

# 다변량해석법에 의한 청·백자 분류

이 철(한양대학교)

김승원(국립여수수산대학)

강형태(문화재연구소)

## 차 례

- |           |            |
|-----------|------------|
| 1. 서론     | 4. 결과 및 고찰 |
| 2. 다변량해석법 | 5. 결론      |
| 3. 실험     | 6. 참고문헌    |

## 1. 서 론

청자 및 백자의 연구는 주로 기형, 태도, 유약 및 문양과 같은 양식론적인 분류를 통하여 발생시기, 편년 및 변천과정을 주로 논의하고 있다.<sup>1),2),3)</sup> 이와 같은 양식의 시대적 변천은 시대별로 사용한 태도의 지질학적 특성 및 제조기술의 변천과 맥을 같이 하는 것으로서 태도와 관련된 과학적 분류연구가 중요시 되고 있다.<sup>4)~7)</sup>

본 연구에서는 고려 및 조선시대의 청백자를 지역별로 입수하여 태도와 관련된 자연과학적 연구를 수행하여 자기 분류의 과학적 근거를 제시 하고자한다.

지질학적 시료는 그 근원이 다름에 따라 미량성분원소의 함량분포 패턴이 크게 다르다는 것이 확인되었다.<sup>5),8)</sup> 이 사실을 이용하면 자기와 같은 시료는 점토를 구워서 제조되었기 때문에 이들 시료에 함유된 미량성분원소의 함량패턴으로 부터 시료를 분류할 수 있고 점토와의 관계를 확립할 수 있다.<sup>4),5),8)</sup>

본 연구에서는 미량원소의 분석법으로 중성자방사화분석법을 채용하였다.<sup>9),10)</sup> 이 방법을 사용하면 소량의 시료로서 미량원소의 분석이 쉬워지며 많은 성분원소의 동시분석이 가능하다. 분석데이터의 처리법으로 주성분분석법(Principal component analysis)<sup>11),12)</sup> 비선형도시법(Non-linear mapping)<sup>13),14)</sup> 선형관별식분석법(Statistical linear discriminant analysis)<sup>15),16)</sup> 및 SIMCA법<sup>17),18)</sup>을 수행하였다. 이와 같은 다변량해석법<sup>19)</sup>을 알맞게 조합하여 청백자 시료를 지역별, 층위별로 분류하였으며 점토와의 관계를 검토하였다.

## 2. 다변량해석법

N 개의 시료에서 M 개의 원소가 분석되었을 때 일반적으로 가장 중요하다고 여겨지는 1 개 혹은 2 개의 원소만의 함량을 사용하여 작성한 함량분포를 나타내는 그림으로 시료간의 유사성 및 특이성을 검토하는 경우가 많다. 그외 선정되지 못한 원소는 다만 분석 결과로서 제시되고 있다.

다변량해석법은 분석된 모든 원소의 정량치를 사용하여 시료의 유사성 및 특이성을 찾는 방법이다.<sup>19)</sup> 즉 시료가 몇 개의 군으로 분류되는가를 발견하고 각 군을 모델링하면 미지의 시료가 어느 군에 속하는지를 알아낼 수 있다.

N 개의 시료에서 분석된 M 개의 변수는 한 세트의 데이터매트릭스( $N \times M$ )를 구성한다. 이는 M 차원의 공간에서 N 개의 시료점을 나타낸 것과 같다. M 차원에 나타나 있는 시료의 분포형태를 육안으로 인지할 수 있도록 2-3차원으로 나타내는 것이 필요하다. 만약 시료에 대한 정보가 없는 경우에 이를 unsupervised learning 이라 하며 주성분분석법 (PCA: principal component analysis)<sup>11),12)</sup>과 비선형도시법 (NLM: nonlinear mapping)<sup>13),14)</sup>이 있다. 이의 결과로 각 시료들간의 관계를 알 수 있으며 시료가 몇 개의 군으로 분류되는지를 알 수 있다.

분류된 각 군의 분류규칙을 만듦으로써 미지시료가 여러 군들 가운데 어느 군에 속하는지 알아낼 수가 있다. 이러한 접근법을 supervised learning 이라 하며 선형판별식분석법 (SLDA: statistical linear discriminant analysis)<sup>15),16)</sup>과 SIMCA(statistical isolinear multiple component analysis)<sup>17),18)</sup>법이 있다.

본 고에서는 위 분류법의 과정은 생략하고 분류결과를 중점적으로 설명코져 한다.

## 3. 실험

고려 및 조선시대의 도요지에서 170 여종의 청백자 시료를 입수 하였다. 입수한 이들 시료는 탈이온수에 담구어 씻어 주었으며 110℃의 오븐에서 수 시간 건조하였다. 텅스텐 탄화물(tungsten-carbide)로 만들어진 송곳으로 각 시료의 내부로부터 30 - 40 mg 의 시료를 끊어 내어 Al-foil 로 밀봉하였다.

단일비교체로써 함량을 알고 있는 Co 및 Au를 이들 시료와 같이 중성자 조사용 알루미늄 용기에 넣어 밀봉하였다. 이를 한국원자력연구소의 TRIGA MARK III 원자로의 회전 시료 조사대에 15 시간 중성자로 조사하였다. 이 조사 위치에서의 중성자속은  $1 \times 10^{13}$  neutrons  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  이었다. 1 일간 냉각시킨 후 각 시료를 정확히 칭량하여 같은 모양의 시험관에 넣어 주어진 기하

학적 조건에서 600 초간 계측하였고, 7 일간 냉각시킨 후 다시 1200 초간 계측하였다.

감마선 계측은 한국원자력연구소의 8000 채널 다중과고분석기(MCA:multichannel analyzer, EG & G ORTEC)와 ADCAM 100 전자계산조직에 연결되어 있는 HPGe 반도체 검출기(EG & G ORTEC Model GEM150180)를 사용하였다. 계측된 감마선의 에너지와 피크면적을 계산하였고 기하학적 위치에 따른 계측효율, 핵적인 데이터 및 조사조건에 따른 중성자속을 이용하여 각 성분 원소의 함량을 단일비교체법으로 결정하였다.<sup>9)</sup>

상기 중성자방사화분석법은 미량원소의 동시 분석이 가능하고 시료가 비파괴적이라는 장점이 있어 널리 쓰이고 있다.

## 4. 결과 및 고찰

고려 및 조선시대의 청백자 약 170종의 시료를 입수하여 중성자방사화분석법에 의해 각 시료마다 15-20개의 미량성분원소의 함량을 결정하였다.

