

진주시 수돗물 불소농도조정사업의 11년간 비용편익 분석

김만경¹, 정지인¹, 김민지¹, 전은주¹, 김한나¹, 김세연¹, 한동현², 정승화¹, 김진범¹

¹부산대학교 치의학전문대학원 예방치과학교실, ²서울대학교 치의학대학원 예방치과학교실

Cost-benefit analysis of a water fluoridation program for 11 years in Jinju, Korea

Man-Kyong Kim¹, Ji-In Jung¹, Min-Ji Kim¹, Eun-Joo Jun¹, Han-Na Kim¹, Se-Yeon Kim¹,
Dong-Hun Han², Seung-Hwa Jeong¹, Jin-Bom Kim¹

¹Department of Preventive and Community Dentistry, Pusan National University School of Dentistry, Yangsan,

²Department of Preventive and Social Dentistry, Seoul National University School of Dentistry, Seoul, Korea

Received: June 3, 2014

Revised: June 16, 2014

Accepted: June 19, 2014

Corresponding Author: Jin-Bom Kim
Department of Preventive and Community
Dentistry, Pusan National University
School of Dentistry, 49 Busandaehak-ro,
Mulgeum-eup, Yangsan 626-870, Korea
Tel: +82-51-510-8223
Fax: +82-51-510-8221
E-mail: jbomkim@pusan.ac.kr

Objectives: The aim of this study was to estimate the economic costs and benefits of a water fluoridation program in the city of Jinju, Korea.

Methods: In 2009, dental surveys were conducted on 2,315 children aged 6-12 years in Jinju, which had been fluoridated for 11 years. The decayed/missing/filled teeth (DMFT) scores of children in Jinju were compared to the DMFT scores of same-aged children in non-fluoridated small- and medium-sized cities in the fourth Korean National Health and Nutrition Examination Survey conducted from 2007 to 2009 by the Korea Centers for Disease Control and Prevention. The reduced number of decayed permanent teeth by the water fluoridation program was estimated as the difference between the DMFT scores of children in Jinju and those in non-fluoridated small- and medium-sized cities. The economic benefits were estimated by the savings from reduced dental treatment costs by using the reduced number of decayed permanent teeth from the water fluoridation program. All annual costs and benefits were calculated from 1998 to 2009. The social rate and untreated rate of decayed teeth were applied as 3% and 20%, respectively. The annual benefit-cost ratio was estimated by using the annual benefits and cumulative program costs.

Results: The economic benefit in 2009 from a water fluoridation program was estimated as 57,496,000,000 Korean Won (KRW), and the cumulative cost in 2009 was estimated as 1,387,000,000 KRW. The net present value in 2009 from a water fluoridation program was 56,109,000,000 KRW. The benefit-cost ratio in 2009 was estimated as 41.4.

Conclusions: The economic benefit of a water fluoridation program in Jinju city was evaluated as excellent.

Key Words: Benefit, Cost, Dental caries, DMFT index, Fluoridation, Prevention

서 론

치아우식병을 예방하는 효과적인 수단으로 불소와 치면열구 전색의 활용에 중점을 두고 있다¹⁻³⁾. 불소활용법 중에서는 비용효

과적으로 우식예방효과가 가장 큰 수돗물불소농도조정사업(수불사업)을 우선적으로 고려할 수 있다⁴⁾. 수불사업은 수돗물의 불소 농도를 조정하여 주민 누구나 수돗물을 음용하거나 음식물조리에 이용하는 과정에서 자연적으로 불소를 섭취함으로써 치아우식

병을 예방하고자 하는 사업이다. 수불사업은 1945년 미국의 그랜드 래피즈, 뉴우버그 및 캐나다의 브랜트포트에서 처음으로 시작되었다^{5,6)}. 미국에서는 수돗물 급수인구의 69.2%인 1억8천4백만 명에게 적절한 농도로 불소가 함유된 수돗물이 공급되고 있으며⁷⁾, 여러 나라에서 수불사업으로 치아우식병이 크게 감소하였다⁸⁻¹¹⁾.

우리나라에서는 경상남도 진해시에서 1981년부터 시범사업으로 수불사업을 개시한 이후 2011년에 30주년을 맞고 있으나 사업 수행 정수장 수는 2000년 37개소¹²⁾에서 2010년 25개소¹³⁾로 감소했으며, 수혜인구도 2000년 5,962,500명, 총인구대비 12.7%¹²⁾에서 2010년 2,968,123명, 총 인구대비 6.1%¹³⁾로 감소하고 있는 추세이다.

수불사업이 건실하게 발전하기 위해서는 사업성과에 대하여 주기적으로 평가하고 그 결과를 시민들에게 홍보하여 시민들의 지지를 얻어야 한다. Kim 등¹⁴⁾은 수불사업을 했던 청주시 아동과 수불사업을 하지 않은 성남시 아동을 6년간 추구 조사한 결과, 치아우식예방효과를 35.4%로 보고하였다. 수불사업 기간이 6년이 지난 2004년 진주시 12세아동의 우식경험영구치지수가 대조도시보다 41.8%가 적었다고 보고되었다¹⁵⁾. 수불사업 기간이 6년을 경과한 울산광역시 남구 5세아동에서는 부산광역시 해운대구 5세아동보다 유치우식병이 34.0% 감소하였음이 확인되었다¹⁶⁾.

치아우식병의 예방을 위한 수불사업의 효과는 치아우식경험률의 변화, 지역사회내 인구의 유동률, 치아우식병에 취약한 인구 등에 영향을 받는다¹⁷⁾. 보건의료부문에서도 다른 분야와 마찬가지로 가용자원의 제약으로 세계 각국에서는 보건사업의 유용성을 비용편익 분석 및 비용효과 분석 등의 경제성으로 평가하고 있다¹⁸⁾. 실제로 치아우식병의 감소에는 수불사업 이외에 불소함유세 치제의 사용증가, 영양 변화 등도 기여한다. 치아우식병의 유병률 변화는 수불지역은 물론 비수불지역에서도 일어나고 있어서¹⁷⁾, 수불사업의 경제적 효용을 검토하여야 할 필요성을 말해주고 있다. 보건사업에서 제한된 자원으로 비용과 효과의 정확한 산출에 바탕을 둔 경제성평가는 자원할당에 관한 의사결정에서 고려되어야 할 사항이다. 공공보건사업에 투입되는 비용과 사업에서 나오는 편익 간의 상호관계에서, 평가하는 편익의 범주에 따라 평가방법이 달라진다¹⁸⁾.

본 연구에서는 수불사업 시행 여부를 판단하는 기준의 하나인 경제성 분석을 위하여 비용편익 분석방법을 이용하여 1998년부터 지속되고 있는 진주시 수불사업의 경제성을 평가하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

사업군은 2009년 진주시보건소의 자문을 받아 1997년 12월부터 수불사업을 시행하고 있는 진주시 제1·2정수장 급수 지역 중에서 동(洞) 지역 거주학생이 취학하는 초등학교와 중학교 중에서 진주시 전체의 지리적 위치를 고려한 다음, 거주지역의 경제상태가 진주시에서 중간정도로 추정되는 학교를 편이판단추출로서

표본학교로 선택하여 재학 중인 6-12세 아동을 구강검사대상자로 선정하였다. 그 결과, 표본학교는 진주시 초등학교 37개교 중 3개교, 중학교로는 24개교 중 2개교가 선정되었다. 구강검사 대상자 수는 진주시 기존조사 자료¹⁵⁾를 참고하고 우식경험영구치지수와 표준편차를 고려하여 6-12세 각 연령별로 300명에서 400명 이하를 선정하였다. 초등학교에서는 학교당 학년별로 3학급에서 4학급, 중학교에서는 학교당 학년별로 5학급에서 6학급 학생을 대상으로 선정하여 구강검사대가 학교를 방문한 날 출석한 학생 모두에게 구강검사를 시행하였다. 2009년 진주시 수돗물 급수지역에 거주하는 6-12세 사업군 아동 29,575명¹⁹⁾ 중에서 2,315명을 대상으로 구강검사를 실시하였다(Table 1).

