J. Fd Hyg. Safety
Vol. 23, No. 3, pp. 276~283 (2008)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

어린이 건강관련 유해물질 연구방향

이효민 · 정기화[1]
식품의약품안전청 국립독성과학원 위해관리기술연구과
[1]덕성여자대학교 약학대학

Chemical Risk Factors for Children's Health and Research Strategy

Hyo Min Lee and Ki Hwa Jung[1]
Director, Risk Management Research Division, National institute of Toxicological Research, Korea Food and Drug Administration, Seoul 122-704, Korea
[1]College of Pharmacy, Duksung Women's University, Seoul 132-714, Korea
(Received August 18, 2008/Revised September 18, 2008/Accepted September 23, 2008)

ABSTRACT – To provide the research strategy for protection of children's health from hazardous chemical, we reviewed the hazardous chemicals can be exposed through maternity, children's life style and living environment. Recently, diseases related with children's living condition were focused as asthma, atopy, childhood developmental disability, congenital malformations and obesity. Children can be exposed to hazardous chemicals through an ambient air, water, soil, food, toys and other factors such as floor dust. Also children's health was deeply related with a wrong life style and neglectful caring by a lack of knowledge and information of harmful ones at parents and child care center's nursers. According to the previous study, the chemical risk factor of children's health were identified as inorganic arsenic, bisphenol A, 2,4-D, dichlorvos, methylmercury, PCBs, pesticide, phthalates, PFOA/PFOS, vinyl chloride, *et al*. Domestic studies for identification of causality between children exposure to chemicals and resulted hazardous effects were not implemented. The confirmation of chemical risk factors through simultaneously performing toxicological analysis, human effect study, environmental/human monitoring, and risk assessment is needed for good risk management. And also, inter-agency collaboration and sharing information can support confirming scientific evidence and good decision making.

Key words: children health, environmental risk factor, chemical risk factor

서 론

최근 세계 각국에서는 정부주관 하에 어린이 건강을 보호하기 위한 다양한 정책들을 추진하고 있다. 정책의 내용을 살펴보면 식품·환경으로부터의 유해물질 노출의 최소화, 영양불균형 식생활문화의 개선뿐 아니라, 비만을 유발할 수 있는 매스컴 광고규제, 판매규제와 같은 교육환경개선 등으로 구체화되고 있다. 우리나라의 경우, 유해물질 노출로부터의 안전관리는 여러 부처와 연관된 것이어서 정책의 실효성을 거두기 위해서는 연구차원에서의 세심한 전략적 연계성을 유지하고 과학적 사실에 근거한 정보를 공유하는 것이 매우 중요하다.

우리나라에서는 환경부와 식품의약품안전청을 주축으로 어린이 건강관련 정책이 추진되고 있다. 어린이 환경권을 보호하고 안전하게 자랄 수 있는 환경을 조성하기 위한 환경부(「환경보건법」)의 정책과 식품의 위해성분(당, 나트륨, 트랜스지방 및 첨가물 등 영양위해성분), 식중독 및 비만 등으로부터 어린이의 건강을 보호하기 위한 식품의약품안전청의 정책(「어린이식생활안전관리 특별법」)을 근거로 긴밀한 상호연계성이 필요한 유해물질 안전관리를 중심으로 향후 추진되어야 할 연구방향에 대해 기술하고자한다.

어린이 건강에 영향을 미치는 환경위해요소

세계 보건 기구(World Health Organization; WHO, 2003)에 의하면 매년 5백만 명 이상의 어린이(14세 이하, 특히 개도국)들이 환경요인으로 인해 사망한다고 보고되고 있

*Correspondence to: Hyo Min Lee, Risk Management Research Division, National Institute of Toxicological Research. Korea Food and Drug Administration, Seoul 122-704, Korea
Tel: 82-2-380-1782~4, Fax: 82-2-389-7007
E-mail: hmlee@kfda.go.kr

으며, 기후변화, 질병인자확산, 실내 공기질, 수돗물 및 유해화학물질 등이 주요인이고 무의식적인 중독사고 사망도 5만 명에 이를 것으로 추정되고 있다.

특히 아토피와 천식 등의 환경성질환이 어린이를 중심으로 지속적으로 증가하고 있어 의료비 증가와 삶의 질 저하에 따른 사회적 부담이 매우 큰 것으로 추산되고 있다.

대기, 수질, 토양, 식품 및 생활환경으로부터 어린이에게 미치는 위해요소의 다양한 영향과 질환발생과의 관계는 매우 복잡하게 연계되어 있어 그 원인-상관관계(causality)를 확인하기 어렵다(Figure 1).

어린이들은 대기, 수질, 토양 및 식품을 통해 유해물질에 노출되며, 장난감 등 유해제품 및 중독사고 이외에도 부모와 보육기관의 지식・정보부족에 의한 관리 소홀과 잘못된 생활문화에 의해 민감하게 영향을 받을 수 있다. 최근 보고에 의하면 어린이생활환경과 연계된 질환은 천식, 아토피, 소아발달장해, 선천성기형 및 비만 등으로서 미 환경보호국(U.S. Environmental Protection Agency; U.S.EPA)에서 수행하고 있는 어린이건강사업을 토대로 어린이건강에 영향을 미치는 유해화학물질에 대한 연구결과를 물질별로 고찰하고자 한다.

어린이 건강에 영향을 미치는 유해화학물질과 건강영향

U.S.EPA의 어린이 건강 보호국(the Office of Children's Health Protection; OCHP)에서는 어린이 건강에 영향을 미치는 환경위해요소의 잠재적 영향을 확인하고 유해영향을 최소화하기 위한 방법을 모색하기위하여 대기, 수질, 토양 및 식품 중 유해물질에 대한 모니터링과 모체, 어린이 체내에서의 유해물질 모니터링을 실시하며, 역학연구를 기초로 환경적 유해물질 노출과 연계된 어린이 질환을 규명하여 관리대상물질을 제시한 바 있다.

