

## 개(犬)의 교합력 관찰을 위한 견치와 열육치의 3차원 유한요소 분석

박유진, 김치영, 최성민  
부산가톨릭대학교 치기공학과

### Three-Dimensional Finite element analysis of Canine and Carnassial for Observation of Dog Bite forces

Yu-Jin Park, Chi-Young Kim, Sung-Min Choi  
Department of Dental Laboratory Science, Catholic University of Pusan

#### [Abstract]

**Purpose:** This study is for the prosthesis of dogs. Observe the occlusal relation between the dog's canine and carnassial teeth. The strength and the direction of the occlusal by 3D FEM analysis.

**Methods:** The mandibular canine and carnassial of dogs were tested. The dog's skull was contact point confirmed by dental CAD. The skull of the dog was 3D modeled by CT. The 3D model was analyzed by ABAQUS. Opening and closing movement has been a force of 100N, 200N, 300N, 500N, 1000N, 1,500N. The peak von Mises stress distribution was confirmed.

**Results:** As occlusal force increased, stress appeared to 1.34 MPa, 3.32 MPa, 5.00 MPa, 6.19 MPa, 5.58 MPa, 5.47 MPa in left canine. and Stress was seen at 2.10 MPa, 3.08 MPa, 3.89 MPa, 5.50 MPa, 7.04 MPa, 7.18 MPa in the right canine. Stress appeared at 2.41 MPa, 3.53 MPa, 5.15 MPa, 7.28 MPa, 31.26 MPa, 67.22 MPa in the left carnassial. and Stress was seen at 1.57 MPa, 2.96 MPa, 3.76 MPa, 6.01 MPa, 20.94 MPa, 64.38 MPa in the right carnassial.

**Conclusion:** Peak von Mises stress values were found at the peak of the canine, the buccal of the central cusp of the carnassial, and the occlusal surface of the distal cusp.

◉ **Key words:** Animal tooth, Bite force, Dog restoration, Dog tooth, Finite element analysis

Corresponding author	Name	최 성 민	Tel.	051-510-0594	E-mail	smchoi@cup.ac.kr
	Address	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교 치기공학과				
Received	2019. 10. 31	Revised	2019. 12. 23	Accepted	2019. 12. 26	

## I. 서론

가족 구성원의 감소, 고령화 등으로 인해 반려동물에 대한 인식이 변화하고 있다. 그에 따라 반려동물 관련 산업 뿐만 아니라 수의의료서비스도 발전하고 있다(Oh HS, 1991). 수의치과치료는 예방치료에 국한되어 있었으나 수의학의 발전으로 반려동물의 기대수명이 길어지면서 태어나서 노령이 될 때까지 생애주기로 관리되는 필요성을 가진 분야로 발전하고 있다(Gang SS, 2007). 따라서 동물치아의 보존치료의 수요가 늘어나고 있어 보철치료의 관심이 높아지고 있다. 동물치아의 보철치료를 위하여 적용 동물의 교합관계의 이해가 필요하다.

대표적인 반려동물인 개의 교합관계에서 열육치가 중요한 역할을 가지게 된다. 열육치(carnassial)는 개의 42개의 영구치 중 상악 4전구치와 하악 1대구치로 구성된다. 열육치는 육식성 포유류가 가지고 있는 상·하악의 치아로 가위와 같은 저작기능을 하게 된다(Verstraete and Lommer, 2012). 따라서 열육치는 교합 유지에 필수적인 기능을 하므로 손상 시 빠른 회복이 요구된다.

따라서 개의 교합관계를 분석하기 위한 연구는 꾸준히 되고 있다. Ström과 Holm(1992)은 개를 전신마취 후 저작근에 전극을 삽입하여 전기 자극에 의한 교합력을 측정하였고 Linder 등(1995)의 개를 대상으로 하는 in vivo 실험에서 직접 압력센서(strain gauge)를 이용하여 측정한 교합력은 다양한 변수에 의하여 대표적인 정량수치를 제시하는데 한계가 있다고 보고하였다. Thomason(1991)은 두개골을 이용한 교합력 측정 in vitro 실험에서 수학적 방식으로 좌우 양측의 교합력을 제시하였다. Ellis(2008)는 개를 이용하여 교합력 측정을 in vivo 실험과 in vitro 실험을 통하여 비교하였으며 그 결과 in vivo 실험의 교합력이 in vitro 실험보다 높게 분석되었다.

