

## 보리차 및 옥수수차 제조에 따른 음용수 중 일부 금속들의 제거

이 수 형, 박 송 자<sup>1</sup>, 김 희 갑

강원대학교 자연과학대학 환경과학과, <sup>1</sup>한국과학기술연구원 생체대사연구센터

## Removal of Some Metals in Drinking Water by Preparing Barley or Corn Tea

Soohyung Lee, Song-Ja Park<sup>1</sup> and Hekap Kim

*Department of Environmental Science, College of Environmental Sciences,  
Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon Do 200-701, Korea*

*<sup>1</sup>Bioanalysis and Biotransformation Research Center, Korea Institute of Science and Technology,  
P.O. Box 131, Cheongryang, Seoul 136-791, Korea*

### ABSTRACT

Barley or corn tea, which is usually prepared with municipal chlorinated tap water, is commonly consumed by the public as a substitute for the supplied water itself. This is because most people believe that harmful organic and inorganic compounds can be removed from the tap water by the adsorption mechanism during the tea preparation. In this study, three kinds of commercial grain tea materials—roasted barley grains, a tea bag containing barley grain pieces, and roasted corn grains—were tested for metal removal by preparing 1 liter of tea with deionized/distilled water according the manufacturer's recommended preparation procedures, assuming that the water is contaminated with eight selected metals at levels of 50 µg/l. Of the tested teas, barley tea prepared with roasted grains showed the highest removal efficiency for Cu, As, Ni, Co, Pb, and Cd, ranging from 48 to 71%, followed by corn tea with roasted grains and barley tea with a tea bag. Cr was nearly maintained at the initial concentration in all kinds of tea. The Mn levels, however, were elevated during the tea preparation, particularly in both barley teas, probably because the metal was extracted into the water from the tea materials without significant adsorption. Therefore, it should be considered in the ingestion exposure analysis for metals that their concentrations are altered during the tea preparation with roasted barley or corn grain materials.

**Key words :** barley, corn, drinking water, metal, tea

### 서 론

산업 활동의 증가, 도시에로의 인구 집중 등으로 물 오염이 심해짐에 따라, 음용수로서 이용할

수 있는 수자원은 점차 감소되고 있는 추세에 있다. 따라서, 음용수로 이용하기 위하여 대부분의 지표수는 일련의 물리, 화학적 처리 과정을 거쳐야만 한다. 그렇지만, 이와 같은 과정을 통해 생산되는 수돗물 중에는 염소소독으로 인하여 생성되

는 부산물들 (Disinfection By-Products, DBPs) 및 중금속과 같은 무기물 등이 포함되어 건강에 유해한 영향을 줄 수도 있는 것으로 알려져 있다 (Krasner *et al.*, 1989; Bull *et al.*, 1995).

중금속들은 일단 생체 내에 들어오면 체외로 쉽게 배설되지 않는 성질이 있기 때문에, 장기간에 걸쳐 노출될 경우 체내에 축적되어 신경 장애, 골연화증 등의 만성적인 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다 (Friberg, 1979). 서울 명륜동 일대 55개 지점의 수도꼭지와 이 지역의 상수원에서 채취한 물 시료를 분석한 결과 (이병무, 1984), 급수관의 부식으로 인하여 수도물 중 Fe와 Zn의 농도는 급수관이 오래된 곳일수록 높은 것으로 나타났다. Co, Bi 및 Mo는 원수에서는 검출되었으나 수도물에서는 검출되지 않아 정수 과정에서 이러한 금속들이 제거되는 것으로 추정되었다. 또한, Al은 원수에서는 검출되지 않았으나 분석한 수도물 시료 중 약 30%에서 검출되었는데, 이는 정수장에서 응집제로  $Al_2(SO_4)_3$ 나 PAC (polyaluminum chloride)를 사용하기 때문인 것으로 생각되었다.

그런데, 최근에 춘천 지역의 주민들을 대상으로 실시한 음용수 이용 실태 조사에서 식수 중 수도물이 차지하는 비율은 70% 정도이고, 이 중에서 보리차, 국 및 찌개와 같이 가열하여 섭취하는 양이 90% 이상이며, 그 중에서 60% 정도는 보리차나 옥수수차를 제조하여 섭취하는 것으로 보고되었다 (이수형, 2000). 이와 같이 많은 사람들이 보리차 등을 제조하여 섭취하는 이유는 이러한 차가 구수한 맛을 낼뿐만 아니라, 수도물 중의 DBPs와 중금속 등의 유해 성분들을 제거할 것으로 생각하기 때문이다.

