

SPC 용접부의 강도특성에 미치는 CO₂ 용접조건의 영향

송준희* · 최준용** · 임재규***

*전북대학교 공학연구원 자동차산학협력원, 성연산업(주)

**전북대학원 기계설계학과

***공학연구원 공업기술연구센터, 전북대학교 기계항공시스템공학부

Effect of CO₂ Welding Conditions on Property of Strength in Welded Joint of SPC Steel

Jun Hee Song*, Jun Yong Choi** and Jae Kyoo Lim***

*SUNG YOUN Ind.Co./Research Center of Industrial Technology, Automobile Research Institute,
Chonbuk Nat'l Univ., Jeonju 561-756, Korea

**Dept. of Mechanical Design, Chonbuk Nat'l Univ., Jeonju 561-756, Korea

***Research Center of Industrial Technology, Engineering Research Institute, Faculty of Mechanical
& Aerospace System Eng., Chonbuk Nat'l Univ., Jeonju 561-756, Korea

Abstract

It is necessary to investigate the welding performance and fracture resistance of welding part in structure. This study presented a most suitable condition of welding process for butt and lap joints by CO₂ arc welding which is widely used in the vehicle structure. Also it was conducted to tensile and fatigue test under various welding conditions. For butt and lap joints, the best conditions of welding voltage and current were 30V and 320A, respectively, in 3.2 and 4.5 mm thick steel plate. Under this condition it could be taken the highest tensile strength and fatigue strength, and a good bead appearance.

*Corresponding author : jklim@chonbuk.ac.kr

(Received October 25, 2005)

Key Words : CO₂ arc welding, tensile strength, fatigue strength

1. 서 론

오늘날 자동차, 토목·건축, 조선분야에서는 용접시공 방법의 개선에 의한 생산성 향상을 꾀하기 위하여 용접의 자동화가 강력히 추진되어왔다. 기존의 피복아크 용접법은 사용율이 떨어지고 가스 금속 아크용접인 CO₂ 가스 아크용접의 이용이 급속히 증대되어 있는 실정이다. 이러한 CO₂ 가스 아크용접에서는 용접외관을 양호하게 하고 스패터링을 줄이려는 요구가 크게 늘고 있지만 현재까지 연구는 주로 이음성능에 대한 야금학적 연구가 많다. 최근 용접 구조물의 신뢰성 확보라는 차원에서 관심이 집중되고 있는 피로강도에 대해서는 상대적으로 연구가 미비하다.

CO₂ 가스 아크용접법은 다른 용접법에 비해 전자세

용접이 가능하고 용접능률의 우수성, 생산적인 측면의 뛰어난 경제성으로 인해 중공업 분야에서 적용범위가 날로 증가하는 추세이다. 용접전류와 전압, 용접속도, 와이어 공급속도, 워빙 속도 등은 실제 용접시 결함 발생과 밀접한 관련이 있으며 이러한 결함들은 구조물의 강도에 직접적인 영향을 끼친다.

자동차 제조사에서 새로운 차량을 개발하여 고객에게 제공하면, 보통은 여러 가지 조건의 도로에서 수년에서 수십년 동안 사용되어 주행거리가 수십만 km에 달한다. 자동차 현대의 조립에 수많은 용접이 이루어지는데 차체에서 발생하는 내구력상의 문제점 중 대부분이 바로 이 용접부 주위에서 발생한다. 따라서 상용차의 다양한 모델 변화에 의해 여러 가지 용접 이음형태를 가지는 차체부품이 요구됨으로 생산성 향상을 위해 용접재의 두께별, 형태별 용접조건의 최적화가 시급하다¹⁻²⁾.

