

## 조리용구용 석재의 기초 특성과 중금속 원소의 용출 특성

진호일<sup>1\*</sup> · 김신자<sup>2</sup> · 김복란<sup>3</sup> · 민경원<sup>4</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 석재복합신소재제품연구센터, <sup>2</sup>소양중학교, <sup>3</sup>강원대학교 가정교육과, <sup>4</sup>강원대학교 지구시스템공학과

## Basic Properties of Stones used for Cooking Utensils and Their Leaching Characteristics for Heavy Metal Elements

Ho-Il Chin<sup>1\*</sup>, Shin-Ja Kim<sup>2</sup>, Bok-Ran Kim<sup>3</sup> and Kyoung-Won Min<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products, Kangwon National University, Hyoja-2-dong 192-1, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>2</sup>Soyang Middle School, Sanong-dong 82, Chuncheon 200-140, Korea

<sup>3</sup>Department of Home Economics Education, Kangwon National University, Hyoja-2-dong 192-1, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>4</sup>Department of Geosystem Engineering, Kangwon National University, Hyoja-2-dong 192-1, Chuncheon 200-701, Korea

Dominant rock types of stones used presently for cooking utensils in Korea are pyroxenite, breccia and biotite diorite. Pyroxenite and biotite diorite relatively abundant in mafic minerals have higher specific gravities of 3.0 than breccia of 2.5. Breccia shows the highest absorption (2.9%) among three stones used as cooking utensils and pH value of three stone types shows the alkaline range of 9.7 to 9.9. Among the studied stones used for cooking utensils, biotite diorite is the most durable against abrasion and has the highest strength and therefore, it is expected to be used effectively for the longest time except for other specific causes. Heavy metals such as Cu, Pb, Co, Cr and Ni were leached lower than their detection limit (0.1 ppm) regardless of reaction time and initial pH value of solution. But the leached contents of Fe are various with rock types and leaching conditions and those by acidic solution are generally 1.8 to 31 times higher than those by neutral solution. Breccia and biotite diorite show the highest leached content of Fe in cases of neutral and acidic solutions, respectively. Standard criteria of leached heavy metals and macrominerals should be studied thoroughly to utilize stones for cooking utensils of high quality which are harmless to the human body. Also it is required to examine more detailed abiochemical properties of various stone types used for cooking utensils.

**Key words** : cooking utensils, stone, durable, heavy metal elements, leaching

현재 우리 나라에서 조리용구로 많이 사용되고 있는 석재에는 휘석암과 각력암, 흑운모섬록암 등이 있으며, 이중 유색 광물이 상대적으로 많은 휘석암과 흑운모섬록암은 비중이 3.0으로 각력암(2.5)보다 약간 더 무거운 특징을 보였고, 흡수율은 각력암이 2.9%로 가장 높았으며, pH는 모두 9.7~9.9의 범위로 약알칼리성을 나타내었다. 또한 조리용구용 석재중 흑운모섬록암이 각력암이나 휘석암보다 마모에 대한 내구성과 강도가 가장 우수하여 다른 특별한 요인이 없는 한 가장 오랫동안 사용할 수 있음을 나타내었다. 용출시험 결과, Cu, Pb, Co, Cr, Ni 등의 유독성 중금속 원소들은 연구대상 암석에서 모두 반응시간 및 용액의 초기 pH에 관계없이 모두 측정 한계값인 0.1 ppm 이하로 낮았으나, 철(Fe)은 암석의 종류 및 용출 조건에 따라 다스간의 용출량 차이를 보였는데, 대체로 중성보다는 산성용액을 첨가하였을 경우에 약 1.8~31배 정도 더 높은 용출량을 나타내었고, 반응용액이 중성인 조건에서는 각력암에서, 산성인 경우에는 흑운모섬록암에서 가장 높은 철(Fe)의 용출량을 보여 주었다. 석재를 인체에 해가 없는 고기능성 조리용구로 이용하기 위해서는 인체에 영향을 미칠 수 있는 중금속 및 다량 무기질 원소들에 대한 용출함량 기준이 먼저 마련되어야 하며, 또한 보다 많은 종류의 조리용구용 석재와 화학원소들을 대상으로 좀 더 체계적인 무기화학적 특성에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