그리고, 우식발생에 관여하는 불소 이외 요인의 영향을 최소화하여 할 목적으로 대조군을 1개지역으로 설정하지 않고 질병관리본부 제4기 국민건강영양조사(2007-2009년)에서 구강검사를 한 아동 중 과거에 수불사업을 시행했던 16개 중소도시를 제외한 전국 중소도시에서 동(洞) 지역 거주 6-12세 전체 아동 791명을 대조군으로 활용하였다. 사업군과 대조군에서 연령별 남녀비율은 유의한 차이가 없었다($P < 0.05$, 자료 제시 안함). 한편, 이 연구는 양산부산대학교병원 임상시험심사위원회(Institutional Review Board, IRB 05-2012-034)의 심사와 승인을 취득하였다.

2. 연구방법

2.1. 우식경험영구치지수 조사

진주시(사업군) 아동들의 우식경험영구치지수는 보건복지부 국민구강건강실태조사와 질병관리본부 구강검사 조사대 훈련을 다년간 받은 치과의사 2인이 2009년 조사하였다. 구강검사는 세 계보건기구에서 펴낸 구강검사법²⁰⁾을 기준으로 시행하였다.

대조군 아동들의 우식경험영구치지수는 질병관리본부의 승인을 얻어 제4기(2007-2009년) 국민건강영양조사의 원자료를 분석하여 조사하였다. 국민건강영양조사의 개괄적인 원자료는 질병관리본부에서 신청하는 연구자에게 통신으로 제공하고 있지만, 검사대상자의 거주지역이 포함된 원자료는 외부로 제공하지 않고 있어서 연구진이 질병관리본부를 직접 방문하여 현장에서 필요한 통계분석을 하였다.

Table 1. Number of surveyed children for DMFT scores

Age	Jinju	Control*
Total	2,315	791
6	302	105
7	341	118
8	314	131
9	313	104
10	324	111
11	344	109
12	377	113

*Surveyed children living in downtown (dong) districts of small and medium cities at the Fourth Korea National Health and Nutrition Examination Survey in 2007-2009 conducted by Korea Center for Disease Control and Prevention.

2.2. 수불사업의 비용편익 분석 모형

비용편익 분석은 사업이나 치료에서 발생하는 편익과 이를 수행하는 데 드는 비용을 종합 검토함으로써 그 사업의 경제성을 평가하는 방법이다. 비용편익 분석에서는 사업이나 치료의 결과를 화폐단위로 가치를 평가하지만, 화폐단위로 가치평가가 쉽지 않은 편익들이 많기 때문에 한계가 있다. 비용편익 분석에서 사용되는 지표는 편익비용비, 순편익, 순현재가치 등이다. 편익비용비(BCR: benefit cost ratio)에는 총편익비용비, 순편익비용비 두 가지 형태가 있으며, 높은 사업일수록 비용보다 편익이 크기 때문에 그 사업은 선호된다.

$$\text{grossBCR} = \frac{\sum \text{benefit}}{\sum \text{cost}} \quad \text{netBCR} = \frac{\sum (\text{benefit} - \text{cost})}{\sum \text{cost}}$$

순편익(net benefit)은 편익에서 비용을 뺀 것으로 순편익이 큰 사업이 선호된다. 순현재가치(NPV: net present value)는 순편익에 할인율을 적용하여 현재가치로 환산한 것으로 높을수록 선호된다.

$$\text{순편익} = \sum (\text{benefit} - \text{cost}) \quad \text{순현재가치} = \sum_{i=0}^n \frac{(B_i - C_i)}{(1+r)^n}$$

본 연구에서 비용은 수불사업과 관련된 직접비용만을 분석 대상으로 하였다. 수불사업의 경제성평가 기간은 수불사업이 시작된 1997년부터 2009년까지로 설정하였다. 직접비용은 불소침가 시설설비비 감가상각비, 불소침가 시설설비설계 감가상각비, 약품비(불소 및 검사시약), 불소침가시설부품수선비, 평가조사비 등으로 구분하였다. 본 연구에서 편익은 직접적인 치과진료 비용의 감소량으로 정의하였다^{21,22}.

가상적 코호트분석을 기본전제로 하여 연구모형을 설정하였고, 순현재가치(NPV, net present value) 및 편익비용비를 이용하여 결과를 산출하였다.

$$NPV = \sum \frac{B_j}{(1+r)^j} - \sum \frac{C_j}{(1+r)^j}$$

NPV: 순현재가치
B_j: j년 내 경제적 편익
C_j: j년 내 경제적 비용
r: 사회적할인율

2.3. 수불사업 비용

수불사업을 위한 불소침가시설설비는 1997년 진주시 제1·2정수장에 설치하여 사용하다가 2007년 전면 교체되었다. 1997년부터 2009년까지 설비비, 약품비, 기타 비용에 관한 모든 자료를 발생연도별로 수집되었다. 1997년에 제1·2정수장에 설치된 불소침가시설은 1998년 가동 후 2006년까지 사용하였으므로 사용기간을 9년으로 하여 매년 일정한 금액으로 1997년부터 2006년까지 감가상각비를 적용하였고, 2006년 설계하여 2007년 제1·2정수장에 설치하여 사용하는 신규 불소침가시설의 설계비와 설치

비에 대해서도 동일하게 사용기간을 9년으로 추정하여 매년 일정한 금액으로 감가상각을 시행하였으며, 약품비 등의 다른 항목 비용들은 매년 실제 발생 금액을 조사하여 적용하였다.

2.4. 수불사업 경제적 편익

(1) 경제적 편익 산출모형: 수불사업의 편익은 우식예방효과로 인한 치과진료 비용의 감소량으로서 연령별 정수장 급수인구¹⁹⁾, 연령별 우식예방율 및 충전재료별 진료비용을 적용하여 편익을 산출하였다. 수불사업의 우식예방효과는 2009년 진주시와 대조군의 연령별 우식경험영구치지수를 비교하여 그 차이를 수불사업으로 감소된 우식경험영구치지수로 추정하여 산출하였다. 치아우식병의 감소 원인들로는 수불사업 이외에 불소함유 세치제의 사용증가, 영양 변화 등도 기여하기 때문에¹⁷⁾, 대조군과 우식경험영구치지수의 차이를 모두 수불사업으로 얻어진 결과로 간주할 수는 없지만, 아직까지 감소된 우식경험치수 중 어느 정도 비율이 수불사업만의 효과로 추정해야 할지에 대해서는 연구가 미진한 상태이다.