개를 이용한 in vivo, in vitro 실험을 통한 연구가 실험동물의 마취와 희생을 지양하는 윤리적 규제와 연구방법의 발전으로 최근에는 3차원 모델을 이용한 연구가 소개되고 있다. Therrien(2016)은 개의 두개골을 컴퓨터 단층촬영(computed tomography, CT)을 통해 3

차원 모델을 구성하고 이를 3차원 유한요소분석을 통한 역학분석으로 교합력을 산출할 수 있다는 것을 보고하였다. 유한요소분석법은 3차원 구조의 모델을 유한개의 요소로 분할하고 개별 요소의 특성을 계산한 후, 3차원 구조적 역학특성을 분석할 수 있다(Kim NS, 2016).

선행 연구에서와 같이 개의 교합력 관찰을 위한 연구는 꾸준히 보고되었다. 하지만 보철치료 연구를 위한 교합관계, 교합력 분석을 위한 직접적인 연구가 부족한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 개의 보철치료를 위한 연구를 위하여 개의 두부(head) 모델을 3차원으로 구성하였다. 구성된 3차원 모델을 유한요소분석을 통하여 견치와 열육치에 가해지는 교합점을 확인하고, 그 점의 교합력을 관찰하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 3차원 실험 모델 구성

개(犬)의 하악 견치와 열육치에 하중이 가해지는 접촉부위를 확인하기 위하여 소형견의 마른 머리뼈를 치과용 스캐너(E1, 3shape, Denmark)로 스캔하고 치과용 카드 프로그램(Dental systems, 3shape, Denmark)에서 견치와 열육치의 접촉부위를 확인하였다(Figure 1). 그리고 접촉부위에 가해지는 교합 응력을 분석하기 위하여 머리뼈를 치과용 CT (PaX-zenith 3D, Vatech)로 촬영하였다 (Fig. 2). CT 촬영으로 만들어진 DICOM 데이터를 획득하고 3D 의료 영상 처리 소프트웨어인 MIMICS(Mimics Medical 21.0, Materialise, Belgium)를 통해 3D 모델로 변환하였다. 변환된 3D 모델은 상용 유한요소분석 및 전·후처리 프로그램인 ABAQUS(abaqus, CAE 2016, Dassault systems, France)를 이용하여 유한요소분석 모델로 재구성되었다(Fig. 3).

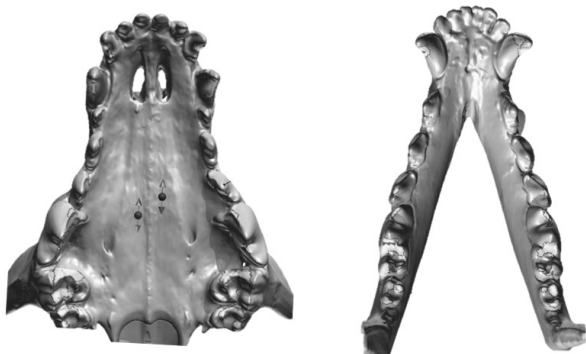


Figure 1. 3D Modeling of Dental CAD/CAM



Figure 2. 3D Modeling of Dental CT

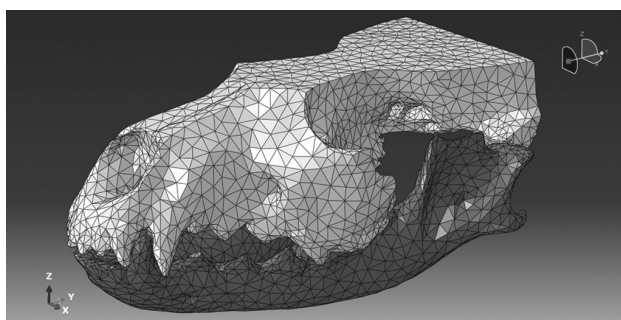


Figure 3. Finite element analysis model.

