

## 화생방보호의 세탁과 이에 따른 투과성능 연구

오범석<sup>\*,1)</sup> · 김진원<sup>1)</sup> · 서현관<sup>1)</sup> · 권태근<sup>1)</sup> · 김종안<sup>1)</sup> · 김형준<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>삼양화학공업(주) 기술연구소

### Study on the Washing of CBRN Protective Clothing and Its Penetration Performance

Beomseok Oh<sup>\*,1)</sup> · Jinwon Kim<sup>1)</sup> · Hyeonkwan Seo<sup>1)</sup> · Taekeun Kwon<sup>1)</sup> · Jongan Kim<sup>1)</sup> · Hyungjun Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>R&D Center, Samyang Chemical Co. Ltd., Korea

(Received 6 November 2024 / Revised 16 January 2025 / Accepted 17 January 2025)

#### Abstract

This study analyzed the penetration performance characteristics of activated carbon-based CBRN protective clothing before and after washing. Experiments were conducted applying various washing conditions, including types of washing machines, washing mode, and detergents. The penetration performance after washing was evaluated through adsorption and penetration tests using simulated chemical agents and chemical warfare agents(CWAs). The results indicated that penetration performance was more significantly affected by detergents than by the type of washing machine or washing mode, with the surfactant content in detergents being the most crucial factor. This research revealed that detergent selection is the key to maintain penetration performance when establishing washing procedures for CBRN protective clothing. This study is expected to contribute to the standardization of washing procedures for activated carbon-based CBRN protective clothing in the future.

Key Words : CWAs(화학작용제), CBRN Protective Clothing(화생방보호의), Spherical Activated Carbon(구슬형 활성탄)

#### 기 호 설 명

CBRN : Chemical, Biological, Radiological and Nuclear  
MOPP : Mission Oriented Protective Posture  
TOP : Test Operations Procedure  
CFM : Cubic Feet per Minute(ft<sup>3</sup>/ft<sup>2</sup>/min)

HD : Sulfur Mustard(Blister Agent)  
GD : Soman(Nerve Agent)  
JSLIST : Joint Service Lightweight Integrated Suit  
Technology  
GC-FPD : Gas Chromatography-Flame Photometric  
Detector  
CT : Concentration × Time(mg·min/m<sup>3</sup>)  
ANOVA : Analysis of Variance  
LAS : Linear Alkylbenzene Sulfonate, Sodium Salt

\* Corresponding author, E-mail: suki1984@samyangchem.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

## 1. 서론

화생방보호의는 적의 화생방 공격으로부터 병사의 생명을 보호하고 임무수행을 유지하기 위해 설계된 무기 체계이다<sup>[1]</sup>. 이는 소재에 따라 불침투성, 침투성, 반침투성, 선택투과성 등으로 구분하며, 화생방보호의 선택기준은 임무환경, 대상작용제, 열피로도, 저장수명, 세탁 및 비용 등을 포함한다. 특히 최근에는 열피로도 감소 및 세탁능력을 보유한 침투성보호의 개발이 요구되고 있다<sup>[2]</sup>.

침투성보호의는 외피와 내피로 구성되는데, 외피는 액체상 및 증기-에어로졸상의 침투를 제어하기 위해 발수·발유기능을 부여하며 공기투과도를 조절한다. 내피는 외피를 투과해 일부 유입되는 증기-에어로졸상 작용제를 흡착 및 차단하기 위해 활성탄을 함유한 적층 구조의 직물로 제작한다<sup>[3]</sup>. 화생방보호의 셋은 임무형 보호태세(MOPP) 단계에 따라 운용하며, 각 단계별로 1단계 보호의, 2단계 보호장화, 3단계 방독면, 4단계 보호장갑 순으로 착용한다<sup>[4]</sup>. 이때 보호의는 MOPP 1단계인 경계경보 발령 시점부터 착용하고 임무를 수행하게 되며, 운용개념상 장기간 착용 시 땀이나 외부 물질로 인한 불편감, 즉 위생적인 문제가 발생한다<sup>[5]</sup>.

이에 따라 운용 간 불편감 해소 및 땀 제거를 위해 세탁을 수행하게 되는데, 세탁기의 종류(소형, 대형), 세탁모드 및 세제에 대한 영향성을 고려하여 투과성능을 지속적으로 유지하기 위한 세탁절차의 표준화가 요구된다<sup>[6-11]</sup>.

