



Received: 2023/06/03
Revised: 2023/06/13
Accepted: 2023/09/27
Published: 2023/09/30

***Corresponding Author:**

Byungjick Kim

Tel: +82-2-828-7010

E-mail: bjkim@ssu.ac.kr

Abstract

본 연구는 분진 형태로 피부에 노출, 접촉성 피부염 및 화상 등을 야기할 수 있는 물질인 염화알루미늄에 대한 피부보호크림의 보호 효과를 알아보고자 수행되었다. 피부감작시험을 통해 보호크림의 안전성을 확인한 후 전층배양피부를 이용하여 보호크림 도포에 따른 염화알루미늄의 피부 독성 감소 여부를 확인하였다. 시험 결과 피부 보호크림을 도포한 경우 염화알루미늄 노출군에 비해 유의하게 높은 수준의 프로콜라겐 합성을 보였다. 또한 염화알루미늄은 세척 후에도 잔존하는 것으로 확인된 반면 피부 보호크림을 도포한 경우 잔존 현상이 억제되었다. 이러한 결과는 피부보호크림이 선박 유지 보수 등의 업무를 수행하는 해군 장병 및 승조원의 직업성 피부질환의 예방에 도움이 될 수 있음을 증명하고, 산업안전보건 중 피부안전 및 보건공학 분야의 기초기술로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

This study aimed to investigate the protective effects of a skin protection cream against aluminum chloride, a substance that can cause skin irritation and burns when exposed to the skin. After confirming the safety of the protective cream through skin sensitivity tests, we examined whether the cream could reduce the skin toxicity caused by aluminum chloride using a full-thickness cultured skin. The test results showed a significantly higher level of procollagen synthesis in the group where the skin protection cream was applied compared to the group exposed to aluminum chloride. Additionally, aluminum chloride was found to persist even after washing, but the protection cream inhibited its persistence. These results demonstrate that the skin protection cream can contribute to the prevention of occupational skin diseases among naval personnel and maintenance crew involved in tasks such as ship maintenance.

Keywords

해군 피부안전보건(Navy Skin Safety and Health), 직업성 피부질환(Occupational Skin Disease), 분진 피부독성(Dust Skin Toxicity), 피부보호크림(Skin Protection Cream), 피부급성중독(Acute Skin Toxicity)

해군 근무환경에서 노출될 수 있는 염화알루미늄의 피부독성 예방을 위한 보호크림 개발 및 효능평가

Development and Evaluation of a Skin Protective Cream for Prevention Aluminum Chloride Exposure in Navy Working Environment

박창용¹, 어원석², 이준원², 오영현¹, 정미경¹, 김병직^{2*}

¹송실대학교대학원 안전보건융합공학과 박사과정

²송실대학교대학원 안전보건융합공학과 교수

Chang-Yong Park¹, Won Souk Eoh², Joon-Won Lee², Young-Hyun Oh¹, Mi Kyoung Jung¹, Byungjick Kim^{2*}

¹Ph.D. candidate, Dept. of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University

²Professor, Dept. of Safety & Health Convergence Engineering, Soongsil University

1. 서론

국내 산업체, 특히 조선업에서 사용되는 화학물질은 매우 다양하며, 화학물질이 피부에 노출되는 경우 접촉성 피부염을 유발할 뿐 아니라 혈관으로 침투, 간 중독 등 여러 장기에 급성중독 사고를 야기한다. 이처럼 화학물질은 피부에 빠르게 침투하여 세포에 영향을 주며, 급성중독 등을 일으키는 바, 다양한 산업재해 사례를 통해 그 위해성이 대부분 인지되고 있다. 하지만 입자 형태 유해화학물질의 위험도에 대한 인식은 높지 않은 실정이다. 일반적으로 황사, 미세먼지 및 금속 분진 등의 입자상의 유해화학물질은 호흡기 노출로 인한 호흡기질환 유발 물질로서 주로 취급되어 왔지만, 일부 입자는 노출 시 피부질환도 일으킬 수 있음이 알려지고 있다.

