

유적지에서 출토된 고대 토양의 과학적 분석연구

서민석, 김민희

유적지에서 출토된 고대 토양의 과학적 분석연구

- 해남 분토리 및 경주 금장리 유적지 토양을 중심으로 -

*The Scientific Analysis of the Archaeological Soil excavated at
bunto-ri, Haenam and kumjang-ri, Kyungju*

서민석(徐民錫), 김민희(金旻姬)

Seo Min-seok, Kim Min-hee

〈ABSTRACT〉

The work focuses on the chemical analysis of organic residues in archaeological soils. Particularly, the detection of manuring in archaeological soils can provide important information concerning early human behavior, diet, parasites, ecological adaptation.

In this study, archaeological soils excavated at bunto-ri, Haenam and kumjang-ri, Kyungju were used to assess the possibility as indicators of ancient human activity in archaeological areas. The sampled soils were analyzed soil color, pH for their physical and chemical properties and GC/MSD to detect and quantify specific compound.

The results showed that the sampled soils were normal pH(6.8~7.2) and soil color of light brown to yellowish brown. Also, the result from the GC/MS analysis indicated that their compounds were hexadecanoic acid, octadecanoic acid, nonadecane, docosanoic acid, methyl ester, tetracosanoic acid and methyl ester from bunto-ri site and 1-heptadecene, cyclotetracosane, tetracosane, cyclotetracosane, 1-docosene, n-nonadecane, tetracosanoic acid methyl ester, cyclooctacosane, 1-nonadecene, eicosane, cyclotriacontane from kumjang-ri site. These compounds are not only normal soil materials but also animal lipid compounds. And the more scientific analysis of the soils will solve a curiosity for artificially incoming.

I. 머리말

고대 토양 내에는 유적지가 그 기능을 발휘하던 과거의 한 시점 즉, 과거 인간이 생활을 하고 있을

때의 주변 환경과 토지 이용흔적이 포함되어져 있다. 따라서 고대 토양의 과학적 분석은 역사적으로 규명하기 힘들었던 고대생활사의 다양한 부분을 해석 및 복원 할 수 있다¹⁾. 본 연구는 전남문화재연구소에서 발굴한 해남 분토리 유적지 토기내부 토양과 성보문화재연구원에서 발굴한 경주 금장리 삼국시대 경작유적지 토양을 분석하였다. 농경사회에서 주로 이루어진 밭농사의 과학적 연구가 아직까지 국내에서 미비한 실정이지만, 고고학 분야 전문가들의 많은 관심과 연구가 진행되어질수록 한반도 농경사회의 사회적 가치가 높아질 것이다. 따라서 서로 다른 2개의 지역에서 출토된 토양 특성을 확인하고 데이터를 축적함으로써 향후 유기질 토양 연구의 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 시료 및 분석 방법

1. 해남 분토리 토양 시료

해남 분토리 토양 시료는 총 3개의 토기내부에서 시료를 채취하였다. 토기 내부 시료 중 No.1은 가 지구 2호분 1호 토광 토기 내부 토양이다. 이는 평면 형태에 장방형이고 규모 $182 \times 57 \times 26\text{cm}$ 이며 동-서의 장축방향을 가진 토광묘 내에서 출토된 경질의 호형 토기 내 밑바닥에 침전된 토양 시료를 사용하였다. No.2 시료는 가 지구 4호분 석실 토기내부토양으로써, 평면 형태에 장방형, 규모 $342 \times 150 \times 54\text{cm}$, 장축방향 남-북 석실 내에서 출토된 호형 토기 2의 내부 밑바닥에서 6cm 가량의 두께로 층층이 쌓여진 토양시료를 사용하였다. 또한 No.3 토양 시료는 가 지구 4호분 석실 토기 내부토양으로써, 평면 형태에 장방형, 규모 $342 \times 150 \times 54\text{cm}$, 장축방향 남-북 석실 내에서 출토된 호형 토기 3의 내부 밑바닥에서 6cm 가량의 두께로 층층이 쌓여진 토양시료를 사용하였다.

