

갈천리 야철로 내화재료의 기초적 연구

韓相穆 · 金炘南 · 申大容

강원대학교 재료공학과

A Basic Study on the Refractory Material of Kalcheon Iron Making Furnace

S. M. HAN, K. N. KIM and D. Y. SHIN

Dept. of Materials Engineering, Kangwon National University,

Chuncheon, 200-701, Korea.

ABSTRACT : Materials(refractory, stone) of iron making furnace excavated from Kalcheon were investigated by the scanning electron microscopy(SEM) with an energy dispersive X-ray analysis(EDAX), X-ray fluorescence(XRF), and X-ray diffraction(XRD). Chemical composition of the refractory materials were SiO₂ (68.74%), Al₂O₃(18.40%), CaO(0.42%), MgO(1.04%) and K₂O(2.26%) in weight ratio, which were the typical components presented in common clay. The results of chemical analysis for the stone and the glaze coated, alkali ion(K, Na, Ca) components of the glaze contained high concentration than that the stone. It was suggested that this change had a close relationship with the kinds of fuels used.

1. 서 론

인류가 약 20만년전에 불을 사용하기 시작하면서 부터 인류문화는 석기시대에서 청동기 및 철기시대로 발전하여왔다. 또한 이 불을 이용하여 천연 산출의 금속광물을 가열하므로써 금속을 분리하는 야금기술을 개발하였는데 이때 야철용의 노(爐)를 사용한 것으

로 생각된다.

그러나 철에 대한 야금기술이 언제부터 시작되었는지 확실하지 않으나 청동기를 최초로 이용한 것은 B.C 3700년경 이집트에서 부터라고 알려져 있으며¹⁾ 우리나라에서도 그 기원을 확인할 수는 없으나 아마도 B.C 3-4세기경 중국으로부터 청동기 문화가 유입되지 않았나 생각된다.⁶⁾

우리나라에서의 철기에 대한 조사연구^{1~3, 6)}는 청

동기와 공인되는 몇몇 매장유적 또는 주거지 등에서 출토된 철기와 鐵滓片 등에 대한 형태학적 고찰에 국한하고 있을 뿐, 고대 금속유물에 대한 冶金法 製鍊法 鑄造기술 등 과학적 측면에서의 연구는 아직 미미한 실정이다. 또한, 철기 제작기술의 진보와 함께 철의 製鍊에 사용된 築爐에 대한 형태나 재료에 관한 연구는 전무하다 하겠다. 축로재료는 높은 온도에서 기계적, 열적 및 화학적 작용을 지지하는 능력을 갖추어야 하므로 철의 발달과 함께 축로재료에 대한 기술도 동시에 발달한 것으로 생각된다.¹⁶⁾ 다행히 강원도 양양군 서면 갈천리에서 발견된 야철지 유적은 년대는 추정할 수 없으나 축로의 형태가 확실하고 보존된 상태가 매우 양호한 것으로 판명되었다. 따라서 우리나라 産業技術史에서 철 제련에 이용된 爐의 築造기술이나 형태와 재료를 고찰하는 데 귀중한 자료로 사료된다.

본 연구에서는 축로에 이용된 爐材의 내화점도만을 중심으로 고찰하였다. 현재 갈천리 야철로는 발굴조사 사업이 이루어지지 않고 있으므로 보다 정확한 규모, 내용 및 주위환경과의 관련성은 차후에 언급하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 유구형태와 연구범위

양양군 갈천리에서 발견된 야철로는 56번 국도변에 위치하며 신도로와 구도로의 중간 부분인 시내물가의 노천 경사면에 자리잡고 있다. 노의 크기와 형태는 직경이 약 1.2-2m이고 높이가 1m 정도이며 바닥이 있는 원통형으로서 화구가 있는 앞면은 유실되어 원형을 확인할 수 없었다(Fig.1). 노벽의 두께는 그 내부가 열에 의해 용해되어 정확하게 측정하기는 어려우나 약 40cm 내외의 범위인 것으로 추정된다. 노벽 내부는 점토가 열에 의해 침식된 상태이며 그 단면도는 Fig. 2와 같다. 축로(築爐)방식은 화강암과 점토를 이용하여 Fig. 2와 같이 쌓았는데 골격의 형



Fig. 1. The illustration of the furnace found at Kalcheon.