본 연구에서는 세탁기 종류, 세탁모드, 세제종류를 고려하여 세탁을 실시한 후, 유사화학작용제(CCl<sub>4</sub>, DMMP)와 화학작용제(HD, GD)를 이용한 흡착 및 투과시험을 수행하여 투과성능 변화를 확인하였다. 이를 통해 활성탄 기반 화생방보호의의 세탁조건이 투과성능에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 실험

화생방보호의의 세탁 전후 투과성능을 분석하기 위해 적용한 재료, 세탁조건, 세제, 흡착 및 투과시험 방법은 다음과 같다.

### 2.1 재료

시험에 사용된 침투성보호의, 외피 및 내피의 형상

은 Fig. 1과 같다. 외피는 폴리에스터와 레이온 혼방, 직조형태는 평직, 중량은 230±10 g/m<sup>2</sup>, 공기투과도는 1.0~2.0 ft<sup>3</sup>/ft<sup>2</sup>/min(이하 CFM)으로 제작되었으며, 표면은 불소계 발수·발유제 및 디지털 위장무늬로 후가공 처리하였다. 내피는 흡착소재로 구슬형 활성탄(Spherical activated carbon)을 200±10 g/m<sup>2</sup>을 함유하고 있으며, 공기투과도는 20~30 CFM이다.

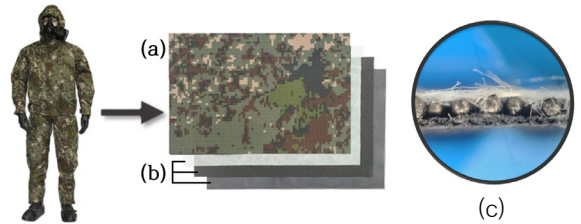


Fig. 1. CBRN protective clothing for testing: (a) outer layer, (b) inner layer, (c) spherical activated carbon for Inner layer

흡착 및 투과시험을 위한 유사화학작용제는 CCl<sub>4</sub> (Carbon tetrachloride, 순도 99.5 %, CAS No. 56-23-5, Showa chemical)와 DMMP(Dimethyl methyl phosphonate, 순도 98 %, CAS No. 756-79-6, Sigma aldrich)를 사용하였다. 화학작용제 중 HD(수포작용제), GD(신경작용제)의 특성은 Table 1과 같으며, 네덜란드 ProQares에서 자체 합성하여 시험하였다.

Table 1. Properties of chemical warfare agents



구분	HD	GD
관용명	Sulfur Mustard	Soman
분자식	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> S	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> FO <sub>2</sub> P
분자량	159.07	182.17
밀도(g/ml)	1.2685	1.0222
증기압(torr)	0.106	0.401
표면장력(dynes/cm)	42.5	24.5

### 2.2 세탁조건

세탁방법은 Table 2에 요약정리 하였다. 세탁기의 형식은 드럼형으로 고정하고, 종류는 다양한 운용 세탁기를 고려하여 소형세탁기(용량: 17 kg), 대형세탁기(용량: 100 kg)를 선정하였다.

세탁모드는 다음과 같다. 소형세탁기는 제조사에서 설정한 울 및 표준모드를 적용하였으며, 대형세탁기는 사용자 설정이 가능하므로 미군 화생방보호의(JSLIST) 군사규격인 MIL-DTL-32102(이하 MIL 규격)를 참조하였다. 보호의의 세탁 및 건조과정은 6회 반복 수행하였다.

Table 2. Characteristics of washing procedure and washing machine

구분		소형세탁기		대형세탁기
세탁 조건 및 절차	모드	울	표준	강
	절차	제조사 설정		세탁 1회(7분) 헹굼 3회(2분/회) 탈수 1회(5분)
	세탁물	1 벌		30 벌
	건조	50±5°C/60분		
	세제량	10 g(분말)/벌, 10 ml(액상)/벌		
세탁기	형상			
	용량	17 kg		100 kg

2.3 세 제

본 연구에서 사용한 세제는 한국소비자원에서 발표한 보도자료(‘23년 11월)를 참고하여 브랜드별 상위권에 있는 국내업체에서 제조 및 판매 중인 이마트(노브랜드)의 깨끗한 세탁세제(분말), 애경산업의 리큐(액상)를 사용하였고, KS K ISO 6330:2012(이하 KS 규격)에 규정된 표준세제 1과 표준세제 2를 사용하였으며 Fig. 2와 같다. 또한 세제성분 중의 총 계면활성제 함량분석은 한국화학융합시험연구원(KTR)에서 KS M 2709:2022 6항에 따라 시험하였다.



