

A Preliminary study of Biomechanical Behavior of High-Performance Polymer Post-Core System 고성능 폴리머 재질의 포스트-코어 시스템의 생역학적 거동에 대한 예비실험

Ki-Sun Lee¹, Jong-Eun Kim², Jee-Hwan Kim², Jeong-Yol Lee³, Sang-Wan Shin⁴

¹Department of Prosthodontics, Korea University Ansan Hospital, Seoul, Republic of Korea

²Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea

³Department of Prosthodontics, Korea University Guro Hospital, Seoul, Republic of Korea

⁴Korea University Medical Center, Seoul, Republic of Korea

이기선¹, 김종은², 김지환², 이정열³, 신상완⁴

¹고려대학교 안산병원 치과-보철과, ²연세대학교 치과병원 보철과

³고려대학교 구로병원 치과-보철과, ⁴고려대학교 의료원 명예교수

The aim of this study was to evaluate the biomechanical behavior and long-term safety of high performance polymer PEKK as an intraradicular dental post-core material through comparative finite element analysis (FEA) with other conventional post-core materials. A 3D FEA model of a maxillary central incisor was constructed.

A cyclic loading force of 50N was applied at an angle of 45° to the longitudinal axis of the tooth at the palatal surface of the crown. For comparison with traditionally used post-core materials, three materials (gold, fiberglass, and PEKK) were simulated to determine their post-core properties.

PEKK, with a lower elastic modulus than root dentin, showed comparably high failure resistance and a more favorable stress distribution than conventional post-core material. However, the PEKK post-core system showed a higher probability of debonding and crown failure under long-term cyclic loading than the metal or fiberglass post-core systems. (*J Korean Acad Esthet Dent* 2018;27(2):75-81)

Key words: high performance polymer, post-core material, Finite Element Analysis

• Received 2018.08.28 • Last Revision 2018.10.12 • Accepted 2018.11.05

• Corresponding Author: Ki-Sun Lee

Department of Prosthodontics, Korea University Ansan Hospital, Seoul, Republic of Korea

E-mail: suns0917@naver.com

○ 서론

외상이나 치아 우식증 등에 의해 치관이 많이 손상된 치아의 경우, 일반적으로 근관 치료 후 소실된 치관부 회복을 위해서 치과용 포스트코어 시스템을 사용된다. 일반적으로 고려 되어야 할 포스트-코어시스템이 가져야 할 물성으로는 생리적인 저작력에 견딜 수 있는 적절한 강도가 있어야 하며, 코어재료를 유지시킬 수 있어야 하고, 치근 파절의 위험이 적어야 하고, 부식을 유발하지 않아야 한다는 것이다. 이러한 포스트-코어시스템에 요구되는 물성에 맞춘 치과용 재료로 일체형이면서, 근관의 모양에 적합하도록 제작이 가능하며, 높은 강도를 가지는 주조형 금속 포스트-코어 시스템을 전통적으로 많이 사용되어 왔다.

하지만 일체형의 주조 금속 포스트 시스템은 상아질과 포스트 재료의 탄성계수의 차이가 커, 수복된 치아의 치근파절 가능성을 높일 수 있어, 금속 포스트-코어 시스템 개발 이후 수많은 생체 친화형 치과재료들이 대체재료로 연구되어 왔으며, 최근에는 금속보다는 강도가 낮지만 상아질보다는 높고, 부식저항성이 높은 유리섬유 재료가 많이 연구되어지고 또한 사용되어지고 있다. 하지만 유리섬유 즉, fiber glass 포스트의 경우 기성품으로만 제조가 가능하여 다양한 형태의 치아 근관 모양에 맞춤형태가 아니며, 주조형으로 사용 못한다는 단점으로 포스트-코어 일체형이 아니다 보니, 상부구조인 core는 레진으로 별도로 성형물을 만들어야 한다는 단점이 있다.

