

# 칼슘급원으로서 소뼈회분 및 소뼈분말의 체내이용성 연구

이연숙 · 박정희 · 오주환 · 최창원\*

서울대학교 농업생명과학대학 농가정학과

\* 풀무원식품(주) 기술연구소

## Effects of Bovine Bone Ash and Bone Powder as a Dietary Calcium Source on Mineral Bioavailability in Rats

Lee, Yeon-Sook · Park, Jeong-Hee · O, Ju-Hwan · Cho, Chang-Won

Department of Home Economics, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University

\* R & D Center, Pulmuwon Food Co. LTD.

### 서 론

칼슘은 우리나라 식생활에 있어서 결핍되기 쉬운 영양소 중의 하나로서, 최근 국민 영양조사 보고서(보건사회부, 1989)에 의하면 전국 평균 칼슘 섭취량은 권장량의 76.2%를 나타내고 있어서, 결보기에는 크게 부족하지 않은 것으로 평가될 수도 있으나, 실제로 가구별 섭취실태를 보면 1일 권장량의 75% 미만 섭취 가구수는 61%에 달하므로 칼슘섭취 부족 문제는 심각하게 평가되어야 한다. 특히 농촌 지역에서는 칼슘 섭취량이 권장량의 67.4%, 권장량의 75% 미만 가구수는 67.4%나 된다. 또한 칼슘급원으로서 비교적 체내 이용율이 낮게 평가되고 있는 식물성 식품이 57.8%를 차지하고 있는 반면, 이용성이 가장 우수하게 평가되고 있는 우유 및 유제품은 11.7%에 불과하였다. 이와같은 칼슘 섭취량의 부족과 체내 이용성이 낮은 식품으로부터의 칼슘섭취 실태는 국민영양에 지대한 영향을 미치며 칼슘의 생리적 요구도가 큰 아동, 임산부, 수유부 및 노인들에 있어서 더욱 심각한 영양문제로 제기될 수 있다.

근래 세계 각국에서는 칼슘 섭취의 부족으로 인한 영양문제를 뼈질환, 골다공증, 골절, 순환기계질환, 고혈압, 동맥경화 등 각종 성인병에 초점을 맞추어

많은 연구자들의 관심을 집중시키고 있으며, 칼슘 영양의 중요성을 새삼 강조하고 있다(Avioli, 1984; Ezawa, 1983; Karanja & McCarron, 1986). 특히 뼈의 건강을 유지하고 노령화에 따른 뼈질환을 예방하기 위하여, 성인기에 도달하는 최대골질량(peak bone mass)을 높게 유지할 필요가 있으며 이를 위해 가장 주요한 인자로서 지속적이고 충분한 양의 칼슘 섭취를 들고 있다(Raisz, 1977).

따라서 구미 각국에서 각 연령에 따른 1일 칼슘 섭취 권장량의 증가를 위한 제검토가 제기되어 있으며(Spencer & Kramer, 1986), 체내이용성이 높은 칼슘급원식품, 칼슘강화식품 또는 칼슘보충제(Ca supplement)에 대한 개발연구가 활발하게 이루어지고 있다(Greger 등, 1987; Lee 등, 1979, 1980) 일반적으로 식품중 칼슘 급원으로서의 가치는 그 함량보다는 체내 이용성에 의해서 평가되고 있다. 우유 및 유제품은 칼슘 함량뿐 아니라 높은 체내 이용률로 말미암아 가장 이상적인 칼슘 급원으로 평가받고 있으며, 많은 나라에서 칼슘 섭취 부족이 우유 및 유제품의 섭취 부족에 기인하는 것으로 보고되고 있다(Allen, 1982; Recker & Heaney, 1985). 우리나라의 경우, 식습관으로 보아 우유 및 유제품의 대폭적인 섭취 증가를 기대하기는 어려운 실정이어서 체내 이용성이 높은 칼슘급원식품 및 칼슘보충제의 개발연구는 시급한 과제임에 틀림없

다. 최근 각국에서 화학형태가 다른 여러가지 칼슘염을 주체로 한 칼슘보충제 및 체내 칼슘 이용성 촉진 물질 등을 개발하여 시판하고 있으며, 일본에서는 칼슘영양 신소재 또는 칼슘보충제로서 소뼈분말(bovine bone power) 또는 난각 분말을 식품, 음료 또는 가공식품에 첨가하여 시판하고 있다. 이들 칼슘 급원들에 대한 유효성 및 영양효과가 정상, 골다공증 모델동물, VD결핍 동물에 있어서 보고되어 있다(Greger등, 1987; Heaney등, 1989; Kobayashi등, 1987; Okano등, 1991).

우리나라에서는 예로부터 소뼈국물이 주요 칼슘 급원으로 권장되어 왔으며(박동연과 이연숙, 1982; 박정숙과 이연숙, 1989), 최근에는 소뼈회분(bovine bone ash)을 주체로 한 칼슘보충제가 개발되어 시판되고 있다. 그러나 탕류의 칼슘 또는 소뼈 칼슘의 체내 이용성에 대한 연구보고는 거의 없다.

