Journal of the Korea Convergence Society
Vol. 7. No. 6, pp. 75-80, 2016
http://dx.doi.org/10.15207/JKCS.2016.7.6.075

악골 기형 치료를 위한 구내형 골신장기 개발에 관련된 융합 연구

이재기
남서울대학교 치위생학과

Convergence study related in development of new intraoral jaw bone distractor in treating dentofacial deformities

Jae-Gi Lee
Department of Dental Hygiene, College of Health and Medicine, Namseoul University

요 약 악골기형에 따른 외과적 치료방법은 상악골 또는 하악골을 직접 늘리거나 줄이는 방식을 이용한다. 골신장술(distraction osteogenesis)은 열성장한 악골에 치밀뼈절단술(corticotomy)을 시행한 후, 골신장기(jaw bone distractor)를 사용하여 간헐적인 힘을 골에 부과하며 골의 길이를 늘여주는 대표적인 방법이다. 그러나 이러한 골신장기는 피부를 관통한 채 골에 고정되기 때문에, 비심미적이며 감염이나 흉터 등의 많은 문제점이 발생한다. 이 연구에서는 구내형 골신장기(intraoral jaw bone distractor) 개발을 위해 유한요소분석을 시행하여 핵심구동부의 안정성을 시뮬레이션한 후, 골신장기를 제작하였다. 융합연구를 통하여 향후 무선형 골신장기를 제작하기 위한 기반 자료를 구축하였으며, 관련 자료는 골신장술의 근본적인 문제점을 해결할 수 있는 가능성을 제시하며, 제반 기술은 다양한 의료기기 개발 기술에 활용될 수 있다.

• **주제어** : 골신장기, 골신장술, 유한요소분석, 융합연구, 하악골

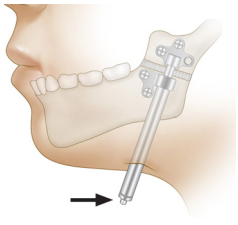
Abstract Distraction osteogenesis is applied to correct mandible or maxilla deformities. Owing to the distractor being away from the skin, it is not aesthetic. Infection can arise due to manual part. And therefore, it is necessary to make the distractor using a new mechanism. 3D software was used for the intraoral distractor modeling. 3D meshes were used to analyze the stress distribution of the distractor was analyzed using Finite element analysis software. This research developed a intraoral distractor for continuous mandible distraction through convergence study. Base on the results, it provide helpful data for future version of the wireless intraoral distractor in other fields of bio and medical engineering.

• **Key Words** : Convergence study, Distraction osteogenesis, Finite element analysis, Jaw bone distractor, Mandible

*Corresponding Author : 이재기(leejaegi@nsu.ac.kr)
Received September 26, 2016 Revised October 30, 2016
Accepted December 20, 2016 Published December 31, 2016

1. 서론

악골의 열성장으로 인한 악골 기형 및 부조화의 대표적인 외과적 치료법은 골신장술(Distraction osteogenesis)이다. 골신장술은 골신장기(jaw bone distractor)를 이용하여 열성장한 골 부위에 골절단술(corticotomy)을 시행한 후, 골신장기를 통해 간헐적인 힘을 골에 부여하며 조직을 신장하는 방법이다 [1, 2]. 이러한 골신장술은 1992년 하악골을 신장하며 현재까지 구강악안면외과와 성형외과에서 효과적인 악골 기형 치료법으로 이용되고 있다 [3, 4]. 그러나 기존의 골신장기는 치밀골 표면에 고정원으로 나사를 식립하고, 임상의가 안면부위 피부를 관통한 조작부를 통해 골절단 간격을 늘리기 때문에 골에 인가되는 힘은 간헐적인 힘이 되며, 외부 창상에 의한 감염빈도가 높고, 비심미적이며 피부에 흉터가 크게 남고, 조작부의 파절 등이 발생한다 [fig. 1]. 그러므로 골신장기의 조절부를 없애고, 골에 연속적인 힘을 부여할 수 있는 새로운 방식의 골신장기가 필요하다. 일부 연구자들에 의해 새로운 형태의 골신장기를 제작하는 보고가 있지만, 인체에 적용하기에는 그 크기가 매우 크고, 동물실험에서만 국한되는 경우가 대부분이다. 그래서 인체에 실제 사용할 수 있는 크기와 적절한 힘을 부여할 수 있는 새로운 골신장기 개발이 요구되고 있다.



[Fig. 1] The activation mechanism of jaw bone distractor. Schematic illustration showing manual activation (arrow) of a distractor.

