

우리 나라 시판 식품 중 다이옥신 농도 및 이성체 분포 특성에 관한 연구

김종국 · 김경심 · 이병호*

전북대학교 환경공학과, *충북대학교 건설기술연구소

Concentration and Distribution of PCDDs/PCDFs in Korea Retail Foods

Jong Guk Kim, Kyoung Sim Kim and Byoung Ho Lee*

Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University
Duckjin-gu, Duckjin1-ga 664-14, Chonju 561-756, Korea

*Institute of Construction & Technology, Chungbuk National University
Gaesin-dong, San-48, Cheongju 361-763, Korea

In many studies, they have reported that over 90% of human exposure to dioxin (and related compounds) occurs via food ingestion. However in Korea, there are few studies on the dioxin levels in environmental samples and foods. The purpose of this study is to assess the concentration and distribution of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) in Korean retail foods. 9 samples from animal food and 10 samples from vegetable food were analysed for dioxins. Total concentration ranged from 0.02 (milk) to 5.39 (anchovy) pg/g. TEQ levels in foods were appeared in order of fish/shellfish, meats, vegetables, cereals, fruits and milk, and these values ranged from 0.0008 to 0.3153 pgTEQ/g. Isomer distribution of dioxins represented that PCDDs was higher than PCDFs, and 1,2,3,4,6,7,8-HxCDF had the highest value in the case of PCDFs, and OCDD in the case of PCDDs.

Key words : Dioxins, Food, Isomer distribution, TEQ, Analysis

1. 서 론

다이옥신류(PCDDs; Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, PCDFs; Polychlorinated dibenzofurans 이하 다이옥신으로 표기)는 인간의 산업활동에 의해 발생하는 대표적인 유해화학물질로서 쓰레기 소각, 화학 물질의 제조, 종이 표백 등 각종 산업공정에서 비의도적으로 생성되는 것으로 알려져 있다.¹⁻³⁾ 또한 이들 물질은 물리·화학적으로 매우 안정하고 인체 및 생물체내에 축적되기 쉽고 발암성을 지니고 있으며 급성, 만성, 면역, 유전 등 폭넓은 분야에 강한 독성을 나타내고 있어 관심을 모으고 있는 환경 오염 물질 중의 하나이기도 하다.⁴⁻⁶⁾

소각 등에 의해 대기 중으로 배출된 다이옥신은 주로 건성 또는 습성 침착에 의하여 지표 토양 및

농작물 표면에 흡착되며 수역으로 유출된 것은 저질에 분배되기 때문에 환경 중에서 토양과 저질이 가장 많이 축적되어 있는 것으로 보고되어져 있다.⁷⁾ 따라서 오염원 주변 지역이나 인근 해역 뿐만 아니라 일반 지역의 농축산물이나 수산물에도 다이옥신이 축적되어 있을 가능성은 매우 높다.

인간은 토양, 대기, 물, 식품 등 다양한 경로를 통해 다이옥신에 노출되고 있으나 이들 중 식품이 주된 폭로원인 것으로 알려져 있다.^{8,9)}

일본의 경우 다이옥신 연간 발생량은 2,3,7,8-TCDD로 약 5 kg 수준이며, 전체의 95% 정도가 폐기물 소각 공정에서 발생하는 것으로 보고되어져 발생량 대부분이 대기유래인 것으로 알려져 있다. 다이옥신 1일 체내 섭취량은 체중 1 kg당 0.29~3.53 pg 수준으로 이 중 평균 90% 정도가 식품을

통해 흡수된다고 보고되어져 있다.⁷⁾

또한 세계 선진국에 있어서 다이옥신의 1일 섭취량 수준은 미국이 0.3~3.2 pgTEQ/kg/day, 독일이 2.2 pgTEQ/kg/day, 캐나다가 2.3 pgTEQ/kg/day으로 이들 중 식품을 통한 섭취량이 전체 섭취량의 90~95%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.⁷⁾ 그러나 우리 나라에서는 일반 환경 중 다이옥신 잔류농도에 대한 실태 파악도 매우 적을 뿐만 아니라 식품을 대상으로 한 연구는 전무한 실정이다.

한편 발생원에서 배출된 다이옥신이 환경 및 인체에 미치는 영향을 종합적으로 파악하고 대책을 수립하기 위해서는 각종 환경 시료 중 잔류농도에 대한 모니터링이 선행되어야 한다.¹⁰⁻¹²⁾ 뿐만 아니라 환경 중 다이옥신의 잔류 실태와 거동을 이해하기 위해서는 개별 이성체의 분포 특성을 분석하여 매체들 간의 이동 경로를 파악하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 시판 중인 19종의 개별 식품을 대상으로 다이옥신 잔류농도 및 개별 이성체간의 분포 특성을 파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시 료

분석대상으로 선정한 시료는 크게 식물성 식품 10종과 동물성 식품 9종으로 나누어 1999년 3월에 서울시의 재래시장 및 대형 식품 매장에서 구입하였다. 식물성 식품은 곡류(쌀, 수입밀, 수입옥수수, 감자, 수입콩), 채소류(배추, 무), 과일류(사과, 귤, 수입오렌지)를 선정하고, 동물성 식품은 육류(국내산·수입산 돼지고기, 국내산·수입산 소고기, 닭고기), 우유, 어패류(멸치, 수입산 명태, 굴)를 선정하였다. 이들 시료는 서로 다른 3개의 지점에서 각각 구입한 후 균일하게 혼합하여 하나의 시료로 조제하여 분석에 이용하였다.