## 2. 유한요소분석

구성된 유한요소 모델은 상·하악 모두 4개의 절점(node)과 요소(element)로 이루어진 사면체(tetrahedron) mesh로 구현되었다. 상·하악 모델의 물성치(material properties)는 선형, 탄성, 균질 및 등

방성으로 가정하고 해면골(cancellous bone)의 탄성계수(elastic modulus)와 포아송비(poisson's ratio)를 적용하였다(Table 1).

Table 1. Summary of the material properties used for FE analysis

Material	Elastic modulus (MPa)	Poisson ratio (%)
Cancellous bone	1,370	0.3

경계 조건(boundary condition)은 실제 저작의 환경을 구현하기 위하여 상악이 15도 개구된 상태를 initial position으로 설정하고 하악의 아랫면 전체를 6자유도(DOF, degree of freedom)에서 구속시켰다. 상악과 하악이 관절을 이루는 악관절(TMJ, temporomandibular joint) 면은 finite sliding이 가능한 관절로 설정하였으며, 상·하악 치아가 접촉하는 부위는 앞서 실시한 치과용 캐드캠 프로그램에서 획득한 접촉 지점 결과를 참조하여 설정하고 마찰계수(friction of coefficient)를 일반적인 치아간 마찰계수와 동일한 0.15를 입력하였다(Fig. 4).

저작 환경과 동일한 하중 조건을 부여하기 위하여 initial step에서는 상악 전체에 중력가속도에 의한 하중을 10N으로 적용하고 first step에서 15도 flexion 시킨 후 폐구운동시 가해지는 외력을 상악 상부에 적용하였다. 폐구운동시 가해지는 외력은 100N, 200N, 300N, 500N, 1,000N, 1,500N으로 각각 해석을 실시하였다(Fig. 5).

해석 결과는 폐구운동의 하중에 따른 상·하악 치아간 접촉부위에서 발생하는 최대 von-Mises 응력과 발생하는 방향의 비교 분석을 실시하였다.

