

구강 내 산도의 생체 내 측정을 위한 wireless pH telemetry의 개발

김형준 · 김재문 · 정태성 · 김 신

부산대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

치아 우식증과 침식증의 진단과 예방에 있어 구강 내 환경, 특히 산도를 정밀하게 평가하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구는 구강 내의 산도측정을 위한 기존 방법들의 단점을 보완하고자 구강 내 무선 pH 원격측정 방법을 개발하고, 실제로 측정시의 효율성을 얻기 위해 시행되었다.

구강 외로 부착되는 부가적인 장치 없이 구강 내에만 장착하여 24시간 이상 수소이온농도지수(이하 pH)를 측정할 수 있는 무선 원격측정장치를 개발하고, 정확한 산도의 측정이 가능한지를 검증하였다. 그리고 이 장치를 실제 구강 내에 장착하여 피검자로 하여금 24시간 동안의 시간별 상세한 섭식과 활동 내용, 수면 상태를 기록하도록 하고 24시간 후 구강으로부터 수거하여 지난 24시간 동안의 pH의 변화를 획득하고 분석하였다.

그 결과, 구강 내 장치와 구강 외 장치로 이루어진 구강 내 무선 pH 원격측정방법의 개발에 성공하였으며 24시간 동안 피검자의 구강 내 pH 변화를 측정할 결과, 피검자가 실제 섭취하였던 시간과 음식 종류에 일치하게 측정치를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통하여 장시간 무선 pH 원격측정방법을 이용하여 구강 내 pH를 측정할 수 있게 됨으로써, 기존의 유선 pH 원격측정방법이 가진 한계점을 극복할 수 있게 되어 구강 내 환경이나 우식학과 관련된 보다 광범위한 연구가 가능하게 될 것이다.

주요어 : 무선 pH 원격측정, 치아 우식증, 치아 침식증, 구강 내 산도

I. 서 론

산에 의한 치아의 파괴는 크게 우식증과 침식증으로 나눌 수 있다. 치아의 우식증은 석회화 조직의 일부가 용해되어 파괴되는 감염성 세균 질환으로 알려져 있다. 치태 내부의 박테리아가 정제된 탄수화물을 대사하여 생성된 산이 치질의 결정 구조를 용해시켜 우식 병소가 발생하게 된다^{1,2)}. 우식증이 발생하는 과

정에 영향을 미치는 요인에는 숙주요인, 미생물 요인, 식이요인과 시간요인이 있다³⁾. 그 중 우리가 일상생활에서 매일 섭취하는 식품의 경우는 환경요인에 해당하며 섭취한 식품에 함유되어 있는 탄수화물, 특히 당분은 구강 내 세균의 대사원으로 치아의 우식증과 밀접한 관계가 있다. 당분을 섭취한 후 대사산물인 산이 생성되고 이로 인해 치태의 pH가 법랑질의 탈회기 시작되는 임계 pH 5.5 이하로 떨어지면 법랑질의 수산화인회석과 법랑질 표면을 덮고 있는 치태내의 칼슘과 인산염 이온 농도의 평형이 기울게 되어 법랑질의 용해가 일어나게 된다^{1,2,4,5)}.

반면, 치아 침식증은 세균의 활동과 관련이 없는 화학적 과정에 의해 발생하는 치아 경조직의 점진적인 소실로 정의될 수 있다. 그리고 특징적으로 양측성으로 여러 치아에 나타나며 대개 탈회과정에 동반되는 백묵화나 거친 표면을 나타내지 않고, 법

교신저자 : 김 신

부산광역시 서구 아미동 1가 10
부산대학교 치과대학 소아치과학교실
Tel: 051-240-7449
E-mail: shinkim@pusan.ac.kr

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

랑질 표면은 활택하며 그 변연부는 정상 치면에서 부드럽게 이행되며 색조변화가 없다^{2,6)}. 치아 침식증은 pH 4.5 이하의 부식성 물질인 산과 치아표면의 빈번한 접촉에 의한 현상으로, 접촉 경로에 따라 외인성 요인과 내인성 요인으로 나뉜다. 내부적인 요인 중 대표적인 경우는 위산이 구강으로 역류하여 치아의 침식을 유발하는 것이며, 외부적인 요인으로는 과일 등의 산성 음식물 섭취와 산성 음료, 탄산 음료, 이온 음료 등의 음용이 대표적인 예이다^{2,6,7)}. 침식증은 섭취한 음식과 음료에 의한 구강 내 pH의 직접적인 영향을 받기 때문에 일상생활 동안 구강 내 pH의 변화를 측정하는 것은 침식증의 진단과 치료에 중요한 의미를 지닌다⁸⁻¹⁴⁾. 그리고 치아 우식증과 관련하여 특정 식품의 우식유발가능성을 평가하기 위해서는 음식섭취 전과, 섭취 동안, 섭취 후의 치태 pH의 측정이 필수적이다. 환자의 일상적인 식단에 대한 우식 유발 잠재성에 대해 상담을 하는 경우에도 치태와 구강 내의 pH 변화를 측정함으로써 식사형태에 따른 다양한 음식과 음료의 산생성능을 비교할 수 있다. 비록 우식유발성이 아닌 산생성능이 측정된다 하더라도 둘 사이에는 강한 연관성이 있으므로 치태의 pH는 치아의 우식증의 발생과 예방에 중요한 의미를 가진다¹⁵⁻¹⁸⁾.

