

## 아미노산 반응 시약을 이용한 의복 충격흔의 경시변화에 따른 현출수준 변화에 관한 연구

임효수<sup>1</sup> · 송예은<sup>1</sup> · 이은비<sup>1</sup>  
이상윤<sup>2</sup> · 서영일<sup>2</sup> · 김진표<sup>2</sup>  
박남규<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 보건과학부  
과학수사학전공

<sup>2</sup>국립과학수사연구원 법공학부

Received: December 5, 2016

Revised: February 2, 2017

Accepted: February 20, 2017

### Correspondence to

Young-Il Seo

Forensic Engineering Department,  
National Forensic Service,  
10 Ipchun-ro, Wonju 26460, Korea  
Tel: +82-33-902-5557  
Fax: +82-33-902-5934  
E-mail: yiseo@korea.kr

### Revealing Weapon Impacts on Clothes Using Reaction Reagents for Amino Acids

Hyo-Su Lim<sup>1</sup>, Ye-Eun Song<sup>1</sup>, Eun-Bi Lee<sup>1</sup>, Sang-Yoon Lee<sup>2</sup>, Young-Il Seo<sup>2</sup>,  
Jin-Pyo Kim<sup>2</sup>, Nam-Kyu Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Scientific Criminal Investigation, Yonsei University, Wonju, Korea

<sup>2</sup>Forensic Engineering Department, National Forensic Service, Wonju, Korea

If we analogize any external physical force applied to victims of crimes involving violence, it would be possible to not only presume the mutual action between victims and suspects but also deduce more facts related to the cases. Therefore, in this study, defining the phenomenon of amino acid compounds in sweat spreading into clothes as impact marks, experiments using ninhydrin, 1,8-dizafluoren-9-one (DFO), 1,2-indanedione-zinc (1,2-IND-Zn) were conducted to determine developmental variations through change over time, which was not performed in previous studies. A 5-week period was set up including first damage as a variation factor, and materials in each action were developed using certain reagents. The level of specimen development depending on the change over time was identified. Thus, no changes were observed at each initial level of development.

**Key Words:** Strike mark; Amino acid reagent; Porcine skin; Crime; External force

## 서 론

사건 현장에 존재하는 증거물들은 화학적인 현출기법을 실행하기 전까지는 보이지 않는 잠재흔적들이 대다수이다[1]. 이러한 사건들 중, 특히 폭력이 수반되는 많은 사건들에서 주먹, 신발, 야구배트, 망치 등 다양한 종류의 형태흔적들을 가시화시킬 수 있다면, 유형화된 흔적증거로서 법정에서 신뢰성 있는 증명력을 가진 중요한 단서가 될 수 있다[2].

증거란 증언증거와 같이 질의응답의 형식으로 진술되는 무형의 증거와, 실질증거로서 객관적 실체가 있는 다양한 형태와 특성을 갖는 유형물로서 냄새와 같은 것에서부터 폭발현장 같이 크고 명백한 것을 포함하고, 세부적으로 정액, 혈액

등과 같은 생체시료부터 지문, 족적 등과 같은 다양한 종류의 형태증거까지 다양한 유형의 증거물들을 포함한다[3].

인체가 흘리는 땀은 많은 유기물질들을 함유하고 있는데, 그 중 땀 속 아미노산의 성분을 살펴보면 약 16종의 아미노산이 검출 가능하며, 주로 glycine, threonine, alanine, valine의 함량 순으로 땀 속에 존재한다[4,5]. 이러한 성분들은 의복을 입은 대상자에게 물리적 폭행이 이루어졌을 시, 이와 같은 수용성 분비물들이 의복 표면에 빠르게 침투되고, 흡수과정에서 수분이 증발되며 의복에는 아미노산의 잔류 혼합물들이 남게 된다. 그러나 이러한 의류 속 잠재된 흔적들은 범죄현장에 존재하지만 육안으로는 식별하기 어렵다[6].

땀과 다공성표면의 접촉에 관한 선행연구로는 1993년 영

국에서 족적에 관련된 증례보고 감정사례 1건을 제외하고, 오징어를 이용한 천 표면 위의 충격흔 생성 연구만이 유일한 상황이며, 의류를 통한 직접적인 범행 도구의 형태를 현출하는 연구는 없는 상황이다[7,8].

기존에 행해진 실험으로 도구의 형태뿐만 아니라 무늬 및 특징까지 현출됨을 알 수 있었는데[9], 이에 본 연구는 Lim 등[9]의 연구에서 행해지지 않은 시간 변화에 따른 각 시약별 검체의 현출정도에 대해 연구하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험대상

외부 타격 시 의복에 전이될 수 있는 피부의 분비물들을 아미노산 반응시약인 ninhydrin, 1,8-dizafluoren-9-one (DFO), 1,2-indanedione-zinc (1,2-IND-Zn)를 사용하여 현출한 뒤, 타격 도구의 형태를 4주간의 시간적 변인을 부여함으로 그에 따른 검체의 변화를 식별하는 연구이다.