얻어진 연구결과는 정부기관의 안전관리 전략을 수립하고 관리우선 순위를 결정하는 등 정책 결정에 활용되며, 장기적으로는 무수히 많은 화학물질의 사용으로부터 인체 노출을 최소화하고 관리대상 화학물질의 목록을 최신화하는데 사업목표를 두고 있다.

U.S.EPA가 최근 확인한 어린이 건강에 영향을 미치는 환경유래 유해물질은 무기비소(inorganic aresenic; Ar), 2,4-D(2,4-dichlorophenoxyacetic acid; 2,4-D), 디클로르보스(dichlorvos; DDVP), 메틸수은(methyl mercury; MeHg), 프탈레이트(phthalates)와 비닐클로라이드(vinyl chloride; VC) 등 18종이 있으며(Table 1), 비스페놀 A (bisphenol A; BPA), 탄화플루오르옥탄술폰산/퍼플루오로옥탄산(perfluorooctane sulfonate/perfluorooctanoate; PFOS/PFOA), 잔류성유기오염물

Table 1. Chemicals Effecting Children's Health by U.S. EPA, TEACH*[1)]

Chemicals	
Arsenic	Manganese
Atrazine	Methyl mercury
Bisphenol A	Nitrates and nitrites
Benzene	Perfluorinated compounds**
Benzo(a)pyrene	Permethrin and resmethrin
Diethyltoluamide(DEET)	Phthalates
2,4-Dichlorophenoxyacetic acid	POPs*** (Polychlorinated biphenyls,PCBs)
Dichlorvos	Trichloroethylene
Formaldehyde	Vinyl chloride

*U.S.TEACH = U.S.Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health
**PFOS/PFOA = Perfluorooctane sulfonate/Perfluorooctanoate
***POPs = Persistent Organic Pollutant

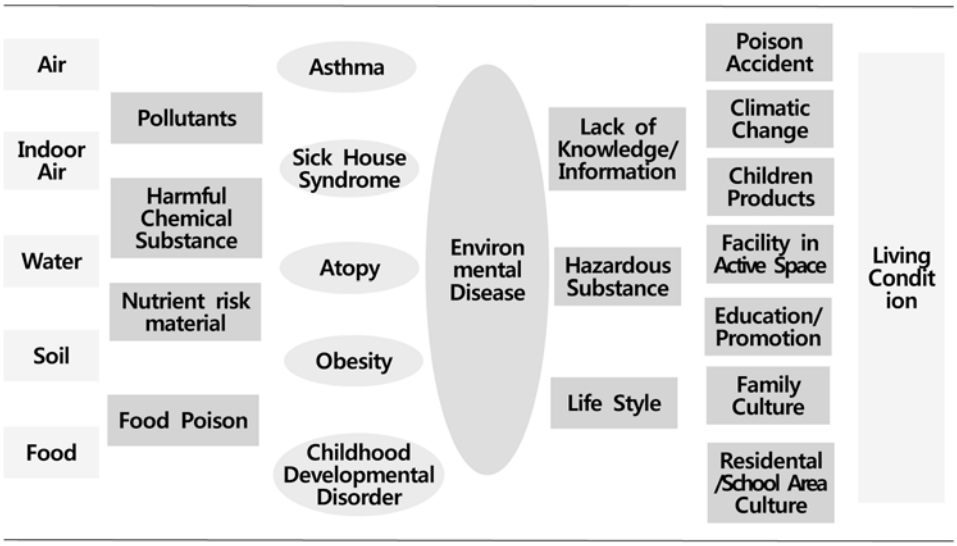

Fig. 1. Risk Factor Effects to Children Environmental Living Condition and Health.

질(persistent organic pollutants; POPs)도 어린이 건강에 영향을 미친다고 알려졌다(Table 1).

어린이는 생리적, 행동 습성 및 노출 형태가 성인과 다르다. 어린이는 성인에 비해 체중 당 음료나 식품을 더 많이 섭취하며, 호흡량과 체용적(body volume)이 더 크다. 게다가 특유의 행동양식(바닥 기어 다니기, 부적절한 물건 입에 넣기 등)과 생활 패턴(실외에서 보내는 시간이 어른에 비해 많은 점, 바닥과 접하는 횟수, 면적이 어른에 비해 크다)을 갖기 때문에 일부 물질은 어린이에게 더 큰 영향을 미친다. 또한 유해물질의 흡수, 배설, 대사과정이 환경오염물질에 더 유해한 영향을 받기 쉽고[2], 또한 세포가 아직 미성숙하며 성장 중이기 때문에 유해물질에 대한 위해성이 더 높아질 수 있는데, 특히 신경발달 기능에 민감한 영향을 크게 받을 수 있다.

무기비소는 자연 상태의 지각(일부 암석과 광물)에 존재하며, 토양, 지하수, 지표수 및 대기로 유입되고 일부 동·식물에 전이된 것을 식품으로 섭취하여 노출된다[3]. 노출경로에 따라 건강에 미치는 영향이 다르며, 식품을 통해 경구 노출되는 경우 메스꺼움, 설사, 복통 및 구토를 야기하고 피부암, 방광암, 신장암과 간암을 유발한다[4]. 피부로 접촉할 경우 피부 변색과 외상, 과다색소침착이 일어나며, 호흡을 통한 노출시 점막염증을 유발하고 폐암 발생을 증가시킨다. 어린이는 특유의 hand-to-mouth activity로 인해 성인에 비해 노출량이 상대적으로 크며, 오염된 토양을 통한 노출과 음용수, 식품의 섭취를 통해 주로 노출된다. 모체를 통한 무기비소의 태중 노출시 폐암 위험성이 증가하였고, 어린이의 모발 연구 결과에 의하면 고용량의 무기비소 노출은 낮은 지능(IQ)과 장기기억력 감소 및 피부 손상을 유발시키는 것으로 보고되고 있다. 최근 인도에서 조사된 연구에 따르면 무기비소 노출은 어린이와 어른에서 림프구의 염색체와 DNA의 손상을 증가시켰고 무기비소를 호흡하거나 음용수 섭취를 통해 노출되었을 시 조산, 사산, 자연유산 및 유아사망률이 증가되는 것으로 보고되고 있다[5]. 피부암과 폐암 발생을 증거로 WHO, 국제 암 연구기관(International Agency for Research on Cancer; IARC)에서는 무기비소를 발암물질(human carcinogen)로 분류하고 있다[6].

