

조선시대 회곽묘 출토 인골의 안정동위원소 분석을 통한 아산 명암리 피장자의 식생활 복원

강소영* · 김윤지 · 조은민 · 김수훈

국립문화재연구소 보존과학연구실

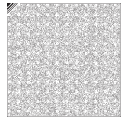
*Corresponding Author : soyeong.kang@korea.kr

국 문 초 록

본 연구는 아산 명암리 유적에서 출토된 조선시대 전기 인골에 대한 탄소와 질소 안정동위원소 분석을 통해 당시의 식생활 양상을 복원하고자 하였다. 21기의 회곽묘에서 출토된 25개체 인골의 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과, 탄소 안정동위원소 값은 평균 $-19.7 \pm 0.5\%$ ($n=23$), 질소 안정동위원소 값은 평균 $9.6 \pm 1.1\%$ ($n=23$)로 나타났다. 탄소와 질소 안정동위원소 값을 통해 아산 명암리 피장자들은 주로 C_3 식물을 주식으로 섭취하였으며 육상동물에 의한 단백질 섭취 수준을 확인하였다. 선행 연구된 조선시대 인골의 안정동위원소 분석결과와 함께 조선시대 식생활 양상을 비교했을 때 지역이나 무덤양식에 의한 차이는 확인되지 않았다. 다만 합장묘에서 출토된 인골의 질소 안정동위원소 값 비교를 통해 동일한 생활환경 피장자의 성별간 차이가 있는 것으로 나타났다.

주제어 아산 명암리, 인골, 뼈 콜라겐, 안정동위원소 분석, 식생활

투고일자 2016. 06. 30 • 심사일자 2016. 07. 25 • 게재확정일자 2016. 10. 26



I. 서론

과거 인류의 식생활 연구를 위한 안정동위원소 분석은 당시 식료의 안정동위원소 구성이 이를 섭취한 사람과 동물의 조직에 기록되어 남아있는 현상을 이론적 배경으로 한다. 식료로 섭취한 단백질은 아미노산으로 분해된 후 체내로 흡수되어 단백질 합성에 활용되기 때문에 뼈 콜라겐의 안정동위원소는 섭취한 식료 가운데 단백질에 의한 영향을 주로 반영한다고 할 수 있다(Ambrose·Norr 1993; Thompson 외 2008). 따라서 콜라겐의 탄소와 질소 안정동위원소 분석법은 과거의 식생활 양상과 생계경제를 복원하기 위한 주된 방법으로 활용되고 있다(Thompson 외 2008; Lee-Thorp 2008).

안정동위원소 비는 환경적 요인에 따라 특징적인 차이를 두고 나타난다. 콜라겐의 탄소 안정동위원소($\delta^{13}\text{C}$)는 식료로 사용되는 식물의 광합성 방식에 따라 독특하면서 다양한 값으로 나타난다. 식물은 광합성 시 탄소를 고정하는 방법에 따라 크게 C_3 , C_4 , CAM 식물로 구분할 수 있다. C_3 식물(쌀, 보리, 밀, 콩 등)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 $-34\sim-22\%$ 범위에 포함되며 C_4 식물(조, 피, 기장, 수수 등)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 $-20\sim-9\%$ 범위에 포함된다(Ambrose 1990). 질소 안정동위원소($\delta^{15}\text{N}$)는 먹이사슬 단계가 올라갈수록 값이 증가하는 것으로 알려져 있다(Schoeninger·De Niro 1984). $\delta^{15}\text{N}$ 값은 식물성 또는 동물성 단백질의 섭취 여부, 동물성 단백질 중에서도 육상동물(초식, 잡식, 육식)이나 민물 또는 해양 어패류와 같은 해양동물에 의한 섭취 여부를 파악할 수 있다. 일반적으로 소비자가 식료를 섭취했을 때 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 섭취한 식료보다 약 5% 높게 나타나며, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 약 3~5% 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(Ambrose·Norr 1993; Hedges·Reynard 2007; Thompson 외 2008). 뼈 콜라겐 안정동위원소의 특징적 차이를 이용해 과거 식생활 양상을 식료의 소비유형에 따라 구분할 수 있으나, 같은 동물로부터 오는 다른 단백질 공급원(예를 들어 육류와 유제품)은 안정동위원소 분석에 의해 구분할 수 없는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 뼈는 10~15년 간 섭취한 식료의 평균적인

특성을 규명할 수 있다는 점에서 과거의 식생활 연구에 널리 활용되고 있다(Müldner·Richards 2005).

조선시대 식생활에 대한 연구는 당시 생활상을 파악하는데 중요한 자료로 활용될 수 있는데 지금까지는 주로 식품영양학, 역사학 분야에서 활발한 연구가 이루어졌다(정연식 2009). 조선시대 식생활에 대한 식품영양학계의 연구는 주로 조리방법이나 상차림, 영양 등을 주제로 진행되었다. 특히 주식의 종류와 조리방법에 대한 고문헌을 검토한 결과 보리밥, 잡곡밥, 초근목피를 주식으로 섭취하였는데(정연식 1997; 복혜자 2007), 중부이남 지방에서는 주로 보리를 섞어서 잡곡밥을 먹었으며 중부이북 지방에서는 조를 섞어서 잡곡밥을 먹었고 제사나 명절, 생일에만 쌀밥을 먹었다고 알려져 있다. 또한 조선 초기에는 직파법을 사용한 벼의 대량생산이 이루어지고 않았기 때문에 쌀이 풍부하지 않았으며 주로 메밀밥, 기장밥, 조밥을 주식으로 취급하였다고 기록되어 있다(복혜자 2007). 역사학계에서는 조선시대 생활사 연구의 일환으로 주로 농법의 발달에 의한 농업생산력 증가, 식사횟수와 식사량이 식생활에 미치는 영향 등에 대한 고찰이 이루어졌다. 연구에 따르면 이양법이 16세기 후반에 전국으로 보급되면서 농민이 안정화됨에 따라 작물의 생산량이 증가하였으며, 특히 쌀의 생산량이 크게 늘어나면서 쌀밥이 주식으로 취급되었다. 또한 성인의 한끼 식사량은 평균 5홉에서 1승이며, 기본 식사횟수는 2회이나 계절이나 노동의 정도에 따라서 식사 중간에 간단한 점심이 추가되기도 하였다(김용섭 1970; 정연식 1997).

조선시대 유적에서 출토된 뼈 콜라겐의 안정동위원소 분석을 통한 식생활 연구는 서천 옥남리(강소영 외 2010), 서울 신내와 은평(이상 Yu 외 2014), 완주 덕동, 전주 유상리, 순창 동촌, 영광 월평리(이상 신지영 외 2015), 문경 흥덕동(강다영·신지영 2012) 등 조선시대 중·후기에 해당하는 유적지의 연구를 중심으로 수행되었다(표 1).