이러한 실정에 비추어 본 연구에서는 소뼈회분의 칼슘 급원으로서의 유효성을 평가할 목적으로, 정상 또는 칼슘 결핍 사료를 섭취한 성장기 흰쥐에게 탄산칼슘, 인산칼슘 및 소뼈회분 칼슘을 2~3주간 급여한 후, 성장, 혈액과 조직의 칼슘함량, 뼈 중 칼슘함량과 뼈의 강도 및 칼슘 소화 흡수율 등 체내 칼슘 이용성을 비교 검토하였다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험동물 및 식이

#### 1) 동물사육

소뼈회분 Ca의 체내이용성을 평가하기 위해서 3가지 실험을 수행하였다. 실험 I에서는 정상적인 흰쥐에 있어서 소뼈의 처리 공정별 체내 Ca 이용성을 평가 비교하기 위해서, 체중 약 100g의 수컷 흰쥐(Wistar, male; 한국화학연구소에서 구입) 40마리를 5군으로 나누어 Ca 급원을 달리한 식이를 3주간 급여하였다. 즉 실험식이군은 Ca 공급원에 따라 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ), 제2인산칼슘( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), 소뼈회분(Bovine Bone Ash: BBA) 및 냉동건조 소뼈분말(Bovine Bone Powder: BBP)로 나누었다.

대조군(Basal)에서는 저Ca식이를 이용하였다.

실험 II에서는 약한 Ca결핍 상태의 암컷 흰쥐에 있어서 소뼈회분 Ca의 체내 이용성을 평가하기 위하여 체중 50~60g의 이유된 암컷 흰쥐(Sprague-Dawley, female; 서울대학교 실험동물 사육장에서 구입) 15마리에게 Ca결핍식이(Basal)를 2주간 급여한 후, 제3인산 칼슘식이( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), 소뼈회분(BBA) 식이를 2주간 동안 계속 급여하였다.

실험 III에서는 심한 Ca결핍 상태의 암컷 흰쥐에 있어서 소뼈회분 Ca의 체내이용성을 평가하기 위하여 실험 II와 동일한 흰쥐 15마리에게 Ca결핍 식이를 4주간 급여하여 Ca결핍 상태를 유도한 후, 3군으로 나누어 실험 II와 동일한 식이를 2주간 계속 급여하였다.

실험에 이용된 흰쥐들은 실험동물 사육실(온도  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $65 \pm 5\%$ , 조명 9:00 a.m.~6:00 p.m.)에서 stainless-steel wire cage에 한마리씩 분리 사육하였다. 실험군은 체중을 기준으로 완전임의 배치법에 의하여 나누었으며, 모든 실험식은 자유섭취방법(ad libitum)으로 공급하였다. 물은 탈이온수로 매일 공급하고 제한없이 자유롭게 섭취하도록 하였다. 체중과 식이 섭취량은 2일마다 한번씩 일정한 시간에 측정하였다. 대사 cage와 사육에 사용되는 모든 기구는 무기질 오염방지를 위해 0.4% EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid)로 씻은 후 탈이온수로 행구어 사용하였다.

#### 2) 실험식이

실험에 사용된 식이의 조성은 Table 1에 제시되었다.

본 실험에 사용된 식이원료 즉, 소뼈의 일반성분과 무기성분의 함량을 미리 분석하여(Table 1의 foot note) 그 측정치를 기초로 하여 흰쥐의 사양표준량(NAS-NRC)에 맞추어 단백질 20%, Ca 0.51%, P 0.4%를 함유하도록 구성하였다. 단 기본식이(Basal diet)는 실험 I에서는 저 Ca식이로서 Ca를 0.17% 함유하고 있으며, 실험 II와 III에서는 Ca 결핍 식이로 Ca 0.1% 이하를 함유하고 있다. 조제된 식이의 성분 분석결과는 Table 2에 제시하였다.

Table 1. Composition of experimental diets(g/kg)<sup>1</sup>

Ingredients	Dietary groups					
	Basal <sup>2</sup>	CaCO <sub>3</sub>	CaHPO <sub>4</sub>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	BBA	BBP
Casein	200	200	200	200	200	200
Starch	657	644.2	647.7	649.5	649.2	646.7
Corn oil	50	50	50	50	50	50
Fiber	5	5	5	5	5	5
Vit. mix <sup>3</sup>	8	8	8	8	8	8
Choline chloride	2	2	2	2	2	2
Calcium & phosphate-free mineral mix. <sup>4</sup>	40	40	40	40	40	40
Polyethylene glycol #4000	20	20	20	20	20	20
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	18	18	—	6.6	7	7
KCl	—	—	10	6	6	6
CaCO <sub>3</sub>	—	12.8	—	—	—	—
CaHPO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	—	—	17.3	—	—	—
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	—	—	—	12.9	—	—
Bovine Bone Ash(BBA) <sup>5</sup>	—	—	—	—	12.8	—
Bovine Bone Powder(BBP) <sup>6</sup>	—	—	—	—	—	15.3

<sup>1</sup> Experimental diets excluding basal diet contains 0.51% Ca and 0.4% phosphorus.

<sup>2</sup> In experiment I, basal diet contains 1.3% CaCO<sub>3</sub>.

