Flowable 복합레진의 slumping 경향과 유변학적 성질

이인복* · 민선홍 · 김선영 · 조병훈 · 백승호
치과보존학교실, 서울대학교 치의학대학원

ABSTRACT

SLUMPING TENDENCY AND RHEOLOGICAL PROPERTY OF FLOWABLE COMPOSITES

In-Bog Lee*, Sun-Hong Min, Sun-Young Kim, Byung-Hoon Cho, Seung-Ho Back
Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University

The aim of this study was to develop a method for measuring the slumping resistance of flowable resin composites and to evaluate the efficacy using rheological methodology.

Five commercial flowable composites (Aelitefil flow:AF, Filtek flow:FF, DenFil flow:DF, Tetric flow:TF and Revolution:RV) were used. Same volume of composites in a syringe was extruded on a glass slide using a custom-made loading device. The resin composites were allowed to slump for 10 seconds at 25°C and light cured. The aspect ratio (height/diameter) of cone or dome shaped specimen was measured for estimating the slumping tendency of composites. The complex viscosity of each composite was measured by a dynamic oscillatory shear test as a function of angular frequency using a rheometer. To compare the slumping tendency of composites, one way-ANOVA and Turkey's post hoc test was performed for the aspect ratio at 95% confidence level. Regression analysis was performed to investigate the relationship between the complex viscosity and the aspect ratio. The results were as follows.

1. Slumping tendency based on the aspect ratio varied among the five materials (AF 〈FF 〈 DF〈TF〈RV).
2. Flowable composites exhibited pseudoplasticity in which the complex viscosity decreased with increasing frequency (shear rate). AF was the most significant, RV the least.
3. The slumping tendency was strongly related with the complex viscosity. Slumping resistance increased with increasing the complex viscosity.

The slumping tendency could be quantified by measuring the aspect ratio of slumped flowable composites. This method may be applicable to evaluate the clinical handling characteristics of flowable composites.

〔J Kor Acad Cons Dent 34(2):129-135, 2009〕

Key words: Slumping tendency, Rheological property, Flowable composite, Complex viscosity, Dynamic oscillatory shear test -Received 2008.12.11., revised 2009.2.27., accepted 2009.3.3.-

Ⅰ. 서 론

Flowable 복합레진은 1996년 도입된 이래 많은 제품들이 등장하였고 기존의 전-구치 수복용 universal hybrid 복합레진과는 상이한 조작성을 가진다. Flowable 레진은 무기질 충전재를 적게 함유하여 점도가 낮고, 흐름성과 더불어 와동벽에 대한 젖음성이 좋아 소와 열구 전색재, 작은 와동의 보존적 수복, 임시 수복물의 보수, 와동 내면의 이장재 등 다양한 용도로 사용되어 왔다[1-3].

복합레진의 조작성은 "재료를 얼마나 쉽고 편하게 다룰 수 있는가" 로 결정되고, 임상에서 복합레진을 선택하는데 고려해야 할 매우 중요한 요소이다. 복합레진의 점도와 같은 유변학적 특성은 시술부위에 대한 적용의 용이성 (easy placement and shaping) 및 기구에 달라붙음 (stickiness), 치아 표면에의 점착력 (adhesion), 조각 형태의 유

*Corresponding Author: ***In-Bog Lee***
Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University
275-1 Yeongeon-Dong, Jongno-Gu, Seoul, 110-768, Korea
Tel: 82-2-2072-3953 Fax: 82-2-2072-3859
E-mail : inboglee@snu.ac.kr

지 (hold shape or slumping resistance after sculpting)와 같은 조작성과 직접 관련되어 시술시간을 포함한 수복과정과 그 결과에 큰 영향을 미친다[3-8].

점도가 낮은 flowable 복합레진은 일반적으로 주사기와 작은 지름의 needle을 사용하여 와동에 적용한다. 1, 2급 와동의 내면에 이장하거나 작은 와동을 수복할 시, 주사기로 복합레진을 와동에 적용하면 재료 자체의 흐름과 점착력에 의해 와동벽에 잘 적합된다. 반면 5급 와동이나 3급 와동에서와 같이 수직으로 형성된 와동을 수복할 때에는 과도한 흐름성을 가지는 낮은 점도의 재료는 자체의 무게로 인하여 치은 쪽으로 흘러내려 과도한 변연을 형성하거나 원하지 않는 부위에 복합레진이 위치할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 와동에 적용 후 잘 흐르지 않아 적절한 slumping 저항성을 가지는 재료가 필요하다[1,8].