본 연구는 충청남도 아산 명암리 유적 9지점에서 출토된 조선시대 전기 인골 25개체에 대한 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과를 통해 당시의 식생활 양상을 고찰하였다. 또한 기존에 연구된 조선시대 중·후기 출토 인골의 안

표 1. 선행 연구된 조선시대 인골과 미라의 안정동위원소 분석 평균값

유적명	위치	개체수	분석 조직	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	참고문헌
서천 옥남리	충청남도 서천	4	뼈 콜라겐	-20.2±0.3	11.5±0.4	강소영 외(2010)
문경 흥덕동	경상북도 문경	1	뼈 콜라겐	-19.0	11.4	강다영 · 신지영(2012)
문경 흥덕동	경상북도 문경	1	머리카락 케라틴	-21.3	14.3	강다영 · 신지영(2012)
서울 신내동	서울 중랑	20	뼈 콜라겐	-20.2±0.6	11.0±0.9	Yu 외(2014)
서울 은평구	서울 은평	20	뼈 콜라겐	-19.7±0.8	11.8±0.6	Yu 외(2014)
완주 덕동	전라북도 완주	7	뼈 콜라겐	-19.2±0.6	11.3±0.6	신지영 외(2015)
전주 유상리	전라북도 전주	23	뼈 콜라겐	-19.1±0.6	11.3±0.8	신지영 외(2015)
순창 동촌	전라남도 순창	2	뼈 콜라겐	-19.6±0.3	10.5±0.7	신지영 외(2015)
영광 월평리	전라남도 영광	2	뼈 콜라겐	-19.3±0.1	11.2±0.4	신지영 외(2015)
아산 명암리	충청남도 아산	23	뼈 콜라겐	-19.7±0.5	9.6±1.1	본 연구

정동위원소 분석결과를 통해 무덤양식, 성별, 지역 등 다양한 사회경제적 요소에 의해 나타나는 차이를 비교 분석함으로써 조선시대 전반에 걸친 식생활 경향과 특징에 대하여 파악하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 분석 대상

충남대학교박물관이 2000년 11월부터 2001년 9월까지 '아산 테크노콤플렉스 지방산업단지 조성 부지'에 위치한 아산 명암리 유적 9-1, 9-2지점에 대한 발굴 조사를 실시한 결과(그림 1), 신석기시대부터 조선시대에 이르는 유적이 발견되었다. 특히 조선시대 건물지와 석열, 주거지, 분묘가 확인되었는데, 이 중 고려 말에서 조선 초로 추정되는 토광묘 19기와 회곽묘 30기가 발견되었다. 토광묘에서는 청동합, 청동수저, 철도자, 분청사기 등이 출토되었으나, 인골은 남아있지 않았다. 반면 회곽묘에서는 공반 유물은 없었으나 인골과 목관이 비교적 보존 상태가 양호하게 출토되었다(충남대학교박물관 2001). 그 중 비교적 긴 뼈가 남아있는 인골 25개체를 분석대상으로 활용하였다(표 2).

2. 시료 전처리

인골 시료는 치과용 절삭기를 이용하여 2×5cm 크기

의 시편으로 제작하였다. 뼈 표면에 남아있는 토양, 외부 DNA 등 오염 물질을 제거하기 위해 인골 시편의 표면을 약 1mm 정도 연마한 후 30분간 자외선을 조사하였으며, 동결분쇄기(Freezer Mill 6700, SPEX sampleprep)를 이용하여 분말화한 후 분석에 활용하였다.



그림 1. 아산 명암리 위치. 본 연구에서 조선시대 안정동위원소 값의 차이를 비교한 8개 유적을 함께 표기함(파란색: 인골 출토 유적, 회색: 미라 출토 유적).

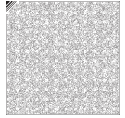


표 2. 뼈 콜라겐 시료의 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과

시료번호	유구명	성별	부위	콜라겐 수율(%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C:N
KAB0028	2호	-	자뼈	7.4	-19.5	9.0	3.3
KAB0029	10호	여성	위팔뼈	5.3	-19.8	11.5	3.2
KAB0030	13호	남성	위팔뼈	6.8	-19.4	7.8	3.3
KAB0031 ¹	21호	-	넙다리뼈	0.1			
KAB0032	22호	남성적 ²	넙다리뼈	8.5	-20.2	9.5	3.1
KAB0033	24호	남성적 ²	자뼈	4.4	-20.1	10.2	3.1
KAB0034	25호	남성적 ²	정강뼈	5.3	-19.7	10.6	3.1
KAB0035	26호	여성	노뼈	6.4	-19.5	9.8	3.0
KAB0036	28호(좌)	남성적 ²	노뼈	5.8	-19.6	10.0	3.2
KAB0037	28호(우)	여성적 ²	넙다리뼈	3.7	-19.9	9.4	3.1
KAB0038	29호	여성	노뼈	3.7	-19.7	10.4	3.2
KAB0039	32호	여성적 ²	위팔뼈	4.7	-19.7	9.3	3.1
KAB0040	33호	-	넙다리뼈	7.8	-20.0	9.1	3.1
KAB0041	37호(좌)	남성적 ²	노뼈, 자뼈	4.4	-19.0	11.1	3.0
KAB0042	37호(우)	여성적 ²	위팔뼈	5.2	-19.8	10.5	2.9
KAB0043	38호(좌)	남성적 ²	위팔뼈	6.7	-20.1	10.2	3.1
KAB0044	38호(우)	여성적 ²	위팔뼈	4.6	-19.3	10.2	2.9
KAB0045	46호	남성적 ²	위팔뼈	6.8	-19.1	9.5	2.9
KAB0046	47호	여성적 ²	정강뼈	8.4	-19.3	9.3	2.9
KAB0047	49호(좌)	여성적 ²	위팔뼈	8.4	-20.2	9.0	3.1
KAB0048	49호(우)	남성적 ²	자뼈	6.5	-19.7	9.8	3.0
KAB0587	14호	-	넙다리뼈	2.9	-18.0	6.9	3.2
KAB0588	15호	-	넙다리뼈	2.0	-20.0	9.3	3.2
KAB0589 ¹	17호	-	넙다리뼈	0.1	-19.3	9.3	3.3
KAB0591	43호	-	넙다리뼈	11.9	-20.5	8.0	3.2

¹ 굵은 글씨로 표기된 인골의 콜라겐 수율은 '콜라겐 질 평가지수' 범위 내에 포함되지 않으므로 안정동위원소 분석결과 논의 시 제외함.

