

식품 중 총 PCBs의 분석 및 노출량 평가

오금순* · 서정혁 · 백옥진 · 김동술

식품의약품안전청

(2009. 5. 25. 접수, 2009. 10. 30. 승인)

Analysis and exposure assessment of the total PCBs in foods

Keum Soon Oh*, Junghyuck Suh, Ock Jin Paek and Dongsul Kim

Korea Food & Drug Administration #194, Tongil-ro, Eunpyung-Gu, Seoul 122-704, Korea

(Received May 25, 2009; Accepted October 30, 2009)

요 약: 국내에 유통 중인 식품을 대상으로 PCBs 62종 동족체를 동위원소희석법으로 분석하고 노출평가를 실시하였다. 시료에 ¹³C-labeled된 회수를 측정용 표준용액을 가하여 추출하고 다층 칼럼 크로마토그래피로 정제하여 HRGC/MSD로 분석하였다. 식품 중 평균 검출량(ng/g)은 쌀 0.13, 육류 1.8~3.4, 우유 및 유가공품 0.3~3.7, 계란 10.0, 수산물 0.8~34.4 이었다. 식품군별 검출분포는 수산물(94.4%) > 육류(2.3%) > 알류(1.7%) > 우유 및 유가공품(1.3%) > 쌀(0.3%) 순이었다. 식품을 통한 총 PCBs의 1일 노출량은 14.5 ng/kg bw/day로 건강상 안전한 것으로 평가되었다.

Abstract: Total PCBs (62 congeners) has been determined in the retailed foods by the isotopic dilution method and the exposure assessment has been performed. Put into a food sample ¹³C-labeled standard for recovery was added and then it was extracted, cleaned-up by multi-layer column chromatography and then analyzed by HRGC/MS. The average levels (ng/g) detected was 0.1 for rice, 1.8~3.4 for meats, 0.3~3.7 for milk and dairy products, 10.0 for egg and 0.8~34.4 for fishes. Distribution of total PCBs was in order of fishes (94.4%) > meats (2.3%) > eggs (1.7%) > milk and dairy products (1.3%) > rice (0.3%). The estimated daily intake(EDI) was 14 ng/kg bw/day. It was concluded that there was no health risk at all.

Key words: PCBs, food, exposure assessment, estimated daily intake

1. 서 론

PCBs (Polychlorinated biphenyls)의 주요 용도는 변압기의 절연체와 같은 전기산업, 플라스틱, 접착제, 도료제조 산업 등에 주로 사용되어 왔으며, 독성학적

측면이 알려지면서 1970년대부터 생산 및 판매금지 조치를 취하고 있으나 구조적으로 안정하여 반감기가 10~20년으로 환경에 한번 노출되면 거의 분해가 되지 않는 것으로 알려지고 있다.^{1,2} 또한, 공기, 물, 토양, 퇴적물 등으로 배출된 PCBs는 이를 먹는 식

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-380-1734 Fax : +82-(0)2-388-6392

E-mail : puregold@kfda.go.kr

육 및 어패류 등의 체내 지방조직에 축적되는데 이는 PCBs 화합물의 특성이 지용성(lipophilic) 이기 때문이다. 이들 식육 및 수산물 등의 섭취를 통해 유입된 PCBs 화합물들은 땀이나 소변으로 배출되지 않아 체내에 축적되는 경향이 있고,^{1,3} 생체 내에서 일부 PCBs 동족체가 대사되면서 hydroxy-PCBs 및 PCBs methylsulfate 대사물들을 형성하는 것으로 알려져 있으며, PCBs의 동족체 중 PCB 138, PCB 153, PCB 170 및 PCB 180의 경우 가장 축적성이 강한 것으로 보고된 바 있다.^{1,4,5} 이에 WHO 산하기구인 JECFA(식품첨가물전문가위원회)는 영장류(원숭이)에 PCBs 상업용 제품인 Aroclor 1242 복합체를 이용하여 NOEL(No Observed Effect Level) 40 ng/kg bw/day을 구하였으며, 사료에 PCBs 혼합물을 첨가하여 먹인 방법으로 잠정월간섭취한계량(PMTI; Provisional Tolerable Monthly Intake)을 구하였으나 여러 가지 어려운 문제로 인해 인간에 대한 정확한 한계값(Tolerable intake)을 아직까지 설정하지 못하고 있다.^{2,6}

