

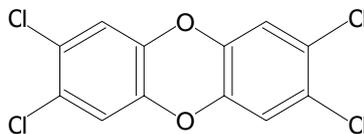
# 왜 다이옥신 등의 환경오염물질이 동물성식품에 존재할 수 있나?

독성화학과 김미경([kimmk@nvrqs.go.kr](mailto:kimmk@nvrqs.go.kr))

이미 너무나 유명해진 다이옥신이 과연 무엇이며 다이옥신 이외에 어떠한 환경오염물질이 동물성식품에 존재할 수 있을까. 또한 얼마나 우리에게 위협적인 존재일까? 그 관리 방안은 무엇일까. 산업의 발달은 우리의 생활을 윤택하게 만들었지만 인간활동의 결과로 많은 화학물질들이 생성되어 환경을 오염시키게 되었다. 환경에 널리 산재되어 있는 오염물질은 먹이사슬을 통하여 다시 인간에게 다가오고 있으며, 우리는 그 오염물질의 차단 및 건강관리에 고심하게 되었다. 이러한 일련의 과정에 포함되는 환경오염물질들을 그 작용에 따라 흔히, 환경호르몬 또는 내분비장애물질, 잔류성 유해화학물질(POPs, persistent organic pollutants), 환경유래 유해화학물질 등으로 분류하며 대표적인 물질이 다이옥신이다. 물질의 분류상 유사한 성질을 지닌 다이옥신, PCBs, 브롬화 난연제 및 프탈레이트에 대해 알아보고 그들이 왜 동물성식품에 존재할 수 있는지 생각해 보기로 하자.

## 동물성식품과 관계되는 환경오염물질은?

### 1. 다이옥신이 어디에 들어있나.



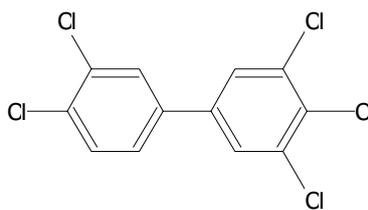
2,3,7,8-Tetrachloro dibenzo-*p*-dioxin

베트남 전쟁시 제초제로 사용되었던 agent orange의 주성분인 2,4-D (2,4-dichlorophenoxy acetic acid)와 2,4,5-T (2,4,5-trichlorophenoxy acetic acid)에 불순물로 들어있던 다이옥신은 많은 참전자에게 고엽제 병이라는 휴유증을 만들었다. 다이옥신은 염화탄화수소 화합물로 서로 비슷한 화학적 구조를 가지는 PCDD

(polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin)와 PCDF (polychlorinated dibenzofuran)를 통칭 다이옥신이라 하며 치환되는 염소의 수에 따라 75종의 PCDD와 135 종의 PCDF 이성질체가 존재한다. 현재까지 독성이 있다고 밝혀진 물질은 PCDD 7종과 PCDF 10종이며, 이들 17종의 다이옥신을 독성이 가장 강한 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetrachloro dibenzo-*p*-dioxin)의 독성과 비교한 독성등가치수 (TEF, toxic equivalent factor)로 표시한다. 식품에서 검출되는 다이옥신에 각각의 독성등가치수를 곱하고 모두 합하여 다이옥신 총량 (total TEQ, toxic equivalency)으로 나타낸다.

다이옥신은 쓰레기의 소각, 종이 또는 펄프의 표백과정, 여러 종류의 플라스틱 제조, 유기염소계 농약(제초제)의 제조 등에서 배출 또는 생성되어지며 화학적으로 안정하여 변형이 잘 일어나지 않아 물, 공기, 토양 등의 자연환경에 오랜 시간동안 존재하게된다. 지방에 잘 녹는 화학적 성질로 인하여 먹이사슬을 통한 오염은 직접적 노출보다 훨씬 많은 양의 다이옥신이 사람의 체내로 유입되게 되며 인체내 지방조직에 축적되어 매우 오랜 기간동안 잔류하게된다. 우리나라에서 2000년에 설정한 1일섭취허용량 (TDI, tolerable daily intake)은 “4 pg TEQ/kg체중/day” 이며 WHO ('98)의 허용량은 “1~4 pg/kg체중/day”이다. 1일섭취허용량이라함은 사람이 이 용량을 한평생(70년) 섭취하는 경우 100만명 중 1명이 암에 걸릴 수 있는 농도를 의미한다. 표 1은 국가별 동물성 식품에서 조사된 다이옥신을 1g 지방당 평균검출량으로 나타낸 자료이며 한국을 제외한 국가들은 1998년 이전에 국제적으로 설정한 I-TEF를 사용하여 계산한 I-TEQ 값으로 나타내었다.