2.2. 표준물질 및 시약

PCDDs 7종과 PCDFs 10종의 내부 표준 물질은

¹³C₁₂로 표시된 Cambridge Isotope Laboratories사의 것을 사용하였으며 분석에 사용된 헥산, 톨루엔, 디클로로메탄 등의 용매와 수산화칼륨, 무수황산나트륨의 시약은 Wako사의 잔류농약시험용을 사용하였다.

정제용 실리카겔은 Wakogel S-1, 알루미늄은 Merck의 Aluminium oxide. 90, 활성탄은 Wako사의 다이옥신 분석용을 사용하였으며 세정수는 초순수를 헥산으로 2회 세정하여 사용하였다.

2.3. 분석방법

2.3.1. 추출 및 정제방법

시료의 추출 및 정제방법을 Fig. 1에 나타내었다. 구입한 시료는 전처리를 거쳐 균질화한 후 -20°C에서 보관하였으며 식물성 식품인 곡류, 채소류, 과일류는 Soxhlet-Dean Stark법에 의해 추출하였고, 동물성 식품인 우유와 어패류, 육류는 알카리 분해법에 의해 추출을 행하였다.¹³⁾

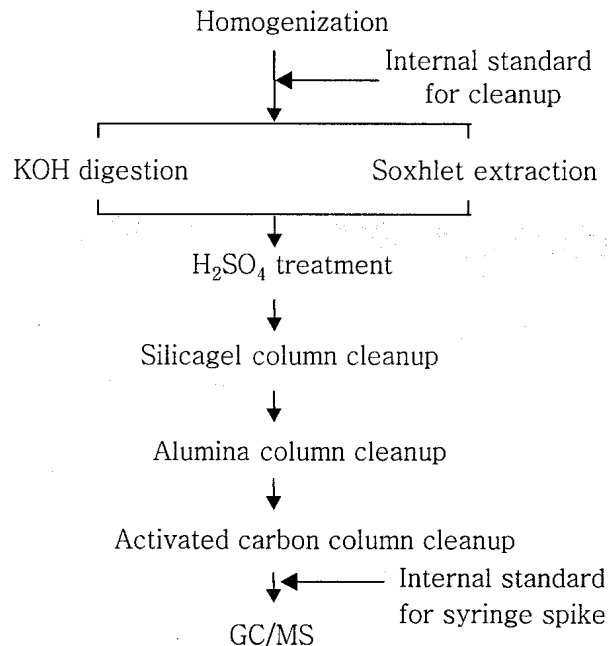


Fig. 1. Analytical procedures for dioxins in foods.

추출작업을 마친 시료는 농축한 후 분액여두에 옮긴 다음 농황산을 넣고 황산층의 색깔이 없어질 때까지 황산처리를 수회 실시한 다음 세정 및 탈수

한 후 농축하여 컬럼 정제를 실시하였다. 실리카겔 컬럼 정제는 활성화시킨 실리카겔 2g을 컬럼에 충전시킨 후 농축한 시료를 주입한 다음 헥산 120 ml로 용출한 후 1 ml까지 농축하였다. 알루미나 컬럼 정제는 활성화시킨 알루미나를 컬럼에 충전시킨 후 디클로로메탄/헥산 2%용액 20 ml를 먼저 흘려 보내 방해물질을 제거한 후 50% 용액 30 ml로 다이옥신을 용출시켜 100 μ l까지 농축하였다. 이 농축시료는 활성탄을 충전시킨 컬럼에 주입하여 디클로로메탄/헥산 25%용액 30 ml를 흘려보낸 후 틀루엔 300 ml로 분석 대상물질인 PCDDs/PCDFs를 용출시켜 농축하였다.

