

납착용 매몰재의 경화팽창과 열팽창에 관한 연구

부산대학교 치과대학 치과보철학교실

신성애 · 임장섭 · 정창모 · 전영찬

I. 서 론

최신 고정성 보철치료의 발달과 더불어 임플란트 치료가 확대되면서 적합도가 우수한 보철물에 대한 요구도가 증진됨에 따라 납착에 대한 중요성이 증진되고 있다. 납착은 모금속보다는 낮은 융점을 지닌 납착용 합금을 사용하여 분할된 구조체를 연결하는 것으로 torch나 oven, 또는 적외선 납착 등이 있다¹⁻³⁾. 매몰재를 이용한 납착의 일련 과정은 연결부의 상대적인 위치를 solder index를 통해 기록하여 매몰하고, 경화시킨 후 가열하여 용융시킨 납착용 합금으로 연결부를 결합시키는 것이다.

납착과정에서 최종 보철물의 정확성에 영향을 미칠 수 있는 요인들로는 납착방법, 블록의 형태, 연결부의 길이와 형태, 납착간격 납착용 합금의 순도, solder index를 채득하는 방법, 납착온도 등이 있으며⁴⁻⁹⁾, 이와 더불어 납착용 매몰재의 특성도 중요한 요인이 될 수 있다.

납착시 매몰재의 역할은 연결부를 정확히 위치시켜 가열후 상온으로 식힐 때 크거나 외형을 변형없이 유지시키는 것이다. 납착용 매몰재는 적절한 경화팽창과 모금속과 조화되는 열팽창을 가져야 할 뿐만 아니라, 가열 및 냉각에 따른 파절 없이 충분한 강도를 지녀야 하고, 결합된 표면을 오염시키지 않고 환원상태를 만들어 납착용 합금이 잘 흘러가도록 하며, 납착후 보철물로부터 제거가 용이해야 한다¹⁰⁾.

납착시에는 흔히 석고계나 또는 인산염계의 주조용 매몰재를 물과 혼합하여 사용해왔다. 상품화된

납착용 매몰재는 주조용 매몰재와 유사한 조성을 가지나, 비교적 열팽창계수가 낮은 석영을 내화재료로 한 석고계가 대부분이라 납착에 바람직한 열팽창을 보인다. 그러나 주조용 매몰재를 사용하는 경우에는 기대 이상의 열팽창을 야기하여 납착부를 상당량 이개시킨다¹¹⁾.

납착용 매몰재의 경화팽창과 열팽창에 대하여 Ryge⁹⁾는 소량의 경화팽창이 되는 것을 추천하였고 강화되는 동안에는 수화팽창을 막기 위하여 물과 접촉을 피하도록 하였다. Rosenthal 등¹²⁾은 모금속의 열팽창률과 같은 팽창률을 갖는 매몰재를 선택하여 가열시 연결부 사이의 적절한 간격이 유지되어야 납착부의 변형이나 다공성을 피할 수 있다고 하였다. 그러나 다른 연구에서는 가열되는 동안 납착간격은 다소 감소되는 경향이 있어 매몰재가 모금속과 같은 열팽창률을 가져야 하는지는 의문이 있다고 하였다⁹⁾.

이제까지 주조용 매몰재의 경화팽창과 열팽창에 대해서는 많은 연구가 있어 왔으나^{4,11-27)}, 납착용 매몰재의 팽창에 대한 연구 보고는 거의 없었다. 납착용 매몰재를 제조하는 회사에서도 납착방법이나 모금속의 종류, 납착용 합금의 조성 및 납착온도 등을 구체적으로 제시하지 않고, 혼수비나 주요 사용원칙을 기공사의 경험에 의존하도록 하고 있다.

이에 본 실험은 수종의 납착용 매몰재와 주조용 매몰재의 경화팽창률과 열팽창률을 조사하고 혼수비 변화가 매몰재의 팽창에 미치는 영향을 조사하여, 납착용 매몰재의 선택과 사용에 유용한 기초자료를 제시하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시험재료

1) 매물재

납착용 매물재는 CM®(Cendres & Metaux Sa, Swiss)과 Deguvest®(Degussa AG, Germany) 및 Speed-E®(Whip-mix, U.S.A.)를, 주조용 매물재는 인산염계 매물재인 Hi-temp®(whip-mix, U.S.A.)를 사용하였다.

2) 혼수비

분말 100g당 혼합되는 증류수 양은 제조회사의 지시에 따라 CM은 25ml, Deguvest는 24ml, Speed-E는 32ml, Hi-temp는 16ml를 사용하였고, 이를 표준 혼수비로 하여 표준 혼수비보다 20% 감소시킨 것을 감소된 혼수비, 20% 증가시킨 것을 증가된 혼수비로 하였다.

각 실험군과 실험에 사용된 혼수비를 Table 1에 나

타내었다.

2. 실험방법

1) 경화팽창 측정 (μm)

각 실험방법마다 네가지의 매물재와 세가지의 혼수비 조건에 따라 모두 12가지의 실험군으로 나누어, 각 실험군당 8개씩 총 192개의 시편을 제작하였다.

시편 제작시 실온에서 정해진 혼수비로 매물재를 15초간 손으로 혼합하고, 진공교반기(Multivac 4, Degussa)에서 15초간 추가 혼합한 다음, 내경 30mm, 높이 45mm의 금속원통주형 안에 넣고 상부에 유리판을 위치시켜 측정정도가 $1\mu\text{m}$ 인 Digimatic Indicator®(Mitutoyo, Japan)(Fig. 1)를 이용하여 혼합후 1분부터 60분까지의 팽창량을 1분 간격으로 측정하였으며, 계측치는 Digimatic Mini-Processor®(Mitutoyo, Japan)로 자동 기록하였다.