**주요어** : 조리용구, 석재, 내구성, 중금속 원소, 용출

\*Corresponding author: hichin@kangwon.ac.kr

## 1. 서 론

최근 국민들의 생활수준이 점차 고도화됨에 따라 식생활의 경우에서도 양적인 포만감을 중요시하던 과거와는 달리 인체의 건강과 관련하여 차별화 되고 기능성 있는 질적인 면들이 점차 강조되고 있는 추세이다. 특히 동일한 재료를 사용하더라도 조리용구에 의해 맛과 같은 음식에 대한 만족도가 달라지기 때문에 음식의 종류에 따라 조리과정에서 다양한 재질의 조리용구가 사용되고 있는데, 육류조리나 취사용구 등으로 사용되고 있는 각종 자연석들이 대표적인 예라 할 수 있다. 현재 우리 나라에서는 여러 종류의 자연석이 조리용 용구로 이용되고 있으며, 이러한 암석들은 각각의 광물조성에 따라 다양한 화학성분을 함유하고 있다. 일반적으로 석재용구를 이용하여 음식물을 조리할 때에는 용구에 물(조미된 물 또는 조미되지 않은 물)을 넣거나 또는 그 자체를 가열하는 경우가 대부분이다. 따라서 가열하여 조리하는 과정 중에 석재용구로부터 인체에 영향을 미칠 수 있는 특정 화학성분이 용출되어 나올 가능성도 배제할 수 없다. 그러나 지금까지 조리용구로부터 발생하는 화학원소들의 용출 특성에 관한 연구는 별로 없는 실정이며, 황동이나 청동, 스테인레스, 세라믹 등의 재질에 대해 특정 원소를 대상으로 한 연구만이 일부 수행된 바 있다(김동필, 1999; 김종만 등, 1997).

이 연구는 현재 조리용 석재용구로 많이 사용되고 있는 암석들의 제반 특성과 이에 따른 중금속 원소들의 용출 특성을 알아보고자 하였다.

## 2. 시료구입 및 처리

이 연구를 위하여 현재 국내에서 육류구이와 전골 및 돌솥 비빔용 등으로 많이 사용되고 있는 석재용구 중에서 암석의 종류가 서로 다르고 산지가 알려져 있으며, 비교적 입수하기가 용이한 세 종류의 석재용구 및 원석 시료를 구입하였다. 전라북도에서 산출되는 JS 시료는 과거 조선조 때부터 사용되어온 조리용구용 석재로서 현재는 주로 육류구이와 전골 및 돌솥 비빔용 용구로 많이 이용되고 있으며, 전라남도에서 산출되는 YC 시료는 주로 회 접시용과 돌솥 비빔 및 전골용 용구로, 강원도에서 산출되는 CC 시료는 돌솥 비빔 및 전골용 용구로 많이 사용되고 있다.

구입한 각각의 원석 시료는 세척-건조후 압편과 박편을 제작하여 육안 및 현미경 관찰을 하였고, 또한 비중, 흡수율 등과 같은 물리적 시험과 마모율, 강도

등과 같은 역학시험을 실시하였다. 그리고 원석 시료를 장경 약 0.8~4.7 mm 정도의 크기로 파·분쇄하여 pH 측정 및 중금속 원소들에 대한 용출시험을 실시하였다. 조리용구용 석재에 대한 주성분 및 미량원소들의 화학분석을 위해서는 시료의 대표성을 갖도록 파·분쇄한 암석시료를 잘 섞어 혼합한 후 사분법에 의해 약 300 g을 취한 다음, 전량 -200 mesh(직경 약 0.07 mm이하)로 미분쇄하였다.

## 3. 조리용구용 석재의 기초 특성

### 3.1. 암석학적 특성

이 연구에서 대상으로 하고 있는 조리용구용 석재의 광물학적 및 암석학적 특성을 알아보기 위하여 각각의 암석에 대해 박편을 제작한 후 현미경 관찰을 수행하였다. Table 1에서는 각 암석시료에 대한 모드분석 결과가 제시되었다.

주로 육류구이와 전골 및 돌솥 비빔용 용구로 많이 사용되고 있는 JS 시료는 암녹색을 띠는 조립·완정질 암석으로 주요 구성광물로 휘석과 각섬석, K-장석, 감람석, 사장석, 흑운모 등과 소량의 불투명광물, 석영, 녹니석 등을 함유하고 있다(Table 1). 특히 자형 내지 반자형의 황철석 입자가 특징적으로 관찰된다. 이와 같은 모드분석 결과와 입자들의 크기 및 조직과 함량 등을 고려할 때, JS 시료는 휘석암으로 생각된다.

