

# 전방십자인대의 이중다발 재건술의 이해

이 글에서는 정형외과 영역의 슬관절에 가장 중요한 구조물의 하나인 전방십자인대에 관한 해부학과 생역학을 이중다발재건술 측면에 대하여 소개하여 공학적인 중요성에 대한 이해를 돕고자 한다.

왕준호 고려대학교 의과대학 정형외과, 부교수

e-mail : mdwang88@gmail.com

미국의 경우 연간 8만 건의 전방십자인대 손상이 발생하고 있으며<sup>(1)</sup> 대부분의 경우에는 수술적인 치료가 필요한 경우가 많다. 전방십자인대 재건술의 방법 중에 하나의 다발로 재건술(single bundle reconstruction)을 시행하는 방법이 표준 방법이라고 할 수 있으며, 성공률은 70~90%로서<sup>(2,3)</sup> 비교적 좋은 결과의 수술법이라 할 수 있다. 그러나 한 다발 재건술의 경우에는 약 20%에서 회전불안정성을 보이고 있으며<sup>(2,4)</sup> 최근의 전방십자인대 한 다발 재건술을 시행한 환자를 대상으로 하는 생역학 연구에서 재건술 이후 전후 불안정성은 회복이 되지만 정상인 반대쪽 다리와 비교하였을 때 경골이 대퇴골에 대하여 외회전되어 있는 소견을 관찰할 수 있었다<sup>(5)</sup>. 이러한 이유로 기능적으로 두 개의 다발로 이루어진 전방십자인대(그림 1)<sup>(6~8)</sup>를 보다 해부학적으로 가깝게 재건해 주는 두 다발 재건술의 필요성이 주장되고 있으나<sup>(9)</sup> 아직까지 해결되지 않은 논란의 중심에 있다.

전방십자인대의 해부학적인 이해와 생역학적인 이해를 통한 전방십자인대 재건술의 수술 기법을 발전시킬 수 있다면 임상적인 결과의 향상에 도움이 될 수 있을 것으로 사료될 수 있다. 전방십자인대의 해부학과 생역학적인 연구의 중심에는 많은 공학자들이 역할을 하고 있으며 임상 의사도 공학자와의 협력이 매우 중요하다 할 수 있다. 임상 의사와 공학자의 협력을 위해서는 공학자도 임상에 대한 이해가 필요하기 때문에 전방

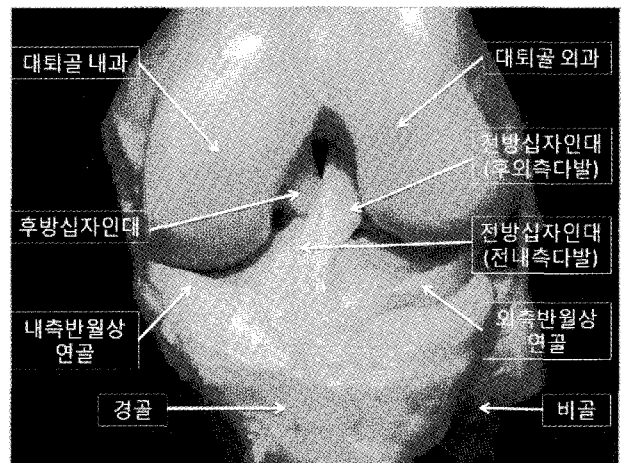


그림 1 전방십자인대는 후방십자인대와 열십자(+) 모양으로 교차하고 있어 십자인대라는 이름이 붙었다. 전방십자인대는 경골과 대퇴골을 연결하는 구조물로서 경골이 앞으로 빠지는 것을 막는 역할을 한다.

십자인대에 대한 기초적인 해부학, 생역학 및 수술법에 대하여 기술하고자 한다.

