

우리 나라에서 많이 소비되고 있는 몇가지 생선류 중의 PCDFs와 PCDDs 함유도 조사

김연제* · 이선영 · 이효민* · 윤은경* · 양규환* · 김은경** · 김명수
한국과학기술연구원 도핑컨트롤센터, *식품 의약품 안전청 국립 독성 연구소,
**충북과학대 생명정보학과
(2001. 6. 12. 접수)

The Levels of PCDFs and PCDDs in the four kinds of Fish in Korea

Yunje Kim*, SunYoung Lee, Hyomin Lee*, Eunkyung Yoon*,
KyuHwan Yang*, EunKyung Kim** and Myungsoo Kim

Doping Control Center, Korea Institute of Science and Technology, P.O.BOX 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea
*National Institute of Toxicological Research,
Korea Food and Drug Administration, 5 Nokbun-Dong, Eunpyung Gu, Seoul 122-704, Korea
**Department of Biotechnology & Bioinformatics Chungbuk Provincial University of Science and Technology,
Okchon, Chungbuk 373-800, Korea
(Received June 12, 2001)

요 약 : 우리 나라에서 많이 소비되고 있는 생선류인 고등어, 명태, 조기, 오징어에 포함되어 있는 다이옥신을 HRGC/HRMS를 사용하여 분석하였다. 시료는 서울, 춘천, 대전, 광주, 부산 5개 대도시의 각 3곳에서 수집되었으며 모두 20개의 시료를 분석하였다. PCDDs는 고등어에서 0.032 pgTEQ/g으로 가장 높은 값을 나타냈고, PCDFs는 명태가 0.010 pgTEQ/g으로 가장 낮은 값을 나타냈다. 또 생선중에 포함된 총 다이옥신 농도 중에서 PCDDs가 PCDFs보다 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

Abstract : They were analyzed that the levels of PCDDs/PCDFs in mackerel, walleye pollack, croaken and cuttlefish, which were mainly consumed in Korea, by high resolution gas chromatography/high resolution mass spectrometry(HRGC/HRMS). The samples measured in this study had been bought 3 sets of each fish from different 5 cities, Seoul, Chunchon, Daejon, Kwangju and Pusan. The TEQ level of PCDDs in mackerel (0.032 pgTEQ/g) was the highest. The TEQ level of PCDFs in walleye pollack (0.010 pgTEQ/g) was the lowest. The level of PCDDs was higher than PCDFs in fish.

Key words : dioxin, PCDD/PCDF, fish

1. 서 론

인간에 의해 합성된 화학물질중 독성이 가장 강한 것으로 알려진 다이옥신은 1960년대 말 베트남전에서

Agent Orange라는 고엽제 사용, 1976년 이태리 세베소의 화학공장 폭발, 1979년 대만의 Yucheng사건 등으로 인해 커다란 사회적인 문제로 대두되었다. 다이옥신은 일반적으로 dibenzo-p-dioxin과 dibenzofuran의 염소 유도체들을 총칭하며, 치환된 염소의 숫자와 위치에 따라 polychlorinated dibenzo-p-dioxin (PCDDs)는 75종, polychlorinated dibenzofuran (PCDFs)는 135종으로 총

★ Corresponding author
Phone : +82-(0)2-958-5060 Fax : +82-(0)2-958-5059
E-mail : yjkim@kist.re.kr

210종의 이성질체가 존재하며, 이 중 2,3,7,8 위치에 염소가 위치한 이성질체가 가장 독성이 강한 것으로 알려져 있다.

이들은 물리화학적으로 안정해 자연 상태에서 잘 분해되지 않으며 인체 및 생물체 내에 축적되기 쉽고 특히 면역, 유전 등에 강한 독성을 나타내고 있어 인간에게 치명적인 영향을 주는 것으로 알려졌다.