식료품의 캔, 병마개, 식품포장재 및 치과용 수지 등에 주로 사용되는 비스페놀 A(bisphenol A; BPA)는 에폭시 레진과 폴리카보네이트(Polycarbonates; PC)생산에 이용되는 단량체(monomer)로[7], 산화방지제, 염화비닐 안정제로서 사용된다.

일반인들은 식품용기나 포장재에 사용된 BPA가 식품으로 전달되고 그 식품을 섭취하여 노출되는 경우가 대부분이다. 대다수의 연구들은 BPA노출량(exposure level)이나 그 출처를 확인하는데 초점을 맞추고 있어 BPA노출과 건강영향에 관한 연구는 부족하나, 식혜, 탄산음료, 과일주스, 커피 및 차 등의 음료수를 포함한 통조림 식품의 식품별 노출기여도는 총 노출의 80%를 차지하고 있고 나머지는 그 밖의 다른 통조림류에 의해 노출되는 것으로 보고되고 있다. 탄산음료의 경우 평균농도는 낮지만 하루 섭취량이 상대적으로 많기 때문에 노출기여도가 높고, 이에 비해 참치통조림에 의한 평균섭취량은 적지만 높은 BPA 농도로 인해 높은 노출기여도를 나타낸다[8]. 2세의 취학 전 어린이 9명을 대상으로 BPA의 노출수준을 평가한 결과에 의하면 주당 최소 26시간을 탁아소에서 지내는 어린이의 경우 식품 섭취이외에도 활동시간을 많이 갖게 되는 실내·외의 공기, 바닥 먼지, 놀이터의 흙을 통해 노출될 수 있으며 이들 매체를 통해 노출되는 총BPA는 42.98ng/kg/day수준인 것으로 확인되었다[9].

임신 중 모체를 통해 BPA에 노출시 태아에게 영향을 줄 수 있다. 남아의 생식기관 발달에 유해한 영향(잠복고환 및 요도하열)을 미칠 수 있으며 정자형성을 억제하거나 정자 기형을 유발한다고 조사되었다[10,11]. BPA노출이 행동실험의 결과와 연관성을 보이는 것으로 보아 주의력결핍과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder; ADHD)와 BPA노출의 연관성을 추정할 수 있다[12].

우리나라에서 제초제로 사용되는 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)는 저독성(IV급)으로 분류하고 주로 벼에 사용된다[13]. 고용량의 동물시험에서 최기형성(birth defects), 태아사망 및 요도기형이 나타났으며, 임신 및 수유 중인 모체가 2,4-D에 노출되었을 시 후세대 영향 및 신경병리학적 영향(neurological effects)을 나타내는 것으로 보고되었고 혈액, 간장 및 신장 독성을 초래하며, 만성경구투여시에는 눈, 갑상선, 신장, 부신, 난소 및 정소에 유해영향이 알려지고 있다[14]. 주로 집 먼지를 섭취·호흡하거나, 식품이나 음용수를 섭취하였을 경우 노출되며 2,4-D를 처리한 호수에서 수영할 때 노출될 수도 있다. 실·내외, 토양의 2,4-D를 측정한 결과 실내공기샘플 10개중 6개, 실외공기샘플 10개중 7개, 토양샘플 10개중 3개가 검출한계(the limit of detection; LOD, Air LOD = 0.1 ng/m^3, Dust/soil LOD = 0.001 ppm, Food LOD = 0.2~0.5 ppb)이상으로 검출되었으며, 주로 식이 섭취와 호흡에 의해 노출되는 것으로 나타났다[15].

Dichlorvos (2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate)는 유기인계농약이며 DDVP로 알려져 있는 살충제이다. 독성은 고독성(II급), 보통독성(III급)으로 품목에 따라 다르며, 우리나라에는 들깨, 복숭아, 뽕나무 및 사과 등의 작물에 사용된다. 모체를 통해 dichlorvos에 노출된 어린이에서 신경기능장해와 면역독성이 관찰되었고, 혈액암(재생불량성빈혈이나 급성림프모구백혈병)과 연관성을 보였다. 성인이 dichlorvos에 노출 되었을 시 신경독성, 호흡기 부작용 유발 및 피부 영향을 나타내었으며 급성노출의 경우, 메스꺼움, 불안, restlessness 및 안구 열상 및 heavy sweating

을 유발시킨다. 심해질 경우 혼수상태, 호흡곤란과 사망에 까지 이를 수 있다. 어린이는 주로, 집기(household)나 pest strips 및 flea collars을 사용하여 배출된 dichlorvos를 호흡하여 노출된다[16].

