

필렛용접에서의 결함발생 원인 분석 및 저감 방안

배상득^{†*}, 최기영*, 김영필*, 김경주*, 김대순*

현대중공업 산업기술연구소 용접연구실*

An Analysis of the Cause of Porosity Generation and Reduction Plan in Fillet Welding

S.D. Bae^{†*}, K.Y. Choi*, Y.P. Kim*, K.J. Kim* and D.S. Kim*

Hyundai Industrial Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.*

Abstract

Generally, porosity which was formed by pyrolysis of the primer is usually generated in the weld metal in respect of increase of the welding speed. In order to analyze the cause of porosity generation, this study was performed using FCAW(flux cored arc welding) process for three kinds of inorganic.zinc primer. In addition the evaluation by influence of welding method on porosity generation is conducted to compare between FCAW and MAG(metal active gas) welding with the same inorganic zinc primer. As the result of this investigation, not only primer of lower organic binder and zinc but also FCAW process than MAG in fillet welding have been verified the excellent resistance to the porosity generation for horizontal fillet welding.

※Keywords: Porosity generation(기공 발생), Flux cored arc welding(플럭스 코어드 아크 용접), Metal active gas welding(매그 용접), Inorganic zinc primer(무기 아연 프라이머), Horizontal fillet welding(수평 필렛 용접)

1. 서 언

선박의 건조에서 약 80%를 차지하는 필렛용접은 가스 쉴드 아크 용접에 의한 반자동 장비를 이용하는 트윈 탄뎀(Twin Tandem) 용접기법과 1전극 간이 자동화 장비를 이용하는 기법이 이용되고 있다. 비교적 설비가 간편하고

조작이 쉬운 1 전극 간이 자동화 장비를 이용하는 용접 방법에는 FCAW 와 슬리드 와이어를 사용하는 매그 용접(MAG)이 있다.

앞서 언급된 바와 같이, 필렛용접에서는 경쟁력 확보 차원에서 고속화가 요구되고 있으며, 용도에 따라 사용되는 용접기법은 달라지며 속도는 용접기법 마다 큰 차이가 있다. 예를 들면, 설계 각장 4.5mm 의 필렛용접에서 1 전극 간이

[†]교신저자: sdbae999@hhi.co.kr, 052-230-5509

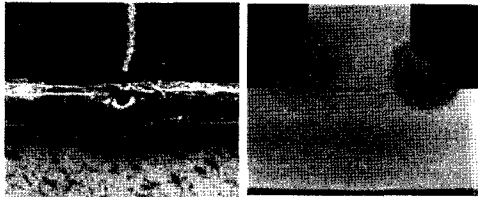


Fig. 1 Shape of blow hole and macro-structure on fillet weldment

자동화 용접의 경우 450~ 600mm/min.가 이용되고 있다.

만약 필렛용접을 플렉스 코어드 와이어를 이용하여 1전극으로 용접할 경우, 용접속도가 700mm/min. 이상에서는 비드형상 불량(언더컷, 요철비드)과 프라이머에 의한 피트, 기공 및 원출 등이 발생하는 문제점이 대두된다.

언더컷, 요철비드 및 부등각장 같은 결함은 용접장비 또는 작업자의 숙련도 부족 등에서 오는 문제이지만, 기공과 같은 결함은 주로 아크열에 의해 프라이머가 연소되면서 발생하는 가스가 응고과정에 있는 용융지를 통과할 때 형성된다.

따라서, 조선분야의 필렛용접에서 프라이머와 용접기법 차이에 의해 발생하는 결함의 원인들 중 프라이머에 의한 기공 결함을 평가하여 감소시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 사용 프라이머

시험에 사용한 프라이머는 동일 회사 제품 3종류이며 각각의 특성은 Table 1에 나타난 바와 같이, 물성과 부착성에 관여하는 바인더와 색상과 방청성을 좌우하는 안료의 함량 차이를 보여주고 있다.

유기 바인더는 Vinyl과 Cellulose계통의 C-H-O의 화합물로서 열이 가해지면 쉽게 가스화 되는 특성을 지니고 있어, 줄이면 줄일수록 용접성은 좋아지지만 도장성이 떨어지게 되는 성분이다.