회 접시용과 돌솥 비빔 및 전골용 용구로 많이 이용되고 있는 YC 시료는 전체적으로 담녹색을 띠는 세립 내지 유리질의 기질(matrix)내에 장경 약 1~5 cm 정도 되는 담갈색의 각력을 포함하고 있다. 현미경 관찰 결과 주요 조암광물은 K-장석과 방해석, 사장석, 녹니석, 불투명광물 등이고, 소량의 석영과 견운모가 함유되어 있다. 이러한 특징들을 고려할 때 YC 시료는 각력암으로 생각된다.

강원도에서 산출되며 돌솥 비빔 및 전골용 석재용구로 많이 이용되고 있는 CC 시료는 치밀한 조립질 암석으로서 암회색을 보인다. 주요 구성광물은 흑운모와 휘석, K-장석, 사장석, 각섬석 등이며, 소량의 불투명광물과 인회석, 견운모, 석영 등이 함유되어 있다. 조암광물의 종류와 입자의 크기 및 조직과 존재량 등을 고려할 때, CC 시료는 흑운모섬록암에 해당되는 것으로 판단된다.

### 3.2. 물리적 특성

KS F 2518(석재의 흡수율 및 비중 시험 방법)에

**Table 1.** Modal abundances of some stones used as cooking utensils (vol.%).

Sample No.	JS	YC	CC
Quartz	0.11	1.00	0.56
Plagioclase	1.90	4.79	5.06
K-feldspar	13.5	6.36	22.4
Biotite	1.34	-	37.1
Hornblende	15.0	-	3.15
Pyroxene	60.4	-	27.2
Olivine	7.14	-	-
Sphene	-	-	0.45
Chlorite	Tr.	2.56	0.22
Calcite	-	4.91	-
Sericite	-	0.22	1.01
Apatite	-	-	1.35
Opagues	0.67	1.45	1.46
Rock fragment	-	28.4	-
Groundmass	-	50.3	-

Tr. : Trace amounts

따라 조리용구용 석재의 겉보기 비중과 흡수율을 측정하였다.

일반적으로 암석의 비중은 암석의 암질이나 풍화정도 등에 따라 정해지는 암석 고유의 특성이라 할 수 있는데, 이 연구에서 사용한 흑운모섬록암(CC)과 휘석암(JS)의 겉보기 비중은 각각 평균 2.98과 2.96이었으며 각력암(YC)은 평균 2.49로 세 가지 조리용구용 석재중 가장 낮은 값을 보였다(Table 2). 또한 흡수율은 퇴적암인 각력암(YC)이 화성암인 휘석암(JS)과 흑운모섬록암(CC)보다 상대적으로 높은 2.90%를 나타내었다(Table 2).

### 3.3. 화학적 특성

화학분석은 서울대학교 기초과학교육연구공동기공원에서 수행하였는데, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(T), MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등 10가지의 주성분 원소는 X-선 형광분석기(XRF, XRF-1700; Shimadzu)로, Cu, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Ni 등 7개의 미량원소는 유도결합플라즈마 방출분석기(ICP-AES, ICPS-1000IV; Shimadzu; 기기의 측정 하한값은 Cu:

**Table 2.** Apparent specific gravity and absorption of some stones used as cooking utensils.

Sample No.	Apparent specific gravity	Absorption (%)
JS	2.96, 2.96, 2.95 (2.96)*	0.19, 0.22, 0.23 (0.21)*
YC	2.49, 2.49, 2.49 (2.49)*	2.90, 2.86, 2.93 (2.90)*
CC	2.98, 2.97, 2.99 (2.98)*	0.34, 0.35, 0.23 (0.31)*

\*( ) Mean

1 ppb, Pb: 10 ppb, Fe: 1 ppb, Co: 1 ppb, Cr: 10 ppb, Ni: 10 ppb)로 분석하였다. 또한, 950°C에서 30 분 동안 가열하여 작열감량(L.O.I.; loss on ignition)을 측정하였다.

주성분 원소중 SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등은 휘석암(JS)에서 가장 높은 값을 보여 주었으며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(T), MnO, MgO, CaO 등의 원소는 각력암(YC)에서, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 흑운모섬록암(CC)에서 가장 높은 값을 나타내었다(Table 3). 이러한 원소들의 함량분포는 암석의 모드(mode)와 밀접하게 관련되어 있다고 할 수 있다.

