

안전 및 효율성 확보를 위한 방탄시험장 개선방안 연구

구승환*, 조성환, 송승환
국방기술품질원

A Study on Improvement Plans for Bulletproof Test Lab to Secure Safety and Efficiency

Seung Hwan Gu*, Seong Hwan Cho, Seung Hwan Song
Defense Agency for Technology and Quality

요약 국방기술품질원은 방탄시험분야 국제공인시험(KOLAS) 인정을 취득하여 시험을 운영 중에 있다. 본 연구는 현재 운영 중인 방탄시험장의 문제점을 식별하고 개선방안 및 타당성을 도출하였다. 식별된 문제점은 환경, 프로세스, 안전의 3가지 측면으로 구분되었으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 2가지 개선안을 도출하였다. 도출된 개선안을 토대로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다. 먼저, 동선 변경으로 인한 시험시간 감소 효과가 나타났으며, 시험별로 각각 45%, 7.8%의 효율이 상승하였다. 다음으로 시험실의 증가로 시험 가능한 물량이 시험별로 각각 2.9배, 2.1배 증가하는 것으로 분석되었다. 시험장 개선의 타당성 검토를 위해 순현재가법(NPV : Net Present Value), 비용/편익 분석, 내부수익률을 사용하여 경제성 분석을 수행하였다. 비용은 총사업비 추정 결과를 적용하였으며, 편익은 매출 증가, 해외시험비용 회피, 안전개선의 3가지를 설정하여 적용하였다. 경제성 분석결과, NPV는 18.98억원, 비용/편익은 1.12, 내부수익률은 10.14%로 도출되어 사업에 타당성이 확보된 것을 알 수 있었다.

Abstract This study derived a plan to improve the bulletproof test laboratory operated by the Defense Agency for Technology and Quality. The identified problems were divided into environment, process, and safety. Two improvements were derived to solve the problem. The laboratory was designed by applying the derived improvement plan, and the simulation analysis results were as follows. First, the effect of reducing the test time due to a change in the movement line was shown. The efficiency increased by 45% and 7.8% for each test. The number of items that could be tested increased by 2.9 times and 2.1 times for each test due to the increase in the shooting room. Economic analysis was performed using NPV, B/C analysis, and IRR to review the feasibility of improving the test laboratory. As for the cost, the total project cost estimation result was used. The benefits were set as three things: benefits from increased sales, benefits of avoiding overseas tests, and benefits of safety improvement. Economic feasibility analysis revealed an NPV of 1.898 billion won. In addition, B/C analysis was 1.12, and IRR was 10.14%.

Keywords : Bulletproof Test Lab, Ballistic, NPV, B/C Analysis, IRR

1. 서론

방탄물자의 방탄성능을 확인하기 위해서는 방탄물자

에 실탄을 사격하여 방탄시험을 수행한다. 방탄시험은 방탄물자의 규격이나 구매요구서 등에서 규정하고 있는 탄종과 탄속, 환경조건을 갖춘 시험장에서 수행된다. 국

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

email: gsh999@hanmail.net

Received May 15, 2023

Accepted July 7, 2023

Revised June 5, 2023

Published July 31, 2023

방기술품질원(이하, 기품원)은 2015년 국방종합시험센터에 방탄시험장을 개장하고, 2017년 방탄시험에 대한 KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme) 인정을 획득하여 방탄시험을 운영하고 있다. 기품원은 방탄시험을 진행함에 있어서 다양한 시험장비 및 기법을 개발하여 시험의 신뢰성을 향상시켜왔다. 하지만 최근 무기체계의 방산수출이 증가되면서 체계의 방탄성능을 확인하는 중구경(12.7mm ~ 20mm) 시험의 수요가 증가하고 있는 추세이며, 신규 시험의 증가와 시험방법의 개정 등으로 최초 시험장 설계 시 고려된 작업 동선 및 시험환경 여건에 변화가 발생하고 있다.

현 방탄시험장은 1개 사격실 내 소구경과 중구경 방탄 시험을 통합하여 운용하도록 구축되어 있어 각 구경별 방탄성능 시험을 독립적으로 수행될 수 없는 환경이다. 이에 증가된 방탄 품목에 대한 효율적인 방탄시험 수행이 제한되는 실정이다.

또한 사회적으로 안전에 대한 의식이 향상되면서 중대 재해처벌법 등의 관련 법규가 신설되고 안전사고를 예방하기 위한 활동이 중요해졌다. 이러한 환경에서 위험성 평가를 자체적으로 실시한 결과, 방탄시험장에 신규 품목 등의 시험을 위한 시설 및 장비가 지속적으로 추가/증설됨에 따라 작업 동선 등이 비효율적으로 변화되어 안전사고 및 재해 발생 가능 요인이 다수 식별되었다. 인력 측면에서는 파편 및 분진 등으로 인한 시험원의 호흡기 질환 및 고중량의 장비 사용으로 인한 시험원의 근골격계 질환이 우려되는 상황으로 시험장의 안전성과 효율성에 대한 제고 방안 수립이 필요하게 되었다. 시설 측면에서는 환기장치 및 집진설비의 노후화로 인한 호흡기 질환이 발생 가능성이 존재하며, 파편 비산 방지, 차음 시설, 조도 등의 시설이 추가될 필요성이 제기되었다. 따라서 본 연구는 시험 간 효율성 저해요소 및 안전 유해인자들을 식별하고, 이에 대한 해결방안을 제시하기 위해 수행되었다.