메틸수은(methyl mercury, MeHg)은 인위적으로 생산한 것이 아니라 무기수은이 환경 중에서 전환된 것이다[17]. 주요 수은 배출원으로 석탄연소발전소, 소각시설, 수은전지, 수은온도계 및 수은함유 형광등과 치과용 아말감 등이 알려지고 있는데[18], 메틸수은은 고노출시 정신지체, 뇌성(소아)마비와 발작을 유발할 수 있는 잠재적 신경독성물질이며, 뇌 발달에 특히나 민감한 영향을 야기한다. 사람은 주로 어류의 섭취를 통해 이루어진다. 어린이는 태중 노출(*in utero*), 모유와 어패류의 섭취를 통해 노출되며 어류의 종류에 따라 섭취량이 다르다. 메틸수은은 지방용해도가 높아서 소화관에서의 흡수가 빠르고 혈액수액관문과 태반관문을 쉽게 통과하여 태아에 치명적인 독성을 일으킬 수 있다[19].

PFOS/PFOA (Perfluorooctane sulfonate/Perfluorooctanoate; Pyrethroids; Perfluorinated compounds, PFCs)는 전자레인지용 팝콘 봉지, 피자박스, 패스트푸드・사탕류 포장재[20], 계면활성제 및 표면보호제로 사용되고 있으며[21], 세정제, 샴푸, 치실과 denture cleaner와 같은 개인관리용품에도 PFOA가 사용되고 있으나[22], 점차 Perfluorooctanesulfonyl fluoride (POSF)의 사용을 줄이는 추세이다. 체중 당 어린이의 노출량이 청소년이나 어른보다 높다는 연구보고가 있다[23]. PFOA/PFOS가 제대혈액 혈청에서 각각 99%와 100%가 검출되었으며(각각 4.9 ng/ml, 1.6 ng/ml; 기하평균 농도)[24], 임신 중 모체의 PFCs 노출은 태아에 전달 될 수 있고, 고농도의 PFOS에 노출되었을시 태아의 체중이 감소하였으며, 구개열, 전신부종(부종), 골화지연(복장뼈 분절 및 지골) 및 심장기형이 관찰되었다[25].

Phthalates는 phthalic angydride에 ethyl, butyl, benzyl, allyl, octyl 및 heptyl ether 또는 alcohol 등으로부터 고온에서 촉매에 의한 ester 반응을 통해 합성되며, 석유화학 합성 플라스틱류 중 특히, poly-vinylchloride (PVC) 등에 약 5~80% 혼합하여 사용되는 플라스틱 가소제로서, 의료용구(정맥주사, 혈관주사, 체외막산소공급장치(Extra Corporeal Membrane Oxygen; ECMO)나 투석에 사용되는 플라스틱 관), 고무호스, 비닐포장, 장난감, 건축자재, 자동차 내장재 등의 플라스틱 제품뿐만 아니라 각종 화학제품 및 화장품 용매(매니큐어, 향수, 헤어스프레이 등), 잉크, 도료, 의료, 카펫 등 생활용품에 이르기 까지 광범위하게 사용되고 있다[26]. phthalate 노출은 정자 수 및 운동성 감소, 정관 손상, 고환 및 부고환의 무게 감소를 야기하며, 집 먼지를 통한 phthalate 노출이 천식, 알레르기 증상과 연관 있다는 연구 결과가 있다[27,28]. 점진적 프탈레이트 사용금지의 대안으로 가장 독성이 낮은 프탈레이트류의 사용을 위한 비교독성연구가 수행된 결과, 정자운동성 감소에 대한 영향은 di-2-dehylhexyl phthalate (DEHP) > dibutyl phthalate (DBP) > di-n-octyl phthalate (DnOP) > di-undecyl phthalate (DUP) > diisodecyl phthalate (DIDP) > butylbenzyl phthalate (BBP) 순으로 나타났다[26]. 특히 DEHP는 우리 주변에서 가장 많이 사용된다. 국내에서 조사된 DEHP에 대한 인체노출 자료는 거의 없는 실정으로 이에 대한 조사연구가 필요하다. 외국에서의 조사 결과에 따르면 DEHP의 독성영향은 간장장해 등의 일반독성, 생식・발생독성 및 내분비계 장해작용 등이 많이 알려져 있으며, 특히, 태자 이상, 정자 이상, 및 생식기관 이상 등을 포함하는 생식・발생독성은 설치류 및 포유류를 이용한 실험에서 다수 보고되고 있다. 동물실험에서는 발암성이 확인이 되었으나 발암기전이 인체에서는 규명되지 않아 비발암물질로 분류되었다. 그러나 최근 연구결과에 따르면 인체에서도 유사한 발암기전을 나타낸다는 보고가 있어 이에 대한 논란의 여지가 있다. 어린이는 모유, 우유와 이유식의 섭취를 통해 노출되었으나, 미국은 1986년에 젖병에 phthalate 사용을 금지하였고[29], 캐나다는 2007년, 어린이 장난감에 phthalate사용을 제한하였다.

어린이는 다양한 경로를 통해 농약에 노출된다. 농약은 광범위하게 사용되기 때문에 일반적으로 거주지 주변에도 축적되어 있어 호흡, 피부 및 비식이 섭취(장난감을 빨거나 토양을 먹을 경우)를 통해 노출될 수 있으며, 모유나 이유식 섭취를 통해 주로 노출된다[30]. 농약 노출이 소아 백혈병(leukemia), 뇌종양(brain cancer), 신경아세포종(neuroblastoma), 비호지킨림프종(non-Hodgkin's lymphoma), 윌름즈종양(Wilms's tumor) 및 유잉종양(Ewing's sarcoma)의 발병 위험성을 증가시킴을 보이는 역학조사 연구가 다수 보고되었다. Wahm과 Ward가 발간한 논문을 토대로 1998년 이후의 연구를 검토하였다. 15건의 사례-대조 연구, 4건의 코호트연구 및 2건의 생태학적 연구가 1998년 이후로 발표되었으며 21건의 연구 중 15건의 연구는 어린이의 농약 노출과 부모의 직업적 노출 모두 소아암 발생을 통계학적으로 증가시킨다고 보고하였다. 농약노출과 소아암발생과의 상관성은 어느 정도 연관성이 규명되고 있다[31].