실제로 250°C에서 볶은 보리의 중금속 흡착에 관한 연구 (김선하, 1991)에서 보리의 볶은 정도 (얇은 갈색, 갈색, 진한 갈색), 끓이는 시간 (5~30분) 및 보리차 재료의 함량에 따라 0.25, 0.50 및 1.0 ppm의 농도에서 여섯 가지의 중금속들 (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Cd)의 제거에 대한 연구를 실시하였는데, 볶음 정도가 크고, 끓이는 시간이 길며, 볶은 보리의 첨가량이 많을수록 제거율이 증가하는 결과를 얻었다.

이 연구에서는 가정에서 흔히 사용하는 볶은 보리 알곡, 보리 티백 및 볶은 옥수수 알곡 제품을 시중에서 구입하여 각 제조회사의 권장된 사

용 방법에 준하여 차를 제조할 때, 여덟 가지 금속 성분들 (납, 비소, 크롬, 카드뮴, 망간, 구리, 니켈, 코발트)이 물로부터 제거되는 정도를 평가하고자 실시하였다. 이 때 물 중에서 각 금속은 모두 50 µg/l로 존재한다고 가정하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시약 및 재료

실험에 사용된 69~71%의 질산 ( $HNO_3$ )과 1,000 mg/l의 농도로 제조된 Pb, As, Cr, Cd, Mn, Cu, Ni 및 Co 각각의 표준용액은 J.T. Baker사로부터 구입하였다. 이 각각의 표준용액을 혼합하여 10 mg/l의 용액을 제조한 후, 이로부터 각각의 농도가 50 µg/l인 1,000 ml 수용액을 제조하였다. 차의 재료인 볶은 보리와 옥수수 알곡은 DW사의 것을, 그리고 보리 티백은 DS사의 것을 시중에서 구입하였다.

### 2. 차 제조 실험

Pb, As, Cr, Cd, Mn, Cu, Ni 및 Co 각각의 농도가 50 µg/l인 수용액 1,000 ml를 알루미늄 냄비에 넣고, 볶은 보리 및 옥수수 알곡은 각각 25 g을 넣은 후 가스 레인지를 사용하여 약 750°C의 불꽃 온도에서 10분 동안 가열하였으며 (제조회사에서 권장하는 사용 방법은 알곡 50 g을 물 2,000 ml에 넣고 5~10분 동안 가열), 보리 티백의 경우에는 1,000 ml의 물을 10분 동안 가열한 후에 한 개의 티백 (10 g)을 넣고 10분 동안 방치하였다 (권장된 제조 방법은 물 2,000 ml를 끓인 후에 티백 한 개를 넣고 10분 동안 방치 후 꺼냄). 이와 같이 각각의 차를 제조 회사가 권장하는 사용 방법에 따라 (단, 보리티백의 경우에는 물의 부피를 2,000 ml 대신 1,000 ml를 사용함) 총 3회에 걸쳐 반복하여 제조하였다. 또한, 대조 (control) 실험으로 위와 같은 농도 (50 µg/l)의 금속 성분들이 들어있는 물 1,000 ml를 알루미늄 냄비에 넣고 차의 재료를 첨가하지 않은 상태에서 가열하였으며, 이는 두 번 반복하여 실시하였다.

### 3. 시료의 분석

차의 제조가 완료된 직후에 보리 및 옥수수 알곡은 체를 통하여 제거한 후에 물의 부피를 측정하고, 금속 성분들에 대한 분석은 다음과 같이 실

**Table 1.** Wavelengths and method detection limits for the determination of trace metals using inductively coupled plasma/atomic emission spectrometry (ICP/AES)

Metal	Wavelength (nm)	Detection limit (µg/l)
Mn	257.610	0.3
Cr	267.716	0.05
Cu	324.754	0.005
As	228.812	0.002
Ni	231.604	0.05
Co	228.616	0.05
Pb	220.353	0.01
Cd	226.502	0.001

시하였다. 물 시료 전체를 1 리터 용량의 비커에 넣고 5 ml의 진한 질산을 첨가한 후에 Hot Plate 위에서 가열하여 50 ml로 농축한 후에, 유도결합 플라즈마/원자방출분광기 (Inductively Coupled Plasma/Atomic Emission Spectrometry, ICP/AES)를 이용하여 각 금속의 농도를 측정하였다. 정량을 위한 회귀선은 다섯 점을 이용하여 시료의 분석과 동일한 방법으로 작성되었으며, 각 금속에 대한 결정 계수( $r^2$ )는 0.997 이상이었다.

