

전라남도 지역에서 생산된 천일염의 염도 및 중금속 함량

이강덕¹ · 박정욱² · 최차란¹ · 송현우² · 윤수경² · 양호철³ · 함경식^{1*}

¹목포대학교 식품공학과, 천일염 생명과학연구소

²목포대학교 식품산업기술연구센터

³전남보건환경연구원

Salinity and Heavy Metal Contents of Solar Salts Produced in Jeollanamdo Province of Korea

Kang-Deok Lee¹, Jeong-Wook Park², Cha-Ran Choi¹, Hyun-Woo Song², Su-Kyoung Yun²,
Ho-Chul Yang³ and Kyung-Sik Ham^{1*}

¹Dept. of Food Engineering and Solar Salt Biotechnology Research Center, and

²Food Industrial Technology Research Center, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

³Jeollanam-do Institute of Health and Environment, Gwangju 502-810, Korea

Abstract

To assess the safety of solar salts of Jeollanamdo province where most of Korean solar salts are produced, 433 samples of solar salts in total were collected and analyzed for their contents of sodium chloride and heavy metals (lead, cadmium, arsenic and mercury). Sodium chloride contents ranged from 80 to 85% in 63% of solar salts analyzed. Lead was not detected in 77% of solar salt samples and showed a value of below the maximum permissible limit (2 ppm) in other samples. Cadmium was not detected in most samples (78%), and the other samples where cadmium was detected showed a value far below the maximum permissible limit (0.5 ppm) except for three ones. Arsenic was detected in only four samples, but their concentrations were far below the permissible limit (0.1 ppm). Mercury was not detected in all samples. There were some differences between producing areas in the levels of sodium chloride and lead of solar salts, but the contents of cadmium, arsenic and mercury did not show significant regional differences. These results clearly indicate that solar salts produced from Jeollanamdo province are safe in the aspects of lead, cadmium, arsenic and mercury contents.

Key words: solar salt, sodium chloride, heavy metal (lead, cadmium, arsenic and mercury)

서 론

식품의 조리 가공에 사용되는 소금에는 맛소금, 구운 소금, 죽염 등과 같이 가열 처리하거나 첨가물을 넣은 가공염, 꽃소금과 같이 용해, 탈수, 건조 등의 과정을 거쳐 제조한 재제염, 염전에서 바닷물을 끌어들이고 후 자연 건조시켜 얻은 천일염 등이 있다(1). 특히 '굵은 소금'이라고도 불리는 천일염은 우리의 식생활 문화에서 중요한 역할을 하고 있는 소금으로, 지금은 법에 의해 식품제조에 제한적으로 사용되고 있지만 과거에는 김치뿐만 아니라 간장, 된장, 젓갈 등의 주요 저장 식품과 각종 수산물 가공에 폭넓게 사용되었던 소재였다. 이러한 우리 식생활 문화에서의 천일염의 중요성은 우선 기후 및 지역적 특성에 따른 천일염의 발달에 기인한다고 할 수 있으나, 다른 한편으로 다양한 소금이 수입되거나 가공되고 있는 오늘날에도 여전히 천일염이 식품 제조에 폭

넓게 사용되고 있다는 점에서 천일염의 고유한 특성에 기인한 측면이 있다고 할 수 있다.

일부 연구에 의하면 천일염을 사용한 김치가 정제염보다는 김치발효에 효과적이었고(2), 생산지나 제조방법 등에 따라 차이는 있지만 천일염이 재제염이나 정제염에 비해 염도는 낮고 칼슘, 마그네슘, 칼륨 등 무기질이 풍부하다고 보고되었다(3,4). 천일염은 생산량도 다른 소금에 비해 많아, 2005년 자료에 의하면 국내에서 생산된 소금 507천 톤 중 천일염이 344천 톤으로 국내 생산염의 66%를 차지하였다. 또한, 344천 톤 중 288천 톤은 전남에서 생산된 것으로 전남 지역이 천일염 주 생산지로서 국내산 천일염 생산에 중요한 역할을 하고 있다(5).

