

착륙장치 기구학 해석을 위한 해영역 특성분석 연구

안석민*, 최선우**, 박일경***, 권태희****

A Study on the Solution Domain for Landing Gear Linkage Design

Seok-min Ahn*, Sun-woo Choi**, Il-kyung Park***, Tae-hee Kwon****

Abstract

The 4-bar linkage is the simplest model for the simulation of a retractable landing gear. In general, a designer uses a commercial software to design a linkage, which requires tedious iterations to obtain a good solution. By applying synthesis methodology the iteration process can be reduced remarkably. However, most of solutions obtained using synthesis process may not be an optimized solution. In this study, the characteristics of the optimization solution domain has been analyzed so that an optimization process can be adapted easily to a synthesis process.

초 록

4절 링크장치는 인입식 착륙장치를 가장 간단하게 기구학적으로 모사한 모델이다. 4절 링크의 설계 및 해석은 상용프로그램에서 제공하는 기구학 해석 및 시뮬레이션 기능을 이용하는 것이 일반인 방법이다. 그러나 해석적 방법은 많은 반복시도를 하여야 유용한 해를 구할 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 합성설계(Synthesis) 기법을 사용한다. 합성설계기법은 해석적 방법보다 반복시도를 많이 줄여 주지만 최적해를 보장할 수는 없다. 최적의 해를 얻기 위해 기존의 합성설계방법에 최적화 기법을 적용하여 해를 찾을 수 있다. 이 연구에서는 최적화 기법을 적용할 때 필요한 해영역의 특성을 분석하였다.

키워드 : 착륙장치(landing gear), 기구학(kinematics), 항공세부계통(aircraft sub-system)

1. 서 론

핵심기술 획득을 위해 항우연의 기본사업으로 개발된 연구용 시제기 반디호에는 고정식 착륙장치가 장착되었다. 반디 1호기와 2호기에 장착된 착륙장치는 모두 고정식이었다 [1]. 현재, 항공우주 부품기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는

반디호 실용화 사업 (사업명 : 4인승 선미익형 경항공기 수출모델 개발)에서는, 반디호의 고품질화를 추진하기 위해 기존의 고정식 착륙장치를 인입식 착륙장치(또는 접개들이식 착륙장치. 그림 1, 2)로 대체하는 연구를 진행하고 있다 [2].

인입식 착륙장치를 가장 간단하게 기구학적으로 모사할 수 있는 형태가 4절 링크장치이다. 일

* 항공세부계통그룹/smahn@kari.re.kr

*** 항공세부계통그룹/mechguy@kari.re.kr

** 항공세부계통그룹/swchoi@kari.re.kr

**** 항공세부계통그룹/thkwon@kari.re.kr

반적으로 4절 링크 설계 시에는 여러 가지 상용 프로그램에서 제공하는 기구학 해석 및 시뮬레이션 기능을 이용하여 설계를 한다. 이러한 방법을 통해 유용한 해답을 얻기 위해서는 많은 시도를 하여야 한다. 이에 반하여 합성설계(Synthesis) 기법은 원하는 설계를 신속하게 얻을 수 있도록 해 준다 [3-6]. 그러나 합성설계를 통해 얻어지는 해 역시 가용한 해일 뿐 최적의 해는 아니다.

최적의 해를 얻기 위해 기존의 합성설계방법에 최적화 기법을 적용하여 해를 찾을 수 있다. 최적화 기법을 적용하는 일반적인 방법에서 해영역 (Solution Domain)의 특성을 미리 파악하는 것이 중요하며 본 연구에서는 이에 대한 분석방법 및 그 결과를 도출하였다.

