

# Helicopter/VTOL/STOL기의 개발과 미래전망

항공우주연구소 편

## 〈 목 차 〉

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| I. 헬리콥터          | IV. STOL        |
| II. VTOL         | V. V/STOL의 미래전망 |
| III. VTOL 실용성공 예 |                 |

## I. 헬리콥터

### 가. 헬리콥터의 역사

헬리콥터의 구상은, 멀리 14·15세기부터의 유럽의 문헌이나 그림에서 발견되는데, 그중에서도 유명한 것이 레오나르도 다빈치의 것이다. 유럽에서는 예로부터, 「도르래」라고 하는 손으로 돌리는 장난감이 있었고, 이를 「중국 말」(원산지가 중국이라는 뜻)이라고 불리우고 있었다. 항공의 아버지라고 불리는 조오지 케일리 경은, 도르래의 동력으로서, 활의 탄력을 이용한 헬리콥터 모형을 1796년에 제작하였다. 케일리 경이 81살 때, 개량한 헬리콥터 모형은 높이가 30미터에 달했다. 그러나 이러한 모형은 사람이 탈 수 없는 헬기였기 때문에, 유인 헬리콥터가 되기 위해서는 강력하고도 경량인 엔진을 필요로 했다.

20세기에 들어서서, 가솔린 엔진이라고 하는 이상적인 동력기관이 항공에도 이용가능하게 되었음에도, 헬리콥터의 실용화는 고정익기(비행기)의 실용화보다 상당한 시간이 걸렸다. 1907년부터 12년에 걸쳐, 덴마크의 엘레하며(J.C.H. Ellehammer), 프랑스의 코르뉴(Paul Cornnu), 그리고 비행기 분야에서도 유명

한 브레게(Louis Brequet), 이 세사람이 모두 수직으로 부상하는 헬기제작에 성공했지만, 이것들은 자세의 안정·제어 수단이 없고, 횡풍을 만나면 전복할지도 모르기 때문에 탑승하기에는 위험한 것이어서, 실용화하기까지는 거리가 멀었다. 스페인의 세르바(Juan de la Cierva)는 전진하고 자세제어도 할 수 있는 오토자이로(auto giro)를 1923년에 제작했지만, 이것은 비행기 날개 대신에 바람으로 회전하는 로터(회전날개)를 단 것으로, 엔진이 로터를 돌리는 것은 아니기 때문에, 수직상승·하강은 물론 할 수 없었고, 분명히 헬리콥터와는 다른 분야의 것이었다.

1936년에, 독일의 포케-볼프(Foekke-Wulf) 사의 창립자 중 한사람인 포케(Foekke) 교수가 오랜 세월 헬리콥터를 연구한 결과, 포케 아하게리스(FW-61)을 제작하였다. 이것이 세계에서 최초로 성공한 헬리콥터로 간주되고 있다. 동력기관에는 좌우 2개의 로터가 있고, 서로 반대 방향으로 회전해서 토크(torque)를 제거했다. 주목할만한 것으로는 나중에 언급할 로터·블레이드의「플래핑 힌지」가 도입되어서, 이것에 의해 횡풍을 받았을 때의 불안정성이 상당히 해소되었다. 기수에

#### 〈그림-1〉 FW-61과 한나 라이휴 여사



불어 있던 프로펠라는 엔진냉각용으로 쓰였으며, 전진속도는 느렸다. Fw-61은 고도 3427미터까지 상승할 수 있었고, 1시간 20분 정도 비행할 수가 있었다. 그리고 유명한 여류 시험비행사, 한나 라이휴(Hanna Raisch)여사의 조종에 의해서, 당시의 헬리콥터 전세계 기록이 바뀌게 되었다(그림-1).

도르래와 같이 일견 간단해 보이는 헬리콥터지만 실제로는 예상외로 어렵다. 원래, 자세의 기울기에 대한 복원 모멘트가 작용하지 않기 때문에 한쪽으로 쏠리면 그대로 상태가 고정되어서 불안정한데다가 움직임도 안정되어 있지 않다. 상하방향의 로터 작용은 전진하는 프로펠라와 비슷하지만, 수평으로 이

동하거나 횡풍이 불면 공기력의 작용이 축대칭이 안되기 때문에, 로터 회전면에 불균등한 양력이 작용한다. 즉, 진행방향으로 향하는 로터·블레이드는 기체의 속도와 회전속도가 합성되어 양력이 커지고 반대쪽 블레이드에서는 양력이 작아진다. 양력의 불균형을 해결하기 위해, 블레이드의 밑을 고정시키지 않고 힌지(hinge)로 상하방향으로 흔들거리는 채로 둔다고 하는 탁월한 아이디어가 나왔다. 이렇게 하면 우산이 센 바람에 뒤집히는 것처럼 되고 마는데, 실제로는 블레이드가 고속으로 회전하고 있기 때문에 원심력이 작용하여 블레이드 자체의 중량과도 합쳐져서, 이것들과 양력이 균형을 이루는 어느 각도에서 멈추게 된다. 이와 같은「플래핑 힌지」의 로터·블레이드에 횡풍이 불면, 맞바람을 받는 블레이드는 크게 위로 휘기 때문에 양력은 줄고, 반대편의 블레이드는 순풍 때문에 아래로 처져 양력은 증대한다.

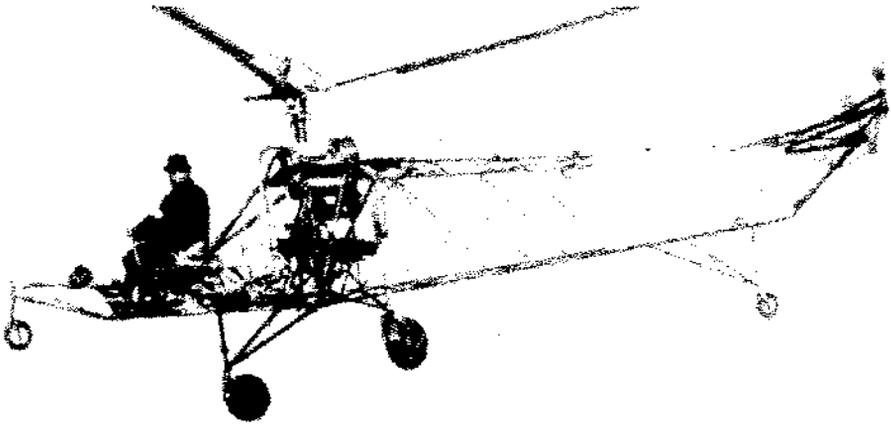
「플래핑 힌지」에는 그 밖에도 큰 이점이 있었다. 원래 로터·블레이드는, 가늘고 긴 일종의 프로펠라이면서 날개역할을 겸하고, 그로 인해서 기체중량을 떠받치기 때문에, 밑부분은 특히 큰 굴절 모멘트를 받는다. 이 때문에 구조강도를 크게 하지 않으면 안된다. 그러나 「플래핑 힌지」를 도입하면, 밑에서의 굴절 모멘트는 0이 되고, 양력과 원심력만이 생기기 때문에 구조강도가 크게 경감된다. 또 헬리콥터에서는 뒤에 언급하는 바와 같이, 로터가 한 번 회전하는 사이에 피치를 바꾸기 때문에, 공기력의 변동을 블레이드가 받게 된다. 이 때문에 진동이 많아서, 탑승감은 좋지 않다.

