

# 하악교정 수술환자의 술전후 음향음성학적 연구

권경환\*, 이숙향\*\*, 고현주\*\*, 김수남\*, 이동근\*  
원광대학교 구강악안면외과\*, 영어영문학과\*\*

## A comparative acoustic study before and after orthognathic surgery for correction of patients with Class III malocclusion

Kwon Kyung Hwan, Lee Sook-hyang, Ko Hyunju, Kim Soo Nam, Lee Dong Keun  
\*Dept. of Oral & maxillofacial Surgery, School of Dentistry

\*\*Dept. of English  
Wonkwang University, Wonkwang Univ.  
shlee@wonms.wonkwang.ac.kr

### 요약

본 연구는 악교정 환자 중 9명의 골격성 3급 부정교합 환자를 대상으로 음향학적 분석을 통하여 술전, 술후에 나타나는 발음상의 차이를 살펴보았다. 술전, 술후간 모음 조음상의 차이는 술후 혀의 후방, 하방 이동과 동시에 목젓의 후상방 이동으로 인한 구강 내 조음 공간의 극대화로 요약할 수 있다. Long-term average 스펙트럼 분석 결과, /s/의 조음상의 차이는 술전에서는 마찰소음 에너지가 전 주파수대에 걸쳐 고른 분포를 보이거나 술후에는 정상인파 같이 고주파수대에 집중되는 경향을 보였다. 동시에 마찰소음의 peak frequency는 술후에서가 술전에 비해 높게 나타났다.

### I. 서론

말소리는 인간의 언어 활동 중 가장 중요한 부분의 하나로서 음성학, 언어학 등의 학문에서뿐만 아니라 그 기능을 담당하는 인체에서 기질적 기능 이상에 대한 변화 및 개선을 위하여 의학, 치의학 및 의용생리공학 등의 분야에서 중요한 연구대상으로 대두되고 있다 [1],[2],[3]. 기본적으로, 말소리를 만드는 데 관여하는 기관을 음성기관(organs of speech)이라 하는데, 이러한 기관들은 1차적으로 음식물 섭취와 호흡에 관여하며, 2차적으로는 말소리를 내는데 관여한다. 음성기관은 처음 공기를 움직이게 하는 발동기관(폐, 후두, 구강후부), 소리를 내는 발생기관(성대), 소리를 고루는 조음기관(식도, 인두, 목젓, 치아, 치은, 구개, 혀, 입술) 그리고 소리를 공명시키는 공명기관(구강, 비강, 부비강) 등으로 구성되어 있다(Hufunagle,1978[14,15]; Bowers1986[6]). 이

들 중 구강은 조음기관에 속하며, 혀, 아래턱, 입술 등의 기관들이 수의적으로 작용하면서 말소리를 변화시킬 수 있는데, 특히, 악골의 변화와 혀의 위치 변화가 역할이 크다고 할 수 있다.

음향학적으로 음형대 주파수는 후두, 인두 및 구강근육의 변화에 따라 음성관의 형태도 달라지며 전반적으로 음성관의 길이 및 형태는 고정되어 있으나 악교정수술 이후에 혀의 위치와 악골의 변화에 따라 일정음에서 formant 값이 달라지게 된다. 국내에서도 악골변화에 따른 formant 값에 대한 유의한 수준의 연구가 이루어진바 있다.[1,4] 발음에 영향을 주는 요소로 선천적 유전, 환경적 요소, 해부학적 요소들로 대별되는데 해부학적 요소 중 입술은 구순열이 있다든지 뇌신경 분포에 이상이 있으면 발음에 영향을 미친다고 하였으며 3급 부정교합자들 중 하순이 상악 전치에 닿지 않으면 순치음이 영향을 받게 되고 양순음의 조음에도 영향을 주게 된다고 하였다. 특히 /s/, /z/와 같은 치경음 조음에 영향을 미친다고 하였다.