² 체질인류학적 분석을 통해 성별을 판별한 인골로 골반뼈의 크기, 두덩밀각, 큰궁동패임 정도, 온머리뼈의 목덜미능선, 꼭지돌기, 눈확위모서리, 미간융기, 턱끝융기 정도를 종합적으로 고려하여 성별을 분류함(김이석 · 김명주 2012).

3. 아밀로제닌(amelogenin) 유전자 분석

아밀로제닌 유전자 분석에 사용할 인골 DNA의 추출은 Rohland 외(2007)가 제시한 실리카 추출법을 이용하였다. 인골 분말 500mg에 extraction solution(0.5M EDTA, 0.25mg/ml proteinase K, pH 8.0)을 처리하여 탈칼슘화반응(decalsification)을 유도하였다. 용해된 시료는 원심분리하여 상층액을 분리한 후 binding buffer(5M GuSCN, 25mM NaCl, 50mM Tris)와 실리카 현탁액을 첨

가하였다. 염산(HCl)을 첨가하여 시료액의 수소이온농도를 pH 4.0~4.5로 조절한 후 빛을 차단한 상태에서 3시간 동안 교반한 뒤 원심분리하였다. 상층액을 제거한 실리카는 washing buffer(50% Ethanol, 125mM NaCl, 10mM Tris, 1mM EDTA, pH 8.0)를 넣어 세정하였으며 15분간 실온에서 자연건조시켰다. 건조된 실리카는 TE buffer(10mM Tris, 1 mM EDTA, pH 8.0)를 넣고 10분 동안 교반하였으며 원심분리 과정을 거쳐 DNA를 추출하였다.

피장자의 성별 판별은 Mannucci 외(1994)가 제안한 아밀로제닌 유전자 분석법을 활용하였다. DNA 중합효소(AmpliTaq Gold DNA polymerase, Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 중합효소연쇄반응을 수행하였으며 자동전기영동장치(HDA-GT12, eGene)를 통해 아밀로제닌 유전자의 증폭 산물의 크기를 확인하였다.

4. 탄소와 질소 안정동위원소 분석

인골의 안정동위원소 분석을 위하여 Longin 방법을 개선한 추출법으로 콜라겐을 추출하였다(Brown 외 1988; Richards·Hedges 1999). 탈광화(demineralization)를 위해 인골 분말 약 500mg에 10ml의 0.5M 염산을 첨가하여 4°C에서 48시간 동안 처리한 후 상층액을 제거하였다. 중성화시키기 위하여 3차 증류수로 세척과정을 3번 반복한 후 pH3 염산 10ml를 넣고 75°C에서 48시간 동안 처리하여 콜라겐을 젤라틴화(gelatinization) 하였다. 젤라틴화된 콜라겐은 원심분리기용 필터로 농축하였으며, 농축된 시료는 동결건조(lyophilization) 과정을 거쳐 정제된 상태로 회수하였다.

정제된 콜라겐은 원소분석기(Flash 2000 organic elemental analyzer, Thermo Scientific)가 장착된 연속흐름형 안정동위원소 질량분석기(Delta V isotope ratio mass spectrometer, Thermo Scientific)로 분석하였다. 탄소와 질소의 안정동위원소 값은 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\delta(\%) = [(R_{\text{시료}}/R_{\text{표준시료}}) - 1] \times 1000$$

‘R_{시료}’는 ¹³C/¹²C 또는 ¹⁵N/¹⁴N를 나타내며, ‘R_{표준시료}’는 국제표준시료 기준에 따라 탄소는 VPDB(Vienna Pee Dee Belemnite)를 사용하였고 질소는 AIR를 사용하였다. 분석 결과는 편차천분율(‰)로 나타내며, 탄소와 질소 안정동위원소 값은 각각 ±0.2%의 정밀도를 갖는다. 모든 시료는 2회 분석한 후 평균값으로 표기하였다.

III. 결과

1. 아밀로제닌 유전자 분석을 통한 성별 판별

아밀로제닌 유전자는 X 염색체와 Y 염색체에 동시에 존재하는 유전자로 X 염색체에 존재하는 아밀로제닌 염기 서열의 부분 결실로 인해 나타나는 남녀간의 차이를 통해 인골의 성별 결정에 활용한다(Mannucci 외 1994). 아밀로제닌 유전자의 중합효소연쇄반응 결과 X 염색체는 106bps, Y 염색체는 112bps의 증폭 산물의 차이가 발생하며, 이를 전기영동장치로 확인함으로써 성별을 판정할 수 있다(Sullivan 외 1993). 아산 명암리 유적의 25개체 인골 중 4개체(10호묘, 13호묘, 26호묘, 29호묘)가 여성으로 판정되었으며, 나머지 21개체는 성별은 확인되지 않았다.

2. 콜라겐의 보존 상태

아산 명암리에서 출토된 인골의 콜라겐 추출 결과 수율이 0.1~11.9%로 나타났으며, 탄소 대 질소의 비는 2.9~3.3까지 분포하였다. 23개체 인골의 콜라겐은 Ambrose(1990)와 van Klinken(1999)가 제시한 콜라겐의 질 평가지수(C/N 비: 2.9~3.6, 콜라겐 수율: 0.5~20.0%)의 안정적 범위에 포함되는 것으로 확인되었다. 반면 17호묘 인골과 21호묘 인골에서 추출한 콜라겐은 수율이 0.5% 미만으로 콜라겐의 질 평가지수를 충족시키지 못했기 때문에 안정동위원소 분석결과 논의 시 제외하였다(표 2).

3. 탄소와 질소 안정동위원소 분석

아산 명암리 유적에서 출토된 23개체 인골에 대한 안정동위원소 분석결과는 다음과 같다(표 2, 그림 2). 탄소 안정동위원소 분석결과는 -20.5~-18.0%의 범위에 분포하였으며, 평균값은 -19.7±0.5%(n=23)로 나타났다. 질소 안정동위원소 분석결과는 6.9~11.5%의 범위에 분포하였으며, 평균값은 9.6±1.1%(n=23)로 나타났다. 14호묘 인골은 δ¹³C 값은 -18.0‰로 가장 높은 값을 보여주었으며, δ¹⁵N 값은 6.9‰로 가장 낮은 값으로 분석됨으로써 나머지 22개체와의 차이가 비교적 큰 것으로 확인되었다.