본 연구에서는 다양한 두께의 강재를 이용하여 맞대기 이음, 겹치기 이음에서 현장에서의 생산성 향상을 위해 184cm/min 용접속도에서의 최적의 용접전압, 전류조건을 찾고자 한다. 또한 차체구조에서 많이 사용되는 요소들을 대상으로 CO₂ 가스 아크용접부가 가질 수 있는 최적의 용접조건을 제시하고 인장강도 및 피로강도의 특성들을 다양한 용접조건별로 비교 평가하고자 한다³⁾.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 시험편 제작

일반 냉연철판인 SPC를 용접모재로 하여 자동 CO₂ 가스 아크용접기를 사용하여 각 조건별로 시험편을 제작하였다. 용접은 시험편 채취가 용이하도록 150×350mm의 판상에 용접한 후 맞대기 용접(butt welding) 시험편은 ISO4136, 겹치기 용접(lap welding) 시험편은 ISO9018에 의거하여 가공하였다. 용접조건으로는 용접속도는 일반적으로 사용되는 136 cm/min보다 생산속도 향상을 위해 160, 184 cm/min로 예비 실험 후 두 조건의 강도조건이 비슷하여 184 cm/min로 일정하게 하고 용접전압과 용접전류를 변화시켰다. 두께에 대한 영향을 조사하기 위하여 시험편의 두께는 3.2 mm와 4.5 mm로 하였다. 또한 간극에 대한 용접강도의 영향을 알아보기 위하여 모재의 간극을 조절하였다. 이종 두께의 용접강도를 비교하기 위하여 각 두께에 대한 최적 용접조건으로 두께별 2.3/3.2, 2.3/4.5, 3.2/4.5 mm 시험편을 제작하였다. 맞대기 용접재와 겹치기 용접재는 인장특성을 조사하였고, 반복하중을 받는 구조재로 많이 사용되고 있는 겹치기 용접재는 피로시험을 병행하였다.

2.2 시험 장치

각 조건별 인장특성을 조사하기 위하여 만능시험기 (Instron 4206)를 사용하였다. 시험기의 용량은 7.5 ton이고 crosshead speed는 2 mm/min였다. 피로시험은 피로시험기(Instron 8516)를 사용하여 그 특성을 조사하였다. 평균 주파수는 10Hz이고, 응력비 R=0인 haversine파형을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

