

## 放射線非破壞檢查技術(Ⅱ)

黃 昌 奎

<韓國에너지研究所 工作室長>

### 5. 放射線非破壞檢查의 實際

非破壞檢查의 對象이 되는 것을 大別하면 塔, 탱크, 熱交換器, 加熱爐, 配管, 펌프, 압축기, 터빈등을 들 수 있는데, 그 中에서도 放射線非破壞檢查의 對象과 檢查項目은 다음과 같이 說明할 수 있다.

첫째, 塔 및 탱크類

熔接部의 균열, 其他 缺陷點檢·檢查, 內·外部의 缺陷點檢·檢查, 라이닝의 缺陷檢查등을 들 수 있다.

둘째, 熱交換器

헤드카바, 튜우브등의 定點測定 및 두께의 分布測定등과 튜우브內外 및 실·헤드등의 熔接部의 應力腐蝕 균열에 對한 缺陷檢查를 들 수 있다.

셋째, 加熱爐

튜우브內面の 스케일現況과 튜우브의 熔接部에 對한 缺陷을 들 수 있다.

넷째, 配管

드레인部의 滯溜部, 腐蝕豫想所, 部位(藥液, 물注入部나 氣液合流部)등의 內厚測定檢查, 熔接部, 應力腐蝕可能部, 內部的 스케일現況·損傷現況의 檢查, 異種材料熔接部, 振動配管등의 均열에 對한 缺陷檢查를 들 수 있다.

다섯째, 압축기, 펌프, 터빈등

內·外部의 均열과 損耗등의 缺陷檢查를 들 수

있다.

그런데 作業量이 가장 많은 配管關係를 生覺할 때 파이프라인의 熔接이음 部位檢查는 記錄性和 客觀性이 좋은 放射線非破壞檢查가 벌써 오래전부터 普及된 方法이 되겠다.

超音波探傷은 放射線非破壞檢查와 比較할 때, 客觀性이 뒤지고 檢查技術者의 能力에 따라 探傷結果가 틀리며 實際로 適用하는 곳도 放射線非破壞檢查보다 많지 않다. 또 磁粉 및 浸透探傷檢查도 파이프라인에는 그렇게 많이 適用되지 않는다. 그리고 表面缺陷을 調査하기 위해서는 肉眼 또는 外觀檢查로 處理하게 된다.

그러면 가장 많이 利用되고 있는 放射線非破壞檢查에 對한 詳細한 內容을 說明하기로 한다.

#### 5.1. 放射線裝置

放射線裝置에는 X線管을 使用한 低에너지 X線裝置와 粒子加速器를 使用한 高에너지 X線裝置로 大別이 되는 X線發生裝置와  $\gamma$ 線源을 利用한  $\gamma$ 線裝置가 있다.

低에너지 X線裝置의 代表的인 것은 高電壓變壓器 方式의 것이 있다. 이 장치中에서 X線管電壓 400 KVp(킬로·볼트·피크) 以下の 것을 살펴보면, 据置式 X線裝置와 携帶式 X線裝置로 나누어진다.

据置式 X線裝置는 크게 세 部分으로 되어 있으며 裝置의 可搬性 및 移動性이 떨어지게 되어

있는 대신, 携帶式 X線裝置는 X線管, 高壓트랜스, 필라멘트·트랜스, 冷却裝置등이 一個의 容器에 들어있고 또 高電壓回路를 自己整流回路로 하고 있어 小形輕量으로 만들 수가 있다. 그러나 最近에는 据置式인 것이라도 移動, 運搬에 便利하게 高電壓發生器와 X線管을 一個의 容器에 넣은 400 KVp의 裝置가 제작되고 있다.

또 携帶式 X線裝置는 工業용으로 많이 使用하기 때문에 널리 알려져 있다. 이 裝置는 X線管의 兩極에 高電壓을 加하면 필라멘트에서 放出된 熱電子가 加速되어 陽極의 텅스텐·타킷에 衝突하고, 여기서 電子의 運動에너지가 X線이 되어 放射된다. 熱電子가 衝突하여 X線이 發生하는 곳을 焦點이라고 부르는데, 이 焦點의 形狀이나 크기는 缺陷像의 鮮明도와 識別도에 關係되고 있다.

高에너지 X線裝置란 베타트론, 라이낙, 반데그라프등의 粒子加速器(단순히 加速器라고도 함)를 使用하는 것을 말하는데, 베타트론加速器는 磁極間에 도우날(Doughnut)이라고 불리는 둥근 眞空管이 들어있다. 이 속에 있는 電子銃에서 쏘아진 電子는 磁束의 增加와 더불어 加速되어 一定軌道를 回轉하여 磁束의 變化와 함께 에너지가 커진다. 에너지가 커졌을 때에 軌道에서 電子를 이탈시켜 白金極에 부딪치면 거기서 前方으로 X線이 放射된다.

라이낙加速器는 電子의 加速은 直線方向으로 이루어진다. 그래서 이것을 線型加速器라고도 부른다. 즉, 電子를 加速하는 部分은 마이크로파(高周波)가 通하는 管으로 되어 있는데, 電子는 여기로 數萬볼트로 쏘아 高周波에 依해 생기는 電界의 移動과 함께 加速되어 高速이 되고 重金屬 타킷에 衝突하여 高에너지 X線을 發生시킨다. 이 裝置에선 베타트론보다 더 많은 線量을 얻을 수 있기 때문에 最近에는 工業용으로 많이 利用되고 있다.

한편, 近來에 와서 原子爐를 利用해서 放射性 同位元素가 많이 製造되고 있기 때문에 放射線 非破壞檢査에 適合한  $\gamma$ 線에너지를 많이 利用해서  $\gamma$ 線裝置로 쓰이고 있다. 그런데 이 장치에 使用되는 線源으로  $^{60}\text{Co}$ 은 1.33 MeV, 1.17 MeV의

높은 에너지의  $\gamma$ 線을 放出하기 때문에 比較的 두꺼운 被寫體의 檢査에 使用된다. 線源의 強度로는 1 Ci~10 Ci 정도가 많이 使用되고 있으나, 우리나라의 防衛産業體에서 使用하고 있는 大單位非破壞檢査裝置(韓國에너지研究所에서 開發製作供給)에서는 20 Ci, 30 Ci, 100 Ci의 線源을 使用하고 있는데 두께 40~150 mm(200 mm까지도 可能)程度의 鋼熔接部分이나 鑄造部分의 檢査에 利用되고 있다.

$^{192}\text{Ir}$ 線源은 0.30 MeV, 0.47 MeV, 0.60 MeV의  $\gamma$ 線이 放出되고 있어 平均에너지는 約 0.4 MeV 정도이다.  $^{60}\text{Co}$ 線源과 比較하면 에너지가 弱하기 때문에, 두께 8~50 mm 程度의 鋼製品이나 파이프의 檢査에 利用되고 있다.