## 2. PCBs는 어디에 사용되었나.



3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl (IUPAC No. 126)

PCBs는 1930년대 초에 합성되어 변압기나 열매체의 전기절연제로 많이 사용되었으며, 전선, 케이블의 피복, 염화비닐수지 등에 유연제로 사용되었고, 고압용 윤활유, 에어컨 오일, 진공펌프 오일 등으로 다양한 산업에 유용하게 쓰여졌다. 연구결과 PCBs의 유해성이 입증되면서 1970년대에 대부분의 국가에서 사용을 금지하였으나 워낙 많은 양이 합성되어 쓰여졌으므로 이미 환경에 널리 분포되어 있고 포유류나 가축, 사람에게서도

표 1. 국가별 동물성식품에서 검출된 다이옥신

국 별	품 목	평균검출량 (pg I-TEQ/g fat)	조사연도
덴마크	쇠고기	2.6	1987
	우유	2.6	
	버터	0.5	
	치즈	2.1	
	요구르트	3.8	
스웨덴	쇠고기	1.5	1991
	돼지기름	1.2	
	우유	2.0	
	버터	0.5	
	계란	1.3	
이태리	버터	3.7	1994
스페인	쇠고기	1.76	1997
	돼지고기	0.90	
	닭고기	1.15	
	whole milk	2.02	
	semi-skimmed milk	1.20	
	유제품	1.25	
	달걀	1.22	
미국	쇠고기	0.89	1996
	돼지고기	1.3	1997
	닭고기	0.64	1997
	우유	0.84	1998
한국*	우유	1.41	1999, KIST
	쇠고기	0.22	2001 랩프런티어(주)
	돼지고기	0.05	
	닭고기	0.07	
	쇠고기	0.17	'01-'02 수의과학검역원
	돼지고기	0.18	
	닭고기	0.002	

\*WHO '98 TEF 사용하여 TEQ 계산

검출되고 있다. Aroclor(미국), Kaneclor(일본), Clophen(독일), Fenclor(이탈리아), Pyralene(프랑스), Solvol(러시아)등의 이름으로 상품화 된 것은 모두 PCBs를 의미한다. 209종 PCBs 중 특히 다이옥신과 화학구조적으로 유사한 12종 PCBs는 세계보건기구

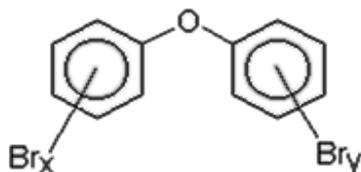
(WHO)에서 다이옥신 유사물질로 취급하여 2,3,7,8-TCDD 다이옥신과 비교한 독성등가 지수를 설정하였다. 식품과 관련된 대표적인 PCBs 오염사고는 1968년 일본의 가네미유 사건과 1979년 대만에서 있었던 유청 사건으로 둘 다 쌀겨기름에 PCBs가 오염된 경우이다. 또한, 1999년 벨기에에서 발생하였던 축산물의 다이옥신 오염 사고도 근본적으로 PCBs가 섞여있는 폐유를 사료에 잘못 첨가하여 발생한 식품오염사고였다. WHO에서는 각종 동물실험에서 아급성 독성 및 차세대에 영향을 주지 않는 잠정적 인체 섭취허용량을 “0.005 mg/kg 체중/일”로 정하였다. 표 2는 동물성식품 및 사료중의 PCBs 잔류허용기준을 국가별로 나타내었다.

