

외부연료탱크의 분리 안정성 검증을 위한 지상 분리시험

김현기^{1,†} · 홍승호² · 하병근² · 김성찬¹ · 이준원²

¹한국항공우주연구원

²한화에어로스페이스

Ground Separation Test to Verify Separation Stability of External Fuel Tank

Hyun-gi Kim^{1,†}, Seung-ho Hong², Byung-geun Ha², Sung-chan Kim¹, Jun-won Lee²

¹Korea Aerospace Research Institute

²Hanwha Aerospace Corporation

Abstract

Aircraft pylon connects the engine or external stores to the main wing, and transfers the load acting on the pylon to the main structure of the aircraft. In particular, it should perform the function of separating the external store mounted on the pylon in case of emergency or mission performance. At this time, if the separation of the external store is not performed properly due to peripheral air flow or functional problems during the separation process of the external store, it may seriously impact the survivability of the aircraft. For this reason, to apply an external attachment to an aircraft, it is necessary to prove the stability of the external attachment in the separation situation in advance. In this paper, we present the result of the ground separation test performed to confirm that the external fuel tank, which is an external attachment, can be safely separated from the pylon. As a result of the test, the separation movement of the external fuel tank was measured with a high-speed camera, and the stability of the separation of the external fuel tank from the pylon were confirmed through the ground separation test. Additionally, the test result provides basic data for the stability evaluation of the separation of external attachments in actual aircraft.

초 록

항공기 파일런은 엔진이나 외부장착물을 주날개에 연결하고 파일런 자체에 작용하는 하중을 항공기의 주구조물로 전달하는 역할을 한다. 또한, 긴급상황이나 임무수행시 파일런에 탑재된 외부장착물을 분리하는 기능도 수행할 수 있어야 한다. 만약, 외부장착물 분리과정에서 주변기류나 기능적 문제로 외부장착물의 분리가 적절히 수행되지 않으면 항공기 안전에 심각한 영향을 줄 수 있기 때문에 항공기 적용 전에 파일런으로부터 외부장착물의 분리 안정성이 입증되어야 한다. 본 논문에서는 외부장착물인 외부연료탱크가 파일런으로부터 안전하게 분리가 이루어질 수 있는지 확인하기 위해 수행된 지상분리시험 결과를 제시하였다. 시험 결과로, 외부연료탱크가 시험치구로부터 분리된 후 투하 움직임을 고속카메라로 계측하고, 파일런으로부터 외부연료탱크의 분리 안정성을 확인하였다. 또한, 해당 시험결과는 실제 항공기에서의 외부장착물 분리 안정성 평가에 대한 기초 데이터를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

Key Words : BRU(외부장착물 분리장치), External Fuel Tank(외부연료탱크), Ground Separation Test(지상분리시험), Pylon(파일런)

1. 서 론

항공기용 파일런(ptylon)은 엔진이나 외부 장착물과 주날개 등을 연결하고 파일런 자체에 작용하는 하중을 항공기의 주구조물로 전달하는 역할을 하고, 특히,

군용기에서는 외부연료탱크(external fuel tank, 이하 EFT)나 외부무장을 파일런에 탑재하고, 비상시 파일런에 장착된 외부장치를 분리하는 기능도 수행할 수 있어야 한다. 이 때, 외부장착물은 목표 지점의 정확한 타격이 가능하도록 파일런으로부터 분리되어야 할 뿐만 아니라, 분리 안정성을 확보하여 항공기와 조종사의 안전을 도모할 수 있어야 한다. 항공기와 외부장착물 사이의 적합성을 판단하는 중요사항 중의 하나가 외부 장착물의 분리 안정성인데, 만약, 주변 기류영향이나 기능적 문제로 외부장착물의 분리가 안정적으로 수행되지 않으면 항공기 생존성에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 사전에 외부장착물에 대한 분리 안정성이 검증되어야 한다. 이를 위해 MIL-HDBK-1763에서는 항공기와 외부 장착물의 적합성 인증을 위한 요구도와 시험절차를 규정하고 있으며 [1], 항공기용 외부장착물의 분리 안정성에 대한 전산유체 해석 [2,3], 풍동시설을 이용한 자유낙하시험 및 안전 투하영역에 대한 예측 연구 [4], 무장투하 안정성 검증을 위한 지상분리시험 [5,6] 등 외부장착물의 분리 안정성 검증을 위한 다양한 연구와 시험들이 수행되어 왔다.