### 2. 실험 장비 및 방법

#### (1) 실험 장비 및 재료

내의 150장, 온·습도계(TESTO 608-H2, 174H, Lenzkirch, Germany), 스팀온열다리미, 인체 더미(180 cm, 50 kg)를 사용하였고, 측정 장비로는 충격량 측정기(load cell: BSA-

3T [serial number: 6ABSA5A19], digital indicator: TD-700T), DSLR 카메라(body: Nikon D700, Tokyo, Japan; lens: Nikon AF-S MICRO NIKKOR 105 mm 1:2.8G ED/AF NIKKOR 24-85 mm 1:2.8-4D), 가변광원(Green 530/505 nm Flare Plus 2, ROFIN, Dingley Village, Australia)를 사용하였으며, 시약은 Ninhydrin (BVDA, Haarlem, Netherlands), DFO (BVDA), 1,2-IND-Zn (BVDA)를 사용하였다.

실험에 앞서, 인간의 피부를 대체할 수 있는 시료로써 생체 피부와 해부생리학적으로 특성이 비슷한 돼지 피부를 실험에 사용하였다. 돼지 피부는 도축 직후 24시간 이내의 피부를 사용하였고, 예비실험을 위한 시료 10장을 포함하여 총 160장의 돼지피부를 약 40×40 cm의 규격으로 재단하여 1시간 동안 약 25°C의 미온수에 담가 냉기를 제거하였고, 흐르는 물에 30분간 실험체 표면에 부착된 이물질들을 제거하였다. 그 후 23°C-25°C의 실내에서 자연건조를 시킨 다음, 2차적으로 wypall을 사용하여 피부 겉 표면의 지방성분을 제거하였다. 이후 실험체의 표면온도를 약 25°C로 설정하여 실험을 진행하였는데, 이는 인체의 평균 표면온도인 약 33°C로 실험체의 표면온도를 설정할 시, 실험체의 피부 하부지방층이 피부의 외부표면으로 배출되는 현상이 발생하기 때문에 이와 같은 실험조건으로 설정하였다(Fig. 1) [10,11].

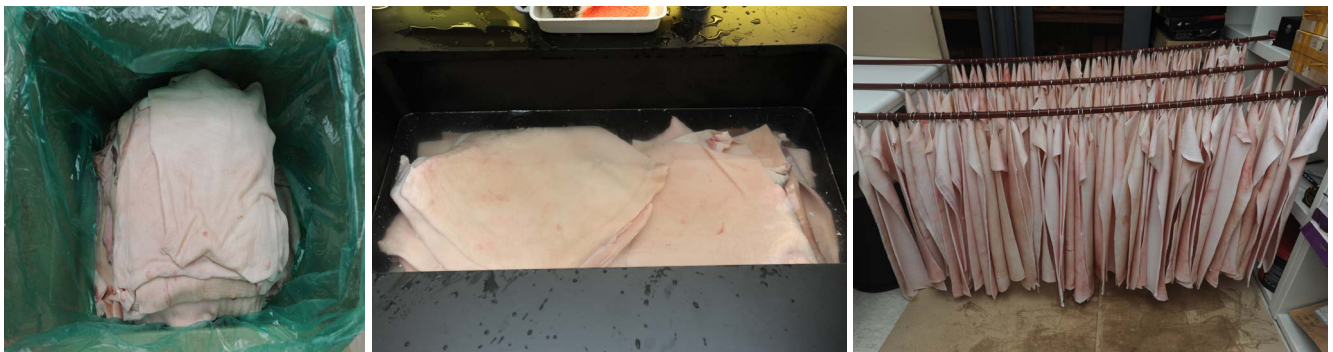
#### 1) 충격량 측정기의 사용

검체에 가해진 충격의 양을 측정하기 위하여, 부분적 기술을

**Table 1.** Development of the amino acid reagents used in the experiments

Reagent	First	1 Weeks	2 Weeks	3 Weeks	4 Weeks
Ninhydrin	+	+	+	+	+
DFO	+	+	+	+	+
1,2-IND-Zn	+	+	+	+	+

DFO, 1,8-dizafluoren-9-one; 1,2-IND-Zn, 1,2-indanedione-zinc.



**Fig. 1.** It is a figure that processes pig skin to make the same condition as human skin. It is processed in the following steps and shows the process of opening, washing, and drying.

참고하여 제작함으로 본 연구에 사용하였으며, 장치는 아래의 그림과 같이 구성되었다. Load cell과 그에 따른 digital indicator (max sampling rate: 4,000 times/sec), A/D convert (ADC sampling rate: 10,000 times/sec, ADC resolution: 0.81 mV [3 ton: 0.7 kgf], 교정: indicator와 출력 값 맞춤[0.1% 이내], data recording time: 최대 10초)로 구성되어있으며 load cell의 경우 외부 충격 시 힘 센서부의 변형이 최대가 되는 부분에 인장스트레인게이지 및 압축 스트레인게이지로 구성되는 휘스톤 브리지회로를 설치함으로써 휘스톤 브리지의 저항 변화에 따라 최대 충격력이 발생하는 시점과 그 값을 측정했다(Figs. 2, 3) [12].

## (2) 실험 방법

힘 측정 장치를 사용하여 각 행동을 30회 반복 실험한 결과, 타격자가 가한 외력의 평균 수치는 손의 경우 약 130 kg, 발은 약 380 kg으로 측정하여 본 실험에 적용하였다.

