

# 가토 두개골에 이식한 다양한 형태의 자가골에 의한 골성 회복 양상 비교 평가

최소영 · 이수연 · 김진욱 · 김진수 · 이상한 · 신희인\* · 권대근

경북대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, \*경조직-바이오치아 재생 연구소, 구강병리학교실

**Abstract** (J. Kor. Oral Maxillofac. Surg. 2008;34:428-434)

## A COMPARATIVE STUDY OF VARIOUS TYPE OF AUTOGENEOUS BONE GRAFT ON THE RABBIT-SKULL DEFECT HEALING

So-Young Choi, Su-Youn Lee, Jin-Wook Kim, Chin-Soo Kim,  
Sang-Han Lee, Hong-In Shin\*, Tae-Geon Kwon

Dept. of Oral & Maxillofacial Surgery, \*IHBR, Dept. of Oral Pathology,  
School of Dentistry, Kyungpook National University, Kyungpook National University

**Introduction:** Piezosurgery device is one of the most commonly used instrument on the intraoral surgery such as maxillary sinus lift and autogenous bone graft. Piezosurgery instrument also contains the tips that are manufactured especially for the convenient bone graft, which now many surgeons apply them for collecting bone graft materials in the curettage method for the restoration of skull defects. However, objective data has not been shown concerning the effects about bone graft with using Piezosurgery. Therefore we investigated the effects of Piezosurgery on the rabbit-skull defect healing.

**Materials & Methods:** To investigate the regeneration of the bony defect with various bone graft, 10 adult New Zealand white rabbits (average weight : 2.8 ± 0.3kg, about 12weeks) were used. The four circular bony defects measuring 6mm in diameter were made with Piezosurgery device on each rabbit cranial bone. The harvested bone tissues during defect formation were also used for autogenous bone graft. They were grafted into the defects in a various type; block type (Group 1), particulated type by the bone mill (Group 2), chopped type by curette shaped Piezosurgery tip (Group 3), the defect without any graft was served as control (control group). The animals were sacrificed after 6 weeks and bone regeneration capacity was evaluated histomorphometrically.

**Result & Conclusion:** Autogenous bone graft harvested using a Piezosurgery instrument showed satisfactory bone regeneration. There was no conspicuous difference bone prepared among by bone mill or Piezosurgery and block bone graft. Therefore, the bone harvested from the intraoral site near the operation field using the piezosurgery device can be a feasible and reliable graft for intraoral bony defects.

**Key words:** Autogenous bone graft, Skull defects of the rabbits, Piezosurgery device

### I. 서 론

현재까지 골 결손부를 재건하기 위한 골 이식 재료로 가장 널리 사용되고 있는 것은 자가골이며<sup>1,2</sup>, 자가골은 다른 종류의 골 이식 재료와 달리 골 형성 이전에 의해 치유되며 면역학적 반응이 문제되지 않는 장점을 가지고 있다. 악골의 큰 골 결손부는 주로 장골 이식에 의해 수복되며, 이 경우 골 채취를 위한

부가적 수술이 요구되는 단점을 가지고 있다<sup>3</sup>. 작은 골 결손부일 경우에는 부가적인 수술이 필요 없어 주변에서 손쉽게 자가골을 채취하여 이식하게 되므로 수술 시간을 절약할 수 있고 환자의 불편감을 감소시킬 수 있다. 악골과 같은 막성골 형태(intramembranous bone type)의 경우 늑골, 경골, 장골 등과 같은 구강의 공여부에 해당하는 연골내화성 골 형태(endochondrial bone type)보다 치유 기간을 줄일 수 있으며, 이식 후 흡수율이 적고 많은 양의 망상골(cancellous bone)을 이용할 수 있어 빠른 골 형성과 재혈관화를 촉진할 수 있다는 장점을 지니고 있다<sup>4,5</sup>.

지금까지 악골로부터 자가골을 채취하기 위한 다양한 기구가 소개되었는데, 그중 1998년 Tomaso Vercellotti에 의해 개발된 Piezosurgery가 새롭게 각광을 받고 있다<sup>6-10</sup>. Piezosurgery는 일반 초음파에 비해 3배정도의 강한 힘을 가지고 있으며, 25kHz에

#### 권대근

700-721 대구광역시 중구 삼덕2가 50

경북대학교 치과대학 구강악안면외과학교실

#### Tae-Geon Kwon

Dept. of OMFS, School of Dentistry, Kyungpook National University

50 Samduk 2-ga, Jung-gu, Daegu, 700-721, Korea

Tel: 82-53-420-5911,5912 Fax: 82-53-426-5365

E-mail: kwondk@knu.ac.kr

서 30kHz의 주파수를 갖는 특별한 진동을 가짐으로써 선택적인 골 절단이 가능하다. 사용 시 충분한 주수로 인해 열 발생을 감소시킬 수 있으며, 연조직에 손상을 주지 않기 때문에 다양한 구강 내 술식에 유용하게 활용될 수 있다. Piezosurgery는 용도에 맞게 다양한 tip을 제공하고 있다. 골 표면을 긁어내어 손쉽게 골을 채취할 수 있는 tip도 포함되어 있어, 인접된 골부위로부터 curettage하듯 골 이식편을 얻어 이식하는 방법이 임상적으로 많이 적용되고 있다. 그러나 아직 객관적인 Piezosurgery를 이용한 골 이식 효과에 대한 자료가 많지 않아 이번 연구를 통해 Piezosurgery를 이용한 골 이식의 효과에 대해 입증하고자 하였다.