직업성 피부질환에 대한 사례로, 2016~2018년 전자제품 조립 공정에 근로하던 14명의 근로자가 접착제로 사용되는 화학물질에 노출되어 알레르기성 피부질환에 걸린 사례가 있었다[1]. 또한 2021년 조선

사에서 집단 피부질환이 발생하였고 이는 비스페놀 F 형 에폭시 수지가 사용된 무용제 도료로 인한 것으로 밝혀졌다[2]. 이처럼 아직까지 직업성 피부질환에 대한 대다수의 연구는 주로 유기용매 등에 한정되어 이루어지고 있다. 한 연구는 유기용제의 피부흡수 연구로서 조선업의 도장 작업 시 경피 흡수에 의한 노출 위험 수준을 조사하고자 in-vitro 시험법으로 시험물질의 피부 투과속도를 분석하였다[3]. 이 시험은 톨루엔 등 유기용제를 사용하여 진행되었으며 결과는 화학물질의 피부세포 층 투과량만을 제시하였다.

최근 사업장에서는 화학물질의 위험성평가 제도를 도입하여 화학물질 사용 평가를 실시함으로써 위험도를 관리하고 있지만 피부중독 및 과민성물질 사용 등의 기준 마련에는 아직 부족한 부분이 있다. 또한 보호복과 장갑 등의 보호구를 지급하여 사용하도록 하고 있지만, 작업의 특성상 선반, 드릴머신과 같은 회전체 장치를 사용하는 등 보호구 착용이 제약받거나 어려운 작업도 있으며, 보호구 착용 시 습진이 생기거나 작업 후 보호구를 벗을 때 묻어 있는 화학물질 또는 분진 등에 근로자가 노출될 수 있다. 따라서 유해화학물질을 차단하는 피부보호크림 사용의 필요성이 제기되고 있으나, 아직까지 피부 보호크림의 안전성 및 효능에 대한 명확한 규정은 마련되어 있지 않은 실정이다.

이처럼 안전 관리에 대한 심도 있는 노력을 통해 근로자의 건강 및 삶의 질 증대가 이루어지고 있는 한편, 해군 내 유해 작업장 근로자를 대상으로 한 보건 및 환경관리에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 군 작업환경 및 작업자 보건관리 훈령에 따르면 “유해작업장”은 작업자가 정상적인 작업을 수행하는 과정에서 건강에 위해를 미칠 수 있거나 직업병이 발생할 수 있는 장소를 말한다. 해군의 경우 대표적으로 진해지역 정비창을 꼽을 수 있으며, 선박의 수리·도장·해체 등의 과정에서 사실상 조선 산업체의 근로자들과 크게 다르지 않은 유해인자에 노출될 가능성이 높다.

실제로 2003년 군수사령부 정비창에서 일해온 군무원이 석면으로 인한 폐암 진단을 받은 이후 같이 근로한 19명이 석면에 의한 질환 소견을 보였고, 정비창의 작업환경 조사 결과 기준치의 최대 16배를 초과하는 석면이 검출된 바 있다[4]. 또한 선박 수리업무에 종사하는 군무원을 대상으로 한 작업환경 인식조사에서도 분진, 유기용제 및 기타 화학물질 등에 노출되고 있다는 응답이 높은 비율로 나타났다[5].

그러나 일반 산업장에 비해 체계가 복잡하고 관리자 및 근로자들의 비전문성, 산업안전관리법의 비(非)적용 등의 특수여건으로 인해 해군 내 유해 작업장 근로자를 위한 보건 및 환경관리는 아직까지 어려움이 많다. 그럼에도 불구하고 화학물질에 노출되는 환경적 유사성을 고려할 때 해군 유해 작업장 근로자에게도 조선산업체 근로자에 준하는 안전장비 및 피부보호크림 등의 지급이 이루어질 필요성이 있다고 여겨진다.

