

방탄시험의 효과적 운영을 위한 시료거치 시스템 개발

구승환
국방기술품질원

Development of Item Mounting System for Effective Operation of Bulletproof Test

Seung-Hwan Gu
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 방탄시험의 효과적인 운영을 위해 시험절차를 분석하여 문제점을 도출하고, 개선방안으로 시료거치 시스템을 개발하였다. 기존 시스템에서 도출된 문제점은 다양한 시료 형태 및 다양한 시험규격의 적용이 불가능한 점과 장비조작의 불편함 및 과다한 시험 준비시간이었다. 이를 개선하기 위한 시료거치 시스템은 기본베이스, 거치대, 각종 조절부로 구분된다. 다목적 거치대와 헬멧 거치대는 다양한 크기와 형상의 시료를 거치 및 다양한 규격을 시험할 수 있도록 설계하였다. 다목적 거치대는 방탄복 시험을 위한 후면재 지지대와 호환된다. 시료 고정틀은 내부에 위치하여 별도의 탈/부착 과정이 없이 수직 이동 및 고정을 통해 다양한 크기와 형상의 시료를 거치할 수 있도록 설계하였다. 기본베이스는 표준화하여 거치대와 호환이 용이하도록 설계하였고, 탄착점 위치 조절부는 자동으로 높이와 수평 이동 조절이 가능하여 신속하고 정확하게 탄착점 설정이 가능하도록 설계하였다. 시스템의 경제성을 분석하기 위해 시스템 도입 전과 후를 기준으로 실제 운영데이터를 비교/분석한 결과, 시험 건수, 장비활용률은 대폭 증가하고 시간당 비용은 감소하였다.

Abstract In this study, an actual test procedure was considered for the effective operation of a bulletproof test. The problems of the existing system were drawn in two ways. First, it is difficult to mount items of various shapes. Second, various test standards cannot be applied. To improve these problems, an automated and standardized mounting system was designed/applied to mount various items. The multi-purpose mount was compatible with the backing support for body armor testing. The sample holding frame was located inside and was designed to mount samples of various sizes and shapes through vertical movement and fixation without a separate detachment/attachment process. A comparison of the economics before and after the introduction of the item mounting system confirmed the effectiveness of the system by the increased number of daily tests and equipment utilization and reduced hourly cost.

Keywords : Bulletproof Test, Item Mounting System, Effective, Bulletproof, Ballistic

1. 서론

첨유기술의 발전과 관련 산업의 융복합화로 진입장벽이 낮아지면서 방탄소재를 활용한 민간 경쟁이 격화되고 있

다. 최근에는 전력지원체계에 대한 연구와 지원이 증가하고 있어 방탄물자의 연구개발 및 제조로 인한 평가 수요가 증가하는 추세이다. 방탄물자의 평가를 위해서는 방탄성능 시험을 수행해야 한다.

*Corresponding Author : Seung-Hwan Gu(Defense Agency for Technology and Quality)

email: gsh999@hanmail.net

Received August 31, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised September 28, 2020

Published January 31, 2021

국방기술품질원은 '17년 방탄시험분야에 대한 KOLAS (Korean Laboratory Accreditation Scheme) 인정을 획득하고 현재까지 대민 서비스를 수행하고 있는 기관이다. 방탄시험 물량은 '17년 이후 지속적으로 증가하여 '19년에는 2배 이상으로 물량이 증가하였다. 하지만 시험능력의 포화상태로 시험까지 1개월 이상 대기하는 경우도 발생하고 있어 해외에서 시험하거나, 납기가 지체되어 전력화에 차질을 유발하는 등의 사회적 비용이 발생하고 있다. 이러한 환경에서 주어진 자원 내에서 최대한의 효과를 낼 수 있는 방안의 마련이 필요하다.