그간 선행연구는 방탄 소재의 성능을 향상시키기 위한 소재개발 연구나 시험방법의 개선 등에 대한 연구가 주를 이루었다[1-4]. 그에 반해 일부 방탄복 시험기준에 관한 연구에서 시험장의 시험 정확성 개선에 대한 방법이 제시되었지만 방탄시험을 진행하는 시험장의 안전이나 환경에 관한 연구는 부족한 실정이다[5]. 시험에 앞서 안전성과 효율성이 확보되어야만 시험장을 운영할 수 있으며, 안전한 환경이 구축되어야 시험결과와 신뢰성까지 확보할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 효율적이고 안전한 방탄시험이 진행될 수 있도록 선행연구 등의 문헌검

토 및 시험장의 실제 문제점을 식별하여 개선방안을 제시하고자 한다. 그리하여 방탄시험의 효율성을 극대화하고 시험원의 안전을 확보하기 위해 시험장의 개선방안을 마련하고, 경제성 분석을 통해 타당성을 확보하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 방탄시험

방탄시험에서는 발사체(탄약)와 탄속 측정이 매우 중요하다. 그 이유는 대부분의 방탄시험 규격 또는 구매요구서에서 해당 방탄물자의 성능이 어떠한 탄환을 어떤 속도에서 막아내는지 여부로 규정하고 있기 때문이다. 예를 들어 NIJ Standard 0101.06 Level IIIA 등급의 방탄복이라 하면, 해당 방탄복은 44 Magnum 권총탄에 436m/s로 피격당했을 때 방호가 가능하다는 것을 의미한다. 국내 군용방탄복의 구매요구서에서 요구하는 방호성능은 NIJ Standard 0101.06 Level IIIA 등급과 약 5.56mm의 파편모의체에 대한 방호성능을 요구하고 있다.

방탄시험을 위해서는 화기(총열), 탄약, 속도측정 장비, 시편거치대, 환경장비 등의 요건이 충족되어야 하며, 규격별로 설정 방법에 차이가 있다. 각 규격별 방탄시험을 진행하기 위해 시험장에서는 시험 전 시험장을 규격에 맞는 요구조건으로 변경하여 설정한다. 시험 조건이 매번 변경될 경우 시험장 초기설정으로 인한 피로도 증가, 효율성 감소, 휴면 에러가 발생할 수 있다. 또한 개인용 방탄물자는 탄에 의한 관통 뿐만 아니라 장기 손상을 방지하기 위해 후면변형 시험을 진행하는데, 이 과정에서 고중량의 Oil Clay를 사용하여 시험을 진행하기 때문에 장기간 시험을 진행할 경우 시험자의 근골격계 질환 등이 발생할 수 있다.

2.2 경제성 분석

경제성 분석은 시험장을 개선하게 되는 경우 발생하는 비용과 편익을 추정하여 타당성을 검증하는 분석방법이다. 비용·편익 추정을 바탕으로 사업에 대한 순 현재가치(NPV), 비용편익분석(B/C), 내부수익률(IRR)을 산출하여 경제적 타당성을 평가할 수 있다. 일반적으로 순 현재가치(NPV)가 양수이면 편익이 비용보다 크기 때문에 해당 사업은 경제적으로 타당하다고 평가한다(Eq. 1).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

B_t : present value of benefits at time t

C_t : present value of cost at time t

r : social discount rate

비용편익분석(B/C) 결과가 1보다 크면 편익이 비용보다 크기 때문에 해당 사업은 경제적으로 타당하다고 평가하며(Eq. 2), 내부수익률(IRR)이 사회적 할인율보다 크면 해당 사업은 경제적으로 타당하다고 평가한다(Eq. 3).

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \Bigg/ \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t} \quad (3)$$

R : IRR

경제성에 대해 NPV, B/C, IRR은 일반적으로 동일한 결론을 제시하지만 특정한 경우 NPV와 B/C 결과와 IRR 결과가 불일치할 수 있으므로 본 연구에서는 세 가지를 모두 사용한다.

3. 현황 분석

방탄시험장 현황을 분석하기 위해 계층적 과업 분석방법(HTA : Hierarchical Task analysis) 방법을 사용하여 작업 효율 저해요소를 도출하였다. 이를 위해 목표, 계획, 세부작업, 행동 4가지 단계로 나누어 작업의 효율 저해요소 및 사고유발요인을 도출한 결과는 Table 1과 같다.