일반적으로 기계적 장치의 디자인은 최종 제품의 기계적 강도와 파절에 영향을 미친다 [5, 6]. 그래서 개발하고자 하는 장치의 디자인에 대한 예측 가능한 분석이 필요하다. 유한요소분석은 응력 집중, 분포, 강도 분석 등을 위해 컴퓨터로 시뮬레이션하여 결과를 예측할 수 있는 강력한 해석 방법이다 [7, 8]. 이 방법을 통해 응력이 요구되는 장치의 안정성을 효과적으로 평가할 수 있다. 유한요소분석법은 실제 크기의 삼차원 모델을 element와 node로 구성하여 분석하게 되는데, element는 node에 의해 연결된다. 모든 방향에 대한 변위와 비틀림이 node에서 분석되고, 연결된 node에서의 다양한 물성치를 통하여 변위, 비틀림, 강도를 평가하여 그 결과를 예측할 수 있게 해준다. 그래서 이 분석방법은 장력과 응력을 분석할 때 매우 효과적이다 [9].

이 연구는 기존 골신장기의 동작 메커니즘을 바꿀 수 있는 새로운 방식의 구내형 골신장기를 개발하는 데 목적이 있다. 유한요소분석법을 통해 안정성을 시뮬레이션하고, 이를 기반으로 실제 구내형 골신장기를 제작하여, 최종적으로 개발할 무선형 구내골신장기에 대한 기반 자료를 구축하여 임상활용 가능성을 검토해보고자 한다.

2. 연구방법

2.1 삼차원 모델링 및 유한요소분석

3D CAD 소프트웨어(SolidWorks 2006, SolidWorks Corp., MA, USA)를 이용하여 새로운 형태의 구내형 골신장기를 삼차원 모델링 하였다 [Fig. 2A]. 수치해석을 위한 mesh는 Hypermesh(Hyperworks 8.0, Altair engineering GmbH, Böblingen, Germany)를 사용하였고, 유한요소분석은 골신장기의 핵심 구동부인 Gear부분과 응력전달이 미치는 구성부위를 대상으로 ABAQUS (ABAQUS V6.5-1; SIMULIA, Providence, RI, USA)를 이용하여 응력분포와 기어 회전율 (revolution per minute, RPM)을 분석하고 계산하였다. 골신장기 재질은 SUS 402 J2와 SUS 304의 물성치를 사용하여 수치해석하였다.

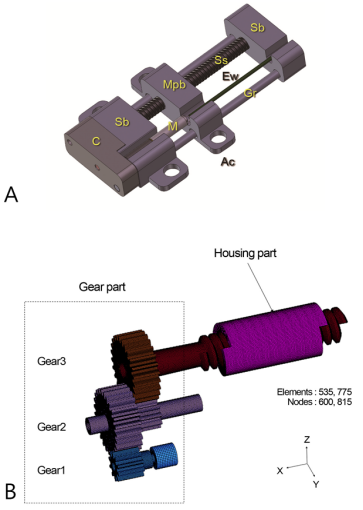
2.1.1 시스템 모델링

Mesh는 Gear 부분과 Housing 부분으로 나뉘며, 3개의 기어로 구성하였다. Segment는 921,414개의 node와 2,712,271개의 element로 구성하였다. Housing 부분은 600,815개의 node와 535,775개의 element로 설계하였다 [Fig. 2B].

2.1.2 RPM 조건 및 구조강도 평가

골이 0.08mm 신장할 때, 요구되는 골신장기의 RPM 조건을 확인하기 위해 gear 1이 한 바퀴 회전할 때 housing이 이동하는 거리를 측정하였고, 이를 통해 RPM을 계산하였다. 골신장기의 과부하 상태를 고려한 안정성을 평가하기 위해서, 각 부품에 대한 응력집중을 확인

하였다. 또한, 골 장착부위에 변위가 고정되어 있는 상태를 과부하 조건으로 가정하였다. Gear 1에는 골이 0.8mm 신장할 수 있는 RPM을 인가하였으며, 동시에 gear 2에 있는 X축 회전(rotation)을 제외한 모든 방향을 구속하였다. 골 장착부위인 gear 3은 모든 방향을 구속하였다 [Fig. 2]. 유한요소분석 결과는 항복강도(Yield stress)로 나타냈으며, 상대적인 비교의 편리성을 위해 색상으로 표시하였다.