KOLAS는 인정 유지를 위해 시험결과의 신뢰성 및 재현성 확보를 위한 시험장비의 정교화 방안 마련을 권고하고 있다[1]. 시험장비의 정교화 방안 마련을 위해 시료거치대의 제한으로 인한 시험불가능성을 저감시키고 다양한 크기와 용량을 고정시킬 수 있는 다목적 시료거치 시스템이 필요하다. 시험장에서는 효율성과 효과성보다 가장 중요한 것이 안전성의 확보라 할 수 있다. 80kg 이상인 고중량 시료거치대를 지속적으로 교체 작업하는 경우 시험원의 근골격계 질환 발생 가능성 및 작업 중 오류로 인한 부상의 위험도 증가한다. 이를 해결하기 위해서는 고중량물의 교체 빈도를 감소시켜야 한다. 또한 수동 조작으로 인한 휴면에너지 발생은 시험의 신뢰도 저하 및 안전사고의 발생 가능성을 증가시키므로 해당 조작의 자동화가 필요하다. 기존 연구에서도 시스템의 효율성과 안전성을 증대시키기 위한 장치 개선 및 개발이 주를 이루고 있다[2, 3]. 방탄시험을 위한 치구 관련 연구는 거의 없는 실정이지만 최근 NIJ에서 개정 중인 방탄시험 규격에서는 ASTM을 준용하는 것으로 나타나고 있다. 이 중 시료의 거치에 관해 다루고 있는 ASTM 3110-20에서는 시료를 안전하고 효율적으로 거치할 수 있는 방안을 권고하고 있다. 이를 토대로 기품원 방탄시험장에는 KOLAS 운영을 위한 품질경영문서(시험절차서)에 해당 내용을 반영하고 있으며, 지속적인 개선을 추진하고 있다.

방탄시험의 대상이 되는 시료는 개인용 방탄복, 방탄헬멧, 방탄판 부터 체계용 유리, 복합재, 철판 등 다양한 형태와 크기를 가지고 있다. 방탄시험장은 이러한 시료를 거치하기 위해 각각의 시료거치대를 운영되고 있으며, 교체과정에서 시간소요 및 안전성에 대한 위협이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 이를 해결하기 위한 방안 마련의 일환으로 방탄시험에 있어서 효율성과 신뢰성, 안전성을 확보하기 위한 시료거치 시스템을 개발하고자 하였다.

본 연구에서는 시험운영 상 문제점을 개선하기 위해 시간과 장비가 한정된 방탄시험능력을 대상으로 최대의 효과

성을 이끌어 낼 수 있는 다목적 시료거치 시스템의 개발을 통해 시험 능력 증대 및 시험의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 방탄시험의 병목현상

'방탄(Bulletproof)'에 관한 선행연구는 대부분 소재에 국한되어 있으며, 성능을 평가하기 위한 시험에 관한 연구는 부족하다. 일부 선행연구에서 방탄시험규격 및 방법의 개선에 관한 연구가 수행되어 왔으나[4, 5], 세부적인 시험 진행과정을 고찰하고 효율성을 개선시키려는 연구는 부족한 실정이다.

Fig. 1은 방탄시험의 개략적인 절차를 도식화 한 것이다. 제약이론(TOC : Theory of Constraint)에서는 전체 시스템에서 가장 병목이 발생하는 부분을 해결하여 시스템의 최적화를 유도한다[6]. 방탄시험을 실제 수행하는데 있어서 제약사항은 가장 많은 시간이 소요되는 '시험 전 초기 준비(시료거치대 준비)'와 '시험 간 탄착점 위치에 따른 시료의 이동'이다. 초기 준비시간의 절감은 전체 시험시간의 절감으로 연결되어 효과적인 시험운영과 직결된다. 실제 시료거치대 준비 시간은 약 30분 내외이며, 탄착점 위치 이동 등 시간은 1회당 약 3분 내외이다. 방탄시험은 총열이 고정되어 있고, 시료를 탄착점 위치로 이동하여 시험하기 때문에 탄착점 위치 이동은 매 시험마다 6회 이상 발생한다.