HTA 분석을 통해 도출된 작업 효율 저해요소는 3가지로 구분할 수 있다. 먼저 작업환경으로 작업 조도를 측정된 결과 보통 작업 기준 권고안 150Lux에 비해 어두운 것을 확인할 수 있었다[6]. 이는 충분한 수의 LED 조명 확보로 개선이 가능할 것으로 판단된다. 다음으로 높은 층고로 인해 일정한 온-습도 유지가 어려운 점을 들 수 있는데, 층고 조절 또는 시편 위치 조정 등을 통해 개선할 수 있다. 배기 및 환기는 장전실 및 사격실 내부에 대형 에어컨으로 인해 양압으로 참관실까지 분진 및 화약 냄새가 유입되고 있는데, 참관실, 통제실과 시험장소와 독립된 배기 환기 시스템을 구축하고 경량화된 방폭 문을 구축함으로써 개선이 가능하다. 환경유지를 위한

대형 에어컨 설비로 인해 작업 공간 내부에 지속적인 소음이 발생하는 것은 덕트형 에어컨 설비를 설치하여 소음유발 장비가 작업 공간에 동시에 존재하지 않도록 구성함으로써 개선이 가능하다. 통제실과 참관실 공간이 완벽히 격리되지 않아 발생하는 사격 소음은 하부 실링 방폭 문 설비, 장전실 방음설비, 방음벽 설치로 개선이 가능하다.

Table 1. Factors hindering work efficiency

Division	Detail
Work environment	<ul style="list-style-type: none"> - Illuminance - High floor height - Exhaust, ventilation - Noise
Work process	<ul style="list-style-type: none"> - Install speed measurement screen - Device Alignment Task - Caly Processing Task - Change lab settings
Safety issues	<ul style="list-style-type: none"> - Clay work of heavy objects - Communication between workers - Checking the number of people in the shooting range

다음으로 작업 프로세스인데, 시험규격에 따라 속도 측정기 위치를 변화시켜가면서 사용하고 있어 시험의 신뢰도 저하를 유발할 수 있다. 이는 독립 사격실 구성 후 사격실별 전용 속도 측정기를 설치하여 개선이 가능하다. 정렬작업은 시험 시작 시 필요하나, 매번 수정이 필요한 부분이 발생하기 때문에 위치, 거리 등을 기준할 수 있는 부가적인 설비가 필요하다. Clay 작업은 다른 작업에 비해 제일 많은 시간이 소요되기 때문에 Clay 작업 시스템의 개선이 필요하다. 또한 시험에 따라 사격실 설정을 변경하여 운용하는 과정이 복잡하는데 이는 전용 사격실을 추가하는 것으로 개선이 가능하다.

마지막으로 안전 측면이다. Clay 틀을 포함한 고중량이 필요한 작업에서 근골격계질환 유발 가능성이 있기 때문에 Clay 틀을 움직이지 않고 현장에서 작업할 수 있도록 개선이 필요하다. 방탄시험장은 실탄을 사용하는 시험장으로 작업자와 소통이 중요하다. 현 시험장은 장전 위치와 사격 위치가 분리되어 있으며, 격발 통제자가 직관적인 인원 파악이 불가능하다. 이를 위해 '장전-사격', '격발-장전-사격'을 직접 확인할 수 있도록 방탄유리를 설치하는 방안 등이 필요하다. 이와 더불어 격발 시 작업자의 현 위치 파악이 용이하지 않기 때문에 출입 인원 계측기 및 Interlock 시스템 설비 등으로 인원을 전자식으로 실시간 파악할 수 있도록 개선해야 한다.