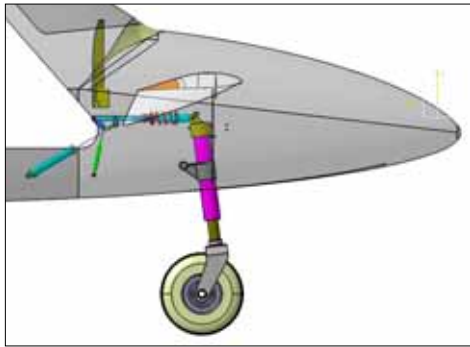


그림 1. 인입식 착륙장치가 퍼진 모습

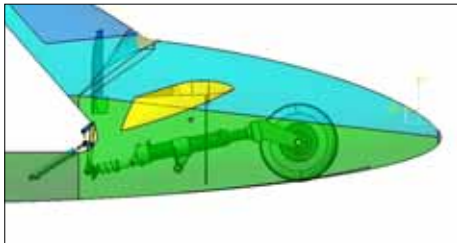


그림 2. 인입식 착륙장치가 접힌 모습

2. 본 문

2.1 최적화 해영역의 정의 및 분석

2.1.1 해영역의 정의

4절 링크장치에서, 합성하고자하는 점들에 대한 위치와 자세를 지정하는 문제가 운동발생 (Motion Generator)이다 [7]. 4절 링크장치(그림 3)의 합성기법에서는 벡터를 이용한 다이애드 (Dyad)를 사용하며(그림 4), 이 때 다이애드를 이용하여 표현한 4절 운동발생의 벡터 정의는 그림 4와 같다. 이 때 하나의 다이애드에 대한 벡터 방정식을 아래와 같이 세울 수 있다 [8].

$$W(e^{i\beta_j} - 1) + Z(e^{i\alpha_j} - 1) = \delta_j$$

여기서

W 는 고정피봇에서 이동피봇까지의 벡터
 Z 는 이동피봇에서 Tracer 점까지의 벡터
 β_j, α_j 는 W와 Z의 회전 각도이고 j는 j번째를 의미함

δ_j 는 첫 번째 무오차점으로부터 j번째의 무오차점까지의 변위벡터

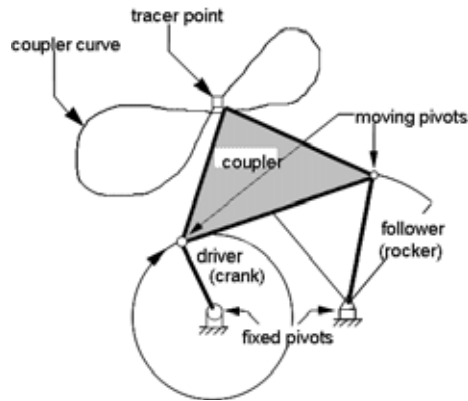


그림 3. 4절 링크장치의 개념

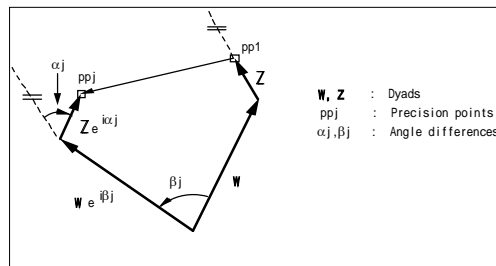


그림 4. 다이애드의 정의

모든 회전은 반시계방향을 순방향으로 정의하고, 다이애드 하나씩을 입력링크와 출력링크에 대응시키면 두개의 다이애드로 4절 링크장치가 정의되며, 무오차점의 개수에 따라 3 무오차점 합성설계, 4 무오차점 합성설계 등으로 분류한다. 작류장치의 경우는 최소한 스트럿의 회전점(핀들 포인트) 및 관련 링크의 한 점 등 최소한 2점이 고정피봇이 되어야 하고 임의의 위치에 지정할 수 있어야 한다. 4 무오차점 합성설계로는 이러한 임의의 고정 회전점을 선택할 수 없으므로 3점 합성설계 기법의 적용이 필요하다.

