

어린이용품 중 프탈레이트류 확률론적 노출평가연구

심기태¹ · 송기봉² · 김혁¹ · 김일규¹ · 이채홍¹ · 박소연¹ · 석광설¹ · 김동훈^{1,†}

¹국립환경과학원 화학물질연구과

²화학물질안전원

Probabilistic Exposure Assessment of Phthalates in Children's Products

Ki-Tae Sim¹, Ki-Bong Song², Hyuk Kim¹, Il-Gyu Kim¹, Chae-Hong Lee¹, Soyeon Park¹,
Kwang-Seol Seok¹, and Dong-Hoon Kim^{1,†}

¹Chemical Research Division National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea

²Development and Education Division, National Institute of Chemical Safety, Daejeon 34111, Korea

Received February 23, 2018/Revised March 7, 2018/Accepted March 14, 2018

In this study, we evaluated the levels of phthalates in domestically distributed children's products. We particularly focused on estimating the risk of oral exposure caused by sucking behavior in children. Analysis of phthalate content in children's products showed that one rattle, three roly-poly toys, nine bleeping toys, one toy block, twenty dolls, three toys, and two mats exceeded domestic safety standards. On the other hand, there were no products that exceeded the saliva bioaccessibility analysis results. As a result of the risk assessment, it is predicted that the use of rattles has harmful effects compared to other children's products. As a result of comparing the age-related hazard index, it was also found that younger age was associated with older age of children in all the product groups. These results are reflected in the characteristics of children participating in studies conducted outside the country. Since various uncertainties may have affected the results, it is necessary to study and test phthalate levels repeatedly.

Key words: Children's product, Phthalates, Bioaccessibility, Hazard index

1. 서 론

2014년 시중에 판매중인 어린이용품 중 캐릭터 가면 21개 제품을 대상으로 유해물질에 대한 전성 조사를 실시한 결과 자율안전확인 안전기준 (프탈레이트류 기준 0.1% 이하)을 초과한 제품 3개에서 기준치의 대략 350~450 배가 검출되었다.¹⁾ 또한, 어린이가 주로 사용하는 공산품 424개 제품 중 안전성조사결과 안전기준에 부적합한 12개의 제품에서 프탈레이트류 기준의 68배 초과 검출되어 전량 회수 명령이 있었다.²⁾ 이와 같은 사회적 이슈로 어린이용품 내 유해물질에 대한 관리 및 기준 마련 필요성이 제기되었다.³⁾ 국내의 경우, 환경부에서 어

린이 건강보호를 위해 환경보건법⁴⁾을 제정 및 시행하고 있는 중이며, 산업통상자원부에서는 어린이가 사용하는 제품의 안전을 확보하여 안전한 환경 조성 및 기본적인 사항을 규정한 어린이제품 안전 특별법⁵⁾을 실시하고 있다. 국외에서는 유럽연합은 완구 안전성 지침서⁶⁾에서 모든 어린이 제품에 관한 안전 요구사항이 구성되어 있으며, 완구류 중 프탈레이트 가소제 사용 지침⁷⁾을 별도 제정하여 관리하고 있다. 일본은 소비자(유아)를 보호하기 위한 ST마크(safety Toy Mark)제도⁸⁾를 실시하여 어린이용품을 규제하고 있다.

프탈레이트류는 플라스틱을 유연하게 만드는데 쓰이는 가소제 기능 뿐만 아니라 화장품, 페인트안료, 접착

[†]To whom correspondence should be addressed.

제, 방향제, 장난감, 의료용품 등 여러 생활용품에서 다양하게 활용되고 있지만 이런 장점에도 불구하고 혈액, 심장 등에 유해한 손상을 주는 것으로 알려져 있다.⁹⁻¹¹⁾ 특히 호르몬과 유사 작용 및 호르몬 작용을 방해하여 태아 또는 어린이의 정상적인 발달을 방해할 수 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 어린이의 경우 제품 등을 입으로 가져가는 경향이 크고 입에 넣을 가능성 또한 높아 경구노출 측면에서 어른보다 어린이가 노출시간 및 노출량이 높다.^{15,16)} 이와 같은 특징은 성인보다 어린이가 대수량이 매우 큰 반면, 면역 기능이 발달이 불완전하여 환경오염과 화학물질 노출 시 매우 취약한 것으로 나타나고 있다.¹⁷⁻²⁰⁾

이와 같은 결과로 유럽연합 신화학물질제도 REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction)에 따라 프탈레이트류 6종 즉, diethyl phthalate (DBP), benzyl butyl phthalate(BBP), bis (2-ethylhexyl) phthalate(DEHP), di-n-octyl phthalate(DNOP), di-isononyl phthalate(DINP), di-isodecyl phthalate (DIDP)를 금지하고 있고²¹⁾ 위 물질 중 일부는 이미 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있는 물질 및 생식독성을 근거로 고위험우려물질(substances of very high concern, SVHC)로 목록화되어 있으며,²²⁾ 국내, 미국, 유럽 및 일본에서 어린이 완구 및 유아용품에 대해 프탈레이트류 규제기준을 설정하여 관리하고 있다.^{7,23)}

따라서 조사대상물질은 어린이용품 함유 환경유해인자 135종 중 고시된 7종 프탈레이트류와 DEHP와 유사한 수준의 호르몬작용을 갖는 DEHA를 추가하여 총 8종 프탈레이트류를 선정한 후 함유가능성이 있는 제품을 대상으로 함량 및 전이량을 조사 및 위해성을 평가하였다.

“M. A. Natsheh et al.²⁴⁾연구에 의하면 PVC 재질의 어린이 완구에서 프탈레이트류 함량 용출규제기준(DBP, BBP, DEHP, DNOP, DINP, DIDP)에 대해 0.1% 이상 사용금지)에 대한 EU 제한기준을 초과하였고, Danish EPA²⁵⁾ 연구에 의하면 프탈레이트류(DEHP, DINP)에 오염된 어린이 완구를 인공침을 이용하여 전이량 및 위해성을 평가하였다. 이와 같이 어린이의 특이한 노출양상을 통한 프탈레이트류 노출에 대한 연구가 국외에서 진행되었다.^{24,25)} 하지만 아직까지 국내 어린이용품에 대한 프탈레이트류에 대한 전이량 평가 및 위해성 평가 연구는 미비한 상태이다.