Fig. 2. Types of detergents used in laundry tests: (a) commercial detergent(powder), (b) commercial detergent(liquid), (c) standard detergent 1, (d) standard detergent 2

2.4 흡착 및 투과시험

2.4.1 흡착성능 평가

내피에 포함된 활성탄의 성능변화를 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 현재 군에서 운용 중인 분말 활성탄 기반의 침투성 보호의 성능확인 장비인 Q5 가스희석장치로 CCl<sub>4</sub>를 이용하여 흡착성능 시험을 수행하였다.

시험방법은 다음과 같다. 면적이 100 cm<sup>2</sup>인 내피를 시험셀에 거치하고 온도 32.5±1.0°C 하에서 농도가 5.0±0.5 mg/L인 CCl<sub>4</sub> 증기를 유량 1 L/min로 내피에 통과시켜 지시약이 발색될 때까지의 시간(파과시간, Breakthrough time)을 측정하였다. CCl<sub>4</sub> 흡착성능(mg/cm<sup>2</sup>)은 측정된 파과시간, CCl<sub>4</sub> 농도, 시험편의 면적 및 유량을 다음 식에 대입하여 계산하였다.

$$AP(mg/cm^2) = C(mg/L) \times BT(min) \times \frac{Flow\ rate(L/min)}{Area(cm^2)}$$

여기서, AP : 흡착성능(Adsorption Performance)

C : 농도(Concentration)

BT : 파과시간(Breakthrough Time)

본 연구에서는 내피의 세탁 전 흡착성능 대비 세탁 후의 흡착성능 값을 비교하여 세탁 영향성을 확인하였다.

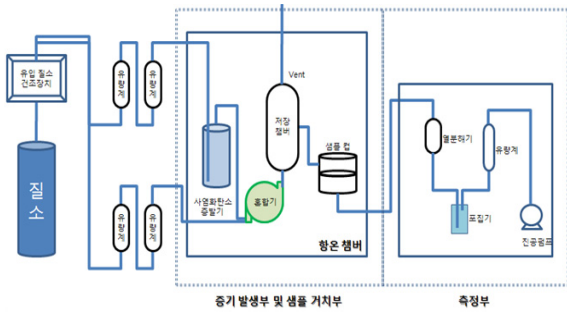


Fig. 3. Schematic diagram of Q5 Adsorption test equipment

2.4.2 투과성능 평가

외피와 내피로 이루어진 보호의 원단시스템에 유사 화학작용제(DMMP) 또는 화학작용제가 투과되는 양은 투과성능 시험절차서(TOP 8-2-501A)의 대류시험법(Convective flow method)에 따라 시험하였다.

본 연구에서는 세탁에 따른 원단시스템의 투과성능 저하 정도만을 사전에 확인하기 위해 DMMP를 이용하였으며, 실제 투과성능은 화학작용제로 확인하였다. 이 시험을 위한 시험셀은 Fig. 4와 같으며, 시험조건은  $32.2 \pm 1.67 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $80 \pm 5 \text{ \% RH}$  하에서 면적  $10 \text{ cm}^2$ 인 시편의 외피부분에 농도  $10 \text{ g/m}^2$ 인 화학작용제가  $0.19 \pm 0.03 \text{ mmHg}$ 의 압력차로 시편에 투과되도록 하였다. 투과된 작용제는 용매에 포집시키고 이를 회수하여 GC-FPD로 포집된 작용제의 양을 분석하였다.

투과시험은 DMMP 8시간, 화학작용제 24시간 동안 수행하였다. DMMP 시험은 자체적으로 수행하였으며, 화학작용제 시험은 네덜란드 ProQares에서 수행하였다.