상업용으로 판매되는 PCBs의 복합체에는 약 130종의 동족체로 구성되어 있다고 알려지고 있는데, 이중 대표적인 제품으로 Aroclor, Kenaclor, Chlorphen 등 각종 상업적인 명칭으로 1930년대 이후 대량 생산되어 판매되었다.^{1,2} Aroclor 1016, 1242, 1254 및 1260의 혼합물에 의한 rat의 실험 결과 간 및 갑상선 종양을 나타낸다는 보고가 있었으며, 국제암연구소(IARC; International Agency for Research on Cancer)는 PCBs에 대해 동물에 대한 충분한 증거를 가지고 있으면서 한정적으로 인간에 대한 증거를 근거로 그룹 2A(인체 발암가능물질)로 분류하였다.¹ 그러나 일부 국가에서는 이러한 한계값을 설정하여 운영 중이며, 그 중 우리나라와 식생활 패턴이 비슷한 일본은 일일섭취한계량(TDI; Tolerable Daily Intake, 5,000 ng/kg bw/day)을 설정, 운영하고 있다.⁷

인간들은 환경에 방출된 PCBs를 식이, 호흡, 피부 접촉 등 다양한 경로를 통하여 노출되고 있으나 이중 식품으로부터의 노출이 90% 이상을 차지하고 있어 우리나라를 비롯하여 각 나라마다 자국민의 식품을 통한 노출량을 추정하여 안전성을 평가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 4년 동안 국내 유통되는 식품(쌀, 육류, 우유 및 유가공품, 알류, 수산물)을 동위 원소 회석법을 이용하여 PCBs 오염도를 조사하였고, 우리나라 국민들의 평균섭취량 및 평균체중을 고려하여 노출량을 추정하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 대상시료

국내 유통 중인 곡류(쌀) 8건, 육류 81건(쇠고기 32건, 돼지고기 26건, 닭고기 23건), 우유 및 유가공품 25건(우유 9건, 치즈 16건), 알류(계란) 23건 및 수산물 113건(고등어 18건, 삼치 18건, 갈치 18건, 조기 15건, 명태 10건, 장어 18건, 굴 8건, 꽃게 8건)을 주요 5개 도시(서울, 대전, 부산, 광주, 강릉)에서 총 250건을 구입하여 가식부만 분리하여 균질기로 균질화 한 다음 시료로 사용하였다.

2.1. 표준물질 및 시약

PCBs 표준물질 EC-4189, BP-MS, EC-4909, EC-4902, EC-4905, EC-4914, EC-4050(Cambridge Isotope Laboratories, Andover, MA, USA)을 사용하였다. 시약은 디클로로메탄, n-헥산, 노네인(다이옥신용, Wako Pure chemical Inc. Osaka, Japan), 메탄올, 아세톤, 톨루엔(GC-MS용, Burdick & Jackson Co., Muskegon, MI, USA), 황산(초미량분석용, Wako Pure chemical Inc. Osaka, Japan), 무수황산나트륨(잔류농약분석용, Wako Pure Chemical Inc. Osaka, Japan), 1M 수산화나트륨 용액(Wako Pure chemical Inc. Osaka, Japan)을 사용하였다. 전처리에 사용한 물은 3차 증류수 이상인 것을 사용하였다. Glass wool 및 cellulose thimble(Supelco inc., Bellefonte. PA, USA)은 톨루엔으로 3시간 동안 Soxhlet 추출하여 건조시킨 후에 사용하였다.

2.2. 다층칼럼크로마토그래피 조제

중성 실리카겔(60-200 메쉬, J.T. Baker Co., Phillipsburg, NJ, USA)을 메탄올 및 디클로로메탄으로 세척하여 180 °C에서 2시간 동안 활성화하여 사용하고, 염기성 실리카겔은 미리 세척된 중성 실리카겔 100 g을 칭량하고 1 M 수산화나트륨 용액 44 g을 넣고 1분간 흔들어 섞은 후 진탕하여 사용하였다. 산성 실리카겔은 중성 실리카겔 100 g에 황산 44 g을 넣은 후 진탕하여 조제한 것을 사용하였다. 다층칼럼크로마토그래피는 Fig. 1과 같이 조제하여 불순물 제거를 위한 PCBs 정제에 사용하였다.

2.3. 장비

분리용 칼럼으로 Ultra 2 (50 m×0.25 mm, 0.33 μm)가 장착된 가스크로마토그래피(Agilent 6890N, Agilent Technologies, USA)를, 그리고 검출기로는 질량분석기

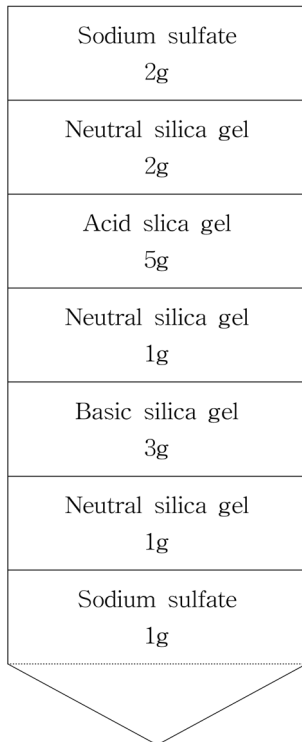


Fig. 1. Preparation of multi-layer column chromatography for analysis of PCBs.