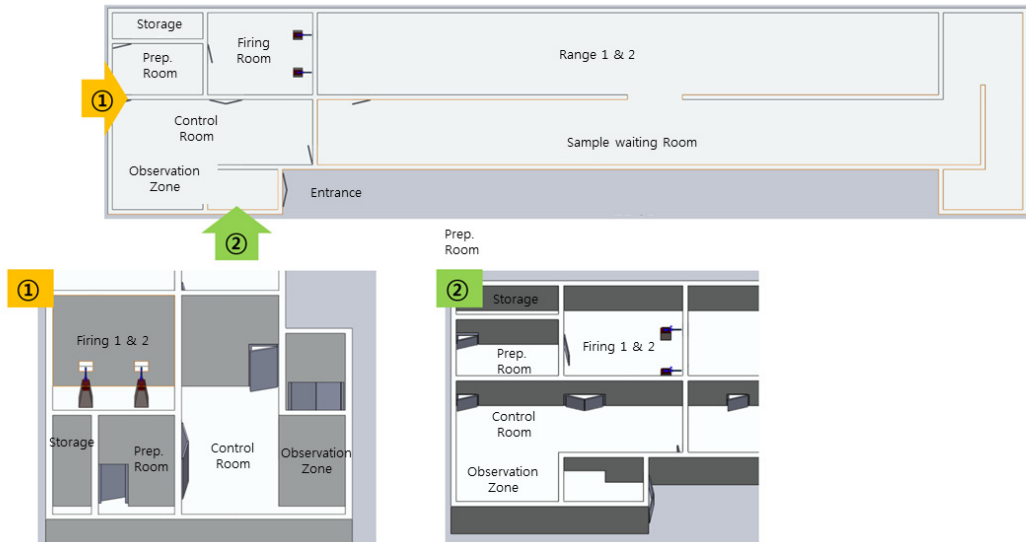


Fig. 1. Model of the current bulletproof test lab

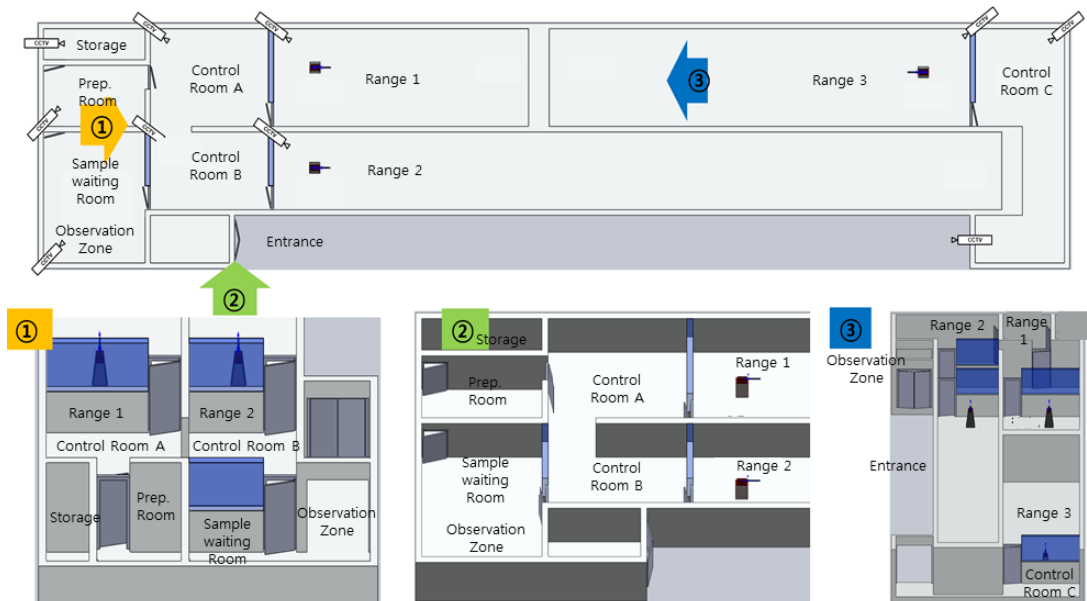


Fig. 2. Bulletproof test lab improvement plan model

Fig. 1은 현재 방탄시험장의 모식도로 사격실이 통합되어 있어 독립적인 사격이 불가능하다. 또한 ①의 방향에서 봤을 때, 장전-사격 간 육안확인이 불가능하며, ②의 방향에서 봤을 때, 통제실에서 사격실에 잔류인원에 대한 육안확인이 불가능하다. 작업 동선측면에서는 장전실에서 사격실로 이동하기 위해 통제실과 시험준비실을

통과해야 하기 때문에 동선이 비효율적이다.

4. 연구 결과

4.1 시험동 개선을 위한 설계

방탄시험장 개선을 위한 구체적 방안은 다음과 같다. 먼저 온-습도 조절 및 조도 확보를 위해 5.5m의 층고 높이를 2.2m 낮추고 다수의 LED 램프를 배치한다. 또한 시험의 효율성 확보를 위한 사격실의 완전 분리, 전도 방지용 바닥 콘센트 시공, 흡기 및 배기를 위한 설비 시공, 참관인과 작업자의 동선이 겹치지 않도록 설계한다. 개선안은 사격 과정을 직관적으로 확인 가능하며 독립적으로 사격실을 활용할 수 있다. 개선안은 Fig. 2와 같이 기존 사격실을 수직으로 나누어 2개의 독립 사격실을 운영하고 기존 시험준비실을 증구경 사격실(25m)로 활용하는 방안이다.

시설·장비 개선에 따른 정량적·정성적 효과분석을 위해 동선 분석을 수행하였다. 동선 분석결과, 시험장 개선으로 인한 시험시간 감소 효과가 나타났으며, Clay 사용 시험은 시간이 31% 감소하고, Clay 미사용 시험은 시간이 7.2% 감소하였다. 감소한 시간을 시험효율로 환산(1/감소시간)하면 각각 45%, 7.8% 효율이 상승한다고 할 수 있다. 또한 사격실이 1개에서 3개로 증가함에 따라 최소 2개 사격실의 동시 가동을 가정할 경우, Clay 사용 시험은 기존 대비 2.9배 증가(145% × 2개 사격실), Clay 미사용 시험은 기존 대비 2.1배 증가할 것으로 분석하였다.