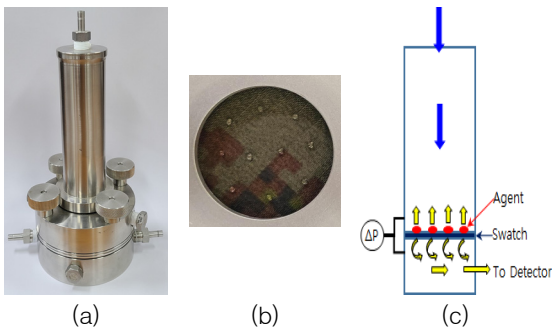


Fig. 4. Convective flow test cell of DMMP/CWAs penetration test: (a) test cell, (b) swatch, (c) internal flow diagram

3. 결과 및 고찰

3.1 흡착성능 결과

세탁기 및 세제종류에 따른 세탁횟수별  $\text{CCl}_4$  흡착성능 시험결과는 Table 3에서 보는 바와 같이, 세탁 후 내피의 흡착성능은 대부분 감소하였으며, 세탁기 종류 및 모드보다 세제가 흡착성능 감소에 영향성이 높다는 것을 확인하였다.

이에 흡착성능 결과를 바탕으로 조건별 영향성을 판단하기 위해 통계분석을 수행하였으며, IBM SPSS Statistics version 22를 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 수행한 결과는 Table 4와 같다.

세탁기(종류 및 모드)에 따른 p값은  $0.226\text{--}0.789$  수준이므로 통계적으로 유의미한 기준인  $p < 0.05$ 를 벗어남에 따라 세탁기의 종류와 모드는 보호의 성능에 영향을 미치는 요소가 아닌 것으로 확인된다. 하지만 세제종류에 따른 p값은  $0.000$  수준이며, 이는 통계적으로 유의미한 기준인  $p < 0.05$ 의 범위 안에 포함됨에 따라 세제는 보호의 세탁에서 중요한 고려요소로 확인된다. 또한 세탁에 적절한 세제를 확인하기 위해 Scheffe 분석을 수행한 결과, 상용세제(분말)에서 내피의 흡착성능 저하가 가장 낮은 것으로 확인되었다.

흡착성능 및 통계적 유의성을 종합한 결과, 세제가 보호의 성능유지에 중요한 요소로 확인됨에 따라 세제의 주성분인 계면활성제 함량을 분석하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

상용세제의 총 계면활성제 성분분석 결과, 분말이  $5.8 \text{ \%}$ , 액상은  $12.5 \text{ \%}$ 로 확인되었다. KS 규격 정보에 제시된 표준세제 총 계면활성제 성분 함량은 표준세제 1이  $18.8 \text{ \%}$ , 표준세제 2는  $16.7 \text{ \%}$ 를 함유하고 있다고 명시되어 있다. 총 계면활성제 함량 분석결과, 표준세제 1이  $18.4 \text{ \%}$ , 표준세제 2는  $22.0 \text{ \%}$ 로 확인되었다.

따라서 세탁 시 동일한 세제량을 사용하더라도 세제별 총 계면활성제 함량 차이가 있음을 확인 할 수 있었다.

관련 문헌에 따르면 계면활성제 성분 중 하나인 선형알킬벤젠술포산나트륨염(LAS)이 활성탄에 흡착됨을 알 수 있었으며<sup>[12,13]</sup>, 계면활성제 함량이 증가할수록 흡착량이 증가되어 활성탄의 비표면적 및 기공 부피가 감소하는 것으로 확인되었다<sup>[14]</sup>. 이를 근거로 세탁 과정에서 계면활성제가 활성탄의 기공에 흡착되어 투과성능 저하의 원인이 될 수 있음을 예상할 수 있다.

이를 검증하기 위해 흡착성능 영향이 적은 것으로 확인된 상용세제(분말, 액상) 투입량을 증가시켜 소형세탁기 울 모드로 세탁 시험 후 CCl<sub>4</sub> 흡착성능을 확인

하였으며, 그 결과는 Table 6과 Fig. 5와 같이 세제 사용량(계면활성제 함량)이 증가할수록 흡착성능이 감소함을 확인하였다.

