

수중 아말감과 금합금의 갈바닉 전류 측정에 관한 연구

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

김승수 · 엄정문

목 차

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고 문헌

I. 서 론

구강내에 노출된 금속수복물은 부식이 발생하기 쉽다. 금속재료가 구강환경 내에 노출되면 전기화학적 반응을 일으키며, 그중 갈바닉 부식이 특이하게 발생된다. 일반적으로 두 이종금속이 전해질 내에 있게 되면 전위차가 발생하고, 전자의 이동이 일어난다. 그리하여 귀전위를 가진 금속은 부식이 감소되고, 활성전위를 가진 금속은 부식이 촉진되어, 전자가 음극이 되어 환원반응이나 음극반응을 일으키고, 후자가 양극이 되어 산화반응이나 양극반응을 일으킨다. 이러한 형태로 나타나는 부식을 갈바닉 부식 또는 이종금속접촉부식이라 한다. 구강내에서 나타나는 갈바닉 부식은 여러가지의 증상을 나타내어 연조직을 자극하고^{2,3,4)}, 갈바닉 동통^{2,4,5,6)}, 수복물의 부식^{2,4,10,14,15,16)}, 금속이온들이 방출되어 조직에 침착^{18,19,20)} 그리고, 금수복물의 수은오염 등이 일어난다. 그중 갈바닉 동통에 대해서 Mumford¹⁾는 금속이 교합시에 접촉되면 전류가 급속히 최고로 도달하여 짧은 동통이 일어나게 되고, 만약 접촉시킨데로 계속 유지시키면 수복물은 전지를 극성화시켜 전류강도가

떨어지게 되며, 서로 분리되면 전지가 다시 회복되어 재접촉시에 동통을 일으킬 만한 전류강도에 이르게 되나, 계속 반복되면 동통을 일으키지 않는다고 하였다. 아말감이 금합금과 갈바닉 부식을 일으키면 아말감의 강도가 감소되고, 변연파괴가 증가되고, 금속이온의 방출로 인하여 환자에게 불쾌감을 줄 수 있다. 방출된 금속이온들은 주위기관에 침착되거나 혈액과 림프계를 통해 체내의 생화학적 반응을 방해하기도 한다²⁰⁾. 이러한 갈바닉 부식에 관한 연구는 저동아말감 간의 비교^{9,21)}, 저동아말감과 고통아말감 간의 비교^{7,8,11,12,22)}, 금합금과 아말감 사이의 표면적 변화에 의한 전류변화¹¹⁾ 등이 연구되어 왔고, 갈바닉전류는 여러 요소에 의하여 영향을 받아서 전해액의 pH에 따른 변화^{9,26)}, 마모⁹⁾, 그리고 pellicle의 영향²⁸⁾ 등이 연구되어 왔다. 갈바닉전류를 감소시키기 위한 연구는 Phillips와 Skinner³⁶⁾, 엄등^{22,23)}이 절연제인 copalite를 아말감 표면에 도포하여 전류가 감소함을 보고하였고, Watson등¹²⁾, 엄등^{22,23)}이 양극억제제인 질산은을 아말감에 도포하여 갈바닉 전류가 감소함을 보고하였다. 갈바닉전지를 구성하는 양극과 음극에 각각 부식억제제를 첨가하던가, 양극을 절연하면 전류를 감소시킬 수 있었다. 이에 저자는 6종의 아말감과 금합금의 갈바닉전류를 억제하기 위하여 양극억제제인 질산은과 크롬산 칼륨, 음극억제제인 하이드라진, 절연제인 Scotch bond-2 (3M사), All bond-2(Bisco사)를 양극인 아말감과 음극인 금합금에 각각 처리하여 전류의 감소를 관찰한 바 있어, 그 실험결과를 이에 보고하는 바이다.

* 본 연구는 1992년도 서울대병원 지정연구비에 의하여 이루어졌음.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용한 아말감합금과 금합금은 표 1과 같다. 갈바닉 계의 양극으로는 아말감의 6종이 사용되었고, 음극으로는 서울대학교 치과병원에서 사용하는 20Karat Gold(Type II)를 사용하였다. 아말감은 저동결삭형인 Caulk Fine-Cut, 저동구상형인 Caulk Spherical, 고동단일조성인 Tytin, 고동혼합형인 Dispersalloy, 인듐이 첨가된 고동혼합형인 Permite와 고동결삭형인 Hi-Veraloy 등이다. 갈바닉 전류의 감소가 예상되는 화합물로는 음극억제제인 하이드라진(N_2H_4), 양극억제제인 질산은($AgNO_3$), 크롬산 칼륨(K_2CrO_4)이 이용되었고, 절연제로서는 3M사의 접착제로 이용되는 Scotch bond-2와 Bis-Co사의 All bond-2 접착제가 이용되었다.

2. 시편제작

1) 아말감의 시편제작 : 직경 4mm, 높이 13mm의 원주형 model에 직경 2mm의 동선을 가운데 고정하고, 나머지 빈 공간을 석고를 연화시켜 채웠다. 경화된 후 실리콘으로 만든 블럭에 고정하고 Acrylic resin을 부어 원주형 모델을 제작하였다. 레진이 경화된 이후에 석고를 제거하여 제조회사의 지시에 따라 아말감을 연화한 후 수동으로 용축하고 파임부분을 면도날로 제거하고, Burnish하고, 24시간이 지난 후, 아말감연마재료(CA, CODE-NO. 28004, PN 308, SHOFU INC.)로 표면을 연마하였다.

2) 금 시편의 제작 : Blue Inlay wax(Type II, Class I, GC DENT, INDU. CORP.)로 직경 4mm, 높이 2mm의 원주형을 만들어 직경 2mm의 동선에

약간의 열을 가해 왁스 가운데에 ㅁ꼴 만든 후 메몰하여 주조체를 얻었다. 구리선을 주조체 ㅁ에 밀착시켜, Solder gold를 이용하여 납착시키고, 실리콘으로 만든 블럭에 금합금을 고정하고 주위에 Acrylic resin을 부어 원주형 모델을 제작하고, 금합금 연마재(HP, CODE-NO. 28091, PN 303, SHOFU INC.)로 연마하였다.

3. 실험방법

갈바닉 셀을 이루는 금합금과 아말감시편을 10mm 거리를 두고 마주보게 한 상태에서 고정시켰고, 0.9% 생리식염수를 전해액으로 하여 금합금과 아말감 간에 갈바닉 전류를 초기 1분간은 10초간격으로, 1~5분사이에는 1분간격으로, 5~30분 사이에는 5분간격으로, 그리고 30분 이후에는 10분간격으로 120분까지 측정하였다. 전체용액의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 항온조에서 37.5℃의 온도를 유지시켰다. 실험장치로는 전극의 양끝 구리선에 암미터(Ammeter)를 연결하여 전류를 측정하였다. 실험은 먼저 6종의 아말감과 금합금간의 갈바닉전류를 아무런 처리를 하지 않은 상태에서 측정하여 각각 비교하였고, 6종의 아말감과 금합금의 갈바닉전류를 각각의 아말감마다 금합금과 아말감에 아무런 처리를 하지 않은 상태, 금합금에 하이드라진(N_2H_4)을 처리한 것, 그리고 아말감에 질산은, 크롬산-칼륨, Scotch bond 2, 그리고 All bond 2를 각각 처리하여 아말감과 금합금의 전류를 측정, 비교하였다.

