

가발접착제의 인체 안전성 평가

김정원 · 이정현[†]

영산대학교 미용예술학과

(2019년 3월 4일 접수, 2019년 3월 13일 수정, 2019년 3월 14일 채택)

Health Safety Assessment of Wig Adhesives

Jungwon Kim and Jeonghyun Lee[†]

Dept. Beauty Art, Youngsan University, 142 Bansom Beltway(Bansom-dong), Busan 48015, Korea

(Received March 4, 2019; Revised March 13, 2019; Accepted March 14, 2019)

초록: 두피에 가발을 고정시키는 가발접착제로부터 야기되는 휘발성 유기화합물(VOCs)과 세포독성을 자동차 실내 공기질 측정방법(MS 300 55)과 세포독성 국제 표준 평가방법(ISO 10993-5)에 의거해 각각 분석·평가하였다. 각각의 안전성 평가는 아크릴계와 실리콘계를 주성분으로 제조된 4가지 상용 가발접착제 제품을 비교 분석함으로써 수행하였다. 휘발성 유기화합물 분석에서는 실리콘계 가발접착제(특히, Wig-Silicone-II)가 아크릴계 가발접착제보다 톨루엔 및 포름알데히드 등 모든 VOCs 분석항목에서 낮은 방출량을 보였다. 세포 독성 시험은 실험의 신뢰성을 높이기 위해 다른 조직에서 유래된 4가지 종류의 세포를 사용하여 수행되었다. 세포 독성 평가에서도 실리콘계 접착제가 아크릴계 접착제보다 상대적으로 안정적인 세포 생존율을 보였고, Wig-silicone-II 접착제가 다른 접착제보다 우수한 인체 안전성을 보임을 알 수 있었다. 더욱이, 본 연구를 통해 VOCs 방출량과 세포독성과 연관성을 확인할 수 있었다.

Abstract: The levels of volatile organic compounds (VOCs) in adhesives to attach the wigs on the human skin and their cytotoxic effect were evaluated using auto indoor air quality measurement (MS 300 55) and test for cytotoxicity (ISO 10993-5), respectively. Individual health safety assesment was carried out in comparison to 4 types of commercial wig-adhesive products made mainly of acrylic and silicone base. In the VOCs analysis, silicone wig-adhesives, especially Wig-Silicone-II, had lower emission values than other three adhesives, in all analyzed VOCs such as toluene and formaldehyde. Cytotoxic test was performed using 4 kinds of cell lines originating different tissues to increase experimental reliability. The results of cytotoxic evaluation showed that silicone wig-adhesives were less cytotoxic than acrylic wig-adhesives, and Wig-Silicone-II had much more health safety than other three wig-adhesives. In addition, the relationship between VOCs emission and cytotoxicity was confirmed in this study.

Keywords: wig-adhesives, cytotoxicity, volatile organic compounds, acrylic adhesives, silicone adhesives.

서 론

현재 국내 탈모인구는 약 1000만 명 이상이며 탈모시장 규모도 약 4조원에 이른다고 알려져 있고, 최근 들어 스트레스·환경·생활스타일 영향 등으로 중장년층의 주요 고민이었던 탈모가 2030 세대의 고민거리로 떠오르면서 예방 및 치료뿐만 아니라 미용 및 보완을 위한 탈모시장이 급격하게 커지고 있다. 이에 따라 탈모시장은 기능성 샴푸를 넘어 탈모 예방·치료 보조기구, 가발까지 그 대상 제품들이 다양해지고 있는

상황이다.^{1,2}

특히, 국내 가발 기술은 일본과 함께 글로벌 시장을 선도하고 있으며, 가발은 크게 앞머리를 포함해 머리에 얹어 쓰는 가발(wig), 모발에 실로 꿰매거나 접착제로 붙이는 가발(weaving), 모발에 직접 땀아서 사용하는 가발(braid) 등으로 구분되며, 가발 접착은 접착제나 접착테이프를 고정시키는 방식으로 사용되고 있다.

