

## 황동제 주방기구에서 유해중금속의 용출기작에 관한연구

이광호, 권기성, 전대훈, 최병희, 김성욱, 이선희, 이철원  
식품의약품안전청 식품첨가물평가부 용기포장과

### Migration Mechanism of Hazard Elements from Brass Kitchenwares

Kwang-Ho Lee, Ki-sung Kwon, Dae-Hoon Jeon,  
Byung-Hee Choi, Sung-Wook Kim, Sun-Hee Lee, Chul-Won Lee  
Packaging Division, Korea Food & Drug Administration

#### Abstract

The migration mechanism of trace elements, Pb, Cd, Cu, Zn and Sn from brass food-contact utensiles was investigated. The migration of metals from brass was affected by the migration temperature (30, 60, 80 and 95°C), the simulant pH (2.5, 4.3, 6.0 and 7.0) and the migration time (30, 90, 180 and 360 min.). The amount of Pb migration was maximum at 95°C with pH 2.5. This study indicated that the equilibrium of Pb migration was reached at 180 minutes. The mechanism of Pb migration was investigated with Scanning Electron Microscope (SEM) and Electron Probe Micro Analyzer (EPMA). To correlate the relations between the migration and the content of Pb in brass samples, ten brass samples having known content of Pb (the quantities of Pb in brass ; 0, 0.02, 0.09, 0.1, 0.2, 0.5, 0.9, 1.4, 5.4 and 9.2 % (w/w)) were tested in the following conditions, 4% acetic acid, 95°C and 30 minutes. The result represented that content of Pb in brass samples must be below 0.2 % (w/w) to satisfy the 1.0 ppm (as Pb) of Korea Food Code.

**Key words :** migration, Pb, brass, mechanism, simulant, kitchenware

#### 서론

황동은 구리와 아연의 합금으로서 구리합금 중에서 가장 많이 공업적으로 사용되고 있다. 황동은 색깔이 아름답고, 순구리보다도 주조하기 쉬우며 경도와 강도가 크고, 전연성(展延性)이 풍부해서 얇은 박이나 가는 철사 등을 만들 수 있다. 여러 가지 기구와 장식품, 선반 및 기계의 부품 등에도 많이 사용된다.<sup>(1)</sup>

일반적으로 시계부품, 톱니바퀴, 볼트, 너트 및 밸브 등에 사용되는 황동은  $\alpha$ 고용체(Cu:Zn=7:3) 또는  $\beta$ 고

용체(Cu:Zn=6:4)가 주를 이루고 있으며, 납을 사용하는 이유는 절삭성 및 주물성을 향상시키기 위함이다.<sup>(1)</sup>

식품의약품안전청에서 시중에 유통중인 황동주물 구이용 불판에 대하여 조사를 한 결과 산업용에서나 사용되어야 할 Pb이 식품용에서 허용규격치인 1.0ppm<sup>(2)</sup> 이상 검출된 사례가 많아 이러한 제품의 사용을 금지토록 한바 있다. 이와같이 시중에 유통중인 황동주물 구이용 불판에 유해물질인 Pb이 규격치인 1.0ppm 이상 검출되는 이유는 영세업자들에 의해 산업용 황동이 식품용의 구이용 불판으로 재활용 되기 때문이다.

Pb는 인체에 유해한 축적독성이 강한 미량 금속으로서 신경, 평활근의 장애와 적혈구중의 헤모글로빈을 감소시켜 빈혈을 유발한다.<sup>(3-5)</sup>

Corresponding author: Kwang-Ho Lee, Packaging Division, Korea Food & Drug Administration, 5 Nokbun-dong, Eunpyung-Ku, Seoul 122-020, Korea

