$, $S_h = \sin h$ 이다. 이 관계들을 식 (9)에 반영하면

$$W_1 l_2^2 + (W_2 C_{23} + W_3 S_{23}) l_2 + W_4 = 0 \quad (10)$$

여기서, $W_1 = 2 - 2C_h$,

$$W_2 = 2\{C(1 - C_h) + DS_h\},$$

$$W_3 = 2\{D(1 - C_h) - CS_h\},$$

$$W_4 = C^2 + D^2 - l_3^2.$$

이제 식 (6)으로부터, θ_{23} 의 함수인 l_2 의 식을 식 (10)에 대입하면,

$$W_1 \left(\frac{A}{S_{23}-1} \right)^2 + (W_2 C_{23} + W_3 S_{23}) \left(\frac{A}{S_{23}-1} \right) + W_4 = 0 \quad (11)$$

이것은 미지수가 θ_{23} 인 초월함수 식이다. 여기서 이 방정식의 해석적 해를 구하려고 시도할 수 있으나, 간편하게 수치해법을 이용해서 미지수 θ_{23} 의 수치 값을 구하기로 한다. 여러 방법들 중에서 예를 들면, Newton-Raphson 방법이 적당한 방법이 될 것이다.

θ_{23} 의 수치 값을 구한 뒤, 식 (6)으로부터 링크 2의 길이 l_2 를 구한다. 이제 그라운드 링크의 길이를 계산하기 위해서, Fig. 6에서 귀환을 시작하려는 상태에 대한 다음의 벡터 식을 세운다.

$$\overrightarrow{OC_1} + \overrightarrow{C_1R_1} = \overrightarrow{OR_1}$$

θ_{23} 를 알고 있으므로, θ_{21} 는 알 수 있고, 그래서 귀환을 시작하는 때의 그라운드 링크의 위치벡터, $\overrightarrow{OR_1}$ 를 계산할 수 있다. 그러면, 슬라이더-로커 4절 링크장치의 치수합성은 완료된 것이다.

이 장치를 설치하려는 공간 배치와 제약에 따라, θ_{21} 과 θ_{23} 가 적절하지 않을 수도 있다.

5.2 전달각의 최대값이 전진을 완료한 때에 생기는, $h_1 > h_2$ 인 경우

이 경우에도 l_3 을 구하기 위해서 식 (2)를 사용하면 된다. 귀환을 시작하려는 상태에서 링크 3의 각도는 매개변수로 설정한 γ_{\min} 로 나타낼 수 있으므로, 식 (3) 대신, 다음의 벡터 방정식을 세운다.

$$\overrightarrow{OC_1} + \overrightarrow{C_1R_1} + \overrightarrow{R_1R_2} = \overrightarrow{OC_2} + \overrightarrow{C_2R_2} \quad (12)$$

이 벡터식의 Y 성분만을 고려하여, 위의 식 (3), (4) 및 (5)을 전개하던 같은 과정을 반복하면, 식 (6) 대신에, 다음 식을 갖게 된다.

$$l_2 = \frac{A}{(\sin \theta_{21} - 1)} \quad (13)$$

이제는 식 (7)과 (8)에서 미지의 각도 θ_{33} 를 소거하기 위하여, $l_3 \cos \theta_{33}$ 와 $l_3 \sin \theta_{33}$ 만을 좌

변에 남기고 나머지 항들은 우변으로 이항하고 정리하여, 양변을 제곱하고 나서, 두 식을 더하면 $l_3^2 = 2l_2^2 + C^2 + D^2 - 2l_2^2(C_{21}C_{23} + S_{21}S_{23}) + 2l_2\{C(C_{21} - C_{23}) + D(S_{21} - S_{23})\}$ (14)