본 연구의 목적은 국내에서 유통되는 다양한 어린이용품(12개 제품군 중 133개 제품)내 프탈레이트류 농도 수준을 파악하고자 하였으며 특히, 어린이용품을 성인과 다르게 물건을 입으로 가져가서 빠는 행위의 특성으로

인해 프탈레이트류에 더 쉽게 노출된다는 점을 고려하여 제품별 노출량 산정과 위해성평가를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상 어린이용품 선정

어린이 용품 내 프탈레이트류의 함량 및 인체로 전이되는 프탈레이트류의 전이량을 분석하기 위해 제품군을 선정하였다. 어린이 노출계수 개발연구 III³³⁾에서 어린이 남녀 설문조사 결과를 바탕으로 어린이용품을 입에 접촉하는 1회 접촉시간(min/회), 어린이용품과 입의 하루 접촉빈도(회/day)를 조사한 권고값을 사용하여 제품 사용 빈도를 확인하였으며, 환경유해인자의 위해성 평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침²⁹⁾ 제2조 및 제22조 제1항 관련 노출 시나리오 결정에 관한 내용을 토대로 플라스틱 인형, 딸랑이, 뽀뽀이 등 어린이들이 가장 쉽게 접근 가능하고 제품의 일부나 전체를 빨거나 씹을 가능성이 큰 제품을 조사하여 최종 12개 제품군을 선정하였다. 대상물질 중에는 온라인 쇼핑몰 내 판매순위 상위 제품(75%), 원산지 미표시 제품(10%), 인증여부 불분명 제품(47%), 제조연월일 미표시 제품(31%), 바코드 미표시 제품(11%) 그리고 제조사 또는 판매사가 없는 제품(4%)이 포함되어있다. 조사대상 분석 제품의 수는 133개였지만, 날개로 구성된 제품이 포함되어 실제로 분석한 시료는 187개이며, 연구대상 제품군의 종류는 Table 1과 같다.

2.2. 시약 및 장비

분석대상 8종 프탈레이트류 표준물질인 DEP, DBP, BBP, DEHA, DEHP, DNOP, DINP, DIDP는 혼합 표준물질 S-27444(AccuStandard, CT, USA)을 사용하였으며, 내부표준물질인 Floranthene-d10는 1337.16-K-T (Chiron AS, Norway)에서 구매하여 사용하였다. 프탈레이트류 시료 전처리에 사용되는 핵산, 아세톤은 잔류농약 분석급(Waco, Japan), 그리고 인공침 제조에 사용되는 시약은 잔류농약 분석급 또는 특급 분석용(Sigma-Aldrich, MO, USA)을 사용하였다.

함량 분석을 위한 자동속슬레 추출장치는 (Soxtherm 416, Gerhardt, Germany)을 사용하여 추출하였다. 전이량 분석을 위한 인공침 제조는 1 L 증류수에 MgCl₂, CaCl₂, K₂HPO₄, K₂CO₃, NaCl, 그리고 KCl을 각각 167, 147, 753, 525, 327, 그리고 745 mg를 용해시킨 뒤 3M 염산용액으로 pH 6.8이 되도록 제조하였다.²⁶⁾ 제조된 인

Table 1. Types of products

| Category | Products (abbreviation) | Country of manufacture | | | Number of samples |
|-----------------|----------------------------|------------------------|-------|-----|-------------------|
| | | Korea | China | Etc | |
| Household goods | Feeding bottle (HB) | 4 | 3 | 5 | 12 |
| | Teether (HT) | - | 4 | 4 | 9 |
| | Breast milk pack (HP) | 7 | - | 3 | 10 |
| | Baby bowl (HbB) | 2 | 7 | 1 | 10 |
| | Baby cup (HC) | 5 | - | 3 | 8 |
| | Matt (HM) | 6 | 1 | 1 | 8 |
| Toddler toys | Rattle (TR) | 5 | 6 | 1 | 15 |
| | Roly-poly (TP) | 4 | 4 | 1 | 13 |
| | Bleeping toys (TT) | 3 | 2 | 5 | 10 |
| Play toys | Plastic block(PB) | 9 | - | 2 | 16 |
| | Plastic doll(PD) | 6 | 14 | 7 | 47 |
| | Plastic toys(PT) | 6 | 11 | 1 | 29 |
| Total | 12 products | | 133 | | 187 |

공침을 이용하여 사용된 추출장치는 와류진탕추출기 (Head-over-heels rotator, HR-100; NeoEnBiz, Korea) 를 이용하였으며, 역추출을 위한 액-액 추출장치는 MMV-1000W(Eyela, Japan), 용매 농축에 사용된 농축기는 N-EVAP 112(Organomation, USA)을 사용하여 농축하였다. 시료 내 프탈레이트류의 함량 및 전이량은 GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, Agilent Technologies, USA)를 이용하여 분석하였다. 이때 GC-MS 분석 조건은 Table 2과 같다.

2.3. 시료채취

본 연구에 사용된 시료는 환경유해인자공정시험기준²⁶⁾의 시료채취 및 관리부분을 참고하였다. 함량 분석의 경우 추출이 용이하도록 시료를 최대한 작은 조각(1 mm 이하)으로 잘라서 사용하였으며, 전이량 분석의 경우 시료를 가능한 편평한 부분을 택한 후 앞, 뒤 면적 합이 약 10 cm² 넓이가 되도록 만들어 사용하였다. 채취한 시료는 분석 전까지 시료는 1~2 mm 이내 두께로 가능한 편평한 부분을 선택하여 앞과 뒤의 면적의 합이 10 cm² 넓이가 되도록 시편을 만들어서 사용하였다. 함량

