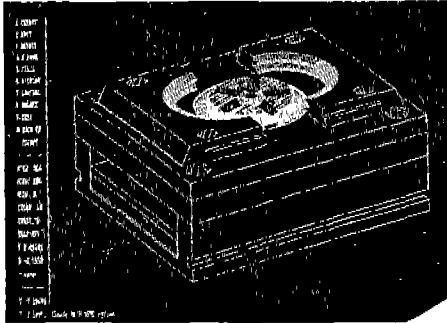
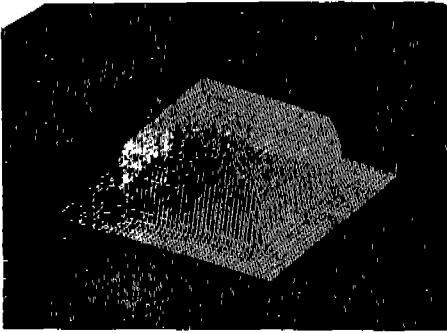


컴퓨터에 의한 設計·生産·管理

—CAD·CAM·CAP—



2·2·3 製品設計에서의 性能評價와 特性 解析法

(a) 製品の 性能과 特性

機械製品으로서의 일반적으로 표 2·3에 든 성능이 고려된다. 이들 성능을 평가하기 위해서는 이 표에 든 特性이 요구된다. 어느 性能을 評價尺度로서 채택하는가는 設計 대상으로 하는 제품에 따라서 다르다. 예를 들면 工作機械에서는 가공 정밀도, 절삭능률 등을 중요한 성능으로 들 수 있다. 그 評價에 필요한 특성은 剛性, 振動特性, 熱変型 등이다. 산업용 로봇에서는 靜的·動的인 위치결정 정밀도, 고속 운동에 대한 安定性, 可搬重量 등이 평가된다.

앞으로 機械의 성능으로서 더욱 고능률화, 고정밀도화, 가혹한 조건에서의 사용, 환경에 대한 영향의 배려 등이 요구된다. 이러한 性能의 평가에는 動特性, 振動特性, 소음 등 動的인 특성의 해석이 중요해진다. 또 해석도 定性的인 것으로부터 定量的인 것이 필요해 질 것이다.

(b) 構造解析法

기계의 성능을 評價하기 위해서는 표 2·3에 든 여러가지 특성을 제품설계단계에서 구해야 한다. 간단한 경우에는 理論的인 해석에 의해 特性값이 얻어지는 일도 있지만 대부분의 경우에는 컴퓨터를 사용한 수치계산으로 판정한다.

〈표 2·3〉 機械製品에 있어서의 性能과 特性

性 能	精 密 度
	率 命
特 性	信 賴 性
	環境에의 影響
性	應 力 分 布
	變 位
	靜 剛 性
	振 動 特 性
性	熱 變 形
	騒 音

그 중에서도 컴퓨터에 의한 구조해석은 그 主流를 차지한다. 그 구조해석법으로 표 2·4에 든 여러가지가 있다. 그 중 有限要素法은 매우 실용적인 方法이며, 실제 구조를 그 形狀에 충실하게 모델化 할 수 있는 것이나 靜的인 應力·變位, 진동특성, 熱變形, 非線形의 특성 등 여러가지 특성이 동일한 데이터를 사용해서 얻을 수 있는 등과 같은 특징을 갖는다. 이 方法은 현재 가장 널리 사용되고 있으며 NASTRAN (NAsa STRuctural Analysis), SAP (Structural Analysis Program), ASKA (Automated Systems for Kinematic Analysis) 등의 범용 프로그램이 있다.

