

鋼構造의 耐火性

金 亨 杰

(서울대학교 工科大学 教授)

§ 1. 耐火構造部材가 火災時에 要求되는 機能

이것에 關해서는 비단 鋼構造에만 適用되는 것이 아니라 他種 構造部材에 對해서도 要求되는 機能이다.

A) 遮熱과 火災의 遮斷

耐火建築物의 防火區劃을 構成하는 壁과 바닥은, 區劃되어 있는 空間相互에 延燒를 防止하는 役割을 한다. 따라서 火災室에 隣接하는 空間에 對하여, 火災加熱에 依한 高溫을 傳達하지 못하도록 壁과 바닥의 裏面溫度를 規定에서 定한 바 溫度以下로는 되지않도록 막아야 될 것이며, 또 部材의 變形이나 갈림 등이 생겨서 火災이나 高溫의 氣流가 隣接室에 侵入하지 못하도록 해야 될 것이다.

B) 長期設計荷重의 支持

火災中에 있어서도 建築物의 部材 即 기둥, 보, 바닥에는 長期荷重(固定荷重과 積載荷重)이 作用하고 있으므로 이것을 安全하게 支持하도록 되어 있어야 한다.

C) 衝擊과 消火注水에 對한 強度維持

火災中에 倒壞物이나 落下物이 衝擊을 이르게 耐火被覆이 破壞된다든가 防火區劃을 貫通하는 구멍이 생긴다든가 해서는 안된다. 消防時의 壓力注水에 對해서도 이런 일이 생겨서는 안된다.

D) 性能維持

火災時 部材相互의 接合 등이 갈라진다든가 脫落하여 部材의 耐火性을 減少시킬 憂慮가 있는 것에 對하여는 接合部의 工法을 建築構造變位에 따를 수 있도록, 어느程度의 變形可能性이 있는 것으로 할 必要가 있다.

E) 火災後의 再使用問題

火災後의 部材損傷의 程度는 無損傷에 가까운 것으로부터 마감材料를 再修理할 程度의 것, 構造本體는 健全하나 耐火被覆만이 損傷한 것, 損傷이 甚하여 部材로서 性能을 잃은 것 등으로 分類할 수 있다. 그리고 鐵筋콘크리트造의 耐火性은 火災後 補修하여 再使用 할 수 있을 程度의 損傷에 不過한 것이라 하겠다.

F) 不 燃 性

여기에 對하여는 內裝을 除外한 部材構成材料가 自身이 불꽃을 일으켜 燃燒되지 않은 것이라야 한다. 耐火性은 그 部材를 構成하는 材料와 構法의 形狀, 깃수, 傳熱定數, 膨脹收縮, 強度低下等, 耐火性의

要因이 되는 物理的 性質에 依하여 決定된다. 그리하여 耐火性이라는 것은 이와 같은 性質들의 集合을, 部材가 要求하는 機能에 結付시켜 定量化한 性能이라 하겠다.

§ 2. 鋼構造의 耐火性

A) 概 說

鋼構造가 火災에 對하여 大端히 弱하다는 理由는, 鋼材가 高溫으로 加熱되면, 降伏點과 彈性係수가 顯著하게 低下되기 때문이고, 따라서 鋼構造部材가 火災時에 負擔하고 있는 應力에 견디지 못하게 되어 破壞하기 때문이다. 그러나 完全히 耐火被覆이 되어 있으면, 倒塌의 危險性이 없을뿐만 아니라 火災 終了後에도 곧 構造強度가 回復되어 火災前에 完全한 構造狀態로 돌아간다. 이때에 耐火被覆을 補修하기 만하면 其前狀態로 돌아가기 때문에, 火災後의 再使用이라는 觀點에서 볼 때, 鋼構造는 鉄筋콘크리트構造보다 오히려 取扱하기가 훨씬 容易하다 하겠다. 그뿐만 아니라 構造物 全体로서의 構造架構의 形狀等에 따라 火災時에 發生하는 熱應力의 크기도 달라지기 때문이다. 이와같이 耐火被覆의 設計는 個個의 建物에 對하여 各各의 條件에 맞도록 하지 않으면 實際에 必要한 耐火性能은 確保할 수가 없다.