Zn는 타금속에 비해 황동에서 용출되는 양이 많은데 이를 탈아연 (dezincification)<sup>1)</sup>이라하며 산성 조건에서 흔히 일어나는 현상으로 이를 방지하기 위해 억제제 (inhibitor)를 넣기도 한다. 탈 아연 현상이 일어나면 충격에 의한 갈라짐(cracking)현상이 발생하는데, 이에 따라 황동불판의 경우 내부의 납이 용출될 확률이 커져 Pb이 있는 황동불판을 더 유해하게 한다. Zn는 세포분열, 핵산대사에 관여하고 70여종이상의 효소기능에 필수적인 성분으로, 인체에 꼭 필요한 금속이나 과량섭취 시에는 강한 자극작용에 의해 구토, 복통, 설사등을 일으킨다고 한다. 그러나 그 독성은 다른 금속에 비해 약한 편이다.<sup>(6-7)</sup>

Pb가 포함된 α고용체 황동의 경우, Pb의 함량이 증가하거나 입자(grain)크기가 커짐에 따라 갈라짐(fracture) 현상이 증가하는 경향이 보고 되었다.<sup>(8-9)</sup>

Cu는 모든 금속중 고대로부터 인간에 의해 가장 많이 이용되고 있는 금속중의 하나이며 영양학적 측면에서 필수성분이나 과량 섭취시에는 구토 저혈압 흑토증(melena)등을 일으킨다고 알려져 있다.<sup>(3-5)</sup>

본 연구에서는 황동주물 구이용 불판에서 납용출로 인한 국민건강의 위해요소가 크므로 황동을 대표금속으로 용출조건 즉, 용출온도, pH 및 시간에 따른 유해중금속의 용출량 및 표면상태를 SEM 으로 조사하여 금속의 용출에 영향을 미치는 요소들을 규명 하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

용출온도, pH 및 시간에 따른 금속 용출량의 관계 규명 과 재질중의 납 함량에 따른 납 용출량의 변화를 보기 위한 Pb 함유량이 각각 다른 11종 (0, 0.02, 0.09, 0.1, 0.2, 0.5, 0.9, 1.7, 2.0, 5.4, 9.2%(w/w)) 시편을 대창공업 (주)의 협조로 제작하였다.

### 분석 대상금속

Cu, Zn, Sn, Fe, Pb, Cd

### 시약 및 시액

재질시험, 용출시험 및 미량금속 분석에 사용된 시약

은 특급시약이며 증류수는 재 증류 후 이온을 제거 시킨 탈이온수를 사용하였다. Cu, Zn, Sn, Fe, Pb, Cd 표준 용액으로 원자흡광분석용 1,000ppm용액(Wako Pure Chemical Industry, Ltd) 표준원액을 탈이온수를 사용하여 Table 1과 같이 희석하여 표준용액으로 사용하였으며, Wako Pure Chemical Industry Ltd의 정밀 분석용 초산을 사용하였다.

### 측정기기

Flame AA (Atomic Absorption Spectroscopy)는 미국 Perkin-Elmer사의 5100PC를 사용 하였으며, SEM (Scanning Electron Microscope) 및 EPMA (Electron Probe Micro Analyzer)는 일본 Shimadzu 사의 EDAX를 사용하였다.

### 재질시험

금속제 시편을 연마하여 고유의 광택이 나는 여러곳을 예리한 칼로 긁어내어 검체로 하며, 검체는 0.005~0.05g을 백금접시 또는 도가니에 취하고 질산을 소량 넣어 녹인 후 물로 희석하여 시험용액으로 하였다.

### 온도에 따른 납(Pb) 용출시험

용출용매로 4%초산을 사용하였다. 황동검체 표면적 (1cm<sup>2</sup>)당 2ml의 용출용매를 beaker에 붓고 30, 60, 80, 95℃의 시험온도에 따라 가온한 후 세정·가온한 황동 검체를 침적하여 밀봉하였다. 빛이 없는 항온 chamber에 30분간 방치하여 용출을 행한 후 시료를 취해 용출액을 시험용액으로 하였다.

