

다이옥신과 식품안전

박 일 규 / 식품의약품안전청 식품관리과

1. 다이옥신의 정의 및 특성

다이옥신(Dioxins)이라고 알려져 있는 화학물질은 고리가 세개인 방향족 화합물에 여러개의 염소가 붙어 있는 화합물(polychlorinated; PC)을 말하는데, 가운데 고리에 산소원자가 두개인 다이옥신계 화합물(polychlorinated dibenzodioxin; PCDD)과 산소원자가 하나인 퓨란계화합물(polychlorinated dibenzofuran; PCDF)을 모두 합쳐서 다이옥신 또는 다이옥신류(다이옥신계열화학물질)라 칭하고 있다. 이러한 다이옥신은 염소의 위치에 따라 PCDD는 75개, PCDF는 135개의 이성체가 존재할 수 있는데, 현재 독성이 있다고 알려지고 연구되는 것은 PCDD류 7개와 PCDF류 10개를 합하여 17개이다.

다이옥신의 물리화학적 특성을 보면 색과 냄새가 없는 고체물질로서 물에 대한 용해도 및 증기압은 아주 낮으며 유기용매에 용해되지만 용해성은 그다지 크지 않고 열화학적으로도 매우 안정하며 미생물에 의한 분해도 거의 일어나지 않는다.

물질중의 다이옥신의 양을 나타낼 때는 단순한 다이옥신류의 총량을 표시하기도 하지만 이성질체마다 독성의 정도가 틀리기 때문에 독성등가값(TEQ)의 개념을 도입하여 독성이 가장 강한 것으로 알려진 2, 3, 7, 8-TCDD의 독성잠재력을 1로 보고 다른

이성체에 대해서 상대적인 독성등가인자(TEF)를 부여하여 전체독성을 표시하고 있다. TCDD의 동물시험결과 급성독성, 만성독성, 면역독성, 생식계독성, 발암성 등이 보고되었고 특히, 몰모트 수컷의 LD₅₀은 0.6 μ g/kg bw까지 보고되어 지구상에 존재하는 물질중에서 가장 강력한 독성을 가진 화합물 중의 하나로 꼽히고 있다. TCDD는 분자량 322, 융점 305 $^{\circ}$ C, 분해온도 700 $^{\circ}$ C이상이며 310nm부근의 자외선을 흡수해 광화학적 분해가 되므로 태양광선의 자외선에 의해 급속히 분해되는 특성이 있다.

2. 다이옥신 생성경로

다이옥신은 이용가치가 없어 의도적으로 합성되지는 않지만 여러 가지 경로를 통하여 생성되는데 그중 화학공장에서 불순물로 생성되어 유입되거나 폐기물소각로에서 고분자물질이 소각되며 생성되는 과정이 가장 중요한 경로로 알려져 있으며 산불, 번개, 화재 또는 화산활동 등 자연적인 연소과정에서도 생성되는데 이때의 다이옥신의 농도는 비교적 낮은 것으로 알려지고 있다.

다이옥신의 발생원으로는 PCBs, 클로로페놀, 염소, 폐녹시계 제초제의 불순물(2, 4, 5-T), 도시쓰레기 소각, 자동차배출가스, 금속제조(철, 알루미늄, 마그네슘, 니켈) 등이 있는데, 다이옥신 생성·

오염의 95%가 염소폐기물을 소각하는 과정에서 발생되고 제조제와 살균제를 제조하는 과정에서 불충분하게 정제하거나 제조공장, PVC공장 등에서도 다이옥신이 발생된다. 이러한 1차 오염원에서 발생

된 다이옥신은 대기, 토양, 물 등 모든 자연환경으로 유입하게 되고 2차 오염원인 어류, 육류, 유제품, 채소 등 우리가 섭취하는 거의 모든 음식물에 유입되어 인간에게 이행된다.

다이옥신류의 오염원

오염원분류	항 목	주요 세부항목
1차 오염원	화합물제조	클로로페놀 관련물질의 제조(제조, 곰팡이 방지, 살충제의 용도) 예) 2, 4, 5-T, PCP, 헥사클로로펜, NIP, X-52 등
	폐기물소각	도시폐기물, 산업폐기물, 의료폐기물, 오니의 소각에 따르는 연돌배출물, 비산재, 잔재의 매립지
	펄프, 종이제조	염소화합물에 의한 표백처리
	자동차	가솔린첨가제(사에틸납), 포착제(이클로로, 이브로모에탄)
	기 타	화산, 화재, 번개 및 산불 등
2차 오염원	식품섭취, 음용수섭취, 피부접촉, 토양, 하수오니, 퇴비 및 퇴적물 등	