Table 3. Results of CCl<sub>4</sub> adsorption performance test

세탁기	세탁 횟수	상용세제(분말)		상용세제(액상)		표준세제 1		표준세제 2	
		흡착성능 (mg/cm <sup>2</sup> )	감소율 (%)	흡착성능 (mg/cm <sup>2</sup> )	감소율 (%)	흡착성능 (mg/cm <sup>2</sup> )	감소율 (%)	흡착성능 (mg/cm <sup>2</sup> )	감소율 (%)
소형 (울 모드)	세탁 전	3.4	-	3.4	-	3.3	-	3.2	-
	1회	3.4	0.0	3.2	5.9	1.6	51.5	2.4	25.0
	2회	3.3	2.9	3.0	11.8	1.5	54.5	2.3	28.1
	3회	3.3	2.9	2.9	14.7	1.3	60.6	2.3	28.1
	4회	3.2	5.9	2.9	14.7	1.0	69.7	2.1	34.4
	5회	3.1	8.8	2.9	14.7	0.7	78.8	2.0	37.5
	6회	3.1	8.8	2.8	17.6	0.6	81.8	2.0	37.5
소형 (표준 모드)	세탁 전	3.4	-	3.4	-	3.4	-	3.3	-
	1회	3.3	2.9	3.2	5.9	1.4	58.8	2.3	30.3
	2회	3.2	5.9	3.1	8.8	1.4	58.8	2.2	33.3
	3회	3.2	5.9	3.0	11.8	1.3	61.8	2.1	36.4
	4회	3.0	11.8	2.9	14.7	1.1	67.6	2.0	39.4
	5회	2.9	14.7	2.9	14.7	0.8	76.5	1.9	42.4
	6회	2.9	14.7	2.7	20.6	0.6	82.4	1.8	45.5
대형 (강 모드)	세탁 전	3.4	-	3.3	-	3.3	-	3.2	-
	1회	3.0	11.8	3.2	3.0	1.0	69.7	2.1	34.4
	2회	3.1	8.8	3.0	9.1	0.9	72.7	2.1	34.4
	3회	3.2	5.9	2.9	12.1	0.8	75.8	2.0	37.5
	4회	3.2	5.9	2.8	15.2	0.7	78.8	1.8	43.8
	5회	3.0	11.8	2.7	18.2	0.7	78.8	1.8	43.8
	6회	2.7	20.6	2.6	21.2	0.5	84.8	1.6	50.0

주) 감소율 : 세탁 전 기준 흡착성능(3회 측정 평균값) 변화율

Table 4. Statistical analysis according to detergents and washing machine

구 분	상용세제/분말(a)		상용세제/액상(b)		표준세제 1(c)		표준세제 2(d)		통계분석		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	F	p	Scheffe
소형 (울 모드)	3.26	0.13	3.01	0.21	1.43	0.91	2.33	0.415	17.757	0.000***	a>c*** a>d* b>c*** d>c*
소형 (표준 모드)	3.13	0.20	3.03	0.23	1.43	0.92	2.23	0.502	14.768	0.000***	a>c*** a>d* b>c***
대형 (강 모드)	3.09	0.22	2.93	0.26	1.13	0.97	2.09	0.524	17.043	0.000***	a>c*** a>d* b>c*** d>c*
통계 분석	F	1.618	0.377	0.241	0.447	-					
	p	0.226	0.691	0.789	0.646	-					

주) 통계분석 지표

- 모집단수 : n=28(세제종류), n=21(세탁기 종류 및 모드)
- F값 : 흠착성능의 차이를 보이는 것이 통계적인 의미를 갖는지 확인하기 위한 지표
- p값 : p<0.05일 때 통계적으로 유의미함
- Scheffe : 모집단 그룹별 비교(\*p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001)

Table 5. Results of surfactant analysis by detergent type used in laundry tests

세 제	상품명	판매사	총 계면활성제 함량 (%)	
			용기 표시	분석 결과 <sup>c</sup>
상용세제(분말)	깨끗한 세탁세제	이마트(노브랜드)	5~15 <sup>a</sup>	5.8
상용세제(액상)	리큐	애경산업	3~25 <sup>a</sup>	12.5
표준세제 1(분말)	1993 AATCC_WOB	Testfabrics, Inc, USA	18.8 <sup>b</sup>	18.4
표준세제 2(분말)	IEC-A*	Testfabrics, Inc, USA	16.7 <sup>b</sup>	22.0

- 주) a : 제품 및 관련자료에 표시되어 있는 총 계면활성제 성분함량
- b : KS K ISO 6330에 표시되어 있는 총 계면활성제 성분함량
- c : 세제 중 계면활성제 KTR 분석결과

Table 6. Results of CCl<sub>4</sub> adsorption performance test according to surfactant content