$^{137}\text{Cs}$ 線源의  $\gamma$ 線에너지는 0.66 MeV로  $^{60}\text{Co}$ 보다 약간 弱하기 때문에 두께 40~80 mm 程度의 鋼製品에 利用되고  $^{134}\text{Cs}$ 線源의  $\gamma$ 線에너지는 0.48~1.4 MeV로  $^{137}\text{Cs}$ 보다 放射線出力이 높기 때문에, 中間두께의 試驗體에 많이 利用되고 있다.

$^{170}\text{Tm}$ 線源은 0.084 MeV, 0.052 MeV의  $\gamma$ 線이 放出되기 때문에 이들 低에너지  $\gamma$ 線을 利用하여 얇은 두께 2~10 mm 程度의 鋼製品이나 輕合金등의 檢査에 使用하고 있으나, 실제로 實用化되어 있지는 않다.

이와같이  $\gamma$ 線에너지를 갖고 있는  $\gamma$ 線源은 放射線이 遮蔽될 수 있는 容器속에 保管이 되어있고 必要時에 露出을 시켜서 檢査를 하는데 使用한다. 이와같은 露出容器(Exposure Container)는 一般的으로 3個의 形態로 區分된다.

첫째 形態는 그림 4에서 보는바와 같이 線源이 露出容器속에 保管되어 있는데 容器의 構造는 샷다機構(Shutter Mechanism)로 되어 있다. 둘째 形態는 그림 5에서 보는 것처럼 線源을 露出容器로부터 원격조정(Remote Control)에 依해서 안내호오스(Flexible Guide Tube)를 따라 撮影場所(Exposure Position)로 移動되는데, 이는 約 7~8 m 程度의 거리가 된다. 셋째 形態는 그림 6에서 보는 바와 같이 파이프 熔接部位를 檢査하는 것으로 가장 人氣가 좋은데, 이를 榻차式 露

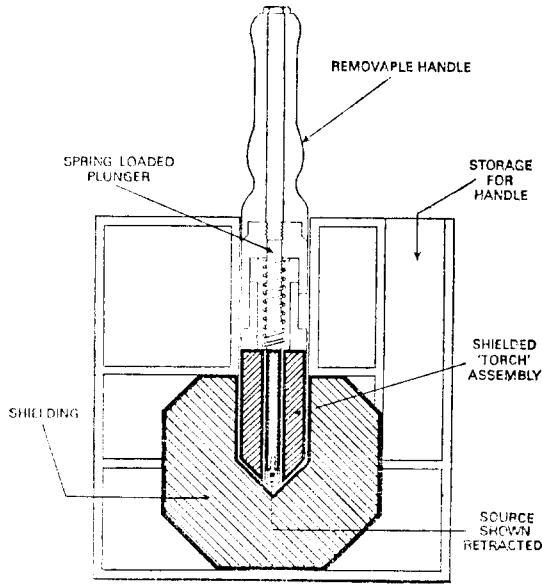


그림 4. 샷다식 露出容器

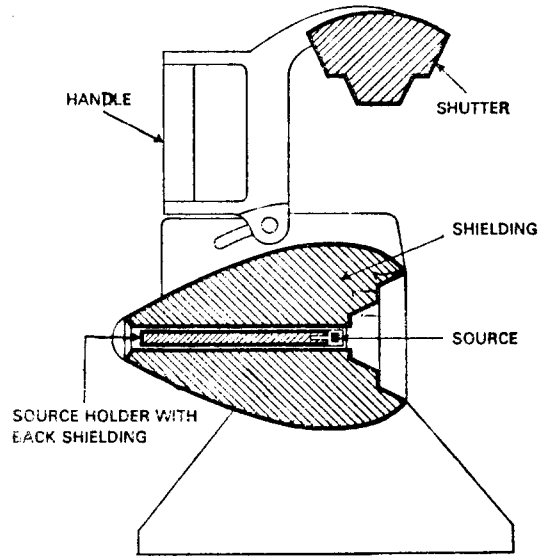


그림 6. 타치식 露出容器

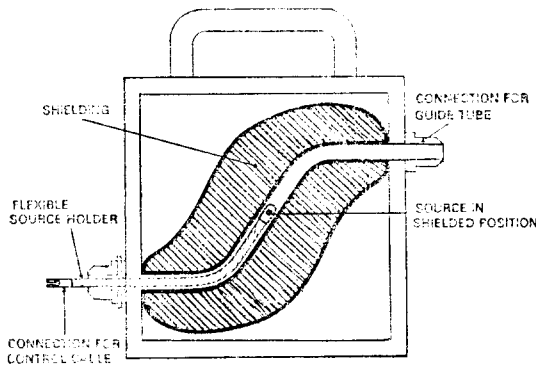


그림 5. 원적조정식 露出容器

출容器(Torch Exposure Container)라 한다. 이 설계에서는 線源을 蠟燭처럼 손에 攥수가 있고 分離될 수 있는 移動部分內에 設置되어 放射線이 本體로부터 前方으로 放出되도록 되어있다.

露出容器에 使用되는 遮蔽物은 납으로 使用을 했었지만, 産業이 복잡해지고 製品이 多樣化해지고 있기 때문에 携帶用 露出容器에는 텅스텐(Tungsten) 合金이나 減量우라늄(Depleted uranium)의 使用이 점차 增加하는 추세이다. 이 두가지의 物質을 遮蔽物로 使用하면 露出容器의 重量이 가벼워지고 부피가 작아지는 利點이 있다. 그러나 價格面에서는 납을 使用하는 것보다 비

싸지게 된다.

## 5. 2. 필름과 增感紙

필름은 X線 필름이 使用되는데, 두께 約 0.2 mm의 透明不燃性베이스(酢酸셀로로즈 또는 폴리에스터) 兩面의 寫眞乳劑層 表面에는 두께 1 $\mu$ 의 保護層이 있다. 寫眞乳劑는 鹵化銀의 微細한 結晶을 제라틴中에 分散시킨 것인데, 感光의 主體가 되는 鹵化銀은 臭化銀 또는 若干의 沃化銀을 含有한 沃臭化銀이다. 이것들은 빛과 같은 X線,  $\gamma$ 線등에도 感光이 된다. 필름의 感光機構는 理論적으로 大端히 설명하기 어렵지만, 이것을 간단히 설명하면 필름의 乳劑中 臭化銀의 結晶에 빛이 닿으면 그 內部에서 電子의 受授가 複雑한 機構로 行하여져 그 特定한 곳에 銀의 原子群이 생긴다. 이것이 現像할 때 現像을 誘發하는 核이되기 때문에, 現像核이라 부르고 있다. 이 現像核이 생기는 數는 光量과 結晶의 種類에 따라 달라진다. 거기서 肉眼으로는 볼 수 없지만 어떤 試驗體의 像을 만드는 것이기 때문에 이것을 潛像이라 부르고 이 潛像을 可視像으로 바꾸는 것이 現像이다.

