

한국과 캐나다산 치즈중 PCBs의 농도 특성

천만영* · 김태욱 · Michael G. Ikonomou¹⁾

환경대학교 이공대학 환경공학과, ¹⁾Canada IOS
(2005년 6월 24일 접수, 2005년 6월 10일 수리)

PCBs concentration patterns in Korean and Canadian cheese

Man-Young Chun*, Teawook Kim, and Michael G. Ikonomou¹⁾ (Department of Environmental Engineering, Hankyong National University, Ansong 67-1, Korea, ¹⁾Institute of Ocean Sciences, 9860 West Saanich Road, P.O. Box 6000, Sidney, B.C. V8L 4B2, Canada)

ABSTRACT: All 209 PCB congeners were analyzed in cheese produced in Korea and Canada. 5 Korean and 10 Canadian cheeses were purchased in supermarket in their native countries. 93 PCB congeners were found in Korean cheese; 83 congeners were detected in Canadian cheese. Total PCB concentrations were 299.81 and 200.96 pg/g w.w. in Korean and Canadian cheeses respectively; PCB concentration was 1.5 times higher in Korean than Canadian cheese. Korean TEQ concentration (0.0067 pg-TEQ/g w.w.) in cheese was similar to in Canadian cheese (0.0064 pg-TEQ/g w.w.). These PCB concentrations range was low level compared with that of other cheeses globally. The correlation coefficient (R^2) of regression was high (0.752) between each PCB congener concentration in both Korean and Canadian cheese.

Key Words: PCBs, cheese, Korea and Canada

서 론

PCBs(polychlorinated biphenyls)는 PCDD/Fs(Polychlorinated Dibenzop-Dioxin/Furans)와 함께 대표적인 독성이 강한 잔류성유기오염물질(Persistent Organic Compounds, POPs)로 환경 중에서 잔류성이 크며 친유성이기 때문에 먹이사슬을 통하여 야생동물과 인체에 축적되어 여러 가지 문제를 야기시키므로 현재 전세계적으로 많은 연구의 대상이 되고 있다^{1-5,9,13,14,16-18,20}.

사람에게 흡수되는 거의 대부분의 PCBs는 음식물 섭취를 통하여 이루어진다. 특히 야채, 과일, 곡류보다는 지방질을 많이 함유하고 있는 각종 어패류, 육류 및 유제품을 통하여 대부분의 PCBs가 체내로 흡수되고 있다^{4,5}. 요즘 우리나라의 식생활도 점차 서구화 되어 감에 따라 어패류, 육류 및 유제품의 소비가 매년 늘어 가고 있으며, 특히 우유 소비량은 1990년부터 2002년 까지 매년 평균 4.4%씩 증가하고 있어서 유제품 중에 함유되어 있는 PCBs 농도를 모니터링 하는

것은 안전한 식품의 섭취를 통한 국민건강 증진 차원에서 대단히 중요하다⁴⁻⁶.

PCBs는 반휘발성(semivolatile)으로 기온이 높아지면 토양, 수계, 나뭇잎 등에 침착되어 있던 PCBs가 증발하여 대기 중의 PCBs 농도가 높아지고, 반대로 기온이 떨어지면 대기 중의 PCBs가 토양, 물 및 식물잎 등에 침착되어 대기 중의 농도는 낮아지게 된다^{1,3,20-22}. PCBs는 친유성이므로 대기중 PCBs는 식물 잎의 상피에 도포되어 있는 왁스에 견식 및 습식 침착되며, 이 식물을 섭취하는 짐승의 체내 지방에 축적된 후 유지방에 혼입되어 우유와 함께 배출된다^{2,7-9,12}. 그러므로 우유나 치즈등 유제품중 PCBs 농도는 비록 짐승의 체내에서 각 PCB congener의 Kow의 값에 따른 BCFs(Bioconcentration factors)와 CORs(carry over rates)의 차이와 대사에 의한 PCBs 농도 변화가 있다 하더라도 각 지역의 대기, 토양등 환경중 PCBs 농도에 대한 간접적인 정보를 제공하는 passive sampler 역할을 한다는 측면에서도 중요한 의미를 가진다^{9,13-16,18}.

한국은 국토가 좁고 산이 많아 인구 밀도가 높으며, 공업화로 공기가 상당히 오염되어 있는 반면, 캐나다는 국토가 넓고 인구가 적으며 자연 보호가 잘 되어 있어서 지구 상에서 가장 오염이 적은 나라 중에 속한다. 이 연구는 상반된 환경적 특성을 가진 한국과 캐나다에서 생산된 치즈를 이용하여

*연락처:

Tel: +82-31-670-5172 Fax: +82-31-670-5015
E-mail: mychun@hknu.ac.kr

첫째, 식품으로서 치즈는 PCBs를 얼마나 함유하고 있는지의 여부와를 조사하였고 둘째, 환경중 PCBs 오염도를 간접적으로 측정해 보는 passive sampler로서 치즈에 함유된 PCBs의 homologue별 농도 특성을 209개 전체 PCBs congener를 분석하여 규명하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

실험에 사용된 치즈는 한국과 캐나다에서 생산된 우유로 제조된 치즈만을 시중 슈퍼마켓에서 구매하여 사용하였으며, 제조 회사가 서로 다른 치즈를 구매하였다. 한국산 치즈는 총 5종을, 캐나다산 치즈는 총 10종을 구매하였으며, 저지방 우유로 만든 치즈는 대상에서 제외하였다. 치즈에 포함된 지방 등 성분량은 포장지에 기록되어 있는 성분표를 이용하였다. 실험에 사용된 시약의 종류는 아래와 같다.

