

## 치과용 수복재의 수분흡수도와 압축강도의 변화에 관한 연구

장우혁 · 최영철

경희대학교 치과대학 소아치과학교실

### 국문초록

레진계열의 심미성 수복재는 구성성분에 따라 각기 다른 특성과 물리적 성질을 나타낼 뿐만 아니라, 수복물 주변의 환경도 물성에 많은 영향을 미친다. 특히 수분의 흡수는 수복재 물성 변화에 큰 역할을 하며, 재료의 조성 및 친수성 정도, 경화기전, 침지시간과 배지 등의 다양한 요소와 관련되어 수복재마다 각기 다른 양상을 나타낸다. 본 연구의 목적은 임상에서 많이 이용되고 있는 레진계열의 수복물 중에서 복합레진, 레진변형 글라스아이오노머 및 콤포머의 침지시간에 따른 수분흡수도와 압축강도의 변화를 측정하여 비교하고, 수분흡수도와 압축강도 간에 나타나는 상관관계를 밝히고자함이다.

복합레진으로는 Z-100(3M, U.S.A.), 콤포머는 F-2000(3M, U.S.A.), 레진변형 글라스아이오노머는 Vitremer Restorative(3M, U.S.A.)를 이용하여 수분흡수도와 압축강도 측정을 위한 시편을 각각 제작하였다. 각 시편을 1일, 2주, 4주, 8주간 37℃ 증류수에 넣어 보관한 후 수분흡수도는 침지 전과 후의 질량차를 부피로 나눈 값으로 산출하고, 압축강도는 Instron(Instron Corporation Headquarters, U.S.A.)을 이용하여 측정한 후 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 세 가지 수복재 모두 침지시간이 길어짐에 따라 수분흡수도가 증가하였으며, 수분흡수의 대부분은 초기 2주 동안에 나타났다(P<0.001).
2. 레진변형 글라스아이오노머의 수분흡수도가 복합레진과 콤포머에 비해 상대적으로 크게 나타났다.
3. 세 가지 수복재 모두 침지시간에 따라 압축강도가 감소하였으며(복합레진과 콤포머: P<0.001, 레진변형 글라스아이오노머: P<0.05), 특히 복합레진이 다른 재료에 비해 가장 큰 감소 경향을 나타냈다.
4. 세 가지 수복재 모두 수분흡수도가 증가함에 따라 압축강도가 감소하였다(P<0.05).

**주요어** : 수분흡수도, 압축강도, 복합레진, 콤포머, 레진변형 글라스아이오노머

### I. 서 론

복합레진은 치과에서 사용되는 대표적인 심미수복재 중의 하나로, 1962년 Bowen에 의해 bis-GMA(bisphenol-A diglycidyl dimethacrylate)가 합성되면서 본격적으로 전치부 수복에 이용되기 시작하였다<sup>1)</sup>. 복합레진은 기본적으로 기질(matrix), 충전제(filler) 및 연결제(coupling agent) 등으로 구성되어 있다. 유기질 레진, 색소, 점도조절제, 중합개시제, 반응촉진제와 억제제 등이 포함되어 있는 기질과 분산상(dispersed phase)의 무기충전제는 silane 등과 같은 연결제와 함께 중합되어 고흡의 수복물을 만든다<sup>2)</sup>. 복합레진은 치질과의 우수한 결합력 및 심미성 등의 이유로 임상에서 광범위하게 이용되고 있으나, 중합수축 및 미세누출과 같은 문제점 등은 아직도 개선되어야 할 과제로 남아 있다<sup>3)</sup>.

복합레진을 구성하는 다양한 종류의 성분들은 복합레진의 물리적 성질에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 예로 무기

충전제의 함량이 증가할수록 대부분 마모 저항성, 압축강도 및 인장강도 등이 증가한다. 이와 같은 물리적 성질의 개선을 위해 충전제의 함량을 증가시킬 목적으로 미세충전제(microfiller)를 대신하여 거대충전제(macrofiller)를 사용하는 것은 복합레진의 심미성을 감소시키는 결과를 초래하게 되므로, 특히 심미성이 요구되는 전치부 등의 수복에는 적합하지 않다<sup>2)</sup>. 그러나 미세충전제가 함유된 복합레진의 경우에는 심미성은 우수하나 거대충전제나 혼합충전제가 함유된 복합레진에 비해 물리적 성질의 약화와 함께 수분흡수도가 증가한다<sup>1)</sup>.

특히 복합레진의 수분흡수는 대부분 기질에서 일어나 강도를 약화시키고, 기질과 충전제간의 결합을 분리시키며, 충전제의 가수분해를 유발시키는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 복합레진의 물리적 성질을 개선시키기 위한 노력은 현재에도 계속되고 있으나, 여전히 적용범위가 제한적인 것이 현실이다. 특히 이차우식증이 빈발하여 우식활성이 높은 소아 환자에서는 복합레진의 사용에 많은 주의를 요한다<sup>5,6)</sup>.

이에 비해 글라스아이오노머 시멘트는 생체 친화성이 우수하고 치질과의 화학적 결합성 등의 장점을 가지며, 특히 장기간의 불소 유리를 통해 수복물 주위의 이차우식을 억제하는 작용이 있어 소아 환자의 수복치료에 많이 이용되어 왔다<sup>7)</sup>. 그러나 복합레진에 비해 물성, 심미성 및 치질과의 결합력 등이 취약한 단점이 있어 적용범위에 한계를 지닌다<sup>8)</sup>. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 소량의 레진 성분 첨가로 초기의 수분에 대한 민감성을 개선한 레진변형 글라스아이오노머가 개발되었다<sup>8)</sup>. 첨가되는 레진 성분은 대개 친수성인 HEMA(2-hydroxy-ethyl-methacrylate)가 많이 이용되며, 레진 성분은 수복시 광조사에 의해 수분으로부터 자가중합 시스템을 보호하여 초기의 과도한 수분흡수에 의한 물성 저하를 감소시키고 광조사에 의한 초기 경화 후에도 산-염기 반응에 의한 지속적인 경화반응이 이루어진다<sup>9)</sup>. 그러나 친수성의 HEMA가 첨가된 레진변형 글라스아이오노머는 복합레진에 비해 상대적으로 높은 수분흡수도를 나타내며<sup>10)</sup>, 물성과 결합력에 한계를 지니고 있어 폭넓은 임상적용은 제한적이다<sup>8)</sup>.

