

機械材料의 機械的 性質 改善에 관한 考察

鄭 錫 柱

서울産業大學 機械設計學科 教授



●1936년생
●固體力學에서 應力解析 및 材料學動 特性을 專攻하였으며, 特別 覺醒 應力解析 및 音響 등에 많은 關心을 가지고 있다.

1. 머리말

構造物의 設計는 破壞가 發生하는 環境을 豫測함으로써, 事前에 人名 被害를 막고 財産損失을 防止할 수 있도록 設計되어야 한다.

構造物의 破壞에 관련된 主要 要因은 材料의 性質, 荷重의 作用狀態, 荷重의 作用速度, 構成要素의 形狀, 特性, 使用溫度, 環境條件 등을 들 수 있다. 이 中 가장 重要한 因子는 荷重이 作用되는 速度이고, 動的 荷重과 靜的 荷重의 差異는 材料의 變形率 速度로 區別할 수 있는데, 一般的으로 靜的 荷重이라는 것은 $10 \exp(-4)/\text{sec}$ 程度이하의 變形速度라고 設定할 수 있다.

또한, 降伏發生面에서 살펴보면 材料가 非均質이거나 荷重의 分布가 均一하지 않을 경우 應力을 作用시키면 더욱 局部降伏이 發生하게 되고 그 局部降伏狀態에서 荷重을 增加시키면 더욱 非彈性作用을 하게 되어 결국 一般降伏狀態가 되는데, 이러한 局部降伏에서 一般降伏으로의 轉이速度는 應力의 分布 및 材料의 性質 뿐만 아니라 그 外의 여러 因子들에 따라 다르게 되며 이러한 因子들 가운데 특히 主要한 因子는 溫度를 들 수 있다. 그러나 이상의 因子들은 外部的 因子들로서 이보다 先行되어야 할 內部的 因子는 材料의 性質을 먼저 고려하고 設計에 着手하여야 한다.

이러한 材料의 特性으로서는 引張, 壓縮, 剪斷 等の 强度와 硬度, 延伸率 등을 들 수 있고 材料의 舉動面에서 살펴보면 延性(ductility)과 脆性(brittleness)舉動을 들 수 있다. 결국 이들 材料의 性質들은 外部的 因子들의 影響을 받을때 그 性質들이 크게 변하게 된다. 그러므로 構造物의 構成要素 및 機械的 性質의 設計는 이러한 外部的 條件들을 고려하여 材料를 選擇하고, 또한 必要時 性質을 改善하므로써 그 外部的 條件에 맞는 材料를 設計하는 것을 뜻한다. 이와같이 材料의 機械的 性質을 改善할 수 있는 方法으로서는 合金, 熱處理, 複合材料 等の 方法을 들 수 있다.

2. 合金

合金(alloys)이란 單一金屬이 가질 수 없는 性質을 그 金屬에 合金要素를 적당량 添加함으로써 원하는 性質을 附與하는 方法을 말한다. 즉 外部的 條件에 따라 적당한 合金要素를 添加함으로써 그 條件을 만족시킬 수 있는 材料의 改善인 것이다. 예를 들면 산, 알칼리등에 내식성이 강한 스테인리스鋼은 저탄소강에 크롬 13% 또는 약 18%와 니켈 약 8%를 添加한 것으로서 전자는 페라이트계, 후자는 오스테나이트계 스테인리스鋼이라 부른다. 이와 같이 合金要素가 鋼의 性質에 미치는 影響에 대해서 살펴보면, 규소(Si)는 鋼의 强度를 增加

시키고, 망간(Mn), 크롬(Cr), 텅스텐(W)은 미세한 粒子로 적절히 混合하는 경우 탄화물 또는 질화물을 形成하게 하여 引張強度와 硬도를 增加시키며, 규소(Si)와 니켈(Ni)은 세멘타이트 組織을 깨뜨리고 흑연을 生成케 함과 아울러 強度와 硬도를 增加시킨다.

또한, 망간(Mn), 니켈(Ni), 구리(Cu) 그리고 코발트(Co)는 오스테나이트 形成溫度를 낮게 함으로써 담금질 溫度가 낮아지게 되며⁽¹⁾, 合金量을 적절히 조절하면 常溫에서도 오스테나이트 組織을 形成할 수 있다. 대표적인 오스테나이트鋼은 0.9~1.3%의 炭素와 10~14%의 망간(Mn)을 含有시킨 오스테나이트 망간강(hadfield steel)으로 硬도는 크나 靱성이 있고 切削이 가능하다⁽²⁾.

