

유류된 잠재지문의 지방산조성에 관한 연구

최미정 · 하재호¹ · 박성우[★]

충남대학교 과학수사학과, ¹한국식품연구원
(2008. 3. 17. 접수; 2008. 5. 20. 승인)

Study on fatty acids composition by latent fingerprint deposition

Mi Jung Choi, Jaeho Ha¹ and Sung Woo Park[★]

Dept. of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

¹Korea Food Research Institute, Gyeonggi, 463-746, Korea

(Received March 17, 2008; Accepted May 20, 2008)

요 약: 사건현장에 잔류하는 잠재지문의 효과적인 탐색 및 감식을 위한 자료를 얻고자 비다공성 증거 물에 잔류된 잠재지문의 지방산 조성분석을 실시하고 7개월간의 지문유류에 따른 조성 변화에 대하여 알아보고자 하였다. 지문시료는 한국인 29-50 세 남성 8인과 여성(36 세) 1명으로부터 제공받았다. 모든 지문에서는 lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0), palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), elaidic acid (C18:1n9t), oleic acid (C18:1n9c), linoleic acid (C18:2n6c), arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9)와 docosadienoic acid (C22:2)의 11종의 지방산이 검출됨을 확인하였고, palmitic acid (35.45-48.37%), oleic acid (14.84-28.49%), stearic acid (9.71-24.96%)와 linoleic acid (7.68-18.85%)가 확인된 지방산조성의 75%이상을 차지하여 주요 구성성분임을 알 수 있었다. 또한 7개월간 온도 20-25°C, 습도 40-50%의 암실환경에서의 장기간 유류에 따라 총지방산의 함량이 12-25% 감소하였으며, 이는 elaidic acid (C18:1n9t), arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9), docosadienoic acid (C22:2)의 장쇄지방산들의 소실과 단쇄지방산인 myristic acid (C14:0), myristoleic acid (C14:1), pentadecanoic acid (C15:0)의 생성에 따른 결과임을 확인하였다.

Abstract: In order to investigate the information for effective detection and developing of latent fingerprints, we identified fatty acids composition of latent fingerprints on non-porous evidence surface and the chemical changes of latent fingerprint residue after print deposition during 7 months. Fingerprints from eight Korean male donors (aged 29-50 years) and one female donor (aged 36 years) were collected. All fingerprints were found to contain lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0), palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), elaidic acid (C18:1n9t), oleic acid (C18:1n9c), linoleic acid (C18:2n6c), arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9) and docosadienoic acid (C22:2) and primarily palmitic acid (35.45-48.37%), oleic acid (14.84-28.49%), stearic acid (9.71-24.96%) and linoleic acid (7.68-18.8%) occupied 75% of total fatty acids. When the fingerprints were deposited at dark room for 7 months, total fatty acids components decreased about 12-25%. It can be explained that significant degradation of long-chain fatty acids such as elaidic acid (C18:1n9t),

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-821-5240 Fax : +82-(0)42-822-5236

E-mail : swpark05@cnu.ac.kr

arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9), and docosadienoic acid (C22:2) resulted in the generation of myristic acid (C14:0), myristoleic acid (C14:1) and pentadecanoic acid (C15:0)

Key words: latent fingerprint deposition, fatty acids

1. 서 론

범죄현장에 유류된 지문의 조성은 온도, 습도, 광원의 노출과 같은 다양한 환경적인 요인들에 영향을 받는 것으로 알려져 있어서¹ 범죄현장의 환경적 요인을 고려한 지문구성성분의 화학적 변화에 따른 이해와 잠재지문의 효과적 현출을 위한 감식방법의 적용성의 연구는 필요하다.

지문성분과의 발색반응을 기초로 하는 현출방법으로는 아미노산과 반응하여 발색을 띄는 ninhydrin과 이에 형광성을 부여한 1,8-diazafluoren-9-one (DFO)와 이들에 Zn, Cu, Cd과의 착화합물 형성을 유도하여 그 감도나 발색의 향상을 이루고 있으며,^{2,4} 또한 지문성분 중 지질 ketone과의 α -thiocyanation의 반응을 기본으로 하여 발색을 띄는 Iodine fuming법이 주로 사용되고 있다.⁵ 최근에는 인종, 연령, 성별, 피부부위와 식이습관에 따른 땀 성분의 분석으로 개체별 구분이 가능하고, 사건현장에 유류된 땀의 조성분석을 통해 중금속이나 이온의 특이조성을 파악할 수 있어 니켈이나 수은 등의 중금속에 장기적인 환경노출이 동반되는 직업의 여부 또는 Cl⁻의 과도한 배출이 유도되는 유전적인 질병이 있는지 등을 판별해내기도 한다.^{6,7} 땀과 지문의 성분분석으로 얻어지는 정보는 범죄수사에 좋은 단서가 되며, 또한 사건현장에 잔류하는 잠재지문의 효과적인 탐색 및 현출제 개발을 위한 자료로의 활용성이 넓다.⁸⁻¹⁰

땀의 성분분석으로 아미노산, 음이온, 양이온, 미량원소들의 개체별 조성 및 분포상태를 파악하여 이를 바탕으로 지문의 특정성분을 감지해 낼 수 있는 현출제의 개발과 분광학을 이용한 지문영상의 획득이 이루어지고 있다. 그 예로 잠재지문에 x-ray를 조사하여