최근에는 有限要素法보다도 入力 데이터나 제

〈표 2·4〉 構造解析法의 分類

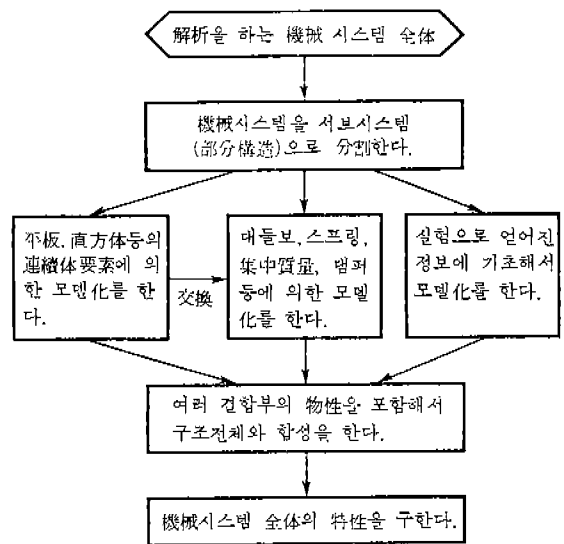
구조해석법	특징
有限要素法 (finite element method, FEM)	연속체의 해석에 위력을 발휘하며 形狀에 충실한 모델化가 가능하다. 여러가지 공동의 데이터를 얻는다.
境界要素法 (boundary element method, BEM)	유한요소법에서의 變分原理 대신에 積分定理를 사용한다. 유한요소법보다 1次元 낮은 모델化가 된다. 그래서 계산용량, 계산속도, 계산효율의 점에서 유리한 일이 있다.
뼈대集中質點法 (lumped parameter method)	구조물을 몇개의 集中質點과 그것들을 연결하는 質點이 없는 彈性으로 近似시키는 간단한 계산법이다.
전달매트릭스法 (transfer matrix method)	主軸系 등의 계산을 작은 컴퓨터 용량으로 신속히 계산하는데 적합하다.
리셉턴스 合成法 (synthesis of receptance method)	分布質點이 갖는 구조 모델로서 靜剛性和 진동특성의 해석을 할 수 있다. 非比例감쇠를 갖는 진동계의 주파수 응답을 구하는데 좋다.
動剛性 合成法 (synthesis of dynamic rigidity method)	有限要素法에 의한 모델化, 分布質點에 의한 모델化, 실험값에서의 모델化 등 여러가지 모델化를 혼합해서 사용할 수 있다. 靜剛性和 진동특성에 관한 평가, 해석, 설계개선을 쉽게 할 수 있다.

산시간의 단축을 도모할 수 있는 境界要素法이 주목받고 있다. 그러나 표 2·4에 든 여러가지 方法에는 각각 특징이 있기 때문에 目的에 따라서 적절한 方法을 선택하여야 한다.

그림 2·19는 動剛性 合成法에 의한 구조해석 계산의 흐름을 나타낸다. 특히 動的인 특성의 해석에는 기계 전체를 하나의 시스템으로서 파악하는 일이 필요하다. 기계 시스템을 구성하는 部分構造에 대해 有限要素法에 의한 모델化의 예를 그림 2·20에 든다. 이것은 대형 공작기계의 컬럼 部材를 셀要素로 요소 분할하여 모델化한 것이다.

이와 같은 構造解析法을 사용해서 제품의 특성을 해석하고 또한 性能의 평가를 하기 위해서는 대상으로 하는 제품의 기하학적 형상이나 材質 등에 입각한 設計情報과 構造解析用 프로그램이 있으면 된다는 것이 아니다. 구조 해석법을 사용하는데 있어서 다음과 같은 문제점이 있다.

- (1) 실제 제품의 특성과 충분히 일치한 계산결과를 얻는다는 것이 쉽지 않을 때가 많다.
- (2) 구조해석을 위한 데이터의 作成이나 컴퓨터



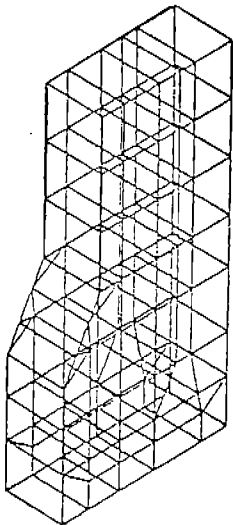
〈그림 2·19〉 動剛性 合成法에 의한 機械構造 全体의 靜剛性和 振動特性計算의 흐름

터에의 입력에 다대한 노력이 필요하다.

