

천궁체계 교전/사격통제소용 종합식보호장치의 화생방호성능 평가 연구

Study on Chemical-Biological Protection Performance of the CHEONGUNG's Integrated Protection Unit

심우섭* 류삼곤* 권태근**
Woo Sup Shim Sam-Gon Ryu Tae-Geun Kwon

Abstract

The integrated protection unit of CHEONGUNG is composed of chemical-biological equipment and air conditioner equipped heating element. The protection capabilities against chemical-biological agent were measured by using simulant agents such as n-Hexane, KM5 Screening Smokes and CS agent. The experimental test results with simulant agents verify the protective performance of the integrated protection unit.

Keywords : Protective Performance, Integrated Protection Unit

1. 서론

본 연구에서는 자동화 방공통제체계인 천궁체계의 교전통제소 또는 사격통제소에 장착하여 운용하는 종합식보호장치의 화생방방호성능 평가와 관련된 시험방법과 그 결과를 제시하고자 한다.

종합식보호장치는 화생방전 상황에서 교전통제소 또는 사격통제소 셉터 내부의 인원 및 장비를 외부 오염으로부터 보호하는 기능을 수행하며, 화생장비, 냉난방장비 및 종합식보호장치 제어패널로 구성되어 있다.

화생장비는 화생방전 상황에서 외기에 포함된 독성

가스 및 입자 성분을 여과하기 위한 장비로, 화생장비를 통하여 여과된 공기를 셉터 내부로 공급함으로써 승무원들이 개인보호장비 착용의 부담 없이 임무 수행을 가능하게 한다. 또한 셉터 내부로 공급된 여과 공기는 셉터 내부에 양압을 형성하여 외부 오염공기가 내부로 침투하는 것을 방지한다. Fig. 1에 천궁체계에 적용되는 종합식보호장치의 화생장비 외부형상을 나타내었다.

화생장비와 병행하여 설계된 냉난방장비는 셉터 내부의 열부하를 감소시켜 승무원이 보다 쾌적한 환경에서 임무를 수행할 수 있게 한다. 종합식보호장치 제어패널은 셉터 내부에서 화생장비 및 냉난방장비를 운용할 수 있도록 하며, 무기통제컴퓨터와 통신으로 연결되어 종합식보호장치 운용상태를 점검할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 종합식보호장치의 화생장비에 대해

† 2011년 10월 11일 접수~2012년 1월 27일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 삼양화학 기술연구소

책임저자 : 심우섭(woosup@add.re.kr)

여 모의작용제를 사용한 운용시험을 통하여 화생방호 성능의 평가과정 및 결과를 제시하여, 향후 화생방 보호분야의 장비개발에 도움이 되고자 한다.

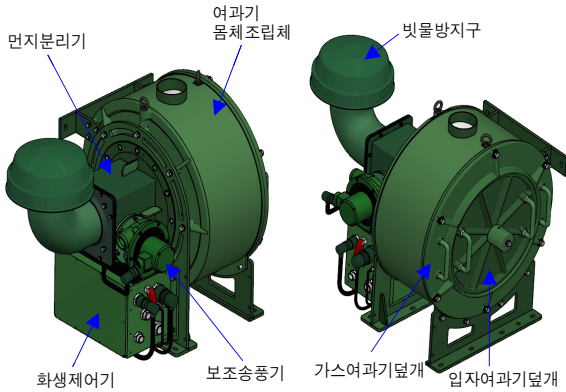


Fig. 1. 종합식보호장치의 화생장비 외부형상

2. 시험용 장치구성 및 시험기준

가. 화생장비의 구성 및 구성품별 성능확인

화생장비는 가스/입자여과기, 여과기몸체조립체, 먼지분리기조립체, 주송풍기, 화재제어기, 유입덕트, 배기덕트 및 정유량밸브로 구성되며 종합식보호장치의 화생방호성능은 화생장비의 3단계 보호시스템(먼지분리기, 입자여과기 및 가스여과기)을 통해 구현된다.

첫째, 먼지분리기는 입자여과기로 오염된 외기가 공급되기 전에 야전에 떠다니는 굵은 먼지입자에 대하여 1차 여과기능을 담당한다. 먼지분리기는 싸이클론 방식의 여과장치로 유입된 외기 공기에 포함된 먼지가 원심력에 의해 주 공기흐름에서 분리되어 배기송풍기를 통해 외부로 배출되며, 표준 시험먼지 중 입경 분포가 가장 굵은 A4의 먼지를 1 g/m^3 농도로 유입했을 경우 95 % 이상의 먼지 분리효율을 나타낸다.

