



Original Article

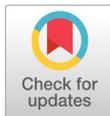
피톤치드를 함유한 복합레진의 기계적 특성 및 *Streptococcus mutans*에 대한 항균 효과

이명진¹ · 김단비¹ · 김지은¹ · 문승하¹ · 손지영¹ · 이은영¹ · 권재성¹

연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실 및 연구소

¹건양대학교 의과대학 치위생학과

Mechanical properties and antibacterial effects on *Streptococcus mutans* of composite resins containing phytoncide



Received: July 01, 2019

Revised: July 26, 2019

Accepted: July 30, 2019

Myung-Jin Lee¹ · Dan-Bi Kim¹ · Ji-Eun Kim¹ · Seung-Ha Moon¹ · Ji-Young Son¹ · Eun-Young Lee¹ · Jae-Sung Kwon¹

Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, Yonsei University College of Dentistry

¹Department of Dental Hygiene, Medical Science College, Konyang University

Corresponding Author: Jae-Sung Kwon, Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering, College of Dentistry, Yonsei University, 50-1, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea. Tel: +82-2-2228-3081, Fax: +82-2-364-9961, E-mail: JKWON@yuhs.ac

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study is to investigate the mechanical properties and antibacterial effects on *Streptococcus mutans* of composite resins containing phytoncide. **Methods:** Phytoncide was mixed with commercial composite resins at 0 (control), 1.25, 2.5, 3.75, and 5.0 weight percentage (wt%). Mechanical properties related to composite resins such as surface hardness, depth of cure, and flexural strength were measured. Antibacterial effects of composite resins were analyzed by using *Streptococcus mutans* (ATCC 25175). The results were analyzed by one-way analysis of variance followed by Tukey's test ($p < 0.05$). **Results:** Composite resins that contain low wt% of phytoncide demonstrated no significant difference in surface hardness, depth of cure, and flexural strength ($p > 0.05$). However, composite resins that contain high wt% of phytoncide had significantly decreased mechanical properties ($p < 0.05$). In terms of antibacterial effects, composite resins containing phytoncide inhibited the growth of *S. mutans*. **Conclusions:** Our findings suggest that novel composite resins containing phytoncide have effective antibacterial properties while maintaining the originally important mechanical features of composite resins.

Key Words : Antibacterial agent, Composite resins, *Streptococcus mutans*

색인 : 뮤탄스균, 복합 레진, 항균제

서론

복합레진에 대한 관심이 증가하며 많은 발전을 이루었음에도 치태침착 및 세균부착에 의한 이차우식의 발생은 여전히 문제점으로 지적되고 있다[1,2]. 이차우식은 수복물 주변에 존재하는 우식성 병변으로 수복물 실패의 주원인이기 때문에 이차우식을 억제할 수 있는 수복재의 성질은 매우 중요하다[3,4]. 글래스아이오노머, 콤포머 등의 수복재들은 항우식 효과가 있는 것으로 알려져 있지만 복합레진은 복합레진 재료 자체에 항우식 능력이 없을 뿐 아니라, 복합레진을 이용하여 충전한 치면은 자연치면과 비교하였을 때 더 많은 치태의 축적이 일어난다는 보고가 있었다[5]. 이에, 복합레진에 항균제를 첨가하여 이차우식으로 인한 실패를 감소하기 위한 시도가 있어왔다[3,6,7]. 하지만, 항균제를 첨가함으로써 굴곡강도, 결합강도의 저하와 정상 균총에 영향을 미치는 등 안전성 및 물성 측면에서의 여러 문제점들이 있었다. 따라서, 항균 복합레진을 개발하기 위해서는 체내에 부작용을 유발하지 않으면서 물성을 저하시키지 않는 항균제를 선정하여 첨가하는 것이 중요하다[8].

항균제를 재료에 따라 크게 분류해보면 유기계와 무기계로 나뉘어지고, 유기계 항균제에는 화학합성품과 천연유기물로 나뉘어진다. 화학합성품은 저렴하고 조성이 균일하며 대량생산이 가능하지만 인체에 독성 및 발암, 돌연변이 유발 등의 가능성이 제기되고 있다[9]. 천연유기물은 조성이나 성분이 제조조건에 좌우되는 한계점이 있지만 잔류독성 및 부작용이 적은 장점이 있다[10,11]. 체내에 부작용을 유발하지 않고 항균력이 우수한 나한백, 유칼리, 피톤치드와 같은 천연유기물의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 중 최근 피톤치드의 항균작용이 널리 알려지며 기대가 높아지고 있는 추세이다[12,13].