또한, 크롬(Cr), 티타늄(Ti), 텅스텐(W), 바나듐(V), 규소(Si) 그리고 알루미늄(Al)의 경우 오스테나이트 形成溫度를 상승시킴으로써 담금질 溫度가 높아지게 되며⁽¹⁾, 合金量을 적절히 조절하면 용융점에 到達하기 前까지 페라이트 組織이 오스테나이트 組織으로 변하지 않게 되기도 한다. 이러한 페라이트 鋼은 0.1%의 炭素鋼에 12~25%의 크롬(Cr)을 含有시킨 鋼으로 담금질을 하더라도 단단해지지 않는다. 그리고 合金要素는 모든 오스테나이트 組織을 마르텐사이트 組織으로 變化시키기 위한 最少 冷却速度인 臨界冷却速度에 影響을 준다.

鋼을 臨界速度 또는 그 이상의 冷却速度로 冷却 시킴으로써 硬도를 最大로 할 수 있으며, 冷却速度를 줄임으로써 보다 速度가 낮은 組織을 生成시킬 수 있는데, 대부분의 合金要素는 臨界冷却速度를 낮추게 한다.

또한 合金要素는 결정 成長에 影響을 준다. 일부 合金要素는 결정 成長을 加速시키지만 반면에 일부 合金要素는 결정 成長을 阻害하기도 한다. 결정 成長이 빠를수록 큰 결정 構造를 生成하여 취성적이 되며 결정 成長이 느릴수록 결정 크기를 작게 하여 鋼의 性質을 향상시킨다. 그 中 크롬(Cr)은 결정 成長을 加速시킨다. 따라서 크롬鋼을 熱處理할 때는 지나치게

결정이 成長하지 않도록 注意하여야 한다. 니켈(Ni)과 바나듐(V)은 결정 成長을 지연시킨다. 그 外에 황(S)과 납(Pb)과 같은 合金要素는 鋼의 칩 形成性質을 向上시키므로써 機械加工性에 影響을 주며, 크롬(Cr), 구리(Cu)와 같은 合金要素는 鋼의 表面에 酸化物層의 形成을 加速시켜 내식성을 向上시킨다. 이상과 같이 合金鋼의 에에서도 알 수 있듯이 外部的 條件에 맞는 適當한 材料로서의 改善은 合金要素의 添加로 인하여 가능할 수 있으며, 이러한 合金要素의 添加結果에 따른 많은 合金들이 鐵鋼材料뿐만 아니라 非鐵金屬에 이르기까지 그 種類는 多様하다. 그 例로서 工具鋼, 構造用鋼, 스테인리스鋼, 高速度鋼, 바이메탈, Y合金, 듀랄루민, 等等의 수많은 合金을 들 수 있다. 이러한 기존의 合金이외에도 産業分野에서의 材料用途가 급증하고 있는 만큼 새로운 合金의 開發도 要求된다.

3. 熱處理

熱處理(heat treatment)란 金屬을 加熱하고 冷却速度를 조정함으로써 必要에 따라 機械的 性質을 改善하는 處理를 말한다. 代表的인 熱處理 方法 몇가지를 살펴보면, 담금질(quenching)의 경우, A_3 變態溫度 보다 더 높은 溫度로 鋼을 加熱하면 微細構造는 完全 오스테나이트 構造가 되며, 그때 急速冷却 함으로써 오스테나이트 構造는 마르텐사이트로 變態되어 鋼은 단단하고 強하게 된다. 따라서 이러한 處理는 連續冷却을 수반하며, 冷却速度는 담금질하는데 使用된 媒體에 좌우되고, 이때 물은 기름보다 冷却速度를 빠르게 한다. 이러한 冷却速度에 따른 微細構造는 完全 마르텐사이트가 되어 最大硬도를 얻을 目的이면 冷却速度는 오스테나이트로 부터 마르텐사이트로의 變態가 發生하는 速度이어야 하고, 完全 퍼얼라이트 構造로 만들 目的이면 冷却速度는 連續冷却變態 曲線에서 冷却速度線이 퍼얼라이트 變態線의 始作線과 終線을 完全히 通過하는 速度이어야