以上은 빛의 경우이지만 X線이나  $\gamma$ 線의 경우

도 乳劑中の 原子에 衝突하여, 거기서 發生하는 原子가 빛과 같은 作用을 하기 때문에, 潛像이 만들어지고 결국 現像이 된다.

필름을 大別하면, 螢光增感紙用과 金屬箔增感紙用이 있는데, 요즈음은 超微粒子의 高콘트라스트인 金屬箔增感紙用(논스크린타일)필름이 一般的으로 많이 使用되고 있다.

放射線寫眞에서 寫眞濃도란 말을 많이 使用하는데, 寫眞濃도는 필름의 경우에 使用되는 透過濃도와 印書紙등에서 使用되는 反射濃도가 있지만, 여기서는 透過濃도만을 말한다. 또 필름에는 特性曲線이 있는데, 이것은 필름에 주어진 放射線량의 對數와 現像後 寫眞濃도와의 關係를 表示한 것으로 感度, 콘트라스트등을 알기 위해서 利用된다. 여기서 感度は 露出量, 現像處理를 同一條件에서 한 數種類의 필름中 一種類의 필름을 기준으로 하여 表示한 것이다.

그런데 放射線透過寫眞을 撮影할 때 필름만을 使用하면, 能率이 나쁘고 長時間의 露出 또는 高電壓의 X線 使用, 必要하게 된다. 그래서 필름의 兩側에 增感紙를 密着시켜 使用하고 放射線에너지를 有効하게 利用하는 일이 一般的으로 이루어지고 있다. 增感紙는 螢光增感紙와 金屬箔增感紙로 大別된다.

增感紙의 感度表示法으로는 一般的으로 增感率이 使用되고 있지만, 이것은 필름에 增感紙를 使用하지 않을 때와 使用할 때에 同等한 濃도를 얻는데 必要한 露出時間을 各各  $t_0$  및  $t_1$ 으로 하면 增感率은  $t_0/t_1$ 로 주어진다.

螢光增感紙는 原紙위에 텅스텐酸칼슘( $\text{CaWO}_4$ )과 같은 螢光物質을 塗布한 것인데, 螢光體는 放射線에너지를 吸收하여 可視光線으로 變換시키는 性質을 가지고 있다. 그래서 螢光物質에는 X線을 螢光으로 바꾸는데 能率이 좋은 것을 使用한다. 螢光增感紙의 增感率은 數十에서 數百程度의 範圍이다. 螢光增感紙로서의 性能은 感度(增感率), 콘트라스트, 粒狀性, 解像力, 殘光, 耐久性등에 依해 決定된다.

金屬箔增感紙는 台紙에 金屬箔을 바른 것이고 放射線에 依해 金屬箔에서 發生하는 2次電子에

依한 增感作用을 利用한 것이다. 또 散亂線을 低減하는 效果도 이 增感紙의 큰 役割이 되고 있다. 現在 金屬箔으로는 거의가 鉛箔이 使用되고 있는데, 두께는 0.03~0.3 mm이다.

金屬螢光增感紙는 台紙와 螢光物質間에 金屬箔이 들어가 있고, 螢光增感紙에 依한 感度の增加와 金屬箔增感紙에 依한 散亂線의 低減效果라는 兩者의 特徵을 살릴 目的으로 最近에 實用化된 것이다.

增感紙는 使用하는 필름에 依해서 決定되지만 超微粒子의 高콘트라스트·논스크린타일에는 鉛箔增感紙(Pb-0.03 mm) 또는 金屬螢光增感紙(SMP 308)를 使用한다.

### 5.3. 透過寫眞의 콘트라스트

熔接構造物에 對한 檢査에서 被寫體內部에 存在하는 缺陷을 檢出할 수 있는 것은 缺陷이 있는 部分과 健全한 部分과의 사이에 필름上에 濃度差가 생기기 때문이다. 透過寫眞에서는 그 濃度差를 透過寫眞의 콘트라스트라 부르고 있다.

透過寫眞에서 肉眼으로 觀察할 때 濃度差가 크면 클수록 보다 明白하게 缺陷部分을 識別할 수 있기 때문에 透過寫眞의 콘트라스트는 될 수 있는 限 큰 편이 좋다. 그래서 透過寫眞을 撮影하고, 觀察할 때 裝置, 感光材料, 撮影配置등의 撮影條件을 選定하는데 考慮해야 할, 寫眞콘트라스트에 주는 여러가지 影響을 보면

첫째, 두께差에 依한 透過寫眞의 콘트라스트 둘째, 散亂線에 依한 透過寫眞의 콘트라스트 셋째, 幾何學的 條件에 依한 透過寫眞의 콘트라스트

등을 들 수 있고, 이 透過寫眞의 콘트라스트는 階調計를 使用하여 測定하는데 이것은 實際로 撮影할 때 使用된 放射線의 線質과 實際로 行한 現像處理에서의 필름의 콘트라스트에 依해 板두께 1 mm의 變化에 對應하는 濃度差를 가지고 그 透過寫眞이 適合한 撮影條件, 現像處理로 만들어진 것인지 아닌지를 알 수가 있다.

### 5.4. 撮影

$\gamma$ 線線源을 利用해서 撮影하는 方法은 一般的으로 두가지 中에서 한가지를 擇해야 하는데, 그

## 解 說

것은 從來式 X線裝置와 흡사한 遮蔽된 線源容器(露出容器)의 蓋가 열려서 放射線을 照射하는 方法과 線源이 露出容器 밖으로 밀려 나와서 모든 方向으로 放射하는 方法이 되겠다.

X線과  $\gamma$ 線攝影技術은 서로 보완적이 되겠다. X線裝置는 좀더 높은 放射를 하는 利點과 넓은 스펙트럼 分布때문에 一般的으로 좋은 콘트라스트를 주고 있다. 그러나 X線裝置로는 透過力이 弱하던가 撮影할 場所가 適合하지 않다던가 할 때에는  $\gamma$ 線攝影術이 상당한 利點을 갖고 있다.

$\gamma$ 線線源은 매우 작아서 좁은 場所나 작은 구멍의 파이프를 撮影할 때 용이하게 밀어 넣을수 있는 利點이 있는데 X線裝置로는 不可能한 일 이 되겠다.

