

파열식 발사관 덮개의 성능검증을 위한 시험기법

Test Technique for Performance Verification of Fracture-Type Canister Cover

정재욱* 신상목* 배영관**
Jae-Wook Chung Sang-Mok Shin Young-Gwan Bae

ABSTRACT

When a missile is launched, a fracture-type canister cover should be properly broken by a collision with a missile or inner pressure of a canister. The fracture performance of a canister cover should be evaluated by a test using a real missile; however, it is unrealistic due to high cost and time restriction in a design stage. In this study, a test technique is newly developed to predict fracture performance of a canister cover. The test was design to have same kinetic energy with a real missile test when the cover is collide with a missile. The effectiveness of the suggested test technique was proved by comparing the test result with that of a real missile test.

Keywords : Fracture-type Canister Cover(파열식 발사관 덮개), Fracture Performance(파단성능), Test Technique(시험기법)

1. 서론

발사관 조립체는 유도탄 발사 시 유도탄의 진행을 안내하는 발사 플랫폼(launch platform)의 역할 뿐만 아니라 저장, 수송 및 운용 시 발생하는 진동이나 충격으로부터 유도탄을 보호하는 기능을 수행한다. 발사관 조립체의 주요부품 중 하나인 발사관 덮개는 발사관의 전/후방에 부착되며 저장 및 수송 시에는 먼지, 습기 등과 같은 외부환경으로부터 유도탄을 보호하며, 또한 인접한 발사관에서 발사된 유도탄의 후류화염에 의해 장입된 유도탄이 손상됨을 방지하는 역할을 한다.

발사관 덮개는 운용 방법에 따라 개방식, 파열식 및 혼합식으로 분류할 수 있다. 개방식은 운용자가 직접 기구장치를 조작하여 덮개를 개방하는 수동식과 전기, 유공압 등 동력원과 센서정보를 이용하여 덮개를 개방하는 자동식으로 구분된다. 파열식은 유도탄 점화 시 발사관 내부에 형성되는 압력 또는 유도탄과의 직접 충돌에 의해 덮개가 파단되는 방식이며, 혼합식은 개방식 및 파열식을 혼합한 방식이다. 발사관에 덮개를 적용하기 시작한 초창기에는 주로 개방식을 사용하였으나 최근에는 개방식에 비해 구조가 단순하고 무게가 가벼우며 운용성이 양호한 파열식 덮개를 많이 사용하고 있다.

파열식 덮개는 외부 충격이나 인접 발사관에서 발사된 유도탄의 후류압력을 견딜 수 있어야 하지만, 유도탄 발사 시에는 유도탄의 진행과 간섭이 일어나지 않도록 쉽고 확실하게 파열이 되어야 하는 설계의 양면

† 2013년 4월 1일 접수~2013년 7월 5일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 두산DST(주)

책임저자 : 정재욱(cjw5508@add.re.kr)

성을 지니고 있다.

발사관 내부압력 또는 유도탄 침두부와의 직접 충돌로 인한 파열식 덮개의 파단양상 예측은 쉽지 않다. 발사관 덮개의 파단양상 및 성능을 확인하기 위한 가장 정확한 방법은 유도탄 발사시험을 수행하는 것이나 유도탄 발사시험을 통한 검증방법은 많은 비용 및 시간이 투입되기 때문에, 개발과정에 있는 발사관 덮개의 파단성능 검증을 위한 시험기법 개발이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 유도탄과의 직접 충돌로 인해 파열된 덮개가 유도탄의 진행과 간섭이 발생하지 않으며, 또한 덮개가 떨어져나가 주변장비들에 손상을 주지 않도록 파편을 잡아주는 구조를 가진 파열식 발사관 덮개의 파단성능 검증을 위한 시험기법에 관한 것이다. 시험기법을 통해 예측된 덮개의 파단양상과 실제 유도탄 발사시험에서 확인된 덮개의 파단양상이 유사함에 따라 개발된 시험기법이 유효함을 확인하였다.

2. 발사관 덮개 구성 및 특징

일반적인 파열식 발사관 덮개는 유도탄 발사 시 덮개가 파열되고 파열된 덮개 파편의 낙하로 인해 주위 장비의 손상이 우려된다.