하며, 一部分은 퍼얼라이트, 一部分은 마르텐사이트 構造로 만들 경우에는 冷却速度는 冷却速度線이 퍼얼라이트 變態線의 始作線과 마르텐사이트 變態線을 通過하는 速度이어야 한다. 그리고 鋼을 담금질할 경우 冷却速度는 鋼의 크기에 따라 다른데 鋼의 크기가 클수록 冷却速度는 느리다. 그러므로 담금질 謀體는 鋼의 크기에 따라 選擇하여야 한다. 예를 들면 直徑 10mm의 0.38%炭素와 0.70%망간鋼의 경우 담금질 謀體가 空冷이라면 퍼얼라이트와 小量의 베이나이트의 微細構造가 生成되고, 油冷이면 마르텐사이트와 베이나이트와 構造, 水冷이면 마르텐사이트만의 構造가 生成된다. 結局, 어떤 直徑에 대하여 完全 마르텐사이트 構造를 얻기 위해서는 水冷 담금질을 하여야 한다. 그런데 이러한 마르텐사이트 構造는 단단하나 취성적이다. 즉, 담금질함으로써 全微細構造가 마르텐사이트인 鋼은 단단할 뿐만 아니라 매우 취성적이며 韌性이 작다. 이러한 경우 뜨임처리 함으로써 鋼의 韌性을 向上시킬 수 있다. 그러나 연성을 얻는 만큼 强度와 硬度는 減少한다. 이와같은 뜨임의 方法은 담금질함으로써 단단해진 鋼을 A_1 變態溫度이하로 再加熱하여 構造를 바꾸고 서냉하는 것이다. 즉 마르텐사이트 構造를 가열함으로써 페라이트 格子狀態의 불안정한 炭素原子를 分散시켜 微細한 세멘타이트(Fe_3C) 構造를 形成할 수 있다. 일반적으로 뜨임온도는 $175 \sim 700^\circ C$ 이며⁽³⁾, 이때의 마르텐사이트 格子로부터 分散되는 炭素의 量, 다시 말하여 보다 연한 페라이트 構造가 生成되는 量은 鋼을 加熱한 溫度와 그 溫度에서의 維持時間에 左右된다. 예를 들면 油冷 담금질 鋼의 경우, 뜨임 溫度가 높을수록 引張强度, 降伏强度는 감소하고 단면 수축율과 延伸率은 增加한다⁽³⁾.

한편 特殊鋼의 경우는 2중 뜨임(double tempering)을 하는 경우도 있다. 즉, 必要로 하는 뜨임 溫度로 加熱하여 일정시간 維持시킨 다음 空冷하며 이러한 作業을 다시 함으로써 2중 뜨임한다.

다음으로, 鋼을 오스테나이트 狀態로 加熱하고 나서 매우 서서히 冷却시킴으로써 매우 연한 鋼을 生成시키는 熱處理인 풀림(annealing)이 있다. 이러한 풀림은 크게 完全풀림(full annealing), 下臨界풀림(sub-critical annealing), 球狀化풀림(spheroidizing annealing)으로 區分할 수 있다. 이 中 炭素含有量 0.8% 이하인 炭素鋼을 完全풀림할 경우 微細構造를 오스테나이트 狀態로 加熱하기 위한 加熱溫度는 A_3 變態溫度보다 약 $40^\circ C$ 높은 溫度로 加熱한 후 서냉시키며, 熱處理 結果의 微細微小構造는 퍼얼라이트이다. 따라서 完全풀림은 아주 연한 鋼을 生成한다.

下臨界풀림은 중간풀림(process annealing)이라고도 하며 炭素含有量 0.3%이하인 低炭素鋼을 冷間加工할 경우 계속 冷間加工하기 위해서는 연성을 維持하여야 하는데 이때 행하는 熱處理로서 A_1 變態溫度보다 조금 낮은 溫度로 加熱하여 그 溫度에서 長時間 維持시킨 다음 公냉함으로써 熱處理한다. 그 특징을 살펴보면 노냉시키는 完全풀림보다 冷却溫度가 빠르고 微細構造의 變化를 일으키지 않으며 熱處理하기 이전의 結晶體는 冷間加工에 의한 잔류응력에 의해서 變形될 수 있지만 熱處理 후의 안정된 結晶體 構造는 變形을 일으키지 않는다. 이러한 중간 풀림은 炭素含有量 0.3%이상의 炭素鋼에 행할 경우 加熱함으로써 球狀形狀의 세멘타이트 構造를 야기시키는데 이러한 경우를 球狀化풀림이라 한다. 이러한 球狀모양의 세멘타이트 組織은 機械加工하는 中 칩을 分離하는 等 機械加工性을 향상시킨다.

그리고 풀림 過程과 유사한 熱處理로서 A_3 變態溫度보다 약 $55^\circ C$ 높은 溫度로 加熱한 다음 空冷하는 불림(normalizing)이 있다.⁽⁵⁾ 이러한 불림은 微細構造가 오스테나이트로 變態된다는 점에서 完全풀림과 거의 類似하나 冷却速度가 빠르다는 점에서 다르며 그렇기 때문에 完全풀림에 비하여 硬度和 强度가 다소 크다.

이 외에 오스텝퍼링(austempering)과 마르템퍼링(martempering) 등의 熱處理가 있다.

오스템퍼링은 鋼을 오스테나이트 狀態, 즉 A_3 變態溫度 이상으로 가열한 後, 오스테나이트로부터 마르텐사이트로의 變態 始作溫度(M_s) 이상의 溫度로 維持된 溶液에 담금질하는 熱處理이다⁽⁶⁾. 이때의 維持時間은 오스테나이트가 베이나이트로 完全變態할 때까지 이다. 初期 담금질 處理의 경우 冷却速度는 퍼얼라이트가 形成되지 않도록 臨界 冷却速度와 같거나 커야 하고, 最終冷却速度는 베이나이트 構造 이외에 다른 變化가 發生하지 않는 速度이어야 한다. 이러한 베이나이트 構造의 特徵은 뜨임처리를 필요로 하지 않으며 마르텐사이트 構造에 비하여 연하고 연성과 衝擊 이 양호하며 龜裂과 뒤틀림의 發生이 적다.