Hufunagle(1978)[15]는 음성기관에 변화를 줄 수 있는 구강악안면외과 분야의 수술로 구순절제술(Cheilotomy), 비구조제거술(removal of nasal structure), 상악골절단술(maxillectomy), 하악골절단술(mandibulectomy) 그리고 설절제술(glossectomy) 등이 있다고 하였으며 Bower(1986)[6], Dalston(1984)[7] 그리고 Garber(1981)[9]는 악교정수술 후 발음변화에 대하여 언급하였고 McDonald(1951)[18]는 구개파열환자의 발음에 대하여 연구하였다. 이렇듯 심각한 처성 및 골격성 교합이상은 발음발성, 안면모습, 식이습관 등에 결정적인 영향을 미치며 이러한 상태는 하악턱 및 상악턱의 악교정수술을 통하여 변화를 일으킬 수 있다고 보고한 바 있다[9]. 하악골후퇴 수술로 구강용적의 감소를 가져오게 되면 악궁내부 공간의 대부분을 차지하는 혀는 필연적으로 영향을 받게 되며 또한 연구개, 설골 등이 영향을 받게

되고 이 구조물의 위치변화로 인하여 인두부 기도공간에 영향을 주게 된다. 이러한 일련의 변화는 두부방사선 규격사진으로 측정이 가능하며 국내외에서 여러 연구 [3,5,7,14,15,16]들이 행해져 왔다.

비정상적인 교합양태를 가진 환자는 경조직결합의 교정을 위해 악교정 수술을 일반적으로 시행한다[8]. 악교정수술의 이상적인 최종결과는 기능적인 구강인두양태 향상과 심미적인 변화를 얻는 것이다. 악교정 수술 후에 연하, 저작, 그리고 발음 같은 구강활동에서 기능적인 변화를 볼 수 있다. 그 동안 많은 연구가 이러한 변화양태를 객관적인 데이터를 가지고 분석하기 보다는 주관적인 청취 판단에 의거하여 분석하여왔다. 이러한 주관적인 해석보다 좀 더 객관적인 데이터를 얻기 위하여 일정한 발음을 유도하여 X-ray를 찍는다든지[13], video-tape으로 녹음하여서 분석[10]하는 방법을 시행하기도 한다. 그러나, 객관적인 데이터 분석을 위해 음성분석프로그램을 이용하여 언어/발음 병리학자와 더불어 수술 후 구강환경의 변화에 따른 발음변화에 대한 연구는 드문 편이다. 특히, 요즈음 구강악안면외과 수술 후 구강악안면외과, 교정의, 발음/언어 병리학자들은 발음양태의 변화에 대하여 지대한 관심을 보이고 있으며 이러한 면에서 객관적인 음성분석은 무엇보다도 중요하다.

본 연구는 하악골 후퇴술로 골격성 3급 부정교합을 치료한 환자들의 수술,후의 골격변화로 인한 구강내 연조직변화에 따른 발음상의 변화를 음향학적으로 분석하는 것을 주목적으로 한다. 그리고 변화의 유형과 변화의 양을 혀의 위치와 연구개, 설골의 변화와 관련시켜 보고자 한다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 1996년 1월부터 1999년 2월까지 원광대학교 치과대학병원 구강악안면외과에서 하악전돌증을 교정하기 위하여 하악골 후퇴술을 받은 9명의 환자를 대상으로 하였다. 남자는 5명, 여자는 4명이었으며, 평균연령은 20.4세(16-29세)였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 음성 녹음

환자들이 읽을 거리는 독자적으로 개발하였으며 우리말의 모든 단모음, 이중모음, 자음이 모두 포함되도록 하였으며, 단모음은 고품형으로 무작위순으로 5번 반복하도록 하였으며, 이중모음은 하나의 문장에 모든 이중모음이 들어가도록 문장을 만들어 2번 읽도록 하였다. 그리고 자음은 '이것이(은) \_\_\_이다.' 라는 틀문장 속에 넣어 무작위순으로 5번 반복할 수 있도록 하였다. 그리고 유창성 정도를 파악하기 위하여 '바람과 햇님' 단문을 읽도록 하였다. 녹음은 녹음실에서 피검자에게 연구내용을 설명하고 평소 대화시의 발음으로 하도록 훈련을 시킨 후 마이크와 25cm 거리를 두고 일정한 간격과 크기로 발음시켰다. 녹음은 발음신호인 Analog signal을 digital signal로 변환시켜서 동시에 컴퓨터에 입력이 가능한 CSL(Computerized Speech Lab) Model 4300B(USA)를 이용하였다. 표본채취율(sampling rate)은 16kHz로 하였다.