세 가지 주요 방법이 치태 내의 pH 측정에 이용되어 왔다. 첫 번째로 sampling/scraping 방법은 치태를 문지르거나 채취하여 구강 외에서 산도 측정기를 사용하여 실험실에서 측정하는 방법이다¹⁹⁻²¹⁾. 두 번째로 touch-on/microtouch 방법은 antimony 또는 유리 전극을 치태 내부에 직접 넣어 pH를 측정하는 방법이다^{18,22,23)}. 세 번째로 Graf와 Mühlemann²⁴⁾에 의해 개발된 원격측정 방법은 가장 기술적으로 진전된 방법으로 원래의 치태 내의 실제 pH의 측정에서는 가장 정확한 방법이다. 우리가 섭취하고 있는 음식과 음료의 산생성능과 우식생성능의 평가를 위해 많은 연구에서 구강 내와 치태 내부의 pH 변화를

주목해왔다. 지금까지의 연구는 sampling/scraping 방법과 microtouch 방법이 연구의 주류를 이루어 왔다. 그러나 숙주인체의 구강 내에서 다양한 음식과 음료수의 우식유발능을 평가하기 위해서는 섭취하였을 때 실제적인 숙주 요인의 환경 하에 구강 내 pH 변화를 지속적으로 측정할 수 있는 방법이 필요하다. 최근에 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 원격측정 방법이 도입되었지만 현재까지의 원격측정 방법의 한계점은 유선으로 연결되어 정해진 시간에 진료실 내에서 검사자의 지시 하에 특정 음식이나 음료를 섭취하며 구강 내 pH를 측정하기 때문에 실제 생활 방식이 반영되지 못하는 단점이 있다.

본 연구는 구강 내와 치태 내부의 pH의 측정을 위한 기존의 방법들의 단점을 보완하고 원격측정을 이용한 방법의 한계를 극복하기 위해 구강 내 장치에서 24시간 이상 pH 수치를 측정, 저장할 수 있는 무선 pH 원격측정방법을 개발하고 실제로 측정 시의 효율성을 얻기 위해 시행되었다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

부산대학교병원 의공학과와 의공학과를 연어, 구강 외로 장착되는 부가적인 장치 없이 구강 내에만 장착하여 장시간 동안 구강 내 pH를 측정, 저장할 수 있는 무선 pH 원격측정장치를 개발하였으며 그 과정은 다음의 5단계로 나눌 수 있다(Fig. 1).

1) pH 센서부

pH를 측정할 수 있는 여러 종류의 전극 중 antimony 전극은 크기가 작고, pH 측정 시 기준이 되는 reference 전극이 antimony 전극에 근접해 있어 구강 내에 사용하기 적합하였다.

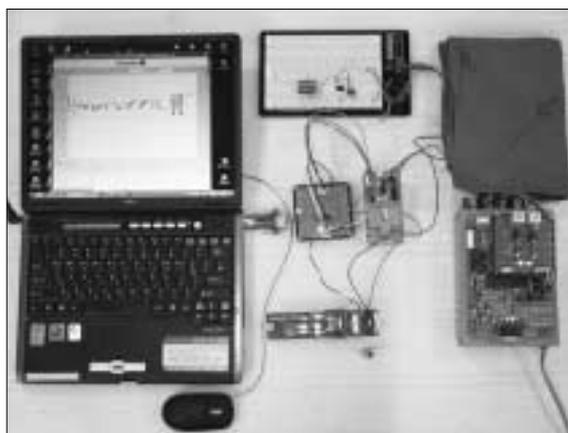
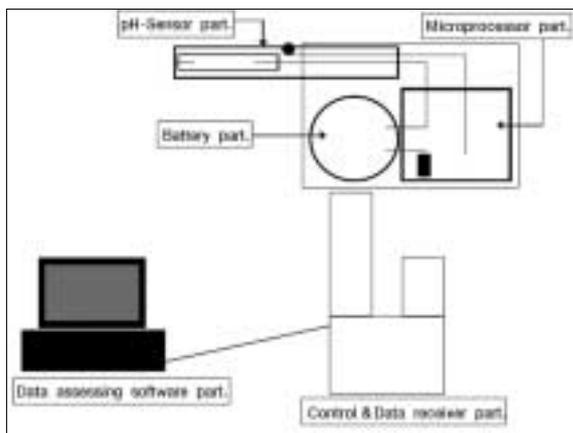


Fig. 1. The components of a wireless intra-oral pH telemeter.

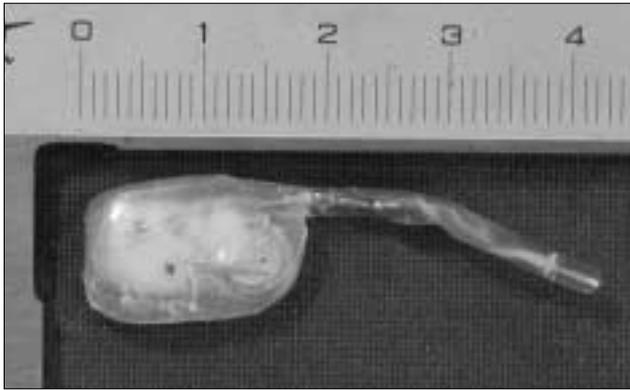


Fig. 2. Intraoral wireless pH telemeter.



