

## 수돗물불소농도조정사업이 지역주민의 골밀도에 미치는 영향

한윤정 · 민진영 · 한동현\* · 김현덕\*\* · 백도명†

서울대학교 보건대학원, 보건환경연구소, \*부산대학교 치과대학, \*\*서울대학교 치과대학  
(2008. 6. 9. 접수/2008. 6. 26. 수정/2008. 7. 8. 채택)

## The Effect of Adjusted Water Fluoridation on Bone Mineral Density

Yoonjung Han · Jin-young Min · Dong-Hun Han\* · Hyun-Duck Kim\*\* · Domyung Paek†

Department of Environmental Health School of Public Health and Institute of Health and Environment,  
Seoul National University

\*Department of Preventive and Community Dentistry, Pusan National University

\*\*Department of Preventive and Social Dentistry, Seoul National University

(Received June 9, 2008/Revised June 26, 2008/Accepted July 8, 2008)

### ABSTRACT

Adjusted water fluoridation has been disputed because of its various effects on human health. Previous studies have been concerned with the difference in bone mineral density (BMD) between water fluoridated (WF) and none water fluoridated (NWF) districts. The aim of this study is to examine whether water fluoridation affects BMD. BMD was measured by dual energy X-ray absorptiometry (DXA). 386 adults (174 males and 212 females) in Ansan (WF) district and 399 adults (176 males and 223 females) in Sihwa (NWF) district, participated in this study. The Ansan and Sihwa districts are similar in residential environment and living class. The relationship between serum fluoride concentration and BMD was also examined by analysis of the serum fluoride concentrations from 402 inhabitants of the Ansan district. In females, the BMD of subjects living in Ansan ( $0.457 \pm 0.008$ ) was a little higher than that of Sihwa subjects ( $0.446 \pm 0.008$ ), although it is not significant, after adjusting for BMI, physical activity level, educational achievement, smoking volume, menopause status, and number of births. However, the BMD of Ansan subjects ( $0.532 \pm 0.020$ ) in their forties was statistically higher than that of Sihwa ( $0.498 \pm 0.019$ ). No relationship was found in males. In residential periods, there was significant difference (Ansan  $0.467 \pm 0.013$ , Sihwa  $0.434 \pm 0.012$ ,  $p=0.0125$ ) in the BMD between females of two districts, particularly in the group of over 6 year long-term inhabitants. On the contrary, there was no remarkable difference in males from the two districts. Serum fluoride concentrations in females were associated with BMD, especially in the age group of forties ( $p=0.0457$ ). No relationship was observed in the male group. Analysis of adult BMD over the age of 20 in a water fluoridated and a none water fluoridated district, confirms more or less a higher BMD in the water fluoridated (WF) district, especially for females. It is assumed that the difference between two districts came somewhat from the effect of water fluoridation.

**Keywords:** bone mineral density, water fluoridation, serum fluoride concentrations

### I. 서 론

우리나라는 1995년 국민건강증진법을 통해, “국가 및 지방자치단체는 국민의 구강 질환의 예방과 구강건강의 증진을 위하여 수돗물에 대한 불소농도조정사업을

시행하여야 한다.”라고 규정하였다. 사람들이 먹고 마시는 물에는 불소 이온이 적게는 0.5 ppm 미만부터 많게는 수 ppm에 이르기까지 다양하게 포함되어 있다. 적당한 양(0.8~1.2 ppm)의 불소 이온이 함유되어 있는 지역에 거주하는 사람들에게서 치아우식증(충치)의 발생이 현저히 낮게 나타나면서 정부는 ‘좋은 물 만들기’ 사업의 일환으로 일반적으로 수돗물에 결핍되어 있는 불소 이온을 적절한 수준으로 만들어 주는 ‘수돗물불소농도조정사업’을 시행하고 있다. 현재 불소농도가 낮겨

†Corresponding author : Department of Environmental Health School of Public Health and Institute of Health and Environment, Seoul National University  
Tel: 82-2-740-8886, Fax: 82-743-8240  
E-mail : paekdm@snu.ac.kr

나 걸립되어 있는 일부 지역의 수돗물 불소 이온 농도를 0.8 ppm으로 상향조정하여 공급하고 있는 실정이다. 수돗물불소농도조정사업은 지난 1981년 경남 진해시를 시작으로 1982년 충북 청주시 그리고 1994년 과천시로 확대되어왔다. 구강보건사업지원단의 2005년 수돗물불소농도조정사업 평가 보고서에 의하면 현재 약 380만 명(전체국민의 약 8%)이 불소가 첨가된 수돗물을 공급받고 있다. 우리나라의 수돗물 불소 기준 농도는 세계보건기구(WHO)와 동일한 1.5 ppm으로 규정되어 있다.

세계보건기구와 미국치의사협회(ADA)를 비롯한 세계 80여개 이상의 단체에서 불소의 긍정적 효과를 인 증하고 있으며, 우리나라에서도 대한치의사협회를 비롯한 각종 단체에서 이 사업의 안전성을 인 증하고 있다. 그러나 이러한 불소의 효용성에 대한 긍정적 측면과는 반대로 농도가 높을 경우의 각종 부작용,<sup>1)</sup> 소아에 대한 건강의 부정적인 영향이나 불소의 체내 축적을 통한 건강상의 악영향 등을 근거로 수돗물 불소화 사업에 대한 적극적인 반대의 목소리도 높은 상황이다.

