

Risk of DNA contamination through fingerprint brush, during the dusting of living persons and deceased

Hee Won Min and Sungwook Hong*

Graduate School of Forensic science, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

(Received December 11, 2015; Revised February 17, 2016; Accepted April 20, 2016)

살아있는 사람과 사망한 사람의 지문을 채취하는 과정에서 지문 브러쉬의 DNA 오염 정도 연구

민희원 · 홍성욱*

순천향대학교 법과학대학원

(2015. 12. 11. 접수, 2016. 2. 17. 수정, 2016. 4. 20. 승인)

Abstract: This study investigated the possibility of DNA contamination during fingerprint collection when using a fingerprint brush. Two kinds of brushes were selected: powdered brushes and neat (not powdered) brushes. The fingerprints were collected from the tips of all the fingers and near the wrists of both living and deceased persons using the two brushes. Both brushes were analyzed for the DNA contents and profiles. The results obtained confirmed the transfer of DNA onto both brushes, although the results showed that the powdered brushes carried more DNA compared with the neat brushes. More DNA was transferred onto the brushes used on deceased persons than onto the brushes used for living persons. Only partial DNA profiles were obtained from the brushes, which is due to the presence of other sources of DNA on the surfaces of the skin of both living and deceased persons. This phenomenon confirmed the DNA contamination during fingerprint collection when fingerprint brushes were used.

요 약: 지문채취용 브러쉬를 이용해 사람 피부에서 지문을 채취할 경우 브러쉬로 DNA가 전이될 가능성을 연구하였다. 이때에는 지문분말을 묻힌 브러쉬와 묻히지 않은 브러쉬로 나누어 실험하였다. 살아있는 사람과 사망한 사람으로 구분하여 손가락과 손목부위를 지문채취용 브러쉬로 문지른 결과 살아있는 사람에게서보다는 사망한 사람에게서 더 많은 DNA가 브러쉬로 전이되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 분말을 묻히지 않고 실험한 경우보다는 분말을 묻히고 실험한 경우에 더 많은 DNA가 브러쉬로 전이되는 것을 확인할 수 있었다. 브러쉬로 전이된 DNA와 채취 대상자의 프로파일을 비교한 결과 full 프로파일 이 나타나는 경우는 관찰되지 않았고 partial 프로파일만이 나타났다. 이를 통해 피부 표면에 묻어있는 DNA가 브러쉬로 전이된다는 것을 알 수 있었다.

Key words: fingerprint, brush, DNA, contamination, corpse

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4927 Fax : +82-(0)41-530-4755

E-mail : swhong524@naver.com

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

지난 100년간 지문은 신원확인을 하는 가장 확실하고 강력한 수단으로 알려져 왔다^{1,2}. 수사관은 사건현장에 있는 사물에서 다양한 방법으로 지문을 채취하고 용의자 혹은 피해자에게서 대조지문을 채취하여 서로 일치하는지 여부를 판별함으로써 사건을 해결해왔고 DNA 감식 등 다양한 과학수사 기법이 발전한 현대에도 여전히 최고의 개인식별 방법으로 남아있다.

지문을 채취하거나 현출하는 방법으로는 분말법, 액체법, 증기법 등의 다양한 물리/화학적 방법이 알려져 있다.^{1,3} 이 중 분말법은 carbon black powder 등 다양한 지문분말을 묻힌 브러쉬를 검체에 대고 문질러 지문을 채취하는 방법으로서⁴ 분말법을 이용할 경우 채취도구가 검체 혹은 사람 피부와 접촉하는 것을 피할 수 없다. 과거 DNA 감식이 도입되기 전이나 미량 DNA의 분석이 불가능했던 시기에는 이런 접촉식 방법으로 지문을 채취하더라도 DNA 교차오염이 문제가 되지 않았다. 그러나 최근 DNA 감식기술이 비약적으로 발전함에 따라 사건 현장이나 사람 피부에서 분말법으로 지문을 채취할 경우 DNA의 교차오염 문제가 대두되게 되었다. Oorschot 등은 한 번의 피부접촉 만으로도 STR typing을 할 만큼의 충분한 DNA를 옮길 수 있다고 최초로 보고하였고,⁵ Hoofstat,⁶ Renterghem,⁷ Zamir⁸ 등이 이와 관련된 후속 연구결과와 사례를 보고하였다. 또한 지문에서 추출된 DNA를 이용해 STR profiling 분석까지 성공한 연구들도 많이 보고되어 있다.^{4,5,9-11} 실제로 Proff 등은 브러쉬로 인한 DNA의 일차전이와 이차전이를 확인하는 과정에서 브러쉬가 혈흔이나 타액, 정액과 같은 체액과 접촉하게 되면 더 많은 DNA의 전이가 일어날 수 있고 브러쉬를 사용한 면적이 넓을수록 더 많은 양의 인체 분비물에 노출되어 오염의 위험성이 증가한다는 것을 보고한 바 있다.⁴