Table 1. Summary of experimental groups and its water/powder ratios(ml/g)

Water/powder ratio	Investment			
	CM	Deguvest	Speed-E	Hi-temp
Standard	25/100	24/100	32/100	16/100
	<i>CS</i>	<i>DS</i>	<i>SS</i>	<i>HS</i>
Decreased	20/100	19.2/100	25.6/100	12.8/100
	<i>CD</i>	<i>DD</i>	<i>SD</i>	<i>HD</i>
Increased	30/100	28.8/100	38.4/100	19.2/100
	<i>CI</i>	<i>DI</i>	<i>SI</i>	<i>HI</i>

Italics are codes of 12 test groups.

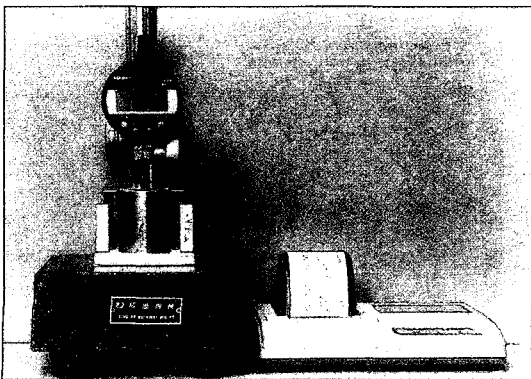


Fig. 1. Digimatic Indicator.

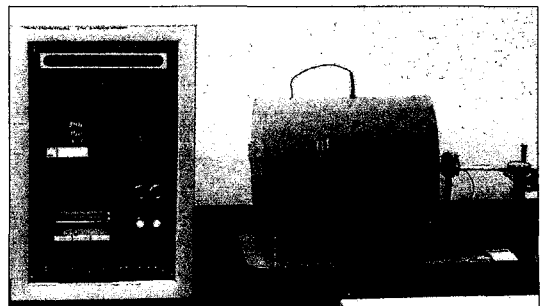


Fig. 2. Thermodilatometer.

2) 열팽창 측정 (μm)

직경 10mm, 높이 50mm의 금속원통주형으로 각 실험군당 5개씩 총 60개의 시편을 제작하였다. 측정 온도 구간은 25°C에서 700°C이며, 분당 10°C의 상승 속도로 Thermodilatometer(Fig. 2)를 이용하여 1분 간격으로 팽창량을 측정하였고, Digimatic Mini-Processor로 자동 기록하였다.

III. 실험결과

1. 경화팽창

각 실험군의 혼합 60분 후의 최종경화팽창률은 Table 2와 같다.

각 실험군 시편의 계측치를 이원변량분석법으로 통계학적 유의성을 검정한 결과, 최종경화팽창률은 매몰재 종류와 혼수비 변화에 따라 모두 유의성 있는 차이가 있었다.

Table 2. Means and Standard deviations of setting expansion rates(%)

Water/powder ratio	Investment							
	CM		Deguvest		Speed-E		Hi-temp	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Standard	0.080	0.001	0.090	0.011	0.199	0.003	0.080	0.003
Decreased	0.101	0.009	0.145	0.001	0.253	0.012	0.128	0.016
Increased	0.080	0.001	0.084	0.001	0.195	0.003	0.045	0.004

Table 3. Statistical test(Duncan's multiple range test) results comparing setting expansion values of 4 soldering investments

	<i>p</i>		<i>p</i>		<i>p</i>
<i>CD</i> vs <i>DD</i>	s	<i>CS</i> vs <i>DS</i>	s	<i>CI</i> vs <i>DI</i>	s
<i>CD</i> vs <i>SD</i>	s	<i>CS</i> vs <i>SS</i>	s	<i>CI</i> vs <i>SI</i>	s
<i>CD</i> vs <i>HD</i>	s	<i>CS</i> vs <i>HS</i>	ns	<i>CI</i> vs <i>HI</i>	s
<i>DD</i> vs <i>SD</i>	s	<i>DS</i> vs <i>SS</i>	s	<i>DI</i> vs <i>SI</i>	s
<i>DD</i> vs <i>HD</i>	s	<i>DS</i> vs <i>HS</i>	s	<i>DI</i> vs <i>HI</i>	s
<i>SD</i> vs <i>HD</i>	s	<i>SS</i> vs <i>HS</i>	s	<i>SI</i> vs <i>HI</i>	s

s: statistically significant difference, ns: no significant difference, $p < 0.05$.

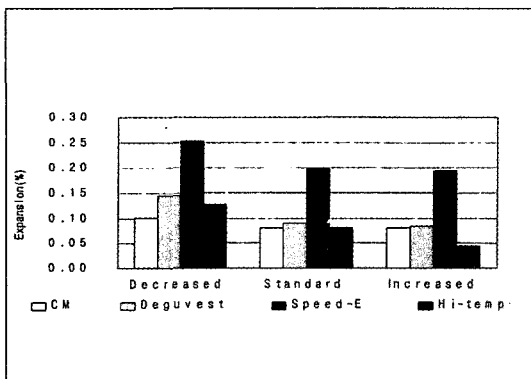


Fig. 3. Comparison of setting expansion rates(%) for 4 soldering investments in different water/powder ratio conditions.