이에 본 연구에서는 선박 부식 방지 도장 등에 흔히 사용되는 입자상 물질로 염화알루미늄을 선정하여 피부보호크림의 효능을 평가하고자 하였다. 염화알루미늄은 화학세정제와 산성조정제 성분 및 부식방지 용도 등 산업 전반에 이용되는 물질이다. 신경독성을 가져 치매 유발물질로 흔히 알려져 있고, 적혈구 및 생체막에 구조적 및 기능적 효과를 유발하는 것으로 보고된 바 있다[6]. 뿐만 아니라 염화알루미늄은 피부에 노출시 접촉성 피부염뿐 아니라 화상까지 발생시킬 수 있는 독성물질이다. 따라서 본 연구는 개발된 피부보호크림의 자극성 여부를 평가하고 인공배양피부에서 피부보호크림이 염화알루미늄 유발 피부 독성 및 피부 잔류에 미치는 영향을 알아보하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 피부보호크림의 감작성 실험

피부보호 효능 평가 이전에 피부보호크림의 안전성을 확인하기 위해 산업안전보건법 제39조(유해인자의 관리 등), 고용노동부 고시 제2015-74호(화학물질의 유해성·위험성 시험 등에 관한 기준)과 피부감작물질 노출 근로자의 보건관리 지침 (KOSHA Guide H-51-2011)에 따라서 실험에 사용되는 D사의 피부보호크림 제품의 감작성 여부를 실험하였다.

실험은 OECD가 권고한 표준(OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 4428 ‘Skin Sensitization: Local Lymph Node Assay: BrdU ELISA, Adopted 22th July 2010)에 따라 수행되었다. 이는 피부가 일정 물질이나 제품에 노출된 후 민감한 개체에서 알레르기 반응을 유발되는지 여부를 판단하기 위한 실험법으로, 국소 림프노드의 활성화를 평가하는데 주로 이용된다. 실험에는 7주령의 암컷 CBA/J 마우스(코아텍) 20마리가 이용되었다. 실험동물은 입수 및 검역 후 5일간 순화

하였고, 사육환경은 온도 $22\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\pm 20\%$, 명암주기는 12시간으로 유지되었다. 모든 실험은 ‘한국 건설생활환경실험연구원, 동물실험윤리위원회 운영규정(ANI/032)’ 및 ‘식품의약품안전처·농림축산식품부 공동, 동물실험 및 실험동물 관련 IACUC 표준운영 가이드라인’에 의거하여 실험동물 사용과 관리에 관한 규정을 준수하며 수행되었다.

마우스의 귀 배측에 D사 피부보호크림을 25 μL 씩 도포하고 개체의 체중, 식이, 음수량 등 전신반응과 흥반 및 귀 두께 등의 국소 반응을 관찰하였다. 또한 BrdU (5-bromo-2-deoxyuridine, Sigma-Aldrich, CAS 59-14-3)를 복강투여하고 다음 날 이산화탄소 가스로 희생한 후 이개립프절을 적출, 단일세포 현탁액을 제조하고 BrdU-ELISA kit(ROCHE, 11647229001)로 세포 증식을 측정하였다. BrdU가 삽입된 총 세포 양을 계산하여 BrdU labeling index(BLI)를 계산하였다.

자극지수(SI, stimulation index)의 계산은 시험물질 도포군 또는 양성 대조군의 평균 BLI 값을 용매대조군의 평균 BLI 값으로 나누어 계산하였고(식 (1) 참조), 용매 대조군의 평균 SI 값은 1로 지정, $SI \geq 1.6$ 이면 양성반응물질로 판정하였다.

Stimulation index =

$$\frac{\text{BrdU labeling index for each test animal}}{\text{Mean BrdU labeling index for concurrent vehicle control group}} \times 100\% \quad (1)$$

2.2 전층배양피부 배양 실험

시험 기준은 식품의약품안전처의 in vitro 시험법에 따라 진행되었다. 피부보호크림의 유해화학물질에 의한 피부 독성 억제 효능 평가를 위해 진피, 표피, 각질이 모두 포함된 전층 배양 피부를 제조하였다. 전층배양피부는 먼저 진피의 구성 물질인 collagen과 HDFn 세포를 이용하여 진피층을 형성시키기 위해 7일간 배양하였고, 만들어진 진피층 위에 HEKn 세포를 seeding하여 표피층을 형성시켰으며, 배양된 HEKn 세포가 monolayer를 형성했을 때 3D differentiation media (CnT-PR-3D)로 교체하고 표피층의 분화 및 각질 형성을 위해 air-liquid interface culture를 진행하였다. 이에 HEKn 세포가 공기 중에 노출되어 수직 방향으로 분화하며 각질층이 형성되었고, 진피층과 표피층을 갖

춘 전층배양피부를 배양하였다.

