



디지털 컨버터, 디지털 프로세서로 구성된다. 그 중 압력 변환기는 최소 25 kHz의 주파수 응답과 시험범위(0 ~ 39,886 psi)에 걸쳐 선형적으로 압력에 대한 응답을 갖는 압전(piezo-electric)형태가 요구된다. 시험은 점화 전극의 전기 스퀘브(electric squib)로 추진제가 점화되어 폭발이 발생하면 압력 변환기를 통해 압력이 기록되며 진행된다[3]. 본 연구에서 밀폐폭발시험 시 사용한 챔버의 압력 변환기는 스위스 Kistler 社 제품으로 6211A 게이지이다.



[그림 2] Bomb Chamber(200cc)

## 2.2 시험절차서의 압력 측정범위

양산품 정부수락시험 수행 시 국방규격을 근거로 국방기술 품질원에서 시험의 시료 및 절차, 판정 기준을 기술한 것이 수락시험절차서(ATP, Acceptance Test Procedure)이다. 본 연구에서는 ATP 중 81mm 박격포 탄 품목 중 일부를 선정 후 압력 요구사항을 다루고자 한다. 선정된 절차서는 총 5 가지로 압력 요구사항의 상한과 하한을 [표 1]에서 나타내었다.

[표 1] 박격포탄 양산수락시험 압력 요구사항

| 구 분       | 품 목                         | 압력범위(psi)   |             |
|-----------|-----------------------------|-------------|-------------|
|           |                             | 하한          | 상한          |
| 81mm 박격포탄 | 81mm 고폭탄 K247 탄체 금속부품       | (초과) 16,350 | (정상) 15,000 |
|           | 81mm 백린연막탄 K248 탄체 금속부품     |             | (초과) 17,550 |
|           | 81mm 연습탄 K249 탄체 결합체        |             |             |
|           | 81mm 성형과편탄 K253 성형과편 조립체    |             |             |
|           | 81mm 조명탄 K250, K251 탄체 금속부품 | 16,350      | 17,550      |

81mm 조명탄 K250, K251 탄체 금속부품을 제외한 4개 품목의 절차서는 정상압력 시험과 초과압력 시험으로 구성되었으며, 정상압력 시험은 81mm 추진장약 K675용 추진제 KM10 추진제 6호를 사용하며, 압력의 하한은 정해져 있지 않

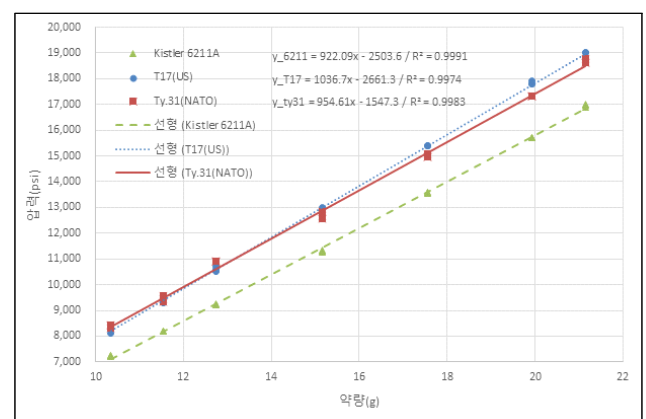
지만 상용탄(포구속도 : 323.0 m/s)의 예상 압력을 추정하여 추진제의 약량을 조절하게 ATP에 기술되어 있다. 본 연구에서는 6호 장약의 정상압이 11,000 psi 이상 형성되므로 하한을 11,000 psi로 설정하였다. 상한은 15,000 psi로 지정되어 있다. 초과압력 시험은 압력의 상/하한이 지정되어 있는데 16,350 ~ 17,550 psi이다. 81mm 조명탄 K250, 251 탄체 금속부품은 정상/초과 압력이 동일한 기준(16,350 ~ 17,550 psi)을 적용한다.