2. 경주 금장리 토양 시료

경주시 현곡면 금장리 발굴 현장은 삼국시대 경작지로 알려져 있는 유적지으로써, 1차 밭터 유적지 서쪽에 폭 2m, 길이 32m의 남쪽에서 북쪽으로 낮아지는 지형의 경작지 터에서 동측 벽을 대상으로 토양을 채취하였다(Fig. 1). 출토 유적지인 경작지 토양의 토양채취는 두둑과 고랑의 경계층을 중심으로 상부 사질층(A)의 5지점과 경계부(B) 5지점, 하부 점토층(C) 9지점을 채취하였으며, 이와 별도로

1) 서민석 · 김민희 · 정용재, 고대토양의 과학적 분석에 대한 고찰, 문화재(37) p.309~326, 2004

로 깊이별(D)로 6층위로 구분하여 총 25점의 토양시료를 채취하였다(Fig. 2).

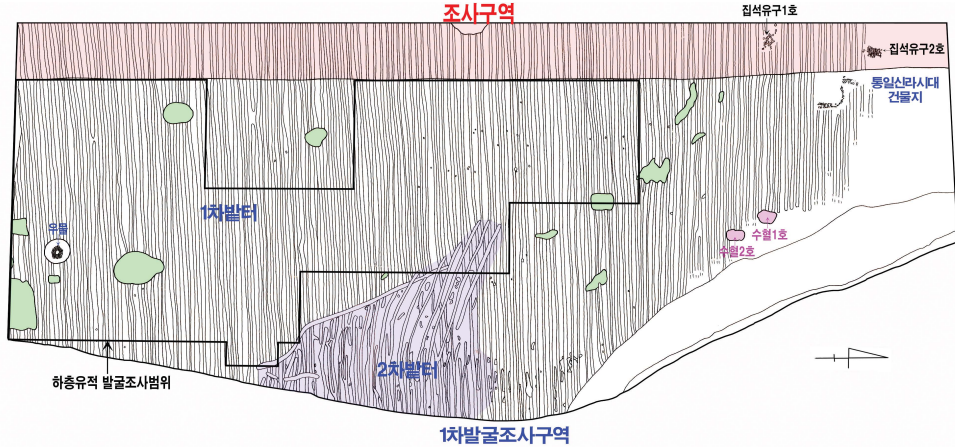


Fig. 1. 경주 금장리 유적지 토양채취 조사구역 도면

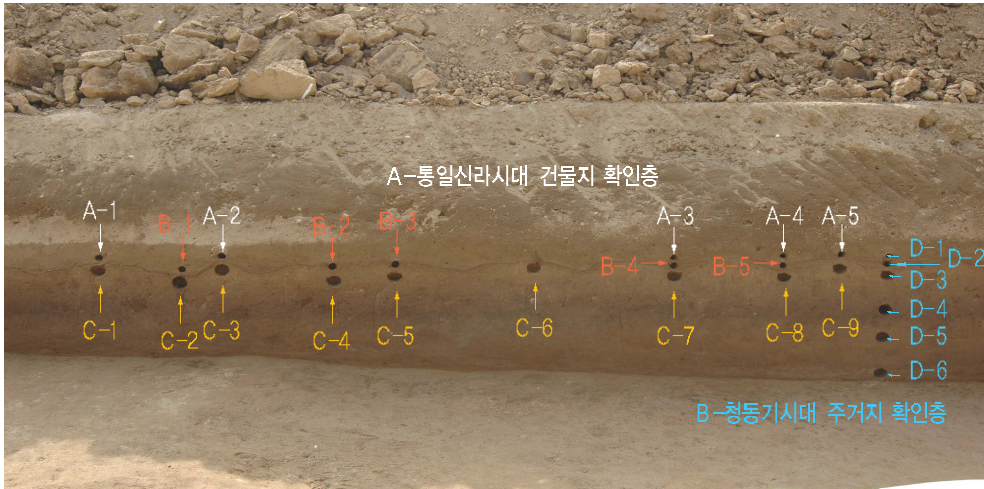


Fig. 2. 경주 금장리 유적지 동측면의 토양채취 지점

3. 분석 방법

토양 색상 측정은 토양시료를 자연 상태로 채취하여 음지에서 Munsell soil color charts에 의거 측정하였다²⁾. 총 유기물 함량은 토양시료를 105~110℃로 건조하여 토양내의 토양수분을 제거한 후