Table 2. Analysis condition and molecular ions and retention time

| Type | | Condition | | |
|-----------------------------------|-------------------------|--|------------------------|--|
| GC | Inlet | 300°C, Splitless, 1 µL | | |
| | Column | DB-5MS (30 m * 0.25 mm * 250 µm) | | |
| | Oven | 100°C (15°C/min) → 200°C (5°C/min) → 270°C (15 min hold) | | |
| | Carrier gas | He, 1 mL/min | | |
| MSD | Source temp. | 250°C | | |
| | Transfer line temp. | 280°C | | |
| | Ionization voltage | 70 eV | | |
| | Mode | SIM (Selected Ion Monitoring) | | |
| Compounds | Retention time (min) | Quantitative ion (m/z) | Confirmed ion (m/z) | |
| Fluoranthene-d10 (Internal STD) | 12.705 | 212 | 213 | |
| DEP (Diethyl phthalate) | 7.724 | 149 | 177 | |
| DBP (Dibutyl phthalate) | 11.301 | 149 | 223 | |
| BBP (Benzyl butyl phthalate) | 16.422 | 149 | 206 | |
| DEHA (Di(2-ethylhexyl) adipate) | 16.992 | 129 | 147 | |
| DEHP (Di(2-ethylhexyl) phthalate) | 19.129 | 149 | 167 | |
| DNOP (Di-n-octyl phthalate) | 21.709 | 149 | 279 | |
| DINP (Diisononyl phthalate) | 21-24 | 293 | 149 | |
| DIDP (Diisodecyl phthalate) | 22-26 | 307 | 149 | |

및 전이량 시료 채취시 공통적으로 어린이들이 접근할 수 없는 부분과 내부 부분을 최소화하여 시료를 준비하였다.

2.4. 분석방법

2.4.1. 정도 관리

프탈레이트류 8종에 대한 GC-MS 검정곡선은 각 표준물질용액 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 그리고 10 mg/L 농도에 대한 면적 값을 구하여 작성하였으며, 검정곡선 직선성의 상관계수는 모두 0.98 이상이 되도록 하였다. 검출한계(Method detection limit) 값은 표준물질을 첨가하여 시료와 동일한 분석법으로 7회 반복실험하여 산출된 농도 값의 표준편차에 student's *t*값인 3.14를 곱하여 산출하였고 정량한계(Limit of quantification) 값은 표준편차의 10배를 곱하여 산출하였다. 본 연구의 정도 관리 방법은 환경유해인자공정시험기준²⁶⁾의 정도 관리 부분을 참고하여 함량 및 전이량의 정량한계는 프탈레이트가 함유되어 있지 않은 매질에 프탈레이트 표준용액을 각각 최종 농도 30 mg/kg, 0.005 µg/cm²/min이 되도록 주입하여 시료와 동일한 순서로 7회 반복 실험하여 측정값의 표준편차에 10을 곱한 값으로 구하였고 대상 프탈레이트류의 이성체별 함량 정량한계는 DEP, DBP, BBP, DEHA, DEHP, DNOP, DIMP, DIDP 순서로 2.6 mg/kg, 14 mg/kg, 7.0 mg/kg, 5.9 mg/kg, 3.8 mg/kg, 5.6 mg/kg, 42 mg/kg, 11 mg/kg이었으며, 전이량 정량한계는 0.10 µg/cm²/min, 0.089 µg/cm²/min, 0.057 µg/cm²/min, 0.046 µg/cm²/min, 0.15 µg/cm²/min, 0.041 µg/cm²/min, 0.45 µg/cm²/min, 0.17 µg/cm²/min이었다. 이를 토대로 각각 함량 및 전이량의 정량한계는 100 mg/kg, 0.020 µg/cm²/min로 하였다. 또한 불검출(ND) 처리 방법은 "0"으로 계산하였으며 정량한계 이하인 제품은 노출평가에서 제외하였다.

2.4.2. 프탈레이트류 함량

시료 내 8종의 프탈레이트류 함량분석은 0.5 mm 이하로 분쇄된 시료 1 g을 속슬레용 필터에 옮기고 100 mL의 헥산을 가한 후 4.5~5.5 bar, 180°C에서 2시간 추출하였다. 추출용액을 실온까지 냉각한 후 250mL 부피 플라스크에 옮기고 눈금까지 헥산으로 채우고 잘 흔들어 섞은 후 이 용액을 시린지 필터를 사용하여 불순물을 제거한 후 바이알에 옮기고 GC-MS를 이용하여 분석하였다.

2.4.3. 프탈레이트류 전이량

시료에 함유되어 있는 프탈레이트류가 빠는 과정에서 인체로 전이되는 양을 측정하는 방법은 유럽의 RIVM²⁷⁾ 및 JRC²⁸⁾방법을 참고하였다. 시료는 10 cm²의 크기의 시편(단, 시료의 특성상 균일한 표면적의 시편을 얻을 수 없는 경우 일정량의 시료를 채취하고, 채취한 시료의 면적을 계산함)을 250 mL의 유리병 인공침 50 mL과 함께 넣고 마개를 닫은 다음 유리병을 와류진탕추출기에 고정된 후 37±2°C, 60±5 rpm 조건에서 60분간 추출하였다. 이렇게 추출한 시료는 GC-MS를 이용하여 분석하였다.

2.4.4. 위해성 평가

어린이용품 중 경구노출에 따른 평균일일노출량(ADD, Average Daily Dose)은 아래 식 1, 2를 이용하여 산출하였다.²⁹⁾ ADD 산출시 어린이용품에 함유된 프탈레이트류 분포로부터 중앙값(CTE, Central Tendency exposure)과 고노출수준 평가를 위해 95백분위수(RME, Reasonable Maximum Estimate)을 구분하여 도출하였다.

$$C = (Cs \times F) / (SA \times T) \quad (1)$$

$$ADD = (C \times ET) / BW \quad (2)$$

C : 프탈레이트 인체 전이량(µg/kg/min)

Cs : 검량선에 의한 프탈레이트 농도(µg/mL)

F : 최종액량(mL)

SA : 접촉면적(cm²)

T : 인공침 용출시간(min)

ADD : 평균일일노출량(µg/kg/day)

ET : 접촉시간(min/day)

BW : 체중(kg)

여기서, 프탈레이트에 대한 위해성 평가는 몬테카를로 시뮬레이션을 지원하는 Crystal ball ver 11.1.2.4.6 (Clorado, Denver, USA)을 활용하여 확률분포 및 해당 분포의 모수를 입력계수로 하는 확률론적 노출평가 기법으로 산출하였다. 경구 노출에 의한 연령군별 ADD 값을 산정하기 위한 입력변수는 Table 3에 제시하였다. 연령군은 어린이의 경우 물건이나 음식을 물고 빠는 행동 경향 습성이 많이 나타나고, 입으로 가져가는 빈도가 높아지며 비식이적 섭취 행위에 많이 노출될 수 있기 때문에,²⁹⁾ 이를 고려하여 영유아(0-3세), 미취학아동(4-7세),

