

특 집

식품관련 위해물질



중금속 내분비계 장애물질과 식품

최 성 략

식품의약품안전청 식품본부

## I. 서 론

일명 ‘환경호르몬’이라고 부르기도 하는 내분비계 장애물질은 생명체의 정상적인 호르몬 기능에 악영향을 주는 체외 화학물질이다. 미국 환경보호청(EPA)에서는 내분비계 장애물질을 “체내의 항상성 유지와 발달과정을 조절하는 생체 내 호르몬의 생산, 분비, 이동, 대사, 결합작용 및 배설을 간섭하는 외인성 물질”이라 정의하고 있다. 이 내분비계 장애물질은 일반적으로 합성 화학물질로서 물질의 종류에 따라 교란시키는 호르몬의 종류 및 교란방법이 서로 다르다. 그러나 많은 물질 중 명확하게 내분비계 장애물질로 밝혀진 것은 극히 일부이며, 일부 물질이 잠재적 위험성이 있는 것으로 알려져 있다. 내분비계 장애물질의 특성은 쉽게 분해되지 않고 안정하여 환경 혹은 생체 내에 지속적으로 수년간 남아 있기도 한다는 것이다. 또한 인체 등 생물체의 지방 및 조직에 농축되는 성질이 있다.

내분비계 장애물질이 국제적인 관심사로 대두됨에 따라 정부는 99년에 “내분비계 장애물질 중·장기 연구사업계획”을 수립하였으며, 환경부, 식

약청, 해양수산부, 과학기술부, 노동부, 농진청 등 각 부처가 관련 연구를 수행하고 있다. 식약청에서는 식·의약품, 화장품 및 용기포장 중의 내분비계 장애물질에 대한 규제 및 안전성 확보를 위한 과학적인 근거자료를 제공할 목적으로 식품, 용기포장 및 인체시료 중의 내분비계 장애물질 모니터링, 위해도평가, 검색시험법, 인체영향 및 기전 연구 등을 진행하고 있다.

## II. 본 론

### 1. 내분비계 장애물질의 작용

내분비계 장애물질의 작용은 수용체 결합과정에서 호르몬 모방작용(mimics), 차단작용(blocking), 촉발작용(trigger), 간접영향작용 등이다.

#### 1.1. 호르몬 모방작용

내분비계 장애물질이 마치 정상호르몬인 것처럼

럼 호르몬 수용체와 결합하여 세포반응을 일으키는 것으로서 대표적인 물질이 디에칠stil베스트롤(DES), 식물성 에스트로젠 등이다.

### 1.2. 호르몬 차단작용

내분비계 장애물질이 호르몬 수용체 결합부위를 봉쇄함으로써 정상호르몬이 수용체에 접근하는 것을 막아 내분비계가 기능을 발휘하지 못하도록 하는 것이다. 대표적인 경우로 DDE는 고환의 안드로젠 호르몬 기능을 봉쇄하는 것으로 알려져 있다.

### 1.3. 호르몬 촉발작용

내분비계 장애물질이 수용체와 반응함으로써 정상적인 호르몬 작용에서는 일어나지 않는 세포분열이나 생체 내에서 물질의 대사와 합성 등의 변화를 유발한다. 이러한 영향으로서는 단백질 수용체와의 결합, 발암과정 같은 비정상적 분화와 증식, 대사이상, 불필요한 물질의 생성 등이 있다. 다이옥신 및 그 유사물질 등이 여기에 해당된다.

### 1.4. 간접영향작용

수용체와 결합하지 않고 간접적으로 호르몬의 합성, 저장, 배설, 분비, 이동 등에 작용하여 정상적인 내분비 기능을 방해하는 것이다.

일부에서는 사람은 피드백작용(feed back system)이 충분히 발달되어 있으며, 외인성 에스트로젠 작용물질들은 생체 내에서 수용체 결합능력이 매우 낮고(약 1/수백~1/수천 정도), 고환이나 뇌에 barrier system이 잘 발달되어 있어 어느 정도는 차단할 수 있으리라 기대하고 있지만 지금까지 설명되지 않은 현상인 '남성의 정자수 감

소, 전립선암, 고환암, 유방암의 증가추세, 불임과 기형아 증가, 주의력 결핍 및 학습장애 어린이의 증가, 동성연애자의 증가'를 환경오염물질에 의한 내분비계 장애작용으로 설명하려는 연구가 매우 활발하다.