피톤치드는 식물체를 수증기로 증류하여 얻는 휘발성 방향성분을 말한다[9]. 다양한 식물에서 추출된 편백 피톤치드는 세균 및 진균과 같은 미생물에 항균작용이 있다. 선행 연구들에서 그람 양성세균(*Staphylococcus epidermidis*), 그람 음성세균(*Vibrio parahaemolyticus*), 효모형 곰팡이(*Candida albicans*), 사상형 곰팡이(*Aspergillus nidulas*) 뿐 아니라 치아우식증 원인균(*Streptococcus mutans*), 급진성 치주염 관련 균(*Actinobacillus actinomycetemcomitans*) 등에 항균효과가 있을 뿐 아니라 균의 항생제 감수성을 높이는 역할을 하는 것으로 알려지고 있다[13-15]. 특히, *S. mutans*는 glucosyltransferase를 분비하여 자당으로부터 glucans을 합성함으로써 치아우식증을 유발하는 주원인균으로 보고되고 있어 이 균에 항균효과가 있다는 것은 임상적으로 매우 중요한 사실이다[1,6]. 그러나, 이러한 피톤치드의 특성을 복합레진에 적용시켜 복합레진의 항균 효과를 높이고자 하는 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 또한, 항균성 물질을 첨가한 재료의 경우에 재료의 물성이 감소할 수 있기 때문에 물성을 저하시키지 않는 범위의 항균제가 임상에서 활용 가능성이 있을 것이라고 생각된다. 하지만 선행연구들의 분석 결과 이와 관련된 연구 또한 미비한 형편이다.

이에 본 연구에서는 기존 임상에서 널리 쓰이고 있는 복합레진에 피톤치드를 적용하여 기계적인 물성에는 영향을 끼치지 않으면서 치아우식증의 원인균인 *S. mutans*에 항균 효과를 갖는 복합레진의 개발 가능성을 확인하고자 한다.

연구방법

1. 연구재료

본 연구에 사용된 복합레진은 시판 중인 레진(3M ESPE Filtek™Z350XT, St. Paul, MN, USA)을 선택하였고, 제조사의 지시사항에 따라 작업하였으며 중합을 위해 광조사기(3M Elipar Free Light 2, St. Paul, MN, USA, 650 mW/cm²)를 사용하였다. 피톤치드 성분이 함유된 복합레진을 제작하기 위해 복합레진에 각각의 농도에 따라 피톤치드 원액(주김민재편백, 성북구, 대한민국) 0, 1.25, 2.5, 3.75, 5%를 함유하여 high-speed mixer(SpeedMixer, Hauschild, Hamm, Germany)를 사용하여 2,000 rpm으로 5분간 혼합하여 시편을 준비하였다. 본 연구에서 피톤치드를 PTC라고 명명하였으며, 실험군은 피톤치드의 농도에 따라 Control(비함유), 1.25% PTC, 2.5% PTC, 3.75% PTC, 5% PTC군으로 선정하였다<Table 1>.

2. 연구방법

1) 표면 경도 측정

직경 10 mm, 두께 1 mm의 몰드에 제조된 수복재의 경도는 비커스 경도시험기(micro hardness tester, Dmh-2; Matuzawa Seiki, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다[2]. 시편을 장착하고 대면각 136°의 다이아몬드 피라미드 압입자로 0.09 MPa 하중을 20초간 적용하여 압흔을 만들었다. 시편에 형성된 다이아몬드형 압흔의 장축길이를 측정하여 표면 경도를 계산하였다. 각 군별로 5개의 시편을 제작하였으며, 각 시편 당 무작위로 각각 2 부위를 측정하여 평균값과 표준편차를 구하여 비교하였다.

2) 중합 깊이 측정

ISO 4049의 시험방법에 따라 길이 10 mm, 직경 4 mm의 원통형 모양의 테프론 몰드에 각각의 농도에 따른 피톤치드를 함유한 복합레진을 몰드 위로 약간의 과충전을 시킨 후, 폴리에스터 필름과 슬라이드 글라스로 압박하여 잉여분을 제거하였다[16]. 이 때, 플라스틱 스파툴라를 이용하여 기포가 생기지 않도록 주의한다. 재료가 평탄하게 채워진 것을 확인한 후 상부에서 광조사면이 수직이 되도록 60초간 광조사하였다. 광중합 후 재료를 몰드에서 분리하고 즉시 플라스틱 스파툴라를 이용하여 중합되지 않은 재료를 제거한 후 전자식 버니어캘리퍼스로 중합된 재료의 높이를 측정하였다. 각 군별로 5개의 시편을 제작하였으며, 각각 5회씩 반복하여 그 평균값을 산출하였다.

3) 굴곡 강도 측정

ISO 4049의 시험방법에 따라 레진을 (25±2) mm×(2.0±0.1) mm×(2.0±0.1) mm의 몰드를 이용하여 시편을 제작하였다[16]. 폭이 20 mm인 지지대 위에 시편을 놓고 만능시험기(Rheometer Compac-100 II, Sin Scientific CO., LTD, Tokyo, Japan)를 사용하여 (0.75±0.25) mm/min의 cross-head speed로 3점 굽힘시험을 시행하였다. 이때 측정된 최대 하중 값을 기록하여 아래의 식에 대입하여 굴곡강도를 MPa단위

Table 1. Composition of materials in the control and experimental groups

Groups	Resin, wt%	Phytoncide, wt%	N(total)
Control	100	0	25
1.25% PTC	98.75	1.25	25
2.5% PTC	97.5	2.5	25
3.75% PTC	96.25	3.75	25
5% PTC	95.0	5	25

로 계산하였다.

$$\text{굴곡강도}(\sigma)=3FL/2bh^2$$

여기에서 F: 시편에 가해지는 최대 하중(N), L: 두 개의 지지대 사이의 거리(20 mm), b: 시험 전 측정된 시편의 폭 (mm), h: 시험 직전에 측정된 시편의 두께 (mm) 이다. 각 군별로 5개의 시편을 제작하여 반복 측정하였으며 각 실험군에서 상한 값과 하한 값은 통계처리에서 제외하였다.