## II. 연구 대상 및 연구 방법

### 1. 연구대상

본 실험은 12주령의 New Zealand산 백색 가토 10마리(평균 무게  $2.8 \pm 0.3\text{kg}$ )를 사용하였다. 각 실험 동물의 두개골에 Piezosurgery(Mectron Piezosurgery®, Medical Technology, Carasco, GE, Italy) tip(OT 5)을 이용하여 지름 6mm의 원형 골 결손부 4개를 형성하였고 다음과 같이 골을 이식하지 않은 대조군과 서

로 다른 형태의 자가골을 이식한 실험군으로 구분하여 관찰하였다.

대조군: 골 이식을 하지 않은 군

실험 1군: 채취한 원형의 블록형 골조직을 그대로 이식한 실험군

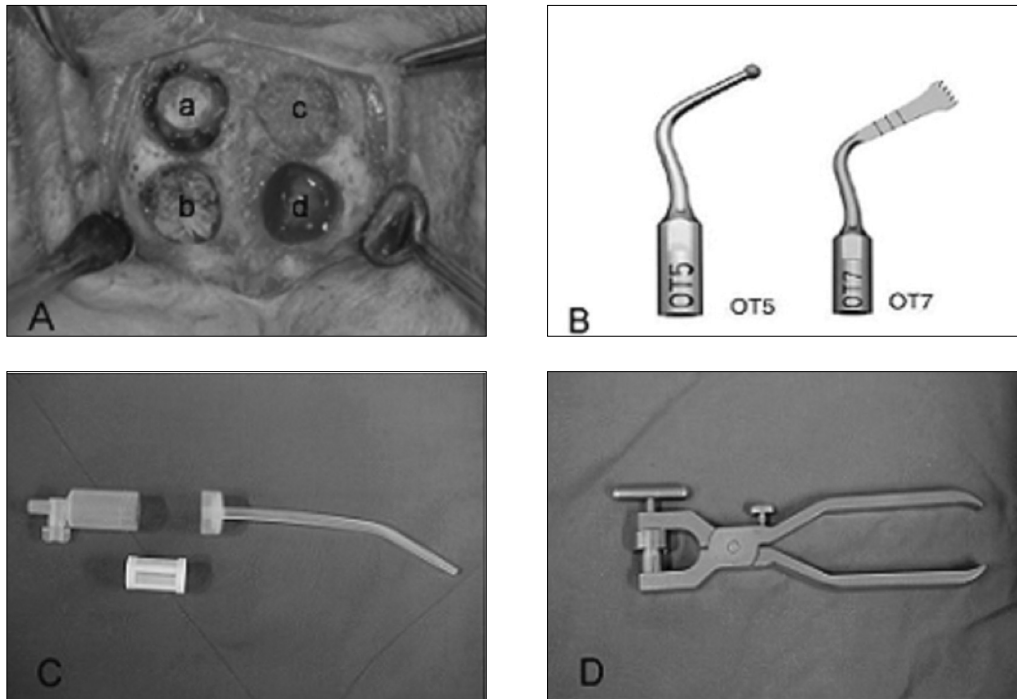
실험 2군: 채취한 블록형 골을 bone mill(Bone milling Forceps, USTOMED INSTRUMENTE Ulrich Storz GmbH & Co. KG)로 분쇄하여 이식한 실험군

실험 3군: 결손부를 형성하는 과정 중에 Piezosurgery tip(OT 7)을 이용하여 골조직을 긁어서, 골수집기(Osseous bone collector-OTA 100, Osseous Technologies of America)를 이용하여 골 입자(particulated bone)를 모아 이식한 실험군

### 2. 연구방법

#### (1) 실험

실험동물을 수술 30분 전 Ketamine hydrochloride(Ketamine®, 유한양행, 한국) 30mg/kg와 Xylazine hydrochloride(Rompun®, 바이엘코리아, 한국) 10mg/kg을 근주하여 전신마취를 시행하였다. 실험동물을 고정하고 수술 부위를 제모하고 10% Povidone-



**Fig. 1.** (A) Defect preparation (a : Group 1, b : Group 2, c : Group 3, d : Control)  
 (B) Piezosurgery tip OT 5 & OT 7  
 (C) Osseous bone collector (OTA 100, Osseous Technologies of America)  
 (D) Bone mill (Bone milling Forceps, USTOMED INSTRUMENTE Ulrich Storz GmbH & Co. KG)

Iodine 용액으로 수술 부위를 소독하였다. 수술 중 지혈을 목적으로 1:100,000 에피네프린이 함유된 2% 염산리도카인으로 수술 부위를 국소마취 하였다. 두개골 정중부를 따라 약 4 cm의 절개선을 형성하고, 양쪽 안와상연까지 골막 손상 없이 골막을 박리하였다. 봉합선을 피하여 노출된 두개골에 Piezosurgery tip(OT 5)을 이용하여 지름 6mm의 원형 골 결손부 4개를 형성하였다. 각각의 골 결손부를 앞에서 서술한 바와 같이 서로 다른 방법으로 얻은 자가골을 이식하였다. 그리고 3-0 black silk를 이용하여 층별 봉합하였다. 감염 예방을 목적으로 술 후 이틀간 Enrofloxacin(바이트릴®, 유한양행, 한국) 0.2 ml/kg을 근주하였다. 그리고 술 후 일주일째 발사하였다.

