

6mm^t조선용 Primer코팅강판의 CO₂레이저 용접성 (Ⅲ)

- X-선 투과영상시스템에 의한 결합형성거동의 리얼타임관찰 -

The Weldability of 6mm^t Primer-coated Steel for Shipbuilding Using CO₂ Laser (Ⅲ)

- Real-time X-ray Imaging Observation of Defect Formation of Laser Welding -

김 종도* · 박 현준** · 이 종봉*** · 김 영식****

* 한국해양대학교 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 대학원

*** POSCO 기술연구소

**** 한국해양대학교 기계소재공학부

1. 서 론

키홀 용접현상에 관한 연구는, 키홀 현상이 용융금속내부에서 아주 빠른 속도로 과도적으로 이루어지기 때문에 그 계측과 해석이 곤란하여 수많은 가정이나 가설 하에서 용입형상과 키홀의 거동에 관한 해석이 국한된 영역에서 이루어지고 있는 것이 현실이다. 따라서 기공 등의 용접결합형성메커니즘에 대해서는 불명한 점이 많으며, 특히 primer코팅강판에 대해서는 결론적인 보고가 있는데 지나지 않는다.

그러므로 이 실험에서는 여러 용접조건에서 재료내부에 형성되는 키홀의 거동을 X-선 투과영상시스템을 이용하여 직접 관찰하고 기공의 형성메커니즘에 대한 명확한 규명을 꾀하고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

Fig. 1은 He 실드가스 분위기 속에서 primer코팅 강판의 Butt 및 Lap welding시의 용접개념도를 나타낸다. 시험편의 폭은 X-선의 투과량을 고려하여 3mm로 하고 X-선 초점은 50 μ m 또는 250

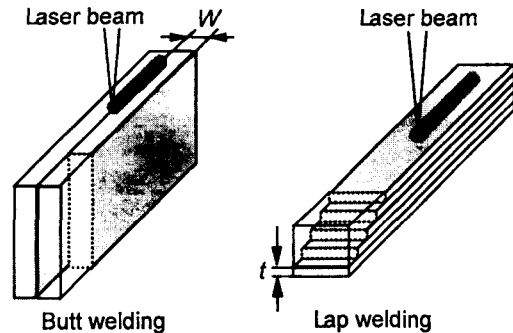


Fig. 1 Schematics of butt and lap welding

μ m를 사용하였다. Fig. 2는 X-선 투과영상시스템의 모식도를 나타내었다. 이 계측시스템은 X-선관, 이미지 증폭기(II ; Image Intensifier), 영상처리장치, CCD와 비디오 고속도 카메라 시스템 및 시험편의 이동테이블 부분으로 구성되어 있으며, X-선 방호막으로 실드되어 있다.

본 실험에 사용된 레이저 장치는 최대출력 50kW의 3축 직교형 CO₂ 레이저로서, 레이저빔의 모드는 링 모드이며 초점거리(f)는 381mm이다.

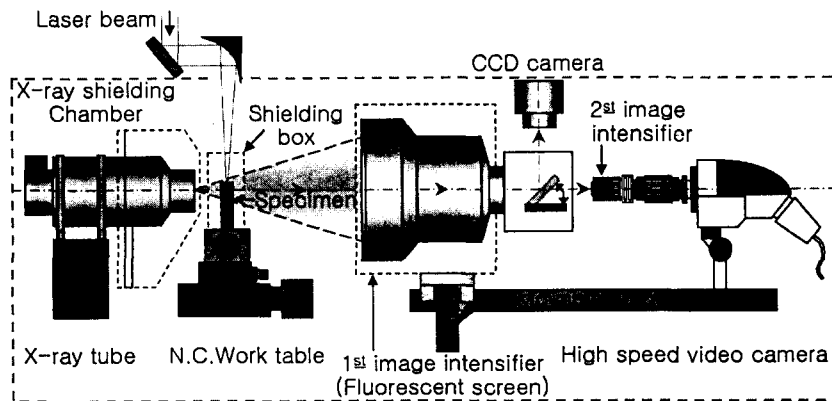


Fig. 2 Schematic arrangement of X-ray transmission imaging system for observation of keyhole and porosity in laser welding

