

## 熱交換器의 製作 (Ⅱ)

### — 熔接에 관하여 —

裴 洵 勳\*

지난 講座에서는 熱交換器의 形態를 中心으로 說明하였는데 本 講座부터는 一般的인 加工方法에 관하여 討論하고자 한다. 따라서 熱交換器 뿐만 아니라 좀더 廣範圍하게 機械製作 技術을 다루려고 한다. 大型 熱交換器에서 가장 重要한 製作工程인 熔接부터 始作하여 金屬의 切削, 成形을 차례로 소개할 예정이다.

우리가 잘 모르는 科學技術에 관하여는 一般的으로 神秘스럽게만 생각하고 그 眞相을 모르는 경우가 많다. 유리창으로 들여다 보이는 電子計算室의 광경은 신비롭기만 하고 試驗管속에서 무언지부글부글 끓이고 있는 化學者를 보면 마술사와 같이 환상적이다. 熔接이라는 것도 一般的인 인식은 두꺼운 장갑을 끼고 검은 안경이나 가면을 쓰고 불꽃의 홍수와 빨강계 녹은 쇠물과 씨름하는 작업으로 생각하고 있다. 이런 광경은 우리가 아직도 길거리 또는 조그만 공작소에서 자주 보는 광경이긴 하지만 材料를 結合하는 技術은 이런 原始的인 方法에서 부터 이제는 아주 복잡한 技術의 한 分野로 發展하였다. 특히 우리나라에서 造船工業이 集中的으로 發達하게 됨에 따라서 熔接技術은 많은 科學者들의 研究 對相이 되고 있고 先進技術이 많이 導入되고 있다.

#### 結合技術

오늘날 金屬을 結合하는 方法은 約 40가지나 되는데 다음의 다섯가지로 大別할 수 있다.

1. 熔融熔接 部品이 녹을 때까지 加熱하여 接合하는 方法 壓力이 必要없음 例로는 arc welding, gas welding, electronbeam welding 등이 있다.

2. 電氣抵抗熔接 熔接하고자 하는 部分에 電氣를 通하여 加熱한 다음 壓力을 加하여 接合하는 方法 例로는 spot welding, upset welding, percussion welding 등이 있다.

3. 固體相態熔接 壓力을 加하여 接合하는 方法으로 接合部分의 表面의 아주 얇은 층을 除外하고는 녹지 않는다. 例로는 forge welding, friction welding, pressure welding 등이 있다.

4. 液相固相接合 接合部分을 熔融點 以下에서 加熱한 다음 液相의 다른 金屬을 첨가하여 接合하는 方法 例로는 soldering, brazing 등이 있다.

5. 接着劑接合 接合部分의 表面과 接着劑 사이에 分子間의 인력으로 接合하는 方法, 接着劑의 例로는 動物性, 植物性, 天然接着劑, 시멘트, 아스팔트, epoxy 같은 프라스틱 등이 있다.

以上 熔接이라고 부르는 것은 1項에서 3項까지를 말한다.

熔接은 紀元前 3000년에 벌써 구리와 金의 合金과 납과 주석의 合金을 接合한 例가 있고 紀元前 1000년에는 철과 강철을 forge welding 한 증거가 있다. 그러나 熔接의 本格的인 發展은 1800年代에 電氣를 쓰기 始作한 後였고 1880年 부터 1900年까지 20年間에 여러가지 溶接방법이 고안되었는데 여지껏 사용하는 方法인 metal-arc welding, electrical resistance welding 산소아세틸렌용접등이 이 기간중에 고안된 것이다. 電氣抵抗熔接은 自動車의 몸체 비행기의 部品 製作에 利用하고 산소아세틸렌용접은 板材와 管의 接合에, metal-arc 熔接은 선박이나 壓力容器 그리고 建築구조물 接合에 利用된다.

#### 아크熔接

金屬아크熔接에서는 電氣아크가 金屬電極과 熔

\* 正會員, 韓國科學院

接材質에서 發生하는데 이 아크는 gas discharge의 一種으로 比較的 電流가 많이 흐르고 電壓이 낮은 것이 특징이다. 강철電極(直徑0.4 cm)에서 20 volts에 200 Amperes가 흐를 때 그 아크柱의 온도는 10,000°K 까지 올라간다.

이 높은 熱 때문에 이 電極 끝 部分의 金屬이 녹는데 녹은 金屬을 接合하고자 하는 두 面 사이에 떨어뜨려 表面을 적시고 이것이 응고하면 두 面을 結合하게 된다. 텅스텐電極을 使用할 때는 電極이 녹지 않으므로 부가적인 金屬線(filler wire)을 使用하여 녹인다. 따라서 金屬아크熔接은 鑄物과 같은 過程인데 단지 局部的으로 일어난다. 여기서 첨가되는 金屬은 接合되는 金屬과 비슷한 성분과 熔融點을 가지고 있는 反面 soldering이나 brazing에서는 成分이 전혀 다르고 첨가金屬의 熔融點이 현저하게 낮다.