금속 분석을 위해 사용한 ICP/AES는 Seiko제 Model SPS 1200A이었으며, 운반 (carrier), 보조 (auxiliary) 및 냉각 (coolant) 기체로는 아르곤 (Ar) 이 사용되었다. 분석에 사용된 파장과 검출한계는 Table 1에 나타내었다.

**결과 및 고찰**

**1. 차의 재료로부터 용출되는 금속의 농도와 양**  
차의 제조에 따른 각 금속의 절대 양의 감소율

을 계산하기 위해 10분 동안 가열한 후에 물의 부피를 측정하였다 (Table 2). 초기에 모두 1,000 ml이었던 물의 부피는 770~870 ml로 감소하였으며, 이 값을 각 금속에 대해 측정된 농도와 곱하여 양을 계산하는데 사용되었다.

차의 재료 자체에 함유되어 있던 금속들이 차를 제조하는 과정에서 얼마만큼 물 중으로 용출되어 나오는가를 알아보기 위하여 증류수 자체와 금속의 표준 용액을 주입하지 않은 상태에서 세 종류의 차를 제조하였을 때 각 금속의 농도와 양을 Table 3에 나타내었다. As, Ni, Co 및 Cd은 네 가지 경우에서 모두 검출한계 이하였다. 반면에 Cr, Cu 및 Pb은 증류수 자체에서는 평균 농도로 각각 4.6, 6.0 및 1.2 µg/l (3.9, 5.2 및 1.0 µg)로 검출되었고, 세 종류의 차에서도 이와 유사한 수준으로 측정된 것으로 미루어 보아, 이러한 금속들은 아마도 실험에 사용된 증류수나 시약으로 사용한 질산에서 비롯되었을 것으로 추정된다.

그렇지만, 땅간의 경우에 증류수에서는 아주 낮은 수준인 0.26 µg/l (0.22 µg)로 검출된 반면에, 알곡 및 티백 보리차에서는 평균 30 µg/l (26 µg) 정도로, 그리고 옥수수차에서는 평균 7.7 µg/l (6.3 µg) 이 검출되었다. 이와 같은 이유는 차의 재료로 사용된 볶은 보리와 옥수수에는 Fe, Zn, Cu, Mn 등의 전이금속들이 미량으로 함유되어 있으며, Irving-Williams의 순서에 따르면 Mn은 이러한 금속들 중에서 착물의 안정성 (complex stability)이 가장 낮아 (Stum and Morgan, 1996) 차를 제조하는 동안에 다른 금속들에 비해 쉽게 물 중으로 녹아 나오기 때문인 것으로 생각된다.

**2. 차의 제조에 따른 금속의 농도 변화**  
증류수에 표준 용액을 주입하여 여덟 가지 금

**Table 2.** Volumes (ml) of water measured following 10 minute heating

Standard	Initial volume	Water only	Barley grains	Barley tea bag	Corn grains
Not spiked	1,000	855 ± 21 (840 ~ 870) <sup>a</sup>	830 ± 10 (820 ~ 840)	817 ± 12 (810 ~ 830)	820 ± 20 (800 ~ 840)
Spiked <sup>b</sup>	1,000	850 ± 0 (850)	820 ± 10 (810 ~ 830)	793 ± 21 (770 ~ 810)	817 ± 21 (800 ~ 840)

<sup>a</sup> Mean ± standard deviation of two (water only) or three (three kinds of tea) measurements. The number in parenthesis indicates the range of volumes.

<sup>b</sup> Five ml of the stock solution (10 mg/l) containing eight metals were spiked into the water resulting in the concentration of 50 µg/l in the final 1,000 ml solution.