최근까지 수돗물 불소화에 따른 치아우식증에 대한 예방효과와는 별개로 그 외의 인체영향에 대한 많은 역학적 연구가 이루어져 왔다. 특히 외국의 많은 사례에서 골밀도, 골절등의 골격계와 관련한 건강영향에 대해 다수의 보고가 있었는데 이러한 연구들에서 불소화는 골밀도를 높이거나, 오히려 낮추거나, 혹은 아무런 영향을 주지 않는 것으로 일관되지 않은 결과들을 보고하고 있다. 47-59세의 폐경전후의 여성들을 대상으로한 연구에서 불소 1.0 mg/l 전후의 노출군과 0.3 mg/l 이하의 대조군간의 척추와 고관절의 골밀도를 비교한 결과 노출군에서 골밀도의 유의한 증가를 관찰하였으며,<sup>2)</sup> 18-25세의 젊은 여성의 전후방요추(total anterior-posterior lumbar spine, APS)의 골밀도를 측정 한 연구에서도 유사한 결과를 제시하였다.<sup>3)</sup> 또한 20-92세 여성 1300명의 혈청불소농도와 골밀도(고관절, 요추, 원위부 요골)를 조사한 결과 두변수간의 관련성이 없음을 보고하였으며,<sup>4)</sup> 노인을 대상으로 불소화와 골절간의 관련성을 조사한 연구 결과에서는 불소화 지역에서 골절의 위험은 증가되지 않는 것으로 조사되었다.<sup>5)</sup> 한편 불소가 함유된 식수를 사용한 백인여성노인을 대상으로 20년간 추적 조사한 결과 장기간 불소에 노출된 군에서 그렇지 않은 군에 비해 고관절과 척추 골절이 유의한 감소 경향을 보였으며 그 외 부분의 골절은 두 군 간의 유의한 차이가 없었다.<sup>6)</sup>

골다공증 환자를 대상으로 한 연구에서는 불소치료가 지주골량과 척추 골밀도를 증가시킨다고 보고하였고<sup>7,8)</sup>

또한 척추 골밀도 증가와 척추 골절위험 감소에 유의한 연관성에 관해 밝힌 선행연구를 찾아볼 수 있었다.<sup>9)</sup> 그러나 또 다른 연구에서는 불소치료가 고관절과 체지방의 골절을 증가시키는 것으로 조사되었다.<sup>10)</sup>

불소화와 건강영향에 관하여 지난 1999년 서울대학교 환경의학연구소에서 수돗물 불소화가 건강에 미치는 영향을 골절, 암발생, 생식기계, 신장, 소화기계 등 8개 항목으로 나누어 의과학적 검토를 거친 결과를 발표하였는데, 8개 항목 중 대부분의 결과에서 불소가 인체에 미치는 부정적인 영향에 대한 증거가 불충분하다는 이유로 인체에 무해하다고 결론지었다.<sup>11)</sup> 이후 수불 사업에 대한 계속된 의학적 고찰에서도 동일한 보고가 있었다.<sup>12,13)</sup> 그러나 이러한 연구는 실제 수돗물 불소농도조정사업 시행 지역의 거주자의 직접적 생체지표를 통한 분석이 아닌 문헌고찰 중심으로 수행된 제한점을 갖는다.

본 연구에서는 수돗물불소농도조정사업에 따른 건강영향 중 골밀도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위해 수돗물불소농도조정사업 지역에 거주하는 주민과 비사업지역 거주민의 골밀도를 비교하였으며, 수돗물불소농도사업지역 주민의 혈청불소농도가 골밀도와 연관성을 갖는지 함께 조사하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

2005년 8월부터 2006년 8월 사이에 시행된 안산·시화지역 건강검진에서 수돗물불소농도사업(수불사업)지역 주민과 그와 인접함과 동시에 전반적인 주거환경 및 생활수준이 유사한 비 사업지역의 만 20세 이상 성인 각각 568명(안산), 624명(시화)의 골밀도 검사 시행자 중 관련변수인 연령, 성별, 신장, 체중, BMI, 교육수준, 소득수준, 신체활동, 칼슘섭취, 칼슘보충제제, 흡연, 알콜섭취량, 출산자녀수, 폐경여부가 모두 조사된 386명(남성 174명, 여성 212명), 399명(남성 176명, 여성 223명)을 대상으로 두 지역간 골밀도 차이를 비교하였다.

또한 수돗물불소농도조정사업 지역의 골밀도와 혈청 불소농도간의 연관성 조사 분석은 앞서 두 지역 간 골밀도 비교에서 최종적으로 고려된 연관변수(여성: BMI, 신체활동, 흡연, 출산자녀수, 폐경여부, 교육수준, 소득수준/남성: BMI, 신체활동, 흡연, 알콜섭취량, 교육수준, 소득수준)와 관련된 검사 및 설문과 혈액검사를 모두 실시한 402명(남성 177명, 여성 225명)에 대하여 수행되었다.

본 연구의 수행을 위한 기관윤리위원회(IRB)의 연구 허가를 확보하기 위하여 서울대학교 보건대학원과 서울대학교 치의학전문대학원의 연구윤리심의위원회에서 연구윤리 승인을 획득한 후 연구를 수행하였다.

## 2. 연구방법

### 1) 골밀도 측정

대상자의 골밀도는 발뒤꿈치(Os calcis)를 측정하였으며,<sup>14-16</sup> 이중 에너지 X-선 흡수법(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)을 이용해 발뒤꿈치뼈나 요골 말단을 측정할 수 있는 기기를 사용하였다(PIXI, Lunar Corp., Medison, WI). 이 기기는 대퇴경부나 요추골부위를 DXA 방식으로 측정한 골밀도에 대해 0.61~0.64 정도의 예측치를 가지며, 정밀도(CV%)는 1.2~1.6%인 것으로 보고 있다. 관심영역(region of interest, ROI)은 골밀도 측정기와 연결된 컴퓨터 소프트웨어(version 1.47.008)에 의해 자동으로 감지되도록 되어 있다. 관심 영역에서 엑스선이 투과된 골무기질량(bone mineral content, BMC, grams)이 측정되며, 이를 투과 단면적(projected area, cm<sup>2</sup>)으로 나눈 면적 골밀도(bone mineral density, BMD, g/cm<sup>2</sup>)가 산출된다.

$$\text{골밀도(BMD, g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{관찰된 골량(BMC, grams)}}{\text{측정부위 면적(area, cm}^2\text{)}}$$

일반적으로 주로 사용하는 손(dominant hand)과 같은 방향의 발(dominant foot)을 주로 사용한다고 알려져 있다. 따라서 체중의 부하는 지지대 역할을 하는 반대편 다리가 더 많이 받게 되므로<sup>17</sup> 이러한 변이를 최소화 하고자 주 사용 손의 방향을 조사하여 주로 사용하는 발뒤꿈치의 골밀도 값으로 분석하였다. 검사는 신발을 벗고 맨발 혹은 금속성이 없는 양말을 신고 측정한다. 매일 검사 시작 전 정도관리를 실시하였다.