이들 성분원소의 함량데이터를 사용하여 청백자의 지역적 분류, 동일지역에 분포하고 있는 청백자의 분류 그리고 한 요지에서 층위별로 출토된 청백자의 특성을 검토하고자 한다.

데이터의 해석법으로는 주성분분석법, 비선형도시법, 선형판별식분석법 및 SIMCA법을 알맞게 조합하여 청백자 시료를 분류하였다.

### 4-1. 지역별 청백자의 분류

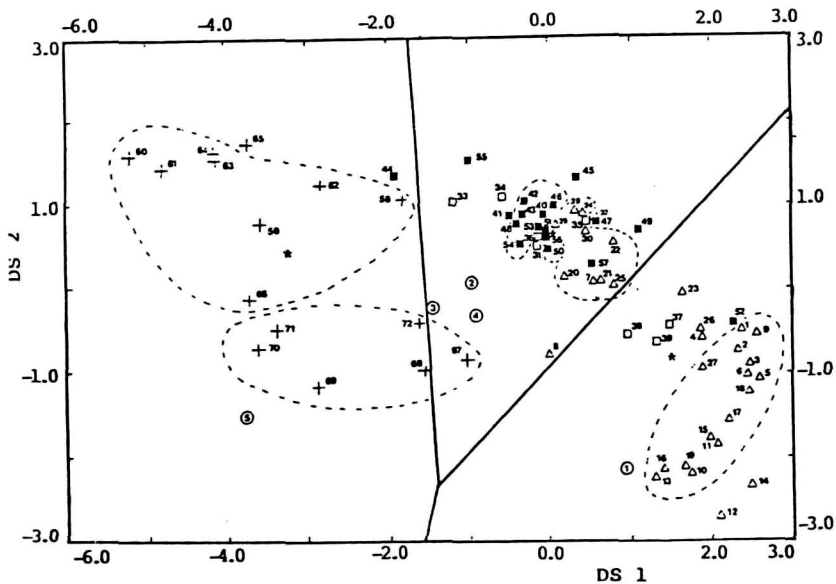
경기, 전남, 충남, 전북 지역의 요지로 부터 모두 72종의 시료를 입수하였고 점토와의 관계를 알아 보기 위하여 부근의 점토 5종을 입수하였다. 중성자방사화분석법으로 각 시료에 대하여 각 20개 성분원소(Na, K, Sc, Cr, Fe, Co, Cu, Ga, Rb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Lu, Hf, Ta, Th)의 함량을 결정하였다. 입수한 시료의 위치 및 종류를 부호와 함께 Table 1에 나타내었다. 다변량해석법으로는 주성분분석, 선형판별식분석 및 SIMCA를 사용하여 시료를 지역별로 분류하는 규칙을 찾고자 시도하였다.

주성분분석을 수행한 결과 크게 경기, 전남, 충남-전북지역의 군으로 나타났다. 주성분분석결과 나타난 3개 군에 대한 분류규칙을 찾고자 시도하였다. 선형판별식분석의 Direct method에 의하여 Sm, Cu, K, La, Ce, Lu, Th, Hf, Rb, Fe, Eu같은 성분원소가 세 군의 분류에 중요한 원소로 선정되었다. 선정한 11개 성분원소의 데이터로 계산된 선형판별함수는 다음과 같다. 이 두 판별식에 의하여 72개 시료에 대한 판별점수  $DS_1$ 와  $DS_2$ 를 계산하여 평면에 도시하여 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. 청백자 및 점토시료 입수지

번호	기호	시료수	도요지	종류
1-19	△	19	경기도 광주	백자
20-25	△(▽)	6(6)	경기도 광주	분청자
26-27	△	2	경기도 용인	백자
28-30	△(▽)	3(3)	경기도 양주	청자
31-36	□(○)	6(6)	전라북도 부안	청자
37-39	□	3	전라북도 부안	백자
40-51	■(■)	12(11)	충청남도 공주	분청자
52	■	1	충청남도 공주	백자
53-57	■(■)	5(5)	충청남도 연기	분청자
58-66	+	9	전라남도 해남	청자
67-72	+	6	전라남도 완도	청자
	①	1	경기도 여주	점토
	②	1	전라남도 강진	점토
	③	1	전라남도 강진	점토
	④	1	전라남도 강진	점토
	⑤	1	전라남도 해남	점토

Fig. 1 선형판별식분석(SLDA)에 의한 경기/전북-충남/전남지역 청백자 분포도 및 SIMCA 분석을 위한 참조시료(점선내의 시료)



$$\begin{aligned}
DS_{1i} &= -2.66 \times 10^{-1} X_{Sm,i} - 2.71 \times 10^{-3} X_{Cu,i} - 2.70 \times 10^{-5} X_{K,i} - 9.60 \times 10^{-3} X_{La,i} \\
&\quad - 1.57 \times 10^{-3} X_{Ce,i} - 4.90 \times 10^{-1} X_{Lu,i} + 4.92 \times 10^{-3} X_{Th,i} - 6.30 \times 10^{-2} X_{Hf,i} \\
&\quad - 3.07 \times 10^{-3} X_{Rb,i} - 1.24 \times 10^{-5} X_{Fe,i} - 4.99 \times 10^{-1} X_{Eu,i} + 3.29 \\
DS_{2i} &= -2.66 \times 10^{-1} X_{Sm,i} + 2.71 \times 10^{-3} X_{Cu,i} - 6.09 \times 10^{-5} X_{K,i} + 1.12 \times 10^{-2} X_{La,i} \\
&\quad + 3.26 \times 10^{-3} X_{Ce,i} + 1.05 \times 10^{-1} X_{Lu,i} + 2.81 \times 10^{-2} X_{Th,i} + 4.00 \times 10^{-2} X_{Hf,i} \\
&\quad - 4.74 \times 10^{-3} X_{Rb,i} - 3.56 \times 10^{-6} X_{Fe,i} + 1.59 \times 10^{-5} X_{Eu,i} + 0.995
\end{aligned}$$

그림에서 보는 바와 같이 전남지역의 자기(+), 경기지역의 자기, 충남-전북지역의 자기군으로 분류되었으며 이때의 분류효율은 78%이었다.

경기, 충남-전북지역에 속하고 있는 분청자시료를 선형판별식분석으로 재분류코져 하였다. 또한 점선에 포함된 시료를 SIMCA를 위한 각 군의 참조시료로 사용하였다.

