

자연치와 임플란트 고정성보철에서 PAEK소재의 적용

경북대학교 치과대학 치과보철학교실

이 두 형

ABSTRACT

Dental application of Polyaryletherketone for fixed dental prostheses

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University
Du-Hyeong Lee, DDS, MSc, PhD

Polyaryletherketone (PAEK) is recently introduced in dentistry. The polymer has superior mechanical and chemical properties compared to previous dental materials. PAEK has been explored for lots of applications for clinical dentistry. The prostheses can be made by the injection molding or milling techniques. Recent studies focus on improving the bioactivity of PAEK and expanding the application. The purpose of this article is to introduce the basic features, chemical structure and various clinical applications in fixed dental prostheses. Further research and clinical trials will be needed to confirm the usability of PAEK in the routine practice.

Key words : Polyaryletherketone, Mechanical property, Fixed dental prostheses, Clinical application

Corresponding Author

Du-Hyeong Lee, DDS, MSc, PhD

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University,
2175 Dalgubeol-daero, Jung-Gu, Daegu 41940, Republic of Korea
deweylee@knu.ac.kr

I. 서론

Polyaryletherketone(PAEK)는 고성능 반결정 열가소성 수지 (high-performance semi-

crystalline thermoplastic resin)로 물리적, 화학적인 성질이 유지되는 항구적 물성과 우수한 기계적 화학적 특성을 가지고 있다^{1,2)}. 그리고 내열성으로 항공분야의 구조재로 고성능 분야에서도 활용되는 재료

이다. 또한 매우 낮은 수분 흡수력과 전기절연성을 가지고 있다. 이러한 고성능 중합체인 PAEKs는 유럽에서 오래전부터 연구가 진행되어 반도체, 전기부품, 각종 정밀기기부품 등 우주산업과 공학에서 먼저 활용되었다. 의료분야는 1990년대부터 정형외과에 도입되어 사용이 확대되었다³⁾.

치과보철물에 대한 적용은 독일에서 부터 시작되었고 최근에 우리나라에서도 식약처의 승인을 받아 치과보철 수복재료로 사용되고 있다. 본저에서는 PAEK 재료가 치과보철물에 사용될 수 있는 근거와 화학적 구성을 먼저 알아보고 실제로 임상적으로 활용되는 구체적인 예를 살펴보고자 한다.

II. 본론

1. PAEK가 치과보철물에 사용될 수 있는 근거

치과보철물은 우수한 파절강도, 높은 인장력, 마모저항성, 화학적 불활성을 필요로 한다⁴⁾. 그리고 지대치의 보호를 위해 외부 충격으로부터 응력을 감소시키는 성질과 생체적합성이 요구된다. 또한 심미보철재료로서 자연치와 유사한 색조와 투과성이 요구 된다.

치과 분야에 소개된 PAEK은 치과 보철물로서 사

용되기에 유리한 특징을 가지고 있다. 주요 장점은 자연치의 상아질과 유사한 탄성계수(Modulus of Elasticity)를 가지고 있다는 것이다(표 1)⁵⁾. 4GPa의 탄성의 계수인 골(bone)처럼 유연하게 하고 응력을 차단할 수 있다⁶⁾. 이러한 하중을 흡수하는 완충효과는 교합력의 충격을 흡수하여 치아와 치근에 전달되는 힘을 줄여 준다. 골유착으로 동요도가 없는 임플란트에서 기존의 높은 탄성계수의 재료가 아닌 자연치와 유사한 낮은 탄성계수의 수치를 가지고 있는 PAEK소재를 사용하는 것은 응력분산에 특히 유리할 수 있다⁵⁾.

부가적인 장점으로 PAEK는 비중이 낮으므로 가벼운 보철물의 제작을 가능하게 하며 이것은 기능 시 환자의 만족도와 편안함을 높인다⁷⁾. 그리고 PAEK는 방사선투과성 재료이므로 임플란트 보철물에 사용되어 치근단 방사선사진 촬영시 지대주 나사 파절 혹은 폴립의 진단을 가능하게 한다. 그 외의 장점으로는 뛰어난 생체 적합성, 높은 마모저항성, 절연성, 훌륭한 광택, 낮은 치태형성 그리고 임상에서의 절삭도구를 통한 성형성이 있다^{8~10)}.