熔接에서 根本的인 問題는 熔融金屬의 오염인데 이 液體金屬의 粒子는 주위의 空氣나 濕氣에서 산소 질소 수소 같은 氣體를 吸收하고 反應하여 多孔質이고 취약한 熔接部를 만든다. 美國에서 처음으로 Coffin이 1889년에 熔接에 관한 特許를 받은 때는 裸線을 電極으로 使用하였으나 산소아세티렌을 불어내면 鐵熔接이 炭素아크와 裸線보다 훨씬 좋다는 것이 證明되었다.

아크熔接이 많이 쓰이게 된것은 스웨덴의 Kjellberg이 1910년 皮膜된 電極을 만들었을 때 부터이다. 1912年 Strohmenger는 sodium silicate나 water glass를 接着劑로 使用하여 石綿을 입힌 電極으로 美國特許를 받았다. 이런 發明으로 불순물이 섞이지 않는 炭素鋼熔接棒을 生産하게 되고 수 많은 電極이 開發되었는데 이때 被복은 아크를 安定시키는 役活, 주위 空氣로 부터 아크를 격리시키는 役活, 熔融金屬과 反應하여 순수하게 하는 役活 등을 하는 同時에 slag로 응고하는 金屬을 둘러싸고 徐冷토록 하며 冷却하는 동안 주위 空氣와의 化學的 反應도 防止한다. 많은 새로운 熔接方法이 開發된 現在에도 皮膜된 電極은 炭素鋼 熔接에 大部分 使用되므로 가장 많이 쓰이고 있는 셈이다.

1930年代 世界第一次大戰 中에 開發된 自動熔

接方法으로 submerged-arc 熔接은 粒子모양의 flux로 熔接部分을 보호하고 아크가 그 속에서 發生하여 매우 良好한 熔接을 높은 生産速度로 해낼수 있다. 보통 被복熔接棒은 길이가 14 in 이므로 熔接길이 8 in 마다 棒을 바꿔야 하는데 submerged-arc 工程은 連續的이고 電流도 0.4 cm 電極에 500~1000 Amperes를 흘릴 수 있으므로 boiler의 plate나 船舶의 갑판 같은 크고 형상이 단순한 곳에 많이 쓰인다. 熔融金屬의 生産速度는 arc 에너지에 따라 變하는데 대략 電流의 供給근에 比例한다.

### 不活性氣體熔接

1930年代 알루미늄합금이 비행기에 많이 쓰이게 되자 이 金屬을 熔接하는 方法이 發達하게 되었다. 알루미늄이나 마그네슘같은 輕金屬은 化學的으로 反應하기 쉽기 때문에 피복熔接棒이나 산소아세티렌 blowpipes를 使用할 수 없다. 熔接部가 多孔質이고 鹽素나 拂素 化合物이 flux에서 生成되어 有毒한 냄새를 發生하고 부식성이 강한 slag를 生成한다. Hobrd와 Dever는 電極을 不活性氣體 안에서 放電시키는 實驗을 하였는데 이것이 후에 gas tungsten-arc(GTA)와 gas metal-arc(GMA) 工程으로 發達하였다. 알곤과 헬륨이 保護氣體로 쓰이고 GTA에서는 텅스텐電極이 녹지 않으므로 filler wire를 使用하고 GMA에서는 金屬電極이 녹아 消耗된다.

stainless steel이나 炭素鋼에는 不活性氣體熔接이 1950年 不活性氣體에 少量의 산소를 섞으면 熔接特性이 좋아진다는 事實을 알 때 까지는 成功的이 못되었다. 이 氣體로 보호하는 熔接이 발달되면서 값이 비싼 不活性 氣體 대신에 탄산가스를 쓰려고 하는 努力이 많았는데 이것도 1950년頃 산소를 微量 섞어서 쓰기 시작하면서 좋은 結果를 얻게되어 피막용접봉을 쓰는 용접이 점차로 탄산가스工程으로 代替되고 있고 앞으로 더욱 그런 方向으로 發達될 것 같다. 우리나라에서는 순수한 不活性 氣體를 輸入에 依存하고 있고 피막용접봉의 質도 均一하지 않고 高價이므로 더욱 이工程으로 대체가 시급하다.

過去 15年間 수많은 용접방법이 개발되었는데 그 중에는 electroslog, electrogas welding, 초음파용접, 마찰용접, electronbeam welding, plasma welding, 고주파마찰용접 등이 있다. laser 용접은 1960년에 發達되기 시작하였으나 아직 초창기를 벗어나지 못하고 있다. 이런 새로운 방법으로 높은 온도를 얻을 수 있으므로 거의 모든 金屬을 熔接할 수 있게 되었다.

### 熔接에서 問題點

熔接의 應用 範圍가 급속히 擴張되고 있으나 아직도 設計者, 生産工學者 들과 함께 熔接專門家들이 解決해야 될 問題가 수 없이 많다.