<sup>3</sup> Vitamin mixture(per g) : (in IU) Vitamin A palmitate, 2500 ; Cholecalciferol 200 ; (in mg) Thiamin HNO<sub>3</sub>, 1 ; Riboflavin, 1.5 ; Niacin, 10 ; Pyridoxine HCl, 1 ; Folic acid, 0.5 ; Vitamin K<sub>3</sub>, 1 ; Vitamin B<sub>12</sub>, 0.001 ; Ascorbic acid, 33.7 ; Calcium pantothenate, 5 ; Di-1-tocopherol, 1 ; Biotin, 0.4.

<sup>4</sup> Calcium and phosphate-free mineral mixture(per kg) : NaCl, 250.6g ; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 99.8g ; Fe-citrate, 6.23g ; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 1.56g ; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 1.21g ; ZnCl<sub>2</sub>, 0.2g ; KI, 0.005g ; (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 0.025g ; And sucrose, 640.37g to make 1kg

<sup>5</sup> Bovine Bone Ash contains 39.78% Ca and 18.28% P

<sup>6</sup> Bovine Bone Powder contains 33.52% Ca and 14.96% P

Table 2. Analyzed composition of experimental diets(g/100g)

Diet	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash	Ca	P
Expt. I						
Basal	9.23	18.79	6.57	3.14	0.17	0.38
CaCO <sub>3</sub>	8.72	18.44	5.61	4.22	0.48	0.36
CaHPO <sub>4</sub>	9.45	18.17	6.06	3.56	0.56	0.37
BBA	9.17	18.28	5.67	4.21	0.53	0.37
BBP	10.87	18.34	5.14	3.39	0.48	0.34
Expt. II & Expt. III						
Basal	11.80	18.01	5.47	2.39	0.06	0.38
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	11.28	17.66	5.64	3.21	0.46	0.35
BBA	11.95	17.73	5.79	3.18	0.53	0.43

실험식이의 재료로 사용된 소뼈회분과 소뼈분말은 풀무원 식품(주)에서 공급받았으며, 제조공정을 요약하면 다음과 같다. 소뼈회분은 사골을 5~6일 끓인 후 1100°C에서 회화한 것이고, 소뼈분말은 동일 처리후 냉동건조시킨 것(회화처리하지 않음)이다.

## 2. 시료채취 및 분석방법

### 1) 시료채취

#### ① 혈액

실험동물은 식이섭취 조건을 일정하게 하기 위하여 도살하기 전 하룻밤 절식시킨 후, 2시간 동안 각각의 실험식이를 섭취하도록 하였다. 먹이통을 제거한 다음 30분후 sodium pentobarbital(50mg/kg B. W.)을 복강내 주사하여 동물을 마취시킨 뒤 개복하여 실험 I에서는 경동맥혈을, 실험 II와 III에서는 문맥혈을 채취하였다. 채취한 혈액은 냉장고(4°C)에서 하룻밤동안 방치한 후 3,000rpm에서 20분간 원심분리(Sorvall, GLC-2B)에 의해 혈청을 얻었으며 분석할 때까지 -20°C에서 냉동 보관하였다.

#### ② 조직(간, 신장, 경골)

혈액 채취 후, 간, 신장, 경골(tibia)을 적출하였으며, 장기에 부착되어 있는 지방이나 근육은 깨끗이 제거하였으며, 냉장 생리식염수(0.9% NaCl용액)로 세척하여 혈액을 제거한 다음 여과지로 물기를 닦고 전자 천평으로 생조직의 무게를 측정하였다. 모든 시료는 분석할 때까지 -20°C에서 냉동 보관하였다.

#### ③ 분

실험식이 급여기간 중 종료 4일 전부터 최종일까지 매일의 분을 0.4% EDTA용액으로 처리한 플라스틱 통에 수집하였으며, 총 중량을 측정한 후 냉동건조(Freeze-Dryer 18, Labconco)하여 분쇄한 후 분석할 때까지 냉동 보관하였다.

### 2) 시료분석

#### ① 혈액, 조직 및 분중 Ca함량

혈청 중 Ca함량은 혈청에 TCA(trichloroacetic acid) 용액을 최종 농도가 5%가 되도록 넣어 단백질을 제거한 후, La의 최종농도가 1%가 되도록 LaCl<sub>3</sub> 용액을 혼합하여 원자흡광도계(Atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-6000)로 측정하였다.

간, 신장 및 경골은 100°C 건조기에서 12시간 동안

건조시킨 후, 550~600°C 회로에서 회화하여 얻은 회분을 HCl 용액 1N으로 용해한 후, 희석하여 원자흡광도계로 측정하였다.

분중 Ca함량은 냉동 건조시킨 시료를 550~600°C 회로에서 회화시킨 후 얻은 회분을 HCl 용액 1N으로 용해한 후, 희석하여 원자흡광도계로 측정하였다.

#### ② 뼈의 강도 측정

경골의 강도는 Instron(Instron Universal Testing Instrument, Model 1000)을 이용하여 경골 길이의 1/2되는 일정한 위치에서 뼈의 파단력(breaking force)을 측정하였다.

## 3. 통계분석

각 처리별 조사항목별, 평균비교에 대한 유의성 검증은 DUNCAN MULTIPLE TEST와 F-TEST에 의하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 성장 및 식이섭취량 및 식이효율

각 실험 식이에 따른 실험 개시기 체중, 종료기 체중, 1일 증체량, 식이섭취량 및 식이효율은 Table 3에 나타난 바와 같다.

