

후판 강구조물 용접이음부의 열분포 특성에 관한 연구

A Study on The Characteristics of Heat Distribution on The Steel Structure with Thick Plate

조선대학교 방한서
대학원 김종명

1. 서론

현재 산업구조물의 대형화 추세에 따라 용접에 사용되는 각종강판의 두께도 점점 후판화되어지고 있는 실정이다. 따라서 용접구조체의 강판이 두꺼우면 두꺼워질수록 용접이음부의 형상 즉 개선각이 커짐으로 인하여 다층다패스(multi-layer multi-pass)의 용접이 필연적으로 수행되어 지므로 대입열 효과로 인하여 용접이음부(HAZ 및 인접모재)에 고온의 입열이 가해지고 이로인해 용접잔류응력 생성 및 열화가 야기되므로 용접이음부 성능에 커다란 악영향을 미치게 됨에도 불구하고, 용접이음부 설계의 실험적 및 이론적인 규명이 일부분은 이루어져 있으나, (참고.1-6) 용접이음부의 형상을 최적화하는 연구는 아직 미흡한 상태여서 단지 KS나 JIS, KR, 로이드 등의 규격에 의존하고 있으므로 용접이음부의 강도를 정도 좋게 평가하여 용접이음부의 형상을 최적화 하고자 한다.

이에 본 연구에서는 용접이음부의 형상에 따른 열 및 용접잔류응력분포 및 그 크기를 각 형상별로 비교 해석하고 용접이음부의 특성을 파악하기 위한 전단계로 먼저 용접잔류응력에 영향을 미치는 용접열의 특성을 해석하기 위하여 해석용 컴퓨터 프로그램을 개발함과 더불어 이를 사용하여 범용적으로 가장 많이 사용되어지는 재질(연강)을 선택하여 두께별로 형상을 변화시켜 이음부의 형상변화에 따른 용접시의 열원분포를 해석하여 최적 용접이음부의 형상을 설계하기위한 근거를 제시하고자 한다.

2. 해석모델 및 유한요소식

1) 해석모델

해석model은 용접수축과 용접팽창을 무시할 정도의 원점이 구속된 무한평판을 고려해볼때, 용접길이가 길면 용접시단과 종단의 영향을 받지않는 영

역이 존재하므로 역학적으로 안정한 시편의 크기로 길이 L=700mm, 폭 B 400mm, 두께 t는 각각 10mm, 20mm, 30mm 로 선정하였다. (참고. 7-14)

또한, 각 두께별로 개선각을 실제작업조건을 고려한 최저치 40° 와 KS 및 JIS의 용접개선각 규정의 최대치 70° 로 변화시켜 판폭중앙에서 잠고용접 (Submerged Arc Welding)을 수행하였으며, 각 시편별 용접조건은 표.1에 나타내었다. 모재는 연강(SS41)을 사용하고, 용접봉은 ϕ 3.2mm 조선강재를 사용하였다. 용접봉의 화학조성은 표.2에 나타내었다.

해석은 본 연구에서 개발한 아이소파라메트릭요소를 도입한 유한요소 프로그램을 사용하여 요소 및 절점온도 뿐만아니라 임의의 점(요소의 길이, 넓이 및 두께내의 적분점)에서도 필요한 온도분포 특성을 알 수 있도록 하였으며, 또한 용접열원의 이동효과 및 재료의 비선형화 즉 재료정수의 온도의존성을 고려하였다.

표.1 용접조건

분 류		전류 (A)	전압 (V)	속도 (v) (cm/min)
두께	개선각			
10 mm	40°	460(A)	39(V)	50.82
	70°	460(A)	39(V)	45.72
20 mm	40°	490(A)	40(V)	45.72
	70°	490(A)	40(V)	43.14
30 mm	40°	500(A)	40(V)	43.14
	70°	500(A)	41(V)	43.14

표.2 용접봉의 화학조성

C	Mn	Si	P	S	Cu
0.12	1.96	0.03	0.017	0.014	0.19

2) 유한요소법의 정식화

2차원 비정상 열전도를 기술하는 지배방정식은 다음과 같다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q$$

고체의 열전도문제를 Galerkin법을 이용하여 유한요소법으로 정식화를 시도하였다.

열전도 방정식에 Galerkin법을 적용하면

$$\int_V [N]^T \left\{ \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right\} dV = 0$$

상기의 식을 Green-Gauss정리에 의해 식을 전개하고, Fourier법칙의 열경계조건을 대입하면 결과적으로 비정상 열전도 문제에 대한 유한요소식을 구할 수 있다.

$$[K]\{\theta\} + [C]\frac{\partial \theta}{\partial t} = \{F\}$$

여기서, [K],[C] 및 {F}는 각각 열전도 Matrix, 열용량 Matrix, 열유속 Vector이고 θ 는 절점온도 이다.