앞의 경우에서와 같은 방법으로 하면

$$W_1 l_2^2 + (W_2 C_{21} + W_3 S_{21}) l_2 + W_4 = 0 \quad (15)$$

여기서 $W_1 = 2 - 2C_h$, $W_2 = 2\{C(1 - C_h) - DS_h\}$,

$$W_3 = 2\{D(1 - C_h) + CS_h\},$$

$$W_4 = C^2 + D^2 - l_3^2. \text{ 단, 이 경우에}$$

$$C = l_{st} + l_3 \cos \theta_{31}, \quad D = l_3 \sin \theta_{31}.$$

이제 식 (13)으로부터 θ_{21} 의 함수인 l_2 의 식을 식 (15)에 대입하면,

$$W_1 \left(\frac{A}{S_{21}-1} \right)^2 + (W_2 C_{21} + W_3 S_{21}) \left(\frac{A}{S_{21}-1} \right) + W_4 = 0 \quad (16)$$

이 식에 대해서 위에서와 같은 방법으로 수치해법으로 풀면, θ_{21} 의 수치 값을 구할 수 있고, 그러면, 나머지 과정은 $h_1 < h_2$ 의 경우에서와 같다.

5.3 전달각의 최대값이 전진을 시작하고 완료하는 두 곳에서 생기는, $h_1 = h_2$ 인 경우

이 경우에 식 (7)과 (8)에서 $l_3 \cos \theta_{31} = l_3 \cos \theta_{33}$ 이고 $l_3 S_{31} = l_3 S_{33}$ 이므로,

$$l_2 \cos \theta_{23} = l_2 \cos \theta_{21} - l_{st} \quad (17)$$

$$l_2 \sin \theta_{23} = l_2 \sin \theta_{21} \quad (18)$$

여기서 $\theta_{23} = \theta_{21} + h$ 이므로, 식 (18)에 의해,

$$\theta_{21} = \frac{\pi}{2} - \frac{h}{2}, \quad \theta_{23} = \frac{\pi}{2} + \frac{h}{2} \text{ 이어야 한다. 그}$$

렇다면, 식 (17)에서,

$$l_2 = \frac{l_{st}}{\cos \theta_{21} - \cos \theta_{23}} \quad (19)$$

여기서 l_3 를 구하기 위해서 식 (1)을 사용한다고 가정하자. 그러면, 이미 링크 2와 링크 3의 길이를 구한 것이다. 그렇다면, 이 값들은 식 (5)를 만족해야 한다.

한편, 식 (1)과 식 (19)에 의한 l_2 와 l_3 의 관계를 식 (5)에 치환하면

$$\frac{l_{st}}{l_{ud}} \frac{C_{21} - C_{23}}{S_{23} - 1} = \frac{\sin(\pi + \gamma_{\max}) - \sin(\pi + \gamma_{\min})}{\sin \gamma_{\min} + \sin \gamma_{\max}} \quad (20)$$

이 식의 좌변에서 l_{st} 와 l_{ud} 는 문제가 요구하는 값이고, θ_{23} 와 θ_{21} 은 $h_1 = h_2$ 라는 조건에 따라 문제에서 요구하는 h 에 의해 그 값이 정해졌다. 반면, 우변에 있는 γ_{\min} 와 γ_{\max} 는 문제 풀이를 위해 설계자가 정하는 매개변수이다. 이 두 매개변수들은 임의로 정할 수 있는데, 어떤 값을 정하는가에 따라 좌변의 값이 달라져야 한다. 그러나 좌변의 값은 일정한 값이므로, 이 식대로 γ_{\max} 와 γ_{\min} 둘 다를 임의로 설정할 수는 없다.

따라서, 원래 이 논문에서 주요 합성 매개변수로 삼은 전달각의 최대값 γ_{\max} 만을, 이 경우에는, 매개변수로 사용할 수밖에 없다. 단지, 어떤 경우에도 전달각의 크기가 γ_{\max} 보다 크지 않음을 확인하여야 한다. 이 관찰에 근거하여, 치수 합성을 위한 새로운 관계를 구하기 위하여, 식 (1)에서 $\sin \gamma_{\min}$ 에 대한 표현을 구하면,

$$\sin \gamma_{\min} = \frac{l_{ud}}{l_3} - \sin \gamma_{\max}$$

이 관계식을 식 (5)에 반영하면, 링크 3의 길이 l_3 은 다음과 같이 구한다.

$$l_3 = \frac{l_{ud} - l_2(S_{21} - 1)}{2 \sin \gamma_{\max}} \quad (21)$$

여기서 l_2 의 값은 식 (19)에서 이미 구한 값이므로, l_3 를 계산하기 위해 이 식을 사용하는데는 아무 문제가 없다.