적용 기간 후 실험개시기의 평균 체중은 각 군간에 유의적인 차이가 없었으며, 실험종료기의 체중 역시 각 군간에 유의적인 차이가 없었으나, 장기간(4 또는 6주간)의 Ca 결핍식이(Expt. II & III)를 섭취한 동물의 종료기 체중은 2주간 동안 인산칼슘 또는 소뼈회분 Ca를 첨가한 식이를 섭취한 동물에 비해 유의적인 감소를 보였다( $p < 0.05$ ). 식이섭취량을 보면 실험 I에서는 식이군간에 뚜렷한 차이가 없었으며, 실험 II와 III에서는 Ca 결핍식이 섭취량이 유의적으로 낮았는데( $p < 0.05$ ) 이는 증체량에 반영되었다. 증체량을 보면 실험 I에서는 Ca염을 섭취한 군과 소뼈회분 또는 분말을 섭취한 군간에 유의적인 차이는 없었으나 탄산칼슘염을 섭취한 군에서 약간 높은 증체율을 보였다. 그러나 실험 II와 III에서는 Ca결핍식이를 섭취한 동물의 증체량은 인산칼슘 또는 소뼈회분 Ca를 섭취한 동물에 비해 유의적( $p < 0.05$ )으로 낮았다.

Table 3. Body weight, food intake and food efficiency ratio(FER) of the rats fed experimental diets

Diet	Initial body wt. (g)	Final body wt. (g)	Daily food intake (g)	Daily wt. gain (g)	B.W. gain/ food intake (FER)
Expt. I					
Basal	147.8±21.0 <sup>1)N.S.</sup>	266.6±23.1 <sup>N.S.</sup>	16.1±1.7 <sup>b2)</sup>	5.8±0.7 <sup>a</sup>	0.34±0.05 <sup>a</sup>
CaCO <sub>3</sub>	147.9±11.2	265.1±16.1	18.1±1.4 <sup>a</sup>	6.0±0.7 <sup>a</sup>	0.32±0.02 <sup>ab</sup>
CaHPO <sub>4</sub>	148.1±11.1	264.3±14.1	17.6±0.9 <sup>a</sup>	5.8±0.5 <sup>ab</sup>	0.31±0.02 <sup>abc</sup>
BBA	148.0±10.5	256.9±19.8	17.3±1.2 <sup>a</sup>	5.4±0.6 <sup>ab</sup>	0.30±0.02 <sup>bc</sup>
BBP	148.1±10.0	248.8±21.7	16.8±1.4 <sup>ab</sup>	5.0±0.8 <sup>b</sup>	0.28±0.03 <sup>c</sup>
Expt. II					
Basal	73.3±10.9 <sup>N.S.3)</sup>	155.2±17.8 <sup>N.S.</sup>	9.9±0.8 <sup>b</sup>	3.0±0.3 <sup>b</sup>	0.31±0.01 <sup>b</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	70.1±7.6	180.0±16.1	11.5±1.1 <sup>a</sup>	4.1±0.4 <sup>a</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>
BBA	69.5±6.4	179.0±18.9	11.2±0.9 <sup>ab</sup>	4.1±0.6 <sup>a</sup>	0.36±0.03 <sup>a</sup>
Expt. III					
Basal	75.8±12.4	166.2±24.1 <sup>b</sup>	9.4±1.2 <sup>b</sup>	2.2±0.3 <sup>b</sup>	0.23±0.02 <sup>b</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	72.5±9.5	201.2±23.5 <sup>a</sup>	11.3±0.8 <sup>a</sup>	3.1±0.5 <sup>a</sup>	0.28±0.03 <sup>a</sup>
BBA	72.6±4.7	206.4±10.4 <sup>a</sup>	11.3±0.7 <sup>a</sup>	3.3±0.2 <sup>a</sup>	0.29±0.01 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Mean±S.D. for 8 rats(experiment I), 5 rats(experiment II and III) per group.

<sup>2)</sup> a, b, c values within the same column with different superscripts are significantly different( $p < 0.05$ ).

<sup>3)</sup> N.S. : Not significant.

본 실험을 통해 식이중 Ca결핍은 식이 섭취량 뿐만 아니라 체중증가에도 나쁜 영향을 미치며(Expt. II, III), 식이 섭취량과 증체량에 있어서 소뼈 Ca은 다른 Ca급원과 거의 동일한 효과를 보였다. 또 소뼈의 처리별 효과를 보면 회화처리 또는 냉동건조처리에 따라 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 Ca급원을 달리한 실험 성적(Greger 등, 1987; Kobayashi 등, 1987), 난소절제동물(Ezawa & Arai, 1983), 또는 VD결핍동물(Okano 등, 1991)을 이용하여 수행된 소뼈분말에 대한 실험성적과도 일치하였다.

## 2. 혈중 Ca농도

Ca급원에 따른 혈중 Ca농도는 Table 4에 나타난 바와 같다. 실험 I의 정상 흰쥐에 있어서 Ca급원에 따른 혈청의 Ca농도는 각 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 거의 정상수준(8~10mg/100ℓ)을 나타냈다. Ca결핍식이를 섭취하였을 때 혈청 Ca농도는 정상수준에 비해(Expt. I) 저하하는 경향을 보였으며, 4주간 또는 6주간 섭취했을 때(Expt. II

와 III의 basal diet군), 혈청 Ca농도는 더욱 감소하는 경향을 보였다. 이때 2주간 칼슘의 급여로 혈중 Ca농도는 상당 수준까지 증가를 보였으나 정상수준까지 미치지 못하였다(Expt. II & III). 이러한 회복효과는 인산칼슘염과 소뼈회분과 거의 차이가 없었다.

