

# 鋼構造物の 破壊防止와

## 国内技術開發課題



孟 璇 在

〈韓國科學技術研究所 材料試驗室長·理博〉

### ① 序 言

우리나라는 現在 先進工業國으로의 發展을 위 하여 重化學工業育成에 힘을 기울이고 있으며, 이는 內需産業으로서 뿐만 아니라, 특히 輸出産業으로 발전시키려는데 目標을 두고 있다. 機械工業, 造船工業 Plant産業, 化學裝置工業 등에서 보는 바와 같이 重化學工業製品의 大部分은 鋼構造物인 바 이들에게 있어 가장 重要한 性質은 使用途中에 破壞(fracture 또는 failure)되지 않아야 된다는 點이다. 그러나 우리는 鋼構造物에서 發生한 破壞事故에 대한 報道에 가끔 接하게 되는데 비록 많은 技術檢討結果 만들어진 製品이라고는 하나 人間이 만든 제품에서 完全할 수는 없었는지 모르겠다. 강구조물의 파괴사고는 그 構造物自體의 破損으로 끝나는 것이 아니라 때로는 人命被害를 同伴하며 經濟的 損失으로는 그 構造物自體의 費用보다도 補修期間중에 生産中斷에서 오는 被害가 훨씬 큰 경우가 많다. 앞으로 강구조물의 國産化에 있어서도 제품의 信賴度 向上問題를 慎重히 고려하지 않으면 안되리라 고 본다.

筆者는 本稿에서 먼저 外國의 강구조물에서 發生한 大型破壞事故의 事例를 몇가지 紹介하여

新製品開發이 얼마나 어려운 길을 걸어왔는가를 되새겨보고, 아울러 國內鋼構造物에서 發生한 파괴사고에 대해 필자의 研究室에서 原因調査한 사례를 몇가지 簡單히 소개하려고 한다. 또한 마지막으로 파괴의 危險이 없는 강구조물을 國産化하고 앞으로 優秀한 新製品의 開發生産이 可能하도록 미리 對備해야 할 問題를 생각해 보 고자 한다.

### ② 鋼構造物の 破壞事例

외국에서 發生한 代表的인 大型破壞事例를 몇 가지 소개하고자 한다. 記錄에 남아 있는 가장 오래된 강구조물의 파괴사고는 지금부터 1世紀前인 1886년에 美國 Long Island섬에서 發生한 給水塔(높이 250 feet)의 到壞事故이다. 이 大型塔은 鍊鐵을 利用한 rivet構造로서 當時의 技術을 總動員한 野心作이었으나 完成直後의 水壓試驗에서 파괴되었다. 1919年 美國 Boston에서는 糖密tank의 파괴사고가 있었는데 이 tank는 直徑 90 feet, 높이 50 feet의 대형구조물로서, 이 사고로 12名이 死亡하고 40명의 負傷者가 發生하였다. 여러해에 걸친 調査結果 破壞原因은 tank全體의 強度不足과 특히 局部的인 應力이 集中되는 곳의 強度不足으로 tank가 糖密

## 論 壇

의 內壓에 견디지 못해 파괴되었음이 밝혀졌다.

오늘날 船舶은 熔接에 의해 建造된다는 것은 너무나도 當然한 常識이 되겠으나 熔接船이 처음 登場한 것은 2次大戰때이다. 當時 約 3000隻의 熔接船이 만들어졌으나 戰鬥와는 無關한 狀態에서 全體熔接船의 折半가까이가 船體破損이 일어났고 이중 250척의 파손은 極甚한 狀態였으며 20隻程度는 船體가 완전히 두동강이가 나버렸다고 한다. 이는 當時의 熔接技術과 熔接冶金에 대한 知識不足에서 온 사고였다.

Jet旅客機가 처음 開發되었을 때도 파괴사고가 발생하였는데 航空機는 강구조물이 아닌 알루미늄구조물에 해당되나 사례는 마찬가지로이다. 最初의 Jet旅客機인 Comet號가 運航을 開始한 것은 1952年인데 就航한지 2年 後인 1954년에 2個月 사이에 2臺가 空中爆發하여 추락한 사고가 있었다. Comet號는 當時 英國科學技術의 一大 자랑이었으나 이러한 사고가 발생하였으니 그 나라가 받은 衝擊은 대단한 것이었다. 大大的이고도 철저한 原因調査가 실시된 結果 特定部分의 強度不足으로 인한 사고임이 밝혀졌고 設計를 補充하기에 이르렀다.