둘째, 입자여과기는 오염된 외기 중에 포함된 생물학작용제, 액적 및 미세먼지 등을 제거하기 위한 HEPA 필터로 $340 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 여과용량을 가지며, 에어로졸에 대한 여과효율은 99.97 % 이상이다(@ $0.3 \mu\text{m}$ 입자크기).

셋째, 가스여과기는 독성 화학작용제를 여과하기 위한 필터로 $340 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 공기를 여과할 수 있다. 가스여과기는 ASZM-TEDA 활성탄을 이용하여 독성 가스를 흡착 및 분해 메커니즘을 통하여 제거한다. 가스여과

기에 대하여 DMMP 및 CK 가스수명 시험을 실시하여 규격기준에 적합한지를 확인한다.

이상의 먼지분리기 및 가스/입자여과기에 대한 시험을 통하여 화생장비의 구성품별 방호성능을 확인하였다.

나. 화생장비 조립체에 대한 누출확인 시험

방호성능이 확인된 먼지분리기 및 가스/입자여과기를 장착한 화생장비를 제작하고, 정격 유량의 20 및 100 % 유량범위에서 각각 R134a 가스누출시험 및 PAO 연막투과도 시험을 실시하여 화생장비의 누출여부를 확인하였다.

다. 종합식보호장치의 야전 화생방호 성능시험

화생방전 하에서 교전/사격 통제소 승무원의 생존성을 확인하기 위하여 야전 화생방호성능시험을 검토하였다. 화생방전과 유사한 상태의 모의환경에서 종합식 보호장치 운용시 쉘터내 승무원이 개인보호장구(방독면, 보호의 등) 착용없이 원활한 임무를 수행하는데 적합한지 여부를 판단하기 위하여 n-Hexane, 백색 연막 및 CS 가스 등의 모의작용제를 사용한 시험에서 여과기의 상태 및 적절한 작동 여부 등을 확인할 수 있다.

1) n-Hexane 시험

먼저, 단회 통과 가스여과기의 여과성능 평가를 위해서는 물리적으로 흡착되는 물질과 화학적으로 흡착되는 물질 모두에 대해 시험이 이루어져야 한다.

물리적 흡착시험^[1]은 GB에 대한 흡착성능을 평가하기 위한 시험으로, 시험을 위한 모의작용제로는 cyclohexane, DMMP(Dimethyl Methylphosphonate), TMP (Trimethyl Phosphate), PS(Chloropicrin) 등이 있으며, 이 중 독성이 낮고 취급이 용이하여 cyclohexane을 대체할 수 있는 n-Hexane을 시험물질로 최종 선정하였다. 시험에 사용한 n-Hexane은 시약급으로 순도 95 % 이상의 시약을 사용하였다. 한편, 화학적 흡착시험은 CK에 대한 흡착성능을 평가하기 위한 시험으로 구성품별 시험을 통하여 이미 성능을 확인^[2]하였으므로 본 야전 방호성능시험에서는 생략하였다.

가스여과기의 여과성능 평가를 위한 최소한의 시험 조건은 $250 \text{ mg} \cdot \text{m}^3$ 농도의 모의작용제가 20분간 가해졌을 때의 $5000 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^3$ 의 시험용량(Ct)에서 방호가 가능하여야 하므로, 본시험에서는 최소 시험용량의 약 3배인 $15000 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^3$ 을 시험용량(Ct)으

로 설정하였다.

2) 연막 시험

백색 연막은 가시광선 파장영역(0.38 ~ 0.7 μm)을 차장하기 위한 연막으로, 생물학 작용제(입자)에 대한 입자여과기 여과성능을 평가하기 위한 시험물질로 가능하다고 판단되었다.

KM5 연막통은 가시광선영역 차장을 위한 연막을 발생시키며, 5 m/s 이하의 풍속조건에서 15~20분 동안 50 × 10 m²의 면적을 연막으로 차장할 수 있다

3) CS 가스 투과시험

야전 화생방호성능시험 중 화생장비의 누출여부 평가를 위하여 CS 작용제를 사용한 투과 시험을 적용하였다. CS 가스는 TM 3-221^[3]에서 누출시험용으로 사용하였는데, 화생방 보호셀터 외부에서 CS 수류탄을 터트린 후 셀터 내부의 시험자들이 누출 여부를 확인하였다.