이상 혈청 Ca농도로부터 소뼈의 Ca의 이용성을 평가해 보면, 인산칼슘 또는 탄산칼슘과 같은 효과를 가지며, 소뼈의 가공 처리별 유의차는 나타나지 않았다. 이는 Kobayashi 등(1987)이 Ca화합물의 섭취군간에 혈중 Ca농도에 있어서 유의적인 차이가 없었다는 보고에 의해 충분히 지지될 수 있다. 또한 실험 II와 III에서 Ca 결핍상태의 흰쥐에게 2주간의 Ca식이 급여로 혈중 Ca농도의 충분한 회복효과를 나타내지 못하였다. 이것은 Ezawa(1983)의 연구결과 즉, 난소절제 수술로 골다공증을 유도한 흰쥐에 있어서 탄산칼슘 또는 소뼈분말 식이를 약 4주간 급여하였을 때, 모두 정상수준의 Ca농도를 나타냈다고 하는 결과를 고려할 때, 본 실험 조건에서도 보다 장기적인 소뼈회분 식이를 급여할 경우 혈중

Table 4. The Ca concentration in serum of the rats fed experimental diets

Diet	Serum Ca(mg/100ml)
Expt. I	
Basal	7.7±0.7 <sup>1) N.S.</sup>
CaCO <sub>3</sub>	8.4±1.0
CaHPO <sub>4</sub>	9.2±1.4
BBA	9.6±1.4
BBP	9.2±2.0
Expt. II	
Basal	5.8±1.5 <sup>N.S.3)</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	6.8±2.5
BBA	5.1±0.7
Expt. III	
Basal	3.4±0.8 <sup>b2)</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	7.8±2.6 <sup>a</sup>
BBA	6.1±1.9 <sup>ab</sup>

<sup>1)</sup> Mean±S.D. for 8 rats(experiment I), 5 rats(experiment II and III) per group.

<sup>2)</sup> a, b, c values within the same column with different superscripts are significantly different(p<0.05).

<sup>3)</sup> N.S. : Not significant.

Ca농도가 정상수준으로 회복될 것이 기대된다.

### 3. 조직의 Ca함량

간과 신장의 중량과 Ca함량은 Table 5에 나타난 바와 같다. 간에 있어서는 Ca급원에 따라 중량에는 각 군당 큰 차이는 없었으나, 탄산칼슘 섭취군에서 낮은 경향을 보였다. 간조직의 Ca함량은 소뼈회분 섭취군에서 다른 군에 비해 유의적(p<0.05)으로 높았다. 실험 II와 III의 결과에서는 칼슘 결핍식의 섭취에 따라 간의 중량은 유의적(p<0.05)으로 감소했으나 간조직의 Ca함량은 차이가 없었다.

신장에 있어서는 Ca급원에 따라 중량에는 차이가 없었으며, 신장의 Ca함량은 군간에 큰 차이는 없었지만 저 Ca식을 섭취한 군에서 유의적인(p<0.05) 감소를 보였다. 실험 II와 III의 결과를 보면, 실험 II의 인산칼슘 식이군에서 다른 군에 비해 10배 정도의 Ca 함량을 보이는데, 이러한 현상은 Greger등(1987)이 지적한 인산칼슘 섭취에 따른 신장조직에서의 현저한 Ca축적 현상과 일치하나 그 기전에 대해서는 아직 밝혀져 있지 않다.

본 실험의 결과를 통해, 소뼈 Ca이 조직 Ca대사에 미치는 영향은 정상적이라 할 수 있으며, 오히려 인산칼슘염에 따른 신장조직에서의 Ca축적 현상을

Table 5. Total wet weights and Ca contents of liver and kidney in rats fed experimental diets

Diet	Liver wet wt.(g)	Liver Ca(μg)	Kidney wet wt.(g)	Kidney Ca(μg)
Expt. I				
Basal	9.3±1.5 <sup>1)bc</sup>	35.2±7.3 <sup>b2)</sup>	2.2±0.5 <sup>N.S.3)</sup>	76.5±10.3 <sup>e</sup>
CaCO <sub>3</sub>	9.2±1.6 <sup>c</sup>	34.1±8.1 <sup>b</sup>	2.4±0.3	140.2±27.0 <sup>a</sup>
CaHPO <sub>4</sub>	10.4±0.4 <sup>ab</sup>	31.1±8.3 <sup>b</sup>	2.5±0.3	128.6±17.0 <sup>ab</sup>
BBA	10.2±0.7 <sup>abc</sup>	49.3±9.1 <sup>a</sup>	2.4±0.4	103.6±15.2 <sup>cd</sup>
BBP	10.3±0.7 <sup>abc</sup>	34.1±8.2 <sup>b</sup>	2.3±0.2	115.6±12.8 <sup>bc</sup>
Expt. II				
Basal	5.6±0.7 <sup>b</sup>	60.6±25.2 <sup>N.S.</sup>	1.5±0.2 <sup>N.S.</sup>	168.2±30.5 <sup>b</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	6.6±0.4 <sup>a</sup>	70.1±13.3	1.7±0.2	1154.6±168.4 <sup>a</sup>
BBA	6.7±0.9 <sup>a</sup>	73.6±2.3	1.5±0.2	187.5±15.4 <sup>b</sup>
Expt. III				
Basal	5.2±0.7 <sup>b</sup>	76.2±14.0 <sup>N.S.</sup>	1.4±0.2 <sup>N.S.</sup>	112.5±30.6 <sup>b</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	7.0±0.9 <sup>a</sup>	66.5±9.8	1.6±0.2	402.0±92.8 <sup>a</sup>
BBA	6.9±0.6 <sup>a</sup>	59.5±5.5	1.6±0.1	412.3±37.4 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Mean±S.D. for 8 rats(experiment I), 5 rats(experiment II and III) per group.