그렇지만 난기류를 만나 동요하게 되는 경우에는 거꾸로, 동일 중량의 소형비행기보다는 동요가 적다는 것이 인정되고 있다. 이것은「플래핑 힌지」에 의해 블레이드가 상하로 움직임으로써 큰 공기력의 요동을 흡수해 버리기 때문이다.

## 나. 헬리콥터의 실용화

러시아에서 유명한 대형비행기 Ilya Mouriamezt를 만들고, 공산혁명을 만나 미국으로 망명한 후에 대형비행기 등을 만들고 있던 아골·시콜스키는 1910년 이래 등한시 되고 있던 헬리콥터 연구를 20년만에 재개하고, 드디어 홀 로터 VS-300의 원형기를 완성했다. 자신이 조정하여, 1939년 9월 14일에 첫비행에 성공함으로써, 이것은 실용 헬리콥터의 원조가 되었고, 그의 이름은 길이 남게 되었다. 실험중에 후퇴비행을 하기도 하고, 바위 위에 서있는 사람에게 천천히 다가가서 물건을 주고 받기도 하며, 공중에 정지하여 그 사이에 바퀴의 교환을 하게 하는 등의 쇼를 보임으로써 고정날개 비행기 밖에 본적이 없는 당시 사람들을 아연하게 했다(그림-2).

〈그림-2〉 시콜스키 자신이 조종에 성공한 VS-300의 비행



성공했던 이유는, 이미 고안되어 있던 「플래핑 힌지」와 테일·로터를 도입해서 안정성의 문제를 해결하였고, 자신이 개발한 블레이드·피치 변환장치로써 완전히 조종을 가능하게 했기 때문이었다.

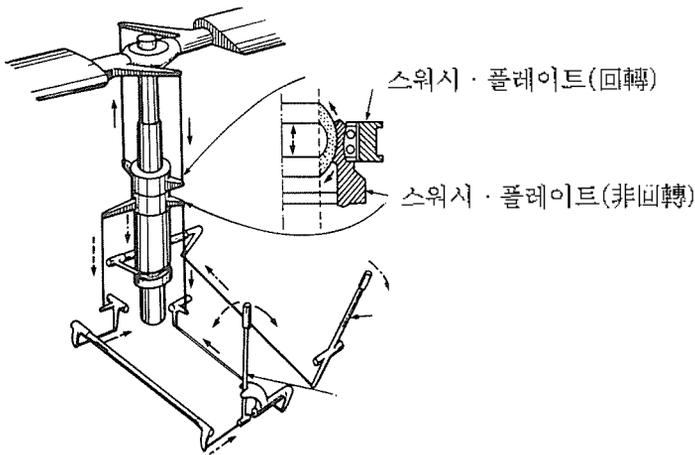
헬리콥터의 전후·좌우의 횡방향 이동은, 로터 회전면을 진행방향으로 기울임으로써 행해진다. 회전면의 기울기는 또, 일회전중의 블레이드·피치 변화에 의해 만들어진다. 이와 같은 블레이드의 피치 변경은, 로터·하브에 스위시·플레이트(swash plate)를 설치함으로써 이루어지고 있다.

swash plate는 〈그림-3〉처럼 두장의 판을 스치듯이 포개놓은 것 같은 것으로, 윗쪽의 plate는 링크를 끼워서 블레이드에 결합하여 샤프트(회전축)와 함께 회전시킨다. 아래쪽의 plate는 회전하지 않고 조종계통의 로드와 직결되어 있다. 블레이드는 회전중의 피치 변화나 플라잉으로 주기적인 공기력의 변동을 받는다. 블레이드의 고유진동수가 이 공기 맥동과 일치하면, 큰 진동을 일으켜서 파괴에까지 이르는 경우가 있다. 이러한 위험의 방지를 위해 고유진동수를 겹치지 않도록 하거나, 다이내믹·단퍼를 장치하는 등의 연구가 진행되었다.

이 스위시·플레이트를 진행하고 싶은 방향으로 기울이면, 로터 블레이드의 양력이 플레이트의 꼭대기에서 최대, 그 반대편에서 최소가 된다. 이것에 의해 양력이 불균형이 되고, 로터 회전면이 기울며, 진행하고 싶은 방향으로의 이동속도를 만들어 낸다. 실제로 VS-300은 조종사의 뜻대로 어느 방향으로나 비행할

수 있었다. 테일·로터는 기체를 주 로터와는 역방향으로 회전시키려고 하는 토크(torque)를 제거하기 위한 것으로, 기체 꼬리 부분의 옆쪽에 부착된다. 이 테일·로터의 회전을 빠르게 하거나 느리게 함으로써 기체의 방향을 좌우로 바꿀 수가 있다.

〈그림-3〉 스위시·플레이트와 조종계통

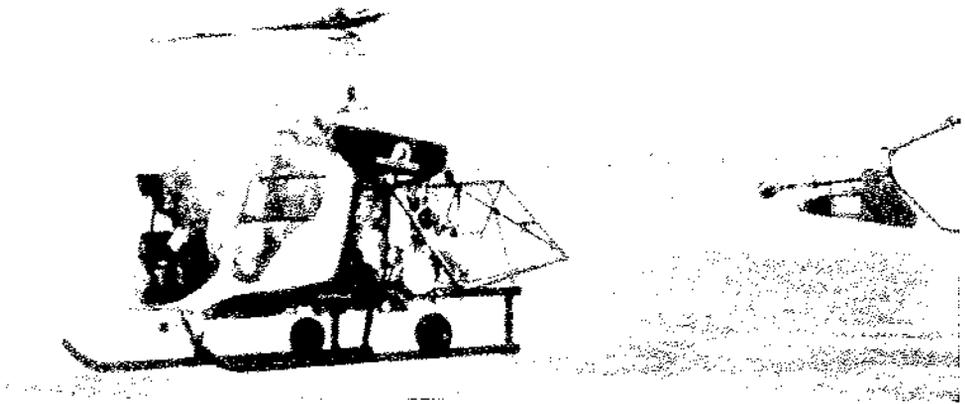


VS-300의 성공에 의해 헬리콥터의 실용기술은 거의 확립되었고, 이후는 VS-300같은 홀로터 형식이 세계 헬리콥터의 주류가 되었다. VS-300은 즉시 미군에 도입되었고, 육군에서는 R-4, 해군에서는 HNS라고 칭하여 제2차 대전중에 구조나 잠수함 경계비행기로 사용되었다.

시콜스키와 함께 헬리콥터 개발에 공헌했고, 항상 색다른 항공기의 개발에 힘쓴 로렌스·벨이 운영하는 벨사에서 1941년 개발에 착수해서 Bell-30을 1943년에 완성시켰다. Bell-30은 시소·힌지라고 하는 독특한 로터기구를 장비한 최초의 헬리콥터로, 이는 쌍으로 이루어진 로터의 한쪽이 위로 쫓혀지면 다른 쪽은 내려가고, 또 한쪽의 영각이 커지게 되면 반대쪽은 영각이 작아지는 링크 기구를 설치함으로써, 「플래핑 힌지」의 구조를 간단·경량화할 수 있다고 하는 장점이 있었다. 어디까지나 쌍으로 된 블레이드를 필요로 하기 때문에 이 기구는 짝수의 로터에만 적용된다. Bell-30의 시험결과를 받아들여 1945년 12월에 Bell-47이 완성되었

다. 이것은 최초부터 민간수요를 목표로 만들어졌던 것으로, 다음 해 46년 3월에 민간 헬리콥터 제1호 내공증명을 받았다. 비눗방울처럼 둥글고 투명한 캐빈, 빼대 뽀인 동체(테일·봄)에 노출된 엔진, 착륙을 위한 간단한 2개의 스키드라고 하는 구성으로 보플러를 연상시키는 눈에 익숙한 기체의 모습을 세계도처에서 볼 수 있었다(그림-4).

