

배관용접부의 파괴인성평가에 관한 연구

나 의 균*, 오 석 형*, 백 영 기**

* 군산대학교 기계공학부

** 전주기능대학 산업설비과

Study on the Evaluation of Fracture Toughness of Welded Region of the Pipe

Eui-Gyun Na*, Seok-Hyung Oh*, Young-Ki Back**

* School of Mechanical Dept.(Kunsan National Univ.)

** Dept. of Industry and Installization(Chonju Technical College)

1. 서 론

석유정제, 석유화학공업, 화학공업 및 발전소 등에서 배관설비는 다양한 종류의 재질과 형태로서 생산제품에 필요한 원료 및 각종 부원료 등 여러종류의 유체를 공급하고 수송하는 설비의 일환인 동시에 각종 단위 화학기계장치를 연결시킴으로써 생산활동을 원활하게 하는 필요불가결의 설비라고 할 수 있다.

배관설비의 경우, 배관내부로는 유체가 흐르고 있는 동시에 유체의 조성, 운전압력, 운전온도 및 유속등과 같은 배관내부의 인자들에 의해 여러가지 형태로 손상현상이 유발되고 있음이 보고되고 있다.¹⁻²⁾ 배관의 손상형태와 정도에 따라 생산 중단현상에 발생하며 극단적으로는 가연성 유체 및 유독성유체의 누출로 인하여 화재, 폭발 등과 같은 대형사고가 유발되는 동시에 환경적인 문제등이 야기되는 등 인적으로나 경제적으로 막대한 손실을 초래하게 된다.³⁾

따라서 배관손상에 의한 손실을 최소화하고 배관설비의 설계자료를 확보하기 위해서는 배관재료 대한 기계적인 물성의 평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 배관용 재료인 S38급과 S42급을 대상으로 CO₂ 가스용접을 실시하고, 이어 용접후 열처리를 실시한 후, 용접부의 기계적인 인자중에서 가장 중요하게 인식되고 있는 파괴인성을 평가하고, 주시전자현미경에 의해 파단면을 관찰하여 파괴기구(fracture mechanism)를 규명하고자 한다.

2. 실 험

. 공시재, 용접 및 시험편 가공

본 연구에 사용된 재료는 배관용 재료(직경: 200mm, 두께: 12mm)로서 가장 많이 사용되고 있는 S38급과 S42급이다.

배관의 원주방향으로 용접을 실시하기 위해 용접부를 아세톤으로 깨끗이 세척한 다음, 원주방향으로 깊이 3mm의 홈을 가공한 후 입열량을 각각 4.7KJ과 7.5KJ로 하여 일반적으로 현장에서 가장 많이 채용되고 있는 CO₂가스 용접을 실시하였다.

용접후 열처리가 배관 용접부의 기계적 성질에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위

하여 용접된 파이프를 대상으로 후 열처리를 실시하였으며, 열처리 조건으로서는 열처리 온도 650°C에서 1시간동안 유지시킨 후 노냉시켰다.

용접된 배관으로부터 시험편의 채취는 배관의 길이방향과 직각으로 10mm x 10mm x 55mm크기의 표준 Charpy시험편을 채취하였으며, 채취된 시험편의 양 면을 macro부식을 실시하여 조직을 확인한 다음 notch를 가공하였다. notch의 가공은 wire cutting M/C를 이용하였으며, 가공시 시험편의 가공정확도를 최소화하기 위하여 가공액을 주입하면서 가공속도를 되도록 느리게 하였다. notch의 선단위치는 용접 중앙부에서 용융경계에 접하도록 하였으며, 노치의 폭은 0.3mm이고, 깊이는 2mm로 하였다.

3. 파괴인성 실험

용접부의 파괴인성을 평가하기 위하여 저온 분위기 하에서 균열개구변위(crack opening displacement: COD)의 측정에 의하여 파괴인성을 구하였다. 그림 1은 COD파괴인성 실험장치를 나타내었다. 액화질소가스를 냉각조에 유입시켜 소정의 온도를 유지시켰고, 실험온도는 시험편의 표면에 CC형의 열전대를 부착하여 측정하였다.

시험온도는 -140°C ~ -25°C로 하였고, 정해진 온도까지 서서히 냉각한 다음 시험편의 내부온도가 충분히 포화될 수 있도록 약 5분 가량 유지시킨 후 굽힘을 가하였다. 이 때 Cross head의 속도는 0.2mm/min으로 하였다.