더미의 등에 돼지 피부를 입힌 후 실험자가 주먹과 신발을 사용하여 임의로 표시된 돼지 피부 부착지점을 타격하였다. 총 5번의 실험변화를 측정하기 위해, 4주의 실험과정 중 경시 변화의 측정기준점이 되는 최초 타격실험 1번을 포함한 총 5

번의 실험과정으로 주먹과 발을 각 75회씩 타격하였다. 현출 강도의 변화측정을 위하여 상온(온도 약 25°C, 습도 약 60%)에서 실험을 진행하였으며, 최초 충격에 의한 검체를 제외하고 실험초기에 생성된 120개의 검체를 시간별로 나누어 보관한 뒤, 1주마다 아미노산 반응시약을 사용하여 각 검체를 현출하였다. 시약을 적용하기 전, 내의 뒷면의 타격지점을 중심으로 신발의 경우 약 20×30 cm, 주먹의 경우 약 20×20 cm로 잘라 시약을 적용하였으며, 검체의 시약흡수량을 확인하기 위해 검체를 트레이에 넣어 검체가 충분히 적셔질 만한 양을 메스실린더를 통해 측정함으로, 검체에 적용할 시약의 양을 50 mL로 설정하여 실험에 적용하였다. 이에 준비된 스팀 온열다리미를 사용하여 습식열처리를 통해 육안으로 도구별 형태의 현출유무를 확인하였으며, 그에 따른 변화를 육안 및 가변광원을(Green 530/505 Flare Plus 2, ROFIN) 사용하여 관찰하였다.

## 1) 충격흔을 생성하는 도구(주먹)의 타격방법

인체 더미에 내의, 셔츠를 입힌 뒤, 더미의 등에 돼지피부를 입힌 후, 실험자가 주먹을 사용하여 임의로 표시된 돼지피부 부착지점을 타격하였다. 총 5번의 실험변화를 측정하기 위해

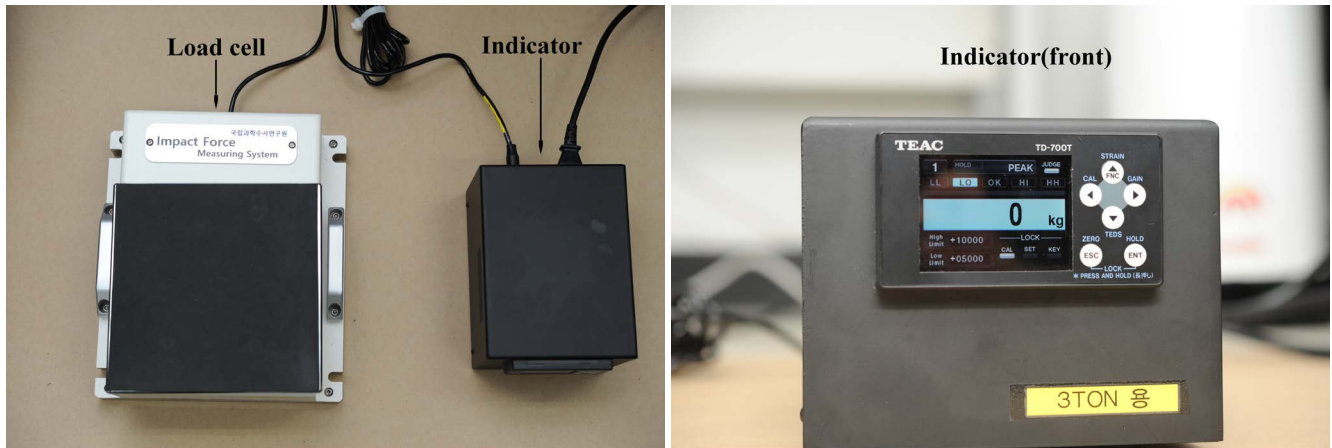


Fig. 2. It can be seen from the figure that we can see the appearance of the impulse measuring device used in the experiment and it consists of load cell and indicator.

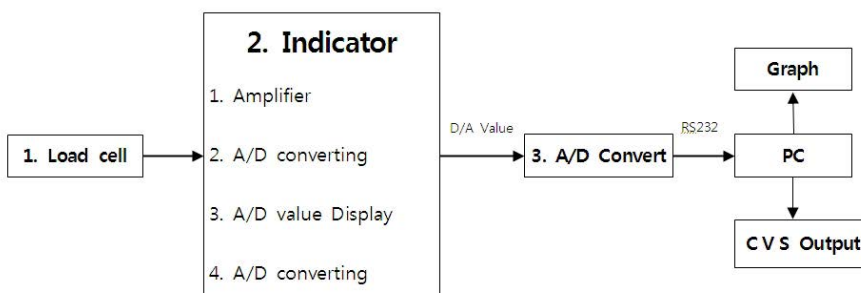


Fig. 3. A photograph showing the signal exchange sequence of the impact amount measuring device, showing the information processing process of the machine.

4주의 실험과정 중, 최초 타격실험을 포함한 5번의 실험과정으로 주먹을 사용하여 총 75회 타격하였다(Fig. 4).

## 2) 충격흔을 생성하는 도구(신발)의 타격방법

인체 더미에게 내의, 셔츠를 입힌 뒤, 더미의 등에 돼지피부를 입힌 후, 실험자가 신발을 사용하여 임의로 표시된 돼지 피부 부착지점을 최대의 힘으로 타격하였다. 총 5번의 실험변화를 측정하기 위해 4주의 실험과정 중, 최초 타격실험을 포함한 5번의 실험과정으로 신발을 사용하여 총 75회 타격하였다(Fig. 5).