미량원소의 경우 Cu, Zn, Co, Cr, Ni 등은 대체로 유색광물이 많이 함유되어 있는 휘석암(JS)과 흑운모섬록암(CC)이 각력암(YC)보다 상대적으로 높은 값을 보였으며, Cd은 세 가지 암석에서 모두 측정 한계값인 0.5 ppm보다 낮은 값을 나타내었다. 또한 Pb와 Cr의 함량은 조리용구용 석재로 이용되는 세 가지 암석에서 모두 지각 중의 평균함량보다 높은 값을 보여 주었다(Table 4).

조리용구용 암석의 pH는 파 · 분쇄한 약 0.8~4.7 mm 정도 크기의 시료 20 g을 100 ml 비이커에 취하여 증류수 50 ml를 넣고 1시간 동안 잘 교반한 후, 약 10분 이상 방치하여 부유물질을 침전시킨 다음 pH 측정기(Orion Co., Model 720A)를 이용하여 측정하였다. 이 연구에서 대상으로 하고 있는 조리용구용 석재의 pH는 전체적으로 9.70~9.86의 범위로 약알칼리성의 특징을 보여 주었다(Table 4).

**Table 3.** Major element abundances and loss on ignition (L.O.I.) of some stones used as cooking utensils (unit in wt.%).

Sample No.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T)	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
JS	42.1	0.36	10.9	13.6	0.13	19.5	6.12	0.79	1.18	0.07	4.66
YC	64.3	0.45	15.2	4.21	0.08	1.25	3.17	3.96	2.91	0.11	4.66
CC	48.6	1.51	9.59	10.7	0.14	10.3	9.91	1.26	4.81	1.62	1.61

**Table 4.** Trace element abundances (ppm) and pH of some stones used as cooking utensils.

Sample No.	Cu	Pb	Zn	Cd	Co	Cr	Ni	pH
JS	92.4	21.7	109	< 0.5	84.7	829	188	9.87, 9.85 (9.86)**
YC	< 0.1	53.1	60.7	< 0.5	< 0.1	116	55.3	9.72, 9.68 (9.70)**
CC	53.3	44.4	90.1	< 0.5	57.3	445	120	9.81, 9.83 (9.82)**
Average content in the Earth's crust*	65	12.5	70	0.2	25	100	75	

\* Levinson (1974)

\*\* Mean

**Table 5.** Results of slake durability test of some stones used as cooking utensils.

Sample No.	Initial weight of specimens	1 cycle (10 min.)*	2 cycle (10 min.)*	3 cycle (10 min.)*	4 cycle (10 min.)*	5 cycle (10 min.)*	6 cycle (100 min.)*
JS	389.4 g (100)**	388.6 g (99.8)**	387.9 g (99.6)**	387.3 g (99.5)**	386.8 g (99.3)**	386.3 g (99.2)**	381.2 g (97.9)**
YC	386.3 g (100)**	386.2 g (100)**	385.7 g (99.8)**	385.4 g (99.8)**	385.1 g (99.7)**	384.9 g (99.6)**	381.7 g (98.8)**
CC	353.3 g (100)**	352.9 g (99.9)**	352.8 g (99.9)**	352.6 g (99.8)**	352.5 g (99.8)**	352.4 g (99.7)**	351.2 g (99.4)**

\* Shaking time

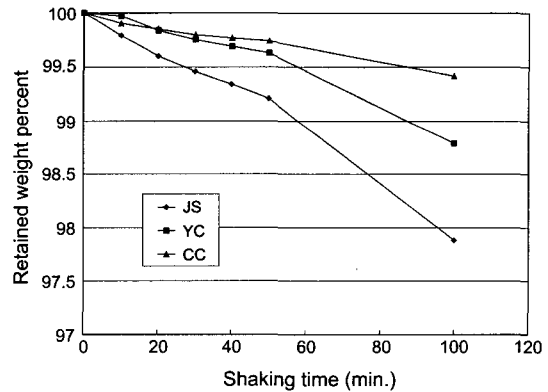
\*\* Retained weight percent after slake durability test