마르템퍼링은 鋼을 오스테나이트 狀態 즉, A_3 變態溫度 이상으로 加熱하고 나서 M_s 溫度보다 약간 높은 온도에서 일정시간 담금질 한 후 空冷하여 마르텐사이트 構造를 얻는 硬化處理이다⁽⁶⁾. 담금질 할 때의 冷却速度는 臨界冷却速度보다 빠르고 鋼을 加熱, 維持할 때에는 鋼의 全部分에서 同一한 溫度로 維持할 수 있도록 오랫동안 維持시킨다. 마르템퍼링 熱處理 結果의 構造는 空冷하므로써 오스테나이트는 마르텐사이트로 變化하고, 이러한 마르텐사이트 構造 외의 다른 構造는 發生하지 않도록 하여야 한다. 一般的으로 空冷담금질한 後 뜨임 處理한다. 마르템퍼링 熱處理 結果의 構造는 空冷함으로써 오스테나이트는 마르텐사이트로 變化하고, 이러한 마르텐사이트 構造 외의 다른 構造는 發生하지 않도록 하여야 한다. 一般的으로 空冷담금질한 後 뜨임 處理한다. 마르템퍼링의 效果는 龜裂과 뒤틀림을 最少化하고, 담금질에 대한 熱衝擊을 縮小하며 衝擊靱성이 양호하다.

끝으로, 全體 構成要素를 硬化시켜 취성적이 되게 하지 않고 構成要素의 表面만을 단단하게 할 必要性이 있는 경우에 행하는 熱處理로서 表面硬化處理가 있다. 이러한 表面硬化法의 種類는 表面層을 部分的으로 加熱한 後 담금질하는 方法인 物理的 表面 硬化로서 火炎硬化법

(flame hardening), 高周波 유도 硬化法(high frequency induction hardening)이 있고 表面層의 化學的 成分을 變化시키는 方法인 化學的 表面硬化로서 浸炭法(carburizing), 靑化法(cyaniding), 窒化法(nitriding) 등이 있다. 이 중 物理的 表面硬化法의 경우, 表面硬化處理前에 鋼의 內部中心이 適當한 機械的 性質을 保有하고 있는지 확인하여야 하고, 미리 어떠한 硬化法을 利用할 것인가를 決定하여야 하며, 아주 짧은 時間內에 鋼表面의 微細構造는 오스테나이트 構造가 되도록 함과 동시에 담금질함으로써 마르텐사이트 構造가 되어야 한다.

이상의 熱處理 가운데 要求되는 機械的 性質에 대하여 다음과 같은 熱處理를 하면 된다. 즉,

- (1) 鋼의 強도와 硬도를 높일 경우
담금질, 오스템퍼링 또는 마르템퍼링 한다. 소재 內部的 性質을 變化시키지 않는 경우는 表面硬化處理한다.
- (2) 연성을 回復시켜 繼續的인 變形을 要할 경우
完全풀림, 중간풀림, 球狀化풀림 또는 불림을 한다.
- (3) 比較的 조금 硬도를 떨어 뜨리고 연성을 增加시킬 경우 低炭素鋼이면 중간 풀림을 한다. 그러나 炭素含有量이 0.3%이상인 경우에는 다른 적절한 熱處理를 選擇하여야 한다.
- (4) 表面과 소재 內부를 特定硬도로 硬化시킬 경우 담금질한 다음 뜨임처리를 한다.

4. 複合材料

國際的인 金屬複合材料의 現況을 살펴보면 世界的인 技術革新의 물결이 高潮되어 機械, 電氣, 化學, 建築 等 諸分野에서 눈부신 發展을 하여 왔다. 反面, 使用材料에 對하여는 性能上 또는 經濟性 等の 兩面에서 奇酷하고도 지나칠 만큼의 性能 要求가 나오고 있는 實情에 있다.

이와같은 氣勢에 따라 工業材料도 많은 발전이 이루어져 왔으나 單一材는 그 發展에 限界가 있어 아무리 좋은 材料라 할지라도 耐熱性, 耐蝕性, 高硬度性 等 모든 面에 良材가 될 수는 없는 것이다.

複合材料는 이와 같은 單一材를 結合하여 보다 性能이 優秀하고 經濟性이 좋은 材料를 얻기 위해 開發된 것이다.

複合材料를 定義하면, 複合(composite)이란 뜻은 巨視的으로 둘 또는 그 以上の 材料를 結合한 것을 뜻한다. 合金類는 微視的으로는 複合材料라 할 수 있지만 巨視的으로 봐서 均質(homogeneous)하므로 通常으로는 複合材料라 하지 않는다. 複合材料에는 最近에 開發, 各分野에서 重用되고 있는 FRP材로 부터 鐵筋 콘크리트같이 오래 前부터 있었던 것도 있고 構造物材로의 샌드위치(sandwich; 一種의 積層材) 넓게는 生體도 일종의 複合材料라 할 만큼 이 分野는 광범위하다.

