항공기 통합 설계 S/W 개발 현황*

이 동 호** 안 재 권***

〈 목 차 〉

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 새로운 개념의 통합 설계 S/W
가. 항공기 설계
나. 통합 설계 S/W 개발의 필요성 및 조건
다. Database Management Technique
Ⅲ. 항공기 개념 설계 S/W 개발 현황 및 소개
가. 국내외의 개발 동향
나. AAD(Advanced Aircraft Design)
Ⅳ. MDO(Multi-Disciplinary Optimization
Ⅴ. 결 어

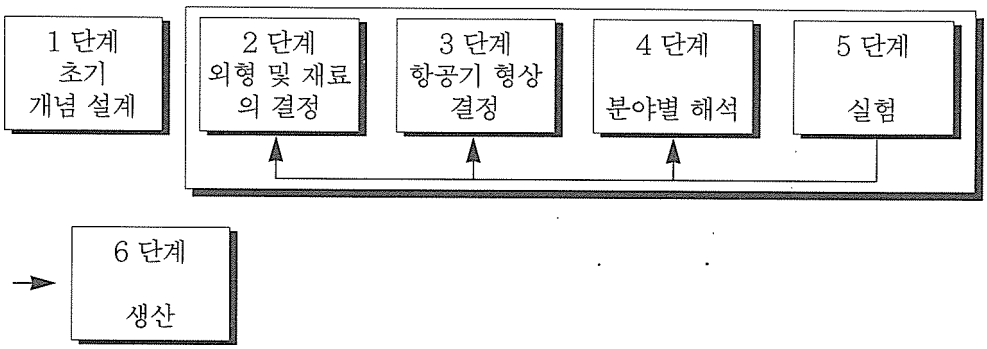
Ⅰ. 서 론

1950년 이전에는 항공기 설계에 있어서 일반적으로 다음 그림과 같은 과정을 반복 수행하는 기본 골격을 취하였다.

* 본 내용은 1994년 3월부터 1997년 12월까지 공기반 과제의 하나인 통상산업부의 연구지원으로 서울대학교가 주관하여 연구 수행된 "첨단 항공기 통합 설계 및 해석 시스템 개발"의 연구 내용을 기본으로 발췌, 요약한 것이다.

** 서울대학교 항공우주공학과 교수
*** 서울대학교 항공우주공학과 박사과정

〈그림 Ⅰ-1〉 전통적인 항공기 설계 단계



하지만 이러한 과정에서 Feedback과정이 수반되게 되는데 각 분야별로 원만한 정보 교환이 힘들 뿐만 아니라, 시간 지연 현상을 동반하게 되어 전체 설계 과정이 매우 늦어지게 된다. 이러한 현상에 대한 인식과 변화하는 Computer환경에 부응하여 설계 과정에 있어서도 새로운 개념이 도입되기 시작하였다. 〈그림 I-1〉과 같은 순차적인 과정을 따라 하는 것이 아니라 이를 동시에 처리하는 방향으로 연구가 진행되게 된 것이다.

본 내용에서는 이러한 연구 과정에서의 항공기 설계 개념, 국내외의 연구 동향과 본 대학을 중심으로 개발한 항공기 개념 설계 컴퓨터 프로그램인 AAD(Advanced Aircraft Design)에 대한 간략한 소개, 그리고 현재 항공기 설계 방법에서 Issue가 되고 있는 MDO(Multi-Disciplinary Optimization)의 역할에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

