

문신용 염료에 들어 있는 유해화학물질(페놀)의 인체 위해성 평가

조삼래* · 김경희** · 최재욱*****

*고려대학교 대학원 환경 및 산업보건학과, **고려대학교 환경의학연구소,
***고려대학교 의과대학 예방의학교실

Health Risk Assessment of Toxic Chemicals (Phenol) in Tattoo Inks

Sam Rae Cho*, Kyong Hee Kim**, and Jae Wook Choi*****

*Department of Environmental and Occupational Health, Graduate School, Korea University

**Institute for Environmental and Occupational Health, Korea University

***Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Korea University

ABSTRACT

Objectives: This study examined the safety of tattoo ink by analyzing the phenol contents in tattoo inks and its risk assessment of selected phenol.

Methods: A sample of 30 tattoo inks was purchased, the phenol contents were analyzed, and a risk assessment on dermal exposure from tattooing was carried out. Hazard identification was collected from toxicity data on systemic effects caused by dermal exposure to phenol, and the most sensitive toxicity value was adopted. Exposure assessment ($Exposure_{phenol}$) was calculated by applying phenol contents and standard exposure factors, while dose-response assessment was based on the collected toxicity data and skin absorption rate of phenol, assessment factors (AFs) for derived no-effect level ($DNEL_{dermal}$). In addition, the risk characterization was calculated by comparing the risk characterization ratio (RCR) with $Exposure_{phenol}$ and $DNEL_{dermal}$.

Results: The phenol concentration in the 30 products was from 1.4 to 649.1 $\mu\text{g/g}$. The toxicity value for systemic effects of phenol was adopted at 107 mg/kg. $Exposure_{phenol}$ in tattooing was from 0.000087 to 0.040442 mg/kg. $DNEL_{dermal}$ was calculated at 0.0072 mg/kg (=toxicity value 107 mg/kg \div AFs 650 \times skin absorption rate 4.4%). Thirteen out of 30 products showed an RCR between 1.02 and 5.62. The RCR of all red inks was above 1.

Conclusions: Phenol was detected in all of the 30 tattoo inks, and the RCR of 13 products above 1 indicates a high level of risk concern, making it necessary to prepare safety management standards for phenol in tattoo inks.

Keywords: Phenol, risk assessment, systemic toxicity, tattoo ink

I. 서 론

문신은 수천 년 전부터 장식 또는 사회적 지위를 나타내는 상징으로 행해져 왔다. 현대사회로 접어들어 개성을 중시하는 경향이 강해지면서 문신은 스포츠스타, 연예인들뿐만 아니라 일반인들에게도 보편화되어 가고 있다. 정미라(2018)는 화장용 문신 제

품 30개 중 20개 제품에서 중금속이 기준치를 초과하는 것으로 보고하는 등 문신용 염료의 안전에 대한 우려를 제기하였다.¹⁾ 문신시술은 바늘로 살갓을 찔러서 피부의 표피와 진피 사이에 잉크(문신용 염료)를 주입하는 행위²⁾로서 문신시술의 대중화와 더불어 피부 알레르기 반응, 악성흑색종(malignant melanoma), 편평상피암(squamous cell carcinoma) 등

†Corresponding author: Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Korea University, 73 Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea, Tel: +82-2-926-4777, Fax: +82-2-927-7720, E-mail: shine@korea.ac.kr
Received: 14 February 2019, Revised: 19 February 2019, Accepted: 20 February 2019

문신용 염료에 들어 있는 화학물질로 인한 다양한 부작용이 보고되고 있다.³⁾ 그 외에도 문신시술시 발생할 수 있는 부작용은 문신시술자의 미숙함으로 인하여 생기거나,⁴⁾ 주사바늘 반복사용, 멸균소독 소홀 등 위생관리 불량으로 감염성 질환의 원인이 되기도 한다.⁵⁾ 이러한 문제는 문신시술 과정에서 발생하는 것이지만 문신용 염료의 유해성은 사용자의 건강영향 측면에서 보다 근본적인 문제를 야기한다. 문신용 염료의 유해성은 염료 내 발암물질, 중금속 등과 같은 유해화학물질 함유가 원인이 된다.^{6,7)} 문신시술과 관련한 부작용의 발생을 예방하기 위해서는 가장 먼저 문신용 염료에 대한 안전관리가 필요하다. 즉, 문신용 염료에 유해물질이 의도적으로 함유되지 않도록 하고, 색소로 사용되는 원료물질로부터 중금속이나 발암성물질 등 유해물질이 일정기준 이상 검출되지 않도록 해야 한다.