(2) 조직학적 관찰

실험 6주경과 후 2% 염산리도카인 2ml, 생리식염수 10ml를 섞어 심장에 주사하여 토끼를 희생시켰다. 그리고 골막이 부착된 상태로 두개골을 분리하여 10% formaldehyde로 고정하고 10% EDTA 3일, 10% fomic-acid로 3일간 탈회시켜 이식부 최대 지름 부위에서 절단한 후, 통법에 준하여 파라핀 포매 표본을 제작하였다. 박절기를 이용하여 5 μm 두께 절편을 얻어 Masson's Trichrome 염색을 시행한 후 광학현미경으로 관찰하였다.

(3) 골양 평가 (Quantitative analysis)

골이식의 골성 회복 정도를 평가하기 위해 현미경에 부착된 디지털 카메라로 영상을 얻어 IMT(VT) image analysis (iMTechnology Co, KOREA) 프로그램을 이용하였다. 골성 회복 정도 평가는 골 결손부에 새롭게 형성된 골의 면적으로 평가하였으며, 결손부와 정상골의 경계를 우선 설정하고 결손부 전체면적을 100으로 하여 새롭게 형성된 골조직의 면적을 퍼센트로 산출하였다. 각 이식부 간의 통계학적 평가는 ANOVA Test를 이용하였다.

III. 연구 결과

1. 광학현미경적 소견

대조군. 골 결손부 주변으로부터 중심으로 골화가 진행되면서 지방을 함유한 골 조직을 이루었다. 골과 접하는 하방면은 미성숙된 골 조직이 판상을 이루고 있었으나 완전한 연속성을 이루지 못하였고 이 부위는 섬유성 골로 채워지고 있었다(Fig. 2).

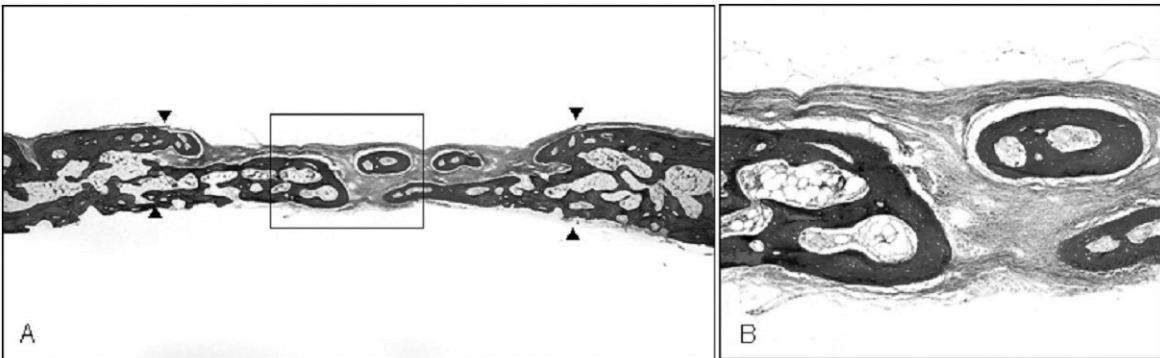


Fig. 2. Non-grafted defects at 6th week. Central ingrowth of new bone from the marginal bone was relatively well formed but was not fused at center. Note the isolated ossicles surrounded by dense fibrous connective tissue. (Trichrome stain, A: ×10, B: ×100)

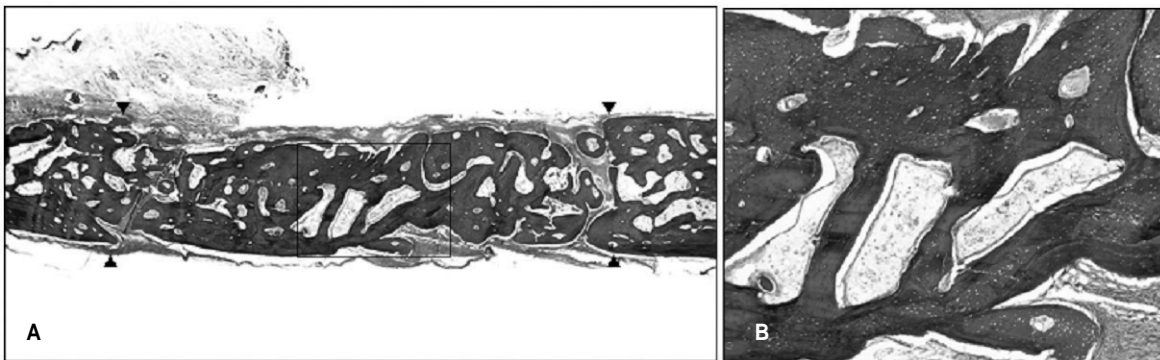


Fig. 3. Defect grafted with block type autogenous bone at 6th week. The grafted bone was markedly replaced by newly formed immature bone but there was no direct union between grafted bone and marginal bone. Note the increased marrow space. (Trichrome stain, A: ×10, B: ×100)

실험 1군. 이식된 원형의 블록형 골조직은 자기 형태를 잘 유지하고는 있었으나, 주변조직과 명확한 융합을 이루고 있지 못하였고, 그 사이에 결합조직이 게재되어 있었다. 내부는 새로 형성된 골에 의해 부분적으로 흡수 대체되었으며 지방 성분보다는 혈관을 함유한 소성 결합 조직 양상의 골수를 함유하고 있었다(Fig. 3).