<sup>2)</sup> a, b, c values within the same column with different superscripts are significantly different(p<0.05).

<sup>3)</sup> N.S. : Not significant.

고려해 볼 때 거의 같은 염형태를 갖는 소뼈회분 Ca의 효과가 강조되어야 할 것이라 생각된다.

#### 4. 뼈조직의 Ca함량과 강도

경골의 중량, Ca함량 및 강도는 Table 6에 나타난 바와 같다. 경골의 중량에 있어서는 저Ca식이(Expt. I) 및 Ca결핍식이(Expt. II)에서 유의적인( $p < 0.05$ ) 감소를 보였으나, Ca급원이 다른 실험식이 군 간에는 차이가 없었다.

Ca함량에 있어서는 실험 I에서 보면 저Ca식이 군이 다른 군에 비해 유의적인( $p < 0.05$ ) 감소를 보였으나 칼슘염이나 소뼈 Ca섭취 군간에는 큰 차이가 없었다. 실험 II와 III에서도 Ca결핍 식이군에서 Ca함량은 유의적( $p < 0.05$ )으로 낮았지만 인산칼슘 염과 소뼈 Ca 섭취군간에는 큰 차이가 없었다. 이는 뼈중 Ca함량이 Ca급원의 종류에 의해서보다는 식이중 Ca함량에 의해서 크게 영향을 받는 것으로

보인다.

경골의 강도(breaking force)를 보면, 저Ca식이(Expt. I)와 Ca결핍식이(Expt. II, III) 섭취군에서 유의적( $p < 0.05$ )으로 낮았으며, Ca염 형태나 소뼈 Ca의 급원에 따른 차이는 거의 없었다. 그러나 실험 I 과 실험 II, III을 비교해 볼 때 암컷의 경우 수컷에 비해서 낮은 뼈의 강도를 나타냈는데, 이것은 Ca결핍식이 후 Ca식을 2주간 급여하였지만 결핍식이의 영향이 완전히 회복되지 않은 점도 있지만, 성별에 따라 뼈의 강도가 차이가 있을 것으로 추측된다.

#### 5. Ca의 소화, 흡수량

실험식이에 따른 1일 Ca섭취량, 1일 분중 Ca배설량, 겉보기 Ca소화율 [Apparent absorption(%) = {섭취량 - 분중 배설량} / 섭취량} × 100]은 Table 7에 나타난 바와 같다.

Table 6. Total weight, Ca contents and breaking force of tibia in rats fed experimental diets.

Diet	Weight (g)	Ca (mg/g)	Breaking force ( $\times 10^4$ dyne)
Expt. I			
Basal	0.9 ± 0.2 <sup>1)b</sup>	86.5 ± 19.2 <sup>2)</sup>	267.6 ± 30.4 <sup>c</sup>
CaCO <sub>3</sub>	1.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	140.9 ± 34.2 <sup>ab</sup>	674.7 ± 84.5 <sup>a</sup>
CaHPO <sub>4</sub>	1.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	158.3 ± 33.4 <sup>a</sup>	589.1 ± 53.0 <sup>ab</sup>
BBA	1.3 ± 0.2 <sup>a</sup>	140.6 ± 21.6 <sup>ab</sup>	598.0 ± 109.6 <sup>ab</sup>
BBP	1.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	150.3 ± 22.8 <sup>a</sup>	532.8 ± 66.0 <sup>b</sup>
Expt. II			
Basal	0.8 ± 0.1 <sup>b</sup>	69.1 ± 12.1 <sup>b</sup>	143.2 ± 20.4 <sup>b</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	94.9 ± 9.8 <sup>a</sup>	295.2 ± 56.6 <sup>a</sup>
BBA	1.0 ± 0.2 <sup>ab</sup>	82.9 ± 13.6 <sup>ab</sup>	345.8 ± 46.5 <sup>a</sup>
Expt. III			
Basal	0.9 ± 0.2 <sup>N.S.3)</sup>	47.2 ± 8.6 <sup>b</sup>	125.8 ± 26.0 <sup>b</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.1 ± 0.1	77.3 ± 10.9 <sup>a</sup>	393.2 ± 35.0 <sup>a</sup>
BBA	1.0 ± 0.1	84.1 ± 17.4 <sup>a</sup>	437.4 ± 67.6 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> Mean ± S.D. for 8 rats(experiment I), 5 rats(experiment II and III) per group.