6. 결과 및 토의

지금까지 기술한 합성을 위한 문제의 분석과 그 분석에 의한 공식의 전개 결과를 검토하기 위하여, 링크 2가 $h = 33.24^\circ$ 의 요동 각 운동을 하여, 링크 4의 직선 귀환 행정 $l_{st} = 175.00$ 와 상승-하강 행정 $l_{ud} = 75.00$ 를 달성하는 오프셋 슬라 이더-로커 4절 링크장치의 치수를 합성해 보자.

이 예제에 대해, $h_1 > h_2$, $h_1 = h_2$, 및

Table 1 Linkage synthesis results for three cases

l_{st}	175 (cm)		
l_{ud}	75 (cm)		
h	33.24 (°)		
cases	$h_1 > h_2$	$h_1 = h_2$	$h_1 < h_2$
γ_{\max}	10.00 (°)		
γ_{\min}	6.59 (°)	-	6.59 (°)
l_2	307.07	305.92	304.97
θ_{21}	71.83	73.38	74.99
l_{11}	308.26	308.77	315.36
θ_{11}	121.83	121.94	124.53
l_3	260.04	252.75	260.04
x_1	-162.57	-163.33	-178.75
y_r	261.91	262.03	259.81
γ_{R1}	6.59	7.07	7.68
γ_{R3}	7.65	7.07	6.59
γ_{A3}	8.94	10.00	8.90

$h_1 < h_2$ 의 세 경우에 대해 합성해 보자. 세 번째 경우는, Fig. 3과 같이 귀환을 완료했을 때에 전달각이 최소값이 되고 전진을 시작할 때에 귀환도중 링크 2가 Y 축과 일치할 때에 최대값이 되는 경우이다. 세 경우에 대한 결과를 Table 1에 정리하였다.

먼저, $h_1 > h_2$ 인 경우에는 $\gamma_{\min} < \gamma_{R3} < \gamma_{\max}$ 이고, $h_1 < h_2$ 인 경우에는 $\gamma_{\min} < \gamma_{R1} < \gamma_{\max}$ 임을 확인할 수 있다. 또한, h_1 과 h_2 의 대소 관계에 따라서, 같은 운동을 생성하기 위한 다른 모든 합성 매개변수가 같더라도 전달각의 최소값이 언제 발생하는가에 따라서, 치수 합성의 결과가 다르다는 것을 알 수 있다.

이 도표에서 $h_1 = h_2$ 경우에는, 최소 전달각 γ_{\min} 을 합성 매개변수로 사용하지 않았으며, $\gamma_{R1} = \gamma_{R3} = 7.07^\circ$ 이다. 또한, 그 값이 최대 전달각 γ_{\max} 보다는 작은 값이고, 서로 같다는 사실은 $h_1 = h_2$ 라는 조건에 따라 합성 기법이 제대로 작동하고 있음을 보여주는 것이다.