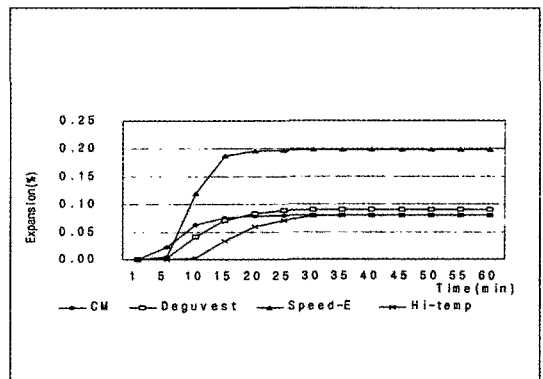


Fig. 4. Setting expansion curves for 4 soldering investments in standard water/powder ratio condition.

동일한 혼수비 조건에서 매물재별 최종경화팽창률 차이의 유의성을 검정하기 위하여 Duncan의 다중범위 검정법을 시행한 결과는 Table 3과 같고, 최종경화팽창률은 표준 혼수비 조건에서 CM과 Hi-temp간 차이가 없었고 그 외 매물재 상호 비교시 모두 차이가 있었다(Fig. 3).

Fig. 4는 표준 혼수비 조건에서 각 매물재 시편의 분당 팽창률을 나타낸 경화팽창곡선이다.

이를 매물재별로 혼수비 변화가 경화팽창에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Duncan의 다중범위 검정법으로 유의성을 검정한 결과는 Table 4와 같고, Fig. 5에서 경화팽창률은 표준 혼수비 조건에 비해 감소된 혼수비 조건에서 모두 증가하였고, 증가된

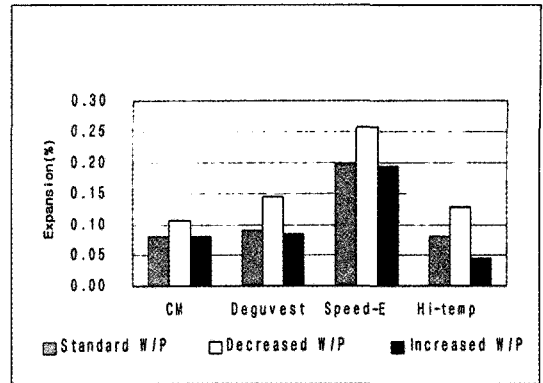


Fig. 5. Comparison of setting expansion rates(%) for 3 different water/powder ratio conditions in 4 soldering investments.

Table 4. Statistical test(Duncan's multiple range test) results comparing setting expansion values of 3 different water/powder ratio conditions

	<i>p</i>		<i>p</i>		<i>p</i>		
<i>CS</i> vs <i>CD</i>	s	<i>DS</i> vs <i>DD</i>	s	<i>SS</i> vs <i>SD</i>	s	<i>HS</i> vs <i>HD</i>	s
<i>CS</i> vs <i>CI</i>	ns	<i>DS</i> vs <i>DI</i>	ns	<i>SS</i> vs <i>SI</i>	ns	<i>HS</i> vs <i>HI</i>	s
<i>CD</i> vs <i>CI</i>	s	<i>DD</i> vs <i>DI</i>	s	<i>SD</i> vs <i>SI</i>	s	<i>HD</i> vs <i>HI</i>	s

s; statistically significant difference, ns; no significant difference, $p < 0.05$.

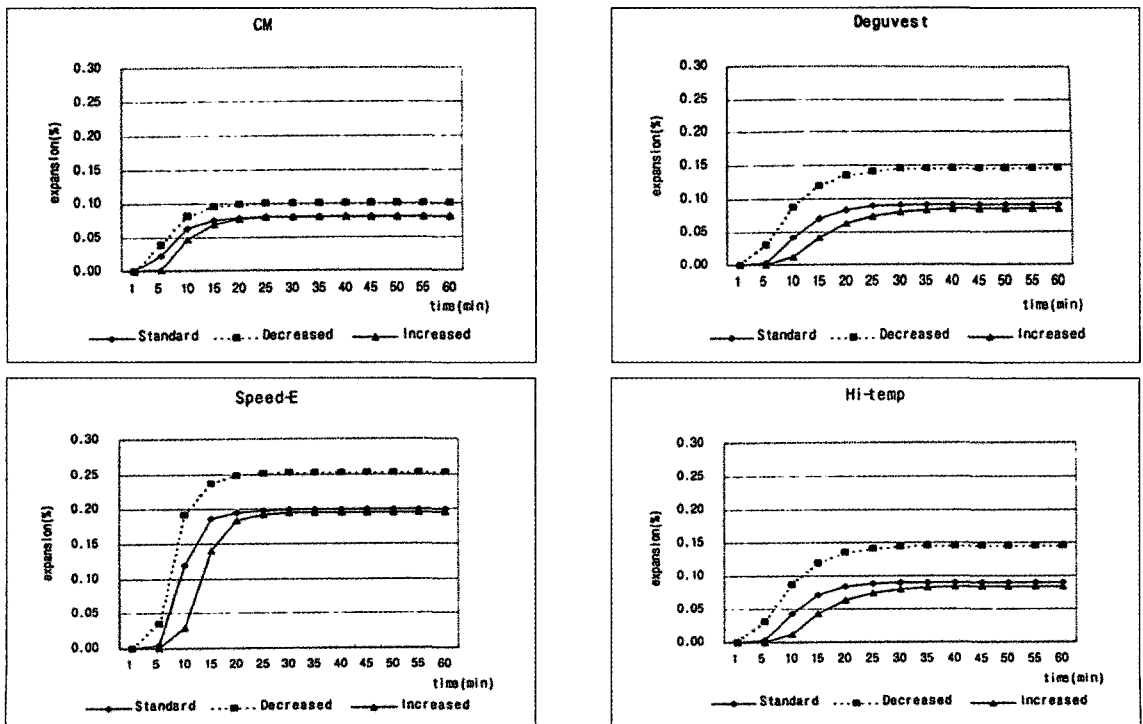


Fig. 6. Setting expansion curves of the each investment for 3 different water/powder ratio conditions.

