

음식 용기로 사용하는 각섬암의 암석-광물학적 특성: 그 효용성과 안정성에 대한 고찰

김형수^{1,*} · 최호정²

¹대구시 북구 경북대학교 사범대학 지구과학교육과, ²경상북도 포항시 경북과학고등학교

Petrological and Mineralogical Characteristics of Amphibolite Used as Rock Bowl and Pot: Implications for Its Utility and Stability

Hyong Soo Kim^{1,*} and Ho-Jeong Choi²

¹Department of Earth Sciences Education, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, South Korea

²Gyungbuk Science High School, Pohang, Kyeonsanbuk-do

요약: 우리나라에서 암석의 사회적 이용측면에서 대중화된 것 중 하나가 음식점에서 흔히 사용하는 돌그릇이다. 이 돌그릇은 대부분이 Mg와 Ca 함량이 높은 각섬암으로 제작되었으며, 주구성광물은 각섬석, 양기석, 투각섬석, 사장석, 투회석이다. 각섬석은 대부분 주상으로 산출되며, Mg-각섬석 내지는 처마카이트의 광물조성을 보인다. 양기석과 투각섬석은 단경/장경 비가 0.10~0.13인 침상의 조직을 보이며, Mg/(Mg+Fe) 비가 약 0.65~0.90의 범위를 보인다. 이런 침상의 양기석과 투각섬석은 비석면형에 속한다. 이 광물들을 함유한 암석을 음식 용기로 사용하기 위해서는 구성광물의 종류와 결정형태와 같은 암석학적 또는 광물학적 자료를 바탕으로 그 안정성과 효용성에 대한 품질기준이 필요하다고 판단된다. 또한 음식용기 제작에 사용되는 원석과 상업적으로 유통되고 있는 곱돌의 산출상태와 암석-광물 화학성분의 상이성은 현재 유통되고 있는 대부분의 곱돌 음식 용기들이 원석 채취지역이 불분명한 암석으로 제작되었음을 지시한다. 이것은 음식용기로 부적합한 각섬암이 음식 용기로 사용될 잠재적 위험성이 있으며, 따라서 인간의 생활/건강과 밀접하게 연관되어 사용하는 암석의 지질학-생물학적인 연구와 체계적인 관리와 조사가 요구된다.

핵심어: 각섬암, 침상의 양기석과 투각섬석, 음식용기

Abstract: Rock bowls and pots used in restaurants are one of the popular usages of natural rocks in Korea. Most rock bowls and pots are made of Mg- and Ca-rich amphibolite composed of hornblende, actinolite, tremolite, diopside, plagioclase. Hornblende occurs as prismatic crystal habit, and belongs to Mg-hornblende to tschermakite. Actinolite and tremolite occur as acicular form (aspect ratio 0.1~0.13), and ranges 0.65 to 0.90 in Mg/(Mg+Fe) ratio. These acicular actinolite and tremolite are non-asbestos minerals. However to use of rocks containing these minerals as tableware it is needed to regulatory guidelines for stability and utility based on petrological and mineralogical characteristics. Discrepancy of rock occurrence and mineral chemistry between commercial rock bowls and original rocks indicate that most rock bowls are made of uncertain amphibolite in original location. Consequently, there is a potential risk to use inappropriate amphibolites as tableware. Therefore, it is needed to systematically research on geology and biology, and manage commercial rock bowls and pots used in Korean restaurants.

Key words: Amphibolite, Acicular actinolite and tremolite, Rock bowls and pots

서론

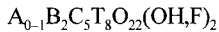
우리나라에는 선캄브리아기(Pre-Cambrian)에서부터

신생대 제4기(Quaternary) 동안에 걸쳐 형성된 변성암류, 화성암류 그리고 퇴적암류들이 다양하게 분포한다. 이러한 암석들은 광물에 비해 상업적 활용도가 낮은

*Corresponding author: Tel. 82-53-950-5918, E-mail. hskim@knu.ac.kr

편이지만, 최근에는 화강암, 대리암, 각섬암, 이암, 장석 또는 석영 반암 등이 우리 사회 곳곳에서 석재라는 자원 활용 측면에서 사용되고 있다. 광물의 산업적 이용은 보석류를 제외하고 대부분은 첨단 재료 및 화학공업의 원료 및 첨가제로서 활용되지만(노진환, 2004), 암석의 경우는 표면처리 후 대부분이 암석 그 자체의 성질을 이용하여 상업화하고 있는 실정이다. 그 예가 우리가 흔히 대중음식점에서 사용하는 소위 “곰돌”이라고 불리는 돌그릇이나 돌 냄비이다. 음식점에서 돌그릇을 사용하는 주된 이유는 열전도율과 열 보존도가 좋아서 연료가 절감되기 때문이다. 또한 음식이 붙지 않으므로 기름기가 튀지 않으며 순수한 자연의 맛을 그대로 낼 수 있다는 이유로 대부분의 음식점에서 암석을 음식 용기로 사용한다.

음식점에서 사용되는 암석 용기는 대부분이 각섬석, 사장석 그리고 석영으로 구성된 진한 녹색색을 띠는 각섬암(amphibolite)이다. 일반적으로 각섬암의 주구성 광물인 각섬석 광물들은 그 구성 성분과 원자 배열 상태에 따라 Fe-Mg 각섬석, Ca이 풍부한 각섬석, Na-Ca 각섬석, 그리고 알칼리각섬석으로 구분된다(Deer *et al.*, 1991). 이들 각섬석 광물들은(Si,Al)O₄ 규산염과 여러 양이온들이 결합되어 복쇄형 구조(double chain structure)를 보이며, 일반적인 화학식은 다음과 같다.



여기서, A=Na, K; B=Na, Ca, Mg, F²⁺ Mn; C=Mg, Fe²⁺ Al, Fe³⁺ Mn, Ti; T=Si, Al

따라서 이런 각섬암들은 구성하는 광물의 종류와 화학조성이 암석의 성인, 생성환경 그리고 모암의 종류에 따라 다양한 광물상을 보인다. 예를 들어, 대부분의 각섬석 광물들은 주상의 형태로 산출되지만, 주로 석회암이나 백운암의 접촉 내지는 광역변성작용에 의해 또는 사문암의 변질작용에 의해 형성되는 양기석(actinolite) 또는 투각섬석(tremolite)은 침상 또는 섬유상 조직을 보이기도 한다. 섬유상의 각섬석 광물은 석면으로 취급되며, 인체에 유입되면 폐암과 같은 치명적인 해를 끼칠 수 있다고 보고된 바 있다(Gunter, 1994; Peipens *et al.*, 2003; ATSDR, 2006; Gunter *et al.*, 2007a; Gunter *et al.*, 2007b).