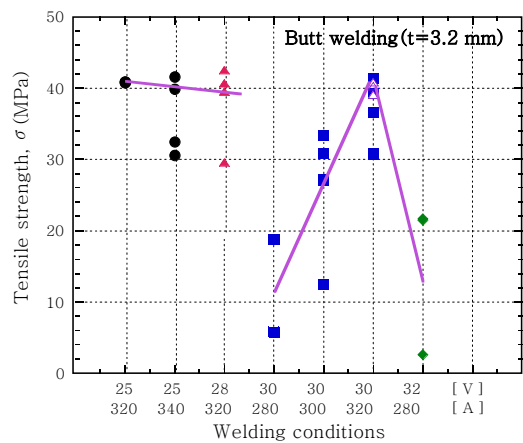
3.1 인장강도

3.1.1 맞대기 용접

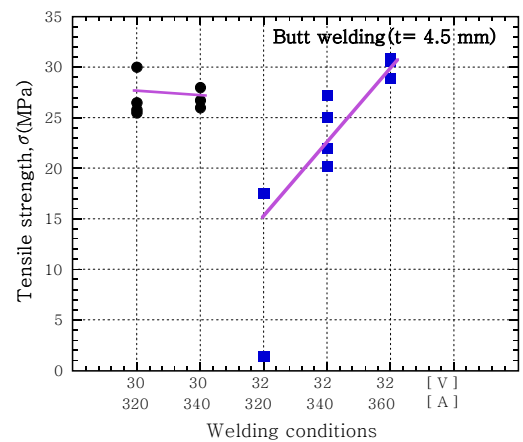
모재 금속의 두께가 3.2 mm인 맞대기 용접재의 인

장시험 결과를 Fig. 1(a)에 나타냈다. 전압과 전류를 달리 했을 때 인장강도의 분포를 나타낸 것이다. 전압이 증가함에 따른 인장강도의 변화는 거의 없었다. 시험편 용접조건 내에서 전류가 증가하면 인장강도가 높아지고 있다. 그러나 전압과 전류의 인자를 동시에 조절하면, 유사한 입열량에서도 강도가 다르며 어느 용접수준을 넘으면 인장강도가 변화되지 않음을 확인하였다. 더구나 본 연구에서 제작된 전압/전류 조건 이상과 이하에서는 용접이 되지 않았다. 25V/320A, 25V/340A, 28V/320A, 30V/320A의 조건들은 인장강도가 약 40 MPa로 유사하였다. 따라서 3.2 mm의 두께를 갖는 강판의 맞대기 용접에서는 25V/320A의 조건이 가장 좋다고 판단된다. 또한 용접속도를 기존의 136 cm/min보다 빠른 184 cm/min에서 제작하여 생산속도의 증진에 기여할 수 있다.

강판의 두께가 4.5 mm인 맞대기 용접재의 인장강도 분포를 Fig. 1(b)에 나타냈다. 두께 3.2 mm 재료에 비해 상대적으로 입열량이 더 증가되어야 하며, 용접조건의 강도에 미치는 영향은 Fig. 1(a)에서 보인 결과



(a) t=3.2 mm



(b) t=4.5 mm

Fig. 1 Tensile strength distribution with welding conditions in butting welding

와 유사하였다. 30V/320A, 30V/340A, 32V/360A의 조건들에서 약 30 MPa로 비슷한 인장강도 수준을 보였다. 따라서 본 조건들에서는 30V/320A의 용접조건이 인장특성 측면에서 가장 적합하다고 보여진다.

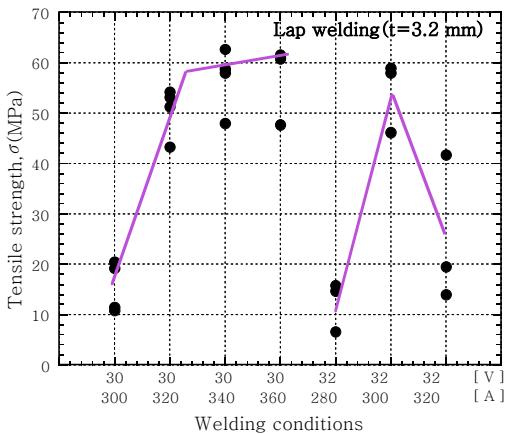
3.1.2 겹치기 용접

Fig. 2(a)는 겹치기 용접의 형태로 용접조건에 따른 인장강도의 분포를 두께 3.2 mm 강판에 대해 나타낸 것이다. 용접전압의 증가에 따라 인장강도는 차이가 없지만 용접전류의 증가에 따라서는 인장강도의 변화가 나타났다. 전류가 증가하면 인장강도는 큰 폭으로 증가하다가 320A 이상에서는 급락하였다. 또한 32V/320A의 조건에서는 오히려 강도가 감소하는 경향을 나타내어 입열량의 증가가 강도의 증가로 나타나지 않았다. 따라서 두께 3.2 mm 강판에서는 비드모양도 가장 양호한 30V/320A의 용접조건이 인장강도의 측면에서 가장 적합하다고 여겨진다.

