

Presentation of Performance Test Criteria for Denuclearization Verification Equipment Considering North Korea Environment

Ji-Young Han, Su-Hui Park, Yong-Min Kim*

Department of Radiological Science, Daegu Catholic University

Received: December 15, 2022. Revised: February 06, 2023. Accepted: February 28, 2023.

ABSTRACT

The issue of North Korea's denuclearization is an global issue that transcends the North and South. It is necessary to prepare for the denuclearization process in preparation for the situation in which North Korea reveals its intention to denuclearize. In the process of North Korea's denuclearization, it is required to guarantee the normal operation of the denuclearization verification equipment. If a performance test criteria that takes into account the North Korean environment is established, it is highly likely that it will be used in the future denuclearization process. For this purpose, basic materials related to performance test standards were established through analysis of test standards such as international standards. After that, we established a performance test criteria. This includes high temperature, low temperature, humidity, vibration and shock tests. Through follow-up studies, validity of test criteria will be established through actual device testing.

Keywords: Nuclear activity, Denuclearization Verification Equipments, Performance Test Criteria

I. INTRODUCTION

북한은 2018년 4월 핵실험과 대륙 간 탄도 미사일(InterContinental Ballistic Missile, ICBM) 시험 발사를 중지할 것이라는 결정서를 전원회의에서 제출하였다^[1]. 이와 함께 풍계리 핵실험실 폐쇄 조치를 실시하였다^[1]. 하지만 2019년 미국과 북한의 이견으로 하노이 북미 정상회담이 결렬된 이후 북한은 2022년 3월 대륙 간 탄도 미사일을 발사했고 현재 북한의 7차 핵실험 여부는 국제적 관심사이다.

국내에 효과적인 북핵 검증 방안 및 비핵화 전략 등에 대한 연구가 수행된 바 있으며^[2], 한국원자력통제기술원은 북핵 대응 업무 지원을 위해 북한 핵활동 동향 파악, 정보 정리 및 분석을 수행하고 있다^[1]. 국외에서 국제 원자력 기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)는 ‘북한에 대한 안전조치 적용’이라는 보고서를 통해 북한 핵활동의 현황 및 진전 사항 등에 대한 자체 평가 결과를 발간하고

있다^[1]. 2021년 발간된 보고서에서는 가동 징후가 없던 영변 핵단지 5 MWe 발전소에서 2021년 7월 초부터 냉각수 배출 등과 같은 원자로 가동 징후가 발견되었다고 밝혔다. 방사화학실험실 역시 2021년 2월부터 7월까지 운영되었으며, 평산에서도 채광 등 농축 활동의 징후가 발견되었다고 밝혔다^[3].

북한이 비핵화 의지를 밝히고 비핵화 검증이 진행될 경우 언어적, 지리적 이점을 고려했을 때 북한 비핵화 과정에서 대한민국의 참여 가능성은 매우 높을 것으로 판단된다. 이에 원자력 시설별로 요구되는 비핵화 현장 검증 장비와 제반 설비에 대한 자원 확보 및 해당 기기의 현장 접근성, 조달 및 운영 방안에 대한 사전 분석이 요구된다. 본 연구는 향후 한반도 비핵화 과정에서 사용될 검증 장비의 성능 시험 기준 제시를 위한 국제 표준 자료 등의 분석을 통한 기초자료를 구축하고 북한 환경에 기반한 성능 시험 기준을 제시하고자 한다.