Table 5. Means and Standard deviations of thermal expansion rates(%)

Water/powder ratio	Investment							
	CM		Deguvest		Speed-E		Hi-temp	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Standard	1.580	0.017	1.924	0.047	1.630	0.071	1.618	0.049
Decreased	1.647	0.011	2.022	0.041	1.452	0.025	1.628	0.053
Increased	1.420	0.065	1.704	0.042	1.321	0.022	1.699	0.042

Table 6. Statistical test(Duncan's multiple range test) results comparing thermal expansion values of 4 soldering investments

	<i>p</i>		<i>p</i>		<i>p</i>
<i>CD</i> vs <i>DD</i>	s	<i>CS</i> vs <i>DS</i>	s	<i>CI</i> vs <i>DI</i>	s
<i>CD</i> vs <i>SD</i>	s	<i>CS</i> vs <i>SS</i>	s	<i>CI</i> vs <i>SI</i>	s
<i>CD</i> vs <i>HD</i>	ns	<i>CS</i> vs <i>HS</i>	s	<i>CI</i> vs <i>HI</i>	s
<i>DD</i> vs <i>SD</i>	s	<i>DS</i> vs <i>SS</i>	s	<i>DI</i> vs <i>SI</i>	s
<i>DD</i> vs <i>HD</i>	s	<i>DS</i> vs <i>HS</i>	s	<i>DI</i> vs <i>HI</i>	ns
<i>SD</i> vs <i>HD</i>	s	<i>SS</i> vs <i>HS</i>	ns	<i>SI</i> vs <i>HI</i>	s

s: statistically significant difference, ns: no significant difference, $p < 0.05$.

혼수비 조건에서는 CM, Deguvest 및 Speed-E는 차이가 없었지만 Hi-Temp는 감소하였다.

Fig. 6은 각 실험군의 경화팽창곡선으로, 네가지 매물재 모두 유사한 포물선 양상으로 나타났고 매물재 종류마다 약간씩 차이는 있었지만 혼합후 25 - 30분사이에 경화팽창이 완료 되었으며 그후에는 변화가 없었다.

2. 열팽창

각 실험군의 최종열팽창률은 Table 5와 같다.

각 실험군 시편의 계측치를 이원변량분석법으로 통계학적 유의성을 검정한 결과, 최종열팽창률은 매물재 종류와 혼수비 변화에 따라 모두 유의성 있는 차이가 있었다.

동일한 혼수비 조건에서 매물재별 최종열팽창률 차이의 유의성을 검정하기 위하여 Duncan의 다중범위 검정법을 시행한 결과는 Table 6과 같고, 최종열팽창률은 감소된 혼수비 조건에서는 CM과 Hi-temp 간, 표준 혼수비 조건에서는 Speed-E와 Hi-temp 간, 증가된 혼수비 조건에서는 Deguvest와 Hi-temp 간 차이가 없었고, 그 외 매물재 상호 비교시 모두 차이가 있었다(Fig. 7).

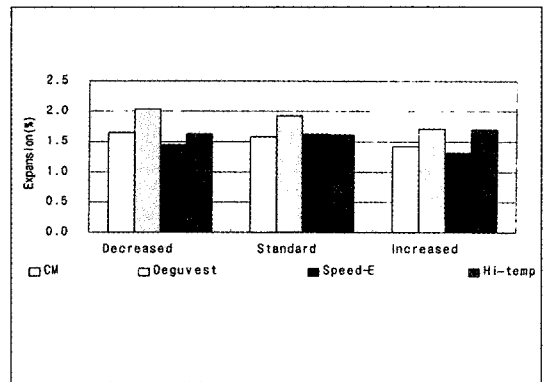


Fig. 7. Comparison of thermal expansion rates(%) for 4 soldering investments in different water/powder ratio conditions.

Fig. 8은 표준 혼수비 조건에서 분당 10℃의 상승 속도로 25℃에서 700℃의 온도구간에서 각 매물재 시편의 분당 팽창률을 나타낸 열팽창곡선이다. 이를 매물재별 혼수비 변화가 열팽창에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Duncan의 다중범위 검정법으로 유의성을 검정한 결과는 Table 7과 같고, Fig. 9에서 열팽창률은 표준 혼수비 조건에 비해 감소된 혼수비 조건에서 CM과 Deguvest는 증가하였지만 Speed-E는 감소하였고 Hi-temp는 차이가 없었으며, 증가된 혼

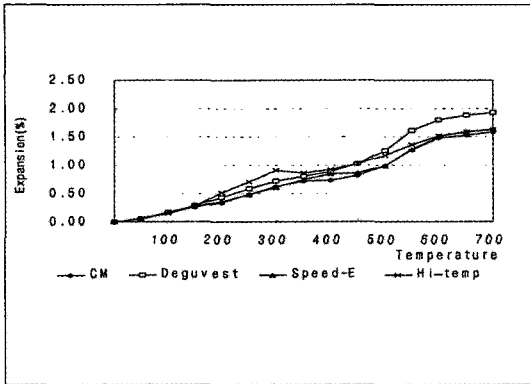


Fig. 8. Thermal expansion curves of 4 soldering investments in standard water/powder ratio condition.