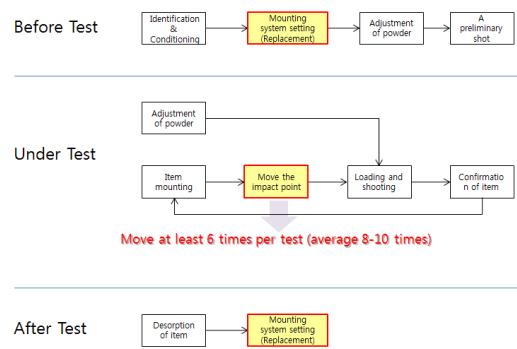


Fig. 1. Bulletproof test procedure

기존 운용 중인 시료거치대는 시료에 따라 거치대를 교환해야하는 실정으로 초기 준비 시간이 과다하게 발생하며, 고 중량 시료거치대의 잦은 교체 과정에서 시험원의 안전을 위협하는 상황이 발생한다. 예를 들어 방탄복 시험을 위해서는 방탄복용 거치대를 고정시키고, 방탄복 시험을

마치면 다시 방탄유리용 거치대로 교환하여 거치하는 방식이다. 시료거치대의 크기 및 용량에 부합하지 않는 시료는 거치불가로 시험이 제한되기 때문에 시험가능 품목에도 영향을 미친다. 또한 장시간 시험업무를 수동으로 제어하여 진행할 경우 업무 능률이 저하된다.

2.2 경제성 분석

경제성 분석은 개선하고자 하는 대상의 비용 대비 효과를 정량적으로 분석하는 것으로 투자를 위한 의사결정의 기본 자료가 된다. 경제성 분석은 사업이나 장비 등의 교체와 관련한 기술 및 환경요인 등을 반영하여 분석해야 한다. 즉, 적절한 평가방법을 토대로 개선을 위한 대상의 유무형적 효과와 소요되는 비용을 정확하게 추정하여 투자되는 비용과 사업으로 얻게 되는 편익의 효율에 대한 관점을 분석해야 한다[7]. 일반적으로 경제성을 분석하는 방법은 대안선택방법이다. 이는 수익을 최대화하거나 비용을 최소화하는 방법으로 다양한 요인들이 감안되어야 한다.

3. 현황 분석

3.1 현 시스템의 문제점 분석

현 시스템의 문제점을 식별하기 위해 시험 운영 노하우를 바탕으로 Fig. 2와 같이 시료, 운용자, 환경요인(시험방법) 관점에서 특성요인도를 활용하여 검토를 진행하였다. 특성요인도 분석 결과, 다양한 시료 형태 및 특성 반영과 다양한 시험규격의 적용, 장비조작의 용이성 및 시험시간 절감의 2가지 문제점을 도출하였다.

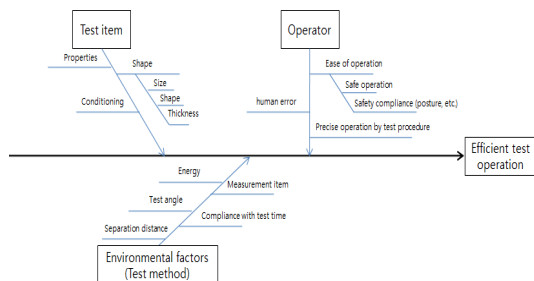


Fig. 2. Characteristic factor analysis

3.1.1 시료 형태 및 시험 규격 반영 애로

방탄시험은 시료에 따라 시료거치대를 준비해야 한다. 하루에 각기 다른 시료를 시험 시 시간이 더욱 증가하겠지

만 평균적으로 교체에 소요되는 시간은 약 30분 내외로 하루 평균 시험시간(4시간)의 12.5%를 차지하기 때문에 교체 시간을 절감시킨다면 시험의 효율성이 증대될 것이다.

Fig. 3은 기 운영 중인 시료거치대의 형상으로 문제점을 분석한 결과는 다음과 같다. 첫째, 방탄시험용이 아닌 기성품을 조합하여 만든 거치대를 운영하고 있기 때문에 탄의 충격량에 의한 유격 발생 및 높이의 제한으로 시료의 하단 부분만 사격이 가능하다. 둘째, 각 시험 규격별 상이한 시료의 탄착점 위치 및 각도 등의 반영이 어렵다. 방탄복 시험규격은 0도, 30도와 45도 철판 등의 규격에서는 5도, 35도 등 각도로 사격해야 하는데, 기 운영 중인 시료거치대는 30도와 45도 사격만 가능하여 다른 각도를 요구하는 시험 시별도의 치구를 제작하여 고정해야 한다. 셋째, 방탄헬멧 시험의 경우 전면, 후면, 좌측, 우측, 정수리에 각각 사격이 진행된다. 이를 위해 탄착점 조절을 위한 회전 및 고정이 필요하나 기 운영 중인 거치대는 고정이 불가능하다.

