

최적구조설계를 이용한 교정브라켓 성능향상에 관한 연구

이정화* · 권현규**† · 권동재** · 박상준** · 전유진**

*금오공과대학교 생산기술연구소, **†금오공과대학교 기계시스템공학과

A Study on Improvement of Correction Bracket Performance Using Optimal Structural Design

Li Jung Hua*, Kweon Hyun Kyu**†, Gwon Dong Jae**, Park Sang Jun** and Jeon Yoo Jin**

*Research Institute of Manufacturing and Productivity Kum-oh National Institute of Technology,

**†School of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

ABSTRACT

There has always been a demand for orthodontic treatment. Orthodontic treatment allows tooth to be arranged by flexible arch wire fixed with tooth-attached brackets. Arch wire generate constant pressure to tooth brackets which moves the teeth to proper place. When the bracket transmits force, the braced wing of the bracket may deform. Deformed tie wing will lead to lost tension of elastic ligature. Then, lacking grip between tie wing and ligature might delay the tooth movement. Furthermore, tooth brackets used for orthodontic treatment make contact with in direct oral surface and this cause feeling of irritation that comes from height of tooth braces. This study suggests an optimal teethe bracket design to make up for inconvenience by shorten the height of bracket and complement the shape of bracket to reduce strain rate using finite element analysis. As a result, new optimal design of teethe bracket indicates lower strain rate of the bracket wing and takes good effects of shorten body height in terms of convenience.

Key Words : Orthodontic bracket, Shorten Height, Finite Element Analysis, Reducing Strain rate, Complementing The Shape

1. 서 론

치아교정술은 미용과 심미적인 측면에서 오랜 기간 동안 사람들의 관심을 받아 왔다. 사람들의 교정욕구가 증가함에 따라[1] 치아교정술은 여러 방향으로 발전 해왔고, 다양한 종류의 교정 보철물들이 탄생했다. 치료효과가 좋은 금속 교정장치, 기능적으로 금속장치와 비교해 뒤떨어지지 않고 심미적으로 우수한 세라믹 교정장치, 치아의 안쪽면에 장치를 부착하는 설측 교정장치, 투명 교정장치 등이 있다[2][5]. 이중 치료효과가 좋은 금속 교정장치와 세라믹 교정장치는 치아교정을 원하는 많은 사람들에게

선택 받은 교정장치이다. 교정장치 사용자들은 일상속에서 교정장치와 함께 생활하는데, 다양한 일상 속에서 애로사항들이 발생하며 이에 대한 개선요구가 늘고 있다 [6][8]. 따라 본 연구는 현대인들의 치아교정생활에 있어서 불편한 점을 공학적으로 개선하고자 한다.

교정용 브라켓의 높이는 사용자의 구강표면의 접촉과 관련 되어있다. 교정상태를 진행한 환자들의 설문 중 '교정장치의 이물감'은 큰 불만요인에 해당하여 교정장치의 까다로운 애로사항으로 손꼽힌다[9][12]. 따라서 불편한 점을 개선하기 위해 형상보완을 진행했고, 교정용 브라켓의 높이를 줄여, 이질감을 줄이는 설계를 제안한다.

교정용 브라켓은 이빨에 접촉하기 위한 넓은 기저부를 브라켓 기반으로 갖추고 있다. 브라켓 기저부 위로 슬롯

†E-mail: hkkweon@kumoh.ac.kr

형태의 구조물 안에 유연한 아치형 교정 철사가 들어가게 되고, 철사와 브라켓 날개에 고정용 고무줄을 엮어 브라켓과 철사를 고정한다. 구강환경 내에서 끊임없이 저작운동이 발생하고, 다양한 외력이 작용하는 브라켓 날개는 우수한 변형 저항성을 가져야 한다[13]. 날개의 변형 저항이 낮다면, 브라켓과 철사 고정에 필요한 힘의 손실이 발생하여, 이빨 교정의 속도를 늦추는 요소로 작용한다[14] 따라서 이 연구는 형상보완을 통해 날개에 대한 변형률을 줄이기 위한 형상설계를 제안한다.

이 연구는 기저부의 형태에 따른 복합인장전단강도를 고려한다[15][19]. 브라켓에 적용되는 수직 방향의 힘의 최대치를 레진으로 연결 되어있는 브라켓과 이 사이의 인장강도의 최대치라 설정하였다. 교정 시 브라켓에 적용되는 힘은 이를 절대 넘지 않을 것이고, 실제로 이에 연결된 브라켓이 받을 수 있는 최대의 수직 방향 힘은 인장강도의 최댓값과 같다고 가정하였다. 해석을 위한 모델링은 치수와 같은 상세내용이 가장 많이 알려진 Daesung사의 Archist 라는 제품을 선정했다. 이 제품의 Base configuration 은 Chessboard base를 채택했다.

