

치과용 아말감 내부의 수은 유출과 기포의 발생에 관한 연구

김주원

서라벌대학 치위생과

A Study on occurrence of porosity and leakage of mercury in dental amalgam's inside

Joo-Won Kim

Department of Dental Hygiene, Sorabol College

ABSTRACT

Objectives : In this study, following the cavity restorations with low copper conventional alloy, high copper admixed one and high copper unicompositional one, which are used the most frequently in a clinical setting at the present, to experiment the time-dependent changes of strength, bubbles were examined. Besides, to examine the detrimental effects of mercury contained in dental amalgam, the amount of mercury release was evaluated.

Methods : As dental amalgams which were used herein, [BESTALOY], [Hi-Aristaloy 21] and [Sybraloy] were selected for a low-copper conventional amalgam, a high-copper admixed one and a high-copper unicompositional one in the corresponding order. The formation of bubbles and the weight ratio of mercury release were evaluated using a field emission scanning electron microscope (FE-SEM). Thus, the following results were obtained:

Results : 1. The time-dependent amount of mercury release reached a statistical significance in three types of alloys, which was shown in such a descending order as [BESTALOY], [Hi-Aristaloy 21] and [Sybraloy]. 2. A low-copper conventional type, BESTALOY is a cutting type and it was found to have an increased formation of fine bubbles. In the remaining two types, [Hi-Aristaloy 21] (a high-copper admixed alloy) and [Sybraloy] (a high-copper unicompositional alloy), the time-dependent changes in the formation of bubbles was negligible.

Conclusions : Accordingly, this type of mercury release from amalgam alloy denotes the difference in the weight ratio of total constituents between after 24 hours and after two weeks. But further studies are warranted to examine the amount of mercury release which is detrimental to human bodies.

Besides, a low-copper conventional alloy is a cutting type and it was characterized by the abundant formation of bubbles in a time-dependent manner. This implies that the strength of amalgam is impaired, which should be considered in selecting the appropriate amalgam alloy in a clinical setting. (J Korean Soc Dent Hygiene 2010 ; 10(3) : 533-542)

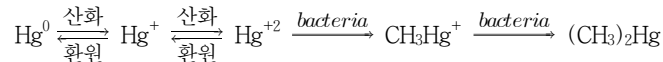
Key words : amalgam alloy, FE-SEM, mercury, porosity

1. 서론

은백색을 띠는 수은은 액화온도가 -38.87°C 로서 실온에서 항상 액체로 존재하는 유일한 액화금속이다. 무색, 무취인 수은 증기는 -10°C 에서도 기화하고 20°C 에서 50°C 로 올라가면 기화성이 8배나 증가한다. 이러한 수은은 서기 4,500년 전에 중국에서 악령을 쫓는다고 하여 사용된 이래 고대 그리스, 로마 등지에서는 기생충질환, 피부질환, 성병 치료에 사용되었다고 한다¹⁾.

치과에서 처음 사용된 시기는 1818년이며, 아울러 2004년 미국에서는 연간 100,000kg을 사용하여 치과의사 1인당 매년 1kg을 소비하는 치아우식 수복용 재료이다. 이러한 수은은 전기제품, 화장품, 페인트, 농약, 이뇨제, 기압계, 온도계, 박제품, 직물인쇄 등의 다양한 분야에 이용되고 있다.

치과용 수은(HgP)은 액체 또는 기체 상태로 존재하며 산화과정을 거쳐 무기수은 이온(Hg^+ , Hg^{+2})이 되어 증발됨으로써 체내에 흡입되고, 흡입된 무기수은 이온은 인체 내 박테리아의 작용으로 유기수은으로 변하여 쉽게 혈액에 흡수되어 뇌, 신장, 심장, 폐, 간 등의 장기 에 축적된 후 소변, 땀, 머리카락 등으로 배출 된다²⁾.



체내에 흡입된 수은 이온은 단백질의 포스포릴(phosphoryl) 군 등과 강력하게 결합되어 효소 저해제(enzyme inhibitor)로 작용하므로 단백질의 변성을 가져오며 세포와 신진대사의 기능을 저하시킨다³⁾. 즉 허약, 피로, 식욕감퇴, 체중감소, 위장장애를 거쳐 손가락, 눈꺼풀, 입술 등의 떨림과 보행실조, 언어장애, 반사기능 이상, 신경전달 이상 증상을 가져오고 구강 내 변화로는 치은염, 과도한 타액분비, 금속성 맛, 치아동요 등의 증상이 나타난다.