위의 예들에서 링크 4가 귀환을 시작하는 점에서의 그라운드 링크의 길이, l_{11} 와 각 위치, θ_{11}

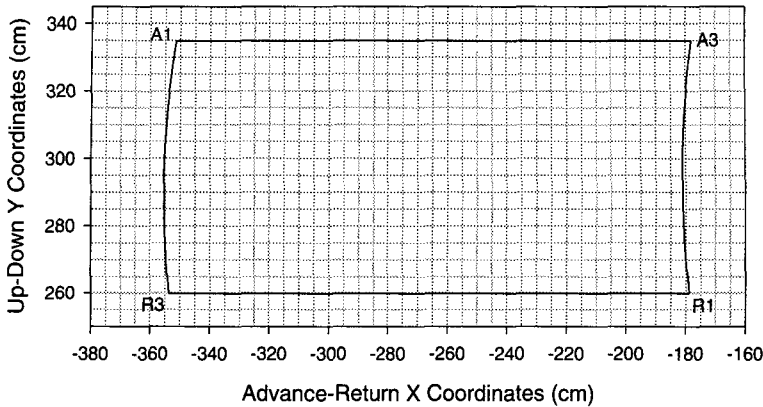


Fig. 4 Path of the joint 3 on the up-advance-down-return plane

를 구했으므로, x_1 과 y_r 을 이용해서 이 장치의 기준좌표계의 원점인 조인트 ①에 대한 링크 2와 3의 최초 조립 위치를 구할 수 있다. 그렇게 되면 링크 4의 병진 가이드의 설치 위치도 구할 수 있다. 이 장치를 포함하는 전체 시스템의 규모와 시스템에 대한 이 장치의 배치 계획에 따라서, 조인트 ③을 기점으로 하여 링크 4의 길이를 정할 수 있다.

Fig. 4는 $\gamma_{R1} > \gamma_{R3}$ 인 경우, 즉 $h_1 < h_2$ 인 경우에 대한 합성 결과에 의한 출력 링크 4의 경로를 보여준다. 이 그림에서 R1은 슬라이더가 귀환할 때 조인트 ③이 Fig. 3의 R1에 있을 때를 나타내고, A1은 슬라이더가 전진할 때 조인트 ③이 Fig. 3의 A1에 있을 때를 나타낸다. 먼저, X 방향으로 정해진 귀환 거리, l_{sr} 를 달성함을 알 수 있다. 즉, $175 (= 353.75 - 178.75)$. 반면에, A1에서 A3까지 전진하는 거리는 $174.9 (= 351.51 - 177.13)$ 로, l_{sr} 와는 다르다. 또, Y 방향으로 $l_{ud} = 75.00 (= 334.81 - 259.81)$ 이므로, 전진할 때의 오프셋은 334.81이고, 귀환할 때의 오프셋은 259.81로서, 상승-하강 행정도 달성된다. 다음으로, 상승과 하강할 때에 링크 3과 링크 4 사이에 상대 운동이 있어서, 조인트 ③의 경로가 원호를 그리는 사실을 확인할 수 있다. 따라서, 상승 전후와 하강 전후에 링크 4의 X 좌표가 변

하였음도 볼 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4와 같이 조인트 ③이 상승-전진-하강-귀환하는 동안의 전달각의 변화를 보여준다. 이 그림에서 조인트 ③이 R1에 있을 때 로커가 시계 방향으로 요동을 시작하여, 귀환하는 도중에 링크 2가 Y 축과 일치하여(조인트 ③이 R2를 지나고) 링크 2의 각도가 $\theta_2 = 90^\circ$ 때에 전달각이 최대인 $\gamma = 10^\circ$ 가 된다. 귀환을 완료하여(조인트 ③이 R3에 도달하고) 링크 2의 각도가 $\theta_{23} = 108.23^\circ$ 가 되면 전달각은 최소값인 $\gamma_3 = 6.59^\circ$ 가 된다. 링크 4가 상승하는 동안 전달각은 작아져서 0° 까지 줄었다가, 다시 각도의 부호를 바꾸어 커지기 시작하여 전진을 시작하려는(조인트 ③이 A1에 도달한) 때에 다시 전달각은 최대값이 된다. 전진하는 도중에 링크 2가 Y 축과 일치하여(조인트 ③이 A2를 지나고) 링크 2의 각도가 $\theta_2 = 90^\circ$ 때에 전달각이 최소인 $\gamma = 6.59^\circ$ 가 됨을 확인할 수 있다. 또한 전진을 완료하여(조인트 ③이 A3에 도달하고) 링크 2의 각도가 $\theta_{21} = 74.99^\circ$ 가 되면 전달각은 $\gamma_{A3} = 8.90^\circ$ 가 된다. 링크 4가 하강하는 동안 전달각은 작아져서 0° 까지 줄었다가, 다시 각도의 부호를 바꾸어 커지기 시작하여 귀환을 시작하려는(조인트 ③이 R1에 도달한) 때에 전달각

