

헬리콥터 설계기술 및 개발 동향

유경민

〈대한항공 항공기술연구원 항공공학박사〉

- 1. 헬기 設計 技術 動向
 - 가. 設計 要求 條件
 - 나. 設計 技術 特性
 - 다. 시제기 설계 節次
 - 라. 電算化에 의한 設計 및 製作 效果
- 2. 최근 主要 開發 動向

1. 헬기 設計 技術 動向

垂直으로 이착륙이 가능하고 공중에서 일시적으로 停止할 수 있음은 헬리콥터가 가지고 있는 최대의 성능상 長點이며 이에 반하여 승객 1인당의 거리에 대한 상대적으로 높은 운항비(Operating Cost), 소음 및 振動, 그리고 속도에 있어서의 성능 제한은 헬리콥터가 가지는 주요 短點들로 지적될 수 있다. 固定翼 항공기에 비하여 헬리콥터는 회전익이 구성하는 회전면이 추력, 양력 및 조종력을 동시에 감당하므로 고정익에 비하여 操縱하기가 어렵고 돌풍등에 취약한 면을 가지고 있다. 이러한 헬리콥터의 비행 동력학적 難點들 때문에 고정익에 비하여 개발이 遲延되었으나 활주로가 필요없는 헬리콥터만이 지니는 독특한 性能 때문에 군용뿐 아니라 인명 구조등의 일반 민간분야에 광범위하게 利用되어 왔다.

헬리콥터 개발 歷史를 살펴볼 때 回轉面에 있어 전진깃과 후퇴깃의 공기역학적인 비대칭성, 즉 양력상의 불균일로 인한 롤링 모우멘트와 회전면의 면내 방향에서 원심력과 Coriolis 효과에 의한 리드 래그 운동으로 인한 높은 응력 및 공진등의 해결이 기술적으로 성취하기가 어려워 대부분의 회전체가 기계적으로 複雜한 구조를 취하게 되었다. 특히 양력의 비대칭성을 克服하기 위한 플래핑 힌지

와 면내 진동 감소를 위한 래그 댐퍼 및 피치각을 調節하기 위한 기구들이 회전체의 중심부에 집중되어 있어 이러한 구조물들로 인한 重量과 抗力 증가등의 문제는 설계뿐 아니라 제작 및 정비에 있어 어려움과 불편을 야기하여 왔다. 이러한 관절형 회전체(Fully Articulated Rotor)의 제반 문제를 해결하기 위한 노력으로 무관절형 회전체(Hingeless Rotor) 개념이 도입되고 기술 발전으로 BO-105 등 실기에 사용되게 이르렀으며 최근에는 유연보(Flex Beam) 개념에 의해 피치 베어링까지 제거한 무베어링 회전체(Bearingless Rotor)가 美國 육군의 차세대 헬기인 Comanche-66 등 新型 헬기의 주류를 이루게 되었다.

가. 設計 要求 條件

헬리콥터의 설계 기술은 일견 고정익 항공기와 유사하게 생각될 수도 있으나 전술한 바와 같이 고도의 역학적 難題들이 내재되어 있는바 설계 기술의 체계화는 이론적 뒷받침에 의한 최소의 실험 장치 운용과 시제기 제작 經驗에 의해서만 구축될 수 있다. 특히 고정익과 달리 회전에 의한 진동 응력들은 구조물의 피로 수명을 급격하게 감소시켜 부품 교체에 따른 運航費 증가와 整備 부담 및 부품 불량에 의한 돌발적 사고등이 고정익 항공기에 비하여 큰 脆弱點으로 지적되어 왔다. 하지만 공중 정찰, 감시, 인명구조, 환자등 비상 수송 능력과 軍 작전상 필수적인 요소들로 인한 끊임없는 수요 제기는 이러한 문제들을 克服하는 계기가 되어왔다.

헬리콥터 뿐 아니라 항공기를 설계할 때는 설계 대상이 되는 항공기의 需要가 있어야 하며 이러한 수요를 가장 경제적인 가격으로 충족시켜야 프로그램의 지속성을 보장받을 수 있게 된다. 또한, 이

러한 경제적 고려 사항뿐 아니라 자동차나 기타 수송 기계와 달리 헬기는 고도의 안전성을 요하기 때문에 시제기 제작에 있어 고려하여야 할 기술적 요소가 훨씬 多樣하고 複合적이다. 특히 중량과 소음 및 진동 감소는 헬기 설계자의 첫번째 기술적 목표이며 본질적으로 헬기는 높은 운항비(Operating Cost)를 가지므로 가능한한 이를 낮추어야 競爭力을 가지게 된다. 최근에는 특히 소음에 관한 認證 규정이 강화되는 추세이며 객실 내부 소음(Internal Noise)과 착륙장이나 운항로등의 주위 거주지들에 대한 외부 소음(External Noise)을 기술적/경제적으로 해결하지 않으면 안되게 되었고 軍 운용시에도 과도한 소음은 헬기의 위치를 사전에 노출시키므로 중요한 문제이다. 이러한 소음을 해결하기 위한 노력으로 회전익의 익단 형상을 여러 형태로 변화시키고 한편으로는 꼬리가 없는 Notar 기종의 개발이 이루어지게 되었다.