본 연구에서는 B.S의 DD-19의 제안에⁴⁾ 따라 한계개구변위량을 측정하지 않았고 단지

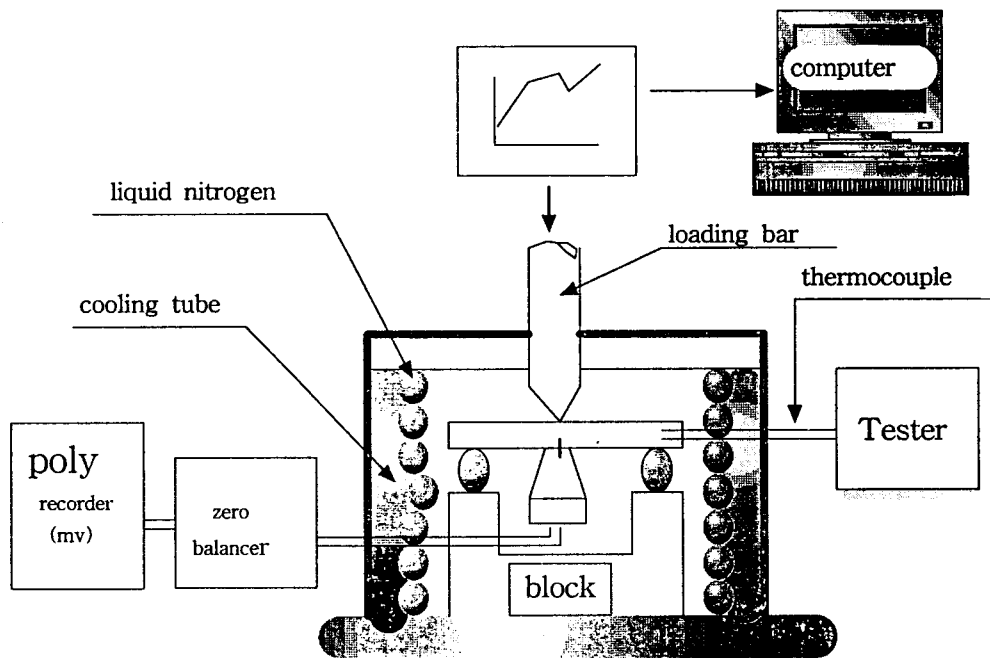


Fig. 1 Apparatus of COD fracture toughness

균열의 mouth의 변위량인 게이지 변위량 (V_g)을 택하여 균열개구량을 평가하였다. 왜냐하면, 각각의 시험편에 예균열(pre-crack)을 내지 않았고, 또한 용접재의 경우에는 용접부의 기계적인 성질의 불연속부가 존재하기 때문에 회전중심율의 값을 정확하게 결정할 수 없기 때문이다.

4. 결과 및 고찰

. 모재, 용접재 및 후 열처리재의 COD-온도의존곡선

그림 2는 S38급에 대해 7.4KJ의 입열량이 가해진 용접재와 모재와의 COD-온도의존곡선을 보인 것이다.

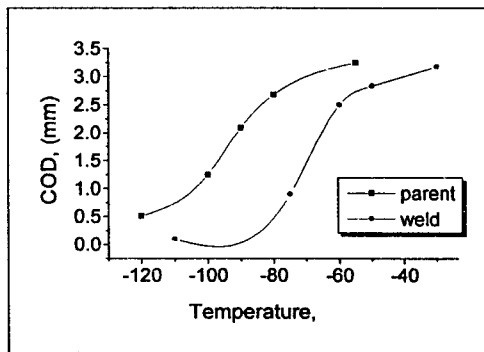


Fig. 2 Relationship between temperature and COD for the as-weld with 7.5KJ and parent(S38)

모재에 비해 용접재의 COD-온도의존곡선이 고온측(오른쪽)으로 이동하여 위치하고 있다.

용접재의 COD-온도의존곡선이 오른쪽에 위치하는 것은 입열량에 의해 용접부의 조직이 조대화되었기 때문으로 생각된다. 즉, 용접시 용융부의 온도는 약 1600°C까지 상승하게 되는데 주위온도는 23°C이기 때문에 온도구배가 대단히 크다. 그 결과 용접부가 급랭되는 효과때문에 용접부의 조직은 조대화되어 결정립(grain)의 크기가 모재에 비해 보

다 커지게 된다. 일반적으로 결정립의 크기와 파괴응력과의 관계는 다음 식으로 표현된다.⁵⁾

$$\sigma_f = \sigma_i + K_f d^{-1/2}$$

여기서 σ_f 는 파괴응력이고, σ_i 는 마찰응력(편석, 고용화된 원자덩어리 또는 밀집된 전위밀도로부터 미끌어지게 하는데 요하는 격자의 내부 저항치(Peierls-Nabarro's force)이며, K_f 는 제 2의 결정을 파괴시키는데 필요한 국부적 인장응력의 임계치이다.

상기식은 Hall-Petch식을 변환하여 표현한 것이며, 이와같은 경향을 보이는 것을 그림 2에 개략적으로 보였다. 이와같은 이론은 본 배관재료의 용접재에 대해서도 잘 적용되고 있음을 확인할 수 있다.