## 3) 현출부위 확인 방법

검체 1개당 시약 50 mL를 적용하여 실험하였다. 이 후 스팀 온열다리미를 사용하여 각각의 검체에 약 180°C의 열처리를 하였고, ninhydrin의 경우 열처리 후 실내등에서 육안으로 현출형태를 관찰하였다. DFO와 1,2-IND-Zn는 암실에서 가변광원(Flare Plus 2 green 530 nm [DFO]/505 nm [1,2-IND-Zn])과 필터(590 nm 밴드패스필터)를 사용하여 광발광(photoluminescence) 모드로 촬영하였다.

# 결 과

## 1. 주먹을 사용한 타격 시, 충격흔 현출정도의 경시변화

### (1) 초기

주먹을 사용하여 최초 충격 후 검체의 형태 현출정도를 살펴보면, 주먹의 경우 모든 시약에서 중수지 관절(metacarpophalangeal joint)의 형태와 근위지간 관절(proximal interphalangeal joint)의 형태까지 뚜렷하게 현

출되었다. Ninhydrin의 경우 손가락뼈의 위치구조를 전체적으로 식별할 수 있었으며, DFO, 1,2-IND-Zn는 형광반응을 통해 주먹의 관절 모두와 손가락뼈 모두가 실험자의 주먹 특징과 일치함을 관찰할 수 있었다.

### (2) 1주차

주먹을 사용하여 타격 후, 7일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, ninhydrin을 사용하여 관찰 시, 육안으로 주먹의 각 해부학적인 형태들이 전체적인 윤곽의 모습으로 관찰 되었다. DFO, 1,2-IND-Zn의 경우 육안으로 확인하는 것보다 암실에서 형광반응으로 관찰함에 있어, 각 구조들의 형태가 뚜렷하게 식별되었다.

### (3) 2주차

주먹을 사용하여 타격 후, 14일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, ninhydrin을 사용하여 관찰 시, 육안으로 각 관절의 형태 및 구조학적 특징들이 뚜렷하게 관찰되었다. DFO, 1,2-IND-Zn의 결과 또한 형광반응에서 주먹의 전체적인 형태뿐만 아니라 실험자의 각 관절의 특징까지 뚜렷하게 관찰되었다.

### (4) 3주차

주먹을 사용하여 타격 후, 21일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, ninhydrin을 사용하여 관찰 시, 육안으로 각 관절의 형태 및 구조학적 특징들이 뚜렷하게 관찰되었다. DFO, 1,2-IND-Zn를 사용하여 현출한 결과, 형광반응으로 주먹의 해부학적 특징으로 주먹 각 관절의 형태가 뚜렷하게 관찰되었다.

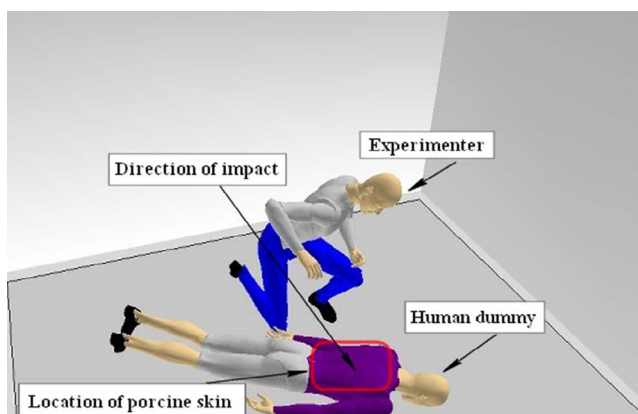


Fig. 4. Through the 3D program, the experimenter visualized the posture of striking the specimen using a fist. This picture show the direction of the external force applied to the specimen at location and posture.

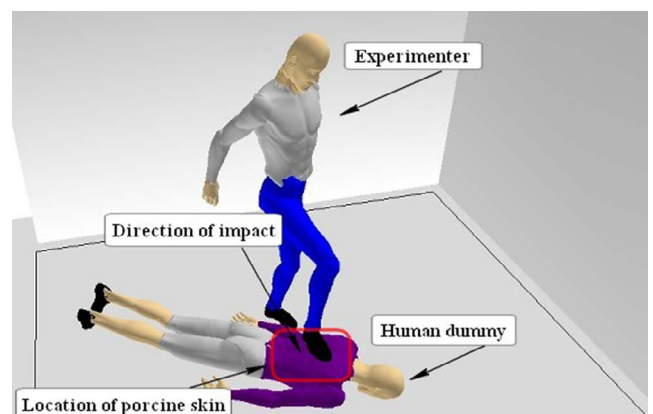


Fig. 5. Through the 3D program, the experimenter visualized the stance of striking the specimen using shoes. This picture show the direction of the external force applied to the specimen at location and posture.

(5) 4주차

주먹을 사용하여 타격 후, 28일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, ninhydrin의 경우 육안으로 각 관절 형태가 식별가능하였으며, DFO, 1,2-IND-Zn의 결과 또한 이전의 실험 결과들과 마찬가지로, 주먹의 중수지 관절과 근위지간 관절의 형태까지 뚜렷하게 현출되었다(Fig. 6).

