

# 인체세정용 및 두발용 화장품의 1,4-디옥산 모니터링

화장품연구팀

김윤희 · 류승희 · 김수언 · 박정현 · 박건용 · 김무상

## Monitoring of 1,4-dioxane in Personal Cleaning and Hair Products

*Cosmetics Research Team*

**Yun-hee Kim, Seung-hee Ryu, Su-un Kim, Jung-hyun Park,  
Geon-yong Park and Moo-sang Kim**

### Abstract

In this study, we analyzed 1,4-dioxane in personal cleaning and hair products, which may have been contaminated during the cosmetic manufacturing process, using a gas chromatograph mass spectrometer with a headspace connected. A total of 125 samples, including 85 for personal cleaning, 37 for hair care, and 3 for children, were collected from large discount stores in Seoul and experimented for evaluation of 1,4-dioxane contents. In 58 of the 125 products, 1,4-dioxane was detected at levels of 0.58~11.32  $\mu\text{g/g}$  and the detection rate was 46.4%. 1,4-Dioxane was detected in 37 samples of body cleansers, 18 shampoos, and 3 liquid soaps. The highest observed level of 1,4-dioxane was 11.32  $\mu\text{g/g}$  in a body cleanser sample. The limit of detection(LOD) and limit of quantitation(LOQ) were 0.045  $\mu\text{g/g}$  and, 0.135  $\mu\text{g/g}$ , respectively, and the recovery rate was 102.5~106.1% in body cleanser samples.

**Key words** : 1,4-dioxane, cosmetic, body cleanser, shampoo, personal cleanser.

## 서 론

1,4-디옥산은 분자식  $C_4H_8O_2$ 의 무색의 투명한 유기화합물로 실온에서 액체인 가연성 물질이다. 분자구조상 산소원자의 위치에 따라 1,2-dioxane, 1,3-dioxane의 이성질체가 존재하며(그림 1), 3개의 이성질체 중 1,4-dioxane이 가장 많이 존재하여 일반적으로 디옥산이라고 하면 1,4-디옥산을 가리킨다. 1,4-디옥산의 동의어로는 p-dioxane, 1,4-diethylene oxide, diethylene dioxide, diethylene ether, dioxane 등이 있다(1~6).

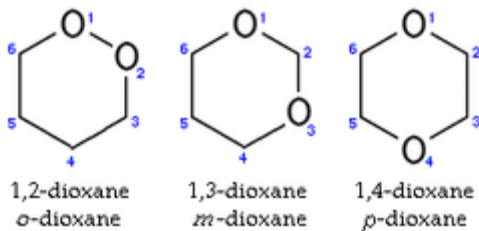


Fig. 1. Chemical structures of dioxane isomers.

1,4-디옥산은 물과 유기용매에 모두 잘 녹는 우수한 용제로 염소계 용제, 페인트 제거제, 그리스(grease), 염료, 왁스, 니스제, 코팅제, 부동액, 항공기 제빙액 등의 안정화제로 다양한 산업분야에서 널리 사용되고 있다(7).

화장품 안전기준 등에 관한 규정에 따르면 1,4-디옥산은 화장품에 사용할 수 없는 원료이지만(8), 화장품 원료 성분 중 PEG, polyethylene, polyethylene glycol, polyoxyethylene 등, 단어에 -eth-, -oxynol- 을 포함하는 계면활성제 등은 세정력 또는 유화력을 높이기 위한 에톡시화(ethoxylation) 과정 중에 1,4-디옥산이 부산물로 생성되어 최종 원료 성분에 잔류할 가능성이 있으므로, 이러한 성분이 함유된 화장품의 1,4-디옥산 잔류량에 대한 연구가 요구된다(9~12).