Cl⁻, Na⁺, K⁺ 등의 이온들의 방출에너지를 이미지화하여 지문영상을 획득하는 micro X-ray fluorescence (MXRF)을 이용한 방법,¹¹ ATR-FT-IR spectroscopic imaging system을 응용하여 전사된 지문성분의 투과율을 분석하여 지문성분별 영상을 획득하여 개인식별에 응용하는 방법도 제시되고 있다.¹² 본 연구실에서는 한국인이 땀으로 분비하는 아미노산, 음이온, 양이온, 중금속¹³ 및 지방산의 조성과 분포를 확인한 바 있다. 지방성분으로는 주로 palmitic acid인 C16:0가 22-45%로 가장 높은 조성비를 palmitoleic acid인 C16:1가 0-30%, oleic acid인 C18:1n9c가 8-25%, tetradecanoic acid인 C14:0가 8-10%, stearic acid인 C18:0이 3-11%, lignoceric acid/ eicosapentaenoic acid인 C24:0/C20:5n3가 1.8-5.4%, linoleic acid인 C18:2n6c가 1.4-4.8%, linolelaidic acid인 C18:2n6t가 1.0-3.3%로 구성되어 있음을 확인하였다.¹⁴

본 연구에서는 잠재지문의 지방산 조성 분포를 알아보고 또한 오랜 기간 유류된 지문에서의 지방산 조성 그 수준의 변화를 확인하여 사건현장 증거물에서의 현출법 개선에 자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 지문시료

지문시료는 8명의 한국인 남성제공자와 1명의 여성 제공자로부터 수집하였다. 지문제공자로부터 땀분비에 영향을 미치는 요인이라 예상되는 연령, 인종, 식습관, 질병의 유무등에 관한 정보를 수집하여 Table 1에 요약하였다.

지문제공자들은 일시에 모여 지문유류에 대한 교육을 받도록 하여 외부적인 요인에 의한 실험적 오차를

Table 1. Identification of sweat donors

Donor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Age	29	29	29	32	32	50	50	50	36 (female)
Occupation	Student	Student	Student	Student	Student	Public servant	Public servant	Professor	Student
Smoking	no	yes	yes	no	yes	no	no	no	no

감소시키도록 노력하였다. 지문유류에 관한 정보는 다음과 같다.

1) 먼저 손을 isopropanol로 세척하고 티슈(professional wipe, Kimberly-Clark)로 닦아 물기를 제거한 후 증류수로 다시 한번 세정하였다.

2) 에탄올로 손 전체를 문질러 세정하고 실온에서 건조하였다.

3) 온도 25°C, 습도 50%의 조건에서 30분 후 glass slide(75×25×1 mm)에 오른손 엄지의 전체 지문이 나타날 수 있게 충분히 압착하여 유류시켰다.

본 실험은 일상생활에 자주 사용되는 지용성성분인 핸드크림이나 비누와 얼굴이나 머리카락 등을 만지는 등의 신체접촉으로 인한 오염원을 배제한 자연적 지문성분 만으로의 분석을 목표로 하였다. 즉시지문은 유류지문 제공자 2인을 포함한 9인의 오른쪽 엄지 지문을 유리 슬라이드에 유류시키고, 유류지 7 개월간 (210 days) 광원이 없는 암실환경에서 보관하였으며, 온도와 습도는 20-25°C, 40-50%로 유지시켰다.

2.2. 시약 및 지방산 표준물질

지문 중 지질추출에 사용된 용매와 GC 분석 용매인 dichloromethane, BF₃-methanol(trifluoroboran-methanol), isooctane과 지방산 표준물질인 fatty acids methylester (FAME) 37종은 Supelco사로부터 구입하여 사용하였으며, 그 외의 일반 시약은 특급 이상의 것을 사용하였다.

지방산 methylester(37종) 혼합 표준물 0.1 g을 isooctane에 용해시켜 100 mg/mL가 되도록 제조하여 표준곡선을 얻었으며, 지방산 methylester 표준품은 다음과 같다. C4:0 (butyric acid), C6:0 (caproic acid), C8:0 (caprylic acid), C10:0 (capric acid), C11:0 (undecanoic acid), C12:0 (lauric acid), C13:0 (tridecanoic acid), C14:0(myristic acid), C15:0 (pentadecanoic acid), C16:0 (palmitic acid), C17:0 (heptadecanoic acid), C18:0 (stearic

acid), C20:0 (arachidic acid), C21:0 (heneicosanoic acid), C22:0 (behenic acid), C23:0 (tricosanoic acid), C24:0 (lignoceric acid)의 포화지방산 형태와 C14:1 (myristoleic acid), C15:1 (cis-10-pentadecanoic acid), C16:1 (palmitoleic acid), C17:1 (cis-10-Heptadecanoic acid), C18:1n9t(elaidic acid), C18:1n9c (oleic acid), C20:1 (eicosenoic acid), C22:1n9 (erucic acid), C24:1 (nervonic acid)의 단일불포화지방산 형태와 C18:2n6t (linolelaidic acid), C18:2n6c (linoleic acid), C18:3n6 (γ-linolenic acid), C18:3n3 (linolenic acid), C20:2 (eicosadienoic acid), C20:3n6 (ecosatrienoic acid), C20:3n3 (ecosatrienoic acid), C20:4n6 (arachidonic acid), C22:2 (docosadienoic acid), C20:5n3 (eicosapentaenoic acid), C22:6n3 (docosahexaenoic acid)의 polyunsaturated 형태를 사용하였다.