* Corresponding Author: Yong-Min Kim

E-mail: ymkim17@cu.ac.kr

Tel: +82-53-850-2522

II. MATERIAL AND METHODS

카자흐스탄에서 핵실험 금지조약 현장사찰 대비 훈련 중 극저온 기온으로 인해 계측 장비가 정상 운영되지 못한 선례가 존재한다. 북한 풍계리 핵실험장은 연중 최저기온은 영하 30 °C 내외이며, 장비 운반 중 차량, 철도 이용 시 장비의 성능 유지에 영향을 미칠 수 있으므로 환경 조건에 따른 시험이 요구될 수 있다. 북한 환경에 기반한 성능 시험 기준이 수립된다면 보다 활용도 높은 시험 기준으로써 실제 현장 검증 장비의 성능 시험 평가에 활용될 수 있다. 선행 연구에서 북한의 원자력시설이 위치한 지역 중 영변핵단지가 위치하고 있는 영변군과 풍계리 핵실험장이 위치하고 있는 풍계리의 지역 특성 및 기후 분석을 수행하였다. 분석 결과를 활용하여 본 연구는 국제 표준 기준 및 다양한 검증 기준 분석과 북한의 환경을 고려한 성능 시험 기준을 제시를 위한 기초자료를 구축하고 일부 항목에 대한 성능 시험 기준을 제시하고자 한다.

1. Qualification Test of IAEA Safeguards Equipment

IAEA에서 발간한 안전조치 장비 검증 시험 설명 보고서로 열, 습도 시험, 기계적 시험 및 전자기 시험 등에 대한 설명을 포함하고 있다^[4]. 각 시험별 적용 기준 및 권고되는 조건은 아래의 Table 1-3과 같다. 이외에도 ‘Tests in normal operation condition’에서의 저온, 건열 시험조건, Immunity to enclosure ports, Electromagnetic Interferences 시험 등이 존재한다.

Table 1. Tests in non-operation condition in transport packaging

시험 조건	시험 기준	지속시간(h)	비고
저온 1	-40 °C ± 3 °C	16	온도램프 지속 ≤1시간
저온 2	-25 °C ± 3 °C	96	온도램프 지속 ≤2시간
건조 열	+70 °C ± 3 °C	16	온도램프 지속 ≤1시간
온도 변화	-40 °C ± 3 °C	3	온도램프 지속 ≤30분
	+70 °C ± 3 °C	3	
	5번 열순환반복		

Table 2. Tests in non-operation condition, unpacked

시험 조건	시험 기준	지속시간(h)	비고
저온	-10 °C ± 3 °C (또는 최소 지정온도)	96	온도램프 지속 ≤1시간
고온, 습도	+70 ~ +85 °C ± 3 °C 85% RH	96	온도램프 비율 ≤1 °C/분 RH램프 지속 ≤1시간
습도와 온도, 안정 상태	+30 °C ± 3 °C 93% RH	96	온도램프 지속 ≤1시간 RH램프 지속 ≤1시간

Table 3. Mechanical Tests in Non-Operating Condition in transport Packaging

시험 조건	시험 기준	지속시간	비고
저주파수, 운반, 고정된 화물	주파수 10-500 Hz Table Motion-랜덤	30 min	진동 테이블에 시험 표본 고정
저주파수, 운반, 헐거움 화물	주파수 10-500 Hz Table Motion-랜덤	10 min	진동 테이블에 시험 표본을 고정하지 않음
저주파수	주파수 10-500 Hz Table Motion-정현파 변위 2.54 cm	10 min	진동 테이블에 고정된 시험 표본. 각 축으로 부터 진동을 받음
기계적 충격	가속도 15 g	11 msec	축당 3번의 충격
기계적 충격, 낙하 시험	높이 1 m	n/a	콘크리트 바닥에 2번 낙하

2. 신뢰성 평가(JESD-22)

JESD-22는 솔리드 스테이트 기술협회에서 권고하는 포장된 고체 상태 장치의 신뢰성 평가를 위한 일련의 균일한 방법 및 절차이다. 장치의 테스트를 위한 물리적, 전기적, 기계적 및 환경적 조건을 제시한다^[5].

2.1. Steady-State Temperature Humidity Bias Life Test

Steady-State Temperature Humidity Bias Life Test에서 제시하고 있는 표준 시험 기준은 아래 Table 4와 같다.