(Agilent 5973N, Agilent Technologies, Palo Alto, California, USA)를 사용하여 분석하였다.

2.4. 실험방법

2.4.1. 표준용액의 조제

1) 회수율 측정용 표준물질(LCS; Labeled Compound Standard)

PCBs (62종 동족체)의 동위원소 표준물질은 EC-4189 (1,000 ng/g)를 노네인으로 농도가 500 ng/g이 되게 희석하여 사용하였다.

2) 검량용 표준물질(CS; Calibration Standard)

62종 PCBs의 대응 표준물질은 BP-MS (2,000 ng/g)를 노네인으로 농도가 1,000 ng/g이 되게 희석하여 사용하였다.

3) 내부표준물질(IS; Internal Standard Solution)

가스크로마토그래프/질량분석기에 주입하기 전에 첨가하는 내부표준물질은 EC-4909 (¹³C-2,2',6-TCB; #19), EC-4914 (¹³C-2,3',4',5'-TeCB; #70), EC-4902 (¹³C-2,3,4,4',5'-PeCB; #114), EC-4905 (¹³C-2,2',3,3',4,4',5'-HpCB; #170), EC-4050 (¹³C-2,3',4,4',5,5'-HxCB; #167)로써 각

농도 40,000 ng/g을 노네인으로 농도가 500 ng/g이 되게 희석하여 사용하였다.

4) 정밀 회수용 표준물질(PAR: Precision and Recovery Standard)

다이옥신의 회수율을 측정하기 위해 62종 PCBs의 정밀회수용 표준물질은 BP-MS (2,000 ng/g)을 노네인으로 농도가 500 ng/g이 되게 희석하여 사용하였다.

2.4.2. 검량곡선 표준용액의 조제

검량용 표준물질을 이용하여 노네인으로 62종의 PCBs 농도가 1, 5, 10, 25, 50, 100, 250 및 500 ng/g 이 되게 희석하고 모든 검량용 표준액은 일정 농도의 정밀 회수율 측정용 표준물질(LCS, 50 ng/g) 및 내부 표준물질(IS, 50 ng/g)을 첨가 조제하여 검량곡선을 작성하였다.

2.4.3. 시험용액의 조제

1) 추출

(1) 고체 시료

균질화하여 냉동 보관한 시료를 실온으로 해동한 후, 15~20 g을 막자사발에 넣은 다음 수분 제거를 위해 무수황산나트륨 80~155 g을 넣어 잘 섞어 주었다. 이 시료를 Soxhlet 추출용 원통형 여지에 넣고, 공시료(blank)와 정밀 회수율 측정용 시료에도 동량의 무수황산나트륨을 넣은 후 모든 시료에 회수율 측정용 PCBs 표준물질(LCS)을 각각 10 µL씩 첨가하였으며 정밀회수용 대조시료에는 PCBs 정밀 회수용 표준물질(PAR) 10 µL를 첨가한 후 디클로로메탄: n-헥산 혼합용액(1:1, v/v) 300 mL를 사용하여 24시간 동안 Soxhlet추출(5 cycle/hr) 하여 농축한 다음 GC/MS에 시료 주입하여 측정하였다. 이때의 추출액을 이용하여 지방함량도 구하였다.

(2) 액체 시료(우유)

균질화된 시료 200 mL에 시료의 응집을 방지하기 위해 옥살산칼륨 2 g을 넣어 30분간 진탕한 후 모든 시료에 PCBs 회수율 측정용 표준물질(LCS)를 각각 10 µL씩 첨가하고, 정밀회수용 대조시료에는 PCBs용 정밀 회수용 표준물질(PAR) 10 µL를 첨가한 다음 에틸에테르: 석유에테르 혼합용액(1:1, v/v)으로 2회(200 mL와 100 mL) 추출하고 원심분리(3,000 rpm, 20분)한 다음 각각의 상등액을 합친다. 이 추출액에 3차 증류수 250 mL와 포화 NaCl 용액 250 mL를 첨가하여 세척한 후 용매층을 무수황산나트륨으로 수분을 제거한 다음 농축기를 이용하여 농축한 다음 GC/MS에

시료 주입하여 측정하였다. 이때의 추출액을 이용하여 지방함량도 구하였다.