〈그림-4〉 Bell-47



Bell-47은 일본, 영국, 이탈리아에서도 허가생산 되었고, 또한 다양한 개조가 이루어졌기 때문에 첫호기(첫비행기)의 비행으로부터 40년이 지난 후에도 현역으로 남아 있을 만큼 헬리콥터로서는 드물게 장수를 자랑했다.

#### 다. 헬리콥터에 의한 정기운송

1946년에 2인승 벨47이 미국정부로부터 영업비행 허가를 받은 이래, 누구나가 이를 여객수송에 사용한다면 매우 편리할 것이라고 생각했다. 이처럼 헬리콥터에 의한 정기운송의 역사는 STOL보다 오래되었으나, 그 실상은 바로 희망과 낙담의 반복을 거듭하며 40년 이상의 역사에도 불구하고 여전히 헬리콥터에 의한 수송 사업은 안정 궤도에 올라 있지 않다. 원인은 헬리콥터의 운항비가 비싸고, 지상교통 기관에 대한 경쟁력이 충분하지 않으며, 또 유시계 비행으로 제한되어 있기 때문에 결항율이 높아서 고객에게서 신뢰감을 얻지 못했기 때문이다.

경쟁력에 대해 말하자면, 운임이 아무래도 택시 이상이 돼 버리기 때문에 서민

에게서 뿌리 깊은 수요를 창출해낼 수가 없다. 1947년에 로스엔젤레스에서 시콜스키의 S-51을 사용해서 우편수송이 이루어졌는데, 이것이 사상 최초의 헬리콥터에 의한 민간항공수송이었다.

여객수송에 관해서는, 1948년에 영국의 BEA가 S-51을 리버풀과 웨일즈의 카디프 사이를 1년 정도 운항한 것이 최초이다. 이것에 의해 헬리콥터의 계기비행, 야간비행, 대공항으로의 비행기 이착륙경로에 대해서 직각으로 들어가는 진입법 등이 개발되었다. 1953년에는 뉴욕·에어웨이즈가 시 중심부 맨하탄과 케네디, 라거디어 및 뉴욕의 세 공항(상호간의 평균거리는 21km)을 연결하는 여객수송을 개시했다. 사용기는 최초가 객석수 7석의 S-55, 후에 객석 12석의 S-58, 객석 15석의 버틀 V-44, 다시 터빈·엔진 2기 장비로 객석 25석의 S-61과 V-107도 도입되었다. 또 1954년에는 로스엔젤레스에서, 56년에는 시카고, 63년에는 샌프란시스코에서 헬리콥터에 의한 정기항공수송이 시작되었다. 모두 도심부의 사업 지구와 대공항을 연결하는 것으로, 해마다 심해지는 자동차 정체의 대비책으로서 헬기의 수송은 유망하게 생각되었다. 그러나 예상한 바와 달리 헬리콥터 항공기업은 잇따른 적자로 경영이 파탄에 이르게 되었다. 샌프란시스코를 제외하고, 1954년부터 66년까지 총액 5100만 미달러에 이르는 정부보조금이 지급되었지만 기업의 업적은 조금도 호전되지 않았고, 밑빠진 독이 되는 것을 우려한 정부는 1967년에 지원을 중단하고 말았다. 이러한 보조금의 중단, 저수입, 그리고 사고에 시달리던 헬리콥터 항공기업은 LA, 시카고, 샌프란시스코 순으로 폐업을 하게 되고, 마지막으로 남은 뉴욕도 1979년에 중지하고 말았다. 인구도 많고 교통정체도 심한 뉴욕에서의 헬리콥터 정기운송의 실적은 4개 도시 중에서 가장 좋아서 25년의 운항 중 몇년간은 유상여객수가 50만명 전후에 달했고 절정을 이루었던 1967년에는 53.7만명이 되었다. 그러나 그것도 이익을 낸 것은 불과 3년으로, 보조금을 받을때에도 계속 적자를 기록했다.

1970년대에 일단 중지부를 찍은 헬리콥터에 의한 정기운송은, 80년대에 들어서 대규모 항공기업과의 연대수송, 예를 들면 일등석 여행객의 공항까지의 운송이라는 형태로, 소규모로 미국·캐나다 그리고 유럽에서 재개되었다. 뉴욕의 경우는 터빈엔진 단발로 객석 6개와 소형 SA-360을 사용하여, 맨하탄과 공항 사이를 연결했다. 일본에서도 첫 도시간 헬리콥터의 정기수송으로서 주목받은 시티에어링크가 객석 9개의 벨 412를 이용하여 1988년 6월에 나리타~하네다의 운항을 개시하고, 후에 나리타~하네다~요코하마~나리타의 삼각운항을 형성했지만, 누적적

자가 자본금을 상회했기 때문에 3년 5개월 후인 1991년 11월에 운항을 중지하고 말았다. 계기비행형식의 운항을 할 수 없었기 때문에 취항율이 79%로 낮았고, 낮은 취항율로 인해 탑승율이 약 30%로 떨어졌고 이러한 것이 운항중지에 영향을 끼쳤다. 현재는 동경의 이즈제도간에, 또 효고현의 고베~타지마 공항~유무라 온천~고베에서 헬리콥터의 정기수송이 계속되고 있다. 그러나 전자는 외딴섬의 생활노선으로서, 또 후자는 지방 지역으로의 고속교통기관으로서, 모두 공적자금의 도입에 의해 운항이 유지되고 있다. 취항율의 개선은 금후 계기비행 방식의 도입에 의해 이루어질 전망이다. 과제로서 남겨진 것은 운항비용의 절감이지만 이는 헬리콥터의 기술혁신에 기대할 수 밖에 없을 것 같다.

## II. VTOL

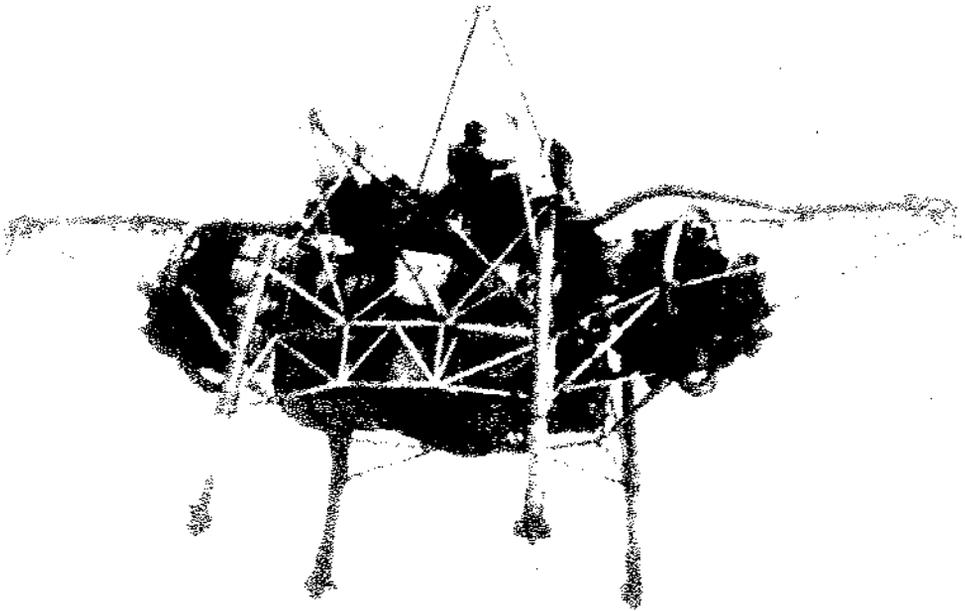
VTOL이라고 하는 것은 vertical takeoff & landing(수직이착륙)의 줄임말이다. 헬리콥터는 틀림없는 VTOL이지만, 이미 실용화되어 있기 때문에 특별취급해서 통상 VTOL에서 헬리콥터를 제외시키고 있다.