2.3.2. 분석 조건

분석 대상 물질은 4~8염소화합물 중에서 독성 등가 환산계수(I-TEF)가 정해진 17개의 2,3,7,8-치환이성체이며 고분해능 가스크로마토그래피/질량분석기(HRGC/HRMS)로 분석·정량하였으며 식품 중 다이옥신 분석을 위한 HRGC/HRMS의 조건을 Table 1에 나타내었다. 또한 HRMS에서 동정한 2개 이온의 동위체비가 이론치의 $\pm 15\%$ 이내의 것을 다이옥신 피크로서 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 검출한계 및 회수율

식품 중 다이옥신의 분석 검출한계와 회수율은 Table 2와 Table 3에 제시한 바와 같이 곡류, 채소류, 과일류가 0.004~0.03 pg/g이고, 육류와 어패류는 0.008~0.06 pg/g, 우유는 0.0001~0.0007 pg/g으로 나타났다. 또한 식품 중 다이옥신의 추출 및 정제효율을 판단하기 위해 첨가한 2,3,7,8-치환체의 평균 회수율을 Table 3에 나타낸 바와 같이 77.6~101.4%의 범위로 비교적 양호하였다.

3.2. 식품 중 다이옥신 농도

식품에서 검출된 다이옥신 농도는 0.0008~0.3153 pgTEQ/g의 범위이며 각 식품별로는 어패류>육류

Table 1. GC/MS conditons for determination of PCDDs and PCDFs.

GC Instrument	HP5890 II		
Injector	Splitless		
Carrier gas	He, 2.5 ml/min		
Sample volume	2 μ l		
column	SP2331 60m \times 0.32mm ID \times 0.20 μ m		
Temp. program	120 $^{\circ}$ C(3min) \rightarrow 200 $^{\circ}$ C(10 $^{\circ}$ C/min, 3min) \rightarrow 265 $^{\circ}$ C(3 $^{\circ}$ C/min, 15min)		
MS Instrument	VG Autospec Ultima		
Ionization mode	Electron impact(EI)		
Detection mode	Selected ion monitoring(SIM)		
Ionization voltage	36 eV		
Resolution	>10000		
Monitor ions			
Compound	Native ions		13 C $_{12}$ -labeled ions
TCDFs	303.9016	305.8987	315.9419 317.9389
PeCDFs	339.8597	341.8568	351.9000 353.8970
HxCDFs	373.8207	375.8178	383.8639 385.8610
HpCDFs	407.7818	409.7788	417.8250 419.8220
OCDF	441.7428	443.7398	453.7830 455.7801
TCDDs	319.8965	321.8936	331.9368 333.9339
PeCDDs	355.8546	357.8517	367.8949 371.8919
HxCDDs	389.8156	391.8127	401.8559 403.8530
HpCDDs	423.7767	425.7737	435.8169 437.8140
OCDD	457.7377	459.7348	469.7780 471.7750

Table 2. Detection Limit.

(unit : pg/g)

	Cereals/Fruits/ vegetables	Meats/Fish/ Shellfish	Milk
Tetra~Penta PCDDs/PCDFs	0.004	0.008	0.0001
Hexa~Hepta PCDDs/PCDFs	0.008	0.01	0.0002
OCDD/OCDF	0.03	0.06	0.0007

>채소류>곡류>과일류>우유의 순으로 나타났다. 이들 개별 식품에 대한 잔류농도는 Table 4에 나타내었다.

3.2.1. 동물성 식품 중 다이옥신 농도

동물성 식품에서 검출된 다이옥신 총 농도는 0.02~6.24pg/g의 범위였다. 개별식품으로 살펴보면 우유가 0.02pg/g으로 가장 낮았고, 어패류는 0.11~5.39pg/g의 범위로 이 중 멸치가 5.39pg/g으로 가장 높았고 육류는 0.11~6.24 pg/g의 범위로 수입산 돼지고기가 국내산 돼지고기에 비해 약 60배 정도 높았다. 특히 본 연구에서 선정된 명태는 북태

Table 3. Recoverie of Internal Standard.

Homologue	Isomer	Average(%)	S.D.(%)
TCDF	2,3,7,8	80.1	8.5
PeCDF	1,2,3,7,8	97.6	10.4
	2,3,4,7,8	91.4	11.9
HxCDF	1,2,3,4,7,8	90.7	8.4
	1,2,3,6,7,8	101.4	9.2
	2,3,4,6,7,8	93.9	8.7
	1,2,3,7,8,9	85.2	9.0
HpCDF	1,2,3,4,6,7,8	90.0	7.6
	1,2,3,4,7,8,9	85.8	8.1
OCDF	1,2,3,4,6,7,8,9	-	-
TCDD	2,3,7,8	77.6	8.4
PeCDD	1,2,3,7,8	89.6	8.2
HxCDD	1,2,3,4,7,8	94.9	8.6
	1,2,3,6,7,8	93.5	9.5
	1,2,3,7,8,9	-	-
HpCDD	1,2,3,4,6,7,8	96.9	9.4
OCDD	1,2,3,4,6,7,8,9	96.7	11.2

- : not used as internal standards

평양산으로 국내 근해산의 것보다 농도가 매우 낮은 것으로 나타났다.¹⁴⁾ 한편, 이들 식품에서 검출된 다이옥신 농도를 TEQ농도로 환산한 값을 살펴보면 어패류에서는 멸치가 0.315 pgTEQ/g, 육류에서는 수입산 돼지고기가 약 0.098 pgTEQ/g으로 가장 높게 나타났다. 멸치와 수입산 돼지고기에서 다이옥신 총 농도는 돼지고기가 높았으나 TEQ 농도로 환산하였을 경우 멸치가 높게 나타났는데 이것은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 독성환산계수(I-TEF)가 높은 저염소 화합물에서 멸치의 농도가 돼지고기에 비해 상대적으로 높아 TEQ값이 전체적으로 높아진 것이다.