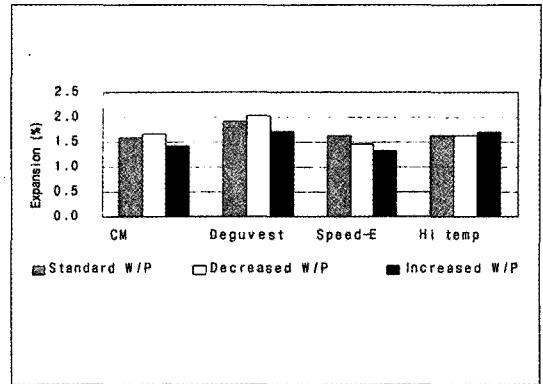


Fig. 9. Comparison of thermal expansion rates for 3 different water/powder ratio conditions in 4 soldering investments.

Table 7. Statistical test(Duncan's multiple range test) results comparing thermal expansion values of 3 different water/powder ratio conditions

	<i>p</i>		<i>p</i>		<i>p</i>		<i>p</i>
<i>CS</i> vs <i>CD</i>	s	<i>DS</i> vs <i>DD</i>	s	<i>SS</i> vs <i>SD</i>	s	<i>HS</i> vs <i>HD</i>	s
<i>CS</i> vs <i>CI</i>	s	<i>DS</i> vs <i>DI</i>	s	<i>SS</i> vs <i>SI</i>	s	<i>HS</i> vs <i>HI</i>	ns
<i>CD</i> vs <i>CI</i>	s	<i>DD</i> vs <i>DI</i>	s	<i>SD</i> vs <i>SI</i>	s	<i>HD</i> vs <i>HI</i>	s

s: statistically significant difference, ns: no significant difference, $p < 0.05$.

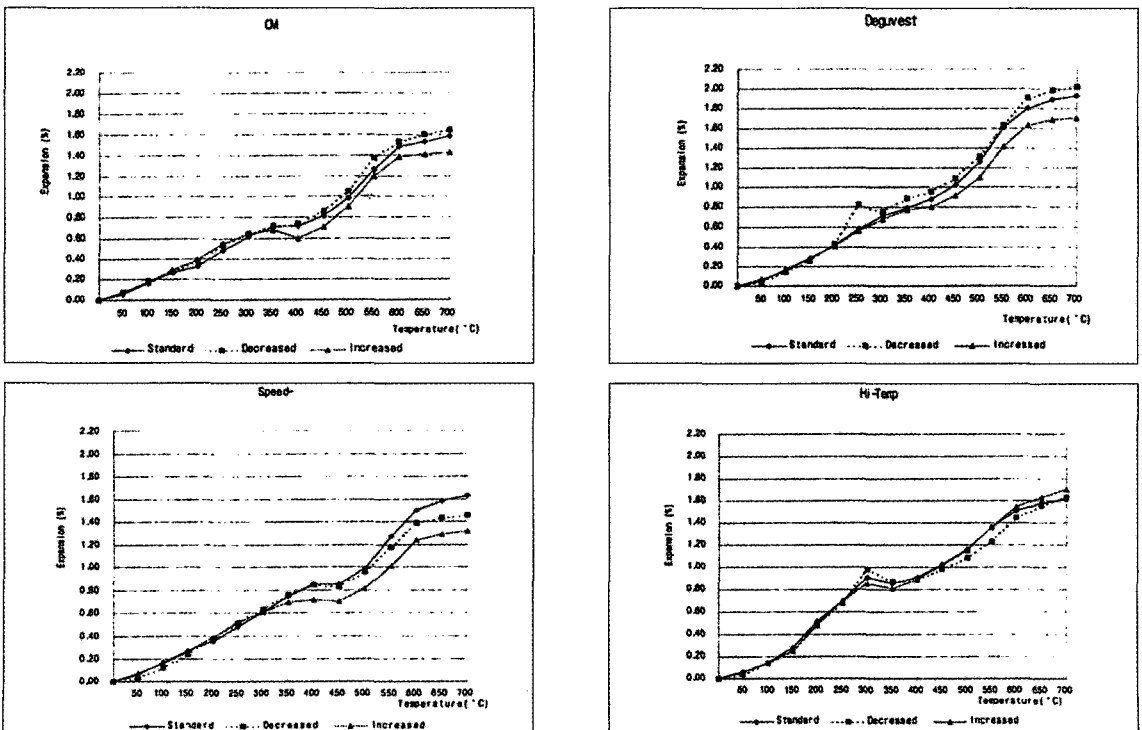


Fig. 10. Thermal expansion curves of the each investment for 3 different water/powder ratio conditions.

수비 조건에서는 CM, Deguvest, Speed-E는 감소하였지만 Hi-temp는 증가하였다.

Fig. 10은 각 실험군의 열팽창곡선으로 네가지 매물재 모두 유사한 양상을 나타내었고, Hi-temp에서 cristobalite가 형태변이를 하는 200℃ - 270℃ 온도 구간에서 열팽창곡선의 peak가 관찰되었다.

IV. 총괄 및 고찰

매물재의 조성은 내화재와 결합재를 기본 성분으로 하고 그 밖의 다른 성분들이 첨가된다. 내화재는 실리카(silicone dioxide)로 이루어진 quartz, tridymite 그리고, cristobalite 등이며, 결합재는 α -calcium sulfate hemihydrate, sodium silicate, ethyl silicate, ammonium sulfate, sodium phosphate 등이 있고, 그 외 sodium chloride, boric acid, potassium sulfate, magnesium oxide 등이 소량 첨가되어 물리적 성질을 개선한다^{10,28,30,31}.

매물재는 경화시 결합재의 특성으로 경화팽창이 일어나고, 소환 구조 또는 납착시 적용되는 온도에 의하여 결합재는 수축하지만 내화재의 형태변이로 열팽창이 일어난다.

