

# 살피 에너지의 구분에 의한 강용접부의 파괴인성평가

송삼홍  
(고려대 기계공학과)

정재강\*  
(조선대 기계공학과)

## 1. 서론

Charpy 충격시험에 의해서 측정된 Charpy 흡수에너지와 평면변형을 파괴인성치  $K_{Ic}$  또는 동적파괴인성치  $K_{Ia}$ 간의 실험적 상관관계로부터 파괴인성치를 좀 더 간편하게 추정하기 위한 연구가 진행되어 왔다.(1-5) 그러나, 살피 전흡수에너지는 試片의 最終破斷에 이르기까지의 全過程에서 吸收된 에너지이므로, 물론, 크랙開始에너지를 포함하고 있지만, 破壞의 開始와 關係되는 파라메터인 破壞靱性値와는 相對的으로 相關性이 적다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 관점에서, 단위면적당의 全吸收에너지( $E_t/A$ )를 크랙開始에너지( $E_i/A$ )와 크랙傳播에너지( $E_p/A$ )로 區分하였으며, SS41材와 SM45C材의 熔接部를 微視組織의 形態에 따라 다섯가지 領域 즉, 熔着金屬 領域(weld metal), 結晶粒 粗大化領域(grain coarsened zone), 結晶粒 微細化領域(grain refined zone), 部分變態領域(partially transformed zone), 母材領域(base metal)으로 細分하였다. 溫度範圍는  $+20^{\circ}\text{C}$ (상온)~ $-160^{\circ}\text{C}$ (저온)의 區間에서 시험하였다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험편

본 실험에 사용된 재료는 판두께 19 mm인 SS41 상당의 국산 연강판재이다. 용접된 판재는 압인방향과 평행하게 절단하여 예칭한 후 예크랙의 위치가 시험편의 중앙이 되도록 가공, 절단하였다. Fig. 1은 시험편의 규격이며, 피로예크랙의 삽입은 電氣油壓式 피로시험기(15ton, Shimadzu)에서 크랙의 선단이 정확히 실험하고자 하는 영역에 위치

하도록 주의하였으며, 이때의 피로하중조건은 정현파 20-30 Hz의 진동수로 하고, ASTM E-813의 기준을 만족하도록 하였다.

### 2.2 시험방법

계장화 살피충격시험에서 얻어지는 하중-시간곡선은 살피시험편이 동적인 파괴를 일으키는 전과정을 나타내는 破壞履歷이라고 할 수 있으며, 이 곡선으로부터 하중과 함께 파괴시 흡수되는 에너지를 구할 수 있다. 파괴가 최대하중에서 개시된다고 가정하면 (일반적으로 벽개파괴일 때는 최대하중에서 개시된다.) 최대하중에 이룰때까지 흡수된 에너지를 크랙개시에너지로 볼 수 있으며, 전흡수에너지중 크랙개시에너지를 제외한 나머지를 크랙의 전파에 소요된 에너지로 볼 수 있다.

동적파괴인성치  $K_{Ia}$ 는 3-점 굽힘의 경우에 대한 선형탄성파괴역학을 이용한 식(6)을 사용하여 계산하였다.

그리고, 파괴시 최대하중에 이르기 전에 전면항복을 수반하는 경우에 대해서는 하중 변위선도에서 항복이 일어나기 전의 탄성적으로 변화하는 직선부분을 연장하여 실제 최대하중까지에서 흡수된 에너지와 등가인 변위점에서의 가상하중을 최대하중으로 보고, 그때의 변위를 크랙의 개시점으로 보는 간편법인 等價 에너지법(7)을 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 크랙開始에너지 $E_i/A$ 의 變動

하중-변위곡선의 적분으로 얻어진 전흡수 에너지( $E_t/A$ )는 크랙개시에너지( $E_i/A$ )와 크랙전파에너지( $E_p/A$ )로 구분되었다. 그 결과를 Fig. 3, Fig. 4에 나타내었다. Fig. 5는 온도에 따른  $E_i/A$ 의 변화거동을 나타낸 것으

로 일반적인 경향은  $E_t/A$ 의 거동과 유사하나 정량적으로 상당한 에너지 수준 차이를 보인다.