$\gamma$ 線裝置는 單純하고 信賴度가 높기 때문에 특히 X線裝置를 使用할 수 없는 條件에서 옥외撮影에 적절하다. 그 유명한 例가 그림 7에서 보는 바와 같이 파이프의 熔接部位를 檢査하는 것으로  $^{192}\text{Ir}$ 線源을 使用하고 있다.  $^{192}\text{Ir}$ 線源이 들어 있는 露出容器는 보통 가볍고 휴대하기가 편리해서, 사다리를 오르내릴 때나 높은 빌딩, 높은 構造物을 오르내릴 때 運搬하기가 쉽다. 또한  $\gamma$ 線撮影은 建設中이거나 建設後 플랜트 檢査에 편리할뿐 아니라 교량, 船舶, 飛行機, 복잡한 構造物등의 試驗檢査에 아주 편리하다고 보겠다.

$\gamma$ 線源에 依해서 放出되는 높은 에너지의 放射線은 너무 무거운 X線裝置로는 檢査할 수 없는 物體를 試驗하는데 使用한다.  $\gamma$ 線撮影은 두께 몇 mm부터 해야 한다고 말 하기란 곤란하다. 왜냐하면 利用하는 X線裝置의 容量과 形에 달려 있기 때문이다. 그런데 約 70 mm 以上の 두꺼운 鐵鋼物體를 撮影할 경우에는 X線裝置나  $^{192}\text{Ir}$ 線源을 利用한  $\gamma$ 線裝置는 範圍밖이 되겠다. 그러한 경우에는  $^{134}\text{Cs}$ 線源이나  $^{60}\text{Co}$ 線源이 利用될 수 있다.

한편 放射線撮影時 熔接部分의 두꺼운 部分을 削除할 때도 있지만 一般的으로 두꺼운 部分이 있는 그대로 撮影할 때가 많다. 放射線透過寫眞에서는 두꺼운 部分과 母材部分이 모두 定해진

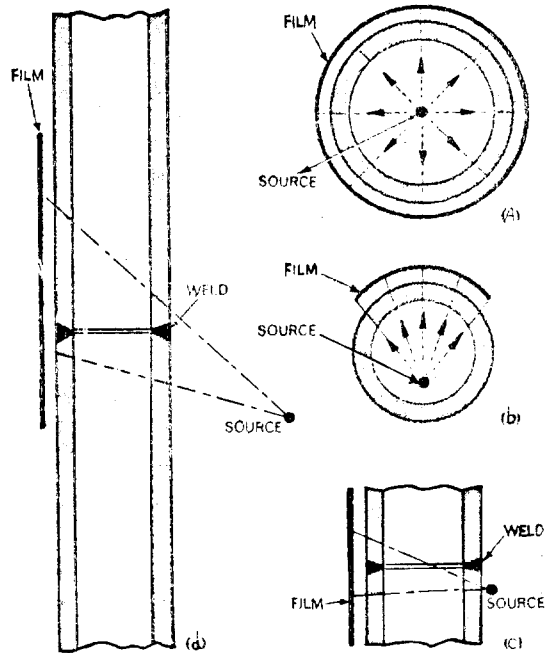


그림 7. 파이프 熔接部位檢査法

濃度範圍內에 들어 있어야 한다. 특히 鑄造品의 경우에 形狀이 複雜하고 材料 두께差가 큰 것이 많지만, 檢査部分으로는 濃度範圍에 들어 있어야 한다. 이와같이 材料두께에 差가 있을 때, 被寫體의 크기, 形狀, 目的에 따른 適合한 撮影方法을 選擇할 必要가 있다.

즉, 두께差를 補償하는 方法인데 이것은 板두께의 얇은 쪽위에 板두께가 두꺼운 쪽과 거의 같아지도록 同質의 材料나 또는 X線의 吸收가 같은 程度의 材料를 補充材로 넣고 撮影하면 全體가 均一한 濃度로 되기 때문에 判定하기 쉬운 寫眞을 얻을 수가 있다.

다음은 板두께差를 補償하는 方法으로 濾타를 使用하는 경우가 있다. 이것은 X線의 放射口앞에 適當한 두께의 吸收體(filter)를 넣음으로써 線의 線質을 硬化시켜서 撮影하는 方法이다. 또 被寫體의 形狀이 複雜한 鑄物등에 對해서는 補償材를 使用할 수 없다. 이와같은 때에는 X線 遮蔽液이 사용된다. 遮蔽液으로는 X線에 對해서 被寫體와 같은 程度의 吸收係數를 가진 것을

使用하는데 X線의 吸收가 작은 容器에 被寫體를 넣고 被寫體 두께와 거의 같은 길이로 遮蔽液을 넣어 撮影하는 方法이 되겠다.

높은 에너지의 放射線을 利用하면, 吸收係數가 작아지고 透過寫眞의 콘트라스트도 작아진다. 따라서 상당한 板두께差가 있어도 1板의 필름으로 一定한 濃度範圍로 撮影할 수 있다. 이를 위해서  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  등과 같은  $\gamma$ 線이나 라인너베타트론(Liner Betatron)등의 높은 에너지의 X線을 利用하면 되겠다.

그리고 또 필름의 重疊法을 들 수 있는데, 이것은 2板 또는 그 이상의 필름을 포개어 카세트에 넣어서 同時에 撮影하고 各各의 필름에 板두께가 다른 部分을 適合한 濃度로 撮影하는 方法으로 同一種類의 필름 枚數와 鉛箔을 합쳐서 撮影하는 方法과 感도가 다른 필름을 겹쳐놓고 撮影하는 方法이 있다. 上述한 것처럼 平板熔接部分의 撮影은 가장 基本的인 撮影法이기 때문에, 撮影法에 充分히 熟達할 必要가 있다.

다음은 파이프의 接合熔接部分의 撮影인데, 이것은 熔接部分의 두께 및 周圍의 狀況등에 따라 撮影方法이 달라진다.

이것은 內部線源 撮影方法, 內部필름 撮影方法, 二重壁片面撮影方法, 二重壁兩面撮影方法등이 있다. 二重壁片面撮影方法은 일찍부터 널리 사용된 것으로, 파이프의 外側에서만 作業이 되는 曲管을 包含해서 埋設途中的 地下熔接部등에 適用이 잘되고 있다. 適用管徑은 대략 100~600 mm 未滿이 一般的이다. 二重壁兩面撮影方法은 주로 小徑管(100 mm 未滿)에 適用하고 있다. 이것은 한장의 필름으로 全熔接長의 1/2에 해당하는 熔接部의 映像을 얻을 수 있고, X線照射方向을 90度 變해서 필름 2枚로 全熔接長을 判別할 수 있다. 즉 二重壁撮影法으로는 透過像이 線源側의 비이드와 필름側의 비이드를 겹치지 않게 하기 위해서 多少 밖에다 線源을 設置할 必要가 있다.

