

考古 遺物에 남겨진 脂肪의 分析에 대하여

安乘燦, 俞惠仙

國立中央博物館 保存科學研究室

The Analysis of Organic Residue of Archaeological Evidences

Ahn, Byong Chan and Hei Sun Yu

Conservation Science Dept. National Museum of Korea, Seoul, 110-050, Korea

□ ABSTRACT : The living body consists of proteins, carbohydrates and fats. The above components are unstable to the change of circumstances : thus ; when they are buried under the ground for a long time, they are disintegrated by physical effects such as pressure, water etc.

However, it was recently reported that the part of the components of living body, especially fat thought in small quantity, remained in a relative stable state for many milleniuns.

In addition, turned out that the structure of the composition of the fatty acid and sterol is different according to their species. For example, the plants - rice, barley, bean - and the animals - dogs, cow, pig, fish - have different structure of fat.

Residual fat analysis is a research in the chemical composition of fat remained in archaeological evidences on the basis of chemical structural differences as mentioned here in above.

This paper introduces the residual fat analysis of archaeological evidences practical in Japan.

1. 序 論

고고학의 목적이 과거 사회가 남긴 물질 자료를 통하여 文化進化的 과정을 보다 정확하고 다각적인 해석을 하기 위함이라면 자연과학 분야에서의 도움없이 그 목적을 달성하기가 불가능한 시대가 도래했다.

이미 우리나라에서는 각종 유물의 분석을 통한 產地 및 製作技法 推定, 연대 측정 등의 과학적 연구가 활발히 진행되고 있으며 고고학계에서도 이러한 지원이 고고학 발전에 큰 도움이 된다는 점을 점차 인식하고 있다.

최근 세계 고고학계에서는 각종 첨단 과학을 응용한 분석 조사방법을 적용하여 과거에는 상상에서나 가능했던 자료를 무궁무진하게 얻고 있다. 특히 독일, 일본 등 고고학 및 과학이 발달한 나라에서 고고유물에 남겨져있는 지방산 분석, 유전자(DNA/RNA) 분석, 효소항체 분석등을 통하여 고대인들의 식생활과 건강상태 및 생활문화 전반에 관한 정보를 얻고있다.

일반적으로 유기물을 재료로한 유물들은 형태를 오래 보존할 수 없는 약점이 있기 때문에 고고학 자료는 극히 적을 수밖에 없다. 또한 발굴지에서 형체를 제대로 알 수 없어서 폐기되고 마는 각종 유기물 흔적은 얼마나 많았는지 알 수조차 없는 실정이다. 잔존지방산 분석은 이러한 상태의 유기물을 되살려 그 성격과 가치를 회복시키고 보다 풍부한 자료로 회생시킬 수 있는데 귀중한 가치가 있다.

지방산 분석은 또한 人骨의 흔적이 없는 분묘 유적에서도 身展葬, 洗骨葬 또는 屈葬 등 葬制를 밝힐 수 있으며, 흙만 가득한 토기에서 그 속에 담겨 있던 고기나 생선 또는 곡식의 종류를 알 수 있다.

고고학이 밝힐 수 없는 분야에서 우리의 의문은 더욱 다양해 진다. 신석기 시대에 등장하는 반달같은 어떤 곡물을 수확하는데 사용했을까? 주거지에서 많이 출토되고 있는 토기로 무엇을 어떻게 조리했을까? 작은 토광묘는 유아용이었을까 세골장이었을까? 이러한 의문들에 대한 해답은 지방산 분석을 통해 얻을 수 있다. 여기서는 일본에서 행하고 있는 잔존지방산 분석에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.

2. 잔존지방 분석법이란

동식물을 구성하고 있는 중요한 생체 성분에는 단백질, 탄수화물 및 지방이 있다. 이들 생체성분은 환경 조건의 변화에 대해 불안정하여 장기간 지하에 매장되면 압력, 수분 등의 물리적 작용에 의해 붕괴되어 버린다. 또 토양속의 미생물에 의한 생물적 작용에 의해서도 분해되고 만다.

그러나 최근, 생체성분의 일부 특히 지방은 미량 이면서 비교적 안정한 상태로 천년, 만년의 세월을 지나도 변화하지 않고 遺存하는 것이 판명되었다. 또한 이 지방을 구성하고 있는 지방산 및 스테롤의 조성은 種에 따라 모두 그 구조가 다르다는 점도 밝혀졌다. 즉 쌀, 보리, 콩 등의 식물과 개, 소, 돼지, 물고기 등의 동물의 지방산, 스테롤 조성이 조금씩 차이가 있다는 것이다. 이 화학 조성의 차이를 기준으로 하여 이것과 고고학 자료에 남겨져 있는 지방의 화학 조성을 비교하여 밝히는 것이 잔존 지방 분석법이다.

