THEME 04

자율비행기술

탁 민 제 | KAIST 항공우주공학과, 교수 | e-mail : mjtahk@fdcl.kaist.ac.kr

자율비행기술은 무인기 개발에 소요되는 형상설계기술, 공력설계기술, 비행제어기술 등의 연구를 기반으로 무인기 시스템의 운용을 가능하게 하는 기술이다. 이 글에서는 대표적 형태인 Multi-Rotor 방식, Ring-Wing 방식, Tail Sitter 방식의 비행체 및 영상인지 자동이착륙 기술에 대해 알아보도록 한다.

무인화특화센터에서 연구 중인 자율비행기술은 21세기 미래 전투 환경에서 야전 및 시가전에 투입되는 소대의 전술 운용에 적합한 소대급 무인기인 Class 1 UAV를 대상으로 하고 있다. 소형 무인비행체는 해외에서도 활발히 연구되고 있는데 그 중 좋은 예로서 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)에서 1996년에 발표한 초소형 비행체 개발에 대한 향후 개발 계획에 의하면 초소형 비행체는 개인 휴대품으로 취급할 정도로 크기가 작아야 하고, 원격 조종이 가능하여 간단한 훈련만으로 운용이 가능해야 하며, 군사작전과 같이 경우에 따라 제한된 지역을 비행하면서 영상정보 등을 수집하여 송신할 수 있는 기능을 지니고 있어야 한다. 해외의 경우를 살펴보면 미국이나 일본 등 항공 선진국을 중심으로 국지 정찰 및 감시 등의 목적으로 초소형 비행체에 대한 활발한 연구 및 개발을 통해 여러 가지 형태의 비행체에 대한 시험 비행에 성공함으로써 소형 비행체의 비행 가능성을 검증하였지만, 현재까지는 실용화된 경우가 없는 것으로 알려졌다. 초소형 비행체가 실용화되면 교통 및 환경 감시, 대기 오염 측정, 재해지역의 생존자 확인 등과 같은 분야에서 그 활용 범위가 매우 광범위 하다. 특히 주목되고 있는 분야는 군사적 용도로서 미래의 전투 환경에서 빈번히 발행하게 될 시가전이나 교외전에서의 정찰임무에 있다. 그림 1은 미래 시가전에서 초소형 무인기의 전형적인 활용 예를 도시한 것으로, 군인 개개인이 초소형 비행체와 컴퓨터를 간단하게 휴대하고 다니면서 필요에 따라 제한된 지역을 정찰하고 화학, 생물학 및 방사능 오염도 등을 측정하여 이에 대한 영상 및 탐지 정보를 실시간으로 수신함으로써 적진의 상황 파악을 용이하게 함과 동시에 더욱 효과적인 공격이 가능하게 된다. 이와 같은 운용 목적을 성공적으로 달성하기 위해서는 도심 지역의 좁은 골목이나 건물과 건물 사이를 비행한 후, 고층 건물의 옥상 모서리나 발코니

