

한국부식학회지  
Journal of the Corrosion Science Society of Korea  
Vol.7, No. 3, Dec. 1978

<研究論文>

0.15% 炭素鋼의 低溫脆性에 관한 研究

李 鍾 鳳·金 冕 燮·趙 鍾 瑠

漢陽大學校 工科大學

(1978. 11. 29 接受)

Embrittlement Phenomenon of 0.15% Carbon Steel  
at Low Temperature

Jong B. Lee, Myun S. Kim, and Jong S. Cho

College of Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

(Received Nov. 29, 1978)

ABSTRACT

Embrittlement phenomenon of 0.15% carbon steel which is used for city water pipe line was studied at low temperature. Liquid nitrogen, dry ice, acetone and ice were used as refrigerants. Notched specimen was prepared for Olsen Impact Test. Effect of number of cooling-heating cycle of the specimen for the embrittlement was also examined. The ductile-brittle transition temperature was found to be in the range of  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $-20^{\circ}\text{C}$ . The transition temperature is increased as increasing number of cooling-heating cycle.

1. 서 론

금속재료의 저온에서의 취성은 우리의 일상생활이나 공업적인 면에서 중요한 문제로 대두되어 있다.<sup>1)</sup> 지하에 매설되어 있는 상수도관이 여러가지 원인에 의하여 파손, 누수되었을 경우 지수밸브를 닫지 않은 무절수 시공에서 액체질소 또는 dry ice를 냉매로 사용하는 냉동 공법이 연구되어 있는데<sup>2,3)</sup> 이 경우에 상수도관의 문제점으로 된다. 이외에도 석유나 천연 gas의 수송, 석유정제공업, 식품의 냉동저장, 혈청의 냉동건조 등  $-50^{\circ}\text{C}$ 이하의 온도를 작업온도로 하는 공업이 많아짐에 따라 금속재료가 저온에서 사용되는 기회가 많아졌으므로 금속의 저온취성은 주목을 끄는 문제로 되었다.

저온에서의 강관의 파괴시험, 금속재료의 기계적인 성질 및 제반특성에 관한 문제점은 연구가 되어 있다.<sup>4)~11)</sup> 취성파단에 관한 이론은 Griffith 및 Orowan 등에 의하여 제의 되었으나 아직 미흡한 점이 많다. 대부분의 금속은 저온에서 더욱 취약해 진다. 본 연구에서는 액체질소, dry ice와 acetone 및 얼음과 소금을 냉매로 사용하여 탄소강의 저온에서의 충격시험에 의

해 연성이 취성으로 변하는 전이온도를 측정하고, 충격 시험후의 파단된 시편의 취성부와 연성부의 조직을 비교 검토하고 또한 저온에서 반복시험을 행하여 반복에 의한 전이온도의 변화를 조사 검토하였다.

2. 실험방법

1) 시편

본 실험의 시편은 현재 부산 파이프에서 상수도관용으로 사용하는 0.15% 탄소강을 사용했으며 그 중요한 성분의 조성은 Table 1과 같고, 중요한 기계적 성질은 항복점이  $37(\text{kg}/\text{mm}^2)$ , 인장강도가  $49(\text{kg}/\text{mm}^2)$  신율이 40(%)이다. 시험편의 제작은 Fig. 1과 같이 KS

Table. 1 Composition of specimen

Composition	C	Si	Mn	P	S	Fe
%	0.15	0.11	0.46	0.017	0.019	balance

규격 금속재료 충격시험편중 나호 시험편인 샬피이 충격 시험편을 택하였으며 충격 시험기는 미국 Olsen회사의 impact test기를 사용하였다.