III. 실험성적

1. 아무런 처리를 하지 않은 6종의 아말감과 20K금사이의 갈바닉 전류의 비교(Fig. 1)

표 1. 사용한 Amalgam의 성분과 제조회사

Alloy	Manufacture	Mercury to Alloy ratio	Major Elements(wt %)		
			Ag	Sn	Cu
Caulk Fine-Cut	L. D. Caulk Co.	53.5%	68-70	26-28	2-4
Caulk Spherical	L. D. caulk Co.	46.2%	68-70	26-28	2-4
Dispersalloy	Johnson & Johnson	50.0%	69.7	17.7	11.9
Tytin	S. S. White	43.0%	59.4	27.8	13.0
Permite	S. D. I.	47.9%	56	27.9	15.4
Hi-Veraloy	Johnson & Johnson	50.0%	45	30	25

* 사용한 금의 성분 : 83.33% Au + 10.83% Cu + 5.83% Ag

저동절삭형 아말감의 초기 전류는 $37.4\mu\text{A}$ ($277.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 1분내에 급속히 감소하고, 5분에는 $13.4\mu\text{A}$ ($106.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 감소하고, 이후에는 거의 일정하게 유지되었다. 저동구상형 아말감의 초기전류는 $32.3\mu\text{A}$ ($257.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 60분에는 $20\mu\text{A}$ ($159.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 감소하고, 그 이후에는 $18.0\mu\text{A}$ ($143.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 거의 일정하게 유지되었다. 고동-혼합형 아말감의 초기전류는 $12.7\mu\text{A}$ ($101.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 30분에 $6.9\mu\text{A}$ ($54.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 100분 이후에는 $4.8\mu\text{A}$ ($38.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 거의 일정하게 유지되었다. 고동-단일조성형 아말감의 초기전류는 $10.3\mu\text{A}$ ($82.0\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 30분에는 $5.6\mu\text{A}$ ($44.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 60분에는 $4.5\mu\text{A}$ ($35.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $2.9\mu\text{A}$ ($23.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 고동-혼합형 아말감(인듐, In첨가)의 초기전류는 $10\mu\text{A}$ ($79.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 30분에는 $4.3\mu\text{A}$ ($34.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $3.1\mu\text{A}$ ($24.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 고동-절삭형 아말감의 초기전류는 $11.5\mu\text{A}$ ($91.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 감소하여 5분에는 $7.1\mu\text{A}$ ($56.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타내고, 이후에는 약간씩 증가하여, 120분에는 $8.6\mu\text{A}$ ($68.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다.

2. 저동-절삭형 아말감과 금합금의 경우(Fig. 2) 아무런 처리를 하지 않은 경우의 초기 전류는 $37.4\mu\text{A}$ ($277.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 1분내에 급속히 감소하면서, 5분 이후에는 $13.4\mu\text{A}$ ($106.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 감소하고 거의 일정하게 유지되었다. 금합금시편에 하이드라진을 처리한 경우의 초기전류는 $7.4\mu\text{A}$ ($58.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 1분에 $4.0\mu\text{A}$ ($31.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 감소하였고, 이후에는 다시 증가하여 30분에는 $7.0\mu\text{A}$ ($55.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $8.6\mu\text{A}$ ($68.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 크롬산 칼륨을 처리한 경우의 초기전류는 $15.7\mu\text{A}$ ($125\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 120분에는 $7.5\mu\text{A}$ ($59.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 질산은을 처리한 경우의 초기전류는 $-7.9\mu\text{A}$ ($62.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 증가하여, 30분에는 $5.8\mu\text{A}$ ($46.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $11.5\mu\text{A}$ ($91.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 Scotch bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $15.6\mu\text{A}$ ($124.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에 계속 감소하여 120분에는 $9.5\mu\text{A}$ ($75.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감에 All bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $0.9\mu\text{A}$ ($7.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에 계속 증가하여 120분에는 $1.9\mu\text{A}$ ($15.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다.