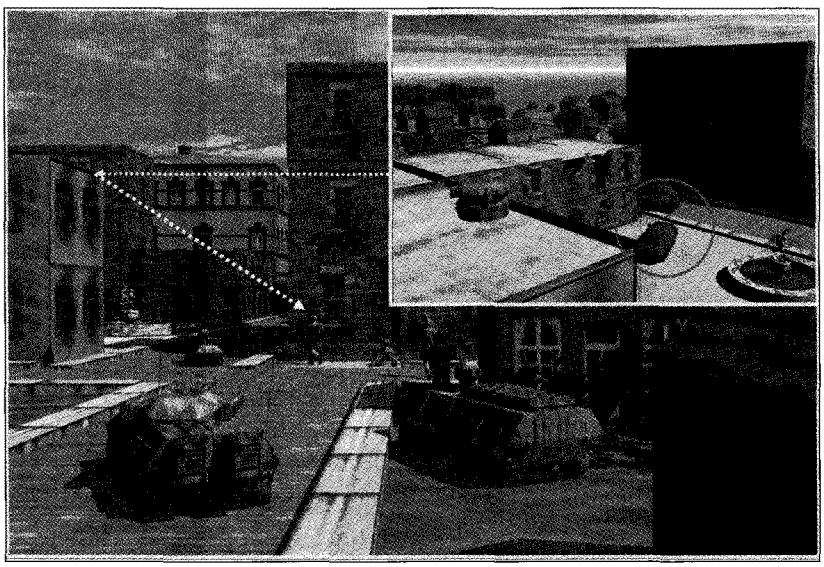

그림 1 미래 시가전에서의 초소형 자율 비행 무인기의 활용 예

에 착륙하여 관심지역에 대한 영상 및 탐지 정보를 비교적 장시간에 걸쳐 안정적으로 송신해야 한다. 고층 건물의 옥상이나 발코니와 같은 협소한 장소에 이·착륙이 가능하기 위해서는 기존의 고정익 형태를 갖는 무인기보다는 수직 이·착륙이 가능한 새로운 개념의 비행체의 설계 필요성이 대두된다.

국내에서는 다양한 형태의 초소형 비행체(MAV: Micro Air Vehicle) 가운데 소대급 전술 운용에 적합하도록 수직 이착륙이 가능하면서도 정지비행 효율이 높고 빠른 순항속도를 갖는 소형 무인기 개발을 목표로 하고 있다. Multi-Rotor 방식, Ring-Wing 방식, Tail Sitter 방식의 비행체 및 생체모방 비행체를 기본형상으로 설정 후 풍동 시험이나 전산수치 해석을 통해 각 비행체의 공력계수를 추출하고 이를 기반으로 공력특성 및 비행성 분석을 실시하여 설계의 타당성을 확인한 후 이를 기반으로 무인기를 제작하는 방식으로 진행되고 있다. 수직이착륙 모드뿐만 아니라 순항비행 모드와 이들 비행 모드 간의 전이 과정인 천이비행 모드 등의 다양한 비행 모드가 존재하기 때문에 다중모드 비행 방식에 따른 새로운 비행제어 설계 기법에 관한 연구 역시 진행되고 있다. 이러한 비행체들이 협소한 지역에서 안전하게 이착륙이 가능하도록 돕는 영상인지 기반의 자동 이착륙 기술구현에 관한 연구도 병행되고 있다. 이와 같은 일련의 과정을 거쳐 설계된 각 비행체에 대한 자율비행 시스템은 실제 비행 시험을 통해 대상 비행체의 비행성 및 조종성은 물론 각 무인기 시스템에 대한 운용 가능성을 확인하게 된다. 다음은 각 초소형 비행체의 개요 및 현재 진행되고 있는 연구내용에 대한 소개이다.

Multi-Rotor 방식 비행체

비행체가 도심지역과 같이 밀집해 있는 건물들 사이에서도 공간의 제한을 받지 않고 필요한 영상 정보를 획득하기 위해서는 소형의 수직 이착륙이 가능한 형태의 비행체가 가장 적합하다. 하지만 일반 헬기형 비행체는 수직이착륙이 가능하지만 로터의 반 토크 감쇄 문제로 소형화가 어렵다는 단점을 지니고 있기 때문에 일반 헬기형 비행체의 단점을 보완할 수 있는 Multi-Rotor 방식 무인항공기가 소형의 수직 이착륙 비행체로 정찰임무에 적합한 것으로 판단되고 있다. Multi-Rotor 방식 무인항공기의 최대 장점은 로터의 반 토크 감쇄가 가능하므로 비행체를 소형화할 수 있을 뿐만 아니라 다수의 로터로 비행체를 제어하기 때문에 swash plate 등과 같은 추가적인 메커니즘을 필요로 하지 않는 데 있다. 이러한 비행체는 제한된 공간에서의 다양한 군사작전 수행을 가능하게 할 뿐만 아니라 재난감시, 인명구조, 교통감시 등의 민간 분야에서도 활용될 수 있어 그 효율성이 매우 높을 것으로 기대된다. Multi-Rotor 방식의 비행체는 로터의 수에 따라 많은 종류로 나눌 수 있는데 그 중 가장 많이 연구되고 있는 방식은 4개의 로터를 지닌 쿼드-로터 방식이다. 쿼드-로터 방식 비행체 형상은 그림 2에 나와 있다.