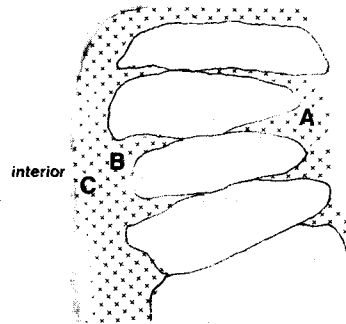


Fig. 2. Schematic of the furnace shown in Fig. 1. (Clay, Stone, Slag)

태를 유지하기 위해 돌을 중심으로 하고 돌의 앞뒤면을 점토로 보강하였다.

지붕이나 굴뚝이 없는 원통형의 이 야철로는 불을 때던 화구가 유실되어 그 구조를 정확히 알 수는 없으나 추측컨대 내부에 철광석과 숯을 쌓아놓고 화구를 통해 장작연료를 하부에서 가열한 것으로 생각된다. 또한 내부 노벽의 일부에서 돌 위에 유약이 형성된 부분이 발견되었는데 이는 가열시에 장작연료의 알칼리 성분이 돌과 반응하여 유리질이 형성된 것이 아닌가 생각된다.^{12, 17)}

따라서 본 연구의 연구범위는 야철로의 제작연대나 용도 및 사용방법 등에 관한 구체적인 내용을 연구⁷⁾ 하는 데 도움이 될 수 있는 기초적 자료를 마련하기 위해 먼저 사용된 점토의 내화성 여부와 유약성분 분

석^{9, 10, 12, 17)} 등에 국한시켜 수행하였다.

2. 2 실험방법

본 연구에서는 노벽에 사용된 점토의 부식층과 점토의 내부층 및 돌에 부착되어 있는 유약층을 대상으로 하여 그들의 성분분석, 결정상 및 미세조직을 관찰하였다. 화학성분 분석은 습식분석법, EDAX 및 X-선 형광분석법(XRF)으로 행하였으며 형광분석법(PHILIPS, PW 1606)은 Rh target을 사용하여 가속전압 40kV, 60mA의 조건으로 측정하였다.

각 시편의 결정상 조사를 위해서는 분말 X-선 회절법(XRD, PHILIPS, PW 1710)을 이용하였는데, 측정조건은 CuKα, Ni filter를 사용하여 가속전압 30kV, 25mA에서 행하였다. 끝으로 각 시편의 미세조직은 주사전자현미경(SEM, ISI-SS 130)으로 시료 표면을 Au Ion Coater로 코팅한 후 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 갈천리 야철로의 형태와 구조 및 사용된 축로재료인 돌과 점토의 사진이다. 축로방식은 골격의 형태유지를 위해 돌로 축대부분을 형성하고 돌과 돌사이 및 돌의 앞뒤로 점토를 치밀하게 부착시키는 방법으로 제작하였다.

이와 같은 축로기술은 야철기술적인 면에서 보면 가장 간단한 초기의 형식⁵⁾으로서 장기간 사용이 곤란할 뿐 아니라 불규칙한 돌의 배치상태로 보아도 점토층의 부식에 대한 고려가 별로 없는 미숙한 수준으로 추정된다. 여기서 사용된 돌들은 화강암으로 판명되었는데 이 돌은 야철로 주위에 많이 산재해 있는 평범한 암석으로서 적당한 크기의 형태만을 선택해 사용한 것으로 생각된다.

Table. 1은 갈천리 야철로에 사용된 점토와 우리나라 중부 여러지방의 몇몇 점토를 비교한 것으로서 ⁴⁾ 이때 사용된 점토는 야철로 제작에 적합한 고알루

Table. 1. Chemical compositions of the common clay material in central area (wt%)

Composition Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Ig. Loss
Chong Son (Kangwon)	55.16	34.58	0.62	0.48	0.85	-	6.51
Chuan (Kyonggi)	72.12	16.61	1.21	0.48	1.15	-	4.57
Yongwol (Kangwon)	61.88	19.88	9.25	0.44	1.04	-	3.49
Pochon (Kyonggi)	74.14	21.97	0.60	0.39	0.39	-	2.43
Tanyang (Chungbuk)	63.92	16.54	6.29	2.65	1.67	-	8.03
unreacted(A)	68.74	18.40	5.40	0.42	1.04	2.26	-
slightly etched(B)	64.68	18.45	7.84	3.79	0.84	2.16	-