대상 연령별 정수장 급수인구 및 치료방법별 치과진료 비용을 수불사업으로 얻어진 우식경험영구치지수의 감소치에 적용하여 편익을 산출하였다.

$$B = \sum_{j=1997}^{2009} (Pop_{ij} \times \Delta D_{ij} \times VD_{ij}) + \sum_{j=1997}^{2009} (Pop_{ij} \times \Delta M_{ij} \times VM_{ij}) + \sum_{j=1997}^{2009} (Pop_{ij} \times \Delta F_{ij} \times VF_{ij})$$

B: 경제적 편익

Pop_{ij}: j년내 i세아동수

ΔD_{ij}: j년내 i세아동 중 우식영구치 감소량

ΔM_{ij}: j년내 i세아동 중 상실영구치 감소량

ΔF_{ij}: j년내 i세아동 중 충전영구치 감소량

VD_{ij}: j년내 i세아동 중 우식영구치 치료비{가중치×(보험진료비+비보험진료비)}

VM_{ij}: j년내 i세아동 중 제거가 요구되는 우식영구치 치료비

VF_{ij}: j년내 i세아동 중 충전이 요구되는 우식영구치 치료비

i: 6-12세, j: 1997-2009년

편익 산출 모형에서는 1997년부터 2009년까지 산출된 경제적 편익을 모두 합산하도록 제시하였다. 수불사업 비용은 1997년부터 발생하였지만, 사업은 1998년부터 시행되었으므로 경제적 편익은 사업 개시 다음해인 1999년부터 발생하는 것으로 추정하여 합산하였다.

(2) 연도별 연령별 감소된 우식경험영구치 총수 산출: 2009년 진주시와 대조군의 연령별 우식경험영구치지수의 차이를 수불사업 감소치로 추정하였다. 수불사업이 개시된 1998년부터 연령별로 일정한 크기로 감소하여 2009년의 우식경험영구치지수 감소치에 이르렀다고 가정하여 연도별 연령별로 수불사업의 우식경험영구치지수 감소치를 산출한 다음, 감소치에 정수장 급수인구를 곱하여 사업으로 감소된 우식경험영구치 총수를 추산하였다.

(3) 연도별 재료별 충전비율 산출: 2009년 구강검사에서 충전치아에 대한 재료를 조사하여 연령별 충전재료별 충전율을 산출한 다음, 1999년부터 2008년까지 재료별 충전율에 차이가 있을 것으로 가정하고 2009년 재료별 충전율을 사용하여 1999년 2008년까지 연도별로 재료별 충전율을 추정하였다. 주조금(인레이) 충전율은 1999년부터 2009년까지 변화가 없는 것으로 가정하였고, 건강보험으로 급여가 되는 아말감충전율은 연령별로 1999년 100%에서 주조금(인레이) 충전율을 차감한 수치로 가정한 다음, 연령별로 동일 비율로 감소하여 2009년에 이른다 가정하였다. 건강보험으로 급여가 되지 않는 레진충전율은 100%에서 주조금충전(인레이)율과 아말감충전율을 차감한 비율로서 가정하였고, 동일 비율로 증가하여 2009년에 이른다 가정하였다.

(4) 연도별 치아우식병 진료비 추정: 치아우식병 진료비는 우식경험치아의 치료비용을 국민건강보험 급여진료비(이하 '보험진료비')와 국민건강보험 비급여진료비(이하 '비보험진료비')로 구분하였다. 우식치아에 대하여 아말감으로 충전할 경우, 소요되는 진료비는 1999년부터 연도별로 보건복지부 건강보험 요양급여 고시 수가를 기준으로 산출하였다. 아말감충전 보험진료비는 1997년부터 치아당 같지 않고 치면당으로 산출하고 있으며, 상하악치아 치료에서 마취료가 달리 적용되고 있으므로 치료필요치아당 치면수와 상하악 치아의 비율을 고려하여 추산하였다. Kim과 Kim²¹⁾은 1면충전필요치아와 2면충전필요치아를 각각 48.39%와 51.61%로 보고한 바가 있어서 1치면 충전필요치아와 2치면충전필요치아를 1:1로 가정하였으며, 계산의 편리성을 위하여 상하악치아의 비율도 각각 1:1로 가정하여 치아당 충전치료비를 추산하였다.

건강보험으로 급여가 되지 않는 광중합 복합레진과 주조금충전(금인레이) 진료비는 진주시치과의사회에 의뢰하여 1998년과 2009년의 비급여 충전재료별 수가를 조사하고 1998년부터 동일한 크기로 변동하여 2009년 수가에 이르렀을 것으로 가정하고 연도별 비급여 충전재료별 진료비를 추산하였다.

우식치아 중 치료받지 않은 상태로 유지되어 치료비용을 발생시키지 않는 우식치아의 비율은 2010년도 국민구강건강실태조사에서 밝혀진 12세 우식영구치율인 21.95%를 참고하여²³⁾ 20%로 가정한 다음, 연령별로 충전치료가 감소된 영구치 총수를 추정하고 재료별 충전비율을 기초로 하여 치료감소 영구치 총수에 치아당 충전진료비를 곱하여 진료비 절감액을 산출하였다.

한편, 우식영구치 미치료를 가정의 타당성을 평가하기 위하여 미치료를 변화에 대한 민감도 분석을 추가로 시행하였다. 상실치아지수에 대한 미치료율은 2010년도 국민구강건강실태조사에서 밝혀진 12세 상실영구치율 0.3%를 참고하여²³⁾ 0%로 가정하였고, 상실치아가 적은 연령임을 고려하여 민감도분석은 시행하지 않았다.

(5) 비용과 편익 추정에서 사회적 할인율 선택

비용과 편익은 다른 시점에 발생할 수 있으며, 각 시점의 화폐가치는 변화하기 때문에 사회적 할인율을 적용하여 모든 비용과 편익의 가치를 2009년 현재가치로 환산하였다. 본 연구에서는 할

인율로 3%를 적용하였다.

$$PresentValue = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Present Value: 현재가치

C: 기준연도로부터 t년도에 발생한 비용

r: 사회적 할인율

t: 기준연도로부터 비용이 발생한 연도까지의 연수

(6) 민감도 분석

본 연구에 적용된 가치평가와 가정의 불확실성에 대한 평가를 위하여 민감도 분석을 시행하였다. 비용과 편익의 현재가치 환산에서 할인율을 2%, 3%, 5%로 변동하고, 우식영구치의 미치료율을 0%, 20%, 30%로 변동하여 각각의 경우에 대한 추계를 시행하였다.

연구성적

1. 사업비용 추계

1.1. 불화물첨가설비 감가상각비

1997년 12월부터 1998년 5월까지 진주시 제1·2정수장에 설치한 불화물첨가설비 2조의 설치비용은 244,354,000원이었다. 1997년 설치된 불화물첨가설비는 2006년까지 사용했으므로 설비 내용연수(耐用年數)를 9년으로 하여 정액식으로 계산하면 연간 감가상각비는 1998년부터 2006년까지 27,150,444원으로 추정하였다.