### 3.4. 역학적 특성

조리용구용 석재에 대한 역학적 특성을 알아보기 위하여 슬레이크 내구성 시험(slake durability test)과 점하중 시험(point load test)을 수행하였다. 슬레이크 내구성 시험은 일정 개수의 암석 시편을 넣은 드럼을 물속에서 일정한 속도로 회전시킬 때, 암석들간의 마찰로 연마되어 감소되는 무게감량을 계산하여 암석들의 내구성을 판단하는 방법이다(Gamble, 1971). 이 시험에서는 시료당 각각 10개씩의 암석시편(각각 35~40 g, 총계 350~390 g)을 모서리가 깨져 나가지 않도록 둥글게 연마한 다음, 슬레이크 내구성 시험기를 1분당 약 25회 회전하도록 조정한 후, 10분씩 회전시키는 것을 한 사이클(cycle)로 하여, 5 사이클을 실시하였으며, 마지막에는 100분 회전을 한 사이클로 시험하였다(Table 5).

슬레이크 내구성 시험 결과에서 보면, 시험 진행후 20분이 경과될 때(2번째 사이클)까지는 각력암(YC)이 상대적으로 마모에 대한 내구성이 가장 좋았으나, 시간이 경과됨에 따라 흑운모섬록암(CC)이 상대적으로 가장 우수한 것으로 나타났다(Table 5; Fig. 1).

조리용구용 석재에 대한 강도특성을 알아보기 위해 각각의 암석시료를 직경 약 1.8~2.7 cm, 길이가 약 3.0~6.0 cm 정도 되는 10개씩의 코어 시편을 가지고 점하중 시험을 수행한 후, 얻은 점하중 값을 환산하여 (Broch and Franklin, 1972) 일축압축강도를 계산하였

**Fig. 1.** Retained weight percent after slake durability test of some stones used as cooking utensils.

다(Table 6). 휘석암(JS)의 경우 평균 1,670 kgf/cm<sup>2</sup>, 각력암(YC)은 1,262 kgf/cm<sup>2</sup>, 흑운모섬록암(CC)은 1,898 kgf/cm<sup>2</sup>의 평균 압축강도 값을 나타내었는데, 이는 Deer and Miller(1996)의 암석 분류방법에 따르면 모두 단단한 경암(1,100~2,200 kgf/cm<sup>2</sup>)에 해당되었다.

## 4. 중금속 원소의 용출 특성

### 4.1. 용출시험 방법

현재 시판되어 사용되고 있는 조리용구용 석재들을 파 · 분쇄한 후, 일반적인 공정시험방법중 화학원소들

**Table 6.** Results of point load test for the some stones used as cooking utensils.

Sample No.	Specimen No.	Diameter (cm)	Load at Rupture (kg)	Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Ranges and Means of Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
JS	1	1.793	400	1,882	1,430~1,882 (1,670)*
	2	1.774	375	1,795	
	3	1.799	350	1,638	
	4	1.791	350	1,650	
	5	1.778	350	1,668	
	6	1.782	350	1,663	
	7	1.778	300	1,430	
	8	1.784	375	1,778	
	9	1.779	350	1,667	
	10	1.790	325	1,533	
YC	1	1.790	225	1,061	1,060~1,538 (1,262)*
	2	1.783	250	1,186	
	3	1.792	250	1,178	
	4	1.787	325	1,538	
	5	1.796	325	1,526	
	6	1.792	325	1,531	
	7	1.786	225	1,065	
	8	1.791	225	1,060	
	9	1.798	300	1,406	
	10	1.785	225	1,066	
CC	1	2.737	725	1,771	1,643~2,357 (1,898)*
	2	2.721	775	1,911	
	3	2.734	750	1,835	
	4	1.793	450	2,118	
	5	1.809	400	1,856	
	6	1.797	400	1,876	
	7	1.805	400	1,863	
	8	1.796	350	1,643	
	9	1.791	500	2,357	
	10	1.800	375	1,753	

( ) \* mean

의 용출시험을 위한 입자크기인 -4 mesh~+20 mesh (약 0.83~4.74 mm)가 되는 것만을 선택하여 중금속 용출시험에 이용하였다(공정시험방법, 1999). 먼저 입도 조절된 시료 20.0 g을 100 ml 용량의 메스플라스크에 넣고 각각의 목적에 따라 탈이온수(pH 6.7)와 pH 3.0으로 조절된 용액을 100 ml씩 첨가한 다음 가열판(hot plate)에서 일반적인 조리온도와 조리시간을 고려하여 96±3°C의 온도로 20분, 40분, 60분 동안씩 가열하였다. 또한 가열이 끝난 후에는 냉각시킨 후 가열하는 과정 중에 증발되어 제거된 양(0.20~2.55 ml) 만큼씩의 증류수를 첨가하여 각각의 시료들에 대한 희석배수(dilution factor)를 동일하게 하였다.

