

# 設計와 疲勞破壞

## Design and Fatigue Fracture

宋 森 弘\*

Sam Hong Song

機械라고 하면 여러개의 部品으로 구성되어 있고, 이들 部品은 대부분이 서로 相對運動을 하며 또한 慣性力, 遠心力, 流體壓力, 反力 등의 하중을 받으며, 이들 荷重은 대부분이 反復적으로 機械에 작용한다. 따라서 材料의 破壞문제는 反復되는 하중하에서 論議되는 것이다.

一般的으로 疲勞破壞의 사고원인으로는 不適合한 設計材料의 不良, 工作 및 機械조작의 ミス등이 있다. 어떤 機械에 대한 破壞原因이 명히 확실할 경우에는 그 대책도 쉽게 강구되지만, 原因규명이 불확실한 경우에는 매우 어렵게 된다.

만일 어떤 機械에 대하여 事故의 原因이 필만한 諸因子들에 대한 보안이 잘되어 있다고 하더라도 破壞가 일어났다고 하자, 그러면 設計者는 安全設計를 하였는가 또는 破壞에 대한 대책을 어떻게 강구하는게 좋을 것인가 하는 문제로써 고심하게 된다.

이러한 경우, 먼저 생각할 수 있는 것은 使用材料의 선택 및 加工 또는 熱處理가 제대로 되었다고 하더라도 疲勞強度에는 Scattering 현상이 발생한다는 것을 고려하는 것이 좋겠다. (1) 이러한 경우, 設計者는 Scattering을 충분히 고려하여 破壞가 일어나지 않는 設計를 할 필요가 있고, 設計改善에 따라서 未知의 Scattering을 보완할 수 있는 문제를 생각할 수 있어야 할 것이다. 그렇기 때문에 設計者는 특히 疲勞強度에 관한 충분한 知識을 가지고 強度에 대한 Scattering에 대해서도 경험을 쌓고 새로운 資料에 관심을 기울여 疲勞破壞防止에 노력하는 것이 좋을 것이다.

따라서 본 원고에서는 독자 諸賢께서 이미 알고 있으리라 믿어지는 內容을 간추려 보기로 하였고, 內容別로는 (1) 設計의 本質 (2) 材料의 선택과 熱處理, (3) 疲勞擊動에 영향을 주는 熱處理의 諸因子 (3), (4) 疲勞破壞와 設計 (4), (5) 安全設計, (6) 信賴성과 安全性 등에 대하여 기술하여 보겠다.

### 2. 設計의 本質

#### 2-1. 設 計

일반적으로 設計라는 것은 어떤 것을 實現하기 爲한 計劃이라고 말할 수 있다. 設計의 思考過程을 살펴보면 計劃目的의 설정과 그 것을 실현하기 爲해 工學(Engineering)을 이용하여 決定作成(Decision Making)의 과정을 試行함과 동시에 摸索하면서 목표에 접근하는데 그 本質이 있다고 생각된다.

이러한 思考過程의 단계는 그림 1과 같이 먼저 必要의 認識, 문제에 대한 定義, 統合, 解析, 最適化, 評價, 決定이라 할 수 있다.

이들 단계는 반드시 直列적으로 연결 되는 것이 아니라, 경우에 따라서는 그 과정은 試行的인 반복을 거듭하면서, 특히 評價의 基準點으로 재차 Feed back이 되어서 最適化를 위한 반복이 되고 있음을 알 수가 있다.

즉, 먼저 目的課題에 대한 문제점의 파악과 認識으로 시작해서 解析의 가능한 모양으로 문제의 정의를 행하며, 에너지, 材料, 사람, 費用 등의 組合을 조절하고, 그 評價를 반복하면서 最適化를 위하여 최종의 設計明細를 결정해 가는 것이다.

이와같은 과정에서 살펴보더라도 工學技術者(Engineer)의 중요한 임무로 되어있는 設計는 機械要素의 解析을 행하는 機械設計(Machine design)라기 보다는 工學的 設計(Mechanical engineering design)라 하겠다.

이것은 기술자에게 요구되는 설계가 綜合性(Synthesis)이 있어야 됨을 요구하고 있으며, 또한 Academic한 學校教育的 解析性(Analysis)과는 대조적이라 하겠다.