최근 치과계에서는 생체친화적인 고성능 폴리머인 polyaryletherketone 재료들이 구강내 보철물 제작 및 임상적용에 대해서 활발히 연구가 진행되고 있다. 특히 polyetherketoneketone, 즉 PEKK는 고성능 폴리머 계열 중 가장 강도가 높아 인체 상아질 및 피질골과 유사한 탄성계수를 보여주면서 동시에 생체친화적이고 부식이 없어 의료계에서는 생체이식 재료로 많이 이용되고 있다. 우수한 물리적 특성에 추가하여 PEKK는 밀링 및 프레스링 모두 가능하다는 폴리머 재료의 특성을 갖추고 있어 치과계에서는 전장관의 코어재료 및 고정성 보철물의 재료프레임 재료, 주조형 포스트재료로 관심을 받고 있다.

포스트 코어재료로써의 PEKK는 금속보다는 낮으면서 치아의 상아질과 유사한 탄성계수를 가질 수 있으면서, 유리섬유 포스트와 같은 코어와 포스트가 분리되어 있는 분리형 포스트와 달리, 주조형의 일체형 포스트-코어 형태를 얻을 수 있다는 장점을 동시에 얻을 수 있다는 것이다. 하지만 현재까지 PEKK를 치과용 포스트 코어 재료로써 평가한 연구는 아직까지 없는 실정이다.

이에 본 연구는, 3차원 유한요소분석법을 이용하여 PEKK 포스트 코어 시스템과 다른 전통적인 재료를 포스트-코어 재료로 사용한 경우를 비교함으로써 PEKK 포스트 코어 시스템이 가지는 생역학적 거동 특성을 분석하고자 하였다.

○ 실험 방법 및 재료

우선 기본 치아 모델로 치아장축에 평행하지 않는 저작 하중을 받는 상악 우측 중절치를 기본 치아 모델로 설정하였습니다. 실제와 유사한 환경을 모델링 하기 위해 상악골 부분은 피질골과 해면골로 구분하였으며, 치주인대, 치근, GP-cone, 포스트와 코어, 포스트와 상아질 접착용 레진, 수복용 크라운 부분을 구분하여 모델링 하였다.

포스트 코어는 금속 재질과 PEKK 재질의 경우 일체형의 형태로 모델링 하였으며, fiber-glass의 경우 포스트와 코어 부분이 분리되어 있는 분리형 형태로 모델링 하였다(Fig 1).

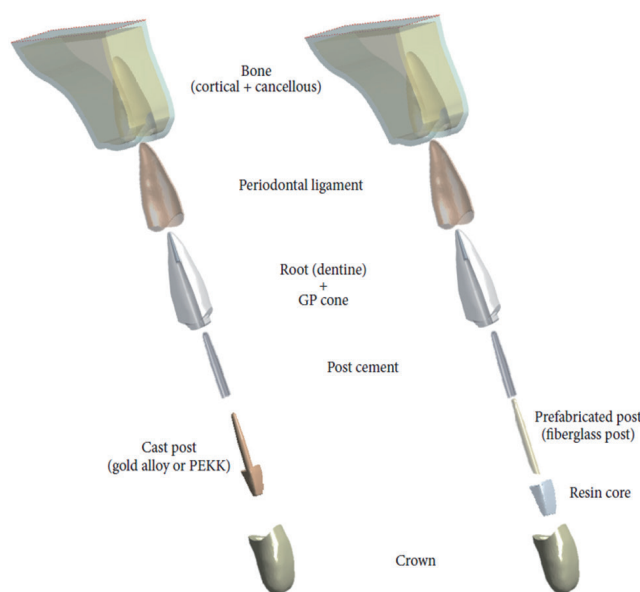


Fig 1. 포스트-코어시스템을 가지는 치아에 대한 가상 모델링. 좌측은 포스트와 코어가 일체형 인 시스템에 대한 모델링. 우측은 포스트와 코어가 이체형이 아닌 시스템에 대한 모델링