### 2) 혈액 채취 및 혈청불소 분석

연구 대상자는 사전에 충분히 설명을 듣고 자발적 동의하에 서면 동의를 작성한 후 5 ml의 정맥혈을 채취하였다. 혈액의 불소농도 조사를 위해 원심분리기를 이용하여 혈청을 분리하고 -20°C에서 보관하였다. TISAB II(total ionic strength adjustment buffer II) 용액과 불소이온전극(Orion Research EA940)을 사용하여 표준용액의 검량선 작성을 하였다. 불소 이온 표준원액(100 ppm)을 농도별로 희석하여 0.004, 0.006, 0.010, 0.029, 0.048 ppm의 표준용액을 준비하였다. 다음 각각의 표준용액 10 ml와 1:1 비율로 TISAB II용

액 10 ml를 50 ml 튜브에 넣고 흔들어 섞었다. 상온(25°C)에서 불소 이온전극을 침적시키고 기포가 일어나지 않는 범위 내에서 일정한 속도로 교반하여 전위가 안정될 때의 값을 측정하였다. 저농도에서 고농도의 순으로 시행하여 검량선을 작성하였다. 혈청의 불소 농도 측정은 별도의 전처리 과정을 거치지 않고 채취한 혈청 시료에 TISAB II 용액을 1:1로 적용한 후 불소이온전극을 사용하여 불소농도를 측정하였다. 3회 반복 측정하여 평균값으로 혈청의 불소 농도로 삼았다. 매 시료의 측정이 완료된 뒤에는 증류수와 광유(mineral oil)를 이용하여 전극 표면을 세척해 주었다.

### 3) 설문조사

설문조사는 사전에 훈련된 설문원이 건강검진에 참여한 대상자에게 검진 진행 중 혹은 검진이 끝난 후 각 문항마다 간략히 설명을 해준 후 대상자가 직접 기입하도록 하였다. 골밀도에 영향을 줄 수 있는 신장, 체중, 소득, 교육수준, 음주력, 흡연력, 약물 복용 여부, 규칙적 운동여부, 식이 등 인구, 사회학적 설문 조사를 실시하였다. 여성의 경우 초경나이, 폐경여부, 초산 나이, 출산 횟수, 폐경기 호르몬 체계 복용 여부 등 조사하였다. 설문 시작 전에 참가자들의 서면동의를 받은 후 조사를 진행하였다.

### 4) 통계분석

본 연구의 통계분석을 크게 두 가지로 나누어 시행하였다.

먼저, 수불지역과 비수불지역 주민의 골밀도 간 차이를 비교하기 위하여, 두 지역(안산/시화) 주민들의 일반적인 특성을 기술하고 비교하였다. 지역 간 골밀도의 차이는 BMI, 신체활동, 음주, 흡연, 소득, 교육 수준, 칼슘식이, 폐경 등 골밀도와 관련을 있다고 보고된 변수 중 상관분석을 통해 연관성이 있는 변수를 독립변수로 하여 일반선형 모델(general linear regression model)로 분석하였다.

두 번째 분석은 수돗물불소농도조정사업지역인 안산 지역 주민의 혈청불소농도와 골밀도간의 관련성을 조사하기 위하여, 골밀도를 종속변수로 하고 혈청불소농도와 마찬가지로 BMI, 신체활동, 음주, 흡연, 소득, 교육 수준, 칼슘식이, 폐경을 독립변수로 하여 다변량 분석을 실시하였다. 혈청불소농도는 로그 변환하여 정규성을 확보하였다. 일반적으로 골밀도는 성별과 연령에 의해 가장 크게 영향을 받으므로 이들 변수로 총화하여 일반선형모델로 통계분석을 실시하였다.<sup>18,19)</sup>

통계 프로그램은 SAS(version 9.1)을 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 연구결과

1) 수돗물불소농도조정사업 지역과 비 사업 지역 주민의 골밀도 비교

##### (1) 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성을 살펴보면, 여성의 경우 수돗물불소농도조정사업을 시행중인 안산지역 212명, 비 사업지역인 시화의 223명을 대상으로 분석하였으며, 평균연령은 각각 41.24(±11.73), 42.05(±12.31)로 차이

가 없었다. 연령대별 분포는 두 지역 모두 30대(약 39%)가 가장 많았다. 신장과 BMI는 두 지역 간 통계적으로 유의한 차이를 보였으나 체중은 차이가 없는 것으로 나타났다. 학력의 경우 두 지역에서 모두 80% 가량이 고등학교 이상 수준을 나타냈으며, 소득의 경우도 약 80%가 400만원 미만으로 나타났다. 교육, 소득에서 모두 두 지역 간 유의한 차이가 있었다. 거주기간, 운동량, 칼슘 섭취, 칼슘제복용, 흡연력, 폐경여부 모두에 있어 두 지역 간 차이는 없었으며, 알콜소비와 출산자녀수의 항목에서 시화지역이 유의하게 높게 나타났다(Table 1).