이런 현상을 개선하기 위해서 파열식 덮개는 유도탄과 충돌 시 1) 일정한 조건으로 확실하게 파열/분리되고, 파열된 파편이 유도탄의 진행에 방해가 주지 않아야 하며 2) 덮개 파편이 낙하되어 다른 주변 장비에 손상을 주지 않도록 발사관에 고정되어야 한다는 개발요구사항을 만족하도록 개발하였다.

가. 발사관 덮개 구성

본 연구의 파열식 덮개는 소성 특징이 좋은 금속판(plastically deformable metal sheet)을 덮개에 부착하여 덮개 파편이 가진 운동에너지를 금속판의 소성에너지로 흡수하여 발사관에서 파편이 이탈되지 않으며, 동시에 파편이 유도탄의 진행에 방해가 되지 않도록 설계하였다.

발사관 덮개는 유효덮개, 덮개링, 힌지 및 덮개 프레임으로 구성된다. 유효덮개는 덮개파단 성능과 밀접한 관계가 있기 때문에 운용조건에 적합한 물리적, 열적 특성 등을 만족하며, 유도탄 발사 시 적절한 파단 성능을 발휘할 수 있는 소재를 선정하였다. 덮개와 유도

탄과의 충돌로 인한 유도탄 침두부의 굽힘 및 손상을 방지하기 위해 유도탄과의 충돌 면에는 충격 흡수용 패드를 적용하였다.

덮개 프레임은 발사관 덮개가 발사관에 장착되는 부위로서 유효덮개, 덮개링 및 힌지가 조립되며, 유효덮개 조립 시 덮개 프레임 사이에 오링을 장착하여 발사관의 기밀 및 수밀을 유지시켜 준다. 덮개링은 덮개 파단 전 유효덮개가 분리되지 않는 기능을 가지며, 힌지는 덮개 파단 후 유효덮개 파편의 운동을 구속하고 유도탄 후류로 인해 덮개 파편이 비산되는 것을 방지한다. 특히, 덮개 파단 시 유효덮개 파편이 힌지소재의 탄성 복원(spring back)으로 인해 유도탄의 진행에 방해가 되지 않으며 유도탄의 후류에도 파손되지 않도록 하였다. Fig. 1은 본 연구의 파열식 발사관 덮개의 구성도이다.

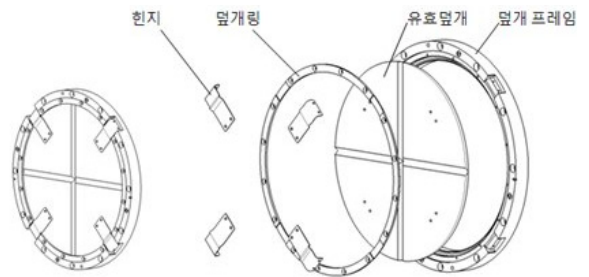


Fig. 1. 발사관 덮개 구성

나. 덮개 파단성능 전산 시뮬레이션 모델 검토

발사관 덮개 파단성능의 중요한 설계요소는 유효덮개의 홈 형상과 깊이이다. 또한 파단된 덮개의 파편이 유도탄과의 간섭이 없으면서 비산되지 않도록 하기 위한 설계인자는 힌지의 형상이다.

설계인자 선정의 적절성을 확인하기 위해서 상용유한요소프로그램을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 2는 Abaqus/Explicit을 사용하여 수행한 유도탄 파단 후 발사관 덮개의 파열양상에 대한 시뮬레이션 결과이다.

전산 시뮬레이션은 유도탄을 반구형상으로 단순화하여 유효덮개를 파단 시키며 관통하는 동안 유효덮개의 파단양상과 소성힌지에 구속된 파편의 거동을 미리 예측하고자 하였다.

시뮬레이션 결과 반구형상의 모의 유도탄이 덮개를 4개의 조각으로 파열시키며 이탈하였고, 이탈 후에는 파편이 힌지로 인하여 더 이상 비산하지 않고 다시 원

상태로 돌아오려고 하는 현상을 확인하였다 이런 결과로부터 적절한 소재선정과 힌지부의 형상설계 개선이 필요함을 확인하였다.