2006년에는 노후 설비를 신규로 구입 설치하기 위하여 설계용역비 19,000,000원을 지출되었다. 설계용역비도 불화물 첨가설비 설치에 들어가는 비용이기 때문에 내용연수를 9년으로 정액식으로 계산하면 설계비의 연간 감가상각비는 2006년부터 9년간 2,111,111원으로 추정되었다. 1997년 12월부터 1998년 5월까지 진주시 제1·2정수장에 설치한 불화물첨가설비는 2006년까지 사용한 후 철거하고, 2006년 11월 신규 첨가설비 2조 설치공사를 시작하여 2007년 2월 완공하고 3월부터 정상가동하였다. 1998년부터 2006년까지 사용한 불화물첨가설비는 분말상인 불화규소나 트롬을 사용하는 시설이었으나, 분진과 잦은 고장으로 2007년부터는 액상인 불화규산을 사용하는 시설로 교체하였다.

2006년 11월부터 2006년 2월까지 진주시 제1·2정수장에 설치한 불화물첨가설비 비용은 국비 100,000,000원, 지방비 473,500,000원으로 총 573,500,000원이 소요되었다. 신규 설치 불화물첨가설비의 내용연수를 9년으로 하여 정액식으로 계산하면 연간 감가상각비는 2007년부터 63,722,222원으로 추정되었다. 따라서, 설계비를 포함한 불화물첨가설비 감가상각비는 1998년부터 2005년까지는 매년 27,150,444원, 2006년에는 29,261,555원, 2007년부터 2009년까지 매년 65,833,333원으로 추정되었다.

Table 2. Estimated cost of water fluoridation program in Jinju*

Year	Total	Fluoride feeder amortization [†]	Purchase cost			Fluoride feeder repair cost	Program evaluation cost
			Fluoride chemical	Fluoride level test reagent	Component of fluoride level test kit		
All	1,195,871	443,965	527,306	50,264	14,883	82,453	77,000
1997	12,000	-	-	-	-	-	12,000
1998	85,461	27,150	50,282	3,029	-	-	5,000
1999	81,861	27,150	40,705	2,145	4,455	2,406	5,000
2000	79,270	27,150	40,471	2,027	941	3,680	5,000
2001	80,583	27,150	42,900	3,392	1,426	715	5,000
2002	81,035	27,150	42,511	2,888	2,243	1,243	5,000
2003	94,820	27,150	51,890	6,314	2,233	2,233	5,000
2004	83,351	27,150	33,590	3,395	1,726	12,490	5,000
2005	78,870	27,150	14,442	3,395	1,859	27,024	5,000
2006	64,865	29,262	-	15,610	-	14,993	5,000
2007	143,670	65,833	67,667	990	-	4,180	5,000
2008	154,162	65,833	76,248	7,080	-	-	5,000
2009	155,923	65,833	66,600	-	-	13,490	10,000

*Thousand Korean Won.

[†]Annual amortization included the cost of new fluoride feeder design in 2006-2009.**Table 3.** Population of tap water supply by year

Age	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
6	4,387	4,473	4,347	4,220	4,093	3,966	3,840	3,666	3,540	3,364	3,187
7	4,479	4,625	4,561	4,497	4,433	4,369	4,305	4,067	3,881	3,639	3,397
8	4,440	4,503	4,498	4,493	4,488	4,483	4,478	4,232	4,042	3,793	3,544
9	4,381	4,392	4,423	4,455	4,487	4,519	4,550	4,375	4,258	4,080	3,902
10	4,326	4,317	4,416	4,516	4,616	4,716	4,816	4,689	4,626	4,497	4,369
11	4,430	4,265	4,336	4,407	4,477	4,548	4,619	4,497	4,436	4,312	4,189
12	4,479	4,206	4,314	4,421	4,529	4,637	4,745	4,693	4,706	4,655	4,603

Note 1. Tap water supply rate (%) was 93.9% in 2006 and 95.2% in 2007.

2. Tap water supply rate (%) from 1997 to 2005 was assumed as same as 2006.

3. Tap water supply rate (%) from 2008 to 2009 was assumed as same as 2007.

1.2. 불화물 구입비

진주시 제1·2정수장에서는 1998년부터 2006년까지는 분말 형태인 불화구소나트륨을 사용하였으나, 2007년부터는 불화구산을 구입하여 사용하였다. 단, 2006년에는 전년도까지 구입한 불화물 재고가 많아서 추가로 구입하지 않았다.

1.3. 불소농도 측정과 설비유지 비용

불소농도측정과 설비유지 비용에는 농도측정시약 구입비, 농도측정기 부품 구입비 및 설비 수선비가 소요되었다. 진주시 정수장에서는 자동불소이온농도 측정기를 사용하여 불소이온농도를 측정하고 있으며, 농도측정에는 TISAB, 표준불소이온농도액(100 ppm F⁻) 및 세정용 황산(10%)이 시약으로 소요되었다. 농도측정기 부품 구입비는 불소전극 구입비이었다. 불화물첨가설비 수선비는 설비 가동에 필요한 부품 구입과 수선비용이었다.

1.4. 수불사업 평가 용역비

진주시는 수불사업 개시직전 연도인 1997년에 사업 후의 효

Table 4. Reduction value of DMFT index in Jinju compared to control

Age	DMFT index		Reduced value (C)*
	Control (A)	Jinju (B)	
6	0.08	0.04	0.04
7	0.39	0.17	0.22
8	0.71	0.37	0.34
9	1.01	0.62	0.39
10	1.02	0.70	0.32
11	1.60	0.94	0.66
12	1.80	1.43	0.37

*C=B-A.

과평가를 위한 기초조사로서 구강검진과 사업에 대한 주민들의 의식을 조사하였으며, 1998년 이후 사업 효과 측정과 주민들의 지지도를 높일 수 있는 방안을 마련하기 위하여 2009년까지 관계전문가에게 용역평가를 의뢰하였다(Table 2).

Table 5. Estimation of reduced DMFT index* and total reduced DMFT scores[†] by year

Age	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Reduced DMFT index*											
6	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
7	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
8	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34
9	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25	0.28	0.32	0.35	0.39
10	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32
11	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60	0.66
12	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.24	0.27	0.30	0.34	0.37
Total number of reduced DMFT [†]											
6	16	33	47	61	74	87	98	107	116	122	127
7	90	185	274	360	443	524	603	651	699	728	747
8	137	278	417	555	694	831	969	1,047	1,124	1,172	1,205
9	155	311	470	632	795	961	1,129	1,241	1,359	1,447	1,522
10	126	251	385	526	671	823	981	1,091	1,211	1,308	1,398
11	266	512	780	1,058	1,343	1,637	1,940	2,159	2,395	2,587	2,764
12	151	283	435	595	762	936	1,117	1,263	1,425	1,566	1,703

*The amount of reduced DMFT index was estimated as same every year for 11 years since the initiation of water fluoridation program in 1998.

[†]Reduced value of DMFT index by age × population of tap water supply by age.

Table 6. Dental filling rate (%) in 2009 by material*

Age	Number of filling surfaces	Amalgam (%) [†]		Composite resin (%)		Gold inlay (%)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
6	14	20.0	44.72	80.00	44.72	0.00	0.00
7	76	16.7	37.90	81.67	38.24	1.67	9.13
8	139	19.2	39.80	78.85	41.24	1.92	13.87
9	236	28.3	44.00	68.53	45.74	3.17	15.68
10	269	31.5	45.96	65.24	46.75	3.28	15.92
11	420	36.7	47.32	57.85	48.65	5.49	22.06
12	707	30.0	42.43	61.79	44.55	8.18	24.15

*Results from 2009-year dental survey in Jinju.