표 2. 동물성식품 및 사료중의 PCBs 잔류허용기준

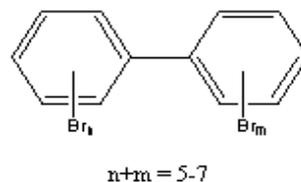
품 목	잔류허용기준 (mg/kg)			
	우리나라*	일본	미국	벨기에 (지방기준)
우유	0.1	0.1	1.5 (지방기준)	0.1
유제품	1.0	1.0	1.5 (지방기준)	0.1
육류	1.0	0.5	3	0.2
난류	0.2	0.3	0.3 (전체기준)	0.2
육아용 분유	-	0.3	0.1 (유아 및 아동식품)	-
동물사료원료 (어류사료포함)	-	-	5.0	0.25 (지방 2% 이상인 경우)
최종동물사료	-	-	0.5	0.2

\*1999년 벨기에 수입 돼지고기의 PCBs와 다이옥신 오염 사건시 한시적으로 적용.

### 3. 브롬화 난연제란 무엇인가.



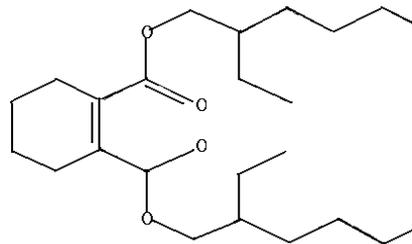
Polybrominated diphenyl ether



Polybrominated biphenyl

TV, 컴퓨터 등 전자제품의 난연제 및 방화제로 쓰이는 브롬화합물에는 PBDEs (polybrominated diphenyl ethers), PBBs (polybrominated biphenyls), TBBP-A (tetrabromobisphenol A) 등이 대표적이며, 전자제품의 플라스틱 케이스나 전자회로 기판으로부터 방출되어 직접 인체에 흡수되기도 한다. 독성이 보고된 후로 WHO에서는 이들의 대체품 사용을 권장하며, 유럽연합은 대부분의 브롬화합물을 사용 금지 또는 규제하고 있다. 미국에서는 PBBs의 자발적인 감소가 이루어지고 있는 추세이나 국제적으로는 전체적인 사용량이 증가하고 있다. 브롬화 다이옥신 (PBDDs/PBDFs, polybrominated dioxins and furans)은 염소화 다이옥신과 같이 불순물로 존재하며 독성은 염소화 다이옥신과 유사하게 취급된다. 1973년 미국 미시간주에서 산불진화용 소방제와 가축사료 첨가제를 제조하는 한 회사에서 PBBs가 주성분인 산불 진화용 소방제가 가축사료 첨가제와 바뀌어 포장되는 실수로 가축에 오염사고가 발생하였었다.

#### 4. 프탈레이트는 무엇이 문제인가.



Bis(2-ethylhexyl) phthalate

프탈레이트(phthalate, 영어발음에서 ph는 목음) 화합물은 구조적으로 유사한 프탈산의 di-ester 유도체로 대부분 PVC 등 플라스틱 제품의 유연제로 지난 50여년 동안 많은 양이 사용되어져 왔다. 가장 일반적으로 사용되었던 프탈레이트는 di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)로 PVC의 유연제 또는 가소제로 사용되었으며 페인트, 잉크, 농약의 성분으로도 사용되었다. 서부유럽에서는 플라스틱 유연제의 사용량 중 45%가 DEHP이다. DEHP는 bis(2-ethylhexyl) phthalate 또는 dioctyl phthalate (DOP)로 알려져 있기도 하여 di-n-octylphthalate (DnOP)와 혼동을 일으키기도 한다. DnOP는 DEHP에 비하여 용도가 적고 덜 사용되어졌기 때문에 환경에서 검출되는 양이 적다. 프탈레이트는 비극성이고 지방친화성이 매우 크며 휘발성이 있으므로 플라스틱, 특히 PVC 제품으로부터 접촉물질로 쉽게 이동된다. 유아용 플라스틱 장난감 및 화장품 성분으로도 사용되어 문제가 되고 있으며, 프탈레이트가 함유된 포장재에 싸여있는 지방성식품은 플라스틱 용기나 필름 등으로부터 프탈레이트를 용출시켜 식품을 오염시키게된다. 해양이나 담수에서는 생체축적현상이 나타나기도 하지만, 대부분의 프탈레이트는 포유류에서 매우