앞서 지적했듯이, 경량이면서 상당한 출력의 엔진이 있다면, 날개가 없어도 날아 오를 수 있다. 레시프로·엔진으로는 출력중량비가 작았기 때문에 무리였지만, 소형 경량이면서 힘이 있는 터빈·엔진이 출현하자, 즉시 그것을 이용한 VTOL의 실험이 1950년대에 행해졌다.

1954년에 영국의 롤스로이스사는 플라잉 베드스테드(Flying Bedstead) 라고 칭하고 터보제트에 의한 수직상승 실험을 시작했다. 실험은 일단 성공했으나, 결코 손쉬운 일이 아님을 곧 알 수 있었다. 뜨거운 제트의 분사에 의해 마른 풀에 불이 붙고, 콘크리트도 내부 공기의 급팽창으로 너털너털하게 부서져서 터져 버리고, 말려 올라간 흙먼지를 엔진이 흡입해서 장해를 일으켰다. 지면은 특수처리를 한 콘크리트가 아니면 전디어 낼 수가 없었다(그림-5).

이 베드 스테드 계열의 것은 플랫폼 등의 이름으로 그후에도 개발이 계속되었다. 엔진으로부터의 직접분사가 아니고 로터를 회전시키는 편이 효율이 좋음을 알았고, 또한 로터의 회전에 있어서도 블레이드의 끝에 램·제트를 붙여서 회전시키는 방식까지 출현했지만, 굉장한 굉음이 결점으로 나타나 실용화되지 못했다. 로터를 발 밑에 두는 형식의 것은 몹을 기울이는 것만으로도 그 방향으로의 이동이 가능

## 〈그림-5〉 롤스로이스사의 Flying Bedstead



한 간편함과 지면효과를 이용한 경우의 효율이 좋음이 주목되었지만, 자동차처럼 직진성과 방향조종성은 없고, 흔들거릴 뿐만 아니라 횡풍에 약해서 몸의 경사정도로는 간단히 미끄러져 버리고, 또 격심한 흠먼지가 일고 소음도 심하다고 하는 결점이 극복되지 않고 있었다. 아래쪽으로 향하여 부는 공기의 질량과 속도의 곱과, 그것에 의해 부상하는 기체의 질량과 속도의 곱은 같은 값이기 때문에, 기체질량이 큰 만큼 흠먼지도 심하게 일어나게 된다. 이러한 것은 헬리콥터에서도 마찬가지이나, 헬리콥터는 대량의 공기를 느린 흐름으로 아래쪽으로 향하게 하나 제트엔진의 경우 분사가 직접 내리블기 때문에 더욱 심하게 된다. 제트엔진 대신에 로케트를 사용한 것으로서는 1984년의 LA 올림픽 개회식 때, 많은 관중의 머리위를 뛰어넘어서 놀라게 한 「인간로케트」가 있다. 이 로케트는 과산화수소의 분해로 발생하는 수증기를 분사하는 것이었지만, 지속시간은 겨우 20초 정도 뿐이어서, 실용화하기에는 어차피 무리였다. 결국 VTOR로써 실용화된 것은, 지면효과를 최대한으로 이용했던 호버크래프트(hovercraft)뿐이다.

이것은 기체의 아래 주변에 스커트라 칭하는 덮개를 씌우고 그 안에 엔진으로 팬을 돌려서 공기를 보내주는 것이다. 공기는 스커트의 주변부와 지면 사이의 틈으로 빠져 나가지만, 내보내는 공기량을 빠져 나가는 공기량보다 많게 하면 덮개안의

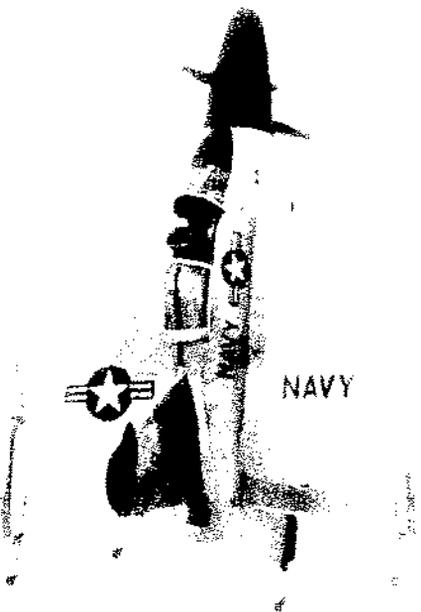
압력이 높아지고, 호버크래프트는 약간이지만 떠오른다. 이것에 별도의 추진용 엔진프로펠러를 붙여 달면, 지면 아주 가까이에서 부양주행이 가능하다. 그러나 육상에서는 완전포장이 아니면 심한 흙먼지를 날리고 또 소음도 굉장하기 때문에 차에 비해서 유리한 점은 발견되지 않는다. 결국 그 이용범위는 수면이나 차가 다닐 수 없는 늪지대 정도일 것이다.

1968년에 영국의 도버와 프랑스의 카레이를 잇는 영·불 해협 횡단 페리에 차 32대, 승객 254명을 실을 수 있는 대형 호버크래프트가 취항했다. 해상에서는 앞에 언급한 결점이 그다지 문제가 되지 않는다는 점과, 선체가 크면 클수록 부상효율이 좋아지기 때문이다. 일본에서도 1988년에 세토대교가 개통되기 이전의 우노와 다카마쓰의 사이에 66인 탑승의 JR의 호버크래프트가 취항하여, 배로 1시간 걸리는 곳을 23분에 도착할 수 있게 했다. 지면 효과의 도움을 받지 않는 유형의 VTOL의 선구자는, 콘베어 XFY-1(그림-6)로, 터보 프로펠라의 엔진을 5850마력의 강력한 것을 채용해서 기체를 수직으로 상승시켰다. 록히드社도 같은 식의 XFY-1을 시험제작해서 비행했으나, 2년도 지나지 않은 1956년 1월에 양사 모두 개발을 중단하고 말았다. 우주로켓처럼 수직으로 이륙하는 것은 좋다고 하더라도, 착륙시 꼬리를 밑으로 해서 완만하게 하강하는것은 어렵고, 이착륙 속도가 느

릴때는 방향타가 잘 들지 않기 때문에 바람을 받으면 위험하고, 또 조종사는 옆으로 누운 자세로 조종하기 때문에 통제를 어렵게 했다.