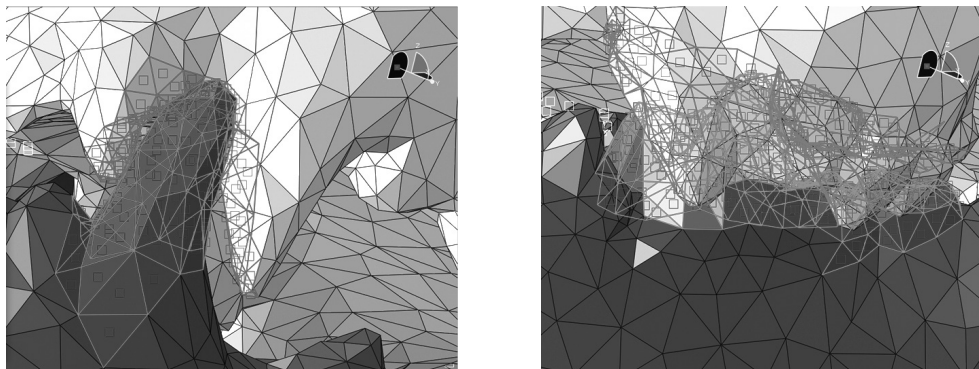


Figure 4. Contact condition, a; Canine, b; Carnassial

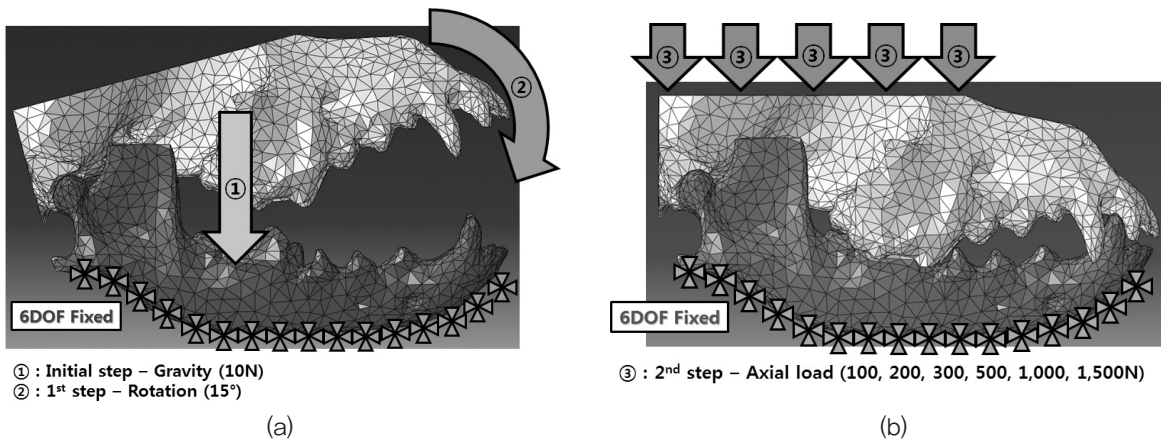


Figure 5. Load and Boundary Condition, a; Load condition – 1st step, b; Load condition – 2nd step

### III. 결과

정적 유한요소분석이 교합 하중에 의해 생성된 응력의 집중을 예측하기 위해 수행되었다. 하악의 견치와 열육치에서 접촉점의 최대 응력값을 평가하였다.

하악 견치는 근심측 첨두와 원심측 첨두에서 접촉하였고, 하악 열육치는 중앙측 교두의 협면과 원심측 교두의 교합면에서 나타났다. 그리고 폐구운동시 교합 하중을 가했을 때 교합 하중의 강도에 따라 접촉부위의 peak von Mises 응력 값이 다르게 나타났다. 응력 값은 아래에 표로 나타내었다(Table 2). 좌측 견치의 경우 가해지는 외력이 100N에서 500N까지 증가함에 따라 치아의 접촉부위에 가해지는 응력 값은 커졌다. 그러나 가해지는 외력이 500N보다 커졌을 때 다시 응력 값이 감소하였다. 그러나 우측 견치의 경우 가해지는 외력이 100N에서 1,500N으로 증가함에 따라 치아의 접촉부위에 가

해지는 응력 값은 증가하였다. 그리고 열육치의 경우 가해지는 외력이 100N에서 1,500N으로 증가함에 따라 치아의 접촉부위에 가해지는 응력 값은 좌측과 우측 모두 증가하였다. 100N에서 500N의 외력을 가했을 때 견치와 열육치의 응력 값은 큰 차이가 없었으나 1,000N, 1,500N에서 견치와 열육치의 응력 값은 큰 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 4)(Fig. 6).

Table 2. Stress analysis of canine and carnassial according to bite forces (unit:MPa)

Teeth Load(N)	Canine		Carnassial	
	Left	Right	Left	Right
100	1.34	2.10	2.41	1.57
200	3.32	3.08	3.53	2.96
300	5.00	3.89	5.15	3.76
500	6.19	5.50	7.28	6.01
1,000	5.58	7.04	31.26	20.94
1,500	5.47	7.18	67.22	64.38