지식경제부 기술표준원(2009. 8)에서 발표한 바로는 국내에 가발용 접착제로 판매중인 18개 제품 중 9개 제품에서 톨루엔이 kg당 24에서 최대 29000 mg이 검출되는 경우들이 보고되었으며, 국가기술표준원은 인조속눈썹, 가발 등의 부착에 사용 중인 접착제에 대한 안전성 조사를 실시하여 톨루엔과 포름알데히드의 안전기준을 20 mg/kg 이하로 규정하였다.³ 하

[†]To whom correspondence should be addressed.
0574tla@naver.com, ORCID[®]0000-0002-1675-323X
©2019 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

지만, 미용용 접착재료는 제품 공급에 있어서 완제품의 수입으로 인해 그 성분에 대한 안전 및 안정성의 검증이 확실하지 못한 상황으로, 최근 환경부의 위해 우려제품의 안전·표시 기준 관리제도의 도입(2015. 1) 이후 생활화학제품의 소비형태 변화, 신규 제품 유통 및 독성정보 개선 등의 변화가 지속적으로 진행되고 있으며, 이를 반영한 소비자의 위해 평가 기반의 안전·표시기준 재검토가 이루어지고 있다.⁴

가발에 사용되고 있는 접착제는 빠른 경화속도와 순간 접착력을 가지는 시아노아크릴레이트를 활용한 아크릴계와 의료용 실리콘을 기본으로 구성되는 실리콘계가 주로 사용되고 있다.

시아노아크릴레이트는 메틸, 에틸, 부틸, 옥틸, 알릴 시아노아크릴레이트 접착제가 있으나, 부틸 시아노아크릴레이트와 옥틸 시아노아크릴레이트가 의료용 접착제로 널리 사용되고 있다. 하지만, 가발접착제용으로 정식 판매되고 있는 아크릴계 제품이 거의 없는 상황이라 가발 제조사에서는 접착강도 등 물성이 맞는 접착제를 선정해서 가발과 함께 판매하고 있어 에틸 등의 접착강도가 우수한 제품들이 주로 사용되고 있다. 환경적 이슈로 인해 시아노아크릴레이트의 접착시간과 유연성 등의 물성 보완과 독성 우려를 해결하고 피부 자극과 알레르기 반응을 줄이기 위한 특수한 폴리머(하이드로젤 등) 합성 또는 기능성 첨가제의 첨가 등의 다양한 연구가 현재 진행 중에 있다.⁵⁻⁸

실리콘 접착제의 경우에는, 다우코닝(미국), 신에츠(일본), 예보닉(독일) 등의 글로벌 실리콘 제조사의 의료용 실리콘을 활용해 Moriya(일본), Vapon(미국) 등의 접착제 회사들이 가발용 접착제를 제조하거나, 접착테이프나 접착제를 고정할 수 있는 가발용 접착부재 등을 생산하고 있다.⁹⁻¹¹

아크릴/실리콘 등의 합성수지계 접착제 이외의 합성수지에 천연 접착제를 혼합하거나 키토산, 카제인 등의 천연물을 도입하는 다양한 연구들이 진행되고 있지만, 가격 및 물성 측면에서 아직 합성수지계 접착제와 시장에서 경쟁할 수 있는 수준에 도달한 천연물계 접착제의 제조판매는 거의 전무한 상황이다.¹²⁻¹⁵

미용 분야에서 사용되는 접착재료들은 피부에 직접 사용되는 특성에도 불구하고 안전성에 대한 연구가 미비한 상황으로, 가발접착제는 인체-물체 접착용(쌍꺼풀용, 속눈썹용, 가발용, 네일용 등 인체에 물체를 접착하기 위해 사용되는 용도의 접착제를 의미) 제품으로 다양한 노출 시나리오 및 피부 접촉과 흡입 등의 노출 경로가 존재해, 접착제 관련 자료의 신규 정보를 최대한 반영하여 안전성 문제에서의 불확실성의 해소 및 최소화를 위한 현행 안전·표시기준 규격 개선 필요성 및 개선 방안의 객관적 근거 자료를 만들고자 한다.