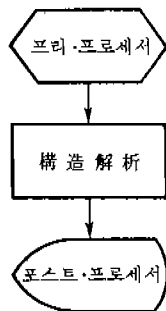
(3) 얻어진 계산결과를 어떻게 評價하여 有效한 情報를 찾아내는가 하는 方策이 있어야 한다.

(1)의 문제를 해결하기 위해서는 (i) 타당한 모델化의 방법을 선택할 것, (ii) 기계구조의 어느 범위까지를 모델化하는가를 명확히 하여 적절한 境界條件을 설정할 것, (iii) 구조해석을 위한 物性이나 屬性 데이터가 충분히 준비되어야 한다. 특히나 動的인 특성의 해석에는 (i)과 (ii)가 중요하다. 또 (iii)에 관해서는 기계구조에서의 여러가지 結合部의 剛性이나 감쇠 계수에 관한 데이터를 준비하는 것이 곤란하다. 그림 2·21은 平均 接觸面壓의 크기에 대한 單位 接觸面積당 結合部 等價 스프링 剛性의 예이다. 이것은 단순화된 결합부 실험 모델에서 얻어진 것이다. 이런 데이터를 충분히 정비하여 데이터 銀行化해야 한다.

(2)의 문제는 構造解析을 自動화하기 위한 自動 데이터 作成 프로그램을 필요로 한다. 그래서 有限요소법의 보급과 함께 構造 모델을 그림 2·20처럼 셀이나 板 등의 構造요소로 自動적으로



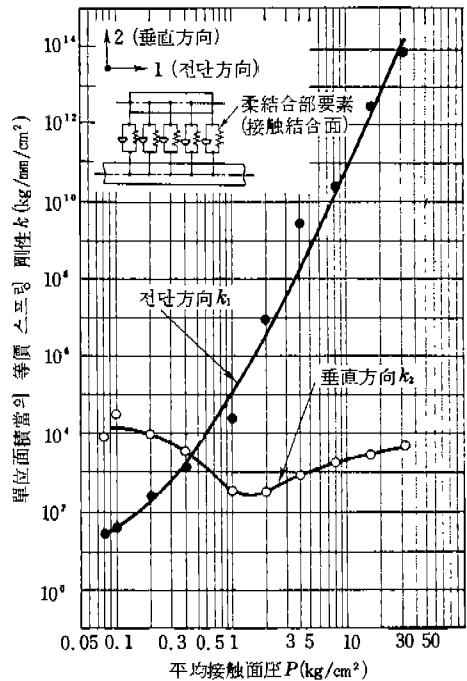
〈그림 2·20〉 컬럼部材의 有限要素法에 의한 모델化 例



〈그림 2·22〉 構造解析에 있어서의 프리·프로세서와 포스트·프로세서

분할하여 節點의 번호부여 등을 自動화하는 방법이 여러가지 개발되었다. 범용의 구조해석 프로그램들에는 무엇인가 自動 데이터 作成 프로그램이 준비되어 있다. 이것은 구조해석을 위한 프리·프로세서라고 한다(그림 2·22). 그러나 실제의 機械構造는 立体이다. 그 경우의 自動要素 分割法은 平面內構造에 비해 훨씬 어렵고 아직 충분한 것은 개발되지 않았다.

(3)의 문제는 구조해석의 포스트·프로세서의 충실을 필요로 한다. 應力分布, 變位分布, 溫度分布 등과 같은 계산결과와 적절한 圖形表示만이 아니라 특성이나 성능의 評價法을 확립해 두는 것이 중요하다. 예를 들면 구조해석의 범용 프로그램을 사용해서 진동해석을 하면 대단히 많은 수의 固有振動數와 變位分布(모드형) 등 다량의 계산결과가 출력된다. 이 방대한 量의 계산결과



〈그림 2·21〉 平均接觸面壓에 대한 結合部 單位接觸面積당 等價 스프링剛性의 同定例 (材料는 S55C, 接觸面은 研削마무리, 接觸面間에 머신기름이 있다)

에 만족해 버려 性能의 評價에 유용한 情報을 인출하는 것을 잇는 일이 있다. 이 평가법의 확립을 위해서는 대상으로 하는 특성이나 성능에 대해 충분한 통찰이 필요하다.

