

활동성을 고려한 인체공학적 화생방보호의 설계

구다솜¹⁾, 안재상¹⁾, 윤미경²⁾, 서현관³⁾, 김종안³⁾, 윤혜준^{1)†}

¹⁾한국생산기술연구원 안전융합기술연구부

²⁾테크디

³⁾삼양화학공업(주)

Design of Ergonomic NBC Protective Clothing Optimized for Mobility

Koo Da Som¹⁾, An Jae Sang¹⁾, Yoon Mi Kyung²⁾, Seo Hyeonkwan³⁾, Kim Jongan³⁾, and Yoon Hye Jun^{1)†}

¹⁾Korea Institute of Industrial Technology Safety Convergence Technology R&D department

²⁾Tech D

³⁾Samyang Chemical Co. Ltd.

Abstract: This study aimed to enhance the ergonomic performance of Nuclear, Biological, Chemical (NBC) protective clothing through pattern design and wearability improvements. The NBC suit, previously developed by a domestic defense company (S-company), exhibited several limitations, including restricted mobility, poor fit, and insufficient compatibility with both K-1 and K-5 gas masks, owing to its rigid construction and lack of anthropometric considerations. To address these shortcomings, this study conducted a design review of representative NBC protective garments from domestic and international sources using image- and document-based analyses. The functional analysis primarily focused on the S-company prototype, and wearability was evaluated based on movements derived from the MIST (Man-In-Simulant Test) protocol. Based on these findings, an ergonomically enhanced pattern was developed incorporating features such as a three-panel hood, set-in sleeves, articulated elbows and knees, extended garment length, and optimized fastener placement. A prototype was produced and refined via iterative fitting to ensure functional improvement. Although the improved prototype demonstrated enhanced mobility, comfort, and sealing performance, the study was limited by the absence of full-scale protective performance validation (e.g., MIST chamber testing). Future research should involve simulation-based testing and field trials under realistic operational conditions to comprehensively verify the protection and usability. This study presents foundational data and a practical pattern methodology for the next generation of NBC protective clothing, and offers meaningful insights for designing mission-ready garments that balance protection, mobility, and ergonomic comfort.

Key word: CBRN protection(화생방 방호), NBC protective clothing(화생방보호의), ergonomic pattern(인체공학적 패턴), mobility(활동성), sealing performance(밀폐성)

1. 서 론

화생방보호의는 방독면과 함께 개인 방호체계의 핵심 요소로서, 현재 및 미래의 북한 화생방 위협으로부터 아군의 생존 가능성 향상과 전투력 유지를 위한 필수 장비이다. 방독면이 안면 보호와 호흡 기능을 담당한다면, 보호의는 전신을 외부의 유해 물질로부터 차단하는 역할을 하며, 전투 중 지속적인 임무 수행을 가능하게 하는 기반이 된다. 미국 국가 사범연구소(NIJ)

는 화생방보호의의 선택 기준으로 방호력, 내구성, 기밀성, 착용감, 이동성, 중량, 세탁 가능성 등 다양한 요소를 제시하고 있으며(Kang et al., 2012; Ryu, 2024), 이는 보호의가 단순한 차단재가 아닌 복합 기능복임을 시사한다.

최근에는 군사적 긴장 고조와 더불어 COVID-19 팬데믹을 계기로, 화학 및 생물학 물질로부터 인체를 보호하는 개인보호 장비에 대한 중요성이 더욱 드러나고 있다(Kim et al., 2019; Lee et al., 2013; Lee et al., 2022). 화생방보호의 역시 군사 분야를 넘어 산업·의료·재난 대응 등 다양한 영역으로 그 필요성이 확대되고 있다. 그러나 Battle Dress Overgarment (현용 화생방보호의, 이하 BDO)는 내피·외피 이중구조로 인해 두께와 중량, 통기성 제한, 강직성 등의 구조적 한계를 가지고 있어, 착용자의 활동성과 열 피로에 부정적인 영향을 준다. 이는 실제 임무 수행에서 전투원의 효율성을 저하하는 주요 요인이며, 인체공학적 설계를 통한 개선이 시급하다.

†Corresponding author: Yoon Hye Jun

Tel. +82-31-8040-6733

E-mail: previa@kitech.re.kr

©2025 The Korean Fashion and Textile Research Journal(KFTRJ). This is an open access journal. Articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

군수품으로서의 보호의는 치수 적합성, 동작 기능성, 쾌적성, 관리 효율성, 외관 품위 등을 종합적으로 고려해야 하며, 특히 치수 적합성은 기능성과 직결되는 핵심 요소이다. 현재 전투복만 해도 생산업체 간 사이즈 편차로 인해 재보급 및 수선이 빈번하게 이루어지고 있으며, 이에 대한 개선 요구는 지속적으로 제기되고 있다(Lee et al., 2013; Lee et al., 2016; Lee & Lee, 2023). 지금까지 전투복에 관한 연구는 주로 소재 기능 개선, 활동성 증대, 착용감 향상 등을 중심으로 이루어져 왔으며(Kim et al., 2017; Han et al., 2016; Han & Han 2019; Kim, 2021; Park, 2014; Choi et al., 2003), 국내 화생방보호의는 소재의 방호 지속 시간 및 보호의 중량을 제한하여 개발을 진행해 왔으며, 착용자의 활동 편의성과 착의 적합성에 대한 형태 설계 측면의 연구는 상대적으로 제한적이었다.