1,4-디옥산은 rat의 복강내투여 시  $LD_{50}$  값이 799 mg/kg으로 조사되어 급성독성이 그다지 강하지 않은 것으로 알려져 있으나, 인간과 동물에게 눈의 염증과 호흡기 질환을 유발하고, 신경계에 문제를 일으키며, 짧은 시간동안 고농도의 디옥산에 노출된 인간과 동물은 신장과 간에 심각한 손

상을 입는 것으로 보고되었다(13,14). 2016년 미국 보건복지부의 국립독성학프로그램(National Toxicology Program; NTP)은 실험동물 연구를 통해 1,4-디옥산은 인간에게 발암성이 있을 것으로 예상되는 물질이라고 보고하였으며, WHO 산하 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer; IARC)에서도 쥐의 비강암과 간암, 기니피그의 담낭암의 증가사례에 기초하여 Group 2B로 분류하여 인간에 대해 잠재적으로 발암성이 있는 물질로 분류하였고, 미국 환경보호국(United States Environmental Protection Agency; EPA)에서는 B2 그룹으로 지정하여 인간에게 발암가능성이 높은 물질로 분류하고 있다(15~18).

또한, 2010년 미국 여러 지역의 지하수에서 1,4-디옥산이 2~11,000 ppb 이상 검출되어 지하수의 공급에 문제가 된 적이 있었는데, 이 지역들 중 많은 곳이 고형 폐기물 매립지인 것이 밝혀져 수년간 폐쇄되기도 하였다. 이와 같이 1,4-디옥산의 인간에 대한 발암가능성과 수중에서의 지속성을 이유로 EPA에서는 Priority Pollutant로 지정하여 관리하고 있다(19~21).

국내에서는 2000년부터 한국과학기술연구원(KIST)에서 실시한 수돗물 미량 유해물질 함유실태를 연간 4차례에 걸쳐 조사한 결과, 낙동강수계 정수장에서 1,4-디옥산이 240.2 ppb까지 검출되어 이슈가 되었고, 원인은 폴리에스테르 제조과정에서 부산물로 생성된 1,4-디옥산이 폐수에 섞여 강으로 흘러들어간 것으로 밝혀졌다(13, 22). 이후부터 국내 먹는 물 수질기준 중 1,4-디옥산을  $50 \mu\text{g/L}$  이하로 규정하여 관리하고 있음에도 불구하고, 2009년 낙동강 본류에서 기준치  $50 \mu\text{g/L}$ 를 초과하여 또다시 문제가 되었으며, 대구지방환경청은 관계기관별 대책을 강구하여 안전한 먹는 물의 지속적인 확보를 위해 관리를 강화하고 있다(23).

화장품의 경우, 미국 식품의약국(FDA)은 1979년부터 화장품 원료 및 완제품에 대해 1,4-디옥산 모니터링을 실시하기 시작하여 화장품 원료에서 1,410 ppm, 완제품에서 279 ppm, 어린이 샴푸에서 85 ppm을 초과하였다고 발표하였으나, 이후

지속적으로 모니터링을 하여 2008년 화장품 완제품에서 10~12 ppm으로 검출되었다고 발표하였다(3, 9). 2008년 미국 소비자단체 유기농소비자연합(Organic Consumers Association; OCA)은 유기농이 표기된 샴푸, 바디워시, 로션 등 100개 제품 중 47개 제품에서 1,4-디옥산이 검출되었다고 발표하였고(24~26), 2009년 미국소비자단체 안전한화장품캠페인(Campaign for Safe Cosmetics; CSC)은 48개 아기 목욕용 제품 중 32개 제품에서 1,4-디옥산이 검출되었다고 발표하였다(27~29). 이에 따라 말레이시아, 대만 등 세계 여러 나라에서 해당제품을 검사하여 화장품 중의 1,4-디옥산 잔류량에 대한 관심이 고조되기 시작하였다(30).

국내에서도 2009년 식약처에서 시중에 유통 중인 어린이용 입욕제품 50개 품목의 유해물질 검사를 실시한 결과, 26개 품목에서 1,4-디옥산이 1.2~30.3 ppm 검출되었다고 보고하였고(30), 2010년 소비자단체인 소비자시민모임은 백화점과 대형할인점 등에서 유통되는 어린이용 목욕제품 17개를 검사한 결과 1,4-디옥산이 유기농 어린이 클렌저에서 5.4 ppm, 유기농 어린이 샴푸에서 3.4 ppm, 어린이용 클렌저에서 4.5 ppm, 어린이용 샴푸에서 2.8 ppm 검출되어, 유기농 제품과 일반 제품 간 차이 없이 1,4-디옥산이 검출되었다고 보고하였다(31).