본 연구에서는 외부연료탱크의 분리안정성을 검증하기 위해 수행한 지상분리시험 결과를 제시하였다. 본문에서는 외부장착물의 분리원리에 대해 설명하고, 지상분리시험을 수행하기 위해 필요한 시험장비와 시험구성을 설명하였다. 그리고, 고속카메라를 사용하여 파일런으로부터 분리된 외부연료탱크의 거동과 분리각도를 분석하여 외부연료탱크의 분리 안정성을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 외부장착물 분리 원리

항공기에 부착된 외부장착물은 그냥 자유 낙하시키면 Fig. 1과 같이 항공기의 자세나 주변 기류의 영향으로 다시 튀어 올라 항공기 기체와 부딪히는 사고를 발생시킬 수 있다. 이런 이유로, 실제로는 파일런에 설치된 폭약 카트리지(cartridge)로 고압의 가스를 발생시켜 외부장착물을 항공기와 충돌이 발생할 수 있는 영역 밖으로 빠른 속도로

밀어내면서 투하시킨다. 여기서, 항공기에서 외부장착물을 투하하는 장치가 외부장착물 분리장치(bomb rack unit, 이하 BRU)이다.

Fig. 2는 외부장착물 분리장치의 일반적인 작동원리를 보여주고 있다. 1단계는 외부장착물이 분리장치에 장착된 상태이다. 2단계는 폭약 카트리지가 작동하여 고압가스가 발생하고, 노리쇠(breech)가 뒤로 밀려나면서(그림 우측방향) 크랭크(crank)가 움직인다. 이 때, 크랭크, 레버 그리고 후크(hook)가 움직이는 방향을 화살표로 나타내었다. 3단계는 크랭크가 레버(lever)를 눌러서 외부장착물의 러그(lug)를 잡고 있던 후크가 풀리면서 동시에 카트리지에 의해 발생한 가스가 피스톤(piston)을 작동시키고, 피스톤은 외부장착물을 강하게 밀어내면서 분리시킨다.

Fig. 2의 과정을 통해 분리된 외부연료탱크가 양력에 의해 다시 위로 떠오르는 사태를 막기 위해 외부연료탱크 후방은 피벗(pivot) 조인트로 체결되어 있다. 참고로, 본 논문에서는 보안문제로 시험시제의 피벗형상은 포함하지 않았고, 유사사례로 F-15 외부연료탱크 후방에 적용된 피벗형상을 Fig. 3에 나타내었다.

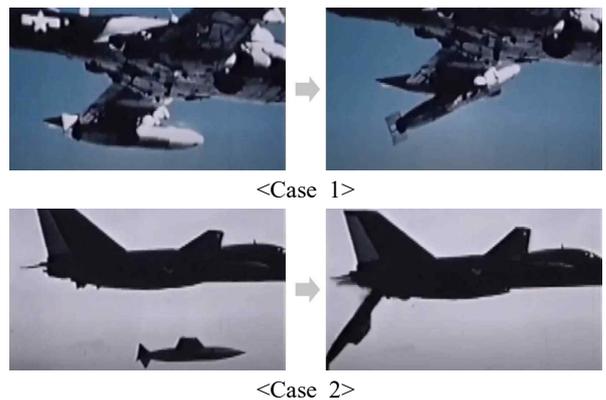
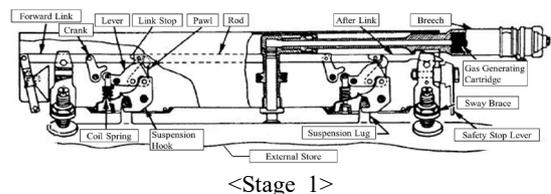


Fig. 1 Accident in the Separation Test of External Store [7]