실험 2군. 이식된 골 기질을 중심으로 양호한 골 형성이 이루어지면서 판상을 이루었고 많은 신생골은 미성숙된 골 형태의 섬유성 골 조직을 나타내었다. 내부에 이식된 다수의 골편에는 골세포가 함유되어 있었고 신생골과 잘 융합되었으며 부분적으로 신생골에 의해 대체되고 있었다(Fig. 4).

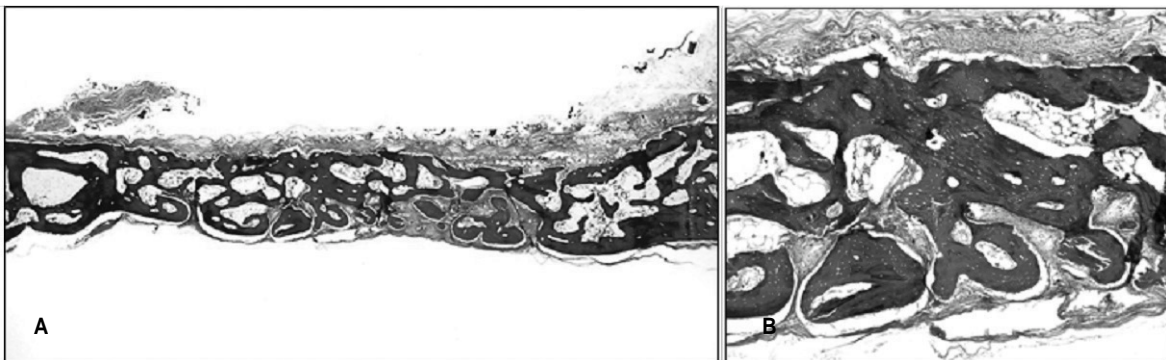
실험 3군. 실험 2군과 비슷한 양상으로 판상의 골성 회복을 이루고 있었으나, 실험 2군에 비해 다수의 혈관과 지방을 함유한 골수를 형성하면서 그물상 골판을 이루고 있었으나 이식골 입자들은 새롭게 형성된 미성숙 골조직에 의해 양호하게 융합되었다(Fig. 5).

## 2. 골양 평가 (Quantitative analysis)

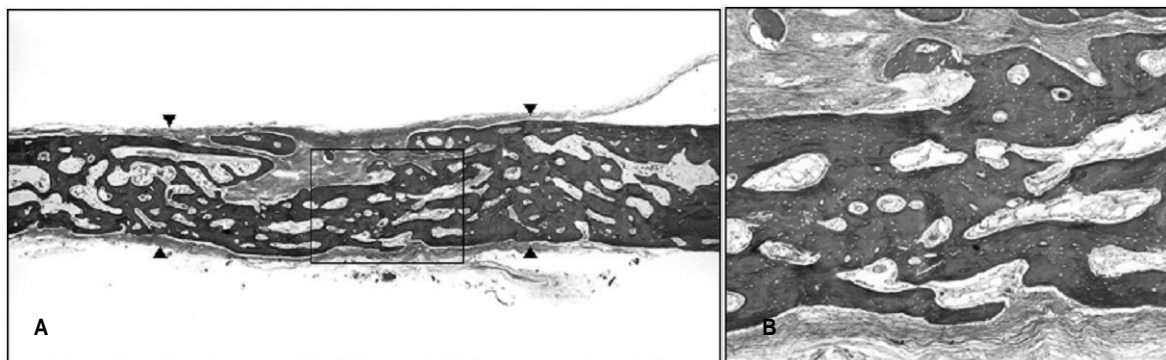
이식 후 6주간 생성된 골양은 대조군에서  $23.18 \pm 9.42\%$ , 실험 1군이  $42.63 \pm 8.87\%$ , 실험 2군이  $37.84 \pm 10.32\%$  그리고 실험 3군이  $36.95 \pm 11.00\%$ 을 나타내었다(Fig. 6).

원형의 블록형 골조직을 이식한 부위에서 가장 많은 골양을 나타내고 있으며, bone mill과 Piezosurgery 기구를 이용한 파쇄 골편 이식부가 그 다음 순이었으며 골이식을 하지 않은 대조군에서 가장 적은 양의 골 형성이 이루어졌음을 알 수 있었다.

ANOVA test 결과 통계학적으로 유의한 차이( $P=0.0012$ )를 나타내었으며 대조군과 실험 1군( $P=0.0008$ ), 대조군과 실험 2군( $P=0.0145$ ), 대조군과 실험 3군( $P=0.0237$ )은 통계학적으로 유의할 만한 차이가 있음을 알 수 있었다. 그러나 실험 1군과 실험 2군( $P=0.7064$ ), 실험 1군과 실험 3군( $P=0.5836$ ), 실험 2군과 실험 3군( $P=0.9971$ )간에는 통계학적으로 유의할 만한 차이를 보이지 않았다(Table 1).



