

원 저

## 범용 상아질 접착제에 따른 간접 수복물의 교합 변화

변지은<sup>†</sup>

충청대학교 치위생과

---

### Changes in occlusion of indirect restorations according to universal adhesives

Ji-Eun Byun<sup>†</sup>

Department of Dental Hygiene, Chung Cheong University

#### Abstract

The present randomized controlled trial aimed to evaluate changes in occlusion of indirect restorations before and after attachment using resin cement according to universal adhesives. This study included patients who underwent indirect restoration treatment at the Yonsei University Dental Hospital between April and October 2016. Universal adhesives requiring light curing and those not requiring light curing were used in this study. Changes in occlusion before and after adhesion of the indirect restoration were evaluated using articulating paper and shimstock as well as through the discomfort felt by the patients. To analyze the differences between the universal adhesive, Fisher's exact tests were performed using SPSS ver. 22.0 software. Of the 39 cases of indirect restoration, 29 were included in the study. A change in occlusion after adhesion of the indirect restoration was observed in only one case of universal adhesive that required light curing. The patient felt that the occlusion increased after the attachment of the restoration, and it was observed that the occlusion point was different from that before attachment. However, the results of the analysis were not statistically significant. Based on the findings, the universal adhesives did not affect the occlusion before and after indirect adhesion restoration using RelyX Ultimate.

**Key Words:** Universal adhesive, Indirect restoration, Change in occlusion

---

**Received:** November 19, 2021 **Revised:** December 13, 2021 **Accepted after revision:** December 13, 2021

<sup>†</sup>**Correspondence to** Ji-Eun Byun

Department of Dental Hygiene, Chung Cheong University, 38 Wolkok-gil, Hungduck-gu, Cheongju 28171, Korea

**Tel:** +82-43-230-2669, **Fax:** +82-43-230-2660, **E-mail:** dkssud2458@naver.com

## I. 서론

접착 시스템은 범랑질과 상아질의 효과적이고 견고한 접착뿐 아니라 접착 절차를 간단히 하고 기술적 민감도를 줄이는 방향으로 끊임없이 발전해왔다 (Van Meerbeek et al, 2003). 특히 Etchant, primer, bond 세가지 요소가 결합된 all-in one system 접착제의 개발로 인하여 도포과정이 간단해지면서 술자들은 더욱 쉽게 접착 시스템을 사용하게 되었지만, all-in one system 접착제를 이용한 실험실 연구와 수복물의 임상적 수명에 관한 연구는 접착 시 접착제의 불완전한 중합이 야기될 수 있다는 가능성을 제기하며 임상적으로 신뢰할 수 없는 결과를 보이고 있다(Tay et al, 2002; Tay and Pashley, 2003; Peumans et al, 2005).

기존의 간소화된 접착 시스템의 단점을 보완하기 위하여 범용 상아질 접착제가 소개되었다(Kim and Kim, 2016). 범용 상아질 접착제는 1-step self etching system과 적용 방식이 유사하지만, 소수성을 높임으로써 내구성을 증가시켰고 total etching system으로도 적용이 가능하다. 또한 기존 Bisphenol A glycidyl methacrylate (Bis-GMA) 단량체에 High crosslinking monomer를 첨가하여 중합 후 소수성을 높여 부가적인 소수성 접착 레진의 도포가 필요없이 적용이 가능해졌다. 그러나 소수성을 증가시키는 것만으로는 결합강도를 향상시킬수는 없기에 기존의 기능성 단량체 중 소수성이 가장 높으며, 수산화 인회석의 칼슘이온과 결합하여 안정적인 Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate-Calcium salt (MDP-Ca salt)를 형성해 화학 결합 능력이 우수한 Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP)를 사용하게 되었다(Yoshida et al, 2012). 범용 상아질 접착제에 High crosslinking monomer와 MDP의 사용으로 내구성이 있으며 결합강도가 향상된 접착이 가능하게 되었다. 제조사에서 말하기를 범용 상아질 접착제는 Hydroxyethyl

methacrylate (HEMA) 성분과 접착제 자체의 수분을 최소화하였고, Ph 또한 높게 제조되었다. 이러한 특징 때문에 범용 상아질 접착제는 직접 수복뿐 아니라 간접 수복에도 이용할 수 있고, 특히 이원 중합 레진과의 적합성에도 문제가 없다고 알려져 있다.