B) 構造用鋼材의 高溫時의 性狀

鉄鋼材의 高溫時의 特性은 그림 2.1에 表示한 것과 같다.

即 構造設計上 重要한 引張強度는 250~300°C에서 最大值가 되고 500°C에서는 常溫時의 約 $\frac{1}{2}$, 600°C에서는 約 $\frac{1}{3}$ 이 된다. 또 彈性限度는 350°C에서 常溫時의 約 $\frac{1}{2}$ 이 된다. 또 降伏點은 500°C에서 常溫時의 約 $\frac{1}{2}$ 이 된다. 이제 一例로서 建築用 普通鋼材 St. 37을 實驗하여, 應力度變形度曲線이 溫度變化에 따라 어떻게 달라지는가를 調査하여 보면 그림 2.2에 表示한 것과 같이 된다.

同圖에 依하면 300°C를 넘었을 때 比例限度는 常溫時의 約 $\frac{2}{3}$ 가 되고 其以上の 溫度에서는, 應力에 對한 變形의 比例가 顯著해짐을 알 수 있다. 이와같이 鋼材는 高溫에 對하여 弱한 것이다. 따라서 火災熱을 防止하기 爲하여는 鋼材에 耐火被覆을 해야된다는 結論이 나온다. 鋼材의 高溫時의 降伏點低下는 鋼構造의 耐火性을 支配하는 가장 큰 要素인 것이다. 即 部材가 應力を 받고 있을 때, 鋼材의 溫度가 上昇하여 降伏點이 低下되므로서 部材가 받고있는 應力值에 到達하게 되면, 그 部材는 塑性變形을 이르르서 破壞하게 된다.

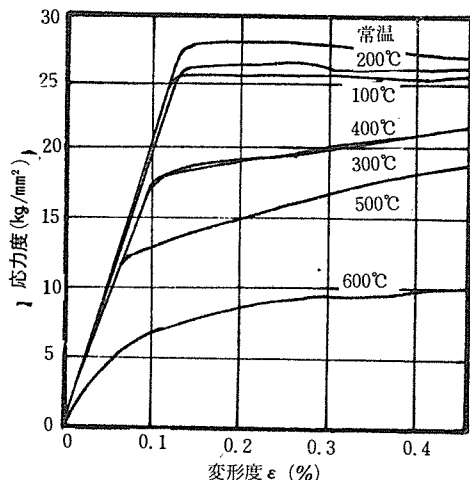


그림 2.2 高溫時의 應力變形度曲線 (St 37)