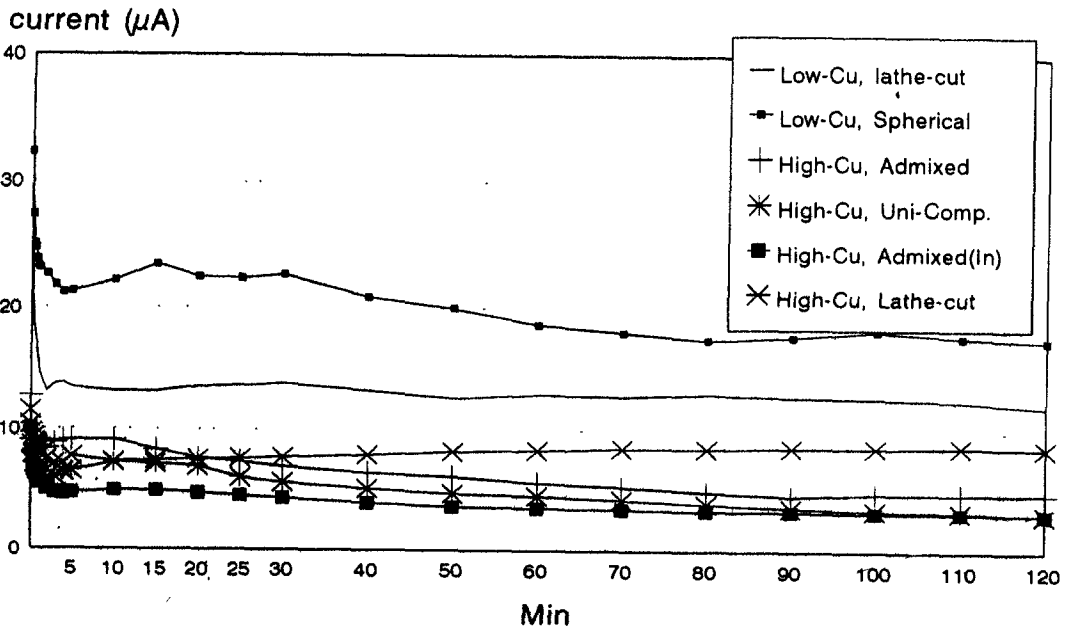


Fig. 1 Yellow gold(20K) and 6 Kinds of Amalgams

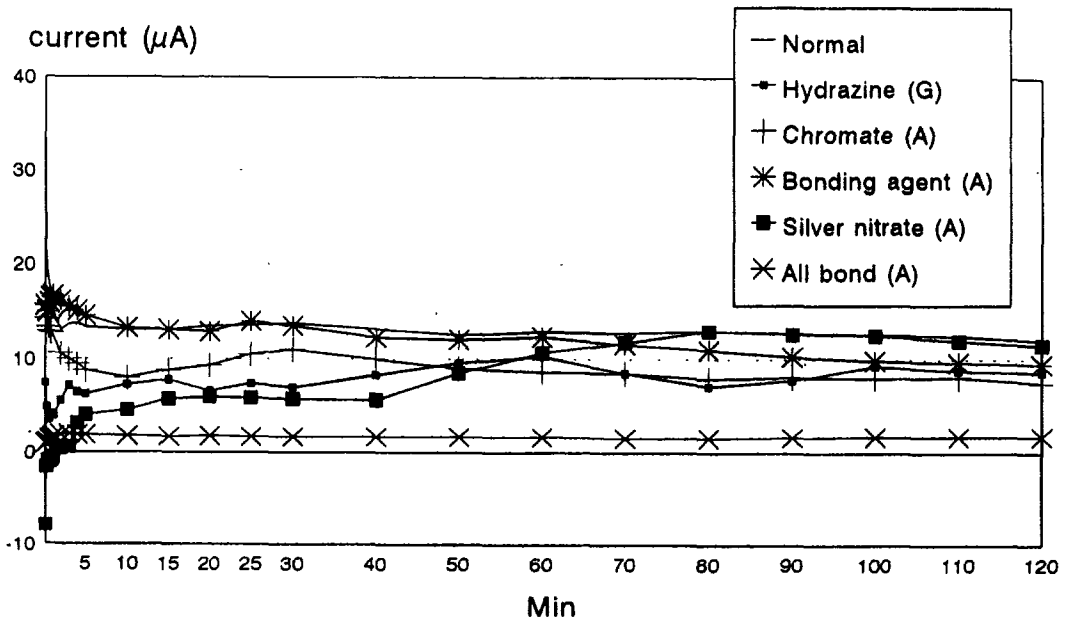


Fig. 2 Yellow gold(20K) and Amalgam(low copper, lathe-cut)

3. 저동-구상형 아말감과 금합금의 경우(Fig. 3) 아무런 처리를 하지 않은 경우의 초기전류는 $32.3 \mu\text{A}$ ($257.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 60분까지 $20 \mu\text{A}$ ($159.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 감소하고, 그 이후에는 $18.0 \mu\text{A}$ ($143.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 거의 일정하게 유지되었다. 금합금 시편에 하이드라진을 처리한 경우의 초기전류는 $7.8 \mu\text{A}$ ($257.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에 잠시 감소하다가 다시 증가하여 30분에 $10.0 \mu\text{A}$ ($79.6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 거의 일정하게 유지되었다. 아말감 시편에 크롬산 칼륨을 처리한 경우의 초기전류는 $15.5 \mu\text{A}$ ($120.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 120분에는 $9.7 \mu\text{A}$ ($77.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 질산은을 처리한 경우의 초기전류는 $-7.9 \mu\text{A}$ ($62.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 그후 계속 증가하여, 30분에는 $14.7 \mu\text{A}$ ($117.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 그 이후에는 감소하여 120분에는 $11.8 \mu\text{A}$ ($93.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 Scotch bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $3.6 \mu\text{A}$ ($28.7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 증가하여 5분에는 $7.7 \mu\text{A}$ ($61.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)이고, 이후에 다시 감소하여 120분에는 $3.6 \mu\text{A}$ ($28.7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감에 All bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $0.9 \mu\text{A}$ ($7.2 \mu\text{A}$

$/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후 1분까지 증가하다가($2.2 \mu\text{A}$), 다시 감소하여 120분에는 전류가 흐르지 않았다.

4. 고동-혼합형 아말감과 금합금의 경우(Fig. 4) 아무런 처리를 하지 않은 경우의 초기전류는 $12.7 \mu\text{A}$ ($101.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 30분에 $6.9 \mu\text{A}$ ($54.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), 100분 이후에는 $4.8 \mu\text{A}$ ($38.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)으로 거의 일정하게 유지되었다. 금합금 시편에 하이드라진을 처리한 경우의 초기전류는 $-3.1 \mu\text{A}$ ($-24.7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 증가하여 30분에는 $2.7 \mu\text{A}$ ($21.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)이었고, 이후에는 감소하여 120분에는 $2.0 \mu\text{A}$ ($15.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 크롬산 칼륨을 처리한 경우의 초기전류는 $4.5 \mu\text{A}$ ($35.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 120분에는 $1.4 \mu\text{A}$ ($11.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 질산은을 처리한 경우의 초기전류는 $-5.8 \mu\text{A}$ ($-46.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 증가하여, 5분에는 $1.5 \mu\text{A}$ ($11.9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), 이후에는 약간씩 감소하여 120분에는 $0.7 \mu\text{A}$ ($5.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 Scotch bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $0.2 \mu\text{A}$

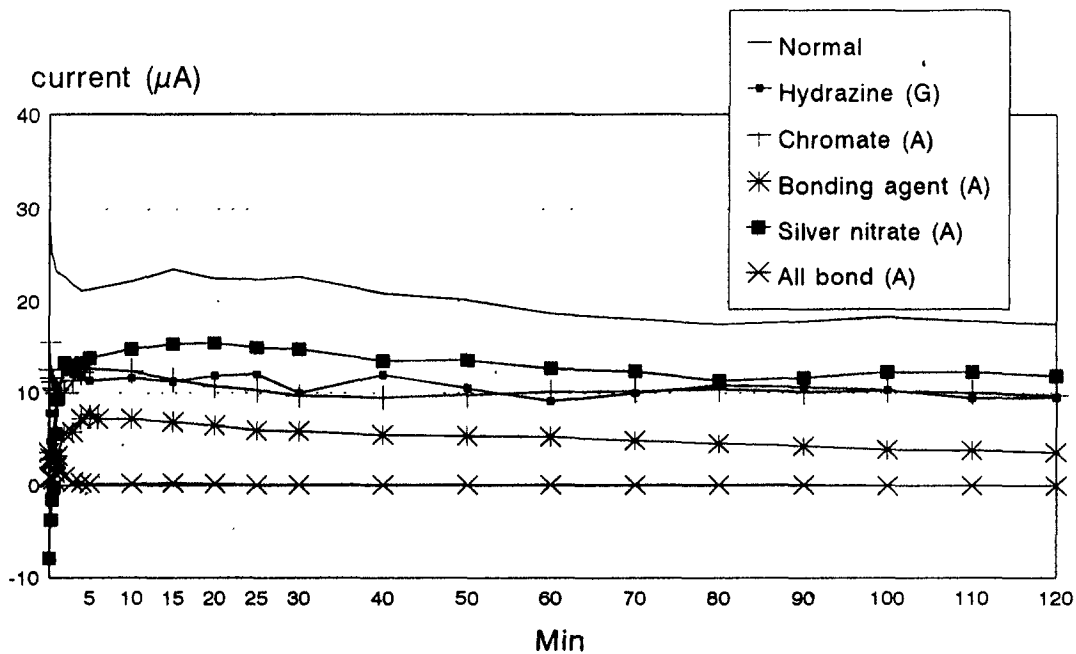


Fig. 3 Yellow gold(20K) and Amalgam(low copper, spherical)