Fig. 3. Data analyzing software.

Table 1. pH measurements of experiment solutions

solution No.	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	8.925	8.090	7.625	7.065	6.996	6.255	5.705	5.465
solution No.	9	10	11	12	13	14	15	16
pH	5.195	4.495	4.225	4.030	3.515	3.050	2.500	2.070

antimony 전극의 pH 측정 원리는 수소 이온에 의한 reference 전극과 antimony 전극 사이의 전압차를 측정하여 pH 완충 용액으로 미리 교정된 값에 의해 pH를 표시하게 된다. 본 연구에서는 antimony를 사용하는 전극 중 현재 소화기 내과에서 위장관의 pH를 측정할 때 사용하는 Slimline® Multi-Use pH Catheters(Medtronic, USA)의 전극 부분을 사용하였다²⁵⁾.

2) 마이크로프로세서부

pH 원격측정장치를 동작시키는 프로그램과 측정된 pH 수치를 저장할 수 있는 마이크로프로세서인 ATmega8L 8-bit with 8K Bytes In-System Programmable Flash(Atmel, USA)를 사용하였다.

3) 전원부

구강 내에서 무선 pH 원격측정장치의 작동을 일정하게 유지하기 위해 장시간동안 전력 공급이 가능하고 재충전이 가능한 manganese-lithium coin battery(ML612S, Panasonic, Japan)를 사용하였다.

구강 내 장치는 이상의 3부분으로 구성되며 각 부분을 연결한 후 방수를 위해 Scotch-Weld™ Polyurethane(3M, USA)를 사용하여 장치를 매몰하였다(Fig. 2).

4) 조정 및 자료수신부

구강 내 장치의 폴리에탄막을 관통하여 전지의 양극과 음극을 연결함으로써 측정 시작과 정지, 그리고 저장된 측정값을 전송하도록 구강 내 장치를 조정하고 전지를 충전할 수 있는 구강 외 장치를 개발하였다. 저장된 측정값을 프로그램으로 전송하는 방법은 LED를 통한 광통신을 이용하였다.

5) 자료 분석 소프트웨어

구강 외 장치를 이용해 구강 내 장치를 통제하며 전송된 측정값을 각 시간별 pH수치로 변환시킬 수 있고 특정 구간을 확대하여 볼 수 있으며 특정 구간에서 특정 pH 하방으로 내려간 구간의 면적을 수치화 할 수 있는 프로그램을 제작하였다(Fig. 3).

2. 연구 방법

1) antimony 전극의 재현성

장치에 사용되는 antimony 전극이 무선인 상태에서도 pH 수치를 정확히 측정할 수 있는지를 파악하기 위하여 무작위로 선정된 5개의 antimony 전극으로 16종의 pH 용액의 전압차를 측정하였다(Table 1). 용액의 pH는 산도측정기(Corning® 430, Nova-analytics, USA)를 사용하여 측정하였다.

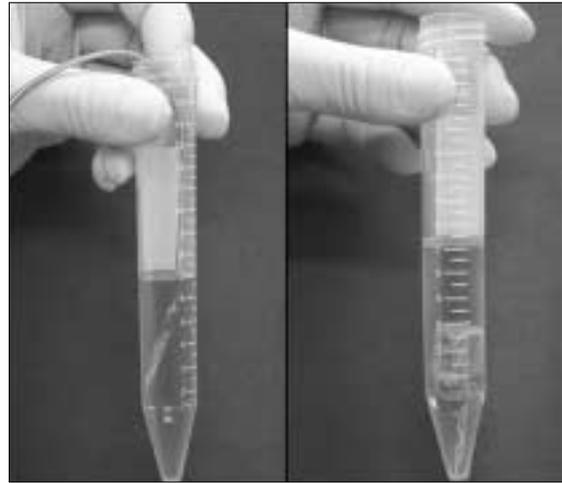


Fig. 4. Measurements of pH 4.01 & pH 7.00 buffer solution.

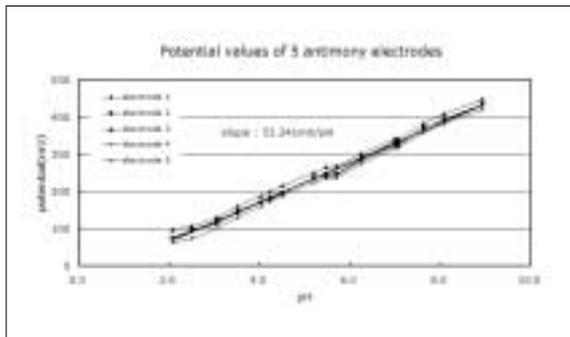


Fig. 5. Potential values of 5 antimony electrodes.



Fig. 6. Calibration of antimony electrodes.

2) 유선 원격측정장치와의 비교

무선 원격측정장치가 동일한 pH 상태에서 기존의 유선 원격측정장치와 같은 결과를 얻을 수 있는지를 평가하기 위해 일정한 pH를 가진 완충 용액(pH 4.01과 pH 7.00)과 다른 용액을 유선 원격측정 방법과 무선 원격측정 방법으로 측정하였다 (Fig. 4).