농약(Pesticides) 노출은 신경계에 영향을 미쳐 기억력 장애, 집중력 장해, 우울증 및 불안/민감 증상을 유발한다[32]. 설치류 연구 모델(rodent model study)을 토대로 한 독성학적 증거와 역학조사 연구 결과에 따르면 유기인계 농약에 노출되었을시 신경발달 장해가 유발되었다[33]. 2세 때 유기인계 농약에 노출되어 중독 증상을 보인 9~10세의 어린이(조사 당시)를 조사한 결과, 행동 인지장해를 보였다[34]. 또한 유기인계 살충제의 태중 노출(*in utero*)은 태아무게 감소, 머리둘레감소와 조산의 위험성을 증가시키며(이 연구들은 농촌과 도시에서 수행되었으며, 농촌/도시 모두에서 위험한 수준의 농약에 노출될 가능성이 있다), 유기인

Table 2. Concentrations of Targeted Groups of PCBs in Multiple Media at Several Child Care Centers

Compounds	Medium	Median all centers*	Low-income range**	Low-income mean*	Middle-income range**	Middle-income mean*
PCBs***	Indoor air, ng/m^3	15.0	5.71~246	70.4	8.72~258	60.4
	Outdoor air, ng/m^3	8.20	7.71~15.5	10.9	6.44~9.42	7.96
	Dust, ppm (HVS3)****	0.354	0.143~2.76	1.05	0.072~25.2	7.69
	Dust, ppm (vacuum bag)****	0.525	0.319~1.99	0.785	0.120~3.15	2.45
	Soil, ppm	0.006	0.001~0.016	0.007	0.001~0.009	0.006
	Solid food, ppb	<0.04	<0.04(4/4)	<0.04	<0.04(6/6)	<0.04
	Liquid food, ppb	<0.04	0.04(4/4)	<0.04	<0.04(6/6)	<0.04

*Mean and median values are calculated using one half the detection limit for those samples for which the targeted compounds were at concentrations below the LOD of the method. data are shown for four low-income and six middle-income centers.

**The number of samples below the detection limit is shown in parentheses, for example, (3/4) indicates three of the four samples were at concentrations below the LOD of the method.

***PCB = sum of all targeted polychlorinated biphenyls

****HVS3 = High Volume Small Surface Sampler; dust sample collected during the 48-h sampling period with the HVS3 surface sampler.;Vacuum bag = vacuum bag sample from cleaning over the previous month using the center's regular vacuum cleaner.For the HVS3, n = 4 for low-income and n = 7 for middle-income centers. for the vacuum bags, n = 3 for the low-income and n=4 for the middle-income centers.

계 농약 노출은 천식이나 천명(wheeze)과 같은 호흡기 질환과도 관련성이 있다는 연구보고가 있다[35-37].

Polychlorinated biphenyls (PCBs)는 chlorinated hydrocarbons의 혼합물로 1930년 이래 변압기, 축전기의 절연유, 윤활유, 가소제, 도료 및 복사지 등으로 다양한 산업분야에서 사용되었으나 1970년에 사용이 금지되었다[38]. PCBs는 토양, 퇴적물과 생물학적 조직(biological tissues)의 유기물질과 결합하며, 토양 중 PCBs가 식물이나 동물체내로 전달되고, 이를 식품으로 섭취하여 주로 노출된다. PCBs의 경우 호흡>비식품 섭취>>식품 섭취 순으로 노출된다. 저소득층 가정의 어린이와 중산층 가정의 어린이의 노출량 차이는 적으며 노출 매체에 따라 다르다(Table 2)[15].

사람에게서 신경학적·면역계 손상이 보고되었으며, 그 증상으로 과잉행동, 집중력장해, 기억력감퇴, 행동이상, abnormally weak reflexes, 운동신경미숙(greater motor immaturity), 출생시 과잉 놀람 반응, 자극에 대한 무반응(less responsive to stimulation), 시각인지부전, 인지장해, 단기기억력 및 계획능력 저하(poor planning ability)가 나타났다[39,40]. 임신 중 고용량의 PCBs에 노출되었던 모체에서 태어난 어린이를 조사한 결과 낮은 지능과 연관성을 보였고, 11세의 어린이를 조사한 연구에서는 유아기의 낮은 인지기억력, 취학 전 IQ test에서 낮은 점수 획득, 그리고 poor verbal IQ와 reading comprehension이 나타났다[41,42]. 또한, 노출되지 않은 집단에 비해 출생시 적은 몸무게를 갖고 있었으며, 조산(shorter gestation period), 출생시 머리둘레감소, 성장장애 및 지연 등의 증상을 보였다.

PCBs의 과다한 노출이 뇌신경의 변화를 초래하며 ADHD에서 보여지는 행동과잉장애 및 학습 장애들의 특징적인 요소가 관찰된 점으로 보아 이들 내분비장애물질의 노출과 ADHD와의 관련 가능성이 추정된다는 연구가 우리나라에서 보고되었다[12].

Table 3. Hazardous Chemicals and Health Effects on Children's health

Effect	Substance
Effect Next Generation	2,4-D(R),Arsenic (T),Atrazine (R), Benzen (G), Benzo (a) pyrene (G), Dichlorvos (R,D), Formaldehyde(T), Manganese**, Methylmercury, Perflourinatedcompounds (PFOS,PFOA), Pesticides,Phthalate (T), Trichloroethylene, Vinylchloride (E), PCBs (E,T)
High Exposure	Benzo(a)pyrene, Manganese, Vinylchloride
Sensibility	BisphenolA,Manganese,Nitrate,Phthalate

*R = Reproductive toxicity; T = Teratogenic toxicity; D = Developmental toxicity; E = Embryotoxic

**Manganese is essential nutrition but high exposure causes. adverse effects.

선천성기형 모니터링 체계구축을 위한 다기관 공동연구의 일환으로 총 18개 산부인과 전문병원으로부터 2007년도에 932건(전체 5,517건)의 선천성 기형사례를 확인하고 이에 대한 자료의 의무기록을 토대로 하여 분석한 결과, 선천성 기형과 환경적 인자와의 연관성은 확인되지 않았다[43].