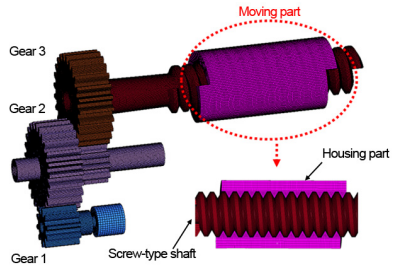
[Fig. 2] A, A three dimensional model of the gear and the housing section. The dotted lines indicate the gear area (Ac, anchorage; C, cover; Ew, electric wire; Gr, guide rail; M, motor; Mpb, moving plate body; Sb, stage board; Ss, screw-type shaft). B, The solid mesh of gear and housing part

2.1.3 RPM 조건 확인

하루에 골을 0.08 mm 이동시키는 데 필요한 Gear 1의 rpm을 계산하기 위해서, Gear 1에 임의의 90rpm을 인가하여 180도 회전하였을 때의 이동거리를 측정하였다. 이때의 Housing part의 이동거리를 측정한 결과 0.024mm였다. 이 수치를 적용하여 뼈를 0.08 mm 이동시키는 데 필요한 Gear 1의 RPM을 계산하였으며 이때의 RPM은 0.005였다[Fig. 3].

2.2 유선형 구내형 골신장기 제작

핵심 구동부는 DC형 마이크로 모터(NST, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 골신장기를 제어하기 위해 Visual C/C++ (Microsoft, WA, USA), Windows API (NST, Tokyo, Japan)을 이용하여 그래픽 사용자 인터페이스를



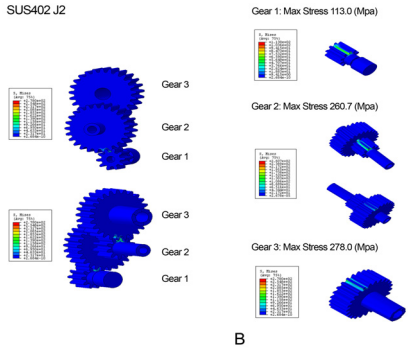
[Fig. 3] The relationship between revolutions per minute (RPM) and movement of the housing section. The rotary motion of gear 1 is transmitted to gear 3 through gear 2.

구현하였다. 개인용 컴퓨터에서 버튼을 누른 정보는 케이블을 통해 골신장기로 데이터를 전송하도록 구성하였으며, 전송방식은 RS-232C 규격에 기반을 두었다. SUS 402 J2를 사용하여 골신장기를 제작하였다.

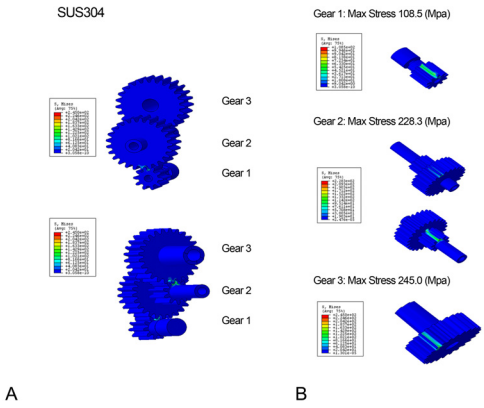
3. 연구결과

3.1 유한요소분석

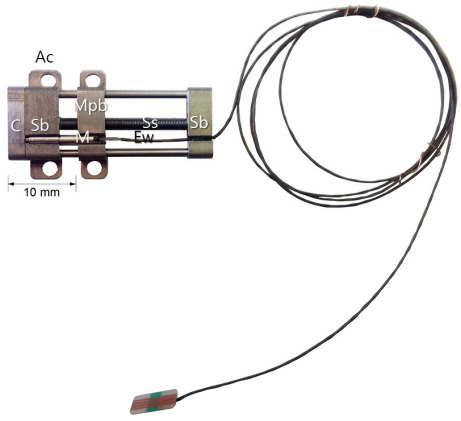
SUS 402 J2 또는 SUS 304 재질로 제작할 경우, 소성변형이 일어나는 항복강도는 gear 3에서 각각 278.0 Mpa과 245.0 Mpa로 나타났다. Gear 1의 최대응력은 SUS 402 J2와 SUS 304 SUS에서 각각 113.0Mpa과 108.5MPa로 나타났다. Gear 2에서의 반력(reaction force)은 SUS 402 J2는 16.7N, SUS 304는 15.4N이였다 [Figs. 4, 5]



[Fig. 4] In SUS 402 J2, the von Mises stress distribution at the plastic deformations. A, Gear area, anterior and posterior view of stress distribution. B, The relationship between revolutions per minute (RPM) and overload in each gear.



[Fig. 5] The von Mises stress distribution under overload condtions in SUS 304. A, Gear 2 engages with gear 1 and 3. This figure shows the stress distribution in the gear teeth. B, Stress distribution in each gear by revolutions per minute (RPM) under overload conditions.