Table 3. Exposure factor with selected values

| Parameter | Abbreviation | Unit | Value | | | Reference |
|------------------------------------|--------------|-----------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| | | | 0-3 years | 4-7 years | 8-13 years | |
| Body weight | BW | kg | 10.5 ² | 20.5 ³ | 41.2 ⁴ | 31, 33 |
| Age-specific exposure duration | ED | min/d | 42.94 ⁵ | 0.97 ⁶ | 0.12 ⁶ | 31, 33 |
| Chemical daily intake via mouthing | C | µg/kg/min | To be determined ¹ | | | 29 |

¹Use of formula (1)-Each isomer was calculated. ²Body weight median for 0-3 years old children. ³Body weight median for 4-7 years old children. ⁴Body weight median for 8-13 years old children. ⁵0~3years old children participants of the object-to-mouthing value. ⁶4~7years old children participants of the object-to-mouthing value. ⁷8~13years old children participants of the object-to-mouthing value.

Table 4. Total phthalates concentration in Matt (HM), Rattle (TR), Roly-poly (TP), Bleeping (TT), Plastic Block (PB), Plastic Doll (PD) and Plastic Toys (PT) (mg/kg)

| | HM | TR | TP | TT | PB | PD | PT |
|------|--|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| | C _{median} (C _{Min} - C _{Max}) | | | | | | |
| DEP | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| DBP | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.12k (n.d.-76k) | n.d. |
| BBP | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.10k (n.d.-0.10k) |
| DEHA | 5.4k (n.d-5.4k) | n.d. | 0.22k (n.d.-0.22k) | 0.37k (n.d-0.37k) | n.d. | n.d. | 53k (n.d.-53k) |
| DEHP | 2.4k (n.d-4.8k) | n.d. | 3.0k (n.d.-3.0k) | 108k (n.d-196k) | 0.30k (n.d.-0.30k) | 0.60k (n.d.-44k) | 0.11k (n.d.-0.11k) |
| DNOP | 84k (n.d-145k) | n.d. | 19k (n.d.-30k) | 23k (n.d-29k) | 15k (n.d.-30k) | 19k (n.d.-87k) | 20k (n.d.-41k) |
| DINP | 36k (n.d-36k) | 3.3k (n.d.-3.3k) | 64k (n.d.-211k) | 47k (n.d.-278k) | n.d. | 9.4k (n.d.-229k) | 2.9k (n.d.-3.7k) |
| DIDP | n.d. | n.d. | 1.6k (n.d.-1.6k) | n.d. | n.d. | 0.91k (n.d.-14k) | n.d. |

*k=thousand=1,000. **n.d.=not detected. ***Feeding Bottle, Teether, Breast milk Pack, Baby Bowl and Baby Cup not all detected.

취학아동(8-13세)으로 나누어 분류하였다. 노출계수 중 체중 및 접촉시간은 어린이노출계수 핸드북³¹⁾자료의 연령군별 평균, 표준편차를 이용하여 재산출하였으며, 분포는 정규분포로 가정하여 분포의 모수값으로 활용하였고, 접촉면적은 DIN³⁴⁾과 RIVM³⁵⁾ 프로토콜을 통해 결정한 값으로 입에 닿을 수 있는 면적을 실험을 통해 결정한 값을 적용하였다. 각각의 프탈레이트류에 대한 위해 지수는 아래 식 3을 이용하여 구하였다.

$$HI = ADD / RfD \quad (3)$$

여기서, HI는 위해 지수(Hazard Index)이고 RfD는 독성 참고치(Reference Dose Values)이다. RfD 값은 US EPA (2007)³⁶⁾의 자료의 TDI (Tolerable Daily Intake)

값을 사용하였다 (DBP: 100 µg/kg/day, DEP: 800 µg/kg/day, BBP: 200 µg/kg/day, DEHA: 600 µg/kg/day, DEHP: 20 µg/kg/day, DNOP: 370 µg/kg/day, DINP: 150 µg/kg/day, DIDP: 250 µg/kg/day).

3. 결과 및 고찰

3.1. 함량

어린이용품 내 8종의 프탈레이트류의 함량 결과는 Table 4에 나타내었다. 어린이용품 내 DBP와 BBP의 함량농도 중 DBP는 인형에서 중앙값: 0.12k(최소-최대: n.d.-0.76k) mg/kg, BBP는 완구에서 0.10k(n.d-0.10k) mg/kg로 가장 높게 검출되었으며, 나머지 모든 제품군에서는 불검출되었다. 또한 DEP는 조사대상 제품군 모두에

서 불검출로 확인되었다. DEHA의 함량농도는 각각 완구에서 53k(n.d-53k) mg/kg로 가장 높게 검출되었으며 이어서 매트 5.4k(n.d-5.4k), 백백이 0.37k(n.d-0.37k), 오뚜기 0.22k(n.d-0.22k) 순으로 검출되었으며 젓병, 치아발육기, 모유비닐팩, 그릇, 컵, 딸랑이, 블록, 인형은 불검출되었다.