2) 박종길, 고분화 제47집, 한국대학박물관협회, 1995

무게가 정확하게 칭량되어진 도가니에 건조된 토양시료를 2g씩 넣어 전기로에서 550℃로 1시간 30분 동안 가열시키고 즉시 꺼내 정확히 칭량하여 주어진 LOI(Loss on ignition, %)식을 이용하여 함량을 측정하였다³⁾. Soil pH 측정은 시료와 증류수 1:5로 하여 25℃에서 1시간 방치한 후 pH 4.01과 7.01로 보정되어진 pH측정기(Schott instruments CG 843P, Germany)를 이용하여 측정하였다⁴⁾.

유기물 성분 분석은 GC/MSD로 수행하였는데, 토양시료를 CHCl₃:CH₃OH(2:1, v/v)로 Total lipid extraction하여 BSTFA((N,O-bis(trimethylsilyl) trifluoroacetamide)-1%(v/v) TMCS(trimethylsilylchloride), Pierce Chemical Co.)로 유도화를 시킨 후 GC/MSD(Gas chromatography/Mass selective detector; Agilent 6890/5973i, USA)를 이용하여 SCAN mode로 분석하였다⁵⁾⁶⁾⁷⁾. 분석결과는 Wiley 및 NIST library를 이용하여 각 피크 매칭(Peak matching)을 통한 성분 분석을 실시하였다.

III. 분석 결과 및 고찰

해남 분토리 유적지 시료 No.1 토양은 연한 갈색의 토색과 약산성의 토양학적 특성을 나타내며, 유기물의 함량은 일반적인 토양과 크게 차이가 나지 않음에 따라 토기 내 유기물의 존재가능성이 적은 것으로 사료된다. 시료 No.2 토양은 연한 갈색의 토색과 약산성의 토양학적 특성을 나타내며, 유기물의 함량은 일반적인 토양과 크게 차이가 나지 않음에 따라 토기 내 유기물의 존재가능성이 적은 것으로 나타났다. 시료 No.3 토양은 연한 갈색의 토색과 약산성의 토양학적 특성을 나타내며, 유기물의 함량은 일반적인 토양과 크게 차이가 나지 않음에 따라 토기내 유기물의 존재가능성이 적은 것으로 나타났다. 경주 금장리 유적지 시료는 전체적으로 황갈색을 보였으며, 중성의 pH로 확인되었다. 유기물양도 해남 분토리 토양과 같이 적거나 다소 높은 것으로 확인되었다(Table 1, 2, 3).

3) 조성진 · 임대의 외 8명, 사정 토양학, 향문사, 2002

4) 大羽裕 永塚鎮南, 土壤生成物理學, 養賢堂, 1988

5) Kim jung hyun · Motoyuki susuki, Mitsumasa Okada, A study of coprostanol as an index compared with coliform group of fecalcontamination in river water, Journal of the Korea Water Pollution Research Control, p.71~78, 1986

6) Tatu, A.M., E.H.Ahrens, Jr., Grundy, Quantitative isolation and gas-liquid chromatographic analysis of total dietary and fecal neutral steroids, Journal of Lipid Research, vol(6) p.411~424, 1965

7) Evershed, R.P., Advances in silylation, In Handbook of derivatives for chromatography(ed. K. Blau and J. McK, Halket, p.52~107, Chichester, UK:Wiley), 1993

Table 1. 토양 색상 측정결과

| 유적지 | 시료명 | 토양 색상 |
|--------|------|--------------------------|
| 해남 분토리 | No.1 | 2.5YR7/4, 연한 갈색 |
| | No.2 | 7.5YR5/8, 진한 갈색 |
| | No.3 | 7.5YR5/6, 진한 갈색 |
| 경주 금장리 | A 층위 | 사질 토양, 10YR5/4 황갈색 |
| | B 층위 | 미사질 토양, 10YR5/4, 5/6 황갈색 |
| | C 층위 | 미사질 토양, 10YR5/4 황갈색 |
| | D 지점 | 전반적으로 황갈색, D-3은 갈색토양 |