2. 신발을 사용한 타격 시, 충격흔 현출정도의 경시변화

(1) 초기

신발을 사용하여 최초 충격 후, 검체의 형태 현출정도를 관찰한 결과 발의 형태를 포함한 신발전체의 부분적 특징까지 관찰 가능하였다. ninhydrin의 경우, 타격 시 외력이 집중된 뒤

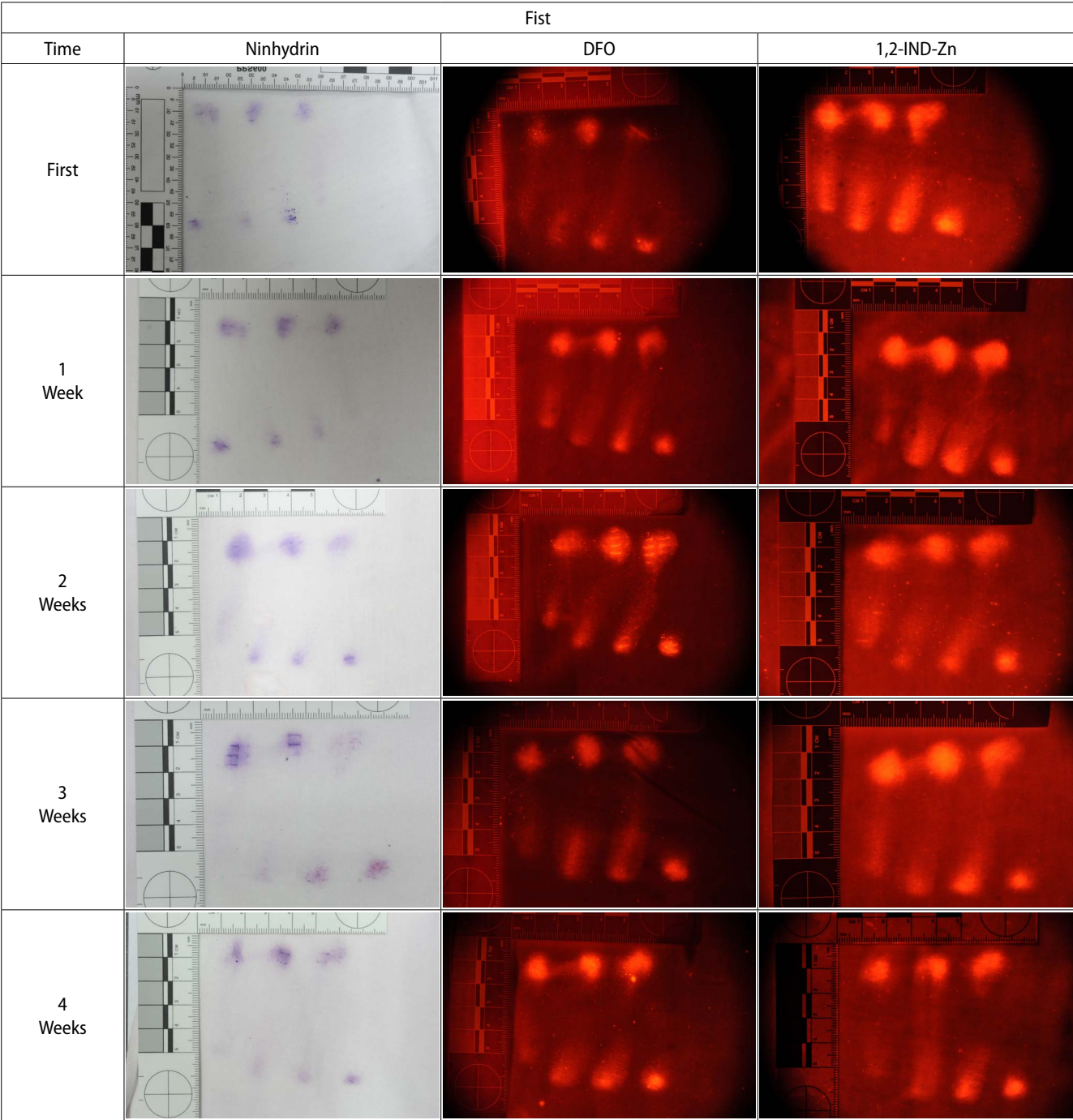
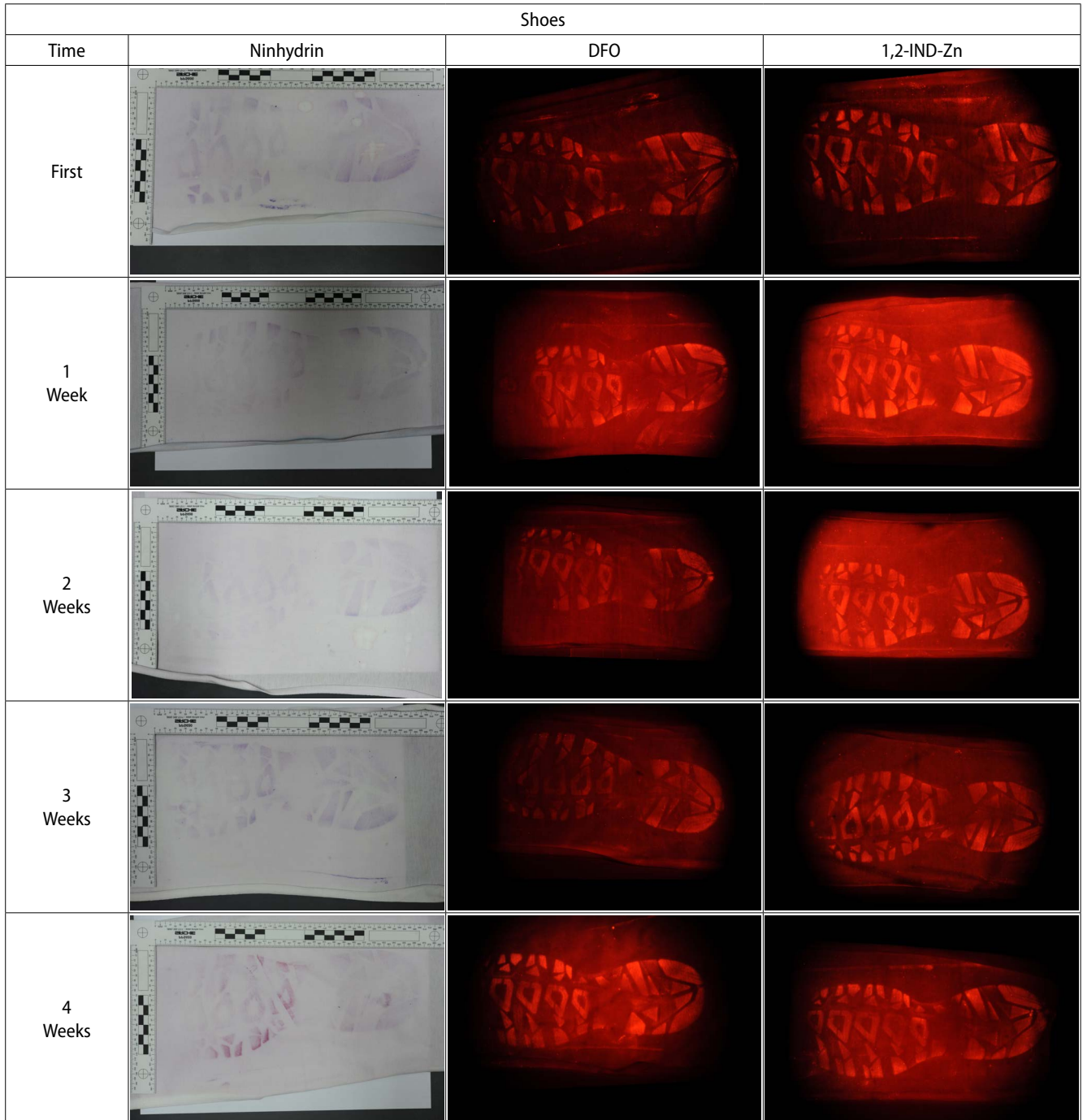