지금까지 문신용 염료의 안전성에 대한 연구는 문신용 염료에 들어 있는 유해화학물질 중에서 주로 중금속, 발암성 물질로 알려진 아조염료 등 색소, 벤조피렌·나프탈렌 등 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)를 대상으로 연구하였다.^{8,9)} 그 결과 유럽연합은 문신용 염료에 대하여 안전기준을 정하여 관리하고 있으며,¹⁰⁾ 우리나라도 2015년부터 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」에서 문신용 염료를 위해우려제품 중의 하나로 지정하고, 유럽연합의 안전기준과 동일하게 클로로포름·염화비닐 등 64종의 물질은 사용을 금지하고, 비소(2 mg/kg)·바륨(50 mg/kg)·PAHs(0.5 mg/kg) 등 17종의 함량 기준을 정하여 관리하고 있다. 그 외에 문신용 염료에 대하여 규정이나 기준을 정하여 관리하고 있는 것으로 알려진 국가는 없다.

Khandekar Shubhangi(2013)는 문신용 염료 내에는 중금속이나 PAHs와 같은 발암성물질 외에도 페놀이 함유되어 있을 가능성을 보고하였다.¹¹⁾ 페놀은 피부에 접촉하는 경우 피부 부작용을 일으키며, 삼키거나 흡입 또는 피부를 통해 체내에 흡수되는 경우 심장 부정맥, 호흡곤란, 혼수상태 등 전신영향(systemic effects)뿐만 아니라 심하면 사망에 이르게 할 수 있어,¹²⁾ 페놀이 문신용 염료에 들어 있을 경우 문신시술로 인한 부작용이 발생할 가능성이 매우 높다.

페놀은 국립환경과학원이 급성경구독성(구분 3),

급성경피독성(구분 3), 급성흡입독성(구분 3), 피부부식성(구분 1), 생식세포변이원성(구분 2), 특정표적 장기독성(반복노출, 구분 2)에 해당하는 물질로 분류하고 있다. 2% 페놀이 함유된 살균용액 7.5 리터를 2.5일간 심각한 화상부위에 투여한 10세 소년이 호흡곤란과 혼수상태에 빠져 사망하였으며, 30%의 페놀 용액에 얼굴, 목 등이 노출된 17세 남성이 30분 이내 사망한 사례가 보고되기도 하였다(ATSDR, 2008).¹³⁾

그럼에도 불구하고 문신용 염료의 안전기준을 정하고 있는 유럽연합과 우리나라 모두 안전기준 대상에서 페놀을 제외하여 문신 피시술자들이 보건학적 위험에 노출되어 부작용이 발생한 우려가 커지고 있다.¹⁰⁾ 우리나라에서도 문신시술이 확산되고 있는 상황에서 피시술자들의 건강을 보호하기 위해서는 문신용 염료에 대한 안전성을 규명하는 연구의 필요성은 증대되고 있다.

이에, 본 연구는 시중에서 유통되는 문신용 염료를 대상으로 페놀성분 분석을 실시하고, 그 결과를 토대로 페놀의 경피노출로 인한 전신영향에 대한 위해성 평가 연구를 수행하였다. 특히 페놀에 대해서는 4가지 색상의 문신용 염료 내 함량을 분석하고 그 결과를 토대로 위해성 평가를 실시하여 인체 미치는 영향을 확인함으로써 문신용 염료에 대한 안전관리대책의 근거를 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 분석대상 문신용 염료 선정

문신용 염료의 색상별 페놀 함량을 비교하기 위하여 삼원색(red, blue, yellow) 15개 제품과 문신의 기본색상인 검정색(black) 15개 제품 총 30개 제품을 분석대상으로 선정하였다. 제품의 구입은 전 세계에서 유통되는 문신용 염료 약 60개 브랜드 중에서 출시 제품수가 많고 오픈마켓(Amazon, eBay)에서 구매가 가능한 제품으로서 5개 브랜드(A-E)는 4가지 색상을 모두 구입하고, 10개 브랜드(F-O)는 검정색을 구입하여 분석하였다.

2. 페놀 함량 분석

문신용 염료에서 페놀을 정량분석하기 위한 표준화된 분석지침은 현재까지 국내의 알려진 바 없다.

따라서 본 연구에서는 페놀 분석에 관한 국립환경과학원의 수질오염공정시험기준(ES 04365.2b), 미국 EPA의 Method 604 (phenols) 등을 참고하여 분석법을 확립하였다.