軍用 헬기에는 고도의 機動성이 요구되므로 반대 개념인 조종성(Controllability)과 안정성(Stability)의 두마리 토끼를 동시에 잡아야 한다. 특히 NOE(Nap of Earth) 비행이 요구되므로 지면이나 숲등과의 공기역학적 간섭에 대한 물리적 현상을 설계에 반영하여야 하며 武裝등의 Payload 발사에 의한 안정성등의 Double Check가 주요 난제들중의 하나이다.

헬기의 제작 및 運航의 경제성을 높이기 위해서는 공허 중량 감소와 운항비를 줄여야 하는데 이러한 중량 감소와 疲勞 수명 증가를 달성하기 위한 노력으로 복합재료가 많이 사용되게 되었으며 성형 기술 및 비파괴검사 기술의 발전으로 높은 信賴性을 가지게 되었다. 그러나 높은 온도나 습도 등 운항 기상 조건이 좋지 못한 곳에서의 복합재 구성품 품질 검사는 주의를 요한다.

헬기 事故의 첫번째 要因은 엔진등 Populson 시스템의 고장에 기인하는 바 설계시 엔진의 수, 필요 馬力, 정비성등에 대한 고신뢰도가 보장되는 엔진을 선택하여야 한다. 또한 Tail 회전체에 지상 요원이나 승객이 다치는 경우가 의외로 높아 꼬리가 감싸져 있는 Fenestron형이 採擇되는 경우가 많다. 자동차와 마찬가지로 헬기에 있어서도 조종석의 Avionics 등 지원 시스템의 성능은 중요하며 특히

軍用 헬기는 이러한 지원 시스템의 性能이 구매력을 결정하는 주요 인자중의 하나이다.

또한 최근에는 ILS(Integrated Logistics Support)의 중요성이 더욱 부각되며 특히 軍用 헬기의 경우에는 수송기로 수송한 다음 現地 戰場에서 단시간내에 조립될 수 있도록 Kit化 하는 설계 제작 개념이 요구되고 있으며 부품의 호환성까지도 導入 검토되고 있다. 대한항공에서 免許 생산하는 UH-60 Black Hawk의 경우 주요 부품이 6,000여개에 이르나 美 육군의 차세대 헬기인 Comanche의 경우 350여개의 Sub Kit로 구성되는 革新的인 설계이다. 이러한 부품수의 감소는 복합재료를 사용하여 Part를 Sub Assembly 구성품으로 제작하므로 가능하였고 주 회전체를 복잡한 관절형 회전체에서 힌지 및 베어링까지 제거한 Bearingless Rotor를 사용하여 성취하게 되었다. 따라서 설계자는 시장의 동향과 운용자의 요구 및 성향을 통계적으로 분석하여 초기 설계부터 이러한 사항들을 반영하여야 한다. 점점 까다로워지는 요구 조건들을 만족시키기 위해서는 끊임없는 기술 개발은 물론 절대적이다.

나. 設計 기술 特性

전술한 바와 같이 헬기는 주 회전체와 꼬리 두 회전면이 추력, 양력, 조종력을 同時에 담당하므로 중량, 무게중심, 회전속도, 형상, 회전익의수 등이 공기역학 및 동력학적으로 매우 복합적인 연결 고리를 가진다. 따라서 설계 초기에는 이러한 기술적 連結性을 감안하여 Trade-Off 설계 과정을 고정익기에 비해 오래 가져야 한다. 고정익기의 경우 속도, 고도, 최대 이륙 중량, 하중배수, 이착륙 거리, 경제속도, 거리 등이 우리에게 익숙한 性能 指標인데 헬기의 경우 물론 활주거리는 필요없으므로 이를 제외한 사항들을 포함하여 지면 효과 유무시 상승 한도, 엔진 고장시 Autorotation의 분당 강하율, 최대 체공 시간, 촉풍 속도 한계, 회전익의 壽命, 엔진의 Overhaul TBO, 시간당 직접 및 간접 운항비 등이 중요한 성능상의 指標가 되므로 설계시 이들 조건들을 반영하여야 한다.