상용세제(분말)			상용세제(액상)		
함량 <sup>a</sup> (%)	흡착성능 (mg/cm <sup>2</sup> )	감소율 <sup>b</sup> (%)	함량 <sup>a</sup> (%)	흡착성능 (mg/cm <sup>2</sup> )	감소율 <sup>b</sup> (%)
세탁 전	3.2	-	세탁 전	3.3	-
5.8	3.2	0.0	12.5	3.1	6.1
8.7	3.0	6.3	18.8	2.8	15.2
11.6	2.7	15.6	25.0	2.3	30.3

주) 시료수: n=12(분말), n=12(액상)

a: 세제 사용량 중 총 계면활성제 함량

b: 세탁 전 기준 흡착성능 변화율

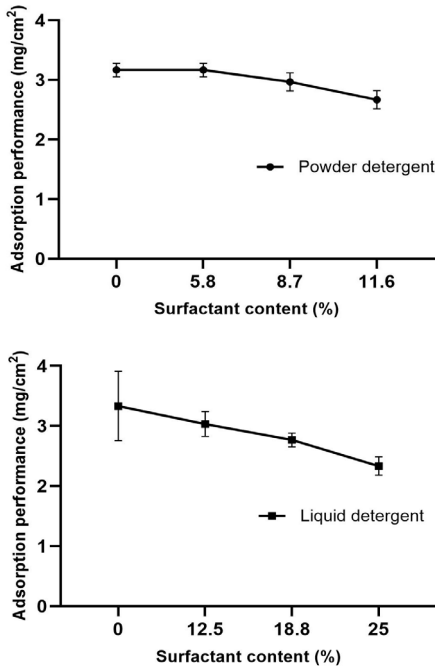


Fig. 5. Results of CCl<sub>4</sub> adsorption performance test according to surfactant content

### 3.2 투과시험 결과

#### 3.2.1 DMMP 투과시험

화학작용제 투과시험에 앞서, 세탁에 따른 DMMP 투과량 변화를 분석하였다. 세탁은 CCl<sub>4</sub> 흡착시험에서 가장 낮은 흡착성능 감소율을 보인 상용세제(분말)를 사용하고, 대형세탁기로 수행하였다. DMMP 투과시험

은 세탁횟수별로 3회 실시하여 평균값으로 산출하였으며, 그 결과는 Table 7과 Fig. 6에 나타내었다.

시험결과, 6회 세탁 후 내피의 CCl<sub>4</sub> 증기 흡착성능이 세탁 전에 비해 감소하더라도 원단시스템의 DMMP 투과율은 세탁 후에도 일정하게 유지되는 것으로 확인하였다. 이에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 화학작용제 투과시험을 진행하였다.

Table 7. Results of DMMP penetration test for CBRN protective fabric samples

구분	투과량(CT)	증가율(%)
세탁 전	68	-
세탁 횟수	1회	82
	2회	76
	3회	74
	4회	77
	5회	79
	6회	73

주) 시료수는 n=28, 증가율은 세탁 전 기준 투과량 변화율

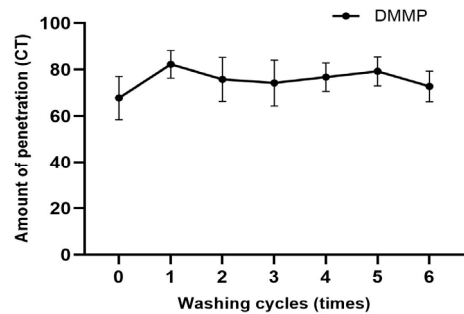


Fig. 6. Results of DMMP penetration test for CBRN protective fabric samples

#### 3.2.2 화학작용제 투과시험

화학작용제에 대한 투과시험은 유사화학작용제 시험결과와의 상관관계 및 관련 규격(MIL-DTL-32102)의 기준값을 충족할 수 있는지를 확인하기 위해 DMMP 투과시험에서 사용된 동일한 조건의 원단시스템(외피+내피)과 세탁조건을 적용하였다. 화학작용제(HD, GD)에 대한 투과시험은 네덜란드 ProQares에 의뢰하여 진행하였고, 그 결과는 Table 8과 Fig. 7에 나타내었다.

