

전기체 시험체 보호장치의 동조방안

Tuning Method of Safety Device for Full-scale Test Article

김성찬*, 황인희, 심재열(한국항공우주연구원)

1. 서론

한국항공우주연구원에서는 T-50 고등훈련기 개발사업에 관련하여 전기체 정적시험을 수행한 바 있다. 전기체 구조시험 도중 시험하중이 아닌 과하중으로 시험체가 파손되면 항공기 개발일정에 중대한 지연을 야기한다. 따라서 시험착수전에 시험체 보호장치에 대해 고려하여야 하며, 특히 시험을 위해 80여개의 유압작동기가 동시에 제어되어야하는 전기체 구조시험에 있어서 필수적이다.

통상, 시험수행 중에는 자연재해로 인한 정전 사고 혹은 시험체의 파손, 설계강도 미달로 인한 시험정지등 기타 내, 외부요인에 의해 비상 시험 중지상태가 발생하며, 이 상태에 도달하면 시험제어장비가 비상시험 중지(Shutdown)절차에 따라 제어장치의 전원을 차단한다.(1) 제어장치 전원차단으로 서보제어 유압작동기를 제어하고 있는 서보밸브의 전원도 차단되므로 시험체에 하중을 가하고 있던 실린더의 양단에 외부조건에 따른 급격한 압력변화가 발생되고, 이 변화는 시험체에 과하중으로 가해지게 되어 시험체의 파손을 유발하게 된다. 시험체 파손을 막기 위해 본 연구에서 개발한 조절방법은 시험도중 어느 시간이나 적용이 가능한 유량조절 방법으로서, 예측된 자세를 동일비율로 유지하면서 중립상태로 가게하고 변위 변화 동안 시험체에 가해지는 하중이 최대시험하중을 초과하지 않도록 유량을 조절하는 것이 중요한 개념이다.(2) 본 논문에서는 이러한 시험체 보호장치의 적용기법을 설명하고 실제시험에 적용한 결과를 나타내었다.

2. 본론

2.1 시험체 보호장치 동조절차

시험체 보호장치는 서보작동기 유체압력의 급격한 변화를 방지하는 장치로서 아래와 같은

조절절차를 필요로 한다.

- Step 1. 조절전 사전분석을 통해 Database 구축
- Step 2. Database에서 해당 작동기 변위와 챔버압력 계산
- Step 3. 각 실린더별 챔버 방출 유량 과 오리피스 단면적 결정
- Step 4. Color Band 를 이용한 오리피스 조절
- Step 5. 저하중 튜닝을 통한 오리피스 면적 보정
- Step 6. 시험수행

2.3 시험체 보호장치 구성

시험체의 선형적인 변위변화를 구현하기 위한 시험체 보호장치의 구성회로는 그림1과 같다.(3) 기본적인 구성은 미터아웃 방식의 유량 제어밸브 회로로 구성하였고 하드웨어는 Parker/Mantrol사의 미터링밸브와 HydraForce사의 Switching Element와 Solenoid Valve로 조합한 절환밸브를 사용하였다.

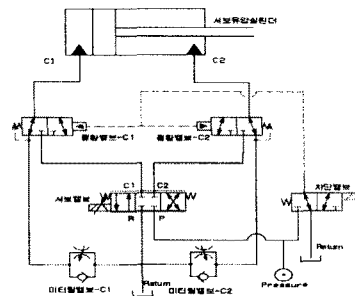


그림 1 보호장치의 구성

2.3 시험체보호장치 작동원리

정상 하중 제어상태는 차단밸브에 전원이 들어간 상태에서 로드셀신호에 의해 서보밸브가 서보유압실린더의 압력과 유량을 제어하고 있는 상태이다. 정상상태에서 전원차단이 이루어지면

그림1의 구성과 같이 유압라인이 형성되는데, 먼저차단밸브가 절환밸브C1, C2를 누르고 있던 유압유를 탱크로 복귀시켜 절환밸브C1, 절환밸브 C2가 작동되고, 서보유압실린더의 C1, C2 라인을 미터아웃 유량제한 방식으로 부착된 미터링밸브C1, 미터링밸브 C2와 연결시키게 된다. 미터링밸브가 연결되면 미터링밸브의 오리피스를 통해 리턴라인으로 유량이 흐르게 되고, 이때의 유량은 오리피스면적에 의해 조절된다.