2) 지방분해

산성 실리카겔(10 g/지방 1 g) 및 무수황산나트륨을 충전한 칼럼에 n-헥산을 넣고 시료를 n-헥산 3 mL(3회)로 용해시켜 산성 실리카겔 상층에 첨가한 후 약 20분간 지방을 태운 후 n-헥산 150 mL를 초당 1방울의 속도로 용리시킨 용리액을 40 °C 수용상에서 감압 농축기를 사용하여 0.5 mL 까지 농축하였다. 농축된 시료를 n-헥산 5 mL(3회)로 용해시킨 다음 필터로 여과하여 정제용 시료로 사용하였다.

3) 정제

상기 추출용액을 Fig. 1과 같이 다층 칼럼 크로마토 그래피에 지방분해가 끝난 시료액을 가하여 n-헥산 130 mL로 용출시키고 PCBs용 내부표준물질(IS) 100 µL를 첨가한 다음 질소농축기를 사용하여 100 µL로 농축하여 HRGC/MS에 1 µL 주입하였다.

2.4.4. 기기분석

PCBs 62종 동족체 분석을 위한 기기분석조건은 Table 1과 같다. 분석조건으로 얻어진 크로마토그램상의 피크가 표준액의 피크의 머무름 시간과 일치하고 측정된 선택이온 (M)⁺과 (M+2)⁺ 또는 (M+2)⁺와 (M+4)⁺ 2개의 이온세기 비율이 표준액의 동위 원소비 이온값에 대해 ±15% 이내인 것을 PCBs로 정성분석 하였다(Table 2). 또한 동일한 조건에서 검출된 PCBs에 대해 이에 대응하는 동족체 동위원소 표준물질(LCS)과의 면적비를 표준 검량선에 대입하여 정량분석 하였다.

Table 2. List of PCBs and m/z for analysis

Congeners	IUPAC Number	m/z				Theoretical ratio
		M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺	(M+6) ⁺	
Monochloro biphenyl	1, 3	188	190			3.01
Dichloro biphenyl	4, 8, 10, 15	222	224			1.52
Trichloro biphenyl	18, 19, 22, 28, 33, 37	256	258			1.02
Tetrachloro biphenyl	44, 49, 52, 54, 70, 74, 77, 81	290	292			0.77
Pentachloro biphenyl	87, 95, 99, 101, 104, 105, 110, 114, 118, 119, 123, 126		326	328		1.53
Hexachloro biphenyl	128, 138, 149, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 167, 168, 169		360	362		1.23
Heptachloro biphenyl	170, 171, 177, 178, 180, 183, 187, 188, 189, 191		394	396		1.02
Octachloro biphenyl	194, 199, 201, 202, 205		428	430		0.88
Nonachloro biphenyl	206, 208			464	466	1.32
Decachloro biphenyl	209			498	500	1.15

Table 1. HRGC/MS conditions for the analysis of PCBs

Column	Ultra 2 (50 m × 0.25 mm × 0.33 µm)
Oven Temperature	100 °C → 15 °C/min → 200 °C(3 min) → 2 °C/min → 220 °C(8 min) → 250 °C/min (5 min) → 300 °C(3 min)
Carrier gas and flow rate	He, 1.0 mL/min
Injector	280 °C
Transfer line	280 °C
Type of injection	Splitless mode
Injection volume	1 µL
Ionization type	EI (positive)
Electron energy	70 eV
Monitoring	SIM, Group 1 : 1, 4, 7, 10-CBs Group 2 : 2, 5, 8-CBs Group 3 : 3, 6, 9-CBs
Ion source	250 °C

2.5. 노출량 평가

식품 중 총 PCBs (62종 동족체)의 검출량, 2005년 국민건강·영양 조사표⁸의 대상 식품별 한국인의 1일 섭취량(g/day), 전국 평균 체중(55 kg)⁹ 및 우리나라와 식생활이 비슷한 일본⁷이 설정한 일일섭취한계량(TDI; Tolerable Daily Intake, 5,000 ng/kg bw/day)를 고려하여 노출량을 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 검출한계 및 회수율

PCBs의 검출한계는 동족체마다 차이는 있으나 S/

N (signal to noise) ratio 3 이상에서 약 0.1 ng/g 수준이었으며, PCBs의 회수율은 Table 3과 같이 동족체마다 차이는 있으나 86.4~102.8%의 양호한 회수율을 보여주었다.