**Table 3.** Concentrations ( $\mu\text{g/l}$ ) and amounts ( $\mu\text{g}$ ) of Mn, Cr, Cu, As, Ni, Co, Pb and Cd in water only, barley tea with roasted grains, barley tea with a tea bag, and corn tea with roasted grains following 10 minute heating, when the metal standard solution was not spiked into each set

Metals		Water only	Barley tea (grains)	Barley tea (tea bag)	Corn tea (grains)
Mn	Conc	$0.26 \pm 0.36^a$	$31 \pm 6$	$32 \pm 3$	$7.7 \pm 0.5$
	Amt	$0.22 \pm 0.31^b$	$26 \pm 5$	$26 \pm 2$	$6.3 \pm 0.3$
Cr	Conc	$4.6 \pm 0.3$	$5.6 \pm 0.1$	$5.4 \pm 0.3$	$5.3 \pm 0.3$
	Amt	$3.9 \pm 0.1$	$4.6 \pm 0.1$	$4.4 \pm 0.2$	$4.4 \pm 0.2$
Cu	Conc	$6.0 \pm 4.1$	$6.7 \pm 0.8$	$4.1 \pm 1.4$	$5.6 \pm 0.6$
	Amt	$5.2 \pm 3.6$	$5.6 \pm 0.6$	$3.4 \pm 1.1$	$4.6 \pm 0.6$
As	Conc	— <sup>c</sup>	—	—	—
	Amt	—	—	—	—
Ni	Conc	—	—	—	—
	Amt	—	—	—	—
Co	Conc	—	—	—	—
	Amt	—	—	—	—
Pb	Conc	$1.2 \pm 0.2$	$2.4 \pm 0.5$	$1.2 \pm 0.1$	$1.9 \pm 0.4$
	Amt	$1.0 \pm 0.1$	$2.0 \pm 0.4$	$1.0 \pm 0.1$	$1.6 \pm 0.3$
Cd	Conc	—	—	—	—
	Amt	—	—	—	—

<sup>a</sup> Mean  $\pm$  standard deviation of the concentrations of two (water only) or three (three kinds of tea) measurements.

<sup>b</sup> Mean  $\pm$  standard deviation of the amounts of two (water only) or three (three kinds of tea) measurements. The amount of each metal was calculated by multiplying its concentration by the average final volume of water or tea (see Table 2).

<sup>c</sup> Below the detection limit.

속들의 초기 농도를  $50 \mu\text{g/l}$ 로 만들어 볶은 보리, 보리 티백 및 볶은 옥수수차 찻를 제조한 후에, 금속 성분들에 대해 측정된 농도의 평균과 표준편차를 Table 4와 Fig. 1에 나타내었다. 대조 표준(control) 그룹에서 금속 성분의 농도가 초기 ( $50 \mu\text{g/l}$ )보다 증가한 것은 앞에서 언급한 것과 같이 10분 동안 가열함에 따라 물의 부피가 감소되었기 때문이다.

알곡 보리차와 옥수수차의 경우에 Mn의 평균 농도는 증류수에 대한 평균 농도의 각각 1.18 및 1.05배인 반면에, 티백 보리차의 경우에는 증류수에 비해 1.48배가 높았다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 차의 재료로부터 Mn이 용출되어 나오기 물 중에 녹아 있던 Mn은 차의 재료에 의해 거의 흡착, 제거되지 못하기 때문인 것으로 생각된다. Cr은 증류수 및 세 종류의 차에서 모두 거의 유

**Table 4.** Concentrations ( $\mu\text{g/l}$ ) and amounts ( $\mu\text{g}$ ) of Mn, Cr, Cu, As, Ni, Co, Pb and Cd in water only, barley tea with roasted grains, barley tea with a tea bag, and corn tea with roasted grains following 10 minute heating, when the metal standard solution was spiked into each set resulting in the final concentration of  $50 \mu\text{g/l}$

