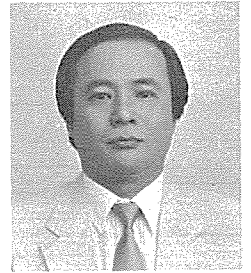


## IV. Frankel Appliance의 원리와 임상적 응용

경희대학교 치과대학 소아치과학교실

조교수 최 영 철



고정식 교정장치를 주로 사용하던 미국에서 최근 가철성 교정장치의 사용이 증가하고 있는데, 독일의 Rolf Fränkel이 고안한 Frankel appliance(이하 FR)중 3급 부정교합의 치료를 위한 FR-3의 원리와 작용기전 그리고 임상적응에 관하여 기술하고자 한다.

### I. 형태와 기능

골성장에 관한 수세기 동안의 연구에도 불구하고 이에 관여하는 수 많은 요인들 간의 복잡한 상호작용 때문에 골성장기전의 많은 부분이 아직도 밝혀지지 않고 있다. 골은 대단히 복잡한 구조를 가진 조직으로 성장하는 동안 골에 가해지는 환경변화에 예민한 반응을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 특히 골의 형태, 위치 등은 골과 연관된 연조직과의 상호작용에 의해 크게 영향을 받는다. 즉 골의 형태는 골에 가해지는 다양한 기계적 기능의 변화에 적응한다(Wolff's Law)는 것이다. 그러나 형태(form; size와 shape)와 기능(function)의 관계에 관한 임상적 의미로서의 Wolff's Law는 오랜 동안 논쟁의 대상이 되어왔다.

형태와 기능이 근골격계에서 어떻게 연관되어 있는가를 이해하면 악안면성장에서 기능의 역할을 보다 쉽게 알 수 있을 것이다. 골성장 또는 remodeling을 조절하는 요인은 크게 유전적 요인, 환경적 요인, 국소적 요인 등으로 구분할 수 있는데, 이중 국소적 조절요인은 선학들의 주된 연구 대상이 되어왔다. 예를 들어 생물학적 전기적 인자, 효소 또는 호르몬, neurotrophism, 생화학적 인자, 생물학적 기계적 인자 등과 같은 수 많은 국소적 골성장

조절인자들이 골성장과 remodeling에 중요한 역할을 하지만, 골에 기계적 자극이 주어 졌을 때 기능유지를 위해 골이 어떻게 적응하는가를 이해하는 것은 임상적으로 중요한 의미가 있다고 생각되어 본 고찰에서는 골에 생물학적 기계적 효과를 나타내는 기능과 이에 따른 형태의 변화에 관하여 언급하고자 한다.

### II. 골성장과 Remodeling

골의 성장이나 remodeling은 단순한 세포분열이나 증식에 의해서만 이루어지는 것은 아니며 상기한 많은 요인들이 복합적으로 연관되어 있는데, 이중 기계적 자극과 골의 관계에 관하여 Enlow('69)는 기계적 자극이 경조직 부분에 영향을 주면 이 자극은 골을 둘러싼 연조직체(soft tissue matrix)에 전달되어 골아세포(osteoblast)와 파골세포(osteoclast)의 활동을 자극시켜 이후의 성장을 변화시킨다고 하였다. 따라서 골의 실질적인 경조직은 성장의 결과적 산물이고, 골외막(periostrum)이나 골내막(endosteum)등과 같은 골을 둘러싼 연조직이 성장과 remodeling 변화를 만들어내는 실질적인 생산부라고 할 수 있다.