[Fig. 6] The actual size of manufactured intraoral distractor (Ac, anchorage; C, cover; Ew, electric wire; Gr, guide rail; M, motor; Mpb, moving plate body; Sb, stage board; Ss, screw-type shaft)

3.2 구내형 골신장기

새로운 형태의 구내형 골신장기는 골에 부착하는 4개의 고정원이 있다. 2개는 cover에 연결된 stage board의 양쪽 끝에 있으며, 다른 2개는 Moving plate body의 양쪽에 있다. 4개의 고정원이 골에 부착되는 부분이며, stage board의 고정원은 움직이지 않고, 마이크로 모터 구동 시 moving plate body가 움직이며 연결된 2개의 anchorage가 골과 함께 이동한다. Moving plate body는 screw-type shaft를 따라 이동하며, cover와 연결된 stage board와 moving plate body 사이의 간격을 확장할 수 있다. 이 움직임으로 인하여 골절단술이 된 부위의 간격을 확장해 골을 신장할 수 있다. Guide rail은 moving plate body가 이동할 때, 뒤틀림을 방지하며 rail 역할을 한다 [Fig. 6]. 마이크로 모터의 RPM 데이터는 electric wire를 통해 전달된다. 하악체와 하악지의 크기를 고려하여 골신장기의 전체크기는 가로 30mm, 세로 10mm 이내로 하였고, 모터의 길이도 10mm를 초과하지 않게 제작하였다. Moving plate body 부분도 골절단술시의 간격 유지를 위해 최대 20mm 신장간격을 유지할 수 있도록 하였다.

4. 결론

골신장술은 골을 절단하고, 골신장기를 부착하여 골의 길이를 신장시키는 방법이며, 골신장기에 의해 골절단 부위의 간격이 천천히 벌어지면서 이 공간에 새로운 골이 형성된다 [10, 11, 12]. 그래서 악골기형 환자의 열성장한 뼈를 신장시킬 때, 골생성시기에 맞추어 골신장기가 적절한 인장력을 골에 인가하는 것이 매우 중요하다. 골절단술을 시행한 부위에 골신장기의 적절한 인장력을 인가하는 것은 골생성에 중요한 역할을 한다. 인장력이 인가될 때, 간헐적인 힘보다 연속적인 힘이 인가될 때, 골이 빠르게 생성된다는 보고도 있다 [13, 14]. 그러므로 골을 신장할 때는 연속적인 힘보다 간헐적인 힘을 인가할 수 있는 장치가 필요하다.

이 연구에서 제작한 구내형 골신장기는 마이크로모터를 사용하였으며, 이를 통해 연속적인 힘과 간헐적인 힘을 조절할 수 있고, 피부를 관통하는 조작부를 제거할 수 있다. 최적의 재료를 선택하기 위해 SUS 402 J2,와 SUS 304 재료에 대해 과부하상태를 조건으로 유한요소분석을 시행하였다. 유한요소분석은 고체재료에 대한 일반적인 응력을 분석하기에 적합한 방법이다[15, 16, 17, 18]. 이러한 시뮬레이션을 통하여 실제로 임의의 장치를 제작하는데 필요한 시간과 비용을 줄여줄 수 있다는 장점이 있고, 보다 정확한 기계적 장치를 만들 수 있다. 유한요소분석에 기반을 둔 새로운 형태의 구내형 골신장기에 대한 응

력분포는 gear가 맞물려 있는 부분에서 주로 발생하였으며, 두 재료의 강도는 SUS 304보다 SUS 402 J2가 컸고, gear1, 2, 3에 대한 차이는 각각 4.5Mpa, 32.4Mpa, 33Mpa으로 나타났다 [Figs. 4, 5]. 두 재질에 대해 해석을 한 결과, SUS 402 J2 재질이 내구성이 강하였기 때문에, 이 연구에서는 구내형 골신장기를 제작할 때, SUS 402 J2를 사용하였다 [Fig. 6].

구내형 골신장기의 동물실험 및 인체적용을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 특히, 이 연구의 자료를 기반으로 무선형 골신장기를 개발해야 하며 소형화 모듈, 방수, 뼈와 골신장기의 응력분포 관계 등에 대한 유한요소 분석 등이 요구된다. 이 연구와 관련된 제반기술과 향후 개발할 무선형 골신장기 기술은 다른 분야의 의료기기 개발에 응용 및 파급효과가 클 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2014년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

REFERENCES

[1] G. A. Ilizarov, "Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening", Clin Orthop Relat Res, Vol. 250, pp. 8-26, 1990.

[2] J. Cano, J. Campo, L. A. Moreno, A. Bascones, "Osteogenic alveolar distraction: a review of the literature", Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, Vol. 101, No. 1, pp. 11-28, 2006.