Metals		Water only	Barley tea (grains)	Barley tea (tea bag)	Corn tea (grains)
Mn	Conc	$65 \pm 2^a$	$77 \pm 3$	$96 \pm 6$	$68 \pm 3$
	Amt	$55 \pm 1^b$	$63 \pm 3$	$76 \pm 3$	$55 \pm 1$
Cr	Conc	$56 \pm 8$	$53 \pm 3$	$55 \pm 4$	$54 \pm 2$
	Amt	$48 \pm 7$	$43 \pm 2$	$44 \pm 2$	$44 \pm 2$
Cu	Conc	$65 \pm 4$	$35 \pm 1$	$60 \pm 3$	$40 \pm 1$
	Amt	$55 \pm 3$	$28 \pm 0$	$47 \pm 1$	$33 \pm 0$
As	Conc	$61 \pm 4$	$21 \pm 2$	$51 \pm 3$	$41 \pm 1$
	Amt	$52 \pm 4$	$17 \pm 1$	$41 \pm 2$	$34 \pm 0$
Ni	Conc	$59 \pm 3$	$30 \pm 2$	$54 \pm 3$	$48 \pm 1$
	Amt	$50 \pm 3$	$25 \pm 2$	$43 \pm 1$	$39 \pm 0$
Co	Conc	$61 \pm 3$	$30 \pm 2$	$56 \pm 3$	$49 \pm 1$
	Amt	$52 \pm 3$	$24 \pm 1$	$44 \pm 1$	$40 \pm 0$
Pb	Conc	$62 \pm 11$	$19 \pm 1$	$50 \pm 5$	$33 \pm 2$
	Amt	$53 \pm 10$	$15 \pm 1$	$40 \pm 3$	$27 \pm 1$
Cd	Conc	$61 \pm 3$	$21 \pm 2$	$54 \pm 2$	$42 \pm 1$
	Amt	$52 \pm 3$	$17 \pm 1$	$43 \pm 1$	$35 \pm 0$

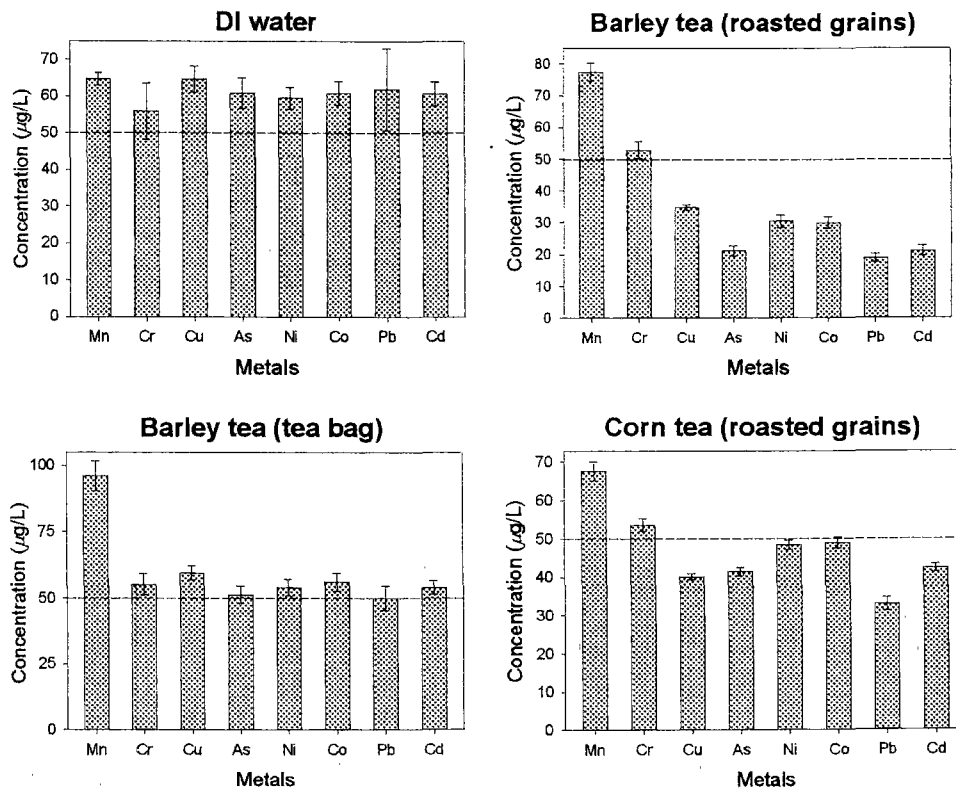
<sup>a</sup> Mean  $\pm$  standard deviation of the concentrations of two (water only) or three (three kinds of tea) measurements.

<sup>b</sup> Mean  $\pm$  standard deviation of the amounts of two (water only) or three (three kinds of tea) measurements. The amount of each metal was calculated by multiplying its concentration by the average final volume of water or tea (see Table 2).