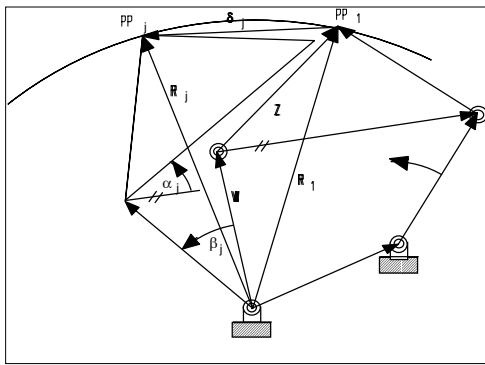


그림 5. 4절 운동발생기구의 벡터 정의

4절 링크장치의 3 무오차점(그림 5)에 대한 표준 방정식은 다음과 같다.

$$\mathbf{W}(e^{i\beta_2} - 1) + \mathbf{Z}(e^{i\alpha_2} - 1) = \delta_2$$

$$\mathbf{W}(e^{i\beta_3} - 1) + \mathbf{Z}(e^{i\alpha_3} - 1) = \delta_3$$

4 무오차점 합성설계에서는 무오차점 간의 벡터가 3개가 되고 이에 따라 3개의 벡터방정식이 필요하며, 이 중 7개의 스칼라 변수가 있어 설계자는 1개의 변수만을 임의로 선택할 수 있다. 한 개의 임의변수를 가지고 적절한 답을 찾는 것은 매우 어려운 일이다. 4 무오차점 합성설계의 해영역에 대한 특성을 본 연구와 동일한 방법으로 분석한 결과, 사용가능한 해가 전체의 해영역의 0.1% 밖에 되지 않는 것으로 밝혀졌다. 유용한 해가 적기 때문에 일반적인 최적화 기법으로

는 초기 해에서 크게 개선되는 최적해를 구하기가 어렵다.

반면 3 무오차점 합성설계에서는, 2개의 벡터 방정식과 6개의 변수가 있어서 설계자는 2개의 임의의 변수에 원하는 값을 지정할 수 있다. 두 임의변수로는, 첫 번째 무오차점에 대하여 \mathbf{W} 의 회전 각인 β_2 와 β_3 , \mathbf{W} 의 고정피봇 또는 회전피봇의 위치를 지정할 수 있다. 한 다이애드에 한 피봇 짝을 선택할 수 있으므로 두 점을 임의변수로 택할 수 있다. 일반적으로 입력링크와 출력링크의 두 고정점, 즉, 스트럿의 회전점과 인입식 링크지의 다른 한 점 등 두 점을 설계상 적절한 위치에 배치시킬 수 있게 된다. 물론 고정점이 아닌 다른 변수들을 변화시킬 수도 있다 (표 1 참조) [8].

이번 연구에서는, 해영역이 열려있는 평면점의 좌표 대신, 해영역이 0도에서 360까지로 유한영역인 β_2 와 β_3 를 변수로 택하였다.

표 1. 무오차점의 개수와 설계자유 변수

Number of Precision Points	Number of Scalar Equations	Number of Unknowns	Number of Free Choices	Number Of Solutions
2	2	5($\mathbf{W}, \mathbf{Z}, \beta_2$)	3	$O(\infty^3)$
3	4	6 (above + β_3)	2	$O(\infty^2)$
4	6	7 (above + β_4)	1	$O(\infty^1)$
5	8	8 (above + β_5)	0	Finite

2.2 특성 요소

해영역을 분석하는데 사용된 특성요소들은 다음과 같다.

2.2.1 유용해

링크가 회전할 때, 지나가야 되는 Coupler point가 링크를 분해하여야 가능한 경우가 있다 (그림 6). 이러한 링크 장치를 Circuit Change 링크라 부르고 이러한 형상은 사용할 수가 없다. 또한, Coupler Point들이 동일한 Circuit에 있더라도 Change Point (또는 Dead Center Position)

를 지나야 하는 경우 (그림 7)도 대부분의 경우 사용할 수가 없다.