**Fig. 4.** Defect grafted with particulated autogenous bone particles prepared using a bone at 6th week. The newly formed bone around the grafted particulated bone was fused and formed a thin a thin reticular form bone plate filling the bone defect. Note the abundant fat marrow within reticular spaces. (Trichrome stain, A:  $\times 10$ , B:  $\times 100$ )

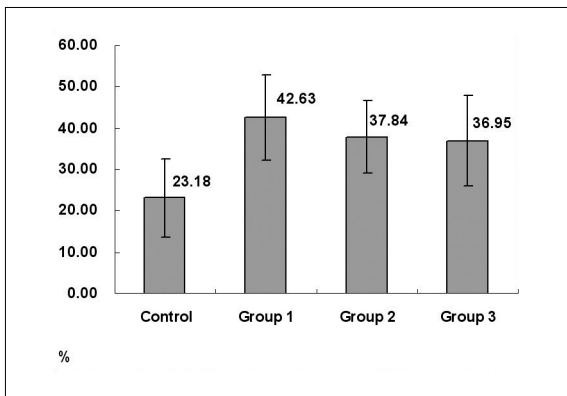


**Fig. 5.** Defect grafted with harvested autogenous bone particles using a piezosurgery at 6th week. The defect was completely covered with newly formed bone plate. Note the regularly arranged delicate fibrovascular marrow spaces. (Trichrome stain, A:  $\times 10$ , B:  $\times 100$ )

**Table 1.** Statistical comparison with ANOVA

| ANOVA          | Sum of Squares | df | Mean Square | F    | Sig.   |
|----------------|----------------|----|-------------|------|--------|
| Between Groups | 1950.60        | 3  | 650.20      | 6.57 | 0.0012 |
| (Combined)     | 243.57         | 1  | 243.57      | 2.46 | 0.1258 |
|                | 219.63         | 1  | 219.63      | 2.22 | 0.1454 |
|                | 1730.98        | 2  | 865.49      | 8.74 | 0.0008 |

| Post-Hoc Test(Tukey) |         | Mean Difference | Std. Error | Sig.   | 95% Confidence Interval |             |
|----------------------|---------|-----------------|------------|--------|-------------------------|-------------|
|                      |         |                 |            |        | Lower Bound             | Upper Bound |
| Control              | Group 1 | -19.45          | 4.57       | 0.0008 | -31.783                 | -7.120      |
| Control              | Group 2 | -14.66          | 4.57       | 0.0145 | -26.996                 | -2.333      |
| Control              | Group 3 | -13.77          | 4.57       | 0.0237 | -26.102                 | -1.439      |
| Group 1              | Group 2 | -4.79           | 4.45       | 0.7064 | -16.790                 | 7.215       |
| Group 1              | Group 3 | -5.68           | 4.45       | 0.5836 | -17.684                 | 6.322       |
| Group 2              | Group 3 | 0.89            | 4.45       | 0.9971 | -11.109                 | 12.896      |



**Fig. 6.** Percentage of bone regeneration in surgical defect for each group.

#### IV. 총괄 및 고찰

가토 10마리의 두개골 결손부에 이식한 자가골을 조직학적으로 관찰한 결과 실험 2군과 실험 3군은 비슷한 조직 소견을 보이고 있었으며, 미성숙 신생골이 주위 정상골과 양호한 유합을 이루고 있는 것을 볼 수 있었다. 실험 2군과 실험 3군에서 신생골이 대조군 및 실험 1군에 비해 많이 형성되었다. 실험 1군의 원형의 블록형 이식골은 주위 골과 유합을 이루고 있지 못하였으나 이식골의 형태를 잘 유지하고 있었다. 그리고 부분적으로 새로운 골로 대체되고 있었다. 대조군은 미성숙된 골조직이 얇은 판상을 이루고 있었으나 주변골과 완전히 연결됨 없이 많은 부분이 섬유성 골로 채워졌다. 신생골양은 실험 1군에서 가장 많은 양이 측정되었으며, 실험 2군, 실험 3군 그리고 대조군 순으로 골양이 많았다. Trichrom 염색 조직학적 소견

에서 기존의 골은 붉은 색을 나타내며, 새로 형성된 골은 좀 더 푸른색을 띄고 있고, 붉은색과 푸른색이 공존하는 부분은 기존의 골이 신생골로 대체되고 있음을 시사한다. 신생골과 기존 골이 공존하는 부분에서 신생골만을 명확히 경계 짓는 것이 불가능하여 신생골의 양만을 따로 측정하지는 않았으며 측정된 골의 양은 새로 형성된 신생골의 양만을 말하는 것이 아니라 기존의 골도 모두 포함된 양이 된다. 따라서 본 연구에서는 원형의 블록형 골조직을 이식한 경우 가장 많은 골이 측정되었다. 이는 블록형 골조직인 경우 기존의 골 흡수가 서서히 진행되어 기존의 골과 신생골이 동시에 측정되었기 때문으로 다른 실험군보다 더 많은 신생골이 형성되었다고 하기에는 다소 무리가 있다고 사료된다.