또한 콤포머는 복합레진과 글라스아이오노머의 단점을 보완하기 위해 개발된 재료로, 산성화된 이중 기능성 레진단량체와 fluoroaluminosilicate 글라스 입자로 구성되어 있다<sup>11,12)</sup>. 초기에 광조사를 통해 일차 중합된 후 수분을 흡수하여 이차적인 산-염기 반응을 일으켜 지속적인 경화가 일어나며, 중합 후에는 불소를 유리하는 것으로 알려져 있다. Cehreli와 Altay<sup>13)</sup> 그리고 Mass 등<sup>14)</sup>은 콤포머의 물성, 심미성 및 조작성이 복합레진과 유사하다고 보고한 바 있다. 콤포머는 수분을 흡수한 후에 충전제와 기질의 산성 레진단량체가 상호 작용하여 글라스 입자 주위에 hydrogel 층이 형성됨에 따라 수분흡수가 더욱 촉진되는 것으로 알려져 있다<sup>15)</sup>. 콤포머의 수분흡수는 수복물의 수화팽창을 일으킨다고 알려져 있으며, 이에 대해 Hinoura 등<sup>16)</sup>은 콤포머가 수분을 흡수하면서 서서히 팽창하여 중합수축을 보상하고 이는 궁극적으로 수복물의 미세누출을 감소시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

임상에서 많이 이용되는 심미성 수복재들은 각각의 구성성분에 따라 각기 다른 특성을 나타낼 뿐만 아니라 수복물의 물성 역시 다른 것으로 알려져 있다<sup>17-19)</sup>. 레진계열의 재료들은 수분흡수로 인해 기질의 강도가 약화되고, 기질과 충전제 결합의 분리가 유발되어 수복재의 강도 및 표면 경도 등의 물리적 성질은 감소된다고 보고된 바 있다<sup>20)</sup>. 그러나 수분흡수에 의한 영향은 재료의 조성 및 친수성 정도, 경화의 기전 및 정도, 그리고 침지 시간과 배지 등의 다양한 요소와 관련되어 수복재마다 각기 다른 양상을 나타내는 것으로 알려져 있다<sup>21)</sup>. 따라서 각 재료별 수분흡수의 영향을 관찰하는 것은 수복의 성공과 실패를 이해하는데 많은 도움을 줄 것으로 판단된다.

이에 저자는 임상에서 많이 이용되고 있는 레진계열의 수복재들 중에서 서로 다른 특성을 나타내며 수분흡수의 정도와 양상이 상이한 복합레진, 레진변형 글라스아이오노머 및 콤포머의 침지 시간에 따른 수분흡수도와 이에 따른 압축강도의 변화

를 측정하여 비교하고, 수분흡수도와 압축강도간에 나타나는 상관관계를 밝히고자 이 연구를 수행하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

복합레진으로는 Z-100(3M, U.S.A.), 콤포머는 F-2000(3M, U.S.A.), 레진변형 글라스아이오노머는 Vitremer Restorative(3M, U.S.A.)를 이용하여 수분흡수도와 압축강도 측정을 위한 시편을 각각 제작하였다. 조사광원으로는 Flipo(Lobel France Co., France)를 이용하였으며, 광원은 plasma arc lamp로 파장역은 380-520nm였다. 질량의 측정을 위해 10<sup>-4</sup>g까지 측정 가능한 전자저울인 AJ180(Mettler, Swiss)을 이용하였고, 압축강도는 Instron (Instron Corporation Headquarters, U.S.A.)을 이용하여 측정하였다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 침지 시간과 시편 수

침지 시간을 1일, 2주, 4주, 8주로 구분하고, 수분흡수도와 압축강도의 측정을 위한 시편을 각각 제작하였다. 재료별로 침지 시간에 따라 각기 10개의 시편을 배정한 후 수분흡수도 측정 시편 120개, 압축강도 측정 시편 120개를 제작해 총 240개의 시편을 이용하여 실험하였다.

#### 2) 수분흡수도 측정

##### ① 시편의 제작

내경 15mm, 높이 2mm의 원통형 Teflon 몰드를 제작하여 rubber glove를 낀 상태로 재료를 몰드 내에 다져 넣은 후 유리판을 이용하여 몰드의 양면에서 압력을 가해 기포의 발생을 최소화하였다. 광조사는 시편의 한 면을 4등분하여 3초씩 4회를 조사하고 반대편에서도 동일하게 조사하였다.

##### ② 시편의 침지

각각의 시편을 20cc의 증류수를 채운 30cc vial에 넣고, 정해진 침지 시간 동안 37℃에서 보관하였다.

##### ③ 수분흡수도의 산출과 질량의 측정

수분흡수도는 침지 전과 침지 후의 질량차를 부피로 나눈 값으로 하였다. 시편의 침지 전 질량을 전자저울로 측정하였고, 침지 후에는 시편 vial에서 꺼낸 후, 시편의 표면에 존재하는 과잉의 수분을 제거하기 위해 시편의 양면을 흡습지에 2회씩 일정하게 적용한 뒤 질량을 측정하였다.

수분흡수도의 산출

$$\text{수분흡수도}(\mu\text{g}/\text{mm}^3) = (m_t - m_0) / V$$

$m_0$ : 침지 전 질량,  $m_t$ : 침지 후 질량,  $V$ : 부피

3) 압축강도의 측정

① 시편의 제작

내경 4mm, 높이 6mm의 원통형 Teflon 몰드를 이용하여 수분흡수도 측정시편과 동일한 방법으로 제작하였으며, 시편의 한 면 당 3초씩 2회 광조사하였다.