3.2. 식품 중 PCBs의 검출량

최근 4년 동안(2004-2007) 조사한 식품 중 PCBs (62종 동족체)의 검출량은 Table 4와 같다. PCBs 검출수준은 평균적으로 쌀 0.1 ng/g, 육류 중 쇠고기 1.8 ng/g

Table 3. Recoveries of PCBs

Congeners	IUPAC Number	Recovery	SD(%)
Mono-CBs	1, 3	86.4	4.7
Di-CBs	4, 8, 10, 15	92.8	6.7
Tri-CBs	18, 19, 22, 28, 33, 37	90.4	12.0
Tetra-CBs	44, 49, 52, 54, 70, 74, 77, 81	107.0	10.5
Penta-CBs	87, 95, 99, 101, 104, 105, 110, 114, 118, 119, 123, 126	100.9	19.5
Hexa-CBs	128, 138, 149, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 167, 168, 169	101.5	9.2
Hepta-CBs	170, 171, 177, 178, 180, 183, 187, 188, 189, 191	101.1	4.1
Octa-CBs	194, 199, 201, 202, 205	101.5	2.6
Nona-CBs	206, 208	102.4	7.5
Deca-CBs	209	102.8	3.3

Table 4. Concentration of PCBs in foods monitored during 2004-2007

(Unit : ng/g wet weight)

Food	No. of Sample	2004	2005	2006	2007	Average	
Cereals	Rice	8	-	0.0	-	0.1-0.4 (0.2)	0.1
Meats	Beef	32	1.7-9.5 (4.7) ^{1*}	0.0	1.0-1.3 (1.3)	0.6-2.9 (1.4)	1.8
	Pork	26	4.0-8.5 (6.8)	0.0	2.5-4.5 (3.3)	1.0-1.2 (1.2)	2.8
	Chicken	23	8.4-11.0 (9.6)	0.0	2.2-4.2 (3.2)	0.6-1.5 (0.9)	3.4
Milk and dairy products	Milk	9	-	0.0	0.4-0.6 (0.5)	0.3-0.5 (0.4)	0.3
	Cheese	16	2.4-9.0 (5.5)	0.0	2.8-18.1 (8.1)	0.9-1.8 (1.3)	3.7
Eggs	Egg (york, only)	23	2.5-5.5 (4.1)	0.0	2.1-63.2 (33.3)	1.1-4.8 (2.5)	10.0
Fishes	Pacific mackerel	18	19.4-31.5 (24.6)	2.4-3.7 (3.2)	4.7-48.6 (33.0)	7.2-10.2 (8.7)	17.4
	Spanish mackerel	18	26.6-56.7 (43.2)	7.4-8.6 (8.0)	13.7-47.3 (21.0)	5.8-16.2 (9.5)	20.4
	Hairtail	18	3.7-11.6 (8.5)	0.8-182.4 (63.9)	9.0-111.7 (43.9)	8.4-40.6 (21.3)	34.4
	Yellow croaker	15	27.4-51.8 (36.1)	-	5.9-120.5 (30.5)	5.6-9.2 (7.7)	24.8
	Alaska pollack	10	-	-	1.1-2.8 (2.0)	0.4-4.1 (1.2)	1.6
	Eel	18	2.4-24.1 (10.9)	1.1-4.8 (2.7)	2.3-86.0 (21.0)	2.0-13.7 (5.9)	10.1
	Oyster	8	-	0	-	1.2-1.7 (1.5)	0.8
	Crab	8	-	7.7-20.2 (14.4)	-	0.8-2.6 (1.4)	7.9

^{1*} : Average

g, 돼지고기 2.8 ng/g 및 닭고기 3.4 ng/g, 우유 0.3 ng/g, 치즈 3.7 ng/g, 계란(노른자) 10.0 ng/g의 검출량을 보여주었으며, 호주 및 뉴질랜드¹⁰에서 운영 중인 포유동물(지방), 가금류(지방), 우유 및 유가공품 및 계란의 PCBs 기준 200 ng/g보다 낮은 수준으로 조사되었다.

수산물 중 PCBs의 검출량은 고등어 17.4 ng/g, 삼치 20.4 ng/g, 갈치 34.4 ng/g, 조기 24.8 ng/g, 명태 1.6 ng/g, 장어 10.1 ng/g, 굴 0.8 ng/g 및 꽃게 7.9 ng/g의 수준으로 조사되었으며, 외국의 기준들은 peak pattern법으로 설정된 것으로 직접적인 비교는 어렵지만 미국¹¹의 어류 및 갑각류(가식부) 2,000 ng/g, 일본¹²의 해양어류 및 갑각류 500 ng/g, 근해 어류 및 갑각류 3,000 ng/g, 호주 및 뉴질랜드¹⁰의 어류 500 ng/g, 캐나다¹³의 모든 어류 및 가공품 2,000 ng/g의 기준보다 낮은 수준으로 조사되었다.

