밀링 방법과 주조 방법으로 제작한 코발트-크롬 합금의 3점 굽힘 시험을 통한 기계적인 특성 비교

홍준기¹, 김성균^{1*}, 허성주¹, 곽재영¹, 안진수²

¹서울대학교 치의학대학원 보철학교실 및 치학연구소

²서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실 및 치학연구소

Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test

Joon-Ki Hong¹, Seong-Kyun Kim^{1*}, Seong-Joo Heo¹, Jai-Young Koak¹, Jin-Soo Ahn²

¹Department of Prosthodontics & Dental Research Institute, Seoul National University Dental Hospital, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

²Department of Dental Biomaterials Science and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Korea

*Corresponding author: Seong-Kyun Kim, ksy0617@snu.ac.kr

Abstract

Purpose: The objective of this study was to investigate the mechanical properties of Cobalt-Chromium (Co-Cr) alloys made by conventional casting method and Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD-CAM) milling method.

Material and Methods: Co-Cr alloy specimens (n=8) were made by casting and milling methods. The size of the specimens was 34 mm × 13 mm × 15 mm, according to ISO 22674: 2016. Three-point bending test was conducted by universal testing machine, stress and strain values were obtained. Statistical significance was tested using the t-test.

Results: Flexural strength of the milled sample was significantly lower than of casted ($p < 0.05$). Similarly, 0.2% yield strength of milled sample was also lower than of casted ($p < 0.05$).

Conclusion: Although there is a significant difference in mechanical properties of milled and casted Co-Cr alloy, they are both are clinically acceptable.

Keywords: CAD/CAM, Co-Cr alloy, Mechanical properties, Milling metal, Three-point bending test

OPEN ACCESS

pISSN 1229-5418
eISSN 2671-6623
Implantology 2019; 23(3): 162-168
<https://doi.org/10.32542/implantology.2019013>

Received: September 11, 2019
Accepted: September 30, 2019

Copyright © 2019. The Korean Academy of Oral & Maxillofacial Implantology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

코발트-크롬(Co-Cr) 합금은 치과치료에 있어서 여러 종류의 보철물을 제작하는 용도로 임상에서 많이 쓰이고 있다¹. Co-Cr 합금은 저렴한 가격, 높은 기계적 강도, 좋은

부식저항성 등의 특성을 갖고 있어 가장 널리 쓰이는 치과용 합금 중 하나이다². 이전에는 대부분 왁스 패턴을 제작하고 이를 이용해 왁스 소환법(lost-wax technique)을 이용하여 주조(casting) 방식으로 Co-Cr 보철물을 제작했다. 이 전통적인 방법은 노동력이 많이 들어가고, 제작 과정에서 사람에 의한 오차가 생길 소지가 있어 제작의 어려움이 있다³. 하지만, 최근에는 Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing(CAD-CAM) 기술의 발전으로 전통적인 방법과는 다른 방식으로 Co-Cr 보철물을 제작할 수 있게 되었다⁴. 보철물을 CAD/CAM 방식으로 제작하게 되면 기존의 방식에 비해서 사람에 의한 오차를 줄일 수 있고, 여러 개의 보철물을 재현성 있게 제작할 수 있고, 제작 시간을 줄일 수 있는 등의 장점이 있다⁵.

CAD/CAM을 이용한 제작 방법에서 밀링(milling) 방식이 많이 쓰이는데, 이는 미리 제작된 금속 블록을 기계적으로 잘라내서 최종적으로 원하는 형태를 만들어 내는 방식이다. 밀링은 산업적인 공정으로 만들어진 블록을 사용하기 때문에 내부 물성은 균일하고 결과물의 정밀도는 절삭과정에 의해 결정된다⁶.

새로운 방식으로 제작한 치과 보철 재료가 임상에서 사용되기 위해서는 여러 가지 기계적 성질이 적절해야 한다. 본 논문은 3점 굽힘 시험(3-point bending test)을 이용해 각기 다른 방식으로 제작한 Co-Cr의 기계적인 성질에 다른 점이 있는지를 알아보았다. 평가절은 “Co-Cr 합금의 제작 방식은 기계적인 성질에 영향을 주지 않는다” 이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 시편 제작

기계적인 성질을 비교하기 위하여 Co-Cr 합금 시편을 주조, 밀링 방식으로 제작했다. 각 시편에 사용한 재료는 Table 1에 나타나 있으며, 한 제조법당 4개의 시편을 제작했다. 3점 굽힘 시험을 위해 ISO 22674: 2016 규격에 해당하는 판형 시편을 제작했으며, 그 모식도는 Fig. 1에서 볼 수 있다.