이 논문은 현재 대중음식점에서 흔히 사용되는 음식 용기의 구성광물 조성과 산출상태 그리고 화학성분의 특징들을 알아보고, 정량화된 자료를 기초로 자연에서 산출되는 암석의 이용에 대한 효율성과 안정성에 대해서 토의하고자 한다. 또한 우리 인간의 생활과 밀접한 연관성을 보이는 암석에 대한 연구는 아직 체계적으로

수행된 바 없어 이 연구결과는 암석학과 산업의 연계성을 확립하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

연구 방법

우리나라 지표 지질 중 각섬암의 분포 면적은 다른 화강암이나 편마암에 비해 적지만 대부분의 지체구조 구 지역(예, 경기육괴, 영남육괴, 임진강변성대, 그리고 옥천변성대)에서 광범위하게 분포한다. 이들 지역 중, 전라북도 장수군 지역의 토산품으로 현재 상업용으로 널리 알려진 각섬암이 “장수 곰돌”이다. 따라서 야외 조사를 통해 이 지역에서 분포하는 각섬암 시료와 장수지역에서 현재 곰돌 음식 용기를 생산하는 공장에서 원석과 음식용기 시료 10개를 직접 채취하였다(Fig. 1). 또한 대구와 포항 지역 대중음식점과 음식용기 판매점에서 총 20여 개의 돌그릇을 구입하였다.

채취한 시료들은 박편을 제작하여 구성광물의 산출상태와 모드 분석을 실시하였다. 시료의 화학성분은 부경대학교 공동실험실습관에 있는 X선 형광분석기(XRF, 모델 SHIMADZU, XRF-1700)를 이용하여 주성분원소(SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, FeO, MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅)를 분석하였다. 채취한 곰돌(각섬암)의 구성광물과 특히 각섬석 광물의 주요 구성광물에 대한 화학적 조성을 알아보기 위해 부산대학교 공동실험실습관에 있는 전자현미분석기(EPMA, 모델 CAMECA SX100)를 이용하여 분석을 실시했다. 광물의 화학조성은 WDS(Wavelengths Dispersive X-ray Spectrum) 법으로 점 분석을 통해 분석하였고, 분석시 가속전압은 15 keV, 빔 전류는 20 nA 그리고 빔 직경은 5 μm였다. 분석치 보정은 ZAF 방법을 사용하였다.

연구결과 및 해석

암석 음식 용기의 광물조성과 산출상태

곰돌 식기 용기의 색은 밝은 회녹색에서 어두운 회녹색 또는 어두운 녹색색을 보인다. 구성광물의 입자 크기는 조립질~세립질까지 다양하다. 시중에 유통되는 곰돌 용기(A1~A6, Rest1~2)는 대부분이 주상의 각섬석과 사장석으로 구성된 각섬암과 휘석과 사장석으로 구성된 반려암이다(Fig. 2A, B). 장수지역 곰돌 용기 공장에서 채취한 암석(J1~J5)은 주상의 각섬석이 세립의 녹니석과 침상의 양기석으로 변질되어 나타난다. 장수 곰돌 용기 원암으로 판단되는 각섬암(Hwa1~2)은 세립질의 각섬석, 사장석, 석영이 강한 엽리구조를 보이며, 음식 용기로 사용되는 암석과 차이를 보인다. 대부분

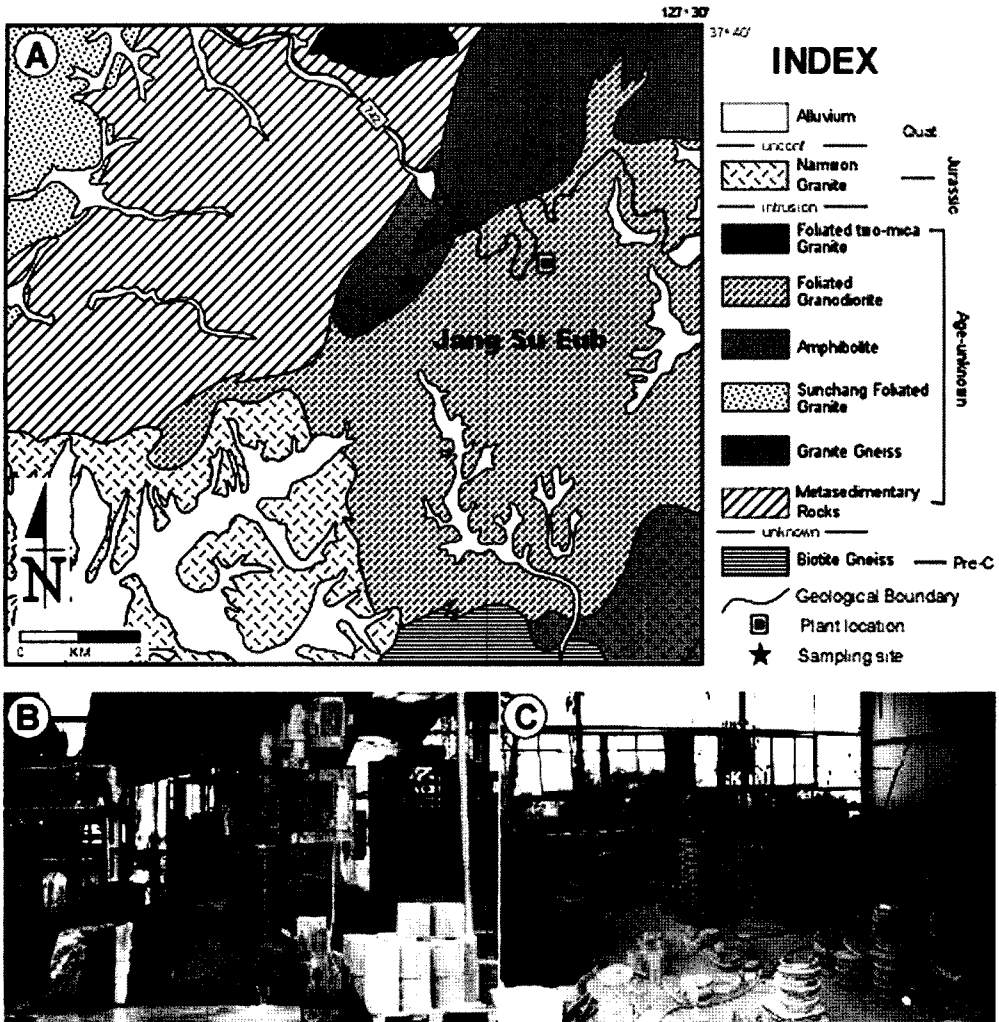


Fig. 1. (A) Geological map around Jangsu area showing sampling site (Hwaamjae). (Kim *et al.*, 1984). (B), (C) Photos of Jangsu rock bowl (so called “Gobdoll”) factory.

의 암석의 주구성광물은 각섬석, 사장석, 양기석, 흑운모이다(Table 1).