그러나 공업의 발달과 함께 발생한 해양오염 등으로 인해 천일염의 안전성에 대한 의문이 제기되면서 천일염이 직접 식탁에 오르는 일이 드물어지고(6) 기계염이나 정제염 등이

*Corresponding author. E-mail: ksham@mokpo.ac.kr
Phone: 82 61 450 2425, Fax: 82 61 454 1521

대신하는 경우가 많아졌다. 최근에는 건강에 대한 관심이 많아지면서 각종 가공염의 소비도 증가하고 있는 추세이며 기능성을 강조한 값비싼 수입 소금들도 시중에 유통되고 있다. 이와 함께 그동안 저평가되었던 천일염의 영양적, 경제적 가치에 대해 재고하자는 목소리가 높아지고 있으며, 천일염의 생산지와 염전의 위생관리 등에 대한 관심도 커져가고 있다. 하지만 아직도 천일염의 안전성에 대한 불안감이 완전히 해소되지 않고 있는 것도 사실이다.

지금까지 보고된 소금의 안전성에 관한 자료로는 우리나라 일부 소금의 중금속 함량에 대한 조사연구(7-9), 국내 유통 소금 중 독성물질의 함유여부에 관한 조사(1), 전라북도 내 천일염, 재제 및 가공염의 성분 조사에 관한 연구(4) 등이 있다. 그러나 대부분의 조사에서는 시중에 유통 중인 소금을 대상으로 하거나 시료의 개수가 많지 않아, 보다 많은 천일염을 대상으로 한 연구가 필요하다고 생각된다. 또한, 생산의 근원이 되는 바닷물의 무기질 조성에 따라 품질이 달라지는 천일염의 특성상(6) 생산지별로 천일염을 수집한 후 성분을 분석하는 것이 중요하다고 본다.

이에 본 연구에서는 국내산 천일염의 안전성을 규명하기 위하여 천일염의 주 생산지인 전남 신안군 13개 지역과 무안군, 해남군의 염전에서 직접 채취한 천일염 433종을 대상으로 대표적인 유해 중금속인 As, Cd, Pb, Hg 등 4개 성분의 함량을 측정하였으며 더불어 전남 지역별 NaCl의 함량 차이와 중금속함량의 차이를 비교 분석하였다.

재료 및 방법

재료

2005년 4월~10월에 전남 신안군, 무안군, 해남군 등 3개 군에서 총 433개의 천일염을 수집하였다. 이 중 신안군에서는 비금, 신의, 하의, 도초, 중도, 지도, 임자, 팔금, 암태, 달리도, 자은, 장산 및 압해 등 13개 지역 염전에서 각각 시료를 채취하였다. 각 지역에서 생산된 천일염은 PE 용기에 넣어 밀봉한 후 실험실로 옮겨 시료입자의 크기가 0.84 mm의 체눈은 통과하고 0.177 mm의 체눈을 통과하지 않을 정도로 분쇄하여 NaCl 및 중금속 분석 시료로 사용하였다.

NaCl 함량 분석

NaCl 함량은 식품공전에 따라 분석하였다. 즉 천일염 약 1 g을 취하여 500 mL로 정용한 후 그 10 mL를 취하여 크롬산칼륨시액 2~3방울을 가하고 0.02 N 질산은 액으로 적정하는 다음, 다음과 같은 식을 이용하여 NaCl 함량을 구하였다.

$$\text{NaCl}(\%) = \frac{b}{a} \times f \times 5.85$$

a: 검체 채취량 (g)

b: 적정에 소비된 0.02 N 질산은 액의 양 (mL)

f: 0.02 N 질산은 액의 역가

수은 분석

수은분석은 가열기화금아말감법(combustion gold amalgamation method)(10)에 따라 시료와 첨가제를 넣고 Mercury analyzer(model SP-3D, Nippon Instrument Co., Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였다. 첨가제로는 sodium carbonate : calcium hydroxide = 1:1(w/w) 혼합물과 aluminium oxide를 각각 750°C에서 가열 후 방냉하여 사용하였다. 시료 중 수은 함량은 표준용액으로 얻은 검량선을 이용하여 계산하였다.