[†]The number of filled teeth with other materials except for amalgam, light-cured composite resin and gold inlay were included in the number of filled teeth with amalgam as the highest filling rate with other materials was 3.33% at age 7.

Table 7. Percentage estimation of filled teeth with amalgam* and light-cured composite resin[†] among all filled teeth by year

Age	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
% filled teeth with amalgam*											
6	100.0	92.0	84.0	76.0	68.0	60.0	52.0	44.0	36.0	28.0	20.0
7	98.3	90.2	82.0	73.8	65.7	57.5	49.3	41.2	33.0	24.8	16.7
8	98.1	90.2	82.3	74.4	66.5	58.7	50.8	42.9	35.0	27.1	19.2
9	96.8	90.0	83.1	76.3	69.4	62.6	55.7	48.9	42.0	35.2	28.3
10	96.7	90.2	83.7	77.1	70.6	64.1	57.6	51.1	44.5	38.0	31.5
11	94.5	88.7	82.9	77.2	71.4	65.6	59.8	54.0	48.2	42.4	36.7
12	91.8	85.6	79.5	73.3	67.1	60.9	54.7	48.6	42.4	36.2	30.0
% filled teeth with light-cured composite resin [†]											
6	0.0	8.0	16.0	24.0	32.0	40.0	48.0	56.0	64.0	72.0	80.0
7	0.0	8.2	16.3	24.5	32.7	40.8	49.0	57.2	65.3	73.5	81.7
8	0.0	7.9	15.8	23.7	31.5	39.4	47.3	55.2	63.1	71.0	78.9
9	0.0	6.9	13.7	20.6	27.4	34.3	41.1	48.0	54.8	61.7	68.5
10	0.0	6.5	13.0	19.6	26.1	32.6	39.1	45.7	52.2	58.7	65.2
11	0.0	5.8	11.6	17.4	23.1	28.9	34.7	40.5	46.3	52.1	57.9
12	0.0	6.2	12.4	18.5	24.7	30.9	37.1	43.3	49.4	55.6	61.8

*All dental filling materials except for light-cured composite resin and gold inlay in 1999 were conservatively assumed to be amalgam. A same amount of filling rate with amalgam was estimated to be reduced every year from 1999 to 2009.

[†]The light-cured composite resin not covered by national health insurance was conservatively assumed not to be used as dental filling material in 1999. A same amount of filling rate with light-cured composite resin was estimated to increase every year from 1999 to 2009.

2. 사업 편익추계

2.1. 연령별 급수인구

연령별 인구¹⁹⁾에 수돗물 급수율을 곱하여 급수인구는 Table 3과 같았다.

2.2. 수불사업의 우식경험영구치지수 감소치와 연도별 연령별 감소된 우식경험 영구치 총수

1998년부터 2009년까지 수불사업의 우식경험영구치지수 감소치는 6세에서 0.04개, 12세에서 0.37개로 추산되었으며(Table 4), 감소한 우식경험영구치 총수는 6세에서 127개, 12세에서 1,703개로 추산되었다(Table 5).

2.3. 재료별 충전율

재료별 충전율은 Table 6 및 Table 7과 같았다.

2.4. 우식치아 감소로 인한 진료비 절감액

우식치아 감소로 인한 진료비 절감액은 Table 8 및 Table 9와 같았다.

3. 편익비용비 추계

3.1. 2009년 현재가치로 환산한 수불사업 누적비용

1997년부터 2008년까지의 연도별 사업비용에 할인율을 3%로 적용하였을 경우, 2009년 현재가치 누적사업비용은 Table 10과 같았다.

3.2. 편익비용비 추산

우식치아 감소로 인한 충전진료비 절약액을 사회적 할인율을 3%로 적용하여 2009년 현재가치로 환산한 편익을 누적사업비용으로 나누어서 연도별 편익비용비(B/C ratio)를 산출한 결과, 사업개시한 이후 11년이 경과된 2009년에 41.4로 산출되었다. 2009년 현재가치 환산한 편익에서, 누적사업비용을 차감한 순현재가치는 56,109,000,000원으로 추산되었다(Table 11).

4. 민감도 분석

우식영구치 미치료를 0%, 20%, 30%로 가정하고, 사회적 할인율을 2%, 3%, 5%로 적용하였을 경우의 편익비용비를 추산하여 민감도 분석을 시행하였다.

우식영구치 미치료가 0%일 경우, 2009년 편익비용비는 사회적 할인율을 2%로 적용하면 54.5이었고, 할인율을 3%로 적용하면 51.8이었고, 할인율을 5%로 적용하면 46.7이었다. 우식영구치 미치료가 20%일 경우, 2009년 편익비용비는 사회적 할인율을 2%로 적용하면 43.6이었고, 할인율을 3%로 적용하면 41.4이었고, 할인율을 5%로 적용하면 37.4이었다. 우식영구치 미치료가 30%일 경우, 2009년 편익비용비는 사회적 할인율을 2%로 적용하면 38.1이었고, 할인율을 3%로 적용하면 36.3이었고, 할인율을 5%로 적용하면 32.7이었다(Table 12).

Table 8. Fees of filling treatments per tooth by material and year (thousand KRW)

Material	Age	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Amalgam	<8	20,210	20,410	28,720	28,710	29,260	30,320	31,200	32,280	33,120	33,410	32,990
	8-12	17,870	19,500	24,230	24,340	24,760	25,690	26,450	27,250	28,080	27,640	27,930
Light-cured composite resin	6-12	55,000	57,500	60,000	62,500	65,000	67,500	70,000	72,500	75,000	77,500	80,000
Gold inlay	6-12	238,334	247,501	256,668	265,835	275,002	284,169	293,336	302,503	311,670	320,837	330,000

Note. 1. In the estimation of fees for fillings with amalgam covered by national health insurance, number of filled teeth was assumed to be same at upper and lower dentition. Rate of one or two surface among filled teeth was assumed as same (Reference: Kim JB and Kim JB, 1988).

2. Dental filling fees with light-cured composite resin or gold inlay not covered by health insurance were surveyed from general dental practitioners at Jinju in 1998 and 2009. A same amount of fees was assumed to change every year from 1999 to 2009.

3. KRW, Korean Won.

Table 9. Estimation of total savings from filling treatments (million KRW)

Age	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
6	26	61	128	181	242	313	390	468	555	638	720
7	171	403	824	1,179	1,597	2,086	2,632	3,112	3,640	4,112	4,564
8	243	598	1,146	1,689	2,345	3,135	4,044	4,815	5,678	6,439	7,209
9	309	731	1,374	2,014	2,782	3,707	4,772	5,726	6,825	7,833	8,910
10	253	592	1,126	1,670	2,335	3,148	4,100	4,972	5,995	6,964	8,031
11	637	1,401	2,568	3,741	5,137	6,808	8,725	10,480	12,525	14,426	16,506
12	433	917	1,660	2,435	3,362	4,473	5,758	7,006	8,488	9,939	11,555

Note. 1. The untreated rate of total decayed teeth was assumed as 20%.