\* 正會員, 慶熙大學校 工科大學 機械工學科

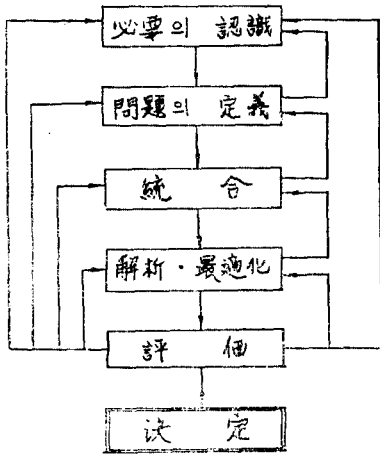


그림 1. 設計의 基本過程

Academic한 科學問題의 목적은 自然의 비밀을 知的인 好奇心에 의한 眞理의 추구라 하겠다. 여기에 種태의 解析을 主體로 하는 Academic한 문제의 解法은 일정한 法則, 公式 또는 應用展開에 의하여, 解法에 필요한 一定條件, 拘束條件등을 줌으로써 그 해법은 대개 하나가 될 수 있다.

한편 工學問題는 먼저 문제의 제기가 人間社會의 구체적인 요구를 만족하도록 그 실현을 추구하는데 차이가 있다.

가령 大都市에 있어서의 交通輸送問題를 보더라도 이것은 社會, 經濟적으로 보아서 큰 시스템 設計(System design)의 고려가 불가피하게 된다.

또한, 工學의 Service 性을 살펴보면 社會속의 個人, 集團속의 특정한 요구에 응할 수 있는 것은 生産, 供給을 하는 計劃性에 있다. 예를 들면 情報機械, 輸送機械, 作業機械, 動力機械 등의 설계라 함은 광범위한 消費者에 이익을 주기 위해, 反復, 生産, 供給을 하기 위한 基本 Pattern이라 하겠다.

따라서 工學의 設計는 그 해답이 여러가지가 있을 수 있으며, 그것이 正確性과 最適化를 위한 施行을 반복해 가는 것이라 하겠는데, 그 評價의 기준이 技術的 또는 社會的, 經濟的인 要素의 組合으로 되어 있다고 하겠다

### 2.2. 基本設計와 生産性 設計<sup>(2)</sup>

開發 設計로부터 基本 設計에로의 移行은 그 설계 개념의 내용을 현실의 기술 수준으로 척도해서 검토하고, 機能試作등에 의하여 확인하게 된다.

이것에 대하여 기본 설계에 있어서의 生産性 設計의

검토는 설계 내용을 商品 價値라는 척도로 검토 되어서 生産試作등에 의해 확인하게 된다.

設計 作業의 진행에 따라 제품의 기능과 원가의 관련이 모두 명확하게 對應하게 된다.

이 단계에 들어 가면 어느 한쪽을 수정하려고 해도 주위의 조건이 강하게 고정화되기 때문에 어렵게 된다.

기본 설계의 좋고 나쁨은 生産性 설계의 결과까지 포함해서 상품으로써의 優位性에 직접으로 연결이 되는 것이다.

가령 자동제어가 가능한 工作機械는 항상 主軸速度라든가 移送速度가 그 제어 대상이 되는 일이 많다.

制御用 機器에 어떤 방식을 채용하느냐에 따라서 (가령 油壓 Servo 機器인가, 電氣 Servo機器인가 에 따라, 또는 Analogue 機器인가 Digital 機器인가 등에 따라), 그 기계 전체의 시스템 구성에 결정 된다고 하겠다. 단순히 機械 部品으로 취급하려던 것이 사실은 기계 전체의 動向을 制約하고, 설계 구조는 물론 生産성 설계에 의한 상세한 검토를 하기 이전부터 이미 그 生産의 진로에서 직접 영향을 미치는 일이 있다. 또 이와 같은 기계는 실제로 手動操作機械와 비교 했을 때 切削 그 자체의 기본 기능에는 같은 것이 많으나, 工作精度에 대해서는 차이가 생긴다.

더구나 자동제어의 결과에 의한 실제 負荷率이 증가하든지, 工作精度의 安定化등 실제 문제에 의해 나타나는 기능으로서는 매우 현저한 차이가 생기기 쉽다.

### 2.3. 製造設計의 관점에서 본 工業製品

工業製品의 가치를 제품에 요구되는 性能, 費用, 製作期日에 따라 抽象化하여 표현하면 다음과 같이 정의 된다.

「공업 제품의 가치라 함은 時期에 적당하고, 적절한 사용과 貴重性을 만들어 내기 위해서 그 제품의 購賣 또는 제품에 사용되는 최소의 금액으로 표시된다」

消費者, 使用者 측으로 보면 공업제품의 가치는 어떤 주요 기능을 확실히 하기 위해 最低 價値으로서의 使用價値와 소비자, 사용자가 구하는 裝幀, 外觀, 사용상의 便利, 効用등을 갖게 하기 위한 최저 가격으로서의 貴重價値로 부터 성립되어 있다. 이들은 공업제품의 성능으로 대표가 된다.