Fig. 6. It is the result of an experiment that was hit using fist. No changes were observed in the test results from the beginning to the fourth week. DFO, 1,8-dizafluoren-9-one; 1,2-IND-Zn, 1,2-indanedione-zinc.

꿈치(heel) 부분과 앞부분(toe) 부분의 현출정도가 뛰어났다. DFO, 1,2-IND-Zn를 사용하여 현출 시, 형광반응으로 신발 전체의 무늬와 전체적인 특징까지 관찰이 가능하였으며 신발 착용자의 습관에 따른 신발밑창의 형태학적 특징까지 모두 현출 가능하였다.

## (2) 1주차

신발을 사용하여 타격 후 7일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, ninhydrin의 경우 신발의 주된 특징적 구조들이 명확히 관찰되었다. DFO, 1,2-IND-Zn를 사용하여 현출한 결과, 형광반응으로 신발 밑창의 특징적인 식별요소까지 현출이 가능하였다. 최초 타격 시 현출된 검체와 비교했



**Fig. 7.** It is the result of an experiment that was hit using shoes. No changes were observed in the test results from the beginning to the fourth week. DFO, 1,8-dizafluoren-9-one; 1,2-IND-Zn, 1,2-indanedione-zinc.

을 때, 그 결과가 변하지 않았으며 신발의 형태가 명확히 현출되었다.

### (3) 2주차

신발을 사용하여 타격 후 14일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, 밀창의 각 특징들이 모두 뚜렷하게 관찰되었다. Ninhydrin의 경우 신발 전체의 형태가 식별 가능하였다. DFO, 1,2-IND-Zn를 사용하여 현출한 결과, 형광반응으로 더욱 뚜렷한 형태 관찰이 가능하였으며 밀창의 특징적 무늬 및 착용자의 습관적 특징들까지 모두 식별 가능하였다.

### (4) 3주차

신발을 사용하여 타격 후 21일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, 밀창의 각 특징들이 모두 뚜렷하게 관찰되었다. Ninhydrin의 경우 신발 밀창의 전체적인 형태가 식별 가능하였다. DFO, 1,2-IND-Zn를 사용하여 현출한 결과, 형광반응으로 신발의 무늬적 요소들의 형태가 관찰 가능하였으며, 착용자의 습관에 의한 마모흔적까지 추정 가능할 정도의 식별력을 보였다.