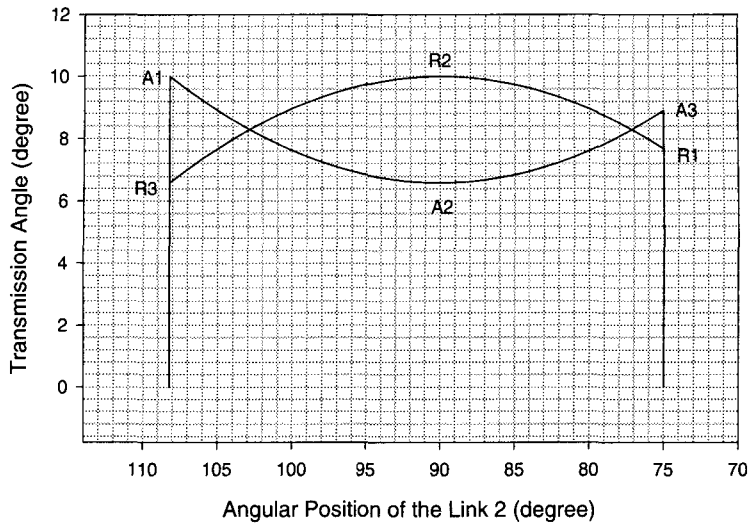


Fig. 5 Transmission angles vs. angular position of the rocker

은 $\gamma_{R1} = 7.68^\circ$ 이 된다.

이 관찰에 의하면, 전달각을 합성의 매개변수로 사용하기 위하여 고려한 사항들이 잘 드러나 있음을 볼 수 있다. 첫째로, 전달각의 최대값은 슬라이더가 귀환하는 도중 링크 2가 Y 축과 일치하는 때와 전진을 시작하는 때에 전달각이 최대인 $\gamma = 10^\circ$ 가 됨을 확인할 수 있다. 둘째로, 슬라이더의 운동 방향이 바뀌면, 같은 지점에서 전달각은 최소가 된다는 것도 확인할 수 있다. 셋째로, R1과 A3에서의 전달각이 γ_{\min} 과 γ_{\max} 사이의 값을 가짐도 확인할 수 있다. 전진할 때는 다음과 같고

$$\begin{aligned} \gamma_{A1} = \gamma_{\max} (= 10^\circ) &> \gamma_{A3} (= 8.90^\circ) \\ &> \gamma_{A2} = \gamma_{\min} (= 6.59^\circ) \end{aligned}$$

귀환할 때는

$$\begin{aligned} \gamma_{R3} = \gamma_{\min} (= 6.59^\circ) &< \gamma_{R1} (= 7.68^\circ) \\ &< \gamma_{R2} = \gamma_{\max} (= 6.59^\circ) \end{aligned}$$

이제 이 논문에서 합성 기법을 개발하면서 도입하거나 고려한 가정이나 조건들에 대해서 검토해보자. Table 1에서 보듯이, 이 합성 기법이 설계자에게 요구하는 두 매개변수는 전달각의 최대값과 최소값이다.

우선 최대 전달각의 크기를 정하는 문제를 고려하기 위해 식 (2)를 살펴보면, 전달각의 최소와 최대값이 작아지면 연결봉의 길이 l_3 이 늘어난다는 것을 알 수 있다. 슬라이더로 운동을 효율적으로 전달하기 위해서는 연결봉의 길이가 될 수 있는 대로 길어야 하지만, 그 길이는 관성과 전체적인 장치의 규모를 고려해서 제한될 수밖에 없다.⁽⁴⁾ 그러므로, 상승-하강 행정의 귀환 행정에 비해서 크지 않으면, 예상하는 연결봉의 길이와 상승-하강 행정의 반과의 탄젠트 함수 관계를 고려하여 최대 전달각을 어렵할 수 있을 것이다. 상승-하강 행정의 귀환 행정보다 큰 경우에는, 45° 를 최대 전달각으로 시도해 볼 수 있을 것이다.