이처럼 수은을 포함한 치과용 아말감의 위해성에 대해 의료가 오랜 논쟁을 해오고 있음에도 불구하고 수은이 함유된 아말감은 가장 오래된 치아우식이환부의 수복재료 현재에도 이용 되고 있다⁴⁾.

구강진료영역에서 사용되는 구강진료용 아말감은 치아우식에 의한 결손부분 수복재료로 최근 Sawair 등⁵⁾에 의해 소개된 이래, 조작이 간편하고 비용이 적게

들며, 시술기간이 짧다는 등의 장점으로 현재까지 널리 사용되고 있다⁶⁾. 그러나 수은은 휘발성이 높기 때문에 아말감합금의 연화, 충전 또는 기존 아말감 수복물 제거 과정에서, 부적절한 취급이나 보관 등에 의해 기화되기 쉽다. 이로 인해 치과진료실을 오염시키고 술자를 비롯한 여러 종사자들이 공기 중에 떠도는 수은증기와 아말감합금의 미세입자를 흡입함으로써 수은이 체내에 축적되게 되는 불상사를 겪을 수 있게 된다⁷⁾.

Larson 등⁸⁾은 와동 형성 후 아말감 수복이 치아를 약화시킨다고 하였고, Cavel 등⁹⁾과 Eakle 등¹⁰⁾은 와동을 수복한 아말감의 팽창으로 인해 기능 중 파절될 가능성이 증가한다고 하였다.

시술 후 초기의 미세누출과 시술 후의 과민반응을 줄이기 위해 와동 도포액(cavity varnish)을 사용하게 되었는데 Ben-Amar 등¹¹⁾은 재래형, 구상형 아말감 모두에서 코팔라이트 와동 액(copalite cavity varnish)의 사용으로 현저하게 미세누출이 감소하였으며, 혼합형 아말감은 와동 도포액 없이도 좋은 결과를 나타냈다고 하였다. 그러나 Liberman 등¹²⁾은 시간이 경과 할수록 미세누출에서 와동 도포액의 역할은 감소하여 영구적인 폐쇄가 일어나지 않는다고 반론을 폈다.

또한 Markley¹³⁾는 아말감 유지를 강화하는 방법으로 스테인리스 강(鋼)으로 만든 핀(pin) 사용을 제한 권유 하였고, Pashley 등¹⁴⁾은 핀의 숫자와 크기가 수복물의 유지력을 10.3MPa 까지 증가시켰다는 유지력 보강에 대한 연구를 발표하였다.

이와 같은 선현들의 연구는 주로 아말감자체의 유지력 증가 방법이나 아말감 수복 후 과민반응 억제 방법 등의 진행으로 이루어졌으며 아말감 수복 후 구강 환경에서 기포의 증가로 인한 강도저하와 수은 유출량에 관한 연구가 부족하다고 판단되어 본 연구를 시작하게 되었다.

본 연구에서는 현재의 임상에서 많이 사용하는 저동재래형 합금(low-copper conventional), 고동혼합형합금(high-copper admixed) 그리고 고동단일조성형합금(high-copper uni compositional)으로 와동수복 후 시간이 경과됨에 따라 나타나는 강도의 변화를 실험하기 위해 발생하는 기포와 수은 유출량을 관찰하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 실험재료

실험에 사용할 아말감 합금은 저동 재래형 합금으로 Bestaloy(woori dongmyung Co., korea)를, 고동 혼합형 합금으로 Hi-Aristaloy 21(korea-engelhard Co., korea)을, 그리고 고동 단일 조성형 합금으로 Sybraloy (Kerr, U.S.A)를 선택하였고, 실험의 객관성을 위해 세 종류 모두 정제(錠劑, tablet)형으로 실험했다.

Bestaloy 아말감 합금의 주성분은 Ag-68%, Sn-27%, Cu-4%이며, Hi-Aristaloy 21 아말감 합금의 주성분은 Ag-45%, Sn-31%, Cu-24%이고, Sybraloy 아말감 합금의 주성분은 Ag-41%, Sn-31%, Cu-28% 이다.

2.2. 실험방법

- 1) 기공용 실리콘으로 가로 10mm, 세로10mm, 높이 10mm의 6면체 형태의 주형(틀)을 제작하였다(Fig. 1-a).
- 2) 제조회사의 매뉴얼을 준수하여 수은과 아말감합금을 진동자(pestle)와 함께 캡슐에 넣고 아말감혼합기(Degussa, Germany)에서 30초 연화한 후 진동자를 제거하고 다시 1~2초 더 연화하여 천으로 수은을 짜 냈다.
- 3) 세 종류의 연화된 아말감을 레진에 포매(包埋, embedding)

- 되게 반 정도 기공용 레진(Lang dental, U.S.A)을 채우고 아말감 덩어리를 가운데 넣었다(Fig.1-b~d).
- 3) 레진이 경화되면 주형에서 제거한 후 항온조에 넣어 24시간, 1주일, 2주일, 4주일 보관 했다(Fig.1- e~f).
- 4) 단면을 다이아몬드 디스크로 잘라 전계 방사형 주사 전자현미경인 FE-SEM(JEOL Ltd., JAPAN)로 기포를 관찰하고 유출 수은의 양을 측정했다.

