

갈륨합금과 고동 아말감 합금의 물리적 성질 비교

부산대학교 치과대학 치과보존학교실

김현철 · 이희주 · 허 복

Abstract

COMPARISON OF THE PHYSICAL PROPERTIES BETWEEN GALLIUM ALLOY AND HIGH COPPER AMALGAM ALLOYS

Hyeon-Cheol Kim, Hee-Joo Lee, Bock Hur

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

The purpose of this study was to compare the physical properties between high copper amalgam and gallium restorative material.

In this study, the specimens for the 4 experimental groups (Valiant, Valiant PhD, Gallium Alloy GF II, Gallium Alloy GF II triturated with some addition of alcohol) were prepared in the manner of which stated in ADA specification No. 1 for amalgam alloy. And then, measured and compared the value of compressive strength, creep, and dimensional change during hardening of each sample.

The results were as follows:

1. In the compressive strength, the Valiant-lathe cut type high copper amalgam-had the highest value of strength ($p < 0.05$), and the Valiant PhD-admixed type high copper amalgam-showed the higher value of strength than the Gallium Alloy GF II ($p < 0.05$) but had no significant difference with Gallium Alloy GF II triturated with some addition of alcohol ($p > 0.05$).
2. In the creep, the Valiant PhD showed the highest value of creep ($p < 0.05$), but there was no significant difference between Gallium Alloy GF II and Valiant ($p > 0.05$).
3. In the dimensional change during hardening, no two groups were significantly different at the 0.050 level.

4. There was no significant difference between Gallium Alloy GF II and the same material which was triturated with some addition of alcohol($p>0.05$).

I. 서 론

치과용 아말감은 전세계를 걸쳐 가장 오랜 기간 널리 사용되어오는 구치부 수복 재료로서, 장기간의 임상 검증을 통해 경제적이고 사용하기 용이하면서 구강내의 환경에서 내구성을 지니며 적절한 강도와 그 역할을 유지할 수 있음이 알려져 있다¹⁾. 그러나 아말감 내의 수은에 의한 인체 유해성과 환경 오염 등에 대한 논란과 관심이 지속되고 있다²⁻⁴⁾.

아말감 수복을 위해 조작하거나, 이들 수복물이 구강 내에서 기능을 하는 동안, 혹은 이 수복물의 대체를 위해 제거시 술자가 충분한 주의를 기울인다면 환자나 술자에게 미치는 수은의 영향은 일반적으로 문제가 되지 않는다고 알려져 있다. Kenneth 등의 연구⁵⁾에 의하면, 아말감 수복물과 수은 독성(mercury poisoning)과 관련된 증상과는 어떠한 상관관계도 없으며, 간혹 수은에 의한 알려지 반응이 나타나는 경우에서도 그 증상은 미미하고 어떤 부가적인 처치없이 몇주내에 사라진다고 하였다. 또, 구강내에 아말감 수복물을 가진 환자에서 수은 증기 흡입량을 조사한 Berglund의 연구⁶⁾에서는, 그 양이 아주 적고 자연적으로 음식, 물, 공기로부터 노출되는 양에도 미치지 못한다고 한다.

그러나, 극히 미량의 수은에 대한 노출도 결코 바람직하지 않다는 연구도 계속 발표되고 있는데, Vimy와 Lorscheider⁶⁾는 구강내 아말감 수복물로부터 유리된 수은 원소량이 국제적으로 받아들여지고 있는 threshold limit values(TLV)의 대부분을 차지하거나 초과하며, 아말감의 수은이 일일 총 노출량(total daily dose)에 주된 기여 요소가 된다고 하였다. 또, 아말감 수복물을 가진 사람의 구강내 수은 증기의 농도를 조사한 연구에서는, 저작 자극을 주기 전후에 아말감 수복물을 갖지 않은 사람에 비해 아말감 수복물을 가진 사람이 월등히 높은 구강내 수은 증기 농도를 나타내었다고 보고하

였다⁷⁾. Svare 등⁸⁾이 보고한 날숨 공기(expired air) 중의 수은 증기량에 관한 연구에서도 마찬가지로 결과를 나타내었다. Richards와 Warren 등의 보고서⁹⁾에 따르면, 냉각수와 흡입이 최소한으로 사용되는 경우, 이전에 아말감으로 충전된 치아에서 와동을 형성하는 동안 높은 수치의 수은 증기가 유리될 수 있음을 나타내었다. 특히, 오래된 아말감 수복물을 제거하는 경우 TLV를 초과하는 수치가 조사된 경우도 있다³⁾. 이와 함께 수은을 포함한 아말감의 사용이 환경 오염의 원인이 된다는 점도 임상적 관심을 떠나 아말감의 대체 필요성을 확대시키고 있다.