3.2.2. 식물성 식품의 농도

식물성 식품의 다이옥신 총 농도는 0.37~1.61 pg/g의 범위였다. 이들 개별식품에 대한 농도를 살펴보면 곡류가 0.43~1.61 pg/g의 범위로 이 중 수입콩의 농도가 가장 높았고 과일 및 채소류는 0.36~1.03 pg/g의 범위로 배추가 가장 높았다.

또한 이들 식품의 다이옥신 농도를 TEQ농도로

환산한 값을 살펴보면 곡류의 경우 0.0059~0.0187 pgTEQ/g의 범위로 수입밀이 가장 높고 감자가 가장 낮은 값을 나타내었다. 총 농도의 경우는 수입콩이 가장 높은 농도를 나타내었으나 TEQ로 환산한 경우 수입밀이 가장 높았으며 과일 및 채소류의 경우는 0.005~0.042 pgTEQ/g으로 배추가 가장 높은 것으로 나타났다.

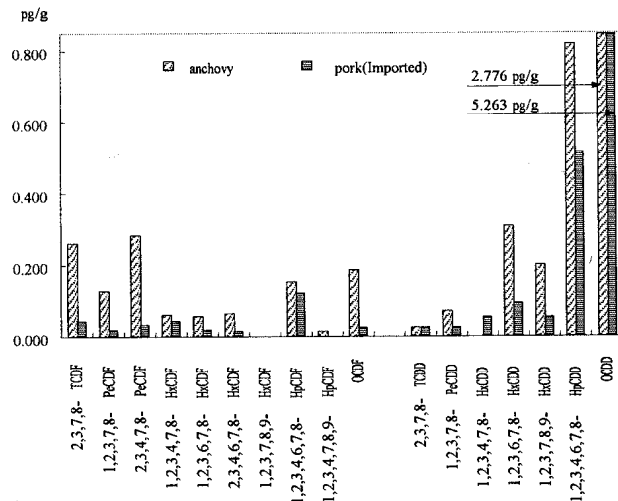


Fig. 2. Comparison of PCDFs/PCDDs between anchovy and pork.

3.2.3. 외국 식품과 농도 비교

본 연구에서 조사한 우리나라의 시판 식품 중 다이옥신 농도와 일본 후생성이 조사한 다이옥신 농도¹⁵⁾를 비교하여 Fig. 3에 나타내었다.

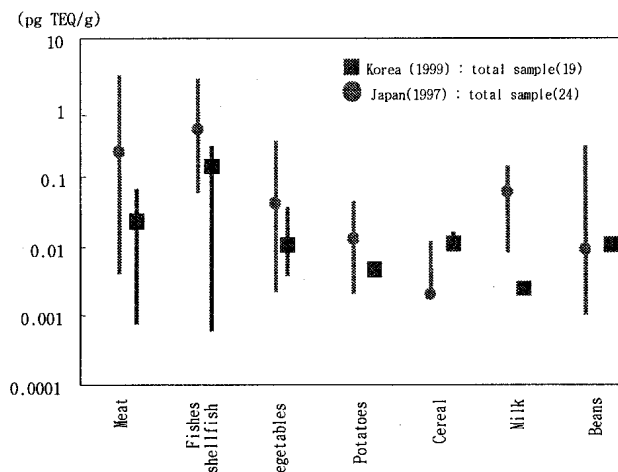


Fig. 3. Comparison of PCDDs/PCDFs concentration between Korea and Japan in retail foods.

Table 4. Concentration of PCDDs/PCDFs in Korean retail foods.

