creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

치의학석사 학위논문

CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록의 기계적 특성 비교

2016년 8월

서울대학교 대학원
치의과학과 치과생체재료과학 전공

김 미 정

CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록의 기계적 특성 비교

지도교수 임 범 순

이 논문을 치의학 석사학위논문으로 제출함.

2016년 4 월

서울대학교 대학원
치의과학과 치과생체재료과학 전공

김 미 정

김미정의 치의학 석사학위논문으로 인준함.

2016 년 6 월

위 원 장 _____ 인

부위원장 _____ 인

위 원 _____ 인

국문초록

CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록의 기계적 특성 비교

치과생체재료과학 전공

(지도교수: 임 범 순)

김 미 정

최근 치과용 수복물의 심미적 요구 증가와 더불어 세라믹과 컴포짓트 레진의 장·단점을 보완한 CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록 제품들이 빠르게 소개되고 있다. CAD/CAM hybrid 컴포짓트 블록으로 치과 수복물을 제작하면 항상 균일한 재료의 특성을 기대할 수 있고, 수복물의 재현성이 용이하다. 그러나 CAD/CAM hybrid 컴포짓트 블록의 향상된 물성에도 불구하고 재료의 과도한 마모는 수복물의 내구성뿐 아니라 기능에도 영향을 주는 주요 요소로 여전히 문제시 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록들의 기계적 특성을 평가하고 마모도와의 상호 연관성을 알아보고자 하였다.

현재 국내·외에 소개된 3 종의 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록 (Cerasmart, GC, Japan; Lava Ultimate, 3M ESPE, USA; Mazic Duro, Vericom, Korea)과 1 종의 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록 (Vita Enamic, Vita, Germany)을 실험군으로 하고, nanohybrid 컴포짓트 레진인 Filtek Z350 XT (3M ESPE, USA)을 대조군으로 하여 표면경도, 굴곡강도 및 3-체 마모도를 측정하였다.

두께 2 ㎜의 판상 시편 (N=25/n=5)을 준비하여 SiC 연마지로 연마한 다음, 비커스 미세경도기 (HMV-2; Shimadzu, Japan)에 시편을 장착하고 4.184 N 하중을 5 초간 가하여 형성된 압흔을 측정하여 건조 상태의 표면경도 (VHN)를 계산하였고, 증류수 (37 ℃)에서 5 일간 처리한 시편의 aged

표면경도를 측정하여 비교하였다. 굴곡강도는 막대형 (폭 2±0.3 ㎜ × 두께 1±0.2 ㎜ × 길이 15±0.5 ㎜) 시편 (N=150/n=30)을 준비하여 표면을 SiC 연마지로 연마한 다음 시편의 폭과 두께를 버니어캘리퍼스로 측정하여 기록하였다. 만능시험기 (Instron 4465, USA)에 3 점 굴곡시험 장치 (span 길이, L=12 ㎜)와 시편을 장착하고 0.5 ㎜/min의 하중속도로 시편이 파괴될 때까지 하중을 가하여 굴곡강도 (MPa)를 측정하였다. 아크릴릭 레진으로 포매한 시편을 OHSU 마모 재현장치 (Oregon Health Science University Wear Simulator; Proto-tech, USA)에 장착하여 구강내 마모과정을 유사하게 재현한 다음 3 차원 형상 분석기 (3-D Profilometer, MTS, USA)로 마모 깊이를 측정하여 마모도를 평가하였다. Antagonist로 지름 6 ㎜인 ball-type steatite 세라믹을 사용하였고, puppy seed와 PMMA 분말을 증류수와 혼합한 마모 매개물을 사용하여 attrition 마모와 abrasion 마모 과정을 동시에 재현하였다. Antagonist는 분당 60 회의 속도로 약 8 ㎜ 거리를 50,000 회 직선 운동하도록 하였다. 마모 과정을 재현한 후 마모된 시편의 표면을 탐침 스캔 방식의 3 차원 형상 분석기로 스캔하여 마모 깊이를 측정하였다. 또한 측정한 표면경도, 굴곡강도 및 마모도의 상관성을 분석하였다.

1. 표면경도는 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 Vita Enamic이 유의하게 높은 값 (233.5 VHN)을 보였고, Cerasmart가 두 번째 높은 값 (167.8 VHN)을 보였으며, Lava Ultimate, Mazic Duro 및 Filtek Z350 XT은 상호 유의한 차이 없이 가장 낮은 값 (128.1, 129.6, 126.85 VHN)을 보였다. 37 ℃ 증류수에서 5 일간 시효처리한 후 측정한 표면경도는 Cerasmart와 Filtek Z350 XT에서 유의하게 감소하였다 ($p = 0.038$, $p = 0.009$).

2. Abrasion 마모도 (1.84 – 2.93 ㎛)는 실험군과 대조군 모두 유의한 차이를 보이지 않았으며 ($p > 0.05$), Vita Enamic을 제외하면 표면경도와 abrasion 마모도의 상관성은 낮았다 ($R = -0.3680$). 또한 37 ℃ 증류수에 5 일간 시효처리 한 시편을 대상으로 측정한 표면경도와 abrasion 마모의 상관계수는 더욱 감소하였다 ($R = -0.0637$).

3. 굴곡강도는 Vita Enamic이 유의하게 가장 낮은 값 (139.2 MPa)을 보였고, Cerasmart가 가장 높은 값 (193.3 MPa)을 보였으며 ($p < 0.05$), Lava Ultimate, Mazic Duro 및 Filtek Z350 XT은 상호 유의한 차이 없이 중간 값 (177.3, 160.4, 171.1 MPa)을 보였다.
4. Attrition 마모도는 Cerasmart (6.80 ㎛)와 Mazic Duro (7.82 ㎛)가 유의하게 낮았고 ($p < 0.05$), Lava Ultimate (13.86 ㎛), Vita Enamic (15.52 ㎛) 및 Filtek Z350 XT (12.66 ㎛)은 높은 마모도를 보였으며, 굴곡강도와 attrition 마모 상관관계 ($R = -0.8624$)는 표면경도와 abrasion 마모와의 상관관계보다 매우 높은 상관성을 보였다.

주요어 : CAD/CAM용 하이브리드 컴포짓트 블록, 표면경도, 굴곡강도, 3-체 마모도, 상관관계

학 번 : 2014-25089

CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록의 기계적 특성 비교

치과생체재료과학 전공
(지도교수: 임범순)
김 미 정

목 차

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 문헌고찰
Ⅲ. 연구재료 및 방법
Ⅳ. 연구결과
Ⅴ. 고 찰
Ⅵ. 결 론
참고 문헌
영문 초록

Ⅰ. 서 론

지난 30여 년간 CAD/CAM (computer-aided design and manufacturing) 시스템의 적용으로 치의학 분야는 획기적인 발전을 하고 있다. CAD/ CAM용 블록을 이용하여 수복물을 제작하면 CAM용 소재의 균일한 물성을 이용할 수 있어 내구성이 향상될 수 있고, 수복물의 재현성과 노동력 감소 및 비용 절감 등의 장점이 있어서 1980년대에 도입된 이후 빠르게 성장하여 대중화되고 있는 추세다. CAD/CAM 시스템의 발전과 함께 CAM용 블록도 지속적으로 개발되고 있는데, 대표적인 소재로 세라믹 (글라스-세라믹)과 컴포짓트 레진이 있다 (Ruse와 Sadoun, 2014).

금속 원소와 비금속 원소의 화합물인 세라믹은 이온결합과 공유결합의 강한 원자간 결합으로 구성되어 높은 강도, 내열성 및 화학적 안정성 등의 특성을 갖는다. 특히 우수한 화학적 안정성으로 생체적합성도 우수한 장점이 있다. 그러나 세라믹의 높은 표면경도는 수복물 자체의 우수한 마모 저항성에 기여할 수 있지만, 대합치 또는 대합되는 수복물의 과도한 마모를 유도할 수 있는 문제가 있다 (Denry와 Holloway, 2010). 또한 금속 또는 폴리머 소재와 비교하여 취성 (brittleness)이 크고 내부 결함에 의한 파괴 저항성이 취약한 것이 단점으로 제기되고 있다. 반면, 세라믹 필러, 레진 기질 및 계면 결합제 등으로 구성된 치과용 컴포짓트 레진은 세라믹 소재보다 연질 (soft)이므로 조작과 연마가 용이하여 신속한 기계 가공 속도와 기계 가공 후 소성과정이 필요 없으며, 대합치 마모가 적은 장점이 있다 (Shembish 등, 2016). 하지만 컴포짓트 레진은 생체적합성과 기계적 특성이 세라믹 소재보다 부족한 단점을 가진다. 따라서 치의학 분야에서 CAD/CAM 시스템의 적용을 확대하기 위하여 가공성, 기계적 특성 및 심미성 등이 우수한 CAD/CAM용 신소재 개발이 요구되고 있다.

우식 등으로 손상된 부위는 자연치와 유사한 기계적 및 광학적 특성을 가지는 소재로 수복하는 것이 가장 이상적인데, 최근에는 세라믹과

컴포짓트 레진의 장·단점을 보완한 다양한 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 블록 제품들이 소개되고 있다. 3M ESPE (USA)에서는 컴포짓트 레진의 용이한 작업성과 세라믹의 우수한 심미성을 융합시킨 Lava Ultimate를 hybrid 컴포짓트 레진 블록으로 소개하였다. Lava Ultimate는 높은 온도와 높은 압력 조건에서 컴포짓트 레진 블록을 중합시켜 굴곡강도와 파괴인성 등의 기계적 특성이 크게 개선되었다고 하였다 (Ruse와 Sadoun, 2014). 컴포짓트 레진을 고압과 고온에서 중합하면 일반 재래식 방법 (화학-중합, 광-중합)으로 중합한 경우와는 차이가 있을 수 있는데, 1 GPa 이상의 고압에서는 폴리머 체인의 이동이 크게 감소되어 상대적으로 중합도 (12 %)가 낮을 수 있지만, 이 경우 중합 온도를 상온에서 120 ℃로 상승시키면 중합도가 65 % 정도로 증가된다고 한다 (Kaminski 등, 2008). 이러한 방법으로 제조한 다양한 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록 (Block HC, Shofu, Japan; Cerasmart, GC, Japan; Gradia Block, GC, Japan) 제품이 소개되었다 (Lauvahutanon 등, 2014).

필러 입자와 레진을 기계적으로 혼합하여 제조하는 기존의 컴포짓트 레진과는 전혀 다른 공법으로 세라믹과 폴리머의 특성을 interpenetrating network 구조로 적절하게 융합시킨 Vita Enamic (Vita, Germany)이 2013년에 소개되었다. Vita Enamic은 알루미나 강화형 장석-세라믹 86 wt.%와 치과용 레진 (UDMA+TEGDMA) 14 wt.%로 구성된 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록으로 Lava Ultimate보다 세라믹 함량이 많아서 기계적 특성이 우수할 것이라고 하였다 (Kurbad와 Kurbad, 2013). Hybrid 컴포짓트 세라믹 블록은 기존 세라믹 블록과 비교하여 취성, 강직성 (rigidity) 및 표면경도 등은 감소되었고, 유연성과 파괴인성 등이 개선되었으며, 가공성도 크게 향상되었다고 하였다 (Coldea 등, 2013). 탄성계수는 상아질과 유사하고 표면경도는 법랑질과 상아질의 중간 정도이며 치과용 세라믹과 유사한 마모저항성을 갖지만 대합치를 마모시키는 정도는 유의하게 낮은 장점이 있다고 하였다 (Dirxen 등, 2013; Kurbad와 Kurbad, 2013; Ruse와 Sadoun, 2014). Albero 등 (2015)은 PICN, 세라믹 블록, 나노 세라믹 레진 블록의 기계적 특성을 비교한 연구에서 Vita Enamic이 세라믹 블

록보다는 낮지만 Lava Ultimate보다 유의하게 높은 표면경도를 보였는데, 표면경도는 상아질 (0.6 – 0.92 GPa)과 법랑질 (3 – 5.3 GPa) 사이로 대합치 마모 최소라는 관점에서는 장점으로 작용할 수 있다고 하였다.