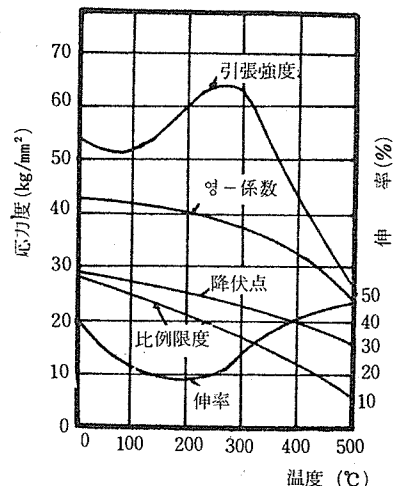


그림 2-1. 構造用 軟鋼의 高溫性狀

C) 鋼構造部材의 火災時의 性狀

(1) 單純支持 휨部材

보斷面의 鋼材溫度가 上昇하면, 鋼材의 彈性係數値는 低下되기 때문에, 鐵骨보에 일어나 있는 變形度는 增大한다. 또 降伏點도 低下하기 때문에 그 低下가 存在應力度 값에 到達하면 降伏現象을 나타내게 된다. 即 鐵骨보의 變形度가 降伏時의 變形度에 達하였을 때에 降伏現象이 일어난다. 存在應力度가 一定할 때에 鋼材溫度가 上昇하면 보의 처짐은 增加하다가 어느溫度에 이르면 처짐은 急增하여 降伏하게 되는 것이다. 存在應力度가 큰 보는 存在應力度가 적은 보 보다도 낮은 鋼材溫度에서 降伏現象이 나타나게 마련이다. 다시 말하여 이 溫度上昇에 依한 降伏現象은 溫度上昇에 依한 鋼材의 降伏點低下가 存在應力度 값에 達하였을 때에 생기는 것이다. 即 鐵骨보의 降伏時鋼材溫度는 存在應力度の 크기 如何에 따라 決定된다고 할 수 있다. 個個의 構造設計에 依하여 實情에 맞는 許容鋼材溫度가 設定되어야 할 것이다. 그러나 實際에 있어서는 個個의 보에 對하여 許容鋼材溫度가 달라져서는 耐火被覆을 一律으로 施工할 수가 없기 때문에 大端히 不合理하다. 따라서 許容鋼材溫度를 設定하고 火災時의 鋼材存在應力도가 그 溫度에 있어서의 鋼材降伏點보다 크게 되지 않도록 設計當時에 미리 考慮해 두어야 될 것이다. 다시 말해서 許容鋼材溫度에 對應하는 火災時 許容應力度를 採用하면 된다 하겠다. 이 關係를 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{M}{Z} \leq f' b = \alpha f_y \leq fb$$

여기서

fb : 長期許容 휨應力度

f_y : 降伏點強度

$f' b$: 火災時許容 휨應力度

α : 高溫時의 降伏點低下係數로서

$$\alpha = \frac{750 - T}{450}$$

(2) 單純支持 壓縮部材

高溫時의 挫屈應力度는 彈性挫屈域에서는 彈性係數의 低下에, 또 塑性挫屈域에서는 降伏點과 彈性係數의 低下에 關聯하여 低下한다. 長期設計荷重下에서 崩壞의 危險이 생기는 것은 高溫時挫屈應力度の 長期許容挫屈應力度에 對한 安全率이 1.0 以下일 때이다. 이 火災時의 安全率은 鋼材溫度와 鐵骨柱의 細長比에 關係된다. 許容挫屈應力度 自身의 安全率은 細長比에 따라 變動하는 것이므로 長期許容挫屈應力度에 對한 火災時의 安全率을 一定하게 하는 것은 그다지 意味가 없다. 그리고 火災時의 安全率이 1.0 以下の 部分에 對해서만 安全率을 1.0이 되도록 補正하면 될 것이다. 短期許容挫屈應力度는 長期許容挫屈應力度の 1.5배이므로 結局 長期許容挫屈應力度에 對한 高溫時 挫屈應力度の 安全率이 1.5 以下の 部分에 對해서 그 安全率을 1.0이 되도록 補正하는 結果가 된다.

理論적으로는 火災時의 鐵骨柱의 許容鋼材溫度는 各各의 기둥의 細長比와 存在應力度에 依하여 決定된다. 그러나 實際에 있어서는 보의 境遇와 마찬가지로 耐火被覆施工의 觀點에서 爲先 許容鋼材 溫度를 設定한다. 그리고 나서 그 溫度때의 鐵骨柱의 安全率이 1.0 以上이 되도록 미리 準備한 表로부터 火災時 挫屈係數를 決定하여 設計當時부터 考慮하여 두면 적어도 予想한 規模의 火災 때에는 鐵骨柱가 崩壞될 危險은 없게 된다. 普通의 기둥은 長期存在應力도가 比較的 적은 값일 때가 많으므로, 實際에 있어서는 多少의 注意를 하므로서 許容鋼材溫度를 500°C 程度로 設定하여 鐵骨柱를 設計할 수도 있을 것이다. 위의 關係를 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{N}{A} \times W_f \leq fb$$

여기서 W_f : 어떤 鋼材溫度에 對한 火災時 挫屈係數로서 미리 準備한 表에서 찾을 수 있음.