염소가 관여하는 화학공정, 주로 농약의 합성이나, 펄프의 표백 공정, 쓰레기 소각로에서의 부산물로서 생성된 다이옥신은 대기, 토양, 하천, 식품 등을 통해 인간에게 노출되고 있으며, 이들 중 특히 식품에 의한 다이옥신 섭취가 가장 큰 것으로 알려져 있다.^{1,2} 사람은 식품을 통해서 총 섭취량의 97-98%의 다이옥신을 섭취하고 있으며, 이 중의 60%가 어패류의 섭취에 의한 것으로 일본에서 조사되었다.³ 우리 나라는 어패류의 소비가 많고 생선을 날것으로 먹는 등 일본과 비슷한 식습관을 가지고 있어 위의 결과에 주목할 만하다. 이 외에도 많은 나라에서 생선에 함유된 다이옥신에 관한 연구가 진행되었는데, 영국에서 대구 등을 포함한 8개의 생선시료에서 평균 0.74 pg/g이, 미국의 전역에서 구입한 생선에서는 13.5 pg/g의 다이옥신 오염도를 보여주었다.^{2,4,6}

다이옥신 이성질체 중에서 독성이 가장 강한 것으로 알려진 TCDD가 1970년 베트남에서 수집된 생선시료에 의해 환경중의 오염원으로서 처음 인정되었다. 이는 다이옥신이 하천에 미량 분포하고 있다 하더라도 먹이사슬을 통해 고차소비자에 대한 생물축적이 이루어져 포유류를 비롯한 인간에게 커다란 위험이 되고 있음을 보여 주는 예이다.

따라서 본 연구에서는 우리 나라에서 많이 소비되고 있는 생선류 중에서 고등어, 명태, 조기, 오징어에 함유된 다이옥신의 잔류농도를 분석하고자 하였다.

2. 실험 및 방법

2.1. 시료

생선 시료는 국내 5개 대도시, 서울, 춘천, 대전, 광주, 부산에서 각 도시 당 3곳에서 구입하였으며, -20℃ 냉장고에 보관하였다가 분석 전에 녹여서 사용하였다. 시료 분석시 각 도시 당 3곳에서 채취한 시료를 혼합 균질화하여 한 개의 시료로 하여 분석을 하였으며 머리부분과 꼬리, 비늘, 내장, 뼈를 제외한 먹을 수 있는

부분만 채취하여 분석하였다.

2.2. 분석물질

다이옥신 이성질체 중에서 독성이 강한 것으로 알려진 2,3,7,8 치환체들 17종에 대해 생선시료 중에서 분석을 실시하였다. 분석대상인 PCDDs 7종과 PCDFs 10종을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. 2,3,7,8-substituted congeners of dioxins

| Compounds | |
|-----------|---------------------|
| Furan | 2,3,7,8-TCDF |
| | 1,2,3,7,8-PeCDF |
| | 2,3,4,7,8-PeCDF |
| | 1,2,3,4,7,8-HxCDF |
| | 1,2,3,6,7,8-HxCDF |
| | 1,2,3,7,8,9-HxCDF |
| | 2,3,4,6,7,8-HxCDF |
| | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF |
| | 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF |
| | OCDF |
| Dioxin | 2,3,7,8-TCDD |
| | 1,2,3,7,8-PeCDD |
| | 1,2,3,4,7,8-HxCDD |
| | 1,2,3,6,7,8-HxCDD |
| | 1,2,3,7,8,9-HxCDD |
| | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD |
| | OCDD |

2.3. 표준물질 및 시약

PCDDs 7종과 PCDFs 10종의 내부 표준 물질은 ¹³C₆로 표시된 Cambridge Isotope Laboratories (Andover, Massachusetts)사의 것을 사용하였으며, 검량선 작성 표준물질은 EDF-9999 Method 1613 Calibration Solutions을 구입하여 사용하였다. 분석에 사용된 용매와 무수 황산나트륨은 모두 J.T. Baker (Phillipsburg, NJ, U.S.A)사에서, 실리카 컬럼과 Florisil 컬럼은 Waters, Ireland에서 만든 Sep-Pak[®] 제품을 구입하여 사용하였다. 황산과 에탄올은 Merck (Darmstadt, Germany)사에서, KOH와 formic acid, sodium chloride는 Junsei Chemical Co. (Tokyo, Japan)사에서, sodium oxalate는 Kanto Chemical Co., INC (Tokyo, Japan)에서, 벤젠은 Wako (Osaka, Japan)의 제품을 사용하였다. 정제용 실리카, 알루미늄, 활성탄 컬럼은 Fluid Management Systems (Watertown, MA, U.S.A)사의 다이옥신 분석용을 사용하였다.