특히, Zinc는 원자번호가 철과 비슷하지만, 녹는점이 419.5℃ 이고 끓는점이 906℃로서

Table 1 Kinds and contents of shop primer

구분		도막 구성 성분 (도막중 부피%)		
		PA	PB	PC
바인더	무기	13	18	18
	유기	5	4	3
	소 계	18	22	21
안료	무기	18	33	36
	Zinc	63	44	42
	소 계	81	77	78
첨가제		1	1	1
Total		100	100	100
건조 도막중 Zinc 함량 (무게%)		85%	69%	67%

아주 낮다. 따라서, 필렛 용접부의 루트갭 사이의 영역 중에서 용착금속 가까이에는 906℃ 이상이 되는 영역이 존재하고 그 영역에 존재하는 Zinc는 기체화되기 때문에 Zinc도 결함 발생에 악영향을 미치는 성분으로서 가능한 줄여야 될 성분이지만, 줄이게 되면 방청성이 저하되기 때문에 지나치게 줄일 수는 없고, 방청성을 확보할 수 있는 범위에서 최적화를 시켜야 될 성분이다.

Zinc를 줄이기 위해서는 무기 안료를 많이 첨가해야 하는데, 무기 안료는 금속의 산화물 형태가 대부분인데, 지나치게 많아지면 방청성뿐만이 아니고 도막의 경도 등 물성이 나빠져서 프라이머가 도장된 강재의 가공성 등을 저하시킬 수 있다.

2.2 프라이머 종류에 따른 결함 평가

1) 프라이머 도장 및 취부

사용된 시편은 20mm 두께의 수평판과 12mm 두께의 수직판을 길이 1,000mm가 되도록 하여 조건별 각각 2세트씩 준비하였다. 시편 도장 및 취부 과정은 Fig. 2에서와 같이 판재를 화염 절단한 후, 취부시에 루트 갭이 발생하지 않도록 하기 위하여 수직판재의 밀면을 밀링 가공하여

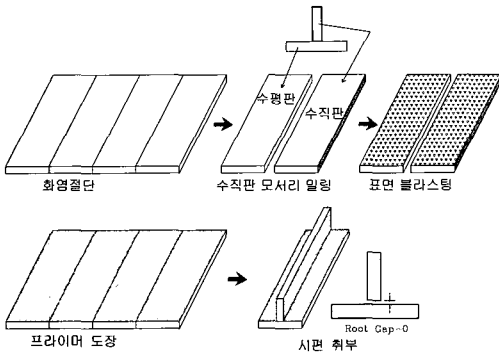


Fig. 2 Sequence of primed specimen and fit-up condition

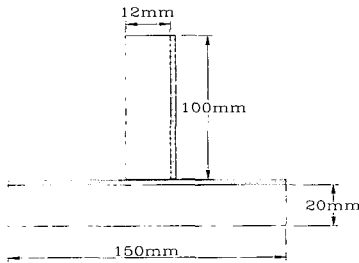


Fig. 3 Fit-up condition

취부하였다. 이는 갭에 따른 결함 발생율을 배제하기 위한 조치이다. 프라이머 도포는 각각 20 μ m로, 두 판재 모두 한쪽 면에만 도장을 하였고, 수직 판재의 도장 면이 후행 용접이 되도록 하였다.

도장방법은 자동 장비를 이용하여 1회 도포하는 방법을 채택하였다. 프라이머가 도포된 시편의 취부는 갭의 영향을 배제하기 위하여 전용 지그를 이용하여 취부를 실시하였다. 이 때 갭은 거의 0mm에 근접하도록 하였다. 취부된 시편의 조건을 Fig. 3에 나타내었다.

2) 용접

본 연구에서는 용접을 1전극 간이 자동화 장비를 이용한 FCAW로 수행하였다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 간이 주행장치를 이용하여 양면 동시 용접을 실시하였고, 이때 사용된 용접재료와



Fig. 4 Welding method

Table 2 Preparation of test specimen and welding condition

시편	두께 : 수평판 20mm, 수직판 12mm 길이 : 1,000mm
용접기법	FCAW
용접재료	B사 제품, 1.4mm
용접조건	270A x 28V x 600mm/min.

용접조건은 Table 2와 같다.

결함발생에 크게 영향을 미칠 수 있는 변수로써 극간거리가 있는데, 이는 선행 전극과 후행 전극 사이의 거리를 지칭하며 본 실험에서는 100mm로 유지하였다,

3) 결함 평가 방법

프라이머의 용접성 평가는 Fig. 5와 같이, 먼저 비드의 표면을 블라스팅한 후에 비드 표면에 나타난 결함을 평가하였는데, 이때 결함의 측정은 프라이머가 도포된 용접부만 고려하였다. 블라스팅후 비드 외관 평가가 끝난 시험편에 대해 용접부를 용접부 길이 방향으로 파단하여 비드 내부의 결함 발생량을 평가하였다.