Food group	Isomer	Fish/Shellfish		Meat			Milk	Bean	Cereal		Potato	Fruit		Vegetable							
		Pollack (Imported)	Oyster	Anchovy	Beef (Imported)	Beef (Domestic)	Pork (Imported)	Pork (Domestic)	Chicken (Domestic)	Milk	Bean (Imported)	Corn (Imported)	Rice (Imported)	Wheat (Imported)	Potato	Tangerine	Apples	Orange	Radish	Chinese cabbage	
PCDDs	2,3,7,8-TCDF	0.0010	0.3283	0.2579	0.0000	0.0007	0.0002	0.0432	0.0443	0.0002	0.0104	0.0123	0.0110	0.0336	0.0060	0.0070	0.0073	0.0053	0.0069	0.0124	
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.0007	0.1048	0.1264	0.0004	0.0005	0.0001	0.0164	0.0292	0.0003	0.0063	0.0065	0.0048	0.0153	0.0051	0.0034	0.0051	0.0041	0.0067	0.0149	
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.0000	0.1862	0.2821	0.0036	0.0091	0.0006	0.0302	0.0268	0.0029	0.0069	0.0055	0.0042	0.0097	0.0066	0.0026	0.0036	0.0025	0.0041	0.0188	
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.0004	0.0226	0.0595	0.0146	0.0078	0.0007	0.0419	0.0336	0.0025	0.0090	0.0079	0.0064	0.0110	0.0041	0.0041	0.0059	0.0039	0.0067	0.0271	
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.0005	0.0485	0.0555	0.0048	0.0059	0.0006	0.0185	0.0214	0.0021	0.0063	0.0053	0.0047	0.0129	0.0031	0.0046	0.0031	0.0030	0.0050	0.0219	
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.0000	0.0683	0.0629	0.0058	0.0059	0.0000	0.0142	0.0181	0.0020	0.0075	0.0000	0.0059	0.0080	0.0029	0.0029	0.0000	0.0026	0.0000	0.0312	
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0325	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.0044	0.0890	0.1522	0.0273	0.0101	0.0050	0.1203	0.0837	0.0023	0.0377	0.0360	0.0338	0.0537	0.0160	0.0158	0.0175	0.0148	0.0256	0.0561	
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.0000	0.0073	0.0144	0.0000	0.0008	0.0004	0.0000	0.0000	0.0003	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0520	
	OCDF	0.0000	0.0397	0.1844	0.0035	0.0000	0.0000	0.0235	0.0000	0.0000	0.0405	0.0286	0.0211	0.0000	0.0135	0.0217	0.0000	0.0000	0.0320	0.1216	
	PCDFs	2,3,7,8-TCDD	0.0070	0.8947	1.1933	0.0600	0.0408	0.0076	0.2185	0.2571	0.0124	0.1273	0.1021	0.0920	0.1442	0.0554	0.0607	0.0441	0.0363	0.0871	0.3884
		1,2,3,7,8-PeCDD	0.0000	0.0155	0.0250	0.0005	0.0009	0.0000	0.0259	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010
		1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.0000	0.0528	0.0719	0.0029	0.0021	0.0000	0.0254	0.0066	0.0008	0.0013	0.0000	0.0011	0.0041	0.0000	0.0000	0.0016	0.0000	0.0000	0.0104
		1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.0000	0.0165	0.0000	0.0056	0.0011	0.0006	0.0519	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0259
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.0020	0.0663	0.3074	0.0446	0.0065	0.0020	0.0909	0.0568	0.0016	0.0197	0.0233	0.0232	0.0166	0.0102	0.0075	0.0100	0.0107	0.0119	0.0463
OCDD		0.0010	0.0319	0.1980	0.0050	0.0014	0.0006	0.0531	0.0173	0.0005	0.0101	0.0118	0.0170	0.0084	0.0068	0.0036	0.0047	0.0031	0.0038	0.0353	
2,3,4,6,7,8-HpCDD		0.0118	0.1421	0.8197	0.1198	0.0220	0.0109	0.5126	0.1500	0.0028	0.0884	0.0857	0.1025	0.0839	0.0379	0.0480	0.0433	0.0278	0.0659	0.0929	
PCDDs		0.0872	0.8822	2.7757	0.3933	0.1716	0.0913	5.2628	0.6223	0.0018	1.3668	0.7307	0.7363	0.5860	0.3249	0.3812	0.4274	0.2912	0.5901	0.4451	
Total PCDDs/PCDFs		0.1020	1.2073	4.1978	0.5718	0.2056	0.1055	6.0235	0.8530	0.0084	1.4862	0.8516	0.8850	0.6991	0.3768	0.4408	0.4870	0.3328	0.6717	0.6456	
Total PCDDs/PCDFs		0.1090	2.1020	5.3930	0.6317	0.2464	0.1131	6.3318	1.1101	0.0208	1.6136	0.9537	0.9771	0.8433	0.4322	0.5015	0.5311	0.3591	0.7588	1.0340	
Total TEQ		0.0008	0.2018	0.3153	0.0137	0.0100	0.0010	0.0979	0.0430	0.0031	0.0134	0.0111	0.0123	0.0187	0.00594	0.0059	0.00716	0.0050	0.0073	0.0415	

(unit : pg/g)

Fig. 3에 나타난 바와 같이 일본 시판 식품의 경우 우리나라의 식품보다 평균값이 상대적으로 높았으며 조사된 시료수가 많기 때문에 다이옥신 농도 폭도 큰 것으로 생각된다. 일본식품과 비교하여 우리나라 식품의 다이옥신 농도가 높은 값을 나타낸 것은 곡류로서 수입밀과 수입옥수수의 농도가 높았고 특히 쌀의 경우 일본과 비교하여 약 10배 정도 높게 나타나 이에 대한 원인을 규명하는 폭넓은 조사가 시급히 수행되어야 할 것으로 판단된다.