빠르게 대사가 진행되므로 농약 등의 유기염소계 화합물이나 PCBs와 비교시 생체축적도는 현저히 낮다. 그러나 프탈레이트는 우유, 유제품, 지방성 식품 등을 포함하여 매우 다양한 식품에서 낮은 농도로 검출되고 있다. 농가의 착유기에 플라스틱 부분이 있다면 프탈레이트가 우유에 잔류되는 원인이 될 수도 있으며, 육류를 포장하는 포장재의 종류에 따라 식육에서 프탈레이트가 검출될 수도 있을 것이다. 대표적인 프탈레이트의 종류와 1일섭취허용량을 표 3에 나타내었으며, 우유에서 검출된 프탈레이트의 예를 표 4에 나타내었다.

표 3. 대표적인 프탈레이트 화합물과 1일섭취허용량(TDI)

물 질 명	약 어	TDI (mg/kg 체중/day)
Dimethyl phthalate	DMP	-
Diethyl phthalate	DEP	-
Di-n-butyl phthalate	DBP	0.05
Butylbenzyl phthalate	BBP	0.1
Di(2-ethylhexyl) phthalate	DEHP	0.05
Di-n-octyl phthalate	DnOP	0.05

표 4. 우유에서 검출된 DBP와 DEHP

(단위: mg/kg)

물질	평균검출량	최소검출량	최대검출량	국가
DBP		< 0.05	0.09	'98 영국
		0.08	0.4	'96 영국
DEHP		< 0.05	0.44	'98 영국
		0.33	0.98	'96 영국
		< 0.01	0.09	'94 영국
		0.12	0.28	'94 노르웨이
		< 0.01	0.55	'94 스페인
	0.05			'91 덴마크
	0.035			'90 영국
0.005*			'90 노르웨이	
0.03**			'90 노르웨이	

\*hand milking  
\*\*machine milking

## 환경오염물질은 우리에게 어떤 영향을 주는가?

지난 세기에, 산업발달에 기여와 동시에 자연환경 및 생태계에 문제를 발생시킨 여러 종류의 환경오염물질은 사람에게 어떤 영향을 주고 있을까? 인간생활의 필요에 의해 만들어진 물질이 아닌 단순히 부산물 또는 소각과정에서 발생하는 다이옥신은 현재까지 가장 독성이 강한 물질로 알려져 있는데 그 심각한 정도는 얼마일까? 동물실험이나 오염원 근처의 역학조사에 따라 현재까지 알려진 독성 및 증세를 표 5에 나타내었다. 독성은 노출 정도, 신체 건강 상태에 따라 차이가 있을 수 있으며 제시한 가능성들이 대부분 동물실험의 결과이나 인체의 경우도 가능성이 높아 간과 할 수 없다.

표 5. 환경오염물질의 독성

물 질	독 성	암 유발* 가능성
다이옥신	- LD <sub>50</sub> : 2,3,7,8-TCDD 2μg/kg 경구투여(in rats) - 생식 기능장애, 출산율의 저하, 유산, 태아의 비정상적인 발달 - 호르몬 조절기능의 변화, 면역체계의 이상, 당뇨 발병	있음
PCBs	- LD <sub>50</sub> : 4 ~ 11 g/kg 경구투여(in rats) - 염소좌창(chloracne) : 10 mg/kg 만성흡입(in human)	-
브롬화 난연제	- 내분비계장애 및 행동발달장애 - PBDEs 가 PBBs 보다 독성이 강함	있음
프탈레이트	- 내분비계장애 - DEHP : 고환독성인자로 작용 - DBP : 암컷의 생식 시스템 손상	쥐에서 있음