금, 도재, 콤포지트 레진, 글래스아이오노머 시멘트 등의 대체 수복 재료가 치과용 아말감에 대한 무수은 수복재료로 주장되고 있지만 이들 재료중 어느 것도 아말감의 넓은 적용성과 함께 비교적 저렴한 경제성, 강도, 마모 저항, 구치부 수복재료로서의 내구성등을 동시에 만족시키지는 못한다⁴⁹⁾. 이에 그 대체 가능성을 지닌 갈륨 합금에 대한 연구가 시작되었고 수복재료로서의 잠재성을 평가하기 시작하였다¹⁰⁾. 갈륨 합금은 Ag-Sn 입자를 Ga-In에 연화하여 사용하게 된 것으로 갈륨의 용점이 29.78°C인 것을 이용하여 Indium 등의 원소를 소량 첨가함으로써 실온에서 액상 합금이 되도록 하였다. 그 결과, 아말감의 연화에 사용되는 액상부로서의 수은을 갈륨(Ga-In)으로 대체하는 것이 가능하게 되었다. 이들 재료를 말하는 정확한 용어는 gallium alloys 혹은 gallium based restorative alloys 이다^{10,11,12)}.

최근에 이러한 무수은 가소성 수복재료인 갈륨 합금으로 Gallium Alloy GF II(Tokuriki Honten, Japan)와 함께 Galloy(Southern Dental Industries, Australia)등이 상품으로 개발되어 아말감의 직접 대체 재료로 시판 및 사용되고 있다. 갈륨 합금의 조작 및 임상 적용 방법은 아말감에서와 거의 유사하다. 그러나, 이들 갈륨 합금에 관한 실험 정보나 임상 연구는 미흡한 실정이다¹²⁾. ISO standard

test에 따라 갈륨 합금(Gallium Alloy GF, Tokuriki Honten, Japan)과 치과용 아말감(Dispersalloy dental amalgam, Johnson and Johnson, USA)을 비교한 Blair등의 연구¹³⁾에서는 갈륨 합금이 아말감을 대체할 수 있는 정도의 물성을 가지나 임상적으로 널리 사용되기 위해서는 조작성이 용이하도록 개선되어야 한다고 하였다. 그러나, Okamoto와 Horibe의 문헌¹⁴⁾에 의하면 갈륨 합금을 사용하는 경우 아말감을 사용하였을 때보다 충전 기술이 간단하고 시간이 절약되므로, 전신 마취하에서 광범위 치료를 시행해야 하는 장애 아동을 위한 진료에 유용할 것이라고 하였다. 또, 갈륨 합금(Galloy, Southern Dental Industries, Australia)의 기계적 성질과 함께 수복물의 6개월과 1년 경과시의 임상 수행(clinical performance)을 평가한 Osborne과 Summitt의 연구¹⁵⁾에서는 평가 기간동안 수복물이 건전하였고 파절된 치아도 없었다고 보고하면서 치과용 아말감에 대한 강한 거부감을 가진 환자에서 아말감에 대한 대체물로 사용할 수 있을 것이라고 하였다.

아말감 수복물의 대체 물질로 개발되어 최근 시중에 시판되고 있는 갈륨 합금에 대한 관심이 증가하고 있으나 국내에서는 갈륨 합금의 물리적 성질이 아말감을 대체할 수 있을 정도인지에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 실험에서는 임상에 널리 사용되는 고동 아말감과 갈륨 합금의 압축강도, creep, 그리고 경화중 체적변화율 등의

물리적 성질을 비교하여 갈륨 합금이 아말감의 대체물질로 사용 가능한지를 평가하였다.

II. 연구재료 및 방법

사용된 재료는 Gallium Alloy GF II(Tokuriki Honten, Japan)와 Valiant(Dentsply, USA), Valiant PhD(Dentsply, USA)의 두가지 고동 아말감 합금이다. Gallium Alloy GF II는 미리 포장된(precap-sulated) 형태이며, 아말감도 분액비의 차이에 따른 실험 오차를 줄이기 위해 미리 포장된 형태의 아말감을 선택하였다.

이들 재료로 치과용 아말감 합금에 대한 미국치과의사협회 규격 제1호(American Dental Association Specification No.1)에 따라 실험에 사용될 시편을 만들었으며 압축강도, creep, 경화 과정에서의 체적 변화등 이 규격에서 제한하고 있는 물리적 성질을 비교하였다^{16,17)}.