ANOVA test 결과에서 알 수 있듯 대조군과 실험 1군 (P=0.0008), 대조군과 실험 2군(P=0.0145), 대조군과 실험 3군 (P=0.0237)은 통계학적으로 유의할 만한 차이가 있었으나, 실험 1군과 실험 2군(P=0.7064), 실험 1군과 실험 3군(P=0.5836), 실험 2군과 실험 3군(P=0.9971)은 통계학적으로 유의할 만한 차이를 보이지 않았다. 골을 이식하지 않은 대조군보다 골을 이식한 곳에서 골 형성이 좀 더 양호하게 이루어졌으며, 골을 이식하는 방법에 있어서는 서로 큰 차이를 보이지 않았다고 할 수 있었다.

골이식하기에 적당한 자가골의 크기에 대한 의견은 다양하다. Urist<sup>12)</sup>는 250~420 $\mu$ m의 크기의 골 입자는 연골 형성과 골화를 방해하기에 1000~2000 $\mu$ m의 큰 입자들이 더 효과적이라고 보고하였으나, Rivault 등<sup>13)</sup>은 큰 입자들보다는 100 $\mu$ m 정도의 자가골이 골모 세포의 활성을 돕는다고 하였다. Jonck<sup>14)</sup>의 최근 보고에 의하면 12~25 $\mu$ m의 미세 골 입자들이 임플란트시에 골화를 증가시킨다고 하였으며, Shapoff 등<sup>15)</sup>은 적절한 골 입자의 크기가 100~300 $\mu$ m 사이 범주라고 보고하였고, Pallesen 등<sup>16)</sup>은

골이식 시에 골개조 속도가 빠르기 때문에 0.5~2mm 크기의 입자가 10mm보다 선호된다고 보고하고 있다. 본 실험에서 사용한 골 입자의 크기는 실험 2군에서처럼 bone mill을 사용한 경우에는 약 3 × 3 mm, 실험 3군에서처럼 Piezosurgery를 사용한 경우 약 0.3 × 1.5 mm 정도의 크기로 관찰되었으나 그 크기의 범주가 매우 넓기 때문에(0.05 × 0.05 ~ 3.5 × 2.5) 평균적인 크기를 계산하는 것은 의미가 없는 것으로 사료되나, 최근의 Pallesen 등의 연구에서 골이식시 선호되는 입자 크기와는 유사하다고 할 수 있다(Fig. 7).

본 실험에서처럼 구강외에서는 문제되지 않지만 구강 내에서 Piezosurgery를 이용하여 골조직을 긁은 후 골수집기(bone collector)로 골입자를 모아서 이식할 때는 타액 내의 세균에 의한 감염에 대해 유의하여야 한다. 이러한 세균에 의한 감염은 여러 방법으로 연구되어 왔으며, 수술방법, 골수집 기구(bone collector device)의 형태, 환자의 치아 및 치주 건강 상태에 따라서 달라질 수 있다. Sivolella 등<sup>17)</sup>은 Piezosurgery 기구와 bone trap을 이용한 실험을 통해 골 조각을 rifamycin SV로 처치하였을 때 세균의 감염이 감소하였다고 보고하고 있다. 골조직을 모을 때 사용하는 suction tip과 타액 등을 모을 때 사용되는 suction tip을 구분하여 사용하는 것도 타액 내의 세균의 감염을 감소시

킬 수 있는 한 방법이라 생각된다.

구강 내에서 블록형으로 골조직을 채취할 때나 bone mill을 이용해 골 입자를 형성해야 할 경우에는 이식부위 인접골 조직에서 블록형 골조직을 채취하기 위해 좀 더 광범위한 수술 범위가 형성되어야 하므로, 술 후 부종이나 동통 등 환자의 불편감이 증가될 수 있다. Piezosurgery를 이용하여 주위 골조직을 채취하는 경우에는 추가적으로 수술 범위를 형성할 필요가 없고, Piezosurgery tip을 이용해 손쉽게 골조직을 긁어 채취할 수 있다. 미세 진동으로 정밀한 삭제가 가능하며, 선택적인 골 삭제 가능하므로 연조직의 손상을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 이번 실험 결과에서 Piezosurgery tip을 이용하여 골조직을 긁어 이식한 골 이식부는 골양은 블록상태의 골조직을 그대로 이식한 골 이식부나 bone mill을 이용하여 골조직을 분쇄하여 이식한 골 이식부보다 다소 적게 나타났지만 통계학적인 차이를 보이지는 않았다. 조직학적으로는 미성숙된 신생골들이 골 입자와 골 입자 사이에 양호하게 형성되어 있었으며 주위골과도 양호한 유합을 보였다. 따라서 구강 내 작은 골 결손부의 골 이식시 Piezosurgery를 이용하여 주위골을 긁어 이식하는 것은 임상적으로 유용한 방법 중의 하나라고 할 수 있다.