석고계 매물재는 결합재가 α -calcium sulfate hemihydrate로 모형용 석고와 같은 수화반응을 하여 경화시 calcium sulfate dihydrate로 전환된다. α 형 석고는 수화반응에 의해 이론적으로는 수축하지만 실제로는 0.2% - 0.4% 경화팽창한다. 이러한 경화팽창은 calcium sulfate dihydrate가 생성될 때 석고 결정의 외향성 성장에 의해 결정 입자간 밀어내는 힘이 발생하기 때문인데, 그 결과 경화된 석고 내부는 다공성을 보이게 되며^{10,28,30,31}, 결정 성장에 의한 미세기공은 선평창률과 직접적인 관계가 있다²⁹. 경화팽창은 내화재의 종류와는 무관하며 결합재의 함량과 혼수비에 따라 다른데, 주로 혼수비가 감소하면 경화팽창은 증가한다^{30,31}.

본 실험에서 동일한 혼수비의 조건에서 CM, Deguvest, Speed-E와 Hi-temp의 최종 경화팽창률은 유의성 있는 차이를 보였다(Table 2와 3, Fig. 3). 매물재마다 경화팽창률의 차이를 보이는 요인으로 제조회사마다 납착용 매물재의 내화재나 결합재의 성분과 그 성분비가 다르기 때문이라 생각된다. 그리고 혼수비 변화의 실험에서 혼수비가 감소하면

매물재의 경화팽창은 증가하는 경향을 보였는데 (Table 6, Fig. 5와 6), 이는 혼수비가 감소하면 단위 부피당 존재하는 결정 수의 증가로 인하여 결정 성장시 서로 밀어내는 힘이 크게 작용한 것으로 생각된다.

경화팽창과 더불어 열팽창도 매물재의 중요한 특성중의 하나이다. 경화팽창이 완료된 매물재를 온도 상승시키면 열팽창을 한다. 이때 납착온도는 각 매물재의 열팽창과 금속의 주수축이 상호 보완되는 온도로 설정해야 한다³². 매물재의 경화후 소환이나 구조, 또는 납착시 온도변화에 대하여 매물재 각각의 성분은 다른 반응을 보인다^{18,30,31}. 결합재는 105℃에서 calcium sulfate dihydrate결정의 수분이 파괴되어 증발되고, 무수 sulfate가 형성되면서 수축이 일어나지만 이와 동시에 내화재의 팽창도 일어난다. 내화재는 온도가 상승함에 따라 저온의 α 형에서 고온의 β 형으로 결정구조가 변환되어 팽창이 일어난다^{18-26,31}.

본 실험의 동일한 혼수비 조건에서는 매물재 종류마다 열팽창률의 유의성 있는 차이를 보였다. 매물재의 열팽창에 영향을 주는 요인으로는 매물재에 포함된 실리카의 종류, 입자의 크기와 분포, 혼합수 성분, 수분과의 접촉여부, 경화후 가열까지의 시간, 가열 속도, 첨가된 modifier나 결합재의 안정성 등이 있다. 열팽창은 내화재가 형태변이를 하는 온도구간에서 quartz는 1.4%, cristobalite는 1.6%, tridymite는 1%미만으로 각기 팽창의 정도가 다르다^{18-26,31}. 매물재 입자가 크고 분포가 치밀하면 열팽창은 증가하고^{22,23}, 구조용 인산염계 매물재의 경우 colloid silica나 혼합수에 glycerol 성분이 일정량 포함되면 열팽창이 증가하며¹⁹, 경화시 수분과 접촉하면 팽창이 증가한다^{10,17,30} 그러나 가열 속도가 너무 빠르면 내화재가 충분히 변환되지 못하여 열팽창이 감소하며²⁵, 혼합후 가열까지의 시간이 지연될수록 결합재 내의 수분 소실에 의하여 열팽창이 감소하는 것으로 알려져 있다^{30,33,34}. 본 실험에서는 열팽창에 영향을 미치는 여러 요인들 중에서 매물재 종류와 혼수비 변화의 영향을 조사하기 위하여, 혼합수는 증류수만을 사용하여 혼합수 성분이 열팽창에 미치는 영향은 배제시켰고 시편의 경화와 보관시에 수분과의 접촉을 완전히 방지하였으며 경화후에는 100%의 humidior에 보관하여 시편의 수분소실을 방지하였고 가열

속도를 분당 10℃로 동일하게 적용하였다.

내화재로 cristobalite는 200℃~270℃에서 α형에서 β형으로 전환하고 quartz는 575℃~600℃에서 변환하며^{1,33,34)}, 이러한 입자의 형태변화는 구조의 결합각과 축을 변화시켜 내화재의 부피 팽창을 야기한다. 본 실험의 결과에서 매물재의 열팽창곡선은 240℃~380℃와 550℃~650℃의 온도구간에서 현저한 열팽창이 나타났는데 매물재의 종류마다 온도 구간에 조금씩 차이가 있었으며(Fig. 10), 매물재 종류마다 최종열팽창률의 차이를 보였다(Table 5와 6, Fig. 7). 수집가능한 자료로는 각 매물재의 성분을 정확히 알 수는 없었지만, 이러한 차이를 보이는 요인으로는 전술한 바와 같이 매물재에 포함된 실리카의 종류, 매물재 입자 크기나 분포, 그리고 내화재나 결합재 성분과 그 성분비 차이 등이 주요하게 관련되었으리라 생각된다.