문신용 염료의 페놀 분석을 위한 시약은 phenol 스탠다드시약(phenol, Sigma-Aldrich Catalog no. 40063, US) 및 내부표준시약(phenol-d6, Sigma-Aldrich Catalog no. 176060)을 적용하였다. 페놀의 분석은 가스크로마토그래프 질량분석법(gas chromatography-mass spectrometry; GC-MS)을 사용하여 정량적으로 분석하였다. 분석의 전처리를 위하여 공시료, 스탠다드시약, 분석용 시료를 각각 200 μ L씩 분취하여 10 mL 용기에 담고 페놀 내부표준시약 30 μ L와 1,800 μ L의 증류수를 첨가하였다. 여기에 500 μ L의 농염산을 첨가한 후 100°C에서 30분간 가수분해하였다. 가수분해가 끝난 시료를 ice 상태에서 약 15분간 냉각시킨 다음 이소프로필 에테르(isopropyl ether) 3 mL를 첨가하고 10분간 진탕한 후 2,500 rpm에서 10분간 원심 분리하였으며, 이후 용매 층을 자동주입기용 바이알에 옮겨 분석용 시료로 사용하여 페놀 함량(μ g/g)을 분석하였다. 5개의 검정곡선 농도 범위에서 검정곡선의 직선성(R^2)은 0.995 이상이었으며, QC물질로는 검정곡선의 중간농도를 사용하여, 재현성 및 정확성(95%)을 확인하였다. 또한 검출한계는 검정곡선 표준용액 중 최저 농도를 첨가한 시료 7개를 측정하여 결과의 표준편차에 3.14(신뢰도 98%, 자유도 6)를 곱한 값을 사용하였다.

3. 인체 위해성평가

문신시술에 따른 페놀의 위해성평가는 우리나라 「생활화학제품 및 살생물제의 안전관리에 관한 법률」이 규정한 절차와 방법에 따라 위해성 확인, 용량-반응평가, 노출평가, 위해도 결정의 과정을 거쳐 실시하였다. 경피노출에 관한 기존의 일반적인 위해성 평가는 대상물질의 외부 피부접촉을 전제로 수행하고 있으나, 본 연구에서의 문신시술에 따른 경피노출은 표피와 진피 사이에 대상물질을 주입함으로써 노출양상에 차이가 있고, 페놀의 경피노출로 인한 전신영향은 페놀이 체내에 흡수됨으로 인하여 발생하므로 페놀의 피부 흡수 수준을 반영하여 위해성평가를 실시하였다.

3.1. 위해성 확인

페놀의 경피노출로 인한 위해성은 여러 부작용 중에서 페놀이 체내에 흡수되어 인체에 미치는 전신영향(systemic effects; 심혈관계 영향, 중추신경계 영향 등)에 관한 독성데이터를 확인하였다. 독성데이터의 수집은 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer; IARC), 유럽연합의 위해성평가보고서(EU Risk Assessment Report; RAR), 미국환경청의 통합위해성정보시스템(USEPA Integrated Risk Information System; IRIS), 미국국립의학도서관의 HSDB, Pubmed 등 신뢰성이 있는 데이터베이스에서 역학연구자료, 동물시험자료 등 공개된 문헌자료를 검색하여 확인하였다. 수집된 자료는 시험동물, 노출기간, 독성값, 독성영향을 검토하여 가장 민감한 독성값(가장 낮은 용량의 독성값)에 해당하는 독성자료의 무영향관찰용량(No Observed Adverse Effect Level; NOAEL) 또는 최소영향관찰용량(Lowest Observed Adverse Effect Level; LOAEL)을 선택하였다.

3.2. 용량-반응평가

용량-반응평가(Derived no-effect level; DNEL_{dermal})는 위해성 확인결과 선택된 동물시험에 의한 독성값을 사람에게 적용하는데 따른 불확실성 평가계수(Assessment factors; AFs)를 반영하여 보정하고, 추가로 동물시험과 문신시술의 노출양상 차이로 인한 페놀의 체내 흡수량 차이를 보정하기 위해 페놀의 피부 흡수율을 반영하여 DNEL_{dermal}을 산출하였다.

AFs는 국립환경과학원과 유럽연합 화학물질청의 평가지침에¹⁴⁻¹⁵⁾ 따라 인체가 페놀에 1회 노출될 경우의 전신영향에 대하여 동물시험자료를 외삽할 때의 종간 외삽(intraspecies extrapolation), 종내 외삽(interspecies extrapolation), NOAEL 대신 LOAEL 사용, 노출기간, 용량-반응관계, 자료의 불충분성(GLP 데이터 여부), 조정상수(Modifying Factor; MF)를 고려하여 산출하였다. 피부 흡수율은 사람을 대상으로 페놀의 피부를 통한 체내 흡수율을 연구한 문헌자료를 조사하였고, 위해 가능성을 최소화하기 위하여 조사결과 가장 낮은 피부 흡수율(worst case)을 적용하였으며, 아래의 식을 사용하여 DNEL_{dermal}을 계산하였다(식 (1)).

$$DNEL_{dermal} = NOAEL / (AF_1 + AF_2 + \dots + AF_n + MF)$$

*페놀의 피부 흡수율(%) (1)