이외에 정성적인 효과로 시험자의 안전사고와 근골격계질환 예방을 통한 안전 확보 효과가 있으며, 시험가능한 규격이 확대됨으로써 방산물자 수출에 기여할 수 있다.

4.2 경제성 분석

비용편익 분석을 위해 다음의 가정을 수립하였다. 시험장 개선을 수행하는 경우 1차년도 1년은 공사를 진행하고 이후 2차년도부터 30년간 운영하는 것으로 가정하였다[7]. 분석의 기준연도는 2022년으로 설정하였으며, 이후 가격에는 인플레이션을 고려하지 않은 2022년 기준 불변가격을 적용하고, 실질 할인율 4.5%를 반영하여 현재가치를 계산하였다. 또한 방탄시험장의 시설개선으로 인한 편익 항목은 해당 사업으로 인해 발생하는 외부적 효과를 포함한 사회적 편익까지 고려하여 분석하였다.

편익은 시험장 개선에 따른 시험 확대 편익과 사업이 추진됨으로써 기존의 해외시험비용 절감액, 신규 국내 매출액, 시험시설 개선에 따른 시험원의 안전개선 편익이다. 여기에서 시험장 개선으로 유발되는 부담과 혜택 중에서 실질적이지 않은 이전적 성격의 항목들은 제외하였고, 건설기간 동안 발생하는 환경 부담 가중, 교통 혼잡 유발 등의 비용, 지역경제 활성화 등의 편익은 추정하

지 않았다. 국민경제 측면에서 바라보는 경제성 분석의 비용과 편익 항목은 사업자 측면에서 바라보는 재무성 분석의 비용과 편익 항목과 구별하여 일부를 조정해서 추정하였다. 각종 세금과 이전 지출성 부담금의 경우 사업자 입장에서는 비용이지만 국민경제 측면에서는 이전 지출로 실질적인 부담을 발생시키지 않아 경제적 비용에서 제외하였으며, 각종 부담금 중 이전 지출성 부담금이 아닌 부담금은 경제적 비용에 포함시켰다. 최종적으로 시험장을 개선함에 따라 발생하는 비용과 편익은 개선 이전과 대비하여 개선 시 증가한 비용과 편익만을 가산하였다.

방탄시험장 개선에 투입되는 비용 항목은 총사업비(CAPEX : Capital expenditures), 운영비, 인건비로 구성된다. 총사업비는 기자재, 시공비, 예비비를 포함하며, 운영비는 시험장비 구매에 따른 자산취득비와 시험재료비 및 운영비 등의 비자산성 지출로 인해 발생한 수용비를 포함한다. 인건비는 시험 확대에 따른 시험 인원 채용으로 인해 증가하는 비용이다. 총사업비는 조달청 첨단연구소 신축사례와 서울특별시 ‘공공건축물 건립 공사비 책정 가이드라인’의 연구소 기준 평균치로 계산하고 한국은행 건설투자 GDP 디플레이터를 이용하여 2022년 기준으로 물가 보정하였다[8]. 전문가의 자문을 통해 산출된 사업비는 Table 2와 같다.

Table 2. Composition of total project cost

Category	Subtotal
Construction cost(A)	1,222,918,346
Demolition work cost(B)	24,918,638
Waste disposal costs(C)	11,898,410
Other service costs(D)	99,961,346
Equipment installation cost(E)	500,000,000
Reserve cost (A+B+C+D)×0.1(F)	135,969,674
Total investment cost (A+B+C+D+E+F)	1,987,705,364

운영비는 예상 시험횟수 증가율에 비례하여 10년 동안 증가 후 사업 종료 연도인 30년까지 동일한 것으로 가정하였다. 2차년도의 운영비는 최근 5년간 실제 운영비의 평균으로 산정하였으며, 인건비는 예상 시험횟수 증가율에 비례하여 10년 동안 증가 후 사업 종료 연도까지 동일하게 가정하였다. 공사 개시연도인 2차년도의 시험 인원은 현재와 동일하게 가정하였다. 예상 시험횟수 증가율에 비례하여 증가한 시험 인원은 Table 3과 같다.

Table 3. Estimated number of examinees and increments

Category	2	3	4	5	6	7	8	9	10~
Personnel	4	5	5	6	6	7	8	8	9
Increment	0	1	1	2	2	3	4	4	5

단위 인건비는 한국엔지니어링협회 노임단가에 따른 시험 인원의 임금 평균인 242,105원/일으로 적용하였으며 근무일 수는 기준연도인 2022년의 근무일수인 260일을 적용하였다[9].