이에 본 연구에서는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 아크릴계과 실리콘계 가발용 접착제 4종에 대해 휘발성 유기화합물 방출량 분석과 세포독성 분석을 통한 인체 안전성을 검

증함으로써, 미용분야에 적용 가능한 친환경 접착제 개발을 위한 안전성의 기초 자료를 확보하고자 한다.

실 험

가발접착제 선정. 국내에서 사용되고 있는 가발접착제 중에서 사용량이 많은 아크릴계 접착제 2종과 실리콘계 접착제 2종을 각각 분석 대상으로 선정하였으며, 그 주요 성분은 Table 1에 제시하였다.

가발접착제 휘발성 유기화합물(VOCs) 평가방법. 본 연구에 사용된 시험법은 자동차 실내공기질 분석방법인 MS 300 55 방법으로¹⁶ 진행하였으며, 세부 시험방법은 다음과 같다. 먼저, 가발접착제의 VOCs 방출량을 평가하기 위해 접착제를 36 cm² 호일에 3 cm² 도포한 후, 80 °C 오븐에 넣어 100초 동안 건조시킨다. 그 후, 건조한 시편을 3 L Tedlar bag에 넣고 일정 온도로 가열하여 방출되는 벤젠류와 알데히드류를 각각 분석하였다.

벤젠류의 성분 분석은 샘플링 백 내 공기를 채취한 Tenax tube을 280 °C로 가열 탈착하여, 가열하는 동안 저온 농축관의 온도는 최소 -30 °C 이하로 유지되어야 하며 가열-탈착이 끝나는 대로 저온 농축관을 가능한 빠르게 승온시켜 280 °C에서 5분 이상 2단 열탈착(TD, thermal desorber)을 실시한다. 열탈착 분석 조건은 Table 2에 나타내었다. 저온 농축관의 2 단 열탈착이 개시됨과 동시에 GC/MSD(gas chromatography/mass spectrometer detector)의 분석조건(Table 3)을 기본으로

Table 1. List of Wig Adhesives Used in This Study

Product (Wig-adhesive)	Principal ingredients
Wig-Acrylic-I	Ethyl-2-cyanoacrylate
Wig-Acrylic-II	Cyanoacrylate, Ethyl acetate
Wig-Silicone-I	Tetra silane, Ethyl acetate
Wig-Silicone-II	Silicone, Ethyl acetate

Table 2. Test Conditions of GC/MSD

Oven initial temp	35 °C
Oven temp. program	2 °C/min(80 °C)→5 °C/min(150 °C)→10 °C/min(280 °C)
Oven final temp	280 °C(10.5 min)
Column	HPS-MS(0.25 mm)(60 m 0.25 μm)
Split	20:1
Carrier gas	He, 1.3 mL/min
MS interface temp	280 °C
Ionization source	EI, 70 eV, 230 °C
MS range	m/z 29~550

Table 3. Test Conditions of TD

Desorption temp.	280 °C
Desorption time	15 min
Cold trap initial temp.	-30 °C
Cold trap final temp.	280 °C
Cold trap absorbents	Tenax-TA
Transfer line temp.	220 °C

Table 4. Test Conditions of HPLC

Column	C18(ODS) Reverse phase column(155 mm×4.6 mm ID)
Mobile phase A	Distilled water/THF(8:2 V/V)
Mobile phase B	Acetonitrile
Flow	1.5 mL/min
Eluting condition	0→25 min, B 20→60%, 25→40 min. B 20% HOLD
Oven	40 °C
Detector	360 nm(UV)

각각의 기기의 상태를 고려하여 동등한 결과를 낼 수 있는 범위 내에서 분석 조건으로 실험을 진행하였다.¹⁷

알데히드류 분석방법은 샘플 채취한 dinitrophenyl hydrazine 카트리지에 5 mL의 acetonitrile을 주입하여 흡착된 알데히드를 용출시킨다. 시료의 오염을 막기 위해 이때 사용하는 모든 기구는 acetonitrile로 세척한 후 건조시켜 사용한다. 용출액 1.5 mL를 2 mL 바이알에 넣고 HPLC(high-performance liquid chromatography)의 auto sampler에 장착한 후, 표준 분석조건(Table 4)을 참고하여 분석을 진행하였다.¹⁸