1. 시편의 제작

미국치과의사협회 규격 제1호의 아말감 합금 시편 제작 방법에 따라 stainless steel로 주형을 만들고 각 재료의 시편을 제작하였다(부록:그림 1-1:도면, 1-2:조립도).

각 재료의 연화에는 amalgamator(amalgamator-D형, Shofu, Japan)를 사용하였으며 Valiant와 Valiant PhD는 10초간 연화하였다. Gallium Alloy

Table 1. Chemical composition of Valiant, Valiant PhD, Gallium Alloy GF, Gallium Alloy GF II 11,13,18)

Contents(weight %)					
Metal	ISO Standard	Valiant	Valiant PhD	Gallium Alloy GF	Gallium Alloy GF II
		Powder Liquid	Powder Liquid	Powder Liquid	Powder Liquid
Silver	40 min.	49.5	52.7	50.0	60.0
Tin	32 max.	30.0	29.7	25.7 16.0	25.0 16.0
Copper	30 max.	20.0	17.4	15.0	13.0
Zinc	2 max.	0.0	0.0	0.3	
Mercury	3 max.	0.0 100.0	0.0 100.0		
Palladium		0.5	0.5	9.0	2.0
Indium				18.95	18.95
Gallium				65.0	65.0
etc				0.05	0.05

GF II는 재료의 특성상 그 제조원에서 1회 연화 방법과 2회 연화 방법을 제시하고 있는데, 이들 두 가지 방법이 재료의 물성에 미치는 영향을 함께 평가하기 위해 두가지 방법 모두를 실험에 사용하여 각각의 경우를 시험군으로 하였다. 1회 연화 방법의 경우 amalgamator로 10초간 연화하였고, 2회 연화 방법의 경우는 5초간 amalgamator로 연화한 후 캡슐을 열고 알콜을 한방울 첨가하여 다시 5초간 연화하였다. 이때 첨가하는 알콜은 제조자의 지시에 따라 에틸 알콜(ethyl alcohol)을 첨가하였으며 물리적 성질의 저하를 유발하지 않도록 가능한 소량을 첨가하였다. 1회 연화 방법을 이용한 경우 갈륨 합금 연화물이 캡슐에 막상으로 균일하게 발려 있으며, 2회 연화 방법을 사용한 경우는 연화물이 아말감 캡슐을 연화하였을 때처럼 구상으로 만들어진다.

각 재료의 연화물을 주형의 내강에 넣고 plunger를 삽입한 다음 표 2의 순서에 따라 시편을 제작하였다. 시편 제작 과정에서 다목적 정하중 압축 시험기(Constant Load Compression Testing Apparatus for Multiple Purpose, Type:A-001, SEIKI, Japan)를 사용하여 14MPa의 하중을 가하였다.

2. 압축강도

각 재료당 시편 10개씩을 제작하여 $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에 보관하였다. 연화후 60±2분에 만능시험기(Instron, UK)를 사용하여 압축강도를 측정하였는데, 만능시험기의 crosshead 속도를 0.25mm/min으로하고

각 시편에 수직 하중을 가하여 시편이 파절될때까지의 최대 하중을 측정하였다.

3. Creep

각 재료당 5개의 시편을 제작하여 $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에 보관하고 7일 경과후 creep을 측정하였다. 먼저 micrometer(Outside micrometer, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 각 시편의 크기를 0.001mm 단위로 측정하고 이를 기준 길이로 삼았다. 다음에, 다목적 정하중 압축 시험기를 사용하여 $36\pm 0.2\text{MPa}$ 의 하중을 지속적으로 가했다. 하중을 가한 1시간후의 길이를 측정하고 다시 4시간후의 길이를 측정하여 그 길이 변화를 수치로 기록하였다. 1시간과 4시간의 사이의 측정치 차이를 원래의 기준 길이에 대한 백분율로 산출하여 creep 값을 결정하였다.

4. 경화중 체적 변화

각 재료의 경화중 체적 변화는 각 재료당 10개씩의 시편으로 측정하였다. 시편을 $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에 보관하고 연화 5분후와 24시간후 시편의 길이를 micrometer로 0.001mm 단위까지 측정하여 그 길이 변화를 0.001%까지 계산하였다.

5. 통계 처리

압축강도와 경화중 체적변화율의 측정값은 ANOVA로 통계처리하고, Scheffe's multiple range test로 사후 검정을 시행하였다. Creep의 측정값은 Mann-Whitney test를 통해 실험군간 비교를 하였다.