2. Total savings from filling treatments were estimated using total number of reduced DMFT and filling fees.

3. KRW, Korean Won.

Table 10. Estimation of converted cost to present value in 2009 required at water fluoridation program

Year	Annual total cost*	Converted cost to present value (thousand KRW) [†]	
		Annual cost	Annual cumulative cost
1997	12,000	17,109	17,109
1998	85,461	118,298	135,408
1999	81,861	110,014	245,422
2000	79,270	103,429	348,851
2001	80,583	102,081	450,931
2002	81,035	99,662	550,593
2003	94,820	113,221	663,814
2004	83,351	96,627	760,441
2005	78,870	88,769	849,210
2006	64,865	70,879	920,089
2007	143,670	152,419	1,072,508
2008	154,162	158,787	1,231,295
2009	155,923	156,923	1,387,218

*Sum of annual fluoride feeder amortization and purchase cost of fluoride chemical and reagent to check the fluoride level and others.

[†]Converted present value in 2009 using 3% of social discount rate.

고 안

치아우식병을 예방하기 위해서는 개별적인 노력만으로 한계가 있으므로 지역사회 구강보건사업이 활발히 진행되고 있으며^{24,25)}, 우리나라 아동의 치아우식병은 꾸준히 감소하고 있다²⁶⁾. 수불사업 시행에 대한 경제성 평가는 수불사업의 효과에 대한 잘 설계된 역학연구 등이 있어야 이를 바탕으로 경제성 평가를 수행할 수 있다. Davis⁹⁾와 Spencer¹¹⁾는 우식예방사업 중에서 수불사업이 비교적 적은 비용으로 큰 예방효과를 기대할 수 있는 사업으로 검토한 바 있다.

본 연구에서 진주시에서 1998년부터 2009년까지 시행한 수불사업의 비용과 우식예방으로 절감된 우식치료비 절약액을 경제적 편익으로 정의하고 편익을 비용으로 나누어서 편익비용비를 추계하였다. 사업비용은 진주시 전체적인 연도별 누적금액으로 적용하고, 경제적 편익은 6세부터 12세까지 영구치 우식예방으로 절감된 우식치료비 절약액을 2009년 현재가치로 환산하여 1999

Table 11. Benefit cost ratio (B/C ratio) from water fluoridation program

Age	Present value in 2009 (million KRW)			B/C ratio (R)
	Benefit (B)	Cumulative cost (C)	Net present value (NPV)	
1997		17	-17	-
1998		135	-135	-
1999	2,783	245	2,538	11.3
2000	6,136	349	5,787	17.6
2001	11,179	451	10,728	24.8
2002	15,876	551	15,325	28.8
2003	21,256	664	20,592	32.0
2004	27,441	760	26,681	36.1
2005	34,239	849	33,390	40.3
2006	39,970	920	39,050	43.4
2007	46,368	1,073	45,295	43.2
2008	51,859	1,231	50,628	42.1
2009	57,496	1,387	56,109	41.4

Note 1. R=B/C, 2. NPV=B-C, 3. Benefit was estimated at the assumption of the untreated rate, 20%; social discount rate, 3%.

년부터 2009년까지 연도별로 추정하였다. 사회적 할인율을 3%로 적용하고, 미치료를 20%로 가정할 경우, 편익에서 비용을 차감한 2009년의 순현재가치는 56,109,000,000원으로 추산되었고, 편익비용비는 41.4로 추계되었다(Fig. 1).

본 연구에서 수불사업의 편익비용비가 2006년 43.4으로 최고에 이르렀다가 2007년부터 점차 감소한 것은 6-12세 아동수의 감소와 더불어, 사업비용은 진주시 전 인구에 대한 비용을 적용하면서도 우식예방효과는 6-12세 인구의 영구치 우식예방효과만으로 한정하여 추산한 데에 그 이유가 있다고 검토되었다. 실제 수불사업으로 인한 우식예방효과는 본 연구에서 추산하지 않았던 유치에서도 보고되고 있으며^{16,27)}, 진주시 수불사업이 2009년 당시 11년을 경과하여서 본 연구에서 추산하지 않았던 13세 이후의 연령층에서도 상당한 우식예방효과를 기대할 수 있다.

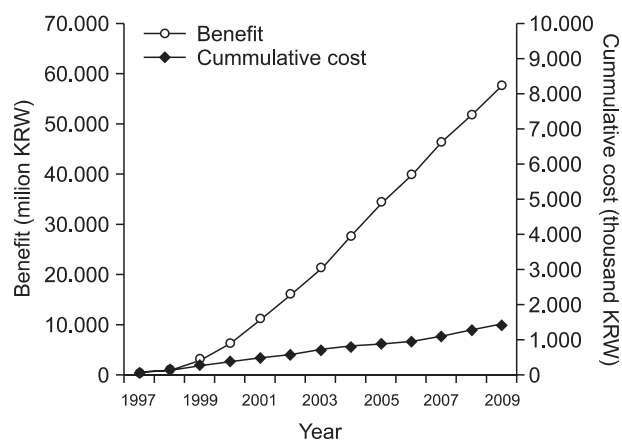
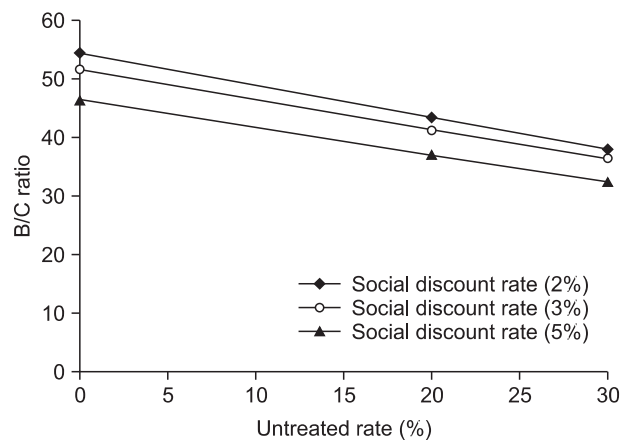
Kim과 Kim²¹⁾은 1982년 수불사업을 시작한 청주시에서 3년이 경과한 1985년 6세에서 영구치 우식예방효과가 유의하였고, 4년이 경과한 1986년에는 6세에서 9세까지 영구치 우식예방효과가 유의하였으며, 1998년 편익비용비를 4.88로 추산하였다. Chung 등²²⁾은 청주시 지북정수장의 수불사업에 대하여 경제

Table 12. Benefit cost ratio (B/C ratio) at the assumption of 0%, 20% and 30% untreated rate (million KRW)

