

Pressure-relief valve 를 적용한 착륙장치 완충장치 설계

김태욱[†] · 신정우* · 황인희**

Design of Landing Gear Shock Absorber Using Pressure-relief Valve

Tae-Uk Kim, JeongWoo Shin and In Hee Hwang

Key Words : Landing gear(착륙장치), Shock absorber(완충장치), Pressure-relief valve, Damping force(감쇠력)

Abstract

The most landing gear use oleo-pneumatic shock strut to absorb the impact energy during touchdown. The shock strut is composed of the oil damper and the gas spring, especially the oil damper provides resistance force which is proportional to the square of landing speed. In case of high landing speed, the abnormal peak load can be occurred and transferred to the airframe structure. To prevent this, the pressure-relief valve is used to limit the damping force under the specific level. In this paper, it is presented the design process to find optimal damping and analysis results using pressure-relief valve.

1. 서 론

착륙장치는 완충장치(Shock Absorber)를 이용하여 항공기 착륙 시의 충격을 흡수하는 역할을 한다. 완충장치에는 여러 형태가 있으나, 대부분의 착륙장치는 유공압(Oleo-pneumatic) 방식의 완충장치를 사용한다. 이는 유압 댐퍼와 가스(질소) 스프링으로 구성되는데, Fig. 1은 기본 작동 원리를 나타낸 것이다.

이중 유압 댐퍼는 항공기 착륙속도의 제곱에 비례하는 힘을 제공하여 충격을 흡수하게 된다. 항공기의 착륙속도는 낮은 속도(normal landing)에서 높은 속도(Emergency landing)까지 분포하는데, 통상적으로 댐핑은 발생빈도가 큰 속도 영역에 최적화되어 설계된다. 따라서 착륙속도가 아주 클 경우 유압 댐퍼에 의해 비정상적으로 큰 감쇠력이 발생하여 항공기 기체에 전달될 수 있다. 이를 방지하기 위해 압력이 일정 이상 작용할 경우

Pressure-relief valve 를 작동시켜 감쇠력을 제한할 필요가 있다. 완충장치에 이를 적용하기 위해서는 Relief valve 작동에 의한 Orifice 면적과 작동 압력을 결정하여야 한다. 이 논문에서는 헬기 착륙장치의 예를 들어, Pressure-relief valve 를 적용한 댐핑 최적화 과정을 제시하고, 시뮬레이션 결과 비교를 통해 설계의 우수성을 입증하게 된다.

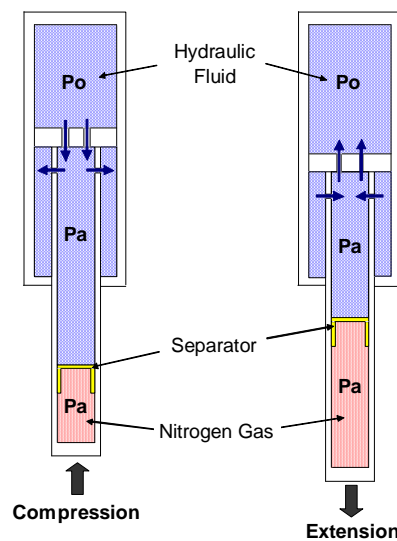


Fig. 1 Oleo-pneumatic shock absorber.

[†] 한국항공우주연구원, 항공사업단 선임연구원

E-mail: tukim@kari.re.kr

TEL: (042) 860-2025 FAX: (042) 860-2006

* 한국항공우주연구원, 항공사업단 선임연구원

** 한국항공우주연구원, 항공사업단 책임연구원

2. 본 론

2.1 완충장치 모델

착륙장치의 주요 기능은 완충장치를 통해 항공기 착륙 시의 충격을 흡수하는 것이다. 이 때 타이어도 에너지의 일부를 흡수하는데, 식 (1)과 같은 에너지 평형식이 성립한다. 즉 완충장치와 타이어는 항공기의 운동에너지와 위치에너지의 합에 해당하는 에너지를 흡수하게 된다.⁽¹⁾

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

여기에서 S_t 는 타이어 변위, S 는 착륙장치의 Vertical axle travel, R_z 는 반력을 나타낸다.