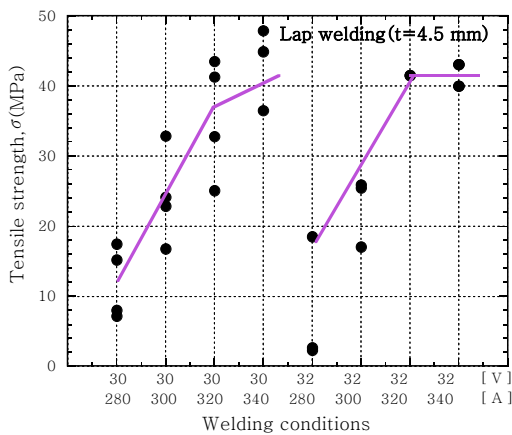
Fig. 2(b)는 겹치기 용접으로 용접조건에 따른 인장강도의 분포를 두께 4.5 mm 강판에 대해 나타낸 것이

다. Fig. 2(a)에서처럼 용접전압의 증가에 따라 인장강도는 차이가 없지만 용접전류의 증가에 따라서는 인장강도의 변화가 나타났다. 용접전압이 30V와 32V에서 유사한 강도분포를 나타내었고 용접전류가 증가하면 인장강도가 증가하다가 320A 이상에서는 변화를 나타내지 않았다. 따라서 용접조건이 30V/320A, 30V/340A, 32V/320A, 32V/340A의 조건에서 인장강도가 약 42 MPa로 비슷하며 이 중에서 32V/320A의 조건이 강도 분산이 없고 파괴형태도 우수하여 가장 적합한 용접조건이라고 판단되었다.

Fig. 3은 30V/320A 용접조건으로 겹치기 간극에 대한 인장강도의 영향을 도시한 것이다. 용접간극이 0, 0.5, 1 mm로 증가함에 따라 인장강도는 현저히 낮아지고 있다. 이것은 간극이 증가함에 따라 용접할 면적이 증가되어 용접비드의 형성도 증가되어야 하는데 동일 용접조건으로 용접될 경우 부하를 견디는 힘이 부족하기 때문이라고 생각된다. 또한 겹치기 형상으로 인해 인장시 모멘트가 발생하는데 간극이 증가하면 모멘트 역시 증가되어 간극이 없는 경우보다 있는 경우에서 과

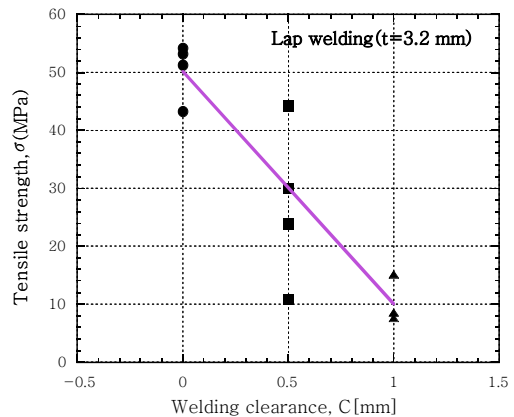


(a) t=3.2 mm

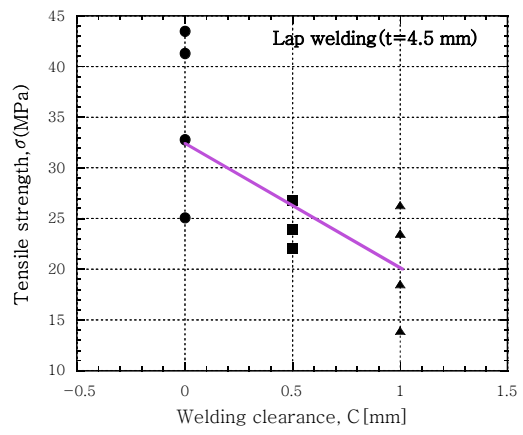


(b) t=4.5 mm

Fig. 2 Tensile strength distribution with welding conditions in lap welding



(a) t=3.2 mm



(b) t=4.5 mm

Fig. 3 Tensile strength distribution with welding clearance in lap welding

대한 응력이 집중되어 인장강도가 낮아졌다고 여겨진다.