3.3. 노출평가

노출평가(Exposure_{phenol})는 문신시술시 문신용 염료의 사용량(Usage_{tattooink}; 최초사용량과 리터치 사용량)에 페놀의 함량(Phenol_{concentration})과 피부 흡수율을 곱한 후 성인평균체중(Body Weight; BW_{adult})으로 나누어 체중당(kg) 성인평균노출량을 산출하였다. 문신용 염료의 사용량과 성인평균체중은 우리나라 「생활화학제품 위해성평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정 (국립환경과학원고시 제2018-70호)」에서 정하고 있는 문신용 염료의 표준노출계수를 적용하고, 페놀 함량은 문신용 염료 30개 제품 분석결과를 적용하였으며, 피부 흡수율은 유럽연합이 문신용 염료의 위해성을 검토하는 과정에서 화학물질이 표피와 진피 사이에 주입되므로 인해 전량 체내 흡수되는 것으로 보고하여(ECHA, 2017),¹⁶⁾ 피부를 통한 체내 흡수율은 100%를 적용하였으며, 아래의 식을 사용하여 계산하였다(식 2)).

$$Exposure_{phenol}(mg/kg) = Usage_{tattooink} * Phenol_{concentration}$$

*피부 흡수율(100%)/BW_{adult} (2)

3.4. 위험도 결정

위해도는 DNEL_{dermal}과 Exposure_{phenol}을 비교하여 위험도결정비(risk characterisation ratio; RCR)를 산출하여 결정하였으며, 아래의 계산식을 적용하여 산출하였다(식 (3)). RCR이 1 미만(RCR <1)이면 페놀의 위험도는 허용 가능한 수준이며, RCR이 1을 초과(RCR >1)하면 페놀의 위험도가 허용 가능한 수준을 벗어나 위해 발생 가능성이 있는 것으로 평가하였다.

$$RCR = Exposure_{phenol} / DNEL_{dermal}$$

(3)

III. 결 과

문신용 염료 30개 제품에서 페놀이 최저 1.4 µg/g, 최대 649.1 µg/g이 검출되었다. 브랜드별로는 A브랜드에서 1.4-342.6 µg/g이 검출되었으며, B브랜드는 6.6-201.8 µg/g, C브랜드는 18.7-309.1 µg/g, D브랜드는 45.4-649.1 µg/g 등으로 나타났다(Table 1).

페놀의 경피노출에 따른 심장부정맥(cardiac arrhythmia), 경련(tremor, convulsion), 혼수상태(loss of consciousness) 등 전신영향에 관한 유해성자료 검색결과 5가지의 독성시험자료가 확인되었으며, 이 가운데 가장 낮은 용량은 동물시험(설치류, rat)에 의한 107 mg/kg으로 확인되었다(Table 2).¹⁷⁻²⁰⁾

DNEL_{dermal}은 설치류(rat) 시험결과 독성값 107 mg/kg에 대해 사람에게 적용함에 따른 불확실성 보정을 위한 AFs는 rat와 사람과의 대사활성과 동력학에 대한 AF 6.5, 종내 민감도에 대한 AF 10, NOAEL 대신 LOAEL 채택에 대한 AF 10 등 총 AFs는 650 (6.5*10*10=650)을 반영하였다. 또 인체를 이용한 페

Table 1. Phenol concentrations of 30 tattoo inks (µg/g)

Brand	Color	Phenol (µg/g)	
		mean*	±SD
A	red	342.6	±17.7
	blue	272.7	±29.4
	yellow	182.7	±2.2
	black	1.4	±0.2
B	red	201.8	±1.2
	blue	118.2	±3.2
	yellow	176.7	±0.9
	black	6.6	±0.3
C	red	309.1	±6.4
	blue	188.8	±0.2
	yellow	18.7	±0.8
	black	39.5	±1.1
D	red	649.1	±7.4
	blue	122.8	±8.3
	yellow	45.4	±1.2
	black	120.6	±7.1
E	red	283.6	±6.6
	blue	79.3	±0.8
	yellow	82.2	±0.9
	black	19.5	±2.1
F	black	39.9	±0.1
G	black	59.2	±2.3
H	black	20.3	±0.4
I	black	111.7	±1.4
J	black	33.0	±1.0
K	black	37.0	±2.2
L	black	23.1	±3.0
M	black	139.0	±3.5
N	black	50.0	±2.8
O	black	29.5	±1.1

*Mean of three time-analysis in one sample

Table 2. Systemic toxicity data on dermal exposure for phenol

Species	Exposure Duration	LOAEL	Systemic Effects	Reference
Rat (F*)	24 hr	107 mg/kg	Severe muscle tremors Marked twitching Generalized convulsions Loss of consciousness and prostration	Conning & Hayes. 1970 ⁽¹⁷⁾
Human (M**)	1 hr	425 mg/kg	Cardiac arrhythmia	Warner & Harper 1985 ⁽¹⁸⁾
Rabbit (M)	once	357 mg/kg	Cardiac arrhythmia Ventricular tachycardia	Wexler et al. 1984 ⁽¹⁹⁾
Pig (F)	24 hr	500 mg/kg	Dyspnea Twitching Tremors	Pullin et al. 1978 ⁽²⁰⁾
Rabbit	18 day	130 mg/kg/day	Twitching	Deichmann et al. 1950 ⁽¹²⁾