2.4. 분석방법

생선 시료중에 포함되어 있는 다이옥신 17종의 분석을 위해 미국 EPA Method 8290과 EPA Method 1613을 약간 변형하여 시료를 전처리 하였다. 고등어, 명태, 조기, 오징어의 가식부분을 50 g 취하여 30% KOH 용액으로 24시간 분해시킨 후 무수 황산나트륨을 가하여 수분을 제거하고 내부표준물질(2,3,7,8-TCDD)을 첨가하여 잘 혼합한 다음, 헥산으로 추출한 후 실리카 컬럼과 Florisil 컬럼을 통과시킨다. 잔사를 진한 황산과 20% KOH 용액으로 산/염기 추출을 한 후, 세정 및 탈수과정을 거쳐 컬럼 정제를 실시하였다. 실리카, 알루미늄, 활성탄 컬럼을 거쳐 톨루엔으로 다이옥신을 추출하고 이 톨루엔을 증발 건조 후 회수율 내부표준물질용액에 녹여 기기에 주입하여 분석한다.

GC column으로는 Ultra 2를 사용하였고 HRMS 분석은 reference 물질로 PFK를 사용하여 분해능 10,000에서 분석하였다. 생선류에 함유된 다이옥신 분석을 위한 HRGC/HRMS의 조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Operation conditions for GC and MS

| | |
|------------------|--|
| GC | HP5890Series II |
| Column | ultra-2 (5% phenylmethyl silicone) Injection temp. : 300 °C |
| Oven temperature | Temp. program : 100 °C(2min) 10 °C/min |
| Program | 200 °C 3 °C/min 310 °C(15min) Transferline temp. : 280 °C |
| Injection method | Splitless |
| MS | Finnigan 95S Resolution : ca. 10,000 Ion current : 1.00 mA Electron voltage : 50 eV Accelerating voltage : ca. 5 kV Ion source temp. : 250 °C |

2.5. 정성 및 정량분석

17종의 다이옥신에 대한 정성확인(정확도는 머무름 시간의 확인과 분자량 M과 M+2 또는 M+4의 이온 크기비가 99% 신뢰구간에 들어오면 정성 확인된 것으로 생각하고, carbon 13 labeled 내부표준물질에 의하여 정량하였고, 정량된 값은 TEQ 값으로 환산되었다).

검량선은 Cambridge Isotope Laboratories 의 EDF-9999 Method 1613 Calibration Solutions을 이용하여 작성하였고, 2,3,7,8-TCDD의 경우 0.5-200 ng/mL

농도 범위에서, OCDD와 OCDF의 경우는 5.0-2000 ng/mL 농도 범위에서 작성하였다. 매일의 기기상태는 CS1를 이용하여 점검하였다.

3. 결과 및 고찰

다이옥신은 네 종류의 생선에서 모두 검출되었으며, 회수율은 고등어에서 TCDD/F가 80-85%, PeCDDs/Fs가 74-77%, HxCDDs/Fs가 75-78%, HpCDDs/Fs가 87-89%, OCDD/F가 74% 이었고, 명태의 경우에는 TCDD/F가 86-97%, PeCDDs/Fs가 77-83%, HxCDDs/Fs가 72-84%, HpCDDs/Fs가 75-93%, OCDD/F가 75% 이었다. 조기에서의 회수율은 TCDD/F가 84-91%, PeCDDs/Fs가 73-85%, HxCDDs/Fs가 71-83%, HpCDDs/Fs가 79-84%, OCDD/F가 72% 이었고, 오징어의 경우에는 TCDD/F가 94-98%, PeCDDs/Fs가 85-88%, HxCDDs/Fs가 74-96%, HpCDDs/Fs가 75-101%, OCDD/F가 75% 이었다. 각각의 시료에 포함되어 있는 PCDFs의 농도는 Table 3에 나타내었으며, 고등어가 0-0.088 pg/g, 명태가 0-0.095 pg/g, 조기가 0-0.178 pg/g, 오징어가 0-0.146 pg/g의 범위를 가지고, 이를 TEQ농도로 환산하면 0-0.009 pgTEQ/g, 0-0.009 pgTEQ/g, 0-0.005 pgTEQ/g, 0-0.015 pgTEQ/g 으로 명태에서 가장 낮은 값을 보여주었다. Table 4에 보여진 각 생선들의 PCDDs의 농도는 고등어가 0-0.745 pg/g, 명태가 0-1.793 pg/g, 조기가 0-1.150pg/g, 오징어가 0-1.882 pg/g의 범위를 가지고, TEQ농도로 환산하면 0-0.026 pgTEQ/g, 0-0.002 pgTEQ/g, 0-0.010 pgTEQ/g, 0-0.007 pgTEQ/g 으로 지방 함량이 높은 고등어에서 가장 큰 TEQ 농도값을 나타내었다. 이것은 TEQ factor가 0.5인 1,2,3,7,8-PeCDD의 함유도가 다른 생선에 비해 고등어에서 높았기 때문이다. 표에 보여진 결과는 시료의 지방 함량이 아닌 총 무게로 계산하였다. 이 결과들은 오대호에서 포획된 어류에 포함되어 있는 TCDD의 함유도 보다 상당히 낮은 수치를 보여주는데, 휴론호와 온타리오호에서 포획된 어류들에 함유된 TCDD의 농도는 2 pg/g에서 162 pg/g의 범위를 보여주었다. 공업 지대로 알려진 오대호 주변이 비교적 다이옥신의 오염정도가 높은 것으로 여겨진다.⁷ 일본의 경우 Takayama 등의 연구 결과에 의하면 근해에서 잡은 생선일 경우에 함유된 총 PCDDs/PCDFs의 농도가 11.9 pg/g, 담수어일 경우에는 2.12-5.36 pg/g 으로 우리나라의 결과보다 높은 값을 보여주었다.⁸ 또한 TCDD의 농도가 우리나라에 비해