## 3. 시험결과 및 분석

### 3.1 CBT 시험

CBT의 추진제는 81mm 고폭탄 K247용 추진제 KM10을 활용하였으며, 약량은 60/81mm 박격포에서 사용하는 압력과 T17 게이지의 유효 측정범위인 20,000 psi[4]를 목표로 설정하여 9 종류(10.35 g ~ 24.74 g)로 준비하였고 3가지 압력 측정 장비를 활용하여 추진제 압력당 각 3 회씩 측정하였다. 시료는 수락시험에서 자주 수행되는 시험은 CBT에서 사용하는 6211A 피에조 게이지와 T17, Type 31/7.1 동구게이지를 활용하여 수행하였다[4].

시험결과를 약량(g)-압력(psi) 그래프로 표현하면 [그림 3]과 같다. 피에조 게이지인 Kistler 6211A의 데이터는 참조값으로 동구게이지 데이터와의 차이도 확인할 수 있다. 추세선에 대한 선형식과 결정계수도 함께 기술하였다. T17 게이지의 유효 측정범위를 벗어나는 22.34, 24.74 g 데이터는 제외하였다.

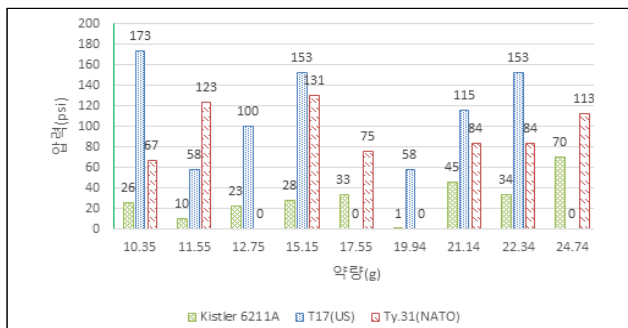


[그림 3] 밀폐폭발시험결과 약량별 압력 비교

3개의 게이지 중 참조값으로 활용되는 6211A 게이지의 결정 계수값이 0.9991로 가장 크고 Type 31/7.1 게이지가 T17 게이지보다 결정계수가 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 두 개의 동구게이지의 압력값은 피에조 게이지와 달리 유사한 경

향을 나타낸다. 두 게이지의 압력은 약량 13.57 g, 11,407 psi 에서 교차하는데 13.57 g보다 작은 약량에서는 Type 31/7.1 게이지의 압력값이 크고 13.57 g보다 큰 약량에서는 T17 게이지 압력값이 큰 것을 알 수 있다.

[그림 4]는 약량별 압력에 따른 표준편차 값을 나타낸 그래프로 참조값인 Kistler 6211A가 가장 편차가 적어 신뢰할 수 있는 기준으로 판단할 수 있다. 두 동구게이지의 차이는 Type 31/7.1 게이지가 기존 사용 중인 T17 게이지보다 편차가 적음을 확인할 수 있다. 표준편차가 0 psi로 나타나는 것은 게이지 압력 측정과 관련이 있다. 앞서 언급한 동구 게이지의 압력 측정 시 동구의 크기 변화량을 타라지 표(tarage table)에 따라 압력으로 변환하는데 게이지의 분해능에 따라 크기 변화량이 다르더라도 같은 압력으로 변환될 수 있다. T17 게이지는 0.01mm 기준 79 ~ 131 psi, Type 31/7.1 게이지는 116 ~ 201 psi 수준이다. 동구 게이지 중 상대적으로 편차가 적고 결정계수가 큰 Type 31/7.1 게이지를 활용함이 시험의 신뢰도를 확보할 것으로 판단된다.



[그림 4] 밀폐폭발시험결과 약량별 압력 표준편차

### 3.2 CBT 데이터를 활용한 보정

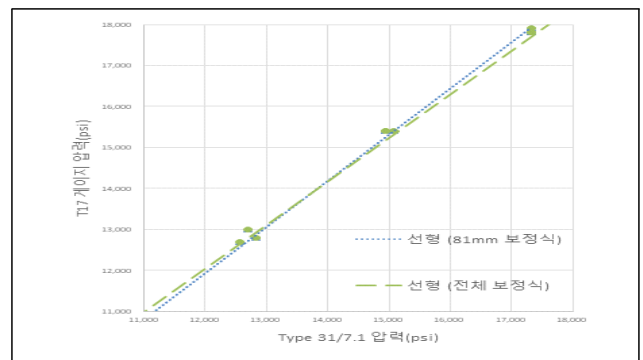
앞서 CBT 결과 등을 분석하였을 때 T17 게이지를 Type 31/7.1 게이지로 대체 가능할 것으로 판단된다. 또한 현재까지 T17 게이지로 시험하였기에 데이터의 평균차이 보정, 일관성, 추적성 등을 위해 보정식 산출이 필요하다. 보정식 산출을 위해 규격구간, 전체구간에 대한 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 통계량은 [표 2]와 같다.