**Table 1.** Distribution of general characteristics

	FEMALE		p-value	MALE		p-value
	ANSAN (N=212)	SIHWA (N=223)		ANSAN (N=174)	SIHWA (N=176)	
	Mean(SD) or N(%)	Mean(SD) or N(%)		Mean(SD) or N(%)	Mean(SD) or N(%)	
Age	41.34(11.73)	42.05(12.31)	0.5389	43.41(12.01)	43.95(10.59)	0.6586
Age group						
20-29	27(12.74)	23(10.31)	0.1131	17(9.77)	6(3.41)	<b>0.0001</b>
30-39	83(39.15)	87(39.01)		56(32.18)	47(26.70)	
40-49	54(25.47)	70(31.39)		54(31.04)	92(52.28)	
50-59	28(13.21)	15(6.73)		28(16.09)	11(6.25)	
60-	20(9.43)	28(12.56)		19(10.92)	20(11.36)	
Height (cm)	157.45(5.55)	156.09(5.66)	<b>0.0113</b>	169.67(5.71)	169.43(5.64)	0.6920
Weight (kg)	57.50(8.35)	57.83(8.61)	0.6807	69.28(8.60)	71.85(10.46)	<b>0.0124</b>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.19(3.20)	23.75(3.41)	0.0810	24.07(2.78)	24.99(3.16)	<b>0.004</b>
Education						
Middle school	26(12.26)	48(21.52)	<b>0.0102</b>	13(7.47)	22(12.50)	0.1169
Over High school	186(87.74)	175(78.48)		161(92.53)	154(87.50)	
Income(won)						
<4,000,000	168(79.25)	196(87.89)	<b>0.0147</b>	141(81.03)	154(87.50)	<b>0.0966</b>
≥4,000,000	44(20.75)	27(12.11)		33(18.97)	22(12.50)	
Residential period(month)	64.68(71.27)	67.33(61.49)	0.6891	71.71(104.74)	67.51(67.45)	0.6669
Exercise						
Yes	93(43.87)	99(44.39)	0.9120	80(45.98)	86(48.86)	0.5887
No	119(56.13)	124(55.61)		94(54.02)	90(51.14)	
Monthly exercise time(min)	428.78(635.32)	471.61(758.89)	0.5228	488.75(806.20)	455.62(678.99)	0.6780
Calcium intake						
Insufficiency	117(55.19)	135(60.54)	0.2586	105(60.34)	102(57.95)	0.6492
Normal	95(44.81)	88(39.46)		69(39.66)	74(42.05)	
Calcium supplyment						
Yes	17(8.02)	24(10.76)	0.3276	3(1.72)	3(1.70)	0.9887
No	195(91.98)	199(89.24)		171(98.28)	173(98.30)	
Smoking(pack_year)	0.02(0.34)	0.06(0.61)	0.5098	9.01(12.70)	13.06(13.34)	<b>0.0038</b>
Alcohol consumption	3.30(6.55)	5.30(9.18)	<b>0.0115</b>	24.18(38.43)	26.84(39.69)	0.5242
Number of births	1.79(1.01)	2.13(1.30)	<b>0.0022</b>			
Menopause						
Yes	50(23.58)	49(21.97)	0.6886			
No	162(76.42)	174(78.03)				

남성의 경우 대상자 수는 안산 174명, 시화가 176명이었으며, 안산지역 평균연령 43.41(±12.01), 시화지역 43.95(±10.59)로 두 지역 간 차이는 없었다. 거주기간, 신장, 교육수준, 소득, 운동량, 칼슘섭취, 칼슘제복용, 알콜소비의 항목에서 각기 지역 간 차이는 없었다. 체중, BMI에서 시화지역이 71.85(±10.46), 24.99(±3.16)로 안산지역의 69.28(±8.60), 24.07(±2.78)보다 유의하게 높게 나타났다. 흡연량도 시화지역이 유의하게 높았다(Table 1).

(2) 수돗물불소농도조정사업 지역과 비 사업 지역 주민의 골밀도 비교

골밀도에 영향을 주는 변수를 선별하여 실제 골밀도와 상관분석을 통해 연관성이 있는 변수를 독립변수로 구성하여 실제 두 지역 간 골밀도의 차이가 있는지 여부를 판단하였다. 여성의 경우 BMI, 신체활동, 교육수준, 소득수준, 흡연량, 폐경여부, 출산자녀수를 독립변

수로 하여 두 지역 간 골밀도를 비교한 결과 전체 집단에서는 수불 사업 지역인 안산이 0.457(±0.008), 비 사업 지역인 시화가 0.446(±0.008)로 안산지역 여성이 약간 높은 수준으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 40대 여성에서는 안산지역이 0.532(±0.020)로 시화지역의 0.498(±0.019)보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(p=0.0293). 각 연령대 별로 20대를 제외하고는 안산지역이 모두 높은 골밀도 평균을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 2).

남성의 경우도 안산 0.606(±0.011), 시화 0.600(±0.012)로 안산지역 골밀도 평균이 높게 나왔으나 두 지역 간 유의한 차이는 없었으며, 연령별 층화하여 분석한 결과도 역시 동일하였다(Table 3).

(3) 거주기간별 수돗물불소농도조정사업 지역과 비 사업 지역 주민의 골밀도 비교

여성과 남성을 각각 거주기간별로 범주화하여 두 지

**Table 2.** Multivariate adjusted bone mineral density (g/cm<sup>2</sup>) by age group in female<sup>‡</sup>

Age group	ANSAN (N=212)			SIHWA (N=223)			p-value
	N	Mean	SE	N	Mean	SE	
20-29	27	0.421	0.043	23	0.464	0.047	0.0860
30-39	83	0.490	0.034	87	0.483	0.034	0.5727
40-49	54	0.532	0.020	70	0.498	0.019	<b>0.0293</b>
50-59	28	0.481	0.020	15	0.444	0.029	0.2127
60-	20	0.349	0.018	28	0.354	0.017	0.7978
Total	212	0.457	0.008	223	0.446	0.008	0.1487

<sup>‡</sup>Adjusted by area, BMI, monthly exercise time, smoking, number of births, menopause status.

**Table 3.** Multivariate adjusted bone mineral density (g/cm<sup>2</sup>) by age group in male<sup>‡</sup>

Age group	ANSAN (N=174)			SIHWA (N=176)			p-value
	N	Mean	SE	N	Mean	SE	
20-29	17	0.649	0.037	6	0.657	0.046	0.9021
30-39	56	0.587	0.029	47	0.604	0.032	0.3670
40-49	54	0.621	0.020	92	0.606	0.018	0.3919
50-59	28	0.540	0.0279	11	0.557	0.038	0.6519
60-	19	0.617	0.029	20	0.577	0.027	0.2400
Total	174	0.606	0.011	176	0.600	0.012	0.5932

<sup>‡</sup>Adjusted by area, BMI, monthly exercise time, smoking, alcohol consumption.

**Table 4.** Multivariate adjusted bone mineral density (g/cm<sup>2</sup>) by residential period in female

Residential period (year)	ANSAN (N=195)			SIHWA (N=211)			p-value
	N	Mean	SE	N	Mean	SE	
≤2	45	0.459	0.020	44	0.439	0.020	0.3625
3-5	83	0.443	0.014	77	0.449	0.013	0.6388
≥6	52	0.467	0.013	90	0.434	0.012	<b>0.0125</b>

<sup>‡</sup>Adjusted by area, BMI, monthly exercise time, smoking, number of births, menopause status.