### (5) 4주차

신발을 사용하여 타격 후 14일이 지난 뒤에 검체의 형태현출 결과를 관찰한 결과, 밀창의 각 특징들이 모두 뚜렷하게 관찰되었다. Ninhydrin의 경우 신발 밀창의 전체적인 무늬를 포함한 세부적인 형태 또한 관찰이 가능하였으며, DFO, 1,2-IND-Zn를 사용하여 현출한 결과, 이전 실험들과 마찬가지로 모든 형태가 뛰어난 식별력을 보였다(Table 1, Figs.

7-9).

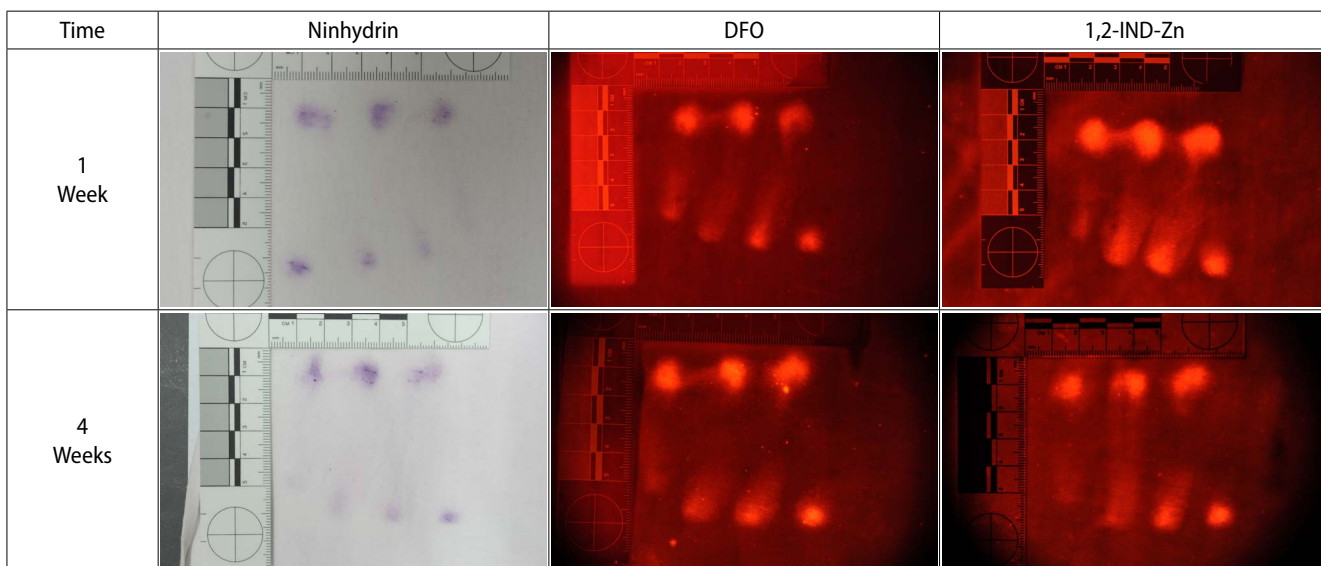
## 고 찰

현대기술의 발전에 따라 민감도와 특이성이 향상된 잠재지문 현출시약들은 지속적으로 개발되고 있으며 이러한 시약들은 많은 유형의 물리적, 화학적 방법으로 사용되고 있다. 지문이 묻어있는 표면의 유형에 따라 각각의 종류와 적용방법이 다른데, 이에 종이 등의 다공성표면에서 사용되는 대표적 시약인 ninhydrin, DFO, 1,2-IND-Zn를 사용함으로써 피부에서 배출된 땀 속 유기물질에 기인하여 의류에 잠재된 범행도구의 흔적을 화학적 처리를 통해 가시화시켰다.

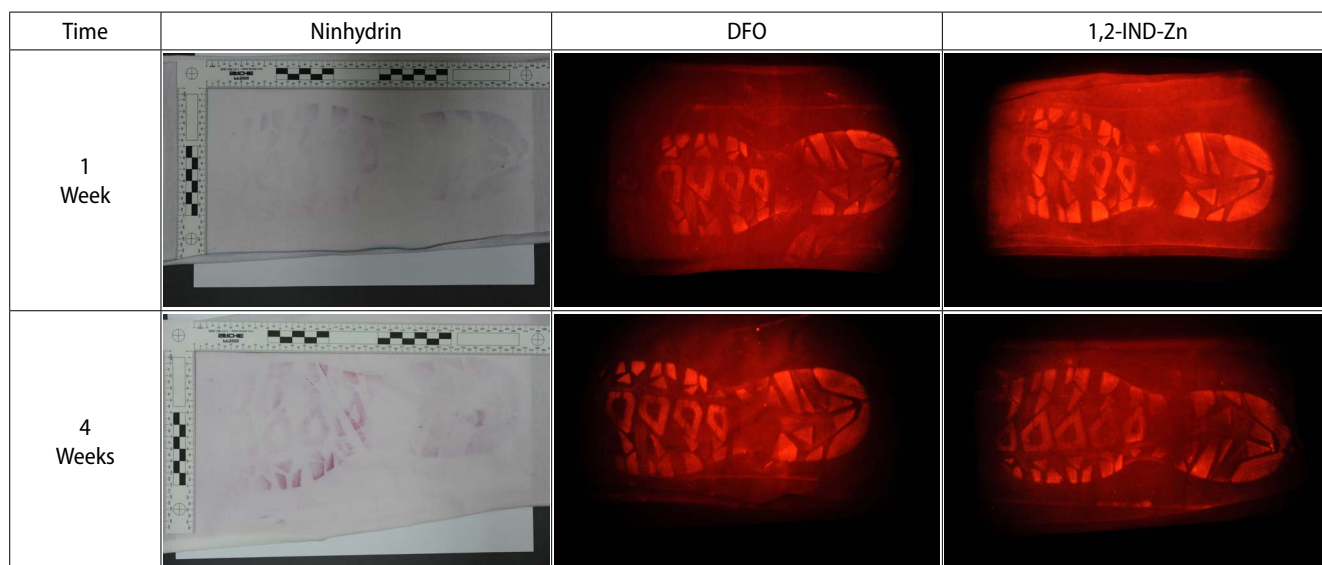
사건 발생 후 수사기관의 분석의뢰를 통해 증거물이 감정 기관으로 이송되는 시간을 2주에서 최장 4주까지의 기간이 걸린다는 것을 기준으로 하여 실험조건을 설정하였다.