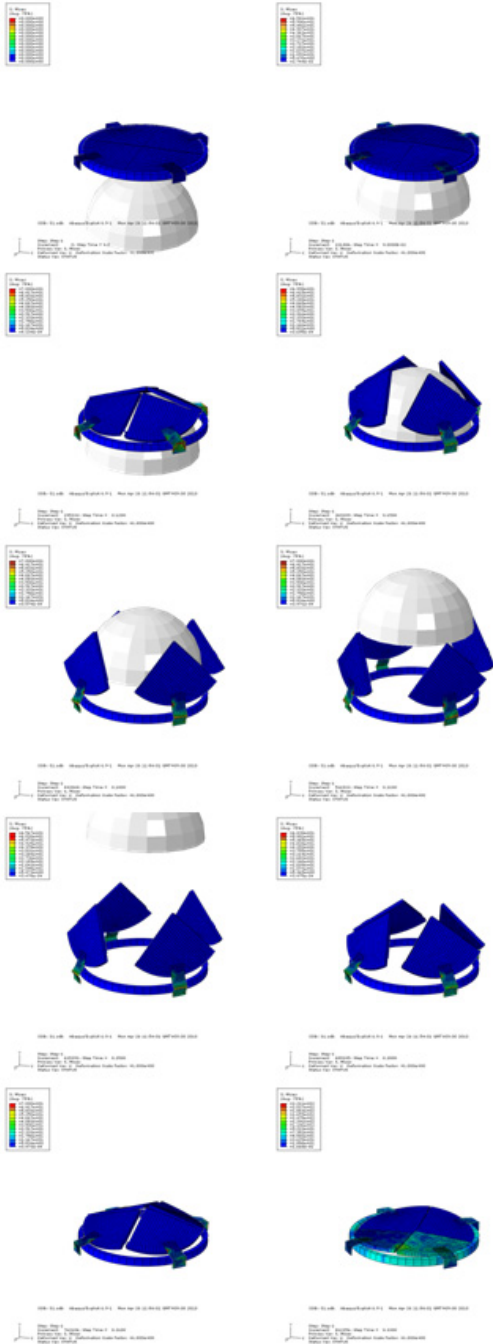


Fig. 2. 힌지 부착 덮개의 파편전개 해석 결과

다. 발사관 덮개 주요소재 선정

발사관 덮개의 파열성능에 영향을 미치는 주요 소재는 크게 유도탄과의 충돌로 인해 파열되는 유효덮개부와 그 유효덮개부의 파편을 잡아주는 소성힌지부이다.

유효 덮개부의 소재는 일정 형상을 갖고 쉽게 파열되기 위해 취성파괴(brittle fracture) 특성이 좋은 소재를 선택해야 한다. 반면, 소성 힌지는 파편이 가진 운동에너지를 최대한 흡수해야하기 때문에 낮은 응력상태에서 항복에 도달하고 이후 지속적인 소성변형과정을 통해 에너지를 흡수할 수 있으며 탄성복원(spring back)이 최소한으로 일어날 수 있는 소재를 선택해야 한다.

파단특성과 같은 파열식 덮개 설계에 필요한 소재의 특성은 제조사에서 제시하는 물성 데이터만으로는 파악하기 힘들다. 따라서 유효덮개에 적합한 소재를 선택하기 위해 여러 가지 덮개 시체를 제작하고 파단시험을 실시하여 개발요구 사항을 만족할 수 있는 폴리 카보네이트(polycarbonate)를 유효덮개의 소재로 선택하였다. 폴리 카보네이트는 판재형으로 양산되고 있는 상용 플라스틱 중 기계적, 환경적 특성이 우수한 소재이다. 신뢰성 있는 표준 소재를 사용함으로써 무기체계 양산 시 균일한 품질 및 저가화 뿐만 아니라 제품의 수급에 대한 안정성까지 얻을 수 있었다.

Table 1. 황동C2680의 기계적 성질(KS D5201)

합금번호	질별	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	비 고
C2680	O	275이상	40 이상	연성우수
	1/4H	325~410	35 이상	
	1/2H	355~440	28 이상	
	3/4H	375~490	20 이상	
	H	410~540	-	

한편, 발사관 덮개가 파단 되는데 필요한 에너지인 유도탄과의 충돌력이나 발사관 내부압력은 충격파와 같이 짧은 시간에 큰 에너지를 나타내는 특성을 보인다. 이러한 에너지는 덮개를 파단할 뿐만 아니라, 발사관으로부터 멀리 비산되는 에너지를 모두 포함한다. 따라서 소성힌지의 소재 특성은 덮개의 파편이 발사관으로부터 떨어지지 않도록 높은 인성을 갖고 한편 비산되는 에너지를 흡수할 수 있도록 단위체적당 에너지

흡수 능력이 크고 소성변형이 쉬운 황동(brass) C2680을 선택하였다. C2680계열의 열처리에 따른 기계적 성질은 다음의 Table 1과 같다.