Year	2%*			3%*			5%*		
	Benefit (B)	Cum. cost [†] (C)	B/C ratio	Benefit (B)	Cum. cost [†] (C)	B/C ratio	Benefit (B)	Cum. cost [†] (C)	B/C ratio
0% untreated rate									
1999	3,156	221	14.3	3,479	245	14.2	4,217	301	14.0
2000	7,025	316	22.2	7,669	349	22.0	9,119	424	21.5
2001	12,925	410	31.5	13,974	451	31.0	16,298	543	30.0
2002	18,535	504	36.8	19,845	551	36.0	22,705	657	34.6
2003	25,059	610	41.1	26,569	664	40.0	29,819	784	38.0
2004	32,669	702	46.5	34,302	760	45.1	37,764	891	42.4
2005	41,160	788	52.3	42,798	849	50.4	46,221	986	46.9
2006	48,521	857	56.6	49,962	920	54.3	52,929	1,062	49.9
2007	56,840	1,006	56.5	57,960	1,073	54.0	60,233	1,220	49.4
2008	64,195	1,163	55.2	64,824	1,231	52.6	66,083	1,382	47.8
2009	71,870	1,319	54.5	71,870	1,387	51.8	71,870	1,538	46.7
20% untreated rate									
1999	2,525	221	11.4	2,783	245	11.3	3,374	301	11.2
2000	5,620	316	17.8	6,136	349	17.6	7,295	424	17.2
2001	10,340	410	25.2	11,179	451	24.8	13,039	543	24.0
2002	14,828	504	29.4	15,876	551	28.8	18,164	657	27.6
2003	20,047	610	32.8	21,256	664	32.0	23,855	784	30.4
2004	26,135	702	37.2	27,441	760	36.1	30,211	891	33.9
2005	32,928	788	41.8	34,239	849	40.3	36,976	986	37.5
2006	38,817	857	45.3	39,970	920	43.4	42,343	1,062	39.9
2007	45,472	1,006	45.2	46,368	1,073	43.2	48,187	1,220	39.5
2008	51,356	1,163	44.1	51,859	1,231	42.1	52,866	1,382	38.3
2009	57,496	1,319	43.6	57,496	1,387	41.4	57,496	1,538	37.4
30% untreated rate									
1999	2,209	221	10.0	2,435	245	9.9	2,952	301	9.8
2000	4,917	316	15.6	5,369	349	15.4	6,383	424	15.1
2001	9,047	410	22.0	9,782	451	21.7	11,409	543	21.0
2002	12,974	504	25.8	13,892	551	25.2	15,893	657	24.2
2003	17,541	610	28.7	18,599	664	28.0	20,873	784	26.6
2004	22,868	702	32.6	24,011	760	31.6	26,435	891	29.7
2005	28,812	788	36.6	29,959	849	35.3	32,354	986	32.8
2006	33,965	857	39.7	34,973	920	38.0	37,050	1,062	34.9
2007	39,788	1,006	39.6	40,572	1,073	37.8	42,163	1,220	34.6
2008	44,936	1,163	38.6	45,377	1,231	36.9	46,258	1,382	33.5
2009	50,309	1,319	38.1	50,309	1,387	36.3	50,309	1,538	32.7

*Social discount rate.

†Cumulative cost.

**Fig. 1.** Estimated cumulative cost and benefit from water fluoridation program in Jinju at the assumption of 20% untreated rate.**Fig. 2.** Estimated benefit and cost ratio (B/C ratio) in 2009 from water fluoridation program in Jinju at the assumption of untreated rate, 0%, 20%, 30%; social discount rate, 2%, 3%, 5%.

성 분석 결과, 편익비용비는 8.64로 보고하였다. Moon 등²⁸⁾은 청주시 지북정수장의 수불사업의 편익비용비를 1982년부터 2000년까지는 24-28, 2001년부터 2010년까지 사업을 지속할 경우, 43-44로 추정하였다.

Ast 등⁸⁾은 미국 뉴버그 수불사업의 편익비용비를 4.1로, Ludwig¹⁰⁾는 뉴질랜드 Hastings 지역 수불사업 편익비용비를 4.4로 보고하였다. 한편, Cavanagh²⁹⁾는 Hollis의 자료를 인용하여 수불사업의 편익비용비는 우식치아 1개당 충전치료비가 많은 지역일수록 편익비용비가 크며, 우식치아 1개당 충전치료비가 20 USD (한화 26,000원)인 지역에서 19세 인구까지 편익비용비를 추정하면 56에 이르고, 전 인구를 대상으로 추산하면 최대 120을 상회할 것으로 보고한 바가 있다.

따라서, 진주시에서 수불사업으로 얻어지는 유치우식 예방효과와 13세 이후 인구에서 기대할 수 있는 영구치 우식예방효과를 같이 적용할 경우, 편익비용비는 본 연구의 결과보다 훨씬 더 높게 추계될 수 있다고 검토되었다.

민감도 분석에서 분석대상을 6세에서 12세까지로 한정하고, 우식영구치에 대한 미치료율을 0%, 20%, 30%로 가정하고, 사회적 할인율을 2%, 3%, 5%로 적용하면 2009년 편익비용비는 최저 32.7에서 최고 54.5로 추계되었다(Fig. 2).

본 연구의 제한점으로는 첫째, 수불사업은 영구치뿐만 아니라 유치에도 상당한 우식예방효과를 보이고 있지만^{16,26)}, 본 연구에서는 고려하지 못하였다. 둘째로는 사업비용은 전주시 전 연령 인구에 적용된 비용을 모두 계상하면서도 우식예방효과 추계대상 인구는 12세까지만 한정함으로써 편익을 실제보다 과소평가하였을 가능성이 크다. 셋째로는 치아우식병이 발생할 경우 충전치료 이외에 치수치료가 요구되기도 하고, 치아상실로 보철치료가 필요하기도 하지만, 본 연구에서는 소요되는 비용을 충전치료비로 한정하여 편익을 실제보다 과소평가하였을 가능성이 크다.

치아우식병 발생에는 불소 이외에도 다른 요인이 많이 관여할 수 있지만, 수불사업을 하는 진주시와 수불사업을 하지 않는 전국 중소도시에서 불소 이외의 다른 우식발생요인에 대해서 검토하지 못하였다. 질병관리본부는 조사 대상자의 거주지역 등의 개인 신상 비밀보장을 이유로 외부자료와 통합 분석하는 것을 제한하고 있다. 그에 따라, 대조군으로 제4기 국민건강영양조사(2007-2009년)의 지역별 자료와 연구진이 수집한 진주시 자료를 통합하여 분석하지 못하여서 수불사업 이외의 다른 우식발생요인을 교란변수로 처리하여 수불사업만의 효과를 분석하는 데에 한계가 있었다. 연구진은 교란변수의 영향을 최소한으로 하기 위하여 대조군으로 1개 지역만 선정하여 않고, 국민건강영양조사에서 현재와 과거에 수불사업을 한 적이 없는 전국 모든 중소도시 대상자를 활용하였다. 또한, 최근 가정용 정수기 사용이 수불사업 효과에 어느 정도 영향을 가져 올 수 있을 것으로 생각되지만 본 연구에서는 고려하지 않았다. Lee 등³⁰⁾은 정수기 사용이 수불사업의 치아우식병 예방효과에 유의한 차이를 가져오지 못했다고 보고한 바가 있다.

따라서, 수불사업의 비용편익을 보다 더 정밀히 분석하기 위

해서는 유치와 영구치 모두 평가대상으로 함과 아울러, 보다 더 많은 연령층을 대상으로 구강검사를 하고 우식치아가 감소하여 절약되는 치료비용에 충전치료 비용만 고려하지 말고 치수치료 비용과 상실치아에 대한 보철치료 비용도 추산하며 불소 이외의 다양한 우식발생요인에 대해서도 고려함이 필요하다고 검토되었다.