식품별로 PCBs의 검출량은 갈치 > 조기 > 삼치 > 고등어 > 장어 > 계란(노른자)의 순으로 분포를 보여주었으며, 이 중 대부분이 어류가 차지하고 있음을 알 수 있었다. Fig. 2는 식품군별로 PCBs 검출분포를 보여준 것으로 수산물(94.4%) > 육류(2.3%) > 알류(1.7%)

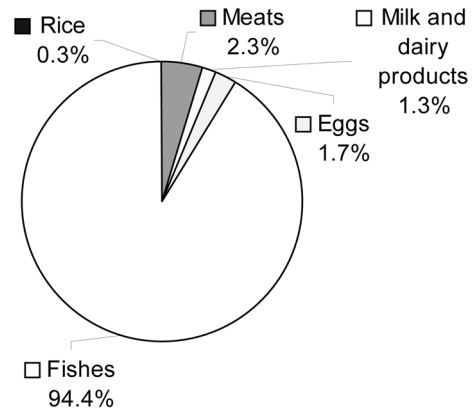


Fig. 2. Relative ratio of PCBs in food commodity.

> 우유 및 유가공품(1.3%) > 쌀(0.3%) 순으로 수산물이 가장 많은 분포를 보여준 것으로 조사되었다. 수산물이 상대적으로 다른 식품군에 비해 PCBs의 검출량이 많은 것은 Oliveria Ribeiro CA 등¹⁴이 보고한 먹이사슬을 통해 해양성 생물체에 축적되기 때문에 어류에 PCBs의 축적량이 증가한다는 결과와 일치하고 있으며, 어류에서 주로 검출되는 인자들은 수은, 계절적

Table 5. Ratio contents for indicator PCBs out of PCBs in foods

Foods		[ΣPCBs-7]/[ΣPCBs-62], ww(%)				Average
		2004	2005	2006	2007	
Cereals	Rice	-	0.0	-	14.0	7.0
	Average					7.0
Meats	Beef	36.7	0.0	22.9	12.6	18.1
	Pork	31.5	0.0	25.0	17.3	18.5
	Chicken	31.8	0.0	21.7	18.4	18.0
	Average					18.2
Milk and dairy products	Milk	-	0.0	8.4	10.2	6.2
	Cheese	35.4	0.0	8.9	16.4	15.2
	Average					10.7
Eggs	Egg (york, only)	28.7	0.0	28.4	8.3	16.4
	Average					16.4
Fishes	Pacific mackerel	32.5	42.7	35.8	48.0	39.8
	Spanish mackerel	37.5	50.7	38.4	44.7	42.8
	Hairtail	21.5	46.2	47.9	48.5	41.0
	Yellow croaker	31.0	-	35.2	39.7	35.3
	Alaska pollack	-	-	11.9	62.3	37.1
	Eel	28.5	72.6	28.2	45.9	43.8
	Oyster	-	0.0	-	27.4	13.7
	Crab	35.2	0.0	-	29.5	21.6
Average					34.4	

Table 6. Estimated Daily Intake to the PCBs of Korean

Food items		Level (ng/g ww)	Food intake (g/day) ⁸	Daily intake of PCBs (ng/person/day)	Estimated intake of PCBs (ng/kg bw ⁹ /day)
Cereals	Rice	0.1	205.7	20.6	0.4
	Beef	1.8	17.8	32.0	0.6
Meats	Pork	2.8	37.2	104.2	1.9
	Chicken	3.4	15.2	51.7	0.9
Milk and dairy product	Milk	0.3	66.5	20.0	0.4
	Cheese	3.7	0.6	2.2	0.1
Eggs	Egg (York, only)	10.0	25.3	253.0	4.6
Fishes	Pacific mackerel	17.4	5.8	100.9	1.8
	Spanish mackerel	20.4	0.6	12.2	0.2
	Hairtail	34.4	2.2	75.7	1.4
	Yellow croaker	24.8	3.5	86.8	1.6
	Alaska pollack	1.6	3.3	5.3	0.1
	Eel	10.1	0.6	6.1	0.1
	Oyster	0.8	0.8	0.6	<0.1
	Crab	7.9	2.1	16.6	0.3
Sum				787.9	14.5

영향에 따라 PCBs가 흡수, 분포 정도가 달라질 수 있다는 보고¹된 바 있다.

캐나다의 1992년부터 2002년까지 지역별 총 식이조사에서의 PCBs 결과와 비교해 볼 때, 우유 및 유가공품 <0.1~6.8 ng/g, 계란 0.2~1.7 ng/g, 육류 및 가공품 0.1~4.1 ng/g, 어류 0.3~32.2 ng/g의 검출수준으로써 본 조사 결과와 유사한 경향을 나타내었다.¹⁵

한편, 총 PCBs(62종 동족체) 중 indicator PCBs 7종의 동족체(IUPAC No. #28, #52, #101, #118, #153, #138 및 #180)가 차지하는 비율은 평균적으로 쌀 7.0%, 육류 18.2%, 우유 및 유가공품 10.7%, 계란(노른자) 16.4% 및 수산물 34.4%의 비율을 차지하고 있으며, 이 중 수산물의 경우 총 PCBs(62종) 중 indicator PCBs(7종)이 차지하는 비율이 가장 높았다(Table 5). 유럽식품안전청(EFSA)¹은 PCBs(19종 동족체) 중 indicator PCBs가 49-57% 비율을 차지한다고 하였으며, 이는 본 연구 조사와 비교해 볼 때 총 PCBs의 동족체 종류를 감안한다면 거의 유사한 수준임을 알 수 있었다.