4) 디스크 확산 검사(Inhibition zone test)

시름 10 mm, 두께 1 mm의 몰드를 이용하여 시편을 제작하였다. Broth Heart Infusion(BHI, Becton Dickinson and Co., Sparkd, MD, USA) broth를 이용해 *Streptococcus mutans*(*S.mutans*, ATCC 25175)균을 37°C에서 16시간 배양하여 활성화시켜 연속희석법을 이용하여 배양액의 균수가 1×10^8 /ml이 되도록 희석한 후, 100 ul를 BHI 고체배지에 도말한다. 그 위에 양성대조군(PC), 음성대조군(NC), Control, 1.25% PTC, 2.5% PTC, 3.75% PTC, 5% PTC의 시편을 적당한 간격으로 고체배지 위에 올려 두어 37°C incubator에서 24시간 배양시켰다. 이 때 양성대조군은 20 ul의 NaOCl을 적신 paper disk(Filter paper disc, Toyo Roshi Kaisha Ltd. Japan)를 사용하였고, 음성대조군은 멸균된 paper disk를 사용하였다. 각 군별로 5개의 시편을 제작하였으며, 항균력은 시편의 주변에 생기는 성장저해구역(zone of inhibition) 크기로 판별하였으며 성장저해구역의 크기가 클수록 항균력이 큰 것으로 간주하였다.

5) 균집락 형성 평가(CFU; Colony forming units)

시름 10 mm, 두께 1 mm의 몰드를 이용하여 시편을 제작하였으며, 멸균된 시편 위에 활성화된 1×10^8 /ml 의 *S. mutans* 세균액 1 ml을 넣어 37°C incubator 에서 배양하였다. 24시간 후, 시편을 새 BHI 액체 배지를 이용하여 2번 세척하고, 1 ml의 BHI 액체 배지에 넣어 초음파 세척하여 물리적으로 시편에 부착된 세균을 탈착하였다. 분리된 세균액 100 ul를 BHI 고체 배지에 떨어뜨려 도말하여 24시간 배양한 뒤 단위 당 균락 균 수(CFU)를 확인하여 평가하였다. 각 군별로 5개의 시편을 제작하여 위 과정을 반복하고, 평균값과 표준편차를 구하였다.

6) Statistical analysis

각 실험군 사이의 유의성은 IBM SPSS Statistics 20 program(International Business Machines Corp, Newyork, NY, USA)을 이용하여 one-way ANOVA로 분석 후, 5%의 유의수준에서 Tukey Test를 통하여 검정하였다.

연구결과

1. 표면 경도 결과

표면 경도 측정 결과는 <Table 2>, <Fig. 1>과 같다. 5% PTC군만이 다른 집단과 비교하여 유의성 있게 표면경도가 낮았으며($p < 0.05$), 5% PTC군(39.1 ± 2.4)을 제외한 1.25% PTC(51.21 ± 8.8), 2.5% PTC(51.15 ± 3.4), 3.75% PTC(49.9 ± 4.3)는 Control(50.9 ± 7.7)과 유의한 표면경도 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

2. 중합 깊이 결과

피톤치드를 첨가한 복합레진의 중합깊이 변화를 분석한 결과는 <Table 2>, <Fig. 2>와 같다. 피톤치드를 첨가하지 않은 Control(3.4 ± 0.1)과 피톤치드를 첨가한 1.25%(3.4 ± 0.3), 2.5%(3.3 ± 0.1)군을 비교했을 때 모두 3 mm 이상의 중합깊이로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났지만($p > 0.05$) 3.75%(2.6 ± 0.2),

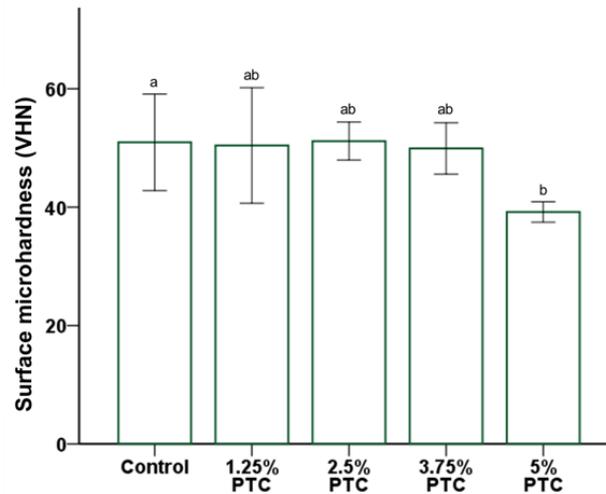


Fig. 1. Comparison of the mean surface microhardness between groups. Different letters above bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