2.4 시험체보호장치 조절절차

시험을 수행하기 전에 모든 미터링 밸브는 각 시험조건에서의 유압작동기의 변위, 시험하중 작용 시의 실린더(인장,압축 방향)의 압력, 미터링 밸브의 특성곡선을 고려하여 조절한다.

2.4.1 미터링 특성곡선

미터링 밸브의 특성 곡선은 시스템 압력과 유량, 실린더 챔버의 압력과 유량 및 미터링 밸브의 오리피스 단면적과 관련되므로 이에 대한 정보가 미리 준비되어야 한다. 이를 위해 하드웨어 제작업체에서 실험한 특성곡선(그림2)을 사용하였다.

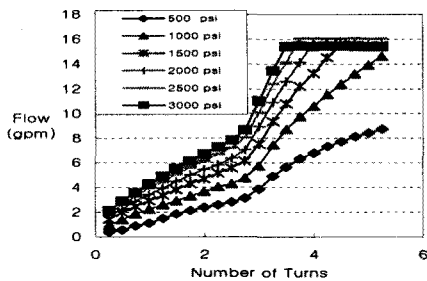


그림 2 미터링특성

본 연구에서는 오리피스 단면계수의 척도로 미터링밸브의 손잡이에 표현된 Color Band와 눈금 회전수를 사용하였다. 밸브의 Color Band 회전수가 커지면 면적이 증가하고, 회전수를 줄이면 면적이 감소하는 구조이고 사용한 오리피스의 유량계수(Cv)는 .787이다.(4)

본 조절절차에서 얻어지는 최종변수는 유압작동기에 부착된 시험체보호장치에 대해 상호 최적화된 Color band로 표현되는 오리피스 조절값이다.

2.4.2 유압작동기의 변위

제어전원 차단시 실린더 챔버내의 유체가 리턴 라인으로 흐르게 되는데 시험체에 설치되어있는 모든 유압작동기의 변위가 같은 비율로 감소하여야 특정 유압작동기에 하중이 집중되는 현상이나 과하중이 발생하지 않는다. 그러므로 수행되어야 할 각 시험하중 조건에 대해 시험체의 변위 변화량을 구하고, 구해진 변위량에서 유압작동기의 위치에 따라 각 유압작동기의 필요변위를 계산하여 시험중지시 각 유압 작동기가 같은 비율로 변위가 감소하도록 미터링 밸브를 조절함으로써 시험체가 선형적으로 중립 위치로 돌아가도록 하여 최종적으로 시험체 보호효과를 얻어낸다.

2.4.3 실린더내의 압력변화 예측

그림3과 같은 통상의 실린더 챔버압력은 작용 하중을 실린더내의 단면적으로 나누어 계산한다.

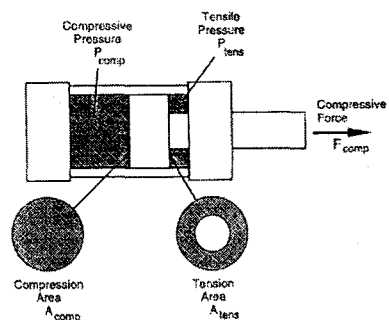


그림 3 Hydraulic Servo Actuator

압력의 차이로 유압작동기에 작용하는 Peak Load는 하중이 작용하는 방향(C1- Pcomp)의 챔버에서 방출되는 단위 시간당 유체의 양과 반대편 챔버 내부(C2- Ptens)에서 방출되는 단위 시간당 유체의 양과 밀접한 관계가 있다. 하중 방향 챔버 유체의 단위시간당 방출량보다 반대편 챔버 유체가 더 빨리 방출되면 아래의 그림 4와 같이 Peak load가 커지게 된다. 각 실린더에서 방출되는 유체의 양은 각 실린더 챔버압력과 밸브의 오리피스 단면적에 의해 결정되므로 각 실린더 챔버 압력을 정확하게 파악하고 그에 따른 오리피스 단면적을 결정하여야 한다.