- Toluene, hexane, DCM(dichloromethane), benzene 및 ethylacetate : pesticide analysis grade, Caledon Laboratories, Ltd., Georgetown, Ontario
- Triolein : 99%, Sigma-Aldrich
- Anhydrous Na₂SO₄ : Mallinckrodt Baker, Inc., Paris, Kentucky.
- Biobeads : Bio-Rad Laboratories, Ltd., Mississauga, Ontario.
- Silica : Mallinckrodt Baker., Paris, Kentucky, 0.063-0.200 mm.
- Alumina : ICN Biomedicals, Eschwege, Germany, Neutral super activity 1, 0.063-0.200 mm.
- Grass filter paper : 124 mm P100 prefilter sn. 211707, Nucleopore Corp.
- PX-21 carbon : BP Amoco Chemicals.
- Calibration standard : IUPAC No PCB- 4, 8, 15, 16, 17, 18, 24, 27, 28, 31, 35, 37, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 52, 58, 60, 61, 70, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 87, 90, 91, 95, 97, 99, 101, 105, 108, 110, 114, 118, 119, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 137, 138, 141, 144, 146, 149, 151, 153, 156, 157, 158, 159, 162, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 185, 187, 189, 193, 194, 196, 197, 199, 200, 203, 205, 206, 208, 209, Cambridge Isotope Lab.
- Surrogate internal standard : ¹³C IUPAC No PCBs-15, 28, 52, 77, 101, 105, 118, 126, 128, 156, 169, 180, 194, 208, 209, Cambridge Isotope Lab.
- Surrogate recovery standard : ¹³C PCB 111, Cambridge Isotope Lab.

추출 및 정제

한국산 치즈 5종과 캐나다산 치즈 10종을 각각 같은 무게 비로 잘 혼합하고 혼합된 치즈 약 10 g을 시료로 사용하였다. 여기에 surrogate internal standard를 주입하고 무수황산나트륨() 200 g과 치즈를 막자사발에 넣고 막자로 시료와 무수황산나트륨을 갈아서 완전히 혼합하였다. 이 시료를 지름 50 mm, 길이 200 mm 유리관에 넣고 hexane : DCM(1:1 v/v) 350 ml로 용출하였다. 공시료에는 triolein 100 mg을 넣어 시료와 동일한 방법으로 추출하였다.

시료의 정제는 Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2389 method에 따랐다¹⁰⁾. 분석법을 다시 간단히 정리하면 추출액을 회전증발 농축기에서 약 2-3 ml까지 농축한 후 차례로 GPC 칼럼, 다층실리카 칼럼, 알루미늄 칼럼 및 Carbon fiber chromatography를 이용하여 시료를 정제하였다.

- GPC 칼럼 : 내경 40 mm 칼럼에 Biobeads 70 g을 충전하여 hexane:DCM(1:1, v/v)으로 용출하였는데, 처음 160 ml는 지질등 방해물질이 포함되어 있으므로 버리고 그 다음에 용출되는 350 ml를 시료로 사용하였다.
- 다층실리카칼럼 : 내경 10 mm 유리관에 아래로부터 염기성실리카(1N NaOH 26%, w/w) 2 g, 중성실리카 1 g, 산성실리카(H₂SO₄ 33%, w/w) 4 g, 중성실리카 1g을 순서대로 충전하여 hexane : DCM(1:1, v/v) 60 ml로 시료를 용출하였다.
- 알루미늄 칼럼 : 알루미늄 10 g을 내경 10 mm 유리관에 충전하고 hexane 25 ml로 시료중 방해물질을 제거하고 hexane : DCM(50:50, v/v) 60 ml로 시료를 용출하였다.
- Carbon fiber chromatography 칼럼 : 내경 5 mm stainless steel 칼럼에 grass filter paper 600 mg과 50 mg PX-21 carbon을 혼합하여 충전하고, HPLC를 이용하여 benzene : ethylacetate(1:1, v/v) 62 ml로 PCBs를 용출하였다. 이 용출액을 회전증발 농축기와 질소로 농축하여 surrogate recovery standard를 주입한 후 분석시료로 하였다.

실험에 사용된 실리카와 알루미늄은 170°C에서 12시간 이상 활성화 시킨 후 사용하였으며 무수황산나트륨은 500°C에서 12시간 이상 구운 것을 사용하였다.