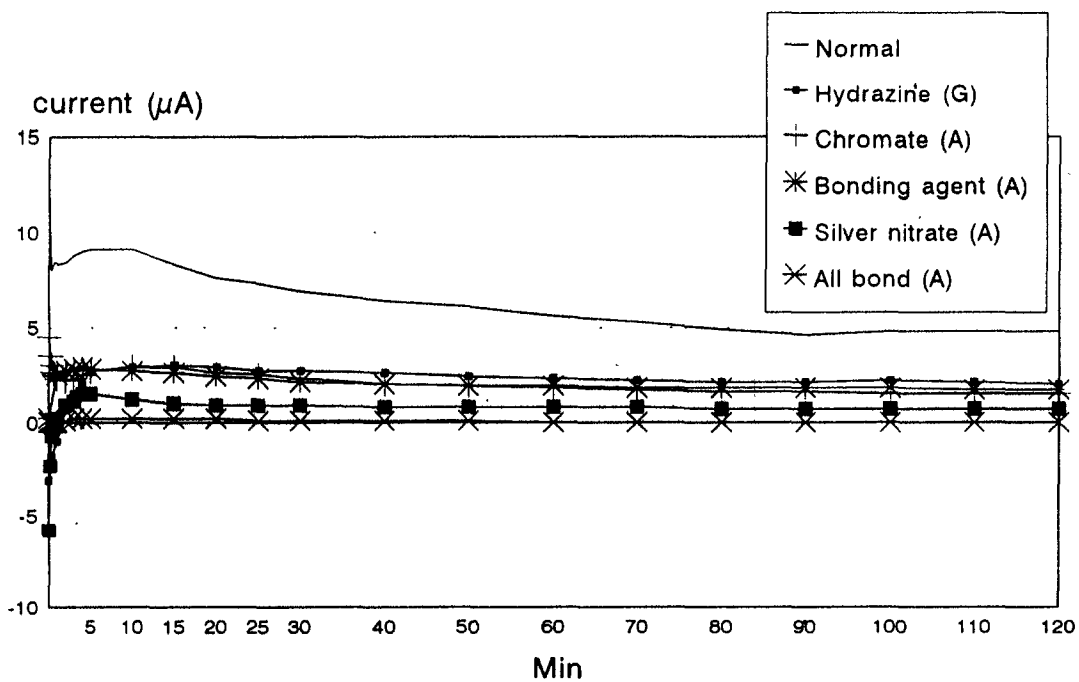


Fig. 4 Yellow gold(20K) and Amalgam(high copper, admix)

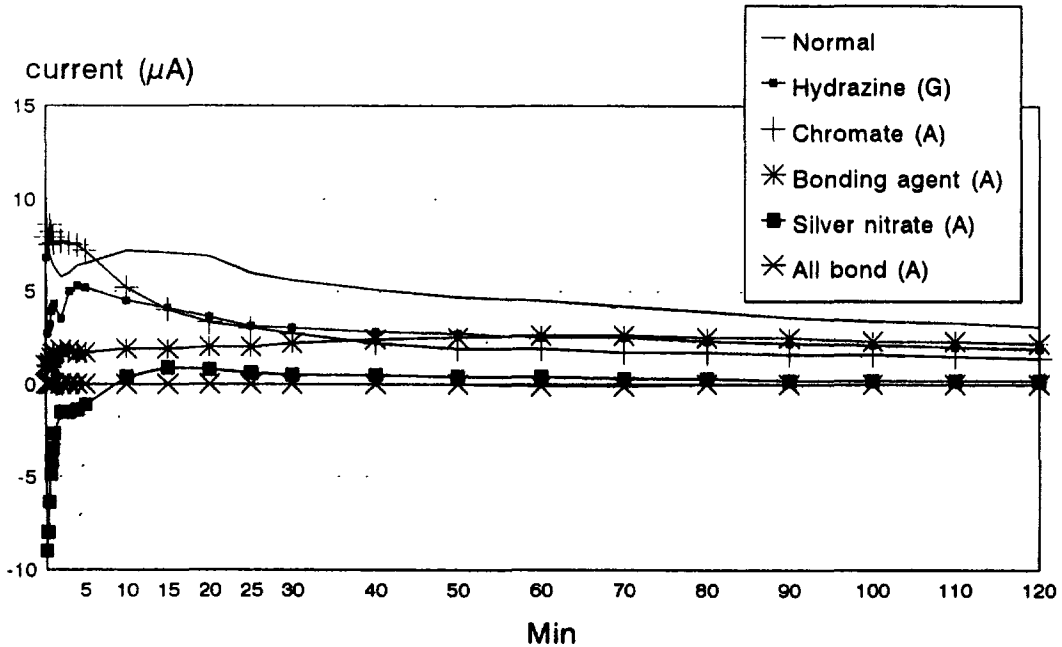


Fig. 5 Yellow gold(20K) and Amalgam(high copper, single composition)

($1.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후 조금씩 증가하다 5분 이후 감소하여 120분에는 $1.7\mu\text{A}$ ($13.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감에 All bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 흐르지 않았고, 이후에는 거의 변화없이 전류의 흐름이 없었다.

5. 고동-단일 조성 구상형 아말감과 금합금의 경우(Fig. 5)

아무런 처리를 하지 않은 경우의 초기전류는 $10.3\mu\text{A}$ ($82.0\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 30분에는 $5.6\mu\text{A}$ ($44.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 60분에는 $4.5\mu\text{A}$ ($35.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $2.9\mu\text{A}$ ($23.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 금합금 시편에 하이드라진을 처리한 경우의 초기전류는 $6.8\mu\text{A}$ ($54.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여 30분에는 $3.0\mu\text{A}$ ($23.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $1.9\mu\text{A}$ ($15.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 크롬산 칼륨을 처리한 경우의 초기전류는 $7.9\mu\text{A}$ ($62.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 120분에는 $1.4\mu\text{A}$ ($11.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 질산은을 처리한 경우의 초기전류는 $-9.0\mu\text{A}$ ($-71.4\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고,

이후에는 증가하다가, 30분 이후에는 감소하여, 120분에는 $0.2\mu\text{A}$ ($1.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 Scotch bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $1.0\mu\text{A}$ ($7.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에 조금씩 증가하여 120분에는 $2.2\mu\text{A}$ ($17.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감에 All bond-2를 처리한 경우는 초기에 전류가 흐르지 않았고 이후에도 거의 변화없이 전류의 흐름이 없었다.

6. 고동-혼합형 아말감(인듐 첨가)과 금합금의 경우(Fig. 6)

아무런 처리를 하지 않은 경우의 초기전류는 $10\mu\text{A}$ ($79.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 30분에는 $4.3\mu\text{A}$ ($34.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$), 120분에는 $3.1\mu\text{A}$ ($24.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 금합금 시편에 하이드라진을 처리한 경우의 초기전류는 $-6.0\mu\text{A}$ ($-47.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 증가하여 30분에는 $2.1\mu\text{A}$ ($16.7\mu\text{A}/\text{cm}^2$)이었고, 이후에는 거의 일정히 유지되었다. 아말감시편에 크롬산 칼륨을 처리한 경우의 초기전류는 $6.0\mu\text{A}$ ($47.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여, 120분에는 $1.7\mu\text{A}$