변사사건이 발생하면 수사관은 변사자의 피부에 부착된 범인의 잠재지문을 찾기 위해¹² 혹은 변사자의 신원을 확인하기 위해 지문 브러쉬를 변사자 피부에 접촉시키게 된다. 특히 지문 브러쉬로 변사자의 열 손가락에 분말을 칠한 후 지문을 채취하는 것은 변사자의 신원을 확인할 때 가장 일반적으로 사용되는 방법 중 하나이므로 과학수사 현장에서 사용하는 브러쉬는 변사자의 신체와 접촉할 개연성을 항상 갖고 있다. 앞서 언급한 선행연구에 의하면⁵⁻⁸ 이 과정에서 변사자의 DNA가 브러쉬로 전이될 가능성이 있다. 그러나 선행연구에서는 살아있는 사람만을 대상으로 하였을

뿐, 변사자를 대상으로 하지는 않았다. 사람이 사망하면 부패가 시작되고 이 과정에서 피부조직이 연화되고 액화되거나 박테리아의 증식이 활성화되기 때문에¹³⁻¹⁶ 살아있는 사람과는 DNA의 전이특성이 다르게 나타날 것으로 예상되고, 이를 확인하기 위해 본 연구를 수행하였다. 또한 본 연구에서는 브러쉬 사용 횟수와 전이되는 DNA 양과의 상관관계를 함께 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

2.1.1. 실험 대상

살아있는 사람과 사망한 사람을 모두를 대상으로 실험을 진행하였다. 살아있는 사람의 경우 일반인 자원자 10 명을 대상으로 하여 본인의 동의를 받아 시료를 채취하였고 채취한 시료는 채취 순서에 따라 L1부터 L10의 번호를 부여하였다. 또한 서울 OO경찰서와 천안 △△경찰서의 지원을 받아 변사자 시신 23구로부터 시료를 채취하였고 채취한 시료는 채취 순서에 따라 D1부터 D23의 번호를 부여하였다.

2.1.2. 시료 채취

피부지문 시료는 실제 현장에서 사용하는 다람쥐털 브러쉬 ([AL110901] 100 % 다람쥐털 브러쉬, 8호, 투명플라스틱 튜브, ALTLIGHT, Korea)를 사용하여 채취하였다. 대조시료를 채취할 때에는 항상 새 브러쉬를 사용하였다.

일반인의 경우 정상적인 생활을 영위하는 일반인에게 실험 전에 인위적으로 땀을 내거나 손을 씻는 등의 행위를 하지 못하도록 요청한 후 손과 손목 부위에서 분말을 묻히지 않은 브러쉬를 분말칠을 하듯이 문질러서 시료를 채취하였다. 이들의 대조 DNA는 buccal swab (OmniSwab (Whatman™, CAT No.WB100035, GE Healthcare Life Sciences, United Kingdom))을 이용해 구강 상피 세포 시료를 채취하였다.

변사자의 경우 손과 손목부위를 일반인과 동일한 방법으로 채취하였다. 또한 채취 횟수에 따른 DNA전이 정도를 비교하기 위해 변사자 10구 (D11~D14, D28~D33)에서는 10 회, 13구 (D15~D27)에서는 50회 브러쉬질을 하여 시료를 채취하였다.

2.2. DNA의 추출 및 분석

시료를 채취한 브러쉬 말단 부위를 2 cm의 길이로 자른 후 2 mL microcentrifuge tube 3~5 개에 나눠 옮

겨 담고 QIAamp® DNA Investigator Kit (QIAGEN, Germany)를 사용하여 DNA를 추출하였다. 이렇게 시료를 채취한 microcentrifuge tube의 전체 갯수는 모두 127 개였다. 추출 프로토콜은 제품회사에서 제공하는 것을 기본으로 하였으나 세포 용해과정은 56 °C에서 12 시간 처리하고 최종 40 µL로 elution하였다. buccal swab으로 채취한 구강상피세포시료는 동일한 방식으로 56 °C에서 1 시간 lysis 하고 최종 50 µL로 elution 하였다.

브러쉬에서 DNA는 Quantifiler™ Human DNA Quantification Kit (Applied Biosystems, USA)를 사용하여 ABI PRISM® 7000 Sequence Detection System (Applied Biosystems, USA)으로 정량하였다. PCR mix의 조성은 primer mix 10.5 µL와 reaction mix 12.5 µL, template DNA 2 µL였다. 검량선은 25 ng/µL, 12.5 ng/µL, 6.25 ng/µL, 3.125 ng/µL, 1.5625 ng/µL, 0.78125 ng/µL의 표준 DNA로 작성하였다.