Table 4. Steady-State Temperature Humidity Bias Life Test

온도(°C) (dry bulb)	상대습도 (%)	온도(°C) (wet bulb)	증기압 (p)	지속시간 (h)
85 ± 2	85 ± 5	81.0	7.12	1008

2.2. High Temperature Storage Life

High Temperature Storage Life는 고체 상태의 전자 장치의 저장 조건에서 시간과 온도의 영향 결정을 위해 수행된다. 특히, 메모리 장치를 포함한 전자 장치의 저장조건 설정에 활용되는 시험 조건이다. 표준 시험 기준은 아래 Table 5와 같으며, 일반적으로 1000 시간 지속한다.

Table 5. High Temperature Storage Life

A	+125 (-0/+10) °C
B	+150 (-0/+10) °C
C	+175 (-0/+10) °C
D	+200 (-0/+10) °C
E	+250 (-0/+10) °C
F	+300 (-0/+10) °C

2.3. Low Temperature Storage Life

Low Temperature Storage Life은 고체 상태인 전자 장치의 저온 저장 조건에서 온도와 시간의 영향 결정을 위해 수행된다. 표준 시험 기준은 아래 Table 6과 같으며, 일반적으로 1000 시간 지속한다.

Table 6. Low Temperature Storage Life

A	- 40 (-10/+0) °C
B	- 55 (-10/+0) °C
C	- 65 (-10/+0) °C

2.4. Power and Temperature Cycling

Power and Temperature Cycling은 온도 편차가 존재하고 모든 온도에서 전원을 켜고 꺼야 하는 장치에 적용된다. 표준 시험 기준은 아래 Table 7과 같다.

Table 7. Power and Temperature Cycling

시험 조건	최대 온도 차이	극한 온도 사이 최대 전환 시간	각 극한 온도에서 최소 체류 시간
A	-40 (+0, -10) to +85 (+10, -0)	20 min	10 min
B	-40 (+0, -10) to +125 (+10, -0)	30 min	10 min

3. 적합성 평가(MIL-STD-810F)

미 국방부에서 군용 장비의 적합성 평가를 위해 제정한 환경 시험 규격이다^[6]. 해당 규격은 표준 조건을 제시하지 않고 기후 조건, 노출 조건 등을 고려하여 설정하는 것을 권고하고 있다. 서술하고 있는 시험 조건 외에도 강우 등에 대한 내용을 포함한다.

3.1. 고온

고온 시험을 사용하여 군수품 안전, 무결성 및 성능에 대하여 고온 조건이 미칠 수 있는 영향을 평가하는 것을 지원한다. 기후 조건, 노출 조건, 시험 지속 시간, 시험 대상의 배치, 습도를 고려하여 시험 조건을 설정한다.

3.2. 저온

저온 시험을 이용하여 보관, 작동 및 조종 중 저온 조건이 군수품 안전, 무결성 및 성능에 얼마나 영향을 미치는지를 결정한다. 기후 조건, 저온 노출 지속 시간, 시험 대상의 배치를 고려하여 시험 조건을 설정한다.

3.3. 진동

다양한 환경적 요소, 군수품 유지보수의 종합적 효과를 포함하여 수명주기 중 진동 노출 시 기능이 견딜 수 있는 장비를 개발한다. 기후 조건, 시험 대상의 배치(비포장 화물, 포장 화물, 퇴적형 화물)를 고려하여 시험 조건을 설정한다.

3.4. 충격

군수품은 처리, 수송 및 서비스 환경에서 접하는 자주 발생되지 않는 비반복 충격을 물리적 및 기능적으로 견뎌낼 수 있는 신뢰 정도를 제공한다.

3.5. 습도

따뜻하고, 습한 대기의 영향에 대한 군수품의 저항성을 결정한다. 시험 순서는 아래 Table 8과 같다.