가발접착제 세포독성 평가방법. 가발접착제의 세포독성을 측정하기 위해 인간의 간에서 유래한 HepG2 cell line(human liver epithelial cells), 랫트의 신장에서 유래한 NRK52E cell line(rat kidney epithelial cells), 마우스의 배아에서 유래한 3T3-L1 cell line(mouse embryo fibroblast cells), 인간의 피부에서 유래한 HaCaT cell line(human keratinocyte cells)을 사용하였다. 실험에 사용된 cell lines는 5% fetal bovine serum (FBS: Hyclone, USA)과 1% penicillin이 함유된 dulbecco's modified eagles medium(high glucose, DMEM: Hyclone, USA) 배지에서 37 °C, 5% CO₂ 조건으로 배양하였다.

가발접착제에 대한 안전성 평가는 ISO(국제 표준화 기구)의 방법(ISO 10993-5, test for cytotoxicity, *in vitro* method)에 의거하여 진행되었으며, 세포독성을 평가하기 위한 가발접착제 시료는 ISO 10993-12(biological evaluation of medical devices- Part 12: sample preparation and reference materials)에 따라 준비하였다. 가발접착제는 용기에서 외부로 노출 시 고형으로 변형되며, 따라서 0.1 g의 고형 가발접착제

를 세포배양에 사용되는 DMEM 배지 1 mL 속에 보관(37 °C, 24시간)하여 용출시킨 후 상등액을 취해 실험에 사용하였으며, 상등액의 농도는 0.1 g/mL로 산정하였다. 제조한 4종의 접착제에 대한 세포 생존율은 MTT 분석법을 이용하여 평가하였다.¹⁹⁻²¹

제조한 4종의 접착제 시료는 0, 12.5, 25, 50, 100(mg/mL)의 농도별로 실험에 사용하였으며, 양성대조군은 0.1% zinc diethyldithiocarbamate(ZDEC)를 함유한 폴리우레탄 필름(hatano research institute, Japan)을 0.25 mg/mL의 농도로 사용하였다. 96 well plate를 이용하여 well당 5×10³개의 셀들을 준비하고 48시간 동안 시료에 노출시켰다. 이후 5 mg/mL 농도로 제조한 MTT 용액 50 µL를 첨가하여 1시간 배양 후 각 well당 100 µL의 DMSO를 가해 세포를 용해시키고 MULTISKAN GO reader(Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 세포 생존율은 100%로 표시한 음성 대조군(시료 미처리군)에 대하여 백분율로 나타내었다. 이 때, MTT 분석법과 함께 가발접착제 처리에 의한 세포의 형태학적 변화를 살펴보기 위해 Eclipse Ts2-FL microscope(Nikon Corporation, Tokyo, Japan)를 이용하여 HaCaT cells의 형태학적 변화를 관찰하였다. 실험결과에서 얻은 모든 값은 평균±표준편차로 나타내었으며, 유의적 차이의 정도는 student's *t*-test를 사용하여 *p*<0.05, *p*<0.01, *p*<0.001인 값에 대해 유의적인 것으로 처리하였다.

결과 및 토론

가발접착제 VOCs 평가결과. 가발접착제에서 방출되는 VOCs에 대한 분석 결과는 Table 5에 나타내었다.