<sup>2)</sup> a, b, c values within the same column with different superscripts are significantly different( $p < 0.05$ ).

<sup>3)</sup> N.S. : Not significant.

Table 7. Daily Ca intake, fecal Ca, and apparent absorption Ca of rats fed experimental diets.

Diet	Intake Ca (mg/day)	Fecal Ca (mg/day)	Apparent absorption Ca (%)
Expt. I			
Basal	32.8± 2.3 <sup>1)c</sup>	8.8± 0.3 <sup>2)</sup>	73.1± 1.6 <sup>a</sup>
CaCO <sub>3</sub>	165.5± 2.4 <sup>b</sup>	76.8± 1.5 <sup>b</sup>	53.6± 0.3 <sup>cd</sup>
CaHPO <sub>4</sub>	224.9± 1.42 <sup>a</sup>	119.9± 22.3 <sup>a</sup>	46.1± 13.5 <sup>d</sup>
BBA	219.0± 9.3 <sup>a</sup>	84.0± 5.4 <sup>b</sup>	61.6± 1.4 <sup>bc</sup>
BBP	202.7± 19.5 <sup>ab</sup>	71.4± 18.7 <sup>b</sup>	65.1± 6.1 <sup>ab</sup>
Expt. II			
Basal	19.8± 4.9 <sup>b</sup>	3.5± 0.8 <sup>a</sup>	82.1± 1.2 <sup>a</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	164.6± 47.9 <sup>a</sup>	57.8± 13.2 <sup>c</sup>	64.4± 2.9 <sup>b</sup>
BBA	166.8± 15.1 <sup>a</sup>	37.3± 9.1 <sup>b</sup>	77.7± 4.6 <sup>a</sup>
Expt. III			
Basal	27.3± 6.7 <sup>b</sup>	5.4± 1.2 <sup>b</sup>	80.0± 0.9 <sup>a</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	218.7± 28.8 <sup>a</sup>	68.7± 1.7 <sup>a</sup>	68.6± 1.9 <sup>c</sup>
BBA	224.3± 20.5 <sup>a</sup>	59.0± 6.0 <sup>a</sup>	73.7± 1.9 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup> Mean± S.D. for 8 rats(experiment I), 5 rats(experiment II and III) per group.

<sup>2)</sup> a, b, c values within the same column with different superscripts are significantly different( $p < 0.05$ ).

1일 Ca섭취량은 저Ca식이(Expt. I)군과 Ca결핍식이(Expt. II, III)군에서 유의적( $p < 0.05$ )으로 낮았고, Ca급여 군간에는 유의적인 차이가 없었다. 1일 분중 Ca배설량은 저Ca식이(Expt. I)군과 Ca결핍식이(Expt. II, III)군에서 다른 군에 비해 유의적( $p < 0.05$ )으로 낮았다. Ca급여군을 비교해 보면 인산칼슘 섭취량이 다른 군에 비해 유의적( $p < 0.05$ )으로 높았지만(Expt. I, II), 실험 III에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Ca의 소화, 흡수율은 실험 I에서 보면 저Ca식이군이 인산칼슘, 탄산칼슘, 회화처리한 소뼈보다는 유의적( $p < 0.05$ )으로 높았고, BBP군과는 유의적인 차이가 없었다. 또한 칼슘염과 소뼈 Ca를 비교해 볼 때, 소뼈 Ca군이 유의적( $p < 0.05$ )으로 흡수율이 높았는데 이것은 실험 II와 III에서도 같은 결과를 보였다. 그러나 소뼈 Ca 처리간에는 유의적인 차이를 볼 수 없었다.

저Ca식이나 Ca결핍식에 따른 Ca흡수율의 증가는 많은 실험에 의해 보고되어 왔는데, 그 기전은 생리적적응 및 능동수송의 촉진 등으로 설명되고 있다(Allen, 1982).

이상의 소뼈 Ca의 체내이용성에 대한 연구 결과를 종합해 보면 소뼈 Ca의 섭취가 다른 Ca염 섭취와 비교해 볼 때 혈액조직 및 뼈조직의 Ca함량이 정상수준을 나타냈으며, 소화흡수율에 있어서는 다른 칼슘염의 섭취에 비해 높게 평가되는 것으로 보아 소뼈 Ca이 Ca공급원으로서 효과가 있다고 본다. 또한 Ca공급원으로 이용시 소뼈의 회화 또는 냉동건조 처리등의 처리별 차이는 없는 것으로 나타났다. Ca결핍 상태에서는 소뼈Ca이 인산칼슘에 비해 더 좋은 회복효과를 나타냈으며, 완전한 회복을 위해서는 장기간 섭취가 필요하다고 사료된다. 특히 본 연구 결과로 소뼈회분 또는 분말이 Ca섭취가 부족한 노년기, 유당 불내증 및 골다공증 환자들에게 효율적인 Ca공급원으로 이용될 수 있음이 제안되었다.