시료 A1을 제외한 모든 시료에서 각섬석의 함량은 68.0~28.5%를 보인다. 양기석과 투각섬석은 음식 용기 시료(A2, A3, A4, A6), 장수곱돌 공장 시료(J1, J2, J3) 그리고 음식점에서 사용 중인 시료(Rest1, Rest2)에서 각각 1-51% 그리고 4~21%까지 산출된다(Table 1). 장수 곱돌 공장과 야외 노두(화암재)에서 채취한 대부분의 시료에서 각섬석은 주로 주상으로 산출되며(Fig. 3), 양기석은 기질부에서 침상으로 나타난다(Fig. 3C, E, F, G). 그릇가게와 음식점에서 채취한 시료에서도 시료 A1을 제외한 모든 시료에서 각섬석이 사장석과

녹염석과 함께 주상으로 산출되며(Fig. 4A, B, C), 침상의 양기석과 투각섬석이 각섬석 결정 주변부와 내부에서 나타난다(Fig. 4D, E, F). 시료 A1과 A6은 투회석, 사장석, 각섬석으로 구성된 반러암임을 알 수 있었다(Fig. 4G, H). 대부분의 시료에서 석영은 10% 미만의 함량을 보이고, 흑운모는 약 1~28%를 보인다(Table. 1). 불투명광물로는 자철석과 황철석이 1% 내외로 산출된다.

암석 음식 용기의 암석 및 광물 화학

음식 용기로 사용하는 각섬암의 화학조성은 SiO₂, Al₂O₃, CaO, 그리고 Fe/(Fe+Mg)비에서 비교적 큰 변화

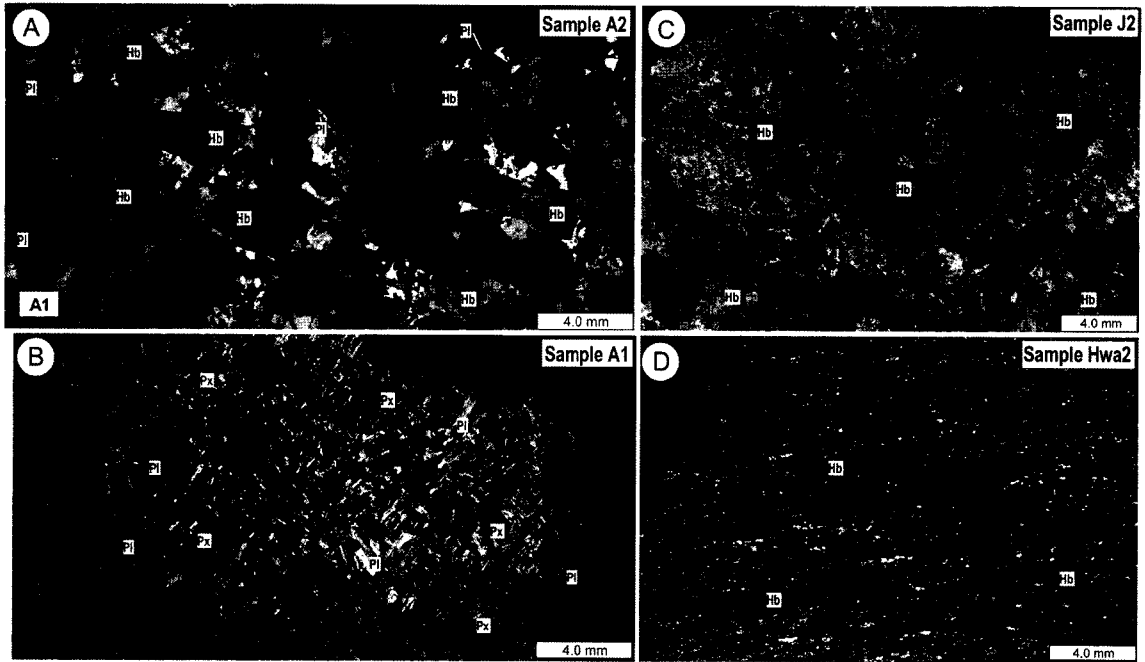


Fig. 2. Scanned images of whole thin sections. (A), (B) Sample A2 & A1 from commercial tableware store. (C) Sample J2 from Jangsu rock bowl factory. (D) Sample Hwa2 from Hwaamjae outcrop.

Table 1. Modal analyses of samples.

	A1	A2	A3	A4	A6	Rset1	Rest2	J1	J2	J3	J5	Hwa1
Hb*	-	68.0	49.0	40.6	28.5	58.0	60.6	50.0	33.3	35.3	40.6	72
Act	-	1.5	0.5	32.6	2.0	25.3	26.0	24.6	51.3	37.3	-	-
Trem	-	-	-	21.3	-	-	-	-	4.2	-	-	-
Di	34.0	-	0.5	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-
Pl	54.6	18.0	25.5	0.6	20.0	3.3	6.0	3.5	3.3	9.5	35.3	14.8
Qtz	-	6.5	2.5	-	5.5	2.2	2.6	-	2.0	4.6	8.6	8.6
Bt	10.6	5.5	13.5	-	28.0	1.3	0.6	7.3	4.6	4.0	1.6	-
Ms	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	7.3	-
Chl	-	-	2.5	4.3	0.5	8.0	4.2	14.6	1.3	9.3	tr.	-
Ep	-	-	3.5	-	-	-	-	-	-	-	4.6	-
Spn	-	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opac.	0.8	0.5	1.5	0.6	0.5	0.6	tr.	tr.	tr.	tr.	2.0	4.6

*. Mineral abbreviations are from Kretz (1983). Opac., opaque minerals. Count number is 700 in each sample.

N.B., A1~A6 from commercial tableware stores, Rest1 & 2 from restaurant, J1~J5 from rock bowl factory in Jangsu, Hwa1 from Hwaamjae near Jangsu.

폭을 보임을 알 수 있다(Table 2). SiO_2 는 45~54 wt%를 보이며, Al_2O_3 는 8~14 wt%로 넓은 범주를 보인다. $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ 비는 0.40~0.84로 화암재 시료에서 가장 높게 나타난다. MgO , CaO , FeO 간의 성분비는 거의 비슷한 비율로 나타난다. 화암재 시료(Hwa1, 2, 3)는 다른 시료보다 MgO 가 낮고, CaO 성분이 풍부하다. 또한 그릇가게 시료(A1~A6)들은 다른 시료들보다 CaO

와 MgO 성분비가 넓은 폭을 보인다. 따라서 장수 곱들의 원암으로 판단되는 화암재 시료와 장수 곱들 공장과 그릇가게에서 채취한 시료 간의 화학 조성 상이성은 실제 곱들 용기 제작에 사용되는 대부분의 원암은 장수지역이 아닌 타 지역에서 유입/수입된 것으로 판단된다.