많은 연구자들이 복합레진의 조작성과 관련된 복합레진의 유변학적 성질들을 연구해 왔다. Opdam 등[9]과 Tyas 등[10]은 수종 구치수복용 복합레진의 상대적 점조도를 각각 평판가압법과 penetrating 방법으로 측정하여 비교하였고, Bayne등[1]은 역시 평판가압법을 이용하여 유동성 복합레진과 전-구치용 hybrid 복합레진을 비교하여 유동성 복합레진 사이에도 많은 점도의 차이가 있음을 보고하였다. 그러나 이들 연구는 복합레진 사이의 단순한 상대적인 점도의 비교일 뿐 재료 자체의 절대적 점성 값에 관한 정보는 전혀 제공하지 못하였다. Lee 등[3,11], Beun 등[12]은 동적회전전단 실험을 이용하여 flowable, universal hybrid, packable 복합레진 사이에 많은 점탄성의 차이가 있음을 보고하였고 같은 종류의 복합레진이라 할 지라도 제품에 따라 점성과 탄성의 크기 및 비율이 다르며 전단률이 증가함에 따라 점도가 감소하는 pseudoplastic한 성질을 보임을 보고하였다.

Flowable 복합레진의 가장 중요한 조작 특성은 낮은 점도로 인한 흐름성과 적용 후 Slumping 경향이다. 와동에 적절한 적합을 위해서 복합레진을 주사기 needle을 통한 사출 시에는, 재료는 점도가 낮아져 쉽게 흐르는 것이 유리하고, 치아 면에 일단 적용된 후에는 더 이상 흐르지 않아 적용한 직 후의 형태를 그대로 유지할 수 있는 성질이 요구된다. 만일 복합레진이 와동에 적용된 후에도 계속 흐르면 복합레진은 적용된 곳에 머무르지 않고 한 곳에 고이거나 원하지 않는 부위를 덮을 수 있다. 따라서 전단변형이 가해지는 사출 시와 사출 후, 복합레진의 점도 변화와 그에 따른 slumping 경향은 조작성에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다.

Lee 등[8]은 수 종 전 구치 수복용 복합레진의 slumping 경향을 평가하기 위해 알루미늄 몰드를 사용한 imprint 방법과 slumping resistance index (SRI)를 고안하였다. 그들은 같은 회사에서 제조되었더라도 제품의 종류에 따라 크게 다른 SRI 값을 가지며 이러한 slumping 저항성은 복합레진 호재의 점성계수와 큰 상관관계가 존재한다고 보고하였다. 그러나 현재까지 flowable 복합레진의 slumping 경향을 정량적으로 비교 연구한 논문은 없다.

본 연구의 목적은 flowable 복합레진의 slumping 경향을 측정할 수 있는 방법을 제시하고 이와 관련된 복합레진의 유변학적 특성을 고찰하였다.

Ⅱ. 실험재료 및 방법

본 실험에서 사용된 5 종 flowable 복합레진의 이름과 제조회사는 Table 1과 같다.

1. Flowable 복합레진의 slumping 경향 측정

주사기를 장착하고 일정 속도로 plunger를 가압하여 복합레진을 사출할 수 있는 장치를 제작하였다 (Figure.1). Flowable 복합레진을 내경 4.7 mm인 1 ml 용량의 주사기에 옮겨 담은 후 수직으로 움직일 수 있는 cross head 하방에 주사기를 고정시킨 후 내경 0.8 mm 지름의 needle을 사용하여 하방에 놓여진 현미경용 slide glass 위에 복합레진을 사출하였다. 주사기 plunger의 가압 속도와 사출 용량은 cross head에 장착된 stepper motor로 조절되고, 본 실험에서는 0.2 mm/s의 속도로 1 mm를 가압하여 17.3 mm^3의 복합레진을 사출하였다. Plunger의 지름이 4.7 mm 이므로 이를 내경이 0.8 mm인 needle을 통한 사출속도로 계산하면 6.9 mm/s가 된다.

Slide glass 위에 복합레진이 놓여진 후 slumping이 일

Table 1. The flowable resin composites used in this study.

