

## 외부장착물 분리하중에 대한 파일런 구조 정적시험

김현기<sup>1,†</sup> · 김성찬<sup>1</sup> · 홍승호<sup>2</sup> · 최현경<sup>2</sup> · 조상환<sup>2</sup> · 박형배<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원

<sup>2</sup>한화에어로스페이스

## Structural Static Test of Pylon for External Attachment Separation Load

Hyun-gi Kim<sup>1,†</sup>, Sungchan Kim<sup>1</sup>, Seung-ho Hong<sup>2</sup>, Hyun-kyung Choi<sup>2</sup>, Sang-hwan Cho<sup>2</sup>, Hyung-bae Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Aerospace Research Institute

<sup>2</sup>Hanwha Aerospace Corporation

### Abstract

The bomb rack unit (BRU) installed inside the pylon serves to fix external attachments such as external fuel tank or external weapon, and also serves to separate external attachments in case of emergency. In particular, the load generated when the external attachment is separated from the BRU is called the punching load. In this study, we present the results of a structural static test performed to verify the structural integrity of the pylon under the BRU punching condition acting on it. In the structural static test report, we present the implementation method for the separation load of the external attachment and the test profile for the BRU punching load condition, and compared the error between the load input signal and the feed-back signal to determine the appropriateness of load control in each test. Furthermore, we compared the strain results obtained in the numerical analysis and structural test at the main positions of the specimen. As a result, it was shown that the load of the actuators were properly controlled within the allowable error range in each test, and the numerical analysis effectively predicted the test result. Finally, through structural static tests conducted by design limit load and design ultimate load, we verified that the aircraft pylon dealt with in this study has sufficient structural strength for external attachment separation condition.

### 초 록

파일런 내부에 장착되는 외부장착물 분리장치(BRU)는 외부연료탱크나 외부무장 등의 외부장착물을 고정하는 역할을 하며, 비상시에는 외부장착물을 분리하는 역할을 한다. 특히, 외부장착물을 분리시킬 때 BRU에 의해 발생하는 하중을 펀칭하중이라고 한다. 본 연구에서는 파일런에 작용하는 BRU 펀칭하중 조건에서 파일런의 구조 건전성을 검증하기 위해 수행한 구조 정적시험 결과를 제시하였다. 구조 정적시험에서 외부장착물의 분리하중에 대한 구현방식과 BRU 펀칭하중 조건에 대한 시험 프로파일을 제시하였고, 각 시험에서 하중제어의 적절성을 판단하기 위해 하중 입력신호와 출력신호 사이의 오차를 비교하였다. 그리고, 파일런의 주요 위치에서 수치해석 결과와 시험에서 측정된 변형률을 비교하였다. 시험 결과, 시험수행 간에 시험하중이 잘 제어되었고, 수치해석이 시험결과를 잘 예측한 것으로 파악되었다. 최종적으로, 설계 제한하중과 설계 극한하중에 의해 수행된 구조 정적시험을 통해 본 연구에서 다루고 있는 항공기용 파일런은 외부장착물 분리하중에 대해 충분한 구조 강도를 보유하고 있음을 검증하였다.

**Key Words** : BRU(외부장착물 분리장치), Punching Load(펀칭하중), Pylon(파일런), Structural Static Test(구조정적시험)

## 1. 서 론

파일런 내부에 장착되는 외부장착물 분리장치(Bomb Rack Unit, 이하 BRU)는 외부연료탱크나 외부무장과 같은 외부장착물을 고정하거나 분리시키는 역할을 한다. 특히, BRU에서 외부장착물을 분리시킬 때 BRU 내부에 내장된 화약을 폭발시키는데, 이 폭발에 의해 발생하는 하중을 펀칭하중(punching load)이라고 한다.