경기, 충남-전북지역에 속한 분청자의 SLDA결과의 판별식을 구하였으며 분류목적에 중요한 성분원소는 La, Na, Cr, Hf, Ba, Sc, Rb, Fe, Co같은 9개 원소이었으며 이들 원소의 데이터로 선형판별함수를 얻을 수 있다. 각 시료의 판별점수를 계산하여 DS<sub>1</sub>과 DS<sub>2</sub>를 두 축으로 평면에 도시하면 Fig. 2를 얻을 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 점토를 이 그림에 포함시킨 결과 ②, ③, ④ 점토는 충남지역에 소속됨을 알 수 있으며 경기,전북,충남지역 분청자의 분류효율은 90%이었다. SLDA의 결과로 얻은 Fig. 1에서 점선으로 표시된 시료를 선정하여 SIMCA분석을 위한 참조시료로 사용하였다.

$$\begin{aligned}
DS_{1i} &= 1.91 \times 10^{-2} X_{La,i} + 2.16 \times 10^{-4} X_{Na,i} - 6.04 \times 10^{-3} X_{Cr,i} - 7.89 \times 10^{-2} X_{Hf,i} \\
&\quad + 2.25 \times 10^{-3} X_{Ba,i} - 2.08 \times 10^{-1} X_{Sc,i} - 4.23 \times 10^{-3} X_{Rb,i} - 3.26 \times 10^{-6} X_{Fe,i} \\
&\quad - 8.46 \times 10^{-2} X_{Co,i} - 5.67 \\
DS_{2i} &= 2.50 \times 10^{-2} X_{La,i} - 1.28 \times 10^{-4} X_{Na,i} + 1.16 \times 10^{-2} X_{Cr,i} + 1.02 \times 10^{-1} X_{Hf,i} \\
&\quad + 2.13 \times 10^{-3} X_{Ba,i} + 1.42 \times 10^{-1} X_{Sc,i} + 2.18 \times 10^{-3} X_{Rb,i} - 4.87 \times 10^{-5} X_{Fe,i} \\
&\quad - 1.76 \times 10^{-1} X_{Co,i} - 4.74
\end{aligned}$$

SIMCA법으로 선정된 5개군의 각 모델식을 결정하였다. 각 군에 대한 참조시료를 선정하였고 그 이외의 시료는 시험시료로서 사용하였다. SLDA결과로부터 선정한 참조시료는 SIMCA의 결과와 일치하였고 25개의 시험시료 중에서 19개 시료가 어떠한 군에도 속하지 않는 열외시료로 판정되었다.

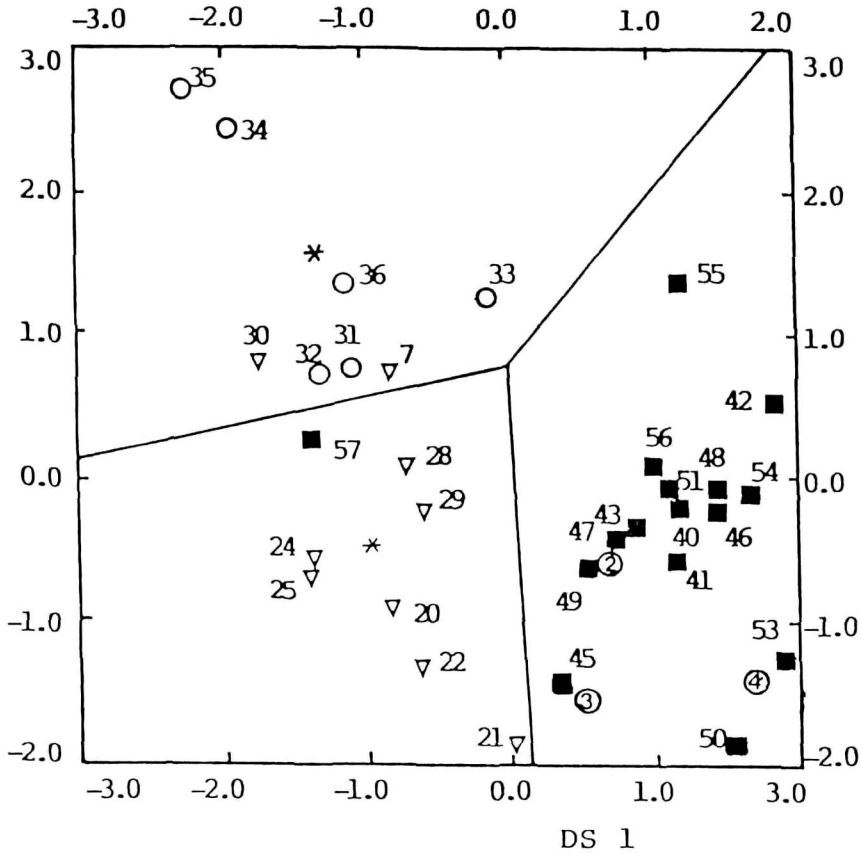


Fig. 2 선형판별식분석(SLDA)에 의한 경기/전북/충남지역 청자 및 점토의 분포도

#### 4-2 경기도 광주 청백자의 분류

경기도 광주에 위치한 조선시대 청백자 요지로 부터 자기편 40종을 입수하여 중성자방사화분석법으로 15개 미량성분원소(Na, K, Sc, Fe, Co, Ga, Rb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Hf, Th)의 함량을 결정하였다. 시료의 입수 위치 및 종류를 그 부호와 함께 Table 2에 나타내었다.

주성분분석법으로 시료 데이터셋트의 분포가 어떤 군을 형성하는지 찾고자 하였다. 주성분 값 1, 2를 평면에 도시하면 뚜렷이 3개군을 형성함을 알 수 있다.