납, 카드뮴 분석

납, 카드뮴 원소의 분석에 필요한 시험용액은 천일염 일정량을 취하여 질산으로 분해한 후 50 mL로 정용하여 제조하였다. 중금속 측정에 사용한 분석기기는 atomic absorption spectrophotometer(SpectraAA 220Fs, Varian Co., Australia)로 flame A.A.S.법(Atomic Absorption Spectrophotometry)(11)에 따라 분석하였고 시료 중 납과 카드뮴 함량은 표준용액으로 얻은 검량선을 이용하여 계산하였다.

비소 분석

비소 분석에 필요한 시험용액은 납, 카드뮴 분석에서 사용한 것과 같은 방법으로 제조하여 디에틸디티오카아바민산은염(Silver diethyl dithiocarbamate)(10)에 따라 측정하였다.

통계처리

본 연구에 대한 자료처리방법은 SPSS package(v.12.01)를 이용, 모든 자료에 대해 평균과 표준편차를 산출하였으며, 지역별로 NaCl, Pb, Cd, As, Hg 함량의 차이를 검증하기 위해 일원분산분석(One-Way ANOVA)을 실시하였다. 단, 일원분산분석 시 일 지역에 시료가 10개 이상이 되는 집단만을 분석하였다. Scheffe방법을 이용하여 사후검정을 실시하였으며 본 연구에 대한 가설 검증수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결과 및 고찰

NaCl의 함량 분포

전남 신안군, 무안군, 해남군 등에서 생산된 천일염 433종의 NaCl의 함량을 분석하여 NaCl의 분포도를 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 실험대상 천일염 433종 중 62.6%인 272종이 NaCl 80~85%의 함량을 보여 가장 높은 분포도를 보였으며 85~90% 함량을 지닌 천일염은 89종으로 20.6%를 차지하였다. 즉 대부분의 천일염이 80~90%의 함량을 지닌 것으로 분석되었으며 75% 이하의 함량을 지닌 천일염은 6종으로 1.4%, 95% 이상의 함량을 보인 것은 3종으로 0.7%를 차지하였다. 이는 Park 등(7)과 Heo 등(9)의 결과와도 일치함을 보였다. 천일염의 구성 성분은 NaCl과 수분, 미량의 불용성분과 각종 미네랄 등으로, 그 중 NaCl과 수분이 약 99%를 차지하고 있는데 NaCl 함량은 수분의 함량에 따라

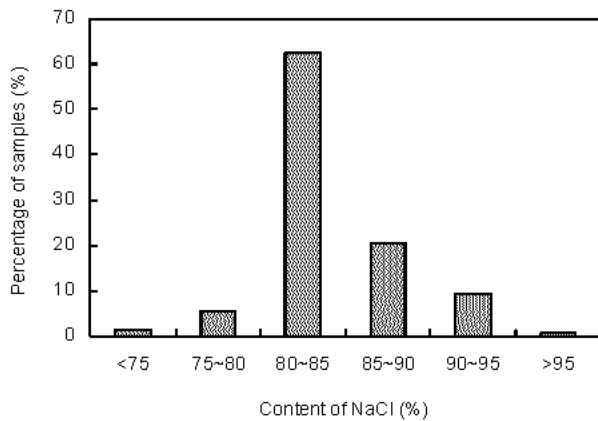


Fig. 1. Frequency distribution of NaCl contents of solar salts produced in Jeollanamdo province of Korea.