식약처에서는 2009년부터 화장품 중 유해물질 분석법 가이드라인을 제정하여 제조과정 중에 부산물로 생성되어 화장품에 잔류할 수 있는 1,4-디옥산에 대하여 기술적으로 제거가 불가능한 검출 수준, 국내외 모니터링 결과 인체에 유해하지 않은 수준 등을 고려하여 100 µg/g 이하로 규제하기 시작하였으며(32~33), 2013년 화장품 안전기준 등에 관한 규정(식약처 고시 2013-24호) 중 유통 화장품 안전관리 기준이 제정되면서 전 유형의 화장품에서 100 µg/g 이하로 규제하고 있다(8).

따라서 본 연구에서는 제조과정 중에 1,4-디옥산이 생성될 수 있는 계면활성제가 많이 함유되어 있는 인체세정용 및 두발용 화장품과 영·유아용 세정제 등을 수집하여 1,4-디옥산을 분석하고 그 잔류량을 조사하여, 화장품 안전관리의 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험재료

서울시 대형마트에서 유통되는 인체세정용 화장품 85건, 두발용 화장품 37건, 영·유아용 화장품 3건을 합하여 총 125건을 수집하였다. 품목별 세부 유형은 바디클렌저 52건, 액체비누 17건, 폼클렌저 16건, 샴푸 21건, 헤어트리트먼트 8건, 헤어컨디셔너 6건, 헤어로션 2건, 영·유아용 클렌저 2건, 영·유아용 샴푸 1건 이었다(그림 2). 시료는 유통이 많이 되는 것을 중심으로 무작위로 수집하였고, 원산지별 건수는 국내 제조 제품이 107건, 수입 제조 제품이 18건 이었으며, 미국(6건), 독일(5건), 프랑스(4건), 뉴질랜드(1건), 일본(1건), 태국(1건) 제품이였다.

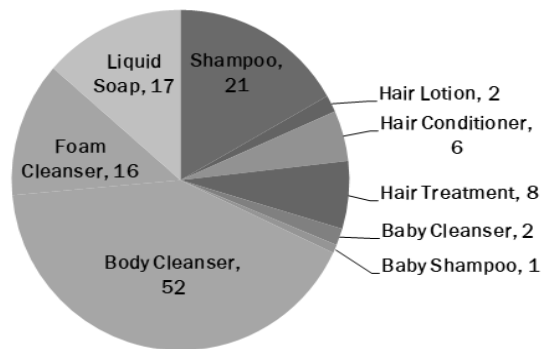


Fig 2. The number of tested items.

### 2. 시약 및 기기

디옥산 표준품은 SUPELCO, SIGMA-ALDRICH, HPC(High Purity Compounds) 제품을 사용하였고 시약은 Fluka analytical 및 YAKURI 제품을 사용하였다. 분석 장비는 ThermoFisher Scientific GC-MS(Trace 1310-ISQ 7000)을 사용하였다.

### 3. 실험방법

#### 1) 시료 전처리 및 표준품 조제

화장품 안전기준 등에 관한 규정(식약처 고시 2019-27호)의 유통화장품 안전관리 시험방법 중 7. 디옥산 시험법으로 실험하였다. 검체 1g을 정밀히 달아 20% 황산나트륨용액 1.0 mL를 넣고

잘 흔들어 섞어 검액으로 한다. 따로 1,4-디옥산 표준품을 물로 희석하여 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.8 mg/mL의 액으로 한 다음 각 액 50  $\mu$ L씩을 취하여 각각에 폴리에틸렌글리콜 400 1.0 g 및 20% 황산나트륨용액 1.0 mL를 넣고 잘 흔들어 섞은 액을 표준액으로 한다. 검액 및 표준액을 가지고 기기 분석 한다.

## 2) 기기분석

1,4-디옥산의 정성 및 정량 분석은 Headspace sampler가 장착된 GC-MS로 분석하였고 분석 조건은 표 1, 2와 같다.