단점은 복합레진으로 피개시 접착력이 상대적으로 낮다는 것이다¹¹⁾. 심미적으로 관점에서 PAEK는 치아색을 띄기는 하지만 반투명성과 회색조로 부가적인 복합레진 피개를 필요로 하고 낮은 표면 에너지로 인해

표 1. The tensile strength and elastic moduli of PAEK, CFR-PEEK, PMMA and mineralized human tissues

Material	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)
PAEK(PEEK)	80	3-4
CFR-PEEK	120	18
Cortical bone	104-121	14
PMMA	48-76	3-5
Dentin	104	15
Enamel	47.5	40-83
Titanium	954-976	102-110

PAEK, polyaryletherketone; CFR-PEEK, carbon-reinforced polyetheretherketone; PMMA, polymethylmethacrylate.

임상가를 위한 특집 1

충분한 접착력을 달성하기 어렵다.

2. PAEK 구성 및 물성

치과에서 사용되어지는 PAEK재료는 화학적 구조에 따라 polyetheretherketone(PEEK)와 polyetherketoneketone(PEKK)로 나눌수 있다. 두 소재는 ether-와 ketone-의 비율에 따라 구분되어지고, 사출성형 또는 CAD/CAM 절삭공정을 통해 보철물의 제작에 사용된다. PEEK는 화학적인 구조상 벤젠고리 구조(aromatic backbone)가 연결된 중합체이다(그림 1)¹¹⁾. 4,4'-difluorobenzo phenone과 diphenyl sulfone의 반응으로 합성하고, 용융점은 약 335℃ 이다. PEEK는 술폰화(sulfonation), 아민화(amination), 니트로화(nitration) 반응 등을 통해 성질이 변형될 수 있다¹²⁾. PEKK소재는 비정질 형태와 결정질 형태를 모두를 가지고 있어 높은 탄성

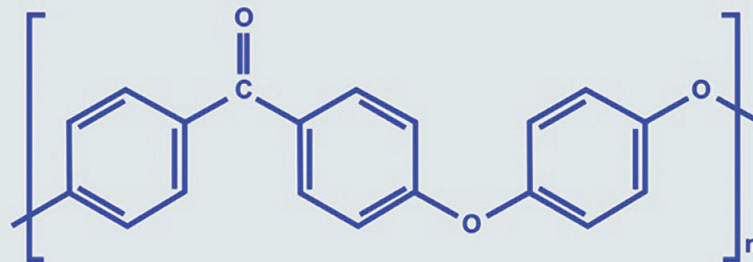
과 강도를 동시에 가진다¹³⁾. 그리고 PEKK는 높은 전이온도 및 용점 그리고 우수한 안정성 갖고 있어 큰 하중이 작용하는 부위에 사용된다⁴⁾.

3. 치과 임상적 적용

PAEK소재는 고기능성 중합체로 고정성 보철 분야에서 주로 치과보철물의 하부구조, 임시보철물, 임플란트, 치유지대주로 사용된다(그림 2)^{11, 15)}.

1) 치아지지 고정성보철

PAEK는 실제 치아의 법랑질과 상아질 구조와 유사한 기계적인 성질로 인해 도재금속관 혹은 지르코니아 보철물의 대안으로 사용될 수 있다⁴⁾. CAD/CAM으로 가공한 PAEK 고정성 치과보철물은 완전도재수복물 혹은 지르코니아수복물보다 파절 저항성과 마모도가 높게 보고된 연구도 있다^{16, 17)}. 유



Chemical Structure of PEEK

그림 1. polyetheretherketone (PEEK) 단량체 단위의 화학구조식.