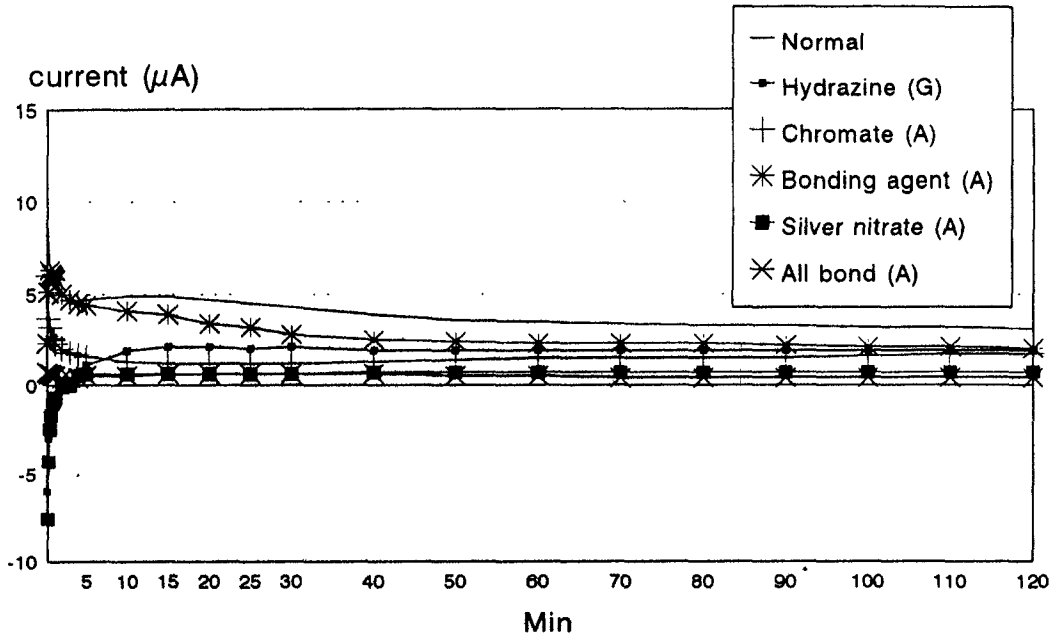


Fig. 6 Yellow gold(20K) and Amalgam(high copper, admix with in)

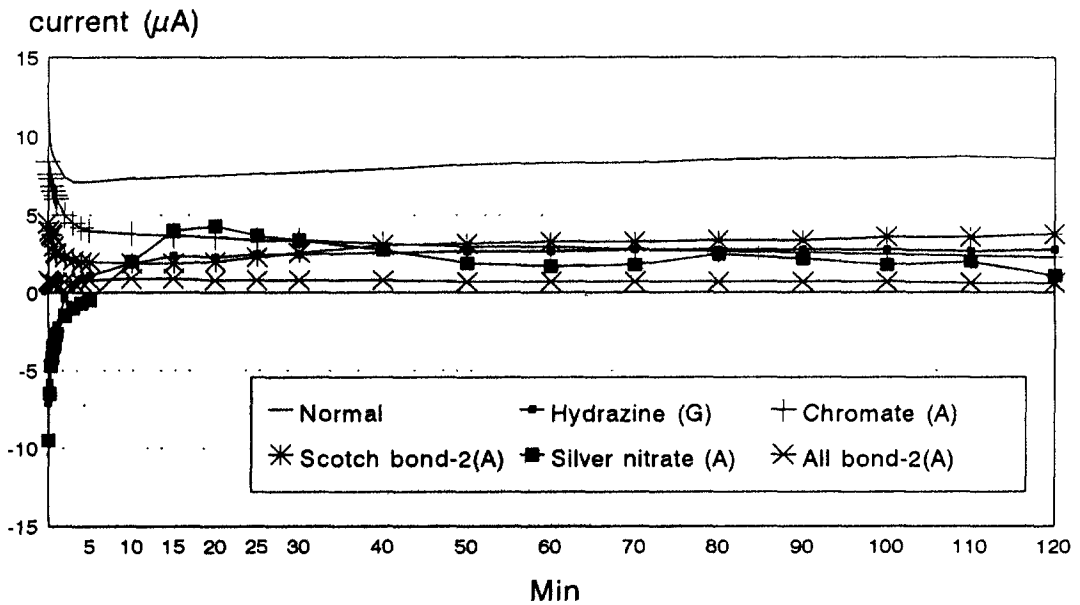


Fig. 7 Yellow gold(20K) and Amalgam(high copper, lathe-cut)

($13.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 질산은을 처리한 경우의 초기전류는 $-7.6\mu\text{A}$ ($-7.96\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고 이후에 계속 증가하여 40분에 $0.7\mu\text{A}$ ($5.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타낸 이후에 일정하게 유지되었다. 아말감시편에 Scotch bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $2.3\mu\text{A}$ ($18.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 그후 1분까지 증가하다가 이후에 감소하여 120분에는 $2.0\mu\text{A}$ ($15.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감에 All bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $0.7\mu\text{A}$ ($5.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 계속 감소하여 120분에는 $0.4\mu\text{A}$ ($3.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다.

7. 고동-절삭형 아말감과 금합금의 경우(Fig. 7)

아무런 처리를 하지 않은 경우의 초기전류는 $11.5\mu\text{A}$ ($91.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 감소하여 5분에는 $7.1\mu\text{A}$ ($56.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 약간씩 증가하여, 120분에는 $8.6\mu\text{A}$ ($68.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 금합금 시편에 하이드라진을 처리한 경우의 초기전류는 $-7.1\mu\text{A}$ ($-56.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$)이었고, 이후 계속 증가하여, 30분 이후에는 거의 일정($2.8\mu\text{A}$)하였다. 아말감시편에 크롬산 칼륨을 처리한 경우의 초기전류는 $8.4\mu\text{A}$ ($66.9\mu\text{A}/\text{cm}^2$)이었고, 이후에 계속 증가하여 120분에는 $2.3\mu\text{A}$ ($18.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$)를 나타내었다. 아말감시편에 질산은을 처리한 경우의 초기전류는 $-9.5\mu\text{A}$ ($-75.6\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타내고, 이후에는 점차 증가하여, 20분에 $4.0\mu\text{A}$ ($31.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타낸 이후, 약간씩 감소하여 120분에는 $1.1\mu\text{A}$ ($8.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈다. 아말감시편에 Scotch bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $4.5\mu\text{A}$ ($35.8\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에는 점차 감소하다가 15분($1.9\mu\text{A}$) 이후 다시 점차 증가하여 100분 이후에는 $3.6\mu\text{A}$ 로 거의 변화가 없었다. 아말감에 All bond-2를 처리한 경우의 초기전류는 $0.8\mu\text{A}$ ($6.33\mu\text{A}/\text{cm}^2$)을 나타냈고, 이후에 서서히 감소하다가 다시 증가한 이후에 거의 변화가 없었다.

IV. 총괄 및 고안

치과용아말감과 금합금사이에 발생하는 갈바닉 부식에 관한 연구는 여러 학자에 의하여 시행되어 왔다. 본 실험에서 갈바닉전류는 초기에 높은 전류를 나타내다가 5분 이후에는 상당량 감소하였고, 30분

이후에는 낮은 전류가 일정하게 유지되었다. 갈바닉전류는 실험초기에 최대전류에 도달하였다가 감소하며, 이는 Colloidal particle의 침투, 전지의 극성화, 그리고 부식산물의 형성에 기인한 것으로 사료된다^{2,11,26,30,31}). 아무런 처리를 하지 않은 저동아말감과 금합금사이의 초기전류는 저동절삭형 아말감이 저동구상형 아말감에 비해 높은 수치를 나타내지만, 시간이 경과함에 따라 급격히 전류가 감소되어 30분 이후에 $13\mu\text{A}$ 로 유지되나, 저동구상형 아말감은 서서히 감소하여 30분에 $22.7\mu\text{A}$, 120분에 $17.5\mu\text{A}$ 를 나타내어 절삭형에 비해 120분에 1.5배의 전류가 흐른다(Fig. 1). 이는 아말감의 구조와 구성상의 차이로 생각되고, Von Frauhofe⁹)의 연구에서도 금합금과 저동아말감의 절삭형과 구상형 사이에서의 비교에서 초기에서는 절삭형이 전류가 크나 150분에는 구상형이 2배의 전류가 일정하게 흐른다고 하여, 이는 본 실험과 유사한 결과를 보였다.