(c) 製品設計段階에서의 製造原價의 評價

제품 설계단계에서는 그 제품의 機能이나 性能이 중시되지만 製造原價(코스트)는 충분히 고려되지 않는 경우가 많다. 그러나 제품설계의 여하가 이후의 제조에 있어서의 工程이나 作業의 대강의 줄거리를 정해버리기 때문에 제품 설계단계에서의 제조원가의 고려가 중요하다.

그래서 제조설계단계에서는 표 2·5에 든 여러 費用의 평가요인을 고려하여야 한다. 특히나 최근에는 자원절약·에너지 절약을 위한 設計가 요구되는 일이 많기 때문에 제품에서의 材料의 使用量을 적게 하는 일이나 제품의 製造와 使用에 소요되는 에너지를 줄이는 일 등이 고려된다.

設計나 製造에 요하는 비용을 가급적 낮추기 위해서는 제품설계에 그룹·테크놀로지(GT)의 개

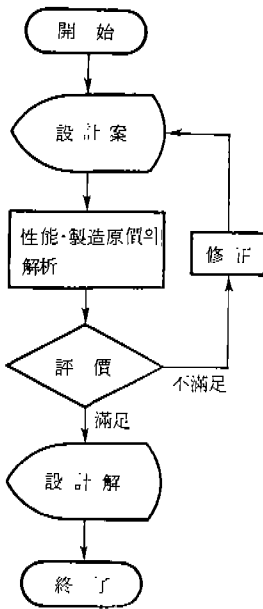
념을 도입하는 것이 효과적이다. 종래, GT는 제조면에서의 合理性을 주로 해서 追求해 왔다. 그러나 製品의 部品形狀이 결정되는 것은 설계단계이며, 제조단계에서는 圖面을 충실히 구체화하는 것이므로 제조단계에서 部品를 그룹화하는 데는 限界가 있다. 그래서 部品の 표준화를 크게 발전시키기 위해서는 제품설계단계에 소급해서 GT의 개념을 도입해야 한다. 그러기 위해서는 다음과 같은 方法이 사용된다.

- (i) 한 제품 내에서의 同一部品·部材 또는 規格品의 채용
- (ii) 시리즈화된 多樣化 제품에서의 同 - 部品·部材의 채용

이것 때문에 생길지도 모르는 性能의 低下에 대한 對應을 고려해서 製品設計가 이루어져야 한다.

2·2·4 對話形式의 製品設計

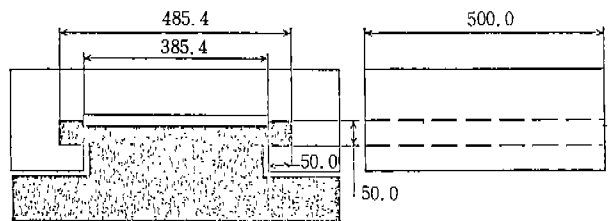
제품설계과정은 컴퓨터에 의해서 완전히 自動化되는 것이 理想的이다. 그러나 실제의 제품에는 방대한 수의 設計變數와 많은 評價要因이 있



〈그림 2·23〉 對話에 의한 設計案의 修正흐름

〈표 2·5〉 製品設計時의 諸費用

	材料費
	機械加工費
製造原價	鎔接費
	組立費
	檢査費
運轉經費	使用動力費



〈그림 2·24〉 案內結合部設計案의 그래픽·디스플레이 上에서의 出力例

으며, 설계과정을 모두 自動化하는 데는 곤란한 일이 많다. 이런 경우에는 설계자가 그래픽·디스플레이 위에서 컴퓨터와 對話하면서 설계자의 경험, 육감, 창조성 등을 가미해서 製品設計을 하는 것이 중요하다.