內部線源撮影法은 管徑 600 mm 以上에 適用하고 파이프속에 X線裝置를 設置하고 사람이 들어가서 作業을 한다. 그런데 파이프속에 사람

이 들어가는 距離는 限界가 있고, 또 이러한 作業은 安全, 衛生面에서 그리 좋은 것은 아니다. 다음에 內部필름撮影法은 線源을 管外部에 놓고 파이프속에 필름을 부착시켜 全周를 分割撮影하는 方法이다.

알루미늄 熔接部位의 撮影에 對해서는 鋼熔接部分에 대한 것과 基本的으로 變함이 없다. 鐵鋼이나 輕金屬등의 材料에 關係없이 두께가 얇아지면 透過度計識別度는 나빠지는 傾向이 있다.

線源, X線필름 및 被寫體와의 距離를 定하기 위해서는 露出時間과 透過寫眞의 鮮明度에 미치는 영향등 여러가지 因子가 서로 關係하고 있기 때문에 一律적으로 定할 수는 없지만 다음 사항을 고려해서 決定할 必要가 있다.

즉, 一般的으로 鮮明度란 寫眞像의 흐려짐의 程度를 나타내는 것인데 그것을 正確히 表示하기는 매우 어려운 문제이다. 흐려짐에 주는 영향은 여러가지 있지만, 크게 나누어서 幾何學的條件에 의한 半影의 영향, 필름의 粒狀性, 放射線에너지 및 散亂線의 영향등이 있다. 幾何學的條件에 의한 영향으로는 X線裝置에서는 焦點,  $\gamma$ 線裝置에서는 線源의 크기가 各各 어느 크기를 갖고 있기 때문에 透過寫眞에 半影이 생긴다. 흐려짐이 작고 좋은 識別度를 얻기 위한 原則的인 幾何學的條件은

첫째, 小焦點의 X線裝置를 使用한다.

둘째, 焦點(線源)·被寫體間距離를 될 수 있는 限 크게 한다.

셋째, 필름을 被寫體에 가능한 限 密着시킨다.

넷째, 焦點을 被寫體의 無直中心線에 正確히 놓는다.

등을 들 수 있다. 즉 焦點과 被寫體와의 距離를 될 수 있는 限 크게 하고 被寫體部位와 필름間 距離를 될 수 있는 限 작게(密着)하는 것이 좋다.

여기서, 焦點과 被寫體間距離를  $L_1$ , 被寫體에서 필름까지의 距離를  $L_2$ , 焦點의 크기를  $f$ 로 하면 半影의 크기  $u$ 를 다음과 같이 求할 수 있다.

$$\frac{f}{u} = \frac{L_1}{L_2}$$

解 說

$$\therefore u = \frac{fL_1}{L_2} \quad (5)$$

反對로 半影의 크기  $u$ 가 어떤 값 以上이 되어서는 안될 경우에는 그것에 必要한 거리  $L_1$ 을 求할 수 있다.

JIS Z 3105에서는  $L_1/L_2$ 가 10 以上이 되도록 規定되어 있다. 또 國際熔接學會의 勸告에 따르면 試驗目的의 重要性程度에 따라 像質을 3段階로 나누어 各各에 對應하는 半影의 크기를 定하고 焦點의 크기에 따라 線源과 필름間의 最少 거리를 被寫體의 線源側表面과 필름과의 몇倍 ( $M \min$ )로 잡지 않으면 안되는가를 定하고 있다. 또 JIS Z 3104에서는 같은 생각에서 焦點의 크기를  $f$ 로 하였을 때 높은 精度를 要求하는 特級の 像質에선  $L_1/L_2$ 를  $5f$  以上으로 하고, 普通級の 像質에서는  $2.5f$  以上이 되도록 規定되어 있다. 이것은 半影의 크기가 特級에서는 0.2mm 이고, 普通級에서는 0.4 mm 가 됨을 뜻하고 있다.

5.5. 透過度計와 階調計

被寫體의 透過度眞을 찍는 것만으로는 어느程度까지 內部的 缺陷을 識別할 수 있는지 모르기 때문에 그 程度를 나타내기 위해 透過度計를 使用하게 된다. 現在 使用하고 있는 透過度計를 大別하면 最準形 透過度計와 有孔板形 透過度計로 나누어진다. 其中 어느 것을 使用하느냐는 使用者의 형편에 따라 選擇하게 된다.

從來에는 透過度眞의 像質을 管理하고 規定하는 것으로서 透過度計만이 使用되고 있었지만 透過度計識別度는 觀察者와 觀察條件에 따른 個人差가 크기 때문에 像質을 規定하는데는 透過度計만으로는 不充分하여, 새로이 透過度眞의 콘트라스트를 規定하고 透過度眞의 像質管理를 보다 確實한 것으로 하기 위해서 階調計의 使用이 規定되었다.

階調計는 20 mm 以下 平板의 맞대기 熔接部에 關해서 撮影條件을 決定하는 경우에 使用하게 되어 있으나, 管의 外徑이 300 mm 를 超過하고 材料두께가 20 mm 以下の 熔接部를 撮影할 경우에도 使用하게 되어 있다.

透過度計의 設置方法에 있어서, 파이프의 경우 徑이 작아서 透過度計를 內部表面에 設置할 수 없을 때는 필름側 被寫體部位의 表面에 透過度計를 붙이게 된다. 또 管의 徑이 100 mm 以下 일 때 原則的으로는 有效試驗範圍內에서 2 個를 使用하게 되어 있으나, 1 個의 透過度計로 代表하는 경우도 있다.

撮影된 透過度眞에 依해서 透過度計識別度는 ASME 規定에 依하면, 撮影方法에 關係없이 材料두께의 2% 以下(像質이 普通級), 內部線源 撮影方法에서는 材料두께의 1.6% 以下로 되어 있다.

그런데 透過度眞에 依해서 微小두께  $\Delta T$ 의 콘트라스트  $\Delta D$ 는 다음式으로 表示할 수 있다.

$$\Delta D = 0.434 \times \gamma \times \mu p \cdot \sigma \cdot \frac{\Delta T}{1+n} \quad (6)$$

여기서  $\gamma$ ; 필름의 特性曲線의 濃度  $D$ 에 依한 接線구배

$\mu p$ ; 필름의 感度係數를 고려한  $X$ 線의 線質(필름의 吸收係數)

$\sigma$ ; 焦點의 크기 및 撮影의 幾何學的條件에 依한 補正係數.