**Table 5.** Multivariate adjusted bone mineral density (g/cm<sup>2</sup>) by residential period in male

Residential period (year)	ANSAN (N=163)			SIHWA (N=166)			p-value
	N	Mean	SE	N	Mean	SE	
≤2	46	0.556	0.041	32	0.551	0.039	0.8562
3-5	64	0.652	0.023	70	0.630	0.022	0.2392
≥6	42	0.591	0.018	64	0.615	0.019	0.2053

<sup>†</sup>Adjusted by area, BMI, monthly exercise time, smoking, alcohol consumption.

역의 골밀도 평균을 살펴보았을 때, 여성의 경우 6년 이상 거주한 집단에서 안산 0.467(±0.013), 시화 0.434(±0.012)로 안산의 골밀도 평균이 유의하게 높게 나타났다(p=0.0125)(Table 4). 실제 안산의 수도물 불소농도 조정사업은 1999년 이후 시작되었으므로, 상대적으로 불소화된 수도물에 장기간 노출된 집단이라고 규정할 수 있는 6년 이상 거주자에게서 골밀도의 평균이 대조군 지역에서보다 높게 나왔다는 점이 주목할 만하다. 남성은 모든 기간별로 두 지역 간 골밀도의 차이는 관찰되지 않았다(Table 5).

2) 수도물불소농도조정사업 지역주민의 골밀도와 혈청불소농도간의 연관성 분석

(1) 연구대상자의 일반적 특성

수도물불소농도조정사업이 시행되고 있는 안산지역의 거주자의 골밀도와 혈청불소농도간의 연관성을 알아보고자 연구대상자의 일반적 특성을 정리하였다. 안산 수불사업지역의 만 20세 이상 거주자 여성 225명, 남성 177명을 대상으로 분석하였으며, 평균연령은 각각 41.23(11.70), 43.66(12.07)이었다. 연령대별로는 여성은 30대(약 38%), 남성의 경우 40대(약 32%)가 다수를 차지했다. 성별 골밀도 평균은 여성이 0.49, 남성이 0.59으로 나타났다. 혈청불소농도 평균값은 여성 0.0204, 남성 0.0215으로 조사되었다. BMI 평균값은 남녀 모두 WHO 과체중 기준 이하로 나타났다(여성: 23.21, 남성: 24.00). 교육수준의 경우 남녀 모두 약 90% 가량이 고등학교 이상의 학력을 보였으며, 소득의 경우도 약 80%의 대부분이 400만원 미만으로 나타났다. 규칙적인 운동량을 조사한 항목에서는 여성이 월평균 450.22분, 남성이 565.05분으로 남성이 상당히 높게 조사되었다. 흡연은 남성이 연간 평균 10.22갑을 소비하는 것으로 나타났으며 여성의 경우 매우 미미한 수준으로 나타났다(0.02). 음주량은 맥주를 기준으로 여성이 월 3.60병, 남성이 26.25병으로 여성에 비해 남성이 상당히 높은 수준의 알코올을 섭취하고 있는 것으로 조사되었다. 여성의 평균 출산자녀 수는 1.78명이었으며, 약 24%의 여성은 폐경을 경험

**Table 6.** Distribution of general characteristics in ANSAN (fluoridated area) participants

	FEMALE (N=225)	MALE (N=177)
	Mean(sd) or N(%)	Mean(sd) or N(%)
Age(year)	41.23(11.70)	43.66(12.07)
Age group		
20-29	30(13.33)	18(10.17)
30-39	85(37.78)	53(29.94)
40-49	58(25.78)	56(31.64)
50-59	32(14.22)	30(16.95)
60-	20(8.89)	20(11.30)
BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.49(0.09)	0.59(0.11)
Serum fluoride concentrations(ppm)	0.0204±0.0069	0.0215±0.0071
age group 20-39	0.0194±0.0066	0.0196±0.0064
age group 40-	0.0214±0.0071	0.0227±0.0073
Log (Serum fluoride)	-3.95(0.32)	-3.89(0.31)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.21(3.08)	24.00(2.88)
Education		
Middle school	28(12.44)	16(9.04)
Over High school	197(87.56)	161(90.96)
Income(won)		
<4,000,000	180(80)	148(83.62)
≥4,000,000	45(20)	29(16.38)
Monthly exercise time (min)	450.22(681.89)	565.05(1153.84)
Smoking(pack_year)	0.02(0.33)	10.10(14.33)
Alcohol consumption (bottle/month)	3.60(7.09)	26.25(41.75)
Number of births	1.78(1.02)	
Menopause		
Yes	54(24)	
No	171(76)	

한 것으로 나타났다(Table 6).

(2) 수도물불소농도조정사업 지역주민의 골밀도와 혈청불소농도간의 연관성 분석

통계적으로 유의한 연관성을 찾을 수는 없었으나, 골

밀도 평균값이 전반적으로 안산지역이 시화지역에 비해 높게 나타났으며, 이러한 안산지역의 골밀도에 실제 수돗물불소농도조정사업으로 인한 건강영향이 있는지 구명하기 위해 혈청불소농도를 관련보정변수와 함께 독립변수로 구성하여 연관성을 살펴보았다.

안산지역 주민의 혈청불소농도의 평균을 성별, 연령별로 구분하여 봤을 때, 전반적으로 남성이 여성에 비해 불소 농도가 높으며(여성 0.0204±0.0069, 남성 0.0215±0.0071), 남, 녀 모두 40세 이상의 집단이 40세 이하 보다 각각 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였다(p<0.05)(Table 6).

여성의 경우 실제 골밀도 값과 유의한 상관관계가 있는 모든 관련 변수를 독립변수로 하여 분석한 결과, 혈청 불소농도와 골밀도는 약한 연관성(p=0.0684)이 있는 것으로 나타났다(Table 7). 또한 40세 이상 연령대에서는 혈청 불소농도가 골밀도 값에 통계적으로 유의한 연관성을 보이는 것을 알 수 있었다(p=0.0457). 40세 이상의 그룹에서 혈청불소농도와 골밀도의 연관성을 확인 할 수 있었던 것은 거주기간이 상대적으로 길기 때문이라고 추정할 수 있을 것이다(Table 8).