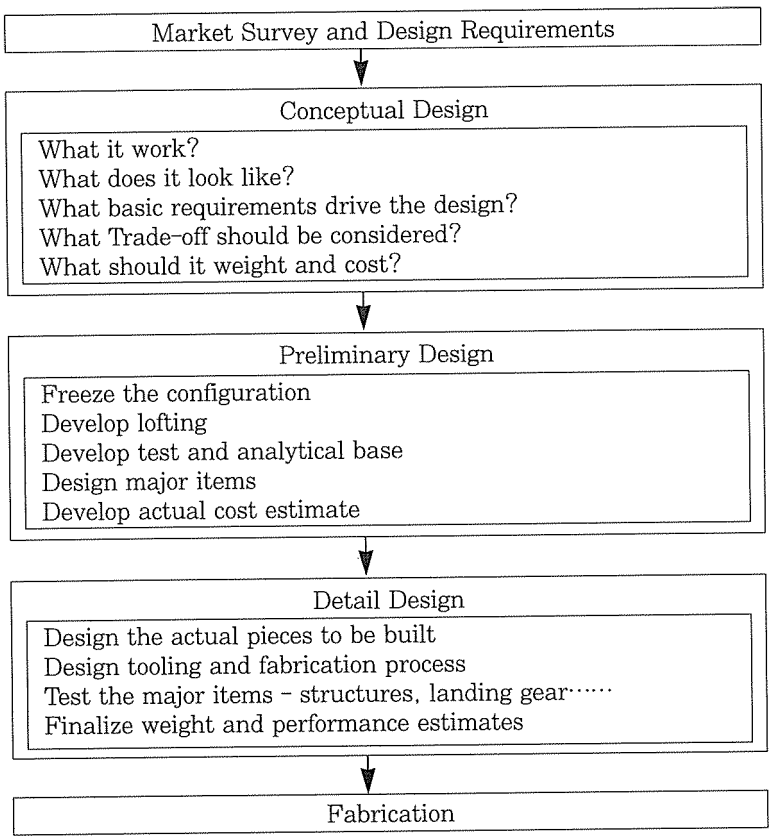
Ⅱ. 새로운 개념의 통합 설계 S/W

가. 항공기 설계

1. 설계 과정의 분류

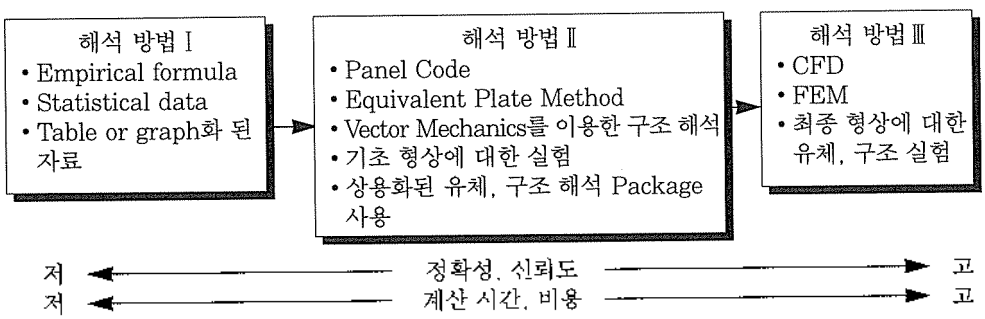
항공기 설계 과정을 단계에 따라 분류하면 다음과 같은 과정으로 요약할 수 있다.

〈그림 Ⅱ-1〉 The phases of aircraft design



〈그림 Ⅱ-1〉은 설계 과정을 고려해야 할 사항을 중점으로 구분한 것이지만 이를 설계 해석 방법의 정확성 혹은 신뢰도에 따라 간략하게 구분하여 보면 다음과 같다.

〈그림 Ⅱ-2〉 다양한 해석 방법



위의 그림에서 보듯이 같은 종류의 결과를 얻을 수 있는 다양한 해석 방법이 존재한다. 여기서 설계자는 각각의 설계 단계에서 적합한 해석 방법을 선택하여 원하는 항공기를 설계하게 된다. 적합한 해석 방법의 선택 기준은 일반적으로 해석 비용에 많이 의존하게 되는데 예를 들면, 개념 설계(Conceptual Design) 단계에서는 10 -100가지 종류의 configuration에 대한 Trade-off를 수행하여야 함으로 이러한 경우 〈그림 Ⅱ-2〉에서 첫번째 해석 방법을 사용하는 것이 합리적일 것이다.

2. Design process

항공기 설계 과정은 최적화(Optimization)와 타협(Compromise)의 과정이라 할 수 있다.