### 2) 음성분석

녹음자료의 음향적 분석 또한 CSL을 이용하여 이루어졌다. 본 연구에서는 단모음과 /s/에 대한 음향분석이 이루어졌는데 단모음인 경우는 LPC analysis를 이용하여 제 1 포먼트(F1)와 제 2 포먼트(F2)를 측정하였으며 filter order는 16으로 하였다. /s/ 분석은 LTA(long-term average)를 이용하여 두가지 측면을 살펴보았다. 첫째는 마찰소음 구간의 평균 에너지의 분포 유형을 보았으며 둘째는 마찰소음의 peak frequency를 측정하였다.

모음의 포먼트 구조 변화는 골격성 3급부정교합 환자의 수술, 하악의 후방이동에 동반된 혀의 후방이동으로 인하여 모음조음의 공간이 넓어질 것이며 술전, 술후간의 포먼트값의 차이는 후설모음에서 보다 두드러지게 나타날 것으로 예측한다.

/s/의 에너지 분포에 대한 예측을 다음과 같다. 우리말의 /s/은 치찰음으로서 조음시 혀끝이 윗니 뒤에 가까이 하여 마찰소음을 만들어낸다. 영어의 /s/를 비롯한 치찰음(sibilants)이나 우리말의 /s, ss/ 모두 조음, 음향학적으로 다른 마찰음들과는 달리, 마찰소음을 만드는 데에 단순히 주요조음기관에 의해 만들어진 협소한 공간에서의 마찰만으로 이루어지는 것이 아니다. 윗니와 혀끝 사이의 협소한 공간에서 생성된 마찰소음은 아랫니가 일종의 장애물 역할을 하여 이따 생성된 마찰소음이 아랫니에 의해 증폭된다[19]. 따라서 정상인의 치찰음 조음에서는 고주파수대에 강한 에너지가 집중될 것이다. 그러나 골격성 3급부정교합 환자의 경우, /s/ 조음시 특히 혀끝이 윗니 뒤가 아니라 윗니 끝, 또는 아랫니와 윗니 사이에 위치해 환자인 경우 치찰음의 발음이 제대로 되기가 어려울 것이다[13] 한 곳에 집중되기보다는 전 주파수대에 걸쳐 비교적 고른 분포를 보일 것이며 하나의 peak frequency를 찾기가 어렵거나 아니면 보다 낮은 곳에 위치할 것으로 예측할 수 있다. LTA 분석은 우리말 /s/이 순수 마찰소음 성분과 기식 성분으로 이루어져 있기 때문에[2] 순수 마찰소음 구간만을 대상으로 하였다.