모든 DNA 시료의 STR 마커는 PowerPlex® Fusion Systems (REF. DC2402, Promega, USA)으로 분석하였다. buffer 2 µL, primer mix 1.5 µL, distilled water 5.8 µL에 DNA 1 µL의 조성으로 GeneAmp® PCR System 9700 (Gold-plated Silver 96-Well, Part No. 4314878, Applied Biosystems, USA)에서 증폭하였고, 표준 DNA로는 2800 M Control DNA (Promega, USA)를 사용하였다.

증폭한 DNA는 HiDi-Formamide (Applied Biosystems, USA)와 혼합하여 Applied Biosystems® 3130xl Genetic Analyzer (Applied Biosystems, USA)를 이용해 분석하였다.

결과는 GeneMapper® ID Software v3.2.1을 사용하여 분석하였는데, 다중 증폭된 DNA를 분석하기 위해 검출한계는 본 연구의 분석기기인 ABI 3130 series instruments의 Analysis threshold를 50 RFU (Relative Fluorescence Units)로 설정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 검출되는 DNA의 농도

3.1.1. 시료를 분할한 tube에서 검출되는 DNA의 양

127 개 microcentrifuge tube를 분석한 결과 65 %에 해당하는 82 개 tube에서 DNA가 검출한계인 50 RFU 이상으로 측정되었다. L2, L8, L9, D4, D8, D10, D11, D14 시료의 경우에는 시료를 분할한 모든 tube에서 검출한계 이상의 DNA가 검출되었다. D21 시료는

4 개의 tube에 분할해 시험했는데 4 개 tube 모두에서 DNA가 검출한계 미만의 농도로 존재했다. 그 외 시료는 동일한 사람에게서 채취하여 브러쉬를 분할했음에도 불구하고 tube에서마다 검출되는 DNA의 양이 다르게 나타났다. Table 1과 Table 2를 보면 한 브러쉬를 3~5 개의 tube에 분할해서 실험한 경우 tube마다 검출되는 DNA의 양이 다르게 나타난 것을 볼 수 있는데 이는 피부에 분말을 묻히기 위해 브러쉬질을 할 때 브러쉬의 stroke 방향에 따라 피부와 주로 접촉하는 브러쉬 부위가 다르기 때문인 것으로 추정되며, 따라서 브러쉬에서 DNA를 검출하고자 할 경우에는 분할해서 시료를 채취한 모든 tube를 대상으로 실험해야 한다는 것을 알 수 있다.

127 개 tube에서 검출된 DNA의 양은 전체 평균 $2,013 \pm 3,697$ pg (중위값 825 pg)으로 나타났고, 일반인의 경우 평균 $2,250 \pm 5,699$ pg (중위값 449 pg)으로 나타났으며, 변사자의 경우 평균 $1,910 \pm 2,562$ pg (중위값 1,152 pg)으로서 변사자가 일반인보다 높은 농도로 나타났다.

3.1.2. 브러쉬질 횟수에 따른 DNA의 전이 특성 변화

브러쉬질한 회수를 고려할 경우 브러쉬에서 검출된 DNA의 양은 전체 평균 69 ± 124 pg/회 (중위값 25 pg/회)로 나타났고, 일반인의 경우 평균 45 ± 114 pg/회 (중위값 9 pg/회)로 나타났으며, 변사자의 경우 평균 79 ± 129 pg/회 (중위값 34 pg/회)로 나타났다. 각각의 측정 결과는 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 브러쉬질한 횟수에 따라 살아있는 사람과 사망한 사람에게서 검출되는 DNA의 양은 Fig. 1에 함께 나타내어 비교하였다. 이 결과를 보면 일반인보다 변사자에게서 더 많은 DNA가 탈락되어 브러쉬로 전이된다는 것을 알 수 있다. 이는 사람이 사망하는 순간부터 피부에 박테리아가 증식하고 피부세포의 결합력이 떨어지기 때문인 것으로 추정된다.¹³⁻¹⁶ 이는 상대적으로 심하게 부패된 D22 (익사, 사망 후 4~5일 경과, 618 pg/회 검출) 시료에서는 DNA가 다른 시료에 비해 월등히 높은 농도로 검출되는 점으로도 확인할 수 있다.