Table 8. Humidity Test

단계	시험 과정
1단계	필요 배치에서 시험 챔버 내에 시험 품목이 설치되어 있는 상태에서, 온도는 23±2 °C, 상대습도는 50±5%로 각각 조정하고 이를 24시간 동안 유지한다.
2단계	챔버 온도를 30 °C, 상대습도를 95%로 조정한다
3단계	시험 품목을 적절한 수의 시험 주기에 노출시킨다. 나타난 주기 중에 시험 품목 성능 점검을 수행하고 결과를 문서화한다.
4단계	필요한 주기가 끝날 때, 온도 및 습도 조건을 표준 주위 조건으로 조정한다.
5단계	비현실적인 건조를 막기 위하여, 3단계 후 15분 이내에 완성하고, 적용가능 하다면 조작상 성능 점검을 수행하고 결과를 문서화한다. 점검이 30분 이내에 완료 할 수 없다면, 한 시간 동안 온도 30 °C 및 상대습도 95%에서 시험 조건을 재처리한 다음 점검을 계속한다.
6단계	시험 품목 전체에 걸쳐 육안 점검을 수행하고 습도 노출로 인한 모든 조건을 문서화한다.

이외에도 IEC 60068-2, MIL-STD-883 등의 보고서에 대한 성능 시험 기준을 분석하였다.

III. RESULT

북한 비핵화 수행을 가정했을 때, 현장에서 검증 장비의 정상 작동은 필수이다. 이에 북한 환경 기반 비핵화 검증 장비의 성능 시험 기준을 제시하여 향후 북한 비핵화 현장에서 사용될 검증 장비의 정상 작동을 담보하고자 한다. 다양한 시험이 존재하지만 본 연구는 비핵화를 위한 운반 및 현장 대기, 검증 과정에서 검증 기기에 영향을 미칠 수 있는 위험성 요인을 고려하였다. 여기에는 온도, 습도, 차량 진동, 검증기기를 놓치거나 높은 곳에서 떨어 트릴 경우 가해질 수 있는 충격, 배터리 소모 등이 존재한다. 차량 운반 과정 중 발생 가능한 위험 요인은 아래 Table 9와 같다.

Table 9. Procedure specific risk factors

절차	위험 요인
차량에 적재물 및 검증 인원 승하차	충격
관문점↔영변 핵단지 차량 이동	진동, 충격
영변핵단지 내에 적재물 승하차	충격
대기 및 검증 기기 보관	온도, 습도, 배터리 소모
비핵화 검증 수행	충격

이를 고려하여 고온, 저온, 습도, 진동, 충격 시험 기준을 도출하고자 하였다.

1. 고온 시험

IAEA 보고서는 70 ~ 85 °C에서 96 시간, 70 °C에서 16 시간 등의 기준을 권고하고 있다. JESD-22의 ‘High Temperature Storage Life’는 125 °C, 150 °C, 200 °C 등의 조건을 제시하고 있다. MIL-STD-810은 정해진 기준 없이 기후조건, 배치 장소 등에 따라 결정된다. 여기에 영변군의 여름 최고 기온이 38 °C인 것과 검증 장비가 장시간 햇빛에 노출될 가능성을 고려하여 검증기기의 성능 시험 기준 중 고온 시험 기준을 70 °C에서 96시간으로 제시하고자 한다.

2. 저온 시험

저온 시험은 IAEA에서 - 40 °C에서 16시간, - 25 °C에서 96시간을 권고하고 있고, JESD-22의 ‘Low Temperature Storage Life’는 - 65 °C, - 55 °C, - 40 °C의 조건을 제시하고 있다. MIL-STD-810은 정해진 기준 없이 기후 조건, 저온 노출 지속 시간, 시험 대상의 배치에 따라 결정된다. 여기에 영변군의 겨울 최저 기온이 - 40 °C, 풍계리 핵실험장의 최저 기온이 - 30 °C인 것을 고려하여 저온 시험 기준을 -40 °C에서 16 시간으로 제시하고자 한다.

3. 습도 시험

IAEA는 비작동, 비포장 상태에서 고온, 고습 조건으로 70 ~ 85 °C, 상대습도 85%에서 96시간, 습

한 열 조건으로는 30 °C ± 3 °C, 상대습도 93%에서 96시간을 권고 하고 있다. 정상 작동 상태에서 습한 열 조건은 40 °C ± 3 °C, 상대습도 93%에서 96 시간이다. JESD-22는 상대습도 85 ± 5%를 권고하고 있다. MIL-STD-810F는 챔버 온도 30 °C, 상대습도를 95%로 시험한다. 영변 핵단지의 경우 강수량이 많은 기후이며, 산지 지형으로 홍수로 인한 잦은 범람을 겪고 있다. 이에 영변군의 기후 및 지형을 고려하여 상대습도 93%, 40 °C, 96 시간 (고온의 경우 85 °C)으로 시험 조건을 제시하고자 한다.