이에 따라 본 연구는 국내의 화생방보호의의 설계 특성과 형태 요소를 분석하고, 국내 S사에서 개발 시도되었던 화생방보호의의 외관 및 착용성 평가를 통해 문제점을 도출하였다. 이를 바탕으로 방호성능과 인체공학적 착용 요소를 동시에 고려한 개선 패턴을 설계하고, 시제품을 개발하여 차세대 화생방보호의 개발을 위한 기초자료를 제시하는 데 그 목적이 있다. 본 연구는 착용자 중심의 보호의 설계 체계 수립에 기여하며, 향후 실전 환경에서의 임무 효율성 향상과 생존 가능성 확보에 실질적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이론적 배경

2.1. 화생방보호의 설계 및 성능 개선 관련 선행 고찰

화생방보호의는 화학, 생물학, 방사능(CBRN) 위협으로부터 착용자를 보호하는 핵심 방호 장비로, 그 성능은 착용자의 생존 가능성과 임무 수행 능력에 직결된다. 이에 따라 기존 연구들은 보호의의 성능 향상을 위해 다양한 접근을 시도해 왔다.

먼저, 소재 특성과 중량 경량화에 대한 연구로 Lee et al. (2013)은 국내 화생방보호의의 기술이 1980년대 이후 정체되어 있으며, 착용감, 중량, 공기 투과성에서 한계를 지적하였다. 이들은 향후 보호의의 부피와 중량을 줄이고 구조적 안정성을 강화함으로써 군사적 활용도를 높일 필요성을 강조하였다. Kim et al.(2011)은 전투 중에 발생하는 열 피로도를 완화할 수 있는 소재로의 개선이 필요하며, 방호성과 경량화 간의 균형이 전투 효율성에 중요한 역할을 한다고 제안하였다.

다음으로, 열 스트레스 완화 및 통기성 확보를 위한 구조적 방안에 관한 연구를 진행한 Kang et al. (2012)은 내피와 외피의 기능적 역할 분담을 기반으로 외부 공기와 내부 수증기 간의 원활한 교환이 가능한 구조적 설계 방향을 제시하였다. 또한 Dhyani et al.(2022)은 보호의 개발 시 중량 감소, 열 스트레스 완화, 수분 차단력 향상 등의 요소가 함께 고려되어야 한다고 하였으며, Bhuiyan et al.(2019)는 NATO 및 미군에서 사용되는 Saratoga 보호의 사례를 바탕으로 반복 세탁이 가능하면서도 열 스트레스를 줄이고 방호성능을 유지하는 경량형

보호 시스템의 적용 사례를 분석하였다.

하지만, 형태적 구조 설계 및 외형 요소에 관한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 또한 기존 연구들이 주로 소재 및 물성 중심으로 이루어졌지만, 보호의의 활동성과 인체 적합성 확보를 위한 패턴 설계, 여유량, 여밈 구조 등 외형 구성 요소에 대한 체계적인 접근은 제한적이었다.

이러한 선행 연구의 흐름을 바탕으로, 본 연구는 화생방보호의의 방호성능을 유지하면서도 착용자의 활동성과 편의성을 개선할 수 있도록, 인체공학 기반의 외형 설계와 패턴 구조 최적화를 위한 실증적 분석을 수행하고자 한다.

2.2. 해외 화생방보호의의 사례 고찰

국내 화생방보호의의 형태적·기능적 개선 방향을 도출하기 위하여, 본 연구에서는 해외의 대표적인 화생방보호의의 사례들을 문헌 및 공개 이미지 자료를 바탕으로 고찰하였다. 해당 제품들은 실제 군에서 사용 중이거나 차세대 개발안을 기반으로 설계된 사례들로, 국내 개발에 있어 참고할 수 있는 다각적인 시사점을 제공한다.

먼저, 미군의 JSLIST (Joint Service Lightweight Integrated Suit Technology)는 미국 육군 등에서 대표적으로 사용하는 상·하의 분리형 화생방보호의로, 경량화와 신속한 착탈의에 중점을 두고 설계되었다. 상의 소매는 래글린(raglan) 스타일로 몸판과 소매가 사선으로 연결되어 있어 팔을 들어 올리는 동작에서의 활동성을 높이는 기능성 패턴 구조로 되어 있다(Fig. 1). 또한, 상의가 위로 들리는 것을 방지하기 위해 가랑이를 지나가는 스트랩으로 밑단 앞뒤를 연결하는 디테일이 적용되어 있



Fig. 1. JSLIST Chemical protective suit upper garments. <https://www.ebay.com/itm/186615756324>.



Fig. 2. Detail connecting the front and back hem of the upper garment.

Table 1. Overseas designs of NBC protective clothing



Image 1. OPEC Kite GA CBRN suit – two piece lightweight oversuit, <https://opeccbrne.com/>

Image 2. One piece CBRN oversuit OPEC, <https://opeccbrne.com/>

며(Fig. 2), 후드와 일체형인 상의는 얼굴을 감싸는 구조로 착용 신속성과 방호성능을 강화하고자 하였다. 외피는 위장무늬 처리와 발수·발유 가공이 적용되었고, 내피는 탄소 소재 기반의 레이어로 구성된 적층 구조를 제공한다.

다음으로, 영국 OPEC CBRNe Ltd.에서 개발한 투피스 보호의는 NATO 기준 AEP-38을 충족하며, 레벨 C 등급의 화학 방호성능을 보유하고 있다(Table 1). 이 제품은 상·하의 분리형 구조이며, 상의에 후드가 일체화되어 있고, 경량화된 재질의 원단을 사용한 것이 특징이다. 전체적으로 심플한 구조이나, 넉넉한 여유량과 복부 전면의 대형 포켓 설계 등 착용 편의성을 고려한 설계가 돋보인다. 같은 회사의 신형 일체형 보호의(one-piece suit)는 기존 투피스 구조의 단점을 보완한 통합형 디자인

인므로, 보다 향상된 밀폐성과 활동성을 추구하였다. 해당 제품은 재질의 유연성과 허리선의 절개 등으로 동작 수용성을 개선하였으며, 후드와 몸판이 하나의 구조로 연결되어 기밀성도 강화되었다.