3.3. 1인 1일 PCBs 62종의 노출량 평가

최근 4년 동안(2004-2007) 조사한 식품 중 PCBs(62종 동족체) 함유량을 근거로 하고 2005년 국민건강·영양조사⁸ 및 체중(전국 평균) 55 kg⁹을 이용하여 우리나라 국민들의 노출수준을 조사하였다(Table 6). 전

체식품으로 볼 때 우리나라 국민 1인당 하루 PCBs 섭취량은 평균적으로 787.9 ng/person/day이고, 체중당 하루 PCBs 노출량은 14.5 ng/kg bw/day의 수준으로 일본⁷과 독일¹⁵에서 제시한 일일섭취한계량 5,000 ng/kg bw/day 및 1,000 ng/kg bw/day와 비교하면 각각 0.3% 및 1.4%로 매우 낮은 수준으로 평가되었고, 스웨덴¹⁷의 조사에서는 식품을 통한 체중당 하루 PCBs 노출량은 50 ng/kg bw/day로 이 중 어류가 50%를 차지한다고 하였으며, 일본⁷과 독일¹⁶의 일일섭취한계량과 비교 시 각각 1.0% 및 5.0%의 수준으로 평가되었다.

식품종류별 우리나라 국민 1인당 PCBs의 노출수준은 0.6(굴)~253.0(계란) ng/person/day이었으며, 체중당 1일 노출량은 <0.1(굴)~4.6(계란) ng/kg bw/day로 일본⁷의 TDI와 비교할 때 <0.01(굴)~0.09%(계란)로 평가되었다.

한편, 캐나다¹⁷의 1992년부터 2002년까지 총식이조사(TDS; Total Diet Study) 결과를 토대로 산출한 노출수준은 평균 4.1 ng/kg bw/day이었고, 년도별로는 6.0(1992년, 토론토)~2.1(2002년, 벤쿠버) ng/kg bw/day의 수준으로 점차적으로 감소하는 경향을 보여주었으며, JECFA에서 평가한 Rhesus 원숭이를 대상으로 얻은 NOEL 40 ng/kg bw/day보다 낮은 수준으로 평가되었다.⁶

이와 같은 결과로 볼 때 국내 유통 중인 식품으로부터 PCBs의 노출수준은 우리나라 국민들의 건강상 문제가 없는 것으로 평가되었다. 그러나 총 PCBs의 경우는 환경으로부터 유래되는 오염물질 중의 하나로써 국제적으로 잔류성유기오염물질(POPs; Persistent Organic Pollutants)로 관리하고 있는 점을 고려할 때 사전예방조치(Source Direct Measure) 차원에서 관리하는 것이 중요하며, 이러한 관점에서 Codex(국제식품규격위원회), WHO의 산하기구인 IPCS (International Programme on Chemical Safety, 1993) 및 영국 등 세계 각국에서 이러한 조치의 필요성을 주장하고 있다.^{3,18}

따라서 PCBs가 전체 노출량 중 식품에 의해 약 90% 이상 노출된다는 점을 감안할 때 국내 유통 중인 식품에 대한 오염도 조사 및 노출량 평가가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 생각되어진다.