다양한 유형의 CAD/CAM용 심미성 hybrid 컴포짓트 블록이 구치부 수복 등에 사용되고 있지만, 향상된 물성에도 불구하고 hybrid 컴포짓트 블록의 과도한 마모는 수복물의 내구성뿐 아니라 기능에도 영향을 주는 주요 문제로 여전히 지적되고 있다 (Jandt와 Sigusch, 2009). 자연치는 구강 내에서 자연적으로 약 29 ㎛/year 정도 마모될 수 있으므로 (Lambrechts 등, 1989), 이상적인 수복재는 이와 유사한 마모도를 가져야 하는데, 기존 컴포짓트 레진의 경우는 자연치보다 많이 마모되기 때문에 시간이 경과됨에 따라 교합이 맞지 않는 문제가 발생할 수도 있다. 수복물 자체의 마모저항성 뿐만 아니라, 수복물에 의한 대합치의 과도한 마모도 중요한데 이는 기능적인 문제 뿐 아니라 심미적으로도 나쁜 영향을 나타낼 수 있기 때문이다.

임상에서 관찰되는 구강 내 마모는 교모 (attrition), 마멸 (abrasion) 또는 침식 (erosion) 등으로 분류하고 있으며 (Smith 등, 1997), 2-체 (two-body) 마모 또는 3-체 (three-body) 마모로 분류하기도 한다 (Mair, 1992; D′Arcangelo 등, 2014). 컴포짓트 레진의 경우 대부분 레진 기질이 먼저 마모되고, 노출된 세라믹 필러가 micro-ploughing, micro-cutting, micro-cracking 및 micro-fatigue 등의 기전으로 탈락되며 마모가 진행된다. 구강 내 저작과정에서 형성되는 전단 응력은 수복물에 강한 압축 및 인장 응력을 유도하여 수복물 표면 아래에 균열을 생성시켜 마모 진행을 촉진시킬 수 있다 (Dupriez 등, 2015). 따라서 컴포짓트 레진의 마모는 표면경도, 굴곡강도 등 컴포짓트 레진의 기계적 특성과 밀접하게 관련될 수 있다. Peutzfeldt 등 (1997), Mandikos 등 (2001), Faria 등 (2007), Heintze 등 (2008) 및 Cao 등 (2013)은 다양한 유형의 컴포짓트 레진을 대상으로 표면경도와 마모도를 측정하여 상관관계를 분석하였다. Dupriez 등 (2015)은 재료의 표면경도와 파괴인성에 대한 정보는 재료의 마모저항성 예측에 필수적이라고 하였고, Ferracane (2013)은 굴곡강도와 표면경도는 컴

포짓트 레진의 마모 정도를 예측할 수 있는 유용한 기계적 특성이라고 하였으며, Freddo 등 (2015)은 치과용 세라믹의 표면경도 및 마찰계수와 마모도의 상관성을 평가하였다. 본 연구에서도 hybrid 컴포짓트 블록의 굴곡강도와 표면경도가 마모 저항성과 상관성이 있는지 분석하였다.

CAD/CAM용 소재로 다양한 유형의 hybrid 컴포짓트 블록 제품들이 빠르게 소개되고 있지만, 실제 임상에 적용하기 위하여 이러한 소재를 선택하고자 할 경우 필요한 기계적 특성에 관한 정보들은 충분하지 않은 실정이다. 특히 치과용 심미 수복물의 내구성에 직접 영향을 줄 수 있는 hybrid 컴포짓트 블록 소재의 마모 저항성과 표면경도, 굴곡강도와의 상관성 등을 비교 평가한 연구 결과는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 최근에 출시된 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 블록의 표면경도, 굴곡강도 및 마모 저항성 등을 평가하고, 상관성을 분석하여 임상에 성공적으로 적용하기 위하여 필요한 정보를 제시할 수 있는지 알아보고자 하였다.

Ⅱ. 문헌고찰

1) 고온 및 고압에서 중합시킨 hybrid 컴포짓트 레진 블록

Nguyen 등 (2012)은 임상에서 현재 사용되고 있는 다양한 유형의 컴포짓트 레진 (Gradia, GC; Grandio, Voco; EsthetX, Dentsply; Vita VM LC, Vita; Paradigm, 3M ESPE)을 고온 (180 ℃)과 고압 (250 MPa)의 조건에서 중합시켜 광-중합만 실시한 대조군과 기계적 특성을 비교하였는데, 고온/고압의 조건에서 중합시킨 경우 굴곡강도는 53.54 - 89.16 %, 파괴인성은 2.06 - 85.88 %, 표면경도는 28.43 - 104.46 % 증가되는 획기적인 기계적 특성 향상이 관찰되었으며, 와이블 계수도 크게 증가되어 재료의 신뢰성 향상도 기대할 수 있다고 하였다. 이와 같이 고온/고압으로 중합하는 방법을 CAD/CAM용 컴포짓트 레진 블록에 적용한 많은 연구 결과들이 발표되었다 (Nguyen 등, 2014; Phan 등, 2014; Ruse와 Sadoun, 2014). 특히, 300 MPa 압력과 200 ℃에서 컴포짓트 레진을 중합하는 경우 반응 개시제 또는 반응 활성제 등을 첨가하지 않은 순수 단량체만으로도 중합이 가능하다고 하는데, 이렇게 중합된 컴포짓트 레진의 최종 구조는 기존 재래식 방법으로 중합된 컴포짓트 레진 기질과 전혀 다를 수 있다고 하였다 (Nguyen 등, 2013). 또한, 반응 개시제 없이 300 MPa 압력과 180 ℃에서 중합한 컴포짓트 레진 블록의 굴곡강도와 파괴인성은 크게 향상되지는 않았지만, 반응 개시제 등이 첨가되지 않아 생체적합성은 개선될 수 있다고 하였다 (Nguyen 등, 2014). Phan 등 (2014)은 중합하는 조건에서 압력의 유·무와 관계없이 90 ℃에서 열-중합한 레진이 광-중합만 실시한 레진에 비하여 굴곡강도가 유의하게 증가하였으나, 파괴인성과 표면경도는 유의한 차이가 없다고 하였다.

나노기술을 컴포짓트 레진 개발에 융합시킨 Lava Ultimate는 실리카 입자 (20 ㎚), 지르코니아 입자 (4 - 11 ㎚) 및 실리카와 지르코니아 나노-입자의 응집체 (cluster) 등 3 가지 세라믹 필러 (80 wt.%)와 교차-결합도가 크게 증가된 폴리머 기질로 구성된 레진 나노 컴포짓트 (RNC; resin nano composite) 블록으로 분류되기도 한다. Lava Ultimate (200 MPa)는

굴곡강도가 백류석-강화형 세라믹 블록(140-160 MPa)보다 더 우수할 뿐 아니라, 파괴인성도 우수하여 수복물로 제작하는 경우 세라믹 블록보다 0.5 ㎜ 정도 더 얇은 두께로 제작할 수 있다고 하였다. 또한, Lava Ultimate를 구성하는 나노-입자들이 기계 가공성과 심미성 개선에 기여하여 컴포짓트 레진 블록의 문제점인 낮은 마모 및 광택 소실 저항성도 글라스-세라믹 블록과 유사한 정도로 개선되었다고 하였다(Fasbinder, 2012). 그러나 세라믹 필러와 레진 단량체를 물리적으로 혼합하여 기존의 방식으로 중합시키는 컴포짓트 레진에서는 물성을 개선할 수 있는 방법이 매우 제한적이다(Ferracane 등, 1998; Ferracane, 2013). 최근 일본 Yamakin에서 출시한 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록(KZR-CAD HR)은 UDMA와 TEGDMA 혼합 단량체에 SiO_2+Al_2O_3+ZrO_2 응집체(1 - 6 ㎛), 초미세입자(200 - 600 ㎚) 및 나노 입자(20 ㎚, 100 ㎚)를 첨가하여 1차로 광-중합한 다음 110 ℃까지 가열하여 2차 열-중합시켜 심미성과 기계적 특성을 크게 향상시킬 수 있었다고 하였다(Kato 등, 2012; Imai 등, 2013).

2) 폴리머 침투 세라믹 망상구조인 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록

CAD/CAM용 세라믹 블록의 단점을 개선하기 위하여 기존에 사용하던 글라스 침투 세라믹 소재(In-Ceram Alumina)에서 취성이 강한 글라스를 폴리머로 대체한 폴리머 침투 세라믹 망상구조(polymer-infiltrated ceramic network, PICN)를 가지는 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록이 소개되었다. 세라믹 필러 입자와 레진을 기계적으로 혼합하여 제조하는 기존의 컴포짓트 레진과는 전혀 다른 공법을 적용하였다.

액상의 폴리머를 다공성 세라믹 구조에 모세관 작용으로 침투시켜 3차원으로 연결한 PICN 소재는 IPC(interpenetrating phase composites)라고도 한다. 다공성 세라믹 망상구조 표면을 접착 촉진제(adhesion promoter)로 처리하고 높은 압력을 가해 레진 단량체가 다공성 세라믹 망상구조에 완전하게 침투하여 접착될 수 있도록 한 다음 고온으로 열-

중합하여 교차-결합을 증가시키고 기포 형성 등의 내부 결함이 생성되는 것을 억제하여 물성이 획기적으로 개선된 hybrid 컴포짓트 세라믹 소재 개발이 가능하였다고 하였고(Steier 등, 2013), 자연치아와 유사한 물성을 가지는 소재도 개발할 수 있다고 하였다(He와 Swain 2011; Petrini 등, 2013).

3) 치과 수복용 재료의 마모도 평가

컴포짓트 레진 수복물이 자연치보다 많이 마모되면 시간이 경과함에 따라 수복물의 교합에 문제가 발생할 수 있으며, 수복물에 의한 대합치의 과도한 마모는 지각과민증, 교합접촉 상실, 치주조직 파괴, 저작효율 감소, 저작근 피로 및 수평과 수직 악골관계 변화 등의 기능 장애 뿐 아니라 심미성도 감소시킬 수 있다(Yip 등, 2004; D'Arcangelo 등, 2014). 치과용 재료의 마모도는 대합치 표면을 보호하고 교합 장애(occlusal disturbance)를 최소화하기 위하여 자연치와 유사한 소재가 바람직하다(Willems 등, 1993; Cha 등, 2004).

일반적으로 컴포짓트 레진의 abrasion 마모는 단순한 세라믹 필러의 함량보다 세라믹 필러 입자간 거리에 더 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Jørgensen 등 (1979)은 필러 입자간 거리의 감소가 컴포짓트의 마모 저항성 향상에 중요한 역할을 한다고 하였고, Mair 등(1996)도 마모 저항성은 입자의 크기와 입자간 거리가 감소함에 따라 향상된다고 하였다. 필러 입자간 거리가 마모 매개물보다 작으면 slurry wear 효과가 감소되는데 작은 입자일수록 표면 돌출이 작아져 슬라이딩의 마찰이 감소한다고 하였다.

일정하게 구강 내 마모 기전을 재현할 수 있는 마모 재현 장치는 치과용 재료의 마모 평가에 소요되는 시간과 비용을 감소시킬 수 있어서 다양한 유형의 마모 재현 장치가 소개되었지만, 실제 구강 내 마모를 정확하게 재현하여 평가하기는 쉽지 않다. 국제표준 ISO/TS 14569-2:2001 (Dental materials-Guidance on testing of wear - Part 2: Wear by two-

and three body contact)에서는 8 개 기관 (ACTA, Alabama, DIN, Freiburg, Minnesota, Newcastle, OHSU 및 Zürich)에서 제시한 마모 재현 장치와 사용한 antagonist, abrasive medium, antagonist movement, reference material 등에 관하여 자세히 소개하고 있으며, 각 연구자들은 제시된 8가지 방법 중에서 자유롭게 선택하여 마모도 평가에 적용할 수 있다고 하였다.