실험에 사용된 glass wear는 모두 pyrex 제품을 이용하였고 실험 후 즉시 acetone, toluene 및 hexane으로 세척하였으며 다시 자동세척기에서 초순수를 이용하여 세척하였다. 이 glass wear를 전기로에 넣고 325°C에서 6시간 baking 후 서냉하여 toluene, hexane 및 DCM으로 각각 3회 세척 후 실험에 사용하였다.

분석

시료중 PCBs는 HRGC/HRMS로 분석하였으며 분석 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. HRGC/ HRMS conditions for determination of PCBs

HRGC	HP5890
Injector	Splitless mode
Carrier Gas	He (25 psi, 35 cm/sec)
Injection Volume	1 μ l
Column	DB-5 (60 m \times 0.25 mm I.D \times 0.1 μ m film thickness) CP-Sil 5/C18 (50 m \times 0.25 mm I.D \times 0.1 μ m film thickness) CP-Sil C19 (60 m \times 0.25 mm I.D \times 0.15 μ m film thickness)
Temp. program	DB-5 (J&W Scientific) 80 $^{\circ}$ C (2 mins) \rightarrow 150 $^{\circ}$ C (8 $^{\circ}$ C/min, 0 min) \rightarrow 300 $^{\circ}$ C (4 $^{\circ}$ C/min, 2 mins) CP 19 (Varian) 100 $^{\circ}$ C (2 mins) \rightarrow 200 $^{\circ}$ C (20 $^{\circ}$ C/min, 0 min) \rightarrow 268 $^{\circ}$ C (1.5 $^{\circ}$ C/min, 0 min) \rightarrow 280 $^{\circ}$ C (12.5 $^{\circ}$ C/min, 2 mins) CP 5 (Varian) 75 $^{\circ}$ C (2 mins) \rightarrow 150 $^{\circ}$ C (15 $^{\circ}$ C/min, 0 min) \rightarrow 251 $^{\circ}$ C (1.5 $^{\circ}$ C/min, 0 min) \rightarrow 295 $^{\circ}$ C (44 $^{\circ}$ C/min, 2.7 mins)
Injector Temp.	282 $^{\circ}$ C
HRMS	VG-AutoSpec-S
Ionization mode	EI
Detection mode	SIM
Ionization Voltage	28 - 35 eV
Accel. Voltage	6 - 8 kV
Resolution	>10,000 (10% valley)

QA/QC

PCBs의 정량시 크로마토그램의 높이가 노이즈의 3배 이상인 것만 정량에 포함시켰으며, surrogate internal standard를 이용한 회수율은 평균 77.2%(62.3 - 89%)였다. 또 각 나라의 치즈 시료에서 두 개(duplicate)의 시료를 만들어 분석하였으며 두 시료간 농도오차는 평균 10.2%(3.5 - 15.4%)였다. 기타 정량 및 QA/QC는 Environment Canada's Method와 EPA method 1613에 기초하여 Canada IOS에서 정한 PCBs 분석 매뉴얼에 따랐다⁴⁰⁾.

결과 및 고찰

치즈중 PCBs 농도

한국과 캐나다산 치즈 중에 함유되어 있는 PCBs congener 별 농도와 TEQ(toxic equivalent quantity) 농도를 Table 2에 나타내었다. 한국과 캐나다산 치즈중 PCBs 총농도는 각각 299.81과 200.96(pg/g w.w.)로 한국산 치즈중 PCBs 농도가 캐나다산 치즈중 PCBs 농도의 1.5배였고 검출된 총 congener 수도 한국산 치즈에는 93종, 캐나다산 치즈에는 83종으로 한국산 치즈에서 10종의 PCBs congener가 더 검출되었다. 그러나 TEQ 농도는 각각 0.0067, 0.0064(pg-TEQ/g w.w.)로 두 나라 치즈중 PCBs 농도가 거의 동일하였다.

이 번 연구에서는 209 종의 모든 PCB congener를 분석(한국과 캐나다산 치즈 모두에서 검출되지 않은 congener는 Table 2에서 제외 하였다)하였기 때문에 일부 congener만을 분석한 다른 연구자들의 자료와는 상호 비교가 곤란하다. 그러나 TEQ 농도를 지방에 대한 농도로 환산하여 다른 연구자들의 연구 결과와 상호 비교한 결과, 한국과 캐나다산 치즈

에서 각각 0.18과 0.17(pg-TEQ/g fat)으로 그리이스의 0.13 (pg-TEQ/g fat)보다는 약간 높고, 벨기에의 1.59(pg-TEQ/g fat)보다는 많이 낮았다^{4,5)}. 또 이 번 연구에서 PCDD/Fs도 같이 분석을 하였지만 한국과 캐나다산 치즈 모두에서 검출이 되지 않았기 때문에 자료에서는 제외하였다. 그러나 그리이스산 치즈에서는 PCDD/Fs 농도가 1.03(pg-TEQ/g fat), 벨기에산 치즈에서는 1.67(pg-TEQ/g fat)가 검출되어 캐나다산 치즈뿐만 아니라 한국산 치즈도 세계 다른 지역에서 생산되는 치즈보다 PCDD/Fs 및 PCBs 농도가 상당히 낮음을 알 수 있었다^{4,5)}.