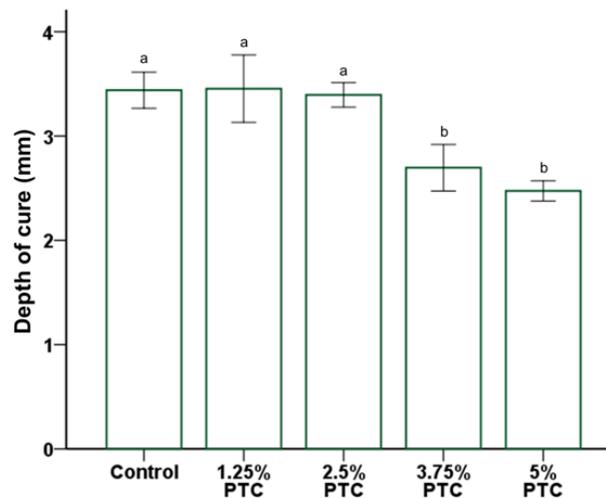


Fig. 2. Comparison of the mean depth of cure between groups. Different letters above bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

Table 2. Results of mechanical tests

Groups	Surface microhardness (VHN)	Depth of cure (mm)	Flexural strength (MPa)
Control	50.9 ± 7.7 ^a	3.4 ± 0.1 ^a	84.5 ± 7.7 ^a
1.25% PTC	51.2 ± 8.8 ^{ab}	3.4 ± 0.3 ^a	82.0 ± 9.0 ^{ab}
2.5% PTC	51.1 ± 3.4 ^{ab}	3.3 ± 0.1 ^a	80.3 ± 9.9 ^{ab}
3.75% PTC	49.9 ± 4.3 ^{ab}	2.6 ± 0.2 ^b	68.8 ± 5.9 ^{bc}
5% PTC	39.1 ± 2.4 ^b	2.4 ± 0.1 ^b	63.6 ± 7.8 ^c

^{abc}Values in the same row with different superscript small letters are significantly different at $p < 0.05$.

5%(2.4±0.1)군을 나머지 3군과 비교했을 때는 3 mm 이하의 중합깊이 값을 보이며 유의하게 감소하였다 ($p<0.05$).

3. 굴곡 강도 결과

굴곡강도 측정 결과는 <Table 2>, <Fig. 3>과 같다. 1.25% PTC(82±9), 2.5% PTC(80.3±1)군은 Control(84.5±5.9)과 유의한 차이가 없었고 ($p>0.05$), 3.75% PTC(68.8±5.9), 5% PTC(63.67.8)군은 Control에 비해 굴곡강도가 유의하게 감소하는 경향을 보였다($p<0.05$).

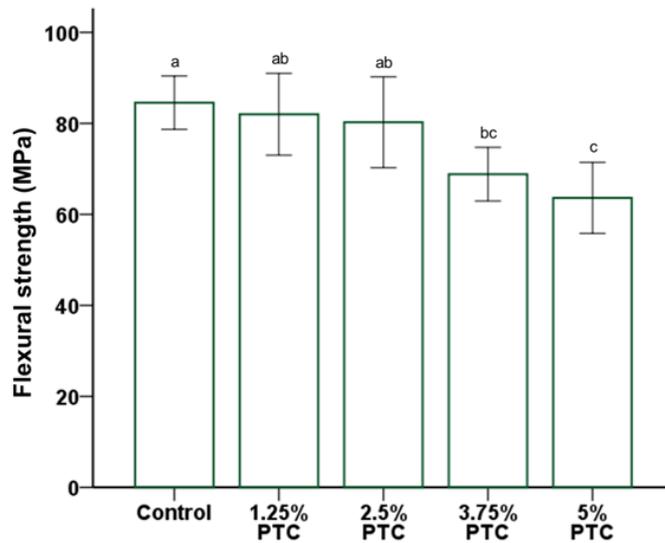


Fig. 3. Comparison of the mean flexural strength between groups. Different letters above bars indicate significant differences ($p<0.05$).