온도 약 25°C, 습도는 약 60%의 조건에서 범행도구의 범주를 주먹과 발로 한정지어 설정한 후 실험을 진행하였고, 초기 타격 일을 포함하여 4주의 시간적 변인을 부여함으로써 검체에 총 5번의 화학처리를 하여 실험의 결과를 관찰하였다. Ninhydrin의 경우 백색등에서 육안으로 관찰 시, 외력이 집중된 각 부위의 돌출부 부분이 배경의 색과 확연한 차이가 나타났고, DFO, 1,2-IND-Zn의 경우 열처리 후 육안으로 식별 시 가시문양으로 분홍색의 희미한 반응을 보였으며, 암실에서 광원을 사용하여 관찰했을 때 강한 광발광 반응을 보였다.

본 연구의 실험 결과로써, 설정한 시간적 변화에 따른 검체의 현출정도의 변화는 관찰되지 않았다. 이는 증거물의 보관과 취급에 있어 적절한 온도와 습도가 제공된다면 증거물 채



**Fig. 8.** As a result of observing the results of the initial and later experiments of the fist, no change was observed. DFO, 1,8-dizafluoren-9-one; 1,2-IND-Zn, 1,2-indanedione-zinc.



**Fig. 9.** As a result of observing the results of the initial and later experiments of the shoe, no change was observed. DFO, 1,8-dizafluoren-9-one; 1,2-IND-Zn, 1,2-indanedione-zinc.

취 후 약 4주의 기간까지 검체의 아미노산 반응은 지속됨으로, 향후 실제 수사에 적용 시 활용이 가능할 것으로 나타났다.

타격을 가하는 도구별 힘의 차이와 같은 물리적 외력에 관한 기준의 부재가 존재하였으므로, 향후 지속된 연구에서 발전된 통제적변인 속에서 실험이 진행될 필요성이 있다.

앞으로의 연구에 있어서 다양한 환경을 포함하고 정량화된 수치를 사용하여 지속적인 연구가 이뤄진다면 보다 폭넓은 연구의 결과가 도출될 것이라 생각된다.

### Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### Acknowledgments

We appreciate all the experts for their help with the present study. This study was supported by the Scientific Investigation Appraisal Technique Research and Development Project (2016) of the National Forensic Service.

### References

1. Archer NE, Charles Y, Elliott JA, et al. Changes in the lipid composition of latent fingerprint residue with time after deposition on a surface. *Forensic Sci Int* 2005;154:224-39.
2. Public Prosecutors' Office. 2013 Analytical report on crimes. Seoul: Supreme Public Prosecutors' Office; 2014. p. 295-301.
3. Hwang JJ. Collection of biological evidences at the crime scene. *Korean J Leg Med* 2000;24:103-7.
4. Van Lierde V, Chery CC, Moens L, et al. Capillary electrophoresis hyphenated to inductively coupled plasma-sector field-mass spectrometry for the detection of chromium species after incubation of chromium in simulated sweat. *Electrophoresis* 2005;26:1703-11.
5. Choi MJ, Sun YS, Kim CS, et al. Study of sweat content and latent fingerprint developing. *Anal Sci Technol* 2007;20:147-54.
6. Croxton RS, Baron MG, Butler D, et al. Variation in amino acid and lipid composition of latent fingerprints. *Forensic Sci Int* 2010;199:93-102.
7. Hamer P, Price C. Case Report: a transfer from skin to clothing by kicking: the detection and enhancement of shoeprints. *J Forensic Sci Soc* 1993;33:169-72.
8. Hong S, Kim C. Use of squid as an alternative to human skin for studying the development of hit marks on clothes. *J Forensic Res* 2016;7:351.
9. Lim HS, Song YE, Lee EB, et al. Study on the development of hit marks using a reaction reagent of amino acid. *Korean J Forensic Sci* 2016;17:82-6.
10. Kim HS. The effect of cold therapy application on pain and skin surface temperature upon injecting an intravenous needle (based on blood donors) [dissertation]. Incheon: Graduate School of Nursing, Gachon University of Medicine and Science; 2010.
11. Kim WJ, Cheong JS. Discovering latent fingerprints from skin of carcass using pig skin. *Korean Police Stud Assoc* 2012;11:93-122.
12. Jeong IS. Development of an impact force measurement device with an attached strain gauge. *Korean J Sport Biomech* 2012;22:243-51.