2.3. 내부의 기포 변화와 미반응 수은 유출량 측정

세 종류의 아말감을 레진에 포매하고 항온조에서 넣은 후 24시간, 1주, 2주, 4주 보관 후 시편을 절단한다. 절단된 단면에서 발생한 기포의 발생 여부와 성분의 변화를 관찰하는데 사용한 기기는 전계 방사형 주사 전자현미경인 FE-SEM(JEOL Ltd., JAPAN)〈Fig. 2〉이다.

이 기기는 시료의 표면조직을 고배율까지 입체적으로 관찰이 가능하며, 전자선을 이온 증착된 시료표면위에 주사하여 시료에서 반사된 2차 전자에 의해 시료의 미소부분 형태까지 관찰이 가능하며 생물시료, 식물의 화분, 종자, 박막, 금속, 반도체 표면 등 미세구조관찰 및 구성원소의 정성 및 정량 분석이 가능한 기기이다.

시간 경과 후 절단표면의 미세구조 관찰은 24시간, 1주, 2주, 4주 후에 시행하였고(Fig. 3), 성분분석은 1일 후와 2주 후 시편에서 분석하였다.

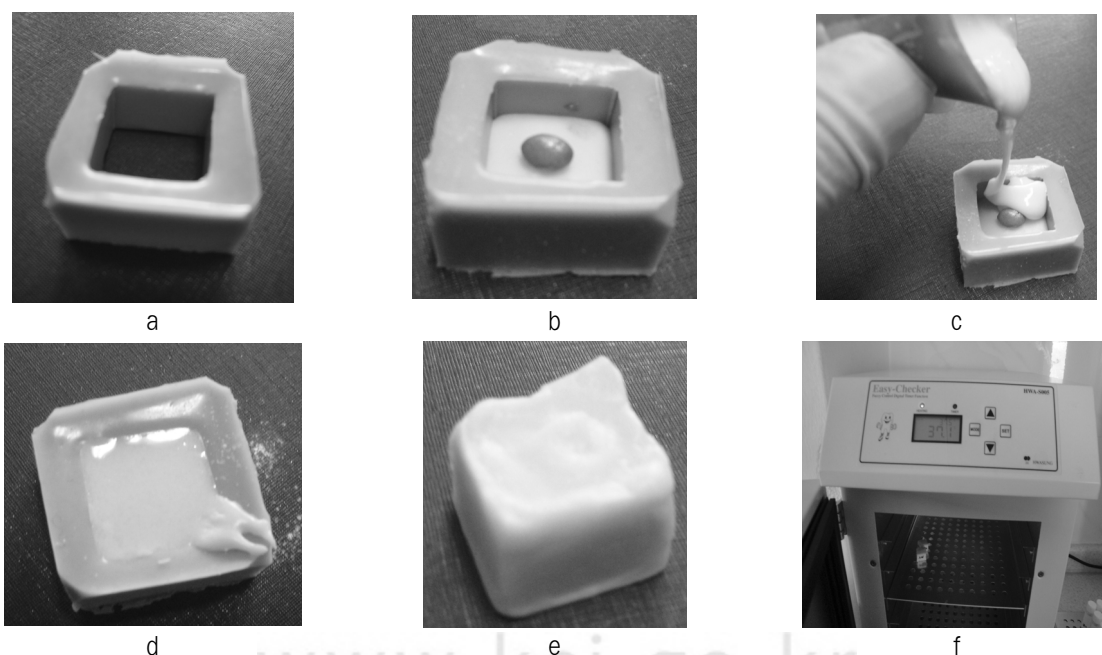


Fig. 1. Process for specimen manufacture

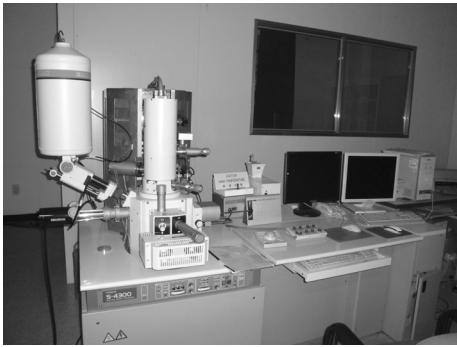


Fig. 2. Field Emission Scanning Electron Microscope(FE-SEM) FE-SEM for observation of changes in the structure of amalgam inside