Material	Code	Batch No.	Manufacturer
Aelite flow	AF	0500010629	Bisco (Schaumburg, IL, USA)
Filtek flow	FF	5GJ	3M-ESPE (St.Paul, MN, USA)
DenFil flow	DF	FR8406135	Vericom (Anyang, Korea)
Tetric flow	TF	F09392	Ivoclar-Vivadent (Schaan, Liechtenstein)
Revolution	RV	302874	Kerr (Orange, CA, USA)

어날 수 있도록 10 초 동안 방치한 후 광중합하였다. Cone 형 혹은 dome 형태로 경화된 시편의 기저에서의 평균 지름 (장반경과 단반경의 산술평균)과 기저로부터 정상까지의 높이를 측정하였다 (Figure.2). 경화된 시편의 aspect ratio (높이/지름)을 구하여 각 재료의 slumping 경향을 비교하였다. Aspect ratio가 클수록 slumping 저항성이 크고, 낮을수록 slumping 되기 쉬운 것을 의미한다. 측정 온도는 25℃였고 동일한 재료에 대하여 10회 반복하였다.

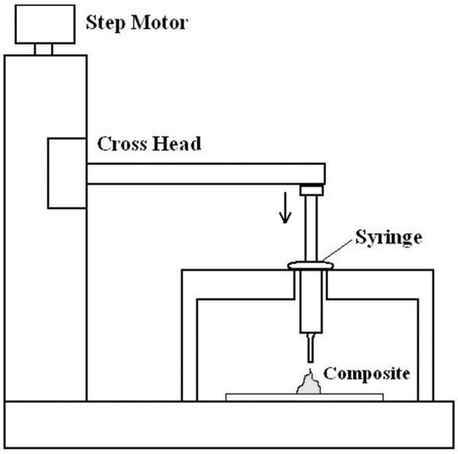


Figure 1. Schematic diagram of composite loading device.

2. Flowable 복합레진의 점도 측정

복합레진의 slumping 경향과 점도 사이의 관련성을 알아보기 위해 회전형 rheometer (AR 2000, TA Instrument, New Castle, DE, USA)를 이용하여 동적진동전단시험 (dynamic oscillatory shear test)을 시행하였다[3,8,11].

어떤 재료가 각진동수 ω로 진동전단변형을 받을 때 전단변형과 전단응력은 다음과 같다.

전단변형 $\gamma(t)=\gamma_o e^{i(\omega t)}$

전단응력 $\sigma(t)=\sigma_o e^{i(\omega t+\delta)}$

복소전단계수 $G^*=\dfrac{\sigma(t)}{\gamma(t)}=\dfrac{\sigma_o}{\gamma_o}e^{i\delta}=\dfrac{\sigma_o}{\gamma_o}(\cos\delta+i\sin\delta)=G'+iG''$와

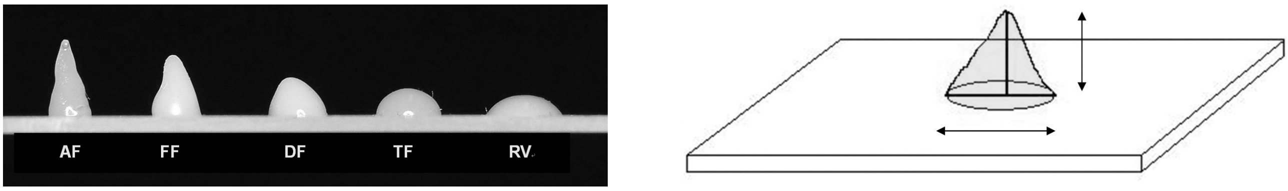
같고 여기서 $G'=\dfrac{\sigma_o}{\gamma_o}\cos\delta=G^*\cos\delta$은 실(저장)전단계수,

$G''=\dfrac{\sigma_o}{\gamma_o}\sin\delta=G^*\sin\delta$은 허(손실)전단계수이다.

복소전단계수의 크기는 $\dfrac{\sigma_o}{\gamma_o}=|G^*|=\sqrt{(G')^2+(G'')^2}$로 주어

지고 복소점도 $\eta^*=\dfrac{G^*}{\omega}$이다.

사용된 geometry는 지름 20 mm의 알루미늄 parallel plate였다. 일정량의 복합레진 paste를 rheometer의 아래에 위치한 Peltier plate 위에 놓고, 위에 있는 알루미늄 plate를 아래로 이동시켜 plate 사이의 간격을 1.0 mm로 조절한 후 과량의 paste는 제거하였다. 잔류응력 (residual



a b

Figure 2. a) Lateral view of cured flowable composites after slumping for 10 s at 25℃. b) Aspect ratio (height/base diameter) of cured slumped composite was measured to compare the slumping tendency among composites.