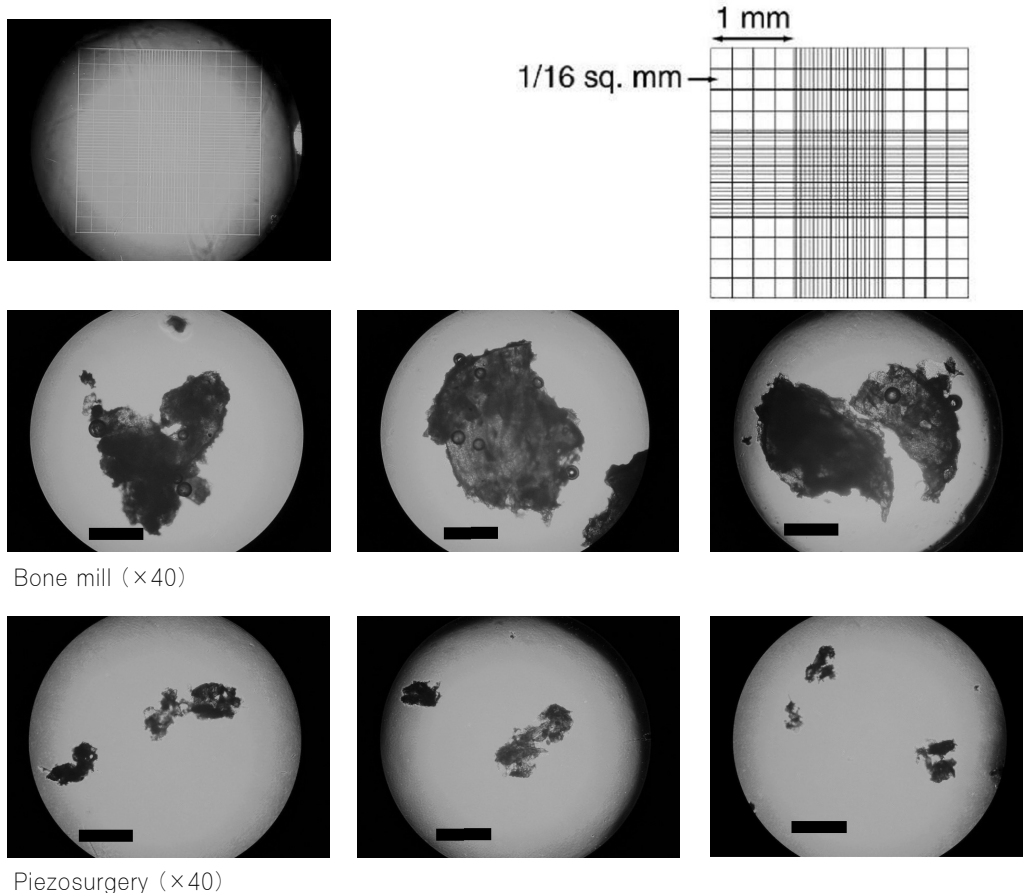


Fig. 7. Measurement of the particle sizes (The black bar indicates 1000 $\mu$ m).

## V. 결 론

상악동 거상술과 자가골 채취 등의 구강내 술식에 있어 다양하게 사용되고 있는 기구인 *Piezosurgery*는 손쉽게 골을 채취할 수 있는 *tip*이 포함되어 있어, 구강내 작은 크기의 골 결손부를 수복하기 위한 인근 골조직의 채취방법으로 새롭게 적용되고 있으나 이러한 *Piezosurgery*를 이용한 골 이식 효과에 대한 자료가 많지 않아 이번 연구를 통해 *Piezosurgery*를 이용한 골 이식의 유용성을 평가하였다.

실험은 12주령의 New Zealand산 백색 가토 10마리를 대상으로 하였으며 *Piezosurgery* 기구를 이용하여 두개골에 4개의 직경 6mm 크기의 원형 결손부를 형성한 후 채취된 원형의 블록형 골조직을 그대로 이식한 군(실험 1군), *bone mill*을 이용하여 자가골을 분쇄 후 이식한 군(실험 2군), *Piezosurgery tip*을 이용하여 *curettage* 방식으로 채취하여 골수집기를 이용하여 골편을 모아 이식한 군(실험 3군), 아무것도 이식하지 않은 군(대조군)로 구분하여 관찰 하였다. 실험 6주경과 후 각 실험 동물을 희생하여 *Masson's Trichrome* 염색을 시행하여 조직학적 소견을 관찰하였으며 조직형태학적으로 골양을 계측하였다.

*Piezosurgery*를 이용하여 형성한 골조직을 이식한 경우 조직학적으로 양호한 골 생성을 보이며 골양 역시 *bone mill*이나 블럭형 골조직을 이용하여 이식한 경우와 비교하여 통계학적으로 유의할만한 차이를 보이지 않아 *Piezosurgery*를 이용하여 골을 긁어 채취하여 구강내 작은 골 결손부에 이식하는 방법은 유용하고 믿을만한 방법 중의 하나로 사료된다.