다음으로, 최소 전달각을 정하는 문제를 생각해 보자. 무엇보다도, 최소 전달각의 크기가 최대 전달각의 크기에 가까운 값으로 되면, 합성 기법에서 고려하거나 가정한 상황과 배치되는 결과가 나올 수 있으므로 주의하여야 한다. 예를 들어, 만약에 γ_{\min} 의 값을 γ_{\max} 에 근접하는 값으로 정하고 최소 전달각이 귀환을 시작할 때 생기는 것으로, 즉, $h_1 > h_2$ 인 ($\gamma_{R1} < \gamma_{R3}$) 경우로 합성

을 하면 다음과 같은 문제점들이 생긴다. 합성 결과에 의한 최대 전달각이 합성 매개변수로 정한 최대값보다 크고, 최소 전달각은 매개변수로 설정한 값보다 더 작은 값이 오히려 2 사분면에서 생겨서, $h_1 < h_2$ 인 결과가 생긴다. 이것은 링크 3의 길이는 상승-하강 행정 l_{ud} 에 따라 오직 γ_{min} 과 γ_{max} 만에 의해서 정해지는데 반해, 귀환 거리 l_{st} 는 주로 로커의 요동 변위로 달성하여야 하지만, 로커의 요동 범위에 제한 조건을 설정한 것이 부적절할 수 있기 때문이다.

그러나 이 문제는 다음의 절차를 따르면 회피할 수 있고, 합성 기법에는 아무 문제도 일으키지 않는다. 먼저, 원하는 γ_{max} 만 정하고, γ_{min} 는 정하지 않은 채로 $h_1 = h_2$ 인 경우에 대해서 시도한다. 이 합성 결과에 만족하면 합성 과정을 마치면 된다. 그러나, $h_1 = h_2$ 에 대한 결과로 로커나 슬라이더 링크의 배치나 조립에 문제가 생긴다면, $h_1 = h_2$ 경우에 구한 귀환의 시작과 끝점에서의 전달각도(예를 들어, Table 1에서 $\gamma_{R1} = \gamma_{R3}$ 의 값)를 γ_{min} 의 상한으로 하여, $h_1 > h_2$ 나 $h_1 < h_2$ 경우에 대해서 합성 기법을 적용하면 된다. 아니면, 처음부터 최소 전달각을 최대 전달각에 비해 현저히 작은 값으로 시도해도 된다.

Table 2는 Table 1에서와 같은 문제에 대해서, $h_1 > h_2$ 인($\gamma_{R1} < \gamma_{R3}$)경우에 최소 전달각의 크기를 달리했을 때의 합성 결과를 보여준다. 물론, $h_1 = h_2$ 경우에 구한 $\gamma_{R1} = \gamma_{R3} = 7.07^\circ$ 를 상한으로 하여 그 보다 작은 값들에 대해서 합성 결과를 정리하였다. 도표에서 보면, 첫째로, 귀환을 시작할 때 생기는 최소 전달각($\gamma_{min} = \gamma_{R1}$)의 크기가 작아질수록, 1 사분면에서의 요동 변위(h_1)가 커지고 그래서 로커의 고정 피벗을 중심으로 오른쪽이 왼쪽보다 더 넓은 로커의 운동 공간을 차지한다. 둘째로, γ_{min} 이 작아질수록, 로커와 연결봉의 길이가 길어진다. 그러므로, 2 사분면에서의 로커의 운동 공간에 제약이 없다면 최소전달각을 $\gamma_{R1} = \gamma_{R3} = 7.07^\circ$ 에 가까운 값으로 하는 것이 좋다. 그렇다면, Table 1에서의 결과를 참조하면, $h_1 = h_2$ 경우로 합성하는 것이

Table 2 Synthesis results for various γ_{min} ($= \gamma_{R3}$) for the case of $h_1 < h_2$

γ_{min}	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
γ_{R1}	7.17	8.30	9.09	9.61	9.90	10.00
h_1	16.38	13.08	9.89	6.72	3.52	0.24
h_2	16.86	20.16	23.35	26.52	29.72	33.00
l_2	305.76	304.14	303.61	304.21	306.04	309.31
l_3	253.79	269.61	287.57	308.13	331.88	359.63

더 낫다.