3.3. 식품 중 다이옥신 분포 특성

3.3.1. PCDDs/PCDFs 분포 특성

각 식품별 PCDDs/PCDFs의 분포 비율을 Fig. 4에 나타내었다. 이들의 분포 특성을 살펴보면 우유를 제외한 모든 식품에서 PCDDs가 PCDFs보다 월등히 높은 비율을 차지하고 있으며, 대다수의 식품에서 PCDDs가 전체 다이옥신의 80% 내지는 그 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 한편 우리나라 9개의 대형 도시쓰레기 소각로를 대상으로 조사한 PCDFs/PCDDs의 배출 패턴을 살펴보면 일반적으로 PCDFs의 비율이 PCDDs보다 높은 것으로 보고되어져 있다.¹⁶⁾

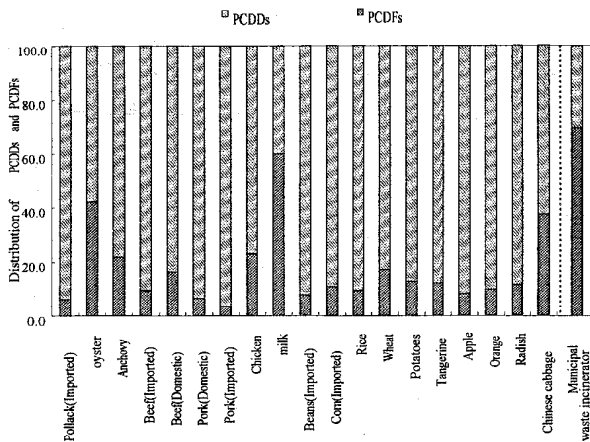


Fig. 4. Distribution of PCDDs/PCDFs in Korean retail foods.

이것은 본 연구에서 수행한 식품과는 반대의 경향을 나타내어 발생원에서 배출된 다이옥신 패턴과 일반 환경 시료 중에 농축·축적되는 패턴이 서로 다른 것을 시사한다.

3.3.2. 이성체별 분포 특성

각 식품별 PCDDs와 PCDFs의 이성체 분포 특성을 Fig. 5에서 Fig. 8에 나타내었다.

어패류의 PCDFs 분포는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 전체적으로 저염소 화합물의 비율이 고염소 화합물에 비해 높았으며 멀치와 같은 TCDF와 PeCDF의 비율이 PCDFs중에서 50%이상을 차지하고 있었다. 그러나 수입명태는 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF가 PCDFs 중 차지하는 비율이 약 63%로 가장 높았다. 반면에 PCDDs의 경우 특이할만한 것은 모든 시료에 있어서 OCDD의 비율이 매우 높으며 저염소 화합물은 전체적으로 낮게 나타난 점이다.

육류의 이성체 분포는 Fig. 6에 나타난 바와 같이

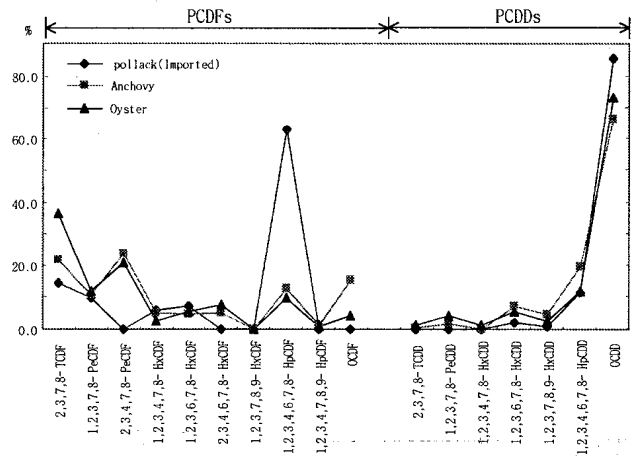


Fig. 5. Distribution of 2,3,7,8-substituted PCDDs/PCDFs in fish/shellfish.

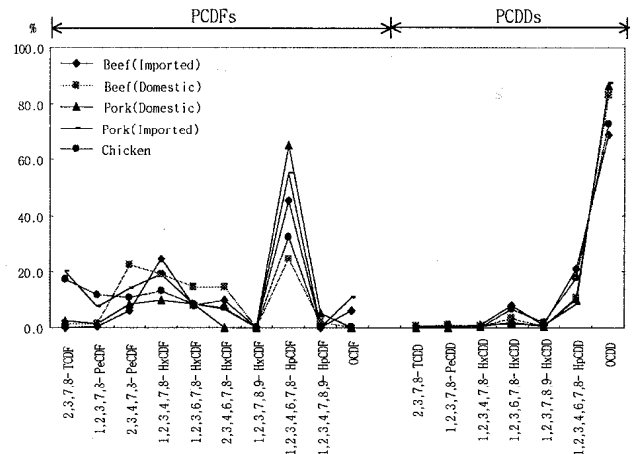


Fig. 6. Distribution of 2,3,7,8-substituted PCDDs/PCDF in meats.