Table 2. Schedule for preparation of specimens

End of trituration	00 seconds
Place triturated mass in mold and apply 14 megapascals(2,030 psi) pressure	30
Release load and remove no.2 spacer at	45
Replace load at	50
Release load at	90
Brush away mercury and eject specimen at	120
The specimen shall not be trimmed.	
Transfer compressive strength, creep, and dimensional change specimens to an environment of $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.	

III. 연구결과

압축강도, creep, 경화중 체적 변화 정도에 관한 실험 결과를 표 3에 나타냈다.

1. 압축강도

네가지 실험군의 압축강도는 미국치과의사협회 규격에서 정한 최소 기준을 만족하는 것으로 나타났다(표 3). 네가지 실험군의 압축강도에 대한 통계처리 결과는 표 4에 나타나 있다.

아말감이 갈륨 합금에 비해 높은 압축강도를 나타내었는데, 절삭형 고동 아말감인 Valiant가 가장 높은 압축강도를 보였으며 나머지 시험군과 유의성있는 차이를 나타내었다($p < 0.05$). 혼합형 고동 아말감인 Valiant PhD은 알콜을 첨가하지 않은 Gallium Alloy GF II보다 유의성있게 높은 강도를 가졌으나($p < 0.05$), 알콜을 첨가하여 연화한 Gallium Alloy GF II와 Valiant PhD와는 유의할만한 차이

가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). Gallium Alloy GF II의 경우 알콜의 첨가 유무에 따른 강도의 차이는 통계적으로 유의성이 없었다($p > 0.05$).

2. Creep

실험에 사용한 갈륨 합금이나 고동 아말감 모두 미국치과의사협회규격 내의 creep 값을 나타냈다(표 3). 알콜을 첨가하지 않은 Gallium Alloy GF II가 가장 낮은 creep 값을 나타내었고 절삭형 고동 아말감 Valiant, 알콜을 첨가한 Gallium Alloy GF II, 그리고 혼합형 고동 아말감 Valiant PhD순으로 값이 높게 나타났다. 그러나 표 5에서 나타나듯이 갈륨 합금의 연화방법에 따른 creep의 차이는 유의성이 없으며($p > 0.05$), 갈륨 합금과 절삭형 고동 아말감인 Valiant간에도 유의할만한 차이가 없었다($p > 0.05$). 그러나 Valiant PhD는 다른 실험군보다 유의성있게 높은 creep 값을 보였다($P < 0.05$).

Table 3. Results of the Tests of Physical properties (Mean±S.D.)

	Compressive strength after 1 hour (MPa)	Creep (%)	Dimensional change Between 5 minutes and 24 hours (%)
ADA specification	80 Min.	3.0 Max.	0±0.20%
Valiant	339.1±14.237	0.068±0.026	0.161±0.122
Valiant PhD	189.6±16.965	0.184±0.049	0.132±0.099
GF II	168.2±15.504	0.056±0.050	0.296±0.181
GF II-alcohol	180.6±13.042	0.103±0.048	0.272±0.200

Table 4. Statistic Analysis of Compressive Strength(MPa)

Subject	Number	Means	S.D.	Prob.
Valiant	10	339.1	14.237	.0000*
Valiant PhD	10	189.6	16.965	
GF II	10	168.2	15.504	
GF II-alcohol	10	180.6	13.042	
*indicated the statistical difference from the ANOVA at the significant level .05				
	Valiant	Valiant PhD	GF II	GF II-alcohol
Valiant				
Valiant PhD	**			
GF II	**	**		
GF II-alcohol	**			
**indicated the statistical difference from the Scheffe test with significant level .05				

Table 5. Statistic Analysis of Creep(%) by Mann-Whitney test

	Valiant	Valiant PhD	GF II	GF II-alcohol
Valiant				
Valiant PhD	*			
GF II		**		
GF II-alcohol		*		

*indicated the statistical difference with significant level .05

Table 6. Statistic Analysis of Dimensional Change during hardening(%)

Subject	Number	Means	S.D.	Prob.
Valiant	10	0.161	0.122	.0608
Valiant PhD	10	0.132	0.099	
GF II	10	0.296	0.181	
GF II-alcohol	10	0.272	0.200	

-There was no significant difference at the 0.050 level from ANOVA
 -No two groups are significantly different at the 0.050 level from Scheffe test

3. 경화중 체적 변화

경화중의 체적 변화를 측정된 결과 혼합형 고동 아말감 Valiant PhD가 가장 낮은 변화율을 나타내었고 절삭형 고동 아말감 Valiant, 알콜을 첨가하지 않은 Gallium Alloy GF II 그리고 알콜을 첨가한 Gallium Alloy GF II의 순으로 많은 체적 변화율을 나타내었다. 알콜의 첨가 유무에 관계없이 갈륨 합금의 실험군에서는 미국치과의사협회 규격보다 높은 체적 변화율을 나타내었지만(표 3), 이러한 규정치 초과와는 관계없이 각 실험군간에서는 유의성있는 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$)(표 6).