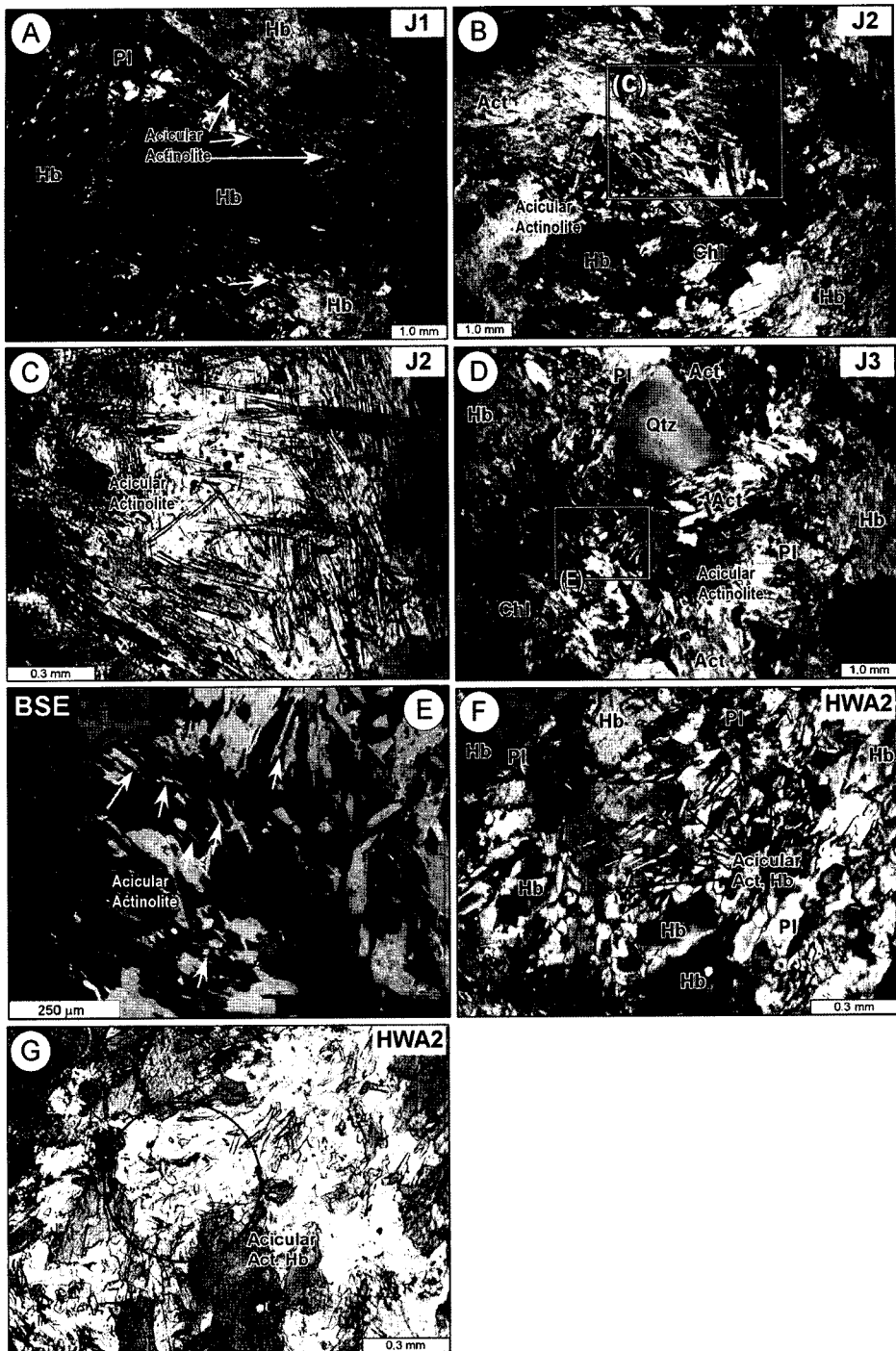


Fig. 3. Photomicrographs of samples collected from Jangsu rock bowl factory and outcrop. (A) Acicular actinolite around prismatic hornblende in sample J1. Crossed Polarized Light (XPL) (B) Acicular actinolite around prismatic hornblende in sample J2. XPL. (C) Magnified photo showing acicular actinolite of box in (B). Plane Polarized Light (PPL) (D) Hornblende, plagioclase and acicular actinolite assemblage in sample J3. XPL. (E) Back scattered image (BSE) of acicular actinolite within the box in figure (D). (F) & (G) Occurrence of hornblende and acicular actinolite in sample Hwa2. XPL and PPL. All mineral abbreviations are from Kretz (1983).

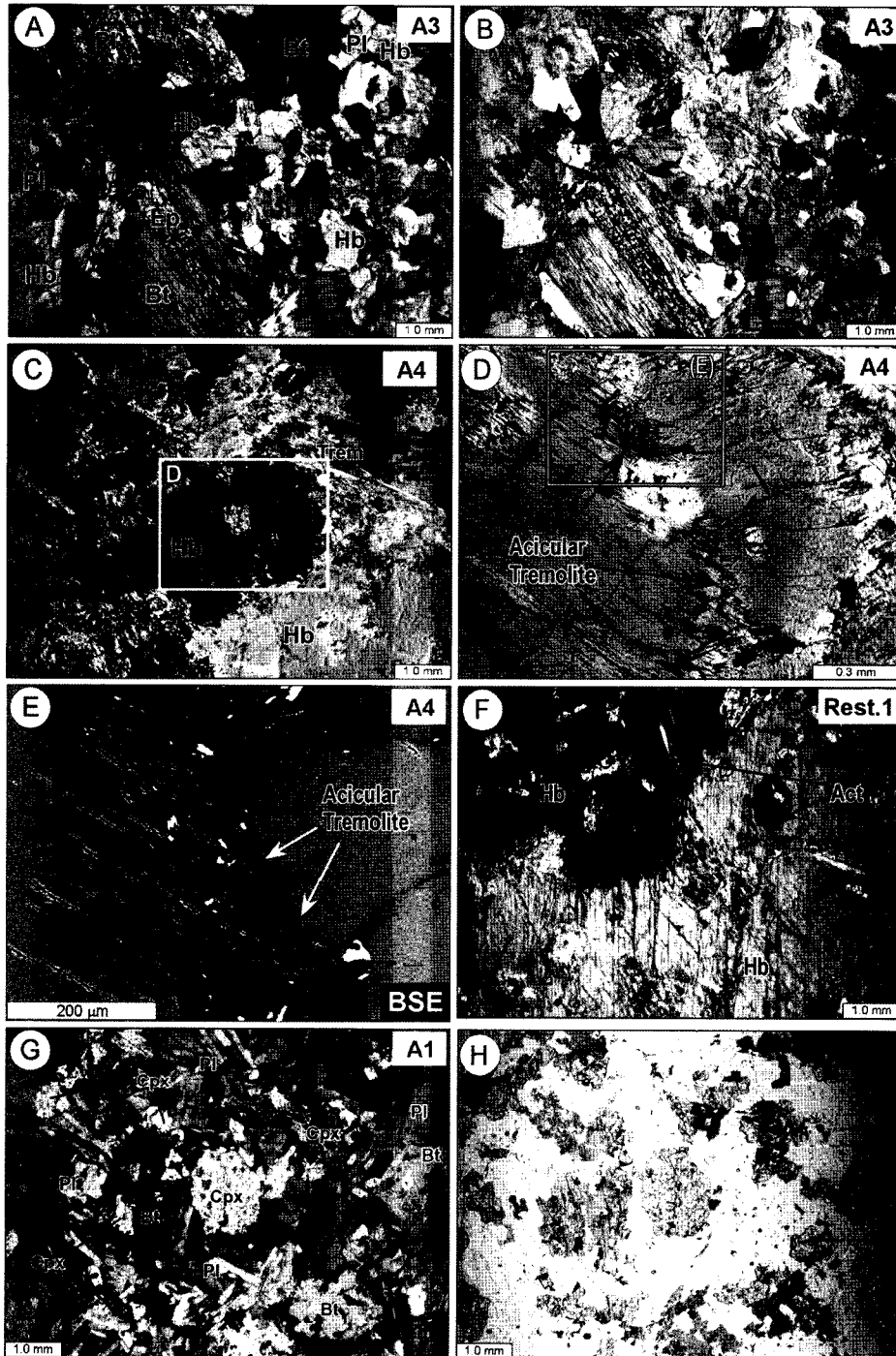


Fig. 4. Photomicrographs of samples collected from commercial tableware store and Korean restaurant in Daegu and Pohang regions. (A), (B) Occurrence of hornblende, plagioclase, epidote and biotite in sample A3. XPL and PPL. (C) Prismatic hornblende and acicular tremolite occurred around grain boundaries of hornblende. XPL. (D) Magnified photo of box (D) in figure (C). PPL. (E) Back scattered image (BSE) of acicular tremolite within the box in figure (D). (F) Prismatic and acicular actinolite within hornblende in sample Rest.1. XPL. (G) and (H) Occurrence of clinopyroxene, plagioclase and biotite in sample A1. XPL and PPL. All mineral abbreviations are from Kretz (1983).