이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$Max[y_i = f_i(x_j)]$$
$$Subject \quad to \quad g_i(x_j) \leq \alpha_j \qquad (1)$$

x_j : 설계 변수

f_i : 설계 해석 함수(이를 Disciplines이라 부르기도 한다)

g_i : 설계 제한 조건(Design constraints)

식(1)을 보면 설계 과정을 명확히 알 수 있다. 설계 제한 조건에는 두 가지 개념이 포함 될 수 있는데 하나는 "만족하기만 하면 되는 것"과 "만족하면 할수록 좋은 것"이 그것이다. 개념 설계 단계에서 연료 탱크의 부피는 전자에 속하고, 여객기의 순항 거리는 예를 들면 후자에 속하다. 이러한 연유로 "설계 목표(Design Objectives)"라는 개념이 도입될 수 있으며 이는 설계 제한 조건을 모두 만족하면서 그 중 설계자가 정한 y_k 를 최대 혹은 최소화시키는 과정에서 정의될 수 있다. 하지만 실제의 설계 과정에서 설계 제한 조건이 각각의 설계 단계에서 명확히 알려져 있지 않으며, 따라서 어떠한 설계 제한 조건을 사용하였는가에 따라 최적 설계된 항공기의 형상 및 성능이 달라질 수 밖에 없다. 만약 하나의 설계 제한 조건을 제외시킨 상태에서 항공기를 설계하였다면, 이 결과는 다음의 세부 설계 단계에서 이용할 수 없으며 처음부터 다시 설계해야만 한다. 여기서 설계 제한 조건의 중요성을 알 수 있다.

나. 통합 설계 S/W의 필요성 및 조건

항공기 설계의 출발점은 설계 제한 조건으로부터 출발한다고 할 수 있다. 설계

될 항공기의 성능이 어느 이상이 되어야 한다든지 DOC(Direct Operation Cost)와 IOC(Indirect Operating Cost)가 어느 정도 이하이어야 되는지 등의 조건을 만족시키는 항공기 설계는 근본적으로 많은 반복 계산 과정을 필요로 하고 각각의 계산 단계에는 다양한 전문가 그룹에서 많은 Discipline이 사용되어 져야 한다.

여기서 참여하는 전문가 그룹은 공력 해석 그룹, 구조 해석 그룹, 성능 해석 그룹, 추진 기관 해석 그룹, 안정성 및 조종성 해석 그룹 및 시스템 통합 그룹 등이 있을 것이다. 이와 같은 각각의 그룹이 서로 배치되는 설계 목적과 설계 제한 조건, 다양한 해석 단계별 Discipline을 가지게 되고 이를 하나의 시스템으로 통합하는 것이 항공기 통합 설계인 것이다. 여기서 통합 S/W의 필요성을 알 수 있는데 만약 통합 S/W환경에서 항공기를 설계한다면 반복 계산의 효율성을 증대할 수 있음은 물론, 설계 최적화 알고리즘을 설계 전 과정에 적용하여 최적의 항공기 설계에 보다 근접하는 결과를 얻게 될 것이다.

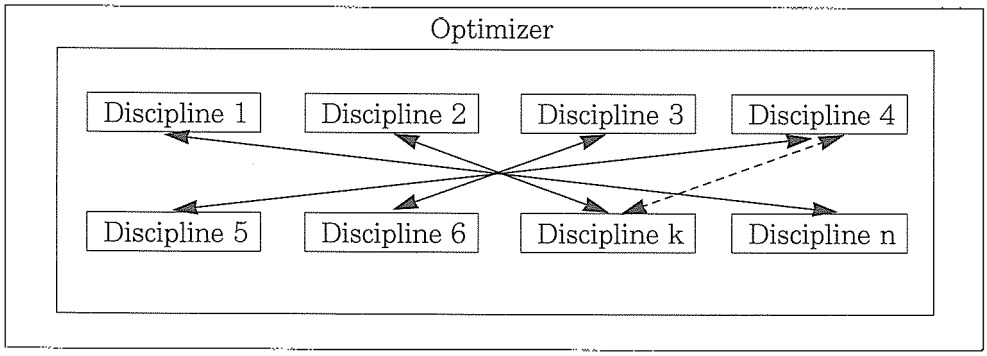
1. 시스템의 확장성 및 유연성

설계 프로그램들은 개발된 시대의 기술과 요구에 부응하여 작성되지만 시간이 흘러감에 수정, 보완의 필요성을 가질 수 밖에 없다. 이는 과거의 설계 프로그램들이 공통적으로 안고 있는 문제이기도 하다. 그러나 그런 프로그램의 대부분은 잘못 구성된 시스템의 구조로 말미암아 확장이나 보완이 상당히 어렵거나, 그 시스템을 작성한 사람의 도움이 없이는 각각의 Discipline의 보완 조차 어려운 현실이다. 만약 시스템에 제한 조건의 추가나 삭제를 원할 경우 시스템의 유연성의 결여로 전 시스템을 알고 있는 사람 만이 시스템에 수정을 가할 수 있을 것이다. 따라서 통합 설계 S/W의 개발에 있어서 중요한 요소는 변화하는 기술 발전의 반영이나 사용자의 요구에 부응하는 시스템의 확장성을 보장받는 것이다. 이런 점을 인식한다면 시스템 개발자들은 시스템을 설계할 때 확장을 염려해 두고 프로그램을 하여야 한다.