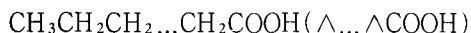
2.1 脂質(脂肪)의 종류

脂質은 구조적인 차이에 따라 單純, 誘導, 複合 脂質로 크게 구분되는 등 종류와 계통도 다양하지만 고고학 자료의 분석에는 유도지질의 일종인 지

방산과 스테롤이 대표적으로 이용된다.

2.1.1 脂肪酸

지방산은 기본적으로 탄소가 늘어선 긴 고리를 형성하고 있으며 그 고리 수가 12 ~ 26개까지 계속된 것이 보통이다. 화학식은



이다.

천연형은 하나의 glycerin과 세개의 지방산으로 구성된 triglyceride가 기본이나 변형인 diglyceride, 그밖의 복합지질도 있다.

하나의 지방산에도 분자간의 결합에 따라 종류가 다양해 진다. 분자간의 결합이 완전하고 구조가 막대기 모양으로 규칙적이어서 고형화되는 성질의 것이 동물성 지방으로 더 잘 알려진 포화지방산이며, 분자구조에 이중결합이 있어 고형화되기 어려운 성질의 것이 불포화지방산으로 식물성 또는 어류의 지방산이 여기에 속하고 있다. 미생물의 활동에 의해 일반결합에서 가지가 뺏어나게된 분기 지방산, 그리고 산소와 결합하고 있는 옥시지방산이 있는데 옥시지방산은 주로 뇌, 신경, 장기 등을 이루고 있으므로 특히 중요하다.

가) 포화지방산 $\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{COOH}$ 동물성

나) 불포화지방산 $\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{COOH}$ 식물성



다) 분기지방산 $\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{COOH}$ 미생물,
 CH^3 반추동물

라) 옥시지방산 $\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{V}\text{COOH}$ 뇌, 신경,
 OH 장기

이들 지방산의 탄소수는 14 ~ 26 사이가 가장 많다. 지방산 분석은 위의 기본 구조에 의거하여 동 식물종에 따라 달라지는 탄소의 숫자와 그 조성 비율 차이를 밝혀 증명하는 것이다.

예를들어 유물과 주검의 흔적조차 전혀 남아 있지 않은 토광묘 유구에서 점토속에 함유된 지방산을 추출 분석하면 그 성격과 피장자의 침향, 혹은 장제를 밝혀 낼 수 있는데, 먼저 유구 내의 여러곳에서 채취한 흙을 시료로 잔존 지방산의 분석을 하고, 분석결과에 따라 아래와 같이 장제를 추정할 수 있다.

(1) 각각의 시료에서 포화, 분기, 옥시지방산의 함유율이 각각인 경우, 옥시지방산이 다량 포함된 쪽의 시료 부분이 바로 신경조직이 밀집해 있는 머리(뇌)가 있었던 곳이며, 옥시와 분기 포화지방산이 복합으로 나타나는 쪽은 내장 즉, 몸체 부위 그리고 포화 혹은 불포화 지방산이 검출되는 위치가 근육질(피하지방)이 대부분을 차지하는 팔다리가 위치했던 곳으로 볼 수 있다. 따라서 葬制는 身展葬.

(2) 모든 시료가 유사한 비율일 경우, 머리와 뼈 그리고 근육질이 함께 있으므로 葬制는 屈葬.

(3) 모든 시료에서 포화와 불포화지방산만 추출될 경우, 뼈만 모아 묻은 洗骨葬.

2.1.2 스테롤

스테롤도 지방산과 마찬가지로 종에 의해 다른 형태를 하고 있다.

이들의 탄소수는 C24 ~ 28이 가장 많다. 스테롤 분석 또한 위의 기본구조에 의거하여 지방산 분석 결과와 함께 비교하여 판정하는 것이다. 이 가운데 ergosterol의 량이 많을 경우는 토양 미생물에 의한 분해작용이 심했음을 알 수 있고 따라서 그 시료의 판정 결과는 정확도가 떨어지게 된다.