그림 2·23은 對話形式으로 설계가 수정되는 흐름을 나타낸다. 먼저 대상으로 하는 제품의 모델화를 한다. 그 모델화에 기초하는 제품의 성능과 제조원가의 해석결과 또는 동작의 애니메이션의 視覺的인 파악에 따라서 설계자가 適否 판단을 한다. 그 결과 만약 設計案이 불만족한 경우에는 모델의 수정 또는 변경을 하여 설계자가 만족할 때까지 동일한 과정을 반복한다.

그림 2·24는 振動特性面부터의 구조해석으로 얻은 工作機械에서의 크로스 레일과 컬럼 간의 안내 결합부 단면도의 예이다. 그림 2·25는 실제로 기계가 가동하고 있을 때의 특성을 時間軸 위에서 파악하기 위해 프레이스 加工에 의한 절삭점의 變位振幅 응답이 시뮬레이션 결과를 그래픽·디스플레이 위에 출력시킨 예이다. (a)에서는 外亂에 대해 안정한 절삭을 할 수 있지만 (b)에서는 불안정해져 이 설계에서는 절삭이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 이러한 그림을 설계

자가 視覺的으로 보고, 經驗과 육감을 합쳐서 설계의 수정을 한다. 이러한 방식으로 數理的인 해석을 하기 곤란한 사항에 대한 評價를 하게 된다.

2·2·5 最適 設計

실제의 컴퓨터에 의한 제품설계에서는 前節의 對話的 方法에 의하는 일이 많지만 궁극적으로는 어떤 평가 기준하에서 최적의 설계를 얻는 것이 요구된다. 제품설계에는 이미 말한 바와 같이 성능, 製造費用 등의 많은 평가요인이 있다. 이런 평가특성을 最適化를 위한 목적 함수 또는 制約條件에 포함시켜 제품설계에서는 N 개의 설계 변수 b_j ($j=1, 2, \dots, N$)가 통상 다음과 같이 적합하게 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{목적함수: } & \phi_0 \rightarrow \text{최소화 또는 최대화} \\ \text{제약조건: } & \phi_i \leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, M) \end{aligned} \quad (4)$$

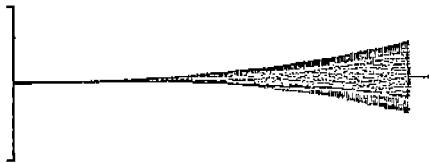
목적함수 ϕ_0 로서는 설계의 대상인 제품에 관한 가장 중요한 평가요인(예컨대 他社 제품과 비교되는 성능이나 제조원가)이 선택된다. 예를 들면 성능을 어느 기준 이상으로 유지하면서 제품 제조원가를 최소로 한다, 제품 제조원가를 어느 기준 이하로 유지하면서 어떤 경쟁요인이 되는 성능을 최대로 한다 등이다.

評價要因간에 경쟁관계가 있으며, 그 트레이드·오프 관계(한쪽이 좋아지면 다른 쪽이 나빠지는)가 최적화에 크게 영향을 줄 경우에는 다목적 최적설계문제로서 定式化하여야 한다. 이때 경합관계에 있는 複數個의 評價要因을 목적함수로서 채택한다.

多目的 최적설계문제를 해석하기 위해 복수의 목적함수간 퍼레토(Pareto) 最適解(여러 목적함수 중의 어느 하나의 목적함수 값을 개선하기 위해서는 적어도 그 이외의 하나의 목적함수 값을 改惡하지 않을 수 없는 풀이)를 구한 예를 그림 2·26에 든다. (a)는 설계 대상인 工作機械의 主軸 모델이다. 설계 변수로서 主軸의 바깥 지름 D_1 과 안 지름 D_2 를 채택하면 그 설계 변수가 가질 수 있는 영역(공간)은 (b)처럼 되고 斜