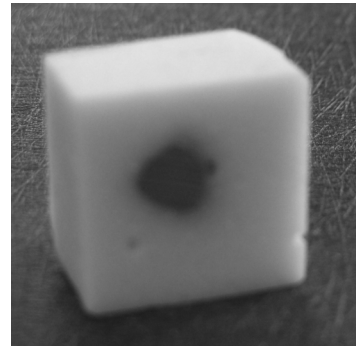


Fig. 3. Cutting side of test piece

2.4. 수은 유출량의 통계 분석

각 아말감 합금의 24시간 후와 2주 후의 수은 성분의 중량비 분석은 Student's paired t -test로 하였고 세 종류끼리의 분석은 분산분석의 일원배치법으로 통계처리를 하였다.

3. 연구성적

3.1. 수은함량분석

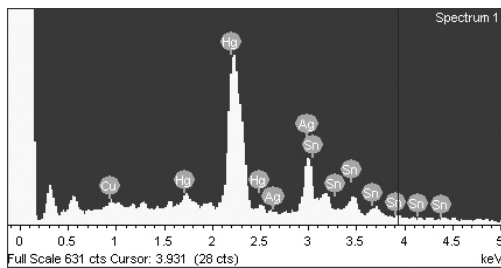
레진에 포매한 세 종류의 아말감을 24시간과 2주일 동안 항온조에서 보관한 후 수직으로 절단하여 아말감 성분의 변화를 전계 방사형 주사 전자현미경(FE-SEM)으로 (Fig. 4)과 같은 방법으로 관찰한 결과 세 종류의 아말감 합금의 유출 수은의 중량비에 있어서 (Table 1)과 같이 평균과 표준편차가 나타났다.

3.1.1. 저동절삭형 아말감 합금인 [BESTALOY]의 분석

미량의 동이 함유된 저동절삭형인 [BESTALOY]을 항온조에서 24시간 경과 후와 2주일 경과 후의 수은의 중량비 차를 아래와 같이 5회 실시하였고 (Table 2), Student's paired t -test 한 결과 유의성이 높게 나타났다 (Table 3).

3.1.2. 고동 혼합형 아말감 합금인 [Hi-Aristaloy 21]의 분석

6.73%의 구리가 함유된 고동 혼합형 (high copper admixed)인 [Hi-Aristaloy 21]은 저동 재래형 합금에 구상형의 Ag-Cu 공정 합금을 첨가한 제품으로 24시간 후와 2주 후의 수은의 중량비 차를 아래와 같이 5회 실시하였고 (Table 4), Student's paired t -test 한 결과 유의성이 높게 나타났다 (Table 5).



a

Element	Weight%	Atomic%
Cu K	0,38	0,90
Ag L	28,05	39,06
Sn L	12,46	15,77
Hg M	59,11	44,26
Totals	100,00	

b

Fig. 4. Spectrum and weight ratio of ingredients that appear in FE-SEM

a. Spectrum of each ingredient that is seen in amalgam inside / b. Weight ratio of each ingredients

Table 1. Average and standard deviation of mercury that is outpoured in 3 kind of amalgam alloy

Kinds of amalgam	Mercury weight ratio of 24 hours after(①)	Mercury weight ratio of 2 weeks after(②)	Difference of ① and ②
BESTALOY	59.11	53.28	5.83
		53.19	5.92
		52.80	6.31
		54.10	5.01
		52.64	6.47
		Mean ± S.D.	5.9080 ±0.5679
Hi-Aristaloy 21	58.15	53.20	4.95
		53.56	4.59
		53.04	5.11
		54.27	3.88
		53.89	4.26
		Mean ± S.D.	4.558 ±0.5020
Sybraloy	52.67	48.27	4.40
		49.30	3.37
		48.89	3.78
		48.25	4.42
		49.06	3.61
		Mean ± S.D.	3.916 ±0.4740

unit: weight%

Table 2. Change weight ratio of ingredients of [BESTALOY]-amalgam alloy that pass 24 hours and 2 weeks

After 24 hours			After 2 weeks		
Element	Weight%	Atomic%	Element	Weight%	Atomic%
Cu K	0.38	0.90	Cu K	0.68	0.84
Ag L	28.05	39.06	Ag L	30.84	40.13
Sn L	12.46	15.77	⇒ Sn L	15.20	16.09
Hg M	59.11	44.26	Hg M	53.28	42.93
Totals	100.00		Totals	100.00	