### 용매 pH에 따른 금속 용출시험

용출 용매로 pH 2.5(4% 초산), pH 4.3(시판중인 불고기 양념류 10종의 평균 pH) 및 pH 6.0(음식점에서

Table 1. Concentration of the Elements Standard Solution

Element	Concentration (mg/L)			
	Sensibility check	Calibration		
Cu	4.0	5.0	15.0	30.0
Zn	1.0	1.0	3.0	6.0
Sn	150.0	50.0	150.0	400.0
Fe	5.0	5.0	15.0	30.0
Pb	20	20.0	60.0	120.0
Cd	1.5	2.0	6.0	12.0

제공되는 양념류 25종의 평균 pH)를 사용하였다. 황동 검체 표면적(1cm<sup>2</sup>)당 2 ml의 용출 용매를 beaker에 붓고 95℃의 시험온도에서 가온한 후 세정·가온한 황동 검체를 침적하여 밀봉하였다. 빛이 없는 항온 chamber에 30분간 방치하여 용출을 행한 후 용출액을 원자흡광도(AA) 시험용액으로 하였다. 용출액을 제거하고 남은 황동검체는 증류수로 washing 한후 SEM 및 EPMA 측정용 시편으로 사용하였다.

**시간에 따른 금속 용출시험**

용출용매로 4% 초산을 사용 하였다. 황동검체 표면적 (1cm<sup>2</sup>)당 2ml의 용출 용매를 beaker에 붓고 95℃에서 가온한 후 세정·가온한 황동검체를 침적하여 밀봉하였다. 빛이 없는 항온 chamber에 각각 30, 90, 180, 360분 동안 방치하여 용출을 행한 후 용출액을 AA 시험용액으로 하였다. 용출액을 제거하고 남은 황동검체는 증류수로 washing 한후 SEM 및 EPMA 측정용 시편으로 사용 하였다.

**Table 2. The Operating Condition of Flame AA**

Classification	Condition
Wave Length (nm)	Cu : 324.0
	Zn : 213.0
	Sn : 286.3
	Fe : 248.3
	Pb : 283.3
	Cd : 228.8
Gases	Cu, Zn, Fe, Pb, Cd : air-acetylene Sn : acetylene-nitrous oxide
slit width (nm)	0.7

**Table 3. Recovery of the Lead in Brasses with known Content of Pb**

Samples	Pb (wt%)		Recovery (%)
	Added in Brass	Analysis	
# 1	0.00	0.00	100
# 2	0.05	0.04	80
# 3	0.10	0.09	90
# 4	0.15	0.10	67
# 5	0.20	0.20	100
# 6	0.50	0.50	100
# 7	1.00	0.90	90
# 8	2.00	1.70	85
# 9	2.50	2.00	80
# 10	5.00	5.40	108
# 11	10.0	9.20	92

**황동 재질중의 Pb 함량에 따른 Pb 용출량 시험**

용출용매로 4% 초산을 사용 하였다. 황동검체 표면적 (1 cm<sup>2</sup>)당 2 ml의 용출 용매를 beaker에 붓고 95℃에서 가온한 후 세정·가온한 황동검체를 침적하여 밀봉하였다. 빛이 없는 항온 chamber에 각각 30분 동안 방치하여 용출을 행한 후 용출액을 AA 시험용액으로 하였다.

**측정**

시험용액을 Table 2의 조건에 따라 Flame AA로 측정하였으며, SEM 및 EPMA는 포항산업과학연구원에서 용출후 남은 금속을 시편으로하여 표면촬영 (SEM, 15kV에서 500 배율) 및 원소함량 분석 (EPMA, 20.0 kV) 을 수행하였다.

**회수율 시험**

황동에 임의로 알고 있는 양의 Pb을 첨가한 시편 10종을 국내 황동 제조사인 대창공업(주)의 협조로 제조하였으며, Flame AA로 분석하여 Table 3과 같은 회수율을 얻었다.

**결과 및 고찰**

**시험용액중의 금속의 측정**

시험용액중의 각 금속의 검출한계는 Cu 의 경우 43 ppb, Pb 10 ppb, Cd 85 ppb, Fe 497 ppb, Zn 9 ppb 이었다.

**용출온도에 따른 Pb 용출량**

용출온도에 따른 Pb 용출량의 변화를 보기위해 용출 용매로 4% 초산을 사용하고 용출시간을 30분으로 하여 30~95℃ 까지 용출 온도를 변화시켜 용출 하였다.

