

# 탄산가스아크용접에 대한 용접전문가시스템 I (설계부문)

김 재곤\*, 이 상진, 이 시중, 신 윤섭  
(대우중공업 중앙연구소)

## 1. 서 론

용접은 전기적인 지식, 금속재료에 대한 지식, 용접아크의 물리적인 현상, 용접부의 강도에 대한 전문 지식, 각종 용접공정에 대한 경험과 이해 등을 필요로 하므로 이들을 모두 고려하여 용접구조물의 설계, 시공 및 검사를 시행해야 한다. 근래에 들어와 급변하는 수요자의 요구에 맞는 제품개발을 위해서는 빠르게 적용될 수 있는 용접기술의 축적과 전산화가 필요하게 되어 여러 사람들에 의해 이루어지고 있으나, 대부분이 축적된 자료를 검색한 결과만을 제시하고 있다. 그러나 용접기술은 관련인자가 극히 다양하고, 상호관계가 복잡하여 자료의 검색만으로는 곤란하며, 용접의 실재를 체계화할 수 있는 지식과 각종의 경험이 매우 중요하다. 본 시스템은 인공지능의 기법을 활용하여 각종 지식과 경험 등으로부터 전문가가 행하는 문제해결과정을 규칙화하여 표현함으로써 사용자의 요구에 맞는 용접부의 설계, 시공 및 검사가 비전문가라도 손쉽게 가능하도록 하였다. 본 보고는 이들중 용접이음의 설계에 대한 것으로 용접구조물에 작용하는 하중에 따라 최적의 용접이음형상을 제시해주는 설계부문에 대한 것이다.

## 2. 시스템의 개요

본 시스템은 탄산가스 아크용접기술에 관한 것으로 40~50kg급의 구조용강(SS41, SM41, SM50등)을 모재로 하는 두께 3~35mm 범위의 강판에 적용 가능한 것으로 용접부의 이음설계에 대한 용접설계 프로그램, 요구되는 형상을 얻기위한 용접시공조건(전류, 전압, 속도 등) 산출에 대한 용접시공조건설정 프로그램과 품질관리를 위한 용접결합의 허용기준을 알려주는 용접품질관리 프로그램, 본 시스템의 지원 및 용접관련 기본지식을 지원하는 보조지원 프로그램 등으로 모듈화하여 구성되어 있다. 사용에 있어서는 사용자의 상황에 따라 각 모듈을 선택하여 이용할 수 있도록 하였다. 본 소프트웨어를 개발하는데 사용된 언어는 논리적 추론기능이 뛰어나고 퍼스널컴퓨터에서 사용가능한 Turbo PROLOG이며, 640Kb 이상의 주 기억용량과 그래픽처리를 위한 EGA카드와 칼라모니터를 필요로 하며 MS-DOS 환경하에서 작동한다.

## 3. 용접설계개요

### 3-1. 정적강도평가

용접부의 응력해석결과로부터 von Mises의 항복이론을 적용하여 식1.로부터 구한 등가응력과 모재의 항복강도를 비교하여 설계하는 방식을 취하였다.

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= \{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \}^{1/2} \\ &= \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \}^{1/2} \quad (1)\end{aligned}$$

항복은 다음 조건 일때 발생하게 된다.

$$\sigma_{eq} = \sigma_y \quad (2)$$

즉 등가응력이 모재의 항복강도에 이르면 구조물이 항복한다고 가정하였다. 이때 용접부강도와 모재강도와의 관계는 식3.과 같이 용접계수효율을 정의하였으며 용접부의 정적강도가 모재의 정적강도와 서로 같다고 가정하여 100%의 효율을 가지는 것으로 하였다. 실제의 경우 용접부에 쓰이는 재료의 강도는 통상 모재강도보다 크므로 안전성의 측면에서 앞의 가정은 타당한 것이다.

$$\text{용접계수효율}(\%) = \frac{\text{용접부허용응력}}{\text{모재허용응력}} \times 100 \quad (3)$$