편익 분석은 성격에 따라 직접편익과 간접편익으로 구분된다. 직접편익은 사격실 증설 및 작업 동선 개선에 따른 매출 증가 편익, 해외시험비용 회피 편익, 안전개선 편익으로 구성된다. 간접편익은 해외시험으로 발생하는 기술유출 회피 편익과 시험 시설개선 시 군 납품기한 준수로 인한 지체상금 회피 편익으로 구성할 수 있으나 산출이 적절하지 않을 수 있기 때문에 본 연구에서는 간접 편익은 다루지 않기로 한다. Table 4는 편익항목별 내용과 계산식을 정의한 것이다.

매출증가 편익이란 사격실 증가로 시험 가능 물량이 증가하여 국내 신규 매출이 발생하는 편익을 의미한다. 기존 선행연구 등에서 본 지표를 활용하고 있으며 시험 물량 증가량과 시험비용을 곱하여 산출할 수 있다[10]. 시험 물량 증가량은 공사 년도부터 10년 동안 증가 후 사업이 종료되는 시점까지 일정하게 유지되는 것으로 가정하며 시험 품목별로 계산하였고, 최초연도의 시험 물량은 과거 5개년의 평균으로 가정하였다. 10년 뒤 시험 물량은 Clay 사용 시험과 미사용 시험이 각각 2.9배와 2.1배로 증가함을 가정하여 10년간 선형 증가로 계산하였다. 시험비용은 5개년 간 건당 계약금액 평균값을 적용하였다.

해외 시험비용 회피 편익이란 시험장이 개선됨으로써 증가할 것으로 예상되는 시험 물량 중 해외시험 물량이 국내로 이전됨에 따라 기존 해외에 의뢰하던 시험비용이 본 시험장의 매출로 발생하는 편익이다. 해외 시험비용 회피 편익은 해외시험신청비용 회피 편익과 해외 출장비용 회피 편익의 합으로 산출할 수 있으며, 해외시험신청비용 회피 편익은 해외이전 시험 물량과 해외시험비용의 곱으로 계산할 수 있다. 시험 물량 증가량은 4.1절에서 산출된 물량에 대하여 국내 신규 물량을 30%, 해외 회피 물량을 70%로 가정하여 산정하였다. 해외시험신청비용은 방탄시험장의 시험과 동일한 시험인 NIJ IV의 해외 방탄시험장의 시험비용 \$383에 2022년 환율을 적용하

여 495,652원으로 계산되었다[11]. 해외 출장비용 회피 편익은 시험계약 증가량과 해외 출장비의 곱으로 계산하며 최초연도의 시험계약 건수는 5개년의 평균치를, 시험 물량증가 예상 분은 시험계약 건수에 동일배수를 적용하였다.

Table 4. Composition of benefit items

Item	Content	Calculation
1. Benefits from increased sales	Increased testable items and test quantity due to shooting range expansion	Expected increase in number of tests × Domestic test cost
2. Benefits of avoiding overseas tests	Benefits from avoiding overseas tests	Benefits of avoiding overseas tests(overseas test volume × overseas test costs) + Benefits of avoiding overseas business trips(increase in overseas test contracts × overseas travel expenses)
3. Benefits of safety improvement	Benefits of improving the safety of test personnel	Direct benefit(number of days lost from work × average insurance benefit amount) + Indirect benefit(number of industrial accidents × average sales per person × average days of recuperation)

안전개선 편익이란 작업환경 개선으로 인하여 잠재적으로 발생 가능한 질환의 예방 효과를 측정한 편익이다. 본 경제성 분석은 근골격계질환 예방 효과를 측정하였으며 그 외 발생 가능성이 있는 호흡계 질환 등은 측정 및 근거 확보의 한계로 인하여 분석에서 제외하였다. 근골격계 질환의 분류기준 및 내용은 한국산업안전보건공단의 연구를 준용하였다[12](Table 5).

Table 5. Classification criteria and contents of musculoskeletal disorders

Main category	Sub-category (by cause)	Classification code		
			One	More
Arm, leg, shoulder, wrist	Neurological disorder	T1	T11	T12
	Inflammation	T2	T21	T22
	Muscle rupture	T3	T31	T32
	Bone damage	T4	T41	T42
Waist	Intervertebral disk herniation	W1	W11	W12
	Spinal and rib sprains	W2	W21	W22
	Spinal and rib fractures	W3	W31	W32

안전개선 편익은 직접편익과 간접편익으로 구분할 수 있으며, 각 편익의 합으로 계산할 수 있다. 각 편익은 선행연구의 추정방법을 준용하여 산출하였다[13]. 직접편익은 근로손실일수와 평균보험급여액을 곱한 것으로 산출하며 간접편익은 산업재해 발생 건수와 1인당 평균 매출액, 평균 요양일의 곱으로 산출한다. 직접편익은 근로손실일수와 보험급여의 평균인 119일에 46,257원을 곱하여 5,504,583원으로 추정하였다(Table 6).