간접 수복물을 접착할 때 적용되는 광중합형 상아질 접착제는 와동의 선각과 같은 부위에 멍쳐서 존재할 수 있으며, 임상에서는 접착제의 멍침 현상으로 인해 간접 수복물의 완전한 시적이 방해될 수도 있다 (Peter et al, 1997; Coelho Santos et al, 2005; de Menezes et al, 2013). 만약 변연 접합성이 부족하거나 수복물이 불완전하게 합착되었다면 접착제의 용해, 미세누출, 변색, 마모 때문에 수복물의 수명에 영향을 미쳐 임상적으로 수복물의 실패를 일으킬 수 있다(Hayashi et al, 2000).

위와 같이 광중합형 상아질 접착제의 문제점은 광중합을 하지 않는 접착제들을 사용함으로써 해결할 수 있지만 Coelho Santos et al(2005)의 연구와 de Menezes et al(2013)의 연구에 따르면 광중합하지 않는 접착제는 광중합한 상아질 접착제보다 간접 수복물의 접착 강도의 감소를 보였다(McCabe and Rusby, 1994; Frankenberger et al, 2000; Jang et al, 2011).

성공적인 간접 수복을 위해서는 적절한 접착제를 사용하여 임상적으로 충분한 접착 강도를 얻는 것이 요구된다. 최근 국내에 출시된 범용 상아질 접착제인 Tetric N-Bond Universal (“TNU”, Ivoclar Vivadent, Schann Liechtenstein)과 Single Bond Universal (“SBU”, 3M ESPE, Neuss, Germany)은 모든 산부식 기법의 적용이 가능한 all-in one 광중합형 상아질 접착제라고 제조사는 말하고 있다. TNU의 경우 광중합이 필요한 상아질 접착제이지만 접착제의 두께가 기존의 접착제보다 더 얇다고 보고되어(Cho, 2016), 간접 수복물 접착 시 접착제의 두께로 인한 불완전한 합착의 우려를 덜 수 있다. SBU의 경우 Dual Cure Activator를 함께 사용시 이원 중합형으로도 사

용이 가능한 광중합형 상아질 접착제이나 자사 합착제인 RelyX Ultimate와 함께 사용할 경우 Dual Cure Activator를 사용하지 않아도 이원 중합이 가능하다고 제조사는 말하고 있어, 상아질 접착제의 두께로 인한 문제점들을 고려하지 않고 간접 수복물 접착에 사용될 수 있다.

하지만 이에 대한 임상 연구는 아직 부족하기에 본 연구를 통하여 간접 수복물 합착 시 광중합이 필요한 범용 상아질 접착제와 광중합이 필요치 않은 범용 상아질 접착제를 사용하여 수복물 합착 전과 후의 교합 변화가 있는지를 평가하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 임상연구는 연세대학교 치과대학병원 임상윤리위원회의 승인을 받아 실시하였으며(IRB no. 2-2016-0002), 2016년 4월 20일부터 2016년 10월 1일까지 연세대학교 치과대학병원 보존과에 내원한 환자 중 만 19세 이상의 건강한 성인으로 20개 이상의 잔존치아를 가지고 있고, 구치부의 치아 경조직 손상으로 Inlay 또는 Onlay의 간접 수복이 필요하며, 치료 대상치아의 대합치가 존재하는 사람을 연구대상자로 선정하였다.

연구기간동안 치료를 받은 사람 중 본 연구에 동의한 연구대상자 총 39명 중에서 10명을 제외한 29명이 연구대상자로 선정되었다.

제외된 연구대상자는 만 19세 이상 건강한 성인 남녀로 20개 이상의 잔존 치아를 가지고 있지 않은 경우가 2명, 평가를 위한 기록이 불충분한 경우가 5명, 술식의 오류로 제외된 경우가 3명 존재하였다.

29명의 연구 대상자는 합착과정에서 광중합을 시행한 TNU군과 광중합을 하지 않은 SBU군으로 무작위 배정되었고, TNU군은 14명, SBU군은 15명으로 분류되었다.

TBU군과 SBU군에 따른 일반적 특성은 Table 1와 같다. 일반적 특성은 연구대상자의 성별, 연령, 수복 부위, 수복 치아, 수복물의 종류로 구분하였다.