사한 농도를 나타내었다. 그렇지만, Cu, As, Ni, Co, Pb 및 Cd은 티백 보리차에서 증류수보다 약간 낮은 농도를 보인 반면에 (증류수에 대한 농도의 81~92% 수준), 볶은 알곡으로 제조된 보리차에서는 증류수의 경우에 비해 30~50%의 수준으로 감소하였으며, 옥수수차의 경우에는 티백 보리차와 알곡 보리차의 중간 정도이었다. 금속들 중에서도 특히 Pb, As 및 Cd은 농도가 뚜렷하게 감소하여 알곡 보리차의 경우에 증류수에 대한 농도의 30% 수준이었다.

### 3. 차의 제조에 따른 각 금속의 제거율

보리차 및 옥수수차를 제조하는 과정에 의해 각 금속이 얼마정도 제거되는지를 알아보기 위하여 차 제조 후 측정된 부피와 농도를 곱하여 양(amount)을 계산하였다(Table 4). 그런 후에 각 차



**Fig. 1.** Concentrations of eight metals (Mn, Cr, Cu, As, Ni, Co, Pb and Cd) in barley tea with roasted grains, barley tea with a tea bag, and corn tea with roasted grains following 10 minute heating. Dotted lines indicate the initial concentration (50 µg/l) of each metal in water. Barley tea with roasted grains resulted in the remarkably decreased levels of Cu, As, Ni, Co, Pb and Cd. The concentrations of Cr were not significantly changed in all kinds of tea. The Mn levels, however, were elevated in all sets due to its extraction into water from the tea materials without any significant removal from water.

의 금속에 대한 제거율은 증류수 중의 양에서 각 차 중의 양을 뺀 후에 증류수 중의 양으로 나눈 값의 백분율로 표시하였다 (Table 5, Fig. 2).

다른 금속과는 달리 Mn은 알곡 보리차와 티백 보리차에서 모두 그 양이 각각 15.3% 및 38.5%씩 증가하는 것으로 나타났다. 이 중에서도 특히, 금속 표준 용액을 주입하여 농도를 50 µg/l로 만든 후에 티백 보리차를 제조하였을 때에 측정된 양인 76 µg은 표준 용액을 주입하지 않고 차를 제조하였을 때 용출된 양(26 µg; Table 3)과 금속 표준 용액을 주입하였을 때의 양(50 µg)을 더한 값과 같았는데, 이는 티백 보리차의 제조시 망간이 물 중으로는 용출되어 나오기는 하지만 물 중에 존재한 Mn은 역으로 티백 중의 보리 조각에 거의

**Table 5.** Percent (%) decrease in the amounts of trace metals in water by preparing barley tea with roasted grains, barley tea with a tea bag, and corn tea with roasted grains

	Barley tea (roasted grains)	Barley tea (a tea bag)	Corn tea (roasted grains)
Mn	-15.3±4.7 <sup>a</sup>	-38.5±6.0	-0.38±1.5
Cr	8.9±3.8	7.9±4.4	7.9±3.2
Cu	48.1±0.6	14.1±2.1	40.3±0.6
As	66.4±2.7	21.2±3.0	34.5±0.6
Ni	50.1±3.0	15.1±2.5	22.0±0.5
Co	52.5±2.8	13.9±2.7	23.2±1.3
Pb	70.6±2.2	24.7±5.6	48.9±1.7
Cd	66.5±2.6	16.8±1.8	32.9±0.1

<sup>a</sup> Mean ± standard deviation. Minus sign indicates an increase of the amount of the metal in water.

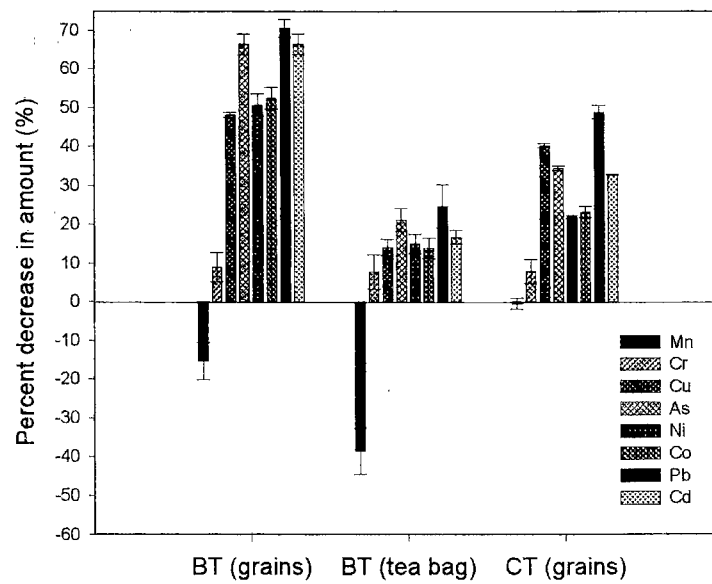


Fig. 2. Percent decrease (%) in the amounts of Mn, Cr, Cu, As, Ni, Co, Pb and Cd by preparing barley tea (BT) with roasted grains, barley tea with a tea bag, and corn tea (CT) with roasted grains.