Table 3. Weight ratio's change t -test analysis about mercury leakage of [BESTALOY]-amalgam alloy between after 24 hours and after 2 weeks

	After 24 hours	After 2 weeks
Mean	59.11	53.202
Dispersion	0	0.3225
Number	5	5
hypothesis Average differences	0	
degree of freedom	4	
P(T<=t)	1.01E-05***	
t critical value one-tailed tests	2.1318	

***p<0,001

Table 4. Change weight ratio of ingredients of [Hi-Aristaloy 21]-amalgam alloy that pass 24 hours and 2 weeks

After 24 hours			After 2 weeks		
Element	Weight%	Atomic%	Element	Weight%	Atomic%
Cu K	6.73	4.65	Cu K	6.96	5.23
Ag L	24.04	38.08	Ag L	26.34	39.23
Sn L	11.08	14.19	⇒ Sn L	13.50	13.17
Hg M	58.15	43.07	Hg M	53.20	42.27
Totals	100.00		Totals	100.00	

Table 5. Weight ratio's change t -test analysis about mercury leakage of [Hi-Aristaloy 21]-amalgam alloy between after 24 hours and after 2 weeks

	After 24 hours	After 2 weeks
Mean	58.15	53.59
Dispersion	0	0.2520
Number	5	5
hypothesis Average differences		0
degree of freedom		4
P(T<=t)		1.74E-05
t critical value one-tailed tests		2.1318

***p<0.001

Table 6. Change weight ratio of ingredients of [Sybraloy]-amalgam alloy that pass 24 hours and 2 weeks

After 24 hours			After 2 weeks		
Element	Weight%	Atomic%	Element	Weight%	Atomic%
Cu K	6.38	4.42	Cu K	7.09	4.42
Ag L	18.45	39.21	Ag L	20.07	39.21
Sn L	22.5	16.23	⇒ Sn L	24.57	16.23
Hg M	52.67	40.04	Hg M	48.27	40.04
Totals	100.00		Totals	100.00	

3.1.3. 고동 단일 조성형 아말감 합금인 [Sybraloy]의 분석

[Sybraloy]은 고동 단일 조성형(high copper unicom- positional) 합금으로 Ag-Sn-Cu의 3원 구상형 입자로 구성되며 24시간 후와 2주 후의 수은의 중량비차를 아래와 같이 5회 실시하였다(Table 6), Student's paired t -test 한 결과 아래와 같이 통계적으로 유의하게 나타났다(Table 7).

3.1.4. 저동절삭형, 고동 혼합형, 고동 단일 조성형 아말감 합금의 비교분석

아말감합금이 완전히 팽창이 일어난 24시간 후와 2주 후 세 종류의 아말감합금의 수은 유출량을 비교분석

해 본 결과 저동절삭형 아말감 합금인 [BESTALOY]는 24시간 후에 수은의 중량비가 59.11% 였으나 2주 후에는 53.28%로 5.83% 포인트 감소하였으며, 고동 혼합형 아말감 합금인 [Hi-Aristaloy 21]는 58.15%에서 53.20%로 4.95% 포인트 감소하였고, 고동 단일 조성형 아말감 합금인 [Sybraloy]는 52.67%에서 48.27%로 4.40% 포인트 감소하였으며 유의성이 있게 나타났다. 이러한 수은의 함량 감소량은 아말감 내부의 기포 변화에서도 유사한 결과를 보여주고 있다.