Table 2. Post-slumped aspect ratio and complex viscosities at varying oscillation frequency of flowable composites.

Composite	Aspect ratio	Complex viscosity η^* [Pa.s] at varying frequency ω [rad/s]			
		ω = 0.1	1	10	100
AF	1.60 (0.17)[a]	25114	3749	528	92
FF	1.13 (0.09)[b]	8976	2152	400	93
DF	0.72 (0.06)[c]	7150	1677	325	86
TF	0.40 (0.03)[d]	428	155	67	41
RV	0.28 (0.02)[e]	111	33	8.9	5.2

Different superscripts mean that there is statistically significant difference ($P<0.05$).

normal stress)이 사라진 후, 복합레진을 주사기로 사출할 때와 사출된 후 전단률 변화에 따른 복합레진의 점도 변화를 알아보기 위해 각진동수 (angular frequency)를 ω=0.1-100 rad/s로 변화시키며 frequency sweep test를 시행하여 복소점도 η^*를 구하였다. 측정 시 전단진폭(strain amplitude)은 0.5%였고 25℃에서 각 재료에 대하여 3 회 반복하였다.

통계처리로는 복합레진의 slumping 경향을 비교하기 위해 aspect ratio에 대하여one way-ANOVA와 Turkey's post hoc test를 0.05의 유의수준에서 시행하였고 aspect ratio와 점도 사이의 관계를 알아보기 위해 회귀 분석을 시행하였다.

Ⅲ. 결 과

Flowable 복합레진의 slumping 후 aspect ratio는 제품에 따라 뚜렷한 차이를 보였으며 AF가 1.6 으로 가장 높았고 RV가 0.28로 가장 낮았다 (P〈0.05, Table 2, Figure.3). Flowble 복합레진은 각진동수가 증가함에 따라 점도가 급격히 감소하는 pseudoplastic한 성질을 보였으며 제품에 따라 큰 차이를 보였다 (Table 2. Figure.4). 진동수 ω=0.1 rad/s와 ω=100 rad/s 에서 점도 차이는 AF가 가장 큰 차이를 보였고 RV가 가장 낮았다.

비선형 회귀분석의 결과 복소점도 $\eta^*_{\omega=0.1\ rad/s}$가 증가함에 따라 aspect ratio도 증가하였고 곡선 $y=\ln(a+bx)$(y: aspect ratio, x: 복소점도 η^*)에 잘 부합되었다 (R= 0.978) (Figure.5).

Ⅳ. 고 찰

전구치 수복용 복합레진의 slumping 경향을 측정하기 위해 이전의 연구[8]에서 사용하였던 알루미늄 몰드로 인기 후

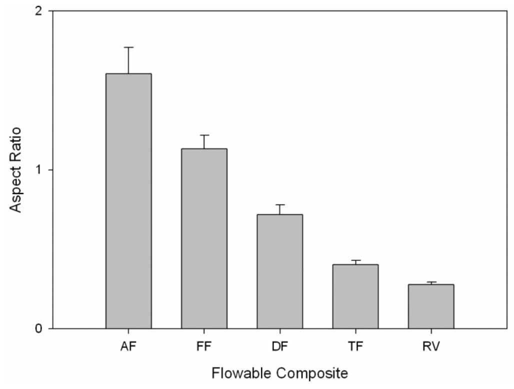


Figure 3. Aspect ratio of slumped flowable composites. Higher aspect ratio means that the material has higher slumping resistance.

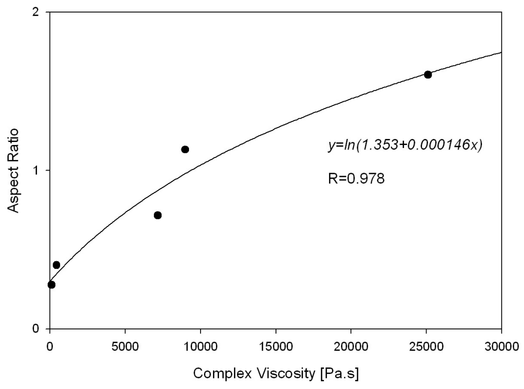


Figure 5. Regression analysis showed that the aspect ratio of composites as a function of complex viscosity $\eta^*_{\omega=0.1\ rad/s}$ is well fitted to a nonlinear curve $y=\ln(a+bx)$(y: aspect ratio, x: complex viscosity η^*) (R=0.978).