헬기의 設計 기술 핵심 부분은 바로 구동축과 회전체를 포함하는 Power Train이며 이를 설계 要求 조건에 맞게끔 Design할 수 있는 능력 有無가

헬기 설계 기술의 절반에 가까운 Portion이라 할 수 있다.

고정익의 경우 일반적으로 외견상 보기에 좋은 항공기가 비행 특성도 좋으나 헬기의 경우는 이와는 전혀次元이 다른 문제가 내재되어 있다. 헬기의 경우 회전체의 회전 각속도 및 이의 진동과 기체의 剛性에 의한 고유진동수 등이 동력학적으로 근접할 경우 이착륙시의 진동과 공중에서 정지 비행을 하거나 저속 비행 혹은 NOE 비행시 치명적인 진동을 유발하므로 눈에 보이지 않는 核心 기술에 해당된다. 또한 대부분의 소음이 이 Power Train에서 생성되므로 진동을 줄이면 소음도 일반적으로 줄어든다. 따라서 공기역학적인 성능뿐 아니라 이러한 구조 동력학적인 상호 연결성을 설계 體系化하여 회전익의 형상, 종류, 재질과 구동축과의 접합성 그리고 Swashplate, Gear Box 등과의 동역학적 합치성등을 면밀히 해석하여야 한다.

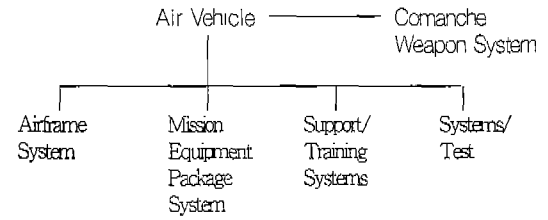
고정익기뿐만 아니라 헬기 설계 능력이란 다른 아닌 Part 및 System의 總括的 構成(Integration) 능력이다. 자재 및 세부 부품의 조달성과 품질, 필요 마력을 提供해 줄 수 있는 Turbohaft 등의 엔진, 비행 조종 능력을 향상시키고 보장하는 적절한 Avionics 등의 확보등도 중요한 설계 요소이므로 설계시 이를 Major Supplier들과 주기적인 설계 Review가 요구된다.

헬기 설계 개발에는 고정익 개발 체계에는 없는 特異한 요소들이 있으며 좋은 예가 바로 Whirl Tower 실험 장치이다. Whirl Tower란 실물 크기의 회전체를 Tower에서 실험할 수 있도록 고안된 장치로서 회전체의 공기역학적 성능 및 진동, 소음등을 검토 분석한다. 또한 전기체의 剛性 실험에 의한 고유진동수의 실험적 계측과 회전체의 회전속도가 가지는 공진 특성 분석도 그중 하나이다.

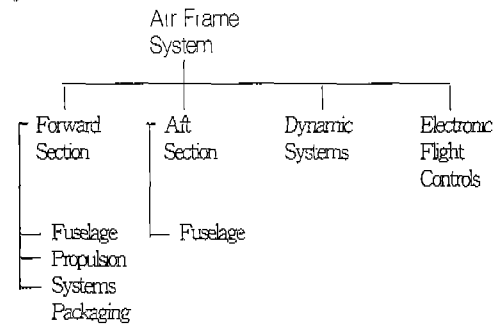
다. 시제기 개발 組織 및 설계 節次

이러한 고도의 기술성이 요구되는 헬기의 설계 開發은 충분한 기술 인력 및 시설이 갖추어져야 시작할 수 있으나 역설적으로 완벽한 준비란 시제기 개발 경험을 통해 蓄積되는 것이므로 어느 정도의 기초적 토대가 마련되면 산학연 조합 혹은 국제 공동개발등의 협력 형태를 통해 상호 보완

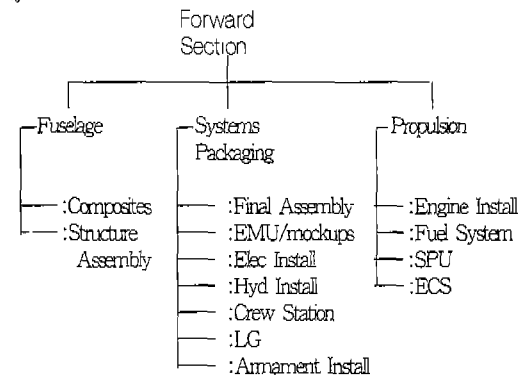
체계 운영으로 始作할 수 있으리라 본다. 단, 개발비의 경제적 Return을 保障받기 위해서는 시제기의 기술적 성능뿐 아니라 적절하고도 확실한 Market-Place가 있어야 함은 물론이다. 여기서 참고로 Comanche 헬기의 개발 體制 구성을 요약해서 정리하였다. 이 체계는 헬기뿐 아니라 고정익기에도 유사하게 運用될 수 있음은 물론이다.