Heintze 등 (2012)은 제안된 다양한 마모 재현 장치 중에서 OHSU 장치가 임상 결과와 가장 유사하게 재현할 수 있었다는 연구 결과를 발표하였는데, 본 연구에서도 교모 (attrition)와 마멸 (abrasion) 마모를 동시에 재현할 수 있는 OHSU 마모 재현 장치 (Oregon Health & Sciences University Oral Wear Simulator)로 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 블록의 마모도를 비교 평가하였다. 자연치에 대합하는 수복물의 마모 양상 비교를 위해 치아의 법랑질이나 지르코니아 ball을 antagonist 재료로 이용하여 마모도를 측정한 연구들이 다수 있지만 법랑질의 경우 일정한 형상과 표면경도를 갖는 균질한 법랑질 확보가 어렵고, 지르코니아의 경우는 표면경도가 과도하게 높아 antagonist로 적절하지 않을 수 있다는 문제가 제기되었다. Shortall 등 (2002)은 steatite 세라믹은 법랑질과 유사한 마모율을 보인다고 하였고, Krejci 등 (1993)은 지름이 6 ㎜인 steatite balls은 대구치 교두와 형상이 유사하다고 하였다. 이와 같이 치과용 수복물의 마모도 평가 관련 연구들에서 steatite가 antagonist 소재로 적합하다는 결과들이 많이 보고되었다 (Wassell 등, 1994; Ghazal 등, 2008; Hahnel 등, 2009). 따라서 본 연구에서도 법랑질과 표면경도가 유사한 steatite를 선택하여 마모도 시험에서 antatgonist로 사용하였다.

Ⅲ. 연구재료 및 방법

1) 연구 재료

본 연구에서는 기존 재래식 방법인 필러와 레진을 혼합하여 제조한 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록 3종(Cerasmart, Lava Ultimate, Mazic Duro)과 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록 1종(Vita Enamic) 등 4종의 hybrid 컴포짓트 블록을 실험군으로 하였고, 대조군으로 nano-hybrid 형 컴포짓트 레진인 Filtek Z350 XT를 대조군으로 사용하였다(Table 1, Fig. 1).

Table 1. Materials used in this study.

Brand name	Resin	Ceramic	Ceramic fraction	Manufacturer
Cerasmart	Bis-MEPP, UDMA, DMA	SiO_2(20 ㎚), Ba-glass(300 ㎚)	71 wt.%	GC, Japan
Lava Ultimate	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	SiO_2(20 ㎚), ZrO_2(4-11 ㎚), aggregated SiO_2+ ZrO_2(0.6-10 ㎛)	80 wt.%	3M ESPE, USA
Mazic Duro	Bis-GMA, TEGDMA	SiO_2(10 ㎚), Ba-glass(500 ㎚), ZrO_2(1 ㎛)	77 wt.%	Vericom, Korea
Vita Enamic	UDMA, TEGDMA	feldspathic crystal particles in glassy matrix	86 wt.%	Vita, Germany
Filtek Z350 XT	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	Zirconia & silica filler (0.6-1.4 ㎛), SiO_2(20 ㎚)	78.5 wt.%	3M ESPE, USA

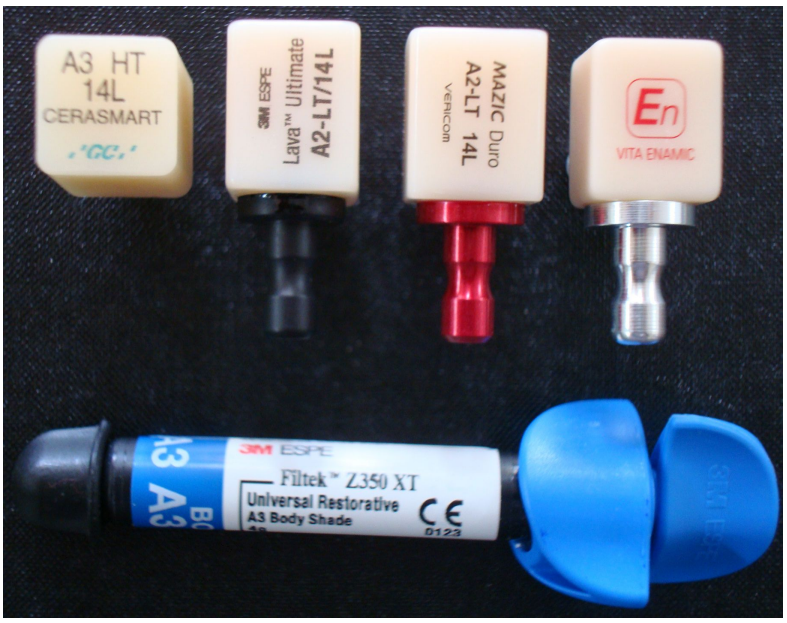


Fig. 1. Materials used in this study.

2) 연구 방법

(2-1) 표면경도(surface hardness) 측정

실험군으로 CAD/CAM용 블록을 저속 다이아몬드 톱(Isomet 1000, Buehler, USA)으로 두께 2㎜가 되도록 절단하여 판상 시편 5개씩을 준비하였다. 대조군은 원판형 테프론 몰드(지름 10㎜ × 두께 2㎜)에 광중합형 컴포짓트 레진을 충전한 다음 충분히 광중합하여 시편을 5개 준비하였다. 표면경도를 측정할 시편의 표면은 SiC 연마지(#800, #1000, #1200, #1500, #2000)를 이용하여 순차적으로 연마하였다. 비커스 미세경도기(HMV-2; Shimadzu, Japan)에 시편을 장착하고 4.184 N 하중을 5초간 가하여 형성된 압흔을 측정하여 비커스 표면경도(VHN)를 계산하였다. 수분이 표면경도에 주는 영향을 평가하기 위하여 시편을 증류수(37℃)에서 5일간 처리한 다음 표면경도를 측정하여 비교하였다. 각 실험군당 5개의 시편을 대상으로 각 2회 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였다.

(2-2) 굴곡강도 (flexural strength) 측정

실험군으로 CAD/CAM용 블록을 저속 다이아몬드 톱으로 절단하여 막대형 (폭 2 ± 0.3 ㎜ × 두께 1 ± 0.2 ㎜ × 길이 15 ± 0.5 ㎜) 시편 30 개씩을 준비하였고, 대조군은 동일한 크기로 광중합 하여 30 개 준비하였다 (Fig. 2). 막대형 시편의 표면은 SiC 연마지 (# 800, # 1000, # 1200)를 이용하여 순차적으로 연마한 다음 시편의 폭 (b)과 두께 (d)를 버니어캘리퍼스로 정확하게 측정하여 기록하였다. 만능시험기 (Instron 4465, USA)에 3 점 굴곡시험 장치 (span 길이, L = 12 ㎜)와 시편을 장착하고 0.5 ㎜/min의 하중속도로 시편이 파괴될 때까지 하중을 가하였다. 시편이 파절될 때의 하중 (P)을 측정하여 아래 식으로 굴곡강도 (MPa)를 계산하였다.

$$\text{Flexural strength} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

각 실험군당 30 개의 시편을 대상으로 측정하였으며, 측정한 굴곡강도 값은 Weibull 분석을 실시하여 특성강도와 와이블 계수를 구하였다

Fig. 2. Specimens were prepared using low-speed diamond saw.

(2-3) 3-체 마모 (3-body wear) 평가

CAD/CAM용 블록과 광중합형 컴포짓트 레진으로 디스크형 (길이 10 ㎜ × 폭 6 ㎜ × 두께 2 ㎜) 시편을 실험군 당 10 개씩 준비한 다음 원통형 (지름 25 ㎜ × 두께 15 ㎜) 테프론 몰드에 시편이 중앙에 위치되도록 놓고 에폭시 레진으로 포매하였다. 포매한 시편 표면을 SiC 연마지 (#600, #1000, #1200 및 #1500)로 순차적으로 연마하여 마모 시편을 준비하였다. 3-체 마모 시험을 위한 마모 매개물 (abrasion medium)로 PMMA 분말 1 g과 poppy seed 2 g을 증류수 10 ㎖에 혼합하여 막자사발에서 30 초간 분쇄한 후 사용하였다.

(a) (b)

Fig. 3. Equipments for wear test; (a) = OHSU oral wear simulator, (b) = 3D Profiling System.

OHSU 구강 내 마모 재현장치 (Oregon Health Science University wear simulator; Proto-tech, USA)에 시편을 장착하고, 지름 6 ㎜인 ball-type steatite 세라믹 (Proto-tech, USA)을 마모체 (antagonist)로 사용하여 구강 내에서 진행되는 마모과정과 유사하게 attrition 마모와 abrasion 마모과정을 동시에 재현하였다 (Fig. 3a). Attrition 마모와 abrasion 마모가 진행되는 시편 부위에 antagonist로 가해지는 힘은 각각 90 N과 20 N이 되도록 설정하였고, antagonist는 분당 60 회의 속도로 약 8 ㎜ 거리를 50,000 회 직선 운동하도록 하였다 (Fig. 4). 마모된 시편의 표면은 탐침 스캔 방식의 3-차원 형상 분석기 (3-D Profilometer, MTS,

USA)로 스캔하여 마모된 깊이(abrasion 마모, attrition 마모)를 측정하였다(Fig. 3b).

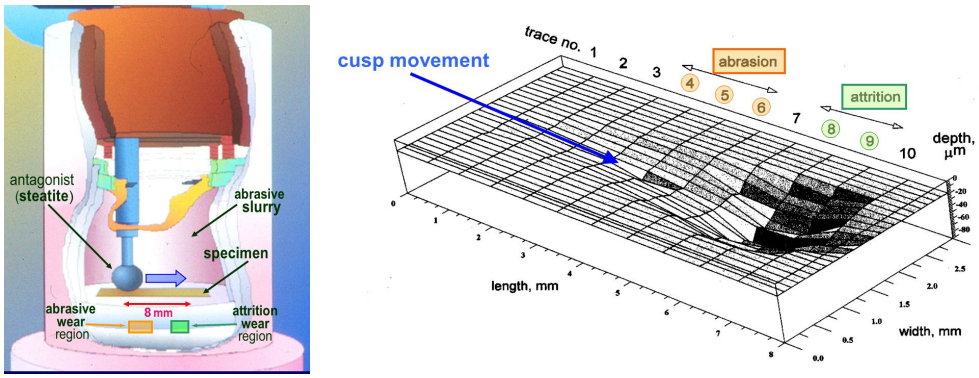


Fig. 4. 3-dimensional representation of the wear trace(abrasion, attrition) produced on a specimen.

(2-4) 주사전자현미경(SEM) 분석

구강 내 마모과정 재현을 완료한 시편의 마모된 표면을 OsO_4로 코팅하고 FE-SEM (Field-Emission Scanning Electron Microscope, S-4700, Hitachi, Japan)을 이용해 다양한 배율로 관찰하여 시편에 따른 마모 양상을 분석하였다.

(2-5) 통계 처리

각 실험에서 측정한 표면경도, 굴곡강도 및 마모도의 평균값과 표준편차를 구하였다. 측정 결과는 ANOVA (α = 0.05)와 Tukey multiple comparisons test (WINKS 4.62)로 통계 분석하였으며, 굴곡강도 측정값은 Weibull 분석을 실시하였다.

Ⅳ. 연구 결과

1) 표면경도

건조한 상태와 37 ℃ 증류수에 5 일간 시효 처리한 다음 측정한 표면경도 결과는 Table 2와 같다. 건조 상태에서는 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 ENA의 평균 표면경도가 233.5 VHN으로 유의하게 가장 높은 값을 보였다 ($p < 0.05$). Hybrid 컴포짓트 레진 블록에서 CRS가 167.8 VHN으로 유의하게 높은 값을 보인 반면 ($p < 0.05$), LAU와 MZD는 각각 128.1 VHN과 129.6 VHN으로 낮은 값을 보였다. 대조군인 광중합형 컴포짓트 레진 CTL의 평균 표면경도는 126.5 VHN으로 LAU와 MZD와 함께 유의하게 가장 낮은 값을 보였다 ($p < 0.05$).

Table 2. Results of surface hardness test (VHN)

Groups	Code	Dry	Aged	*t-test*
Cerasmart	CRS	167.8 ± 26.2^{a}	141.4 ± 26.6^{d}	$p = 0.038$
Lava Ultimate	LAU	128.1 ± 15.0^{b}	$125.6 \pm 19.4^{d,f}$	$p = 0.751$
Mazic Duro	MZD	129.6 ± 17.8^{b}	$130.2 \pm 18.2^{d,f}$	$p = 0.941$
Vita Enamic	ENA	233.5 ± 14.2^{c}	220.1 ± 22.6^{e}	$p = 0.130$
Filtek Z350 XT	CTL	126.5 ± 17.1^{b}	103.0 ± 19.0^{f}	$p = 0.009$

note: means within columns with the same superscript letters were not different ($p>0.05$).