2.2 잔존 지방의 인정성

식물기름(Rice oil)과 동물뼈를 이용한 지방분해 실험에서 실험개시 1주부터 분해가 급격하게

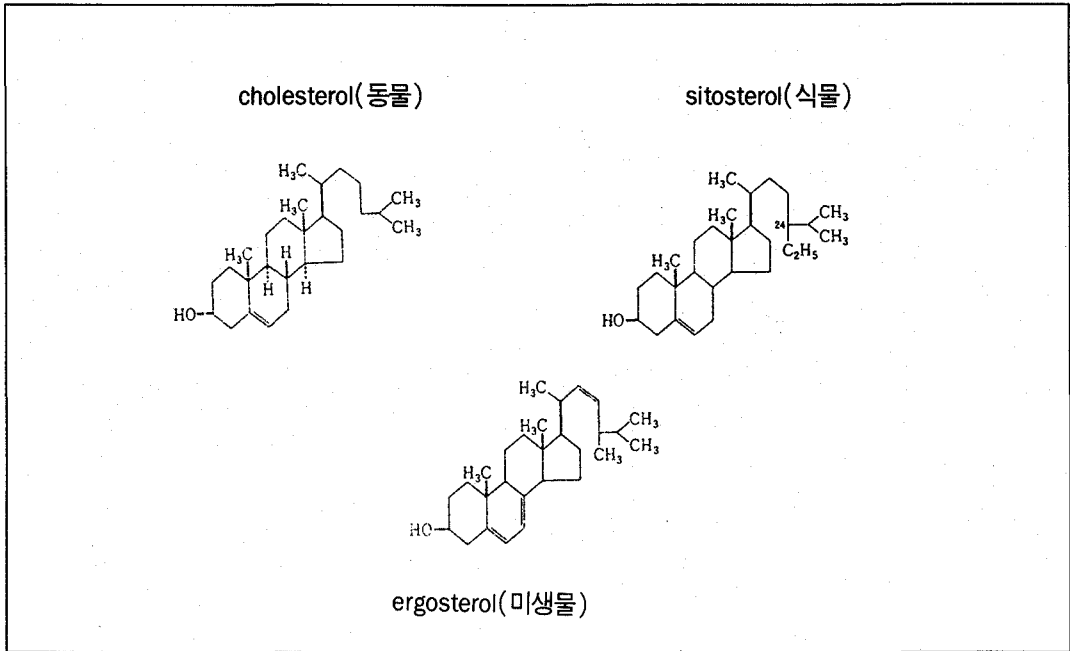


Fig. 1. 각 종에 따른 스테롤의 구조식

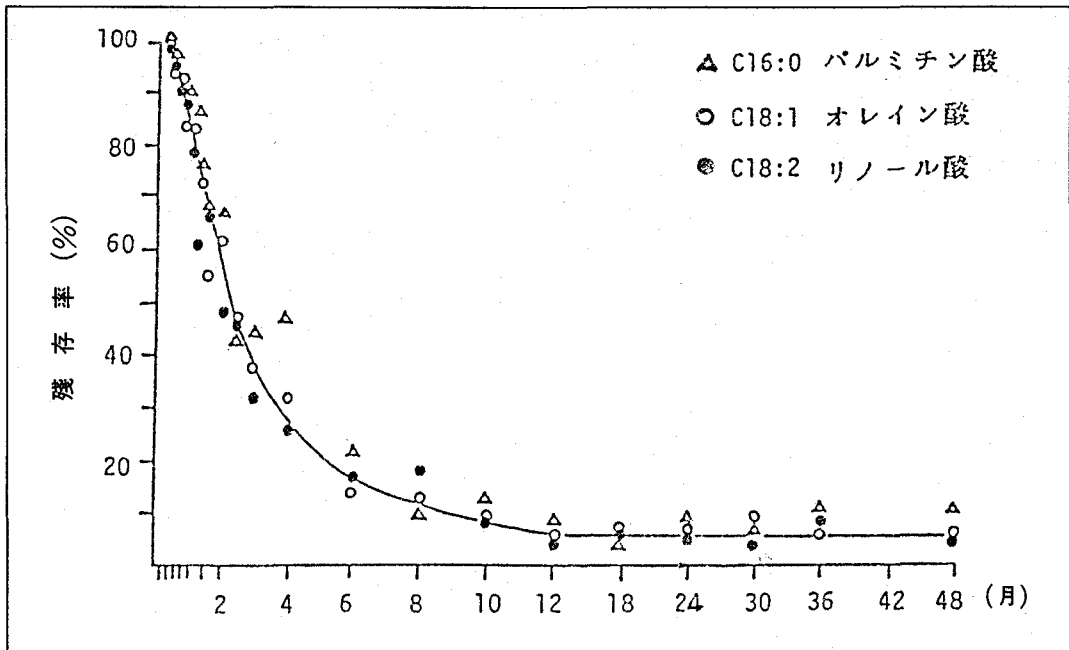


Fig. 2. 지방산의 시간에 따른 잔존율

진행되지만, 1개월 이후는 안정한 상태로 되고 4년이 경과되어도 지방산조성은 유지된다는 것을 알 수 있었다.