### 3-2. 피로강도 평가

피로강도 평가는 기계나 구조물의 안전성과 신뢰성확보에 필수과정으로 특히 용접구조물의 경우 기하학적 형상의 변화, 열변형에 따르는 잔류응력의 생성 등의 영향으로 매우 까다롭다. 용접이음의 종류, 하중의 방향, 용접후의 가공 등으로부터 야기되는 기하학적 형상의 급변에 따르는 응력집중현상과 재료자체의 강도, 용접시공법 등 많은 인자에 따라 용접구조물의 피로강도는 변화하게 되므로 이들의 영향을 개별적으로 또는 복합적으로 고려한 평가라야 올바른 피로설계가 이루어진 용접구조물이라 할 수 있을 것이다. 수명 평가식은 평균응력효과와 고려에 있어 Goodman의 방법을 사용한 식4.에 따랐으며, 하중간섭효과에 따른 영향을 고려하기 위해 그림1.과 같이 피로한도의 소멸을 가정하는 수정Miner규칙을 사용하였다.

$$\Delta S / 2 = S_r (1 - S_m / S_b) \cdot (2N_r)^{-b} \quad (4)$$

$\Delta S / 2$  : Stress Amplitude                       $S_r$  : Fatigue Strength Coefficient  
 $S_m$  : Mean Stress                                 $S_b$  : Tensile Strength  
 $2N_r$  : No. of Cycles                               $b$  : Fatigue Strength Coefficient

수명평가에 사용되는 S-N곡선은 각국의 용접설계기준과 기존의 연구시험결과를 이용하여 용접부의 품질등급, 이음형상, 하중과 용접선의 방향 등에 따라 구한 것을 사용하였다. 일례로 용접선과 하중의 방향이 서로 수직인 맞대기이음의 수명평가기준을 그림2.에 나타냈다. 그림에서 G는 품질등급을 나타내며, s는 편면용접한 것임을 의미한다.

### 3-3. 품질등급

용접부위의 품질등급은 강도에 따라 분류하였으며 각 등급의 특성은 표와 같다. 예를들어 맞대기이음의 경우 1, 2, 3등급은 완전용입을 필요로하며 각 등급에 맞는 후처리를 실시해야 한다. 4등급의 경우 모재 두께에 대한 유효두께의 비,  $\alpha$ 가  $\alpha \geq 0.7$ 인 것과  $\alpha \geq 0.5$ 인 것으로 세분하였다. 필렛이음과 모서리이음의 경우는 1, 2등급은 완전용입을 필요로 하고 3등급은 완전용입은 보장하지 못하나 그다지 크지않은 피로하중을 받는 용접부에 적용이 가능하도록 되어있다. 4등급은 많은 용입을 필요로 하지 않는것으로 낮은 피로하중과 정적하중을 주로받는 부위의 설계에 적당하며  $\alpha \geq 1.0$ ,  $\alpha \geq 0.7$ ,  $\alpha \geq 0.5$ 의 세 가지로 세분하였다. 표에서 용접면은 각 등급에서 가능한 것을 나타낸 것으로 예를 들어 모서리이음의 경우 2등급은 양면용접과 받침쇠(back plate)를 사용하는 편면용접, 3등급은 양면용접과 편면용접을 할수 있다는 것을 알려준다.