PCB homologue 농도 분포

Fig. 1에 한국과 캐나다산 치즈중 PCBs의 homologue별 농도 분포와 각 homologue 농도의 총농도에 대한 분율을 나타내었다. Fig. 1을 보면, TEQ 농도로 나타낸 경우에는 두 나라 치즈중 PCBs 농도 분포는 거의 일치하였고, 총농도 분포에서도 상당히 큰 유사성을 보였다.

또 각 homologue 농도의 총농도에 대한 분율은 한국과 캐나다산 치즈 모두에서 penta-와 hexa-homologue에서 가장 큰 값을 보였는데, 두 homologue의 합한 값이 한국산 치즈는 60.0%, 캐나다산 치즈는 67.8%로 60% 이상을 차지하였다. TEQ 농도로 분율을 계산한 경우, penta-와 hexa-homologue의 합한 값이 한국산 치즈는 98%, 캐나다산 치즈는 100%로 독성은 이 두 homologue에 집중되어 있었다. 그러므로 homologue별 총농도와 TEQ 농도 분율에서 두 나라의 치즈중 PCBs는 penta-와 hexa-homologue가 가장 중요한 homologue임을 알 수 있었다.

한국과 캐나다를 포함한 대부분의 국가에서는 이미 1970

Table 2. PCBs concentrations in cheeses produced in Korea and Canada

IUPAC No	Concentration				IUPAC No	Concentration			
	(pg/g w.w.)		(pg-TEQ/g w.w.)			(pg/g w.w.)		(pg-TEQ/g w.w.)	
	Korea	Canada	Korea	Canada		Korea	Canada	Korea	Canada
DiCB-4	N.D	0.32	N.D	N.D	PeCB-99	15.29	18.58	N.D	N.D
DiCB-5	N.D	0.45	N.D	N.D	PeCB-100	N.D	0.08	N.D	N.D
DiCB-6	0.34	0.50	N.D	N.D	PeCB-101	3.95	N.D	N.D	N.D
DiCB-7	N.D	0.16	N.D	N.D	PeCB-102	0.63	N.D	N.D	N.D
DiCB-8	1.09	2.63	N.D	N.D	PeCB-105	6.40	6.71	0.0006402	0.0006712
DiCB-9	N.D	0.19	N.D	N.D	PeCB-108	1.42	1.00	N.D	N.D
DiCB-10	1.55	2.39	N.D	N.D	PeCB-110	18.83	1.79	N.D	N.D
DiCB-11	1.07	N.D	N.D	N.D	PeCB-114	1.63	0.91	0.0008155	0.0004564
DiCB-13	0.44	0.28	N.D	N.D	PeCB-115	0.44	N.D	N.D	N.D
DiCB-15	4.93	2.08	N.D	N.D	PeCB-116	N.D	0.52	N.D	N.D
ΣDiCBs	9.43	8.99	N.D	N.D	PeCB-118	31.93	35.59	0.0031928	0.0035594
					PeCB-119	1.65	1.35	N.D	N.D
TrCB-16	18.85	17.99	N.D	N.D	PeCB-123	0.96	0.93	0.0000960	0.0000933
TrCB-17	0.61	0.79	N.D	N.D	PeCB-124	1.71	0.16	N.D	N.D
TrCB-18	1.17	1.15	N.D	N.D	PeCB-125	5.03	1.29	N.D	N.D
TrCB-19	0.36	0.03	N.D	N.D	ΣPeCBs	125.15	78.15	0.0047445	0.0047803
TrCB-20	0.70	0.30	N.D	N.D					
TrCB-22	4.12	1.41	N.D	N.D	HxCB-128	3.40	3.96	N.D	N.D
TrCB-25	0.43	0.46	N.D	N.D	HxCB-130	2.14	1.65	N.D	N.D
TrCB-26	0.98	0.94	N.D	N.D	HxCB-134	0.13	N.D	N.D	N.D
TrCB-27	0.22	0.10	N.D	N.D	HxCB-135	0.12	N.D	N.D	N.D
TrCB-28	7.15	3.17	N.D	N.D	HxCB-137	1.77	1.86	N.D	N.D
TrCB-30	1.25	1.15	N.D	N.D	HxCB-138/163	31.97	29.09	N.D	N.D