2.3 용접기법에 따른 결함 평가

동일한 프라이머를 사용하는 경우에도 용접기법에 따라 결함 발생율에 차이가 있다고 알려져 있다. 평가에 사용된 1전극 간이자동화 장비에 의한 필릿 용접방법으로는 보호가스를 CO₂를 사용하고 플렉스 코어드 와이어를 사용하는 FCAW 용접기법과 Ar+CO₂의 혼합

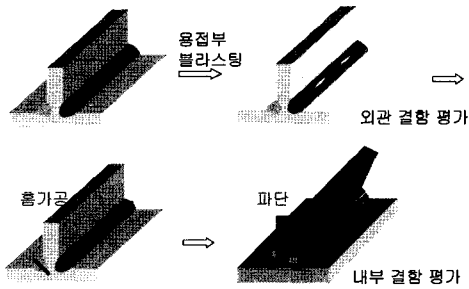


Fig. 5 Test method of welding defects

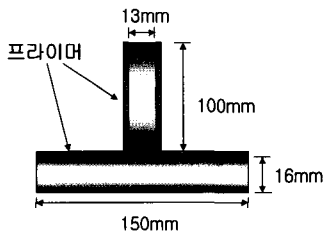


Fig. 6 Priming condition of shop primer

Table 3 Preparation of test specimen and each welding condition

시편	두께 : 수평판 16mm, 수직판 13mm 길이 : 1,000mm	
용접기법	FCAW	MAG
용접재료	A사 제품 (1.4mm)	A사 제품 (1.2mm)
용접조건	480mm/min.	
	300A x 31V	270A x 28V
	600mm/min.	
	370A x 38V	330A x 32V

보호가스를 사용하고 슬리드 와이어를 사용하는 MAG 용접기법을 이용하여 비교하고자 하였다. 평가에 사용된 프라이머는 표1의 PC제품이며, 도포 두께는 평균 약 17 μ m로써 Fig. 6에 프라이머 도포 방법과 도포 조건을 나타내었다.

용접성 평가에서는 기법에 따라 용접조건이 상이하며, 각각의 사용된 용접조건을 Table 3에

나타내었다.

시험준비는 각 조건별로 길이 1,000mm의 시편 3개씩 준비하여 용접을 실시하였다. 결함 평가는 용접부 전체에 대해 실시하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 프라이머 종류에 따른 결함 발생률

기공 결함은 주로 핀홀과 원홀이며, 평가된 3종류의 프라이머에 대해 기공 길이의 함으로 비교하였다. 기공 발생에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 유기 바인더와 Zinc의 함량이 가장 적은 프라이머 PC제품에서 기공 길이의 함이 가장 작고 양호한 결과를 얻었다. Fig. 7에 그 결과를 나타내었다.

또한 비드를 파단하여 비드 내부의 결함 발생량을 측정한 결과, Fig. 8에서 알 수 있듯이 비드 외관에 나타난 결함 발생 경향과는 달리 큰 차이가 있었다. 이 때 용접장 900mm에 대해 결함 길이가 4mm 이상인 기공의 수를 측정된 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

3.2 용접기법에 따른 결함 발생률

FCAW와 MAG 기법 차이에 의한 결함 발생률을 비교한 결과, 외관 결함은 용접직후에 나타난 결함과 블라스팅후에 나타난 결함으로 분류할 수 있다. 확인된 기공은 개별이면서 원형 결함인 핀홀과 연속이면서 선형 결함인 원홀로 구분하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 이 때 용접장은 시편당 900mm이며, 양면을 모두 체크하였다. 따라서 Fig. 10에 언급된 결함수는 각 조건별 용접장 5.4m에 대한 결과이다.

용접속도에 따른 기공발생 경향을 살펴보면 다음과 같다. 속도 480mm/min.에서는 용접직후에 발생한 기공에서 FCAW 는 4 개이지만 MAG 는 없었고, 블라스팅후 FCAW 는 없었으며 MAG 는 1 개 발생되었다.

속도 600mm/min.에서는 용접직후에 FCAW가 1개, MAG는 없으며, 블라스팅후에는 FCAW가 1개, MAG가 17개 발생되었다. 즉,

MAG 용접기법은 용접직후에 기공이 적지만 블라스팅후에 기공이 많이 발생되는데, 이는 기공이 비드 표면 직하에 많이 잔존해 있다가 블라스팅에 의해 노출되는 것임을 알 수 있다.