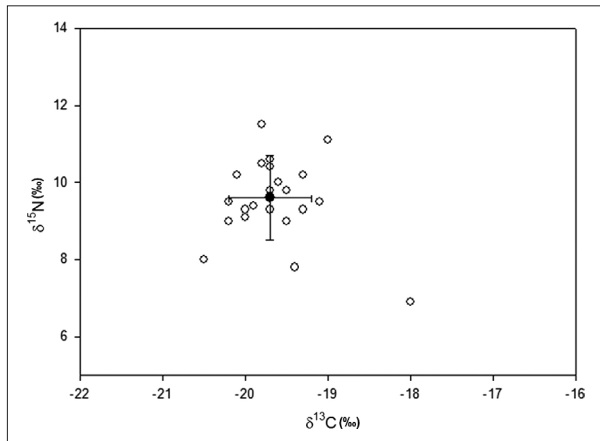
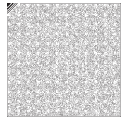


그림 2. 아산 명암리 출토 인골 콜라겐의 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과 (칠해진 부분은 평균값을 나타내며, 표준편차 $\pm 1\sigma$ 를 오차로 표현함).

IV. 고찰

아산 명암리 유적에서 출토된 인골의 안정동위원소 분석결과 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 평균 $-19.7 \pm 0.5\%$ ($n=23$)로 나타났다(표 2, 그림 2). 소비자는 식료에 비해 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 약 5% 상승한다는 것을 고려했을 때(Ambrose·Norr 1993; Thompson 외 2008), 아산 명암리 피장자들은 잡곡류인 C_4 식물에 비해 쌀, 보리 등의 C_3 식물을 주로 섭취한 것으로 추정된다. Schwarcz 외(1985)가 제안한 동위원소 혼합 모델(isotope mixing model)에 의해 계산된 식생활 내 C_4 식물의 섭취 비율은 12.3%로 나타났다. 다만 이 모델은 모든 식생활 요소가 생체를 구성하는 탄소에 동등하게 기여한다고 가정한 것으로써, 실제 뼈 콜라겐은 소비자가 섭취한 단백질에 의해 주로 형성되기 때문에 뼈 콜라겐의 탄소 안정동위원소 값에 의한 C_3 식물과 C_4 식물의 섭취비율을 동위원소 혼합 모델로 계산했을 때 일부 오차가 발생할 수 있다(Ambrose·Norr 1993; Thompson 외 2008).

유적지 남쪽으로 3~4km 거리에 곡교천이 위치하고 있으며 하천 주변으로 평야와 청동기시대 취락이 발달한 것으로 비추어 볼 때 유적지 일대는 조선시대 이전부터 사람들이 집단적으로 거주하기에 적합한 입지였다고 볼 수 있다(충남대학교 박물관 2001). 또한 탄소 안정동위원소 분석결과와 자연환경 요건을 고려할 때 조선시대 초기 아산 명암리에 거주한 피장자들은 경작활동을 통해 주

식으로 쌀, 보리 등 C_3 식물에 속하는 곡물을 주로 섭취하면서도 일부 잡곡 등 C_4 식물도 혼용한 것으로 볼 수 있다. 질소 안정동위원소 분석결과 평균값은 $9.6 \pm 1.1\%$ ($n=23$)로 나타났으며 6.9~11.5%의 범위에 분포하였다. 육상동물을 섭취한 경우 $\delta^{13}\text{C}$ 의 평균값이 약 -20% 이며, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 4~10% 범위에서 나타나므로 아산 명암리 피장자들이 섭취한 단백질원이 주로 육상 동물에 의한 것임을 알 수 있다(Richards·Hedges 1999).

14호묘 인골은 본 연구에서 분석한 인골 가운데 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 -18.0% 로 가장 높고 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 6.9%로 가장 낮게 분석되었다. 14호묘 인골의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 아산 명암리 인골의 평균보다 1.7% 높다는 것은 상대적으로 C_4 식물의 섭취량이 많다는 것을 의미하며 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 평균값 보다 2.6% 낮다는 것은 동물성 단백질의 섭취가 적었음을 의미한다. 특히 10호묘 인골($\delta^{15}\text{N}=11.5\%$)과 4.6%로 가장 큰 차이를 보였는데 영양 단계가 각 단계별로 올라갈 때마다 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 3~5%씩 높아진다는 것을 고려할 때 14호묘의 피장자는 10호묘의 피장자와 1단계의 차이가 있음을 알 수 있다(Schoeninger·De Niro 1984). 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과를 종합적으로 검토했을 때 14호묘 피장자는 나머지 22개체의 다른 피장자와 식생활 유형에 있어 분명한 차이가 있었음을 보여준다.

$\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 의 차이가 나타나는 원인으로는 다른 지역으로부터의 이주 등을 통한 지역적 차이, 신분 또는 경제력 등 사회경제적 차이, 개인의 기호 차이 등 크게 세 가지 정도로 검토해 볼 수 있으며, 이를 뒷받침할 있는 증거는 다음과 같다. 다른 지역에서 이주해온 사람의 경우 지역 간 문화적 차이를 드러내는 부장품이나 지역간, 민족간 유전적 차이가 분명한 경우 등으로 추론할 수 있다. 사회경제적 차이는 신분, 경제력을 엿볼 수 있는 무덤양식, 부장품, 성별 등으로 구분할 수 있다. 개인의 기호는 개인의 생활사를 알 수 있는 일기 등의 기록물을 통해 알 수 있다. 아산 명암리 출토 인골의 미토콘드리아 DNA 분석결과(지상현 외 2008; 김윤지 외 2015)와 본 연구의 안정동위원소 분석결과를 비교했을 때 타지역 사람의 이주와 연관 지을 수 없

었다. 대부분 인골이 회곽묘에서 출토되었기 때문에 전반적인 신분과 경제적 위상을 유추할 수는 있으나 피장자간 사회경제적 차이나 개인기호를 판단할 수 있는 회곽묘의 구체적인 양식이나 부장품, 기록물 등은 확인할 수 없었다(충남대학교박물관 2001).

따라서 본 연구에서는 사회경제적 관점에서 성별 차이에 따른 안정동위원소 분석결과의 차이에 주목하였다. 삼국시대 인골의 탄소, 질소 안정동위원소 분석결과 성별에 따라 영양상태가 다르다는 것이 확인되었지만(지상현 2008; 신지영·이준정 2009), 아직까지 조선시대 인골의 안정동위원소 분석결과에서 성별에 따라 유의미한 차이가 밝혀진 것은 없었다(강소영 외 2010; 신지영 외 2015). 아산 명암리 유적 출토 인골 가운데 DNA 분석 및 체질인류학적 분석에 의해 성별이 확인된 18개체의 남녀간 안정동위원소 평균값의 차이를 비교한 결과를 보면, 남성(n=8)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 평균 $-19.7\pm 0.4\%$, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 평균 $10.1\pm 0.5\%$ 이며, 여성(n=10)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 평균 $-19.6\pm 0.3\%$, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 평균 $9.7\pm 1.0\%$ 으로 나타났다(그림 3). 남녀간 $\delta^{13}\text{C}$ 평균값의 차이는 0.1%로 남녀간에 차이가 거의 없으며, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 남성이 여성보다 0.4% 높게 나타났는데 이 결과를 종합했을 때 집단적 관점에서 성별 간 식생활 차이는 거의 없다고 볼 수 있다. 그러나 남녀성별의 차이를 집단적 관점에서 생활공동체 기본단위로서 미시적으로 동일한 식생활 환경에 노출되었던 가족의 범위로 축소하여 동혈합장묘에서