황동주물의 경우 Table 4에서와 같이 30℃에서 80℃까지는 납(Pb) 용출량의 변화가 없다가 95℃에서 급격히 증가하여 약 2배의 용출량을 나타냈다. 식품공전에는 100℃ 이상에서 사용되는 금속제 기구 및 용기의 용출 시험에서 4%초산을 가지고 95℃에서 30분간 방치하도록 되어있어 합당하다고 생각된다.

**용출용매 pH에 따른 금속용출 메카니즘**

용출용매의 pH 별 시험에서는 실제 구이(조리) 조건

과 유사한 조건에서 시험하기 위하여 pH 2.5, 4.3, 6.0, 및 7.0을 선정하였는데, 4%초산이 pH 2.5에 해당되며, pH 4.3은 국내 시판중인 불고기 양념류 10종을 수거하여 평균한 값이며, pH 6.0은 음식점에서 제공되는 불고기 양념류 25종의 평균 값으로 Table 5에 각양념류의 pH를 나타 내었다.

Fig. 1 및 Table 6 에서와 같이, 용출용매의 pH가 낮아짐에 따라 금속의 용출량이 증가하는 경향을 보였다. 황동에서 Cu나 Zn는 pH가 아주 낮을 경우에만 용출량이 커지는 경향을 보이나 Pb는 조금만 acidic한 조건이 되어도 용출량이 증가하는 경향을 보였다. 이는 Cu 와 Zn는 견고한  $\alpha$ 나 $\beta$ 고용체를 형성하는 반면<sup>(1)</sup> 황동내 Pb는 Cu와 Zn금속 매트릭스(matrix)에서 용해도(solubility)가 낮고 Cu 나 Zn 에 비해 입자가 크기 때문이다.<sup>(9, 10)</sup>

SEM 및 EPMA 를 통한 용출후 황동표면 상태의 분석 결과를 Fig. 2 및 Table 7 에 나타내었다. SEM 사진에서 흰색(회색은 포함안됨) 부분이 Pb을 나타내는데 용출용매가 acidic함에 따라 흰부분 즉 Pb이 감소함을 볼 수 있었다.

Table 7의 용출용매 pH 별 결과에서도 acidic한 용출용매 일수록 황동표면의 Pb가 적게 남아 용출이 잘 됨을 볼수 있었다.

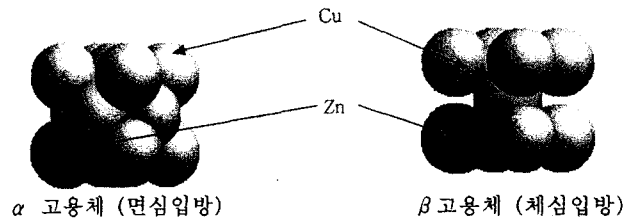


Table 4. The Effect of Temperature on the Migration of Pb from Brass

Material	Elements (%(w/w))	Surface Area (cm <sup>2</sup> )	Simulant Volume (ml)	Migration of Pb, mg/L( $\mu$ g/cm <sup>3</sup> )				Remarks
				30°C	60°C	80°C	95°C	
Brass Cast	Cu : 63.8 Zn : 33.5 Sn : nd Fe : nd Pb : 1.7 Cd : nd	66	132	7.61 (15.22)	6.84 (13.68)	7.27 (14.54)	12.94 (25.88)	· Food Simulant : 4% (v/v) Acetic Acid · Test Time : 30 min.