3. 파단성능 검증 시험기법

파열식 덮개의 파단성능은 유효덮개와 소성흔지부의 소재 및 형상 그리고 덮개의 홈 형상과 깊이와 서로 밀접하게 관련되어 있기 때문에 실험을 통해 얻은 정확한 물성데이터가 없이는 전산 시뮬레이션을 통해서 정확한 성능예측이 힘들다. 가장 정확한 성능확인 방법은 실제 유도탄 발사시험을 수행하는 것이지만 이는 많은 비용과 인력 그리고 시간을 요구하기 때문에 개발 중인 발사관 덮개의 파단성능을 확인하기 위한 별도의 방법이 필요하다.

따라서 유도탄과의 충돌로 인해 발사관 덮개가 파열되는 경우, 덮개 파열에 전달되는 운동에너지는 충돌시점의 속도와 관계가 있기 때문에 유도탄이 덮개와 충돌하는 시점의 속도와 충돌력을 구현할 수 있다면, 실제 발사시험과 동일한 환경을 모사할 수 있다는 점에 착안하여 발사관 덮개 파단성능 검증을 위한 시험장치를 개발하였다.

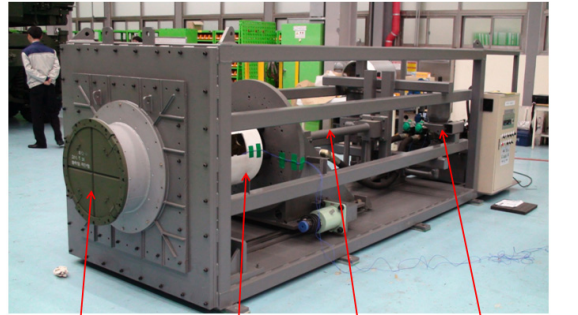
가. 발사관 덮개 파단성능 시험장치

Fig. 3은 발사관 덮개 파단성능 검증을 위해 개발된 시험장치의 형상이다.

시험장치는 Fig. 4와 같이 유압동력발생장치(①), 유압실린더(②), 센서 및 연결용 케이블(③) 및 이송프레임(④)으로 구성하였다. 이송프레임은 모의탄이 장착된 구조물로 유압실린더에 의해 시험장치의 전/후 방향으로 이동하며 모의탄의 충돌력을 파단 시험용 덮개에 전달하는 역할을 한다. 유압동력발생장치에서 고압의 유압을 발생시켜 축압기에 유압을 저장하고, 유압실린더에 공급한다. 이송프레임은 프레임 하부에 장착된 클램프 잠금 실린더(⑦)에 의해 이동이 구속된 상태에서, 발사신호에 의해 잠금 실린더의 구속이 해제되면 연결된 유압실린더(②)의 움직임에 따라 모의탄을 고속으로 이동시켜 시험대상물인 발사관 덮개와 충돌하여 덮개를 파단 한다.

유도탄의 발사관 이탈속도를 모사하는 역할을 하는 이송프레임의 이동속도는 유압실린더에 가해지는 유압유의 유량에 의해 좌우된다. 실제 시험 시 측정된 유

도탄의 발사관 이탈시점 속도를 충족시키기 위해서는 초대형 유압펌프와 전기모터가 필요하다. 시험장치의 소형화를 위해서 다수의 대형 축압기를 장착하여 유압실린더에 공급되는 유량의 보조 동력원으로 사용하였다.