Table 2. Major oxides (wt. %) of samples.

Sample	A1	A2	A3	A4	A5	A6	J1	J2	J3	Hwa1	Hwa2	Hwa3	Rest1	Rest2
SiO ₂	53.33	53.54	49.77	45.04	46.21	47.80	51.61	45.94	50.85	54.26	51.74	48.14	47.04	46.39
Al ₂ O ₃	15.96	9.92	17.18	7.57	8.09	9.98	13.90	9.75	10.33	14.06	13.88	14.54	7.84	10.96
TiO ₂	0.98	0.67	1.18	0.82	1.15	1.89	0.47	0.90	0.85	0.45	0.49	1.49	1.35	0.60
FeO*	7.91	9.46	9.00	13.57	13.14	12.11	8.34	12.10	10.81	9.49	11.23	17.57	13.00	10.81
MnO	0.12	0.14	0.10	0.14	0.15	0.14	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18	0.20	0.16	0.12
MgO	5.86	12.62	6.95	20.18	19.07	10.27	12.08	18.03	14.54	7.96	8.61	3.40	18.02	16.51
CaO	7.34	9.72	8.11	8.71	8.03	9.31	8.61	8.70	7.91	10.90	11.14	10.96	9.55	10.56
Na ₂ O	3.88	1.90	3.30	1.13	1.17	1.53	1.82	0.95	1.50	2.29	2.00	1.59	1.18	1.35
K ₂ O	3.17	1.32	2.43	0.33	0.55	4.72	0.62	0.31	0.75	0.13	0.20	0.90	0.34	0.61
P ₂ O ₅	0.50	0.12	0.14	0.05	0.05	1.65	0.08	0.03	0.05	0.04	0.04	0.22	0.03	0.07
L.O.I.**	0.67	0.49	1.43	2.02	2.26	0.58	2.09	2.95	2.04	0.35	0.64	0.89	1.62	2.07
Total	99.73	99.90	99.59	99.56	99.87	99.97	99.74	99.80	99.76	100.09	100.14	99.91	100.14	100.06
F/F+Ma	0.57	0.43	0.56	0.40	0.41	0.54	0.41	0.40	0.43	0.54	0.57	0.84	0.42	0.40

*, Total Fe as FeO. **, L.O.I is loss of ignition. a, F/F+M=Fe/(Fe+Mg).

각섬석: 식기 용기로 사용하는 각섬암의 주 구성 광물인 각섬석의 (Na+K)와 Ti의 함량이 대체로 0.5 이하이다(Table 3). 따라서 Leake(1978)의 기준에 따라 Figure 5에서와 같이 Mg/(Mg+Fe)비와 Si의 함량을 기준으로 각섬석 광물을 분류하였다. 장수 곱돌 공장에서 채취한 시료들과 그릇가게에서 구입한 시료들의 각섬석 성분은 Mg/(Mg+Fe)비가 0.52~0.91이고, Si는 약 7.969~6.200의 범주를 보인다(Fig. 5). 따라서 투각섬석, 투각섬석질 각섬석(tremolitic-hornblende), 양기석, 양기석질 각섬석(actinolitic-hornblende), Mg-각섬석(Magnesian-hornblende), 쳐마카이트질-각섬석(tschermakitic hornblende), 쳐마카이트(Tschemakite)까지 다양한 각섬석 광물이 산출된다. 음식점에서 사용 중인 시료는 양기석과 양기석질 각섬석 그룹과 쳐마카이트질-각섬석과 쳐마카이트 그룹으로 구분된다. 그러나 화암재의 각섬암 시료의 각섬석은 Mg/(Mg+Fe)비가 일정하고(약 0.60), Si는 7.112~7.388로 대부분이 양기석질 각섬석에 해당된다.

시료 A4, J1, J2, J3, Rest1과 Rest2에서 침상으로 산출되는 광물은 투각섬석 또는 양기석이다. 따라서 비록 이 광물들이 섬유상 조직을 보이지는 않지만, 음식 조리용기로 사용하는 곱돌에서 침상의 양기석과 투각섬석의 산출은 사용상 주의가 필요하다고 사료된다.

사장석: 장수 곱돌 공장에서 채취한 시료들과 그릇가게에서 구입한 시료들의 사장석 성분은 대부분 An가 0.16에서 0.55으로 올리고클라스(oligoclase)에서 라브라도라이트(labradorite) 영역에 해당된다(Table 4; Fig.

6A). 화암재 각섬암의 사장석은 An가 0.37~0.63인 안데신과 라브라도라이트에 속한다(Fig. 6A).

휘석과 흑운모: 휘석은 그릇가게에서 구입한 시료 A1과 A6에서 주상으로 산출된다. 이들을 Mg-Ca-Fe 삼각도표에 도시한 결과, 휘석은 Ca와 Mg가 풍부한 단사휘석인 투휘석(diopside)과 오자이트(augite) 경계 영역에 해당된다(Table 4; Fig. 6B).

장수 곱돌 공장과 그릇가게 시료에서 각섬석과 휘석의 변질물로 산출되는 흑운모의 화학조성은 Mg/(Mg+Fe) 비가 0.55~0.71이고, AlVI는 0.15 이하로 나타난다(Table 4; Fig. 6C). 따라서 곱돌 내의 흑운모는 금운모(phlogopite)에 해당됨을 알 수 있다(Fig. 6C).

토 의

양기석과 투각섬석은 각섬석의 일종으로 변성암의 주요광물이다. 국내에서는 충남 보령군 지역에서 비교적 광범위하게 산출된다(김수진, 1988). 광물학적으로 양기석과 투각섬석이 섬유상 조직을 보이며 요곡성이 있을 때 이를 양기석-석면(asbestos) 또는 투각섬석-석면이라 정의한다. 이런 섬유상의 양기석과 투각섬석 석면이 호흡을 통해 인체에 유입되면 석면침착증(Asbestosis) 또는 흉막/복막 중피종(pleura mesothelioma)을 유발시킬 수 있다(Peipens *et al.*, 2003; ATSDR, 2006; Gunter *et al.*, 2007b).