TrCB-31	3.16	1.99	N.D	N.D	HxCB-139	0.24	0.37	N.D	N.D
TrCB-32	1.08	0.87	N.D	N.D	HxCB-143	N.D	0.09	N.D	N.D
TrCB-33	5.70	2.20	N.D	N.D	HxCB-146	N.D	0.83	N.D	N.D
TrCB-37	3.02	0.48	N.D	N.D	HxCB-147	0.13	0.24	N.D	N.D
ΣTrCBs	31.69	15.91	N.D	N.D	HxCB-149	0.10	0.51	N.D	N.D
					HxCB-153	5.62	11.38	N.D	N.D
TeCB-40	0.50	N.D	N.D	N.D	HxCB-156	2.66	2.41	0.0013284	0.0012059
TeCB-41	1.47	N.D	N.D	N.D	HxCB-157	0.98	0.84	0.0004876	0.0004192
TeCB-45	0.74	0.30	N.D	N.D	HxCB-158	2.99	3.52	N.D	N.D
TeCB-46	0.48	0.02	N.D	N.D	HxCB-167	0.69	1.19	0.0000069	0.0000119
TeCB-47	2.43	4.66	N.D	N.D	HxCB-168	0.13	0.12	N.D	N.D
TeCB-48	0.14	N.D	N.D	N.D	ΣHxCBs	53.07	58.07	0.0018229	0.0016370
TeCB-51	0.25	0.56	N.D	N.D					
TeCB-53	0.01	N.D	N.D	N.D	HpCB-170	17.48	4.64	N.D	N.D
TeCB-55	N.D	0.12	N.D	N.D	HpCB-171	4.30	0.86	N.D	N.D
TeCB-56	2.42	0.08	N.D	N.D	HpCB-177	0.63	N.D	N.D	N.D
TeCB-59	1.71	0.02	N.D	N.D	HpCB-179	2.57	N.D	N.D	N.D
TeCB-60	1.00	0.55	N.D	N.D	HpCB-180	8.39	7.35	N.D	N.D
TeCB-61	4.92	1.08	N.D	N.D	HpCB-183	0.91	0.38	N.D	N.D
TeCB-63	0.06	N.D	N.D	N.D	HpCB-189	1.26	N.D	0.0001264	N.D
TeCB-64	1.43	N.D	N.D	N.D	HpCB-190	3.94	1.49	N.D	N.D
TeCB-66	3.58	3.21	N.D	N.D	HpCB-191	N.D	0.37	N.D	N.D
TeCB-67	0.05	N.D	N.D	N.D	HpCB-192	N.D	N.D	N.D	N.D
TeCB-68	N.D	0.59	N.D	N.D	HpCB-193	0.29	0.27	N.D	N.D
TeCB-70	1.11	0.18	N.D	N.D	ΣHpCBs	39.79	15.36	0.0001264	N.D
TeCB-74	7.68	9.89	N.D	N.D					
TeCB-76	3.27	N.D	N.D	N.D	OcCB-194	1.53	1.36	N.D	N.D
TeCB-77	0.23	0.02	0.0000228	0.0000021	OcCB-195	0.66	0.24	N.D	N.D
ΣTeCBs	33.48	21.28	0.0000228	0.0000021	OcCB-196	N.D	0.24	N.D	N.D
					OcCB-202	0.20	0.07	N.D	N.D
PeCB-82	0.81	N.D	N.D	N.D	OcCB-203	N.D	0.61	N.D	N.D
PeCB-84	2.95	N.D	N.D	N.D	OcCB-204	N.D	N.D	N.D	N.D
PeCB-85	10.33	6.41	N.D	N.D	OcCB-205	N.D	N.D	N.D	N.D
PeCB-87	8.72	1.44	N.D	N.D	ΣOcCBs	2.39	2.53	N.D	N.D
PeCB-90	0.85	1.01	N.D	N.D					
PeCB-91	0.29	N.D	N.D	N.D	NoCB-206	4.80	0.36	N.D	N.D
PeCB-94	0.44	N.D	N.D	N.D					
PeCB-95	6.85	N.D	N.D	N.D	DeCB-209	1.10	0.48	N.D	N.D
PeCB-96	0.04	N.D	N.D	N.D					
PeCB-97	4.01	0.37	N.D	N.D	ΣPCBs	299.81	200.96	0.0067	0.0064