기존의 치아 교정 브라켓 제품은 스테인리스 스틸 재료의 금속 브라켓과, 치아와 유사한 색을 보여주어 심미적인 효과를 얻을 수 있는 세라믹 브라켓이 가장 대표적이다. 세라믹 브라켓은 주로 알루미나(Alumina)라는 재질을 채택하고[20], 본연구는 이 두 가지 재료물성 고려하여 ANSYS 해석을 진행한다[21][22].

2. 최적설계방법

2.1 브라켓 해석

Fig. 1은 ANSYS를 통해 기존 제품의 설계치수를 토대로 모델링을 하여 날개아래에 최대인장강도값을 위로 수직하게 적용한 것이다.

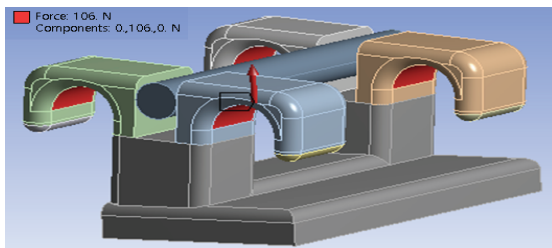


Fig. 1. Boundary condition.

인장하중의 최대값이 10.8kgf 이므로 약 106N 이다[9]. 해석조건은 정적구조(Static Structural)의 힘(Force)을 사용하여 수직방향으로 4개 후크의 힘 작용면에 106N을 적용

하였고, 고정부(Fixed Support)를 사용하여 고정판 밑면에 대해 구속조건을 고정으로 적용했다[23]. Table 1은 Stainless steel과 Alumina재질로 만들어진 기존모델을 위와 같은 해석 조건에 따라 각각 해석했을 때의 변형률을 표로 나타낸 것이다.

Table 1. Strain results of Stainless steel [mm/mm]

| Material | Minimum | Maximum | Average |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Stainless | 4.9679e-007 | 8.8149e-003 | 1.0004e-003 |
| Alumina | 2.8516e-007 | 6.7424e-003 | 7.8406e-004 |

2.2 성능평가(편의성 해석)

2.2.1 금속 브라켓

브라켓의 높이를 담당하는 몸통을 높이를 줄여 나갈 부분으로 선정하여 기존 몸통 높이 $h=0.73\text{mm}$ 을 1회에 0.05mm 씩 줄여 총 4번의 실험을 진행하였다. 4번의 실험 모두 기존 제품과 동일한 구속조건을 설정하여 해석을 진행했고 Table 2는 각 실험의 변형률의 결과값이다.

Table 2. Stainless steel strain rate by shorten height

| Type | Minimum | Maximum | Average |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| h-0.05mm | 4.7537e-007 | 1.0394e-002 | 9.8791e-004 |
| h-0.1mm | 4.5726e-007 | 1.0257e-002 | 9.5457e-004 |
| h-0.15mm | 5.094e-007 | 1.0496e-002 | 9.5144e-004 |
| h-0.2mm | 4.2241e-007 | 9.2063e-003 | 8.5575e-004 |

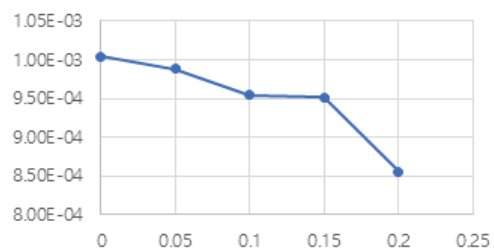


Fig. 2. Stainless steel bracket rate by shorten height [mm/mm].

Fig. 2는 스테인레스 브라켓의 높이 감소량에 따른 변화량을 도식화한 것이다. 여기서 변형률 평균값을 유의미한 파라미터로 기준삼아 비교하면, 브라켓의 높이를 0.05mm 씩 줄일수록 변형률은 계속해서 감소하고, 높이가 h-0.2mm 일 때 급격한 변화량 감소를 표로 확인할 수 있다.