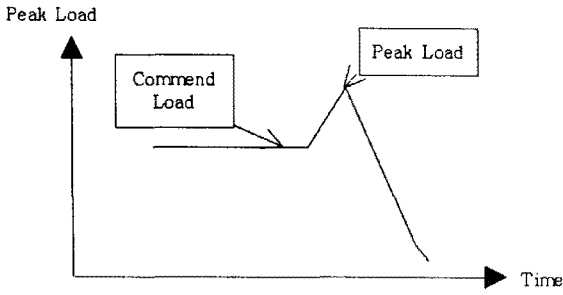


그림 4 Type of Peak Load

각실린더 챔버 내부압력은 (1)식으로부터 얻을 수 있다.(3) 여기서 P_{C1} 은 하중이 가해지는 방향의 실린더 압력이고 P_{C2} 는 반대편 실린더의 압력이다.

$$P_{C1} = F_{C1} / A_{C1} + P_{C2} (A_{C2} / A_{C1}) \quad (1)$$

P_{C1} 의 압력은 P_{C2} 의 압력에 의해 결정되는데 P_{C2} 의 압력은 유압작동기의 특성과 하중상태에 따라서 변한다. 하중의 크기에 따른 P_{C2} 의 압력 특성에 대해 실험을 수행한 결과 그림5와 같이 하중이 커짐에 따라 P_{C2} 의 압력이 작아짐을 알 수 있었다.

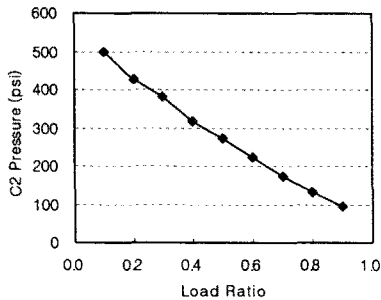


그림5 Relation curve between load and C2 pressure(25kN)

이들 시험결과를 이용하여 스프레드 쉬트로 각 유압작동기의 압력변화 곡선을 얻어내었다.

2.5 저하중 튜닝

조절된 미터링 밸브가 시험중지시에 제대로 작동되는 가를 확인하기 위해 낮은 하중 수준 (0~40%)에서 전원차단을 수행하고 각 유압 작동기에 작용하는 하중을 검토하여 시험도중 전원차단으로 인해 과하중이 작용될 수 있는 유압 작동기에 대해서는 미터링 밸브를 재 조절을 한다. 과하중의 작용에 대한 판단기준은 그

립4와 같은 Peak Load Profile 이다. 미터링 밸브의 재 조절은 실험적으로 구해진 경험식 (2), (3)을 이용하여 조정한다. 재차 2 ~ 3회의 추가 튜닝을 수행하여 각 유압작동기에서의 peak load data를 분석한 후 Peak가 없어질 때까지 아래의 방법으로 조절한다.

경험적인 방법을 이용하여 밸브의 조절값은 아래와 같이 수정한다. 만약 유압작동기에 인장하중이 작용하면,

$$C1 = P1/P2 * C1or * (1.5 \sim 2.0) \quad (2)$$

$$C2 = P2/P1 * C2or * (0.5 \sim 0.6) \quad (3)$$

같이 조절하고 압축하중이 작용하면 반대로 조절한다.