전흡수에너지중 파괴개시에너지가 차지하는 비율  $E_1/E_t$ 는 SM45C재의 경우 약 10%에서 50%의 범위에서 온도의 증가와 함께 감소하는 경향을 나타내었으나<sup>(6)</sup>, SS41재의 경우 Fig.6에 보여주는 바와같이 부분변태영역을 제외한 다른 영역은 온도에 대한 의존성은 크지 않고 5%에서 35%의 범위에서 거의 일정한 값을 보였다. 다만 부분변태영역은 최대 80%의 높은 비율을 나타내며 온도 의존성도 매우 강하게 나타났다. 용접부 영역에 따라  $E_1/E_t$ 는 차이가 있으며, 모재가 가장 낮은 비율을 갖고, 다음은 용착금속 < 결정립 조대화 영역 < 결정립 미세화 영역 < 부분변태영역의 순으로 비율이 높아졌다. 따라서, 일반적으로 파괴인성이 높을수록 파괴개시에 필요한 에너지도 크게 나타남을 알 수 있다. 즉, 크랙 전파 에너지의 크기는 상대적으로 파괴인성과 상관성이 작음을 알 수 있다.

따라서, 재료와 시험조건에 따라 크랙개시에 소요된 에너지는 비율이 달라지기 때문에, 크랙의 개시와 관계되는 파괴인성치를 전흡수에너지와 관련 시키려는 시도는 설득력이 없으며, 크랙이 개시되기 까지에 소요된 에너지( $E_1/A$ ) 만에 의해서 특정지워지는 것이 타당하다고 생각된다.

더우기, 본산용접에서 용접재의 Charpy 시험은 notch의 위치에 따라서 크랙의 진전 경로가 달라지며, 크랙이 개시되는 위치의 조직과 크랙이 진전되는 경로상의 조직은 상당한 차이가 있을 수 있고, 두께가 얇은 판일수록 그 정도가 상대적으로 커진다. 따라서 전흡수에너지는 혼합조직에 대한 값을 나타내게 됨으로서, 각 위치에서의 고유한 단일 조직의 인성을 평가하는데 적합하지 않다.

### 3.2 크랙傳播에너지 $E_p/A$ 의 舉動

크랙傳播에너지  $E_p/A$ 는 全吸收에너지中 크랙 開始에 소요된 에너지를 뺀 값으로서 不安定 破壞 및 shear lip의 生成, plastic

hinge를 중심으로 소성변형과 最終破斷을 일으키는데 소요된 에너지, 試片의 反撥에 의한 運動에너지를 포함하는 값이다.

그러나, 전술한 바와같이 非均質材인 熔接材의 경우, 크랙의 經路가 한가지 以上の 領域을 經由할 수 있기 때문에 이러한 경우 通過하는 영역의 종류와 길이에 따라 크랙傳播에 소요되는 에너지는 달라질 수 있으므로, 이  $E_p/A$ 에 의한 파괴거동의 평가는 용접재의 경우 제한적이라고 생각되어 진다.

크랙傳播에너지의 全吸收에너지와의 比  $E_p/E_t$ 는 크랙 開始에너지와 全吸收에너지의 比  $E_1/E_t$ 의 나머지 값으로서, SM45C材의 경우 약 50%에서 90%의 範圍에서 溫度의 減少와 함께 減少하는 傾向을 나타냈으나<sup>(5)</sup>, SS41材의 경우 部分變態領域을 除外한 다른 領域은 溫度에 對한 依存性은 크지 않고 65%에서 95%의 範圍에서 거의 一定한 값을 보인다. 다만 部分變態領域은 最小 20%의 낮은 比率를 나타내며 溫度 依存性도 매우 強하게 나타난다.