포스트 코어 형태의 외형에 의한 영향 배제를 위하여 주조형과 분리형 포스트 코어 시스템 모두 외형은 동일하게 설정 하였습니다. 금속과 PEKK 재질을 대상으로한 주조형 포스트코어모델 2개와 fiber-glass 포스트를 대상으로한 기성 포스트 및 레진코어 형태의 모델1개를 실험 모델로, 총 3개의 실험모델을 설정하였다. 경계조건으로 상악골 기저부 부분만 고정하는 것으로 가정 하였으며, 상악 전치부 설면에 50N의 하중을 치아 장축에 45도 기울기로 12만회 반복조건으로 설정 하였다. 이것은 1994년 Krejci 등에 따르면 해당 하중조건은 임상적으로 5년간의 저작 기능을 수행한 것과 동일한 하중 조건이라고 언급한 것을 참고한 것이다.

모델링에 사용된 재료들의 물리적 성질은 이전 연구자료를 토대로 설정하였다. 총 11개의 모델객체의 물리적 성질을 설정하였습니다(Table 1)

Table1. 유한요소 분석에 사용된 재료의 역학적 설정값

Materials	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Reference
Cortical bone	13.7	0.30	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Trabecular bone	1.37	0.30	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Periodontal ligament	0.069	0.45	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Dentine	18.6	0.31	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Gutta-percha	0.00069	0.45	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Post cement	5.0	0.30	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Resin core	20.0	0.30	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)
Fiberglass post	53.8	0.30	Cheleux, et al. (2009)
Gold alloy	95.0	0.33	Sakaguchi and Powers (2012)
PEKK	5.1	0.40	Manufacturer
Ceramic crown	62.0	0.30	Rodríguez-Cervantes, et al. (2011)

○ 결과

포스트-코어 시스템으로 수복된 치아에 기능 하중이 작용할 경우 우선 크라운 부분의 순면 cervical 부분의 치근과 접촉하는 부분에 많은 응력이 집중됨이 우선 확인 되었습니다. 또한 포스트의 탄성계수에 의해서도 영향을 받는 것인 확인 되었으며, 포스트 탄성계수가 낮을수록 수복 크라운이 받는 응력인 증가하는 경향이 있음을 확인 되었다.

Post에 작용하는 응력은 포스트 자체의 탄성계수물성에 크게 좌우됨을 볼 수 있습니다. 즉, 포스트의 탄성계수값이 낮아 질수록 작용하는 응력값은 낮아짐이 확인되었다. 다만 포스트 바로 인접 구조물인 포스트 시멘트 부분과 크라운 부분은 포스트의 탄성계수값이 낮아질수록 오히려 약간 증가함이 관찰되었다.

상아질 즉 잔존치근 부분에 전달되는 응력은 포스트의 탄성계수와는 포스트 재료에 따라 크게 차이가 없음이 확인 되었다.