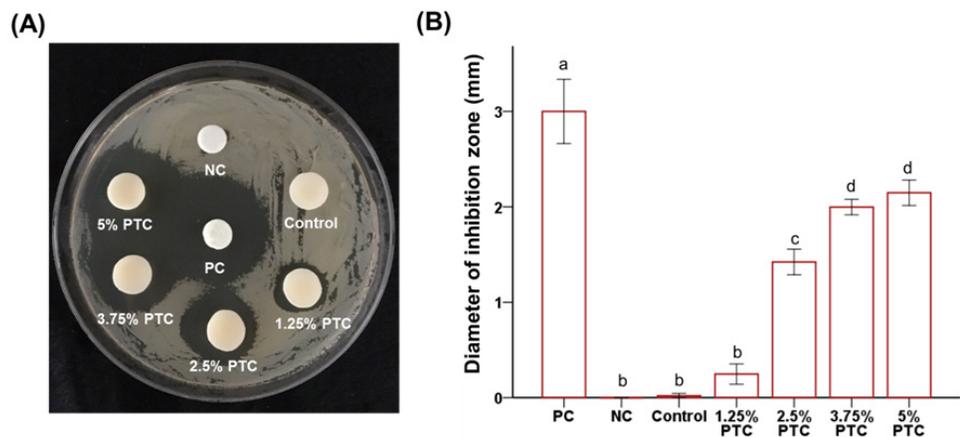


Fig. 4. Comparison of antibacterial properties between groups. (A) Inhibition zone test using composite resin with different concentrations of phytonchide on agar plates with spread *S. mutans* for 24h. (B) The diameters of the zone of inhibition on the agar plate were measured. Different letters above bars indicate significant differences ($p<0.05$).

4. 디스크 확산 검사 (Inhibition zone test) 결과

피톤치드의 농도에 따른 *S. mutans*의 항균활성을 Inhibition zone test를 통해 실험하였고 그 결과를 <Fig. 4>에 나타내었다. 배양 24시간 후 *S. mutans*에 대한 항균력은 피톤치드의 농도가 높을수록 높게 측정되었으며, Negative control, Control, 1.25% PTC군은 성장저해구역의 크기에 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$). 2.5% PTC군부터는 Control 값보다 유의하게 증가하였고, 2.5% PTC군보다 3.75% PTC, 5% PTC군은 더 증가하는 경향을 보였다($p<0.05$).

5. 균집락 형성 평가 (CFU; Colony forming units) 결과

시편 위의 부착된 *S. mutans* 세균의 단위 당 균락 군 수를 계산하여 <Fig. 5>에 나타내었다. 1.25%PTC군은 Control과 비슷한 양상을 보이며, 집락 수에 유의한 차이를 보이지 않았고($p>0.05$), 2.5%PTC군부터는 관찰되는 집락 수의 유의한 감소를 보였다($p<0.05$). 피톤치드의 농도가 높아지면서 세균의 억제능력이 증가하는 추이를 보이며 피톤치드가 존재하는 집단과 존재하지 않는 집단 간의 유의성 있는 차이를 확인할 수 있었다($p<0.05$).

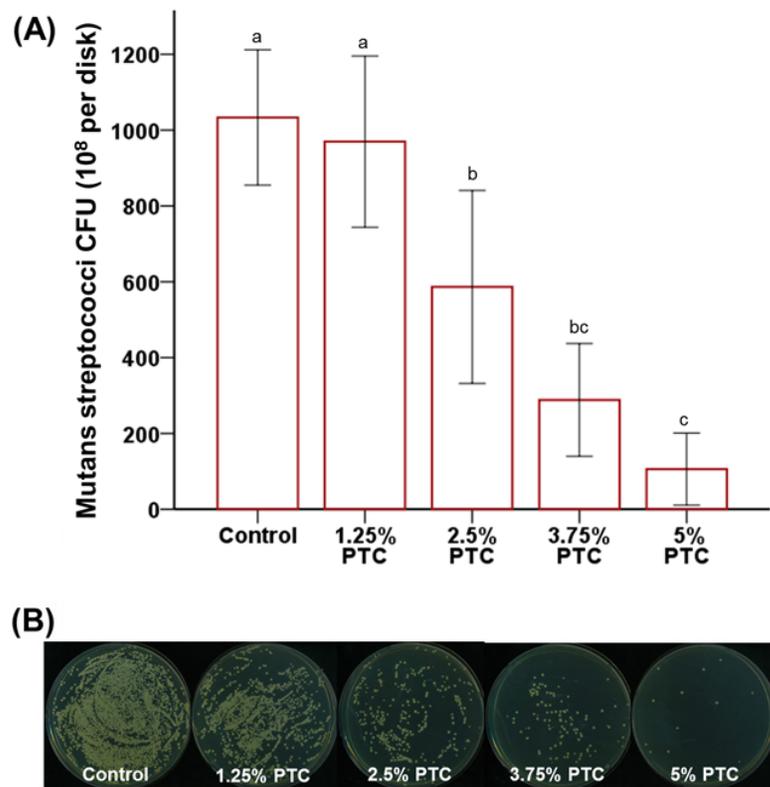


Fig. 5. (A) CFU counts derived from *S. mutans* attached on the surface of samples. Different letters above bars indicate significant differences ($p<0.05$). (B) Agar plates with CFU of *S. mutans*.