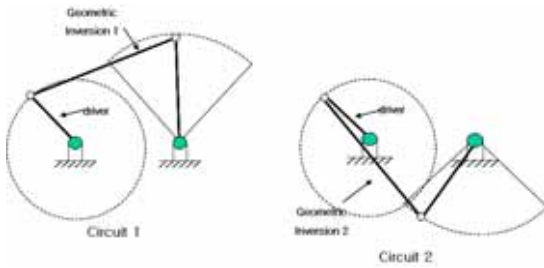


그림 6. 한 Circuit에 1개의 Branch가 있는 경우

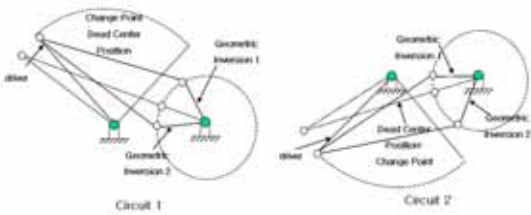


그림 7. 한 Circuit에 2개의 Branch가 있는 경우

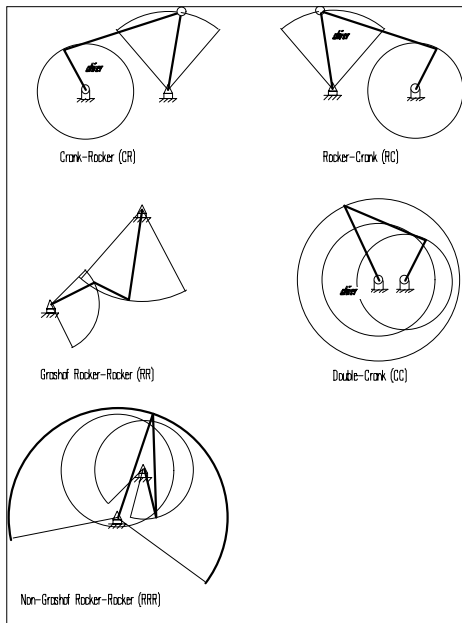


그림 8. 그라쇼프 기준

2.2.2 Grashof Criterion

4절링크에서 Driver와 Follower가 회전 또는 Rocking motion을 하는 가에 대한 기준으로 분류한 것이 Grashof Criterion 이며, 특히 Driver의 원운동이 보장되어야 하는 경우는 Grashof Criterion (그림 8)에 대한 분석이 필수적이다.

2.2.3 최소 전달각

전달각 (Transmission Angle, 그림 9)은 Coupler 링크와 Follower link간의 각도 차이이며 직각에 가까울수록 Driver의 필요 회전력이 줄게 된다. 전달각의 최소값이 너무 작은 경우 원활한 링크회전이 될 수 없다.

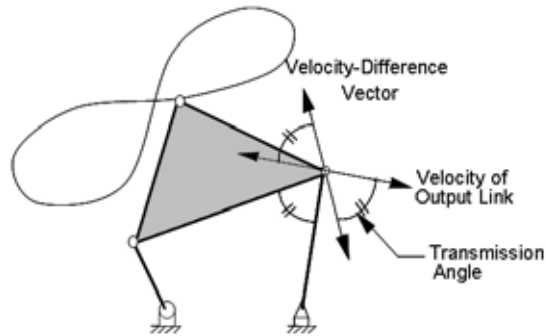


그림 9. 전달각 (Transmission Angle)

2.2.4 링크 길이비

최장링크와 최단링크의 비율로 이 비율이 너무 크게 되면 링크장치가 여러 특성에 너무 민감하게 되고 좌굴 등의 문제가 발생하거나 제작성이 나빠지기도 한다.