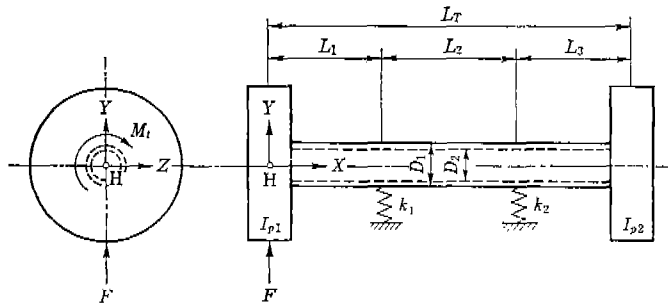
(a) 安定한 경우(切削幅6.00mm)



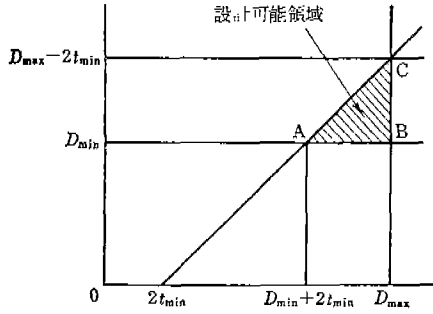
(b) 不安定한 경우(切削幅10.00mm)

(그림 2·25) 프레이스切削에서의 切削點의 變位

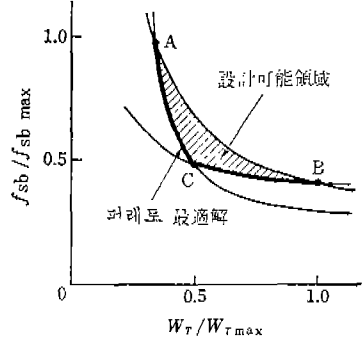
振幅의 時間應答의 시뮬레이션
(工具半徑: 50mm, 절삭깊이: 5.00mm)
(절삭날數: 17枚, 工具回轉數: 120rpm)



(a) 主軸 모델



(b) 設計變數領域



(c) 多目的 함수 공간

〈그림 2·26〉 主軸 모델의 總重量 W_r 와 구부림의 靜컨플라이언스의 f_{sb} 2 目標 最小化를 위한 最適設計問題

線의 영역이 설계가능 영역에 상당한다. 여기서 D_{max} , D_{min} 그리고 t_{min} 은 主軸 바깥 지름의 上限값, 안 지름의 下限값과 두께의 下限값을 나타내고 있다.

主軸의 重量 W_r 는 통상 材料費, 제어의 용이성, 消費動力 등의 점에서 작은 것이 바람직하다. 한편, 구부림의 靜컨플라이언스 f_{sb} (H점에 단위 外力이 가해진 경우의 H점의 變位)는 가공정밀도나 가공 능률을 높이기 위해 작은 것이 바람직하다. 그러나 W_r 를 최소화한다는 目的과 f_{sb} 를 최소화한다는 목적은 서로 トレード-오프의 관계에 있고 W_r 와 f_{sb} 의 동시적 최소화는 얻을 수 없다. 이러한 경우의 설계의 最適化를 위해 W_r 와 f_{sb} 의 최소화라는 두 목적함수간 トレード-오프 관계를 나타내는 퍼레토 解集合(線分 AC B 上)을 구한 것이 그림 2·26(c)다. 여기서 W_r max와 f_{sb} max는 각각 W_r 와 f_{sb} 가 가질 수 있

는 최대값을 나타내고 있다.

제품설계에 있어서의 最適化 문제에서는 대부분의 경우, 목적함수와 제약조건식이 설계변수에 관한 非線形 함수가 된다. 따라서 最適化 문제를 풀기 위해서는 기본적으로는 非線形 計画法을 사용해야 한다.

다음에 실제 제품설계에 있어서의 最適化를 하는 데서의 큰 문제점은 다음 두가지가 있다.

(i) 실제의 제품에서의 設計變數의 수는 대단히 많고 最適化의 계산에 多대한 시간을 필요로 한다.

(ii) 非線形 計画法을 사용하여 求해진 풀이가 大局적인 最適解라는 보증을 얻는 것은 어렵다. 설계변수가 많고 또 制約條件의 數가 많은 경우에는 局所的인 最適解에 풀이가 收束되어버릴 가능성이 강해진다.