Fig. 4는 모재의 두께에 대한 영향을 알아보기 위하여 다른 두께 하에서 제작된 용접재의 인장강도 경향을 나타내었다. 그림에서 원모양은 두께 2.3 mm, 네모모양은 두께 3.2 mm, 세모모양은 두께 4.5 mm 강판에 용접한 것이다. 두께 2.3 mm와 4.5 mm 강판에서는 상대 모재의 두께가 달라져도 강도에는 큰 차이가 없지만 두께 3.2 mm인 경우는 차이가 발생하여 용접할 상대 모재의 두께가 달라지면 인장강도에 변화가 생긴다는 사실을 보이고 있다. 이와 같은 결과를 두께별로 재 정리한 것이 Fig. 5이다. 동일조건으로 동일한 두께면에 용접을 할지라도 인장강도에는 변화가 있음을 나타낸다. 용접부위가 두께 2.3 mm의 경우에 동일한 두께 2.3mm 강판에 용접을 하면 강도가 약 35 MPa이지만 두께 3.2 mm로 증가하면 강도가 증가하고 두께 4.5 mm에서는 약간 감소하였다. 용접부위가 두께 3.2 mm의 경우에 두께가 2.3, 3.2, 4.5 mm로 증가함에 따라 인

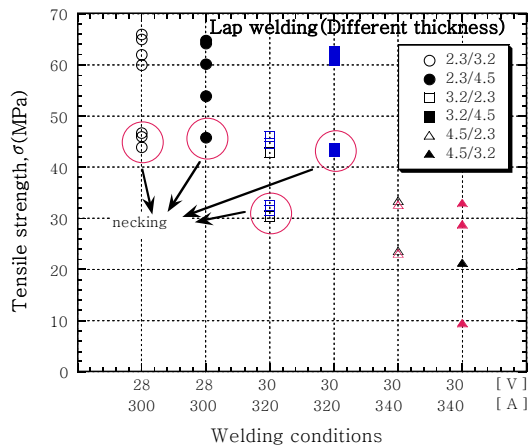


Fig. 4 Tensile strength distribution with lap welding conditions for different thickness

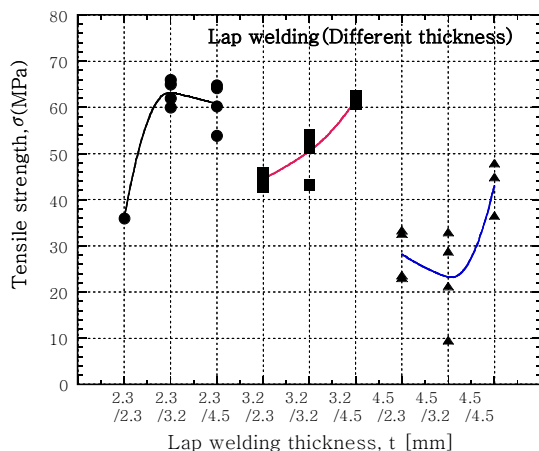


Fig. 5 Tensile strength distribution with lap welding thickness

장강도는 증가하였다. 용접부위가 두께 4.5 mm인 경우 두께 2.3 mm와 3.2 mm는 유사하지만 두께 4.5 mm에서는 강도가 증가하였다. 즉, 용접모재의 두께보다 작은 두께의 강판을 용접하면 인장강도가 낮지만 큰 두께에 대해 용접을 할 경우 인장강도가 증가됨을 시사하고 있다. 이중두께의 구조물에서는 두께가 작은 쪽의 면에 용접하는 것이 훨씬 유리함을 알 수 있다.

3.2 피로강도

본 절에서는 인장시험을 토대로 하여 인장강도가 우수한 조건들을 선택하여 피로시험편을 제작하고 피로시험을 행한 결과들이다. 시험편 형상은 겹치기 용접재를 대상으로 하였고 용접조건에 따른 피로거동을 비교하기 위하여 몇가지 용접조건들을 대상으로 하고 있다.