## III. 연구결과 및 해석

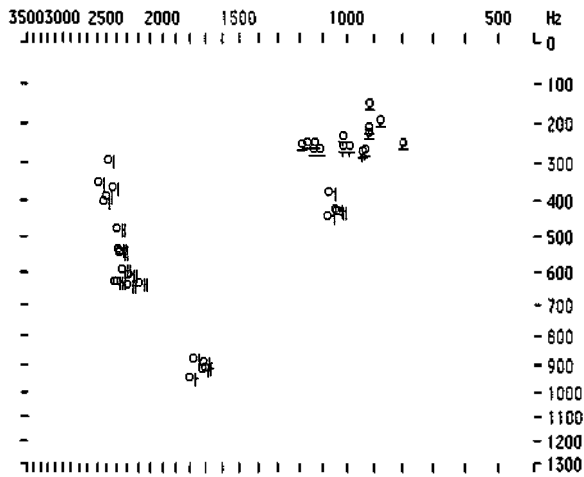
### 1. 모음 조음상의 음향학적 차이

각 환자의 녹음 자료의 음향적 분석에 앞서 발음의 왜곡 정도를 narrow transcription을 통하여 우선 판단하였다. 결과는 거의 발음상 문제를 보이지 않는 환자에서부터(JH) 경미한 왜곡을 보이는 환자들까지 다양하게 나타났다. 발음 왜곡의 형태는 크게 두 가지로 나타났다. 첫째, 일부 환자들은 술전에 또는 술후에까지 전설모음 /에,애/의 이중모음화 현상을 보여주었다. 둘째, 후설모음 /오, 우/의 발음이 정확하지 못하여 두 모음간의 구분이 어려웠다. /우/를 /오/와 비슷하게 내는 경우가 많았다.

술전, 술후의 포먼트값 비교를 통한 분석 결과 또한 다양하게 나타났다. 거의 변화를 보이지 않는 환자에서부터 정도와 유형에 따라 환자들간에 다르나 모음사각도상의 극대화 방향으로의 변화를 보이는 환자들이 대부분이었다. 극대화 유형은 2가지로 나타났다. 첫째, 그림 1과 2에서 볼 수 있듯이 혀의 후방 이동(낮은 F2값)으로 인하여 후설모음 /오, 우/의 조음이 술전보다 비교적 뒤에서 이루어지는 경우이다. 환자에 따라서는

이와 동시에 고모음 /이, 우/의 조음 또한 보다 위에서 이루어져(낮은 F1 값) 모음사각도의 크기가 상방, 후방으로 동시에 확대되는 경우도 두 환자에서 나타났다(환자 SJL, SKH).

술전



술후

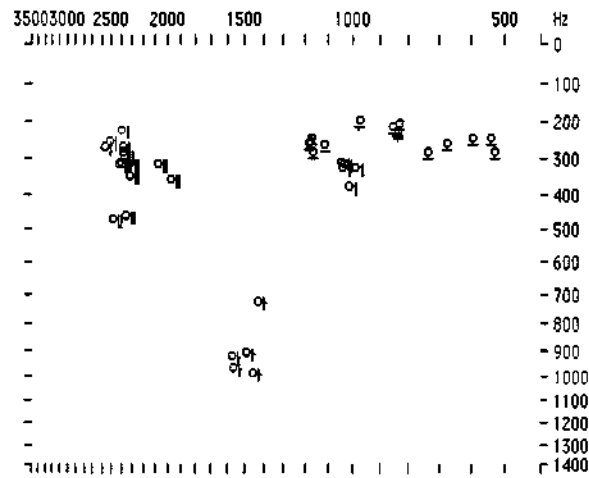


그림 1. 환자 SKH의 술전, 술후 모음사각도 비교.

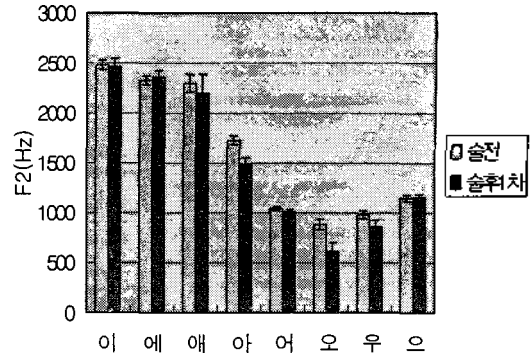
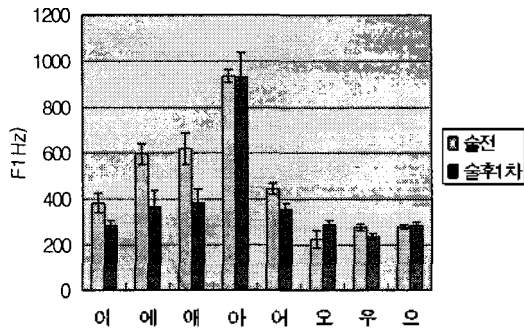
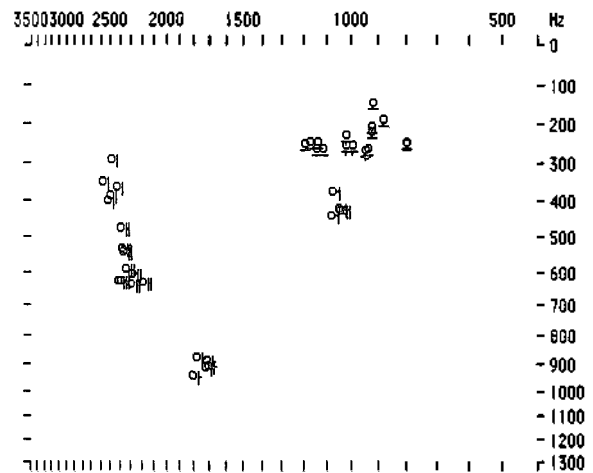