출토된 남녀 인골을 대상으로 재분석 하였다. 아산 명암리에서 발견된 4기의 합장묘와 선행 연구가 진행된 9기의 합장묘에서 출토된 18개체의 인골을 대상으로 합장묘 별 남녀 피장자간의 안정동위원소 값 차이를 확인하였다(표 3, 그림 4). 우선 명암리 9지점에서 확인된 합장묘인 28호, 37호, 38호, 49호묘 인골의 경우, 28호, 37호, 49호묘 인골의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 여성이 남성보다 0.3~0.5% 낮게 분석되었으며, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 남성이 0.6~0.8% 높게 나타났다. 이는 남성이 여성보다 C_3 식물 섭취량은 적으나, 동물성 단백질의 섭취량이 높음을 의미한다. 반면 38호묘에서 출토된 인골은 다른 합장묘 인골과는 다르게 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 남자가 0.8% 낮게 나왔으며 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 남녀가 동일하게 분석되었다. 기존에 발표된 조선시대 합장묘에서 출토된 인골 18점에 대한 안정동위원소 결과와 비교하였을 때 명암리 9지점과 유사한 양상이 나타나는 것을 확인하였다(강소영 외 2010; Yu 외 2014; 신지영 외 2015). 18개체 중 12개체에서 남성이 여성보다 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 0.1~1.0% 높게 나타났으며 서울 신내동 유적에서 출토된 2개체는 남성과 여성의 $\delta^{15}\text{N}$ 값 차이가 없었다. 반대로 전주 유상리와 서울 은평 유적에서 출토된 인골 4개체는 남성보다 여성의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 각각 0.5%, 1.0% 높은 것을 확인하였다. 아산 명암리 유적과는 다르게 남녀의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 같거나 여성이 높은 경우 $\delta^{13}\text{C}$ 의 차이는 0~0.1%로 거의 유사한 식생활 패턴임을 확인할 수 있었다. $\delta^{13}\text{C}$ 의 경우 5개 유적 모두 남녀간의 차이에서 특이점이 확인되지

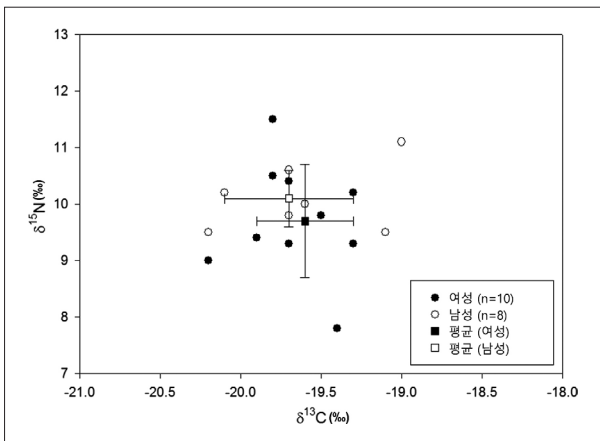


그림 3. 아산 명암리 출토 인골 골라겐의 성별간 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과(표준편차 $\pm 1\sigma$ 오차로 표현함).

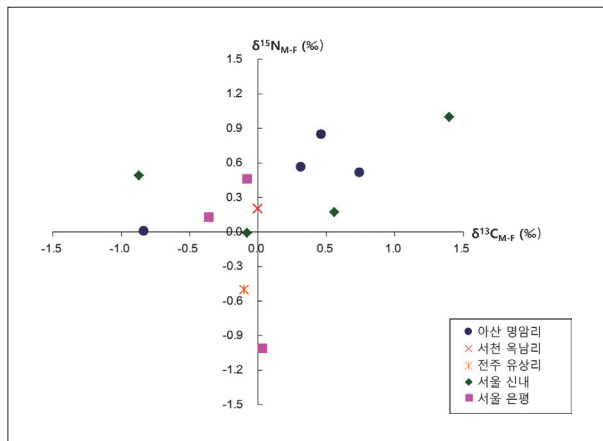


그림 4. 조선시대 합장묘 별 남녀간 안정동위원소 값 차이($\delta^{13}\text{C}_{\text{M-F}}$ 와 $\delta^{15}\text{N}_{\text{M-F}}$) (M-F는 동일한 합장묘에서 출토된 남성의 안정동위원소 값과 여성의 안정동위원소 값의 차이를 나타냄).



표 3. 조선시대 동혈합장묘에서 출토된 남녀의 안정동위원소 분석결과

유적명	유구명	성별	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	남-여($\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$)	남-여($\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$)	참고문헌
아산 명암리	28호(좌)	남성적	-19.6	10.0	0.3	0.6	본 연구
아산 명암리	28호(우)	여성적	-19.9	9.4			
아산 명암리	37호(좌)	남성적	-19.0	11.1	0.8	0.6	
아산 명암리	37호(우)	여성적	-19.8	10.5			
아산 명암리	38호(좌)	남성적	-20.1	10.2	-0.8	0.0	
아산 명암리	38호(우)	여성적	-19.3	10.2			
아산 명암리	49호(우)	남성적	-19.7	9.8	0.5	0.8	
아산 명암리	49호(좌)	여성적	-20.2	9.0			
서천 옥남리	5(좌)	남성	-20.1	11.6	0.0	0.2	강소영 외(2010)
서천 옥남리	5(우)	여성	-20.1	11.4			
전주 유상리	12(좌)	남성	-19.2	11.3	-0.1	-0.5	신지영 외(2015)
전주 유상리	12(우)	여성	-19.1	11.8			
서울 신내동	SN 4-25(1)	남성	-21.40	11.36	-0.87	0.49	Yu 외(2014)
서울 신내동	SN 4-25(2)	여성	-20.53	10.87			
서울 신내동	SN 2-15(2)	남성	-19.45	11.62	1.40	1.00	
서울 신내동	SN 2-15(1)	여성	-20.85	10.62			
서울 신내동	SN 4-18(1)	남성	-20.13	11.29	0.56	0.17	
서울 신내동	SN 4-18(2)	여성	-20.69	11.12			
서울 신내동	SN 2-19(1)	남성	-19.51	11.00	-0.08	-0.01	
서울 신내동	SN 2-19(2)	여성	-19.43	11.01			
서울 은평구	EP 2-43(1)	남성	-20.69	11.43	-0.36	0.13	Yu 외(2014)
서울 은평구	EP 2-43(2)	여성	-20.33	11.30			
서울 은평구	EP 3-D 1-188(1)	남성	-20.35	12.30	-0.08	0.46	
서울 은평구	EP 3-D 1-188(2)	여성	-20.27	11.84			
서울 은평구	EP C-10(1)	남성	-20.49	11.52	0.03	-1.01	
서울 은평구	EP C-10(2)	여성	-20.52	12.53			

않았으며, 다른 유적과는 다르게 서울 은평 유적은 여성보다 남성의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 낮거나 같은 값을 가지는 것이 특징이라고 할 수 있다.