골에 가해진 어떤 종류의 stress가 그 골을 둘러싼 결체조직막 내에서 세포분화와 골형성

활동을 유도시킬 수 있는가를 밝히기 위해서 선학들의 많은 실험적 연구가 있었는데, 이들은 결체조직막 내의 교원질섬유의 방향변화와 이로 인한 장력(distension)이 골침착을 유발시킨다고 하였다. 이런 연구결과가 임상적으로 "Pressure-Resorption, Tension-Deposition"이라는 단순화된 이론으로 받아 들여지고 있으나 세심한 주의가 필요하다. Enlow('82)는 골에 가해지는 생물학적 기계적 힘에 대한 골의 반응은 힘이 주어진 조건에 따라 2가지 서로 다른 형태로 나타난다고 하였다. 일반적으로 골은 압박에 예민하다고 알려져 있는데 이런 반응을 나타내는 것은 골 자체의 경조직 부위가 아니라 골막인 것이다. 만약 표면압박이 골막에 주어지면 압박받는 부위에서는 국소적 반응으로 골흡수가 일어나는 반면, 장력을 받는 부위는 골형성이 일어난다. 이처럼 "Pressure-Resorption, Tension-Deposition"이론은 골막에서 일어나는 현상이며, 골기질에 가해지는 stress는 골형태를 미세변화시켜 부분적으로 음전하를 띠는 오목면이 형성되는 곳에서는 국소적 압박에 의해 골침착이 일어나고(즉 Pressure-Deposition), 양전하를 띠는 볼록면에서는 국소적인 장력에 의해 골흡수가 일어난다(즉 Tension-Resorption)(그림 1참조). 이 두가지 정반대의 remodeling 효과간의 상호작용과 균형의 본질, 즉 골막이나 치근막에 가해

진 기계적 힘에 의해 나타나는 효과와 골기질에서 나타나는 효과는 서로 어떻게 작용을 하는지, 또는 한가지 현상이 다른 한가지를 override하는지는 아직 밝혀지지 않고 있다. 이처럼 골조직생리에 대한 이해가 아직은 불충분하지만 orofacial orthopedic분야에서 Wolff's Law의 치료임상적 응용은 중요한 의미를 가질 것이다. 골의 형태는 기능적인 힘(functional force)의 방향에 따라 변하며, 또 그 힘의 정도에 따라 크기의 증가도 좌우된다는 개념은 기능과 형태간의 연관성을 이해하는데 도움이 될 것이다.

### III. Functional Appliance

흔히 functional appliance(이하 FA)를 통칭하여 orthopedic appliance라고 부르는 데 그 이유는 하악과두나 봉합조직(sutural tissue)과 같은 골조직에 영향을 미치기 때문이다. 그러나 FA는 치조골에도 교정력을 행사하기 때문에 골에 대한 효과가 유일한 기능만은 아니라고 할 수 있다. FA는 치아에 직접적으로 기계적 힘을 가하지는 않지만 근력(muscle force)이나 치아맹출 또는 성장 등의 자연적인 힘을 전달, 제거하거나 유도하여 치료효과를 나타낸다.

이와 같이 생리적으로 발생하는 자연적인 힘

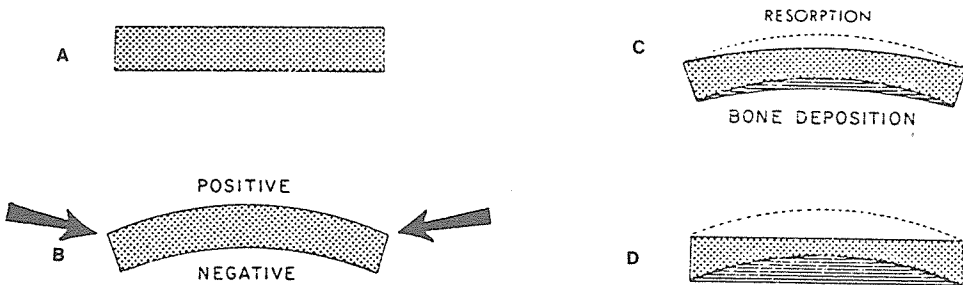


Fig. 1. Biomechanical force가 골기질에 가해졌을 때 remodeling이 나타나는 기전. 근육이나 치아 등에 의한 force(화살표)가 가해지면 골형태에 미세한 변형 즉 오목면과 볼록면이 생긴다. 오목면의 bone matrix는 pressure 상태에 놓이게 되고 그 표면은 음전하를 띠게 되며, 볼록면은 tension이 생기면서 양전하를 띤다(B). 이같은 현상을 piezo effect라 하며 bone matrix가 pressure를 받는 부위에서는 bone deposition이, tension을 받는 부위에서는 resorption이 생긴다(C). 이같은 현상은 bone이 biomechanical 및 bioelectrical neutrality가 얻어질 때까지 계속된다(D).