예)



예)



이러한 조직 構成에는 기술인력 Manpower 배치 이외에도 기획, 재정등 지원 인력이 필요하며 모든 문제가 초기 단계에서 해결될 수 있도록 管理 기술이 요구된다. 이러한 개발 구성의 단위별 Team

Leader와 Chief Engineer의 役割과 能力의 숨이 바로 기술 능력이 되며 프로그램 성공 여부를 左右하게 된다.

시제기 설계 節次로서는 要求 성능을 파악하여 설계 개념을 어떻게 가져갈 것인가를 우선 정하고 초기 形狀을 가지고 요구되는 기술 수준과 시장 접근성을 분석하여 개발 일정 및 예산등의 안을 만들어야 한다. 이러한 초기 概念 및 戰略 수립 단계가 가장 중요한 단계이며 이러한 과정을 통해 수립된 초기 개발 計劃에 따라 성능과 헬기 내외부 형상이 정해지며 필요한 시스템, 엔진 킷수, 전기계통, 유압계통, 특수장비등을 고려한 헬기의 중량, 무게중심등이 잠정적으로 決定된다. 이러한 단계에서 회전체의 종류 및 회전익의 갯수, 꼬리날개의 형상 및 위치등에 대한 Trade-Off 分析이 진행된다. 또한 형상뿐 아니라 操縱性 및 安定性和 엔진 고장시의 Autorotation 성능등이 검토되며 구조물의 재질과 각 주요 구조의 Load path 개념이 확정되며 전기 기체 Layout이 정해지면 유한요소해석등에 의한 強度 및 剛性 확인에 의한 회전체와의 연계 진동 유무등을 해석하여 詳細 설계를 진행하게 된다.

이러한 설계 단계마다 설계 변경에 의한 수정 작업이 되풀이되게 되는데 통계에 의하면 CAD 화면에서 수정하는 비용과 설계 확인 작업에서 수정할 때의 費用은 100배 정도로 소요되므로 초기 수정은 개발 비용 감소에 가장 중요한 요인이다. 전술한 바와 같이 競爭力있는 헬기를 개발하려면 Non-Recurring 비용과 Recurring 비용을 最小化하여야 하며 동시에 運航 비용의 최적화를 위한 노력도 수반되어야 한다. 이러한 운항비용은 거리당 연료 소모율, 유압하중당 연료 소모율등이 양호하여야 하며 회전체등의 오랜 피로 수명과 일상적인 정비 비용도 최소화하도록 설계 개념을 정해야 한다.

라. 電算化에 의한 設計 및 製作 效果

80년대 후반에 도입되기 시작한 동시 설계 (Concurrent Design) 개념은 3차원 Graphic 기능을 가지는 전산 시스템의 지원에 의하여 더욱 가속화되었으며 이의 중요성은 가히 설계 혁명이라 할만

하다. UniGraphics 시스템등에 의한 3차원 CATIA 설계의 최대 장점은 설계 수정율을 대폭 감축시키는 점에 있는데 한 헬기 회사의 통계에 의하면 84%의 Liaison 업무 감소와 68%의 설계 Rejection을 가져왔다는 사실이 이를 입증한다.

3차원 설계는 화면을 통해 설계자가 구조 및 형상, 시스템, 배관, 전기선 등의 통로 공간 확인, 그리고 탑재 장비나 조종석 및 객실의 배치 및 공간 등 모든 기체 구조 및 공간에 대한 설계 확인을 기할 수 있다는 사실이다. 이러한 설계 기법은 BOEING 777 신형기에도 적용되어 그 효과를 다시금 확인하였다. 이러한 설계 수정 작업의 감소는 바로 개발 기간의 단축과 개발 비용의 감소, 그리고 제품의 품질을 향상시킬 수 있는 일석삼조의 효과를 가져온다는 사실이다. 이러한 설계 기법은 예전에 완성된 도면으로 설계 확인 작업을 수행하고 Tool Engineer, MFG Engineer, M&P Engineer 등의 도면을 통한 설계 작업보다 훨씬 기간과 신뢰도를 향상시킨다. 앞에서 언급한 것처럼 화면에서 설계를 수정하는 비용을 1이라 할 때 도면으로 설계 Review를 하는 비용은 그 100배, 그리고 시제기 생산 시점에는 10,000배의 費用이 소요된다는 점이다. 이러한 電算 畫面의 3차원 구조물을 Electronic Mockup이라 칭하며 항공기뿐만 아니라 자동차, 조선, 가전등에도 광범위하게 이용되기 시작하였음을 주지하여야 할 것이다.