또한 변사자에게서 브러쉬를 사용하는 횟수를 달리 하였을 때 검출되는 DNA 양은 10회 브러쉬질을 했을 때 평균 $1,078 \pm 1,817$ pg (중위값 632 pg), 50 회 브러쉬질을 했을 때 평균 $2,465 \pm 2,964$ pg (중위값 1,386 pg)으로서 브러쉬질 횟수가 증가할수록 더 많은 DNA가 전이된다는 것을 알 수 있다(Fig. 2. 참조). 시험에 사용한 시료의 수가 적기는 하지만 이 결과를 통해

Table 1. DNA analysis results from living subjects

Subject ID age, sex	Dusting	Number of brushings	Sample number	DNA (pg)	Total DNA (pg)	DNA transfer per brushing (pg)	Profile	Number of locus
L1 27,F	no	50	L1-1	193	358	7	p	2
			L1-2	0			p	13
			L1-3	0			p	11
			L1-4	0			p	8
			L1-5	165			p	12
L2 28,F	no	50	L2-1	5,228	18,458	369	f	24
			L2-2	3,805			p	23
			L2-3	1,235			p	13
			L2-4	3,780			p	19
			L2-5	4,410			f	24
L3 29,F	no	50	L3-1	157	893	18	p	5
			L3-2	0			p	8
			L3-3	0			p	23
			L3-4	232			p	7
			L3-5	505			p	7
L4 30,F	no	50	L4-1	0	472	9	p	7
			L4-2	0			p	6
			L4-3	293			p	6
			L4-4	0			p	11
			L4-5	179			p	9
L5 39,F	no	50	L5-1	64	704	14	p	8
			L5-2	155			p	8
			L5-3	254			p	17
			L5-4	0			p	7
			L5-5	232			p	3
L6 30,M	no	50	L6-1	0	253	5	p	4
			L6-2	0			p	5
			L6-3	253			p	6
L7 29,M	no	50	L7-1	0	268	5	p	4
			L7-2	99			p	6
			L7-3	170			p	12
L8 31,M	no	50	L8-1	96	426	9	n	0
			L8-2	193			p	5
			L8-3	138			p	11
L9 39,M	no	50	L9-1	187	499	10	p	4
			L9-2	221			p	14
			L9-3	91			p	15
L10 38,M	no	50	L10-1	175	175	3	p	2
			L10-2	0			p	4
			L10-3	0			p	6

브러쉬질 횟수가 증가할수록 브러쉬로 전이되는 DNA의 양이 증가하는 것을 알 수 있다.

3.1.3. DNA 탈락에 미치는 분말의 영향
번사자를 대상으로 브러쉬에 분말을 묻힌 후 피부

Table 2. DNA analysis results from deceased

Subject ID age, sex	TAD	Dusting	Number of brushing	Sample number	DNA (pg)	Total DNA (pg)	DNA per brushing (pg)	Profile	Number of locus
D1 74, M	outdoor <1 day	yes	10	D1-1	0	3	0	n	0
				D1-2	0			n	0
				D1-3	3			p	2
D2 55, M	indoor 1 day	yes	10	D2-1	134	313	31	n	0
				D2-2	0			n	0
				D2-3	179			p	3
D3 80, M	indoor <1 day	yes	10	D3-1	187	342	34	p	1
				D3-2	155			n	0
				D3-3	0			n	0
D4 73, M	indoor <1 day	yes	10	D4-1	445	825	82	n	0
				D4-2	173			n	0
				D4-3	208			p	3
D5 88, M	indoor 1-2 days	no	50	D5-1	259	393	8	p	8
				D5-2	0			p	5
				D5-3	134			n	0
D6 33, F	outdoor 1-2 days	no	50	D6-1	441	2,430	49	p	4
				D6-2	0			p	1
				D6-3	1,375			p	8
				D6-4	614			p	6
D7 78, M	indoor 1-2 days	no	50	D7-1	307	307	6	p	1
				D7-2	0			p	2
				D7-3	0			p	4
				D7-4	0			p	4
D8 65, F	indoor 1-2 days	no	50	D8-1	515	2,663	53	p	7
				D8-2	123			p	6
				D8-3	338			p	10
				D8-4	1,688			p	19
D9 33, M	outdoor 1-2 days	no	50	D9-1	0	1,386	28	p	9
				D9-2	125			p	4
				D9-3	990			p	5
				D9-4	271			p	8
D10 63, M	indoor 1-2 days	no	50	D10-1	566	9,781	196	p	8
				D10-2	1,255			p	12
				D10-3	5,748			p	19
				D10-4	2,213			p	17
D11 81, M	indoor 1-2 days	no	50	D11-1	49	2,070	41	p	3
				D11-2	318			p	9
				D11-3	785			p	8
				D11-4	918			p	16
D12 58, M	outdoor 1-2 days	no	50	D12-1	0	384	8	n	0
				D12-2	0			n	0
				D12-3	0			n	0
				D12-4	384			p	2