3) 실제 구강 내 적용

무선 pH 원격측정 장치가 실제 구강 내에서 24시간 이상 효과적으로 작동하는지를 평가하기 위해 부산대학교병원 윤리위원회 의 자문을 거쳐 자원 피검자를 대상으로 동의서를 받은 후, 하악의 인상을 채득하여 구강모형을 만들어 장치를 부착할 수 있는 가철식 아크릴 장치를 제작하였다. 실제 구강 내에 장착하여 24시간 동안 식사시간과 간식 종류, 활동 내용, 수면 상태를 기록하게 하여 24시간 후 구강 내에서 제거하여 pH 측정값의 변화를 알아보았다.

Ⅲ. 연구성적

1. antimony 전극의 재현성

무작위로 선정된 5개의 antimony 전극으로 pH 2.070에서 pH 8.925까지 16종의 pH 용액의 전압을 측정한 결과를 Table 2와 Fig. 5에 표시하였다. 각각의 전극은 같은 pH를 가진 용액에서 서로 다른 전압차를 보였지만, 동일한 pH차에 대해서는 동일한 전압차를 보였다. 즉, 일정 pH에 따른 전압차 (mV/pH)는 일정한 값을 가졌다. 따라서 pH를 측정하기 전에 pH 7.00과 pH 4.01의 일정한 pH를 유지하는 완충용액에 장치를 넣어 antimony 전극간의 차를 교정해야할 필요가 있다.

본 연구의 보정 방법은 제작된 무선 pH 원격측정장치를 구강 내에 적용시키기 전에 pH 7.00 완충용액, pH 4.01 완충용액에 각각 10분간 pH를 측정한다. 구강 내에서 측정이 완료되고 난 후 프로그램 상에서 측정된 pH 7.00과 pH 4.01에 해당하는 전압 값을 입력하여 보정할 수 있도록 개발하였다(Fig. 6).

Table 2. Potential values measurement of 5 antimony electrodes in each solution (unit: mV)

pH of solution	Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5
8.925	435	435	448	432	420
8.090	394	394.5	409	392.5	383
7.625	371	371	382	370.5	359
7.065	324	329.5	341	324	319.5
6.996	326.5	332	343	322	318
6.255	287	290	301.5	282	274.5
5.705	246	248.5	268.5	245.5	236.5
5.465	245	246	265	239.5	235
5.195	236	236	249.5	235	224.5
4.495	195	196	215	195	188
4.225	180	182	200	181	173
4.030	170	171	188	170	161
3.515	142	146	161	146.5	128.5
3.050	114.5	120	131	117	101
2.500	92.5	94.5	107	93.5	75
2.070	75.5	74.5	97	75	62

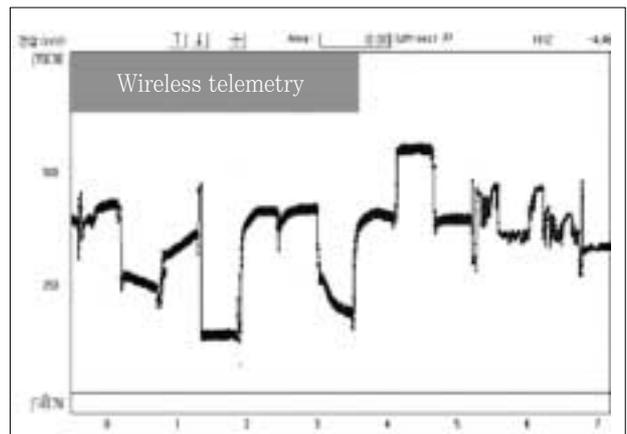
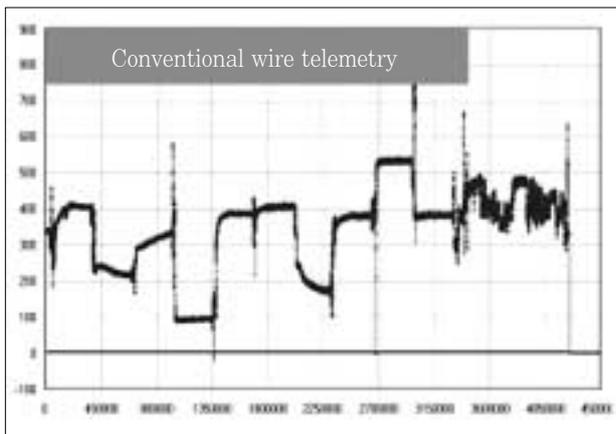


Fig. 7. Comparison of conventional wire telemetry and wireless telemetry.

2. 유선 원격측정장치와의 비교

동일한 pH 상태에서 유선 원격측정장치와 무선 원격측정장치는 동일한 전압차를 보였다(Fig. 7).

3. 실제 구강 내 적용

자원 피검자에게 무선 pH 원격측정장치를 장착한 가철식 아크릴 장치를 구강 내 적용시켰다(Fig. 8). 피검자가 작성한 24시간 동안의 식사시간과 간식 종류, 활동 내용, 수면 상태에 대한 기록은 Table 3에 나타내었다. 24시간 후 구강 내에서 제거하여 얻어진 pH 측정값의 변화는 Fig. 9와 같다.