## 2. 일상생활 중 접촉하게 되는 내분비계 장애물질

내분비계 장애물질로 추정되는 화학물질은 우리가 먹고, 입고, 생활하는 곳에 존재한다. 내분비계 장애물질은 주로 음식이나 가정용품, 상품 포장재, 농약, 기타 첨가물들을 통해 인체에 축적되거나 자동차 배기가스, 담배연기, 쓰레기 소각과정에서 배출되어 호흡기관을 통해 인체에 축적되기도 한다.

### 2.1. 화장품

화장품, 향수, 매니큐어의 용매로 사용되는 프탈레이트는 내분비계 장애물질이며, 이 밖에도 부틸하이드록시아니솔 등은 알레르기성 피부염, 발암성 또는 기형발생물질로서 내분비계 장애물질로 추정된다.

### 2.2. 캔음료나 통조림식품

캔음료나 통조림식품 등은 안쪽에 코팅이 되어 있는데 이 때 코팅제로 사용되는 비스페놀A는 내분비계에 영향을 줄 수 있는 내분비계 장애물질이다. 또한 식품을 장기 보존할 수 있는 양철통은 철강 원판에 주석으로 도금을 하게 되는데, 이 주석 성분이 음식물에 스며들 수 있다. 주석 성분을 다량 섭취하면 구토나 마비, 중추신경계 장애를 일으킬 수 있다.

### 2.3. 육류나 생선 및 어패류

돼지고기, 쇠고기, 갈치, 고등어 등 지방함량이 많은 식품에서는 다이옥신과 유사한 물질들이 검출된다.

### 2.4. 염색약

염색약에는 폐늘계의 화학물질이 들어있고, 이 물질은 알레르기성 피부질환을 유발하거나 피부의 자생력을 떨어뜨린다.

### 2.5. 채소류

채소·과일류 등 농산물에는 재배과정에서 제초제나 살충제 등의 농약이 사용되는데, 이들 중에는 알드린, 클로르데인, 톡사펜 등의 내분비계 장애물질로 추정되는 성분을 가지고 있다.

## 3. 내분비계 장애물질 사례(중금속)

일본 국립의약품식품위생연구소 분류에 따르면 내분비계 장애물질 140여종 중 중금속은 납, 카드뮴, 수은 3종이다.

### 3.1. 납

#### 3.1.1. 특성

납은 부드럽고 순응성이 뛰어나고 유연하여 가공이 쉬울 뿐 아니라 색깔 조성이 잘된다는 이점이 있어 축전(열)기, 탄약, 배관, 스크린의 빛 반사 방지, 주석을 주재료로 한 용접 합금, 페인트 안료, 도자기 유약, 포장지, 화장품, 학용품 등 산업계에서 다양하게 이용됨으로써 항상 주목되어지는 유해 중금속이다. 납은 먹는 물, 식품, 대기 등의 다양한 경로를 통해 노출된다.

#### 3.1.2. 독성

납의 흡수율은 노출경로, 납의 물리·화학적 성질, 용매의 종류, 연령, 영양 상태와 생리적 조건(칼슘, 철 이온 밸런스 상태)에 따라 달라진다. 무기 납 이온은 1차적으로 폐와 위장관에서 흡수되며 일단 흡수된 납은 혈장과 연조직으로 분포되었다가 다시 뼈로 재분포되며, 위장관이나 폐에서의 흡수 정도, 뼈의 재생 속도, 심장에서의 배설속도에 의해 납의 독성이 결정된다. 납은 heme 생합성 과정에 작용하여 조혈작용을 억제시키며, 간독성을 유발할 수 있다. 신장에서 납은 근위 세뇨관 상피세포의 핵 포함체(nuclear inclusion bodies) 형성, 미토콘드리아 변화, 세포거대(cytomegaly)에 의해 단백뇨, 당뇨, 인산뇨에 의한 저인산혈증, 나트륨 배설 증가, 요산 배설 감소 등을 일으킨다. 이 현상은 가역적이지만 납에 만성적으로 노출되면 조직 간액의 섬유화, 세뇨관 상피 세포의 위축 혹은 과증식을 초래할 수 있다. 이 단계에서 신사구체 여과율 감소, 요독증을 일으키며 비가역적이다. 어린이의 경우 신장 독성 감수성이 더 크다. 납은 모든 조직에 영향을 끼치지만 특히 신장과 면역체계에 손상을 가져다주며 신경조직에 가장 심각한 손상을 일으킨다.