파단 시험용 덮개 모의탄 유압실린더 유압장치부

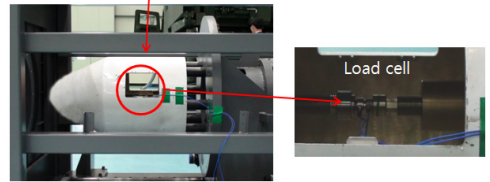


Fig. 3. 파단성능 시험장치

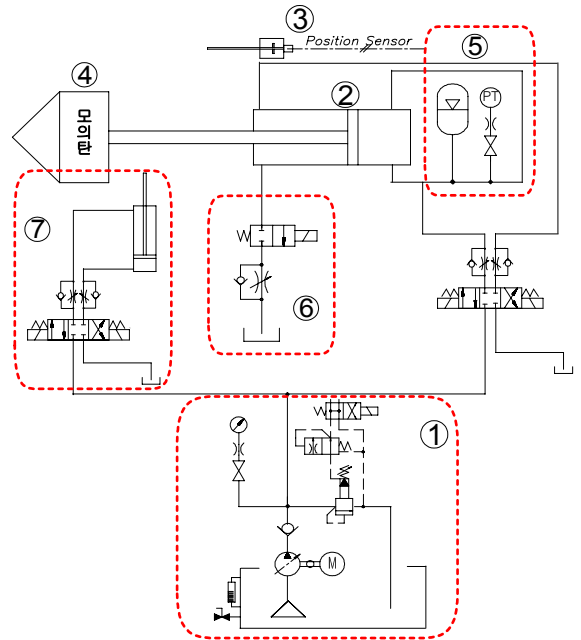


Fig. 4. 시험장치 회로도

이송프레임의 이동속도 및 충돌력 조절, 즉 모의탄의 덮개 충돌속도 조절은 압력조절밸브(⑤)와 유량제어밸브(⑥)를 조작하여 유압실린더 공급측의 내부압력 크기 및 토출유량을 조절함으로써 가능하다.

유도탄의 덮개 충돌시 속도를 구현하기 위해 축압기(blade type) 가스 충전압은 시험을 통해 60bar로 설정하였다. 시중에서 판매되고 있는 일반 유압실린더로는 이동속도 조건을 만족시킬 수 없어서, 이동속도 구현에 적합한 패키징과 유량의 급격한 입/출력이 가능하도록 공급과 복귀포트를 여러 개 부착한 실린더를 개발하였다. 또한 급속한 이송프레임의 동작으로 인해 발생하는 이송프레임과 시험장비 메인 프레임 사이의 충격으로 인한 장비 손상을 방지하기 위해 유압원충장치 프레임 하부에 적용하였다.

나. 발사환경 모사를 위한 시험기법

Fig. 5는 실 발사시험 시 유도탄의 초기 이동 속도와 덮개 파단 시험장비의 이동속도를 비교한 것이다. 추진제로 운동하는 유도탄의 초기 가속도를 시험장치를 통해 동일하게 구현하기는 현실적으로 어렵지만, 발사관 덮개와 유도탄의 충돌시점 속도는 구현이 가능하다. 시험장치에서 실제 유도탄이 덮개와 충돌시점 속도를 동일하게 구현하면 덮개에 가해지는 운동량은 실제와 같기 때문에 발사환경을 모사할 수 있다. 시험장치의 모의탄과 덮개사이의 거리를 실제 장입탄보다 멀리한 후, 압력조절 밸브와 유량제어 밸브의 조절을 통해 모의탄의 이동속도를 조절하였다.

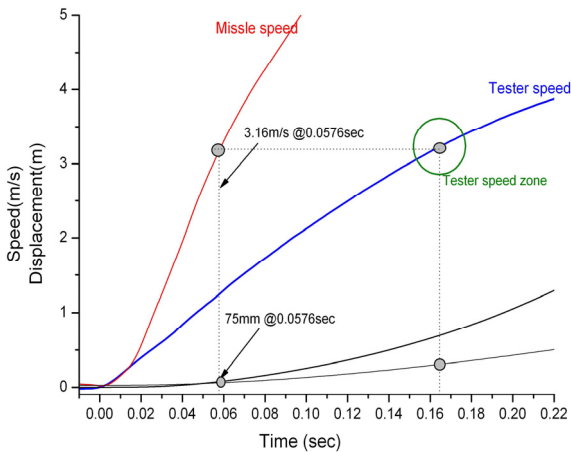


Fig. 5. 유도탄과 시험장치 이동속도 비교

Fig. 6은 토출유량 변화 없이 유압실린더 공급측 내부압력을 조절하면서 속도를 측정한 결과이고, Fig. 7은 유압실린더 공급측 내부압력의 조절 없이 토출유량을 조절하면서 속도를 측정한 결과이다.