마지막으로, 미국 필라델피아 대학 인체 보호 공학연구소에서 제안한 차세대 화재방호의 디자인(Hultzapple et al., 2021)은 인체공학 기반 설계와 다층 구조의 재료 배합을 통해 방호성능과 착용 편의성을 동시에 확보하려는 노력이 반영된 사례이다. 해당 디자인은 목·어깨·팔꿈치 등 주요 관절 부위에 유연 설계(articulated design)가 적용되어 있으며, 경량화된 소재 사용, 일체형 후드 구조, 비접촉식 클로저 방식 등이 특징이다(Fig. 3).

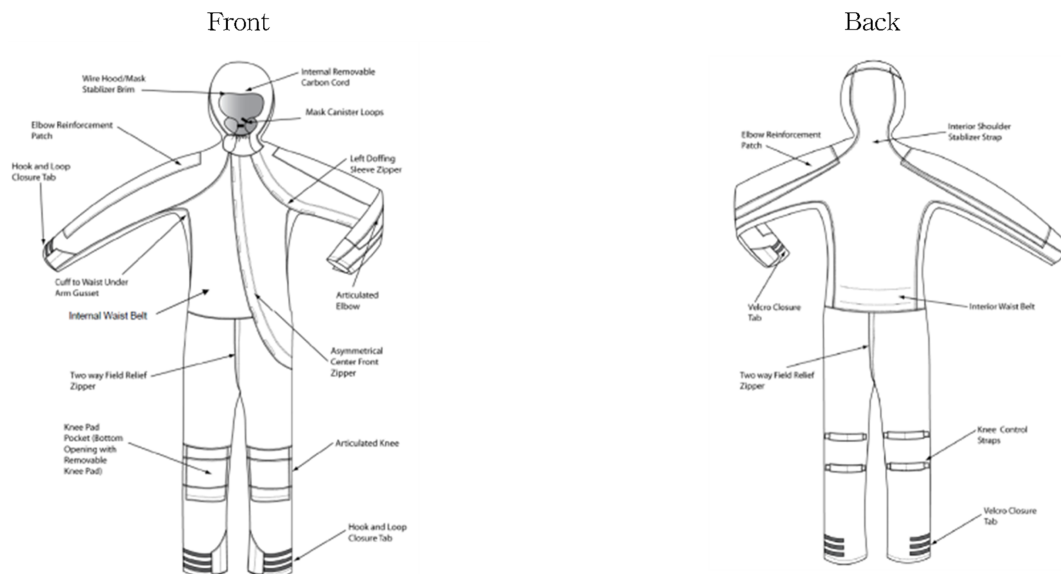


Fig. 3. Generation 4 design

이러한 해외 사례들은 각기 다른 형태적 특징과 기능적 요소를 갖고 있으나, 공통으로 착용자의 활동성과 기밀성 확보, 그리고 방호성능 간의 균형에 주안점을 두고 있다. 이는 국내 화생방보호의 설계 시에도 고려되어야 할 중요한 기준으로, 특히 패턴 구조 개선과 외관 구성 요소의 효율적 설계에 유의할 필요가 있음을 시사한다.

2.3. 화생방보호의 방호성능 시험평가 절차 고찰

화생방보호의 착용 후 활동 과정에서 오염 물질이 인체로 유입되지 않아야 한다. 이에 따라 화생방보호의 화학적 방호성능을 평가하기 위해 실제 인체 착용자가 보호의를 착용하고, 유사 작용제가 오염된 챔버 내에서 일정한 동작 절차를 수행하는 Man-In-Simulant Test(MIST) 방법이 일반적으로 활용된다(Kah, 2020). 본 연구에서는 이러한 절차서 내의 동작을 다음과 같이 분석하여, 보호의의 밀폐성과 활동성을 고려한 인체공학 설계 방향을 도출하고자 하였다.

MIST는 보호의, 방독면, 덧신, 보호 장갑을 모두 착용한 상태로 유사 화학 작용제로 오염된 MIST 챔버 내에서 약 2시간 동안 특정 활동을 수행한 뒤, 보호의 내부로 침투한 유사 화학 작용제의 양을 측정하여 인체 부위별 노출 위험도를 분석하고, 이를 통해 보호 성능을 종합적으로 평가하는 체계 통합 시험법이다. MIST 시험에서 시행되는 신체활동 동작은 실제 임무 수행 중에 발생할 수 있는 움직임을 반영하고 있으며, ASTM F1154, ASTM F2668, ISO 13506 등 국제 표준 동작 프로토콜을 기반으로 구성되어 있다.

MIST 방법은 증기, 에어로졸이 있으며 각 시험평가의 동작은 다음과 같다. 증기 MIST 챔버에서 수행되는 신체활동은 총 10개의 동작으로 구성되며, 각 세트는 약 30분간 진행된다. 이 과정을 4세트 반복하여 총 120분간의 평가가 이루어진다. 구체적인 활동 절차는 Table 2에 제시하였다. 에어로졸 MIST 챔버

에서의 평가는 1~14번으로 구성된 동작을 기준으로 1세트 30분간 진행되며, 총평가 시간은 30분이다. 관련 상세 절차는 Table 3에 제시하였다.

3. 연구 방법

본 연구는 국내외의 화생방보호의에 대한 설계 및 성능 개선 관련 선행 문헌 (Hultzaple et al., 2021), 시판 제품의 사진을 수집 및 국내 기존 S사의 화생방보호의 개발 시제품(이하 S사 화생방보호의)을 분석 후, 기능적 디자인과 인체공학적 패턴 설계 및 시제품을 제작하고, 제품의 동작성 및 동작에 따른 개구부 밀폐 정도를 확인하였다.

3.1. 분석 대상

본 연구를 위해 S사 화생방보호의의 기존 디자인을 우선 분석 대상으로 설정하였다. 해당 제품은 실제 군에 납품되거나 운용 중인 제식 보호의가 아니며, 현재 군에서 운용 중인 BDO를 대체하기 위해 개선형 화생방보호의 개발을 목적으로 설계된 프로토타입이다. 분석에 사용된 보호의는 상·하의 분리형 구조이며, 5호 사이즈를 기준으로 제작된 제품이었다.