BRU 편칭하중은 파일런 뿐만 아니라 항공기 자체의 안전에 영향을 미칠 수 있으므로 항공기에 적용되기 전에 편칭하중에 대한 파일런의 구조 건전성이 입증되어야 한다. 이런 이유로 파일런의 구조 건전성 평가와 관련하여 해외뿐만 아니라[1,2], 국내에서도 이와 관련한 연구와 시험이 꾸준히 진행되어 왔다[3-7].

본 논문에서는 외부장착물 분리시 작용하는 BRU 편칭하중에 대한 파일런의 구조 건전성 검증을 위해 수행한 구조 정적시험의 결과를 제시하였다. 본문에서는 BRU 편칭하중에 대한 시험 요구조건과 이것을 모사하기 위한 시험하중의 인가방식을 고찰하였다. 그리고, 실제 구조시험을 수행하기 위한 시험치구 셋업, 시험간 주요 정보를 획득하기 위한 센서 부착 그리고 시험하중 프로파일에 대한 정보를 제시하였다. 시험 결과로, 시험하중 증가에 따라 각 시험채널에서의 하중 입력신호와 출력신호(feed-back signal) 사이의 오차를 검토하였다. 그리고, 파일런 주요부위에서 수치해석 결과와 구조시험으로부터 구해진 측정값과의 비교를 통해 수치해석의 신뢰성을 검증하였고, 최종적으로 BRU 편칭하중에 대한 시험체의 구조 건전성을 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 구조시험 셋업

Fig. 1은 파일런 구조 정적시험의 시험구성도이다. 시험셋업은 크게 시험치구, 하중제어시스템, 데이터 획득장비, 유압공급장치와 같은 유압장비로 구성된다. 참고로, Fig. 2는 본 구조 정적시험에 사용된 하중제어장비와 데이터 획득장비이다. 먼저, 시험셋업을 위해 시험체인 파일런을 시험치구 상부에 장착하고, 파일런 하단에 외부장착물을 모사하는 하중부가치구를 조립한다. 그리고, 외부장착물 분리하중 시험에 사용할 예정인 5개의 하중작동기를 하중부가치구에 체결한다. 그리고, 하중작동기에 장착되는 로드셀(load cell)을 통해 시험체에 인가되는 하중 출력신호가 전달되고, 시험체 변형정보는 시험체에 설치된 변형률계이기와 데이터 획득장비를 통해 시연된다.

Fig. 3은 시험체 상부와 측면에 변형을 게이지가 설치된 형상을 보여주고 있다. 파일런 내/외부에 1축 48개, 2축 5개, 3축 8개의 변형률계이기를 설치하였고, 각 변형률계이기의 케이블들은 데이터획득장비와 연결되어 시험체의 변형률 정보를 저장하게 된다.

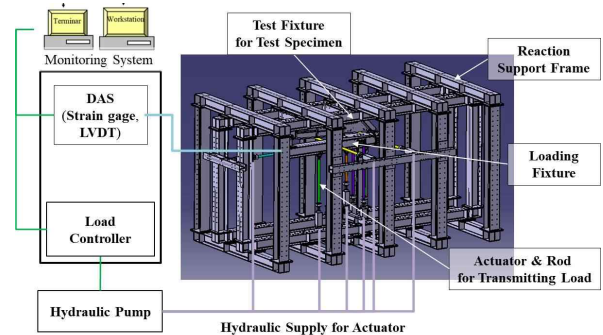


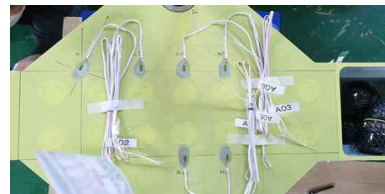
Fig. 1 Test Set-up Diagram of Structural Static Test