3.2. 아말감 내부의 변화

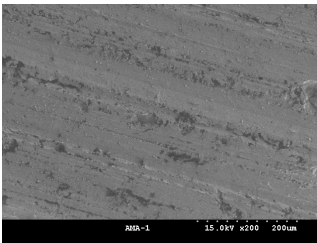
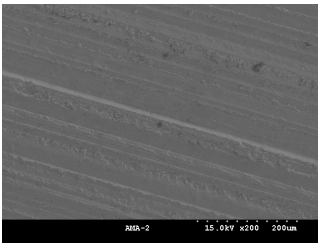
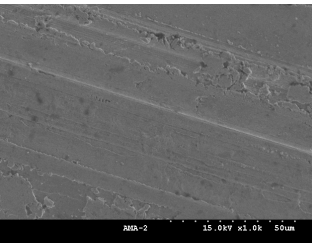
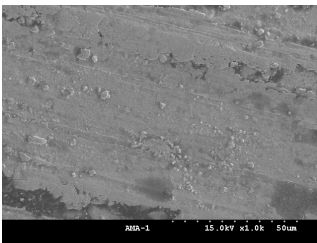
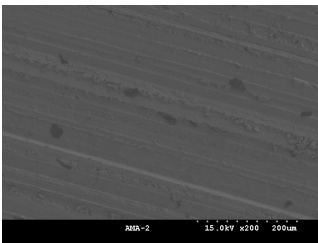
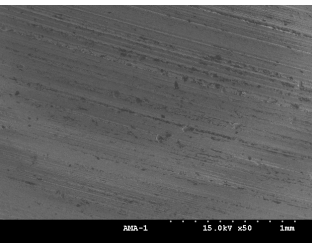
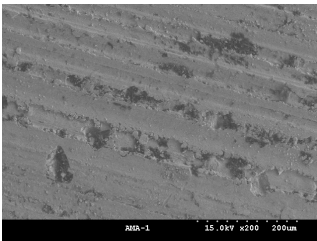
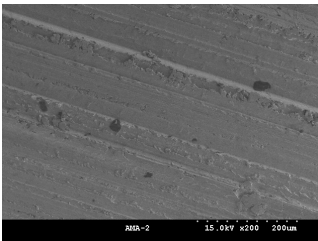
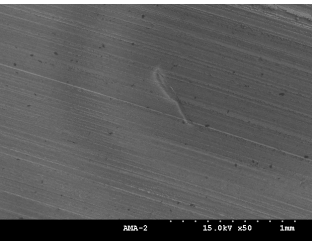
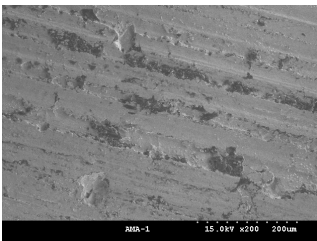
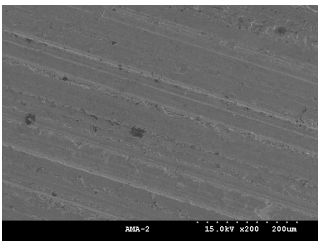
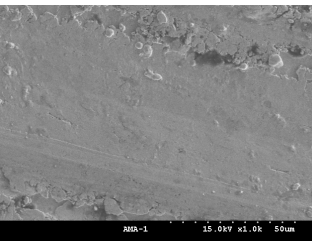
저동재래형인 아말감 합금인 [BESTALOY]은 절삭형 입자로 미세하게 기포가 증가하고 있음을 알 수

Table 7. Weight ratio's change t -test analysis about mercury leakage of [Sybraloy]-amalgam alloy between after 24 hours and after 2 weeks

	After 24 hours	After 2 weeks
Mean	52.67	48.75
Dispersion	0	0.2246
Number	5	5
hypothesis Average differences		0
degree of freedom		4
P(T<=t)		2.53E-05
t critical value one-tailed tests		2.1318

***p<0.001

Table 8. Change of inside porosity that each kind of amalgam happens according to time(×200)

Time in constant temperature oven	Kinds of amalgam		
	BESTALOY	Hi-Aristaloy 21	Sybraloy
After 24 hours			
After 1 week			
After 2 weeks			
After 4 weeks			

있었고 고동 혼합형 아말감 합금인 [Hi-Aristaloy 21] 간의 흐름에 따라 기포의 변화는 무시할 정도였다
 와 고동 단일 조성형 아말감 합금인 [Sybraloy]은 시 <Table 8>.

4. 총괄 및 고안

최근 경상북도 영천시와 군위군 지역에서 판매하는 돔배기(상어를 조각내 소금에 절인 포)에서 다량의 수은이 검출되었는데 이를 자주 식용하는 지역 주민들의 혈중 수은 농도가 1ℓ에 16.81~16.69mg로 전국 평균 정상치보다 4.4배 높은 수치라는 결과를 국립환경과학원에서 밝힌바 있다¹⁵⁾.

반면 리스본대학과 워싱턴대학이 공동 조사한 논문에서는 아말감 충전을 받은 아동들에게서 어떤 신경계 관련 부작용의 징후도 발견하지 못했다고 하였다¹⁶⁾.

Barry ME¹⁷⁾ 등은 아말감 금속의 구조에 따른 부식은 합금의 구성에 따라 유의성이 있다고 하였고, 김¹⁸⁾은 아말감 합금의 증발수은이 치아주위 조직 내 침수에 어느 정도 영향을 미친다는 결론을 내기도 했다. 또한 Hanson M. 와 Pleva J.¹⁹⁾는 치아 우식부에 아말감을 충전한 환자의 수은 중독은 심각하다는 것을 생체실험에서 밝혔으며 아말감 제거 후에도 중독 징후가 포착되었다고 하였다. 아말감 합금의 구성에 있어서도 Ag-Cu-Sn와 Ag-Cu-Pd 아말감 합금은 온도가 100~400°C로 변화할 때 강도변화와 수은증기의 방출이 뚜렷하게 나타난다는 것이 이미 선현들에 의해 연구되었다^{20,21)}.