2.3 지방산 분석 절차

2.3.1 시료의 취급 방법

가) 토양의 경우, 깨끗이 씻은 유리병 속에 400~1000g을 취하고 질소를 주입하거나 그렇지 못할 경우 알미늄호일에 단단히 눌러 싸서 공기와의 접촉을 차단시킨 다음 동결 보존한다.

나) 유물인 경우도 위와 같으나 주변의 흙과 유물에 붙어있는 흙을 함께 수습하여 비교 자료로 사용한다.

다) 나일론, 비닐, 플라스틱용기, 신문지 등의 사용은 절대 금지한다. 왜냐하면 이들 재질들이 화석연료에서 추출한 고분자 화합물들로 이루어져 있으므로 이것에 조금이라도 오염된 시료는 사용이 불가능하기 때문이다.

라) 채취한 시료는 저온의 암실에서 상당기간 보존도 가능하다.

마) 모든 경우 시료에 손을 절대 대어서는 안된다. 손끝에 자신의 脂質이 항상 배어 있음을 명심한다.

2.3.2 추출방법(토양의 경우)

가) 전지질 추출

전지질이란 시료가 포함하고 있는 모든 지질을 말하는 것이다.

(1) 채취한 토양을 클로로포름과 메탄올을 2:1 용액(이하 C-M(2:1)으로 略記함) 1.5배 용량 속에 넣고 초음파 진동으로 혼합하며 토양속의 지질을 추출한다.

(2) 전지질이 용해되어 있는 C-M(2:1) 용액을 증발 농축시킨다.

(3) 농축한 용액에 1% 염화바륨(1/4 vol.)을 섞어 클로로포름과 수용액층으로 분리하여 전지질이 함유된 클로로포름층만 취하여 다시 증발 농축 시킴으로서 전지질을 추출한다.

(4) 추출한 전지질의 무게를 측정한 다음 C-M(2:1) 용액으로 녹인다.

나) 전지질로부터 메틸에스테르화 지방산의 제조

전지질 가운데 글리세린과 지방산을 분리시키고 지방산의 -COOH 기를 -COOCH₃로 바꿔 줌으로써 비점을 낮추어 GC로 분석이 가능한 상태로 만들어 주는 준비작업이다.

(1) 전지질을 증발 농축 후 5%염산-메탄올 첨가하여 125°C에서 2시간 밀봉해둠으로써 전지질을 메틸에스테르화 시킨다.

(2) 실온에서 냉각한 후 클로로포름-증류수(10:9)를 넣고 잘 혼합한 후 원심분리하여 수용액층을 버린다.

(3) 메탄올-증류수를 넣고 잘 혼합한 후 원심분리하여 수용액을 버린다.

(4) 이 조작을 3회 반복하여 염산과 기타 불순물을 제거한다.

(5) 클로로포름층에 메탄올을 몇방울 떨어뜨려 증발 농축시켜 C-M(2:1)에 용해하여 메틸에스테르화 지방산을 얻는다.

다) 전지질 속의 지방산/스테롤의 분리

박층크로마토그래피(Thin layer chromatography: TLC) 분석

(1) 메틸에스테르화 지방산을 전개 용매인 헥산-에테르-초산(80:30:1)의 규산 박층크로마토그

라피를 통해 지방산과 스테롤을 분리한다.

(2) 분리된 지방산을 C-M(2:1)에 용출시켜 원심분리기로 분리하고 이것을 실리카겔-海沙를 채운 칼럼에 여과시켜 지방산을 정제한다.

(3) 정제지방산을 증발 농축시켜 가스크로마토그라피로 분석한다.

라) 스테롤의 아세틸화

극성을 띠고 있는 스테롤의 마지막 고리를 아세트산으로 아세틸화하여 GC분석하는 준비단계이다.

(1) 분리한 스테롤을 취해 증발 농축하고 완전히 건조시킨다.