Table 2. Continued

Subject ID age, sex	TAD	Dusting	Number of brushing	Sample number	DNA (pg)	Total DNA (pg)	DNA per brushing (pg)	Profile	Number of locus
D13 80, F	indoor 1-2 days	no	50	D13-1	402	1,152	23	p	3
				D13-2	0			n	0
				D13-3	0			n	0
				D13-4	750			p	1
D14 57, M	indoor 1-2 days	no	50	D14-1	325	7,973	159	n	0
				D14-2	368			p	1
				D14-3	6,405			p	8
				D14-4	875			p	10
D15 80, M	indoor 1-2 days	no	50	D15-1	0	1,392	28	n	0
				D15-2	0			n	0
				D15-3	715			p	4
				D15-4	677			p	7
D16 54, M	indoor 1-2 days	no	50	D16-1	193	1,265	25	n	0
				D16-2	371			p	2
				D16-3	0			n	0
				D16-4	701			p	8
D17 57, M	indoor 1-2 days	no	50	D17-1	0	856	17	n	0
				D17-2	352			p	1
				D17-3	504			p	1
				D17-4	0			n	0
D18 66, M	in water 2 days	yes	10	D18-1	0	439	44	n	0
				D18-2	134			p	3
				D18-3	254			p	1
				D18-4	52			p	1
D19 42, M	indoor 1 hour	yes	10	D19-1	69	844	84	n	0
				D19-2	0			p	1
				D19-3	116			p	3
				D19-4	660			p	1
D20 83, F	indoor 12 hours	yes	10	D20-1	389	1,369	137	p	4
				D20-2	445			p	2
				D20-3	0			p	3
				D20-4	535			p	4
D21 93, F	indoor 1 hour	yes	10	D21-1	0	0	0	p	1
				D21-2	0			n	0
				D21-3	0			p	3
				D21-4	0			p	1
D22 23, F	in water 4-5 days	yes	10	D22-1	0	6,176	618	n	0
				D22-2	5,750			p	1
				D22-3	0			p	1
				D22-4	426			p	3
D23 76, M	indoor 3 hours	yes	10	D23-1	0	1,407	141	p	1
				D23-2	0			n	0
				D23-3	1,055			p	12
				D23-4	352			n	0

*TAD : Estimated time after death

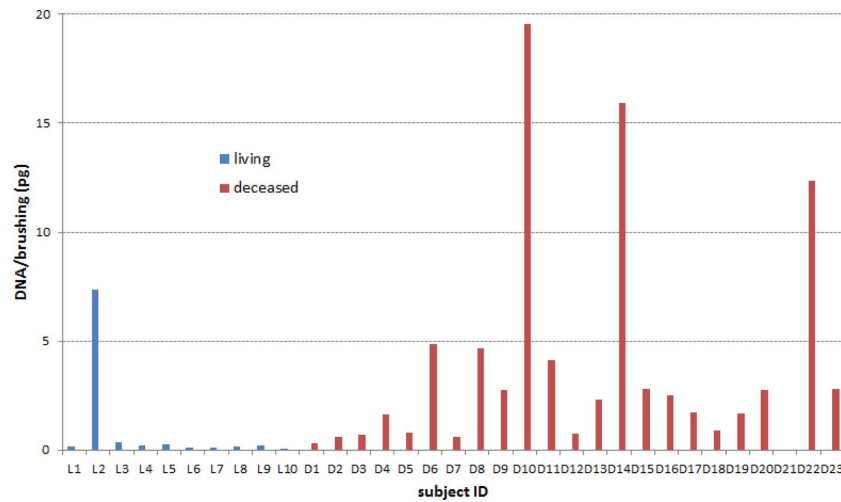


Fig. 1. Amount of DNA obtained per brushing from living and deceased subjects.

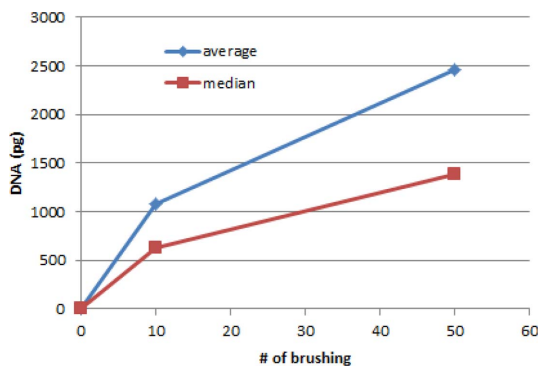


Fig. 2. Average and median values of DNA obtained from deceased depending on the brushing numbers.