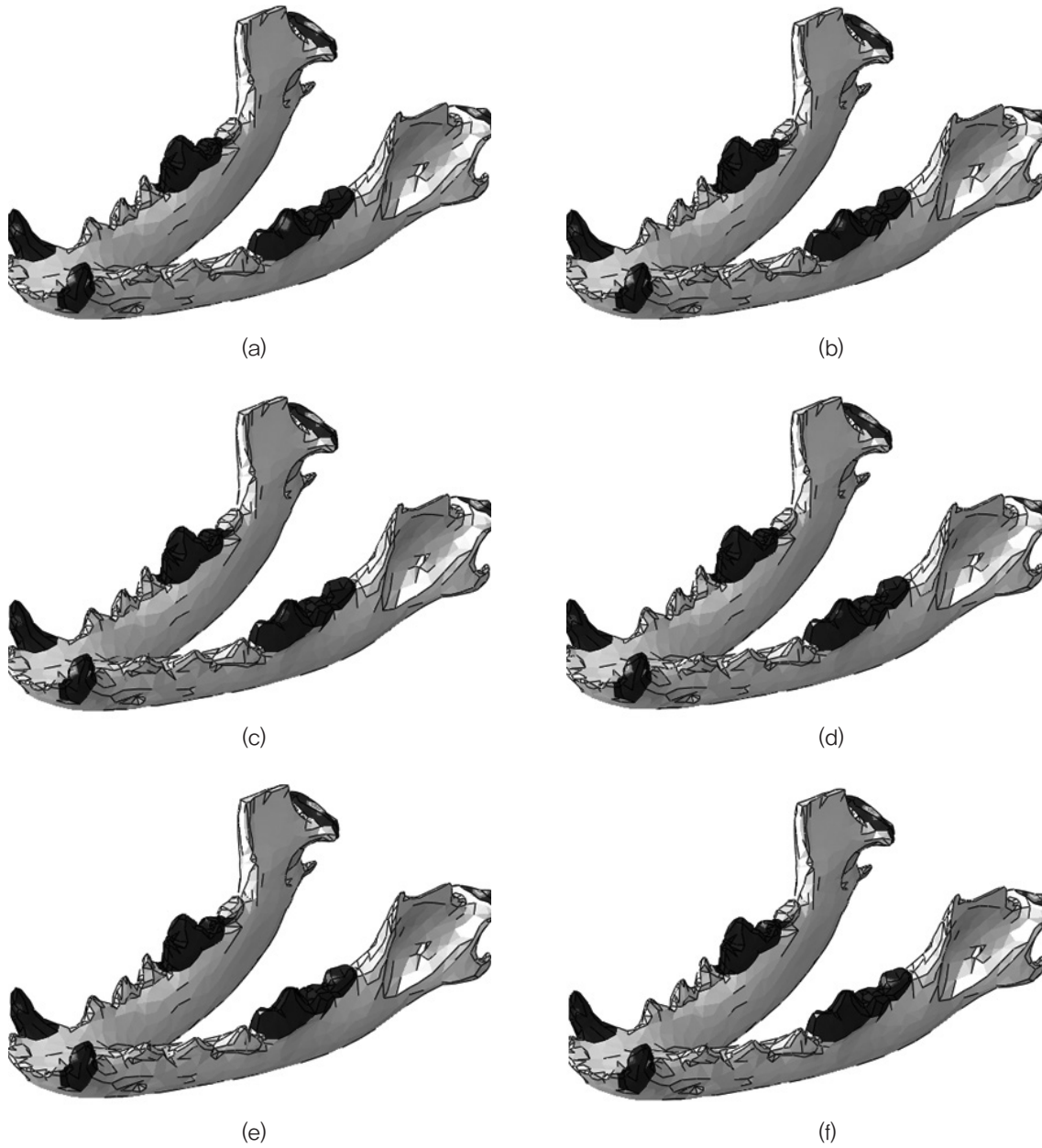
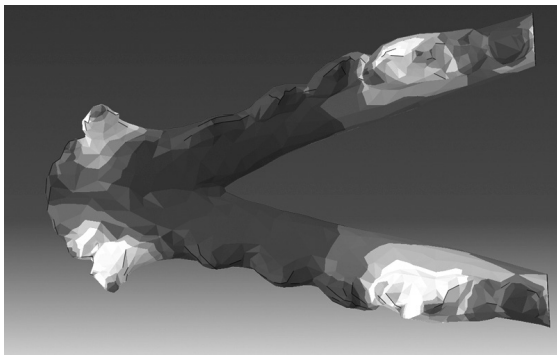
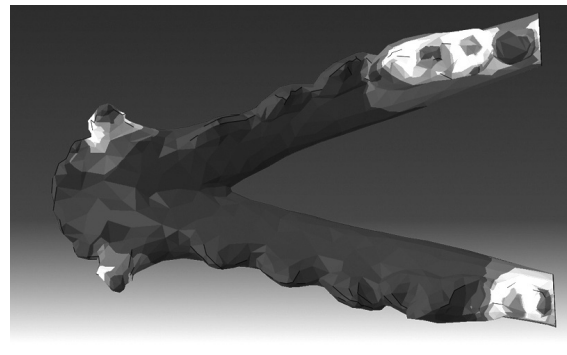


Figure 6. Mandibular of Finite element analysis, a;100N, b;200N, c;300N, d;500N, e;1,000N, f;1,500N.