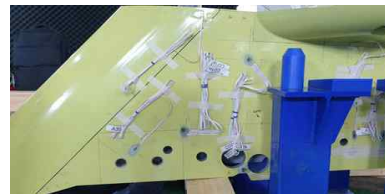
(a) LCS of MOOG

(b) DAS of HBM

Fig. 2 Load Control System and Data Acquisition System



(a) Upper Area



(b) Side Area

Fig. 3 Installation of Strain Gages

### 2.2 하중부가 치구

파일런 하단에 실제 외부장착물을 설치하면 시험하중을 부과하는데 어려움이 따르게 된다. 따라서, Fig. 4와 같이 외부장착물을 모사하는 하중부가치구를 적용하여 하중을 인가하는 방식으로 구조시험을 수행하였다. 하중부가치구에는 하중작동기 체결을 위한 8개의 하중부가점(X1, Y1, Y2, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5)이 있는데, X1은  $F_x$  방향 하중인가, Y1과 Y2는  $F_y$  방향 하중과 요잉(yawing) 모멘트 인가, Z1~Z3은  $F_z$  방향 하중과 롤링(rolling)과 피칭(pitching) 모멘트 인가에 사용되었다. 그리고, 하중부가점 Z1~Z3은 하중부가치구의 중량을 보상하기 위한 보상하중(tare load) 인가에도 사용되었고, 하중부가점 Z4와 Z5는 본 BRU 편칭하중을 인가하는데 사용되었다. 참고로, Fig. 4에 나타낸 하중부가치구의 실물형상과 물리적 치수는 보안상의 문제로 나타내지 않았다.

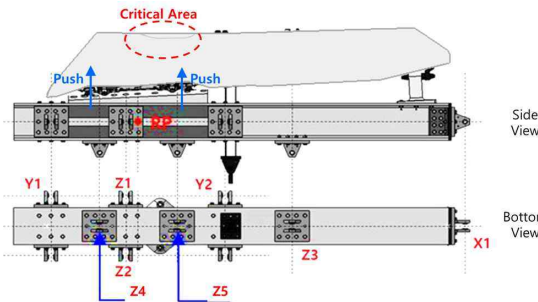
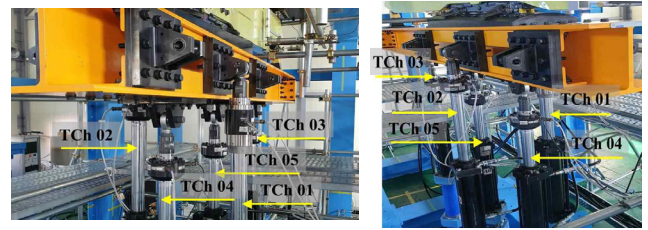


Fig. 4 Load Fittings of Structural Static Test for Pylon

### 2.3 BRU 편칭하중 조건

Fig. 5는 하중부가치구와 하중작동기를 체결한 BRU 편칭하중에 대한 시험셋업 형상을 보여주고 있다. 2.2절에서 설명한 바와 같이 하중부가점 Z1~Z3에 체결되는 하중작동기는 시험채널 TCh-01, TCh-02, TCh-03으로 설정하여 보상하중을 인가하였고, 하중부가점 Z4와 Z5는 시험채널 TCh-04과 TCh-05로 설정하여 BRU 편칭하중을 인가하였다. BRU 편칭조건에 설계제한하중과 설계극한하중에 대한 시험하중은 Table 1에 주어지 있다.



(a) Left Side (b) Right Side

Fig. 5 Actuators Connected to Loading Fixture

Table 1 Test Loads for BRU punching Load Condition (unit: kN)

Load Case	Fz1	Fz2	Fz3	Fz4	Fz5
115%DLL	N/A	N/A	N/A	-57.47	-57.47
150%DLL	N/A	N/A	N/A	-74.96	-74.96

### 2.4 시험 결과

#### 2.4.1 하중 프로파일

Table 1에 주어진 시험하중은 치구중량에 대한 보상하중이 반영되지 않은 시험하중이므로, 본 시험 착수 전에 하중부가치구 중량에 대한 보상이 필요하다. 이를 위해 하중부가치구의 하중부가점 Z1, Z2, 그리고, Z3을 이용하여 하중부가치구의 중량을 보상하였고, 이를 반영한 150%DLL 시험하중이 Table 2에 주어지 있다. 참고로, 시험채널 TCh-01, TCh-02, TCh-03에 인가되는 보상하중은 하중부가치구의 무게중심(center of gravity, CG), 중량 그리고 무게중심과 하중부가점 사이의 거리 정보를 통해 계산되었다.