37 ℃ 증류수에서 5 일간 시효처리한 후 측정한 경우 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 ENA는 평균 표면경도가 220.1 VHN으로 감소하였으나, 건조 상태와 유의한 차이는 없었다 ($p = 0.130$). Hybrid 컴포짓트 레진 블록 중에서 가장 높은 표면경도를 보인 CRS의 경우는 시효처리한 후 평

균 표면경도가 141.4 VHN으로 유의하게 감소된 반면 ($p = 0.038$), LAU는 증류수에서 5 일간 시효처리 하여도 표면경도는 유의하게 감소되지 않았다 ($p = 0.751$). 오히려 MZD의 표면경도는 증류수에서 5 일간 시효처리한 후 약간 증가되는 것이 관찰되었으나 유의한 변화는 없었다 ($p = 0.941$). 대조군인 CTL의 표면경도는 5 일간 시효처리한 경우 103.0 VHN으로 유의하게 감소하는 것이 관찰되었다 ($p = 0.009$).

2) 굴곡강도

실험군당 30 개의 시편을 대상으로 측정한 굴곡강도 값을 Weibull 분석한 결과는 Table 3과 같다 (Fig. 5). 시편의 파괴확률이 50 %일 경우로 중앙값인 $\sigma_f(0.5)$, Weibull 계수 m, 파괴확률이 63.2 %일 때의 특성 강도 값 σ_0, 상관관계를 나타내는 결정계수 R^2, 평균 파괴강도 $\sigma_f(avr)$, 표준편차 SD 및 시료의 개수 N 등을 표시하였다.

Table 3. Weibull analysis data of experimental groups

Group / Para.	CRS	LAU	MZD	ENA	CTL
$\sigma_f(0.5)$	205.76	178.42	176.19	139.27	175.66
m	7.64	11.12	7.37	11.59	7.93
σ_0	227.88	186.89	203.04	143.16	183.58
R^2	0.943	0.976	0.917	0.917	0.859
$\sigma_f(avr)$	209.42^A	179.74^B	187.87^B	141.67^C	179.29^B
N	30	30	30	30	30
SD	32.55	19.73	33.31	14.72	27.75

note: $\sigma_f(0.5)$ = median fracture strength in MPa
m = Weibull modulus
σ_0 = characteristic strength in MPa at P_f (fracture probability)= 63.2%
R^2 = Weibull distribution regression coefficient squared

σ_f(avr) = mean fracture strength in MPa, and same superscript letters indicate no statistical difference between experimental groups
N = number of specimens, SD = standard deviation

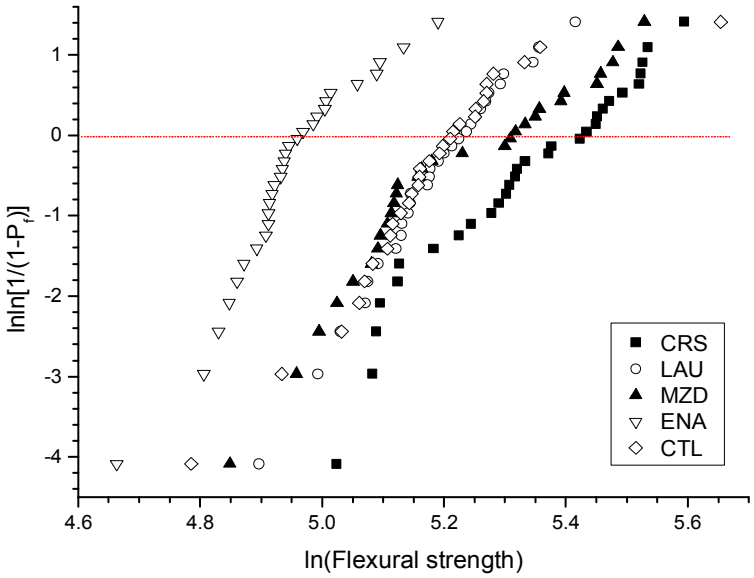


Fig. 5. Weibull cumulative failure curves of the flexural strength (MPa) of experimental groups.

Hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 ENA의 평균 굴곡강도 [σ_f(avr)]는 141.67 MPa으로 유의하게 가장 낮은 값을 보였다 ($p < 0.05$). Hybrid 컴포짓트 레진 블록의 경우에는 CRS가 209.42 MPa로 유의하게 가장 높은 값을 보였고 ($p < 0.05$), LAU와 MZD는 각각 179.74 MPa와 187.87 MPa로 중간 값을 보였다. 광중합형 컴포짓트 레진 CTL의 평균 굴곡강도는 179.29 MPa로 LAU와 MZD와는 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 분석한 강도 값의 신뢰성을 나타내는 Weibull 계수 (m)는 LAU와 ENA가 각각 11.12와 11.59로 유의하게 높은 값을 보였으며, CRS, MZD 및 CTL은 7.37-7.93 범위의 유사한 값을 보였지만 LAU 또는 ENA보다는 유의하게 낮았다 ($p < 0.05$).

3) 마모도

OHSU 마모 재현 장치로 3-체 마모를 50,000 회 실시한 CRS의 표면을 3-차원 형상 분석기로 스캔한 결과는 Fig. 6과 같다. 스캔 결과는 마모된 깊이에 따라 다른 색으로 표시되는데, 파란색 부분은 attrition 마모가 진행된 부위로 이 부근 두 지점에서의 평균 마모 깊이를 측정하여 attrition 마모 깊이로 하였고, 하방 세 지점에서의 평균 마모 깊이를 측정하여 abrasion 마모 깊이로 하였다 (Fig. 4 참조). 각 실험군당 10 개 시편에서 측정한 값으로 abrasion 마모와 attrition 마모의 평균값과 표준편차를 구하여 Table 4에 정리하였다.

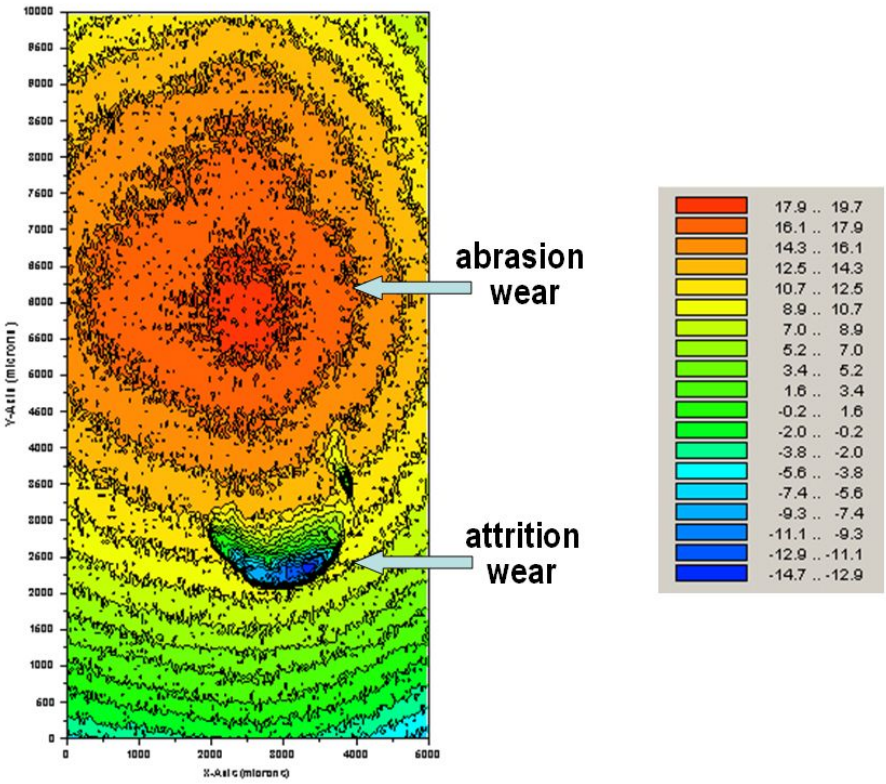


Fig. 6. 3D profiling picture of CRS wear simulation.

Abrasion 마모의 경우 4 개의 실험군 (CRS, LAU, MZD 및 ENA)과 대조군 (CTL) 모두 유의한 차이 없이 ($p > 0.05$) 1.84 - 2.93 ㎛ 범위를 보

였다. 평균 abrasion 마모 정도가 낮았던 CRS와 MZD는 attrition 마모의 경우도 각각 6.80 ㎛와 7.82 ㎛로 유의하게 낮은 마모도를 보였으며 ($p < 0.05$), LAU, ENA 및 대조군 (CTL)의 attrition 마모도는 각각 13.86 ㎛, 15.52 ㎛ 및 12.66 ㎛로 유사한 마모 정도를 보였다.

Table 4. Abrasion and attrition wear of experimental groups

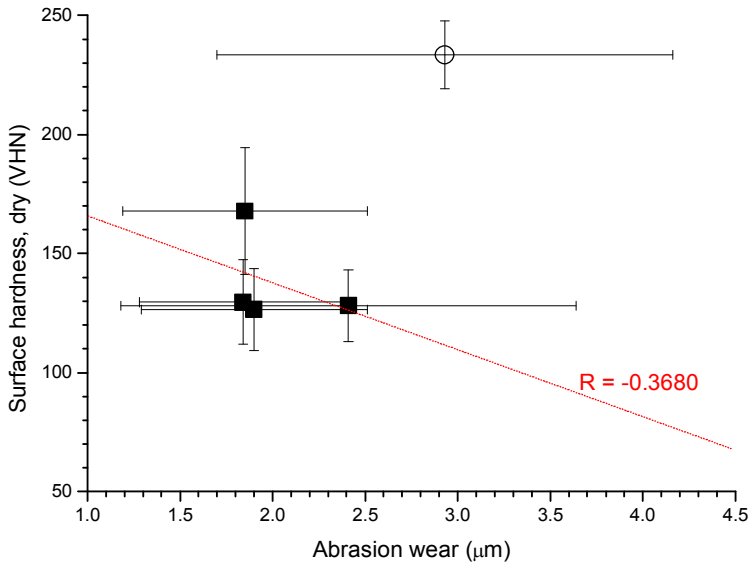
Groups	Code	Abrasion wear (㎛)	Attrition wear (㎛)
Cerasmart	CRS	1.85 ± 0.66^{a}	6.80 ± 3.36^{b}
Lava Ultimate	LAU	2.41 ± 1.23^{a}	13.86 ± 3.56^{c}
Mazic Duro	MZD	1.84 ± 0.56^{a}	7.82 ± 3.07^{b}
Vita Enamic	ENA	2.93 ± 1.23^{a}	15.52 ± 3.37^{c}
Filtek Z350 XT	CTL	1.90 ± 0.61^{a}	12.66 ± 3.65^{c}

note: means within columns with the same superscript letters were not different ($p>0.05$).

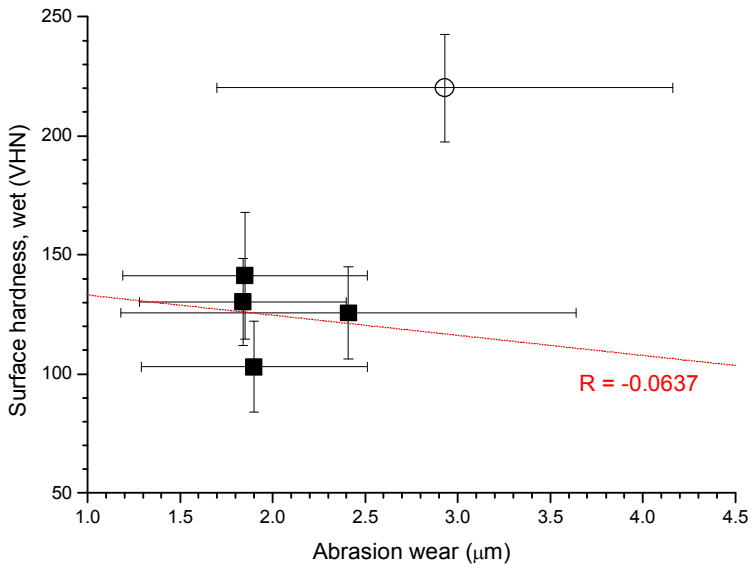
4) 상관성 분석

표면경도가 유의하게 높았던 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 ENA를 제외하고, 컴포짓트 레진계 실험군과 대조군의 표면경도와 abrasion 마모의 상관성을 분석한 결과는 Fig. 7과 같다. 건조한 상태의 시편을 대상으로 측정한 표면경도와 abrasion 마모는 낮은 상관계수 ($R = -0.3680$)를 보였다 (Fig. 7a). 또한, 37℃ 증류수에 5일간 시효 처리한 시편을 대상으로 측정한 표면경도와 abrasion 마모의 상관계수는 더욱 감소하였다 ($R = -0.0637$, Fig. 7b). 즉, 컴포짓트 레진 블록과 광-중합형 컴포짓트 레진의 표면경도와 abrasion 마모의 상관관계는 매우 낮은 것으로 보였다.