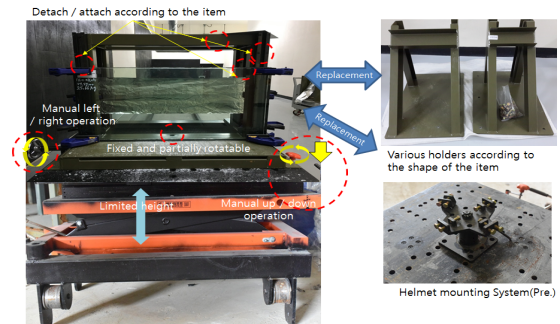


Fig. 3. Existing item mounting system

3.1.2 장비조작의 용이성 및 시간 절감필요

시료거치대의 교체 및 각도를 조절하는 과정에서 전동드릴 등의 공구를 사용하여 시료거치대를 분리 후 각도를 조절 및 재고정하는 작업의 반복으로 시험자의 피로도 및 장비 조작 간 손가락 끼임 현상 등 발생 위험성이 증가한다. 또한 탄착점 위치 조절을 위해 수동으로 상/하/좌/우 위치를 조정하기 때문에 탄착점이 직관적으로 식별되지 않는 단점이 있다(Table 1).

3.2 대안 도출

전술한 2가지 문제점을 해결하기 위한 방안으로 먼저, 거치대의 표준화 및 다목적화를 위해 해외 시험장(미국, 유럽)의 시료거치대 운영현황을 고찰하였다(Table 2).

Table 1. Problems with currently operating system



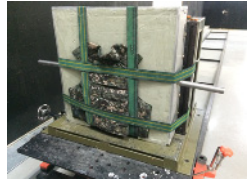


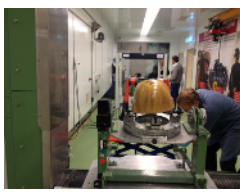
| | |
|---|---|
|  |  |
| Adjusting the position of the impact point | |
|  |  |
| Height limit | Angle not adjustable |

Table 2. Abroad of the item mounting system

| | |
|---|---|
|  |  |
| HP White Laboratory | DuPont |

해의 시험장의 고찰을 통해 다양한 시료를 거치할 수 있고 각 시험 규격을 호환 적용할 수 있도록 표준화된 거치대를 설계해야 한다. 다음으로 장비조작의 용이성을 증대시키고 시험시간이 절감되도록 자동화를 추진하여 탄착점 자동 조절 기능과 원격 조작을 통한 안전성을 확보할 수 있는 방안을 적용해야 한다.

현 시스템의 문제점을 해결하여 시험을 효과적으로 운영하기 위해 본 연구는 설계를 위한 2가지 목표를 수립하였다. 먼저 형상에 구애받지 않고 다양한 시료를 거치할 수 있는 시료거치 시스템 제작이다. 이를 통해 초기 준비시간의 절감을 통한 효율성 증대가 가능하며 안전사고 발생을 예방할 수 있다. 다음으로 탄착점 위치조정의 자동화 및 정확

Table 3. Problem and Improvement

| Division | Problem | Improvement |
|------------|--|--|
| Mounting | Difficulties in reflecting sample type and test standard | Mounts various samples regardless of shape |
| Efficiency | Easy to operate equipment and need to save time | Automated positioning of impact points and accurate rotation angle setting |

한 회전각 설정이다. 이를 통해 시험원 피로도 감소 및 시험 결과의 신뢰성 확보가 가능하다. 현 시스템의 문제점과 개선방안을 정리한 결과는 Table 3과 같다.