DEHP 함량농도는 백백이에서 108k(n.d-196k) mg/kg로 가장 높게 검출되었으며 이어서 오뚜기 3.0k(n.d-3.0k), 매트 2.4k(n.d-4.8k), 인형 0.60k(n.d-44k), 블록 0.30k(n.d-0.30k), 완구 0.11k(n.d-0.11k) 순으로 검출되었으며 딸랑이, 젓병, 치아발육기, 모유비닐팩, 그릇, 컵은 불검출되었다. DNOP 함량농도는 각각 매트에서 84k(n.d-145k) mg/kg로 가장 높게 검출되었으며 이어서 백백이 23k(n.d-29k) mg/kg, 완구 20k(n.d-41k) mg/kg, 인형 19k(n.d-87k) mg/kg, 오뚜기 19k(n.d-30k) mg/kg, 그리고 블록 15k(n.d-30k) mg/kg 순으로 검출되었으며 젓병, 치아발육기, 모유비닐팩, 그릇, 컵, 딸랑이는 불검출되었다. DINP 함량농도는 각각 백백이에서 47k(n.d-278k) mg/kg로 가장 높게 검출되었으며 이어서 오뚜기 64k(n.d-211k) mg/kg, 매트 36k(n.d-36k) mg/kg, 인형 9.4k(n.d-229k) mg/kg, 딸랑이 3.3k(n.d-3.3k) mg/kg 그리고 완구 2.9k(n.d-3.7k) mg/kg 순으로 검출되었으며 젓병, 치아발육기, 모유비닐팩, 그릇, 컵, 블록은 불검출되었다. 어린이용품 내 DIDP 함량농도는 각각 오뚜기에서 1.6k(n.d-1.6k) mg/kg로 가장 높게 검출되었으며 이어서 인형 0.91k(n.d-14k) mg/kg 순으로 검출되었으며 젓병, 치아발육기, 모유비닐팩, 그릇, 컵, 매트, 딸랑이, 백백이, 블록, 완구는 불검출되었다.

프탈레이트류 함량 규제 기준을 토대로 결과를 살펴보면(Table 5) 딸랑이 중 1개 제품(TR-5), 오뚜기 중 3개 제품(TP-4, TP-7, TP-8), 백백이 중 9개 제품(TT-1~5, 7~10), 블록 중 1개 제품(PB-10), 인형 중 20개 제품(재질별 분류시 총 22개 제품: PD-1~6, 8~11, 13, 15~25), 완구 중 3개 제품(PT-8, 10, 26), 매트 중 2개 제품(HM-6~7)에서 어린이제품 공통안전기준 규제농도³⁷⁾ 및 EU 제한기준⁷⁾ (DBP, BBP, DEHP, DNOP, DINP, DIDP, 6종 총합 0.1%)를 초과하였다.

조사대상 제품군별 농도를 살펴보면, 딸랑이 내 DINP, 백백이 내 DEHP, DINP, 인형 내 DINP에서 높은 함량 값을 보여주었다. 이는 플라스틱을 부드럽게 하기 위해 특히 많이 사용하는 제품인 딸랑이, 백백이 그리고 인형 제품이며 재질 또한 프탈레이트류가 많이 사용되는 폴리염화비닐(PVC)로 확인되었다. 이와 같은 결과는 다른

제품군에 비해 상대적으로 높은 농도의 프탈레이트류가 포함되어있기 때문이라 판단된다. S. Johnson et al.³⁸⁾의 연구에 의하면 어린이용품 중 EU 제한기준⁷⁾을 초과한 제품이 조사대상 24개 중 11개 제품이 초과하였으며, 초과한 제품 중 대부분이 DEHP 및 DINP가 검출되었으며, M. A. Natsheh et al.²⁴⁾의 연구에 따르면 EU 제한기준⁷⁾을 초과한 제품이 조사대상 27개 중 19개 제품이 초과하였으며, 초과한 제품 중 대부분이 DEHP, DNOP가 검출되어 본 연구와 비슷한 수준의 결과를 확인할 수 있었다.

3.2. 전이량

어린이용품을 빼는 행위에 의한 8종의 프탈레이트류 전이량 결과는 Table 6에 나타내었다. 분석결과 생활용품 중 젓병(n=12), 치아발육기(n=8), 모유비닐팩(n=10), 유아용 그릇(n=10), 유아용 컵(n=8)에 대한 결과 모든 제품에서 프탈레이트류가 검출되지 않았으며, 어린이용품 환경유해인자 사용제한 등에 관한 규정³⁹⁾(환경부고시 제2016-199호, 제한내용 DNOP: $9.90E^{-01} \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, DINP: $4.01E^{-01} \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)을 만족하였다. 프탈레이트류 이성체별 전이량 분석결과를 살펴보면 DEHA는 완구에서 $7.0E^{-02}(\text{n.d-}7.0E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 가장 높게 검출되었으며 이어서 매트 $2.0E^{-02}(\text{n.d-}2.0E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 검출되었으며 딸랑이, 오뚜기, 백백이, 블록, 인형은 불검출되었다. DEHP는 백백이에서 $1.9E^{-01}(\text{n.d-}6.2E^{-01}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 가장 높게 검출되었으며 이어서 인형 $3.4E^{-02}(\text{n.d-}1.2E^{-01}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 검출되었으며 매트, 딸랑이, 오뚜기, 블록, 완구는 불검출되었다. DNOP는 오뚜기에서 $1.7E^{-01}(\text{n.d-}2.9E^{-01}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 가장 높게 검출되었으며 이어서 완구 $9.7E^{-02}(\text{n.d-}9.7E^{-02})$, 인형 $9.3E^{-02}(\text{n.d-}9.6E^{-01}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 백백이 $3.6E^{-02}(\text{n.d-}6.7E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 매트 $3.6E^{-02}(\text{n.d-}3.6E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 그리고 블록 $1.6E^{-02}(\text{n.d-}1.6E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 검출되었으며 딸랑이는 불검출되었다. 이 결과에 의하면 모든 연구대상 어린이 용품은 DNOP의 국내 규제 농도³⁹⁾(어린이용품 환경유해인자 사용제한 등에 관한 규정, $9.90E^{-01} \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)보다 낮아 기준에 부합하였다. DINP는 오뚜기에서 $3.7E^{-01}(\text{n.d-}4.2E^{-01}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 가장 높게 검출되었으며 이어서 백백이 $1.7E^{-01}(\text{n.d-}1.0E^{+00}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 인형 $1.6E^{-01}(\text{n.d-}1.1E^{+00}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 딸랑이 $1.6E^{-01}(\text{n.d-}1.6E^{-01}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 완구 $3.7E^{-02}(\text{n.d-}3.7E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 그리고 매트 $2.6E^{-02}(\text{n.d-}2.6E^{-02}) \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, 순으로 검출되었으며, 블록에서는 불검출되