IV. 총괄 및 고찰

엄밀히 말해, 갈륨 합금은 치과용 아말감과는 별개의 재료이므로 갈륨 합금의 물리적 성질을 평가하기 위해 수은을 함유한 아말감을 시험하는 방법에 따른 것은 약간은 모순이라고 할 수도 있다. 그러나, Blair¹³⁾은 갈륨 합금을 고안 및 개발하게 된 계기가 수은을 포함한 아말감을 대체하기 위한 것이고, 제조자들도 이 갈륨 합금을 수은을 포함한 치과용 아말감의 대체물로 선전하고 있기 때문에, 최소한 이 갈륨 합금이 그 역할을 다해주시기를 기

대하는 것은 당연하며, 따라서 아말감의 시험 방법에 기준하여 대체 재료로서의 가능성을 평가하는 것이 적절하다고 하였다.

압축강도의 측정 결과를 보면 네가지 실험군 모두 미국치과의사협회 규격에서 정하는 1시간 후의 최소 압축강도 이상의 강도를 나타내어 수복 재료의 자격 요건을 갖추고 있다고 판단된다(표 3). 그러나 각 실험군간의 압축강도를 비교해볼 때(표 4) 절삭형 고동 아말감인 Valiant가 다른 모든 군보다 통계적으로 유의성있게 큰 압축강도를 나타내었으며 알콜을 첨가하여 2회 연화법을 사용한 Gallium Alloy GF II는 혼합형 고동 아말감인 Valiant PhD와 비슷한 정도의 강도를 나타내었으나 알콜을 첨가하지 않고 1회 연화법을 사용한 Gallium Alloy GF II는 혼합형 고동 아말감에 비해 유의성있게 낮은 압축강도를 나타내어 알콜을 첨가할 경우 물리적 성질이 저하될 것이라는 생각과는 다른 결과를 나타내었다. 그러나 알콜을 첨가한 군과 첨가하지 않은 군 사이에는 통계적으로 유의성있는 차이는 없었다. Blair¹³⁾이 발표한 Dispersalloy와 Gallium Alloy GF의 비교에서도 압축강도에 있어 유의할만한 차이는 없다($p > 0.05$)고 하였다. 이러한 압축강도에 의한 수복 재료의 평가에

서 임상적 의미를 더욱 높이기 위해서는 미국치과의사협회 규격에서 정하는 1시간 후의 강도 측정 외에 24시간 후의 최종 경화시 압축강도의 평가도 필요할 것으로 사료되며, Blair등¹³⁾의 발표에 따르면 1시간 후의 강도는 갈륨 합금이 약간 높았지만 24시간 후의 강도는 아말감이 약간 높게 나타났다는 점을 고려할 필요가 있겠다.

재료에 영구 변형이 일어나지 않을 정도의 작은 하중을 가했을 때 나타나는 길이의 변화인 creep은 아말감의 경우 3%이내여야 하는데, 본 실험 결과 네가지 군 모두 적합한 수복재료로 나타났다. 각 실험군을 비교했을 때 혼합형 고동 아말감인 Valiant PhD가 제일 큰 값을 나타내어 다른 실험군에 비해 유의성있는 차이를 보였다($p < 0.05$) 알콜을 첨가하지 않은 Gallium Alloy GF II에서 가장 낮은 값을 나타내어, Gallium Alloy GF에서 상당히 낮은 creep 값을 나타내었다고 보고한 Blair등의 연구 결과¹³⁾와 유사하였다. Mahler와 Adey¹⁹⁾, 그리고 Sarker등²⁰⁾의 연구에 의하면 몇몇 아말감에서 나타나는 비교적 높은 creep 값은 이들 재료에 존재하는 γ 상의 소성 변형(plastic deformation)과 관련된다고 하였는데 Valiant PhD에서의 상대적으로 높은 creep은 γ 상이 많기 때문인 것으로 보인다. Chung¹⁸⁾은 아말감 합금에 palladium을 추가하면 creep 값이 상당히 개선되고 압축강도가 현저히 증가하였다고 보고하였는데, 본 연구에 사용된 아말감과 갈륨 합금에도 palladium이 함유(표 1)되어 있으므로 이 성분에 의해 만족할 만한 creep 값이 나타난 것으로 사료된다.