차이가 나며 이는 계절과도 관계가 있다. 염전에서 생산되는 천일염은 3월부터 10월까지 주로 생산되는데(4) 봄과 가을에 생산된 천일염이 여름에 생산된 천일염보다 수분량이 적어 상대적으로 NaCl의 함량이 높게 측정된다고 볼 수 있다. 그러므로 이번 조사에서 나타난 시료간의 NaCl 함량의 차이는 생산 시기와 생산 직후 저장 장소, 저장 시간의 차이에 의한 것으로 생각된다.

중금속(Pb, Cd, As, Hg)의 함량 분포

해수의 오염으로 인해 우려되는 유해 중금속 중의 하나인 Pb는 인체 내에서 쉽게 배설되지 않으며 체내에 축적되어 영양소 대사 이상과 조직의 기능장애를 일으키고 급, 만성 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다(12). 또한 몇몇 동물실험의 결과, 납에 중독되었을 때 혈액의 납 함량 증가는 물론 간이나 신장, 뇌 등 장기조직의 납 함량도 증가되었다는 보고가 있다(13). 그리고 효소 활동에도 영향을 주어 질병이나 알레르기 등의 감염성을 높이는 등 면역기능에 부정적 영향을 미치므로(4) 우리나라 산업자원부에서는 천일염의 Pb 함량을 2 ppm 이하로 규정하였다. 전남에서 생산된 천일염의 Pb 분포를 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 전남에서 생산된 천일염 433종 중 333종인 76.9%의 천일염에서는 납이 검출되지 않았으며 검출된 천일염의 경우도 모두 기준치인 2 ppm 이하로 측정되어 해수 오염에 의한 Pb의 오염은 거의 없으며 천일염 섭취에 의한 Pb의 중독 가능성도 매우 낮을 것으로 판단된다.

Cd은 납과 수은 등의 중금속과 함께 오염이 급증하여 국내외적으로 많은 문제가 되는 중금속 중 하나이다. Cd은 체내에서 10~30년의 생물학적 반감기를 지니고 있어 먹이연쇄에 의하여 축적될 경우 독성을 나타내기도 한다. 생체 내에서 전혀 유익한 작용을 하지 않는 유해 원소로 알려져 있는 Cd은 효소와 영양소의 활동을 방해하며 신장과 간장의 장애를 일으킨다. 또한, 중독으로 인해 칼슘대사의 장애를 일으켜 골다공증과 같은 골격계 장애의 원인이 되기도 한다(14-18). 전남 지역에서 생산된 천일염 433종의 Cd 함량은

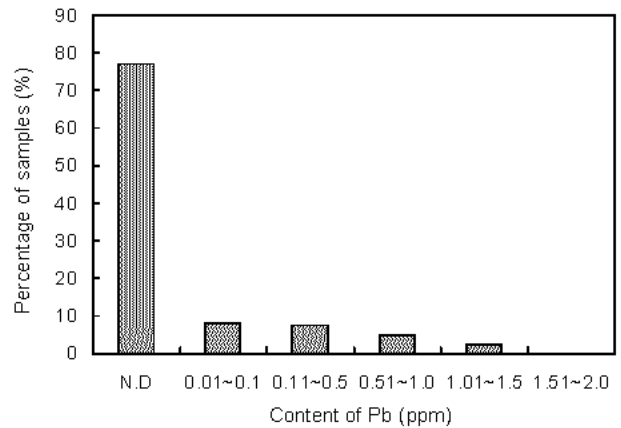


Fig. 2. Frequency distribution of Pb contents of solar salts produced in Jeollanamdo province of Korea.