2.3 분석방법

실용적인 문제에 적용하기 위하여 실제 설계되었던 링크장치[6]에서 임의로 11개의 4절 링크장치 형상을 선택하였다. 각 형상에 대하여 β_2 와 β_3 의 범위를 0도에서 360도까지 3.6도 간격으로 전범위 탐색을 실시하였다. 즉, 한 형상에 대하여 108개의 4절 링크장치가 생성하였다. 각 4절 링크장치의 그라쇼프 기준에 대한 분석, 전달

각도 및 링크 길이비 (Link Length Ratio) 등에 대한 분석을 실시하였다.

3. 특성분석결과

총 11×108개의 4절 링크를 분석한 결과, 약 10% 만이 문제없이 사용가능한 것으로 밝혀졌다 (그림 10). 서킷 변환 [9] 문제가 있는 기구들은 3개의 무오차점을 연속적으로 지날 수 없기 때문에 사용할 수가 없다. 다만 Branching 문제가 있는 링크장치들은 경우에 따라 사용이 가능하다.

만약 대부분의 해가 링크장치로 사용할 수 없는 서킷변환과 같은 결함을 가지고 있다면, 최적화 과정에서는, 사용가능한 초기 추정 값을 구하는 것이 큰 과제가 될 것이다. 만약, 이러한 문제가 없고 아래에 기술된 링크길이비 등이 바람직하지 않은 영역에 초기 추정 값이 주어졌다면, 최적화과정에서는 최적화 기법을 이용하여 이 초기 추정 값이 바람직한 영역에 들어가도록 유도할 수 있을 것이다.

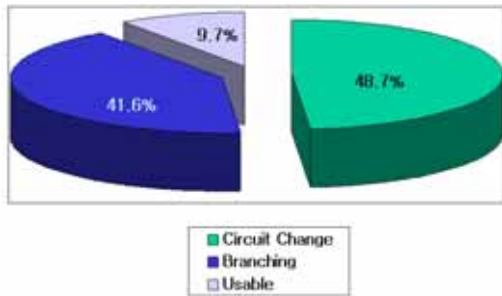


그림 10. 가용해

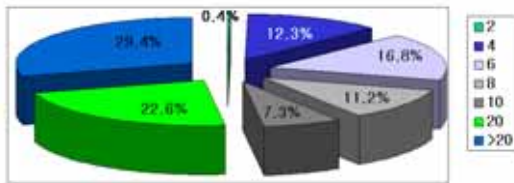


그림 11. 링크길이비

구조적인 관점에서 링크 길이비는 통상적으로

10 이하를 권장하고 있는데, 여기에 해당하는 링크 형상은 48% 정도로 밝혀졌다 (그림 11). 다만, 링크 길이비가 10 이하가 되더라도 서킷 변환이나 Branching 문제가 있는 것들은 사용할 수 없을 것이다.

그라쇼프 기준으로 설계자들이 선호하는, 입력 링크가 회전하는 Crank-Crank 또는 Crank-Rocker 링크 장치가 약 23%로, 그라쇼프 기준에 대하여는 해영역의 특성이 상당히 좋은 것으로 나타났다 (그림 12).

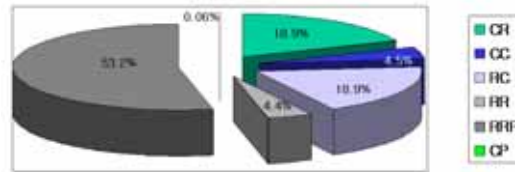


그림 12. 그라쇼프 기준

착륙장치는 입력링크나 출력링크가 Crank일 필요가 없고, Rocker의 경우도 회전 범위가 다 필요한 것이 아니라 일정한 범위 만 필요하므로, 센타 포인트 문제가 있는 극히 일부분의 링크장치를 제외하면 상당히 사용가능한 해가 많아진다. 그러나, 입력 링크가 Rocker인 모든 링크를 사용할 수는 없고 Rocking 하는 범위가 입력 및 출력 링크의 범위를 모두 포함하여야 하기 때문에 형상에 따라서는 많은 해를 사용하지 못할 수도 있다.