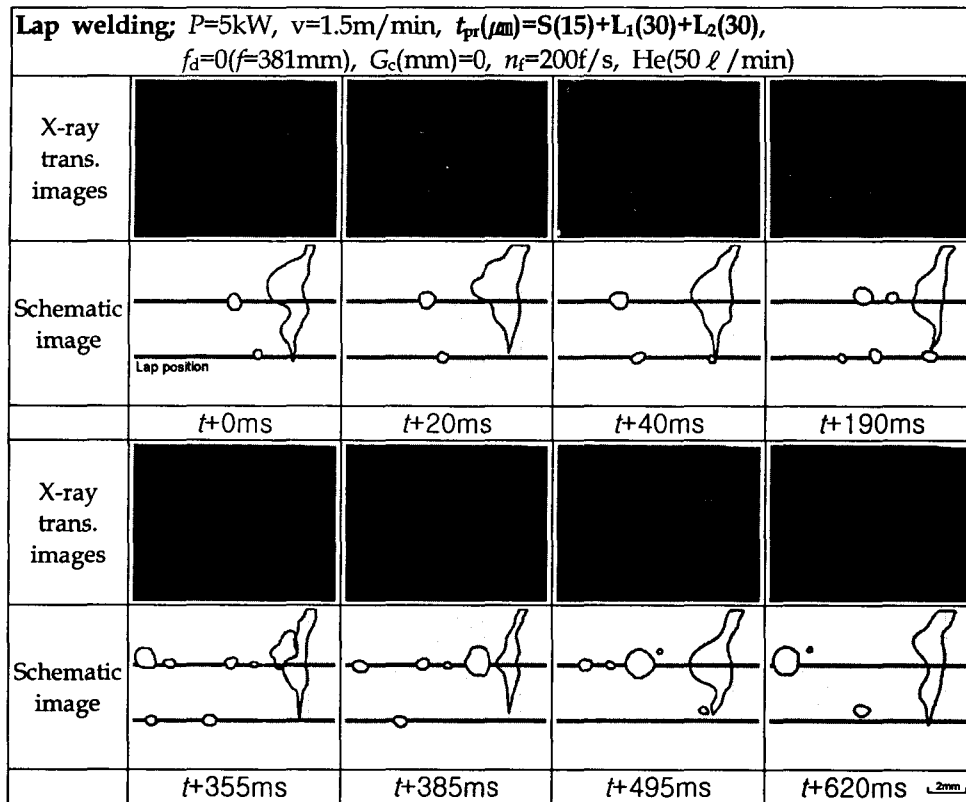


Fig. 3 X-ray transmission images of kyehole and bubbles or porosity during CW CO₂ laser lap welding of primer-coated steel

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Lap welding

Primer코팅강판의 Lap welding시 키홀과 기공의 동적 거동을 X-선 투과영상시스템을 이용하여 가시화 하였다. Fig. 3은 primer코팅강판의 레이저 용접 전반에 걸쳐 진행하고 있는 키홀의 거동과 기공의 형성에 관한 동영상 이미지를 보이고 있다. 표면의 primer코팅두께는 15 μm 이며 겹쳐지는 Lap부위는 30 μm 이다. 키홀의 X-선 투과 이미지의 정지화상은 다소 선명하지 못하므로 개략도로서 Lap상태 및 키홀의 동적 거동에 대한 가시효과를 높였다.

재료내부에 형성되는 키홀은 시간의 경과와 더불어 매우 불규칙적인 거동을 보이고 있으며, primer의 급속한 증발로 키홀 전체가 부풀린 상태로 형성되어 있다. 키홀 내의 증발된 합금원소 및 primer의 영향으로 부풀린 부분이 위·아래로 움직이는 가운데 Lap부분으로부터 높은 압력의 증발현상이 가세하게 되면 키홀의 가운데 부분은 더욱 팽창하여 그 일부가 키홀로부터 떨어져 나가 기공으로 잔존하게 된다. 또한 키홀 하부에 접하는 Lap부위로부터도 기공이 다수 발생하고 있다.