### 2. 연구 방법

#### (1) 수복물 제작

와동 형성 후 Omnicam (Sirona Dental Systems GmbH)을 이용하여 와동 치아를 스캔하여 디지털 인상채득 하였다. CEREC SW4.2와 4.3을 이용하여 디지털 인상 채득된 이미지를 분석하고 계산하여 수복물을 디자인하였다. Space parameter 120  $\mu$ m, marginal gap parameter는 60  $\mu$ m로 설정 값을 정하였고, IPS e.max CAD ("e.max block", Ivoclar Vivadent)과 CerecMC XL (Sirona Dental Systems GmbH)으로 수복물을 제작하였다. 제작된 수복물은

Table 1. General characteristics of the subjects

| Classification | N   |     |       |
|----------------|-----|-----|-------|
|                | TNU | SBU | Total |
| Sex            |     |     |       |
| Male           | 3   | 3   | 6     |
| Female         | 11  | 12  | 23    |
| Age            |     |     |       |
| 20≤29          | 3   | 3   | 6     |
| 30≤39          | 5   | 4   | 9     |
| 40≤49          | 1   | 2   | 3     |
| 50≤59          | 3   | 1   | 4     |
| 60≤69          | 2   | 4   | 6     |
| 70≤            |     | 1   | 1     |
| Arch           |     |     |       |
| Mx             | 6   | 5   | 11    |
| Mn             | 8   | 10  | 18    |
| Tooth          |     |     |       |
| Premolar       | 8   | 4   | 12    |
| Molar          | 6   | 11  | 17    |
| Type           |     |     |       |
| Inlay          | 10  | 5   | 15    |
| Onlay          | 4   | 10  | 14    |

Combination firing을 위해 Programat® CS (Ivoclar Vivadent)를 이용하였고, IPS e.max CAD Crystall Glaze Paste & Liquid (Ivoclar Vivadent)를 1:1로 혼합한 후 수복물의 표면에 얇게 도포하여 수복물에 광택을 냈다.

## (2) 수복물 합착

수복물의 내면을 Porcelain etchant (4% HF, Bisco, USA)으로 30초간 산부식하고 수세 건조한 후 Porcelain primer (Monobond plus, Ivoclar Vivadent, Liechtensein)를 1분 도포하고 압축공기로 건조시켰다.

TNU군과 SBU군 모두 와동의 법랑질을 35% 인산이 포함된 Echant (V-ETCH, Vericom, Korea)으로 20초간 선택적으로 산 부식하고 수세 건조한 후 실험군에 따라 TNU와 SBU를 각각 20초간 도포한 후 압축공기를 약하게 불어 건조하였다. TNU군은 20초간 광중합 하여 레진 합착제로 합착할 준비를 완료하였고 SBU군은 광중합 하지 않은 채로 합착 준비를 완료하였다. RelyX Ultimate를 수동 혼합하여 와동과 수복물을 합착 시켰고, 수동 혼합 3분이 지난 후 수복물의 각 면에서 각각 1분간 광중합 하였다.

## (3) 수복물의 교합 변화 평가

최종 수복물을 와동 내면에 전 처리 없이 시적 한 후 필요 시 21  $\mu\text{m}$ 의 교합지(Accufilm II, Parkell, New York, USA)와 8  $\mu\text{m}$ 의 심스탁(Shimstock Foil, Hanel Corp, Nuirtigen, Germany)을 이용하여 교합

조정을 거쳤다. 환자가 수복물 시적 후 불편감을 느끼지 않으며, 교합지 검사 시 지대치에 더 이상 교합점이 변하지 않고 일정하게 나타나며, 심스탁 검사 시 더 이상 지대치와 인접치의 물림에 변화가 없는 상태를 기준점으로 정하였다.

범용 상아질 접착제와 합착제를 이용하여 최종 수복물을 합착하였고, 잉여 합착제를 모두 제거 한 후 교합의 변화를 확인하였다. 교합지 검사로 합착 전과 동일한 부위에 교합점이 있는지를 비교하였고, 심스탁 검사로 지대치와 인접치에서 합착 전 물림과 변함이 없는지를 확인하였다. 교합점의 변화가 없고, 심스탁의 물림이 동일하다면 수복물의 교합이 합착 전과 같이 동일하다고 판단하였고, 새로운 교합점이 발견되진 않았으나 심스탁이 지대치에서만 물리도록 변했다면 수복물의 교합이 약간 높아졌다고 판단하였다. 새로운 교합점이 발견되었고 심스탁이 지대치에만 물린다면 수복물의 교합이 많이 높아졌다고 판단하였다. 이때 교합지와 심스탁 검사의 결과와는 무관하게 환자가 느끼는 불편감이 있는지를 확인하여 임상적 검사에서 교합의 변화가 없을 때 환자의 주관적인 느낌은 교합의 차이를 느끼는지를 확인하였다.