Table 2. 토양 pH 측정결과

| 유적지 | 시료명 | 토양 pH |
|--------|----------|-----------|
| 해남 분토리 | No.1 | 약산성(5.14) |
| | No.2 | 약산성(4.98) |
| | No.3 | 약산성(4.28) |
| 경주 금장리 | A-1 | 중성(7.22) |
| | A-2 | 중성(7.23) |
| | A-3 | 중성(7.21) |
| | A-4 | 중성(7.01) |
| | A-5 | 중성(7.33) |
| | B-1 | 중성(6.86) |
| | B-2 | 중성(6.55) |
| | B-3 | 약산성(5.56) |
| | B-4 | 중성(7.03) |
| | B-5 | 중성(6.98) |
| | C-1 | 중성(6.69) |
| | C-2 | 중성(6.70) |
| | C-3 | 중성(6.81) |
| | C-4 | 중성(6.93) |
| | C-5 | 중성(6.67) |
| | C-6 | 중성(6.88) |
| | C-7 | 중성(7.14) |
| | C-8 | 중성(6.58) |
| C-9 | 중성(6.54) | |
| D-1 | 중성(7.24) | |
| D-2 | 중성(6.49) | |
| D-3 | 중성(6.77) | |
| D-4 | 중성(6.53) | |
| D-5 | 중성(6.77) | |
| D-6 | 중성(6.34) | |

Table 3. 토양시료의 이화학적 특성 분석 결과

| 유적지 | 시료명 | 총 유기물 함량 |
|--------|------|----------|
| 해남 분토리 | No.1 | 3.04 |
| | No.2 | 3.94 |
| | No.3 | 4.13 |
| 경주 금장리 | A-1 | 3.04 |
| | A-2 | 2.50 |
| | A-3 | 2.29 |
| | A-4 | 3.29 |
| | A-5 | 2.48 |
| | B-1 | 4.76 |
| | B-2 | 4.10 |
| | B-3 | 4.57 |
| | B-4 | 4.50 |
| | B-5 | 4.78 |
| | C-1 | 5.22 |
| | C-2 | 5.27 |
| | C-3 | 5.32 |
| | C-4 | 5.20 |
| | C-5 | 5.31 |
| | C-6 | 5.33 |
| | C-7 | 5.13 |
| | C-8 | 5.86 |
| C-9 | 5.57 | |
| D-1 | 2.77 | |
| D-2 | 4.01 | |
| D-3 | 5.87 | |
| D-4 | 6.41 | |
| D-5 | 5.95 | |
| D-6 | 6.93 | |

해남 분토리 유적지 시료 No.1과 No.2 토양은 유기성분 분석 결과 검출되어진 Hexadecanoic acid, Octadecanoic acid 성분은 자연계에 대부분 존재하는 물질임에 따라 토기 내 저장되어진 물질의 성분으로 추측할 수 없는 것으로 나타났다(Fig. 3). 시료 No.3 토양은 유기성분 분석 결과 No.1과 No.2에서 검출되어진 Hexadecanoic acid, Octadecanoic acid 성분 이외에 Nonadecane, Docosanoic acid, methyl ester, Tetracosanoic acid, methyl ester가 존재하는 것으로 확인되었지만, 이 성분 또한 자연계에 대부분 존재하는 물질임에 따라 토기 내 저장되어진 물질의 성분으로 추측하기 어려운 것으로 사료되었다(Table 4).