첫째로 熔接構造物이 튼튼해야 하는데 熔接金屬의 材質은 강도가 높더라도 실제 용접할 때 생기는 cracks 이나 작은 구멍에서 파괴가 발생하여 熔接物로 전파되어나간다. 따라서 용접구조물의 신뢰성을 높이기 위하여는 조그만 결함도 없이 하고 파괴가 용접물에 전파되지 않도록 하여야 한다.

世界第2次大戰 때에는 이런 용접구조물의 특성을 理解하지 못해서 大型構造物의 파괴가 脆弱性으로 因하여 發生하여 大型船舶이 파괴된 일도 있다. 이취약성에 관한 연구는 많이 進行되어 이제는 船舶에서 취성파괴가 일어나는 일은 극히 드물다.

그러나 점차로 材質이 가벼워지고 강도가 높아짐에 따라 熔接金屬의 강도도 높아지고 있다. 그러나 강도가 높아지면 일반적으로 인성(toughness)은 감소되기 때문에 조그만 결함도 파괴를 초래하게 된다. 강도가 높은 材質에서는 hydrogen cracking 과 stress-corrosion cracking 이 강도가 낮은 材質에서 보다 훨씬 빈도가 높기 때문에 결함이 전혀 없는 거의 완벽한 熔接을 요하게 된다. 다른 金屬加工方式보다도 용접은 용이하고 비교적 저렴하기 때문에 設計에서는 熔接이 가능한 材質을 擇하는 것이 무엇보다 重要하다.

다른 問題는 熔接構造物을 正確한 尺寸으로 만드는 問題이다. 熔融熔接을 할 때는 언제나 熔接하고저 하는 구조물이 加熱되었다가 冷却이 되므

로 이 때 팽창수축으로 因하여 體積이 달라지고 構造物이 비틀리게 된다. 高壓容器에서 容器가 이 變形으로 因하여 眞圓이 아닌 경우 응력집중이 생겨서 심각한 問題를 발생시키기도 한다. 船舶 建造에서도 이 變形이 각 部分에서 發生하면 全體를 組立할 때 地장을 초래한다.

과거에는 單純한 構造物에서 이런 變形이 생기면 熔接에서 수십년 일한 經驗이 있는 機能者가 직접적으로 해결하여 왔으나 지금은 構造物이 복잡하여 복잡한 계산에 의하지 않고는 調整을 할 수 없다. 美國의 Battelle Memorial Institute 에서는 이에 관한 연구를 여러나라의 支援를 받아 進行시키고 있다.

### 非破壞檢査

非破壞檢査는 magmflux, X-ray, 초음파 등을 利用하여 용접의 결함을 찾아내고 있다. 따라서 과거에는 볼 수 없었던 작은 결함까지 찾아 내기는 하지만 아직 이 결함이 용접의 質에 어떤 영향을 미치는지는 잘 판명이 되고 있지 않다. 대부분 작은 결함은 그냥 수리를 해서 사용하고 있다. 따라서 작은 결함이 어떻게 파괴를 초래하는가에 관한 기초적인 연구 없이 檢査 方法이 發達하여 더 세밀한 결함을 찾아 낸다고 하여도 이 결과를 판단할 만한 기준이 없이는 무의미하므로 이 問題가 시급한 연구 대상으로 생각된다.

우리나라에서도 造船工業의 發達로 熔接技術이 급진적으로 發達하였으나 아직도 特殊한 材質의 熔接技術은 부족하다. 특히 熱交換에서는 高壓容器가 많고 부식성이 강한 물질을 다루므로 stainless steel 이나 aluminum 도 많이 쓰이는데 이 때는 shield gas 도 큰 問題이다. 한국과학기술 연구소에서 aluminum 으로 배를 건조할 때는 헬륨 가스의 純度가 問題가 되어 헬륨을 輸入하여 막대한 비용이 들었다고 하는데 이 shielding gas 의 불순도가 어떻게 용접에 영향을 미치는가에 대하여는 아직 잘 알려지지 않고 단지 spitting 이 심히 일어난다는 정도로 알고 있다.

이상 講座에서는 特定한 熔接技術에 대한 講議 보다는 일반적인 용접기술의 발달과 현황

그리고 앞으로 해결되어야 할 문제점에 관하여 기술하였다. 우리나라에서 重化學工業에 치중하여 큰 선박을 건조하고 化學工場을 설립하는데 무엇보다 중요한 기술이 용접기술이고 우리나라에는 有能하고 소질이있는 기능공이 많아서 용접기술은 세계에 첨단가도록 發達시켜야 할 것이다. 따라서 工學者 企業家들이 이 分野의 重要性을 인식하고 기초연구에 投資하여 우리의 獨自의인 기술을 開發시켜야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- Koichi Masubuchi, "Welding Problem in Shipbuilding", *Marine Technology*, Vol.6, No.7, January, 1969, pp.66-75.
- Arthur L. Phillips, ed. *Current Welding Processes*, American Welding Society, New York, 1964.