아무런 처리를 하지 않은 상태에서 저동 아말감이 고동 아말감에 비해 금합금과의 갈바닉전류가 초기에 3배 이상, 120분 이후에는 4배 이상으로 높은 전류가 흘렀다(Fig. 2). 이는 아말감의 구조와 구성상에 의한 차이로 사료되고, 특히 저동아말감내에 전기화학적으로 가장 활성이 높은 γ_2 상(Sn-Hg)^{17,32,33})이 존재하여, 이것이 양극(Anode)에 작용하여 전류의 세기가 큰 것으로 사료된다.

고동아말감 간의 비교에서는 고동단일조성구상형 아말감이 고동혼합형 아말감과 고동절삭형 아말감보다 초기전류와 120분이 지난 후의 전류가 약간 낮아 고동단일조성구상형 아말감이 가장 전기화학적 활성이 적은 것으로 생각된다. In이 첨가된 고동혼합형 아말감은 단일조성구상형 아말감과 비슷한 전류를 보이고, 이는 부식의 경향을 감소시키는 In이 작용한 것으로 사료되나, Johnson 등²⁷)은 5~10%의 In이 첨가된 아말감이 첨가되지 않은 아말감에 비해 Creep과 부식에 저항이 높다고 하여 본 실험에서 사용한 아말감은 In이 0.5%가 함유되었기 때문에 In의 영향이 크지 않을 것으로 생각되고, 이는 구성상의 차이로 인한 것으로 사료된다. 고동아말감 간에는 전류의 차이가 크지 않고 유사한 결과를 보이고, 저동아말감과는 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 볼 때 γ_2 상이 제거가 부식에 대한 저항을 증진시키는 데 가장 중요한 요소라고 할 수 있다.

금합금의 부식에 관한 연구^{21, 36)}는 Brugivard 등²¹⁾에 의해 시행되어 금합금내의 성분 중 Zinc, Cadmium 등이 가장 부식에 민감하고, Gold, Platinum, Palladium 등이 부식에 저항이 높고, Silver, Copper 등이 중간 정도의 부식저항을 보이고, 환경에 따라 다르게 나타난다. 본 실험에서 사용한 금합금은 금, 구리, 은으로 구성되어 부식에 대한 민감성은 그리 크지 않은 것으로 사료된다.

일반적으로 갈바닉 전류를 감소시키는 방법으로 구강내에서는 금속에 수소이온이 침착되어 극성화가 일어날 수 있고 또한, 금속표면에 유기물질이 침착되어 갈바닉전류를 자연적으로 감소될 수 있다^{2, 11, 16, 30, 31)} 그러나, 이러한 작용이 미약하여, 임상에서 적용할 수 있는 방법은 시술상에서 이종금속을 수복물로 선택할 경우, 갈바닉 계열에서 가까운 금속을 선택하거나⁸⁾, 소양극-대음극의 형태를 금하여¹¹⁾ 금합금과 아말감합금의 접촉을 피하거나, 작은 아말감 충전물과 큰 금합금이 접촉되지 않게 하여 갈바닉 전류를 감소시킬 수 있다. 또한, 인위적으로 금속표면에 도장을 하거나^{16, 26, 38)}, 부식억제제를 도포하여 목적을 달성할 수 있다^{12, 16, 26, 38)}. 금속표면을 도장함으로써 인위적인 막을 형성시켜 전자의 이동을 방해하여 전류를 감소시킬 수 있다. 여러가지의 억제제의 작용으로 음극억제제는 음극분극을 증가시켜 부식전위를 활성방향으로 이동시키고, 음극표면으로 이동하여 그곳에서 화학적이나 전기화학적으로 침전하여 음극표면을 전해액과 차단시킨다. 특히, Hydrazine은 용해산소를 제거($N_2H_4 + O_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O$)하여 음극반응을 방해한다³⁷⁾. 이는 Holland²⁶⁾의 연구에서 pellicle의 작용이 용해산소의 접근을 막음으로서 전류의 감소를 얻은 것과 같은 결과이다. 양극억제제는 양극분극을 증가시켜 부식전위를 귀방향으로 증가시키고 부동태화 시키는 작용을 한다. 특히 아질산염과 크롬산염은 용액내에 칼슘이 존재하지 않아도 양극억제 작용을 할 수 있다. 아질산염은 $NO_3^- + 10H^+ + 8e^- \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$ 의 반응³⁷⁾으로 부식을 억제한다.

아말감에 질산은을 처리한 경우 모두 초기전류가 음의 값을 나타냈고, 하이드라진을 금합금에 처리한 경우 고동아말감에서 단일조성구상형 아말감을 제외하곤 모두 음의 값을 나타냈다. 이는 순간적으로 양극과 음극을 이루고 있는 금속들이 전극이 치환

되어 산화와 환원이 바뀌어 나타남을 의미하나, 10분 이내에 원래의 극으로 회복되었다. 특히, 고동단일 조성구상형 아말감의 경우 질산은을 처리한 예에서 초기전류가 $-9.0\mu A$ 로 음의 값이 큰 전류를 보였고, 금합금에 하이드라진을 처리한 경우에도 다른 고동 아말감과는 달리 양의 값을 나타냈다. 이는 고동단일 조성구상형 아말감이 가장 전기화학적으로 안정된 상을 가져 음극반응이 일어날 가능성이 높아 질산은으로 아말감의 양극분극을 증가시키면 귀방향으로 부식전위 이동이 커져 가장 큰 음의 전류를 나타내는 것으로 생각되고, 하이드라진을 금합금에 도포시 양의 값을 나타내는 것은 가장 안정된 구조와 구성상을 가지고 있어 음극인 금합금의 분극을 증가시키는 것 같은 환경변화에 큰 영향을 받지 않는다고 사료된다. 크롬산 칼륨을 아말감에 처리한 결과 반 이상의 전류가 감소함을 나타내어 양극억제제로서 전류의 감소에 효과가 있다고 할 수 있다. 세가지 화합물 중 질산은을 아말감에 도포한 것이 가장 강력한 부식억제효과가 있는 것으로 사료된다.

아말감에 레진계 상아질 접착제를 도포하여 전류를 측정된 결과 상당량의 전류가 감소하였다. 이는 활성이 높은 양극을 전기화학적으로 차단함으로써 전류를 감소시킨 것이다. 특히 All bond 2를 도포한 결과 전류의 흐름이 거의 없을 정도로 전류의 감소 효과가 컸다. 그러나, 이러한 절연체의 단순한 도포는 임상에서 교합시나 다른 원인으로 막이 탈락하여 전류의 계속적인 감소를 기대하기 힘들다. 본 실험에서는 접촉되지 않은 상태에서 시행하였기 때문에 도포한 막이 탈락 후 전류의 변화에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 두 절연체의 절연성 비교에서는 All bond 2가 Scotch bond 2보다 우수하였다.