· nd : not detected

Table 5. The pH of Bulgogi Sauces from Markets and Restaurants

Markets			Restaurants in Seoul					
Samples	pH	Remarks	North Region			South Region		
			Samples	pH	Remarks	Samples	pH	Remarks
1	4.32	beef	1	6.00	beef	1	6.27	pork
2	4.53	pork	2	5.56	pork	2	6.34	pork
3	4.36	pork	3	5.69	beef	3	6.30	pork
4	4.48	pork	4	5.30	beef	4	6.25	pork
5	4.88	beef	5	5.88	beef	5	6.24	pork
6	4.66	pork	6	5.48	pork	6	5.09	beef
7	4.67	pork	7	5.82	beef	7	5.92	beef
8	4.67	beef	8	6.20	pork	8	5.92	beef
9	4.76	pork	9	6.29	pork	9	5.96	beef
10	4.50	pork	10	5.91	beef	10	5.91	beef
			11	5.99	beef	11	5.95	beef
						12	6.0	beef
						13	5.91	beef
						14	5.42	beef
Average	4.58		Average	5.82		Average	5.96	

용출시간에 따른 금속용출 메커니즘

용출시간 증가에 따라 금속의 용출량이 증가하는 경향을 보였다. Fig. 3 및 Table 8 을 보면 Cu 나 Zn 는 용출시간 증가에 따라 비례하여 용출량이 증가하는 경향을 보인 반면, Pb의 경우는 180분 에서 평형상태에 도달되었다. 그 이유로는 Cu 나 Zn는 매트릭스 (metrix)로 시간 경과에 따라 계속 용출되어 나오게 되지만 Pb 의 경우는 황동과의 용해도(solubility)가 없어 일정 시간후 표면으로부터 모두 용출되어 없어져 버린다. Pb가 더 나오기 위해서는 연마 등을 통해 새로운 표면이 형성되어야 한다. Fig. 4 와 같이 용출후 황동의 표면 상태를 SEM을 통해 분석한 결과 SEM 사진 A,

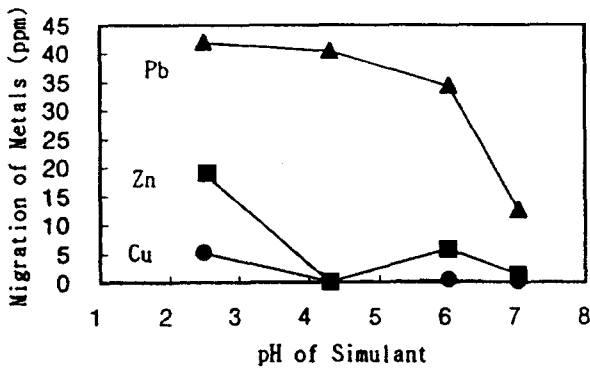


Fig. 1. The Effect of the Simulant pH on Migration of Elements from Brass

Table 6. The Effect of the Simulant pH on Migration of Elements from Brass

Materials	Metals (%(w/w))	Migration of Metals, mg/l (ug/cm <sup>2</sup> )				Remarks	
		pH 2.5	pH 4.3	pH 6.0	pH 7.0		
Brass Cast	Cu	62.7	5.21 (10.42)	0.23 (0.46)	0.47 (0.94)	Test Temp. : 95°C Test Time : 30 min.	
	Zn	32.8	19.20 (38.40)	0.09 (0.18)	5.87 (11.74)		
	Sn	nd	1.65 (3.30)	nd	1.19 (2.38)		
	Fe	0.6	5.74 (11.48)	nd	nd		
	Pb	2.0	42.08 (84.16)	40.38 (80.76)	34.37 (68.74)		
	Cd	nd	nd	nd	nd		
	Surface Area (cm <sup>2</sup> )		84	80	80		100
	Simulant Volume(ml)		168	160	160		200

· nd : not detected

E-G 에서 사진 A 및 E 에서는 흰색부분이 남아 있으나 사진 F (180분)과 사진 G (360분) 에서는 거의 보이지 않고 있으며 이는 Table 7의 황동 표면의 Pb 함유량 결과와도 일치한다.