*F=Female, **M=Men or male

Table 3. Result of dose-response assessment of tattoo inks

Variable	Value	unit	Reference
LOAEL	107	mg/kg	Conning and Hayes (1970) ⁽¹⁷⁾
AFs	650 (6.5*10*10)	-	Intraspecies (rat → human); 6.5 Interspecies (Human Variability); 10 LOAEL to NOAEL; 10
Skin absorption rate of phenol	4.4	%	Baranowska et al. (1981) ⁽²¹⁾
DNEL	0.0072	mg/kg	LOAEL/AFs

*LOAEL, Lowest observed adverse effect level; NOAEL, No observed adverse effect level; AFs, Assessment Factors; DNEL, Derived no-effect level

Table 4. Standard exposure factors of tattoo inks

Exposure coefficient	Mean	Remarks
A. Body weight (kg)	64.2	Adult average weight
B. The amount used (mL)	2.0	
C. The amount of retouch (mL)	2.0	Reoperation with one month, Retouch time: 60 minutes
D. Total amount of skin contact (mg)	4,000	B+C (The amount of used; 2.0 mL)+Retouch; 2.0 mL)
E. Skin absorption rate of phenol (%)	100	

$$\text{Exposure amount (mg/kg)} = D * \text{phenol concentration} * E / A$$

*Reference: Regulations of subjects and methods of risk assessment of living chemical products (The Ministry of Environment Korea, 2018)

놀의 피부 흡수율에 관하여 Fledmann et al.(1970)은 성인남성의 복부에 대한 단일 국소도포 시험(*in vivo*)에서 4.4%의 피부 흡수율을 보고하였으며,²¹⁾ Baranowska et al.(1981)은 성인남성의 팔뚝에 도포 시험(*in vivo*)에서 피부 흡수율을 페놀 농도에 따라 12.6%와 22.7%로 보고하였다.²²⁾ 또 Thomas J. Franz (1975)는 사람의 피부를 이용한 시험관 내 시험(*in*

vitro)에서 피부 흡수율은 10.9%(중앙값)로 보고함에 따라,²³⁾ 조사된 연구자료에서 피부 흡수율이 가장 낮은 4.4%를 적용하여, DNEL_{dermal}은 0.0072 mg/kg (=107 mg/kg÷650*4.4%)을 도출하였다(Table 3).

Exposure_{phenol}은 표준노출계수에 의거 문신용 염료의 1회 시술시 사용량 4,000 mg (최소사용량 2,000 mg과 리터치시 사용량 2,000 mg), 성인평균체중 64.2

Table 5. Result of risk characterization of tattoo inks (DNEL=0.0072)

Color	Brand	Exposure (mg/kg)	RCR (Exposure/DNEL)
red	A	0.021346	2.96
	B	0.012573	1.75
	C	0.019259	2.67
	D	0.040442	5.62
	E	0.017670	2.45
blue	A	0.016991	2.36
	B	0.007364	1.02
	C	0.011763	1.63
	D	0.007651	1.06
	E	0.004941	0.69
yellow	A	0.011383	1.58
	B	0.011009	1.53
	C	0.001165	0.16
	D	0.002829	0.39
	E	0.005121	0.71
black	A	0.000087	0.01
	B	0.000411	0.06
	C	0.002461	0.34
	D	0.007514	1.04
	E	0.001215	0.17
	F	0.002486	0.35
	G	0.003688	0.51
	H	0.001265	0.18
	I	0.006960	0.97
	J	0.002056	0.29
	K	0.002305	0.32
	L	0.001439	0.20
	M	0.008660	1.20
	N	0.003115	0.43
	O	0.001838	0.26

kg을 사용하였다(Table 4). 이 표준노출계수에 30개 제품의 페놀함량을 적용하여 계산한 결과 Exposure_{phenol}은 빨간색은 0.012573-0.040442 mg/kg, 파란색은 0.004941-0.016991 mg/kg, 노란색은 0.001165-0.011383 mg/kg, 검정색은 0.000087-0.008660 mg/kg이었으며, RCR을 산출한 결과 30개 제품 중 13개 제품에서 RCR이 1을 초과하여 위해 발생 가능성이 높은 것으로 나타났다. 특히 빨간색 잉크는 5개 제품 전부 RCR이 1을 초과하는 것으로 확인되었으며, 파란색은 5개 제품 중 4개 제품의 RCR이 1을 초과하였고, 노란색과 검정색 제품은 각각 2개 제품이 RCR이 1을 초과하는 것으로 나타났다(Table 5).