## 4. 설계 알고리즘

설계부문은 그림3.과같이 용접모재와 용접부의 기하학적 형상에 따른 모재두께, 용접부길이 등과 구조물의 형태에 의해 좌우되는 용접토오치의 접근이 가능한가(양면용접 가능성), 받침쇠(back plate)의 사용이 가능한가 등의 입력을 요구한다. 아울러 용접부의 요구강도를 정적강도와 피로강도 측면에서 입력하게 된다. 이러한 것들은 용접설계에 필요한 가장 기본적인 것들이다. 입력단계가 끝나고 용접부의 품질등급의 설정단계에 와서는 품질등급의 설정을 컴퓨터에 일임하거나 컴퓨터에서 제시하는 범위내에서 사용자가 임의적으로 결정할 수 있도록 되어 있다. 컴퓨터에 일임하게 되면 요구하는 강도를 만족시키는 범위에서 가장 적정하다고 생각되는 것을 결정하게 된다. 이어서 용접부의 강도적인 안전성, 시공상의 편의성 및 경제성 등을 고려한 용접이음형상(개선형상, 각장크기, 용입조건, 후처리 등)과 용접기호 및 코드를 결정하는 단계로 접어들게 된다. 이 단계 역시 앞에서와 마찬가지로 시스템에 일임하거나 사용자가 임의로 결정할 수 있도록 하였고, 사용자가 새로운 해를 원할 경우 새로운 형상을 제시해 주도록 되어 있다. 이와같이 용접부의 설계형상을 결정하는데 있어서 본 시스템은 시스템 내부에서의 자체적인 판단에 따른 최

적의 이음형상을 제시할뿐만아니라 사용자의 요구에도 부응할 수 있도록 설계되었다.

5. 프로그램 실행 예

본 시스템의 실행 예로 두께 12mm인 강판 SS41을 모재로 하는 T형 필렛이음을 하기로 한다. 용접선의 길이는 600mm 이고, 용접부위는 용접선의 길이방향으로 ±70MPa의 반복피로하중에 대해 10<sup>5</sup>회 이상의 수명을 요구하는 경우에 대한 설계결과가 그림4.와 같이 베벨그루브로 개선한 후 3등급의 양면용접을 하는데 불완전용입으로도 충분함을 알 수 있다. 용접부설계에 대한 세부적인 사항은 그림5.와 같이 프린터로부터 받아 볼 수 있다.

6. 결 론

퍼스널컴퓨터를 사용하여 누구라도 손쉽게 사용할 수 있는 용접분야의 전문가시스템을 개발함으로써 용접 기술자의 과중한 업무부담을 덜 수 있고, 관련업무의 신속한 처리가 가능하게 되어 신모델을 개발하거나 기존 모델의 변경에 대해서도 신속히 대응할 수 있게 되었다. 용접이음설계시 구조물의 안전성을 고려한 최적의 이음설계가 가능하도록 하였으며, 실용성의 측면을 고려하여 구조물의 주변상황에 따라 적용이 불가능한 것에 대비해 사용자로 하여금 선택의 여지를 넓게함으로써 설계자가 항시라도 다른 선택이 가능하도록 하였다.

표. 품질등급

	맞대기이음			필렛이음, 모서리이음		
	용입	후처리	용접면	용입	후처리	용접면
1등급	완전용입	절삭	○	완전용입	연삭	○
2등급	완전용입	연삭	○	완전용입	안함	○, △
3등급	완전용입	안함	○, △	불완전용입	안함	○, □
4등급	불완전용입	안함	○, □	불완전용입	안함	○, □

○: 양면용접    △: 편면용접 (반질시 사용)    □: 편면용접

$N_i$  : i-th stress amplitude  
 $S_i$  : life for i-th stress amplitude  
 $n_i$  : No. of cycles for i-th stress amplitude in stress history

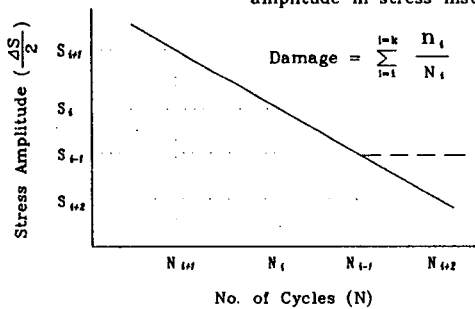


그림 1. 피로수명평가

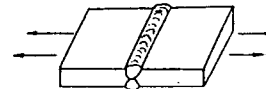
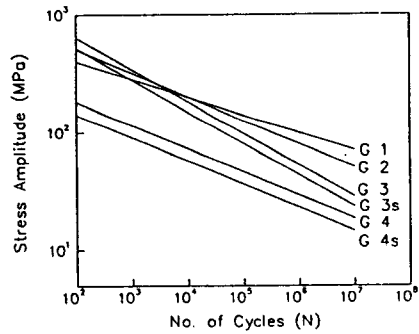