이 형태의 것은 그후에도 개발되지 않고 포기하고 만 것 같다. 비행기는 부상하기 위해서 항상 실속속도 이상의 스피드를 유지해야 하고, 이착륙시에 넓고 긴 활주로를 필요로 하지만 그대신에 엔진 추진력은 기체중량의 약 1/10 정도면 충분하다. VTOL의 경우는 공중정지(hovering)나 수직상승·하강이라는 커다란 이점이 있는 반면, 중량과 같은 무게의 추진력을 윗방향으로 발생시켜야 하기 때문에,

〈그림-6〉 콘베어 XFY-1



당연히 추력이 훨씬 큰 엔진을 필요로 하며, 연료효율면에서 매우 비효율적이다. 이러한 힘을 수직상승에 효과적으로 이용하려면 로터의 회전면이 커야 한다. 즉 같은 힘을 얻음에 있어서도 공기의 질량×속도 중, 질량을 크게 하고 속도를 작게 할 수록 효율은 좋아진다. 헬리콥터가 수직이착륙에 성공하고 있는 것은 그 때문이다.

로터는 큰 쪽이 좋다고는 하나, 길이에겐 자연히 제한이 있어서, 현행 헬리콥터에서는 로터의 직경이 소형은 10m, 대형은 20m 정도이다. 또 로터의 끝부분 속도가 음속에 가깝게 되면 공기저항이 급증하기 때문에 회전속도를 억제하는 것도 필요하여, 결국 로터는 커진 만큼 천천히 회전시키게 된다. 헬리콥터의 약점은 이 큰 로터 때문에 전진속도에 제한을 받고, 시속 300km 이상의 속도를 내는 것에 어려운 점이 있다. 따라서 헬리콥터 이외의 VTOL의 존재의의는 전진속도 300km/h의 타개에 있다고 할 수 있다.

### Ⅲ. VTOL 실용성공 예

헬리콥터와 호버크래프트를 제외하면, 이제까지 VTOL로 실용화된 것은 유명한 영국공군의 Harrier전투기 정도이다(그림-7). 그러나 그 용도는 어디까지나 군용으로써, 민간용으로는 이것에 상당하는 것이 아직 없다. Harrier는 공중정지나 수직상승·하강을 할 수 있는 것외에 순항에서는 비행기와 마찬가지로 날개를 충분히 활용할 수가 있다. 영국의 호커·시드레이社가 1960년경부터 개발을 시작하고, 롤스로이스의 터보팬·엔진 페가서스(Pegasus)의 전단계 팬으로부터의 압축공기를 전방좌우 두곳의 전향 노즐에서 내뿜고, 또 엔진 후부로부터의 분류제트를 후방좌우 두곳의 전향 노즐에서 배출해서, 수직상승·하강시키는데 성공했다. 노즐의 방향을 바꿈으로써 VTOL뿐 아니라 STOL도 할 수 있고, 수평비행시는 노즐을 후방으로 돌린다. VTOL중 기체의 방향안정이나 자세의 유지를 위해서는 저속으로는 방향타가 잘 듣지 않기 때문에, 날개끝과 동체의 전후단에 설치한 작은 노즐로부터 제트를 내뿜어서 행해야 한다. Harrier의 전시(데모)비행에서는 공중정지를 해서 관객을 향해 인사를 하기도 하는데, 이러한 것은 유량과 방향조정 노즐의 조작에 의한 것이었다. Harrier는 VTOL이 가능하지만, 이것은 전투기로서의 행동반경에도 큰 영향을 미칠만큼 대량의 연료가 소비된다. 이 때문에 통상은 STOL의 사용법을 구사하고 VTOL의 기능은 긴급시를 위해 남겨둔다고 하는 운

### 〈그림-7〉 중무장한 Harrier 전투기

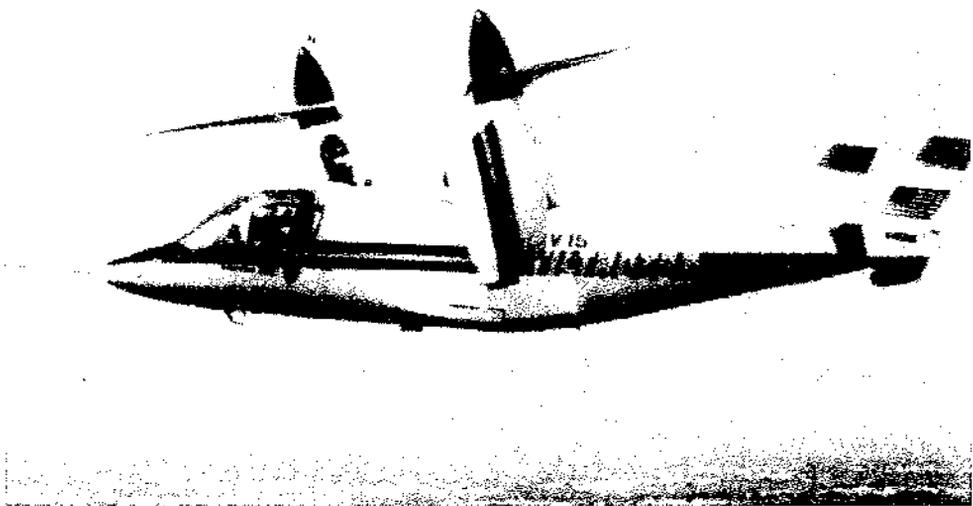


용을 하고 있다.

Harrier의 첫비행은 1966년 8월이었지만 그 후, 영국, 미국, 독일의 공군은 실험기로 구입해서 실용평가시험을 되풀이 했다. 그중에서도 영국공군은 특히 힘을 쏟아, 직접지상지원용 V/STOL기로써 Harrier를 채용했다. Harrier는 초음속 전투기는 아니지만, 1982년 포크랜드 분쟁에서 활약하여 세계의 주목을 받았다. 영국은 재정곤란 때문에 대형항공모함을 서둘러 퇴역시키고 있었기 때문에, 아르헨티나군에 의해 섬이 점령당했을 때는 소형 STOL 항공모함 밖에 없었다. 멀리 떨어진 남미의 끝, 남극에 가까운 포크랜드에 영국은 기동부대를 파견했지만, 짧은 스틸·텍의 활주로 끝에 높이 약 7m·각도 약 15°의 점프대를 설치해서 Harrier를 이륙시켰다. 지금도 영국공군과 해군, 미해병대(제식명 AV-8A, 8B), 스페인 해군에서 사용되고 있고, 이탈리아 해군도 새로 도입했다. 미국의 것은 백도날·더글라스에서 대량으로 허가생산되었다. 일찍이 소련은 Harrier와 유사한 VTOL 전투기 Yak-36(NATO 코드명 Forger)을 1967년에 첫비행시켰지만, 이것은 주엔진 외에 리프트용으로 2기, 합계 3기의 엔진을 이용하는 것이었다. 그 때문에 엔진 1기로 모든 것을 조달하는 Harrier와 비교해서 구조가 복잡하고, 페이로드도 적고 성능적으로도 불만족스러웠던 때문인지, 80기 정도의 소량생산으로 끝난 것 같다. VTOL 기재의 기체중량당 수송비용은 날개를 사용하는 유형의 것이라도 통상 같은 급 수송기의 4배나 된다고 하는 설이 있다. 페이로드 당 비용으로 하면, VTOL기는 값이 더 비싸게 된다. 1962년에 5기의 시험제작기가 만들어진 LTV사의 XC-142는, 4발의 터보 프로펠러를 주날개와 함께 90° 상방향으로 회전시킨 대형 VTOL로, 기술적으로는 거의 성공했음에도 불구하고 비용이나 북