IV. 고 찰

시장에 유통되는 문신용 염료 내 페놀이 함유된 원인은 명확하지 않다. 페놀이 아조염료의 원료로서 직접적으로 사용되거나,²⁴⁾ 문신용 염료에 사용되는 여러 종류의 화학물질 즉, 다양한 칼라를 나타내는 색소, 이소프로필알콜·에탄올 등의 살균 및 용매제, 글리세린과 같은 문신시술시의 상처치료제, 식물성 진통제(Witch Hazel, Hamamelis) 등이 각각의 기능을 발휘하기 위해 혼합하는 과정에서 사용될 수 있다. 또한 여러 성분의 화학물질 혼합체인 문신용 염료는 각각의 구성성분이 가지고 있는 불순물이나 부산물로 인해 페놀이 검출될 가능성도 있다.¹¹⁾

본 연구에서 문신용 염료의 페놀 함량을 분석한 결과, 4가지 색상 30개 제품 모두 페놀이 검출되었으며, 특히 빨간색과 파란색 염료에서 페놀 함량이 상대적으로 높았다. 기존 선행연구들은 문신용 염료의 페놀 함량을 정량적으로 분석한 연구는 전무한 상황이다. 이에, 본 연구결과와 비교하는 것이 제한적이기는 하지만 검정색 문신용 염료 19개 제품을 대상으로 PAHs의 검출량을 분석한 연구(Regensburger et al. 2010)에서 부수적으로 페놀이 0.2-385 µg/g 검출된 것으로 보고된 바, 본 연구의 분석결과와 유사한 수준을 나타내고 있다.²⁵⁾

위해성 평가를 위한 유해성 확인 결과 전신영향이 나타난 가장 낮은 용량의 설치류(rat, 107 mg/kg)에 대한 시험자료를 인체에 외삽함에 있어서 AFs 650은 중간 외삽(6.5), 종내 외삽(10)뿐만 아니라 NOAEL 대신 LOAEL 사용에 대한 AF10을 적용하여 산출하였다. 선택된 독성자료(Conning & Hayes. 1970)는 rat를 대상으로 페놀 노출방법에 따라 2그룹(페놀 노출부위를 밀폐시킨 A그룹과 그렇지 않은 B그룹)으로 나누고 각 그룹별 4단계 용량(A그룹; 107, 268, 535, 1070 mg/kg, B그룹; 107, 535, 803, 1070 mg/kg)으로 각 용량별 rat 5마리(총 40마리)를 노출시켜 실험한 결과 모든 용량과 모든 실험동물(40마리)에서 전신영향(심한 근육경련과 혼수상태, 심한 혈액색소증 등)을 보고하였다. 따라서 독성시험의 최저 용량(107 mg/kg)을 LOAEL로 선택하였으나 용량-반응 관계를 유추하기에는 불확실성이 커서 불가피하게 AF 10을 적용하였다.

또 DNEL_{dermal} 도출과 노출량 계산에 있어서 기존의 일반적인 위해성 평가에서와 달리 피부 흡수율을 고려하였다. 페놀의 경피노출로 인한 전신영향은 페놀이 피부를 투과하여 체내 흡수됨으로써 발생하기 때문이며, 동물시험에서 시험동물의 외부 피부에 유해화학물질을 적용하여 독성을 관찰하는 것과 달리 문신술에 따른 노출은 표피와 진피 사이에 물질을 직접 주입하여 진피에 잉크를 침착시키는 노출양상의 특이성으로 인하여 일반적인 노출방법에 의한 독성값과 노출량을 그대로 적용하는 것은 곤란하다. 문신용 염료의 위해성 평가(ECHA, 2017)에 있어서 화학물질이 표피와 진피 사이에 주입될 경우 체내 100% 흡수되는 것으로 간주되고 있으나,²⁵⁾ 사람의 피부를 이용한 페놀 흡수율 시험에서 4.4-26% 등의 시험결과에 비추어 피부 흡수율에 차이는 존재함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 DNEL_{dermal}을 도출하는 과정에서 페놀의 피부 흡수율(worst case)을 반영함으로써 노출양상에 따른 차이를 보정하였다. 피부 흡수율에 관한 여러 자료 중에서는 인체 부작용의 최소화를 위하여 피부 흡수율이 가장 낮은 데이터를 적용하였다. 우리나라 「생활화학제품 위해성평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정(국립환경과학원고시 제2018-70호)」에서도 액상제품의 경피노출에 대한 노출량 산정시 체내 흡수율을 적용하도록 규정하고 있고, 덴마크 환경청(2012)이 문신용 염료의 안전기준이 마련되어 있는 물질의 위해성 평가에서 DNEL에 해당하는 흡수율과 노출평가를 통해 도출된 노출량에 해당하는 흡수율을 비교하는 방법을 사용한 것은 본 연구에서의 피부 흡수율의 적용이 적절한 것으로 볼 수 있다.²⁶⁾ 서지은(2017)과 박교현(2016)은 화학물질의 피부 흡수에 관한 연구에서 화학물질별로 피부 흡수 및 투과량에 차이가 있는 것으로 보고하였다.²⁷⁻²⁸⁾ 따라서 페놀뿐만 아니라 문신용 염료에 들어 있는 유해화학물질의 위해성 평가에 있어서 피부 흡수율은 반드시 고려되어야 한다.