2.2.2 세라믹 브라켓

ANSYS 해석 진행에 앞서 재질을 Alumina로 바꾸어주고 스테인레스 재질의 기본 모델과 동일한 경계조건과 실험방법으로 해석을 진행했다. Fig 3와 Table 3은 세라믹 브라켓의 기본 모델 해석결과이다.

그래프를 분석하면 세라믹 브라켓의 높이가 줄어들수록 변형률 또한 낮아지는 것을 확인할 수 있고 이는 스테인레스 브라켓의 변형률 변화와 유사한 거동을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 높이가 줄어들수록 변형량은 감소하고, 높이가 0.2mm일 때 변형률이 감소함을 알 수 있다. 브라켓의 높이를 줄일 수 있다면, 사용자의 편의성은 물론, 변형량 또한 줄어드는 결론을 얻을 수 있었다.

Table 3. Alumina strain rate by shorten height

| Type | Minimum | Maximum | Average |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| h-0.05mm | 1.9636e-007 | 8.1429e-003 | 7.6773e-004 |
| h-0.1mm | 2.7178e-007 | 8.7216e-003 | 7.5482e-004 |
| h-0.15mm | 2.0616e-007 | 8.8959e-003 | 7.5154e-004 |
| h-0.2mm | 2.06e-007 | 7.2979e-003 | 6.7593e-004 |

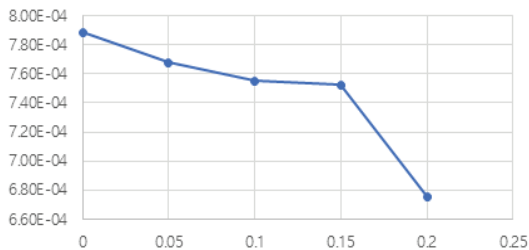


Fig. 3. Ceramic bracket Strain rate by shorten height [mm/mm].

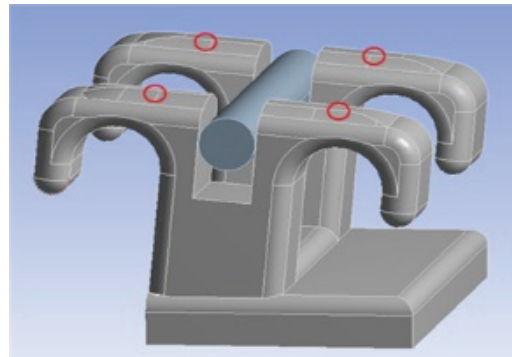
2.3 교정효율 해석

높이 감소량으로 얻은 변형량 개선 이외에 형상 보완을 통해 변형량을 줄이는 새로운 모델을 연구해보았다.

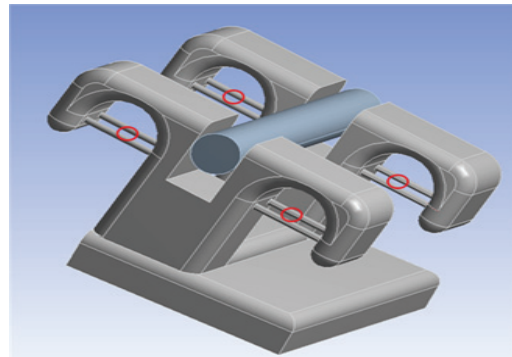
2.3.1 형상 보완

본 연구에서는 최대인장력에 따른 변형량을 개선하기 위해 기존모델의 형상을 보완하여 3가지의 보완 모델을 디자인해보았다. 그리고 금속브라켓과 세라믹 브라켓의 변형률을 분석해 보았다.

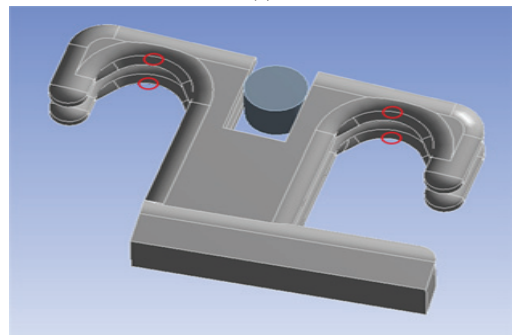
Fig 4은 형상보완 모델이다. (a)모델은 상단에 0.05mm 두께만큼 보강한 모델이고, (b)모델은 직경 0.05mm 바 생성한 모델이다. (c)모델은 하단에 0.05mm 보강한 모델이다.