주조 그룹은 전통적인 왁스 소환법을 이용해서 시편을 제작했다. 왁스를 시편의 모양대로 가공한 다음, Co-Cr 주괴(Star Loy C, Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA)와 주조기(Casting machine, Seki dental, Seoul, Korea)를 이용해 제조사의 지시대로 주조하였다. 주조된 금속은 스톤포인트를

Table 1. Specification of the alloy used in this study

Material type	Brand name	Composition (wt %)	Manufacturer
Metal ingots: casting	Star Loy C	Co 59.4%, Cr 24.5%, W 10%, Nb 2%, V 2%, Other (Mo, Si, Fe) ≤ 1%	Dentsply sirona, USA
Metal blank: milling	Starbond Co-Cr block	Co 59%, Cr 25%, W 9.5%, Mo 3.5%, Si 1%, Other (C, Fe, Mn, N) <1%	Scheffner dental alloys, Germany

Joon-Ki Hong et al. : Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test. Implantology 2019

Fig. 1. Design of the Co-Cr alloy sample.

Joon-Ki Hong et al. : Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test. *Implantology* 2019

이용하여 표면 정리 후, P1200 wet silicon carbide paper를 이용해 연마했다.

밀링 그룹의 시편은 소프트웨어(Solidworks, Dassault Systemes, Vélizy-Villacoublay, France)를 이용해 설계하고, 미리 만들어진 Co-Cr 합금 블록(Starbond Co-Cr block, Scheftner dental alloys, Mainz, Germany)을 밀링머신(DMU 50, DMG MORI Aktiengesellschaft, Bielefeld, Germany)을 이용해 제조사의 지시대로 가공했다. 그 후 시편은 casting 그룹과 동일한 방법으로 연마했다.

2. 3점 굽힘 시험

ISO 22674:2016 규정⁷에 따라 제작한 시편으로 압축시험기(TW-D102, Taewon tech, Seoul, Korea)를 이용해 3점 굽힘 시험을 진행했다. 지그의 직경은 1 mm, 받침점 사이의 거리는 20 mm로 설정했으며 힘점은 받침점 정 중앙에 오도록 조정했다. 하강속도는 1.5 mm/min으로 진행했다(Fig. 2).

Fig. 2. Three-point bending test with universal testing machine.

Joon-Ki Hong et al. : Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test. *Implantology* 2019

실험을 통해 응력-변위(stress-strain)를 측정해 응력-변위 곡선을 그리고, 이를 이용해 금속의 0.2% 항복강도, 굽힘강도를 측정했다. 응력(flexural stress)과 변위(flexural strain)는 다음과 같은 공식을 이용해서 구했다.

$$\text{Flexural stress } \sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2}$$

$$\text{Flexural strain } \epsilon_f = \frac{6Dd}{L^2}$$

(F; load at a given point on the load deflection curve(N), L; support span(mm), b; width of test beam(mm), d; depth or thickness of tested beam(mm), D; maximum deflection of the center of the beam(mm))

3. 통계학적 분석

주조해서 제작한 시편과 밀링으로 제작한 시편간의 차이에 통계적 유의성이 있는지 알아보하고자 하였다. 실험을 통해 얻어낸 0.2% 항복강도와 굴곡강도를 비교해 독립 표본 t-검정(t-test)을 시행하였다.

III. 연구결과

주조 시편을 이용해 3점굽힘시험을 시행한 결과, 평균 굴곡강도는 685.79 MPa 이었고, 0.2% 항복강도는 558.76 MPa 이었다. 밀링 시편을 이용해 3점굽힘시험을 시행한 결과 평균 굴곡강도는 444.23 MPa, 0.2% 항복강도는 293.53 MPa 이었다(Table 2, Fig. 3, 4). 제작방법에 따른 시편의 강도는 굴곡강도, 0.2% 항복강도 모두에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

Table 2. Flexural strength (MPa), 0.2% Yield strength (MPa) and SD of casting, milling alloy samples

Group		Flexural strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)
Casting (n=4)	Mean	385.79	558.76
	SD	26.23	15.1
Milling (n=4)	Mean	444.23	293.53
	SD	30.55	27.73

Joon-Ki Hong et al. : Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test. *Implantology* 2019

Fig. 3. Flexural strength of each group (MPa).

Joon-Ki Hong et al. : Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test. *Implantology* 2019

Fig. 4. 0.2% Yield strength of each group (MPa).

Joon-Ki Hong et al. : Comparison of Mechanical Properties of Milled and Casted Cobalt-Chromium Alloys Using Three-point Bending Test. *Implantology* 2019

IV. 총괄 및 고찰

본 연구 결과에 따르면, Co-Cr합금 제작 방법은 금속의 기계적 성질에 영향을 주지 않을 것이라는 영가설은 기각되었다. 실험 결과, 평균 굴곡강도는 685.79 MPa, 444.23 MPa로 주조 제작방식에서 더 높게 나타났고($p < 0.05$), 평균 0.2% 항복강도 역시 558.76 MPa과 293.53 MPa로 주조 제작방식에서 더 높은 결과($p < 0.05$)가 나왔다.