또, 生産工場(企業)의 입장으로 보아서는 그 제품을 만들기 위해서 여분의 불필요한 가치를 제외한 최저 필요한 製造原價 또는 다른 經費會計로부터 된 價格 價値(Cost Value)가 문제가 된다. 이것들은 공업 제품의 비용으로 대표가 된다. 따라서 이상적인 最適價値라 함

은 그 제품의 성능과 비용의 균형에서 결정이 된다고 하겠다.

製品性能은 본래 주요 기능만이 아니라 副次的인 기능까지도 포함한 종합적 성능이지만, 그 複雜度를 증가시키면 성능의 使用價值, 貴重價値의 程度에 대한 上昇曲線은 일반으로 포화가 된다. 한편, 이것에 필요한 相對價値=性能/費用이라 하면 그 곡선은 最適點을 가지고, 그후 점차 내려 오게 내버, 따라서 하나의 最適點이 구해진다. (그림 2 참조)

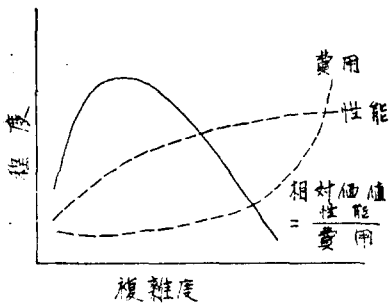


그림 2. 性能 및 費用의 相對價値

실제 문제로서 그 最適點을 구하는 것은 쉬운 일이 아니지만, 제품 설계를 행하는 技術者는 본래 이 점을 추구해야 될 것이다.

### 3. 재료 선택과 열처리

#### 3-1. 재료의 특성

기계설계에 있어서 재료선택이라고 하는 것은 단지 재료의 선택에만 그치는 것이 아니라 그것은 素材工程, 加工工程을 일관해서 加工의 難易度, 허용응력의 대소, 재료가 제품으로 사용되는 比率의 程度등의 기계적 특성과 경제적 자위성을 추구하고서 결정하는 것이다.

이와 같은 점으로 보면 市場性이 있는 표준 재료를 사용한다는 것은 기계적 성질이 명확한 재료를 경제적으로 이용한다는 의미에서 가장 보편적인 방법이라고 볼 수 있다.

기계 구조물에 사용되는 재료는 대부분이 금속 재료이나, 合成化學工業의 발달에 따라서 合成樹脂도 많이 사용되고 있다.

유리, 섬유등을 조직속에 넣은 強化 플라스틱(FRP)이라든지, 폐놀계 플라스틱, 붕소계 플라스틱등은 기계적인 強度, 마모특성이 월등하고 기어 베어링 그 밖에 強度要素에 점차적으로 많이 사용되고 있다.

이와 같이 原材料로서 금속 이외에 合成樹脂도 취급하지 않으면 안되지만 素材 性質에 적당한 加工方法이 어떠한 것인가를 우선 검토해 두어야 한다.

加工에 관련이 있는 性質로서는 우선 可溶性, 展延性, 被切削性등을 들 수 있다.

이상은 素材를 成形할 때에 문제가 되는 성질이나, 소재선택에 관하여는 단순히 이러한 것으로만 결정할 수는 없다. 加工이 끝나서 제품이 되었을 때의 性能, 즉 強度, 硬度, 靱性, 剛性, 傳熱性, 振動性, 熱膨脹, 耐蝕性, 또는 價格, 材料를 구하는 難易性 등을 고려하고 최종적으로 조건이 갖추어진 재료를 사용해야 한다.

#### 3-2. 強度에 대하여

그 部材에 가해지는 外力의 크기, 방향, 종류에 따라서 가장 주의 해야할 應力을 抽出하고, 이것에 대한 素材強度를 검토 해야 된다.

그 내용 중에서 중요한 것은 引張, 壓縮, 비틀림, 굽힘, 剪斷등의 靜荷重이라든지, 動荷重에 관한 것이다. 또 同一 素材라 하더라도 도중의 熱處理工程의 相異, 表面處理方法, 表面거칠기의 程度에 따라서 強度는 변화 한다. (5)

따라서 設計者가 強度를 이유로, 어떤 특정한 재료를 선택하였을 때 그 素材의 成形工程으로부터 中間工程, 마무리 工程까지 일관해서 어떤 加工處理를 행할 것인가 하는 것을 충분히 검토해 두지 않으면 안된다.

#### 3-3. 硬度에 관하여

鋼의 引張強度와 硬度에 대하여 일정한 관계가 있는 것을 그림 3에 표시한다.