노출평가를 위한 노출량 계산방법은 EU가 문신용 염료 내 중금속, PAHs의 위해성 평가를 위해 사용한 방법과 동일하였으나, 우리나라 표준노출계수의 문신용 염료 평균사용량(4,000 mg)과 성인평균체중(64.2 kg)은 EU가 적용한 기준(사용량 4,308 mg, 체중 60 kg)과 차이가 크지 않지만, 우리나라가 적용하는 문신시술횟수(전 생애 2회)의 경우 EU는 적용

하지 않고 있어 노출량 계산시 차이가 존재하고 있다.¹⁶⁾ 따라서 본 연구에서 노출평가는 1회 노출시의 전신영향을 평가하기 위하여 EU와 동일한 방법에 따라 노출량을 계산하였으며, 문신시술횟수(전 생애 2회)는 고려하지 않았다.

본 연구의 위해성 평가 과정에서 비교적 큰 AFs(650)를 적용하였으며 기존의 위해성 평가에서 고려되지 않은 피부 흡수율을 적용하였다. 이것은 문신시술시의 유해화학물질 노출양상의 특이성으로 인하여 발생한 문제이며 본 연구의 제한점이기도 하다. 지금까지의 독성시험이 피부 표면에 시험물질을 노출시키는 일반적인 경피노출을 가정하여 수행함으로써 인체 것으로서 이러한 문제는 문신시술과 동일한 노출방법을 이용한 독성시험으로 해결할 수 있다. 또 페놀의 강한 부식성으로 인하여 동물시험이 곤란하여 독성데이터가 부족한 점도 유해성 확인을 하는데 한계가 있음을 확인하였다. 따라서 문신술에 따른 인체 위해성 평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 문신시술시의 화학물질 주입과 동일한 시험방법의 개발과 그에 따른 독성자료 확보를 위한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 분석한 문신용 염료는 시중에 유통되는 약 50가지 이상의 색상 중 기본적인 4가지 색상만을 분석함으로써 특정 색상에서 나타나는 페놀 함량을 대표할 수 없다는 점과 특정 색상에서 페놀 검출량이 많은 원인에 대해서는 특정하지 못한 점, 페놀의 강한 부식성으로 인하여 독성자료가 부족하고 동물시험에서의 투여용량이 다양하지 못하여 위해성 평가를 위한 독성시험자료의 불충분성, 문신술에 따른 노출양상의 특이성 등의 한계점이 있다. 그럼에도 불구하고 문신용 염료에 들어 있는 페놀에 대한 안전기준은 정립되지 않은 상황이다. 이에, 본 연구는 문신용 염료의 안전기준에 포함되지 않은 페놀을 대상으로 검출분석 및 위해성을 평가하였다는 중요한 의의가 있다.

본 연구를 통해 문신용 염료에 페놀이 함유되어 있는 것으로 확인되었고, 또 경피노출에 따른 전신영향에 대한 위해성 평가 결과는 문신시술시 페놀로 인한 인체 부작용이 나타날 우려가 있음을 보여 준다. 따라서 문신용 염료 내 페놀에 대한 위해성 평가 결과(DNEL_{dermal}과 RCR)를 토대로 페놀의 안전기준을 설정하는 등의 추가적인 관리방안이 마련되어야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 문신용 염료에 들어 있는 페놀의 함량을 분석하고, 그 결과를 이용하여 페놀의 위해성 평가를 수행하였다. 위해성 평가는 페놀의 인체 전신 영향에 대한 독성자료를 수집하여 DNEL_{dermal}을 산출하였으며, 문신용 염료의 표준노출계수와 페놀 함량 분석결과를 이용하여 Exposure_{phenol}을 산출하였다. 또 문신시술시 페놀에 대한 피부 부작용에 대한 위험도는 Exposure_{phenol}에 DNEL_{dermal}을 나누어 RCR을 산정하였다.

이에 따라 다음과 같은 결과를 도출하였다. 30개 제품에 모두 1.4-640.1 µg/g의 페놀이 들어 있는 것으로 분석되었으며, RCR은 0.01-5.62가 산출되었다. 13개 제품의 RCR이 1을 초과하여 위해가능성이 높게 나타났다. 이러한 연구결과를 종합한 결과 본 연구를 통하여 문신용 염료 내 페놀에 대한 위해성을 평가하고 안전관리를 위한 근거를 제안하였다는 연구적 의의가 있다. 본 연구결과를 토대로 관계기관은 문신용 염료 내 페놀 함유에 대한 적합한 기준 마련 등의 안전관리대책을 시급히 마련하여야 할 것이다.