반면에 남성 대상자는 연령, BMI, 운동량, 흡연, 음주량, 교육수준, 소득수준의 변수를 독립변수로 구성하여 분석하였으나 불소농도와 골밀도간의 연관성을 확인할 수 없었다(Table 9, 10).

2. 고찰

본 연구는 끊임없이 논란이 되고 있는 수돗물 불소화 사업의 사업 목적에 의도하지 않은 2차적인 건강영향

Table 8. Result of multivariate analysis by age group in female

Variable	Estimate	SE	p-value
Age group: 20-39			
Serum fluoride <sup>†</sup>	0.0100	0.0219	0.6477
BMI	0.0075	0.0022	<b>0.0007</b>
Monthly exercise time(min)	0.0000	0.0000	<b>0.0202</b>
Smoking(pack_year)	-0.0206	0.0142	0.1516
Number of births	-0.0009	0.0070	0.9021
Menopause_yes	0.0401	0.0319	0.2115
Menopause_no		reference	
Education_under high school	-0.0606	0.0710	0.3953
Education_over high school		reference	
Monthly income (<4,000,000won)	0.0214	0.0170	0.2111
Monthly income (≥4,000,000won)		reference	
Age group: 40-			
Serum fluoride <sup>†</sup>	0.0499	0.0247	<b>0.0457</b>
BMI	0.0088	0.0030	<b>0.0043</b>
Monthly exercise time(min)	0.0000	0.0000	0.1809
Smoking(pack_year)	.	.	.
Number of births	-0.0112	0.0098	0.2580
Menopause_yes	-0.1017	0.0165	<b>&lt;.0001</b>
Menopause_no		reference	
Education_under high school	-0.0489	0.0200	<b>0.0164</b>
Education_over high school		reference	
Monthly income (<4,000,000won)	-0.0205	0.0198	0.3019
Monthly income (≥4,000,000won)		reference	

<sup>†</sup>Values were log transformed.

Table 7. Result of multivariate analysis in female

Variables	Estimate	SE	p-value
Serum fluoride <sup>†</sup>	0.0309	0.0169	<b>0.0684</b>
Age <40	0.0045	0.0134	0.7385
Age ≥40		reference	
BMI	0.0099	0.0018	<b>&lt;.0001</b>
Monthly exercise time(min)	0.0000	0.0000	<b>0.0324</b>
Smoking(pack_year)	-0.0188	0.0157	0.2341
Number of births	-0.0070	0.0059	0.2382
Menopause_yes	-0.0789	0.0142	<b>&lt;.0001</b>
Menopause_no		reference	
Education_under high school	-0.0608	0.0178	<b>0.0008</b>
Education_over high school		reference	
Monthly income (<4,000,000won)	0.0060	0.0132	0.6485
Monthly income (≥4,000,000won)		reference	

<sup>†</sup>Values were log transformed.

Table 9. Result of multivariate analysis in male

Variable	Estimate	SE	p-value
Whole age group			
Serum fluoride <sup>†</sup>	-0.0298	0.0267	0.2649
Age <40	0.0320	0.0166	0.0559
Age ≥40		reference	
BMI	0.0103	0.0027	<b>0.0002</b>
Monthly exercise time(min)	0.0000	0.0000	0.4497
Smoking(pack_year)	-0.0006	0.0006	0.3378
Monthly alcohol consumption	-0.0002	0.0002	0.4384
Education_under high school	-0.0277	0.0288	0.3385
Education_over high school		reference	
Monthly income (<4,000,000won)	-0.0228	0.0212	0.2844
Monthly income (≥4,000,000won)		reference	

<sup>†</sup>Values were log transformed.

**Table 10.** Result of multivariate analysis by age group in male

Variable	Estimate	SE	p-value
Age group: 20-39			
Serum fluoride <sup>‡</sup>	-0.0662	0.0389	0.0934
BMI	0.0038	0.0040	0.3497
Monthly exercise time(min)	0.0000	0.0000	0.7043
Smoking(pack_year)	-0.0014	0.0014	0.3215
Monthly alcohol consumption	0.0004	0.0004	0.3146
Education_under high school	-0.0648	0.0701	0.3586
Education_over high school		reference	
Monthly income (<4,000,000won)	-0.0727	0.0286	<b>0.0135</b>
Monthly income (≥4,000,000won)		reference	
Age group: 40-			
Serum fluoride <sup>‡</sup>	-0.0302	0.0363	0.4086
BMI	0.0141	0.0037	<b>0.0003</b>
Monthly exercise time(min)	0.0000	0.0000	0.2776
Smoking(pack_year)	-0.0004	0.0007	0.6022
Monthly alcohol consumption	-0.0003	0.0002	0.1986
Education_under high school	-0.0232	0.0336	0.4921
Education_over high school		reference	
Monthly income (<4,000,000won)	0.0155	0.0307	0.6141
Monthly income (≥4,000,000won)		reference	

<sup>‡</sup>Values were log transformed.

중 골밀도와와의 연관성을 살펴보고자 하였다. 지난 1999년 이후 사업이 시행되어 진행중인 안산 지역을 실험군으로, 그와 지리적, 사회적, 환경적 여건이 유사한 시화 지역을 대조군으로 하여 두 지역 간 골밀도의 차이를 살펴보았다.

자료 분석 전반에 걸쳐 남성에 비해 여성 대상자의 결과가 두 지역 간 골밀도의 평균값, 혈청불소농도와 골밀도 간의 연관성 모두에 있어 상당부분 통계적 의미를 갖는 값을 보였다. 두 지역 골밀도 값의 평균을 비교하였을 때, 여성 전체를 살펴보면 통계적으로 유의하지는 않았으나 안산지역이 시화지역보다 높은 값을 보였으며( $p=0.1487$ ), 특히 40대의 경우 실제로 안산지역이  $0.532(\pm 0.020)$ , 시화지역의  $0.498(\pm 0.019)$ 보다 유의하게 높게 나타났다( $p=0.0293$ ). 일반적으로 여성의 경우 30대 초반 최대 골량을 나타낸 후 골밀도가 감소하며 특히 40대 폐경이후 급격히 골량이 감소하게 되는데<sup>20)</sup> 골밀도의 가장 가파른 손실을 보이는 이때가 상대적으로 다른 원인에 대한 감수성이 높은 시기이므로 위와 같은 결과가 나타났다고 생각할 수 있을 것이다.