일반 부품에 대하여 引張強度대신에 硬度를 指定하는 일이 일반적으로 행하여지고 있다. (이것은 실용적인 면에서 측정이 쉽다는 이점을 가지고 있기 때문이다.)

이 외에 耐摩滅性, 치수精度的 유지, 疲勞強度의 向上등에 대하여 고려해야 할 部材에 대하여는 그 表面硬度가 중요하다.

鋼의 表面硬度 확보의 방법으로서 담금질, 浸炭熱處理, 窒化處理, 火炎熱處理, 高周波熱處理등과 같은 방법이 취급되고 있다.

表面硬度를 높게 하였을 때 주의 할 점으로는 최종 다듬질을 위한 作業交替(주로 연삭 가공한다)를 어떻게 가장 적합하게 할 것인가이다.

과대한 작업 교체는 막대한 작업 시간이 필요하고, 原價의으로는 매우 불리하다. 또 작업교체가 적은 경우에는 열처리 스트레인이 다듬질 치수까지 가공했을 경

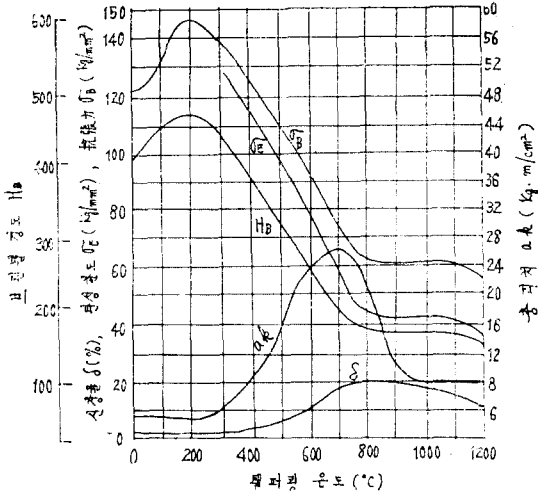


그림 3. 담금질 炭素鋼 (0.4~0.6% C) 의 담금질 온도와 機械的 性質과의 관계

우에도 남아 있고, 제품으로써 사용하기가 불가능할 때가 있다.

部材의 모양, 치수, 열처리 방법등의 조합에 따라서 그 數值가 다르나, 中小形部品에서는 0.5~0.1mm 정도로 한정시키는 경우가 많다.

4. 疲勞舉動에 影響을 미치는 熱處理의 諸因子

오늘날 機械部品에 사용되는 鋼材의 疲勞強度가 浸炭窒化, 高周波담금질 등, 소위 表面熱處理에 依하여 현저하게 改善되고 있는 사실은 기술자의 지식과 기술의 향상때문일 것이다. 그러나 機械部品の 設計에 있어서 熱處理法의 選擇, 計劃등이 적당하지 못할 경우, 그 效果는 충분히 발휘되지 못하고, 오히려 部品들의 疲勞를 촉진시킬 염려가 있다.

4-1. Notch와 表面硬化

機械部品에는 홈이나 필렛등의 노치가 존재하고 있다. 外觀上으로는 노치가 보이지 않더라도, 表面의 다듬질 상태가 나쁘거나, 공구의 가공흔적이 있든지, 혹은 摩擦, 摩耗에 의하여 表面이 損傷받고 있으면 이들은 노치와 같은 작용을 하고 그 부분에는 應力集中이 일어난다. 應力集中은 部材의 疲勞強度를 현저하게 저하시킨다. 예를 들면 그림 4는 노오말라이징한 鋼에서 노치가 있는 것과 없는 것의 疲勞強度를 비교한 것이다. 그림 5는 노치 밑부분의 曲率반 지름 R가 다른 部材를 引張

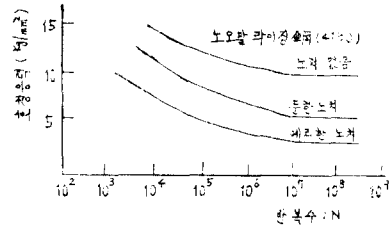


그림 4. 노치를 가진 시험편의 疲勞限度

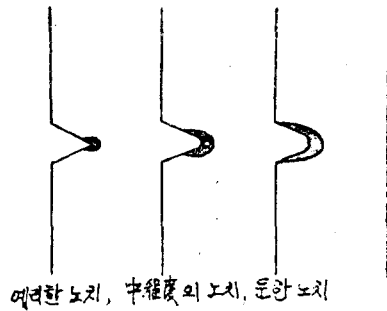


그림 5. 노치의 모양과 塑性領域

했을 때 塑性變形이 發生하는 領域을 대략 표시하였다. 노치가 예리한 것은 塑性變形이 좁은 領域에 集中的으로 發生한다. 따라서 예리한 노치를 가지는 것 일 수록 약간의 負荷返復에도 疲勞가 發生한다.