간접편익의 산재 발생 건수는 근로자 수와 재해를 (10%)의 곱으로 정의하며, 근로자 수는 예상 시험횟수 증가율에 비례하여 예측하였다[13](Table 7). 간접편익의 1인당 평균 매출액은 연간 매출액을 2022년 시험일수와 시험 인원수로 나누어 구하며 그 결과는 Table 8과 같다. 연간 매출액은 종류별 예상시험 물량과 국내시험 비용으로 산정하였으며, 생산일수는 2022년 생산일수 260일을 적용하였다. 간접편익의 평균 요양일은 직접편익과 동일하게 119일로 정하였다. 위의 과정을 통해 계산된 안전개선 편익은 Table 9와 같다. 본 연구에서는 근로격계질환만 반영하였지만 호흡계 질환, 청력 질환 등을 포함할 경우 안전개선 편익은 증가할 것으로 판단된다.

Table 6. Analysis of industrial accident insurance benefits related to musculoskeletal disorders

Classification code	Number of days lost from work	Insurance benefits (₩/day)
T11	102	36,846
T12	99	44,188
T21	72	39,977
T22	73	65,850
T31	133	60,923
T32	223	27,333
T41	141	37,773
W11	145	53,191
W12	183	55,949
W21	47	49,057
W31	123	47,767
W32	89	36,223
Avg.	119	46,257

Table 7. Estimation of the number of industrial accidents by year

Division	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Testers	5	5	6	6	7	8	8	9	9
Cases	0.46	0.52	0.58	0.64	0.70	0.77	0.83	0.89	0.95

Table 8. Average sales per person

Years	Annual sales (million)	Testing days	Number of testers	Average sales per person(₩)
2	542	260	5	452,082
3	613	260	5	451,719
4	684	260	6	451,432
5	755	260	6	451,200
6	826	260	7	451,007
7	897	260	8	450,846
8	968	260	8	450,708
9	1,039	260	9	450,589
10~	1,110	260	9	450,485

Table 9. Safety Improvement Benefits

Division	2	3	4	5	6	7	8	9	10~
Direct benefit	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Indirect benefit	25	28	31	35	38	4	44	48	51
Total	30	34	37	40	43	47	50	53	56

방탄시험장 개선으로 인해 발생하는 현금흐름으로 30년 동안 약 314.62억원의 총비용이 발생하는 것으로 나타났다(Table 10), 편익 현금흐름은 약 374.44억원의 총편익이 발생하는 것으로 나타났다(Table 11). 방탄시험장 개선으로 인한 비용 및 편익의 현재가치 흐름은 Table 12와 같이 30년 동안 약 18.98억 원의 순편익이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 10. Annual cost (unit: KRW million)

Year	CAPEX	Operating cost	Personnel expenses	Total
1	1,988	-	-	1,988
2	-	88	38	126
3	-	175	77	252
4	-	263	115	378
5	-	351	153	504
6	-	438	191	630
7	-	526	230	756
8	-	614	268	882
9	-	701	306	1,008
10	-	789	345	1,134
~				
31	-	789	345	1,134
Total	1,988	20,513	8,961	31,462

Table 11. Annual benefit (unit: KRW million)

Year	B1*	B2*	B3*	Total
1	-	-	-	-
2	21	132	30	184
3	43	264	34	340
4	64	396	37	497
5	85	528	40	653
6	107	660	43	810
7	128	792	47	966
8	149	924	50	1,123
9	170	1,056	53	1,279
10	192	1,188	56	1,436
~				
31	192	1,188	56	1,436
Total	4,986	30,886	1,572	37,444

* B1 : Benefits from increased sales
 B2 : Benefits of avoiding overseas tests
 B3 : Benefits of safety improvement

경제적 타당성을 분석한 결과, 순 현재가치가 18.98 억원, 편익비용비율(B/C)이 1.12로 도출되어 방탄시험장 시설개선 사업이 경제적 타당성을 확보하는 것으로 평가할 수 있으며 내부수익률은 10.14%로 예상된다.

Table 12. Net benefit calculation result (unit: KRW million)

Year	Cost	Benefit	Net benefit
1	1,902	-	-1,902
2	115	168	53
3	221	298	77
4	317	417	100
5	404	524	120
6	484	622	138
7	555	710	155
8	620	790	170
9	678	861	183
10	730	925	195
11	699	885	186
12	668	847	178
13	640	810	171
14	612	775	163
15	586	742	156
16	561	710	150
17	536	679	143
18	513	650	137
19	491	622	131
20	470	595	125
21	450	570	120
22	430	545	115
23	412	522	110
24	394	499	105

25	377	478	101
26	361	457	96
27	345	438	92
28	331	419	88
29	316	401	84
30	303	383	81
31	290	367	77
Total	15,811	17,709	1,898