Fig. 8. Intra-oral photograph of device.

Table 3. Recording about meal time and snack kind, activity contents, sleep state for 24 hours

Time	contents
PM 11:34	start measurement
11:40	pH 7 buffer solution (10 min)
11:50	pH 4 buffer solution (10 min)
12:00	pH 7 buffer solution (10 min)
12:20	intra-oral application
AM 02:20	going to sleep
07:30	get up in the mornig
07:35~48	toothbrushing (remove applinace)
07:52	beverage : carrot juice
PM 12:20~12:45	meal time
12:49	beverage : ginger tea
01:22~24	toothbrushing (remove applinace)
03:14	beverage : miero fiber
06:51~07:10	meal time
07:27~30	toothbrushing (remove applinace)
08:38~48	snacks : candy
09:39	beverage : coffee
11:34	end measurement

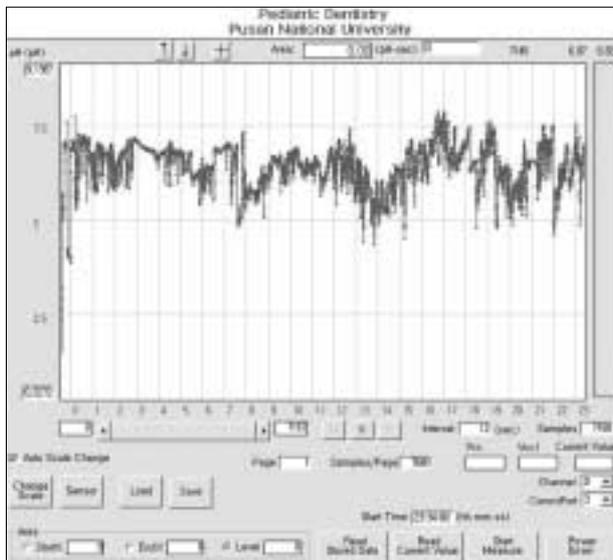


Fig. 9. Intra-oral pH profile during 24 hours.

Ⅳ. 총괄 및 고찰

Stephan¹⁸⁾이 1940년도 pH 측정에서 처음으로 구강 내로 섭취한 탄수화물이 치태에 의해 빠르게 분해되어 산이 생성된다고 밝혔다. 그 후로 치태의 당 분해 능력에 대한 많은 연구가 있었고, 치아 경조직 병변과의 연관성도 밝혀지게 되었다¹⁶⁾. 대표적인 구강 질환인 치아 우식증은 숙주, 우식을 유발하는 세균 및 법랑질 탈회를 가능하게 할 음식물이 공존할 때 유발되는 다요인성 질환으로, 이를 효과적으로 예방하기 위해 치면세균막

관리법, 불소이용법, 치면열구전색법 및 식이조절법 등의 포괄적 치아우식예방법이 필요하다²⁶⁾. 특히, 치아우식증이 발효성 탄수화물 존재 시 생성된다는 것이 주지의 사실임에도 불구하고 발효성 탄수화물의 섭취량과 빈도는 매년 증가하는 추세를 보이고 있다^{2,4,5)}. 이로 인해 구강 건강에 많은 악영향을 미치게 되므로 식품의 성분과 치아우식유발능력 등의 식이성 요인이 연관된 합리적인 식이조절이 절실하다.

소아의 경우에는 성인과는 달리 치아의 석회화 정도가 성인에 비하여 낮고 타액에 의한 탈회부위의 재광화율이 낮기 때문에 보다 철저한 치아우식예방법이 필요하다²⁷⁾. 강 등²⁶⁾은 미취학 아동 중, 우식경험이 매우 큰 어린이들은 매우 작은 어린이들에 비해 당류 및 병과류와 발효성 유류 들의 섭취빈도가 높았고, 1일 평균 우식성 음식 섭취 빈도가 높다고 보고하였다. 또한 정 등²⁸⁾은 유아용 조제 분유도 치태의 pH를 감소시킬 수 있기 때문에 식품에 대한 치아우식 발생과 관련하여 어린이 및 부모에 대한 식이조절이 반드시 필요하다고 언급하였다.

어린이에서 치아 우식을 야기하는 산성 음식이나 음료는 치아 침식증이 생길 기회 또한 증가시킨다. 이러한 음료와 음식에 의해 침식되는 경향이 새롭고 중요한 관심사로 부각되고 있다. 몇몇 서구의 선진국에서 산성 음료의 소비가 증가된다면 치아 침식증이 큰 문제가 될 것이라는 주장이 제기되었지만 그 후에도 다양한 산성 음료가 개발되었고 더욱 쉽게 접할 수 있게 됨으로써 그 소비량이 날로 증가하고 있으며 주요 소비층이 소아 및 청소년이라는데 더 큰 문제가 있다. 안 등²⁹⁾의 연구에 따르면 시중에 판매하는 음료의 대부분이 산성 음료이며 유치의 치아 침식증의 발생은 빠르게 일어나는 반면에 재광화는 상대적으로 느리게 일어난다고 하였다. 영국의 경우, 6세 어린이의 50%에

서 침식증이 나타났고 23%는 상아질까지 진행된 침식증이 발견되었다. 14세 어린이의 영구 치열에서는 23%에서 침식증이, 2%에서 상아질까지 진행된 침식증이 발견되었다³⁰⁾.