② 압축강도의 측정

각각의 시편을 정해진 기간동안 침지시킨 후, 과잉의 수분을 수분흡수도 측정에서와 동일한 방법으로 제거하고 Instron으로 압축강도를 측정하였다.

압축강도의 산출

$$\text{압축강도(MPa)} = \text{하중(N)} / \text{단면적}(\text{mm}^2)$$

Ⅲ. 연구성적

1. 수분흡수도 측정

Table 1에 나타났듯이, 침지기간에 따른 각 실험재료의 수분흡수도 변화에서 모든 재료는 유의수준  $\alpha=0.001$ 에서 유의한 차이가 있었다. 각 재료의 1일 후 측정치가 나머지 기간에 비해 수분흡수도가 현저히 낮았으며, 다중비교에서 Z-100은 4주와 8주간에 유의한 차이가 없었고, 2주와 4주간에도 유의한 차이가 없었다. F-2000과 Vitremer는 2주, 4주, 8주간에는 유의한 차이가 없었다. 또한, 모든 수복재는 침지시간의 경과에 따라 수분흡수도가 증가하였고, 특히 2주까지 급격한 증가를 보였으며, 각 재료간의 수분흡수도 변화양상이 유사하게 관찰되

었다(Fig. 1).

침지기간 별로 각 재료의 수분흡수도 차이를 비교해 본 결과, 침지기간에 관계없이 유의수준  $\alpha=0.001$ 에서 각 재료간 수분흡수도에 유의한 차이가 있었다(Table 2). 1일과 2주의 경우 Vitremer의 수분흡수도가 가장 높았으며, F-2000, Z-100의 순으로 관찰되었고, 실험재료간의 다중비교에서

Z-100과 F-2000간에는 유의한 차이가 없었다. 4주와 8주에 서는 Vitremer, Z-100, F-2000의 순으로 관찰되었고, 다중비교에서 Z-100과 F-2000간에는 유의한 차이가 없었다.

2. 압축강도의 측정

Table 3에서 알 수 있듯이, 침지기간에 따른 각 실험재료의 압축강도 변화를 관찰한 결과, Z-100과 F-2000은 유의수준  $\alpha=0.001$ 에서, Vitremer는 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의한 차이가 있었다. 각 실험재료의 1일 후 측정치가 다른 기간에 비해 높게 관찰되었고, 다중비교에서 1일은 나머지 기간과 유의한 차이가 있었다. Z-100과 F-2000은 2주, 4주, 8주간에는 유의한 차이가 없었으며, Vitremer는 1일, 2주, 4주간에 유의한 차이가 없었고, 2주, 4주, 8주간에서도 유의한 차이가 없었다.

모든 수복재는 침지기간이 증가함에 따라 압축강도는 감소하였으며, 특히 Z-100은 2주에서 급격한 감소를 나타내었다. 또한 F-2000과 Vitremer는 압축강도 변화 양상이 유사하게 관찰되었다(Fig. 2).

침지기간 별로 각 실험재료의 압축강도 차이를 비교해 본 결과, 시간에 관계없이 유의수준  $\alpha=0.001$ 에서 각 재료간 압축강도에 유의한 차이가 있었으며, Z-100이 가장 압축강도가 높았고, F-2000, Vitremer의 순으로 관찰되었다. 하지만, 다중비교시 F-2000과 Vitremer사이에 유의한 차이는 없었다(Table 4).

Table 1. Variation of water sorption according to immersion period with each material.

	1 day [①]	2 weeks [②]	4 weeks [④]	8 weeks [⑧]	F	Multiple Comparison (Tukey)
Resin [Z-100]	4.70 (0.85)	18.34 (1.30)	19.45 (1.89)	20.35 (2.05)	214.48***	⑧ ④ ② ①
Compomer [F-2000]	5.80 (0.80)	18.68 (1.44)	18.88 (1.44)	19.45 (1.15)	319.17***	⑧ ④ ② ①
RMGI [Vitremer]	90.90 (9.38)	123.77 (5.22)	123.77 (5.22)	128.52 (16.76)	26.99***	⑧ ④ ② ①

Unit:  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$

Parenthesis: Standard Deviation

\*\*\*:  $P<0.001$

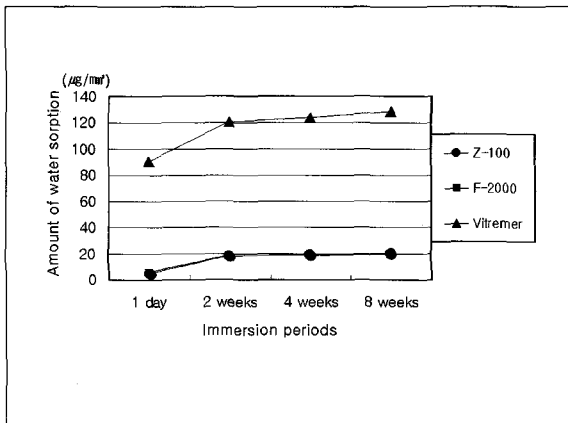


Fig. 1. Variation pattern of water sorption according to increase of immersion period with each material.

### 3. 수분흡수도와 압축강도의 상관관계

각 실험재료 별로 침지기간의 증가에 따른 수분흡수도와 압축강도의 변화를 관찰한 결과, 모든 실험재료는 수분흡수도가 증가함에 따라 압축강도가 감소하였다(Fig. 3). 이상의 결과를 토대로 수분흡수도와 압축강도의 두 변인들 간의 크기를 이용한 일치도 검정인 Kendall's tau-b를 이용하여 상관관계를 관찰한 결과, 세 가지 재료 각각에 대하여 수분흡수도가 증가할수록 압축강도가 감소하는 “음의 관계”가 나타났다 (Table 5).