과 기능적 자극의 이용은 Kingsley(1879)에 의해서 최초로 시도되었는데, 그는 신경근육계 변화에 의한 기능적 자극을 이용하여 하악골이 열성장된 환자의 상악에 inclined plane을 가진 palatal plate를 장착시켜 bite jumping에 의한 하악의 전방전위를 얻어 골격성 부조화를 치료하고자 하였고, Robin('02)은 monobloc을, Andresen('08)은 Kingsley의 plate를 변형한 장치를 사용한 후, 1936년에 Häupl과 함께 이 장치가 저작근계의 기능을 활성화시킨다고 하여 "Activator"라 명명하고, 1953년에 이런 종류의 치료를 "functional jaw orthopedic therapy"라고 소개하였다. Andresen과 Häupl은 activator가 악안면 부위의 근육과 치조골 및 악골 사이에서 근기능을 활성화시켜 근력에 의한 기능적 자극(functional stimulus)을 전달하는 매개체로써 역할을 한다고 하였으나 Moss와 Moss-Salentijn('78)은 근육과 골사이에 biomechanical boundary가 존재하지 않는 한 근육에 의한 골조직의 "기능적"적응을 유발시킬 수 없다고 하였다. 따라서 어떤 장치에 의해 골에 가해지는 압박이 비록 근력에 의한 것 일지라도 단순한 기계적 압박일 수 밖에 없어 "기능적 자극"이라고 할 수 없다. 이런 관점에서 보면 "기능적 장치(functional appliance)"라는 단어가 너무 막연하게 일반화되어 사용된다고 생각된다. 그래서 Fränkel('83)은 구강안면부의 정형(orofacial orthopedic)을 위한 기능적 치료를 위해서 기능적 환경을 직접적으로 이용하여 비정상적인 근육의 위치적 습관(postural behavior)을 교정할 수 있는 "훈련장치(exercise device)"가 필요하다고 하였다.

교정장치에 의해 적용되는 힘의 종류에는 compression, tensile, shearing 등이 있으며, 또한 힘이 적용되는 방법에 따라 2가지의 치료형태로 분류할 수 있는데, 힘을 적용(force application)하는 치료방법과 힘을 차단 또는 제거(force elimination)하는 치료방법 등이 있다. Active-mechanical force를 사용하는 치료방법은 치아나 그외의 구조물에 압박력을 직접 적용하여 그 결과로 일차적인 형태의 변

화가 생기고 이로 인해 이차적인 기능의 적응이 얻어진다. 그러나 force를 직접 적용하기 보다는 악안면성장애 장애가 되는 힘을 제거하여 정상적인 발육이 일어날 수 있도록 하여 주는 치료방법에서는 일차적으로 기능의 변화가 생기고 이에 따라 이차적으로 형태의 변화를 유발시키게 되는 데, 이때 성장에 장애가 되는 힘의 제거가 골을 싸고 있는 골막에 tension을 유발시키고 이에 의해 골침가가 나타나게 된다.

Force application이나 force elimination에 의한 치료개념에 따라 가철성 기능적 장치(removable functional appliance)를 구별하여 보면, force elimination 장치로는 FR과 같이 vestibular shield를 사용하여 비정상적인 근력을 차단 또는 제거하여 골막에 tension을 유발시키는 장치가 있고, activator 등은 force application장치로써 근육을 활성화시켜 이 힘을 선택적으로 치아나 치조골 또는 하악과두 및 그외의 구조물에 전달시킨다(그림 2 참조).

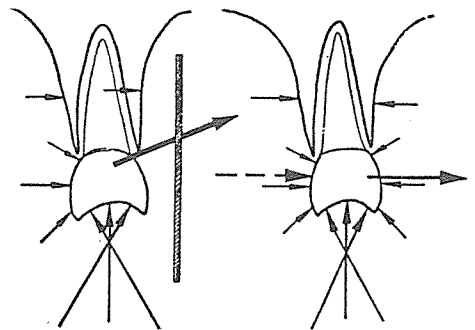


Fig. 2. Vestibular shield에 의한 근육력의 제거(force elimination)에 의해서 얻어지는 치아의 이동(좌측)과 active plate등의 active-mechanical force에 의한 힘의 적용(force application)에 의한 치아이동(우측)의 차이

#### IV. Frankel Appliance(FR-3)

Functional regulator 또는 exercise device라고 불리는 FR은 1964년 동독의 Rolf Fränkel에 의해 고안된 장치로서(그림 3, 4, 5 참조), 악안면발육을 방해하는 비정상적인 근