Fig. 3과 같다. 전체 천일염의 78.3%인 339종의 천일염에서 Cd이 검출되지 않았으며 79종인 18.3%에서 0.1 ppm 이하의 Cd이 검출되었고 11종과 1종에서 0.11~0.2 ppm와 0.21~0.3 ppm의 Cd이 검출되었다. 즉, 99%의 천일염에서 산업자

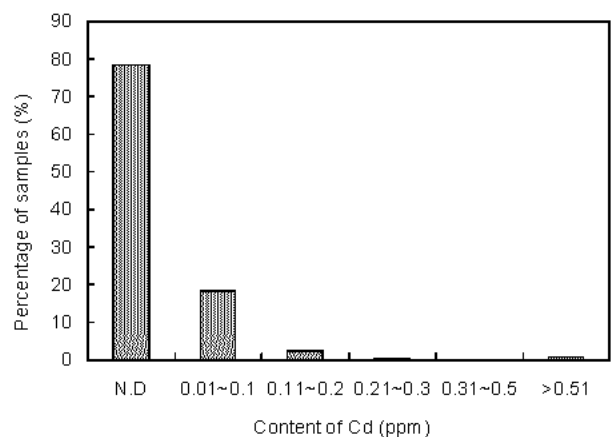


Fig. 3. Frequency distribution of Cd contents of solar salts produced in Jeollanamdo province of Korea.

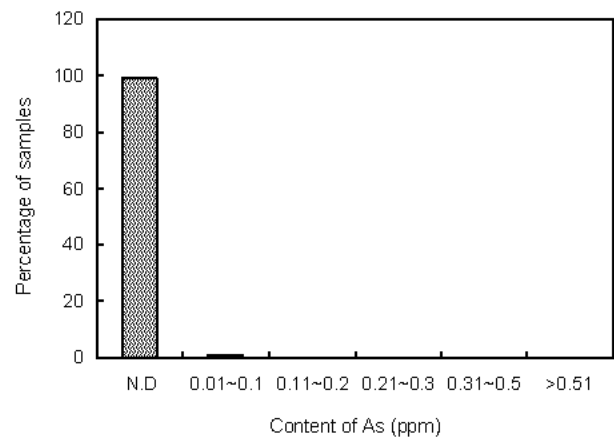


Fig. 4. Frequency distribution of As contents of solar salt produced in Jeollanamdo province of Korea.

Table 1. NaCl, Pb, Cd, As and Hg contents in solar salts from various regions of Jeollanamdo province of Korea

Region (n) ¹⁾	NaCl (%)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)
Bigeum (157)	83.96±4.36 ²⁾	0.02±0.76	0.02±0.01	ND ³⁾	ND
Sinui (70)	83.01±4.81	0.25±0.36	0.02±0.05	ND	ND
Hau (57)	82.38±2.10	ND	ND	ND	ND
Docho (61)	83.11±3.40	0.02±0.15	0.01±0.12	ND	ND
Jeungdo (12)	87.39±4.62	0.18±0.32	0.01±0.01	ND	ND
Jido (25)	84.11±3.19	0.21±0.33	0.02±0.04	ND	ND
Imja (22)	87.92±3.10	0.20±0.39	0.02±0.03	ND	ND
Muan (8)	81.86±3.92	0.10±0.11	0.05±0.05	ND	ND
Palgeum (5)	82.24±3.39	0.7±0.5	ND	ND	ND
Haenam (5)	83.06±1.39	0.32±0.41	0.04±0.01	ND	ND
Amtae (3)	86.03±2.84	0.47±0.72	0.04±0.06	ND	ND
Dalido (3)	83.33±8.17	0.43±0.51	ND	ND	ND
Jaean (1)	79.80	ND	ND	ND	ND
Jangsan (1)	84.50	ND	ND	ND	ND
Aphae (1)	80.40	0.3	ND	ND	ND
etc. (2)	87.15±4.87	ND	0.1	ND	ND

¹⁾Number of samples in a specific region. ²⁾Mean±standard deviation. ³⁾Not detected.