황동재질중의 Pb 함량에 따른 Pb 용출량

Table 9 에서 재질중의 Pb 함량에 따른 Pb 용출량을 분리하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5 으로부터 황동의 경우 식품공전의 용출규격 1.0 ppm 이하를 만족시키기 위해서, 재질에서는 Pb의 함량이 0.2%(w/w)가 되어야 한다. 현행 식품공전의 재질 규격에는 납의 함량이 10%(w/w)로 되어 있으나 황동의 경우가 있어서 용출 규격인 1 ppm 을 충족하기 위해서는 재질중에는 훨씬 낮은 함량의 Pb가 요구 되었다. 이와같이 재질중의 납이 조금만 있어도 용출이 잘되는 이유는 크게 두가지

Table 7. The Quantities of Pb on Brass Surface after Migration Test according to Simulant pH and Test Times

Test Conditions	The Quantities of Pb on Brass Surface(%(w/w))	Reference Figure	Remarks
Simulant pH	pH 2.5	3.66	Fig. 2 · Test Temp. : 95°C · Test Times : 30분
	pH 4.3	7.75	
	pH 6.0	9.84	
	pH 7.0	13.25	
Test Times	30 min.	3.66	Fig. 4 · Test Temp. : 95°C · Simulant pH : 4%(v/v) · Acetic acid
	90 min.	0	
	180 min.	0	
	360 min.	0	

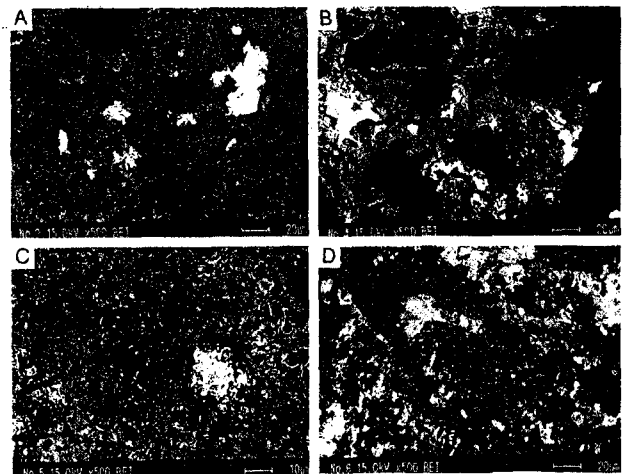


Fig. 2. The Effect of the Simulant pH on Migration of Elements from Brass(SEM, White Color Represents the Pb) A:pH 2.5 B:pH 4.3 C:pH 6.0 D:pH 7.0

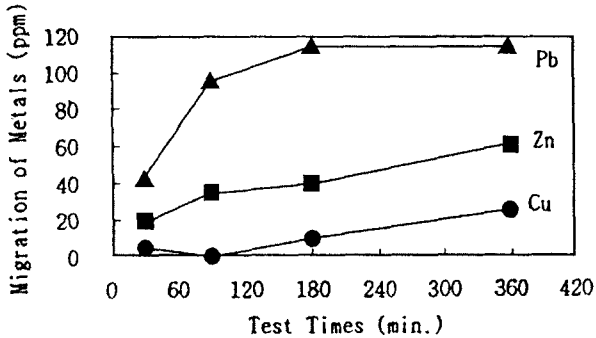


Fig. 3. The Effect of the Test Times on the Migration of Elements from Brass

Table 8. The Effect of Test Times on Migration from Brass

Materials	Metals (%(w/w))	Migration of Metals, mg/L(μg/cm <sup>2</sup> )				Remarks	
		30	90	180	360		
Brass Cast	Cu	62.7	5.21 (10.42)	0.45 (0.90)	9.63 (19.26)	24.56 (49.12)	· Food Simulant : 4% (v/v) Acetic acid · Test Temp. : 95°C
	Zn	32.8	19.20 (38.4)	35.00 (70.00)	40.00 (80.00)	60.00 (120.00)	
	Sn	nd	1.65 (3.30)	nd	nd	1.87 (3.74)	
	Fe	0.6	5.74 (11.84)	0.78 (1.56)	20.21 (40.42)	19.45 (38.90)	
	Pb	2.0	42.08 (84.16)	95.12 (190.20)	113.30 (226.6)	113.30 (226.60)	
	Cd	nd	nd	nd	nd	nd	
	Surface Area (cm <sup>2</sup> )		84	60	60	70	
	Simulant Volume(ml)		168	120	120	120	

· nd : not detected

인 것으로 판단된다. 첫째 황동에서의 납은 solubility가 극히 낮으며 (max solubility 0.002 - 0.005% at 953 ℃) 그 이상에서는 분산 (dispersion) 상태를 유지하며 또한 Pb는 Cu나 Zn에 비해 결정크기가 크다.<sup>(8-10)</sup> 둘째 황동 자체의 자연균열 (season cracking)의 현상<sup>(4)</sup>으로 내부로부터 납의 용출현상도 촉진되어 일어난다.