<Stage 1>

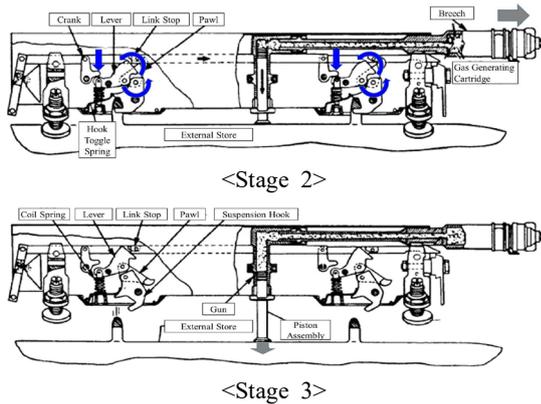


Fig. 2 Process of Separation for External Store [8]



Fig. 3 Ball Joint of EFT @F-15 [9]

2.2 지상분리시험 구성

Fig. 4는 외부연료탱크 지상분리시험을 수행하는 시험장의 구성도이다. 지상분리시험장은 외부연료탱크, 주시험치구, 보조시험치구, 파일런 고정치구, 외부장착물 분리장치, 계측장비, 안전매트로 구성된다. 참고로, 지상분리시험은 총 3회 수행되었는데, 본 논문에서는 가장 위험한 조건인 공허조건(empty condition)에 대한 결과를 다루었다.

Fig. 5는 외부장착물의 고정과 분리, 폭약 카트리지를 위한 외부장착물 분리장치이다. 참고로, 본 논문에서는 보안문제로 실제시험에 사용된 분리장치가 아닌 타기종에서 사용되고 있는 분리장치로 대체하였다. 폭약 카트리지를 작동시키기 위해 외부장착물 분리장치에는 28VDC가 인가되었다. Fig. 6은 외부장착물 분리장치에 전압을 인가하는 제어기와 파일런 커넥터 사이의 연결을 개략적으로 보여주고 있다. Fig. 7은 H빔을 사용하여 제작한 지상분리시험용 주시험치구이다. 시험시제 크기를 고려하여 시험시제의 분리 여부와 분리각도 확인에 필요한 높이로 제작하였다. 그리고, Fig. 8에 나타난

보조시험치구는 시험시제를 지상 2m 높이에서 고정하고 점검하는 용도로 사용되었다.

본 시험을 통해 획득할 수 있는 데이터는 투하에 따른 외부연료탱크의 거동과 분리각도이다. 이를 측정하기 위해 Pole과 고속카메라를 설치하였다. 고속영상의 촬영 프레임은 메모리 및 투하시간을 고려하여 초당 1000 프레임으로 설정하였고, 외부연료탱크 분리영상 녹화를 위해 카메라를 Fig. 9와 같이 설치하였다. Fig. 10은 시험시제가 주시험치구에 최종 설치된 형상이다.

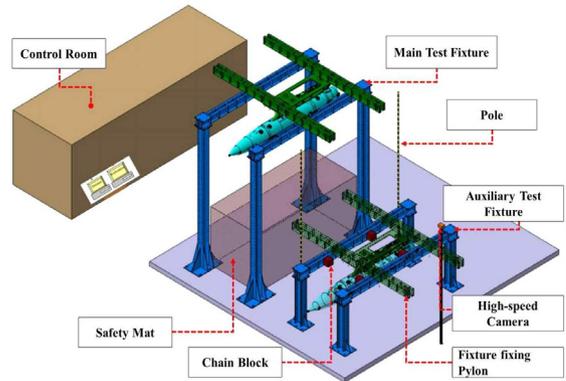


Fig. 4 Layout of Ground Separation Test for EFT



Fig. 5 Bomb Rack Unit for F-15 and F-16 [9]