(2) 피리딘, 무수아세트산을 첨가한 다음 질소기스로 밀봉하여 1일간 냉장소에 방치한다.

마) 아세틸화 스테롤용액의 활성화

톨루엔과 사염화탄소를 첨가하여 증발 농축시켜서 피리딘과 아세트산을 완전히 증발시킨 후 GC로 분석한다.

2.3.3 가스크로마토그래피(Gas Chromatography : GC)분석

고고학 시료는 위와 같이 복잡한 전처리 과정을 거쳐야만 가스크로마토그래피에 의해 분석이 가능하게 된다. 즉 탄소수가 적은 것은 칼럼속에서 빨리 기화되어 나오는 반면 탄소수가 많은 것은 뒤늦게 통과하면서 나온다. 각각의량은 피크의 크기로 표시되어 총면적 계산으로 알 수 있게 되는 것이다.

<분석방법>

(1) 표준시료 3건과 분석시료를 이어서 GC에 주입한다.

(2) 분석피크의 시간을 log값으로 변환하여 표준

그래프를 만든다.

(3) 분석시료의 피크시간을 다시 log값으로 치환하여 표준그래프에 대입하여 피크의 성격을 판독한다.

(4) 피크의 집중도를 백분율로 해석한다.

(5) 해석치를 다른자료와 비교하여 동정한다.

즉 동식물을 가리고 나아가 인체인지 아니면 동물체인지를 밝히고 인체라면 어느부위인지를 밝혀서 세골장 또는 굴장 등을 찾는 것이다. 이 작업은 보통 컴퓨터를 이용하고 있다.

2.4 잔존 지방 분석시 주의 사항

2.4.1 각종편차를 예상하여 보정자료 제작

첫째, 시료가 열을 받았을 경우(예를 들어 토기의 경우 조리, 가공 등) 지방산의 조성 비율이 변화한다. 따라서 각종 동식물의 시료에 열을 가한 시료와의 편차를 밝히는 일이다.

둘째, 현생의 동식물 중에서 기본자료를 획득하여야 하지만 고생의 동식물과의 조성비율도 변화가 예상된다. 실제로 요즘들어 특히 대두하고 있는 유전자를 이용한 품종개량에 의한 변화는 각종 동식물 종의 토종 또는 야생종의 존재 여부도 불확실하게 만들고 있다. 그러므로 기본시료로는 가능한 토종이거나 야생종을 선별해서 분석해야만 한다.

2.4.2 기술적인 사항

첫째, 절대 인공화합물(석유제품)이 부착, 혼입되지 말것

둘째, 정제 지방산의 추출 단계에서 산화 방지제, 시료는 항상 용매에 넣어 냉동 보관할것

3. 고고학 자료의 잔존 지방 분석 연구 활용 예

3.1 지방산, 스테롤 분석에 의한 고대 생활 복원

분석자료	연구 목적	내용과 실례	연구 결과
石器	무슨 용도로 사용했을까?	석기 표면에 남겨진 고대 동식물 지방산, 스테롤 분석	음식문화의 복원
火口, 조리용 遺構(석제)	무엇을 조리했을까?	가열된 지방산은 성질에 변화가 있지만 대·중·소형 동물의 식별 가능	음식문화의 복원
토기, 도자기	무엇을 조리했거나 저장했을까?	동물의 종류, 어류판별, 사용油 및 된장, 간장, 술 등 저장 용도 구별	음식문화의 복원
동물의 뼈	어떤 동물을 수렵했을까?	뼈로 남겨지지 않았어도 당시에 있던 동물종의 결정 가능	음식문화의 복원
골 각 기	어떤 골각을 이용했을까?	가공으로 변형된 소형 제품으로도 종별의 구별 가능	음식문화의 복원
가공식품의 탄 화 물	어떤 동식물 재료, 가공법은?	고대 식품의 조성과 영양가 등을 해명	음식문화의 복원
저장공의 흙	어떤 음식을?	저장했던 식물의 형태가 남아있지 않아도 판별 가능	음식문화의 복원
대변화석과 변소 퇴적물	행위자의 종 남녀 구별	영양, 건강 상태를 구별	음식문화의 복원
감옷의 가죽흔적	가죽의 종류 가공 방법	飛鳥寺출토 철제 감옷의 가죽에서 사슴 지방과 腦(馬) 특유의 지방을 검출(北方式)	의복문화의 복원
칠 기	산지, 가공법 확인	산지별 칠 원액의 지방산 조성이 다르고 정제 기술 또한 다르다	기술문화의 복원
등 잔	어떤 기름을 사용했을까?	사회 계급별 기름의 종류도 달랐고, 시대적 변화도 추측됨	燈火의 역사
墳墓의 흙	葬制(身展葬, 屈葬, 洗骨葬)	뼈가 남겨져 있지 않아도 매장법, 침향 등을 알 수 있다.	葬制의 복원
주거지의 흙	주거환경, 계획 추정	주거지와 가축사육장, 공동시설 등 확인 가능	주거문화의 복원