### 4. 結 論

動的破壞韌性値와 크랙開始에너지는 살피 전흡수에너지 보다 파괴인성치와의 상관성이 크게 나타남으로서 살피전흡수에너지 지 대신 크랙개시에너지를 사용하는 것이 유리함을 알 수 있다.

### 참고문헌

1. Barsom, J.M. and Rolfe, S.T., 1970, STP 466, ASTM, pp.281-302
2. Liu Yi, Tao Xue-Wen, Liu Nai-Ji and Li Xiao-Wei, 1987, Eng. Frac. Mech., Vol.28, No.3, pp.361-364
3. Marandet, B., and Sanz, G., 1977, STP 631, ASTM, pp.72-95
4. Kopenaal, T.J., 1974, ASTM STP. 563, pp.92-117
5. 송삼홍, 정재강, 1991, 대한기계학회는 문집 제 15권 제 4호, pp.1160-1167

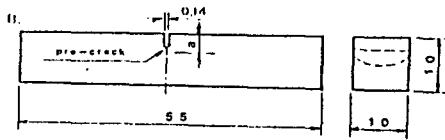


Fig. 1 Dimensions of specimen.

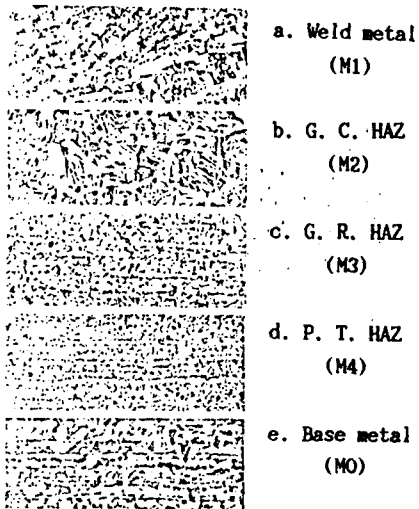


Fig. 2 Micro-structures of 5 types of specimen.

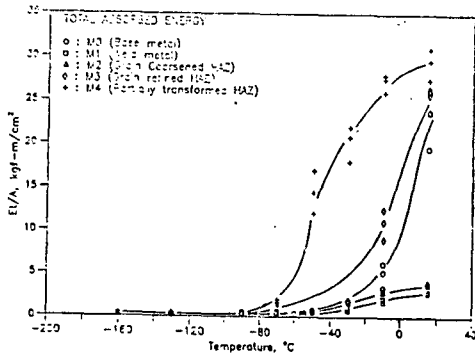


Fig. 3 Total absorbed energies.

Fig. 6 Ratio of  $E_i/A$  to  $E_t/A$ .

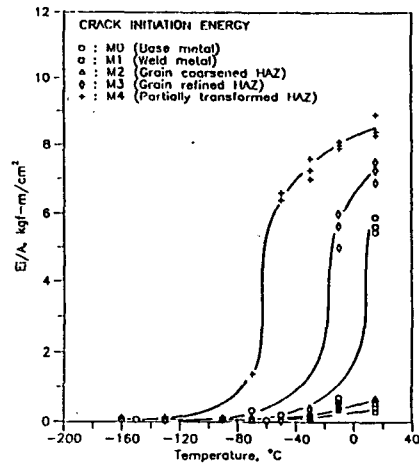


Fig. 4 Crack initiation energies.

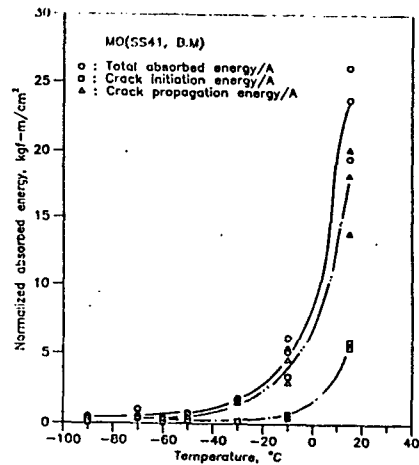


Fig. 5 Separated energy components.