Table 5. Samples of exceeded standard

| Sample | DEP | DBP | BBP | DEHA | DEHP | DNOP | DINP | DIDP | Total* (%) |
|--------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------------|
| TR-5 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.33 | n.d. | 0.33 |
| TP-4 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 3.0 | 6.5 | n.d. | 9.4 |
| TP-7 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 1.9 | 4.3 | n.d. | 6.2 |
| TP-8 | n.d. | n.d. | n.d. | 0.020 | 0.30 | n.d. | 21 | 0.16 | 22 |
| TT-1 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.2 | 4.4 | n.d. | 6.6 |
| TT-2 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.4 | 4.7 | n.d. | 7.1 |
| TT-3 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.050 | n.d. | 28 | n.d. | 28 |
| TT-4 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.010 | n.d. | 23 | n.d. | 23 |
| TT-5 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.9 | 6.0 | n.d. | 8.9 |
| TT-7 | n.d. | n.d. | n.d. | 0.040 | 7.1 | n.d. | n.d. | n.d. | 7.1 |
| TT-8 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 20 | n.d. | 0.070 | n.d. | 20 |
| TT-9 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 15 | n.d. | 7.1 | n.d. | 22 |
| TT-10 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 14 | n.d. | 1.3 | n.d. | 15 |
| PB-10 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.03 | 3.0 | n.d. | n.d. | 3.0 |
| PD-1 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 4.4 | 0.70 | 23 | n.d. | 28 |
| PD-2 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.17 | n.d. | 17 | n.d. | 17 |
| PD-3 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.53 | 0.27 | 5.5 | n.d. | 6.4 |
| PD-4 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 8.7 | n.d. | n.d. | 8.7 |
| PD-5 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.3 | 2.5 | 0.060 | 4.8 |
| PD-6 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 3.3 | n.d. | n.d. | 3.3 |
| PD-8 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 3.2 | n.d. | n.d. | 3.2 |
| PD-9 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.0 | n.d. | n.d. | 2.0 |
| PD-10 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.060 | n.d. | 0.48 | 0.020 | 0.56 |
| PD-11 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 21 | 1.4 | 22 |
| PD-13 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 3.6 | n.d. | n.d. | 3.6 |
| PD-15 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 3.0 | n.d. | n.d. | 3.0 |
| PD-16 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.040 | n.d. | 0.060 | n.d. | 0.10 |
| PD-17 | n.d. | 0.010 | n.d. | n.d. | 1.4 | 1.1 | 2.1 | 0.090 | 4.7 |
| PD-18 | n.d. | 0.080 | n.d. | n.d. | 1.3 | 1.2 | 0.93 | 0.12 | 3.6 |
| PD-19 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.5 | n.d. | n.d. | 2.5 |
| PD-20 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.060 | 1.8 | 4.6 | 0.62 | 7.1 |
| PD-21 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 4.8 | 0.94 | 0.020 | 5.7 |
| PD-22 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 4.0 | n.d. | n.d. | 4.0 |
| PD-23 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 5.3 | n.d. | n.d. | 5.3 |
| PD-24 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 1.8 | n.d. | n.d. | 1.8 |
| PD-25 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.4 | n.d. | n.d. | 2.4 |
| PT-8 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 4.1 | n.d. | n.d. | 4.1 |
| PT-10 | n.d. | n.d. | n.d. | 5.3 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 5.3 |
| PT-26 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.32 | n.d. | 0.32 |
| HM-6 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 2.3 | 3.6 | n.d. | 5.9 |
| HM-7 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0.48 | 14 | n.d. | n.d. | 15 |

*n.d = not detected. **Total (%) is the sum of DEP, BBP, DEHP, DNOP, DINP and DIDP.

었다. 이 결과에 의하면 모든 연구대상 어린이 용품은 DINP의 국내 규제 농도³⁹⁾(어린이용품 환경유해인자 사용제한 등에 관한 규정, $4.01E^{-01} \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)보다 낮아 기준에 부합하였다. DIDP은 인형에서만 $3.0E^{-02}$ (n.d. $3.0E^{-02}$) $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ 로 검출되었으며 매트, 딸랑이, 오뎅

이, 뽕뽕이, 블록, 완구에서는 불검출되었다.

조사대상 제품군별 전이량 결과값을 살펴보면 딸랑이 내 DINP, 오뎅이 내 DNOP와 DINP, 뽕뽕이 내 DEHP, DNOP, DINP 인형 내 DNOP와 DINP에서 가장 높게 검출되었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 가장 많이 검출

Table 7. Calculated hazard index values by age-gender (Continued)