Table 2 Test Loads of Each Channel with Tare Load (@150%DLL)

TCh-01	TCh-02	TCh-03	TCh-04	TCh-05
-2.48	-2.48	-5.29	-74.96	-74.96

Fig. 6과 7은 보상하중을 반영한 설계제한하중과 설계극한하중에 대한 시험 프로파일이다. 앞에서 설명한바와 같이, 시험채널 TCh-01, TCh-02, TCh-03에 보상하중을 인가하였는데, 시험 착수 전 보상하중을

인가하여 시험 준비상태로 진입하는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 각 시험하중별로 30%DLL을 인가하여 사전 점검시험을 수행한 후 115%DLL 과 150%DLL 하중을 각 시험순서에 따라 수행하였다. 하중 프로파일에서 100%DLL 이내의 범위에서는 하중이 10%DLL씩 증가하도록 하였고, 100%DLL을 초과하는 하중부터는 5%DLL씩 증가시키면서 시험을 수행하였다.

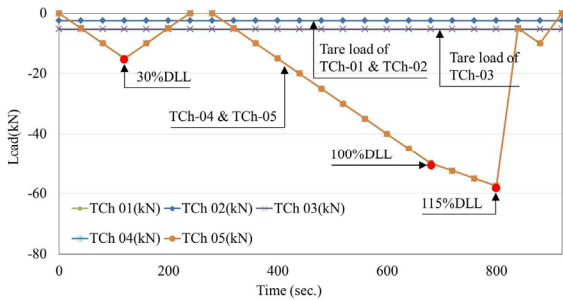


Fig. 6 Test Profile for 115%DLL Test

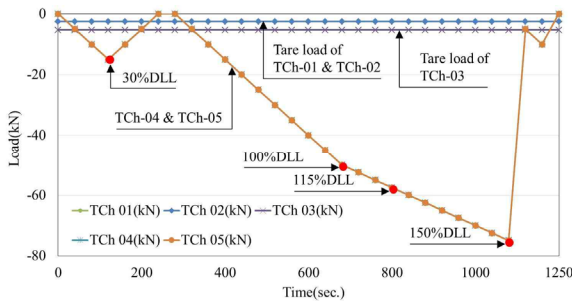


Fig. 7 Test Profile for 150%DLL Test

2.4.2 시험 결과

Fig. 8과 9는 115%DLL과 150%DLL 시험에서 각 채널의 오차를 보여주고 있다. BRU 편칭하중은 시험채널 TCh-04와 TCh-05에서 동일한 하중을 부가하기 때문에 두 채널에서의 오차도 거의 동일한 수준으로 발생하고 있으며, 하중수준이 증가할수록 하중오차가 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 구조시험 수행시 하중수준이 높을수록 하중제어가 용이하고, 하중 수준이 낮을수록 제어가 쉽지 않기 때문이다. 시험데이터 분석결과, 모든 시험 채널에서 하중오차가 0.2% 이하로 파악되고 있으며, 이는 본 논문의 구조시험은 하중제어가 적절히 진행되면서 수행되었음을 의미한다.