$fb = \frac{fc}{w}$: 長期許容挫屈應力度

(3) 連續보

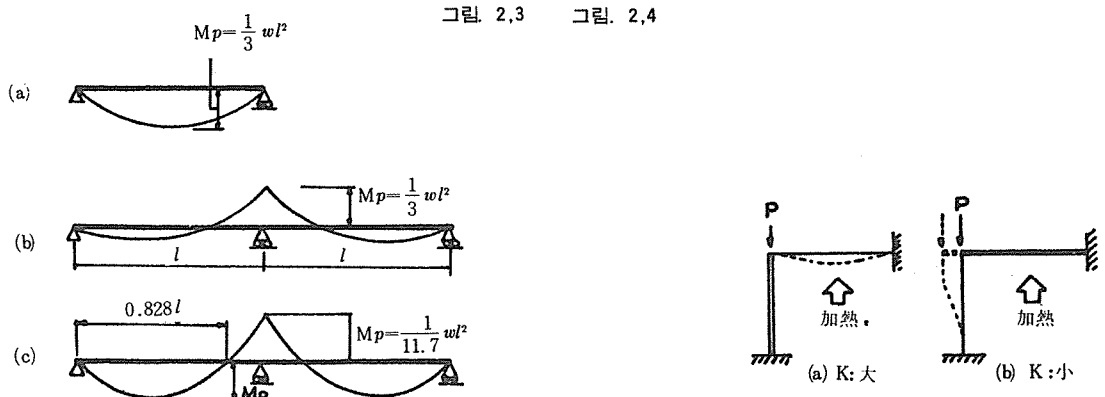
지금까지는 單純支持部材의 휨強도와 挫屈強도를 中心으로하여 構造部材의 耐火性能을 論하였다. 그러나 實際의 建築構造部材의 耐火性能은 그 部材端部の 拘束條件의 影響을 받아 單純支持 때와는 狀態가 다르다. 例로 連續보를 들기로 한다. 連續보는 가장 簡單한 端部拘束(이때에는 휨拘束)의 例이다.

單純보에 等分布荷重이 作用하였을 때에는 그림 2.3(a)와 같은 應力狀態가 된다. 이것이 두 스패น(Span)의 連續보일 境遇에는 그림 2.3(b)와 같이 된다. 이들 보가 火災를 當하여 断面内の 鋼材溫度가 均等하게 上昇하였다 하자. 어떤 鋼材溫度에 達하여 單純보가 降伏할 때 連續보는 中央支點에 降伏한지(Hinge)가 생긴다. 이 때 單純보는 破壞되나 連續보는 鋼材溫度가 더 上昇하여도 견딜 수 있고 그림 2.3(c)의 應力狀態로 된 後에 비로소 本全體의 機能을 喪失하게 된다. 이 두 보의 最大 휨應力度가 다같이 1600kg/cm^2 이 되도록 設計되어 있었다 하면 連續보가 降伏할 때의 應力度는 $1600 \times \frac{8}{11.7} = 1100\text{kg/cm}^2$ 이 된다. 그렇다면 降伏點이 2400kg/cm^2 의 鋼材를 使用하였을 境遇 單純보는 鋼材溫度 450°C 때에 降伏하고, 連續보는 544°C 때에 降伏하게 된다. 卽 이 支持條件의 差가 降伏時의 鋼材溫度에 約 100°C 의 差를 가져오게 한다. 一般的으로 말하여 部材端部の 拘束은 耐火性能을 크게하는 效果가 있다 함은 前述한바와 같다.