결론

진주시에서 1998년부터 시행하고 있는 수돗물불소농도조정사업의 경제적 편익여부를 추계하고자, 2009년 6-12세 아동 2,315명에 대하여 구강검사를 시행한 다음, 제4기 질병관리본부의 국민건강영양조사(2007-2009년)에서 조사대상 중소도시의 동 지역 중에서 과거 수불사업을 시행했던 16개 지역을 제외한 지역의 6-12세 아동을 대조군으로 설정하였다. 진주시와 대조군의 연령별 우식경험영구치지수의 차이를 수불사업으로 인한 우식경험영구치지수의 감소치로 추정하여, 대상 연령별 정수장 급수인구 및 치아당 충전재료별 진료비용을 적용하여 얻어진 충전치료비 절약액으로 경제적 편익을 산출하였다. 1998년부터 2009년까지의 연도별 사업비용과 사업으로 얻어진 편익을 2009년 현재가치로 환산한 다음, 편익을 누적사업비용으로 나누어서 연도별 편익비용비(B/C ratio)를 산출한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 우식영구치의 미치료율을 20%로, 사회적 할인율을 3%로 설정할 경우, 2009년 현재가치 환산 수불사업의 편익은 57,496,000,000원으로 추정되었고, 누적사업비용은 1,387,000,000원으로 추정되어 편익에서 누적비용을 차감한 순현재가치는 56,109,000,000원으로 추산되었다.

2. 진주시 수돗물불소농도조정사업의 편익비용비는 2006년 최대 43.4으로 추정되었고, 2009년 편익비용비는 최대 41.4로 추정되었다.

1998년부터 진주시에서 시행하고 있는 수돗물불소농도조정사업에 대하여 경제성 평가를 시행한 결과, 경제성은 우수한 것으로 평가되었다.

감사의 글

1997년부터 진주시 수돗물불소농도조정사업의 시행과 발전을 위해서 힘써 주신 진주시보건소 김병성소장님, 황혜경 건강증진과장님, 홍정숙님과 역대 구강보건업무 담당관님, 강남이님과 역대 구강보건업무 담당 주무관님, 상하수도사업소 정수과 손원모과장님과 역대 정수과장님을 비롯한 직원님들께 감사드립니다.

References

- Kim JB, Kim SG, Lee YS, Son KJ, Jeon JG, Chang KW. Characteristics and anatomical surface of sealant with tooth type in children at Chonju city, Korea. J Korean Acad Oral Health 2005;29:33-42.
- Garcia-Godoy F, Harris NO, Helm DM. Pit and fissure sealants.

- In: Harris NO, Garcia-Godoy F. Primary preventive dentistry. 6th ed. Upper Saddle River: Appleton & Lange;2004:285-318.
3. Moon HS, Jung JY, Horowitz AM, Ma DS, Paik DI. Korean dental hygienists' knowledge and opinions about etiology and prevention of dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 1998;26:296-302.
 4. World Health Organization. Prevention methods and programmes for oral diseases. Methods for preventing dental caries. Geneva: World Health Organization, Technical report series 1984;713:12-20.
 5. Crawford PR. Fifty years of fluoridation. *J Can Dent Assoc* 1995; 61:585-588.
 6. Kargul B, Caglar E, Tanboga I. History of water fluoridation. *J Clin Pediatr Dent* 2003;27:213-218.
 7. National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion. Fluoridation status [Internet]. [cited 2012 Mar 7]. Available from: <http://apps.nccd.cdc.gov/nohss/FluoridationVasp>
 8. Ast DB, Fitzgerald B. Effectiveness of water fluoridation. *J Am Dent Assoc* 1962;65:581-588.
 9. Davis GN. Cost and benefit in fluoride in the prevention of dental caries. Geneva:World Health Organization;1974:2-17.
 10. Ludwig TG. Hastings fluoridation project; IV. Dental effects between 1954 and 1970. *New Zealand Dent J* 1971;67:155-160.
 11. Spencer AJ. Contribution of fluoride vehicles to change in caries severity in Australian adolescents. *Community Dent Oral Epidemiol* 1986;14:238-241.
 12. Ministry of Health & Welfare. Workshop for water fluoridation program in 2000. Seoul:Ministry of Health & Welfare;2000:6-12.
 13. Ministry of Health & Welfare. 2011 Guideline for water fluoridation program. Seoul:Ministry of Health & Welfare;2009:73.
 14. Kim JB, Paik DI, Moon HS, Song YH, Park DY, Jung SH. Effect of water fluoridation on dental caries prevention in 11-year-old Korean children. *J Korean Acad Oral Health* 1997;23:583-592.
 15. Kim DY, Kim BJ, Lee SM, Bae KH, Kang NE, Kim JB. Evaluation of caries preventive effect from a 6-year community water fluoridation program in Jinju, Korea. *J Korean Acad Oral Health* 2006; 30:347-359.
 16. Chin IJ, Kim DH, Lee SM, Lee SW, Bae KH, Kim JB. Caries preventive effect on primary teeth by community water fluoridation program in metropolitan city-comparison of Ulsan and Busan Metropolitan City, Korea. *J Korean Acad Oral Health* 2007;31:224-234.
 17. White BA, Antczak-Bouckoms AA, Weinstein MC. Issues in the economic evaluation of community water fluoridation. *J Dent Educ* 1989;53:646-657.
 18. Drummond M, Stoddart G, Labelle R, Cushman R. Health economics: an introduction for clinicians. *Ann Intern Med* 1987;107:88-92.
 19. Statistics Korea. Korea Statistical Information System (KOSIS), Statistics DB, Regional Statistics, Statistics of Water Supply in Jinju [Internet]. [cited 2012 Mar 2]. Available from: http://kosis.kr/region/region_03List.jsp.
 20. World Health Organization. Oral Health Survey. Basic Methods. 4th ed., Geneva:World Health Organization, 1997:39-46.
 21. Kim JB, Kim JB. A study on the evaluation of water fluoridation in the Republic of Korea. *Seoul Nat'l Univ J Dental College* 1988;12(2):1-29.
 22. Chung HU, Ahn HS, Park HK, Moon HS, Cho SH, Lee HY, et al. Cost benefit analysis on the economic effect of the water fluoridation program in some area of Cheong-Ju City. *Korean J Health Policy & Administration* 2003;13:23-45.
 23. Ministry of Health & Welfare. 2010 Korean National Oral Health Survey: III. Survey Report. Seoul:Ministry of Health & Welfare; 2011:265-266.
 24. Lewis DW, Banting DW. Water fluoridation: current effectiveness and dental fluorosis. *Community Dent Oral Epidemiol* 1994;22: 153-158.
 25. Gillcrist JA, Brumley DE, Blackford JU. Community fluoridation status and caries experience in children. *J Public Health Dent* 2001;61:168-171.
 26. Han DH, Kim JB, Park DY. The decline in dental caries among children of different ages in Korea, 2000-2006. *Int Dent J* 2010;60: 329-335.
 27. Dini EL, Holt RD, Bedi R. Comparison of two indices of caries patterns in 3-6 year old Brazilian children from areas with different fluoridation histories. *Int Dent J* 1998;48:378-385.
 28. Moon HS, Cho SH, Ahn HS, Kim JB, Sung JH. A study on the outcome evaluation of water fluoridation program. *School of Dentistry, Seoul Nat'l Univ & Affiliated Research Institute*;2000:65-74.
 29. Cavanagh JG. Water fluoridation; Part II. Estimate of cost-effectiveness on the fluoridation project in Peninsular Malaysia. Assignment report ICP/ORH/001. Regional Office for The Western Pacific Bureau of World Health Organization;1984:19-27.
 30. Lee HS, Chang KW, Kim JB, Kim DK, Kim KS, Park DY, et al. The effectiveness of community water fluoridation in Korea. *Health Promotion Research Program, Policy 11-15*, [Internet]. [cited 2012 May 16]. Available from: <http://research.hp.go.kr/hpResearch>. Seoul:Korea Health Promotion Foundation 2011:134-135.