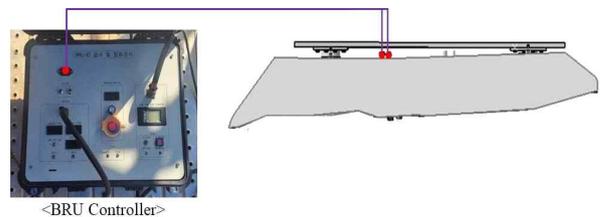


Fig. 6 BRU Controller connected with Pylon Connector



Fig. 7 Main Test Fixture for Ground Separation Test



Fig. 8 Auxiliary Test Fixture

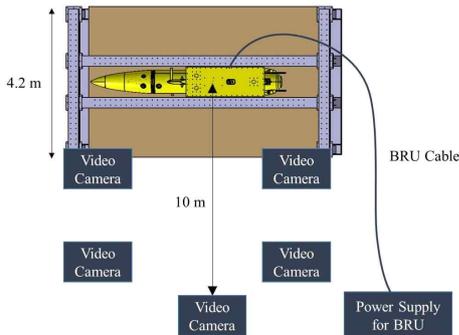


Fig. 9 Camera Positions for Ground Separation Test

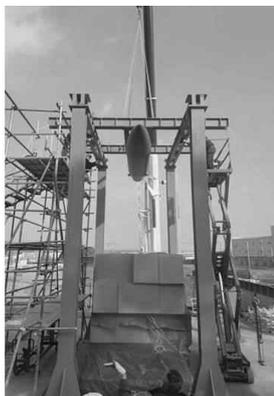


Fig. 10 Test Specimen Installed on Main Test Fixture

2.3 지상분리시험 수행 절차

외부연료탱크에 대한 지상분리시험은 아래의 절차에 따라 수행된다.

순서	시험절차
1	「파일런 고정치구」를 「보조시험치구」에 고정한 후, 파일런을 「파일런 고정치구」에 체결한다.
2	외부장착물 분리장치를 파일런에 체결한다.
3	외부연료탱크를 외부장착물 분리장치에 장착한다.
4	외부연료탱크 피벗을 파일런 후크에 연결한다.
5	전원공급장치와 파일런을 연결하고, 외부장착물 분리장치의 카트리지 약실에 「카트리지 연결기」를 장착하여 전력공급이 되는지 확인한다.
6	외부장착물 분리장치에서 「카트리지 연결기」를 제거한 후 시험용 카트리지를 약실에 장착한다.
7	외부장착물 분리장치 안전핀의 안전상태를 해제한다.
8	파일런/외부연료탱크가 장착된 「파일런 고정치구」를 「주시험치구」로 이동시킨 후 장착한다.
9	전원공급장치에 케이블을 연결한 후 전원을 켜는다.
10	투하 버튼을 누른다.
11	외부연료탱크가 「안전매트」에서 멈출 때까지 대기한다.
12	육안으로 외부연료탱크의 러그 지지대 및 피벗 조립체의 이상 유무를 확인한다.

2.4 시험 결과

지상분리시험에서 합부 판정기준은 편칭하중에 의해 시험시체의 구조적 파손이 없어야 하고, 시험시체가 파일런으로부터 완전하게 분리되어야 하는 것으로 규정하고 있다.

Fig. 11은 외부장착물 분리장치 내부에 설치된 폭약 카트리지 작동 이후, 외부장착물 분리장치의 전·후방 피스톤이 외부장착물을 밀어내는 거동을 보여주고 있다. 이 때 외부장착물이 밀어내는 하중을 편칭하중(punching load) 이라고 하는데, 사전연구를 통해 편칭하중 조건에 대한 파일런의 구조 건전성은 이미 확인된 바 있다 [10].

Fig. 12는 편칭하중이 가해진 시험시체의 전방과 후방 위치를 보여주고 있다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 시험 종료 후에 시험시체를 검사한 결과,

편칭하중에 의한 시험시제의 구조적 파손은 발생하지 않은 것으로 파악되었다. Fig. 13은 시험시제가 분리되는 순간을 보여주고 있다. 편칭하중에 의해 시험시제가 외부장착물 분리장치로부터 분리된 후, 시험시제 후방 피벗에 의해 회전하다가 피치(pitch)각 약 16°에서 파일런으로부터 완전히 분리되는 것을 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서 다루고 있는 외부연료탱크는 지상분리시험을 통해 구조적 손상없이 파일런으로부터 안정적으로 분리되는 것이 확인되었다.