또한 40대 이상의 그룹에서 혈청불소농도와 골밀도의 연관성을 확인할 수 있었던 것은 상대적으로 긴 거주 기간을 고려해 볼 수 있을 것이다. 여성의 경우 6년 이상 거주한 집단을 살펴 보았을 때 수불사업지역인 안산의 골밀도 평균이 유의하게 높게 나타났는데( $p=0.0125$ ), 실제 안산의 수돗물불소농도조정사업은 1999년 이후 시행되기 시작하였고, 상대적으로 불소화된 수돗물에 장기간 노출된 집단이라고 규정할 수 있는 6년 이상 거주자에게서 골밀도의 평균이 대조군 지역에서보다 높게 나왔다는 점은 주목할 만하다. 이에 반해 남성은 두 지역 간의 차이도 여성에 비해 현저히 낮았으며, 전반적으로 두 집단 간 차이를 발견할 수 없었다. 마찬가지로, 혈청불소농도와 골밀도 간의 관련성을 분석한 결과에 있어서도 특별한 상관관계를 찾을 수 없었다. 이는 남성의 경우 여성에 비해 직업적 이유로 실제로 거주하는 지역을 벗어나 생활하는 빈도 혹은 시간이 길 가능성이 크며, 따라서 불소화된 수돗물에 대한 노출이라는 지역적 차이가 희석될 가능성을 생각해 볼 수 있을 것이다. 또한 남성의 골밀도 자체가 여성보다 높으며,<sup>21)</sup> 연령별 변이도 크지 않음을 고려해 볼 때 여성에 비해 특정 원인에 대한 감수성이 낮을 것임을 예상할 수 있다.

불소이온농도측정법에는 생체의 이온전극이용측정법, 이온크로마토그래피법 등을 이용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 생체외에서 이온전극을 이용하여 측정할 경우 일반적인 불소이온전극을 이용하면 일정 수준 이상의 양만을 측정할 수 있기 때문에, 미량으로 채취될 수 밖에 없는 치면세균막으로는 현실적으로 측정이 불가능한 경우가 많았다. 주로 많이 사용해 온 이온크로마토그래피법의 경우는 정량분석이 가능한 방법이나 고가의 기구를 구입해야 하고, 불소이온 측정용 칼럼을 따로 구입해야 하는 어려움이 있다. 또한 측정에 복잡한 전처리 과정을 거쳐야 하기 때문에 손쉽게 원하는 결과를 측정하기 곤란한 점이 있었다. 본 연구에서는 불소이온전극을 이용해 측정을 하였다. 일반적으로 불소이온전극을 이용한 측정법은 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 측정이 쉬우며, 둘째, 간단하고 쉽게 기술 습득이 가능하고 셋째, 한꺼번에 여러 개의 샘플을 측정할 수 있다. 그러나 불소이온농도가 미량일 경우 검량선의 기울기가 달라지므로 측정하고자 하는 시료의 대략적인 이온농도 범위에 맞추어 검량선을 작성해야 한다. 본 연구에서 0.004, 0.006, 0.010, 0.029, 0.048 ppm의 표준용액으로 검량선을 작성하고 시료측정을 하였으나 불소이온농도가 매우 저농도인 점이 측정방법의 한계로 지적할 수 있다.

본 연구에서는 수돗 사업으로 인한 골격계 건강영향을 알아보고자 하였으나, 실제 안산지역의 사업기간이 기존 연구에서 연관성 여부를 보고하고 있는 기간에 비해<sup>5,6</sup> 짧아 구체적인 연관성 여부를 확정하는데 어려움이 있었다. 또한 식이, 치과관련 활동 등 수돗물 이외의 다양한 불소섭취 경로와 양이 명확히 고려되지 못한 한계가 있으며, 신체활동에 관한 변수가 개인의 총 활동량으로 고려된 것이 아닌 단점이 있다. 다만, 체내 불소의 주요 섭취원인 물, 음료, 식품, 불소 함유 치약 등 가운데 실제로 약 80% 이상의 불소섭취는 물과 음료로부터 이루어진다고 보고된 바와 같이<sup>22</sup> 직접적인 음용과 음식 조리 시 사용된 수돗물이 불소 섭취의 상당 부분을 차지할 것이라고 생각된다. 실제 수돗물불소농도조정사업 시행지역 거주자를 대상으로 뇨, 손톱, 발톱 등의 생체지표를 통한 불소배출농도를 조사한 결과 다양한 연구에서 이들 사업지역 거주자들의 불소농도가 일반 지역에 비해 유의하게 높게 나타나고 있음을 보고하고 있다.<sup>23-25)</sup>

앞서 밝힌 제한점에도 불구하고 본 연구에서는 현재 수돗물불소농도조정사업 시행지역과 그렇지 않은 지역 주민의 건강영향으로 골밀도를 직접 비교하였다는 점에서 연구의 의의를 가진다. 수돗사업 시행지역과 비사업 지역의 만 20세 이상 성인의 골밀도를 분석한 결과 사업지역에서 다소간 높은 골밀도 수치를 확인할 수 있었으며, 특히 여성의 경우 두 지역 간 차이가 일정부분 수돗사업의 효과라 추정된다. 이러한 연구 결과는 추후 우리나라 수돗사업 평가에 활용할 수 있는 기초 자료로 사용될 수 있으리라 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 수돗물불소농도조정사업에 따른 건강영향 중 골밀도에 미치는 영향을 알아보고자 첫째, 수돗물불소농도조정사업지역과 비 사업 지역의 만 20세 이상 주민의 골밀도를 비교하였으며, 둘째, 수돗물불소농도조정사업 지역주민의 혈청불소농도가 실제 골밀도와 어떠한 연관성을 갖는지 조사하였다. 수돗물불소농도조정사업지역과 비 사업지역의 보정된 골밀도 평균을 비교한 결과 남, 여 모두 사업지역인 안산에서 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 연령별로 층화하여 분석한 결과 40대 여성에서 안산지역의 골밀도 평균이 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 실제 수돗 사업지역 주민의 혈청불소농도와 골밀도의 연관성을 분석한 결과, 여성에 있어 상당부분( $p=0.0684$ ) 관련성이 있음을 확인할 수 있었으며, 특히 40세 이상의 연령그룹

에서 유의한 연관성이 있는 것으로 나타났다( $p=0.0457$ ).