일반적으로, 프로그램의 구조는 순차적인 구조(Procedural Architecture)와 유사 순차적인 구조(Quasi-Procedural Architecture) 그리고 비순차적인 구조(Non-Procedural Architecture)의 세가지를 들 수 있는데 과거의 모든 프로그램들이 대부분 순차적인 구조를 가지게 되고 이로 인해 시스템의 확장성 및 유연성이 떨어지게 되는 것이다. 다음 절에서 특별히 설명이 불필요한 순차적인 구조를 제외하고, 비순차적인 구조와 와 유사 순차적인 구조를 설명하기로 하겠다.

2. 최적화 알고리즘의 적용 용이성

〈그림 Ⅱ-3〉 시스템에서의 Optimizer의 적용

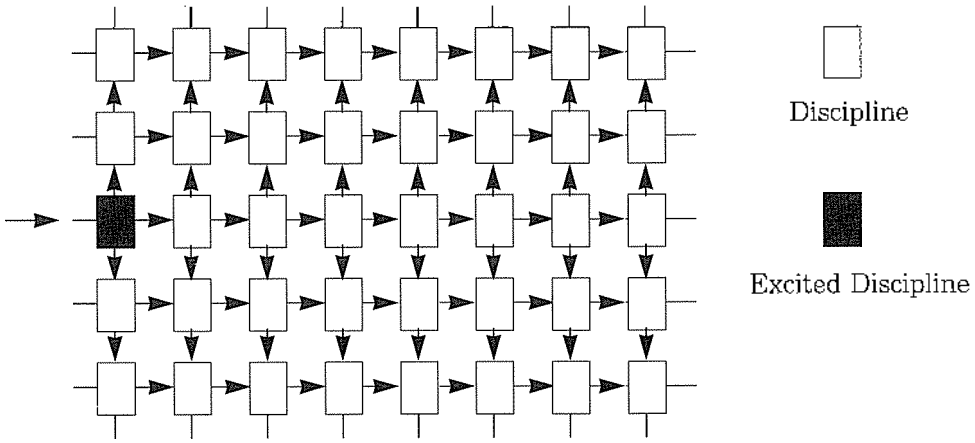


〈그림 Ⅱ-3〉에서와 같이 설계 시스템이 n개의 Discipline을 가지고 있다고 하자. 시스템의 유연성 및 확장성이 확보되었다고 하는 것은 이중 하나의 Discipline k가 교체되었을 경우 Discipline과의 상호 연관성이 변화게 되는데, 이를 시스템이 자율적으로 결정할 수 있다는 것을 의미한다. 설계는 근본적으로 최적화 과정을 동반하여야 하는데 각각의 다른 Discipline과의 연관성은 시스템이 주관할 수 있도록 하며, 어떠한 Disciplines과의 최적화 과정도 시스템이 지원할 수 있도록 하여야 한다.

다. Database Management Technique

항공기 설계의 특징 중 하나는 수많은 설계 변수들이(개념 설계의 경우 200-400의 설계 변수가 필요하다) 수많은 함수들과 Coupling되어 있다는 것 이다. 이러한 Coupling관계를 시스템 개발자가 명확하게 알고 있어 연관성을 순차적으로 고정시킨 구조를 순차적인 구조라 한다. 기존의 대다수의 설계 프로그램들이 여기에 준한다. 이와 정 반대의 구조를 비 순차적인 구조라 하는데 이 구조는 인공지능과 같이 시스템이 자신에게 주어진 데이터베이스를 통하여 스스로 필요한 모듈과 계산 경로를 결정하여 수행하는 구조이다.