3. 다이옥신의 식품오염 경로

다이옥신은 분해되지 않는 매우 안정된 화학물질로 한번 생성되면 공기, 물, 토양속에 계속 잔류하게 되며 물에 대한 용해도가 극히 낮으나 입자상 물질에 흡착되는 성질이 강하기 때문에 공기중의 다이옥신은 공기중의 미세한 먼지에 흡착되어 토양이나 물을 오염시키고 물에 유입된 다이옥신은 하천이나 호수속의 침전물에 흡착되거나 생물군락에 흡착되어 동·식물계의 먹이사슬을 거쳐 수산물, 가축 등 고등동물로 이행되어 고농도로 축적되는 생물농축현상을 가지며 어패류, 육류, 우유, 유아공품 뿐만 아니라 사람의 모유 속에서도 발견되게 된다. 실제로 사람이 공기중의 다이옥신을 직접 흡입하는 양은 전체의 3%이하이며 대부분 동·식물성 식품을 통해 섭취하는 양이 97% 정도를 차지하는 것으로 알려져 있다.

다이옥신은 지용성이기 때문에 지방함유율이 높은

육류 및 유제품 등의 식품과 먹이사슬을 통한 생물농축계수가 비교적 높은 물고기 등 수산물에 잔류할 가능성이 많으며 식품으로 인하여 인체내에 유입된 다이옥신의 97%이상이 어·패류등 수산물과 쇠고기 닭고기, 돼지고기 등 육류 및 계란, 우유 및 유아공품으로부터 기인되는 것으로 보고되어 있다.

사람들이 통상적인 식생활로부터 매일 섭취하는 다이옥신의 양은 표준식생활을 통한 식품군별 섭취량으로부터 각 식품의 1일 평균 섭취량에 각 식품별 평균 다이옥신 함유량을 곱하여 얻어진 수치를 모두 합해서 계산하는데, 1일 평균 다이옥신 섭취량이 캐나다 92pg(1조분의 1g), 영국 125pg, 노르웨이 89pg, 덴마크 115pg 정도인데 이들이 섭취한 식품별 다이옥신 농도는 지역에 따라 차이를 보이고 있으며, 주요 식품으로는 식육 및 계란 0.3~0.6ppt(1조분의 1), 우유 및 유제품 0.1~0.2ppt, 해산물 0.5~1.8ppt의 다이옥신이 함유되는 것으로 보고되어 있고, 일본의 경우 295pg로서

해산물 2.1~0.06ppt, 우유 및 유제품 0.36ppt, 식육 및 계란 0.36ppt, 채소 0.06ppt, 과일 0.06ppt 정도로 보고되었다.

한편, 우리나라의 경우에는 종합적으로 조사·연구가 이루어진 바는 없으나 소비자보호원의 최근 발표자료를 보면 우리나라 사람들의 평균적인 식생활을 통해 1일 섭취하는 다이옥신류는 32pg로 추정하고 있으며, 곡류 0.014pg, 두유 0.014pg, 채소

류 0.015pg, 과일류 0.006pg, 식육류 0.017pg, 우유류 0.003pg, 어패류 0.173pg 정도로 잔류하고 있는데, 이는 외국의 1일 다이옥신 섭취량과 비교해 볼 때 일본의 67%, 미국의 38%, 영국의 36% 수준정도이고 식품군별로 볼 때 전체 다이옥신 섭취량의 53% 정도가 어패류에서 기인되었고 채소, 버섯, 곡류가 10%이상을 차지하며 식육은 2.2%에 불과하였다.

주요 섭취 식품종의 다이옥신류 잔류량

(단위 : pg/g, ppt)

구 분	곡 류	감자류	두 류	채소류	과실류	육 류	우유류	어패류
한국(1999)	0.014	0.006	0.014	0.015	0.006	0.017	0.003	0.0173
일본(1997)	0.002	0.013	0.007	0.059	<0.001	0.241	0.067	0.661

<소비자보호원 자료>

식품별 다이옥신 섭취 비율

(단위 : logTEQ/day)

구 분	식 물 성 식 품					동 물 성 식 품			
	채소류등	곡 류	두류등	과실류	기 타	어패류	육 류	난 류	우유류
다이옥신 섭취비(%)	21.5	13.2	4.1	2.9	1.1	53.3	2.2	0.8	0.6

<소비자보호원 자료>

4. 식품종의 잔류 다이옥신 안전관리 실태

지금까지 세계적으로 식품별 다이옥신 잔류허용기준을 설정하여 관리하는 국가는 없으며, 가공식품이 아닌 원료성 식품을 위주로 잔류허용기준 설정을 위하여 EU국가 및 미국등 선진국에서 활발히 조사·연구중이고 특히, 금년 벨기에의 사료공장에서 다이옥신 오염원료를 사용하여 생산된 사료로 사육한 가축으로부터 이행된 식육, 난제품, 유제품 등 축산물에서 다량의 다이옥신이 검출되면서 식품종의 잔류

허용기준설정문제가 시급한 과제로 대두되고 있다.