2.3. 지문에서의 지방산 추출과 전처리

탈지면봉에 dichloromethan을 적셔 glass slide위의 지문중 지용성 성분을 문질러 닦아내고, 이를 glass tube(3.0 cm×10 cm, 20 mL)로 옮겨 농축하여 지방산 분석시료로 사용하였다. 농축된 지방의 가수분해를 위하여 0.5N methanol-NaOH 1.5 mL를 첨가하고 질소를 주입한 즉시 봉합한 채 혼합하였다. 100°C의 heating block에서 5분간 가온한 후 30-40°C로 냉각시켰다. 지방의 유도체화를 위해 14% BF₃-methanol 용액 2 mL를 가하고 질소를 주입 후 봉합한 채 혼합하고 100°C에서 30분간 가온하였다. 30-40°C로 냉각하여 isooctane층을 질소로 농축시켜 분석하였다.

2.4. 분석조건

GC-FID는 Agilent사의 제품으로 컬럼은 SP-2560 (100 m×0.25 mm×0.2 μm), 주입부 온도는 250°C, 컬럼 오븐온도는 2분 동안 140°C, 이후 분당 3°C로 승온하여 240°C에서 20분 유지시켰으며, 운반기체 및 유량은 He으로 2.0 mL/min로 일정하게 유지하였다.

Table 2. Analytical conditions of GC/FID for determination of fatty acids in sweat

Parameters		Conditions
GC	Instrument	Agilent 6890
	Column	SP-2560 (100 m × 0.25 mm × 0.2 μm)
	Injection mode	split ratio 10:1
	Oven Temp.	140°C (2 min)-3°C/min-240°C (20 min)
	Carrier gas & Flow rate	He, 2.0 mL/min (constant flow)
Detector	Instrument	Flame ionization detector(FID)
	Inlet and Detector Temp.	250°C, 280°C

검출기는 flame ionization detector (FID)로 280°C에서 검출하였다. 본 연구에서 사용한 GC-FID 분석 조건은 Table 2와 같다.

3. 결 과

본 실험 조건에서 분석한 37종 methylester 형태의 표준지방산의 머무름 시간(retention time)을 정리하여 Table 3에 실었다. Fig. 1은 GC-FID를 이용한 지방산 표준물질과 지문의 지방산을 검출한 대표적인 GC 크로마토그램이다.

3.1. 즉시지문에서 확인된 지방산

즉시지문에서 검출된 지방산으로는 lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0), palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), elaidic acid (C18:1n9t), oleic acid (C18:1n9c), linoleic acid (C18:2n6c), arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9) 와 docosadienoic acid (C22:2)의 11종의 지방산이 검출됨을 확인하였고, 주로 포화지방산인 palmitic acid (C16:0)가 35.45~48.37%로 가장 함량이 높았으며 stearic acid인 C18:0와 불포화지방산인 oleic acid (C18:1n9c)가 각각 9.71~24.96%와 14.84~28.49%의 수준으로 검출되고 linoleic acid(C18:2n6c)가 7.68~18.85%의 수준으로 검출되어 이들 4종은 확인된 지방산의

Table 3. Retention time(RT) of standard fatty acids

Fatty acids	RT(s)	Fatty acids	RT(s)
C4:0	564.68	C18:2n6t	1392.82
C6:0	590.36	C18:2n6c	1431.36
C8:0	634.76	C20:0	1465.54
C10:0	708.28	C18:3n6	1494.04
C11:0	758.34	C20:1	1518.86
C12:0	817.80	C18:3n3	1528.78
C13:0	885.26	C21:0	1551.44
C14:0	960.52	C20:2	1605.32
C14:1	1030.02	C22:0	1645.52
C15:0	1040.02	C20:3n6	1673.02
C15:1	1113.18	C22:1n9	1702.04
C16:0	1124.90	C20:3n3	1711.46
C16:1	1186.64	C20:4n6	1728.46
C17:0	1208.36	C23:0	1740.34
C17:1	1271.78	C22:2	1798.48
C18:0	1295.28	C24:0/C20:5n3	1852.80
C18:1n9t	1332.64	C24:1	1914.40
C18:1n9c	1350.78	C22:6n3	2188.48

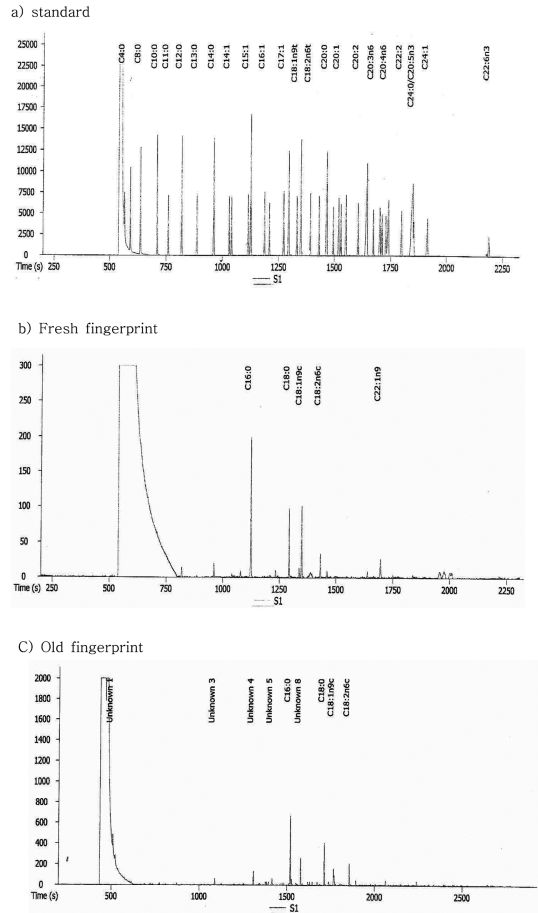


Fig. 1. GC-FID chromatogram of fatty acid standards (a), fresh(b) and old fingerprint(c)

75% 이상의 조성비율을 차지하여 주요 구성성분임을 확인하였다(Fig. 2).