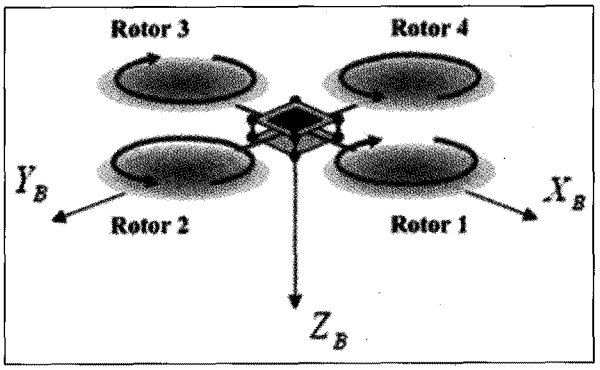

그림 2 쿼드-로터 무인항공기 모델

Multi-Rotor 무인항공기의 공기 역학 해석을 위해서 Blade Element Theory를 이용한 해석적 방법의 수치기법, 단일 로터의 공력 특성 연구를 위한 전산 유체역학적 수치해석 기법, 다수 로터의 공력특성 연구를 위한 전산 유체역학적 수치해석 기법, 로터의 공력특성 연구를 위한 실험적 기법 등이 연구되고 있다.

Ring-Wing 방식 비행체

소규모 부대의 원활한 작전수행을 지원할 수 있는

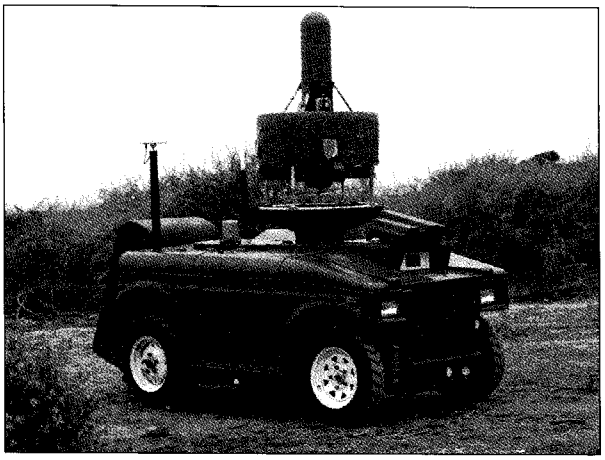

그림 3 UGV와 Ring-Wing방식 무인기

혁신적 기능의 Ring-Wing 방식 무인항공기를 개발하고, 그 성능을 비행시험을 통하여 확인하는 것이 과제의 목표이다. Ring-Wing 방식 비행체는 소규모 부대의 생존성을 높이기 위해서 전장상황에 대한 고도의 실시간 정보전송과, 야전 상황에서 항시 작전이 가능하도록 수직 이착륙 기능, 순항 및 장시간 정찰감시 기능이 요구된다. 그림 3은 Ring-Wing 방식의 비행체가 UGV(Unmanned Ground Vehicle)에 장착되어 운용되는 장면을 보여주고 있으며, 이를 통해 시가전 등에서 소규모 작전을 수행하는 부대원에게 건물 뒤편, 골목 안 및 지붕 위 등과 같은 사각지역에 대한 영상정보를 비교적 장시간 제공할 수 있다.

Ring-Wing 방식의 무인기는 Family형으로 크기에 따라 개발이 가능한데, 큰 사이즈의 무인기는 수직이착륙 기능을 보유하고 있으므로 활주로가 용이하지 않은 함상에서 효과적으로 사용될 수도 있으며, 이러한 운용방식을 그림 4에서 보여주고 있다.

Ring-Wing 방식의 비행체는 운용이 용이하고 길이 방향으로 돌출된 부분이 없어 휴대가 간편하다. 또한 덕트의 효과로 인해 공기역학적으로 더 큰 양력의 발생으로 수직 호버링 모드에서의 추력특성이 우수하다. Ring-Wing이 가지는 수직이착륙 기능으로 운용시 활주로가 필요없다는 점에서는 항시 이동하면서 전투를 수행하는 소규모 부대에게 적합하고, 건물옥상 등지에 착륙하여 적정을 정찰함으로써 수직이착륙 비행체의 호버링에 따른 과도한 연료소모를 원천적으로 제거할 수 있다는 점에서, 가히 획기적인 운용개념의 비행체라고 할 수 있다. Ring-Wing 방식의 비행체는 동적으로 불안정하고 조종성 확보를 위한 공력면의 배치가 중요하다. 동적 불안정성은 수직이착륙형 비행체의 고유한 특성이나, 비행자세, 속도 및 고도제어를 수행하는 비행제어시스템의 적용을 통해 극복 가능하다. 따라서 최대한 비행안정성 및 조종성을 확보하면서 비행성능을 극대화할 수 있는 효율적인 비행체의 형상설계와 다양한 임무수행을 위한 비행제어 시스템의 설계가 중요하다.