교합력을 직접 받은 부위에서 진행되는 attrition 마모와 굴곡강도의 상관성을 분석한 결과는 Fig. 8과 같다. 그래프에서 보이는 바와 같이 표



(a)



(b)

Fig. 7. Correlation between abrasion wear and surface hardness of experimental groups except for ENA: (a) = dry specimens, (b) = wet (aged) specimens.

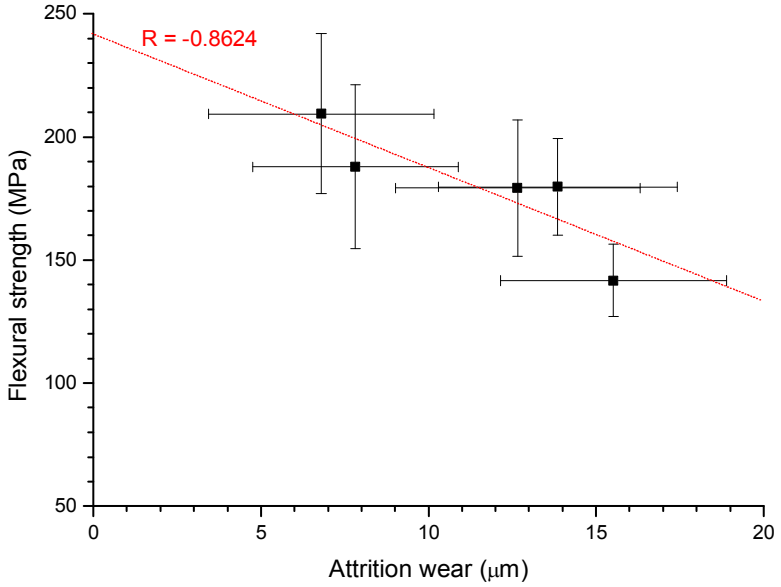


Fig. 8. Correlation between attrition wear and flexural strength of experimental groups.

면경도와 abrasion 마모의 관계보다 굴곡강도와 attrition 마모는 높은 상관계수(R = -0.8624)를 보였다. 즉, 시편의 굴곡강도가 증가할수록 attrition 마모가 감소되는 반비례하는 상관성을 보였다.

5) 주사전자현미경 관찰

CRS 실험군의 마모된 표면을 SEM으로 관찰한 사진의 Fig. 9와 같다. Fig. 10은 마모된 CRS 표면에서 abrasion 마모된 부위와 attrition 마모된 부위를 SEM으로 관찰한 사진이다. Abrasion 마모된 부분에 미세한 균열이 형성되기 시작한 것을 볼 수 있었으며, attrition 마모된 부분에서는 필러 입자들이 분리되기 시작된 것이 관찰되었다. Fig. 11은 마모된 LAU 표면에서 abrasion 마모된 부위와 attrition 마모된 부위를 SEM으로 관찰한 사진이다. 지름이 1㎛ 이하인 필러 응집체들이 관찰되었으며

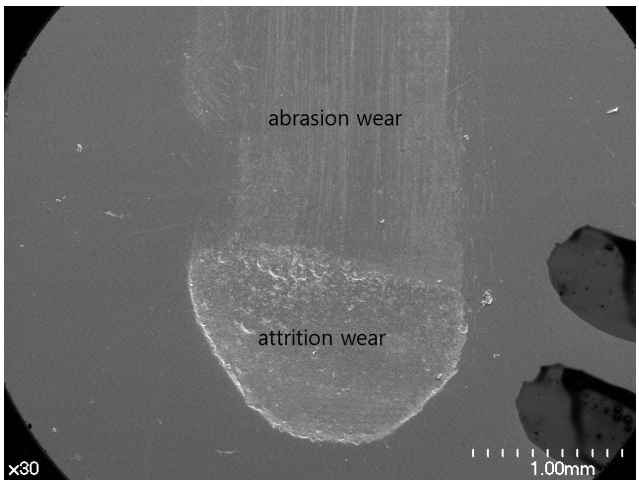
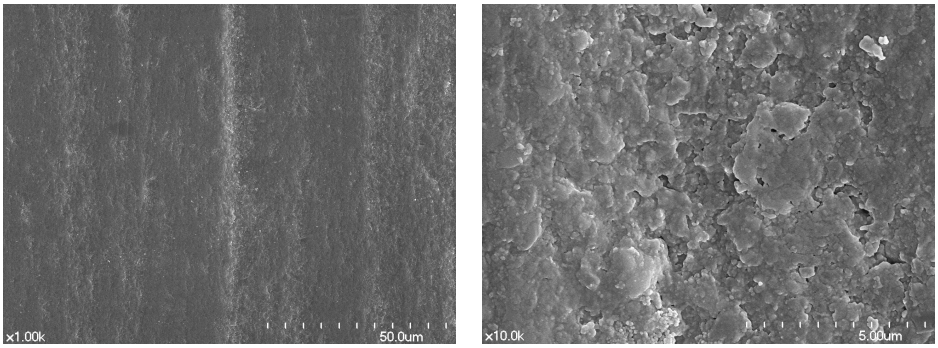
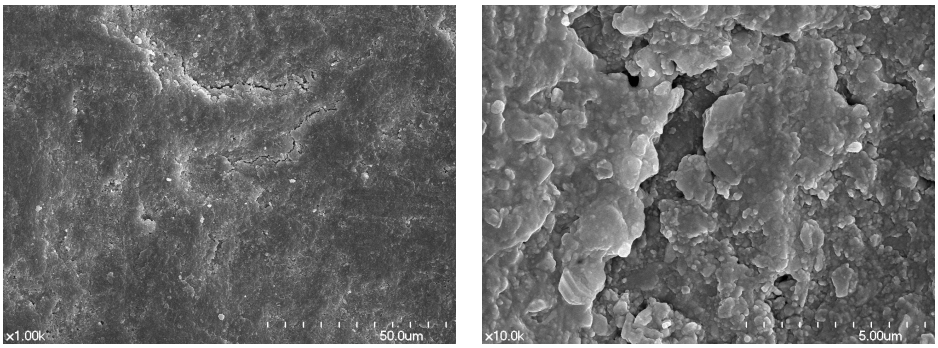


Fig. 9. SEM picture of wear surface of CRS.



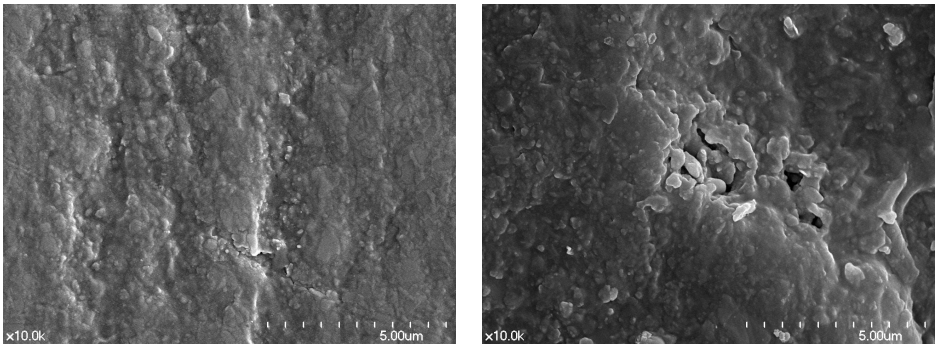
(a)



(b)

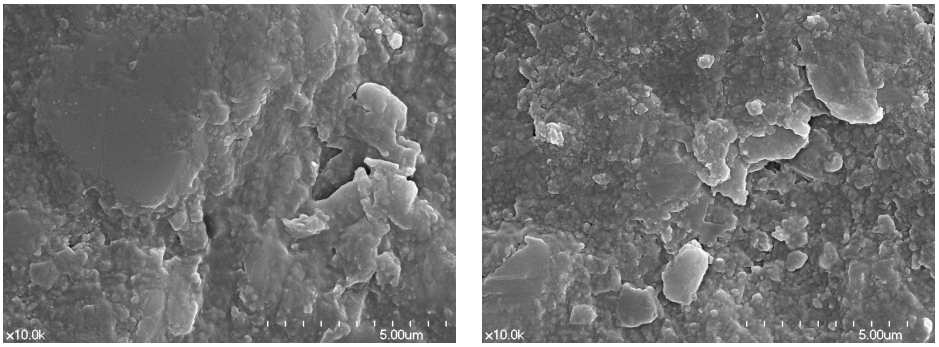
Fig. 10. SEM picture of wear surface of CRS: (a) = abrasion wear region, (b) = attrition wear region.

attrition 마모 부위에서 응집체 계면을 따라 균열이 형성된 것이 관찰되었다. Fig. 12는 MZD 시편에서 마모된 부위를 SEM으로 관찰한 사진으로 hybrid 컴포짓트 레진 블록인 CRS 및 LAU와 유사한 형상을 보이고 있다. Hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 ENA의 마모된 표면을 SEM으로 관찰한 사진은 Fig. 13 이다. 마모된 표면에서 세라믹 부위의 노출이 관찰되었다.



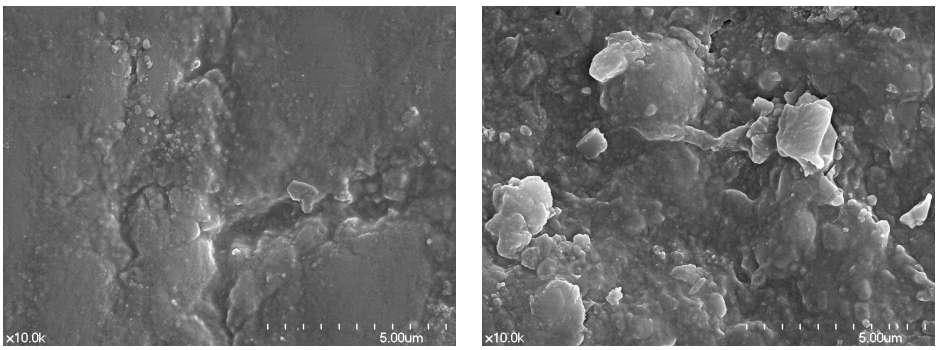
(a) (b)

Fig. 11. SEM picture of wear surface of LAU: (a) = abrasion wear region, (b) = attrition wear region.



(a) (b)

Fig. 12. SEM picture of wear surface of MZD: (a) = abrasion wear region, (b) = attrition wear region.



(a) (b)

Fig. 13. SEM picture of wear surface of ENA: (a) = abrasion wear region, (b) = attrition wear region.

Ⅴ. 고 찰

1985년 치과용으로 소개된 CAD/CAM용 세라믹 블록은 화학적 안정성, 기계적 특성 및 광학적 특성뿐 아니라 생체 적합성도 우수한 장점이 있어서 CAD/CAM 시스템의 임상 적용이 빠르게 증가되고 있다. 이에 따라 CAD/ CAM용 세라믹 블록의 물성도 꾸준히 개선되고는 있으나 여전히 높은 취성, 과도한 대합치 마모 및 내부 결함에 의한 파절의 취약성 등은 해결되어야 할 문제로 지적되고 있다. 2000년에 소개된 CAD/CAM용 컴포짓트 레진 블록(Paradigm MZ100)은 세라믹 블록보다 가공성이 우수하고 대합치를 적게 마모시키는 장점이 있으나, 기계적 특성과 생체 적합성이 세라믹에 비해 부족한 단점이 있어 CAD/CAM용 블록의 지속적인 개발이 요구되고 있다.