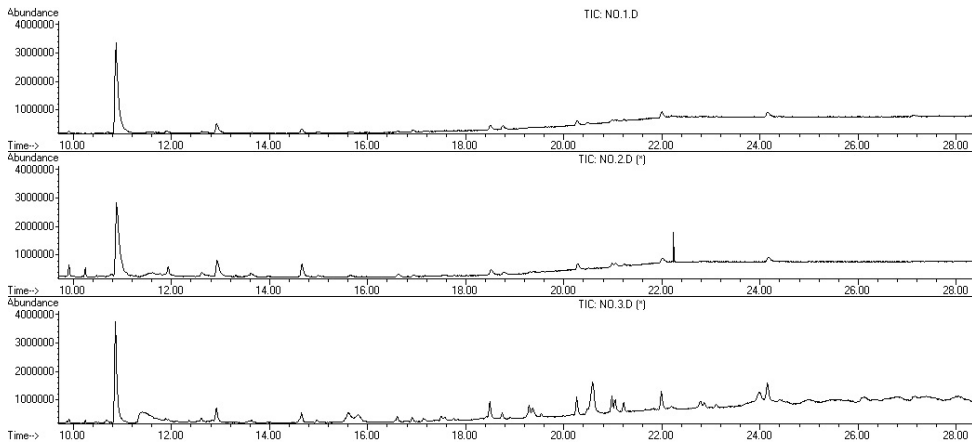


Fig. 3. 해남 분토리 유적지 토양시료 유기물의 가스크로마토그램

Table 4. 해남 분토리 유적지 토양시료 유기화합물 성분분석

| No. | RT | Compound | No.1 | No.2 | No.3 |
|-----|-------|----------------------------------|------|------|------|
| 1 | 10.87 | Hexadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 12.92 | Octadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 14.65 | Eicosane | ○ | ○ | ○ |
| 4 | 15.81 | Nonadecane | - | - | ○ |
| 5 | 16.91 | Docosanoic acid, methyl ester | - | - | ○ |
| 6 | 18.75 | Tetracosanoic acid, methyl ester | - | - | ○ |

경주 금장리 유적지의 A, B, C, D 층위 토양 시료는 Tetradecamethylhexasiloxane, Hexadecanoic acid methyl ester, Octadecanoic acid methyl ester의 유기성분이 검출되었다. Hexadecanoic acid methyl ester(C16:0)는 포화지방산으로 동물성 지방에 함유되어 있으며, 다음

으로 Octadecanoic acid methyl ester(C18:0)이 존재한다. A층위 중 A-1에서 분석된 1-Heptadecene, Cyclotetracosane, Tetracosane, Cyclotetracosane, 1-Docosene, n-Nonadecane, Tetracosanoic acid methyl ester, Cycdoctacosane, 1-Nonadecene, Eicosane, Cyclotriacontane 성분은 C16:0~C24:0 포화 지방산으로 동물성 지방에 소량 함유되어 있는 성분이다(Fig. 4)(Table 5). B층위의 5개 지점에서 모두 같은 패턴의 성분(Tetradecamethylhexasiloxane, Hexadecanoic acid methyl ester, Octadecanoic acid methyl ester)이 검출되어졌다(Fig. 5)(Table 6).

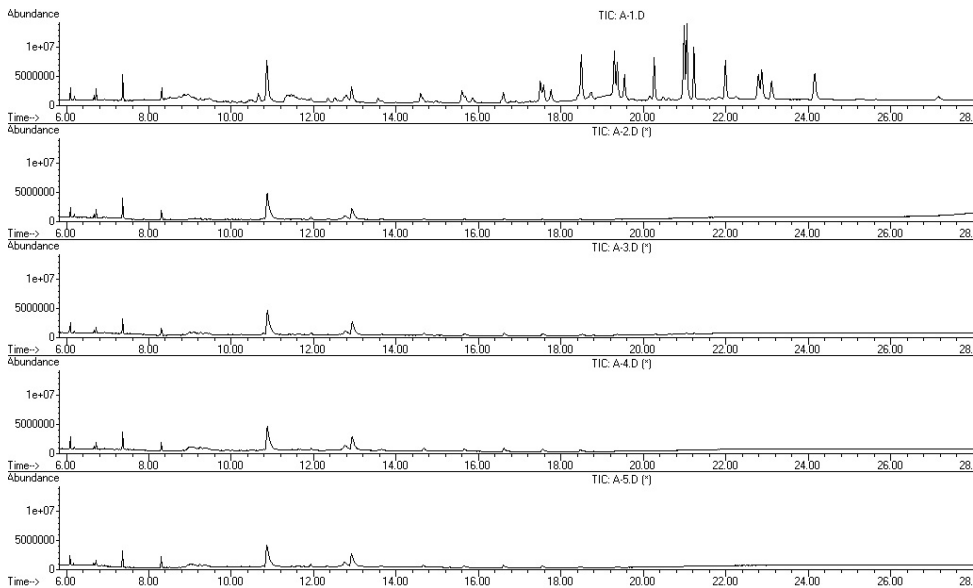


Fig. 4. 경주 금장리 A층위 토양 유기물의 가스크로마토그램

Table 5. 경주 금장리 A층위 토양 내 유기화합물질의 성분분석

| No. | RT | Compound | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 |
|-----|-------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 6.10 | Tetradecamethylhexasiloxane | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 10.87 | Hexadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 12.92 | Octadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | 13.57 | 1-Heptadecene | ○ | - | - | - | - |
| 5 | 15.68 | Cyclotetracosane | ○ | - | - | - | - |
| 6 | 16.61 | Tetracosane | ○ | - | - | - | - |