유공압 완충장치는 Oil damper 와 Gas spring 으로 구성된다. Orifice 를 통한 유체의 흐름이 피스톤 속도의 제곱에 비례하는 Damping force 를 생성하고, Stroke 에 따라 Polytopic 과정을 겪는 Gas(Nitrogen)가 Spring force 를 발생하여 착륙 시의 에너지를 흡수하게 된다. Fig. 2는 전형적인 Load-Stroke 곡선을 보여 주는데, 착륙 직후의 초기 영역에서는 Damping force 가 지배적이거나 완충장치의 Stroke 가 증가할수록 Spring force 가 커지는 것을 알 수 있다. Damping orifice 설계가 최적화되지 않을 경우, Fig. 3과 같이 1st peak 과 2nd peak 의 차이가 큰 비효율적인 완충성능을 보이게 된다.

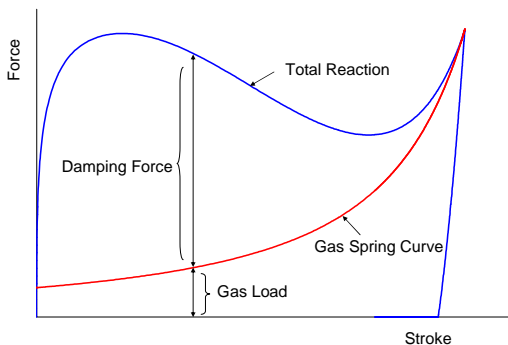


Fig. 2 Energy absorption by oleo-pneumatic shock strut

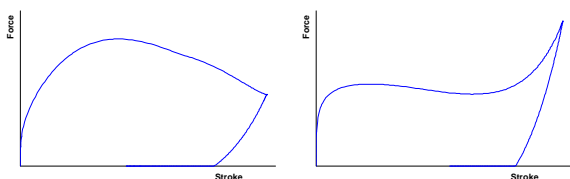


Fig. 3 Example of inefficient load—stroke curve.

2.2 Pressure-relief valve

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. Fig. 4는 속도 증가에 따른 Load-Stroke curve 를 나타낸 것이다. 완충효율은 Load-Stroke curve 가 사각형이 될 때 가장 이상적인 값(100%)을 갖게 되는데, 속도가 증가함에 따라 효율이 점점 나빠짐을 알 수 있다. 즉, 속도의 제곱에 비례하는 Damping force 가 착륙 초기에 발생하는 peak load 를 급격히 증가시킨 것이다. 따라서, 높은 속도 영역에서는 Orifice size 를 넓혀 damping force 를 균등하게 분산시키고 완충장치가 가진 stroke 를 충분히 활용한다면, Peak load 가 감소하고 완충효율이 상승할 것이다.

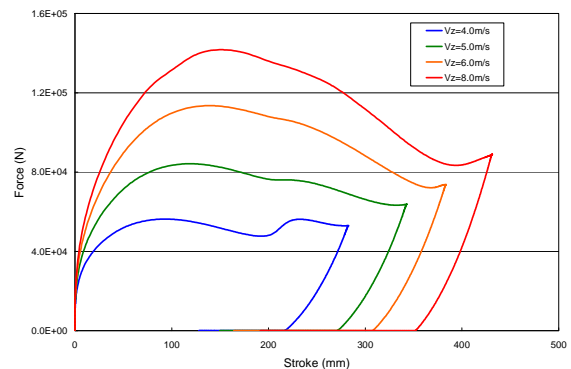
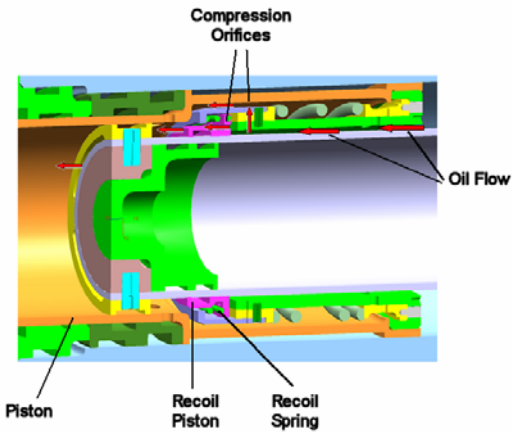