## 전방십자인대의 해부학

전방십자인대는 대퇴골 외과의 내측에서 경골 고평부 상단의 중심을 연결하는 인대이다. 전방십자인대의 대퇴골 부착부위의 길이는  $17.7 \pm 1.2\text{mm}$  폭은  $9.9 \pm 0.8\text{mm}$ 이며 대퇴골의 장축을 기준으로  $27.6 \pm 8.8$ 도 기울어져 있다<sup>(10)</sup>. 해부학적으로 경골의 부착 부위의 위치에 따라 전내측 다발(anteromedial bundle)

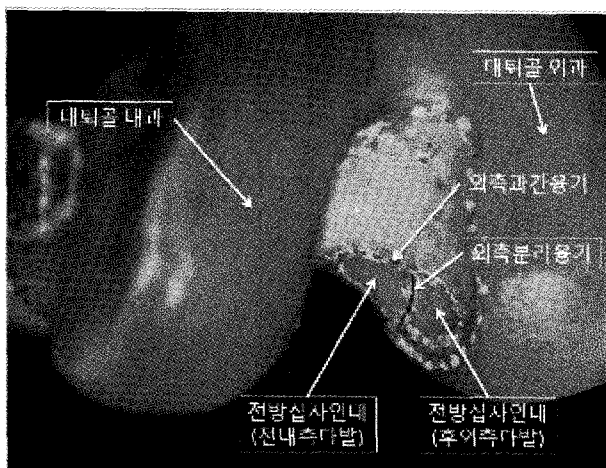


그림 2 전방십자인대는 대퇴골 외과의 내측면에 부착되어 있으며 부착 부위의 상부에는 외측 과간융기로 경계되고 전내측 다발과 후외측 다발 사이에는 외측분리융기가 있어 구분된다.

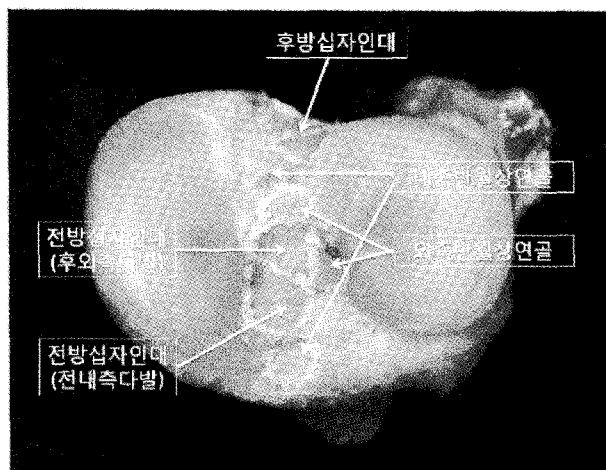


그림 3 전방십자인대는 경골의 상단부 중심에 부착되며 전내측 다발은 전내측·후외측 다발은 후외측에 위치하고 있다.

과 후외측 다발(posterolateral bundle)로 나눌 수 있으며 전내측 다발의 대퇴골 부착부위의 평균 길이는  $9.8 \pm 0.8\text{mm}$ 이며 후외측 다발의 평균 길이는  $7.3 \pm 0.5\text{mm}$ 이다. 전방십자인대의 전방의 경계(슬관절의 90도 굴곡 상태로 행하여지는 관절경 검사 시 기준으로는 상부)에는 골조적으로 되어 있는 해부학적인 경계가 있으며<sup>(11)</sup> 그것은 외측 과간 융기(lateral intercondylar ridge)<sup>(10)</sup>라 불린다. 이러한 해부학적인 경계는 전방십자인대의 해부학적인 개념의 재건술 시에 해부학적인 부착 부위를 찾는 데 도움을 줄 수 있으나 실제 관절경 하 수술 시에 명확히 찾기 어려운 경우를 볼 수 있다. 그리고 전방십자인대의 전내측 다발과 후외측 다발 간에도 외측 분리 융기(lateral bifurcate ridge)라

불리는 골성 랜드마크가 있어<sup>(10)</sup> 해부학적인 이중 다발 재건술 시에 터널의 위치를 결정하는 데 도움을 줄 수 있다(그림 2). 해부학적인 전방십자인대 재건술은 전방십자인대의 정상 해부학에 대한 정확한 이해가 기초가 된다고 할 수 있다.