(a)



(b)



(c)

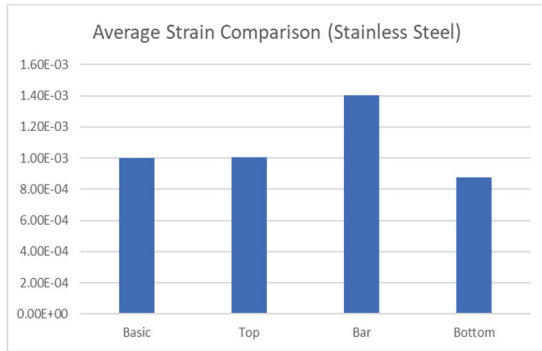
Fig. 4. Supplement design: (a) Upper supplement, (b) Double bar supplement, (c) Under supplement.

2.3.2 보완모델 분석

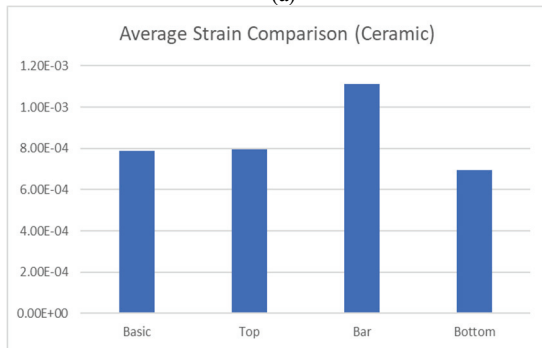
금속 브라켓과 세라믹 브라켓을 3가지 형상보완모델링으로 앞선 실험의 해석조건과 동일하게 해석했고, 각 3가지 모델에 대한 평균 변형률을 비교 파라미터로 삼아, 기존 원형모델의 평균 변형률과 비교해보았다. Fig 5는 분석결과를 그래프로 도식화 한 것이다. 금속 브라켓과 세라믹 브라켓, 각 보완 모델의 평균 변형량의 위상은 매우 비슷함을 알 수 있고, 결과에서 확인할 수 있듯 재질에 상관없이 하단보완모델을 제외하고는 상단보완모델과,

바 생성 모델은 원형모델과 변형량이 거의 차이가 나지 않거나, 오히려 더 초과하는 것을 확인 할 수 있다. 이에 3가지 모델 중 가장 효과적으로 변형량을 줄일 수 있는 보완모델은 하단 보완 모델이라는 것을 확인 할 수 있다.

고 보기 어렵다고 판단하여, 제작시편의성을 고려하고, 과감한 하단보완을 적용한 모델링을 진행하였다. Fig. 7 은 본 연구에서 제안하는 새로운 치아교정브라켓의 최종 설계이다.



(a)



(b)

Fig. 5. Supplements average strain rate by materials: (a) Comparing average strain rate of Stainless bracket, (b) Comparing average strain of Ceramic bracket.

3. 브라켓 디자인 및 검토

지금까지의 해석 결과분석을 고려하여 새로운 설계제안을 위한 모델링은 다음과 같다. 높이 감소 해석에서 h-0.2mm보완 모델과 형상 보완 해석에서 가장 효과적인 하단보완모델을 동시에 고려하여 새로운 모델링을 설계했다. 하단보강은 여러번의 해석결과 변형률을 가장 줄여주었던 0.145mm를 보강하였다. 해석을 진행한 결과는 Table 4와 Fig.6에서 확인할 수 있다.

금속 브라켓과 세라믹 브라켓 모두 변형량이 선형적으로 더 줄어드는 결과를 확인 할 수 있다.

본문 3.1의 보완모델을 적용한 설계 제안의 결과물이 본 논문의 목적인 최대한의 변형량을 효과적으로 줄였다

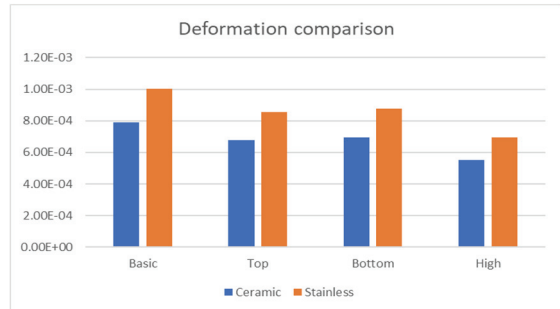


Fig. 6. Strain rate of New design.