〈그림 Ⅱ-4〉 Non-Procedural Architecture



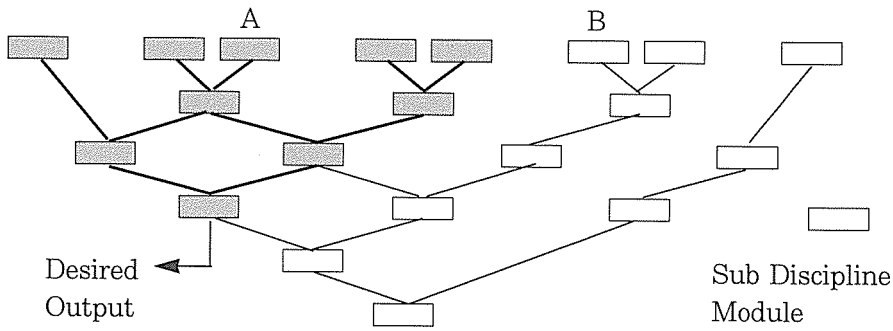
〈그림Ⅱ-4〉에서와 같이 비 순차적인 구조에서는 특정 Discipline의 입력 값이 수정 되었을 경우, 인간의 신경 망 조직처럼 그 Discipline과 연관된 모든 Discipline들이 모두 재계산하게 되며 이때 모든 계산 결과가 더 이상 변화가 없을 때 이러한 전파는 멈추게 된다. 이 구조는 시스템의 유연성 및 확장성의 측면에서 보면 가장 효율성 있는 구조 이나 설계 방법에 있어서 특별한 구조의 프로그래밍 방법과 언어가 적용되어야 하고, 만약 순환 과정이 존재할 경우 무한 순한 고리에 빠질 수 있는 위험이 있으며, 시스템의 폭주 가능성이 있다는 단점이 있다.

위의 두 가지 방법의 장, 단점을 보완 한 구조가 유사 순차적 구조라 할 수 있는데 이 구조는 각각의 Discipline 모듈은 순차적인 방법으로 구성하고 전체의 데이터베이스를 다루는 부분은 비 순차적인 방법과 유사하게 만드는 것이다. 이 방법의 장점은 비 순차적인 방법의 유연성과 확장성을 충분히 보장 받으면서도, 순차적인 구조의 프로그래밍 방법에 사용되는 평이한 방법으로 작성된 서브 모듈을 이용할 수 있다는 점이다.

〈그림Ⅱ-5〉에서 보면 시스템이 사용자가 원하는 결과를 얻기 위해서 자동적으로 필요한 Discipline모듈만을 찾아 계산하는 과정을 보여준다. 사용자가 원하는 결과를 얻기 위해서 시스템에 질문을 하면 시스템은 원하는 결과값을 위한 모듈을 찾게 되며, 이런 식으로 최종 상위 단계의 입력 변수에 도달할 때까지 이를 반복하여 계산 경로를 결정하는 것이다. 유사 순차적 구조의 그림에서 원하는 계산의 결과값에 영향을 주는 변수는 A이고 B는 계산 결과에 아무런 영향을 주지 않으며 재

계산도 하지 않는다.

〈그림 Ⅱ-5〉 Quasi-Procedural Architecture



Ⅲ. 항공기 개념 설계 S/W 개발 현황 및 AAD 소개

가. 국내외의 개발 동향

항공기 개념 설계 프로그램으로 널리 알려져 있는 것은 Dr. Raymer가 개발한 RDS, Prof. Roskam의 AAA, Dr. D. Simos의 PIANO, Prof. Ilan Kroo의 PASS가 있다. 이들은 공개된 S/W이며, 이외에도 공개될 수 없는 NASA에서 개발한 FLOPS, ASYNT등의 프로그램이 있다. AAA와 RDS는 순차적인 프로그램으로서 최적화 과정에 대한 고려가 없으며, 사용자는 각각의 설계 과정을 충실히 따라가면서 설계를 수행하여야 한다. PIANO와 PASS는 기본적인 최적화 과정을 수행할 수 있으며 설계 변수에 대한 민감도 해석 기능 또한 갖추고 있어

AAA나 RDS에 비해 한층 더 진보된 프로그램의 구조를 보여 준다. FLOPS나 ASYNT는 1950년대 부터 개발되어 현재에는 많은 수정을 거쳐 왔으며, 프로그램 구조의 보완을 통해 MDO(Multi-Disciplinary Optimization)을 할 수 있는 기본적인 Tool로 발전하려 하고 있다.