3.2 분석 내용 및 방법

3.2.1 외관 디자인

외관 분석은 S사 화생방보호의를 평면 상태로 전개한 후, 각 부위의 구조 및 형상적 특징을 관찰하는 방식으로 진행하였다. 특히 얼굴 개구부, 후드, 소매, 여밈 구조, 상·하의 연결부 등 주요 디테일을 중심으로 외형 구성 요소를 정리하였다. 또한, 보호의 착의 후 실루엣 및 동작 반응성, 입체감을 시각적으로 확인하였다.

Table 2. Physical activity protocol in vapor MIST chamber evaluation

Step	Activity	Description	Duration
1	Arm lifting	Raise arms to shoulder height three times, then rotate shoulders clockwise 90° and repeat the motion twice	2 min
2	Sitting rest	Sit facing the wind direction, rest on a chair or platform	2 min
3	Walking	Walk in place or on treadmill at 4.8 km/h facing wind direction	2 min
4	Sitting rest	Sit with back facing the wind direction	2 min
5	Object carrying	Simulate carrying 10 kg object in three variations: (1) Lift from floor to table and return (2 reps) (2) Carry up and down simulated stairs (1st to 3rd floor and back) (3) Lift while kneeling and stand up (2 reps)	2 min
6	Crouching	Alternate crouching postures: - Crouch facing wind direction for 1 min - Reverse direction and crouch facing opposite wind for 1 min	2 min
7	Walking	Walk in place or on treadmill at 4.8 km/h facing reverse wind direction	2 min
8	Sitting rest	Sit with back to wind direction again	2 min
9	Arm movements	Raise both arms above head, then lower and repeat lifting and lowering 3 times while facing wind direction	2 min
10	Sitting rest	Final seated rest facing wind direction	2 min

Table 3. Physical activity protocol in aerosol MIST chamber evaluation

Step	Activity	Description	Duration
1	Standing rest	Stand facing the fan (wind direction); rotate body 90° clockwise every 30 seconds	2 min
2	Walking	Walk 4.88 m (16 ft) back and forth while swinging arms	2 min
3	Bending and twisting	Begin in standing position. Slowly bend forward to touch feet, then return to standing. Then, while standing, rotate the torso (left, right, forward, backward) and return to standing	2 min
4	Squatting	From standing, squat down with one knee bent forward. While squatting, alternate between crossing arms and extending arms forward. Repeat motions simulating grabbing objects in front, above, and to the side	2 min
5	Arm movements	Raise arms sideways and rotate shoulders backward and forward in 90° circular motion. Return to standing, then repeat motion clockwise	2 min
6	Walking	Repeat step 2	2 min
7	Running	Jog in place, rotating 90° clockwise every 30 seconds	2 min
8	Standing rest	Repeat step 1	2 min
9	Bending and twisting	Repeat step 3, 3 repetitions	2 min
10	Squatting	Repeat step 4, 4 repetitions	2 min
11	Arm movements	Repeat step 5, 3 repetitions	2 min
12	Leaning and facing forward	Lean upper body forward and backward while maintaining gaze toward the fan	2 min
13	Head restraint simulation	Simulate holding headgear or helmet in place while rotating upper body slightly	2 min
14	Holding and carrying	Simulate carrying a light object close to chest as if stabilizing during evacuation or movement	2 min

3.2.2. 착용성 분석

착용성 평가는 시제품의 실질적 개선 방향을 탐색하기 위한 기초 분석의 하나로 실착을 통해 기본적인 동작 적합성과 형태적 반응성을 확인하고자 하였다. 착용성 평가에 활용한 신체 동작으로는 화재방호의 방호성능 시험인 증기 MIST 챔버 신

체활동 절차와 에어로졸 MIST 챔버 신체활동 절차의 신체활동을 참고하여 화재방호의 착용성 분석에 필요한 동작으로 선정하였다. 착용성 분석을 위한 동작은 선 자세에서 앞으로 허리 90도 숙이기, 두 팔을 몸 앞으로 뻗기, 두 팔을 머리 위로 올리기, 쪼그려 앉았다가 일어서기로 선정하였으며, 후드 부위

Table 4. Body movements used for pattern improvement of NBC protective clothing







Movement	Movement illustration
Bend forward 90° from standing position and touch toes with hands	
Extend both arms forward 90° at shoulder level	
Raise both arms overhead	
Squat down and stand up again	
Rotate neck left and right	
Nod head up and down	

Table 5. Physical properties of fabric used in the prototype

	Outer shell fabric	Inner shell fabric
Composition	Cotton/Rayon=65/35	Polyester 100/Spherical activated carbon + Polyester non-woven
Mass per unit area(g/m ²)	Avg. 225	Avg. 380
Thickness(mm)	about 0.2	about 0.9
Air permeability(cm/sec)	Avg. 1.5	Avg. 29

의 착용성 분석을 위해 고개를 양옆으로 돌리거나 위·아래로 숙이는 동작을 추가하였다(Table 4). 실험에는 S사 보호의 5호 사이즈에 적합한 평균 체형 피험자 3명(신장 170~174 cm, 가슴둘레 100 cm, 체중 67~68 kg)이 참여하였다. 이러한 예비 착용성 평가는 제품의 전반적인 동작 수용성과 구조적 반응성을 직관적으로 파악하는 데 목적이 있으며, 향후 정량적 착의 평가 또는 방호성능 평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 특히, 실제 작전 환경에서의 착용 적합성을 고려한 형태 개선이 필요한 부위에 대한 실질적인 시사점을 도출하는 데 중점을 두었다.