Table 2. Difference of water sorption in each material during the same immersion period

	Resin [Z-100:①]	Compomer [F-2000:②]	RMGI [Vitremer:③]	F	Multiple Comparison (Tukey)
1 day	4.70 (0.85)	5.80 (0.80)	90.90 (9.38)	1025.33***	③ ② ①
2 weeks	18.34 (1.30)	18.68 (1.20)	120.88 (7.20)	1906.18***	③ ② ①
4 weeks	19.45 (1.89)	18.88 (1.44)	123.77 (5.22)	3326.65***	③ ① ②
8 weeks	20.35 (2.05)	19.45 (1.15)	128.52 (16.76)	411.74***	③ ① ②

Unit: µg/mm²

Parenthesis: Standard Deviation

\*\*\*: P<0.001

Table 3. Variation of compressive strength according to immersion period in each material.

	1 day [①]	2 weeks [②]	4 weeks [④]	8 weeks [⑧]	F	Multiple Comparison (Tukey)
Resin [Z-100]	242.02 (42.18)	179.55 (24.59)	175.08 (24.59)	143.35 (39.39)	15.55***	① ② ④ ⑧
Compomer [F-2000]	145.58 (14.62)	120.31 (13.31)	114.25 (19.75)	104.29 (14.74)	12.41***	① ② ④ ⑧
RMGI [Vitremer]	120.54 (20.54)	105.36 (12.93)	98.92 (22.05)	90.74 (20.34)	4.27*	① ② ④ ⑧

Unit: MPa

Parenthesis: Standard Deviation

\*: P<0.05 \*\*\*: P<0.001

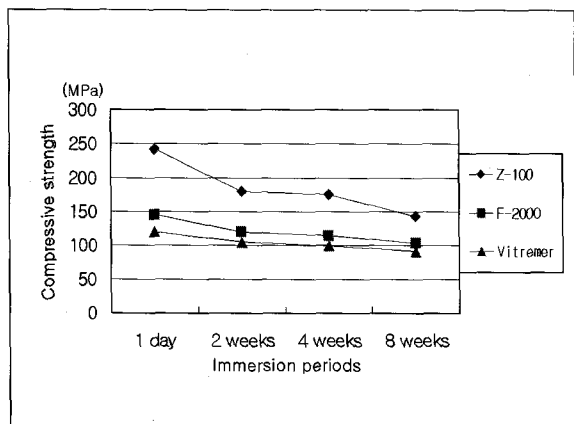


Fig. 2. Variation pattern of compressive strength according to increase of immersion period with each material.

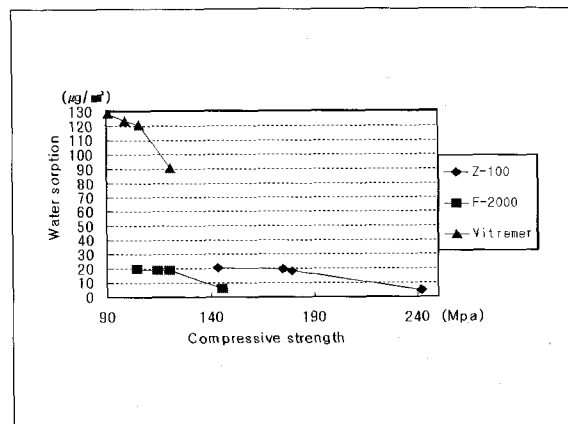


Fig. 3. Interrelation between water sorption and compressive strength in each material.

Table 4. Difference of compressive strength among materials during the same immersion period

	Resin (Z-100:①)	Compomer (F-2000:②)	RMGI (Vitremer:③)	F	Multiple Comparison (Tukey)
1 day	242.02 (42.18)	145.58 (14.62)	120.54 (20.54)	51.12***	① ② ③
2 weeks	179.55 (21.23)	120.31 (13.31)	105.36 (12.93)	58.09***	① ② ③
4 weeks	175.08 (24.59)	114.25 (19.75)	98.92 (22.05)	32.86***	① ② ③
8 weeks	143.35 (39.39)	104.29 (14.74)	90.74 (20.34)	10.05***	① ② ③

Unit: MPa

Parenthesis: Standard Deviation

\*\*\*: P<0.001

Table 5. Interrelation analysis between water sorption and compressive strength with each material (by Kendall's tau-b).

Resin (Z-100)	Compomer (F-2000)	RMGI (Vitremer)
-1.00*	-1.00*	-1.00*

\*: P<0.05

#### IV. 총괄 및 고찰

치아우식증에 감수성이 높은 소아 및 청소년시기에 적절한 수복 방법과 재료에 관한 많은 연구와 노력이 있었다<sup>3)</sup>. 특히 심미적인 수복 처치에 대한 욕구의 증가에 따라 많은 심미성 재료들이 지속적으로 개발되고 있다. 임상에서 많이 이용되고 있는 대표적인 수복재들로는 복합레진, 레진변형 글라스아이

오노머 및 콤포머 등이 있으며, 이들 재료는 모두 레진 성분이 첨가된 레진계열의 수복재임에도 불구하고 서로 다른 특성과 적용 범위를 가지고 있다. 레진계열의 수복재들은 재료 자체의 구성 성분에 의해 물성이 결정될 뿐만 아니라, 경화 시 또는 경화 후에 흡수되는 수분의 영향이 큰 것으로 알려져 있다<sup>19)</sup>.

수분흡수는 복합레진의 물리적 성질을 변화시켜 기계적 성질과 마모저항을 감소시킨다<sup>22,23)</sup>. Sarret과 Ray<sup>24)</sup>는 복합레진에 흡수되는 수분은 소량이나 물리적 성질을 변화시킬 수 있다고 하였고, Braden 등<sup>25)</sup>은 복합레진의 수분흡수는 확산에 의하며 대부분 레진의 기질에서 발생한다고 하였으며, Bastoli 등<sup>20)</sup>은 수분은 레진 기질에 plasticizing 효과를 일으켜 강도를 감소시킨다고 보고하였다. 또한 레진 기질에 흡수된 수분은 매트릭스와 충전제의 결합을 파괴시키고 충전제의 가수성 분해를 일으키는 데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다<sup>4,26)</sup>.