#### 4.2. 용출시험 결과

메스플라스크에 탈이온수(pH 6.7)와 pH 3.0으로 조절된 용액을 각각 100 ml씩 첨가하고 96±3°C로 가열하면서 반응시간과 용액의 초기 pH에 따른 Cu, Pb, Fe, Co, Cr, Ni 등 6가지 원소들의 용출 특성을 알아보았다. 그 결과 Cu, Pb, Co, Cr, Ni 등의 원소는 모든 조리용구용 암석에서 모두 반응시간 및 용액의 초기 pH에 관계없이 측정 한계값인 0.1 ppm보다 낮은 값을 나타내었다(Table 7). 그러나 Fe의 경우에는 반응시간과 용액의 초기 pH 조건에 따라 용출되어 나오는 Fe의 함량에 다소 차이를 보였는데, 대체로 증성에 가까운 탈이온수를 넣었을 때보다 초기 pH가

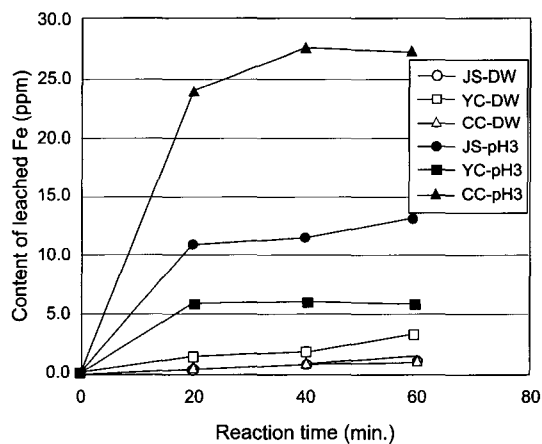
**Table 7.** Results of leaching experiment for the some stones used as cooking utensils (unit in ppm).

Sample No.	Cu	Pb	Fe	Co	Cr	Ni
JS-DW*-20	<0.1	<0.1	0.35	<0.1	<0.1	<0.1
JS-DW*-40	<0.1	<0.1	0.64	<0.1	<0.1	<0.1
JS-DW*-60	<0.1	<0.1	1.49	<0.1	<0.1	<0.1
YC-DW*-20	<0.1	<0.1	1.66	<0.1	<0.1	<0.1
YC-DW*-40	<0.1	<0.1	1.95	<0.1	<0.1	<0.1
YC-DW*-60	<0.1	<0.1	3.29	<0.1	<0.1	<0.1
CC-DW*-20	<0.1	<0.1	0.83	<0.1	<0.1	<0.1
CC-DW*-40	<0.1	<0.1	0.88	<0.1	<0.1	<0.1
CC-DW*-60	<0.1	<0.1	0.92	<0.1	<0.1	<0.1
JS-pH3-20	<0.1	<0.1	10.9	<0.1	<0.1	<0.1
JS-pH3-40	<0.1	<0.1	11.5	<0.1	<0.1	<0.1
JS-pH3-60	<0.1	<0.1	13.2	<0.1	<0.1	<0.1
YC-pH3-20	<0.1	<0.1	5.82	<0.1	<0.1	<0.1
YC-pH3-40	<0.1	<0.1	6.01	<0.1	<0.1	<0.1
YC-pH3-60	<0.1	<0.1	5.87	<0.1	<0.1	<0.1
CC-pH3-20	<0.1	<0.1	24.0	<0.1	<0.1	<0.1
CC-pH3-40	<0.1	<0.1	27.5	<0.1	<0.1	<0.1
CC-pH3-60	<0.1	<0.1	27.2	<0.1	<0.1	<0.1

DW\* : Deionized Water (pH 6.7)

Heating temperature :  $96^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 

3.0인 산성용액을 첨가하였을 경우, 휘석암(JS)에서는 약 9~31배, 각력암(YC)에서는 약 1.8~3.5배, 흑운모섬록암(CC)에서는 약 29~31배정도 높은 Fe의 용출량을 나타내었다(Table 7; Fig. 2). 또한 반응시간이 경과됨에 따라 용출되는 Fe의 함량도 점차 증가하는 경향을 나타내었는데, 용액의 초기 pH가 낮은 산성인 경우 처음에는 급격히 증가하다가 점차 서서히 증가 또는 감소되는 반면에, pH가 중성에 가까운 경우에는

**Fig. 2.** Variation diagram for content of leached Fe versus reaction time (heating temperature :  $96^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ).