#### 참고문헌

1. Lee, I. K. and Kim, J. G. : A survey on the contents of fluoride, calcium, and magnesium of reservoir water on a stream in the Jeon-buk area of Korea. *Korean Journal of Environmental Health*, **29**(2), 38-44, 2003.
2. Kröger, H., Alhava, E., Honkanen, R., Tuppurainen, M. and Saarikoski, S. : The effect of fluoridated drinking water on axial bone mineral density--a population-based study. *Bone and Mineral*, **27**(1), 33-41, 1994.
3. Arnold, C. M., Bailey, D. A., Faulkner, R. A., McKay, H. A. and McCulloch, R. G. : The effect of water fluoridation on the bone mineral density of young women. *Canadian Journal of Public Health*, **88**(6), 388-391, 1997.
4. Sowers, M., Whitford, G. M., Clark, M. K. and Jannausch, M. L. : Elevated serum fluoride concentrations in women are not related to fractures and bone mineral density. *The Journal of Nutrition*, **135**(9), 2247-2252, 2005.
5. Cauley, J. A., Murphy, P. A., Riley, T. J. and Buhari, A. M. : Effects of fluoridated drinking water on bone mass and fractures: The study of osteoporotic fractures. *Journal of Bone and Mineral Research*, **10**(7), 1076-1086, 1995.
6. Phipps, K. R., Orwoll, E. S., Mason, J. D. and Cauley, J. A. : Community water fluoridation, bone mineral density, and fractures: Prospective study of effects in older women. *British Medical Journal*, **321**(7265), 860-864, 2000.
7. Riggs, B. L., Hodgson, S. F., O'Fallon, W. M., Chao, E. Y., Wahner, H. W., Muhs, J. M., Cedel, S. L. and Melton, L. J. 3rd. : Effect of fluoride treatment on the fracture rate in postmenopausal women with osteoporosis. *The New England Journal of Medicine*, **322**(12), 802-809, 1990.
8. Farley, S. M., Wergedal, J. E., Farley, J. R., Javier, G. N., Schulz, E. E., Talbot, J. R., Libanati, C. R., Lindgren, L., Bock, M., Goette, M. M., Mohan, S. S., Kimball-Johnson, P., Perkel, V. S., Cruise, R. J. and Baylink, D. J. : Spinal fractures during fluoride therapy for osteoporosis: relationship to spinal bone density. *Osteoporosis International*, **2**(5), 213-218, 1992.
9. Rubin, C. D., Pak, C. Y., Adams-Huet, B., Genant, H. K., Li, J. and Rao, D. S. : Sustained-release sodium fluoride in the treatment of the elderly with established osteoporosis. *Archives of Internal Medicine*, **161**(19), 2325-2333, 2001.
10. Hedlund, L. R. and Gallagher, J. C. : Increased incidence of hip fracture in osteoporotic women treated with sodium fluoride. *Journal of Bone and Mineral Research*, **4**(2), 223-225, 1989.

11. Cho, S. H., Kwon, H. J., Ha, M. N., Ha, E. H. and Hong, Y. C. : Medical scientific research on human health effect derived from adjusted water fluoridation. Korean Medical Association Research Report. Seoul National University Medical Research Center Institute of Environmental Medicine, 1999.
12. Moon, M. S., Cho, S. H., Ahn, H. S., Kim, J. B. and Sung, J. H. : Research for effect-assessment on adjusted water fluoridation. Ministry of Health and Welfare. 2000.
13. Kang, J. W. : Medical research for human health effect on adjusted water fluoridation. Korean Medical Association Research Report, 2003.
14. Jones, T. and Davie, M. W. : Bone mineral density at distal forearm can identify patients with osteoporosis at spine or femoral neck. *British Journal of Rheumatology*, **37**(5), 539-543, 1998.
15. Fordham, J. N., Chinn, D. J. and Kumar, N. : Identification of women with reduced bone density at the lumbar spine and femoral neck using BMD at the os calcis. *Osteoporosis International*, **11**(9), 797-802, 2000.
16. Marshall, D., Johnell, O. and Wedel, H. : Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *British Medical Journal*, **312**(7041), 1254-1259, 1996.
17. Min, J. Y., Min, K. B., Paek, D. and Cho, S. I. : Side differences in the bone density of the distal radius and calcaneus in Koreans aged 4-86 years. *Journal of Clinical Densitometry*, **10**(2), 184-188, 2007.
18. Nakamura, K., Tanaka, Y., Saitou, K., Nashimoto, M. and Yamamoto, M. : Age and sex differences in the bone mineral density of the distal forearm based on health check-up data of 6343 Japanese. *Osteoporosis International*, **11**(9), 772-777, 2000.
19. Orwoll, E. S., Belknap, J. K. and Klein, R. F. : Gender specificity in the genetic determinants of peak bone mass. *Journal of Bone and Mineral Research*, **16**(11), 1962-1971, 2001.
20. The Korean Society of Bone Metabolism. Osteoporosis, 2nd edition, Seoheong, Seoul, 1, 2000.
21. The Korean Society of Bone Metabolism. Osteoporosis, 3rd edition, Hanmi Medical, Seoul, 249, 2006.
22. Lahti, S. M., Uusitalo, U., Feskens, E., Haw, U., Tuomilehto, J. and Luoma, H. : Fluoride and sugar intake among adults and youth in Mauritius: preliminary results. *Advances in Dental Research*, **9**(1), 21-25, 1995.
23. Chowdhury, N. G., Brown, R. H. and Shepherd, M. G. : Fluoride intake of infants in New Zealand. *Journal of Dental Research*, **69**(12), 1828-1833, 1990.
24. Lee, J. H. : A study on the fluoride intake from routine diets in fluoridated area & the pollution level of fluoride compounds for water fluoridation. Korean Institute of Oral Health Services, 2004.
25. Jung, S. H., Ma, D. S., Ryu, J. I., Hwang, J. H. and Kho, Y. L. : Fluoride intake by the duplicate-diet technique and urinary excretion in Korean children aged 3-6 years. *Korean Journal of Environmental Health*, **31**(6), 475-482, 2005.