Table 8. Results of CWAs(HD, GD) penetration test for CBRN protective fabric samples

구분	HD		GD		
	투과량 (CT)	투과율 (%)	투과량 (CT)	투과율 (%)	
세탁 전	202	30.1	82	23.0	
세탁 횟수	1회	274	40.8	96	26.9
	2회	204	30.4	142	39.8
	3회	178	26.5	127	35.6
	4회	159	23.7	125	35.0
	5회	193	28.8	110	30.8
	6회	181	27.0	90	25.2

주) 시료수는 n=21(HD), n=21(GD), 투과율은 MIL 규격의 투과량 기준값(HD 671 CT 이하, GD 357 CT 이하)에 대한 백분율

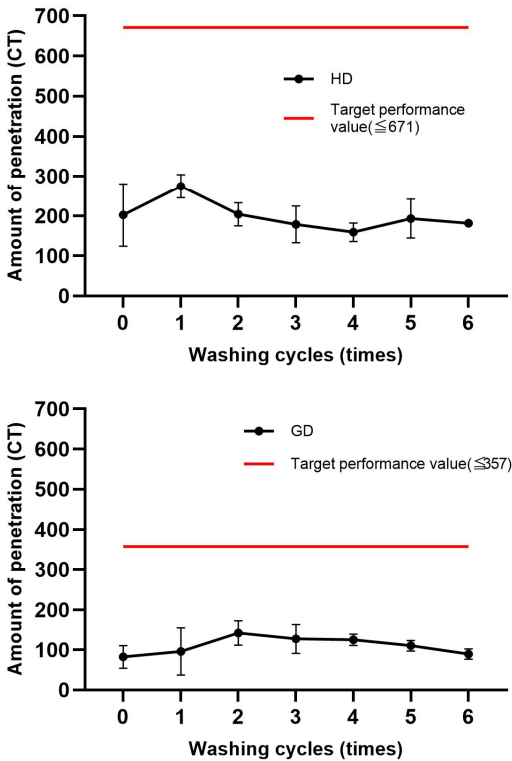


Fig. 7. Results of CWAs(HD, GD) penetration test for CBRN protective fabric samples

HD의 경우, 1회 세탁 후 기준값 대비 40.8 % 수준으로 투과되었으며, 그 이후에는 세탁 전 값보다 조금씩 감소하여 6회 세탁 후 기준값 대비 27 % 수준까지 투과율이 낮아지는 것으로 확인되었다.

GD의 경우, 2회 세탁까지 기준값 대비 39.8 % 수준으로 투과량이 증가하면서 세탁 6회에 이르면 25.2 % 수준으로 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

이는 유사화학작용제인 DMMP 투과시험 결과와 유사한 성능 감소 형태를 보이기 때문에 세탁에 따라 성능이 유지될 수 있는지 예측할 수 있는 지표로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

미군 화생방보호의(JSLIST) 관련규격(MIL-DTL-32102)의 화학작용제의 투과량 기준인 HD 671 CT 이하, GD 357 CT 이하 기준을 충족 할 수 있는지 확인한 결과, 초기 및 세탁 후 시료의 투과량은 기준 대비 약 30 % 정도이므로 기준을 충족하는 것으로 확인되었다.

이러한 결과를 통해 보호의 성능유지에 적합한 세제를 선정하여 세탁을 수행하면 화학작용제에 대한 화생방보호의 투과성능이 초기시료를 6회 세탁 후에도 충분히 유지될 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

화생방보호의는 운용과정에서 안정된 최적의 투과성능을 유지하기 위해 체계화된 세탁절차 수립이 필요하다. 본 연구에서는 활성탄 기반 침투성보호의의 세탁 후 투과성능 변화를 확인하기 위해 세탁기 종류, 세탁모드, 세제종류에 따른 CCl<sub>4</sub> 흡착성능과 DMMP 및 화학작용제 투과성능을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 세탁조건에 따른 화생방보호의 내피의 흡착성능 변화를 확인하기 위한 CCl<sub>4</sub> 흡착시험에서는 세탁횟수가 증가할수록 흡착성능이 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 세탁조건별 비교결과, 세탁기 종류와 모드보다 세제종류에 가장 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 세제종류별 영향인자를 확인하기 위해 세제의 총 계면활성제 함량을 분석하였고, 흡착성능과의 상관관계를 검토하였다. 세제의 계면활성제 함량이 증가할수록 세탁 후 흡착성능의 저하가 큰 것으로 확인되었다.