3.3. 화생보호의 개발

S사 화생보호의를 검토하여 기능적 디자인 부분 개선점을 파악하고, 기능성 및 착용감과 활동성에 중점을 둔 화생보호의 기능 디자인 및 인체공학적 패턴을 개발하였다. 광목 제작의 가봉을 거쳐 최종 디자인 개발 시제품을 제작하였으며, 예비실험 수준으로 제작된 화생보호의를 착용하고 착용성과 밀폐성을 확인하였다. 최종 시제품에 사용한 원단의 물성은 Table 5와 같다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 외관 디자인 분석 결과

Fig. 4는 S사 화생보호의를 착의한 모습이다. 해당 제품은 후드를 포함한 상의와 하의가 분리된 구조로 되어 있으며, 후

드·안면, 상의, 하의의 세 부분으로 나누어 분석하였다.

후드의 경우, 방독면 착용 후 관자놀이 및 이마 부위의 밀폐가 불완전하고, 측면 실루엣은 인체 두상 대비 좁고 긴 형태로 불균형이 나타났다. 개구부는 과도하게 넓어 스트링 조임 시 여분이 양 끝으로 벌어지며, 정수리 부위는 뾰족한 실루엣을 보여주었다. 이에 따라 후드와 목 부위를 입체화하는 패턴 개선이 필요하다고 판단된다.

상의는 한 장의 래글런 슬리브 패턴을 사용하고 있으나, 소매산과 어깨 각도 조정 또는 입체 소매패턴 적용을 통해 활동성을 보완할 필요가 있다. 하의는 정장 바지형 실루엣으로, 밑위 및 무릎부위 등의 구조 개선과 벨로즈 플리트 적용 등을 통해 활동성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5는 S사 화생보호의 상의 패턴 구조를 나타낸 것이다.



Fig. 5. Upper garment part of the developed NBC protective clothing.



Fig. 4. Body-worn photo of the developed NBC protective clothing.

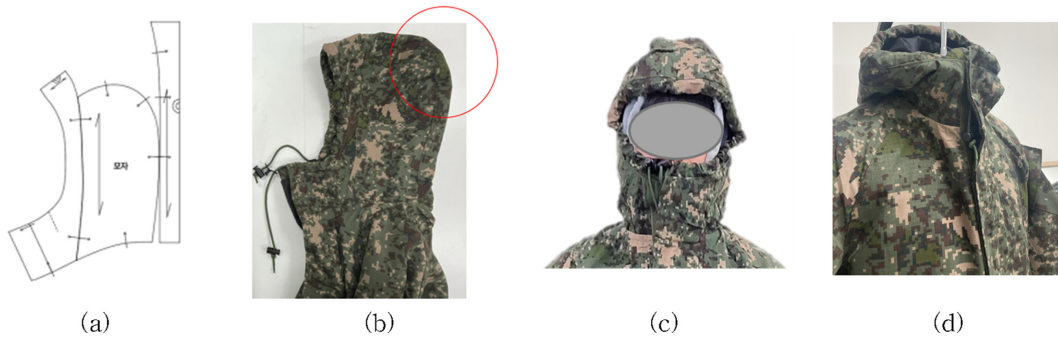


Fig. 6. Comparison of upper garment parts of NBC protective clothing; a, pattern for the face area, b, hood shape of side, c, hood shape of front, d, face area.

기존 제품은 어깨와 이어진 소매중심선의 경사가 커 팔을 들었을 때 어깨와 옆선이 함께 들려 올라가는 문제가 발생하며, 팔을 내렸을 때 어깨 부위를 누르는 압력이 느껴질 수 있다. 허리를 조이는 상태에서 팔을 드는 동작은 진동 부위의 구속감을 더욱 증가시키는 원인이 된다. 이러한 구조적 한계는 착용성 분석에서도 동일하게 관찰됨에 따라 어깨 각도를 상향 조정하고, 소매 안 솔기 길이에 여유량을 부여하는 패턴 설계가 요구된다.

Fig. 6은 안면 부위의 정면 및 측면 형상을 보여준다. 후드는 수직 길이가 과도하게 길어 정수리 위로 공간이 남고, 정수리의 라운드 곡선은 급격하며, 측면 귀 부위는 평면적으로 밀착되는 반면 개구부는 넓어 조임 시 들뜸 현상이 나타났다. 후드 목둘레의 경사가 작아 깔때기 형태를 형성하지 못하고 앞 목이 들려 올라가는 모습도 확인되었다. 이러한 구조는 전체적인 착용 안정감을 저해하며, 후드 및 안면 부위의 입체화 설계 개선이 필요함을 시사한다.

4.2. 착용성 분석 및 디자인 개선 방향

착용성 분석은 S사 화재방호호의를 대상으로 예비 실험을 통해 수행되었다. 분석은 방호성능 평가를 위한 MIST 첩머 동작 절차를 참고하여 일상 작전에서 요구되는 주요 동작을 기준으로 진행되었다.

그 결과, 후드는 스트링으로 조여도 방독면 곡면을 완전히 감싸지 못했으며, 탈착 시 목과 턱부위의 여유 부족으로 불편함이 확인되었다. 후드의 가동성을 확대하고, 카라 연결 방식

및 패턴 수정이 요구되었다. 상의는 팔을 올리거나 허리를 굽힐 때 밀폐가 유지되지 않았고, 어깨가 눌리거나 통증이 유발되었다. 이에 따라 래글런 슬리브를 셋인 소매로 변경하고, 소매패턴에 입체 곡선을 추가하는 개선이 제안되었다. 하의는 다리를 굽히거나 앉았다 일어날 때 엉덩이·사타구니·무릎 부위에서 여유 부족으로 활동에 제약이 있었고, 앉은 자세에서는 뒤중심선이 내려가는 현상이 확인되었다. 이는 정장형 실루엣 패턴에서 기인한 것(Yoon, 2008)으로, 인체공학 기반의 입체 설계 도입이 필요하다 판단되었다.