Paradigm MZ100이 처음으로 CAD/CAM용 컴포짓트 레진 블록으로 소개되면서 다양한 CAD/CAM용 블록들의 기계적 특성을 비교·평가하는 연구들이 시작되었다. Kunzelmann 등(2001)은 장석 세라믹(Vitablocs Mark II), 백류석-강화형 세라믹(ProCAD, Empress) 및 컴포짓트 레진(Paradigm MZ100) 등 다양한 CAD/CAM용 블록의 교합면 마모를 평가하였는데, 컴포짓트 레진 블록인 Paradigm MZ100이 다른 세라믹 블록보다 2배 정도 더 마모되었으며, 백류석-강화형 세라믹 블록이 가장 적게 마모되었다고 하였다. 그러나 Paradigm MZ100 블록은 다른 세라믹 블록보다 대합치를 가장 적게 마모시켜 실제 임상에 적용하는 경우 중요한 장점이 될 수 있다고 하였다. Fasbinder 등(2005)은 Paradigm MZ100과 Vitablocs Mark II로 제작한 인레이 각 40개씩을 환자에게 적용하고 3년간 변연적합도와 색-조화도를 추적하여 평가한 결과, 초기 변연적합도는 두 가지 블록 모두 우수하였으나, 시간 경과에 따라 Paradigm MZ100이 마모되면서 변연적합도의 유의한 차이가 관찰되었으며, 색-조화도의 경우 Paradigm MZ100은 91.4%를 Vitablocs Mark II는 58.8%를 보여 컴포짓트 레진 블록의 색 안정성이 더 우수하였다고 하였다. Attia 등(2006)은 Paradigm MZ100과 Vitablocs Mark II로 제작한 크라운의 파절

강도는 유의한 차이가 없었다고 하였는데, 일반적으로 세라믹으로 제작한 크라운이 더 높은 파절강도를 보일 것으로 예측하였지만 컴포짓트 레진의 우수한 탄성 특성과 응력 완화 등의 영향으로 컴포짓트 레진 크라운이 세라믹 크라운과 대등한 파절강도를 보였다고 하였다. Kassem 등(2012)은 Paradigm MZl00과 Vitablocs Mark II 블록으로 제작한 구치부 크라운의 피로강도와 미세누출을 평가하였는데, Paradigm MZl00 크라운은 백만회의 반복하중을 가해도 파절되지 않았으나, Vitablocs Mark II 크라운은 피로시험 도중 교합면 중앙부에서 균열이 발견되어 상대적으로 낮은 피로저항성이 관찰되었다고 하였으며, 특히 세라믹 크라운의 피로강도는 접착에 사용한 시멘트 유형이 영향을 줄 수도 있다고 하였다. Backer 등(2015)은 산성 성분(유사 위액)이 컴포짓트 레진 블록인 Lava Ultimate와 Paradigm MZl00의 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였는데, Paradigm MZl00의 미세경도가 Lava Ultimate보다 유의하게 높았으나 산성 용액은 미세경도에 영향을 주지 않아 두 종의 컴포짓트 레진 블록 모두 산성 환경에 적합하다고 하였다. Al-Harbi 등(2015)은 aging (반복 하중, 열순환 처리 및 3, 6, 9 개월간 수조보관) 처리가 Lava Ultimate와 Vitablok Mark II의 기계적 특성에 주는 영향을 평가한 결과, Lava Ultimate가 모든 aging 전·후로 Vitablok Mark II에 비하여 유의하게 높은 굴곡강도를 보였으며, Lava Ultimate의 aging 전·후 표면경도는 과도한 대합치 마모를 유발시킬 수 있는 Vitablocs Mark II보다 임상적으로 선호된다고 하였다.

본 연구에서는 Vita Enamic의 표면경도가 hybrid 컴포짓트 레진 블록 보다 건조 상태와 시효처리한 상태 모두 유의하게 높은 값을 보였다 ($p < 0.05$). Vita Enamic의 높은 표면경도는 Vita Enamic이 hybrid 컴포짓트 소재이지만 세라믹 망상구조에 기반을 두고 있기 때문에 hybrid 컴포짓트 레진 블록보다 높은 표면경도를 보인 것으로 보였다. Hybrid 컴포짓트 레진 블록들의 낮은 표면경도는 나노 입자형 컴포짓트 레진의 표면경도가 낮다고 발표한 Rastelli 등(2012)의 연구 결과와도 유사하다. Ferracane 등(1998)은 hybrid 컴포짓트 레진 블록의 낮은 표면경도가 시

효처리 과정에서 레진 기질의 수분 흡수에 따른 망상구조의 팽창과 폴리머 사슬 간의 마찰력 감소에 기인한다고 하였다. 또한 흡수된 수분은 특히 지르코니아-실리케이트 필러 입자 표면에 처리한 실레인 계면 결합제를 가수 분해시킬 수 있다고 하여 (Druck 등, 2014) 지르코니아 필러를 함유한 Lava Ultimate, Mazic Duro 및 Filtek Z350 XT의 경우 시효 처리 후 표면경도가 유의하게 감소될 것으로 예상되었는데, 본 연구에서는 Mazic Duro를 제외한 hybrid 컴포짓트 블록의 표면경도가 시효 처리 후 감소되는 경향을 보였으나 Cerasmart와 대조군 Filtek Z350 XT에서만 유의하게 감소되었다 ($p < 0.05$). Hybrid 컴포짓트 레진 블록의 굴곡강도는 Vita Enamic보다 유의하게 높았는데 ($p < 0.05$), 이 경향은 Awada와 Nathanson (2015), Stawarczyk 등 (2015)의 결과와 유사하였다. Awada와 Nathanson (2015)은 폴리머에 기반한 컴포짓트 레진 블록의 높은 굴곡강도는 레진 성분에 기인하며 이는 취성을 감소시키고 탄성 변형에 의해 외부 응력에 저항하는 능력이 세라믹 기반의 Vita Enamic 보다 높다고 하였다.

치과용 컴포짓트 레진에서 마모 저항성은 중합수축과 함께 임상 적용 시 고려하여야 할 중요한 평가항목으로 제시되고 있다 (Jandt와 Sigusch, 2009). 따라서 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록의 경우도 임상 적용을 위하여 적절한 마모 저항성을 발휘할 수 있는지 평가하는 것이 필요하다. 구강 내에서 진행되는 abrasion 마모는 대부분 15 – 20 N의 하중과 음식물 등의 매개물을 동반하는 3-체 마모로 진행되며 (de Gee와 Pallav, 1994), attrition 마모는 50 – 150 N의 하중과 매개물 없이 2-체 마모로 진행되는 것으로 추정하고 있다 (Lavelle, 1972). 본 연구에서는 abrasion 마모 부위와 attrition 마모 부위에 각각 20 N과 90 N 하중을 가하며 마모 시험을 재현하였으며, 국제 표준 ISO/TS 14569-2에서 제안한 poppy seed와 PMMA 분말을 증류수에 혼합하여 마모 매개물로 사용하였다. Kon 등 (2006)은 컴포짓트 레진의 마모 시험에서 시편에 가해주는 응력이 마모에 주는 영향을 평가한 결과 마모 시험의 조건보다는 컴포짓트 레진의 구성 성분인 필러 시스템에 따라 상이한 마모 특성을 보였다

고 하여 마모 재현장치에서 시편에 가하는 응력은 중요한 변수가 아니라고 하였다.

본 연구에서 평가한 hybrid 컴포짓트 블록과 대조군인 Filtek Z350 XT의 평균 abrasion 마모도는 1.84 - 2.93 ㎛ 범위를 보였으며, 실험군간 유의한 차이는 없었다 ($p > 0.05$). Hybrid 컴포짓트 세라믹 블록인 Vita Enamic의 평균 abrasion 마모도는 2.93 ㎛으로 가장 높은 값을 보였는데, 광-중합한 나노입자형 컴포짓트 레진인 Filtek Z350 XT의 1.90 ㎛보다 높아 abrasion 마모저항성이 크게 개선되지 못한 것으로 보였다. Hybrid 컴포짓트 블록에서 세라믹 함량과 abrasion 마모의 상관성을 분석한 결과 상관계수 (R)는 0.8640으로 세라믹 함량이 증가될수록 abrasion 마모가 증가하는 비례 관계의 상관성을 보였다. Mair 등 (1996)은 abrasion 마모의 경우 재료의 표면경도와 비례한다고 하였고, 컴포짓트 레진에서 필러 입자는 표면경도와 마모 저항성에 중요한 역할을 한다고 하였다. McCabe와 Wassell (1999)는 실레인으로 처리된 필러를 함유한 컴포짓트 레진의 표면경도는 필러 함량에 따라 증가한다고 하였다. Lauvahutanon 등 (2014)은 다양한 CAD/CAM용 심미성 블록 6 종을 대상으로 세라믹의 형상과 분포 등 미세구조를 SEM으로 관찰하였는데, Block HC에서는 실리카와 지르코늄-실리케이트의 spherical 입자, Cerasmart의 경우는 상대적으로 작고 균일하게 분포된 알루미나-바륨-실리케이트 입자, Gradia Block에서는 불규칙한 형태의 두 가지 입자 (상대적으로 크기가 큰 실리카 입자, 상대적으로 작고 포타슘-알루미나-실리케이트 입자), Lava Ultimate는 다양한 크기의 지르코늄-실리케이트 입자, Vita Enamic에서는 포타늄-알루미나-실리케이트로 구성된 조밀한 망상구조와 작은 이트륨-실리케이트 입자가 관찰되었다고 하였다. 이들이 관찰한 SEM 결과와 본 연구에서 측정한 abrasion 마모도를 비교 분석한 결과 미세한 세라믹 필러가 균일하게 분포된 Cerasmart가 다른 컴포짓트 블록보다 필러 입자가 거리가 가장 짧은 것으로 보였고, 그 결과 우수한 abrasion 마모 저항성이 관찰된 것으로 추정하였다.

Mandikos 등 (2001)은 컴포짓트 레진의 표면경도는 마모 저항성의 지

표로 사용될 수 있다고 하였는데, 컴포짓트 레진의 복합적인 마모 기전에 따라 컴포짓트 레진의 표면경도와 마모 저항성의 상관성에 관한 몇몇 연구들에서 상충되는 결과들이 보고되고 있다 (Peutzfeldt와 Asmussen, 1996; Hahnel 등, 2011; Cao 등, 2013). Harrison과 Draughn (1976), Lappalainen 등 (1989)은 컴포짓트 레진의 마모 저항성과 표면경도는 상관성이 없다고 하였고, Manhart 등 (2000)도 컴포짓트의 경도가 증가함에 따라 마모 저항성이 낮아지는 것을 관찰하였으나 유의한 상관성은 없다고 하였다. 치과재료학 교과서에서는 컴포짓트 레진의 마모 저항성과 단일 기계적 특성의 상관관계를 확인할 수 없다고 하였다 (Craig, 1993). 그러나 Kawai 등 (1998)은 무충전 (unfilled) 레진의 마모 저항성은 레진의 표면경도와 직접적인 관계가 있다고 하였다. 본 연구에서는 abrasion 마모에 영향을 줄 수 있을 것으로 보이는 시편의 표면경도와 abrasion 마모의 상관성을 분석한 결과 hybrid 컴포짓트 블록의 표면경도와 abrasion 마모도의 상관계수는 낮았으며 (R = -0.3680), 특히, 5 일간 37 ℃ 증류수에서 처리한 후 측정한 표면경도와의 상관계수는 더 감소하여 (R = -0.0637) 거의 상관성이 없는 것으로 보였다.

본 연구에서 attrition 마모는 abrasion 마모와 다르게 CAD/CAM용 컴포짓트 블록에 따라 유의한 차이가 관찰되었다 ($p < 0.05$). Cerasmart와 Mazic Duro의 평균 attrition 마모는 각각 6.80 ㎛와 7.82 ㎛로 유의하게 낮았고 ($p < 0.05$), Lava Ultimate와 Vita Enamic 및 대조군인 Filtek Z350 XT의 평균 attrition 마모는 각각 13.86 ㎛, 15.52 ㎛ 및 12.66 ㎛로 서로 유의한 차이는 없었지만, Cerasmart와 Mazic Duro보다는 유의하게 높은 마모도를 보였다 ($p < 0.05$). 세라믹 필러 함량과 attrition 마모도의 상관계수는 R = 0.8995를 보였는데, CAD/CAM용 컴포짓트 블록의 마모도가 필러 함량의 증가에 따라 증가하여 일반적인 예상과는 상반되는 상관관계를 보였다. Tamura 등 (2013)은 컴포짓트 레진에 첨가된 다양한 필러가 마모와 기계적 특성에 주는 영향을 평가하였는데, 교합면 마모의 경우 필러 함량이 증가될수록 증가하는 것이 관찰된 반면, 칫솔질에 의한 마모에서는 필러 유형에 따라 필러 함량이 주는 영향이 상이하게 관

찰되었다고 하였다.