흡착되어 제거되지 않는다는 것을 말해주고 있다. 볶은 보리알곡으로 제조한 경우에도 이와 마찬가지로 물에서 Mn의 양이 증가되기는 하지만 그 증가량은 티백의 경우보다 작았다. 한편, 옥수수차의 경우에는 증류수와 비교하였을 때 Mn의 양이 있어서 거의 차이가 없었던 점으로 미루어 보아 Mn에 대한 제거 효과는 거의 없음을 알 수 있었다.

크롬의 경우에는 세 종류의 차에서 모두 그 제거율이 8~9%로 낮게 나타났다. 그렇지만, Mn과 Cr을 제외한 나머지 금속들에 대해서는 14%에서 70%까지의 다양한 제거율을 보였다. 전체적으로 볼 때 차 재료간의 중금속 제거 효율은 볶은 알곡으로 제조한 보리차가 가장 높게 나타났으며, 다음에는 옥수수차 그리고 보리티백은 가장 낮은 제거율을 보였다. 금속별로 보면, Pb, As 및 Cu는 알곡 보리차에서 약 70% 정도의 높은 제거율을, Co, Ni 및 Cu는 50% 정도의 제거율을 나타내었다. Mn을 제외한 금속들에 대해서 제거율이 큰 것부터 작은 것으로 나열하면 알곡 보리차와 티백 보리차에서는 Pb>Cd, As>Co>Ni>Cu>Cr의 순서로, 옥수수차에서는 Pb>Cu>As>Cd>Co>Ni>Cr의 순서로 나타나 제거율 자체는 알곡 보리

차보다는 낮지만 Cu의 제거율이 Pb를 제외한 다른 금속들보다 높은 것이 특징적이었다.

이와 같이 차를 제조하는 과정에서 물 중의 금속 이온들이 제거되는 것은 보리나 옥수수의 알곡 표면에 존재하는 phytate [myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis (dihydrogen phosphate)], 섬유소 (cellulose), 리그닌 (lignin) 등이 2가 및 3가의 금속 이온과 킬레이트 또는 착물을 잘 생성하기 때문인 것으로 생각된다 (Maga, 1982). 이는 종자에 phytate 함량이 높은 경우 Zn나 Mn과 같은 필수 미량 금속들의 생체이용률 (bioavailability)이 감소되어 때로는 이들의 결핍이 일어날 수도 있다는 결과와도 잘 일치한다 (Davis and Nightingale, 1975; Erdman, 1979).

#### 4. 곡차 섭취에 따른 건강 영향

보리차와 옥수수차를 제조하여 섭취하면 앞에서 본 바와 같이 음용수에 오염물질로 존재할 수 있는 대부분의 주요 금속 성분들을 물에서부터 제거하는 것을 알 수 있다. 그 중에서도 Pb, As, Cd 등에 대한 제거율은 다른 금속들에 비해 높기 때문에, 만약 이들로 오염된 물을 보리차 및 옥수수차로 제조하여 섭취한다면 이 금속들에 대한

인체 노출을 줄일 수 있다.

한편, Mn은 차의 재료에 의하여 제거되지 않고 오히려 차의 재료로부터 용출되어 나와 증류수를 가지고 보리차를 제조할 경우에 약 30 µg/l의 농도를 나타내었다. 이는 현재 Mn에 대해 우리나라에서 정한 ‘먹는 물 기준치’인 300 µg/l의 1/10 수준이지만, 미국 EPA에서 정한 ‘National Secondary Drinking Water Regulations (Secondary Standards)’에서의 50 µg/l에는 근사한 값이다. 이와 같이 Mn이 들어있지 않은 물을 가지고 보리차를 제조하여 섭취할 경우 Mn에 대한 위해도를 평가하여 보았다. 미국 IRIS (Integrated Risk Information System)에서 제시하고 있는 경구 섭취에 대한 RfD(참고 용량)은  $1.4 \times 10^{-2}$  mg/kg/day이고, 체중 70 kg의 성인이 위에서 제시한 0.030 mg/l의 Mn이 함유된 물을 매일 2l/day의 비율로 70년 동안 섭취한다고 가정하면, 평균일일용량 (ADD, Average Daily Dose)은

$$\frac{0.030 \text{ mg/l} \times 2 \text{ l/day} \times 70 \text{ yrs}}{70 \text{ kg} \times 70 \text{ yrs}} = 8.6 \times 10^{-4} \text{ mg/kg/day}$$