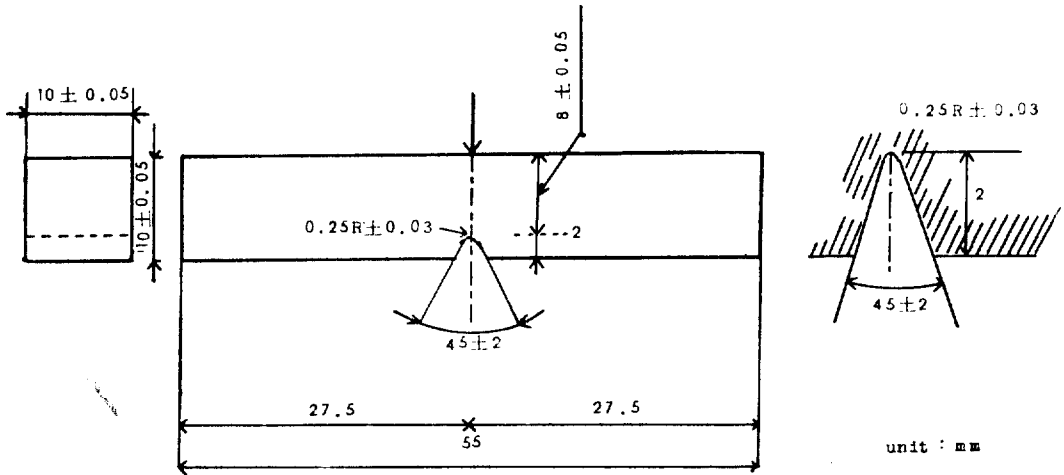


Fig. 1. V-notch Charpy impact test specimen

2) 냉매와 온도측정

실험온도는 196°K와 상온사이로 택했으며 시편을 196°K근방으로 냉각시킬때는 냉매로 액체질소를 이용하고 그 밖의 온도유지를 위해서는 드라이아이스와 아세톤(-75°C~-80°C) 또는 얼음을 사용했으며 얼음에서 드라이아이스와 아세톤 사이의 온도는 아세톤속의 드라이아이스량을 조절하여 얻었다. 냉매를 담은 용기는 가로 25cm 세로 25cm 높이 30cm인 두께 5cm 나무상자를 이용하였는데 이는 열전도율이 낮아서 온도변화를 최소로 만들기 위해서였다. 시편의 온도측정은 Alumel/Chromel 열전대를 potentiometer에 부착시켜 얻은 기전력을 온도로 환산했다.

3) 실험방법

먼저 제작된 충격 시편편을 아세톤으로 탈지시킨후 emery paper로 표면과 특히 예민한 notch부분을 잘 손질하여 냉매를 담은 용기속에 넣고 15~45분 두어 완전히 냉매와 같은 온도로 유지시킨후 충격시험을 하여 각 온도에 따른 충격 파단에너지를 구하였다. 시편의 반복냉각은 시편을 냉매를 넣은 용기속에 넣어 냉매온도로 유지시킨후 다시 꺼내어 완전히 상온으로 하는 조작을 반복 하였다. 냉각-가열시간은 1 cycle당 10~15분 소요되었으며 냉매중에서의 시간은 1분정도였다. 이렇게 하여 반복횟수에 따라 온도에 따른 충격 파단에너지의 변화를 구하였으며, 냉매속에서 시편을 꺼내어 충격시험기로 시험하기 까지의 시간은 온도의 변화가 거의 없는 2~5초 이내에 실시 하였다. 그리고 상온에서의 파단시편과 저온에서의 파단시편과의 현미경조각도 금속현미경으로 관찰 하였다. 현미경조각은 파단부분을 떼어내어 포리에틸렌로 mounting한 다음 grinding, polishing, etching하여 관찰 하였으며 이때

etchant는 질산 1~5%의 알코올 용액인 Nital을 사용하였다.

전이온도의 결정은 온도-충격 energy 곡선의 변곡점에서의 온도로 정하였다.