#### 3.1.3. 관리현황

납은 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 2B(possibly carcinogenic to humans)로 분류되고 있으며, 식품첨가물 전문가위원회(Joint WHO/FAO Expert Committee on Food Additives, JECFA)에서 0.025 mg/kg b.w.(= 25 µg/kg b.w.)로 잠정주간섭취량(Provisional Tolerable Weekly Intake : PTWI)을 설정하고 있다. 우리나라에서는 설탕, 차, 음료류, 영·유아식, 소금 등 가공식품 및 쌀 등 농산물 10종에 대해 납 규격을 정하고 있다(표 1).

표 1. 우리나라의 식품 중 납 기준

식품	기준 (단위: mg/kg)
해산어패류(연체류 포함), 담수어(생물로 기준할 때), 냉동식용대구머리	2.0 이하
백설탕, 분말설탕, 포도당, 과당 갈색설탕, 흑설탕, 엿류, 텍스트린, 당시럽류, 올리고당류	0.5 이하
침출차	5.0 이하
분말차	2.0 이하
추출차, 과실차, 커피	2.0 이하
과실·채소류 음료, 탄산음료류, 기타 음료	0.3 이하
기타 영·유아식 (액상제품에 한함)	0.1 이하
인삼음료	0.3 이하
제제, 가공, 정제소금	2.0 이하
쌀(현미 제외)	0.2 이하
옥수수	0.2 이하
대두	0.2 이하
팥	0.2 이하
고구마	0.1 이하
감자	0.1 이하
배추	0.3 이하
시금치	0.3 이하
과	0.1 이하
무	0.1 이하

식약청에서는 최근 납과 관련된 다음의 연구 사업을 수행하였고, 수산물, 장류, 고춧가루, 두부 등 한국인의 식생활과 밀접한 식품에 대하여

중금속 기준 설정을 위한 연구를 계속 진행하고 있다.

- 식품 중 중금속 규격 과학화를 위한 조사연구 (2000)
- 한국인의 평균 식단 중 중금속 섭취량의 위해도 평가 (2000~2006)
- 유통 중인 채소류의 중금속 함량에 관한 연구 (2002)
- 유통 한약재의 유해 중금속 함유량 모니터링 (2002, 2003)
- 가공식품(인삼제품) 중 중금속 규격 과학화 사업 (2003)
- 대구·경북(휴·폐광산 포함)지역 농산물의 중금속 오염실태에 대한 모니터링 (2004)
- 호남지역 특산식품의 유해 중금속 함량에 관한 연구 (2004)
- 동물 생약의 개별 중금속 기준 제정을 위한 연구 (2004)
- 농산물 등 중금속 실태조사 (2005)
- 식품원료용 수입 생약재 중금속 모니터링 (2005)
- 국민 다소비 다빈도 식품 중 중금속 오염 실태조사 (2006)

### 3.2. 카드뮴

#### 3.2.1. 특성

카드뮴은 생물체 특히 인체에 급성 또는 만성 질환을 일으키는 중금속으로서 산업의 발달로 대기 및 수질오염에 의하여 미량이지만 섭취 시 치명적인 질병을 일으킨다. 특히 카드뮴은 반감기가 대단히 길 뿐만 아니라 축적된 카드뮴은 배설 또는 대사되기 어렵기 때문에 문제시되고 있다. 뼈에 축적된 카드뮴은 칼슘의 이탈과 영양적 불균

형을 초래하여 더욱 문제가 심각해진다. 순수한 카드뮴은 부드럽고 은백색의 금속으로 공기, 물, 토양 등에 자연적으로 소량 존재한다. 카드뮴은 채굴되기보다 아연, 납, 구리 같은 금속을 제련할 때 부산물로 생성된다. 카드뮴은 니켈-카드뮴 재 충전 전지, 금속 판금 시 사용된다. 또한 페인트, 플라스틱, 금속 합금 등에도 사용되며, 도자기용 기 등에 소량 포함되어 있을 수 있다.