그러나 이와같은 應力集中에 의한 疲勞強度의 低下는 그 노치部分에 表面熱處理를 實施하여 強化하므로써 어느정도 補完시킬 수 있다. 또한 노치에 의한 疲勞強度의 低下가 현저한 것 일 수록 熱處理로 인한 改善의 效果가 크다.

機械部品은 여러가지 목적으로 名種の 노치를 필요로 하지만, 輕量化 및 經濟性的의 觀點에서 部材斷面을 크게 하는 것을 피하고 싶을 때가 많다. 이와같은 경우, 노치부분을 表面處理에 의하여 強化 할 수 있다면, 노치부분의 疲勞強度는 改善되고, 그 部材전체의 疲勞強度가 향상되며 部品の 壽命은 길게 된다.

4-2. 硬化깊이와 疲勞強度의 關係<sup>7)</sup>.

表面熱處理된 機械部品の 疲勞強度는 그 表面硬化의 깊이에 따라서 다르다. 硬化깊이가 疲勞強度에 미치는 效果에 대해서는 많은 研究者들에 의하여 여러가지의 結果가 얻어지고 있다<sup>7)</sup>. 그 중에는 서로 모순되는 것도 있지만, 종합적으로 보던 部材의 두께와 일정한 關係가

있다. 즉, 두께에 대해서 어느 정도의 깊이까지는 硬化 깊이와 함께 疲勞強度가 증가되지만, 그 限界點을 지나면 도리어 疲勞強度를 저하시킨다.

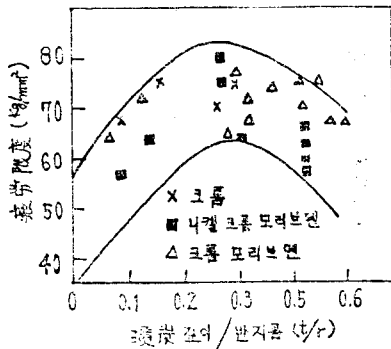


그림 6. 浸炭깊이와 疲勞限度와의 관계

예를 들면 그림 6<sup>8)</sup>을 自動車의 기어용鋼材에 대해서 回轉굽힘疲勞強度를 調査한 것이지만, 浸炭깊이가 試驗片의 반지름에 대해서 0.25정도인 곳에서 最高의 疲勞強度를 나타내고 있다. (지름에 대해서 0.125).

4-3. 素材 中心部の 強度와 疲勞強度의 關係

素材 中心部の 機械的인 性質이 疲勞強度에 影響을 준다. 종래에는 浸炭달금질에서 中心部の 強度가 낮은 쪽이 耐衝擊力이 좋다는 점에서 素材로서 가능하던 低炭素鋼을 선택하는 경향이 있다. 低炭素鋼은 被切削性이 나쁘고, 疲勞強度를 改善하는대는 오히려 中心部の 強度를 약간 높이는 것이 유리하다는 생각에서 최근에는 다소 炭素量이 높은 鋼을 선정하고 있다.

그러나 中心部の 強度가 表面硬化層의 強度와 같은 程度로 되면, 疲勞強度의 改善에 有效한 壓縮殘留應力도 消滅하여 버리기 때문에 中心部の 強度와 表面硬化層의 強度와의 사이에는 일정한 差를 유지해야 한다.

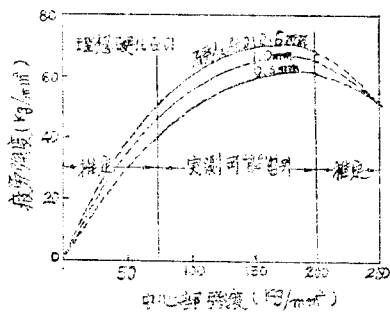


그림 7. 中心部 強度와 疲勞強度와의 關係를 나타내는 概念圖

또한 반대로 中心部の 強度가 너무 낮으면, 예를 들면 극단적으로 中心部の 強度를 Zero (0)로 하면 전체로서의 疲勞強度도 Zero가 될 것이다. 따라서 中心部の 強度와 疲勞強度와의 關係를 개념적으로 표시하던 그림 7과 같다. 다만, 이 그림에서 가장 적당한 硬化깊이는 0.6mm로 표시되어 있다.