를 문질러 채취한 경우 (D1~D4, D18~D23) 검출된 DNA의 양은 평균 117±183 pg/회 (중위값 63 pg/회) 이고, 분말을 문히지 않고 채취한 경우 (D5~D17) 검출된 DNA의 양은 평균 49±59 pg/회 (중위값 28 pg/회)로서 분말을 문히고 채취한 경우에 훨씬 많은 DNA가 채취된 것으로 나타났다. 대부분의 시료는 사망 후 2일 이내에 채취하여 상대적으로 부패가 진행되지 않은 시료지만 D22는 수중에서 4-5일 경과하여 부패된 시료이므로 D22 결과를 제외하고 다시 계산한 결과, 분말을 문히고 채취한 시료에서 검출된 DNA의 양은 평균 62±53 pg/회 (중위값 44 pg/회)로서 역시 분말을 문히지 않은 경우보다 많은 양의 DNA가 검출되는 것을 알 수 있었다. 지문분말은 미세 입자이기 때문에 입자표면이 넓어 단순히 브러쉬만 사용할 경

우보다 피부와 접촉할 기회가 증대되기 때문에 이런 현상이 나타났다고 추정할 수 있으나 이에 대해서는 추가적인 실험이 필요한 상태이다.

본 실험 결과를 통해 향후 브러쉬에 의한 DNA의 전이가능성을 심험할 때에는 분말을 문히고 실험해야 더 정확한 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.2. DNA 분석

DNA 프로파일을 조사하기에 앞서 동일한 방법으로 DNA를 추출하였을 때 blank 브러쉬에서 DNA 프로파일이 나타나는지 조사하였고, 그 결과 모든 locus에서 검출한계 이상의 피크를 육안으로 확인할 수 없었다.

Table 1과 2에서 보듯이 시료를 채취한 각 tube에서는 full 프로파일 (24 개 내지 DYS391을 제외한 23 개의 locus에 모두 프로파일이 관찰된 경우), partial 프로파일 (24 개 locus 중 일부의 프로파일이 관찰된 경우), no result (하나의 locus에서도 프로파일이 나타나지 않은 경우)의 모든 경우를 확인할 수 있었다. no result를 보이는 프로파일은 총 127 개 tube 중 28 개의 tube였다.

특이하게도 DNA 농도가 측정되었음에도 불구하고 no result로 관찰되거나, DNA 농도가 측정되지 않았음에도 불구하고 partial 프로파일로 나타난 경우가 있었다. 검출한계 이상의 피크가 나타난 locus 중에는 TH01과 Amelogenin의 빈도가 가장 높게 나타났고 그 다음은 D8S1179, D16S539의 순서로 나타났다. 또한 하나의 locus에서 대립유전자(allele)의 수는 1 개에서 부터 8 개까지 다양하게 나타났다.

10 명의 변사자에게서 분말을 묻혀 채취한 36 개 tube 중 full 프로파일이 나타난 tube는 하나도 없었다. 분말을 묻히지 않고 일반인 10명 및 변사자 13명에게서 채취한 시료의 경우 91 개의 tube 중 3 개 tube에서 full 프로파일이 나타났고, 나머지 대부분의 tube에서는 partial 프로파일이 관찰되었다. 일반인 10 명 (L1~L10)에게서 채취한 시료 중 DNA 농도가 가장 높게 나타난 L2에서는 full 프로파일이 나타나고 나머지 시료에서는 partial 프로파일이 나타났다. 또한 L1의 경우를 보면 피크가 나타난 locus 수가 가장 적었지만, 농도가 가장 낮은 샘플은 아니었으므로 농도와 피크가 나타난 locus 사이에 연관성은 많이 없어 보인다.

일반인 피부를 묻지른 브러쉬에 전이된 DNA 프로파일을 각 대상자의 구강상피세포에서 채취한 DNA의 프로파일과 비교하였다. 비교할 때에는 heterozygous 대립유전자의 경우 대립유전자 모두가 같은 경우에만 일치한다고 판단하였다. 그 결과 대립유전자가 일치하는 locus의 수는 최소 1 개에서 최대 6 개로 관찰되었다. 원본 프로파일과 가장 많이 일치하는 locus 수는 6 개였고, 모든 대립유전자가 대조한 프로파일과 정확히 일치하는 경우는 없었으며, 일치하는 평균비율은 약 39%였다.

변사자의 경우도 일반인과 마찬가지로 초기 template DNA 농도가 적어 프로파일에서 artifact, allele drop in, allele drop out, stutter로 생각되는 기타 피크들로 인해 다양한 대립 DNA들을 확인할 수 있었고 정확하게 프로파일을 해석할 수 없었다.