Table 3. The concentrations and TEQ values of PCDFs in fishes

| Compound | Mackerel (n=15) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDF | 0.088 | 0.177 | 0.000-0.403 | 0.009 | 0.018 | 0.000-0.040 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 0.013 | 0.029 | 0.000-0.066 | 0.001 | 0.001 | 0.000-0.003 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0.019 | 0.042 | 0.000-0.095 | 0.002 | 0.004 | 0.000-0.010 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.056 | 0.125 | 0.000-0.280 | 0.001 | 0.001 | 0.000-0.003 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| OCDF | 0.022 | 0.049 | 0.000-0.110 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| Total PCDFs | 0.198 | 0.422 | | 0.013 | 0.024 | |

| Compound | Walleye pollack (n=15) | | | | | |
|---------------------|------------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDF | 0.095 | 0.103 | 0.000-0.225 | 0.009 | 0.010 | 0.000-0.023 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 0.026 | 0.058 | 0.000-0.131 | 0.001 | 0.003 | 0.000-0.007 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| OCDF | 0.037 | 0.083 | 0.000-0.186 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| Total PCDFs | 0.158 | 0.244 | | 0.010 | 0.013 | |

| Compound | Cuttlefish (n=15) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDF | 0.146 | 0.128 | 0.000-0.348 | 0.015 | 0.013 | 0.000-0.035 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 0.059 | 0.131 | 0.000-0.293 | 0.003 | 0.007 | 0.000-0.015 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 0.005 | 0.011 | 0.000-0.024 | 0.002 | 0.005 | 0.000-0.012 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0.037 | 0.084 | 0.000-0.187 | 0.004 | 0.008 | 0.000-0.019 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| OCDF | 0.040 | 0.091 | 0.000-0.202 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| Total PCDFs | 0.287 | 0.445 | | 0.024 | 0.033 | |

Table 3. continued

| Compound | Croaker (n=15) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDF | 0.052 | 0.056 | 0.000-0.132 | 0.005 | 0.006 | 0.000-0.013 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 0.037 | 0.082 | 0.000-0.184 | 0.002 | 0.004 | 0.000-0.009 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.095 | 0.213 | 0.000-0.476 | 0.001 | 0.002 | 0.000-0.005 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.178 | 0.397 | 0.000-0.888 | 0.002 | 0.004 | 0.000-0.009 |
| OCDF | 0.015 | 0.034 | 0.000-0.075 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| Total PCDFs | 0.377 | 0.782 | | 0.010 | 0.016 | |