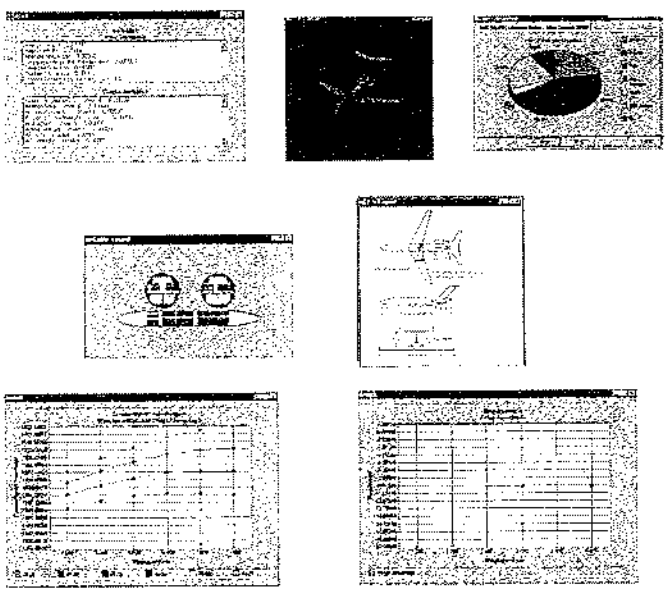
항공 선진국의 경우 Discipline 각각의 개발은 예전에 완료된 상태이며, 이제는 이의 통합에 한층 힘쓰고 있는 듯하다. 국내의 경우는 항공기 독자적으로 항공기 설계 프로그램 모든 것을 개발 하기 보다는 외국에서 개발한 다양한 종류의 설계 프로그램들을 이용하여 이를 적절하게 상호 연계시키는 방향으로의 연구만이 진행

되어 왔다. 그러나, 항공기 설계 시스템의 경우 설계 데이터베이스와 구축이 다른 여러 가지 보다 우선적으로 고려되어져야 하나 현재 국내에서는 독자적인 설계 데이터베이스를 가지고 있지 못하는 실정이다. 그리고 일부 설계 데이터베이스를 가지게 되었다 하더라고, 이를 활용할 수 있는 통합된 시스템 구축이라는 방법에 있어서도 연구가 미진한 상태에 있다. 최근 서울 대학교에서는 비교적 많은 설계 데이터가 공개 되어 있는 여객가용 개념 설계 프로그램을 국내 연구진의 독자적 연구로 설계 시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다. 다음 절에서는 개발된 항공기 개념 설계 컴퓨터 프로그램인 AAD에 대한 설명을 하겠다.

나. AAD(Advanced Aircraft Design)

이 통합 설계 프로그램은 3년간 서울 대학교를 중심으로 공동연구진이 개발한 S/W로써 Operating system은Window 95이며, Programming Lines수는 약 7만 줄에 달한다. 주요 특징으로는 설계 변수와 결과 변수들간의 민감도 해석을 수행할 수 있으며, 설계자가 임의로 선택한 설계 변수와 설계 목적 함수, 그리고 설계 제한 조건들을 가지고 최적화 설계를 할 수 있으며, 기본적인 구조 해석 Discipline등, 여러 기본 해석 해석 Discipline들을 가지고 있다.

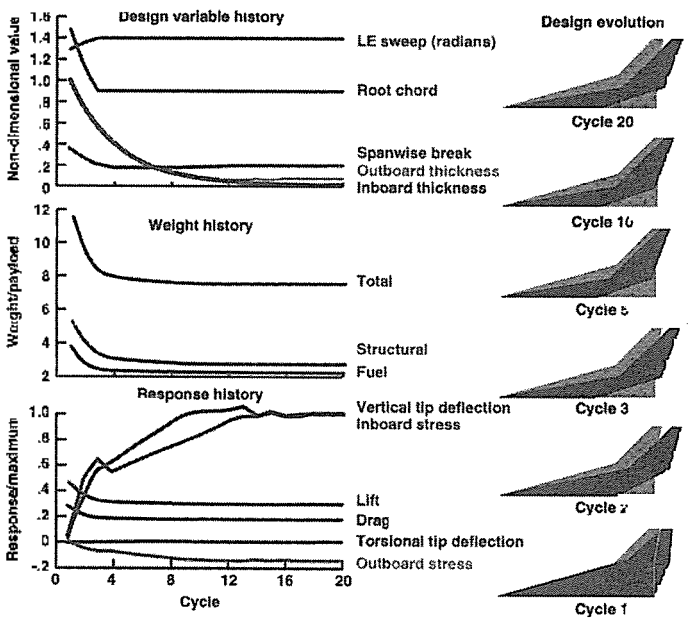
〈그림 Ⅲ-1〉 개발된 AAD 프로그램



Ⅳ. MDO(Multi-Disciplinary Optimization)