본 연구에서 다중증폭에 이용한 PowerPlex Fusion Systems은 DNA 양이 100 pg 이하이면 full 프로파일을 얻을 수 있는 확률이 줄어들거나 RFU의 높이가 줄어들 수 있고 DNA의 양이 65.5 pg 이하이면 full 프로파일이 관찰될 수는 있어도 그 범위가 상당히 줄어들 수 있다고 보고되어 있다.¹⁷ 본 연구에서 분석한 대부분의 tube에서는 DNA가 65.5 pg 이하로 검출되었기 때문에 full 프로파일이 나타나지 않은 것으로 추정된다. tube 중 full 프로파일로 관찰된 시료는 다른 시료보다 비교적 농도가 높은 시료였지만, 대조프로파일과 비교하였을 때 일치하는 locus가 절반이상을 넘지 못했다. 그러나 농도가 측정되지 않았지만 partial 프로파일을 나타내는 시료는 간혹 관찰할 수 있었다. 하지만 워낙 작은 DNA 양으로 만들어진 프로파일이기 때문에 신뢰할 수 없는 프로파일이라 판단하였다.

일반적으로 locus의 basepair 크기가 클수록 PCR

efficiency가 감소하는 것으로 알려져 있다.¹⁸ 본 결과에서도 높은 빈도로 확인된 locus들은 모두 크기가 작은 locus 들이었다. 이런 현상은 Low template DNA 혹은 Low Copy Number로 설명될 수 있었다. 적은 양의 시료를 분석하면 보통 거짓대립유전자(spurious allele)들과 stutter들이 강화되어 실제 대립유전자가 아님에도 불구하고 함께 포함될 수 있으며,¹⁷ 프로파일은 LCN DNA분석에서 설명될 수 있는 locus drop out, 거짓대립유전자(spurious allele), stutters, artifacts 등에 의해 영향을 받아 나타나고¹⁹ 또한 많은 수의 spurious 피크들은 피부에서 지문이 옮겨질 때 생긴 오염과 많은 처리과정과 절차에 의해 생긴 오염에서 비롯해서도 나타날 수 있기 때문에 프로파일의 해석이 어려워진다.

또한 Pesaresi의 연구⁹ 등의 많은 논문에서 언급된 것과 같이 DNA 프로파일을 확인하는데 지문분말이 영향을 끼치지 않는지 확인해 보았다. 분말사용 여부에 따라 농도차이와 프로파일 상 차이를 확인할 수 있었는데 농도차이는 t 검정으로 유의함을 알 수 있었다($P < 0.05$). 하지만 시료 수가 적기 때문에 지문에 처리하는 분말이 프로파일에 영향을 끼친 것이라고 단정할 수 없었다. 결과를 살펴보면 분말이 DNA 프로파일에 영향을 끼친다고 판단할 수 없지만, 분말이 만약 PCR inhibitor로 작용한다면 프로파일에 영향을 끼칠 수 있다. PCR 반응 중에 PCR inhibitor들이 대립유전자 피크의 높이를 변화시킬 수 있기 때문이다.

매우 적은 양의 template DNA를 증폭할 경우 allele drop in이나 drop out의 artifact들이 많이 발생한다고 알려져 있다.^{18,20} 이와 같이 평균 14.94 pg/ μ L의 농도로 측정된 브러쉬 시료들의 low template DNA 프로파일에는 artifact들, allele drop, allele drop out, stutter 등의 출현으로 locus drop out 등이 발생할 수 있다. 또한 Kamphausen 등의 연구에서 stutter 자리에 allele drop-in이 잘 나타난다는 Cowen의 연구를 확인한 바²¹와 같이, 나타난 allele들을 모두 실제 정확한 real 피크라고 확신하기에는 어려움이 있다.

4. 결 론

지문을 채취하는 과정에서 지문 채취용 브러쉬로 인한 DNA의 교차오염 가능성을 살펴보았다. 일반인과 사망한 사람의 손을 지문 채취용 브러쉬로 묻지른 후 DNA를 분석한 결과 DNA가 붓으로 전이되었음을 확인할 수 있었고 살아있는 사람에게서보다는 사망한

사람에게서 더 많은 DNA가 브러쉬로 전이되었다. 또한 분말을 묻히지 않고 실험한 경우보다는 분말을 묻히고 실험한 경우에 더 많은 DNA가 브러쉬로 전이되는 현상이 나타나 향후 브러쉬를 통한 DNA의 오염 가능성을 연구할 때에는 분말을 함께 사용해야 더 정확한 실험결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

이 DNA에서 채취 대상자의 partial 프로파일을 확인할 수 있었다. 이것은 피부 표면에 유류되어 있는 물질들을 통해 DNA가 전이될 수 있다는 것을 보여주고 결국은 브러쉬를 통해 다른 현장증거물로도 DNA가 전이될 수 있다는 것을 암시한다.