Table 2. Comparison of NaCl, Pb, Cd, As and Hg contents in solar salts based on producing areas

Component	Region (n) ¹⁾	Mean±SD ²⁾	F value	p	post hoc (Scheffe)
NaCl (%)	Bigeum ^a (157)	83.96±4.36	7.658	0.000	a,b,c,d g c e
	Sinui ^b (70)	83.01±4.81			
	Hau ^c (57)	82.38±2.10			
	Docho ^d (61)	83.11±3.40			
	Jeungdo ^e (12)	87.39±4.62			
	Jido ^f (25)	84.11±3.19			
	Imja ^g (22)	87.92±3.10			
Pb (ppm)	Bigeum ^a (157)	0.02±0.76	14.60	0.000	a, c, d b,f a, c g
	Sinui ^b (70)	0.25±0.36			
	Hau ^c (57)	ND ³⁾			
	Docho ^d (61)	0.02±0.15			
	Jeungdo ^e (12)	0.18±0.32			
	Jido ^f (25)	0.21±0.33			
	Imja ^g (22)	0.20±0.39			
Cd (ppm)	Bigeum ^a (157)	0.02±0.01	0.689	0.658	
	Sinui ^b (70)	0.02±0.05			
	Hau ^c (57)	ND			
	Docho ^d (61)	0.01±0.12			
	Jeungdo ^e (12)	0.01±0.01			
	Jido ^f (25)	0.02±0.04			
	Imja ^g (22)	0.02±0.03			
As (ppm)	Bigeum ^a (157)	ND	0.841	0.539	
	Sinui ^b (70)	ND			
	Hau ^c (57)	ND			
	Docho ^d (61)	ND			
	Jeungdo ^e (12)	ND			
	Jido ^f (25)	ND			
	Imja ^g (22)	ND			
Hg (ppm)	ND in all samples				

¹⁾Number of samples in a specific region. ²⁾Mean±standard deviation. ³⁾Not detected.

원부의 규정인 0.5 ppm 이하의 Cd가 검출되어 해수에 의한 천일염의 Cd 오염은 거의 없는 것으로 판단된다. 일부 지역 (비금 2곳, 도초 1곳)의 소금에서는 기준치를 초과한 0.7 ppm과 0.9 ppm이 검출되기도 하였으나 비금에서 생산된 나머지 155종의 시료와 도초에서 생산된 60종의 천일염에서는 Cd가 검출되지 않거나 기준치 이하로 검출된 것으로 보아

해수의 오염 문제가 아니라고 본다. 즉 일부 염전의 생산 환경 및 저장상태 등 다른 요인으로 인하여 위의 3종의 천일염에서는 Cd의 함량이 높게 측정된 것으로 생각되었다.

전남에서 생산된 천일염이 함유한 As의 함량은 Fig. 4와 같다. 총 433종의 99%인 429종에서 As는 검출되지 않았으며 검출된 4종의 천일염에서도 0.1 ppm 이하로 측정되어

허용치인 0.5 ppm보다 낮은 안전한 수준이었다. As는 유기와 무기로 나누어지는데 유기 As는 자연식품에 존재하는 것으로 체내에서 배설되어 독성이 거의 없지만 무기 As의 경우는 체내에 축적되어 오심, 설사, 빈혈, 위장장애, 피부 각질화 등을 일으켜 유해한 작용을 나타낼 뿐만 아니라 호흡기 계통 및 비뇨생식기 계통에서 악성 종양의 원인이 되기도 한다(19-22). 하지만 전남에서 생산된 천일염은 As가 거의 검출되지 않아 해수오염에 의한 As의 오염뿐 아니라 중독 또한 없을 것으로 예상되어 안전할 것으로 생각되었다.