이와 같은 primer코팅강판의 Lap welding시 기

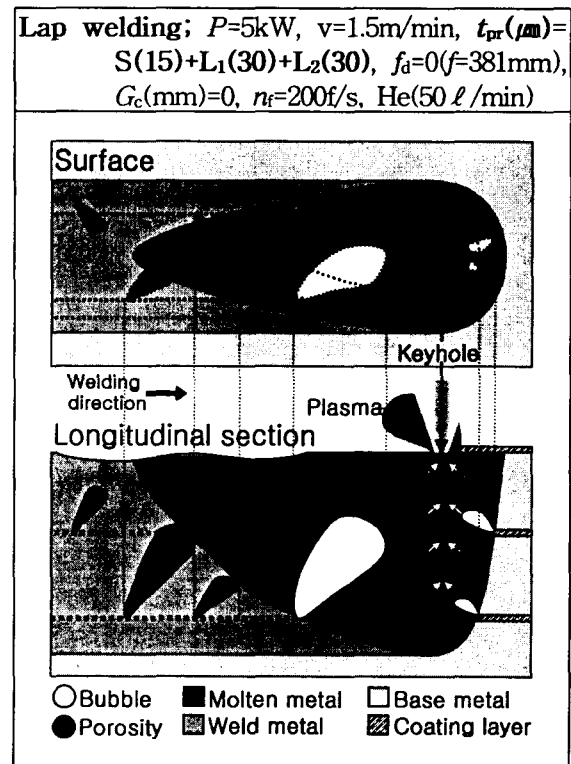


Fig. 4 Porosity formation mechanism in lap welding of primer-coated steel in lap welding

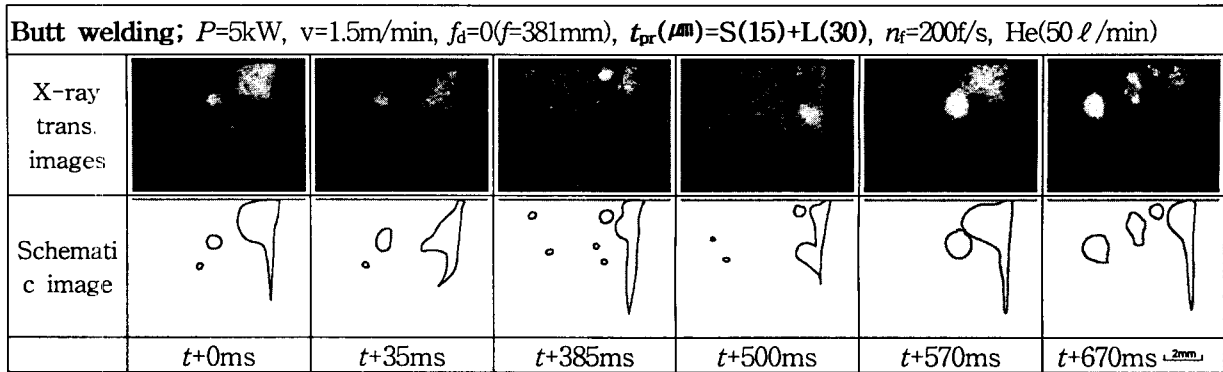


Fig. 5 X-ray transmission images of keyhole and bubbles or porosity during CW CO₂ laser butt welding of primer-coated steel

공이 형성되는 메커니즘을 Fig. 4에 개략도로 도시하였다. 그림의 하부는 키홀용접이 이루어지는 시험편의 측면에서 본 것이며, 상부그림은 하부그림의 평면도에 해당하는 것으로 기공의 형성메커니즘을 입체적으로 표현하고자 하였다. 즉 키홀이 재료내부에 형성되어 진행하게 되면 용접진행방향의 앞부분에 위치한 Lap부위로부터 증발한 primer가 키홀에 함입되면서 키홀을 통하여 소실되기도 하며, 소실되는 가운데 키홀을 부풀리게 하여 불완전 동적 거동을 가속화시키게 된다. 또한 빔 열원이 지나간 후에도 재료 속의 잔류열만으로도 primer는 증발을 계속 하여 기공의 성장을 촉진시키게 된다. 이때 기공의 성장방향은 상대적으로 성장하기 쉬운 고온영역의 빔축을 향하여 팽창하게 되는 것이다.