複合材料는 人類가 언제부터 使用하여 왔는지 그 年代는 確實치 않지만 歷史에 남은 記錄에 의하면 紀元前 이스라엘 사람들은 진흙 벽돌의 強度를 높이기 위하여 진흙에 짚을 섞어 使用하였으며, 우리나라 新羅時代의 金細工品에서도 複合材料를 찾아 볼 수 있다. 金은 당시에도 高價貴重品이었으며 銀 또는 銅 等 合金으로 장식품을 만들고 그 表面에 金箔을 입혀 複合金製品을 만든 것을 박물관에서 볼 수 있다. 우리나라에서도 이와 같은 方法으로 짚 섞은 벽돌을 만들었다. 또 우리나라 溫突에 사용한 장판도 複合材料이다. 中世紀에 와서는 서로 다른 材料를 層狀으로 接合시켜 갈과 방패등을 만들었으며 Ag와 Cu의 클래드(clad)材는 200年前에 中空容器 및 石室細工品 等の 製作에 쓰였고, Ag를 클래드한 部品이 1920年頃에 電氣接點 材料로서 利用된 바 있다. 그후, 더어머스탯(thermostat)用的 바이메탈이 開發되었고, 서독, 英國(Ni-Cu-Ni) 等에서는 金屬硬化에 쓰이고 構造用 材料의 分野에서도 Ti 클래드材가 出現하고 있다.

最近에는 複合재료를 만들어 高强度, 耐蝕性, 衝擊, 外觀, 重量, 疲勞壽命, 熱傳導性, 防音 等の 性質을 向上시켜 航空機나 宇宙開發 및 軍事裝備와 같은 用度에 많이 利用되고 있다. 이러한 複合材料의 一般的인 例를 종합하면 다음과 같다.

(1) 強化 콘크리트(reinforced concrete)

그림 1과 같이 콘크리트에 철근을 집어 넣는 複合材로, 鐵筋을 삽입시키므로써 콘크리트만으로는 傳達할 수 없는 荷重을 傳達할 수 있다. 여기서의 콘크리트는 그 自體도 複合材이다. 즉, 시멘트, 모래, 골재 그리고 물을 混合함으로써 만들어 진다. 골재로는 돌 부스러기 또는 자갈이 使用된다(그림 2).

省資源·省에너지의 要求는 存在의 시멘트 콘크리트 剛性, 耐衝擊性, 耐久性의 向上에 깊은 關心을 갖게 하여 여러가지 努力이 試圖되었다.

하나의 試圖는 시멘트 콘크리트 自體의 物性 및 機能을 向上시키기 위한 研究였고 또다른 하나는 시멘트 콘크리트의 技術과 重合體(polymer)의 技術을 組合시켜 시멘트 콘크리트 本來의 좋은 性質을 살리면서, 短點을 補完시키려는 시도였다.

歷史적으로 볼때, 強化 콘크리트 開發努力

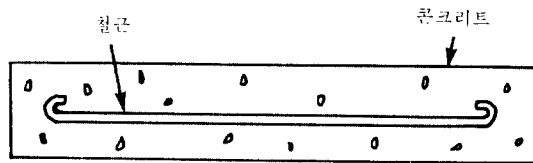


그림 1 強化 콘크리트

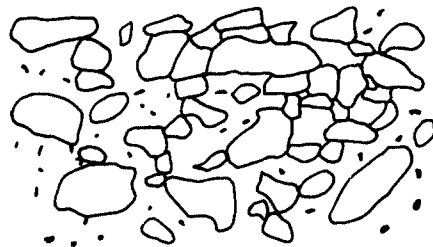


그림 2 콘크리트 구성물

(重合體를 利用한)은 1950年代로 거슬러 올라 가지만, 顯著한 技術의 진보가 이루어진 것은 比較的 最近이라고 말할 수 있다⁽⁷⁾.

強化 콘크리트는 一般的으로 세계의 領域으로 區分되는데, 이는 중합체 혼합 콘크리트 중합체 포틀랜드 시멘트 콘크리트 중합체 콘크리트이다. 중합체 혼합 콘크리트 存在의 形成에 모노머(monomer)를 浸透시켜, 重合, 硬化시킴으로써 製造된다. 이때 모노머의 選擇은 製品의 物性に 重要な 役割을 하는 것으로 알려져 있다. 중합체 혼합 콘크리트의 長點은 강한 強度와 抵抗特性인데 중합체 포틀랜드 시멘트 콘크리트 및 중합체 콘크리트보다 적은 양의 중합체로 最大의 效果를 얻을 수 있다는 것이나 構造工程이 比較的 複雜, 難解하고 形成된 콘크리트를 利用하므로 補修에는 使用할 수 없는 短點을 갖고 있다. 1974년의 美國 Denver의 橋梁構造用으로 使用된 것을 始發로 최근 急激한 發展을 보이는 分野로 댐의 콘크리트 表面, 벽판, 파이프, 철도가로목, 地下갱의 지지대, 海上構造物, 플랫폼 등에 使用되고 있다⁽⁸⁻¹²⁾.