이러한 치아 우식증과 침식증의 진단과 예방에 있어 구강 내 환경을 정밀하게 평가하는 것은 매우 중요한 일이다. 특히 치태와 구강 내의 pH는 치아의 우식과 침식과 밀접한 연관이 있으므로 구강 내부 pH의 측정은 우식과 침식의 유발 잠재성에 대한 지침이 되어야 한다. 지금까지 구강 내 pH 변화를 측정하기 위하여 다양한 연구방법들이 제시되어 온 바, 크게 세 가지 주요 방법이 치태 내와 구강 내의 pH를 측정하는데 이용되어 왔다. 첫 번째로 sampling/scraping 방법은 치태를 문지르거나 채취하여 구강 외에서 산도측정기를 사용하여 실험실에서 측정하는 방법이다¹⁹⁻²¹⁾. 이 방법의 장점은 정교한 장치가 불필요하고 피검자가 많은 경우에 효과적이다. 그러나 채취 과정에 있어서 치태의 투과성이 파괴되고 치태 표본이 구강 내 다른 부위의 음식물에 의해 오염될 수 있다는 단점이 있다^{1,31,32)}. 두 번째로 touch-on/microtouch 방법은 잘 알려진 "Stephan Curve" 실험을 통해 발전되었으며 antimony 또는 유리 전극을 치태 내부에 직접 넣어 pH를 측정하는 방법이다^{18,22)}. 후에 얇은 palladium oxide 미세전극의 도입으로 치태의 전체 두께에 보다 유리한 접근성을 가짐으로써 더 발전되었다²³⁾. 이 방법은 sampling 방법과 같이 많은 수의 피검자에서 유리하며 한 피검자에서 여러 부위의 치태에서 pH를 측정할 수 있는 장점이 있다. 하지만 치태의 투과성을 변형시키고 외부에 있던 치태가 안으로 밀려들어갈 수 있으며, 치면과 깊은 부위에 위치한 치태 사이의 실제 pH가 타액등에 의해 변화될 수 있다^{1,31,32)}. 세 번째로 Graf와 Mühlemann²⁴⁾에 의해 개발된 원격측정 방법은 가장 기술적으로 진전된 방법으로 원래의 치태 내의 실제 pH의 측정에서는 가장 정확한 방법이다. 전통적인 방법은 유리 전극의 끝부분을 자연치열 상에서 인접면에 오도록 부분의치의 인공치나 보철 치아의 치관 내에 매식한다. 치태가 전극에 축적되도록 하여 실제 치태의 pH를 측정하여 구강 외 장치로 전송한다. 이 방법은 microtouch 전극이 적용될 수 없는 치아 인접면과 같은 접근이 힘든 부위에서 치태의 특성을 파괴하지 않고 연속적으로 측정할 수 있는 장점을 지닌다^{1,31,32)}. 치태의 pH를 측정하는 세 가지의 다른 방법을 이용한 연구에서 microtouch와 원격측정 방법은 sampling 방법보다 더 명백한 pH 반응을 보임을 확인하였고 이로써 각기 다른 음식의 산 생성 잠재력의 구별에 더 적합함을 확인하였다^{1,32,33,34)}.

위장관의 상태를 감시하거나 심근의 pH를 측정하는 등의 다른 생체 원격 측정 연구의 발달과 함께 구강 내 원격측정 방법은 기술적으로 발전되어 왔으며, 측정된 pH 수치를 저장하는 방식에서 유선 원격측정 방법, 전파 원격측정 방법(radiotelemetry), 자체 저장형 장치(data storage in device)의 3가지로 세분할 수 있다^{35,36,37)}. 유선 원격측정 방법은 기존의 전통적인 원격측정 방법을 따르며 구강 내 매식된 전극과 구강 외 자료 저장 장치사이에 전선을 연결하여 측정치를 저장하게 된다. 자

료 전송에 필요한 전력을 외부 장치에서 공급하기 때문에 매우 안정적이다. 하지만 측정 동안 환자의 움직임이 제한되고 선이 구강 밖으로 나오기 때문에 실제 생활 속에서 일어나는 구강 내 pH의 변화를 기록할 수 없다. 다음으로 전파 원격측정 방법은 구강 내 장치와 구강 외 저장 장치 사이에 무선 통신을 이용해 측정값을 저장하는 방식을 사용한다. 선이 없기 때문에 환자의 움직임에 제한이 없어 실제적인 구강 내 환경속에서 측정이 가능하다. 그러나 구강 내 장치의 전원 공급에 제한이 있고 측정 동안 무선 통신을 하는 구강 외 저장 장치를 항상 소지하여야 하는 단점이 있다. 마지막으로 자체 저장형 장치 방식은 무선 원격측정 방법이라고 할 수 있으며 구강 내 장치 자체에서 pH의 측정과 저장, 전력 공급을 해결하는 방법이다. 장치에 저장된 측정값은 측정이 끝난 후 실험실에서 얻을 수 있다. 이 방법은 소지해야 하는 구강 외 저장 장치가 별도로 필요 없어 피검자의 생활에 영향을 주지 않는다. 하지만 기술적인 개발의 어려움으로 인해 현재 이에 대한 연구는 큰 성과를 이루지 못하고 있다³⁸⁾.