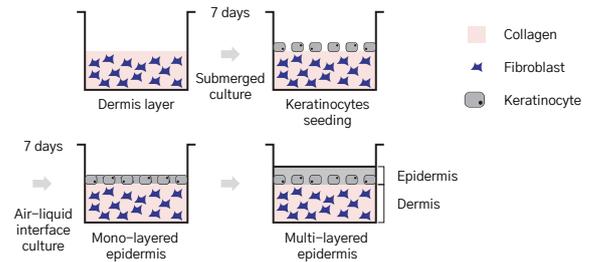


Fig. 1. Cultivating process of full-thickness cultured skin

2.3 염화알루미늄의 피부 독성 시험

2.3.1 세포독성 시험

전층배양피부 시험 전 염화알루미늄의 세포독성을 알아보기 위해 HDFn 세포와 HEKn 세포를 사용하여 독성시험을 수행하였다. 시험물질은 5개 농도로 희석하였다. 세포를 5×10^3 (100 $\mu\text{L}/\text{well}$)로 분주하고 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5% CO_2 배양기에서 24시간 배양하였다. 시험물질을 처리한 후 각 6시간 및 24시간 배양하였다. MTT assay는 fresh media(90 $\mu\text{L}/\text{well}$)로 교체한 다음 PBS에 제조된 MTT solution(5 mg/mL)을 10 $\mu\text{L}/\text{well}$ 분주하여 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5% CO_2 배양기에서 4시간 배양하였고, 이후에 H_2O 5 mL, DMF(dimethylformamide) 5 mL에 20 wt%로 SDS(sodium dodecyl sulfate)를 넣고 1 N HCl로 pH 4.7을 맞춘 lysis buffer solution을 넣고 (100 $\mu\text{L}/\text{well}$) 빛이 없는 상온에서 2시간 배양하였다. 이후 570 nm 파장에서 ELISA를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

2.3.2 전층배양피부 잔류 시험

작업특성에 따라 염화알루미늄은 피부에 분진 형태로 노출되므로, 적정 범위의 파우더 함량을 지정하여 전층배양피부에 분산하였다. 염화알루미늄 분산 전 12 well plate에 배양한 전층배양피부의 각질층 위에 피부보호크림을 $40\text{ mg}/\text{cm}^2$ 도포하였고, 도포 후 지정된 0.01 g 염화알루미늄을 분산하고 30분 경과하였을 때 피부보호크림을 스페출러로 제거하였다. 각질층에 박혀 있는 염화알루미늄을 확인하기 위해 피부보호크림이 제거된 전층배양피부의 표면을 광학현미경으로 관찰하였고 염화알루미늄이 남아있는 정도를 Image J

로 분석하였다. 각질층의 표면을 9부분으로 나누어 각 부분에 남아있는 염화알루미늄의 면적을 구하고 비율을 표기하였다.

2.3.3 전층배양피부 프로콜라겐 합성 시험

피부보호크림이 도포된 전층배양피부에 동량의 염화알루미늄을 분산시키고 30분 후 스페출러로 크림을 제거하였다. 이후 배양액을 추출해 Procollagen type I Peptide EIA kit(TAKARA, Japan)를 사용, 프로콜라겐 양을 측정하였다.

3. 연구결과

본 장에서는 산업 환경에서 사용될 피부보호크림의 안전성과 염화알루미늄 노출에 대한 보호 효능을 평가하였으며 각각의 평가 결과를 제시한다.

3.1. 피부감작성 시험

시험물질에 대한 자극지수(SI) 값은 25 % 투여군에서 1.28, 50 % 투여군에서 1.32, 100 % 투여군에서 1.21로 산출되었으며 부형제 대조군과 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 또한 이는 본

평가 지침의 기준인 SI 1.6 이하의 결과로, ‘닥터프로텍션’ 피부보호크림은 피부감작성 비유발물질로 결론되었다. 양성 대조물질에 대한 SI 값은 3.58로 산출되었으며 부형제 대조군과 비교하여 SI 값이 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.01$). 따라서 양성물질은 SI ≥ 1.6 인 피부감작성 유발물질로 평가되어, 본 실험의 수행결과에 이상이 없음을 확인하였다. 또한 체중, 식이량 변화, 흥반 및 귀 두께 변화 등의 전신 및 국소자극 또한 발견되지 않았다(data not shown).