Vinyl chloride는 DNA의 화학적 변화를 야기하는 유전독성 발암물질이다. (WHO, IARC)[44] Vinyl chloride는 PVC 플라스틱과 비닐제품 생산에 사용되며 다양한 건축자재, 의료용구 및 자동차용품 제조에도 사용된다. 일반인은 대기, 실내공기를 호흡하거나 지하수 섭취에 의해 노출되며,

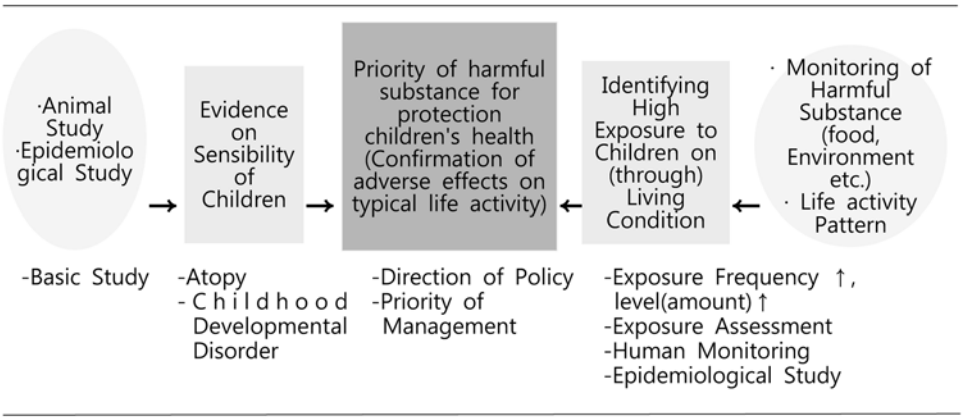

Fig. 2. Association with Study of Hazardous Substance related Children's health.

Table 4. Future Studies of Chemical Risk Effecting Children Health

· Examine the reason and factors that caused congenital health disorder and impairment through conducting toxicological study of hazardous chemicals effecting children's health
▶ Confirming Congenital Effect on Prenatal + Animal Experimental Study + **(Genetic, Reproductive, Embryotoxic)** Retrospective Study of Obstetrics/Gynecology
· Study of acquired developmental disability (disorder) disease
▶ Identifying adverse effects during developing postnatal + Animal Study + Epidemiological Cohort Study
· Establish methodology necessary to identify hazardous chemicals effecting children's health (Causality)and promote large scale projects
▶ Long-term Epidemiological Studies + Cooperative Promotion through Collaboration of Regulatory Body + Experts in Several Parts Participation
▶ **Identifying of hazardous chemical substances level (degree) in air, water, soil, food, determining contaminant level in mother and children's body, and finding children's disease by environmental factor in the same project.**

U.S.EPA에 의하면 직업적으로 노출되는 사람들에게서 간 육종혈관 발생이 보고되었다[45]. 어린이는 인형과 같은 PVC로 제조되는 플라스틱 장난감을 빨거나 씹는 행동을 통해 노출될 수 있다. 어른에서 심혈관, 위, 혈액, 근골격계, 간장, 내분비, 피부, 안구, 면역, 신경학적, 생식독성뿐 아니라 발암성 등이 보고되었다. 또한, 부모의 vinyl chloride 노출은 최기형성 유발과 연관성이 있다는 연구 결과도 알려지고 있다[46].

암 발생에 있어서 영·유아와 어린이는 어른에 비해 더 민감한 것으로 나타났다. (기타 민감군: 간장 질환자, 심박이상, 말초순환부전, 전신경화증 환자, 유기염소계 살충제에 노출된 사람 및 알코올 중독 치료제 중 antabuse 투여자)[47]

어린이 건강과 유해화학물질에 대한 연구방향

현재 유해물질 안전관리에 대한 업무가 여러 부처에 분산되어 있어서 다음과 같은 문제점이 나타나고 있다. 동일목적으로 수행된 연구임에도 불구하고 위해요소에 대한 결과해석이 매우 상이하거나, 자료의 증거부족으로 정책이 추정에 의해 결정되는 사례가 확인되고 있다.

어린이 건강에 영향을 미치는 유해화학물질의 영향은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데 출생 전 모체노출로 인한 선천성 기형과 발달장애와 출생 후 성장과정을 통한 노출에 의한 건강영향으로 구분할 수 있다.

출생 전 모체노출로 인한 어린이 건강영향 연구를 위해서는 모체에 의한 선천적 영향 여부 확인, 동물실험연구 및 후향적 산부인과 임상연구(Retrospective study)를 통해 확인하는 연구체계를 갖추는 것이 필요하다(Table 4).

또한 출생 후 노출로 인한 건강영향은 성장과정 중 유해물질의 건강영향 확인, 동물실험연구 및 역학적 코호트 연구 등이 필요하다. 이를 위해서 부처별 연계된 소관업무를 중심으로 대규모 협력 사업을 추진하여 유익한 결과를 확보하는 것이 중요하다.

결 론

어린이 건강관리를 위한 유해물질의 연구방향은 생활환경 중 식품, 실내 공기, 토양, 장난감 등의 다양한 매체를 통해 노출될 수 있는 유해물질에 대해 어린이 건강에 미치는 영향을 확인하기 위해 독성 평가, 인체영향 연구 및 환경모니터링과 위해 평가 등을 고려해야한다. 그리고 어린이 건강에 영향을 미치는 유해물질의 원인-상관관계를 확인하고, 부처간 협력에 의해 어린이 건강관련 유해물질 관리 정책에 반영하여야한다.