이번 연구에서 음식 용기로 사용하는 각섬암에서 산출되는 양기석과 투각섬석은 대부분이 입자의 단경과

Table 3. Representative compositions of hornblende, actinolite and tremolite.

Hornblende											
Sample	A2(12)*	A3(6)	A4(10)	A6(5)	Rest.1(4)	Rest.2(4)	J1(6)	J2(10)	J3(6)	J5(5)	Hwal(8)
SiO ₂	49.51	45.50	44.09	50.63	42.20	43.90	49.04	47.26	51.13	45.58	50.70
TiO ₂	0.71	1.19	1.46	0.72	2.96	0.81	1.09	1.46	0.50	1.00	0.44
Al ₂ O ₃	6.83	9.11	11.68	4.31	12.73	12.54	7.91	8.78	6.04	10.59	6.30
FeO**	10.95	14.53	9.16	13.74	10.08	10.32	9.62	9.43	9.79	12.72	14.55
MnO	0.22	0.28	0.12	0.23	0.09	0.12	0.12	0.15	0.19	0.17	0.28
MgO	15.86	12.80	16.28	14.88	14.72	15.33	16.85	16.45	17.46	13.84	14.09
CaO	12.18	11.74	11.43	12.00	11.71	11.84	11.71	11.60	11.46	12.04	11.93
Na ₂ O	0.90	1.07	1.83	0.97	1.92	1.80	1.04	1.33	0.98	1.21	0.70
K ₂ O	0.42	0.57	0.61	0.42	0.85	0.84	0.41	0.40	0.14	0.52	0.08
Total	97.57	96.78	96.65	97.88	97.25	97.49	97.78	96.86	97.68	97.67	99.07
Cations per 23 oxygens											
Si	7.142	6.780	6.43	7.376	6.192	6.402	7.010	6.840	7.287	6.666	7.284
Al	0.858	1.220	1.57	0.624	1.808	1.598	0.990	1.160	0.713	1.334	0.716
Al	8.000	8.000	8.00	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	0.311	0.381	0.45	0.115	0.394	0.557	0.351	0.348	0.302	0.495	0.348
Ti	0.077	0.133	0.16	0.078	0.326	0.089	0.119	0.161	0.053	0.110	0.048
Fe	1.324	1.812	1.12	1.674	1.237	1.258	1.153	1.143	1.167	1.557	1.747
Mg	3.407	2.842	3.54	3.231	3.221	3.332	3.587	3.550	3.709	3.018	3.018
Mn	0.027	0.035	0.01	0.028	0.011	0.014	0.014	0.018	0.023	0.021	0.034
Mg	5.146	5.204	5.29	5.128	5.188	5.250	5.224	5.220	5.254	5.201	5.196
Ca	1.884	1.874	1.79	1.873	1.840	1.849	1.795	1.800	1.750	1.887	1.836
Na	0.253	0.309	0.52	0.273	0.546	0.510	0.289	0.375	0.270	0.344	0.194
K	0.078	0.108	0.11	0.077	0.159	0.156	0.075	0.074	0.026	0.096	0.015
M/M+F ^a	0.720	0.611	0.759	0.659	0.723	0.726	0.757	0.756	0.761	0.660	0.633
Actinolite						Tremolite					
Sample	A4(3)	Rest.1(3)	Rest.2(3)	J1(4)	J2(10)	J3(3)	Hwal(3)	A4(4)			
SiO ₂	55.36	54.42	52.08	54.98	52.70	55.07	51.56	55.87			
TiO ₂	0.13	0.14	0.33	0.13	0.17	0.16	0.37	0.11			
Al ₂ O ₃	2.12	3.32	5.27	1.93	4.12	4.54	6.18	1.79			
FeO	5.24	8.43	8.74	15.02	9.55	9.52	13.99	4.22			
MnO	0.09	0.10	0.16	0.38	0.21	0.15	0.33	0.16			
MgO	21.09	18.92	18.35	20.49	17.89	17.18	14.12	22.10			
CaO	12.66	12.76	11.91	5.20	11.84	11.76	11.82	12.52			
Na ₂ O	0.34	0.38	0.73	0.34	0.72	0.75	0.67	0.29			
K ₂ O	0.04	0.06	0.15	0.03	0.06	0.05	0.08	0.02			
Total	97.05	98.51	97.71	98.50	97.26	99.17	99.12	97.08			
Cations per 23 oxygens											
Si	7.741	7.615	7.380	7.762	7.518	7.652	7.366	7.769			
Al	0.259	0.385	0.620	0.238	0.482	0.348	0.634	0.231			
Al	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000			
Al	0.091	0.166	0.260	0.083	0.213	0.395	0.407	0.064			
Ti	0.013	0.014	0.035	0.014	0.018	0.017	0.039	0.011			
Fe	0.613	0.988	1.036	1.772	1.140	1.106	1.672	0.491			
Mg	4.397	3.944	3.876	4.310	3.805	3.566	3.007	4.581			
Mn	0.010	0.012	0.019	0.045	0.026	0.018	0.040	0.019			
Mg	5.125	5.125	5.225	6.225	5.201	5.102	5.165	5.166			
Ca	1.896	1.913	1.807	0.788	1.810	1.753	1.809	1.866			
Na	0.093	0.104	0.199	0.094	0.199	0.201	0.187	0.079			
K	0.007	0.010	0.027	0.006	0.012	0.008	0.015	0.003			
M/M+F	0.878	0.800	0.789	0.709	0.769	0.763	0.643	0.903			

*, number in parentheses represents total number of analyses. **, Total Fe as FeO. a, M/(M+F) = Mg/(Mg+Fe).

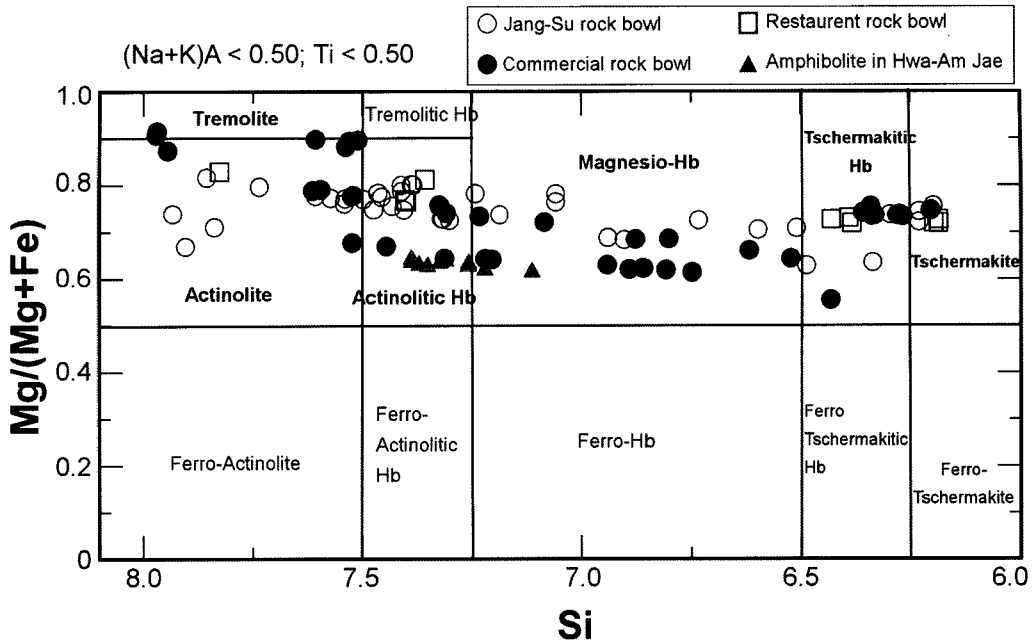


Fig. 5. Si vs. Mg/(Mg+Fe) diagram to classify calcic amphiboles (after Leak, 1978).