4. 결 론

국내 유통 중인 식품을 대상으로 최근 4년 동안 (2004-2007) 조사한 총 PCBs (62종 동족체)의 검출량과 우리나라 국민들의 하루 섭취량 및 한국인의 평균 체중을 근거로 노출평가를 실시하였다. 식품 중 총 PCBs의 평균 검출량은 쌀 0.1 ng/g, 육류 1.8~3.4 ng/g, 우유 및 유가공품 0.3~3.7 ng/g, 계란 10.0 ng/g, 수산물 0.8(굴)~34.4(갈치) ng/g로 외국의 기준보다 매우 낮은 수준으로 조사되었으며, 수산물(94.4%) > 육류(2.3%) > 알류(1.7%) > 우유 및 유가공품(1.3%) > 쌀(0.3%) 순으로 검출분포를 보여주었다. 또한, 총 PCBs 중 indicator PCBs (IUPAC No. #28, #52, #101, #118, #153, #138 및 #180)의 동족체가 차지하는 비율은 식품별로 차이는 있으나 쌀 7.0%, 육류 18.2%, 우유 및 유가공품 10.7%, 계란(노른자) 16.4% 및 수산물 34.4%의 비율로 분포하였으며, 이 중 수산물이 가장 많은 분포 비율을 차지하였다. 한편, 총 PCBs 검출량, 2005년 국민건강·영양조사(보건복지부) 및 전국 평균 체중 55 kg을 이용하여 우리나라 국민들의 노출수준을 조사한 결과, 우리나라 국민의 체중 당 1일 PCBs 섭취량은 14.5 ng/kg bw/day으로 일본의 일일섭취한계량 5,000 ng/kg bw/day와 비교 시 0.3%의 수준으로 건강상 안전한 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. European Food Safety Agency(EFSA), *The EFSA J.*, **284**, 1-137(2005).
2. WHO, Polychlorinated biphenyls(PCBs), 2000. http://www.euro.who.int/document/aicq/5_10pcbs.pdf.
3. Food Standards Agency(UK FSA), First draft COT working paper on organic chlorinated and brominated contaminants in shellfish, farmed and wild fish(TOX/2006/09), 2006. <http://cot.food.gov.uk/pdfs/TOX-2006-09.pdf>.
4. S. L. Grundy, D. A. Bright, W. T. Dushenko and K. J. Reimer, *Environ. Sci. Technol.*, **30**, 2661-2666(1996)
5. J. S. Park, O. I. Kalantzi, D. Kopec and M. Petreas, *Marine Environmental Research*, **67**, 129-135(2009).
6. Food Standards Australia New Zealand (FSANZ), Review of the maximum permitted concentrations of non-metals in food; Full Assessment Report, Proposal P158, 1999. http://www.foodstandards.gov.au/_srcfiles/P158_FAR.pdf#search=%22Arochlor%201242%22.
7. 日本 厚生労働省, 平成19年度食品からのダイオキシン類一日摂取量調査等の調査結果について, 2008. <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syokuzanzen/dioxin/sessyu07/index.html>.
8. 보건복지부, 2005년 국민건강영양조사(제3기), 145-159(2006).
9. 이서래, 식품과학과 산업, **32**, 1-4(1999).
10. Food Standard Australia New Zealand (FSANZ), Contaminants and Natural Toxicant (Standard 1.4.1), 2009. http://www.foodstandards.gov.au/_srcfiles/FSC_Standard_1_4_1_Contaminants_v107.pdf.
11. Food and Drug Administration(US FDA), Fish and fisheries products hazards and controls guidance; APPENDIX 5 FDA & EPA Safety Levels in Regulations and Guidance, 2001. <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/haccp4x5.html>.
12. 日本食品科學研究振興財團, 食品中 のその他の化學物質規格, 2007. http://www.ffcr.or.jp/zaidan/ffcrhome.nsf/af42492d1c6fc0174925722b0060a34a/bbef943f8de53f0a49256d390007b84c?OpenDocument#_4225km44ad4.
13. Health Canada, Canadian Standard("Maximum Limits) for various chemical contaminants in foods, 2007. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives_e.html.
14. C. A. Oliveira Ribeiro, Y. Vollaie, E. Coulet, H. Roche, *Environ. Pollution*, **153**, 424-431(2008).

1. European Food Safety Agency(EFSA), *The EFSA J.*,

15. Health Canada. Concentration of Contaminants & Other Chemicals in Food Composites, 2006. <http://www.hc-sc.gc.ca/fin-an/surveill/total-diet/concentration/index-eng.php>.
16. WHO, Updating and revision of the air quality guidelines for europe; Reporting on a WHO Group on PCBs, PCDDs and PCDFs, 1995. http://whqlibdoc.who.int/euro/1994-97/EUR_ICP_EHAZ_94_05_MT10.pdf.
- 17 Health Canada. Dietary intakes of total PCBs for Canadians in different age-sex groups from the Total Diet Study in Canada, 2008. http://recherche-search.gc.ca/s_r?S_08D4T.s3rv5c3=basic&S_F8LLT2XT=PCBs&S_S20RCH.11ng91g3=eng&S_m5m3typ3.sp3c5f53r=INDEX&S_m5m3typ3.t3xt6p3r1t7r=OR&S_m5m3typ3.v1193=html/xhtml1&17c113=eng&s5t34d=health&t3mp11t34d=1&S_08D4T.1ct57n=search&S_S20RCH.d7cSt1rt=1&S_08D4T.p1g3N9mb3r=1.
18. WHO, Environmental Health Criteria 140, Polychlorinated biphenyls and tetraphenyls, 1993. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc140.htm>.