## 요약 및 결론

본 연구는 소뼈 Ca의 체내 이용성을 측정함으로써 소뼈의 Ca공급원으로서 유효성을 알아보하고자 3가지 실험을 수행하였다. 즉 정상적인 수컷 흰쥐 또는 Ca결핍상태(2~4주)의 암컷 흰쥐에게 소뼈회분



(BBA), 냉동건조 소뼈분말(BBP), 탄산칼슘 및 인산칼슘등을 함유한 식이를 2~3주간 급여한 후, 성장과 식이섭취량, 혈액과 조직의 Ca함량, 뼈조직의 Ca함량과 강도 및 Ca소화흡수율 등을 측정함으로써 각 실험식이에 따른 Ca의 체내 이용성을 비교 검토하였는데, 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 성장, 식이섭취량 및 식이효율은 칼슘결핍 식이를 섭취한 군이 다른 군에 비해 유의적으로 낮았으며, 소뼈 Ca섭취군과 다른 Ca염을 섭취한 군과 차이가 없었고, 소뼈의 처리공정에 따른 차이도 없었다.

2. 혈액중 Ca농도는 소뼈 Ca섭취군과 다른 Ca염을 섭취한 군 모두 정상 수준에서 차이가 없었다. 그러나 4~6주간 Ca결핍식을 섭취한 군에서 혈중 Ca함량이 현저히 저하되었으나 인산칼슘염 또는 소뼈Ca을 섭취시 회복되는 경향을 보였다.

3. 조직의 Ca함량을 보면 소뼈 Ca섭취군에서는 처리기간 유의적인 차이를 보이지 않으면서 정상 범위의 함량을 나타냈는데 비해, 인산칼슘( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )염을 섭취한 동물에 있어서는 신장에서 현저한 Ca축적이 보였다.

4. 뼈의 무게, Ca함량 및 강도는 Ca결핍식을 섭취한 군에서 매우 낮았으며, Ca염이나 소뼈 Ca을 섭취시에 크게 증가하였다. 그러나 Ca급원에 따른 차이는 없었다.

5. Ca의 소화, 흡수율은 소뼈Ca이 다른 칼슘염에 비해 높게 평가되었으며, 소뼈 Ca처리간에는 유의적인 차이는 없었다.

이상의 연구 결과에서 소뼈 Ca의 섭취에 있어서 혈액, 조직, 뼈조직의 Ca함량이 정상수준을 나타내며, 다른 Ca염에 비해 흡수율이 높은 것으로 보아 소뼈 Ca의 체내 이용성은 높게 평가되며 Ca공급원으로서도 유효하다는 결론을 제시할 수 있다.

## 참고문헌

- Allen, L. H., 1982. Calcium bioavailability and absorption : A review. *Am. J. Clin. Nutr.* 35 : 783-808.
- Avioli, L. V., 1984. Calcium and osteoporosis. *Ann. Rev. Nutr.* 4 : 471-491.
- Ezawa, I., 1983. Studies on calcium metabolism. *J. Home Econ.(Jap)* 38 : 675-703.
- Ezawa, I., and Arai, F., 1983. the effect of Cow-Bone-Powder on osteopenia of rat model of post-menopausal osteoporosis. *J. Home Econ.(Jap)* 34 : 555-559.
- Greger, J. L., Krzykowski, C. E., Khazen, R. R., and Krashoc, C. L., 1987. Mineral utilization by rats fed various commercially available calcium supplements or milk. *J. Nutr.* 117 : 717-724.
- Heaney, R. P., Smith, K. T., Recker, R. R., and Henders, S. M., 1989. Meal effects on calcium absorption. *Am. J. Clin. Nutr.* 49 : 372-376.
- Karanja, N., and McCarron, D. A., 1986. Calcium and hypertension. *Ann. Rev. Nutr.* 6 : 475-494.
- Kobayashi, T., Okano, T., and Masuda, S., 1987. Comparison of three kinds of calcium compounds with regard to their bioavailability as calcium source. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 40 : 293-298.
- Lee, Y. S., Noguchi, T., and Naito, H., 1979. An enhanced intestinal absorption of Ca in the rat directly attributed to dietary casein. *Agri. Biol. Chem.* 43 : 2009-2011.
- Lee Y. S., Noguchi, T., and Naito, H., 1980. Phosphopeptides and soluble calcium in the small intestine of rats given a casein diet. *Br. J. Nutr.* 43 : 457-467.
- Okano, T., Tsugawa, N., Higashino, R., and et al., 1991. Effects of bovine bone powder and calcium carbonate as a dietary calcium source on plasma and bone calcium metabolism in rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 44 : 479-485.
- Raisz, L., 1977. Bone metabolism and calcium regulation. In *metabolic Bone Disease. Vol. I* (Avioli, L. V., and Krane. Eds.) N. Y., Acad. Press pp. 1-42.
- Recker, R. P., and Heaney, R. P., 1985. The effect of milk supplements on calcium metabolism, bone metabolism and calcium balance. *Am. J. Clin. Nutr.* 41 : 254-263.
- Spencer, H., and Kramer, L., 1986. NIH consensus conference : Osteoporosis factors contributing to osteoporosis. *J. Nutr.* 116 : 316-323, 1986.
- 박동연, 이연숙. 1982. 사골뼈 용출액 중의 영양 성분. *한국영양식량학회지* 11 : 47-52.
- 보건사회부. 1989. 국민영양조사보고서.
- 이연숙, 박동연, 박정숙. 1989. 소양(Cow's Rumen-reticulum)의 가열 조리시 영양성분과 맛성분의 용출에 관한 연구. *한국식문화학회지* 4 : 245-251.