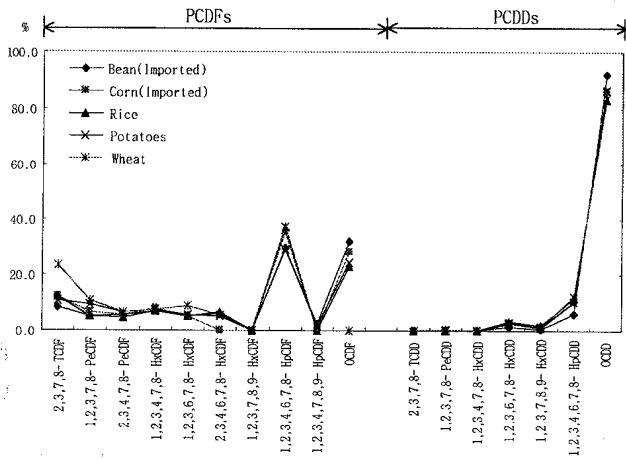


Fig. 7. Distribution of 2,3,7,8-substitued PCDDs/PCDFs in cereals.

PCDFs의 경우 모든 시료에서 1,2,3,4,6,7,8-HpCDFs가 24.7~65.4%을 차지하였고, PCDDs는 어패류와 마찬가지로 OCDD의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다.

곡류와 과일 및 채소류의 PCDFs 분포 특성은 Fig. 7과 Fig. 8에 나타난 바와 같이 육류에 비해 상대적으로 OCDF의 비율이 높게 나타났다는 것이다. 식물 중 다이옥신 잔류 특성은 엽채류의 경우 대기와 접하는 표면적의 영향을 많이 받아 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF와 OCDF의 기여율이 높은 것으로 보고되어 있는데 본 연구에서 조사한 식물성 식품의 경우도 이와 유사한 경향으로 나타나 식물의 다이옥신 농축특성은 비교적 일정한 경향으로 나타나는 것을 알 수 있다.¹⁵⁾

PCDDs의 경우는 다른 시료들과 마찬가지로 OCDD의 비율이 가장 높게 나타났으며 고염소 화합물의 비율이 저염소 화합물의 비율보다 높은 것을 알 수 있다.

본 연구에서 수행한 우유의 다이옥신 이성체 분포를 미국 EPA 조사결과와 비교하여 Fig. 9에 나타내었다.¹⁷⁾ 이성체 분포 경향은 우리나라와 미국의 우유가 매우 유사하였으며 PCDFs의 경우 HxCDF의 비율이 전체의 50% 이상을 차지하는 반면 OCDF의 기여율이 매우 낮았고, PCDDs의 경우 HxCDD와 HpCDD가 60%이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 특히 다른 식품시료에서는 고염소 화합물일수록 그 분포 비율이 높아지는 경향을

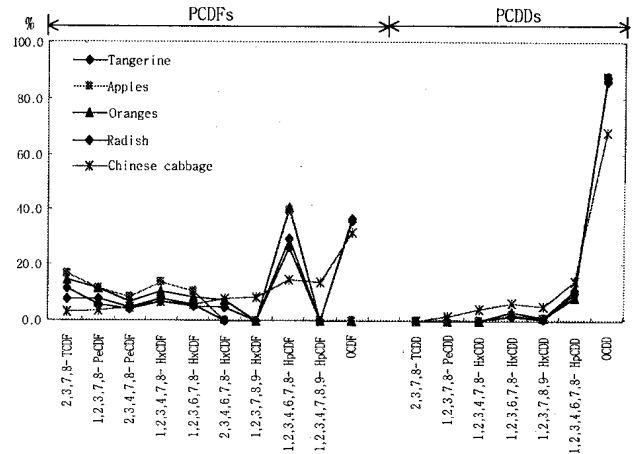


Fig. 8. Distribution of 2,3,7,8-substitued PCDDs/PCDFs in fruits/vegetables.

나타내었으나, 우유에서는 고염소 화합물의 기여율이 그다지 높지 않은 것으로 알 수 있다.

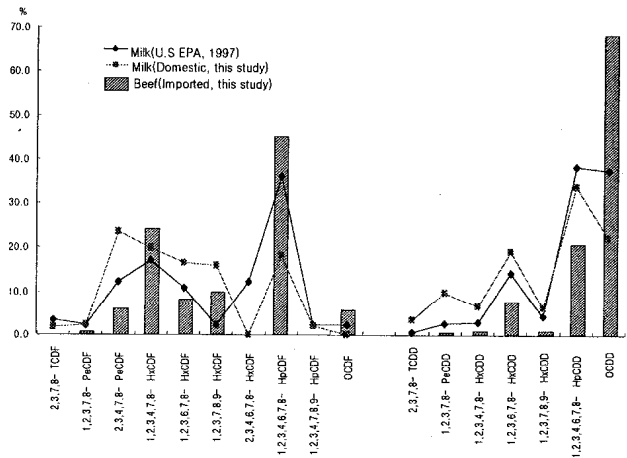


Fig. 9. Comparison of Isomer distribution between Korea and U.S EPA in milk.