경화중 체적 변화에 대한 실험결과에서는 갈륨 합금의 체적 변화율이 미국치과의사협회에서 정한 기준보다 높게 나타났지만, 두가지 고동 아말감의 실험군과 비교하였을 때 통계적으로 유의한 차이는 없는 것($p > 0.05$)으로 나타났기 때문에 이는 규정 초과와 의미가 없다고 볼 수 있다. Okamoto와 Horibe의 연구¹⁴⁾에서도 갈륨 합금의 경화 팽창이 아말감에 비해 많이 일어나지만 그 정도는 ISO와 ADA등의 표준 한계내에 든다고 하였다. 과거 Blair등¹²⁾이 Gallium Alloy GF로 행한 실험에서는 경화중 체적 변화가 ISO specification의 상한선인 3%를 초과하며 Dispersalloy와 비교하였을 때 유의성이 있다($p < 0.02$)고 하였다. 또, 갈륨 합금을 큰 와

동에 사용하는 경우, 특히 약한 교두를 가진 치아에서는 파절이 유발될 수도 있다고 하였다. 그러나 Gallium Alloy GF와 달리 Gallium Alloy GF II에서 아말감과 비교하였을 때 유의할만한 차이가 없어진 것은 그 성분 변화(표 1)에서 기인되는 것이라고 추론이 가능하다. 그렇지만 합금 분말의 조성 변화에서 은이 증가하고 Palladium이 감소된 것 외에 그 이유를 찾기는 어렵고, 이 두가지 성분과 팽창과의 관련성은 밝혀진바 없으며, 이러한 점에 관한 부가적인 연구가 필요하다. 한편, Navarro등²¹⁾은 1급과 2급 와동에서 Gallium alloy GF와 Disper-salloy로 수복하여 비교한 결과 갈륨 합금의 경화 팽창에 의해 파절치와 cracked teeth가 발생할 수 있다고 보고하였다. 또 이들은 구치부에 갈륨 합금 수복을 시행한 경우 술후 과민성이 빈발함을 보고하였다²²⁾. 즉, 수복물이 팽창하면서 술후 과민성을 유발하거나 약한 교두의 파절을 유발할 수 있다는 것이다. 반면에, 갈륨 합금 수복물의 임상 연구 결과를 나타낸 Yamashita등의 문헌²³⁾에서는 치아나 교두의 파절이 있었음을 보고하지는 않았다.

한편, 이 실험에 사용된 갈륨 합금은 조작하기에 어려움이 많았다. 실험용 시편을 만드는 동안 규격에 맞추어 제작한 stainless steel mold와 plunger에 끈적끈적하게 달라붙어 plunger를 움직이기 힘들었고 시편의 제거도 쉽지 않았다. 제조자가 추천, 공급하는 갈륨 합금의 전용 기구를 사용하였음에도 불구하고, 혼합된 재료가 캡술과 기구에 달라붙어 조작이 어려웠으며, 조작시 사용한 전용 기구도 사용 즉시 청소해야 했다. 아말감의 경우 시편을 연속적으로 제작할 수 있었으나 갈륨 합금의 시편을 제작할 때는 한 개의 시편을 제작한 후 mold와 plunger를 깨끗하게 하는 과정이 반드시 따라야 했다. Mash등²⁴⁾은 갈륨 합금이 아말감에 비해 충전과 가압(placement and condensation)시 조작의 용이성이 매우 뒤떨어진다고 보고하면서 조작성의 개선이 이루어져야 임상에서의 사용이 증가될 것이고, 2급 와동의 수복에 사용되는 경우 stainless steel matrix에 갈륨 합금이 부착되어 matrix의 제거가 어려울 수 있다고 지적하였다. Blair등¹²⁾은 갈륨 합금을 연화하고 1분정도의 시간이 경과된 후 수복하면 조작이 용이하다고 보고하