Table 4. Strain rate by shorten height

| Type | Minimum | Maximum | Average |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Stainless | 1.4779e-006 | 7.2817e-003 | 6.9287e-004 |
| Ceramic | 8.4121e-007 | 6.1549e-003 | 5.4992e-004 |

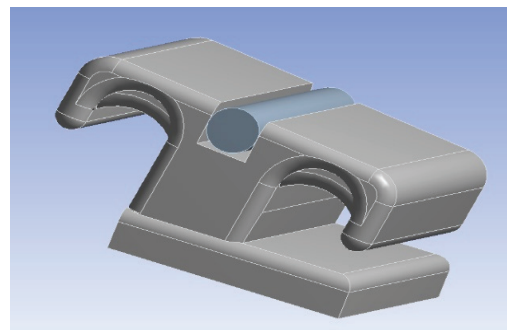


Fig. 7. Final optimal design.

해당 모델을 해석한 결과, Table 5와 Fig. 8처럼 현저하게 줄어든 변형률을 확인할 수 있었고, 높이를 줄임으로서 사용자의 이물감을 줄여 편의성을 개선할 수 있을 것이라 기대된다.

Table 5. Strain rate by shorten height

| Type | Minimum | Maximum | Average |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Stainless | 1.3234e-006 | 2.1971e-003 | 2.875e-004 |
| Ceramic | 6.4727e-007 | 1.7859e-003 | 2.3055e-004 |

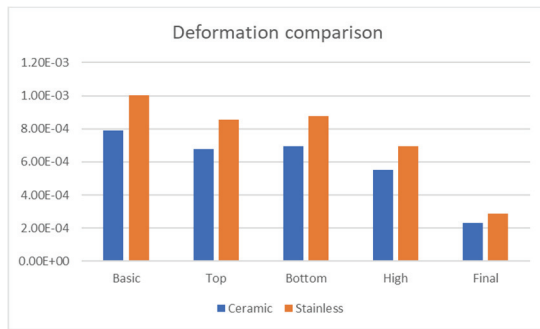


Fig. 8. Strain rate of Final design.

4. 결 론

본 연구의 목적은 편의성을 더하면서도 올바른 교정효과를 얻기 위해 인장력에 의한 변형량을 효과적으로 감소시킬 수 있는 새로운 형상 보완 설계를 하는 것이다. 편의성을 개선하기 위해 브라켓 높이를 줄이는 방법을 선택했고, 변형량을 줄이기 위해 여러 모델을 해석하고, 변형률을 줄일 수 있는 요소들을 고려해 새로운 설계에 적용했다.

기본 원형 모델의 높이를 낮췄을 때 해석한 결과값을 보면, 높이 감소에 따라 선형적으로 변형률이 약소하게 줄어들다가 기존 높이보다 0.02mm 작을 때 확연한 변형률 감소를 관찰했다. 형상보완모델을 해석할 때는 3가지의 보완모델 전부모두 변형률 감소에 효과가 있을 것으로 예상했지만 하단두께를 보강하는 형태를 제외하곤, 효과가 없는 것을 관찰했다. 보완을 위해 만든 2개의 바 생성 모델은 해석결과, 예상과 반대로 변형률이 크게 나타났다. 상단두께 보강모델의 변형률 변화를 분석해본 결과, 상단을 보강하며 생긴 압축응력으로 인해, 변형률이 더 많아진 것으로 판단된다. 하단보강 모델은 힘을 직접적으로 받는 부분임으로, 두께를 적절하게 조절한다면, 변형에 강해짐을 직관적으로 이해할 수 있고, 실제로도 수치로 확인을 했다.

최종 설계 모델은 기존모델의 높이보다 0.02mm 줄였고, 해석을 통해 얻은 효과적인 하단보강두께를 고려하여 변형률을 크게 줄여내는 성과를 얻었다.

감사의 글

이 연구는 금오공과대학교 대학 학술연구비로 지원되었음(2020년).