주요 지방산의 함량의 순위에 있어서는 다소 변화가 있어 2, 4, 8, 9 제공자의 경우 stearic acid 보다 oleic acid가 5-9% 높게 나타나기도 하고, 4, 6, 7, 8, 9 번의 제공자의 지문에서는 C14:0의 myristic acid가 3.33~8.61%가 검출되었으며, 1, 2, 4, 7번 시료 4명의 제공자의 경우 C22:1n9 지방산인 erucic acid가 4.4~13.17% 수준으로 검출되기도 하는 등 개인별 차이를 나타내었다. 특히 4번 시료 제공자의 경우 palmitic acid 4.61-12.92%, stearic acid 2.73-15.25%, oleic acid 6.61-13.65%의 수준으로 총지방산의 함량이 다른 제공자에 비해 낮은 반면 linoleic acid(C18:2n6c)는 다른 제공자에 비해 2배가량 높은 비율로 구성되어 있음을 알 수 있었으며, 다른 제공자에게서 검출되지 않

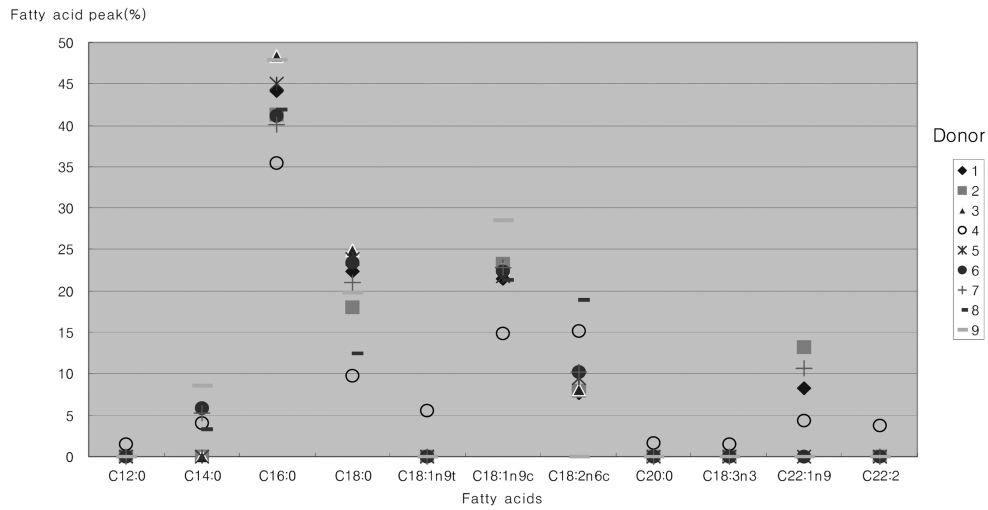


Fig. 2. Fatty acid composition of fresh fingerprint.

Table 4. The identified fatty acids composition of fresh fingerprint by GC/FID

Fatty acids/ Donor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	peak area range (%)
C12:0				1.43						0.00- 1.43
C14:0				3.99		5.86	5.32	3.33	8.61	0.00- 8.61
C14:1										
C15:0										
C16:0	44.15	41.32	48.37	35.45	45.04	41.14	40.06	41.83	47.96	35.45-48.37
C18:0	22.30	18.04	24.96	9.71	23.81	23.35	20.98	12.44	19.80	9.71-24.96
C18:1n9t				5.53						0.00- 5.53
C18:1n9c	21.45	23.32	22.63	14.84	21.7	22.32	22.89	21.25	28.49	14.84-28.49
C18:2n6c	7.68	7.92	8.08	15.18	9.47	10.28	10.18	18.85		7.68-18.85
C20:0				1.66						0.00- 1.66
C20:5n3										
C18:3n3				1.49						0.00- 1.49
C22:1n9	8.26	13.17		4.40			10.73			4.40-13.17
C22:2				3.78						0.00- 3.78
SAFA	66.45 (64%)	59.36 (57%)	71.0 (70%)	52.24 (53.6%)	68.85 (68.3%)	70.35 (68.3%)	66.36 (60.2%)	57.6 (56.6%)	76.37 (72.8%)	52.24- 76.37
MUFA	29.71 (28.6%)	36.49 (35.2%)	22.63 (22.2%)	24.77 (25.4%)	21.70 (21.7%)	22.32 (21.7%)	33.62 (30.5%)	25.25 (24.8%)	28.49 (27.2%)	21.70- 36.49
PUFA	7.68 (7.4%)	7.92 (7.6%)	8.08 (7.9%)	20.45 (21.0%)	9.47 (9.5%)	10.28 (10%)	10.18 (9.2%)	18.85 (18.5%)	0	0.00- 20.45
SAFA/USFA	66/38	59/45	71/31	52/46	69/31	70/32	66/44	58/44	76/29	
Total(%)	103.84	103.77	101.71	97.46	100	102.95	110.16	101.7	104.86	97.46-110.16

SAFA, saturated fatty acids; MUFA, monounsaturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids.