일반적으로 혼수비가 감소하면 열팽창은 증가하고, 혼수비가 증가하면 열팽창은 감소하는 것으로 알려져 있다. 혼수비를 달리한 실험에서 표준 혼수비 조건에 비하여 감소된 혼수비 조건에서의 최종열팽창률은 CM과 Deguvest에서는 증가하였고 Hi-temp에서는 차이가 없었으나 Speed-E에서는 감소하였다. 증가된 혼수비 조건에서의 최종열팽창률은 CM, Deguvest, Speed-E에서는 감소하였으나 Hi-temp는 오히려 증가하였다(Table 7, Fig. 8과 9). 따라서 감소된 혼수비 조건에서의 Speed-E와 증가된 혼수비 조건에서의 Hi-temp의 최종열팽창률은 선학의 연구와는 상반된 결과를 나타내어 혼수비 변화에 모든 매물재가 일정한 열팽창 양상을 나타내지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 이에 대한 부가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

결론적으로 실험에 사용된 매물재의 종류마다 경화팽창률과 열팽창률의 절대치는 조금씩 다르게 나타났다. 그러나 단순히 실험결과의 절대치 비교만으로 매물재의 특성이 납착후 최종 보철물의 정확성에 미치는 영향을 논할 수는 없을 것이다. 이러한 실험 결과에서 납착용 매물재를 선택할 때 경화팽창은 최소로 일어나는 것을 선택하여 고정된 연결부의 변형을 최소화시키는 것이 바람직하고, 향후 납착용 매물재의 팽창과 정밀납착의 상관성에 관한 연구를 통하여 납착용 매물재의 열적 성질에 대한 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

V. 결 론

납착의 과정에서 사용되는 납착용 매물재와 주조용 매물재의 경화팽창률과 열팽창률을 조사하고 혼수비 변화가 매물재의 팽창에 미치는 영향을 조사하여 납착용 매물재의 선택과 사용에 유용한 기초자료를 얻고자 수종의 매물재에 혼수비를 달리한 실험군의 시편을 제작하여 혼합 60분후의 경화팽창률과 25℃에서 700℃ 온도구간의 열팽창률을 비교 관찰하여 얻은 결론이다.

1. 표준 혼수비 조건에서 경화팽창률은 Speed-E가 0.198%, Deguvest가 0.090%, CM과 Hi-temp가 0.080%를 나타내었다. 이때 Speed-E와 나머지 실험군들간에, 그리고 Deguvest와 CM 또는 Hi-temp간에 경화팽창률의 차이가 있었다($p < .05$).
2. 감소된 혼수비 조건에서 각 매물재 실험군의 경화팽창률은 표준혼수비를 사용하였을 때보다 증가하였다($p < .05$).
3. 증가된 혼수비 조건에서는 Hi-temp만이 표준 혼수비를 사용하였을 때보다 경화팽창률이 감소하였다($p < .05$).
4. 표준 혼수비 조건에서 열팽창률은 Deguvest가 1.923%, Speed-E가 1.629%, Hi-temp가 1.619%, CM이 1.580%를 나타내었다. 이때 Speed-E와 Hi-temp에서만 열팽창률에 차이가 없었다($p < .05$).
5. 감소된 혼수비 조건에서 열팽창률은 표준 혼수비를 사용하였을 때보다 CM과 Deguvest에서 유의성 있게 증가하였으나, Speed-E에서는 감소하였다($p < .05$).
6. 증가된 혼수비 조건에서 열팽창률은 표준 혼수비를 사용하였을 때보다 CM, Deguvest, Speed-E에서 유의성 있게 감소하였으나, Hi-temp에서는 증가하였다($p < .05$).

이상의 결과를 종합해 보면 납착용 매물재의 경화팽창은 총팽창 대비 10% 미만 이었고, 주조용 매물재도 표준 혼수비에서 물과 혼합하여 사용하면 납착용 매물재와 유사한 경화팽창과 열팽창을 나타내었다. 그리고 납착용 매물재는 종류마다 경화팽창률과 열팽창률이 다르고 혼수비 변화에 따른 팽창양상이 상이하기 때문에 상품별 매물재 팽창 특성을 충분히