Table 4. The concentrations and TEQ values of PCDDs in fishes

| Compound | Mackerel (n=15) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDD | 0.003 | 0.007 | 0.000-0.017 | 0.003 | 0.007 | 0.000-0.016 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.053 | 0.072 | 0.000-0.133 | 0.026 | 0.036 | 0.000-0.067 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.016 | 0.035 | 0.000-0.078 | 0.002 | 0.003 | 0.000-0.008 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.019 | 0.042 | 0.000-0.095 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.001 |
| OCDD | 0.745 | 0.311 | 0.262-1.093 | 0.001 | 0.000 | 0.000-0.001 |
| Total PCDDs | 0.836 | 0.467 | | 0.032 | 0.046 | |

| Compound | Walleye pollack (n=15) | | | | | |
|---------------------|------------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| OCDD | 1.793 | 1.412 | 0.450-3.789 | 0.002 | 0.001 | 0.000-0.004 |
| Total PCDDs | 1.793 | 1.412 | | 0.002 | 0.001 | |

Table 4. continued

| Compound | Croaker (n=15) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.019 | 0.043 | 0.000-0.096 | 0.010 | 0.022 | 0.000-0.048 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.051 | 0.113 | 0.000-0.253 | 0.001 | 0.001 | 0.000-0.003 |
| OCDD | 1.150 | 1.737 | 0.189-4.238 | 0.001 | 0.002 | 0.000-0.004 |
| Total PCDDs | 1.220 | 1.893 | | 0.012 | 0.025 | |

| Compound | Cuttlefish (n=15) | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------|
| | Concentration (pg/g) | | | pgTEQ/g | | |
| | mean | SD | min-max | mean | SD | min-max |
| 2,3,7,8-TCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 0.015 | 0.033 | 0.000-0.074 | 0.007 | 0.017 | 0.000-0.037 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000-0.000 |
| OCDD | 1.882 | 0.325 | 1.533-2.053 | 0.002 | 0.000 | 0.002-0.002 |
| Total PCDDs | 1.897 | 0.358 | | 0.009 | 0.017 | |

상대적으로 높았으며 다이옥신 이성질체 17종이 거의 모두 검출되었다. 일본 역시 미국의 오대호 주변과 마찬가지로 높은 산업화에 따른 다이옥신의 오염도가 다소 높아진 것으로 여겨진다.

다이옥신 이성질체 중에서 PCDDs가 PCDFs보다 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 조사되었는데, 국내에서 판매되는 식품류에서 PCDD/Fs를 분석한 결과에 따르면 PCDDs가 전체 다이옥신의 80% 이상을 차지하는 것으로 보고되었다.⁹ 이것은 인체 시료(혈액, 모유)를 사용한 다른 실험에서의 결과와 비슷한 경향을 보여주는데,¹⁰⁻¹¹ 이는 일반적으로 다이옥신이 안정된 지용성 화합물로서, 지방 함량이 높은 음식물 및 생선류가 다이옥신의 인체유입에 기여도가 크다고 알려진 것과 동일한 결과를 보여준다.¹² 음식물 섭취를 통한 다이옥신의 체내 흡수가 사람의 체내에 잔류되어 있는 다이옥신의 양에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 경우 서구 사회에 비해 지방 함유량이 높은 식품

의 섭취도가 적고, 본 연구 결과에서 보여지는 것처럼 생선류의 다이옥신에 대한 오염도가 다른나라에 비해 비교적 낮다. 그러므로 식생활에 의한 다이옥신의 섭취량이 외국의 사례보다 비교적 낮은 결과를 보여주고 있다. Fig. 1, 2는 각 생선의 PCDFs와 PCDDs의 TEQ 농도값을 그래프로 나타내었다. Fig. 3, 4는 각 이성체별 분포 특성을 나타내었다.

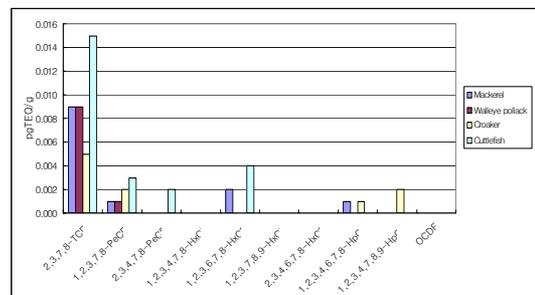


Fig. 1. The TEQ values of PCDFs in fishes.