$n$ ; 透過度眞에 對한 散亂線量의 比

(6)式의  $\Delta D$ 에 影響을 주는 因子中  $\gamma$ 은 필름의 濃度,  $\sigma$ 는 撮影配置 및 焦點의 크기에 關係하고, 그것에 變化가 있으면 被寫體의 材質에 關係없이  $\gamma$  및  $\sigma$ 는 一定하다. 그러므로 被寫體의 材質變化에 依해서  $\Delta D$ 에 影響을 주는 因子는 필름의 吸收係數  $\mu p$ 와 散亂比  $n$ 임을 알 수 있다. 吸收係數  $\mu p$ 에 對해서는 필름의 感度係數를 고려

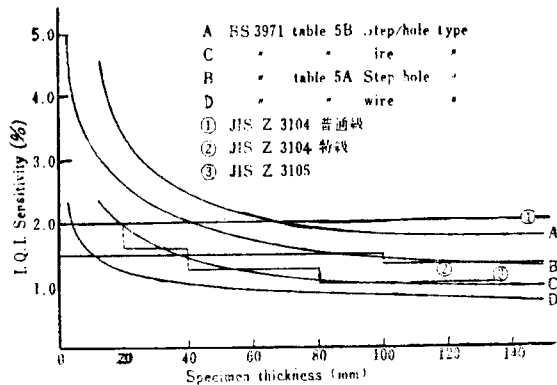


그림 8. 透過度計識別度

한 吸收曲線에서, 散亂比  $n$ 에 對해서는 狹照射露出과 廣照射露出에 依한 필름法에서 그나름대로 求할 수 있기 때문에 各材料의  $\mu p / (1+n)$ 과 透過寫眞의 콘트라스트  $\Delta D$ 의 關係를 求할 수 있다. 그림 8은 透過度計識別度を 表示한 것이다.

### 5.6. 露出

필름에 到達하는 線量은 線源의 強度(管電壓) 露出時間, 필름까지의 거리등에 依해서 다르기 때문에, 直接 表示하는 것은 어렵지만 一定條件下에서 露出條件을 求할 때 線量을 求하는 尺度로써 다음과 같이 露出因자를 나타낼 수 있다.

즉, X 線의 경우

$$\text{露出因子} = \frac{(\text{管電壓}) \times (\text{露出時間})}{(\text{필름까지의 距離})^2} \quad (7)$$

$\gamma$  線의 경우

$$\text{露出因子} = \frac{(\text{線源의 強度}) \times (\text{露出時間})}{(\text{필름까지의 距離})^2} \quad (8)$$

그런데 實際로 透過寫眞을 撮影할 때, 露出條件을 定하는데 가장 便利한 것이 露出線圖이다. 이것으로 被寫體의 어떤 板厚에 對한 所定의 濃度を 얻을 수 있는 線源의 強度(管電壓 및 管電流), 露出時間을 求할 수 있다.

紙面關係로  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線에 對한 露出線圖를 例를 들면 그림 9에서와 같이 線源에서 필름까지의 거

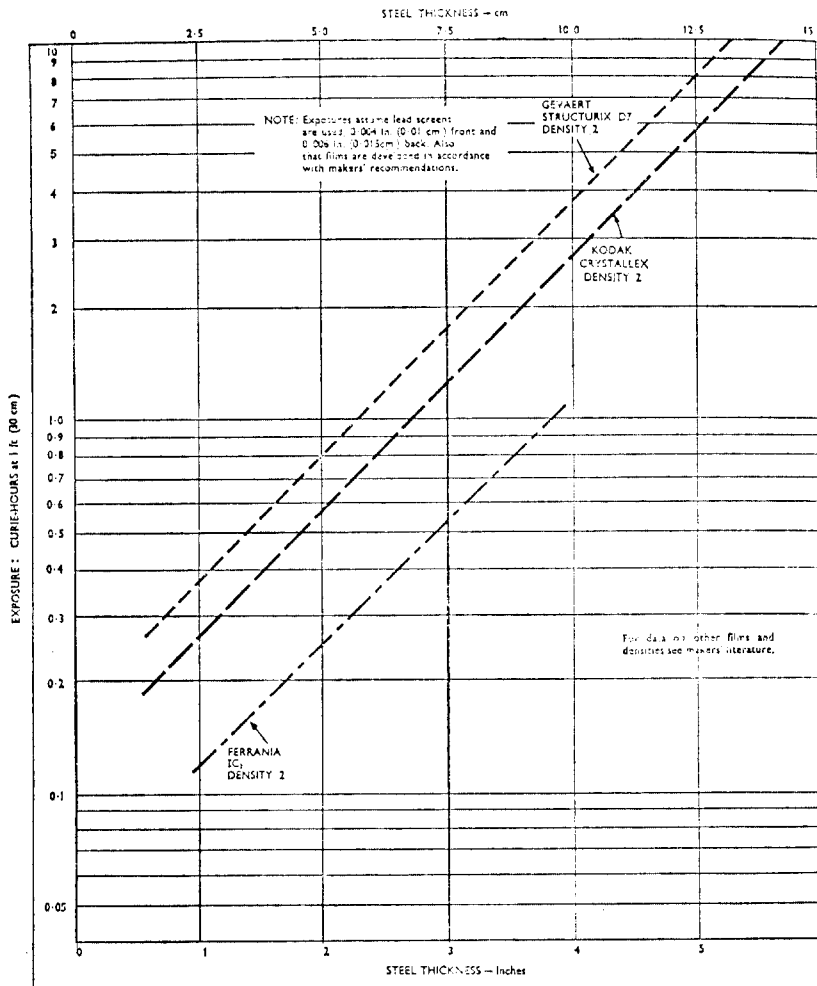


그림 9.  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  線 露出線圖



## 解 說

리를 30 cm 로 잡은 露出時間을 보여주고 있다. (8)式에서 알수있는 바와같이 線源에서 필름까지 거리의 自乘에 比例하기 때문에 다른 거리에 對해서도 露出時間을 計算할 수 있다.

이 露出線圖는 필름 製造會社에 依해서 만들어지는데 전형적인 現像時間은 20°C에서 4分間 進行되는 것이 보통이다.

그리고 필름製造會社는 필름 使用者에게 그 필름에 對한 露出時間과 現像에 對한 資料를 상세하게 提供하고 있다.

X線撮影에서는 露出時間을 줄이고 改善된 콘트라스트를 주었기 때문에 鉛簿板(Lead Identifying Screen)을 使用하고,  $\gamma$ 線撮影에서는 後面板(Back Screen)을 보통 0.15 mm 두께로, 前面板의 두께는 同位元素에 따라서 選定된다. 즉,  $^{60}\text{Co}$ 에 對해서는 0.15 mm 이고  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  등에 對해서는 0.10 mm 이며  $^{170}\text{Tm}$ 에 對해서는 0.025 mm 이다.