중합체 포틀랜드 시멘트 콘크리트는 시멘트 콘크리트의 組成物에 중합체를 섞어 製造하는데, 중합체를 導入시키는 方法은 보통 물에 녹는 중합체(water soluble polymer)를 利用하는 方法과 중합체 유액(polymer latex)을 利用하는 方法이 있는데, 물에 녹는 중합체를 利用하는 方法은 水分과 接觸하게되는 製品에는 不利하므로 중합체 유액을 使用하는 境遇가 많다. 중합체 유액으로서 PV_{Ac}, SBR, acrylic, neoprene latex가 주로 使用된다.

중합체 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 長點은 耐磨減性, 강한 接着性, 簡便性 等이며, 短點은 他的 強化 콘크리트 對比 機械的 物성이 떨어진다는 점이다. 따라서 構造用 材料로서는 別로 使用되지 않으며 주로 補修目的으로, 道路, 建物の 補修, 물과 化學藥品에 대한 抵抗性を 높이기 위한 目的의 철, 갈라진 틈의 보수에 주로 使用된다^(13,14).

중합체 콘크리트는 모노머와 沈積結合物(aggregate), 充填劑(filler), 結合劑(binder)의 混合物를 重合, 形成, 硬化시켜 製造하는 것으로 중합체의 特性이 주는 影響이 他 材料에 비해 크다. 중합체 콘크리트의 長點은 강한 強度, 簡便性, 多様な 用途 等이며, 중합체의 高添加量에 따른 高價格, 熱的 性質이 떨어지는 점 等이 短點으로 指摘된다. 主要用途는 갈개(overlay), 벽판, 海上構造物 및 補修用途이다^(15,16).

強化콘크리트의 用途는 現在 나날이 擴大되는 趨勢에 있으며, 가장 問題가 되고 있는 점은 價格이 비싸다는 점인데, cost/performance面에서 점점 자리를 넓혀가고 있는 狀況이라고 말할 수 있다.

(2) 強化 플라스틱(reinforced plastics)

強化 플라스틱은 플라스틱에 剛性 및 強度가 큰 材料를 混合한 것으로 가장 널리 利用되고 있는 強化劑로는 유리섬유가 있다. 이러한 強化劑는 플라스틱의 引張強度와 引張彈性率을 增加시키며, 그 값은 強化劑의 種類와 量에 다르다. 섬유 種類는 長섬유와 端섬유가 있다. 長섬유는 引張強度가 큰 複合材料를 만들 수 있지만 作用荷重의 方向에 따라 그 性質은 큰 差異를 나타낸다. 즉, 纖維方向의 強度는 거의 800N/mm² 정도이지만 纖維方向과 直角인 方向의 強度는 플라스틱만의 強度와 같은 30N/mm² 정도를 나타낸다. 端섬유는 임의의 方向으로 짧은 섬유가 混合되어 있는 것으로 方向에 따라 機械的 性質은 差異가 없으나 그다지 큰 引張彈性率이나 引張彈性率을 갖지 못한다. 이러한 強化 플라스틱의 機械的 物性的 연구와 개량에 대하여는 많은 結果가 發表되어 있다⁽¹⁷⁻¹⁹⁾. 분말(particulate)로써 강화된 高分子 매트릭스는 매우 복잡한 機械的 성질을 보인다. 이러한 複合材料의 영 탄성율을 예측하는데는 一般的으로는 산술적 또는 기하적 평균값을 사용하게 되나⁽²⁾, 最近에는 Ziegel과 Romanov⁽²¹⁾가 새로운 方法을 제시하였다.

一般的으로 充填劑의 크기는 物性に 影響이

표 1 중합체와 공업재료의 기계적 성질

	Ex10 exp(-6) psi	인장강도 ksi	밀도 ib/in ³
강과 철	28~30	13~300	0.25~0.29
티나니움	19	60~240	0.16
폴리	14.4	~100	0.05
폴리엔틸렌	13.6	~100	0.05
보론/에폭시	11.89	83	0.07
알루미늄	10	22~90	0.10
HTS-흑연/에폭시	10	62	0.05
E-유리	2.85	47	0.06

적은것 처럼 보여지며, 充填劑의 탄성율이 플라스틱의 탄성율 보다 매우 높을 때는 플라스틱의 종류나 그 자체의 탄성율도 중요하지 않게 된다. 그러나, 고 탄성율을 가진 充填劑가 分散상태에 있는가 아니면 連續狀을 보이는가에 따라 機械的 物性이 크게 변할 수 있다. 機械的 物性을 向上시키기 위해서는 充填劑의 형태가 球狀보다는 纖維狀이 좋다⁽²²⁾.