본 실험은 표면적을 $12.56mm^2$ (직경 4mm)으로 일정히 하였으나 Holland¹¹⁾의 연구에 의하면 금합금의 아말감에 대한 표면적이 클수록 전류가 많이 흐르나, non- γ_2 아말감은 표면적비에 무관하다고 하였다. 이는 양극에 대해 음극의 면적이 증가하면 전류밀도가 증가하기 때문에 일어나는 현상이나 근본적인 문제는 아말감의 구성이 여러가지 상으로 구성되어 있기 때문에 non- γ_2 아말감에서는 면적에 영향을 받지 않는 것으로 사료된다. 전기화학적 반응은 많은 요소에 의해 영향을 받으며 수소이온이나 산소의 농도에 대한 영향은 pH가 낮을 수록, 산소

농도가 증가할수록 부식이 증가되나, 부식산물과 생물학적인 막이 금속표면을 부동태화시켜 이 반응을 약화시키기도 한다. Holland²⁸⁾의 보고에서 pellicle을 음극에 도포할 때 저동아말감은 전류가 감소되나 고동아말감은 변화가 없었다. Pellicle은 음극에서 산소의 접근을 막음으로서 전류를 감소시키고, 고동아말감은 Pellicle에 영향을 받지 않아 근본적인 문제는 아말감의 구성에 기인함에 있다고 하였다.

갈바니전류는 동통을 일으킬 수 있고 이에 관여하는 요소는 사용하는 금속, 잔여상아질과 연조직의 전기적저항, 그리고 전류 밀도가 관여한다. 금속간에는 갈바니계열간의 차이가 큰 금속일수록, 상아질과 연조직의 저항이 작을수록, 전기밀도가 클수록 동통이 일어날 수 있는 가능성이 크다. 그러나, Bergman 등¹⁷⁾은 실제 구강내에서 갈바니전류를 측정할 결과 갈바니즘의 증상이 없는 정상군이 동통을 일으키는 군보다 갈바니전류가 크다고 하였고, Johansson 등²⁹⁾에 의하면 갈바니즘에 의하여 동통을 호소하는 환자와 증상이 없는 환자 사이에서 전류의 크기는 유사하였다 하고, 대부분의 환자들이 다른 요소들, 즉 치주질환, 악관절 질환을 겪고 있어 이는 갈바니동통이 전류의 크기보다는 생물학적인 동통역치가 개개인의 차이를 보인^{6, 7, 8, 17)}으로 발생한다고 사료된다. 결론적으로 부식에 대한 저항은 전기화학적 반응 뿐만 아니라 금속학적, 열역학적, 그리고 물리화학적 요소에 의해 영향을 받는다고 할 수 있다^{6, 7, 8, 17)}.

갈바니 셀의 내부저항은 중요한 요소^{7, 34, 35)}이므로 본 실험에서는 10mm의 거리를 두고 실험하였고, 생리식염수의 농도가 낮아 많은 내부저항을 나타낸 것으로 사료된다. 만약 두 금속이 직접접촉을 일으키거나, 전해질의 농도가 크다면 내부저항이 낮아 많은 전류가 흐를 것으로 사료된다.

본 실험에서의 결과로서 갈바니즘이 일어날 가능성이 있는 구강내 환경에서 아말감을 선택할 때 저동아말감보다는 고동아말감을 선택하는 것을 추천할 수 있고, 만약 증상이 나타나면 최근에 수복한 금속수복물이 아말감일 경우 질산은을 표면에 도포하고, 금합금일 경우에 하이드라진을 도포하는 것을 추천할 수 있다. 또한, 레진화합물인 절연체의 도포도 가능하지만, 레진 접착제의 사용시에는 교합시나 다른 원인에 의해 제거되었을 경우 증상이 반

복되면 재도포나 다른 방법을 고려하여야 한다. 위의 화합물을 사용시에 주의할 점은 먼저 다른 원인들, 즉, 교합접촉이상, 치수변화, 치주질환, 치아파절, 수복물의 이상 등의 다른 원인에 의한 것인가를 확인해야 한다. 특히 질산은의 경우 물에 적신 cotton pellet에 묻혀 아말감의 교합면 전체에 도포할 때 환자의 입술이나 안면에 묻히지 않도록 주의하여야 하며, 이때 나타나는 검은 변색은 증상이 사라진 후 연마하면 된다.

본 실험에 사용한 화합물들은 국소적인 도포만으로 국한되었을 경우 전신적인 부작용은 없을 것으로 사료되나, 전신적인 영향에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

아말감과 금합금간의 갈바니전류를 측정하기위해 Acrylic resin에 직경 4mm, 높이 13mm의 와동에 아말감을 충전하였으며, Acrylic resin에 직경 4mm, 높이 2mm의 금합금을 충전한 후 직경 2mm의 동선에 연결하여, 생리식염수내에서 거리 10mm간격을 두고 Ammeter를 이용하여 6종의 아말감과 금합금간의 전류를 각각 측정하였고, 갈바니전류를 감소시킬 수 있다고 예상되는 약물들을 각각 처리하였다. Hydrazine은 금합금에, Silver nitrate, Potassium chromate를 각각 아말감합금에 그리고 Scotch bond 2(3 M)의 접착제, All bond 2(Bisco)의 접착제를 각각 아말감합금에 도포한 후에 전류를 측정하여 도포하지 않은 군과 전류의 차이를 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 갈바니전류는 시간이 경과함에 따라 감소하였고, 30분 이후에는 변화가 거의 없었다.
2. 초기전류는 저동아말감이 고동아말감에 비해 컸고, 그중 저동절삭형 아말감이 가장 높은 초기 전류를 나타냈다.
3. Hydrazine을 금합금에 도포한 군이 도포하지 않은 군에 비해 전류가 상당량 감소하였다.
4. Silver nitrate, Potassium chromate를 각각 아말감에 도포한 군이 도포하지 않은 군에 비해 상당량의 전류의 감소를 보였다.
5. Scotch bond 2, All bond 2의 접착제를 각각 아말감에 도포한 군이 도포하지 않은 군에 비해

상당량의 전류의 감소를 보였다.