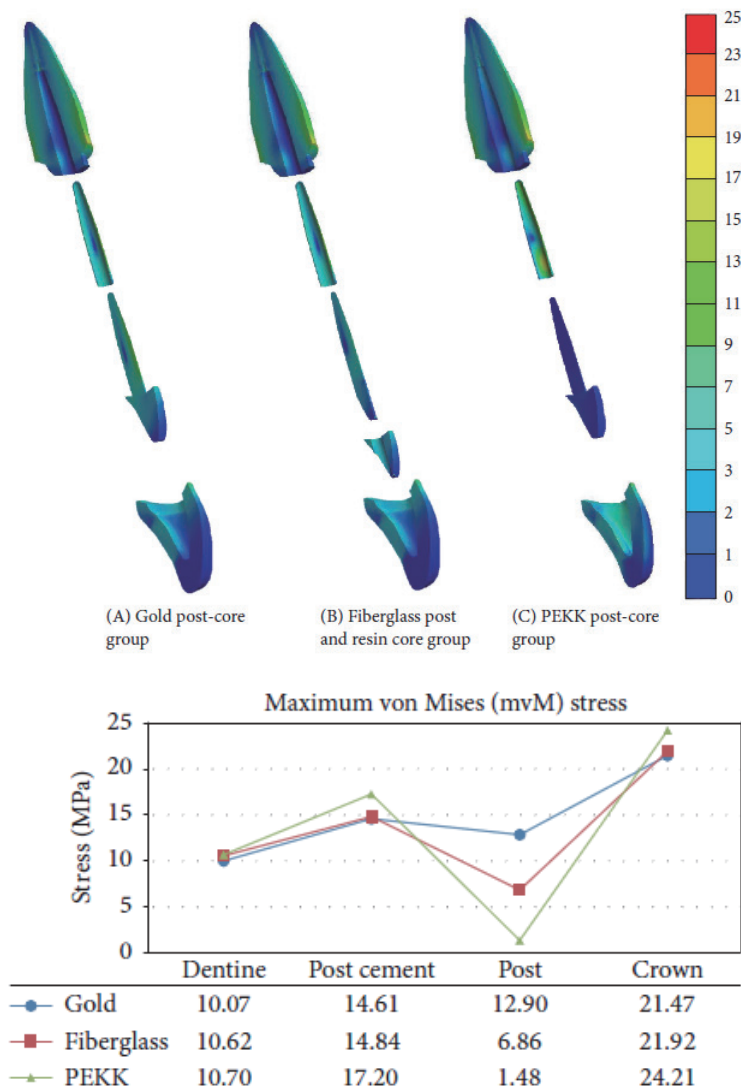


Fig 2. 각 실험군의 Maximum von Misses stress 분포 및 결과 비교

○ 고찰

치과용 포스트 코어 시스템에서 임상적으로 문제가 되는 부분은 해당 치아의 수복 후 치근의 파절 문제이다. 포스트의 탈락의 경우 재수복이 가능하지만 치근의 파절의 경우 결과적으로 치아 발치가 필연적이기 때문이다. 이러한 치아 파절을 유발하는 경우는 주로 포스트 첨단 부분에서의 응력집중이 발생하는 경우이며, 여러 선행연구에 따르면 일반적으로 금속 구조관과 같이 높은 탄성계수의 포스트를 사용할 경우 치아의 수직 파절 가능성이 높다고 보고된 바 있다. 따라서 몇몇 연구자들에 따르면 이러한 파절 가능성을 낮추기 위해서는 오히려 탄성계수 및 강도가 낮은 재료를 사용하는 것이 추천된다고 보고 한 바 있다.

본 연구는 기존의 포스트-코어 재료로 많이 사용되는 금속이나 유리섬유 재료와 비교하여 탄성계수와 강도는 수배 낮지만 상아질 유사한 강도를 가지는 PEKK라는 고성능 폴리머 재료를 포스트-코어 재료로 사용할 경우를 가정하여 유한요소 분석을 함으로써 고성능 폴리머 재료의 포스트 코어 재료로서의 사용 가능성에 대한 평가를 진행 하였다.

본 연구결과 기능 하중시에 포스트-코어 및 크라운으로 수복된 치아에서 가장 많은 응력을 받는 부분은 Crown 이며 그다음은 post cement 부분이며 이후의 응력전달은 포스트의 재질에 따라 달라져 금속의 경우 전달 응력 크기가 포스트와 치근 순으로, 탄성계수가 낮은 Fiberglass나 PEKK의 경우 전달 응력 크기가 치근에서 포스트 순으로 서로 바뀌게 된다는 것을 확인 하였다. 이는 fiberglass 포스트와 금속 포스트를 비교한 다른 연구에서와 유사한 결과를 보이며 특히 포스트-코어 시스템으로 수복되어 측방력을 받는 치아는 대부분의 응력이 치관과 치근이 접촉하는 부위에서 발생 함이 대부분의 이전 연구와 공통된 사항이었다.

○ 결론

PEKK 물질은 금속이나 fiberglass 보다 낮은 탄성계수를 보이나 포스트 자체의 저항성은 다른 금속이나 fiber glass 와 유사한 정도를 보였으며, PEKK 포스트는 잔존치근의 내부에서의 응력분산의 유리함을 보여 주었다.