Table 3은 Table 1에서와 같은 문제에 대해서, $h_1 < h_2$ 경우에 최소 전달각의 크기를 달리했을 때의 합성 결과를 보여준다. 물론, $h_1 = h_2$ 경우에 구한 $\gamma_{R1} = \gamma_{R3} = 7.07^\circ$ 를 상한으로 하여 그 보다 작은 값들에 대해서 합성 결과를 정리하였다. 이 도표에서 보면, 첫째로, 귀환을 완료했을 때 생기는 최소 전달각($\gamma_{min} = \gamma_{R3}$)의 크기가 작아질수록, 2 사분면에서의 요동 변위(h_2)가 커지고, 그래서 로커의 고정 피벗을 중심으로 왼쪽이 오른쪽보다 더 넓은 로커의 운동 공간을 차지한다. 이 경우에도 $h_1 > h_2$ 경우에서처럼, γ_{min} 이 작아질수록, 로커와 연결봉의 길이가 길어진다. 그러므로, 2 사분면에서의 로커의 운동 공간에 제약이 없다면 최소전달각을 $\gamma_{R1} = \gamma_{R3} = 7.07^\circ$ 에 가까운 값으로 하는 것이 좋다. Table 2와 3을 비교하면, 최소 전달각의 값이 같으면 어느 경우어나 연결봉의 길이가 같음을 볼 수 있고, 이것은 식 (2)에 의한 당연한 결과이다.

Table 1, 2 및 3의 결과를 종합하면, 로커의 운동 공간에 제약이 없고 또한 최대 전달각의 크기가 충분히 작아서 연결봉의 운동이 슬라이더에 전달되는데 문제가 없다면, 관성을 고려해서, $h_1 = h_2$ 경우에 대해서 합성하는 것이 바람직하다. 이 결과에 대해 미리 확신을 하였다면, 이 장치는 훨씬 간단하게 즉, 5.3 절에서 논의한 바만으로도 합성할 수 있다고 결론지을 수 있다.

원하는 최대의 전달각의 크기를 미리 정하고 원하는 운동을 생성하는 장치를 합성할 수 있다는 것이 이 논문에서 제시하는 합성 기법의 제일의 특징이다. 보통의 위치 합성에 의하면, 장치의

Table 3 Synthesis results for various γ_{\min} ($=\gamma_{R1}$)
for the case of $h_1 > h_2$

γ_{\min}	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
γ_{R3}	7.16	8.24	9.0	9.52	9.85	9.99
h_1	16.85	20.01	23.03	26.00	29.00	32.08
h_2	16.39	13.24	10.21	7.24	4.24	1.16
l_2	306.07	308.74	312.15	316.26	321.14	326.89
l_3	253.79	269.61	287.57	308.13	331.88	359.63

운동을 분석하여 원하는 운동 특성을 보이지 않으면 합성에 사용한 매개변수들의 값을 조정하여 다시 시행착오의 과정을 반복해야 하는 문제가 있다. 실제로 이 논문에서 제시한 방법으로 구한 그라운드 링크 및 로커의 길이와 위치로 오프셋이 다른 두 슬라이더 로커(하강 상태에서 귀환할 때의 오프셋과 상승 상태에서 전진할 때의 오프셋)에 대해 두 위치 합성 방법을 적용하면, 제한된 전달각으로 귀환 및 상승-하강 행정을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

또한, 합성 결과에 의한 로커의 위치가 적합하지 않다면, 어쩔 수 없이 매개변수로 사용한 최대와 최소 전달각의 크기를 바꿔가면서, 적합한 결과를 구할 때까지 합성 과정을 반복해야 하는데, 이것은 위치 합성에 바탕을 둔 기법들도 갖는 공통의 문제이다.