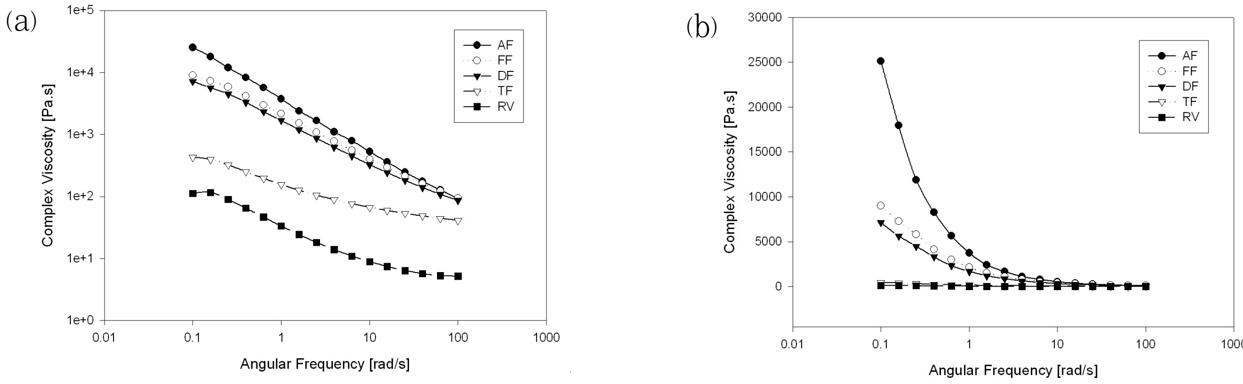


Figure 4. Representative curves of complex viscosity of composites as a function of angular frequency in a dynamic oscillatory shear - frequency sweep test. The viscosity very rapidly decreased with increasing frequency (a: logarithmic plot, b: linear plot).

groove 깊이의 변화를 측정하는 방볍을 본 연구에서는 사용하지 않았다. 점도가 낮은 flowable 복합레진은 높은 흐름성과 기구에 대한 stickiness 때문에 높은 점도의 전 구치 수복용 복합레진과 달리 손기구를 사용하여 "적용 후 누르는 동작 (apply and press)"으로 외형을 형성할 수 없고 주로 주사기와 뾰족한 탐침을 사용하여 "적용 후 끌기 (apply and drag)" 방볍으로 와동에 적용하기 때문이다.

Flowable 복합레진의 slumping 경향을 비교하기 위해서는 동량의 재료를 slide glass 위에 사출한 후, 일정시간이 경과한 다음 경화시켜 시편의 높이 또는 base의 지름을 비교할 수도 있으나 시편의 양에 큰 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 base의 지름에 대한 높이의 비, 즉 aspect ratio를 사용하였고 이 경우에는 시편의 양이 증가하면 지름과 높이 모두 동시에 증가하여 시편의 양에 덜 민감하기 때문이다. AF의 aspect ratio가 가장 커서 1.6으로 이는 base의 지름보다 더 큰 높이로 쌓아 놓여질 수 있음을 의미하며 slumping이 잘 일어나지 않음을 의미한다. 반면 RV는 0.28의 aspect ratio를 보인 바 이는 적용 후 얇게 퍼져 base 지름의 1/4을 약간 넘는 정도로만 쌓여질 수 있고 slumping 경향이 큼을 의미한다.

점도는 전단률에 큰 영향을 받을 수 있으므로, 사출시의 전단률을 일정하게 유지하기 위해 동일한 내경을 가진 주사기와 needle, 그리고 동일한 사출속도를 적용하였다. 본 연구에서는 내경이 4.7 mm인 주사기의 plunger를 0.2 mm/s의 속도로 가압하여 내경이 0.8 mm인 needle을 통해 사출하였으므로 needle 내에서의 전단률은

$\frac{4}{\pi R^3}$ (Q: volume of flow, R: radius of tube)로 69.0/s가 된다[13].