결론

황동제 구이용 불판에서 Pb, Cd, Cu, Zn, Sn 등 유해 중금속의 용출과 기작에 대하여 연구하였다. 황동을 대표 금속으로 선정하여 용출 온도, pH 및 시간에 따른 Pb, Cd를 포함한 금속의 용출량 조사에서 온도 및 pH

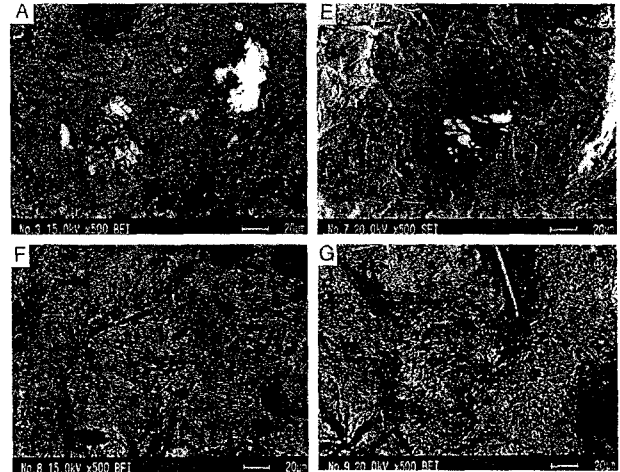


Fig. 4. The Effect of Test Times on the Migration of Elements from Brass(SEM, White Color Represents the Pb) A:30min E:90min F:180min G:360min

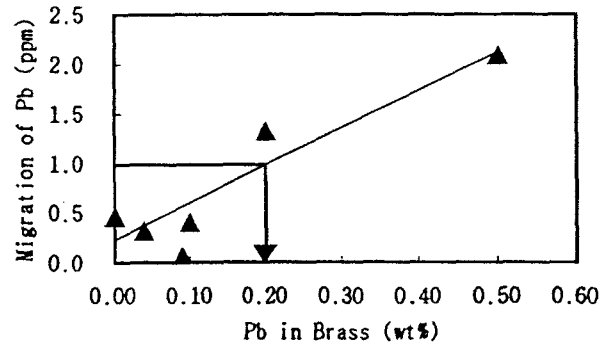


Fig. 5. The Migration of Pb from Brass having known Quantities of Pb

변화에 따른 시험결과 95℃, pH 2.5인 조건에서 용출이 가장 많은 반면, 용출 시간별 시험에서는 3시간 이후까지 Pb가 용출된 후 평형 상태를 유지하며 납이 용출되는 메카니즘은 SEM을 통하여 확인할 수 있었다. 황동의 경우, 재질중의 Pb 함량과 용출량과의 관계를 규명하기 위해 Pb 함량별 10종의 시편을 제작하여 4% 초산, 95℃, 30분에서 시험한 결과, 용출규격인 중금속이 1 ppm (납으로서) 이하가 되기 위해서는 재질중 허용 Pb 함량은 0.2% 이하가 되어야 했다.

감사의 글

본 연구를 위해 협조해주신 대창공업(주) 윤의한 소장 과 포항산업과학연구원 선진군 박사께 감사 드립니다.