조선시대 식생활 양상을 종합적으로 파악하기 위해 서천 옥남리에서 출토된 인골 4개체(강소영 외 2010), 서울 신내동 은평에서 출토된 인골 40개체(Yu 외 2014), 완주 덕동, 전주 유상리, 순창 동촌, 영광 월평리에서 출토된 인골 34개체(신지영 외 2015), 아산 명암리에서 출토된 인골 23개체와 문경 흥덕동에서 출토된 미라의 뼈(강다영·신지영

2012)에 대한 안정동위원소 분석결과를 함께 비교하였다(표 1, 그림 5).

총 102 개체에 대한 안정동위원소 분석결과, $\delta^{13}\text{C}$ 값은 평균 $-19.6 \pm 0.7\%$ ($n=102$), $\delta^{15}\text{N}$ 값은 평균 $10.9 \pm 1.1\%$ ($n=102$)로 나타났다. 아산 명암리 인골의 안정동위원소 결과를 선행연구의 분석결과와 비교했을 때 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 거의 차이가 없었으나 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 조선시대 평균에 비해 약 1.3% 낮은 것으로 나타났다. 이를 통해 조선시대에는 지역에 관계없이 유사한 종류의 C_3 식물을 주로 섭취하였음을 알 수

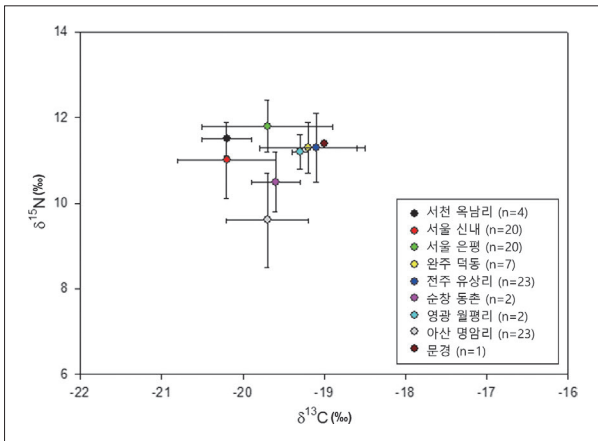


그림 5. 조선시대 출토 인골에서 추출한 뼈 콜라겐의 평균 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과(표준편차 ± 1σ를 오차로 표현함). 아산 명암리 분석결과와 서천 옥남리(강소영 외 2010), 서울 신내와 은평(이상 Yu 외 2014), 완주 덕동, 전주 유상리, 순창 동촌, 영광 월평리(이상 신지영 외 2015), 문경 흥덕동(강다영 · 신지영 2012) 분석결과를 종합하여 나타냄.

있다. 특히 아산 명암리 인골의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 서울 은평 인골과 비교했을 때 2.2%이 낮아 적지 않은 차이를 보였는데 이러한 결과는 육상동물에 의한 단백질 섭취 기회가 유적지마다 차이가 있었던 것으로 파악할 수 있다.

조선시대 출토 인골 분석결과와 지역간 차이를 확인했을 때 중부지역(서울, 충청도)의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 평균 $-19.9 \pm 0.7\%$ ($n=67$), $\delta^{15}\text{N}$ 는 $10.8 \pm 1.2\%$ ($n=67$)이며 남부지역(경상도, 전라도)의 $\delta^{13}\text{C}$ 는 평균 $-19.2 \pm 0.6\%$ ($n=35$), $\delta^{15}\text{N}$ 는 $11.2 \pm 0.8\%$ ($n=35$)이다(그림 6). 분석대상으로 삼은 102점 중 6점(중부지역 4점, 남부지역 2점)을 제외한 96점이 내륙의 영

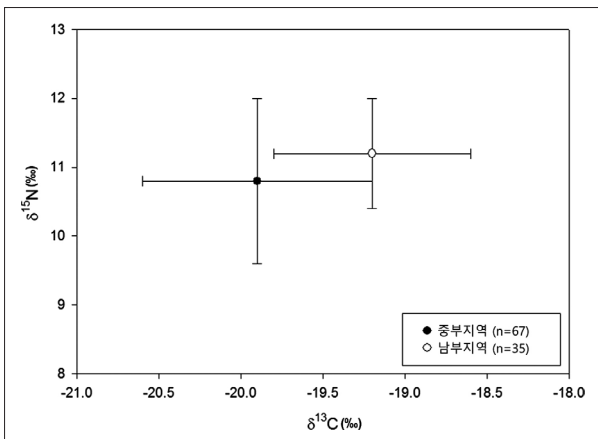


그림 6. 지역별 평균 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과(표준편차 ± 1σ를 오차로 표현함).

향을 받은 식생활을 영위하였음을 감안했을 때, 남부지역보다 중부지역 사람들은 C_4 식물에 비해 C_3 식물의 섭취비가 높은 반면 동물성 단백질의 섭취 정도는 상대적으로 적음을 알 수 있다. 하지만 지역간 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 의 차이가 지역간 식생활 양상이 다르다고 할 수 있을 정도의 차이는 아니며 전반적으로 유사한 식생활이 이루어졌음을 알 수 있다. 자세한 비교를 위해 서울(신내, 은평)(Yu 외 2014), 충청도(서천, 아산)(강소영 외 2010), 전라도(완주, 전주, 순창, 영광)(신지영 외 2015), 경상도(문경)(강다영 · 신지영 2012)지역의 평균적인 탄소와 질소 안정동위원소 값을 비교하였다(그림 7). 그 결과 서울에서 출토된 인골은 다른 지역보다 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 가장 낮으며 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 가장 높았다. 서울은 타 지역에 비해 물자 조달이 원활하게 이루어질 수 있는 지리적 여건 때문에 비교적 식료를 다양하게 공급받을 수 있다는 장점이 있으며 $\delta^{13}\text{C}$ 평균이 낮다는 것은 타지역에 비해 C_3 식물의 섭취비율이 높다는 것을 의미한다. 또한 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 동물성 단백질의 섭취가 원활하게 이루어졌으며 $\delta^{13}\text{C}$ 값과의 비교를 통해 육상동물에 의한 것임을 알 수 있다. 충청도에서 출토된 인골($n=27$)의 경우 다른 지역에 비해 평균 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 1% 이상 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 상대적으로 전라도에서 출토된 인골 중 완주와 전주에서 출토된 인골은 아산 명암리와 유사한 지리적 환경을 가지고 있음에도 불구하고 질소의 안정동위원소의 평균값이 11% 이상인 점을 감안하면 아산 명암리 유적의 특정 상 동물성