Table 1. BrdU labeling index and stimulation index of “Dr. Protection” skin protective cream

Groups	BrdU labeling index	Stimulation index
Vehicle control	0.19±0.093	1.00
Test 25 %	0.24±0.063	1.28
Test 50 %	0.25±0.133	1.32
Test 100 %	0.23±0.078	1.21
Positive control	0.67±0.231	3.58

3.2. 염화알루미늄의 세포독성

세포독성 평가 결과, 1 mM, 5 mM, 그리고 10 mM

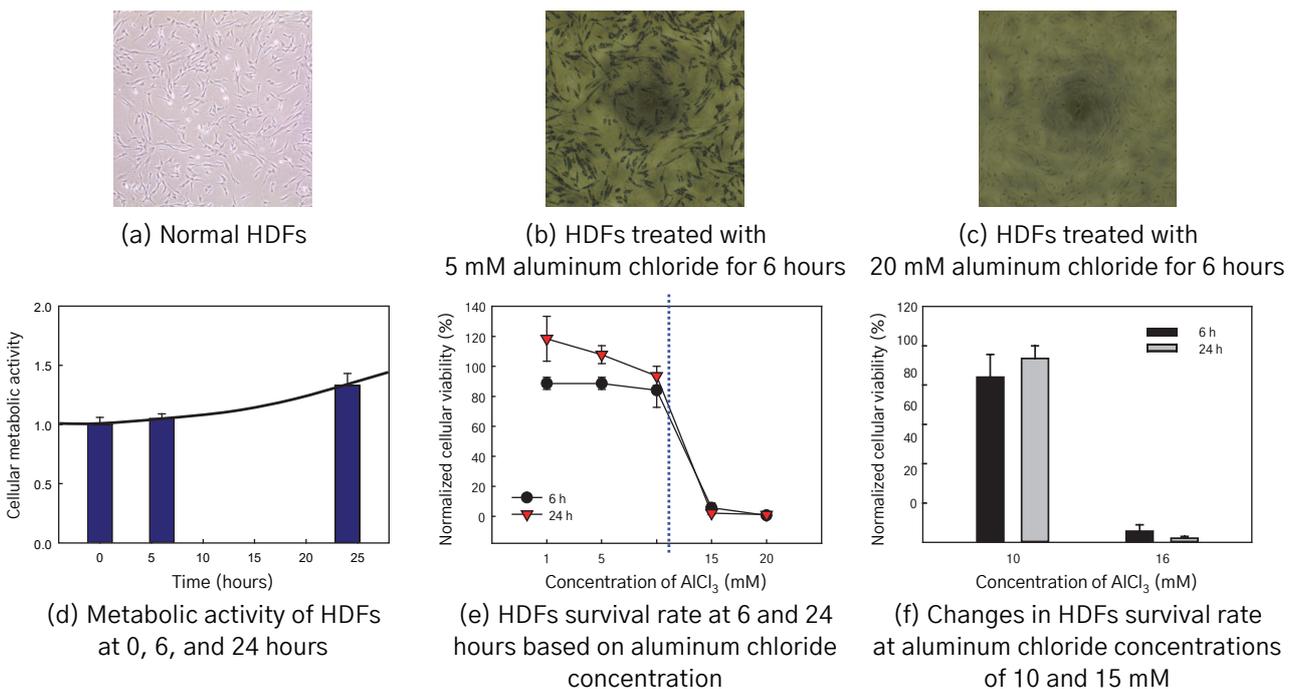


Fig. 2. Cytotoxicity of aluminum chloride

의 염화알루미늄을 처리한 지 6시간 경과 후 세포 생존율은 각각 71.7 %, 88.6 %, 84.1 %였고, 24시간 경과 후 세포 생존율은 각각 118.4 %, 107.8 %, 93.6 %로, 모든 농도와 시간에서 70 % 이상의 세포 생존율을 나타내어 독성이 없는 것으로 판단하였다(Fig. 2 참조). 한편 15 mM와 20 mM의 염화알루미늄을 처리하였을 때 6시간과 24시간 경과 후 세포 생존율은 각각 5.7 %와 0.6 %, 그리고 2.1 %와 1.1%로, 강한 독성을 나타냈다. 즉, 15 mM 이상의 염화알루미늄은 피부세포에 노출 시 6시간 이후 강력한 세포독성을 나타내는 물질임을 확인할 수 있었다.