### 5.7. 散亂線

放射線撮影時, 透過寫眞에서 散亂線을 完全히 除去할 수는 없지만 散亂線은 前方散亂線이든 後方散亂線이든 寫眞의 콘트라스트를 低下시켜 그 結果로 識別도를 低下시키기 때문에 될 수 있는 限 각개 하는데 노력하는 것이 必要하다.

X線裝置를 使用해서 照射口를 全部 열어놓고 照射하였을 때, 被寫體에 必要한 面積以外的 部分에서 散亂線이 發生하여 X線필름이 흐려짐을 나타내는 結果가 된다. 그래서 X線管에 조리개를 달아 必要한 部分에만 X線照射를 하게 하면 不必要한 部分으로 부터의 散亂線을 막을 수 있다. 이것은 寫眞의 콘트라스트를 좋게 할뿐만 아니라, 作業者的 放射線障害豫防의 立場에서도 아주 重要하다고 보겠다. 그러나 조리개를 完全히 하면 X線の 照射面과 필름位置가 밀려서 撮影에 失敗할 염려가 있기 때문에 조리개 대신에 被寫體위에 납으로 된 마스크를 놓아 照射線을 조리하는 方法은 아주 有効한 結果를 얻을 수가 있다. 여기서 使用되는 납板의 두께는 管電壓에 따라서 다르지만 200 KVp 程度까지는 2~3 mm의 것으로 充分하다.

以上은 前方散亂線을 除去하는 方法으로 一般用으로 實用되고 있다. 그런데 필름의 後面에서 나오는 散亂線을 除去하는 方法으로는 납板이나 鐵板을 필름의 後面에 놓는 것이 効果적이다. 特別히 後面에 있는 物質이 콘크리트나 木材의 경우에는 散亂線이 많기 때문에 반드시 납板이나 鐵板으로 쌓아놓는 것이 좋다. 後方散亂線을 除去하는데 使用하는 鉛板은 2~3 mm 인 것이 좋다. 그러나 필름의 後面이 넓은 空間인 경우에는 납板을 놓을 必要가 없다. 그림 10은 조리개·마스크를 부착하여 散亂線을 除去하는 方法이 되겠다.

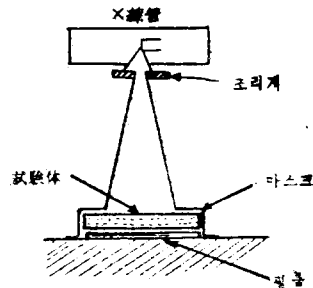


그림 10. 조리개·마스크에 依한 散亂線의 除去

또 鉛箔增減紙를 使用함으로써 散亂線이 減少된다고 前述한 바 있으니 유의하기 바란다.

### 5.8. 透過寫眞의 處理

필름의 取扱에 對해서 생각해 보면 X線필름은 어떠한 期間동안 保管할 때 高溫高濕下에서는 X線에 對한 感도가 달라지므로 注意해야 한다. 따라서 低溫이며, 乾燥한 場所에서 保管하는 것이 좋은 方法이 되겠다. 필름은 一般적으로 金屬箔에 싸인 防濕材料로 密封된 채 相對濕度가 60%以下가 되는 場所에서 保管하는 것이 理想的이다.

撮影이 끝나면, 被寫體에 따라 潛像이 필름의 乳劑內에 記錄된다. 그래서 다음으로 現像, 現像停止, 定着, 水洗, 乳燥處理를 함으로써 良好한 寫眞을 完成할 수 있다. 이와같은 過程을 거치기 위해서는 먼저 暗室이 있어야 하고, 暗室속에는 作業을 할 수 있게 適當한 安全燈이 必要하다. 다음은 現像處理를 하기 위해서 現像을

할 수 있는 容器가 必要한데, 一般的으로 필름을 現像處理하는 方法으로는 탱크現像法과 접시(Tray)現像法이 있으며, 普通 탱크現像法이 適用되고 있으나, 現場作業에서는 접시現像法을 使用하기 때문에 兩者의 現像方法을 熟達해들 必要가 있다. 한편 現像處理에 對한 여러가지 方法에 對해서는 필름을 生産하는 會社에 依해서 그 資料가 자세히 제공되고 있다.

그리고 透過寫眞의 觀察에 對해서 알아보면, 透過寫眞을 觀察할 때에는 필름觀察器를 使用하는데, 필름觀察器는 普通螢光燈과 빛을 擴散시키기 위한 半透明 플라스틱板으로 만들어져 있다. 그리고 透過寫眞의 濃度에 따라 觀察하기 쉽도록 螢光燈의 밝기를 數段階로 調節할 수 있게 되어있다.

그런데 透過寫眞의 濃度  $D_1$ 의 部分에 濃度  $D_2$ 의 缺陷像이 있을 때 透過寫眞上에서 缺陷의 存在를 알아낼 수 있는가 없는가는 그 缺陷像이 表示하는 濃度差  $D_2 - D_1$ (缺陷에 對應하는 透過寫眞의 콘트라스트)과 缺陷像을 認定하는 最小의 濃度差(識別限界 콘트라스트)보다 클때의 缺陷은 識別되고, 작을때는 識別되지 않는다.

## 6. 맺는말

被寫體를 撮影한 結果 缺陷의 判別이 透過寫眞上에 나타나지 않을 경우, 缺陷의 有無를 確認하기 위해서 다시 撮影하게 된다. 그러나 現場에서는 時間을 節約하기 위해서 2枚의 필름을 同時에 充塡해서 撮影하는 떠벌필름法에 依해서 缺陷을 判別하는 경우가 적지 않다. 이 경우 떠벌필름으로 確認할 때 透過寫眞上의 像이 缺陷인지 아닌지를 判別하기가 어려운 것까지 缺陷으로 處理하는 경우가 있다. 그러기 때문에 合格으로 處理한 熔接部가 不合格으로 判定되는수가 허다하다.

이러한 判定를 될 수 있는 限 줄여서 試驗檢查의 信賴性을 向上시키기 위해서는 患者에 對한 精密檢查와 마찬가지로, 精密檢查가 必要하게 된다.

現在 比較的 容易하게 精密檢查를 할 수 있는 方法으로는

첫째, 超微粒子의 필름을 使用해서 識別限界 콘트라스트를 작게 하고,

둘째, 低에너지의 放射線을 使用해서 吸收係數  $\mu p$ 를 크게 하는것

등이 遂行되고 있다. 그렇기 때문에 처음부터 面狀缺陷이 豫測된 경우에는 放射線의 照射角度를 調整하는 方法을 取하고 있다.