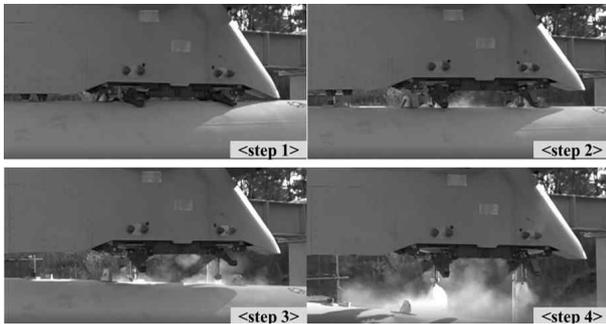


Fig. 11 EFT Separated by the BRU Punching Load

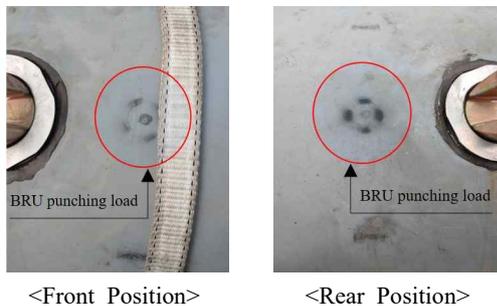


Fig. 12 Location of the BRU Punching Load

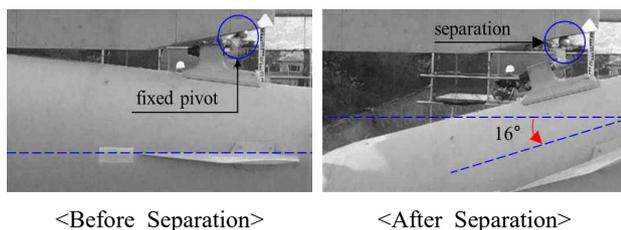


Fig. 13 EFT Separated from the Pylon

3. 결 론

본 논문에서는 지상분리시험을 통해 항공기용 외부연료탱크의 분리 안정성을 확인하였다. 이를 위해, 고속카메라를 사용하여 외부연료탱크 분리 후의 거동과 분리각도를 분석하였다.

시험결과, 외부연료탱크는 파일런으로부터 완전하게 분리되었고, 편칭하중에 의한 시험시제의 구조적 파손도 발생하지 않았다. 따라서, 지상분리시험을 통해 항공기용 외부연료탱크의 분리 안정성을 확인하였다. 본 논문의 분리시험은 지상에서 수행한 시험이지만 실제 비행하는 항공기의 외부장착물 분리 안정성 검토에 대한 기초 데이터를 제공 할 수 있으며, 유사시험을 수행하는 경우 시험구성과 시험셋업에 대한 참고자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Anonymous, "Aircraft/Stores Compatibility: Systems Engineering Data Requirements and Test Procedure," MIL-HDBK-1763, Department of Defense, 1998
- [2] H. S. Chung, Y. H. Yoon, S. H. Lee, "A Study on CFD Simulation of Aircraft Store Separation," 2007 KSAS Fall Conference, pp. 152-155, 2007
- [3] Y. H. Yoon, H. S. Chung, S. H. Lee, "Numerical Simulation for Aircraft Store Separation Validation," 2007 KSCFE Fall Conference, pp.157 - 161, 2007
- [4] S. S. Lee, S. J. Kim, M. S. Kim, S. J. Kim, M. S. Kim, "Analysis and Flight Test of XKO-1 Store Separation," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol.32, no.5, pp.24-29, 2004
- [5] 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
- [6] K. D. Lee, I. W. Lee, Y. K. Park, S. W. Baek, N. H. Jung and S. J. Jung, "Ground ejection tests for the safe separation analysis of a gliding bomb," *Journal of the Korean society for Aeronautical and Space Science*, vol.41, no.6, pp. 502-508, 2013
- [7] https://www.youtube.com/watch?v=_WfXVOXhKew

- [8] <https://cafe.daum.net/hanryulove/KTsc/11593?svc=cafeapi>
- [9] <https://bemil.chosun.com>
- [10] H. G. Kim, S. C. Kim, S. H. Hong, H. K. Choi, S. H. Cho, H. B Park, "Structural Static Test of Pylon for External Attachment Separation Load," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol.16, no.1, 2021