(4) 端部拘束部材

構造部材는 一般的으로 火災時 加熱되었을 境遇 断面内の 溫度上昇으로 인한 材長의 變化와, 断面内の 不均等한 溫度分布에 依한 彎曲을 일으킨다. 部材端部가 拘束되어 있지않는 單一部材에서는 이 變形이 그대로 나타나므로 問題는 없으나 普通的 構造部材는 拘束되어 있기 때문에, 이 變形이 拘束되므로 因하여 内部應力이 생기게 된다. 이 内部應力 卽 火災時 加熱에 依한 熱應力이 커지면 部材는 破壞하고 構造耐力은 激減한다. 이 熱應力이 建築構造에 미치는 影響은 慎重한 配慮를 要하는 問題이다. 鋼構造部材일 境遇에는 断面内の 溫度分布은 比較的 均等하므로 彎曲에 依한 熱應力은 爲先은 考慮하지 않아도 된다는 것이 一般的인 생각이다. 그러나 材長變化는 크므로, 材端에서 軸方向伸長이 拘束되어 있을 때에는, 鋼構造部材의 熱應力은 大端히 커진다. 理論적으로 또 實驗적으로 研究한 結果 材端이 拘束되어 있는 鋼構造部材를 火災 때에 損傷하지 않게 確保한다는 것은 거의 不可能하다는 것이 알려져 있다. 그리고 熱應力도와 熱變形의 增加率은 材端拘束度의 大小如何에 따라 크게 左右된다. 熱應力도는 溫度의 上昇과 더불어 거의 直線의으로 增加하고, 部材의 細長比에 따라 決定되는 高溫時 挫屈應力도에 達하게 될 때에는 挫屈破壞를 일으키게 된다. 材端拘束度에 關한 간단한 例를 들면 그림 2.4에서 보가 加熱되고 기둥이 拘束을 주고 있다고 생각하자. 그럴때에 기둥의 剛性을 높여서 보에 對한 材端拘束度を 크게하여 기둥이 크게 外側으로 밀려나가려는 強制變形을 防止하지 않는 限, 建物全體가 崩壞하는 結果를 招來하는 危機마저도 생기게 된다.

그리하여 이때에는 意識적으로 보를 早期에 局部破壞를 시켜서 熱應力의 緩和를 圖謀해야 될 것이다. 그



러나 一般的으로는 多스팬構造이고 中央部分의 보에 對한 材端拘束度는 大端히 크므로, 火災 때에는 比較的 낮은 鋼材溫度에서 中央보가 먼저 局部挫屈을 일으켜 스펠數가 半減된 構造形式으로 移行하게 되는 것이 普通이다. 이와같이 보가 順次的으로 局部破壞를 일으켜 간다고 하면, 기둥의 強制變形은 그다지 커지지 않을 것으로도 予想된다. 普通의 鋼構造架構에서는 部材斷面의 平均溫度가 200℃前後일 때가 熱應力으로 因한 局部破壞의 限界溫度가 된다. 여기 對하여 充分한 耐火被覆을 設計하여 局部破壞를 防止한다든가, 또는 意識的으로 局部破壞를 일으키게하여 建築架構의 安定에 關聯된 部材의 熱應力을 緩和시키도록 對策을 세울 必要가 있다 하겠다.

§ 3. 鋼構造部材의 耐火被覆

A) 耐火被覆의 種類

火災 때에 鋼材가 高溫이 되면 鋼材의 強度가 低下되어 그 部材에 存在하는 應力度에 達하였을 때에 部材가 崩壞될 可能性이 생긴다. 이 때문에 鋼材에 耐火被覆을 하므로써 保護되어 耐火性을 付與하게 된다. 傳熱性의 差異에 依하여 耐火被覆의 斷面形式을 속 채운斷面, 속빈 斷面, 大空間斷面 등으로 大別한다.

(1) 속채운斷面被覆

이 斷面은 鉄骨콘크리트造와 같이 内部까지 콘크리트를 充填하는 것으로서 耐火被覆의 斷面積이 속빈 斷面の 것에 比하여 크기 때문에 熱容量이 크다. 따라서 그 徑이라든가 幅이 큰것 即 斷面積이 큰것 일수록 耐火性이 一般的으로 크다 하겠다.

(2) 속빈斷面被覆

이 工法은 部材를 輕量化하기 때문에 가장 많이 쓰여지고, 그 材料와 工法도 種類가 많다. 라스몰터 바르기, 石膏 폴라스터 바르기, 石膏 보드 붙이기, 石綿 뽐칠, 岩綿 뽐칠 등이 있다. 이 뽐칠工法은 鋼材에 直接 할 수도 있다. 더우기 기둥, 보, 壁, 바닥 등의 部材接合部에 있어서 耐火被覆相互間의 間隔을 메꾸는데는 이 뽐칠工法은 便利한 것이다. 또 成形板붙이기 中에서 石綿成形板, 石綿硅酸칼슘板 및 高溫高壓養生氣泡콘크리트板과 같이 比重이 1.0이하의 가벼운 것은 接着劑로 붙이는 工法이 쓰여진다.