3. 해석결과 및 고찰

1) 이동열원 과 순간열원 해석결과의 비교·검토

본 논문은 용접시 후판 강구조물 용접이음부에 발생되어지는 열원분포의 특성을 파악하기위하여 비정상 열전도 문제의 정식화와 컴퓨터 프로그램을 개발하여 수치해석을 수행하였다. 또한 실제 용접열원은 열원이 이동하는 이동열원의 경우가 실제문제이므로 이동열원의 경우로 해석해 본결과 비정상 및 준정상영역이 존재함을 알수있었다. 즉 용접시단 및 종단부에서는 비정상영역으로 존재하며 그외의 전영역에서의 온도분포형태는 준정상영역을 나타내었다. 따라서 한단면에 대한 온도의 상승 및 냉각의 동일한 열이력을 경험하는 준정상영역의 존재는 바로 순간열원으로 치환할 수 있다. 이동열원에서의 한단면에 대한 열분포cycle은 그 단면의 순간열원의 열분포와 동일함을 보여주었다. 어떤 한단면을 잘라서 해석해 보면, 온도의 상승과 냉각과정에서의 온도분포가 순간열원으로 해석한 결과와 거의 일치함을 보였다. 그러므로 이후의 해석은 순간열원으로 해석하는것이 보다 합리적인 것이므로 순간열원으로 해석하였다. 용접열원 분포가 응력장에 미치는 영향에 대해서는 추후에 연구할 예정이다.

2) 두께 및 개선각의 변화에 따른 해석결과

① 두께 변화(10, 20, 30mm)

개선각이 일정하고 두께가 증가할수록, 40° 와 70° 의 경우 모두 용착금속부, HAZ 및 모재의 온도는 30mm>20mm>10mm의 순으로 높게 나타나지만, 두께에 따라 온도구배의 차는 거의 나타나지 않고, 단지 두께가 두꺼워질수록 냉각속도가 빠르게 나타남을 보여주었다.

② 개선각의 변화(40° ,70°)

두께가 일정하고 개선각을 변화시키면 HAZ 및 인접모재 온도의 크기는 개선각이 클수록 높게 나타나고, 냉각과정에서의 온도구배도 개선각이 클수록 크게 나타남을 보였다. 또한 전영역에 걸쳐 개선각이 클수록 용접 폭방향으로 온도를 받는 영역이 넓어지고, 용접 폭방향으로 한요소를 구성하는 두 절점의 온도차도 증가함을 보였다. 모재의 온도 상승과정과 냉각과정은 개선각의 변화에 상관없이 거의 일정한 온도이력을 갖는다. 또한, 개선각이 변화함에 따라 HAZ의 발생영역이 증가함을 보여주었다.

4.결론

- 1) 실제 용접열원인 이동열원을 순간열원으로 해석하여도 무방한 타당성을 제시하였고, 순간열원으로 해석하여 충분히 좋은결과에 도달하였다.
- 2) 개선각이 일정하고 두께가 두꺼워질수록 용착금속부, HAZ, 모재부의 냉각이 빠르게 진행됨을 알 수 있었고, 두께의 변화에 따른 온도구배의 차는 거의 발생되지 않았다
- 3) 두께가 일정하고, 개선각이 커짐에 따라 HAZ 및 인근모재에서 심한 온도구배가 발생하였고, HAZ의 발생역 또한 증가하였다.

[참고문헌]

- 1) Y.UEDA, K.NAKACHO, "Distributions of Welding Residual Stress in Various Welding Joints of Thick Plates", Trans. JWRI Vol. 15, No 1, 1986
- 2) Y.C.KIM,T.YAMAKITA,H.S.BANG, Y.UEDA: Mechanical characteristics of Repair Welding in thick plate, Trans.JWRI Vol.17,No.2,1988
- 3) Z.Daley, P.D.Hibbert: Computation of Temperature in actual weld design , Welding Journal, Vol.54, No.11(1975), pp.385-392
- 4) G.M.Dusinberre: Heat Transfer Calculations by Finite Differences, International Textbook Company, Scranton, Pa, 1961
- 5) K.J.Bathe: Finite element procedures in engineering analysis, Prentice-Hall
- 6) KS, JIS,KR,로이드 規格
- 7) 寺崎俊夫:“構造用材料の溶接残留應力・溶接變形におよぼす溶接諸條件の影響に関する研究”,昭和 51年 5月
- 8) 房漢瑞:“有限要素法에 의한 薄板溶接의 2次元非定常熱傳導解析”,大韓造船學會誌,第27卷 第4號(1990)
- 9) 袁敏剛:“板構造物に生じる溶接残留應力の固有歪特性に基づく推定法に関する研究”,1990年7月
- 10) Y.Fujita, T.Nomoto: 熱彈塑性 問題에 關한 研究, 일본 조선학회 논문집 제 130호 (1971)
- 11) 宮崎則幸,矢川元基, 有限要素法에 의한 熱應力·크립熱傳導解析, 사이언스社 (1985)
- 12) 房漢瑞 ; 厚板溶接部の 力學的 特性, 大韓溶接學會誌, 10-4(1992), 250-258
- 13) 渡邊: 一次元的 溫度分布 에 의한 矩形板의 熱應力 및 잔류應力에 관한연구, 日本造船學會 論文集 제86호 (1954)
- 14) 吉材洋: 有限要素法에 의한 移動熱源 周圍의 2次元 準정상溫度分布解析 日本西部 造船學會, 제16호(1981)