였으나, 이 방법은 시술시간을 연장시키고 경화가 진행되어 수복가능시간을 단축시키므로 실패할 가능성이 있고, 캡슐 내에 재료가 남아있어 재료의 낭비를 초래할 수 있는 단점이 있다고 지적하였다. 이러한 조작성을 개선하기 위해 알콜을 첨가하는 2회 연화법이 제시되었고 그에 따른 물성의 변화에 관한 연구도 이루어지고 있다. Habu 등의 문헌²⁶⁾에 의하면, 갈륨 합금의 점착성을 조절하여 조작성을 개선하기 위해 첨가하는 적정량의 알콜은 물리적 성질에 영향을 주지 않고 부착성을 감소시킨다고 하였다. 본 연구에서도 세가지 물리적 성질을 비교하였을 때 알콜 첨가 유무에 따른 유의할만한 차이는 없었다($p>0.05$) (표 4, 5, 6). 또, Momoi 등의 문헌²⁶⁾에 의하면, 5 μ 이하의 알콜을 첨가하는 것이 연화물의 부착성을 감소시켜 조작성의 개선을 가져올 뿐만 아니라, 기계적 성질을 바꾸지 않고 경화시 체적 변화율도 감소된다고 하였다. 본 실험에서도 알콜을 첨가한 경우, 첨가하지 않은 경우에 비해 경화 팽창이 적게 나타났다(표 3). 갈륨 합금에 대한 연구는 다방면으로 지속되고 있는데 조성 성분을 변화시켜 물리적 성질을 개선하려는 시도가 이루어지고 있고²⁷⁾, SiC whisker와 titanium powder를 추가시켜 물성이 개선되었다고 보고한 문헌도 있으며²⁸⁾, Her 등²⁹⁾은 갈륨 합금의 구조를 연구하여 여러 가지 반응상을 보고하였다. 치근단 수술시 역충전 재료로 갈륨 합금을 사용할 경우 아말감에 비해 봉쇄능력이 우수하고³⁰⁾ 변연누출도 적다는 연구 결과³¹⁾도 보고되고 있으며, 특히 갈륨과 인듐의 독성이 수은에 비해 현저히 낮고 심각하지 않아³²⁾ 어린이와 치과 종사자들의 수은 노출을 감소시킬 수 있으므로³³⁾ 아말감에 비해 여러 가지 장점을 가진다고도 할 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 압축강도와 creep, 경화시 체적 변화율을 비교하였을 때, 갈륨 합금은 아말감과 유사한 물리적 성질을 가지며 압축강도와 creep은 미국치과의사협회 규격에 적합한 수치를 나타내었으나 경화 팽창율은 허용치보다 약간 높게 나타났다. 그러나 아말감과 비교하여 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 본 실험에서 시행한 세가지 물리적 성질에 대한 평가만으로 갈륨 합금이 아말감의 대체물질로 적합하다고 판단할 수는 없으나 대체 가능성은 있는 것으로 평가되었다.

다만 임상에서 중요한 조작용의 용이성과 경제성에서는 개선의 여지가 남아있다고 사료된다. 앞으로 갈륨 합금의 조성 성분과 반응, 미세구조에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

V. 결 론

갈륨 합금과 고동 아말감의 물리적 성질을 비교하기 위해 시판중인 절삭형 고동 아말감인 Valiant (Dentsply, USA), 혼합형 고동 아말감인 Valiant PhD(Dentsply, USA), 그리고 알콜을 첨가한 갈륨 합금과 첨가하지 않은 갈륨 합금-Gallium Alloy GF II(Tokuriki Honten, Japan)-을 사용하여 미국치과의사협회 규격 제1호에 따라 실험용 시편을 만들고 압축강도, creep, 경화과정에서의 체적 변화등을 측정 비교하였다. 통계학적 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압축강도의 면에서, 절삭형 고동 아말감인 Valiant가 다른 실험군에 비해 높은 강도를 나타냈으나($p<0.05$), 혼합형 고동 아말감인 Valiant PhD는 1회 연화법에 의한 Gallium Alloy GF II 보다 높은 강도를 나타내고($p<0.05$) 알콜을 첨가하여 2회 연화한 Gallium Alloy GF II와는 유의할만한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$).
2. Creep 값을 비교하였을 때, Valiant PhD가 다른 실험군에 비해 더 높은 creep 수치를 나타냈으나($p<0.05$), Gallium Alloy GF II나 Valiant는 유의할만한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$).
3. 경화중의 체적 변화는 모든 실험군이 유의할만한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$).
4. Gallium Alloy GF II는 1회 혹은 2회 연화법을 사용하는 경우에 있어 물리적 성질의 차이는 없는 것으로 나타났다($p>0.05$).

참고문헌

1. K. J. Anusavice, I. A. Mj r: Response to patients who inquire about the safety of dental amalgam, Quint Int 22:249-250, 1991
2. J. M. Richards, P. J. Warren: Mercury vapor released during the removal of old amalgam