그림 2. 환자 SKH의 술전 술후 포먼트값 비교.

두 번째 유형은 그림 3과 4에서 볼 수 있듯이 후설고모음의 상방조음과 저모음 /아/의 하방조음에 의한 모음사각도상의 확대이다. 즉, 후설모음 /우, 오/의 F1 값은 술전에 비해 술후에 낮은 값을 보이고 있으며, 저모음 /아/의 F1 값은 반대로 술후에 더 높은 값을 보임으로써 모음사각도상의 확대를 보여주고 있다.<sup>1</sup>

술전



<sup>1</sup> 다른 환자에서와는 달리 술후에 후설모음의 조음이 보다 전방에서 이루어지고 있는데 이는 이 ry 환자의 ry 특수성을 고려하면 설명 가능할 것 같다. 이 환자는 또한 언청이 환자로서 하악교정 수술과 VPI 수술을 받은 환자이다. 따라서 구강 내 후상방의 공간이 줄어들어 혀의 전방이동이 이루어진 경우인 것 같다. 모음 /아/의 하방과 전방이동이 하악교정수술보다는 VPI 수술에 의한 결과라는 해석 또한 가능할 것 같다.

술후

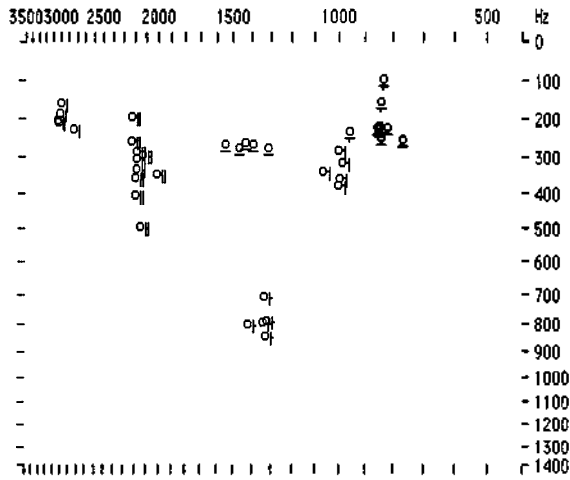


그림 3. 환자 JSL의 술전, 술후 모음사각도 비교.

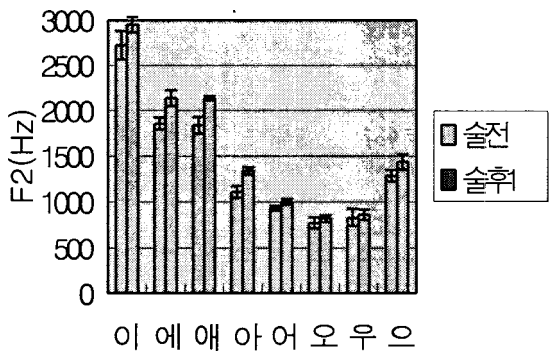
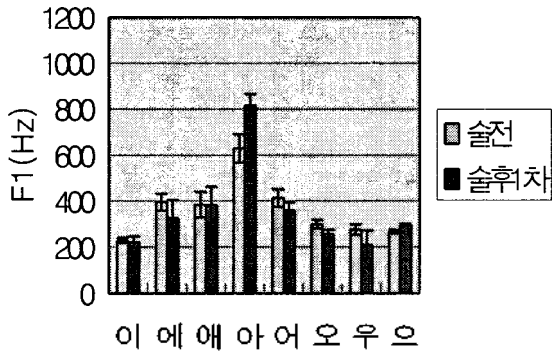