3. 결과 및 검토

실험결과 전이온도 근처에서 충격시편의 파단모양과 충격 파단에너지의 변화가 대단히 큼을 알았다. 드라이아이스와 아세톤을 냉매로 사용하여 각 온도에 따른 충격 파단에너지를 구한 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 보는바와 같이 상수도관용 탄소강의 전이온도 범위는 -10°C~-20°C임을 알았다. 일반적으로 급속은 많은 결정으로 되어있고 계개의 결정내의 원자는 더섬

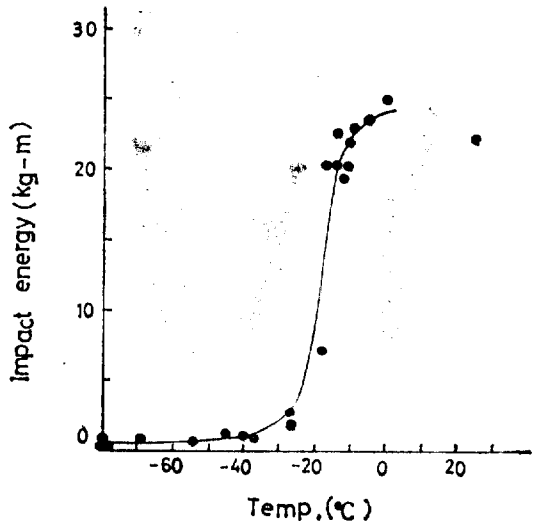


Fig. 2. Variation of fracture energy with temperature showing ductile to brittle fracture transition.



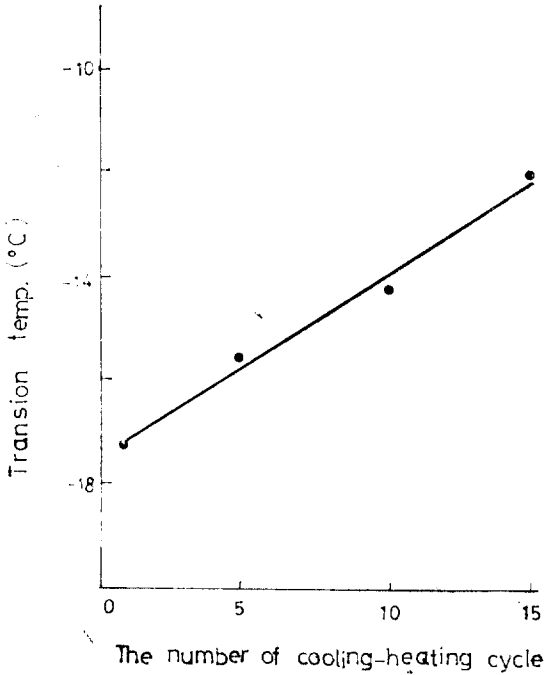


Fig. 4. Effect of the number of cooling-heating cycle on the ductile to brittle transition temperature.

직이기 어려워 집적되 반복횟수가 많아 질수록 균열의 발생 가능성이 많아져서 전이온도가 증가하는 경향을 보이는 것 같다.

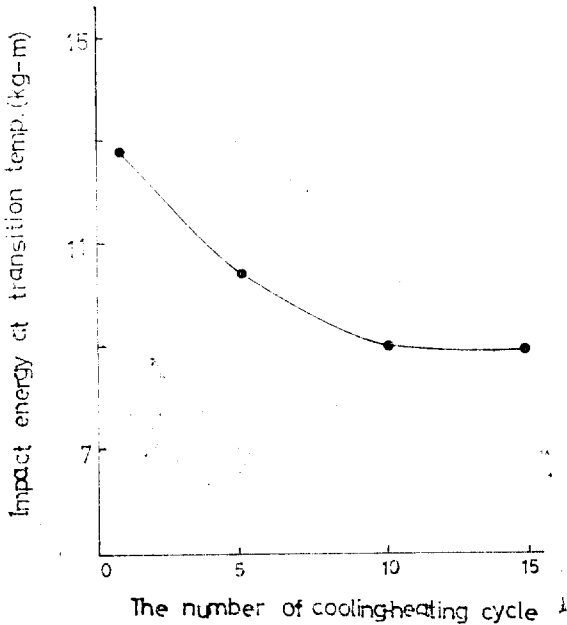


Fig. 5. Variation of Fracture energy at transition temperature determined by the average criterion in Fig. 3.