## 3) 분석법 검증

분석방법의 유효성을 검증하기 위하여 직선성, 검출한계(Limit of detection), 정량한계(Limit of quantitation), 회수율을 평가하였다. 1,4-디옥산 표준품을 0.06~12.25 mg/L까지 단계별 희석하여 검량선을 작성하여 직선성을 평가하였고,

검출한계, 정량한계, 회수율 측정을 위한 1,4-디옥산 농도는 직선성 범위에 포함되도록 조정하였다. 검량선의 표준편차와 기울기를 이용하여 검출한계와 정량한계를 아래의 식으로 구하였다. 표준편차  $\sigma$ 는 회귀직선에서 y절편의 표준편차를 이용하였다.

$$\text{LOD}(\text{limit of detection}) = 3.3 \times \frac{\sigma}{S}$$

$$\text{LOQ}(\text{limit of quantitation}) = 10 \times \frac{\sigma}{S}$$

( $\sigma$ : Standard deviation, S: Slope of calibration curve)

## 결과 및 고찰

### 1. 크로마토그램, 질량스펙트럼

1,4-디옥산 표준용액을 Headspace sampler가 장착된 GC-MS에 주입하여 얻은 크로마토그램과 질량 스펙트럼은 그림 3과 같다. 머무름시간(retention

**Table 1.** Analytical conditions of GC-MS

Parameter	Operationg conditon
Column	TG-624SilMS 60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 1.4 $\mu$ m
Flow rate	He 1.0 mL/min
Oven	50 $^{\circ}$ C(3min) $\rightarrow$ 10 $^{\circ}$ C/min $\rightarrow$ 150 $^{\circ}$ C $\rightarrow$ 20 $^{\circ}$ C/min $\rightarrow$ 250 $^{\circ}$ C(3min)
Interface Temp	250 $^{\circ}$ C
Ion Source Temp	230 $^{\circ}$ C
Scan Range	30~350 amu
SIM Mode	88, 58, 43

**Table 2.** Analytical conditions of Headspace sampler

Parameter	Operationg conditon
Injection Volume	1 mL
Vial Equilbration Temp	95 $^{\circ}$ C
Vial Equilbration Time	30 min
Vial Prepurge Time	5 sec
Vial Postpurge Time	60 sec
Split Ratio	1:10

time)은 11.723이었고, 분자 이온  $m/z$  88, 58, 43 중 가장 큰 감도를 나타낸  $m/z$  88을 정량이온으로,  $m/z$  58, 43을 정성 이온으로 정하여 정량 이온에 대한 정성이온의 비율로 1,4-디옥산을 확인하였다.

## 2. 인체세정용 및 두발용 화장품 중 1,4-디옥산 함량

대형마트에서 유통 중인 인체세정용 및 두발용 그리고 영·유아용 화장품 총 125건에 대하여 1,4-디옥산을 분석한 결과 58건의 샘플에서 1,4-디옥산이 검출되어 46.4%의 검출율을 나타냈다(표 3). 검출된 58건의 1,4-디옥산 농도는 0.58~11.32 ( $1.85 \pm 1.74$ )  $\mu\text{g/g}$ 으로 유통화장품 안전관리 기준인 100  $\mu\text{g/g}$ 의 약 1/170~1/9 수준으로 나타났다(표 4).

원산지별로 국내 제조 제품 107건 중 45건, 수입 제조 제품 18건 중 13건에서 1,4-디옥산이 검출되어 각각 42.1%, 72.2%의 검출율을 나타냈

고, 검출량은 국내제품 0.64~11.32( $2.07 \pm 1.91$ )  $\mu\text{g/g}$ , 수입제품 0.58~1.72( $1.10 \pm 0.37$ )  $\mu\text{g/g}$ 으로 국내제품이 수입제품에 비해 1,4-디옥산의 잔류량이 더 높게 나타났다. 2012년 실시되었던 연구 자료에서, 일반 목욕용 제품 52건의 1,4-디옥산 검출율 72.1%, 검출량 국내산 0.86~16.18( $3.63 \pm 4.48$ )  $\mu\text{g/g}$ , 수입산 0.52~6.90( $2.14 \pm 1.20$ )  $\mu\text{g/g}$ 이었던 것에 비하면, 이번 연구 결과는 1,4-디옥산의 검출율과 평균 검출량이 감소된 것으로 나타났고, 국내제품이 수입제품보다 1,4-디옥산 잔류량이 높은 것은 유사하게 나타났다(11).