본 연구의 Table 1에서 나타났듯이, 복합레진의 수분흡수도는 초기 2주 동안에 큰 증가를 보였다. 이 결과는 침지 4주 후

복합레진의 수분흡수가 대부분 일어난 Oysaed와 Ruyter<sup>22)</sup>의 연구와 침지 4일 후의 수분 흡수가 침지기간인 6주 동안 일어난 총 흡수량의 80% 이상이었다는 Iwami 등<sup>27)</sup>의 실험과는 다른 결과였으나, 초기 2주 동안 대부분의 수분흡수가 일어난 Indrani 등<sup>28)</sup>의 실험과는 유사하게 나타났다. 아마도 이러한 차이가 발생한 원인으로, 먼저 배정된 침지기간의 차이를 생각할 수 있다. 즉 Oysaed와 Ruyter<sup>22)</sup>의 연구에서는 침지기간을 1주, 4주, 8주, 100일, 110일로 구분하여 수분흡수량을 측정하였고, Iwami 등<sup>27)</sup>의 실험에서는 총 침지기간을 6주로 하고 첫 주는 매일, 6주까지는 일주일에 한 번 측정하였으며, Indrani 등<sup>28)</sup>의 실험에서는 침지기간을 2주, 4주, 6주로 배정한 뒤 수분흡수도를 측정하였다. 이외에 실험재료의 상이함이나 시편의 형태 등이 실험결과에 차이를 나타내는 요인으로 고려될 수 있다. 그러나 실험결과들의 일부 상이함에도 불구하고 공통적으로 관찰되는 것은 복합레진의 침지기간에 따른 수분흡수는 대체로 초기에 빠른 속도로 이루어졌고, 이후에는 큰 변화를 보이지 않는다는 것이다.

침지기간의 증가에 따라 복합레진의 물리적 성질은 변화한다고 알려져 있다. Arikawa 등<sup>29)</sup>은 16종 복합레진의 수분흡수에 따른 굴곡강도의 변화를 측정한 실험에서 침지기간의 증가에 따라 굴곡강도의 감소를 보고한 바 있다. Calais와 Solderholm<sup>26)</sup>은 복합레진을 6개월 동안 침지시킨 후 굴곡강도를 측정한 실험에서 침지 1달 후에 굴곡강도의 감소를 관찰하였으나, 이후의 침지기간에는 굴곡강도의 큰 변화가 관찰되지 않았다고 보고하였다. Indrani 등<sup>28)</sup>은 복합레진의 6주 침지기간 동안 fracture toughness, elastic modulus, fracture energy의 변화를 측정한 실험에서 초기 2주 동안 큰 변화를 관찰하였다. Table 3에서 볼 수 있듯이, 본 연구에서도 복합레진의 압축강도가 초기 2주 동안 큰 감소를 나타내었다. 즉 압축강도와 굴곡강도 등의 물리적 성질은 수분흡수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내며, 물리적 성질의 감소는 비교적 침지 후 초기에 급격히 발생한다고 여겨진다.

복합레진에 첨가되는 충전제의 종류에 따라 수분흡수에 의해 발생하는 강도의 감소도 다양한 양상으로 나타난다고 알려져 있다. Calais와 Solderholm<sup>26)</sup>은 충전제로 quartz를 많이 포함한 복합레진보다 barium glass가 많은 복합레진에서 더 많은 굴곡강도의 감소를 보였고, 특히 다공성 silica가 많이 포함된 복합레진이 가장 큰 감소를 나타내었다고 보고한 바 있다. 이외에도 HEMA와 같은 친수성 성분의 포함정도가 수분흡수에 영향을 미치며, resin bonding agent와 같이 상아질과의 결합성을 증가시키기 위해 친수성 성분의 함량을 증가시키고 충전제를 감소시킨 경우에 더 많은 수분흡수를 보인다고 알려져 있다<sup>30)</sup>. Pearson과 Longman<sup>31)</sup>은 microfine composite와 hybrid composite의 수분흡수와 용해도는 불완전하게 이루어진 중합에 의해 유의성 있게 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 즉, 복합레진의 중합도 및 성숙도는 수분흡수에 영향을 미친다. 또한 복합레진의 수분흡수와 소실은 수분흡수의 marginal

staining을 증가시키는 것으로 알려져 있으며<sup>31)</sup>, 불완전한 중합과 미전환된 단량체는 일부 레진의 상실을 가져와 수분흡수의 생물학적 적합성을 감소시키고 착색을 가져올 뿐만 아니라 나아가서는 수분흡수의 실패를 야기할 수 있다.

레진변형 글라스아이오노머는 전통적인 글라스아이오노머의 낮은 초기의 기계적 강도와 수분민감성을 극복하기 위해 개발된 재료이다. 레진변형 글라스아이오노머는 첨가된 레진 성분에 의한 광화학적 중합과정과 전통적인 산-염기 반응의 이중 중합반응을 가지며, 초기의 광중합반응을 위해 HEMA와 같은 친수성의 레진 성분이 포함된다고 알려져 있다<sup>8)</sup>. 첨가된 레진 성분은 친수성 기능기를 형성하여 많은 양의 수분을 함유할 수 있어서 글라스아이오노머 수분흡수의 다공성의 구조와 함께 수분흡수의 높은 수분흡수도에 기여함으로써 복합레진에 비해 많은 양의 수분을 흡수할 수 있다<sup>32,33)</sup>. 분말-액상 형태의 레진변형 글라스아이오노머에서는 분말 성분의 비가 높아 레진 성분의 함량이 낮은 경우가 그렇지 않은 경우보다 적은 수분흡수량을 나타낸다는 실험 결과가 있지만<sup>9)</sup>, 레진 성분에 의한 초기 광중합은 resin network를 형성하여 초기에 발생하는 수분재 내부로의 수분 확산을 감소시킨다고 알려져 있다<sup>34)</sup>. Table 2에서 볼 수 있듯이, 본 연구에서도 동일한 침지기간동안 레진변형 글라스아이오노머의 수분흡수도가 복합레진과 콤포머에 비해 상대적으로 높게 관찰되었으며, 이는 세 종류의 레진계열 수분재의 수분흡수도를 비교한 Small 등<sup>15)</sup>의 실험과 Iwami 등<sup>27)</sup>의 실험결과와 유사하게 나타났다. 또한 초기 2주 동안 급격한 수분흡수의 증가가 나타났으며, 이와 유사하게 Small 등<sup>15)</sup>의 실험에서도 침지 후 1주일 이내에 대부분의 수분흡수가 관찰되었다.