300N 초기 접촉



1000N 후기 접촉

#### IV. 고찰

본 연구에서는 개의 견치와 열육치에 하중이 가해지는 접촉부위를 확인하고, 치아의 접촉부위에 가해지는 교합 응력을 유한 요소 분석을 통하여 알아보고자 하였다.

Ellis 등(2009)에 따르면 개는 체중에 따라 소형견, 중형견, 대형견으로 분류되고, 두개골의 형태에 따라 단두종, 중장두종, 장두종으로 나뉘며 개의 교합력은 두개골의 크기와 체중에 밀접한 관련이 있다고 하였다. 그러나 소형견에서 두개골의 형태는 교합력을 결정하는 중요한 요인이 아니라고 하였다. 선행연구에서 Ellis 등(2009)은 중두종의 경우 교합력이 견치에 89.8N~755N, 대구치에 294N~2749N의 하중이 가해진다고 하였다. 본 연구에서는 중두종의 두개골을 사용하였으나 소형견을 사용하였으므로 대형견에서 가해지는 교합압의 범위는 무의미할 것으로 사료되어 중형견에 가해지는 1,408N을 기준으로 수직하중의 값을 1,500N으로 제한하였다.

교합력을 가했을 때 견치는 근심측 침두에서 접촉하였다. 우측 견치는 교합력이 증가함에 따라 접촉부위에 가해지는 응력값이 증가하였다. 그러나 좌측 견치는 500N이 가해질 때 까지 증가하였으나 1,000N, 1,500N의 힘이 가해질 때 다시 감소하였다. 견치에 가해지는 응력 값은 우측은 증가하고 좌측은 감소하였으나 최대 응력 값은 좌측 6.19N, 우측 7.18N으로 큰 차이가 없었다. 가해지는 교합력이 증가할수록 견치에 가해지는 응력값은 좌우가 동일하게 비례적으로 증가할 것으로 예측하였으나 견치에 가해지는 응력 값은 불안정한 결과 값을 나타내었다. 교합력이 가해질 때 과두의 움직임에 따라 폐구하여 열육치에서 먼저 접촉이 일어나고 견치는 그 뒤에 이어서 접촉이 일어나므로 열육치에 응력이 집중되고 견치에는 그 이후에 일정한 값의 응력만이 가해지는 것으로 판단된다.

교합력을 가했을 때 열육치는 중앙측 교두의 협측과 원심측 교두의 교합면에서 접촉이 나타났다. 이와 같은 결과는 선행연구(Park and Choi, 2016)에서 하악 열육치 치관의 접촉부위가 교합면과 협면에서 나타나는 결과와 일치한다. 열육치는 접촉부위에 가해지는 교합력이 증가함에 따라 치아에 가해지는 응력 값은 증

가하였다. 좌우측 제1대구치 모두 100N에서 500N까지는 응력 값이 큰 차이를 보이지 않았으나 500N 이후 1,000N, 1,500N의 교합력을 가했을 때 응력 값은 크게 증가하였는데, 이때 열육치에서 가장 먼저 접촉하는 부위가 협면에서 교합면으로 변화하면서 열육치에 더 많은 응력이 가해지는 것으로 판단된다. 본 연구에서 소형견의 교합력에 해당하는 100N, 200N, 300N에서의 응력 값이 큰 차이가 없는 것은 선행연구(Ellis et al, 2009)와 동일한 결과를 나타내었다. 그리고 중형견의 교합력에 해당하는 500N, 1,000N, 1,500N에서 구치의 응력 값은 큰 차이가 나는 것으로 나타났다. 제한된 값보다 더 큰 교합력에서 치아에 가해지는 응력 값을 확인할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