잡함에 비해 수송능력이 낮기 때문에, 결국은 도입되지 않았다. XC-142의 엔진은 2850 마력의 T-64 터보 프로펠라 4기이기 때문에, 총출력이 YS기의 약 2배나 되지만, 최대이륙중량은 YS-11보다 작았다. 가장 중요한 페이로드의 경우는 겨우 3.63톤과 YS-11의 절반으로, 평범한 대형 헬리콥터보다 작았다. 게다가 수직상승·하강중에는, 꼬리날개와 보조날개를 움직여도 수평비행때처럼은 효과가 없기 때문에, 조종용의 작은 제트엔진을 필요로 하고, 한쪽의 엔진이 정지해도 좌우 균형이 무너져서 기체가 전복하는 일이 없도록 모든 엔진과 프로펠라를 결합하는 샤프트를 연결할 필요가 있었다. 결국 VTOL 수송기의 페이로드 당 비용은 동급의 통상용 수송기의 약 8배라는 수치가 나왔다. 날개를 기체에 고정시키고 엔진과 프로펠라만이 수직으로 방향을 바꾼 티루트·로터 형식이 다음으로 개발·연구의 대상이 되었다. 1963~64년에 서독과 미국에서 실험기의 비행에 성공했지만, 이것은 그후 호지부지되고 말았다. 잠시 사이를 두고, 미국의 보잉과 벨 양사가 공동개발한 XV-15 Osprey가 1979년에 첫비행을 하고, 이후 15년 이상에 걸쳐서 시험이 계속되고 있다(그림-8).

〈그림-8〉 보잉과 벨 양사가 공동개발한 XV-15 Osprey



헬리콥터 부분에서 지적한 바와 같이, 로터는 직경이 클수록 효율이 좋기 때문에 쌍발이고 로터가 큰 XV-15쪽이 4발의 XC-142보다 효율면에서는 뛰어나다. 큰 로터임에도 불구하고 수평속도는 통상 헬리콥터 2배에 이르는 시속 400km 정

도를 낼 수 있고, 연비, 진동, 소음 등도 헬리콥터보다 적다고 한다. 그러나 그 이후 별다른 진전도 없고, 예산삭감 등의 이유로 담보 상태에 머물고 있다. 하지만 근래에 들어 군으로부터의 강한 요망으로 인해 실용화의 전망은 밝다고 하겠다.

#### IV. STOL

이처럼 VTOL에 의한 수송은 비용면에서 어려움을 겪고 있다. 헬리콥터를 이용한 경우도 앞서 언급한 바와 같이 비용면에서 역시 큰 부담이 되고 있어서, 운임이 비싸서 수송수요가 전혀 늘지 않는다고 하는 또 하나의 과제를 안고 있다. 그러나 보통의 비행기가 긴 활주로를 필요로 하고, 이를 위해 광대한 토지의 취득에 고액의 자본투자를 한다는 점을 생각한다면, 그 중간의 타당한 해결책을 찾는것도 자연스러운 결과일 것이다.

Harrier 의 예로 알 수 있듯이, 조금이라도 수평으로 활주시켜서 날개에 양력을 생기게 하면, 수직으로 상승하는 경우와 비교해서 엔진의 연비는 현격히 개선된다. 그 때문에 페이로드나 경제성을 그다지 희생시키지 않는 범위에서 이착륙 활주거리를 단축시키고, 또 이착륙 속도의 저하도 꼬리날개나 보조날개가 효과가 있는 속도에서 멈추는 STOL(Short Take Off and Landing, 단거리 이착륙)이 고안되었다.

VTOL이 수직이착륙과 단순명쾌한 것에 반해, STOL에 대한 명확한 정의는 없다. 상식적으로는 보통 비행기의 이륙활주로 길이에 비해서 훨씬 짧은 활주로에서도 이착륙 가능한 비행기라는 점이다.

STOL은 다음의 두 종류로 크게 나뉘는데, 이제까지 성공한 것은 (A)형이고,

〈표-1〉 STOL의 유형

A형	날개면적을 크게 해서 날개 앞테두리, 뒷테두리의 고양력장치를 강화하고, 그 위에 엔진을 강력하게 한 것
B형	1. 파워 · 리프트(powerd lift)를 이용한 것, 예로서는 터보 프로펠라 4발로 1961년 첫비행의 블레케이-940 실험기, 67년 첫비행의 941 수송기(4기제조) 2. 경계층 제어(boundary layer control)를 이용한 것

(B)형으로는 몇개인가의 실험기가 만들어졌으나, 실용화된 것은 우크라이나의 앙트노프 An-74 정도이다(표-1).

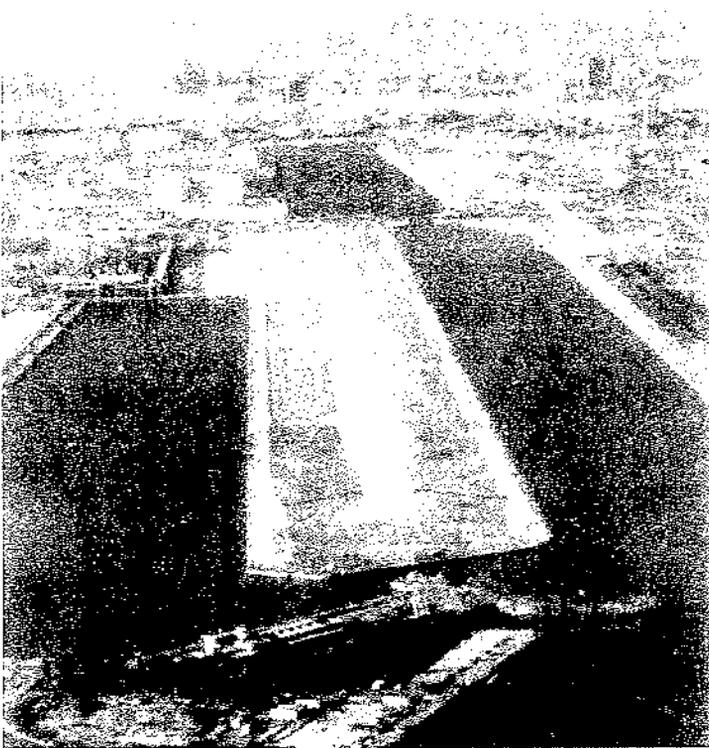
STOL의 존재를 세계에 인지도시켰던 것은, 제2차 대전 말기 무렵 이탈리아의 산장에 유폐되어 있던 무솔리니 전 수상을 구출시킨 독일의 피젤러 Fi-158 Storch(슈트르히) 연락기였다. 이 연락기는 전(全)스팬에 걸친 앞가장자리의 고정식 슬롯트와 뒷가장자리의 스로테드·플랩을 이용하여, 무풍상태에서도 이륙에는 75m 길이의 테니스 코트 정도의 빈터에서 발진할 수 있었다라는 것이다. 오늘날에는 헬리콥터를 사용하는 것이 당연한 일이지만, 그 당시는 아직 실용화 되기 이전이고, 포케·아하게리스의 헬리콥터도 실용실험 단계에 있었다. 피젤러·슈트르히는 고양력 장치뿐만 아니라, 주날개 면적이 26.0㎡, 엔진출력 240 hp라고 하는 상태로, 자체 무게가 930kg 정도인 경비행기로서는 큰 주날개와 대출력 엔진을 갖추고 있었다. 데하비랜드·캐나다 사는 1947년에 자사설계의 단발 DHC-2 Beaver를 선보인 이래, STOL기를 주력상품으로 내세워 왔다. 육상교통이 불편한 광대한 육지를 끼고 있는 캐나다에서는, 그러한 STOL기의 수요가 크기 때문이다. 1951년에는 Beaver와 같은 단발의 DHC-3 Otter, 1958년에는 군용 쌍발 DHC-4A Caribou, 1964년에는 같은 군용으로 성능향상형인 DHC-5 Buffalo 등 연달아 STOL기를 제조했다. 그리고 1965년 5월 20일에는 커뮤터기로서 세계적으로 넓게 사용하게 된 쌍발의 DHC-6 Twin Otter가 첫비행을 했다. P&W(UAC)PT 6A-20 터보 프로펠라 579 마력 2기를 장비한 DHC-6 Twin Otter는 객석수가 19~20개로서, 380~580m의 활주로가 있으면 이착륙이 가능했다. (최대착륙 활주로 길이는 608m)