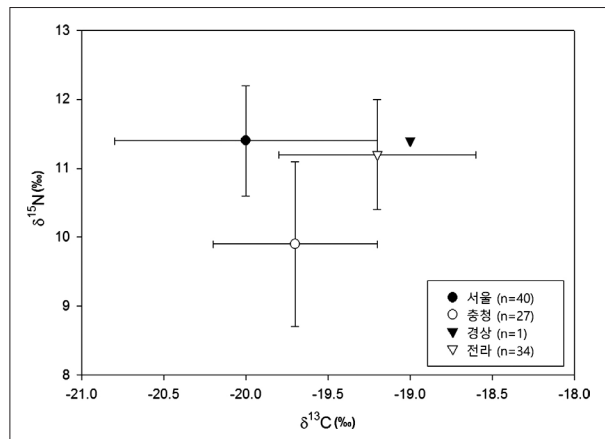


그림 7. 세부 지역별 평균 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과(표준편차 ± 1σ를 오차로 표현함).

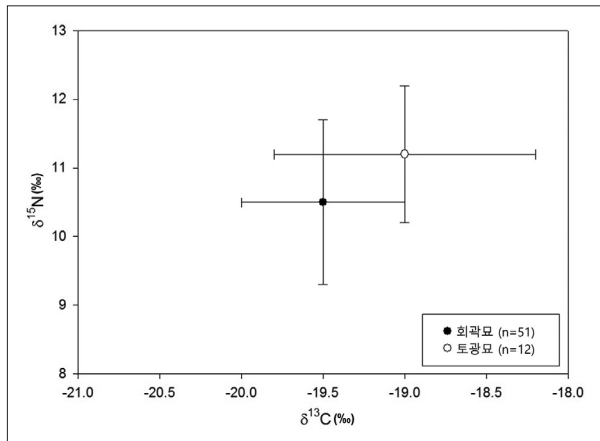


그림 8. 매장 양식에 따른 평균 탄소와 질소 안정동위원소 분석결과(표준편차 ±1σ를 오차로 표현함).

단백질의 섭취가 타 지역에 비해 낮다는 것을 의미한다. 또한 곡교천-삼교호-아산만으로 연결되는 수계를 통한 해양성, 민물 어패류의 섭취 여부는 이번 분석결과를 통해서도 확인하기 어렵다.

매장 양식에 따른 식생활 양상을 확인하기 위하여 회곽묘 출토 인골(n=51)과 토광묘 출토 인골(n=12)의 안정동위원소 값을 비교하였다(강소영 외 2010; 강다영·신지영 2012; 신지영 외 2015)(그림 8). 서울 신내와 은평에서 출토된 인골은 분묘 양식을 확인할 수 없어서 이번 대상에서 제외하였다. 회곽묘에 비해 토광묘는 인골이 출토되기 어려운 조건이므로 표본 개체수에서 차이가 낮다. 안정동위원소 비교 결과 회곽묘는 토광묘보다 평균 δ¹³C 값이 0.5% 낮으며 평균 δ¹⁵N 값도 0.7% 낮게 나타났다. 일반적으로 회곽묘와 토광묘는 피장자의 사회적 위치를 확인하기 위한 방법으로 활용되며, 주로 회곽묘에서 출토된 피장자가 토광묘에서 출토된 피장자보다 신분이 높을 것으로 예상하지만 서울·경기지역에서는 17세기 중반 이후로 일반인에 의해 회곽묘가 축조되었다는 점(김현우 2016)을 고려할 때 단순히 회곽묘 출토 여부만 가지고 계층을 나누기 어렵다. 따라서 회곽묘에서 출토된 피장자의 평균 δ¹⁵N이 토광묘 피장자가 더 높은 것은 계층의 차이보다 아산 명암리 유적에서 출토된 인골이 다른 조선시대 유적보다 약 1% 정도 낮은 값을 가졌기 때문에 결과에 영향을 미친 것으로 예상된다. 신지영 등(2015)이 보고한 바에 의하면 호남지방에

서 출토된 인골의 매장 양식에 따른 탄소와 질소 안정동위원소 값도 유사한 값을 가지며 따라서 사회적 지위에 따라 식생활 양상의 차이는 거의 없다고 판단하였다. 향후 회곽묘의 축조 규모나 배치 양상, 회곽묘에 사용된 석회의 양과 질, 유물 부장품 등을 고려하여 피장자의 신분을 구체적으로 확인되어야만 계층에 따른 식생활 차이를 논할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 아산 명암리 유적 9지점에서 출토된 조선시대 인골 25개체에 대한 탄소와 질소 안정동위원소 분석을 통해 당시의 식생활 양상을 파악하고자 하였다.

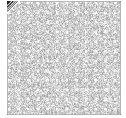
탄소의 안정동위원소 분석결과 평균 -19.7±0.5% (n=23)이며 주로 C₃ 식물을 주식으로 섭취하였음을 알 수 있다. 또한 질소 안정동위원소 분석결과 평균 9.6±1.1% (n=23)이며, 이를 통해 육상의 동물성 단백질 섭취가 이루어졌음을 알 수 있다. 본 연구와 더불어 이전에 연구된 조선시대 인골의 안정동위원소 분석결과를 종합하여 조선시대 식생활 양상을 파악한 결과, 지역, 매장 양식에 의한 차이가 유의미하게 나타나지 않았다. 하지만 합장묘에서 출토된 피장자의 안정동위원소 분석결과를 검토했을 때 동일한 환경에서 남성이 여성보다 C₃ 식물의 섭취량은 적으나, 육상동물로부터 유래한 단백질의 섭취량이 높음을 알 수 있다. 조선시대 분묘의 경우 동물뼈가 함께 발견되는 경우가 드물기 때문에 식료로서 비교할만한 대상이 없었으며, 서울, 충청도, 전라도에 비해 경상도, 강원도에서 출토된 인골의 연구결과가 없으므로 전반적인 식생활 양상을 설명하는데 한계가 있었다. 하지만 이번 연구를 통해 조선시대 사람들의 식생활 양상을 사회경제적 요소를 고려하여 비교하였다는데 의의가 있다.

사사

본 연구를 위해 인골을 제공해주신 충남대학교 박물관에 감사드린다.

