

## 有限要素法에 의한 厚板熔接時의 3次元 非定常 熱傳導 解析

방한서\*, 김유철\*\*

Analysis on The Three-Dimensional Unstationary Heat Conduction  
on The Welding of Thick Plate by F. E. M.

by

H.S.BANG\*, Y.C.KIM\*\*

### 1. 개요

厚板의 용접 또는 열처리를 할때 반드시 발생되어지는 용접변형및 용접응력은 근본적으로 이동(移動)하는 열원(熱源)을 고려한 열원주위를 기점으로 하는 3次元的인 온도분포에 기인(起因)하는 것이다. 따라서 용접체(熔接體)의 용접잔류응력 및 용접변형을 정확하게 규명하기 위해서는 반드시 3차원 비정상열전도 해석을 하여야 할 필요가 있다. 종래에는 용접체 형상(形狀)의 단순화(예, 무한원판등), 또는 용접열원의 이상화(예, 점열원(點熱源), 또는 선열원(線熱源)등) 및 온도의존성 의한 재료정수의 일정화(一定化)에 의한 해석해나 차분법등을 사용하여 왔으나, 최근 전산기의 대형화 및 고속화에 힘입어 유한요소법이 열전도 분야에서도 널리 사용되어지고 있다.

본 論文에서는, 8절점 아이소파라메트릭 유한요소법을 이용한 3차원 비정상 열전도 문제의 수치해석을 가능하도록하여, 厚板뿐만 아니라 각종 형상의 용접구조물의 용접시 온도분포 해석을 가능할수 있도록 하였다. 특히 용접열원의 이동효과를 고려하였을 뿐만이 아니라 지금까지 난문제로 남아있는 재료정수 즉 열전도율( $\alpha$ ), 비열( $c$ ) 및 밀도( $\rho$ ) 등의 온도 의존성을 충분히 고려하였다. 그리고 아이소파라메트릭 유한요소법의 사용으로 절점이외의 임의의점(즉, 적분점)에서의 온도도 추출가능하도록 하였다. 또한 본 연구에서는 厚板용접시의 온도분포및 그 특성을 규명하고자 하였다.

### 2. 有限要素法에 의한 3차원 비정상 열전도해석의 정식화

3차원 비정상열전도 문제의 기본미분 방정식은 다음과 같다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + Q \quad \text{---(1)}$$

여기서, T: 온도( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\rho$ : 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $c$ : 비열( $\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha$ : x, y 및 z 방향의 열전도율( $\text{cal}/\text{cm}\cdot\text{sec}\cdot^{\circ}\text{C}$ ), t: 시간(sec), Q: 단위시간당 입열량( $\text{cal}/\text{sec}$ )이다.

상기의 3차원 열전도 문제를 Galerkin 法을 적용하고 아울러 Green-Gauss 정리에 의하여 그식을 전개하여 Fourier 법칙인 경계 조건식을 代入하고 또한, 비정상 문제를 差分離散化 하면 최종적으로 아래식과 같이 유도되어 진다.

\* 조선대학교  
\* 日本 大阪大學 熔接研究所

$$([K] + \frac{2}{\Delta t}[C])\{\theta^A\} = \{F\} + [C](\frac{2}{\Delta t}\{\theta^B\} + \{\frac{\partial \theta^B}{\partial t}\}) \quad \text{---(2)}$$

여기서  $\Delta t$  : 시간증분,  $[K]$  : 열전도 Matrix  
 $\theta^A$  : 증분전의 절점온도,  $[C]$  : 열용량 Matrix  
 $\theta^B$  : 증분후의 절점온도,  $\{F\}$  : 열유속 Matrix 이다.

또한 본 연구에서는 8절점 아이소파라메트릭 유한요소법을 적용하였다. 아이소파라메트릭 요소에서는, -1부터 +1까지 변화하는 파라메트에 의한 자연 좌표계를 이용하여 요소 좌표와 요소 변수를 동일형상 함수에 의하여 표현한다. 즉, 이자연좌표계는 요소의 변형에 부응하여 변화하는 물질좌표이다. 따라서 아이소파라메트릭 유한요소법에 의한 3차원 비정상 열전도해석 Computer program을 개발하였으며 그 타당성을 검증하기 위하여 본해석 결과와 실험결과 비교 검토하였으며, 결과는 상호 일치함을 보여주고 그 효용성을 증명하였다.

### 3. 厚板 熔接時의 온도분포특성

용접의 특성은 물체 일부분에서 극히 급부적으로 행하여지므로 판 주변의 경계면에서 열방사의 영향을 받지 않을것으로 하였다. 또한 해석 Model의 치수는 길이(L) 600mm, 폭(B) 300mm, 두께(t) 900mm의 長方型體로 하였으며, 좌표계는 용접선 방향을 x, 용접선 직각 방향을 y 및 판두께방향을 z로 하였다. 또한 試驗體의 上表面板幅中央에 용접을 수행하는 것으로 하였으며, 일반적으로 다층용접이 통상 행하여 지지만, 온도 勾配가 가장크게 변화하는 단층용접이 熱的으로 가장혹독한 조건을 갖이므로, 길이 5mm 폭 6mm의 단면형상을 갖인 용착금속을 단순화한 일층용접을 수행하였다. 더우기 용접조건은 입열량 16433 Joule/cm 에다 용접속도는 18 cm/sec 의 잠고(Submerged-Arc Welding)을 하였다. 해석결과를 고찰해보면, 용접금속에서는 시간이 경과하면 최고온도로 되어지는 위치가 용접終端근처에서 中央部 쪽으로 이동하여 가는것을 알수있다. 이러한은 厚板의 용접부 중앙근처가 제일 마지막으로 수축하는것을 나타낸다. 또한 橫斷面의 온도분포 특성을 고찰해 보면, x-y 橫斷面에 있어서의 等溫度曲線은 용접중단에서 부터 중앙부근처를 중심으로 하는 x 軸에 대칭한 타원형으로 되어있다. 또한, y-z 횡단면에 있어서는 등온도 곡선은 시험체 上表面으로 부터의 열전달의 영향은 적으나, 반면 시험체 내부로의 열전도 쪽이 지배적이므로 결과적으로 y-z면의 등온도곡선은 어떤 용접시간에 대한 어떠한 단면에 있어서도 同心圓으로 나타남을 알수있다.

이상과 같이 후판 용접부의 용접시의 온도 분포특성을 究明하였으며 아울러 후판 용접체에 있어서 이동하는 용접 열원주위의 3차원적 온도분포, 즉 용융지의 입체적 형상에서처럼 2차원적 해석으로 취급하기 곤란한 3차원 문제를 간단한 해석 Model에 의하여 精度 좋게 평가할수 있도록 하였다.