미나질(high alumina)의耐火性 점토가 아닌 일반 점토인 것으로 판명되었다. 일반적으로 야철로와 같이 고온에서 용해를 위해 사용되려면 Al₂O₃가 다량 함유된 고알루미나질의 내화점토로 제작되어야 내식성이 높고 고온에서도 안정성이 유지될 수 있는 것이다.^{13, 14, 16)} 우리나라보다 야철기술이 앞선 것으로 생각되는 중국도 楊寬⁵⁾의 기술에 의하면 [야철기술 초기의 煉鐵爐는 크기가 매우 작았고 구조도 간단하였다. 爐의 몸체는 일반적으로 돌과 내화성점토를 사용하여 쌓았는데 어떤 것은 돌을 사용하여 쌓은 후 그 위에 내화점토를 바르고 또 어떤 것은 전체를 내화점토만으로 쌓기도 했다]고 설명한 것으로 보아 야철로 제작에는 일반점토보다 내화성이 우수한 내화점토를 이용할 줄 아는 지혜를 갖고 있었던 것으로 보인다. 또한 중국은 漢나라시대 이전에 SiO₂가 비교적 많은 점토를 이용하였으나, 위진 이후 내화재료의 발전과 함께 고알루미나질 점토(보크사이트)를 축로에 이용함으로써로의 수명을 연장할 수 있었던 것이다.

따라서 갈천리 야철로는 야철로 주변에 있는 일반 점토를 이용하여 제작한 것으로서 내식성에 대한 배

려나 장기간 사용할 수 있는 수명문제 등이 고려되지 않는 것으로 생각된다. 즉 耐火物적인 측면에서 본 견해로는 저급기술 수준인 것으로 사료된다.

Fig. 3은 Fig. 2에서의 A(점토), B, C 각각에 대한 결정상을 조사하기 위해 X-선 회절분석을 한 것이다. 점토의 외측, 즉 철광석과 직접 접촉을 하지않고 열처리 영향도 가장 적게 받았다고 생각되는 부위(A)에서는 SiO₂(Quartz)가 주결정상인 점토로 나타났다으며, 내측과 외측의 중간부위(B)에서는 SiO₂(Quartz)와 NaAlSi₃O₈(Albite)의 혼합상이 형성되었다. 철광석과 직접 접촉하고 있는 점토벽의 내측(C)은 SiO₂(Quartz)와 Fe₃O₄(Magnetite)가 각기 형성되어 있다.

이상의 결과로 보아 생성된 결정상으로 부터 확인할 수 있는 것처럼 노벽의 내부쪽은 온도가 가장 높은 곳으로서 철광석의 용융물이나 가스와의 반응에 의해 부식이 진행되면서 점토성분에 새로운 Fe₃O₄층이 형성된 것으로 생각된다.

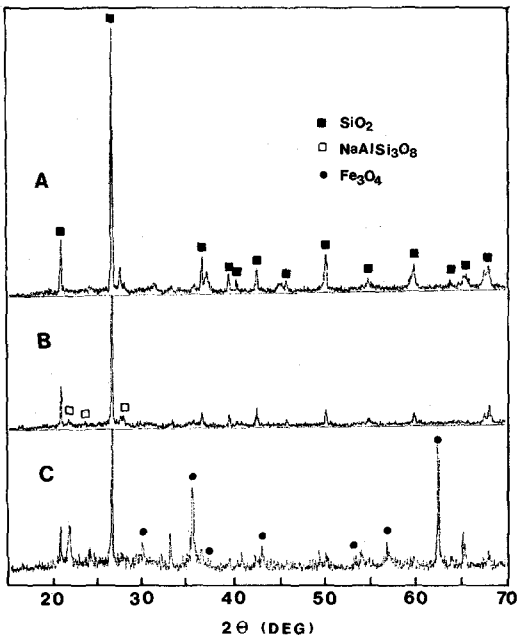


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of the clay(A, B, C part) material shown in Fig. 2.