은 lauric acid (C12:0)가 1.43%, C18:1n9t인 elaidic acid가 5.53%를 차지하고 C20:0인 arachidic acid 1.66%, gamma-linolenic acid인 C18:3n3가 1.49%, C22:2인 docosadienoic acid가 3.78% 검출되기도 하여

개인별 특이한 조성을 확인할 수 있었다(Table 4).

연령별로 구분하여 보았을 때 20~30대 제공자인 1, 2, 3, 4, 5번 시료의 경우에는 C22:1n9의 erucic acid가 검출되는 반면 30대 후반~50대 연령 시료 6, 7, 8, 9 (female)의 경우에는 C14:0 myristic acid가 검출되는 경향을 보여주었으며, linoleic acid(C18:2n6c)의 경우 여성제공자에게서는 검출되지 않았다.

검출된 지방산에서 포화/불포화지방산의 비율에 있어서는 포화지방산이 57.6-76.4%, 단일불포화지방산이 21.7-36.5%, 다가 불포화지방산이 0-20.5%의 조성을 확인하였다. 연령으로 구분하여 보았을 때 50대 연령의 시료에서 고도불포화지방산이 차지하는 비율이 20-30대 연령보다 1.5-2배 가량 증가하였고, 특히 4번과 8번 시료의 경우 다른 제공자에 비해 2-3배 증가된 함량을 확인하였으며, 여성제공자의 경우 고도불포화지방산은 전혀 검출되지 않았다.

3.2. 지문유류에 따른 지방산 조성의 변화

7개월간 유류된 지문의 지방산 조성결과는 Table 5, Fig. 3에 나타내었다.

지문제공자 1번, 4번의 유류지문을 분석한 결과 즉시지문에 비해 유류된 지문의 총지방산 함량이 각각

25%, 12%로 감소된 것을 확인할 수 있었으며, 1, 4번 시료 모두에서 포화지방산의 2-4%의 감소와 불포화지방산의 10-20%의 감소를 확인하였다(Fig. 4).

3.2.1. 제공자 1

1번 제공자의 즉시지문에서 44.15%를 차지하던 palmitic acid (C16:0)가 27.95%로 차지하면서 16.2%가 감소되었고, stearic acid (C18:0)는 22.3%에서 30.7%로 8.4%가 증가되었다. C18:1n9c인 oleic acid는 21.44%에서 5.92%로 15.5%가 감소되었고, linoleic acid인 C18:2n6c의 경우 7.68%에서 8.52%로 약간 증가를 보여주었으며, erucic acid인 C22:1n9는 즉시지문에서는 8.26%를 차지하며 검출되었으나 7개월간 방치로 검출되지 않았다. 반면 즉시지문에서는 검출되지 않았던 포화지방산 C14:0 myristic acid 3.52%, 불포화지방산인 myristoleic acid (C14:1)가 2.01%로 검출되는 것을 확인하였다.

3.2.2. 제공자 4

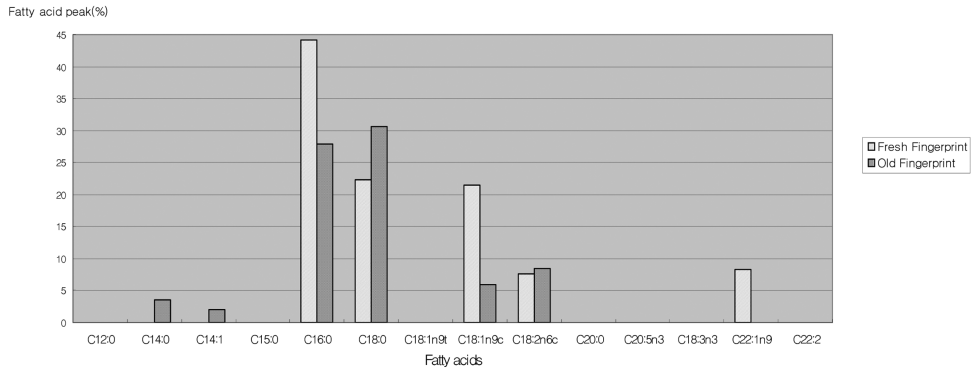
4번 시료의 경우 1번제공자의 시료가 지문 유류 후 시간의 경과에 따른 지방산별 증가와 감소가 뚜렷한 반면 4번 시료 제공자의 경우 palmitic acid (C16:0)의

Table 5. The identified fatty acids composition of fresh and old fingerprint

Fatty acids	Donor 1		Donor 4	
	Fresh	Old	Fresh	Old
C12:0			1.43	
C14:0		3.52	3.99	3.56
C14:1		2.01		1.86
C15:0				2.07
C16:0	44.15	27.95	35.45	35.37
C18:0	22.30	30.70	9.71	8.70
C18:1n9t			5.53	
C18:1n9c	21.44	5.92	14.84	23.38
C18:2n6c	7.68	8.52	15.18	6.34
C20:0			1.66	
C20:5n3				3.78
C18:3n3			1.49	
C22:1n9	8.26		4.40	
C22:2			3.78	
SAFA	66.45(64.0%)	62.17(79.1%)	52.24(53.6%)	49.70(58.4%)
MUFA	29.70(28.6%)	7.93(10.1%)	24.77(25.4%)	25.24(30.0%)
PUFA	7.68(7.4%)	8.52(10.8%)	20.45(21.0%)	10.12(11.9%)
SAFA/USFA	66/37	62/17	52/45	50/35
Total(%)	103.84	78.62	97.46	85.06

SAFA, saturated fatty acids; MUFA, monounsaturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids.