전방십자인대의 경골 부착부위의 길이는 평균  $14\text{mm}$ (range  $9 \sim 18\text{mm}$ )<sup>(12)</sup>에서  $29.3\text{mm}$ (range  $23 \sim 38\text{mm}$ )<sup>(7)</sup>까지 다양하게 보고되고 있다(그림 3). 그리고 경골 부착 부위의 넓이도  $114\text{mm}^2$ <sup>(12)</sup>에서부터  $229\text{mm}^2$ <sup>(13)</sup>까지 다양하게 보고되고 있다. 전방십자인대의 전내측다발의 경골 부착부위의 넓이도  $56\text{mm}^2$ <sup>(8)</sup>에서  $136\text{mm}^2$ <sup>(13)</sup>까지 보고되고 있으며 후외측 다발의 부착 부위의 넓이도  $52\text{mm}^2$ <sup>(12)</sup>에서  $93\text{mm}^2$ <sup>(13)</sup>까지 다양하게 보도되고 있다. 이러한 부착 부위의 크기 및 넓이의 다양성은 다양한 방법의 측정 방법 및 연구에 사용된 사체 크기의 다양성 때문일 것으로 생각된다<sup>(14)</sup>.

### 전방십자인대의 생역학

최근의 생역학적인 연구에 의해서 전방십자인대의 두 개의 다발의 기능에 대하여 좀더 명확하게 정의되고 있다. 기능에 대한 연구는 주로 인대를 절단하고 절단 이후 경골이 앞으로 빠지는 것을 막는 전방십자인대의 기능이 소실되는지, 즉 경골의 전방 전위가 얼마나 증가하는지를 평가하여 밝히게 된다. 이러한 방법의 연구를 통하여 슬관절이 60도나 90도 굴곡 시에는 전내측 다발의 절단 후 경골의 전방 전위가 증가하는 소견을 보이고 있었고 30도 굴곡 시에는 후외측 다발의 절단 후 경골의 전방 전위가 증가하는 소견을 관찰할 수 있었다. 그리고 0도 및 30도 굴곡 시에 후외측 다발의 절단 후 경골의 회전이 증가하는 소견도 관찰할 수 있었다<sup>(15)</sup>. 이러한 연구를 통하여 전방십자인대의 전내측 다발은 주로 슬관절의 굴곡 시에 중요한 역할을 하고 후외측 다발은 주로 신전에 가까운 각도에서 역할을 하고 있으며 회전 불안정성에도 중요한 역할을 하고 있을 것으로 추정할 수 있다.

일반적으로 전방십자인대 재건술은 등장성(isometricity)<sup>(16)</sup>의 개념으로 시행되고 있다. 등장성이라는 것은 슬관절의 관절 운동 시에 십자인대의 부착

부위간의 거리의 변화(excursion)가 없다는 것을 의미하는 것이다. 그러나 전내측 다발과 후외측 다발은 관절운동 동안의 정확한 등장성을 보이지 않으며 다양한 슬관절의 굴곡에 따라서 다양한 긴장도(tension)을 보이는 것으로 알려져 있다<sup>(17)</sup>. 그러나 전내측 다발은 후외측 다발에 비해서 상대적으로 좀더 등장성을 가지고 있으며 보다 큰 관절 운동 범위에서 등장성에 가까운 소견을 보여주고 있다. 반면에 후외측 다발은 슬관절의 신전 시(무릎을 편 상태)에 좀더 긴장되어 있으며 굴곡 시에 이완되어 있는 현상을 보이고 있다. 이론적으로 후외측 다발의 기능은 슬관절의 신전 시, 긴장되어 있는 상태에서 무릎의 안정성에 미치는 영향이 커지는 것으로 되어 있다<sup>(18~20)</sup>. 각각의 다발의 자체 힘(in situ force)에 대한 연구는 이러한 사실들을 뒷받침해 주고 있다. 후외측 다발의 자체힘은 슬관절의 완전 신전 시에 가장 크며( $67 \pm 30$  N) 슬관절이 굴곡되면 줄어든다. 전내측 다발의 자체 힘은 슬관절이 60도 굴곡 시에 가장 큰 소견( $90 \pm 17$  N)을 보이고 있다<sup>(19)</sup>. 이러한 연구를 통하여 전방십자인대의 두 개의 다발은 각각 기능적으로 다른 역할을 가지고 있을 것으로 알 수 있으며 이러한 이유로 이중 다발 재건술의 시행의 필요성이 주장되고 있다.