이런 것은 대규모의 最適化 문제에 共通적인

전기사고사례 내용 자료수집

협회에서는 '87년도에 이어 두번째로 전기공작물의 각종 전기사고 사례를 수집, 선정하여 전기사고사례집을 발간 홍보함으로써 전기안전관리에 기여하고자 전기사고 사례내용의 자료를 수집하니 회원사에서 그동안 발생되었던 전기에 관련된 사고사례 내용에 대한 자료를 '89. 4. 10 까지 협회 기술부로 보내 주시길 바랍니다.

보내주신 자료에 대하여는 명예훼손이 되지 않도록 편집할 것이며, 자료를 제공한 업체에 대하여는 사례집을 보내 드립니다.

1. 사례집 편집내용

제 1편 : 전기안전일반

- (1) 전기의 이론 (2) 전기설비의 구성
- (3) 전기의 안전 운용 (4) 전기안전수칙

제 2편 : 국내 전기사고 사례

- (1) 수전설비에서의 사고 (2) 부하설비에서의
- (3) 기타 전기사고 사고

제 3편 : 외국 전기사고 사례

- (1) 수전설비에서의 사고 (2) 부하설비에서의
- (3) 기타 전기사고 사고

제 4편 : 소송판례

- (1) 공사시 사고판례 (2) 운전시 사고판례
- (3) 기타 사고판례

2. 사례내용 작성 구분

(1) 일반적인 것

- (가) 사고발생개요 : (육하원칙에 의함)
- (나) 사고원인과 방지대책

(2) 소송판례

- (가) 사건개요 (나) 판결요지
- (다) 판결이유 (라) 관련법 등

것이고 대상으로 하는 문제의 특징을 파악한 후, 非線形 함수를 線形 近似하는 方法, 설계변수를 그룹화하는 方法, 최적화 문제를 몇가지의 部分 最適化問題로 분할하는 方法 등이 사용되고 있다. 그러나 그 결정적인 근거가 되는 方法은 현재로서는 존재하지 않고 最適 設計問題의 중요한 과제로서 여러가지 연구가 수행되고 있다.

표 2·6은 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 方法으로서 제창되고 있는 單純化構造를 매체로 하는 多層 最適設計法의 프로세스를 표시하고 있다. 먼저 單純化層에서 대상으로 하는 제품에 관해 착안하는 評價要因이 필요한 만큼 충분히 표시될 수 있도록 單純化된 모델을 선정한다. 이렇게 해서 설계변수의 수가 대폭 감소한다. 다음, 最適化層에서 單純化된 모델을 최적화한다.

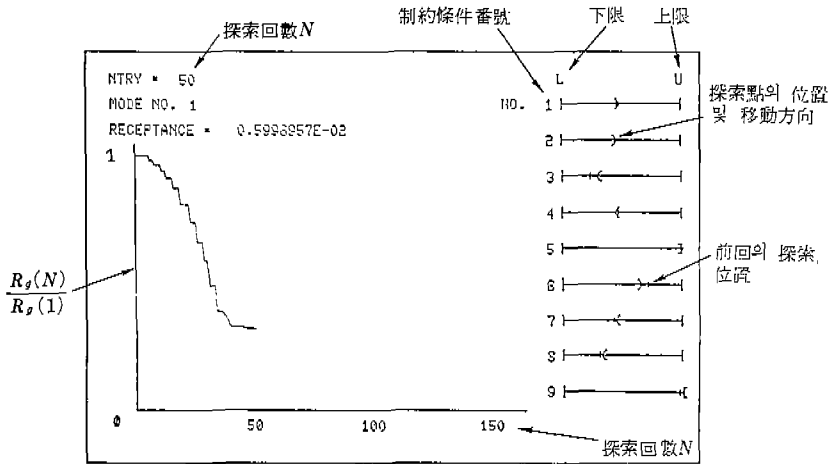
이때 실제의 제품에 비해 설계변수의 수가 적기 때문에 數理計劃法의 적용이 용이해진다. 또 局所的인 最適解가 풀이에 收束되어 버리는 가

능성도 적어진다. 끝으로 具體化層에 있어서 최적화에 의해 요구되는 값을 충족시키도록 상세 설계로서 구체적인 설계변수의 값이 결정된다.