4. 진동 시험

북한의 고속도로는 우리나라 2차선 지방도 수준이다⁷⁾. 대부분의 도로가 하천을 따라 발달하여 터널과 교량이 많고 연계 교량 및 터널의 노후가 심각한 수준이다. 북한의 열악한 도로 실정을 고려했을 때, 검증 장비의 차량 운반 과정에서 장비가 받게 될 진동이 적지 않을 것으로 판단되어 차량 진동 시험 기준도 제시하고자 한다. IAEA 시험에서는 진동테이블에 시험 표본을 고정된 상태에서 주파수 10-500 Hz, Table Motion-랜덤으로 30분 시험하거나 진동테이블에 표본을 고정하지 않은 상태에서 10-500 Hz, Table Motion-랜덤으로 10분 시험을 진행한다. 차량 운반 진동 시험 조건으로 비포장도로를 30 km/h 속도, 10시간 운행하거나, 표본을 진동테이블에 고정된 뒤 10-200 Hz의 진동으로 시험하도록 제시하고자 한다.

5. 충격 시험

차량 운반 중 장비 낙하, 검증 수행 중 작업자가 장비를 떨어트리는 등의 사고가 발생할 수 있다. 이로 인해 장비가 받게 될 충격을 고려하여야 한다.

IAEA 보고서는 1 m 높이에서 2번 콘크리트 바닥으로 낙하하는 것을 시험 기준으로 한다. 본 연구에서도 IAEA 보고서와 같은 기준을 제시하고자 한다.

IV. DISCUSSION

북한의 주요 원자력시설은 대부분 평안북도 영변 원자력연구소 내에 위치한다. 이에 성능 시험 조건 결정에 반영된 대부분의 북한 기후는 영변군

의 기후조건이다. 영변군은 대부분 산지로 이루어져 있다. 북부 내륙에 위치해 한서 차가 심한 대륙성 기후를 나타낸다. 연평균 기온 8.5 °C, 1월 평균 기온 - 10 °C, 8월 평균기온 24.7 °C이고 연 강수량은 1,255 mm로 비교적 많은 편에 속한다^{18,9)}.

비핵화 수행 과정에서 기기의 정상 작동과 마찬가지로 인력 및 검증 기기의 전력 확보는 필수 요건이다. 하지만 전력난이 심각한 수준인 북한에서 전력 확보는 쉽지 않을 것으로 판단된다. 원활한 전력 공급을 위해서는 장비의 배터리 교체 또는 충전 시작동 시간, 배터리 교체 가능 여부, 차량 충전 가능 여부, 전력 공급 대책 등이 고려되어야 한다.

본 연구에서 제시된 성능 시험 기준은 IAEA 기준을 크게 벗어나지 않았으나, 북한 환경을 고려하여 도출하였다. 제시된 성능 시험 기준을 정리한 내용은 아래의 Table 10과 같다.

Table 10. Performance Test Criteria

시험	권고 기준
고온	70 °C에서 96시간
저온	-40 °C에서 16시간
습도	상대습도 93%, 40 °C, 96시간 (고온의 경우 85 °C)
진동	비포장 도로를 30 km/h 속도, 10시간 운행 또는 표본을 진동테이블에 고정된 뒤 10-200 Hz 진동 30분
충격	1 m 높이에서 콘크리트 바닥으로 2번 낙하