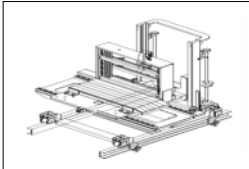
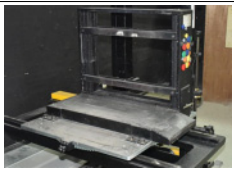
4. 연구 결과

본 연구에서는 3장에서 논의한 문제점을 개선하기 위해 다목적 시료거치 개발을 개발하고, 그 동안 시험을 진행하여 얻은 데이터를 바탕으로 경제성 분석을 수행하였다.

4.1 다목적 시료거치 시스템 구현

본 연구에서 고안한 시스템은 기본 베이스에 다목적 거치대를 결합하여 다양한 크기와 형상을 가진 시료의 거치가 가능하다. 또한 용이하게 탄착점 위치를 자동설정 할 수 있으며 용이하게 시료의 각도를 설정할 수 있도록 설계되었다. Table 4는 설계안 및 구현 형상을 나타낸다.

Table 4. Item mounting system layout

| | |
|--|--|
|  |  |
| Design | Application Model |

다목적 시료거치 시스템은 크게 기본베이스, 거치대, 각종 조절부로 구분된다. 기본베이스는 다목적 거치대 및 헬멧 거치대와 호환이 가능한 지지대로, 47,000J의 운동에너지도 지지될 수 있도록 설계되었다. 휴먼에러 방지를 위해 기본베이스는 최소한의 결합부로 거치대와 탈/부착이 가능하도록 하였으며, 수평으로 90 회전, 수직으로 1.5m 이동이 가능해 기존 문제점인 탄착점 위치와 회전각 제한으로 인한 시험불가능 요소를 제거하였다(Table 5).

Table 5. Rotating part for moving


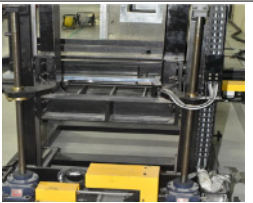
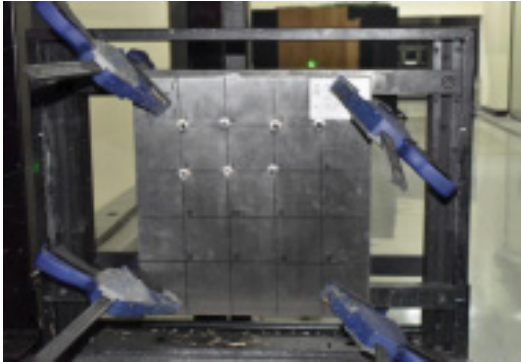

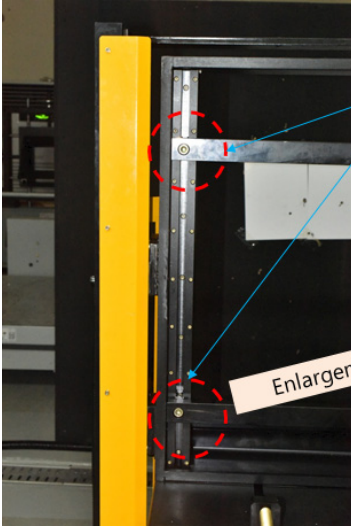
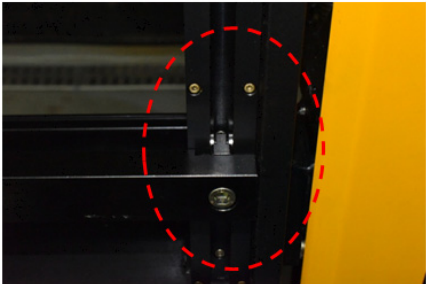
| | |
|--|---|
|  |  |
| Left/Right rotating part | Up/Down rotating part |

Table 6. Multi-purpose & helmet mount

| | |
|--|--|
|  |  |
| <p>Multi-purpose mount</p> | <p>Helmet mount</p> |
| <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Various sizes of samples can be mounted by adjusting the vertical position of the control unit</p>  <p>Increased mobility through the inner rail and can be fixed by simple operation Various types of sample placement are possible because it is not protruding</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Mounting position adjustment part</p> | |