본 연구는 구강 내 산도의 측정을 위한 기존의 방법들의 단점을 보완하고 원격측정을 이용한 방법의 한계를 극복하기 위하여 측정장치, 동력원 및 저장장치를 모두 갖춘 무선 pH 원격측정 방법을 개발하기 위해 시작되었다. 그 결과, 크게 구강 내 장치와 구강 외 장치로 구성되고 구강 내에 위치시켜 24 시간 이상의 장시간 동안 지속적으로 구강 내 pH 변화를 측정할 수 있는 무선 pH 원격측정장치를 개발하게 되었다(특허출원번호 : 10-2007-0038162). 이 장치를 피검자로 하여금 구강 내에 장착하고 24시간 동안 pH 변화를 측정할 결과, 피검자가 실제 섭취하였던 시간과 음식 종류에 일치하게 측정치를 얻을 수 있었다.

앞으로 개발 연구를 지속하여 측정시간을 연장하면서 측정의 재현성과 정밀성을 재고한다면 우식학의 많은 분야의 연구에 중요한 기여를 할 수 있을 것으로 판단되었다. 우선 개개인의 구강 내 환경을 상대 비교할 수 있고, 구강 내 pH 측정치가 유용한 각종 전신질환의 진단적 도구로도 활용성을 찾을 수 있다. 또한, 모든 음식물과 음료수, 기호식품의 우식 및 침식 유발능을 계량화하여 평가할 수 있을 것이며, 어린이들을 위해서는 우식위험도를 매우 객관적으로 평가할 수 있는 예방교육의 기초 장비로 역할을 기대할 수 있을 것이다.

V. 결 론

구강 내 산도 측정에 대한 이전 연구의 주축을 이루어 왔던 유선 전극을 이용한 측정방법의 한계를 극복하기 위하여 무선 pH 원격측정 방법을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구강 내 장치와 구강 외 장치로 이루어진 무선 pH 원격측정 방법을 개발하여 안정화와 해상력의 정교화를 위한 실험과정을 거쳤다. pH 측정부의 antimony 전극은 무선 상태에서 용액의 산도 변화에 비례하여 안정된 전위차를

나타내었다. 무선 원격측정장치는 동일한 pH 조건 하에서 유선 원격측정장치의 측정치와 동일한 결과를 보였다.

2. 무선 pH 원격측정장치를 식립한 가철성 장치를 구강 내에 장착하고 24시간 동안 피검자의 구강 내 pH 변화를 측정 한 결과, 피검자가 실제 섭취하였던 시간과 음식 종류에 일치하게 측정치를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통하여, 24시간 이상의 장시간 무선 원격측정 방법을 이용하여 구강 내 pH를 측정할 수 있게 됨으로써, 기존의 유선 pH 원격측정방법이 가진 한계점을 극복할 수 있게 되어, 구강 내 환경이나 우식학과 관련된 보다 광범위한 연구가 가능하게 될 것이다.

참고문헌

1. Axelsson P : Diagnosis and risk prediction of dental caries. Quintessence publishing, Illinois, p.57-69, 2000.
2. Riva TD, Cor VL : Sugars and dental caries. Am J Clin Nutr, 78:881S-92S, 2003.
3. 대한소아치과학회 : 소아·청소년 치과학. 신흥인터내셔널, 서울, p.155-157, 2007.
4. Norman T : Association of Diet with Dental Caries in Preschool Children. Dent Clin N Am, 49:725-737, 2005.
5. Jensen ME : Diet and dental caries. Dent Clin N Am, 43:615-633, 1999.
6. 이경호, 정태성, 김신 : 탄산음료의 범랑질 침식효과에 대한 연구. 대한소아치과학회지, 32:144-151, 2005.
7. Jarvinen VK, Rytömaa II, Heinonen OP : Risk factors in dental erosion. J Dent Res, 70:942-947, 1991.
8. Rytömaa I, Meurman JH, Koskinen J, et al. : *In vitro* erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs. Scand J Dent Re, 96:324-333, 1988.
9. Johansson AK, Lingström P, Imfeld T, et al. : Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. Eur J Oral Sci, 112:484-489, 2004.
10. Simpson A, Shaw L, Smith AJ : Tooth surface pH during drinking of black tea. Br Dent J, 190:374-376, 2001.
11. Bartlett DW, Bureau GP, Anggiansah A : Evaluation of the pH of a New Carbonated Soft Drink Beverage: An *in vivo* investigation. J Prosthodont, 12:21-25, 2003.
12. Moazzez R, Smith BG, Bartlett DW : Oral pH and drinking habit during ingestion of a carbonated drink in a group of adolescents with dental erosion. J Dent, 28:395-397, 2000.
13. Rees JS : The role of drinks in tooth surface loss. Dental Update, 31:318-326, 2004.
14. Johansson AK, Lingström P, Birkhed D : Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high- and low-erosion groups. Eur J Oral Sci, 110:204-211, 2002.
15. Stephan RM : Intra-oral hydrogen-ion concentrations associated with dental caries activity. J Dent Res, 23:257-266, 1944.
16. Kleinberg I, Jenkins GN : Studies in the pH of plaque in interproximal area after eating sweets and starchy foods. J Dent Res, 35:964, 1956.
17. Curzon ME, Hefferren JJ : Modern methods for assessing the cariogenic and erosive potential of foods. Br Dent J, 191:41-46, 2001.
18. Stephan RM : Changes in hydrogen ion concentration on tooth surfaces and in carious lesions. J Am Dent Assoc, 27:718, 1940.
19. Fosdick LS, Campaigne EE, Fancher O : Rate of acid formation in carious areas: the etiology of dental caries. Ill Dent J, 10:85-95, 1941.
20. Frostell G : A method for evaluation of acid potentialities of foods. Acta Odontol Scand, 28:599-608, 1970.
21. Edgar WM, Bibby BG, Mundorff S, et al. : Acid production in plaques after eating snacks: modifying factors in foods. J Am Dent Assoc, 90:418-425, 1975.
22. Kleinberg I, Jenkins GN, Chatterjee R, et al. : The antimony pH electrode and its role in the assessment and interpretation of dental plaque pH. J Dent Res, 61:1139-1147, 1982.
23. Scheie AA, Fejerskov O, Lingström P, et al. : Use of palladium touch microelectrodes under field conditions for *in vivo* assessment of dental plaque pH in children. Caries res, 26:44-52, 1992.
24. Graf H, M?hlemann HR : Telemetry of plaque pH from interdental areas. Helv Odontol Acta, 10:94-101, 1966.
25. Pandolfino JE, Ghosh S, Zhang Q, et al. : Slimline vs. glass pH electrodes: what degree of accuracy should we expect? Aliment Pharmacol Ther, 23:331-340, 2006.
26. 강종미, 이정석, 이종갑 : 미취학 아동의 우식유발성 평가