고려하여 선택하는 것이 중요하다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. Rosenthal SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary Fixed Prosthodontics, 7th ed, Mosby, pp 467-87, 562-78.
2. Carlberg T, Wictorin L. Soldering of dental alloys under vacuum by IR-heating. Dent Mater 1986;2:279-83.
3. Cattaneo G, Wagnild G. Comparison of tensile strength of solder joints by infrared and conventional torch technique. J Prosthet Dent 1992;68:1:33-7.
4. Lacy AM, Fukui H, Jendressen MD. Three factors affecting investment setting expansion and casting size. J Prosthet Dent 1983;49:52-8.
5. Nicholls JI. The measurement of distortion: Theoretical considerations. J Prosthet Dent 1977;37:578-86.
6. Willis LM, Nicholls JI. Distortion in dental soldering as affected by gap distance. J Prosthet Dent 1980;43:272-8.
7. Harper RJ, Nicholls JI. Distortion in indexing methods and investing media for soldering and remount procedures. J Prosthet Dent 1979;42:172-9.
8. Pazzini NA, Pazzini LI, de Araujo P A. The accuracy of soldering investment. J Prosthet Dent 1979;42:530-3.
9. Ryge G. Dental soldering procedure, Dent Clin North Am 1958:747
10. 김형일, 김교한, 임호남, 박영준. 치과재료학 입문, 1st ed, 군자출판사, 1996, pp 60-74.
11. Stevens L. Setting expansion of investment and accuracy of castings. Dent Mater 1988;4:367-70.
12. Meiser ET, de Rijk WG, Tesk JA, Hinman RW. Internal setting expansion of a dental casting investment measure with strains gauges. J Prosthet Dent 1985;53:870-3.
13. Hutton JE, Marshall GW. The expansion of phosphate bonded investments: Part I-Setting expansion J Prosthet Dent 1993;70:121-5.
14. Jorgensen KD, Okamoto A. Non-restraining factors affecting setting expansion of phosphate-bonded investments. Scand J Dent Res 1986;94:77-81.
15. Jorgensen KD, Okamoto A. Restraining factors affecting setting expansion of phosphate-bonded investments. Scand J Dent Res 1986;94:178-181.
16. Junner RE, Stevens L. Anisotropic setting expansion of phosphaste bonded investment. Australian Dent J 1986;31(6):434-9.
17. Jones DW, Wilson HJ. Setting and hygroscopic expansion of investments. Brit Dent J 1970;129:22-6.
18. Neiman R, Sarma Ac. Setting and Thermal Reactions of Phosphate Investments. J Dent Res 1980;59(9):1478-85.
19. Jorgensen KD, Watanabe A. A new phosphate bonded investment. Scand J Dent Res 1986;94:182-4.
20. Stevens L. the effect of time between mixing and heating on the expansion of phosphate bonded investment. Austr Dental Journal 1986;31:207-13.
21. Finger W, Jorgensen KD. An improved dental casting investment. Scand J Dent Res 1980;88:278-84.
22. Finger W, Kota K. A modified phosphate-bonded casting investment. Scand J Dent Res 1982;90:243-8.
23. Jones DW. Thermal behaviour of silica and its application to dental investments. Brit Dent J 1967;120:489-93.
24. Watanabe A, Jorgensen KD. Thermal expansion of dental casting alloys and phosphaste-bonded Investments. Dent Mater J 1986;5(1):21-25.
25. Papadopoulos T, Axelsson M. Influence of heat-

- ing rate in thermal expansion of dental phosphate-bonded investment material. *Scand J Dent Res* 1990;98:60-65
26. Berger RP, Benson S. The effects of shape and size in investment heating and cooling rates. *Trends and techniques in the contemporary dental laboratory* 1991;April:25-29.
 27. Engler RA, de Rijk WG, Tesk JA, et al. Multidimensional internal setting expansion of a phosphate-bonded casting investment measured with stain gauges. *J Prosthet Dent* 1990;63:353-8.
 28. 김형일, 김교한. 치과재료학, 1st ed, 군자 출판사, 1996, pp 378-391.
 29. Lautenschlager EP, Corbin F. Investigation on the expansion of dental stone. *J Dent Res* 1969;48:206-10
 30. Asgar K, Avery JK. *Restorative dental materials*, 7th ed, Philadelphia. :W.B. Saunders Co; pp 317-330, 412-413.
 31. Skinner EW, Phillips RW. *Skinner's science of dental materials*, 7th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co; pp. 600-5
 32. 정청. 주조수축과 매몰재의 팽창. *대한치과 의사 협회지* 1984;22(7):577-82
 33. Jack DR, Cruickshanks-Boyd DW. Comparison study of the expansion of six dental investment materials(I). *Quintessence Dent Technol* 1983;7:6:379-381.
 34. Jack DR, Cruickshanks-Boyd DW. Comparison study of the expansion of six dental investment materials(II). *Quintessence Dent Technol* 1983;7:7:431-6
 35. 박양남, 계기성. 가공의치 납착부 강도와 내부구조에 관한 실험적 연구. *대한치과보철학회지*, 1985;23:39-48.
 36. 이근우. *계속가공의치 실습총람*. 이화 출판사, pp 313-326
 37. Private communication.

ABSTRACT

A STUDY FOR SETTING AND THERMAL EXPANSION OF DENTAL SOLDERING INVESTMENTS

Sung-Ae Shin, Jang-Seop Lim, Chang-Mo Jeong, Young-Chan Jeon

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

The purpose of this study was to investigate setting and thermal expansion of dental soldering investments. In order to compare expansion rates and to investigate the effect of water/powder ratio on expansion, setting and thermal expansion of four dental soldering investments were measured under three different water/powder ratio conditions: standard, 20% decreased and 20% increased. Setting expansion of investments was measured by use of dialgauge method. Each measurement was started two minutes later from the beginning of spatulation and recorded every one minute for one hour. Thermal expansion of cylindrical test specimens, 10mm diameter, 50mm length, was recorded in a thermodilatometer at heating rate of 10°C per minute from 25°C to 700°C.

The results of this study were obtained as follows:

1. Setting expansion rates under the standard water/powder ratio condition were 0.198% in Speed-E, 0.090% in Deguvest, 0.080% in CM and Hi-temp. Setting expansion of Speed-E was significantly different from those of CM, Deguvest and Hi-temp, and setting expansion of Deguvest was significantly different from those of CM and Hi-temp($p < .05$).
2. Under the decreased water/powder ratio condition, there was significant increase in setting expansion of 4 dental soldering investments($p < .05$).
3. There were no significant differences in setting expansions of investments except Hi-temp between standard and increased water/powder ratio condition($p < .05$).
4. Thermal expansion rates under the standard water/powder ratio condition were 1.923% in Deguvest, 1.629% in Speed-E, 1.619% in Hi-temp and 1.580% in CM. No significant differences in thermal expansions under the standard water/powder ratio condition existed only between Speed-E and Hi-temp($p < .05$).
5. Under the decreased water/powder ratio condition, there was significant increase in thermal expansion of CM and Deguvest but decrease in thermal expansion of Speed-E($p < .05$).
6. Under the increased water/powder ratio condition, there was significant decrease in thermal expansion of CM, Deguvest and Speed-E but decrease in thermal expansion of Hi-temp($p < .05$).