## (4) 분석 방법

연구대상자의 일반적 특성을 확인하기 위해 빈도분석을 실시하였고, 일반적 특성과 범용 상아질 접착제의 종류에 따른 수복물 교합의 변화를 확인하기 위해 피셔의 정확한 검정(Fischer's exact test)를 이용하여 분석하였다. 모든 통계 분석은 SPSS 통계 프로그램 ver. 23.0을 이용하였고, 통계적 유의수준은 0.05로

**Table 2.** Occlusion change of indirect restoration

| Indirect restoration occlusion | TNU       | SBU      | Total     | $\chi^2$ / Fisher's exact test | p     |
|--------------------------------|-----------|----------|-----------|--------------------------------|-------|
| Change                         | 1 (7.1)   | 0 (0)    | 1 (3.4)   | 2.154                          | 0.483 |
| Normal                         | 13 (92.9) | 15 (100) | 28 (96.6) |                                |       |

설정하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 간접 수복물의 교합 변화

간접 수복물 합착 후 TNU군과 SBU군의 수복물의 교합 변화는 Table 2와 같다. TNU군에서 수복물 합착 후 교합지 검사에서 교합점이 변화였고, 심스탁 검사 시 지대치에서만 물림을 확인하였다. 이로부터

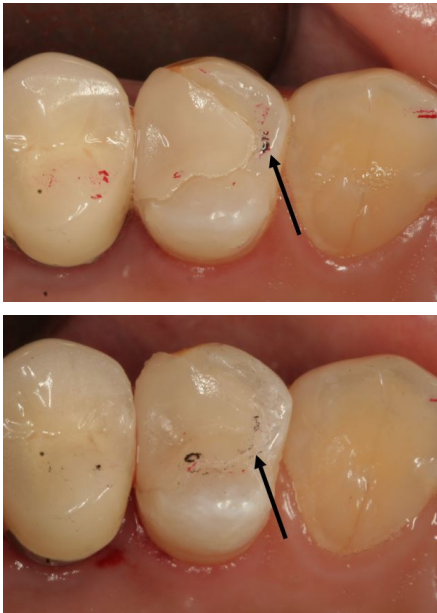


Fig. 1. Before and after attachment of indirect restoration.

TNU로 합착 후 수복물의 교합이 높아짐을 확인했고, 환자는 이때 불편감을 호소하였다. 교합점의 변화는 Fig. 1과 같다.

SBU군에서는 수복물 합착 후 교합지 및 심스탁 검사에서 교합점의 변화를 확인하지 못하여서 합착 후 수복물의 교합이 높아지지 않았음을 확인했다.

범용 상아질 접착제에 따라서 간접 수복물의 교합 변화가 있었지만 통계적으로 유의미한 연관성을 가지지 않았다.

#### 2. 일반적 특성에 따른 수복물의 교합 변화

환자의 일반적 특성 중 수복 부위, 수복 치아, 수복물의 종류에 따른 수복물의 교합 변화를 나타낸 것은 Table 3와 같다. 연구대상자의 일반적 특성 중 수복물의 교합 변화에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 변수는 없었다.

### IV. 고찰

Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM) 수복물과 같은 간접 수복물의 합착 시 사용되는 상아질 접착제의 두께는 수복물의 합착에 영향을 주어서 변연 적합성을 떨어뜨릴 수 있으며 이로 인해 수복물의 임상적 실패를 가져올 수 있다. 이전의 연구에서는 중합된 상아질 접착제의 두께가 200~300  $\mu\text{m}$ 에 이르기도 하여 수복물 시적 시 문제가 될 수 있다 하였다(Pashley et al, 1992).

