

유공압 착륙장치 모델링 및 완충성능 해석

The Modeling and the Performance Analysis of an Oleo-pneumatic Landing Gear

김 태 욱* · 김 성 찬** · 황 인 희***

Kim, Tae-Uk · Kim, Sung Chan · Hwang, In Hee

요 약

착륙장치는 완충장치를 이용하여 항공기 착륙 시의 충격을 흡수하는 역할을 한다. 여러 방식의 완충장치가 있으나, Oil에 의한 감쇠력과 Gas에 의한 스프링력을 이용하여 에너지를 흡수하는 유공압 방식이 가장 널리 사용되고 있다. 착륙장치 성능해석에서는 다양한 착륙조건에 대한 Dynamic simulation을 통해 최적의 Orifice 형상과 Gas spring 특성을 결정하고, 설계에 필요한 착륙하중을 구하게 된다. 이 논문에서는 상용 프로그램인 VI-Aircraft를 이용한 착륙장치 성능해석 과정을 소개한다. 유공압 완충장치의 모델링 및 Landing simulation 결과를 분석하고, 이에 따른 완충효율 최적화 과정을 제시한다.

keywords : 착륙장치, 유공압 완충장치, 성능해석, 완충효율

1. 서 론

착륙장치의 주요 기능은 항공기 착륙 시의 충격을 흡수하는 것이다. 즉, 완충장치와 타이어는 항공기 운동 에너지와 위치에너지의 합에 해당하는 에너지를 흡수하게 된다(Curry, 1988).

$$(S_t \times n_t \times R_z) + (S \times n_s \times R_z) = K.E + P.E \quad (1)$$

여기에서 S_t 는 타이어 변형, S 는 완충장치 Stroke, R_z 는 지면 반력을 나타낸다. 다양한 방식의 완충장치가 있지만 가장 널리 쓰이는 것은 Oil damper와 Gas spring으로 구성되는 유공압(Oleo-pneumatic) 방식이다. Orifice를 통한 유체의 흐름이 피스톤 속도의 제곱에 비례하는 Damping force를 생성하고, Stroke에 따라 Polytropic과정을 겪는 Gas(Nitrogen)가 Spring force를 발생하여 착륙 시의 에너지를 흡수하게 된다. 그림 1은 압축 및 인장 하중 상태에서의 완충장치 내부 작동개념과 Damper force와 Spring force로 구성되는 전형적인 지상반력 곡선을 보여준다. 지상반력 곡선에서 Initial peak은 damping, End peak은 gas spring에 의해 결정되고, 식 (2)의 완충효율 정의로부터 두 peak load의 크기가 비슷할수록 효율이 높아짐을 알 수 있다.

$$Efficiency, \% = \frac{Area\ under\ the\ curve}{F_{max} \times S_{max}} \quad (2)$$

* 정희원 • 한국항공우주연구원 tukim@kari.re.kr
** 정희원 • 한국항공우주연구원 sckim@kari.re.kr
*** 정희원 • 한국항공우주연구원 ihhwang@kari.re.kr

성능해석에서는 다양한 착륙조건에 대한 Dynamic landing simulation을 통해 하중특성을 분석하고, 최적의 완충효율을 갖도록 damping과 spring 특성을 결정하게 된다.

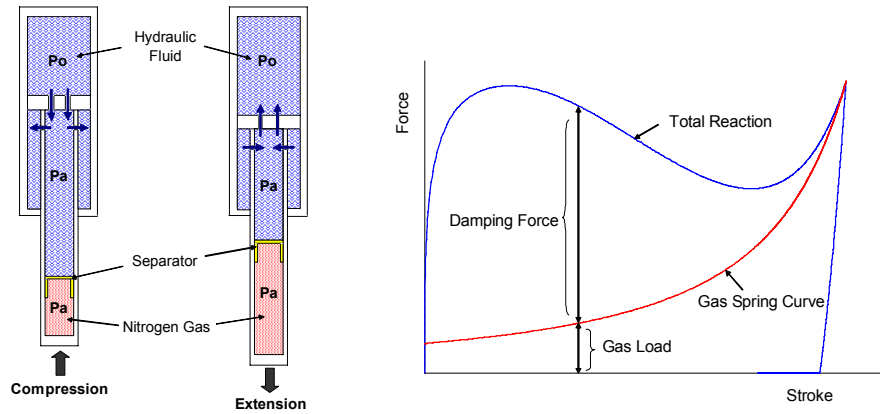


그림 1 유공압 완충장치 개념 및 지상반력 곡선

2. 착륙장치 모델링

VI-Aircraft를 이용하여 Full aircraft landing simulation을 위해서는 먼저 개별 착륙장치에 대한 모델을 구성하여야 한다. 완충장치를 구성하는 oil damper, gas spring 특성과 타이어 하중-변위 곡선을 지정하는데, 각 값은 Text file로 입력하며, 프로그램 상에서 이를 그래프 형태로 확인할 수 있다 (그림 2). 또한 피스톤, 실린더 등의 주요 part를 생성하고, 연결부 개념에 따라 적절한 Joint를 지정한다. 착륙장치의 각 part와 항공기 기체는 기본적으로 Rigid model을 적용하나, FE model을 Import하여 Flexible body로도 사용할 수 있다.