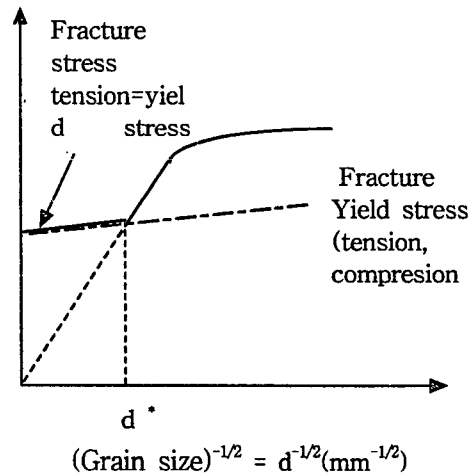


Fig. 3 Schematic variation of yield and fracture stresses with grain size(After Low⁶⁾).

한편, S42급의 경우 용접재 및 모재의 COD-온도의존곡선을 살펴보면, 그림 4와 같이 용접재가 모재에 비해 오른쪽(고온측)에 위치해 있어 용접으로 인해 S42급에서도 S38급과 마찬가지로 용접부의 파괴인성치가 저하하고 있다. 그런데 S42급인 경우, 입열량이 7.5KJ로 많아짐에 따라 입열량이 4.7KJ에 비하여 상당한 폭으로 고온측으로

이동하여 위치하고 있다. 이는 입열량이 많아질수록 파괴인성의 감소의 폭이 심하다는 것을 의미하며, 이와같은 결과는 S42급과 같이 두꺼운 판(후판)을 용접을 실시할 때에는 입열량의 조절에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다는 점을 시사해주고 있다. 다시말하여 후판을 용접할 때에는 one-pass 용접보다는 입열량의 조절 즉, 용접전압, 용접전류 및 이동속도 등을 알맞게 조절하여 다층용접을 실시하는 것이 바람직하다고 생각한다.

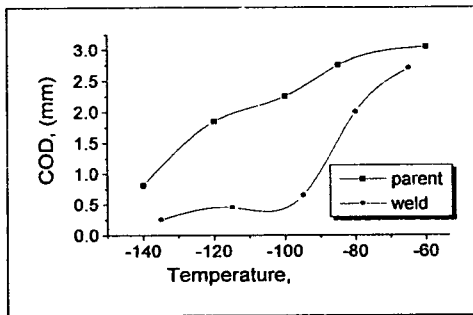


Fig. 4 Relationship between temperature and COD for the as-weld with 7.5K J for S42

그림 5는 S42급의 경우 용접후열처리재의 COD-온도의존곡선을 보인 것이다. 용접재에 비해 후 열처리재의 COD-온도의존곡선이 왼쪽으로 이동하여 용접부의 파괴인성치가 증가하였다.

이상의 결과를 볼 때, S42급을 대상으로 배관용접을 실시할 경우 후 열처리 공정은 꼭 필요하다고 볼 수 있다. 그런데 배관 용접부를 현장에서 열처리를 실시할 경우 본 실험실에서처럼 노냉(furnace cooling)이 어렵기 때문에 일종의 화염열처리(heat treatment of flame)와 같은 방법에 의해 후 열처리를 실시하는 것이 바람직하다고 생각한다.

5. 결 론

본 연구에서는 배관용재료로서 널리 이용되

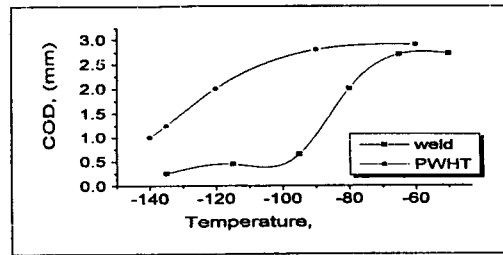


Fig. 5 Relations of temperature and COD for the as-weld and PWHT specimen for S42

고 있는 S38급 및 S42급에 대하여 두 종류의 입열량을 주어 CO₂가스 용접을 실시한 후 용접부를 대상으로 COD법에 의해 파괴인성을 평가하였다. 용접재의 파괴인성은 모재에 비하여 현저히 감소하였으며, 입열량이 많아질수록 용접부의 파괴인성은 저하하였다. 또한, 실험재료에 관계없이 후 열처리를 실시함으로써 용접부의 파괴인성은 크게 개선되는 효과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 이익재, "plant設備의 손상경향에 대하여", 한국부식학회지, 제 17권, 제3호, 1988, pp. 172~181
2. 鄭世喜, "高張力鋼 溶接熱影響部の溶接後熱處理 胞化に関する研究", 東北大學(日本) 博士學位論文, 1977
3. Dolby, R.E, et al, Metal construction and British Welding Journal, 1971, p. 99
4. Method for crack opening displacement(COD) testing, B.S.6762, 1972
5. Petch, N.J., Iron Steel Inst, 173, 1953, p. 25
6. Low, J.R., "Symposium on relation of properties to microstructure", 163, American Society for Metals, 1954