선형판별식분석의 Direct method를 수행한 결과 3개 군의 분류에 K, Na, Yb, Hf, Cs, Rb, Fe, Co같은 8개원소가 크게 기여하였다. 이들 원소의 함량 데이터를 사용하여 두개의 판별식을 구하였다.

$$DS_{1i} = -3.49 \times 10^{-1} Z_{K,i} - 2.41 \times 10^{-1} Z_{Na,i} + 4.02 \times 10^{-1} Z_{Yb,i} + 5.41 \times 10^{-1} Z_{Hf,i} \\ - 1.78 \times 10^{-1} Z_{Cs,i} - 8.09 \times 10^{-2} Z_{Rb,i} + 5.16 \times 10^{-1} Z_{Fe,i} - 2.48 \times 10^{-1} Z_{Co,i}$$

$$DS_{2i} = 3.13 \times 10^{-1} Z_{K,i} - 6.74 \times 10^{-2} Z_{Na,i} - 1.55 \times 10^{-1} Z_{Yb,i} - 3.63 \times 10^{-1} Z_{Hf,i} \\ - 1.20 \times 10^{-1} Z_{Cs,i} - 7.01 \times 10^{-1} Z_{Rb,i} + 4.65 \times 10^{-1} Z_{Fe,i} - 1.36 \times 10^{-1} Z_{Co,i}$$

위의 두 판별식에 의해 각 시료 i에 대한 판별점수  $DS_{1,i}$ 와  $DS_{2,i}$ 를 두 축으로 하여 각 시료에 대한 판별점수를 평면에 도시하면 Fig. 3과 같다.

판별함수의 사용으로 상변천리 5호, 상변천리 9호 및 도수리요지 자기의 분류효율은 12/15, 15/15, 10/10이었다. 이 방법으로 40개의 시료 중 37개가 정확히 분류되었으므로 92.5%의 분류효율을 나타내었다.

Table 2. 경기도 광주 도요지의 청백자 시료

번호	기호	시료수	도요지	종류
1-15	○	15	경기도 광주 상변천리 5호	백자
16-30	△	15	경기도 광주 상변천리 9호	백자
31-45	■	10	경기도 광주 도수리	청자

Table 3. 경기도 용인군 서리 도요지의 층별 시료 및 부호

번호	기호	종료	층류	시대
1-5	▼	청자	IV	9세기
6-13	▽	백자	IV	9세기
14-18	▲	청자	III	9세기
19-28	△	백자	III	9세기
29-44	○	백자	II	9세기 말-10세기
45-55	□	백자	I	11세기

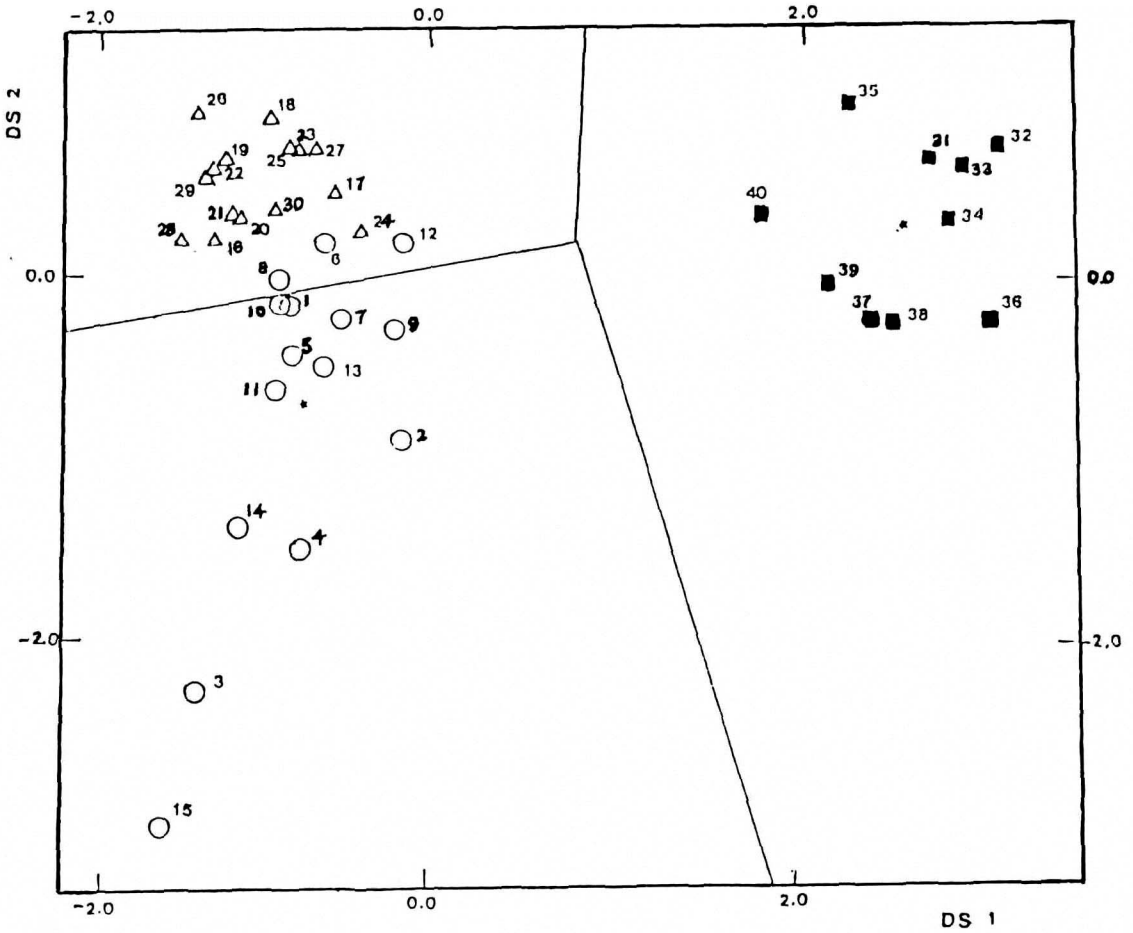


Fig. 3 경기 광주군 상번천리 5호, 9호 및 도수리 요지 청백자의 선형판별식 분석 결과

#### 4-3 용인 서리요지의 청백자 분류

시료를 입수한 서리 도요지의 층별 분포는 Fig. 4와 같다. 각 층에서 입수한 55개의 시료에 대한 층별 부호 등을 Table 3에 나타내었다. 중성자방사화분석법으로 18개 성분원소의 함량을 결정하였다. 주성분 분석, 비선형도시, 선형판별식분석 및 SIMCA를 사용하여 층위별로 청백자의 특성을 검토코자 하였다.

주성분분석 결과를 평면에 도시하면 Fig. 5와 같다. 이때 주성분 1은 Co, Cr, Fe, Hf, K, La, Th, Sm, Ce, Lu, Sc 등이 주성분 2는 Ba, Rb, Ta, Zn, Tb 등이 크게 기여하는 원소이었다.