| No. | RT | Compound | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 |
|-----|-------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 7 | 17.50 | Cycbotetracosane | ○ | - | - | - | - |
| 8 | 17.75 | 1-Docosene | ○ | - | - | - | - |
| 9 | 18.49 | n-Nonadecane | ○ | - | - | - | - |
| 10 | 18.74 | Tetracosanoic acid, methyl ester | ○ | - | - | - | - |
| 11 | 19.29 | Cycboctacosane | ○ | - | - | - | - |
| 12 | 19.54 | 1-Nonadecene | ○ | - | - | - | - |
| 13 | 20.26 | Eicosane | ○ | - | - | - | - |
| 14 | 20.99 | Cycboctacosane | ○ | - | - | - | - |
| 15 | 21.05 | Cyclotriacontane | ○ | - | - | - | - |
| 16 | 21.23 | 1-Docosene | ○ | - | - | - | - |
| 17 | 21.99 | Eicosane | ○ | - | - | - | - |
| 18 | 22.87 | Cycboctacosane | ○ | - | - | - | - |
| 19 | 24.16 | Eicosane | ○ | - | - | - | - |

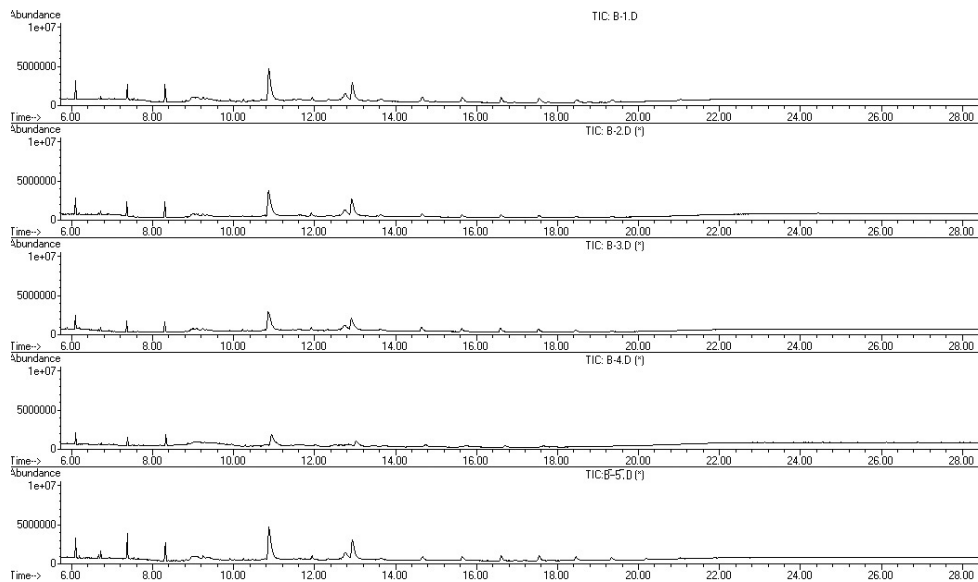


Fig. 5. 경주 금장리 B층위 토양 유기물의 가스크로마토그램

Table 6. 경주 금장리 B층위 토양 내 유기화합물질의 성분분석

| No. | RT | Compound | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 | B-5 |
|-----|-------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 6.10 | Tetradecamethylhexasiloxane | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 10.87 | Hexadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 12.92 | Octadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