GC-MSD 활용 벤젠을 포함한 벤젠 유도체(4종)에 대한 방출량 분석에서는 벤젠은 모든 시료에서 검출되지 않았으나, 톨루엔은 Wig-Silicone-II 제품을 제외하고는 모든 가발접착제 시료에서 검출되었다. 특히, Wig-Acrylic-II에서는 5576 µg/

Table 5. VOCs Emissions of Wig Adhesives

	(unit: mg/m ³)			
	Wig-Acrylic-I	Wig-Acrylic-II	Wig-Silicone-I	Wig-Silicone-II
Benzene	-	-	-	-
Toluene	26	5,576	73	-
Ethyl benzene	-	394	-	-
Xylene	-	566	25	24
Styrene	-	230	18	16
Formaldehyde	482	618	45	47
Acetaldehyde	1,127	581	54	53
Acrolein	232	939	206	206

m³의 방출량을 보여, 기준치(1000 µg/m³ 이하)보다 매우 높은 방출량을 보였다. 전반적으로 아크릴계 접착제보다 실리콘계 접착제가 보다 낮은 방출량을 보임을 알 수 있었다.

HPLC를 활용한 포름알데히드를 포함한 알데히드 유도체(3종)에 대한 방출량 분석에서도 전반적으로 아크릴계 접착제보다 실리콘계 접착제에서 보다 낮은 방출량을 보였으며, 벤젠류 방출량이 가장 낮았던 Wig-Acrylic-I의 경우는 알데히드류 방출량에서는 상대적으로 매우 높은 방출량을 나타내었다. 최근 신규로 독성 물질로 등재되고 있는 acrolein 방출량은 모든 접착제에서 성분이 검출되었으며, 공기 중 산화과정이나 열분해 과정에서 발생하는 것으로 예상된다.

아크릴계 가발접착제와 실리콘계 가발접착제 VOCs 분석

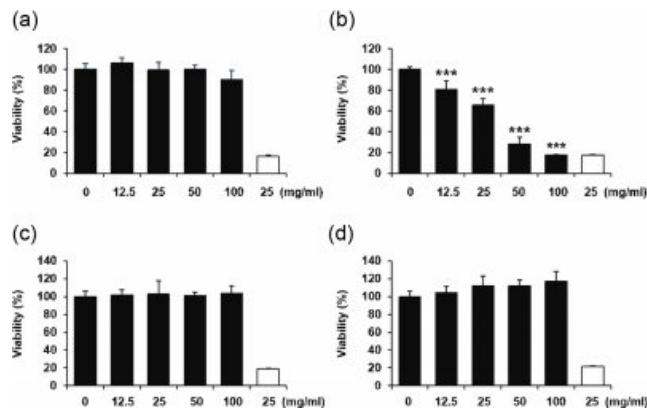


Figure 1. Effect of adhesives on viability in HepG2 cells. (a) Wig-Acrylic-I; (b) Wig-Acrylic-II; (c) Wig-Silicone-I; (d) Wig-Silicone-II. The results are expressed as mean+SD(n=8) of three separate experiments. ***Significantly different from untreated cells at $p < 0.001$ (student's t-test). ■ adhesive; □ positive control.

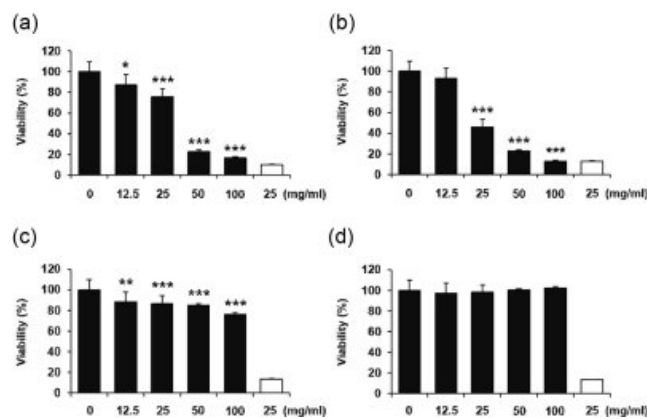


Figure 2. Effect of adhesives on viability in NRK52E cells. (a) Wig-Acrylic-I; (b) Wig-Acrylic-II; (c) Wig-Silicone-I; (d) Wig-Silicone-II. The results are expressed as mean+SD(n=8) of three separate experiments. *, **, ***Significantly different from untreated cells at $p < 0.05$, $p < 0.01$, or $p < 0.001$, respectively(student's t-test). ■ adhesive; □ positive control.