참고문헌

- 강다영 · 신지영, 2012, 「조선시대 회곽묘 출토 미이라의 안정동위원소 분석으로 생애 주기에 따른 식생활 변화 추적」 『분석과학회지』 25(5), pp.300~306
- 강소영 · 권은실 · 문은정 · 조은민 · 서민석 · 김윤지 · 지상현, 2010, 「조선시대 인골에 대한 생화학적 분석의 유용성 -서천군 옥남리 회곽묘 출토 인골을 중심으로-」 『보존과학회지』 26(1), pp.95~107
- 김용섭, 1970, 『朝鮮後期農業史研究 I』, 一朝閣
- 김윤지 · 김수훈 · 조은민 · 이정원, 2015, 「아산시 명암리 출토 인골의 미토콘드리아 DNA 분석」 『보존과학연구』 36, pp.33~48
- 김이석 · 김명주, 2012, 「발굴 현장에서 적용 가능한 사람뼈의 육안 분석」 『발굴 현장에서 고인골 분석 연구실까지』, 국립문화재연구소, pp.60~62
- 김현우, 2016, 「회곽묘의 계층성과 확산 -서울 · 경기지역 대규모 분묘군을 중심으로-」 『한국상고사학보』 91, pp.75~120
- 복혜자, 2007, 「조선시대 밥류의 종류와 조리방법에 대한 문헌적 고찰(1400년대~1900년대까지)」 『한국식생활문화학회지』 22(6), pp.721~741
- 신지영 · 이준정, 2009, 「인골 추출 콜라겐의 탄소 · 질소 안정동위원소 분석을 통해 본 경산 임당 유적 고총군 피장자 집단의 식생활」 『한국고고학보』 70, pp.84~109
- 신지영 · 최현구 · 이준정, 2015, 「식생활 복원을 통해 본 조선시대 중후기 사회경제사의 일면 -호남 지역 유적 출토 인골에 대한 안정동위원소 분석결과를 중심으로-」 『한국고고학보』 97, pp.208~231
- 정연식, 2009, 「한국 생활사 연구의 현황과 과제 -조선시대 생활사 연구를 중심으로-」 『역사와 현실』 72, pp.289~314
- 정연식, 1997, 「조선후기의主食에 관한 試論」 『인문논총』 4, pp.321~347
- 지상현 · 김윤지 · 정용재 · 서민석 · 박양진, 2008, 「아산 명암리 인골의 고유전학적 연구」 『보존과학회지』 23, pp.81~93
- 지상현, 2009, 「그들은 누구이고 무엇을 먹었나」 『1500해 앞 16살 여성의 삶과 죽음』, 국립가야문화재연구소, pp.49~58
- 충남대학교박물관, 2001, 『아산 테크노콤플렉스 지방산업단지 조성부지내 아산 명암리 유적』
- Ambrose, S.H., 1990, 'Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotope analysis', *Journal of archaeological science*, 17, pp.431~451
- Ambrose, S.H. and Norr, L., 1993, 'Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate', *Prehistoric human bone: archaeology at the molecular level*, Springer-Verlag, pp.1~37
- Brown, T.A., Nelson, D.E., Vogel, J.S. and Southon, J.R., 1988, 'Improved collagen extraction by modified Longin method', *Radiocarbon*, 30, pp.171~177
- Hedges, R.E.M. and Reynard, L.M., 2007, 'Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology', *Journal of Archaeological Science*, 34, pp.1240~1251
- Lee-Thorp, J.A., 2008, 'On isotopes and old bones', *Archaeometry*, 50, pp.925~950
- Mannucci, A., Sullivan, K.M., Lvanov, P.L. and Gill, P., 1994, 'Forensic application of a rapid and quantitative DNA sex test by amplification of the X-Y homologous gene amelogenin', *International journal of legal medicine*, 106(4), pp.190~193
- Müldner, G. and Richards, M.P., 2005, 'Fast and feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis', *Journal of archaeological science*, 32, pp.39~48
- Richards, M.P. and Hedges, R.E.M., 1999, 'Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe', *Journal of Archaeological science*, 26, pp.717~722



참고문헌

- Rohland, N., Hofreiter, M., 2007, 'Ancient DNA extraction from bones and teeth', *Nature protocols*, 2(7), pp.1756~1762
- Schoeninger, M.J. De Niro, M.J., 1984, 'Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals', *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, pp.625~639
- Schwarcz, H.P., Melbye, J., Kanzenberg, M.A. and Knyf, M., 1985, 'Stable isotopes in human skeletons of Southern Ontario: reconstructing palaeodiet', *Journal of archaeological science*, 12, pp.187~206
- Sullivan, K.M., Mannucci, A., Kimpton, C.P. and Gill, P., 1993, 'A rapid and quantitative DNA sex test: Fluorescence-based PCR analysis of X-Y homologous gene amelogenin', *BioTechniques*, 15(4), pp.636~641
- Thompson, A.H., Chaix, L. and Richards, M.P., 2008, 'Stable isotopes and diet at Ancient Kerma, Upper Nubia (Sudan)', *Journal of archaeological science*, 35, pp.376~387
- van Klinken, G.J., 1999, 'Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements', *Journal of archaeological science*, 26, pp.687~695
- Yu, J.A., Oh, C.S., Hong, J.H., Min S.R., Oh, S.H., Kim, Y.S., Park, J.B. and Shin, D.H., 2014, 'Stable isotope analysis of Joseon people skeletons from the cemeteries of Old Seoul City, the capital of Joseon Dynasty', *Anatomy & cell biology*, 47(4), pp.244~252

Stable Isotopic Reconstructions of Diets in Joseon Dynasty Using Human Remains from Myeongam-ri Site, Asan

Kang Soyeong* · Kim Yun-Ji · Cho Eun Min · Kim Sue Hoon

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

*Corresponding Author : soyeong.kang@korea.kr

Abstract

This study reports on human dietary reconstruction of Joseon Dynasty using stable isotope analysis. The stable carbon and nitrogen isotope values were measured of bone collagen extracted from 25 human bones from archaeological site in Myeongam-ri, Asan. Average values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ are $-19.7\pm 0.5\text{‰}$ ($n=23$) and $9.6\pm 1.1\text{‰}$ ($n=23$), respectively. The isotopic data indicates that Myeongam-ri individuals consumed C_3 plants mainly and assumed of dietary resourced from a terrestrial animal protein. Previous isotopic studies of the Joseon era suggested that dietary composition of Joseon population was not influenced by region and burial type. Also comparison of the isotopic results of male and female from double burials showed sex-dependent dietary patterns among individuals living in the same circumstances.

Key Word Myeongam-ri, Asan, Human bone, Stable isotope analysis, Bone collagen, Palaeodiet

Received 2016. 06. 30 • Revised 2016. 07. 25 • Accepted 2016. 10. 26