유형별 검출빈도는 인체세정용 제품 85건 중 40건, 두발용 제품 37건 중 18건에서 1,4-디옥산이 검출되어 각각 47.1%, 48.6%의 검출율을 보였고, 품목별로는 바디클렌저 37건, 샴푸 18건, 액체비누 3건의 순으로 높게 나타났다. 이는 2012년 실시되었던 연구 자료에서 1,4-디옥산의 검출빈도가 샴푸, 바디클렌저, 폼클렌저 순으로 높게 나타난 것과 차이가 있었고, 본 연구의 폼클렌저에서

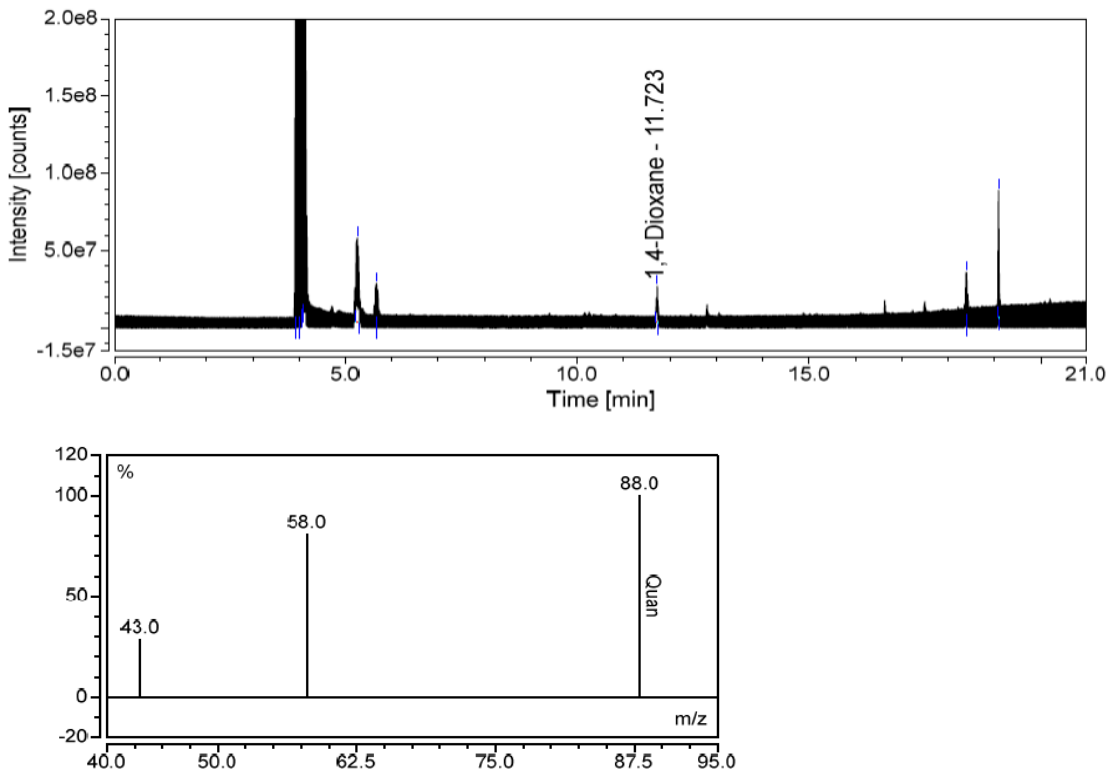


Fig. 3. Total ion chromatogram and mass spectrum of 1,4-dioxane.

1,4-디옥산이 검출되지 않은 것이 다르게 나타났다(11).