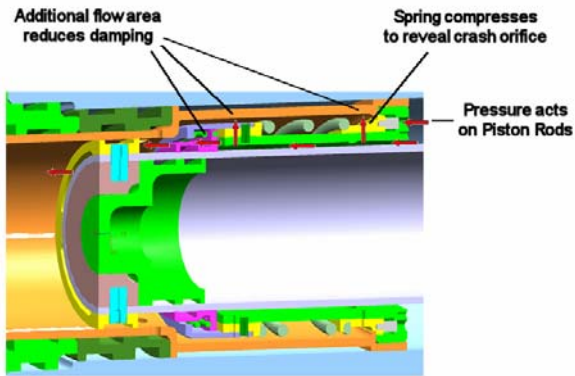
Fig. 4 Load-Stroke curve with varying speed

Fig. 5는 Normal 상태와 Emergency 상태에서의 Pressure-relief valve 작동 및 Oil flow 를 나타낸 것이다. 한편 Valve 설계 시 고려해야 할 주요 Parameter 는 아래와 같다.

- A_ORI_C: Orifice area during compression
- A_ORI_E: Orifice area during extension
- A_PRV: Area of the pressure valve when fully open
- P_DELTA_PRV_LO: The pressure at which the pressure valve starts to open
- P_DELTA_PRV_HI: The pressure at which the pressure valve is fully open



(a) Normal compression



(b) Blow-off valve opened

Fig. 5 Schematic of blow-off valve.

2.3 Valve Parameter 설정

완충효율 최적화를 위해 설정해야 하는 Relief-valve parameter는 크게 4개로 볼 수 있다. 앞의 5개 Parameter 중, A_ORI_E는 Recoil orifice로서 압축에 의한 감쇠력에는 영향을 미치지 않기 때문이다. A_ORI_C(A1), A_PRV(A2), P_DELTA_PRV_LO(P1), P_DELTA_PRV_HI(P2)의 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. A1은 이미 저속 착륙에 대해 최적화되어 있다는 가정 하에, A2, P1, P2의 변화에 따른 Peak load를 해석하게 된다.

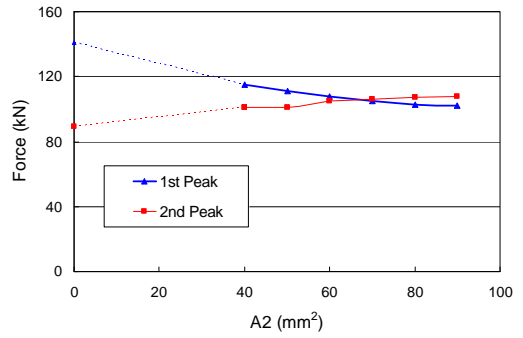


Fig. 6 Peak load with varying A2

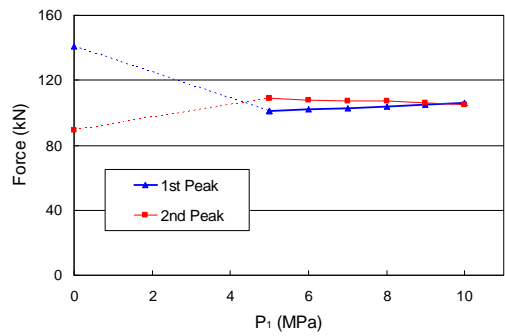


Fig. 7 Peak load with varying P1

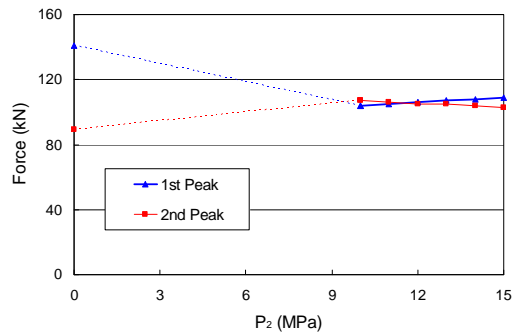


Fig. 8 Peak load with varying P2

Fig. 6에서 Fig. 8은 각 Parameter의 변화에 따른 1st & 2nd peak load의 증감을 나타낸 것이다. Load-stroke curve가 사각형에 가까워지기 위해서는 두 값이 비슷한 수준을 가져야 한다. 이상의 해석 결과, 아래의 값을 얻을 수 있다.