Hg은 인체에 유해한 가장 대표적인 중금속 중의 하나이자 유독한 물질로 미나마타병의 원인이 되며 생체 내에서 신장, 간장 및 신경계 등 선택기관에 대해 독성이 높다. 유기 및 원소 수은은 지용성으로 중추 신경계에 분포하고 신경장애를 유발하며 무기 수은은 주로 콩팥에 상해를 준다. 또한, 수은은 신장독성 및 면역독성을 지녀 세포의 배양 및 증식을 억제하고 DNA 합성 저하 등을 일으키는 물질로 보고되었다(18,23-25). Hg은 전남에서 생산된 천일염 433종 모두에서 전혀 검출되지 않아(Table 1) 이 지역의 천일염이 Hg의 오염에 대해 안전한 것으로 판단되었다.

전남에서 생산된 천일염 433종의 지역별 NaCl의 함량 및 중금속(Pb, Cd, As, Hg)의 함량은 Table 1과 같고, 생산지역 간에 NaCl의 함량 및 중금속(Pb, Cd, As, Hg)의 차이는 Table 2에 나타내었다. 임자에서 생산된 천일염의 NaCl 함량이 비금, 도초, 신의, 하의에서 생산된 천일염보다 높게 측정되었으며 증도에서 생산된 천일염 또한 하의에서 생산된 천일염보다 조금 높은 것으로 분석되어 지역 간에 NaCl 함량의 차이를 보였다. 이는 생산 일자에 의한 차이와 저장 방법과 기간에 따른 차이로 생각된다. Pb의 경우 신의와 지도에서 생산된 천일염의 Pb 함량이 비금, 하의, 도초에서 생산된 천일염의 Pb 함량보다 유의적으로 높았고, 임자에서 생산된 천일염 또한 비금, 하의에서 생산된 천일염보다 유의적으로 높았다. 한편, Cd, As, Hg는 지역 간에 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 분석되어 전남지역의 천일염에서는 NaCl의 함량과 Pb만이 차이를 보이는 것으로 생각되었다.

요 약

전남지역에서 생산된 천일염의 안전성에 대한 기초자료를 제공하기 위해 전남의 주 생산지에서 생산된 천일염 433종을 대상으로 NaCl 함량 및 중금속(Pb, Cd, As, Hg) 함량을 조사하였다. NaCl 함량은 대부분 80%대 수준이었으며 전체의 63%의 천일염이 80~85% 함량을 보여 가장 높은 분포를 나타내었다. Pb는 77%의 시료에서 검출되지 않았고 Pb이 검출된 천일염은 모두 기준치인 2 ppm 이하로 나타났다. Cd는 78%의 시료에서 검출되지 않았으며 3곳을 제외하고는 대부분 기준치 이하로 검출되었다. As는 4종의 시료에서만 검출되었는데 모두 기준치에 못 미치는 0.1 ppm 이하로

나타났고, Hg은 모든 천일염에서 검출되지 않았다. NaCl 함량과 Pb 농도는 지역별로 차이를 보였고 Cd, As, Hg은 지역 간에 차이가 나타나지 않았다. 따라서 전남에서 생산된 천일염은 생산 지역 간의 다소의 차이는 있으나 중금속오염에 대하여 안전한 수준인 것으로 평가되었다.

감사의 글

이 연구는 전남도청, 신안군청, 태평염전의 지원에 의한 것으로 연구지원에 감사드립니다.