이 多層 最適設計法에서의 單純化層과 最適化層은 그림 2·4의 제품설계 프로세스 중의 기본 설계에 상당하고 具體化層은 상세설계에 상당한다. 통상의 최적설계에서는 상세한 설계가 대개 주어진 모델에 대해 그 상세한 값을 정하는 方法이 사용되지만 이것으로는 設計의 自由度가 낮고

〈표 2·6〉 多層最適設計法의 순서

第1層	單純化	스텝 1	機械構造의 分割
		스텝 2	構造部材의 單純化
		스텝 3	結合部의 單純化
		스텝 4	機械構造全體 모델의 構築
第2層	最適化	스텝 5	機械構造全體 모델의 最適化
第3層	具體化	스텝 6	決定變數의 感度解析
		스텝 7	構造部材의 具體化
		스텝 8	結合部의 具體化
		스텝 9	機械構造全體에의 合成과 評價



〈그림 2·27〉 最適值 探索過程에서의 그래픽·디스플레이 表示例

〈표 2·7〉 多層 最適設計法에서의 製造 原價 最小化의 흐름

第1層	單純化	箱子形斷面을 갖는 構造部材에 의해 構成되는 單純化된 模型을 設定한다.
第2層	最適化	材料費를 最小로 하게, 상자形斷面을 갖는 構造部材의 斷面치수를 決定한다.
第3層	具體化	1 銲接費를 最小로 하는 리브의 配置와 枚數를 결정한다.
		2 機械加工費를 最小로 하는 結合面의 形狀과 加工方法을 결정한다.

비약적으로 참신한 제품을 創成하기는 어렵다. 이에 비해 多層 最適設計法은 상세설계를 결정하는데 있어서 自由度가 크고 대폭적인 設計改善과 새로운 設計가 탄생될 가능성이 있다.

예로 대형 공작기계를 들어 多層 最適設計法을 사용해서 제조원가를 최소화하는 프로세스를 표 2·7에 든다. 여기서는 製造原價의 평가요인으로서 재료비, 기계 가공비, 용접비를 들고 있다. 또 주된 제약조건으로는 그 공작기계의 가공 정밀도와 절삭능률이라는 性能面의 요인이 고려되고 있다.

이와 같이 해서 最適設計에 의해 얻어진 設計案은 설계자가 定式化한 문제를 푼데 불과하다.

그 定式化의 과정에서는 모든 變因을 고려하고 있다고는 할 수 없고 또 실제의 製品設計에서는 애매한 요인도 포함되고 있기 때문에 最適化에 의해서 얻어진 설계안을 즉시 제품화하는 것은 위험하고 설계자는 그래픽·디스플레이 위에서 그 설계안의 形狀 등을 검토하는 일이 필요하다.

또 實用的으로는 최적 설계값의 탐색과정을 그래픽·디스플레이 위에서 모니터하여 定式化의 不完全性を 보충하는 것이 효과적이다. 그림 2·27은 그 最適값 탐색과정을 그래픽·디스플레이 위에 出力한 예를 표시한다. 이 예에서는 공작 기계구조의 주파수 영역상 리셉턴스의 최대값을 最小化하는 것을 목적으로 하고 있으며, 이것은 진동에 대한 安定性의 증대에 연결된다. 그림 2·27의 좌측은 初期 設計時의 목적 함수값을 기준으로 해서 N 회째의 탐색회수에서의 목적 함수값의 변화상태를 표시하고 있다. 우측의 그림은 그 탐색회수 시점에서의 설계 변수값의 거동이며, 각 설계값이 上限과 下限 사이의 어느 위치에 있고 또 어느 方向으로 설계값이 移動하고 있는가를 알 수 있다.

설계자는 이러한 最適化의 과정을 고려하면서 제약조건에 上·下限값의 修正, 탐색에 있어서의 설계변수의 변경 등을 對話의으로 할 수가 있다.