동물 실험과 역학 연구에 의한 기초 조사를 통해 어린이 민감성에 대한 증거를 확보하여 아토피와 소아발달 장해 등의 어린이 민감성에 대한 증거 확보와 함께 식품, 환경 등의 유해물질 모니터링 및 Life activity 패턴 분석을 통해 노출 평가, 인체 모니터링 및 역학 연구가 수행되어져야하며 생활환경을 통한 어린이 고노출 확인 연구가 이루어져 이를 통해 어린이 건강을 위하여 우선적으로 연구되어야 할 유해물질에 대해 실생활에서 건강영향을 확인하고 정책 방향을 결정하고, 관리 우선순위를 정하는 의사결정이 행해져야한다.

U.S.EPA 등 국내・외 선행연구결과에 의한 어린이 출생 전・후 건강에 영향을 미칠 수 있는 주요 유해물질은 inorganic arsenic, BPA, 2,4-D, dichlorvos, methylmercury, PCBs, pesticide, phthalate, PFOA/PFOS, vinyl chloride 등으로서 국내에서도 이들을 포함한 확인 연구가 수행되어져야 할 것이다. 또한 어린이들의 행동발달과 연관된 생활환경에서의 다양한 인체노출이 확인됨에 따라 탁아소, 유치원과 같은 경우 어린이 활동공간을 대상으로 환경모니터링 및 위해관리활동도 병행되어야 할 것이다.

요 약

국내・외 선행연구결과에 의한 어린이 출생 전・후 건강에 영향을 미칠 수 있는 주요 유해물질은 inorganic arsenic, BPA, 2,4-D, dichlorvos, methylmercury, PCBs, pesticide, phthalate, PFOA/PFOS, vinyl chloride 등으로서 국내에서도 이들을 포함한 확인 연구가 수행되어져야 할 것이다. 또한 어린이들의 행동발달과 연관된 생활환경에서의 다양한 인체노출이 확인됨에 따라 탁아소, 유치원과 같은 경우 어린이 활동공간을 대상으로 환경모니터링 및 위해관리활동도 병행되어야 할 것이다. 또한 어린이 건강에 영향을 미치는 유해물질을 중심으로 독성평가, 인체영향연구, 환경 및 인체모니터링과 위해평가를 수행하므로 유해물질의 원인-상관관계를 확인하고 사실자료에 근거한 관리정책을 반영하는 것이 바람직하다.

감사의 글

본 연구와 J. Fd Hyg. Safety 23권 1호 pp. 80~84 (2008)의 연구는 덕성여자대학교 2007년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음

참고문헌

1. U.S. Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health http://www.epa.gov/teach/
2. U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA): Office of Research and Development strategy for research on risks to children. *Office of Research and Development, Science Council Review Draft*. (1997)
3. U.S. Agency for Toxic Substances and Diseases (ATSDR): Toxicological Profile for Aresenic. *ATSDR* (2005)
4. U.S.EPA: Technology Transfer Network Air Toxics Web Site: Arsenic Compounds. (2000)
5. U.S.EPA, Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health (TEACH): Inorganic Arsenic TEACH °°Chemical summary. *U.S. EPA, TEACH* (2007)
6. WHO, International Agency for Research on Cancer (IARC): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *IARC* 84 (2004)
7. Bisphenol A Information & Resources http://www.bisphenol-a.org (2007)
8. 박종세 등: 내분비계장애물질의 위해성분석을 통한 관리경제성 연구. 식품의약품안전청 (2005)
9. Wilson, N.K., Chuang, J.C., Lyu, C., Menton, R. and Morgan, M.K.: Aggregate exposures of nine preschool children to persistent organic pollutants at day care and at home. *J expo Anal Environ Epidemiol* 13 pp. 187-202 (2003)
10. Roy, D., Palangat, M., Chen, C-W., Thomas, R.D., Colerangel, J., Atkinson, a. and Yan, Z-J.: Biochemical and molecular changes at the cellular level in response to exposure to environmental estrogen-like chemicals. *J Toxicology and Environmental Health* 50(1) pp.1-30 (1997)
11. 고광락 등: Bipsphenol A (BPA)에 의해 야기되는 생식세포 이상 영향 연구. *식품의약품안전청* (2005)
12. 장춘곤 등: 내분비계장애물질과 관련이 의심되는 인간질병 또는 현상에 관한 연구(B)-내분비계장애물질과 주의력결핍과잉행동장애 및 학습장애와의 연관성. *식품의약품안전청* (2006)
13. 품목별 농약등록 현황조치 http://epmso.rda.go.kr/homepage/hp_pumok_item_list.asp
14. U.S.EPA, TEACH. 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid(2,4-D) TEACH Chemical summary. *U.S.EPA, TEACH* (2007)
15. Nancy, K.W., Jane, C.C. and Christopher, L.: Levels of persist organic pollutants in several child day care centers. *J of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 11 pp. 449-458 (2001)
16. U.S.EPA, TEACH: Dichlorvos TEACH°°Chemical sum-