6. Silver nitrate가 다른 화합물보다 전류의 감소 효과가 가장 우수하였다.

참고문헌

1. J. M. Mumford : Orofacial pain. Churchill Livingstone : 3rd edition ; 1982, 167-172.
2. E. S. Lain, W. Schriever and G. S. Cauhgron : Problem of electrogalvanism in the oral cavity caused by dissimilar dental metals. J. A. D. A. 1940 : 27 : 1765-1772.
3. Jolan Banoczy et. al. : Clinical and histologic studies on electrogalvanically induced oral white lesions. Oral Surg. 1979 : 48 : 319-323.
4. Everett S. Lain and G. Sherrill Caughron : Electrogalvanic phenomena of the oral cavity caused by dissimilar metallic restorations. J. A. D. A. 1936 : 23 : 1641-1652.
5. J. M. Muford : Electrolytic action in the mouth and its relationship to pain. J. D. Res. 1957 : 36 : 632-640.
6. Berit Hohansson, Evert Stenman and Maud Bergman : Clinical study of patients referred for investigation regarding so-called oral galvanism. Scand. J. Dent. Res. 1984 : 92 : 469-475.
7. Kristina Arvidson and E. Gunnar Johansson : Galvanic currents between dental alloys in vitro. Scand. J. Dent. Res. 1985 : 92 : 467-473.
8. Kristina Arvidson and E. Gunnar Johansson : Galvanic series of some dental alloys. Scand. J. Dent. Res. 1977 : 85 : 485-491.
9. J. A. Von Fraunhofer and P. J. Staheli : Gold-Amalgam Galvanic Cells. Brit. Dent. J. 1972 : 132 : 357-362.
10. Richard S. Mateer and Clair D. Reitz : Galvanic Degradation of Amalgam Restorations. J. Dent. Res. 1972 : 51 : 1546-1551.
11. Roy I. Holland : Galvanic currents between gold and amalgam. Scand. J. Dent. Res. 1980 : 88 : 269-272.
12. C. P. Wang Chen and E. H. Greener : A galvanic study of different amalgams. J. of Oral Reha. 1977 : 4 : 23-27.
13. I. C. Schoonover and wilmer Souder : Corrosion of Dental alloys. J. A. D. A. 1941 : 28 : 1278-1291.
14. Eijiro Wakai : Potential difference between various kinds of metals applied in oral cavity and their physiologic effects. J. A. D. A. 1936 : 23 : 1000-1006.
15. Takao Fusayama, Tsuneo Katayori and Sunao Nomoto : Corrosion of gold and amalgam placed in contact with each other. J. Dent. Res. 1963 : 42 : 1183-1197.
16. D. F. Dupern, M. D. Nerile, and E. Kasloff : Clinical evaluation of corrosion resistance of conventional alloy, spherical particle alloy, and dispersion phase alloy. J. Prosth. Dent. 1971 : 25 : 650-6566.
17. M. Bergman, O. Ginstrup and K. Nilner : Potential and polarization measurements in vivo of oral galvanism. Scand. J. Dent. Res. 1978 : 86 : 135-145.
18. Norimasa Kurosaki and Takao Fusayama : Penetration of elements from amalgam into dentin. J. Dent. Res. 1973 : 52 : 309-317.
19. Rune Soremark et. al. : Penetration of metallic ions from restorations into teeth. J. Pros. Dent. 1968 : 20 : 531-540.
20. Dag Brune, Nils Gjerdet, and Gunnar Paulsen : Gastrointestinal and in-vitro release of copper, cadmium, indium, mercury and zinc from conventional and copper rich amalgams. Scand. J. D. R. 1983 : 91 : 66-71.
21. J. Brugirard et. al. : Study of electrochemical behavior of gold dental alloys. J. Dent. Res. 1973 : 52 : 828-836.
22. Y. N. Kim, C. M. Um : In vitro study of galvanic current between amalgam and gold alloy. K. D. C. A. 1984 : 10 : 63-69.
23. J. M. Um and Y. H. Kim : Galvanic Current 측정 에 관한 실험적 연구. J. K. D. A. 1978 : 16 :

- 683—688.
24. Nils Roar Gjerdet and Dag Brune : Measurements of currents between dissimilar alloys in the oral cavity. *Scand. J. Dent. Res.* 1977 : 85 : 500—502.
 25. Berit Johansson and Lars Lundmark : Direct and indirect registration of currents between dental metallic restoration in the oral cavity. *Scand. J. Dent. Res.* 1984 : 92 : 476—479.
 26. Lars Lundmark et. al. : Convenient instrument for oral galvanism measurements. *Scand. J. Dent. Res.* 1982 : 90 : 468—471.
 27. Johnson G. H. : A laboratory evaluation of two dental amalgam alloys *J. Dent. Res.* 1985 : 64 : 222.
 28. Roy, I. Holland : Effect of pellicle on galvanic corrosion of amalgam. *Scand. J. Dent. Res.* 1984 : 92 : 93—96.
 29. J. F. Watson and R. B. Wolcott : A method for the control of galvanism. *J. prosthet. Dent.* 1976 : 35 : 279—282.
 30. M. C. Reinhard et. al. : Further experiments in oral galvanisms. *J. A. D. A.* 1939 : 26 : 1846—1848.
 31. Dag Brune, Gunnar Hultquist and Christoffer Leygraf : Corrosion resistance of a passivated and non-passivated cobalt-chromium alloy, *Scand. J. Dent. Res.* 1984 : 92 : 262—267.
 32. Miroslav Marek : The corrosion of dental materials. *Treatise on materials science and technology.* Vol. 23. *Corrosion Aqueous processes and passive films.* Edi. by.
 33. R. S. Matter and C. D. Reitz : Corrosion of Amalgam Restoration. *J. Dent. Res.* 1970 : 49 : 399—407.
 34. G. J. Reed and W. Willman : Galvanism in the oral cavity. *J. A. D. A.* 1940 : 27 : 1471—1475.
 35. John H. Farrell : Galvanic Action between dental restorations. *Brit. Dent. J.* 1958 : 128.
 36. Rolf Lappalainen and Antti Yli-Urpo : Release of elements from some gold alloys and amalgams in corrosion. *Scand. J. Dent. Res.* 1987 : 95 : 364—368.
 37. Son : *Metal Corrosion.* Nam Young : 1st edition : 1980 : 283—295.
 38. Phillips, R. W. and Skinner, E. W. : *Science of Dental Materials.* Philadelphia, 1991 : W. B. Saunders Company, p.300

A STUDY ON THE REDUCTION OF GALVANIC CURRENT BETWEEN AMALGAM AND GOLD ALLOY WITH VARIOUS CHEMICAL AGENTS.

Seung - Soo Kim, D. D. S., Chung - Moon Um, D. D. S., M. S. D., Ph. D.

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of this study was to achieve the reduction of the galvanic current between the dental amalgam alloy and gold alloy. In order to measure the galvanic current between these two metals a prep in the size of 4×13mm which was filled with amalgam and another prep of 4×2mm was filled with gold alloy was made in the acrylic resin. These two preps were then connected to a 2mm diameter copper wire. Using an ammeter to measure the galvanic current, six different kinds of amalgam and gold alloy were immersed in saline solution with approximately 10mm distance between the two alloys. Chemical agents that are thought to reduce the galvanic current such as hydrazine, silver nitrate, potassium chromate, and bonding agents such as Scotch bond 2(3M) and All bond 2(Bisco) were applied to the alloy surface. Cathodic inhibitor such as hydrazine was applied to gold alloy where as anodic inhibitor such as silver nitrate and potassium chromate were applied to amalgam. Both bonding agents, Scotch bond 2(3M) and All bond 2(Bisco), were applied to amalgam. The following results were obtained when the currency on the coated alloy surface was compared to the uncoated surface.

1. The galvanic currency went down as the time elapsed and after 30 minutes no change was detected.
2. Initial currency was higher in low copper amalgam compared to high copper amalgam. Initial currency was the highest in low copper lathe-cut amalgam.
3. Group of gold coated with hydrazine had the most reduction in galvanic currency.
4. Group of amalgam coated with silver nitrate or potassium chromate also showed significant reduction in galvanic currency.
5. The bonding agents also helped reduce galvanic currency.
6. Of all the agents used to reduce galvanic currency, silver nitrate showed the best result.

Key words : Galvanic Current, Gold Alloy, Amalgam, Cathodic inhibitor, Anodic inhibitor, Bonding Agents