\* 이성질체 및 물질의 종류에 따라 다름

## 환경오염물질에 노출되는 경로는?

위에 열거한 환경오염물질은 일반적으로 식생활을 통한 노출이 크며 특히 지방이 많은 식품을 통한 노출이 가장 크다. 오염된 어패류, 육류, 유제품 등의 섭취에 의하여 노출될 수 있고, 대단히 미량이나마 호흡 또는 피부를 통하여 노출 될 수 있다. 또한 노출된 모체를 통한 태아의 노출, 모유를 통한 아기의 노출이 있으며, 직업적 노출이 있을 수 있다. 인체에 유입되는 경로는 90% 이상이 음식물을 통하여 유입되고 있으며,

식생활 패턴에 따라 차이가 있으나 어패류, 쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 우유, 그리고 낙농 유제품 등을 통하여 유입되는 것이 대부분이므로 이러한 식품이 오염되는 경로를 추적하고 차단하여야 피해를 최소화 할 수 있을 것이다. 특히, 염소와 관련된 공장폐수로 인한 오염, 축산물의 사료나 축산농가 주변의 오염, 소각장에서 생성되는 다이옥신은 대기를 오염시키고, 산림자원, 농산물, 토양, 호수나 강물 또는 연안해양 등을 오염시켜 여러 먹이사슬을 통하여 사람에게까지 이르게된다. 섭취된 다이옥신은 혈류를 타고 인체의 각 조직에 도달되며, 면역기능 저하, 피부염, 중추신경 장애, 호르몬의 내분비 장애 등을 일으키는 것으로 보고된 바 있다. 표 6은 다이옥신의 경로별 체내 유입량을 나타내었다.

표 6. 다이옥신의 경로별 체내 유입량

유입경로	유입량 (pg TEQ/1인/day)	유입경로	유입량 (pg TEQ/1인/day)
쇠고기	38.0	생선	7.8
유제품	24.1	달걀	4.1
우유	17.6	공기호흡	2.2
닭고기	12.9	토양	0.8
돼지고기	12.2	물	무시할 수준
총 유입량 : 119 pg TEQ/1인/day			

## 건강 위해성과 관련한 단계별 관리대책은?

### 1. 환경오염물질의 위해성 평가

위해성 평가라 함은 사람의 건강과 생태학적 측면에서 위협이 될 수 있는 오염물질의 정량적 측정을 말한다. 모든 오염물질에서 이루어져야 할 궁극적인 평가이며, 정확한 실험적 자료를 근거로 하고 경제적, 사회적 요인까지를 포함하여 오염물질에 대한 환경적 규제와 관리가 이루어질 수 있는 최종 단계의 자료이다. 환경오염물질에 노출됨으로서 발생하는 건강에 대한 위해성을 판단하는 중요한 부분은 실험적으로 관찰된 자료를 통하여 유추 해석하는 것이다. 통상 필요로 하는 최종 결과는 장기간 낮은

농도의 환경오염물질에 노출됨으로서 오랜 잠복기를 거쳐 사람에게서 나타날 낮은 발병률에 대한 평가이다. 이용할 자료는 비교적 단기간 내에 대상 물질을 고농도로 노출시킨 동물들로부터 얻는다. 다이옥신의 인체 유입이 대부분 음식물과 관련함을 생각할 때, 먹이사슬의 출발점인 오염원의 환경에 대한 역학조사도 수반되어야 한다. 또한 우연한 사고로 발생할 수 있는 축산물, 또는 그들 사료의 정기적 또는 간헐적인 조사가 이루어져야 한다. 다이옥신 함량이 실험적으로 정확히 분석되어지면 다이옥신 함유물질로부터 인체에 유입될 수 있는 양을 수학적 산출방법으로 제시할 수 있는 모델을 만든다. 인체 유입후 장기간의 잠복기, 특정물질에 대한 노출과 발병간의 상호관계에 대한 명확성 결여 및 다이옥신에 노출되지 않았음에도 잠재되어있는 질병 등으로 인하여 위해성 평가는 매우 복잡해진다. 따라서 위해성 평가는 물질의 존재여부, 가능한 수용체, 가능한 노출경로 및 불확정성 분석을 포함하여 다음과 같은 주요 4단계로 실시한다.