벨기에의 축산물 다이옥신 함유량

축 산 물	함 유 량	비 고
계 란	265~773 pg/g	EU발표 ('99. 6. 4)
닭 고 기	≤536 pg/g	
돼지고기	1 pg/g	

다이옥신의 일일섭취허용량(TDI)은 세계보건기

구(WHO)의 권고치가 1~4pg/kg bw('98년 제정)이고, 미국 1pg/kg bw, 스웨덴 5pg/kg bw, 독일 1pg/kg bw, 네덜란드 4pg/kg bw, 덴마크 1pg/kg bw, 캐나다 10pg/kg bw이며 일본은 10pg/kg bw에서 최근 4pg/kg bw로 개정하였다. 다이옥신의 최대무작용량(NOEL)은 1,000pg/kg/day로 정하고 있다. 우리나라에서는 지금까지 식품중의 다이옥신에 대하여 종합적으로 잔류실태조사를 수행한 바는 없으나 식품의약품안전청에서 식품중의 다이옥신 안전성관리를 위하여 '99년 하반기부터 본격적으로 식품중의 다이옥신잔류실태를 토대로 TDI를 설정작업등에 대하여 종합적인 조사연구사업을 추진할 계획으로 있다.

5. 앞으로의 대처 방안

다이옥신이 인체면역계에 치명적인 손상과 생식, 발육저하 및 발암성과 내분비계 장애물질 등으로써 강력한 독성을 가진 화학물질로 알려지면서 이의 최소화를 위하여 미국, 일본, EU국가 등 세계각국에

서 다이옥신류의 생성과 억제에 관한 기준이나 쓰레기소각장등의 배출허용기준등을 제정·시행하는 등 다각적인 노력의 결과로 1980년 이후부터 독일이나 미국 등에서 행하여진 연구결과를 바탕으로 다이옥신의 배출량이 감소하는 경향이며, 모유, 우유, 해산물 등의 오염정도도 점차 줄어들어 전체적으로 인간의 다이옥신에 대한 부하량은 서서히 감소하는 추세에 있다. 우리나라에서도 다이옥신의 생성 및 억제를 위하여 주요 다이옥신 배출가능시설을 대상으로 배출량을 엄격하게 관리해 나가야 할 것이다.

한편, 벨기에산 축산물의 다이옥신 다량검출 사건과 같은 사고를 미연에 방지하기 위하여 식품중의 다이옥신 잔류량 관리를 위한 범정부적 전략을 수립하고 국제적인 기준제정등 추세를 예의주시하면서 지속적이며 광범위한 모니터링과 조사·연구사업을 추진하여 그 결과를 토대로 잔류허용기준을 마련하고 이의 철저한 감시가 이루어질 때 국민들이 다이옥신 섭취를 최소화 할 수 있을 것이며 다이옥신으로 인한 재앙으로부터 보호받을 수 있을 것이다.

국내외 다이옥신관련 주요사건 등

연 도	국 가	주 요 내 용
1949	미국, 캐나다	몬산토사 농약(2, 4, 5-T)공장 사고
1953	서 독	BASF사 농약(2, 4, 5-T)공장 사고
1957	미 국	동부 및 중서부에서 사료에 혼합된 지방에 의해 수백만 마리의 병아리 폐사
1962~1972	미국, 베트남	베트남 전쟁에서 고엽작전을 목적으로 2, 4, 5-T 및 2, 4-D의 살포에 의한 오염으로 사람에게서 기형성 발견
1967	미 국	1957년 병아리 대량 폐사사건의 원인물질 구조가 밝혀짐
1968	일 본	가네미창고에서 제조한 쌀겨油 중에 혼합된 PCBs 중독사건이 발생
1973	베트남	베트남에서 사용된 고엽제에 의해 간장암, 유산 등을 보고
1976	이탈리아	밀라노근교의 농약제조공장의 대폭발사고로 주변지역이 오염되어 병아리, 토끼, 고양이 등이 사망하고 기형아 출산율이 높아짐.
1977	미국, 캐나다, 네델란드 등	도시 쓰레기 소각로의 비산재에서 다이옥신 검출

연 도	국 가	주 요 내 용
1977	미 국	과학아카데미의 음료수건강위원회는 2, 3, 7, 8-TCDD의 허용 섭취량 설정
1978	미 국	뉴욕주 Love Canal에 다이옥신류를 산업폐기물의 매립으로 근교지역이 오염, 지역주민 이사
1983	미 국	미주리주, 테임스비치의 농약제조공장에서 폐액살포로 인한 오염지역을 정부가 매입하여 주민과 기업 등을 이전시킴.
1985	미 국	다이옥신 위해성평가 및 발암가능성 보고
1990	일 본	다이옥신류의 생성과 억제에 관한 지침 제정
1994	미 국	다이옥신 제어방법 및 기준검토
1995	미 국	다이옥신 배출기준
1997	한 국	도시 쓰레기 소각장의 다이옥신 규제 논란
1998	WHO	일일섭취허용량(TDI) 1~4pg/kg bw 권고
1999	벨기에	축산물 다이옥신 다량 검출사건