Fig. 5의 도시 결과로 부터 시료는 청자군과 백자군으로 크게 나눌 수 있으며 청자군에서도 III층(▲)과 IV층(▼)이 별개의 군을 형성함을 알 수 있었다. 백자군도 크게는 III, IV층 군과 I, II층 군으로 나눌 수 있고 각 군의 시료가 다소 섞여 있지만 다시 2개의 군으로 각각 나눌 수 있음을 알 수 있었다. 청자와 백자, 백자의 층별 분포에 따라 시료를 6개의 군으로 나누고 선형판별식분석법 및 SIMCA 법을

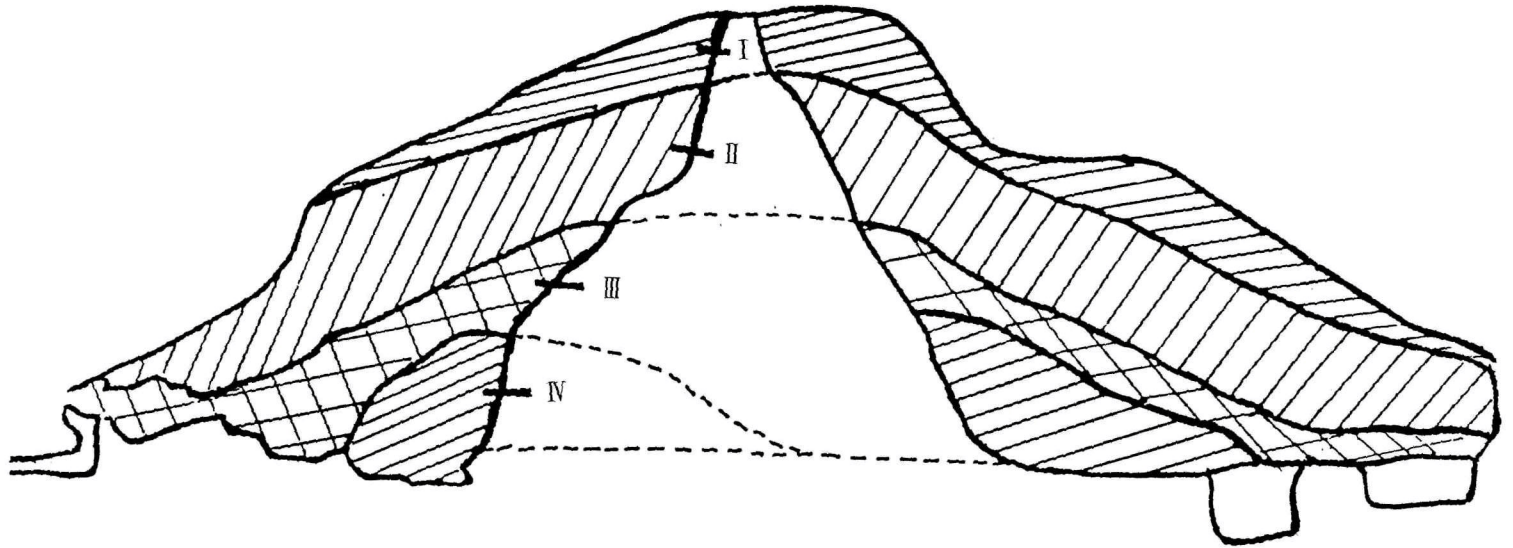


Fig. 4 경기도 용인 서리 도요지의 층위도

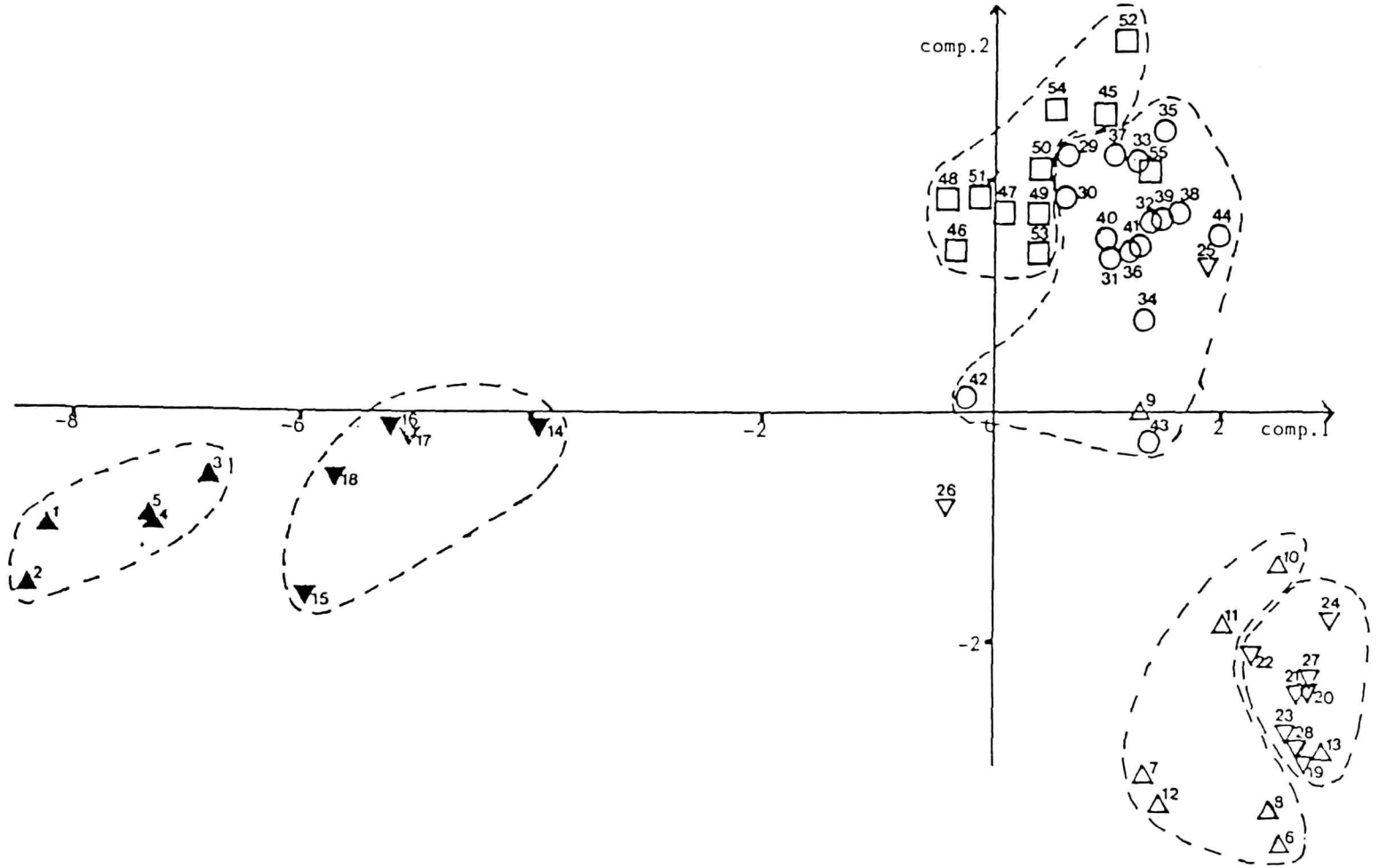


Fig. 5 주성분분석(PCA)에 의한 서리 도요지의 층위별 청백자 분포도

위한 참조시료 셋트로 삼았다. 이 중 IV층 백자군(▽)에서 입수된 9번, 13번 시료는 II층 백자군(○), III층 백자군(△) 시료에 각각 섞여 나타났다. III층 백자군(△)에서 입수된 25, 26번 시료와 I층 백자군(□)에서 입수된 55번 시료는 II층 백자군(○) 시료와 함께 분포되어 있었다. 이들 5개 시료(9, 13, 25, 26, 55)는 SIMCA 법의 시험시료로 삼아 재분류를 시도하였다.

주성분분석법에 의해 얻어진 주성분값의 전 가변도를 이용하는 비선형도시법을 시도하였다. 이의 결과를 Fig. 6에 도시하였으며 한 두개의 시료를 제외하고는 주성분분석법의 도시 결과와 일치하게 나타났으며 시료간의 분포가 보다 넓게 나타남을 알 수 있다.

주성분분석법 및 비선형도시법에 의해 55개의 시료는 청자 III, IV층과 백자 I, II, III, IV층의 6개의 군으로 분류할 수 있다. 하지만 더 크게 청자, 백자의 2개군으로 분류할 수 있으며 이러한 분류에 크게 기여하는 성분원소를 아는 것이 중요하다. 이는 청자, 백자를 구성하는 성분원소가 어떻게 다른 지를 알 수 있기 때문이다. 이와 같은 분류 및 분류에 크게 기여하는 성분원소를 찾기 위해서 선형판별식분석법을 수행하였다.

direct method에 의해 청자, 백자간의 분류에 크게 기여하는 성분원소의 기여율을 계산하였다. Co, Cr, Fe, K, La, Lu, Sc 등의 7개 원소가 청백자간의 분류에 크게 기여함을 알 수 있었다.