CS 가스의 무능화 사용량(IC₅₀)은 10 ~ 20 mg · min · m⁻³이며, 이 농도에서 1분 이상 체류할 때 50 % 인원은 무능화된다고 알려져 있으며, 적정 농도의 CS 가스 발생을 위한 CS 캡슐의 수는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$N = 0.021 V$$

N : CS 캡슐의 수(개), V : 시험공간의 부피(m³)

따라서 사격/교전 통제소(5 × 2.3 × 2 m³)에 적정농도의 CS 가스를 형성시키기 위한 CS 캡슐의 수는 약 0.5개(N = 0.021 × 23 = 0.48)이므로, 통제소 내부의 무능화를 위한 CS 캡슐의 시험량으로 설정한 2개는 시험량으로 적정하다고 판단되었다.

Table 1. 야전 화생방호성능시험의 시험기준

야전 화생방호 성능시험	시험기준
n-Hexane 시험	탐지 안됨(D.L. 4 mg · m ⁻³) (약 15000 mg · min · m ⁻³ 이상)
연막 시험	연막 유입여부 (승무원 3명 육안 판단)
CS 가스 투과시험	최루 작용제 유입여부 (승무원 3명의 눈물, 콧물, 재채기)

이상의 세 가지 성능시험을 통하여 종합식보호장치의 화생방호 성능시험을 실시하였으며, 각 시험별 시험기준은 Table 1과 같이 설정하였다.

3. 시험실시 결과 및 고찰

가. 구성품별 성능 및 누출확인 시험 결과

구성품별 성능 및 누출시험과 관련된 자세한 사항은 국방과학연구소 기술보고서^[2,4]에 수록되어 있으며 시험결과는 Table 2에 요약하였다.

Table 2. 구성품별 성능 및 누출시험 결과

시험명	기준	결과
먼지분리기 효율	95 % 이상	양호
입자여과기 성능	99.97 % 이상	양호
DMMP 성능	규격치	양호
CK 성능	규격치	양호

나. 야전 화생방호 성능시험

야전 화생방호성능시험은 교전/사격 통제소 셀터 외부에 각각의 모의작용제를 살포한 후 셀터 내부에서 모의 작용제의 유입여부를 확인함으로써 평가하였다.

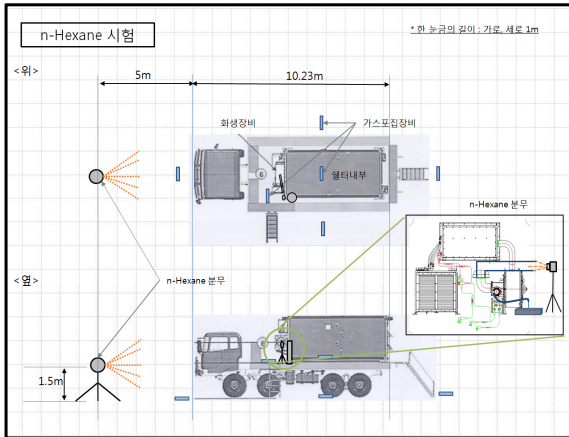
1) 시험의 준비

먼저 개활지에 교전/사격 통제소 두 차량의 거리가 5 ~ 10 m 정도가 되도록 정차시킨 후, 전방에 기상측정장비를 설치하여 기상상태를 측정하였다. 한편, 구성품별 성능 및 누출시험결과를 거쳐 성능이 확인된 화생장비의 가스/입자 여과기를 시험용 신규 여과기로 교체한 후, 교전/사격 통제소에 승무원 3명이 탑승한 상태에서 종합식보호장치를 가동시켜 장비의 정상적인 작동상태를 확인하였다.

2) n-Hexane을 이용한 방호성능 평가

가) 시험방법

화생장비 유입부의 에어로졸 주입용 덕트 및 차량 전방에 n-Hexane 분무장치를 설치하고, 먼지분리기 배출부, 차량 전방, 후방, 좌측, 우측 및 통제소 내부에 가스포집장비를 각각 Fig. 2처럼 설치하였다.