2.6 시험체 보호장치의 실제적용

본 연구에서 얻어진 튜닝절차로 전기체 구조 시험에 적용하였고 약40여회의 시험에서 같은 특성을 보여줌을 확인하였다. 오리피스 조절 전 40%이하의 하중크기로 전원차단을 수행하면 대부분의 유압작동기가 그림6과 같이 Peak가 증가하는 Peak Load 특성을 보여 주고 있다.

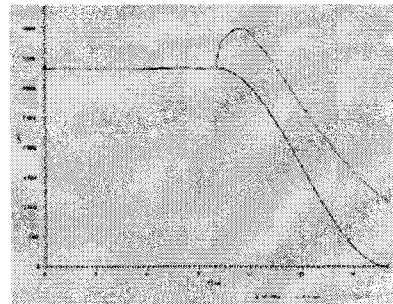


그림 6 Load profile before setting

본 연구에서 획득된 안전장치 조절방법에 의해 얻어진 초기밸브 조절 값으로 시험체 보호장치를 조절한 후에는 하중특성이 그림 7과 같이 현저하게 감소 되었음을 알 수 있다. 하지만 아직 Peak Load의 형태가 남아있으므로 획득된 조절절차와 경험식에 의거하여 저하중 튜닝을 2회 실시하였고 그 결과 그림 8과 같이 Peak를 완전히 제거하였다.

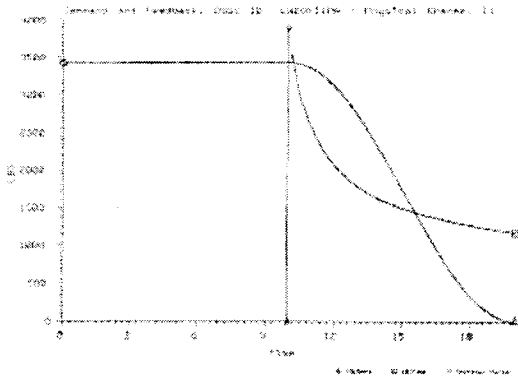


Figure 7 Load profile after initial setting

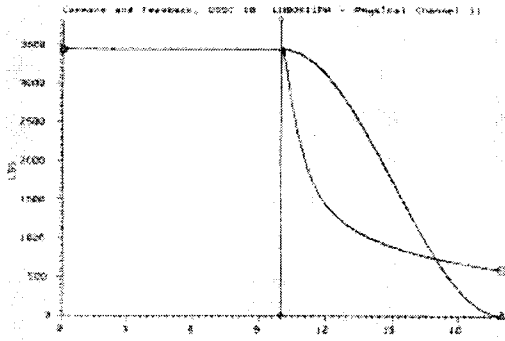


Figure 8 Load profile after tuning

3. 결론

전기체 구조시험의 성공적인 시험수행을 위해 시험중 안전장치 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 시험체 안전장치로서 하중부가시 시험체의 변위를 고려하여 보호하는 방법을 소개하고, 이를 위한 밸브의 구성, 특성분석결과를 이용한 오리피스 조절방법 및 절차를 개발하여 최적의 초기값 예측시간 단축, 실험치와 이론을 병합한 경험식을 추출하여 최소의 저하중 튜닝 횟수로 보호장치를 셋업하였고, 실제 전기체 구조시험에 적용을 하여 그 결과의 유효성을 확인하였다. 향후 얻어진 경험식을 바탕으로 보다 빠른 시간안에 셋팅이 가능한 보호장치에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김성찬, 신정우, 심재열, 황인회, 2002, "전기

체 구조시험치구 설계보고서", 항공우주기술, Vol 1, No.2, pp. 32-43

2. Lockheed Martin, 2002, "Structural Test Manual", LMTAS, DSR-SA-021, pp. 50-51

3. MTS Systems Corp., 2000, "Load Limiter Setup module", MTS Product Manual, pp. 2-1

4. Parker Hannifin Hydraulics Corp., 2002, "Catalogue HY14-3000/US)", Parker Hydraulics, pp. K2-K3