7. 결론

이 논문에서는 슬라이더가 전진할 때의 오프셋과 귀환할 때의 오프셋이 다른 슬라이더-로커 4절 링크장치의 치수를 연결봉과 슬라이더 사이의 최대 및 최소 전달각을 매개변수로 이용하여 합성하는 기법을 개발하고, 기법과 공식을 예제에 적용하여 합성의 기법과 공식이 제대로 실현되는지를 확인하였다.

결과로, 로커의 각 변위의 크기가 고정 피벗을 중심으로 한 1 및 2 사분면에서 같은 경우에, 즉, $h_1 = h_2 = h/2$ 때, 전달각과 링크의 길이 측면에서, 가장 바람직한 합성 결과를 주는 것을 알 수 있다.

슬라이더-로커 4절 장치에서 연결봉과 슬라이더 사이의 전달각에 대한 제한 조건이 까다롭지

않은 문제에 대해서 사소한 전달각의 크기 차이를 따져서 문제를 복잡하게 할 필요는 없다. 그러나, 만일, 전체 시스템의 규모가 제한적이고 또 특히 슬라이더 블록이나 연결봉의 설치 공간이 충분하지 않을 경우와 전달각의 임계값⁽³⁾ 범위를 오락가락 하는 긴요한 경우에는 여기서 구한 해법이 크게 효과를 발휘할 것이다. 예를 들어, l_{ud} 가 큰데 비해서 연결봉의 길이나 슬라이더 블록의 길이를 크게 할 수 없는 경우에, 특히 정밀운동이 필요하거나 베어링이나 슬라이더 가이드가 취약한 기구나 기계에서 전달각의 대소가 민감하게 작용하는 경우에도 큰 효과를 보일 것이다. 또한, 로커의 요동 운동 범위는 큰데 비하여, 링크의 길이를 제한해야 하는 경우에도 효과를 볼 수 있을 것이다.

공식화 과정에서 초월함수 방정식을 풀기 위하여, 수치해법을 적용하였는데, 이 논문에서 개발한 기법을 다각도로 해석하면 수치해에 의존하지 않고 해석적인 닫힌 해를 구할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

이 논문은 대구광역시가 계명대학교 산업기술 연구소에 지원한 '98 우수공학연구센터 보조금과 (주) 오성공업이 지원한 연구비로 수행한 연구 과제 결과의 일부입니다.

참고문헌

- (1) Hirschhorn, J., 1972, *Kinematics and Dynamics of Plane Mechanisms*, McGraw-Hill, p. 106.
- (2) 백윤수, 심재경, 임경호, 황재혁, 1996, *기구학 제 2 판*, 회중당, 서울, p. 35.
- (3) Jensen, P. W., 1991, *Classical and Modern Mechanisms for Engineers and Inventors*, Marcel Dekker, Inc, New York, p. 28.
- (4) Molian, S., 1997, *Mechanism Design: The Practical Kinematics and Dynamics of Machinery*, 2nd Edition, Pergamon, New York, p. 46.
- (5) Erdman, A. G. and Sandor, G. N., 1991, *Mechanism Design Analysis and Synthesis*, Volume

- I, 2nd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 105.
- (6) Shigley, J. E. and Uicker, J. J. Jr., 1995, *Theory of Machines and Mechanisms*, 2nd Edition, International Editions, McGraw-Hill, Singapore, p. 35.
- (7) Mallick, A. K., Ghosh, A. and Dittrich, G., 1994, *Kinematic Analysis and Synthesis of Mechanisms*, CRC Press, Ann Arbor, p. 159.
- (8) Waldron, K. J. and Kinzel, G. L., 1998, *Kinematics and Dynamics, and Design of Machinery*, Wiley, pp. 244~247.
- (9) Norton, R. L., 1992, *Design of Machinery*, International Editions, McGraw-Hill. Singapore, pp. 156~162.
- (10) 하경훈, 강동우, 김종수, 신중호, 1996, “캠구동 슬라이더 기구의 기구동역학 최적화 해석에 관한 연구,” 대한기계학회 1996년 추계학술대회 논문집 A, pp. 962~967.