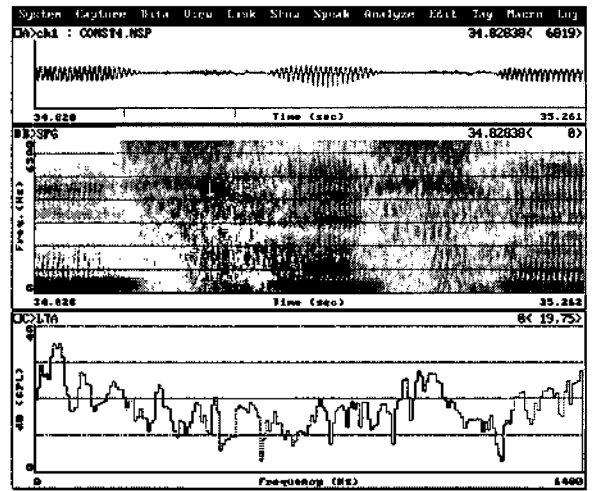
그림 4. 환자 JSL의 술전 술후 포먼트값 비교.

또 한가지 양상은 전설모음과 후설모음 모두 술전에 비해 후방에서 이루어져 모음사각도의 크기에는 변화가 없으나 전체적인 후방이동을 보이는 환자도 관찰되었다

### 2. /s/ 조음상의 음향학적 차이

그림 5에서는 환자 JSL의 술전, 술후 /s/의 long-term average spectra 비교분석 결과, 술전의 에너지는 한 곳에 집중된다기보다 비교적 전 파수대에 걸쳐 고른 ry 분포를 보여주고 있다. 즉 조음시 공기의 마찰성분이 구강내 어는 한 곳에서 집중적으로 생성되는 것이 아니라 넓은 지역에 걸쳐 생성되는 것으로 해석할 수 있다. 이에 반해 이 환자의 술후 /s/의 long-term average spectra를 보면 에너지가 고주파수대에 집중되며 분명한 에너지의 peak를 보여주고 있다.

술전



술후

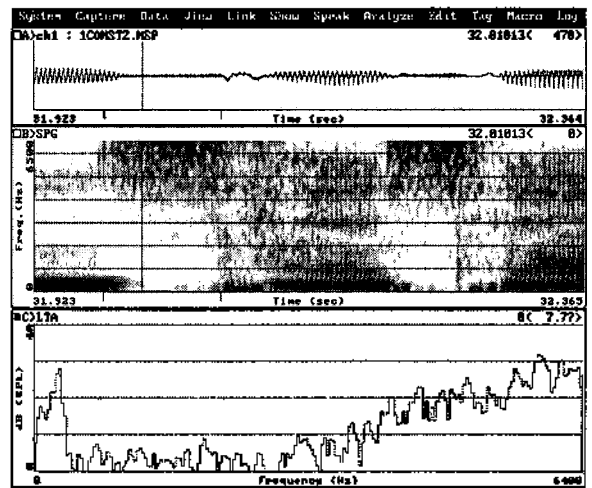


그림 5. 환자 JSL의 술전, 술후 /s/의 LTA.