5. 疲勞破壞와 設計

5-1. 疲勞破壞는 어떠한 部分에 일어나는가

疲勞破壞는 應力集中部에 먼저 크랙이 發生하고, 이 크랙이 조금씩 進展하여 결국 最後의 斷面이 순간적으로 破斷하고, 이 과정을 규명하는 것이 보통이다. 應力集中部란, 예를 들면, 볼트트린 경우 그림 8과 같이 나사의 끝부분이나 볼트머리의 목부분, 그림 9와 같이 일반적인 단달림 軸의 라운딩(rounding) 부분, 또 그림 10과 같이 圓形구멍이 있는 부분등이 應力集中部가 되며, 이들이 返復應力을 받으면 疲勞現豫를 일으켜 破

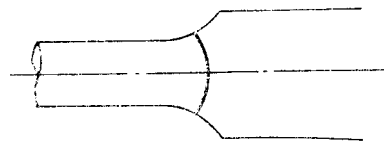


그림 8. 단달림 丸棒軸의 라운딩부분의 破損例(굽힘)

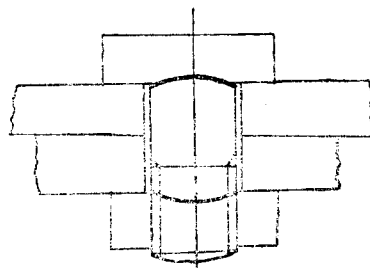


그림 9. bolt의 疲勞破損例

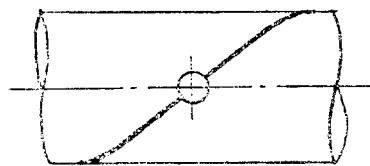


그림 10. 圓形구멍이 있는 丸棒의 破損例(비틀림)

壞된다. 이때 疲勞破壞되는 斷面을 굵은 線으로 표시하였다. 만약 이 破斷이 應力集中部를 포함한 斷面에서 發生하였다면 이 破壞는 疲勞에 의한 것이라고 생각하여도 무방하다.

그런데 이와같은 것을 기술한 이유는 設計者가 疲勞強度를 고려한 安全設計를 행하려고 하면 應力集中만을 대상으로 考憲하여도 좋다고 말하고 싶기 때문이다. 그러나 例外가 있는 것도 알아 두는 것이 좋다. 예를들면 腐食疲勞와 같은 경우는 반드시 應力集中과는 關係가 없고, 壓入軸의 경우에는 壓入部의 軸의 表面에 疲勞크랙이 생기고, 軸을 破斷시킨다. 또 로울러 베어링의 로울러나 레이스런, 기어의 齒面과 같이 높은 垂直面壓力을 返復해서 받는 경우에는 局部的으로 摩擦現豫을 일으키고, 드디어 크랙을 유발시키며, 이것도 疲勞破壞의 일종이라고 볼 수 있다.

5-2. 耐破壞設計

우리 주위에서 破壞事故가 일어나지 않고 있다고 여는 누구도 말할 수 없을 것이다. 自動車의 衝突事故, 보일러의 폭발사고, 비행기의 추락사고 등 破壞事故는 다양하다. 破壞는 크랙이 發生하면서부터 損傷事故로 發展하기까지는 몇 단계의 過程을 거치는 것이 보통이다. 그림 11은 이 과정을 표시한 것이지만 주의해야 할 것은 한개의 機械部品에 크랙이 發生하므로써, 결국 그 부품이 파괴될 뿐만아니라 2次損傷을 가져오며, 그 2次損傷이 큰 경우가 많다는 것을 잊어서는 안되겠다.

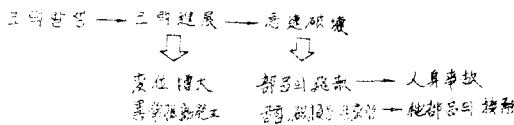


그림 11. 크랙발생에서 破壞, 損傷事故에 이르는 經過

종래의 強度設計는 이와같은 破壞過程中 크랙의 發生을 주로 고려한 것이고, 크랙이 發生하지않으면 일어나야 할 破壞事故도 일어나지 않는다고 하는 觀點에서는 모두 옳다고 해야겠지만, 크랙의 발생이 作用應力의 응력빈도, 재료가 가지는 強度등 統計的인 조건에 따라서 좌우되는 만큼 크랙의 發生을 완전히 없게하는 設計는 製造코스트와 關連해서 실제로는 매우 어려운 문제이다

따라서 크랙發生의 確率을 충분히 낮게 잡는 종래의 強度設計에 비해서 크랙이 만일 發生하더라도 즉시 2次損傷이 유기되지않는 設計를 耐破壞設計라고 보아야 할 것이다<sup>9)</sup>.