Table 3. Occlusion change of indirect restoration according to general characteristics

| Variables | Category | Change  | Normal    | $\chi^2$ /Fisher's exact test | p     |
|-----------|----------|---------|-----------|-------------------------------|-------|
| Arch      | Mx       | 1 (9.1) | 10 (90.9) | 2.8                           | 0.379 |
|           | Mn       | 0 (0)   | 18 (100)  |                               |       |
| Tooth     | Premolar | 1 (8.3) | 11 (91.7) | 2.545                         | 0.414 |
|           | Molar    | 0 (0)   | 17 (100)  |                               |       |
| Type      | Inlay    | 1 (6.7) | 14 (93.3) | 2.0                           | 1.00  |
|           | Onlay    | 0 (0)   | 14 (100)  |                               |       |

상아질 접착제의 두께로 인한 문제점을 해결하기 위해서는 상아질 접착제를 먼저 광중합하지 않고 합착제와 함께 광중합하거나, 임상에서 주로 시행하는 gentle air-blow보다는 max air-blow를 통하여 상아질 접착제가 최소한의 두께를 가지게 하는 방법이 사용된다고 하였다(Frankenberger et al, 2000).

본 연구에서는 간접 수복물 합착 시 광중합이 필요한 상아질 접착제인 TNU를 사용하였는데, 상아질 접착제의 두께를 줄이기 위한 max air-blow를 시행하지 않고 gentle air-blow만을 하였기 때문에 수복물 시적 시 상아질 접착제의 두께로 인한 문제점으로 수복물의 교합 변화가 있을 것이라 예상하였다. 반면에 RelyX Ultimate와 함께 사용 시 광중합이 필요치 않은 SBU를 사용하였을 경우, 상아질 접착제의 두께로 인한 문제점은 없을 것이라 예상하였다. 수복물 합착 후 교합의 변화를 평가하였을 시 예상한대로 TNU군에서 교합의 변화를 관찰할 수 있었으나 이는 통계적으로 유의미한 차이는 아니었다.

범용 상아질 접착제의 두께에 air-blow가 미치는 요인에 대해 살펴본 Cho의 연구(2016) 결과에 따르면 TNU에 air-blow를 하고 광중합을 한 경우 상아질 접착제의 두께는  $38.05 \mu\text{m}$ 였고, TNU에 air-blow를 하지 않고 광중합을 한 경우 상아질 접착제의 두께는  $33.30 \mu\text{m}$ 이라고 보고하여 TNU는 air-blow에 영향을 받지 않는다고 볼 수 있었고, 범용 상아질 접착제 중에서도 얇은 두께를 가진 상아질 접착제라고 할 수 있다. 선행 연구의 결과를 토대로 TNU는 얇은 두께를 가진 상아질 접착제이기 때문에 본 연구에서 기대한 것처럼 광중합으로 인한 수복물의 교합 변화에 영향을 미치지 못했다고 사료된다.

광중합이 필요치 않은 SBU를 사용하여 간접 수복물을 합착 한 경우 예상대로 수복물 시적 시 접착제의 두께가 문제가 되지 않았다. 하지만 Lee and Park(2009)의 연구에서는 접착제의 두께를 최소화하기 위한 방법으로 max air-blow를 시행한 경우보다 광중합을 시행하지 않은 경우에 가장 낮은 전단 접착

강도를 보인다고 하였다. 이로써 SBU와 같이 광중합을 시행하지 않았을 경우 접착제의 두께로 인한 문제점들은 해결이 되지만 간접 수복물의 임상적 성공에 중요한 영향을 미치는 접착 강도에는 광중합을 시행하지 않는 것이 불리하게 작용하는 것을 확인할 수 있었다. 위의 선행연구는 실험실에서 이루어진 실험으로 실제 임상에서 광중합을 하지 않은 접착제를 사용하여 간접 수복물을 접착한 경우를 다루는 장기간의 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구와 같은 임상 연구를 통하여 광중합 하지 않은 범용 상아질 접착제를 사용한 수복물의 임상적 성공을 가능할 수 있는 추가적인 관찰이 필요하다.

본 연구의 방법 중 교합 변화 평가에 사용한 교합지는 임상에서 가장 빈번히 사용되는 것으로, 착색 부위의 위치나 방향, 치면에 관찰되는 색의 농담을 보고 교합 접촉을 평가 방법이다(Masahiro et al, 2011). 하지만 교합지로 평가하는 방법은 치면의 표면 거칠기나 젖음성, 교합접촉 부위의 재질, 사하악의 교합 강도에 큰 영향을 받는다. 예를 들어, 세라믹 수복물의 광택면이나 젖은 치면은 잘 기록되지 않고, 교합력이 약할 경우에는 실제로 치아는 접촉하고 있어도 기록이 되지 않는 한계점도 있다. 수복물의 종류나 교합력의 강약으로 인하여 발생할 수 있는 편차를 줄이고자 본 연구에서는 교합지와 심스탁을 함께 사용하여 교합점을 확인하였다(Blair et al, 2002). 교합지와 심스탁과 같은 술자에 의한 평가 외에도 환자의 불편감도 평가하여 교합의 변화를 비교 하였다. 이는 교합지와 심스탁으로도 확인 하지 못하는 미세한 변화를 확인하고자 시행한 평가였지만 환자의 민감도에 따라 연구 결과가 달라지는 한계점을 갖기도 하였다. 이를 보완하기 위하여 보다 객관적이고 미세한 교합 변화를 평가를 위하여 T-scan과 같은 기기를 사용한 임상 연구를 진행하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