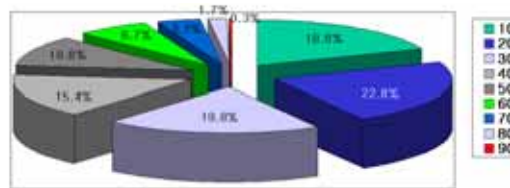


그림 13. 최소 전달각

Crank-Crank와 Crank-Rocker에 대하여 최소 전달각에 대한 분석도 이루어졌는데, 통상 최소 전달각은 30도 이상이 권장되며 이에 해당하는

해가 약 40% 정도 되었다 (그림 13). 최소 전달 각이 너무 작으면 인입용 작동기의 용량이 커져야 하므로 이 또한 최적화 과정에 고려해야 할 변수가 될 수 있다.

착륙장치가 아닌 일반적인 링크장치를 설계할 때 잘 사용되는 기준인 Crank 입력링크, 최소 전달각 30도 이상, 링크 길이비 10 이내, 그리고 Branching 문제나 서킷 Change 문제가 없는 링크기구는 0.27%에 불과하다. 만약 설계자가 이러한 링크 장치를 설계한다면 유효한 하나의 형상을 구하는데도 상당히 많은 시간을 필요로 할 것이다. 따라서 최적화 기법의 적용이 반드시 필요하다.

4. 결 론

기준에 사용된 11개의 링크기구 형상의 해영역에 대하여, 링크장치의 특성을 구분하는 그라쇼프 기준, 최소 전달각, 링크 길이비에 대한 통계적 분석을 실시하였다.

이러한 통계는 향후 착륙장치의 설계 뿐 아니라 4절기구의 설계를 위한 최적화 기법의 적용 시 초기값을 구하는 데 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 피봇점(Pivot)만을 갖는 링크기구 형상에 대한 해영역의 특성을 분석하였으나, 향후 피봇점 링크가 아닌 슬라이더 링크를 갖는 4절 이상을 고려한 연구가 필요하다. 슬라이더 링크가 적용되는 경우, 작동기가 입력링크를 회전시키는 데 사용하는 드라이빙 링크 형태로 모델링이 가능하다면, 슬라이딩 링크를 별도로 고려한 통상적인 4절 링크의 합성설계의 기법과 최적화 기법을 적용하여 설계를 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 최선우, 안석민, "소형항공기용 고정식 착륙장치의 동적특성에 관한 연구." 항공우주기술지, 한국항공우주연구원, 제 3권 제 2호, 11. 2004.

2. 최선우, 안석민, 김필중, 박일경, "반디호 접개식 착륙장치 설계." 한국항공우주연구원 기술보고서, KARI-GAG-TM-2004-005. 2004.

3. Freudenstein, F., "Approximate Synthesis of Four-Bar Linkages", Trans. ASME, Vol.77, pp.853-861, 1955.

4. Freudenstein, F., "Structural Error Analysis in Plane Kinematic Synthesis", Journal of Engineering for Industry, Trans. of the ASME, Vol. 81, pp.15-22, Feb. 1959.

5. Freudenstein, F. and G. N. Sandor, "Synthesis of Path-Generating Mechanisms by Means of a Programming Digital Computer", Journal of Engineering for Industry, Trans. of the ASME, Vol.81, pp.159-168, May 1959.

6. Erdman, Arthur G. and J. E. Gustafson, "LINCAGES : Lincage Interactive Computer Analysis and Graphically Enhanced Synthesis Package", ASME Paper No.77-DET-5, 1977.

7. Erdman, Arthur G. and George N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis: Volume 1., 2nd Edition, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.

8. Erdman, Arthur G. and George N. Sandor, Mechanism Design: Analysis and Synthesis: Volume 2., Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.

9. Chase, T. R. and J. A. Mirth, "Circuits and Branches of Single Degree of Freedom Planar Linkages". ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 115, No.2. pp223-230, 1993.