破壞라고 하는 觀點에서 機械部品과 構造物을 비교해 보면, 機械部品을 일정한 外力의 형태로 볼 수 있는데 비하여 構造物의 部材는 變位の 형태로 볼 수 있다. 이것은 機械의 部品の 경우, 단일부품이 외력을 받는 경우가 많기 때문에 部材에 일단 크랙이 생기면, 그 進展에 따라서 외력의 負擔能力을 감소시키고, 加速的으로 急速破壞에 이르게 된다. 構造物의 경우, 외력을 複數의 部材가 負擔하고 있기 때문에, 한개의 部材에 크랙이 생기고, 이것이 進展해도 應力의 再分布가 행하여지고, 다음 部材에 크랙을 일으키기까지는 크랙이 進展되지 않는다고 하므로써 소위 耐久度가 높다고 하는 것이다.

또 作用應力의 觀點에서 보면, 機械部品에는 하나의 動作 (예를들면 軸의 1회轉)과 같이 반드시 返復應力이 가해지고, 機械의 壽命에서 생각하면  $10^8 \sim 10^{10}$ 이라는 應力返復에 견딜 수 있어야 한다. 또, 이동안에 베어링의 摩擦 등에 의한 軸中心의 變化 및 기타 要因으로 應力振幅이 증가할 가능성도 많다.

5-3. 疲勞設計

疲勞設計를 생각하는 경우 蒸氣線圖式的 設計圖表는 安全側의 設計값을 주지만, 반드시 옵티멈 (optimam)의 값을 준다고는 생각할 수 없고, 따라서 데이터를 확실히 分析, 檢討하는 것이 대단히 중요하다고 생각된다.

반대로 생각해보면, 현재, 아무런 사고가 없이 사용되고 있는 기계부품은 실제의 광범위한 사용조건에 대하여 근본적인 疲勞試驗을 통하여 알맞는 치수와 모양을 가지고 있다고 생각하고 또 그 치수, 모양은 오랫동안의 試行錯誤를 통해서 얻어지게 된 것임을 고려한다면 대단히 귀중한 Data라는 것을 알아야 할 것이다.

몇년전에 달 로켓트 혹은 人工衛星발사에 관한 기술 개발을 행하면서 99.99%의 信賴度를 과시하는 설제를 행하고, 이것이 새로운 설제의 생판인 것처럼 선전된 시기가 있었다. 이러한 高信賴度의 後에는 試驗片을 만들고, 實體部品, 半完成品, 實物 등 대단히 많은 破壞試驗이 행하여 졌음을 잊어서는 안된다.

일반적인 設計에서도 疲勞 Data를 지침으로서 사용하는 것이 가장 유효한 利用法이라 하겠다. 그러나, 이 경우에도 가능한 범위에서 근본적인 Data를 많이 참조하는 것이 중요하다고 생각된다.

6. 安全設計란

機械나 機械의 部分品에 임의의 振幅을 가진 返復應力이 作用한다고 하자.

이 應力振幅은 만일 외력이 주어지면 計算으로 구할 수 있고, 應力測定으로도 구할 수 있다. 이 應力을 設計應力이라고 부른다. 다음에 이 部品에는 어느정도 이상의 應力振幅을 가진 返復應力이 작용하면, 疲勞破壞되는 限界強度가 있다. 이 強度는 실제로 部品을 만들어서 실제의 荷重을 가해서 實驗的으로 구할 수 있지만 材質, 모양, 치수가 주어지면 實驗式등을 사용해서 推定할 수도 있다. 이 強度를 許用應力이라고 부른다. 그렇게 하면 이 部品이 疲勞破壞에 대해서 안전하기 때문에 設計應力이 許用應力이하로 되면 좋다고 말할 수 있다.

한편, 機械는 안전할 뿐만 아니라, 보다 價格이 저렴한 것이 요구되기 때문에 그러기 위해서는 設計應力은 許用應力과 같은 경우가 가장 이상적이다. 그런데 비록 設計應力에는 機械마다 Scattering이 생기지 않더라도 部品의 強度에는 Scattering이 생긴다. 여기에서 許用應力을 강도의 平均値와 같게 잡고, 設計應力과 強度의 平均値가 같게 되도록 設計되었다고 하면, 그 部品은 50%가 사용중에 疲勞破壞되고, 50%가 破壞되지 않는 커다란 變化가 생길 것이다.

따라서 許用應力은 強度의 平均値로 잡는 경우는 없고, Scattering의 程度에 따라서 강도의 平均値보다 상당히 낮은 값을 잡고, 파괴 確率이 실제로 許用될 수 있는 정도에 비하여 대단히 낮은 값이 되도록 해야 하는 것이다. 許用應力을 強度의 平均値보다 어느정도 낮게 잡으면 좋은가를 표시하는 數値가 安全率이다. 이 安全率은 파괴확율이 주어진다 하더라도 理論的으로 구할 수 있는 단계까지는 아직 이르지 못하였고, 실제의 經驗을 토대로하여 정하고 있는 실정이다.