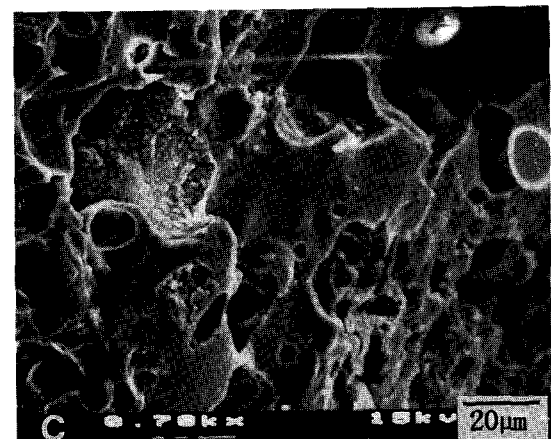
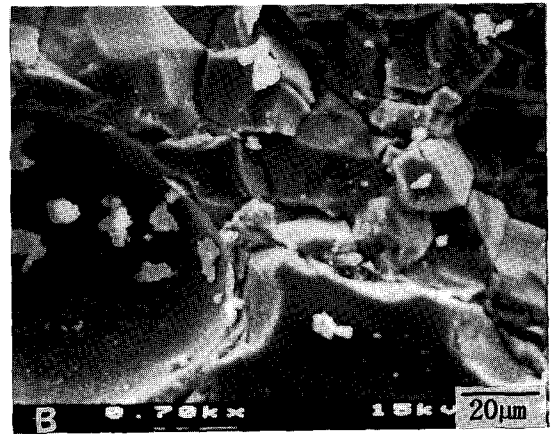
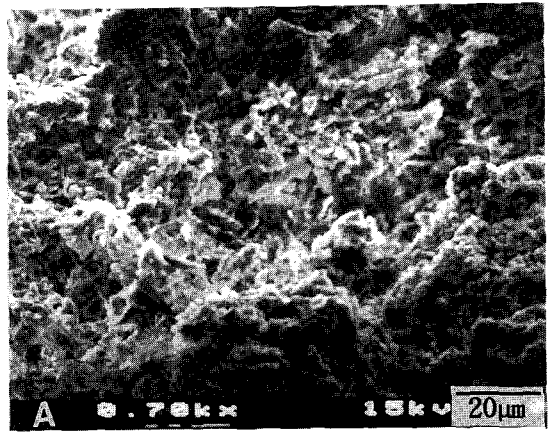


Fig. 4. SEM micrographs of the clay(A, B, C part) material shown in Fig. 2.

Fig. 4는 위에서 언급한 점토의 세부위 A(점토), B, C(노벽내)를 주사전자현미경으로 관찰한 것으로

(A)부위는 일반점토층의 조직을 보여주고 있으며 (B)의 중간부분에서는 점토층에 약간의 열처리를 받아 조직이 변화하였으며 또한 Albite조직으로 보이는 박편상의 결정상을 확인할 수 있다. 가장 온도가 높았던 (C)부위는 Quartz와 Magnetite로 보이는 결정들이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

한편 노내의 하부에서 규산질 암석 표면위에 유약층이 형성되어 있었는데(Fig. 5) 이는 철광석을 환원 용융시키기 위한 고온작업시 연료로 사용한 장작의 재(ash) 성분중 알칼리 화합물이 비산하면서 돌의

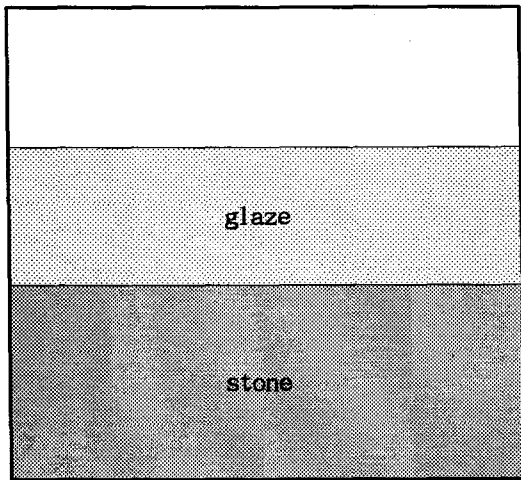


Fig. 5. Section of stone and glaze coated.

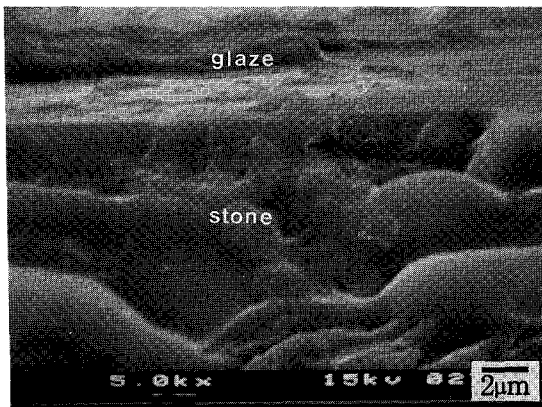


Fig. 6. SEM micrograph for the stone and the glaze.