2. 최근의 主要 헬기 開發 動向

일반적으로 헬기의 기종은 고정익에 비하여 양산 기간이 길며 주요 기체 구조물이나 회전체의 변경등이 容易하지는 않으나 개발 비용면을 고려하여 부분적인 성능 향상을 기하여 왔다. 대표적으로 엔진 Upgrade와 Avionics 등 조종장비등과 Transmission 등 핵심 구동장치의 교환을 통해 성능과 신뢰성 향상을 기하여 획득 및 유지 비용의 최적화를 기하여 왔다. 이러한 보수적인 설계 개념과 냉전 체제 붕괴로 인한 美國의 지속적인 방위비 削減 및 민수 시장의 불경기는 美國의 헬기 및 신형 고정익기 개발 프로그램을 지연시켜 왔으나 戰術的인 필요성과 Niche Market 수요에 의해 차세대

美 육군의 Comanche 헬기, 꼬리날개가 없는 NOTAR 헬기, V-22 Tilt Rotor 등 주목할만한 신형 기들의 개발이 추진되거나 완료되었다.

기술적인 면에서는 공허 중량 감소와 내구성 향상을 위한 Bearingless Rotor 採擇과 개발, 그리고 복합재료 구조물의 확대 사용 및 단품 제작이 아닌 Sub-Assembly 부품의 일체 성형화 기술 확보, 또한 Tail Rotor 제거등 새로운 설계 개념 도입등이며 앞에서 지적한 3차원 설계 제작 기법등으로 요약할 수 있다.

유럽에서는 국가별 Joint Venture 구성에 의한 개발 체제 轉換이 주목할만한데 개발 비용과 위험도를 경감하려는 노력은 향후에도 지속되리라 판단된다. 특히 Aerospatiale Helicopter와 MBB Helicopter의 통합으로 인한 Eurocopter는 유럽 시장뿐 아니라 미국과 아시아 시장의 Market Share를 높였고 이의 자극으로 영국의 Westland와 Italia의 Agusta사의 신형 공격 헬기 개발은 여러면에서 우리에게 示唆하는 점이 많다. 또한 러시아의 Kamov, Mil 설계국등의 서방 민수 시장을 겨냥한 신형 헬기 제작 프로그램과 Marketing 노력은 기존 시장의 구조에 상당한 변화를 가져올 것이다. 소형기에서는 2인승 R-

22가 10여년간 1,000대의 판매를 기록하였고 군용기에서는 UH-60이 1,500여대 이상 제작되어 Best Seller가 되었다. 소음에 대한 규제 강화와 새로운 형상이 가져다 주는 구매 동기 유발로 MDHC사의 Notar 계열 헬기의 판매는 순조로울 전망이다. Eurocopter사의 Dauphin 기종 헬기의 美해안경비대의 주력 기종으로 채택되었음은 바로 요구 성능 조건을 만족시켜줄 수 있는 유일한 기종이었기 때문이다.

일본의 경우 80년대 까지 免許 생산에 주력하여 왔으나 최근의 정부 지원에 의한 Mitsubishi사 주도의 JHX 프로그램등은 우리로서는 가장 근접한 개발 모델로서 이의 귀추를 주목하여야 할 것이다. 현재 국내 기업은 면허 생산 프로그램을 통해 상당한 제작 및 생산 기술을 획득하였으므로 향후 軍의 획득 개발 政策이 면허 생산에서 한걸음 진 보된다면 Joint Development나 자체 개발이라 예상되는데 일본의 경우 BK117을 통한 국제 Joint Development를 경험하였고 이를 토대로 JHX가 탄생되었음을 想起하면 우리의 향후 課題가 자연스럽게 도출된다고 판단된다.

정 기 구 독 안 내

본지는 항공우주산업에 대한 기반의 확충과 대중적 이해의 확산을 위하여 본지의 정기 구독을 원하는 분에게 무료로 널리 보급 코져합니다.

우편료 청독당으로 정기구독(6개월 이상)을 원하는 분은 Tel. 553-5681 기획과 또는 본지 편집실로 연락하십시오.