[3] J. G. McCarthy, J. Schreiber, N. Karp, C. H. Thorne, B. H. Grayson, "Lengthening the human mandible by gradual distraction", Plast Reconstr Surg, Vol. 89, No. 1, pp. 1-8, 1992.

[4] G. S. Mundinger, S. A. Rehim, O. Johnson, J. Zhou, A. Tong, C. Wallner, A. H. Dorafshar, "Distraction Osteogenesis for Surgical Treatment of Craniosynostosis: A Systematic Review", Plast Reconstr Surg, Vol. 138, No. 3, pp. 657-669, 2016

[5] M. T. Ankrum, G. R. Hartwell, J. E. Truitt, "K3 Endo, ProTaper, and ProFile systems: breakage and distortion in severely curved roots of molars", J Endod, Vol. 30, No. 4, pp. 234-237, 2004.

[6] G. Hata, M. Uemura, A. S. Kato, N. Imura, N. F. Novo, T. Toda, "A comparison of shaping ability using ProFile, GT file, and Flex-R endodontic instruments in simulated canals", J Endod, Vol. 28, No. 4, pp. 316-321, 2002.

[7] L. Ming-Yih, L. Chun-Li, T. Wen-Da, L. Lun-Jou, "Biomechanical stability analysis of rigid intraoral fixation for bilateral sagittal split osteotomy", J Plast Reconstr Aesthet Surg, Vol. 63, No. 3, pp. 451-455, 2010.

[8] T. W. Korioth, D. P. Romilly, A. G. Hannam, "Three-dimensional finite element stress analysis of the dentate human mandible", Am J Phys Anthropol, Vol. 88, No. 1, pp. 69-96, 1992.

[9] P. Maurer, S. Holweg, W. D. Knoll, J. Schubert, "Study by finite element method of the mechanical stress of selected biodegradable osteosynthesis screws in sagittal ramus osteotomy", Br J Oral Maxillofac Surg, Vol. 40, No. 1, pp. 76-83, 2002.

[10] M. Chin, B. A. Toth, "Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: review of five cases", J Oral Maxillofac Surg, Vol. 54, No. 1, pp. 45-53, 1996.

[11] K. L. Rafferty, Z. Sun, M. A. Egbert, E. E. Baird, S. W. Herring, "Mandibular mechanics following osteotomy and appliance placement II: Bone strain on the body and condylar neck", J Oral Maxillofac Surg, Vol. 64, No. 4, pp. 620-627, 2006.

[12] G. A. Ilizarov, "The principles of the Ilizarov method. 1988", Bull Hosp Jt Dis, Vol. 56, No. 1, pp. 49-53, 1997.

[13] P. Kessler, F. W. Neukam, J. Wiltfang, "Effects of distraction forces and frequency of distraction on bony regeneration", Br J Oral Maxillofac Surg, Vol. 43, No. 5, pp. 392-398, 2005.

[14] J. Wiltfang, P. Kessler, H. A. Merten, F. W. Neukam, "Continuous and intermittent bone distraction using a microhydraulic cylinder: an experimental study in minipigs", Br J Oral

Maxillofac Surg, Vol. 39, No. 1, pp. 2-7, 2001.
[15] Boccaccio, A., Lamberti, L., Pappalettere, C., Cozzani, M., Siciliani, G. "Comparison of different orthodontic devices for mandibular symphyseal distraction osteogenesis: a finite element study". Am J Orthod Dentofacial Orthop, Vol. 134, No. 2, pp. 260-269, 2008.
[16] I. H. Yu, Y. K. Wong, "Evaluation of mandibular anatomy related to sagittal split ramus osteotomy using 3-dimensional computed tomography scan images", Int J Oral Maxillofac Surg, Vol. 37, No. 6, pp. 521-528, 2008.
[17] M. J. Kang, J. U. Cho, "A Study on Structural Durability due to the Configuration of Ripper at Excavator", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 5, No. 2, pp. 13-18, 2014.
[18] J. I. Lee, "Development of Practical Convergence Education by Construction of the Wind Power System Using the Wind by Car", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 5, No. 4, pp. 107-112, 2014.

저자소개

이 재 기(Jae-Gi Lee) **[정회원]**

- 2012년 2월 : 연세대학교 (치의학 박사)
- 2014년 3월 ~ 현재: 남서울대학교 치위생학과 교수
- 2014년 3월 ~ 현재: 연세대학교 의과대학 수술해부교육센터 해부학 이론 및 실습 교육분야 외래교수

<관심분야> : 응용해부학, 임상해부학, 형태학, 의공학