## 7. 信賴性和 安全性

機械의 信賴性이란 機械가 時間의 經過에 대해서 故障없이 機能을 발휘하는 程度 또는 性質로서, 定量的으로는 信賴度라고 하는 確率로서 표시된다.

機械의 信賴性和 安全性은 대부분의 경우 밀접한 관계가 있지만 항상 일치하지는 않는다. 信賴性은 주로 機械에 대한 것이고 다운 타임(down time)에 대한 코스트로서 評價되고, 安全性은 주로 人間에 대한 것으로서 度數率이나 強度率로 評價된다. 그러나 이러한 차이는 있어도 信賴性工學에 의하여 開發된 思考方法이나 對策은 安全性의 향상을 위하여서도 매우 유용하다.

機械의 信賴度를 높이기 위해서는

- ① 信賴度가 높은 部品을 사용할 것
- ② 사용조건이나 環境조건을 충분히 고려해서 部品의 選定이나 設計를 행할 것
- ③ 熔接이나 熱處理등 故障의 原因이 되기 쉬운 가공 방법이나 그 檢査方法은 충분히 檢討하여 행할 것
- ④ 檢出部나 릴레이(relay)등 비교적 故障나기 쉬운 部品이나 回路에는 耐久性을 줄 것
- ⑤ 信賴度가 낮은 部品은 定格을 낮추어서 사용할 것
- ⑥ 安全性을 考慮해서 設計할 것 등이다.

機械는 사용할 수록 그 기능이 저하되기 때문에 반드시 安全이 필요하다. 機械의 安全性을 높이는 것은 信賴性의 향상과 함께 안전작업에 따른 災害를 防止하기 위하여도 重要하다.

安全性을 向上시키기 위하여서는 다음과 같은 事項을 고려하여야 한다.

- (1) 機械 各部로 통하는 통로와 안전한 작업용 테이블을 확보할 것.
- (2) 分解, 組立이 용이한 構造로 할 것
- (3) 점검하는 곳이나 部品을 뽑아내는 곳의 位置나 크기는 人間工學的인 配慮下에 設計할 것
- (4) 가능하다면, 部品의 유닛(unit)化와 標準化를 圖表化할 것
- (5) 配線, 配管을 色으로 구별하거나 部品의 번호를 붙일 것.
- (6) 重量物에는 아이보울트나 포오르크를 끼울 수 있도록 設置할 것.
- (7) 回轉部의 慣性이나 殘留電荷가 큰 機械에는 인터로크가 붙어있는 커버등을 設置한다.
- (8) 複雜한 機械에는 체크(check) 回路나 故障表示 回路를 설치할 것.
- (9) 注油方法을 개선하고 가능하다면 自動給油나 集中給油방식으로 할 것.

또한 안전작업에 있어서는 미리 점검기준이라든지 폐기 기준을 정하고 이것에 따라서 실시하는 동시에 작업 도구를 정비해두는 것이 중요하다.

## 8. 결 론

強度設計에는 단순히 應力計算에 의해서만은 충분하지 않고 疲勞를 고려한 強度設計에 영향을 주는 많은 因子들에 대한 配慮가 있으므로서 비로소 最適設計나 그 對策이 가능하다는 것을 기술하고 싶었다.

## 9. 후 기

본 원고를 쓰기 위하여 資料수집등에 적극적으로 호응  
해준 慶熙大學校 大學院 오환섭군에게 감사하는 바이다

## 참 고 문 헌

1. 横堀武夫, 金屬材料의 强度と 破壊, 丸善, (1963).  
川田雄一, 機械設計, Vol. 20 (1976.8), 8
2. 宋森弘, 李奉珍, 生産設計工學, 正祐社. (1977).
3. 申東勉 譯. 鋼의 選擇과 사용방법, 大圓鋼業 Co. (1973).
4. 河本實, 金屬의 疲小と 設計, コロナ社, (1973).
5. 川田雄一, 横堀武夫, 材料强度工學ハソトドブック, 朝倉書店, (1967).
6. 中村宏, 高周波攪入と疲勞强度, 日刊工業社, (1962).
7. 吉田亨, 表面熱處理法と 設計上の 問題, 機械設計, Vol. 19, No.3 (1975), 25.
8. 神谷, 久松, 材料加工(アダネ社), 6月號, (1973).
9. 新井淳一, 機械設計, 日刊工業新聞社, 1 (1978).