Donor 1



Donor 4

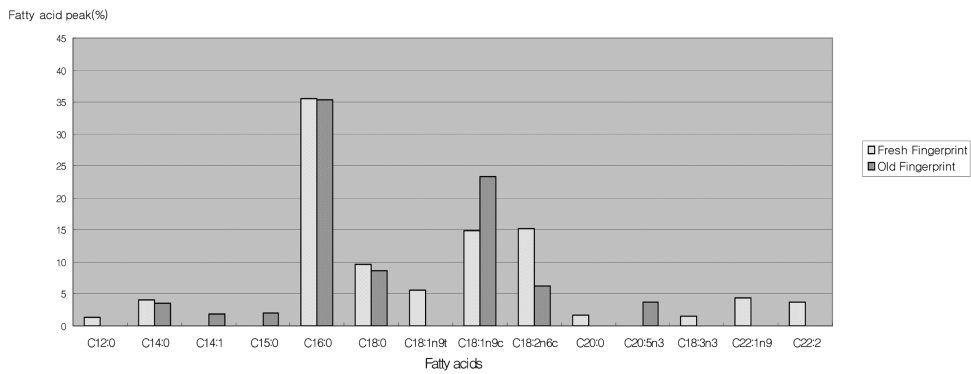


Fig. 3. Changes in fatty acid composition by fingerprint deposition (fresh, old fingerprint-7 months after printed).

Fatty acid ratio(%)

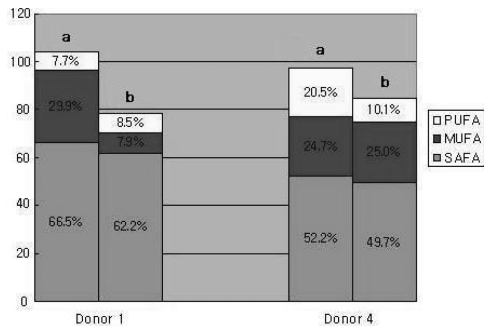


Fig. 4. Change of fatty acid ratio(%) by fingerprint deposition. a) fresh fingerprint, b) 7 months after fingerprint deposition SAFA, saturated fatty acids; MUFA, monounsaturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids.

경우 즉시지문과 유류지문의 조성비에는 35.37%, 35.45%로 차이가 없고, stearic acid (C18:0)의 경우 1 번 시료 제공자에 비해 그 함량%가 3배가량 적고 시

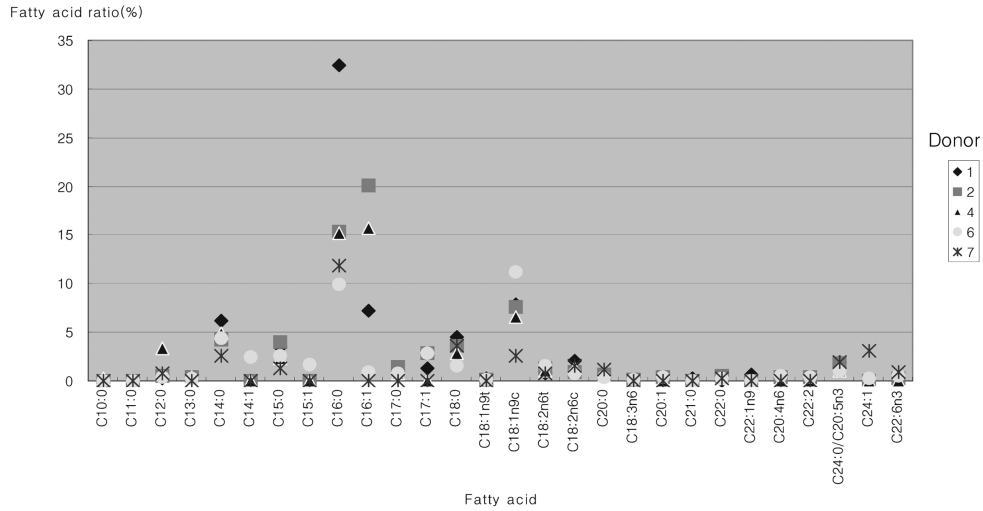
간경과에 따른 함량의 변화도 볼 수 없었다. Oleic acid (C18:1n9c)는 시간의 경과에 따라 8.5% 증가하였으나 linoleic acid (C18:2n6c)는 8.8%감소하는 경향을 보였다. 또한 fresh지문에서는 검출되지 않았던 C14:1 (myristoleic acid) 1.86%와 pentadecanoic acid (C15:0)가 검출되었으며, C20:5n3인 eicosapentaenoic acid가 3.78% 검출되었다.

4. 고 찰

4.1. 땀과 지문에서 확인된 지방산

비다공성 재질에 존재하는 잠재지문의 지방산 조성 과 유류에 따른 변화를 확인하였을 때 즉시지문에서 는 주로 palmitic acid (C16:0, 35.45-48.37%), stearic acid (C18:0, 9.71-24.96%), oleic acid (C18:1n9c, 14.84-28.49%), linoleic acid (C18:2n6c, 7.68-18.85%) 그리고 erucic acid (C22:1n9, 4.4-13.17%)와 myristic acid (C14:0, 0-8.61%)가 검출됨을 확인할 수 있었다. 이리