전반적으로 관절 부위의 활동성을 확보하기 위한 벨로즈 플리트, 닥트 처리, 헴라인 개선, 방독면·전투화 착용 시 밀폐 보장을 위한 패스너 위치·크기 조정이 요구된다.

또한, 현재 군에서 사용 중인 방독면은 K-1, K-5로 안면부 형상이 다르므로, 안면 및 목 부위의 밀폐성 확보를 위해 두 제품 모두에 호환 가능한 후드 설계가 필요하였다(Fig. 7).

S사 화재방호호의의 외관 분석, 패턴 구조 분석, 착용성 실험 결과를 종합한 디자인 개선 방향은 Table 6에 요약되어 있으며, 상의와 하의의 구조적·기능적 개선점을 도출하고 차기 개발 시 반영할 수 있도록 제안하였다.

4.3. 화재방호호의 개발

4.3.1. 화재방호호의 디자인 개발

개발된 화재방호호의 전체 도식화는 Fig 8과 같으며, 화재방호호로서 중요한 보호 기능인 밀폐 기능과 착용감, 기능성,



Fig. 7. K-1 and K-5 gas masks with different shapes; a, K-1 gas masks, b, K-5 gas masks.

Table 6. Recommended design improvements for NBC protective clothing

Component	Issues in existing product	Suggested improvements
Hood	- Pointed crown seam- Poor sealing around the temple	- Shorten hood center seam- Reshape crown pattern for anatomical fit
Neck	- Gaping when adjusting drawcord	- Add elastic, flaps; redesign neck closure and adjustment system
Torso	- Large armholes, insufficient garment length	- Extend upper garment length by 6.5 cm - Add inner overlap to enhance sealing over chest
Shoulder	- Pressure on shoulders during arm raising- Restriction of arm mobility	- Adjust shoulder angle for ease- Remove seam bulk and add set-in sleeve - Stabilize fit with shoulder darting
Sleeve	- Tight armhole and restricted motion- Gaping at upper sleeve-armhole seam	- Lower armhole to enhance movement - Add articulated sleeve design - Insert hidden gusset to improve underarm mobility
Waist	- Poor sealing and gaping when tightening	- Reconstruct side seam and waist belt interface
Hip/Crotch	- Lack of room during crouching or squatting	- Adjust back rise angle- Expand crotch width for ergonomic fit
Knee	- Insufficient room for joint flexion	- Add knee darts to increase articulation
Ankle hem	- Difficult to secure over boots	- Reposition strap and Velcro at ergonomic angle for better closure and comfort

움직임의 용이성 및 비용 절감을 위해 화생방보호의 디자인을 최적화하였다(Table 7). 특히 인체공학적 형태 적합성, 관절 움직임의 용이성, 동작 범위 극대화, 특히 솔기와 접합부에서 의복 내구성을 고려하였다. 착용감과 편안함을 최적화하기 위해 디테일의 위치를 설정하였고, 밀폐성을 확실히 하기 위하여 허리부위와 바지 밑단 부위 후크 앤 루프 패스너 테이프 위치와 각도를 사선 방향으로 조절하였다.

후드와 방독면 사이의 인터페이스는 밀폐 유지에 있어 중요한 영역으로, 귀 부위를 지나는 절개선에 다트를 적용하여 안면 밀착을 강화하고, 방풍 덧단과 엘라스틱 접 밴드로 방독면 가장자리 밀착도를 높였다. 후드 하단은 카라처럼 수평으로 재단하여 턱과 뒤 목을 감싸도록 설계하였으며, 지퍼가 턱을 찌르지 않도록 앞 중심에선 싸임 폭을 넓혔다. 상의 앞판 요크와 숨겨진 어깨선 설계, 후드 목둘레 부위의 유연성 개선, 스트랩

체결 방식 변경 등을 통해 전반적인 밀폐성과 활동성, 편의성을 개선하였다.

하의는 스포티 캐주얼의류와 유사한 뒤 중심에선 각도를 적용하고, 무릎 다트를 추가하여 인체공학적 굴절을 강화하였다. 종아리 스트랩은 군화 착용 후 여유량 고정과 동시에 무릎 굴절 효과 제공 및 원단 마찰 소음 최소화에 기여할 수 있도록 설계하였다.

4.3.2. 화생방보호의 패턴 개발


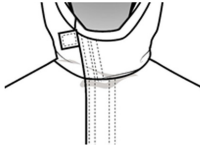

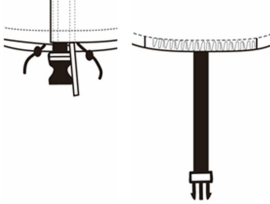
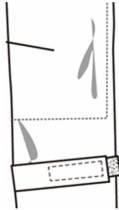
원형 드래프트 및 광목 가봉을 통해 최종 인체공학적 패턴을 개발하였다. 전투복 위에 착용되므로 여유량과 활동성을 고려하여 시제품을 설계하였고, 이를 기반으로 최종 완성 패턴을 제시하였다(Fig. 8).

후드는 모자중 절개 방식(3조각 후드)을 적용하여 정수리 부위 뽀족함을 완화하고 입체적 밀착을 강화하였다. 방독면(K-1,



Fig. 8. Technical drawing of the developed NBC protective garment.