## 참고문헌

1. Hopp SG, Dahners LE, Gilbert JA: A study of the mechanical strength of long bone defects treated with various bone autograft substitutes : An experimental investigation in the rabbit. *J Orthop Res* 1989;7:579-584.
2. Goldberg VM, Stevenson S: Nature history of autograft and allograft. *Clin Orthop* 1987;7:225.
3. Arrington ED, Smith WJ, Chambers HG: Complications of iliac crest bone graft harvesting. *Clin Orthop* 1996;329:300-309.
4. Mulliken JB, Glowacki J, Kaban LB, Forkman J, Murray JE: Application of demineralized allogenic bone implants for the correction of maxillocranial facial deformities. *Ann Surg* 1981;3:633.
5. Kainulainen V, Oikarinen K: Comparison of four bone collectors designed for oral and maxillofacial surgery : An in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:327-324.
6. Hoigne DJ, Stubinger S, Kaenel OV, Shamdasani S, Hasenboehler P: Piezoelectric osteotomy in hand surgery: First experiences with a new technique. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2006;7:36.
7. Stubinger S, Kutenberger J, Filippi A, Sader R, Zeilhofer HF: Intraoral *Piezosurgery* : Preliminary results of a new technique. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:1283-1287.
8. Akita S, Fukui M, Nakagawa H, Fujii T, Akino K: Cranial bone defect healing is accelerated by mesenchymal stem cells induced by coadministration of bone morphogenetic protein-2 and basic fibroblast growth factor. *Wound Repair Regen* 2004;12:252-259.
9. Sohn DS, Ahn MR, Lee WH, Yeo DS, Lim SY: Piezoelectric osteotomy for intraoral harvesting of bone blocks. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:127-131.

10. Siervo S, Ruggli-Milic S, Radici M, Siervo P, Jäger K: Piezoelectric surgery. : An alternative method of minimally invasive surgery. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004;114:365-377.
11. Chiriac G, Hertel M, Schwarz F, Rothamel D, Becker J: Autogenous bone chips: Influence of a new piezoelectric device (*Piezosurgery*) on chip morphology, cell viability and differentiation. *J Clin Periodontol* 2005;32:994-999.
12. Urist MR, Silverman BF, Buring K, Dubuc FL, Rosenberg JM: The bone induction principle. *Clin Orthop Relat Res* 1967;53:243
13. Rivault AF, Toto PD, Levy S, Gargiulo AW: Autogenous bone grafts : Osseous coagulum and osseous retrograde procedures in primates. *J Periodontol* 1971;42:787-796.
14. Jonk LM: bone induction effect of fine bone shavings in polyester fiber. An experimental study. *S Afr Med J* 1975;49:697-702.
15. Shapoff CA, Bowers GM, Levy B, Mellonig JT, Yukna RA: The effect of particle size on the osteogenic activity of composite grafts of allogenic freeze-dried bone and autogenous marrow. *J Periodontol* 1980;51:625-630.
16. Pallesen L, Schou S, Aaboe M, Hjorting-Hansen E, Nattestad A, Melsen F: Influence of particle size of autogenous bone grafts on the early stages of bone regeneration: A histologic and stereologic study in rabbit calvarium. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:498-506.
17. Sivolella S, Berengo M, Scarin M, Mella F, Martinelli F: Autogenous particulate bone collected with a Piezo-electric surgical device and bone trap: A microbiological and histomorphometric study. *Arch Oral Biol* 2006;51:883-891.
18. Schepers EJ, Ducheyne P: Bioactive glass particles of narrow size range for the treatment of oral bone defects : A 1-24 month experiment with several materials and particle sizes and size ranges. *J Oral Rehabil* 1997;24:171-181.
19. Xu H, Shimizu Y, Asai S, Ooya K: Experimental sinus grafting with the use of deproteinized bone particles of different sizes. *Clin Oral Impl Res* 2003;14:548-555.
20. Shand JM, Heggie AA, Holmes AD, Holmes W: Allogenic bone grafting of calvarial defects: An experimental study in the rabbit. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2002;31:525-531.
21. Haddad AJ, Peel SA, Clokie CM, Sandor GK: Closure of rabbit calvarial critical-sized defects using protective composite allogenic and alloplastic bone substitutes. *J Craniofac Surg* 2006;17:926-934.
22. Robiony M, Polini F, Costa F, Vercellotti T, Politi M: Piezoelectric bone cutting in multipiece maxillary osteotomies. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:759-761.
23. Moghadam HG, Sandor GK, Holmes HH, Clokie CM: Histomorphometric evaluation of bone regeneration using allogenic and alloplastic bone substitutes. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:202-213.
24. Stal S, Tjelmeland K, Hicks J, Bhatia N, Eppley B, Hollier L: Compartmentalized bone regeneration of cranial defects with biodegradable barriers : An animal model. *J Craniofac Surg* 2001;12:41-47.
25. Young MP, Worthington HV, Lloyd RE, Drucker DB, Sloan P, Carter DH: bone collected during dental implant surgery : A clinical and histological study. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:298-303.
26. Oikarinen K, Kainulainen V, Kainulainen T: A method of harvesting corticocancellous bone chips for reconstructive maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1997;26:103-105.
27. Schlee M, Steigmann M, Bratu E, Garg AK: *Piezosurgery* basics and possibilities. *Implant Dent.* 2006;15:334-340.
28. Lambrecht JT: Intraoral piezo-surgery. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2004;114:28-36.
29. Vercellotti T, Pollack AS: A new bone surgery device: Sinus grafting and periodontal surgery. *Compend Contin Educ Dent* 2006;27:319-325.
30. Clokie CM, Moghadam H, Jackson MT, Sandor GK: Closure of critical sized defects with allogenic and alloplastic bone substitutes. *J Craniofac Surg* 2002;13:111-121.