현재 한국에는 DNA의 교차오염 가능성을 염두에 둔 지문채취용 브러쉬의 관리지침이 마련되어 있지 않다. 그러나 DNA 기술의 발달로 인해 가까운 시일 안에 지문에서 DNA를 검출하고 이를 수사에 이용할 수 있을 것으로 기대되는 바, 경찰청에서는 지문 채취용 브러쉬의 관리지침을 속히 마련해야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 치안과학기술연구개발사업임(Grant No. PA-B000001-2015-101).

References

1. B. Wilshire, *Endeavour*, **20**(1), 12-15 (1996).
2. C. Henry and R. E. Lee, Gaensslen, Robert Ramotowski, 'Advances in fingerprint technology', 2nd Ed., Florida, 2001.
3. 'A Simplified Guide To Fingerprint Analysis', 1st Ed, NFSTC, Florida, 2009.
4. C. Proff, C. Schmitt, P. M. Schneider, G. Foerster and M. A. Rothschild, *Int. Congr. Ser.*, **1288**, 601-603 (2006).
5. A. H. Roland, van Oorschot and Maxwell K. Jones, *Nature*, **387**, 767 (1997).
6. D. E. O. Van Hoofstat, D. L. D Deforce, I. P. Hubert De Pauw and E. G. Van den Eeckhout, *Electrophoresis*, **20**(14), 2870-2876 (1999).
7. P. Van Renterghem, D. Leonard and C. de Greef, *Prog. Forensic Genet*, **8**, 501-503 (2000).
8. A. Zamir, M. Sc., E. Springer, M. Sc. and B Glattstein, M. Sc., *J. Forensic Sci.*, **45**(3), 687-688 (2000).
9. M. Pesaresi, L. Buscemi, F. Alessandrini, M. Cecati and A. Tagliabracci, *Int. Congr. Ser.*, **1239**, 947-951 (2003).
10. M. Bohnert, M. Faller-Marquart, S. Lutz, R. Amberg, H.-J. Weisser and S. Pollak, *Forensic Sci. Int.*, **116**(2), 107-115 (2001).
11. P. Wiegand and M. Kleiber, *Int. J. Legal Med.*, **110**(4), 181-183 (1997).
12. D. Färber, A. Seul, H.-J. Weisser, Ph.D. and M. Bohnert, M.D., *J. Forensic Sci.*, **55**(6), 1457-1461 (2010).
13. Forensics Postmortem changes, <http://www.pathologyoutlines.com/topic/forensicspostmortem.html>, Revised 19 Feb 2012.
14. WHAT HAPPENS TO A BODY AFTER DEATH, <http://www.memorialpages.co.uk/articles/decomposition.php>.
15. The Rate of Decay in a Corpse, <http://www.exploreforensics.co.uk/the-rate-of-decay-in-a-corpse.html>, Updated 28 Oct 2015.
16. The Processes of Death and Decomposition, http://h2g2.com/approved_entry/A2451683, Created May 19, 2004/Updated 29 Jun 2014.
17. H Olson, Internal Validation of PowerPlex® Fusion, ISHI2014 workshop.
18. J. M. Butler, 'Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Interpretation', 1st Ed., Academic Press, Maryland, 2014.
19. F. Alessandrini, B. Sc., M. Cecati, B. Sc., M. Peresi, M. D., C. Turchi, B. Sc.; F. Carle, Ph. D. and A. Tagliabracci, M. D., *J. Forensic Sci.*, **48**(3), 586-592 (2003).
20. P. S. Walsh, H. A. Erlich and R. Higuchi, *Genome Res.*, **1**(4), 241-250 (1992).
21. T. Kamphausen, D. Schadendorf, N. V. Wurmb-Schwark, T. Bajanowski and M. Poetsch, *Int. J. Legal Med.*, **126**(1) 179-183 (2012).
22. M. K. Balogh, J. Burger, K. Bender, P. M. Schneider and K. W. Alt, *Int. Congr. Ser.*, **1239**, 953-957 (2003).
23. M. Trapecar, *Sci. Justice*, **49**(4), 292-295 (2009).
24. G. J. Reichardt, B. A., J. C. Carr, B. A. and E. G. Stone, B. A., *J. Forensic Sci.*, **23**(1) 135-141 (1978).
25. M. M. Schulz and W. Reichert, *Forensic Sci. Int.*, **127**(1) 128-130 (2002).
26. A. Lowe, C. Murray, P. Richardson, R. Wivell, P. Gill, G. Tully and J. Whitaker, *Int. Congr. Ser.*, **1239**, 799-801 (2003).