대부분 치과용 컴포짓트 레진의 attrition 마모는 기계적 강도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Peutzfeldt와 Asmussen (1992)은 컴포짓트 레진의 임상적 마모 예측에 관한 연구에서 굴곡강도와 탄성에너지율이 임상적인 마모량과 상관성이 있다고 하였고, Xu 등 (2004)도 컴포짓트 레진의 마모는 기계적 특성이 향상됨에 따라 감소된다고 하였다. 본 연구에서는 굴곡강도 측정값과 attrition 마모의 상관관계는 R = -0.8624로 밀접한 상관성이 있는 것으로 나타났다.

Mörmann 등 (2013)은 CAD/CAM용 블록의 2-체 마모 특성을 비교하였는데, hybrid 컴포짓트 세라믹인 Vita Enamic은 지르코니아를 제외한 세라믹 블록보다 마모도가 낮았고 법랑질과 유사한 마모도를 보였으며, hybrid 컴포짓트 레진인 Lava Ultimate와도 마모 양상은 유사하였다고 하였다. 또한 hybrid 컴포짓트 레진 블록의 탄성 특성은 임상적용에서 중요한 장점이 될 수 있으며, 컴포짓트 레진 블록으로 제작한 수복물은 세라믹 블록으로 제작한 수복물보다 수리 (repair)가 용이한 장점도 있다고 하였다 (Rocca 등, 2010; Nguyen 등, 2014). Awada와 Nathanson 등 (2015)은 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진, 세라믹 및 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록의 기계적 특성을 비교하였는데, CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록이 세라믹 블록이나 hybrid 컴포짓트 세라믹 블록보다 높은 굴곡강도와 낮은 굴곡탄성계수를 보였고, CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 레진 블록으로 제작한 크라운이 세라믹 블록으로 제작한 크라운보다 매끄러운 마진을 보였다고 하였다. Stawarczyk 등 (2015)은 CAD/CAM hybrid 컴포짓트 레진 (Lava Ultimate, Cerasmart, Shofu Block 및 2종의 실험용 CAD/CAM 컴포짓트), hybrid 컴포짓트 세라믹 (Vita Enamic), 백류석-강화형 세라믹 (IPS Empress CAD), 리튬 다이실리케이트 글라스-세라믹 (IPS e.max CAD) 블록 등의 기계적 특성을 비교하였는데, hybrid 컴포짓트 레진이 글라스-세라믹보다 굴곡강도는 낮으나 백류석-강화형 세라믹이나 hybrid 컴포짓트 세라믹보다 높은 굴곡강도를 보였고, 글라스-세라믹과 hybrid 컴포짓트 세라믹이 hybrid 컴포

짓트 레진과 비교하여 높은 대합치 마모를 보였다고 하였다.

Stawarczyk 등 (2013)은 임시 수복물 제작에 사용하는 CAD/CAM용 레진 블록 5 종 (artBloc Temp, Blanc High-class, CAD-Temp, Telio CAD, Zeno PMMA)을 실험군, 일반 레진인 Integral Esthetic Press와 실리카계 글라스-세라믹 Vitablocs Mark II를 대조군으로 하여 2-체 마모를 비교한 결과, 대조군인 글라스-세라믹의 마모가 레진 블록보다 유의하게 적었지만 법랑질 antagonist를 가장 많이 마모시킨 것이 관찰되었고, CAD/CAM용 레진 블록의 마모는 일반 레진보다 유의하게 적었다고 하였다. 이 연구 결과를 분석하면 CAD/CAM용 레진 블록의 경우는 구성 성분보다 레진 블록의 제조 공정과 중합도 등이 마모에 더 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 추정할 수 있다.

취성이 있는 치과용 세라믹 등은 소재의 기계적 특성에 대한 신뢰성 평가를 위하여 측정한 강도 값 분석에 와이블 분석을 적용하고 있는데, 치과용 컴포짓트 레진의 신뢰성 평가에도 적용되고 있다 (Rodrigues 등, 2008; Quinn과 Quinn, 2010). 일반적으로 와이블 계수 (m) 값이 클수록 재료의 신뢰성은 높고, 와이블 계수가 낮을수록 신뢰도는 낮다고 한다. 본 연구에서 측정한 CAD/CAM용 블록의 굴곡강도를 와이블 분석한 결과 Lava Ultimate와 Vita Enamic의 와이블 계수가 각각 11.12와 11.59로 높은 값을 보인 반면, Cerasmart, Mazic Duro Z350 XT의 와이블 계수는 각각 7.64, 7.37, 7.93으로 상대적으로 낮은 값을 보였다. 즉, Lava Ultimate와 Vita Enamic의 굴곡강도 측정값이 다른 3 종 블록의 굴곡강도 값보다 신뢰도가 더 높은 것으로 분석되어, 상대적으로 장기간 사용되고 있는 블록이 최근에 소개된 블록보다 신뢰성이 우수한 것을 알 수 있었다. 또한 hybrid 컴포짓트 블록의 경우 굴곡강도와 attrition 마모의 상관성이 분석되어 굴곡강도의 측정값을 비교하여 상대적인 attrition 마모를 어느 정도 예측할 수 있을 것으로 보인다.

Condon과 Ferracane (1996)은 OHSU 마모 재현장치를 이용하여 실험실에서 50,000 회 마모를 재현한 것은 실제 임상에서 6 - 12 개월 정도 마모된 경우와 유사한 결과를 보인다고 하였다. 본 연구에서 OHSU 마모

재현장치로 평가한 CAD/CAM용 심미성 블록의 마모 결과도 임상에서 6 – 12 개월 정도 경과한 경우와 유사하다고 가정하면, hybrid 컴포짓트 레진과 컴포짓트 세라믹 블록의 마모도는 자연치의 자연적인 마모도 (약 29 ㎛/year) 보다 적어서 임상 적용 시 마모에 의한 문제는 없을 것이라고 기대할 수 있다. 따라서 최근에 소개되고 있는 심미성 hybrid 컴포짓트 블록의 경우 기존의 세라믹 블록을 대체하여 임상에 적용하여도 다소 부족할 수 있는 기계적 특성에 의한 문제는 많지 않을 것으로 보이며, 우수한 가공성과 취급 용이성 등의 장점이 있기 때문에 세라믹 블록의 대안으로 추천할 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 연구에서는 CAD/CAM용 hybrid 컴포짓트 블록의 표면경도, 굴곡강도 및 마모도를 측정하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 표면경도는 Vita Enamic이 유의하게 가장 높은 값 (233.5 VHN)을 보였고, Cerasmart가 두 번째 높은 값 (167.8 VHN))을 보였으며, Lava Ultimate, Mazic Duro 및 Filtek Z350 XT은 서로 유의한 차이 없이 가장 낮은 값 (128.1, 129.6, 126.85 VHN)을 보였다. 37 ℃ 증류수에서 5 일간 시효처리한 후 측정한 표면경도는 Cerasmart와 Filtek Z350 XT에서 유의하게 감소하였다 ($p = 0.038$, $p = 0.009$).
2. Abrasion 마모도 (1.84 – 2.93 ㎛)는 실험군과 대조군 모두 유의한 차이를 보이지 않았으며 ($p > 0.05$), Vita Enamic을 제외한 실험군과 대조군의 표면경도는 abrasion 마모도와 낮은 상관관계를 보였다 ($R = -0.3680$). 또한 37℃ 증류수에 5일간 시효 처리한 경우 표면경도와 abrasion 마모도의 상관계수는 더욱 감소하였다 ($R = -0.0637$).
3. 굴곡강도는 Vita Enamic이 유의하게 가장 낮은 값 (139.2 MPa)을 보였고, Cerasmart가 가장 높은 값 (193.3 MPa)을 보였으며 ($p < 0.05$), Lava Ultimate, Mazic Duro 및 Filtek Z350 XT은 서로 유의한 차이 없이 중간 값 (177.3, 160.4, 171.1 MPa)을 보였다.
4. Attrition 마모도는 Cerasmart (6.80 ㎛)와 Mazic Duro (7.82 ㎛)가 유의하게 낮았고 ($p < 0.05$), Lava Ultimate (13.86 ㎛), Vita Enamic (15.52 ㎛) 및 Filtek Z350 XT(12.66 ㎛)은 높은 마모도를 보였으며, 굴곡강도와 attrition 마모 상관관계는 표면경도와 abrasion 마모도의 상관관계보다 높은 상관성을 보였다 ($R = -0.8624$).

참고문헌

Albero A, Pascual A, Camps I, Grau-Benitez M. Comparative characterization of a novel cad-cam polymer infiltrated ceramic network. *J Clin Exp Dent.* 2015;7:e495-500.

Al-Harbi FA, Ayad NM, ArRejaie AS, Bahgat HA, Baba NZ. Effect of aging regimens on resin nanoceramic chairside CAD/CAM material. *J Prosthodont*. 2015 Dec 14 [E-pub].

Attia A, Abdelaziz KM, Freitag S, Kern M. Fracture load of composite resin and feldspathic all-ceramic CAD/CAM crowns, *J Prosthet Dent*. 2006;95:117-123.

Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2015;114:587-593

Backer AD, Münchow EA, Eckert GJ, Hara AT, Platt JA, Bottino MC. Effects of simulated gastric juice on CAD/CAM resin composites - Morphological and mechanical evaluations. *J Prosthodont.* 2015. [E-pub].

Cao L, Zhao X, Gong X, Zhao S. An in vitro investigation of wear resistance and hardness of composite resins. *Int J Clin Exp Med.* 2013;6:423-430.

Cha HS, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC. Evaluation of wear resistance of dental resin composites with a 3D profilometer. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2004;71:414-420.

Coldea A, Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater*. 2013;29:419-426.

Condon JR, Ferracane JL. Evaluation of composite wear with a new multi-mode oral wear simulator. *Dent Mater.* 1996;12:218-226.

Craig RG. Restorative dental materials. St. Louis, MO: *Mosby-Year Book;* 1993. p. 248-270.

D'Arcangelo C, Vanini L, Rondoni GD, Pirani M, Vadini M, Gattone M, De Angelis F. Wear properties of a novel resin composite compared to human enamel and other restorative materials. *Oper*

Dent. 2014;39:612-618.

de Gee AJ, Pallav P. Occlusal wear simulation with the ACTA wear machine. *J Dent.* 1994;22(Suppl. 1):S21-27.

Denry IL, Holloway JA. Ceramics for dental applications: a review. *Materials.* 2010;3:351-368.

Dirxen C, Blunck U, Preissner S. Clinical performance of a new biomimetic double network material. *Open Dent J*. 2013;7:118-122.

Druck CC, Pozzobon JL, Callegari GL, Dorneles LS, Valandro LF. Adhesion to Y-TZP ceramic: Study of silica nanofilm coating on the surface of Y-TZP. *J Biomed Mater Res Part B.* 2015;103: 143-150.

Dupriez ND, von Koeckritz AK, Kunzelmann KH. A comparative study of sliding wear of nonmetallic dental restorative materials with emphasis on micromechanical wear mechanisms. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2015;103:925-934.

Faria AC, Benassi UM, Rodrigues RC, Ribeiro RF, Mattos Mda G. Analysis of the relationship between the surface hardness and wear resistance of indirect composites used as veneer materials. *Braz Dent J*. 2007;18:60-64.

Fasbinder DJ. Chairside CAD/CAM: an overview of restorative material options. *Compend Contin Educ Dent.* 2012;33:50-58.

Fasbinder DJ, Dennison JB, Heys DR, Lampe K. The clinical performance of CAD/CAM-generated composite inlays. *J Am Dent Assoc*. 2005;136:1714-1723.

Ferracane JL, Berge HX, Condon JR. *In vitro* aging of dental composites in water-Effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res.* 1998;42:465-472.

Ferracane JL. Resin-based composite performance: are there some things we can't predict? *Dent Mater*. 2013;29:51-58.

Freddo RA, Kapczinski MP, Kinast EJ, de Souza Junior OB, Rivaldo EG, da Fontoura Frasca LC. Wear potential of dental ceramics and its relationship with microhardness and coefficient of friction. *J*

Prosthodont. 2015 [E-pub].

Ghazal M1, Albashaireh ZS, Kern M, Wear resistance of nanofilled composite resin and feldspathic ceramic artificial teeth. *J Prosthet Dent.* 2008;100:441-448.