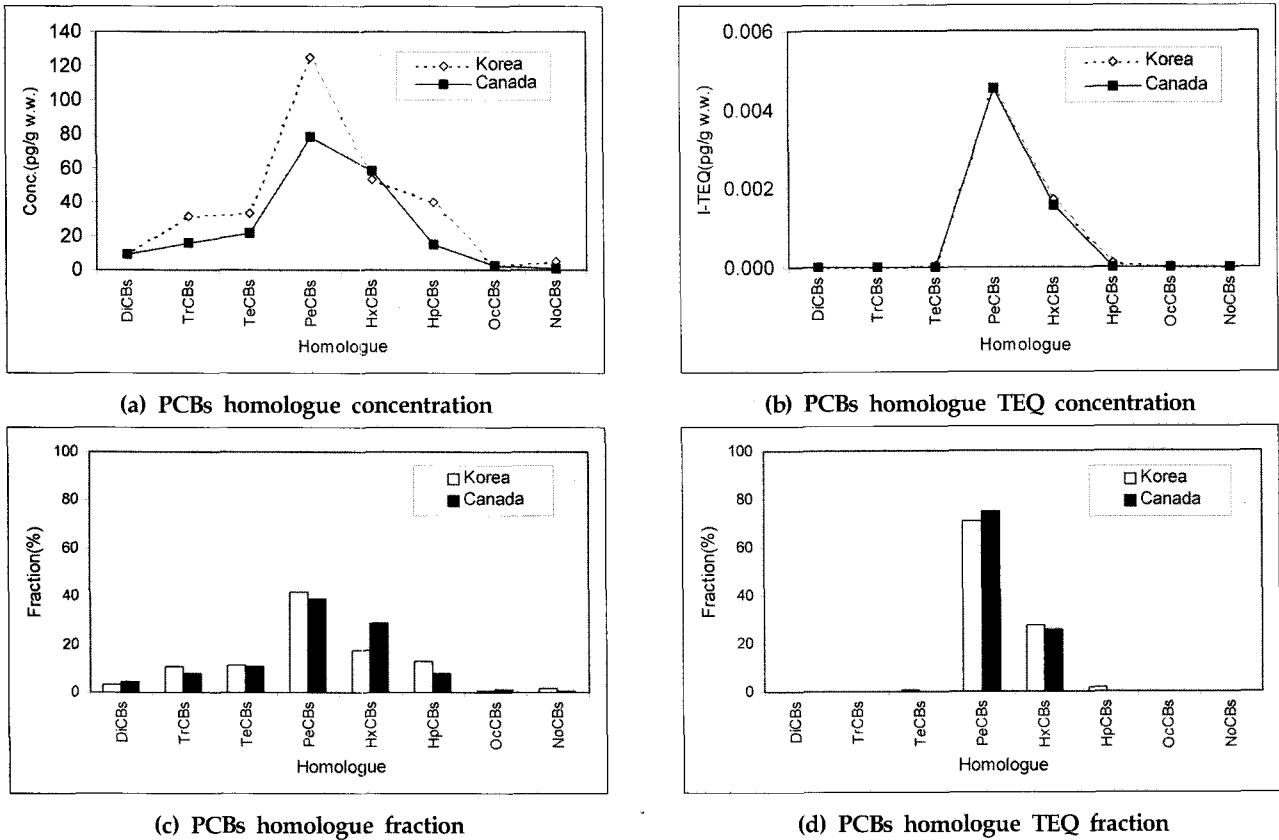


Fig. 1. PCBs homologue concentrations and fraction (%) in Korean and Canadian cheese.

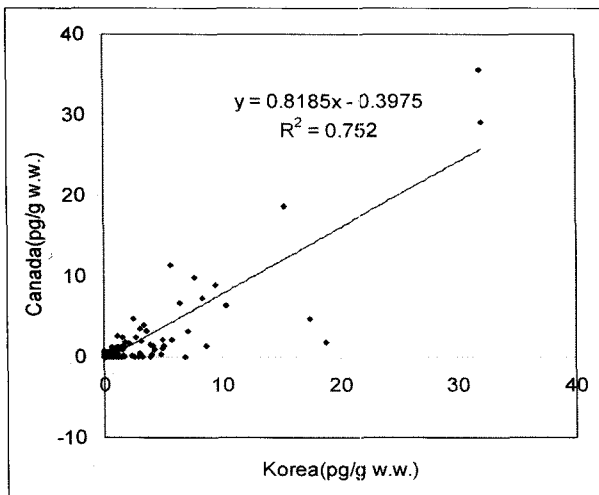


Fig. 2. Correlation between PCBs concentrations in Korean and Canadian Cheese.

년대 초반부터 PCBs 생산을 금지했기 때문에 PCBs가 더 이상 생산되거나 사용되지는 않는다²¹⁻²³). 그러나 현재도 자동차, 난방, 소각로, 보일러등 각종 연소과정과 열처리 공정, 펄프제조등 염소를 사용하는 공정에서 PCBs가 발생되어 환경중으로 배출되고 있다^{11,23}). 이렇게 발생원으로부터 대기중으로

출된 PCBs는 대부분이 가스상으로 존재하며 난분해성이기 때문에 대기를 통하여 장거리 이동되고, 토양, 물, 식물잎등 각종 환경매체에 건식 및 습식 침착된다^{1,3,24}).

목장이 있는 시골지역의 대기중 PCBs 농도를 좌우하는 요소에는 두 가지가 있다. 첫째, 발생원에서 배출된 PCBs가 장거리 이동하여 토양, 물, 식물잎 등에 건식 및 습식 침착되었다가 기온이 높을 때는 이것들로부터 PCBs가 휘발되어 대기중 농도가 높아지고, 반대로 기온이 낮을 때는 PCBs가 대기 중에서 토양, 수계 및 식물잎에 침착되는데(2차 국지오염원), 이 경우 대기중 PCBs 농도는 기온에만 의존하게 된다^{1,3,11,21,22,25-29}). 둘째, 외부에서 PCBs로 오염된 공기가 유입되는 경우로, 이 때는 대기중 PCBs 농도의 온도 의존성은 크게 떨어지게 된다. 그러므로 시골지역의 공기중 PCBs 농도는 기온에 의한 국지오염원과 외부에서 유입되는 공기의 영향을 동시에 받는다^{3,19,21,22,25-29}). 그러나 여러 연구자들의 연구에 의하면 일반적으로 시골지역의 대기중 PCBs 농도는 기온에 의한 국지오염원의 영향이 더 크다^{1,3,19,21,22,25-29}). 대기중 PCBs가 기온에 의한 국지오염원의 영향에 의존할 경우 처음 발생원의 finger print 특성은 나타나지 않게 된다²⁵⁻²⁹).