Fig. 10은 150%DLL에서 시험착수부터 종료까지 보상하중이 인가된 시험채널 TCh-01, TCh-02, TCh-03에서 하중입력신호와 출력신호 사이의 오차를 나타내고 있다. 이 그래프는 3개 채널에 부가된 보상하중이 적절하게 유지되었는지 파악하기 위한 것으로서, Fig. 8과 9에 나타난 하중오차에 비해 상대적으로 큰 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 보상하중이 시험채널 TCh-04와 TCh-05에 인가된 시험하중 대비 3~7% 수준의 매우 낮은 하중이기 때문이다. 하지만, 시험 종료시까지 1% 이내의 오차범위에서 보상하중이 잘 유지되었음을 알 수 있으며, 해당 구조시험은 전체적으로 하중이 잘 제어되면서 수행된 것으로 판단할 수 있다.

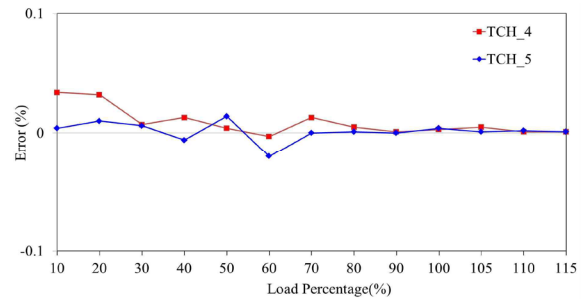


Fig. 8 Error of TCh-04 & TCh-05 @115%DLL

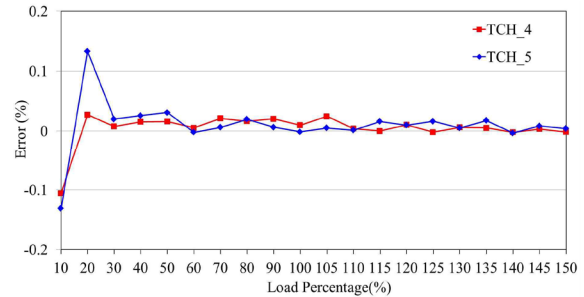


Fig. 9 Error of TCh-04 & TCh-05 @150%DLL

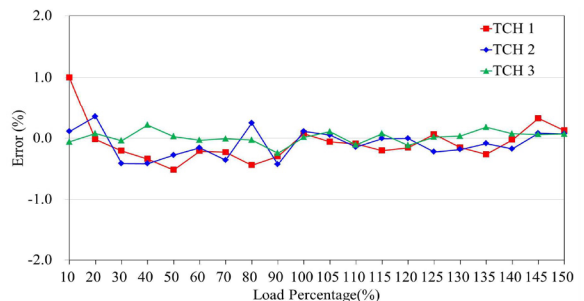
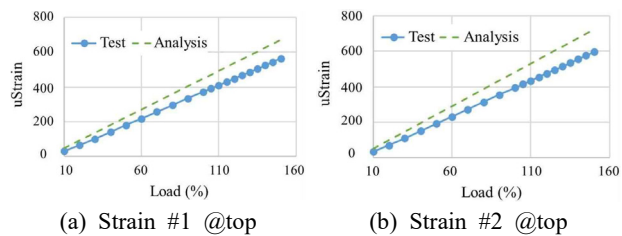


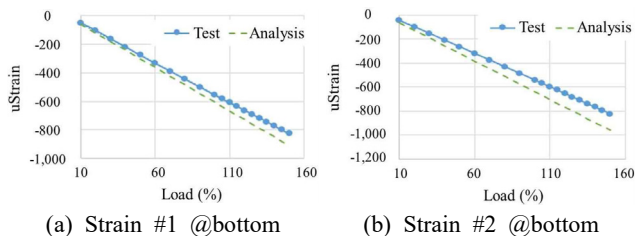
Fig. 10 Error of TCh-01, 02, 03 @150%DLL

본 시험에 적용된 시험하중은 BRU의 피스톤이 외부장착물을 밀어낼 때의 반력이 파일런에 인가되는 하중으로써, Fig 4에 나타난 바와 같이 BRU 편칭하중은 하중인가점 Z4, Z5에서 압축하중으로 작용한다. 이 때 파일런의 주익 장착부는 굽힘응력의 영향을 크게 받기 때문에 주익 장착부 취약부위(critical area)에서의 구조 건전성을 확인하였다.