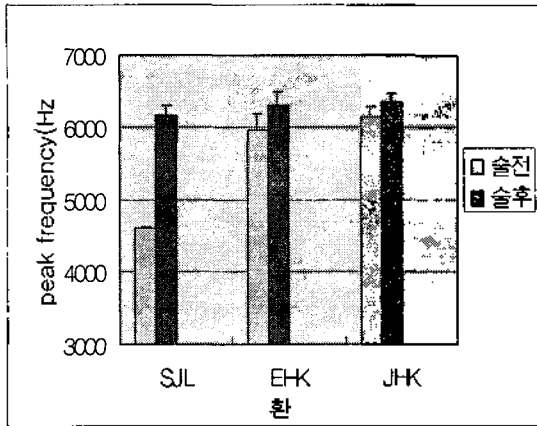


그림 6. 환자 SJL, EHK의 술전, 술후간 /ㅅ/의 peak frequency 비교.

그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 /ㅅ/의 peak frequency 측정 결과 또한 본 연구의 예측에 맞게 술전에서 술후보다 낮게 나타났다. 비록 다른 음향적 특성에서와 마찬가지로 peak frequency 또한 9명의 환자 모두에게서 유의한 차이를 보인 것은 아니나 t-test 결과 적어도 두 명의 환자에게서 유의한 수준의 차이가 나타났다. (유의 수준:  $P < 0.05$ ).

### 3. 측모두부 방사선 계측 사진(Lateral Cephalogram)의 촬영과 분석

측모계측을 위해 측모 두부 방사선 규격사진을 원광대학교 치과대학 치과방사선과에 있는 PM 2002 CC(Proline, Plameca, Helsinki Finland)를 사용하여 tangent film distance는 5 feet, 관전류는 15mA, 관전압은 60~70KVp, 노출시간은 0.5~1.0 초의 촬영조건으로 술전 및 술후 촬영하였다.

각 환자의 수술전, 수술후 2개월이내, 수술 6개월이후의 측모 두부 방사선 규격사진에 0.003 인치 두께의 acetate 투사지를 부착시켜 투사도를 작성하고 FH plane과 PPPo를 reference plane으로 사용하여 술전 투사도의 FH plane과 PPPo에 중첩되도록 연속된 측모두부 계측 방사선 사진을 중첩시켰다. 계측점 기준 및 계측항목은 그림 1에 나타나 있다. 계측 결과, 통계적으로 유의한 수준을 보이는 변수는 혀몸의 후방, 상방이동과 목젓의 상방이동이었다. 하악골의 이동 또한 수술 직후에 관찰되었으나 시간이 경과하면서 원래 상태로 돌아가는 경향을 보였다. 결론적으로 혀몸의 후방, 상방이동과 목젓의 상방이동으로 술후 환자들에게서 관찰된 모음사각도상의 후방(상방) 확대가 자연스럽게 설명될 수 있을 것 같다. 계측결과와 술후 환자들이 보여주는 음성적 차이와의 상세한 상관관계는 다음 연구에서 자세하게 다루고자 한다. 경조직과 연조직상의 계측점 및 기준좌표의 설정 또한 다음 연구에서 자세하게 다루고자 한다.

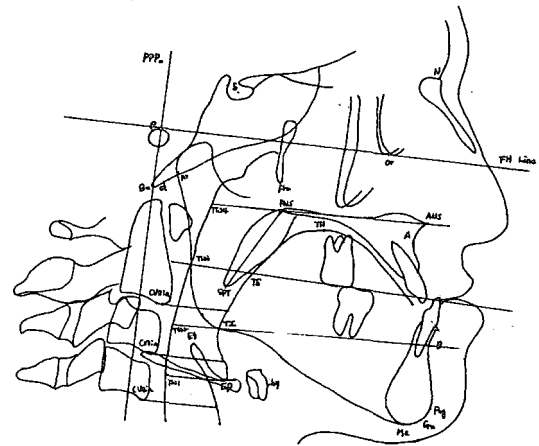


그림 7. 경조직과 연조직상의 계측점 및 기준좌표.