아말감의 위해성에 대한 논란은 1800년대 중반 미국에서 처음 도입되었을 당시부터 현재에 이르기까지 꾸준히 지속되고 있는데 논란의 핵심은 구강 내에서 유출되는 아말감화 되지 못한 미 반응 수은이 인체에 영향을 줄 만큼의 미량인지 아닌지 이다.

저동재래형 (low copper conventional)은 구리의 함량이 6% 이하이며 절삭형 합금입자를 가지고 있어 기포가 많이 발생하여 강도가 떨어지고 수은이 많이 유출되는 단점을 가지고 있다²²⁾.

또한 “Ag₃Sn+Hg→Ag₃Sn+Ag₂Hg₃ +Sn₇-8Hg”의 식으로 아말감화가 일어나며 Y₁-phase, Y₂-phase을 모두 가지고 있어 구강 내 환경에서 [BESTALOY] 아말감 합금은 미반응 수은의 유출이 많은 것으로 보인다²³⁾.

고동 혼합형 (high copper admixed)인 [Hi-Aristaloy 21]와 고동 단일 조성형 (high copper unicompositional)인 [Sybraloy]은 저동 재래형 합금에 구상형의 Ag-Cu

공정 합금을 첨가한 제품으로 구리의 양이 6.73% 함유되어 있었고 “Ag-Sn-Cu+Hg→Ag₂Hg₃ + Cu₆Sn₅+Ag-Sn-Cu”의 화학식에서 n-phase을 가지고 있어 기포가 적어 내식성이 높으며 수은의 유출이 다소 적었지만 강도는 약했다²⁴⁾.

따라서 본 연구는 아말감 수복 후 구강 환경에서 기포의 변화로 인한 강도저하와 수은 유출량에 관한 연구가 부족하다고 판단하여 임상에서 많이 사용하는 저동재래형 합금(low-copper conventional), 고동혼합형합금(high-copper admixed) 그리고 고동단일조형형합금(high-copper uni compositional)으로 외동수복 후 시간이 경과에 따라 나타나는 강도의 변화를 실험하기 위해 발생하는 기포와 수은 유출량을 관찰하고자 하였다.

본 연구의 결과에서 나타나는 것처럼 세 종류의 아말감 합금 모두에서 팽창이 완료되는 24시간 후와 2주 후의 수은의 유출량은 4.40~5.83% 포인트로 유의성을 보였다. 그러나 저동절삭형 아말감 합금인 [Bestaloy]는 24시간 후와 1주, 2주 그리고 4주 후 미세하게 기포수의 증가를 보였고, 고동 혼합형인 [Hi-Aristaloy 21]와 고동 단일 조성형인 [Sybraloy]의 기포수의 변화는 무시할 정도였다. 이러한 아말감내부의 기포수는 강도의 저하를 의미하며 세 종류 모두에서 강도변화는 미약함을 알 수 있었다.

본 연구는 in-vitro 상태에서 시행되어 임상에서의 아말감합금 수복물의 유해성을 판단할 수 없다는 것과 아말감을 둘러싼 레진을 절단할 때 디스크에서 분쇄되어 나오는 성분들을 완전히 배제 하지 않았던 것은 다소 미흡했던 부분으로 남았으며, 차후 실험에서는 이 부분을 고려해야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 현재의 임상에서 많이 사용하는 저동재래형합금, 고동혼합형합금 그리고 고동단일조형형합금으로 외동수복 후 시간이 경과됨에 따라 나타나는 강도의 변화를 실험하기 위해 기포를 관찰하였고, 치과용 아말감의 수은 유해성을 알아보기 위해 수은 유출량을 조사해보고자 하였다.

실험에 사용된 치과용 아말감은 저동재래형으로

[BESTALOY]를, 고동 혼합형으로 [Hi-Aristaloy 21]를, 고동 단일 조성형으로 [Sybraloy]를 선택하였고, 기포발생 여부와 수은 유출 중량비는 전계 방사형 주사 전자현미경인 FE-SEM을 이용하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 저동재래형인 [BESTALOY], 고동 혼합형인 [Hi-Aristaloy 21]와 고동 단일 조성형인 [Sybraloy]의 시간의 흐름에 따라 유출되는 수은의 양은 유의성이 있었으며 [BESTALOY], [Hi-Aristaloy 21] 그리고 [Sybraloy] 순으로 높게 나타났다.
2. 저동재래형인 [BESTALOY]은 절삭형 입자로 미세하게 기포가 증가하고 있음을 알 수 있었고 고동 혼합형인 [Hi-Aristaloy 21]과 고동 단일 조성형인 [Sybraloy]는 시간의 흐름에 따라 발생하는 기포의 변화가 무시할 정도로 작았다.