mary. *U.S. EPA, TEACH* (2007)
17. 식품의약품안전청 유해물질관리단 위해관리팀, 식품 중 메틸수은 이란?, *식품의약품안전청* (2007)
18. U.S.EPA, TEACH: Organic Mercury TEACH Chemical Summary. *U.S.EPA, TEACH* (2007)
19. Zalazowski, A.J., Piotrowski, J.K.: Mercury Binding, Cooper-Zinc Protein from Rat kidney Amino Acid Composition, Molecular weight and Metal Content. *Biochem biophy Act* 625 pp. 89-99 (1980)
20. Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Perfluorooctanoic_acid
21. Geary, W. O., David C.M., William K.R., Mark E.E., David, J.E., John, L.B. and Larry, R.Z.: Preliminary evidence of a decline in perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) concentrations in American Red Cross blood donors. *chemosphere* 68 pp. 105-111 (2007)
22. Wikipedia http://www.pollutioninpeople.org/toxics/pfds
23. David, T., Lea, H., Matthias, H., Martin, H., Ian, T.C. and Konrad, H.: Estimating Consumer Exposure to PFOS and PFOA. *Risk Analysis* 28(2) pp. 251-269 (2008)
24. Apelberg, B.J., Goldman, L.R., Calafat, A.M., Herbstman, J.B., Kuklenyik, Z., Heidler, J., Needham, L.L., Halden, R.U. and Witter, F.R.: Determinants of fetal exposure to polyfluoroalkyl compounds in Baltimore, Maryland. *Environ Sci Technol* 41(11) pp. 3891~3897 (2007)
25. Silvia, F., M.Teresa, C., Judit, R., Paoma, V. and Jose, L.D.: Interaction in developmental toxicology: Concurrent exposure to perfluorooctane sulfonate (PFOS) and stress in pregnant mice. *Toxicology Letters* 164 pp. 81~89 (2006)
26. 이병무 등: 프탈레이트류 안전관리 방안수립. *식품의약품안전청* (2004)
27. Carl, G.B., Jan, S., Charles, J.W., Torben, S., Björn, L., Mikael, H. and Linda, H.E.: The Association between Asthma and Allergic Symptoms in Children and Phthalates in House Dust: A Nested Case-Control Study. *Environmental Health Perspectives* 112(14) pp. 1393~1397 (2004)
28. Leif, Ø., Lars, G.H. and Jørgen, Ø.M.: Residential Exposure to Plasticizers and Its Possible Role in the Pathogenesis of Asthma. *Environmental Health Perspectives* 105(9) pp. 972~978 (1997)
29. U.S. EPA, TEACH, Phthalates TEACH Chemical Summary, *U.S. EPA*. (2007)
30. Bernard, W, Sherlit, A and Rovert W.A.: Pesticides. OJ of the American Academy of Pediatrics 113 pp.1030~1036 (2004)
31. Claire, I.R. and Scott, W.: Pesticides and Childhood Cancer: An Update of Zahm and Ward's 1998 Review. *J Toxicology and Environmental Health, Part* B 10 pp. 81~99 (2007)
32. Keifer, M.C. and Mahurin, R.K.: Chronic neurologic effects of pesticide overexposure. *Occup Med* 12(2) pp. 291~304 (1997)
33. Hanke, W. and Jurewicz, J.: The risk of adverse reproductive and developmental disorders due to occupational pesticide exposure: an overview of current epidemiological evidence. Int *J Occup Med Environ Health* 17(2) pp. 223~243 (2004)
34. Kofman, O., Berger, A., Massarwa, A., Friedman, A. and Jaffar, A.A.: Motor inhibition and learning impairments in school-aged children following exposure to organophosphate pesticides in infancy. *Pediatr Res* 60(1) pp. 88~92 (2006)
35. Pierre, E.: Pesticide Exposure and Asthma. *American J of Respiratory and critical care medicine* 165 pp. 563~564 (2002)
36. Matias, T., Jordi, S., Raquel, G., Jessica, H., Maria, V.I., Carme, P., Oriol, V., Josep, M.A., Anthony, J.NT. and Paul, C.: Early-life allergen exposure and atopy, asthma, and wheeze up to 6 years of age. *American J of Respiratory and critical care medicine* 176 pp. 116~453 (2007)
37. Muhamad, T.S., Uu-Fen, L., Bryan, L. and Frank, D.G.: Early-life environmental risk factors for asthma: findings from the children's health study. *environmental health perspectives* 112(6) pp. 760~765 (2004)
38. Ritter, L., Solomon, K.R. and Forget, J.: Persistent Organic Pollutants An Assessment report on: DDT-Aldrin-Dieldrin-Endrin-Chlordane-Hepatachlor-Hexachlorobenzene-Mirex-Toxaphene-PCBs- Dioxins and Furans. *IPCS within the framework of IOMC* (1998)
39. Yasunobu, A.: Polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, and Polychlorinated Dibenzofurans as Encocrine Disrupters-What We Have Learned from Yusho Disease. *Environ Res* 83 pp. 2~11, (2001)
40. PCBs baby Studies Part 1 http://www.foxriverwatch.com/baby_studies_pcbs_1.html
41. Jacobson, J.L. and Jacobson, S.W.: Association of prenatal exposure to an environmental contaminant with intellectual function in childhood. *J Toxicol Clin Toxicol* 40(4) pp. 467~75 (2002)
42. Alan, A., Brian, L. G., Margaret, D.S. and Erica, W.: Identifying and managing adverse environmental health effects: 5.Persistent organic pollutants. *CMAJ* 166(12), pp. 1549~1554 (2002)
43. 신종철 등: 선천성기형 모니터링 체계 구축을 위한 다기관 공동연구-선천성기형과 PCBs와의 상관성 연구. 식품의약품안전청 (2007)
44. WHO, IARC,: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *IARC* Supplement 7 pp. 373 (1987)
45. U.S.EPA, TEACH: Vinyl Chloride (VC) TEACH Chemical summary. *U.S.EPA, TEACH* (2007)
46. Theriault, G, Iturra, H. and Gingras, S.: Evaluation of the association between birth defects and exposure to ambient vinyl chloride. *Teratology* 27(3) pp.359~370 (1983)
47. ATSDR: Toxicological Profile for Vinyl Chloride. *ATSDR* (2006)