하지만 PEKK가 가지고 있는 응력분산의 유리함은 오히려 주변 치과재료들로의 응력증가를 유도하여 포스트 접착용 시멘트의 파절 가능성과 유지 하고 있는 크라운의 파절 가능성이 높아져 포스트 탈락 가능성 또는 크라운 탈락이나 파절 가능성이 높다.

연구결과 포스트-코어 시스템은 그 재질에 따라 응력 분산의 양상에 차이가 있음을 본 연구에서 알 수 있었습니다. 따라서 임상가들의 포스트-코어 수복의 목적에 따라 포스트-코어 재료 선택에 신중을 기해야 할 것으로 판단다.

References

1. R. C. Fraga, B. T. Chaves, G. S. Mello and J. F. Siqueira, Jr., "Fracture resistance of endodontically treated roots after restoration," J Oral Rehabil, vol. 25, no. 11, pp. 809-813, 1998.
2. B. Akkayan and T. Gulmez, "Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems," J Prosthet Dent, vol. 87, no. 4, pp. 431-437, 2002.
3. A. Martinez-Insua, L. da Silva, B. Rilo and U. Santana, "Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core," J Prosthet Dent, vol. 80, no. 5, pp. 527-532, 1998.
4. M. P. Newman, P. Yaman, J. Dennison, M. Rafter and E. Billy, "Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts," J Prosthet Dent, vol. 89, no. 4, pp. 360-367, 2003.
5. D. Okada, H. Miura, C. Suzuki, W. Komada, C. Shin, M. Yamamoto and D. Masuoka, "Stress distribution in roots restored with different types of post systems with composite resin," Dent Mater J, vol. 27, no. 4, pp. 605-611, 2008.
6. L. Boschian Pest, S. Guidotti, R. Pietrabissa and M. Gagliani, "Stress distribution in a post-restored tooth using the three-