V. CONCLUSION

북한 비핵화 상황에 대비하여 검증 상황 발생 시 적시 적용 가능한 성능 시험 기준 수립을 수행하였다. 이를 위해 본 연구는 검증 장비의 성능평가 국제 기준 자료 수집 및 분석을 통한 기초자료를 구축하고, 비핵화 검증 장비의 성능 시험 기준을 수립하였다. 기초자료 구축을 위해 분석한 보고서는 IAEA에서 발간한 안전조치 장비 검증 시험 설명 보고서, 교체 상태 장치의 신뢰성 평가를 위한 JESD-22, 미 국방부에서 군용 장비의 적합성 평가를 위해 제정한 MIL-STD-810F 등이 있다. 해당 보고서들의 시험 기준을 수집 및 분석하였고, 이후

선행 연구를 통해 구축된 북한 원자력 시설이 위치한 지역의 기후 및 지형 조건을 반영하여 북한 환경 기반 비핵화 검증 장비의 성능 시험 기준을 제시하였다. 연구 결과로 제시된 성능 시험 기준은 고온, 저온, 습도, 진동, 충격시험이다.

연구를 통해 분석 및 구축된 북한 환경에 기반한 성능 시험 기준은 실제 북한 비핵화 검증에서 사용될 검증 장비의 정상 작동을 담보할 수 있는 명확한 기준이 될 수 있다. 이를 통해 시행착오를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 연구를 통해 구축된 자료는 향후 북한 비핵화 검증 준비 단계에서 참고 자료로 활용될 수 있다.

of North Korea Construction Infrastructure for Unification, 2017.

[8] <http://www.cybernk.net/>.

[9] <https://www.weather.go.kr/w/index.do>.

Acknowledgement

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Foundation Of Nuclear Safety(KoFONS) using the financial resource granted by the Nuclear Safety and Security Commission(NSSC) of the Republic of Korea. (No. 2103090)

Reference

- [1] Korea Institute of Nuclear Nonproliferation and Control, "2019 North Korea Nuclear Series", 2019.
- [2] J. W. Park, "A Study on the Effective Verification for Denuclearization of North Korea", Journal of Northeast Asian Studies, Vol. 88, No. 3, pp. 161-180, 2018.
<http://dx.doi.org/10.21807/JNAS.2018.09.88.161>
- [3] IAEA, Application of Safeguards in the Democratic People's Republic of Korea, 2021.
- [4] IAEA, Qualification Test of IAEA Safeguards Equipment, 2014.
- [5] <https://www.desolutions.com/testing-services/test-standards/jesd22/>
- [6] The United States Department of Defense, U. S. Department of Defense Testing Standards for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Testing, 2000.
- [7] T. H. Jung, Research on Analysis and Development

북한 환경을 고려한 비핵화 검증 장비의 성능 시험 기준 제시

한지영, 박수희, 김용민*

대구가톨릭대학교 방사선학과

요 약

북한 비핵화 문제는 남북을 넘어 세계적인 문제이다. 북한이 비핵화 의지를 밝힐 상황을 대비하여 비핵화 과정에 대한 준비가 필요하다. 북한 비핵화 과정에서 검증 장비의 정상 작동 담보가 요구된다. 카자흐스탄에서 저온으로 인해 장비가 작동되지 않은 선례를 참고했을 때 북한 환경을 고려한 성능 시험 기준이 수립된다면 향후 비핵화 과정에서 활용 가능성이 높을 것이라 판단하였다. 이를 위해 국제 기준 등 시험 기준 분석을 통해 성능 시험 기준 관련 기초 자료를 구축하였다. 이후, 북한 주요 원자력 시설이 위치한 영변군 및 풍계리의 기후, 지리적 특성을 고려하여 검증 상황 발생 시 적시 대응 가능한 성능 시험 기준 수립을 수행하였다. 여기에는 고온, 저온, 습도, 진동, 충격 시험이 포함된다. 후속 연구에서는 실제 장비 시험을 통해 시험 기준의 타당성을 수립하고자 한다.

중심단어: 핵활동, 비핵화 검증 장비, 성능 시험 기준

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	한지영	대구가톨릭대학교 방사선학과	연구원
(공동저자)	박수희	대구가톨릭대학교 방사선학과	연구원
(교신저자)	김용민	대구가톨릭대학교 방사선학과	교수