처음부터 서서히 조금씩 증가하는 경향을 보였으며, 대체로 합철 유색광물이 많이 함유된 흑운모섬록암(CC)과 휘석암(JS)에서 좀 더 많은 Fe의 용출량을 나타내었다(Table 1, 7; Fig. 2).

## 5. 토 의

현재 우리 나라에서는 육류구이와 전골 및 돌솥 비빔용 석재용구로 휘석암과 각력암, 흑운모섬록암 등이 비교적 많이 사용되고 있으며, 이중 흑운모와 휘석, 각섬석 등의 유색광물이 상대적으로 많이 함유되어 있는 휘석암(JS)과 흑운모섬록암(CC)은 비교적 비중이 높아 용구로서 무거운 특징을 나타내었다(Table 1; 2), 또한 조리용구용 석재의 마모에 대한 내구성과 강도는 흑운모섬록암(CC)이 가장 우수한 것으로 나타나 다른 특별한 요인이 없는 한 연구대상 석재중 가장 오랫동안 조리용구로 사용할 수 있음을 보여 주었다(Fig. 1; Table 5, 6).

석재용구를 사용하여 조리할 경우 조리 과정중 중금속 원소들의 용출 가능성을 알아보기 위하여 조리용구용 석재를 대상으로 반응시간과 용액의 초기 pH에 따른 용출시험을 수행하였는데, 실제로 일반 식수를 이용하여 돌솥밥을 지을 때에는 사용되는 물의 pH가 중성에 가까운 경우라 할 수 있으며, 식초나 조미용 간장 등을 사용하여 찌개나 전골을 끓일 때에는 용액의 pH가 4 이하인 경우라 할 수 있다. 또한 이러한 조리과정은 대부분 물이 끓는 온도범위에서 이루어지며, 조리시간도 보통 1시간 이내인 경우가 많다. 따라서 이와 같은 조건들과 조리용구용 석재의 암석학적 특성 등을 고려하여 Cu, Pb, Fe, Co, Cr, Ni 등 6가지 원소들에 대해 용출시험을 한 결과, 일반적으로 다량 섭취할 경우 인체에 해를 미칠 수 있는 Cu, Pb, Co, Cr, Ni 등의 유독성 중금속 원소들은 반응시간과 용액의 초기 pH에 관계없이 모두 측정 한계값인 0.1 ppm 이하의 낮은 용출량을 나타내었다(Table 7). 이와 반면 Fe는 용액의 초기 pH가 각각 6.7과 3.0 이고 반응시간이 20분 이상일 경우, 휘석암(JS)에서는 각각 0.35~1.47 ppm(평균 0.83 ppm), 10.9~13.2 ppm(평균 11.9 ppm), 각력암(YC)에서는 각각 1.66~3.29 ppm(평균 2.3 ppm), 5.82~6.01 ppm(평균 5.90 ppm), 흑운모섬록암(CC)에서는 각각 0.83~0.92 ppm(평균 0.88 ppm), 24.0~27.5 ppm(평균 26.2 ppm)까지의 용출함량을 보여, 반응용액이 중성에 가까운 조건에서는 각력암에서, 산성에 가까운 경우에는 흑운모섬록암에서 가장 높은

것으로 나타났다(Table 7; Fig. 2).

일반적으로 철(Fe)은 비중이 7.86으로 중금속 원소에 해당되지만 보통 인체내에서 여러 가지 생리기능을 조절하고 유지하는데 중요한 역할을 한다(최혜미 등, 2000). 따라서 우리 나라의 경우 성인 남자의 1일 철(Fe) 권장량은 12 mg, 성인 여성의 경우 16 mg으로 책정된 바 있다(한국영양학회, 2000). 그러나 철(Fe)을 과량 섭취할 경우에는 급성 철 중독 현상이 생겨 혈액성 설사와 구토, 간 손상, 쇼크 등을 유발시킬 수 있는데, 지금까지 식품에 의해 일어난 경우는 보고된 바 없고, 단지 성인을 위해 조제된 의약품 철 보충제를 다량 섭취한 유아들에게서 일어날 수 있는 드문 경우여서 대개는 철이 결핍되어 생기는 부작용이 훨씬 더 많다고 할 수 있다(최혜미 등, 2000).