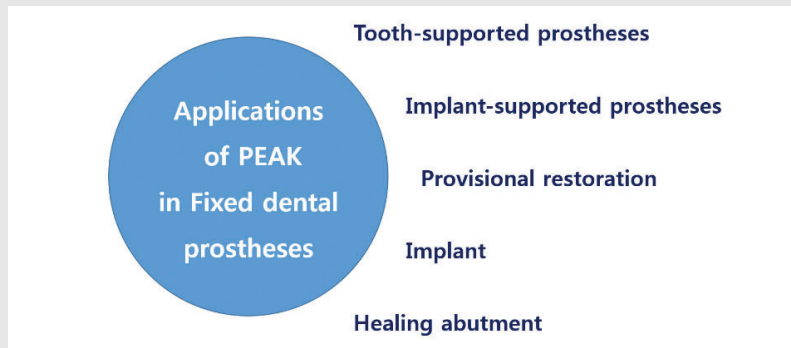


그림 2. 고정성 보철에서 PAEK의 적용분야.

백색을 띠고 있으나 자연치에 준하는 심미성과 투명도를 향상시키기 위해 보철물 제작 시 주로 복합레진을 이장(veneering)하여 완성한다⁶⁾. PAEK와 복합레진의 결합력을 증진시키려는 연구들이 소개되고 있는데, 기계적인 표면처리(airborne particle abrasion)와 실리카 코팅으로 인해 표면의 젖음성이 향상되며, 화학적 부식으로 전단 결합강도가 높아진다는 연구결과가 발표되었다^{1, 15)}. 현재 치아를 전부도재관 형태로 삭제하여 수복하는 경우에서 사용이 확대되고 있으며(그림 3), 최근에는 Endocrown 형태의 보철물에도 적용되었다(그림 4⁷⁾. Endocrown은 짧은 임상적 치관을 가지고 근관이 석회화되었거나 짧은 치아에서 포스트와 코어 수복이 불가능한 경우 추천된다⁸⁾. PAEK소재는 저작력이 치아가 전달되는 양상을 약화시킬 수 있어 광범위하게 손상을 받은 구치부의 보철에 도움이 된다⁷⁾. 아직 PAEK만을 이용한 단관의 임상적용 연구는 거의 없으나 복합레진이나 치아와의 접착이 검증된다면 임상 적용의 확

대를 기대 해볼 수 있다.

2) 임플란트지지 고정성보철

상아 질과 유사한 탄성계수 (Modulus of Elasticity)를 가지는 PAEK의 물성은 임플란트지지 고정성보철물에 적용시 응력분산에 유리할 수 있다. 이러한 하중 완충효과는 교합력에 대한 충격이 국소적인 부위에 집중되는 것을 방지하여 임플란트 보철물의 기계적 합병증을 줄여준다. PAEK를 이용한 임플란트 하부구조의 제작은 CAD/CAM을 이용한 절삭가공으로 제작되고, 비귀금속 합금의 대안 재료로 사용되고 있다. 특히 광범위한 결손을 가진 전악 수복에서 유리하다(그림 5). 현재까지는 장기적인 임상적인 근거가 부족하므로 추가적인 연구를 필요로 한다⁹⁾.

3) 임시보철물

PAEK는 아크릴 기반의 임시보철물을 대체할 수 있다²⁰⁾. 특히 치료의 목적, 예후의 확인 혹은 광범위한

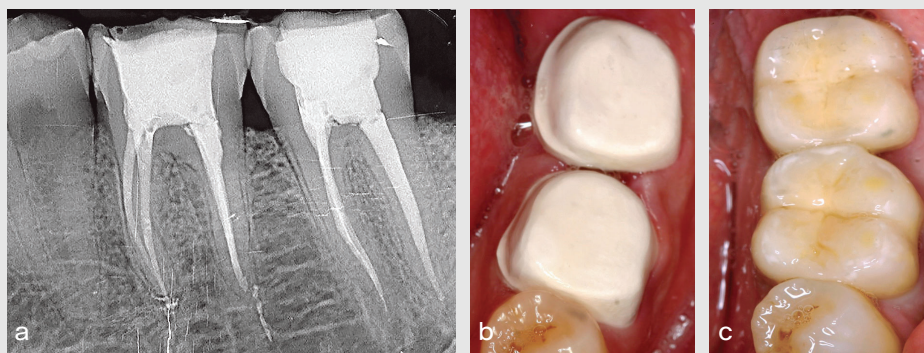


그림 3. 치아지지 고정성보철물 증례1. (a) 근관치료 완료된 하악 좌측 대구치, (b) polyetheretherketone (PEEK) 하부골격 시적, (c) 복합레진 이장된 최종보철물 장착.