총괄 및 고안

과거의 치과 치료가 기능회복에만 중점을 둔 반면 현재의 치과 치료는 기능회복 뿐 아니라 심미성도 포함한 치료에 중점을 두고 있어 최근 환자의 심미치료에 대한 관심이 증가하며 심미 수복재료인 복합레진의 사용도 증가되고 있다[17]. 복합레진은 자연치아와 구분이 가지 않을 정도로 우수한 심미성을 가지고 있고, 시술의 편리성, 치질 삭제량의 최소화 등 여러 가지 장점을 가지고 있는 재료이다[18]. 하지만, 복합레진의 세균부착, 중합과정 중 발생하는 수축으로 인한 이차 우식이 단점으로 지적되고 있다[19,20]. 항균 능력을 가진 복합레진의 개발이 필요하여 이를 개선하려는 여러 연구들이 이루어졌지만 항균제의 첨가가 항균성을 증가시키지만 기계적인 강도의 저하시킬 수 있고, 수복재료부터 항균물질의 방출은 재료의 물성을 변화를 초래한다는 결과가 보고된 바 있다[7,21,22]. 이에, 복합레진의 항균효과와 더불어 물성의 우선적 고려가 필요하다[23]. 또한, 화학적 항생제의 사용으로 항생제 내성균 문제의 심각성 및 화학성분의 독성 등의 발생으로 인해 항균효과가 있는 천연물질의 활용성에 대한 이해가 넓어지고 임상적으로 이용하려는 여러 시도가 있어왔다[10,13].

그 중 피톤치드는 세균, 진균 등 다양한 미생물에 대한 항균 작용이 보고되어 있으며[24,25], 구취 및 치주질환에 항균 작용을 하여 임상적으로도 개선효과가 있는 것으로 나타났다[14,15]. 하지만, 피톤치드를 함유한 복합레진의 항균효과에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에, 본 연구의 목적은 항균효과가 있다고 알려진 피톤치드를 함유한 복합레진의 물성 및 치아우식증의 주원인균인 *S. mutans* 균에 대한 항균효과를 평가하고자 하는 데 있다.

물리적 특성 평가 중 먼저 표면경도는 비파괴적인 방법으로 재료의 내마모성을 측정할 수 있는 값으로 [2], 측정 결과 3.75%의 피톤치드를 함유한 군까지는 Control과 유의한 차이가 없어 표면경도를 크게 떨어뜨리지 않는 것으로 확인되었다. 두 번째로 중합깊이를 측정하였는데, 2.5%의 피톤치드를 함유한 군까지는 광원도달에 큰 간섭을 하지 않았던 것으로 보이지만 그 이상의 군에서는 중합깊이의 감소에 영향을 미치며 복합레진에 적용되기 위해서는 개선이 필요할 것으로 생각된다[18,26]. 복합레진의 표면경도는 중합도와 상관관계가 있다고 보고되었고, 본 연구에서도 피톤치드의 함량이 높아질수록 중합깊이가 감소되면서 표면경도에까지 영향을 미치는 것으로 보인다[7]. 세 번째로 굴곡강도 측정 결과도 중합깊이 측정 결과와 비슷한 경향성을 보인다. 굴곡강도는 물체에 힘이 가해졌을 때 버틸 수 있는 강도를 의미하며, 심미수복용 복합레진에 적용할 수 있는 국제규격인 ISO 4049에서 구강 내에서 광중합이 이루어지는 직접수복 복합레진의 최소 굴곡강도를 80 MPa로 명시하고 있는데, 3.75%, 5%의 피톤치드를 함유한 군들을 제외한 군들이 이를 충족한다[7]. 2.5%까지의 피톤치드를 함유한 복합레진을 사용할 경우 임상적으로 사용하는 데 무리가 없는 것으로 판단된다. 3.75% PTC (68 ± 5.9), 5% PTC (63.6 ± 7.8)은 굴곡강도 값이 Control (84.5 ± 5.9)에 비해 유의하게 낮았다($p < 0.05$). ISO 4049에서 제시하는 복합레진의 최소 굴곡강도인 80 MPa와 비교하여 Control, 1.25% PTC, 2.5% PTC는 요구사항을 충족했다.

항균력을 평가하기 위하여 첫 번째로 *S. mutans*의 inhibition zone test를 이용하였다. 이 방법은 재료에서 용출되는 항균 물질이 주변에 형성하는 성장저해구역을 측정하는 방법으로[7,11] 각 균의 시편들은 중합이 완료된 후 *S. mutans*가 배양되어 있는 고체배지에 놓여졌다. 1.25%의 피톤치드가 함유된 군에서는 Control과 Negative control과 성장저해구역의 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있었으며, 2.5% 이상의 피톤치드가 함유된 군에서는 유의하게 확장된 성장저해구역을 확인할 수 있었다. 이를 통해 시편 주변으로 용출된 물질이 항균성을 갖고 있다고 판단된다[27]. 또한, CFU 평가 결과도 Inhibition zone test

의 결과와 마찬가지로 2.5% 이상의 피톤치드가 함유된 군에서 *S. mutans* 세균의 수가 유의하게 감소됨을 관찰하며 피톤치드의 농도가 높아질수록 *S. mutans*의 성장을 억제하는 효과가 증가함을 알 수 있었다. 선행 연구에서는 피톤치드가 세포벽을 약하게 만들어 세포막의 파괴에 따른 세균의 자가분해를 야기하거나 세균의 호흡대사에 영향을 미침으로써 항균효과를 발휘하는 것이라고 추측하였다[14,15]. 본 연구에서 사용한 세균인 *S. mutans*는 치아우식 발생에 있어 가장 중요한 원인균으로 이 세균에 대한 항균효과가 있다는 것은 임상적으로 매우 중요한 결과이다. 또한, 다른 수복물보다 복합레진 주위에 치태 및 세균의 축적이 더 많이 일어난다고 보고된 바 있어 피톤치드를 함유한 복합레진이 *S. mutans*에 대해 항균효과를 보인다는 사실은 고무적인 결과이다[26,28,29].