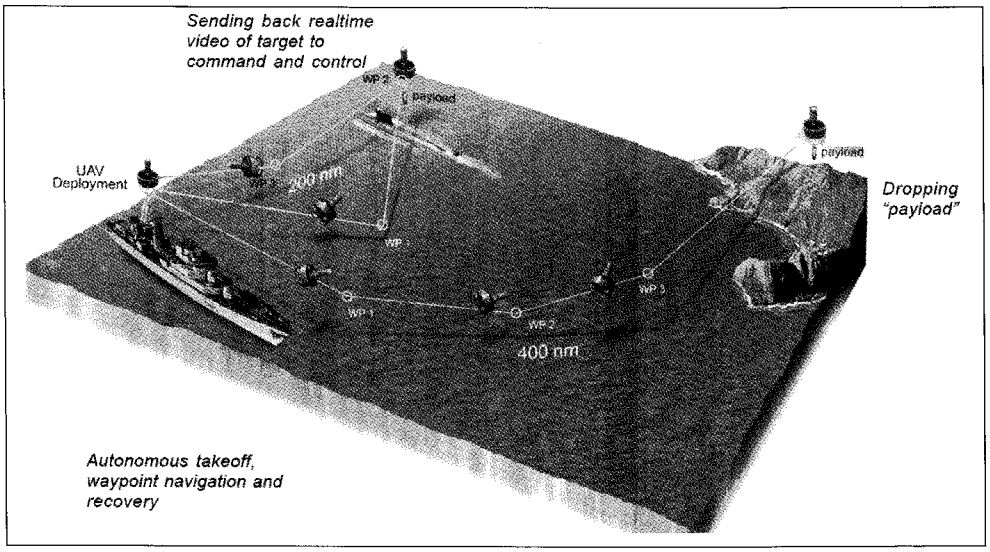

그림 4 A Deck Operation of a Ring-Wing Type UAV

생체모방 비행체

최근 들어 생명체들의 운동방식을 모방 및 응용하려는 연구(Bio-mimetic research)들이 많이 수행되고 있으며, 생물학적 비행체들에 대한 모방연구 또한 활발히 진행중에 있다. 날갯짓

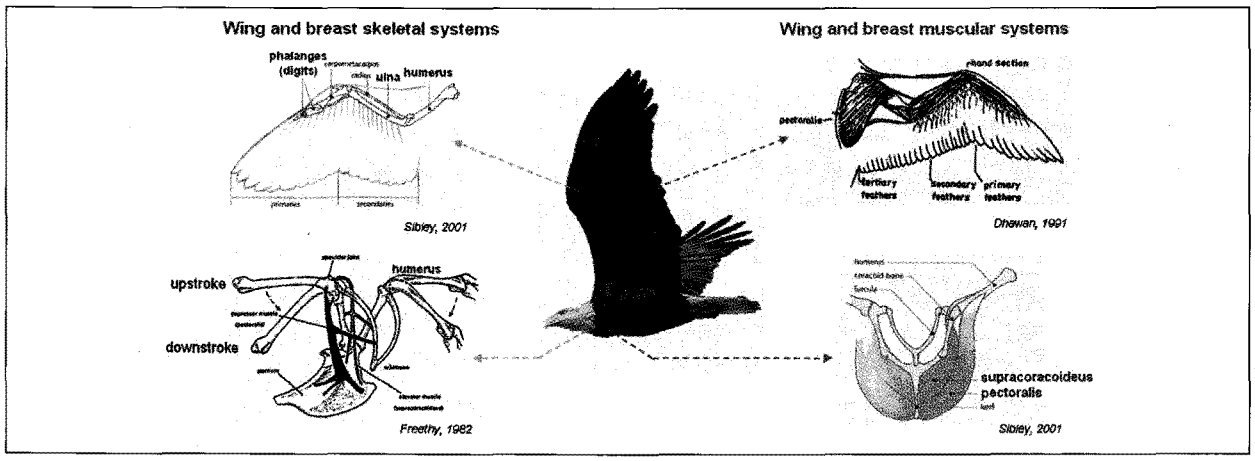

그림 5 생체 모방

비행체에 대한 연구는 수십 년 전부터 시작되었으나 단순한 구조모델 수립과 기본적인 공기역학적 해석 등이 수행되었고, 최근 군사기술 및 첨단기술들의 발전과 함께 세부적 연구가 시작되고 있다. 특히 무인비행체(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)의 개발과 함께 그림 5와 같이 날갯짓 비행체의 적용 가능성이 부각되고 있다.