장경이 10~20 μm ×100~150 μm 인 침상으로 산출된다 (Figs. 3, 4). 이런 침상의 양기석과 투각섬석은 비석면 형에 속하지만(김수진, 1988), 이들 침상의 광물이 인체 내로 유입되었을 경우 그 안정성에 대해서는 의학적으로 불확실한 실정이다. 따라서 이 광물들을 함유한 암석을 음식 용기로 사용하기 위해서는 구성광물의 종류와 결정형태와 같은 암석학적 또는 광물학적 자료를 바탕으로 품질기준이 필요하다고 판단된다. 또한 장수 곱돌 용기 제작 공장에서와 같이 원석과 곱돌의 산출상태와 암석-광물 화학성분의 상이성은 현재 유통되고 있는 대부분의 곱돌 음식 용기들의 원산지가 불분명한 암석으로 제작되었음을 지시한다. 이것은 음식용기로 부적합한 각섬암이 음식 용기로 사용될 잠재적 위험성이 있으며, 따라서 인간의 생활/건강과 밀접하게 연관되어 사용하는 암석의 체계적인 관리와 조사가 요구된다. 이런 암석의 체계적인 관리와 조사는 국내에 산출되는 각섬암의 분포와 구성광물의 물리적/화학적 특성(예, 각섬석 광물의 길이, 직경, 화학조성 등)에 대한 연구와 조사가 이루어져야 할 것이고, 또한 음식용기로 수입되는 석재에 대해서도 안전 품질기준이 조속히 마련되어야 할 것으로 생각된다.

결론

이번 연구 조사 결과는 다음과 같다.

1. 현재 우리나라에서 음식 용기로 사용되는 암석은 Mg, Ca 성분이 풍부한 각섬암이며, 구성광물은 주로 각섬석, 양기석, 투각섬석, 단사휘석, 사장석, 흑운모, 석영으로 구성되어 있다. 각섬석은 주상으로 산출되나, 부분적으로 침상의 양기석과 투각섬석이 나타난다.
2. 각섬석은 Si가 7.969~6.200이고 Mg/(Mg+Fe) 비는 0.52~0.91로, 양기석-투각섬석에서 Mg-각섬석, 처마카이트까지 다양하게 산출된다. 사장석은 An mol.%가 16~63로 울리코크라스에서 라브라도라이트 영역에 해당된다. 단사휘석은 Ca, Mg 함량이 풍부한 투각석과 오자이트로 산출된다. 흑운모는 Mg/(Mg+Fe)가 높고, AIVI가 낮은 금운모로 산출된다.
3. 음식 용기에 산출되는 침상의 양기석이나 투각섬석이 음식 섭취 활동으로 인체에 유입될 경우 발생할 수 있는 여러 효과에 대한 연구가 앞으로 계속 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 암석을 재료로 하는 음식 용기의 안정성을 확보하기 위해 원산지 표시와 체

Table 4. Representative compositions of plagioclase, clinopyroxene and biotite.

Plagioclase								
Sample	A1(3)	A2(4)	A3(3)	A6(5)	J1(4)	J3(4)	J5(3)	Hwa1(4)
SiO ₂	57.23	59.86	57.07	62.06	60.11	53.00	54.67	54.12
TiO ₂	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	26.88	25.57	27.21	21.19	25.46	30.16	29.09	29.27
FeO	0.18	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
CaO	8.99	7.17	8.74	2.88	7.03	12.41	11.13	11.84
Na ₂ O	6.34	6.55	5.94	3.85	7.72	4.71	5.48	5.08
K ₂ O	0.24	0.16	0.07	7.63	0.05	0.09	0.04	0.03
Total	99.90	99.43	99.11	97.69	100.48	100.44	100.49	100.43
Cations per 32 oxygens								
Si	10.282	10.691	10.291	11.471	10.665	9.560	9.823	9.747
Ti	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Al	5.691	5.382	5.782	4.594	5.323	6.420	6.160	6.212
Fe	0.027	0.015	0.013	0.013	0.012	0.012	0.010	0.012
Mn	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001
Ca	1.730	1.372	1.688	0.553	1.336	2.405	2.142	2.285
Na	2.208	2.269	2.074	1.353	2.656	1.641	1.907	1.772
K	0.055	0.036	0.016	1.846	0.012	0.021	0.009	0.008
	19.999	19.768	19.863	19.831	20.008	20.060	20.054	20.037
An*	0.433	0.373	0.447	0.160	0.334	0.591	0.528	0.563
Ab	0.553	0.617	0.548	0.379	0.663	0.404	0.470	0.435
Or	0.014	0.010	0.004	0.461	0.003	0.005	0.002	0.002
Clinopyroxene				Biotite				
	A1(4)	A6(7)		A2(3)	A3(3)	A6(4)	J1(3)	
SiO ₂	52.28	53.34	SiO ₂	37.67	36.85	36.44	38.40	
TiO ₂	0.41	0.15	TiO ₂	3.15	3.61	4.25	1.75	
Al ₂ O ₃	1.62	0.85	Al ₂ O ₃	15.06	14.99	13.56	15.09	
FeO	9.65	7.77	FeO	13.85	16.55	18.37	12.52	
MnO	0.38	0.26	MnO	0.12	0.10	0.16	0.09	
MgO	14.26	14.90	MgO	15.84	13.62	12.79	17.44	
CaO	21.57	22.56	CaO	0.01	0.00	0.00	0.00	
Total	100.16	99.82	Na ₂ O	0.16	0.15	0.17	0.12	
	Cations per 6 oxygens		K ₂ O	8.97	9.09	9.01	9.91	
Si	1.951	1.982	Total	94.81	94.96	94.75	95.32	
Al	0.049	0.018		Cations per 11 oxygens				
	2.000	2.000	Si	2.802	2.780	2.789	2.833	
Al	0.022	0.019	Al	1.198	1.220	1.211	1.167	
Ti	0.011	0.004		4.000	4.000	4.000	4.000	
Fe	0.301	0.242	Al	0.123	0.113	0.013	0.145	
Mn	0.012	0.008	Ti	0.176	0.205	0.244	0.097	
Mg	0.793	0.824	Fe	0.862	1.044	1.176	0.772	
Ca	0.862	0.898	Mg	1.756	1.532	1.459	1.918	
	2.002	1.995	Mn	0.008	0.006	0.010	0.006	
			Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ca(%)**	44.08	45.72	Na	0.022	0.022	0.025	0.017	
Mg(%)	40.54	41.95	K	0.851	0.875	0.879	0.933	
Fe(%)	15.38	12.33		0.874	0.897	0.904	0.950	
			M/M+F	0.671	0.595	0.554	0.713	

Abbreviations and superscript are the same as those in Table 3. *, An = Ca/(Ca+Na+K), Ab = Na/(Ca+Na+K), Or = K/(Ca+Na+K).
 **, Ca(%) = Ca/(Ca+Mg+Fe) × 100, Mg(%) = Mg/(Ca+Mg+Fe) × 100, Fe(%) = Fe/(Ca+Mg+Fe) × 100.