Nicholson 등<sup>35)</sup>은 레진변형 글라스아이오노머의 침지 효과에 관한 연구에서 수분흡수가 압축강도의 감소를 일으켰다고 보고한 반면, Mitra<sup>36)</sup>는 중합 직후와 일정 기간 침지시킨 후의 비교한 레진변형 글라스아이오노머의 압축강도와 인장강도 간에는 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. Table 3에서 관찰된 레진변형 글라스아이오노머의 압축강도는 다른 두 재료에 비해 상대적으로 낮은 압축강도를 나타내었고, 침지기간의 증가에 따라 압축강도는 감소하였으며, 특히 초기 2주 동안 가장 큰 감소를 보였다.

레진변형 글라스아이오노머의 친수성 기능기는 증류수보다 염화나트륨과 같은 전해질용액에서 흡수도가 낮게 나타난다고 알려져 있다<sup>9)</sup>. 이를 통해 증류수를 침지 배지로 사용한 수분흡수도 측정 결과보다 실제로 구강 내에서 발생하는 수분흡수의 수분흡수는 더 적을 것으로 판단된다. Yap<sup>9)</sup>은 레진변형 글라스아이오노머 수분흡수의 성숙도 즉 시간의 경과도 수분흡수에 유의성 있게 영향을 미친다고 하였으며, 시간의 경과에 따라 수분흡수의 미중합 부분이 적을수록 수분흡수도가 낮아진다고 보고하였다.

콤포머는 산성 이중 기능성 레진단량체와 글라스아이오노머 계열의 fluoroalumino-silicate 입자로 구성되어 있으며, 초기에 일차적으로 광중합된 후 수분흡수를 통해 이차적인 산-염기

반응을 일으키면서 서서히 중합된다고 알려져 있다<sup>11,12)</sup>. 즉 콤포머는 원래 무수성이나 수분흡수 후에 이온이 풍부한 충전제와 레진 기질의 산성 레진단량체가 왕성한 상호작용을 한다<sup>21)</sup>.

이러한 2차적인 산-염기 반응의 결과로 글라스 입자 주위에는 hydrogel 층이 형성되어 수분흡수가 더욱 촉진되며, 비가역적 수분의 결합이 증가한다<sup>15)</sup>. 따라서 콤포머의 수분흡수는 레진 상(phase)에 제한되지 않고 중합된 수복물 내에 존재하는 글라스 입자의 수화까지 포함한다. 콤포머의 수분흡수는 복합레진에 비해 상대적으로 더 빠르게 그리고 더 많이 이루어지며<sup>21)</sup>, 수분흡수에 의한 수화팽창이 일어나 수복물의 미세누출 감소에도 기여한다고 알려져 있다.

Iwami 등<sup>27)</sup>은 레진변형 글라스아이오노머와 콤포머, 복합레진의 침지 후 시편의 무게 변화를 관찰하였는데, 복합레진, 콤포머, 레진변형 글라스아이오노머 순으로 수분흡수량이 적게 나타났다고 보고한 바 있다. Huang 등<sup>21)</sup>은 복합레진에서의 수분흡수는 확산으로 조절되고 느리며 표면 제한적인 반면, 콤포머는 친수성의 레진단량체를 포함하여 수분흡수가 촉진되는 재료라고 하였다. 즉 수복물의 침지 후 수화팽창에 의한 미세누출 감소는 복합레진과 콤포머 모두에서 발생하지만 콤포머에서 더 크고 빠르게 일어난다고 하였다.

Table 2에서 나타난 것과 같이, 침지시간에 따른 수분흡수도의 변화는 레진변형 글라스아이오노머가 다른 두 재료에 비해 수분흡수 정도가 월등히 높게 관찰되었다. 침지시간동안 복합레진과 콤포머간에는 유의한 차이가 없었으나, 1일과 2주에서 콤포머가, 4주와 8주에서는 복합레진이 약간 높은 값을 나타냈다. 이는 세 가지 재료의 수분흡수도를 측정 한 Small 등<sup>15)</sup>의 실험과 Iwami 등<sup>27)</sup>의 실험과는 약간의 차이를 보였다. 그러나 두 실험결과에서 복합레진이 콤포머에 비해 상대적으로 적은 수분흡수를 나타냈지만 수분흡수도의 차이는 크지 않았고 두 재료의 수분흡수 양상도 유사하게 관찰되었다.

또한 Table 3에서 알 수 있듯이, 침지시간에 따른 압축강도의 변화도 수분흡수도와 같이 초기 2주 동안에 가장 큰 감소가 관찰되었으며, 특히 복합레진의 압축강도가 다른 재료에 비해 큰 감소를 나타냈다. 즉, 복합레진은 1일에서 8주 동안 약 40% 이상의 감소가 관찰되었으며, 1일에서 2주 동안 약 25% 정도의 큰 초기 감소를 보였다.

이상의 결과를 토대로, 다른 재료에 비해 레진변형 글라스아이오노머의 수분흡수도가 가장 높았음에도 불구하고 복합레진의 압축강도가 가장 큰 감소를 보이는 것으로 미루어 수분흡수도의 증가가 압축강도를 감소시키는 중요한 요인으로 판단되지만, 수복제의 종류나 성분, 환경에 따라 압축강도 감소의 정도는 다른 것으로 가늠된다.