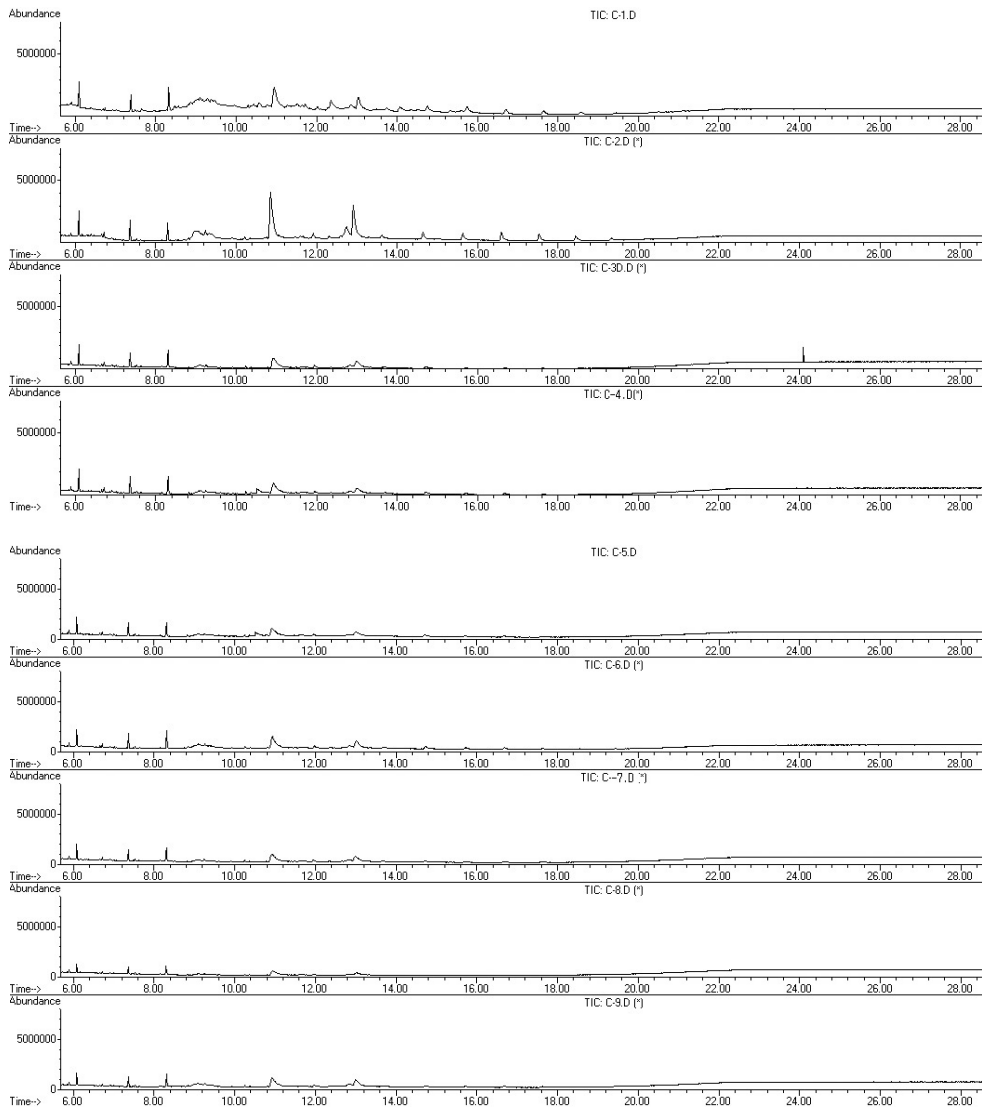


Fig. 6. 경주 금장리 C층위 토양 유기물의 가스크로마토그램

C층위 중 C-2에서는 Hexadecanoic acid methyl ester, Octadecanoic acid methyl ester의 성분이 다른 토양 시료에 비교하여 상대적으로 다량 분석되어졌으며 이를 통하여 동물성 지방이 존재하고 있는 것으로 사료되어진다(Fig. 6)(Table 7). 층위별로 시료를 채취한 D 지점에서는 층위에 따른 성분의 종류(Tetradecamethylhexasiloxane, Hexadecanoic acid methyl ester, Octadecanoic acid methyl ester)와 상대적인 양은 크게 차이가 없는 것으로 확인되어졌다(Fig. 7)(Table 8).

m/z 215의 SIM mode 분석 결과, 시비법을 밝힐 수 있는 성분인 coprostanol, sitgmastanol, campestanol 등과 같은 stanol 계통의 성분은 검출되지 않았다. 시비법에 대한 정확한 분석과 해석을 위해서는 앞으로보다 광범위한 표준 생물 표시인자(standard bio marker)의 개발이 요구되며 다양한 분석 결과들의 종합적 관리가 필요할 것으로 사료되어진다.