즉 사출 시 needle 내에서는 주사기에 적용된 강제력에 의해 높은 전단률 아래서 이동했던 복합레진이 사출된 후에는, 외력의 작용 없이 자체 중량에 의해서만 눌려져 거의 0 에 가까운 전단률에 놓이게 된다. 따라서 사출 시와 사출 완료 후 각각의 전단률에서 나타나는 flowable 복합레진의 점도는, 술자가 주사기를 가압할 때 느끼는 저항의 정도와 일단 사출 후 관찰되는 복합레진의 slumping 정도에 영향을 미친다 볼 수 있다. 따라서 사출 시와 사출 후, 서로 다른 전단률에서 점도의 차이는 복합레진에 외력이 가해질 때와 없을 때 반응하는 재료 자체의 독특한 특성으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 주사기에 힘을 가하여 복합레진을 높은 전단률로 사출시킬 때와 사출된 후 정지상태에서 거의 0 에 가까운 전단률에 놓였을 때의 상황을 흉내내기 위해 각진동수 ω=0.1-100 rad/s의 범위에서 dynamic oscillatory shear-frequency sweep test를 시행하였다. Figure 4의 진동수-점도 변화 곡선에서 중요한 점은 진동수가 감소할 경우, 즉 전단률이 0 에 가까워 짐에 따라 점도는 급격히 증가한다는 사실이다. 이는 flowable 복합레진이 높은 전단률로 사출 된 후 전단력이 거의 작용하지 않는 상태, 즉 영에 근접한 전단률에서의 절대 점도의 크기가 slumping에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

예비실험에서 전단률 0.1-100/s의 범위에서 한 방향으로 plate를 계속 회전시키며 점도를 측정하는 steady state flow test를 시행해 보았으나 전단률이 50/s 이상에서 flowable 복합레진이 원심력에 의해 바깥쪽으로 흘러나가는 경향을 보여 정확한 측정이 어려웠다. 따라서 본 실험에서는 dynamic oscillatory shear test를 시행하였다. Cox-Merz rule에 의하면 oscillatory shear test 에서 복소점도 η^* 와 진동수 ω는 steady state flow test 에서의 점도 η 와 전단률 ($d\gamma/dt$)과 근사 시킬 수 있는 것으로 알려져 있다 [3,13,14]. 즉 각진동수 0.1-100 rad/s 에서의 복소점도 η^*는 전단률 0.1-100/s 에서의 점도 η 와 상응한다 할 수 있다. Dynamic oscillatory test의 복소점도 η^*는 복합레진이 지닌 점성과 탄성의 복합작용의 결과이다.

진동수 ω=100 rad/s와 0.1 rad/s 에서의 복소점도는 각각 주사기 needle을 통한 사출 시와 사출 후의 점도를 의미한다 볼 수 있다. Table 2와 Figure.4 에서 보는 바와 같이 진동수 ω=100 rad/s 에서 복소점도는 5.2-92 Pa.s로 제품에 따라 17.7 배 차이를 보인다. 그러나 ω=0.1 rad/s 에서는 111-25114 Pa.s 로 제품 사이에 무려 226 배 이상의 점도 차이를 보인다. 이는 결국 사출 후 정지상태에서 slumping 경향이 제품에 따라 매우 차이가 날 수 있음을 의미한다.

Flowable 복합레진은 전단률이 증가할수록 점도는 감소하는 pseudoplastic 경향을 보였고 이는 이전의 연구결과와 일치하였다[3,8,11,12,15]. 이는 주사기를 사용하여 사출 시에는 전단률이 증가하여 점도가 감소하고 결과적으로 와동에 쉽게 적용할 수 있음을 의미한다. 전단률 변화에 따른 점도 변화의 정도는 제품에 따라 크게 달랐다. AF의 경우 전단률 변화에 가장 민감한 반응을 보였고 전단률 감소 시 점도의 회복도 가장 빠르고 컸다. AF의 복소점도는 ω=100 rad/s 에서는 92 Pa.s 이나 ω=0.1 rad/s 에서는 25114로 무려 272 배 (점도차이: 25022 Pa.s)의 점도 증가를 나타냈다. 반면 RV는 가장 변화가 적어 각각 5.2 Pa.s과 111 Pa.s로 21.3 배 (점도차이: 105.8 Pa.s)의 점도 증가만을 보인다. 사출 시 점도는 낮고 사출 후의 정지상태에서 점도가 클수록 적은 힘으로 쉽게 적용되고 slumping에 대한 저항성은 높다 볼 수 있다.