III, IV층 청자군의 경우 동일 연대(9세기)로 추측되나 층을 달리하므로 두 층간의 분류가 필요하다. 이를 위해 선형판별식분석법의 direct method로 계산해 본 결과 Ba, Cr, La, Rb, Sc 등의 5개 원소가 두 층의 분류에 크게 기여함을 알 수 있었다.

백자의 경우에도 주성분분석의 결과로부터 III, IV층(9세기)과 I, II층(9세기말 이후)의 분포가 확연히 구별되어 나타났다. 이와 같은 분포에 크게 기여하는 원소를 동일한 방법으로 계산해 본 결과 Ba, Cr, La, Rb, Ta 등의 5개 원소였다. 또한 동일 연대(9세기)로 추측된 III, IV층 백자군도 III층과 IV층으로 구별할 수 있으므로 두 층에 대해서도 계산해 보았다. 그 결과 Co, Cr, Cs, Hf, Th, Ta, Ce, Sc 등의 8개 원소가 두 층의 분류에 크게 기여함을 알 수 있었다. 9세기말 이후 시료인 I, II층 백자군도 I층과 II층으로 나눌 수 있으므로 두 층간의 분류에 기여하는 원소를 같은 방법으로 찾아보았다. 그 결과 Ba, Co, Cr, Fe, K, Na 등의 6개 원소임을 알았다.

시료가 입수된 층과 PCA 및 NLM의 결과로부터 6개의 시료 셋트를 선정하였다. 이는 SIMCA법을 위한 참조시료(training set)로 삼았고, 그 외 시료(9, 13, 25, 26, 55)는 시험시료(test set)로 삼아 SIMCA분석 결과와 함께 Table 4에 나타내었다.

6개의 각 군에 대하여 각 군의 모델식을 만든 다음 이 모델식에 55개의 전체 시료를 모두 적용시켜 보았다. 청자의 경우 III, IV층 청자군(▲, ▼)은 주성분분석법과 비선형도시법의 결과와 마찬가지로 백자와는 별개의 군을 형성하였고 두 군간의 거리가 다른 군과의 거리보다 짧지만 별개의 군으로 modeling 됨을 알 수 있었다. IV층 백자군(▽)과 III층 백자군(△)의 경우, IV층 6번 시료는 III층에도 속하는 것으로 나타났으며 III층의 8개 시료(19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28) 중 22번 시료를 제외한 7개의 시료가 IV층에도 속하는 것으로 나타났다. 이는 주성분분석법 및 비선형도시법의 결과와 일치하며 III층과 IV층을 동일한 군으로 볼 수 있음을 의미한다. II층 백자군(○)의 시료 16개는 동일한 군