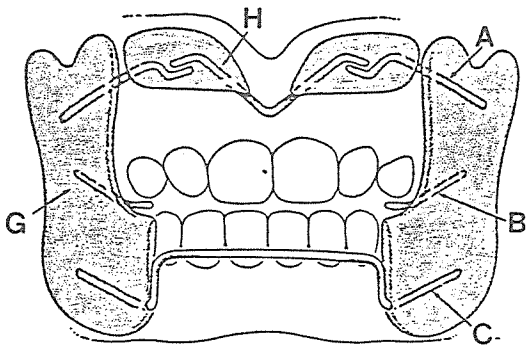


Fig. 3-1. FR-3의 정면 모습. 각 wire의 명칭은 a) upper labial wire, b) upper lingual wire, c) lower labial wire, d) upper occlusal rest, e) palatal wire, f) lower occlusal rest, g) vestibular shield(or buccal shield), h) upper labial pad 등이다.

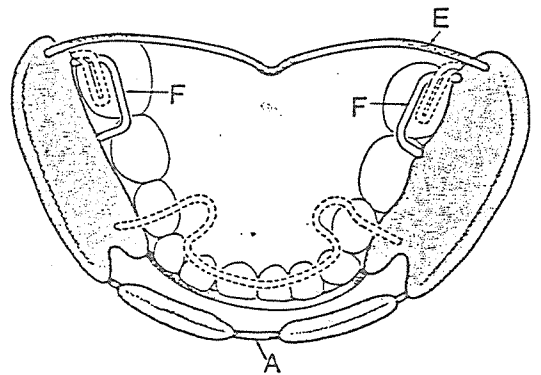


Fig. 5. FR-3를 하악에 장착시킨 모습. Wire의 명칭은 Fig. 3-1과 같다.

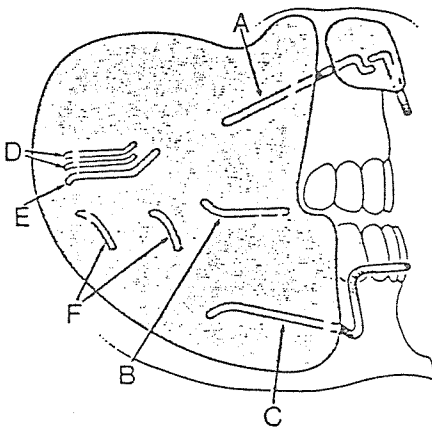


Fig. 3-2. FR-3의 측면 모습. Wire의 명칭은 fig. 3-1과 같다.

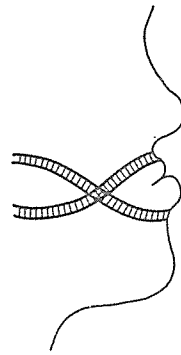


Fig. 6. 상악의 열성장(maxillary retrusion)은 구강주위근육의 비정상적인 부착이나 기능이상에 의해 구조적, 위치적 부조화를 야기시킨다.

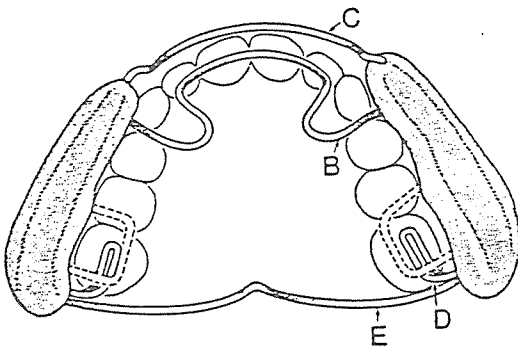


Fig. 4. FR-3를 상악에 장착시킨 모습. Wire의 명칭은 Fig. 3-1과 같다.

력을 차단하여 치열 및 악궁에 대한 힘의 불균형을 개선하고 구강주위 근육을 훈련시켜 새로이 형성된 힘의 균형에 의해 이차적으로 악안면골의 형태 및 크기를 변화시킨다고 알려져 있다. 이 장치는 4가지 type이 있는데, 1급 부정교합 및 open bite를 위한 FR-1, 2급 부정교합을 위한 FR-2, 3급 부정교합을 위한 FR-3, open bite를 위한 FR-4가 있다. 이중 FR-3은 상악골의 열성장(maxillary retrusion)이나 하악골의 과성장(mandibular protrusion)으로 특징되는 3급 부정교합의 치료를 위해 유치열기, 혼합치열기 및 초기 영구치열기에 사용된다.