- 및 치아우식경험과 식이와의 상관관계에 관한 연구. 대한 소아치과학회지, 10:47-55, 1983.
27. Anderson P, Hector MP, Rampersad MA: Critical pH in resting and stimulated whole saliva in groups of children and adults. *Int J Paediatr Dent*, 11:266-273, 2001.
 28. 정우진, 이상훈, 한세현 : 유아용 조제 분유가 치태 pH에 미치는 영향에 관한 연구. 대한소아치과학회지, 25:93-102, 1998.
 29. 안호영, 이광희, 김대업 : 산성 음료에 의한 법랑질의 침식과 인공타액에 의한 재광화. 대한소아치과학회지, 29:84-91, 2002.
 30. Dugmore CR, Rock WP : A multifactorial analysis of factors associated with dental erosion. *Br Dent J*, 196:283-286, 2004.
 31. 서동구 : Telemetry를 이용한 기호성 음료의 구강내 pH 변화 및 회복속도측정. 연세대학교 대학원 석사학위논문, 2005.
 32. Schachtele CF, Jensen ME : Comparison of methods for monitoring changes in the pH of human dental plaque. *J Dent Res*, 61:1117-1125, 1982.
 33. Lingström P, Imfeld T, Birkhed D : Comparison of three different methods for measurement of plaque-pH in humans after consumption of soft bread and potato chips. *J Dent Res*, 72:865-870, 1993.
 34. Park KK, Schemehorn BR, Stookey GK, et al. : Acidogenicity of high-intensity sweeteners and polyols. *Am J Dent*, 8:23-26, 1995.
 35. Hochman JA, Favalaro-Sabatier J : Tolerance and reliability of wireless pH monitoring in children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 41:411-415, 2005.
 36. Wang WX, Yan GZ, Sun F, et al. : A non-invasive method for gastrointestinal parameter monitoring. *World J Gastroenterol*, 11:521-524, 2005.
 37. Rosenfeldt FL, Ou R, Smith JA, et al. : Evaluation of a miniature antimony electrode for measurement of myocardial pH. *J Med Eng Technol*, 23:119-126, 1999.
 38. Jensen ME : Telemetric Methods using ion-specific electrodes. *Adv Dent Res*, 1:92-98, 1987.

Abstract

THE DEVELOPMENT OF INDWELLING WIRELESS PH TELEMETRY OF INTRAORAL ACIDITY

Hyung-Jun Kim, Jae-Moon Kim, Tae-Sung Jeong, Shin Kim

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University

The purpose of this study was to develop the wireless pH telemetry lasting longer than 24 hours in the mouth to overcome the limits of conventional wire telemetry previously used for salivary and plaque pH measurement, and to assess its effectiveness.

We developed a wireless pH telemeter which can measure and store the pH profile data during more than 24 hours. It was composed of intraoral part; pH sensor of antimony electrode, battery and micro-processor for data storage, and extraoral part; control/data receiver and data analyzing software which was newly made for this device. After inspecting wireless electrode for accurate measurement, it was attached to the removable intraoral appliance and delivered to the volunteer who was told to wear except brushing time, retrieved after 24 hours and finally the pH profile data was extracted and analyzed.

When compared with conventional wire telemetry, this device showed similar results and induced less discomfort to examinees. The data showed pH changes at same time when examinees ate various scheduled foods and beverages.

With this method it became possible to accurately measure pH changes within mouth for long time in accordance with individual's lifestyle, definitely reducing the discomfort inflicted to the examinees' life.

Key words : Wireless pH telemetry, Dental caries, Dental erosion, Intraoral acidity