### 전방십자인대의 수술적인 치료법

전방십자인대 손상 시 전방십자인대가 부착 부위의 뼈와 같이 떨어져 나간 경우에는 떨어진 뼈를 붙여 주거나 인대-골 부착 부위에서 떨어진 일부의 경우에는 봉합술이 시행될 수 있으나 일반적으로는 재건술이 표준화된 치료법이다. 과거에는 슬관절을 절개하여 시행하는 재건술이 시행되기도 하였으나 지금은 관절경을 사용하여 대퇴골 및 경골에 터널을 뚫은 후 이식건을 심어 고정하는 방법으로 수술이 시행된다. 한 다발 재건술의 경우에는 대퇴골 과 경골에 각각 하나의 터널을 만들게 되며 이중 다발 재건술의 경우에는 일반적으로 대퇴골과 경골에 각각 두 개씩의 터널을 만들게 된다(그림 3, 4). 이후 이식건을 터널을 통해 통과시키고 터널 내에 고정시키는 방법으로 수술이 시행된다. 이식건을 고정하는 방법은 크게 간섭나사



그림 4 전방십자인대의 이중 다발 재건술을 위해서 대퇴골에 모두 두 개의 터널이 만들어졌다. 이 터널 안에 이식건이 위치하고 고정되게 되며 이후 골과 이식건 간에 치유(healing) 현상이 일어나게 된다.



그림 5 전방십자인대의 경골 부착 부위를 해부학적으로 정확히 박리한 후 전내측 다발과 후외측 다발의 부착 부위의 중심에 모두 두 개의 터널이 만들어져 있다. 이식건은 경골의 외부에서 경골 터널을 지나 대퇴골 터널로 향하여 대퇴골과 경골 양쪽에 다양한 방법으로 고정된다.

(interference screws)를 이용하여 고정하는 방법, 현수장치(suspensory device)를 이용하여 고정하는 방법 등이 있다. 이식건에 따라서 적절한 최종 실패 강도(ultimate failure load)를 가진 고정 방법의 개발을 통해서 십자인대의 재건술의 좋은 결과가 보고되고 있다.

전방십자인대의 재건을 위해서는 자신의 몸에서 채취한 자가건 및 타인(기증된 사체)에서 채취한 동종건을 사용할 수 있다. 이중 다발 재건술에도 자가건 및 동종건이 사용될 수 있다<sup>(21~23)</sup>. 이중 다발 재건술의

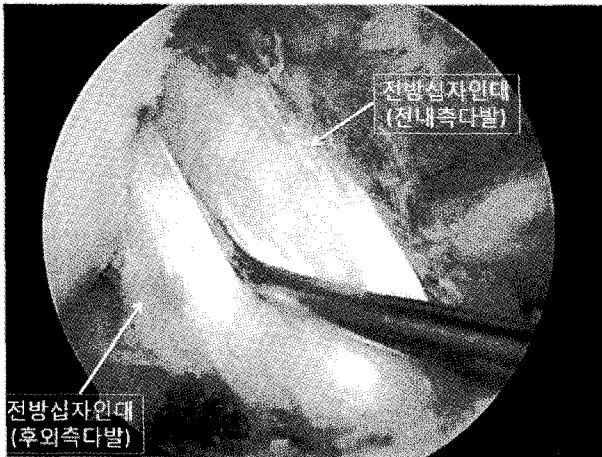


그림 6 자가 슬립건을 이용하여 전방십자인대의 전내측 다발과 후외측 다발이 재건되었다. 이중 다발 재건술을 통하여 좀더 해부학적으로 정상 전방십자인대에 가까운 모양과 기능이 재건될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