1,4-디옥산의 검출빈도가 높았던 바디클렌저는 37건 중 27건이 국내 제품이었다고 10건은 독일, 미국, 프랑스 제품이었으며, 샴푸는 18건 중 17건이 국내 제품, 1건이 독일 제품이었다. 액체비누는 1건이 국내산, 2건은 미국산 이었다.

품목별 1,4-디옥산의 검출량은 바디클렌저가 0.58~11.32(2.01±2.12) µg/g이었고, 그 중 국내 제조 바디클렌저 1건에서 11.32 µg/g로 가장 높게 검출되었으며, 나머지 바디클렌저의 검출량은 0.58~6.3 µg/g이었다. 바디클렌저의 국내제품과 수입제품의 평균 검출량은 각각 2.35±2.36 µg/g, 1.11±0.33 µg/g으로 국내제품의 평균 검출량이

**Table 3.** The 1,4-dioxane detection frequencies and rates of tested samples

Product type	Item	Total			Domestic			Imported		
		No. of samples	No. of detected samples	Detection rates(%)	No. of samples	No. of detected samples	Detection rates(%)	No. of samples	No. of detected samples	Detection rates(%)
	Total	125	58	46.4	107	45	42.1	18	13	72.2
Cleansing	Sub total	85	40	47.1	70	28	40.0	15	12	80.0
	Bodycleanser	52	37	71.2	40	27	67.5	12	10	83.3
	Foam cleanser	16	0	0.0	15	0	0.0	1	0	0.0
	Liquid soaps	17	3	17.6	15	1	6.7	2	2	100.0
	Sub total	37	18	48.6	34	17	50.0	3	1	33.3
Hair	Shampoo	21	18	85.7	19	17	89.5	2	1	50.0
	Conditioner	6	0	0.0	6	0	0.0	0	0	0.0
	Treatment	8	0	0.0	7	0	0.0	1	0	0.0
	Hair lotion	2	0	0.0	2	0	0.0	0	0	0.0
	Sub total	3	0	0.0	3	0	0.0	0	0	0.0
Children	Body cleanser	2	0	0.0	2	0	0.0	0	0	0.0
	Shampoo	1	0	0.0	1	0	0.0	0	0	0.0

**Table 4.** The detection range of 1,4-dioxane in tested samples

Origin	Product type	Item	No. of detection	Detection range(µg/g)	Mean ± SD
	Total		58	0.58~11.32	1.85 ± 1.74
	Sub total		45	0.64~11.32	2.07 ± 1.91
Domestic	Cleansing	Body cleanser	27	0.64~11.32	2.35 ± 2.36
		Liquid soaps	1	1.63	
	Hair	Shampoo	17	0.91~3.74	1.65 ± 0.69
	Sub total		13	0.58~1.72	1.10 ± 0.37
Imported	Cleansing	Body cleanser	10	0.58~1.57	1.11 ± 0.33
		Liquid soaps	2	0.61~0.81	0.71 ± 0.10
	Hair	Shampoo	1	1.72	

조금 더 높게 나타났다. 바디클렌저의 1,4-디옥산 평균 검출량은 2012년 실시된 연구결과와 유사하게 나타났다(11), 2009년 국립환경과학원에서 발행한 소비자 제품에 함유된 화학물질 노출량 평가 중 바디클렌저의 1,4-디옥산 평균 함량 보다는 낮은 수준이었다(34).

삼푸의 검출량은 0.91~3.74(1.66 ± 0.69) µg/g으로, 2012년 실시된 연구결과와(11) Guozhong 등이 보고한 중국내 삼푸 중 1,4-디옥산 함량보다 낮은 수준이었다(35).

액체비누의 검출량은 0.61~1.63(1.02 ± 0.54) µg/g으로 나타났다.

영·유아용 화장품은 1,4-디옥산이 전혀 검출되지 않았으며, 시료수가 적어서 분석 결과를 해석하기에는 어려움이 있었다.