Table. 2. Chemical compositions of the glaze and the stone using EDAX analyzer

Elements Sample	(wt%)						
	Si	Al	Na	K	Ca	Fe	Cu
Glaze	67.64	2.77	2.42	17.36	5.38	2.60	1.83
Stone	55.63	19.43	0.79	12.62	9.66	1.88	-

주성분인 SiO₂와 반응하여 alkali-SiO₂계의 유리질 (glass)을 형성(Fig. 6)한 것으로 생각된다. 이 유약의 화학성분을 EDAX로 분석한 결과(Table 2) 이 유리는 알칼리 성분중 칼리(K)가 17.36%, 칼슘(Ca)이 5.38%, 나트륨(Na)이 2.42%이며 또한 규소(Si)가 67.64%인 것으로 보아 칼리가 많이 함유된 K₂O(Na₂O)-CaO-SiO₂계의 유리인 것으로 생각된다.^{12, 17)} Fig. 7은 유약층과 돌의 원소성분을 비교 분석한 결과이다. 따라서 이 유약은 적어도 1200℃ 이상의 온도에서 형성된 것으로 생각되며 비교적 화력이 우수한 장작을 연료로 사용하여 환원용융시킨 것으로 추측된다. 또한 앞으로 이 알칼리성분을 더욱 세밀히 조사연구하면 사용한 장작의 종류나 소성온도도 정확히 확인할 수 있으리라 생각한다.

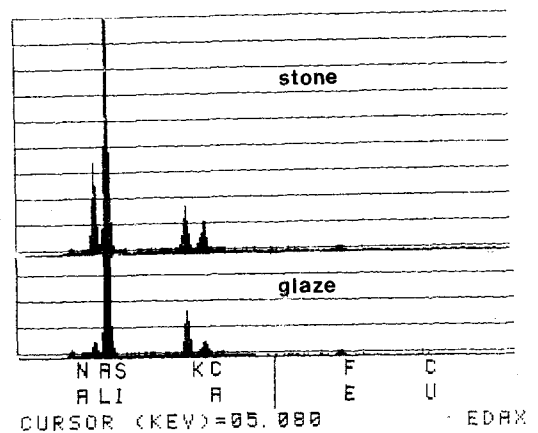


Fig. 7. EDAX spectra of the stone and the glaze shown in Fig. 6.

4. 결 론

일반적으로 야철로의 축로재료인 점토성분을 분석하면 점토에 함유된 Al_2O_3 의 양에 의해 점토의 내화도를 측정할 수 있다. 또한 이 내화도의 높고 낮음은 축로기술의 수준을 의미하기도 하며 용융 처리온도의 정도를 추정하는 데 도움이 되기도 한다. 따라서 본 연구에서 갈천리 야철로의 축로재료인 점토를 분석한 결과 Al_2O_3 의 함량이 18% 정도인 것으로 보아 일반 점토를 사용한 것으로 생각되며 또한 내식성이나 수명 등에는 크게 도움이 되지 않고 축로기술도 수준이 낮은 것으로 생각된다.

한편 돌 위에 부착 형성된 유약층을 분석한 결과 $K_2O(Na_2O)-CaO-SiO_2$ 계의 유리질인 것으로 판명되었는데 이는 연료인 장작의 회분에 포함된 알칼리 성분이 돌의 주성분인 SiO_2 와 반응하여 알칼리-규산계의 유리를 형성한 것으로 추측되며 이때의 온도도 약 $1200^\circ C$ 이상일 것으로 추정된다.

참고문헌

1. 金元龍 : 韓國考古學概論, 一志社(1987).
2. 光州博物館 : 무등산 금곡동, 발굴보고서(1993).
3. 文化財管理局 : 冶鐵遺蹟址調査報告書(1987).
4. 요업공학 핸드북, 2086, 대광서림(1984).
5. 楊寬 : 中國古代冶鐵技術發展史, 4, 대한교과서(1992).
6. 尹武炳 : 韓國青銅器文化研究, 123, 藝耕産業社(1987).
7. 馬淵久夫 外 : 考古學のための化學 10章, 東京大學(1985).
8. 馬淵久夫 外 : 古文化財の科學, 28, (1983).
9. 素木洋一 : セラミクスの技術史, 技報堂, 69, (1983).
10. 素木洋一 : セラミクスの技術史, 技報堂, 87, (1983).
11. 田口勇 : 鐵の歴史と化學, 裳華房, (1988).
12. C. W. Parmelee : Ceramic Glaze, Cahners, 2-4, (1973).
13. F. H. Norton : Refractories, McGraw-Hill, New York, 14, (1968).
14. F. H. Norton : Refractories, McGraw-Hill, New York, 192, (1968).
15. H. Mabuchi et al : Lead Isotope Approach to the Understanding of Early Japanese Bronze Culture, Archaeometry, 27, 2, 140-142(1985).
16. J. E. Roberts : The History and Development of the Refractories Industry, Refractories J. 41. 90 (1965).
17. W. D. Kingery et al : Ceramic Masterpieces, 261, Mcmillan(1986).