有用한 強化用 纖維로서는 유리섬유, 보론(boron)纖維, 炭素纖維, 알루미늄섬유 등을 들 수 있으며, 이들은 위스커(whisker), 장섬유 및 직물의 형태로 사용된다.

장섬유를 사용한 強化 플라스틱의 경우에는, 外部로부터 더해지는 機械的인 힘을 纖維가 지탱하게 되며, 이때 플라스틱은 힘을 전달하는 매체로서만 作用한다⁽²³⁾. 실제로 纖維/플라스틱 複合材料는 物性/比重을 감안할 때 제일 강한 物質이다⁽²⁴⁾.

(3) 分散 強化 金屬(dispersion strengthened metals)

金屬의 強度는 작은 粒子들을 金屬의 구석구석에 分散시킴으로써 增加시킬 수 있다. 金屬의 分散強化法은 析出硬化處理(precipitation hardening)와 燒結處理(sintering)가 있다. 析出硬化處理는 알루미늄과 구리 성분은 合金의 구석구석 까지 微細하게 分散된다. 燒結處理는

金屬粉末을 다이(die)속에 넣고 粉末粒子가 서로 結合할 수 있도록, 높은 溫度로 加壓하는 방법이 矣.

(4) 서멧(cermets)

서멧은 金屬 매트릭스에 粒子形態의 세라믹을 包含시킨 複合材料로 80%까지의 세라믹을 包含시킴으로써 強度, 硬度 및 剛性을 크게 할 수 있다. 이와 같이 서멧에 使用되는 세라믹은 炭化칼슘(carbide; W, Ti, Si, Mo) 붕화물(Boride; Cr, Ti, Mo) 그리고 酸化物(Oxide; Al, Cr, Ag)이 있고, 서멧에 使用되는 金屬은 코발트(Co), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 철(Fe), 텅스텐(W) 등이 있다. 例를 들면 코발트(Co) 매트릭스상에 텅스텐(W) 炭化칼슘을 包含시킨 서멧은 切削工具 바이트로써 使用된다.

(5) 積層材料(laminated materials)

(a) 合板(plywood)

合板은 그림 3과 같이 얇은 나무板의 結晶方向이 서로 直角을 이루도록 하게 하고 接合시킴으로써 큰 強도와 剛性을 附與한 複合材이다. 여기서의 結晶方向이란 나무의 셀룰로즈 纖維方向을 말한다.

(b) 클래드(clad)材

積層材料는 단지 나무의 경우에만 適用되는 것이 아니고 역시 金屬에 適用이 된다. 例를 들면 알루미늄(Al)-구리(Cu) 合金에 알루미늄을 클래드 시킴으로써 合金만의 耐蝕性을 보다 向上시킬 수 있다. 이와같이 대부분의 金屬은 積層 또는 클래드 시킴으로써 強度 및 剛性 그리고 耐蝕性을 向上시킬 수 있는 것이다.

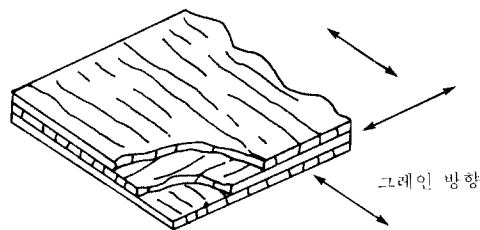


그림 3 합판

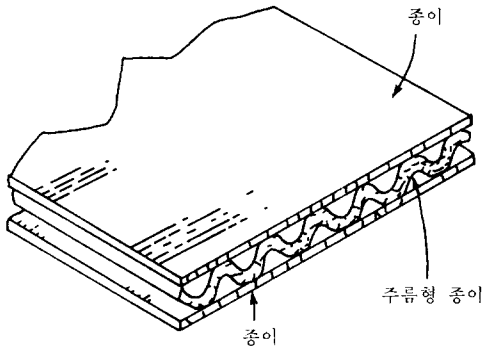


그림 4 주름형 마분지

(c) 주름형 마분지 (corrugated cardboard)

주름형 마분지는 그림 4와 같이 종이층 사이에 샌드위치(종이층의 중간에 들어가는 것을 말함)된 주름잡힌 종이로 구성된 일종의 적층 구성재료이다. 이러한 적층 구성재료는 주름 방향과直角인 방향에서 매우 큰 剛性を 나타낸다. 마찬가지로 이러한 샌드위치형 적층 구성재료는 金屬에도 適用된다.

(d) 벌집모양(honeycomb)구조의 샌드위치재료

이러한 복합재료는 箔板金屬사이에 벌집모양 구조의 金屬을 샌드위치(금속 箔板의 중간에 들어가는 것을 말함)시킨 것으로 剛性が 優秀하고 매우 가볍다. 특히 알루미늄은 벌집모양 구조와 箔板으로서 널리 利用된다(그림 5).