본 연구의 결과를 통해 피톤치드가 복합레진에 2.5% 포함되었을 경우 물리적 변화 없이 항균 효과를 나타냈음을 관찰할 수 있었다. 이 결과를 이용하여 이차우식 억제를 위한 새로운 복합레진을 개발할 수 있을 것이라고 생각되며, 향후 천연물질이 함유된 복합레진 개발을 위한 기초 자료의 활용 가능성이 있다. 본 실험에서 피톤치드를 함유한 복합레진은 적절한 물성과 항균특성을 가진 치과재료로서의 가능성을 도출하였지만 항균작용 기전을 밝히지 못하였고, 짧은 실험기간 등의 한계점들이 있다. 또한, 성분 비율을 섬세하게 구분하고 시간 경과에 따른 효과를 관찰할 수 있는 후속연구가 필요할 것이라 임상적용을 위하여 보다 명확한 항균작용 기전 및 장기적인 효과 등의 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서는 치과용 복합레진에 항균 물질로 피톤치드를 첨가하여 표면경도, 중합깊이, 굴곡강도, 항균실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 표면경도는 5% PTC군을 제외하고 Control, 1.25% PTC군, 2.5% PTC군, 3.75% PTC군 간의 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).
2. 중합깊이는 Control, 1.25% PTC군, 2.5% PTC군은 유의한 차이가 없었고($p>0.05$), 3.75% PTC, 5% PTC군 Control에 비해 유의한 감소를 보였다($p<0.05$).
3. 굴곡강도는 Control, 1.25% PTC군, 2.5% PTC군은 유의한 차이가 없었고($p>0.05$), 3.75% PTC, 5% PTC군 Control에 비해 유의한 감소를 보였다($p<0.05$).
4. Inhibition zone test 결과, 1.25% PTC군은 Control과 유의한 차이가 없었고($p>0.05$), 5% PTC군, 3.75% PTC군, 2.5% PTC군 순으로 성장 저해구역이 증가되었다.
5. CFU 측정 결과, 1.25% PTC군은 Control과 유의한 차이가 없었고($p>0.05$), 2.5% PTC군, 3.75% PTC군, 5% PTC군 순으로 피톤치드의 농도가 증가할수록 집락수가 감소되었다.

이상의 연구 결과로 복합레진에 피톤치드를 첨가할 경우 물성을 해치지 않으며 항균력이 나타났기 때문에 피톤치드와 결합한 레진은 이차우식을 최소화할 수 있는 가능성이 있으며 더불어 임상적인 활용도를 결정하기 위해서는 보다 다양한 방법으로 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

연세대학교 치과대학 2019년도 신입교원 연구정착금에 의하여 이루어졌음(2019-32-0017).