Table 7. 경주 금장리 C층위 토양 내 유기화합물질의 성분분석

| No. | RT | Compound | C-1 | C-2 | C-3 | C-4 | C-5 | C-6 | C-7 | C-8 | C-9 |
|-----|-------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 6.10 | Tetradecamethylhexasiloxane | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 10.87 | Hexadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 12.92 | Octadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | 15.68 | Cyclotetracosane | ○ | ○ | - | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 24.16 | Eicosane | - | - | ○ | - | - | - | - | - | - |

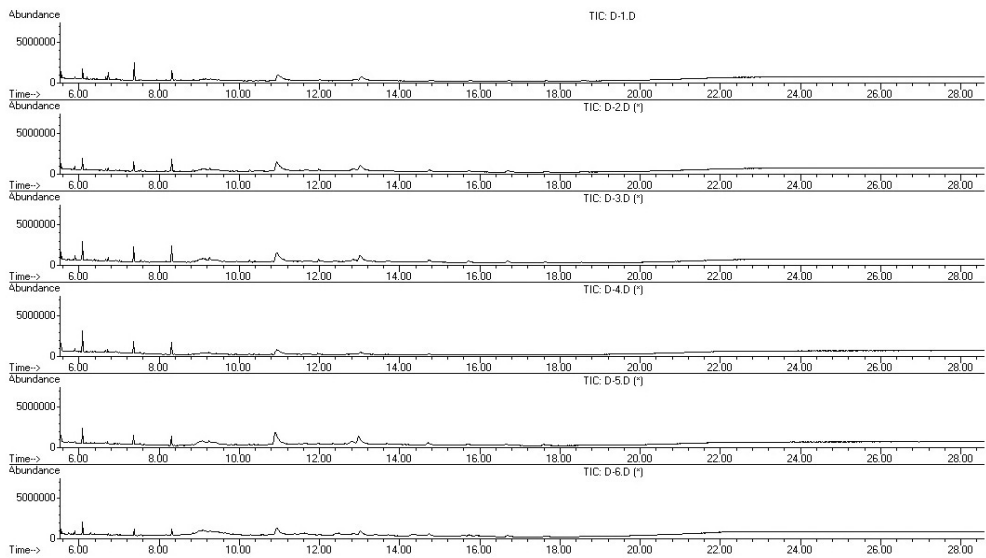


Fig. 7. 경주 금장리 D의 층위별 토양 유기물의 가스크로마토그램

Table 8. 경주 금장리 D의 층위별 토양 내 유기화합물질의 성분분석

| No. | RT | Compound | D-1 | D-2 | D-3 | D-4 | D-5 | D-6 |
|-----|-------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 6.10 | Tetradecamethylhexasiloxane | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | 10.87 | Hexadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 12.92 | Octadecanoic acid, methyl ester | ○ | ○ | ○ | - | ○ | ○ |

참고문헌

1. 서민석 · 김민희 · 정용재, 고대토양의 과학적 분석에 대한 고찰, 문화재(37), p.309~326, 2004
2. 곽종길, 고문화 제47집, 한국대학박물관협회, 1995
3. 조성진 · 엄대익 외 8명, 사정 토양학, 향문사, 2002
4. 大羽裕 永塚鎮南, 土壤生成物理學, 養賢堂, 1988
5. Kim jung hyun, Motoyuki susuki, Mitsumasa Okada, A study of coprostanol as an index compared with coliform group of fecalcontamination in river water, Journal of the Korea Water Pollution Research Control, p.71~78, 1986
6. Tatu, A.M., E.H.Ahrens, Jr., Grundy. Quantitative isolation and gas-liquid chromatographic analysis of total dietary and fecal neutral steroids, Journal of Lipid Research, (6) p.411~424, 1965
7. Evershed, R.P., Advances in silylation. In Handbook of derivatives for chromatography(ed. K. Blau and J. McK. Halket, p.52~107, Chichester, UK:Wiley), 1993