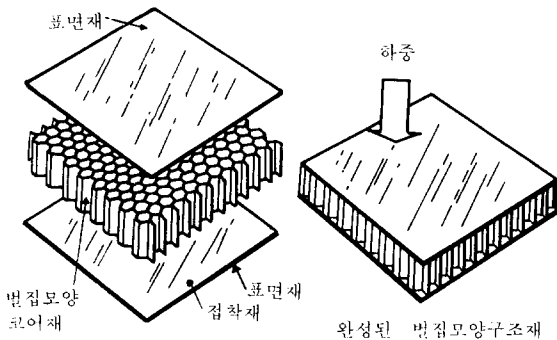


그림 5 벌집모양구조 샌드위치 패널의 구성 요소

5. 맺음말

高度로 發展하고 있는 많은 産業分野에서 構成要素로서의 材料의 用途가 多様해짐에 따라 그 材料에 對한 要求條件도 多様해지고 있다. 그러므로, 이러한 材料의 要求條件을 充足시키기 위하여는 材料에 對한 많은 研究가 要望된다.

機械材料의 設計에 있어서 窮極의으로 滿足되어야 하는 事項은 輕量高强度 및 經濟性이라고 말할 수 있다. 특히 요즘 우리나라에서는 宇宙航空 및 自動車 産業이 활발하고 있는 만큼, 이러한 事項에 對한 滿足性이 要求된다.

이와 같이 宇宙航空 및 自動車 産業을 包含하여 高度産業分野等 대부분의 産業分野에서 그 要求條件에 따른 材料의 充足性이 要求되는 것이다. 따라서 앞서 考察한 材料의 改善方法等을 利用하여 그 要求條件을 滿足시킬 수 있는 素材의 改善에 研究를 集中시킬 必要性이 있고, 또한 그 開發 素材에 對한 強度解析等도 더불어서 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- (1) 염영하, 1986, 最新金屬材料學, 동명사 p. 176, 105.
- (2) 염영하, 1986, 最新金屬材料學, 동명사 p. 181, 113, 193.
- (3) G. Krauss, 1980, Principles of Heat Treatment of Steel; American Society for Metals, p. 193.
- (4) Metals Handbook, 9th Ed., Vol. 4, American Society for Metals, Metals Park, OH, p. 70(1981).
- (5) Ref(4), p. 6.
- (6) Ref(3), pp. 232~233.
- (7) J.A. Manson, 1981, "Application of Polymer Concrete", Reported by ACI Commit-

- tee548. ACI Journal.
- (8) G. Idorn, Z. Fordos, 1974, "Cement Polymer Materials", Principal Paper, VI International Congress on the Chemistry of Cement MOSCOW, Sep.
- (9) J. Clifton, G. Frohnsdoff, 1976, "Polymer Impregnated Concretes", Cement Research Progress-1975, 173, Amer. Soc.
- (10) A. Rio, E. M. Cermin, 1974, "Polyblends of Cement Concrete and Organic Polymers," J. Polym. Sci.: Macromol. Revs. 9, 127.
- (11) H. C. Mehta, W. F. Chen, et al, 1975 "Polymer Impregnated Concrete: Field Studies", Transportation Engineering Journal, ASCE, 101(TE1), 1.
- (12) J. A. Manson, W. F. Chen, et al, 1978, "Use of Polymers in Highway Concrete", National Cooperative Highway Research Program Report 190.
- (13) V. R. Riley, I. Razil, 1974, "Polymer Additives for Cement Composite: A Review", Composites, 5(1), 27.
- (14) S. Popovics, 1974, Polymer Cement Concretes for Field Construction, Preceding, ASCE, 100(C03), 469.
- (15) J. E. Dennard Jr., 1972, "Resin Concretes: A Literature Review", U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg Miss., Miscellaneous Paper, C-72-21, Sep.
- (16) J. T. Dikeow, B. B. Hope, et al., 1978, "Polymers in Concretes International Symposium", Publication SP-58 American Concrete Institute.
- (17) L. E. Nielson, J. Compos. Mat., 1, 100(1967).
- (18) L. E. Nielson, Mechanical Properties of Polymers and Composites, New York, Marcel Dekker, Vol. 2.
- (19) H. T. Coten, ed., Conf. On Composite Materials: Testing and Design, ASTM Special Technical Publication 497(1971).
- (20) F. F. Lange, In Fracture and Fatigue (Composite Materials, Vol. 5), L. J. Broutman, ed., Academic, p. 2, (1974).
- (21) K. D. Ziegel and A. Romanov, J. Appl. Polym. Sci., 17, 1119-31(1973).
- (22) J. C. Halpin and J. L. Kardos, J. Appl. Phys., 43, 2235(1972).
- (23) C. C. Chamis, in ref.(4), p. 94.
- (24) J. C. Halpin, Polym. Eng. Sci, 15, 132 (1975)