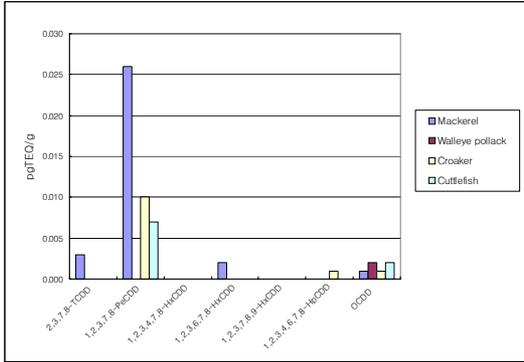


Fig. 2. The TEQ values of PCDDs in fishes.

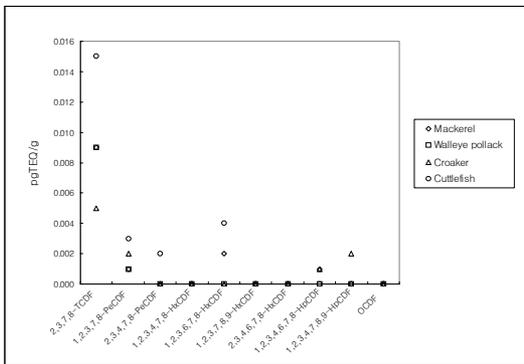


Fig. 3. The distribution of PCDFs in fishes.

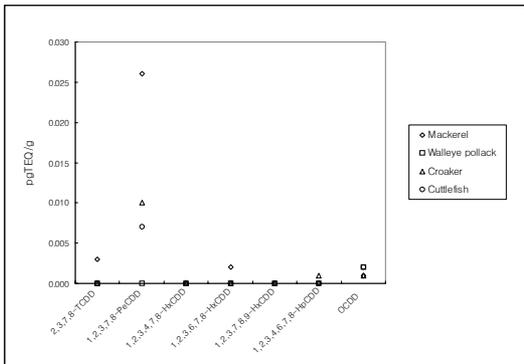


Fig. 4. The distribution of PCDDs in fishes.

우리나라에서 조사된 생선류는 모두 바다 물고기류로 이외에도 민물고기와의 비교 뿐만 아니라 어획지역에 따른 좀 더 폭 넓은 조사가 필요하다고 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 1999년 UNDP 과제(Risk Assessment of Environmental Contaminants in Dietary System (ROK/97/02))로 식품의약품 안전청으로부터 연구비를 지원받았습니다.

참고 문헌

1. D. M. Whittle, D. B. Segeant, S. Y. Hestis and W. H. Hyatt, *Chemosphere*, **25**, 181-184(1992).
2. A. Schecter, P. Cramer, K. Boggess, J. Stanley and J. R. Olson, *Chemosphere*, **34**, 1437-1447(1997).
3. K. Takayama, H. Miyata, O. Aozasa, M. Mimura and T. Kashimoto, *Syokuhin Eisei Gaakishi*, **32**, 525-532(1991).
4. H. Bech, A. Droß and W. Mathar, *Chemosphere*, **35**, 1539-1550(1992).
5. B. Birmingham, A. Gilman, D. Grant, J. Salminen, M. Boddington, B. Thorpe, I. Wile, P. Toft and V. Armstrong, *Chemosphere*, **19**, 637-642(1989).
6. J. R. Startin, M. Rose, C. Wright, I. Parker and J. Gilbert, *Chemosphere*, **20**, 793-798(1990).
7. P. O'Keefe, C. Meyer, D. Hilker, K. Aldous, B. Jelus-Tyror, K. Dillon, R. Donnelly, E. Horn and R. Sloan, *Chemosphere*, **12**, 325-332(1983).
8. K. Takayama, H. Miyata, M. Mimura and T. Kashimoto, *Eisei Kagaku*, **37**, 125-131(1991).
9. 김종국, 김경심, 이병호, 한국 환경분석학회지, **2**, 167(1999).
10. A. J. Schecter, P. Furst, C. Furst, O. Papke, M. Ball, Le Cao Dai, Hoang Tri Quynh, Nguyen Thi Ngoc Phuong, A. Beim, B. Vlasov, V. Chongchet, J. D. Constable and K. Charles, *Chemosphere*, **23**, 1903-1912(1991).
11. A. J. Schecter, J. J. Ryan and J. D. Constable, *Chemosphere*, **18**, 975-980(1989).
12. M. Jacobs and P. Mobbs, *Organohalogen Compounds*, **33**, 402-407(1997).