### 3. 직선성, 검출한계 및 정량한계

1,4-디옥산 표준품을 0.06~12.25 mg/L까지 5단계로 희석하여 검량선을 작성하였고, 상관계수(coefficient of correlation,  $r^2$ )는 0.9992로 1에 가까운 양호한 직선성을 나타냈다. 검출한계와 정량한계는 표준품을 0.078~1.248 µg/L 범위에서 5단계로 희석하여 5회 이상 반복 측정하여, 검출한계는 0.045 µg/g, 정량한계는 0.135 µg/g로 나타났다.

### 4. 회수율

1,4-디옥산 표준품을 약 0.4, 2.0, 10.0 mg/L의 농도로 조제한 후 1,4-디옥산이 검출되지 않은 바디클렌저 시료에 첨가하여 농도별로 3회 이상 회수율을 측정하였다(표 5). 3가지 농도에 대한 평균 회수율은 102.5~106.1%, 반복 회수율 수치간 변이계수(Coefficient of variance; CV)는

2.8~7.8%로 AOAC(Association of Official Analytical Chemists)에서 제시하는 회수율 범위 80~110%에 만족되었다.

## 결론

서울에서 유통되는 인체세정용 및 두발용 화장품 등 125건(인체세정용 85건, 두발용 37건, 영유아용 3건)에 대한 1,4-디옥산을 모니터링한 결과, 총 58건의 제품에서 0.58~11.32(1.85 ± 1.74) µg/g으로 검출되어 유통화장품 안전관리규정 기준 100 µg/g 이하에 적합하였고, 검출율은 46.4%이었다.

원산지별로는 국내제품 107건 중 45건, 수입제품 18건 중 13건에서 1,4-디옥산이 검출되어 각각 42.1%, 72.2%의 검출율을 나타냈고, 검출량은 국내제품이 더 높게 나타났다.

품목별로는 바디클렌저 37건, 삼푸 18건, 액체비누 3건에서 1,4-디옥산이 검출되었고, 그 중 국내제조 바디클렌저 1건에서 11.32 µg/g으로 가장 높게 검출되었다.

시험방법은 유통화장품 안전관리규정 중 디옥산 시험법으로 하였고, 분석방법의 유효성을 검증하기 위한 검출한계는 0.045 µg/g, 정량한계는 0.135 µg/g이었으며, 회수율은 102.5~106.1%로 나타났다.

1,4-디옥산의 분석 결과를 종합해보면, 시중에서 유통되는 인체세정용 및 두발용 화장품의 1,4-디옥산 잔류량은 식약처에서 정하는 기준치 이내로 안전하나, 일부 제품에서 기준치의 10%를 초과하여 검출되어, 유통되는 바디클렌저 등에 대한 1,4-디옥산의 모니터링은 지속적으로 실시할 필요가 있다고 생각된다.

**Table 5. Recovery rates of 1,4-dioxane in body cleanser**

Concentration(mg/L)	Measured(mean ± SD)	CV(%)	Recovery rates(%)
0.416	0.426 ± 0.012	2.8	102.5
2.027	2.092 ± 0.162	7.8	103.2
9.980	10.589 ± 0.320	3.0	106.1