일반적으로 단량체 기질과 같은 액체는 전단률의 변화에 관계없이 점도가 일정한 Newtonian 현상을 보이나 복합레진과 같이 레진 기질에 무기질 충전재가 다량으로 함유되어 있는 고농도의 현탁액은 전단률이 증가할수록 점도가 감소하는 pseudoplastic 한 성질을 나타낸다. 이는 전단속도가 증가함에 따라 레진 기질을 이루는 단량체의 분자 배향이

일어나거나 무기질 충전재의 배열구조가 가역적으로 변화하여 레진 기질과 filler 입자 사이의 상호작용이 감소하기 때문이다[13-16]. 따라서 재료별로 다르게 나타나는 전단률 변화에 따른 점도 변화의 양상과 slumping 경향의 차이는 각 복합레진을 구성하고 있는 단량체의 종류와 배합, filler 입자의 크기와 양, 표면형상과 처리 방법 등의 차이에서 기인한다고 사료된다.

본 연구에서 slumping이 일어나는 전단률과 가장 가까운 각진동수는 0.1 rad/s 이다. 회귀분석의 결과 aspect ratio와 전단률 0.1 rad/s 에서의 복소점도는 비선형곡선 ($y=\ln(a+bx)$ (y: aspect ratio, x: 복소점도 η^*)에 잘 적합되고 점도가 증가함에 따라 slumping 저항도 따라서 증가함을 알 수 있다 (R=0.978) (Fig.5). 이는 점도 자체의 정의가 "흐름에 대한 저항" 이므로 어느 정도 예측된 결과라 할 수 있다. 이 등은 이전의 논문[8]에서 전 구치 복합레진의 여러 유변학적 특성 중 slumping resistance index와 가장 관련이 있는 요인은 G″, 즉 점성전단계수 (viscous modulus) 임이 밝혀진 바 와 일치한다.

Slumping 경향의 대소로 어느 flowable 복합레진의 조작성이 더 좋고 나쁨을 평가할 수는 없다. Slumping 저항성이 큰 AF나 FF는 수직 와동에서도 잘 흘러내리지 않아 3급이나 5급 와동에 적용하기 좋을 것이고, TF나 RV 같이 slumping 경향이 큰 재료는 미세한 틈으로 잘 스며들 수 있으므로 소와 열구 전색이나 좁고 깊은 와동의 이장에 구석구석까지 적용하는데 유리할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 25℃에서 10 초 동안 slumping이 일어나도록 한 후 aspect ratio를 측정하였다. 복합레진의 점도는 온도에 큰 영향을 받고 slumping도 시간이 경과함에 따라 많이 일어나므로 slumping의 결과를 나타내거나 비교할 때는 온도와 시간이 반드시 고려되어야 한다[8,15]. 따라서 본 연구결과는 aspect ratio (25℃, 10s)와 같이 온도와 시간의 매개 함수로서 표기할 수 있다.

앞으로의 추후 연구에서는 flowable 복합레진의 slumping에 영향을 미치는 여러 요인 중, slumping 시간과 측정 온도, 레진 기질의 조성, 무기질 충전재 입자의 양과 크기 및 표면형태, 그 외에 소량 첨가물의 효과에 대해서도 추가 연구가 필요하다.