Fig. 11과 12는 Fig. 4에 나타난 파일런 주익장착부 취약부위에 대한 수치해석과 구조시험의 변형을 결과를 보여주고 있다. 참고로, 수치해석은 구조해석 상용 소프트웨어 ANSYS를 사용하였다. 검토 결과, 수치해석 결과와 구조시험 결과가 유사하게 나타났고, 해당 위치에서의 변형률 수준도 허용범위 내로 파악되었다. 따라서, 본 연구에서 다루고 있는 파일런은 외부장착물 분리시 작용하는 BRU 편칭하중에 대해 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 판단된다.



**Fig. 11** Strain of Analysis and Test on Top Surface of Critical Area



**Fig. 12** Strain of Analysis and Test on Bottom Surface of Critical Area

### 3. 결 론

본 논문에서는 파일런에서 외부장착물을 분리할 때

작용하는 BRU 편칭하중 조건에 대한 구조 정적시험을 수행하여 파일런의 구조 건전성을 검증하였다. 본문에서는 구조 정적시험을 수행하는 시험 구성도와 BRU 편칭하중에 대해 설명하였다. 그리고, 시험 요구도를 모사하기 위해 산출된 시험하중과 해당하중을 적용한 시험 프로파일을 제시하였다. 시험결과, 하중 입력신호와 출력신호 사이의 오차를 비교하여 시험결과에 대한 신뢰성을 검증하였다. 그리고, 시험체의 주요부위에서 수치해석과 구조시험에서 획득한 변형률 결과를 비교하여 수치해석을 통해 시험체의 거동이 잘 예측되었음을 확인하였다. 또한, 시험 후 시험체에 유해한 변형이 발생하지 않은 것으로 파악되어 본 논문에서 다루고 있는 파일런은 BRU 편칭하중에 대해 충분한 구조 강도를 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

### References

- [1] Luo Dongming, Tang Wei, Xue Caijun, Zhang Pengfei, "Static test rig development and application for an airliner's hyperstatic aero-engine pylon structure," *Journal of Measurements in Engineering*, vol.2, Issue 3, pp.145-153, 2014
- [2] Cai-Jun Xue, Rong Mei, Qing-Chun Chang, "Wing Support Stiffness Simulation and Reliability Evaluation in the Engine-Pylon Static Test," *Journal of Aircraft*, vol.56, no.4, pp.1715-1721, 2019
- [3] J.H. Lee, S.M. Choi, M.H. Lee, C. Lee, J.W. Jung, "Ground Ejection Tests to verify the Safe Separation of an Aircraft Mounted Store," *Journal of Advanced Navigation Technology*, vol.22, no.2, pp.70-75, 2018
- [4] C.H. Kang, H.K. Cho, Y.I. Jang, S.H. Lee, K.Y. Kim, "Analysis of the Longitudinal Static Stability and the Drop Trajectory of a Fighter Aircraft's External Fuel Tank," *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol.38, no.3, pp.274-2759, 2010
- [5] K. Lee, I. Lee, Y. Park, S. Baek, N. Jung, S. Jung, "Ground Ejection Tests for the Safe Separation Analysis of a Gliding Bomb," *The Korean Society*

*for Aeronautical and Space Sciences*, vol.46, no.6,  
pp.502-508, 2013

- [6] Y. Yoon, H. Cho, H. Chung, D. Cho, S. Lee, S. Baek, "Experimental Study for the Safety Analysis of an External Store Separation from Fighter Aircraft," *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol.37, no.3, pp.232-239, 2009
- [7] S.S. Lee, S.J. Kim, M.S. Kim, "Analysis and Flight Test of XKO-1 Store Separation," *The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol.32, no.5, pp.24-29, 2004