[표 2] CBT 데이터 회귀분석 통계량

| 구 분    | 규격 구간                  | 전체 구간                  |
|--------|------------------------|------------------------|
| X1 계수  | 1.1258                 | 1.0608                 |
| Y절편 계수 | -1573.46               | -683.879               |
| 결정계수   | 0.9973                 | 0.9975                 |
| 상관계수   | 0.9987                 | 0.9987                 |
| 검정통계량  | 3722.324               | 7517.105               |
| 기각역    | 4.965                  | 4.381                  |
| p-값    | $3.40 \times 10^{-14}$ | $3.74 \times 10^{-26}$ |
| 관측수    | 12                     | 21                     |

회귀분석 시 X값에는 Type 31/7.1 게이지 압력을 Y값에는 T17 게이지 압력을 입력하였다. 81mm 규격범위를 회귀분석 결과를 살펴보면 검정통계량  $F = 3722.324 \geq F_{0.05;(1,10)} = 4.965$ 로 기각역에 해당되고 p-값이  $3.40 \times 10^{-14}$ 으로 0.05보다 작아 회귀분석 결과는 유의하다고 할 수 있다. 전체 구간 범위의 검정통계량  $F = 7517.105 \geq F_{0.05;(1,19)} = 4.381$ 로 기각역에 해당되고 p-값이  $3.74 \times 10^{-26}$ 으로 0.05보다 작아 회귀분석 결과는 유의하다고 할 수 있다. 두 보정식 모두 회귀분석 시 유의미한 것을 확인할 수 있다.

산출한 81mm 보정식과 전체 구간 보정식을 81mm 박격포탄 규격범위(11,000 ~ 17,550 psi)에서 차이의 정도를 확인하면 [그림 6]과 같다. 규격 구간의 보정식이 증가율은 크고 절편은 더 작다. Type 31/7.1 압력이 13,686 psi에서 교차 후 규격 보정식의 값이 증가율에 따라 더 커지는 것을 확인할 수 있다. 11,000 ~ 17,550 psi 규격 범위에서는 두 보정식의 경향이 유사하고 결정계수는 전체 구간 보정식이 더 크기 때문에 전체 구간 보정식을 규격 구간 보정식에 대체하여 활용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 6] 81mm 보정식 - 전체구간 보정식 차이

### 3.4 사격시험 데이터 분석

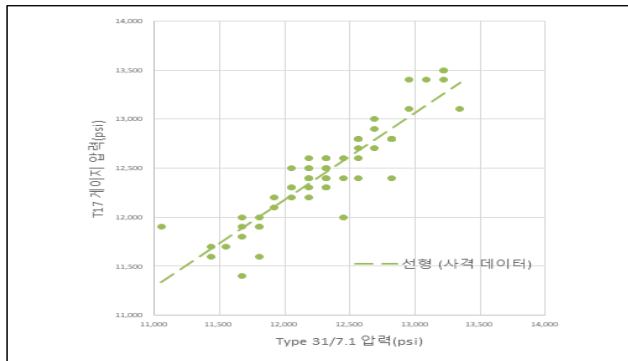
앞선 연구[4]에서 81mm 고폭탄 K247 6호 장약 60발 사격을 통해 두 게이지의 압력을 비교 측정하였는데 해당 데이터를 회귀분석한 통계량은 [표 3]과 같다. 회귀분석 시 X값에는 Type 31/7.1 게이지 압력을 Y값에는 T17 게이지 압력을 입력하였다. 회귀분석결과를 살펴보면 검정통계량  $F = 273.4959 \geq F_{0.05;(1,58)} = 4.007$ 로 기각역에 해당되고 p-값이  $1.27 \times 10^{-23}$ 으로 0.05보다 작아 회귀분석 결과는 유의하다고 할 수 있다. 사격데이터의 결과를 분석하였을 때도 앞선 CBT와 마찬가지로 두 게이지간 유의미한 상관관계가 있음을 확인하였다.