A_PRV (mm ²)	70
P_LO (MPa)	9
P_HI (MPa)	11

2.4 Pressure-relief Valve 의 적용 결과

해석결과 얻은 각 Parameter 의 최적값을 가지고, 속도 변화에 따른 성능해석을 다시 수행하였다. Fig. 9에서 보듯이 Relief valve 의 적용을 통해 Peak load 가 상당히 감소하고, 하중이 전체 stroke 범위에 대해 비교적 균등하게 작용하고 있음을 알 수 있다. Fig. 10은 압력의 변화에 따른 전체 Orifice area 의 변화를 나타낸 것이다. 하중이 증가하여 실린더 내 압력이 증가할 때 Relief valve 가 작용하여 하중을 감소시킴을 알 수 있다.

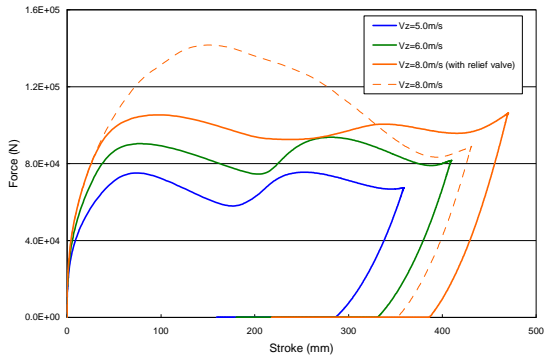


Fig. 9 Load-Stroke curve with optimized parameter

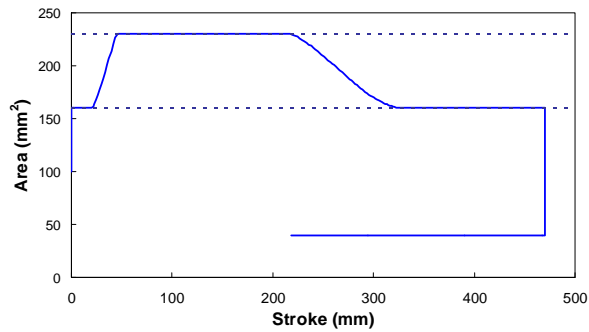


Fig. 10 Orifice area change with stroke

Fig. 11은 착륙속도의 증가에 따른 최대 하중을 나타낸 것이다. 속도가 증가할수록 Pressure-relief valve 을 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 결과가 큰 차이를 보임을 알 수 있다. Vz=8m/s 일 때 최대하중은 약 25% 감소하였으며, 이는 Relief valve 적용의 효율성을 입증한다.

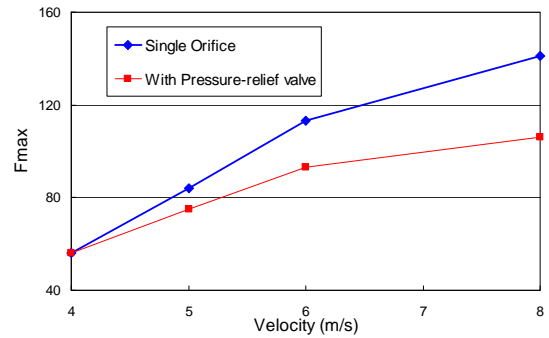


Fig. 11 Fmax with varying sink speed

3. 결론

본 논문에서는 착륙장치의 완충장치에 적용하는 Pressure-relief valve 의 설계/해석을 수행하였다. Pressure-relief valve 의 적용을 통해 착륙속도 증가에 따른 Peak load 의 급격한 증가를 막고, 모든 속도 범위에서 양호한 완충효율을 확보할 수 있었다. 이러한 설계 기법은 특히 내추락설계가 강조되는 헬기 착륙장치에 적용하여 유용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

후기

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

참고문헌

- (1) Curry, N. S., 1988, *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices*, AIAA, Washington, D.C.
- (2) <http://www.vi-grade.com>