참고문헌

1. Yoon, Y. S. and Jung, Y. H., "A Study of the Correlation between Image and Self-respect of Patients Who Have Teeth Braces", The Journal of Korean Academy of Dental Hygiene Education, VoL. 4, No. 1, pp. 81-91, 2004.
2. Lee, S. W., Lim, Y. K. and Lee, D. Y., "Preference for Various Orthodontic Appliances", A Master's Thesis, Korea University, Republic of Korea, 2009.
3. Arici S, Regan D., "Alternatives to ceramic brackets the tensile bondstrengths of two aesthetic brackets compared ex vivo with stainless steel foil-mesh bracket bases", Br J Orthod, Vol. 24, pp. 133-137, 1997.
4. Bazakidou E, Nanda RS, Duncanson MG Jr, Sinha P., "Evaluation of frictional resistance in esthetic brackets", Am J Orthod Dentofacial Orthop, Vol. 112, pp. 138-144, 1997..
5. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Ricciardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F., "Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations", Am J Orthod Dentofacial Orthop, Vol. 124, pp. 395-402, 2003..
6. Kim, A. H., "A Study on Orthodontic Clinic Patients' Treatment Hospital Determinants and Satisfaction", A Master's Thesis, Ewha Womans University, Republic of Korea, 2015.
7. Choi JB, Byun SM, "According to the various ceramic surface treatments before and after thermocycling", The Journal of the KSFD, Vol. 47, No. 2, pp. 83-92, 2020.
8. Oh YJ, Oh SH, "Effects of Saliva Contamination on Shear Bond Strength with Conventional, Moisture Insensitive, and Self-Etching Primers", J Korean Acad Pediatr Dent, Vol. 46. No. 1, pp. 21-28, 2019.
9. Lim, Y. H., "Factors Associate with Pain during Orthodontic Treatment", A Thesis for a Doctorate, Gachon University, Republic of Korea, 2013.
10. Lim H-M, Lew KKK, Tat DKL., "A clinical investigation of the efficacy of low level laser therapy in reducing orthodontic postadjustment pain", Am J Orthod Dentofacial Orthop, Vol. 108, pp. 614-622, 1995.
11. Roth PM, Thrash WJ., "Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation for controlling pain associated with orthodontic tooth movement", Am J Orthod Dentofacial Orthop, VoL. 90, pp. 132-138, 1986.
12. Hwang J-Y, Tee C-H, Huang AT, Taft L., "Effectiveness of thera-bite wafers in reducing pain", J Clin Orthod, VoL. 28, pp. 291-292, 1994.
13. Chung, Y. J., S. Ranjit and Kim, W. T., "Finite Element Study on the Stress and Deformation depending on Material Characteristics at Teeth Bracket", Korea Academy Industrial Cooperation Society, pp. 347-349, 2014.

14. Pandurangan, H. and Varadaraju, M., "Comparative Finite Element Analysis of Bracket Deformation in Tie Wings and Slot Region during Simulated Torque", *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Vol. 160, No. 4, pp. 588-593, 2021.
15. Lee, C. B., Lee, H. S. and Kim, J. G., "Comparison of Shear, Tensile and Shear/Tensile Combined Bonding Strengths in Bracket Base Configurations", *The Korean Association of Orthodontics*, Vol. 29, No. 5, pp. 599-611, 1999.
16. Holt MH, Nanda RS, Duncanson MG., "Fracture Resistance of Ceramic Brackets during Arch Wire Torsion", *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, Vol. 99, pp. 287-293, 1991.
17. Rhodes RK, Duncanson MG., Nanda RS, Currier GF, "Fracture Strengths of Ceramic Brackets Subjected to Mesial-distal Archwire Tipping Forces", *Angle Orthod*, Vol. 62, pp. 67-76, 1992.
18. Gunn S, Powers JM., "Strength of Ceramic Brackets in Shear and Torsion Tests", *J Clin Orthod*, Vol. 25, pp. 355-358, 1991.
19. Lindauer SJ, Macon CR, Browning H, Rubenstein LK, Isaacson RJ., "Ceramic Bracket Fracture Resistance to Second Order Arch Wire Activations", *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, Vol. 106, pp. 481-486, 1994.
20. Han, J. H., Chang, M. H., Lim, Y. K. and Lee, D. Y., "Fracture Resistance of Ceramic Brackets to Arch Wire Torsional Force", *The Korean Association of Orthodontics*, Vol. 37, No. 4, pp. 293-304, 2007.
21. Rim KH, Yang X, Yoon JK, Kim YK and Iyu SJ, "Structural Analysis of a PCB Substrate System for Semiconductor", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 10, No. 4, pp. 113-118, 2011.
22. Chung YJ, Kim WT and Ranjit S., "Finite Element Optimized Study for Stress and Deformation in Mounting Surface of Teeth Orthodontic Bracket", *Jou. of Korean Soc. of Mechanical Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 355-361, 2015.
23. Park, S. J. and Jeon, Y. J., "A New Design of Orthodontic Bracket Using ANSYS", A Bachelor's Thesis, Kumoh National Institute of Technology, Republic of Korea, 2020.

접수일: 2022년 1월 27일, 심사일: 2022년 3월 11일,
 게재확정일: 2022년 3월 25일