한편 散亂線을 積極的으로 減少시키는 狹照射 撮影方法을 새로이 檢查技術로 普及하고 있는데 이 方法은 從來의 廣照射 撮影方法에 對해서 그림 11에서 보는 바와 같이 適格한 材料로 遮蔽막스크를 부착될 수 있는대로 必要한 部分만을 照射하는데 필름을 被寫體에서 適當히 띄워놓고 撮影하는 方法이다.

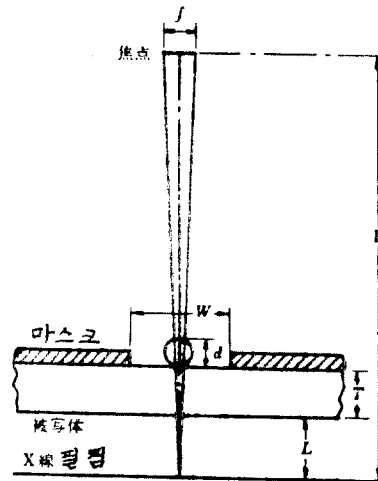


그림 11. 狹照射 撮影方法

狹照射 撮影을 할 경우 필름·被寫體間距離를 띄우면 5.5節 (6)式에서 表示한 散亂比  $n$ 은 작아지고, 焦點의 크기 및 撮影의 幾何學的條件에 依한 補正係數  $\sigma$ 도 작아진다. 또 같은 필름, 濃度 및 線質을 選擇했을 경우 (6)式에서 透過寫眞의 콘트라스트  $\Delta D$ 는  $\sigma/(1+n)$ 에 比例하지만 그림 12에서 計算結果 例에서 보는 바와 같이  $\sigma/Hn$ 이 最大 즉 透過寫眞의 콘트라스트가 最大가 되는 필름·被寫體間距離가 存在한다.

5.5節의 그림 8은 普通撮影方法과 狹照射攝

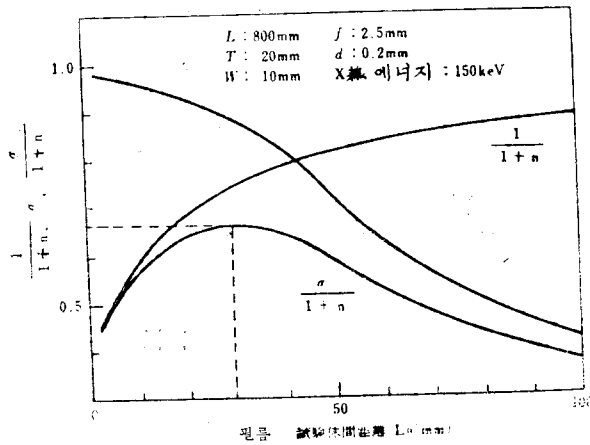


그림 12 필름·被寫體間距離와  $\sigma/(1+n)$

影方法을 比較한 例를 表示하고 있다. 그 結果 普通 行하는 一般攝影에 比해서 狹照射攝影이 有効하다는 것을 알았는데, 厚板鋼熔接部, 水壓鐵管熔接部 그리고 原子力分野에도 一次系統配管熔接部에 適用해서 좋은 成果를 얻었다.

그렇기 때문에 새로운 技術이라고 하는 狹照射攝影方法이 여러 分野에서 利用되었으면 하고 期待하고 있다. 그러나 이 方法을 無理하게 適用하는 것은 試驗·檢査의 浪費에 關聯되기 때문에 注意해야 한다. 그런데 狹照射攝影方法은 透過寫眞의 撮影時에 像質改善을 들수 있는데 複製技術에 依한 透過寫眞의 像質改善의 方法도 있다고 보겠다. 이 方法은 一般的이라고 볼 수는 없지만 實用化에 對한 새로운 技術로 重要時되고 있다.

그런데 放射線非破壞檢査에 從事하는 技術者는 非破壞檢査에 關한 基礎技術을 習得하여 檢査對象部의 性質(例를들면, 熔接部의 性質)과 檢査方法에 對해서 充分한 知識과 經驗을 갖지 않으면 안되지만 業務內容에는 限界가 있어 作業을 하는 技術者의 技倆에 크게 依存하는 경우가 많다.

같은 示方書, 節次書 또는 같은 規定을 適用

한 檢査에 對해서는 같은 結果와 評價를 얻지 않으면 안된다. 그렇기 위해서는 檢査를 遂行하는 技術者가 一定水準以上의 知識과 技術 및 人格을 가지고 檢査結果와 評價에 對해서 適正한 判斷을 할 수 있게 規定에 依해서 資格을 認定하는 試驗을 實施하고 있다. 그렇기해서 個人의 技倆을 어느 程度의 水準以上으로 되도록 하고 있다. 그러나 熔接構造物등을 檢査할 때, 重要構造物이 될수록 檢査는 精密하게 遂行할 必要가 있게 된다. (例를들면, 한 熔接部에 2個 또는 3個의 檢査方法을 併用) 그렇기 위해서는 個人이 갖고 있는 技術과 資格도 重要하지만 檢査方法, 技術 및 結果등에 對한 여러 方面에 있어서의 綜合的인 判斷, 評價 및 處理등이 폭넓고 迅速하게 遂行될 必要가 있다. 이렇기 위해서는 試驗·檢査를 實施하는 專門業所나 會社는 여러가지 部門에 걸쳐 資格이 있는 多數의 技術者를 確保하는 것이 重要하다.

특히, 近來에 와서 構造物에 對한 事故 또는 各種重要構造物이 增加하고 있기 때문에 이러한 試驗·檢査도 精密을 要求하는 상황에 이르렀고, 個人의 非破壞檢査技術은 勿論 이 分野의 專門業所에 對해서도 그의 檢査技術을 依存하는 경향이 커졌기 때문에 各 關係者와 專門業所에서는 全體的으로 檢査體制를 點檢할 必要가 있지않나 生覺된다.

요즈음 熔接技術分野와 非破壞檢査分野는 서로 긴밀한 關係와 진지한 자세로 各己 關心을 갖고 熔接部의 品質評價를 檢討하는 모습들이 늘어나고 있는데, 非破壞檢査에서 第1의 使命이 되는 것은 缺陷의 有無, 缺陷의 種類(形狀, 크기, 缺陷의 位置 및 方法등에 關한 情報를 正確히 把握하는 것이 되겠다. 그러므로 이 分野에 從事하는 技術者들은 上記한 問題들을 올바르게 解決해서 熔接部나 精密製品에 對해서 品質評價가 제대로 이루어질 수 있게 努力해야겠다.