## 참고문헌

1. Technical Fact Sheet-1,4-dioxane.  
www.epa.gov, 2017.
2. Toxicological Review of 1,4-Dioxane.  
United States Environmental Protection  
Agency, EPA/635/R-11/003F, 2013.
3. www.wikipedia.org.
4. 두산백과사전. www.doopedia.co.kr.
5. 네이버 화학물질 구조사전.
6. 오상은, 김성민, 세드키 하산, 아누프 구롱 :  
1,4-다이옥산 수질오염사고 대비  
미생물을 이용한 생물독성 탐지 및 대응 가능  
성 연구. 환경부, 2010.
7. 이용재 : Process optimization using  
biodegradation model of 1,4-dioxane. 성  
균관대학교, 2015.
8. 화장품 안전기준 등에 관한 규정. 식품의약품  
안전처 고시 제 2019-27호, 2019.
9. 1,4-Dioxane in Cosmetics : A Manufacturing  
Byproduct. www.fda.gov, 2019.
10. 화장품 안전기준 등에 관한 규정 해설서. 식품  
의약품안전처, 2017.
11. 홍미선, 최채만, 이윤정, 김화순, 김현정, 김  
정현, 채영주 : Headspace  
GC-MS를 이용한 목욕용 제품 중 1,4-디옥산  
분석. 서울특별시 보건환경연구원보, 49:29~  
35, 2013.
12. 소비자를 위한 화장품 상식. 대한화장품협회  
<https://kcia.or.kr>
13. 홍지은, 표희수, 박송자 : 기체크로마토그래프  
/질량분석계에 의한 물시료 중 1,4-dioxane  
의 분석 및 위해성 평가. 환경독성보건학회지,  
18(3):219~224, 2003.
14. 이선열 : 아세트산이 1,4-다이옥산의 생물학  
적 처리효율에 미치는 영향에 관한 연구. 한  
국외국어대학교, 2010.
15. 조태용, 신영민, 반경녀, 오세동, 이창희, 이  
영자, 문병우 : 퍼지엔트랩-기체 크로마토그  
래피(PT-GC)를 이용한 식품첨가물 중 1,4-  
디옥산 및 클로로히드린류 분석. 한국식품영  
양학회지, 32(7):965~970, 2003.
16. 홍선화, 이준배, 이수형, 임현희, 신호상 :  
GC-MS에 의한 지표수에서 1,4-Dioxane의  
측정. 한국분석화학회지, 27(1):22~26, 2014.
17. 김예신, 박화성, 권경숙, 김형근, 인광교 : 유  
해물질 용도별 분류체계 확립. 국립환경과학  
원, 2006.
18. 농업안전보건센터 독성 분류 정보  
www.koreanfarmer.org.
19. 이준우 : 특정 미생물 고정화 담체를 이용한  
1,4-Dioxane 제거 연구. 한양대학교, 2016.
20. 김현승 : 고도산화처리공정(AOPs)을 이용한  
1,4-dioxane의 분해특성 연구. 부경대학교,  
2007.
21. Initial List of Hazardous Air Pollutants  
with Modifications. www.epa.gov.
22. 이지영, 김정화, 김현구, 최종호, 김승기, 표  
희수 : 낙동강 수계 중  
1,4-dioxane의 모니터링 및 위해성 평가. 한  
국분석과학회지, 21(5):383~391, 2008.
23. 신성교 : 낙동강 수계 1,4-다이옥산의 모델링  
및 관리방안 연구. (재)부산발전연구원, 2012.
24. Organic Consumers Association : Natural  
Consumer Products Found Contaminated  
with Cancer-Causing 1,4- Dioxane in  
Groundbreaking Analysis Released by  
OCA. NaturalNews.com, March 15, 2008.  
www.organicconsumers.org.
25. 유기농 화장품에 발암물질이?. 헬스조선뉴스,  
20080326.
26. Carcinogenic 1,4-Dioxane Found in "organic"  
products. Organic-market. info, 2008.
27. Children's Bath Products Contaminated  
with Formaldehyde, 1,4-Dioxane.  
www.ewg.org, 2009.
28. 유아 샴푸·로션서 발암물질 미량검출. 연합뉴스,  
20090313.
29. Campaign for Safe Cosmetics : Cleaning  
up baby products. New York Times, May  
27th, 2009. www.safecosmetics.org.
30. 헬스코리아뉴스 : 어린이용 입욕제품 절반,



- 발암물질 포름알데하이드 및 디옥산 검출. 20090730.
31. (사)소비자시민모임 보도자료 26호, 2010.
  32. 화장품 중 유해물질 분석법 가이드라인. 식품 의약품 안전처, 2009.
  33. 유통 중 화장품 품질관리 가이드라인. 식품의약품안전처, 2011.
  34. 김우일, 박진수, 강영렬, 김영희, 이수영, 황  
 종연, 구소현, 허화진, 신선경 : 소비자 제품  
 에 함유된 화학물질 노출량 평가. 국립환경과  
 학원, 2009.
  35. Guozhong Huang, Haichao Bu, Siheng  
 Sun, Aiji Chen amd Yang Zhou : Study  
 on Exposure Assessment Model of  
 Dioxane in Shampoo. Procedia Engineering,  
 4:407~417, 2012.