Table 7. Diagram of improved NBC protective clothing

Section (Body area)	Effect	Illustration
Upper garment (face, neck)	- Improved inner sealing - Increased mobility	
	- Enhanced wearing comfort	
Upper garment (shoulder, chest)	- Enhanced wearing comfort	
Upper garment (hem)	- Improved usability - Enhanced wearing comfort	
Pants (knee, calf)	- Increased mobility - Improved wearing comfort	

K-5) 호환이 가능하도록 설계되었으며, 상의는 옷길이 +6.5cm, 어깨선 전진 배치, 두 장 소매 및 히든 거켓 적용 등으로 기능

성을 강화하였다. 하의는 무릎 다트 삽입, 밑단 탭 조절, 벨크로 사선 배치, 종아리 탭 각도 조절 등을 통해 착용성 및 활동

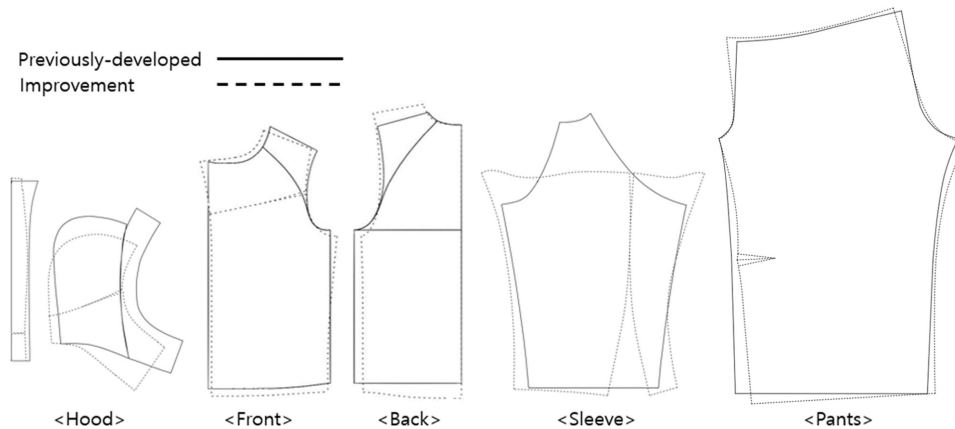


Fig. 9. The pattern comparison between the previously developed and the improvement.

Table 8. Comparison of measurements between existing and improved NBC protective clothing unit:cm

	Item	Improvement (size 5)	Previously-developed (size 4)	Previously-developed (size 5)
Upper garment	Height (cm)	175	180	175
	Chest circum.	117	120	115
	Garment length	75	68.5	71
	Shoulder width	49	-	-
	Sleeve length	63	-	-
	Arm span (shoulder + sleeve)	87.5	85	87.5
	Sleeve hem circum.	17.6	19.2	17
Lower garment	Waist circum.	98	103	98
	Hip circum.	114.5	112.3	114
	Inseam length	78	77.7	78.5
	Cuff circumference	114.5	110.5	109.3
	Front rise	32.5	31.2	31.5
	Back rise	48.5	45.8	48
	Hem width	28.2	29.5	29

성을 개선하였다. 뒤 중심선은 타이트형 패턴 실루엣을 반영하여 누운 각도 및 크러치폭 확장으로 활동성을 강화하였다.

Table 9에서는 S사 화생방보호의 4호, 5호와 본 연구의 개선형 5호의 제품 치수를 실측하여 비교하였다. 개선형은 S사 4호와 5호 사이의 가슴둘레를 갖추며 벨로우즈 이펙트(bellows effect)를 최소화하고, 덧입성 및 활동성이 개선될 것이라 예상된다. 소매와 인심 길이 증가로 피부 노출을 줄이며, 하의 길이 및 밑단 너비 조절을 통해 기동성과 편의성을 향상시킬 것이라 예상된다. 본 연구의 개발품은 기존 5호 대비 치수 조정 및 패턴 개선을 통해 더 우수한 착용성을 제공할 것이라 예상되며, 기존 S사 화생방보호의 체계에서 4호가 큰 사이즈, 5호가 작은 사이즈이나, 항목에 따라 5호가 4호보다 큰 치수를 나타내고 있어 사이즈 체계의 개선도 필요할 것이라 판단되어 향후 체계적인 사이즈 체계를 별도로 제시할 계획이다.

4.3.3. 화생방보호의 시제품 제작

본 연구에서 제안한 화생방보호의 개선 사항을 포함하여 화

생방보호의 시제품을 제작한 결과는 Fig. 10, Fig. 11과 같다.

4.3.4. 화생방보호의 시제품 착용 편의성 및 밀폐성 확인

앞서 시험절차서의 동작에서 보호의 개구부가 가장 많이 노출되는 동작은 머리 좌우로 돌리기와 허리 굽힘 및 팔 들어 올림으로 요약될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서 제작된 화생방보호의 착용 편의성 및 밀폐성 확인은 결과는 Fig. 12와 같다.

먼저 착용성은 머리 좌우로 돌리기, 팔 머리 위로 들기, 쪼그려 앉기, 허리 굽히기 등을 실시하였으며, 착용 간에 큰 불편감이나 이질감은 없는 것으로 확인되었다. 또한 고개를 좌우로 돌리는 과정에서 안면부 열림, 팔을 올리고 내리는 과정에서 허리 뒷부분의 열림 등 개구부의 열림이 확인되지 않아 기존 S사 화생방보호의과 비교하여 개발된 화생방보호의가 밀폐성이 우수한 것으로 확인되었다.



Fig. 10. Photo of final prototype (Size 5) of improved NBC protective clothing worn on the body(upper garment).



Fig. 11. Photo of final prototype (Size 5) of improved NBC protective clothing worn on the body(lower garment).



Fig. 12. Body-worn photo of final prototype (Size 5) of improved NBC protective clothing.

5. 결 론

화생방보호의는 전투복 위에 착용되므로 충분한 여유량과 활동성을 확보해야 하며, 화생방 오염 상황에서도 방호성능이 유지되어야 한다. 현재 운용 중인 방독면은 형상이 상이한 K-1과 K-5 두 종류가 병행되고 있어 상호 호환이 가능한 구조 설계가 요구된다. 또한, 기능성과 조화를 이루지 못한 패턴 구조는 임무 수행 중 활동을 제약하여 전투력 저하 및 방호성능 감소로 이어질 수 있으므로, 인체형태와 동작을 고려한 패턴 설계

가 매우 중요하다.