본 연구에서 실험재료로 미국 3M사의 Z-100, F-2000, Vitremer가 이용되었다. 이들 수복제는 현재 임상에서 심미 수복처치에 널리 사용되고 있는 제품들로 같은 제조회사의 제품을 실험재료로 이용하여 제조회사 상이함에 의한 제품간의 차이를 줄이려고 하였다. 실험재료의 광중합을 위한 조사광원으로

로 시술 시간의 단축으로 최근 임상에서 각광을 받고 있는 plasma arc curing system을 이용하였다. 광원으로 plasma arc lamp의 이용은 조사 광도를 크게 증가시켜 필요한 광조사 시간을 5초 이내로 단축시킬 수 있으므로, 시술시간을 획기적으로 감소시킬 수 있다고 알려져 있다<sup>37)</sup>. 특히, 시술 시간의 단축은 행동조절이 어려운 어린 환자의 치료 빈도가 높은 소아치과에서 임상적으로 큰 가치가 있는 것으로 평가되고 있다. 제조회사에 의하면, plasma arc lamp의 고풍도 단기 조사에 의해서도 레진 계열 수복제의 충분한 중합이 이루어지며 중합수축에 있어서도 만족할만한 결과를 나타낸다고 설명하고 있다. Peutzfeldt 등<sup>37)</sup>은 plasma arc lamp를 이용한 중합이 기존의 tungsten-halogen lamp에 의한 광중합보다 중합수축이 같거나 더 적은 것으로 관찰되었으나, 중합도와 굴곡강도 등의 물성은 감소되었다고 보고하였다. 반면 복합레진의 중합도를 증가시키기 위해 높은 광도의 중합이 추천되었으나, 고풍도의 중합은 빠른 중합으로 레진의 점도가 급격히 증가하여 중합수축이 더 심해질 수 있고 충분한 유동성의 상실로 인해 응력을 분산하기 어렵게 된다고 알려져 있다<sup>2)</sup>. 조사광원으로 plasma 사용에 관해서는 아직 논란의 여지가 있으므로, 좀더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

심미 수복제의 수분흡수는 압축강도와 인장강도, 굴곡강도 등의 물리적 성질을 감소시킨다는 부정적인 측면이외에 수분흡수를 통한 수화팽창이 중합수축시 발생한 레진 기질에 형성된 잔류응력을 경감시키고<sup>38)</sup>, 수복제의 marginal gap을 감소시킨다는 연구결과도 있다<sup>21)</sup>. 그러나 수분흡수는 수복물의 marginal integrity 상실과 물성의 저하 및 착색에 의한 심미성 감소를 통해 궁극적으로 수복물의 실패를 가져올 수 있으므로 중합 전과 후에 수분흡수를 통한 물성의 변화가 적고 안정된 재료의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## V. 결 론

치과용 심미 수복재료의 침지시간에 따른 수분흡수도와 압축강도의 변화를 비교평가하기 위해 복합레진, 콤포머, 레진변형 글라스아이오노머의 3종 재료를 이용하여 시편을 제작하고 37℃ 증류수에 1일, 2주, 4주, 8주간 보관한 후 각각의 수분흡수도와 압축강도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 세 가지 수복제 모두 침지시간이 길어짐에 따라 수분흡수도가 증가하였으며, 수분흡수의 대부분은 초기 2주 동안에 나타났다(P<0.001).
2. 레진변형 글라스아이오노머의 수분흡수도가 복합레진과 콤포머에 비해 상대적으로 크게 나타났다.
3. 세 가지 수복제 모두 침지시간의 증가에 따라 압축강도가 감소하였으며(복합레진과 콤포머: P<0.001, 레진변형 글라스아이오노머: P<0.05), 특히 복합레진이 다른 재료에 비해 가장 큰 감소 경향을 나타냈다.
4. 세 가지 수복제 모두 수분흡수도가 증가함에 따라 압축강도

가 감소하였다(P<0.05).