Fig. 6(a)는 두께 3.2 mm에 대한 피로시험의 결과이다. 대표적인 용접조건들인 전압과 전류가 그림에서 제시되어 있다. 그림에서 피로강도를 살펴보면 30V/320A와 30V/340A가 약 20 MPa로 비슷하게 가장 높았고, 30V/300A가 약 9 MPa, 32V/280A가 약 8 MPa이었다. 피로강도가 높았던 30V/320A와 30V/340A의 조건은 인장강도에서도 우수한 특성을 나타낸 것이어서 기계적 특성이 가장 우수한 조건임을 알 수 있었다.

Fig. 6(b)는 두께 4.5 mm에 대한 피로시험의 분포를 보이고 있다. 32V/320A가 약 16 MPa로서 피로강도가 가장 높았고, 30V/340A가 약 13 MPa, 30V/300A가 약 12 MPa, 30V/280A가 약 7 MPa로 낮아졌다. 대체적으로 두께 3.2 mm의 조건보다 두께 4.5 mm의 조건에서 피로강도가 낮게 분포하였고 이러한 경향은 인장강도 분포에서도 동일한 결과이다. 32V/320A의 조건이 우수한 피로강도를 나타내었고, 인장강도의 분포에서도 가장 좋은 결과를 나타내어 기계적 특성이 가장 우수한 조건이라고 판단된다.

3.3 용접부 관찰

Fig. 7은 본 연구에서 수행한 용접조건들에 따라 가장 우수한 기계적 특성을 나타낸 조건들의 용접부를 확대하여 나타낸 그림이다. 보이는 바와 같이 비드폭이 적절하고 균일함을 확인할 수 있으며 용접상태가 양호함을 볼 수 있다. 인장, 피로 강도 값이 낮게 측정된 조건들은 상대적으로 비드폭이 좁거나 넓고, 불균일하였고 겹치기 용접(두께=4.5 mm/30V/280A), 맞대기 용접(두께=3.2 mm/30V/280A), (두께=3.2 mm/32V/280A) 경우에는 상대적으로 용접성이 낮음을