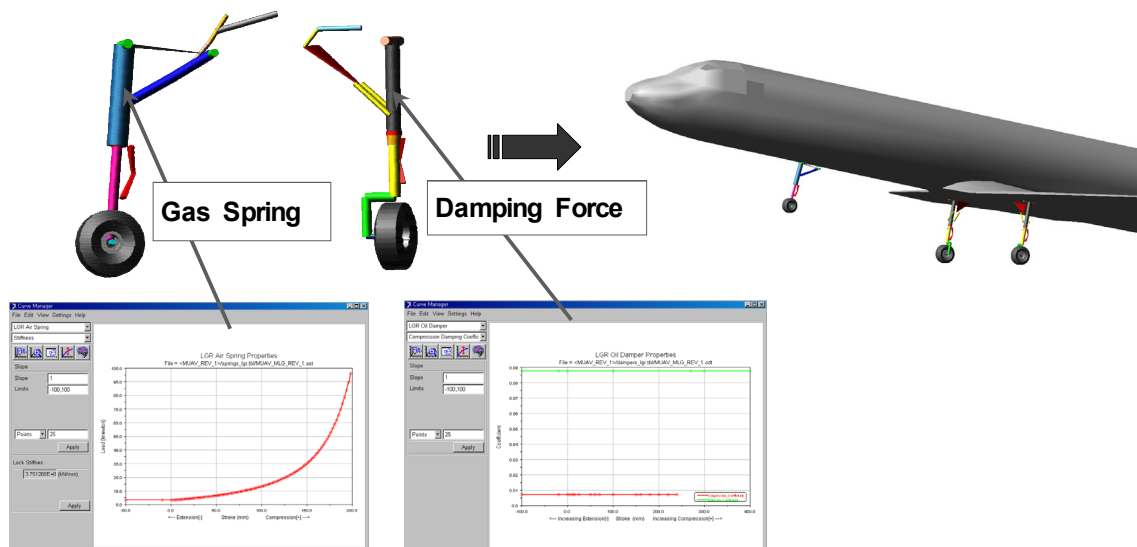


그림 2 Landing simulation 모델의 구성

3. Dynamic Landing Simulation

항공기의 착륙속도가 커질수록 초기에 작용하는 Damping force 역시 급격히 증가하게 된다. 따라서 낮은 착륙속도에 효율적으로 작동하는 완충장치라도 Emergency landing 등 높은 착륙속도에서는 최적의 성능을 가지지 못할 수 있다. 이는 속도의 제곱에 비례하는 Damping force가 착륙 초기에 발생하는 peak load를 급격히 증가시키기 때문이다. 따라서 높은 속도 영역에서는 Orifice 크기를 넓혀 Damping force를 완화시키고 완충장치가 가진 Stroke를 충분히 활용한다면, Peak load가 감소하고 완충효율이 상승할 것이다.

이를 위해 Pressure-relief valve를 적용하여 완충장치 내의 압력이 일정 이상 작용할 경우 damping force를 제한하게 된다. Relief valve의 설계를 위한 주요 parameter는 크게 4개로 정의할 수 있다. 이들의 최적 조합을 통해 전 착륙속도 영역에서 일정 이상의 완충효율을 가지며, 과도한 하중을 발생시키지 않는 완충장치를 설계해야 하는 것이다. 이를 위해서는 각 Parameter의 완충성능에 대한 Sensitivity를 계산하여야 한다. Normal orifice area는 이미 저속 착륙에 대해 최적화되어 있다는 가정 하에, A_2 , P_1 , P_2 의 변화에 따른 Peak load를 해석한다. 그림 3은 각 Parameter의 변화에 따른 Peak loads의 변화를 나타낸 것이다. 최적의 완충성능을 갖기 위해서는 두 값이 비슷한 수준을 가져야 하는데, 그래프 상의 접점을 통해 각 Parameter의 값을 결정할 수 있다. 해석결과 얻은 각 Parameter를 가지고, 속도 변화에 따른 성능해석을 수행하였다. 그림 4는 Relief valve 적용 전, 후의 Load-stroke curve를 비교한 것이다. Normal orifice만을 적용한 경우(그림 4-a)는 속도가 증가함에 따라 완충효율이 급격히 저하되지만, Relief valve를 적용할 경우(그림 4-b) 속도가 증가하더라도 Peak load가 상당히 감소하고, 하중이 전체 stroke 범위에 대해 비교적 균등하게 작용하고 있음을 알 수 있다. 그림 5는 압력 변화에 따른 전체 Orifice area를 나타낸 것인데, 하중이 증가하여 완충장치 내압이 상승할 때 Relief valve가 작용하여 하중을 감소시킴을 알 수 있다. 그림 6은 착륙속도 증가에 따른 최대 하중을 나타낸 것이다. 속도가 증가할수록 Pressure-relief valve 적용 유무에 따라 결과가 큰 차이를 보임을 알 수 있다. $V_z=8m/s$ 일 때, 최대 하중은 약 25% 감소하며 이는 Relief valve 적용의 효율성을 입증한다.