그림 4. 치아지지 고정성보철물 증례2. (a) 근관치료 완료된 상악 우측 대구치, (b) Endocrown 형태로 치아삭제, (c) Endocrown 보철물 장착.

임상가를 위한 특집 1

보철치료를 위해 장기간 임시보철물을 사용해야 하는 경우 효용성이 높다(그림 6)²¹⁾.

4) 임플란트

의학 영역에서 먼저 PEAK소재를 이용하여 melt-blending과 압축 몰딩법으로 간접적인 체내 또는 체외 복원에 사용되었다. 현재 PEAK소재는 임플란트 자체의 제작에도 이용되고 있는 데 골와 기계적 특성이 유사하기 때문에 티타늄 임플란트에 비해 주변의 골과 응력차가 적게 존재한다⁴⁾. 생물학적 활성화와 골전도성을 개선하기 위해 나노 수준에서 생물학적 재료인 골전도성 칼슘 하이드록시아파타이트(calcium hydroxyapatite) 또는 플라즈마 분사식의 티타늄의

코팅이 시도되고 있다^{22, 23)}.

5) 치유지대주

티타늄 임플란트 지대주의 대안으로 PAEK 지대주가 도입되었다. 이러한 지대주는 좀 더 쉽게 임상에서 형태를 조정할 수 있고 금속색이 아닌 흰색을 띄기에 심미성을 높다²⁴⁾. 이전의 연구에서도 피험자로부터의 높은 만족도가 보고 되었다³⁾.

Ⅲ. 결론

PAEKs는 고성능 반결정 열가소성 소재로써 최근



그림 5. 임플란트지지 고정성보철물. (a) 인상채득, (b) 절삭가공을 통한 왁스 하부골격, (c) Polyetheretherketone 하부골격의 시적, (d) 최종보철물.

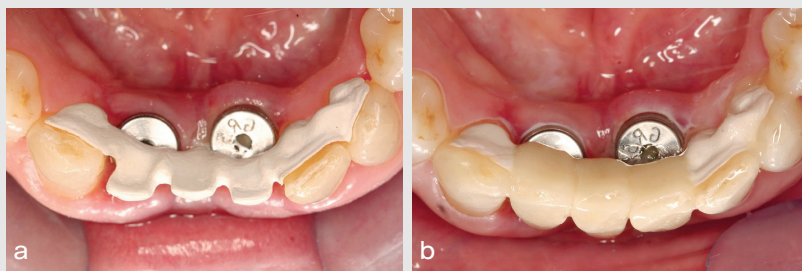


그림 6. 장기간 사용목적의 임시보철물. (a) Polyetheretherketone 레진접착 고정성 보철물 골격, (b) 복합레진이 이장된 Polyetheretherketone 레진접착 고정성 보철물.

에 치과 보철에 도입되었다. 자연치와 기계적 물성이 유사하고 생체적합성이 우수하여 앞으로 치의학분야에서 치과보철 수복재료로 많은 활용이 기대된다. 그리고 고온사출 뿐 아니라 CAD/CAM 절삭가공을 통해 적용될 수 있으므로 고정성 보철에서 특히 활용도가 높다. 현재 재료 성분의 추가적인 변형과 치료의 목적에 맞는 형태로 물성이 개선되고 있다. 임상에서 사용되는 주재료로 자리매김하기 위해서는 장기간의 임

상결과에 의한 평가를 필요로한다.

감사의 말(Acknowledgement)

Figures have been reproduced by courtesy of Dr. Panagiotis Zoidis.



그림 7. 금속연결부에 결합된 polyetheretherketone (PEEK) 치유지대주.