(a) n-Hexane 시험 개요도



(b) n-Hexane 에어로졸 분사(화생장비 유입부)

Fig. 2. n-Hexane 시험



Fig. 3. 가스포집장비

중합식보호장치를 가동한 상태에서 n-Hexane을 차량 전면 및 화생장비 유입부로 이중 동시 분사하고, Tedlar Bag을 장착한 가스포집장비(Fig. 3)를 이용하여 1분 단위로 12분씩 시료를 포집한 후, 각각의 Tedlar Bag에 포집된 시료를 GC로 분석하여 n-Hexane의 농도를 구하였다.

나) GC 분석 및 시험 결과

n-Hexane의 농도분석을 위한 시험장비로 HP-1 극성 컬럼과 FID 검출기를 장착한 Agilent사의 6890N Gas Chromatograph를 사용하였다. n-Hexane에 대한 머무름 시간(R.T.)은 약 0.4분이었으며, 검출한계(D.L.)는 0.655 mg · m⁻³이었다.

n-Hexane 농도에 대한 검량선은 10 이하, 100이하 및 10000 mg · m⁻³이하 농도의 세 영역에서 작성하였으며, 직선성을 확인하였다(r² > 0.996 이상).

12분간의 시험시간 동안 n-Hexane 농도를 분석한 결과, 통제소 외곽은 10.8 ~ 124.6 mg · m⁻³의 농도 분포를 가졌고, 화생장비 유입부에서는 평균 2906 mg · m⁻³의 농도를 나타내었으며, 선택 내부에서는 n-Hexane이 전혀 검출되지 않았다(Fig. 4 참조). Fig. 4에서 청색과 녹색 선은 교전통제소 및 사격통제소 각각에 대한 여과기 외부 유입구에서의 n-Hexane 농도를 나타내고 있으며 아래쪽의 적색과 자주색 선은 교전 및 사격통제소 각각의 선택 내부에서의 n-Hexane 농도를 나타내고 있다.

따라서 12분간 시험을 실시하였으므로 약 30000 mg · min · m⁻³ 누적용량의 n-Hexane에 대하여 화생장비가 완벽하게 방호하는 것을 확인할 수 있었다.

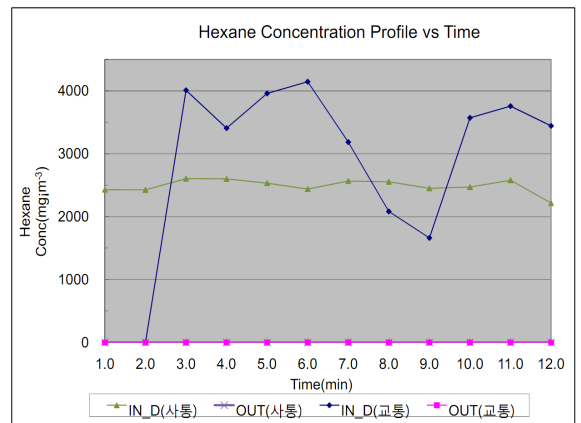


Fig. 4. n-Hexane 농도 프로파일(유입부 및 선택 내부)

3) 연막을 이용한 방호성능 평가

가) 시험방법

교전/사격 통제소 차량 전방에 KM5 연막통(Fig. 5)을 각각 설치한 후, 종합식보호장치를 가동하고 5분 후 연막통을 점화하여 약 20분간 연막을 발생시켰다. 동시에 통제소 내부에서 연막의 유입여부를 육안으로 판단하였다(Fig. 6).