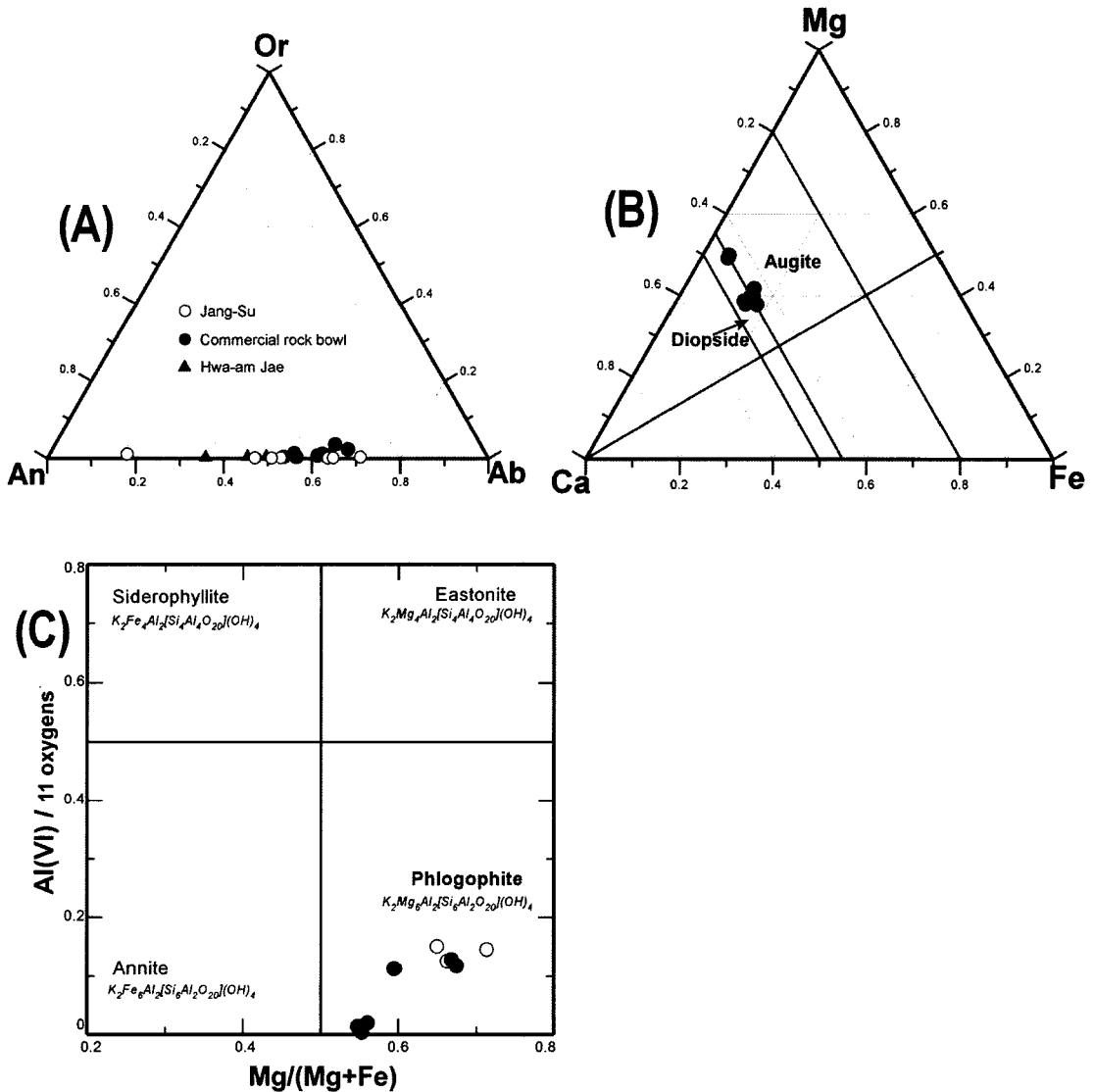


Fig. 6. (A) Or-An-Ab triangle diagram for plagioclase. (B) Mg-Ca-Fe triangle diagram for clinopyroxene. (C) Mg/(Mg+Fe) vs. Al(vi) diagram for biotite. All symbols are the same as those in Fig. 5.

계적인 암석-광물학적 연구 결과를 바탕으로 품질기준 확립이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단 2007년 과학고 영재교육 내 실화지원사업(R&E 프로그램사업)에 의해 이루어졌다. 이 논문의 문제점에 대해 유익한 지적과 조언을 해주신 홍세선 박사님과 익명의 심사위원에게 깊은 사의를

표합니다. 또한 야외조사와 실내 실험과정에 도움 준 김환민, 박재영, 장령, 최등렬 과학고 학생들에게 감사드립니다.

참고문헌

김규봉, 최위찬, 황재하, 김정환, 1984, 오수도폭 지질보고서(1:50,000). 한국동력자원연구소, 38 p.
 김수진, 1988, 투각섬석은 모두 석면인가? 광물과 산업, 1, 8-12.

- 노진환, 2004, 청정 기능성 광물의 부존 환경 및 광물 특성과 그 응용. 대한광업진흥공사, 58 p.
- 이수재, 2001, 석면. 산업과 광물, 19-21.
- ATSDR., 2006, Report on the expert panel on biomarkers on asbestos exposure and disease. ERG contract 2006.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1991, The rock forming minerals. Longman Scientific & Technical, 696p.
- Gunter, M.E., Sanchez, M.S., Williams T.J., 2007a, Characterization of chrysolite samples for the presence of amphibole: the Carey Canadian deposit, southeastern Quebec, Canada. Canadian Mineralogist, 45, 263-280.
- Gunter, M.E., Belluso, E., Mottana, A., 2007b, Amphiboles: Environmental and Health Concerns. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 67, 453-516.
- Gunter, M.E., 1994, Asbestos as a metaphor for teaching risk perception. Journal of Geological Education, 42, 17-24.
- Kretz, R., 1983, Symbols for rock-forming minerals. American Mineralogist, 68, 277-279.
- Leake, 1978, Nomenclature of amphiboles. American Mineralogist, 63, 1023-1053.
- Paipens, L.A., Lewin, M., Champolucci, S., Lyparger, J.A., Miller, A., Middleton, D., Weis, C., Spence, M., Black, B., Kapil, V., 2003, Radiographic abnormalities and exposure to asbestos-contaminated vermiculite in the community of Libby, Montana, USA. Environmental Health Perspect, 111, 1753-1759.

2008년 8월 8일 접수

2008년 8월 11일 심사개시

2008년 9월 22일 채택