이와 같이 철(Fe)을 비롯한 많은 무기질 원소들이 인체로 유입될 경우 여러 가지 유익하거나 또는 나쁜 영향을 미칠 수 있는데, 특히 석재용구로부터 용출되는 무기질 원소들이 인체에 영향을 줄 수 있는 기준값에 대해서는 아직까지 명확하게 규정되어 있지 않다. 따라서 석재를 인체에 해가 없는 고기능성 조리용구로 이용하기 위해서는 인체에 영향을 미칠 수 있는 중금속 및 다량 무기질 원소들에 대한 용출함량 기준이 먼저 마련되어야 하며, 또한 보다 많은 종류의 조리용구용 석재와 화학원소들을 대상으로 좀 더 체계적인 무기화학적 특성에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

## 6. 결 론

이 연구는 현재 조리용 석재용구로 사용되고 있는 암석들의 기초 특성과 이에 따른 중금속 원소들의 용출 특성을 알아보고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현재 우리 나라에서 조리용구로 많이 사용되고 있는 석재에는 휘석암과 각력암, 흑운모섬록암 등이 있으며, 이중 유색광물이 상대적으로 많은 휘석암과 흑운모섬록암은 비중이 3.0으로 각력암(2.5)보다 약간 더 무거운 특징을 보였고, 흡수율은 각력암이 2.9%로 가장 높았으며, 세 가지 암석의 pH는 9.7~9.9의 범위로 모두 약알칼리성을 나타내었다.

2. 조리용구로 사용되는 연구대상 석재중 흑운모섬록암이 각력암이나 휘석암보다 마모에 대한 내구성과 강도가 가장 우수하여 다른 특별한 요인이 없는 한 가장 오랫동안 사용할 수 있음을 보여 주었다.

3. 조리용구용 석재를 대상으로 조리온도와 조리시간 및 조리상황 등을 고려하여 용출시험을 수행한 결과 Cu, Pb, Co, Cr, Ni 등의 유독성 중금속 원소들은 연구대상 암석에서 모두 반응시간 및 용액의 초기 pH에 관계없이 모두 측정 한계값인 0.1 ppm 이하로 낮았으나, 철(Fe)은 암석의 종류 및 용출 조건에 따라 다소간의 용출량 차이를 보였는데, 대체로 중성보다는 산성용액을 첨가하였을 경우에 약 1.8~31배정도 더 높은 용출량을 나타내었고, 반응용액이 중성인 조건에서는 각력암에서, 산성인 경우에는 흑운모섬록암에서 가장 높은 철(Fe)의 용출량을 보여 주었다.

4. 석재를 인체에 해가 없는 고기능성 조리용구로 이용하기 위해서는 인체에 영향을 미칠 수 있는 중금속 및 다량 무기질 원소들에 대한 용출함량 기준이 먼저 마련되어야 하며, 또한 보다 많은 종류의 조리용구용 석재와 화학원소들을 대상으로 좀 더 체계적인 무기화학적 특성에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

## 사 사

이 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 부설 석재 복합신소재제품연구센터의 일부 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 공정시험방법 (1999) 동화기술, 655p.  
 김동필 (1999) 황동·청동 주물제 조리 기구(불판)의 납 용출 특성. 이학석사학위논문, 공주대학교, 30p.  
 김중만, 한성희, 백승화 (1997) 조리시 조리용기로 부터의 알루미늄 용출량 비교. 한국식품과학회지, 29권, p. 613-617.  
 최혜미 등 18인 (2000) 21세기 영양학. 교문사, 서울, 548p.  
 한국영양학회 (2000) 한국인 영양권장량. 중앙문화 진수출판사, 서울, 403p.  
 Broch, E. and Franklin, J.A. (1972) The point load strength test. Int. J. Rock Mech. and Mining Sci., v. 9, p. 669-697.  
 Deere, D.U. and Miller, R.P. (1966) Engineering classification and index properties for intact rock. Tech. Rep. No. AFWL-TR-65-116, Univ. of Illinois, Urbana, 299p.  
 Gamble, J.C. (1971) Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. Ph. D. Thesis, University of Illinois, USA.  
 Levinson, A.A. (1974) Introduction to exploration geochemistry. 2nd(ed.), Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, 923p.