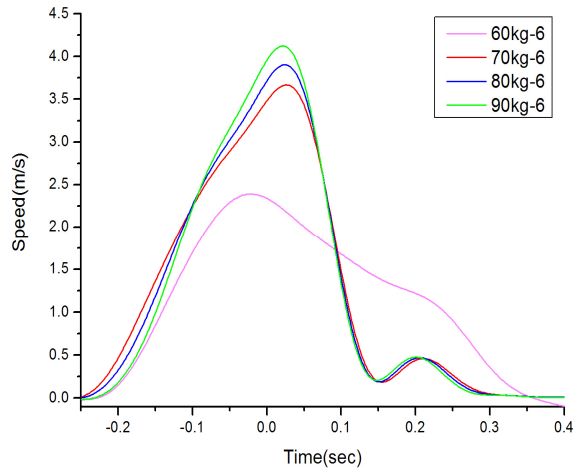


Fig. 6. 공급측 압력 변화에 따른 이송프레임 속도

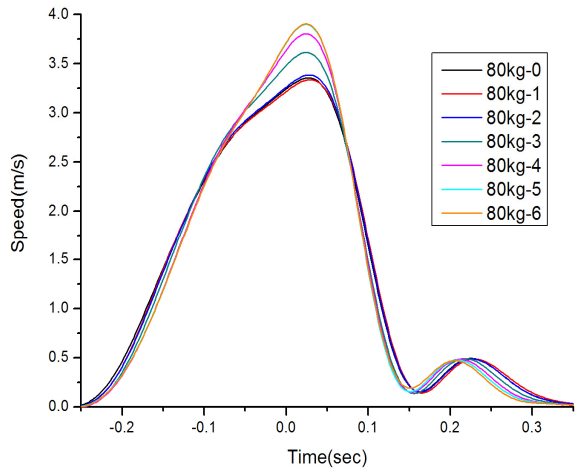


Fig. 7. 토출 유량 변화에 따른 이송프레임 속도

시험 장치의 압력과 유량을 조절하면서 발사환경을 모사할 수 있는 설정조건을 찾아보았다. 여러 차례의 시험 결과, 이송프레임의 속도는 토출유량보다 공급측 내부압력의 영향이 좀 더 큰 것으로 확인되었다. 아래 Table 2는 70, 72, 74 kgf/cm²의 세 가지 공급측 내부압력에 대한 실제 덮개 시제품을 파단 시험을 실시한 결과이다.

Table 2. 덮개 파단시험 시험조건 및 결과

시험 구분	시험장치 설정조건		시험결과		
	공급측 압력 (kgf/cm ²)	토출 유량 (단)	전개 양상	복원 정도	탄 접촉 여부
#11-01	70	8	미흡	미흡	있음
#11-02	72	2	미흡	미흡	있음
#11-03	74	6	양호	양호	없음

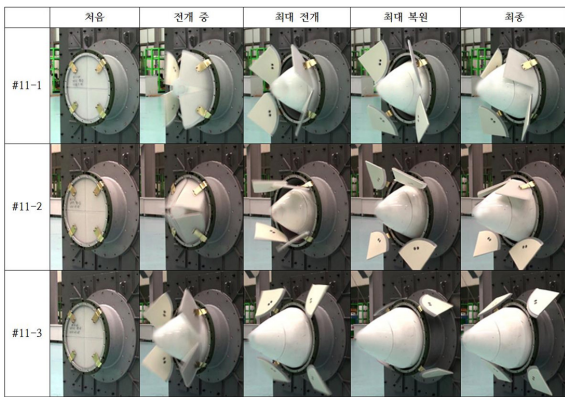


Fig. 8. 시험장치 속도별 덮개 파단양상 비교 결과

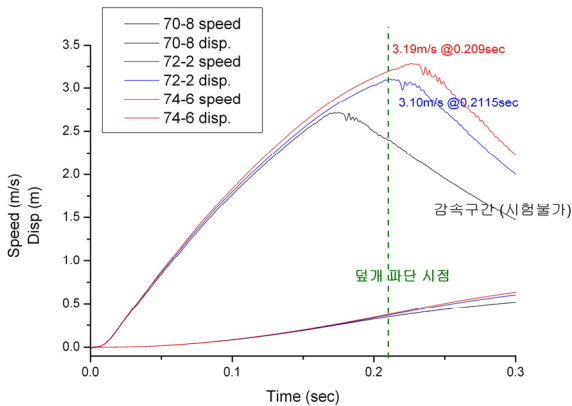


Fig. 9. 파단시험 가능한 조건

시험장치의 압력 및 유량의 조합에 따른 이송프레임의 속도 및 변위를 기록한 Fig. 8의 결과를 살펴보면, 압력설정 값이 70kg/cm²의 경우는 모의탄이 덮개에 닿기도 전에 감속하고 72kg/cm²일 경우에는 모의탄이 덮개에 닿을 시점에서 감속을 시작하므로 시험에 적절하