Ⅴ. 결 론

1. Slumping 후 aspect ratio를 측정하여 비교한 flowable 복합레진의 slumping 경향은 제품에 따라 큰 차이를 보였다 (AF 〈FF 〈 DF〈TF 〈 RV)(P〈0.05).

2. Slumping 저항성은 복소점도가 증가함에 따라 증가하였다.

3. Flowable 복합레진은 전단률이 증가함에 따라 점도가 감소하는 pseudoplasticity를 보였고 그 경향은 AF가 가장 컸고 RV가 가장 낮았다.

4. Aspect ratio에 바탕을 둔 slumping 경향의 측정 방법은 임상에서 flowable 복합레진의 선택과 새로 개발된 재료의 평가에 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ, Stamatiades P, Wilkerson M. A characterization of first generation-flowable composites. *J Am Dent Assoc* 129:567-577, 1998.
2. Craig RG, Powers JM. Restorative dental materials. 11th Ed. *Mosby Co.* pp91-98, 231-251, 2002.
3. Lee IB, Son HH, Um CM. Rheological properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *Dent Mater* 19:298-307, 2003.
4. Summitt JB, Robbins JW, Hilton TJ, Schwartz RS. Fundamentals of operative dentistry: A contemporary approach. 3rd Ed. *Quintessence books* pp319-323, ; 2006.
5. Jackson RD, Morgam M. The new posterior resins and a simplified placement technique. *JADA* 131:375-383, 2000.
6. Leinfelder KF, Radz GM, Nash RW. A report on a new condensable composite resin. *Compendium* 19(3):230-237, 1998.
7. Al-Sharaa KA, Watts DC. Stickiness prior to setting of some light cured resin composites. *Dent Mater* 2003;19:182-187, 2003.
8. Lee IB, Chang J, Ferracane J. Slumping resistance and viscoelasticity prior to setting of dental composites. *Dent Mater* 24:1586-1593, 2008.
9. Opdam NJM, Roeters JJM, Peters TCRB, Burgersdijk RCW, Kuijs RH. Consistency of resin composites for posterior use. *Dent Mater* 12:350-354, 1996.
10. Tyas MJ, Jones DW, Rizkalla AS. The evaluation of resin composite consistency. *Dent Mater* 14:424-428, 1998.
11. Lee IB, Cho BH, Son HH, Um CM. Rheological characterization of composites using a vertical oscillation rheometer. *Dent Mater* 23:425-32, 2006.
12. Beun S, Bailly C, Devaux J, Leloup G. Rheological properties of flowable resin composites and pit and fissure sealants. *Dent Mater* 24:548-555, 2008.
13. The Korean society of rheology. Rheology and its application. 1st Ed. pp3-103, 175-91, 2001.
14. Barnes HA, Hutton JF, Walters K. An introduction to rheology. 1st Edi. *Elsevier Science Publishing Co.* 64-73, 1989.
15. Lee JH, Um CM, Lee IB. Rheological properties of resin composites according to variations in monomer and filler composition. *Dent Mater* 22:515-26, 2006.
16. Kim SW, Kim OY, Jang JS. Rheological properties of fumed silica filled Bis-GMA dispersions. *Polymer Eng and Sci* 38:1142-8, 1998.
17. Ellakwa A, Cho N, Lee IB. The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dent Mater* 23:1229-1235, 2007.

국문초록

FLOWABLE 복합레진의 SLUMPING 경향과 유변학적 성질

이인복* · 민선홍 · 김선영 · 조병훈 · 백승호
서울대학교 치의학대학원, 치과보존학교실

본 연구의 목적은 flowable 복합레진의 조작성과 큰 연관이 있는 slumping 경향을 측정하는 방법을 제시하고 이와 관련이 있는 복합레진의 유변학적 특성을 고찰하였다.

5 종의 flowable 복합레진 (Aelitefil flow:AF, Filtek flow:FF, DenFil flow:DF, Tetric flow:TF and Revolution:RV)이 사용되었다. 주사기에 담긴 일정량의 복합레진을 일정한 속도로 가압할 수 있는 장치를 이용하여 슬라이드글라스 위에 사출한 후 25°C의 실온에서 10 초 동안 slumping이 일어나도록 방치한 후 광중합 하였다. 복합레진의 slumping 경향을 평가하기 위해 원뿔 형 혹은 돔형으로 경화된 시편의 aspect ratio (밑면의 지름에 대한 높이의 비)를 구하였다.

Slumping 경향과 복합레진의 유변학적 성질과의 관련성을 알아보기 위해 Rheometer를 사용하여 각진동수 ω=0.1-100 rad/s의 범위에서 동적진동전단시험을 시행하여 복합레진의 복소점도를 구하였다. 복합레진의 slumping 경향을 비교하기 위해 일원분산분석 및 Turkey's post test를 시행하였고 (α〈0.05), 복소점도와 aspect ratio 사이의 관련성을 알아보기 위해 회귀분석을 시행하였다. 결과는 다음과 같다.

1. Slumping 후 aspect ratio를 측정하여 비교한 flowable 복합레진의 slumping 경향은 제품에 따라 큰 차이를 보였다 (AF 〈FF 〈 DF〈TF 〈 RV, P〈0.05).
2. Flowable 복합레진은 전단률이 증가함에 따라 점도는 감소하는 pseudoplasticity를 보였고 그 경향은 AF가 가장 컸고 RV가 가장 낮았다.
3. Slumping 저항성은 복소점도가 증가함에 따라 증가하였다.
4. Aspect ratio에 바탕을 둔 slumping 경향의 측정방법은 임상에서 flowable 복합레진의 선택과 새로 개발된 재료의 평가에 유용할 것으로 사료된다.

주요단어: slumping 경향, 유변학적 특성, flowable 복합레진, 복소점도, 동적전단시험