| Chemicals | Products | Age-gender | SD | Mean | Interquartile (25 th -75 th) | ADD | | HI | | |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|--|-------------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | CTE | RME | CTE | RME | |
| DNOP | TP | Infants | 0.990 | 6.920 | 6.080-7.380 | 6.857 | 14.47 | 0.018 | 0.039 | |
| | | Preschoolers | 0.010 | 0.080 | 0.070-0.090 | 0.079 | 0.172 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | 0.005 | 0.004-0.005 | 0.005 | 0.009 | <0.001 | <0.001 | |
| | TR | Infants | 0.210 | 1.800 | 1.600-2.010 | 1.827 | 3.273 | 0.005 | 0.009 | |
| | | Preschoolers | 0.002 | 0.017 | 0.010-0.020 | 0.021 | 0.038 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.002 | <0.001 | <0.001 | |
| | PB | Infants | 0.090 | 0.660 | 0.580-0.700 | 0.647 | 0.820 | 0.002 | 0.002 | |
| | | Preschoolers | 0.001 | 0.007 | 0.007-0.008 | 0.007 | 0.009 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | |
| | PD | Infants | 1.040 | 7.750 | 6.340-8.560 | 7.840 | 28.30 | 0.021 | 0.076 | |
| | | Preschoolers | 0.012 | 0.080 | 0.070-0.090 | 0.091 | 0.325 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | 0.006 | 0.004-0.005 | 0.006 | 0.021 | <0.001 | <0.001 | |
| | PT | Infants | 0.580 | 4.020 | 3.530-4.300 | 3.980 | 5.000 | 0.011 | 0.014 | |
| | | Preschoolers | 0.007 | 0.050 | 0.040-0.050 | 0.046 | 0.058 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | 0.003 | 0.002-0.003 | 0.003 | 0.004 | <0.001 | <0.001 | |
| | HM | Infants | 0.210 | 0.149 | 1.310-1.590 | 1.472 | 1.900 | 0.004 | 0.005 | |
| | | Preschoolers | 0.002 | 0.017 | 0.010-0.020 | 0.017 | 0.022 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | |
| | TT | Infants | 0.990 | 6.820 | 5.990-7.270 | 6.748 | 8.600 | 0.045 | 0.057 | |
| | | Preschoolers | 0.011 | 0.079 | 0.069-0.083 | 0.078 | 0.099 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | 0.0049 | 0.004-0.005 | 0.005 | 0.006 | <0.001 | <0.001 | |
| | DINP | TP | Infants | 1.750 | 12.11 | 10.62-12.92 | 12.06 | 21.52 | 0.080 | 0.143 |
| | | | Preschoolers | 0.020 | 0.140 | 0.120-0.150 | 0.139 | 0.247 | <0.001 | <0.001 |
| | | | School children | 0.001 | 0.009 | 0.008-0.009 | 0.009 | 0.019 | <0.001 | <0.001 |
| TR | | Infants | 1.930 | 13.24 | 11.60-14.12 | 13.25 | 42.86 | 0.088 | 0.286 | |
| | | Preschoolers | 0.022 | 0.150 | 0.130-0.160 | 0.153 | 0.495 | <0.001 | 0.0033 | |
| | | School children | 0.001 | 0.009 | 0.008-0.010 | 0.010 | 0.030 | <0.001 | <0.001 | |
| PD | | Infants | 2.190 | 15.17 | 13.33-16.14 | 15.20 | 64.00 | 0.101 | 0.427 | |
| | | Preschoolers | 0.020 | 0.170 | 0.150-0.190 | 0.176 | 0.735 | 0.001 | 0.005 | |
| | | School children | 0.001 | 0.010 | 0.009-0.011 | 0.011 | 0.054 | <0.001 | <0.001 | |
| HM | Infants | 0.150 | 1.070 | 0.940-1.140 | 1.056 | 1.300 | 0.007 | 0.009 | | |
| | Preschoolers | 0.002 | 0.010 | 0.010-0.012 | 0.012 | 0.015 | <0.001 | <0.001 | | |
| | School children | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | | |
| DIDP | TR | Infants | 0.14 | 0.990 | 0.870-1.060 | 0.981 | 1.200 | 0.004 | 0.005 | |
| | | Preschoolers | 0.002 | 0.010 | 0.011-0.012 | 0.011 | 0.014 | <0.001 | <0.001 | |
| | | School children | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | |

*Bold values indicate concentration exceeding HI.

미칠 수 있는 위해성에 대한 연구가 필요하다.

프탈레이트류 8종에 대한 노출량 및 독성자료 그리고 산출식을 이용하여 위해 지수(HI)를 계산하였다(Table 7). 위해성 평가 시 전이량 분석결과 정량한계 이하인 제품에 대해서는 노출평가에서 제외하였으며, 각 제품의 전이량 농도에 따라 추출용매(인공침)의 양을 곱하여 산정한 후 2.4.4에 서술한 절차대로 위해 지수를 산출하였다. 위해 지수는 위해성 평가 시 흔히 사용되며 US EPA

(2007)³⁶)의 값을 참고하였고 위해 지수 값이 1 이상인 경우 평가에 적용된 노출상황과 독성을 고려하여 위해 영향이 예측된다고 판단되며, 위해 지수 값이 1 이하인 경우 위해영향이 예측되지 않는다고 판단한다. 위해 지수는 대상 연령군을 영유아(0-3세), 미취학아동(4-7세), 취학아동(8-13세)으로 구분하여 산출하였다.

프탈레이트류 8종에 대한 위해 지수는 Table 7과 같이 CTE와 RME로 구분하여 산출하였다. 먼저 평균적

노출량(CTE)에 대한 연령군별 위해지수는 영유아, 미취학아동, 취학아동순으로 각각 <0.001~0.546, <0.001~0.021, <0.001~<0.001 범위로 도출되었으며 대상 연령군에서 위해지수값이 1이하로 나타나 유해영향이 예측되지 않는다고 판단되었다. 반면, 고노출수준 노출량(RME)에 대한 연령군별 위해지수는 영유아, 미취학아동, 취학아동순으로 각각 0.002~1.450, <0.001~0.017, <0.001~<0.001 범위로 도출되었으며 그 중 영유아군 딸랑이에서 DEHP의 위해 지수가 1보다 큰 값을 나타내어 유해영향의 발생이 예측되었다. 이와 같은 결과는 어린 연령군일수록 물건을 물고 빠는 행위 및 접촉시간이 증가하는 경향성^{18,31)} 및 비식이적 섭취(non-dietary ingestion)행위에³⁰⁾ 더 많이 노출될 수 있는 결과로 사료된다.³²⁾

4. 결 론

본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 어린이용품 내 프탈레이트류 8종(DEP, DBP, BBP, DEHA, DEHP, DNOP, DINP, DIDP)의 함량 및 전이량 농도 수준을 확인 후 입으로 빠는 어린이의 행동특성을 고려한 노출량을 산정하고 그에 따른 위해성을 파악하고자 하였다.

먼저 어린이용품 중 프탈레이트류 함량 분석결과 딸랑이(1개), 오뎅이(3개), 뽕뽕이(9개), 블록(1개), 인형(20개), 완구(3개), 매트(2개) 제품의 농도가 어린이제품 공통안전기준농도 및 EU 제한기준을 초과한 반면 전이량 분석결과(어린이용품 환경유해인자 사용제한 등에 관한 규정)를 초과한 제품은 없었다. 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 프탈레이트류 확률론적 노출평가 및 위해지수 산정 결과, 다른 어린이 제품에 비해 뽕뽕이 및 인형 제품에서 다소 높은 노출량을 나타냈으며 상대적으로 연령이 낮을수록 위해지수가 높은 결과가 산출되었다. 이는 영유아의 특성상 인지행위를 구강으로 함에 있어 노출시간 및 빈도가 높은 결과에 의한 것이라 판단된다.