생물학적 모방을 위한 공학적 접근법은 공학적 시스템에 보다 많은 자유도와 자율성을 보장할 수 있어야 하며 이를 위하여 고효율의 다자유도 작동기 개발과 적용이 필수적이라 할 수 있다. 이러한 생체모방형 작동기 개발 및 시스템 구현을 위해서는 모방의 대상이 되는 생물학적 모델의 운동 원리와 특성을 이해하여 설계모델의 요구조건을 도출하게 된다. 그러므로 생물체의 비행방식을 모방하기 위해서는 해석적 또는 실험적 접근법을 통하여 생물체의 날개구조 및 운동 특징의 이해와 분석이 선행되어야 하며, 주요 날갯짓 운동의 구현 및 평가 방법에 대한 연구가 수행된다. 따라서 생체모방 비행체의 공력특성 및 제어기법 연구를 위해서 곤충과 새의 날개운동을 위한 골격 및 근육 구조, 날개 형상, 날개운동, 유동장 특성, 날갯짓 비행체의 비교 등에 대한 기본적 연구를 수행하고 있다.

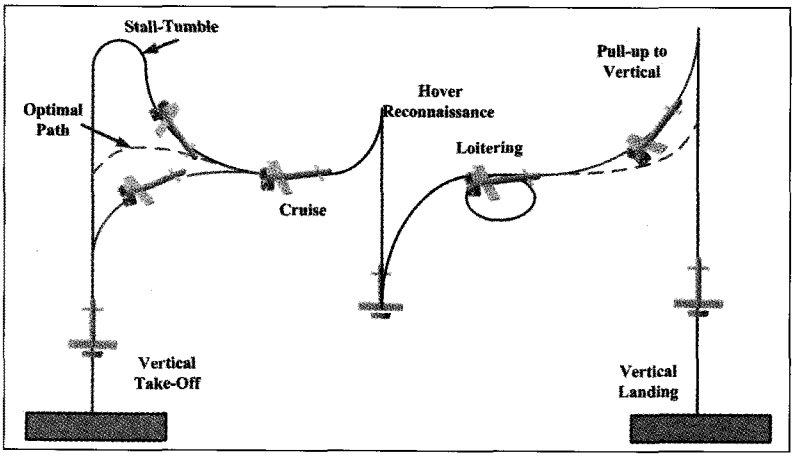

그림 6 Tail-Sitter 방식 비행체의 Mission Profile

Tail Sitter 방식 비행체

고정익과 회전익의 장점만을 조합한 틸트 로터 방식은 수직 이착륙이 가능하고 항속 거리 및 최대 속도가 고정익에 근접하는 등의 우수한 성능을 보이나 그 구조가 매우 복잡하고 고가인 단점이 있다. 따라서 정지비행 효율이 높고 빠른 순항속도를 지니며 수직이착륙이 가능하여 도심지역의 건물 옥상 등에 착지하여 장시간 영상정보를 제공한 후 재시동하여 수직착륙방식의 회수기능을 지닌 Tail Sitter 방식의 비행체의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 비행체 개발에는 형상설계 연구와 공력 해석이 중요하다. 또한, 자율비행제어시스템 설계를 위한 수학적