Hahnel S, Behr M, Handel G, Rosentritt M. Two-body wear of artificial acrylic and composite resin teeth in relation to antagonist material. *J Prosthet Dent*. 2009;101:269-278.

Hahnel S, Schultz S, Trempler C, Ach B, Handel G. Two-body wear of dental restorative materials. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2011;4:237-244.

Harrison A, Draughn RA. Abrasive wear, tensile strength, and hardness of dental composite resins - is there a relationship? *J Prosthet Dent*. 1976;36:395-398.

He LH, Swain M. A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dent Mater*. 2011;27:527-534.

Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. Wear of ceramic and antagonist - a systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dent Mater*. 2008;24:433-449.

Heintze SD, Faouzi M, Rousson V, Özcan M. Correlation of wear in vivo and six laboratory wear methods. *Dent Mater*. 2012;28:961-973.

Imai H, Koizumi H, Sasaki K, Matsumura H. The influence of polymerization conditions on color stability of three indirect composite materials. *J Oral Sci.* 2013;55:51-55.

ISO/TS 14569-2:2001 Dental materials - Guidance on testing of wear - Part 2: Wear by two- and/or three body contact.

Jandt KD, Sigusch BW. Future perspectives of resin-based dental materials. *Dent Mater.* 2009;25:1001-1006.

Jørgensen KD, Hørsted P, Janum O, Krogh J, Schultz J, Abrasion of class 1 restorative resins. *Scand J Dent Res.* 1979;87:140-145.

Kaminski K, Paluch M, Wrzalik R, Ziolo J, Bogoslovov R, Roland CM. Pressure-induced polymerization of tetraethylene glycol dimeth-

acrylate. *J Polym Sci Part A: Polym Chem*. 2008;46:3795-3801.

Kassem AS, Atta O, El-Mowafy O. Fatigue resistance and microleakage of CAD/CAM ceramic and composite molar crowns. *J Prosthodont.* 2012;21:28-32.

Kato T, Saigo K, Tsuneishi M, Yamada B, Yamamoto S. Highly esthetic and toughened dental composite resins, *Kobunshi Ronbunshu*. 2012;69:113-121.

Kawai K, Iwami Y, Ebisu S. Effect of resin monomer composition on toothbrush wear resistance. *J Oral Rehabil.* 1998;25:264-268.

Kon M, Kakuta K, Ogura H. Effects of occlusal and brushing forces on wear of composite resins. *Dent Mater J*. 2006;25:183-194.

Krejci I, Lutz F, Reimer M, Heinzmann JL, Wear of ceramic inlays, their enamel antagonists, and luting cements. *J Prosthet Dent*. 1993;69:425-430.

Kunzelmann KH, Jelen B. Mehl A, Hickel R. Wear evaluation of MZl00 compared to ceramic CAD/CAM materials. *Int J Comput Dent*. 2001;4:171-184.

Kurbad A, Kurbad S. A new, hybrid material for minimally invasive restorations in clinical use. *Int J Comput Dent*. 2013;16:69-79.

Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative *in vivo* wear of human enamel. *J Dent Res.* 1989;68:1752-1754.

Lappalainen R, Yli-Urpo A, Seppa L. Wear of dental restorative and prosthetic materials in vitro. *Dent Mater*. 1989;5:35-37.

Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M, Iwasaki N, Asakawa Y, Oki M, Finger WJ, Arksornnukit M. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J*. 2014;33:705-710.

Lavelle CL. Maxillary and mandibular tooth size in different racial groups and in different occlusal categories. *Am J Orthod.* 1972;61:29-37.

Lawson NC, Burgess JO. Wear of nanofilled dental composites at varying filler concentrations. *J Biomed Mater Res B Appl Bio-*

mater. 2015;103:424-429.

Mair LH. Wear in dentistry—current terminology. *J Dent*. 1992;20:140-144.

Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH, Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *J Dent*. 1996;24:141-148.

Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, Bush PJ, Carter JM. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. *J Prosthet Dent*. 2001;85:386-395.

Manhart J, Kunzelmann KH, Hickel R. Mechanical properties of new composite restorative materials. *J Biomed Mater Res*. 2000;53:353-361.

McCabe JF, Wassell RW. Hardness of model dental composites - the effect of filler volume fraction and silanation. *J Mater Sci Mater Med*. 1999;10:291-294.

Mörmann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2013;20:113-125.

Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dent Mater*. 2012;28:529-534.

Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Properties of experimental urethane dimethacrylate-based dental resin composite blocks obtained via thermo-polymerization under high pressure. *Dent Mater*. 2013;29:535-541.

Nguyen JF, Ruse D, Phan AC, Sadoun MJ. High-temperature-pressure polymerized resin-infiltrated ceramic networks. *J Dent Res*. 2014;93:62-67.

Petrini M, Ferrante M, Su B. Fabrication and characterization of biomimetic ceramic/polymer composite materials for dental restoration. *Dent Mater*. 2013;29:375-381.

Peutzfeldt A, Asmussen E. Modulus of resilience as predictor for clinical wear of restorative resins. *Dent Mater.* 1992;8:146-148.

Peutzfeldt A, Asmussen E. In vitro wear, hardness, and conversion of diacetyl-containing and propanal-containing resin materials. *Dent Mater.* 1996;12:103-108.

Peutzfeldt A, Garcia-Godoy F, Asmussen E. Surface hardness and wear of glass ionomers and compomers. *Am J Dent.* 1997;10:15-17.

Phan AC, Tang ML, Nguyen JF, Ruse ND, Sadoun M. High temperature high-pressure polymerized urethane dimethacrylate mechanical properties and monomer release. *Dent Mater.* 2014;30:350-356.

Quinn JB, Quinn GD. A practical and systematic review of Weibull statistics for reporting strengths of dental materials. *Dent Mater.* 2010;26:135-147.

Rastelli AN, Jacomassi DP, Faloni AP, Queiroz TP, Rojas SS, Bernardi MI, Bagnato VS, Hernandes AC. The filler content of the dental composite resins and their influence on different properties. *Microsc Res Tech.* 2012;75:758-765.

Rocca GT, Bonnafous F, Rizcalla N, Krejci I. A technique to improve the esthetic aspects of CAD/CAM composite resin restorations. *J Prosthet Dent.* 2010;104:273-275.

Rodrigues SA Jr, Ferracane JL, Della Bona A. Flexural strength and Weibull analysis of a microhybrid and a nanofill composite evaluated by 3- and 4-point bending tests. *Dent Mater.* 2008;24:426-431.

Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res.* 2014;93:1232-1234.

Shembish FA, Tong H, Kaizer M, Janal MN, Thompson VP, Opdam NJ, Zhang Y. Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dent Mater.* 2016;32:499-509.

Shortall AC1, Hu XQ, Marquis PM, Potential countersample materials for in vitro simulation wear testing, *Dent Mater.* 2002;18:246-254.

Smith BG, Bartlett DW, Robb ND. The prevalence, etiology and management of tooth wear in the United Kingdom. *J Prosthet Dent.*

1997;78:367-372.

Stawarczyk B, Özcan M, Trottmann A, Schmutz F, Roos M, Hämmerle C. Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *J Prosthet Dent*. 2013;109:325-332.

Stawarczyk B, Krawczuk A, Ilie N. Tensile bond strength of resin composite repair in vitro using different surface preparation conditionings to an aged CAD/CAM resin nanoceramic. *Clin Oral Investig*. 2015;19:299-308.

Steier VF, Koplin C, Kailer A. Influence of pressure-assisted polymerization on the microstructure and strength of polymer-infiltrated ceramics. *J Mater Sci*. 2013;48:3239-3247.

Tamura Y, Kakuta K, Ogura H. Wear and mechanical properties of composite resins consisting of different filler particles. *Odontology*. 2013;101:156-169.

Wassell RW, McCabe JF, Walls AW. Wear characteristics in a two-body wear test. *Dent Mater*. 1994;10:269-274.

Willems G, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Three-year follow-up of five posterior composites: in vivo wear. *J Dent*. 1993;21:74-78.

Xu HH, Quinn JB, Giuseppetti AA. Wear and mechanical properties of nano-silica-fused whisker composites. *J Dent Res.* 2004;83:930-935.

Yip KH, Smales RJ, Kaidonis JA. Differential wear of teeth and restorative materials: Clinical implications. *Int J Prosthodont*. 2004;17:350-356.

-ABSTRACT-

Comparison of mechanical properties of dental esthetic CAD/CAM hybrid composite blocks

Mi-Jeong Kim, *DDS*

Department of Dental Biomaterials Science,
Graduate School, Seoul National University

(Directed by Professor Bum-Soon Lim, *Ph. D.*)

Dental esthetic hybrid block have been developed recently for CAD/CAM system, the advantages of both ceramic and polymer are combined into a new material to cancel out their respective shortcomings. Hybrid blocks have clinical advantages, like superior esthetics, ease of milling, short processing times, simple intraoral repair and good reproduction of details. CAD/CAM material play a key role in a successful CAD/CAM procedures. Wear resistance of hybrid blocks might be critical to the lone-term success of a CAD/CAM restoration. The purpose of this study was to evaluate the surface hardness, flexural strength, and 3-body wear resistance of various dental hybrid blocks for CAD/CAM system and analyze the correlation of these mechanical properties.

Three CAD/CAM hybrid composite resin blocks (Cerasmart, Lava

Ultimate, Mazic Duro) and one hybrid composite ceramic block (Vita Enamic) were used for experimental groups and light-cure nanohybrid composite resin (Filtek Z350 XT) was used for control. Surface hardness, flexural strength and 3-body wear of experimental groups were evaluated.

Five disk-typed (2 ± 0.2 ㎜ thick) specimens were prepared in each group (N = 25/ n = 5) and polished with SiC paper, then surface hardness (VHN) was measured using a Vickers microhardness tester (HMV-2, Shimadzu) with applied 4.184 N for 5 sec. Thirty bar-typed (2 ± 0.3 ㎜ × 1 ± 0.2 ㎜ × 15 ± 0.5 ㎜) specimens were prepared in each group (N = 150 / n = 30) and polished with SiC paper, then flexural strength was measured using a universal testing machine (Instron 4465, USA) with a 3-point bending jig (span length = 12 ㎜) at a cross-head speed of 0.5 ㎜/min until failure. Ten disk-typed specimen was embedded in acrylic resin in each group (N = 50 / n = 10), then 3-body wear was simulated using the OHSU wear simulator (Oregon Health Science University Wear Simulator; Proto-tech) for 50,000 cycles. Worn specimen was analyzed using a 3-D Profilometer (MTS) and both abrasion wear and attrition wear was estimated. Correlation between surface hardness and abrasive wear and correlation between flexural strength and attrition wear was also evaluated. Following results were observed.

1. Hybrid composite ceramic block (Vita Enamic) showed the significantly higher surface hardness (233.5 VHN) than hybrid composite resin blocks. Cerasmart showed the second highest surface hardness (167.8 VHN), and other two hybrid composite resin blocks (Lava Ultimate, Mazic Duro) and the control (Filtek Z350 XT) showed the low surface hardness (128.1, 129.6, 126.85 VHN, respectively). The surface hardness of Cerasmart and Filtek Z350 XT was significantly decreased ($p = 0.038$, $p = 0.009$) after aging in deionized water (37 ℃) for 5 day when compared with dry state.
2. Abrasion wear (1.84 - 2.93 ㎛) did not show significant differences (p

> 0.05) among groups. Correlation between surface hardness and abrasive wear was low (R = -0.3680), except for Vita Enamic. Furthermore correlation between surface hardness and abrasive wear was more decreased after aging treatment (R = -0.0637).

3. For flexural strength, Vita Enamic showed the significantly low value (139.2 MPa) and Cerasmart showed the highest value (193.3 MPa). Lava Ultimate, Mazic Duro and Filtek Z350 XT showed the middle range of flexural strength (177.3, 160.4, 171.1 MPa, respectively).

4. Cerasmart and Mazic Duro showed the significantly lower attrition wear (6.80 ㎛, 7.82 ㎛) than the others ($p < 0.05$) and attrition wear of Lava Ultimate (13.86 ㎛), Vita Enamic (15.52 ㎛) and Filtek Z350 XT (12.66 ㎛) did not show significant differences ($p > 0.05$). Correlation between flexural strength and attrition wear showed high value (R = -0.8624).

Key words: CAD/CAM hybrid composite block, surface hardness, flexural strength, 3-body wear, correlation

Student number: 2014-25089