참고문헌

1. 소비자원, 유해물질 검출되는 '캐릭터 가면' 어린이 안전 위협, **2014**.
2. 산업통상자원부, 유해물질 과도하게 검출된 어린이 공산품 리콜명령, **2014**.
3. M. E. Becker and R. I. Massey, Toxic chemicals in toys and children's products: Limitation of current responses and recommendations for government and industry, *Environmental Science Technology*, **2010**, 44.
4. 환경부, 법률 제 13893호, 환경보건법, **2016**.
5. 산업통상자원부, 법률 제 13859호, 어린이제품 안전 특별법, **2016**.
6. EU, Directive 2009/48/EC, **2013**.
7. EU, Directive 2005/84/EC, **2005**.
8. The Japan Toy Association, Toy Safety Standard, **2002**.
9. M. J. Teil, M. Blanchard and M. Chevreuil, Atmospheric fate of phthalate esters in an urban area (Paris-France), *Science of the Total Environment*, **2006**, 354, 212-223.
10. G. Latini, A. Del Vecchio, M. Massaro, A. Verrotti and C. De Felice, Phthalate exposure and male infertility, *Toxicology*, **2006**, 226, 90-98.
11. C. A. Staples, D. R. Peterson, T. F. Parkerton and W. J. Adams, The environmental fate of phthalate esters: A literature review, *Chemosphere*, **1997**, 35, 667-749.
12. OSHA, <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/organic/org104/org104.html>, **2009**.
13. K. Becker, M. Seiwert, J. Angerer, W. Heger, H. M. Koch, R. Nagorka, E. Roßkamp, C. Schluter, B. Seifert and D. Ullrich, DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **2004**, 207, 409-417.
14. G. Latini, Monitoring phthalate exposure in humans, *Clinica Chimica Acta*, **2005**, 361, 20-29.
15. N. S. Tulve, J. C. Suggs, T. McCurdy, E. A. C. Hubal and J. Moya, Frequency of mouthing behavior in young children, *Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **2002**, 12, 259-264.
16. E. A. C. Hubal, L. S. Seldon, J. M. Burke, T. R. McCurdy, M. R. Berry and M. L. Rigas, Children's exposure assessment: A review of factors influencing children's exposure and the data available to characterize and assess that exposure, *Environmental Health Perspectives*, **2000**, 108, 475-486.
17. M. Firestone, J. Moya, E. Cohen Hubal, V. Zartarian and J. Xue, Identifying childhood age groups for exposure assessments and monitoring, *Risk Analysis*, **2007**, 27, 701-714.
18. J. Xue, V. Zartarian, J. Moya, N. Freeman, P. Beamer, K. Black, N. Tulve and S. Shalat, A meta-analysis of children's hand-to-mouth frequency data for estimating non-dietary ingestion exposure, *Risk Analysis*, **2007**, 27, 411-420.
19. L. R. Glodman, Children-unique and vulnerable. Environmental risks facing children and recommendations for response, *Environmental Health Perspectives*, **1995**, 103, 13-18.
20. C. F. Bearer, How are children different from adults. *Environmental Health Perspectives*, **1995**, 103, 7-12.

21. National Toxicology Program (NTP), OHAT nominations under consideration and evaluations, URL: <http://ntp.niehs.nih.gov/go/evals> (May 16, 2013).
22. E. T. Ozer and S. Gucer, Determination of some phthalate acid esters in artificial saliva by gas chromatography-mass spectrometry after activated carbon enrichment, *Talanta*, **2011**, 84, 362-367.
23. US CPSC, Consumer Product Safety Improvement Act (HR4040), **2009**.
24. Simultaneous GC-MS determination of eight phthalates in total and migrated portions of plasticized polymeric toys and childcare articles, *Journal of Chromatography B*, **2015**, 985, 103-109.
25. Danish EPA, Evaluation of the health risk to animals playing with phthalate containing toys, Survey of chemical substances in consumer products, No. 74, **2006**.
26. 환경부, 환경유해인자 공정시험방법, **2014**.
27. RIVM, report 613320 002, Phthalate release from soft PVC baby toys, **1998**.
28. Joint Research Centre, European Commission, Validation of methodologies for the release of diisononyl-phthalate(DINP) in saliva stimulant from toys, **2001**.
29. 환경부, 환경부예규 제585호, 환경유해인자의 위해성평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침, **2016**.
30. J. Xue, V. Zartarian, J. Moya, N. Freeman, P. Beamer, K. Black, N. Tulve and S. Shalat, A meta-analysis of children's hand-to-mouth frequency data for estimating non-dietary ingestion exposure, *Risk Analysis*, **2007**, 27, 411-420.
31. 국립환경과학원, 어린이노출계수 핸드북, **2016**.
32. B. Paloma, Quantified activity pattern data from 6 to 27-month-old farmworker children for use in exposure assessment, *Environmental Research*, **2008**, 108, 239-246.
33. 국립환경과학원, 한국형 어린이 노출계수 개발연구, **2015**.
34. ATSDR, Toxicological Profile for Zinc Clifton Road, NE, **2005**.
35. E. F. A. Brandon, A. G. Oomen, C. J. M. Rompelberg, C. H. M. Versantvoort, Van Engelen and A. J. M. Sips, Consumer product in vitro digestion model: Bioaccessibility of contaminants and its application in risk assessment, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **2006**, 44, 161-171.
36. US EPA, <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm>, **2007**.
37. 산업통상자원부, 산업통상자원부고시 제2015-110호, 어린이제품 공통안전기준, **2015**.
38. S. Johnson, N. Saikia and R. Sahu, Phthalates in Toys, CSE/PML/PR-36/2010, **2010**. http://www.cseindia.org/userfiles/cselab_report_toxictogs.pdf.
39. 환경부, 환경부고시 제2016-199호, 어린이용품 환경유해인자 사용제한 등에 관한 규정, **2016**.
40. I. S. Choi and S. C. Choi, Contents and migration of heavy metals and phthalates in children's products and phthalates in children's products, *Korean Society of Environmental Engineers*, **2014**, 36, 127-138.
41. http://www.chemsec.org/images/stories/2011/chemsec/SIN_List_2.0_all_378.pdf
42. U.S.A, AB1108, California Toxic Toys Bill (2007.06.05).
43. U.S.A, H.R. 4030, The Federal Hazardous Substances Act (2007.10.31).
44. U.S.A, H.R. 4040, Consumer Product Safety Improvement Act (2008.08.14).
45. Canada, Canada Consumer Product Safety Act (2010.12.10).
46. ATSDR, Toxicological Profile for Di(2-ethylhexyl) phthalate, **2002**.