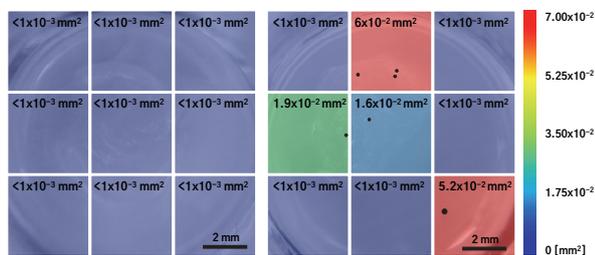
3.3. 피부보호크림의 염화알루미늄 잔류 억제 효능

전층배양피부에 피부보호크림을 도포하고 0.01 g의 염화알루미늄을 분산시킨 결과, 크림을 도포한 경우 모든 각질층에서 염화알루미늄 잔류 면적은 0.0001 % 미만으로, 잔류 염화알루미늄이 확인되지 않았다. 한편 피부보호크림을 도포하지 않은 경우에서 염화알루미늄 입자가 잔류하고 있는 면적 비율은 <math><0.0001\%</math>, <math><0.0067\%</math>, <math><0.0001\%</math>, <math><0.0021\%</math>, <math><0.0018\%</math>

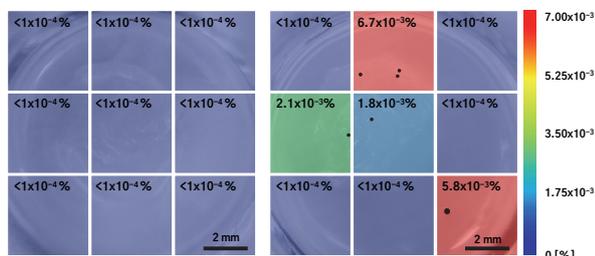
<math><0.0001\%</math>, <math><0.0001\%</math>, <math><0.0001\%</math>, 0.0058 %로 나타났다. 즉, 피부보호크림을 선(先)도포할 경우 염화알루미늄의 각질층 잔류가 효과적으로 억제됨을 확인할 수 있었다.

3.4. 피부보호크림의 프로 콜라겐 합성 보호효과

염화알루미늄에 30분간 노출시키고 24시간 후 프로 콜라겐 생합성량을 측정한 결과, 피부보호크림을 도포한 군의 프로콜라겐은 33.6 ng인 반면 미(未)도포군은 28.2 ng로, 피부보호크림을 도포한 군에서 유의하게 높은 수준의 콜라겐 합성을 나타냈다($p < 0.05$). 48시간차 또한 미도포군은 28.6 ng, 피부보호크림 도포군은 36.7 ng으로 24시간차와 마찬가지로 피부보호크림 도포군이 유의하게 높은 수준의 콜라겐합성을 보였다. 진피층에서 이루어지는 프로콜라겐 합성이 시간에 따라 피부보호크림 도포 시 각각 1.2배와 1.3배 증가한 것으로 미루어 볼 때, 염화알루미늄은 피부의 각질층뿐만 아니라 진피층까지 영향을 미칠 수 있는 것으로 확인되었다.



(a) Images and area of aluminum chloride, treated with cream (b) Images and area of aluminum chloride, without cream



(c) Images and percentage of aluminum chloride, treated with cream (d) Images and percentage of aluminum chloride, without cream

Fig. 3. Area and percentage of residual aluminum chloride on the stratum corneum of full-thickness cultured skin

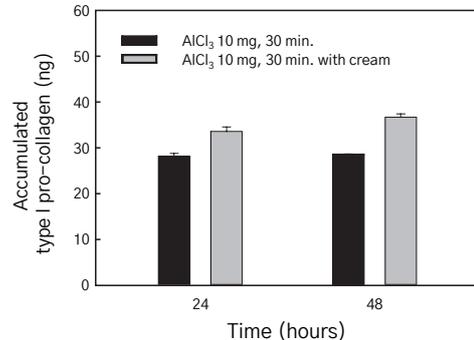


Fig. 4. Type I pro-collagen content in full-thickness cultured skin following aluminum chloride treatment