### 참고문헌

1. Mount GJ, Hume WR : Preservation and restoration of the tooth structure. 1st ed., Mosby International Ltd., London, England, 1998.
2. Baratieri LN, Junior SM, Andrada MA, et al. : Esthetics : Direct adhesive restoration on fractured anterior teeth. 1st ed., Livraria Santos Editora Ltda., Sao Paulo, SP Brasil, 1998.
3. Berg JH : The continuum of restorative materials in pediatric dentistry, A review for the clinician. *Pediatr Dent* 20:93-100, 1998.
4. Soderholm KJ : Degradation of glass filler in experimental composites. *J Dent Res* 60:1867-1875, 1981.
5. Varpio M : Clinical aspects of restorative treatment in the primary dentition. *Swed Dent J* 96(Suppl) :36-40, 1993.
6. Letzel H : Survival rates and reasons for failure of posterior composite restorations in multicenter clinical trial. *J Dent* 17(Suppl):10-17, 1989.
7. Benneli EM, Serra MC, Rodrigues AL Jr, et al. : In situ anticariogenic potential of glass ionomer cement. *Caries Research* 27:280-284, 1993
8. McCabe JF : Resin-modified glass ionomer. *Biomater* 19:521-527, 1998.
9. Yap AUJ : Resin-modified glass ionomer cements: a comparison of water sorption characteristics. *Biomater* 17(19):1897-1900, 1996.
10. Kanchanasavita W, Anstice HM, Pearson GJ : Water sorption characteristics of resin-modified glass-ionomer cements. *BioMat* 18:343-349, 1997.
11. Eliades G, Kakaboura A, Palaghias G : Acid-base reaction and fluoride release profile in visible light-cure polyacid-modified composite restoratives(compomers). *Dent Mater* 14:57-63, 1998.
12. Abate PF, Bertacchini SM, Polack MA, et al. : Adhesion of a compomer to dental structures. *Quint Int* 28:509-512, 1997.
13. Cehreli ZC, Altay N : Three year clinical evaluation of polyacid-modified composite in minimal-invasive occlusal cavities. *J Dent* 28:117-122, 2000.
14. Mass E, Gorden M, Fuks AB : Assessment of compomer proximal restorations in primary molars : A retrospective in children. *J Dent child* 66:93-97, 1999.
15. Small ICB, Watson TF, Chadwick AV, et al. : Water sorption in resin-modified glass-ionomer cements: An in vitro comparison with other materials. *Biomater* 19:545-550, 1998.
16. Hinoura K, Masutani S, Moore BK : Volumetric change of light cured glass ionomer in water. *J Dent Res* 72:222, Abstr No. 947, 1993.
17. Draughn RA : Effects of temperature on mechanical properties of composite dental restorative materials. *J Biomed Mater Res* 15:489-495, 1981.
18. Wu W, McKinney JE : Influence of chemicals on wear of dental composites. *J Dent Res* 61:1180-1183, 1982.
19. Roulet JF, Walti C : Influence of oral fluid on composite resin and glass ionomer cement. *J Prosthet Dent* 52:182-189, 1984.
20. Basoli C, Romano G, Migliaresi C : Water sorption and mechanical properties of dental composites. *Biomater* 11(3):219-223, 1990.
21. Huang C, Tay FR, Cheung GSP, et al. : Hygroscopic expansion of a compomer and a composite on artificial gap reduction. *J Dent* 30:11-19, 2002.
22. Oysaed H, Ruyter IE : Water sorption and filler characteristics of composite for use in posterior teeth. *J Dent Res* 65(11):1315-1318, 1986.
23. Soderholm KJ, Zigan M, Ragan M, et al. : Hydrolytic degradation of dental composite. *J Dent Res* 63:1248-1254, 1984.
24. Sarrett DC, Ray S : The effect of water on polymer matrix and composite wear. *Dent Mater* 10:5-10, 1994.
25. Braden M, Causton EE, Clarke RL : Diffusion of water in composite filling materials. *J Dent Res* 55:730-732, 1976.
26. Calais JG, Soderholm KJ : Influence of filler type and water exposure on flexural strength of experimental composite resins. *J Dent Res* 67:836-840, 1988.
27. Iwami Y, Yamamoto H, Sato W, et al. : Weight change of various light-cured restorative materials after water immersion. *Oper Dent* 23:132-137, 1998.
28. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, et al. : Fracture toughness of water-aged resin composite restorative materials. *Dent Mater* 11:201-207, 1995.
29. Arikawa H, Kuwahata H, Seki H, et al. : Deterioration of mechanical properties of composite



- resin. *Dent Mater J* 14(1):78-83, 1995.
30. Michael FB, Shigeisa I, Junji T : Water sorption of several bonding resins. *Am J Dent* 12:295-298, 1992.
  31. Pearson GJ, Longman CM : Water absorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehabil* 16:57-61, 1989.
  32. Antice HM, Nicholson JW : Studies on the structure of light cured glass ionomer cement. *J Mater Sci* 3:447-451, 1992.
  33. Pedley DG, Skelly PJ, Tighe B : Hydrogels in biomedical applications. *Br Polym J* 12:99-109, 1980.
  34. Mathis RS, Ferracane JL : Properties of a glass ionomer/resin-composite hybrid material. *Dent Mater* 5:355-358, 1989.
  35. Nicholson JW, Anstice HM, McLean JW : A preliminary report on the effect of storage in water on properties of commercial light-cured glass ionomer cements. *Br Dent J* 173:98-101, 1992.
  36. Mitra SB : Adhesion to dentin and physical properties of a light-cured glass ionomer line/base. *J Dent Res* 70:72-74, 1991.
  37. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 16:330-336, 2000.
  38. Feilzer AJ, Kakaboura AI, de Gee AJ, et al. : The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater* 11:186-190, 1995.

---

**Reprint request to:**

**Woo-Hyuck Chang**

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Kyung Hee University  
1, Hoegi-Dong, Dongdaemoon-Gu, Seoul, 130-872, Korea  
E-mail : khupedo@mdhouse.com

Abstract

A COMPARATIVE STUDY OF WATER ABSORPTION AND RELATED CHANGES OF  
COMPRESSIVE STRENGTH IN THREE RESTORATIVE MATERIALS

Woo-Hyuck Chang, Yeong-Chul Choi

*Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Kyung Hee University*

The aesthetic restorative materials are widely used in recent dentistry, showed not only the different quality between each component but also showed that the environment of the material has important effect on the physical properties of the material. Especially, when the restoratives are restored in the mouth, and since saliva is existing, the restoratives are always exposed to water and affected by the saliva. The purpose of this study was to research and compare the change of the degree of water sorption after water immersion of three types of the resin-based materials and the compressive strength, and observe the relation between the change of the water absorbing degree and the compressive strength.

Z-100(3M, U.S.A) as a composite resin, F-2000(3M, U.S.A) as a compomer, and Vitremer Restoratives(3M, U.S.A) as a resin-modified GIC were used, and each specimen was made to measure the water sorption and to evaluate the compressive strength. The specimens for measurement of the water sorption and the compressive strength were divided into 4 groups(1 day, 2 weeks, 4 weeks, and 8weeks). Each specimen was filled in the 30cc vial with 20cc of distilled water during the fixed amount of period in 37°C. The water sorption is decided by dividing the difference of weight before and after the immersion by the volume, and the compressive strength was measured by using the instron after the immersion.

The following results were obtained :

1. The more the water sorption increased, the more the immersion period of three restorative materials was long. And the most of water sorption was obtained during the first 2 weeks( $P<0.001$ ).
2. The water sorption of resin-modified GIC was higher than composite resin and compomer.
3. The more the compressive strength decreased, the more the immersion period of three restorative materials increased(composite resin and compomer:  $P<0.001$ , resin-modified GIC:  $P<0.05$ ). Especially, the amount of the reduction in compressive strength of the composite resin was the highest.
4. The more the water sorption of all materials increased, the more the compressive strength decreased( $P<0.05$ ).

**Key words** : Water sorption, Compressive strength, Composite resin, Compomer, Resin-modified GIC