표 1 Pressure-relief valve의 주요 parameter

Parameter	Description
Normal orifice area (A_1)	Orifice area during normal operation
Additional orifice area (A_2)	Area of the pressure valve when fully opened
P_{LO} (P_1)	The pressure at which the pressure valve starts to open
P_{HI} (P_2)	The pressure at which the pressure valve is fully opened

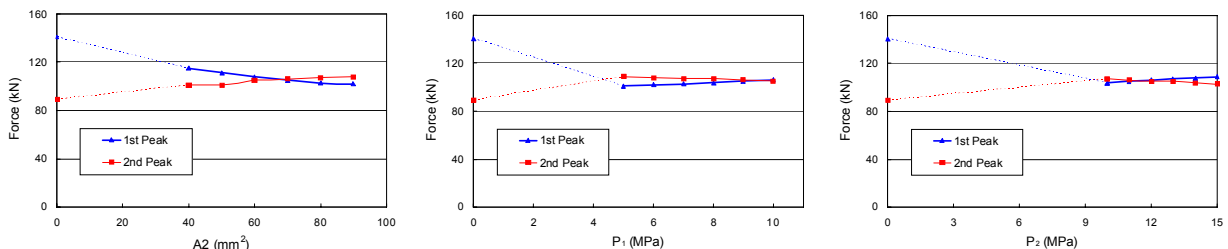


그림 3 Parameter 변화에 따른 Peak loads 추이

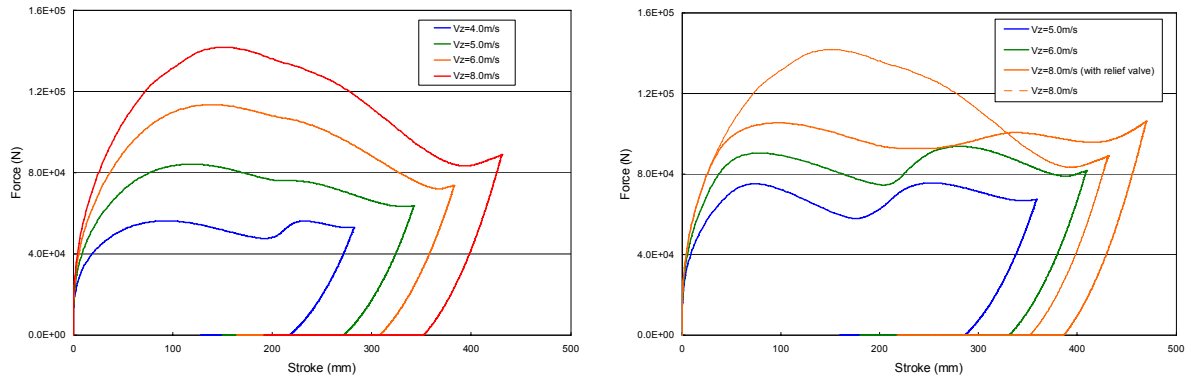


그림 4 Pressure relief valve 적용에 따른 Load-stroke curve 비교

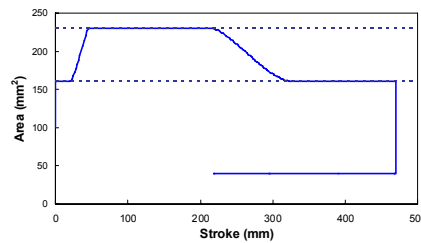


그림 5 stroke에 따른 Orifice area 변화

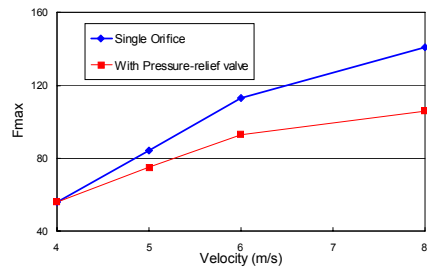


그림 6 stroke에 따른 Orifice area 변화

4. 결론

유공압 완충장치의 성능해석을 위한 모델링 및 Dynamic landing simulation을 수행하였다. 특히 Pressure-relief valve의 적용을 통해 착륙속도 증가에 따른 Peak load의 급격한 증가를 막고, 모든 속도 범위에서 양호한 완충효율을 확보할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용 구성품 개발사업 수행 결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

Curry, N.S. (1988) Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices, AIAA, Washington. D.C.