4. 고찰

염화알루미늄 노출에 대한 유해성 분류는 화학물질이 피부를 투과한 뒤 몸으로 흡수되어 혈액 등을 통해 표적장기로 이동하여 작용하는 급성독성과 화학물질에 노출된 국소적인 피부 부위를 중심으로 영향을 일으키는 형태의 피부자극성 및 부식성으로 구분된다[7]. 염화알루미늄은 노출 부위에 국소적인 영향을 미쳐 피부화상 및 독성을 일으키며, 근로자를 대상으로 한 피부장기노출(전신영향) DNEL은 2017년 3.31 mg/kg

body weight/day였으나 2019년부터 1.1 mg/kg body weight/day로 강화되었다[8]. 즉, 일정 농도 이상의 염화알루미늄을 취급하는 경우 보호구 착용 및 피부보호크림 사용 등을 통해 안전한 작업환경을 조성해야 한다. 그러나 앞서 언급한 대로, 선박의 수리 및 도장 작업 등 유사한 작업내용과 환경에 노출됨에도 해군 내 유해작업장 근로자들은 선박 산업체 근로자들에 비해 여러 특수 여건으로 인해 적절한 안전보호구 등을 지급받지 못할 가능성이 높은 실정이다.

외인성 위험물질에 대해 피부의 각질층은 벽돌과 같은 구조와 역할을 통해 방어를 수행하지만, 이러한 벽돌 형태의 각질층에는 염화알루미늄 등의 미립자들이 잔류하기 용이하며 이후 피부화상과 피부독성을 발생시킨다. 즉, 염화알루미늄의 주(主) 피부독성은 진피를 통해 침투하지 않지만 표피에 남아서 피부에 영향을 미치는 것이다. 실제로 본 연구 결과 염화알루미늄의 파우더 분진을 전층배양피부의 도포한 결과 스페큘러로 제거한 후에도 염화알루미늄은 각질층에 잔류하고 있음을 확인할 수 있었다. 한편 피부보호크림을 먼저 도포한 전층배양피부에서는 염화알루미늄이 잔류하지 않았는데, 이는 피부보호크림이 노출 후 각질층에 염화알루미늄이 남아 피부 화상 및 세포 손상을 효과적으로 막아줄 수 있음을 의미한다.

또한, 앞서 제시한 기준의 강화와 피부보호크림 사용 등의 안전 대책으로 산업체와 해군 근로자들을 위한 관리조치 조항 개정 등 정량적 기준 설정과 공동 자기 규율이 요구된다. 국내 관련 규정 개선안으로서 급성경피 독성의 분류기준 명확화, 피부흡수 기여 정도 등을 고려한 정량적 기준 설정 및 과민성 DSEN/RSEN 표기 등의 예방을 위한 정보 제공의 필요성과 안전보건기준에 관한 규칙 내 관리조치 조항 개정 등이 요구되고 있다[7]. 특히 염화알루미늄의 제조 및 수입부터 사용 사업장에 공급되기까지 염화알루미늄에 대한 정보를 제공함으로써 취급 근로자가 노출기준과 위험관리조치 등을 반드시 숙지하여 안전하게 취급할 수 있도록 해야 한다.

염화알루미늄의 사용 용량과 노출 시간에 대한 면밀한 고려 또한 이루어져야 할 것이다. 본 시험결과에 따르면 피부보호크림을 바르지 않은 피부에서는 세척 후에도 염화알루미늄이 잔존할 뿐 아니라 30분 노출 시 진피층의 프로콜라겐 합성에까지 영향을 미치는 바, 염화알루미늄 취급 전 적절한 보호구와 피부보호크림의

사용이 매우 중요함이 증명되었다. 해당 물질 사용 시 반드시 보호구 착용 전에 피부보호크림을 바르되, 특히 손목과 같이 장갑·토시 등으로 완벽하게 보호되지 않는 노출부에 피부보호크림을 유의하여 도포해야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 염화알루미늄이 피부에 미치는 영향을 알아보고자

- (1) 세포독성실험을 통해 노출 농도 및 시간에 따른 세포 생존율과 형태의 변화를 조사하였다.
- (2) 진피, 표피, 각질이 모두 포함된 살아있는 전층 배양피부를 제조하여 염화알루미늄의 각질층 잔류 수준을 확인하였다.
- (3) 염화알루미늄의 진피층 침투를 통한 프로콜라겐 합성 저해 효과를 확인하였다.