지 못함을 알 수 있다. 반면 74kg/cm²일 경우에는 모의탄의 감속은 덮개를 파단 시킨 이후에야 이루어지고 덮개 파단 시점의 속도도 실제 유도탄의 속도와 유사하였다. 이와 같이 시험장치의 압력과 유량을 조절함으로써, 실제 발사환경과 유사한 조건에서 발사관 덮개의 파단시험이 가능하였다.

다. 발사관 덮개 파단 성능 시험

파단성능 시험 장비를 이용하여 발사관 덮개 파단 시험을 수행하였다. 파단시험 시 모의탄에는 파단강도 측정용 로드셀을 장착하였고, 덮개 파단 시 속도측정을 위해 시험장비 이송프레임에 1축 가속도 센서를 적용하였다.

시험 장비를 이용한 파단 성능시험을 통해 유효덮개 및 힌지의 소재별 파단성능에 관련된 데이터를 획득하였고 획득된 데이터를 사용하여 Fig. 2의 전산 시뮬레이션을 재 수행하는 과정을 통해 개발요구 조건에 적합한 덮개를 개발하였다.

시험장비의 임의 설정한 조건과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 동시에 실시한 결과, Fig. 10과 같이 유사한 파열양상을 확인하였다.

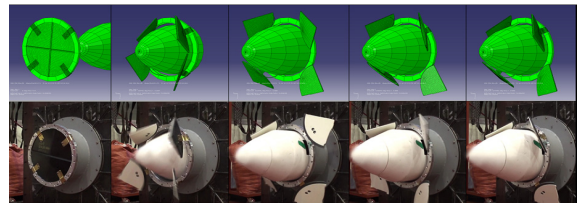


Fig. 10. 전산 시뮬레이션과 파단시험 비교

최종적으로 설계가 완료된 덮개 시체를 제작하여 덮개 파단시험을 실시하였다. 시험장비 시험조건은 공급측 내부 압력은 74 kgf/cm²에 토출유량은 2단으로 설정하였고 덮개의 파단성능을 확인하였다.

Fig. 11은 개발 완료된 최종 시체에 대한 파단성능 시험결과로, 실제 유도탄 발사시험에서 확인한 결과와 파단양상이 매우 유사하였다.

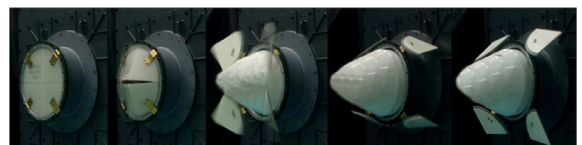


Fig. 11. 최종 완성 시체 파단시험 장면

4. 결론

기존 파열식 덮개의 단점을 보완하기 위해 제시된 개발요구 사항을 만족하도록 발사관 덮개를 개발하였다. 개발된 덮개의 파단성능을 검증하기 위해서 유도탄이 덮개에 가하는 충돌 속도를 모사한 시험 장치를 개발/제작하여 덮개 파단성능 시험을 수행하였다. 파단에 영향을 주는 설계변수를 시험을 통해 확인하고 적합한 변수 값을 도출하였다. 시험을 통해 얻어진 소재와 형상에 따른 파단성능 자료를 통해 전산 시뮬레이션의 정확성을 향상시켰다. 실제 유도탄 발사시험에서 확인된 덮개의 파단양상은 시험 장치를 사용하여 획득한 발사관 덮개의 파열성능은 매우 유사하였다.

본 연구를 통해 획득한 실제 발사조건을 모사한 덮개의 파단성능 시험기법은 다른 대부분의 파열식 발사관 덮개의 개발에 적용이 가능하여 개발시간 및 예산의 절감에 크게 기여할 것으로 판단된다.

References

- [1] Herbert E. Merritt, "Hydraulic Control Systems", 1967 by John Wiley & Sons, Inc.
- [2] E. C. Fitch, I. T. Hong, "Hydraulic Component Design and Selection".
- [3] 신상목, "407C 발사관 파열식 덮개 개발 보고서", 국방과학연구소, 2012.