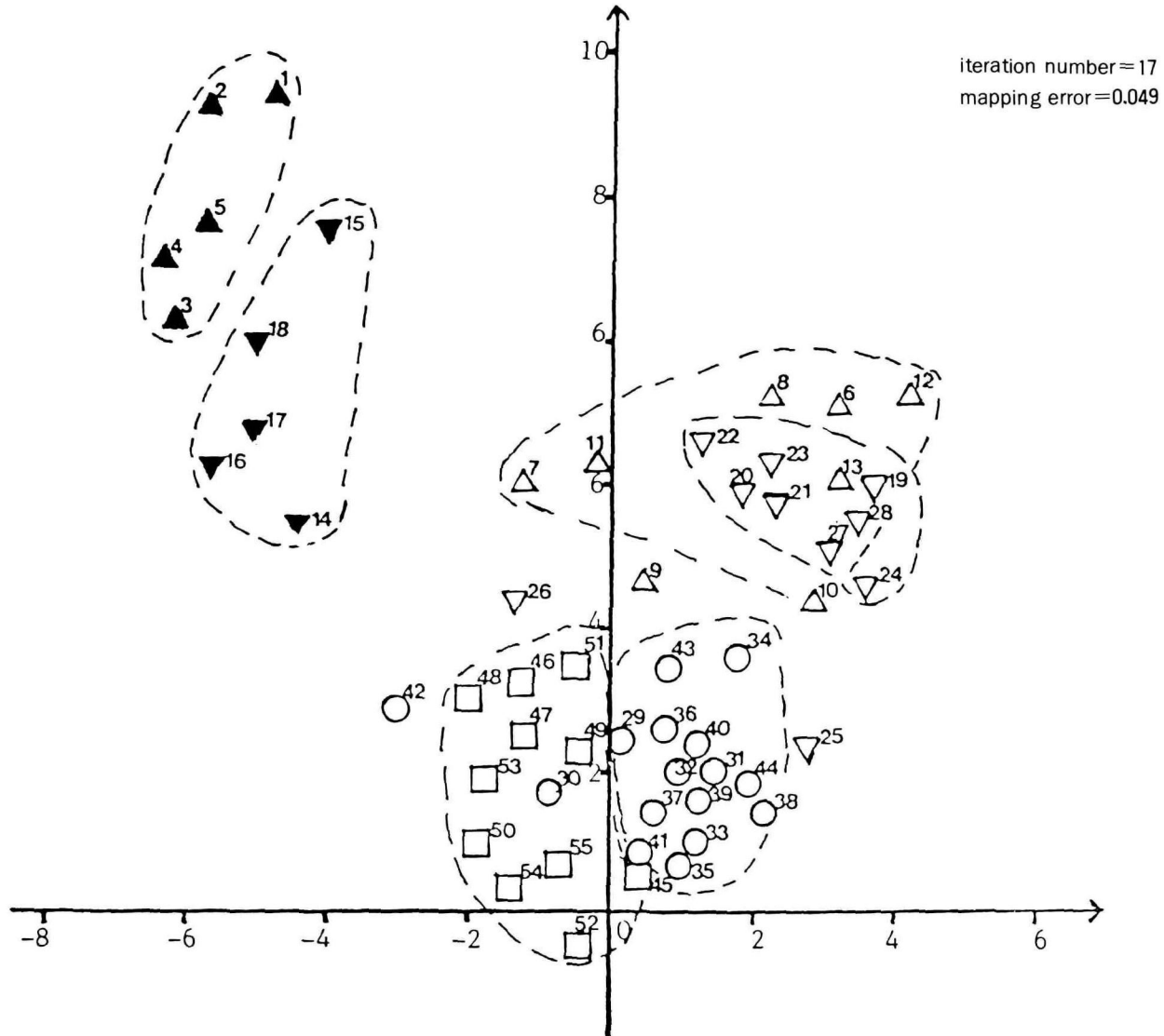


Fig. 6 비선형도시법(NLM)에 의한 서리 도요지의 층위별 청백자 분포도

으로 modeling 되었다. 이들 시료 중 29, 35, 37, 40 번 시료는 I 층 백자군(□)에도 속하였고 34 번 시료는 IV 층 백자군(▽)에도 속하는 것으로 나타났다. II 층 백자군(○)의 시료는 I 층 백자군(□)과 유사하게 나타남을 관련된 군과의 거리를 계산해봄으로써 알 수 있었다. I 층 백자군(□) 시료는 한 개의 군으로 modeling 되었으며 다른 군에도 속해 있는 시료는 없었다. 또한 관련된 군과의 거리를 비교해봄으로써 I 층 백자군(□) 시료는 II 층 백자군(○) 시료와 유사함을 알 수 있었다.

시험시료로 삼은 5 개의 시료를 6 개 군의 각 모델식에 적용해 본 결과 13 번 시료는 III, IV 층 백자군(△, ▽)에 동시에 속하는 것으로 나타났으며 나머지 4 개의 시료는 모든 군에 열외의 시료로 판정되었다.

Table 4. 참조시료셋트 및 시험시료셋트의 SIMCA분석 결과

Sample no.	Symbol	Class given	Assignment calculated	Distance to nearest class, $S_p^{(q)}$	Distance to related class, $S_p^{(q)}$
Training set for celadon IV					
1		IV	IV	0.5108(IV)	2.1913(III)
2		IV	IV	0.4638(IV)	2.6546(III)
3	▲	IV	IV	0.3517(IV)	1.4228(III)
4		IV	IV	0.2732(IV)	1.7563(III)
5		IV	IV	0.6400(IV)	1.7356(III)
Training set for celadon III					
14		III	III	0.0487(III)	2.7908(IV)
15		III	III	0.0384(III)	2.9739(IV)
16	▼	III	III	0.1772(III)	1.7578(IV)
17		III	III	0.3483(III)	1.9157(IV)
18		III	III	0.0838(III)	2.4191(IV)
Training set for white porcelain IV					
6		IV	IV, III	0.3700(IV) (III)	1.3840 4.1367(II)
7		IV	IV	0.1694(IV)	2.7196(III)
8		IV	IV	0.2385(IV)	1.4709(III)
10	△	IV	IV	0.0142(IV)	1.7864(III)
11		IV	IV	0.0724(IV)	3.6154(III)
12		IV	IV	0.0202(IV)	3.0535(III)
Training set for white porcelain III					
19		III	III, IV	0.8174(III) (IV)	0.6738 3.6877(II)
20		III	III, IV	0.7840(III) (IV)	0.4532 3.3852(II)

Sample no.	Symbol	Class given	Assignment calculated	Distance to nearest class, $S_p^{(q)}$	Distance to related class, $S_p^{(q)}$
21		III	III, IV	0.6488( III ) ( IV )	0.3856 3.4339( II )
22		III	III	0.8059( III )	0.9847( IV )
23	▽	III	III, IV	0.8145( III ) ( IV )	0.4295 3.4100( II )
24		III	III, IV	0.8211( III ) ( IV )	0.7032 2.9290( II )
27		III	III, IV	0.8561( III ) ( IV )	0.5684 3.3605( II )
28		III	III, IV	0.5719( III ) ( IV )	0.6011 3.4043( II )
Training set for white porcelain II					
29		II	II, I	0.1252( II ) ( I )	0.5979 1.9484( IV )
30		II	II	0.0753( II )	0.8255( I )
31		II	II	0.3100( II )	0.7715( I )
32		II	II	0.1839( II )	0.9584( I )
33		II	II	0.1924( II )	0.6528( I )
34		II	II, IV	0.3392( II ) ( I )	0.7365 2.2915( I )
35		II	II, I	0.1054( II ) ( I )	0.5260 1.5887( IV )
36	○	II	II	0.1085( II )	0.8932( I )
37		II	II, I	0.2434( II ) ( I )	0.4354 1.7451( IV )
38		II	II	0.1720( II )	0.9158( I )
39		II	II	0.1966( II )	0.8814( I )
40		II	II, I	0.1519( II ) ( I )	0.6365 1.5078( IV )
41		II	II	0.0749( II )	1.1467( I )
42		II	II	0.0179( II )	3.2750( IV )
43		II	II	0.2639( II )	1.2312( IV )
44		II	II	0.0828( II )	1.0468( I )
Training set for white porcelain I					
45		I	I	0.0691( I )	0.6731( II )
46		I	I	0.1463( I )	1.8222( IV )
47		I	I	0.1018( I )	0.6313( II )
48		I	I	0.2112( I )	1.3182( II )