- restorations, *Br Dent J* 5:231-232, 1985
3. J. W. Reinhardt, K. C. Chan and T. M. Schulein:Mercury vaporization during amalgam removal, *J Prosthet Dent* 50:62-64, 1983
 4. S. C. Bayne:The amalgam controversy, *Quint Int*:22:247-248, 1991
 5. A. Berglund:Estimation by a 24-hour study of the daily dose of intra-oral mercury vapor inhaled after release from dental amalgam, *J Dent Res* 69:1646-1651, 1990
 6. M. J. Virny, F. L. Lorscheider:Serial measurements of intra-oral air mercury:Estimation of daily dose from dental amalgam, *J Dent Res* 64:1072-1075, 1985
 7. M. J. Virny, F. L. Lorscheider:Intra-oral air mercury released from dental amalgam, *J Dent Res* 64:1069-1071, 1985
 8. C. W. Svare et al.:The effect of dental amalgams on mercury levels in expired air, *J Dent Res* 60:1668-1671, 1981
 9. P. Williams:Goodbye Amalgam, Hello Alternatives?, *J Can Dent Assoc* 62:139-144, 1996
 10. D. L. Smith, H. J. Caul:Alloys of gallium with powdered metals as possible replacement for dental amalgam, *J Am Dent Assoc* 53:315-324, 1956
 11. C. M. Sturdevant et al.:The art and science of Operative Dentistry, 3rd ed., Mosby:pp219-235
 12. M. D. Jendresen et al.:Annual review of selected dental literature:Report of the committee on scientific investigation of the american academy of restorative dentistry, *J Prosthet Dent* 78:54-92, 1997
 13. F. M. Blair, J. M. Whitworth and J. F. McCabe:The physical properties of a gallium alloy restorative material, *Dent Mater* 11:277-280, 1995
 14. Y. Okamoto, T. Horibe:Liquid gallium alloys for metallic plastic fillings, *Br Dent J* 170:23-26, 1991
 15. J. W. Osborne, J. B. Summitt:Mechanical properties and clinical performance of a gallium restorative material, *Oper Dent* 20:241-245, 1995
 16. Council on Dental Materials and Devices: Revised American Dental Association Specification No.1 for Alloy for Dental Amalgam, *J Am Dent Assoc* 95:614-617, 1977
 17. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment:Addendum to American National Standards Institute/American Dental Association Specification No.1 for Alloy for Dental Amalgam, *J Am Dent Assoc* 100:245, 1980
 18. K. Chung:Effects of palladium addition on properties of dental amalgams, *Dent Mater* 8:190-192, 1992
 19. D. B. Mahler, J. D. Adey:Factors influencing the creep of dental amalgam, *J Dent Res* 70:1394-1400, 1991
 20. N. K. Sarkar, C. S. Eyer and B. K. Norling: Relationship between creep, γ^2 , and marginal fracture of dental amalgams, *J Oral Rehabil* 10:489-494, 1983
 21. M. Navarro et al.:Clinical evaluation of gallium alloy, *J Dent Res* 72:219 Abstr. No.925, 1993
 22. M. Navarro et al.:Clinical evaluation of gallium alloy as a posterior restorative material, *Quint Int* 27:315-320, 1996
 23. T. Yamashita, K. Itoh and S. Wakumoto: Clinical study of an experimental gallium containing alloy, *Dent Mater J* 8:135-140, 1989
 24. L. K. Mash et al.:Handling characteristics of gallium alloy for dental restoration, *J Dent* 21:350-354, 1993
 25. H. Habu et al.:Manipulation of gallium restorative materials. 1. Control of wetting action of mixture by mulling with ethanol, *Shika Zairyō Kikai* 8:790-796, 1989
 26. Y. Momoi et al.:A suggested method for mixing direct filling restorative gallium alloy, *Oper Dent* 21:12-16, 1996
 27. I. Yada:A basic study on gallium alloys for dental restorations. Improvement of liquid galli-

- um alloy, Fukuoka Shika Daigaku Gakkai Zasshi 16:97-117, 1989
28. H. W. Kim: Studies on newly improved gallium alloy as dental restorative material, by addition of SiC whisker and titanium powder, Fukuoka Shika Daigaku Gakkai Zasshi 16:118-137, 1989
 29. H. Her, C. J. Simensen and R. B. J rgensen: Structure of dental gallium alloys, Biomaterials 17:1321-1326, 1996
 30. N. Hosoya, E. P. Lautenschlager and E. H. Greener: A study of the apical microleakage of a gallium alloy as a retrograde filling material, J Endod 21:456-458, 1995
 31. J. M. Whitworth, A. Q. Khan: Marginal leakage of gallium alloy root-end fillings: an in-vitro assessment, Int Endod J 28:194-199, 1995
 32. J. E. Chandler, H. H. Messer and G. Ellender: Cytotoxicity of gallium and indium ions compared with mercuric ion, J Dent Res 73:1554-1559, 1994
 33. M. Kaga et al.: Gallium alloy restorations in primary teeth: A 12-month study, J Am Dent Assoc 127:1195-1200, 1996