본 연구는 국외 화생방보호의 사례를 분석하고, S사 화생방보호의의 디자인 분석, 착용성 분석 결과를 토대로 방호성능과 활동 효율성을 모두 향상할 수 있는 차세대 화생방보호의 디자인을 제안하였다. 이를 바탕으로 인체공학적 패턴을 설계하고, 시제품을 제작하였다.

연구 결과, 개선된 화생방보호의는 착용자의 동작 적합성과 착용감 향상에 기여함으로써, 화생방 환경에서의 전투 효율성과 임무 수행 능력 향상을 기대할 수 있다. 방호성능을 유지하

면서도 활동성이 향상된 구조는 생존을 제고에 기여할 수 있으며, 실용화 가능성 역시 높다고 판단된다. 특히 방독면(K-1, K-5)과의 호환성 확보, 인체공학적 설계를 통한 내구성 향상은 장비 교체 및 유지관리 비용 절감에도 긍정적인 영향을 줄 수 있다.

본 연구는 기존 제품의 문제점을 체계적으로 분석하고, 기능성과 동작성을 개선한 인체공학적 패턴을 제안하였다는 점에서 의류학적 가치가 있다. 군사용 특수복 설계에 인체공학적 접근을 적용한 학제 간 연구로서, 향후 실용성과 전략적 보호력을 동시에 확보할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

다만, 본 시제품은 방호성능을 MIST 실험 등을 통해 객관적으로 검증하지 않았기에, 실용성 및 방호 효율성을 입증하기 위해 후속 연구가 필요하다. 특히 실제 전투 환경을 모사한 필드 테스트와 다양한 조건에서의 착용성 평가가 병행되어야 한다. 이러한 보완 과정을 거쳐 본 연구의 결과물은 향후 국방 분야에 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 삼양화학공업(주)의 재원으로 수행된 민간수탁연구(과제번호: IR230049)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Bhuiyan, M. R., Wang, L., Shaid, A., Shanks, R. A., & Ding, J. (2019). Advances and applications of chemical protective clothing system. *Journal of Industrial Textiles*, 49(1), 97-138. <https://doi.org/10.1177/1528083718783481>
- Choi, J. S., Choi, H. S., & Lee, K. M. (2003). A study on the functional development of army's combat uniforms. *Journal of the Korean Society of Costume*, 53(5), 141-153.
- Dhyani, H., Bharati, S., Thakare, V. B., Singh, V. V., Meher, D., & Boopathi, M. (2022). Technology trends and future opportunities in development of NBC protective clothing. *Defence Life Science Journal*, 7(2), 118-130.
- Han, H., & Han, H. (2019). Development and evaluation of ergonomic patterns for Korean female soldier's winter jacket. *Fashion & Textile Research Journal*, 21(6), 776-788, <https://doi.org/10.5805/SFTI.2019.21.6.776>
- Han, H., Han, H., Cho, J., & Koh, J. (2016). Satisfaction on fitness and motion suitability of Korean male military winter jacket. *Fashion & Textile Research Journal*, 18(5), 685-694.
- Hultzapple, K., Venafro, J., Hirsch, S. S., Pierce, J., Frumkin, S., Winterhalter, C., & Proodian, S. (2021). *Design and testing of chemical/biological protective garment system – generation 4* (Technical Report No. NATICK/TR-22/006). Philadelphia University; U.S. Army Combat Capabilities Development Command Soldier Center.
- Kang, J. S., Seo, H. K., Park, H. B., Ryu, S. G., & Park, S. H. (2012). A study on the design concept for NBC clothing. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 15(2), 193-200.
- Kah, D. H. (2020). Development of wireless real-time gas detector System for chemical protection performance test of personal protective equipment. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 23(3), 294-301.
- Kim, H., J., Jin, Y., H., Kim, M., J., & Park, I., S. (2011). Future directions for material development in NBC protective clothing. *Defense and Technology*, 7(386), 96-101.
- Kim, H., Choi, I. S., Park, S. W., Han, Y. H., Kim, S. H., Park, H. B. & Min, M. H. (2019). Preparation of Self-detoxifying textile for removal of chemical warfare agents. *Textile Coloration and Finishing*, 31(1), 33-41.
- Kim, J., M. (2021). *Development of materials for performance improvement of the Korean Army combat uniform* [Doctoral dissertation, Keimyung University].
- Kim, S., Lee, M., Hong, S., & Lee, J. S. (2017). A Study on setting quality level of fastener tape for military textile products. *Textile Coloration and Finishing*, 29(3), 162-170. <https://doi.org/10.5764/TCF.2017.29.3.162>
- Lee, S. H., Kim, S. J. & Jang, T. W. (2013). Development trends of NBC clothing. *Defense & Technology*, 9(4), 104-115.
- Lee, O. K, Eom, R. & Lee, Y. (2022). Investigation of current conditions for the development of military CBR clothing. *Korean Journal of Human Ecology*, 31(1), 99-112.
- Lee, A. L., Nam, Y. J., Hong, Y. H., Im, S., & Lim, C. K. (2016). Research on actual usage and satisfaction of ROKAF fighter pilot's flight duty uniform. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 40(4), 669-684.
- Lee, O., & Lee, Y. (2023). Evaluation of the fit and motion suitability for Korean female combat uniforms. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 47(4), 696-710.
- Park, Y. C. (2014). Military textile materials - Multifunctional smart textile materials and high-performance all-weather combat uniforms. *Textile Technology and Industry*, 18(1), 53-58.
- Ryu, S. (2024). A study on the analysis of technology level and development plan of Korea's CBRN system. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 25(7), 292-296.
- Yoon, M. K. (2008). *A study on the pattern design for mass customization according to the styles of women's 3D body scan data* [Doctoral dissertation, Seoul National University]

(Received May 22, 2025; 1st Revised June 13, 2025; 2nd Revised July 9, 2025; 3rd Revised July 20, 2025; Accepted July 30, 2025)