이번 연구의 결과를 살펴보면 TNU군에서 단 1명만이 교합 변화가 있었는데, 이는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 하지만 TNU는 범용 상아질 접착제 중

에서도 두께가 얇은 접착제에 속하고 현재 임상에서 사용되는 범용 상아질 접착제들의 두께는 매우 다양하기 때문에 범용 상아질 접착제의 광중합 여부가 간접 수복물의 교합 변화에 영향을 미치지 않는다고 일반화하여 적용할 수는 없을 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 실험실에서 한 범용 상아질 접착제의 두께를 평가하는 연구가 아닌 환자를 대상으로 범용 상아질 접착제의 두께가 간접 수복물의 교합 변화에 영향을 미치는 지 살펴본 연구라는 점에서 의미가 있다.

## VI. 참고문헌

- Blair FM, Wassell RW, Steele JG. Crowns and other extra-coronal restorations: preparations for full veneer crowns. *Br Dent J* 2002;192(10):561-4, 567-71.
- Cho KY. Adhesive layer thickness of universal adhesives and influence of air-thinning on its thickness [doctoral dissertation]. Seoul: Yonsei University; 2016.
- Coelho Santos MJ, Navarro MF, Tam L, McComb D. The effect of dentin adhesive and cure mode on film thickness and microtensile bond strength to dentin in indirect restorations. *Oper Dent* 2005;30(1):50-7.
- de Menezes FC, da Silva SB, Valentino TA, Oliveira MA, Rastelli AN, Gonçalves Lde S. Evaluation of bond strength and thickness of adhesive layer according to the techniques of applying adhesives in composite resin restorations. *Quintessence Int* 2013;44(1):9-15.
- Frankenberger R, Krämer N, Oberschachtsiek H, Petschelt A. Dentin bond strength and marginal adaption after NaOCl pre-treatment. *Oper Dent* 2000;25(1):40-5.
- Hayashi M, Tsuchitani Y, Kawamura Y, Miura M, Takeshige F, Ebisu S. Eight-year clinical evaluation of fired ceramic inlays. *Oper Dent* 2000;25(6):473-81.
- Jang JH, Lee BN, Chang HS, Hwang YC, Oh WM, Hwang IN. Bonding efficacy of cured or uncured dentin adhesives in indirect resin. *JKACD* 2011;36(6):490-7.
- Kim MK, Kim KM. Survey study on the using state of dentin bonding systems in Korea. *J Korean Dent Assoc* 2016;54(10):780-8.
- Lee JI, Park SH. The effect of three variables on shear bond strength when luting a resin inlay to dentin. *Oper Dent* 2009;34(3):288-92.
- Masahiro K, Keiji S. Park SJ, Park JY, Kim JC, Lee HK, translators. *Practical occlusal adjustment and function*. Seoul: Daehannarae; 2011. pp.8.
- McCabe JF, Rusby S. Dentine bonding--the effect of pre-curing the bonding resin. *Br Dent J* 1994; 176: 333-6.
- Pashley EL, Comer RW, Simpson MD, Horner JA, Pashley DH, Caughman WF. Dentin permeability: sealing the dentin in crown preparations. *Oper Dent* 1992;17(1):13-20.
- Peter A, Paul SJ, Lüthy H, Schärer P. Film thickness of various dentine bonding agents. *J Oral Rehabil* 1997;24(8):568-73.
- Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 2005;21(9):864-81.
- Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent* 2002;30(7-8):371-82.
- Tay FR, Pashley DH. Water treeing--a potential mechanism for degradation of dentin adhesives. *Am J Dent* 2003;16(1):6-12.
- Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28(3):215-35.
- Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii Y, Ogawa T, et al. Self-assembled nano-layering at the adhesive interface. *J Dent Res* 2012;91(4):376-81.