을 통해 아크릴계 가발접착제의 위해성이 더 높음을 확인할 수 있었고, 특히 Wig-Acrylic-II 접착제의 경우는 VOCs 방출량이 기준치를 상회하는 높은 방출 값을 보여 제품 사용에 대한 추가적인 안전성 평가가 있어야 할 것으로 판단된다.

가발접착제 세포독성 평가결과. 4종의 가발접착제에 대한 HepG2 cell의 세포 생존을 분석 결과 아크릴계 가발접착제인 Wig-Acrylic-II 처리에 의해 농도 의존적으로 세포 생존율이 감소되는 것을 확인할 수 있었으며, 다른 3종의 접착제에 의해서는 세포독성이 관찰되지 않았다(Figure 1). NRK52E 셀은 아크릴계 가발접착제인 Wig-Acrylic-I과 Wig-Acrylic-II 처리 그룹에서 농도 의존적 세포 생존율 감소가 관찰되었으며, 두 접착제 모두 100 mg/mL의 농도에서 20% 이하의 생존율

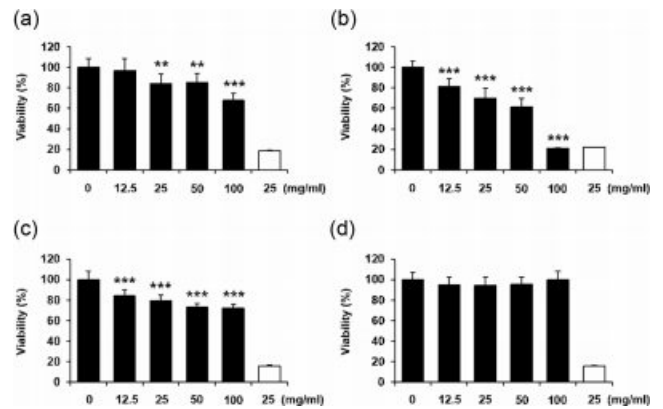


Figure 3. Effect of adhesives on viability in 3T3-L1 cells. (a) Wig-Acrylic-I; (b) Wig-Acrylic-II; (c) Wig-Silicone-I; (d) Wig-Silicone-II. The results are expressed as mean+SD(n=8) of three separate experiments. *, **, ***Significantly different from untreated cells at $p < 0.01$, or $p < 0.001$, respectively(student's t-test). ■ adhesive; □ positive control.

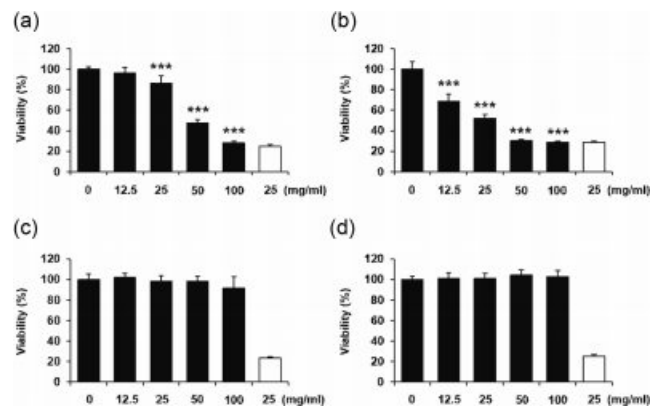


Figure 4. Effect of adhesives on viability in HaCaT cells. (a) Wig-Acrylic-I; (b) Wig-Acrylic-II; (c) Wig-Silicone-I; (d) Wig-Silicone-II. The results are expressed as mean+SD(n=8) of three separate experiments. ***Significantly different from untreated cells at $p < 0.001$ (student's t-test). ■ adhesive; □ positive control.