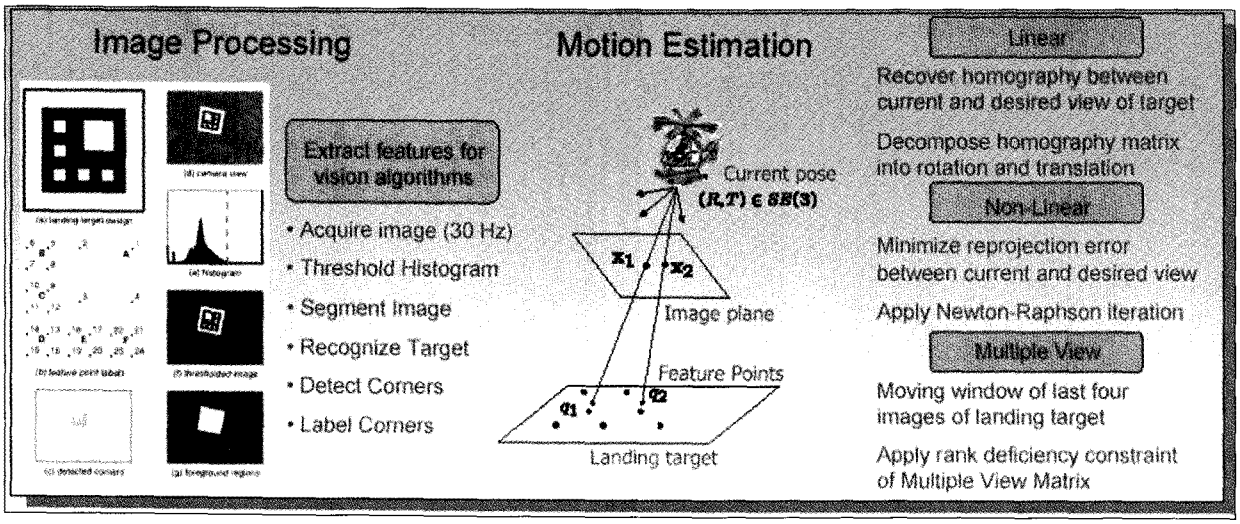

그림 7 영상정보를 이용한 항법정보 추정 과정

모델링연구가 필요하며 수직이착륙, 천이 및 순항모드 등의 다중모드 비행방식에 따른 새로운 설계기법 연구가 진행되고 있다. 그림 6은 Tail-Sitter 방식 비행체의 전체 임무 프로파일을 보여주고 있다.

영상인지 자동이착륙 기술

소형 무인비행체가 정찰임무를 효과적으로 수행하기 위해서는 안정적인 영상 정보를 제공할 수 있어야 한다. 미래 전투환경에서는 특히 밀집된 고층 건물 뒤편과 같은 사각지대에 대한 영상정보 획득이 매우 중요하다. 이를 위해서 휴대와 운용이 간편하며 수직이착륙이 가능한 소형 무인기를 사용하여, 발코니나 옥상의 모서리에 자동으로 착지하여 엔진을 정지한 후 장시간 대기하며 특정지역에 대한 영상정보를 제공하는 체계가 필요한데, 자체 감지기를 이용하여 착륙이 가능한 지점을 스스로 탐색하여 자동으로 수직 이착륙할 수 있는 기술이 요구된다.

이 연구에서는 LiDAR 및 카메라 데이터를 이용하여 무인항공기의 자동이착륙을 위해서 획득된 데이터를 통해 후보 착륙지점의 3차원 정보를 생성하고, 알맞은 탐색 지점을 선택한 후, 그 곳과의 거리 정보를 추출하는 알고리듬을 개발하고 있다. LiDAR를 통하여 획득된 데이터와 영상을 통하여 획득된 데이터의 융합 알고리듬이 핵심이며, 추정된 거리 정보와 상대 위치 정보 등을 이용하여 자동 비행제어 명령을 생성하는 알고리듬도 중요하다. 그림 7은 영상정보를 이용한 항법정보 추정과정을 보여준다. 비행체가 실제 자동이착륙을 수행할 수 있는지에 대한 사전 시뮬레이션 및 검증을 수행할 예정이며, 이착륙 과정에서 예상되는 지면효과에 의한 외란 환경 하에서 비행체의 안정성을 유지하고 원하는 고도 제어 명령을 수행하여 자동이착륙을 수행하는 시스템의 개발을 최종 목표로 하고 있다.

기계용어해설

조립 크랭크축(Built-up Crank Shaft)
크랭크 암, 크랭크 핀, 크랭크 차축 등을 적당히 분할하여 수축 끼워맞춤 혹은 스플라인 등으로 조립하여 만든 크랭크축.

고장력강(High Strength Steel)
탄소량을 0.2% 이하로 하여 용접성이 좋고, 니켈, 몰리브덴, 크롬, 바나듐 등을 미량 첨가하여 항장력을 강하게 한 것. ≒ high tension steel