Fig. 2는 한국과 캐나다산 치즈에서 검출된 PCBs congener 농도간 상관성을 나타낸 것으로 결정계수(R^2)가 0.752로 유사성이 컸다. 이것은 한국과 캐나다 두 나라의 목장이 있는

지역은 시골지역으로 대기중 PCBs 농도와 congener들은 외부에서 유입된 오염된 공기의 영향보다 국지오염원(토양, 물 및 식물잎등)의 영향이 더 컸기 때문이며, 국지오염원에 침착되어 있던 PCBs는 기온에 따라 침착과 휘발이 반복되기 때문에 처음 PCBs를 배출하던 발생원별 특징이 사라졌기 때문으로 생각된다. 그러나 결정계수(R^2)가 0.752로 크긴 하지만 1보다는 작았는데, 이것은 비록 적은 영향이지만 PCBs로 오염된 공기의 장거리 이동에 의한 영향을 받고 있다는 것을 의미한다. 한국과 캐나다산 치즈중 PCBs homologue 농도 분포와 검출된 congener 수가 다른 이유는 두 나라간 PCBs 발생원이 서로 다르기 때문이며, PCBs로 오염된 공기가 장거리 이동하여 목장이 위치하고 있는 시골지역의 대기중 PCBs 농도와 congener에 영향을 미쳤고, 대기중 PCBs가 목초에 침착되어 이것을 먹은 젖소의 우유중 PCBs congener 농도와 분포에 반영되었기 때문으로 생각된다.

요 약

한국과 캐나다에서 생산된 우유로 제조된 치즈를 슈퍼마켓에서 구매하여(한국 5종, 캐나다 10종) 치즈에 포함된 총 209 PCBs congener 농도와 homologue별 농도 양상을 연구하였다.

한국과 캐나다산 치즈중 PCBs 총농도는 각각 299.81과 200.96(pg/g w.w.)으로 한국산 치즈중 PCBs 농도가 캐나다산 치즈보다 1.5배 더 높았다. 그러나 TEQ 농도는 한국산과 캐나다산이 각각 0.0067과 0.0064(pg-TEQ/g w.w.)으로 거의 같았으며, PCDD/Fs는 전혀 검출이 되지 않았다. 한국과 캐나다산 치즈에서 검출된 PCBs와 PCDD/Fs 농도는 세계 다른 지역에서 제조된 치즈중 농도보다 훨씬 낮았다.

두 나라의 치즈에서 검출된 PCBs congener수는 한국산이 93종, 캐나다산이 83종으로 한국산 치즈에서 10종 더 많은 PCBs congener가 검출되었다.

두 나라 치즈중 각 PCBs congener 농도에서 구한 회귀직선의 결정계수(R^2)는 0.752로 상관성이 커서 두 나라의 PCBs 발생원이 유사함을 알 수 있었고, 각 homologue별 농도 분포도 유사성이 컸다.

참고문헌

1. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y., Kim, T.W. and Sunwoo, Y. (2002) Temperature Dependence of PCBs in Urban Area of Seoul City, *J. of Kor. Soci. for Atmos. Environ.* 18(3), 193-204.
2. Kim, T.W., Yeo, H.G., Choi, M.K. and Chun, M.Y. (2001) The Characteristics of PCBs Deposition on Plants, *Korean J. of Environ. Agric.* 20(2), 99-107.
3. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y. and Sunwoo, Y. (2002) Source Characteristics in Using Temperature Dependence of Atmospheric PCBs at Urban and Rural Area, *J. of Kor. Soci. of Environ. Engi.* 24(5), 813-825.
4. Papadopoulou, A., Vassilidou, I., Costopoulou, D., Papanicolaou, C. and Leondiadis, L. (2004) Levels of Dioxins and dioxin-like PCBs in food samples on the Greek market, *Chemosphere* 57(5), 413-419.
5. Focant, J.K., Eppe, G., Pirard, C., Massart, A.C., Andre, J.E. and Pauw, E.D. (2002) Levels and congener distribution of PCDDs, PCDFs and non-ortho PCBs in Belgian foodstuffs Assessment of dietary intake, *Chemosphere* 48(2), 167-179.
6. Korea Dairy Industries Association, Statistics (www.koreadia.or.kr), 2004, 12, Korea.
7. Welsch-Pausch, K., McLachlan, M.S. and Umlauf, G. (1995) Determination of the Principal Pathways of Polychlorinated Dibenzo-*p*-dioxins and Dibenzofurans to *Lolium multiflorum* (Rye Grass), *Environ. Sci. Technol.* 29(4), 1090-1098.
8. Barber, J.L., Thomas, G.O., Bailey, R., Kersteins, G. and Jones, K.C. (2004) Exchange of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Naphthalenes (PCNs) between Air and Mixed Pasture Sward, *Environ. Sci. Technol.* 38(14), 3892-3900.
9. Hirai, Y., Sakai, S.I., Watanabe, N. and Takatsuki, H. (2004) Congener-specific intake fractions for PCDDs/DFs and Co-PCBs : modeling and validation, *Chemosphere* 54(10), 1383-1400.
10. Ikonomou, M.G., Fraser, T.L., Crewe, N.F., Fischer, M.B., Rogers, I.H., Sather, P.J. and Lamb, R.F. (2001) A Comprehensive Multiresidue Ultra-Trace Analytical Method, Based on HRGC/HRMS, for the Determination of PCDDs, PCDFs, PCBs, PBDEs, PCDEs, and Organochlorine Pesticides in Six Different Environmental Matrices. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 2389.
11. Aries, E., Anderson, D.A., Ordsmith, N., Hall, K. and Fisher, R. (2004) Development and validation of a method for analysis of "dioxin-like" PCBs in environmental samples from the steel industry, *Chemosphere* 54(1), 23-31.
12. Komp, P. and McLachlan, M.S. (1997) Interspecies Variability of the Plant/Air Partitioning of Polychlorinated Biphenyls, *Environ. Sci. Technol.* 31(10), 2944-2948.
13. McLachlan, M. (1996) Bioaccumulation of Hydrophobic