Fig. 5. KM5 연막통 및 사용 예시

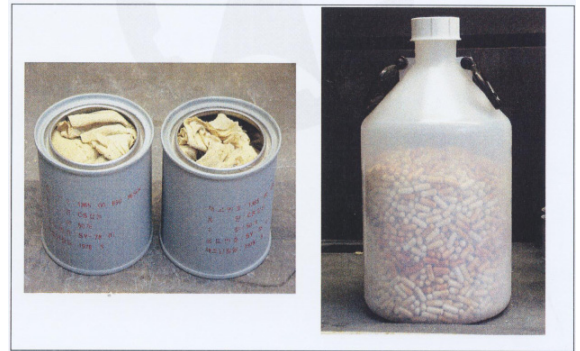
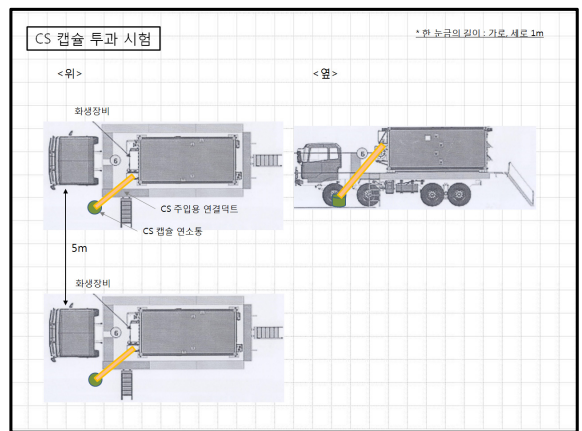
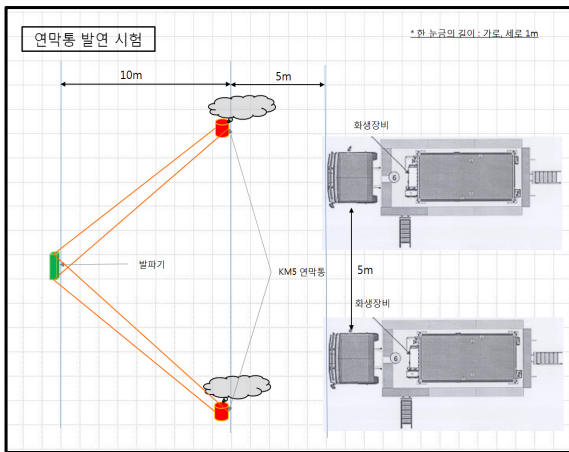


Fig. 7. CS 캡슐



(a) CS 가스 투과시험 개요도



(a) 연막시험 개요도



(b) 연막시험 실시사진



(b) CS 가스 투과시험 실시사진

Fig. 6. 연막시험

Fig. 8. CS 가스 투과시험

나) 시험결과

연막을 발생시키는 동안 교전/사격 통제소 내부에서 승무원 3명이 20분간 연막의 유입여부를 육안으로 판단한 결과 연막이 셸터 내부로 유입되지 않았다.

4) CS 캡슐을 이용한 방호성능 평가

가) 시험방법

통제소 차량의 화생장비 빗물방지구와 CS 가스 배출덕트, 먼지분리기 배출부와 연소통을 연결한 후, 연소통에 CS 캡슐(Fig. 7) 2개를 넣고 에탄올로 연소시킨 후 덮개를 덮고, 약 1분동안 CS 캡슐이 완전히 연소될 때까지 통제소 내부에서 CS 가스의 유입여부를 육안 및 후각으로 판단하였다(Fig. 8).

나) 시험결과

CS 가스를 발생시키는 동안 교전/사격 통제소 내부에서 승무원 3명이 CS 가스의 유입여부를 육안 및 후각으로 판단한 결과 CS 가스가 셸터 내부로 유입되지 않았다.

이상의 결과로부터 천궁체계의 교전/사격 통제소용 종합식 보호장치의 화생방호성능 평가방법과 시험결과를 제시하였으며, 적절한 성능의 먼지분리기, 가스/입자 여과기 및 화생장비의 제작을 통해 화생방호성능의 확보가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

천궁체계의 교전/사격 통제소용 종합식 보호장치에 대한 화생작용제에 대한 야전 방호성능 평가를 위하여 모의 화생작용제인 n-Hexane, KM5 연막통 및 CS 캡슐을 각각 사용하여 화생장비에 대한 방호성능을 평가하였다. 본 연구에서 시도한 화생장비에 대한 n-Hexane 정량분석 시험은 $30,000 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 이상 농도의 n-Hexane에 대하여 적합한 방호성능을 확인하였고, KM5 연막통 및 CS 캡슐을 사용한 시험에서도 모두 셸터내부로 연막 및 CS 가스의 유입이 없는 적합한 방호성능을 확인하였다. 이상의 시험평가 방법 및 결과를 활용하여 향후 화생방호성능을 가지는 유사한 집단보호장비의 개발 및 야전 시험평가에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] Test Specification for CBRN COLPRO Filtration Systems(NATO AC/225-D(2006)0002-COR1).
 [2] H. W. Lee, W. S. Shim, S. K. Choi and K. W. Lee, "Test and Evaluation of Gas-Particulate Filter of Collective Protection Systems for M-SAM", ADDR-315-081320, 2008.
 [3] TM 3-221 Field CBR COLPRO.
 [4] W. S. Shim, S. K. Choi, H. W. Lee and K. W. Lee, "A Report on Development Test & Evaluation of Integrated Protection Equipment Installed FCC/ECC of M-SAM", ADDR-315-110318, 2011.