ISO 9693 기준⁸에 따르면, 치과용 수복물을 제작하는 데 사용하는 금속의 0.2% 항복강도는 250 MPa 이상이어야 하는데, 두 종류의 Co-Cr 모두 이를 만족했기 때문에, 밀링 방식으로 제작한 시편이 주조 방식으로 제작한 시편에 비해 강도가 떨어지는 것으로 나왔지만 임상적으로 활용하기에는 충분한

강도를 지닌 것으로 보인다.

Choi 등은 주조, 밀링 방식으로 제작한 Co-Cr 합금의 비커스 경도 실험(Vickers hardness test)을 시행했는데, 실험 결과 평균 경도에서 주조 방식으로 제작한 합금이 가장 높은 수치를 보였다⁹. 또한 Zhou 등은 주조, 밀링 방식으로 제작한 Co-Cr 합금의 인장강도를 측정했는데, 실험 결과 주조 방식으로 제작한 합금이 평균 인장강도가 약간 높았지만, 통계적 유의성은 없었다¹⁰. Han 등은 역시 주조, 밀링 방식으로 제작한 Co-Cr 합금의 인장강도와 경도를 측정했는데, 두 수치 모두 밀링 방식으로 제작한 합금이 더 높은 결과를 보였다¹¹. 이처럼 연구마다 상대적인 기계적 성질이 상이한 결과를 보이는 이유는 기계적인 성질을 측정하는 실험 방법에 따른 다양성과 밀링에 사용하는 블록의 성질이 제조사나 제품의 합금 함량에 따라서 달라질 수 있기 때문으로 보인다.

본 연구는 다음의 한계점을 가지고 있다. 실험에 사용된 시편의 숫자가 적어 결과값의 신뢰도가 떨어질 수 있다. 또한 금속의 기계적인 성질을 측정하는 방법에는 여러 실험 방법들이 있는데 그 중 3점 굽힘 시험만을 시행하여 표면 경도나 인장강도 등의 다른 성질들은 알 수 없었고, 한 종류의 밀링 블록을 사용하였기 때문에 이 제품만의 특성인지는 알 수가 없다.

그러나 CAD/CAM 기술을 이용한 금속의 성질은 블록을 만드는 제조사와 제품의 합금 성분 함량, 밀링하는 장비 등에 따라 그 결과가 달라질 수 있고, 여러 기계적인 성질을 골고루 살펴봐야 하기 때문에 위에서 언급한 한계점을 보완하여 연구를 한다면 앞으로 CAD/CAM 기술이 치과 분야에서 활용이 다양해짐에 따라 그 의미가 더욱 커질 것으로 생각된다.

V. 결론

실험 결과 주조 방식으로 제작한 Co-Cr 합금의 기계적 강도와 밀링 방식으로 제작한 Co-Cr 합금의 기계적 강도는 차이가 있었으며, 주조 방식으로 제작한 합금이 평균 굴곡강도와 평균 0.2% 항복강도 모두 더 우수한 것으로 나타났다. 하지만 ISO 9693 기준에 따르면 두 방식 모두 임상에서 사용하기에 충분한 강도를 지닌 것으로 보인다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2018R1D1A1B07042333) and by a grant (no. 04-2018-0094) from the SNUDH Research Fund.

References

1. Wataha JC. Alloys for prosthodontic restorations. *J Prosthet Dent*. 2002; 87: 351-363.
2. Roberts HW, Berzins DW, Moore BK, et al. Metal-ceramic alloys in dentistry: a review. *J Prosthodont*. 2009; 18: 188-194.
3. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012; 28: 3-12.
4. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, et al. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009; 28: 44-56.
5. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008; 204: 505-511.
6. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. *J Am Dent Assoc*. 2006; 137: 1289-1296.
7. ISO Standard 22674: 2016, Dentistry- Metallic materials for fixed and removable restorations and appliances.
8. ISO Standard 9693-1: 2012, Dentistry- Compatibility testing- Part1: Metal-Ceramic systems.
9. Choi YJ, Koak JY, Hoe SJ, et al. Comparison of the mechanical properties and microstructures of fractured surface for Co-Cr alloy fabricated by conventional cast, 3-D printing laser-sintered and CAD/CAM milled techniques. *J Korean Acad Prosthodont*. 2014; 52: 67-73.
10. Zhou Y, Li N, Yan J, et al. Comparative analysis of the microstructures and mechanical properties of Co-Cr dental alloys fabricated by different methods. *J Prosthet Dent*. 2018; 120: 617-623.
11. Han X, Sawada T, Schille C, et al. Comparative analysis of mechanical properties and metal-ceramic bond strength of Co-Cr dental alloy fabricated by different manufacturing processes. *Materials* 2018; 11: 1801.