## IV. 결론

하악교정 환자를 대상으로 한 초기 연구로서 우리말의 단모음과 마찰음 /ㅅ/만을 대상으로 음향적 분석을 시도하였다. 추후 연구에서는 보다 많은 수의 피험자를 대상으로 단모음만이 아니라 이중모음, 그리고 /ㅅ/ 외의 다른 자음들의 조음에 대한 조음, 음향학적 분석을 수행하며, 더 나아가서 조음상의 정확성 뿐만 아니라 단어, 구, 문장, 단문 레벨에서의 유창성에 대한 분석을 수행하고자 한다

## 참고문헌

1. 김병주, 김여갑: 하악전돌증환자의 악교정수술후 음성변화에 관한 연구, 대한악안면성형재건외과학회지, 15(4):239-252, 1993.
2. 문승재(1997) 국어의 'ㅅ'음가에 대한 음향학적 연구, 말소리 33-34호, 11-22.
3. 손우성, 최양숙: 골격성 III급 부정교합자의 설골위치와 기도에 대한 평가. 대한치과교정학회지. 26(3):247-254, 1996.
4. 양수일, 신효근: Digital Sound spectrograph 및 Nasometer를 사용한 악교정 수술환자의 술전후 음향음성학적 특성에 관한 비교연구, 대한구강악안면외과학회지, 20(4):443-459, 1994.
5. 장영일: 설골위치에 관한 연구. 대한치과교정학회지. 17(1)7-13, 1987.
6. Bowers, J., Tobey, E.A. and Shaye, R.: An acoustic speech study of patients who received orthognathic surgery. Am. J. Orthod., 88:373-378, 1986.
7. Dalston, R.M. and Vig, P.S.: Effects of orthognathic surgery on speech: A prospective study. Am. J. Orthod., 86:301-308, 1984.
8. Ewan WG: Aspects of speech and orthognathic surgery. In Less NJ(ed): Speech and language. New York, 1980,

- speech of surgical premaxillary osteotomy. *Am. J. Orthod.*, 79:54-62, 1981.14. Shadle, C.H. (1991) 'The effect of geometry on source mechanisms of of fricative consonants,' *Journal of Phonetics* 19, 409-424.
10. Glass L, Knapp J, Bloomer HH: Speech and lingual behavior before and after mandibular osteotomy. *J Oral Surg* 35:104-109, 1977.
  11. Goldsmith DH, Berkman MD, Soprintzen RJ, Rothschild D, Trieger N: Functional adaptation of the speech and swallowing mechanism following surgical correction of dentofacial deformities, Abstract 145, Third International Cleft Palate Congress, Toronto, Canada, 1977.9. Hufnagle, J. and Pullon, P.: Speech considerations in oral surgery: Part I. *Speech physiology. Oral Surg.*, 46:349-353, 1978.
  12. Goldstein D.B., D. Cooper, L. Wallace: The effect on speech of surgery for correction of mandibular prognathism. *Oral Surg.* 37:846-849, 1974.
  13. Guay AG, Maxwell DL, Beecher R: A radiographic study of tongue posture at rest and during the phonation of /s/ in Class III malocclusion. *Angle Orthod* 48:10-11, 1978
  14. Hufnagle, J. and Pullon, P.: Speech considerations in oral surgery: Part I. *Speech physiology. Oral Surg.*, 46:349-353, 1978.
  15. Hufnagle, J. and Pullon, P.: Speech considerations in oral surgery: Part II. Speech characteristics of patients following surgery for oral malignancies. *Oral Surg.*, 46:354-361, 1978.
  16. Joseph AA, Elbaum J, Cisneros GJ, Eisig SB: A cephalometric comparative study of the soft tissue airway dimensions in persons with hyperdivergent and normodivergent facial pattern. *J Oral Maxillofac Surg* 56:135-139, 1998.
  17. Linda D. Vallino: Speech, velopharyngeal function, and hearing before and after orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.*, 48:1274-1281, 1990.
  18. McDonald, E.T.: Speech considerations in cleft palate prothesis. *J. Pros. Den.*, 1: 637-639, 1951.
  19. Shadle, C.H.: The effect of geometry on source mechanisms of of fricative consonants, *Journal of Phonetics* 19, 409-424, 1991.