2) 상기에서 확인된 상용세제(분말)를 선정하여 세탁을 실시한 후, 화생방보호의 원단에 대한 투과성능을 확인하기 위해 세탁횟수에 따라 유사화학작용제(DMMP)와 화학작용제(HD, GD) 투과시험을 실시하였다. 시험결과, 세탁 후 유사화학작용제(DMMP)만으로도 투과성능의 변화추이를 예상할 수 있으며, 본 연구에서 다뤄진 소재의 투과성능은 초기시료의 6회 세탁 후에도 화생방보호의 관련규격(MIL-DTL-32102)에서 규정하는 성능기준의 약 30 % 투과량 수준이므로 화생방보호에 적합한 소재임을 확인하였다.

이상의 시험결과를 통해 투과성능 유지를 위한 화생방보호의 세탁 시 세탁기의 종류 및 모드보다 적정 세제 선정과 총 계면활성제 함량을 고려한 세제량 판단이 중요한 요소임을 확인할 수 있었다. 향후 활성탄 기반의 화생방보호의 개발 시 본 연구의 결과가 이러한 세탁절차의 수립에 기초자료로 활용되기를 기대한다.

## References

- [1] H. S. Yoon, D. H. Kwon, J. S. Kang, H. K. Seo, H. W. Lee, H. B. Park, "A Study of the permeation Test Method for the Evaluation of Protective Clothing against Chemical Warfare Agent Simulants," *Textile Science and Engineering*, Vol. 51, No. 6, pp. 277-284, 2014.
- [2] J. S. Kang, H. K. Seo, H. B. Park, S. G. Ryu, S. H. Park, "A Study on the Design Concept for NBC Clothing," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 15, No. 2, pp. 193-200, 2012.
- [3] M. R. Heo, J. S. Lim, "Development of protection performance evaluation techniques and technology for CBRN protective suit," *Defence and Technology*, Vol. 439, pp. 108-121, 2015.
- [4] S. H. Lee, S. J. Kim, T. W. Jang, "Development trends in CBRN protection equipment," *Defence and Technology*, Vol. 407, pp. 104-115, 2013.
- [5] H. J. Kim, Y. H. Jin, M. J. Kim, I. S. Park, "Development trends of CBRN protective clothing," *Defense and Technology*, No. 386, pp. 96-101, 2011.
- [6] J. K. Kim, "Development trends and implications of CBRN protective clothing at domestic and international," *Weekly Defense Commentary*, No. 1474(13-31), pp. 1-10, 2013.
- [7] M. Boopathi, Beer Singh and R. Vijayaraghavan, "A Review on NBC Body protective Clothing," *The Open Textile Journal*, Vol. 1, pp. 1-8, 2008.
- [8] Alim A. Fatah, John A. Barrett, Richard D. Arcilesi, Jr., Charlotte H. Lattin, Charles G. Janney, Edward A. Blankman, "Guide for the Selection of Personal Protection Equipment for Emergency First Responder," *NIJ Guide 102-00*, Vol. IIb, 2002.
- [9] Headquarters Department of the Army(USA), "Joint Services Lightweight Integrated Suit Technology," *Training Circular*, No. 3-11-55, 2001.
- [10] Md. Khalilur Rahman Khan, "CBRN Personal Protective Clothing," *Kohan Textile Journal*, pp. 1-19, 2021.
- [11] Michael A. Wartell, Michael T. Kleinman, Beverly M. Huey, Laura M. Duffy, "Strategies to Protect the Health of Deployed U.S. Forces: Force Protection and Decontamination," *Commission on Engineering and Technical Systems*, National Research Council Canada, 1999.
- [12] S. M. So, C. J. Cheong, S. C. Jung, G. D. Lee, D. G. Ra, "Adsorption Characteristics of LAS for Powered Activated Carbon," *Journal of Korean Society for Environmental Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 107-111, 2011.
- [13] M. R. Franco Junior, N. R. A. F. Rocha, W. A. Pereira, N. P. Merlo, "Removal of LAS from water by activated carbon and resins in continuous process," *Bulgarian Chemical communications*, Vol. 51, No. 3, pp. 365-371, 2019.
- [14] M. G. Krivova, D. D. Grinshpan, N. Hedin, "Adsorption of C<sub>n</sub>TABr surfactants on activated carbons," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 436, pp. 62-70, 2013.