DHC-6의 최대이륙중량은 5.67ton이고, 같은 중량급의 쌍발 소형수송기가 1200~1300m의 활주로 길이를 필요로 하고 있는 것과 비교하면, 확실히 STOL 성능을 구비하고 있었다. 1975년에 객석수 50석에 최대이륙중량 19.56ton의 4발 터보 프로펠라기 DHC-7을, 그리고 1983년에는 그것보다 소형으로 객석수 37석, 최대이륙중량 15.65ton의 쌍발 터보 프로펠라기 DHC-8을, 데하비랜드·캐나다 사는 각각 선보였다. 어느것이나 중량이 비슷한 다른 기종보다도 활주로 길이는 300m 이상 짧아도 된다는 특별한 장점이 있었다. 양기 모두 스펠의 80%, 코드의 30%에 이르는 플랩을 날개 뒤 가장자리에 설치하고, 또 엔진의 출력을 통상 비행기보다 강하게 했다. 플랩의 대형화와 더불어, 보조날개의 면적이 작아졌기 때문에 유압구동의 스폐일러를 갖추고, 저속시의 조종성 확보를 꾀하고 있다. STOL 공항

으로서 유명해진 것은 템즈강의 도크 철거지에 만들어진 런던·시티 공항이다. 1987년 10월에 개항된 런던·시티 공항은 템즈강의 부두를 이용한 것으로 활주로 길이는 당초 762m였다. 이 정도 길이의 활주로는 일본에서도 거리가 좀 떨어진 섬에서 볼 수 있는데, 여기에서 사용된 기종은 Islander(객석 9석), Normad(객석 15석), 그리고 제일 대형으로 DHC-6(객석 19석) 밖에 없다.

그러나 런던·시티 공항에서는 앞에 적은 DHC-7(객석 50)이 착륙진입각도를

〈그림-9〉 런던·시티 공항과 BAe-146



통상 3°보다 훨씬 깊은 7.5°로 해서 STOL성능을 충분히 살려서 취항하고, 파리나 암스테르담 등으로 국제선이 개설되었다. 그 후, 활주로를 1199m로 연장하여 착륙진입각도를 낮게 5.5°로 개선하고, 1992년부터는 4발 제트 BAe-146이 취리히, 프랑크푸르트 및 더블린 노선에 취항했다(그림-9).

STOL 성능이 부족한 보통 비행기(기종)의 경우, 이 길이의 활주로는 기껏해야 64석의 YS-11가 고작이고, 일본에

서는 제트 수송기가 이착륙한 사례는 없다. 이 런던·시티 공항의 승객수는 제트기의 도입으로 인해 1991년의 17만명에서 1994년에는 40만명으로 증가했다.

## V. V/STOL의 미래전망

V/STOL기의 종류를 방식별로 분류하면 ①기체경사방식 ②추력변향방식 ③복합추진방식으로 나눌 수 있다(그림-10).

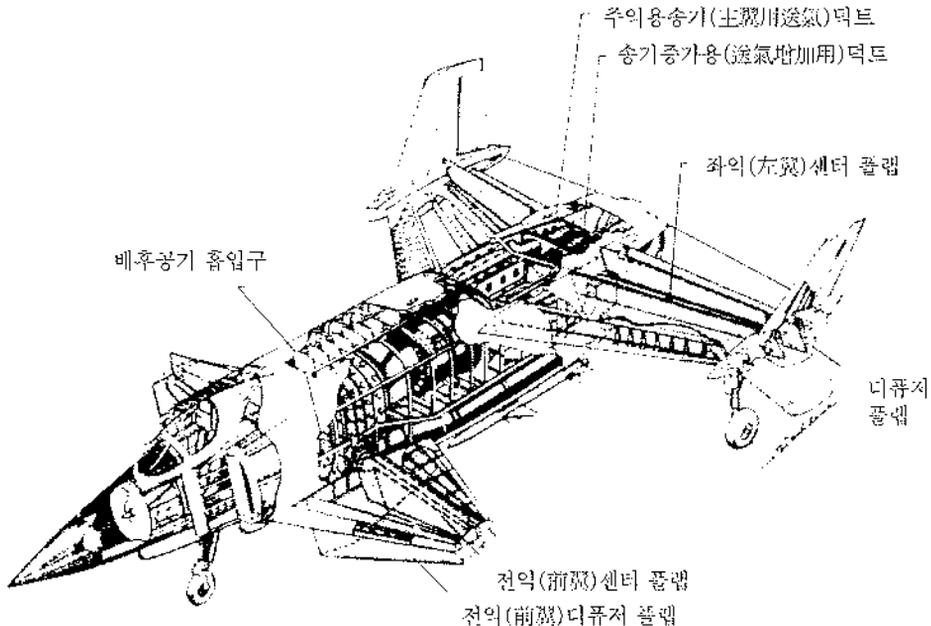
〈그림-10〉 V/STOL기의 유형

		(Ⅰ)로터	(Ⅱ)프로펠러	(Ⅲ)덕트팬	(Ⅳ)터보제트
1. 복합추진방식					
2. 추력변향방식	a. 추력전향형				
	b. 후류편향형				
3. 기체경사방식	a. 테일실티터형				
	b. 플랫폼형				
	c. 지프형				

기체경사방식은 이미 포기된 방식임에 비해 복합추진방식과 추력변향방식은 각국에서 희망을 갖고 연구개발 중이다. 특히 V/STOL이면서도 초음속기는 현재로서는 어느 방식에도 없는 상태이다. 따라서 V/STOL기에 대한 미래의 요구는 당연히 초음속기의 성공에 관한 것이다. 좁은 장소에서 이착륙이 가능하고 초음속으로 비행할 수 있는 V/STOL이야말로 가장 바람직하기 때문이다. 하지만 오늘날 세계에서는 그런 실례는 찾아볼 수 없다. 왜냐하면 V/STOL이 가능하도록 리프트용 제트엔진을 부착하면 수평비행을 할 때는 불필요한 사(死)하중이 많아지기도