거치대는 다목적 거치대와 헬멧 거치대로 구분되며, 다목적 거치대는 다양한 크기와 형상의 시료가 거치 가능하도록 설계하였다. 다목적 거치대는 방탄복 시험을 위한 후면재 지지대와 호환된다. 시료 고정틀은 내부에 위치하여 별도의 탈/부착 과정이 없이 수직이동 및 고정을 통해 다양한 크기와 형상의 시료를 거치할 수 있도록 설계하였다. 이는 시료마다 고정 틀을 탈/부착하여 사용해야 했던 기존 문제점을 개선한 부분이다. 헬멧 거치대는 기본 베이스에 단순 조립하여 운영하며 불필요한 요소를 제거하여 경량화하였다. 수평과 수직으로 360 회전 가능하여 모든 부위에 사격이 가능하고 국방규격 및 해외 시험규격까지 시험이 가능하다(Table 6).

탄착점 위치 조절부는 자동으로 높이와 수평 이동 조절이 가능하여 신속하고 정확하게 탄착점 설정이 가능하도록

설계하였다. 회전각 조절부는 2.5도 단위의 조절이 가능하며 쉽고 용이하게 시료 각도를 설정할 수 있도록 설계하였다(Table 7). 이로써 기존에는 정확하게 구현할 수 없었던 각도를 2.5도 단위로 조정하여 측정불확도 산출 등에 반영할 수 있게 되었다.

Table 7. Angle adjuster


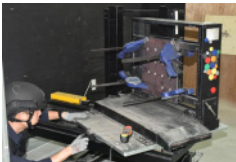
| | |
|---|---|
|  |  |
| <p>Angle adjuster</p> | <p>Angle adjustment</p> |

Table 8. Comparison of economics before and after system introduction

| Division | | D years | D+1 years | D+2 years | Calculation | Note |
|----------|--------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------------|----------------|
| A | Number of tests per year | 365 | 684 | 946 | - | Real data |
| B | Initial preparation time (h) | 0.5 | 0.17 | 0.17 | - | Real data |
| C | Number of tests per day | 1.83 | 3.42 | 4.73 | A/200 | working days |
| D | Total test time per day (h) | 2.2 | 2.6 | 3.5 | (C*40min)+(B*2) | 2 settings |
| E | Preparation time ratio | 23% | 6% | 5% | B/D | - |
| F | Equipment utilization rate (h) | 55.4% | 65.3% | 87.2% | D*200/800 | working days/2 |
| G | Cost ratio per hour | 45% | 38% | 29% | 1/D | Cost : 1 |

4.2 경제성 분석

시료거치 시스템의 경제성을 분석하기 위해 시스템 도입 전 1년 및 도입 후 2년간의 실제 운영실적을 바탕으로 연간 시험 수행 건수(A), 초기 준비시간(B), 하루 평균 시험 건수(C), 하루 총 시험시간(D), 총 시험시간 대비 시험 준비 시간 비율(E), 장비활용률(F), 단위 시간당 비용(G)을 조사하였다. 시스템 도입 전과 후의 효율 및 효과에 대해 분석한 결과는 다음과 같다(Table 8). 연간 시험 건수는 D년 365건에서 D+2년 946건으로 259% 증가하였으며, 초기 준비 시간은 0.5시간에서 0.17시간으로 감소하였다. 하루 평균 시험 건수는 200근무일을 기준으로 1.83건에서 4.73건으로 증가하였으며, 총 시험시간은 하루 2회 초기 세팅을 하는 것으로 가정하여 산출한 결과, 2.2시간에서 3.5시간으로 증가하였다. 하루 시험 건수가 259% 증가한데 비해 총 시험시간이 157% 증가한 것으로 미루어볼 때, 업무효율성이 증대된 결과라고 할 수 있다.