- dimensional finite element method,” *J Oral Rehabil*, vol. 33, no. 9, pp. 690-697, 2006.
7. T. Nakamura, T. Ohyama, T. Waki, S. Kinuta, K. Wakabayashi, Y. Mutobe, N. Takano and H. Yatani, “Stress analysis of endodontically treated anterior teeth restored with different types of post material,” *Dent Mater J*, vol. 25, no. 1, pp. 145-150, 2006.
 8. R. de Castro Albuquerque, L. T. Polleto, R. H. Fontana and C. A. Cimini, “Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts,” *J Oral Rehabil*, vol. 30, no. 9, pp. 936-943, 2003.
 9. N. Adanir and S. Belli, “Stress analysis of a maxillary central incisor restored with different posts,” *Eur J Dent*, vol. 1, no. 2, pp. 67-71, 2007.
 10. F. Maceri, M. Martignoni and G. Vairo, “Mechanical behaviour of endodontic restorations with multiple prefabricated posts: a finite-element approach,” *J Biomech*, vol. 40, no. 11, pp. 2386-2398, 2007.
 11. A. Pegoretti, L. Fambri, G. Zappini and M. Bianchetti, “Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post,” *Biomaterials*, vol. 23, no. 13, pp. 2667-2682, 2002.
 12. A. Lanza, R. Aversa, S. Rengo, D. Apicella and A. Apicella, “3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor,” *Dent Mater*, vol. 21, no. 8, pp. 709-715, 2005.
 13. N. Cheleux and P. J. Sharrock, “Mechanical properties of glass fiber-reinforced endodontic posts,” *Acta Biomater*, vol. 5, no. 8, pp. 3224-3230, 2009.
 14. R. L. Sakaguchi and J. M. Powers, *Craig’s restorative dental materials*, Elsevier Health Sciences, 2012.
 15. R. G. Craig and F. A. Peyton, “Elastic and mechanical properties of human dentin,” *J Dent Res*, vol. 37, no. 4, pp. 710-718, 1958.
 16. B. Stawarczyk, P. Jordan, P. R. Schmidlin, M. Roos, M. Eichberger, W. Gernet and C. Keul, “PEEK surface treatment effects on tensile bond strength to veneering resins,” *J Prosthet Dent*, vol. 112, no. 5, pp. 1278-1288, 2014.
 17. G. Fuhrmann, M. Steiner, S. Freitag-Wolf and M. Kern, “Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs)-durability and influence of surface conditioning,” *Dent Mater*, vol. 30, no. 3, pp. 357-363, 2014.
 18. J. M. Toth, M. Wang, B. T. Estes, J. L. Scifert, H. B. Seim and A. S. Turner, “Polyetheretherketone as a biomaterial for spinal applications,” *Biomaterials*, vol. 27, no. 3, pp. 324-334, 2006.
 19. A. Schwitalla and W. D. Muller, “PEEK dental implants: a review of the literature,” *J Oral Implantol*, vol. 39, no. 6, pp. 743-749, 2013.
 20. S. M. Kurtz and J. N. Devine, “PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants,” *Biomaterials*, vol. 28, no. 32, pp. 4845-4869, 2007.
 21. E. D. Tetelman and C. A. Babbush, “A new transitional abutment for immediate aesthetics and function,” *Implant Dent*, vol. 17, no. 1, pp. 51-58, 2008.
 22. F. Tannous, M. Steiner, R. Shahin and M. Kern, “Retentive forces and fatigue resistance of thermoplastic resin clasps,” *Dent Mater*, vol. 28, no. 3, pp. 273-278, 2012.
 23. P. R. Picanco, F. P. Valarelli, R. H. Cancado, K. M. de Freitas and G. V. Picanco, “Comparison of the changes of alveolar bone thickness in maxillary incisor area in extraction and non-extraction cases: computerized tomography evaluation,” *Dental Press J Orthod*, vol. 18, no. 5, pp. 91-98, 2013.
 24. I. Nergiz, P. Schmage, M. Ozcan and U. Platzer, “Effect of length and diameter of tapered posts on the retention,” *J Oral Rehabil*, vol. 29, no. 1, pp. 28-34, 2002.
 25. P. J. Rodriguez-Cervantes, J. L. Sancho-Bru, C. Gonzalez-Lluch, A. Perez-Gonzalez, A. Barjau-Escribano and L. Forner-Navarro, “Premolars restored with posts of different materials: fatigue analysis,” *Dent Mater J*, vol. 30, no. 6, pp. 881-886, 2011.

26. Y.-L. Lee, Fatigue testing and analysis: theory and practice, Butterworth-Heinemann, 2005.
27. I. Krejci, E. Mueller and F. Lutz, "Effects of thermocycling and occlusal force on adhesive composite crowns," Journal of dental research, vol. 73, no. 6, pp. 1228-1232, 1994.

고성능 폴리머 재질의 포스트-코어 시스템의 생역학적 거동에 대한 예비실험

본 연구의 목적은 기존의 다른 포스트-코어 재료와의 유한요소분석(FEA)의 비교를 통한 치과용 포스트-코어 재료로서의 고성능 폴리머 PEKK의 생체역학 및 장기 안전성을 평가하는 데 있다.

상악 중절치를 모델링 하였으며, 구개 표면에서 치아의 장축에 45°의 각도로 50N의 반복 하중을 가했다. 전통적으로 사용된 포스트 코어 재료와 비교하기 위해 3가지 재료 (금, 유리 섬유 및 PEKK)를 시뮬레이션하여 결과를 상호 비교 해 보았다.

상아질보다 낮은 탄성 계수를 갖는 PEKK는 종래의 포스트 코어 재료보다 비교적 치근에 유리한 응력 분포를 보여 주었다. 그러나, PEKK 포스트-코어 시스템은 금속 또는 유리 섬유 포스트-코어 시스템보다 장기간의 반복하중에 대해 타락 및 크라운 파손의 가능성이 더 높을 가능성이 있다.

키워드: 고성능 폴리머, 포스트-코어 재료, 유한요소분석