a) sweat



b) fingerprint

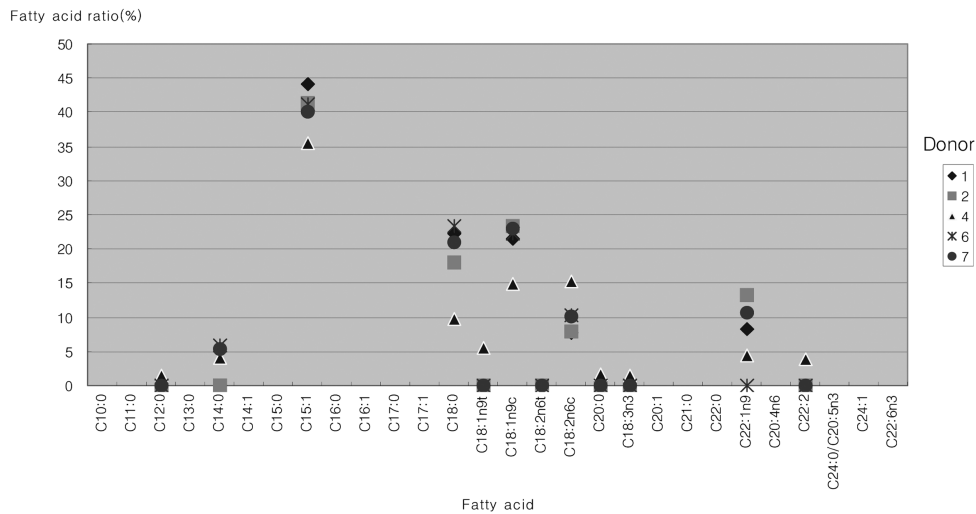


Fig. 5. Composition of identified fatty acid on sweat(a) and fingerprint(b).

한 결과는 본 연구진의 땀 중 지방산의 개체별 조성 분석의 실험에서 주로 palmitic acid인 C16:0이 22-45%, palmitoleic acid인 C16:1가 0-30%, oleic acid인 C18:1n9c가 8-25%, Myristic acid인 C14:0가 8-10%를 차지하고 stearic acid인 C18:0이 3-11%, lignoceric acid, eicosapentaenoic acid인 C24:0/C20:5n3이 1.8-5.4%, linoleic acid인 C18:2n6c가 1.4-4.8%, linolelaidic acid인 C18:2n6t가 1.0-3.3%의 조성비를 차지하고 C10:0 (capric acid)를 비롯하여 C22:6n3 (docosahexaenoic acid)등의 다양한 지방산의 조성을 확인한 실험¹⁴과 비

교하였을 때 지문에서 검출된 지방산의 조성은 땀 중 지방산의 주요조성과 비례한 결과를 나타내고 있으나 땀에서 검출된 palmitoleic acid (C16:1)는 지문에서는 검출되지 않았으며, 특히 erucic acid인 C22:1n9가 땀에 비해 지문에서의 검출량이 높음을 알 수 있었다. 광원의 노출 및 시간경과에 따른 지문유류시의 지방산 조성의 변화에 관한 실험에서 palmitoleic acid인 C16:1가 다량검출되는 것으로 보고하고 있으나,¹ 본 실험의 한국인 제공자 9인 모두에서 검출되지 않아 제공자의 인종차이에 따른 지방산 분비에 대한 실

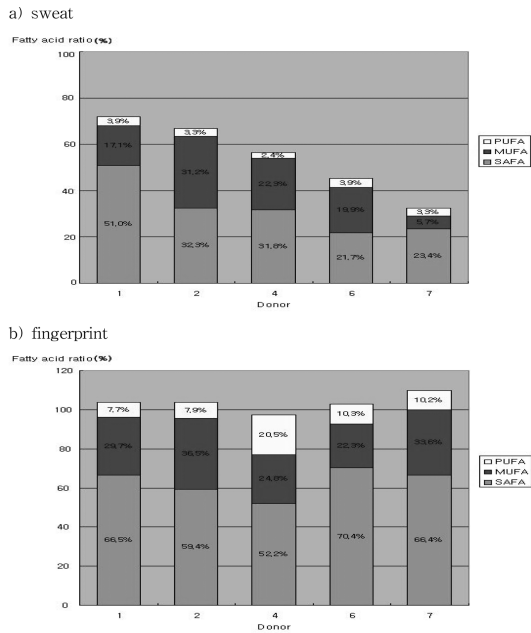


Fig. 6. Constitution of identified fatty acids on sweat(a) and fingerprint(b). SAFA, saturated fatty acids; MUFA, monounsaturated fatty acids; PUFA, polyunsaturated fatty acids.

함이 필요할 것으로 생각된다(Fig. 5).¹⁴

또한 땀에서의 총지방산 함량은 20-30대 후반연령인 제공자 1, 2, 4에 비해 50대 연령제공자인 6, 7에서 27-49% 감소되고, 포화지방산과 단일불포화지방산의 10-30%의 감소가 주원인임을 알 수 있었으며, 개인에 따라 포화/불포화도의 차이가 확연히 구분되는 경향을 확인한 바 있다. 본 실험 지문에서의 지방산의 경우 땀에서의 백분율과 비교하였을 때 연령에 따른 지방산의 총량에는 변화를 보이지 않았으나 포화/불포화지방산의 백분율에 있어서는 개인별 수준의 다양성을 확인할 수 있어서 50대 연령의 제공자들의 불포화도의 증가와 개체별 조성의 파악이 가능하였다.