산출한 회귀식을 81mm 박격포탄 규격범위(11,000 ~ 17,550 psi)에서 분포 경향을 확인하면 [그림 7]과 같다. 비교 시험에서도 Type 31/7.1 게이지와 T17 게이지 사이의 선형적

인 관계를 확인할 수 있었다. 다만 CBT 회귀분석 결과와의 차이는 다음과 같다. 첫 번째로 X1 계수는 1.0 보다 작았고 Y 절편 또한 양의 값을 가져 데이터 분포 경향에서 차이가 있다. 두 번째로 결정계수와 상관계수도 CBT 결과에 비해 상대적으로 값이 작은 것을 알 수 있다. 통제된 환경에서 수행하는 CBT와 달리 실제 사격에서는 포의 상태, 탄의 무게 등 변수들이 작용하고 관측수도 제한되어 CBT 데이터와의 차이가 있음을 알 수 있다. 이 부분은 향후 지속적인 비교시험을 수행하고 데이터를 축적하여 보정식 보완으로 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

[표 3] 비교시험 데이터 회귀분석 통계량

| 구 분    | 비교 시험데이터               |
|--------|------------------------|
| X1 계수  | 0.890392               |
| Y절편 계수 | 1492.543               |
| 결정계수   | 0.8250                 |
| 상관계수   | 0.9083                 |
| 검정통계량  | 273.4959               |
| 기각역    | 4.007                  |
| p-값    | $1.27 \times 10^{-23}$ |
| 관측수    | 60                     |



[그림 7] 사격데이터 분포(규격범위)

#### 4. 결론

본 연구에서는 박격포탄의 압력게이지의 대체 사용을 위해 우선 CBT 데이터를 분석하였다. 결정계수의 크기는 피에조 게이지인 6211A, Type 31/7.1, T17 순으로 크기가 컸다. 데이터의 분포는 두 개의 동구게이지가 유사하였고 표준편차를 비교하였을 때 비교적 Type 31/7.1 게이지가 적었다. 따라서 T17 게이지를 대체가 가능한 것으로 판단하였고 데이터의 일관성, 추적성을 위해 CBT 데이터를 활용하여 보정식을 산출하였다. 보정식은 81mm 박격포탄의 압력요구 구간인 11,000 ~ 17,550 psi와 전체 구간으로 2개의 보정식을 산출하였다. 압력 요구 구간에서 보정식을 비교하였을 때 두 보정식 모두 회귀분석 시 유의미한 결과를 나타냈으며 경향이 유사하고 결정계수는 전체 구간 보정식이 컸기 때문에 전체구간 보정

식을 채택하였다. 사격데이터는 비교시험을 수행한 자료로 Type 31/7.1 결과와 T17 게이지 압력을 회귀 분석하였고 통계적으로 유의미한 관계가 있음을 확인할 수 있었으나 CBT의 회귀분석 통계량과는 차이가 있음을 알 수 있었다. 포의 상태, 탄의 무게 등 변수들이 작용하고 사격데이터 관측수가 제한되어 발생된 것으로 추측된다. 본 연구의 보정방법은 향후 압력 게이지 대체 적용을 위한 기초 연구로 활용될 수 있다 생각되며 추가 시험 및 연구를 통해 보정식이 보장되어 대체 게이지가 활용되면 동구 게이지 수급의 제한되는 사항을 극복할 것으로 기대한다.

#### 참고문헌

- [1] 정민철, “강내압력측정 신뢰성 확보 방안에 관한 연구: 동구게이지와 IPG 게이지 성능 비교 중심”, 산학기술학회논문지, 제 21권 9호, pp. 120-127, 9월, 2020년.
- [2] 이정호, “화포 내부 압력의 자동 측정시스템 개발”, 산학기술학회논문지, 제 22권 2호, pp. 766-773, 2월, 2021년.
- [3] “Military Standard Propellants, Solid: Sampling, Examination and Testing”, DoD, MIL-STD-286C, 10월, 2010년.
- [4] 이동녕, “강내압력측정용 동구게이지 대체에 관한 연구”, 국방기술품질원 기술보고서, DtaQ-17-5108-R, 2017년.