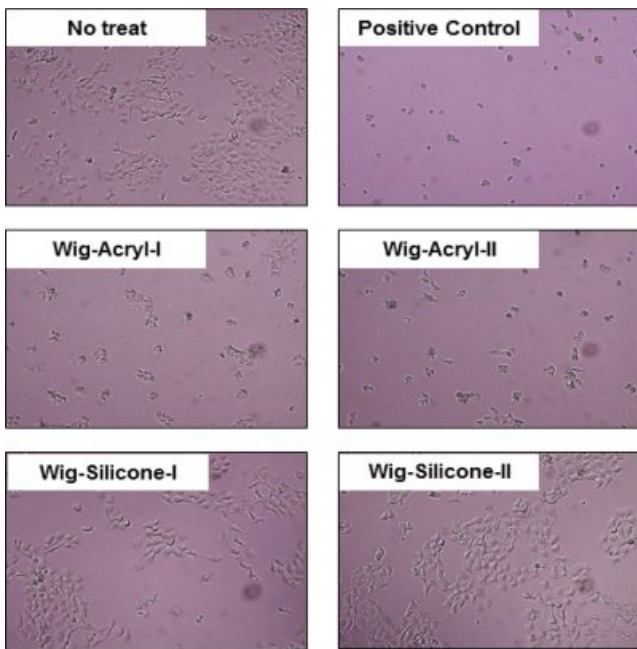


Figure 5. Morphological changes in HaCaT cells by treatment of adhesives. Cells were treated with each adhesives at a concentration of 25 mg/mL for 48 h and then photographed(Magnification: ×100).

을 보였다. 반면, 실리콘계 접착제인 Wig-Silicone-I에 의해서는 유의적인 생존율 감소를 보였지만, 아크릴계 가발접착제와 비교 시 매우 낮은 수준의 세포독성을 나타내었으며, Wig-Silicone-II에 의해서는 생존율 감소가 나타나지 않았다(Figure 2). 3T3-L1 cell을 이용한 세포독성 실험에서는 아크릴계 접착제인 Wig-Acrylic-II 처리에 의해서만 농도의존적인 세포 생존율의 감소가 유발되었으며, Wig-Acrylic-I과 Wig-Silicone-I에 의해서는 처리된 모든 농도에서 유의적인 생존율 감소가 관찰되었지만 Wig-Acrylic-II 처리군에 비해 미약한 수준의 세포독성을 나타내었다. 한편, Wig-Silicone-II에 의해서는 세포독성이 관찰되지 않았다(Figure 3). 피부세포인 HaCaT cell의 경우 신장 상피세포인 NRK52E cell에서 관찰된 세포독성의 양상과 매우 유사한 경향성을 보였다. 즉, 아크릴계 가발접착제인 Wig-Acrylic-I과 Wig-Acrylic-II는 농도 의존적 세포독성을 유발하였으며, 실리콘계 접착제인 Wig-Silicone-I, Wig-Silicone-II에 의해서는 세포독성이 관찰되지 않았다(Figure 4). 가발접착제에 의한 HaCaT cell의 세포독성은 형태학적 변화를 통해 다시 확인하였으며, 그 결과는 Figure 5에 나타났다. 세포 생존율 결과와 동일하게 아크릴계 가발접착제인 Wig-Acrylic-I과 Wig-Acrylic-II는 실리콘계 가발접착제인 Wig-Silicone-I와 Wig-Silicone-II 처리 그룹보다 현저한 세포독성이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 세포독성 실험에서 Wig-Acrylic-I의 처리는 HepG2와 3T3-L1 세포에서는 큰 독성을 보이지 않았지만, NRK52E

와 HaCaT 세포에서는 유사한 경향성의 높은 독성이 관찰되었다. 본 연구에서 사용한 세포주는 다양한 장기(organs) 및 종(species)으로 부터 유래하였으며, 인체를 구성하는 많은 종류의 세포들이 각각의 특징을 가지는 현상을 고려할 때, 현재의 연구결과 또는 알려진 세포특성만으로는 그 원인을 설명하는 것이 매우 제한적이다. 따라서 Wig-Acrylic-I에 의한 세포간 독성발현의 차이는 추후 세부적인 기전연구를 통한 규명이 필요함을 시사한다.