近年에 와서도 강구조물의 파괴사고가 가끔 발생하였다. 1969년에는 日本 東海上에서 鑽石運搬船의 船首部가 파괴되어 떨어져나가 선박이 沈沒한 사고가 있었으며 1971년에는 Spain에서 都市 gas用 球型tank가 水壓試驗中에 파괴되어 15名의 死傷者를 발생시킨 사고가 있었다.

이와 같이 1世紀前은 물론이요 近年에도 강구조물의 파괴사고가 이따금 일어나고 있는데 앞으로 우리나라의 機械工業이나 裝置産業을 育成해나가는 데 있어 이들 구조물에서 파괴가 발생하지 않도록 充分한 考慮와 대비가 있어야 되겠다.

### ③ 破壞原因의 調査

파괴의 原因은 大別하여 設計不良, 製作不良 및 運轉不良을 들 수 있다. 설계에서는 주어진 操業條件下에서 安定性和 經濟性を 考慮하게 되며 이에 따라 材料의 選定과 구조가 이루어진다.

설계에서 全體的인 구조가 合理的이어야 함은 물론이지만 특히 notch部나, 部品連結部의 位置, 熔接部位등이 脆弱部가 되므로 이런 部位의 설계에는 특히 技術上의 檢討가 必要하다.

제작불량으로는 材料選定이 잘못된 경우 즉 內部缺陷이 있거나 熱處理不良, 熔接不良, 加工이나 成形時의 缺陷誘發등을 들 수 있고, 運轉 또는 操業不良으로는 過負荷, 過熱, 가혹한 使用環境등을 들 수 있다.

파괴의 原因을 조사하는 것을 破壞解析(failure analysis)이라고 한다. 여기서는 破壞原因의 調査方法에 대해서는 言及하지 않겠으나 그 동안 필자의 研究team이 강구조물에 대하여 파괴해석을 수행한 결과중 특히 설계나 제작불량으로 파괴된 사례를 몇 가지만 簡單히 소개하고자 한다.

某 精油工場에서 脫硫黃裝置의 Compressor Shaft가 파괴된 일이 있어 原因조사를 수행한 바 있다. 鋼材의 材質을 分析試驗한바 鋼材自體의 選定에 잘못은 없었고 材質上의 결함도 없었다. 한편 Compressor Shaft에는 軸方向으로 Key-hole이 있어 動力이 이것을 통해 Shaft에 傳達되어 Shaft가 回轉하도록된 구조였다. 따라서 稼動條件과 Shaft의 幾何學的 條件을 고려하여 應力解析, 즉 力學的計算을 해보았더니 이와같은 구조로는 사용한 鋼材에서 파괴사고가 일어날 수 있다는 것을 數字的으로 알 수 있었다. 즉 사고원인은 설계불량이라고 結論내릴 수 있었다. 參考로 對策을 언급한다면 Key-hole의 깊이를 좀더 깊게하여 動力이 전달되는 면적을 넓히고 그 edge部에 적절한 曲率을 주거나, 이와 같은 構造變更이 不可能하면 좀더 強度와 耐疲勞性이 높은 材質을 選擇해야 했을 것이다.

어느 化學裝置에 사용되는 Pump의 Shaft가 파괴된 사고가 있어 原因조사를 하였다. 사용재료는 材質分析結果 흔히 軸類로 사용되는 재료임을 알 수 있었고 재질상의 결함은 발견되지 않았다. 그러나 破壞樣相은 過度한 反復負荷에 의한 疲勞破壞였으며 主된 原因은 장치의 幾何學的인 配置(alinement)가 잘못된 데 있었다.

한편 Shaft에 窒化處理나 Shaft Peening 등

의 表面硬化處理를 한다면 疲勞壽命을 훨씬 向上시킬수 있었을 것이다.

다른 例로는 鑛山굴착용 Rob-Shank를 외국에서 輸入하여 사용하였는데 過去와 달리 수입 lot에서 많은 파괴가 일어난 일이 있다. 이에 대한 원인을 조사한 바 中空管型의 Shank 內部에 結合시킨 스텐레스 스틸이 中空管과 완전한 結合을 이루지 못하고 結合部에서 notch型 구조를 이루고 있어 使用時 應力集中效果를 초래하여 파괴된 것임을 알 수 있었다. 이 밖에도 몇가지 化學工場의 장치에서 파괴사고가 있어 원인조사를 한 바 있는데 파괴원인으로는 사용분위기와 使用條件에 비해 강재의 선정이 잘못된 경우가 많았다.