### 3.2.2. 독성

카드뮴의 인체노출경로는 식품(83%), 흡연(13.3%), 음용수(3.32%), 대기호흡(0.5%) 등으로 식품을 통한 인체노출기여도가 가장 큰 것으로 보고되고 있다. 대부분의 모든 자연식품에서 카드뮴이 검출되지만, 식물성 식품에서는 곡물류에 많이 분포하고 있으며, 동물성 식품에서는 어패류 및 해조류에 많이 분포되어 있다. 일반적으로 우리나라와 일본 등 쌀을 주식으로 하는 아시아 국가들에서는 쌀의 섭취를 통한 카드뮴의 노출이 비직업적 노출의 주요 원인으로 알려져 있다. 식품을 통해 우리 몸 속에 들어온 카드뮴은 위나 장에서 흡수되거나 폐를 통해 흡입되어 혈액으로 들어갈 수 있다. 음식을 통해 들어온 카드뮴 중 1~5%만이 혈액으로 들어가지만, 폐를 통해 흡입되는 것은 30~50%가 혈액으로 들어간다. 카드뮴이 체내로 들어오면 배출되지 않고 몸속에 남아있게 되므로 비록 적은 양이라도 장기간 지속적으로 노출될 경우 건강상 위해를 일으킬 수 있다. 카드뮴을 섭취하면 급성 카드뮴 중독을 일으키기도 하며, 이타이이타이병을 발생시키기도 한다. 독성학적 동물실험에 따라 신경독성, 발암성, 유전독성 등의 end-points가 다양하지만 인간과 유사하게 장기 축적되면 주로 신장에서 심

각한 축적이 일어난다. 카드뮴의 장기노출은 상피세포 손상, 퇴화를 포함하여 다양한 신장부의 영향을 일으켜서 세포 섬유 형성, 사구체 경화, 괴사 등이 발생한다. 급성 카드뮴 중독 증상은 카드뮴에 노출되고 수시간 내에 인후점막의 통증, 두통, 가슴의 통증, 기침, 호흡곤란과 체중 증가 등이 일어나며 만성 중독증과 현저히 다른 양상을 나타낸다. 이타이이타이병 환자는 처음에 류마티스성 질환으로 생각했으나 류마티스와는 전혀 다른 세뇨관 장애의 2차적 병변임이 밝혀졌다. 1919, 1921년 일본에 거주하는 주민에게 처음 발병한 예가 있으며 1941, 1943, 1948년에 많은 환자가 발생했다. 카드뮴을 장기간 섭취해서 만성 장애를 일으킨 예도 많이 보고되었는데 카드뮴에 의한 단백뇨 현상은 세뇨관의 기능장애와 형태적 이상에 의하여 단백뇨와 아미노산뇨가 특이적으로 나타나며 다뇨, 산성뇨, 고칼슘뇨 등도 나타난다. 또한 카드뮴이 고혈압을 일으킬 수 있다는 보고도 있다.

식품의약품안전청은 2000년 국내 식품 중 카드뮴 함량 및 식품섭취를 통한 1인 1일 섭취량을 평가하였는데, 그 결과 성인의 카드뮴 만성 1일 인체노출량은  $2.09 \times 10^{-4}$  mg/kg b.w./day이고 식품별로는 쌀에 의한 노출이  $0.82 \times 10^{-4}$  mg/kg b.w./day로 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 이는 쌀의 오염수준이 높은 것이 아니라 주식을 쌀로 하고 있는 우리나라 국민의 식습관에 기인한 것이며, 곡류>채소류>육류>어패류>과일류>서류>두류의 순으로 섭취량에 관여하는 것을 알 수 있었다.