(中野)

3.2 그밖의 새로운 분석방법에 의한 고대 생활 복원

분석 방법	분석 항목	분석자료	내용과 실례	연구 성과
ELISA (酵素抗體法)	糖脂質 (혈액형결정 인자)	胎壺(토기)	태반의 종, 혈연관계 태반을 매장하는 풍습의 기원, 개시기 등 추정	습속의 복원
DNA/RNA 추출장치	미토콘드리아 DNA 분리	동물의 뼈 골각기	작은편의 뼈라도 종을 판명	
유전자 증폭장치	염기배열의 결정	화석골 분묘의 흙	墓主의 신원(인간, 동물) 유아, 성인은 물론 복수묘일 경우 가족관계까지	묘제의 복원

4. 잔존 지방 분석 연구에 관한 몇가지 문제점

위와 같이 분석의 어려움에 비해 결과가 놀랍고 또 불가능이 없을 것 같은 지방산 분석 연구에는 앞에서의 주의사항 이외에도 많은 문제점이 있으며 제한 요소 또한 있다. 중요한 문제점을 몇가지 든다면,

첫째, 시료 및 정보에 강한 독자성과 지역성

동일 종이라도 한국과 중국 그리고 일본산 동식물의 지방 조성이 다를 수 있으므로 우리의 시료는 우리만이 자료화 할 수 있고 또 반드시 우리의 손으로 제작해야만 하는 점이다.

둘째, 고대 동식물에 관한 지식 및 시료 확보의 어려움

최근들어 더욱 활성화되고 있는 품종 개량과 외국 종자의 수입과 재배 확대에 따른 각종 동식물의 토종과 야생종이 소멸되면서 고대 동식물과 직접적인 관계가 있는 우리 산천의 토종 시료를 얻기 어려워진 점이 특히 우려되고 있다.

셋째, 전문 인력 양성 및 인접 학문과의 연계성

각종 시료의 선택과 전처리 방법의 다양성, 분석자료의 同定時 각종 변수의 조합 방법 등을 장기간 집중적으로 연수할 필요성이 있다.

네째, 필수 기자재 확보

필수적인 기자재로서 가스크로마토그래피 2대, 질량분석기(MASS)등 고가의 기제는 물론 그밖의 다양한 초자기와 비품, 시약, 각종 소기자재 그리

고 크린룸 시설이 된 생화학 실험실과 같은 지방산 전용 분석실의 마련이 필수적이다.

다섯째, 위와 같은 문제점을 해결했다 해도 장기간의 실험과 분석으로 정확한 데이터 베이스 제작이 필수적인 점은 두말할 필요도 없다. 일본의 경우도 기본 정보 확보에 5년의 시간이 소요된 전례가 있으므로 우리도 최소한 그 만큼의 기간은 필요하리라 생각된다.

5. 結 論

현재 우리 고고, 미술사학계의 연구 방법은 유물의 외형을 조사하여 형식 비교의 수준에 머무르고 있는 실정이라 할 수 있다.

잔존지방 분석이란 외형조사로는 오류를 범할 수 있는 도토기, 석기, 골각기 등 각종 문화재의 용도는 물론, 발굴 현장의 점토, 퇴적물 등에서도 눈에 보이는 형태로 남겨질 수 없는 원시의 동식물종을 실증하고 나아가 육안 조사로는 불가능한 고대인의 의식주를 비롯하여 기술의 발전 등을 밝힐 수 있어 공백으로 남겨져 있는 고대인의 생활상과 환경의 복원까지 가능하게 한다.

따라서 수많은 발굴현장에서 폐기되는 점토나 대수롭지 않게 생각되던 석기, 토기, 골각기 그밖의 많은 유기질 흔적 속에 잔존하는 지방산, 스테롤을 자료화하여 사라진 고대환경 문화를 복원할 수 있는 잔존지방 분석은 우리의 현실에 매우 획기적인 일이며 반드시 연구, 지원되어야 할 분야로 판단되는 것이다.