상악골의 성장이 억제되는 원인은 다양하지만 Delaire('78)는 협점막부와 비순부 근육의 비정상적 부착이나 기능 이상이 상악골 성장에 직접적인 영향을 주는 중요한 원인 중의 하나라고 하였으며(그림 6), Fränkel('83)은 이런

부위에서의 비정상적 근활동을 차단하기 위하여 FR-3의 vestibular shield가 상악치조골 및 치아와는 공간이 있고 하악치조골 및 치아와는 밀접되어 이 부위 근육에 대한 훈련효과와 그 외의 연조직체의 expansion effect는 협점막부위와 비순부에 tension을 유발시켜 상악성장을 촉진시키고, 하악에서는 발육을 억제시키는 효과가 있다고 하였다(그림 7 참조).

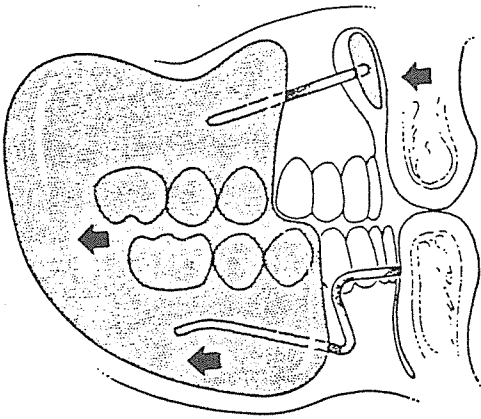


Fig. 7. FR-3의 action mode. 상순의 근력이 upper labial pad에 의해 상악골로부터 차단되고, 이 힘은 장치에 전달되어 하악의 전방성장을 억제하게 된다.

전술한 것 처럼 activator를 포함한 대부분의 FA들이 치열의 설측에서 외부의 근력을 차단 또는 제거없이 설측에서 협측이나 순측으로 밀어내는 force application 방법을 사용하는 반면 FR은 치열의 협측 및 순측에서 shield와 pad에 의해 force elimination방법에 의하는 것이 다른 FA와의 가장 큰 차이점이라 할 수 있으며, 이에 관해 Fränkel('83)은 협점막부위의 근육과 골사이에 존재하는 boundary tissue가 생물학적 기계적 자극을 전달하는 전달체(transmitter)로써 역할을 하는데, vestibular shield가 이 부위 근육의 비정상적 환경을 차단 또는 제거하게 되면 "boundary-specific signal"의 변화를 일으키게 되고 이 신호는 인접 골조직에 변화를 유발시키는 load-specific response로써 역할을 한다고 하였다. 이런 방법에 의한 치료는 extraoral traction 등과 같

은 치료방법보다는 원인적 치료를 수행한다고 할 수 있을 것이다.

FR의 또 다른 중요한 점은 exercise device로써의 역할인데, 전술한 것처럼 FR은 근육의 지속적인 훈련에 의해 구강주위근육(orbicularis oris, buccinator 등)의 비정상적 활동을 제거함과 동시에 정상기능을 회복시키기 위해서는 다른 FA에서 처럼 part-time 장착이 아니라 full-time 장착이 요구된다. 이에 대해 Fränkel('80)은 "기능적"이기 위해서는 장치에 의한 작용이 연속적이며 반복적이어야 하는데, 이렇게 하기 위해서는 반복적인 lip seal exercise가 필요하다고 하였다.

또한 FR장착에 의한 효과로 arch expansion이 일어나는데, Fränkel('70)과 McDougall등('82)의 보고에 의하면 shield와 pad에 의해 상악궁의 현저한 expansion을 얻을 수 있었으며, fixed appliance에 의한 expansion에서는 얻을 수 없는 long-term stability를 얻을 수 있다고 하였다. 사실상 이런 expansion은 어떤 종류의 치료로도 성취할 수 있으나 적절한 훈련을 통한 근육의 적응은 궁극적인 악궁의 형태와 크기의 안정성에 중요한 역할을 한다. 한편 혀 역시 치아나 지지조직의 협측 또는 순측으로의 발달에 중요한 부분을 차지하지만 Fränkel('74)은 대부분의 혀 기능이 부정교합을 유발시키는 일차적 원인이 아니기 보다는 dentoalveolar morphology에 대해 적응적이라고 하였다.