### 3.2.3. 관리현황

현행 식품공전 중 카드뮴 기준 및 규격은 다음과 같이 정해져 있다.

표 2. 우리나라의 식품 중 카드뮴 기준

식품	기준(단위:mg/kg)
패류 (생물 기준)	2.0 이하
쌀	0.2 이하
과실, 채소류음료, 탄산음료류, 기타 음료	0.1 이하
인삼음료, 홍삼음료, 인삼통병조림	0.1 이하
제제·가공·정제 소금	0.5 이하
쌀	0.2 이하
옥수수	0.1 이하
대두	0.1 이하
팥	0.1 이하
고구마	0.1 이하
감자	0.1 이하
배추	0.2 이하
시금치	0.2 이하
파	0.05 이하
무	0.1 이하

IARC에서는 카드뮴을 Group 1(인체발암물질)로 분류하고 있고, JECFA는 잠정주간섭취허용량(PTWI)를 0.007 mg/kg b.w.(=7 µg/kg b.w.)으로 정하고 있다.

### 3.3. 수은

#### 3.3.1. 특성

수은은 화학적 형태에 따라 수은 원소와 무기수은, 유기수은으로 분류되는데 상온에서 액체상태로 존재하는 유일한 금속으로서 다양한 자연적 또는 인공적인 발생원으로부터 무기 수은 화합물의 형태로 환경 중에 방출되게 된다. 이러한 무기수은은 토양과 퇴적물 내 미생물의 활동으로 유기형태인 메틸수은으로 전환된다. 환경으로 배출된 유기수은은 생태계의 먹이사슬과정을 거치면서 고등생물체에 농축되기 때문에 수생 먹이사슬의 가장 높은 위치에 있는 장수 포식성 어종의 경우 많은 양의 메틸수은이 축적되게 된다.

#### 3.3.2. 독성

수은은 인체에 누적될 경우 신경계통에 치명적인 피해를 주는 중금속으로 온도계, 형광등, 살균제, 살충제, 페인트, 안료 등의 재료로 쓰인다. 이러한 수은은 강물이나 해저바닥의 혐기성 상태에서 미생물에 의하여 methylation 되거나 공장 내에서 plastic 제품 생산의 촉매로 사용된 수은이 플랑크톤, 어패류에 섭취되고 이것을 섭취한 인간에게 피해를 줄 수 있다. 수은의 독성은 형태와 유입 경로, 용량, 노출 시 연령조건에 따라 그 독성의 정도가 결정된다. 일반적으로 수은에 대한 노출은 수은 취급공정에 종사하는 근로자의 경우는 주로 호흡에 의하며, 일반인의 경우는 식품이 주요 노출경로인 것으로 보고되고 있다. 메틸수은은 생체 내로 유입되면 glutathione과 결합하여 혈관계를 통해서 조직이나 기관으로 이동하여 분포하게 된다. 메틸수은은 지방용해도가 높아서 소화관에서의 흡수가 빠르고 혈액수액관문과 태반관문을 쉽게 통과할 수 있으며, 지방 성분이 많은 중추신경계통에 독성을 나타낼 수 있다. 메틸수은은 붕괴 시 산소자유기를 방출시키며 방출된 산소자유기는 세포막의 지질과산화반응의 사슬을 활성화시킴으로써 세포에 손상을 준다고 보고되고 있다. 일반적으로 수은은 체내 흡수되면 주로 뇌, 간, 신장에 축적된다. 수은 중독 시에는 만성신경계 질환으로 인한 운동장애, 난청, 사지마비 등이 발생하고 산모가 중독되면 태아의 신경계 부작용을 초래하기도 한다. 국내 성인의 1일 수은 섭취량은 약 18.8 µg/day 정도이며, 주로 식품을 통하여 섭취되며 공기, 물, 토양 등을 통해서도 섭취된다. 식품으로는 주로 어패류, 곡류 오염이 주된 요인이다.

### 3.3.3. 관리현황

식품공전에는 수은의 기준이 다음과 같이 정해져 있다.