References

- [1] Wang Y, Hua H, Li W, Wang R, Jiang X, Zhu M. Strong antibacterial dental resin composites containing cellulose nanocrystal/zinc oxide nanohybrids. *J Dent* 2019;80:23-9. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.11.002>
- [2] Lee MJ, Kim KM. A study on the fluoride release, microhardness and cytotoxicity of fluoride releasing restorative materials. *Korean J Dent Mater* 2016;43(4):299-306. <https://doi.org/10.14815/kjdm.2016.43.4.299>
- [3] Boaro LCC, Campos LM, Varca GHC, Dos Santos TMR, Marques PA, Sugii MM, et al. Antibacterial resin-based composite containing chlorhexidine for dental applications. *Dent Mater* 2019;35(6):909-18. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.03.004>
- [4] Lee MJ, Choi YR, Kang MK. Comparison of surface characterization according to surface treatment of composite resin inlay. *J Korean Soc Dent Hyg* 2019;19(2):307-15. <https://doi.org/10.13065/jksdh.20190017>
- [5] Astvaldsdottir A, Dagerhamn J, van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranaeus S, et al. Longevity of posterior resin composite restorations in adults - A systematic review. *J Dent* 2015;43(8):934-54. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.05.001>
- [6] Xu X, Wang Y, Liao S, Wen ZT, Fan Y. Synthesis and characterization of antibacterial dental monomers and composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2012;100(4):1151-62. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.32683>
- [7] Moon HJ, El-Fiqi A, R CJ, Lee SH, Gong MS, Kim HW, et al. Evaluation of dental composite dispersed with silver-doped phosphate antibacterial glasses. *Korean J Dent Mater* 2012;39(4):311-8.
- [8] Lee HO, Park JY. Antibacterial effect and cytotoxicity of desensitizer containing antimicrobial. *J Dent Hyg Sci* 2015;15(2):238-45. <https://doi.org/10.17135/jksdh.2015.15.2.238>
- [9] Kang HY. Antibacterial effect of phytoncide. In: *Secret of phytoncide*. Edited by Kang HY. Seoul: Yeogsanet; 2003: 52-5.
- [10] Hwang HJ, Yu JS, Lee HY, Kwon DJ, Han W, Heo SI, et al. Evaluations on deodorization effect and anti-oral microbial activity of essential oil from pinus koraiensis. *Korean J Plant Resour* 2014;27(1):1-10. <https://doi.org/10.7732/kjpr.2014.27.1.001>
- [11] Roh JY, Kim KR. Antimicrobial activity of Korean propolis extracts on oral pathogenic microorganisms. *J Dent Hyg Sci* 2018;18(1):18-23. <https://doi.org/10.17135/jksdh.2018.18.1.18>
- [12] Carson CF, Mee BJ, Riley TV. Mechanism of action of Melaleuca alternifolia (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage, and salt tolerance assays and electron microscopy. *Antimicrob Agents Chemother* 2002;46(6):1914-20. <https://doi.org/10.1128/AAC.46.6.1914-1920.2002>
- [13] Lee HO, Baek SH, Han DM. Antimicrobial effects of chamaecyparis obtusa essential oil. *Microbiol Biotechnol Lett* 2001;29(4):253-7.
- [14] Kang SK, Shin MK, Auh QS, Chun YH, Hong JP. Antibacterial effect on oral pathogenic bacteria of phytoncide from chamaecyparis obtusa. *J Oral Med Pain* 2007;32(1):45-55.
- [15] Kim SQ, Shin MK, Auh QS, Lee JY, Hong JP, Chun YH. Effect of phytoncide on

- pophyromonas gingivalis. J Oral Med Pain 2007; 32(2): 137-50.
- [16] ISO. Dentistry-polymer-based restorative materials. ISO 4049 2019.
- [17] Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an *in vitro* assessment of their mechanical performance. Oper Dent 2013;38(6):618-25. <https://doi.org/10.2341/12-395-L>
- [18] El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. Oper Dent 2014;39(4):374-82. <https://doi.org/10.2341/13-017-L>
- [19] Hahnel S, Wastl DS, Schneider-Feyrer S, Giessibl FJ, Brambilla E, Cazzaniga G, et al. *Streptococcus mutans* biofilm formation and release of fluoride from experimental resin-based composites depending on surface treatment and S-PRG filler particle fraction. J Adhes Dent 2014;16(4):313-21. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a31800>
- [20] Zhang N, Chen C, Melo MA, Bai YX, Cheng L, Xu HH. A novel protein-repellent dental composite containing 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine. Int J Oral Sci 2015;7(2):103-9. <https://doi.org/10.1038/ijos.2014.77>
- [21] Kim OY. Optimization of dental properties of polymeric dental restorative composites combined with inorganic antibacterial agent. Appl Chem Eng 2000;11(6):651-6.
- [22] Weng Y, Howard L, Guo X, Chong VJ, Gregory RL, Xie D. A novel antibacterial resin composite for improved dental restoratives. J Mater Sci Mater Med 2012;23(6):1553-61. [10.1007/s10856-012-4629-z](https://doi.org/10.1007/s10856-012-4629-z)
- [23] Kim JW, Choi SS. A study on the antibiosis and physical and mechanical characteristics of dental resin. J Korean Soc Dent Hyg 2004;4(2):179-91.
- [24] Kang SN, Kim SE, Choi J, Park K, Goo JH, Sim DS, et al. Comparison of phytoncide with sirolimus as a novel drug candidate for drug-eluting stent. Biomaterials 2015;44:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2014.12.015>
- [25] Abe T, Hisama M, Tanimoto S, Shibayama H, Mihara Y, Nomura M. Antioxidant effects and antimicrobial activities of phytoncide. Biocontrol Sci 2008;13(1):23-8. <https://doi.org/10.4265/bio.13.23>
- [26] Kwon JS, Lee MJ, Kim JY, Kim D, Ryu JH, Jang S, et al. Novel anti-biofouling light-curable fluoride varnish containing 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine to prevent enamel demineralization. Sci Rep 2019;9(1):1432. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38255-2>
- [27] Kwon JS, Lee MJ, Kim JY, Kim D, Ryu JH, Jang S, et al. Novel anti-biofouling bioactive calcium silicate-based cement containing 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine. PLoS One 2019;14(1):e0211007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211007>
- [28] Kitagawa H, Miki-Oka S, Mayanagi G, Abiko Y, Takahashi N, Imazato S. Inhibitory effect of resin composite containing S-PRG filler on *Streptococcus mutans* glucose metabolism. J Dent 2018;70:92-6. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.12.017>
- [29] Jung SH, Jung HY. Correlation between the amount and activities of oral microorganisms by shapes and oral malodor components. J Korean Acad Dent Hyg 2008;10(1):59-72.