AAD에서는 유사 순차적 구조를 사용함으로써 개념 설계에만 사용되는 Discipline간의 시스템의 유연성을 확보하면서 설계 변수의 민감도 해석이라든지 설계 최적화 과정을 도입할 수 있었다. 그러나 항공기 설계는 개념 설계의 결과는 다음 단계의 기본 설계 단계로 이전 되며, 또한 이의 결과가 상세 설계 단계로 이전 되어야 한다. 이러한 측면에서 MDO의 중요성이 1990년대 부터 대두되고 있다. 현재까지는 학술적으로 개념 설계와 선행 설계를 한번에 수행하는 연구가 진행되고 있는데, 이의 한 예로써 HSCT(High-Speed Civil Transport) 사업의 한 일환으로써 미국에서 연구되고 있는 연구 내용을 간략히 소개하겠다.

〈그림 Ⅳ-1〉 HSCT에서의 MDO의 적용 예



〈그림Ⅳ-1〉은 Baseline 항공기의 Planform 형상에서 시작하여 20회의 Cycle를 거쳐 최적의 Planform형상을 얻는 과정과 해석 그래프를 보여 주고 있다. 여기서 설계 변수는 날개의 Planform에 관련된 변수 이외에도 비틀림 각, 두께 비의 분포, 나아가서는 스파(Spar)의 위치에 대한 변수를 고려하여 항공기의 성능, 즉 순항 거리 등을 계산 하는 과정을 보여 준다. 예전에는 분리되어 순차적으로 해석

하였던 여러 분야들이 한 번에 정해진 시스템 환경하에서 수행되고 있는 것이다. 이와 같은 방법을 도입하면 초기 개념 설계 단계에서 다음의 기본 단계에서의 Feedback이 없는 어느 정도 보장 받는 기본적인 Configuration을 설정 할 수 있게 된다.

Ⅴ. 결 어

이상에서 항공기 통합 설계에 관련된 항공기 설계 개념과 이와 관련된 전반적인 내용을 소개 하였다.

항공기 설계에서는 제한 조건의 설정이 어려우며, 시대의 발전에 따라 Discipline의 수정이나 보완이 필요하므로 시스템의 유연성과 확장성이 통합 설계 시스템에서 매우 중요하게 됨을 이야기 하였으며, 최적화 과정의 설계 전 과정에의 적용의 중요성에 관하여도 이야기 하였다. 여기에 부연하여 시스템의 설계 구조의 중요성에 관하여 설명하였다.

항공기 설계란 시스템 통합이라는 측면에서 공기 역학, 구조 역학, 항공기 제어, 추진 기관 등 수 많은 사람들의 의견을 수렴하여 서로 상충되는 조건을 적절히 조화 시켜야 하는 매우 어려운 작업이라 할 수 있다. 여기서 변화하는 시대에 맞춰 증대되고 있는 컴퓨터 환경의 영향으로 설계 전반의 Methodology에 대한 변화가 뒤따르고 있는 실정이다. 국내에서도 설계 경험의 축적을 통한 독자적인 항공기 개발을 위해서는 반드시 설계 시스템 통합에 대한 연구를 독자적인 Discipline의 개발과 함께 병행하여야 할 것으로 생각된다.

〔참고문헌〕

통상 산업부, "첨단 기계 설계 및 엔지니어링 시스템 개발", 1994. 10
-제 6 세부 과제 : 첨단 항공기 통합 설계 및 해석 시스템 개발
통상 산업부, "첨단 기계 설계 및 엔지니어링 시스템 개발", 1996. 10
-제 6 세부 과제 : 첨단 항공기 통합 설계 및 해석 시스템 개발
Stanford Univ. Ph. D. Thesis, "A New Architecture and Expert System for Aircraft Design Synthesis"