사진(그림 8-A, B, C, D)은 성장중인 아동(11세)의 심한 골격성 3급부정교합에 FR-3의 이용으로 기능적, 형태적인 적응이 현저히 얻어진 치료에로써 골격구조의 현저한 개선과 함께, 상·하순의 관계도 현저한 변화가 있었는데 이는 vestibular shield 및 upper labial pad에 의해 상순 및 주위근육 그리고 연조직체가 구조적, 기능적으로 개선된 효과에 의한 것이라 보이며, 본 예에서 처럼 상악골의 현저한 발육이 얻어진 것은 상악골을 둘러싼 연조직체의 구조와 기능의 변화에 상악골이 적응한 결과이며, 궁극적으로 기능과 형태 사이에 균형(balance)이 이루어져 치료결과의 long-term

stability(그림 8-D 참조: FR-3 제거 후 3년이 경과한 구내사진)가 얻어질 수 있었다고 생각 된다.

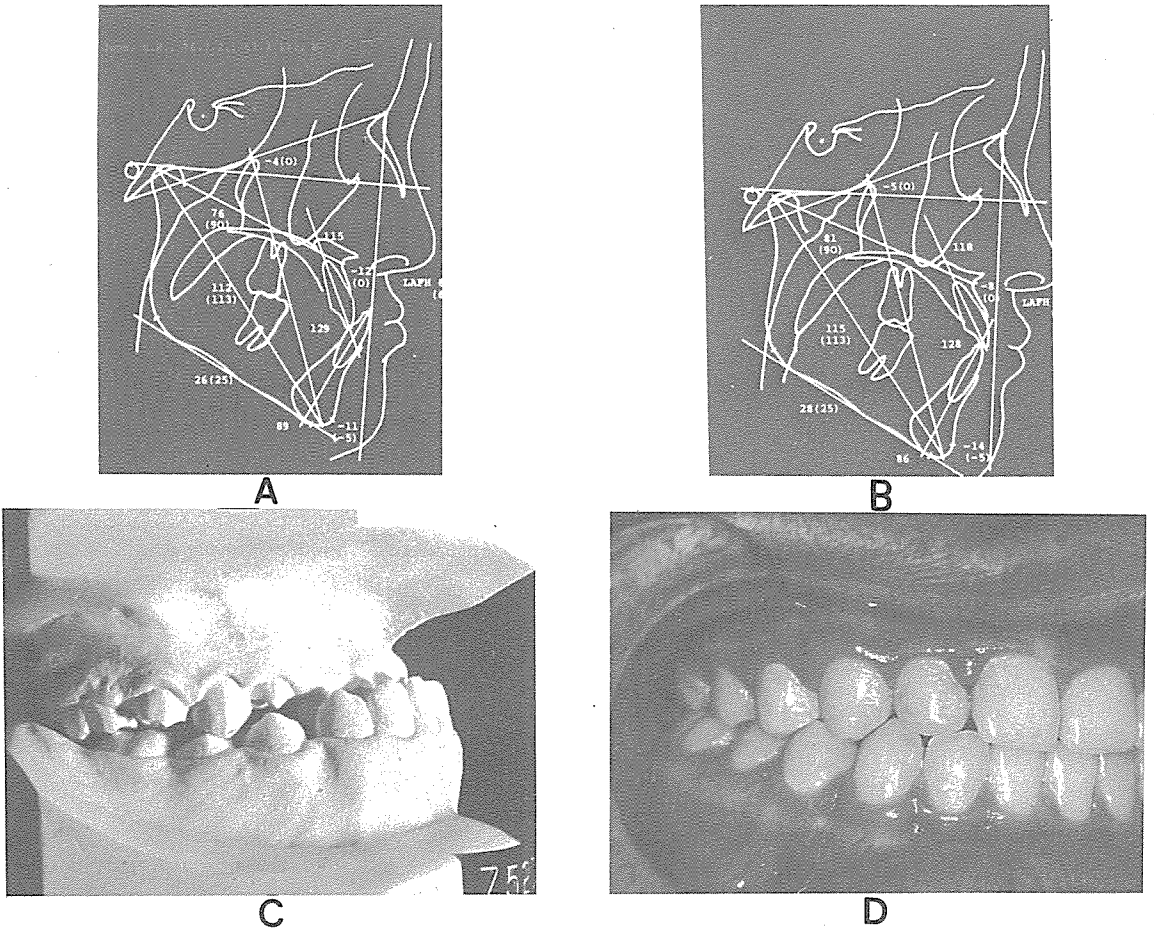


Fig. 8. 11세(초진시)된 남아의 심한 골격성 3급 부정교합에 FR-3를 8개월간 임상적용한 치험예. A) initial cephalometrics, B) initial study casting models, C) 8개월간 full-time 장착 후 장치제거 당시의 cephalometrics, D) 장치제거 후 2년이 경과된 구내사진.

REFERENCES

1. Andresen, V. and Häupl K.: The Norwegian system of functional gnatho-orthopedics, Acta Gnathol. 1:5, 1936.
2. Andresen, V., Häupl, K. and Petrik, L.: Funktionskieferorthopädie. J.A. Barth, Verlag, Munchen, 1953. cited from R. Frankel 1983.
3. Delaire, J.: The potential role of facial muscles in monitoring maxillary growth and morphogenesis. In: Muscle Adaptation in the Craniofacial Region. D.S. Carlson and J.A. McNamara, Jr. (Eds.), Monograph 8, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, pp. 157, 1978.
4. Enlow, D.H.: Handbook of Facial Growth, W.B. Saunders Co., 2nd. ed., 1982.

5. Enlow, D.H.: *The Human Face*. Hoeber Medical Division, Harper and Row, New York, 1968.
6. Enlow, D.H.: Wolff's law and the factor of architectonic circumstance. *Am. J. Orthod.*, 54:803, 1968.
7. Enlow, D.H., Moyers R.E., Hunter W.S., and McNamara, Jr. J.A.: A procedure for the analysis of intrinsic facial form and growth. *Am. J. Orthod.*, 56:6, 1969.
8. Fränkel, R.: Biomechanical aspects of the form/function relationship in craniofacial morphogenesis: A clinician's approach. In: *Clinical Alteration of the Growing Face*, J.A. McNamara, Jr., K.A. Ribbens and R.P. Howe (Eds.), Monograph 14, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, pp. 107, 1983.