현재 치과기공사가 동물치과보철물을 의뢰받아 제작하게 되었을 때 치아 형태와 접촉에 대한 기본적인 정보가 없이 임의의 형태로 제작하는 것이 일반적이다. 그리고 일반적으로 lost wax technique법을 이용하여 Ni-Cr metal을 이용하여 제작하고 있다. Ni-Cr metal의 경우 높은 강도를 가지는 재료여서 보철 제작을 했을 때 파절을 일으키지는 않지만, 접촉 위치에 따라서 탈락을 일으키거나 지대치 파절을 일으킬 수 있다(Soukup et al, 2015). 따라서 본 연구에서 확인된 개의 견치와 열육치의 교합의 접촉부위와 접촉부위에 가해지는 응력 값은 개의 치과보철 제작 시 지대치 설정, 소재 선택, 치관의 형태설계에 필요한 정보를 제공할 수 있는 기초 자료가 될 수 있을 것이다.

차후의 연구에서는 개를 체중에 따라 분류하거나 두개골의 형태를 다양하게 선택하여 실험을 하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

#### V. 결론

개폐운동시 개(犬)의 견치와 열육치의 교합접촉부위를 확인하고 교합력에 따라 치아의 접촉부위에 가해지는 응력 값을 확인하기 위하여 3차원 유한요소분석을 이용하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. Peak von Mises 응력 값은 견치에서는 침두부위,

열육치에서는 중앙측 교두의 협측과 원심측 교두의 교합면에서 나타났다.

2. 교합력이 100N, 200N, 300N, 500N, 1000N, 1500N으로 커짐에 따라 치아에 가해지는 Peak von Mises 응력 값은 증가하였다.

3. 1,000N 이상의 하중이 가해졌을 때 열육치의 Peak Von Mises 응력 값은 크게 증가하였다.

## REFERENCES

- Ellis JL, Thomason JJ, Kebreab E, France J. Calibration of estimated biting forces in domestic canids: comparison of post-mortem and in vivo measurements. *J Anat*, 212, 769–780, 2008.
- Ellis JL, Thomason J, Kebreab E, Zubair K, France J. Cranial dimensions and forces of biting in the domestic dog. *J Anat*, 214, 362–373, 2009.
- Gang SS. Vateriaary Dentistry case studys. *Journal of veterinary clinics*, 24(2), 505–516, 2007.
- Kim NS, Lee MK, Hong MH. A Finite element stress analysis of abutment screw according to the implant abutment material. *J Kor Aca Den Tec*, 38(1), 1–6, 2016.
- Lindner DL, Marretta SM, Pijanowski GJ, Johnson AL, Smith CW. Measurement of bite force in dogs: a pilot study. *J Vet Dent*, 12, 49–52, 1995.
- Oh HS. Small Animal Clinical new field of dentistry. *J Kor Aca Den Tec*, 27(2), 65–68, 1991.
- Park YJ and Choi SM. Observation of Occlusal Relations for Production to Dental Prosthetics of Dogs. *The Journal of the Korea academy of dental technology*, 38(3), 203–208, 2016.
- Soukup JW, Collins C, Ploeg HL. The Influence of Crown Height to Diameter Ratio on the Force to Fracture of Canine Teeth in Dogs. *J Vet Dent*, 32(3), 155–163, 2015.
- Ström D and Holm S. Bite-force development, metabolic and circulatory response to electrical stimulation in the canine and porcine masseter muscles. *Arch Oral Biol*, 37, 997–1006, 1992.
- Thomason JJ. Cranial strength in relation to estimated biting forces in some mammals. *Can J Zool*, 69, 2326–2333, 1991.
- Therrien F, Quinney A, Tanaka K, Zelenitsky DK. Accuracy of mandibular force profiles for bite estimation and feeding behavior reconstruction in extant and extinct carnivorans. *J Exp Biol*, 46, 641–648, 2016.
- Verstraete FJ and Lommer MJ. *Oral and Maxillofacial Surgery in Dogs and Cats*. Edinburgh, Saunders, 2012.