References

1. Mi-Ra Jeong, Hui-Seong Lee, Ji-Young LEE, Sun-Hwa Lee. Analysis of Heavy Metals in Dyes and Pigments Used in Make up Tattoo. *Journal of the Korea Convergence Society*. 2018; 9(4): 321-329.
2. Fekete GL, Fekete JE. Tattoo-associated skin reactions-clinical cases. *Acta Medica Marisiensis*. 2013; 59(3): 172-174.
3. National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency (NECA), Pilot study for understanding the present situation of decorative tattoos; 2015. p. 13-18.
4. Khetarpal S, Molenda M, Seiger E, Pui J, Obagi S. Blue foot: a second case of “tattoo blow-out” pigment spread successfully treated with the QS-Nd:YAG laser. *J Drugs Dermatol*. 2010; 9(11): 1429-1431.
5. Sergeant A, Conaglen P, Laurenson IF, Claxton P, Mathers ME, Kavanagh GM, Tidman MJ. Mycobacterium chelonae infection: a complication of tattooing. *Clin Exp Dermatol*. 2013; 38(2): 140-142.
6. Andrea Bassi, Piero Campolmi, Giovanni Cann-

7. Biswas A. Pseudoepitheliomatous tattoo reaction. *Diagnostic Histopathology*. 2011; 17(6): 272-275.
8. Australia Department of Health. Characterisation of tattoo inks used in Australia; 2016. p. 13-27.
9. Giovanni Forte, Francesco Petrucci, Antonio Cristaudo, Beatrice Bocca. Market survey on toxic metals contained in tattoo inks. *Science of the Total Environment*. 2009; 407: 5997-6002.
10. European Commission Joint Research Centre (EC JRC). JRC Technical Report; Safety of tattoos and permanent make-up Compilation of information on legislative framework and analytical methods; 2015. p. 99-128.
11. Khandekar Shubhangi, Dive Alka, Upadhyaya Neha, Mishra Rakesh Kumar, Gupta Shalini. Cancer Risk in Tattoos: A Review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2013; 5: 62-64.
12. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Skin Notation Profiles_Phenol; 2011. p. 2-5.
13. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Phenol; 2008. p. 75-76
14. National Institute of Environmental Research (NIER). Guideline for the preparation of data on the risk of chemical substances; 2017. p. 81-100.
15. European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on information requirements and chemical safety assessment; 2011. part. B-G.
16. European Chemicals Agency (ECHA). Annex XV Restriction report; Substances in tattoo inks and permanent make up; 2017. p. 16-63.
17. D. M. Conning, M. J. Hayes. The dermal toxicity of phenol: an investigation of the most effective first-aid measures. *British Journal of Industrial Medicine*. 1970; 27(2): 155-159.
18. Mark A. Warner, James V. Happer. Cardiac Dysrhythmias Associated with Chemical Peeling with Phenol. *Anesthesiology*. 1985; 62: 366-367.
19. Menachem R. Wexler, David A. Halon, Aliza Teitelbaum, Georg Tadjer, Isaac J. Peled. The Prevention of Cardiac Arrhythmias Produced in an Animal Model by the Topical Application of a Phenol Preparation in Common Use for Face Peeling. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1984; 73(4): 595-598.
20. Pullin TG, Pinkerton MN, Johnson RV, et al.

- Decontamination of the skin of swine following phenol exposure. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1978; 43: 199-206.
21. Robert J. Feldmann, Howard I. Maibach. Absorption of some organic compounds through the skin in man. *The Journal of Investigative Dermatology.* 1970; 54(5): 399-404.
 22. Bozena Baranowska-Dutkiewicz. Skin Absorption of Phenol from Aqueous Solutions in Men. *Int Arch Occup Environ Health.* 1981; 49: 99-104.
 23. Thomas J. Franz. Percutaneous absorption on relevance of in vitro data. *The Journal of Investigative Dermatology.* 1975; 64: 190-195.
 24. H.S.Patel, A.P.Pajel, S.N.Shah. Azo Dyes Based on Phenol-Furfural Oligomers. *International Journal of Polymeric and Polymeric Biomaterials.* 1998; 43: 313-323.
 25. Regensburger J, Lehner K, Maisch T, Vasold R, Santarelli F, Engel E et al. Tattoo inks contain polycyclic aromatic hydrocarbons that additionally generate deleterious singlet oxygen. *Exp Dermatol.* 2010; 19(8): e275-281.
 26. Danish EPA. Risk Assessment of Hazardous Substances in Tattoo Inks based on the project, "Chemical Substances in Tattoo Ink"; 2012. p. 3-10.
 27. Ji-Eun Seo, Jinho Lee, and Bae-Hwan Kim. A Permeation Characteristics Study of Water- or Oil-soluble Substances through Condition Setting for the In Vitro Skin Absorption Method. *J Environ Health Sci.* 2017; 43(1): 77-86
 28. Kyo-Hyun Park, Se-Hoon Jung, Ho-Sang Shin, and Bae-Hwan Kim. Permeation Characteristics of Hazardous Substances in Tattoo Dye using Franz Diffusion Cells. *J Environ Health Sci.* 2016; 42(1): 61-70

<저자정보>

조삼래(학생), 김경희(교수), 최재욱(교수)