(3) 大空間斷面被覆

이 工法은 天井이, 耐火被覆의 役割을 하도록하여 뒷쪽 大空間의 바닥과 보를 保護토록 하자는 것이다. 이것은 以前부터 劇場의 가려리鉄骨트러스에 몰터바르기 따위를 할 때에도 볼 수 있었던 것이나, 岩綿을 主材料로한 天井보드를 特別한 鉄物로 매다는 工法도 있다. 그러나 이 工法은 天井의 一部가 破壞되어 火災이 天井위쪽으로 들어갔을 때, 매다는 鉄物이 變形하여 天井材가 連續的으로 脫落하게 되므로써 被覆되어있지 않은 鉄骨材가 直接 可熱될 危險性이 있다. 또 埋込한 照明器具라든가 天井속의 닥트 등에 對하여 耐火上의 措置가 必要할 것이다.

以上은 耐火被覆의 單獨形式을 說明한 것이나 이것들을 서로 混合하여 施工하는 複合耐火被覆도 可能할 것이며 또 많이 쓰여지고 있다.

B) 各種耐火被覆의 耐火性

(1) 몰터바르기

몰터바르기는 一般的으로 乾燥하는 동안 많은數의 크랙(crack)이 생기는데, 이것이 加熱되면 이 크랙의 幅이 數倍로 늘어났다. 輕量骨材를 使用한 몰터는, 加熱로 因하여, 剝離될때가 많으므로, 라스를 넣는等하여 接着을 좋게하고 두께 方向으로 몰터가 一体가 되도록 하는 工法이 必要하다.

(2) 石綿뿔칠과 岩綿뿔칠

이 뿔칠은 加熱로 因하여 表層에 그다지 깊지 않은 잔금이 가서 極히 脆弱하게 되나, 라스로 부터는 떨어지지 않는다. 鐵骨材에 直接뿔칠을 할 때, 뿔칠의 두께가 두꺼울境遇, 바탕에 樹脂系統의 塗料를 칠하면, 加熱에 依하여 오히려 떨어질 念慮가 있으므로 注意를 要한다.

(3) 輕量成形板붙이기

成形板을 鐵骨材에 볼트로 붙인 것이나 리벨로 材端을 固着한 것은, 加熱變形으로 因하여 成形板端部에 틈이 생기기 쉽다. 現在는 거의 接着劑로 붙이는 工法이 쓰여지고 있다. 라스가 든 高溫高壓養生氣泡콘크리트板은 長尺의 패널(panel) 모양으로 製作하여 쓸때가 있으나, 그때 支持間隔이 크면, 中央部分에 材의 收縮으로 因한 큰 크랙이 생길때가 있으므로 注意를 要한다. 石綿成形板은 石綿뿔칠과 質은 같으나, 工場에서 成形되므로, 두께나 比重이 比較的의 均一하고, 따라서 鋼材溫度가 거의 變化하지 않는다.

(4) 콘크리트被覆

콘크리트 속을 메꾼 断面과 속이 빈 断面은 鋼材溫度上昇에 큰差가 있다. 속을 메꾼 断面의 氣泡콘크리트는 鋼材溫度上昇은 적으나, 加熱로 因하여 幅이 5mm나 되는 表層部크랙이 많이 생긴다. 人工輕量骨材를 使用한 콘크리트라든가, 이것을 使用한 프레캐스트 콘크리트形板 또는 불력組積은 加熱後에도 크랙이 發生하지않고 堅固하다. 또한 高溫高壓養生氣泡콘크리트板等과 같은 輕量콘크리트의 斷熱性은 그 比重이 0.9乃至 1.1程度의 것이 第一 좋은 것으로 되어 있다.

會 告

建設部로부터 政府勞賃단가에 대한 公文이 본협회에 이첩시달(1973. 2. 12) 되었기 故로 회원 업무에 참고하시기 바랍니다.

題目：1973年度 政府 勞賃單價 基準

1. 재무부 회계 1210.3-433(73. 2. 10)의 이첩임.
2. 1973年度에 적용할 정부 勞賃단가 기준에 대하여는 상반기 物價上昇実績을 감안하여 인상여부를 결정키로 하였으니 우선 1972年度 정부 勞賃단가를 계속 적용하기 바람.