또한 우유와 소고기의 다이옥신 분포 경향을 알아보기 위해 본 연구에서 시료로 선정하였던 수입산 소고기의 이성체의 분포와 비교하였다. 그 결과 수입산 소고기와 우유 또한 이성체 분포 패턴이 유사한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리나라에서 시판되는 식품 중

의 다이옥신 농도는 식물성 식품이 0.36~1.61 pg/g, 동물성 식품이 0.02~6.24 pg/g의 범위로 나타났다. 개별식품으로 살펴보면 우유가 0.02 pg/g, 어패류는 0.10~5.39 pg/g의 범위로서 이 중 멸치가 5.39 pg/g으로 가장 높은 값을 나타내었고 육류는 0.11~6.24 pg/g의 범위로 수입산 돼지고기가 국내산 돼지고기에 비해 약 60배정도 높은 것으로 나타났다. 또한 곡류의 경우가 0.43~1.61 pg/g의 범위로서 이 중 수입콩의 농도가 다소 높게 나타났으며, 과일과 채소류에 대한 농도의 범위는 0.36~1.03 pg/g으로 배추가 가장 높았다.

이성체 분포에 있어서는 우유를 제외한 모든 시료에서 PCDDs가 PCDFs보다 비율이 높고 특히 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF가 높았으며 대체로 고염소 화합물이 저염소 화합물보다 높은 것으로 나타났다.

환경 매체 중 생물 시료들은 생물체들간의 서식 환경과 농축특성이 각각 다르고, 1차 생산자에서 최종 소비자에 이르는 자연계의 먹이연쇄 현상과 관련되어 다이옥신 농도나 각 이성체의 패턴 유형이 달라질 수 있다. 또한 발생원과 인근 지역 혹은 일반 환경중의 매체를 대상으로 하여 상호 이동성과 관련성을 규명하는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) C. Rappe, *Chemosphere*, **1993**, 27, 211-225.
- 2) D. R. Zook and C. Rappe, "Dioxins and Health", **1994**, pp.79-114, Plenum Press, New York.
- 3) J. M. Czuczwa and R. A. Hites, *Environ. Sci. Technol.*, **1986**, 20, 195-200.
- 4) De Felip, E., A. Di Domencio, M. Falleni, F. Ferri, N. Iacovella, G. Menale, P. Tafani, G. Tommasino, and L. T. Baldassarri, *Toxicol. Environ. Chem.*, **1994**, 46, 293-260.
- 5) S. E. Swanson, C. Rappe, J. Malmstrom and K. P. Kringstad, *Chemosphere*, **1988**, 17, 681-691.
- 6) H. R. Buser, H. P. Bosshardt and C. Rappe, *Chemosphere*, **1978**, 5, 165-172.
- 7) M. A. Shara and S. J. Stohs, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **1987**, 16, 599-605.
- 8) H. Poiger, and C. Schlatter, *Chemosphere*, **1983**, 12, 453-462.
- 9) D. M. Whittle, D. B. Segeant, S. Y. Hestis, and W. H. Hyatt, *Chemosphere*, **1992**, 25, 181-184.
- 10) 環境廳ダイオキシンのリスク評価委員会, "ダイオキシンのリスク評価", **1997**, 日本.
- 11) K. Takayama, H. Miyata, O. Aozasa, M. Mimura and K. Kashimoto, *Syokueise*, **1991**, 32, 525-532.
- 12) T. R. Startin, M. Rose, C. Wright, I. Parker, and J. Gilbert, *Chemosphere*, **1990**, 20, 793-798.
- 13) 金鐘國, "水生生物體中のダイオキシン類の分析と生物濃縮に関する研究", **1996**, pp31-33, 東京大學 博士學位論文.
- 14) 康允碩, 松田宗明, 河野公榮, 閔丙允, 脇本 忠明, *環境化學*, **1999**, 1, 1-10.
- 15) 日本 厚生省 生活衛生局 "平成10年食品中 ダイオキシン汚染實態 調査報告について", **1998**.
- 16) 국립환경연구원, "도시 쓰레기 소각시설의 방지 시설별 다이옥신 처리효율 조사 연구", **1998**.
- 17) M. N. Lorber, D. L. Winters, J. Griggs, R. Cook, S. Baker, J. Ferrario, C. Byrne, A. Dupuy, and Schaum, J. *Organohalogen Compounds*, **1998**, 38, 125-129.