- 1) 위해성 확인 (Identification of hazard): 어떤 오염물질에 노출되었을 경우, 유해한 영향을 일으키는가를 확인
- 2) 용량-반응 평가 (Dose-response assessment): 유해물질의 특정 용량에 노출되었을 경우, 유해한 영향이 발생하는 정도를 평가
- 3) 노출 평가 (Exposure assessment): 노출된 정도, 기간, 빈도 등에 따라 평가하는 과정이며 그 결과를 다른 물질의 노출에도 유추하여 적용할 수 있는 평가
- 4) 위험도 결정(risk characterization): 용량-반응평가 및 노출평가에서 얻어진 결과 또는 정보를 종합하여 특정화학물질의 특정농도에 노출되었을 경우, 개인이나 인구집단에서 유해한 영향(예: 암)이 발생할 확률을 결정

## 2. 단계별 관리대책

환경오염물질의 종류 및 배출량에 따라 관리대책이 다르겠으나 일반적인 관리대책을 다음과 같이 요약해본다.

- 1) 환경오염물질의 발생원을 체계적으로 관리하여 배출을 줄인다.
- 2) 생산의 청정공정을 개발하여 오염물질의 발생을 최소화하고 방지시설을 설치한다.
  - 생산에서 폐기에 이르기까지 전과정(life-cycle)의 평가를 통한 오염방지 및 차단 시설을 구축
- 3) 건강상의 피해를 최소화 할 수 있는 환경기준치와 식품에서의 잔류허용기준을 설정한다.
- 4) 환경오염물질이 잔류 할 수 있는 매체, 즉 대기, 수질, 토양, 식품 및 인체 노출 정보를 위한 잔류조사를 지속적으로 수행한다.
- 5) 과학적이고 합리적인 정책 수행을 위한 중·장기 계획을 수립한다.

이미 미국이나 유럽 여러나라에서 보여주듯이 체계적이고 지속적인 오염물질의 관리는 환경을 정화하여 먹이사슬을 통한 인체노출을 줄여주는 방안으로 확실한 결과를 나타내고 있다.

## 참고자료

1. Assessment of dietary intake of dioxins and related PCBs by the population of EU Member States. 2000. European Commission.
2. Ferrario, J., Byrne, C., McDaniel, D., Dupuy, Jr., A. 1996. Analytical Chemistry 68, 647-652.
3. Lorber, M., Saunders, P., Ferrario, J., Leese, W., Winters, D., Cleverly, D., Schaum, J., Deyrup, C., Ellis, R., Walcott, J., Dupuy, A., Byrne, C., McDaniel, D. 1997. Organohalogen Compounds 32, 238-244.
4. Lorber, M., Winters, D., Griggs, J., Cook, R., Baker, S., Ferrario, J., Byrne, C., Dupuy, A., Schaum, J. 1997. Organohalogen Compounds 38, 125-129.
5. Kim, M-K., Kim, S-Y., Yun, S-J., Cho, B-H., Lee, M-H., Son, S-W., Park J-M., Congener-specific profiles of PCDDs/PCDFs in beef, pork, and chicken. 2003. Organohalogen Compounds (in press).
6. Kang, Y-S., Choi, J-W., Na, T-H., Oh, C-H., Park, J-S., 2001. Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins/furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in foodstuffs from Korea. Organohalogen Compounds 51, 392-395.
7. 다이옥신은 어떤 물질일까요? 1999. 국립환경연구원 환경위해성연구부.
8. Polybrominated biphenyls and diphenylethers. 1999. International Council for the Exploration of the Sea (ICES) Advisory Committee on the Marine Environment.
9. Phthalate migration from soft PVC toys and child-care articles. 1998. EU Scientific Committee on toxicity, ecotoxicity and the environment (CSTEE).
10. Phthalates in infant formulae-Follow-Up Survey. 1998. MAFF UK, Food Surveillance Information Sheet No. 168.
11. Phthalates in infant formulae. 1996. MAFF UK, Food Surveillance Information Sheet No. 83.

※ 본 원고는 대한수의사회지 2003년 6월 제39권 6호 543~553쪽에 실린 내용입니다.