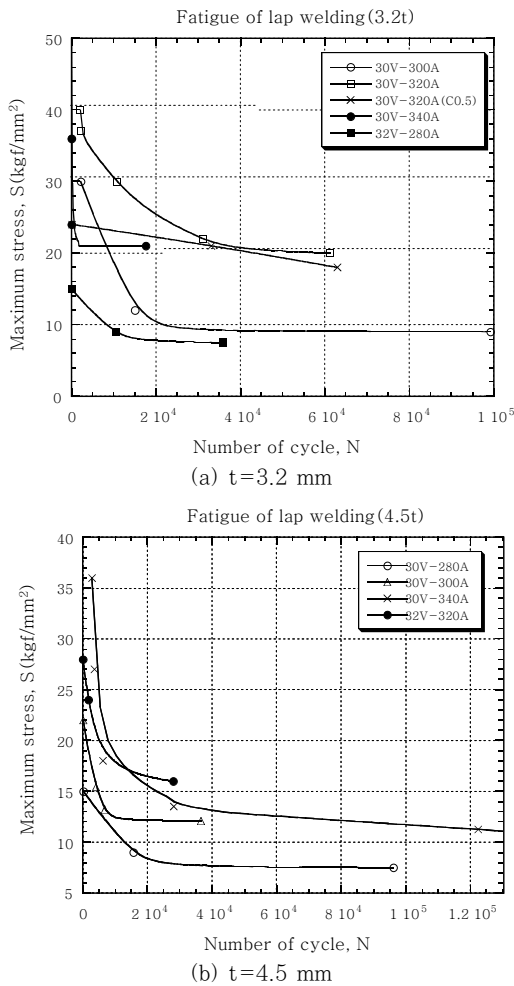


Fig. 6 Stress(S) and cycle(N) curves for fatigue test in lap welding

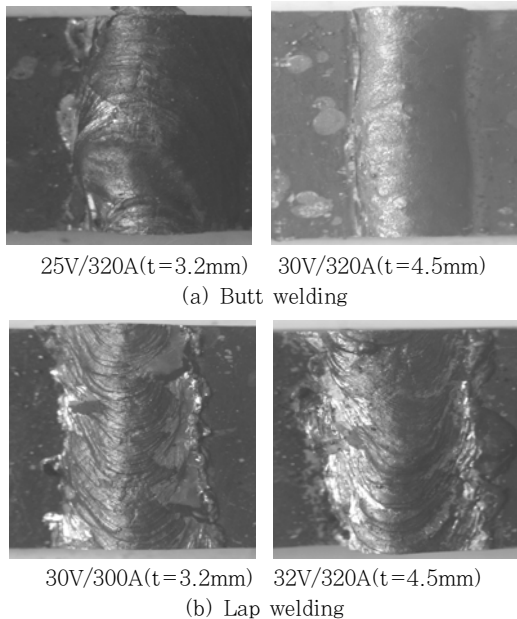


Fig. 7 Photographs of welded specimens with various welding conditions

확인할 수 있었다. 이는 비드의 폭과 균일성이 강도 값과 밀접한 영향을 가짐을 나타낸다.

4. 결 론

CO₂ 가스 아크용접에서 최적 용접조건을 구하기 위한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 맞대기 용접형태에서 두께 3.2 mm 용접재는 25V/320A의 조건이 인장강도 측면에서 가장 적합하였으나 비드폭이 넓어 25V/340A가 최적조건으로 결정되었다. 두께 4.5 mm에서는 인장강도와 비드형성 측면 모두 30V/320A 조건이 가장 우수하였다.

(2) 겹치기 용접형태에서 두께 3.2 mm 용접재는 30V/320A가 인장강도 측면에서 적합하나 비드 형성이 많아지고, 유사한 강도치를 갖는 32V/300A는 비드 폭이 작아 31V/310A가 가장 적합할 것으로 판단된다. 두께 4.5 mm에서는 32V/320A가 인장강도와 비드 폭이 적절하여 최적조건이라고 생각된다.

(3) 겹치기 용접의 경우 간극이 0, 0.5, 1 mm로 증가함에 따라 동일한 용접조건에서는 인장강도가 현저히 낮아져 간극에 따라 전압/전류의 용접조건이 증가되어야함을 시사하였다. 따라서 간극이 없는 형상이 되도록 가압한 상태에서 용접하는 방법이 좋다고 여겨진다.

(4) 모재의 이종 두께에 따른 용접재의 인장강도 평가에서는 두께가 작은 쪽의 면에 용접하는 방법이 훨씬 유리함을 알 수 있었다.

(5) 겹치기 용접에 대한 피로시험에서 두께 3.2 mm 용접재는 30V/320A와 30V/340A의 조건이 인장강도와 더불어 피로강도에서도 우수한 특성을 나타내어 기계적 특성이 가장 우수한 조건임을 알 수 있었다. 또한 두께 4.5 mm 용접재는 32V/320A의 조건이 우수한 피로강도를 나타내었고, 인장강도의 분포에서도 가장 좋은 결과를 나타내어 기계적 특성이 가장 우수한 조건이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. M. T. Shin, J. H. Kim : A Study on the Optimum Welding Conditions of Thick Plate by SEG Arc Welding Process, Journal of KWS, 1-1(1983), 13-20 (in Korean)
2. J. K. Lim, K. H. Chung, J. H. Kuk : A Study on the Welding Conditions of Weldability of Seam Wlding for Galvanized Steel Sheets of Automotive, Journal of KWS, 19-1 (2001), 27-32 (in Korean)
3. D. S. UM, S. W. Kang, H. J. Kim : A Study on the Fatigue Crack Growth of Mild Steel Weldments Using Flux Cored Wire CO₂ Welding, Journal of KWS, 7-1 (1989), 42-50 (in Korean)