결론

본 연구에서는 가발 고정용 접착제로 사용되는 4 종류에 대한 기본 안전성을 검증하고 그 결과를 검토하였다. 아크릴계에서 실리콘계로 접착제 성분이 전환될수록 휘발성 유기화합물 방출량은 점차적으로 감소하는 결과를 나타냈으며, Wig-Silicone-II 접착제가 가장 친환경적인 접착제이고 Wig-Acrylic-II 접착제가 가장 유해한 접착제로 나타났다. 전체적으로 VOCs 분석을 통해서 인체 안전성을 판단할 수 있는 간접적인 실험 결과를 얻을 수 있었다. 세포분석을 이용한 안전성 평가에서는 실리콘계 접착제의 세포 생존율이 아크릴계 접착제의 세포 생존율보다 상대적으로 높은 세포 생존율을 보였으며, VOCs 분석 결과와 동일하게 Wig-Silicone-II 접착제가 가장 안전성이 높은 접착제이고 Wig-Acrylic-II 접착제가 가장 유해한 접착제로 나타났다. 이러한 결과를 토대로 가발접착제의 안전·표시기준 관리제도 재검토를 위한 충분한 기초 자료를 제공하였다고 판단되며, 본 연구에서 조사된 결과를 토대로 기존 가발접착제에서의 포름알데히드와 톨루엔 등에만 국한된 안전 기준을 보완하여, acrolein 등의 추가적 위해 물질에 대한 새로운 안전 기준 마련이 이루어져야한다고 생각되며, 가발접착제에 대한 위해성 검증 관련 종합적인 연구와 검토가 필요함을 시사한다.

감사의 글: 이 논문은 2019학년도 영산대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

1. <http://www.etoday.co.kr/news> (2018).
2. J. W. Kim, M. S. Thesis, Kwangju Women's University, 2015.
3. <http://www.safetykorea.kr/news> (2009).
4. KEITI Reprot(Risk assessment for improvement of regulatory standards about concern household chemicals product(glue)), 2017.
5. D. R. Smith, U. Kedjarune, and P. A. Leggat, *ANZ J. Surg.*, **77**, 209 (2007).
6. J. T. O'Connor and R. J. Grismala, U.S. Patent US6475331 B1 (2002).

7. J. G. Clark and J. C. Leung, PCT Patent WO97/31598 (1997).
8. D. J. Kim, PCT Patent WO2012/060623 A2 (2012).
9. I. P. Hong, Korea Patent 10-2002-0018516 (2002).
10. G. K. Kim and J. H. Bae, Korea Patent 10-2009-0101693 (2009).
11. 3M, Korea Patent 10-2015-0093193 (2015).
12. J. K. Oh, D. H. Lim, S. Kim, and H. J. Kim, *J. Adhes. Sci. Technol.*, **9**, 34 (2008).
13. M. Narimane, P. Elchinger, H. Baynast, P. Guillaume, and M. Philippe, *Eur. Polym. J.*, **60**, 198 (2014).
14. H. J. Min and J. H. Kim, *J. Kor. Soc. Cosm.*, **22**, 412 (2016).
15. S. S. Beak, S. Hong, and S. H. Hwang, *Polym. Korea*, **40**, 678 (2016).
16. Technical Standard of Hyundai Motor Co., MS 300 55 (2016).
17. ISO 16000-6, Indoor air - part 6 : Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID, 2011.
18. ISO 16000-4, Indoor air - part 4 : Determination of formaldehyde, Diffusive sampling method, 2011.
19. Y. C. Tseng, Y. Tabata, S. H. Hyon, and Y. Ikada, *J. Biomed. Mater. Res.*, **24**, 1355 (1990).
20. M. Kaplan and K. Baysal, *Heart. Surg. Forum*, **8**, E169 (2005).
21. K. Kim, K. M. Son, J. H. Kwon, B. S. Lim, and H. C. Yang, *Dent. Mater. J.*, **32**, 709 (2013).