자가건으로는 주로 슬립건(hamstring tendon)이 사용되는데 자가건의 단점으로 이중 다발 재건술의 충분한 길이를 얻지 못 할 수도 있다(그림 6). 그래서 충분한 길이 및 두께의 이식건을 얻기 위해서 동종건이 사용될 수 있으나 동종건은 드물기는 하지만 감염성 질환이 전염될 가능성이 있고, 조직학적인 반응이 생겨 염증 소견이 생길 수 있으며, 가격이 비싸며 우리나라에서는 의료 보험의 적용이 되지 않을 수 있어 사용이 곤란한 경우가 많다.

### 맺음말

1980년 관절경을 이용하여 처음으로 전방십자인대 재건술이 시행되었으며<sup>(24)</sup> 이후 기술적인 측면에서 상당한 발전을 이루었다. 최근의 임상적인 연구에 의하면 전방십자인대 재건술 이후 만족스러운 결과가 보고되고 있으나<sup>(25)</sup>, 전반적인 의학의 발전과 함께 전방십자인대의 손상 이전의 상태로 돌아가려는 환자의 욕구 또한 매우 높아져 정형외과 의사는 보다 높은 기준을 목표를 향해서 노력하고 있다<sup>(26)</sup>. 이러한 노력의 일환으로 해부학적으로 정확하며 보다 정상의 십자인대와 기능이 가까운 인대 재건술을 시행하려 하고 있다. 이러한 수술적인 기법의 발전에는 해부학과 생역학에 대한 연구를 통하여 발전할 수 있으며 이러한 연구를 위해서는 임상 의사와 공학자의 협조와 노력이 지속적으로 필요할 것

으로 사료된다.

### REFERENCES

- (1) Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, Garrett WE, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000 May-Jun;8(3):141-50.
- (2) Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR, Jr. Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *The American journal of sports medicine.* 2003 Jan-Feb;31(1):2-11.
- (3) Yunes M, Richmond JC, Engels EA, Pinczewski LA. Patellar versus hamstring tendons in anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis. *Arthroscopy.* 2001 Mar;17(3):248-57.
- (4) Aglietti P, Giron F, Buzzi R, Biddau F, Sasso F. Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective, randomized clinical trial. *The Journal of bone and joint surgery.* 2004 Oct;86A(10):2143-55.
- (5) Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P, Anderst W. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *The American journal of sports medicine.* 2004 Jun;32(4):975-83.
- (6) Ferretti M, Levicoff EA, Macpherson TA, Moreland MS, Cohen M, Fu FH. The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study. *Arthroscopy.* 2007 Mar;23(3):278-83.
- (7) Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The

- cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clinical orthopaedics and related research*. 1975 Jan-Feb(106):216-31.
- (8) Harner CD, Baek GH, Vogrin TM, Carlin GJ, Kashiwaguchi S, Woo SL. Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions. *Arthroscopy*. 1999 Oct;15(7): 741-9.
- (9) Fu FH, Shen W, Starman JS, Okeke N, Irrgang JJ. Primary anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary 2-year prospective study. *The American journal of sports medicine*. 2008 Jul;36(7):1263-74.
- (10) Ferretti M, Ekdahl M, Shen W, Fu FH. Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2007 Nov;23(11):1218-25.
- (11) Purnell ML, Larson AI, Clancy W. Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high-resolution volume-rendering computed tomography. *The American journal of sports medicine*. 2008 Nov;36(11):2083-90.
- (12) Siebold R, Ellert T, Metz S, Metz J. Tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament: morphometry, arthroscopic landmarks, and orientation model for bone tunnel placement. *Arthroscopy*. 2008 Feb;24(2):154-61.
- (13) Luites JW, Wymenga AB, Blankevoort L, Kooloos JG. Description of the attachment geometry of the anteromedial and posterolateral bundles of the ACL from arthroscopic perspective for anatomical tunnel placement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2007 Dec;15(12): 1422-31.
- (14) Kopf S, Musahl V, Tashman S, Szczodry M, Shen W, Fu FH. A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the ACL. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009 Mar;17(3):213-9.
- (15) Zantop T, Herbort M, Raschke MJ, Fu FH, Petersen W. The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation. *Am J Sports Med*. 2007 Feb;35(2):223-7.
- (16) Fleming B, Beynon BD, Johnson RJ, McLeod WD, Pope MH. Isometric versus tension measurements. A comparison for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. *The American journal of sports medicine*. 1993 Jan-Feb;21(1):82-8.
- (17) Amis A, Dawkins G. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. *JBJS{Br}*. 1991;73(2):260-7.
- (18) Buoncristiani AM, Tjoumakaris FP, Starman JS, Ferretti M, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2006 Sep;22(9):1000-6.
- (19) Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res*. 2004 Jan;22(1):85-9.
- (20) Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res*. 1997 Mar;15(2):285-93.
- (21) Noh HK, Wang JH, Bada LP, Ahn JH, Yoo

- JC, Nha KW, et al. Trantibial anterior cruciate ligament double bundle reconstruction technique: two tibial bundle in one tibial tunnel. Archives of orthopaedic and trauma surgery. 2008 Nov;128(11):1245-50.
- (22) Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Kitamura N, Tanabe Y, Tohyama H, et al. Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. Arthroscopy. 2004 Dec;20(10):1015-25.
- (23) Kim SJ, Jo SB, Kumar P, Oh KS. Comparison of single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon-bone autografts. Arthroscopy. 2009 Jan;25(1):70-7.
- (24) Strocchi R, de Pasquale V, Gubellini P, Facchini A, Marcacci M, Buda R, et al. The human anterior cruciate ligament: histological and ultrastructural observations. Journal of anatomy. 1992 Jun;180 ( Pt 3):515-9.
- (25) Meredick RB, Vance KJ, Appleby D, Lubowitz JH. Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. The American journal of sports medicine. 2008 Jul;36(7):1414-21.
- (26) Irrgang JJ, Bost JE, Fu FH. Re: Outcome of single-bundle versus double-bundle reconstruction of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis. The American journal of sports medicine. 2009 Feb;37(2):421-2; author reply 2.

## 기계용어해설

### 반경 방향 속도((Radial Velocity; 半徑方向速度)

원심식 송풍기나 펌프, 또는 프란시스 수차와 같은 유체기계에서 유체가 날개차 등을 흐를 때의 반지름 방향의 성분.

### 방사 보일러(Radiation Boiler)

노 주위에 다수의 방사수관이나 과열기까지 배치하여 대부분의 열이 방사에 의하여 전달하도록 만든 보일러.

### 패키지형 보일러(Packaged Boiler)

납기를 단축하고 코스트를 절감하여 좀더 고품질의 보일러를 생산할 수 있도록 대용량 보일러의 현지조립에 대비한 것.

### 포물선 안테나(Parabolic Antenna)

반사면이 회전포물선이나 2차 곡선으로 여진하는 1차 방사기의 다이폴이나 소형 전자 혼을 그 초점에 둔 구조의 마이크로파용 안테나.

### 분할 터빈(Partial Turbine)

반동 터빈의 날개차를 설계할 때 날개차 속에 유선을 가정하여 날개의 입구, 출구의 각도 및 중간의 형상을 결정할 수 있도록 하는 것.