표 3. 우리나라의 식품 중 수은 기준

대 상	기준 (mg/kg)
해산 어패류(연체류 포함, 생물 수은 로 기준할때), 닭수어(생물로 성 어패류 및 기준할 때), 냉동식용대구머리 참치류 제외)	0.5 이하 (심해)
메틸 다량어, 새치류 등 심해성 어류 수은 (35종)	1.0 이하
수은 제제, 가공, 정제 소금	0.1 이하

FAO/WHO 식품첨가물 전문가위원회인 JECFA 에서는 수은의 잠정주간섭취량(PTWI)을 0.005 mg/kg b.w.(=5 µg/kg b.w.)으로 정하였고, 메틸수은은 2003년도에 임산부, 수유부 등의 특정집단의 안전성 평가를 고려하여 3.3 µg/kg b.w.에서 1.6 µg/kg b.w.로 하향 조정한 바 있으며, IARC는 수은 및 메틸수은에 대해 Group 3(Not Classifiable as to its Carcinogenic to Humans ; 인체발암성으로 분류할 수 없음)과 Group 2B(Possibly Carcinogenic to Humans ; 인체발암 가능물질)로 분류하고 있다. 한편, 미국 FDA 에서는 미국 EPA와 함께 임산부, 가임여성, 수유부, 유아 등 특정집단에 대해서 메틸수은 함량이 높은 어류의 섭취를 제한하는 권고안을 발표하였고 이후 캐나다, 영국, 일본에서도 메틸수은 섭취를 제한하는 권고를 잇달아 발표하였다.

### III. 내분비계 장애물질의 연구 및 관리 방향

우리나라에서는 1998년 환경부와 식약청 중심으로 내분비계 장애물질 대책 및 연구협의회를 구성하

고 이 문제를 다루기 시작하였고, 식약청에서는 1999년 식품·용기포장·의약품 등에 함유되어 있는 내분비계 장애물질 관련 대책을 마련하기 위해 본격적으로 연구에 착수하였다. 이에 따라 그간 내분비계 장애물질에 대한 국내·외 정보수집, 오염실태조사, 인체영향조사, 검색시험법 확립 연구, 독성영향 연구, 위해성평가, 국제협력사업 등을 수행하였다. 향후에도 식약청에서는 내분비계 장애물질 관련 연구를 지속적으로 추진하여 과학적이고 합리적인 관리기준 마련을 위한 종합적 관리방안을 확보하고자 한다. 이를 위해 내분비계 장애물질에 대한 노출현황 파악 등 위해성 평가 수행 및 관리기준안을 마련하고, 인체영향연구를 확대하며, 내분비계 장애물질에 대한 지속적 모니터링, 국제적 검색시험법 확립 및 독성영향 및 작용기전 연구를 수행할 것이다. 이와 더불어 국제협력연구 및 대국민 홍보를 강화할 예정이다. 또한 식약청에서는 내분비계 장애물질을 비롯한 유해물질관리를 위하여 신속위해평가와 잠정안전조치 체계를 구축하여 예측적·과학적 안전관리로 전환하기 위한 노력을 계속하고 있으며, 신중 유해물질의 과학적 관리기준을 신설하는 한편, 규격이 없는 위해우려물질의 신속한 위해평가를 지속적으로 실시하고 있다.

### IV. 참고문헌

1. [http://rndmoa.kfda.go.kr/endocrine/endocrine/endocrine\\_fr.html](http://rndmoa.kfda.go.kr/endocrine/endocrine/endocrine_fr.html)
2. 박귀례, 한순영, 길광섭. 내분비계 장애물질에 대한 국내 연구동향 및 대응방안. 식품과학 과 산업 32(2). 1999.
3. 국립독성연구원. 내분비계 장애물질 평가사업 성과 및 향후 추진 전략. 2005.

4. 식품의약품안전청. 유해물질총서 - 식품 중 납 이란?. 2007.
5. 식품의약품안전청. 유해물질총서 - 식품 중 카드뮴이란?. 2007.
6. 식품의약품안전청, 유해물질총서 - 메틸수은이란?. 2007 발간예정.
7. 식품의약품안전청. 식품공전. 2007.