紙面關係로 많은 사례를 詳細히 소개할 수가 없으나 사고의 類型을 대략 파악하는 데는 多少 參考가 되리라고 본다. 위에서 언급한 강구조물들은 모두 外國에서 도입된 제품들이라는 것을 특히 언급해 두고자 한다.

#### ④ 鋼構造物의 國產化에 대한 對備

위에서 본바와 같이 先進工業國에서도 새로운 제품이나 工程이 나올때는 많은 技術檢討結果의 產物임에도 파괴사고가 가끔 발생하였고 現在에도 선진공업국에서 제조한 구조물에서 파괴가 이따금 일어나고 있다는 것을 알았다. 現在 國內 重化學工業은 大部分 先進工業國으로 부터의 技術導入으로 着手되고 있으나 技術自立을 위해서는 早速한 時日에 導入技術을 消化改良하고 新製品의 國產化가 이루어져야 하며, 이러한 過程은 重化學工業國으로의 발전을 위해 宿命的인 課題이다. 그러나 강구조물을 기술도입으로 만들든, 더 나아가 신제품을 開發製造하던 間に 파괴사고가 발생할 可能性은 있다고 보아야 하므로 이에 대한 신중한 考慮와 技術開發을 통한 대비가 있어야 하겠다.

구조물을 제조하는 側의 責任으로 돌아가는 파괴原因으로는 設計不良, 金屬素材의 材質不良 및 製作不良등을 들 수 있다. 그러나 실체는 순수 機械工學的인 立場에서의 검토만으로는 매우

不充分하며 사용재료에 대한 冶金學的諸要因과 그에 대한 知識의 基盤위에서 이루어져야 한다. 製作過程에서 발생하는 不良要因 亦是 金屬學的 知識으로 상당한 부분을 除去할 수 있다. 따라서 앞으로 파괴의 危險이 없는 강구조물을 國산화하기 위해서는 이에 基盤이 되는 素材工業의 발전과 특히 金屬材料의 特性을 支配하는 金屬學的的要因에 대한 지식의 발전이 있어야만 한다.

先進外國에서는 강구조물의 性能向上 및 보다 經濟的인 製品生産을 위해 그 기반이 되는 材料開發 또는 材質特性向上에 대한 연구를 끊임없이 계속하고 있으므로 이들을 하루속히 뒤따라가기 위해서는 우리도 이러한 연구에 힘을 기울이고 底力培養을 하며 基盤構築을 해야할 것이다. 한편으로는 技術導入을 하여 이의 消化에 努力하면서 다른 한편으로는 장래를 내다보고 금속재료에 대한 先導的인 目的基礎研究를 서둘러야만 均衡있고 견고한 技術基盤이 구축되며 將次 國際競爭에서 이길 수 있다는 것을 強調해 두는 바이다.

#### ⑤ 結 論

現在 國內에서는 많은 사람들이 기술도입하면 重化學工業이 거의 이룩되는 것으로 착각하여 마치 技術導入萬能의 迷信을 信奉하고 있는 것 같은 느낌이 든다. 그러나 위에서 우리는 과거와 현재를 막론하고 선진공업국에서 만든 많은 강구조물에서도 파괴사고가 발생했다는 사실을 알았다. 따라서 강구조물의 國산화 및 신제품의 개발에 있어서 破壞危險이 없는 製品生産이 가능하도록 해당기술의 발전이 있어야 되겠으며 특히 구조물의 機能을 지배하는 가장 중요한 要因은 사용소재의 재질이므로 재료의 특성에 대한 선도적인연구가 있어야만 선진공업국의 꿈의 實現이 가능하다는 것을 언급해두고자 한다.

한나라의 科學技術의 발전은 결코 一朝一夕에 이루어질수는 없으며 아무리 無理하게 발버둥을 쳐도 비약이라는 것은 있을 수가 없다. 다만 꾸준하고 着實한 學問的基盤 위에서만 진실한 技術發展을 期待할 수 있는 것이다. ㉞