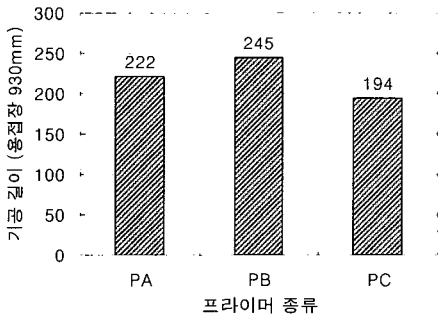


Fig. 7 Total length of porosities on bead right after blasting

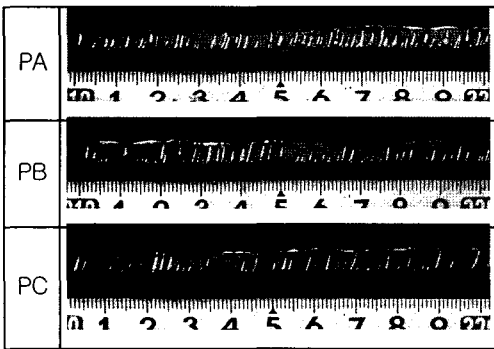


Fig. 8 Fractured surface of weld bead

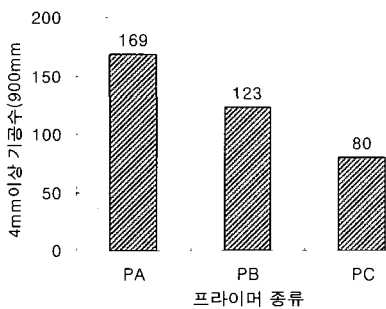


Fig. 9 Total amount of porosity on the fractured surface of bead

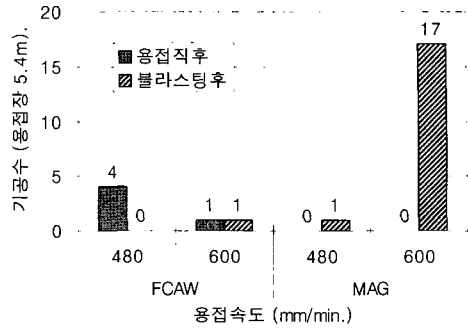


Fig. 10 Total amount of porosity right after welding and blasting

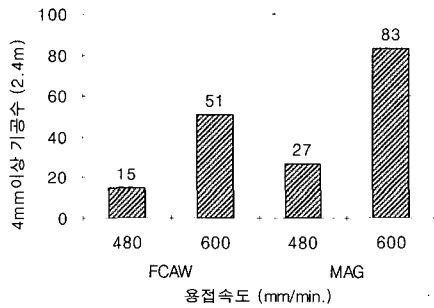


Fig. 11 Total amount of porosity on the fractured surface of bead

기법	속도	파단면
FCAW	480	
	600	
MAG	480	
	600	

Fig. 12 Fractured surface of bead(Unit : mm/min.)

각 조건별로 용접장 2.4m에 대해 용접 비드를 파단하여 내부 결함을 측정된 결과를 Table 5에 나타내었다. 또한, Fig. 11에서 알 수 있듯이 비드 외관에 나타난 결함 양상과는 달리 속도 480mm/min.에서 FCAW 의 경우 4mm 이상의 결함이 MAG보다 약 45% 정도, 600mm/min.에서는 약 39% 정도 적은 것을 알 수 있다. 각각의 파단면 사진을 Fig. 12에 나타내었다.

현재, 용접직후에 발생하는 기공 결함은 용접 작업장에서 보수가 가능하지만, 블라스팅후에 발생하는 기공은 보수용접으로 인한 작업 공정을 지연시켜 후공정에 미치는 영향이 크게 된다. 따라서 조선소에서는 블라스팅후에 결함이 적은 프라이머와 용접기법의 개발을 기대하고 있다.

4. 결 론

필렛용접에서의 기공 결함발생 원인 분석과 저감 방안에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 유기 바인더와 Zinc 함량을 줄이고 무기 안료를 증가시킨 PC제품의 내부 결함 발생율이 약 35% 감소하였다.
- 2) FCAW 기법에서는 용접직후 또는 블라스팅후 결함 발생율이 속도에 상관없이 차이가 적었다.

3) MAG 기법에서는 속도 480mm/min.에서 용접직후와 블라스팅후에 결함이 거의 발생되지 않았지만, 속도가 600mm/min.로 증가되면 블라스팅후 결함이 현저하게 증가됨을 알 수 있다.

4) 파단된 비드 내부에서 4mm 이상의 결함 발생율은 MAG 기법이 FCAW보다 약 40% 정도 많이 발생되었다.

참 고 문 헌

- 1. T. Suga, 1996, "An investigation into Resistance to Porosity Generation in High-Speed Horizontal CO2 Fillet Welding", International Institute of Welding, IIW Doc. XII-1456-96.
- 2. "필렛 Bead 형상에 미치는 각종 요인의 영향 조사 KOBEL STEEL Technical Report 2003, 용업자 No. 012003-F185 호



< 배 상 득 >