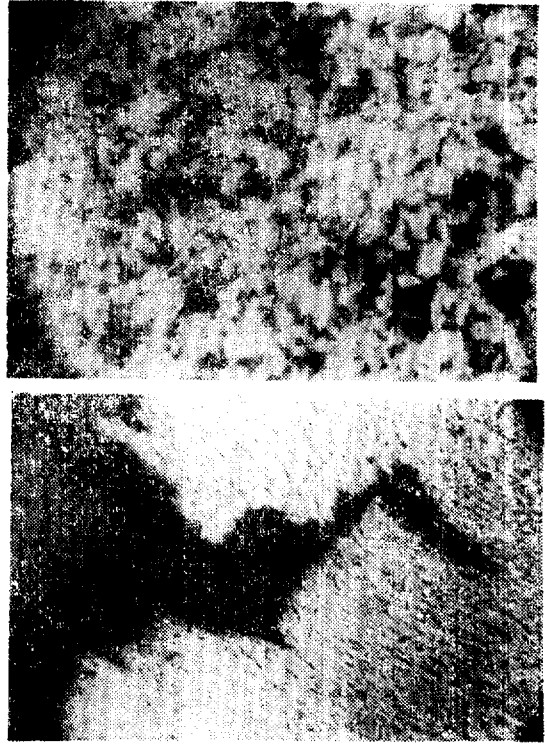


Photo. 2. Microstructures of specimens before and after impact cracking. From up to down (a) before testing (b) after testing

소성변형을 수반하는 연성균열의 상태를 연성파단된 시편을 채취하여 조사하였는데 그 결과는 아래 photo 2와 같다. Photo 2-a는 원재질의 조직사진이며 2-b는 연성파단된 시편의 조직사진이다.

사진에서 보는바와 같이 연성파단된 시편은 충격을 받을때 인장을 받아 결정립이 방향성을 띠며 길게 늘어난 것을 볼 수 있고, 또한 연성파단의 불규칙적인 표면윤곽을 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) 0.15% 탄소강의 전이는  $-15^{\circ}\text{C} \sim -35^{\circ}\text{C}$ 에서 일어난을 알았고,
- 2) 반복냉각횟수를 증가함에 따라 전이온도가 거의 직선적으로 상승하고 전이온도에서의 파단에너지는 점차로 감소함을 알았다.
- 3) 반복냉각시 전이온도의 상승 및 파단에너지가 감소하는 기구는 냉각횟수의 증가에 따라 전위의 집적으로 인한 미세균열의 수가 증가하는 것으로 생각되나 이에 대한 계속적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

인 용 문 헌

- 1) Rinebolt, J. A., and Harris, W. J., Jr., *Trans. ASM*, **43**, 1175(1951)
- 2) Scholl, O., *Das Gas und Wasserfach*, **75**, 111~112(1932)
- 3) 白英男, 金冕燮, 趙鍾瑛, *부식학회지* **3**(4), 179-184(1974)
- 4) Stroh, A. N., *Proc. Roy. Soc., A* **223**, 404(1954), *A* **232**, 548(1955)
- 5) T. Yokobori, *J. Appl. Mech.*, **24**, 77(1957); *J. Mech. Phys. Solid*, **8**, 81(1960)
- 6) 長谷部茂雄, 古賀敏昭, 岡澤亨, *配管と裝置*, **11**, 51~56(1973)
- 7) 長谷部茂雄, 古賀敏昭, 岡澤亨, *配管と裝置*, **12**, 4~11(1973)
- 8) 加藤, 和雄, *配管技術*, **2**, 88~94(1973)
- 9) 岩元兼敏, *配管と裝置*, **11**, 3~8(1962)
- 10) 森田茂, 竹林義朗, *配管と裝置*, **6**, 45~51(1970)
- 11) Seigle, L. and Brick, R. M. Jr., *Trans. ASM*, **40**, 813~869(1948)