Sample no.	Symbol	Class given	Assignment calculated	Distance to nearest class, $S_p^{(q)}$	Distance to related class, $S_p^{(q)}$
49	□	I	I	0.1000( I )	1.3883( II )
50		I	I	0.2730( I )	0.7491( II )
51		I	I	0.2988( I )	1.1965( II )
52		I	I	0.0392( I )	1.0974( II )
53		I	I	0.2164( I )	0.9030( II )
54		I	I	0.1125( I )	1.0604( II )
Test set					
9 white porcelain		IV, II	outlier		0.7913(w.p. II)
13 white porcelain		IV, III	IV, III	0.6311(w.p. IV), 1.0491(w.p. III)	3.6680(w.p. II)
25 white porcelain		III, II	outlier		1.2724(w.p. IV)
26 white porcelain		III, II	outlier		2.6350(c. III)
55 white porcelain		I, II	outlier		0.6327(w.p. I)

w.p. : white porcelain

## 5. 결 론

### I.

경기/전북-충남/전남 지역의 청백자를 선형판별식분석으로 판별식을 작성하여 분류한 결과 분류 효율은 78% 이었다. 위 지역의 청백자 분류에 11개 미량성분원소(Sm, Cu, K, La, Ce, Lu, Th, Hf, Rb, Fe, Eu)가 중요함을 알았다.

전북/충남/경기 지역의 청자를 선형판별식분석으로 재분류하였으며 분류 효율은 90% 이었고 9개 미량성분원소(La, Na, Cr, Hf, Ba, Sc, Rb, Fe, Co)가 크게 기여하였다.

여주 점토 ①은 경기지역의 백자군에, 강진 점토 ②, ③, ④는 충남 분청자의 군에, ⑤의 해남 점토는 전남 완도 및 해남 청자군에 소속되었다.

선형판별식분석 결과 나타난 5개의 참조시료셋트를 선정하여 SIMCA법으로 각 군을 모델링하였다. 각 군의 참조시료 및 점토 시료는 위의 결과와 일치하였다.

### II.

경기 광주 지역의 상변천리 5호/상변천리 9호/도수리 요지의 주성분분석 및 선형판별식 분석 결과 분류효율은 93% 이었으며 분류에는 8개 미량성분원소(K, Na, Yb, Hf, Cs, Rb, Fe, Co)가 크게 기여하였다.

### Ⅲ.

용인 서리 요지의 4개 층위별 청백자를 주성분분석, 비선형도시, 선형판별식분석 및 SIMCA법을 사용하여 분류하였다.

주성분분석 및 비선형도시 결과 청자 및 백자군으로 크게 나눌 수 있으며 청자군은 Ⅲ층과 Ⅳ층으로 나뉘었다.

선형판별식분석으로 청백자의 분류에는 7개 미량원소(Co, Cr, Fe, K, La, Lu, Sc)가 기여하였다. 또한 청자의 층별, 백자의 층별 분포에 기여하는 원소를 알아 보았다.

주성분분석의 결과로 나타난 6개의 참조시료 셋트를 선정하여 SIMCA법으로 각 군을 모델링 하였다. Ⅲ층 백자군과 Ⅳ층 백자군은 동일한 군으로 나타났으며 I층 백자군과 II층 백자군이 유사함을 알았다.

## 참고 문헌

- 1) 金載悅, 高麗白磁의 發生과 編年, 考古美術 177, 韓國美術史學會, 3-41, (1988).
  - 2) 姜敬淑, 한국도자기 연구의 문제와 방향, 考古美術史論 1, 忠北大學校 考古美術史學科, 155 (1990).
  - 3) 鄭良謨, “韓國의 陶磁器”, 文藝出版社, (1991).
  - 4) M. Dedieu, B. Rosenbaum and F. Widemann, J. Radioanal. Chem., **69**, 337(1982).
  - 5) J. Op De Beeck and J. Hoste, Analyst, **99**, 973 (1974).
  - 6) J. L. Joron, M. Treuil and H. Jaffrezic, J. Radioanal. Chem., **39**, 63 (1977).
  - 7) W. H. Joller and G. E. Gorden, Anal. Chem., **42**, 257 (1970).
  - 8) C. Lee, H. T. Kang and S. Kim, Bull. Kor. Chem. Soc., **9**, 223 (1988).
  - 9) J. I. Kim, J. Radioanal. Chem., **63**, 121 (1981).
  - 10) G. J. Boule and M. Peisach, J. Radioanal. Chem., **39**, 33 (1977).
  - 11) J. Arunachalam and S. Gangadharan, J. Indian Acad. Forensic Sci., **20**, 54 (1981).
  - 12) C. Lee, O. C. Kwun and H. T. Kang, Bull. Kor. Chem. Soc., **7**, 73 (1986).
  - 13) J. W. Sammon, Jr., IEEE Trans. Comput., **C-18**, 401 (1969).
  - 14) C. Lee, M. Z. Czae, S. Kim, H. T. Kang and J. D. Lee, Bull. Kor. Chem. Soc., **11**, 450 (1990).
  - 15) D. Coomans and D. L. Massart, Anal. Chim. Acta, **112**, 97 (1979).
  - 16) J. Arunachalam and S. Gangadharan, Anal. Chim. Acta, **157**, 245 (1984).
  - 17) S. Wold, Pattern Recognition, **8**, 127 (1976).
  - 18) S. Wold and M. Sjöström, “Chemometrics, Theory and Applications”, B. R. Kowalski ed., ACS symposium series **52**, 243 (1977).
  - 19) K. Varmuza, “Pattern Recognition in Chemistry”, Springer-Verlag, New York, 1980.
- e4 end