5. 결론

본 연구는 현재 기품원에서 운영 중인 방탄시험장의 현 실태를 고찰하고 문제점을 식별하여 개선방안을 도출하고자 수행되었다. 식별된 문제점은 크게 작업 환경, 작업 프로세스, 안전 측면으로 구분할 수 있었으며, 이러한 문제점을 해결하기 위한 시험실 설계를 수행하여 2가지 개선안을 도출하였다. 도출된 개선안을 적용한 시험실 설계로 동선 변경으로 인한 시험시간 감소 효과가 나타났다. 비율로 환산 시 각 45%, 7.8% 효율이 상승하였다. 또한 사격실의 증가로 시험 효율이 증가되어 Clay 사용 시험 시와 Clay 미사용 시험 시 시험 효율이 각각 2.9배, 2.1배 증가하는 것으로 분석되었다.

개선된 시험장의 타당성 검토를 위해 순현재가법, 비용/편익 분석, 내부수익률에 대한 경제성 분석을 수행하였다. 비용은 총 사업비를 추정하였으며, 편익은 매출 증가, 해외시험비용 회피, 안전개선의 3가지 직접편익으로 설정하였다. 경제성 분석결과, 순현재 가치는 18.98억 원, 비용/편익은 1.12, 내부수익률은 10.14%로 도출되어 사업에 타당성이 확보된 것을 알 수 있었다.

본 연구의 시사점 및 의의는 국내 방탄시험장을 운영하는 과정에서 시험장의 안전성 및 효율성 확보를 위한 개선방안을 제시하였다는 것과 경제성 분석을 통해 사업의 타당성을 제시했다는 점을 들 수 있다. 또한 타 분야에서 방탄시험 시설 등을 설계하는 경우 본 연구 결과를 활용할 수 있을 것이다. 하지만 이러한 시사점에도 불구하고 향후 연구에서 보완해야 할 한계점을 가지고 있다. 그 내용은 시험장을 신축하는 것이 아닌 기존의 시험장을 개선했기 때문에 기존의 공간이 가지고 있는 구조적인 한계점을 해결하지 못했다는 점이다. 향후 연구에서는 이러한 점을 고려하여 제로베이스에서 연구를 수행한다면 좀 더 의미 있는 결과가 나타나게 될 것이다.

References

- [1] H. Seeber, A. Ramezani, "Development of Flexible and Lightweight Ballistic Body Armor", International Journal on Advances in Systems and Measurements, Vol. 12, No. 1&2, pp. 62-71, 2019.
- [2] L. F. Amanda, M. F. Aaron, W. C. Joannie, "Long-term Stability of UHMWPE Fibers", Journal of Polymer Degradation and Stability, Vol. 114, pp. 45-51, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymerdegradstab.2015.01.028>
- [3] T. Goode, G. Shoemaker, S. Schultz, K. Peters, M. Pankow, "Soft body armor time-dependent back face deformation(BFD) with ballistics gel backing", Composite Structures, Vol. 220, pp. 687-698, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.04.025>
- [4] S. H. Gu, S. B. Ryu, S. H. Song, "The Effect of Environmental Treatment of Body Armor on Bulletproof Performance", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 23, No. 11, pp. 136-141, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.11.136>
- [5] S. H. Gu, "A Study on the Bulletproof Reliability Program", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 1, pp. 300-307, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.1.300>
- [6] Ministry of Employment and Labor, Rules on Occupational Safety and Health Standards, 2022.
- [7] KDI Public Investment Management Center, General Guidelines for Conducting Preliminary Feasibility Study for Public Enterprises and Quasi-Governmental Entities(2nd Edition) 2018.
- [8] Seoul Metropolitan Government, Public Building Construction Cost Estimation Guidelines, 2022.
- [9] Korea Engineering Association, Unit Price of Engineering Engineers, 2022.
- [10] Hanseo University, development of aviation security equipment performance certification technology to ensure aviation safety, 2018.
- [11] Close Focus Research, "Ballistic Testing Price List", 2022. <http://www.closefocusresearch.com/ballistic-testing-price-list>
- [12] Korea Occupational Safety and Health Agency, Research on the Effect Analysis of Musculoskeletal Disease Prevention System, 2010.
- [13] Korea Labor Institute, Study on Economic Loss Costs of Industrial Accidents - Focusing on Manufacturing, 2018.

구 승 환(Seung-Hwan Gu)

[정회원]



- 2014년 8월 : 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템 전공 (공학박사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방신뢰성연구센터 선임연구원

<관심분야>

방탄 신뢰성평가, 국방 안전, 금융공학

조 성 환(Seong-Hwan Cho)

[정회원]



- 2018년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학 전공 (학사)
- 2017년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방종합시험센터 연구원

<관심분야>

전자공학, 컴퓨터 비전, 방탄신뢰성평가

송 승 환(Seung-Hwan, Song)

[정회원]



- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방종합시험센터 선임기술원

<관심분야>

방탄신뢰성평가