9. Fränkel, R.: Decrowding during eruption under the screening influence of vestibular shields. *Am. J. Orthod.* 65:372, 1974.
10. Fränkel, R.: Lip seal training in the treatment of skeletal open bite. *Europ. J. Orthod.* 2:219, 1980.
11. Fränkel, R.: Maxillary retrusion in Class III and treatment with function corrector III. *Trans. Eur. Orthod.* 46:249, 1970.
12. Fränkel, R.: The theoretical concept underlying treatment with function correctors. *Trans. Europ. Orthod. Soc.* pp. 223-250, 1966.
13. Kingsley, N.W.: *Oral Deformities*, New York, D. Appleton & Co., 1880.
14. McDougall, P.D., McNamara, Jr. J.A. and Dierkes, J.M.: Arch width development in Class II patients treated with the Frankel appliance. *Am. J. Orthod.* 82:10, 1982.
15. McNamara, J.A., Jr.: Neuromuscular and skeletal adaptations to altered functions in the orofacial region. *Am. J. Orthod.*, 64:570, 1973.
16. Moss, M.L. and Moss-Salentijn, L.: The muscle-bone interface; An analysis of a morphological boundary. In: *Muscle Adaptation in the Craniofacial Region*. D.S. Carlson and J.A. McNamara, Jr. (Eds.), Monograph 8, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, pp. 39, 1978.
17. Rakosi, T.: The principles of functional appliances. In: *Clinical Alteration of the Growing Face*. J.A. McNamara, Jr., K.A. Ribbens and R.P. Howe (Eds.), Monograph 14, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, The University of Michigan, Ann Arbor, p. 291, 1983.
18. Van der Klaauw, C.J.: Size and position of the functional components of the skull. A contribution to the knowledge of the architecture of the skull, based on data in the literature. *Arch. Neerl. Zool.* 9:1-558, 1948.