또한 이러한 염화알루미늄으로부터 피부 보호를 위해 새로운 피부보호크림 ‘닥터 프로텍션’을 이용하여

- (1) 피부감작시험을 통해 전신, 국소 자극이 없음을 확인하였다.
- (2) BrdU 시험법을 통해 이개립프절 유래 세포의 과도한 활성화, 즉 알러지 유발 여부를 확인하여 비(非)자극성 물질임을 최종 확인하였다.
- (3) 또한 피부보호크림을 선(先)도포한 후 염화알루미늄에 노출시켜 각질층 잔류를 억제하고 진피 침투를 억제해 프로콜라겐 합성 저하를 막는 효능이 있음을 확인하였다.

본 실험은 입자의 크기를 배제하고 질량 및 시간을 중심으로 진행된 바, 입자의 크기 및 반복 노출에 따른 영향은 알 수 없다는 한계점이 있다. 그러나 실제 산업 환경 및 해군 내 유해 작업장 근로자들이 주로 노출되는 형태인 분진에 노출되었을 경우에 대한 모델을 시험한 점, 그리고 피부보호크림 사용 시 염화알루미늄의 피부독성에 대한 방어가 가능하다는 실험결과를 제시함으로써 분진형 유해화학물질에도 피부보호크림은 보호 효과가 있음을 제시하였다. 이러한 결과를 바탕으로 다양한 화학물질을 취급하는 근로자와 군 장병에게 피부보호크림의 안전성과 사용 필요성을 홍보하

고 노출에 따른 화상 및 독성에 의한 피부질환을 예방하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

한편 염화알루미늄에 대한 반복적인 노출, 즉 노출 빈도 및 염화알루미늄의 입자의 크기도 세포 독성 및 피부보호크림의 효능에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 판단되는 바, 추가적인 연구가 요구된다. 그럼에도 불구하고 본 연구결과는 인체 피부와 유사한 모델인 전층배양피부에서 염화알루미늄 노출에 따른 피부 잔류량과 진피층 프로콜라겐 합성에 대한 영향, 그리고 피부 구성 세포에 대한 독성 농도 등을 규명함으로써 염화알루미늄을 취급하며 이에 노출되는 산업체 근로자 뿐 아니라 해군장병 및 승조원의 피부 건강과 안전을 위한 기초자료로서 제공될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 장덕중, 광주 대우전자 근로자 알레르기성 피부병 집단 발병 논란, 연합뉴스, 2018.05.08.

[2] 고희진, “노동부, 피부질환 유발하는 현대중공업 무용제 도료 사용금지해야,” 경향신문, 2021.09.08.

[3] 김현영, 정용현, 정재황, 서길수, 문영환, 유기용제의 피부흡수 연구, J Korean Soc Occup Environ Hyg, 7(2), pp. 279-288, 1997.

[4] 김경애, 해군정비창 근무자 19명 집단 석면질환, 매일노동뉴스, 2023.09.19.

[5] 오경재, 모영하, 윤한, 김명선, 이정미, 권근상, 선박수리업무에 종사하는 군무원들의 작업환경에 대한 인식이 직업만족도에 미치는 영향. 한국산업위생학회지, 13(1), pp. 1-6, 2003.

[6] Niu, Q., Overview of the Relationship Between Aluminum Exposure and Health of Human Being. Adv Exp Med Biol 1091, 1-31, 2018.

[7] 이해진, 이도희, 이나루, 한슬기, 화학물질의 피부 노출 평가 사례를 통한 위험성 평가 접근 방안, 산업안전보건연구원, 연구보고서, 2022.

[8] 박해동, 노지원, 폴리우레탄 코팅장갑내의 DMF 함량 및 피부노출에 대한 평가, 한국산업보건학회지, 32(2), pp. 102-110, 2022.