장비활용률은 8시간 중 4시간 시험을 진행함을 가정할 때, 연간 800시간을 기준, 55.4%에서 87.2%로 증가하였다. 마지막으로 단위 시간당 비용은 비용을 1로 가정하였을 경우 45%에서 29%로 감소하였다. 경제성 분석 결과, 연간 시험 및 하루 평균 시험 건수, 장비활용률은 대폭 증가하고 시간당 비용은 감소한 것으로 보아 본 시스템의 도입의 효과성이 입증된 것으로 판단할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 방탄시험의 효과적인 운영을 위해 실제 시험 절차를 분석하여 문제점을 도출하고, 이를 개선하기 위한 방안으로 시료거치 시스템을 개발하였다. 기존 시스템에서 도출된 문제점은 크게 2가지로 다양한 시료 형태 및 다양한 시험규격의 적용이 불가능한 점과 장비조작의 불편함 및

과다한 시험 준비시간이었다. 이를 개선하기 위한 시료거치 시스템은 기본베이스, 거치대, 각종 조절부로 구분된다. 다목적 거치대와 헬멧 거치대는 다양한 크기와 형상의 시료를 거치 및 다양한 규격을 시험할 수 있도록 설계하였다. 기본베이스는 표준화하여 거치대와 호환이 용이하도록 설계하였고, 조절부는 자동으로 조작이 가능하도록 설계하였다.

시스템의 경제성을 분석하기 위해 시스템 도입 전과 후를 기준으로 실제 운영데이터를 비교/분석하였다. 분석 결과, 시험 건수, 장비활용률은 대폭 증가하고 시간당 비용은 감소하여 본 시스템의 도입의 효과성이 입증된 것으로 볼 수 있다. 본 연구를 통해 한정된 방탄시험능력을 토대로 최대의 효과를 이끌어 낼 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 통해 국내 방탄시험의 신뢰성 향상과 적기 시험 지원으로 군 전투력 유지에 기여할 수 있기를 기대한다.

References

- [1] Korea Laboratory Accreditation Scheme, KS Q ISO/IEC 17025 : 2017 Commentary(KOLAS-G-009), Korean Agency for Technology and Standards, Korea, 2019.
- [2] K. J. Kim., "Development of Hybrid Type Photovoltaic Energy Storage System for Improvement of Durability and Electric Power Efficiency" *KSMT*, Vol.20, No.3, pp.306-311, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.17958/ksmt.20.3.201806.306>
- [3] U. Y. Lee. , Y. Y. Joo., and J. H. Lee., "Excess Flow Valves for Underground Gas Pipeline and their Performance Testing Equipment Development" *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol.22, No.4, pp.74-81, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.7842/kigas.2018.22.4.74>
- [4] S. H. Gu., K. M. Kim., and J. H. Park., "A Study on Improvement of Ballistic Testing Method for Combat Helmet", *J Korean Soc Qual Manag*, Vol.47, No.2, pp.283-294, 2019.

DOI: <http://doi.org/10.7469/JKSQM.2019.47.2.283>

- [5] H. Kim., S. H. Gu., S. H. Song., M. J. Kim., and Y. S. Hwang., "A Study on the Improvement of Test Method for the Body Armor" *KMST*, Vol.21, No.4, pp.685-690, 2019.
DOI: <http://doi.org/10.17958/ksmt.21.4.201908.685>
- [6] S. M. Kim., and J. K. Ahn., "Verification of ERP Standard Time Using TOC Technique and Improvement of MES Routing Point" *Journal of society of Korea industrial and systems engineering*, Vol.41, No.4, pp.22-33, 2018.
DOI: <http://doi.org/10.11627/jkise.2018.41.4.022>
- [7] K. M. Lee., K. S. Ahn., S. H. Gu., H. S. Han., and S. J. Choi. "A study on Economic Evaluation of the Theater Stage Lighting System Using LED" *Journal of the korea contents association*, Vol.15, No.6, pp.43-53, 2015.
DOI: <http://doi.org/10.5392/JKCA.2015.15.06.043>
-

구 승 환(Seung-Hwan Gu)

[정회원]



- 2010년 2월 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템 전공 (공학석사)
- 2014년 8월 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템 전공 (공학박사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 신뢰성시험센터 선임연구원

<관심분야>

금융공학, 제약이론(TOC), 방탄신뢰성평가