그림 2. 피로강도평가 자료 예  
 (용접선과 하중방향이 수직인 맞대기이음)

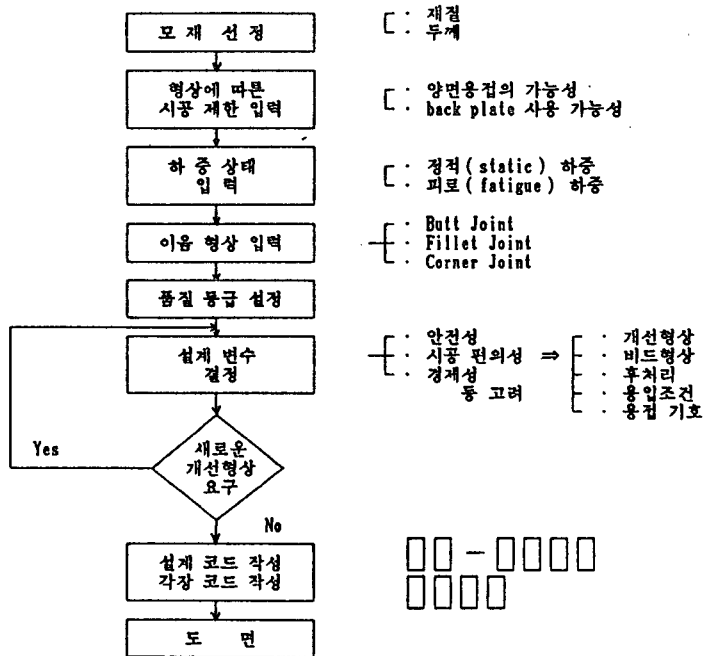


그림 3. 설계 알고리즘

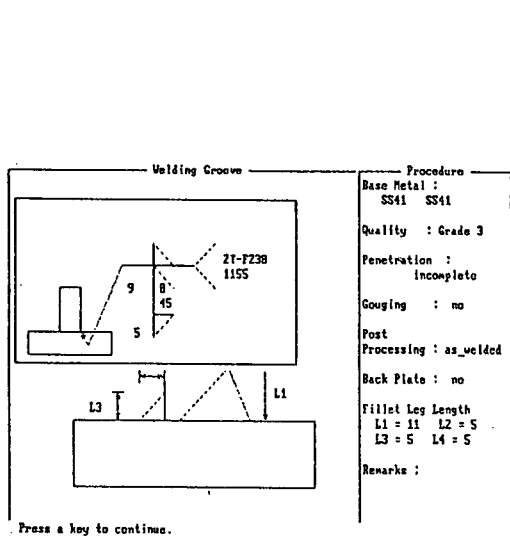


그림 4. 프로그램 실행 예 (설계부분)

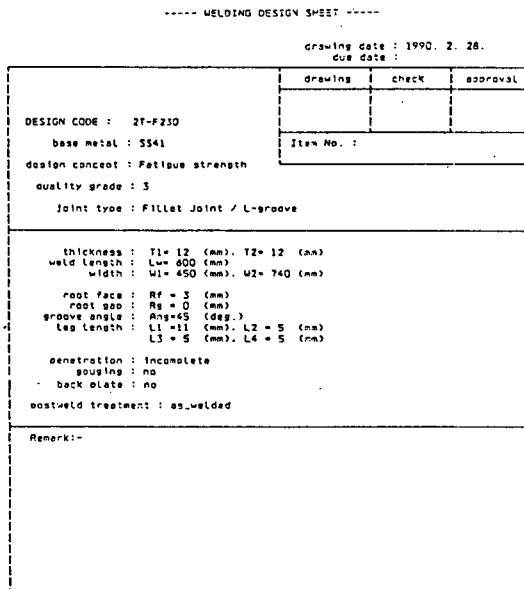


그림 5. 설계부분 출력형태