Table 9. The Migration of Pb from Brass with known Content of Pb

Sample No.	Metal Content (%)						Migration of Metals, mg/kg (µg/cm <sup>2</sup> )					
	Cu	Zn	Sn	Pb	Bi	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb	Cd	
1	63.9	34.1	nd	nd	nd	nd	1.91(3.82)	14.10(28.20)	nd	nd	0.49(0.98)	nd
2	65.9	36.0	nd	nd	0.04	nd	1.10(2.20)	14.90(29.80)	nd	nd	0.29(0.58)	nd
3	64.1	34.0	nd	nd	0.09	nd	2.56(5.12)	3.52(7.04)	0.95(1.90)	nd	0.06(0.12)	nd
4	64.5	35.3	nd	nd	0.10	nd	0.55(1.10)	5.13(10.26)	nd	nd	0.40(0.80)	nd
5	65.8	34.0	nd	nd	0.20	nd	1.26(2.52)	63.00(126.00)	nd	nd	1.32(2.64)	nd
6	64.4	35.0	nd	nd	0.50	nd	0.78(1.56)	5.04(10.08)	nd	nd	2.09(4.18)	nd
7	64.2	34.8	nd	nd	0.90	nd	1.96(3.92)	13.60(27.20)	nd	nd	4.86(9.72)	nd
8	63.8	33.5	1.1	nd	1.70	nd	0.89(1.78)	8.40(16.80)	1.19(2.38)	nd	12.94(25.88)	nd
9	63.7	30.9	nd	nd	5.40	nd	0.20(0.40)	3.16(6.32)	nd	nd	98.49(197.00)	nd
10	69.5	19.8	1.5	nd	9.20	nd	0.23(0.46)	2.42(4.84)	nd	nd	288.70(577.30)	nd

· Surface Area : 66cm<sup>2</sup>, Simulant Volume : 132ml

· nd : not detected

## 요약

구이용 불판인 주방용 기구에 사용되는 황동제에서 Pb, Cd, Cu, Zn, Sn 등 유해 중금속의 용출과 메카니즘에 대하여 연구하였다. 황동을 대표금속으로 선정하여 용출 온도 (30, 60, 80, 95℃), pH (2.5, 4.3, 6.0, 7.0) 및 시간 (30, 90, 180, 360분)에 따른 금속 용출량 조사에서 온도 및 pH 변화에 따른 시험결과, 95℃, pH 2.5인 조건에서 용출이 가장 많았던 반면, 용출 시간별 시험에서는 180분 이후까지 Pb가 용출된 후 평형 상태를 유지하였다. 납이 용출되는 가시적 현상은 SEM을 통하여 확인할 수 있었다. 황동의 경우, 재질중의 Pb 함량과 용출량과의 관계를 규명하기 위해 Pb 함량별 10종 (0, 0.02, 0.09, 0.1, 0.2, 0.5, 0.9, 1.7, 5.4, 9.2%(w/w))의 시편을 제작하여 4% 초산, 95℃, 30분에서 시험한 결과, 용출규격인 중금속이 1.0 ppm (납으로서) 이하가 되기 위해서는 재질중 허용 Pb 함량은 0.2% 이하가 되어야 했다.

## 참고 문헌

1. 금속공학사전 편찬위원회 : 금속공학대사전 한국사전연구소 (1996)
2. 식품공전 : 제6 기구 및 용기·포장의 기준·규격의 2. 재질별 규격 5. 금속제 (1999)
3. 원경풍 : 식품중의 미량금속에 관한 조사연구, 식품의약품안전본부연보 (1996)
4. National Food Authority : The 1992 Australian Market Basket Survey, A Total Diet Survey of Pesticides and Contaminants (1994)
5. Conor Reilly : Metal Contamination of Food, 2nd edition, Elsevier Science Publishers Ltd. (London) (1991)
6. WHO : Lead (Environmental Health Criteria3), 13~16 (1977)
7. International Life Sciences Institute : Present Knowledge on Nutrition 6th edition (1990)
8. Tshihiro Yano, Xu Ling, Tatsuo Yokote and Ryuuta Onodera : J. Japan Inst. Metals, Vol. 63, No. 3 (1999)
9. Tshihiro Yano, Xu Ling, Tatsuo Yokote and Ryuuta Onodera : Materials Science and Technology, Vol. 15 (1999)
10. O. Bauer and M. Hansen : Zeitschrift fur Metallkunde, 21, 145 (1929)