따라서 이러한 수은의 유출은 아말감 합금에서 24시간 후와 2주 후의 전체 성분의 중량비의 차를 표시한 것이며 인체에 유해할 정도의 양인지는 더 많은 연구가 필요한 부분이다.

또한 저동재래형 합금은 절삭형이므로 시간이 흐를수록 기포가 많이 발생했었다. 이는 아말감의 강도가 떨어짐을 의미하며 임상에서 아말감 금속 선택 시 고려해야 할 사항으로 사료된다.

참고문헌

1. 김경남. 치과용 수은. 1(3)판. 서울: 임상치재:1991:4-5.
2. 고영무, 김경남, 김광만 외 7인. 치과재료학. 3판. 서울: 군자출판사:203-224:2004.
3. 이진현. Sodium selenite와 마늘이 有機水銀 中毒에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究. 서울대학교 석사학위논문 1987.
4. Sawair FA, Hassoneh Y, Jamleh AO, Al-Rabab'ah M. Observance of proper mercury hygiene practices by Jordanian general dental practitioners. *Int J Occup Med Environ Health*. 2010;23(1):47-54.
5. 김혜성. 치과의원 종사자들의 체내 수은축적과 신장 기능과의 관련에 대한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문 1999.
6. 이영은, 김종배. 구강보건의료전달체계의 모형에 관한 연구. *대한구강보건학회지* 1983;7: 109-110.
7. Magos L. Mercury metabolism and toxicology: Dental amalgam-a health hazard?. Munksgaard, Copen-hagen Press: 1991:11-32.
8. Larson D, Douglas WH, Geistfeld RE. Effect of prepared cavities on the strength of teeth. *Oper Dent* 1981;6:2-5.
9. Cavel WT, Kelsey WP, Blankenau RJ. An in vivo study of cuspal fracture. *J Prosthet Dent* 1985;53: 38-42.
10. Eakle WS, Maxwell EH, Braly BV. Fracture of posterior teeth in adult. *JADA* 1986;112:215-218.
11. Ben-Amar A, Nordenberg D, Bar D. Marginal microleakage. *Dent Mat* 1986;2:45-47.
12. Liberman R. Long-term sealing properties of amalgam restorations: in vitro study. *Dent Mat* 1989;5:168-170.
13. Markey MR. Pin reinforcement and retention of amalgam foundations and restorations. *JADA* 1958;56:675-679.
14. Pashley EL. Amalgam build-ups(shear strength and dentin sealing properties). *Oper Dent* 1991;16: 82-89.
15. 홍선기: 영천·군위 주민 혈중 수은 농도 평균의 4.4 배, YTN, 2010년 3월 17일.
16. 정일해: 아말감 충전 아동 “해 없다” 미국 연구팀, 중추신경계 등 부작용 발견 못해, *치의신보*, 2008년 2월 21일.
17. Barry ME., 문현정, 김철위: 치과용 아말감 구조와 부식, 서울대학교 치과생체재료학자료집 2002:36: 13-14.
18. 김수철. 아말감 충전후 증발수은의 치아주의조직내 침수에 관한 연구. *대한치과의사학회지* 1974;12(6): 373-375.
19. Hanson M, Pleva J. The dental amalgam issue. A review, *Experientia* 2005;47(1),9-22.
20. Chien-Ping Ju, Yu-Hsuan Chen, Wen-Fu Ho. Effect of heat treatment on structure and properties of dispersed-type dental amalgam, *Journal of materials science. Materials in medicine* 2007;19(1):83-93.
21. Troconis CB, Colon P, Bartout JD. Influence of thermal treatments on Ag Sn Cu powders in order to reduce mercury contents in dental amalgam, *Journal of materials science. Materials in medicine* 2004;11(1):1-9.
22. Myaki SI, Rodrigues CR, Raggio DP, Flores TA, Matson MR. Microleakage in primary teeth restored by conventional or bonded amalgam technique. *Braz Dent J*. 2001;12(3):197-200.
23. 하대송, 김종관, 이종갑. 유구치 와동형성이 아말감 파절에 미치는 영향에 관한 연구, *대한소아치과학회지* 1884;11(1):159-167.
24. Trester J. Amalgam restorations. *J Am Dent Assoc* 2001;132(9):1206-1208.