4.2. 지문유류에 따른 지방산 조성의 변화

7개월 동안의 지문유류는 총지방산의 양을 12-25% 감소시켰고 감소된 지방산으로는 saturated fatty acids의 2-4% 감소와 제공자에 따라 monounsaturated fatty acids의 22%의 감소, polyunsaturated fatty acids의 10%의 감소를 확인할 수 있어서 총지방산의 감소는 주로 unsaturated fatty acids의 소실에 의한 것이라 판단되었다(Fig. 4).

지방산의 검출종류에 있어서는 즉시지문에서 검출

되지 않았던 short-chain fatty acid인 myristic acid (C14:0), myristoleic acid (C14:1), pentadecanoic acid (C15:0)등이 검출되었으며 즉시지문에서 검출되었던 elaidic acid (C18:1n9t), arachidic acid (C20:0), gamma-linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9), docosadienoic acid (C22:2)등의 long-chain fatty acids들이 소실되었다. palmitic acid (C16:0)의 경우 0-17%의 감소와, stearic acid (C18:0)의 0-8%의 증가를 확인하였고, oleic acid (C18:1n9c)의 경우 개인에 따라 16%의 감소와 8%의 증가가 관찰되고 linoleic acid (C18:2n6c)도 8%의 감소와 8%의 증가를 확인하여 지방산의 개인별 검출종류와 그에 따른 변화 또한 다양함을 알 수 있었다.

5. 결 론

(1) 지문성분 중 지방산의 조성 과 분포정도를 확인하여 총 11종의 지방산을 확인하였다.

lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0), palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), elaidic acid (C18:1n9t), oleic acid (C18:1n9c), linoleic acid (C18:2n6c), arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9)와 docosadienoic acid (C22:2)의 11종의 지방산이 검출됨을 확인하였고, 주로 C16:0인 palmitic acid와 stearic acid (C18:0), C18:1n9c인 oleic acid가 주를 이루고 그 외에 linoleic acid (C18:2n6c)와 myristic acid (C14:0), erucic acid (C22:1n9)가 제공자에 따라 검출되기도 하는 등 개인에 따른 조성의 변화와 포화/불포화의 비율을 알 수 있어 개인차를 인지할 수 있는 좋은 단서를 제공할 수 있음을 확인하였다.

(2) 7개월간 광원이 없고 온도 20-25°C, 습도 40-50%의 환경에서 유류된 지문의 지방산 조성 변화를 확인하였다.

장기간 유류된 지문 중 지방산은 포화지방산 형태로 전환 또는 불포화 지방산의 소실로 인하여 총지방산의 함량이 12-25% 감소하고 지방산의 불포화도가 다소 높아지고 특히 단쇄포화지방산(short-chain 지방산)인 myristic acid (C14:0), myristoleic acid (C14:1), pentadecanoic acid (C15:0)이 검출되고 elaidic acid (C18:1n9t), arachidic acid (C20:0), linolenic acid (C18:3n3), erucic acid (C22:1n9), docosadienoic acid (C22:2)의 장쇄지방산의 소실이 확인되었다. 이를 토대로 유류되지 오래된 잠재지문에서의 효과적인 현출법의 구축과 현출제의 개발에 있어서 좋은 자료가 될

것으로 사료되며 향후 인종, 계절, 연령, 및 광원노출, 온도, 습도 등의 지문유류의 환경적인 요인을 고려한 현장성에 입각한 기본적인 지문의 조성변화에 대한 연구와 이해가 필요하다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M1074000000107N400000110).

참고문헌

1. N. E. Archer, Y. Charles, J. A. Elliott and S. Jickells, *Forensic Sci. Inter*, **154**, 224-239(2005).
2. D. Thieme, P. Anielski, J. Grosse, H. Sachs and R. K. Mueller, *Analytica Chemica Acta*, **483**, 299-306(2003).
3. T. Verde, R. P. Corey and R. Moore, *J. Appl. Physiol*, **53**, 1540-1545(1982).
4. M. Stoilovic, H. J. Kobus, P. A. Margot and R. N. Warrenner, *J. Forensic Sci.*, **31**, 432-445(1986).
5. J. S. Yadav, B. V. Subba Reddy, U. V. Subba Reddy and A. D. Krishna, *Tetrahedron Letters*, **48**, 5243-5246(2007).
6. T. Hirokawa, H. Okamoto, Y. Gosyo, T. Tsuda and A. R. Timerbaev, *Analytica Chemica Acta*, **581**, 83-88(2007).
7. M. F. Leite and M. H. Nathanson, *J. Hepatology*, **37**, 705-707(2002).
8. P. Mehnert, P. Brode and B. Griefahn, *International J. Industrial Ergonomics*, **29**, 343-351(2002).
9. J. Malchaire, B. Kampmann, G. Havenith, P. Mehner-tend and H. Gebhardt, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, **73**, 215-220(2000).
10. J. Weber, A. Kumar, A. Kumar, S. Bhansali, *Sensors and Actuators. B*, **117**, 308-313(2006).
11. C. G. Worley, S. S. Wiltshire, T. C. Miller, G. J. Hav-rilla and V. Majidi, *J. Forensic Sci.*, **51**, 57-63(2006).
12. C. Ricci, S. Bleay and S. G. Kazarian, *Analytical chem-istry*, **79**, 5771-5776(2007).
13. M. J. Choi, Y. S. Sun, C. S. Kim, M. S. Choi, N. D. Sung and S. W. Park, *Anal. Sci & Tech.*, **20**, 147-154(2007).
14. M. J. Choi, J. H. Ha, S. Yoo and S. W. Park, *Anal. Sci & Tech.*, **20**, 434-441(2007).