3.2 Butt welding

Butt welding은 Lap welding의 경우와는 달리 primer의 코팅면이 조사되는 빔축에 나란히 위치하고 있으므로 해서 primer의 증발에 의한 기공의 형성메커니즘은 근본적으로 달리 생각하여야 된다. 즉, Lap welding의 경우 primer에 의한 기공의 발생원은 용융 단면 중 Lap부위에 국한되지만, Butt welding의 경우 레이저빔이 조사되는 맞대기 코팅면 전체가 기공 발생개소가 되는 것이다.

Fig. 5는 primer코팅강판의 Butt welding시의 키홀의 동적 거동과 기공의 형성 거동을 나타내는 가시화 이미지이다. 시간적으로 매우 불안정한 거동을 보이고 있는 키홀에 의해 기공은 키홀 상부로부터, 또는 하부 및 중앙부로부터 형성되는 형상을 모두 관찰할 수 있다. 고려될 수 있는 다양한 기공의 발생메커니즘을 구체적으로 분석해 본 결과 세 가지로 요약할 수 있었다. 첫째는 키홀 전면으로부터 공급된 증발압력에 의해 국부적으로 팽창되어 있는 부위가 키홀을 따라 위로 상승하여 표면으로 소실되지 못하고 표면에서 트랩

되어 기공으로 남는 경우이고, 둘째는 키홀 하부로부터 기공이 형성되는 경우이며, 세째는 키홀 전체가 부풀려진 팽창상태에서 가운데의 일부가 떨어져 나와 기공이 형성되는 경우이다.

이러한 Butt welding시의 기공형성 메커니즘을 스케치하여 Fig. 6에 나타낸다. 즉, Butt welding의 경우 맞대기 면 전체에 primer가 코팅되어 있어서 키홀의 면적은 상대적으로 넓게 형성되며, 그림의 화살표로 도시하듯이 용접진행방향의 전면으로부터 다량의 증발 증기가 키홀에 공급되게 된다. 또한 레이저 빔은 이동열원이기 때문에 용접진행방향에 대해서 용융경계면은 약간의 경사면을 갖게 되어 빔에너지는 키홀을 통하여 경사면의 허리부분에서 집중적으로 흡수되게 된다. 이러한 국부적인 에너지 흡수메커니즘에 의하여 키홀의 중간부위는 다른 위치보다 쉽게 부풀려 팽창하게 되고 이 팽창부위가 에너지 커플링의 변화에 의해 키홀이 상하로 움직이면서 시험편의 표면, 중간 또는 하부에 기공을 발생시키는 원인을 제공하는 것으로 판단된다.

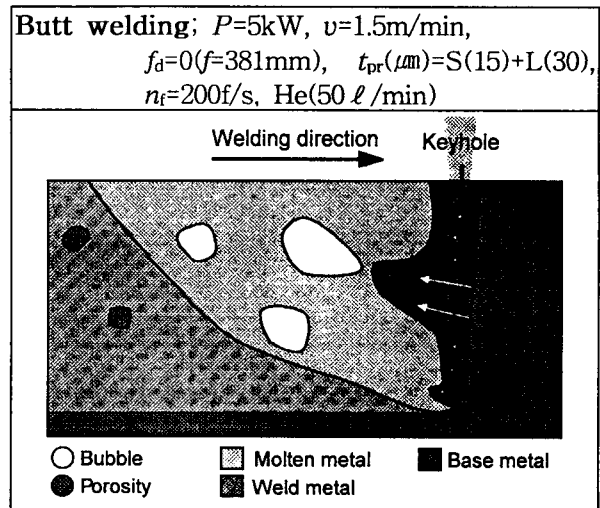


Fig. 6 Porosity formation mechanism of zinc coated steel in butt welding