이고 HQ (Hazard Quotient = ADD/RfD)는 0.06으로 1보다는 작으므로 안전한 범위에 들어있는 것으로 평가된다. 그렇지만, 음용수 자체가 Mn으로 오염된 경우에는 전혀 제거되지 않고 차의 재료로부터 용출되어 나오므로 이에 대한 적절한 조치가 필요하다고 본다.

이 연구에서는 여덟 가지 금속들의 농도를 50 µg/l로 일정하게 유지하여 실험하였지만, 수돗물 중에서 이들의 농도는 대부분 이보다 낮게 존재하고 또한 다양하게 분포한다. 따라서, 환경 중에서 검출되는 각각의 농도 수준에서 보리 및 옥수수차 등에 의한 각 금속별 제거율을 평가하여 음용수 섭취에서 비롯되는 금속들에 대한 노출 평가를 실시하게 된다면, 보다 실제적인 위해도 평가가 가능하게 될 것이다.

## 결 론

보리차 및 옥수수차를 제조하여 섭취함으로써 물 중에 존재하는 대부분의 금속에 대한 경구 섭취 노출을 줄일 수 있으며, Pb, Cd, As, Co, Ni 및

Cu에 대한 제거율은 알곡 보리차 > 옥수수차 > 티백 > 보리차의 순서로 나타났다.

반면에, Mn은 세 종류의 차에 있어서 모두 물로부터 거의 제거되지 않고 오히려 차의 재료로부터 물 중으로 용출되어 나왔으며, Cr은 아주 일부만 제거됨을 알 수 있었다.

따라서, 음용수 섭취 과정에서 비롯되는 금속들에 대하여 경구섭취 노출평가를 실시할 경우, 보리차 및 옥수수차를 제조하는 과정에서 금속들이 제거되거나 차의 재료로부터 물 중으로 용출되어 나온다는 점을 고려하여야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김선하. 보리차 제조 중 중금속의 흡착에 관한 연구. 1991, 동덕여자대학교 대학원 석사학위논문.
- 이병무. 서울시 일부 수도전수 중 중금속에 관한 조사연구. 한국환경위생학회지 1984; 10(2) : 41-51.
- 이수형. 수돗물 이용패턴에 따른 염소소독부산물과 중금속에 대한 경구섭취 노출 평가. 2000, 강원대학교 대학원 석사학위논문.
- Bull RJ, LS Birnbaum, KP Cantor, JB Rose, BE Butterworth, R Pegram, and J Tuomisto. Water Chlorination : Essential Process or Cancer Hazard? *Fundam. Appl. Toxicol.* 1995; 28 : 155-166.
- Davis NT and Nightingale R. The Effect of Phytate on Intestinal Absorption and Secretion of Zinc and Whole Body Retention for Zinc, Copper, Iron, and Manganese in Rats. *J. Nutr.* 1975; 34: 243.
- Erdman JW. Oilseed Phytates : Nutritional Implications. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1979; 56(8) : 736-741.
- Friberg, L, GF Nordberg and VB Vouk. *Handbook of the Toxicology of Metals.* 1979, Elsevier-North Holland, Amsterdam, The Netherlands.
- Integrated Risk Information System (IRIS). <http://www.epa.gov/iris>.
- Krasner SW, MJ McGuire, JG Jacangelo, NL Patania, KM Reagan and EM Aieta. The Occurrence of Disinfection By-products in US Drinking Water. *J. AWWA* 1989; 81(8) : 41-53.
- Maga JA. Phytate : It's Chemistry, Occurrence, Food Interactions, Nutritional Significance, and Methods of Analysis. *J. Agr. Food Chem.* 1982; 30(1) : 1-9.
- Stumm W and JJ Morgan. *Aquatic Chemistry : Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters.* 3rd Ed., Wiley-Interscience 1996; p. 285.