참 고 문 헌

1. Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials* 2007; 28:4845-4869.
2. Toth JM, Wang M, Estes BT, Scifert JL, Seim HB, 3rd, Turner AS. Polyetheretherketone as a biomaterial for spinal applications. *Biomaterials* 2006; 27:324-334.
3. Rea M, Ricci S, Ghensi P, Lang NP, Botticelli D, Soldini C. Marginal healing using Polyetheretherketone as healing abutments: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28:e46-e50.
4. Pokorny D, Fulin P, Slouf M, Jahoda D, Landor I, Sosna A. [Polyetheretherketone (PEEK). Part II: application in clinical practice. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 2010; 77:470-478.
5. Sandler J, Werner P, Shaffer MS, Demchuk V, Altstädt V, Windle AH. Carbon-nanofibre-reinforced poly(ether ether ketone) composites. *Compos Part A: Appl Sci Manuf* 2002; 33:1033-1039.
6. Skinner HB. Composite technology for total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1988:224-236.
7. Zoidis P, Bakiri E, Polyzois G. Using modified polyetheretherketone (PEEK) as an alternative

참 고 문 헌

- material for endocrown restorations: A short-term clinical report. *J Prosthet Dent* 2017; 117:335-339.
8. Heimer S, Schmidlin PR, Stawarczyk B. Discoloration of PMMA, composite, and PEEK. *Clin Oral Investig* 2017; 21:1191-1200.
 9. Heimer S, Schmidlin PR, Roos M, Stawarczyk B. Surface properties of polyetheretherketone after different laboratory and chairside polishing protocols. *J Prosthet Dent* 2017; 117:419-425.
 10. Katzer A, Marquardt H, Westendorf J, Wening JV, von Foerster G. Polyetheretherketone--cytotoxicity and mutagenicity in vitro. *Biomaterials* 2002; 23:1749-1759.
 11. Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, Jahn D, Sener B, Roos M et al. Polyetheretherketone—a suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2013; 101:1209-1216.
 12. Staniland P, Wilde C, Bottino F, Di Pasquale G, Pollicino A, Recca A. Synthesis, characterization and study of the thermal properties of new polyarylene ethers. *Polymer* 1992; 33:1976-1981.
 13. Reich S, Wichmann M, Nkenke E, Proeschel P. Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. *Eur J Oral Sci* 2005; 113:174-179.
 14. Schwitalla A, Muller WD. PEEK dental implants: a review of the literature. *J Oral Implantol* 2013; 39:743-749.
 15. Najeeb S, Zafar MS, Khurshid Z, Siddiqui F. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics. *J Prosthodont Res* 2016; 60:12-19.
 16. Beuer F, Steff B, Naumann M, Sorensen JA. Load-bearing capacity of all-ceramic three-unit fixed partial dentures with different computer-aided design (CAD)/computer-aided manufacturing (CAM) fabricated framework materials. *Eur J Oral Sci* 2008; 116:381-386.
 17. Zok FW, Miserez A. Property maps for abrasion resistance of materials. *Acta Mater* 2007; 55:6365-6371.
 18. Biacchi GR, Basting RT. Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post-retained conventional crowns. *Oper Dent* 2012; 37:130-136.
 19. Han KH, Lee JY, Shin SW. Implant- and Tooth-Supported Fixed Prostheses Using a High-Performance Polymer (Pekkton) Framework. *Int J Prosthodont* 2016; 29:451-454.
 20. Stawarczyk B, Eichberger M, Uhrenbacher J, Wimmer T, Edelhoff D, Schmidlin PR. Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types. *Dent Mater J* 2015; 34:7-12.
 21. Zoidis P, Papathanasiou I. Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. *J Prosthet Dent* 2016; 116:637-641.
 22. Schwitalla AD, Zimmermann T, Spintig T, Abou-Emara M, Lackmann J, Muller WD et al. Maximum insertion torque of a novel implant-abutment-interface design for PEEK dental implants. *J Mech Behav Biomed Mater* 2018; 77:85-89.
 23. Liu X, Gan K, Liu H, Song X, Chen T, Liu C. Antibacterial properties of nano-silver coated PEEK prepared through magnetron sputtering. *Dent Mater* 2017; 33:e348-e360.
 24. Santing HJ, Meijer HJ, Raghoobar GM, Ozcan M. Fracture strength and failure mode of maxillary implant-supported provisional single crowns: a comparison of composite resin crowns fabricated directly over PEEK abutments and solid titanium abutments. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012; 14:882-889.