- Chemicals in Agricultural Food Chains, *Environ. Sci. Technol.* 30(1), 252-259.
14. Komp, P. and McLachlan, M.S. (1997) Influence of Temperature on the Plant/Air Partitioning of Semi-volatile Organic Compounds. *Environ. Sci. Technol.* 31(10), 886-890.
 15. Mackay, D., Wan, Y.S. and Kuo, C.M. (1992) Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals, *Lewis Publisher*.
 16. Harner, T. and Bidleman, T.F. (1998) Octanol-Air Partition Coefficient for Describing Particle/Gas Partitioning of Aromatic Compounds in Urban Air, *Environ. Sci. Technol.* 32(10), 1494-1502.
 17. Hanari, N., Kannan, K., Horii, Y., Taniyasu, S., Yamashita, N., Jude, D.J., and Berg, M.B. (2004) Polychlorinated Naphthalenes and Polychlorinated Biphenyls in Benthic Organisms of a Great Lakes Food Chain, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47, 84-93.
 18. Thomas, G.O., Swweetman, A.J., Lohmann, R. and Jones, K.C. (1998) Deviation and Field Testing of Air-Milk and Feed-Milk Transfer Factors for PCBs, *Environ. Sci. Technol.* 32(22), 3522-3528.
 19. Hoff, R.M., Brice, K.A. and Halsall, C.J. (1998) Nonlinearity in the Slopes of Claius-Clapeyron Plots for SVOCs, *Environ. Sci. Technol.* 32(12), 1793-1798.
 20. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y., Kim, T.W. and Sunwoo, Y. (2002) Estimation of Bio-Monitoring for PCBs Concentration in Air Using Plant, *J. of Kor. Soci. for Atmos. Environ.* 18(4), 265-274.
 21. Lee, R.G.M., Hung, H., Mackay, D. and Jones, K.C. (1998) Measurement and Modeling of the Diurnal Cycling of Atmospheric PCBs and PAHs, *Environ. Sci. Technol.* 32(14), 2172-2179.
 22. Lee, R.G.M. and Jones, K.C. (1998) The Influence of Meteorology and Air Masses on Daily Atmospheric PCB and PAH Concentrations at a UK Location, *Environ. Sci. Technol.* 33(5), 705-712.
 23. Jones, K.C., Sanders, G., Wild, S.R., Burnett, V. and Johnston, A.E. (1992) Evidence for a decline of PCBs and PAHs in rural vegetation and air in the United Kingdom, *Nature* 356, 137-140.
 24. Kaupp, H. and McLachlan, M.S. (1999) Gas/particle partitioning of PCDD/Fs, PCBs, PCNs and PAHs, *Chemosphere* 38(14), 3411-3421. of PCBs in the atmosphere of Korea, *Atmos. Environ.* 37(25), 3561-3570.
 25. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y. and Sunwoo, Y. (2002) The Distribution Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Rural Atmosphere, *J. of Kor. Soci. for Atmos. Environ.* 18(E3), 143-151.
 26. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y. and Sunwoo, Y. (2003) Air-Soil Partitioning of PCBs in Rural Area, *J. of Kor. Soci. for Atmos. Environ.* 19(E1), 143-151.
 27. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y., Kim, T.W., Cho, K.C. and Sunwoo, Y. (2004) Concentration Characteristics of Atmospheric PCBs for urban and rural area, Korea, *Sci. of the Total Environ.* 324, 261-270.
 28. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y. and Sunwoo, Y. (2003) Concentration distribution of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides and their relationship with temperature in rural air of Korea, *Atmos. Environ.* 37(27), 3831-3839.
 29. Yeo, H.G., Choi, M.K., Chun, M.Y. and Sunwoo, Y. (2004) Gas/particle concentration and partitioning of PCBs in the atmosphere of Korea, *Atmospheric Environment* 37(25), 3561-357.