문 헌

- Huh SJ, Sho YS, Choi JD, Lee HJ, Choi SH, Sung JH, Im MH, Kim KS, Choi YH, Oh HS, Choi JH, Choi JS, Heo OS, Lee JH, Shin DW, Shin HS, Moon BW. 2001. Studies on the potassium cyanide and potassium ferrocyanide of salts in Korea. *The Annual Report of KFDA* 5: 270-277.
- Kim SJ, Kim HL, Ham KS. 2005. Characterization of *Kimchi* fermentation prepared with various salts. *Korean J Food Preserv* 12: 395-401.
- Ha JO, Park KY. 1998. Comparison of mineral contents and external structure of various salts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 413-418.
- Jo EJ, Shin DH. 1998. Study on the chemical compositions of sun dried, refined, and processed salt produced in Chonbuk area. *J Fd Hyg Safety* 13: 360-364.
- Korea Salt Manufacture's Association. <http://www.ksalt.or.kr/>
- Shin TS, Park CK, Lee SH, Han KH. 2005. Effect of age on chemical composition in sun dried salts. *Korean J Food Sci Technol* 37: 312-317.
- Park JW, Kim SJ, Kim SH, Kim BH, Kang SG, Nam SH, Jung ST. 2000. Determination of mineral and heavy metal contents of various salts. *Korean J Food Sci Technol* 32: 1442-1445.
- Hwang SH. 1988. A study on the heavy metal contents of common salts in Korea. *Kor J Ern Hlth Soc* 14: 73-86.
- Heo OS, Oh SH, Shin HS, Kim MR. 2005. Mineral and heavy contents of salt and salted fermented shrimp. *Korean J Food Sci Technol* 37: 519-524.
- Korea Food and Drug Administration. 2003. Food Code. Seoul, Korea.
- Varian. 1989. Analytical methods for flame atomic absorption spectrometry. Varian Australia Pty Ltd, Mulgrave, Victoria, Australia.
- Grame KA, Pollack CV. 1998. Heavy metal toxicity. Part 2: Lead and metal fume fever. *J Emergency Med* 16: 171-177.
- Hong CM. 2001. Effect of repeated exposure to Pb acetate on homeopietic function, testis and kidney in male rats. *J Toxicol Pub Health* 17: 309-316.
- Valencia R, Gerpe M, Trimmer J, Buckman T, Mason AZ, Olsson P. 1998. The effect of estrogen on cadmium distribution in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Marine Environmental Research* 46: 167-171.
- Kim MJ, Hong JH, Rhee SJ. 2003. Effect of vitamin E on cadmium accumulation and excretion in chronic cadmium poisoned rats. *Korean J Nutrition* 36: 691-698.
- Suzuki KT. 1982. Induction and degradation of metal

- lothionein and their relation to the toxicity of cadmium. In *Biological roles of metallothionein*. Foulkes EC, ed Elsevier, New York, USA. p 215.
17. Porter MC, Miya TS, Bousquet WF. 1974. Cadmium: inability to induce hypertension in rat. *Toxicol Appl Pharmacol* 27: 692-695.
 18. Ha BJ. 2002. The effects of mercury and cadmium administered in subcutaneous tissue on enzymatic activity and lipidperoxidation. *J Environmental Sci* 11: 583-588.
 19. Schoolmeester WL, White DR, Salem W. 1980. Arsenic poisoning. *Southern Med J* 73: 198-208.
 20. Wong SS, Tan KC, Goh CL. 1998. Cutaneous manifestations of chronic arsenicism: review of seventeen cases. *J Am Acad Dermatol* 38: 179-185.
 21. Sommers SC, McManus RG. 1953. Multiple arsenical cancers of the skin and internal organs. *Cancer* 6: 347-359.
 22. Cuzick J, Evans S, Gillman M, Price Evans DA. 1982. Medicinal arsenic and internal malignancies. *Br J Cancer* 45: 904-911.
 23. Cho JH, Jeong SH, Kang HG, Yun HY. 2003. Effects of HgCl₂ on plasma DNA content and blood biochemical values in rats. *Korea J Vet Res* 43: 641-648.
 24. Fischer AB, Skreb Y. 1980. Cytotoxicity of manganese for mammalian cells in vitro comparisons with lead, mercury and cadmium. *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg (B)* 171: 525-537.
 25. Traore A, Bonini M, Nano SD, Creppy EE. 1999. Synergistic effects of some metals contaminating mussels on the cytotoxicity of the marine toxin okadaic acid. *Arch Toxicol* 73: 289-295.

(2007년 2월 12일 접수; 2007년 5월 16일 채택)