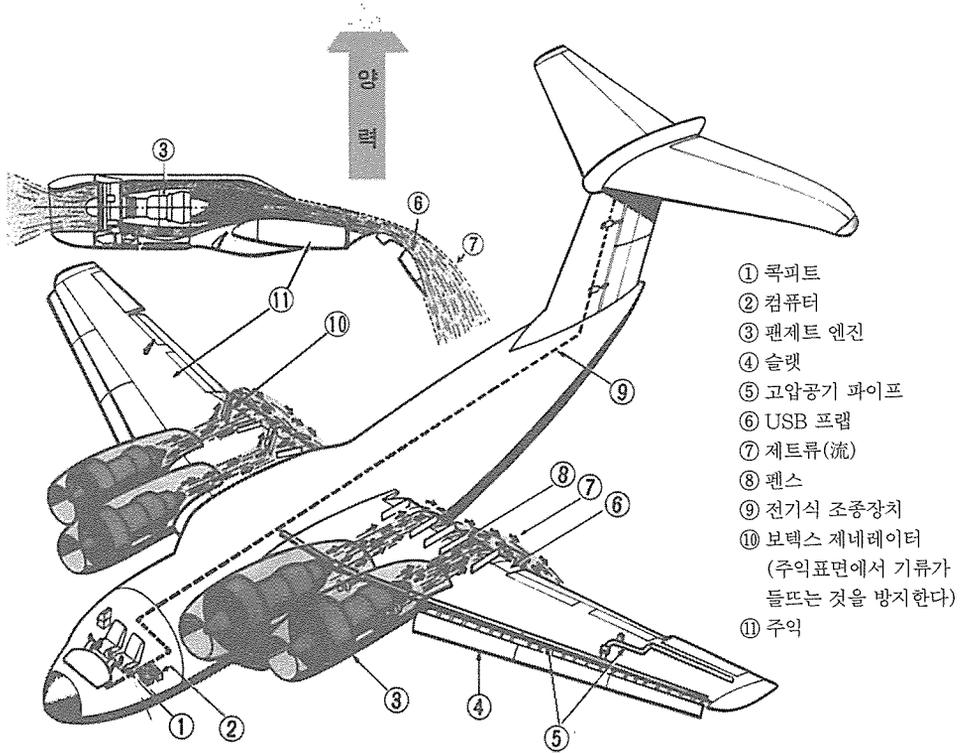
하고, 추력 변향형과 같은 경우는 제트엔진의 흡·배기의 직선적 흐름에 흡을 주거나 기체형상적으로 무리가 따르게 된다. 또한 VTOL화를 위한 여분의 장치도 필요하게 된다. 다시 말하면 초음속 비행에 불필요한 장치 때문에 초음속 비행의 최대 조건인 공기저항을 최소화 하는 기체가 될 수 없다는 것이다. 따라서 VTOL용 기구를 간단히 하여 처음부터 초음속기로 설계하고자 하는 시도가 있어 왔다. 미국의 로크웰 XFV-12A는 <그림-11> 수평비행용 제트 분류를 하방으로 분출하는 추력 변향방식인데 이 비행기는 미래의 초음속 VTOL기를 겨냥하여 제작되었으나 초기 테스트는 부양력 부족으로 실패하고 말았다.

<그림-11> 로크웰 XFV-12A

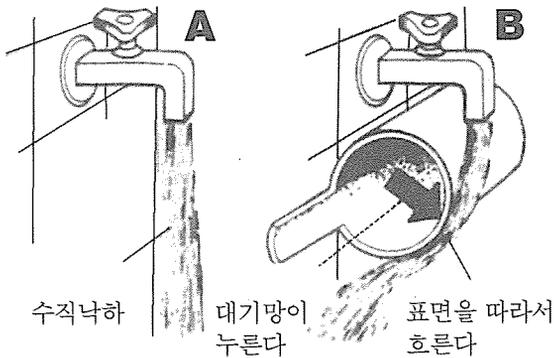


한편 그라만社는 너트 크래키라는 V/STOL기를 제작하였다. 이 비행기는 기체의 후반분을 꺾어 좌우에 있는 각각의 제트엔진을 90° 까지 구부리게 하는 회귀한 구조를 갖고 있다. 이 비행기는 전동식 미익을 엔진 배기구 안에 갖고 있기 때문에 VTOL시는 호버링 상태에서 미익을 움직이면 수평방향으로도 이동할 수 있다는 것이 큰 장점이다. 현단계에서는 프로펠라엔진을 사용하고 있지만 미래에는 제트엔진을 채용할 예정이다. 그라만社에서는 2기의 모형을 만들어 그 시험을 성공리에 끝냈다. 장차 제트엔진 착용이 실용화 되면 초음속의 VTOL이 가능할 지도 모

<그림-12> STOL 시험기 해부도



수도의 물에 의한 유체의 원리도



른다.

단거리 이착륙이 가능한 STOL의 경우 현재 USB 방식(Upper Surface Blowing)을 이용한 미래의 제트 STOL이 준비되고 있다.

USB 방식이란 물이든 공기든 기체는 유속이 증가할수록 분자간의 거리가 멀어지게 되어 밀도가 희박해지기 때문

에 압력이 줄고 주위의 공기가 그곳으로 향하여 밀려오게 된다. 이때 기체의 옆에 板과 같은 물체가 있으면 그 물체도 공기에 의해 밀리게 됨과 동시에 유체 그 자체

도 물체 표면에 달라붙게 된다(그림-12).

이러한 원리를 이용하여 미래의 STOL기는 제트엔진을 주익의 상단면에 설치하면 제트엔진에서 도해내는 제트분류는 날개와 플랩이 직각에 가까운 활을 그리고 있어도 정확하게 그 활을 따라 흐른 결과 플랩 내측의 대기압이 날개를 상방으로 밀어 올리게 된다. 이를 <그림-12>에 비유하면 수도의 물은 제트 분류이며 물통의 표면은 날개와 플랩이 된다.

기체가 활주를 개시하면 그 압력도 증가되기 때문에, 플랩 내측에 포용된 압력은 다시 큰 양력을 발생하여 기체를 가볍게 밀어 올려 단거리에서의 이륙이 가능하게 된다. 이런 방식은 종래의 플랩 방식에 비하여 2~3배의 양력이 발생한다고 한다. 하지만 문제는 제트 분류가 고온이기 때문에 고온가스가 흐르는 날개와 플랩 윗면은 내열구조로 하지 않으면 안된다는 것이다. 그 때문에 주익 윗면에는 하니컴 구조의 단열복합재, 플랩에는 내열, 내음, 대(對)피로의 복합재를 사용해야 한다. 또한 소음감소를 위해 엔진나셀 내측에는 흡음재를 사용해야 할 것이다.

이러한 미래의 STOL기의 출현은 현재의 제트수송기보다 50~70%의 짧은 활주로에서도 이착륙이 가능하게 되어 여객, 군사용 등에 널리 실용화될 것으로 기대된다. 이 비행기는 엔진이 주익 위에 있기 때문에 배기소음 대부분이 상방으로 방출되어 비행기의 저소음도 실현될 수 있을 것이다.

#### [참고문헌]

삼성항공, 비행기 메카니즘도감, 1992

R.Z.G. Davies, *Airlines of the United States Since 1914*, Putnam

Frank Howard and Bill Gunston, *The Conquest of the Air*, Paul Elek Ltd.

John W.R. Taylor and Kenneth Munson, *History of Aviation*, Crown Publishers, Inc.

朝日新聞社, 航空 70年史, 上下卷

吉川 康夫, 航空の世紀, 技報堂出版